



Аграрный вестник Юго-Востока

Всероссийский научно-практический журнал



№ 1 (16), 2017

ПРАВИЛА ОФОРМЛЕНИЯ РУКОПИСЕЙ ДЛЯ ПУБЛИКАЦИИ В ЖУРНАЛЕ «АГРАРНЫЙ ВЕСТНИК ЮГО-ВОСТОКА»

Цели издания журнала:

- публикация результатов научно-исследовательских работ, теоретических и экспериментальных исследований, выполняемых в научно-исследовательских институтах сельского хозяйства Российской академии сельскохозяйственных наук, в учреждениях Академии наук Российской Федерации, на предприятиях, высших учебных заведениях, в российских организациях и за рубежом, а также результатов исследований, выполненных по личной инициативе авторов;

- публикация статей, освещающих современное состояние отдельных проблем и достижения сельскохозяйственной науки;

- публикация материалов научных конференций, симпозиумов, совещаний и информации о российских и зарубежных научных школах;

- освещение результатов внедрения в производство научных работ, передового отечественного и зарубежного опыта.

Рекомендуемые научные направления статей для опубликования в журнале: селекция и семеноводство, защита растений, технологии, земледелие, механизация, почвоведение, экология, животноводство, экономика и др.

В научно-практическом журнале «Аграрный Вестник Юго-Востока» будут публиковаться оригинальные и научно-практические статьи (экспериментальные, методические, рекомендательные), аналитические обзоры, рецензии, хроники, персоналии, интервью и другая информация, в том числе рекламного характера.

В статье должно быть кратко изложено состояние дел по изучаемой проблеме со ссылками на публикации. В экспериментальных статьях должны быть указаны цели, задачи, условия и методы исследований. Подробно представлены результаты экспериментов и их анализ. Сделаны выводы и даны предложения производству. В статье следует по возможности выделять следующие блоки: введение; цель и задачи исследований; условия, материалы и методы исследований; результаты исследований; выводы.

Вместе со статьей должны быть представлены перевод названия на английский язык, аннотация на русском и английском языке,

ключевые слова на русском и английском языке, код УДК, библиографический список.

В тексте ссылка на источник отмечается соответствующей цифрой в квадратных скобках. В списке литературы приводятся только те источники, на которые есть ссылка в тексте. Использование цитат без указания источника информации запрещается. Список литературы нумеруется в порядке упоминания ссылок в тексте и оформляется в виде списка в соответствии с ГОСТ Р7.0.5-2008. Объем публикации 5...11 страниц.

Требования для текстов:

Файл должен быть только в форматах *.doc или *.rtf.

Текст набирается шрифтами Times или Arial, 14 кеглем, без абзацных отступов и переносов, полуторный интервал.

Таблицы можно делать в Word'e или Excel'e, инфографику - в Excel'e.

Фотографии предоставляются в формате *.jpg, разрешение для черно-белых - 200 dpi, для цветных - 300 dpi.

Статьи необходимо направлять с сопроводительным письмом с указанием сведений об авторах (фамилия, имя, отчество - полностью, ученая степень, место работы и занимаемая должность) на русском и английском языке, контактных телефонов и адреса электронной почты для обратной связи.

Один экземпляр рукописи, подписанный авторами и статьей в электронном виде нужно отправлять по адресу: 410010, Тулайкова, 7, ФГБНУ «НИИСХ Юго-Востока», журнал «Аграрный вестник Юго-Востока».

Для ускорения выхода в свет материалы для публикации и сведения об авторах в электронном виде можно направлять по адресу: raiser_saratov@mail.ru

Сайт журнала в Интернете: <http://www.arisarsar.ru/agrovestnik.html>.

Плата с аспирантов за публикацию рукописей не взимается.

Несоответствие статьи по одному из перечисленных пунктов может служить основанием для отказа в публикации.

Все рукописи, содержащие сведения о результатах научных исследований, рецензируются, по итогам рецензирования принимается решение о целесообразности опубликования материалов.

ISSN 2075-4221

Учредитель –
ФГБНУ «НИИСХ
Юго-Востока»

Главный редактор

Гапонов Сергей Николаевич

Заместитель главного редактора

Эльконин Лев Александрович

Ответственный секретарь

Акинина Виктория Николаевна

Редакционная коллегия

Беляков Александр Михайлович
Вислобокова Людмила Николаевна
Голубев Алексей Валерианович
Джунельбаев Есен Тлеубаевич
Крупнов Василий Ананьевич
Курдюков Юрий Федорович
Медведев Иван Филиппович
Михайлин Николай Васильевич
Немцев Сергей Николаевич
Румянцев Александр Васильевич
Сибикеев Сергей Николаевич
Смирнов Александр Алексеевич
Шевченко Сергей Николаевич

Верстка

Игудин Анатолий Игоревич

Литературная редакция

Рязанов Владимир Васильевич

Федеральное государственное
бюджетное научное учреждение
«Научно-исследовательский
институт сельского хозяйства
Юго-Востока» ФАНО России
410010 г. Саратов, ул. Тулайкова, 7
Тел./факс (8452) 64-76-88
E-mail: raiser_saratov@mail.ru
Сайт: arisersar.ru

Свидетельство о регистрации
средства массовой информации
ПИ № ФС77-37747 от 7 октября 2009 г.

Отпечатано в типографии ООО «Ракурс»
410012 Саратов, ул. Ак. Навашина, 40/1,
кв. 58. Тираж 400 экз. Заказ

СОДЕРЖАНИЕ

Колонка главного редактора 3

БИОТЕХНОЛОГИЯ

А.К. ГАПОНЕНКО, О.А. ШУЛЬГА, Я.В. МИШУТКИНА, Е.А. ЦАРЬКОВА, А.А. ТИМОШЕНКО, Н.А. СПЕЧЕНКОВА Использование факторов транскрипции для повышения устойчивости растений к абиотическим стрессам методами трансгенной технологии 4

О.М. МЕДВЕДЬ, А.В. КАРМАЗИНА, И.Д. СОКОЛОВ Тримутантная линия dis1,gl1,er Arabidopsis thaliana (L.) Heynh. – исходный материал для селекции культурных растений сем. Brassicaceae 9

Л.А. ЭЛЬКОНИН, В.В. КОЖЕМЯКИН, Г.А. ГЕРАЩЕНКОВ, Н.А. РОЖНОВА Эпигенетические подходы в исследовании цитоплазматической мужской стерильности у сорго 11

**СЕЛЕКЦИЯ И СЕМЕНОВОДСТВО
СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР**

С.Н. ГАПОНОВ, Г.И. ШУТАРЕВА, В.М. ПОПОВА, Н.М. ЦЕТВА, Т.М. ПАРШИКОВА Результаты селекции яровой твердой пшеницы для засушливого Поволжья 16

В.В. ГУСЕВ, В.В. ЛАРИНА, К.В. ПЕТРОВА, А.В. ХРАМОВ, М.М. ХАЛИКОВА, Р.А. ЭЛЕНБЕРГЕР, В.С. ЕСКОВА, Н.В. БАХАРЕВА История создания исходного материала сорго и многолетних трав в ФГБНУ «НИИСХ Юго-Востока» 18

А.В. КАЛИНИНА, С.В. ЛЯЦЕВА, А.Д. ЗАВОРОТИНА, Н.Ю. ЛАРИОНОВА, А.И. СЕРГЕЕВА Влияние внешних факторов на рост зародышевых корней проростков озимой мягкой пшеницы 21

О.В. КРУПНОВА, А.Н. МАРКЕЛОВ Взаимосвязь между признаками масса 1000 зерен и число падения у озимой мягкой пшеницы 23

А.И. ПРЯНИШНИКОВ, С.В. ЛЯЦЕВА, Т.Б. КУЛЕВАТОВА, Л.В. АНДРЕЕВА, Г.З. БЕКЕТОВА Экологические аспекты формирования качества урожая и его оценки в селекции озимой и яровой пшеницы 27

В.Ф. ПИМАХИН, А.Ю. БУЕНКОВ, С.П. КУДРЯШОВ, Л.В. СОЛОПЧЕНКО, А.В. ЛЕКАРЕВ, А.Л. НИКУЛИН, А.В. РОМАНОВ Сорта подсолнечника для использования в кондитерской промышленности 35

В. Е. ТИХОНОВ, А. А. НЕВЕРОВ Интегральные предикторы моделей долгосрочного прогнозирования урожайности для степного Предуралья 36

В. Е. ТИХОНОВ, А. А. НЕВЕРОВ Методологические основы селекции проса с использованием прогнозных оценок селекционных индексов в степном Предуралья 41

ИЗ ИСТОРИИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ НАУКИ

А.В. ЧАМЫШЕВ, Н.В. ТОЧИЛКИНА Академик Н.И. Вавилов об экологических аспектах орошения в сельскохозяйственном растениеводстве 47

ЮБИЛЕИ

К 90-летию В.А. Крупнова 50

Agrarian Reporter of South-East

№ 1 (16)
2017

All-Russian
Scientific and Practical
Magazine

ISSN 2075-4221

**Founder –
Federal State-Financed
Scientific Institution**
«Agricultural research institute
for South-East Regions»

Chief editor

Gaponov Sergey Nikolaevich

Depure chief editor

Elkonin Lev Alexandrovich

Responsible board

Akinina Victoria Nikolaevna

Editorial board

Belyakov Alexander Mikhailovich
Dzhunelbaev Esen Tleubayevich
Golubev Aleksey Valerianovich
Krupnov Vasily Ananievich
Kurdyukov Yury Fedorovich
Medvedev Ivan Philippovich
Nemtsev Sergey Nikolaevich
Rumyantsev Alexander Vasilievich
Shevchenko Sergey Nikolaevich
Sibikev Sergey Nikolaevich
Smirnov Alexander Alekseyevich
Vislobokova Lyudmila Nikolaevna

Make-up

Igudin Anatoly Igorevich

Literary version

Ryazanov Vladimir Vasilievich

**Federal State-Financed
Scientific Institution**
«Agricultural research institute
for South-East Regions»
Russia, 410010 Saratov,
Tulaikova str., 7
Tel./fax: 007 8452 64 76 88
E-mail: raiser_saratov@mail.ru
Сайт: arisersar.ru

CONTENTS

Chief Editor's Column..... 3

BIOTECHNOLOGY

A.K. GAPONENKO,* O.A. SHULGA, Y.V. MISHUTKINA, E.A. TSARKOVA, A.A. TIMOSHENKO, N.A. SPECHENKOVA Use of a transcription factors for enhancing crops tolerance to abiotic stresses by transgenic technology..... 4

O.M. MEDVED', A.V. KARMAZINA, I.D. SOKOLOV Triple mutant line dis1,gl1,er Arabidopsis thaliana (L.) Heynh. – basic material for breeding of cultivated plants of fam. Brassicaceae 9

L.A. ELKONIN, V.V. KOZHEMYAKIN, G.A. GERASHCHENKOV, N.A. ROZHNOVA Epigenetic approaches in the study of cytoplasmic male sterility of sorghum..... 11

BREEDING AND SEED PRODUCTION OF AGRICULTURAL CROPS

S.N. GAPONOV, G.I. SHUTAREVA, V.M. POPOVA, N.M. TSETVA, T.M. PARSHIKOVA Breeding results of spring durum wheat for the arid Volga region..... 16

V.V. GUSEV, V.V. LARINA, K.V. PETROVA, A.V. KHRAMOV, M.M. KHALIKOVA, R.A. ELENBERGER, V.S. YESKOVA, N.V. BAKHAREVA Federal State Government-Funded Scientific Institution «Agricultural Research Institute of South-East Region» 18

A.V. KALININA, S.V. LYASCHEVA, A.D. ZAVOROTINA, N.Y. LARIONOVA, A.I. SERGEEVA The influence of external factors on the growth of the germinal roots of seedlings of winter wheat..... 21

O.V. KRUPNOVA, A.N. MARKELOV The relationship between thousand grain weight and falling number in winter wheat..... 23

A.I. PRYANISHNIKOV, S.V. LYASHEVA, T.B. KULEVATOVA, L.V. ANDREEVA, G.Z. BEKETOVA Ecological aspects of crop quality development and its evaluation in breeding of spring and winter wheat..... 27

V.F. PIMAHIN, A.Y. BUENKOV, S.P. KUDRYASHOV, L.V. SOLOPCHENKO, A.V. LEKAREV, A.L. NIKULIN, A.V. ROMANOV Cultivars of sunflower for using in the confectionery industry..... 35

V.E. TIKHONOV, A.A. NEVEROV Integral predictors of longer-term forecasting models the yield for the steppe Urals..... 36

V.E. TIKHONOV, A.A. NEVEROV Methodological bases of the breeding millet using predictive estimates of selection indices in the steppe Urals..... 41

FROM THE HISTORY OF AGRICULTURAL SCIENCE

A.V. CHAMYSHEV, N.V. TOCHILKINA Member of the Academy of Sciences N.I. Vavilov about ecological aspects of irrigation in agricultural plant growing 47

ANNIVERSARIES

Dedicated to the 90th anniversary of V.A. Krupnov..... 50

Уважаемые коллеги!

Убежден, есть все основания считать 2017 год в истории аграрного производства Саратовской области рубежной датой. На полях области выращен самый высокий с начала 2000-х годов урожай — 5 миллионов тонн зерна. Не менее важно другое — меняется целеполагание в сфере деятельности регионального АПК и организаций сельскохозяйственной науки, осуществляющих научное сопровождение аграрного производства.

В предыдущие годы повестку совместной работы ученых и практиков в основном определяли проблемы, связанные со стабилизацией сельхозпроизводства в условиях частых засух: в Саратовской области они случаются в среднем каждый второй год. Сегодня акцент все более смещается на проекты и разработки, направленные на интенсификацию, особенно производства зерна. Этот вектор развития был четко обозначен на VIII сельскохозяйственном форуме «Саратов-Агро. День Поля. 2017», который прошел в начале августа в Саратове.

НИИСХ Юго-Востока был и остается среди организаторов и активных участников этого крупнейшего сельскохозяйственного форума Поволжья. Его работа освещалась в федеральных и местных СМИ, подробная информация об этом событии размещена на сайте института. Тем не менее хотел бы зафиксировать внимание на инициативе института по реорганизации системы семеноводства, которая была озвучена на дискуссионной площадке форума. Суть ее в четком разграничении сфер деятельности между наукой и сетью семеноводческих хозяйств, действующих в регионе, углубленной их специализации. Счи-

таем это начинание назревшим и перспективным как для института, так и для сельхозпроизводства.

Комплекс проблем фундаментального и прикладного характера, связанных с селекцией, семеноводством и производством зерновых культур, всегда был в фокусе внимания редакционной коллегии и авторов журнала. Текущий номер не исключение. В опубликованных статьях эта тематика нашла свое многогранное освещение.

Выход в свет электронной версии журнала совпал с событием, которое, по нашему мнению, значимо не только для института. В августе исполнилось 90 лет Василию Ананьевичу Крупнову — выдающемуся генетику пшеницы. Такова оценка коллег его многолетней, плодотворной научной деятельности в стенах НИИСХ Юго-Востока, а также в качестве руководителя регионального отделения ВОГиС, на поприще подготовки научных кадров высшей квалификации. Статью, посвященную жизни и трудам юбиляра, вы найдете в этом номере журнала. Редакция присоединяется к многочисленным поздравлениям, поступившим в адрес Василия Ананьевича в связи с его 90-летием.

И последнее. К выходу этого номера заметно обновился состав редакционной коллегии журнала. (Полный список персоналий размещен на первой странице). Хочу пожелать обновленному составу редколлегии успешно продолжить журнальный проект.

С пожеланием удачи,

С. Н. ГАПОНОВ,
врио директора НИИСХ Юго-Востока

УДК 575.2.084

Использование факторов транскрипции для повышения устойчивости растений к абиотическим стрессам методами трансгенной технологии

Use of transcription factors for enhancing of crops tolerance to abiotic stresses by transgenic technology

А. К. ГАПОНЕНКО, О. А. ШУЛЬГА,
Я. В. МИШУТКИНА, Е. А. ЦАРЬКОВА,
А. А. ТИМОШЕНКО,
Н. А. СПЕЧЕНКОВА

ФГБУН «Институт биологии
развития им. Н. К. Кольцова» РАН,
г. Москва
e-mail: akgaponenko@gmail.com

A. K. GAPONENKO, O. A. SHULGA,
Y. V. MISHUTKINA, E. A. TSARKOVA,
A. A. TIMOSHENKO,
N. A. SPECHENKOVA

Federal Publicly Funded Institution of
Science «Koltzov Institute of
Developmental Biology of Russian
Academy of Sciences», Moscow
e-mail: akgaponenko@gmail.com

Методы трансгенеза и гены факторов транскрипции (ТФ) все шире используются в процессе улучшения высокопродуктивных сортов растений для придания им комплексной устойчивости к таким стрессам, как устойчивость к дефициту воды (засухе), засолению, экстремально низким и высоким температурам. Гены, кодирующие ТФ, интересны тем, что выступают регуляторами клеточных процессов ответа растений на стрессы. Поэтому ТФ являются отличными кандидатами для модификации сложных полигенно контролируемых признаков сельскохозяйственных растений. Ограниченный успех физиологических подходов и молекулярных маркеров в селекции на такие стрессы, как засуха и засоление почв, теперь предполагает, что необходимо переосмысление стратегии селекции и применение новых способов повышения толерантности растений к стрессам. Приведены данные о различных семействах ТФ и их свойствах, а также о перспективах и достижениях использования ТФ при генно-инженерном улучшении устойчивости к стрессам важнейших сельскохозяйственных растений. Новые методы трансгенеза и регуляции генов могут помочь продуктивным сортам справиться с неблагоприятными условиями окружающей среды, при этом сохранив урожайность и питательную ценность.

Ключевые слова: пшеница, трансгенные технологии, транскрипционные факторы, абиотические стрессы.

Transgenesis methods and genes of transcription factors (TF) are increasingly being used in the process of improving heavy-productive varieties of plants to make them integrated sustainable to such stresses as stability to water shortage (drought), salinification, extremely low and high temperatures. Genes, which code TF, are interesting, because they

act as regulators of cellular processes in response to the stresses. That is why TF are excellent candidates for modification of complex multigenic traits of agricultural plants under control. Limited success of physiological approaches and molecular markers in breeding on such stresses as drought and salinification assumes now, that it is necessary rethinking strategy of breeding and use of new ways to increase plant tolerance to stresses. Data about different families of TF and their characteristics are presented, as well as about prospects and achievements of TF use by genetic engineering enhancing of stress tolerance of the most important agricultural plants. New transgenesis methods and regulation of genes can help productive varieties get through unfavourable weather conditions, while preserving or crop yields and nutritional value.

Key words: wheat, transgenic technologies, transcription factors, abiotic stresses.

Абиотические стрессы являются основной причиной снижения урожайности для растительных культур, иногда более чем на 50%. Как видно из данных, представленных проф. С. В. Гончаровым (рис. 1), урожайность озимой пшеницы в трех регионах РФ экспоненциально росла в течение последних 20 лет. Так, в Краснодарском крае урожайность пшеницы увеличилась с 3 т/га до 5 т/га. В Белгородской области выроста более чем в 2 раза – с 2 т/га до 5 т/га [1]. Это связано с успехами селекции и сортосменой. Но в некоторые годы наблюдалось резкое падение урожайности. Например, в 2003-м и 2010 годах в Белгородской и Воронежской областях урожайность снизилась в 2,5 раза. Это было связано с жестокими засухами в этих районах и дефицитом воды. Толерантность к абиотическим стрессам типа дефицита воды и экстремальным температурам – это количественные признаки, определяемые полигенно, со сложным фенотипическим проявлением и с запутанной фенологией. Селекция на засухоустойчивость – задача номер один, которая усложняется наличием одновременно нескольких типов абиотических стрессов, таких как высокая температура, освещенность, низкие влажность почвы и воздуха при

высокой скорости ветра, что создает трудности в селекции на устойчивость растений к стрессам.

Ограниченный успех физиологических подходов и молекулярных маркеров в селекции теперь предполагает, что необходимо переосмысление стратегии селекции для того, чтобы лучше понять природу засухоустойчивости и применять новые способы улучшения толерантности растений к стрессам. Современная генная инженерия разработала способы поиска и введения в геномы продуктивных сортов генов, ответственных за устойчивость к таким стрессам, как дефицит воды, засоление почв, заморозки и другие стрессы. В последние годы было идентифицировано большее число генов, которые опосредуют эти механизмы.

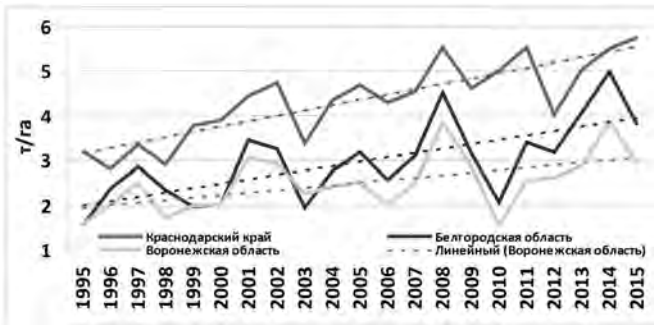


Рис. 1. Рост урожайности пшеницы в 3 регионах РФ (С. В. Гончаров).

Новые фундаментальные идеи и типы генов должны помочь ускорить улучшение продуктивных сортов, придав им комплексную устойчивость к стрессам. Новые методы трансгенеза и регуляции генов могут помочь растениям справиться с неблагоприятными условиями окружающей среды, при этом сохранив урожайность и питательную ценность. На поля в США, Бразилии, Аргентине, Китае и Индии вышло новое поколение генетически модифицированных (ГМ) сортов и гибридов кукурузы, сои и сахарной свеклы [2]. На очереди ГМ рис и пшеница.

Важными компонентами в процессе определения генов-кандидатов для повышения стрессоустойчивости растений являются исследования геномов злаков и анализ признаков количественных локусов [quantitative trait locus (QTL)], ответственных за урожайность при наличии стрессов, и клонирование генов (QTL), контролирующих урожайность в условиях засухи. К концу 1990-х годов многие новые классы генов, которые защищают растения от стрессов среды, были выявлены и выделены, но исследователи игнорировали перспективу переноса этих генов один за другим в трансгенные растения. Нужны гены, которые руководят оркестрами генов, ответственных за ответ растений на стресс. На рисунке 2 представлены компоненты, необходимые для создания коммерческих устойчивых культур методами генной инженерии.



Рис. 2. Компоненты, необходимые для создания методами генной инженерии сельскохозяйственных устойчивых к стрессам культур.

В 1999 году в группе К. Шинозаки (К. Shinozaki) университета Токио (Япония) у модельного растения *A. thaliana* впервые был выделен фактор транскрипции (ТФ) DREB1A (Dehydration Responsive Element Binding Protein), который регулирует экспрессию более 40 генов ответа на холод и обезвоживание [3, 4, 5]. К настоящему времени показано, что существуют семейства генов, кодирующих белки, которые играют важную роль в регуляции экспрессии большого числа генов, ответственных за количественные признаки устойчивости к стрессам [6]. Это гены транскрипционных факторов (ТФ).

ТФ представляют собой белки с ДНК-связывающим доменом, который взаимодействует с цис-действующими элементами, присутствующими в промоторе гена-мишени. В ходе транскрипции соактиваторы/со-репрессоры и транскрипционные факторы связываются с конкретными мотивами ДНК и одновременно взаимодействуют с элементами ПИК на коровом промоторе в комбинаторной трехмерной модели, что вызывает изгибание ДНК и приводит к активации или подавлению транскрипции, тем самым регулируя экспрессию большого числа генов. ТФ могут быть сгруппированы в семье в соответствии с их ДНК-связывающим доменом [7].

На рисунке 3 представлена схема, объясняющая сложную работу промотора, регулирующего экспрессию гена и взаимодействия ТФ с цис-элементами, включающими каскады генов ответа растений на стрессы [8]. Наличие или отсутствие факторов транскрипции, активаторов и супрессоров, регулирующих транскрипцию генов-мишеней, включает в себя целый каскад сигнальных событий, который определяется стадией развития и состоянием окружающей среды. Этот тип транскрипционной регуляторной системы называется регулон. По крайней мере четыре различных регулона, которые активны в ответ на абиотические стрессы, были идентифицированы [9].

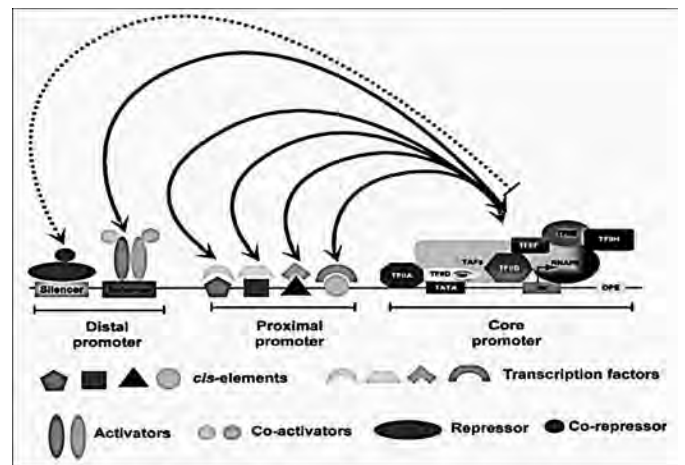


Рис. 3. Преинициаторный комплекс (ПИК) на коровом (базальном) промоторе, содержащем TATA-бок, инициаторный элемент (INR) и нисходящий элемент промотора (DPE) (Dey N. et al. 2015).

ПИК содержит РНК полимеразу II (RNAPII) и базальные транскрипционные факторы (TFIIA, TFIIB, TFIID, TFIIE, TFIIH), образующие основу транскрипционной «машины»; проксимальный и дистальный участки промотора содержат различные регуляторные последовательности, энхансеры/усилители, репрессоры/глушители, инсуляторы/изоляторы и цис-элементы, которые способны регулировать тонкую регуляцию экспрессии генов на уровне транскрипции. В ходе транскрипции соактиваторы/со-репрессоры и транскрипционные факторы связываются с конкретными мотивами ДНК и одновременно взаимодействуют с элементами ПИК на коровом промоторе в комбинаторной трехмерной модели,

что вызывает изгибание ДНК и приводит к активации или подавлению транскрипции.

Транскрипционные факторы являются хорошими кандидатами для создания стрессоустойчивых культур, поскольку их роль как мастер-переключателей множества генов, вовлеченных в ответ растений на стрессы, велика. За последние два десятилетия было открыто множество ТФ, принадлежащих нескольким семействам ТФ – DREB, NAC, MYB, MYC, Cys2/His2-цинковые пальцы, bZIP, AP2/ERF и WRKY, участвующих в толерантности к абиотическим стрессам. Гены ТФ были использованы для повышения устойчивости к стрессам важнейших сельскохозяйственных растений [10, 11, 12, 13, 14, 15, 16]. Например, в Австралийском центре функциональной геномики растений (ACPF) были получены трансгенные формы ячменя и пшеницы,

устойчивые к засухе, засолению и холоду (рис. 4) [17, 18, 19].

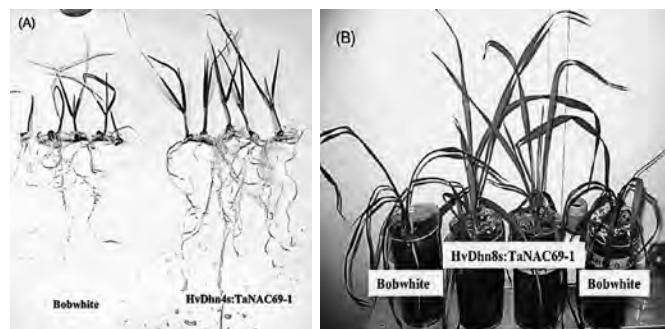


Рис. 4. Трансгенные линии пшеницы (T2) с гиперэкспрессией TaNAC69-1 при стрессе обезвоживания (Хуе G. P. et al. 2011).

Некоторые примеры трансгенных растений с гиперэкспрессией ТФ с повышенной толерантностью к абиотическим стрессам (Wang H. et al., 2016)

Таблица 1

Family	Gene	Donor	Acceptor	Enhanced tolerance	References
AP2/ERF	LcDREB3a	<i>Leymus chinensis</i>	<i>Arabidopsis</i>	Drought and salinity↑	Peng et al., 2013
	LcDREB2	<i>Leymus chinensis</i>	<i>Arabidopsis</i>	Salinity↑	Peng et al., 2013
	LcERF054	<i>Lotus corniculatus</i>	<i>Arabidopsis</i>	Salinity↑	Sun et al., 2014
	VrDREB2A	<i>Vigna radiata</i>	<i>Arabidopsis</i>	Drought and salinity↑	Chen et al., 2015
	AtDREB1A	<i>Arabidopsis</i>	Rice	Drought↑	Ravikummar et al., 2014
	TaERF3	<i>Triticum aestivum</i>	Wheat	Drought and salinity↑	Rong et al., 2014
	TaPIE1	<i>Triticum aestivum</i>	Wheat	Cold↑	Zhu et al., 2014
	EaDREB2	<i>Erianthus arundinaceus</i>	Sugarcane	Drought and salinity↑	Augustine et al., 2015
MYB	StDREB1	<i>Solanum tuberosum</i>	Potato	Salinity↑	Bouaziz et al., 2013
	AtMYB15	<i>Arabidopsis</i>	<i>Arabidopsis</i>	Drought and salinity↑	Ding et al., 2009
	LcMYB1	<i>Leymus chinensis</i>	<i>Arabidopsis</i>	Salinity↑	Cheng et al., 2013b
	GmMYB1	<i>Glycine max</i>	<i>Arabidopsis</i>	Drought and cold↑	Su et al., 2014
	TaMYB3R1	<i>Triticum aestivum</i>	<i>Arabidopsis</i>	Drought and salinity↑	Cai et al., 2015
	TaPIMP1	<i>Triticum aestivum</i>	Tobacco	Drought and salinity↑	Liu et al., 2011b
	LeAN2	<i>Lycopersicon esculentum</i>	Tomato	Heat↑	Meng et al., 2015
	AtMYB44	<i>Arabidopsis</i>	Soybean	Drought and salinity↑	Seo et al., 2012
	OsMYB2	<i>Oryza sativa</i>	Rice	Drought, cold, and salinity↑	Yang et al., 2012
	OsMYB91	<i>Oryza sativa</i>	Rice	Salinity↑	Zhu et al., 2015
WRKY	MdSIMYB1	<i>Malus x domestica</i>	Apple	Drought, cold, and salinity↑	Wang et al., 2014
	AtWRKY28	<i>Arabidopsis</i>	<i>Arabidopsis</i>	Salinity↑	Babitha et al., 2013
	OsWRKY45	<i>Oryza sativa</i>	<i>Arabidopsis</i>	Drought and salinity↑	Qiu and Yu, 2009
	TaWRKY79	<i>Triticum aestivum</i>	<i>Arabidopsis</i>	Drought↑	Qin et al., 2013
	VvWRKY11	<i>Vitis vinifera</i>	<i>Arabidopsis</i>	Drought↑	Liu et al., 2011a
	ZmWRKY33	<i>Zea mays</i>	<i>Arabidopsis</i>	Salinity↑	Li et al., 2013
	TaWRKY10	<i>Triticum aestivum</i>	Tobacco	Drought and salinity↑	Wang et al., 2013
	GhWRKY39	<i>Gossypium hirsutum</i>	Tobacco	Salinity↑	Shi et al., 2014
	BdWRKY36	<i>Brachypodium distachyon</i>	Tobacco	Drought↑	Sun et al., 2015
	ZmWRKY58	<i>Zea mays</i>	Rice	Drought and salinity↑	Cai et al., 2014
NAC	MtWRKY76	<i>Medicago truncatula</i>	<i>Medicago truncatula</i>	Drought and salinity↑	Liu et al., 2016
	ANAC019	<i>Arabidopsis</i>	<i>Arabidopsis</i>	Cold↑	Jensen et al., 2010
	ONAC063	<i>Oryza sativa</i>	<i>Arabidopsis</i>	Salinity and osmotic tolerance↑	Yokotani et al., 2009
	GmNAC20	<i>Glycine max</i>	<i>Arabidopsis</i>	Salinity and freezing tolerance↑	Hao et al., 2011
	TaNAC29	<i>Triticum aestivum</i>	<i>Arabidopsis</i>	Drought and salinity↑	Huang et al., 2015
	MLNAC5	<i>Miscanthus lutarioriparius</i>	<i>Arabidopsis</i>	Drought and cold↑	Yang et al., 2015
	TaNAC2a	<i>Triticum aestivum</i>	Tobacco	Drought	Tang et al., 2012
	AhNAC3	<i>Arachis hypogaea</i>	Tobacco	Drought↑	Liu et al., 2013
	SNAC1	<i>Oryza sativa</i>	Wheat	Drought and salinity↑	Saad et al., 2013
	OsNAP	<i>Oryza sativa</i>	Rice	Cold, salinity, and drought↑	Chen et al., 2014
bZIP	ABP9	<i>Zea mays</i>	<i>Arabidopsis</i>	Drought, salinity, and cold↑	Zhang et al., 2011
	GmbZIP1	<i>Glycine max</i>	<i>Arabidopsis</i>	Drought, salinity, and cold↑	Gao et al., 2011
	ZmbZIP72	<i>Zea mays</i>	<i>Arabidopsis</i>	Drought and salinity↑	Ying et al., 2012
	TabZIP60	<i>Triticum aestivum</i>	<i>Arabidopsis</i>	Drought, salt, and freezing tolerance↑	Zhang L. et al., 2015
	PtrABF	<i>Poncirus trifoliata</i>	Tobacco	Drought↑	Huang et al., 2010
	GmbZIP1	<i>Glycine max</i>	Tobacco	Drought, salinity, and cold↑	Gao et al., 2011
	LrbZIP	<i>Nelumbo nucifera</i>	Tobacco	Salinity↑	Cheng et al., 2013a
OsZIP71	<i>Oryza sativa</i>	Rice	Drought and salinity↑	Liu C. et al., 2014	

(A) HvDhn4s:TaNAC69-1 гомозиготные трансгенные линии пшеницы производят больше побегов и корней, чем контроль Bobwhite под воздействием ПЭГ в течение 2 недель (PEG концентрации были постепенно увеличены с 10 до 18%).

(B) HvDhn8s:TaNAC69-1 гомозиготные трансгенные линии пшеницы выросли лучше, чем в контроле Bobwhite при испытании эффективности использования воды. Проростки с аналогичной длиной побегов были посажены в сосудах (одно растение на сосуд), содержащих 500 г раствора удобрений Aquasol. Никаких дополнительных поливов после посадки. Снимок был сделан через 1 месяц после посадки.

