

СЕЛЕКЦИОННО-ГЕНЕТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ СОДЕРЖАНИЯ КАРОТИНОИДОВ В ЗЕРНЕ ПРОСА ПОСЕВНОГО

Н.П. ТИХОНОВ, кандидат сельскохозяйственных наук¹

М.А. МИХАЙЛОВ²

¹ ФГБНУ «НИИСХ Юго-Востока»,

² ЗАО «Байер», г. Саратов,

E-mail: alex_druzhin@mail.ru

Изложены основные методические аспекты и результаты селекции проса на повышенное содержание каротиноидных пигментов, а также фрагментарные результаты изучения сортов проса и гибридов между ними (F_1 , F_2 , F_3) по желтизне ядра. Показано, в частности, что желтизна ядра у гибридов первого поколения наследуется по промежуточному типу, а спектры расщепления гибридов F_2 определяются генетическими особенностями родительских сортов.

Ключевые слова: просо посевное, сорта и гибриды, наследование, желтизна ядра, каротиноидные пигменты.

В течение многих лет в лаборатории селекции и семеноводства проса НИИСХ Юго-Востока осуществляется селекция сортов с комплексом ценных признаков, включая максимально возможные желтизну ядра и содержание в зерне каротиноидных пигментов (КП). Среди рекомендованных к возделыванию сортов ценной крупяной культуры по данным показателям имеются существенные различия [1, 2]. В практической работе с гибридным и константным материалом важным и «основным критерием» отбора и оценки лучших генотипов является положительная и достаточно «устойчивая» корреляция между желтизной ядра (зерновки проса с удаленными цветковыми пленками) и содержанием в нем КП (1, 2, 3). При этом следует учитывать, что величина данной корреляции может существенно варьировать (от слабой до сильной) в разных «наборах» сортов проса и/или среди одних и тех же сортов в разные по климатическим условиям годы.

Цель данной работы – анализ наиболее важных аспектов наследования взаимосвязанных признаков «желтизна ядра» и «содержание каротиноидных пигментов» у сортов и гибридов проса посевного.

Методика исследований

1. Наследование желтизны ядра. В 2004 г. в полевых условиях в соответствии с запланированным экспериментом была проведена серия скрещиваний между сортами проса с учётом окраски зерна родительских форм (1 – «краснозерный х краснозерный»; 2 – «краснозерный х желтозерный»; 3 – «желтозерный х желтозерный») и их различий по желтизне ядра и содержанию в нем КП: «сорт с высоким содержанием КП х сорт с низким содержанием КП»; «сорт с высоким содержанием КП х сорт со средним содержанием КП»; «сорт с высоким содержанием КП х сорт с высоким содержанием КП». В качестве «базовых» были взяты сорта селекции НИИСХ Юго-Востока – Ильиновское (краснозерный, с высоким содержанием КП) и Золотистое (желтозерный, с высоким содержанием КП). В осенне-зимний период 2004-2005 гг. в тепличных условиях выращены и изучены родительские компоненты и гибриды F_1 (использовали только часть гибридных зерен). В 2005 г. («среднеблагоприятном» для синтеза КП) в полевых условиях одновременно изучены родительские формы, гибриды F_1 и F_2 (посев материала осуществлялся вручную, «одесскими» аппаратами в селекционном питомнике 1-го года). В 2006 г. в полевых условиях изучали родительские сортообразцы, гибриды F_2 (повторно) и F_3 -потомства. В исследованиях сделана «ставка» на тесную корреляцию содержания КП и интенсивности желтизны ядра. Для достижения максимально возможной точности эксперимента визуальную оценку ядра (определение «насыщенности» жёлтой окраски) у всех

индивидуальных растений P₁, P₂, F₁...F₃ выполнял наиболее опытный сотрудник (первый соавтор данной статьи).

