№ 3 (48) 2020

# РИСОВОДСТВО

НАУЧНО-ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ ЖУРНАЛ

**ISSN 1684 – 2464**

Учредитель: Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный научный центр риса»
Издается с 2002 года
Периодичность – 4 выпуска в год

Журнал включен в Перечень ведущих рецензируемых научных журналов и изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени доктора наук, на соискание ученой степени кандидата наук. Дата включения издания в перечень – 6 июня 2017 года.

Главный редактор
***С. В. ГАРКУША*** (ФНЦ риса),
д-р с.-х. наук, профессор
Заместитель главного редактора
***В. С. КОВАЛЕВ*** (ФНЦ риса)
д-р с.-х. наук, профессор
Научный редактор
***Н. Г. ТУМАНЬЯН*** (ФНЦ риса)
д-р биол. наук, профессор

Редакционная коллегия
***И. Б. АБЛОВА*** (НЦЗ им. П. П. Лукьяненко),
д-р с.-х. наук
***Т. Ф. БОЧКО*** (КубГУ). канд. биол. наук
***ДЖАО НЬЯНЛИ*** (Китай, Ляонинская Академия с.-х. наук)

***В. А. ДЗЮБА*** (ФНЦ риса), д-р биол. наук, профессор
***Л. В. ЕСАУЛОВА*** ( ФНЦ риса), канд. биол. наук
***Г. Л. ЗЕЛЕНСКИЙ*** (ФНЦ риса), д-р с.-х. наук, профессор
***С. В. КИЗИНЁК*** (РПЗ «Красноармейский» им. А. И. Майстренко), д-р с.-х. наук
***С. В. КОРОЛЕВА*** (ФНЦ риса), канд. с.-х. наук
***П. И. КОСТЫЛЕВ*** (ФГБНУ «Аграрный научный центр «Донской»), д-р с.-х. наук, профессор
***В. А. ЛАДАТКО*** (ФНЦ риса), канд. с.-х. наук
***Ж. М. МУХИНА*** (ФНЦ риса), д-р биол. наук
***А. Н. ПОДОЛЬСКИХ*** (Казахский НИИ рисоводства им. И. Жахаева), д-р с.-х. наук
***М. А. СКАЖЕННИК*** (ФНЦ риса), д-р биол. наук
***А.И. СУПРУНОВ*** (НЦЗ им. П. П. Лукьяненко),
д-р с.-х. наук
***Е. М. ХАРИТОНОВ*** (ФНЦ риса), академик РАН, профессор
***М. И. ЧЕБОТАРЕВ*** (КубГАУ), д-р техн. наук, профессор

***А. Х. ШЕУДЖЕН*** (ФНЦ риса), академик РАН, профессор

Переводчики. ***И.С. ПАНКОВА*** (ФНЦ риса)
Корректор: ***С.С. ЧИЖИКОВА***

Адрес редакции:
Белозерный, 3, Краснодар, 350921, Россия
arrri_kub@mail.ru, «В редакцию журнала».
Научный редактор: тел.: (861) 229 – 41 – 49

Свидетельство о регистрации СМИ
¾ 019255 от 29.09.1999,
выдано Государственным комитетом РФ по печати.

В журнале публикуются оригинальные статьи проблемного и научно-практического характера, представляющие собой результаты исследований по физиологии, биотехнологии, биохимии, агрохимии; методические рекомендации по использованию сортов в различных почвенно-климатических регионах; сообщения о селекционных и семеноводческих достижениях; рассмотрение производственных и экономических проблем отрасли; а также обзорные, систематизирующие, переводные статьи, рецензии.

# RICE GROWING

SCIENTIFIC RESEARCH AND PRODUCTION MAGAZINE

Founder: Federal State Budgetary Scientific Institution ‘ Federal Scientific Rice Centre
Published since 2002
Periodicity 4 issues a year

Journal is included into List of Leading peer-reviewed ournals and publications, where basic scientific results of doctoral dissertations and Ph.D. dissertations should be published. Date of issue inclusion into the list – June 6th 2017.

Editor-in-Chief
***S. V. GARKUSHA*** (FSC of rice),
Dr. Sc. {Agriculture}, professor
Deputy Chief Editor
***V. S. KOVALYOV*** (FSC of rice)
Doctor of Agricultural Sciences, professor
Scientific Editor
***N. G. TUMANYAN*** (FSC of rice)
Doctor of Biological Sciences, professor

Editorial Board
***I. B. ABLOVA*** (Krasnodar Research Institute of Agriculture named after P. P. Lukianenko), Dr. Sc. {Agriculture}
***T. F. BOCHKO*** (KubSU), Cand. Sc. {Biology}
***ZHAO NIANLI*** (China, Liaonong Academy of Agricultural Science), Ph. D
***V. A. DZUBA*** (FSC of rice), Dr. Sc. {Biology}, professor
***L. V. ESAULOVA*** (FSC of rice ), Cand. Sc. {Biology}
***G. L. ZELENSKY*** (KubSAU), Dr. Sc. {Agriculture}, professor
***S. V. KIZINEK*** (Krasnoarmeysky Rice Growing Pedigree Plant named after A. I. Maystrenko), Dr. Sc. {Agriculture}
***S. V. KOROLYOVA*** (FSC of rice). Cand. Sc. {Agriculture}
***P. I. KOSTYLEV*** (SSE «ARC «Donskoy»), Dr. Sc. {Agriculture}, professor
***V. A. LADATKO*** (FSC of rice). Cand. Sc. {Agriculture}
***Zh. M. MUKHINA*** (FSC of rice), Dr. Sc. {Biology}
***A. N. PODOLSKIKH*** (Kazakh Scientific Research Institute of Rice Growing named after I. Zhakhaev), Dr. Sc. {Agriculture}
***M. A. SKAZHENNIK*** (FSC of rice), Dr. Sc. {Biology}
***A. I. SUPRUNOV*** (Krasnodar Research Institute of Agriculture named after P. P. Lukianenko), Dr. Sc. {Agriculture}
***E. M. KHARITONOV*** (FSC of rice), Academician of Russian Academy of Sciences, professor
***M. I. CHEBOTAREV*** (KubSAU), Dr. Sc. {Engineering}, professor
***A. KH. SHEUDZHEN*** (FSC of rice), Academician of Russian Academy of Sciences, professor

Interpreter ***I. S. PANKOVA*** (FSC of rice)
Proofreader: ***S.S. CHIZHIKOVA***

Address:
3, Belozerny, Krasnodar, 350921, Russia
arrri_kub@mail.ru, «Attn. Editors of the Magazine» Scientific Editor: tel. (861) 229 – 42 – 66

Mass Media Registration Certificate
#019255 dd. 29.09.1999, issued by National Press Committee of the Russian Federation.

The magazine features original articles addressing problem areas and applied scientific research results (namely, those related to physiology, biotechnology, biochemistry and agrochemistry); methodological recommendations on the use of rice varieties in various soil and climatic regions; reports on breeding and seed growing achievements; reviews of production and financial issues faced by the industry; overviews, systematizations, translations and reviews of articles.

# СОДЕРЖАНИЕ

## НАУЧНЫЕ ПУБЛИКАЦИИ

**Коротенко Т.Л., Савенко Е.Г.**
Анализ фенотипического разнообразия удвоенных гаплоидов в структуре сформированного генофонда коллекции «ФНЦ Риса» 6

**Костылев П.И., Краснова Е.В., Аксенов А.В., Балюкова Э.С., Дубина Е.В.**
Особенности наследования некоторых количественных признаков у гибрида риса Наташа × Боярин 14

**Супрунов А.И., Хамади А.И., Чесноков И.М., Макшанов В.В.**
Селекция гибридов лопающейся кукурузы в НЦЗ им. П.П. Лукьяненко 20

**Шарифуллин Р.С., Шарифуллина Ю.Б.**
Способ расчета биологической урожайности риса 25

**Скаженник М.А., Гаркуша С.В., Ковалев В.С., Петрушин А.Ф., Киселев Е.Н., Чижиков В.Н., Пшеницына Т.С.**
Продукционный процесс агрофитоценозов риса в связи с их состоянием 30

**Белоусов И.Е.**
Изменение эффективного плодородия рисовых почв и их обеспеченности элементами минерального питания при возделывании риса в севообороте 38

**Паращенко В.Н., Чижиков В.Н., Гергель В. В., Павлов В.В.**
Эффективность азотных удобрений в аммонийной и амидной формах в сочетании с ингибитором нитрификации 45

**Мухаммед Умер Фарук, Жичен Тан, Руй Цзэн, Юаньке Лян, Юйцзе Чжан, Тенгда Чжэн, Хла Хэй, Сяоин Е, Сяомэй Цзя, Цзяньцин Чжу**
Накопление, мобилизация и трансформация селена в зерне риса, обеспеченном листовым селенитом натрия 51

**Чернышева Н.В., Барчукова А.Я., Тосунов Я.К.**
Влияние некорневой подкормки органоминеральным удобрением Столлер Энерджи на рост, урожайность риса и качество зерна 62

**Шеуджен А.Х., Бондарева Т.Н., Петрик Я.Б.**
Подбор технологии применения цинковых удобрений в рисовом агроценозе 67

**Кизинёк С.В., Белоусов В.С., Ачканов А.Я., Тараненко В.В., Шарифуллин Р.С.**
Особенности солевого режима почв мелиоративной зоны в дельте Кубани 78

**Барчукова А.Я., Тосунов Я.К., Чернышева Н.В.**
Биологическая эффективность применения агрохимиката Форкоп марки Актисемо-Л на сое 84

**Лазько В.Э., Якимова О.В.**
Влияние корневых подкормок комплексными органоминеральными удобрениями на рост чеснока в пленочной необогреваемой теплице 90

**Д.С. Миков, В.В. Тюрин, Р.О. Давоян, Э.Р. Давоян, Ю.С. Зубанова, Д.М. Болдаков**
Оценка интрогрессивных линий мягкой пшеницы с генетическим материалом Aegilops speltoides по комплексу признаков продуктивности 95

# TABLE OF CONTENTS

## SCIENTIFIC PUBLICATIONS

**Korotenko T.L., Savenko E.G.**
Analysis of the phenotypical diversity of double haploids in the structure of the formed gene pool of the «Federal Scientific Rice Centre» collection 4

**Kostylev P.I., Krasnova E.V., Aksenov A.V., Balyukova E.S., Dubina E.V.**
Features of inheritance of some quantitative traits in the hybrid rice Natasha × Boyarin 14

**Suprunov A.I., Hamadi A.I., Chesnokov I.M., Makshanov V.V.**
Breeding of pop corn hybrids in the national center of grain named after P.P. Lukyanenko 20

**Sharifullin R.S., Sharifullina Yu.B.**
Method for calculation of biological rice yield 25

**Skazhennik M.A., Garkusha S.V., Kovalev V.S., Petrushin A.F., Kiselev E.N., Chizhikov V.N., Pshenitsyna T.S.**
Production process of rice agrophytocenoses in connection with their state 30

**Belousov I.E.**
Changing the effective fertility of rice soils and their availability of mineral nutrition in crop cultivation 38

**Parashchenko V.N., Chizhikov V.N., Gergel V.V., Pavlov V.V.**
Efficiency of nitrogen fertilizers in ammonium and amide forms combined with a nitrification inhibitor 45

**Muhammad Umer Farouk, Zhicheng Tang, Rui Zeng, Yuanke Liang, Yujie Zhang, Tengda Zheng, HLA HEI, Xiaoying Ye, Xiaomei Jia, Jianqing Zhu**
Accumulation, mobilization, and transformation of selenium in rice grain provided with foliar sodium selenite 51

**Chernysheva N.V., Barchukova A.Ya., Tosunov Ya.K.**
Effect of non-root feeding with organomineral Stoller Energy fertilizer on growth, productivity of rice and grain quality 62

**Sheudzhen A.Kh., Bondarev T.N., Petrik J.B.**
The choice of technology of application of zinc fertilizers in rice farming 67

**Cizinec S.V., Belousov V.S., Achkasov A.J., Taranenko V.V., Sharifullin R.S.**
Features of salt regime of soils in the meliarative zone in the Kuban delta 78

**Barchukova A.Ya., Tosunov Ya.K., Chernysheva N.V.**
Biological efficacy of agrochemical the drag hook brand Altisimo-L on soybeans 84

**Lazko V.E., Yakimova O.V.**
Influence of root dressing with complex organic fertilizers on the growth of garlic in an unheated film greenhouse 90

**Mikov D.S., Tyurin V.V., Davoyan R.O., Davoyan A.R., Zubanova Yu.S., Boldakov D.M.**
Evaluation of introgression wheat lines with genetic material from Aegilops speltoides on productivity traits 95

## Памяти академика РАН Александра Александровича Жученко к 85-летию со дня рождения

Академик Александр Александрович Жученко – выдающийся ученый российской и мировой сельскохозяйственной, биологической и экологической науки, известен фундаментальными исследованиями в области частной и экологической генетики, агроэкологии, селекции, сортоиспытания и семеноводства культурных растений, а также стратегии адаптивной интенсификации сельского хозяйства.

А.А. Жученко родился 25 сентября 1935 года в городе Ессентуки Ставропольского края.

В 1960 году с отличием окончил Высший сельскохозяйственный институт им. В. Коларова (Болгария). Занимал ответственные посты в СССР и современной России: 1967 – 1976 гг. – директор Молдавского НИИ орошаемого земледелия и овощеводства, генеральный директор НПО «Днестр»; 1976 – 1989 гг. – вице-президент, президент Молдавской академии наук; с 1979 г. по 1989 г. избирался депутатом Верховного Совета СССР; 1989 – 1992 гг. – заместитель председателя Государственного комитета СССР по науке и технике; 1992 – 2009 гг. – вице-президент российской академии сельскохозяйственных наук.

Академик трех академий наук (Российской академии наук, Россельхозакадемии, Аграрной академии Республики Беларусь), вице-президент Вавиловского общества генетиков и селекционеров, он по праву заслужил мировое признание. Его необыкновенный многогранный талант, выдающиеся трудолюбие и целеустремлённость, высочайший профессионализм помогли достичь больших высот в науке.

Особую признательность и благодарность заслужил А.А. Жученко у рисоводов России. В трудное для рисоводства время в конце 90-х годов Всероссийский научно-исследовательский институт риса (сейчас ФГБНУ "ФНЦ риса"), как и отрасль в целом, оказались в предбанкротном состоянии.

Урожайность риса в России составляла 2,2 т/га, валовый сбор 320 тыс. тонн, что только на 30 процентов обеспечивало страну рисом собственного производства. В то время как за 1986 – 1990 гг. валовый сбор был 1054 тыс. тонн при урожайности 3,5 т/га.

Во ВНИИ риса более двух лет ученым не выплачивалась заработная плата, кредиторская задолженность превысила 20 млн. рублей. Научные исследования практически не велись.

С целью вывода из кризиса отрасли была создана комиссия из сотрудников МСХ РФ и РАСХН. Возглавил комиссию вице – президент Россельхозакадемии А.А. Жученко.

Под его руководством были определены меры по выводу из сложнейшего положения как рисоводства в целом, так и ВНИИ риса.

Была разработана целевая отраслевая научно-исследовательская программа по стабильному развитию рисоводства в России, восстановлена ведущая роль института, как центра по научно-методическому обеспечению рисоводческой отрасли АПК страны.

Определены основные направления фундаментальных и прикладных исследований. За счет средств академии с целью повышения уровня научных исследований были укомплектованы современным оборудованием лаборатории генетики и биотехнологии.

Во ВНИИ риса на высоком уровне были проведены всероссийские и международные конференции с участием зарубежных и российских ученых с мировой известностью: Драгавцева В.А., Инге-Вечтомова С.Г., Янковского Н.К., Тихоновича И.А., Беспаловой Л.А., Парахина Н.В., Чайка А.К. и других.

Принятые меры позволили не только увеличить производство риса в России, но и экспортировать его за рубеж. К 2010 году валовый сбор риса превысил 1 млн. тонн при урожайности 5,2 т/га, что полностью обеспечивало страну рисом собственного производства.

В этом проявилась непосредственная заслуга Александра Александровича – выдающегося ученого, талантливого стратега, организатора научных исследований и внедрения их в производство.

Сейчас очевидно, что стратегия адаптивной селекции растений, предложенная академиком А.А. Жученко, прочно заняла центральное место в сфере сельскохозяйственной науки. Именно благодаря основным положениям величайших трудов А.А. Жученко, ученым, работающим в этой области, удается давать ответы не только на фундаментальные вопросы естествознания, но и решать практические задачи.

Академик А.А. Жученко раскрыл проблему увеличения валового производства зерна в мире, как главного фактора обеспечения национальной и продовольственной безопасности государства: «…необходим поиск альтернативной стратегии интенсификации сельскохозяйственного производства, главной особенностью которой, на наш взгляд, должна стать наукоемкость, то есть способность в наибольшей мере использовать громадный потенциал научных знаний, накопленных человечеством…» иными словами, речь идет о необходимости перехода к биосферосовместимому, ресурсоэнергоэкономичному, экологически надежному, социально приемлемому и рентабельному сельскому хозяйству».

Достижения А.А. Жученко отмечены многими государственными наградами, почетными дипломами и грамотами. Он является заслуженным деятелем науки Российской Федерации, награжден орденами Ленина, Октябрьской революции, тремя орденами Трудового Красного знамени, орденом «За заслуги перед Отечеством» IV степени, медалями СССР, России и Болгарии, золотой медалью имени Н.И. Вавилова. А главное – это глубокое уважение ученых и коллег, которые работали вместе с ним.

Директор ФГБНУ «ФНЦ риса»,
доктор сельскохозяйственных наук, профессор С.В. Гаркуша

Научный руководитель ФГБНУ «ФНЦ риса»,
академик РАН, доктор социологических наук,
профессор Е.М. Харитонов

DOI: 10.33775/1684-2464-2020-48-3-6-13
УДК 633.18.03: 57.085.23: 577.2

**Т.Л. Коротенко**, канд. с.-х. наук,
**Е.Г. Савенко**, канд. биол. наук
г. Краснодар, Россия

# АНАЛИЗ ФЕНОТИПИЧЕСКОГО РАЗНООБРАЗИЯ УДВОЕННЫХ ГАПЛОИДОВ В СТРУКТУРЕ СФОРМИРОВАННОГО ГЕНОФОНДА КОЛЛЕКЦИИ «ФНЦ РИСА»

*Целью исследований являлось фенотипирование полиморфизма количественных признаков исходного материала, созданного методом культуры пыльников, для повышения продуктивности современных сортов риса. В статье обобщены данные по комплексному изучению в 2017 – 2019 гг. удвоенных гаплоидных линий из рабочей коллекции ФНЦ риса, которая насчитывает более 5177 образцов Oryza sativa L. В структуре рабочей коллекции: сорта и образцы из регионов России разных периодов отечественной селекции, начиная с 1956 года, мутанты, регенеранты и удвоенные гаплоиды. Агротехнические приемы выращивания культуры в опыте соответствовали рекомендациям ФНЦ риса. Лабораторные и полевые исследования проведены на базе группы УНУ и лаборатории биотехнологии и молекулярной биологии. Закладку опытов, учеты, наблюдения и изучение исходного материала проводили по «Методике опытных работ по селекции, семеноводству, семеноведению и контролю за качеством семян риса» и в соответствии с «Методическими указаниями по изучению мировой коллекции риса и классификатором рода Oryza L.». Проанализирован полиморфизм признаков 168 удвоенных гаплоидных линий, полученных при скрещивании 11 родительских форм различной таксономической принадлежности и скорости созревания. Наибольшее таксономическое разнообразие дигаплоидов получено при скрещивании сортов Tinbubueo и Новатор, Volano и Янтарь. Представлены характеристики родительских особей и 15 лучших дигаплоидных линий. Проведенные экспериментальные исследования показывают наличие среди коллекционного материала перспективных по продуктивности дигаплоидных форм для усовершенствования современных сортов риса.*

***Ключевые слова:*** *рис, коллекция, удвоенные гаплоиды (дигаплоиды), селекционные признаки, полиморфизм признаков, методы селекции.*

# ANALYSIS OF THE PHENOTYPICAL DIVERSITY OF DOUBLE HAPLOIDS IN THE STRUCTURE OF THE FORMED GENE POOL OF THE «FEDERAL SCIENTIFIC RICE CENTRE» COLLECTION

*The purpose of the research was the phenotyping of polymorphism of quantitative traits of the starting material, developed by the anther culture method, to increase the productivity of modern rice varieties. The article summarizes the data on a comprehensive study in 2017 – 2019 of doubled haploid lines from the working collection of Federal Scientific Rice Centre, which includes more than 5177 samples of Oryza sativa L. The structure of working collection includes: varieties and samples of domestic breeding from the regions of Russia of different periods, starting from 1956, mutants, regenerants and doubled haploids. Agrotechnical methods of growing crops in the experiment corresponded to the recommendations of Federal Scientific Rice Centre. Laboratory and field studies were carried out on the basis of the USU group and the laboratory of biotechnology and molecular biology. The experiments, counting, observation and study of starting material were carried out according to the «Methodology of experimental work on breeding, seed production, seed studies and quality control of rice seeds» and in accordance with the «Methodological guidelines for the study of the world collection of rice and classifier of Oryza L.» The polymorphism of traits of 168 doubled haploid lines obtained by crossing 11 parental forms of different taxonomic affiliation and maturation rate was analyzed. The greatest taxonomic diversity of dihaploids was obtained when crossing the varieties Tinbubueo and Novator, Volano and Yantar. The characteristics of parental individuals and 15 best dihaploid lines are presented. Experimental studies have shown the presence of promising productivity dihaploid forms among the collection material for the improvement of modern rice varieties.*

***Key words:*** *rice, collection, doubled haploids (dihaploids), breeding traits, polymorphism of traits, breeding methods.*

## Введение

Генетические ресурсы растений рассматриваются как основной источник улучшения сельскохозяйственных культур. Широкое генетическое разнообразие сортов риса в мире обусловлено совокупным воздействием почвенно-климатического многообразия агроэкосистем и культурных предпочтений человека. Биоресурсные коллекции зерновых культур являются национальным достоянием страны, основой ее продовольственной безопасности и служат богатым исходным материалом для селекционных работ. Поиск источников ценных признаков среди генетического разнообразия зерновых и крупяных культур осуществляют на основе оценки биологических, физиологических, хозяйственных, экологических и других свойств растений. Основной генофонд риса в России сосредоточен в ФИЦ ВИР им. Н.И. Вавилова (г. Санкт-Петербург) – более 12 тыс. и ведущем научном учреждении по вопросам рисоводства ФГБНУ «ФНЦ риса» (г. Краснодар) – более 7,1 тыс. образ-

цов. В семенной коллекции собраны как стародавние, так и современные отечественные сорта риса, селекционные линии, мутанты, удвоенные гаплоиды (DH) и зарубежные интродуценты, адаптированные к местным условиям Кубани. По каталогам регистрации генофонд *Oryza sativa* L. насчитывает рабочей коллекции – 5177 образцов и 3040 интродуцированных форм риса из 8 эколого-географических групп (ЭГГ) разных континентов мира, 82 ботанических разновидностей.

Для селекции сельскохозяйственных культур важна генетическая изменчивость растений и их способность противостоять изменяющимся условиям окружающей среды. Генетическое обновление сортимента культуры приводит к качественно новым сортам, формам и даже типам растений. Для решения практических задач по расширению ассортимента отечественных рисопродуктов исследования отечественных и мировых ресурсов риса ведутся по приоритетным проблемам селекции: качеству зерна, продуктивности и скорости развития растений, стрессоустойчивости к повышенным и пониженным температурам, устойчивости к болезням и вредителям и др.

Генетическую базу для реализации селекционных программ различных направлений обеспечивает предселекционная работа по созданию источников и доноров селекционно важных признаков. Эффективность создания генплазмы растений можно повысить путем создания генетически стабильных образцов с использованием современных методов биотехнологии [3, 13]. В селекции риса для получения константных по морфологическим признакам линий используются гаметные технологии, в частности метод культуры пыльников *in vitro* или андрогенез. Это наиболее эффективный и простой метод, используемый для получения гаплоидов / удвоенных гаплоидов у многих видов растений. Культура рис – уникальный материал, в котором около 30 – 40 % андрогенных регенерантов в результате индуцированного дублирования хромосом являются спонтанно удвоенными гаплоидами. Такие дигаплоиды имеют многочисленные преимущества: высокая эффективность отбора целевых генотипов, т.к. действие рецессивных генов проявляется наряду с доминантными, поэтому в их популяции отмечается широкий размах варьирования по признакам, контролируемым рецессивными генами [10]; расширение генетической изменчивости за счет возникновения гаметоклональных вариантов и более ранняя экспрессия рецессивных генов; DH линии дают возможность сократить цикл размножения зафиксированных в гомозиготном состоянии рецессивных генов важных агрономических признаков [5, 6, 11, 12, 15, 17]. В этом отношении интерес для практических селекционных целей представляют дигаплоиды с генами, определяющими продуктивность, устойчивость к болезням, биотическим и абиотическим факторам [9, 14, 19]. В последнее десятилетие удвоенные гаплоиды в значительной степени признаны важным компонентом улучшения урожая, их ценность признана в биологии и генетике растений, картировании генома (Hussain et al, 2012), анализе количественных локусов признаков (QTL) и генетической мутации, а также в качестве мишеней для программ генетической трансформации (Chauhan and Khurana, 2011). Учеными Китая установлено, что DH линии риса являются более жизнеспособными, и благодаря культуре пыльников в стране создано более 100 линий и сортов риса, а в Индии, Японии, Южной Корее, Венгрии и США зарегистрированы сорта риса на основе удвоенных гаплоидов с превосходными качественными характеристиками зерна, устойчивыми к бактериальной гнили, пирикуляриозу и абиотическим стрессам [18]. В настоящее время в научных публикациях появились сообщения, освещающие создание удвоенных гаплоидов риса и их использование в молекулярной селекции, генетике и геномике [7, 8, 16]. Таким образом, гаплоидная селекции через культуру пыльников превратилась в средство, которое может стать отличной альтернативой традиционным методам селекции для повышения урожайности сельскохозяйственных культур и эффективности создания новых сортов, что важно и для рисоводческой отрасли. Чтобы служить эффективной базой для улучшения культур, генетическое разнообразие, созданное с использованием гаметных технологий, должно быть собрано в коллекции и всесторонне изучено.

**Цель исследований**

Фенотипирование полиморфизма количественных признаков исходного материала, созданного методом культуры пыльников, для повышения продуктивности современных сортов риса.

**Материалы и методы**

Для изучения отобраны удвоенные гаплоидные линии из УНУ «Коллекция генетических ресурсов риса, овощных и бахчевых культур» отдела селекции ФНЦ риса с использованием Банка данных *Oryza sativa* L. [1, 2]. Фенотипирование по морфо-биологическим признакам проводили в коллекционном питомнике на экспериментальном орошаемом участке (ЭОУ) института (г. Краснодар). Режим орошения – укороченное затопление. Агротехника выращивания культуры в опыте соответствовала рекомендациям ФНЦ риса. Полевые и лабораторные исследования проведены в период 2017 – 2019 гг. на базе группы УНУ и лаборатории биотехнологии и молекулярной биологии. Закладку опытов, учеты, наблюдения и изучение исходного материала проводили по «Методике опытных работ по селекции, семеноводству, семеноведению и контролю за качеством семян риса» (А.П. Сметанин, В.А. Дзюба, 1972) и в соответствии с «Методическими указаниями по изучению мировой коллекции риса и классификатором рода *Oryza* L.» (1982) [4]. Изучение растений 168 линий риса в условиях полевого опыта проводили в коллекционном питомнике в одинаковых условиях при равной густоте стояния – 250 шт./м$^2$. В качестве стандарта вы-

браны 11 родительских форм: Серпантин, Новатор, Янтарь, Диамант и Аметист (Россия), Volano и Бальдо (Италия), Odeobueo, Tinbubueo и Пхеньян 22 (Корея), Тайбонне (США).

Посев в поле проводили вручную в маркерные бороздки, делянки размещали ярусами, шириной по 1 м, размер опытных делянок – 0,5 м$^2$. Скорость развития растений сортов риса оценивали по продолжительности периодов «всходы-цветение-полная спелость».

Форму и положение метелки на растении риса оценивали по бальной системе, где форма метелки (балл): 1 – компактная, 3 – слаборазвесистая, 5 – среднеразвесистая, 7 – развесистая; положение метелки (балл): 1 – вертикальное, 5 – наклонное, 9 – поникающее. Сорта риса различаются по окраске цветковых чешуй: светло-соломенная (СС), соломенно-желтая (СЖ), золотистая (З), красная (К), коричневая (КР), бурая (Б), фиолетовая (Ф), черная (Ч). Визуально форму зерна оценивают по шкале: округлая, округло-овальная, овальная, удлиненная, длинная и очень длинная.

## Результаты и обсуждение

По продолжительности вегетационного периода родительские формы отнесены к группам: скороспелые сорта – Серпантин и Новатор; среднеспелые – Янтарь, Tinbubueo и Диамант; среднепоздние – Аметист, Бальдо, Пхеньян 22, Тайбонне и Odeobueo; позднеспелый сорт Volano. По высоте растений сорта Odeobueo, Тайбонне и Серпантин отнесены к низкорослым, а остальные – к среднерослым. В числе родительских форм взяты два крупнозерных сорта с массой зерна более 35 грамм: Бальдо и Volano (табл. 1).

**Таблица 1. Характеристика родительских форм в годы исследований (2017 – 2019 гг.)**

| № п\п каталога ФНЦ риса | Название сорта | Разновидность | Вегетационный период, дней | Высота растений, см | *Масса 1000 зерен, г | Форма зерна | Цвет чешуй зерна |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 04119 | Аметист | *italica* | 117 – 120 | 105 – 110 | 32,0 | овальная | СЖ |
| 04476 | Odeobueo | *italica* | 118 – 120 | 70 – 75 | 29,2 | округло-овальная | СЖ |
| 04048 | Серпантин | *italica* | 100 – 105 | 73 – 79 | 25,2 | удлиненная | СС |
| 04237 | Новатор | *italica* | 95 – 100 | 83 – 88 | 27,7 | округло-овальная | СЖ |
| 04477 | Tinbubueo | *subvulgaris* | 110 – 115 | 83 – 86 | 29,8 | округло-овальная | СЖ |
| 04520 | Volano | *italica* | 125 – 130 | 92 – 98 | 40,0 | овальная | СЖ |
| 04077 | Янтарь | *italica* | 110 – 115 | 88 – 93 | 31,7 | овальная | СС |
| 04124 | Тайбонне | *gilanica* | 118 – 123 | 75 – 78 | 23,0 | длинная | СС |
| 04391 | Пхеньян 22 | *subvulgaris* | 118 – 120 | 91 – 96 | 26,3 | округлая | СС |
| 04485 | Диамант | *italica* | 110 – 115 | 77 – 83 | 27,9 | округло-овальная | СЖ |
| 04343 | Бальдо | *italica* | 116 – 120 | 100 – 105 | 35,7 | овальная | СС |
| $НСР_{05}$ | | | | | 2,7 | | |

*Примечание: *масса 1000 зерен при 14 % влажности.*

Наибольшее таксономическое разнообразие дигаплоидов получено при скрещивании сортов Tinbubueo и Новатор, Volano и Янтарь. При скрещивании родительских форм, относящихся к разным подвидам: Тайбонне (*indica*) и Аметист (*japonica*), получены DH только подвида *japonica* Kato. В комбинации сортов Бальдо и Диамант, относящихся к разновидности *italica* Alef., получены удвоенные гаплоиды с окрашенной красной зерновкой разновидности *sordida* Gust (табл. 2).

Анализ вариабельности признаков полученных андрогенных линий показал, что при скрещивании генетически разнородного материала из географически удаленных регионов наибольшее разнообразие форм для отбора в селекционный процесс получено в комбинациях: Odeobueo / Серпантин; Tinbubueo / Новатор; Tinbubueo / Серпантин; Volano / Янтарь (табл. 3).

**Таблица 2. Разнообразие форм риса в выборке для исследований**

| № п/п | Удвоенные гаплоидные линии, полученные в следующих комбинациях скрещиваний | Количество изученных линий, шт. | Вариация таксономических разновидностей полученных дигаплоидов |
|---|---|---|---|
| 1 | Odeobueo / Серпантин | 12 | *italica, anandica* |
| 2 | Odeobueo / Tinbubueo | 3 | *Italica, subvulgaris* |
| 3 | Новатор / Tinbubueo | 8 | *anandica, italica* |
| 4 | Серпантин / Tinbubueo | 8 | *italica* |
| 5 | Tinbubueo / Новатор | 23 | *italica, anandica, amaura, vulgaris* |
| 6 | Tinbubueo / Серпантин | 27 | *anandica, italica, vulgaris* |
| 7 | Volano / Янтарь | 72 | *subvulgaris, italica, nigro-apiculata* |
| 8 | Odeobueo / Новатор | 6 | *italica* |
| 9 | Пхеньян 22/ Янтарь | 3 | *italica* |
| 10 | Бальдо / Диамант | 3 | *italica, sordida* |
| 11 | Тайбонне /Аметист | 3 | *anandica, italica* |
| | Итого | 168 | |

**Таблица 3. Результаты фенотипической оценки полиморфизма биологических и морфологических признаков удвоенных гаплоидов**

| № п/п | Удвоенные гаплоидные линии | Интервал вариабельности признака | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Период вегетации, дней | Высота растений, см | *Масса 1000 зерен, г | Цвет чешуй | Форма метелки, балл | Форма зерна |
| 1 | Odeobueo / Серпантин | 95 – 125 | 54 – 90 | 23,9 – 32,6 | светло соломенный, соломенно-желтый | 1/1, 1/5, 3/9 | округлая, овальная, удлиненная |
| 2 | Odeobueo / Tinbubueo | 120 – 125 | 91 – 98 | 26,9 – 29,5 | светло соломенный, соломенно-желтый | 5/9 | овальная |
| 3 | Новатор / Tinbubueo | 120 – 140 | 75 – 112 | 21,3 – 33,8 | светло соломенный, соломенно-желтый | 1/1, 3/5, 3/9 | овальная, овально-округлая |
| 4 | Серпантин / Tinbubueo | 125 – 130 | 70 – 94 | 22,1 – 30,1 | соломенно-желтый | 3/5, 3/9 | овальная, удлиненная |
| 5 | Tinbubueo / Новатор | 95 – 130 | 63 – 115 | 24,2 – 34,7 | соломенно-желтый | 1/1, 1/5, 3/5, 3/9, 5/9 | овальная, овально-округлая |
| 6 | Tinbubueo / Серпантин | 98 – 120 | 56 – 95 | 22,1 – 33,1 | светло соломенный, соломенно-желтый, золотистый | 1/1, 1/5, 3/5, 3/9, 5/9 | овальная, овально-округлая |
| 7 | Volano / Янтарь | 102 – 120 | 53 – 100 | 19,2 – 31,4 | соломенно-желтый | 1/1, 1/5, 3/5 | овальная, овально-округлая |
| 8 | Odeobueo / Новатор | 105 – 120 | 81 – 96 | 23,4 – 27,3 | светло соломенный, соломенно-желтый, золотистый | 1/1, 3/5, 5/9 | овальная, овально-округлая |
| 9 | Пхеньян 22 / Янтарь | 110 – 130 | 67 – 94 | 25,7 – 28,2 | соломенно-желтый | 1/1, 3/5 | овально-округлая |
| 10 | Бальдо / Диамант | 105 – 110 | 80 – 92 | 25,9 – 29,8 | светло-серый, соломенно-желтый | 1/1, 1/5, 3/5 | овально-округлая |
| 11 | Тайбонне / Аметист | 105 – 110 | 78 – 90 | 26,3 – 27,6 | соломенно-желтый | 1/1, 1/5, 5/9 | овальная, овально-о-круглая |

*Примечание: *масса 1000 зерен при 14 % влажности.*

В популяциях дигаплоидов наблюдался широкий размах варьирования по признакам (элементам продуктивности). Это явилось закономерностью для популяций DH всех генотипов. Так, например, в популяции из 8 гомозиготных линий Volano / Янтарь отмечены различия по высоте растений: линии лш / 223 и лш / 296 отнесены к группе низкорослых – 72,0 и 76,0 см соответственно, что на 12 – 16 см ниже, чем у сорта Янтарь и на 20 – 22 см сорта Volano. Большинство же линий вошли в группу среднерослых растений (83,0 – 96,0 см) на уровне родительских форм. Все растения имели среднюю длину метелки (16,6 – 18,8 см) при существенном различии в количестве колосков от 133,6 шт. у линии лш / 121 до 217,8 шт. у линии лш /223 ($НСР_{05}$ =15,8), при этом масса 1000 зерен была практически одинаковая, кроме линий лш / 296 – 19,2 г и лш / 223 – 27,1 г. За годы исследований отмечено, что масса 1000 зерен меньше, чем у стандартных сортов, но DH вызревали раньше за счет более короткого вегетационного периода, который является важнейшим признаком ценности селекционного материала, а сокращение его длительности – немаловажное направление в селекции отечественного риса. В изучаемой популяции вегетационный период варьировал от 102 дней у линии лщ /168 (на 8 – 13 дней короче, чем у Янтаря) до 120 дней у линии лш /201 (на 5 – 10 дней короче вегетационного периода Volano).

По результатам изучения в качестве исходных форм для отечественных селекционных программ на продуктивность выделены 15 DH линий, показатели хозяйственно-ценных признаков которых приведены в таблице 4. Это новый генетически разнородный исходный материал с периодом вегетации не более 120 дней, среднерослыми неполегающими растениями, формирующий плотную (6,9 – 12,8 шт./см) продуктивную метелку массой от 2,4 до 4,8 грамм. За годы исследований выделенные линии формировали в условиях Кубани растения со средней длины метелкой (14,0 – 18,8 см), несущей от 112 до 217 колосков. Поражения пирикуляриозом и полегания в естественных условиях полевого опыта у выделенных форм отмечено не было.

**Таблица 4. Характеристика перспективных линий для отечественной селекции на продуктивность (среднее за 2017 – 2019 гг.)**

| № п/п по каталогу ФНЦ риса | Название сорта | Происхождение | Вегетационный период до созревания, дней | Высота растения, см | Длина метелки, см | Количество колос ков в метелке, штук | Пустозерность, % | Масса зерна метелки, г | Плотность метелки, шт/см | *Масса 1000 зерен, г |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 04851 | лс-31/319 | Odeobueo / Серпантин | 102 | 87,0 | 15,3 | 157,8 | 12,9 | 3,5 | 10,3 | 25,9 |
| 04860 | лс-82/323 | Новатор / Tinbubueo | 110 | 100,0 | 17,8 | 135,6 | 19,0 | 3,4 | 7,6 | 31,8 |
| 04873 | лс-26/326 | Tinbubueo / Новатор | 120 | 84,0 | 16,5 | 186,8 | 21,3 | 3,8 | 11,3 | 27,6 |
| 04878 | лс-36/326 | Tinbubueo / Новатор | 105 | 95,0 | 15,3 | 167,0 | 13,7 | 4,8 | 10,9 | 26,2 |
| 04908 | лс-62/326 | Tinbubueo / Серпантин | 112 | 70,0 | 14,4 | 159,6 | 22,8 | 3,3 | 10,8 | 26,2 |
| 04924 | лш / 111 | Volano/ Янтарь | 112 | 83,0 | 17,7 | 197,4 | 29,7 | 3,5 | 11,5 | 25,5 |
| 04928 | лш / 121 | Volano/ Янтарь | 108 | 85,0 | 17,1 | 133,6 | 16,1 | 2,6 | 7,8 | 24,9 |
| 04937 | лш / 223 | Volano/ Янтарь | 105 | 72,0 | 16,9 | 217,8 | 22,1 | 4,4 | 12,8 | 27,1 |
| 04957 | лш / 201 | Volano/ Янтарь | 120 | 90,0 | 17,0 | 162,6 | 13,4 | 3,5 | 9,5 | 25,8 |
| 04987 | лш / 160 | Volano/ Янтарь | 110 | 96,0 | 16,6 | 182,4 | 20,9 | 3,7 | 10,9 | 25,7 |
| 04988 | лщ / 168 | Volano/ Янтарь | 102 | 95,0 | 18,8 | 181,2 | 17,9 | 3,9 | 9,6 | 25,1 |
| 04990 | лш / 236 | Volano/ Янтарь | 105 | 93,0 | 16,6 | 160,6 | 19,4 | 3,1 | 9,7 | 26,1 |
| 05041 | лш / 296 | Volano/ Янтарь | 110 | 76,0 | 18,7 | 195,2 | 30,6 | 2,4 | 10,4 | 19,2 |
| 05094 | лш /15-д.104 | Пхеньян 22/Янтарь | 110 | 67,0 | 14,0 | 152,2 | 25,6 | 2,8 | 10,8 | 25,7 |
| 05096 | лш / 26-д.2 | Бальдо /Диамант | 105 | 92,0 | 16,0 | 111,0 | 5,2 | 2,7 | 6,9 | 25,0 |
| $НСР_{05}$ | | | | 6,7 | 1,4 | 15,8 | | 0,7 | | 1,0 |

*Примечание: *масса 1000 зерен при 14 % влажности.*

**Выводы**

Сочетая методы классической селекции с современными биотехнологиями (экспериментальная гаплоидия) удается существенно повысить эффективность и скорость создания константных форм. Получен новый генетически разнородный исходный

материал с привлечением в скрещивание отечественной и зарубежной генплазмы двух подвидов indica и japonica Kato. В ходе исследований, проведенных коллективом сотрудников «ФНЦ риса», сформирована и изучена по биологическим и морфологическим признакам коллекция удвоенных гаплоидов. Для использования в отечественных селекционных программах выделены DH линии с комплексом хозяйственно-биологических признаков.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Коротенко Т.Л., Гаркуша С.В., Лозовой А.С. Банк данных образцов коллекции риса посевного (*ORYZA SATIVA* L.): Свидетельство о регистрации базы данных RUS 2016620143. 08.12.2015.

2. Методические указания по изучению мировой коллекции риса и классификатор рода *Oryza* L. – Ленинград: ВИР, 1982. – 34 с.

3. Осадчая, Т.С. Влияние чужеродного генетического материала на андрогенез in vitro у мягкой пшеницы / Т.С. Осадчая, Л.А. Першина, Э.П. Девяткина // Сборник тезисов X Международной конференции «Биология клеток растений in vitro и биотехнология». – Казань, 2013. – С. 134.

4. Сметанин, А.П. Методики опытных работ по селекции, семеноводству, семеноведению и контролю за качеством семян риса / Сметанин А.П., Дзюба В.А., Апрод А.И. – Краснодар, 1972. – 82 с.

5. Afza, Rownak. Effect of spikelet position on rice anther culture efficiency / Rownak Afza, Mei Shen, Javier Francisco, Zapata-Arias, Xie Jiahua, Andrea Kodym / Plant Science. – Vol. 153. – Issue 225. – 2000. – P. 155 – 159.

6. Guan-fu, F.U. Changes of Oxidative Stress and Soluble Sugar in Anthers Involve in Rice Pollen Abortion Under Drought Stress / F.U. Guan-fu, Jian Song, Jie Xiong, LI Yu-rong, Tao Long-xing / Agricultural Sciences in China. – Vol. 10. – Issue 7. – 2011. – P. 1016 – 1025.

7. Korotenko, T. Screening of rice gene pool for resistance to pyriculariosis by phenotyping and DNA genotyping (2019) / T. Korotenko, Zh, Mukhina, S. Garkusha, E. Savenko, O. Bragina / IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 403 (1). № 012004, DOI: 10.1088/1755-1315/403/1/012004.

8. Korotenko, T.L. New genetic resources and technologies in development of blast resistant rice forms for greening the rice growing industry (2019) / T.L. Korotenko, E.G. Savenko, Zh.M. Mukhina, V.A. Glazyrina / Journal of Physics: Conference Series, 1347 (1). № 012093, DOI: 10.1088/1742-6596/1347/1/012093.

9. Lapitan, Victoria C. Molecular characterization and agronomic performance of DH lines from the F1 of indica and japonica cultivars of rice (Oryza sativa L.) / Victoria C. Lapitan, D. Redoña Edilberto, Abe Toshinori, S. Darshan / Brar Field Crops Research. – Vol. 112. – Issues 2-326. – 2009. – P. 222 – 228.

10. Li, Zhu. Rapid Generation of Selectable Marker-Free Transgenic Rice with Three Target Genes by / Li Zhu, F.U. Ya-ping, LIU. Wen-zhen, H.U. Guo-cheng, SUN Zong-xiu / Co-Transformation and Anther Culture Rice Science. – V.14. – Issue 4. – 2007. – P. 239 – 246.

11. Mishra, Rukmini. In-vitro Androgenesis in Rice: Advantages / Rukmini Mishra, Jwala Gundimeda, Rao Narashima / Constraints and Future Prospects Rice Science. – Vol. 23. – Issue 2. -2016. – P. 57 – 68. https://doi.org/10.1016/j.rsci.2016.02.001.

12. Mishra, Rukmini. Development and Characterization of Elite Doubled Haploid Lines from Two Indica Rice Hybrids / Rukmini Mishra, Gundimeda Jwala Narashima Rao, Ravi Nageswara Rao, Pankaj Kaushal / Rice Science. – Vol. 22. – Issue 6. – 2015. – P. 290 – 299.

13. Nabors, M.W. High-Frequency Plant Regeneration from Cereal Tissue Cultures / Nabors M.W., Heyser J.W., Dykes T.A., De Mott K. Long-Duration // Planta. – 1983. -V. 157. – No. 5. – P. 385.

14. Rao, Yuchun. Genetic analysis of leaffolder resistance in rice / Yuchun Rao, Guojun Dong, Dali Zeng, Jiang Hu, Qian Qian / Journal of Genetics and Genomics. – Vol. 37. – Issue 5. – 2010. – P. 325 – 331.

15. Sarhadi, Elham. Proteomic analysis of rice anthers under salt stress / Elham Sarhadi, Mohammadi Bazargani Mitra, Andres Godwin Sajise, Shapour Abdolahi, Ghasem Hosseini Salekdeh / Plant Physiology and Biochemistry. – Vol. 58. – 2012. – P. 280 – 287.

16. Savenko, E. Creating doubled rice haploids with pyriculariosis resistant genes (2019) / E. Savenko, Z. Mukhina, V. Glazyrina, T. Korotenko, S. Garkusha / IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 403 (1). № 012019. DOI: 10.1088/1755-1315/403/1/012019.

17. Senadhira, D. Development of the first salt-tolerant rice cultivar through indica/indica anther culture / D. Senadhira, F.J. Zapata-Arias, G.B. Gregorio, M.S. Alejar, A.M. Galvez / Field Crops Research. – Vol. 76. – Issues 2–3. – 2002. – P. 103 – 110.

18. Ussenbekov, B.N. Optimized selection of doubled-haploid glutinous rice regenerants in Kazakhstan / B.N. Ussenbekov, K. Satybaldieva Gulmira, I.A. Sartbayeva, D.T. Kazkeyev, S. Issabayeva Gulnaziya / Journal of Biotechnology. – Vol. 185. – 2014. – P. 31 – 32.

19. Wang, Li. Tissue Culture System for Different Hybrid of Indica Rice / Li Wang, Lin Gang, Deming Zhao, Feng Wang, Jiabin Chen / Journal of Northeast Agricultural University (English edition). – Vol. 18. – Issue 2. – 2011. – P. 13 – 17.

## REFERENCES

1. Korotenko T.L., Garkusha S.V., Lozovoy A.S. Databank of sowing rice collection samples (*ORYZA SATIVA* L.): Database Registration Certificate RUS 2016620143. 08.12.2015.

2. Methodological guidelines for the study of the world collection of rice and the classifier of *Oryza* L. – Leningrad: VIR, 1982. – 34 p.

3. Osadchaya, T.S. Influence of foreign genetic material on in vitro androgenesis in common wheat / T.S. Osadchaya, L.A. Pershina, E.P. Devyatkina // Collection of abstracts of the X International conference «Biology of plant cells in vitro and biotechnology». – Kazan, 2013. – P. 134.

4. Smetanin, A.P. Methodology of experimental work on breeding, seed production, seed studies and quality control of rice seeds / Smetanin A.P., Dzyuba V.A., Aprod A.I. – Krasnodar, 1972. – 82 p.

5. Afza, Rownak. Effect of spikelet position on rice anther culture efficiency / Rownak Afza, Mei Shen, Javier Francisco, Zapata-Arias, Xie Jiahua, Andrea Kodym / Plant Science. – Vol. 153. – Issue 225. – 2000. – P. 155 – 159.

6. Guan-fu, F.U. Changes of Oxidative Stress and Soluble Sugar in Anthers Involve in Rice Pollen Abortion Under Drought Stress / F.U. Guan-fu, Jian Song, Jie Xiong, LI Yu-rong, Tao Long-xing / Agricultural Sciences in China. – Vol. 10. – Issue 7. – 2011. – P. 1016 – 1025.

7. Korotenko, T. Screening of rice gene pool for resistance to pyriculariosis by phenotyping and DNA genotyping (2019) / T. Korotenko, Zh, Mukhina, S. Garkusha, E. Savenko, O. Bragina / IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 403 (1). № 012004, DOI: 10.1088/1755-1315/403/1/012004.

8. Korotenko, T.L. New genetic resources and technologies in development of blast resistant rice forms for greening the rice growing industry (2019) / T.L. Korotenko, E.G. Savenko, Zh.M. Mukhina, V.A. Glazyrina / Journal of Physics: Conference Series, 1347 (1). № 012093, DOI: 10.1088/1742-6596/1347/1/012093.

9. Lapitan, Victoria C. Molecular characterization and agronomic performance of DH lines from the F1 of indica and japonica cultivars of rice (Oryza sativa L.) / Victoria C. Lapitan, D. Redoña Edilberto, Abe Toshinori, S. Darshan / Brar Field Crops Research. – Vol. 112. – Issues 2-326. – 2009. – P. 222 – 228.

10. Li, Zhu. Rapid Generation of Selectable Marker-Free Transgenic Rice with Three Target Genes by / Li Zhu, F.U. Ya-ping, LIU. Wen-zhen, H.U. Guo-cheng, SUN Zong-xiu / Co-Transformation and Anther Culture Rice Science. – V. 14. – Issue 4. – 2007. – P. 239 – 246.

11. Mishra, Rukmini. In-vitro Androgenesis in Rice: Advantages / Rukmini Mishra, Jwala Gundimeda, Rao Narashima / Constraints and Future Prospects Rice Science. – Vol. 23. – Issue 2. – 2016. – P. 57 – 68. https://doi.org/10.1016/j.rsci.2016.02.001.

12. Mishra, Rukmini. Development and Characterization of Elite Doubled Haploid Lines from Two Indica Rice Hybrids / Rukmini Mishra, Gundimeda Jwala Narashima Rao, Ravi Nageswara Rao, Pankaj Kaushal / Rice Science. – Vol. 22. – Issue 6. – 2015. – P. 290 – 299.

13. Nabors, M.W. High-Frequency Plant Regeneration from Cereal Tissue Cultures / Nabors M.W., Heyser J.W., Dykes T.A., De Mott K. Long-Duration // Planta. – 1983. – V. 157. – No. 5. – P. 385.

14. Rao, Yuchun. Genetic analysis of leaffolder resistance in rice / Yuchun Rao, Guojun Dong, Dali Zeng, Jiang Hu, Qian Qian / Journal of Genetics and Genomics. – Vol. 37. – Issue 5. – 2010. – P. 325 – 331.

15. Sarhadi, Elham. Proteomic analysis of rice anthers under salt stress / Elham Sarhadi, Mohammadi Bazargani Mitra, Andres Godwin Sajise, Shapour Abdolahi, Ghasem Hosseini Salekdeh / Plant Physiology and Biochemistry. – Vol. 58. – 2012. – P. 280 – 287.

16. Savenko, E. Creating doubled rice haploids with pyriculariosis resistant genes (2019) / E. Savenko, Z. Mukhina, V. Glazyrina, T. Korotenko, S. Garkusha / IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 403 (1). № 012019. DOI: 10.1088/1755-1315/403/1/012019.

17. Senadhira, D. Development of the first salt-tolerant rice cultivar through indica/indica anther culture / D. Senadhira, F.J. Zapata-Arias, G.B. Gregorio, M.S. Alejar, A.M. Galvez / Field Crops Research. – Vol. 76. – Issues 2-3. – 2002. – P. 103 – 110.

18. Ussenbekov, B.N. Optimized selection of doubled-haploid glutinous rice regenerants in Kazakhstan / B.N. Ussenbekov, K. Satybaldieva Gulmira, I.A. Sartbayeva, D.T. Kazkeyev, S. Issabayeva Gulnaziya / Journal of Biotechnology. – Vol. 185. – 2014. – P. 31 – 32.

19. Wang, Li. Tissue Culture System for Different Hybrid of Indica Rice / Li Wang, Lin Gang, Deming Zhao, Feng Wang, Jiabin Chen / Journal of Northeast Agricultural University (English edition). – Vol. 18. – Issue 2. – 2011. – P. 13 – 17.

**Коротенко Татьяна Леонидовна**
Руководитель группы УНУ «Коллекция генетических ресурсов риса, овощных и бахчевых культур» отдела селекции
E-mail: Korotenko.tatyan@mail.ru

**Tatiana L. Korotenko**
Head of the USU group «Collection of genetic resources of rice, vegetables and melons» of the breeding department
E-mail: Korotenko.tatyan@mail.ru

**Савенко Елена Георгиевна**
Зав. лабораторией биотехнологии и молекулярной биологии.
E-mail: avena5@rambler.ru

**Elena G. Savenko**
Head of the laboratory of biotechnology and molecular biology.
E-mail: avena5@rambler.ru

Все: ФГБНУ «ФНЦ риса»
350921, Россия, Краснодар, Белозерный, 3
E-mail: arrri_kub@mail.ru

All: FSBSI Federal Scientific Rice Centre,
3, Belozerny, Krasnodar, Russia, 350921
E-mail: arrri_kub@mail.ru

DOI: 10.33775/1684-2464-2020-48-3-14-19
УДК 575.1:633.18

**П.И. Костылев**, д-р с.-х. наук,
**Е.В. Краснова**, канд. с.-х. наук,
**А.В. Аксенов**, **Э.С. Балюкова**
г. Зерноград, Россия
**Е.В. Дубина**, д-р биол. наук
г. Краснодар, Россия

# ОСОБЕННОСТИ НАСЛЕДОВАНИЯ НЕКОТОРЫХ КОЛИЧЕСТВЕННЫХ ПРИЗНАКОВ У ГИБРИДА РИСА НАТАША × БОЯРИН

*Рис является одним из главных продуктов питания в мире. Для формирования высокой урожайности он должен иметь оптимальную архитектонику растений. При создании таких сортов нужно знать наследование варьирующих количественных признаков. В связи с этим целью исследований стало изучение наследования варьирующих количественных признаков у гибрида риса Наташа × Боярин с последующим отбором лучших образцов, сочетающих в себе морфологические признаки оптимальной величины, для селекционной работы. Сорт Боярин – среднерослый с компактной прямостоячей метелкой и овальным зерном, сорт Наташа – низкорослый, с поникающей метелкой и длинным зерном. С использованием метода гибридизации, руководствуясь методикой полевого опыта Доспехова Б.И., а также математической обработки данных на основе программы Statistica 6 и генетического анализа с использованием программы Полиген А установлено, что наследование высоты растений у гибридов $F_2$ происходило по типу частичного доминирования больших значений признака. Родительские сорта различались по аллельному состоянию двух пар генов. По длине метелки наблюдалось частичное отрицательное доминирование и моногенные различия скрещенных сортов. По числу колосков на метелке установлено доминирование большей величины признака и различия по одной паре генов. По массе 1000 зерен выявлено частичное отрицательное доминирование и моногенные различия родительских форм. Отобраны выделившиеся низкорослые образцы с повышенной озерненностью и массой 1000 зерен для дальнейшей селекционной работы.*

***Ключевые слова:*** *рис, гибрид, наследование, количественные признаки, высота растений, длина метелки.*

# FEATURES OF INHERITANCE OF SOME QUANTITATIVE TRAITS IN THE HYBRID RICE NATASHA × BOYARIN

*Rice is one of the staple foods in the world. To form a high yield, it should have optimal plant architectonics. When developing such varieties, you need to know the inheritance of varying quantitative traits. In this regard, the purpose of the research was to study the inheritance of varying quantitative traits in the Natasha × Boyarin rice hybrid, followed by selection of the best samples combining morphological traits optimal for breeding work. Variety Boyarin is medium-high with a compact upright panicle and oval grain, Natasha variety is undersized, with a drooping panicle and long grain. Using the method of hybridization, guided by the method of the field experiment of Dospekhov B.I., as well as mathematical data processing based on the Statistica 6 program and genetic analysis using the Polygen A program, it was found that the inheritance of plant height in $F_2$ hybrids occurred according to the type of partial dominance of large values of the trait. The parental varieties differed in the allelic state of the two gene pairs. Partial negative dominance and monogenic differences between crossed varieties were observed in the panicle length. According to the number of spikelets on a panicle, the dominance of a larger value of the trait and differences in one pair of genes were established. Partial negative dominance and monogenic differences of parental forms were revealed in the weight of 1000 grains. The selected undersized samples with increased grain content and a mass of 1000 grains were selected for further breeding work.*

***Key words****: rice, hybrid, inheritance, quantitative traits, plant height, panicle length.*

## Введение

Рис – это одна из основных пищевых культур большинства народов мира. Для формирования высокой урожайности архитектоника растений должна быть оптимальной. При создании таких сортов нужно знать наследование варьирующих количественных признаков. Высота растений риса связана с урожайностью за счет устойчивости к полеганию и индекса урожая. Ряд ученых показали, что высота растений, число продуктивных стеблей на них и продолжительность вегетации – важные агрономические признаки, существенно коррелирующие между собой и повышающие урожайность риса [3].

Высоту растений риса контролируют локусы количественных признаков (QTL), картированные на всех 12-ти хромосомах. Они включают 17 генов, участвующих в путях гиббереллина, 25 генов – брассиностероидов, 10 генов – стриголактона и 22 гена – индол-3-уксусной кислоты, абсцизовой кислоты, этилена и других фитогормонов [2, 5, 10].

