ОЦЕНКА НОВЫХ САМООПЫЛЕННЫХ ЛИНИЙ И ГИБРИДОВ ВОСКОВИДНОЙ КУКУРУЗЫ (*ZEА MAYS L. CERATINA*)

А. С. Игнатъев, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник лаборатории селекции и семеноводства кукурузы, ignatev1983@rambler.ru, ORCID ID: 0000-0002-0319-4600
ФГБНУ «Аграрный научный центр «Донской»,
347740, Ростовская обл., г. Зерноград, Научный городок, 3; e-mail: vniizk30@mail.ru

Подвид восковидной кукурузы слабо изучен, несмотря на то, что его зерно является ценным сырьем для крахмалопаточной промышленности. Цель работы – изучить новые гибриды и самоопыленные линии восковидной кукурузы по комплексу хозяйственно-ценных признаков и выделить перспективные из них для дальнейшей селекции. Исследования проведены в «Аграрном научном центре «Донской» в 2019–2020 гг. Объектом исследований служили 40 самоопыленных линий восковидной кукурузы и 30 гибридов, созданных на их основе. Они были изучены по комплексу хозяйственно-ценных признаков. Выделены самоопыленные линии (24/82, 26/18, 26/51, 24/15) с высокой урожайностью зерна 0,91–2,23 т/га, низкой и средней уборочной влажностью зерна (14,0–14,7%), высокой устойчивостью к полеганию (0–4,6% полегших растений), слабым поражением пузырчатой головней на естественном фоне (0–5,0% пораженных растений). Выделены линии (24/15, 26/18), отличающиеся высоким содержанием крахмала в спелом зерне (69,2 и 69,8%). Созданы новые гибриды восковидной кукурузы (91×93, 103×105), значительно превышающие стандартный гибрид Зерноградский 282 МВ как по урожайности зерна (на 0,41–0,80 т/га), так и по сбору амилопектинового крахмала (на 0,20–0,54 т/га). Новые гибриды отличались низкой уборочной влажностью зерна (13,3–13,9%), устойчивостью к полеганию и поражению пузырчатой головней на естественном фоне. Выделены новые гибриды кукурузы (91×94, 91×93, 91×95) с высоким содержанием крахмала (68,5–68,9%), средним содержанием жира (4,4–4,6%) и белка (12,1–12,2%) в спелом зерне.

Ключевые слова: урожайность, восковидная кукуруза (*Zea mays l. ceratina*), самоопыленные линии, гибриды, содержание крахмала, амилопектиновый крахмал.

Для цитирования: Игнатъев А. С. Оценка новых самоопыленных линий и гибридов восковидной кукурузы (*Zea mays l. ceratina*) // Зерновое хозяйство России. 2021. № 2(74). С. 22–26. DOI: 10.31367/2079-8725-2021-74-2-22-26.

THE ESTIMATION OF THE NEW SELF-POLLINATED WAXY MAIZE LINES AND HYBRIDS (*ZEА MAYS L. CERATINA*)

A. S. Ignatiev, Candidate of Agricultural Sciences, senior researcher of the laboratory for maize breeding and seed production, ignatev1983@rambler.ru, ORCID ID: 0000-0002-0319-4600
Agricultural Research Center "Donskoy",
347740, Rostov region, Zernograd, Nauchny Gorodok, 3; e-mail: vniizk30@mail.ru

Though waxy maize is a valuable raw material for the starch industry, its subspecies are still poorly studied. The purpose of the current work was to study the new self-pollinated hybrids and lines of waxy maize according to a complex of economically valuable traits and to identify promising ones for further breeding. The study was carried out at the FSBSI "Agricultural Research Center "Donskoy" in 2019–2020. The objects of research were 40 self-pollinated waxy maize lines and 30 hybrids developed in the Center. They were studied according to a set of economically valuable traits. There have been identified the self-pollinated lines (24/82, 26/18, 26/51, 24/15) with a high kernel productivity of 0.91–2.23 t/ha, low and medium harvest moisture content of kernel (14.0–14.7%), high resistance to lodging (0–4.6% of lodged plants), weak infestation with smut on a natural background (0–5.0% of damaged plants). There have been identified the lines (24/15, 26/18), characterized by a high starch content in matured kernel (69.2% and 69.8%). There have been developed the new waxy maize hybrids (91×93, 103×105), which significantly exceeded the standard hybrid 'Zernogradsky 282 MB' both in kernel productivity (on 0.41–0.80 t/ha) and in the yield of amylopectin starch (on 0, 20–0.54 t/ha). The new hybrids were characterized with low harvest moisture content of kernels (13.3–13.9%), resistance to lodging and smut on a natural background. There have been identified the new maize hybrids (91 × 94, 91×93, 91×95) with a high starch content (68.5–68.9%), an average oil content (4.4–4.6%) and protein percentage (12.1–12.2%) in matured kernel.