2. Оценка экспериментального материала. Степень (интенсивность) желтизны ядра определялась нами по 5-бальной шкале, применяемой в лаборатории на протяжении нескольких десятилетий: 1 балл – «белесое», бледно-жёлтое, 2 – «желтоватое», 3 – жёлтое, 4 – ярко-жёлтое, 5 баллов – темно-жёлтое. Желтизну ядра у индивидуальных растений родительских сортов и гибридов (F₁, F₂, F₃) определяли путем отсчёта по 100 типичных (хорошо выполненным) зерен, их взвешивания (для определения крупности зерна), удаления цветковых плёнок и определения интенсивности жёлтой окраски ядра конкретного генотипа при сравнении его с соответствующей шкалой, состоящей из тест-сортов с 1...5 баллами желтизны. У родительских сортов и гибридов F₁ изучали по 10 типичных растений, у гибридов F₂...F₃ – порядка 100 (и более). В конечном итоге анализировали результаты исследований каждой конкретной гибридной комбинации, эксперимента в целом и многолетние данные по признаку «каротиноидные пигменты».

Результаты и их обсуждение. Сорта проса и гибриды F₁ имеют существенные различия практически по всем признакам, в т. ч. по желтизне ядра и содержанию КП (табл. 1).

Таблица 1

**Желтизна ядра у родительских сортов проса и гибридов F₁
(фрагментарные данные эксперимента, Саратов, 2005 г., полевые условия)**

Гибридная комбинация	Желтизна ядра у родительских форм	Желтизна ядра у растений F ₁
1. Скрещивание сортов «краснозёрный / краснозёрный»:		
Ильиновское / У2С 350-04 *	4,5 / 4,5	4,0
Ильиновское / Благодатное	4,5 / 4,0	4,0
Ильиновское / Волгоградское 4	4,5 / 3,0	4,0
Ильиновское / Крестьянка	4,5 / 2,5	3,5
Ильиновское / Колоритное 15 *	4,5 / 1,5	3,5
2. Скрещивание сортов «краснозёрный / жёлтозёрный»:		
Ильиновское / НА 34-03 **	4,5 / 3,0	3,5
Ильиновское / Золотистое	4,5 / 3,0	3,5
Ильиновское / Мироновское 51	4,5 / 2,0	3,5
Ильиновское / Кинельское 92	4,5 / 2,0	3,0
Ильиновское / Саратовское 2	4,5 / 2,0	2,5
Ильиновское / Харьковское 65 **	4,5 / 1,5	2,5
3. Скрещивание сортов «жёлтозёрный / краснозёрный»:		
Золотистое / У2С 350-04	3,0 / 4,5	3,5
Золотистое / Ильиновское	3,0 / 4,5	3,5
Золотистое / Благодатное	3,0 / 4,0	3,5
Золотистое / Волгоградское 4	3,0 / 3,0	3,0
Золотистое / Крестьянка	3,0 / 2,5	3,0
Золотистое / Колоритное 15	3,0 / 1,5	2,5
4. Скрещивание сортов «жёлтозёрный / жёлтозёрный»:		
Золотистое / НА 34-03	3,0 / 3,0	3,0
Золотистое / Мироновское 51	3,0 / 2,0	2,0
Золотистое / Кинельское 92	3,0 / 2,0	2,0
Золотистое / Харьковское 65	3,0 / 1,5	2,0

Примечания: * – максимальное и минимальное содержание каротиноидных пигментов у краснозёрных сортов проса в 2005 г.: У2С 350-04 = 12, 8 мг/кг; Колоритное 15 = 7,4 мг/кг); ** – максимальное и минимальное содержание каротиноидных пигментов у жёлтозёрных сортов проса: НА 34-03 = 11,9 мг/кг; Харьковское 65 = 7,4 мг/кг); корреляция показателей «желтизна ядра – содержание КП» варьировала от сильной (среди краснозёрных: r = 0,92

+/- 0,13; среди жёлтозёрных $r = 0,79$ +/- 0,11) до средней (без учёта окраски зерна $r = 0,62$ +/- 0,14).

Их изучение на уровне индивидуальных растений показало, что в первом поколении в большинстве комбинаций имеет место промежуточное проявление желтизны ядра (характерное для большинства признаков). В комбинациях с участием «низкокаротиноидных» сортов степень (интенсивность) желтизны «смещается» в сторону её увеличения, т.е. желтизна ядра у F_1 - растений типа Ильиновское / Колоритное 15 несколько выше «ожидаемой». В комбинации Ильиновское / У2С 350-04 («4,5 балла / 4,5 балла») степень желтизны ядра в F_1 оказалась несколько ниже ожидаемой ($\geq 4,0$ балла). Существенных различий между реципрокными гибридами не установлено.