Длина метелки риса также является важным признаком, влияющим на урожайность зерна. Этот признак влияет на количество зерен в метелке и ее плотность.

С помощью картирования сцепления в популяции рекомбинантных инбредных линий, полученных от скрещивания между сортами с короткой и длинной метелкой, китайские ученые обнаружили четыре QTL для этого признака на хромосомах 4, 6 и 9. Основной локус *LONG PANICLE 1 (LP1)* находится на хромосоме 9 [4]. Wang X., et al. (2019) выявили четырнадцать QTL для длины метелки. Из них три QTL действовали положительно, а остальные одиннадцать – отрицательно [8].

Количество зерновок на метелке – важный признак, непосредственно определяющий урожайность риса. Обнаружено много генов, контролирующих этот признак, в частности гены *Gn1a, DEP1, IPA1, LP, DST и FZP*. Всего было идентифицировано 22 QTL по количеству зерен и 17 – по количеству колосков на метелке [6]. Susilowati et al. (2017) сообщили о четырех основных QTL для числа зерен на метелке, которые находились в хромосомах 1, 4, 6 и 7 [7].

Основной QTL для массы зерновки был идентифицирован возле центромеры хромосомы 3. Другие QTL для массы зерна были найдены в хромосомах 2, 5, 8 и 12. Этот признак контролируют также гены: *TGW6, WTG1, Ospl18* [9].

## Цель исследований

Изучить наследование варьирующих количественных признаков у гибрида риса Наташа × Боярин, с последующим отбором лучших образцов, сочетающих в себе морфологические признаки оптимальной величины, для селекционной работы.

## Материалы и методы

Исследования проводили в 2018 – 2019 гг. на полях Обособленного подразделения «Пролетарское» Ростовской области.

В качестве материала для исследований использовали гибриды $F_2$ из комбинации Наташа × Боярин.

Боярин – сорт селекции АНЦ «Донской» относится к подвиду *japonica*, разновидность *nigro-apiculata*. Сорт среднеспелый, вегетационный период – 116 дней. Высота растений 85 – 90 см. Метелка прямостоячая, компактная, длиной 12 – 14 см, несет 120 – 140 колосков. Зерна овальные, средней величины, длиной 8,5 мм, шириной 3,5 мм. Отношение длины зерновки к ширине l/b – 2,4. Масса 1000 зерен – 27 – 28 г.

Наташа – сорт селекции ФНЦ риса, подвид *indica*, разновидность *isabellica*. Среднеспелый, вегетационный период – 120 дней. Растения низкорослые, высота 60 – 65 см. Метелка поникающая, длиной 16 – 18 см, несет 80 – 90 колосков в метелке. Сорт длиннозерный, длина зерновки 10 мм, ширина – 2,8, отношение l/b – 3,6. Масса 1000 зерен – 28 – 29 г.

Гибридизацию этих сортов провели в 2017 году. При закладке опытов руководствовались методикой полевого опыта Доспехова Б.И. (1985). Математическую обработку данных проводили с использованием программы Statistica 6. Для генетического анализа использовали программу Полиген А Мережко А.Ф. (2005) [1].

## Результаты и обсуждение

Сравнение гибрида $F_2$ Наташа × Боярин с родительскими сортами показало частичное положительное доминирование по высоте растения (hp = 0,14), количеству колосков на метелке (hp = 0,39) и частичное отрицательное доминирование по длине метелки (hp = -0,24) и массе 1000 зерен (hp = -0,30) (табл. 1). В колосках гибрида сформировалось в среднем всего 60 % семян. Это связано со структурными различиями хромосом двух подвидов *indica* и *japonica*, накопленными в процессе эволюции.

**Таблица 1. Морфо-биологические признаки гибрида $F_2$ Наташа × Боярин, его родительских форм и степень доминирования (hp), 2019 г.**

| Название | Высота растения, см | Длина метелки, см | Число колосков, шт. | Масса 1000 зерен, г |
|---|---|---|---|---|
| Наташа | 62,5 | 16,7 | 86,6 | 28,9 |
| Гибрид | 76,7 | 14,3 | 122,0 | 27,6 |
| Боярин | 87,6 | 12,7 | 137,6 | 26,8 |
| hp | 0,14 | -0,24 | 0,39 | -0,30 |

Гибридная популяция второго поколения показала широкий спектр изменчивости по количественным признакам растений.

По признаку «высота растений» родительские формы значительно различались, в среднем на 27,9 см (рис. 1). У сорта Боярин она составила в опыте 87,6 см, у сорта Наташа – 62,5 см, у гибрида в среднем 76,7 см.

Кривая распределения частот (далее КРЧ) гибрида находилась в пределах изменчивости родительских форм и имела правостороннюю асимметрию (As = 0,75).

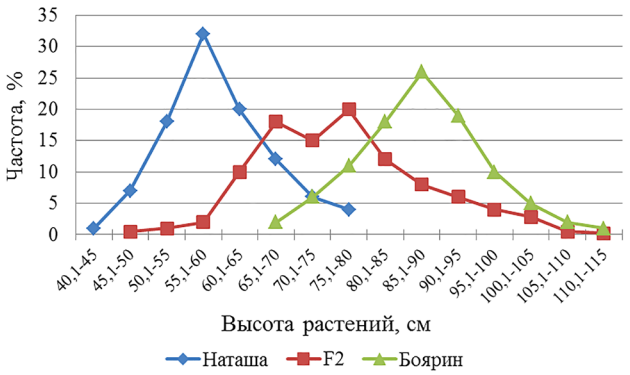


**Рисунок 1. Распределение частот признака «высота растений» у гибрида риса $F_2$ Наташа × Боярин и его родительских форм**

Кривая распределения частот (КРЧ) $F_2$ имеет две вершины, которые находятся посередине между родительскими вершинами, при частичном доминировании больших значений признака (hp = 0,22). Анализ данных в программе Полиген А позволил установить, что исходные родительские формы различались по аллельному состоянию двух пар генов, рекомбинация которых привела к выщеплению 1/16 доли растений полукарликов с длиной стебля 45 – 70 см, детерминируемой двумя рецессивными генами, и 3/16 – с высотой 85 – 115 см, несущих доминантные аллели. При этом доминирование происходило только по одному локусу, поэтому расщепление было в соотношении 1:5:7:3 [(3:1) × (1:2:1)]. Средняя сила каждого доминантного аллеля составила 7 см.

Длина метелки составила в среднем у сорта Боярин 12,7 см, Наташа – 16,7 см, гибрида – 14,3 см. Степень доминирования составила – 0,24. КРЧ гибрида имела двухвершинную конфигурацию и находилась в пределах изменчивости родительских сортов, при этом меньшая вершина находилась в одном классе с вершиной КРЧ сорта Наташа, а большая вблизи вершины Боярина (рис. 2). Установлено частичное доминирование меньших значений признака (hp = -0,24) и положительная асимметрия (As = 0,48).

Различия между родительскими сортами определялись одной парой генов, расщепление происходило в соотношении 3:1. Сила гена равна 2 см. При этом длина метелки у гибрида не коррелировала с другими признаками, что позволяет отобрать растения, как с короткими, так и с длинными метелками в различных по высоте группах.

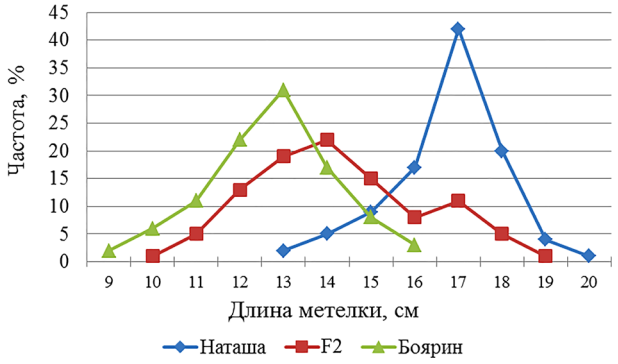


**Рисунок 2. Распределение частот признака «длина метелки» у гибрида риса $F_2$ Наташа × Боярин и его родительских форм**

По признаку «число колосков на метелке» исходная родительская форма Наташа (86,6 шт.) уступала сорту Боярин (137,6 шт.) на 51,0 шт. КРЧ гибрида находились в пределах варьирования родительских сортов, трансгрессии отсутствовали (рис. 3). Среднее количество колосков на метелке у $F_2$ составило 122,0, варьируя от 57 до 210 штук. Степень доминирования составила 0,39, что свидетельствует о частичном доминировании большей величины признака. Расщепление происходило в соотношении 1:3, т.е. по моногибридной схеме. Сила гена равна 25,5 штук на метелке. У трех растений сформировалось от 195 до 210 колосков в метелке. Общее количество колосков в метелке положительно коррелировало с числом зёрен на ней (r = 0,81±0,05) и пустых колосков (r = 0,72±0,05).

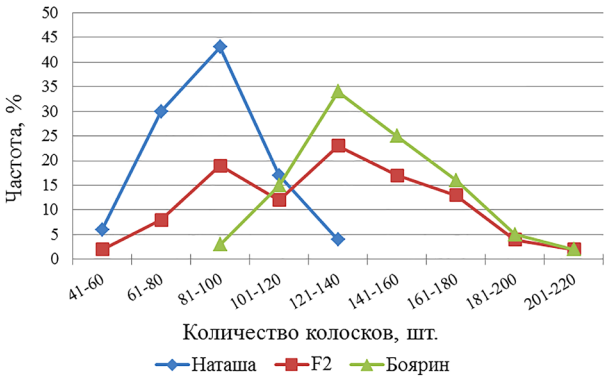


**Рисунок 3. Распределение частот признака «число колосков на метелке» у гибрида риса $F_2$ Наташа × Боярин и его родительских форм**

По признаку «масса 1000 зерен» исходные родительские формы различались на 2,0 г. У Боярина она составляла 26,8 г, у Наташи – 28,9 г (табл. 1). Масса 1000 зерен в $F_2$ варьировала в пределах от 23 до 32 г (в среднем 27,6 г). КРЧ гибрида была двухвершиной, асимметричной (As = 0,33) (рис. 4). При этом преобладали классы с небольшой массой зерновки и наблюдалось частичное отрицательное доминирование этого признака (hp = -0,30). Расщепление было в соотношении 3:1, т.е. моногибридное, сила гена составила 1 г.

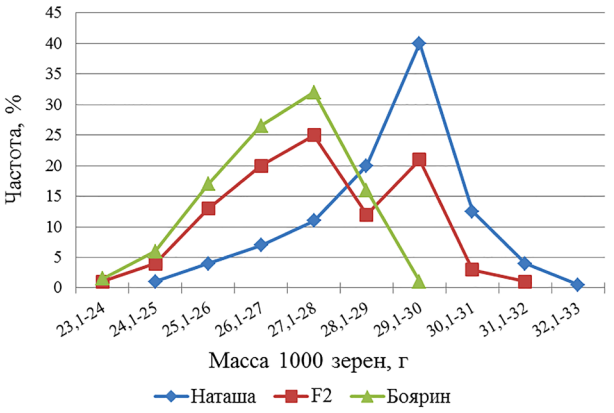


**Рисунок 4. Распределение частот признака «масса 1000 зёрен» у гибрида риса $F_2$ Наташа × Боярин и его родительских форм**

Взаимодействие различных аллелей генов привело к появлению разнообразных сочетаний признаков. В таблице 2 представлена характеристика выделившихся форм $F_2$, которые сочетают опти-

мальную высоту растения, длину метелки, имеют повышенную озерненность и массу 1000 зерен. Эти формы были отобраны для дальнейшего изучения в гибридном питомнике.

Их высота колебалась в пределах 65 – 70 см, длина метелки – 12 – 17 см, общее число колосков – 152 – 210 шт., масса 1000 зерен – 26 – 30 г.

**Таблица 2. Характеристика лучших форм $F_2$ в гибридной популяции Наташа × Боярин**

| Название сорта и № растения | Высота растения, см | Длина метёлки, см | Общее число колосков, шт. | Масса 1000 зерен, г |
|---|---|---|---|---|
| Боярин | 88 | 13 | 137 | 27 |
| Наташа | 63 | 17 | 87 | 29 |
| 29 | 65 | 14 | 170 | 30 |
| 49 | 75 | 13 | 195 | 28 |
| 62 | 70 | 12 | 152 | 26 |
| 69 | 70 | 15 | 172 | 26 |
| 74 | 65 | 14 | 172 | 27 |
| 90 | 70 | 17 | 160 | 28 |
| 95 | 65 | 15 | 206 | 26 |
| 97 | 65 | 19 | 210 | 26 |
| 98 | 70 | 16 | 156 | 29 |
| 130 | 70 | 17 | 157 | 30 |
| σ | 11,7 | 2,2 | 34,9 | 1,6 |

В третьем поколении продолжается отбор лучших в хозяйственно-биологическом отношении форм для последующего создания низкорослых продуктивных сортов риса.

**Выводы**

Наследование высоты растения происходило с частичным доминированием больших значений признака (hp = 0,14). Родительские сорта различались по аллельному состоянию двух пар генов, расщепление происходило в соотношении 1: 5:7:3 со средней силой каждого аллеля 7 см.

По длине метелки доминировали меньшие значения признака (hp = -0,24). Различия между родительскими сортами определялись одной парой генов, расщепление происходило в соотношении 3:1. Сила гена равна 2 см.

По числу колосков на метелке установлено частичное доминирование большей величины признака (hp=0,39). Расщепление происходило по моногибридной схеме в соотношении 1:3. Сила гена – 25,5 колосков на метелке.

По массе 1000 зерен выявлено частичное отрицательное доминирование (hp = -0,30). Расщепление было в соотношении 3:1, т.е. моногибридное, сила гена составила 1 г.

Для дальнейшей селекционной работы отобраны формы $F_2$, сочетающие оптимальную высоту растения, длину метелки, повышенную озерненность и массу 1000 зерен.

**ЛИТЕРАТУРА**

1. Мережко, А.Ф. Использование менделевских принципов в компьютерном анализе наследования варьирующих признаков / А.Ф. Мережко // Экологическая генетика культурных растений: Материалы школы молодых ученых РАСХН, ВНИИ риса. Краснодар, 2005. – С .107 – 117.

2. Han, Z. QTLs for heading data and plant height under multiple environments in rice / Z. Han, W. Hu, C. Tan, Y. Xing // Genetica. – 2017. – 145. – P. 67 – 77. doi: 10.1007/s10709-016-9946-6.

3. Lei, L. Genetic dissection of rice (Oryza sativa L.) tiller, plant height, and grain yield based on QTL mapping and metaanalysis / L. Lei, H. L. Zheng, J.G. Wang, H.L. Liu, J. Sun, H.W. Zhao, L.M. Yang, D.T. Zou // Euphytica. – 2018. – V. 214. – № 109. – P.1 – 17.

4. Liu, E. Identification of a candidate gene for panicle length in rice (Oryza sativa L.) via association and linkage analysis / E. Liu, Y. Liu, G. Wu, S. Zeng, G. Thu, T.G.T. Thi, L. Liang, Y. Liang, Z. Dong, D. She, H. Wang, I.U. Zaid, D. Hong // Front Plant Sci. – 2016. – 7: 596. – P. 1 – 13. doi: 10.3389/fpls.2016.00596.

5. Liu, F. The genetic and molecular basis of crop height based on a rice model / F. Liu, P. Wang, X. Zhang, X. Li, X. Yan, D. Fu, G. Wu // Planta. – 2018. – 247. – P. 1 – 26.

6. Niu, X. Identification and validation of quantitative trait loci for grain number in rice (Oryza sativa L.) / X. Niu, Y. Zhu, Zh. Sun, S. Yu, J. Zhuang, Y. Fan // Agronomy. – 2020. – Vol. 10. – P. 180. doi:10.3390/agronomy10020180

7. Susilowati, M. Identification of a major quantitative trait locus for grain weight in rice using microsatellite marker / M. Susilowati, H. Aswidinnoor, W. Enggarini, K.R. Trijatmiko // Makara Journal of Science. – 2017. – Vol. 21. – No. 4. – P. 155 – 162. doi: 10.7454/mss.v21i4.6590.

8. Wang, X. Identification and application of major quantitative trait loci for panicle length in rice (Oryza sativa) through single-segment substitution lines / X. Wang, G. Liu, Zh. Wang, S. Chen, Y. Xiao, Ch. Yu // Plant breeding. 2019. Vol. 138(3). Pp. 299 – 308. https://doi.org/10.1111/pbr.12687.

9. Yuan, H. OsSPL18 controls grain weight and grain number in rice / H. Yuan, P. Qin, L. Hu, S. Zhan, S. Wang, P. Gao, J. Li, M. Jin, Z. Xu, Q. Gao, A. Du, B. Tu, W. Chen, B. Ma, Y. Wang, S. Li // Journal of Genetics and Genomics, 2019. 46. P. 41 – 51. https://doi.org/10.1016/j.jgg.2019.01.003.

10. Zeng, Y. Control of plant height by 24 alleles at 12 quantitative trait loci in rice / Y. Zeng, Y. Chen, Zh. Ji, Y. Liang, A. Zheng, Zh. Wen, C. Yang // Crop Breed. Appl. Biotechnol. – 2019. – Vol.19. – No.2. http://orcid.org/0000-0003-3890-9677.

## REFERENCES

1. Merezhko, A.F. The use of Mendelian principles in computer analysis of the inheritance of varying traits / A.F. Merezhko // Ecological genetics of cultivated plants: Materials of the School of Young Scientists of the Russian Academy of Agricultural Sciences, ARRRI. Krasnodar, 2005. – p. 107 – 117.

2. Han, Z. QTLs for heading data and plant height under multi-ple environments in rice / Z. Han, W. Hu, C. Tan, Y. Xing // Genetica. – 2017. – 145. – P. 67 – 77. doi: 10.1007/s10709-016-9946-6.

3. Lei, L. Genetic dissection of rice (Oryza sativa L.) tiller, plant height, and grain yield based on QTL mapping and metaanalysis / L. Lei, H. L. Zheng, J.G. Wang, H.L. Liu, J. Sun, H.W. Zhao, L.M. Yang, D.T. Zou // Euphytica. – 2018. – V. 214. – № 109. – P. 1 – 17.

4. Liu, E. Identification of a candidate gene for panicle length in rice (Oryza sativa L.) via association and linkage analysis / E. Liu, Y. Liu, G. Wu, S. Zeng, G. Thu, T.G.T. Thi, L. Liang, Y. Liang, Z. Dong, D. She, H. Wang, I.U. Zaid, D. Hong // Front Plant Sci. – 2016. – 7: 596. – P. 1 – 13. doi: 10.3389/fpls.2016.00596.

5. Liu, F. The genetic and molecular basis of crop height based on a rice model / F. Liu, P. Wang, X. Zhang, X. Li, X. Yan, D. Fu, G. Wu // Planta. – 2018. – 247. – P. 1 – 26.

6. Niu, X. Identification and validation of quantitative trait loci for grain number in rice (*Oryza sativa* L.) / X. Niu, Y. Zhu, Zh. Sun, S. Yu, J. Zhuang, Y. Fan // Agronomy. – 2020. – Vol. 10. – P. 180. doi:10.3390/agronomy10020180.

7. Susilowati, M. Identification of a major quantitative trait lo-cus for grain weight in rice using microsatellite marker / M. Susilowati, H. Aswidinnoor, W. Enggarini, K.R. Trijatmiko // Makara Journal of Science. – 2017. – Vol. 21. – No. 4. – P. 155 – 162. doi: 10.7454/mss.v21i4.6590.

8. Wang, X. Identification and application of major quantitative trait loci for panicle length in rice (Oryza sativa) through single-segment substitution lines / X. Wang, G. Liu, Zh. Wang, S. Chen, Y. Xiao, Ch. Yu // Plant breeding. 2019. Vol. 138(3). Pp. 299-308. https://doi.org/10.1111/pbr.12687.

9. Yuan, H. OsSPL18 controls grain weight and grain number in rice / H. Yuan, P. Qin, L. Hu, S. Zhan, S. Wang, P. Gao, J. Li, M. Jin, Z. Xu, Q. Gao, A. Du, B. Tu, W. Chen, B. Ma, Y. Wang, S. Li // Journal of Genetics and Genomics, 2019. 46. P. 41-51. https://doi.org/10.1016/j.jgg.2019.01.003.

10. Zeng, Y. Control of plant height by 24 alleles at 12 quantita-tive trait loci in rice / Y. Zeng, Y. Chen, Zh. Ji, Y. Liang, A. Zheng, Zh. Wen, C. Yang // Crop Breed. Appl. Biotechnol. – 2019. – Vol.19. – No.2. http://orcid.org/0000-0003-3890-9677.

**Павел Иванович Костылев**
Гл. научн. сотр. лаборатории селекции
и семеноводства риса,
E-mail: p-kostylev@mail.ru

**Елена Викторовна Краснова**
Вед. научн. сотр. лаборатории селекции
и семеноводства риса,

**Александр Владимирович Аксенов**
агроном лаборатории селекции
и семеноводства риса,

**Эльвира Сергеевна Балюкова**
лаборант-исследователь лаборатории
селекции и семеноводства риса

Все: ФГБНУ «Аграрный научный центр
«Донской», 347740, Россия, Ростовская обл.,
г. Зерноград, Научный городок, 3,

**Pavel I. Kostylev**
Chief researcher of the laboratory of breeding
and seed production of rice,
E-mail: p-kostylev@mail.ru

**Elena V. Krasnova**
Leading researcher of the laboratory of breeding and
seed production of rice,

**Alexander V. Aksenov**
Agronomist of the laboratory of breeding
and seed production of rice

**Elvira S. Balyukova**
Laboratory researcher of the laboratory
of breeding and seed production of rice

All: FSBSI «Agricultural research centre
«Donskoy», 3, Nauchnyi gorodok, Zernograd,
Rostov region, Russia, 347740

**Елена Викторовна Дубина**
Зав. лабораторией информационных,
цифровых и биотехнологий
ФГБНУ «ФНЦ риса»
350921, Россия, Краснодар, Белозерный, 3
E-mail: lenakrug1@rambler.ru

**Elena V. Dubina**
Head of the laboratory of information,
digital and biotechnology
FSBSI Federal Scientific Rice Centre
3, Belozerny, Krasnodar, Russia, 350921
E-mail: lenakrug1@rambler.ru

DOI: 10.33775/1684-2464-2020-48-3-20-24
УДК 633.15:631.527

**А.И. Супрунов**, д-р с.-х. наук,
**А.И. Хамади**, магистрант,
**И.М. Чесноков**, канд. с.-х. наук,
**В.В. Макшанов**
г. Краснодар, Россия

# СЕЛЕКЦИЯ ГИБРИДОВ ЛОПАЮЩЕЙСЯ КУКУРУЗЫ В НЦЗ ИМ. П.П. ЛУКЬЯНЕНКО

*В последние годы существенным образом возрос интерес у сельхозтоваропроизводителей Российской Федерации к гибридам лопающейся кукурузы. На сегодняшний день НЦЗ им. П.П. Лукьяненко районировано и ведется семеноводство популяции Российская лопающаяся 3 и гибрида Краснодарский лопающийся 400. В данной статье представлены результаты исследований центра по селекции гибридов лопающейся кукурузы в условиях Центральной зоны Краснодарского края. На основе сортообразцов из США, Аргентины, Китая и России был отселектирован новый исходный материл, на базе которого созданы новые высокопродуктивные гибриды лопающейся кукурузы. В 2018 – 2019 годах были проведены исследования по оценке зерновой продуктивности и технологических качеств зерна новых гибридов лопающейся кукурузы селекции центра. Зерновая продуктивность лучших гибридов кукурузы в опыте варьировала от 36,0 до 40,1 ц/га, а коэффициент увеличения объема зерна при поджаривании находился на уровне 1:35,5 – 1:40,5. По результатам проведенных исследований авторами была предложена новая шкала оценки технологических качеств зерна линий и гибридов лопающейся кукурузы. В статье показана питательная ценность лопающейся кукурузы и позитивное влияние пищевых волокон, находящихся в готовом продукте попкорна на двигательную активность кишечника.*

***Ключевые слова:*** *линии, гибриды, лопающаяся кукуруза, технологические качества зерна, зерновая продуктивность, коэффициент увеличения объема зерна при поджаривании, пищевые волокна, шкала оценки технологических качеств.*

# BREEDING OF POP CORN HYBRIDS IN THE NATIONAL CENTER OF GRAIN NAMED AFTER P. P. LUKYANENKO

*In recent years, agricultural producers in the Russian Federation have significantly increased their interest in pop corn hybrids. Nowadays, the National Center of Grain named after P. P. Lukyanenko has zoned and now is conducting seed production of the Russian popcorn (bursting) 3 population and the hybrid Krasnodarskiy popcorn (bursting) 400. This article presents the results of researches in the National Center of Grain for breeding the hybrids of bursting (pop) corn in the Central zone of the Krasnodar region. On the basis of variety`s samples from the United States, Argentina, China and Russia, a new source material was selected. As a result, new highly productive hybrids of bursting corn (popcorn) were created. In 2018 – 2019, studies were conducted to assess the grain productivity and technological qualities of grain of new popcorn (bursting) hybrids corn in the research center. The grain productivity of the best maize hybrids varied in the experiment from 36.0 to 40.1 c/ha, and the coefficient of increasing the volume grain during roasting was at the level of 1:35.5 – 1: 40.5. Based on the results of the research, the authors set up and proposed a new scale for evaluating the technological qualities of grain for lines and hybrids of bursting corn (popcorn). The article shows the nutritional value of bursting corn and the positive effect of dietary fiber contained in the finished product of popcorn on the motor activity of the intestine.*

***Keywords:*** *lines, hybrids, bursting corn, technological qualities of grain, grain productivity, coefficient of increase in the volume of grain during roasting, dietary fiber, scale of assessment of technological qualities.*

## Введение

Лопающаяся кукуруза в процессе эволюции прошла несколько этапов. На первом этапе, в результате народной селекции, были созданы как белозерные формы, так и особи с темноокрашенным зерном рисовой и перловой кукурузы. На втором этапе, в основном получали белозерные формы, причем широко распространилась рисовая кукуруза. На третьем, последнем, этапе основное внимание в селекции уделялось созданию желтозерных перловых форм [9]. Основная причина широкого распространения перловой кукурузы заключается в том, что она дает более нежную воздушную массу, содержащую меньше механических тканей.

Вызревшие зерна лопающейся кукурузы обладают повышенным содержанием белка (12,3 – 17,8 %), так как эндосперм их почти полностью состоит из роговидного слоя. Попкорн – это полноценный зерновой продукт, источник высококачественных углеводов, он может использоваться в программах по снижению массы тела человека. Процесс «взрывания» протекает при повышенной температуре, при этом содержание водорастворимых веществ увеличивается в три раза по сравнению с сырым зерном. Это, прежде всего, объясняется гидролизом крахмала и превращением его в декстрины и сахара. Если в сыром зерне кукурузы содержится не многим более одного процента декстринов (продуктов распада крахмала), то в воздушной кукурузе количество

их увеличивается до 13,4 %, а это способствует лучшему и быстрейшему перевариванию продукта. Одновременно при «взрывании» зерна увеличивается кислотность (за счет накопления свободных жирных кислот) и примерно в два раза снижается содержание витамина $B_1$ (тиамина). Содержание витамина PP (никотиновой кислоты) мало изменяется [2].

Главное достоинство попкорна – его низкокалорийность, он содержит большое количество клетчатки, состоящей из пищевых волокон. Пищевые волокна не являются энергетическим и пластическим материалом для нашего организма. Они нормализуют работу и регулируют двигательную активность кишечника, клетчатка очищает организм от токсичных веществ, мутагенов и канцерогенов и играет большую роль в регуляции количества холестерина и сахара в крови. Клетчатка не сжигает жир, но устраняет саму причину его накопления – нарушение обменных процессов в организме. А присутствие в зерне лопающейся кукурузы такого микроэлемента как золото, улучшает деятельность головного мозга.

**Цель исследований**

Создать новые высокопродуктивные гибриды лопающейся кукурузы с отличными технологическими качествами зерна.

**Материалы и методы**

Исследования проведены в 2018 – 2019 годах в условиях Центральной зоны Краснодарского края. Почва опытных участков – чернозем выщелоченный, малогумусный, сверхмощный. Климатические условия 2018 года были более благоприятными к уровню 2019 года. За вегетационный период (май-август) выпало 254 мм осадков (сумма среднемноголетних осадков – 278,8 мм). В 2019 году осадков выпало еще меньше 211,4 мм [5].

На начальном этапе исследований были изучены по зерновой продуктивности и технологическим качествам зерна 15 сортообразцов лопающейся кукурузы из Польши, Украины и Молдавии. Позднее ассортимент изучаемых сортообразцов был расширен до 100 [9, 10].

На последующем этапе селекции для дальнейшей селекционной проработки были отобраны сортообразцы, коэффициент увеличения объема зерна которых при поджаривании был не ниже 35, а количество взорванных зерен – 90 %.

При установлении взрываемости зерна лопающейся кукурузы использовались различные методы. Одни исследователи определяли число или процентное количество невзорванных зерен, другие измеряли число чашек взорванного зерна, полученного из весового количества исходного. Впоследствии селекционерами был принят показатель «растяжения при растрескивании», или «объем при растрескивании», который представляет собой отношение объема зерна после переработки к его объему до переработки. Значение, равное 30, означает, что отношение объема непереработанного зерна к переработанному составляет 1:30, то есть 200 см$^3$ взятого для переработки зерна дают 6000 взорванной кукурузы.

Позже в США при оценке на взрываемость применили новый метод, при котором вместо объема зерна, взятого для переработки, берут определенную его массу (обычно 150 г), а полученный объем взорванной кукурузы выражают в кубических сантиметрах па килограмм. Этот метод получил название «определение весового объема».

Коэффициент увеличения объема зерна на первый взгляд определить несложно, однако результаты измерения зависят от пригодности зерна для переработки (влажности, способа сушки и хранения), скорости нагрева и температуры взрывания, размеров и формы измерительных сосудов, уплотнения готового продукта и особенности данного сорта. Хорошие результаты по взрываемости получают тогда, когда лопающаяся кукуруза до переработки хранится в початках, не подвергается искусственной сушке и имеет влажность зерна 11 – 15 % (лучше 13,5 %).

Для взрывания зерна применяются два типа аппаратов: «Воздушная кукуруза», работающий при нормальном атмосферном давлении, и «Пушки» – при избыточном.

Технологические качества зерна в опыте определяли путем соотношения объема, взятого до переработки к взорванному, посредством использования коэффициента увеличения объема. Определение основного показателя качества зерна лопающейся кукурузы – взрываемость – проводили на аппарате фирмы STIR CRAXY при нормальном атмосферном давлении. По конфигурации раскрытого готового зерна лопающаяся кукуруза бывает «бабочка» и «карамель». «Бабочка» – раскрытое зерно неправильной формы, напоминающее снежинку или бабочку; «карамель» – зерно, раскрывающееся шариком – гриб.

Быстрые темпы селекции новых гибридов в США в последнее десятилетие привели к тому, что за короткий период весьма сильно изменилась и шкала оценки по технологическим качествам зерна лопающейся кукурузы. После нескольких лет изучения, имеющихся в коллекции центра сортообразцов, нами для создания новых линий лопающейся кукурузы было включено в работу несколько сортообразцов из США (AP 6002, AP 4503, 7211, M 212), Аргентины (ANOEL, 804) и Китая (скороспелая популяция, 1533). На базе данных сортообразцов были отселектированы новые линии лопающейся кукурузы и созданы гибриды.

В качестве стандартов для оценки зерновой продуктивности гибридов лопающейся кукурузы использовали районированную популяцию Национального Центра Зерна Российская лопающаяся 3 и гибрид селекции США 4512. Статистическую обработку проводили по методике Б.А. Доспехова [4].

**Результаты и обсуждение**

Из находящихся в селекционной проработке сортообразцов было отобрано 8 новых линий лопающейся кукурузы, на базе которых создано 7 гибридов.

Данные гибриды были изучены в 2018 – 2019 годах по морфологическим признакам. По высоте растений гибриды варьировали от 175,4 см до 204,8 см, а по высоте прикрепления початка – от 62,8 до 82,0 см.

Изучаемые гибриды различались между собой по вегетационному периоду. Период от всходов до цветения початка у них варьировал от 56 до 62 дней (2019 год). Бытует мнение, что более позднеспелые формы характеризуются большими значениями увеличения объема зерна при взрывании. Однако наблюдаемая закономерность, по-видимому, во многом обусловлена генотипическими особенностями исходного материала. Так, в работе Крумбейкера с соавторами у более раннеспелых форм также наблюдались более высокие значения увеличения объема зерна при взрывании [11]. В нашем сортоопыте данное утверждение нашло подтверждение. Корреляция между числом дней до цветения и взрываемостью была слабой (r = 0,316). Также слабой оказалась корреляция между вегетационным периодом и урожайностью гибридов (r = 0,442). По результатам двухлетних исследований была изучена зерновая продуктивность и технологические качества зерна у гибридов лопающейся кукурузы при поджаривании (табл. 1).

**Таблица 1. Зерновая продуктивность и технологические качества зерна гибридов лопающейся кукурузы, Краснодар, 2018 – 2019 годы**

| Название гибрида | Урожайность зерна, ц/га | Отклонение от стандарта, ц/га | Уборочная влажность зерна, % | Коэффициент увеличения объема |
|---|---|---|---|---|
| Российская лопающаяся 3 (стандарт) | 30,0 | - | 13,5 | 1:38,5 |
| Краснодарский лопающийся 422 | 40,1 | 10,1 | 14,0 | 1:40,5 |
| Краснодарский лопающийся 420 | 36,3 | 6,3 | 13,5 | 1:40 |
| 4512 (США) | 36,2 | 6,2 | 13,5 | 1:39 |
| Краснодарский лопающийся 418 | 36,0 | 6,0 | 13,8 | 1:39,5 |
| Краснодарский лопающийся 414 | 33,4 | 3,4 | 14,1 | 1:39,5 |
| Краснодарский лопающийся 415 | 33,4 | 3,4 | 13,7 | 1:40,5 |
| Краснодарский лопающийся 421 | 33,4 | 3,4 | 13,4 | 1:39 |
| Краснодарский лопающийся 416 | 33,2 | 3,2 | 13,5 | 1:38,5 |
| $НСР_{05}$ | | 3,2 | | |

Урожайность лучших гибридов лопающейся кукурузы, достоверно превысивших стандарт, популяция Российская лопающаяся 3, варьировала от 33,4 до 40,1 ц/га. Гибрид кукурузы Краснодарский лопающийся 422 достоверно превзошел по зерновой продуктивности и технологическим качествам зерна, как отечественный стандарт, так и коммерческий гибрид 4512 (США). Еще у двух экспериментальных гибридов лопающейся кукурузы (Краснодарский лопающийся 418 и Краснодарский лопающийся 421) зерновая продуктивность и технологические качества зерна были на уровне иностранного гибрида.

Одним из важнейших направлений в селекции лопающейся кукурузы являются технологические качества. Проведенные разными исследователями работы по определению технологических качеств сортообразцов лопающейся кукурузы позволяют сделать вывод о большом генетическом варьировании изучаемых признаков как между образцами, так и внутри отдельных гибридов и линий [1].

В литературе отмечена отрицательная связь между увеличением объема взрываемости зерна и урожайностью [10].

В.В. Котерняк и Г.П. Карайванов по результатам своих исследований показывают возможность создания гибридов с высокой взрываемостью зерна и хорошей урожайностью [4]. Так, коэффициенты корреляции между урожайностью зерна и величиной расширения его объема при взрывании, вычисленные по результатам конкурсного и предварительного испытаний 1993 – 1994 годов, имели низкие значения и были недостоверны. При этом по данным предварительного испытания они имели отрицательный знак (r = -0,002 и r = -0,143), конкурсного – положительный (r = 0,140 и 0,276). Это указывает на возможность отбора форм, у которых повышение взрываемости не сопряжено со снижением урожайности зерна [6]. Полученные этими исследователями данные по изучению комбинационной способности линий кукурузы по признакам урожайности зерна и его взрываемости также показывают возможность создания линий с высокой комбинационной способностью по обоим признакам.

В опыте выявлена тесная корреляционная зависимость между урожайностью и коэффициентом увеличения объема зерна при поджаривании (r = 0,860). Коэффициент увеличения объема зерна у лучших по данному признаку гибридов лопающейся кукурузы за два года исследований варьировал от 1:40 до 1:40,5. Е.И. Беликова и О.Е. Климова сообщают, что Г.К. Бурлай при изучении наследования признака взрываемости зерна лопающейся кукурузы установил, что этими параметрами обладают те гибриды, у которых высокие показатели изучаемого признака

у их родительских форм. Коэффициент взрываемости зерна гибридов, родительские формы которых обладают различной величиной данного признака, наследуются по типу неполного доминирования [1]. Наши исследования подтвердили данную зависимость. У большинства линий лопающейся кукурузы коэффициент увеличения объема (КУО) зерна при поджаривании составлял 1:39 – 1:41.

Проведенный анализ находящегося в селекционной проработке материала на текущий момент позволил нам предложить свою шкалу оценки технологических качеств зерна лопающейся кукурузы (табл. 2).

**Таблица 2. Шкала оценки технологических качеств зерна лопающейся кукурузы, Краснодар, 2019 год**

| Критерий оценки | Коэффициент увеличения объема при поджаривании | Количество взорванных зерен, % |
|---|---|---|
| Удовлетворительная | 36 – 37 | 98,0 |
| Хорошая | 38 – 39 | 99,0 |
| Отличная | 40 – 41 | 100,0 |

В соответствии с данной шкалой в дальнейшей селекционной проработке по созданию линий и гибридов лопающейся кукурузы необходимо оставлять только сортообразцы, коэффициент увеличения объема зерна которых при поджаривании был не ниже 36 – 37, а количество взорванных зерен – 98%.

В процессе оценки технологических качеств зерна лопающейся кукурузы было установлено, что 90% сортообразцов лопающейся кукурузы по конфигурации готового раскрытого зерна можно отнести к «бабочке», остальные к «карамели».

**Выводы**

С участием новых линий лопающейся кукурузы созданы высокопродуктивные гибриды лопающейся кукурузы с зерновой продуктивностью 36,0 – 41,0 ц/га и высокими технологическими качествами зерна при поджаривании.

На основании изученного селекционного материала разработана и предложена новая шкала оценки технологических качеств зерна у линий и гибридов лопающейся кукурузы.

**ЛИТЕРАТУРА**

1. Беликов, Е.И. Использование пищевой кукурузы в различных селекционных программа/ Е.И. Беликов, О.Е. Климова // Кукуруза и сорго. – 2002. – № 3 – С. 15 – 20.

2. Вольнер, И.Н. Продукты из кукурузы и их пищевая ценность / И.Н. Вольнер // Пищепромиздат, М. 1963. – 89с.

3. Государственный реестр селекционных достижений. Том 1. Сорта растений. – 2015. – С. 467.

4. Доспехов, Б.А. Методика полевого опыта / Б.А. Доспехов. – М: Агропромиздат, 1985. – 352с.

5. Данные метеопоста НЦЗ им. П.П. Лукьяненко, 2018 – 2019 годы.

6. Котерняк, В.В. Селекция гибридов лопающейся кукурузы / В.В. Котерняк, Г.П. Карайванов // Краснодар, 1973. – С. 13 – 18.

7. Супрунов, А.И. Новый гибрид кукурузы Краснодарский лопающийся 400 / А.И. Супрунов, Л.Ю. Горяинова // Вестник Российской академии сельскохозяйственных наук. – 2008. – Вып. 1. – С. 40 – 41.

8. Супрунов, А.И. Популяция лопающейся кукурузы – Российская 3 / А.И. Супрунов, Н.Ф. Лавренчук, М.Ф. Жуков // Тр. КубГАУ. – Краснодар, 2009. – Вып. 18. – С 127 – 129.

9. Супрунов, А.И. Селекция гибридов лопающейся кукурузы / А.И. Супрунов // Эволюция научных технологий в растениеводстве: сб. науч. Тр. В честь 90-летия со дня образования Краснодарского НИИСХ им. П.П. Лукьяненко. – Т. 2. – Краснодар, 2004. – С. 222 – 227.

10. Супрунов, А.И. Селекция сахарной и лопающейся кукурузы на Кубани / А.И. Супрунов // Монография. Краснодар, ООО «Эдви», 2008, – 128с.

11. Alexander, W.L. grain-fill characteristics of early maize strains selected for variable R-nj expression / W.L. Alexander, H.Z. Cross // Euphytica. – 1983. – 32,3. – P. 839 – 843.

12. Grumbaker, D.E. Agron / D.E. Grambeker, I.J. Johnson, J.C. Eldridge // J. – 1949. – V.41. – 210 p.

**REFERENCES**

1. Belikov, E. I. Use of food corn in various breeding programs / E. I. Belikov, O. E. Klimova / / Corn and sorghum. – 2002. – no. 3-P. 15 – 20.

2. Volner, I. N. Products from corn and their nutritional value / I. N. Volner / / Pishchepromizdat, M. 1963. – 89 c.

3. State register of selection achievements. Volume 1. plant Varieties. – 2015. – P. 467.

4. Dospekhov, B. A. Methodology of field experience / B. A. Dospekhov. – M: Agropromizdat, 1985. – 352 p.

5. Data from the weather station of the Lukyanenko national research CENTER, 2018 – 2019.

6. Katernyak, V. V. Selection of hybrid pop-corn / VV Katernyak, G. P. Karaivanov // Krasnodar, 1973. – p. 13 – 18.

7. Suprunov, A. I. a New hybrid of corn Krasnodar bursting 400 / A. I. Suprunov, L. Yu. Goryainova // Bulletin of the Russian Academy of agricultural Sciences, 2008, Issue 1, Pp. 40 – 41.
8. Suprunov, A. I. population of bursting corn – Russian 3 / A. I. Suprunov, N. F. Lavrenchuk, M. F. Zhukov // Tr. Kub.GAU – Krasnodar, 2009. – Issue 18. – With 127 – 129.
9. Suprunov, A. I. Selection of pop corn hybrids / A. I. Suprunov // Evolution of scientific technologies in crop production: SB. nauch. Tr. In honor of the 90th anniversary of the formation of the Krasnodar research Institute named after p. p. Lukyanenko. – Vol. 2. – Krasnodar, 2004. – Pp. 222 – 227.
10. Suprunov, A. I. Selection of sugar and pop corn in the Kuban / A. I. Suprunov // Monograph. Krasnodar, LLC “Edvi”, 2008, – 128c.
11. Alexandra, L. V. grain characteristics of early maize strains selected for the variable R-new Jersey expression of L. V. / A. H. Z. Kresta / / Euphytica. – 1983. – 32,3. – Pp. 839 – 843.
12. Grumbaker, D. E. Agron / D. Grambeker E., J. I. Johnson, J. Eldridge / / J.-1949. – St. 41. – 210 P.

**Анатолий Иванович Супрунов**
Заведующий отделом селекции
и семеноводства кукурузы
E-mail: suprunov-kniisx@mail.ru

**Иван Михайлович Чесноков**
Ведущий научный сотрудник

**Вячеслав Валериевич Макшанов**
Научный сотрудник

Все: ФГБНУ «НЦЗ им. П.П. Лукьяненко»
350012, г. Краснодар, Центральная Усадьба
КНИИСХ

**Аллауи Ибрахим Хамади**
Магистрант КубГАУ
ФГБОУ ВО «Кубанский государственный
аграрный университет имени И. Т. Трубилина»
350044, Россия, г. Краснодар, ул. Калинина, 13

**Anatoly Ivanovich Suprunov**
Head of the Department of corn breeding
and seed production
E-mail: suprunov-kniisx@mail.ru

**Ivan Mikhailovich Chesnokov**
Leading researcher

Vyacheslav Valerievich Makshanov
Scientist

FSBSI «National Grain Centre named
after P.P. Lukyanenko»
350012, Krasnodar

**Allawi Ibrahim Hamadi**
Graduate student of the Kuban state agrarian
university
FSBEI HE "Kuban State Agrarian University
named after I. T. Trubilin"
13 Kalinina st., Krasnodar, Russia, 350044,

DOI: 10.33775/1684-2464-2020-48-3-25-29
УДК 631.559

**Р.С. Шарифуллин,** канд. с.-х. наук,
**Ю.Б. Шарифуллина**
г. Краснодар, Россия

# СПОСОБ РАСЧЕТА БИОЛОГИЧЕСКОЙ УРОЖАЙНОСТИ РИСА

*Урожайность, являясь интегральным итоговым показателем при возделывании сельскохозяйственных культур, в том числе и риса, определяется многими элементами структуры урожая. Поэтому была поставлена цель – разработать способ расчёта биологической урожайности риса (урожайности на корню) с использованием математического уравнения для практического использования в производстве и научных исследованиях. Определение урожайности на корню осуществляется методом отбора проб, суть которого заключается в отборе проб урожая с известной площади (участка отбора пробы) непосредственно перед проведением уборочных работ с последующим пересчетом урожайности, полученной с участка, на общую площадь поля. Приведенные в работе результаты дают возможность оценить за счет каких элементов структуры урожая сложилась биологическая урожайность культуры риса: густоты стояния растений, большой продуктивной кустистости и средней метелки или пониженной густоты стояния, длинной и хорошо озерненной метелки, большой массы зерна с одной метелки и т.д. Анализ структуры урожая поможет внести соответствующие коррективы в технологию возделывания культуры (корректировать норму высева, глубину заделки, способ посева, систему удобрения и др.). Уравнение расчета урожайности позволяет анализировать не только значение конкретного элемента продуктивности, но и в результате логического объединения – оптимальных параметров структурных единиц, роста и ухода на более поздних фазах вегетации. Приведен пример практического применения уравнения определения биологической урожайности риса.*

***Ключевые слова:*** *биологическая урожайность риса, способ расчета, масса 1000 зерен, кущение, стеблестой, выживаемость, масса зерна с метелки.*

# METHOD FOR CALCULATION OF BIOLOGICAL RICE YIELD

*Yield, being an integral final indicator in the cultivation of agricultural crops, including rice, is determined by many elements of the yield structure. Therefore, the goal was set to develop a method for calculating the biological rice yield (standing yield) using the above formula for practical use in production and scientific research. The determination of the crop yield is carried out by the sampling method, the essence of which is to take samples of the crop from a known area (sampling site) immediately before harvesting with the subsequent recalculation of the yield obtained from the site to the total area of the field. The results presented in the work make it possible to assess due to what elements of the yield structure the biological productivity of the rice crop was formed: good plant density, high productive tillering and medium panicle or reduced planting density, long and well-grained panicle, large grain mass from one panicle, etc. Analysis of the yield structure will help to make appropriate adjustments to the technology of crop cultivation (to correct the seeding rate, seeding depth, sowing method, fertilization system, etc.). The structural formula of productivity allows you to analyze not only the value of a specific element of productivity, but also as a result of a logical combination of optimal parameters of structural units, growth and management at later stages of the growing season. The conclusion and an example of the practical application of the formula for determining the biological yield of rice are given.*

***Key words:*** *biological rice yield, formula, mass of 1000 grains, tillering, plant stand, vigor, mass of grain from panicle.*

## Введение

Важное условие получения высокого урожая, а следовательно, резерв увеличения производства зерна – оптимальная структура урожайности. Структура урожайности представляет собой совокупность двух показателей: густоты продуктивного стеблестоя и продуктивности соцветия (метелки).

В науке существует несколько вариантов методик определения биологической урожайности с применением отбора проб. К сожалению, стандартизация этих методов не проведена, все они используются на уровне рекомендаций. Например, для зерновых колосовых хорошие результаты даёт методика, в основе которой определение густоты стояния продуктивных стеблей и средняя масса зерна в одном колосе (метелке) [1, 4, 8].

Учитывая то, что на практике случаются значительные потери урожая при его уборке (низкое качество уборки или плохие погодные условия), необходима оценка биологической урожайности перед уборкой, которая проводится с использованием выборочного прямого обмолота комбайном или чаще методом отбора проб [3, 5, 6].

## Цель исследований

Разработать способ расчёта биологической урожайности риса (урожайности на корню) с использованием приведенного математического уравнения для практического использования в производстве и научных исследованиях.

## Материалы и методы

Урожайность на корню (биологическая урожайность) – количество выращенной продукции, устанавливается выборочно, следующими методами: глазомерно-оценочным, методом взятия проб (до уборки урожая) или расчётно-балансовым (после уборки – по данным о фактическом намолоте и потерях в процессе уборки). Показатель используют в экономическом анализе для изыскания резервов снижения потерь урожая на уборке [5, 7]. Обычно определение урожайности на корню осуществляется методом отбора проб, суть которого заключается в отборе проб урожая с известной площади (участка отбора пробы) непосредственно перед проведением уборочных работ с последующим пересчетом урожайности, полученной с участка отбора проб, на общую площадь поля. Урожайность на корню на общей площади посева культуры риса определяется как отношение сумм произведений урожайности на корню каждого поля, определенной в соответствии с методиками на площадь соответствующего поля к общей площади посева данной культуры. Отбор проб урожая осуществляется с наиболее типичных участков поля и с наиболее типичных растений для данного поля [2, 9, 10].

В итоге смысл определения урожайности на корню заключается в отборе проб урожая с определенной площади, незадолго до уборки. После чего проводится подсчет по уравнениям, которые мы рассмотрим ниже. Полученные результаты соотносятся к общей площади поля. Отбор образцов необходимо проводить на наиболее типичных участках.

## Результаты и обсуждение

Урожайность риса – это количество зерна, полученного с одного гектара в результате жизнедеятельности определенной совокупности растений, которая состоит в усвоении питательных веществ и воды из почвы и синтеза органических веществ под действием солнечной энергии

***Основные составляющие урожайности.*** Общеизвестно, что величина урожайности зависит от двух главнейших показателей – густоты продуктивного стеблестоя и массы зерна с одной метелки. Биологическая урожайность (Уб, т/га) определяют исходя из уравнения [1]:

$$Уб = Гс \times Мм \times 10000 : 1000000 = Гс \times Мм : 100 \quad (1),$$

где:

Уб – биологическая урожайность, т/га;

Гс – густота продуктивного стеблестоя, шт./м$^2$;

Мм – масса зерна с одной метелки, г;

10 000 – коэффициент перерасчета с 1 м$^2$ на 1 га;

1 000 000 – коэффициент перевода с г/га в т/га.

Эти две составляющие урожайности являются обобщающими показателями. На них влияет много факторов, которые можно разделить на две группы – метеорологические и технологические. Ясно, что всю сложность и многогранность жизненного цикла растений на протяжении вегетационного периода может отобразить только совокупность факторов. Поэтому для видения реального значения составляющих урожайности нужно учитывать даже наименее значимые показатели структуры урожая. Детальный анализ составных частей продуктивности необходим для морфологического контроля за растениями и возможности целенаправленного влияния на формирование определенных элементов структуры урожая.

***Густота стеблестоя.*** Густота продуктивного стеблестоя охватывает ряд более мелких показателей. В первую очередь, она зависит от коэффициента кущения (К) и количества растений на 1 м$^2$ (Р, шт./м$^2$). Увеличение одного из них приводит, как правило, к уменьшению другого, т.е. они взаимосвязаны. Базисным показателем в данном случае является густота стояния растений. На посевах с густотой свыше 300 – 400 растений на 1 м$^2$ коэффициент кущения редко превышает показатель 1,1 – 1,5. Необходимая густота продуктивного стеблестоя (350 – 400 шт./м$^2$) формируется, в основном, за счет количества растений. Функция коэффициента кущения минимальна, поскольку большинство растений имеют один стебель.

В посевах, где взошло и развивается на 1 м$^2$ 100 – 150 растений, основная роль в формировании продуктивного стеблестоя принадлежит уже не только количеству растений (Р), а и коэффициенту кущения (К). Т.е., имея низкий базисный показатель, можно с помощью агротехнических мероприятий компенсировать стеблестой другим показателем – коэффициентом кущения, который возрастает до уровня 2 – 3. Итак, густоту продуктивного стеблестоя перед уборкой можно выразить уравнением:

$$Гс = К \times Р, \text{ шт./м}^2 \quad (2)$$

Густота стояния растений не может быть постоянной величиной. Она изменяется за время вегетации в сторону уменьшения и зависит, прежде всего, от нормы высева (НВ). В данном случае берется во внимание норма высева (в шт.) всхожих семян на 1 м$^2$. Этот показатель может колебаться в довольно широком диапазоне – от 2,0 млн./га до 9,0 млн./га или от 200 шт./м$^2$ до 900 шт./м$^2$. Он зависит от условий выращивания, плодородия почвы и особенностей применяемой технологии. Высевая большее или меньшее количество семян, мы закладываем основу для принятия решений по применению определенных агроприемов во время дальнейшего ухода за посевами.

***Полевая всхожесть.*** Статистические данные свидетельствуют, что более половины высеянных семян не дают всходов. Поэтому чрезвычайно важно учитывать показатель полевой всхожести (П), выраженный в доле от единицы, имеющий едва ли не наибольшее, после нормы высева, влияние на количество растений на единице площади. Норму

высева мы устанавливаем путем расчетов. Полевая всхожесть – показатель, который определяется уже условиями прорастания и качеством работ во время сева. Она рассчитывается как отношение количества проросших растений к количеству высеянных всхожих семян на единице площади выраженное в процентах. Для упрощения расчетов полевую всхожесть следует принимать безразмерной как долю от единицы.

Некоторая часть растений и отдельных стеблей выпадает во время вегетации. В отдельные годы в этот период может выпасть до трети растений. Поэтому важно определенными агроприемами уменьшить засоренность, защитить посевы от полегания, болезней и вредителей. Выживание растений, за период вегетации (В), определяется отношением количества растений перед сбором урожая к их количеству во время получения полных всходов, выраженный в доле от единицы.

Таким образом, зависимость густоты стояния растений от других элементов структуры урожая можно выразить уравнением:

$$Р = НВ \times П \times В, \text{ шт./м}^2 \quad (3)$$

Уравнение расчета густоты продуктивного стеблестоя после подстановки детализированного значения густоты стояния растений (Р) в уравнение 2 приобретет следующий вид:

$$Гс = К \times НВ \times П \times В, \text{ шт./м}^2 \quad (4)$$

***Продуктивность метелки.*** Уменьшение густоты продуктивного стеблестоя ниже определенного оптимального уровня вследствие потерь растений и стеблей во время вегетации приведет к закономерному снижению урожайности посевов. Чтобы не допустить этого, необходимо возможные потери продуктивности компенсировать увеличением другого показателя структуры, который закладывается и формируется позднее, – продуктивностью метелки. Даже при условии уменьшения густоты продуктивного стеблестоя до 200 – 250 шт./м$^2$ определенными агроприемами можно увеличить продуктивность метелки до 2,5 – 3,0 г, что даст возможность собрать 5 – 7,5 т/га. Такой же уровень урожайности будет при густоте 300 – 400 метелок на 1 м$^2$ и массе зерна с метелки примерно 1,5 – 2,0 г. Снижение числа и массы зерен при сильном кущении растений обусловлено ростом конкуренции между побегами кущения. Наиболее высокий урожай возможен при оптимальном наличии обоих показателей.

Итак, проанализируем составные части другого обобщающего показателя структуры урожая риса – массы зерна с одной метелки. Что стоит за этим показателем?

Озерненность метелки в первую очередь определяется количеством колосков, образовавшихся на осях метелки. Чем больше колосков, тем больше зерен в метелке и масса зерна с одной метелки. У риса разных сортов среднее число колосков в метелке находится в широких пределах. Это сортовой признак, увеличивать который можно также агротехническими мероприятиями. В частности, наибольшее влияние на количество колосков в метелке (Км, шт.) имеют удобрения.

Медленное прохождение начальных этапов органогенеза, также способствует закладке большего количества колосков. При недостатке питательных веществ, неблагоприятных погодных условиях некоторая часть завязанных зерен не развивается. Максимальное количество выполненных зерен (Кз, шт.) формируется в колосках в верхней части метелки и уменьшается к её основанию.

***Показатели, влияющие на продуктивность.*** В продуктивности метелки базисным показателем является количество колосков, поскольку этот элемент структуры закладывается и формируется первым. Закладку меньшего количества тех органов, которые формируются на более ранних этапах развития, можно компенсировать органами, образующимися позднее. Уменьшение урожая от элементов структуры, которые формируются первыми, вследствие возможности компенсации может быть незначительным. И наоборот, компоненты продуктивности, формирующиеся в конце развития риса, почти не имеют возможности для компенсации, а потому снижение урожая может быть значительным. Небольшое количество продуктивных побегов может компенсироваться в процессе развития увеличением числа колосков в метелке; меньшее число колосков в метелке компенсируется повышением массы 1000 зерен.

Необходимое количество отдельных органов растения, от которых зависит продуктивность, может быть достигнуто благодаря закладке большего числа органов или меньшей их редукции. Кроме этих показателей, масса зерна с одной метелки зависит от средней массы одной зереновки (Мз, г). Она зависит, в основном, от условий роста и ухода на более поздних фазах вегетации. Особое значение имеют здесь удобрения, вегетационный период, защита посевов от болезней, вредителей и полегания.

Особая роль массы зерновки, сравнительно с другими компонентами урожая, заключается в том, что закладка и формирование зерновки происходит в сжатые сроки и уменьшение ее массы не может быть компенсировано никакими другими элементами урожая.

Все показатели, определяющие массу зерна метелки, зависят от особенностей сорта, метеорологических условий и могут регулироваться большинством агротехнических мероприятий.

***Уравнение расчета урожая риса.*** Таким образом, массу зерна с одной метелки можно разложить на две главные составные части:

$$Мм = Мз \times Кз, \text{ г} \quad (5)$$

Теперь в уравнение урожая риса вместо двух обобщенных значений Гс и Мм будут включены основные конкретизированные элементы структуры, от которых зависит продуктивность посевов. Делаем акцент на слове «основные», так как их, в свою очередь, можно разложить на более простые составные части, которых значительно больше.