Keywords: productivity, waxy maize, (*Zea mays l. Ceratina*), self-pollinated lines, hybrids, starch content, amylopectin starch.

Введение. Кукуруза в мировом земледелии используется как зерновая культура. По посевным площадям и валовому сбору она занимает третье место, уступая пшенице и рису. Более 50% всех продаж крахмала в мире приходится на кукурузный крахмал. Ежегодно крахмалопаточная отрасль осваивает 1,5 млн тонн зерна. Одним из направлений развития агро-

промышленного комплекса является глубокая переработка зерна. В технологической цепочке при глубокой переработке зерна кукурузы процесс выработки крахмала происходит с выделением из зерна зародыша, замочной воды, клетчатки. Из побочной продукции в виде зародыша получают кукурузное масло, из белка и клетчатки – кормовые добавки, а крахмал

направляют на производство заменителей сахара в виде глюкозных и глюкознофруктозного сиропов, крахмальной и мальтозной патоки, кристаллической глюкозы, мальтодекстринов, а также модифицированных крахмалов (Аппаев и др., 2020; Корабут, 2019). Как основное сырье для производства крахмала чаще всего используют гибриды кукурузы, отличающиеся высоким содержанием крахмала. Он состоит на 80% из амилопектина и на 20% из амилозы. Крахмал восковидной кукурузы на 100% состоит из амилопектина с разветвленной структурой полимерной цепи. Зерно восковидной кукурузы является ценным сырьем для производства амилопектина, который используется в пищевой промышленности для детского и диетического питания. Кроме того, он считается ценным сырьем в технической промышленности и производстве полимеров (Игнатьев, 2020). Создание отечественных гибридов кукурузы с высоким содержанием амилопектинового крахмала в зерне актуально. В Госреестре нет российских гибридов подобного типа (Кривошеев и Игнатьев, 2018).

Цель работы – изучить новые гибриды и самоопыленные линии восковидной кукурузы по комплексу хозяйственно-ценных признаков и выделить перспективные из них для дальнейшей селекции.

Материалы и методы исследований.

Исследования проведены в 2019–2020 гг. в «Аграрном научном центре «Донской», расположенном в южной зоне Ростовской области. Почва опытного участка – чернозем обыкновенный карбонатный тяжелосуглинистый. Содержание в пахотном слое почвы: гумус – 3,2%; pH – 7,0; P_2O_5 – 18,5–20,0; K_2O – 342–360 мг/кг почвы (Алабушев и др., 2020). Годы проведения эксперимента оказались засушливыми. В 2019 году в период вегетации кукурузы выпало 129,7 мм атмосферных осадков, что составляет 70,8% среднегодовой нормы. В 2020 году выпало 224,1 мм атмосферных осадков, что на уровне среднегодовой нормы. Однако, распределение их в течение вегетации было крайне неравномерным. Осадки выпадали, как правило, в виде ливней и не полностью впитывались почвой, среднесуточная температура воздуха превыша-

ла среднегодовую на 0,4–4,7 °С, минимальная относительная влажность воздуха снижалась до 13–14%. Исходным материалом служили 40 новых константных самоопыленных линий восковидной кукурузы (*Zea mays L. ceratina*) и 30 простых гибридов, созданных на их основе.

Посев проводили селекционной сеялкой «Клен 4,2» с последующим формированием густоты стояния (40 тыс. шт/га). Учетная площадь делянки – 9,8 м², расположение делянок рендомизированное. Биохимическая оценка спелого зерна образцов кукурузы проведена в лаборатории биохимической оценки селекционного материала: крахмал – поляриметрическим методом по Эверсу, протеин – по Кьельдалю, жир – по методу Ружковского.