Центральными средствами стратегии ACPFG являются молекулярные методы выделения генов и их регуляторных элементов *in vitro* и *in planta* и методы генетической трансформации пшеницы для переноса таких генов и регуляторов их активности в желаемые генотипы. Сконструированные к ДНК библиотеки пшеницы и ячменя были использованы для идентификации более 50 различных ТФ. Избыточная экспрессия этих ТФ часто приводит к нежелательным побочным эффектам, таким как задержка развития различных фенологических признаков. Чтобы свести к минимуму такие эффекты, для регуляции экспрессии ТФ в растениях были использованы стресс-индуцибельные регуляторные элементы (такие как Rab17 промотор) [19, 20] (табл. 1).

В группе биотехнологического создания стрессоустойчивой пшеницы и ячменя ACPFG исследования ведутся в 5 основных направлениях: 1) выявление генов, которые потенциально могут улучшить устойчивость к стрессу и урожайность; 2) оценка этих генов в трансгенной пшенице и отбор наиболее перспективных генов; 3) оптимизация экспрессии трансгенов с целью максимизации положительного влияния на засухоустойчивость и морозостойкость для минимизации негативного влияния на развитие растений и урожайность; 4) оптимизация структуры и свойств связанных с засухой белков и оценка выбранных молекулярных вариантов в трансгенных растениях; 5) выделение и оценка генов, которые могут облегчить /улучшить положительное воздействие.

Для сохранения оригинального фенотипа растения применяют следующие 3 подхода: 1) использование стресс-индуцируемых промоторов. Три новых промотора стресс-индуцибельных генов пшеницы были протестированы в сочетании с репортерным и генами стресс-толерантности; 2) удаление или изменение белковых доменов, которые отвечают за развитие нежелательных фенотипов. Мутации в мотиве фактора транскрипции репрессора стресса привело к устранению негативных фенотипических признаков у трансгенных растений, таких как задержка роста, задержка цветения и снижение урожая; 3) активация ряда холодреагирующих генов и последующее увеличение толерантности к заморозанию наблюдалась в T1 и T3 поколениях трансгенных линий пшеницы. Было отмечено частичное улучшение роста и высоты пшеницы при слабой засухе [17, 18].

Заключение

За последние годы теория и практика применения ТФ для создания сортов и гибридов важнейших сельскохозяйственных культур, устойчивых к множеству стрессов среды, значительно продвинулась вперед. Об этом свидетельствуют и результаты патентного поиска, проведенного по нашему заказу (исполнитель ООО «АИН»). Целью поиска являлось: 1. Выявление способов создания устойчивых к засолению сортов пшеницы с использованием методов постгеномных наук: генетической инженерии, молекулярной биологии и функциональной геномики; 2. Определение технического уровня, подходов и тенденций развития в области сельско-

хозяйственной ГМ продукции злаковых и других культур (табл. 2).

Как видно из представленных в таблице 2 данных, всего существует 12 патентов на способы создания ГМ яровой пшеницы, устойчивой к засолению. Российских патентов, к сожалению, пока нет. Но Австралия и Китай посчитали необходимым патентовать свои способы в России. Из общего числа рассмотренных патентов (более 35) 80% патентов используют гены транскрипционных факторов, которые участвуют в регуляции экспрессии десятков генов из локусов количественных признаков (QTL), ответственных за реакцию растения на стресс. Это еще раз подтверждает, что использование ТФ в создании толерантных к стрессам среды сортов является необходимым и главным направлением практической генной инженерии. Для успешной реализации полученных знаний в практике осталось ликвидировать самое узкое место трансгенной технологии – повысить эффективность и частоту генетической трансформации продуктивных сортов и гибридов отечественной селекции. Для получения необходимых в практике сотен независимых трансгенных событий (линий) необходима высокая (порядка 5%) частота генетической трансформации, чтобы среди сотен линий отбирать формы, сохранившие исходную продуктивность, но имеющие новые качества множественной устойчивости к стрессам среды.

Таблица 2

Взаимное патентование среди стран мира на способы создания ГМ яровой пшеницы, устойчивой к засолению

№	Страна	Страна патентования							Национальных патентов Запатентовано в других странах	Всего
		США	Китай	Австралия	Германия	Россия	Тайвань	ЕС		
1	США	12	1	2	1		1		7	12
2	Китай	2				1		1	2	3
3	Австралия	2				1			2	3
4	Германия	1							1	1
5	Россия		1	1				нет		2
6	Тайвань	1							1	1
7	Евросоюз	1								1

Работа выполнена при поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации (Соглашение № 14.613.21.0052).

The work was supported by the Ministry of education and science of the Russian Federation (The Agreement №14.613.21.0052)

Литература

1. Беспалова, Л. А. Развитие генофонда как главный фактор третьей зеленой революции в селекции пшеницы // Вестник российской академии наук. – 2015. – Т. 85. – №. 1. – С. 9–11.
2. ISAAA Brief 51-2015: Executive Summary <http://isaaa.org/resources/publications/briefs/51/executivesummary/default.asp>
3. Kasuga M., Liu, Q., Miura, S., Yamaguchi-Shinozaki, K., & Shinozaki, K. Improving plant drought, salt, and freezing tolerance by gene transfer of a single stress-inducible transcription factor // Nature biotechnology. – 1999. – Т. 17. – №. 3. – С. 287–291.
4. Smirnov N., Bryant J. A. DREB takes the stress out of growing up // Nature Biotechnology. – 1999. – Т. 17. – №. 3. – С. 229–230.
5. Agarwal P. K., Agarwal, P., Reddy, M. K., & Sopory, S. K. Role of DREB transcription factors in abiotic and biotic stress tolerance in plants // Plant cell reports. – 2006. – Т. 25. – №. 12. – С. 1263–1274.
6. Riechmann J. L., Heard, J., Martin, G., Reuber, L., Jiang, C. Z., Keddie, J. & Creelman, R. Arabidopsis transcription factors: genome-wide comparative analysis among eukaryotes // Science. – 2000. – Т. 290. – №. 5499. – С. 2105–2110.
7. Wyrick J. J., Young R. A. Deciphering gene expression regulatory networks // Current opinion in genetics & development. – 2002. – Т. 12. – №. 2. – С. 130–136.
8. Dey N., Sarkar, S., Acharya, S., & Maiti, I. B. Synthetic promoters in planta // Planta. – 2015. – Т. 242. – №. 5. – С. 1077–1094.
9. Saibo N. J. M., Lourenço T., Oliveira M. M. Transcription factors and regulation of photosynthetic and related metabolism under environmental stresses // Annals of botany. – 2009. – Т. 103. – №. 4. – С. 609–623.
10. Wang H., Wang, H., Shao, H., & Tang, X. Recent advances in utilizing transcription factors to improve plant abiotic stress tolerance by transgenic technology // Frontiers in plant science. – 2016. – Т. 7.
11. Sahoo K. K., Tripathi, A. K., Pareek, A., & Singla-Pareek, S. L. Taming drought stress in rice through genetic engineering of transcription factors and protein kinases // Plant Stress. – 2013. – Т. 7. – №. 1. – С. 60–72.
12. Anjum N. A. Gill, S. S., Ahmad, I., Tuteja, N., Soni, P., Pareek, A. & Pereira, E. Understanding Stress – Responsive Mechanisms in Plants: An Overview of Transcriptomics and Proteomics Approaches // Improving Crop Resistance to Abiotic Stress, Volume 1 & Volume 2. – С. 337–355.
13. Ciarmiello L. F. Woodrow, P., Fuggi, A., Pontecorvo, G., & Carillo, P. Plant genes for abiotic stress // Abiotic Stress in Plants – Mechanisms and Adaptations. – 2011.
14. Chen L. Song, Y., Li, S., Zhang, L., Zou, C., & Yu, D. The role of WRKY transcription factors in plant abiotic stresses // Biochimica et Biophysica Acta (BBA)-Gene Regulatory Mechanisms. – 2012. – Т. 1819. – №. 2. – С. 120–128.
15. Guo M. Liu, J. H., Ma, X., Luo, D. X., Gong, Z. H., & Lu, M. H. The plant heat stress transcription factors (HSFs): structure, regulation, and function in response to abiotic stresses // Frontiers in plant science. – 2016. – Т. 7.
16. Pellegrineschi A. Reynolds, M., Pacheco, M., Brito, R. M., Almeraya, R., Yamaguchi-Shinozaki, K. & Hoisington, D. Stress-induced expression in wheat of the Arabidopsis thaliana DREB1A gene delays water stress symptoms under greenhouse conditions // Genome. – 2004. – Т. 47. – №. 3. – С. 493–500.
17. Lopato S. Bazanova, N., Morran, S., Milligan, A. S., Shirley, N., & Langridge, P. Isolation of plant transcription factors using a modified yeast one-hybrid system // Plant Methods. – 2006. – Т. 2. – №. 1. – С. 1.
18. Kovalchuk N. Jia, W., Eini, O., Morran, S., Pyvovarenko, T., Fletcher, S., .. & Langridge, P. Optimization of TaDREB3 gene expression in transgenic barley using cold – inducible promoters // Plant biotechnology journal. – 2013. – Т. 11. – №. 6. – С. 659–670.
19. Xue G. P. Way, H. M., Richardson, T., Drenth, J., Joyce, P. A. & McIntyre, C. L. Overexpression of TaNAC69 leads to enhanced transcript levels of stress up-regulated genes and dehydration tolerance in bread wheat // Molecular Plant. – 2011. – Т. 4. – №. 4. – С. 697–712.
20. Liu W., Stewart C. N. Plant synthetic promoters and transcription factors // Current opinion in biotechnology. – 2016. – Т. 37. – С. 36–44.

УДК 575.224.2:582.683.2

Тримутантная линия *dis1,gl1,er Arabidopsis thaliana* (L.) Heynh. – исходный материал для селекции культурных растений сем. Brassicaceae

Triple mutant line *dis1,gl1,er Arabidopsis thaliana* (L.) Heynh. – basic material for breeding of cultivated plants of fam. Brassicaceae

О. М. МЕДВЕДЬ, А. В. КАРМАЗИНА,
И. Д. СОКОЛОВ

ГОУ ЛНР «Луганский национальный
аграрный университет»,
г. Луганск, ЛНР
e-mail: rector@lnau.lg.ua

O. M. MEDVED', A. V. KARMAZINA,
I. D. SOKOLOV

State Educational Institution of
Lugansk People's Republic «Lugansk
National Agrarian University»,
Lugansk, LPR
e-mail: rector@lnau.lg.ua

Путем гибридизации гомозиготных мутантных линий *dis1-1, er-1* и *gl1-1, er-1* арабидопсиса Таля и отбора была получена новая тримутантная линия по генам *dis1-1, gl1-1, er-1*, которая объединила в себе нужные хозяйственно полезные мутантные признаки. Ее можно использовать в селекционной практике с целью уменьшения опушения органов или его отсутствия, прежде всего культурных растений сем. Brassicaceae с помощью методов генетической инженерии.

Ключевые слова: *Arabidopsis thaliana*, генотип, фенотип, тримутантная линия, опушение, генетическая инженерия.

By hybridization of homozygous mutant lines *dis1-1, er-1* и *gl1-1, er-1* *Arabidopsis thaliana* and selection was received new triple mutant line on the genes *dis1-1, gl1-1, er-1*, which united in itself necessary economic mutant characters. It can be used in breeding practice for the purpose of pubescence reduction of organs or its absence, particularly for cultivated plants of fam. Brassicaceae by modern genetic techniques.

Key words: *Arabidopsis thaliana*, genotype, phenotype, triple mutant line, pubescence, genetic engineering.

Введение

Широкая распространенность *Arabidopsis thaliana* (L.) Heynh. (арабидопсиса Таля) как модельного объекта для генетических, молекулярно-биологических, биохимических и других исследований обуславливается тем, что он имеет короткий вегетационный период, высокую семенную продуктивность и обладает небольшим по размеру геномом ($2n=10$) [1].

Подобие генного состава, нуклеотидных последовательностей ДНК у арабидопсиса и других представителей сем. Brassicaceae дает возможность использовать его не только для фундаментальных исследований, но и для практической селекции. *Arabidopsis thaliana* является источником генов при создании ценного исходного материала для селекции

различных культурных растений, таких как рапс, рис, лимон и др. [2–5]. Наличие большого количества мутантов у этого объекта позволяет получать трансгенные растения, которые служат хорошим материалом для изучения молекулярных основ развития [6].

Исследование генетического контроля опушения у арабидопсиса является актуальной научной проблемой генетики. У большинства экотипов растений арабидопсиса опушение состоит преимущественно из сложных с примесью простых волосков. Существуют мутации ряда генов, которые влияют на характер опушения. В частности, в работе А. А. Ефремова использован ген арабидопсиса *FDH*, мутации которого приводят к сращиванию органов побега.

Мутантный аллель *fdh* плейотропно влияет также на образование волосков (трихом), уменьшая их количество на единицу площади розеточных листьев почти в два раза по сравнению с растениями дикого типа. Кроме того, *fdh* приводит к изменению в масле семян спектра жирных кислот, увеличивая количество линоленовой и гадолеиновой кислот. Часть результатов этой работы, в частности относящаяся к практическому использованию в селекции на опушение органов, защищается европейским патентом. Ген *FDH* рекомендуется использовать в сочетании с другими генами в селекции рапса путем получения трансгенных растений [6].

Настоящая работа посвящена получению, изучению и рекомендациям к практическому применению тримутантной линии по рецессивным аллелям *dis1-1, gl1-1, er-1 Arabidopsis thaliana*.

Условия, материалы и методы исследований

Для создания тройного рецессива по аллелям *dis1-1, gl1-1, er-1* (*Distorted trichomes, Glabra, Erecta*) в качестве родительских линий были использованы: *dis1-1, er-1* (*Distorted trichomes, Erecta*) и *gl1-1, er-1* (*Glabra, Erecta*), описание которых представлено в таблице 1. Генотип P_1 – *gl1-1gl1-1Dis1-1Dis1-1er-1er-1*, генотип P_2 – *G11-1G11-1dis1-1dis1-1er-1er-1*. Семена этих линий получены из Ноттингемского центра образцов арабидопсиса (European Arabidopsis Stock Center, (UK)) [7]. Путем скрещивания гомозиготных мутантных линий и последующего отбора в F_2 был получен тройной рецессив, который объединил в себе признаки родительских форм.

Таблица 1

Гомозиготные линии арабидопсиса, использованные в скрещивании

Линия	Название	Фенотип	Расположение в хромосоме
<i>dis1-1, er-1</i>	<i>Distorted trichomes, Erecta</i>	Неразветвленные, изогнутые и булавовидные укороченные волоски на растении, эректоидный стебель	1/19 2/48
<i>gl1-1, er-1</i>	<i>Glabra, Erecta</i>	Розеточные листья и стебель без трихом, стеблевые листья имеют по краю листовая пластинки разветвленные волоски с примесью простых, эректоидный стебель	3/46 2/48

Растения для исследований выращивали в почвенной культуре в лаборатории светокультуры на кафедре биологии растений Луганского НАУ. Освещение было круглосуточным, освещенность 4000 люкс [8].

Результаты исследований

В F_1 наблюдается полное доминирование признаков нормального или дикого типа ($gl1-1 < Gl1-1$, $dis1-1 < Dis1-1$): растения со сложными волосками с примесью простых и эректоидными стеблями, поскольку оба родителя гомозиготные по рецессивному аллелю *er-1*. Генотип F_1 от скрещивания родительских линий – $Gl1-1gl1-1Dis1-1dis1-1er-1er-1$.

Гены *GL1* и *DIS1* расположены в разных хромосомах, а именно: *GL1* в локусе 46 третьей хромосомы, *DIS1* в локусе 19 первой хромосомы [7]. В F_2 наблюдается их независимое распределение. Расщепление происходит по дигибридной схеме 9:3:3:1. Из растений F_2 ожидаемая доля особей, гомозиготных по аллелям *gl1-1* и *dis1-1*, составляет 1/16.

В F_2 растения разделились на четыре фенотипических класса: 263 растения с нормальными сложными волосками с примесью простых и эректоидными стеблями; 77 растений с укороченными изогнутыми простыми волосками и эректоидными стеблями; 111 растений с простыми и сложными волосками по краю голы листовой пластинки и эректоидными стеблями и 20 растений с укороченными изогнутыми волосками по краю голы листовой пластинки и эректоидными стеблями ($\chi^2 = 10,66$; $\chi^2_{st} = \{7,8-11,3-16,3\}$; $\chi^2 < \chi^2_{st}$).

Схема скрещивания

$P \quad \text{♀ } gl1-1gl1-1Dis1-1Dis1-1er-1er-1 \times \text{♂ } Gl1-1Gl1-1dis1-1dis1-1er-1er-1$
 $F_1 \quad Gl1-1 gl1-1Dis1-1dis1-1er-1er-1$
 $F_2 \quad 9 Gl1-1 - Dis1-1-er-1er-1: 3 gl1-1 gl1-1Dis1-1-er-1er-1:$
 $3 Gl1-1 - dis1-1dis1-1er-1er-1: 1 gl1-1 gl1-1dis1-1dis1-1er-1er-1$

Таким образом, в результате скрещивания и последующего отбора в F_2 была получена новая тримутантная линия, имеющая такой фенотип: растения с укороченными изогнутыми волосками по краю голы листовой пластинки и эректоидными стеблями. Фенотипические признаки линии легко идентифицируются с использованием увеличительных приборов и сохраняются в течение всего вегетационного периода. Сравнительная характеристика опушения растений арабидопсиса представлена в таблице 2.

Полученную нами новую тримутантную линию с рецессивными аллелями *dis1-1*, *gl1-1*, *er-1* *A. thaliana* можно использовать в селекционной практике с целью уменьшения опушения органов или его отсутствия, прежде всего куль-

турных растений сем. Brassicaceae с помощью методов генетической инженерии.

Таблица 2

Сравнительная характеристика опушения растений арабидопсиса

Органы растения	Линии			
	<i>er-1er-1</i>	<i>gl1-1, er-1</i>	<i>dis1-1, er-1</i>	<i>dis1-1, gl1-1, er-1</i>
Семядольные листья	неопушенные	неопушенные	неопушенные	неопушенные
Розеточные листья	преимущественно сложные волоски с примесью простых	неопушенные	неразветвленные, изогнутые и булавовидные укороченные волоски	неопушенные
Стеблевые листья	преимущественно сложные волоски с примесью простых	листовая пластинка голая, по ее краю сложные волоски с примесью простых	неразветвленные, изогнутые и булавовидные укороченные волоски	листовая пластинка голая, простые изогнутые укороченные волоски по ее краю
Нижняя часть стебля	преимущественно простые длинные волоски с примесью укороченных простых и сложных	неопушенная	неразветвленные, изогнутые и булавовидные укороченные волоски	неопушенная
Верхняя часть стебля	обычно простые длинные волоски с примесью сложных, иногда голый стебель	неопушенная	неопушенная	неопушенная

Также ее целесообразно использовать для расширения возможностей генетического анализа и исследований в направлении функционирования генома (функциональной геномики). Линия пригодна для изучения возможностей генетической изменчивости, важных в понимании эволюции и селекции. Она облегчает поддержание коллекции мутантных аллелей [9].

Выводы

Путем скрещивания мутантных линий, последующего отбора в F_2 и размножения был создан трирецессив по аллелям *dis1-1*, *gl1-1*, *er-1*, который объединил в себе мутантные признаки родительских форм.

Полученную линию целесообразно использовать для расширения возможностей генетического анализа и исследований в направлении функционирования генома, она облегчает поддержание коллекции мутантных аллелей.

Новую линию с рецессивными аллелями *dis1-1*, *gl1-1*, *er-1* *A. thaliana* можно использовать в селекционной практике с целью уменьшения опушения органов или его отсутствия, прежде всего культурных растений сем. Brassicaceae с помощью методов генетической инженерии.

Литература

1. *Arabidopsis thaliana* – модельный объект генетики растений / Т. А. Ежова, О. В. Лебедева, О. А. Огаркова и др. – М.: МАКС Пресс. – 2003. – 220 с.

2. Радчук В. В. Успехи и проблемы генетической трансформации растений семейства крестоцветных / В. В. Радчук, Я. Б. Блюм // Цитология и генетика. – 2005. – № 3. – С. 13–29.
3. Norico K. The SCARECROW gene's role in asymmetric cell division in rice plants / K. Norico, J. Jun-Ichi, M. Atsushi, N. Jasuo, M. Makato // Plant J. – 2003. – Vol. 36, № 1. – P. 45–54.
4. Sandhu D. Systemic acquired resistance in soybean is regulated by two proteins, orthologous to Arabidopsis NPR1 / D. Sandhu, I.M. Tasma, R. Frasc, M.K. Bhattacharyya // BMC Plant Biology. – 2009. – Vol. 9, № 105. – P. 1471–1484.
5. Shimizu K.K. Evolutionary and ecological genomics of Arabidopsis / K. K. Shimizu, M.D. Purugganan // Plant Physiology. – 2005. – Vol. 138. – P. 578–584.
6. Ефремов А. А. Транспозонный мутагенез и характеристика гена арабидопсиса, контролирующего состояние органов, их опушение и состав жирных кислот: автореф. Дис. канд. биол. наук: спец. 06.01.05, 03.00.15 / А. А. Ефремов. – Краснодар, 1999. – 26 с.
7. Seed List. The Nottingham Arabidopsis Stock Centre. – Nottingham: The University of Nottingham, 1994. – 147 p.
8. Генетика. Практикум: навчальний посібник для студентів вищих навчальних закладів / І. Д. Соколов, Т. М. Чеченева, О. І. Соколова та інші. – Л.: Максим. – 2011. – 176 с.
9. Соколов И.Д. Lugansk Arabidopsis Seed Stock Center (LASSC): каталог генетической коллекции / И. Д. Соколов, Л. И. Сигидиненко, Е. И. Соколова, О. М. Медведь, И. В. Кирпичева, П. В. Шелихов. – Луганск. – Элтон-2. – 2009. – 60 с.

УДК [575.167+631.522]:633.174

Эпигенетические подходы в исследовании цитоплазматической мужской стерильности сорго

Epigenetic Approaches In The Study Of Cytoplasmic Male Sterility Of Sorghum

Л. А. ЭЛЬКОНИН¹, В. В. КОЖЕМЯКИН¹,
Г. А. ГЕРАЩЕНКОВ², Н. А. РОЖНОВА²

¹ФГБНУ «НИИСХ Юго-Востока»,
г. Саратов

e-mail: raiser_saratov@mail.ru

²ФГБУН «Институт биохимии и
генетики Уфимского научного центра
РАН», г. Уфа

e-mail: molgen@anrb.ru

L. A. ELKONIN¹, V. V. KOZHEMYAKIN¹,
G. A. GERASHCHENKOV²,
N. A. ROZHOVA²

¹Agricultural Research Institute of South-
East Region

e-mail: raiser_saratov@mail.ru

²Institute of Biochemistry and Genetics of
Ufa scientific Centre of RAS
e-mail: molgen@anrb.ru

В обзоре обсуждаются особенности и закономерности эпигенетической изменчивости и ее роль в наследовании и экспрессии цитоплазматической мужской стерильности у сорго. Отмечается, что в некоторых типах стерильных цитоплазм сорго, общим свойством которых является нарушение раскрытия пыльников (9E, A3, A4, M35-1A), экспрессия генов-восстановителей в геноме гибридов F₁ регулируется условиями влагообеспеченности растений, в том числе влажностью воздуха. «Индукцированная» высоким уровнем влагообеспеченности мужская фертильность стабильно наследуется и проявляется в потомстве фертильных гибридов, выращенных в «неиндуктивных» условиях (в условиях засухи). При этом восстановление фертильности под

влиянием внешней среды связано не с изменениями в структуре генов, участвующих в контроле ЦМС, но с изменением их регуляции в геноме гибридных растений под действием режима влагообеспеченности. MSAP-анализ генома стерильных гибридов F₁ 9E Ж10/КВВ-263 и полученных от них фертильных ревертантов показал, что реверсия к фертильности сопровождается изменением характера метилирования гена транскрипционного регулятора Myb46. Полученные данные свидетельствуют, что эпигенетические изменения в ядерном геноме могут быть одним из механизмов восстановления мужской фертильности при ЦМС.

Ключевые слова: цитоплазматическая мужская стерильность, эпигенетика, гены-восстановители фертильности, сорго.

In this review, we discuss the features and patterns of epigenetic variation and its role in the inheritance and expression of cytoplasmic male sterility (CMS) in sorghum. It is noted that in some types of male sterility-inducing cytoplasm of sorghum, the common feature of which is a distortion of anther dehiscence (9E, A3, A4, M35-1A), expression of fertility-restoring genes in the genome of F₁ hybrids is governed by the conditions of water availability of plants, including air humidity. Male fertility «induced» by a high level of water availability stably inherited and manifests in the progeny of fertile hybrids, grown in «non-inductive» conditions (in drought conditions). The restoration of fertility under the influence of the environmental factor is not due to changes in the structure of genes involved in the genetic control of CMS, but with a change of regulation in the genome of the hybrid plants under the influence of the water availability. MSAP analysis of genome of sterile F₁ hybrids 9E Zh10/KVV-263 and the fertile revertants obtained from them showed that the reversion to fertility is accompanied by changes in the methylation of the gene of transcription regulator Myb46. The findings suggest that epigenetic changes in the nuclear genome can be one of the mechanisms of restoration of male fertility in the CMS.

Key words: cytoplasmic male sterility, epigenetics, fertility-restoring genes, sorghum.

Выявление закономерностей наследования и реализации генетической информации в процессе онтогенеза – одна из основных задач генетики. У растительных организмов, развитие которых тесно связано с условиями выращивания, факторы внешней среды нередко усложняют и модифицируют наследование многих признаков. Ныне четко установлено, что факторы окружающей среды, такие как температура, условия освещения, влагообеспеченности, минерального питания, влияют на реализацию наследственной информации, заключенной в последовательности нуклеотидов ДНК посредством разных эпигенетических процессов – метилирования ДНК, модификации гистонов, микро-РНК сигналинга [1–4]. Эти процессы ведут к возникновению различных эпигенетических явлений – эпиааллелей, парамутаций, активации мобильных генетических элементов, которые широко распространены в природе, в частности, они наблюдаются при отдаленной гибридизации, мутагенезе. Эпигенетические изменения наблюдаются в наследовании многих признаков растений и могут приводить к формированию разных фенотипов на базе одного и того же генотипа. Важнейшими особенностями эпигенетически регулируемых признаков является чувствительность к фактору внешней среды (онтогенетическая вариабельность, «переключаемость» альтернативных состояний) и менделевский характер наследования, обусловленный «стиранием» эпигенетических «меток» при гибридизации.

Существование эпигенетических механизмов и особенности их функционирования необходимо учитывать в генетико-селекционной работе. Известно, что уровень экспрессии генов определяется в том числе характером метилирования их нуклеотидных последовательностей, который в свою очередь меняется от действия факторов внешней среды. Характер метилирования стабильно наследуется при самоопылении, но резко меняется при гибридизации [5, 6],

причем цитоплазма, как было недавно показано, играет важную роль в метилировании ядерных генов [7]. Такое изменение характера метилирования у гибридов может приводить к активации транспозонов, что усиливает уровень генетической изменчивости в их потомстве [8]. Кроме того, изменение характера метилирования у гибридов резко меняет характер экспрессии многих генов и может лежать в основе явления гетерозиса [9].

Цитоплазматическая мужская стерильность является одной из удобных моделей для исследования этих проблем, поскольку в основе ЦМС лежит взаимодействие ядерных и цитоплазматических генов растения с факторами окружающей среды.

Ранее нами при изучении восстановления фертильности в некоторых типах стерильных цитоплазм сорго, общим свойством которых является нарушение раскрытия пыльников (9E, A3, A4, M35-1A), было выявлено необычное явление: мужская фертильность стабильно наследовалась в потомстве гибридов F₁ с восстановленной фертильностью, но не проявлялась или слабо экспрессировалась в тест-кроссах этих гибридов с ЦМС-линиями с тем же типом стерильной цитоплазмы [10]. Последующие исследования показали, что нарушение функционирования генов-восстановителей ЦМС типа 9E у тест-кроссных гибридов F₁ связано с дефицитом влагообеспеченности растений на этапе микроспорогенеза. Так, эксперименты по параллельному выращиванию растений одних и тех же гибридных комбинаций на цитоплазме 9E в условиях «засушника» и «влажной грядки» показали, что в условиях дополнительного полива уровень мужской фертильности гибридов F₁ и ВС₁ был существенно выше. В то же время, резкие различия по уровню фертильности в семьях F₂ в большинстве комбинаций не наблюдались. Эти данные доказывают, что условия влагообеспеченности растений в период развития мужской генеративной сферы регулируют экспрессию генов-восстановителей ЦМС типа 9E. При этом повышенный режим влагообеспеченности является индуктивным, т. е. способствующим функционированию генов-восстановителей фертильности [11].

В дальнейшем было установлено, что наряду с высоким уровнем влагообеспеченности, аналогичными индуктивным эффектом обладают условия выращивания в теплице: при переносе стерильных растений из популяций F₁, выращенных в условиях «засушника», в теплицу на них формировались фертильные побеги и завязывались семена. При этом реверсия наблюдалась не только у гибридов F₁, у которых ген-восстановитель присутствовал в гетерозиготе и мог быть в неактивном состоянии, но также у стерильных растений из семей F₂, выщеплявшихся в виде рецессивного класса и, возможно, лишенных доминантного гена-восстановителя [12].

«Индукционная» высоким уровнем влагообеспеченности или условиями теплицы мужская фертильность наследовалась и проявлялась в потомстве фертильных ревертантов, выращенных в неиндуктивных условиях (в «засушнике»). При этом наблюдалось не только стабильное наследование фертильности при самоопылении, но и в ряде случаев «индуцированная» фертильность передавалась через пыльцу гибридам F₁ при скрещивании ревертантов с ЦМС-линиями с цитоплазмой 9E, что указывало на наличие у ревертантов ядерных генов-восстановителей фертильности (рис. 1). Так, потомство тепличного ревертанта от стерильного растения из F₂ 9E Тх398 / Перспективное-1 проявляло высокую способность к восстановлению фертильности гибридов F₁ вне зависимости от условий влагообеспеченности: восстановление фертильности у гибридов F₁ наблюдалось при выращивании как в поле, так и в «засушнике».

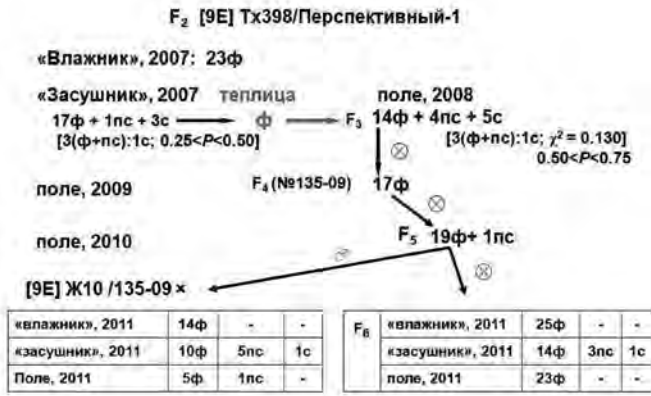


Рис. 1. Наследование фертильности в потомстве ревертанта из F₂ 9E Тх398 / Перспективное-1 в тест-кроссе в ЦМС-линией 9E Желтозерное-10 (9E Ж10).

В большинстве случаев, однако, для проявления индуцированной фертильности у гибридов ревертантов с ЦМС-линиями вновь требовался высокий уровень влагообеспеченности. Так, для функционирования генов-восстановителей ревертанта № 23 из семьи 9E Ж-10/КВВ-263 в гибридном геноме с ЦМС-линией 9E Ж10 требовался дополнительный полив растений начиная со стадии трубкования, тогда как самоопыленное потомство ревертанта было полностью фертильным как в условиях «засушника», так и «влажника» (рис. 2). Потомство другого ревертанта, полученного в условиях теплицы от стерильного растения из F₂ 9E Ж10/Перспективное-1, стабильно наследовало фертильность при самоопылении, но не восстанавливало фертильность гибридов F₁ с ЦМС-линией 9E Ж10 при выращивании как в «засушнике», так и во «влажной грядке». Следовательно, тест-кроссные гибриды, несущие гены-восстановители ревертантов, индуцированных условиями внешней среды, нуждаются в высоком уровне влагообеспеченности для проявления мужской фертильности, аналогично гибридным комбинациям, полученным с участием линий-доноров генов-восстановителей.



Рис. 2. Наследование фертильности в потомстве ревертанта из F₁ 9E Желтозерное-10 / КВВ-263.

Следовательно, восстановление мужской фертильности под влиянием внешней среды связано не с изменениями в структуре генов, участвующих в контроле ЦМС 9E, но с изменением их регуляции в геноме исходных гибридных растений под действием режима влагообеспеченности. По-видимому, существует эпигенетический механизм, управляемый условиями окружающей среды, который «включает» гены-восстановители в геноме гибридов F₁, реагируя на условия влагообеспеченности растений.

Было также выявлено, что важным фактором, регулирующим фертильность тест-кроссных гибридов ревертантов, является уровень относительной влажности воздуха в период цветения. Так, восстановление фертильности под влиянием высокой влажности воздуха наблюдалось у гибридов ревертантов с ЦМС-линиями 9E Тх398 и 9E Желтозерное-10 (9E Ж10), при этом коэффициент корреляции составлял 0.82 и 0.63 соответственно (табл. 1).

Таблица 1

Зависимость уровня фертильности тест-кроссов ревертантов от относительной влажности воздуха в период цветения

Гибридная комбинация	Фенотип растений	Число растений	Относительная влажность воздуха, %	r
9E Тх398 × 170зас/11 (от F ₁ 9E Волжское-615/КВВ-263)	Ф	10	73.6	0.82 ± 0.14**
	Пф	6	68.4	
	Пс	1	58.6	
9E Ж10 × 164зас/11 (от F ₁ 9E Желтозерное-10/КВВ-263)	Ф	4	70.0	0.63 ± 0.27*
	Пс	5	57.6	
	С	1	50.2	
9E П614 × 170зас/11 (от F ₁ 9E Волжское-615/КВВ-263)	Пс	1	61.8	0.0
	С	10	62.0	
9E П614 × 164зас/11 (от F ₁ 9E Ж10/КВВ-263)	Пс	7	56.4	0.0
	С	6	56.4	

Предполагая, что таким механизмом может быть метилирование ДНК в условиях засухи, нами был проведен MSAP-анализ (исследование амплификационного полиморфизма, чувствительного к метилированию) последовательностей генов, участвующих в контроле раскрытия пыльников, у стерильных и фертильных гибридов F₁ из одних и тех же гибридных комбинаций, выращенных в условиях «засушника» и «влажника». При этом ДНК стерильных и фертильных гибридов F₁ подвергали рестрикции рестриктазами HpaI и MspI, различающимися по чувствительности к метилированию цитозина, и исследовали амплификационный полиморфизм с помощью праймеров к локусам, контролирующим формирование пыльцы и развитие пыльников. Всего в работе было изучено 13 локус-специфичных праймеров, 11 из которых не выявили амплификационного полиморфизма.

