

Научная статья

УДК 633.15

doi:10.28983/asj.y2022i2pp30-35

Выход крахмала и его содержание в зерне гибридов кукурузы

Сергей Александрович Зайцев, Альбина Юрьевна Лёвкина,

Светлана Александровна Гусева, Галина Андреевна Маслова

ФГБНУ Российский научно-исследовательский и проектно-технологический институт сорго и кукурузы «Россорго», г. Саратов, Россия

e-mail: zea_mays@mail.ru

Аннотация. В статье излагаются результаты оценки содержания крахмала в гибридных комбинациях кукурузы и выхода крахмала с единицы площади. В результате исследования экспериментальных гибридов, созданных на основе коллекционного материала ВИР, выявлена селекционная и комбинационная ценность исходного материала по содержанию в зерне и выходу с гектара крахмала. В эксперимент включены простые гибриды (30 комбинации), полученные по полной топкроссной схеме скрещиваний. Вместо взаимного скрещивания линий друг с другом были проведены скрещивания с тремя общими тестерами с широкой генетической основой (линия, синтетическая популяция). В исследовании в качестве тестеров использованы линии РСК 7, Б 293 и синтетическая популяция РНИИСК 1. Интервал варьирования содержания крахмала в зерне за изучаемый период изменялся от низких значений до среднего показателя и составил: в 2020 г. – от 60,9 до 65,2 %, в 2021 г. – от 59,3 до 66,1 %. Выделены линии с высоким эффектом ОКС по содержанию крахмала в зерне (Х 46, Вз 6, Ом 12, ЮВ 106), а также гибридные комбинации ЮВ 25 / РСК 7 (63,3–64,2 %), КС 75 / РСК 7 (62,7–64,4 %), ХЛГ 948 / РСК 7 (63,5–64,1 %), Кин 073 / РСК 7 (63,4–63,8 %), ЮВ 106 / РСК 7 (63,6–66,1 %), КС 25 / Б 293 (63,0–63,5 %), ХЛГ 182 / Б 293 (63,5–63,6 %), КС 75 / Б 293 (63,1–63,5 %), ХЛГ 182 / РНИИСК 1 (62,9–63,6 %). Результаты исследования позволили выявить экспериментальные гибриды, формирующие с наибольший выход крахмала с единицы площади: ХЛГ 182 / РСК 7 (3,12–3,58 т/га), ЮВ 106 / РСК 7 (2,77–3,11 т/га), Х 46 / Б 293 (3,22–3,39 т/га), Ом 12 / Б 293 (2,72–3,85 т/га).

Ключевые слова: крахмал; гибридные комбинации; кукуруза; коллекционный материал ВИР; схема скрещивания.

Для цитирования: Зайцев С. А., Лёвкина А. Ю., Гусева С. А., Маслова Г. А. Выход крахмала и его содержание в зерне гибридов кукурузы // Аграрный научный журнал. 2023. № 2. С. 30–35. <http://dx.doi.org/10.28983/asj.y2022i2pp30-35>.

AGRONOMY

Original article

Yield of starch and its content in the grain of corn hybrids

Sergey A. Zaitsev, Albina Yu. Lyovkina, Svetlana A. Guseva, Galina A. Maslova

Russian Research Institute for Sorghum and Maize “Rossorgo”, Saratov, Russia

e-mail: zea_mays@mail.ru

Abstract. The article presents the results of assessing the content of starch in hybrid combinations of corn and the yield of starch per unit area. As a result of the study of experimental hybrids created on the basis of the VIR collection material, the selection and combination value of the initial material was revealed in terms of content in grain and yield per hectare of starch. The experiment included simple hybrids (30 combinations) obtained by a complete topcross scheme. Instead of crossbreeding the lines with each other, crosses were carried out with three common testers with a broad genetic basis (line, synthetic population). In the study, lines RSK 7, B 293 and a synthetic population of RNIISK 1 were used as testers. The interval of variation in the starch content in grain for the study period varied from low values to an average value and amounted to: in 2020 – 60,9 % to 65,2 %, in 2021 - from 59,3 % to 66,1 %. Lines with a high effect of GCA on the content of starch in the grain (H 46, Vz 6, Om 12, YuV 106), as well as hybrid combinations of YuV 25 / RSK 7 (63,3-64,2 %), KS 75 / RSK 7 (62,7-64,4 %), HLG 948 / RSK 7 (63,5-64,1 %), Kin 073 / RSK 7 (63,4-63,8 %), YuV 106 / RSK 7 (63,6-66,1 %), KS 25 / B 293 (63,0-63,5 %), HLG 182 / B 293 (63,5-63,6 %), KS 75 / B 293 (63,1 -63,5 %), HLG 182 / RNIISK 1 (62,9-63,6 %). The results of the study made