Заменив значение Гс (4) и Мм (5) их составными компонентами, получим такой вид уравнения 1:

$$Уб = (К \times НВ \times П \times В \times 10\,000) \times \times (Мз \times Кз : 1\,000\,000),\ т/га$$

Сделав соответствующие упрощения в уравнении, имеем окончательный ее вариант:

$$Уб = К \times НВ \times П \times В \times Мз \times Кз : 100,\ т/га$$

Уравнение расчета урожайности позволяет анализировать не только значение конкретного элемента продуктивности, но и в результате логического объединения – оптимальных параметров структурных единиц, роста и ухода на более поздних фазах вегетации.

***Пример расчета***.

Исходные данные:

К – коэффициент кущения равнялся 1,3;

НВ – на гектаре поля высеяно 7 млн. всхожих семян или 700 шт./м$^2$;

П – полевая всхожесть составила 30 %, или в переводе на коэффициент – 0,3;

В – выживаемость растений определена как 80 %, или – 0,8;

Мз – масса 1000 зёрен составила 30 г, в пересчете масса одной зерновки равнялась 0,03 г;

Кз – количество зёрен в метелке – 95 шт.;

100 – объединенный коэффициент пересчета граммов в тонны и метров квадратных в гектары.

$$Уб = 1{,}3 \times 700 \times 0{,}3 \times 0{,}8 \times 0{,}03 \times 95 : 100 = 6{,}224\ т/га.$$

**Выводы**

Показана процедура расчёта биологической урожайности (урожайности на корню) на основании уравнения урожайности, учитывающей следующие показатели элементов структуры урожая: нормы высева всхожих семян, полевой всхожести, коэффициента кущения, выживаемости растений, количества зерен в метелке, массы 1000 зерен.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Гущин, Г.Г. Рис / Г.Г. Гущин. – Репринт изд. – Краснодар, 2011. – 831 с.

2. Дзюба, В.А. Многофакторные опыты и методы биометрического анализа экспериментальных данных / В.А. Дзюба. – Краснодар, 2007. – 76 с.

3. Кидин, В.В. Практикум по агрохимии / В.В. Кидин и др. – М.: Колос, 2008. – 600 с.

4. Коренев, Г.В. Растениеводство с основами селекции и семеноводства – 3-е изд. перераб. и доп. / Г.В. Коренев, П.И. Подгорный, С.Н. Щербак – М.: Агропромиздат, 1990. – 68 с.

5. Основы научных исследований в агрономии / М.Ф. Трифонова, А.Х. Заверюха, В.Е. Ещенко, А.М. Сысоев – Изд. 2-е. перераб. и доп. – М.: Альянс, 2016. – 328 с.

6. Основы опытного дела в растениеводстве / В.Е. Ещенко, М.Ф. Трифонова, П.Г. Копытко [и др.] под ред. В.Е. Ещенко, М.Ф.Трифоновой. – М.: КолосС, 2009. – 268 с.

7. Пат. 2403702 С2 Российская Федерация, МПК A01G 7/00 Способ определения биологической урожайности зерна риса через систему индексов [текст] / Очкас Н.А., Уджуху А.Ч., Романенко Т.Н., Остапенко Н.В., Симонова В.В., Челнокова Е.Е.; заявитель и патентообладатель Государственное научное учреждение Всероссийский научно-исследовательский институт риса (ГНУ ВНИИ риса) – № 2008119785/12; заявл. 19.05.08; опубл. 20.01.08. Бюл. № 32 – 5 с.

8. Чухирь, И.Н. Количественные признаки риса контролирующие урожайность и их наследование / И.Н.Чухирь, Л.В. Есаулова, Н.П. Чухирь // Политематический сетевой электронный научный журнал КубГау. – 2019. – № 151. – С. 15 – 23.

9. Якушев, В.В. Точное земледелие: теория и практика / В.В. Якушев. – СПб.: ФГБНУ АФИ, 2016. – 364 с.

10. Технологія вирощування рису з врахуванням всемог охорони навколишнього середовища в господарствах Украіны, м. Скадовськ, 1998 – 11 с.

## REFERENSES

1. Gushchin, G.G. Ris / G.G. Gushchin, – Reprint Edition – Krasnodar, 2011. – 831 p.

2. Dzyuba, V.A. Multifactorial experiments and methods of biometric analysis of experimental data / V.A. Dzyuba – Krasnodar, 2007. – 76 p.

3. Kidin, V.V. Workshop on agrochemistry / V.V. Kidin et al. – M.: Kolos, 2008. – 600 p.

4. Korenev, G.V. Plant breeding with the basics of breeding and seed production – 3rd ed. revised and add. / G.V. Korenev, P.I. Podgorny, S.N. Shcherbak – M .: Agropromizdat, 1990. – 68 p.

5. Fundamentals of scientific research in agronomi / M.F. Trifonova, A.H. Zaveryukha, V.I. Ishchenko, A.M. Sysoev. Ed. 2nd, Rev. and extra – Moscow.: Alliance, 2016. – 328 p.

6. Fundamentals of experimental business in crop production / V.E. Eshenko, M.F. Trifonova, P.G. Kopytko [et al.]; edited by V.E. Eshenko, M.F. Trifonovoi, – Moscow.: The Ear, 2009. – 268 p.

7. Pat. 2403702 C2 Russian Federation, IPC A01G 7/00 Method for determining the biological productivity of rice grain through the system of indices [text] / Ochkas N.A., Udzhuhu A.Ch., Romanenko T.N., Ostapenko N.V., Simonova V. V.,

Chelnokova E.E .; applicant and patentee State Scientific Institution All-Russian Rice Research Institute (SSI ARRRI) – No. 2008119785/12; declared 05/19/08; publ. 20.01.08. Bul. No. 32 – 5 p.

8. Chukhir, I.N. Quantitative traits of rice controlling yield and their inheritance / I.N. Chukhir, L.V. Esaulova, N.P. Chukhir // Pjlithematic Digital Scientific Journal KubSAU. – 2019. – № 151 – p. 15 – 23.

9. Yakushev, V.V. Precision farming: theory and practice / V.V.Yakushev. – SPb.: FGBNU AFI, 2016. 364 p.

10. Технологія виращування рису з врахуванням всемог охорони навколишнього середовища в господарствах Украіны, м. Скадовськ, 1998 – 11 с.

**Шарифуллин Раис Саидович**
старший научный сотрудник
лаборатории агрохимии и почвоведения,
E-mail: Sharifullinrais@yandex.ru
ФГБНУ «ФНЦ риса», 350921, Россия,
г. Краснодар, Белозерный, 3

**Шарифуллина Юлия Борисовна**
студентка
ФГБОУ ВО «Кубанский
государственный университет»,
350040, Россия,
г. Краснодар, ул. Ставропольская, 149

**Sharifullin Rais Saidovich**
Senior scientist, laboratory of agrochemistry
and soil studies
E-mail: Sharifullinrais@yandex.ru
FSBSI Federal Scientific Rice Centre,
3, Belozerny, Krasnodar, Russia, 350921

**Sharifullina Yulia Borisovna**
student
FSBEI of Higher Education «Kuban State University»
149, Stavropolskay st., Krasnodar, Russia, 350040

DOI: 10.33775/1684-2464-2020-48-3-30-37
УДК 633.18:681.518

**М.А. Скаженник,** д-р биол. наук,
**С.В. Гаркуша,** д-р с.-х. наук,
**В.С. Ковалев,** д-р с.-х. наук,
**А.Ф. Петрушин,** канд. тех. наук,
**Е.Н. Киселев**, канд. геогр. наук,
**В.Н. Чижиков,** канд. с.-х. наук,
**Т.С. Пшеницына**
г. Краснодар, Россия

# ПРОДУКЦИОННЫЙ ПРОЦЕСС АГРОФИТОЦЕНОЗОВ РИСА В СВЯЗИ С ИХ СОСТОЯНИЕМ

*В сельском хозяйстве в последнее десятилетие отраслевым стандартом становится использование систем геопозиционирования и точного земледелия. Целью исследований явилось изучение продукционного процесса агрофитоценозов риса и проведение их геоинформационного мониторинга для разработки методики автоматизированного картографирования их состояния и прогнозирования урожайности. Отмечены малые сортовые различия по продуктивности фотосинтеза растений интенсивных и экстенсивных сортов риса на разных фонах минерального питания. При образовании сомкнутого посева характер распределения ассимилятов по органам растения и побега является основным физиологическим механизмом формирования разной урожайности исследуемых генотипов и их устойчивости к воздействию неблагоприятных факторов внешней среды. С наступлением фазы цветения различия по массе метелки и стебля побегов у интенсивных и экстенсивных генотипов риса значительны, которые использованы нами при оценке этих типов сортов на потенциальную продуктивность. Проведены исследования по изучению оптических свойств ценозов сортов и их связи с морфофизиологическими признаками растений и урожайностью для мониторинга состояния посевов. Показано, что величина вегетационного индекса (NDVI) имеет положительную связь с признаками фотосинтетической деятельности растений и их азотным статусом. Получены уравнения линейной регрессии, позволяющие оценить степень связи урожайности с вегетационным индексом NDVI. Установленные связи позволят с большей достоверностью получать информацию о физиологическом состоянии и продукционном процессе посевов риса, с использованием для этого данных дистанционного зондирования.*

***Ключевые слова:*** *рис, фотосинтетическая деятельность, геоинформационный мониторинг, вегетационный индекс, беспилотный летательный аппарат, спутник, урожайность.*

# PRODUCTION PROCESS OF RICE AGROPHYTOCENOSES IN CONNECTION WITH THEIR STATE

*In agriculture, the use of geolocation systems and precision farming has become the industry standard in the last decade. The aim of the research was to study the production process of rice agrophytocenoses and carry out their geoinformation monitoring to develop a methodology for automated mapping of their condition and forecasting yield. Small varietal differences in the productivity of photosynthesis of plants of intensive and extensive rice varieties on different backgrounds of mineral nutrition were noted. When a closed crop is formed, the nature of the distribution of assimilates over the organs of the plant and the shoot is the main physiological mechanism for the formation of different yields of the studied genotypes and their resistance to the effects of unfavorable environmental factors. With the onset of the flowering phase, the differences in the mass of panicle and stem of shoots in intensive and extensive rice genotypes are very significant, which we used in assessing these types of varieties for potential productivity. Research has been carried out to study the optical properties of cenoses of varieties and their relationship with the morphophysiological characteristics of plants and yield to monitor the state of their crops. It was shown that the value of the vegetation index (NDVI) has a positive relationship with signs of photosynthetic activity of plants and their nitrogen status. Linear regression equations have been obtained, which make it possible to assess the degree of relationship between yield and vegetation index NDVI. The established connections will make it possible to more reliably receive information on the physiological state and production process of rice crops using remote sensing data.*

***Key words:*** *rice, photosynthetic activity, geoinformation monitoring, vegetation index, unmanned aerial vehicle, satellite, productivity.*

## Введение

Использование данных дистанционного зондирования в сельском хозяйстве в основном направлено на инвентаризацию сельхозугодий, выделения участков эрозии, заболачивания, засоленности и опустынивания. В последние годы приобретают интерес исследования, которые проводятся в различных регионах России, позволяющие спрогнозировать урожайность сельскохозяйственных культур [6, 7]. В Краснодарском крае такие работы практически не ведутся, не до конца разработаны общие подходы и методология оценки продуктивности растений на

основе их оптико-биологических свойств. Поэтому необходимы исследования, раскрывающие специфику взаимосвязи продуктивности растений с данными дистанционного зондирования в различных почвенно-климатических условиях, которые позволят повысить точность прогноза.

Для оценки степени развития посевов, обычно используют их вегетационные индексы [8]. Наряду с площадью ассимиляционной поверхности и содержанием хлорофилла в растениях, вегетационный индекс является оптико-биологической характеристикой. В связи с этим встаёт необходимость по выявлению механизмов и закономерностей взаимосвязи этих признаков, что позволит получать более достоверную информацию о физиологическом состоянии и продукционном процессе сельскохозяйственных культур, используя данные дистанционного зондирования [11].

Платформа беспилотного воздушного судна (БВС) может обеспечить высокие пространственно-временные изображения агроценоза для рисоводства и прогноза урожая. Swain K.C.et al. установили, что NDVI в период инициирования метелки коррелировал с урожаем риса [15] Teoh C.C. et al. также успешно определили урожай с помощью NDVI [16]. Но в этих исследованиях, были использованы ограниченные наборы данных, и модель была разработана на основе NDVI, который легко насыщался, когда полог листьев смыкался. В других исследованиях также пытались предсказать урожайность на основе высоты растений [9, 10, 12]. Однако взаимоотношения высоты и урожайности обычно меняется в зависимости от сортовых особенностей. Одним из важных показателей фотосинтетической деятельности посевов является величина их листовой поверхности – главного аппарата взаимодействия растений со средой. Кроме того, индекс листовой поверхности (ИЛП) имеет значение для прогноза урожайности [13, 17]. Систематический анализ для связи NDVI и оценкой ИЛП важен для предсказания урожайности [18]. Поэтому в этом исследовании цифровые изображения NDVI на критических этапах роста определяли и коррелировали с урожайностью. Полученные результаты закладывают основу для последующей разработки методики автоматизированного картографирования состояния рисовых посевов и прогнозирования урожайности риса в условиях Краснодарского края.

**Цель исследований**

Изучить продукционный процесс агрофитоценозов риса и провести их геоинформационный мониторинг для разработки методики автоматизированного картографирования их состояния и прогнозирования урожайности.

**Материалы и методы**

Вегетационно-микрополевые опыты проводили в бетонных резервуарах площадью 3,6 м$^2$, заполненных лугово-черноземной почвой, взятой с рисовых чеков при разном уровне минерального питания: 1 – контроль (без удобрений); 2 – $N_{12}P_6K_6$ (средний фон); 2 – $N_{24}P_{12}K_{12}$ (оптимальный фон); 3 -$N_{36}P_{18}K_{18}$ (высокий фон) г д. в. на м$^2$ [5]. Исследовали сорта: Рапан (st), Визит, Флагман, (интенсивный тип), Станичный, Соната, Атлант (экстенсивный тип) при густоте всходов – 300 шт./м$^2$. Опыт двухфакторный: фактор А – сорт; В – доза удобрений. Фенологические наблюдения за посевами и биометрический анализ растений по количественным признакам, определяющих урожайность зерна, проводили по методике, принятой во ФНЦ риса. В течение вегетационного периода выполняли следующие измерения: сырой и сухой надземной массы посевов, побегов и их отдельных органов (листьев, стебля с влагалищами листьев, метелки, зерна), площади листовой поверхности с помощью портативного счетчика пощади листьев LI-3000A. Проводили наблюдения за динамикой побегообразования и отмирания части боковых побегов. На основании этих измерений рассчитывали фотосинтетический потенциал, чистую продуктивность фотосинтеза и интенсивность образования общей фитомассы посева и отдельных органов побега [4]. Донорно-акцепторные отношения изучали по массе побега и его отдельных органов, по числу общих колосков и выполненных зерен в метелке, по доле (проценту) последних в массе побега и их связи с урожаем зерна и элементами его структуры. Определение индекса NDVI проводилось спектрометром GreenSeeker Handheld Crop Sensor. Экспресс-контроль обеспеченности растений риса азотом определяли прибором «N-tester». Верификация оптико-биологических свойств растений проходила на тестовом полигоне ФНЦ риса для оптимизации продукционного процесса риса с помощью БВС с мультиспектральной камерой.

**Результаты и обсуждение**

Продукционный процесс – это сложная и интегрированная функция растений, которая включает все этапы их роста и развития, начиная от прорастания семян и кончая вновь образованными структурами. Главными этапами этого процесса у злаков являются прорастание семян и образование всходов, фотосинтез и корневое питание растений, их рост и развитие, накопление и распределение пластических веществ по органам растения и отложение их в запас в соответствии с генетической программой культуры и сорта [2]. О фотосинтетической деятельности посевов исследуемых сортов риса на разных фонах минерального питания судили по индексу листовой поверхности (ИЛП) и чистой продуктивности фотосинтеза (ЧПФ) в период 8 листьев - полная спелость.

Параметры признаков индекса листовой поверхности (ИЛП) с повышением фона минерального питания возрастали и достигали оптимума на фоне $N_{24}P_{12}K_{12}$ и избытка на $N_{36}P_{18}K_{18}$, а чистая продуктивность фотосинтеза (ЧПФ) при этом снижалась.

Сортовые различия по величине этих признаков на одном фоне питания были в пределах ошибки опыта. Полученные результаты свидетельствуют

о том, что продуктивность фотосинтеза посевов на оптимальном и высоком фонах NPK у интенсивных и экстенсивных сортов определяется приходом энергии ФАР и доступностью $CO_2$ атмосферы. На среднем фоне удобрений она уменьшается из-за недостатка листовой поверхности посева, поглощающей только часть приходящей энергии ФАР.

Интегральным показателем фотосинтетической деятельности посевов исследуемых сортов риса является величина образования их надземной биомассы на единице площади. Данные показателей представлены на рисунке 1.

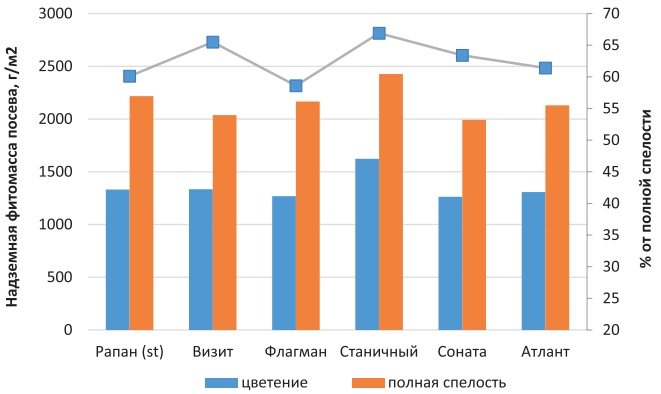


**Рисунок 1. Надземная масса посевов риса на фоне $N_{24}P_{12}K_{12}$**

Повышенная интенсивность её образования наблюдается в фазы выхода в трубку, цветения, образования и налива зерновок и в значительной степени зависит от фона минерального питания, определяющего густоту стеблестоя и надземную фитомассу посева.

На недостаточном фоне минерального питания ($N_{12}P_6K_6$) надземная масса у всех сортов была значительно меньше, чем на оптимальном и высоком фонах удобрений ($N_{24}P_{12}K_{12}$ и $N_{36}P_{18}K_{18}$). Сортовые различия по её величине на 1 м$^2$ на одном фоне питания были в пределах ошибки опыта.

Важным показателем продуктивности сортов риса разного типа является количество колосков на метелках, на единице площади в фазу цветения и доля их реализации в число зерновок в период созревания. Общее количество колосков в метелках на 1 м$^2$ интенсивных сортов было значительно больше, чем у экстенсивных. Однако не все колоски оказались фертильными, в интенсивных генотипах их доля составила до 89 – 87 %, а в экстенсивных – 95 – 93 %. Выяснение физиологических причин этих различий представляет большой интерес при изучении особенностей продукционного процесса разных типов сортов риса, определяющих их разную урожайность. Эти причины изучены пока недостаточно. Однако на основании уже полученных нами косвенных данных [1], можно предполагать, что они связаны с разным обеспечением развивающихся структур метелки исходными метаболитами и при их недостатке уменьшается число колосков и зерен в плодоносе, при этом доля реализации колосков повышается.

Характер распределения ассимилятов по развивающимся органам побега разных типов сортов риса в период выхода в трубку оказывает значительное влияние на неодинаковое развитие вегетативных и генеративных органов, приводящее к разной доле стеблей и метелок в общей надземной биомассе посева в период цветения, что является главной причиной неодинаковой величины коэффициента хозяйственной эффективности фотосинтеза ($K_{хоз}$, %) – доли зерна в общей надземной массе посева в полную спелость (табл. 1).

**Таблица 1. Доля органов побега сортов риса в фазу цветения и их связь с $K_{хоз}$ на фоне $N_{24}P_{12}K_{12}$**

| Сорт | $K_{хоз}$, % | Доля стебля в массе побега в цветение, % | Доля метелки в массе побега в цветение, % | Доля листьев в массе побега в цветение, % |
|---|---|---|---|---|
| Рапан (st) | 48,5 | 63,7 | 16,5 | 19,8 |
| Визит | 50,1 | 63,6 | 16,5 | 19,9 |
| Флагман | 48,1 | 61,7 | 16,0 | 21,8 |
| Станичный | 37,9 | 68,5 | 15,9 | 15,6 |
| Соната | 40,9 | 66,0 | 15,1 | 18,9 |
| Атлант | 37,8 | 68,0 | 12,7 | 19,3 |
| $K_{хоз}$ коррелирует | | -0,93±0,18 | 0,68±0,18 | 0,70±0,18 |

Величина $K_{хоз}$ интенсивных сортов Рапан, Визит, Флагман на всех трех фонах минерального питания заметно выше, чем экстенсивных – Станичного, Сонаты и Атланта, что явилось причиной пониженной урожайности последних. При этом Кхоз является важным показателем, характеризующим донорно-акцепторные отношения и имеющим тесную связь с урожайностью сортов.

На фоне $N_{24}P_{12}K_{12}$ величина $K_{хоз}$ имеет высокую отрицательную связь с долей стебля в побеге и положительную связь с долей метелки в общей его биомассе в период цветения.

Для оценки степени развития посевов, обычно используют их вегетационные индексы [8]. Наряду с площадью ассимиляционной поверхности и содержанием хлорофилла в растениях, вегетацион-

ный индекс является оптико-биологической характеристикой. В связи с этим встаёт необходимость по выявлению механизмов и закономерностей взаимосвязи этих признаков, что позволит с большей достоверностью получать информацию о физиологическом состоянии и продукционном процессе сельскохозяйственных культур, используя данные дистанционного зондирования.

Исследованы оптико-биологические свойства растений пшеницы, что позволяет характеризовать состояние их посевов [3]. Используется БВС и на посевах риса для определения потребности в удобрениях [14]. Однако не исследованы оптико-биологические свойства разных генотипов риса с целью прогнозирования состояния их посевов. Изучение этих вопросов имеет важное значение для общей физиологии растений и особенно для физиологии, селекции и технологии возделывания риса.

На оптимальном и высоком фоне минерального питания самая высокая интенсивность образования надземной фитомассы наблюдается у сортов Флагман и Атлант, несколько отличающихся по величине ИЛП посевов от других сортов. Это указывает на то, что высокие темпы образования надземной массы у данных сортов, вероятнее всего, связанны с более выгодным расположением листьев в пространстве, занимаемым посевом, а также с повышенной интенсивностью фотосинтеза. Установлена положительная связь между величиной фитомассы в период кущения и вегетационным индексом ( r = 0,95±0,07).

На внесение возрастающих доз удобрений посевы риса отзываются, прежде всего, ростом листовой поверхности, обусловленным увеличением размеров листьев у побегов и повышением их числа на единице площади в результате кущения растений. Оптимальный уровень азотного питания растений, увеличивая содержание хлорофилла в листьях и интенсивность фотосинтеза, одновременно повышает и оптимальную величину ИЛП. В нашем опыте растения риса не достигли своей оптимальной величины ИЛП из-за возраста растений (6 листьев), но ИЛП имеет тесную связь с вегетационным индексом r = 0,90±0,09, $r^2$ = 0,84 (рис. 2).

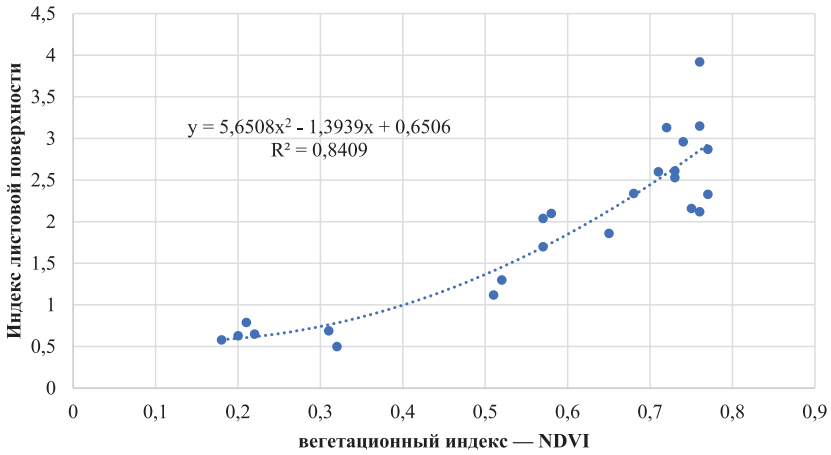


**Рисунок 2. Взаимосвязь индекса листовой поверхности с NDVI в фазу кущения риса**

Одним из важных жизнеобеспечивающих факторов внешней среды для сортов риса является оптимальное обеспечение их посевов азотом в онтогенезе, о котором можно судить по содержанию этого элемента в надземной массе. На фоне $N_{24}P_{12}K_{12}$ концентрация азота в растениях была в пределах оптимума [1]. Полученные данные согласуются с показаниями N-тестера, определяющего интенсивность окраски листьев в период вегетации растений, и его данные тесно связаны с величинами ИЛП и фиомассой.

Значения вегетационного индекса в фазу кущения, полученные с помощью спектрометра GreenSeeker, варьировали от 0,18 до 0,77 единиц в зависимости от фона минерального питания и имели положительную связь с признаками фотосинтетической деятельности растений и их азотным статусом. Получено семь уравнений линейной регрессии, позволяющих оценить степень связи урожайности с вегетационным индексом NDVI (табл. 2).

Оптимальная величина вегетационного индекса находится в диапазоне 0,68-0,76 единиц и соответствует содержанию азота в надземной массе в пределах 3,97-4,41 %. Эти величины NDVI и содержание азота следует считать оптимальными для начальной фазы кущения риса, когда развиваются боковые продуктивные побеги, и использовать их в растительной диагностике азотного питания растений в начале их кущения.

**Таблица 2. Уравнения зависимости урожайности сортов риса от NDVI**

| Сорт | Уравнение | Уровень значимости коэффициента 1 | Уровень значимости коэффициента 2 | $R^2$ | p-value |
|---|---|---|---|---|---|
| Рапан st | Prod = 1,3536NDVI + 0.1854 | 0.0582 | 0,4762 | 0,8870 | 0,05822 |
| Визит | Prod = 1,0638NDVI + 0.2750 | 0,0646 | 0,2629 | 0,8750 | 0,06460 |
| Флагман | Prod = 1,35389NDVI + 0.0259 | 0,0399 | 0,9083 | 0,9217 | 0,03994 |
| Станичный | Prod = 0.91099NDVI + 0.2615 | 0,0170 | 0,0737 | 0,9663 | 0,01700 |
| Соната | Prod = 0.8989NDVI + 0.3087 | 0,1190 | 0,2780 | 0,7760 | 0,11910 |
| Атлант | Prod = 0.6861NDVI + 0.3689 | 0,0910 | 0,1150 | 0,8263 | 0,09100 |
| Регрессия по всем сортам | | | | | |
| – | Prod = 1,07886NDVI + 0,2377 | 4,07e-08 | 0,00828 | 0,7526 | 4.07e-08 |

*Примечание: Prod – урожайность сортов риса; NDVI – значение вегетационного индекса*

Кроме того, проведена верификация оптико-биологических свойств растений на тестовом поле № 7 (площадь 13,75 га, ОПУ «ФНЦ риса») для оптимизации продукционного процесса риса (с помощью БВС с мультиспектральной камерой и данных спутника). Предварительно растровые данные по вегетационному индексу и урожайности были совмещены в единой таблице, где каждая строка содержит информацию о географических координатах текущего пикселя, значения NDVI (3 срока) по данным БВС, спутника Sentinel и информация об урожайности. Гистограммы, отражающие пространственные распределения вегетационного индекса и урожайности исследуемого поля № 7, приведены на рисунке 3.

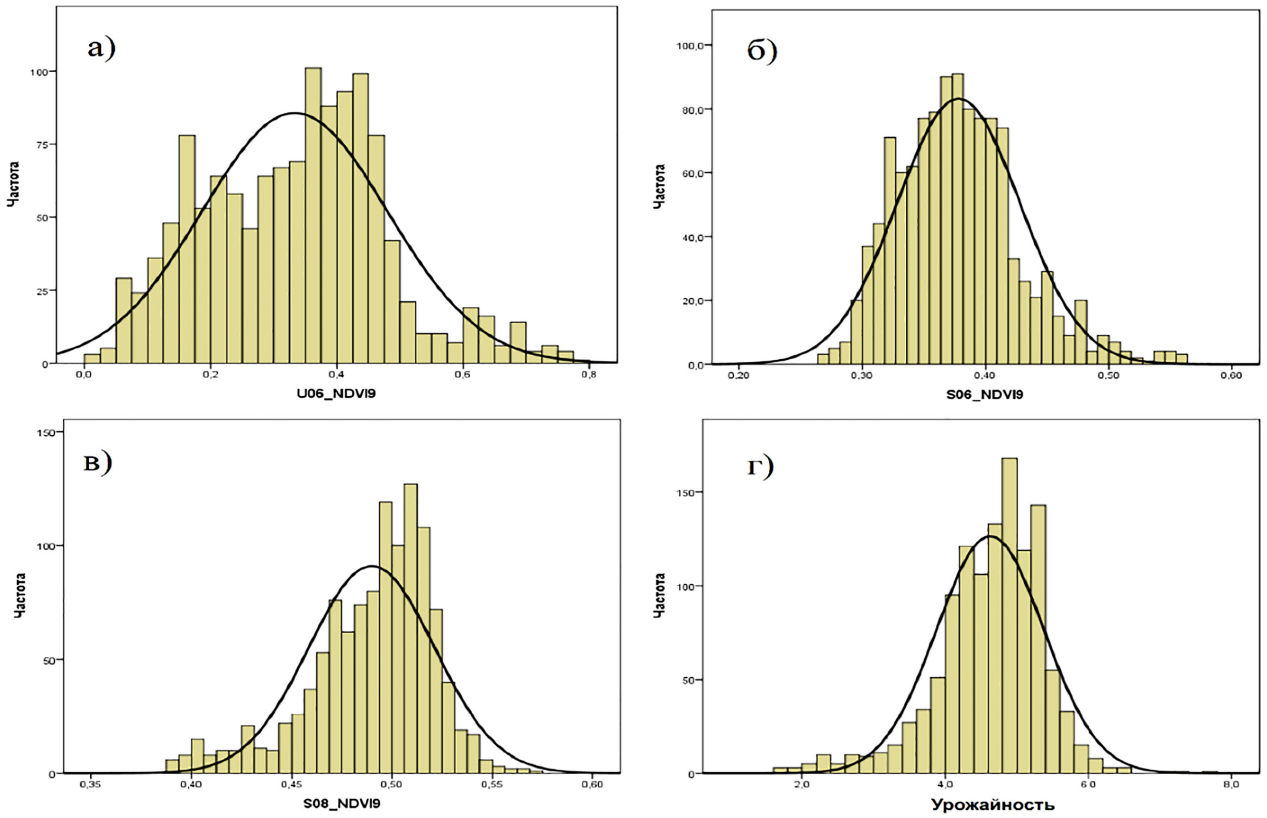


**Рисунок 3. Гистограммы распределения вегетационного индекса NDVI по участку №7: а) по данным БВС (06.06.2019), б), в) по данным спутника Sentinel-2A на (05.06.2019) и (29.08.2019) и г) данные урожайности (14.09.2019)**

Из краткого обзора вида частотного распределения переменных можно сделать следующие предварительные выводы. На поле 7 (сорт Фаворит) гистограммы, отражающие распределение вегетационного индекса по данным съемки с БВС и спутника Sentinel-2A в начале июня, объединяет их многомодальность. Последнее свойство может свидетельствовать о наличии специфических микромасштаб-

ных факторов, повлиявших на пространственное распределение посевов риса внутри поля в июне. В конце августа характер распределения NDVI меняется, что подтверждается и данными измерений: гистограмма становится близкой к унимодальной, при этом ей присуща некоторая отрицательная асимметрия (левая сторона вытянута). Совпадение форм гистограмм, отражающих распределение NDVI и урожайности, подтвердилис. Апробацию экспериментальной методики мониторинга посевов в 2019 г., опирающейся на средства дистанционного зондирования тестовых участков, набор исходных пространственных данных, средства геоинформационного моделирования и статистический аппарат, следует, на наш взгляд, признать удовлетворительной. Полученные результаты позволяют совершенствовать методику мониторинга состояния посевов.

**Выводы**

Таким образом, особенностью продукционного процесса разных по урожайности сортов риса является характер распределения образующихся в процессе фотосинтеза ассимилятов по органам растения, приводящий к разной доле стеблей и метелок в общей надземной биомассе посевов в период выхода в трубку, что является причиной неодинаковой величины уборочного индекса ($K_{хоз}$) – доли зерна в общей надземной массе посева. Величины $K_{хоз}$ интенсивных сортов Рапан, Визит, Флагман значительно выше, чем экстенсивных – Сонаты, Атланта и Станичного, что и обусловило повышенную урожайность первых генотипов. Более значительная часть ассимилятов экстенсивных сортов использовалась на образование массивных стеблей, что обусловило повышенную устойчивость их посевов к полеганию и привело к понижению уборочного индекса и урожайности этих генотипов. Для создания высокопродуктивного посева необходима регуляция образования продуктивных органов, составляющих структуру урожая, путем определенного (оптимального) азотного питания растений. Оптико-биологическая диагностика, как и морфо-биометрическая в сочетании с химической, позволяет ответить на вопрос о том, как формируется урожай в зависимости от уровня азотного питания растений, установить недостаток или избыток азота на отдельных этапах онтогенеза, на основе чего разработать наиболее рациональную схему внесения азотных удобрений под рис. Полученные уравнения регрессии позволяют разработать методику прогнозирования урожая риса с использованием оптических характеристик растений риса.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ 19-416-230021.

**ЛИТЕРАТУРА**

1. Воробьев, Н.В. Физиологические основы минерального питания риса / Н.В. Воробьев, М.А. Скаженник. – Краснодар, 2005. 194 с.

2. Мокроносов, А.Т. Взаимосвязь фотосинтеза и функций роста // Фотосинтез и продукционный процесс / А.Т. Мокроносов. – М.: Наука, 1988. – С. 109 – 121.

3. Петрушин, А.Ф. Опыт использования БПЛА для мониторинга состояния сельскохозяйственных земель / А.Ф. Петрушин, Е.П. Метрофанов // Применение средств дистанционного зондирования земли в сельском хозяйстве: материалы Всероссийской научной конференции (с международным участием). – Санкт-Петербург, 2015. – С. 81 – 84.

4. Скаженник, М.А. Методы физиологических исследований в рисоводстве / М.А. Скаженник, Н.В. Воробьев, О.А. Досеева. – Краснодар, 2009. – 24 с.

5. Шеуджен, А.Х. Агрохимия. Ч. 2. Методика агрохимических исследований: учеб. пособие / А.Х. Шеуджен, Т.Н. Бондарева. – Краснодар: КубГАУ, 2015. – 703 с.

6. Шеуджен, А.Х. Агрохимический сервис: учебное пособие / А.Х. Шеуджен, Т.Н. Бондарева. – Краснодар: КубГАУ, 2019. – 21 с.

7. Якушев, В.В. Точное земледелие: теория и практика / В.В. Якушев. – СПб.: ФГБНУ АФИ, 2016. – 364 с.

8. Якушев, В.П. Дистанционные методы и средства в информационном обеспечении точного земледелии: состояние и перспективы / В.П. Якушев // Применение средств дистанционного зондирования Земли в сельском хозяйстве: материалы II Всероссийской научной конференции с международным участием. Санкт-Петербург. 26 – 28 сентября 2018. – СПб.: ФГБНУ АФИ, 2018. – С. 3 – 11. DOI: 10/25695/agrophisica.2018.2.18484

9. Bendig, J. Estimating biomass of barley using crop surface models (csms) derived from uav-based rgb imaging. / J. Bendig, A. Bolten, S. Bennertz [et al,] // Remote Sens. – 2014. – V. 6(11). – P. 10395 – 10412.

10. Bendig, J. Combining UAV-based plant height from crop surface models, visible, and near infrared vegetation indices for biomass monitoring in barley /J. Bendig, K. Yu, H. Aasen [et al.] // Int. J. Appl. Earth Obs. Geoinf. – 2015 – V. 39. – P. 79 – 87.

11. Duan, Bo Remote Estimation of Rice Yield With Unmanned Aerial Vehicle (UAV) Data and Spectral Mixture Analysis / Bo Duan, Shenghui Fang, Renshan Zhu [et al.] // Frontiers in Plant Science. – Vol. – 10. – 2019. [Электронный ресурс]. URL: https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fpls.2019.00204/full (дата обращения 12.12.2019)

12. Geipel, J. Combined spectral and spatial modeling of corn yield based on aerial images and crop surface models acquired with an unmanned aircraft system /J. Geipel, J. Link, W. Claupein // Remote Sens. – 2014. – V. 6 (11). – P. 10335 – 10355.

13. Noureldin, N.A. Rice yield forecasting models using satellite imagery in Egypt /N.A. Noureldin, M.A. Aboelghar, H.S. Saudy [et.al.] // Egypt. J. Remote Sens. Space Sci. – 2013. – V. 16. – P. 125 – 131.

14. Rizky, Aidil P.P. Multi-copter development as a tool to determine the fertility of rice plants in the vegetation phase using aerial photos / Aidil P.P. Rizky, Mohamad S. Liyantono //Procedia Environmental Sciences, 2015. – V. 24. – P. 258 – 265.

15. Swain, K.C. Adoption of an unmanned helicopter for low-altitude remote sensing to estimate yield and total biomass of a rice crop / K.C. Swain, S.J. Thomson, H.P/W. Jayasuriya // Trans. Asabe. – 2010. – Vol. 53(1), – P. 21 – 27.

16. Teoh, C.C. Rice yield estimation using below cloud remote sensing images acquired by unmanned airborne vehicle system / C.C. Teoh, N.M. Nadzim, M.J.M. Shahmihaizan [et al.] // Int. J. Adv. Sci. Eng. Inf. Technol. – 2016. – V. 6(4). – P. 516 – 519.

17. Verger, A. Green area index from an unmanned aerial system over wheat and rapeseed crops / A. Verger, N. Vigneau, C. Cheron [et al.] // Remote Sens. Environ. – 2014. – V. 152. – P. 654 – 664.

18. Zhou, X. Predicting grain yield in rice using multi-temporal vegetation indices from UAV-based multispectral and digital imagery / X. Zhou, H.B. Zheng, X.Q. Xu [et al.] // ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing. – 2017. – Vol. 130. – P. 246 – 255.

## REFERENCES

1. Vorobiev, N.V. Physiological basis of rice mineral nutrition / N.V. Vorobiev N.V., M.A. Skazhennik. – Krasnodar, 2005. 194 p.

2. Mokronosov, A.T. The relationship of photosynthesis and growth functions // Photosynthesis and production process / A.T. Mokronosov. – M .: Nauka, 1988. – p. 109 – 121.

3. Petrushin, A.F. Experience of using UAVs for monitoring the state of agricultural lands / A.F. Petrushin, E.P. Metrofanov // Application of land remote sensing means in agriculture: materials of the All-Russian scientific conference (with international participation). – St. Petersburg, 2015. – P. 81 – 84.

4. Skazhennik, M.A. Methods of physiological research in rice growing / M.A. Skazhennik, N.V. Vorobiev, O. A. Doseeva. – Krasnodar, 2009 . – 24 p.

5. Sheudzhen, A.Kh. Agrochemistry. Part 2. Technique of agrochemical research: textbook/ A.Kh. Sheudzhen, T.N. Bondareva. – Krasnodar: KubSAU, 2015 . – 703 p.

6. Sheudzhen, A.Kh. Agrochemical service: textbook / A.Kh. Sheudzhen, T.N. Bondareva. – Krasnodar: KubSAU, 2019. – 21 p.

7. Yakushev, V.V. Precision farming: theory and practice / V.V. Yakushev. – SPb.: FGBNU AFI, 2016. – 364 p.

8. Yakushev, V.P. Remote methods and means in information support of precision farming: state and prospects / V.P. Yakushev // Application of Land Remote Sensing Means in Agriculture: Materials of the II All-Russian Scientific Conference with International Participation. St. Petersburg. September 26 – 28, 2018. – SPb: FGBNU AFI, 2018. – p. 3 – 11. DOI: 10/25695/agrophisica.2018.2.18484

9. Bendig, J. Estimating biomass of barley using crop surface models (csms) derived from uav-based rgb imaging. / J. Bendig, A. Bolten, S. Bennertz [et al,] // Remote Sens. – 2014. – V. 6(11). – P. 10395 – 10412.

10. Bendig, J. Combining UAV-based plant height from crop surface models, visible, and near infrared vegetation indices for biomass monitoring in barley /J. Bendig, K. Yu, H. Aasen [et al.] // Int. J. Appl. Earth Obs. Geoinf. – 2015 – V. 39. – P. 79 – 87.

11. Duan, Bo Remote Estimation of Rice Yield With Unmanned Aerial Vehicle (UAV) Data and Spectral Mixture Analysis / Bo Duan, Shenghui Fang, Renshan Zhu [et al.] // Frontiers in Plant Science. – Vol. 10. – 2019. [Электронный ресурс]. URL: https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fpls.2019.00204/full (дата обращения 12.12.2019)

12. Geipel, J. Combined spectral and spatial modeling of corn yield based on aerial images and crop surface models acquired with an unmanned aircraft system /J. Geipel, J. Link, W. Claupein // Remote Sens. – 2014. – V. 6(11). – P. 10335 – 10355.

13. Noureldin, N.A. Rice yield forecasting models using satellite imagery in Egypt /N.A. Noureldin, M.A. Aboelghar, H.S. Saudy [et.al.] // Egypt. J. Remote Sens. Space Sci. – 2013. – V. 16. – P. 125 – 131.

14. Rizky, Aidil P.P. Multi-copter development as a tool to determine the fertility of rice plants in the vegetation phase using aerial photos / Aidil P.P. Rizky, Mohamad S. Liyantono //Procedia Environmental Sciences, 2015. – V. 24. – P. 258 – 265.

15. Swain, K.C. Adoption of an unmanned helicopter for low-altitude remote sensing to estimate yield and total biomass of a rice crop / K.C. Swain, S.J. Thomson, H.P/W. Jayasuriya // Trans. Asabe. – 2010. – Vol. 53(1), – P. 21 – 27.

16. Teoh, C.C. Rice yield estimation using below cloud remote sensing images acquired by unmanned airborne vehicle system / C.C. Teoh, N.M. Nadzim, M.J.M. Shahmihaizan [et al.] // Int. J. Adv. Sci. Eng. Inf. Technol. – 2016. – V. 6(4). – P. 516 – 519.

17. Verger, A. Green area index from an unmanned aerial system over wheat and rapeseed crops / A. Verger, N. Vigneau, C. Cheron [et al.] // Remote Sens. Environ. – 2014. – V. 152. – P. 654 – 664.

18. Zhou, X. Predicting grain yield in rice using multi-temporal vegetation indices from UAV-based multispectral and digital imagery / X. Zhou, H.B. Zheng, X.Q. Xu [et al.] // ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing. – 2017. – Vol. 130. – P. 246 – 255.

**Михаил Александрович Скаженник**
Зав. лабораторией физиологии
E-mail: sma_49@mail.ru

**Mikhail Alexandrovich Skazhennik**
Head laboratory of physiology
E-mail: sma_49@mail.ru

**Сергей Валентинович Гаркуша**
Директор
E-mail: arri_kub@mail.ru

**Виктор Савельевич Ковалев**
Зам. директора
E-mail: arri_kub@mail.ru

**Виталий Николаевич Чижиков**
Зав. лабораторией агрохимии
и почвоведения
E-mail: agrohim-vt@yandex.ru

**Татьяна Семеновна Пшеницына**
Ст. науч. сотр. лаб. физиологии,
E-mail: sma_49@mail.ru

Все: ФГБНУ «ФНЦ риса»
350921, Россия, г. Краснодар, пос. Белозерный, 3
E-mail: arri_kub@mail.ru

**Алексей Федорович Петрушин**
Ведущий науч. сотрудник
E mail: alfiks@mail.ru
ФГБНУ «АФИ»
195220, Санкт Петербург,
Гражданский проспект, 14

**Евгений Николаевич Киселев**
доцент «Кубанский государственный университет»
E-mail: enkiselev@gmail.com
350040 г. Краснодар, ул. Ставропольская, 149

**Sergey Valentinovich Garkusha**
Director
E-mail: arri_kub@mail.ru

**Victor Savelevich Kovalyov**
Deputy director
E-mail: arri_kub@mail.ru

**Vitaly Nikolaevich Chizhikov**
Head of the Laboratory of Agrochemistry
and Soil Science
E-mail: agrohim-vt@yandex.ru

**Tatyana Semenovna Pshenitsyna**
Senior Researcher of the Laboratory of Physiology
E-mail: sma_49@mail.ru

All: FSBSI «FSC of rice»
3, Belozerny, Krasnodar, 350921, Russia
E-mail: arri_kub@mail.ru

**Alexey Fyodorovich Petrushin**
Leading scientist employee
E mail: alfiks@mail.ru
FSBSI "AFI" Agrophysical Research Institute
195220, Saint-Petersburg 14,
Grazhdanskiy pr., Russia

**Evgeny Nikolaevich Kiselev**
Associate Professor FSBEI of Higher Education
«Kuban State University»
E-mail: enkiselev@gmail.com
149, Stavropolskay st., Krasnodar, 350040

DOI: 10.33775/1684-2464-2020-48-3-38-44
УДК 631.8: 633.18

**И.Е. Белоусов,** канд. с.-х. наук,
г. Краснодар, Россия

# ИЗМЕНЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОГО ПЛОДОРОДИЯ РИСОВЫХ ПОЧВ И ИХ ОБЕСПЕЧЕННОСТИ ЭЛЕМЕНТАМИ МИНЕРАЛЬНОГО ПИТАНИЯ ПРИ ВОЗДЕЛЫВАНИИ РИСА В СЕВООБОРОТЕ

*Представлены результаты изучения изменения эффективного плодородия рисовых почв в севооборотах с различной степенью насыщенности риса, проанализировано изменение уровня их обеспеченности основными элементами минерального питания по различным предшественникам риса. Исследования проводились в условиях стационарного и производственного опытов на типах рисовых почв (лугово-черноземная и луговая), различающихся уровнем естественного плодородия, в севооборотах с клином многолетних трав и без их выращивания. Почвенные пробы отбирались по методике, адаптированной для рисовой оросительной системы, их анализ выполнялся по общепринятым методикам. Показано, что по обеим типам почв наилучшая обеспеченность легкогидролизуемым азотом была отмечена после выращивания сои. Общая тенденция для них следующая: в последовательности «соя – АМП – рис» доля почв с повышенной и высокой обеспеченностью остается практически неизменной. При этом наблюдается снижение процента почв с очень высокой обеспеченностью, и увеличение количества среднеобеспеченных почв. Обеспеченность почв подвижными формами фосфора уменьшалась в последовательности «соя – АМП – рис». В целом, в указанном звене севооборота доля площадей с низким содержанием фосфора на лугово-черноземной почве увеличилась с 57,50 до 62,65 %, а на луговой – с 89,62 до 96,73 %. Не была выявлена зависимость обеспеченности рисовых почв калием от поля севооборота. в целом, она была, в основном, низкая и средняя. Показано, что пополнение почвы легкогидролизуемыми соединениями азота и подвижным фосфором происходит в основном в богарном звене рисового севооборота, а в результате выращивания риса их содержание снижается.*

***Ключевые слова:*** *рис, рисовые почвы, эффективное плодородие, обеспеченность легкогидролизуемым азотом, подвижным фосфором и калием, рисовый севооборот, предшественник.*

# CHANGING THE EFFECTIVE FERTILITY OF RICE SOILS AND THEIR AVAILABILITY OF MINERAL NUTRITION IN CROP CULTIVATION

*The results of the study of changes in the effective fertility of rice soils in crop rotations with varying degrees of rice saturation are presented, and the change in their level of supply of basic mineral nutrition for different precursors of rice has been analyzed. The studies were carried out in the conditions of stationary and production experiments on the types of rice soils (meadow-black soil and meadow), differing levels of natural fertility, in crop rotations with a wedge of perennial herbs and without their cultivation. Soil samples were selected according to the method adapted for the rice irrigation system, their analysis was carried out according to conventional methods. It is shown that on both types of soils the best availability of easily hydrolyzed nitrogen was noted after soybean cultivation. The general trend for them is the following: in the sequence of "soy – AMP – rice" the share of soils with increased and high security remains almost unchanged. At the same time, there is a decrease in the percentage of soils with very high security, and an increase in the number of medium-sized soils. The availability of soils by mobile forms of phosphorus decreased in the sequence of "soy – AMP – rice." In general, in the specified link of crop rotation the share of areas with low phosphorus content on meadow-black soil increased from 57.50 to 62.65%, and on meadow – from 89.62 to 96.73%. The dependence of potassium on the field of crop rotation was not revealed. overall, it was mostly low and medium. It has been shown that the replenishment of soil by lightly hydrolyzized nitrogen compounds and mobile phosphorus occurs mainly in the rich link of rice crop rotation, and as a result of rice cultivation their content is reduced.*

***Keywords:*** *rice, rice soils, efficient fertility, availability of easily hydrolyzed nitrogen, movable phosphorus and potassium, rice crop rotation, precursor.*

## Введение

Возделывание риса оказывает существенное влияние на почву и её важнейшее свойство – плодородие. Уровень плодородия почвы характеризуется содержанием химических и физических элементов, их соотношением, формой связей между ними. Производительная способность почв за короткие промежутки времени (эффективное плодородие) или за более длительный период (потенциальное плодородие) может быть определена на основании свойств и режимов почв и описана с помощью оценочных показателей.

Результаты исследований ФНЦ риса позволили установить, что почвы, занятые под культуру риса, за определённый период времени трансформируются в почвы, которые могут быть выделены как почвы рисовых полей или «рисовые» почвы.

В результате возделывания риса почва обедняется легкогидролизуемыми соединениями азота, в ней снижаются общие запасы органического вещества

и гумуса. Это происходит сравнительно быстро в первые 4 – 5 лет после вовлечения почвы под культуру риса. В дальнейшем интенсивность трансформации плодородия замедляется, и уменьшение содержания органического вещества происходит более низкими темпами. Как показали наши исследования, за 15 лет содержание гумуса в лугово-черноземной почве при внесении минеральных удобрений снизилось с 2,95 до 2,87 % [2]. Этот процесс обусловлен, в том числе, исключением из системы удобрения риса периодического внесения органических удобрений, уменьшением (или отсутствием) в структуре рисового севооборота клина многолетних трав. Содержание валовых форм основных элементов минерального питания практически не изменилось (азот) или несколько возросло (фосфор и калий).

Таким образом, изменение показателей потенциального плодородия происходит крайне медленно (при условии соблюдения технологии возделывания сельскохозяйственных культур) и может быть выявлено при анализе многолетних данных в условиях стационарного опыта. Поэтому, изучение направленности изменения эффективного плодородия почв, которое можно проследить в годовом цикле и корректировать при помощи технологических приемов, более информативно для оценки его текущего состояния. При этом наиболее объективные результаты дает изучение их изменения в условиях рисового севооборота в многолетнем цикле (не менее одной ротации). Такой подход обладает следующими преимуществами: изменение показателей эффективного плодородия прослеживается в динамике на одних и тех же участках на протяжении нескольких лет. При этом можно определить качественные и количественные изменения как в рисовом, так и богарном звене севооборота, т.е. определить влияние насыщения севооборота рисом с последующей сменой окислительно-восстановительных условий при возделывании суходольных культур.

Минеральное питание растений риса представляет собой сложный процесс поглощения питательных элементов и их распределения [1]. Для формирования урожая 7 т/га рису, с учетом сортовых различий, требуется 160 – 180 кг азота, 80 – 90 кг фосфора и 210 – 230 кг калия. Даже на очень плодородных почвах обеспечение этой культуры таким количеством элементов питания и в требуемые сроки не может быть достигнуто за счет мобилизации почвенных запасов. Поэтому азотные, фосфорные и калийные удобрения являются важным средством повышения урожая. При этом они должны не только восполнять общий недостаток доступных растениям элементов питания, но и устранять несоответствие между естественно складывающимися темпами мобилизации элементов питания в почве и потребностями в них растений риса в течение периода вегетации.

Растения риса могут поглощать азот из почвы, как в аммонийной, так и нитратной форме [12]. В силу высокой подвижности этих соединений по их содержанию нельзя судить о степени обеспеченности почвы азотом. В основном, почвенный азот находится в форме органических веществ. При благоприятных условиях часть органического азота минерализуется и пополняет запас усвояемых растениями форм этого элемента в почве. Содержание легкогидролизуемого азота (минеральный и легкоминерализующийся органический азот) зависит, в первую очередь, от наличия в почве гумуса и общего азота и слабо изменяется под воздействием внешних факторов в межвегетационный период. Поэтому данный показатель служит критерием обеспеченности почв усвояемыми формами азота.

Преобладающее количество фосфора в почве содержится в виде минеральных соединений, главным образом фосфорнокислых солей кальция, магния, алюминия и железа. Различные фосфаты имеют неодинаковую доступность для усвоения растениями. Наиболее доступны одно- и двузамещенные фосфаты щелочных и щелочноземельных металлов. Менее усвояемы фосфаты полуторных окислов и трикальцийфосфат [3]. Степень доступности соединений фосфора зависит от биологических особенностей культуры, реакции почвенного раствора, влажности почвы, содержания и соотношения в ней различных катионов и анионов.

Наиболее доступными для растений риса формами калия в почве являются водорастворимая и подвижная. В сумме их количество составляет не более 5 – 6 % от общего содержания калия в почве.

Таким образом, для оценки уровня эффективного плодородия необходимо определение ряда показателей. При этом необходимо учитывать тип рисовой почвы, а также предшественник риса, т.к. эти факторы в значительной степени определяют обеспеченность почвы элементами минерального питания [4, 5, 6].

**Цель исследований**

Определить изменение обеспеченности рисовых почв элементами минерального питания при возделывании риса в севооборотах с различной степенью насыщенности.

**Материалы и методы**

С целью определения влияния на обеспеченность рисовых почв основными элементами минерального питания культур рисового севооборота, были отобраны и проанализированы почвенные пробы на лугово-черноземной и луговой рисовых почвах на общей площади 2264 га. Почвенные пробы отбирались из слоя 0 – 20 см тростевым буром. Методика отбора почвенных проб адаптирована для рисовой системы (смешанная проба с каждого участка, маршрут отбора учитывает пестроту плодородия). В них определялись гумус общий по Тюрину [8]; азот легкогидролизуемый по методу Тюрина и Кононовой в модификации Кудеярова [10]; обменный аммоний – феноловым методом в модификации Кудеярова; нитраты – по методу Грандваль-Ляжу; фосфор подвижный – по Чирикову; калий подвижный – по Чирикову [8].

Исследования проводились на двух типах рисовых почв, различающихся между собой уровнем естественного плодородия.

***Рисовые лугово-черноземные почвы*** сформированы на деградированных лессовидных и аллювиальных породах преимущественно тяжелого гранулометрического состава. Это наиболее плодородные почвы, т. к. изначально имеют большую мощность гумусовых горизонтов, а по валовым запасам гумуса мало отличаются от черноземов. Данные почвы характеризуются колебаниями мощности гумусового профиля от 100 до 130 см, реже – до 80 см. Преобладают глинистые разновидности с содержанием физической глины в горизонте "А" от 63 до 73 %, ила 35 – 44 %, пыли – 45 – 58 %. В тяжелосуглинистых почвах эти показатели составляют 47, 33 и 44 %, соответственно.

Содержание гумуса в верхнем горизонте рисовых лугово-черноземных почв колеблется от 3 до 4 % и несколько выше. Валовые запасы гумуса в горизонтах А+В варьируют от 300 у среднемощных видов до 450–600 т/га – у мощных и сверхмощных. Валовых азота и фосфора в верхнем горизонте содержится 0,14–0,26 и 0,13–0,20 % соответственно. Обеспеченность подвижными элементами минерального питания достаточно высокая [9].

***Рисовые луговые почвы*** расположены на понижено-равнинных элементах рельефа. Они сформированы на аллювиальных отложениях глинистого и суглинистого гранулометрического состава. Мощность гумусовых горизонтов луговых почв колеблется от среднемощного (50–80 см) до мощного (80–100 см). Признаки гидроморфизма проявляются уже в пахотном горизонте, достигая максимума в почвообразующей породе. Водно-физические свойства луговых почв довольно разнородны: тяжелые по гранулометрическому составу почвы отличаются высокой плотностью сложения, слитизированностью, пониженной фильтрационной способностью; почвы легкого гранулометрического состава на суглинистых породах обладают повышенной водоотдачей.

Содержание гумуса варьирует в $А_{пах}$ в диапазоне – от 2,5 до 5,0 %; его валовые запасы колеблются от 200 до 400 т/га. Количества валовых азота и фосфора составляют 0,20 – 0,25 и 0,18 – 0,20 % соответственно. Почвы, в основном, хорошо обеспечены элементами минерального питания [9].

## Результаты и обсуждение

Для раскрытия потенциала возделываемых в производстве новых техногенно-интенсивных сортов риса важно своевременное удовлетворение потребности растений в необходимых элементах минерального питания. При этом дозы вносимых минеральных удобрений должны быть увязаны не только с сортовыми особенностями, но и обеспеченностью рисовых почв основными элементами минерального питания [11].

Как показали наши исследования, обеспеченность почвы легкогидролизуемым азотом сильно менялась в зависимости не только от типа почвы, но и предшественника риса [4]. По обеим типам почв наилучшая обеспеченность легкогидролизуемым азотом была отмечена после выращивания сои. Так, на лугово-черноземной почве по этому предшественнику 90 % площадей имели высокую и очень высокую обеспеченность. На луговой почве 97,5 % имели повышенную и высокую обеспеченность.