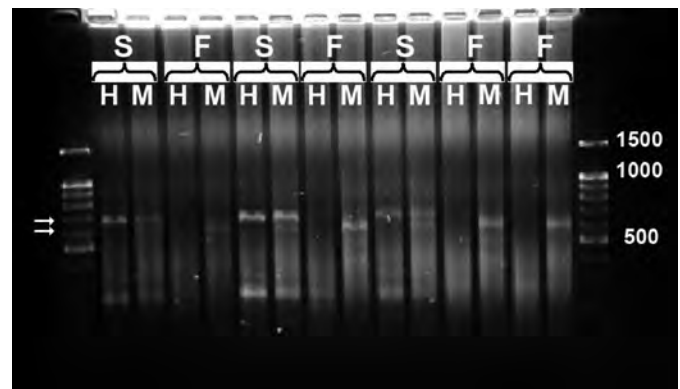


Рис. 3. MSAP-профили ДНК стерильных (S) и фертильных (F) растений из гибридной комбинации F₁ 9E Желтозерное-10/№188, полученные при использовании рестриктаз HpaI и MspI и сочетания праймеров Masg + Mub46. Стрелками указаны ампликоны, различающие стерильные и фертильные гибриды.

Однако сочетание праймеров Масg + Муб46 (транскрипционного регулятора, участвующего в раскрытии пыльников) показало, что профили MSAP-анализа стерильных и фертильных растений, полученные при использовании рестриктаз HpaII и MspI, отчетливо различаются между собой (рис. 3). В спектре, полученном с использованием HpaII, присутствует фрагмент ≈700 п.н., отсутствующий у фертильных растений. В то же время в спектрах фертильных растений, полученных с использованием MspI, присутствует фрагмент ≈650 п.н., тогда как у стерильных растений в MspI-спектре заметна амплификация обоих фрагментов, 700 и 650 п.н. Этот результат указывает на различие характера метилирования гена Муб46 в геноме фертильных и стерильных растений, которое, возможно, снижает уровень этого транскрипционного регулятора у стерильных растений.

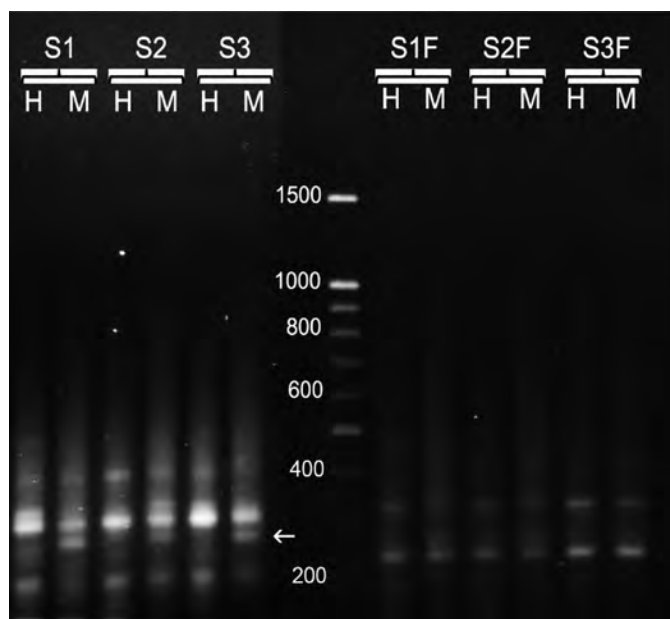


Рис. 4. MSAP-профили ДНК стерильных растений S1, S2, S3 гибрида F1 9E Желтозерное-10/KBB-263, выращенных в условиях «засушки», и фертильных побегов (S1F, S2F, S3F), развившихся у этих же растений в условиях климатокмеры. MSAP-анализ выполнен с использованием рестриктаз HpaII и MspI и сочетания праймеров Масg + Муб46. Стрелкой отмечен фрагмент ДНК ≈190 п.н., различающий стерильные гибриды и полученные от них фертильные ревертанты.

MSAP-анализ ДНК стерильных гибридов F₁ 9E Ж10/KBB-263 и полученных от них фертильных ревертантов показал, что в эксперименте с сочетанием праймеров Масg + Муб46 наблюдается амплификация фрагмента ≈190 п.н., который у исходных стерильных растений присутствует при рестрикции только HpaII и не обнаруживается при рестрикции MspI; у фертильных ревертантов этот фрагмент также не амплифицируется (рис. 4). Эти данные указывают, что в сайте гена Муб46, рестрицируемом MspI, при реверсии к фертильности происходит изменение характера метилирования.

Исходя из полученных результатов для объяснения феномена наследуемого восстановления фертильности под влиянием условий влагообеспеченности нами выдвигается гипотеза, согласно которой в условиях засухи гены, регулирующие раскрытие пыльников и созревание пыльцы, находятся в репрессированном состоянии, вызванном метилированием их нуклеотидных последовательностей. В условиях высокой влагообеспеченности эта репрессия снимается, функционирование этих генов восстанавливается, у гибри-

дов нормализуется образование фертильной пыльцы, происходит оплодотворение и завязывание семян. При этом в результате самоопыления гетерозиготных растений возникают гомозиготы, которые, по-видимому, оказываются менее чувствительными к условиям засухи, чем родительские гетерозиготные растения, и проявляют мужскую фертильность как в условиях высокого, так и низкого уровня влагообеспеченности. В тест-кроссах ревертантов с ЦМС-линиями эти гены вновь оказываются в гетерозиготном состоянии, и поскольку наследуемых изменений в самих генах в процессе реверсии не произошло, а эпигенетические метки (в частности, характер метилирования) у гибридов F₁ стираются и устанавливаются *de novo*, то для функционирования этих генов вновь требуется высокий уровень влагообеспеченности растений.

В ЦМС типа А3 экспрессия генов-восстановителей проявила зависимость от дефицита влажности воздуха. На рисунке 5 отчетливо видно, что в расщепляющейся популяции F₂ растения оказываются фертильными при низком уровне дефицита влажности воздуха, тогда как при высоком дефиците – стерильными, т. е. расщепление по фертильности имеет явно негенетическую природу. Кривые распределения растений с разным уровнем фертильности и показатели дефицита влажности воздуха в ходе вегетационного сезона повторяют друг друга в зеркальном виде.

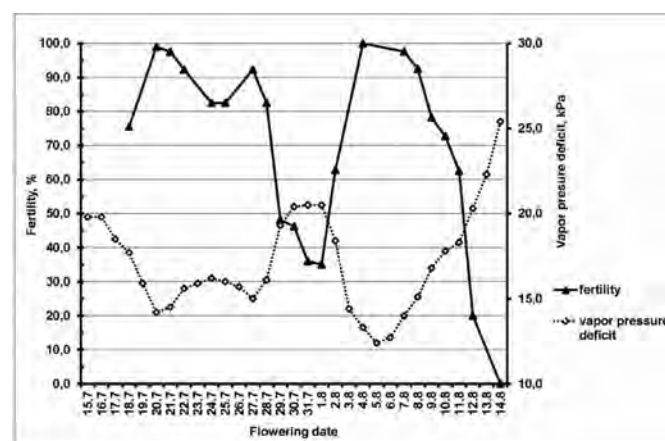


Рис. 5. Распределение растений с разным уровнем фертильности в семье F₂, полученной от самоопыления тест-кроссного гибрида А3 Топаз/F₃ (А3 Карликовое-4/IS1112С), и показателей дефицита влажности воздуха в период цветения. Показатели фертильности на каждую дату являются средними для всех растений, у которых середина метелки цвела в этот день.

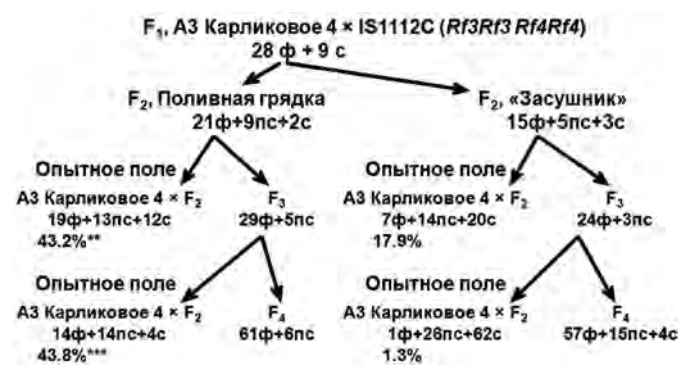


Рис. 6. Различия в восстановительной способности фертильных гибридов из семей F₂ и F₃ в зависимости от условий их выращивания в поколении F₂. ф, пс, с – фертильные, полустерильные и стерильные растения. **, *** p > 0.01 и p > 0.001, по сравнению с тест-кроссами растений, выращивавшихся в F₂ в условиях «засушки».

Кроме того, нами было обнаружено, что условия влагообеспеченности оказывают влияние на способность генов-восстановителей к восстановлению фертильности гибридов F_1 в последующих поколениях: растения, выращивавшиеся в F_2 в условиях «засушника», постепенно, в течение 2 поколений, утратили способность к восстановлению фертильности тест-кроссов, в отличие от растений, выращивавшихся в F_2 в условиях «влажной грядки» (рис. 6). Т. е. в данном случае наблюдается трансгенерационное наследование способности к восстановлению фертильности, при этом гены-восстановители ведут себя как нестабильные эпиапелли.

Таким образом, полученные нами данные свидетельствуют, что 1) функциональный статус генов в ряде случаев устанавливается под действием условий внешней среды в F_1 и наследуется в поколениях; 2) эпигенетические изменения в ядерном геноме могут быть одним из механизмов восстановления мужской фертильности при ЦМС.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ, грант 16-04-01131.

Литература

1. Iwasaki M., Paszkowski J. Epigenetic memory in plants // *EMBO J.* 2014. V.17, 33 (18). P.1987–1998.
2. Meyer P. Epigenetic variation and environmental change // *J. Exp. Bot.* 2015. V. 66 (12). P.3541–3548.
3. King G.J. Crop epigenetics and the molecular hardware of genotype \times environment interactions // *Front. Plant Sci.* 2015. V. 6, 968. doi: 10.3389/fpls.2015.00968
4. Shen Y., Issakidis-Bourguet E., Zhou D.X. Perspectives on the interactions between metabolism, redox, and epigenetics in plants // *J. Exp. Bot.* 2016. V. 67 (18). P.5291–5300.
5. Kumar S., Kumari R., Sharma V., Sharma V. Roles, and establishment, maintenance and erasing of the epigenetic cytosine methylation marks in plants // *J. Genet.* 2013. V. 92(3). P.629–666.
6. Kawashima T., Berger F. Epigenetic reprogramming in plant sexual reproduction // *Nat. Rev. Genet.* 2014. V. 15(9). P.613–624.
7. Xu P., Yan W., He J. et al. DNA methylation affected by male sterile cytoplasm in rice (*Oryza sativa* L.) // *Mol. Breeding.* 2013. V.31. P. 719–727.
8. Bucher E, Reinders J., Mirouze M. Epigenetic control of transposon transcription and mobility in *Arabidopsis* // *Curr. Opin. Plant Biol.* 2012. V. 15(5). P.503–510.
9. Groszmann M., Greaves I.K., Fujimoto R., Peacock W.J., Dennis E.S. The role of epigenetics in hybrid vigor // *Trends Genet.* 2013. V. 29(12). P.684–690.
10. Elkonin L.A., Kozhemyakin V.V., Ishin A.G. Influence of water availability on fertility restoration of CMS lines with the ‘M35’, A4 and ‘9E’ CMS-inducing cytoplasm of sorghum // *Plant Breed.* 2005. V.134. P. 565–571.
11. Elkonin L.A., Kozhemyakin V.V., Tsvetova M.I. Epigenetic control of the expression of fertility-restoring genes for the ‘9E’ CMS-inducing cytoplasm of sorghum // *Maydica.* 2009. V.54. P. 243–251.
12. Elkonin L.A., Tsvetova M.I. Heritable effect of plant water availability conditions on restoration of male fertility in the “9E” CMS-inducing cytoplasm of sorghum // *Front. Plant Sci.* 2012. V.3, 91. doi: 10.3389/fpls.2012.00091

УДК: 633.112.1:631.527(470.4)

Результаты селекции яровой твердой пшеницы для засушливого Поволжья

Breeding results of spring durum wheat for the arid Volga region

**С. Н. ГАПОНОВ, Г. И. ШУТАРЕВА,
В. М. ПОПОВА, Н. М. ЦЕТВА,
Т. М. ПАРШИКОВА**
ФГБНУ «НИИСХ Юго-Востока»,
г. Саратов
e-mail: raiser_saratov@mail.ru

**S.N. GAPONOV, G.I. SHUTAREVA,
V.M. POPOVA, N.M. TSETVA,
T.M. PARSHIKOVA**
Federal State Government-Funded
Scientific Institution
«Agricultural Research Institute of
South-East Region», Saratov
e-mail: raiser_saratov@mail.ru

В статье приведены характеристики наиболее распространенных сортов яровой твердой пшеницы селекции ФГБНУ «НИИСХ Юго-Востока».

Ключевые слова: яровая твердая пшеница, сорта, урожай, качество.

In article are presented the characteristics of the most common varieties of spring durum wheat of breeding in Federal State Government-Funded Scientific Institution «Agricultural Research Institute of South-East Region».

Key words: spring durum wheat, varieties, yield, quality.

Введение

В засушливой зоне Юго-Востока Европейской части России яровая твердая пшеница является важной продовольственной, экономически ценной культурой. В настоящее время ее посевы в России не превышают 600–700 тысяч га. За прошедшие два года интерес к яровой твердой пшенице возрос, что связано с увеличением закупочной цены на товарное зерно.

Материалы и методы

В оценке качества яровой твердой пшеницы используют как стандартные отечественные методики, так и методы, применяемые в мировой практике (изучение реологических свойств на миксографе, оценка качества с помощью SDS-седиментации). Кроме того, в лаборатории были созданы оригинальные приборы (счетчики зерна, пресс для изготовления спагетти, прибор для испытания прочности сухих и вареных спагетти) и методики (оценка цвета крупки и муки на спектрофотометре с отражающей приставкой). Это позволило повысить эффективность селекционного процесса.

Результаты

Селекционные программы по созданию новых сортов составляются на перспективу с учетом изменяющегося климата, требований рынка и др. Главной задачей остается выведение сортов с комплексом ценных признаков, таких как урожайность, устойчивость к засухе, высокое качество зерна и продуктов его переработки, а также устойчивость к заболеваниям [1, 2, 3, 4, 5, 6, 7] и прорастанию зерна на корню.

В НИИСХ Юго-Востока уже создан ряд засухоустойчивых, конкурентоспособных, уникальных по качеству зерна сортов яровой твердой пшеницы, допущенных к использованию в производстве: Луч-25 (2014), Николаша (2009), Аннушка (2007), Елизаветинская (2002), Золотая волна (2003), Людмила (1995), Валентина (1998), Ник (2000) и Саратовская золотистая (1993). Все они обладают отличным качеством клейковины, и большинство из них характеризуется высоким содержанием каротиноидных пигментов в зерне и семолине (крупке) [2, 3, 5].

Новый сорт твердой пшеницы Луч-25 рекомендуется для возделывания в первую очередь в правобережных районах Саратовской области. Он сочетает в себе высокую урожайность, качество зерна и конечной продукции, устойчивость к ряду болезней. Особенно следует отметить слабое (от 0% до 0,04%) поражение черным зародышем, а также устойчивость к прорастанию зерна на корню и в валках.

Сорт Николаша раннеспелый, засухоустойчивый, толерантен к поражению корневыми гнилями, устойчив к пыльной головне, видам ржавчины и септориозу. Этот сорт хорошо адаптируется к различным почвенно-климатическим условиям, характеризуется высоким качеством зерна и готовой продукции, а также высоким потенциалом урожайности.

Сорт Аннушка отличается крупным зерном. Масса 1000 зерен в благоприятные годы достигает 47 г. Сорт практически устойчив к пыльной головне и бурой пятнистости, вирусным болезням. Период от всходов до колошения в среднем составляет 41 день, у Саратовской золотистой – 42 дня. Сорт Аннушка обладает высокой засухоустойчивостью и пластичностью, что обеспечивает широкий ареал возделывания. По урожайности Аннушка превышает Саратовскую золотистую на 3–4 ц/га. Потенциал урожайности в производственных условиях более 30 ц/га. Качество клейковины высокое. Показатель SDS-седиментации сорта составляет 51 мл против 29 мл у Краснокутки-10. Сорт отзывчив на высокий агрофон.

Сорт Валентина обладает повышенной устойчивостью к желтой карликовости ячменя, полеганию, засухоустойчивостью, скороспелостью, высокой урожайностью и самым крупным зерном при высоких показателях природы.

Зерно сорта Ник крупное, масса 1000 зерен в благоприятные годы достигает 47 г. Однако из-за формы зерновки с глубокой бороздкой у него снижена натура. Стебель толстый, прочный. Сорт на 2 дня скороспелее Саратовской золотистой. Практически устойчив к пыльной го-

ловне и вирусу желтой карликовости ячменя. По урожайности Ник на 21% превышает Саратовскую золотистую при практически одинаковых с ней технологических свойствах зерна. Обладает высокой прочностью клейковины. Показатель SDS- седиментации нового сорта составил 54 мл.

Саратовская золотистая – самый распространенный сорт, возделываемый в нашем регионе. Его отличает крупное зерно с характерным янтарным оттенком благодаря высокой концентрации каротиноидных пигментов в эндосперме. По содержанию каротиноидных пигментов в зерне сорт превышает все известные в стране сорта в полтора-два раза. В период колошения и цветения на листьях выражен интенсивный восковый налет. Сорт средне-спелый. Обладает широкой пластичностью. При урожае зерна выше 25 ц/га сорт склонен к полеганию. Саратовская золотистая обладает прочной клейковиной, что характеризуется высоким показателем SDS-микроседиментации (43–46 мл). Максимальная урожайность сорта Саратовская золотистая в производственных условиях достигает 35–40 ц/га.

Урожай и некоторые характеристики качества саратовских сортов яровой твердой пшеницы приведены в таблице.

Таблица

Урожай и качество яровой твердой пшеницы Саратов, 2011–2015 гг.

Сорта	Урожай, т/га	Натура, г/л	SDS-тест, мл	Белок, %	Кароти- ноиды, мг/кг
Гордеифор- ме-432	1,52	779	39	15,7	4,2
Саратовская золотистая	1,90	777	48	16,2	6,5
Валентина	2,00	775	53	15,4	4,8
Ник	2,00	735	53	15,8	6,6
Аннушка	2,20	769	54	15,8	5,9
Николаша	1,90	790	49	17,0	3,8
Луч-25	2,20	776	55	16,0	4,8

Заключение

Таким образом, в настоящее время мы можем рекомендовать для возделывания в засушливом Поволжье и в прилегающих к нему регионах ряд сортов яровой твердой пшеницы, характеризующихся комплексом хозяйственно ценных признаков.

Литература

1. Боровик А. Н. История и современное состояние селекции яровой твердой пшеницы на Кубани / А. Н. Боровик, Л. А. Беспалова, Н. С. Васильчук, С. Н. Гапонов // 100 лет на службе АПК: традиции, достижения, инновации / Сб. научн. тр. в честь 100-летия со дня основания Краснодарского НИИСХ им. П.П. Лукьяненко. – Краснодар. – ООО «ЭДВИ». – 2014. – С. 95–112.
2. Васильчук Н. С. Селекция яровой твердой пшеницы / Н. С. Васильчук. – Саратов. – «Новая газета». – 2001. – 124 с.
3. Васильчук Н. С. Итоги селекции яровой твердой пшеницы на высокое качество зерна в Саратове / Н. С. Васильчук, С. Н. Гапонов, Л. В. Еременко, Т. М. Паршикова, В. М. Попова, Н. М. Цетва, Г. И. Шутарева // Достижения науки и техники АПК. – 2010. – № 5. – С. 22–24.
4. Васильчук Н. С. Селекция как фактор стабилизации производства высококачественного зерна яровой твердой пшеницы (*Triticum durum* Desf.) в засушливых условиях / Н. С. Васильчук, Г. И. Шутарева, В. М. Попова, С. Н. Гапонов, Т. М. Паршикова, Л. В. Еременко, Н. М. Цетва // Проблемы повышения эффективности использования водных и земельных ресурсов Поволжья / Сб. научн. тр. (ФГНУ ВолжНИИГиМ) – Саратов: Научная книга, 2011. – С. 179–186.
5. Гапонов С. Н. Селекция твердой пшеницы (*Triticum durum* Desf.) на засухоустойчивость в Саратове / С. Н. Гапонов, Г. И. Шутарева, В. М. Попова, Л. В. Еременко, Н. М. Цетва, Т. М. Паршикова // Селекция и семеноводство сельскохозяйственных культур в стрессовых условиях / Сб. научн. материалов междуна-родн. науч.-практ. конф. – Томск-Колпашево, 2013. – С. 16–20.
6. Дружкин А. Ф. Проблемы технологии и селекции твердой пшеницы в сухостепной зоне Поволжья / А. Ф. Дружкин, А. Н. Кузнецов, С. Н. Гапонов // Вавилонские чтения 2013 (Сборник статей Межд. науч.-практ. конф., посвященной 126-й годовщине со дня рождения академика Н. И. Вавилова и 100-летию Саратовского ГАУ, 25–27 ноября 2013 г.). – Саратов, Буква, 2013. – С. 30–32.
7. Vassiltchouk N.S. Laboratory of Spring Durum Wheat Breeding: A new spring durum wheat cultivars 'Nikolasha' has been released in the Russian Federation / N.S. Vassiltchouk, L.A. Bepalova, G.I. Shutareva, A.N. Borovik, N.S. Gaponov, V.V. Popova, L.V. Yeremenko, T.M. Parshikova and N.M. Tsetva // Annual Wheat Newsletter – HTML Version / Kansas State University, USA / — 2011. — V. 57. — P. 259–260.

УДК 631.527:633.174:633.31:633.361:633.264:

История создания исходного материала сорго и многолетних трав в ФГБНУ «НИИСХ Юго-Востока»

History of creation of basic material of sorghum and of permanent grasses in Federal State Government-Funded Scientific Institution «Agricultural Research Institute of South-East Region»

**В. В. ГУСЕВ, В. В. ЛАРИНА,
К. В. ПЕТРОВА, А. В. ХРАМОВ,
М. М. ХАЛИКОВА, Р. А. ЭЛЕНБЕРГЕР,
В. С. ЕСКОВА, Н. В. БАХАРЕВА**
ФГБНУ «НИИСХ Юго-Востока»,
г. Саратов
e-mail: raiser_saratov@mail.ru

**V. V. GUSEV, V. V. LARINA,
K. V. PETROVA, A. V. KHRAMOV,
M. M. KHALIKOVA, R. A. ELENBERGER,
V. S. YESKOVA, N. V. BAKHAREVA**
Federal State Government-Funded
Scientific Institution «Agricultural
Research Institute of South-East Region»,
Saratov
e-mail: raiser_saratov@mail.ru

В основе создания гибридов лежит использование явления гетерозиса. Главным звеном селекции на гетерозис является подбор материала с высокой комбинационной способностью (КС) по комплексу хозяйственно ценных признаков. Для этого необходимо проводить изучение самоопыльных и ЦМС-линий (с цитоплазматической мужской стерильностью) на комбинационную способность. При селекции сорговых культур гибриды стали получать путем скрещивания между раннеспелыми родителями, обеспечивающими в первом поколении гетерозис позднеспелости и связанный с этим высокий урожай зеленой и сухой массы. Семена в этом случае получают от раннеспелых родительских форм, что не вызывает трудностей. Селекционная работа по многолетним травам включала выведение новых сортов люцерны, эспарцета, овсяницы луговой, изучение их биологии развития и некоторых элементов сортовой агротехники.

Ключевые слова: селекция, исходный материал, история, методы, сорго, многолетние травы.

Creation of hybrids is based on the use of phenomenon of heterosis. Main link of breeding in heterosis is selection of material with high combining ability (CA) with use of complex of agronomic characters. This requires to conduct research of self-fertile lines and lines with cytoplasmic male sterility for combining ability. Hybrids are produced by cross-breeding between early-maturing parents, which provide heterosis of late maturity in the first generation and related high fresh yield and dry matter yield in breeding of sorghum crop. Seeds in this case will be produced from early-maturing parental forms that causes no difficulties. Breeding works for perennial grasses included development of new varieties of lucerne,

sainfoin and meadow fescue, research of their development biology and some elements of varietal agrotechnics.

Key words: breeding, basic material, history, methods, sorghum, perennial grasses.

Сорговые культуры

В основе создания гибридов лежит использование явления гетерозиса. Главным звеном селекции на гетерозис является подбор генетически ценного исходного материала с высокой комбинационной способностью (КС) по комплексу хозяйственно ценных признаков, способных давать высокогетерозисное потомство. Для этого необходимо проводить изучение самоопыльных и ЦМС-линий (с цитоплазматической мужской стерильностью) на комбинационную способность [1]. Основную работу в этом направлении вела В. В. Ларина. Ее научное наследие насчитывает 17 авторских свидетельств и 70 научных работ по селекции, семеноводству, методике и технологии возделывания кормовых культур.

Большое значение приобретает решение технологических вопросов по семеноводству родительских форм и самих гибридов.

Для создаваемых стерильных линий сахарного сорго источником ЦМС стали мужскостерильные линии зернового сорго 92-2, 92-4, 81, полученные из ВНИИ кукурузы (Днепропетровск). Растения из них, в порядке насыщающих скрещиваний, опыляли пыльцой самоопыленных линий сахарного сорго Саратовское развесистое. Из числа самоопыленных растений отбирали не только типичные для этого сорта, но и наиболее раннеспелые. Отбор раннеспелых растений облегчался тем, что сорт Саратовское развесистое представляет собой довольно пеструю популяцию. Отбор из нее раннеспелых форм обеспечивал создание наиболее раннеспелых мужскостерильных линий сахарного сорго. Второе и последующие насыщающие скрещивания проводили на 5 метелках каждой линии [2].

Из материалов первого и последующих насыщений для очередного посева отбирали семена метелок, имевших под контрольными изоляторами (при самоопылении) нулевую завязываемость.

Процент растений со стерильной пыльцой в среднем по всем высеваемым линиям был равен: после первого насы-

щения – 21, после второго – 48, после третьего – 85, после четвертого – 92. В 1969 году выселили 9 наиболее интересных линий. Метелок с контрольными изоляторами было 697 с числом их по отдельным линиям от 38 до 117. Три линии были на 100% мужскостерильными, у остальных шести под изоляторами единичные семена завязали до 5% метелок.

Следует заметить, что полная мужская стерильность у разных линий устанавливается после разного числа лет насыщающих скрещиваний.

Созданные мужскостерильные линии несколько различались по морфологии, но главное и наиболее важное различие – это длина вегетационного периода. В 1970 г. у трех наиболее раннеспелых стерильных линий от всходов до восковой спелости семян прошло 80–81 день, у типичных для сорта Саратовское развесистое более позднеспелых линий этот период равнялся 98–99 дням. Таким образом, разрыв в сроке наступления восковой спелости у самых раннеспелых и самых позднеспелых линий составлял 18 дней. Растения раннеспелых линий имеют меньшие вес и высоту по сравнению с позднеспелыми.

Мужскостерильные линии по выровненности мало отличаются от своих фертильных аналогов, по высоте они чаще бывают немного ниже (сказывается влияние исходной стерильной линии зернового сорта Низкорослое-92). Мужскостерильные линии, как правило, поражаются головней меньше, а бактериозом так же, как и фертильные аналоги. Раннеспелые стерильные линии сильнее позднеспелых поражаются бактериозом, но слабее головней. У фертильных аналогов – закрепителей стерильности – после 5–6 лет самоопыления признаки депрессии не наблюдались.

В результате проведенных исследований были созданы МС-линии сахарного, позднее зернового, веничного сорго и суданской травы. Изучали вопросы методики получения гетерозисных гибридов от искусственного скрещивания.

В 1967–1970 гг. получили оценку в качестве опылителей представители разных групп и видов сорго. Гибриды от опыления стерильных линий сахарного сорго пыльцой других форм и видов сорго высевали сначала в предварительном, а затем в конкурсном сортоиспытании.

Гибриды от опыления мужскостерильных линий сахарного сорго пыльцой суданской травы – сорго-суданковые гибриды – испытываются с 1968 года. По урожаю зеленой массы они равны или несколько уступают сахарному сорго, но по сбору абсолютно сухого вещества чаще всего превосходят сахарное сорго. Продуктивность этих гибридов сравнивают обычно с отцовской формой – суданской травой.

Сравнение показывает, что чем позднеспелее сорт-опылитель суданской травы, тем больший урожай зеленой массы дает гибрид. Однако относительный эффект (урожай гибрида в процентах от урожая сорта-опылителя) бывает выше у гибридов с раннеспелым опылителем.

В связи с тем, что для успешного производства семян в местных условиях в большей степени подходят раннеспелые сорта, в Поволжье перспективнее сорго-суданковые гибриды, у которых опылителями будут являться местные раннеспелые сорта.

При селекции сорговых культур сочетать в одном сорте высокую продуктивность зеленой массы и высокий урожай стабильно созревающих семян крайне трудно. Исследования, проведенные Ф. И. Филатовым и его учениками, помогли решить эту проблему. Гибриды стали получать путем скрещивания между раннеспелыми родителями, обеспечивающими в первом поколении гетерозис позднеспелости и связанный с этим высокий урожай зеленой и сухой массы. Семена в этом случае получают от раннеспелых родительских форм, что не вызывает трудностей. Это направление

селекции было реализовано на ряде гибридов сорго и сорго-суданковых гибридов [3].

При селекции зернового сорго стояла несколько иная задача по сравнению с селекцией кормового сорго. В последнем случае эффект гетерозиса позднеспелости гибридов первого поколения обуславливает повышенную урожайность зеленой массы и является положительным. При селекции зернового сорго такой эффект нежелателен, в этом случае конечный продукт – зерно – должен в конкретных климатических условиях достигать определенных критериев спелости, в частности влажности. Требовалось получить гибрид, который отличался бы раннеспелостью, высокой урожайностью и надежным семеноводством.

Кроме гетерозисной селекции, которая требует более высокой культуры семеноводства в селекционном процессе, сохраняется выведение сортов с использованием методов гибридизации, индивидуального отбора и инцухта (инбридинга) [4]. В результате создано большое число новых сортообразцов, которые изучаются в различных питомниках.

Многолетние травы

Селекционная работа по многолетним травам включала выведение новых сортов люцерны, эспарцета, овсяницы луговой, изучение их биологии развития и некоторых элементов сортовой агротехники [5]. Основную работу по селекции многолетних трав вела К. В. Петрова. Она является соавтором пяти сортов многолетних трав, ею опубликовано 37 научных работ.

Люцерна является ведущей белковой кормовой культурой в районах Поволжья. По выходу протеина с гектара люцерны в зоне не имеет себе равных. Однако из-за недостатка семян посевные площади под этой культурой не обеспечивают потребности животноводства в люцерновых кормах. Поэтому создание новых сортов, характеризующихся высокой фуражной продуктивностью, долговечностью, хорошими кормовыми достоинствами, высокой и устойчивой семенной продуктивностью, – задача актуальная, которая имеет большую научную и производственную значимость.

В задачу исследований лаборатории входило создать и оценить исходный материал, превышающий районированные сорта по урожайности семян, не уступающий им по фуражной продуктивности и по устойчивости к неблагоприятным факторам среды.

Разностороннее изучение коллекционных образцов люцерны позволило выделить в качестве исходного материала для селекционных целей лучшие по семенной и фуражной продуктивности, по отрастанию весной и после скашивания, по кустистости, облиственности, высоте и другим хозяйственно ценным признакам.

При создании исходного материала в зоне Поволжья были применены новые методы селекции: гибридизация при свободном направленном и контролируемом опылении, в том числе использование для этих целей теплицы, индивидуальный и массовый отборы, черенкование эталонных растений [6].

Исследования по разработке методики получения гетерозисных гибридных семян люцерны от свободного перекрестного опыления подобранных пар сортов, а также с использованием явления самонесовместимости проводились с 1969 года.

В сортах-популяциях люцерны довольно часто встречаются растения, которые при самоопылении семян не завязывают; их называют самонесовместимыми. Распространенность этого явления у разных сортов изучалась в коллекционном питомнике. У 10 изученных сортов самонесовместимых растений имелось от 10,5 до 33,5%. Реже они встречались в сортах ташкентской селекции и сорте из Индии,

чаще – в сортах местной селекции (Кинельская-1 – 22,5%, Саратовская-31 – 21,0%, Зайкевича – 33,5%).

Для изучения наследования самонесовместимости высевали семена 10 самонесовместимых растений (СНР), опылявшихся в популяциях свободно. Семена каждого растения высевали отдельно. Анализ самоопыленных соцветий показал, что самонесовместимость у разных растений наследуется неодинаково. В первом поколении потомств СНР было от 30 до 60%, то есть больше, чем встречается в популяциях. В результате исследований был сделан вывод, что в потомствах свободно опылявшихся СНР путем отбора, удается повысить процент самонесовместимости до 60–80.

Для закрепления самонесовместимости и создания самонесовместимых линий ежегодно проводились искусственные скрещивания СНР между собой в разных комбинациях.

При искусственном скрещивании СНР между собой было получено 2 потомства, растения которых практически не образуют семян при самоопылении. От скрещивания разных комбинаций между собой были получены потомства, в которых количество растений с нулевой завязываемостью при самоопылении равнялось 80–100% (у остальной части растений завязываемость была единичная).

Ни одна из 10 испытанных в 1972–1973 гг. комбинаций свободного переопыления сортов местной селекции не дала превышения по урожаю зеленой массы в сравнении с родительскими сортами.