it possible to identify experimental hybrids that form the highest yield of starch per unit area: HLG 182 / RSK 7 (3,12-3,58 t/ha), YuV 106 / RSK 7 (2,77-3,11 t/ha), H 46 / B 293 (3,22-3,39 t/ha), Om 12 / B 293 (2,72-3,85 t/ha).

Keywords: starch; hybrid combinations; corn; collection material of VIR; crossing pattern.

For citation: Zaitsev S. A., Lyovkina A. Yu., Guseva S. A., Maslova G. A. Yield of starch and its content in the grain of corn hybrids. *Agrarnyy nauchnyy zhurnal = Agrarian Scientific Journal*. 2023;(2):30–35. (In Russ.). <http://dx.doi.org/10.28983/asj.y2022i2pp30-35>.

Введение. Крахмал (С₆H₁₀O₅)_n, синтезируемый растениями, является одним из важнейших продуктов, нашедших применение в различных отраслях промышленности и питания. Он хорошо усваивается организмом и является основным источником пополнения энергии, постоянно расходуемой человеком. Развитие промышленности обуславливает постоянный рост объёмов производства крахмала. Поэтому важным условием для сырья, используемого в крахмало-паточной промышленности, является высокое содержание крахмала в зерне. Наибольший выход крахмала (до 67 % от общего содержания сухого вещества в зерне) получают из зерна кукурузы зубовидного и полузубовидного типа, немного меньший – из кремнистого типа. Кукуруза, используемая для выработки крахмала, должна иметь его высокое содержание и, следовательно, меньше белка и масла. Важно также, чтобы крахмал легко вымывался из измельченного эндосперма и хорошо клейстеризовался. Как основное сырьё для производства крахмала чаще всего используют гибриды кукурузы, отличающиеся высоким содержанием крахмала. Он состоит на 80 % из амилопектина и на 20 % из амилозы. Нативный кукурузный крахмал и кукурузный амилопектиновый крахмал применяются в различных отраслях пищевой промышленности, чаще всего в качестве загустителя. Клейстеры, полученные из амилопектинового крахмала, обладают высокой вязкостью и прозрачностью [1].

Создание высококрахмалистых комбинаций кукурузы обеспечивает вытеснение импортных гибридов, используемых для переработки на крахмал, и позволит обеспечить импортозамещение нативного и модифицированного крахмала. Селекционную ценность основы всех гибридов – гомозиготных линий, а также количественные и качественные показатели создаваемых комбинаций, которые должны отвечать требованиям современного сельскохозяйственного производства, оценивают в различных схемах скрещиваний. Наиболее полную оценку комбинационной способности родительских линий обычно проводят на основе диаллельных скрещиваний [2]. Однако эта схема скрещиваний требует получения большого числа гибридов и является трудновыполнимой для изучения большого числа исходного материала. Наиболее приемлемым в начале исследования достаточно крупной выборки является метод топкросса. Вместо взаимного скрещивания линий друг с другом применяется гибридизация с 2-4 общими тестерами с широкой генетической основой (линия, гибрид, сорт-популяция) [3]. Это необходимо для того, чтобы полнее охватить генетическую изменчивость, заключенную между линиями, и выявить лучшие комбинации по отдельным признакам. Скрещивание линий с тестером позволяет получить информацию только об их общей комбинационной способности. Однако если в качестве тестера использовать несколько хороших инбредных линий, то представляется возможность параллельно получить сведения об их специфической комбинационной способности, не прибегая к диаллельному скрещиванию [4, 5].

Целью наших исследований было оценить общую и специфическую комбинационную способность инбредных линий, полученных из ФГБНУ ВИГРР им. Н.И. Вавилова (ВИР), на основе тестовых скрещиваний по схеме полных топкроссов и выявить лучшие родительские линии для использования в селекции на повышение выхода крахмала.