Создание самоопыленных линий осуществляли согласно Методическим указаниям по селекции кукурузы (1982) и Унифицированным методам селекции кукурузы (1978), закладку опытов, фенологические наблюдения, учеты и измерения проводили согласно Методике государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур (1979) и Методическим рекомендациям по проведению полевых опытов с кукурузой (1985). Математическую обработку экспериментальных данных проводили по методике полевого опыта Б. А. Доспехова (2014).

Результаты и их обсуждение. Урожайность зерна является одним из основных признаков в характеристике всех сельскохозяйственных культур.

Всесторонняя изученность исходного материала по основным хозяйственно-ценным признакам обеспечивает ускорение селекционного процесса за счёт целенаправленного подбора родительских форм для гибридизации. Поэтому одной из основных задач при выделении источников высокой урожайности является постоянное изучение нового исследованного исходного материала. Урожайность изучаемого набора линий варьировала от 0,15 до 2,23 т/га, средняя урожайность составила 1,20 т/га. Наибольшую урожайность в среднем за два года изучения сформировали линии 24/82 (1,06 т/га) и 26/18 (2,23 т/га) (табл. 1).

1. Хозяйственно-ценные признаки самоопыленных линий восковидной кукурузы (2019–2020 гг.)

1. Economically valuable traits of the self-pollinated waxy maize lines (2019–2020)

Линии	Урожайность зерна при 14% влажности, т/га	Уборочная влажность зерна, %	Период «всходы – цветение початков», дн.	Полегание, %	Поражение пузырчатой головней, %	Высота, см	
						растения	прикрепления початка
24/15	0,91	15,6	69	0,0	3,6	143,0	39,5
24/34	0,55	14,5	67	3,4	2,4	143,0	42,8
24/67	0,67	18,0	72	1,9	0,0	123,8	37,3
24/82	1,06	15,0	66	0,0	1,3	137,0	44,3
25/51	0,93	15,9	70	4,6	5,2	147,0	47,5
25/72	0,74	14,7	71	0,0	1,4	143,2	49,7
25/75	0,59	15,0	64	0,0	1,2	108,0	33,5
26/6	0,66	17,2	67	3,3	0,0	142,5	55,6

Линии	Урожайность зерна при 14% влажности, т/га	Уборочная влажность зерна, %	Период «всходы – цветение початков», дн.	Полегание, %	Поражение пузырчатой головней, %	Высота, см	
						растения	прикрепления початка
26/18	2,23	14,7	63	0,0	1,2	166,5	56,1
26/51	1,69	14,0	63	1,2	2,4	135,0	43,5
27/17	0,77	15,2	70	0,0	2,9	139,9	43,7
27/72	1,22	15,3	70	4,3	6,3	135,5	37,5
S	0,91	1,9	2,1	1,3	2,4	21,5	10,2

Изучаемые линии можно отнести к среднеспелым и среднепоздним группам спелости ФАО. Продолжительность периода «всходы – цветение початков» у самой раннеспелой линии составило 63, у позднеспелой – 72 дня. Новые самоопыленные линии отличаются средней уборочной влажностью зерна (14,0–15,0%), устойчивы к полеганию растений (0–4,6% по-

легших растений), слабо поражались пузырчатой головней на естественном фоне (0–6,3% пораженных растений), характеризуются технологичностью при уборке (высота прикрепления початка 33,5–56,1 см).

Анализ результатов биохимических исследований позволил выделить образцы с высокими значениями изучаемых признаков (табл. 2).

2. Биохимический состав самоопыленных линий восковидной кукурузы (2019–2020 гг.) 2. Biochemical composition of the new self-pollinated waxy maize lines (2019–2020)

Линии	Содержание в спелом зерне, %		
	крахмал	белок	жир
24/15	70,2	11,0	4,7
24/34	68,1	10,6	5,4
24/67	67,6	12,2	5,0
24/82	66,7	12,5	5,0
25/51	67,3	14,6	5,0
25/72	66,8	12,2	5,8
25/75	66,9	12,8	5,9
26/6	66,4	12,1	5,4
26/18	69,8	10,4	4,8
26/51	66,2	13,2	5,1
27/17	65,1	13,6	5,5
27/72	66,3	13,2	5,6

Выделены самоопыленные линии 24/15 и 26/18 с высоким содержанием крахмала в спелом зерне (70,2 и 69,8% соответственно) и средним содержанием белка (11,0–10,4%) и жира (4,7–4,8%). Остальные изучаемые линии восковидной кукурузы формировали средние показатели содержания крахмала, белка и жира.