Расщепление гибридов F_2 и F_3 -потомств в целом соответствовало нормальному распределению и отчетливо «демонстрировало» роль генотипических особенностей родительских сортов проса по взаимосвязанным признакам «желтизна ядра» и «содержание каротиноидных пигментов» (рис. 1, 2, 3; табл. 2). Очевидно, что в селекционной работе по «усилению» данных признаков как минимум один из скрещиваемых сортообразцов должен иметь ярко-жёлтое ядро и реально соответствовать понятиям «донор» и/или «источник».

Сравнительный анализ спектров расщепления гибридов F_2 и F_3 - потомств и частота рекомбинантов с соответствующей желтизной ядра отчетливо показывает существенные различия между гибридами «высококаротиноидный сорт / низкокаротиноидный сорт» и «высококаротиноидный сорт / высококаротиноидный сорт». Так, в F_2 -комбинации Ильиновское / Колоритное 15 – 94 % рекомбинантов (индивидуально изученных растений) составили «пик» с интервалом 2,0...3,0 балла. И только отдельные растения имели желтизну ядра либо «ниже» родительских форм (0,5-1,0 балла – «минус-трансгрессии»), либо «выше» них (3,5-4,0 балла – «плюс-трансгрессии») (рис. 1).

При этом в F_2 -комбинации Ильиновское / У2С 350-04 79 % растений имели более «насыщенную» желтизну ядра – 3,5...4,5 балла, а желтизна ядра у 12 генотипов (10,5 % популяции) оценена в 5,0 баллов. Эти и подобные им рекомбинанты имеют «особую» ценность с генетической точки зрения, поскольку является собой «базу» для создания константных «положительно-трансгрессивных» форм проса с более высоким уровнем содержания каротиноидов по сравнению с родительскими формами.

«Замена» Ильиновского на жёлтозёрный сорт Золотистое «привела» к снижению уровня желтизны ядра практически во всех комбинациях, однако дифференциация спектров расщепления, определяемая генотипическими свойствами обоих родительских сортов, при этом сохранилась. В F_2 -популяции Золотистое / Колоритное 15 (рис. 2) 95,2 % растений имели желтизну ядра 0,5...2,5 балла, при этом 3 и 2 растения оценены, соответственно, в 3,0 и 3,5 балла. F_2 -комбинация Золотистое / У2С 350-04 была существенно «желтее»: 4 растения (3,5 %) оценены в 1,0 балл, 86 генотипов (75,0 %) «занимали» интервал 1,5...3,0 балла при наличии более «перспективных» индивидуумов («плюс-трансгрессий») с 3,5...4,5 баллами (соответственно, 11, 8 и 5 растений).

В F_2 -комбинациях сортов «жёлтозёрный / жёлтозёрный» спектры расщепления по желтизне ядра заметно «бледнее» при сравнении с гибридами «краснозёрный / краснозёрный» (рисунки 1 и 3). Рекомбинанты с баллами желтизны 3,5 и выше (т.е. превышающих сорт Золотистое) выявлены только в популяции Золотистое / НА 34-03.

Очевидно, что окраска зерна у родительских форм вносит определённые «коррективы» в характер корреляции величин «желтизна ядра» и «содержание КП», а также расщепления гибридов F_2 и F_3 . Ожидающая «своего исследователя» проблема заключается в том, что визуально воспринимаемая желтизна ядра у жёлтозёрных сортов проса «заведомо» ниже таковой у краснозёрных форм, хотя «суммарное» содержание каротиноидов при этом может быть примерно одинаковым или даже с преимуществом жёлтозёрных (табл. 1, 3; многолетние результаты оценки селекционного материала в условиях Саратова).