Гибридную силу гетерозисной комбинации можно использовать с большим эффектом, если в качестве материнской формы брать самонесовместимые растения. При опылении клонов СНР даже сортами местной селекции получены комбинации, давшие за 4 года превышение по урожаю зеленой массы на 18,2–21,0%. От искусственного скрещивания СНР с самофертильными получены комбинации, урожаем зеленой массы которых превышает родительские формы на 25–35% [7].

Этот метод был применен при создании новых сортов люцерны. В качестве материнской формы использовали лучшие растения люцерны Зайкевича, отцовской – местную из Индии (к-7397). С целью создания гибридного материала с более богатыми признаками наследственности из коллекционного питомника отбирали по 3–5 лучших родительских растений и скрещивали каждый образец отцовской формы с каждым растением материнской. Дальнейший индивидуальный отбор позволил выделить лучший образец, который и был передан на государственное сортоиспытание под названием Медия.

Новый сорт люцерны Влада также получен от искусственного скрещивания подобранных родителей и последующих отборов. В качестве материнского при скрещивании был взят сорт синегридной люцерны из ФРГ – Арним (к-35381), высокопродуктивный, но со слабой зимостойкостью. Чтобы придать будущему сорту жаро- и холодостойкость, в качестве отцовской формы была использована дикорастущая люцерна из Актюбинской области.

Эспарцет. В условиях богары черноземной засушливой степи и лесостепи эспарцет по продуктивности не уступает люцерне и имеет по сравнению с ней ряд преимуществ. Его укосная спелость наступает раньше, у него более простое семеноводство, он одна из лучших парозанимающих культур и прекрасный медонос. Эспарцет хорошо удается на песчаных и супесчаных, а также на щебенчатых почвах.

Эспарцет Розовый-89 был получен путем переопыления эспарцета Тальшского с дикорастущим песчаным эспарцетом из Красноярского края и дальнейшим индивидуальным отбором из полученной популяции.

Сорт эспарцета закавказского Розовый-95 получен от свободного переопыления в питомнике поликросса 22 со-

ртов эспарцета закавказского и 4 – песчаного. Исходные формы в питомнике поликросса высевали смесью семян в равных количествах.

Овсяница луговая. Многолетнюю злаковую кормовую культуру – овсяницу луговую – по значению для кормопроизводства можно поставить рядом с кострцом безостым. Овсяница луговая также может держаться в посевах 6–8 лет, расти на пойменных, заливных, заболоченных участках и в пониженных элементах рельефа, использоваться как сенокосная и пастбищная культура, в чистых и смешанных посевах с другими бобовыми и злаковыми травами. По питательности корм овсяницы близок к кострцовому, но менее грубый, охотно поедается всеми видами скота. Овсяница луговая быстро отрастает после скашивания, при наличии влаги дает 2–3 укоса за сезон. Хорошо растет на глинистых и суглинистых почвах, не переносит легких песчаных почв и засухи. В отличие от кострца безостого может с успехом быть использована и как газонная трава как в чистом виде, так и в смеси с другими газонными культурами – мятликом, полевицей, райграсом и др.

В 1960-е годы профессором Ф. И. Филатовым была выписана партия семян овсяницы луговой сорта Л-501 из Литвы. После 12-летнего агротехнического изучения сорта в разных условиях выращивания была поставлена задача – получить новый сорт овсяницы луговой, высокопродуктивный, зимостойкий, устойчивый к основным болезням, раннеспелый, пригодный для выращивания в богарных условиях Правобережья. С этой целью из семенного травостоя площадью 1,5 га был проведен троекратный массовый отбор. Отбирались растения с хорошими хозяйственными показателями: по высоте, облиственности, кустистости, хорошей семенной продуктивности и устойчивости к заболеваниям, и в итоге был получен новый сорт овсяницы луговой Волжанка.

Заключение

Таким образом, за все годы работы лаборатории по селекции кормовых культур, используя методы селекционной работы, разработанные в 1960–1970-х годах, было создано и внесено в государственный реестр селекционных достижений 15 сортов и гибридов сорговых культур, 2 сорта люцерны, 2 сорта эспарцета и 1 сорт овсяницы луговой. Из них за последние 10 лет: сорт сахарного сорго Тополек, сорта зернового сорго Солнышко, Белочка и Зернышко, сорго-суданковый гибрид Болдинский, стерильная линия сахарного сорго А1 Саратовское-3.

Исследования по селекции сорговых культур предусматривают выведение сортов и гибридов. При селекции сортов главным является выведение раннеспелых (80–90 дней) и среднеспелых (95–110 дней) сортов, обладающих высоким урожаем зеленой массы, хорошими кормовыми качествами и надежным семеноводством, хорошо приспособленных к механизированной уборке на семенных посевах.

При селекции гибридов разрабатывается два направления: 1) создание среднеспелых гибридов с высокой долей качественного зерна в сухом веществе растения и 2) создание позднеспелых высокогетерозисных гибридов на основе раннеспелых родительских форм. Оба направления исследований предусматривают создание линий с ЦМС и высокой комбинационной способностью, выражающейся, с одной стороны, в удлинении вегетационного периода у гибридов и, следовательно, повышенной их урожайности, с другой – в увеличении размера метелки и, следовательно, урожайности зерна и доли его в общем урожае вегетативной массы. Общим требованием для всех линий является надежное семеноводство.

Литература

1. Стефенс Дж. Использование цитоплазматической мужской стерильности для производства семян гибридного сорго / Дж. Стефенс, Р. Ф. Холланд // Гибридное сорго. – М., 1962. – С. 132–145.
2. Филатов Ф. И. Создание мужскостерильных линий сахарного сорго / Ф. И. Филатов, В. В. Ларина // Бюл. науч.-техн.информ. НИИСХ Юго-Востока. – Саратов, 1972. – Вып. 30. – С. 86–87.
3. Филатов Ф. И. Подбор опылителей сорго с целью создания высокоурожайных гибридов / Ф. И. Филатов, В. В. Ларина // Бюл. науч.-техн.информ. НИИСХ Юго-Востока. – Саратов, 1972. – Вып. 30. – С. 88–93.
4. Филатов Ф. И. О направлении в селекции сорговых на Юго-Востоке / Ф. И. Филатов, В. В. Ларина // Бюл. науч.-техн.информ. НИИСХ Юго-Востока. – Саратов, 1975. – Вып. 35. – С. 194–195.
5. Филатов Ф. И. Многолетние травы на Юго-Востока / Ф. И. Филатов // Саратов: Приволж.кн.изд., 1966. – 124 с.
6. Методические указания по селекции многолетних трав. – ВАСХНИЛ, ВНИИ кормов им. В. Р. Вильямса. – М., 1978. – 132 с.
7. Филатов Ф. И. Некоторые вопросы методики получения гибридных семян люцерны / Ф. И. Филатов, К. В. Петрова // Научные труды НИИСХ Юго-Востока. – Саратов, 1975. – Вып. 35. – С. 195–197.

УДК 633.11. [631.524.85]

Влияние внешних факторов на рост зародышевых корней проростков озимой мягкой пшеницы

The influence of external factors on the growth of the germinal roots of seedlings of winter wheat

А. В. КАЛИНИНА, С. В. ЛЯЩЕВА,
А. Д. ЗАВОРОТИНА,
Н. Ю. ЛАРИОНОВА, А. И. СЕРГЕЕВА
ФГБНУ «НИИСХ Юго-Востока»,
г. Саратов
e-mail: raiser_saratov@mail.ru

A. V. KALININA, S. V. LYASCHEVA,
A. D. ZAVOROTINA, N. Y. LARIONOVA,
A. I. SERGEEVA
Federal State Government Funded
Scientific Institution «Agricultural
Research Institute of South-East Region»
Saratov
e-mail: raiser_saratov@mail.ru

Изучены особенности роста проростков озимой мягкой пшеницы при низких положительных температурах и в присутствии растворов осмотиков. В качестве критерия оценки подавления ростовых процессов использовались скорость роста и длина корней проростков. Выявлены сортовые различия тестируемых параметров.

Ключевые слова: депрессия роста, водный раствор сахарозы, холодостойкость, засухоустойчивость сортов озимой мягкой пшеницы.

The specific features of the growth of winter wheat seedlings at low positive temperatures and in the presence of osmotic solution. The growth rate and the length of seedling roots were used as growth suppression process evaluation criterion. Varieties differences in the test parameter were identified.

Key words: growth depression, aqueous solution of sucrose, resistance to cold, drought resistance of winter soft wheat varieties.

В естественных природных условиях возделывания растения в процессе своего роста и развития часто испытывают воздействие неблагоприятных факторов внешней среды, к которым относят температурные колебания и дефицит влаги. Каждое растение обладает способностью к адаптации в меняющихся условиях внешней среды в пределах, обусловленных его генотипом. Чем выше способность растения изменять метаболизм в соответствии с окружающей средой, тем шире норма реакции данного растения и лучше способность к адаптации. Использование в качестве исходного материала источников высоких адаптивных свойств – одно из важнейших условий успешной селекции озимой пшеницы [1].

Целью исследований являлось выявление источников высоких адаптивных свойств селекционного материала к низким положительным температурам и осмотическому стрессу. Для достижения поставленной цели необходимо было решить следующие задачи: 1) изучить особенности роста и развития проростков озимой мягкой пшеницы на ранних этапах онтогенеза при низких положительных температурах; 2) определить засухоустойчивость сортов озимой мягкой пшеницы по изменению роста зародышевых корней в растворах осмотиков.

Материалы и методы исследования

В работе использовались 14 сортов озимой мягкой пшеницы саратовской и инорайонной селекции: Лютесценс-230, Саратовская-8, Саратовская-17, Саратовская-90, Губерния, Левобережная-1, Гостианум-237, Виктория-95, Донская безостая, Смуглянка, Жемчужина Поволжья, Калач-60, Созвездие, Мироновская-808 (st.) и три сорта-образца конкурсного сортоиспытания (КСИ): КСИ 16 (Мироновская-808 x Бригантина), КСИ-18 (Л-329 x Урожайная) и КСИ-20 (Саратовская-90 x Украина) [1,2]. Исследования проводились на проростках растений.

Оценку на устойчивость к низким температурам проводили согласно методике, предложенной О. П. Родченко и Г. П. Акимовой [3]. Для проведения исследований использовали двухсуточные проростки, которые делили на две группы (по 20 проростков каждого сорта) и измеряли длину зародышевых корней. Контрольную группу проростков экспонировали при оптимальной температуре (25°C) в течение 24 часов, опытную – при низкой положительной температуре (6°C) в течение 48 часов в термостате ТСО-1/80. По истечении указанного времени проводили повторное измерение длины корней и определяли скорость роста.

Оценку на засухоустойчивость проводили согласно методике, предложенной Н. Н. Кожушко и В. М. Царевской [4]. Для проведения исследований использовали трехсуточные проростки, которые делили на две группы (по 20 проростков каждого сорта). Опытную группу проростков экспонировали на водном растворе сахарозы в концентрации 19,2%, контрольную – на дистиллированной воде. Через 48 часов проводили измерение длины корней.

Результаты исследования

На первом этапе исследования определяли изменение скорости роста корневой системы проростков сортов озимой мягкой пшеницы при низкой положительной температуре (6°C). Исследуемые сорта реагировали на понижение температуры, в разной степени снижая скорость роста главного зародышевого корня (рис. 1).

Как видно из представленных результатов, проростки сортов Созвездие, Саратовская-90 и Гостианум-237 сохраняли достаточно высокую скорость роста главного зародышевого корня, а именно 32%, 30% и 29% от контроля соответственно. Для проростков сортов Левобережная-1, Мироновская-808, Донская Безостая и Смуглянка отмечалось значительное снижение скорости роста зародышевого корня, а именно 11% и 12% от контроля. Для проростков сортов Калач-60 и Саратовская-8 тестируемый критерий составил 18% и 15% от контроля соответственно. Скорость роста главного зародышевого корня проростков сорта-образца КСИ-16 составила 19% от контроля, что на 7% превышает значение данного критерия сорта Мироновская-808. Для проростков сорта-образца КСИ-20 тестируемый

критерий составил 17% от контроля, что на 13% меньше значения данного критерия сорта Саратовская-90.

Скорость роста нижней пары зародышевых корней проростков сорта Калач-60 составила 30% от контроля, сортов Мироновская-808 и Саратовская-17 – 29% от контроля. Для остальных сортов диапазон изменений данного критерия составил от 2% у сорта Донская безостая до 23% у сортов Созвездие и Лютесценс-230.

На следующем этапе исследований проводили оценку засухоустойчивости сортов озимой мягкой пшеницы в присутствии растворов осмотиков. В качестве критериев оценки подавления ростовых процессов использовали длину главного зародышевого корня и нижней пары зародышевых корней проростков. В качестве осмотика использовался водный раствор сахарозы в концентрации 19,2% (Кожушко Н. Н., 1988).

Исследуемые сорта в период развития проростков реагировали на искусственно созданный с помощью осмотика водный дефицит, в разной степени снижая рост зародышевых корней (рис. 2).

Как показали результаты исследований (рис. 2), меньшее подавление роста главного зародышевого корня в растворе сахарозы отмечалось для проростков пшеницы сортов Са-

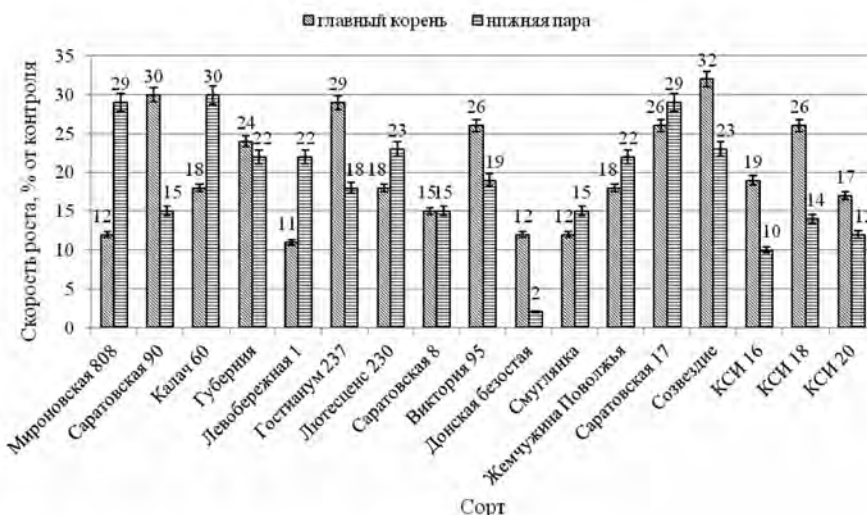


Рис. 1. Скорость роста главного зародышевого корня и нижней пары зародышевых корней при низкой положительной температуре.

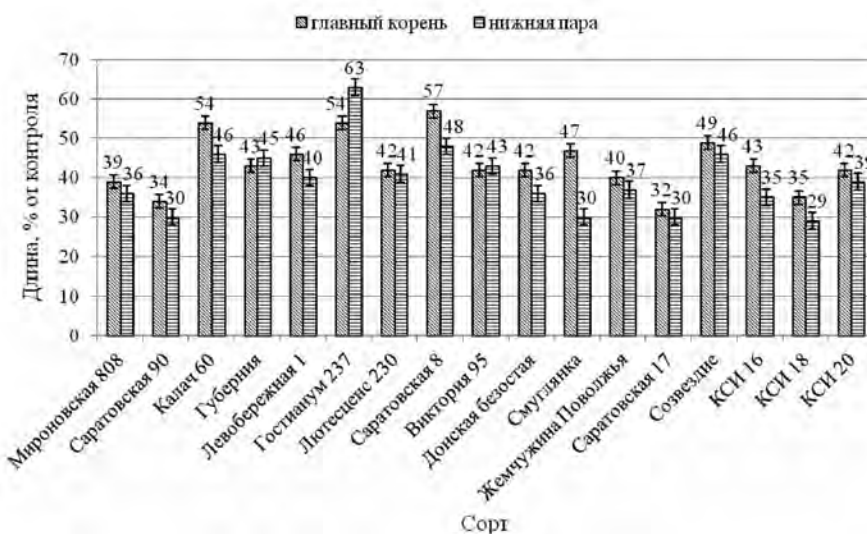


Рис. 2. Длина главного зародышевого корня и нижней пары зародышевых корней проростков озимой мягкой пшеницы в присутствии растворов осмотиков.

ратовская-8, Калач-60, Гостианум-237. Длина тестируемого критерия составила по сравнению с контролем 57%, 54% и 54% соответственно. Значительное снижение роста главного зародышевого корня выявлено для сортов Саратовская-17 (32% от контроля), Саратовская-90 (34% от контроля) и Мироновская-808 (39% от контроля). Длина главного зародышевого корня проростков сортообразца КСИ-16 составила 43% от контроля, что на 4% больше значения данного критерия сорта Мироновская-808. Для проростков сортообразца КСИ-20 тестируемый критерий составил 42% от контроля, что на 8% превышает значение данного критерия сорта Саратовская-90.

Меньшее подавление роста нижней пары зародышевых корней отмечалось для проростков пшеницы сортов Гостианум-237, Саратовская-8, Калач-60 и Созвездие (рис. 2). Длина данного тестируемого критерия составила по сравнению с контролем 63%, 48%, 46% и 46% соответственно. Снижение роста нижней пары корней выявлено для сортов Саратовская-90, Смуглянка и Саратовская-17 (30% от контроля). Для проростков сортообразца КСИ-20 тестируемый критерий составил 39% от контроля, что на 9% превышает значение данного критерия сорта Саратовская-90.

Выводы

Анализируя полученные результаты, следует отметить, что оценка изменений в скорости роста корня проростков пшеницы связана с выполнением его специфических функций как органа поглощения, синтеза веществ и органа апикального доминирования в системе регуляции, обеспечивающей целостность организма. Изменение скорости роста корней проростков в присутствии стрессовых факторов по-

зволяет судить не только о первичной устойчивости и адаптивных возможностях сорта, но и характеризует его гомеостатичность.

Изученные в ходе проведенных исследований сорта озимой мягкой пшеницы проявили различную устойчивость к низким положительным температурам. В среднем по двум тестируемым критериям высокие значения показали сорта Саратовская-17, Созвездие и Калач-60.

Результаты проведенных исследований по влиянию осмотического стресса на рост и развитие проростков пшеницы свидетельствуют, что по двум критериям сорта Саратовская-8, Калач-60 и Гостианум-237 в период формирования проростков менее подвержены осмотическому стрессу. Следовательно, данные сорта имеют самую высокую степень засухоустойчивости среди изученных сортов.

Литература

1. Прянишников А. И. Экологические основы адаптивной селекции озимой пшеницы на Юго-Востоке. – Саратов. – 2016. – 116 с.
2. Новые сорта ФГБНУ НИИСХ Юго-Востока [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://ariser.narod.ru/welcome.htm>
3. Родченко О. П., Акимова Г. П. и др. Методы оценки селекционного материала на устойчивость к низким температурам. – Иркутск. – СИФБР. – 1986. – 25 с.
4. Кожушко Н. Н., Царевская В. М. Определение засухоустойчивости зерновых культур по депрессии роста проростков в растворах осмотиков [Текст] / Ленинград. – Рио ВИР. – 1988. – 10 с.

УДК 633.111:321 631.524.7

Взаимосвязь между признаками масса 1000 зерен и число падения у озимой мягкой пшеницы

The relationship between thousand grain weight and falling number in winter wheat

О. В. КРУПНОВА, А. Н. МАРКЕЛОВ
ФГБНУ НИИСХ «Юго-Востока»,
г. Саратов
e-mail: raiser_saratov@mail.ru

O. V. KRUPNOVA, A. N. MARKELOV
Agricultural Research Institute for
South_East Regions, Saratov
e-mail: raiser_saratov@mail.ru

Масса 1000 зерен (крупность зерна) и число падения по Хагбергу (ЧП) – важные признаки в селекции пшеницы. Первый из них – компонент продуктивности, второй – международный стандарт качества зерна, отражающий степень активности в нем фермента альфа-амилазы. Исследование проведено на 15 сортах, наиболее распространенных в разные периоды в Поволжье, включая самый первый селекционный сорт Гостианум-237, родоначальное растение, которого было выделено из старого крестьянского сорта в 1912 году. По массе 1000 зерен все новые сорта значительно превышают

сорт Гостианум-237. Однако по числу падения Гостианум-237 находится в числе лучших. В годы, различающиеся по температурному режиму, количеству атмосферных осадков и времени их выпадения, взаимосвязь между массой 1000 зерен и числом падения была незначимой, но в трех из четырех лет тренд был отрицательный. Это свидетельствует о том, что в селекции на сочетание продуктивности с крупнозерностью значение отбора на число падения возрастает.

Ключевые слова: озимая пшеница, альфа-амилаза, число падения по Хагбергу, масса 1000 зерен.

The weight of 1000 grains (grain size) and falling number by Hagberg (FN) – important traits in wheat breeding. The first of these – productivity component, and the second – the international grain quality standard, reflecting the degree of activity of the enzyme in its alpha-amylase in years with unfavorable weather in the pre-harvest period. The study was conducted on 15 of the most common in the different periods of the Volga varieties, including the first selected varieties Gostianum 237 parent plants which have been allocated from the old peasant varieties in 1912. Thousand grain weight all the new varieties significantly exceed Gostianum 237. However, the falling number of Gostianum 237 is among the best. During the years, differing in temperature conditions, the amount of precipitation and the time of their loss of the relationship between the thousand grain weight and falling number was insignificant, but three of the four years, the trend was negative. This suggests that the breeding of a combination of productivity with the thousand grain weight coarse-selection by the falling number of increases.

Key words: winter wheat, α -amylase, Hagberg falling number, thousand grain weight.

Введение

Масса 1000 зерен (крупность зерна) и число падения по Хагбергу (ЧП) – важные признаки в селекции пшеницы. Первый из них наряду с количеством зерен является компонентом продуктивности, а второй – ключевым международным стандартом качества зерна [1]. Сущность метода ЧП заключается в определении скорости погружения плунжера в клейстеризованную при определенных условиях суспензию. В зависимости от активности α -амилазы она дает суспензию различной вязкости, плунжер погружается с разной скоростью. Чем активнее α -амилаза, тем меньше число падения [1]. Активность амилолитических ферментов провоцирует осадки и резкие колебания температуры воздуха в полевых условиях, а также повышение влажности при хранении зерна.

Характерной особенностью современной селекции является создание крупнозерных сортов. Между тем известны сообщения об отрицательном влиянии массы 1000 зерен на число падения [2, 3, 4, 5]. Возрастание экстремальности и непредсказуемости погоды в период уборки урожая свидетельствуют об актуальности работ по повышению и стабилизации числа падения у пшеницы.

Ранее нами сообщались результаты изучения устойчивости к предуборочному прорастанию физиологически зрелых семян и числа падения у 15 сортов озимой мягкой пшеницы [6]. В данной работе представлены результаты изучения у этих же сортов взаимосвязи между признаками масса 1000 зерен и число падения.

Материал и методы

Исследование проведено на сортах Гостианум-237, Лютеценс-230, Саратовская-8, Саратовская-90, Смуглянка, Губерния, Виктория-95, Жемчужина Поволжья, Саратовская-17, Созвездие, Эльвира, Калач-60 – все селекции ФГБНУ «НИИСХ Юго-Востока», сорт Левобережная-1 – Ершовской опытной станции орошаемого земледелия, сорт Донская безостая – ФГБНУ «ВНИИЗК им. И. Г. Кали-

ненко», сорт Мироновская-808 – Мироновского НИИ селекции и семеноводства им. В. Н. Ремесло (Украина) (табл. 1).

Посев производился ежегодно в оптимальный срок в селекционном севообороте по черному пару. Площадь делянок 10 м², повторность 4-кратная. Определение числа падения по методу Хагберга–Пертена проводили на приборе «Falling Number 1400» согласно инструкции к прибору. Массу 1000 зерен определяли на образцах, взятых с каждой повторности посева (по 500 зерен). По условиям погоды в весенне-летнем периоде годы исследований различались весьма сильно. В 2011-м – май, июнь и июль аномально теплые; в мае осадков выпало 29%, в июне – 139%, а в июле – только 10% от нормы. В 2012-м – май, июнь и июль экстремально теплые; в мае осадков выпало 14%, в июне – 104%, а в июле – 53%. В 2013-м – май экстремально теплый, июль – относительно теплый, в июле средняя температура воздуха была около нормы; в мае осадков выпало 102%, в июне – 313%, а в июле – 73% от нормы. В 2014-м – май экстремально теплый, июль – относительно холодный, июль – аномально теплый; осадков в мае – 40%, июне – 163%, июль 27% от нормы.

В таблице 1 приведены погодные условия за 10 и 20 дней до уборки в 2011, 2012, 2013-м и 2014 годах.

1. Сумма осадков (СО, мм), количество дней с осадками (КДО), количество дней с температурой ниже 13 °С (Д. $t < 13$ °С), температура воздуха средняя ($t_{в}$, °С), относительная влажность воздуха средняя (ОВВ, %) за 10 дней до уборки и за 20 дней до уборки; ЧП.

Таблица 1

Погодные условия за 10 и 20 дней до уборки в 2011, 2012, 2013 и 2014 гг.

Годы	За 10 дней до уборки					За 20 дней до уборки					ЧП(с)
	СО мм	ДО	Д. с $t < 13$ °С	$t_{в}$, °С	ОВВ %	СО, мм	КДО	Д. с $t < 13$ °С	$t_{в}$, °С	ОВВ %	
2011	8,7	5	1	22,5	56,8	11	6	1	24,3	52,4	284,4
2012	6,7	4	0	23,9	55,8	18,7	7	0	23,1	52,8	328,4
2013	1,3	3	0	23,2	50,0	96,2	9	0	22,6	57,9	304,6
2014	3,6	1	3	22,9	46,6	13,9	6	5	22,3	48,5	286,1

В 2011 году средняя температура воздуха была ниже, а сумма осадков, количество дней с осадками и средняя относительная влажность воздуха выше в период за 10 дней до уборки по сравнению с 2012-м и 2013 годами.

В 2012-м и 2013 годах сумма осадков, количество дней с осадками за 20 суток до уборки превышали аналогичные показатели по сравнению с 2011 годом.

В 2014 году сумма осадков была выше, чем в 2011 году, количество дней с температурой ниже 13 °С (Д. $t < 13$ °С) было выше, чем в предыдущие годы (2011, 2012, 2013 гг.), а температура воздуха средняя ($t_{в}$, °С) и относительная влажность воздуха средняя (ОВВ, %) – ниже, чем в предыдущие годы (2011, 2012, 2013 гг.) за 20 дней до уборки.

Полученные экспериментальные данные подвергли дисперсионному и корреляционному анализу по программам «AGROS-2.02».

Результаты и обсуждение

Результаты изучения массы 1000 зерен у 15 сортов озимой мягкой пшеницы представлены в таблице 2.

Таблица 2

Масса 1000 зерен у сортов озимой пшеницы КСИ за 2011-2014 гг.

Сорт	Год допуска	Годы				Среднее
		2011	2012	2013	2014	
Гостианум-237	1929	24,00a	24,15a	29,5a	32,20a	27,41 a
Лютесценс-230	1951	31,50gh	29,15bcd	31,0ab	37,10c	32,19 bc
Мионовская-808	1963	31,65gh	29,40bcd	37,80fgh	39,30d-g	34,54 cde
Саратовская-8	1976	28,15bcd	27,15b	34,2cde	34,40b	30,98b
Донская б/о	1983	29,40b-g	30,55cd	33,70bc	37,60cd	32,81bcd
Саратовская-90	1995	30,70d-h	36,10c	38,75h	39,10d-g	36,16e
Смуглянка	1998	31,35fgh	30,75cd	35,70 c-g	40,80gh	34,65cde
Губерния	2002	27,75bcd	31,00cd	36,75d-h	40,90gh	34,10 cde
Виктория-95	2003	27,05b	29,35bcd	35,5c-g	40,20fgh	33,03bcd
Левобережная-1	2003	32,60h	32,40d	36,00 c-h	39,80e-h	35,20de
Жемчужина Поволжья	2007	28,90b-g	29,20bcd	33,35bc	41,00gh	33,11bcd
Созвездие	2009	31,25e-h	31,80cd	37,00 efg	41,40h	35,36de
Эльвира	2009	27,00b	29,68bcd	36,05 c-h	39,00c-g	32,93bcd
Саратовская-17	2009	30,15c-h	31,85cd	37,90gh	38,00cde	34,47 cde
Калач-60	2012	29,60b-g	30,00bc	34,25cde	38,60c-f	33,11 bcd
Среднее		29,40	30,100	35,163	38,627	33,337
S _x		0,891	0,950	0,879	0,621	0,779
F _{фак.}		7,326*	7,669*	8,479*	16,836*	7,435*
НСР _{0,05}		2,703	2,883	2,666	1,763	2,213

Примечание: цифры в колонке, сопровождаемые одинаковыми буквами, значимо не различаются на 95% уровне множественных сравнений по тесту Дункана.

Как видно из таблицы 1, во все 4 года сорта значимо различались по изучаемому признаку. В среднем по всем сортам самая высокая масса 1000 зерен получена в 2014 г., а самая низкая – в 2011-м. В 2011 г. – значения признака колебались от 24,0 до 32,6 г., в 2012-м – от 24,15 до 36,10 г., в 2013-м – от 29,5 до 38,75 г., в 2014-м – от 32,2 до 41,4 г. В среднем за 4 года самая высокая масса 1000 зерен была у сортов Саратовская-90, Созвездие, Левобережная-1, Смуглянка, Мионовская-808, Саратовская-17, а самая низкая – у сорта Гостианум-237. Уместно отметить, что в середине прошлого века у сорта Гостианум-237 масса 1000 зерен колебалась от 25 до 30 г, а у сорта Лютесценс-230 – от 30 до 40 г [7]. – Между тем современные сорта (Саратовская-90, Созвездие, Левобережная-1) по величине этого признака превышают Гостианум-237 более чем на 20%.

Число падения в среднем по 15 сортам варьировало по годам от 284,4 (2011 г.) до 328,4 секунды (2012 г.). Значимые различия между сортами наблюдались в 2012, 2013, 2014 годы. В среднем за три года наиболее высокий уровень ЧП показали сорта Лютесценс-230, Саратовская-8, Гостианум-237, Саратовская-90 [6], в 2014 году Лютесценс-230, Созвездие и Гостианум-237.

Результаты изучения взаимосвязи между массой 1000 зерен и числом падения представлены в табл. 3 и на рис. 1.

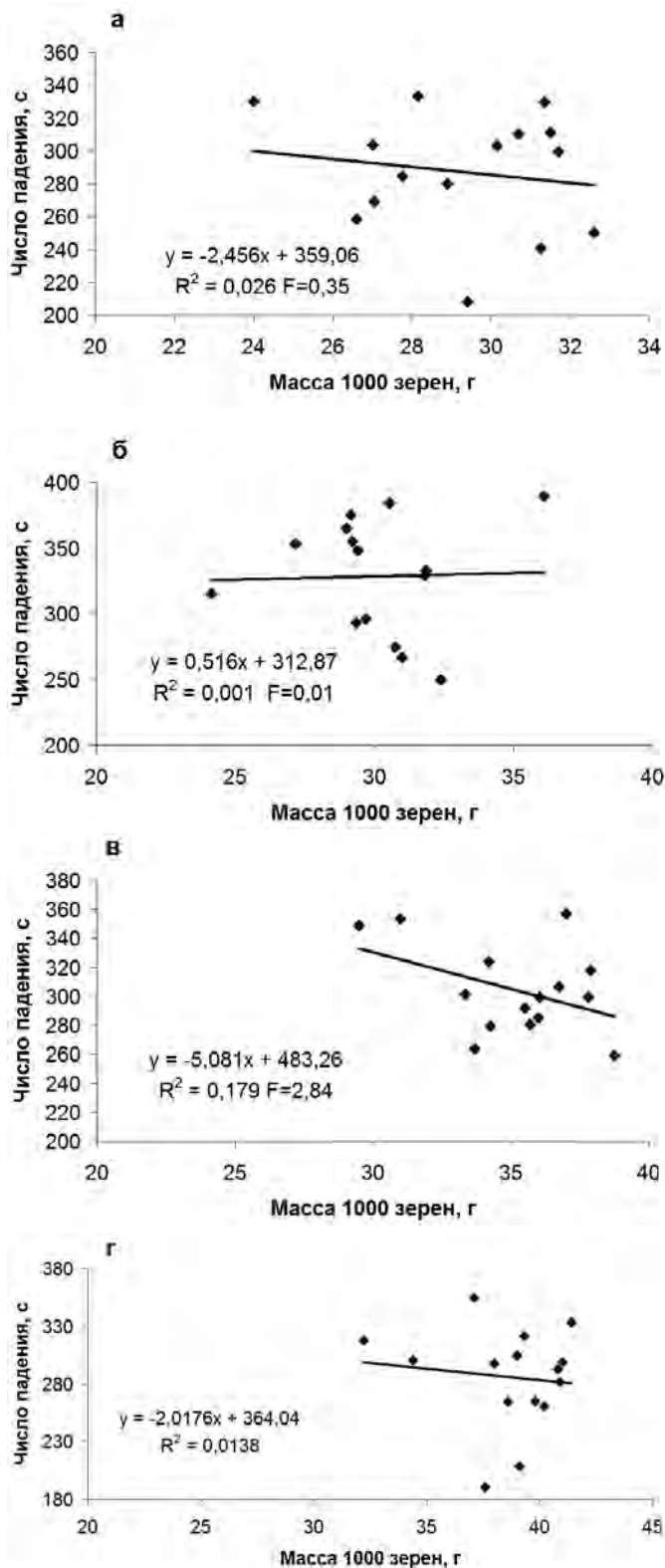


Рис. 1. Взаимосвязь признаков масса 1000 зерен и число падения: а - 2011 г.; б - 2012 г.; в - 2013 г., г - 2014 г.

Как видно из рисунка 1 и таблицы 3, взаимосвязь между массой 1000 зерен и числом падения во все годы была слабой, причем в 2011, 2013, 2014 гг. – отрицательной, статистически не достоверной. Эти результаты согласуются с выводами ряда ученых [2, 8, 9], хотя известны также сообщения о положительной корреляции между рассматриваемыми признаками.

Таблица 3

Регрессионный анализ взаимосвязи между признаками масса 1000 зерен и число падения для 15 генотипов в 2011, 2012, 2013 гг.