На основе изучаемых самоопыленных линий восковидной кукурузы созданы простые гибридные комбинации. Урожайность зерна стандартного гибрида Зерноградский 282 МВ составила 2,43 т/га, уборочная влажность зерна – 18,2% (табл. 3).

3. Хозяйственно-ценные признаки новых гибридов восковидной кукурузы (2019–2020 гг.) 3. Economically valuable traits of the new waxy maize hybrids (2019–2020)

Гибрид	Урожайность зерна при 14% влажности, т/га	Уборочная влажность зерна, %	Период «всходы – цветение початков», дн.	Полегание, %	Поражение пузырчатой головней, %	Высота, см	
						растения	прикрепления початка
Зерноградский 282 МВ	2,43	18,2	65	12,9	3,9	180,0	69,5
89×93	2,68	19,3	66	7,4	1,1	183,0	65,5
89×94	2,71	18,6	66	5,8	3,2	187,0	77,5
89×95	2,65	20,7	66	4,5	3,4	184,5	71,2
90×94	2,34	14,6	67	26,6	11,1	175,0	66,0
91×93	3,23	13,3	62	6,3	4,1	183,0	60,7
91×94	2,77	12,8	62	3,1	4,1	188,5	66,0
91×95	2,68	12,5	62	3,6	7,2	172,0	65,5
101×99	2,40	22,0	68	12,7	2,2	178,7	60,7
103×105	2,84	13,9	65	7,0	3,0	177,2	56,5
103×106	2,78	14,4	62	3,2	5,4	175,5	67,2
НСР ₀₅	0,36	–	–	–	–	–	–

Выделены новые гибриды восковидной кукурузы 91×93 (3,23 т/га) и 103×105 (2,84 т/га), существенно превысившие стандарт (на 0,80 и 0,41 т/га) по урожайности зерна. Данные гибриды характеризовались низкой уборочной влажностью зерна (13,3–13,9%), были устойчивы к поражению пузырчатой головней (4,1–3,0 пораженных растений), отличались технологичностью к уборке (6,3–7,0% полегших растений) и высоким прикреплением верхнего початка (60,7–56,5 см). Новые гибриды 91×94 и 103×106 сформировали равноценную стандарту урожайность зерна (2,77 и 2,78 т/га) с низкой уборочной влажностью зерна (12,8 и 14,4%).

Основными продуктами, получаемыми в крахмалопаточной промышленности, являются крахмал, масло и белковые корма. Содержание амилопектина в зерне восковидной кукурузы достигает 100%, поэтому отсутствует трудоемкий процесс отделения амилопектина от амилозы. При этом стандарт с большей урожайностью будет иметь меньше крахмала в зерне за счет доли амилозы в амилопектине (Хатефов и др., 2018).

Выделены новые гибриды кукурузы, значительно превысившие стандарт по сбору крахмала с 1 га 91×93, 91×94, 103×105, 103×106, превышение над стандартом составило 0,20–0,54 т/га (табл. 4).

4. Содержание крахмала в урожае новых гибридов восковидной кукурузы (2019–2020 гг.) 4. Starch content in the harvest of the new waxy maize hybrids (2019–2020)

Гибрид	Урожайность зерна, т/га	Содержание крахмала в урожае зерна	
		т/га	±к стандарту
Зерноградский 282 МВ	2,43	1,65	–
89×93	2,68	1,83	0,18
89×94	2,71	1,78	0,13
89×95	2,65	1,81	0,16
90×94	2,34	1,57	-0,08
91×93	3,23	2,17	0,52
91×94	2,77	1,89	0,24
91×95	2,68	1,81	0,16
101×99	2,40	1,63	-0,02
103×105	2,84	1,92	0,27
103×106	2,78	1,85	0,20
НСР 05	0,36	0,19	–

Остальные гибриды по данному признаку были на уровне стандарта Зерноградский 282 МВ (1,65 т/га). Полученные значения свидетельствуют о том, что гибриды обладают достаточной продуктивностью по сбору амилопектинового крахмала с 1 га.

Особенностью производства крахмала из кукурузного зерна является качество побочной продукции (масло и белок). Содержание белка в новых гибридах восковидной кукурузы варьировало в пределах от 9,2 до 12,2% (табл. 5).