Методика исследований. Исследования проводили в 2020–2021 гг. на опытном поле ФГБНУ РосНИИСК «Россорго» в соответствии с методическими рекомендациями [6]. Климат региона характеризуется как резко континентальный. ГТК составил 0,56–1,05. Почва опытного участка – чернозем южный малогумусный среднемогучный тяжелосуглинистый. В эксперимент включены простые гибриды (30 комбинаций), полученные по полной топкроссной схеме скрещиваний. В качестве тестеров использованы линии РСК 7, Б 293, гибридная популяция РНИИСК 1. Повторность – трехкратная. Учетная площадь делянки – 7,7 м²; длина делянки – 5,5 м. Густота стояния растений – 50 тыс. растений/га. Агротехника в опыте – зональная, разработанная в ФГНУ РосНИИСК «Россорго». Для проведения учетов, наблюдений и определения комбинационной способности использовали соответствующие методики [7, 8].

Результаты исследований. На начальном этапе в селекционном питомнике использован метод статистической обработки данных. Полученные значения указывают на нормальность распределения





выборки и достоверные различия между гибридами по содержанию крахмала в зерне (табл. 1). Интервал варьирования содержания крахмала в зерне за изучаемый период изменялся от низких значений до среднего показателя и составил: в 2020 г. – 60,9 до 65,2 %, в 2021 г. – от 59,3 до 66,1 %. Коэффициент асимметрии указывает на практически симметричное распределение признака в 2020 г. и на правостороннюю скошенность в 2021 г. Однако коэффициенты вариации указывают на слабые различия гибридов по содержанию крахмала в зерне.

Таблица 1

Параметры статистической оценки гибридов по содержанию крахмала в зерне и выходу с 1 га

Параметр	Содержание, %		Выход с 1 га, кг	
	2020 г.	2021 г.	2020 г.	2021 г.
Среднее значение	63,1	62,2	2,56	2,30
Ошибка средней	0,14	0,20	0,05	0,05
Дисперсия	0,85	1,58	0,13	0,10
Стандартное отклонение	0,92	1,37	0,35	0,32
Коэффициент вариации	1,46	2,20	13,8	13,8
Коэффициент асимметрии	0,08 ns	0,40 ns	0,311 ns	0,709*
Ошибка коэффициента асимметрии	0,35	0,35	0,357	0,357
Коэффициент эксцесса	-0,17 ns	0,42 ns	0,718 ns	0,212 ns
Ошибка коэффициента эксцесса	0,69	0,69	0,700	0,700
min	60,9	59,3	1,88	1,74
max	65,2	66,1	3,85	3,39
НСР _{0,05}	2,57	2,41	0,21	0,11

Интервал варьирования выхода крахмала с единицы площади за изучаемый период составил от 1,74 до 3,85 т/га. Коэффициенты асимметрии указывают на правостороннюю скошенность признака в выборке в 2020–2021 гг. (0,311–0,709). Коэффициенты вариации указывают на средней степени различия гибридов по выходу крахмала с 1 га (13,8 %).

Оценка биохимического состава зерна позволила выявить содержание крахмала в зерне (рис. 1). Количество крахмала в зерне варьировало в зависимости от состава комбинаций и в среднем составило: у гибридов с включением тестера РСК 7 62,3–62,8 %, с тестером Б 293 – 62,5–63,2 %, с тестером РНИИСК 1 – 61,8–63,3 %. Наибольшее содержание крахмала отмечено в следующих комбинациях: ЮВ 25 / РСК 7 (63,3–64,2 %), КС 75 / РСК 7 (62,7–64,4 %), ХЛГ 948 / РСК 7 (63,5–64,1 %), Кин 073 / РСК 7 (63,4–63,8 %), ЮВ 106 / РСК 7 (63,6–66,1 %), КС 25 / Б 293 (63,0–63,5 %), ХЛГ 182 / Б 293 (63,5–63,6 %), КС 75 / Б 293 (63,1–63,5 %), ХЛГ 182 / РНИИСК 1 (62,9–63,6 %).