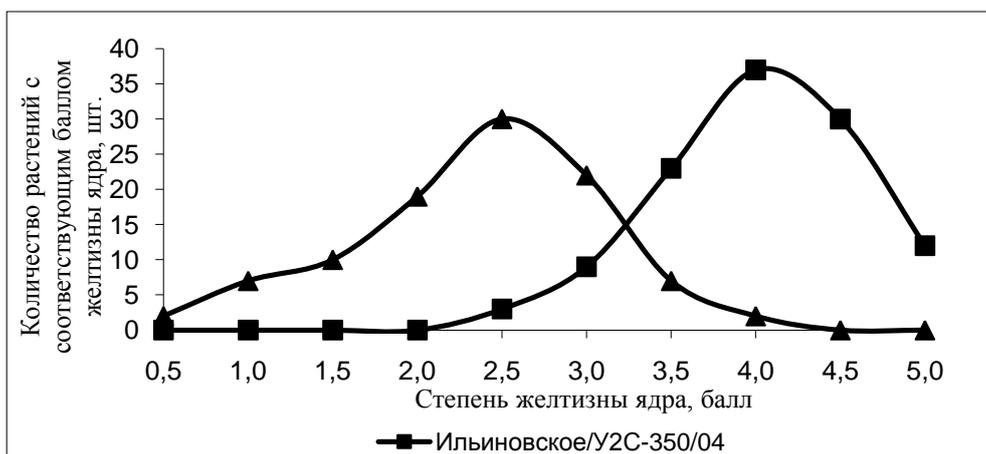


Рис. 1. Спектры расщепления по желтизне ядра гибридов проса F_2 от скрещиваний сортов «краснозёрный x краснозёрный»

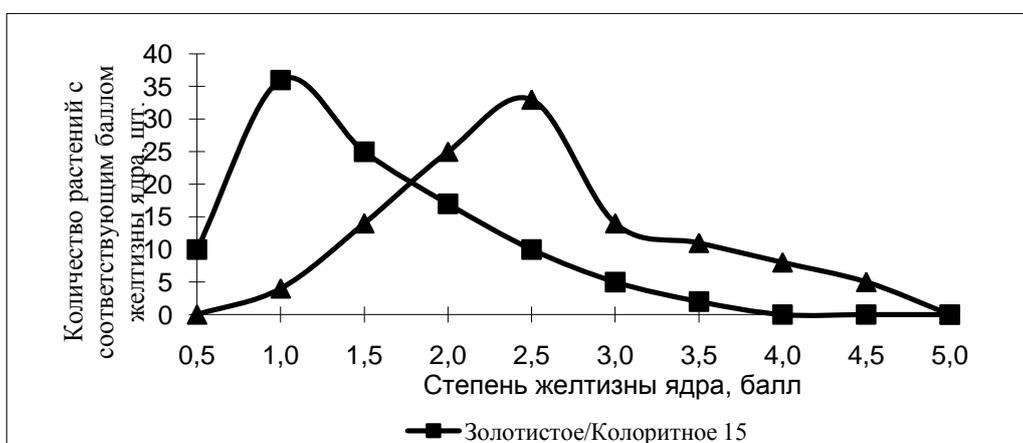


Рис. 2. Спектры расщепления по желтизне ядра гибридов проса F_2 от скрещиваний сортов «жёлтозёрный x краснозёрный»

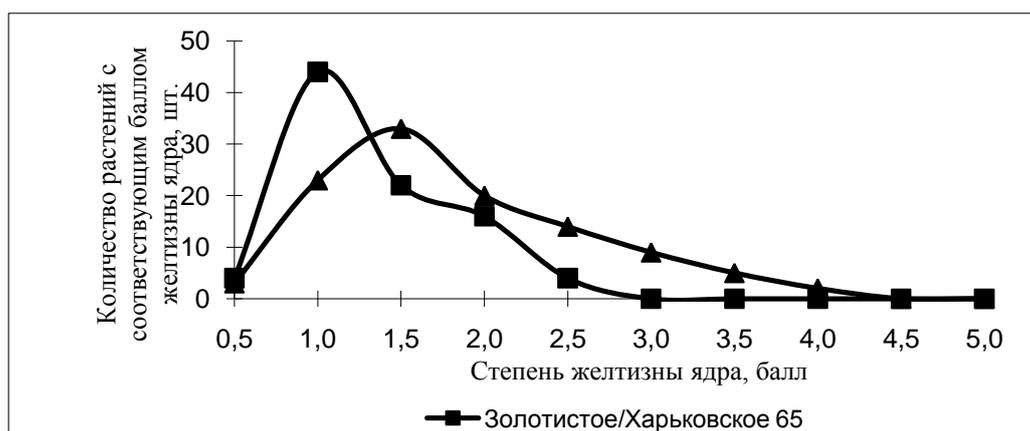


Рис. 3. Спектры расщепления по желтизне ядра гибридов проса F_2 от скрещиваний сортов «жёлтозёрный x жёлтозёрный»