Год	Коэффициент регрессии (b)	Коэффициент множественной детерминации R ²	F фактическое
2011	-2,451	0,026	0,35
2012	0,516	0,031	0,01
2013	-5,081	0,179	2,84
2014	-2,0176	0,014	0,18

Разнонаправленные связи между массой 1000 зерен и числом падения могут быть обусловлены рядом факторов. Так, известны сообщения о значимом положительном влиянии на число падения нечувствительных к гиббереллину Rht-генов [10] и значимо отрицательном эффекте ржаной транслокации (1BL.1RS) [8, 5, 11, 12]. Среди использованных нами были такие низкорослые сорта, как Донская безостая, Калач-60 – однако, какие в них Rht-гены, неизвестно. На активность альфа-амилазы и, соответственно, на число падения могут влиять плотность прилегания чешуй к семени, остистость колоса, угол наклона колоса и другие признаки [13, 14]. Ярусность колосьев, неодновременное созревание колосьев и зерна в них также могут влиять на устойчивость к предуборочному прорастанию и число падения.

Ранее нами сообщалось о неоднозначной взаимосвязи признаков масса 1000 зерен и число падения у сортов и линий яровой мягкой пшеницы с транслокациями от различных сородичей пшеницы [15]. Все эти факты, а также обнаруженная нами в трех из четырех лет слабая отрицательная связь между массой 1000 зерен и числом падения свидетельствует о том, что в селекции на сочетание продуктивности с крупнозерностью значение отбора на число падения возрастает.

Выводы

Впервые в засушливом Поволжье изучена взаимосвязь между массой 1000 зерен и числом падения у 15 сортов озимой мягкой пшеницы, которые по массе 1000 зерен значительно превышают самый ранний сорт – Гостинум-237. Установлена незначимая взаимосвязь между массой 1000 зерен и числом падения, но в трех из четырех лет тренд был отрицательный.

Литература

1. Козьмина Н. П. Биохимия зерна и продуктов его переработки / Н. П. Козьмина. – М.: «Колос», 1976. – 375 с.
2. Clarke M. P. The effects of irrigation, nitrogen fertilizer and grain size on Hagberg falling number, specific weight and blackpoint of winter wheat / M. P. Clarke, M. J. Gooding, S. A. Jones // J. Sci. Food Agric. – 2004. – V. 84. – P. 227–236.
3. Kindred D. R. Nitrogen fertilizer and seed rate

effects on Hagberg falling number of hybrid wheat and their parents are associated with α -amylase activity, grain cavity size and dormancy / D. R. Kindred, M. J. Gooding, R. H. Ellis // J. Sci. Food Agric. – 2005. – V. 85. – P. 727–742.

4. Wang J. Factors influencing falling number in winter wheat / J. Wang, E. Pawelzik, J. Weinert, Q. Zhao, G. A. Wolf // Eur. Food Res. Technol. – 2008. – V. 226. – P. 1365–1371.

5. Gooding M. J. Reduced height alleles (Rht) and Hagberg falling number of wheat / M. J. Gooding, R. K. Uppal, M. Addisu // J. Cereal Sci. – 2012. – V. 55. – P. 305–311.

6. Крупнова О. В., Свистунов Ю. С. Устойчивость к предуборочному прорастанию и число падения у озимой мягкой пшеницы в Поволжье / О. В. Крупнова, Ю. С. Свистунов // Доклады РАСХН. – 2014. – № 5. – С. 3–6.

7. Руководство по апробации полевых культур на Юго-Востоке-Саратов: Саратовское книжное издательство. – 1958. – 212 с.

8. Farrell A. D. The relationship between grain weight and alpha-amylase in winter wheat: varietal comparison from UK field experiments / A. D. Farrell, P. S. Kettlewell // Euphytica. – 2009. – V. 168. – P. 395–402.

9. Szekely E. Research regarding to some morphophysiological and quality traits in winter wheat collection from agricultural research and development station TURDA / E. Szekely, V. Moldovan, R. Kadar, I. Has // Research Journal of Agricultural Science. – 2010. – V. 42. – № 2. – P. 25–39.

10. Mares D. Late-maturity α -amylase: Low falling number in wheat in the absence of preharvest sprouting / D. Mares, K. Mrva // J. Cereal Sci. – 2008. – V. 4. – P. 6–17.

11. Mrva K. Control of late maturity α -amylase synthesis compared to enzyme synthesis during germination / K. Mrva, D. J. Mares // Proceedings of the seventh international symposium on preharvest sprouting in cereals. Osaka, Japan: Center for Academic Societies. – 1996. – P. 419–426.

12. Gobaa S. Effect of the 1BL.1RS translocation and of the Glu-B3 variation on fifteen quality tests in a doubled haploid population of wheat (*Triticum aestivum* L.) / S. Gobaa, C. Brabant, G. Kleijer, P. Stamp // J. Cereal Sci. 2008. – V. 48. – P. 598–603.

13. King R. Water uptake in relation to pre-harvest sprouting damage in wheat: Ear characteristics / R. King, R. Richards // Aust. J. Agric. Res. 1984. – V. 35. – P. 327–336.

14. Gatford K. T. Germination inhibitors in bracts surrounding the grain of *Triticum tauschii* / K. T. Gatford, R. F. Eastwood, G. M. Halloran // Funct. Plant Biol. 2002. – V. 29. – P. 881–890.

15. Крупнова О. В. Взаимосвязь между массой зерна и числом падения у яровой мягкой пшеницы / О. В. Крупнова // Доклады Россельхозакадемии. – 2010. – № 5. – С. 3–5.

УДК 633.11.004.12:574

Экологические аспекты формирования качества урожая и его оценки в селекции озимой и яровой пшеницы

Ecological aspects of crop quality development and its evaluation in breeding of spring and winter wheat

**А. И. ПРЯНИШНИКОВ,
С. В. ЛЯЩЕВА, Т. Б. КУЛЕВАТОВА,
Л. В. АНДРЕЕВА, Г. З. БЕКЕТОВА**
ФГБНУ «НИИСХ Юго-Востока»,
Саратов
e-mail: raiser_saratov@mail.ru

**A. I. PRYANISHNIKOV,
S. V. LYASHEVA, T. B. KULEVATOVA,
L. V. ANDREEVA, G. Z. BEKETOVA**
Federal State Government-Funded
Scientific Institution «Agricultural
Research Institute of South-East
Region», Saratov
e-mail: raiser_saratov@mail.ru

Многолетний анализ качественных критериев у сортов озимой и яровой пшеницы позволил выделить основные типы зерна, формирующегося в условиях Саратова. Для каждого из них определены сценарии развития погодных условий, а также особенности селекционной оценки и предложены алгоритмы выявления сортовых особенностей и отбора перспективного материала при селекции на высокие показатели зерна.

Ключевые слова: адаптивная селекция, качество зерна, озимая пшеница, яровая пшеница.

Multi-year analysis of qualitative criteria of winter and spring wheat made it possible to identify main types of grain, which are formed under conditions of Saratov. For each of them were determined scenarios of weather conditions development, as well as features of breeding evaluation and the algorithms to determine varietal features and selection of promising material in breeding for high indexes of grain were proposed.

Key words: adaptive breeding, grain quality, winter wheat, spring wheat.

Создание сортов с высоким качеством зерна – один из ведущих факторов повышения эффективности сельскохозяйственного производства. Хотя данный признак относится к наследственно закрепленным у пшеницы, тем не менее он подвержен сильным изменениям в зависимости от условий выращивания. Показано, что в условиях Поволжья влияние фактора «годы» на формирование качества зерна озимой пшеницы, оцениваемое по его вкладу в общую сумму всех других факторов, определяющих величину и разнообразие признака, является преобладающим (табл. 1) [3]. Поэтому прогресс селекционных программ, ориентированных на создание адаптивных по качеству зерна сортов, невозможен без глубоких исследований взаимодействия «генотип-среда», имеющих особую значимость для понимания онтогенетической изменчивости показателей зерна [4]. Актуальность исследований усиливается сужающим спектром генетического разнообразия на завершающих этапах селекции, когда решается задача выделения лучших геноти-

пов из почти однотипных (сходных) по качеству зерна генотипов [8].

Таблица 1

Вклад фиксированных и случайных факторов в формирование качества зерна, %

Показатели качества зерна	Факторы		
	Сорта (6)	Годы (10)	Случайные
Содержание клейковины в муке	8,6	80,1*	11,3
Показатель ИДК-1	18,2	49,5*	32,3
Упругость теста (P)	19,5	54,8*	25,7
P/L	7,5	67,1*	25,4
Удельная работа деформации теста (W)	16,5	59,3*	24,2
Объемный выход хлеба	5,5	51,2*	43,3
Пористость хлеба	7,3	37,8*	54,9

* – Влияние фактора значительно на 5%-ном уровне.

Примечание. В скобках количество лет и сортов.

Исследования критериев качества зерна проводили на селекционном материале конкурсного сортоиспытания озимой и яровой мягкой пшеницы с 1991-го по 2015 гг. Анализу подвергали результаты как каждого года в отдельности, так и в динамике за весь исследуемый период лет. Изучение особенностей динамики качественных показателей у культур проводили с помощью модельных сортов яровой мягкой пшеницы – Лютесценс-62, Саратовская-29 и Саратовская-42, а у озимой пшеницы – Лютесценс-230, Саратовская-8 и Мироновская-808. В исследованиях использовали кластерный, корреляционный и факторный анализы, в частности одну из его модификаций – метод главных компонент [13]. Вся статистическая обработка велась по компьютерным программам пакета Агророс.

Анализ сопряженности показателей качества зерна с метеорологическими факторами в межфазные периоды вегетации у модельных сортов озимой пшеницы Мироновской-808 и яровой пшеницы Лютесценс-62 подтверждает, что уровень гидротермических условий играет важную роль при формировании качественных характеристик зерна. Достоверные корреляции подчеркивают, что высокий температурный фон в период налива и созревания зерна, а также низкий уровень выпадения осадков в период форми-

рования зерновки благоприятствуют высокой выраженности показателей (табл. 2–5).

Таблица 2

Корреляция показателей качества зерна со среднесуточной температурой в межфазные периоды вегетации у сорта Мироновская-808 (КСИ, 1990-2015 гг.)

	Фазы развития озимой пшеницы			
	Колошение	Формирование зерновки	Налив зерна	Созревание зерновки
Содержание клейковины, в %	0,18	0,14	-0,16	0,62*
Показатель ИДК-1, е. п.	-0,08	-0,15	-0,50*	0,26
Упругость теста (P)	-0,41*	-0,02	0,01	-0,21
Отношение P/L	-0,39*	-0,10	0,15	-0,31
Удельная работа деформации теста (W), е. а.	-0,20	0,29	-0,09	0,21
Объемный выход хлеба, мм ³	0,22	-0,06	-0,27	0,30
Пористость хлеба, балл	0,24	-0,52*	-0,38*	0,08

*) – достоверно на 5% уровне значимости

К особенностям степени сопряженности метеорологических факторов с отдельными признаками качества следует выделить критерии, отвечающие за качественное наполнение зерна (показатель ИДК, реологические свойства теста), и уже затем их количественную выраженность. Это подтверждает выводы ведущих селекционеров, что генетически детерминированные показатели качества белка, реологических свойств теста имеют более узкие границы реакции на изменения климатических факторов, чем содержание белка и клейковины, которые более пластичны в своем ответе на почвенно-климатические условия и технологию возделывания [6]. В связи с этим достоверные корреляции косвенно свидетельствуют в большей степени о пластичности сортов по изучаемым признакам на фенотипическом уровне [3].

Таблица 3

Корреляция показателей качества зерна со среднесуточной температурой в межфазные периоды вегетации у сорта Лютесценс-62 (КСИ, 1991-2015 гг.)

	Фазы развития яровой пшеницы			
	Колошение	Формирование зерновки	Налив зерна	Созревание
Содержание клейковины, в %	0,31	-0,13	0,06	-0,44*
Показатель ИДК-1, е. п.	0,11	-0,09	0,04	-0,21
Упругость теста (P)	0,07	0,07	0,33	0,49*
Отношение P/L	-0,31	-0,01	0,05	0,26
Удельная работа деформации теста (W), е. а.	0,40*	0,18	0,47*	0,30
Объемный выход хлеба, мм ³	-0,15	0,06	-0,05	-0,20
Пористость хлеба, балл	-0,33	0,13	0,07	0,34

*) – достоверно на 5% уровне значимости

Таблица 4

Корреляция показателей качества зерна и суммы осадков в межфазные периоды вегетации у сорта Мироновская-808 (КСИ, 1990-2015 гг.)

	Фазы развития озимой пшеницы			
	Колошение	Формирование зерновки	Налив зерна	Созревание зерновки
Содержание клейковины	-0,32	-0,02	0,18	-0,06
Показатель ИДК-1	0,00	-0,04	0,18	0,17
Упругость теста (P)	0,40*	-0,21	-0,21	0,14
Отношение P/L	0,66*	-0,07	-0,23	0,22
Удельная работа деформации теста (W)	-0,09	-0,35	-0,15	0,00
Объемный выход хлеба	-0,08	0,14	0,38*	0,05
Пористость хлеба	0,21	0,13	0,28	0,23

*) – достоверно на 5% уровне значимости

Таблица 5

Корреляция показателей качества зерна и суммы осадков в межфазные периоды вегетации у сорта Лютесценс-62 (КСИ, 1991-2015 гг.)

	Фазы развития яровой пшеницы			
	Колошение	Формирование зерновки	Налив зерна	Созревание зерновки
Содержание клейковины, в %	-0,32	0,10	0,13	0,24
Показатель ИДК-1, е. п.	-0,35	0,53*	-0,07	-0,04
Упругость теста (P)	0,08	-0,39*	-0,06	-0,18
Отношение P/L	0,22	-0,14	-0,14	-0,06
Удельная работа деформации теста (W), е. а.	-0,07	-0,45*	-0,05	-0,18
Объемный выход хлеба, мм ³	-0,15	-0,05	0,05	0,21
Пористость хлеба, балл	0,12	-0,27	0,16	0,04

*) – достоверно на 5% уровне значимости

Среди различий культур по типам развития выделяется более четкая зависимость реологических свойств зерна от режима выпадения осадков в период формирования зерновки у яровой пшеницы, в то время как у озимой пшеницы выделяются достоверные корреляции с температурным режимом во время колошения, налива и созревания зерна. Полученные результаты свидетельствуют не только о различиях, сопряженных с типом развития, но и сложном механизме влияния постоянно изменяющихся внешних условий на реализацию растениями генетической информации в онтогенезе.

Успех решения селекционных задач, связанных с адаптированностью сортов по качеству зерна, во многом определяется системностью подходов с привлечением комплексных генетико-цитологических, биохимических и ДНК-маркированных исследований растений. Приоритетом фундаментальных исследований в данном направлении становится глубокое изучение генетической природы адаптации, усиление исследований по физиологии ответа растительной системы на постоянно меняющуюся климатическую обстановку с возможностью построения модели поведения растительного организма на всех этапах формирования признака [10]. В связи с этим основными задачами, решаемыми на первом этапе исследований, стали:

1. Типизация качественных показателей зерна, формируемого яровой и озимой пшеницей, и систематизация погодных условий, способствующих их проявлению.

2. Оценка информативности критериев качества и их селекционной значимости применительно к постоянно изменяющейся погодной обстановке во время формирования зерновой продукции.

3. Выработка алгоритмов отборов высококачественных генотипов в связи с селекционными задачами в конкретно сложившихся условиях среды.

Для изучения взаимодействия «генотип–среда» систематизировали годы по их влиянию на формирование качественных критериев зерна. Типизацию лет проводили на основе кластерного анализа показателей зерна модельных сортов озимой и яровой пшеницы, репродуцированных в разные по погодным условиям с 1991-го по 2015 годы. Кластеры выделяли графическим способом с последующим анализом матрицы меж- и внутрикластерных евклидовых расстояний [10]. По вертикальной линии дендрограммы откладывали евклидовы расстояния, по горизонтальной – исследуемые годы. Для примера на рисунках 1 и 2 представлены дендрограммы кластерного анализа лет сортов Мироновская-808 (озимая пшеница) и Лютеценс-62 (яровая пшеница) (рис. 1, 2).

Кластерный анализ эффектов года на качественные характеристики зерна позволил выявить четыре группы лет, которые способствовали формированию определенному их уровня и соотношения между собой (табл. 6, 7; рис. 3, 4). На долю основного (или стандартного) типа зерна, формируемого как озимой, так и яровой пшеницей, приходилось более половины случаев лет (соответственно 54,8% и 58,3%). Степень выраженности большей части критериев качества зерна, формирующих данный тип зерна, характеризовалась среднедолголетними или же близкими к ним значениями, за исключением показателей рео-

логических свойств теста. Так, показатели упругости теста (P) и отношения упругости теста к его растяжимости (P/L) у сравниваемых культур оказались достоверно ниже нормализованных показателей. Отличием же культур при данном типе зерна стал критерий удельной работы деформации теста (или сила муки, W), который у озимой пшеницы характеризовался на уровне среднедолголетних величин, а у яровой пшеницы отличался в худшую сторону (менее 90%).

Таблица 6

Количественная выраженность критериев качества зерна у сорта озимой пшеницы Мироновская-808 по типам лет (кластерным группам)

Показатели качества	Типы качества			
	1	2	3	4
Содержание клейковины, в %	34,9	23,8	35,4	19,4
Показатель ИДК-1, е. п.	83,6	66,3	79,0	76,0
Упругость теста (P)	75,4	75,5	149,5	150,5
Отношение P/L	1,3	2,0	2,6	5,8
Удельная работа деформации теста (W), е. а.	191,8	113,2	389,5	108,0
Объемный выход хлеба, мм ³	850,0	680	885,0	745,0
Пористость хлеба, балл	4,9	4,5	5,0	4,8
Частота лет, %	54,8	27,3	9,1	9,1

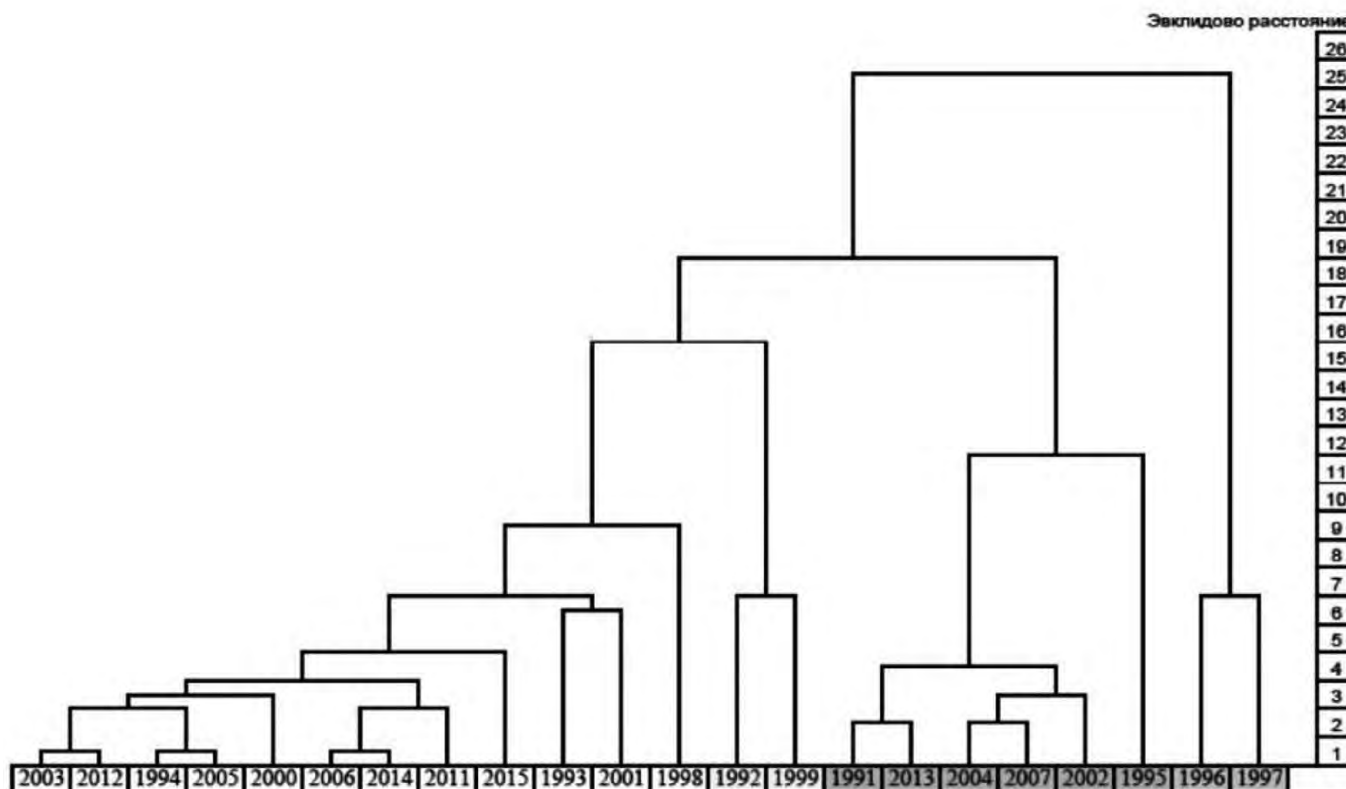


Рис. 1. Дендрограмма кластерного анализа лет по критериям качества зерна сорта озимой пшеницы Мироновская-808.

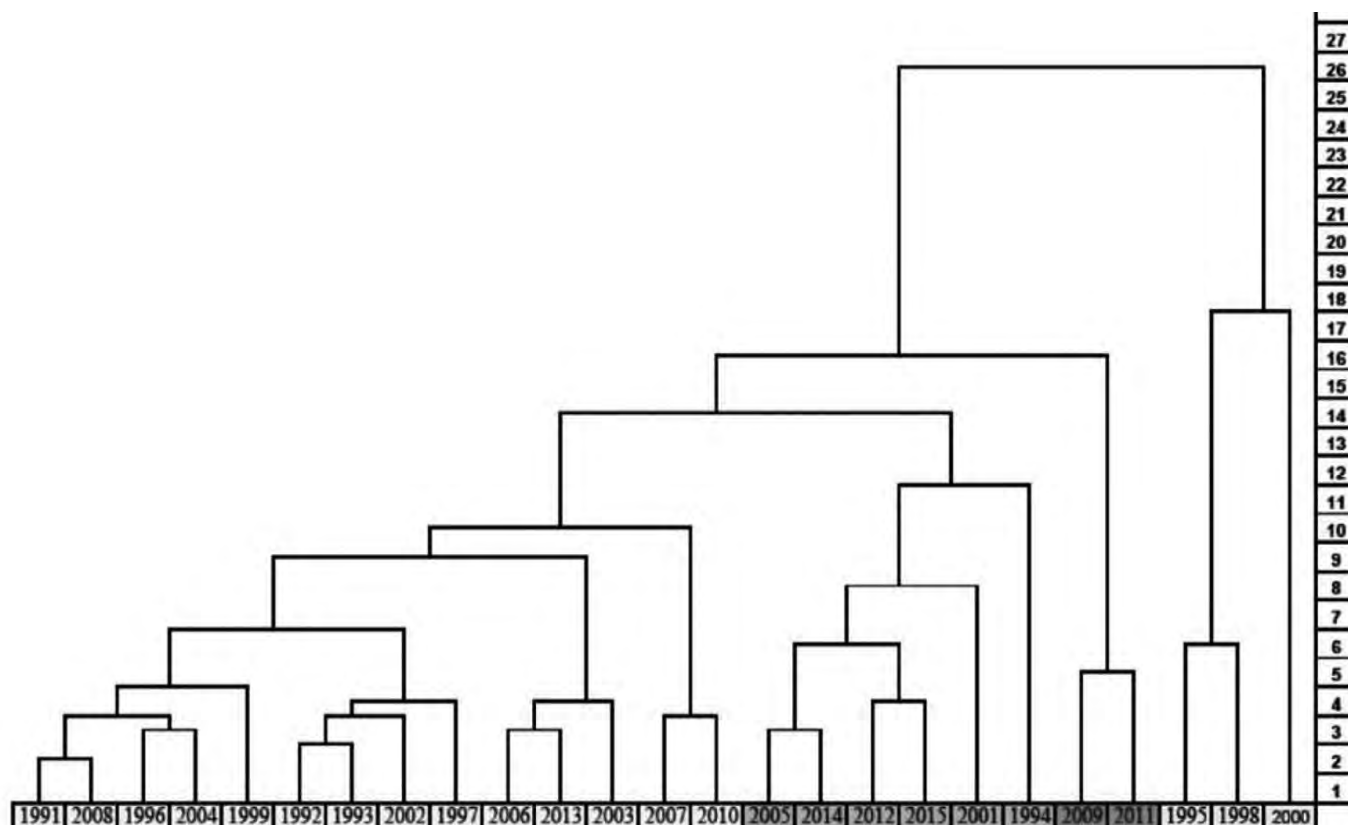


Рис. 2. Дендрограмма кластерного анализа лет по критериям качества зерна сорта яровой пшеницы Лютеценс-62.

Таблица 7

Количественная выраженность критериев качества зерна у сорта яровой пшеницы Лютеценс-62 по типам лет (кластерным группам)

Показатели качества	Типы качества			
	1	2	3	4
Содержание клейковины, в %	32,8	26,3	27,2	41,8
Показатель ИДК-1, е. п.	79,4	70,0	79,0	88,0
Упругость теста (P)	71,4	93,0	107,5	48,0
Отношение P/L	1,0	2,1	1,2	0,6
Удельная работа деформации теста (W), е. а.	169,6	162,3	297,5	125,7
Объемный выход хлеба, мм ³	752,4	707,5	600,0	633,3
Пористость хлеба, балл	4,6	4,7	4,4	3,5
Частота лет, %	58,3	25,0	8,3	12,4

В менее половины случаев лет отмечаются различные вариации сочетания качественных характеристик в зерне. Среди их многообразия у культур выделяются группы, идентичные по степени выраженности качественных критериев. Так, у тождественных типов зерна – второго у яровой пшеницы и четвертого у озимой – в противоположность основному типу, отмечались абсолютные показатели значительной упругости теста (P) и отношения упругости теста к его растяжимости (P/L). Частота проявления данного типа у яровой составила 25% случаев лет, а у озимой пшеницы – немного более 9%.

Сходными по направленности сочетания критериев зерна

оказались третьи типы яровой (8,3% случаев) и озимой пшеницы (9,1%), которые выделялись сбалансированностью характеристик изучаемого комплекса качественных показателей, выгодно отличаясь от основного типа по реологическим свойствам теста, достоверно превосходя по упругости (P) и удельной работе деформации теста (W).

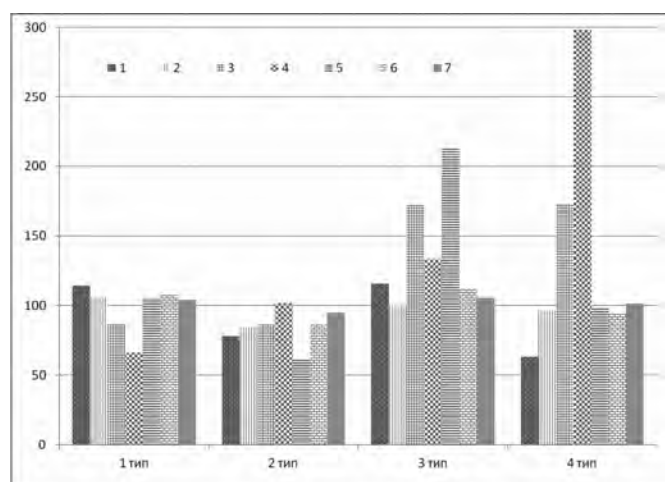


Рис. 3. Типы зерна по признакам качества у озимой пшеницы.

1 – содержание клейковины, 2 – показатель ИДК-1, 3 – упругость теста (P), 4 – отношение P/L, 5 – удельная работа деформации теста (W), 6 – объем хлеба, 7 – пористость хлеба.

Кластерным анализом также были выделены типы зерна, которые на текущий момент свойственны только для озимой и яровой пшеницы. Так, второй тип зерна у озимой пшеницы (27,3% лет) характеризовался пониженным уровнем проявления всех критериев качества (рис. 3, табл. 6). А четвертый тип у яровой пшеницы отличался высоким содержанием клейковины в зерне и слабым ее качеством, низкими

реологическими свойствами теста и хлебопекарной оценки за все годы исследований (рис. 4, табл. 7).

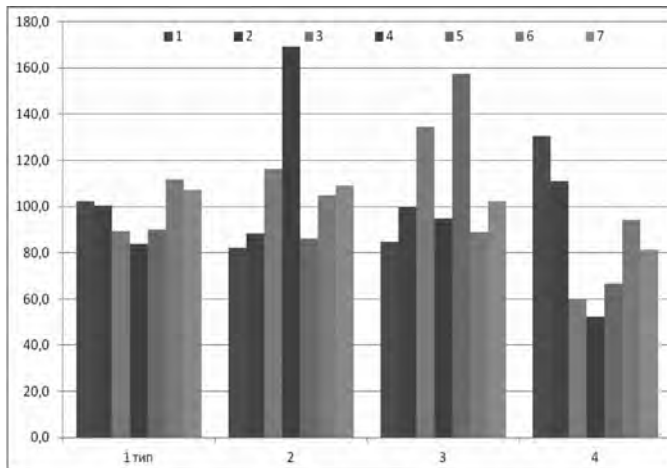


Рис. 4. Типы зерна по признакам качества у яровой пшеницы. 1 – содержание клейковины, 2 – показатель ИДК-1, 3 – упругость теста (P), 4 – отношение P/L, 5 – удельная работа деформации теста (W), 6 – объем хлеба, 7 – пористость хлеба.

Типизация погодных условий подчеркнула их значимость в процессах, протекающих внутри растений в различные межфазные периоды формирования качественных свойств зерна и оказывающих непосредственное влияние на онтогенетическую изменчивость изучаемых признаков. Сокращение продолжительности периода «цветение–молочная спелость» сказывается прежде всего на донорно-акцепторных отношениях различных органов растений и побегов кущения [4]. Засушливость в этот период приводит к снижению интенсивности фотосинтеза, создает напряженность в работе ассимиляционного аппарата. В годы с высокой экстремальностью для сортов экстенсивного типа большое значение в накоплении пластических веществ в зерновке колоса имеет процесс реутилизации сухого вещества из вегетативных органов растений. В благоприятные годы поступление пластических веществ осуществляется за счет непосредственного поступления продуктов фотосинтеза из ассимилирующих органов. В период «молочная–восковая спелость» в засушливых условиях произрастания ведущую роль в накоплении веществ выполняет процесс реутилизации. В межфазный период «восковая–полная зрелость» в активную деятельность вступают процессы превращения накопленных веществ в запасные [5].

Основным отличием температурного режима, сопутствующего формированию качественных критериев зерна яровой пшеницы, следует подчеркнуть его повышенный уровень (свыше 20 °С), объясняемый поздними сроками фаз развития растений, чем у озимой пшеницы (рис. 5, 6). При этом при яровом типе развития более четко просматривается момент относительного снижения среднесуточных температур в период «колошение–формирование зерна», что смягчает условия для формирования зерновки растениями. У озимой же пшеницы период колошения и формирования зерновки проходит на фоне относительных умеренных температур (от 17 до 20 °С) с последующим нарастанием температур в период созревания до 22–23 °С. Помимо этого, для яровой пшеницы в период «налив–созревание» динамика температур в отличие озимой пшеницы характеризуется нестабильностью и большей амплитудой, а также ярко выраженным разнообразием сценариев (рис. 7, 8).

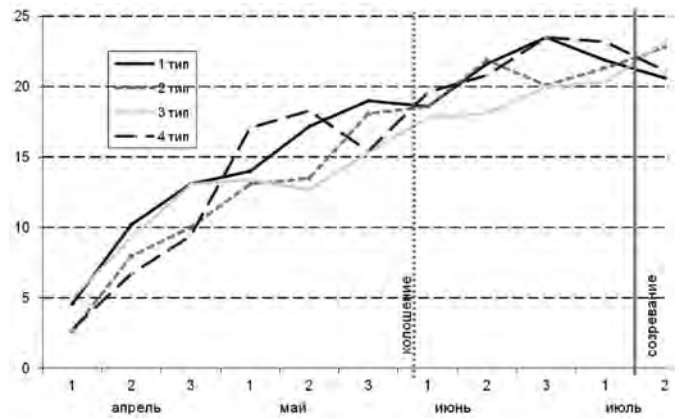


Рис. 5. Динамика среднесуточных температур при формировании озимой пшеницей разных типов качества зерна.

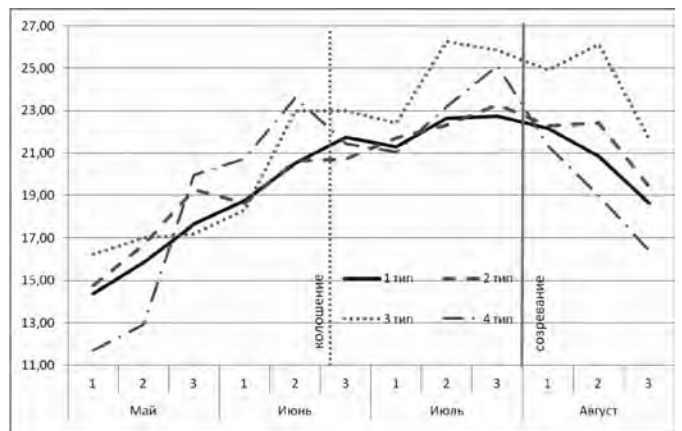


Рис. 6. Динамика среднесуточных температур при формировании яровой пшеницей разных типов качества зерна.

Годы, когда формировался основной (стандартный) тип качества зерна и у озимой, и у яровой пшеницы, характеризовались и схожими тенденциями динамики среднесуточных температур в период от колошения до созревания (рис. 8, 9). Вместе с тем для озимой пшеницы температурный режим, сопутствующий формированию данного типа зерна, выделялся максимальным уровнем хода, в то же время для яровой это оказался умеренный режим – со среднесуточными температурами не выше 23 °С. К общим тенденциям изменения температур для этого типа качества относятся ее задержка в повышении, и даже некоторое снижение в период «колошение–формирование зерновки» (рис. 5, 6).

Схожими тенденциями в динамике температур характеризовались и годы с четвертым типом качества у озимой и второго у яровой пшеницы, где до созревания общий уровень среднесуточных температур не превышал 23 °С. Отличием лет с формированием данных типов качества от предшествующего является поступательное повышение температур на всем протяжении от колошения до созревания зерна.