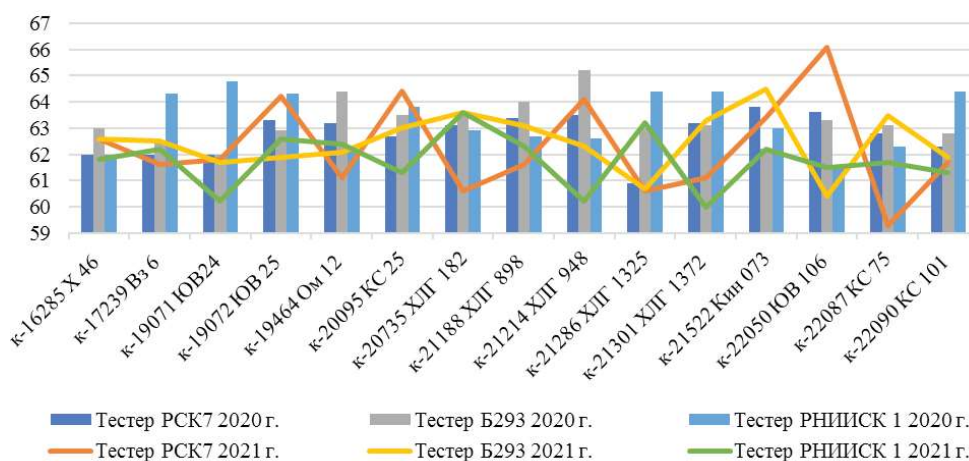


Рис. 1. Содержание крахмала в зерне гибридов кукурузы, %, 2020–2021 гг.

Оценка урожайности зерна и биохимического состава позволила выявить выход крахмала с 1 га зерна (табл. 2). Сбор крахмала с зерном варьировал в зависимости от состава комбинаций и в среднем составил: у гибридов с включением тестера РСК 7 2,28–2,63 т/га, с тестером Б 293 – 2,39–2,56 т/га, с тестером РНИИСК 1 – 2,32–2,58 т/га. Наибольший выход крахмала получен в следующих комбинациях: ХЛГ 182 / РСК 7 (3,12–3,58 т/га), ЮВ 106 / РСК 7 (2,77–3,11 т/га), Х 46 / Б 293 (3,22–3,39 т/га), Ом 12 / Б 293 (2,72–3,85 т/га).

Выход с 1 га крахмала гибридов кукурузы, 2020–2021 гг.

Линия	Тестер					
	РСК7		Б293		РНИИСК 1	
	2020 г.	2021 г.	2020 г.	2021 г.	2020 г.	2021 г.
к-16285 X 46	2,68	1,86	3,22	3,39	2,59	2,63
к-17239 Вз 6	2,75	2,11	2,82	2,47	3,16	2,26
к-19071 ЮВ24	2,28	2,17	2,74	1,74	2,67	2,67
к-19072 ЮВ 25	1,88	2,32	2,65	2,53	2,53	2,54
к-19464 Ом 12	2,31	2,16	3,85	2,72	2,59	2,60
к-20095 КС 25	2,46	2,32	2,51	2,53	2,87	2,12
к-20735 ХЛГ 182	3,58	3,12	1,93	1,97	1,91	2,12
к-21188 ХЛГ 898	2,76	2,20	2,16	2,24	3,09	1,87
к-21214 ХЛГ 948	2,62	2,23	2,26	2,24	2,61	1,89
к-21286 ХЛГ 1325	2,60	2,16	2,15	1,92	2,42	2,02
к-21301 ХЛГ 1372	2,60	2,08	2,24	2,11	3,03	2,44
к-21522 Кин 073	2,77	2,10	2,31	2,34	2,58	2,64
к-22050 ЮВ 106	2,77	3,11	2,56	2,61	2,23	2,70
к-22087 КС 75	2,65	2,15	2,29	2,83	1,98	2,24
к-22090 КС 101	2,71	2,05	2,75	2,15	2,39	2,11
Среднее значение	2,63	2,28	2,56	2,39	2,58	2,32

Размах изменчивости эффектов ОКС по содержанию в зерне крахмала варьировал в 2020 г. от $-0,89$ до $0,54$; в 2021 г. от $-1,25$ до $0,88$ (рис. 2). Высокое значение эффекта ОКС наблюдалось у линий: в 2020 г. – ЮВ 25, ХЛГ 948, ХЛГ 1372; в 2021 г. – ЮВ 25, КС 25, Кин 073.