Примерно такие же закономерности были выявлены для площадей, занятых под агромелиоративное поле. Если на лугово-черноземной почве количество территорий, характеризовавшихся высокой обеспеченностью было примерно таким же, как и после сои, то на луговой почве их количество снизилось почти в 1,5 раза (до 41,66 с 58,85 %). В то же время увеличилась доля почв со средней обеспеченностью, особенно на менее плодородной луговой почве (с 2,4 до 28,7 %).

Для наименее благоприятного предшественника (рис) распределение территорий по обеспеченности азотом было следующим. На лугово-черноземной почве на долю хорошо обеспеченных почв приходилось чуть больше 80 % территории, зато доля среднеобеспеченных почв возросла до 11,83 %, прежде всего, за счет снижения площадей, имеющих очень высокую обеспеченность. Общая тенденция для этого типа почв следующая: в последовательности «соя – АМП – рис» доля почв с повышенной и высокой обеспеченностью остается практически неизменной. Зато наблюдается снижение доли почв с очень высокой обеспеченностью, и увеличение количества среднеобеспеченных почв.

На луговой почве по предшественнику «рис» количество территорий, характеризующихся средней обеспеченностью, практически не изменилось. Отмечено резкое снижение процентного соотношения площадей с высоким уровнем обеспеченности и повышение доли территорий с повышенной обеспеченностью. Таким образом, для этого типа почв выявлена следующая тенденция: в результате выращивания сои резко увеличивается обеспеченность почвы легкоминерализируемыми соединениями азота. В дальнейшем, доля почв, характеризующихся средней обеспеченностью, увеличивается до 30 %, а с повышенным – до 62 %. Это происходит за счет интенсивной минерализации накопленного после выращивания сои органического азота.

Содержание в почве подвижного фосфора также в значительной степени определялось типом почвы и предшественником риса [5]. Выращивание сои в рисовом севообороте в значительной степени способствовало повышению обеспеченности почв фосфором. На лугово-черноземной почве 42,5 % площадей имели обеспеченность от средней до очень высокой в то время как на луговой почве таких территорий было чуть более 10 %. Обеспеченность почвы подвижными формами фосфора уменьшалась в последовательности «соя – АМП – рис». Если на лугово-черноземной почве ее обеспеченность после

АМП изменялась от низкой до высокой, то на луговой почве она была низкой и средней с преобладанием первой. В целом, в указанном звене севооборота доля площадей с низким содержанием фосфора на лугово-черноземной почве увеличилась с 57,50 до 62,65 %, а на луговой – с 89,62 до 96,73 %.

Обеспеченность почв рисовой системы подвижными соединениями калия слабо варьировала в зависимости от предшественника риса [6]. Это связано с тем, что содержание этого элемента, в отличии от подвижных форм азота и фосфора, не зависит от изменения окислительно-восстановительных процессов в почве, а определяется, в основном, выносом из почвы с урожаем возделываемых культур, а также, частичным переходом из необменных форм в обменные.

В целом, обеспеченность изучаемых почв подвижными соединениями калия была, в основном, низкая и средняя. На их долю приходилось 78,7 % земель на лугово-черноземной почве и 91 % – на луговой. Для менее плодородной луговой почвы по всем изучаемым предшественникам количество почв с низкой и средней обеспеченностью было примерно равным, а на долю земель с повышенной или высокой обеспеченностью приходилось 13 – 15 %.

На более плодородной лугово-черноземной почве по предшественникам соя и АМП свыше 50 % земель характеризовались средней обеспеченностью калием. При этом почвы с повышенной и высокой обеспеченностью составляли 24,81 % после сои и 38,46 % после агромелиоративного поля. Для наименее благоприятного предшественника (рис) 71 % чеков характеризовались низким содержанием и только 29 % – средним. Территорий, характеризующихся повышенным или высоким содержанием подвижного калия по этому предшественнику, не было выявлено.

Распределение почв РОС по уровню обеспеченности приведено в таблице 1.

Как следует из представленных данных, в севообороте с 67 % насыщенностью рисом (4 поля риса и 2 – парозанимающих культур), выращивание сои в значительной степени способствует росту обеспеченности почв легкоминерализируемыми соединениями азота. Доля почв с обеспеченностью выше средней составляет 87 % на лугово-черноземной и 83 % – на луговых почвах. Следует отметить, что, если на лугово-черноземной почве доля земель, имеющих очень высокую обеспеченность, составляла чуть менее 25 %, то для луговой почвы таких территорий не было выявлено вообще.

**Таблица 1. Обеспеченность почв РОС подвижными формами основных элементов питания**

| Обеспеченность | $N_{лг}$ | | Фосфор подвижный | | Калий подвижный | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | га | % | га | % | га | % |
| Лугово-черноземная почва | | | | | | |
| Низкая | 58,9 | 6,23 | 461,0 | 48,79 | 287,8 | 30,46 |
| Средняя | 60,3 | 6,38 | 307,4 | 32,53 | 439,3 | 46,49 |
| Повышенная | 61,9 | 6,55 | 92,5 | 9,79 | 125,9 | 13,32 |
| Высокая | 535,0 | 56,62 | 66,5 | 7,04 | 91,9 | 9,73 |
| Очень высокая | 228,8 | 24,22 | 17,5 | 1,85 | - | - |
| Луговая почва | | | | | | |
| Низкая | - | - | 1128,5 | 85,50 | 622,2 | 47,14 |
| Средняя | 222,9 | 16,89 | 80,4 | 6,09 | 586,1 | 44,41 |
| Повышенная | 661,6 | 50,13 | 33,0 | 2,50 | 93,1 | 7,05 |
| Высокая | 435,3 | 32,98 | 77,9 | 5,91 | 18,4 | 1,40 |

Невысокие количества фосфорных удобрений, вносимых под рис, привели к значительному снижению уровня обеспеченности почв подвижным фосфором. Даже на плодородной лугово-черноземной почве доля низкообеспеченных земель составила почти 50 %, еще 32,5 % были среднеобеспеченны. На луговой почве доля чеков с низкой обеспеченностью составила 85,5 %. Во многом это связано с достаточно высоким насыщением севооборота рисом: за межвегетационный период почва не успевает просохнуть и насытиться кислородом, а в таких условиях большая часть подвижного фосфора связывается в малоподвижные фосфаты полуторных окислов. Таким образом, можно прогнозировать, что по мере увеличения срока возделывания риса по рису (2 года и более), доля почв характеризующейся низкой обеспеченностью подвижным фосфором будет увеличиваться: на лугово-черноземной почве до 70 – 75 %, на луговой – до 100 %,

Обеспеченность рисовых почв подвижными соединениями калия также снижается: если на лугово-черноземной почве доля почв со средней обеспеченностью почти в 1,5 раза выше, чем с низкой (46,49 и 30,46 % соответственно), а почти 25 % территорий имеют повышенную и высокую обеспеченность, то на луговой почве на долю низкообеспеченных почв приходится 47,14 %, такое же количество чеков со средней обеспеченностью (44,41 %), более высокая обеспеченность выявлена только на 8,45 % земель. Это указывает на постепенное обеднение рисовых почв подвижными соединениями калия в результате минимального применения калийных

удобрений и отсутствия компенсации потерь этого элемента.

С целью изучения изменения содержания элементов минерального питания в зависимости от степени насыщенности севооборота рисом с 2016 года проводятся исследования на заложенных стационарных участках (вариант 1 – 50 %, вариант 2 – 62,5 %). Ежегодно, весной и осенью, проводили отбор почвенных проб, в которых определяли содержание легкогидродизуемого азота, а также подвижных форм фосфора и калия. Полученные результаты представлены в таблице 2.

**Таблица 2. Содержание легкогидродизуемого азота, подвижных форм фосфора и калия в почве при различной степени насыщения севооборота рисом**

| Вариант | Год | Срок отбора | Культура | Содержание | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | $N_{лг}$, мг/100 г. | P, мг/100 г. | K, мг/100 г. |
| 1 | 2016 | весна | рис | 6,6 | 6,44 | 16,99 |
| | | осень | | 3,2 | 3,01 | 16,83 |
| | 2017 | весна | люцерна 1-й год | 7,0 | 4,30 | 16,51 |
| | | осень | | 7,4 | 6,29 | 16,89 |
| | 2018 | весна | люцерна 2-й год | 8,3 | 8,13 | 17,05 |
| | | осень | | 7,1 | 11,3 | 17,22 |
| | 2019 | весна | рис | 10,8 | 9,49 | 17,34 |
| | | осень | | 6,4 | 3,42 | 17,08 |
| 2 | 2016 | весна | рис | 6,2 | 3,97 | 15,67 |
| | | осень | | 3,1 | 2,89 | 15,89 |
| | 2017 | весна | озимая пшеница | 8,5 | 3,91 | 15,86 |
| | | осень | | 6,0 | 5,28 | 15,56 |
| | 2018 | весна | рис | 6,3 | 9,68 | 15,89 |
| | | осень | | 5,0 | 3,17 | 15,67 |
| | 2019 | весна | рис | 6,5 | 6,70 | 16,01 |
| | | осень | | 5,7 | 2,19 | 15,76 |

Количество легкогидролизуемого азота, являющегося основным источником пополнения запасов минеральных соединений в почве, наоборот, характеризовалось сезонными изменениями. При выращивании риса наблюдалось резкое снижение содержания легкогидролизуемых форм азота за вегетационный период, что связано с его активным потреблением растениями [7].

За межвегетационный период отмечается некоторое увеличение его содержания в почве за счет частичной минерализации поукосных остатков [13]. Накопление легкогидролизуемых форм азота в почве отмечено при двухлетнем возделывании многолетних трав. Причем, если в цикле весна-осень отмечаются сезонные изменения его содержания, то в цикле осень-весна происходит увеличение его запасов в почве, что указывает на минерализацию части пожнивных и поукосных остатков люцерны. Таким образом, в травяном звене рисового севооборота происходит активное пополнение почвы легкогидролизуемыми формами азота, что улучшает условия минерального питания выращиваемых сельскохозяйственных культур.

В звене севооборота «рис – пшеница – рис» были отмечены похожие закономерности. Отмечено резкое сокращение содержания легкогидролизуемых форм в результате возделывания риса по рису (с 6,2 до 3,1 мг/100 г., т.е. в два раза к исходному). В результате посева пшеницы активизировался процесс минерализации органических остатков, что способствовало увеличению запасов этих соединений. В период активного роста и развития растений пшеницы отмечено снижение запасов легкогидролизуемого азота с последующим частичным его пополнением (с 6,0 до 6,3 мг/100 г.) в межвегетационный период. При возделывании риса после занятого пара вновь происходило сокращение обеспеченности им за вегетационный период (до 5,0 мг/100 г. или на 20,6 %), но темпы его снижения были намного ниже, чем при возделывании риса по рису. За осенне-зимний период произошла частичная минерализация растительных остатков, что нашло отражение в увеличении количества легкогидролизуемого азота в почве. Затем, при возделывании риса вновь происходило сокращение обеспеченности им за вегетационный период (до 5,7 мг/100 г.). Таким образом, пополнение почвы легкогидролизуемыми соединениями азота происходит в основном в богарном звене рисового севооборота.

Содержание подвижных форм фосфора в почве определялось сезонной динамикой и потреблением сельскохозяйственными растениями. В богарном звене севооборота наблюдалось увеличение содержания доступных фосфатов в почве. Так, за 2 года выращивания люцерны оно увеличилось с 4,3 до 11,3 мг/100 г., т.е. почти в 3 раза, что связано с активным просушиванием почвы и улучшением условий ее аэрации. Такие же закономерности отмече-

ны и при выращивании других культур богарного земледелия. Напротив, в результате выращивания риса содержание подвижного фосфора снижается.

Изменения содержания подвижных форм калия в зависимости от степени насыщенности севооборота рисом выявлено не было, отмечены лишь сезонные его изменения. Следует отметить, что в севообороте с возделыванием люцерны его количество в почве было несколько выше. В целом обеспеченность этим элементом была низкой.

**Выводы**

В результате проведенных исследований установлено:

1. Выращивание сои в рисовом севообороте с насыщенностью рисом более 65 % (4 поля риса и 2 – парозанимающих культур) в значительной степени способствует росту обеспеченности почв легкоминерализируемыми соединениями азота. Доля почв с обеспеченностью выше средней составляет 87 % на лугово-черноземной и 83 % – на луговых почвах.

2. Отмечено значительное снижение уровня обеспеченности почв подвижным фосфором. Даже на плодородной лугово-черноземной почве доля земель с низкой обеспеченностью составила почти 50 %, еще 32,5 % были среднеобеспеченны. На луговой почве чеков с низкой обеспеченностью составило 85,5 %, что указывает на необходимость ежегодного внесения фосфорных удобрений.

3. Обеспеченность рисовых почв подвижными соединениями калия также снижается: если на лугово-черноземной почве доля почв со средней обеспеченностью почти в 1,5 раза выше, чем с низкой (46,49 и 30,46 % соответственно), то на луговой почве на долю низкообеспеченных почв приходится 47,14 %, такое же количество чеков со средней обеспеченностью (44,41 %). Это указывает на постепенное обеднение рисовых почв подвижными соединениями калия в результате минимального применения калийных удобрений и отсутствия компенсации потерь этого элемента.

4. Двухлетнее возделывание многолетних трав способствует активному пополнению почвы легкогидролизуемыми формами азота, что улучшает условия минерального питания выращиваемых сельскохозяйственных культур. При выращивании риса наблюдается резкое снижение содержания легкогидролизуемых форм азота за вегетационный период. Таким образом, пополнение почвы легкогидролизуемыми соединениями азота происходит в основном в богарном звене рисового севооборота.

5. В богарном звене севооборота происходит увеличение содержания доступных фосфатов в почве. Так, за 2 года выращивания люцерны оно увеличилось почти в 3 раза, что связано с активным просушиванием почвы и улучшением условий ее аэрации. Напротив, в результате выращивания риса содержание подвижного фосфора снижается.

6. Изменения содержания подвижных форм калия в зависимости от степени насыщенности севооборота рисом выявлено не было, отмечены лишь сезонные его изменения.

**ЛИТЕРАТУРА**

1. Алешин, Е.П. Минеральное питание риса / Е.П. Алешин, А.П. Сметанин – Краснодар, 1965. – 207 с.

2. Белоусов, И.Е. Влияние минеральных удобрений на основные показатели плодородия лугово-черноземной слабосолонцеватой почвы и продуктивность риса. – Автореф. дисс. ... канд. с.-х. наук, Краснодар,1993. – 24 с.

3. Белоусов, И.Е. Фосфатный режим лугово-черноземных почв Кубани, используемых под рис / И.Е. Белоусов, С.А. Рябцова, Ю.А. Кузнецов // Почвоведение, 1993. – № 2. – С. 133 – 137.

4. Белоусов, И.Е. Обеспеченность рисовых почв легкогидролизуемым азотом в зависимости от предшественника риса / И.Е. Белоусов, Н.М. Кремзин // Научно-практическая конференция, посвященная году экологии в России «Актуальные проблемы почвоведения, экологии и земледелия» – г. Курск, ФГБНУ Всероссийский научно-исследовательский институт земледелия и защиты почв от эрозии», 20 апреля 2018 г. – С. 58 – 63.

5. Белоусов, И.Е. Обеспеченность рисовых почв подвижным фосфором в зависимости от предшественника риса / И.Е. Белоусов, Н.М. Кремзин // Рисоводство, – 2019. – № 3(44). – С. 84 – 87.

6. Белоусов, И.Е. Обеспеченность рисовых почв подвижным калием в зависимости от предшественника риса / И.Е. Белоусов //XV Международная научно-практическая конференция «Актуальные проблемы почвоведения, экологии и земледелия» – г. Курск, ФГБНУ «Курский федеральный аграрный научный центр», 28 – 29 апреля 2020 г. – С. 237 – 242.

7. Белоусов, И.Е. Азотный режим лугово-черноземной рисовой почвы в паровом звене рисового севооборота / И.Е. Белоусов //Научно-практическая конференция, посвященная году экологии в России «Агроэкологические проблемы почвоведения и земледелия» г. Курск, ФГБНУ Всероссийский научно-исследовательский институт земледелия и защиты почв от эрозии», 24 – 25 апреля 2019 г. – С. 52 – 56.

8. Кидин, В.В. и др. Практикум по агрохимии. – М., Колос, 2008. – 600 с.

9. Система рисоводства Краснодарского края / под общ. ред. Е.М. Харитонова – Краснодар: ВНИИ риса, 2011. – 316 с.

10. Шеуджен, А.Х. Агрохимия. Ч. 2 Методика агрохимических исследований / А.Х. Шеуджен, Т.Н. Бондарева. – Краснодар: КубГАУ. 2015. – 703 с.

11. Kemmler G. High yielding varietis need high rates of potash application //Phosph. And Potassium. 1971. – V. 32. – № 11. – P. 249 – 264.

12. Ravinda V., Pandly M. Effect of ammonium and nitrate nitrogen on growth and yield of rice // Indian J. Plant Physiol. – 1987. – V. 30. – № 2. – P. 216 – 218.

13. Westcott M.R., Mikkelsen D.S. Comparation of organic and inorganic nitrogen source for rice // Agron / J., 1987. – № 5. – P. 69 – 87.

**REFERENSES**

1. Aleshin, E.P. Mineral Rice Nutrition / E.P. Aleshin, A.P. Smetanin – Krasnodar, 1965. – 207 p.

2. Belousov, I.E. Effect of mineral fertilizers on the main fertility indicators of meadow-black-earth low-salt soil and rice productivity. Autoref. Dics. ... Kand. Ph.D., Krasnodar, 1993. – 24 p.

3. Belousov, I.E. Phosphate regime of meadow-black soils of Kuban, used under rice / I.E. Belousov, S.A. Ryabtsov, Yu.A. Kuznetsov // Soil studies, 1993. – № 2. – P. 133 – 137.

4. Belousov, I.E. The provision of rice soils with easily hydrolyzed nitrogen depending on the predecessor of rice / I.E. Belousov, N.M. Kremzin // Scientific and practical conference dedicated to the year of ecology in Russia "Actual problems of soil science, ecology and agriculture" – Kursk, FSBNU All-Russian Research Institute of Agriculture and Soil Protection from Erosion," April 20, 2018. – P. 58 – 63.

5. Belousov, I.E. Providing rice soils with movable phosphorus depending on the predecessor of rice / I.E. Belousov, N.M. Kremzin // Rice. – 2019. – No 3(44). P. 84 – 87.

6. Belousov, I.E. Providing rice soils with movable potassium depending on the precursor of rice / I.E. Belousov // XV International Scientific and Practical Conference "Actual Problems of Soil Science, Ecology and Agriculture" – Kursk, FSBNU "Kursk Federal Agricultural Research Center," April 28 – 29, 2020. – P. 237 – 242.

7. Belousov, I.E. Nitrogen mode of meadow-black-earth rice soil in the steam link of rice crop rotation / I.E. Belousov / Scientific and practical conference dedicated to the Year of Ecology in Russia "Agroecological Problems of Soil Science and Agriculture" Kursk, FSBNU All-Russian Research Institute of Agriculture and Soil Protection from Erosion," April 24 – 25, 2019. – P. 52 – 56.

8. Kidin, V.V. et al. Workshop on agro-ichmies. – M., Kolos, 2008. – 600 p.

9. The rice production system of the Krasnodar region / under ed. Kharitonova E.M. – Krasnodar, 2011. – 316 p.

10. Sheujen, A.H. Agrochemistry. 2 Agrochemical Research Method / A.H. Sheujen, T.N. Bondareva. Krasnodar: Kubgau. 2015. – 703 p.

11. Kemmler G. High yielding varietis need high rates of potash application // Phosph. And Potassium. 1971. – V. 32. – № 11. – P. 249 – 264.

12. Ravinda V., Pandly M. Effect of ammonium and nitrate nitrogen on growth and yield of rice // Indian J. Plant Physiol. – 1987. – V. 30. – № 2. – P. 216 – 218.

13. Westcott M.R., Mikkelsen D.S. Comparation of organic and inorganic nitrogen source for rice // Agron / J., 1987. – № 5. – P. 69 – 87.

**Игорь Евгеньевич Белоусов**
Старший научный сотрудник
E-mail: igor_bel06@mail.ru
ФГБНУ «ФНЦ риса»
350921, Россия, Краснодар, Белозерный, 3
E-mail: arrri_kub@mail.ru

**Igor E. Belousov**
Senior researcher
E-mail: igor_bel06@mail.ru
FSBSI Federal Scientific Rice Centre,
3, Belozerny, Krasnodar, Russia, 350921
E-mail: arrri_kub@mail.ru

DOI: 10.33775/1684-2464-2020-48-3-45-50
УДК 631.445:633.18

**В.Н. Паращенко**, канд. с.-х. наук,
**В.Н. Чижиков,** канд. с.-х. наук,
**В.В. Гергель**,
**В.В. Павлов**
г. Краснодар, Россия

# ЭФФЕКТИВНОСТЬ АЗОТНЫХ УДОБРЕНИЙ В АММОНИЙНОЙ И АМИДНОЙ ФОРМАХ В СОЧЕТАНИИ С ИНГИБИТОРОМ НИТРИФИКАЦИИ

*На лугово-чернозёмной слабосолонцеватой почве в условиях полевого опыта изучали эффективность карбамида, сульфата аммония и сульфат-карбамидного удобрения на фоне ингибитора нитрификации 3,5-диамино-1,2,4-триазол. Удобрения вносили в основной приём полной дозой с последующей обработкой ингибитором нитрификации. Использование ингибитора нитрификации совместно с азотными удобрениями в аммонийной или амидной формах способствовало повышению содержания обменного аммония в почве в фазы кущения и трубкования риса на 12,9 и 15,7 %. Обеспеченность растений риса азотным питания в фазы кущения и трубкования риса повышалась на 11,2 и 7,2 %, при внесении ингибитора нитрификации на фоне удобрений, содержащих аммонийную и амидную форму азота по сравнению с применением карбамида дробно. Внесение карбамида и сульфат-карбамидного удобрения полной дозой в основной приём на фоне ингибитора нитрификации обеспечивало повышение урожайности риса на 0,63 – 0,69 т/га. по сравнению с дробным применением карбамида без применения ингибитора нитрификации. карбамида, сульфат аммония и сульфат-карбамидного удобрения совместно с ингибитором нитрификации экономически выгодно – условно-чистый доход составляет более 2000 руб./га.*

***Ключевые слова:*** *рис, азотное удобрение, ингибитор нитрификации, урожайность.*

# EFFICIENCY OF NITROGEN FERTILIZERS IN AMMONIUM AND AMIDE FORMS COMBINED WITH A NITRIFICATION INHIBITOR

*On a meadow-chernozemic weakly alkalinized soil in a field experiment, the efficiency of carbamide, ammonium sulfate and sulfate-carbamide fertilizer was studied against the background of a nitrification inhibitor 3,5-diamino-1,2,4-triazole. Fertilizers were applied at the main application with a full dose, followed by treatment with a nitrification inhibitor. The use of a nitrification inhibitor together with nitrogen fertilizers in ammonium or amide forms contributed to an increase in the content of exchangeable ammonium in the soil during the tillering and booting phases of rice by 12.9 and 15.7%. The provision of rice plants with nitrogen nutrition during the tillering and booting phases increased by 11.2 and 7.2%, with the introduction of a nitrification inhibitor against the background of fertilizers containing ammonium and amide forms of nitrogen, compared with the use of fractional carbamide. The introduction of carbamide and sulfate-carbamide fertilizer in full dose in the main application against the background of a nitrification inhibitor provided an increase in rice yield by 0.63 – 0.69 t/ha compared to fractional use of carbamide without the use of a nitrification inhibitor. Application of carbamide, ammonium sulfate and sulfate-carbamide fertilizer together with a nitrification inhibitor is economically profitable – the conditional net income is more than 2000 rubles/ha.*

***Key words****: rice, nitrogen fertilizer, nitrification inhibitor, yield.*

## Введение

Получение стабильно высоких урожаев зерна риса при сохранении плодородия почв невозможно без применения удобрений. Для всех почв, используемых под рис, лимитирующим фактором является азот, основным источником которого для растений служат азотные удобрения, так как естественное плодородие почв не обеспечивает рис нужным количеством этого элемента в периоды наибольшей его потребности. На долю азотных удобрений приходится 85 – 90 % суммарной прибавки урожая, получаемой от применения удобрений [7, 15].

Наряду с этим в почвах рисовых полей азот этих удобрений подвергается процессам нитрификации и денитрификации, что обусловливает значительные его потери в виде газообразных продуктов разложения азотных удобрений и вымывания нитратов. Особенно интенсивно эти процессы протекают весной, в период от внесения азотных удобрений до посева, а также в период первоначального залива чеков, и их просушки для получения всходов риса.

В связи со специфическими условиями возделывания риса, под эту культуру используются удобрения, содержащие азот в амидной или аммонийной форме. Наибольшее распространение из них получили карбамид и сульфат аммония.

Карбамид в почве хорошо растворяется почвенной влагой и под действием фермента уреазы, выделяемого уробактериями, быстро аммонифицируется, превращаясь в углекислый аммоний. При благоприятных условиях превращение карбамида в углекислый аммоний происходит за 2 – 3 дня. Углекислый аммоний – соединение непрочное. На воздухе он разлагается с образованием бикарбоната аммония и аммиака, который обуславливает частичные потери азота. Особенно сильно это выражено на ней-

тральных и щелочных почвах. В почве углекислый аммоний подвергается гидролизу с образованием бикарбоната аммония и гидрата окиси аммония. Образующийся при внесении в почву карбамида аммоний поглощается коллоидами и постепенно усваивается растениями. С течением времени аммоний подвергается нитрификации с образованием азотной кислоты и нитратов, которые вследствие их высокой подвижности подвержены значительным потерям в условиях затопленного водой рисового поля. Таким образом, непроизводительные потери азота из карбамида могут достигать 60 – 70 кг/га [7, 15].

Сульфат аммония при внесении в почву вступает в обменные реакции с катионами жидкой и твердой фаз почвы. Значительная часть катионов аммония из растворенного сульфата аммония входит в почвенный поглощающий комплекс. Находясь в поглощенном состоянии, ионы аммония приобретают меньшую подвижность и соответственно меньшую способность к вымыванию при затоплении почвы водой.

Вместе с тем, при использовании азотных удобрений необходимо учитывать не только форму содержащегося в них азота, но также способы и сроки внесения. Как известно, применение азота в основной прием и последующее проведение одной или нескольких авиаподкормок является широко распространённым способом [7]. Однако это приводит к увеличению затрат, а сами подкормки в силу неблагоприятных погодных условий и иных причин, зачастую могут проводиться с задержкой, что приводит к снижению урожайности риса.

Кроме того, использование такого способа ограничено в санитарно-защитных и водоохранных зонах, а также полях, прилегающих к населенным пунктам в силу запрета на проведение авиационно-химических обработок, в том числе подкормок. [2, 8]. На этих территориях необходимым становится применение азотных удобрений и других агрохимикатов с помощью наземной техники, позволяющее обеспечить выполнение требований существующих экологических нормативов при сохранении экономически целесообразного уровня урожайности.

С целью совершенствования технологии применения азотных удобрений в рисоводстве, ведётся поиск, и разработка практических способов решения этих задач идёт в нескольких взаимодополняющих направлениях: совершенствования агротехнических приёмов, создания медленнодействующих удобрений с контролируемой скоростью высвобождения азота, изучения непосредственного воздействие на процессы трансформации азота в почве.

Одним из способов решения проблемы, указанной последней является применение ингибиторов нитрификации или азотных удобрений, модифицированных ими.

Ингибиторы нитрификации – химические препараты, которые при внесении в небольших количествах (0,5 – 2,0 % от азота удобрений) временно и избирательно снижают активность нитрифицирующих микроорганизмов, осуществляющих первый этап нитрификации – окисление аммония до нитратов. В результате обеспечивается временная (1 – 2 мес.) консервация в почве азота аммиачных, аммонийных удобрений и мочевины в аммонийной форме. За счёт этого ограничиваются потери азота, возникающие как в ходе денитрификации, так и вследствие вымывания нитратов, создаются предпосылки для повышения эффективности усвоения азота растениями [1, 5, 6, 9, 15, 16, 17].

Проведёнными ранее исследованиями установлено, что внесение ингибитора нитрификации позволяет сократить потери в почве нитратного и сохранить аммонийного азота, являющегося основой азотного питания риса. Широко возделываемые в рисоводстве сорта, отзывчивы на применение ингибитора нитрификации, который обеспечивает прибавку урожайности от 8 до 14 % [11]. Целесообразно также внесение азотного удобрения с ингибитором нитрификации полной дозой в основной приём в санитарно-защитных зонах, где ограничено применение авиации.

В настоящее время в Краснодарском крае активно развивается рисоводство. Необходимым условием его развития является обеспечение возрастающей потребности в азотных удобрениях и способах повышения их эффективности, что является целью настоящих исследований.

**Цель исследований**

Определить эффективность применения азотных удобрений в аммонийной и амидной формах при применении ингибитора нитрификации.

**Материалы и методы**

Полевой опыт проводился на РОС ФГБНУ «ФНЦ риса». Почва опытного участка – лугово-чернозёмная слабосолонцеватая тяжелосуглинистая, характеризуется следующими показателями: pH водной вытяжки – 7,50, содержание гумуса, общих форм азота, фосфора и калия соответственно 3,21, 0,23, 0,19 и 2,08 %. Количество легкогидролизуемого азота – 7,3, обменного аммония – 0,61, подвижного фосфора – 2,60, подвижного калия 30,5 мг/100 г.

Предшественник – рис. Сорт риса – Полевик, норма высева – 7 млн. всхожих семян/га. Площадь делянок: общая – 20 м$^2$, учетная – 15 м$^2$, повторность 4-х кратная.

Сорт риса Полевик характеризуется следующими показателями: вегетационный период – 116 – 118 дней; высота растений 93 – 97 см.; куст компактный, прямостоячий; стебель – средней толщины, прочный; длина метелки – 16 – 17 см.; количество колосков – 140 – 150 шт.; устойчив к полеганию; зерновка полуокруглая средней крупности, отношение длины зерновки к ширине – 2,1 – 2,2; масса 1000 зерен – 29 – 31 г.; плёнчатость – 17 – 18%; стекловидность – 93 – 97 %; выход крупы – 70 – 72%, в том числе целого ядра – 93 – 96%.

Схема опыта: 1. $N_{150}P_{50}K_{40}$ (карбамид, дробно), контроль; 2. $N_{150}P_{50}K_{40}$ (сульфат аммония, в основной приём) + ингибитор; 3. $N_{150}P_{50}K_{40}$ (карбамид, в основ-

ной приём) + ингибитор; 4. $N_{150}P_{50}K_{40}$ (сульфат-карбамидное удобрение, в основной приём) + ингибитор.

Азотные удобрения (сульфат аммония, 20,5 % д.в.; карбамид, 46 % д.в.; сульфат-карбамидное удобрение, 30 % д.в.) вносили в соответствии со схемой опыта, фосфорное (аммофос, N12 % P52 % д.в.) и калийное (хлористый калий, 57 % д.в.) применяли полной дозой в основной приём.

Ингибитор нитрификации 3,5-диамино-1,2,4-триазол [13]. Его вносили до посева риса ранцевым опрыскивателем на поверхность почвы и азотных удобрений в дозе 1% от дозы азотного удобрения в д.в. с последующей заделкой на глубину до 10 см. Технология возделывания риса общепринятая [7]. Анализы почвы проводили общепринятыми методами [4]. Азотный статус определяли прибором N-тестер [12]. Экономическую эффективность вариантов опыта определяли по методике [14].

Урожайность риса учитывалась поделяночно, с приведением полученных данных к стандартным показателям по чистоте (100 %) и влажности (14 %). Статистическая обработка полученных данных проводилась методом дисперсионного анализа [3].

## Результаты и обсуждение

Содержание в почве обменно-поглощенного аммония является основной формой питания риса. Данные, представленные в таблице 1, показали положительное влияние на изменение этой формы азота при использовании карбамида, сульфата аммония и сульфат-карбамидного на фоне ингибитора нитрификации. Содержание обменного аммония в почве при этом составляло в среднем 3,68 мг/100 г почвы в фазу кущения, что на 12,9 % превышало его содержание при внесении карбамида дробно без ингибитора нитрификации. К фазе трубкования риса эта зависимость сохранилась, и разница составила 15,7 %. Установлено, что отличий между собой по влиянию изучаемых удобрений на содержание обменного аммония в почве не установлено, так как они составляли не более 2 – 5 %.

**Таблица 1. Содержание аммонийного азота $NH_4^+$, мг/100 г почвы и азотный статус риса (N-test, ед.) при применении разных форм азотных удобрений и ингибитора нитрификации**

| Вариант | Фазы вегетации | | | |
|---|---|---|---|---|
| | кущение | | трубкование | |
| | $NH_4^+$ | N-test, ед. | $NH_4^+$ | N-test, ед. |
| 1. $N_{150}$ (карбамид дробно), контроль | 3,26 | 492 | 1,40 | 472 |
| 2. $N_{150}$ (сульфат аммония, основное) + ингибитор нитрификации | 3,79 | 549 | 1,66 | 522 |
| 3. $N_{150}$ (карбамид, основное) + ингибитор нитрификации | 3,57 | 552 | 1,58 | 496 |
| 4. $N_{150}$ (сульфат-карбамидное удобрение, основное) + ингибитор нитрификации | 3,68 | 547 | 1,62 | 501 |

Данные азотного статуса растений риса показали, что обеспеченность растений в фазы кущения и трубкования при внесении изучаемых удобрений с ингибитором нитрификации была выше, чем при использовании карбамида дробно на 11,2 и 7,2 % (табл. 1).

Известно, что обеспеченность растений азотным питанием находится в прямой зависимости с их урожайностью. Это отмечено в настоящем исследовании (табл. 2). Урожайность риса на фоне удобрений и ингибитора нитрификации была выше в среднем на 0,66 т/га, чем при дробном внесении карбамида. Существенной разницы между изучаемыми удобрениями по урожайности, а также по окупаемости единицы внесённого азота урожаем основной продукции не выявлено.

Применение изучаемых удобрений в основной приём полной дозой экономически оправдано. Так при внесении сульфата аммония условно-чистый доход составил 2640 руб., более значительным он был на фоне карбамида и сульфат-карбамидного удобрения: 4970 и 4810 руб./га.

**Таблица 2. Урожайность риса, окупаемость единицы внесённого азота ($Ок_N$) и условно-чистый доход (УЧД) при использовании ингибитора нитрификации на фоне разных форм азотных удобрений**

| Вариант | Урожайность, т/га | Прибавка, т/га | $Ок_N$, кг | УЧД, руб. |
|---|---|---|---|---|
| 1. $N_{150}$ (карбамид дробно), контроль | 8,16 | – | 54,4 | – |
| 2. $N_{150}$ (сульфат аммония, основное) + ингибитор нитрификации | 8,81 | 0,65 | 58,7 | 2640 |
| 3. $N_{150}$ (карбамид, основное) + ингибитор нитрификации | 8,79 | 0,63 | 58,6 | 4970 |
| 4. $N_{150}$ (сульфат-карбамидное удобрение, основное) + ингибитор нитрификации | 8,85 | 0,69 | 59,0 | 4810 |
| $НСР_{05}$ | 0,32 | | | |

Полученные данные указывают на высокую эффективность сульфата аммония, карбамида и сульфат-карбамидного удобрения на фоне ингибитора нитрификации в основной приём полной дозой. Главным требованием при этом является обеспечение равномерности их внесения по всей площади чека. Неравномерность применения азотных удобрений резко снижает эффективность, приводит к возникновению очагов распространения пирикуляриоза, полеганию, задержке созревания риса на участках, получивших азот в дозах, выше оптимальных, и ухудшению качества зерна и семян. Следует отметить, что использование устаревшей техники в рисосеющих предприятиях не обеспечивает требуемой равномерности внесения азотных удобрений. В этой связи рекомендуется проводить внесение минеральных удобрений современными разбрасывателями с цифровым управлением для обеспечения равномерности их внесения, исключая наложения и пропуски.

**Выводы**

Использование ингибитора нитрификации совместно с азотными удобрениями в аммонийной или амидной формах способствовало повышению содержания обменного аммония в почве в фазы кущения и трубкования риса на 12,9 и 15,7 %.

Обеспеченность растений риса азотным питанием в фазы кущения и трубкования повышалась на 11,2 и 7,2 % при внесении ингибитора нитрификации на фоне удобрений, содержащих аммонийную и амидную форму азота по сравнению с применением карбамида дробно.

Внесение карбамида и сульфат-карбамидного удобрения полной дозой в основной приём на фоне ингибитора нитрификации обеспечивало повышение урожайности риса на 0,63 – 0,69 т/га. по сравнению с дробным применением карбамида без применения ингибитора нитрификации.

Применение сульфат аммония и сульфат-карбамидного удобрения совместно с ингибитором нитрификации экономически выгодно – условно-чистый доход составляет более 2000 руб./га.

**ЛИТЕРАТУРА**

1. Алешин, Е.П., Действие ингибиторов нитрификации на микрофлору лугово-черноземной почвы при возделывании риса / Е.П. Алешин, В.Н. Паращенко, Н.С. Головко, Р.С. Кутузова – Доклады ВАСХНИЛ, 1991, № 7. – С. 14 – 17.

2. Водный кодекс Российской Федерации № 74-ФЗ // Собрание законодательства РФ, 05.06.2006, № 23, ст. 2381.

3. Дзюба, В.А. Теоретическое и прикладное растениеводство на примере: пшеницы, ячменя и риса: науч.-метод. Пособие. – Краснодар 2010. – 475 с.

4. Кидин, В.В. Практикум по агрохимии/ В.В. Кидин. – М.: КолосС. – 2008. – 599 с.

5. Кумейко, Ю.В. Влияния применения ингибитора нитрификации на содержание подвижных форм азота в почве при возделывании риса / Ю.В. Кумейко // Материалы VI всероссийской научно-практической конференции молодых учёных «Научное обеспечение агропромышленного комплекса – Краснодар, 2012. – С 85 – 87.

6. Муравин, Э.А. Ингибиторы нитрификации / Э.А. Муравин. – М.: Агропромиздат. – 1989. – 247 с.

7. Система рисоводства Краснодарского края: Рекомендации / Под общ. ред. Е.М. Харитонова. – Краснодар: ВНИИ риса, 2011. – 3016 с.

8. СанПиН 2.2.1/2.1.1.1200-03 «Санитарно-защитные зоны и санитарная классификация предприятий, сооружений и иных объектов».

9. Паращенко, В.Н. Агроэкологическое обоснование применения ингибиторов нитрификации в рисоводстве / В.Н. Паращенко // Тез. докл. Всероссийского координационного совещания учреждений географической сети длительных опытов с удобрениями и другими агрохимическими средствами. М.: Агроконсалт. – 1998. – С. 124 – 125.

10. Паращенко, В.Н. Трансформация азота в рисовой лугово-чернозёмной почве и эффективность разных форм азотных удобрений / В.Н. Паращенко, Н.М. Кремзин, Ю.В. Кумейко, В.И. Терпелец // Труды КубГАУ. – Краснодар, 2014. – Выпуск № 3(48). – С. 82 – 86.

11. Паращенко В.Н. Эффективность применения ингибитора нитрификации в рисоводстве Паращенко В.Н., Шарифуллин Р.С., Чижиков В.Н., Гергель В.В., Кумейко / Рисоводство – 2019. № 4. – С. 52 – 57.

12. Паращенко, В.Н. Адаптация метода диагностики обеспеченности риса азотом с использованием «N-тестера» В.Н. Паращенко, О.В. Кузнецова // Современное приборное обеспечение и методы анализа почв, кормов, растений и сельскохозяйственного сырья: Материалы международн. конф. 2 – 4 декабря 2003 г., Москва. – М.: ВНИИА, 2003. – С. 123 – 124.

13. Патент на изобретение № 2647924 «Ингибитор нитрификации азотных удобрений», 21.03.2018 г.

14. Трубилин, И.Т. Экономическая и агроэкологическая эффективность удобрений / И.Т. Трубилин, А.Х. Шеуджен, В.Г. Сычёв. – Краснодар: КубГау. – 2010. – 114 с.

15. Dobermann, A. Rice: Nitrogen Disorders & Nutrient management / A. Dobermann, T.H. Fairhurst. – Manila: IRRI. – 2000. – 192 p.

16. Diez-Lopez, J.A. Effect of a nitrification inhibitor (DMPP) on nitrate leaching and maize yield during two growing seasons / J.A. Diez-Lopez, P. Harnaiz-Algarra, M. Agrauzo-Sanchez , I. Carrasco-Martin. – Span. J. agr. Res., 2008. – V. 6. – № 2. – P. 294 – 303.

17. Huilin, Li. Net nitrogen mineralization in typical paddy soils of the Taihu Region of China under aerobic cjnditions. Dinamics and model fitting / Huilin Li, Yong Han, Marco Roelcke, Zucong Cai. – Canad. J. Soil Sc., 2008 – Vol. 88. – № 5. – P. 719 – 731.

## REFERENCES

1. Aleshin, E.P., The action of nitrification inhibitors on the microflora of meadow-chernozem soil during rice cultivation. E.P. Aleshin, V.N. Parashchenko, N.S. Golovko, R.S. Kutuzova – Reports of VASKHNIL, 1991, № 7. – p. 14 – 17.

2. Water Code of the Russian Federation No. 74-FZ // Collected Legislation of the Russian Federation, 05.06.2006, № 23, Art. 2381.

3. Dzyuba, V.A. Theoretical and applied crop production by example: wheat, barley and rice: guidelines – Krasnodar 2010. – 475 p.

4. Kidin, V.V. Practical work on agrochemistry / V.V. Kidin. – M.: KolosS. – 2008 . – 599 p.

5. Kumeiko, Yu.V. Influence of the use of a nitrification inhibitor on the content of mobile forms of nitrogen in the soil during rice cultivation / Yu.V. Kumeiko // Proceedings of the VI All-Russian Scientific and Practical Conference of Young Scientists “Scientific support of the agro-industrial complex – Krasnodar, 2012. – P. 85 – 87.

6. Muravin, E.A. Nitrification inhibitors / E.A. Muravin. – M.: Agropromizdat. – 1989. – 247 p.

7. Rice growing system of Krasnodar region: Recommendations / Under editorship of E.M. Kharitonov. – Krasnodar: ARRRI, 2011. – 3016 p.

8. SanPiN 2.2.1/2.1.1.1200-03 "Sanitary protection zones and sanitary classification of enterprises, structures and other facilities."

9. Parashchenko, V.N. Agroecological substantiation of the use of nitrification inhibitors in rice growing / V.N. Parashchenko // Abstracts from All-Russian coordination meeting of the institutions of the geographical network of long-term experiments with fertilizers and other agrochemicals. M. Agroconsult. – 1998. – P. 124 – 125.

10. Parashchenko, V.N. Transformation of nitrogen in rice meadow-chernozem soil and the effectiveness of different forms of nitrogen fertilizers / V.N. Parashchenko, N.M. Kremzin, Yu.V. Kumeiko, V.I. Terpelets // Proceedings of KubSAU. – Krasnodar, 2014. – Issue 3(48). – P. 82 – 86.

11. Parashchenko, V.N. Efficiency of using a nitrification inhibitor in rice growing Parashchenko V.N., Sharifullin R.S., Chizhikov V.N., Gergel V.V., Kumeiko Yu.V./ Rice growing, – 2019. № 4. – P. 52 – 57.

12. Parashchenko, V.N. Adaptation of the method for diagnosing the provision of rice with nitrogen using the "N-tester" // Modern instrumentation and methods of analysis of soils, forages, plants and agricultural raw materials: V.N. Parashchenko, O.V. Kuznetsova Materials of international conference, December 2-4, 2003, Moscow. – M.: VNIIA, 2003. – P. 123 – 124.

13. Patent for invention No. 2647924 "Nitrification inhibitor of nitrogen fertilizers", 21.03.2018.

14. Trubilin, I. T. Economic and agroecological efficiency of fertilizers / I.T. Trubilin, A. Kh. Sheudzhen, V. G. Sychev. – Krasnodar: KubSAU. – 2010. – 114 p.

15. Dobermann, A. Rice: Nitrogen Disorders & Nutrient management / A. Dobermann, T.H. Fairhurst. – Manila: IRRI. – 2000. – 192 p.

16. Diez-Lopez, J.A. Effect of a nitrification inhibitor (DMPP) on nitrate leaching and maize yield during two growing seasons / J.A. Diez-Lopez, P. Harnaiz-Algarra, M. Agrauzo-Sanchez , I. Carrasco-Martin. – Span. J. agr. Res., 2008 Vl. 6. – № 2. – P. 294 – 303.

17. Huilin, Li. Net nitrogen mineralization in typical paddy soils of the Taihu Region of China under aerobic cjnditions. Dinamics and model fitting / Huilin Li, Yong Han, Marco Roelcke, Zucong Cai. – Canad. J. Soil Sc., 2008 – Vol. 88. – № 5. – P. 719 – 731.

**Паращенко Владимир Николаевич**
Вед. научн. сотр. лаб. агрохимии
и почвоведения
E-mail: parashenko.vn@gmail.com

**Виталий Николаевич Чижиков**
Зав. лабораторией агрохимии и почвоведения
E-mail: agrohim-vt@yandex.ru

**Гергель Виктор Викторович**
Младший научный сотрудник
E-mail: arrri_kub@mail.ru

Все: ФГБНУ «ФНЦ риса»
350921, Россия, Краснодар, Белозерный, 3
E-mail: arrri_kub@mail.ru

**Parashenko Vladimir Nikolaevich**
Leading researcher of laboratory
of agrochemistry and soil science
E-mail: parashenko.vn@gmail.com

**Vitaly Nikolaevich Chizhikov**
Head of laboratory of agrochemistry and soil science,
E-mail: agrohim-vt@yandex.ru

**Gergek Viktor Viktorovich**
Junior Researcher of agronomy laboratory
E-mail: arrri_kub@mail.ru

All: FSBSI Federal Scientific Rice Centre,
3, Belozerny, Krasnodar, Russia, 350921
E-mail: arrri_kub@mail.ru

**Павлов Виктор Владимирович**
Директор филиала ПАО «Куйбышев Азот»
в Краснодарском крае
E-mail: pavlovvv@kufzot.ru

**Pavlov Victor Vladimirovich**
Director branch office in Khasnodar
«Kuybishev Azot».
E-mail: pavlovvv@kufzot.ru

DOI: 10.33775/1684-2464-2020-48-3-51-61
УДК 633.18:631.82

**Мухаммед Умер Фарук, Жичен Тан, Руй Цзэн, Юаньке Лян, Юйцзе Чжан, Тенгда Чжэн, Хла Хэй, Сяоин Е, Сяомэй Цзя, Цзяньцин Чжу**
Чэнду, Китай

## НАКОПЛЕНИЕ, МОБИЛИЗАЦИЯ И ТРАНСФОРМАЦИЯ СЕЛЕНА В ЗЕРНЕ РИСА, ОБЕСПЕЧЕННОМ ЛИСТОВЫМ СЕЛЕНИТОМ НАТРИЯ

*Селен является незаменимым микроэлементом для человека, и его дефицит может привести к серьезным осложнениям для здоровья. Почти 70 % территории Китая испытывает дефицит селена. Чтобы решить эту проблему, рис, обогащенный селеном, все чаще включают в повседневный рацион. Цель исследования: определить уровни селенита, которые следует использовать в качестве удобрения для оптимального накопления органического Se в шлифованном рисе на различных стадиях с использованием улучшенных селекционных линий (красный рис с высоким содержанием натурального Se и белый рис не содержащий Se). Селен определяли атомно-флуоресцентной спектрометрией. Листовой селенит натрия, применяемый на критических стадиях роста, может значительно улучшить общее и органическое содержание селена в растениях. Применение 10 мг $L^{-1}$ селенита натрия привело к накоплению органического селена (0,03 мг $кг^{-1}$) в шлифованном рисе. Корреляционные исследования селенита натрия, примененного на листья и другие части растения, показали, что общий селен накапливался больше всего в цветковых чешуях, затем следовали рисовые отруби, затем шлифованный рис и, наконец, зародыш. Поведение органического селена было другим. Органический селен накапливается больше всего в шлифованном рисе, затем в зародыше, затем в рисовых отрубях и, наконец, в чешуях. Более того, 75 – 85 % Se, обнаруженного в шлифованном рисе и зародыше, были органическими по природе.*

***Ключевые слова:*** *селенит натрия, трансформация, красный рис, обогащенный селеном, органический селен, неорганический селен.*

## ACCUMULATION, MOBILIZATION, AND TRANSFORMATION OF SELENIUM IN RICE GRAIN PROVIDED WITH FOLIAR SODIUM SELENITE

*Selenium is an indispensable trace element for humans and its deficiency can lead to serious health complications. Nearly 70% of the area of China faces selenium deficiency. To deal with this problem, selenium-enriched rice has been increasingly incorporated into everyday diets. Purpose of the research: to determine the levels of selenite that should be used as fertilizer for optimal accumulation of organic Se in polished rice at various stages using improved breeding lines (red rice enriched with natural Se and white rice without Se). Selenium was determined by atomic fluorescence spectrometry.Foliar sodium selenite applied at critical growth stages can significantly improve the total and organic selenium content of plants. Application of 10 mg $L^{-1}$ sodium selenite led to the most organic selenium (0.03 mg $kg^{-1}$) in polished rice. Correlation studies of sodium selenite applied to leaves and other plant parts showed that total selenium accumulated most in glume, followed by rice bran, then polished rice, and finally glume. The behavior of organic selenium was different. Organic selenium accumulated most in polished rice, then embryo, then rice bran, and finally glume. Moreover, 75–85% of the Se found in polished rice and embryo was organic in nature.*

***Keywords:*** *sodium selenite, transformation, Se-rich red rice, organic selenium, inorganic selenium.*

### Введение

Селен (Se), впервые обнаруженный Джоном Джейкобом Берзелиусом считается жизненно важным микроэлементом для людей и животных [1, 2]. Дефицит Se может привести к целому ряду заболеваний у людей [3, 4]. Соблюдение диеты с обогащенными селеном продуктами считается более безопасным, чем прямой прием неорганического селена [5]. Считается, что растения являются основным источником селена, который можно использовать для увеличения содержания Se в рационе. Опрыскивание листьев селеносодержащими удобрениями является широко используемым методом обогащения растений селеном. Тем не менее, содержание Se в злаках, фруктах и овощах относительно низкое и недостаточное для удовлетворения диетических потребностей взрослого человека. Поэтому съедобные растения, обогащенные селеном, могут сделать Se более доступным и эффективным [6].

Рис является основным продуктом питания для более половины населения мира [7]. В Китае он подходит для ежедневного приема Se, поскольку является основой при приеме пищи. Биообогащение риса селеном возможно благодаря селекции сортов риса, обогащенных селеном, путем скрининга родительских форм, содержащих естественный селен или используя селеносодержащие удобрения [8]. Агрономическое биообогащение риса показало, что внесение Se в почву и на листья может увеличить содержание селена в съедобных частях растения [9].

Селен, внесенный при некорневых подкормках, зачастую более доступен, чем при внесении в почву [10]. Опрыскивание селеном листьев растений является наиболее удобным, экономичным, безопасным и относительно экологически чистым способом обогащения растения Se, поскольку приводит к прямому и быстрому всасыванию питательных веществ и транспортировке их в другие части растения [11]. Многочисленные исследования показали, что применение Se при некорневых подкормках значительно повышает содержание Se в таких культурах, как пшеница, кукуруза, рис, виноград [12, 13, 14, 15]. Известно, что токсичность, биологическая доступность и реакционная способность Se зависят от строения молекулы селенсодержащего вещества и его концентрации. Образцы, обработанные $Se^{6+}$, будут гораздо в большей степени подвержены селенозу, чем образцы, обработанные $Se^{4+}$, независимо от применяемого метода (внесение в почву или некорневая подкормка) [16, 17]. Как правило, неорганические формы Se относительно менее полезны, чем органические [18]. Эпидемиологические данные указывают на их более высокий уровень токсичности, чем у органических форм, особенно для тех селенатов, которые обнаружены под землей и в питьевой воде. Органические формы Se более доступны для человека, чем неорганические [19]. Растения преобразуют Se в Se-метионин (Se-Met) и объединяют его с белком вместо метионина (Met) для получения органического селена. Соединения селена, такие как селениты и селенаты, оказывают сильное ингибирующее действие, особенно на рост опухолевых клеток млекопитающих. Однако механизмы, лежащие в основе действия селенитов и селенатов, по-видимому, различны [20]. Таким образом, важнее определить концентрации органического и неорганического Se, чем его общую концентрацию. Некорневое внесение селенита показало улучшенный биосинтез органических видов Se по сравнению с селенатами [21]. Мы определили содержание селена в 50 образцах краснозерного и белозерного риса и обнаружили, что содержание Se в красном рисе было значительно выше, чем в среднем среди сортов белого риса. Однако части растения, в которых происходит накопление Se, и уровень селенита, который можно рекомендовать в качестве нормы внесения удобрений для большинства органических форм Se в съедобных частях растения, являются предметом споров. Поэтому важно тщательно оценить механизм накопления и биосинтеза органического Se в рисе. Изучение различий между видообразованием Se (органического и неорганического) стало приоритетом в опыте.

**Цель исследований**

Определить соответствующие уровни селенита, которые следует использовать в качестве удобрения для оптимального накопления органического Se в шлифованном рисе на различных стадиях с использованием улучшенных селекционных линий (красный рис с высоким содержанием натурального Se и белый рис не содержащий Se). Оценить процесс накопления, мобилизации и трансформации видов Se в различных частях растения, оценить сортовые различия для возможного генетического изменения в моделях накопления Se. Оценить биологическую доступность Se в разных частях растения риса и безопасность пищевых продуктов при внесении экзогенного селеносодержащего удобрения для растений риса, не содержащего Se.

**Материалы и методы**

Опыт на почвенной культуре проводился с высаживанием трех растений на сосуд на опытном участке Сычуаньского сельскохозяйственного университета. Основные химические свойства исследуемой почвы приведены в таблице 1. Исследуемым материалом послужили линии белого риса без содержания Se (GangYou 725, II You 838) и линии красного риса с натуральным Se (Z3055A / shuhui881, сокращенно Z3055 и Z2057A / chenghui727, сокращенно Z2057), полученный благодаря годам селекционной работы (рис. 1). Лиственный натриевый селенит ($Se^{4+}$) применялся только к линиям белого риса не содержащего Se (GangYou 725, II You 838) в группах I (0 мг/л), II (5 мг/л), III (7,5 мг/л), IV (10 мг/л) и V (12,5 мг/л) на стадиях трубкования и полного выметывания. Были приняты меры предосторожности, чтобы не допустить воздействия дождя в течение 48 часов до и после применения Se. Группа I служила контрольной группой, и для этой группы использовалась вода вместо селенита натрия, а группа красного риса с высоким содержанием Se использовалась в качестве сравнения для групп белого риса без содержания Se. Верхняя поверхность 2–5 вновь появившихся листьев опрыскивалась после покрытия других вегетативных частей, чтобы избежать загрязнения. Листья опрыскивали индивидуально, пока на кончике не появлялась капля раствора.

**Таблица 1. Основные химические свойства изучаемой почвы**

| Показатель | Содержание (мг/кг$^{-1}$ сухой почвы) |
|---|---|
| pH | 5.95 |
| Органическое вещество | 28 870 |
| Общий азот | 187 |
| Общий фосфор | 1480 |
| Общий селен | 0.3537 |
| Общий кадмий | 0.134 |

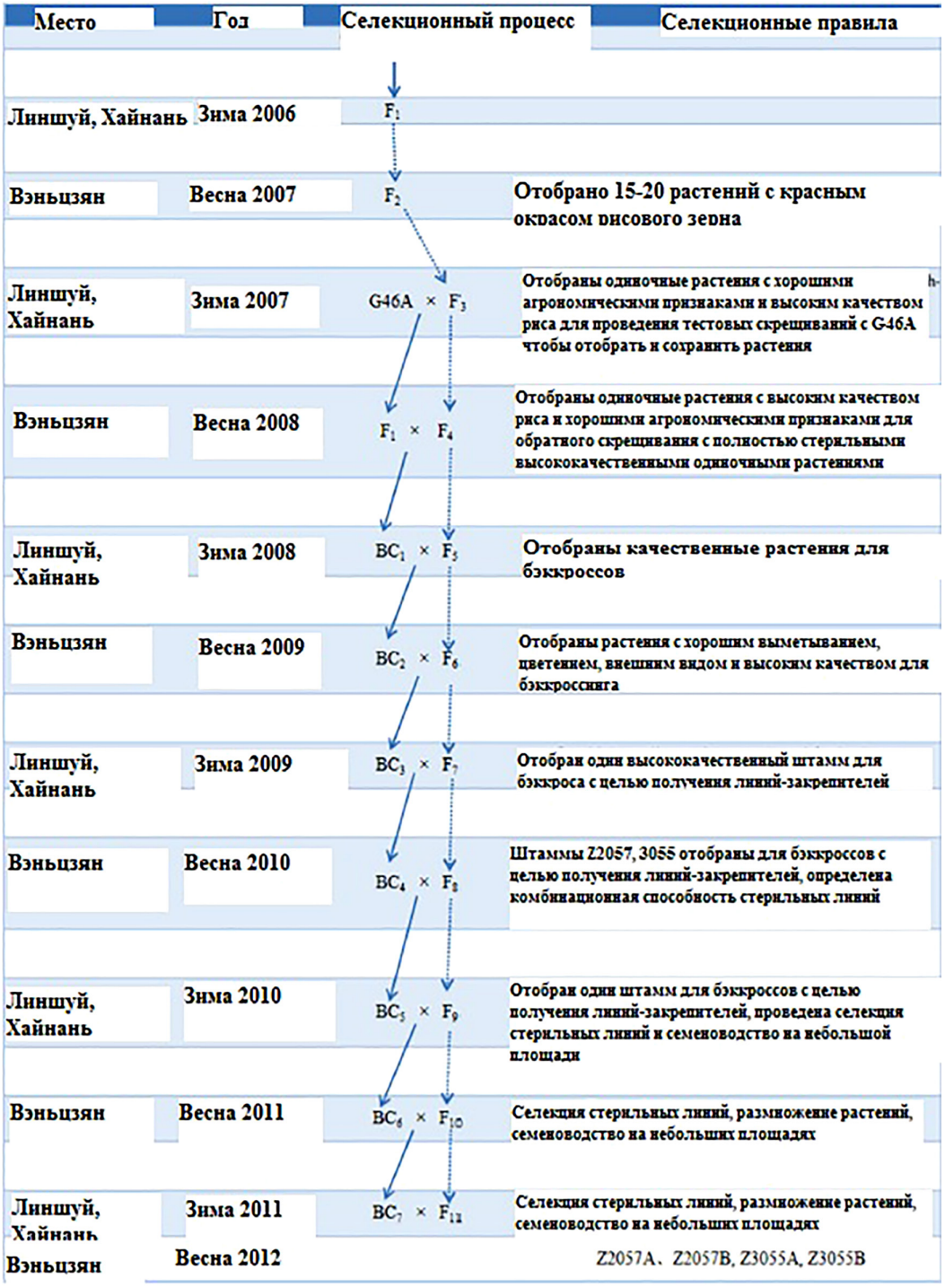


**Рис. 1. Процесс селекции стерильных линий Z3055A, Z2057A и линий-восстановителей Z3055B, Z2057B. Примечание: Вэньцзян, район Чэнду, Китай; Линшуй, Хайнань, Китай; Пунктирные стрелки означают самоопыление; × означает скрещивание; A обозначает стерильные линии; B означает линии-восстановители; F означает скрещенные поколения; BC означает бэкроссные поколение.**

***Предварительная обработка материала и приготовление муки.*** Свежие образцы (очищенные деионизированной водой) были разделены на шесть частей, а именно: листья, чешуи, шелушенный рис, рисовые отруби, шлифованный рис и зародыш. Предварительную обработку материала и муки готовили в соответствии со следующим методом [22]. Шелушенный рис подвергали предварительной обработке с использованием щлифовальной машинки (JNM-III, China Grain Reserved Corporation, Xicheng District, Пекин, Китай) в течение 60 с, чтобы получить шлифованный рис (крупный) и рисовые отруби [23–25]. Затем смесь просеивали через сито, чтобы отделить оболочку семян от зародыша. Затем чешуи,

шлифованный рис и шелушенный рис измельчали и просеивали через сито для получения экспериментальной муки.