Абсолютно высоким уровнем хода среднесуточных температур отличалась динамика в годы, когда формировался третий тип качества зерна у яровой пшеницы. Колошение яровой пшеницы проходило при температурах на уровне 23 °С, а период созревания – при температурах, близких к 27 °С. Но даже на таком повышенном режиме температур отмечается период с их понижением во время формирования зерновки. У озимой же пшеницы в годы, когда формировался схожий с яровой тип качества, наоборот, отмечался пониженный температурный режим с устойчивым его повышением к моменту созревания зерновки (рис. 5, 6).

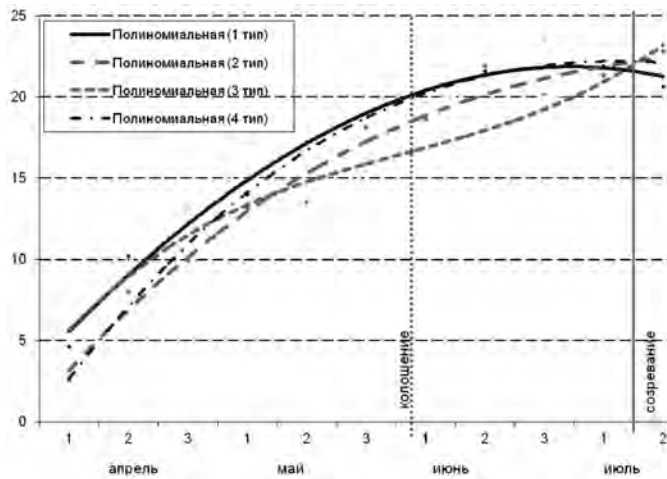


Рис. 7. Тренды динамики среднесуточных температур при формировании разных типов качества зерна у озимой пшеницы.

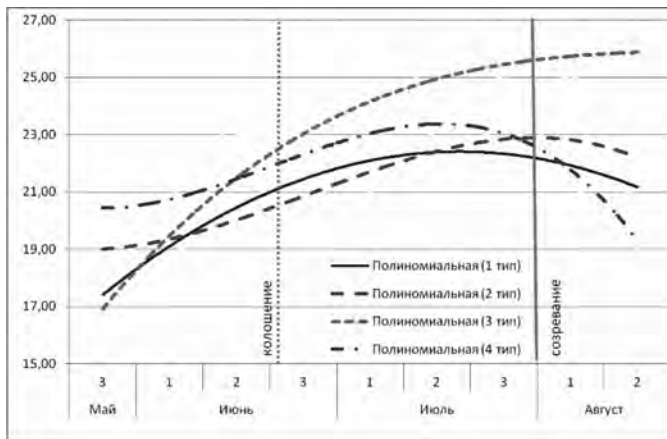


Рис. 8. Тренды динамики среднесуточных температур при формировании разных типов качества зерна у яровой пшеницы.

Главными особенностями выпадения осадков для яровой пшеницы выделяются максимальные их количества в момент колошения с последующим снижением на других этапах формирования качественных критериев зерна. Разница лет, формирующих различные типы качества зерна, – в уровне данного снижения к моменту созревания. Так, для лет, когда формируются качественные показатели зерна основного типа, отмечается выпадение осадков на уровне 15–20 мм, в то время как в другие годы для оставшихся типов качества уровень выпадения осадков отмечался на уровне 5–10 мм (рис. 9–12). Наиболее жестким в этом отношении оказались годы с третьим типом качества, когда период с момента налива зерновки практически проходил при отсутствии эффективных осадков (менее 5 мм).

У озимой же пшеницы разница типов определялась моментом выпадения максимальных величин осадков в период от колошения до созревания зерна. Так, в годы с третьим типом качества в период налива и достижения молочно-восковой спелости уровень осадков достигал 25–30 мм, а максимальные значения осадков лет с первым и вторым типом качества к моменту восковой спелости и созревания зерна. Особое положение занимают годы, когда формировалось зерно с четвертым типом качества, которое отличалось средним уровнем увлажнения (более 15 мм) практически на всем отрезке вегетации озимой пшеницы от колошения до созревания, а обильные осадки (до 44 мм) до колошения способствовали общему повышенному фону увлажнения в такие годы.

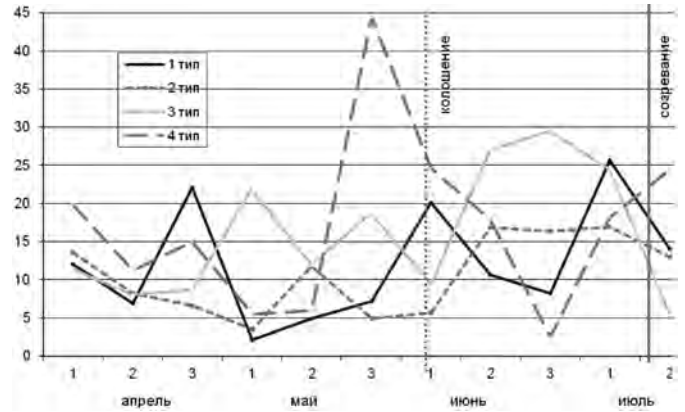


Рис. 9. Динамика выпадения осадков (мм) при формировании озимой пшеницей разных типов качества зерна.

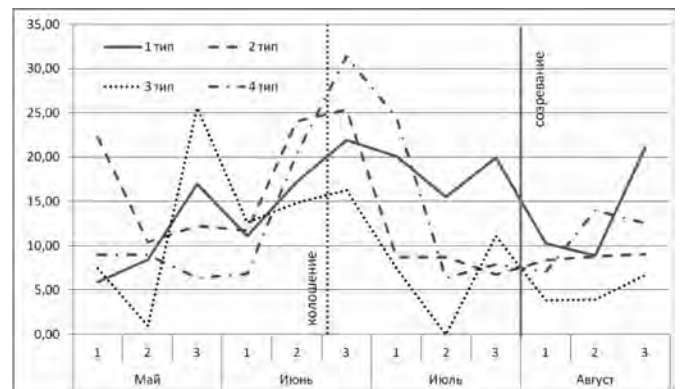


Рис. 10. Динамика выпадения осадков (мм) при формировании яровой пшеницей разных типов качества зерна.

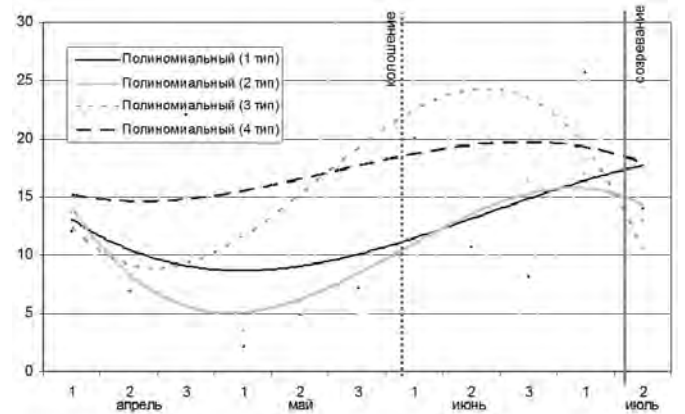


Рис. 11. Тренды выпадения осадков (мм) при формировании озимой пшеницей разных типов качества зерна.

На природу отличий сопряженности метеорологических факторов с качеством зерна различных по типу развития растений указывают результаты факторного анализа модельных сортов озимой и яровой пшеницы, который проводили за период с 1991-го по 2015 гг. (табл. 8). Прежде всего результаты свидетельствуют о степени участия сопряженных критериев в динамике их изменений, сопровождаемой той или иной погодной обстановкой. Так, исследование, проведенное с помощью метода главных компонент, позволило выделить две компоненты, определяющие динамику качественных критериев (от 66,4% их дисперсии по яровой до 69,5% по озимой пшенице) за указанный период, и вычленили характеристики, имеющие наибольший вес в данных компонентах. При озимом типе развития в первой ком-

поненте высокими факторными нагрузками выделялись критерии, характеризующие содержание клейковины в зерне и ее качество, а также хлебопекарную оценку, в то время как у яровой пшеницы объем выпекаемого хлеба был сопряжен с удельной работой деформации теста (сила муки), интегрированной отдельно во второй компоненте. У озимой же пшеницы реологические свойства зерна интегрировались в отдельную вторую компоненту качественного комплекса зерна.

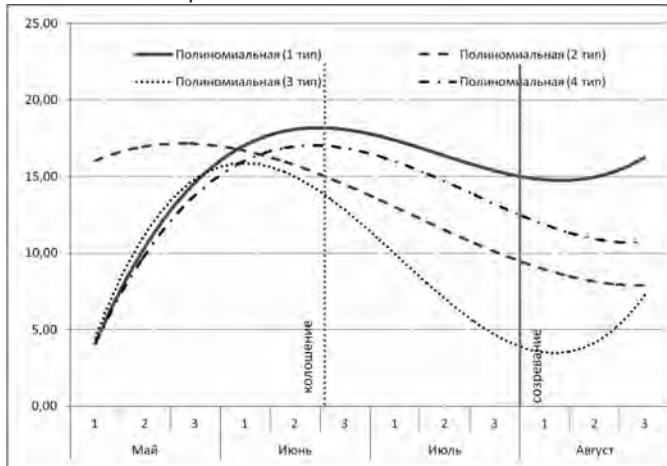


Рис. 12. Тренды выпадения осадков (мм) при формировании яровой пшеницы разных типов качества зерна.

Таблица 8

Факторные нагрузки анализа показателей качества озимой и яровой пшеницы* в период с 1991-го по 2015 гг.

	Компонента (С-1)		Компонента (С-2)	
	Озимые	Яровые	Озимые	Яровые
Содержание клейковины, в %	0,77**	0,75**	0,37	0,20
Показатель ИДК-1, е. п.	0,68**	0,78**	0,12	0,04
Упругость теста, (P)	0,25	0,79**	0,90**	0,42**
Отношение P/L	0,62**	0,70**	0,50**	0,32
Удельная работа деформации теста, е. а.	0,36	0,34	0,71**	0,75**
Объемный выход хлеба, мм ³	0,78**	0,27	0,26	0,75**
Пористость хлеба, балл	0,61**	0,68**	0,14	0,43**

* – факторный вес приводятся в средних величинах по трем модельным сортам каждого типа развития пшеницы;
 ** – значимо на 5%-ном уровне;
 *** – здесь и далее жирным шрифтом выделены сильные по степени наиболее весомые факторные нагрузки для данной компоненты.

Четкость распределения признаков по компонентам позволяет судить об уровне информативности выбранных критериев и их независимости для селекционной оценки. Вполне вероятно, что различия факторной структуры анализируемых критериев зерна могут быть связаны не только с особенностями условий среды, сопряженных с типом развития растений, но и их различиями на генетическом уровне, что потребовало отдельных исследований. Для этого по годам провели факторный анализ качественных характеристик и их систематизацию по выделенным типам формируемого зерна у образцов конкурсного сортоиспытания озимой и яровой пшеницы.

В отличие от результатов, полученных при анализе динамики критериев зерна модельных сортов в период с 1991-го по 2015 гг., факторная структура зерна у пшеницы каждого года испытаний имела свои особенности (табл. 9, 10, 11). Так, яровая пшеница характеризуется существенными кор-

реляциями всех критериев качества зерна (или их присутствием) в первой компоненте по всем выделенным ранее типам, в то время как у озимой такими весами выделяются только 2-й и 3-й типы. Помимо этого, у яровой пшеницы отмечается размытость в факторной структуре отдельных критериев зерна по компонентам, что определенно указывает на то, что размах варьирования погодной обстановки при формировании качественных критериев зерна по годам в период с 1991-го по 2015 гг. оказался шире внутригодовых границ дифференциации селекционного материала по изучаемым показателям.

Таблица 9

Факторные нагрузки анализа показателей качества озимой и яровой пшеницы в годы формирования 1-го типа качественного комплекса

	Озимые			Яровые		
	С-1	С-2	С-3	С-1	С-2	С-3
Содержание клейковины, в %	0,38	0,22	0,79*	0,60*	0,36	0,41*
Показатель ИДК-1, е. п.	0,68*	0,28	0,25	0,64*	0,28	0,40*
Упругость теста, (P)	0,91*	0,26	0,17	0,90*	0,24	0,17
Отношение P/L	0,78*	0,28	0,20	0,81*	0,21	0,25
Удельная работа деформации теста, е. а.	0,77*	0,16	0,40*	0,67*	0,42*	0,30
Объемный выход хлеба, мм ³	0,34	0,76*	0,28	0,54*	0,53*	0,24
Пористость хлеба, балл	0,37	0,82*	0,12	0,42*	0,66*	0,29

*) – значимо на 5%-ном уровне

Таблица 10

Факторные нагрузки анализа показателей качества озимой и яровой пшеницы в годы формирования схожих по типу качественного комплекса

	Озимые (4 тип)			Яровые (2 тип)		
	С-1	С-2	С-3	С-1	С-2	С-3
Содержание клейковины, в %	0,82*	0,25	0,29	0,60*	0,39	0,35
Показатель ИДК-1, е. п.	0,40*	0,65*	0,60*	0,56*	0,34	0,34
Упругость теста, (P)	0,70*	0,44*	0,30	0,70*	0,52*	0,32
Отношение P/L	0,38	0,69*	0,34	0,59*	0,30	0,40*
Удельная работа деформации теста, е. а.	0,38	0,62*	0,23	0,46*	0,64*	0,35
Объемный выход хлеба, мм ³	0,83*	0,30	0,11	0,68*	0,44*	0,35
Пористость хлеба, балл	0,81*	0,07	0,18	0,71*	0,39	0,32

*) – значимо на 5%-ном уровне

Таблица 11

Факторные нагрузки анализа показателей в годы формирования различающихся типов качества зерна у озимой и яровой пшеницы

	Озимые (2 тип)			Яровые (4 тип)		
	С-1	С-2	С-3	С-1	С-2	С-3
Содержание клейковины, в %	0,47*	0,51*	0,51*	0,64*	0,08	0,04
Показатель ИДК-1, е. п.	0,50*	0,41*	0,49*	0,69*	0,07	0,34
Упругость теста, (P)	0,91*	0,29	0,19	0,90*	0,28	0,14
Отношение P/L	0,74*	0,29	0,41*	0,73*	0,32	0,49*
Удельная работа деформации теста, е. а.	0,85*	0,26	0,03	0,76*	0,21	0,30
Объемный выход хлеба, мм ³	0,50*	0,68*	0,26	0,45*	0,69*	0,13
Пористость хлеба, балл	0,42*	0,62*	0,45*	0,71*	0,55*	0,06

*) – значимо на 5%-ном уровне

Для факторной оценки экспериментального материала четкость распределения признаков по компонентам, выраженная их значимостью только в одной компоненте при незначительных или же достоверно низких величинах факторных весов в других, считается важным элементом оценки [3]. Это позволяет легче интерпретировать природу или физический смысл компонент, а также судить о корректности оценки, проводимой в год изучения. Примером служит факторная структура основного типа качества зерна, формируемого озимой и яровой пшеницей. В первой компоненте качественного комплекса зерна у озимой выделяются показатели качества клейковины (ИДК) и характеристики реологических свойств теста (упругость теста (P), отношение P/L и удельная работа деформации теста (W)), вторая компонента – хлебопекарными качествами (объем хлеба и его пористость), а третья – количественной выраженностью содержания клейковины в зерне. По яровой пшенице описанная тенденция формирования типа качества просматривается в меньшей степени. Так, хлебопекарная оценка яровой пшеницы оказалась размытой своим присутствием в первой и второй компоненте (0,54 и 0,53 соответственно), а содержание клейковины – в первой и третьей компоненте (0,60 и 0,41).

Четким расхождением признаков по компонентам также характеризуется четвертый тип зерна озимой пшеницы, где отмечаются высокие факторные нагрузки содержания клейковины, упругости теста (P) и хлебопекарной оценки, интегрированные в первой компоненте, в то время как характеристики отношения P/L и удельной работы деформации теста (W) отмечаются высокими факторными весами во второй компоненте (табл. 10).

Факторный анализ селекционного материала внутри года не подтвердил выявленной выше закономерности абсолютной интеграции связи хлебопекарных оценок с реологическими свойствами теста у яровой пшеницы, а также с содержанием клейковины и ее качества у озимой. Это позволяет судить о независимости используемых в селекционном процессе оценок на качество зерна.

Таким образом, результаты исследований свидетельствуют, что в селекции, особенно на завершающих ее этапах, – оценка на фенотипическом уровне при отсутствии контрастных форм не всегда позволяет четко разграничить образцы по критериям качества. Это существенно затрудняет возможность дифференцировать экспериментальный материал и на генотипическом уровне, а вследствие этого вести отбор адаптированных перспективных форм. Использование алгоритмов информационной биологии позволяет количественно описать эколого-генетические механизмы формирования показателей зерна в онтогенезе, вскрыть на более глубоком уровне различия у близкого по выраженности признаков материала и систематизировать отбор высококачественных образцов в зависимости от складывающихся условий.

Представленный анализ базы данных с использованием математического аппарата важен не только для выявления взаимосвязей критериев качества с факторами среды, но и для выявления адаптивных реакций растений на отдельных этапах онтогенеза в реализации ими генетической информации при формировании признака. Среди основных моментов использования биометрических методов следует выделить их использование в повышении информативности отборов, которая достигается посредством:

1. Вертикальной оценки (на глубину лет). Обобщенная оценка условий года, ориентированная на вычленение его эффектов и места в общей иерархии влияния климатических условий на изучаемый признак. Использование кластерного и факторного анализа результатов конкретного года в об-

щей системе качественных критериев за ряд лет позволяет информативно судить о типе зерна, оценить, насколько независимы критерии оценки зерновой продукции в год изучения.

2. Горизонтальной оценки (внутри года). Оценка генетического разнообразия внутри года с выявлением критериев зерна, по которым исследуемый селекционный материал наиболее дифференцирован и по которым эффективность отбора будет высокой. Ориентированность и последующая нормализация качественных критериев к стандартному типу зерна позволяет провести отбор перспективного материала с положительными сдвигами по наиболее информационно значимым критериям на фоне малоинформативных или же «посредственных» показателей зерна в конкретный год испытаний.

Важным моментом задач применения алгоритмов информационной биологии в методологии отбора перспективного материала следует считать их использование при количественном описании кинетического равновесия внутреннего состояния растений с воздействием внешней среды и возможностью математического моделирования поведения растительной системы в постоянно изменяющейся внешней среде. В связи с этим изучение ответных реакций на внешние и внутренние раздражители на уровне протеома и метаболома видится первым шагом в изучении генетических основ ответа растений на воздействие внешней среды, способствующим развитию фундаментальных основ функциональной геномики и их использования в селекции полевых культур. Развернутые на современном этапе исследования по секвенированию или же редактированию генома можно рассматривать в данном направлении как отправную точку изучения дисциплинами системной биологии генетических основ поведения растений и их онтогенетической природы адаптации.

Литература

1. Бебякин В. М., Прянишников А. И., Сергеева А. И. Адаптированность сортов озимой пшеницы в условиях Поволжья и вклад генотипа в формирование качества зерна. // С. – х. биология. – 2005. – №1. – С. 55–58.
2. Бебякин В. М., Сергеева А. И. и др. Фенотипическая стабильность сортов озимой пшеницы по критериям качества зерна. // Агро XXI. – 2007., № 4–6. – с. 14–16.
3. Бебякин В. М., Мартынов С. П. Эффекты взаимодействия генотип–среда по признакам качества зерна. // Селекция и семеноводство. – № 11, 1983. – С. 10–11.
4. Бебякин В. М., Мартынов С. П. Факторный анализ информативности показателей качества зерна в связи с селекцией пшеницы. // Сельскохозяйственная биология. – № 2, 1983. – С. 18–27.
5. Бебякин В. М., Старичкова Н. И., Дорогобед А. А. Качество зерна пшеницы в зависимости от сорта и условий его произрастания. // Зерновое хозяйство. – № 3, 2003. – с. 22–24.
6. Васильчук Н. С. Селекция яровой твердой пшеницы. – Саратов, 2001. – 123 с.
7. Жученко А. А. Адаптивное растениеводство (эколого-генетические основы). – М.: «Агрорус», в 3 томах, 2008.
8. Кузьменко А. И. Саратовские сорта яровой мягкой пшеницы (практическая селекция). – Саратов: Изд-во Саратовского ун-та, 2005. – 300 с.
9. Лакин Г. Ф. Биометрия. – М.: Высшая школа, 1990. – 352 с.
10. Окунь Я. Факторный анализ. – М.: Статистика, 1974. – 200 с.

11. Прянишников А. И., Андреева Л. В. Постановление проблемного совета по качеству зерна отделения растениеводства РАСХН. // Аграрный вестник Юго-Востока. – № 1 (4), 2010. – С. 4–6.

12. Прянишников А. И. Экологические основы адаптивной селекции озимой пшеницы на Юго-Востоке. – Саратов. – 2016. – 116 с.

13. Прянишников А. И., Масловская Э. Н. и др. Развитие методологических подходов в селекции озимой пшеницы на Юго-Востоке. // Пшеница и тритикале. – Краснодар, 2001. – С. 265–273.

14. Смирязев А. В., Мартынов С. П., Кильчевский А. В. Биометрия в генетике и селекции растений. – М.: Изд-во МСХА, 1992. – 269 с.

УДК 633.854.78:631.527

Сорта подсолнечника для использования в кондитерской промышленности

Cultivars of sunflower for using in the confectionery industry

**В. Ф. ПИМАХИН, А. Ю. БУЕНКОВ,
С. П. КУДРЯШОВ, Л. В. СОЛОПЧЕНКО,
А. В. ЛЕКАРЕВ, А. Л. НИКУЛИН,
А. В. РОМАНОВ**
ФГБНУ НИИСХ Юго-Востока,
г. Саратов
e-mail: raiser_saratov@mail.ru

**V. F. PIMAHIN, A. Y. BUENKOV,
S. P. KUDRYASHOV, L. V. SOLOPCHENKO,
A. V. LEKAREV, A. L. NIKULIN, A. V. ROMANOV**
Federal State Government-Funded Scientific
Institution Agricultural Research Institute of
South-East Region, Saratov
e-mail: raiser_saratov@mail.ru

Обсуждаются достижения и результаты селекции подсолнечника на крупноплодность. Выделены и предлагаются для внедрения в производство перспективные сорта.

Ключевые слова: подсолнечник, селекция, сорт, семена, кондитерская промышленность.

We discuss the achievements and results of sunflower breeding on large-fetus. Allocated and available for implementation in the production of promising cultivars.

Key words: sunflower, breeding, cultivar, seeds, confectionery industry.

Подсолнечник – основной источник сырья для выработки высококачественного пищевого масла. Однако по мере повышения качества жизни с каждым годом на рынке возрастает спрос на сорта кондитерского назначения, которые используются в качестве аналога орехоплодных культур (орех, арахис, фундук, кунжут) и других продуктов в хлебопекарной промышленности [1, 2, 3, 4].

В наибольшей степени этим требованиям отвечают сорта селекции института Саратовский-82, Сластена, Любимчик.

Саратовский-82. Сорт ультраскороспелый. В условиях Саратова созревает за 80–84 дня. По крупности семян относится к межмужковой группе. Масса 1000 семян – 90–120 г, масличность – 48–52%. После калибровки выход семян крупной фракции с решета 4 мм достигает 60–80%. Семена хорошо обрушиваются и отвечают требованиям кондитерской промышленности.

Сластена. Получен путем отбора из гибридного материала от скрещивания сортов Саратовский-82, Скороспелый-87, СПК и Лакомка. Сорт ультраскороспелый. В условиях Саратова созревает за 85–87 дней. Корзинки плоские правильной формы. Растения имеют прочный неполегающий стебель высотой 135–145 см. Сорт хорошо адаптиро-

ван для возделывания в условиях Поволжья. Семена черные со слабо выраженными полосками. Масса 1000 семян 80–120 г, лузжистость – 21–23%, масличность – 46–48%.

Любимчик. Сорт раннеспелый. В условиях Саратова созревает за 97–98 дней. Масличность семян – 42–45%, масса 1000 семян – 90–150 г. Высота растений – 140–150 см. Диаметр корзинок – 18–25 см. Семена хорошо обрушиваются и отвечают требованиям кондитерской промышленности.

Литература

1. Пимахин В. Ф., Лекарев В. М., Константинова Е. А., Кудряшов С. П., Чехонин В. Н., Полевая О. А. Основные направления работ по селекции подсолнечника в НИИСХ Юго-Востока. Сб. науч. тр. ГНУ НИИСХ Юго-Востока Россельхозакадемии. – Саратов: ООО «Ракурс». – 2009. – С. 182–191.

2. Лекарев В. М., Пимахин В. Ф., Константинова Е. А., Кудряшов С. П., Чехонин В. Н., Графов В. П. Проблемы и результаты селекции подсолнечника на высокую адаптивность к природно-климатическим условиям Поволжья. Сб.: Зональные особенности научного обеспечения сельскохозяйственного производства. Региональная научно-практическая конференция. – 2009. – С. 184–189.

3. Курасова Л. Г., Лобачёв Ю. В., Себостьян О. В., Лекарев В. М., Кудряшов С. П. Сравнительная оценка сортов подсолнечника кондитерского назначения. Сб.: Вавиловские чтения-2012. Материалы Международной научно-практической конференции, посвящённой 125-летию со дня рождения академика Н. И. Вавилова. – 2012. – С. 117–118.

4. Пимахин В. Ф., Лекарев В. М., Буенков А. Ю., Кудряшов С. П. Исходный материал для селекции гибридов подсолнечника в Поволжье. Аграрный вестник Юго-Востока. – 2016. – № 1–2 (14–15). – С. 32–34.

УДК 523.745:550:38:631.559(470.56)

Интегральные предикторы моделей долгосрочного прогнозирования урожайности для степного Предуралья

Integral predictors of longer-term forecasting models the yield for the steppe Urals

В. Е. ТИХОНОВ, А. А. НЕВЕРОВ
ФГБНУ Оренбургский НИИСХ,
г. Оренбург
e-mail: nevallex2008@yandex.ru

V.E. TIKHONOV, A.A. NEVEROV
Federal State Government-Funded
Scientific Institution Orenburg
Research Institute of Agriculture,
Orenburg
e-mail: nevallex2008@yandex.ru

Установлена тесная связь многолетней динамики урожайности яровой пшеницы с изменениями во времени расстояния от барицентра Солнечной системы до Земли, что позволяет использовать значения предикторов за пределами имеющегося ряда урожайности. Показана необходимость учитывать влияние лаговых переменных при разработке моделей прогноза урожайности. Применены методы: стандартной множественной регрессии, регрессии в нейронных сетях, а также метод остаточных отклонений в совокупности с методом наложения эпох. На этой основе разработана система долгосрочного прогнозирования урожайности зерновых культур и погодных факторов, определяющих вариацию ряда урожайности.

Ключевые слова: барицентр Солнечной системы, лаговые переменные, методы прогнозирования, урожайность, погода.

A close relation of long-term dynamics of spring wheat yield changes over time of the distance from the barycenter of the Solar system to Earth, which allows to use values of predictors outside the available range of yields. The necessity to consider the influence of lag variables when developing models to forecast yields. Used methods: standard multiple regression, regression in neural networks and the method of residual deviations in conjunction with the method of superposition of epochs. On this basis developed a system of long-term forecasting of grain yields and weather factors that determine the variation range of the yield.

Key words: the barycenter of the Solar system, lag variables, methods of forecasting yields, weather.

Введение

За последние семь лет (2009–2015 гг.) засуха различной интенсивности наблюдалась в Оренбургской области 6 лет. Ежегодный ущерб для агропромышленного комплекса составил несколько миллиардов рублей. Поэтому актуаль-

ность проблемы прогнозирования урожайности и, в частности засух, не подлежит сомнению.

Основным недостатком большинства методов прогнозирования временных рядов урожайности является отсутствие предикторов модели за пределами заканчивающегося ряда значений предиктанта, то есть предикторы на предстоящий год остаются неизвестными. В поиске решения данной проблемы нами использованы работы, посвященные исследованию многолетних изменений в системе Солнце – Земля [1] и, в частности, движению Солнца и планет вокруг барицентра Солнечной системы [2].

К настоящему времени сложился раздел научных знаний, называемый «солнечно-земные связи», который предполагает изучение совокупности всех возможных взаимодействий гелио- и геофизических явлений [3, 4].

Под гравитационным воздействием со стороны планет Солнце вынуждено совершать достаточно сложное переменное движение вокруг центра масс Солнечной системы (барицентра). В результате этого орбиты планет не могут оставаться строго гелиоцентрическими, поскольку центр тяжести Солнца может не совпадать с фокусами эллиптических траекторий планет [5]. Воздействие планет на Солнце приводит к модуляции солнечной активности.

В соответствии с работами [5, 6, 7] планетам отводится роль первоисточника вариаций как солнечной активности, так и циклическим процессам на Земле. В большом количестве опубликованных работ уделяется внимание циклическим процессам активности Солнца и, в частности, статистике распределения крупных солнечных вспышек и мировых магнитных бурь и их связи с вариациями в температуре приземного воздуха и интенсивности осадков [8].

Поскольку в различных природных явлениях, в том числе и в колебаниях погоды и климата, было выявлено множество циклов, то очень важно уяснить, какая реальность их обуславливает. На сегодняшний день это наименее исследованная проблема.

Так, в работе [2] на основании проведенных расчетов и анализа полученных результатов была уточнена формулировка 1-го закона Кеплера:

«Все планеты движутся по слабозамушенным эллипсам вокруг Солнца, участвуя вместе с ним в движении вокруг барицентра Солнечной системы (СС)».

По утверждению авторов, из этого следуют два важных вывода:

1) движение каждой планеты передается Солнцу, а от него – всем другим планетам. Можно сказать, что Солн-

це выступает в качестве ретранслятора гравитации для всей Солнечной системы;

2) активизация однотипных физических процессов должна происходить одновременно во всей Солнечной системе» [2].

Эти выводы побуждают обратиться к базисным перво-причинам цикличности всех процессов в Солнечной системе, минуя такие проявления их следствий, как динамика активности Солнца, солнечные пятна, вспышки на Солнце, возмущенность магнитного поля Земли и другие. На основе вышеизложенного авторы данной статьи пришли к выводу, что истоки цикличности можно описать динамикой движения Земли вокруг барицентра Солнечной системы.

Центром масс системы (барицентр) называется точка, радиус-вектор которой r_c задается уравнением [9]:

$$r_c = \frac{\sum(m_i r_i)}{\sum m_i} = \frac{\sum(m_i r_i)}{M}, \quad (2)$$

где m_i и r_i – масса и радиус-вектор i -й частицы системы;

M – масса системы.

Это уравнение использовалось в данной работе для расчета подекадного расстояния в астрономических единицах (а. е.) между Землей и барицентром Солнечной системы (1, 11 и 21-го числа каждого месяца).

Для расчета расстояний от Земли до барицентра Солнечной системы использованы астрономические калькуляторы.

Не меньшее значение в прогнозах временных рядов урожайности имеет поиск лаговых переменных, эффект от воздействия которых на показатели, характеризующие процесс, проявляется не сразу, а с запаздыванием. Считается, что очень большую роль во временных задержках погоды и климата может играть тепло, запасенное в Мировом океане [4, 8, 10].

В нашей работе для определения количества лаговых переменных использован подход последовательного включения в модель предикторов (т. е. динамику расстояния от Земли до барицентра Солнечной системы) предыдущих сельскохозяйственных лет. Критерием останковки процесса аппроксимации служили: уровень адекватности модели (R -квадрат более 90%), значимость коэффициентов регрессии и минимально возможное количество переменных в модели. Основная трудность состоит, как и во всяком моделировании временных рядов, в отыскании единственной модели из их подмножества, адекватно отражающей воздействие физических полей на динамику временного ряда урожайности в заданной географической точке Земли.

Цель и методика исследований

Цель исследования – поиск новых предикторов для долгосрочного моделирования ожидаемой урожайности зерновых культур. Для решения поставленных задач была использована информация длительных рядов урожайности яровой пшеницы Оренбургского НИИСХ (поселок Чебеньки Оренбургского района Оренбургской области, расположенный в степном Предуралье). В качестве предикторов моделей служили подекадные значения изменяющихся во времени расстояний от барицентра Солнечной системы до Земли, а также материалы Оренбургского областного центра по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (факторы погоды в виде среднедекадных значений, метеостанция Чебеньки).

Стратегия поиска включала разработку регрессионной модели связи урожайности зерна яровой пшеницы с агроклиматическими ресурсами региона. Общий вид этих моделей может быть представлен аналитическим выражением

$$Y = a_0 + \sum_{i=1}^n a_i X_i, \quad (1)$$

где Y – оцениваемый урожай; a_0, a_i – коэффициенты; X_i – влияющие на урожай факторы погоды, в качестве которых выступают характеристики агрометеорологических условий, в том числе и комплексные (коэффициент атмосферного увлажнения и другие), усредненные за календарные периоды.

Долгосрочный прогноз урожайности осуществлялся 4 способами: непосредственно по ряду урожайности, предикторы – расстояние от Земли до центра масс Солнечной системы: 1) во множественной регрессии; 2) путем создания нейронной сети в задачах регрессии; 3) с использованием метода остаточных отклонений и наложения эпох; 4) по предварительному прогнозированию каждого погодного фактора, вошедшего в уравнение множественной регрессии с использованием метода остаточных отклонений в совокупности с методом наложения эпох (в качестве предикторов использовалась цикличность по расстоянию от Земли до барицентра СС).

Совпадение прогнозных величин урожайности, рассчитанных как непосредственно по ряду продуктивности, так и с использованием ожидаемых значений независимых переменных по уравнению регрессии служил критерием корректности выбранного пути научного поиска.

После разработки таких моделей появляется необходимость долгосрочного прогнозирования только тех предикторов, которые включены в регрессионные уравнения, оценивающие агроклиматические ресурсы для той или иной культуры. Характеристика и описание такого явления, как засуха, приобретают вполне конкретную формализацию. Кроме того, на основе знаний вклада погодного фактора в формирование уровня урожайности возможен более целенаправленный поиск технологических решений для преодоления влияния засухи.

Для анализа временных рядов применялись методы стандартной множественной регрессии и регрессии в нейронных сетях (СТАТИСТИКА 6.1), а также метод остаточных отклонений в совокупности с методом наложения эпох.