Дисперсия СКС линий по содержанию в зерне крахмала изменялась в интервале: 2020 г. от $0,09$ до $3,06$; 2021 г. от $0,14$ до $9,81$. Наибольшее значение положительной дисперсии СКС отмечено у сортообразцов: в 2020 г. – к-17239 Вз 6, к-19071 ЮВ24, к-19464 Ом 12, к-21214 ХЛГ 948, к-21286 ХЛГ 1325; в 2021 г. – к-20095 КС 25, к-20735 ХЛГ 182, к-21214 ХЛГ 948, к-21301 ХЛГ 1372, к-22050 ЮВ 106, к-22087 КС 75. Отношение средних квадратов отклонений ОКС/СКС составило: в 2020 г. – $2,38$; в 2021 г. – $1,16$. Из этого можно сделать вывод о преобладании аддитивного взаимодействия генов при формировании и содержания крахмала.



Рис. 2. Эффекты ОКС и дисперсия СКС линий по признаку «содержание крахмала в зерне», 2020–2021 гг.

Размах изменчивости эффектов ОКС по выходу крахмала с гектара варьировал в 2020 г. от $-0,34$ до $0,26$; в 2021 г. от $-0,33$ до $0,44$ (табл. 3). Высокое значение эффекта ОКС наблюдалось у линий: в 2020 г. – X 46, ВЗ 6, Ом 12; в 2021 г. – X 46, ЮВ 106. Дисперсия СКС линий изменялась в интервале: 2020 г. от $0,03$ до $0,82$; 2021 г. от $0,01$ до $0,53$. Наибольшее значение положительной дисперсии СКС отмечено у сортообразцов: в 2020 г. – к-19464 Ом 12, к-20735 ХЛГ 182; в 2021 г. – к-16285 X 46, к-20735 ХЛГ 182, к-19071 ЮВ24. Отношение средних квадратов отклонений ОКС/СКС составило: в 2020 г. – $1,16$; в 2021 г. – $2,90$, что указывает на влияние аддитивных эффектов генов, количество собранного крахмала.

В среднем за 2020–2021 гг. высоким эффектом СКС по содержанию крахмала в зерне характеризовались следующие гибриды: Кин 073 / РСК7, ЮВ 106 / РСК7, X 46 / Б 293, Ом 12 / Б 293, ХЛГ 182 / Б 293, ХЛГ 898 / Б 293, КС 75 / Б 293, ХЛГ 1325 / РНИИСК 1 (рис. 3).



Эффекты ОКС и дисперсия СКС линий по признаку «выход крахмала с 1 га», 2020–2021 гг.

Линия	Эффект ОКС		Дисперсия СКС	
	2020 г.	2021 г.	2020 г.	2021 г.
к-16285 X 46	0,18	0,26	0,14	0,53
к-17239 Вз 6	0,26	-0,09	0,06	0,02
к-19071 ЮВ24	-0,09	-0,17	0,09	0,22
к-19072 ЮВ 25	-0,30	0,09	0,22	0,01
к-19464 Ом 12	0,26	0,13	0,75	0,06
к-20095 КС 25	-0,04	-0,04	0,06	0,04
к-20735 ХЛГ 182	-0,18	0,03	0,82	0,44
к-21188 ХЛГ 898	0,02	-0,26	0,20	0,05
к-21214 ХЛГ 948	-0,16	-0,25	0,03	0,05
к-21286 ХЛГ 1325	-0,26	-0,33	0,03	0,03
к-21301 ХЛГ 1372	-0,03	-0,16	0,15	0,03
к-21522 Кин 073	-0,10	-0,01	0,03	0,06
к-22050 ЮВ 106	-0,13	0,44	0,06	0,09
к-22087 КС 75	-0,34	0,04	0,09	0,11
к-22090 КС 101	-0,04	-0,26	0,04	0,01