Мы предполагаем, что «принципиальные» различия по интенсивности желтизны ядра между жёлто- и краснозёрными сортами, имеющими примерно равное «суммарное» содержание КП, обусловлены составом каротиноидных пигментов. У краснозёрных, имеющих интенсивно-желтое ядро, возможно, более высокое содержание изомеров каротина, придающего ядру (в «биологически-максимальном» количестве) красивую,

насыщенную жёлто-янтарную окраску. У жёлтозерных же, возможно, более высокое содержание ксантофиллов. Данное предположение опирается на результаты целенаправленной селекции жёлтозерных генотипов на повышение желтизны ядра, среди которых доля номеров уровня лучших краснозёрных (с баллами 4,0...5,0) неуклонно возрастает. Например, в 2014 г. («среднеблагоприятном» для синтеза КП) в контрольном питомнике среди новых жёлтозерных форм практически половина (46,7 %) имели желтизну 4,0 балла и 1 сортообразец оценён в 4,5 балла (у сорта-стандарта Золотистого желтизна – 3,5 балла, у Саратовского 10 – 4,0 балла). При этом более чем у 75 % краснозёрных сортообразцов данного питомника желтизна ядра определена в 4,5 балла.

Расщепление F₃-потомств в принципе «копирует» характер расщепления гибридов F₂ и соответствует нормальному распределению растений-рекомбинантов (табл. 2).

Таблица 2

**Расщепление гибридов проса по желтизне ядра в F₃-поколении
(Саратов, 2006 г., полевые условия)**

Желтизна ядра у растений F ₃ , балл	Количество растений F ₃ – гибрида с соответствующей желтизной ядра и комбинацией сортов*						
	А	Б	В	Г	Д	Е	Ё
0,5	0	0	0	0	0	0	0
1,0	4	0	0	0	0	7	0
1,5	18	2	0	0	0	17	0
2,0	12	7	1	0	0	6	0
2,5	5	12	6	0	0	0	9
3,0	1	11	18	3	0	0	13
3,5	1	6	5	7	0	0	15
4,0	0	2	0	17	23	0	0
4,5	0	0	0	3	10	0	0
5,0	0	0	0	0	0	0	0
Изучено растений:	41	40	30	30	33	30	37

Примечания: А: жёлтозёрный (ж/з) F₃ – гибрид (1608/9-06) комбинации Золотистое / Саратовское 2; Б: ж/з F₃ (1619/9-06) Золотистое / НА 34-03; В: ж/з F₃ (1595/4-06) Золотистое / Ильиновское; Г: краснозёрный (кр/з) F₃ (1595/3-06) Золотистое / Ильиновское; Д: кр/з F₃ (1595/5-06) Золотистое / Ильиновское; Е: ж/з F₃ (1603/1-06) Ильиновское / Харьковское 65; Ё: кр/з F₃ (1603/9-06) Ильиновское / Харьковское 65;

Частота рекомбинантов с соответствующей желтизной ядра однозначно определяется генотипическими «свойствами» родительских сортов проса. Однако краснозёрные F₃-потомства из одной и той же комбинации сортов во многих случаях имеют более «жёлтый» спектр расщепления по окраске ядра (табл. 2, варианты Е и Ё).