Результаты исследований

Вначале была разработана базовая модель множественной регрессии зависимости урожайности яровой пшеницы от подекадных показателей расстояния между Землей и барицентром Солнечной системы за период 1953–2014 гг. В полученную модель вводились значения тех же предикторов, но уже 2015 года. Используя опцию (предсказать зависимую переменную) программы «СТАТИСТИКА 6.1», на выходе программы получили прогноз урожайности на 2015 год (9,7 ц с 1 га) с учетом допустимых пределов (6,1–13,3 ц с 1 га). Урожайность в 2015 году составила 10,2 ц с 1 га.

Продлив ряд урожайности спрогнозированным значением на 2015 г., на этих же предикторах рассчитана новая модель множественной регрессии. В нее вводили уже значения предикторов 2016 года. На выходе получено прогнозное значение урожайности яровой пшеницы на 2016 г. (табл. 1).

На следующем этапе поиска проведена разработка прогноза урожайности яровой пшеницы для п. Чебеньки Оренбургского района в нейронных сетях (использование принципа множественности моделей). Моделирование в нейронных сетях, в сущности, представляет собой аппроксимацию огромного количества моделей (тысячи и десятки тысяч) и выбор оптимального варианта.

В соответствии с данной методикой ряд наблюдений делится на выборки: обучающая, контрольная и тестовая. Обучающие данные подаются для обучения модели, а проверочные используются для расчета ошибки модели.

Таблица 1

Прогноз урожайности яровой пшеницы на 2016 год во множественной регрессии по расстоянию от Земли до барицентра Солнечной системы. Ряд урожайности 1953–2015 гг.

Даты учета расстояния (месяц, декада), вошедшие в модель множественной регрессии	Коэффициенты регрессии (В-Весы)	P-уровень	Значение предикторов 2015–2016 с.-х. года, а.е.	Произведение (В-Весы) на значение предикторов 2015–2016 с.-х. года
Св.член	101591,08	0,000	-	-
Текущий сельскохозяйственный год: сентябрь 2015–август 2016				
Январь, 2	-33695,70	0,000	0,992294	-33436,05
Январь, 3	31886,28	0,000	0,992746	31654,97
Март, 2	-23598,93	0,000	1,001639	-23637,61
Июль, 1	25275,42	0,000	1,025833	25928,36
Декабрь, 2	-28618,65	0,000	0,994160	-28451,52
Декабрь, 3	25478,55	0,004	0,993014	25300,55
Лаговые переменные, сельскохозяйственный год: сентябрь 2014–август 2015				
Июнь, 1	-95806,67	0,000	1,022978	-98008,12
Июль, 1	-44619,03	0,000	1,026055	-45781,58
Ноябрь, 3	-65943,01	0,000	0,997159	-65755,67
Декабрь, 2	-18140,03	0,023	0,993590	-18023,75
Декабрь, 3	33921,10	0,000	0,992559	33668,69
Лаговые переменные, сельскохозяйственный год: сентябрь 2013–август 2014				
Январь, 1	52716,86	0,000	0,991551	52271,45
Январь, 2	-56285,56	0,000	0,991530	-55808,83
Май, 3	51036,91	0,000	1,021237	52120,78
Июнь, 2	-27417,73	0,003	1,024649	-28093,55
Июнь, 3	-46164,12	0,000	1,025736	-47352,20
Август, 2	99494,20	0,000	1,023386	101820,97
Октябрь, 3	87588,93	0,000	1,004423	87976,33
Ноябрь, 1	28475,45	0,000	1,001290	28512,19
Ноябрь, 3	59684,53	0,000	0,996360	59467,28
Декабрь, 3	-112154,18	0,000	0,992002	-111257,17
Лаговые переменные, сельскохозяйственный год: сентябрь 2012–август 2013				
Март, 2	-79343,43	0,000	1,002153	-79514,25
Апрель, 2	125330,26	0,000	1,011178	126731,20
Апрель, 3	79156,50	0,000	1,013971	80262,40
Июнь, 1	-33142,91	0,000	1,023461	-33920,48
Июнь, 2	-58041,64	0,000	1,024804	-59481,30
Август, 3	-60535,11	0,000	1,021120	-61813,61
Октябрь, 1	-74828,17	0,000	1,009624	-75548,32
Октябрь, 3	-32950,13	0,000	1,003725	-33072,86
Ноябрь, 2	91842,96	0,000	0,998171	91674,98
Прогноз на 2016 г				24,37
-95,0% – допустимый предел				20,53
+95,0% – допустимый предел				28,21
Для полной регрессии: R ² = 0,964. P = 0,000. Стандартная ошибка оценки = 1,81 ц с 1 га				

Из большого количества моделей прогноза урожайности зерна выбирались лучшие, в которых предсказанная урожайность во всех выборках (обучающая, контрольная, тестовая) наиболее близка к фактическому ряду наблюдений. Из них создавался ансамбль (табл. 2).

Наиболее важным показателем оценки работы сети (модели) является отношение стандартных отклонений во всех выборках. Оно представляет собой отношение стандартного отклонения ошибки прогноза к стандартному отклонению обучающих данных. Вычитание данного отношения из единицы называют долей объясненной дисперсии модели. В представленных моделях эта доля составила более 80%.

Таблица 2

Прогноз урожайности яровой пшеницы в нейронных сетях на 2016 г. по расстоянию от Земли до барицентра Солнечной системы. Ряд урожайности 1953–2014 гг.

№ модели	Урожайность, ц с 1 га			Отношение стандартных отклонений		
	проекция на 2014 год (факт = 5,1)	экстраполяция (прогноз)		выборка		
		на 2015 г.	на 2016 г.	обучающая	контрольная	тестовая
70	5,0	10,6	21,9	0,144	0,197	0,140
85	4,9	11,6	22,7	0,130	0,223	0,223
952	4,7	9,9	22,8	0,145	0,173	0,102
1142	6,0	10,5	24,2	0,264	0,229	0,221
939	5,9	9,1	23,0	0,222	0,196	0,160
1600	6,4	10,1	24,5	0,210	0,169	0,193
959	6,1	10,1	24,9	0,190	0,147	0,227
971	5,0	9,7	24,1	0,117	0,105	0,239
975	4,9	10,1	25,6	0,171	0,204	0,160
977	5,4	9,3	25,5	0,125	0,076	0,226
Среднее	5,4	10,1	23,9	0,172	0,172	0,189

На основе математического алгоритма для применения метода остаточных отклонений в совокупности с методом наложения эпох, представленного в работе [11], авторами данной статьи для изучения влияния суперпозиции природных ритмов на урожайность сельскохозяйственных культур и реализацию погодных факторов была создана оригинальная компьютерная программа «ПРОГНОСТИК». Основа программы – матрица периодических и циклических компонент для реализации анализа ритмики динамических рядов, который состоит из решения ряда задач по размещению и перестановкам циклов и периодов в модели, а также формирование, обучение и тестирование выборок временного ряда.

Циклические компоненты определялись через графический анализ расстояния от Земли до центра масс Солнечной системы.

В таблице 3 показаны результаты моделирования ожидаемой урожайности яровой пшеницы методом остаточных отклонений в совокупности с методом наложения эпох.

Таблица 3

Прогноз урожайности яровой пшеницы на 2016 год методом остаточных отклонений в совокупности с методом наложения эпох

Фаза осреднения ряда урожайности – 26 лет			Продолжение таблицы		
Период, годы	Урожайность, ц с 1 га		Период, годы	Урожайность, ц с 1 га	
	факт	модель		факт	модель
1950	9,10	9,02	1984	20,00	16,92
1951	4,50	4,53	1985	21,60	19,19
1952	7,50	7,65	1986	28,20	20,99
1953	10,70	10,50	1987	17,40	17,91
1954	3,40	3,48	1988	9,00	9,53
1955	2,00	2,05	1989	21,60	23,09
1956	16,30	14,15	1990	18,50	17,78
1957	6,30	5,41	1991	15,60	15,46
1958	9,50	8,81	1992	22,00	22,35
1959	14,40	12,57	1993	13,80	13,75
1960	10,80	10,29	1994	16,10	16,02
1961	10,30	9,92	1995	8,60	9,80
1962	14,50	13,61	1996	9,00	10,86
1963	10,70	10,19	1997	23,60	25,08
1964	18,60	18,22	1998	7,00	8,20
1965	6,10	6,10	1999	22,60	23,41
1966	13,00	12,84	2000	18,00	16,81
1967	1,40	1,41	2001	16,00	14,93
1968	28,40	27,59	2002	14,50	14,25
1969	18,80	18,33	2003	10,50	11,08
1970	19,80	19,67	2004	10,00	10,16
1971	19,40	19,35	2005	4,03	4,07
1972	11,00	11,10	2006	19,80	17,39
1973	22,70	23,18	2007	14,40	13,98
1974	17,60	18,17	2008	20,60	21,64
1975	6,60	8,01	2009	14,50	15,54
1976	23,80	23,55	2010	3,30	3,54
1977	15,00	15,47	2011	20,00	19,95
1978	32,60	30,09	2012	9,10	9,44
1979	23,60	23,20	2013	11,50	11,59
1980	18,40	21,55	2014	7,00	7,84
1981	12,10	14,50	2015	10,20	9,99
1982	14,50	18,69	2016	прогноз	19,54
1983	21,40	22,39			
Количество (16) и состав циклов в модели 3.д3л1; 18.61л; 3.д1т; 10.д3рт; 10.д1л3; 4.д1т; 8.д3л1; 3.д3т; 10.д3л3; 5.д1л3; 6.д2л3; 1.д3т; 4.д2л1; 3.д2л3; 10.д2рт; 9.д3л2;			Относительная ошибка модели: 6,2% Абсолютная ошибка модели: 1,73 ц/га R - квадрат: 0,948		

Ниже дается расшифровка названия циклов:
 (3.д3л1) – Март, 3. Лаг, с.-х. год: сентябрь 2014–август 2015

(18.61л) – Лунный цикл Сарос 18,61 года.
 (3.д1т) – Март, 1. Текущий с.-х. год: сентябрь 2015–август 2016
 (10.д3рт) – Октябрь, 3. Текущий с.-х. год: сентябрь 2015–август 2016
 (10.д1рл3) – Октябрь, 1. Лаг, с.-х. год: сентябрь 2012–август 2013
 (4.д1т) – Апрель, 1. Текущий с.-х. год: сентябрь 2015–август 2016
 (8.д3л1) – Август, 3. Лаг, с.-х. год: сентябрь 2014–август 2015
 (3.д3т) – Март, 3. Текущий с.-х. год: сентябрь 2015–август 2016
 (10.д3л3) – Октябрь, Лаг, с.-х. год: сентябрь 2012–август 2013
 (5.д1л3) – Май, 1. Лаг, с.-х. год: сентябрь 2012–август 2013
 (6.д2л3) – Июнь, 2. Лаг, с.-х. год: сентябрь 2012 – август 2013
 (1.д3т) – Январь, 3. Текущий с.-х. год: сентябрь 2015–август 2016
 (4.д2л1) – Апрель, 2. Лаг, с.-х. год: сентябрь 2014–август 2015
 (3.д2л3) – Март, 2. Лаг, с.-х. год: сентябрь 2012–август 2013
 (10.д2рт) – Октябрь, 2. Текущий с.-х. год: сентябрь 2015–август 2016
 (9.д3рл2) – Сентябрь, 3. Лаг, с.-х. год: сентябрь 2013–август 2014

Таблица 4

Прогноз урожайности яровой пшеницы по предсказанным значениям факторов погоды за период 1953–2015 гг. (пошаговая регрессии: R² = 0,927, стандартная ошибка оценки = 2,0 ц/га) и результаты моделирования прогнозных значений факторов погоды на 2016 год методом остаточных отклонений в совокупности с методом наложения эпох

Источник варьирования* (факторы погоды: месяц, декада)	Коэффициенты регрессии	Р-значение	Результаты моделирования предикторов			
			2015 г.		2016 г.	
			факт	тест	факт	прогноз
Свободный член	48,244	0,000				
Осадки октября, 2	-0,229	0,000	7	-	-	-
Осадки ноября, 3	-0,162	0,000	6	-	-	-
Осадки января, 1	-0,101	0,001	-	-	50	-
Осадки марта	-0,158	0,000	-	-	62	-
Осадки апреля, 2	0,191	0,000	-	-	0,3	-
Осадки мая, 2	-0,152	0,000	30	29,7	-	6,2
Осадки июня, 1	0,348	0,000	57	57,2	-	31,7
ДВВ июня, 1	2,308	0,000	12	12	-	12,3
ДВВ июня	-2,123	0,000	19	18,3	-	15,8
ДВВ июля, 1	-0,436	0,000	12	12	-	16,9
ДВВ июля, 3	0,939	0,000	15	15,1	-	18,5
ДВВ августа, 1	-1,579	0,000	17	17,5	-	11,8
ДВВ августа, 3	0,217	0,003	9	9,5	-	16,7
Т марта, 1	0,262	0,000	-	-	0,1	-
Т апреля, 2	0,619	0,000	-	-	14,2	-
Т мая, 3	-0,584	0,000	21,4	21	-	18,4
Т июня, 1	-1,489	0,000	21,1	21,2	-	16,1
Т августа, 1	0,809	0,003	21,9	21,7	-	20,6
**Урожайность по уравнению регрессии, ц с 1 га						21,6

*Примечание. Единицы измерения факторов погоды: осадки – мм; Т – средняя температура воздуха, °С; ДВВ – средний дефицит влажности воздуха, гПа.

Фактическая урожайность яровой пшеницы в 2016 году составила 19,0 ц с 1 га.

Для построения модели с прогнозируемыми реакциями любой реальной системы важнейшей процедурой становится обнаружение существенных переменных изучаемой системы. Такая модель в соответствии с уравнением (1) представлена в таблице 4. Независимые переменные в ней имеют не только высокий уровень значимости, но каждая из них несет в себе реальный агрономический смысл. При этом в модель 2016 года входят уже известные к началу моделирования погодные факторы, а спрогнозированные предикторы сначала тестируются на данных 2015 года и далее без коррекции экстраполируются (прогнозируются) на 2016 год.

Следует обратить внимание на то, что модель в своей структуре содержит осадки осеннего периода предыдущего года, т. е. октября и ноября. Фактически влияние засухи на будущий урожай может закладываться с осени прошедшего года, поскольку в указанные месяцы не только варьирует запас влаги в почве, но и активность почвенной биоты. Эти факторы, а также образование ледяного пласта в почве в осенне-зимний период определяют условия впитывания влаги в период весеннего снеготаяния.

Выводы

Разработан новый подход к моделированию долгосрочного прогноза урожайности на примере яровой пшеницы. Установлена тесная связь многолетней динамики урожайности яровой пшеницы с изменениями во времени расстояния от барицентра Солнечной системы до Земли, что позволяет использовать значения предикторов за пределами имеющегося ряда урожайности. Показана необходимость учитывать влияние лаговых переменных при разработке моделей прогноза урожайности.

Впервые на основе разработанной модели для условий степной зоны Предуралья осуществлен долгосрочный прогноз на 2016 год как величины предиктанта (У), так и величины всех предикторов (Х), вошедших в модель.

Полученные результаты позволяют заблаговременно за 11 месяцев описать явление засухи в ожидаемом году: время наступления, интенсивность, продолжительность. Такая информация дает возможность оптимизировать технологические решения для преодоления влияния неблагоприятных условий.

Литература

1. Кокоуров В. Д. Многолетние изменения в системе Солнце – Земля. // [Электронный ресурс]. <http://www.kosmofizika.ru/irkutsk/kok/changes.htm>.
2. Хлыстов А. И., Долгачёв В. П., Доможилова Л. М. Барическое движение Солнца и его следствия для Солнечной системы // Статья в коллективной монографии: «Современные глобальные изменения природной среды». / Том 3. Факторы глобальных изменений. – Москва: – Научный мир. – 2012. – С. 62–77.
3. Ермолаев Ю. И. Ермолаев М. Ю. Солнечные и межпланетные источники геомагнитных бурь: аспекты космической погоды // Геофизические процессы и биосфера. – 2009. – Т. 8. – № 1. – С. 5–35.
4. Петрукович А. А. Солнечно-земные связи и космическая погода / В кн.: Плазменная гелиогеофизика (в двух томах). Под ред. Л. М. Зелёного, И. С. Веселовского. – М.: Физматлит, 2008. – Т. 2. – С. 175–251.
5. Константиновская Л. В. Солнечная активность // [Электронный ресурс]. <http://www.astronom2000.info/>
6. Пономарёва О. В. О механизме возмущения периодического движения полюса Земли планетами Солнечной системы // [Электронный ресурс]. – ДВО РАН Камчатский научный центр http://www.kscnet.ru/ivs/publication/volc_day/2007/art20.pdf
6. Пономарёва О. В. Роль планет и планетных групп в активности солнца // [Электронный ресурс]. – ДВО РАН Камчатский научный центр <http://www.emsd.ru/konf071112/pdf/t2/str212.pdf>.
7. Авакян С. В. Роль активности Солнца в глобальном потеплении // Вестник Российской академии наук. – 2013. – Т. 83. – № 5. – С. 425–436.
- Жаров В. Е. Сферическая астрономия. – Фрязино: – 2006. – 480 с. [Электронный ресурс]. <http://www.astronet.ru/db/msg/1190817/node26.html>
8. Абдусаматов Х. И. Измерение временных вариаций формы и диаметра Солнца, а также тонкой структуры активных и спокойных областей фотосферы на Служебном модуле Российского сегмента МКС. [Электронный ресурс]. <http://www.gao.spb.ru>.
9. Игуменцев А. Ф., Шикота Н. Г., Лазуренко Э. К. Григоренко Г. Ф. Цикличность погоды и прогнозирование урожайности сельскохозяйственных культур. – Луганск: – 1990. – 48 с.

УДК 631:001.891.57:502.36:(470.56)

Методологические основы селекции проса с использованием прогнозных оценок селекционных индексов в степном Предуралье

Methodological bases of the breeding millet using predictive estimates of selection indices in the steppe Urals

В. Е. ТИХОНОВ, А. А. НЕВЕРОВ
ФГБНУ Оренбургский НИИСХ,
г. Оренбург
e-mail: nevalex2008@yandex.ru

V. E. TIKHONOV, A. A. NEVEROV
Federal State Government-Funded
Scientific Institution
Orenburg Research Institute of
Agriculture, Orenburg
e-mail: nevalex2008@yandex.ru

Цель — разработать методологические основы формирования агрономического экотипа сорта проса в селекционном процессе на основе взаимодействия генотип — среда в степном Предуралье.

Для решения поставленных задач использованы результаты конкурсного сортоиспытания за длительный период сортов проса в степной и сухостепной зонах Оренбургского Предуралья. Долгосрочное прогнозирование базировалось на современных знаниях ритмики планетно-солнечно-земных связей. Впервые на основе новых предикторов и их временных лагов осуществлен долгосрочный прогноз урожайности и компонентов ее структуры для культуры проса сухостепной и степной зон Предуралья. Применялись методы пошаговой регрессии и остаточных отклонений с наложением эпох.

Установлены различия в закономерности формирования урожайности и прибавки урожайности для указанной культуры в условиях изучавшейся территории. На этой основе предложена новая наукоемкая технология селекции проса на основе прогнозных оценок селекционных индексов, максимально адаптированная к погодным условиям степной зоны Урала. Разработана новая стратегия отбора перспективных сортономеров в селекционном процессе, которая позволяет повысить эффективность селекции новых сортов, более урожайных для засушливых условий.

Ключевые слова: прогноз, урожайность, селекционные индексы, новая тактика отбора перспективных сортономеров.

The goal is to develop a methodological basis for the formation of agronomic ecotype varieties of millet in the selection process on the basis of the interaction genotype — environment in the steppe Urals.

For the decision of tasks used the results of competitive variety trials over a long period of millet varieties in the steppe and dry-steppe zones of the Orenburg region. Long-term fore-

casting based on current knowledge, the rhythm of the planetary-solar-terrestrial relations. For the first time based on new predictors and their time lags implemented the long-term forecast of yield and components of its structure to the culture of millet in the dry steppe and steppe zones of the Urals. Methods of stepwise regression and the residual variance with the imposition of eras.

Differences in the patterns of yield formation and increase of productivity for the specified culture in the conditions of the studied territory. On this basis, a new high-tech technology of breeding of millet on the basis of forecast estimates of selection indices that are maximally adapted to the weather conditions of the steppe zone of the Urals. Developed a new strategy for selecting promising cartoneros in the selection process, which allows to increase the efficiency of breeding new varieties more productive in arid conditions.

Key words: forecast, yield, selection indices, a new tactic of selecting promising sortnumeric.

Введение

Н. И. Вавилов писал: «Мы не отказываемся от селекции как искусства, но для уверенности, быстроты и преемственности в работе мы нуждаемся в твердой разработанной теории селекционного процесса. Коллектив не может работать по интуиции на случайных удачах. Для планомерной работы, имеющей определенную целеустремленность, нужны твердые научные основы. Зависимость сорта от среды и невозможность его оторвать от внешних условий заставляет исследовать сорт в условиях определенной среды. Вопрос о среде и взаимодействии организма и среды является одним из важнейших разделов селекции [1, с. 333, 337].

По утверждению В. А. Драгавцева и Н. В. Кочериной [2], из всех генетических и эколого-генетических процессов, увеличивающих генотипическую изменчивость количественных признаков, самый сильный вклад в продуктивность может обеспечить эффект взаимодействия генотип-среда (ВГС).

Было показано, что эколого-генетическая формула количественного признака есть система взаимосвязанных полигенов и лимитирующих факторов внешней среды, в которой

происходит переопределение спектров генов и их числа при смене лимитирующего фактора внешней среды [3].

Процитированные авторы описывают 8 индексов, существующих в генетико-селекционной литературе и 7 индексов – в литературе по физиологии растений. По их мнению, в настоящее время все перечисленные индексы используются вне обоснования их прогностической ценности с точки зрения теории эколого-генетической организации сложных признаков продуктивности. Теория селекционных индексов для генетического улучшения экономически важных свойств растений, разрабатываемая процитированными авторами, позволяет им сделать вывод, что если объем понятия «генотип особи», отражающий всю совокупность генов генома, вполне стабилен и не зависит от смены лимитирующих факторов среды, то объем понятия «генотип признака» отражает чрезвычайно лабильные числа и спектры генов от среды к среде [3].

На базе вышесказанного нами сформулирована задача: рассчитать селекционные индексы элементов структуры урожайности по результатам длительных испытаний сортов проса на госсортоучастках Оренбургской области, смоделировать долю их влияния на уровень прибавки урожайности (индекс урожайности) в определенных климатических условиях. Далее необходимо спрогнозировать урожайность и ее элементы структуры в предстоящем году. На основании этих прогнозов провести отбор сортономеров на посев в будущем году по тому селекционному индексу, который формирует прибавку урожайности у сортов, генетически обусловленную на соответствующий лим-фактор.

Материалы и методы

Как известно, масса Солнца составляет основную часть массы Солнечной системы – 99,8%, а масса планет – всего 0,2%, однако на них приходится около 98% момента количества движения всей Солнечной системы. Солнце, вращаясь вокруг своей оси, также обращается около центра масс всей Солнечной системы (барицентра). Положение этого центра масс непостоянно и в каждый момент времени зависит от взаимного расположения планет. Земля, являясь спутником Солнца, участвует во всех этих движениях, что напрямую сказывается на характере ее собственного движения. Принимая во внимание фундаментальность данных физических процессов, нами при моделировании прогностических оценок урожайности зерновых культур впервые использованы в качестве предикторов изменения во времени расстояния от Земли до барицентра Солнечной системы [4, 5, 6, 7].

Это позволило получить значения предикторов за пределами заканчивающегося ряда значений предиктанта (то есть ряда, прогноз которого интересует исследователя). Циклические компоненты в длительных рядах урожайности и элементов ее структуры определялись через графический анализ расстояния от Земли до центра масс Солнечной системы; моделирование прогностических значений указанных предиктантов проводилось с использованием авторской программы «ПРОГНОСТИК», сочетающей методы остаточных отклонений и наложения эпох.

Доля влияния структурных компонентов на уровень формирования урожайности и доля влияния селекционных индексов на уровень формирования прибавки урожайности в статистических моделях определялась как отношение суммы квадратов, определяющих вклад каждой переменной, вводимой в модель, к полной сумме квадратов регрессии.

Кроме того, учитывали лаговые значения предикторов, эффект от воздействия которых на показатели, характеризующие процесс, проявляется с запаздыванием, обусловленным тепловой инерцией Мирового океана [8]. Кроме

того, процесс запаздывания может быть обусловлен также возможностью Мирового океана аккумулировать тепловую энергию и перемещать эту энергию в различные части океана благодаря циркуляции, создаваемой за счет перепада плотности воды, образовавшегося вследствие неоднородности распределения температуры и солености в океане [9].

Для определения количества лаговых переменных в модели использован подход последовательного включения в модель предикторов предыдущих сельскохозяйственных годов.

Исходный массив данных, пригодный для долгосрочного прогнозирования, должен охватывать достаточно продолжительный (многие годы) интервал времени.

Прогнозирование урожайности сельскохозяйственных культур осуществлялось с помощью динамических моделей временных рядов урожайности и элементов ее структуры. Для долгосрочного прогнозирования урожайности проса на Соль-Илецком ГСУ (сухостепная зона) и Саракташском ГСУ (степная зона) Оренбургской области использовались статистические методы, описанные авторами в ранее опубликованных работах [4, 5, 6].

Результаты исследований и их обсуждение

Анализ урожайности за длительный период испытания сортов-стандартов и новых сортов проса показал, что новые сорта не всегда имели существенную прибавку по отношению к стандарту. Причина такой низкой результативности селекции проса кроется в трудности адаптировать сорт к постоянно и резко меняющимся абиотическим стрессорам. Так, средний прирост урожайности проса за период 1960–2012 гг. на Соль-Илецком ГСУ по результатам сортоисменности составил 2 ц с 1 га, а на Саракташском ГСУ за 1958–2000 гг. – 0,8 ц с 1 га.

Н. В. Кочерина и В. А. Драгавцев пишут: «Сейчас стало ясно... что в каждой фазе онтогенеза при смене лим-фактора среды изменится и спектр генов, преодолевающий «удар» нового лим-фактора. Спектры генов, «работающие» на каждой фазе онтогенеза, будут разными. Из-за сдвига их работы во времени они не смогут взаимодействовать друг с другом, т. е. будут аддитивны» [3, с. 69].

При оценке набора сортов, кроме того, наблюдается сдвиг во времени фаз онтогенеза у различных сортов, что так же указывает на работу строго определенного спектра генов, разного у разных сортов. Все это позволяет при моделировании длительных рядов наблюдений за процессом формирования урожайности определенной сельскохозяйственной культуры спрогнозировать ожидаемый компонент структуры, обуславливающий прибавку урожайности относительно стандартного сорта при определенных условиях внешней среды.

Урожайность проса формируется тремя структурными компонентами: количеством продуктивных растений на единице площади, количеством зерен на одно продуктивное растение и массой 1000 зерен.

Прибавка же в урожайности создается за счет различного влияния этих компонентов у сравниваемых сортов. Эти различия выражаются как отношение компонента структуры урожая более продуктивного сорта к тому же компоненту менее продуктивного сорта:

где K_y – компонент структуры урожая (например, сред-

$$J_s = \frac{K_y}{K_x} \cdot 100,$$

нее количество зерен на одно продуктивное растение) более урожайного сорта; K_x – то же, но у менее урожайного сорта. Отношение двух признаков есть индекс [3]. Поэтому

величина J_s получила название индекса селектируемого признака [10]. Для оценки значения каждого J_s в формировании прибавки урожая имеет значение интервал колебания этого индекса по годам у компонентов структуры урожая, обуславливающих превышение продуктивности одного сорта над другим. При этом некоторые из компонентов структуры у высокоурожайного сорта могут не отличаться или даже быть меньше по значению, чем у низкоурожайного сорта, то есть J_s будет в таких случаях равен или менее 100%.

В каждом году при испытании набора сортов выбранный наиболее перспективный образец должен отличаться от менее урожайного сорта (например, стандарта) на величину, равную или превышающую наименьшую существенную разность (НСР). Изучая влияние индекса селектируемого признака на ограниченном отрезке времени, правильно установить и понять вклад этого фактора в изменчивость прибавки урожая в селекционном процессе невозможно.

В таблицах 1 и 2 показан сравнительный вклад элементов структуры в объяснение дисперсии урожайности и вклад индексов селектируемых признаков в объяснение дисперсии прибавки урожайности зерна проса, рассчитанные на длительных рядах наблюдений.

Таблица 1

Вклад элементов структуры в вариацию уровня урожайности и вклад селекционных индексов в вариацию уровня прибавки урожайности проса на Соль-Илецком ГСУ

Источник варьирования	Коэффициенты регрессии	Уровень значимости	Доля влияния фактора, %
Вклад элементов структуры в формирование уровня урожайности			
Свободный член	-40,8116	0,000	-
Количество зерен на одно продуктивное растение, шт.	0,1040	0,000	61,89
(Количество зерен на одно продуктивное растение, шт.) ²	-0,0001	0,000	5,37
Продуктивные растения, шт./кв. м	0,2675	0,000	19,92
(Продуктивные растения, шт./кв. м) ²	-0,0007	0,007	4,51
Масса 1000 зерен, г	2,5468	0,003	2,03
Для полной регрессии: R-квадрат = 0,937; стандарт. ошибка оценки = 2,6 ц с 1 га; P = 0,000			
Вклад J_s в формирование уровня прибавки урожайности			
Свободный член	-228,35	0,000	-
J_s Количество зерен на одно продуктивное растение	0,979	0,000	60,83
J_s Количество продуктивных растений	1,303	0,000	26,21
J_s Масса 1000 зерен	0,986	0,000	10,53
Для полной регрессии: R-квадрат = 0,977; стандартная ошибка оценки = 4,2%; P = 0,000			

На рисунке 1 для наглядности показана зависимость урожайности зерна проса от количества зерен на одно продуктивное растение на Саракташском ГСУ.

Преобразованные данные, в частности возведенные во вторую степень, используются в данной работе, чтобы приблизить теоретическое (усредненное) течение функции к экспериментальным точкам корреляционного поля на графике. В данном случае криволинейность связи ограничивается нами констатацией наличия тенденции.

Основная доля влияния на вариацию прибавки урожайности в степной и сухостепной зонах Оренбургского Предуралья принадлежит индексам количества зерен на одно про-

дуктивное растение (59–60%, т. е. 6 лет из десяти) и количеству продуктивных растений на единице площади (22–26%, т. е. 2–3 года из десяти), что в сумме составляет 8–9 лет влияния из 10.

Таблица 2

Вклад элементов структуры в вариацию уровня урожайности и вклад селекционных индексов в вариацию уровня прибавки урожайности проса на Саракташском ГСУ

Источник варьирования	Коэффициенты регрессии	Уровень значимости	Доля влияния фактора, %
Вклад элементов структуры в формирование уровня урожайности			
Свободный член	-45,7999	0,000	-
Количество зерен на одно продуктивное растение, шт.	0,1087	0,000	16,86
(Количество зерен на одно продуктивное растение, шт.) ²	-0,0001	0,000	7,55
Продуктивные растения, шт./кв. м	0,2835	0,000	34,63
(Продуктивные растения, шт./кв. м) ²	-0,0006	0,004	2,15
Масса 1000 зерен, г	2,7428	0,003	30,93
Для полной регрессии: R-квадрат = 0,921; стандарт. ошибка оценки = 2,4 ц с 1 га; P = 0,000			
Вклад J_s в формирование уровня прибавки урожайности			
Свободный член	-165,304	0,000	-
J_s Количество зерен на одно продуктивное растение	0,820	0,000	59,23
J_s Количество продуктивных растений	0,888	0,000	22,08
J_s Масса 1000 зерен	0,950	0,000	10,62
Для полной регрессии: R-квадрат = 0,919; стандарт. ошибка оценки = 5,6%; P = 0,000			

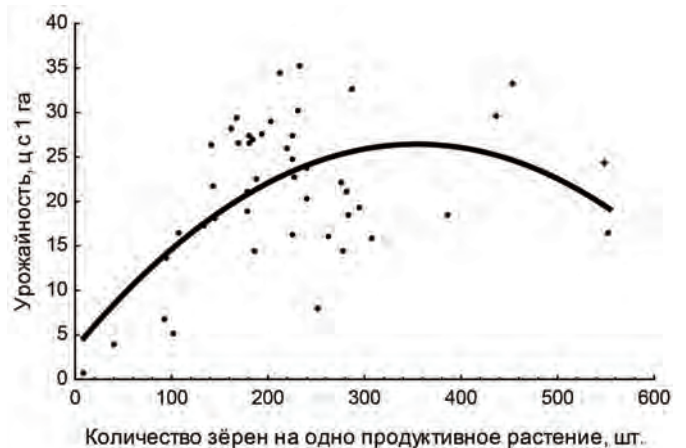


Рис. 1. Зависимость урожайности зерна проса от количества зерен на одно продуктивное растение на Саракташском ГСУ.

Годы, обуславливающие вариацию прибавки урожайности за счет индекса массы 1000 зерен, для проса будут встречаться 1 раз за 10 лет. Следовательно, процесс селекции по этому индексу будет более длительный, поскольку однажды выделенные перспективные номера приходится «прокачивать» через селекционные питомники, дожидаясь повторного появления подобиных лет.

В практическом плане, начиная с селекционного питомника, где применяется производственная норма высева, отбирается группа перспективных номеров, координаты индекса прибавки урожайности которых укладываются, напри-

мер, выше 120% (рис. 2), при условии, что погодные факторы предстоящего года обеспечивают наибольшую прибавку урожайности за счет индекса озерненности продуктивного растения.

Отобранная группа сортономеров продолжает испытываться в следующие годы в питомниках по схеме селекционного процесса.

Подобный отбор позволяет накапливать для испытания и передачи на государственное испытание новые сорта, обеспечивающие превышение урожайности над стандартом по количеству зерен на одно продуктивное растение. Новые сорта проса, полученные в результате такого отбора, будут обеспечивать прибавку урожайности в 60% случаев (примерно 6 лет из 10).

Основная трудность в использовании сортов, отобранных на базе преимуществ отдельных индексов селективируемых признаков, заключается в следующем.