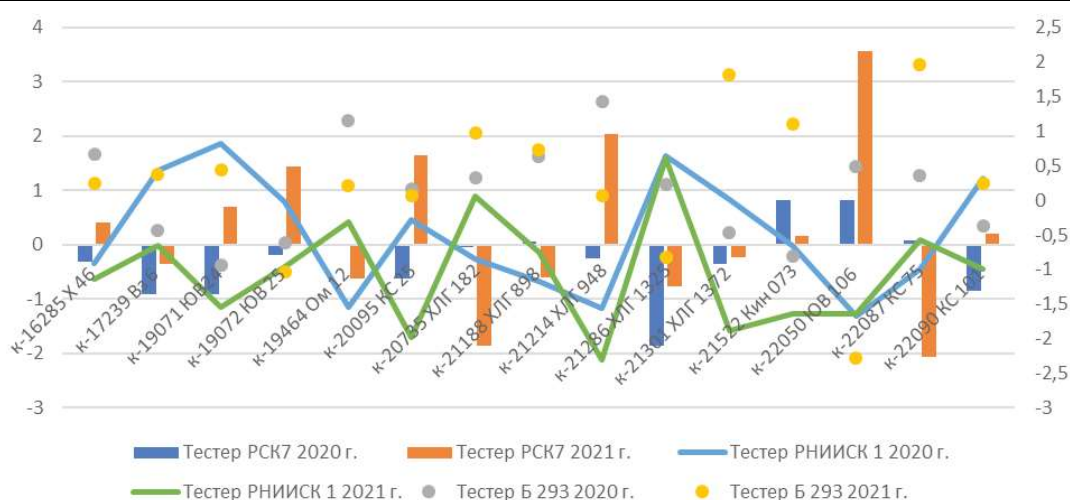


Рис. 3. Эффекты СКС гибридов по признаку «содержание крахмала в зерне», 2020–2021 гг.

Высоким эффектом СКС по выходу крахмала с 1 га за 2020–2021 гг. характеризовались следующие гибриды: ХЛГ 182 / РСК 7, ЮВ 106 / РСК 7, X 46 / Б 293, Ом 12 / Б 293, ХЛГ 1372 / РНИИСК 1, ЮВ24 / РНИИСК 1 (табл. 4).

Таблица 4

Эффекты СКС гибридов по выходу крахмала с 1 га, 2020–2021 гг.

Линия	Тестер					
	РСК7		Б 293		РНИИСК 1	
	2020 г.	2021 г.	2020 г.	2021 г.	2020 г.	2021 г.
к-16285 X 46	-0,21	-0,72	0,44	0,73	-0,23	-0,02
к-17239 Вз 6	-0,22	-0,12	-0,04	0,16	0,27	-0,04
к-19071 ЮВ24	-0,35	0,03	0,22	-0,48	0,12	0,46
к-19072 ЮВ 25	-0,53	-0,10	0,34	0,04	0,19	0,06
к-19464 Ом 12	-0,67	-0,26	0,98	0,20	-0,31	0,09
к-20095 КС 25	-0,21	0,04	-0,06	0,18	0,27	-0,22
к-20735 ХЛГ 182	1,04	0,76	-0,49	-0,46	-0,55	-0,31
к-21188 ХЛГ 898	0,03	0,15	-0,46	0,11	0,43	-0,26
к-21214 ХЛГ 948	0,06	0,16	-0,19	0,10	0,13	-0,25
к-21286 ХЛГ 1325	0,15	0,17	-0,19	-0,14	0,05	-0,03
к-21301 ХЛГ 1372	-0,09	-0,08	-0,33	-0,13	0,42	0,21
к-21522 Кин 073	0,15	-0,21	-0,19	-0,05	0,04	0,26
к-22050 ЮВ 106	0,19	0,35	0,09	-0,22	-0,28	-0,13
к-22087 КС 75	0,28	-0,21	0,04	0,39	-0,31	-0,18
к-22090 КС 101	0,03	-0,01	0,18	0,02	-0,21	-0,01





Заключение. В результате исследования экспериментальных гибридов, созданных на основе коллекционного материала ВИР, выявлена селекционная и комбинационная ценность линий по содержанию в зерне и выходу с гектара крахмала. Результаты исследования позволяют рекомендовать для включения в селекционный процесс линии Х 46, В3 6, Ом 12, ЮВ 106 с высоким эффектом ОКС по содержанию крахмала в зерне, а также гибридные комбинации ЮВ 25 / РСК 7 (63,3–64,2 %), КС 75 / РСК 7 (62,7–64,4 %), ХЛГ 948 / РСК 7 (63,5–64,1 %), Кин 073 / РСК 7 (63,4–63,8 %), ЮВ 106 / РСК 7 (63,6–66,1 %), КС 25 / Б 293 (63,0–63,5 %), ХЛГ 182 / Б 293 (63,5–63,6 %), КС 75 / Б 293 (63,1–63,5 %), ХЛГ 182 / РНИИСК 1 (62,9–63,6 %). Результаты исследования позволили выявить экспериментальные гибриды, формирующие с наибольший выход крахмала с единицы площади: ХЛГ 182 / РСК 7 (3,12–3,58 т/га), ЮВ 106 / РСК 7 (2,77–3,11 т/га), Х 46 / Б 293 (3,22–3,39 т/га), Ом 12 / Б 293 (2,72–3,85 т/га).