***Химикаты.*** Стандартный раствор селена был предоставлен Национальным центром анализа и испытаний цветных металлов и электронных материалов. Азотная кислота, хлорная кислота и соляная кислота были гарантированными реагентами (GR); Эти реагенты были аналитически чистыми и были приобретены у компании Ruijingte Chemistry Company, Чэнду, Китай.

***Определение общего Se: расщепление электротермической пластины – атомно-флуоресцентная спектрометрия.*** Общее содержание Se определяли в соответствии с ранее описанным методом [22] с небольшой модификацией. После фильтрации 0,5 – 1,0 г муки взвешенного материала помещали в стеклянную пробирку объемом 50 мл и добавляли 15 мл раствора смешанной кислоты ($HNO_3$ : $HCLO_4$ = 10 : 1) [26]. Затем стеклянную пробирку накрывали воронкой и помещали в ультразвуковой очиститель (WD-9415B, LiuYi Co., Ltd, Пекин, Китай) на 1 час, с частотой 100 Гц и 25 °C, чтобы полностью растворить твердые остатки. Когда появлялся микро-желтый газ с чистой жидкостью после обработки ультразвуком, содержимое оставлялось на ночь. Затем пробирки помещали в цифровой горячий блок и смеси нагревали при 180 °C до тех пор, пока не оставался осадок приблизительно 2,0 мл. Затем температуру доводили до 140 °C и добавляли 10 мл концентрированного раствора HCl (HCl : $H_2O$ = 1 : 1) для восстановления селената до селенита. Через полчаса раствор переносили в мерную колбу на 50 мл и разбавляли до 50 мл 5%-ным раствором HCl для определения общего содержания Se.

***Определение неорганического Se: экстракция разбавленных кислот – атомно-флуоресцентная спектрометрия.***Неорганический Se в рисовом порошке определяли с использованием метода экстракции разбавленной кислотой [27]. Еще 0,20 г рисовой муки взвешивали и помещали в коническую колбу объемом 50 мл, в которую добавляли 50 мл (0,1 моль $л^{-1}$) HCl. Затем пробирку помещали в термостатирующий генератор на 8 ч при 40 °C с последующим центрифугированием. После 30 мин центрифугирования 10 мл супернатанта вместе с 10 мл концентрированного раствора HCl (HCl : $H_2O$ = 1 : 1) добавляли в стеклянную пробирку и пробирку подвергали протоколу определения общего Se. Содержание неорганического и общего Se в образцах измеряли с использованием анализатора атомно-флуоресцентного спектрофотометра (AFS) (RGF-6800, Bo Hui Co., Ltd, Пекин, Китай) с высокоэффективной лампой с полым катодом Se. Установки отрицательного высокого напряжения и тока лампы составляли 340 В и 100 мА соответственно. Другие настройки и протоколы подготовки стандартных растворов Se выполнялись в соответствии с нашим предыдущим отчетом [22].

***Статистический анализ.*** Данные были выражены как среднее значение ± стандартная ошибка (SEM). Был проведен односторонний дисперсионный анализ с множественными сравнениями с использованием независимого выборочного t-критерия для сравнения средств различных обработок при $P \leq 0,05$. Затем данные были помещены в линейные модели $y = ax + b$ для анализа корреляций. Все анализы проводились с использованием SPSS 22.0.0.0 (SPSS Inc., Чикаго, Иллинойс, США) и Microsoft Office Excel 2016.

## Результаты и обсуждение

Некорневое распыление селенита натрия может облегчить поглощение и накопление Se в съедобных частях растения [28]. Содержание Se в рисе показало прямую положительную корреляцию с применением селенита [29,30]. Многие исследования показали, что экзогенное применение селена может увеличить содержание Se в рисовом зерне [14, 31 – 35]. Было обнаружено, что некорневое применение селенита заметно увеличивает общее количество Se в листьях белозерного риса, не содержащего Se, по сравнению с контрольной группой (рис. 2(A)). При норме удобрения 10 мг/л селенита, в листьях риса Se-free GangYou 725 наблюдалось общее содержание Se в количестве 2,54 мг-$кг^{-1}$, что было сравнимо с таковым у красного риса с высоким содержанием натурального селена Z2057. (2,85 мг/кг), в то время как содержание Se в II You 838 (3,23 мг/кг) было сопоставимо с содержанием у штамма красного риса Z3055 (3,02 мг/кг). Дальнейшее увеличение концентрации селенита $L^{-1}$ на 12,5 мг увеличило общее содержание Se в 27,19 и 21,3 раза в GangYou 725 и II You 838 соответственно. Обогащенный селеном красный рис продемонстрировал сравнительно более высокое количество общего Se (примерно в 4,2 – 7,6 раза выше) в листьях, чем рис без содержания селена в контрольных условиях. Поскольку штаммы красного риса не обрабатывали Se-содержащим удобрением, основным источником интенсификации Se у них были корни. Штамм риса без содержания Se (GangYou 725) набрал до 4 мг/кг общего Se в своих листьях, в то время как II You 838 набрал 4,17 мг/кг. Поглощающая способность Se в корнях красного риса и его мобилизация по всему растению своеобразны [36, 37]. Сравнение обоих сортов риса в контрольной среде (0 мг/л) показало, что корни красного риса имеют более высокую поглощающую способность и потенциал транслокации Se, чем у белого риса. Почвенные условия (тяжелый суглинок, суглинок, глина и т.д.), Почвенная среда (в частности, pH почвы), а также различные формы Se влияют на поглощение и накопление Se в растениях [19]. Общее содержание Se в 2,8–3,0 мг/кг, накопленное в листьях красного риса было даже выше, чем общее содержание Se в почве (0,3537 $мг^{-1}$ кг). Это показало, что красный рис более способен производить и перемещать Se из корней в зерно [36], следовательно, служит естественным накопителем Se. Способность растений к накоплению питательных микроэлемен-

тов является обязательным условием как биообогащения, так и фиторемедиации [38].

Чешуи являются одной из непотребляемых частей растения риса, которую можно использовать в качестве побочного продукта при производстве. Они важны для морфологии зерна и питания урожая. Общее содержание Se в чешуях дает интересную информацию о различных формах Se. Из общего количества Se в сортах красного риса (0,6 мг/кг$^{-1}$) органический Se составлял лишь около 25,4 – 25,8% (0,15 мг/кг$^{-1}$), как показано на рис. 2 (B). В линиях белого риса, не содержащего Se, применение экзогенного селенита для всех групп (0, 5, 7,5, 10 и 12,5 мг/л) увеличило общее содержание Se до 8,2 мг/кг (из них 90% общего селена было неорганическим), в то время как содержание органического селена составляло всего около 3–9% от общего содержания. Была обнаружена линейная связь между нанесением селенита натрия на листья и общим накоплением Se в чешуйказ (рис. 3(A) и (B)). Высокая концентрация неорганического селена в чешуях (белый рис, не содержащий Se), вероятно, связана с применением в селенита натрия во время критических фаз роста (стадии трубкования и полного выметывания), поскольку растения поглощают достаточное количество питательных веществ на этих этапах [37]. Это может помочь растениям в накоплении более высокого уровня неорганического Se с ограниченной трансформацией и перемещением в другие части растения [35]. Это может быть одной из причин высокого содержания неорганического селена в чешуях. Их можно использовать в качестве мульчи для обогащения почвы селеном, а также корма для животных.

Общее количество селена накапливалось больше всего в отрубях, затем следовал шелушенный рис, затем шлифованный рис и, наконец, зародыш [39, 40]. Общее содержание Se различалось в контрольной среде (красный рис и белый рис) (рис. 2(C)). Было обнаружено, что из общего количества селена, 0,064 мг-кг$^{-1}$ накопилось в красном рисе с высоким содержанием Se, тогда как всего 0,008 – 0,01 мг-кг$^{-1}$ было сохранено в штаммах белого риса без содержания Se (0 мг/л)$^{-1}$), что недостаточно для удовлетворения ежедневных диетических потребностей. Когда в качестве нормы удобрения использовалось 10 и 12,5 мг L$^{-1}$ селенита натрия, общее содержание Se увеличивалось в 5–6 раз (0,06 – 0,08 мг/кг) в обоих штаммах белого риса, не содержащего Se, что входит в число национальных стандартов риса, обогащенного селеном, то есть 0,04–0,30 мг/кг$^{-1}$ (GB/T 22499 – 2008). Различия казались незначительными при низких уровнях селенитовых удобрений (0, 5 и 7,5 мг$^{-1}$). Уже было продемонстрировано, что внекорневое внесение селеносодержащего удобрения может повысить общее содержание Se в шелушенном рисе [39,42]. Поэтому, для лучшего понимания, была изучена трансформация селена в шелушенном рисе.

У шелушенного риса наблюдалась органическая и неорганическая транслокация Se у обоих сортов риса. Более 75 % от общего количества Se, обнаруженного в красном рисе с высоким содержанием селена, было органическим по природе, тогда как тенденция у белого риса без содержания Se была иной. Около 39–52 % от общего количества Se у таких сортов было органическим, что указывает на значительные различия (рис. 2(D)). Независимо от повышенного уровня селенита натрия, распыляемого на листья, существовала прямая и линейная корреляция между общим содержанием Se в шелушенном рисе и общим накоплением Se в листьях (рис. 3(C) и (D)). Однако содержание и процентное соотношение органического Se в шелушенном рисе показали отрицательную корреляцию с повышенной концентрацией селенита натрия, распыляемого на поверхность листьев (рис. 4(A) и (B)). Лучший уровень селенита натрия составлял 5 мг/л, что было связано с максимальным процентным содержанием органического Se в шелушенном рисе. Тем не менее, дальнейшее увеличение концентрации селенита натрия увеличивало общее содержание Se, в то время как процентное содержание органического Se, как было установлено, уменьшилось (рис. 2(D)). Органический селен обычно составляет более 80 % от общего количества, в то время как белковый Se является основной формой органического селена в зерновых культурах [43]. Сообщалось, что органический Se составляет более 90 % от общего количества Se в зерне пшеницы, тогда как белковый Se составляет более 70% от общего Se [44]. Поэтому для обогащения селеном следует выбирать сорта риса с высокой чувствительностью к нему. Следует более подробно рассмотреть вклад каждого из компонентов шелушенного риса.

Шелушенный рис может быть разделен на рисовые отруби, шлифованный рис и зародыш. Рисовые отруби могут содержать половину от общего количества Se, тогда как оставшаяся половина содержится в шлифованном рисе и зародыше [45]. Рисовые отруби могут быть далее разделены на алейроновый слой, эндосперм и перикарп, что составляет 1 – 2 % от общего количества зерна [46]. Во время роста и развития растения риса алейроновый слой формируется на поверхности клеток эндосперма на седьмой или восьмой день после цветения, выступая в качестве промежуточного прохода для поглощения и перемещения питательных веществ. Таким образом, он играет важную роль в хранении элементов (белков, крахмала, липидов и минеральных элементов) в поверхностном слое клеток эндосперма [47]. Рисовые отруби могут хранить больше неорганического селена, чем шлифованный рис, поскольку клетки эндосперма не обладают достаточной способностью соединяться с неорганическим Se. В начале развития зерновки накопление крахмала в клетках эндосперма постепенно увеличивается, и клетки в конечном итоге теряют свою активность через шесть

дней, и, в конечном счете, на 15 – 18-й день большинство клеток в эндосперме уже инактивируются [47, 48], в результате чего большое количество Se (85 %) поглощается алейроновым слоем (возможно, неорганическим), который не может быть перенесен в эндосперм [49–51] . Чжоу писал, что 15 мг $л^{-1}$ селенита натрия при распылении на стадии полного выметывания повышают общее содержание Se в семенах до 7,9–11 раз [31], что соответствует настоящему исследованию. Формы Se в группе красного риса с высоким содержанием селена значительно отличались от группы белого риса без содержания селена в естественной среде (рис. 2(E)). Более органическое накопление Se в группе красного риса с высоким содержанием селена, вероятно, может быть связано с питательными веществами и микроэлементами, которые обогащают красный цвет пигмента рисовых отрубей и кожуры [45, 52–54]. Однако антоциановый глюкозид в отрубях красного риса также служит как природный антиоксидант [55]. С другой стороны, рис, не содержащий Se, возможно, не обладает генетическим контролем для накопления органического селена из-за белого пигмента рисовых отрубей.

Основная проблема многих исследователей связана с изучением органического селена, поскольку органическая форма Se биологически более доступна для человека, чем неорганические формы. Некорневое применение Se-содержащих удобрений может привести к более низкому уровню органического Se в зерновых культурах по сравнению с применением Se в почве [32]. Однако результаты текущего исследования показали, что органическая форма Se составляет не менее 80 % от общего количества Se в шлифованном рисе независимо от того, метода внесения удобрений. Шлифованный рис является съедобной частью рисового растения, на его долю приходится 92 – 95 % всего зерна [46]. Большая часть аккреции органического Se происходит в зародыше и щлифованном рисе [5]. Тенденция к аккреции общего и органического селена была неодинаковой для разных сортов риса в контрольных условиях (рис. 2(F) и (G)). Красный рис, обогащенный селеном, выращивался с большим содержанием органического Se в его съедобных частях – шлифованный рис и зародыш, а диапазон накопления органического Se соответствовал стандарту для ежедневных диетических потребностей [56]. Тенденция к увеличению накопления общего и органического Se наблюдалась при повышенном применение селенита натрия у обоих сортов риса без содержания Se (GangYou 725 и II You 838). 10 мг/л было идеальной дозой удобрения с 85 % (0,028 мг/кг) органического Se в GangYou 725 и 87% (0,032 мг/кг) в II You 838. (рис. 2(F)), что указывает на то, что шлифованный рис имеет определенную степень интенсификации органического Se. Содержание общего и органического Se в щлифованном рисе было увеличено в 7,52 – 11,67 раза в GangYou в 725 и 6,28 – 10,23 раза в II You 838 при сравнении крайних вариантов опыта (0 и 12,5 мг/л) соответственно. Соотношение органического и общего Se выявило, что более 75 % Se, обнаруженного в белом шлифованном рисе, было органическим, [28] и 92 – 95 % Se, обнаруженного в группе красного риса с высоким содержанием селена (Z2057 и Z3055), были органического характера (0,04 мг/кг) и в сочетании с белком (рис. 2(F) и (G)). В ряде более ранних исследований сообщалось о различных результатах, в которых неорганический $Se^{6+}$ предпочтительнее $Se^{4+}$ из-за его легкой биодоступности в почве [17, 59]. Снижение доли органического Se в шлифованном рисе было не таким очевидным, как в случае с шелушенным рисом. (рис. 3(C) и (D)). Зародыш является прародителем следующего поколения зрелых семян, на его долю приходится всего 4% от общего состава зерна [47]. Аналогичная тенденция накопления селена (как у шлифованного риса) с небольшими различиями наблюдалась у зародыша. В контрольной группе Se, как в красных, так и в белых сортах риса может соединяться с белком с образованием органического Se, а 75 – 85 % может храниться в зародыше и шлифованном рисе (рис. 2(G)). В клубнях картофеля было обнаружено, что 49 – 65 % Se содержится в белковых компонента [60]. Содержание неорганического Se в зародыше было выше, чем в шлифованном рисе, составляя 30 – 45 % от общего Se при всех дозах селенитовых удобрений. В настоящее время наличие Se для группы красных сортов риса с высоким содержанием селена в основном обусловлена различной сортовой реакцией на Se-содержащие удобрения. Процесс ассимиляции и метаболизма Se корнями отличается от процесса у листьев, так как есть достаточно времени для ассимиляции Se и его трансформации в органическую форму в период роста культуры [23] В растениях $Se^{4+}$ быстро превращается в органоселенные соединения в корнях, где $Se^{6+}$ быстро доставляется в ксилему [61] и затем ассимилируется в селеносодержащие соединения в пластидах [62]. Таким образом, $Se^{4+}$ может быть лучшим выбором в качестве искусственного удобрения.

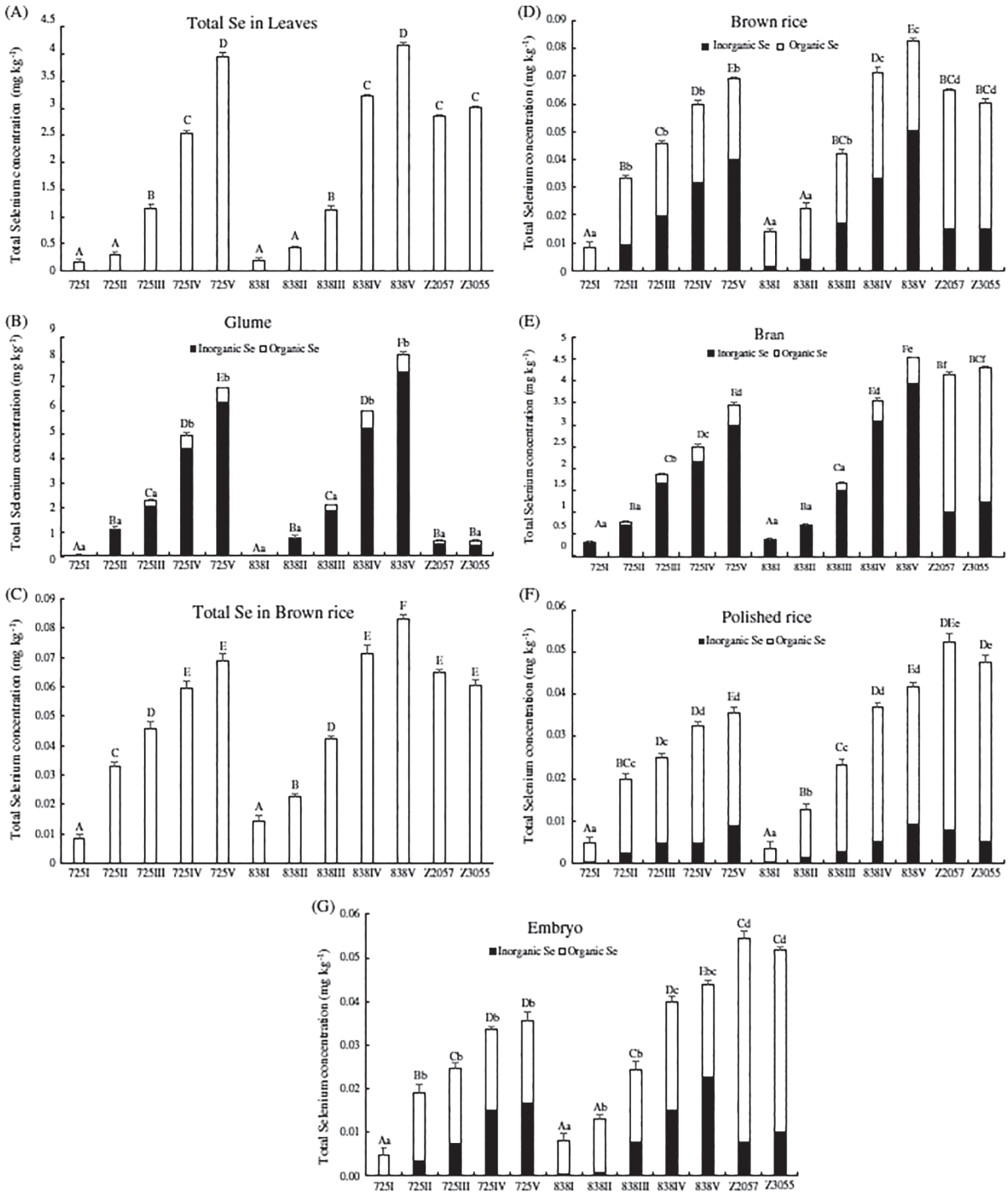


**Рис. 2. Общая концентрация органического и неорганического селена в отдельных частях белого риса, не содержащего Se, и красного риса, обогащенного Se.**

*Примечание: разные заглавные буквы указывают на значительные различия между общим содержанием селена (P < 0,05) ((A) и (C)). Разные заглавные и строчные буквы указывают на значительные различия между содержанием неорганического и органического селена соответственно, как показано в (B), (D) – (G) (P < 0,05). Обозначения: ось X: штаммы белого риса без содержания селена (GangYou 725 и II You 838) с повышением дозы, то есть I (0 мг/л), II (5 мг/л), III (7,5 мг/л), IV (10 мг/л), V (12,5 мг/л), в то время как Z2057 и Z3055 – штаммы красного риса с высоким содержанием селена. Ось Y: Общая концентрация Se в разных частях растения.*

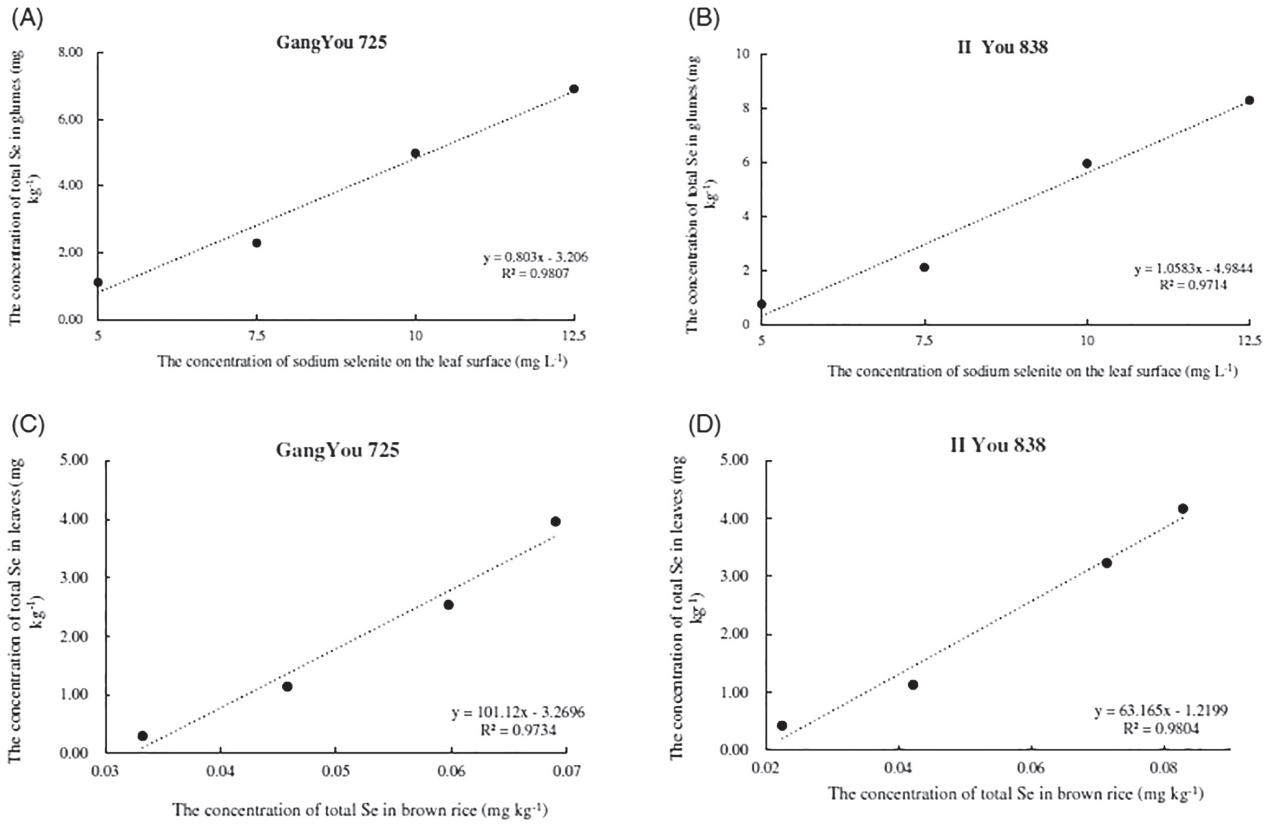


**Рис. 3. Линейная взаимосвязь между различными частями растения у линий риса без содержания Se GangYou 725 и II You 838.**

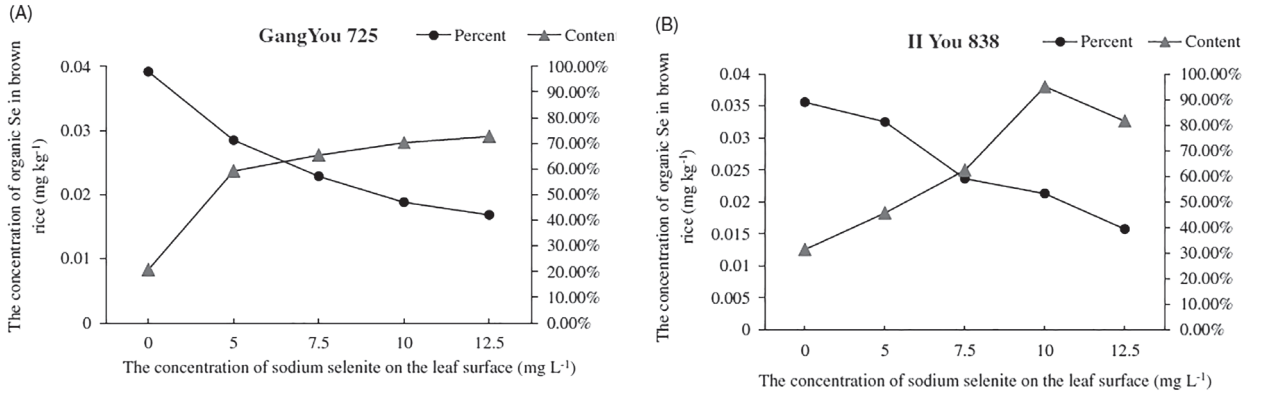


**Рис. 4. Содержание и процентное соотношение органического селена в различных частях растения у линий риса без содержания Se GangYou 725 и II You 838**

## Выводы

Из результатов и обсуждения мы можем заключить, что некорневое внесение селенита натрия может значительно увеличить накопление общего и органического селена (в особенности, связанного с белком, или SeMet в зерне риса, не содержащего Se). Было обнаружено, что 10 мг/л – это идеальный уровень, который следует использовать в качестве нормы удобрения в фазу трубкования и полного выметывания для биообогащения органическим Se белого риса без содержания селена. Рис без содержания селена, обработанный селенитом в качестве удобрения, можно отшлифовать, чтобы получить шлифованный рис для употребления в пищу. Кроме того, закономерность накопления Se, демонстрируемая штаммами красного риса, отличались от таковых у белого риса без содержания Se с большим приростом органического Se из почвы. Таким образом, целесообразно найти различные молеку-

лярные пути и генетические факторы, влияющие на чувствительность риса к Se, и тщательно проверить возможность обогащения селеном. Текущие результаты предоставили предварительную информацию и определяют области для дальнейших исследований.

*Данная работа выполнена при поддержке Программы технологических исследований и разработок провинции Сычуань (2016NZ0106) и Международных проектов по сотрудничеству и обмену в области исследований и разработок провинции Сычуань (2018HH0016).*

**ЛИТЕРАТУРА**

1. Berzelius, J.J. Undersökning af en nyMineral-kropp, funnen i de orenare sorterna af det i Falun tillverkade svaflet, in Afhandlingar i Fysik, KemiochMineralogi, ed. by Jan Trofast, Afhandlingar, Stockholm, Sweden. Vol. 6, P. 42–144 (1818).

2. Chaudhary, M, Garg, A.K., Mittal, G.K. and Mudgal, V Effect of organic selenium supplementation on growth, Se uptake, and nutrient utilization in Guinea pigs. Biol Trace Elem Res 133:217-226 (2010).

3. Fernandes, A.P. and Gandin, V Selenium compounds as therapeutic agents in cancer. Biochim Biophys Acta 1850:1642-1660 (2015).

4. Kieliszek, M. and Błaż, ejak S Selenium: significance, and outlook for supplementation. Nutrition 29:713-718 (2013).

5. Williams, P.N., Lombi, E., Sun, G.X., Scheckel, K., Zhu, Y.G., Feng, X et al. Selenium characterization in the global rice supply chain. Environ Sci Technol 43:6024-6030 (2009).

6. Rayman, M.P., Infante, H.G. and Sargent, M. Food-chain selenium and human health: spotlight on speciation. Br J Nutr 100:238-253 (2008).

7. Fageria, N.K., Green manuring in crop production. J Plant Nutr 30:691-719 (2007).

8. Y-L, W, Li, W and Guo-min, Z Screening of selenium enriched rice in Heilongjiang Province. Heilongjiang Agric Sci 6:1-3 (2016).

9. Boldrin, P.F., Faquin, V, Ramos, S.J., Boldrin, K.V.F., Ávila, F.W. and Guilherme, L.R.G. Soil and foliar application of selenium in rice biofortification. J Food Compos Anal 31:238-244 (2013).

10. Zhang, M, Tang, S, Huang, X, Zhang, F, Pang, Y, Huang, Q et al. Selenium uptake, dynamic changes in selenium content and its influence on photosynthesis and chlorophyll fluorescence in rice (Oryza sativa L.). Environ Exp Bot 107:39-45 (2014).

11. Gupta, U.C., Winter, K.A. and Mcrae, K.B. Selenium enrichment of crops through foliar applications. Can J Soil Sci 68:519-526 (1988).

12. De, V.P., Platani C, Fragasso, M, Ficco, D.B. Colecchia, S.A., Del, Nobile M.A.et al., Selenium-enriched durum wheat improves the nutritional profile of pasta without altering its organoleptic properties. Food Chem 214:374-382 (2017).

13. Wang, J.,Wang, Z., Mao, H., Zhao, H. and Huang, D. Increasing Se concentrationin maize grain with soil- or foliar-applied selenite on the Loess plateau in China. Field Crop Res 150:83-90 (2013).

14. Wang, Y.D., Wang, X. and Wong, Y.S. Generation of selenium-enriched rice with enhanced grain yield, selenium content and bioavailability through fertilisation with selenite. Food Chem 141:2385-2393 (2013).

15. Zhu, S, Liang, Y, Gao, D, An, X and Kong, F. Spraying foliar selenium fertilizer on quality of table grape (Vitis vinifera L.) from different source varieties. Sci Hortic 218:87-94 (2017).

16. Besser, J.M., Canfield, T.J. and Point, T.W.L. Bioaccumulation of organic and inorganic selenium in a laboratory food chain. Environ Toxicol Chem 12:57-72 (1993).

17. Li, X., Wu Y, Li B., Yang, Y. and Yang, Y. Selenium accumulation characteristics and biofortification potentiality in turnip (Brassica rapa var. rapa) supplied with selenite or selenate. Front Plant Sci 8:2207 (2018).

18. Ganther, H.E., Levander, O.A. and Baumann, C.A. Dietary control of selenium volatilization in the rat. J Nutr 88:55-60 (1966).

19. Longchamp, M., Castrecrouelle, M., Biron, P. and Bariac, T. Variations in the accumulation, localization and rate of metabolization of selenium in mature Zea mays plants supplied with selenite or selenate. Food Chem 182:128-135 (2015).

20. Tapiero, H, Townsend, D.M. and Tew, K.D. The antioxidant role of selenium and seleno-compounds. Biomed Pharmacother 57:134-144 (2003).

21. Kápolna, E, Laursen, K.H., Husted, S. and Larsen, E.H. Bio-fortification and isotopic labelling of Se metabolites in onions and carrots following foliar application of Se and 77Se. Food Chem 133:650-657 (2012).

22. Liang, Y, Farooq, M.U., Zeng, R, Tang, Z., Zhang, Y., Zheng, T. et al. Breeding of selenium rich red glutinous rice, protein extraction and analysis of the distribution of selenium in grain. Int J Agric Biol 20:1005-1011 (2018).

23. Premarathna, L, McLaughlin, M.J., Kirby, J.K., Hettiarachchi, G.M., Stacey, S. and Chittleborough, D.J. Selenate-enriched urea granules are a highly effective fertilizer for selenium biofortification of paddy rice grain. J Agric Food Chem 60:6037–6044 (2012).

24. Singh, N., Singh, H., Kaur, K. and Bakshi, M.S. Relationship between the degree of milling, ash distribution pattern and conductivity in brown rice. Food Chem 69:147-151 (2000).

25. Lamberts, L, Bie, E.D., Vandeputte, G.E., Veraverbeke, W.S., Derycke, V, Man, W.D. et al. Effect of milling on colour and nutritional properties of rice. Food Chem 100:1496-1503 (2007).
26. Wu, H., Jin, Y., Shi, Y and Bi, S. On-line organoselenium interference removal for inorganic selenium species by flow injection coprecipitation preconcentration coupled with hydride generation atomic fluorescence spectrometry. Talanta 71:1762-1768 (2007).
27. Jiang, X. Establishment of the methods for rice in selenium speciation analysis. MSc thesis, Nanjing University of Finance and Economics (2012).
28. Fang, Y., Zhang, Y., Catron, B., Chan, Q., Hu, Q. and Caruso, J.A. Identification of selenium compounds using HPLC-ICPMS and nano-ESI-MS in selenium-enriched rice via foliar application. J Anal At Spectrom 24:1657-1664 (2009).
29. Wei, D., Yang, Q, F-q., C. and H-b. S. Effect of foliage dressing Se fertilizer on the rice in the field. Soils Fertilizers 1:39-41 (2005).
30. Zhang, D., Zhai, Y., Ni, Z., Jun, Y. and Zheng-an, H., Correlation between soil selenium content and rice grain selenium content in Xinjiang rice production areas. Soil Fertilizer Sci 1:139-143 (2017).
31. Zhou, X.B., Shi, W.M. and Yang, L.Z., Genotypical differences and characteristics of Se uptake and accumulation in rice. Soils 39:731–736 (2007).
32. Zhou, X., Effect of foliar application of selenite on selenium accumulation and distribution in rice. Acta Pedolog Sin 44:73–78 (2007).
33. Qin, E. and Yang, L., Selenium content in seedling selenium forms in rhizospheric soil of Nicotiana tabacum L. Acta Agron Sin 34:506=512 (2008).
34. Zhang, L and Wang, X. Difference in selenite absorption between highand low-selenium rice cultivars and its mechanism. Plant and Soil 282:183-193 (2006).
35. Deng., X., Liu, K., Li, M., Zhang, W., Zhao, X., Zhao, Z. et al. Difference of selenium uptake and distribution in the plant and selenium form in the grains of rice with foliar spray of selenite or selenate at different stages. Field Crop Res 211:165-171 (2017).
36. Zhou, X.B., Shi, W.M. and Yang, L.Z. Study on mechanisms of selenium accumulation in rice grains. Plant Nutri Fert Sci 14:503-507 (2008).
37. Ming, Z.C., Fan, L., Gao, A. and Zhou, X. Absorption, translocation and redistribution of selenium supplied at different growth stages of rice. Int J Agric Biol 19:1601-1607 (2017).
38. Wu, Z., Bañuelos,G.S., Lin, Z-Q., Liu,Y., Yuan, L., Yin, Xe.t al. Biofortification and phytoremediation of selenium in China. Front Plant Sci 6:136 (2015).
39. Fang, Y., Chen, X., Chen, Y., Luo, P.Z., Yang, W.J., Ning, M.A. et al. Effects of exogenous selenium on nutritional quality and heavy metal content of rice grain. Jiangsu J Agric Sci 29:760-765 (2013).
40. Sun, G.X., Liu, X., Williams, P.N. and Zhu, Y.G. Distribution and translocation of selenium fromsoil to grain and its speciation in paddy rice (Oryza sativa L.). Environ Sci Technol 44:6706-6711 (2010).
41. Huang, A.Y. and Wu, Z.L. Determination of glutathione peroxidase in rice seedlings. J Southwest Agric Univ 21:324-327 (1999).
42. Fang, Y. Studies on selenium biofortification and chemical speciation in rice grain. PhD thesis, Nanjing Agricultural University (2010).
43. Eiche, E., Bardelli, F., Nothstein, A., Charlet, L., Göttlicher, J., Steininger, R. et al. Selenium distribution and speciation in plant parts of wheat (Triticum aestivum) and Indian mustard (Brassica juncea) from a seleniferous area of Punjab, India. Sci Total Environ 505:952-961 (2015).
44. Cubadda, F., Aureli, F., Ciardullo, S. D.'Amato, M., Raggi, A., Acharya, R. et al. Changes in selenium speciation associated with increasing tissue concentrations of selenium in wheat grain. J Agric Food Chem 58:2295-2301 (2010).
45. Zhao, J. Effects of selenium on the biological behavior and effects of mercury in plants. MSc thesis, University of Chinese Academy of Sciences (2013).
46. Wang M, Caryopsis development of rice. PhD thesis, Yangzhou University (2011).
47. Zhai, G. Study on the development of amyloplast in rice endosperm cells. PhD thesis, Yangzhou University (2012).
48. Jacobsen, S. and Olszewski, N., Gibberellins regulate the abundance of RNAs with sequence similarity to proteinase inhibitors, dioxygenases and dehydrogenases. Planta 198:78-86 (1996).
49. Chi, F.Q., Kuang, E.J., Zhang, J.M., Su, Q.R. and Wei, D. Effect of different selenium fertilizer application methods and application periods on selenium content and yield of rice. J Agric Resour Environ 6:81-107 (2014).
50. Zhu, W-D. Application of selenium on foliar surface of rice could enhance the percentage of selenium and improve quality of rice. Hubei Agric Sci 52:1764-1767 (2013).
51. Teng, S., Li, X., Cao, H., Liu, S. and Li, Z. Effect of foliar application of selenium fertilizer on the yield and selenium content in rice. J Agric 5:1-3 (2015).
52. Oki, T., Masuda, M., Kobayashi, M., Nishiba, Y., Furuta, S., Suda, I. et al. Polymeric procyanidins as radical-scavenging components in red-hulled rice. J Agric Food Chem 50:7524-7529 (2002).

53. Finocchiaro, F., Ferrari, B. and Gianinetti, A. A study of biodiversity of flavonoid content in the rice caryopsis evidencing simultaneous accumulation of anthocyanins and proanthocyanidins in a black-grained genotype. J Cereal Sci 51:28-34 (2010).

54. Zaupa, M., Calani, L., Del, R.D., Brighenti, F. and Pellegrini, N., Characterization of total antioxidant capacity and (poly)phenolic compounds of differently pigmented rice varieties and their changes during domestic cooking. Food Chem 187:338-347 (2015).

55. Liang, Y., Farooq, M.U., Hu, Y., Tang, Z., Zhang, Y., Zeng, R. et al. Study on stability and antioxidant activity of red anthocyanidin glucoside rich hybrid rice, its nutritional and physicochemical characteristics. Food Sci Technol Res 24:687-696 (2018).

56. Vinceti, M., Filippini, T., Cilloni, S., Bargellini, A., Vergoni, A.V., Tsatsakis, A.et al. Health risk assessment of environmental selenium: emerging evidence and challenges (Review). Mol Med Rep 15:3323-3335 (2017).

57. Liu, Y. Effects of low potassium on photosynthesis of Crocus sativus L. J Southwest Normal Univ 22:426-429 (1997).

58. Zhou, W. Influence of applying selenium on some biochemistry properties and selenium level in rice. J Mountain Agric Biol 17:323-326 (1998).

59. Duan, Y., Fu, T. and Fu, J. Studies on the biological accumulation and antioxidation of selenium in garlic (Allium sativum L.). Acta Hortic Sin 24:343-347 (1997).

60. Turakainen, M., Hartikainen, H., Ekholm, P. and Seppänen, M.M., Distribution of selenium in different biochemical fractions and raw darkening degree of potato (Solanum tuberosum L.) tubers supplemented with selenate. J Agric Food Chem 54:8617-8622 (2006).

61. Li, H.F., McGrath, S.P. and Zhao, F.J. Selenium uptake, translocation and speciation in wheat supplied with selenate or selenite. New Phytol 178:92-102 (2008).

62. Pilon-Smits, E.A. and LeDuc, D.L. Phytoremediation of selenium using transgenic plants. Curr Opin Biotechnol 20:207-212 (2009).

**Мухаммед Умер Фарук,**
**Жичен Тан,**
**Руй Цзэн,**
**Юаньке Лян,**
**Юйцзе Чжан,**
**Тенгда Чжэн,**
**Хла Хэй,**
**Сяоин Е,**
**Сяомэй Цзя,**
**Цзяньцин Чжу**
E-mail: zhujianqing1963@163.com

Все: Научно-исследовательский институт риса Сычуаньского сельскохозяйственного университета,
211-Huimin Road, Чэнду, Сычуань 611130, Китай.

**Muhammad Umer Farooq,**
**Zhichen Tang,**
**Rui Zeng,**
**Yuanke Liang,**
**Yujie Zhang,**
**Tengda Zheng,**
**Hla H Ei,**
**Xiaoying Ye,**
**Xiaomei Jia,**
**Jianqing Zhu***
E-mail: zhujianqing1963@163.com

All: Crop Genetics and Breeding, Rice Research Institute, Sichuan Agricultural University,
211-Huimin Road, Chengdu, Sichuan 611130, China.

DOI: 10.33775/1684-2464-2020-48-3-62-66
УДК 633.18:631.82

**Н.В. Чернышева**, канд. биол. наук, профессор,
**А.Я. Барчукова**, канд. с.-х. наук, профессор,
**Я.К. Тосунов**, канд. с.-х. наук, доцент
г. Краснодар, Россия

# ВЛИЯНИЕ НЕКОРНЕВОЙ ПОДКОРМКИ ОРГАНОМИНЕРАЛЬНЫМ УДОБРЕНИЕМ СТОЛЛЕР ЭНЕРДЖИ НА РОСТ, УРОЖАЙНОСТЬ РИСА И КАЧЕСТВО ЗЕРНА

*Представлены результаты двукратной некорневой подкормки растений риса (1-я в фазе кущения, 2-я в фазе трубкования) агрохимикатом Столлер Энерджи. Под его действием активизировались ассимиляционные процессы в растениях, усилились оттоки продуктов фотосинтеза и интенсифицировалось их рациональное перераспределение в формирующиеся репродуктивные органы. Отбор растительных проб для проведения биометрического анализа растений проводился в фазу выметывания. В результате было выявлено, что двукратная некорневая подкормка агрохимикатом Столлер Энерджи стимулировала рост растений в высоту (73,2 – 77,2, в контроле – 67,7 см), нарастание листовой поверхности (59,62 – 77,95, в контроле – 52,34 см$^2$) и биомассы надземных органов (8,88 – 9,69, в контроле – 7,56 г/растение). Причем, абсолютные значения показателей роста существенно зависели от дозы препарата, наиболее высокие значения отмечены в варианте с проведением подкормки растений препаратом Столлер Энерджи двукратно в дозе 1,0 л/га (расход рабочего раствора – 100 л/га). В указанном варианте получена максимальная прибавка урожая – 14,9 %, при урожайности в контроле – 72,3 ц/га и зерно с более высокими технологическими свойствами (крупность и выровненность: натура – 545,6, в контроле – 517,2 г/л, масса 1000 зерен – 29,0, в контроле 26,7 г; пленчатость – 18.9 и 21,3 %, стекловидность – 91,1 и 86,5 % соответственно).*

***Ключевые слова:*** *рис, агрохимикат Столлер Энерджи, листовая подкормка, рост, листообразование, структура урожая, урожайность, качество зерна.*

# EFFECT OF NON-ROOT FEEDING WITH ORGANOMINERAL STOLLER ENERGY FERTILIZER ON GROWTH, PRODUCTIVITY OF RICE AND GRAIN QUALITY

*The results of two-time foliar feeding of rice plants (1st in the tillering phase, 2nd in the tubeling phase) with the Stoller energy agrochemical are presented. Under its action, assimilation processes in plants were activated, outflows of photosynthesis products increased, and their rational redistribution to the emerging re-productive organs was intensified. The selection of plant samples for biometric analysis of plants was carried out during the sweeping phase. As a result, it was found that double foliar feeding with the agrochemical Stoller energy stimulated plant growth in height (73,2 – 77,2, in the control – 67,7 cm), growth of leaf surface (59,62 – 77,95, in the control – 52,34 cm$^2$) and biomass of aboveground organs (8,88 – 9,69, in the control – 7,56 g/plant). When, what, absolute values of growth performance was significantly dependent on the dose, the highest values observed in the feeding of plant compounds that Stoller's energy twice in the dose 1,0 l/ha (working solution – 100 l/ha). In the described variant, the maximum yield increase was obtained-14,9 %, with a yield in the control – 72,3 C/ha and grain with higher technological properties (size and evenness: nature – 545,6, in the control – 517,2 g/l, the mass of 1000 grains – 29,0, in the control – 26,7 g; filminess – 18,9 and 21,3 %, vitreous – 91,1 and 86,5 %, respectively).*

***Keywords*****:** *rice, Stoller energy agrochemicals, leaf feeding, growth, leaf formation, crop structure, yield, grain quality.*

## Введение

Определяющее значение для получения высокого и качественного урожая риса имеют уровень и соотношение элементов питания в период вегетации риса. Среди элементов минерального питания азот в жизни растений занимает особое место, так как растение потребляет его в больших количествах. В растения он поступает в виде ионов аммония, нитрата и нитрита. Кроме того, растение способны усваивать аминокислоты, амиды, полипептиды и другие водорастворимые азотсодержащие органические соединения [1, 4, 10].

Азот является лимитирующим элементом для растений и не только потому, что он входит в состав любой аминокислоты и всех без исключения белков, но и потому, что он регулирует все жизненно важные физиолого-биохимические процессы [13, 15].

Учитывая, что плодоносящие органы риса формируются в период кущения, недостаток азота в этот период ослабляет кущение, замедляет рост, уменьшает число метелок на растении и, как следствие, урожайность риса. В полевых условиях повысить урожайность и качество риса возможно проведением азотной подкормки. Однако полное развитие потенциальной продуктивности исследуемой культуры происходит только при снабжении ее необходимыми макро- и микроэлементами. Входящие в состав испытуемого агрохимиката цинк и марганец влияют на поглощение элементов минерального питания и их содержание в растениях, а также включение их в обмен веществ [2, 5, 16].

Ранее проведенные исследования показали, что наибольшей биологической эффективностью обладают комплексы, состоящие из органических и мине-

ральных (макро- и микро-) элементов, аминокислот, витаминов, регуляторов роста и других физиологически активных веществ, одновременно стимулирующих ростовые и продукционные процессы, а также устойчивость их к различного рода стрессам [6, 9, 11, 12, 14].

**Цель исследований**

Выявить биологическую эффективность органоминерального удобрения Столлер Энерджи и установить оптимальную дозу при проведении им некорневой подкормки растений риса.

**Материалы и методы**

Опыт проводили на рисовой оросительной системе экспериментального орошаемого участка ФНЦ риса. Предшественник рис. Режим орошения – укороченное затопление.

Рис возделывали с применением гербицида широкого спектра действия Номини. Авиаобработка посевов гербицидом проводили в фазу кущения (возраст растений – 4 – 5 листьев).

Объект исследования – рис сорта Аполлон – среднепоздний сорт (вегетационный период – 120 – 134 дня), устойчив к полеганию, среднеустойчив к осыпанию колосков и метелок. Масса 1000 зерен – 26 – 29 г. Средняя урожайность в Краснодарском крае – 78,5 ц/га. Технологические и кулинарные показатели зерна отличные.

Испытуемый препарат – Столлер марки: Столлер Энерджи – органоминеральное удобрение, содержащее в качестве питательных элементов–свободные аминокислоты (20,0 %), общий азот (5,3 %), органический С – 16,0 %, водорастворимый Zn (2,0 %), водорастворимый Mn (1,0 %). Препаративная форма – жидкость.

Схема опыта включала: контрольный вариант – без проведения некорневой подкормки; опытные варианты – двукратная некорневая подкормка растений – 1-я в фазу кущения и 2-я в фазу трубкования агрохимикатом Столлер Энерджи (расход препарата – 0,5, 1,0 и 1,5 л/га).

Обработку растений проводили ранцевым опрыскивателем в дозах и в сроки, указанные в схеме опыта. Расход рабочего раствора – 100 л/га посева.

Отбор растительных проб для определения высоты растений, биомассы и сухой массы надземных органов, числа и площади листьев проводили в фазу выметывания.

Уборку урожая проводили в фазу полной спелости. Перед уборкой отбирали модельные снопы для биометрического анализа урожая (определяли: число продуктивных стеблей, длину метелок, озерненность – общую и число стерильных колосков, массу с растения зерна и соломы и их соотношение). Технологические показатели качества зерна (натуру, массу 1000 зерен, пленчатость, стекловидность и трещиноватость) определяли в средних пробах зерна, отобранных во время уборки, по установленным ГОСТам.

Учет урожая зерна проводили сплошным обмолотом каждой делянки комбайном KUBOTA 1300 с последующим пересчетом на стандартную влажность и чистоту.

Полученные данные обрабатывали методом дисперсионного анализа по Б. А. Доспехову [3].

**Результаты и обсуждение**

Формирование высокопродуктивного посева требует регуляции многочисленных факторов, определяющих рост и дифференциацию вегетативных и генеративных органов. Отмеченное сопряжено с тем, что рост, как физиологический процесс, обладает чувствительностью и лабильностью к изменению напряженности внутренних и внешних факторов.

Проведение некорневой подкормки растений риса испытуемым препаратом усиливает режим минерального питания, в частности, азотного и, тем самым, стимулирует ростовые процессы (табл. 1).

**Таблица 1. Влияние препарата Столлер марки: Столлер Энерджи на рост растений риса**

| Вариант | Высота растений, см | Листовой аппарат | | Масса надземных органов, г/растение | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | число, шт. | площадь, см$^2$ | сырая | сухая |
| Контроль – без обработки растений | 67,7 | 4,1 | 52,34 | 7,56 | 2,00 |
| Столлер Энерджи – 2-х кратная некорневая подкормка (0,5 л/га) | 73,2 | 5,0 | 59,26 | 8,88 | 2,42 |
| Столлер Энерджи – 2-х кратная некорневая подкормка (1,0 л/га) | 75,9 | 5,2 | 69,78 | 9,36 | 2,69 |
| Столлер Энерджи – 2-х кратная некорневая подкормка (1,5 л/га) | 77,2 | 5,5 | 77,95 | 9,69 | 2,79 |
| $НСР_{05}$ | 3,5 | 0,2 | 3,13 | 0,41 | 0,12 |

Подкормка растений риса испытуемым препаратом двукратно (1-я – в фазе кущения, 2-я в фазе трубкования) стимулировала рост растений в высоту (73,2 – 77,2 см, в контроле – 67,7 см), интенсифицировала наращивание листовой поверхности (число листьев – 5,0 – 5,5 шт., в контроле – 4,1 шт., площадь ли-

стьев – 59,26 – 77,95, в контроле – 52,34 см²) и массы надземных органов (сырая масса – 8,88 – 9,69, в контроле – 7,56 г/растение; сухая масса – 2,42 – 2,79, в контроле – 2,00 г/растение). Наиболее мощные по габитусу растения формировались в варианте с применением испытуемого препарата в дозе 1,5 л/га.

Следует учитывать, что избыточное количество азота приводит к израстанию вегетативной массы, снижению урожая и ухудшению качества. Поэтому вопрос рационального использования азотных удобрений и оптимального снабжения растений азотом всегда актуален [7, 8].

Данные таблицы 2 показывают, что наиболее высокая зерновая продуктивность (масса зерна с растения – 5.27, в контроле – 3,03 г) получена в варианте с применением испытуемого препарата в дозе 1,0 л/га за счет формирования более крупных метелок по длине (14,3, в контроле – 11,7 см), озерненности (225.4, в контроле – 148,1 шт./растение), а также снижения пустозерности (24,6 % – в контроле) до 20,9 % в опытном варианте.

Повышение дозы препарата приводило к снижению значений всех рассматриваемых показателей урожая.

**Таблица 2. Влияние препарата Столлер марки: Столлер Энерджи на формирование элементов структуры урожая**

| Вариант | Длина метелки, см | Число зерен, шт./растение | | Масса, г/растение | | Отношение $m_з/m_с$ общая |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | общая | в т.ч. стерильных колосков | зерна $m_з$ | соломы $m_с$ | |
| Контроль – без обработки | 11,7 | 148,1 | 36,4 | 3,03 | 3,65 | 0,83 |
| Столлер Энерджи – 2-х кратная некорневая подкормка (0,5 л/га) | 14,2 | 217,8 | 45,8 | 4,79 | 5,64 | 0,85 |
| Столлер Энерджи – 2-х кратная некорневая подкормка (1,0 л/га) | 14,3 | 225,4 | 47,0 | 5,27 | 6,06 | 0,87 |
| Столлер Энерджи – 2-х кратная некорневая подкормка (1,5 л/га) | 13,9 | 179,9 | 38,0 | 4,07 | 4,85 | 0,84 |
| $НСР_{05}$ | 0,8 | 9,2 | 2,0 | 0,20 | 0,23 | |

Существенное повышение числа полноценных зерен с растения и их массы в опытных вариантах, особенно в варианте с применением испытуемого препарата в дозе 1,0 л/га, положительно сказалось на получении высокого урожая зерна риса (табл. 3).

**Таблица 3. Влияние препарата Столлер марки: Столлер Энерджи на урожайность риса**

| Вариант | Урожайность, ц/га | Прибавка к контролю | |
|---|---|---|---|
| | | ц/га | % |
| Контроль – без обработки растений | 72,3 | - | - |
| Столлер Энерджи – 2-х кратная некорневая подкормка (0,5 л/га) | 79,9 | 7,6 | 10,5 |
| Столлер Энерджи – 2-х кратная некорневая подкормка (1,0 л/га) | 83,1 | 10,8 | 14,9 |
| Столлер Энерджи – 2-х кратная некорневая подкормка (1,5 л/га) | 77,4 | 5,1 | 7,1 |
| $НСР_{05}$ | 3,7 | | |

Максимальная прибавка урожая – 14,9 %, при урожайности в контроле – 72,3 ц/га получена при проведении некорневой подкормки испытуемым препаратом в дозе 1,0 л/га двукратно (в фазах кущения и трубкования).

Не менее важная задача перед рисоводами состоит в улучшении качества зерна риса, так как от этого зависит выход крупы и содержание в общей массе крупы целого ядра. При анализе партий зерна риса при переработке его в крупу определяют натуру, массу 1000 зерен, пленчатость, стекловидность и трещиноватость. Изменения значений технологических показателей качества в зависимости от изучаемого фактора представлены в таблице 4.

Анализ данных таблицы 4 указывает на то что, оптимальная обеспеченность растений риса элементами питания в ответственные фазы формирования репродуктивных органов способствала не только получению максимального урожая (табл. 3), но и зерна высокого качества (натура – 545,6 г/л, в контроле – 517,2 г/л; масса 1000 зерен – 29,0 г, в контроле – 26,7 г; стекловидность – 91,1 %, в контроле – 86,5 %; пленчатость – 18,9 %, в контроле – 21,3 %; трещиноватость – 7,1 %, в контроле – 8,2 %).

**Таблица 4. Влияние препарата Столлер марки: Столлер Энерджи на технологические показатели качества зерна риса**

| Вариант | Натура, г/л | Масса 1000 зерен, г | Пленчатость, % | Стекловидность, % | Трещиноватость, % |
|---|---|---|---|---|---|
| Контроль – без обработки растений | 517,2 | 26,7 | 21,3 | 86,5 | 8,2 |
| Столлер Энерджи – 2-х кратная некорневая подкормка (0,5 л/га) | 541,0 | 28,7 | 19,4 | 88,8 | 7,5 |
| Столлер Энерджи – 2-х кратная некорневая подкормка (1,0 л/га) | 545,6 | 29,0 | 18,9 | 91,1 | 7,1 |
| Столлер Энерджи – 2-х кратная некорневая подкормка (1,5 л/га) | 534,9 | 27,2 | 20,4 | 88,2 | 7,8 |
| $НСР_{05}$ | 22,3 | 1,2 | | | |

## Выводы

Эффективность проведения некорневых подкормок растений риса (в фазы кущения и трубкования) органоминеральным удобрением Столлер марки: Столлер Энерджи в дозе 1,0 л/га (расход рабочего раствора – 100 л/га) подтверждена результатами исследований: получен максимальный урожай – 83,1 ц/га (в контроле – 72,3 ц/га, $НСР_{05}$ – 3,7 ц/га) зерна высокого качества (натура – 545,6 г/л, в контроле – 517,2 г/л, $НСР_{05}$ – 22,3 г/л; масса 1000 зерен – 29,0 г, в контроле – 26,7 г, $НСР_{05}$ – 1,2 г; стекловидность – 91,1 %, в контроле 86,5 %).