При оценке селекционного и/или экспериментального материала необходимо учитывать отчётливо проявляющуюся «экологическую» зависимость взаимосвязанных признаков «желтизна ядра» и «содержание каротиноидов», выражающуюся, прежде всего, в колебаниях содержания «жёлтых» пигментов у одних и тех же сортов в разные годы. В этой связи сложившиеся климатические условия мы условно подразделяем на «неблагоприятные» (типа 2010 г.), «средние» (например, 2011 г.) и «благоприятные» (см. 2009 г.) для синтеза каротиноидов в зерне проса (табл. 3). Однако на фоне «экологической вариабельности» достаточно отчётливо сохраняются генетически обусловленные особенности и «иерархия» сортов и селекционных номеров как по желтизне ядра, так и по содержанию каротиноидов (таблица 3), что имеет важное практическое значение для оценки и браковки материала. В заключение считаем уместным отметить, что за минувшее 10-летие (со времени нашей публикации 2005 г. (3) в результате целенаправленной селекции на повышение содержания каротиноидных пигментов в синтезированном нами генофонде произошли заметные

изменения («коррективы»): зачастую высокоэффективными (с точки зрения выщепления и отбора ценных индивидуумов с комплексом «плюс»-признаков, включая желтизну ядра) стали и гибридные комбинации при скрещивании жёлтозёрных сортообразцов проса. Изучаемые новые жёлтозёрные генотипы «вплотную» приблизились («регулярно» оцениваются по желтизне ядра на 4,0...4,5 балла) к лучшим краснозёрным сортам, «обычные» показатели для которых – 4,0...5,0 баллов и выше (+ 5,0; ++5,0 – ядро «суперинтенсивно жёлтое»). Мы предполагаем, что в структуре каротиноидного комплекса зерна проса посевного происходит возрастание доли изомеров каротина.

Таблица 3

Эколого-генетические аспекты проявления взаимосвязанных признаков «желтизна ядра» и «содержание каротиноидов» в зерне сортов проса посевного в разные годы (Саратов, 2009...2011 гг.)

Сорт	Желтизна ядра, балл			Содержание каротиноидов, мг/кг		
	2010	2011	2009	2010	2011	2009
Саратовское 853*	3,0	3,0	3,0	10,7	12,7	11,2
Саратовское 6	3,0	3,5	3,5	11,1	12,5	12,5
Саратовское 10	3,0	4,5	4,0	11,4	13,1	14,4
Саратовское 12	3,0	4,0	4,4	11,4	12,7	14,7
Золотистое	3,3	4,0	3,5	10,9	12,3	15,6
Саратовское жёлтое	3,2	4,0	4,5	11,9	13,5	16,3
НСР _{0,05}	0,2	0,3	0,3	0,7	0,8	1,1

Примечание: * – первый сорт саратовской селекции.

Выводы

1. Интенсивность желтизны ядра у гибридов проса в F₁ проявляется как промежуточная («средняя величина») по сравнению с родительскими сортами. В то же время гибриды F₁ с участием краснозёрных высококаротиноидных сортов (типа Ильиновского) визуально превосходят гибриды F₁, полученные от скрещиваний жёлтозёрных высококаротиноидных сортов.

2. Спектры расщепления гибридов в F₂ и F₃ и частота рекомбинантов с соответствующей желтизной ядра определяются генотипическими свойствами родительских сортов проса и в целом соответствуют нормальному распределению.

3. Вследствие особенностей признака и сложных рекомбинационных процессов в гибридном материале по желтизне ядра и содержанию КП формируются как «минус-трансгрессии» («хуже» родительских сортов), так и «плюс-трансгрессии», превосходящие родительские формы.

4. В процессе создания нового селекционного материала проса в качестве лучших доноров взаимосвязанных признаков «желтизна ядра» и «содержание каротиноидов» (в комплексе с другими признаками, включая адаптивность к различным почвенно-климатическим условиям) следует использовать сорта селекции НИИСХ Юго-Востока – краснозёрные Ильиновское, Саратовское 10, Саратовское 12 и жёлтозёрные – Золотистое и Саратовское жёлтое.