Правильный подбор родительских пар в гибридных комбинациях позволяет создать новые селекционные достижения для использования на увеличение объемов производства крахмала.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Хатефов Э.Б., Аппаев С.П., Коцева А.Р. Создание и оценка новых источников амилопектинового крахмала на основе линий восковидной кукурузы (*Zea mays ceratina*) из коллекции ВИР // Успехи современного естествознания. 2019. № 1. – С. 57–62.
2. Жужукин В.И., Зайцев С.А., Волков Д.П., Гудова Л.А. Оценка комбинационной способности линий кукурузы в диаллельных скрещиваниях по высоте прикрепления початка // Успехи современного естествознания. 2018. № 10. С. 50–55.
3. Губин С.В., Логинова А.М., Гетц Г.В. Изучение комбинационной способности инбредных линий кукурузы в нерегулярных скрещиваниях // Кукуруза и сорго. 2021. № 2. С. 18–25.
4. Гончаренко А.А., Ермаков С.А., Макаров А.В., Семенова Т.В., Точилин В.Н., Крахмалева О.В. Изучение комбинационной способности инбредных линий озимой ржи по методу топкросса // Зерновое хозяйство России. 2017. №5 (53). С. 1–8.
5. Гончаренко А.А., Макаров А.В., Ермаков С.А., Семенова Т.В., Точилин В.Н., Цыганкова Н.В., Крахмалева О.А. Селекция инбредных линий озимой ржи (*Secale cereale* L.) на общую и специфическую комбинационную способность и ее связь с селекционными признаками // Сельскохозяйственная биология. 2019. Т. 54. № 1. С. 38–46.
6. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта. М.: Агропромиздат, 1985. 351 с.
7. Методика государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур. Вып. 2. Зерновые, крупяные, зернобобовые, кукуруза и кормовые культуры // Госагропром СССР. Государственная комиссия по сортоиспытанию сельскохозяйственных культур. М., 1989. 194 с.
8. Федин М.А., Силис Д.Я., Смирязев А.В. Статистические методы генетического анализа - М.: Колос, 1980. – 208.

REFERENCES

1. Hatefov E.B., Appaev S.P., Kotseva A.R. Creation and evaluation of new sources of amylopectin starch based on waxy corn (*Zea mays ceratina*) lines from the VIR collection. Successes of modern natural science. 2019; 1: 57–62. (In Russ.).
2. Zhuzhukin V.I., Zaitsev S.A., Volkov D.P., Gudova L.A. Evaluation of the combination ability of maize lines in diallel crosses according to the height of attachment of the cob. Successes of modern natural science. 2018; 10: 50–55. (In Russ.).
3. Gubin S.V., Loginova A.M., Getz G.V. Study of the combination ability of inbred maize lines in irregular crosses. Corn and sorghum. 2021; 2: 18–25. (In Russ.).
4. Goncharenko A.A., Ermakov S.A., Makarov A.V., Semenova T.V., Tochilin V.N., Krakhmaleva O.V. The study of combination ability of winter rye inbred lines using the topcross method. Grain Economy of Russia. 2017; 5 (53): 1–8. (In Russ.).
5. Goncharenko A.A., Makarov A.V., Ermakov S.A., Semenov T.V., Tochilin V.N., Tsygankova N.V., Krakhmaleva O.A. Selection of inbred lines of winter rye (*Secale cereale* L.) for general and specific combinational ability and its relationship with breeding traits. Agricultural biology. 2019; 54; 1: 38–46. (In Russ.).
6. Dospheov B.A. Methods of field experience. Moscow, 1985. 351 p. (In Russ.).
7. Methods of state variety testing of agricultural crops. Issue. 2. Cereals, cereals, legumes, corn and fodder crops. Gosagroprom USSR. State Commission for Variety Testing of Agricultural Crops. Moscow, 1989. 194 p. (In Russ.).
8. Fedin M.A., Silis D.Ya., Smiryayev A.V. Statistical methods of genetic analysis. Moscow, 1980. 208 p. (In Russ.).

Статья поступила в редакцию 17.08.2022; одобрена после рецензирования 2.09.2022; принята к публикации 28.09.2022. The article was submitted 17.08.2022; approved after reviewing 2.09.2022; accepted for publication 28.09.2022.