## ЛИТЕРАТУРА

1. Барбер, С.А. Биологическая доступность питательных веществ в почве / С.А. Барбер. – М.: Агропромиздат, 1988. – 376 с.

2. Власюк, П.А. Физиологическое значение марганца для роста и развития растений / П.А. Власюк, З.М. Климовицкая. – М.: Колос, 1969. – 162 с.

3. Доспехов, Б.А. Методика полевого опыта / Б.А. Доспехов. – М.: Колос, 1985.

4. Измайлов, С.В. Азотный обмен в растениях / С.В. Измайлов. – М.: Наука, 1986. – 320 с.

5. Ионов, Ф.В. Роль цинковых удобрений в повышении продуктивности риса / Ф.В. Ионов // Интенсивная технология выращивания основных зерновых культур в Ростовской области – Персиановка, 1988. – С. 95 – 102.

6. Кайгородова, Е.А. Регуляторы роста в ряду производных никотиновой кислоты / Е. А. Кайгородова, А. Я. Барчукова, Е.С. Костенко, С.А. Пестунова, Т.В. Гераськина // Политематический сетевой электронный журнал Кубанского государственного аграрного университета, 2014, № 100. – С. 177 – 208.

7. Кореньков, Д.А. Агрохимия азотных удобрений / Д.А. Кореньков. – М.: Наука, 1976. – 209 с.

8. Кореньков, Д.А. Агроэкологические аспекты применения азотных удобрений / Д.А. Кореньков. – М.: Наука, 1999. – 296 с.

9. Косулина, Т.П. Экологически чистые и высокоэффективные регуляторы роста растений / Т.П. Косулина, В.Г. Калашникова, С.В. Маслов, А.Я. Барчукова, Н.В. Чернышева, Т.В. Воскобойникова. – Плодородие, 2006. – № 3. – С. 25.

10. Осмоловская, Н.Г. Особенности поглотительной деятельности и ионный состав растений при использовании аммонийной и нитратной форм азота / Н.Г. Осмоловская // Азотное питание и продуктивность растений Тр. Биол. НИИ. – Л.: Изд-во Ленингр. Ун-та,1988. – № 39. – С. 66 – 95.

11. Посконин, В.В. Средство одновременно стимулирующие рост растений и повышающие их устойчивость к засухе / В.В. Посконин, Л.А. Бадовская, Н.Н. Ненько, А.Я. Барчукова, В.М. Ковалев. Патент на изобретение RU2133092 C1, 20.07.1999.

12. Синяшин, К.О. Бис(оксиметил)фосфиновая кислота и ее соли с биогенными металлами в качестве регуляторов роста и развития растений / К.О. Синяшин, А.Я. Барчукова, М.М. Мулаева. – Патент на изобретение RU 2624627 C1, 05.07.2017.

13. Тищенко, Н.Н. Взаимосвязь азотного и углеводного метаболизма у высших растений / Н.Н. Тищенко, И.М. Магомедов // Азотное питание и продуктивность растений Тр. Биол. НИИ. – Л.: Изд-во Ленингр. Ун-та,1988. – № 39. – С. 5 – 48.

14. Чернышева, Н.В. Влияние удобрения Нутривант плюс марки рис 0-36-24 на формирование структурных элементов, урожайность и качество зерна риса / Н.В. Чернышева, А.Я. Барчукова, В.А. Ладатко, М.А. Ладатко. // В сборнике: Перспективы использовнаия инновационных форм удобрений, средств защиты и регуляторов роста растений в агротехнологиях сельскохозяйственных культур. Материалы докладов участников 9-ой научно-практической конференции. – Москва-«Анапа», 2016. – С. 169 – 171.

15. Шеуджен, А.Х. Пути повышения эффективности азотных удобрений в рисоводстве / А.Х. Шеуджен, Н.Е. Алешин, А.А. Кушу и др. – Майкоп, 1994. – 14 с.

16. Шеуджен, А. Х. Теория и практика применения микроудобрений в рисоводстве / А.Х. Шеуджен, Н.Е. Алешин – Майкоп, 1996. – 313 с.

## REFERENCES

1. Barber, S.A. Biological availability of nutrients in the soil / S. A. Barber. – Moscow: Agropromizdat, 1988. – 376 p.

2. Vlasyuk, P.A. Physiological significance of manganese for growth and development of plants / P.A. Vlasyuk, Z.M. Klimovitskaya. – M.: Kolos, 1969. – 162 p.

3. Dospekhov, B.A. Methodology of field experience / B.A. Dospekhov. – M.: Kolos, 1985.

4. Izmailov, S.V. Nitrogen exchange in plants / S.V. Izmailov. – Moscow: Nauka, 1986 – 320 p.

5. Ionov, F.V. the Role of zinc fertilizers in increasing the productivity of rice / F.V. Ionov // Intensive technology of growing the main grain crops in the Rostov region-Persianovka, 1988. – P. 95 – 102.

6. Kaigorodova, E.A. Growth Regulators in a number of derivatives of nicotinic acid / E.A. Kaigorodova, A.Ya. Barchukova, E.S. Kostenko, S.A. Pestunova, T.V. Geraskina // Polythematic network electronic journal of Kuban state agrarian University, 2014, № 100. – P. 177 – 208.

7. Korenkov, D.A. Agrochemistry of nitrogen fertilizers / D.A. Korenkov. – Moscow: Nauka, 1976. – 209 p.

8. Korenkov, D.A. Agroecology aspects of application of nitrogen fertilizers / D.A. Korenkov. – Moscow: Nauka, 1999. – 296 p.

9. Kosulina, T.P. Eco-friendly and highly effective plant growth regulators / T.P. Kosulina, V.G. Kalashnikova, S.V. Maslov, A.Ya. Barchukova, N.V. Chernysheva, T.V. Voskoboynikova. – Fertility, 2006. – № 3. – P. 25.

10. Osmolovskaya, N.G. Features of absorption activity and ionic composition of plants when using ammonium and nitrate forms of nitrogen / N.G. Osmolovskaya // Nitrogen nutrition and productivity of plants Tr. Biol. NII. – L.: Publishing house leningr. UN-TA, 1988. – № 39. – Pp. 66 – 95.

11. Poskonin, V.V. Means simultaneously stimulating plant growth and increasing their resistance to drought / V.V. Poskonin, L.A. Badovskaya, N.N. Nenko, A.Ya. Barchukova, V.M. Kovalev. The patent for the invention RU2133092 C1, 20.07.1999.

12. Sinyashin, K.O. Bis(oxymethyl)phosphinic acid and its salts with biogenic metals as regulators of plant growth and development / K.O. Sinyashin, A.Ya. barchukova, M.M. Mulaeva. – Patent for invention RU 2624627 C1, 05.07.2017.

13. Tishchenko, N.N. the Relationship of nitrogen and carbohydrate metabolism in higher plants / N.N. Tishchenko, I.M. Magomedov // Nitrogen nutrition and plant productivity Tr. Biol. NII. – L.: Leningr. Publishing house, 1988. – № 39. – P. 5 – 48.

14. Chernysheva, N.V. Influence of fertilizer Nutrivant plus brand rice 0-36-24 on the formation of structural elements, productivity and quality of rice grain / N.V. Chernysheva, A.Ya. Barchukova, V.A. Ladatko, M.A. Ladatko // In the collection: Prospects of using innovative forms of fertilizers, plant protection agents and growth regulators in agricultural technologies. Materials of reports of participants of the 9th scientific and practical conference. – Moscow-Anapa, 2016. – Pp. 169 – 171.

15. Sheudzhen, A.H. Ways to improve the efficiency of nitrogen fertilizers in rice growing / A.H. Sheudzhen, N.E. Aleshin, A.A. Kushu et al. – Maykop, 1994. – 14 p.

16. Sheudzhen, A.H. Theory and practice of application of micronutrients in rice farming / A.H. Sheudzhen, N.E. Aleshin. – Maykop, 1996. – 313 p.

**Наталья Викторовна Чернышева**
Профессор кафедры прикладной экологии
E-mail: nv.chernisheva@yandex.ru

**Алла Яковлевна Барчукова**
Профессор кафедры физиологии
и биохимии растений
E-mail: nv.chernisheva@yandex.ru

**Янис Константинович Тосунов**
Доцент кафедры физиологии
и биохимии растений
E-mail: tosunyanis@yandex.ru

Все: ФГБОУ ВО «Кубанский государственный аграрный университет им. И.Т. Трубилина»,
350044, Россия, г. Краснодар, ул. Калинина, 13

**Natalia Viktorovna Chernysheva**
Professor of applied ecology Department
E-mail: nv.chernisheva@yandex.ru

**Alla Yakovlevna Barchukova**
Professor of the Department of plant physiology
and biochemistry
E-mail: nv.chernisheva@yandex.ru

**Yanis Konstantinovich Tosunov**
Associate Professor of the Department
of physiology and biochemistryplants
E-mail: tosunyanis@yandex.ru

All: FSBEI of Higher Education «Kuban State Agrarian University named after I. T. Trubilin»,
13, Kalinina st., Krasnodar, Russia, 350044

DOI: 10.33775/1684-2464-2020-48-3-67-77
УДК 631.45

**А.Х. Шеуджен,** д-р биол. наук, академик РАН,
**Т.Н. Бондарева,** канд. с.-х. наук,
**Я.Б. Петрик,** аспирант
г. Краснодар, Россия

# ПОДБОР ТЕХНОЛОГИИ ПРИМЕНЕНИЯ ЦИНКОВЫХ УДОБРЕНИЙ В РИСОВОМ АГРОЦЕНОЗЕ

*С целью установления наиболее эффективного способа и дозы применения цинкового удобрения на посевах риса проведен полевой опыт на лугово-черноземной почве зоны рисосеяния Краснодарского края. Цинковое удобрение применяли в сочетании с азотно-фосфорно-калийным из расчета $N_{120}P_{80}K_{60}$ путем предпосевной обработки семян, внесения в почву и некорневой подкормки растений в фазе кущения. Установлено, что наибольший эффект достигается при предпосевной обработке семян 1,0 % водным раствором микроэлемента. Посев обогащенными цинком семенами сопровождается ростом урожайности на 8,5 % и улучшением качества зерна выражающегося в повышении на 2,5 % содержания белка и 3,5 % – выхода крупы, а также снижении трещиноватости, пленчатости и содержания золы в зерне соответственно на 1,0, 1,2 и 0,7 %. При применении на семеноводческих посевах риса урожайность семян увеличивается на 23,0 %, выход семян – на 9,2 %, коэффициент размножения семян – на 23,5 %. В семенной массе доля семян крупной фракции возрастает на 14,0 %, а мелкой – уменьшается на 17,0 %, энергия прорастания и всхожесть семян из разных фракций повышаются соответственно на 3,5–9,5 и 1,5–2,0 %. Все показатели силы начального роста у этих семян имеют наиболее высокие значения.*

***Ключевые слова:*** *рис, цинк, норма удобрений, урожай, обработка семян, внесение в почву, некорневая подкормка, качество зерна.*

# THE CHOICE OF TECHNOLOGY OF APPLICATION OF ZINC FERTILIZERS IN RICE FARMING

*In order to determine the most effective method and dose of applying zinc fertilizer on rice crops, a field experiment was conducted on the meadow-black earth soil of the rice-growing zone of the Krasnodar territory. Zinc fertilizer was used in combination with nitrogen-phosphorus-potash at the rate of $N_{120}P_{80}K_{60}$ by pre-sowing seed treatment, application to the soil and foliar fertilization of plants in the tillering phase.The efficiency of zinc fertilizer was studied in its application to rice crops by pre-sowing seed treatment, application to the soil and foliar top dressing of plants in the tillering phase was studied. It has been established that the greatest effect is achieved with pre-sowing seed treatment with a 1.0 % aqueous trace element solution. Sowing seeds enriched with zinc is accompanied by an increase in yield of 8.5 % and an improvement in grain quality expressed in a 2.5 % increase in protein content and 3.5% in cereal yield, as well as a decrease in fracture, filminess and ash content in grain, respectively, 1, 0, 1.2 and 0.7 %. When using rice on seed crops, the seed yield increases by 23.0 %, seed yield – by 9.2%, seed reproduction rate – by 23.5 %. In the seed mass, the proportion of seeds of the large fraction increases by 14.0%, and of the small fraction decreases by 17.0%, the germination energy and germination of seeds from different fractions increase by 3.5–9.5 and 1.5–2.0, respectively % All indicators of the initial growth strength of these seeds have the highest values.*

***Key words****: rice, zinc, fertilizer rate, yield, seed treatment, soil application, foliar feeding, grain quality.*

## Введение

Рис – важнейшая культура, как мирового, так и отечественного сельского хозяйства. Для большей части населения планеты крупа риса – главный продукт питания. В нашей стране это не только продовольственная, но и мелиорирующая культура. Рис в нашей стране возделывается на почвах, отвоеванных у плавней. Построенные инженерные рисовые оросительные системы позволили вовлечь в сельскохозяйственное производство только в Краснодарском крае 234,4 тыс. га. Выращивание риса на этих землях настоятельная необходимость. Только в этом случае может продолжаться их сельскохозяйственное использование. Прекращение рисоводства ведет к заболачиванию или засолению почв рисовых оросительных систем, и они становятся непригодными для выращивания любых культур.

Рисоводство, несмотря на большие затраты на выращивание риса, одна из самых прибыльных отраслей сельского хозяйства в Краснодарском крае. Вместе с тем, потенциал продуктивности районированных сортов (10–12 т/га) реализуется далеко не полностью. Средняя урожайность риса в Краснодарском крае в 2019 г. составила всего лишь 6,46 т/га. Сократить этот разрыв можно путем совершенствования технологии его возделывания, ведущим звеном которой является оптимизация минерального питания агроценоза. Наряду с азотно-фосфорно-калийными удобрениями большое значение необходимо уделить микроудобрениям и регуляторам роста. Микроэлементы не только необходимы для нормальной жизнедеятельности растений и формирования высокой продуктивности, но они также способствуют на 20 – 30 % большему использованию азота, фосфора и калия из

удобрений. Одним из необходимых для жизнедеятельности растений риса микроэлементов является цинк [4, 5, 8, 12–27]. В статье приводятся результаты исследований различных способов применения цинкового удобрения в рисовом агроценозе.

**Цель исследований**

Выявить эффективные способы и дозы применения цинкового удобрения в рисовом агроценозе.

**Материал и методы**

Подбор технологии применения цинкового удобрения проводился в полевом опыте на рисовой оросительной системе семеноводческого хозяйства «Красное» (Краснодарский край, Красноармейский район). Почва лугово-черноземная характеризующаяся следующими значениями агрохимических показателей: содержание гумуса 3,2 %, азот общий 0,20 %, азот аммонийный – 12,64 мг/кг, фосфор общий 0,18 %, фосфор подвижный 52,4 мг/кг, калий валовый 1,9 %, калий подвижный 222,0 мг/кг, реакция почвенного раствора нейтральная. Площадь делянок – 25 м$^2$, варианты размещались рендомизированно. Предшественник – оборот пласта многолетних трав. Посев проводили в первой декаде мая (оптимальный срок), рядовым способом на глубину 1,0–1,5 см, с нормой высева 7 млн. всхожих зерен на 1 га. Режим орошения – укороченное затопление. Агротехника в опыте – рекомендованная ВНИИ риса в соответствии с почвой, климатом и сортом. Цинковое удобрение применяли в сочетании с азотно-фосфорно-калийным из расчета $N_{120}P_{80}K_{60}$ путем обработки семян, внесения в почву и некорневой подкормки в фазе кущения. Нормы удобрений и концентрации рабочего раствора представлены в таблицах. Расход рабочего раствора при обработке семян 10 л/т, некорневой подкормке – 300 л/га.

Учет урожая риса проводили в фазу полной спелости зерна сплошным обмолотом каждой делянки с пересчетом на стандартную влажность. Показатели качества зерна определяли в соответствии с ГОСТами: масса 1000 зерен по ГОСТ 10842-89, пленчатость – ГОСТ 10843-76, стекловидность – ГОСТ 10987-76, выход крупы – ГОСТ Р 50438-92, содержание в зерне белка – ГОСТ 10846-91, крахмала – ГОСТ 10845-98, зольность – ГОСТ 10847-74. Выход семян и их посевные качества определяли по ГОСТ 12037-81, ГОСТ 12038-84, ГОСТ 10968-88, ГОСТ 12040-85.

Полученные результаты оценивали методом дисперсионного анализа [11].

**Результаты и обсуждение**

Урожай является основным критерием, характеризующим уровень плодородия и продуктивности почв, а также эффективность агротехнологий. Потенциал продуктивности у конкретной культуры обусловливается генотипом, а степень его реализации – экологическими условиями и применяемой агротехникой.

Урожай риса определяется следующими компонентами: 1) предуборочной густотой стояния растений на единице площади; 2) продуктивной кустистостью растений; 3) числом зерен в метелке; 4) массой 1000 зерен. Первый компонент урожая формируется на I и II, второй – II – VII, третий – V – IX, четвертый – X – XI этапах органогенеза. Наследуемость числа продуктивных стеблей составляет 3,5 – 5,5 %, числа зерен в метелке – 25 – 35 %, массы 1000 зерен – 80 – 85 %, рисового агроценоза в целом – 0 – 20 %. Предуборочная густота продуктивного стеблестоя, числа зерен в метелке и масса 1000 зерен определяют урожай риса соответственно на 49,3, 28,7 и 22,0 % [3, 4, 5, 6].

***Предпосевная обработка семян цинком.*** Предпосевная обработка семян риса цинком всегда отражается на величине урожая. Ее влияние на урожайность обусловлено как дозой цинка, так и складывающимися агроэкологическими условиями произрастания растений риса. В зависимости от этих условий при посеве семенами, обработанными 0,05 % раствором цинка, урожайность риса за годы исследований увеличивалась на 2,5 – 3,3 %, 0,1 % – 3,7 – 4,9 %, 0,5 % – 6,3 – 7,9 %, 1,0 % – 6,8 – 9,8 %, 1,5 % – 4,4 – 5,9 % (табл. 1). При этом статистически подтвержденное ее увеличение отмечено только при использовании обработки семян 0,5 – 1,5 % водных растворов цинка. Наибольшая урожайность риса во все годы исследований формировалась при посеве семенами, обработанными цинком перед посевом 1,0 % водным раствором. В среднем за годы исследований она превышала контроль на 8,5 %. Незначительно меньшей была прибавка урожайности при посеве семенами, обработанными перед посевом 0,5 % водным раствором цинка. В противоположность этому при увеличении содержания цинка в рабочем растворе до 1,5 % урожайность при посеве обработанными им семенами была лишь на 5,0 % выше, чем в контроле, т. е. ее прибавка в 2 раза меньше, чем при воздействии на семена 1,0 % водным раствором цинка.

**Таблица 1. Урожайность зерна риса при посеве обогащенными цинком семенами**

| Вариант | Урожайность, т/га | | | | Прибавка | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | 2012 г. | 2013 г. | 2014 г. | $\bar{x}$ | т/га | % |
| $N_{120}P_{80}K_{60}$ – фон | 7,10 | 6,94 | 7,51 | 7,18 | – | – |
| Фон + Zn, 0,05% | 7,28 | 7,15 | 7,76 | 7,40 | 0,22 | 3,1 |
| Фон + Zn, 0,1 % | 7,42 | 7,20 | 7,80 | 7,47 | 0,29 | 4,0 |
| Фон + Zn, 0,5 % | 7,59 | 7,49 | 7,98 | 7,69 | 0,51 | 7,1 |
| Фон + Zn, 1,0% | 7,58 | 7,62 | 8,16 | 7,79 | 0,61 | 8,5 |
| Фон + Zn, 1,5 % | 7,44 | 7,35 | 7,84 | 7,54 | 0,36 | 5,0 |
| $НСР_{05}$ | 0,33 | 0,37 | 0,33 | – | – | – |

Рост урожайности риса получен за счет улучшения практически всех показателей структуры урожая (табл. 2). При предпосевной обработке семян высота растений и длина метелки увеличивались на 2,7 – 5,8 и 0,2 – 1,7 см, или на 3,1 – 6,6 и 1,3 – 10,9 %. Наилучшие условия для закладки колосков в метелке были также у опытных растений. Число колосков в метелке под воздействием цинка возросло на 4,3 – 16,0 шт., или на 2,8 – 10,4 %, одновременно снизилось на 0,4 – 1,7 % количество стерильных колосков.

Величина массы зерна с главной метелки опытных растений превышала контроль на 0,07 – 0,43 г, или 2,24 – 13,78 %, масса 1000 зерен – на 0,03 – 0,69 г, или 0,11 – 2,47 %. Все это привело к увеличению массы основной и побочной продукции с одного растения соответственно на 0,06 – 0,32 и 0,05 – 0,27 г, или на 1,41 – 7,53 и 1,41 – 7,63 %. Наибольшее влияние цинка на биометрические показатели растений и элементы структуры урожая зафиксировано в варианте, где семена обрабатывались перед севом 1,0 % водным раствором микроэлемента.

**Таблица 2. Биометрические показатели растений и структура урожая риса при посеве обогащенными цинком семенами**

| Вариант | Высота растений, см | Главная метелка | | | | Масса, г/растение | | Масса 1000 зерен, г |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | длина, см | число зерен, шт. | пустозерность, % | масса зерна, г | солома | зерно | |
| $N_{120}P_{80}K_{60}$ – фон | 87,8 | 15,6 | 154,3 | 16,3 | 3,12 | 3,54 | 4,25 | 27,88 |
| Фон + Zn, 0,05 % | 90,6 | 15,8 | 158,5 | 15,9 | 3,19 | 3,59 | 4,31 | 27,91 |
| Фон + Zn, 0,1 % | 91,3 | 16,0 | 160,1 | 15,7 | 3,30 | 3,71 | 4,45 | 27,99 |
| Фон + Zn, 0,5 % | 92,4 | 16,7 | 164,8 | 15,0 | 3,44 | 3,76 | 4,51 | 28,44 |
| Фон + Zn, 1,0% | 93,6 | 17,3 | 170,3 | 14,6 | 3,55 | 3,81 | 4,57 | 28,57 |
| Фон + Zn, 1,5 % | 90,5 | 16,5 | 160,9 | 15,1 | 3,41 | 3,65 | 4,38 | 28,04 |
| $НСР_{05}$ | 3,6 | 1,0 | 9,8 | – | 0,26 | 0,12 | 0,14 | 0,34 |

***Внесение цинка в почву.*** В почву цинковые удобрения рекомендуется вносить либо до посева одновременно с основным, либо в подкормку посевов по всходам [8]. Достоверное воздействие цинковых удобрений на урожайность риса при их внесении до посева фиксируется, начиная с нормы 4 кг/га (табл. 3). В этом варианте она превышала контроль в среднем за годы исследований на 7,0 %. Увеличение нормы не приводило к дальнейшему ее росту, но обозначилась тенденция к снижению.

**Таблица 3. Урожайность риса при разных сроках внесения цинкового удобрения в почву**

| Вариант | Урожайность, т/га | | | Прибавка | |
|---|---|---|---|---|---|
| | 2017 г. | 2018 г. | $\bar{x}$ | т/га | % |
| Внесение до посева | | | | | |
| $N_{120}P_{80}K_{60}$ – фон | 6,48 | 7,20 | 6,84 | – | – |
| Фон + $Zn_2$ | 6,73 | 7,47 | 7,10 | 0,26 | 3,8 |
| Фон + $Zn_4$ | 6,91 | 7,69 | 7,32 | 0,48 | 7,0 |
| Фон + $Zn_6$ | 6,94 | 7,62 | 7,28 | 0,44 | 6,4 |
| Фон + $Zn_8$ | 6,90 | 7,50 | 7,20 | 0,36 | 5,3 |
| $НСР_{05}$ | 0,31 | 0,28 | – | – | – |
| Внесение в фазе всходов | | | | | |
| $N_{120}P_{80}K_{60}$ – фон | 6,48 | 7,20 | 6,84 | – | – |
| Фон + $Zn_2$ | 6,85 | 7,59 | 7,22 | 0,38 | 5,6 |
| Фон + $Zn_4$ | 6,90 | 7,62 | 7,26 | 0,42 | 6,1 |
| Фон + $Zn_6$ | 6,88 | 7,60 | 7,24 | 0,40 | 5,8 |
| Фон + $Zn_8$ | 6,77 | 7,53 | 7,15 | 0,31 | 4,5 |
| $НСР_{05}$ | 0,36 | 0,24 | – | 0,00 | – |

Отсутствие достоверных отличий по урожайности при внесении цинка в интервале норм 4 – 8 кг/га д. в. позволяет заключить, что потребность растений риса в цинке полностью удовлетворяется при внесении его в количестве 4 кг/га.

При внесении цинкового удобрения в фазе всходов риса были эффективны те же нормы, что и при предпосевном применении. Наибольшие прибавки урожайности – 6,1 и 5,8 %, – также получены при нормах $Zn_4$ и $Zn_6$. Цинковые удобрения, внесенные в этот период, в норме 8 кг/га были менее эффективны.

Сравнивая сроки внесения цинкового удобрения в почву, можно отметить незначительно большую урожайность риса при их применении до посева. Внесение цинковых удобрений в этот период положительно сказывается на продуктивной кустистости растений, массе зерна с метелки и массе 1000 зерен (табл. 4). Повышение урожайности риса при внесении цинка происходит в результате лучшего развития элементов структуры урожая и снижения пустозерности.

***Некорневая подкормка растений.*** Некорневая подкормка элементами питания основана на способности растений усваивать их непосредственно надземными вегетативными органами и прежде всего листьями [9, 10]. Этот способ применения микроудобрений позволяет значительно сократить их расход по сравнению с внесением в почву. Положительной стороной является и то, что некорневые подкормки макро- и микроэлементами можно осуществлять на любой стадии развития растений, сочетать с орошением, вносить в едином приеме со средствами защиты посевов, что снижает затраты на их применение.

**Таблица 4. Биометрические показатели растений и структура урожая риса при различных сроках внесения цинкового удобрения в почву**

| Вариант | Высота растений, см | Продуктивная кустистость, шт./растение | Масса зерна с главной метелки, г | Пустозерность, % | Масса 1000 зерен, г |
|---|---|---|---|---|---|
| Внесение до посева | | | | | |
| $N_{120}P_{80}K_{60}$ – фон | 83,6 | 2,1 | 2,66 | 15,6 | 27,2 |
| Фон + $Zn_2$ | 85,3 | 2,2 | 2,76 | 13,7 | 27,6 |
| Фон + $Zn_4$ | 85,7 | 2,5 | 2,81 | 13,0 | 28,5 |
| Фон + $Zn_6$ | 86,4 | 2,5 | 2,80 | 14,1 | 27,8 |
| Фон + $Zn_8$ | 85,6 | 2,4 | 2,68 | 14,3 | 27,0 |
| $НСР_{05}$ | 4,9 | 0,2 | 0,11 | – | 1,0 |
| Внесение в фазе всходов | | | | | |
| $N_{120}P_{80}K_{60}$ – фон | 83,6 | 2,1 | 2,66 | 15,3 | 27,4 |
| Фон + $Zn_2$ | 84,8 | 2,3 | 2,73 | 14,3 | 27,8 |
| Фон + $Zn_4$ | 85,8 | 2,4 | 2,80 | 13,0 | 28,1 |
| Фон + $Zn_6$ | 86,4 | 2,4 | 2,71 | 14,3 | 27,6 |
| Фон + $Zn_8$ | 73,9 | 2,3 | 2,67 | 14,2 | 27,0 |
| $НСР_{05}$ | 5,1 | 0,2 | 0,12 | – | 1,1 |

Эффективность некорневой подкормки растений риса цинком зависит от нормы и формы удобрения (табл. 5). Наибольшая прибавка урожайности – 7,2 и 8,6 %, – получена при ее проведении 0,1 % водным раствором цинка. Более высокие и низкие нормы менее эффективны – обеспечивали меньшую прибавку урожайности зерна. Установлено, что при одинаковой норме хелат цинка оказывал более значительное воздействие на растения риса, чем сульфат цинка. Эти различия, хотя и небольшие, устойчиво проявлялись на протяжении всех лет исследований.

**Таблица 5. Урожайность риса при некорневой подкормке растений в фазе кущения цинковыми удобрениями**

| Вариант | Урожайность, т/га | | Прибавка, т/га | |
|---|---|---|---|---|
| | сульфат цинка | хелат цинка | сульфат цинка | хелат цинка |
| Контроль (фон) | 7,23 | 7,23 | – | – |
| Zn 0,05 % | 7,48 | 7,56 | 0,25 | 0,33 |
| Zn 0,1 % | 7,75 | 7,85 | 0,52 | 0,62 |
| Zn 0,5 % | 7,68 | 7,77 | 0,45 | 0,54 |
| $НСР_{05}$ | 0,44 | 0,51 | – | – |

***Реакция сортов риса на цинк.*** Для выявления этой реакции изучали сорта, принадлежащие к одной группе спелости (среднеспелые), но с различной экологической пластичностью. Это Рапан – хорошо адаптированный к экологическим факторам и техногенный сорт Хазар (табл. 6).

**Таблица 6. Реакция сортов риса на некорневую подкормку растений цинком в фазе кущения**

| Сорт (фактор А) | Доза цинка (фактор В) | Урожайность, т/га | | | Прибавка, | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 2013 г. | 2014 г. | $\bar{x}$ | т/га | % |
| Рапан | Контроль | 7,26 | 7,34 | 7,30 | – | – |
| | Zn 0,05 % | 7,64 | 7,72 | 7,68 | 0,38 | 5,2 |
| | Zn 0,1 % | 7,78 | 7,84 | 7,81 | 0,51 | 7,0 |
| | Zn 0,5 % | 7,68 | 7,72 | 7,70 | 0,40 | 5,5 |
| Хазар | Контроль | 6,98 | 7,14 | 7,06 | – | – |
| | Zn 0,05 % | 7,60 | 7,57 | 7,57 | 0,51 | 7,2 |
| | Zn0,I % | 7,92 | 7,74 | 7,83 | 0,77 | 10,9 |
| | Zn 0,5 % | 7,78 | 7,60 | 7,69 | 0,63 | 8,9 |
| $НСР_{05}$ по фактору А<br>$НСР_{05}$ по фактору В<br>$НСР_{05}$ для взаимодействия А × В | | 0,22<br>0,39<br>0,39 | 0,02<br>0,64<br>0,64 | | | |

В среднем за два года урожайность сорта Рапан на контрольном варианте превысила таковую сорта Хазар на 0,24 т/га. Самая высокая урожайность у обоих испытываемых сортов риса получена при некорневой подкормке растений 0,1 % водным раствором микроэлемента. Причем ее прибавка у сорта Хазар больше, чем у Рапан. Таким образом, техногенный сорт Хазар оказался более отзывчивым на включение цинка в систему его удобрения.

Качество урожая риса характеризуется биохимическими и технологическими показателями. Биохимический состав оценивается по содержанию высокоэнергетических веществ – белка и крахмала, а также зольных элементов. К технологическим показателям качества относятся стекловидность, трещиноватость, пленчатость, выход крупы и содержание в ней целого ядра.

Среди запасных веществ зерновки риса второе место по количеству занимают белки, около 70 % которых приходится на долю оризенинов, 15 % – глобулинов, 10 % – протаминов и 5 % – альбуминов. С их содержанием связана стекловидность зерновок. Как правило, в пределах сорта стекловидные зерна содержат белка больше чем мучнистые.

Улучшение обеспеченности растений риса цинком способствует снижению трещиноватости и пленчатости зерна на 0,3 – 1,0 % и 0,1 – 1,2 % соответственно (табл. 7). Лучшее по качеству зерно получено при посеве семенами, обработанными 1,0 % водным раствором цинка, т. е в варианте, где формировалась наибольшая урожайность. Другие использованные в эксперименте нормы микроэлемента в меньшей степени улучшали эти показатели качества зерна риса.

Цинк оказал положительное влияние на стекловидность зерна, выход крупы и содержание в ней целого ядра. Названные технологические показатели качества зерна возрастали соответственно на 0,5 – 2,5, 0,4 – 3,5 и 0,4 – 1,8 %.

**Таблица 7. Технологические показатели качества зерна риса при предпосевном обогащении семян цинком**

| Вариант | Трещиноватость, % | Пленчатость, % | Стекловидность, % | Выход крупы, % | Содержание целого ядра в крупе, % |
|---|---|---|---|---|---|
| $N_{120}P_{80}K_{60}$ – фон | 9,3 | 19,2 | 95,0 | 68,0 | 75,0 |
| Фон + Zn, 0,05 % | 9,0 | 19,1 | 95,5 | 68,4 | 75,4 |
| Фон + Zn, 0,1 % | 8,7 | 18,5 | 96,0 | 70,6 | 76,1 |
| Фон + Zn, 0,5 % | 8,4 | 18,3 | 97,0 | 71,5 | 76,4 |
| Фон + Zn, 1,0% | 8,3 | 18,0 | 97,5 | 71,5 | 76,8 |
| Фон + Zn, 1,5 % | 8,5 | 18,7 | 96,0 | 69,5 | 75,8 |

Влияние цинка отразилось и на биохимическом составе зерна риса (табл. 8). В зависимости от концентрации микроэлемента в растворе, использованном для предпосевной обработки семян, содержание белка в зерне возросло на 0,04 – 0,28 %, а золы, наоборот, снизилось на 0,1 – 0,6 %. Наиболее бла-

гоприятный биохимический состав зерна формируется, когда для предпосевной обработки семян использовались 1,0 % водные растворы микроэлемента.

**Таблица 8. Биохимические показатели качества зерна риса при предпосевном обогащении семян цинком**

| Вариант | Содержание, % | | |
|---|---|---|---|
| | белок | крахмал | зола |
| $N_{120}P_{80}K_{60}$ – фон | 6,84 | 72,4 | 4,8 |
| Фон + Zn, 0,05 % | 6,88 | 72,8 | 4,7 |
| Фон + Zn, 0,1 % | 6,99 | 73,0 | 4,6 |
| Фон + Zn, 0,5 % | 7,08 | 73,5 | 4,3 |
| Фон + Zn, 1,0% | 7,12 | 73,7 | 4,1 |
| Фон + Zn, 1,5 % | 6,95 | 73,1 | 4,7 |

Таким образом, предпосевное обогащение семян риса цинком способствует формированию высококачественного зерна риса, выражающееся в повышении на 2,5 % содержания белка и 3,5 % – выхода крупы, а также снижении трещиноватости, пленчатости и содержания золы в зерне соответственно на 1,0, 1,2 и 0,7 %.

***Урожайность и посевные качества семян.*** Оценка различных приемов повышения продуктивности сельскохозяйственных культур на семеноводческих посевах имеет некоторые особенности по сравнению с предназначенными на получение товарной продукции. В этом случае существенное значение имеют, во-первых, количество продукции, которое может быть квалифицировано как семенной материал и его доля в общем урожае, а также качество полученных семян. С этой точки зрения эффективность различных приемов в отношении общей и семенной продуктивности посева могут различаться. В связи с этим, для определения степени влияния цинка на посевные качества семян риса были рассмотрены такие показатели как урожайность, выход, коэффициент размножения и фракционный состав семян, а также их энергия прорастания, всхожесть, сила начального роста [12, 22].

Урожай семян определяли после очистки семенной массы от сорняков и механических примесей. Выход семян очень важный показатель в семеноводстве. С его увеличением повышается эффективность этой отрасли, что позволяет сократить посевные площади под семеноводческими посевами и снизить себестоимость семян. Доля семян в урожае зерна не превышает 60 – 80 %, причем в зависимости от сорта и условий выращивания может существенно колебаться, что связано с разным уровнем разнокачественности зерновок.

Разделение семенной массы на фракции производили путем просеивания через набор сит. Параметры каждой фракции семян устанавливались ежегодно, путем просеивания семян с контрольного варианта через набор сит размером 2,0; 2,2; 2,5; 2,7; 3,0 и 3,2 мм. Сито, на котором был самый большой сход семян, в дальнейшем использовали для выделения средней фракции, предшествующее ему – крупной, а все прошедшие через сито средней фракции – считались мелкими. Используя эти два сита, на фракции разделялась семенная масса со всех вариантов.

Предпосевное обогащение посевного материала риса цинком способствовала увеличению урожайности семян (табл. 9). Прибавка урожайности в зависимости от использованной для обработки семян концентрации водного раствора микроэлемента составляла 0,28 – 1,13 т/га или 5,7 – 23,0 %. Максимального значения она достигала при использовании 1,0 % раствора. Выход семян в зависимости от дозы цинка, использованного для предпосевной обработки посевного материала, увеличивается на 1,8 – 9,2 % по сравнению с контрольным вариантом, а коэффициент размножения семян – на 1,3 – 5,0 ед.

**Таблица 9. Урожайность и выход семян риса, полученных при обработке посевного материала цинком**

| Вариант | Урожайность, ц/га | | Выход семян, % | Коэффициент размножения семян |
|---|---|---|---|---|
| | зерна | семян | | |
| Контроль ($N_{120}P_{80}K_{60}$ – фон) | 71,8 | 49,1 | 68,4 | 21,3 |
| Фон + Zn 0,05 % | 74,0 | 51,9 | 70,1 | 22,6 |
| Фон + Zn 0,1 % | 74,7 | 55,9 | 74,8 | 24,3 |
| Фон + Zn 0,5 % | 76,9 | 59,2 | 77,0 | 25,7 |
| Фон + Zn 1,0 % | 77,9 | 60,4 | 77,5 | 26,3 |
| Фон + Zn 1,5 % | 75,4 | 56,8 | 75,3 | 24,7 |
| $НСР_{05}$ | 3,0 | 2,9 | – | – |

Развитие растений в начальной стадии, когда еще не сформирована корневая система, во многом зависит от запаса питательных веществ в семени. Это, в свою очередь, тесно коррелирует с величиной эндосперма или, что практически одно и то же, размером зерновки. В связи с этим для характеристики качества семян существенное значение имеет фракционный состав семенной массы. Бесспорно, что чем большая доля семян приходится на крупную фракцию, тем более мощные и жизнеспособные всходы, а в последствие на основе такого посевного материала формируются более продуктивные агроценозы.

Учитывая положительное влияние цинкового удобрения на минеральное питание, рост и развитие растений риса, массу 1000 зерен, есть основание предположить, что его применение должно сказаться и на крупности семян [22, 25]. Обработка посевного материала риса цинком благоприятно сказалась на фракционном составе выращенных семян. Степень влияния микроэлемента зависела от его дозы. Наибольшие изменения вызвало применение 1,0 % водного раствора цинка. На этом варианте доля семян крупной фракции возросла на 14 %, средней – на 3 %, а мелкой – уменьшилась на 17 % (табл. 10).

**Таблица 10. Фракционный состав семян риса, полученных при посеве семенами, обогащенными цинком**

| Вариант | Доля семян по фракциям, % | | |
|---|---|---|---|
| | крупная | средняя | мелкая |
| Контроль ($N_{120}P_{80}K_{60}$ – фон) | 21 | 47 | 32 |
| Фон + Zn 0,05 % | 23 | 47 | 30 |
| Фон + Zn 0,1 % | 26 | 48 | 26 |
| Фон + Zn 0,5 % | 30 | 48 | 22 |
| Фон + Zn 1,0 % | 35 | 50 | 15 |
| Фон + Zn 1,5 % | 33 | 48 | 19 |

Положительное влияние цинка на урожайность семян и их фракционный состав обусловлено его участием в азотном, фосфорном и углеводном обмене, биосинтезе витаминов и регуляторов роста растений, прежде всего ауксинов [11]. Тем самым оптимизация питания растений цинком с ранних этапов онтогенеза стимулирует накопление азотистых веществ и углеводов в вегетативных органах растений и интенсивность их аттракции в зерновки. В результате этих процессов уменьшилась доля семян мелкой фракции, а крупной и средней, наоборот, повысилась.

Согласно представлениям профессора И.Г. Строны, семена средней фракции – это такие семена, все показатели которых типичны для данной партии и, причем они составляют основную часть семян партии [7]. Это значит, что семена средней фракции – не арифметическое среднее между крайними величинами, а преобладающая часть партии с определенным диапазоном размера с относительно одинаковыми посевными качествами. В связи с этим разделение семян с помощью подобранных решет на 3 фракции, приведенное нами, не совсем отвечает требованиям семеноводства, тем не менее, дает весьма ценную информацию об изменении качества семян в зависимости от условий выращивания материнских растений. Это подтверждается результатами определения посевных качеств семян – энергии прорастания и лабораторной всхожести (табл. 11).

**Таблица 11. Энергия прорастания и всхожесть семян риса, полученных при обработке посевного материала цинком**

| Вариант | Энергия прорастания, % | | | Всхожесть, % | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | фракция семян | | | | | |
| | крупная | средняя | мелкая | крупная | средняя | мелкая |
| Контроль ($N_{120}P_{80}K_{60}$ – фон) | 71,5 | 70,0 | 68,5 | 96,5 | 96,0 | 95,0 |
| Фон + Zn 0,05 % | 73,5 | 72,0 | 69,5 | 97,0 | 96,5 | 95,5 |
| Фон + Zn 0,1 % | 76,0 | 74,5 | 70,0 | 97,5 | 96,5 | 96,0 |
| Фон + Zn 0,5 % | 78,5 | 77,0 | 70,5 | 98,0 | 97,0 | 96,5 |
| Фон + Zn 1,0 % | 80,0 | 79,5 | 72,0 | 98,5 | 97,5 | 97,0 |
| Фон + Zn 1,5 % | 77,5 | 76,0 | 69,5 | 97,0 | 96,5 | 95,5 |

Энергия прорастания семян из крупной и средней фракций превосходила таковую из мелкой на 3,0 и 1,5 %, всхожесть – 1,5 и 1,0 % соответственно. Под воздействием цинка энергия прорастания се-

мян крупной, средней и мелкой фракций повысилась на 2,0 – 8,5, 2,0 – 9,5 и 1,0 – 3,6 % соответственно. Максимальному повышению энергии прорастания и всхожести семян способствовало использование для обработки посевного материала 1,0 % водного раствора цинка.

Описанные выше показатели качества семян – энергия прорастания и всхожесть, не дают исчерпывающей характеристики семенам. В естественных условиях существенное значение имеет не только способность семян к прорастанию, но также преодолению слоя почвы и образованию жизнеспособных ростков. Данные об этих свойствах семян могут быть получены путем оценки силы их начального роста, которую определяют при проращивании в сосудах с песком и заделкой на глубину 3 см. Силу роста семян оценивали на 10 сутки по числу образовавшихся ростков и их высоте, количеству и длине корешков, сухой массе ростка и корешка, а также по бонитету прорастания семян.

Не каждое семя может сформировать проросток, способный преодолеть слой субстрата в 3 см. В контрольном варианте из 100 семян крупной фракции образовалось 82,0 проростка, средней – 80,5, мелкой – лишь 77,0 (табл. 12). Семена, выращенные при применении цинкового удобрения, формировали большее число ростков. У семян крупной фракции данный показатель силы роста возрастал под влиянием микроэлемента на 3,0 – 6,5, средней – 3,0 – 7,0, мелкой – на 1,0 – 5,0 шт./100 семян.

Выращивание материнских растений с применением цинкового удобрения позитивно отразилось и на других показателях силы роста полученных семян – линейных размерах и массе проростков. Длина корешка у проростков из семян крупной фракции выросла на 14,3 – 42,9 %, средней – 15,8 – 52,5 и мелкой – на 5,6 – 33,3 %, высота ростка – соответственно на 8,7 – 30,4, 10,0 – 45,0 и 5,3 – 42,2 % по сравнению с контролем.

У проростков из семян, полученных с посева обработанными цинком семенами, интенсивнее синтезируют органические соединения, необходимые для их роста и развития. Масса ростка из семян крупной фракции в результате последействия микроэлемента возрастала на 10,0 – 35,0 % (0,2 – 0,7 мг), средней – 5,3 – 31,6 % (0,1 – 0,7) и мелкой – на 18,8 – 50,0 % (0,7 – 0,9 мг), корешка – на 33,3 – 100,0 % (0,1 – 0,3 мг), 50,0 – 100,0 (0,1 – 0,2) и 100,0 – 200,0 % (0,1 – 0,2 мг).

**Таблица 12. Сила роста семян, полученных при обработке посевного материал цинком**

| Вариант | Число ростков, шт./100 семян | Длина корешка | Высота ростка | Сухая масса проростка, мг | | Бонитет прорастания семян* |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | см | | ростка | кореш-ка | |
| Крупная фракция | | | | | | |
| Контроль ($N_{120}P_{80}K_{60}$ – фон) | 82,0 | 10,5 | 11,5 | 2,0 | 0,3 | 188,6 |
| Фон + Zn 0,05 % | 85,0 | 12,0 | 12,5 | 2,2 | 0,4 | 221,0 |
| Фон + Zn 0,1 % | 86,0 | 13,5 | 13,0 | 2,3 | 0,4 | 232,2 |
| Фон + Zn 0,5 % | 87,5 | 14,0 | 14,5 | 2,4 | 0,5 | 253,8 |
| Фон + Zn 1,0 % | 88,5 | 15,0 | 15,0 | 2,7 | 0,6 | 292,0 |
| Фон + Zn 1,5 % | 87,0 | 14,0 | 13,5 | 2,6 | 0,4 | 261,0 |
| $НСР_{05}$ | 3,0 | 1,5 | 0,7 | 0,2 | 0,1 | |
| Средняя фракция | | | | | | |
| Контроль ($N_{120}P_{80}K_{60}$ – фон) | 80,5 | 9,5 | 10,0 | 1,9 | 0,2 | 169,0 |
| Фон + Zn 0,05 % | 83,5 | 11,0 | 11,0 | 2,0 | 0,3 | 192,0 |
| Фон + Zn 0,1 % | 84,0 | 12,5 | 12,5 | 2,1 | 0,3 | 201,6 |
| Фон + Zn 0,5 % | 86,0 | 13,0 | 14,0 | 2,4 | 0,3 | 232,2 |
| Фон + Zn 1,0 % | 87,5 | 14,5 | 14,5 | 2,5 | 0,4 | 253,8 |
| Фон + Zn 1,5 % | 86,5 | 13,0 | 13,0 | 2,4 | 0,3 | 224,9 |
| $НСР_{05}$ | 2,6 | 1,6 | 2,1 | 0,3 | 0,1 | |
| Мелкая фракция | | | | | | |
| Контроль ($N_{120}P_{80}K_{60}$ – фон) | 77,0 | 9,0 | 9,5 | 1,6 | 0,1 | 130,9 |
| Фон + Zn 0,05 % | 78,0 | 9,5 | 10,0 | 1,9 | 0,2 | 156,0 |
| Фон + Zn 0,1 % | 79,5 | 10,0 | 11,5 | 2,1 | 0,2 | 182,8 |
| Фон + Zn 0,5 % | 81,0 | 11,5 | 12,0 | 2,3 | 0,2 | 202,5 |
| Фон + Zn 1,0 % | 82,0 | 12,0 | 13,5 | 2,4 | 0,3 | 221,4 |
| Фон + Zn 1,5 % | 81,5 | 11,0 | 12,0 | 2,3 | 0,2 | 203,8 |
| $НСР_{05}$ | 1,8 | 0,9 | 1,1 | 0,4 | 0,7 | |

*Примечание: * Бонитет прорастания семян – произведение числа ростков на массу проростка.*

Обогащение посевного материала риса цинком позитивно отразилось на бонитете прорастания выращенных семян всех фракций. У семян крупной фракции под воздействием микроэлемента он возрастал на 17,2 – 54,8 %, средней – на 13,6 – 50,2, мелкой – на 11,5 – 69,1 % соответственно.

Как показали результаты изучения начального роста, проростки из семян с высокой энергией прорастания растут интенсивнее, что в полевых условиях имеет большое значение для образования всходов, их сохранения и дальнейшего развития, т.к. они устойчивы к воздействию патогенов и других неблагоприятных факторов. Поэтому обработка посевного материала цинком может быть одним из агрохимических приемов не только повышения семенной продуктивности растений, но и улучшения посевных качеств семян.

**Выводы**

Для достижения максимального эффекта цинковое удобрение на посевах риса следует применять путем предпосевной обработки семян 1,0 % водным раствором микроэлемента. Посев обогащенными цинком семенами сопровождается ростом урожайности на 8,5 % и улучшением качества зерна, выражающегося в повышении на 2,5 % содержания белка и 3,5 % – выхода крупы, а также снижении трещиноватости, пленчатости и содержания золы в зерне соответственно на 1,0, 1,2 и 0,7 %. На семеноводческих посевах риса урожайность семян увеличивается на 23,0 %, выход семян – на 9,2 %, коэффициент размножения семян – на 23,5 %. В семенной массе доля семян крупной и средней фракций возросла соответственно на 14,0 и 3,0 %, а мелкой – уменьшилось на 17,0 %. При включении цинка в систему удобрения материнских растений энергия прорастания и всхожесть семян крупной, средней и мелкой фракций повысились соответственно на 8,5 и 2,0, 9,5 и 1,5, 3,5 и 2,0 %. Все показатели силы начального роста у этих семян также имели наиболее высокие значения.

**ЛИТЕРАТУРА**

1. Баранов, Н.Н. Экономика использования удобрений и гербицидов / Н.Н. Баранов. – М.: Колос, 1964. – 320 с.

2. Баранов, Н.Н. Экономика использования удобрений / Н.Н. Баранов, Д.А. Кореньков, Н.Н. Михайлова, В.А. Васильева, И.Ф. Синдрякова, И.А. Поташева. – М.: Колос, 1974. – 320 с.

3. Гайпов, Б.С. Влияние молибдена и меди на продуктивность растений риса / Б.С. Гайпов / Вестник Каракалпакского филиала АН УзССР. 1982. № 2. С. 30 – 32.

4. Гущин, Г.Г. Рис / Г.Г. Гущин. – М.: Сельхозгиз, 1938. – 832 с.

5. Ерыгин, П.С. Физиология риса / П.С. Ерыгин / Физиология сельскохозяйственных растений. Т.5. – М.: МГУ, 1969. С. 266 – 413.

6. Сметанин, А.П. Создание сортов риса для северных районов отечественного рисосеяния: автореф. дис. ... докт. с.-х. наук. – Л., 1975. – 43 с.

7. Строна, И.Г. Общее семеноводство полевых культур / И.Г. Строна. – М.: Колос, 1966. – 464 с.

8. Шеуджен, А.Х. Агрохимия микроэлементов в рисоводстве / А.Х. Шеуджен, Е.М. Харитонов, Х.Д. Хурум, Т.Н. Бондарева. – Майкоп: «Афиша», 2006. – 248 с.

9. Шеуджен, А.Х. Агробиогеохимия / А.Х. Шеуджен. – Краснодар: КубГАУ, 2010. – 877 с.

10. Шеуджен, А.Х. Агрохимия чернозема / А.Х. Шеуджен. – Майкоп: «Полиграф-Юг», 2015. – 232 с.

11. Шеуджен, А.Х. Агрохимия. Часть 2. Методика агрохимических исследований / А.Х. Шеуджен, Т.Н. Бондарева. – Краснодар: КубГАУ, 2015. – 703 с.

12. Шеуджен, А.Х. Агрохимические средства оптимизации минерального питания растений и экономическая оценка эффективности их применения / А.Х. Шеуджен, А.И. Трубилин, С.В. Кизинек, Т.Н. Бондарева. – Майкоп: «Полиграф-ЮГ», 2017. – 132 с.

13. Wei, S. Trace elements in agroekosystems / S. Wei, Q. Zhou // Trace elements as costaminants and nutrients: Couseguences in ecosystams and human health / Ed. Prasad M.N.V. Hoboken: John Wileys Sons, 2008. P. 55 – 79.

14. Alam, S.M. Effect of nutrient solution pH and N-sources ($NH_4$/$NO_3$) on the growth and elevental content of rice plants / S.M. Alam // Agronomie. 1984. Vol. 4. № 4. P. 361 – 365.

15. Alloway, B.I. Zinc in soil and crop nutrition. Second edit / B.I. Alloway // Brussels, Belgium and Paris, France: IZa and IFA, 2008. 139 p.

16. Balakrishnan, K. Influence of zinc on growth, dry matter production, nutrient uptake and vieid certain rice varieties / K. Balakrishnan, S. Gopalakrishan, N. Natarajaratham // Madras agr. I., 1985. Vol. 72, № 1. P. 25 – 30.

17. Bown, J.E. Kinetics of zinc uptake by two rice cultivars / J.E. Bown // Plant and Soil, 1986. Vol. 94, № 1. P. 99 – 107.

18. Forno, D.A. Zinc deficiency in rice. Soil factors associated with the deficiency / D.A. Forno, S. Yoshida, C. Asher // Plant and Soil, 1975. Vol. 42, № 3. P. 537 – 550.

19. Kabata-Pendias, A. Trace elements in soils and plants / A. Kabata-Pendias // Third Edit. CRC Press, 2011. 412 p.

20. Katyl, I.C. Zinc deficiency: A widespread nutritional disorder of rice in Agusam del Norte / I.C. Katyl, F.N. Ponnamperuma // Philipp. Agr. 1974. Vol. 58. № 3-4. P. 79 – 89.

21. Lanki, I. Influence of nitrogen and zinc fertilization on maize grain yield / I. Lanki // Agrochemia (CSFR). Dec. 1990. V. 3. № 12. P. 364 – 367.

22. Petrik, G. F. Analysis and assessment of the grain production sustainability / G. F. Petrik, A. G. Prudnikov / Annals of Agri Bio Research Volume 24, Issue 2, 2019, P. 356 – 362.

23. Ram, N. Effect of complexed zine on the uptake of iron by rice in sand culture / N. Ram, K.V. Raman // Oryza. 1988, Vol. 25, № 1. P. 77 – 80.

24. Sharma U. Chemical fractions of zinc and their contribution toward its availability under long-term integrated nutrient rice-wheat sequence in an acidic alfisol / U. Sharma, S.K. Subehia // Commun. Soil Sci. and Plant Anal. 2014. 45. № 22. S. 2898 – 2910.

25. Sheudzhen, A.K. Chemicals-based regulation of leaves-to-grains outflow of assimilates to enhance yields in rice (Oryza sativa L.) under conditions of its northern area / A.K. Sheudzhen, T.N. Bondareva, P.N. Kharchenko, I.A. Doroshev / Sel'skokhozyaistvennaya Biologiya, 54(3), 2019, c. 512 – 527.

26. Singh, K. Critical levels of zinc in corn (Lia majs L.) at different stages of growth Indian / K. Singh, N.K. Banerjce // Plant Physiol. 1987. V. 30. № 1. P. 7 – 12.

27. Spychai-Fabisiak, E. Spatial variability of available zinc in soil under maize / E. Spychai-Fabisiak, I. Diugosz // Polish. J. Environ. Stud. 2006. V. 15. № 2a. P. 515 – 517.

## REFERENCES

1. Baranov, N.N. E`konomika ispol`zovaniya udobrenij i gerbicidov / N.N. Baranov. – M.: Kolos, 1964. – 320 p.

2. Baranov, N.N. E`konomika ispol`zovaniya udobrenij / N.N. Baranov, D.A. Koren`kov, N.N. Mixajlova, V.A. Vasil`eva, I.F. Sindryakova, I.A. Potasheva. – M.: Kolos, 1974. – 320 p.

3. Gajpov, B.S. Vliyanie molibdena i medi na produktivnost` rastenij risa / B.S. Gajpov / Vestnik Karakalpakskogo filiala AN UzSSR. 1982. № 2. P. 30 – 32.

4. Gushhin, G.G. Ris / G. G. Gushhin. – M.: Sel`xozgiz, 1938. – 832 p.

5. Ery`gin, P.S. Fiziologiya risa / P.S. Ery`gin / Fiziologiya sel`skoxozyajstvenny`x rastenij. T. 5. – M.: MGU, 1969. S. 266 – 413.

6. Smetanin, A.P. Sozdanie sortov risa dlya severny`x rajonov otechestvennogo risoseyaniya: avtoref. dis. ... dokt. s.-x. nauk. – L., 1975. – 43 p.

7. Strona, I.G. Obshhee semenovodstvo polevy`x kul`tur / I.G. Strona. – M.: Kolos, 1966. – 464 p.

8. Sheudzhen, A.X. Agroximiya mikroe`lementov v risovodstve / A.X. Sheudzhen, E.M. Xaritonov, X.D. Xurum, T.N. Bondareva. – Majkop: «Afisha», 2006. – 248 p.

9. Sheudzhen, A.X. Agrobiogeoximiya / A.X. Sheudzhen. – Krasnodar: KubGAU, 2010. – 877 p.

10. Sheudzhen, A.X. Agroximiya chernozema / A.X. Sheudzhen. – Majkop: «Poligraf-Yug», 2015. – 232 p.

11. Sheudzhen, A.X. Agroximiya. Chast` 2. Metodika agroximicheskix issledovanij / A.X. Sheudzhen, T.N. Bondareva. – Krasnodar: KubGAU, 2015. – 703 p.

12. Sheudzhen, A.X. Agroximicheskie sredstva optimizacii mineral`nogo pitaniya rastenij i e`konomicheskaya ocenka e`ffektivnosti ix primeneniya / A.X. Sheudzhen, A.I. Trubilin, S.V. Kizinek, T.N. Bondareva. – Majkop: «Poligraf-YuG», 2017. – 132 p.

13. Wei, S. Trace elements in agroekosystems / S. Wei, Q. Zhou // Trace elements as costaminants and nutrients: Couseguences in ecosystams and human health / Ed. Prasad M.N.V. Hoboken: John Wileys Sons, 2008. P. 55 – 79.