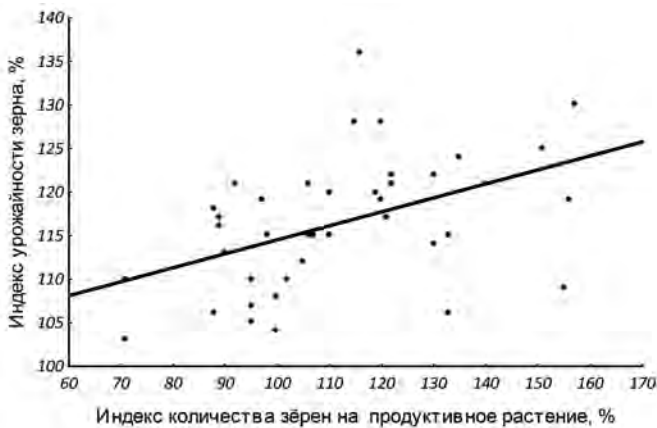


Рис. 2. Зависимость прибавки урожайности зерна проса от индекса количества зерен на одно продуктивное растение на Сараташском ГСУ.

Первая трудность обусловлена уже на стадии государственного сортоиспытания, которое ориентировано на обязательную ежегодную прибавку урожайности у новых сортов, чего в принципе ожидать нельзя в условиях неустойчивого увлажнения. Для оценки новых сортов в таких условиях необходимо как минимум 10 лет [11, 12].

Вторая трудность – отсутствие прогнозной информации о погоде на предстоящий год и ее влиянии на формирование элементов структуры урожайности. Разработка подобных прогнозов – сфера высоких технологий. Возможные подходы к их реализации были показаны ранее [13]. Таким образом, приходит понимание необходимости формирования сложной информационной системы для обоснования экологических основ селекции.

Но и информационная система для генетических основ селекции не менее сложна. Несмотря на многолетние усилия многих поколений биологов, разрыв в нашем понимании информационного потока между генотипом и фенотипом сокращается крайне медленно, если сокращается вообще [14].

В связи с тем, что абсолютного превышения доли влияния какого-либо одного селекционного индекса нет по данной зоне, возникает необходимость прогноза как урожайности, так и элементов структуры урожайности в абсолютных величинах на предстоящий год. При этом приходится рассчитывать прогнозы указанных характеристик как по ряду наблюдений с максимальной урожайностью, так и по ряду наблюдений с урожайностью ниже максимальной на наименьшую существенную разность (НСР₀₅).

Поскольку данные структурного анализа урожайности по ГСУ Оренбургской области заканчиваются 2000 годом, для

изложения алгоритма формирования агроэкологического типа сорта проса использована информация по структурному анализу урожайности на Соль-Илецком ГСУ за 1954–2000 гг. (47 лет наблюдений) и на Сараташском ГСУ за 1944–2000 гг. (57 лет наблюдений).

Результаты моделирования ожидаемой урожайности и элементов ее структуры представлены в таблице 3.

Таблица 3

Прогноз урожайности, количества продуктивных растений и массы 1000 зерен проса на предстоящий год. Метод остаточных отклонений и наложения эпох

Ряд наблюдений по уровню ежегодного показателя урожайности	Сараташский ГСУ		Соль-Илецкий ГСУ			
	Тест на текущий год		Прогноз на предстоящий год	Тест на текущий год		Прогноз на предстоящий год
	факт	модель		факт	модель	
Урожайность, ц с 1 га						
Максимальный	33,4	33,6	15,4	31,5	31,8	12,1
Ниже максимального на НСР ₀₅	26,7	27,7	10,1	32,4	33,0	9,0
Количество продуктивных растений, шт./м ²						
Максимальный	204	203	141	149	147	91
Ниже максимального на НСР ₀₅	166	176	152	108	105	140
Масса 1000 зерен, г						
Максимальный	7,9	7,9	7,0	8,1	8,0	7,7
Ниже максимального на НСР ₀₅	8,7	8,6	7,5	8,6	8,1	7,0

Таблица 4

Расчет селекционных индексов на предстоящий год на базе спрогнозированных значений урожайности и элементов ее структуры для степной и сухостепной зон Оренбургского Предуралья

Ряд наблюдений по уровню ежегодного показателя урожайности	Прогнозные значения				Селекционные индексы, %			
	Урожайность, ц с 1 га	Количество продуктивных растений, шт./м ²	Масса 1000 зерен, г	Количество зерен на одно продуктивное растение, шт.	Урожайности	Количество продуктивных стеблей	Масса 1000 зерен	Количество зерен на одно продуктивное растение
Сараташский ГСУ								
Максимальный	15,4	141	7,0	156	153	92	93	175
Ниже максимального на НСР ₀₅	10,1	152	7,5	89	–	–	–	–
Соль-Илецкий ГСУ								
Максимальный	12,1	91	7,7	172	134	65	110	170
Ниже максимального на НСР ₀₅	9,0	140	7,0	101	–	–	–	–

Далее на основе полученных прогнозных оценок рассчитываются селекционные индексы (табл. 4). Прогнозные значения количества зерен на одно продуктивное растение рассчитаны на основе пропорции массы зерна на одном среднем продуктивном растении и массы 1000 зерен. В соответствии с результатами моделирования в предстоящем году решающее влияние на динамику индекса урожайности (т. е. на прибавку) принадлежит индексу количества зерен на одно среднее продуктивное растение.

Определив в год уборки урожая селекционные индексы сортономеров относительно уже районированного стандартного сорта в питомниках с производственной нормой высева (контрольный питомник, конкурсное сортоиспытание), отбираются для посева в предстоящем году перспективные номера с учетом наибольшей доли влияния их селекционных индексов. Конкретно в нашем случае это будет индекс количества зерен на одно продуктивное растение.

В процессе проработки селекционного материала в питомниках с производственной нормой высева рекомендовано уменьшать вариацию селекционного индекса, ориентируясь на высокие его показатели (табл. 5). Как видно из данной таблицы, на посев в предстоящем году для Саракташского ГСУ следует отобрать сортономера: Павлодарское-2, Харьковское-25, Волжское-3, Актюбинское-146.

Таблица 5

Отбор сортономеров для посева в будущем году на основе спрогнозированных селекционных индексов количества зерен на одно среднее продуктивное растение. Оценка сортов относительно стандартного сорта Оренбургское-9 (Саракташский ГСУ)

№ п/п	Сорт	Урожайность, ц с 1 га	Количество продуктивных растений, шт./кв. м	Количество зерен на одно продуктивное растение, шт.	Масса 1000 зерен, г	Индексы (I _s), %			
						Урожайность	Количество продуктивных растений, шт./кв. м	Количество зерен на продуктивное растение	Масса 1000 зерен
1	Оренбургское-9 – St.	18,8	142	179	7,4	–	–	–	–
2	Павлодарское-1	21,6	221	144	6,8	115	156	80	92
3	Павлодарское-2	22,7	148	229	6,7	121	104	128	91
4	Старт	26,5	195	170	8,0	141	137	95	108
5	Оренбургское-3	21,9	208	139	7,6	116	146	78	103
6	Оренбургское-42	23,0	182	162	7,8	122	128	91	105
7	Оренбургское-5	23,4	179	172	7,6	124	126	96	103
8	Харьковское-25	23,8	150	206	7,7	127	106	115	104
9	Саратовское-3	22,4	149	188	8,0	119	105	105	108
10	Волгоградское-4	25,1	206	140	8,7	134	145	78	118
11	Волжское-3	25,9	147	220	8,0	138	104	123	108
12	Актюбинское-146	20,9	107	257	7,6	111	75	143	103

Такие сорта, как Павлодарское-1, Старт, Оренбургское-3, Оренбургское-42, Оренбургское-5, Волгоградское-4, должны испытываться в годы, в которые основное влияние на индекс урожайности (т. е. на прибавку) будет оказывать индекс количества продуктивных растений на единицу площади. Поэтому они также высеваются в предстоящем году в отдельном питомнике для размножения и последующих отборов в соответствующих погодных условиях.

Предложенная стратегия направлена на создание набора сортов, каждый из которых обеспечивает оптимальное использование своих благоприятных погодных условий в предстоящем году. Остальные сорта набора также пересеваются, но на меньших площадях для получения резерва семян.

Селекция сортов проса на базе индекса массы 1000 зерен на данной территории будет малоперспективна, поскольку этот индекс определяет вариацию прибавки урожайности примерно 1 раз за 10 лет.

Выводы

Показана необходимость и возможность получения прогнозных оценок урожайности и элементов ее структуры с большой заблаговременностью на основе применения методов нелинейного описания динамики их временных рядов методом остаточных отклонений в совокупности с методом наложения эпох.

Предложена методология формирования агроэкоотипа сорта проса в селекционном процессе, которая включает: метод разработки параметров селекционных индексов, новую тактику отбора перспективных номеров в плотных посевах (контрольный питомник, конкурсное сортоиспытание) на основе прогнозных оценок селекционных индексов, реализующих оптимальное использование погодных факторов в предстоящем году. Данная стратегия определяет формирование и использование набора (комплекса) сортов проса для указанной территории.

Литература

1. Вавилов Н. И. Селекция как наука. В кн.: Избранные произведения. – Ленинград: Наука, Ленинградское отделение, 1967. – С. 328 – 342.
2. Драгавцев В. А., Кочерина Н. В. Современные проблемы взаимодействия генетики и селекции растений. – Аграрная Россия. – 2006. (3). – С. 27–29.
3. Кочерина Н. В., Драгавцев В. А. Введение в теорию эколого-генетической организации полигенных признаков растений и теорию селекционных индексов. Санкт-Петербург: СЦДБ. – 2008. – 88 с.
4. Тихонов В. Е., Неверов А. А. Моделирование ожидаемой урожайности в степном Предуралья с учетом лаговых переменных и изменения расстояния от центра масс Солнечной системы до Земли / Российская сельскохозяйственная наука (Прежнее название – Доклады Российской академии сельскохозяйственных наук). – 2016. – № 1. – С. 34–37.
5. Тихонов В. Е., Неверов А. А. Движение Земли вокруг барицентра Солнечной системы как информационная основа долгосрочного прогнозирования урожайности / Аграрный вестник Урала. – 2015. – №12 (142). – С. 24–29.
6. Тихонов В. Е., Неверов А. А. Долгосрочное прогнозирование урожайности в степной зоне Урала на основе современных методов оценки солнечно-земных связей / Аридные экосистемы. – 2014. – т. 20. – № 4 (61). – С. 86–92.

7. Пономарёва О. В. Роль планет и планетных групп в активности солнца / Труды региональной научно-технической конференции. – Петропавловск-Камчатский: ГС РАН. – 2008. – Т. 2. – С. 212–216.
8. Федулов К. В., Астафьева Н. М. Структура климатических изменений (по палеоданным и данным инструментальной эпохи). – Москва, 2008. – РАН. – Институт космических исследований. – 60 с.
9. Абдусаматов Х. И. Измерение временных вариаций формы и диаметра Солнца, а также тонкой структуры активных и спокойных областей фотосферы на Службном модуле Российского сегмента МКС [Электронный ресурс]. <http://www.gao.spb.ru>
10. Тихонов В. Е. Селекционные индексы и тактика отбора зерновых культур в степной зоне Урала / Аграрная наука. – 2010. (7). – С. 12–14.
11. Жученко А. А. Адаптивная система селекции растений (эколого-генетические основы). – М.: РУДН, ООО «Издательство Агрорус». – 2001. – Т. 1. – 782 с.
12. Неттевич Э. Д. Влияние условий возделывания и продолжительности изучения на результаты оценки сорта по урожайности / Вестник Российской академии сельскохозяйственных наук. – 2001. (3). – С. 34–38.
13. Тихонов В. Е., Неверов А. А. Прогноз предикторов многомерной модели урожайности яровой пшеницы для оценки неблагоприятных условий вегетации: времени их наступления, интенсивности и продолжительности / Бюллетень Оренбургского научного центра УрО РАН. – 2015. – № 3 – С. 1–13 [Электронный-ресурс] (URL: <http://elmag.uran.ru:9673/magazine/Numbers/2015-3/Articles/VET-AAN-2015-3.pdf>).
14. Свердлов Е. Д. Биологический редуционизм уходит? Что дальше? – Вестник Российской академии наук. – 2006. – 76. (8). – С. 707–721.
-

УДК 633/635:631.52

Академик Н. И. Вавилов об экологических аспектах орошения в сельскохозяйственном растениеводстве

Member of the Academy of Sciences N.I. Vavilov about ecological aspects of irrigation in agricultural plant growing

**А. В. ЧАМЫШЕВ,
Н. В. ТОЧИЛКИНА**
Саратовский социально-
экономический институт
РЭУ им. Г. В. Плеханова,
г. Саратов
e-mail: Chamyshev@bk.ru
e-mail: tochilkina_fdpo@mail.ru

**A. V. CHAMYSHEV,
N. V. TOCHILKINA**
Plekhanov Russian University
of Economics, Saratov
e-mail: Chamyshev@bk.ru
e-mail: tochilkina_fdpo@mail.ru

Обобщены результаты новаторских научных исследований академика Н. И. Вавилова по изучению влияния орошения на экологию культурных растений и выбор возделываемых растений. Показаны особенности современного орошаемого растениеводства и актуальность научных исследований академика Н. И. Вавилова в связи с новыми тенденциями в агроэкологии орошаемых полей.

Ключевые слова: экология, растение, сорт, почва, орошение, экологические ресурсы, аридная зона, водный режим.

Results of path-breaking scientific research of the Member of the Academy N.I. Vavilov for the study of irrigation impact on ecology and choice of cultivated plants are summarized.

Features of modern irrigated plant growing and relevant scientific research of the Member of the Academy N.I. Vavilov with regard to the new trends in the agroecology of irrigation fields are shown.

Key words: ecology, plant, variety, soil, irrigation, ecological resources, unsaturated zone, moisture regime.

Для сельскохозяйственного производства особенно ценными являются земли, которые используются под земледелие. Однако площади земель, пригодных для производства продовольствия, на земном шаре весьма ограничены. По данным Н. И. Вавилова, в 30-х годах прошлого века только 7% суши использовалось под земледелие [1]. По обеспеченности земельными ресурсами Российская Федерация в настоящее время занимает ведущее место в мире – 0,85 гектара пашни на душу населения, что значительно выше мирового показателя. Однако около 60% пахотных земель в нашей стране расположено в аридной и полуаридной зоне, где недостаток естественной влаги резко ограничивает продуктивность сельскохозяйственных растений. Поэтому Н. И. Вавилов разработал целый комплекс мер по повышению устойчивости земледелия в зоне недостаточного увлажнения. В этом комплексе мер он выделяет два основных направления.

Первое направление мер по борьбе с засухой предполагает внедрение в культуру в засушливых условиях наиболее

засухоустойчивые растения, «отличающиеся от других растений по выносливости к засухе, по их способности давать урожаи даже в условиях засушливого лета» [2]. Однако, несмотря на высокую устойчивость к засухе, продуктивность засухоустойчивых растений в этих экологических условиях не столь высока. Кроме того, как отмечает Н. И. Вавилов, подавляющее большинство возделываемых растений в пределах нашей страны относится к влаголюбивым растениям, и в этой ситуации возникает необходимость существенного улучшения условий среды, в особенности водного режима растений.

Второе направление предполагает, по мнению ученого, коренное улучшение водного режима в зоне недостаточного увлажнении, так как «самым радикальным видом вмешательства человека в изменение условий среды является применение искусственного орошения, практикуемого уже с глубокой древности» [3]. Искусственное орошение восполняет дефицит влаги в засушливых районах, что позволяет полнее использовать богатые в этих районах ресурсы тепла, солнечной радиации и другие экологические факторы для получения высоких урожаев. Многие засушливые районы страны характеризуются продолжительным периодом вегетации, периодом благоприятным в температурном отношении для роста и развития культурных растений. Однако недостаток влаги в значительной части вегетационного периода ограничивает возможность успешного с хозяйственной точки зрения завершения жизненного цикла многими ценными растениями, особенно имеющими продолжительный вегетационный период. Поэтому, улучшая водный режим в полупустынных и пустынных районах, орошение способствует более рациональному использованию продолжительного периода вегетации за счет возделывания более продуктивных растений. Например, в северном Афганистане, по наблюдениям Н. И. Вавилова, около Герата, только на орошаемых землях возделывается позднеспелый продуктивный вид пшеницы *Triticum turgidum* L. – «зафрани», в то время как на неполивных землях используются менее продуктивные, засухоустойчивые сорта мягкой пшеницы [3]. Значение орошаемого хозяйства для эффективного использования экологических ресурсов вегетационного периода пустынных и полупустынных районов ученый подтверждает также на примере других полевых культур: ячменя, кукурузы, дынь, а также плодовых. Н. И. Вавилов делает вывод, что «во всяком случае, орошение открывает возможность подбора новых более продуктивных форм» [4].

Следует отметить, что орошение земель, создавая благоприятные условия увлажнения в засушливых районах, открывает возможность возделывания здесь не только более продуктивных сортов возделываемых растений, но и делает реальной перспективу производственной интродукции новых растений, то есть введение новых культур. На основе созданного Н. И. Вавиловым учения по интродукции культурных растений уже в 30-х годах прошлого века в ряде районов нашей страны был внедрен ряд новых культур. Впоследствии на орошаемых землях были образованы новые крупные районы производственного рисосеяния: на Северном Кавказе, в Поволжье, на Дальнем Востоке. Созданные раннеспелые и среднеспелые сорта риса для северных районов отечественного рисосеяния с вегетационным периодом 107–115 дней Кубань-3, Кубань-9, Горизонт, Старт, Союзный-244 [5] позволили существенно продвинуть культуру риса в новые, более северные орошаемые районы страны.

Наши исследования, проведенные в Саратовском Заволжье, показали возможность производственного возделывания риса при орошении в самом северном районе не только отечественного, но и мирового рисосеяния – 50°28' северной широты [6]. Здесь орошение, улучшая водный режим, микроклимат культурного поля, позволяет полностью использовать период, благоприятный для роста и развития риса, и в то же время вовлекать в интенсивный сельскохозяйственный оборот малопродуктивные угодья. На засоленных землях, мелиорированных (промытых) с помощью культуры затопляемого риса, открывается возможность возделывания других ценных культур, эффективно использующих экологические ресурсы периода вегетации.

Самым дорогим из возделываемых растений Н. И. Вавилов считал хлопчатник и относил его к важнейшим культурам орошаемого земледелия. Уже в первой региональной монографии по растениеводству в нашей стране «Полевые культуры Юго-Востока» [7] он указывает на реальную перспективу продвижения ряда теплолюбивых культур, том числе и хлопчатника как важнейшей поливной культуры, в новые районы орошаемого земледелия страны, включая Нижнее Поволжье. Научное предвидение академика Н. И. Вавилова подтверждают современные масштабные исследования Всероссийского НИИ орошаемого овощеводства и бахчеводства. Созданная институтом в последние годы серия раннеспелых сортов хлопчатника с вегетационным периодом 112–115 дней формирует в условиях юга Астраханской области, в поливной культуре, урожаи хлопка-сырца высокого качества на уровне 25 центнеров с гектара и выше. Таким образом, модификация экологии поля в результате орошения и применения инновационных технологий на основе новых сортов дает возможность использовать богатые ресурсы тепла и солнечной радиации низовья Волги для формирования урожая ценного волокна хлопчатника. Успешный производственный опыт с этой культурой позволяет утверждать об образовании на орошаемых землях юга нашей страны одного из самых северных районов мирового хлопководства.

Применение орошения существенно меняет весь комплекс экологических условий культурных растений. Положительная агроэкологическая роль орошения еще более усиливается, если его влияние дополняется естественными природными факторами. Интенсивный тип хозяйства Гератской долины, гератского оазиса в Афганистане, изолированного с юга и запада пустынями, Н. И. Вавилов объясняет комплементарным взаимодействием орошения и особенностями местного рельефа местности и климата: «Сухость воздуха Герата, расположенного на высоте тысячи метров н. у. м., умеряется искусственным орошением и местным

ветром (NNE), дующим 120 дней, с мая по сентябрь, с Гиндукуша» [8]. Таким образом, орошение, с одной стороны, взаимодействуя с особенностями местного климата, способствует в целом рациональному использованию экологических ресурсов региона, с другой стороны, некоторые эти природные особенности дополняют и увеличивают эффективность самого орошения.

По мнению выдающегося ученого, орошение, кроме коренного улучшения водного режима, положительно влияет и на другие стороны жизни растений. Например, воды Нила «обеспечивают потребности земледелия Египта в орошении и в значительной части в удобрении. Покрывая собой огромные пространства, Нил насыщает их плодородием» [3]. Н. И. Вавилов приводит и другие положительные примеры повышения плодородия почв от орошения водами крупных рек: «Взмученная вода Аму-Дарьи несет собой большое количество ила, не уступающего по качеству и количеству нильскому илу» [9]. Орошение, улучшая экологию орошаемого поля, удлиняет период продуктивной ассимиляции у культурных растений, что у многих растений существенно улучшает как количество, так и качество продукции. Например, орошение эффективно повышает как количество масла в семенах масличных культур [9], так и качество самого масла [10].

Влияние орошения на экологию орошаемого поля существенно определяется количеством воды, дополнительно поданной на орошаемое поле, то есть оросительной нормой, и тем, в какие сроки она распределяется, или режимом орошения. Объем подаваемой воды на орошение также существенно определяет экологическую безопасность технологий орошаемого поля. Во многих районах, особенно менее аридных, орошение, по мнению ученого, должно только лишь дополнять естественные осадки в целях получения высоких урожаев [11]. Это принципиально важное положение Н. И. Вавилова для ирригационной науки в период развития большого орошения в нашей стране во второй половине XX века во многих случаях не выполнялось, когда на орошаемое поле подавалось больше воды, чем требовалось согласно биологии орошаемых растений. Большие потери оросительной воды наблюдались также при ее транспортировке к орошаемой территории. Это вызвало неблагоприятные экологические последствия на тех оросительных системах, где нарушались научно обоснованные нормы орошения – недопустимый подъем уровней грунтовых вод, засоление и деградацию почвенного покрова орошаемой территории. В конечном счете эти негативные процессы резко уменьшали эффективность использования орошаемых земель в эти годы и ухудшили ряд экологических характеристик орошаемых земель, увеличили антропогенную нагрузку на прилегающие территории. Поэтому, по мнению ученого, количество воды, потребное для орошения, хотя и варьирует по районам в зависимости от климата, от распределения осадков, культуры, но оно должно быть лишь в качестве дополнения к естественным осадкам для получения высоких урожаев [11].

Академик Н. И. Вавилов показал, как мы видим, что метод ирригации открывает совершенно новые возможности использования мировых растительных ресурсов. В то же время, по мнению ученого, орошение, мелиорация способствуют рациональному природопользованию во многих природных зонах нашей страны, позволяет вовлекать в высокопродуктивный сельскохозяйственный оборот земельные ресурсы, расположенные в самых разных экологических условиях, так как «от южных полей до полярного края раскинулись наши леса и поля». Однако преобладающая часть сельскохозяйственных угодий в стране располагается

в зоне умеренного климата, где отчетливо выражены все четыре времени года с продолжительной зимой с суровыми морозами, что в целом усложняет выращивание многих теплолюбивых, в особенности многолетних культур. Это предполагает самое эффективное использование земель в южных регионах нашей страны. В связи с этим Н. И. Вавилов писал: «Ограничена наша субтропическая область, но тем более мы должны рационально использовать каждый квадратный метр этой площади, пригодной для возделывания наиболее дорогого, импортируемого нами из-за границы растительного сырья» [1]. По его мнению, «к сухим субтропикам принадлежит также и южный прибрежный Крым с его благодатным климатом» [12]. Однако в этом регионе производство многих видов растительных продуктов ограничивается недостатком влаги. На основе оценки экологических ресурсов полуострова Н. И. Вавилов пришел к заключению, что здесь «при правильной мелиорации большие пространства могут быть превращены в первоклассные насаждения субтропических культур, в парки культуры и отдыха» [12]. Сегодня развитие орошения в Крыму ограничивает недостаток водных ресурсов. Однако в новейших исследованиях российских ученых уже предложены практические мероприятия по повышению водообеспеченности этого региона страны [13, 14], что открывает перспективы развития орошения с целью увеличения производства продукции южных культур.

Академик Н. И. Вавилов при возделывании растений придавал большое значение средоулучшающей роли агрикультурных факторов. Орошение, по его мнению, в зоне засушливого климата, эффективно улучшая экологию возделываемых растений, существенно увеличивает продуктивность многих сельскохозяйственных культур. Даже яровая пшеница, которая из зерновых культур не отличается исключительной отзывчивостью на орошение, обеспечивает хорошие прибавки урожая. В 30-х годах прошлого века в нашей стране еще не было достаточно широкого практического опыта орошения пшеницы, и ученый делает заключение об эффективности орошения этой культуры на основе зарубежного опыта: «Такие факторы, как ирригация, вносят коренные изменения в урожай, утраивают или даже учетверяют его, как показывают орошаемые районы пшеницы США или Канады» [15].

На современном этапе развития аграрного комплекса экология культурных растений существенно трансформируется в условиях глобального изменения климата. Прогнозируется, что к 2030 году засушливость климата европейской территории России повысится с уменьшением влагозапасов почвы в теплый период [16]. Изменившиеся климатические и почвенные условия, современные инновационные технологии, применяемые на полях во взаимодействии со вновь созданными сортами и формами культурных растений, в целом способствуют модификации агроэкологической ситуации на орошаемых полях. В связи с этим актуальность развития основных научных положений академика Н. И. Вавилова об экологическом значении орошения в сельскохозяйственном растениеводстве повышается и приобретает новые аспекты.

Литература

1. Вавилов Н. И. Проблема новых культур / Академик Н. И. Вавилов. Избранные труды в пяти томах. – М.-Л. АН СССР. – 1965. – Т. 5. – С. 537–563.
2. Вавилов Н. И. Мировые ресурсы засухоустойчивых растений / Борьба с засухой. Всесоюзная конференция по борьбе с засухой. Сб. материалов. Под ред. И. Д. Верминичева и В. М. Румянцева. – М.-Л. – Гос. изд-во сельскохозяйственной и колхозно-кооперативной литературы. – 1939. – С. 140–150.
3. Вавилов Н. И. Мировые ресурсы сортов хлебных злаков, зерновых бобовых, льна и их использование в селекции. Опыт агроэкологического обозрения важнейших полевых культур. М., -Л. АН СССР. – 1957. – С. 462.
4. Вавилов Н. И. Научные основы селекции пшеницы / Н. И. Избранные произведения в двух томах. – Л., Наука, – 1967. – Т. 2. – С. 183.
5. Сметанин А. П. Создание сортов риса для северных районов отечественного рисосеяния. Автореферат дис. доктора с.-х. наук. – Л. – 1975. – 47 с.
6. Чамышев А. В. Культура риса на юго-востоке России. – Саратов. – СГСЭУ. – 2009. – 148 с.
7. Вавилов Н. И. Полевые культуры Юго-Востока. – Петроград. – Новая деревня. – 1922. – 228 с.
8. Вавилов Н. И. Земледельческий Афганистан. – Л., Всес. ин-т прикл. ботаники и новых культур и ГИОА. – 1929. – С. 92.
9. Вавилов Н. И. Возделываемые растения Хивинского оазиса (ботанико-агрономический очерк) / Академик Н. И. Вавилов. Избранные труды в пяти томах. М., -Л. АН СССР. – 1960. – Т. 2. – С. 71–116.
10. Иванов Н. Н., Арасимович В. В. Орошение и качество урожая масличных / Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. Серия А. № 11. – 1934. – С. 81–94.
11. Вавилов Н. И. Опыт Северной Америки по орошению пшеницы и что можно из него позаимствовать / Труды по прикладной ботанике, генетике, и селекции. № 3. – 1934. – С. 5–19.
12. Вавилов Н. И. Субтропическое растениеводство СССР и его перспективы / Н. И. Вавилов. Организация сельскохозяйственной науки в СССР. Избранные статьи и выступления. – М. Агропромиздат. – 1987. – С. 373–382.
13. Кизяев Б. М., Исаева С. Д. Проблемы водоснабжения на Крымском полуострове и поиск их решения / Мелиорация и водное хозяйство. – 2014. – № 3. – С. 2–6.
14. Дубенок Н. Н., Лящевский В. И. Состояние и перспективы водообеспечения Республики Крым / Мелиорация и водное хозяйство. – 2015. – № 3. – С. 8–11.
15. Вавилов Н. И. Пшеница в СССР и за границей / Социалистическая реконструкция сельского хозяйства. – 1935. – № 12. – С. 110–122.
16. Устойчивость климата и риски в условиях изменения климата: монография / Под ред. А. Л. Иванова, И. Б. Ускова. – СПб. – 2009. – 96 с.

К 90-летию В.А. Крупнова

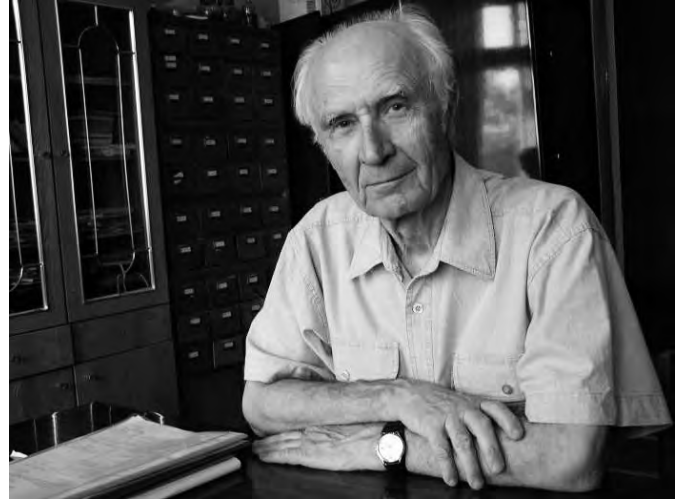
Dedicated to the 90th anniversary of V.A. Krupnov

3 августа 2017 г. исполнилось 90 лет выдающемуся генетику пшеницы Крупнову Василию Ананьевичу.

Он родился в с. Большая Таволожка Пугачевского района Саратовской области. Свою трудовую деятельность начал в 1945 г. после окончания сельскохозяйственного техникума участковым агрономом МТС в Саратовской области и с тех пор вся его деятельность тесно связана с сельским хозяйством. С 1960 г. работал в НИИСХ Юго-Востока (г. Саратов). Был заместителем директора по научной работе, заведующим лабораторией генетики и цитологии. Василию Ананьевичу принадлежит заслуга в возрождении исследований по генетике растений в НИИСХ Юго-Востока, которые были прерваны в 1937 г. Он основал уникальную научную школу по генетике пшеницы, которая плодотворно сочетает генетические исследования, широко известные в стране и за рубежом, с решением практических задач селекции.

Широкую известность получили работы коллектива отдела генетики и цитологии, возглавляемого В.А. Крупновым, по действию генов фертильности у пшеницы при ГМС и ЦМС, по созданию наборов модельных почти изогенных линий пшеницы и на их основе изучению агрономической роли генов, детерминирующих такие признаки, как выполненность соломины, опушение листа (у твердой пшеницы), остистость колоса, окраска зерна и колосковых чешуй, содержание в зерне белка, реакция на фотопериод, высота растений, устойчивость к вредителям и возбудителям заболеваний. Совместно с сотрудниками отдела генетики Василий Ананьевич перенес в генофонд саратовских сортов мягкой пшеницы ценные гены от различных видов пырея, эгилопса, ржи и других сороричей. Это позволило поднять на новый уровень селекцию пшеницы на продуктивность и качество зерна, устойчивость к листовой ржавчине, мучнистой росе, вирусам, жаре, засухе. Исследования В.А. Крупнова и его коллег были признаны не только в России, но и за рубежом. Василий Ананьевич лично побывал во многих научных центрах мира (Сирия, Франция, Канада, Япония и др.), наладив там деловые и дружеские контакты со знаменитыми селекционерами и генетиками, а главное – изучил мировые приоритеты в генетической и селекционной работе. Благодаря этим связям лаборатория генетики и цитологии обменивается не только новейшей информацией, но и генетическим материалом.

В 1997 г. он был удостоен звания «Соросовский профессор». В течение ряда лет был членом диссертационных советов, экспертом ВАК. В.А. Крупнов подготовил более 35 кандидатов наук, из которых 7 стали докторами наук и основали свои научные школы. Успешно ведут селекцию растений в Самарском НИИСХ доктор наук А.А. Вьюшков, на Ершовской станции орошаемого земледелия – кандидат наук А.И. Пархоменко, на Краснокутской селекционной станции – доктор наук Н.И. Германцева (по нуту) и кандидат наук Л.А. Германцев (по пшенице), в ФГБНУ «НИИСХ Юго-Востока» – доктора наук С.Н. Сибикеев, Ю.В. Лобачев – в Саратовском ГАУ им.Н.И.Вавилова. Широко известны в нашей стране и за рубежом работы по генетическим ресурсам



доктора наук С.П. Мартынова, работающего во ВНИИ растениеводства.

В.А. Крупнов – член ВОГиС со дня основания общества. Многие годы руководил Волжским отделением ВОГиС, состоял членом президиума и центрального совета ВОГиС, руководил генетическим семинаром в г. Саратове.

В.А. Крупнов – соавтор свыше 260 отечественных и зарубежных публикаций. Основной принцип его работы – сочетание теоретических исследований с проверкой их на практике. Благодаря этому подходу под его руководством лаборатория генетики и цитологии ФГБНУ «НИИСХ Юго-Востока» создала ряд ценных и сильных сортов яровой мягкой пшеницы, среди которых Л503, Л505, Белянка, Добрыня, Лебедушка, Фаворит и другие, которые занесены в Госреестр селекционных достижений РФ для использования в Нижневолжском, Средневолжском, Уральском и других регионах. Эти сорта обладают высоким качеством зерна, устойчивостью к комплексу болезней и пользуются спросом у хлеборобов. Многие из экспериментальных линий пшеницы, созданных лабораторией генетики и цитологии, вошли в родословные районированных сортов, выведенных в других селекционных учреждениях страны, среди них Волгоуральская, Самсар, Альбидум 31, Прохоровка и др. Посевные площади под сортами, созданными в отделе генетики и цитологии под руководством В.А. Крупнова, составили свыше 1,2 млн гектаров. За свою плодотворную деятельность Василий Ананьевич награжден орденом Почета, медалью «Ветеран труда», Золотой медалью имени Н.И. Вавилова, бронзовой медалью ВДНХ СССР, Орденом Дружбы, ему присвоено почетное звание «Заслуженный деятель науки РФ».

Желаем юбиляру крепкого здоровья, долгих лет творческой работы и дальнейших успехов.

**С.Н. СИБИКЕЕВ, С.А. ВОРОНИНА, А.Е. ДРУЖИН,
Т.Д. ГОЛУБЕВА, Т.В. КАЛИНЦЕВА**

*Лаборатория генетики и цитологии
ФГБНУ «НИИСХ Юго-Востока», Саратов*