Литература

1. Тихонов Н. П. Исходный материал в селекции проса на продуктивность и качество // Селекция, семеноводство и технология возделывания проса на Юго-Востоке.– Саратов, 1981. – С. 40-47.
 2. Золотухин Е.Н., Тихонов Н.П., Михайлов М.А. и др. Результаты селекции и оценки сортифта проса посевного по качеству зерна в условиях Европейского Юго-Востока России // Регуляция продукционного процесса с.-х. растений. Часть 2. – Материалы Всероссийской научно-практической конференции, посвященной памяти профессора А.П. Лаханова, октябрь 2005 г., г. Орел, ВНИИЗБК.- 2006. – С. 73-78
 3. Тихонов Н.П., Золотухин Е.Н., Михайлов М.А. Результаты и перспективы селекции проса посевного на повышенное содержание каротиноидных пигментов // Сельскохозяйственная наука Республики Мордовия: достижения, направления развития. Материалы Всероссийской научн.-практ. конф. (г. Саранск, 6-8 июля 2005 г.) / РАСХН; Правительство РМ; МНИИСХ. – Саранск, 2005. Т.2. – С. 236-238.

BREEDING AND GENETIC ASPECTS OF CAROTENOID CONTENT IN THE GRAIN OF COMMON MILLET

N.P. Tikhonov¹, M.A. Mikhailov²

¹«AGRICULTURAL RESEARCH INSTITUTE FOR THE SOUTH-EAST REGIONS OF RUSSIA»
² PRIVATE JOINT-STOCK COMPANY «BAYER», SARATOV

Abstract: *The basic methodological aspects and results of millet breeding for high content of carotenoid pigments, and also fragmentary results of a study of millet varieties and hybrids between them (F₁, F₂, F₃) for yellowing of the nucleus in the South-East of Russia were considered. It is shown, that the yellowing of the nucleus for the first-generation hybrids was inherited in an intermediate type, and spectra of splitting of hybrids F₂ were determined by genetic characteristics of parental varieties.*

Keywords: common millet, varieties and hybrids, inheritance, yellowing of the nucleus, carotenoid pigments.

УДК 631.171:631.527

НОВЫЙ СОРТ ПРОСА СТЕПНОЕ 9

А.Ю. СУРКОВ, кандидат сельскохозяйственных наук

И.В. СУРКОВА, младший научный сотрудник

ФГБНУ «НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА
ЦЕНТРАЛЬНО-ЧЕРНОЗЕМНОЙ ПОЛОСЫ ИМЕНИ В.В. ДОКУЧАЕВА»

В статье представлены результаты селекционной работы по созданию нового сорта проса Степное 9, переданного на государственное сортоиспытание в 2015 году. Новый сорт характеризуется высокой урожайностью и адаптивностью, повышенным качеством зерна, групповой устойчивостью к головне и некротическому меланозу.

Ключевые слова: просо, селекция, сорт, урожайность, адаптивность, качество зерна, устойчивость к болезням.

Одним из экономически выгодных путей увеличения урожайности и заготовок зерна проса с высоким качеством крупы является создание и внедрение в производство новых высокоурожайных сортов с повышенным качеством зерна, устойчивых к болезням и вредителям, адаптированных к условиям Центрально-Черноземной зоны.

В связи с этим целью исследований нашей лаборатории является создание высокоурожайных сортов проса с повышенным качеством зерна, устойчивых к абиотическим и биотическим стрессам.

Создан и передан на государственное сортоиспытание новый сорт проса Степное 9.

Новый сорт Степное 9 разновидности сангвинеум (сжатая метелка и красное зерно), степной поволжской эколого-географической группы, получен методом внутривидовой гибридизации Сангвинеум 047-97 х Колоритное 15 с последующим индивидуальным отбором.

Сорт высокоурожайный, пластичный. За 2012 – 2015 гг. урожайность Степного 9 составила 32,0-41,1 ц /га и превысила стандарт Колоритное 15 на 3,0-6,7 ц /га. Превышение по урожайности районированного по ЦЧЗ сорта Саратовское 10 составило 1,9-6,5 ц/га (табл.1).

Растения среднерослые 99,8-117,8 см. Стебель средней толщины 4-5 мм, прочный. Листья средней длины и ширины, светло-зеленые, среднеопушенные, слабопоникие. Куст прямостоячий, имеет среднюю облиственность. Метелка сжатая, среднеплотная, слабо понижающаяся, средней длины 19,9-22,0 см, нижняя веточка отходит от главной оси, без антоциановой окраски, подушечек у основания веточек не имеется.