14. Alam, S.M. Effect of nutrient solution pH and N-sources ($NH_4$/$NO_3$) on the growth and elevental content of rice plants / S.M. Alam // Agronomie. 1984. Vol. 4. № 4. P. 361 – 365.

15. Alloway, B.I. Zinc in soil and crop nutrition. Second edit / B.I. Alloway // Brussels, Belgium and Paris, France: IZa and IFA, 2008. 139 p.

16. Balakrishnan, K. Influence of zinc on growth, dry matter production, nutrient uptake and vieid certain rice varieties / K. Balakrishnan, S. Gopalakrishan, N. Natarajaratham // Madras agr. I., 1985. Vol. 72, № 1. P. 25 – 30.

17. Bown, J.E. Kinetics of zinc uptake by two rice cultivars / J.E. Bown // Plant and Soil, 1986. Vol. 94, № 1. P. 99 – 107.

18. Forno, D.A. Zinc deficiency in rice. Soil factors associated with the deficiency / D.A. Forno, S. Yoshida, C. Asher // Plant and Soil, 1975. Vol. 42, № 3. P. 537 – 550.

19. Kabata-Pendias, A. Trace elements in soils and plants / A. Kabata-Pendias // Third Edit. CRC Press, 2011. 412 p.

20. Katyl, I.C. Zinc deficiency: A widespread nutritional disorder of rice in Agusam del Norte / I.C. Katyl, F.N. Ponnamperuma // Philipp. Agr. 1974. Vol. 58. № 3-4. P. 79 – 89.

21. Lanki, I. Influence of nitrogen and zinc fertilization on maize grain yield / I. Lanki // Agrochemia (CSFR). Dec. 1990. V. 3. № 12. P. 364 – 367.

22. Petrik, G.F. Analysis and assessment of the grain production sustainability / G.F. Petrik, A.G. Prudnikov / Annals of Agri Bio Research Volume 24, Issue 2, 2019, pages 356 – 362.

23. Ram, N. Effect of complexed zine on the uptake of iron by rice in sand culture / N. Ram, K.V. Raman // Oryza. 1988, Vol. 25, № 1. P. 77 – 80.

24. Sharma U. Chemical fractions of zinc and their contribution toward its availability under long-term integrated nutrient rice-wheat sequence in an acidic alfisol / U. Sharma, S.K. Subehia // Commun. Soil Sci. and Plant Anal. 2014. 45. № 22. P. 2898 – 2910.

25. Sheudzhen, A.K. Chemicals-based regulation of leaves-to-grains outflow of assimilates to enhance yields in rice (Oryza sativa L.) under conditions of its northern area / A.K. Sheudzhen, T.N. Bondareva, P.N. Kharchenko, I.A. Doroshev / Sel'skokhozyaistvennaya Biologiya, 54(3), 2019, P. 512 – 527.

26. Singh, K. Critical levels of zinc in corn (Lia majs L.) at different stages of growth Indian / K. Singh, N.K. Banerjce // Plant Physiol. 1987. V. 30. № 1. P. 7 – 12.

27. Spychai-Fabisiak, E. Spatial variability of available zinc in soil under maize / E. Spychai-Fabisiak, I. Diugosz // Polish. J. Environ. Stud. 2006. V. 15. № 2a. P. 515 – 517.

**Асхад Хазретович Шеуджен**
Зав. отделом прецизионных технологий
ФГБНУ «ФНЦ риса»,
зав. кафедрой агрохимии
Кубанского ГАУ им. И.Т. Трубилина
E-mail: a_kh_sheudjen@mail.ru

**Татьяна Николаевна Бондарева**
Вед. науч. сотр. отдела прецизионных технологий
ФГБНУ «ФНЦ риса»,
доцент кафедры агрохимии
Кубанского ГАУ им. И.Т. Трубилина
E-mail: bondarevatatjna@mail.ru

**Ярослав Богданович Петрик**
аспирант Кубанского ГАУ
им. И.Т. Трубилина

ФГБНУ «ФНЦ риса»
350921, Россия, Краснодар, Белозерный, 3
E-mail: arrri_kub@mail.ru

ФГБОУ ВО «Кубанский государственный
аграрный университет
им. И.Т. Трубилина»,
350044, г. Краснодар, ул. Калинина, 13

**Askhad Khazretovich Sheudzen**
Head of precise technologies department,
FSBSI Federal Scientific Rice Centre,
Head of agrochemistry department,
KubSAU named after I.T. Trubilin
E-mail: a_kh_sheudjen@mail.ru

**Tatyana Nikolaevna Bondareva**
Leading researcher of precise technologies department,
FSBSI Federal Scientific Rice Centre,
associate professor of agrochemistry department,
KubSAU named after I.T. Trubilin
E-mail: bondarevatatjna@mail.ru

**Yaroslav Bogdanovich Petric**,
Post-graduate student, KubSAU
named after I.T. Trubilin

FSBSI Federal Scientific Rice Centre
3, Belozerny, Krasnodar, Russia, 350921
E-mail: arrri_kub@mail.ru

Federal State Budgetary Educational Institution of
Higher Education «Kuban State Agrarian University
named after I.T. Trubilin»
13 Kalinina st., Krasnodar, Russia, 350044,

DOI: 10.33775/1684-2464-2020-48-3-78-83
УДК 631,46 : 633.174 633. 633.62 : 576.851,13 : 576.80

**С.В. Кизинёк**, д-р с.-х. наук,
**В.С. Белоусов**, канд. с.-х. наук,
**А.Я. Ачканов**, канд. с.-х. наук,
**В.В. Тараненко**, канд. с.-х. наук,
**Р.С. Шарифуллин**, канд. с.-х. наук
г. Краснодар

# ОСОБЕННОСТИ СОЛЕВОГО РЕЖИМА ПОЧВ МЕЛИОРАТИВНОЙ ЗОНЫ В ДЕЛЬТЕ КУБАНИ

*Авторы значительное время изучали почвенный покров мелиоративной зоны Кубани, уделяя внимание особенностям солевого режима почв и его влиянию на продуктивность риса. Анализ и систематизация в период 1975 – 1981 гг. легли в основу почвенной карты. Изучение солевого режима плохо дренированных чеков, преобладающих в плавневой зоне показало, что рассоление почв медленный процесс и его особенностью является увеличение концентрации солей к концу вегетации риса за счёт значительной минерализации грунтовых вод. Экологический резерв устойчивости почвенных ландшафтов невысок. Полученные материалы послужили основой для дальнейшей работы авторов по фитобиоремедиации почв с помощью сорговых культур, имеющих высокий биологический потенциал средообразующего действия по устранению процессов физической деградации и рассоления почв. В условиях преобладающего сульфатно-хлоридного и гидрокарбонатного засоления на почвах различных генетических типов выращивание сорговых культур снижает содержание токсичных ионов сульфатов и хлоридов, способствуя повышению продуктивности почв. Представленные материалы ранее не публиковались и могут быть основой для анализа дальнейшего развития и разработки агротехнологий адаптивного растениеводства.*

***Ключевые слова:*** *почвенный покров, солевой режим почв, типы почв, продуктивность почв.*

# FEATURES OF SALT REGIME OF SOILS IN THE MELIARATIVE ZONE IN THE KUBAN DELTA

*Research objective the authors studied the soil cover of the ameliorative zone of Kuban for a considerable time, paying attention to features of salt regime of the soil and its effect on rice productivity. Analysis and systematization in the period 1975 – 1981.formed the basis of the soil map. Studying the salt regime of poorly drained checks prevailing in the flood zone showed that soil desalinization is a slow process and its feature is an increase in salt concentration by the end of rice growing season due to significant salinity of groundwater. The ecological reserve of stability of soil landscapes is low. The obtained materials served as the basis for the further work of the authors on soil phytobioremidation using sorghum crops with a high biological potential of the environment-forming action to eliminate the processes of physical degradation and desalinization of the soil. Under the conditions of prevailing sulfate-chloride and bicarbonate salinization in soils of various genetic types, the cultivation of commercial crops reduces the content of toxic sulfate ions and chlorides, contributing to an increase in soil productivity [1 – 3]. The presented materials were not published and can be the basis for the analysis of the further development of agrotechnologies for adaptive plant growing.*

***Key words:*** *soil cover, salt regime of soils, soil types, soil productivity.*

## Введение

Урожайность риса в дельте реки Кубань характеризуется значительной пестротой. В среднем за десятую пятилетку (1975 – 1980 гг.) и начало одиннадцатой, была отмечена тенденция снижения урожайности, несмотря на то, что за это время объём вносимых удобрений вырос с 16 до 20 и более центнеров условных туков на 1 га (табл. 1, 2).

**Таблица 1. Урожайность риса в дельте реки Кубань**

| Зоны | | Урожайность, ц/га | | | | | | | Среднее |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 1975 | 1976 | 1977 | 1978 | 1979 | 1980 | 1981 | |
| Приазовские плавни | Правобережная часть | 42,7 | 38,2 | 37,3 | 37,2 | 37,1 | 38,3 | 30,8 | 36,6 |
| | Левобережная часть | 59,0 | 27,9 | 40,2 | 15,3 | 38,4 | 39,0 | 37,9 | 38,3 |
| Зона старых плавней | Междуречье Кубань-Протока | 49,2 | 44,7 | 40,6 | 40,3 | 45,0 | 46,9 | 39,8 | 44,6 |
| | Чебургольский массив | 39,0 | 32,1 | 43,5 | 35,5 | 45,1 | 48,0 | 38,8 | 40,3 |
| | Древняя дельта | 55,0 | 54,9 | 47,9 | 43,9 | 52,1 | 52,9 | 44,6 | 50,1 |
| Левобережные | Закубанские плавни | 50,6 | 39,3 | 38,2 | 37,0 | 38,3 | 42,4 | 37,4 | 40,3 |
| | Адыгейские плавни | 50,1 | 40,6 | 39,2 | 33,1 | 32,2 | 39,8 | 33,6 | 38,4 |

**Таблица 2. Урожайность риса на основных почвах дельты Кубань**

| Типы почв | Урожайность, ц/га | | | | | | | Среднее |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 1975 | 1976 | 1977 | 1978 | 1979 | 1980 | 1981 | |
| Аллювиально-луговые | 53,0 | 27,9 | 40,2 | 15,3 | 37,1 | 39,1 | 37,5 | 38,3 |
| Торфяные, торфяно-глеевые, перегнойно-глеевые | 40,7 | 37,6 | 39,4 | 34,2 | 40,7 | 42,1 | 32,9 | 38,2 |
| Лугово-болотные и луговые правобережья | 46,3 | 39,9 | 43,8 | 37,6 | 43,0 | 44,8 | 37,3 | 41,8 |
| Лугово-болотныеЗакубанских плавней | 50,6 | 34,3 | 38,2 | 37,0 | 38,3 | 42,4 | 34,4 | 40,3 |
| Лугово-болотные Адыгейских плавней | 50,1 | 40,6 | 39,2 | 33,1 | 32,2 | 39,8 | 33,6 | 38,4 |
| Лугово-черноземовидные | 55,2 | 47,7 | 47,6 | 42,6 | 52,7 | 53,8 | 45,6 | 49,3 |

Анализ окупаемости удобрений на основе нормативных документов за десятую пятилетку показал, что во всех рисосеющих районах фактический показатель урожая с одного центнера действующего вещества туков ниже ожидаемой (табл. 3).

**Таблица 3. Окупаемость удобрений вносимых под рис в дельте Кубани за 10 пятилетку ***

| Административный район | Внесено удобрений, кг.дв на га | Нормативная окупаемость | Фактическая окупаемость |
|---|---|---|---|
| Славянский | 328 | 6,2 | 4,2 |
| Красноармейский | 311 | 6,2 | 5,2 |
| Калининский | 316 | 6,2 | 4,6 |
| Темрюкский | 366 | 6,2 | 3,6 |
| Анапский | 475 | 6,2 | 2,4 |
| Крымский | 320 | 6,2 | 3,6 |
| Абинский | 336 | 6,2 | 5,7 |

*Примечание: *Центнеров урожая на 1 ц туков в нормативах 10 пятилетки.*

Оценка мелиоративного состояния оросительных систем дельты Кубани и изучение солевого режима, выявила большое значение почвенно-мелиоративных факторов, как причин лимитирующих урожайность риса. Одним из способов рассоления почв является выращивание зернового сорго в рисовом севообороте [8 – 10].

**Цель исследований**

Изучить влияние почвенно-мелиоративных свойств ландшафта на солевой режим почв и их продуктивность в дельте р. Кубани.

**Материалы и методы**

Проведение исследований в мелиоративной зоне Кубани было основано на анализе существующих информационных данных, проведение полевых опытов в соответствии с конкретными почвенными условиями на основе современных научных и методических данных [1 – 7, 11 – 15].

**Результаты и обсуждение**

В почвенно-мелиоративном отношении территорию дельты Кубани можно разделить на ряд зон (табл. 1). В плавневой зоне почвенный покров представлен торфяными почвами по днищам осушенных лиманов, перегнойно-гелеевыми по их окраинам и лугово-чернозёмовидными по межлиманными повышениями. Торфяно-глеевые почвы до освоения территории были слабо засолены. После осушения лиманов, содержание солей в них увеличилось до 0,5 % и более. В лугово-болотных и перегнойно-глеевых почвах засоленность еще более выражена. В общем, более 60 % болотных почв засолены, что требует и требовало рассоления в процессе выращивания риса.

Закубанские и Адыгейские плавни представляют собой бессточное понижение, ограниченное с юга предгорьями, с севера – прирусловыми повышениям р. Кубань. Почвы этой зоны – лугово-болотные, луговые и аллювиально-луговые. В пределах Адыгейских плавней встречаются лугово-чернозёмовидные и слитые чернозёмы. Грунтовые воды слабо минерализованы. Засоление карбонатного и сульфатно-карбонатного типов. Почвенно-грунтовые воды засолены на глубине 0,7 – 1,5 м. и имеют напорный характер. В целом территория не засолена, однако в местах выклинивания грунтовых вод наблюдается содовое засоление.

Чебургольские плавни в геоморфологическом отношении представляют собой депрессию, в центре которой находится Чебургольский лиман, аккумулирующий солевой поток. После аккумуляции территория стала вторично засолена. В самой дельте распространены луговые и лугово-чернозёмовидные почвы. Это наиболее плодородные почвы. Местами почвенный покров осложняется лиманообразными насаждениями с засоленными и солонцеватыми почвами.

Сопоставляя данные таблицы 1 и 2 можно сделать вывод, что мелиоративное освоение дельты под рисосеяние не исключило различий зон. Наиболее низкая урожайность наблюдалась в наиболее сложных

в мелиоративном отношении условиях в Приазовских, Закубанских, Адыгейских плавнях, на Чебургольском массиве. Сложные мелиоративные условия не позволили использовать потенциальные возможности торфяных и перегнойно-глеевых почв. Наиболее высокие урожаи наблюдались в наилучших в мелиоративном отношении зонах на наиболее плодородных почвах. Игнорирование мелиоративного состояния оросительной системы является основным лимитирующим фактором урожайности риса и эффективности удобрений.

Мелиоративное состояние почв рисовых оросительных систем можно охарактеризовать как возможность регулирования режима поверхностных и почвенно-грунтовых вод. В условиях плохого мелиоративного состояния уровень грунтовых вод в межполивной период не понижается, почвы не просыхают, аэрация их затруднена. В результате происходит накопление окислительно-закисных форм вредных химических соединений, что приводит к снижению плодородия почвы. Близкий уровень сильно минерализованных грунтовых вод в межполивной период на низких системах в Приазовских плавнях, на Чебургольском массиве является основной причиной реставрации засоления пахотного горизонта.

Исследования показали, что без управления режимом грунтовых вод невозможно эффективное рассоление орошаемых почв. В качестве примера приводим полученные нами данные солевого режима за 1977 – 1980 гг. на рисовых системах Приазовских плавней: совхоза «Сладковский» почвы – перегнойно-глеевые, торфяно-глеевые – совхоза «Светлый путь» и лугово-болотные совхоза «Черноерковский». Гранулометрический состав – средние глины (табл. 4).

**Таблица 4. Содержание солей в почвах Приазовской плавневой зоны (% от массы)**

| Хозяйство | Глубина, см | Срок вегетации | | |
|---|---|---|---|---|
| | | Сев до залива | Кущение | Молочная спелость |
| Совхоз «Сладковский» распаханный целинный участок | 0 – 10 | 0,98 | 1,01 | 1,00 |
| | 10 – 20 | 1,11 | 1,80 | 1,40 |
| | 20 – 40 | 1,29 | 2,10 | 1,56 |
| | 40 – 60 | 0,84 | 0,49 | 1,40 |
| Совхоз «Сладковский» плохо дренированная карта | 0 – 10 | 0,54 | 0,40 | 0,15 |
| | 10 – 20 | 0,69 | 0,74 | 0,05 |
| | 20 – 40 | 0,54 | 0,77 | 0,61 |
| | 40 – 60 | 0,41 | 0,90 | 1,71 |
| Совхоз «Сладковский» хорошо дренированная карта | 0 – 10 | 0,05 | 0,10 | 0,10 |
| | 10 – 20 | 0,07 | 0,14 | 0,10 |
| | 20 – 40 | 0,07 | 0,10 | 0,11 |
| | 40 – 60 | 0,09 | 0,08 | 0,40 |
| Совхоз «Черноерковский» плохо дренированная карта | 0 – 10 | 0,17 | 0,29 | 0,52 |
| | 10 – 20 | 0,28 | 0,21 | 0,52 |
| | 20 – 40 | 0,78 | 0,78 | 0,93 |
| | 40 – 60 | 0,73 | 1,72 | 0,55 |
| Совхоз «Черноерковский» хорошо дренированная карта | 0 – 10 | 0,07 | 0,06 | 0,10 |
| | 10 – 20 | 0,03 | 0,04 | 0,10 |
| | 20 – 40 | 0,09 | 0,06 | 0,11 |
| | 40 – 60 | 0,05 | 0,02 | 0,10 |

Важной особенностью солевого режима почв в условиях плохого дренирования явилось повышенное засоление почвенного профиля в период вегетации риса. На таких картах наблюдается повышенное засоление в горизонтах 10 – 20 см, 20 – 40 см и ниже в период от кущения до созревания риса. Это объясняется тем, что при подаче воды в оросительную систему минерализованные грунтовые воды поднимаются до горизонта 60 – 80 см и смыкаются с оросительными водами. При этом интенсивность диффузного передвижения солей к поверхности за счет градиента концентрации значительно выше, чем интенсивность их удаления с нисходящим током. В результате происходит увеличение засоленности профиля почвы. Главенствующая роль грунтовых вод в увеличении засоления верхних горизонтов почвы была установлена в эксперименте с заложением экранов полиэтиленовой пленки на глубине 40 см. При этом на экранированном участке засоление не возможно. Наблюдалось рассоление почвы и за счет диффузии солей в поливную воду. Малая эффективность промывки почвы в период вегетации риса объясняется близким залеганием сильно минерализованных грунтовых вод и высокой плотностью почв, в результате процессов слитообразования при возделывании риса (табл. 5).

**Таблица 5. Состав подземных грунтовых вод и поливной воды (мг экв./л) ***

| Плавневая зона | Срок возделывания риса, годы | Минерализация, г/л | pH | $CO_3^{-2}$ | $HCO_3^-$ | $Cl^-$ | $SO_4^{-2}$ | $Ca^{+2}$ | $Mg^{+2}$ | $Na^+$ | $K^+$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Низкий участок | 10 | 12,5 | 7,5 | - | 17,8 | 140,0 | 52,2 | 28,2 | 76,0 | 109,1 | 2,3 |
| Высокий участок | 10 | 2,0 | 7,7 | - | 11,0 | 6,0 | 12,9 | 6,0 | 75,0 | 8,1 | 0,8 |
| Целинный участок | - | 14,4 | 6,3 | - | 5,0 | 196,3 | 54,6 | 39,0 | 83,0 | 131,9 | 1,7 |
| Старая дельта | 20 | 0,6 | 7,2 | - | 3,0 | 1,6 | 4,7 | 1,6 | 4,0 | 3,5 | 0,2 |
| Поливная вода | - | 0,6 | 7,5 | - | 3,8 | 0,8 | 3,7 | 2,6 | 4,6 | 1,1 | 0,1 |

**Образцы отобраны весной 1977 г.*

Существующая сбросная сеть с глубиной сбросных каналов 70 см и междренным расстоянием 300 м не обеспечивала понижения уровня грунтовых вод (табл. 6).

**Таблица 6. Содержание солей в почве (0 – 20 см.) в различных частях чека (совхоз «Сладковский»)**

| Характеристика чека | Место отбора образцов | Содержание солей, % | |
|---|---|---|---|
| | | весной | осенью |
| Высокие чеки (+75, +25 см) | В 10 м от оросителя | 0,08 | 0,07 |
| | В середине чека | 0,08 | 0,08 |
| | В 10 м от сброса | 0,10 | 0,09 |
| Низкие чеки (-75, -25 см) | В 10 м от оросителя | 1,28 | 0,64 |
| | В середине чека | 1,32 | 0,80 |

Образцы отбирали весной перед затоплением чеков и осенью сразу после сброса воды с чека. На затопленных чеках почва в пахотном горизонте промывается более интенсивно только в непосредственной близости (10 м) от оросительной сбросной сети. У оросителя за счет выклинивания из пресной воды и оросителя из сброса за счет более интенсивного дренажного стока. На основной площади чека рассоление идет замедленно в связи со слабой дренированностью и интенсивными восстановительными условиями. Наблюдается повышенная щелочность почвенно-грунтовых вод за счет процессов сульфат-редукции (табл. 5).

Сравнивая данные засоления грунтовых вод под чеком и на целинном участке видно резкое увеличение содержания бикарбонат-иона и pH грунтовых вод под чеком. Сильное засоление, плохая дренированность и интенсивные восстановительные условия препятствуют реализации высокого плодородия плавневых почв (табл. 7).

На высоких чеках с незасолённой почвой повышенная дренированность у оросителя и сброса имела положительное значение для роста урожайности риса. Положительная роль дренированности особенно заметна на низких чеках. Данные таблицы 6 и 7 показывают, что дренирующее и рассоляющее значение оросительной сети недостаточно для интенсивного выноса солей по всему чеку, так как основная площадь остается вне влияния дренажа.

**Таблица 7. Влияние дренированности чека на урожайность риса**

| Характеристика чека | Место учета урожая | Густота всходов, шт/м² | | Урожайность, ц/га | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | в разных частях чека | в среднем | в разных частях чека | в среднем |
| Чеки с отметками (+75, +25 см) | В 10 м от оросителя | 176 | 192 | 55,9 | 53,4 |
| | В середине чека | 180 | | 49,5 | |
| | В 10 м от сброса | 220 | | 54,7 | |
| Чеки с отметками (-75, -25 см) | В 10 м от оросителя | 112 | 112 | 39,2 | 38,2 |
| | В середине чека | 84 | | 25,8 | |
| | В 10 м от сброса | 140 | | 37,6 | |

**Выводы**

Исследование изучения солевого режима плохо дренируемых почв, которые преобладают в плавневой зоне дельты р. Кубани, показывает, что рассоление почв идет медленно. Особенностью солевого режима таких почв является восстановление концентрации солей к концу вегетации риса вследствие близко залегающих сильно минерализованных грунтовых вод.

Поскольку для коренного улучшения мелиоративного состояния почв мелиоративной зоны необходима реконструкция оросительной системы, что

длительно, очень трудоёмко и в денежном выражении дорого (уменьшение между картами расстояния, углубление сбросных каналов и т.д.), исключительно важная производственная необходимость заключается во внедрении агробиотехнологий, снижающих физическую деградацию всего профиля почв и засоление путем фитобиоремедиации.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Агрохимические методы исследования почв. – М.: Наука, 1975. – 656 с.

2. Вальков, В.Ф., Почвы Краснодарского края их использование и охрана / В.Ф. Вальков, Ю.А. Штомпель, И.Т. Трубилин, Н.С. Котляров, Г.М. Соляник. – Ростов-на-Дону. СКНЦ ВШ, 1996. – 358 с.

3. Вальков, В.Ф. Справочник по оценке почв – ГУРПП «Адыгея», Майкоп, 2004. – 231 с.

4. Воронин, А.Д. Методология системных исследований в почвоведении / А.Д. Воронин // Почвоведение. – 1989. – № 1. – С. 8 – 14.

5. Воронин, А.Д. Методологические принципы и методологическое значение иерархии структурных уровней организации почвы / А.Д. Воронин // Вестник МТУ, сер 17. Почвоведение. – 1979. – № 1. – С. 3 – 10.

6. Дмитриев, Е.А. Экологические аспекты почвенных регионов / Е.А. Дмитриев // Почвоведение. – 1997. – № 7. – С. 831 – 839.

7. Доспехов, Б.А. Методика полевого опыта. – М.: Колос, 1979. – 416 с.

8. Кизинёк, С.В. Биологическая продуктивность сорговых культур в Западном Предкавказье / С.В. Кизинёк, В.С. Белоусов, В.В.Тараненко, А.Б. Володин // Кукуруза и сорго. – 2017. – № 1. – С. 26 – 30.

9. Кизинёк, С.В. Биомелиорация засолённых почв с помощью сорговых культур в Западном Предкавказье / С.В. Кизинёк // Рисоводство. – 2018. – № 1(38). – С. 57 – 60.

10. Кизинёк, С.В. Производственная эффективность и фитомелиоративный потенциал сорго в Западном Предкавказье / С.В. Кизинё5к и др. // Земледелие. – 2018. – № 1. – С. 32 – 34.

11. Масштабные эффекты при использовании почв. – М.: МТУ, 2001. – 151 с.

12. Методические указания по проведению комплексного мониторинга плодородия почв земель сельскохозяйственного назначения. – М.: ФГНУ «Росинформагротех», 2002. – 239 с.

13. Методология составления крупномасштабных агроэкологических ориентированных почвенных карт. – М.: РСХА, 2006. – 57 с.

14. Мосина, Л.В. Почвенно-биотический комплекс как основа агросистемы / Л.В. Мосина, С.А. Платонова. – М., 1997. – 77 с.

15. Филимонова, Т.Е. Методика полевого и агрохимического эксперимента на мелиоративных ландшафтах. Современные проблемы опытного дела. СПб., 2000. – Т. 1. – С. 150 – 155.

## REFERENCES

1. Agrochemical methods of soil research. – M. Nauka, 1975. – 656 p.

2. Valkov, V.F. Soils of the Krasnodar Territory, their use and protection / V.F. Valkov, Yu.A. Shtompel, I.T. Trubilin, N.S. Kotlyarov, G.M. Solyanik. – Rostov-on-Don. SKNTs VSh, 1996. – 358 p.

3. Valkov, V.F. Handbook of soil assessment – GURPP “Adygea”, Maykop, 2004. – 231 p.

4. Voronin, A.D. Methodology of system studies in soil science / A.D. Voronin // Soil science. – 1989. – №. 1. – P. 8 – 14.

5. Voronin, A.D. Methodological principles and methodological significance of the hierarchy of structural levels of soil organization / A.D. Voronin // Bulletin of MTU, ser. 17. Soil science. – 1979. – № 1. – P. 3 – 10.

6. Dmitriev, E.A. Ecological aspects of soil regions / E.A. Dmitriev // Soil Science. – 1997. – № 7. – P. 831 – 839.

7. Dospekhov, B. A. Method of field experiment. – M.: Kolos, 1979. – 416 p.

8. Kizinek, S.V. Biological productivity of sorghum crops in the Western Ciscaucasia / S.V. Kizinek, V.S. Belousov, V.V. Taranenko, A.B. Volodin // Corn and sorghum. – 2017. – № 1. – P. 26 – 30.

9. Kizinek, S.V. Biomelioration of saline soils using sorghum crops in the Western Ciscaucasia / S.V. Kizinek // Rice farming. – 2018. – № 1(38). – P. 57 – 60.

10. Kizinek, S.V. Production efficiency and phytomeliorative potential of sorghum in the Western Ciscaucasia / S.V. Kizinek et al. // Agriculture. – 2018. – № 1. – P. 32 – 34.

11. Scale effects when using soils. – M.: MTU, 2001. – 151 p.

12. Methodological guidelines for the comprehensive monitoring of soil fertility of agricultural lands. – M.: FGNU “Rosinformagrotech”, 2002. – 239 p.

13. Methodology for the compilation of large-scale agro-ecological oriented soil maps. – M.: RSHA, 2006. – 57 p.

14. Mosina, L.V. Soil-biotic complex as the basis of the agrosystem / L.V. Mosina, S.A. Platonova. – M., 1997. – 77 p.

15. Filimonova, T.E. Technique of field and agrochemical experiment on reclamation landscapes. Modern problems of experimental work. – SPb., 2000. – Vol. 1. – P. 150 – 155.

**Сергей Владимирович Кизинёк**
директор
E-mail: rgpzkrs@mail.kuban.ru
ФГБУ "Рисоводческий племенной завод "Красноармейский" им. А.И. Майстренко" – филиал ФГБНУ "ФНЦ-риса"
353814, Россия, Краснодарский край, Красноармейский район, поселок Октябрьский, Красная улица, 33

**Sergey V. Kizinek**
director
E-mail: rgpzkrs@mail.kuban.ru
FSBI "Rice Stud Farm Krasnoarmeyskiy" named after A.I. Maystrenko, branch of FSBSI "Federal Scientific Rice Centre"
33 Krasnaya st., Oktyabrsky, Krasnoarmeiskiy district, Krasnodar region, Russia, 353814

**Владимир Степанович Белоусов**
Старший научный сотрудник лаборатории почвоведения
E-mail: beta-381938@mail.ru

**Vladimir S. Belousov**,
Senior researcher of laboratory of soil science
E-mail: beta-381938@ mail.ru

**Виктор Владимирович Тараненко**
Научный сотрудник лаборатории регуляторов роста растений
E-mail: viktaranen@rambler.ru

**Viktor V. Taranenko**
Researcher, Laboratory of Plant Growth Regulators
E-mail: viktaranen@rambler.ru

Все: ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт биологической защиты растений»
350039, Россия, г. Краснодар, 39

All: FSBSI «All-Russian Research Institute of Biological Plant Protection»
39, Krasnodar, Russia, 350039

**Александр Яковлевич Ачканов**
Консультант кафедры почвоведения
ФГБОУ ВО «Кубанский государственный аграрный университет имени И. Т. Трубилина»
350044, Россия, г. Краснодар, ул. Калинина, 13,
E-mail: mail@kubsau.ru

**Alexander Y. Achkanov**
Consultant of the Department of Soil Science, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Kuban State Agrarian University named after I.T. Trubilin»
13 Kalinina st., Krasnodar, Russia, 350044
E-mail: mail@kubsau.ru

**Раис Саидович Шарифуллин**,
Старший научный сотрудник лаборатории агрохимии и почвоведения
E-mail: Sharifullinrais@yandex.ru
ФГБНУ «ФНЦ риса»
350921, Россия, Краснодар, Белозерный, 3
E-mail: arrri_kub@mail.ru

**Rais S. Sharifullin**
Senior Researcher, Laboratory of Agrochemistry and Soil Science
E-mail: Sharifullinrais@yandex.ru
FSBSI «FSC of rice»
3, Belozerny, Krasnodar, Russia, 350921
E-mail: arrri_kub@mail.ru

DOI: 10.33775/1684-2464-2020-48-3-84-89
УДК 631.82:633.34

**А.Я. Барчукова**, канд. с.-х. наук, профессор,
**Я.К. Тосунов**, канд. с.-х. наук, доцент,
**Н.В. Чернышева**, канд. биол. наук, профессор
г. Краснодар, Россия

# БИОЛОГИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ АГРОХИМИКАТА ФОРКОП МАРКИ АКТИСЕМО-Л НА СОЕ

*Изучено воздействие органоминерального удобрения на основе аминокислот Форкоп марки Актисемо-Л на ростовые и продукционные процессы, фотосинтез, урожайность и содержание в семенах сои белка и жира. Установлено, двукратная обработка растений сои (1-я в фазе полных всходов, 2-я в фазе бутонизации) испытуемым препаратом, создав для растений оптимальный режим питания и повысив способность растений преодолевать климатические стрессы, усиливает рост растений в высоту (57,7 – 60,4 см, в контроле – 54,6 см, $НСР_{05}$ – 2,7 см), процессы ветвления (2,0 – 2,1 шт., в контроле – 1,8 шт. ветвей/растение, $НСР_{0,5}$ – 0,1 шт.) и листообразования (13,9 – 15,7, в контроле – 11,0 шт. листьев, $НСР_{05}$ – 0,6 шт.; площадь листьев – 114,2 – 138,1, в контроле – 96,0 см$^2$/растение, $НСР_{05}$ – 5,6 см$^2$). В опытных вариантах существенно возросла фотосинтетическая деятельность растений сои – продуктивность работы листьев (6,1 – 6,9, в контроле – 5,9 г/дм$^2$) и содержание в листьях пигментов (хл. a+b – 2,49- 2,81 мг/г сыр. в-ва, в контроле – 2,42 мг/г; каротиноидов – 0,38 – 0,47, 0,37 мг/г сыр. в-ва). Абсолютные значения показателей роста, фотосинтетической активности листьев, структуры урожая, урожайности и содержания в семенах сои белка и жира в значительной степени зависели от дозы препарата. Максимальными они были в варианте с применением испытуемого препарата в дозе 0,4 л/га (расход рабочего раствора – 300 л/га).*

***Ключевые слова:*** *соя, препарат Форкоп марки Актисемо-Л, обработка растений, рост, ветвление, листообразование, структурный анализ урожая, урожайность, содержание в семенах белка, жира.*

# BIOLOGICAL EFFICACY OF AGROCHEMICAL THE DRAG HOOK BRAND ALTISIMO-L ON SOYBEANS

*Examined the effects of organic fertilizer based on amino acids the drag hookbrand Altisimo-L on the growth and production processes, photosynthesis, yield and content in soybean seeds protein and fat. Installed, double treatment of soybean plants (1 in the phase of full shoots, 2 in the budding phase) of the test drug, giving plants optimal diet and increasing the ability of plants to resist and overcome climatic stress, enhances plant growth in height (57,7 – 60,4 cm, control – 5,6 cm, $NSR_{05}$ – 2,7 cm), branching processes (2,0 – 2,1 pcs in the control is 1,8 pc.. branches/plant, $NSR_{0,5}$ – 0,1 pcs.) and leaf formation (13,9 – 15,7, in the control-11,0 pcs. leaves, $NSR_{05}$ – 0,6 pcs.; leaf area-114,2 – 138,1, in the control-96.0 cm$^2$ / plant, $NSR_{05}$ = 5,6 cm$^2$). In the experimental versions, the photosynthetic activity of soy plants significantly increased-the productivity of the leaves (6,1 – 6,9, in the control – 5,9 g/dm$^2$) and the content of pigments in the leaves (chl. a+b = 2,49 – 2,81 mg/g cheese, in the control – 2,42 mg/g; carotenoids – 0,38 – 0,47, 0,37 mg/g cheese). Absolute values of growth indicators, photosynthetic activity of leaves, crop structure, yield and content of protein and fat in soy seeds largely depended on the dose of the drug. They were maximum in the variant with the use of the drug in a dose of 0,4 l/ha (the consumption of the working solution is 300 l/ha).*

***Key words:*** *soy, Forkop preparation of Actisemo-L brand, plant processing, growth, branching, leaf formation, structural analysis of the crop, yield, protein and fat content in seeds.*

## Введение

Соя – культура двойного промышленного применения, так как она является источником белка (28 – 50 %) и масла (16 – 27 %). По содержанию в семенах белка и незаменимых аминокислот сое нет равных не только среди зерновых и масличных, но и бобовых культур. Она превосходит зерновые культуры также по содержанию витаминов Е, $B_1$, $B_2$, $B_6$, биотина, холина, фолиевой кислоты [9, 10].

Основным источником формирования нового растения при прорастании семян служит белок, который, в следствие гидролитического и окислительного превращений, распадается с образованием аминокислот и амидов. Последнее, поступая в росток, служит исходным материалом для синтеза белков, протоплазмы. И далее главными местами новообразования аминокислот и белков становятся корень и лист, а из листьев аминокислоты и белки перемещаются к соцветиям и плодам [6, 7].

Исходя из вышесказанного, чтобы ускорить реакцию синтеза белков, быстроту насыщения питательными элементами для растений чрезвычайно важно сбалансированное количество аминокислот. Поэтому в последние годы для усиления ростовых и продукционных процессов, повышения стрессоустойчивости, урожайности и качества получаемой продукции все шире стали применять в технологии возделывания сельскохозяйственных культур, в том числе и сои (на семенах и растениях) использование комплексных органоминеральных удобрений, обогащенных регуляторами роста, органическими

кислотами, витаминами и другими биологически активными веществами [3, 5, 13, 15 – 18, 20].

**Цель исследований**

Изучить влияние органоминерального удобрения Форкоп марки Актисемо-Л на рост растений сои, формирование репродуктивных органов, величину и качество получаемой продукции.

**Материалы и методы**

Испытуемый препарат – Форкоп марки Актисемо-Л представляет собой органоминеральное удобрение на основе аминокислот, содержащее в качестве питательных элементов: аминокислоты – более 6,4 %, общий азот ($N\text{-}NH_4$+$N\text{-}NO_3$) – более 3,6 %; pH – 7,0 – 8,5. Препаративная форма – жидкость.

Объект исследования – среднераннеспелый сорт сои (вегетационный период – 115 – 118 дней). Сорт характеризуется высокой потенциальной продуктивностью. Семена средней крупности, масса 1000 семян – 160 – 180 г. В сортоиспытаниях ВНИИМК средняя урожайность семян составила 2,52 т/га, в оптимальный по влажности год она достигла 4,0 т/га. В семенах содержится 39,90 – 40,85 % белка и 21,5 – 23,4 % масла.

Для решения поставленной цели полевые опыты закладывались на выщелоченном черноземе на опытном участке в учхозе «Кубань» (отделение № 1) КубГАУ.

Схема опыта:

– контроль – без некорневой подкормки растений;

– удобрение органоминеральное Форкоп марки Актисемо-Л – некорневая подкормка растений: 1-я в фазе полных всходов, 2-я в фазе бутонизации (расход агрохимиката – 0,2 л/га, расход рабочего раствора – 300 л/га);

– удобрение органоминеральное Форкоп марки Актисемо-Л – некорневая подкормка растений: 1-я в фазе полных всходов, 2-я в фазе бутонизации (расход агрохимиката – 0,3 л/га, расход рабочего раствора – 300 л/га);

– удобрение органоминеральное Форкоп марки Актисемо-Л – некорневая подкормка растений: 1-я в фазе полных всходов, 2-я в фазе бутонизации (расход агрохимиката – 0,4 л/га, расход рабочего раствора – 300 л/га).

Учётная площадь делянки 25 м$^2$, повторность – четырехкратная.

Отбор растительных проб для определения показателей роста (высоты растений, массы надземных органов – сырой и сухой, числа ветвей и листьев, их площади) проводили в начале налива семян, когда вегетативный рост растений прекращается. Продуктивность работы листьев определяли по А.А. Ничипоровичу [8], содержание пигментов в листьях по Т.Н. Годневу [1].

Перед уборкой проводили отбор модельных снопов для структурного анализа урожая (определения: числа ветвей, бобов, семян и их массы, массы 1000 семян) и содержания в семенах белка и жира [4]. Величину урожайности определяли по убранному общему валу зерна сои с учетной площади.

Полученные данные обрабатывали методом дисперсионного анализа [2].

**Результаты и обсуждение**

Входящие в состав испытуемого препарата аминокислоты играют важную роль в метаболических процессах растений: регулируют водный баланс растений, улучшают транспирацию за счет регулирования их осмотических свойств. Некоторые аминокислоты обладают специфическими функциями – повышают устойчивость растений к различного рода стрессам, восстанавливают их основные метаболические функции после стрессов [11, 12, 14, 19].

Негативно на росте растений и продуктивности сои сказываются высокая температура и сочетание воздушной и почвенной засухи, что имело место в период вегетации сои. Однако листовая подкормка растений сои испытуемым препаратом расширила температурные границы и, в некоторой степени, ослабила климатический стресс.

Как показали результаты исследований, двукратная некорневая подкормка растений сои (1-я – в фазе полных всходов, 2-я – в фазе бутонизации) органоминеральным удобрением на основе аминокислот Форкоп марки Актисемо-Л оказала ростстимулирующее действие на растение. И даже в экстремальных условиях, когда при длительной засухе и высокой температуре образование клубеньков не происходило, поступающие с подкормкой аминокислоты, очевидно, включались в биологический процесс и участвовали в построении пептидов – веществ, стимулирующих синтез белка и регулирующих выработку растением собственных гормонов роста (табл. 1).

**Таблица 1. Влияние препарата Форкоп марки Актисемо-Л на рост растений сои**

| Вариант | Высота растений, см | Число ветвей, шт. | Масса надземных органов, г/растение | |
|---|---|---|---|---|
| | | | сырая | сухая |
| Контроль – без некорневой подкормки растений; | 54,6 | 1,8 | 18,91 | 5,37 |
| Актисемо-Л – 2-х кратная некорневая подкормка растений (0,2 л/га) | 57,7 | 2,0 | 20,49 | 5,,84 |
| Актисемо-Л – 2-х кратная некорневая подкормка растений (0,3 л/га) | 58,9 | 2,1 | 24,08 | 7,15 |
| Актисемо-Л – 2-х кратная некорневая подкормка растений (0,4 л/га) | 60,4 | 2,1 | 27,64 | 8,51 |
| $НСР_{05}$ | 2,7 | 0,1 | 1,33 | 0,32 |

В опытных вариантах формировались более высокорослые и разветвленные растения (высота – 57,7 – 60,4 см, в контроле – 54,6 см, число ветвей – 2,0 – 2,1 шт., в контроле – 1,8 шт.). Наряду с этим, в растениях опытных вариантов нарастание сырой и сухой массы надземными органами происходило более активно (биомасса – 20,49 – 27,64 г, в контроле – 18,91 г, сухая масса – 5,84 – 8,51 г, в контроле – 5,37 г/растение соответственно). При этом следует отметить, что наиболее мощные по габитусу растения формировались в варианте с применением испытуемого препарата в дозе 0,4 л/га (расход рабочего раствора – 300 л/га).

Продуктивность растения определяется общим характером ростовых процессов и интенсивностью роста отдельных органов и, в первую очередь, величиной и работоспособностью листового аппарата – основного органа фотосинтеза [8].

**Таблица 2. Влияние препарата Форкоп марки Актисемо-Л на нарастание листового аппарата и фотосинтетическую деятельность растений сои**

| Вариант | Число листьев, шт./растение | Площадь листьев, см² | Продуктивность работы листьев, г/дм² | Содержание в листьях пигментов, мг/г сыр. в-ва | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | хл. a | хл. b | каротиноиды |
| Контроль – без некорневой подкормки растений; | 11,0 | 96,0 | 5,9 | 1,87 | 0,55 | 0,37 |
| Актисемо-Л – 2-х кратная некорневая подкормка растений (0,2 л/га) | 13,9 | 114,2 | 6,1 | 1,93 | 0,56 | 0,38 |
| Актисемо-Л – 2-х кратная некорневая подкормка растений (0,3 л/га) | 14,6 | 121,8 | 6,8 | 2,11 | 0,62 | 0,43 |
| Актисемо-Л – 2-х кратная некорневая подкормка растений (0,4 л/га) | 15,7 | 138,1 | 6,9 | 2,17 | 0,64 | 0,47 |
| $НСР_{05}$ | 0,6 | 5,6 | | | | |

Известно, что темпы нарастания массы надземных органов растений тесно связаны с ростом листового аппарата. И, как видно из данных таблицы 2, с возрастанием биомассы надземных органов возрастала листовая поверхность (114,2 – 138,1 см², в контроле – 96,0 см²). Максимальная площадь листьев отмечена в варианте с применением испытуемого препарата в дозе 0,4 л/га.

Такое увеличение площади листьев обусловлено повышением работоспособности листьев (продуктивность работы листьев – 6,1 – 6,9, в контроле – 5,9 г/дм²) и продлением срока их жизни, а также усилением жизнеспособности листьев, что тем самым отодвигает на более поздние сроки старение листьев и преждевременное разложение хлорофилла а (хл. a+b – 2,49 – 2,81, в контроле – 2,42 мг/г сыр. в-ва).

Усиление ростовых процессов и фотосинтеза несомненно повлияло на формирование элементов структуры урожая и содержание в семенах сои белка и жира (табл. 3).

**Таблица 3. Влияние препарата Форкоп марки Актисемо-Л на формирование элементов структуры урожая сои**

| Вариант | Количество, шт./растение | | Масса, г/растение | | Масса 1000 семян, г |
|---|---|---|---|---|---|
| | бобов | семян | бобов | семян | |
| Контроль – без некорневой подкормки расетний; | 21,0 | 40,1 | 6,87 | 5,43 | 134,3 |
| Актисемо-Л – 2-х кратная некорневая подкормка растений (0,2 л/га) | 24,8 | 46,8 | 8,61 | 6,56 | 137,8 |
| Актисемо-Л – 2-х кратная некорневая подкормка растений (0,3 л/га) | 27,3 | 54,9 | 10,02 | 7,58 | 149,8 |
| Актисемо-Л – 2-х кратная некорневая подкормка растений (0,4 л/га) | 30,5 | 62,3 | 11,92 | 9,07 | 143,2 |
| $НСР_{05}$ | 1,2 | 2,5 | 0,44 | 0,34 | 6,1 |

Некорневые подкормки растений сои органо-минеральным удобрением на основе аминокислот Форкоп марки Актисемо-Л способствовали формированию большого числа бобов (24,8 – 30,5 шт., в контроле – 21,0 шт.) и семян (46,8 – 62,3, в контроле – 40,1 шт./растение), более крупных по массе (масса 1000 семян – 137,8 – 143,2, в контроле – 134,3 г), что обеспечило повышение семенной продуктивности (масса семян с растения – 6,56 – 9,07, в контроле – 5,43 г).

Интегральным показателем, отражающим целесообразность применения в технологии возделывания сои агрохимиката Форкоп марки Актисемо-Л, служит семенная продуктивность.

**Таблица 4. Влияние препарата Форкоп марки Актисемо-Л на урожайность семян сои и содержание в них белка и жира**

| Вариант | Урожайность, ц/га | Прибавка к контролю | | Содержание в семенах, % | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | ц/га | % | белка | жира |
| Контроль – без некорневой подкормки расетний; | 13,3 | - | - | 38,5 | 19,5 |
| Актисемо-Л – 2-х кратная некорневая подкормка растений (0,2 л/га) | 14,1 | 0,8 | 6,0 | 38,9 | 19,7 |
| Актисемо-Л – 2-х кратная некорневая подкормка растений (0,3 л/га) | 14,4 | 1,1 | 8,3 | 39,1 | 19,8 |
| Актисемо-Л – 2-х кратная некорневая подкормка растений (0,4 л/га) | 14,7 | 1,4 | 10,5 | 39,6 | 20,1 |
| $НСР_{05}$ | 0,6 | | | | |

Показано, что в результате применения испытуемого препарата получена достоверная прибавка урожая – 6,0 – 10,5 % (урожайность – 14,1 – 14,7 ц/га, в контроле – 13,3 ц/га, $НСР_{05}$ – 0,6 ц/га) (табл. 4). Максимальная эффективность агрохимиката Форкоп марки Актисемо-Л на сое получена при проведении некорневой обработки им растений в дозе 0,4 л/га. Наряду с этим возросло содержание в семенах белка (38,9 – 39,6, в контроле – 38,5 %) и жира (19,7 – 20,1 и 19,5 % соответственно).

Максимальные абсолютные значения рассматриваемых в таблице 4 показателей отмечены в варианте с применением испытуемого препарата в дозе 0,4 л/га.

## Выводы

Проведенные научные исследования позволили выявить наиболее эффективную норму расхода препарата Форкоп марки Актисемо-Л, при проведении которой некорневой подкормки сои двукратно – в фазе полных всходов и в бутонизацию (расход препарата – 0,4 л/га, расход рабочего раствора – 300 л/га) ростовые и продукционные процессы протекают более активно.

В указанном варианте формировались наиболее мощные по габитусу растения сои, обеспечившие получение максимального прироста урожая – 10,5 %, при урожайности 13,3 ц/га в контроле. При этом, в семенах сои возросло содержание белка (39,6, в контроле – 38,5 %) и жира (20,1 и 19,5 % соответственно), сбор масла с гектара повысился на 14,3 %.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Годнев, Т.Н. Строение хлорофилла и методы его количественного определения / Т.Н. Годнев – Минск: АН БССР, 1952, – 146 с.

2. Доспехов, Б.А. Методика полевого опыта / Б.А. Доспехов. – М.: Колос, 1985.

3. Записоцкий, Д.Н. Влияние регуляторов роста растений на урожай сои / Д.Н. Записоцкий, А.Я. Барчукова // В сборнике: Перспективы использования инновационных форм удобрений, средств защиты и регуляторов роста растений в агротехнологиях сельскохозяйственных культур. Материалы докладов участников 9-ой научно-практической конференции. – Москва-«Анапа», 2016. – С. 64 – 66.

4. Иванов, Н.Н. Методика физиологии и биохимии растений / Н.Н. Иванов. – 4 изд., исп. и доп. – М.-Л.: Сельхозиздат, 1946 – 493 с.

5. Кайгородова, Е.А. Регуляторы роста в ряду производных никотиновой кислоты / Е.А. Кайгородова, А.Я. Барчукова, Е.С. Костенко, С.А. Нестунова, Т.В. Гераськина // Политематический сетевой электронный журнал Кубанского государственного аграрного университета, 2014, № 100. – С. 177 – 208.

6. Кретович, В.Л. Биохимия растений. Учебник для бол. факультетов университетов / В.Л. Кретович. – М.: Высшая школа, 1980. – 445 с.

7. Майстер, А. Биохимия аминокислот / А. Майстер – М., 1961.

8. Ничипорович, А.А. Фотосинтез и теория получения высоких урожаев / А.А. Ничипорович // XX Тимирязевские чтения, – М.: Изд-во АН СССР. 1956.

9. Петибская, В.С. Соя: химический состав и использование / В.С. Петибская. – Майкоп.: ОАО «Полиграф-Юг», 2012. – 432 с.

10. Плешаков, Б.П. Биохимия сельскохозяйственных растений / Б.П. Плешаков. – М., 1991. – 503 с.

11. Рубин, Б. А. Биохимия и физиология иммунитета растений / Б. А. Рубин, Е. В. Арциховский // Учебное пособие для биологических факультетов государственных университетов. – Москва: Академия наук СССР, 1960. – 352 с.

12. Рябчинская, Т.А. Иммунизирующие и рострегулирующие эффекты экзогенных аминокислот (электронный ресурс) / А.Т. Рябчинская, И.Ю. Бобрешова, Г.Л. Харченко, Н.А. Саранцева. – Режим доступа: http:www.agroxxi.ru/gosudarstvenyi pesticidov i agrohimikatov 2012/ribav yekstra p.html.

13. Синяшин, К.О. Бис(оксиметил)фосфиновая кислота и ее соли с биогенными металлами в качестве регуляторов роста и развития растений / К.О. Синяшин, А.Я. Барчукова, М.М. Мулаева. – Патент на изобретение RU 2624627 C1, 05.07.2017.

14. Тютерев, С.Л. Научные основы индуцированной болезнеустойчивости растений / С.Л. Тютерев. – СПб.: ООО «Инновационный центр защиты растений» ВИЗР, 2002. – 329 с.

15. Фаттахов, С.Г. Способ повышения масличности семян сои / С.Г. Фаттахов, А.Я. Барчукова, Н.В. Чернышева, А.И. Коновалов, О.Г. Синяшин. – Патент на изобретение RU2390984C1. 10.06.2010.

16. Чернышева, Н.В. Биологическая эффективность применения органоминерального удобрения Квантум бор-молибден на сои / Н.В. Чернышева, Я.К. Тосунов, А.Я. Барчукова. – Рисоводство, 2018. – № 4. – С. 46 – 50.

17. Fribe, A. Brassinosteroids in induced resistance and induction of tolerances to abiotic stress in plants / A. Fribe // Natural products for Pest Management, ACS Syms. Ser. Washington DC, 2006. – V. 927. – P. 233 – 242.

18. Haghighi, S. Effect of biological fertilizer of humic acid on metabolic process of biological nitrogen fixation // S. Haghighi, T.S. Nejad, S. Lack // Life science journal, 2011. – Vol. 8. – № 3. – P. 43 – 48.

19. Metabolomic and plant stress // Physiologia Plantarum, 2008. – 132.

20. Quannui, X. Effect of Humic Acid Fertilizer on Rice Yield and Nutrient uptake / X. Qannui // Jornal of Anhui agricultural scinces, 2010. – Vol. 38. – № 8. – P. 3951 – 3952.

## REFERENCES

1. Godnev, T.N. Structure of chlorophyll and methods of its quantitative determination / T.N. Godnev-Minsk: AN BSSR, 1952. – 146 p.

2. Dospekhov, B.A. Methodology of field experience / B.A. Dospekhov. – M.: Kolos, 1985.

3. Zapesotsky, D.N. The effect of plant growth regulators on yield of soybean / D.N. Zapesotsky, A.Y. Barchukova // In the collection: Prospects of using innovative forms of fertilizers, plant protection agents and growth regulators in agricultural technologies. Materials of reports of participants of the 9th scientific and practical conference. – Moscow-Anapa, 2016. – Pp. 64 – 66.

4. Ivanov, N.N. Methods of plant physiology and biochemistry / N.N. Ivanov. – 4 ed. revised and expanded – M.-L.: Sel'khozizdat, 1946. – P. 493.

5. Kaigorodova, E.A. Growth Regulators in a number of derivatives of nicotinic acid / E. A. Kaigorodova, A. Y. barchukova, E.S. Kostenko, S.A. Pestunova, T.V. Geraskina // Polythematic network electronic journal of Kuban state agrarian University, 2014, № 100. – P. 177 – 208.

6. Kretovich, V.L. Biochemistry of plants. Tutorial for bol. faculties of the universities. / V.L. Kretovich. – Moscow: Higher school, 1980. – 445 p.

7. Meister, A. Biochemistry of amino acids / A. Meister. – M., 1961.

8. Nichiporovich, A.A. Photosynthesis and theory of obtaining high yields / A.A. Nichiporovich // XX Timiryazev readings. – Moscow: Publishing house of the USSR Academy of Sciences. 1956.

9. Petibskaya, V.S. Soybeans: chemistry and use / V.S. Petibskaya. – Maykop: JSC «Polygraph-Yug», 2012. – 432 p.

10. Pleshakov, B.P. Biochemistry of agricultural plants / B.P. Pleshakov. – Moscow, 1991. – 503 p.

11. Rubin, B.A. Biochemistry and physiology of plant immunity / B. A. Rubin, E. V. Artsikhovsky // Textbook for biology departments of state universities. – Moscow: Academy of Sciences of the USSR, 1960. – 352 p.

12. Ryabchinskaya, T.A. Immunizing and growth-regulating effects of exogenous amino acids (electronic resource) / A.T. Ryabchinskaya, I.Yu. Bobreshova, G.L. Kharchenko, N.A. Sarantseva. – Access mode http:www.agroxxi.ru/gosudarstvenyi pesticidov i agrohimikatov 2012/ribav yekstra p.html.

13. Sinyashin, K.O. Bis(oxymethyl)phosphinic acid and its salts with biogenic metals as regulators of plant growth and development / K.O. Sinyashin, A.Ya. Barchukova, M.M. Mulaeva. – Patent for invention RU 2624627 C1, 05.07.2017.

14. Tyuterev, S.L. Scientific bases of induced plant disease resistance / S.L. Tyuterev. – Saint Petersburg: LLC «Innovative center for plant protection» VISR, 2002. – 329 p.

15. Fattakhov, S.G. A method for increasing the oil content of soybean seeds / S.G. Fattakhov, A.Ya. Barchukova, N.V. Chernysheva, A.I. Konovalov, O.G. Sinyashin. – Patent for invention RU2390984 C1, 10.06.2010.

16. Chernysheva, N.V. Biological efficiency of application of organomineral fertilizer quantum bor-molybdenum on soy / N.V. Chernysheva, Ya.K. Tosunov, A.Ya. Barchukova. – Rice farming, 2018. – № 4. – P. 46 – 50.

17. Fribe, A. Brassinosteroids in induced resistance and induction of tolerances to abiotic stress in plants / A. Fribe // Natural products for Pest Management, ACS Syms. Ser. Washington DC, 2006. – V. 927. – P. 233 – 242.

18. Haghighi, S. Effect of biological fertilizer of humic acid on metabolic process of biological nitrogen fixation // S. Haghighi, T.S. Nejad, S. Lack // Life science journal, 2011. – Vol. 8. – № 3. – P. 43 – 48.

19. Metabolomic and plant stress // Physiologia Plantarum, 2008. – 132.

20. Quannui, X. Effect of Humic Acid Fertilizer on Rice Yield and Nutrient uptake / X. Qannui // Jornal of Anhui agricultural scinces, 2010. – Vol. 38. – № 8. – P. 3951 – 3952.

**Алла Яковлевна Барчукова**
Профессор кафедры физиологии
и биохимии растений
E-mail: nv.chernisheva@yandex.ru

**Янис Константинович Тосунов**
Доцент кафедры физиологии
и биохимии растений
E-mail: tosunyanis@yandex.ru

**Наталья Викторовна Чернышева**
Профессор кафедры прикладной экологии
E-mail: nv.chernisheva@yandex.ru

Все: ФГБОУ ВО «Кубанский государственный аграрный университет им. И.Т. Трубилина», 350044, Россия, г. Краснодар, ул. Калинина, 13

**Alla Yakovlevna Barchukova**
Professor of the Department of plant physiology
and biochemistry
E-mail: nv.chernisheva@yandex.ru

**Yanis Konstantinovich Tosunov**
Associate Professor of the Department of physiology
and biochemistry plants
E-mail: tosunyanis@yandex.ru

**Natalia Viktorovna Chernysheva**
Professor of applied ecology Department
E-mail: nv.chernisheva@yandex.ru

All: FSBEI of Higher Education «Kuban State Agrarian University named after I.T. Trubilin», 13 Kalinina st., Krasnodar, Russia, 350044

DOI: 10.33775/1684-2464-2020-48-3-90-94
УДК: 635.262:631.531.04

**В.Э. Лазько**, канд. с.-х. наук,
**О.В. Якимова**
г. Краснодар
Россия

# ВЛИЯНИЕ КОРНЕВЫХ ПОДКОРМОК КОМПЛЕКСНЫМИ ОРГАНОМИНЕРАЛЬНЫМИ УДОБРЕНИЯМИ НА РОСТ ЧЕСНОКА В ПЛЕНОЧНОЙ НЕОБОГРЕВАЕМОЙ ТЕПЛИЦЕ

*Представлены результаты по изучению выгонки озимых нестрелкующихся и стрелкующихся сортов чеснока в пленочной необогреваемой теплице. Определены параметры суточного прироста листьев по сортам чеснока, которые соответствовали для нестрелкующихся сортов от 0,13 до 0,23 см/сутки, у стрелкующихся сортов – от 0,13 до 0,30 см/сутки. Установлено, что сорта положительно реагировали на применение корневых подкормок органоминеральными удобрениями ЭКОБАУ и Арксойл ускорением роста листовой поверхности у нестрелкующихся сортов чеснока до 27 %/сутки и увеличение массы растений до 66 %/сутки. Для стрелующихся сортов отмечалось увеличение темпа отрастания листовой пластинки на 36 % и массы на 50 %, в сравнении с контролем. За три года коэффициент выгонки чеснока составил у нестрелкующихся сортов 0,42 – 0,56, использование корневых подкормок обеспечило увеличение коэффициента выгонки в 1,3 – 1,6 раза. У стрелкующихся сортов за счет формирования меньшего количества листьев коэффициент выгонки ниже – 0,37 – 0,41. Благодаря улучшению корневого питания за счет вносимых удобрений коэффициент выгонки увеличился в 1,5 – 1,8 раз. Применяемые органоминеральные удобрения ЭКОБАУ и Арксойл, в состав которых входят лингогуматы, инактивированные бактерии, продукты их метаболизма, NPK и 8 микроэлементов, можно использовать для корневых подкормок чеснока в поле через капельные мембранные системы и для листовых подкормок в период весенне-летней вегетации растений чеснока.*

***Ключевые слова:*** *чеснок, выгонка, прирост листа, зеленое перо, корневая подкормка, коэффициент выгонки.*

# INFLUENCE OF ROOT DRESSING WITH COMPLEX ORGANIC FERTILIZERS ON THE GROWTH OF GARLIC IN AN UNHEATED FILM GREENHOUSE

*The article presents the results of the study of forcing winter non-shooting and shooting varieties of garlic in a film unheated greenhouse. The parameters of daily leaf growth were determined for garlic varieties, which corresponded for non-shooting varieties from 0.13 to 0.23 cm/day, for shooting varieties – from 0.13 to 0.30 cm/day. It was found that the varieties reacted positively to the application of root dressings with organic mineral fertilizers EKOBAU and Arxoil by accelerating the growth of the leaf surface in non-shooting garlic varieties up to 27%/day and an increase in plant weight up to 66%/day. For darting varieties, an increase in the rate of growth of the leaf blade by 36% and an increase in weight by 50% was noted, compared with the control. For three years, the coefficient of forcing of garlic was 0.42 – 0.56 for non-streaked varieties, the use of root dressings provided an increase in the coefficient of forcing by 1.3 – 1.6 times. In arrowhead varieties, due to the formation of a smaller number of leaves, the forcing coefficient is lower – 0.37 – 0.41. Due to the improvement of root nutrition due to the applied fertilizers, the forcing ratio increased by 1.5 – 1.8 times. The applied organomineral fertilizers EKOBAU and Arxoil, which include lingogumates, inactivated bacteria, their metabolic products, NPK and 8 trace elements, can be used for root dressing of garlic in the field through drip membrane systems and for foliar dressing during the spring-summer vegetation period of garlic plants.*

***Key words:*** *garlic, forcing, leaf growth, green feather, root feeding, forcing coefficient.*

## Введение

Погодно-климатические условия осеннее-зимнего периода центральной зоны Краснодарского края позволяют выращивать на зеленое перо большинство ботанических видов лука в пленочных необогреваемых теплицах [1, 2, 3]. В литературе и в практических рекомендациях мало информации о выгонки зелени чеснока. Использование теплицы позволяет получить результаты по скорости отрастания сортов, влиянию температурного режима, определить коэффициент выгонки сортов чеснока и эффективность применения органоминеральных удобрений, которые позволяют раскрыть генетический потенциал продуктивности [7, 8]. Полученные результаты по применению удобрений могут быть использованы при выращивании чеснока в полевых условиях для снижения стрессового состояния и корректировки недостатка поступления в растения элементов питания [9,10].

## Цель исследований

Определить коэффициент выгонки и влияние комплексных органоминеральных удобрений на рост растений и количественные показатели урожайности зеленого пера чеснока в пленочной необогреваемой теплице для сортов чеснока селекции ФГБНУ «ФНЦ риса».

## Материалы и методы

Опыты закладывали в неотапливаемой пленочной теплице с 2017 по 2019 гг. Площадь делянки 1,0 м$^2$, повторность 3-х кратная. Норма высадки в зависимости от размера зубков – 1,6…3,6 кг на делянку. Способ посадки – мостовой (3 х 3 см). После посадки участок мульчировали торфогрунтом в смеси с рисовой шелухой 1:1. Высота мульчирующего слоя 5 см. Ежедневно измеряли температуру воздуха на улице и в теплице, почвы – на поверхности и на глубине 5 см. Для оценки влияния на ростовые процессы один раз в семь дней применяли подкормку с поливом комплексными органоминеральными удобрениями ЭКОБАУ и Арксойл. Норм расхода раствора – 1 л/м$^2$, концентрация – 20 мл удобрения на 1 литр воды. Динамику отрастания вегетативной массы измеряли один раз в три дня. Исследовательская работа, учеты и наблюдения проводили в соответствии с «Методикой полевого опыта в овощеводстве» [4].

## Результаты и обсуждение

Наблюдения за температурой показали, что в теплице, накрытой двойной полимерной пленкой с воздушной прослойкой, значительно сглаживаются колебания при снижении температуры воздуха на улице ниже нулевой отметки. Температура воздуха в теплице чаще оставалась плюсовой, не опускалась ниже биологического минимума для чеснока и оставалась благоприятной для роста растений. На глубине посадки зубков 5 см в течение всего периода роста растений температура оставалась практически на одном уровне, в плюсовом диапазоне.

Анализ результатов за три года показал, что листья сортов чеснока отрастали с разной скоростью. У нестрелкующихся сортов в сутки листовые пластинки увеличивались от 0,13 см до 0,23 см (в среднем 0,18 см/сутки). Масса растений увеличивалась на 0,06 – 0,09 г. Ежедневный прирост ассимиляционной поверхности стрелкующихся сортов составлял от 0,13 см до 0,30 см (0,19 – 0,20 см/сутки), однако накопление массы растений шло медленнее – 0,05 – 0,06 г/сутки (табл. 1).

Подкормки биоорганическими удобрениями способствовали увеличению темпов отрастания листьев у нестрелкующихся сортов до 27 % и увеличению массы растений до 66 % в сутки. На стрелкующихся сортах удобрения способствовали увеличению скорости отрастания листьев на 36 % и массы на 50 % в сравнении с контролем. Полученные результаты показали, что сорта практически одинаково реагировали на подкормки органоминеральными удобрениями ЭКОБАУ и Арксойл.

**Таблица 1. Суточный прирост ассимиляционной поверхности листьев и массы растений (среднее за 3 года), 2017 – 2019 гг.**

| Удобрение | Прирост в сутки | | | |
|---|---|---|---|---|
| | длина листа, см | | масса, г | |
| | от – до | среднее | от – до | среднее |
| нестрелкующийся сорт Боголеповский | | | | |
| Арксойл | 0,20 – 0,23 | 0,22 | 0,08 – 0,21 | 0,15 |
| ЭКОБАУ | 0,22 – 0,24 | 0,23 | 0,08 – 0,16 | 0,12 |
| контроль | 0,13 – 0,23 | 0,18 | 0,04 – 0,12 | 0,09 |
| нестрелкующийся сорт Лекарь | | | | |
| Арксойл | 0,15 – 0,21 | 0,18 | 0,04 – 0,12 | 0,08 |
| ЭКОБАУ | 0,17 – 0,24 | 0,20 | 0,04 – 0,12 | 0,09 |
| контроль | 0,16 – 0,21 | 0,18 | 0,04 – 0,08 | 0,06 |
| стрелкующийся сорт Триумф | | | | |
| Арксойл | 0,13 – 0,31 | 0,24 | 0,04 – 0,12 | 0,07 |
| ЭКОБАУ | 0,14 – 0,34 | 0,26 | 0,04 – 0,12 | 0,08 |
| контроль | 0,15 – 0,27 | 0,19 | 0,04 – 0,11 | 0,05 |
| стрелкующийся сорт Победа-75 | | | | |
| Арксойл | 0,16 – 0,34 | 0,26 | 0,05 – 0,13 | 0,09 |
| ЭКОБАУ | 0,16 – 0,32 | 0,25 | 0,05 – 0,12 | 0,08 |
| контроль | 0,13 – 0,30 | 0,20 | 0,04 – 0,10 | 0,06 |
| Для прироста длины листа, см/сут: $F_{факт.}$ 14,832 > $F_{05}$ 3,402 $НСР_{05}$ 0,061<br>Для прироста массы, г/сут: $F_{факт.}$ 16,673 > $F_{05}$ 3,402 $НСР_{05}$ 0,049 | | | | |

Урожай зеленого пера срезали при средней длине листовой пластинки 25 см, ориентируясь на стандарты применяемые для репчатого лука [5, 6]. Благодаря биологической особенности на нестрелкующихся сортах формировалось в 1,5 – 2 раза больше листьев, чем у сортов стрелкующегося чеснока. Соответственно и по массе растения были тяжелей. Применяемые подкормки значительно влияли на биометрические параметры растений чеснока. У нестрелкующихся сортов к уборке сформировалось ли-

стьев на 1,6 – 3,2 штуки больше, чем у стрелкующихся сортов. Применение органоминеральных удобрений способствовало увеличению этого параметра внутри групп на 1,7 – 3,6 листа у нестрелкующихся и на 0,4 – 0.7 листа у стрелкующихся сортов. Подкормки обеспечили увеличение ассимиляционной поверхности листьев до 23 % у нестрелкующихся и до 33 % у стрелкующихся сортов чеснока. К уборке зеленого пера отмечалось положительное влияние корневых подкормок на массу растений, которая увеличилась в 1,3 – 1,7 раза у нестрелкующихся и в 1,2 – 1,4 раза у стрелкующихся сортов чеснока (табл. 2).

**Таблица 2 . Биометрические параметры растений чеснока (среднее за 3 года), 2017 – 2019 гг.**

| Удобрение (фактор А) | Листьев на одном растении | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | количество, шт. | | длина 1 листа, см | | масса, г. | |
| | от – до | среднее | от – до | среднее | от– до | среднее |
| нестрелкующийся сорт Боголеповский (фактор Б) | | | | | | |
| Арксойл | 6 – 14 | 11,4 | 25 – 29 | 27,3 | 10 – 25 | 18,4 |
| ЭКОБАУ | 4 – 16 | 10,1 | 27 – 30 | 28,6 | 10 – 20 | 14,5 |
| контроль | 7 – 13 | 8,2 | 16 – 29 | 23,2 | 5 – 15 | 11,1 |
| нестрелкующийся сорт Лекарь (фактор Б) | | | | | | |
| Арксойл | 5 – 10 | 8,4 | 19 – 27 | 22,8 | 5 – 15 | 10,2 |
| ЭКОБАУ | 6 – 15 | 10,2 | 22 – 30 | 25,4 | 5 – 15 | 12,1 |
| контроль | 5 – 8 | 6,6 | 21 – 28 | 23,2 | 5 – 10 | 7,3 |
| стрелкующийся сорт Триумф (фактор Б) | | | | | | |
| Арксойл | 3 – 8 | 5,5 | 17 – 40 | 31,2 | 5 – 15 | 9,5 |
| ЭКОБАУ | 3 – 9 | 5,8 | 18 – 43 | 32,8 | 5 – 15 | 10,0 |
| контроль | 4 – 6 | 5,1 | 19 – 35 | 24,6 | 5 – 15 | 7,1 |
| стрелкующийся сорт Победа-75 (фактор Б) | | | | | | |
| Арксойл | 4 – 9 | 5,7 | 18 – 45 | 33,9 | 6 – 16 | 10,3 |
| ЭКОБАУ | 3 – 9 | 5,5 | 17 – 42 | 31,8 | 5 – 16 | 10,1 |
| контроль | 4 – 6 | 5,0 | 16 – 35 | 25,6 | 5 – 15 | 8,8 |
| Для массы: Удобрение (фактор А) $F_{факт.}$ 15,945 > $F_{теор.}$ 6,944 $НСР_{05}$ 1,7<br>Сорт (фактор Б) $F_{факт.}$ 9,944 > $F_{теор.}$ 6,944 $НСР_{05}$ 1,4 | | | | | | |

В значительной степени урожай зеленых листьев формируется за счет запасных питательных веществ. Выход зеленого пера при посадке лука репчатого превышает массу посадочного материала в 1,5 раза больше , при использовании выборка. Норма посадки луковиц от 5 до 10 кг/м$^2$. Коэффициент выгонки репчатого лука составляет от 1,5 до 1,9 [6]. Норма высадки чеснока зависит от размера зубка и составляет от 1,5 до 5 кг/м$^2$. За три года коэффициент выгонки чеснока составил у нестрелкующихся сортов 0,42 – 0,56. Применение подкормки органоминеральными удобрениями позволило повысить коэффициент до 0,55 – 0,87. У стрелкующихся сортов за счет формирования меньшего количества листьев коэффициент выгонки ниже – 0,37 – 0,41. По результатам исследований видно, что формирование урожая происходит не только за счет запаса питательных веществ зубка, но и благодаря фотосинтетической активности листьев и корневого питания растений (табл. 3).

**Таблица 3. Коэффициент выгонки чеснока на зеленое перо (среднее за 3 года), 2017 – 2019 гг.**

| Удобрение (фактор А) | Коэффициент выгонки, $m_{зелени}$ / $m_{высажен}$ | | | |
|---|---|---|---|---|
| | 2017 г. | 2018 г. | 2019 г. | среднее |
| нестрелкующийся сорт Боголеповский (фактор Б) | | | | |
| Арксойл | 0,91 | 0,83 | 0,87 | 0,87 |
| ЭКОБАУ | 0,60 | 0,51 | 0,55 | 0,55 |
| контроль | 0,40 | 0,42 | 0,45 | 0,42 |
| нестрелкующийся сорт Лекарь (фактор Б) | | | | |
| Арксойл | 0,78 | 0,72 | 0,77 | 0,76 |
| ЭКОБАУ | 0,65 | 0,73 | 0,70 | 0,69 |
| контроль | 0,51 | 0,62 | 0,55 | 0,56 |

| Удобрение (фактор А) | Коэффициент выгонки, $m_{зелени}$ / $m_{высажен}$ | | | |
|---|---|---|---|---|
| | 2017 г. | 2018 г. | 2019 г. | среднее |
| стрелкующийся сорт Триумф (фактор Б) | | | | |
| Арксойл | 0,70 | 0,56 | 0,68 | 0,65 |
| ЭКОБАУ | 0,61 | 0,63 | 0,55 | 0,60 |
| контроль | 0,40 | 0,33 | 0,37 | 0,37 |
| стрелкующийся сорт Победа-75 (фактор Б) | | | | |
| Арксойл | 0,75 | 0,66 | 0,71 | 0,69 |
| ЭКОБАУ | 0,69 | 0,62 | 0,66 | 0,63 |
| контроль | 0,45 | 0,40 | 0,38 | 0,41 |
| Удобрение (фактор А) $F_{факт.}$ 100,946 > $F_{теор.}$ 3,554 $НСР_{05}$ 0,094<br>Сорт (фактор Б) $F_{факт.}$ 19,033 > $F_{теор.}$ 3,554 $НСР_{05}$ 0,094<br>Взаимодействие факторов (АБ) $F_{факт.}$ 9,631 > $F_{теор.}$ 2,927 $НСР_{05}$ 0,18 | | | | |

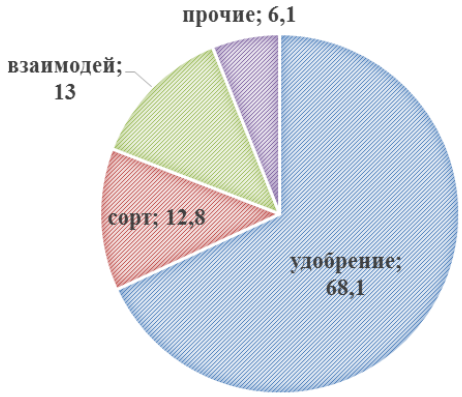


**Рис. 1. Доли влияния факторов на выгонку зеленого пера чеснока (среднее за 3 года), 2017 – 2019 гг.**

Математический анализ результатов опыта показал, что доля влияния подкормки органоминеральными удобрениями ЭКОБАУ и Арксойл на выгонку зеленого пера чеснока за три года составила 68 %. Вклад сортов в урожай на уровне 13 %, за счет биологической особенности нестрелкующихся сортов формировать растений с большим количеством листьев. Доля влияния сортовой реакции на применение подкормок составила 13 % (рис. 1).

**Выводы**

На основании полученных результатов подготовлены рекомендации по использованию чеснока для выгонки на зеленое перо и применение органоминеральных удобрений ЭКОБАУ и Арксойл.

Для выгонки чеснока в центральной зоне Краснодарского края можно эффективно использовать неотапливаемую пленочную теплицу с воздушной прослойкой с октября по март месяц. Установлено, что выход зеленого пера выше у сортов нестрелкующей группы за счет формирования на растениях большего количеств листьев. Ежедневный прирост ассимиляционной поверхности листьев составлял у нестрелкующихся сортов от 0,13 до 0,23 см/сутки, у стрелкующихся сортов – от 0,13 до 0,30 см/сутки.

Применение корневых подкормок органоминеральными удобрениями ЭКОБАУ и Арксойл способствовали у нестрелкующихся сортов чеснока увеличению прироста листьев до 27 %/сутки и массы растений до 66 %/сутки. Для стрелкующихся сортов соответственно отрастание листовой пластинки на 36 % и массы на 50 %, в сравнении с контролем.

Рекомендуется в теплице поливать почву под растения с интервалом 7 дней с концентрацией рабочего раствора – 20 мл удобрения на 1 литр воды. Расход рабочего раствора 1 л/м$^2$. Органоминеральные удобрения ЭКОБАУ и Арксойл можно применять для подкормок чеснока в поле через капельные мембранные системы полива или использовать для внекорневого внесения на вегетирующие растения.

**ЛИТЕРАТУРА**

1. Боос, Г.В. Овощные культуры в закрытом грунте / Г.В. Боос. – Л.: Колос, 1968. – 272 с.
2. Гиш, Р.А., Гикало, Г.С. Овощеводство юга России / Р.А. Гиш, Г.С. Гикало // Краснодар: ЭДВИ, 2012. – 632 с.
3. Лазько, В.Э. Настольная книга овощевода Кубани / А.С. Зайцев, С.Г. Лукомец // Краснодар: Совет. Кубань, 2008. – 272 с.
4. Литвинов, С.С. Методика опытного дела в овощеводстве / С.С. Литвинов. – М.: 2011. – 648 с.
5. Пивоваров, В.Ф. Луковые культуры / В.Ф. Пивоваров, И.И. Ершов, А.Ф. Агафонов. – М.: 2001. – 500 с.
6. Тараканов, Г.И. Овощеводство защищенного грунта / Г.И. Тараканов, Н.В. Борисов, В.В. Климов. – М.: Колос, 1982. – 303 с.
7. Buttcher H. Einflub der Erntemechanisierung auf die Lagerfhigkeitvon Danerzwiebeln (Allium) // Arch. Gartenbau. – 1973. – № 21. – S. 7.
8. Jurgiel-Malescka, G. Wplyw zroznicowanegonnawozenia azotowego na zawartosc N-$NO_3$ w cucuyplorze wybranych roslin cebulowych / G. Jurgiel-Maleska, J. Sachorska // Nawozenie w ksztaltowaniu srodowiska. – Warszawa, 2002. – S. 231 – 236.

9. Juskeviciene, D. Pecularities of edible onion production and research in Lithuania / D. Juskeviciene, C. Bobinas // Vegetable crops research bulletin: scientific works of the Research institute of vegetable crops. Skierniewice, 2005. – Vol. 62. – P. 29 – 37.

10. Onion production guide [Electronic resource] / G. Boyhan, W. Kelley / The University Georgia College of Agricultural and Environmental Sciences, 2008. – Mode of access: http://faps.okstate.ebu. – Date of access: 06.02/2009.

## REFERENCES

1. Boos, G.V. Vegetable crops in greenhouses / G.V., Boos. – L .: Kolos, 1968. – 272 p.

2. Gish, R.A., Gikalo G.S. Vegetable growing of the south of Russia / R.A. Guiche, G.S. Gikalo // Krasnodar: EDVI, 2012. – 632 p.

3. Lazko, V.E. Handbook of the vegetable grower of Kuban / A.S. Zaitsev, S.G. Lukomets // Krasnodar: Council. Kuban, 2008. – 272 p.

4. Litvinov, S.S. Experimental methodology in vegetable growing / S.S. Litvinov. – M.: 2011. – 648 p.

5. Pivovarov, V.F. Onion cultures / V.F. Pivovarov, I.I. Ershov, A.F. Agafonov. – M.: 2001. – 500 p.

6. Tarakanov, G.I. Vegetable growing of protected soil / G.I. Tarakanov, N.V. Borisov, V.V. Klimov. – M.: Kolos, 1982. – 303 p.

7. Buttcher, H. Einflub der Erntemechanisierung auf die Lagerfhigkeitvon Danerzwiebeln (Allium) // Arch. Gartenbau. – 1973. – № 21. – P. 7.

8. Jurgiel-Malescka, G. Wplyw zroznicowanegonnawozenia azotowego na zawartosc N-$NO_3$ w cucuyplorze wybranych roslin cebulowych / G. Jurgiel-Maleska, J. Sachorska // Nawozenie w ksztaltowaniu srodowiska. – Warszawa, 2002. – S. 231 – 236.

9. Juskeviciene, D. Pecularities of edible onion production and research in Lithuania / D. Juskeviciene, C. Bobinas // Vegetable crops research bulletin: scientific works of the Research institute of vegetable crops. Skierniewice, 2005. – Vol. 62. – P. 29 – 37.

10. Onion production guide [Electronic resource] / G. Boyhan, W. Kelley / The University Georgia College of Agricultural and Environmental Sciences, 2008. – Mode of access: http://faps.okstate.ebu. – Date of access: 06.02/2009.

**Виктор Эдуардович Лазько**
Вед. научн. сотр. лаборатории
луковых и бахчевых культур
E-mail: lazko62@mail.ru

**Ольга Владимировна Якимова**
научный сотрудник лаборатории
луковых и бахчевых культур
E-mail: belyaeva12092013@yandex.ru

Все: ФГБНУ «ФНЦ риса»
350921, Россия, Краснодар, Белозёрный, 3,
E-mail: arrri_kub@mail.ru

**Victor E. Lazko**
Leading researcher of the laboratory
of melon and onion crops
E-mail: lazko62@mail.ru

**Olga V. Yakimova**
Researcher of the laboratory
of melon and onion crops

All: FSBSI “FSC of rice”
3, Belozerny, Krasnodar, Russia, 350921
E-mail: arrri_kub@mail.ru

DOI: 10.33775/1684-2464-2020-48-3-95-101
УДК 633.111.1:577.2

**Д.С. Миков,**
**В.В. Тюрин**, д-р биол. наук,
**Р.О. Давоян**, д-р биол. наук,
**Э.Р. Давоян**, канд. биол. наук,
**Ю.С. Зубанова,**
**Д.М. Болдаков**
г. Краснодар, Россия

# ОЦЕНКА ИНТРОГРЕССИВНЫХ ЛИНИЙ МЯГКОЙ ПШЕНИЦЫ С ГЕНЕТИЧЕСКИМ МАТЕРИАЛОМ *AEGILOPS SPELTOIDES* ПО КОМПЛЕКСУ ПРИЗНАКОВ ПРОДУКТИВНОСТИ

*Исследования проводили в 2017 и 2018 годах в отделе биотехнологии ФГБНУ «НЦЗ им. П.П. Лукьяненко» с целью отбора наиболее продуктивных интрогрессивных линий с генетическим материалом Ae. speltoides для дальнейшего их использования в селекционном процессе. Посев производили на опытном участке отдела биотехнологии с помощью селекционной шестирядной сеялки, размер делянки составлял 1х1,30 метра. Уборку опытных делянок для подсчёта показателей продуктивности проводили вручную с помощью рамки, площадью 1 м$^2$. Комплекс признаков продуктивности, в который входили: высота растений, длина колоса, количество колосков, количество зерен в колосе, масса зерна с колоса, масса 1000 зерен, масса зерна с 1 м$^2$, количество продуктивных колосьев с 1 м$^2$ изучен с помощью статистических методов. Для отбора лучших линий был проведен дискриминантный анализ, создана селекционная модель и проведен кластерный анализ, результатом которого является рисунок – иерархический дендрит. В соответствии с алгоритмом программы StatSoft STATISTICA 12 был выбран уровень разрезания дендрита в 60 усл. ед. при котором выделяется два кластера. В первый из них вошли линии 5053, 5047, 4909, 5041, 4915, сорт Краснодарская 99 и селекционная модель. Во второй кластер включены линии 4897, 4867, 4849, 4879 и сорт Аврора. Таким образом, линии 4909, 4915, 5041, и 5047 5053 обладают наибольшей продуктивностью и рекомендуются к использованию в дальнейшем селекционном процессе.*

***Ключевые слова:*** *пшеница, интрогрессивные линии, признаки продуктивности, дискриминантный анализ, селекционная модель.*

# EVALUATION OF INTROGRESSION WHEAT LINES WITH GENETIC MATERIAL FROM AEGILOPS SPELTOIDES ON PRODUCTIVITY TRAITS

*The research was carried out in 2017 and 2018 in the Department of Biotechnology of the "National center of grain named after P.P. Lukyanenko" in order to select the most productive introgressive lines with the genetic material of Ae. speltoides for their further use in the breeding process. Sowing was carried out on the experimental plot of the biotechnology department using a selection six-row seeder, the size of the plot was 1x1.30 meters. The harvesting of experimental plots for calculating productivity indicators was carried out manually using a frame with an area of 1 m$^2$. Statistical methods were used to study a complex of productivity indicators, which included: plant height, spike length, number of spikelets, number of grains per spike, grain weight per spike, 1000 grain weight, grain weight from 1m$^2$, number of productive spikes from 1m$^2$. To select the best lines, a discriminant analysis was carried out, a breeding model was created and a cluster analysis was carried out, the result of which was a picture of hierarchical dendrite. In accordance with the algorithm of the StatSoft STATISTICA 12 program, a dendrite cutting level of 60 conv. units was selected. Two clusters were allocated. The first of them included lines 5053, 5047, 4909, 5041, 4915, Krasnodarskaya 99 variety and a selection model. The second cluster included lines 4897, 4867, 4849, 4879 and the Avrora variety. Thus, lines 4909, 4915, 5041, and 5047 5053 have the highest productivity and are recommended for use in the further breeding process.*

***Key words****: wheat, introgression lines, productivity traits, discriminant analysis, breeding model.*

## Введение

Использование генофонда диких сородичей в селекции является одним из способов расширения генетического разнообразия мягкой пшеницы [11, 13, 14]. Диплоидный вид *Ae. speltoides* (2n = 14, SS) генетически близок и содержит геном S, который гомеологичен геному B мягкой пшеницы *T. aestivum* (2n = 42, BBAADD) [3]. От этого вида в настоящее время переданы гены устойчивости к таким болезням, как бурая и стеблевая ржавчины, гены-супрессоры системы *Ph* [12, 15, 16, 17].

Для облегчения передачи генетического материала от *Ae. speltoides* в мягкую пшеницу можно использовать синтетические формы, которые выполняют роль «генетического мостика». Для этой роли в 1980-х годах в лаборатории цитогенетики КНИИСХа была создана геномно-замещенная форма Авродес (BBAASS). На её основе были получены интрогрессивные линии мягкой пшеницы, отличающиеся устойчивостью к болезням и высоким содержанием белка [3].

Для вовлечения интрогрессивных линий в селекционный процесс они должны быть цитологически стабильными и иметь определенный набор хозяйственно-ценных признаков. По данным исследователей к 2018 году транслокации от *Ae. speltoides* с эффективными генами устойчивости практически не используются в коммерческих сортах [7, 8, 18]. Это связано с тем, что зачастую в состав таких транслокаций входят гены, обуславливающие снижение урожайности. Наиболее ярким примером является транслокация 2B/2S#2, в состав которой входят гены устойчивости к бурой и стеблевой ржавчинам *Lr35* и *Sr39* [17]. Решение проблемы возможно за счёт удаления чужеродного фрагмента, несущего гены, детерминирующие понижение продуктивности [15]. Другим способом является получение новых транслокаций, в состав которых будут входить только гены, положительно влияющие на проявление хозяйственно-ценных признаков.

В изучаемых интрогрессивных линиях установлено наличие транслокаций от вида *Ae. speltoides,* высокое содержание белка и клейковины, хорошая хлебопекарная оценка, устойчивость к болезням а также наличие *Rht*-генов [5, 6]. Для дальнейшего вовлечения этих линий в селекционный процесс было необходимо провести их оценку по признакам продуктивности.

## Цель исследования

Изучить интрогрессивные линии мягкой пшеницы с генетическим материалом *Ae. speltoides* по признакам продуктивности с помощью статистических методов анализа для отбора наиболее перспективных и их вовлечения в дальнейший селекционный процесс.

## Материалы и методы

Материалом для исследования послужили 9 интрогрессивных линий мягкой пшеницы с генетическим материалом *Ae. speltoides* из коллекции отдела биотехнологии НЦЗ им. П.П. Лукьяненко (4849, 4867, 4879, 4897, 4909, 4915, 5041, 5047, 5053), сорта Аврора (сорт-реципиент) и Краснодарская 99 (сорт-тестер). Линии получены путём беккроссирования гибридов $F_1$ Авродес/Аврора сортами Аврора и Безостая 1.

Посев проводили на опытном участке отдела биотехнологии с помощью селекционной шестирядной сеялки, размер делянки составлял 1х1,30 метра. Уборку опытных делянок для подсчёта показателей продуктивности проводили вручную с помощью рамки, площадью 1 м$^2$. Предшественником по всем полевым опытам являлся черный пар. Почвы опытных полей – сверхмощные малогумусные западнокавказские черноземы. Содержание гумуса в пахотном слое 3,2 – 3,6%. Среднегодовая температура в 2017 – 2018 годах составляла +14,3 $^0$С, среднегодовое количество осадков – 627,1 мм.

Учету подлежали следующие признаки: высота растения, см; длина колоса, см; количество колосков в колосе, штук; число зерен в колосе, штук; масса зерна с колоса, г; масса 1000 зерен, г; масса зерна с 1 м$^2$, г; число продуктивных колосьев, штук.

Статистическую обработку данных и все расчёты проводили с использованием программы StatSoft STATISTICA 12.

## Результаты и обсуждение

Оценку признаков в селекционном материале проводили в течении двух лет (2017 и 2018 гг.). Характер генотипических различий устанавливали путем сравнения средних признаков с вычислением наименьшей существенной разности ($НСР_{05}$).

Линии оценивали по двум группам признаков: морфо-биологическим и входящим в структуру урожая. В таблице 1 представлена характеристика линий по таким морфо-биологическим признакам, как высота растений, длина колоса, число колосков в колосе и число зёрен в колосе.

**Таблица 1. Характеристика интрогрессивных линий по некоторым морфо-биологическим признакам, 2017 – 2018 гг.**

| Линия | Высота растения, см | Длина колоса, см | Число колосков в колосе, шт | Число зёрен в колосе, шт |
|---|---|---|---|---|
| 4849 | 100,75 | 10,88 | 21,50 | 45,50 |
| 4867 | 93,50 | 9,13 | 21,50 | 39,00 |
| 4879 | 108,25 | 9,25 | 22,50 | 47,50 |
| 4897 | 94,38 | 9,25 | 21,00 | 51,63 |
| 4909 | 95,50 | 10,63 | 20,00 | 50,63 |
| 4915 | 94,38 | 9,13 | 22,00 | 53,25 |
| 5041 | 93,00 | 9,00 | 22,00 | 56,38 |
| 5047 | 102,75 | 9,94 | 23,00 | 52,50 |
| 5053 | 102,88 | 9,75 | 23,00 | 50,50 |
| Аврора (ст) | 114,63 | 10,25 | 20,50 | 42,75 |
| Кр99 (ст) | 89,63 | 9,63 | 21,50 | 43,00 |
| $НСР_{05}$ | 1,20 | 0,4 | 1,26 | 8,84 |

Наивысшим и наименьшим значением признака «высота растения» обладают стандартные сорта Аврора и Краснодарская 99 (114,63 см и 89,63 см соответственно). Для длины колоса наименьшими оказались значения для линий 4867, 5041 и 4915, которые отличаются от значения Краснодарской 99, в то время как линия 4849 обладает наибольшим значением признака (10,88 см). По средним значениям числа колосков в колосе линии 5047 и 5053 превышают значение стандартных сортов. В ходе анализа средних значений количества зерен в колосе выделяются линии 4915, 5041 и 5047.

Наибольший интерес для практического использования полученных линий представляет их продуктивность. В таблице 2 представлены значения таких признаков, как масса зерна с колоса, масса 1000 зёрен, масса зерна с 1 м$^2$ и число продуктивных колосьев с 1 м$^2$, которые являются основными компонентами урожайности.

**Таблица 2. Средние значения признаков – компонент продуктивности в линиях и сортах мягкой пшеницы, 2017 – 2018 гг.**

| Генотип | Масса зерна с колоса, г | Масса 1000 зерен, г | Масса зерна с 1 м$^2$, г | Количество продуктивных колосьев на 1 м$^2$, шт |
|---|---|---|---|---|
| 4849 | 2,09 | 46,86 | 406,00 | 205,16 |
| 4867 | 1,35 | 35,00 | 339,38 | 248,14 |
| 4879 | 1,45 | 31,60 | 467,50 | 351,29 |
| 4897 | 2,40 | 45,45 | 453,38 | 211,92 |
| 4909 | 2,03 | 42,09 | 670,88 | 345,95 |
| 4915 | 2,12 | 40,77 | 775,00 | 383,52 |
| 5041 | 2,29 | 41,47 | 746,88 | 352,78 |
| 5047 | 2,17 | 41,41 | 694,38 | 315,78 |
| 5053 | 1,83 | 37,39 | 610,63 | 342,37 |
| Аврора (ст) | 1,40 | 35,26 | 333,13 | 250,90 |
| Кр99 (ст) | 1,77 | 43,35 | 794,38 | 455,81 |
| $НСР_{05}$ | 0,5 | 3,46 | 19,6 | 59,9 |

Среднее значение массы зерна с колоса было у линий 4897 и 5041, что достоверно превышает показатель стандартного сорта Краснодарская 99. Линия 4849 имеет наивысшее значение признака массы тысячи зёрен (46,86 г). Линия 4915 наряду с сортом Краснодарская 99 обладают самым высоким показателем массы зерна с 1 м$^2$ 775 г и 794,38 г соответственно. Сравнивая средние значении такого важного показателя урожайности как количество продуктивных колосьев на 1 м$^2$, выделяются линии 4879, 4909, 4915, 5041, 5047, 5053, значения которых превышают таковой у сорта-реципиента Аврора. Наивысшим показателем признака обладает стандартный сорт Краснодарская 99 со значением 455,81.

Исходя из полученных выше результатов, выбрать лучшую линию или группу линий по отдельным признакам не представляется возможным. В данной ситуации единственно возможным подходом является системный анализ изменчивости признаков продуктивности, основанный на учете значений признаков и системе их связей. В этом случае открывается возможность перехода от отдельных признаков учтенного комплекса к новым показателям, которые называются интегральными. Эта процедура осуществляется в рамках дискриминантного анализа [1, 2].

В результате проведения дискриминантного анализа было выделено десять дискриминантных функций, разделяющих сравниваемые группы. Информативность функций различна и отражена в проценте учета дисперсии комплекса признаков каждой конкретной функцией и значении статистики $\lambda$-Уилкса [10].

Исходя из данных таблицы 3 видно, что первая и вторая дискриминантные функции учли подавляющую долю исходной изменчивости – 95 %. Об успешном разделении групп свидетельствует нулевая вероятность гипотезы об отсутствии межгрупповых различий.

**Таблица 3. Основные статистики дискриминантного анализа интрогрессивных линий пшеницы**

| Дискриминантная функция | Процент учета дисперсии | Лямбда Уилкса | Хи-квадрат | Степени свободы | Уровень значимости |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 73,0 | 0,0000002 | 525,1333 | 80 | 0,000000 |
| 2 | 22,0 | 0,000038 | 340,8166 | 63 | 0,000000 |

Решение задачи выбора лучших линий может быть основано на подходе, разработанном для оценки признаков продуктивности семей растительноядных рыб [9]. Суть метода следующая: в пространство дискриминантных вводится новый объект с заранее заданными свойствами. В определенном смысле его можно назвать селекционной моделью, близость к которой и будет являться критерием выбора лучших групп.

В нашем случае в качестве параметров модели были выбраны следующие значения учтенных признаков (табл. 4). В модель были включены минимальные значения высоты растения и длины колоса. Основание для данного выбора – наличие отрицательных корреляций этих показателей с основными признаками, определяющими продуктивность растений. Остальные признаки (количество колосков, число зерен в колосе, масса зерна с колоса, масса 1000 зерен, масса зерна с 1 м$^2$, число продуктивных колосьев) вошли в модель с максимальными значениями, полученными в рамках эксперимента.

**Таблица 4. Основные статистические значения признаков – компонент продуктивности и параметры селекционной модели**

| Признак | Статистические показатели | | | Параметры модели |
|---|---|---|---|---|
| | Среднее | Minimum | Maximum | |
| Высота растения, см | 100,6 | 89,0 | 117,0 | 89,0 |
| Длина колоса, см | 9,7 | 9,0 | 11,0 | 9,0 |
| Количество колосков в колосе | 21,6 | 20,0 | 24,0 | 24,0 |
| Число зерен в колосе | 47,5 | 30,0 | 61,0 | 61,0 |
| Масса зерна с колоса, г | 1,8 | 0,6 | 2,8 | 2,8 |
| Масса 1000 зерен, г | 39,5 | 27,6 | 49,0 | 49,0 |
| Масса зерна с 1 м$^2$ | 562,5 | 300,0 | 800,0 | 800,0 |
| Число продуктивных колосьев | 320,4 | 182,0 | 488,0 | 488,0 |

Процедура внедрения селекционной модели в пространство дискриминантных функций основана на решении уравнений, соответствующих каждой из двух информативных функций. Каждое из искомых уравнений представляет собой результат умножения коэффициентов на значения признаков, включенных в модель с добавлением константы. В результате решения уравнений, соответствующих первой и второй дискриминантных функций, получаются два числа, которые и являются координатами точки модели. Распределение центроидов линий, сортов и точки селекционной модели представлено на рисунке 1.

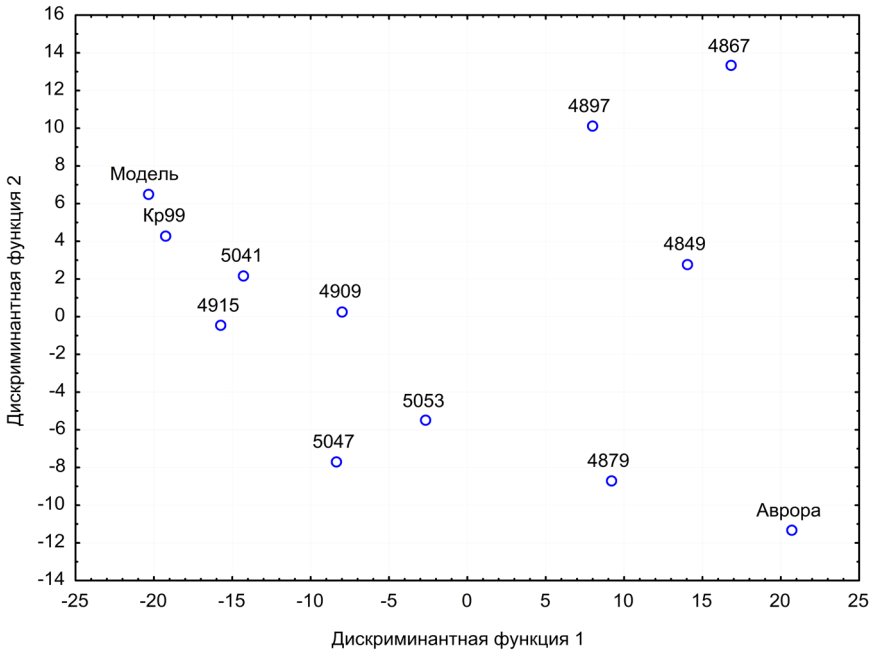


**Рисунок. 1. Распределение центроидов групповых генотипов и точки селекционной модели в пространстве дискриминантных функций**

Анализ рисунка позволяет сделать некоторые заключения:

– точка модели находится на некотором отдалении от распределения центров линий и сортов, что отвечает понятию «модель» стремление к которой и является целью селекции;

– наблюдается разная приближенность генотипов к модели, что, очевидно, и будет являться основанием для отбора лучших из них по комплексу признаков продуктивности.

Оценить степень близости генотипов к модели можно путем вычисления евклидовых дистанций, представляющих собой расстояния между точками на плоскости. С этой целью был выполнен кластерный анализ. Его результат представлен на рисунке 2.

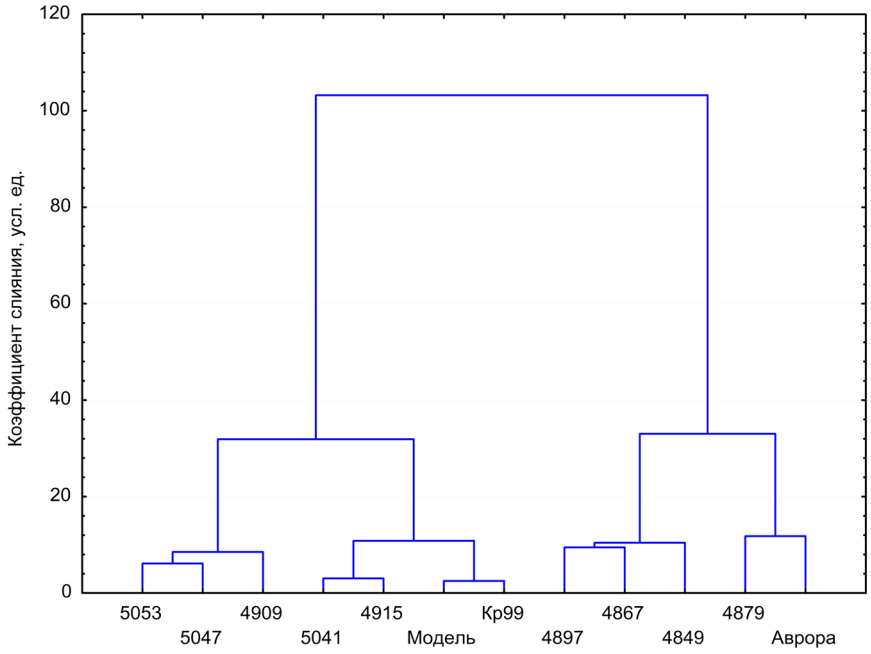


**Рисунок 2. Дендрограмма кластерного анализа групповых генотипов и точки селекционной модели в пространстве дискриминантных функций**

Основным результатом кластерного анализа является рисунок – иерархический дендрит, на котором степень сходства между объектами обозначена линиями разного уровня. Разрезание дендрита по большим расстояниям высокого уровня позволяет разделить множество объектов на группы сходных между собой, именуемых кластерами.

В нашем случае в соответствии с алгоритмом программы StatSoft STATISTICA 12 выбран уровень разрезания в 60 усл. ед. При этом выделяется два кластера. В первый из них вошли линии 5053, 5047, 4909, 5041, 4915, сорт Краснодарская 99 и селекционная модель. Во второй кластер включены линии 4897, 4867, 4849, 4879 и сорт Аврора.

Таким образом, в результате анализа комплекса признаков продуктивности к перспективным линиям следует отнести: 4909, 4915, 5041, 5047 и 5053.

**Выводы**

Сравнение средних значений признаков выявило противоречивость оценок: линии, являющиеся лучшими по одним признакам, не являлись таковыми по признакам другим, что являлось аргументом к переходу к построению интегральных показателей продуктивности в рамках дискриминантного анализа.

С использованием оригинальной методики, основанной на сравнении распределения линий с селекционной моделью, были отобраны линии 4909, 4915, 5041, 5047 и 5053, обладающими повышенными значениями комплекса признаков продуктивности.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Айвазян, С.А. Прикладная статистика: Классификация и снижение размерности. / Айвазян, С.А., Бухштабер, В.М., Енюков, И.С., Мешалкин, Л.Д. : Финансы и статистика. – 1989. – 607 с.

2. Аренс, Х., Многомерный дискриминантный анализ / Аренс Х., Лейтер Ю.М.: Финансы и статистика. – 1985. – 230 с.

3. Гончаров, Н.П. Сравнительная генетика пшениц и их сородичей / Н.П. Гончаров. – Новосибирск: Гео, 2012. – 523 с.

4. Давоян, Р.О. Использование генофонда дикорастущих сородичей в улучшении мягкой пшеницы (*Triticum aestivum L.)* : дис. ... д-ра биол. наук : 06.01.05 / Р. О. Давоян. – Краснодар, 2006. – 320 с.

5. Давоян, Р.О. Использование синтетической формы авродес для передачи устойчивости к листовой ржавчине от *Aegilops speltoides* Мягкой пшенице / Р.О. Давоян, И.В. Бебякина, Э.Р. Давоян, Д.С. Миков, Е.Д. Бадаева, И.Г. Адонина, Е.А. Салина, А.С. Зинченко, Ю.С. Зубанова // Вавиловский журнал генетики и селекции. – 2017. – Т. 21. – № 6. – С. 663 – 670.

6. Давоян, Э.Р. Изучение аллельных вариантов генов короткостебельности у интрогрессивных линий мягкой пшеницы с генетическим материалом от *Triticum miguschovae* и Авродес / Э.Р. Давоян, Р.О. Давоян, Д.С. Миков, Ю.С. Зубанова, Г.И. Карлов, М.Г. Дивашук, А.А. Кочешкова, А.Г. Черноок // Рисоводство. – 2017. – № 4 (37). – С. 11 – 16.

7. Леонова, И.Н. Влияние чужеродного генетического материала на проявление хозяйственно важных признаков мягкой пшеницы (*T. aestivum L.*) / И.Н. Леонова // Вавиловский журнал генетики и селекции. – 2018. – Т. 22. – № 3. – С. 321 – 328.

8. Тюнин, В.А. и др. Характеристика вирулентности популяций Puccinia triticina и перспективы использования генов *Lr24*, *Lr25*, *LrSp* в селекции яровой мягкой пшеницы на Южном Урале / В.А. Тюнин, Е.Р Шрейдер, Е.И. Гультяева, Е.Л. Шайдаюк // Вавиловский журнал генетики и селекции. – 2017. – Т. 21. – №. 5. – С. 523 – 529.

9. Тюрин, В.В. Принцип апостериорной минимизации эффекта модификационной изменчивости на примере оценки продуктивности в семейной селекции белого толстолобика (*Hypophthalmichthys molitrix* Val.) / В.В. Тюрин // Труды Кубанского государственного аграрного университета. –2008. – № 14. – С. 118 – 121.

10. Тюрин, В.В. Дискриминантный анализ в биологии / Тюрин В.В., Щеглов С.Н. – Краснодар, 2015. – 126 с.

11. Чикида, Н.Н., Максимов И.В., Давоян Р.О. Перспективы использования разногеномных видов эгилопсов (диких родичей пшеницы) для расширения генетического потенциала продовольственной пшеницы / Н.Н. Чикида, И.В. Максимов, Р.О. Давоян // Здоровье – основа человеческого потенциала: проблемы и пути их решения. – 2011. – Т. 6. – №. 1.

12. Dvořák, J. Discovery and mapping of wheat *Ph1* suppressors / J. Dvořák, K. R. Deal, M. C. Luo // Genetics. – 2006. – Vol. 174. – No. 1. – P. 17 – 27.

13. Jiang, J. Recent advances in alien gene transfer in wheat / J. Jiang, B. Friebe, B.S. Gill // Euphytica. – 1994. – P. 199 – 212.

14. Kazi, A.G. Biotic stress and crop improvement: a wheat focus around novel strategies / A.G. Kazi, A. Rasheed, A. Mujeeb-Kazi // In: K. Hakem, P. Ahmad, M. Ozturk (Eds.). Crop Improvement. Boston: Springer. – 2013. – P. 239 – 267.

15. Mago, R. Development of wheat lines carrying stem rust resistance gene *Sr39* with reduced *Aegilops speltoides* chromatin and simple PCR markers for marker-assisted selection / R. Mago et al. // Theoretical and Applied Genetics. – 2009. – Vol. 119. – No. 8. – P. 1441 – 1450.

16. McIntosh, R.A. Catalogue of gene symbols for wheat / R.A. McIntosh, Y. Yamazaki, J. Dubovsky, J. Rogers, C. Morris, R. Appels, X.C. Xia – 2013. Available at: http://www.shigen.nig.ac.jp/wheat/komugi/genes.

17. Singh, R.P. Current status, likely migration and strategies to mitigate the threat to wheat production from race Ug99 (TTKS) of stem rust pathogen / R.P. Singh et al. // CAB reviews: perspectives in agriculture, veterinary science, nutrition and natural resources. – 2006. – Vol. 1. – No. 54. – P. 1 – 13.

18. Tomar, S. M. S. Wheat rusts in India: resistance breeding and gene deployment-a review / S. M. S. Tomar, S. K. Singh, M. Sivasamy // Indian Journal of Genetics and Plant Breeding. – 2014. – T. 74. – V. 2. – P. 129 – 156.

## REFERENCES

1. Ayvazyan, S.A. Applied statistics: Classification and dimension reduction. / Ayvazyan, S.A., Buchstaber, V.M., Enyukov, I.S., Meshalkin, L.D.: Finance and statistics. – 1989. – 607 p.

2. Arens, H., Multivariate discriminant analysis / Arens H., Leiter Y. – M.: Finance and statistics. – 1985. – 230 p.

3. Goncharov, N.P. Comparative genetics of wheat and their congeners / N.P. Goncharov. – Novosibirsk: Geo, 2012. – 523 p.

4. Davoyan, R.O. Use of the gene pool of wild-growing relatives in the improvement of common wheat (Triticum aestivum L.): dis. ... Dr.of biol. Sciences: 06.01.05 / R.O.Davoyan. – Krasnodar, 2006. – 320 p.

5. Davoyan, R.O. The use of a synthetic form of avrodes to transfer leaf rust resistance from Aegilops speltoides Soft wheat / R.O. Davoyan, I. V. Bebyakina, E.R. Davoyan, D.S. Mikov, E. D. Badaeva, I. G. Adonina, E.A. Salina, A.S. Zinchenko, Yu.S. Zubanova // Vavilov Journal of Genetics and Breeding – 2017. – T. 21. – No. 6. – P. 663 – 670.

6. Davoyan, E.R. Study of allelic variants of short-stemmed genes in introgressive lines of common wheat with genetic material from Triticum miguschovae and Avrodes / E.R. Davoyan, R.O. Davoyan, D.S. Mikov, Yu.S. Zubanov, G.I. Karlov, M.G. Divashuk, A.A. Kocheshkova, A.G. Chernook // Rice growing. – 2017. – No. 4 (37). – P. 11 – 16.

7. Leonova, I.N. Influence of alien genetic material on the manifestation of economically important traits of common wheat (T. aestivum L.) / I.N. Leonova // Vavilov Journal of Genetics and Breeding. – 2018. – T. 22. – No. 3. – P. 321 – 328.

8. Tyunin, V.A. et al. Characteristics of the virulence of the Puccinia triticina populations and the prospects for the use of the Lr24, Lr25, LrSp genes in the breeding of spring soft wheat in the South Urals / V.A. Tyunin, E.R Shreider, E.I. Gultyaeva, E.L. Shaydayuk // Vavilov Journal of Genetics and Breeding. – 2017. – T. 21. – No. 5. – P. 523 – 529.

9. Tyurin, V.V. Principle of a posteriori minimization of the effect of modification variability on the example of productivity assessment in family breeding of silver carp (Hypophthalmichthys molitrix Val.) / V.V. Tyurin // Proceedings of the Kuban State Agrarian University. – 2008. – No. 14. – P. 118 – 121.

10. Tyurin, V.V. Discriminant analysis in biology / Tyurin V.V., Shcheglov S.N. – Krasnodar, 2015. – 126 p.

11. Chikida, N.N., Maksimov I.V., Davoyan R.O. Prospects for the use of heterogeneous species of Aegilops (wild relatives of wheat) to expand the genetic potential of food wheat / N.N. Chikida, I. V. Maksimov, R O. Davoyan // Health is the basis of human potential: problems and ways to solve them. – 2011. – V. 6. – No. 1.

12. Dvořák, J. Discovery and mapping of wheat *Ph1* suppressors / J. Dvořák, K. R. Deal, M. C. Luo // Genetics. – 2006. – Vol. 174. – No. 1. – P. 17 – 27.

13. Jiang, J. Recent advances in alien gene transfer in wheat / J. Jiang, B. Friebe, B.S. Gill // Euphytica. – 1994. – P. 199 – 212.

14. Kazi, A.G. Biotic stress and crop improvement: a wheat focus around novel strategies / A.G. Kazi, A. Rasheed, A. Mujeeb-Kazi // In: K. Hakem, P. Ahmad, M. Ozturk (Eds.). Crop Improvement. Boston: Springer. – 2013. – P. 239 – 267.

15. Mago, R. Development of wheat lines carrying stem rust resistance gene *Sr39* with reduced *Aegilops speltoides* chromatin and simple PCR markers for marker-assisted selection / R. Mago et al. // Theoretical and Applied Genetics. – 2009. – Vol. 119. – No. 8. – P. 1441 – 1450.

16. McIntosh, R.A. Catalogue of gene symbols for wheat / R.A. McIntosh, Y. Yamazaki, J. Dubovsky, J. Rogers, C. Morris, R. Appels, X.C. Xia – 2013. Available at: http://www.shigen.nig.ac.jp/wheat/komugi/genes.

17. Singh, R.P. Current status, likely migration and strategies to mitigate the threat to wheat production from race Ug99 (TTKS) of stem rust pathogen / R.P. Singh et al. // CAB reviews: perspectives in agriculture, veterinary science, nutrition and natural resources. – 2006. – Vol. 1. – No. 54. – P. 1 – 13.

18. Tomar, S.M.S. Wheat rusts in India: resistance breeding and gene deployment-a review / S.M.S. Tomar, S.K. Singh, M. Sivasamy // Indian Journal of Genetics and Plant Breeding. – 2014. – T. 74. – V. 2. – P. 129 – 156.

**Дмитрий Сергеевич Миков**
Научн. сотр. отдела биотехнологии
E-mail: d.mikov@kniish.ru

**Румик Оганесович Давоян**
Зав. отделом биотехнологии
E-mail: davoyanro@mail.ru

**Эдвард Румикович Давоян**
Вед. научн. сотр. отдела биотехнологии
E-mail: davayan@rambler.ru

**Юлия Сергеевна Зубанова**
Научн. сотр. отдела биотехнологии
E-mail: iula-86_86@mail.ru

**Дмитрий Максимович Болдаков**
Мл. научн. сотр. отдела биотехнологии
E-mail: boldakov.dm@mail.ru

Все: ФГБНУ «Национальный центр зерна им. П. П. Лукьяненко»
350012, Россия, г. Краснодар,
Центральная Усадьба КНИИСХ,
350012, Россия, г. Краснодар,
E-mail: kniish@kniish.ru

**Владислав Викторович Тюрин**
Проф. кафедры генетики, микробиологии и биохимии биологического факультета
E-mail: tvv61@inbox.ru
ФГБОУ ВО «Кубанский государственный университет»,
350040, Россия, г. Краснодар,
ул. Ставропольская, 149

**Dmitry S. Mikov**
Researcher, department of biotechnology,
E-mail: d.mikov@kniish.ru

**Rumic O. Davoyan**
Head of the department of biotechnology
E-mail: davoyanro@mail.ru

**Edward R. Davoyan**
Leading researcher of the department of biotechnology
E-mail: davayan@rambler.ru

**Julia S. Zubanova**
Researcher of the department of biotechnology
E-mail: iula-86_86@mail.ru

**Dmitry M. Boldakov**
Junior researcher of the department of biotechnology
E-mail: boldakov.dm@mail.ru

All: National Grain Center named after P. P. Lukyanenko
Krasnodar, Russia, 350012,
Central Manor of KNIISKh,
E-mail: kniish@kniish.ru

**Vladislav V. Tyurin**
Professor of the department of genetics, microbiology and biochemistry of biology faculty
E-mail: tvv61@inbox.ru
FSBEI of Higher Education «Kuban State University»
149 Stavropolskaya st., Krasnodar,
Russia, 350040

# РИСОВОДСТВО / RICE GROWING

НАУЧНО-ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ ЖУРНАЛ
SCIENTIFIC RESEARCH AND PRODUCTION MAGAZINE

ISSN 1684 – 2464

3 (48) 2020

Подписано в печать
00.09.2020
Формат 64x90/8
Бумага офсетная
Усл. печатных листов 8,27
Заказ № 41/00000. Тираж 500 экз.