5. Биохимический состав зерна новых гибридов восковидной кукурузы (2019–2020 гг.) 5. Biochemical composition of kernels of the new waxy maize hybrids (2019–2020)

Гибрид	Содержание в спелом зерне, %		
	крахмал	белок	жир
Зерноградский 282 МВ	68,1	12,0	4,0
89×93	68,4	9,7	5,6
89×94	65,6	9,9	5,4
89×95	68,2	9,2	5,5
90×94	67,3	10,3	5,1
91×93	68,5	12,2	4,5
91×94	68,6	12,1	4,9
91×95	69,0	12,2	4,4
101×99	68,0	11,6	4,7
103×105	67,7	11,9	4,6
103×106	66,7	11,7	5,2

Выделившиеся по сбору крахмала с 1 га гибриды 91×93, 91×94 имели наибольшее содержание белка (12,19 и 12,24% соответственно). Новые гибриды кукурузы сформировали среднее значение жира в спелом зерне (4,00–5,64%).

Выводы. Изучено 40 самоопыленных линий и 30 гибридов подвита восковидной куку-

рузы. Выделены линии 26/18 и 24/15, сочетающие высокую продуктивность (0,91–2,23 т/га) с высоким содержанием крахмала в спелом зерне.

Созданы гибриды кукурузы 91×93, 103×105, превышающие стандарт по урожайности зерна (на 0,41–0,80 т/га), а также они значительно

превосходили стандартный гибрид по сбору крахмала в зерне (68,5–69,0%) и средним содержанием крахмала с 1 га. Новые гибриды восковидной кукурузы отличались высоким содержанием крахмала в зерне (68,5–69,0%) и средним содержанием жира и белка.

Библиографические ссылки

1. Алабушев А. В., Попов А. С., Овсянникова Г. В., Сухарев А. А. Влияние сроков посева по различным предшественникам на урожайность и качество зерна мягкой озимой пшеницы сорта Краса Дона в южной зоне Ростовской области // Зерновое хозяйство России. 2020. № 1(67). С. 4–10.
2. Аппаев С. П., Кагермазов А. М., Хачидогов А. В., Гоникова М. Р., Хатефов Э. Б. Оценка новых гибридов восковидной кукурузы по хозяйственно ценным признакам // Известия КБНЦ РАН № 6(98) 2020. С. 113–120.
3. Игнат'ев А. С. Характеристика новых самоопыленных линий восковидной кукурузы // Зерновое хозяйство России. 2020. № 5(60). С. 59–62.
4. Карабут Т. Трудности передела. Что мешает развитию глубокой переработки зерна // «Агроинвестор» [Электронный ресурс] Режим доступа: <https://www.agroinvestor.ru/analytics/article/32529-trudnosti-peredela/>.
5. Кривошеев Г. Я., Игнат'ев А. С. Анализ количественных признаков у самоопыленных линий восковидной кукурузы (*Zea mays l. Ceratina*) // Зерновое хозяйство России. 2018. № 6(71). С. 59–62.
6. Хатефов Э. Б., Матвеева Г. В., Хачидогов А. В., Кагермазов А. М., Казмахов, А. В. Ресурсный потенциал коллекции кукурузы ВИР как источник амилопектинового крахмала // АПК России. Том 25. № 2. С. 244–248.

References

1. Alabushev A. V., Popov A. S., Ovsyannikova G. V., Suharev A. A. Vliyanie srokov poseva po razlichnym predshestvennikam na urozhajnost' i kachestvo zerna myagkoj ozimoy pshenicy sorta Krasa Dona v yuzhnoj zone Rostovskoj oblasti [The effect of sowing dates for various forecrops on the productivity and grain quality of the winter bread wheat variety 'Krasa Dona' in the southern part of the Rostov region] // Zernovoe hozyajstvo Rossii. 2020. № 1(67). S. 4–10.
2. Appaev S. P., Kagermazov A. M., Hachidogov A. V., Gonikova M. R., Hatefov E. B. Ocenka novyh gibridov voskovidnoj kukuruzy po hozyajstvenno cennym priznakam [Estimation of the new waxy maize hybrids according to economically valuable traits] // Izvestiya KBNC RAN № 6(98). 2020. S. 113–120.
3. Ignat'ev A. S. Harakteristika novyh samoopylennyh linij voskovidnoj kukuruzy [Characteristics of the new self-pollinated waxy maize lines] // Zernovoe hozyajstvo Rossii. 2020. № 5(60). S. 59–62.
4. Karabut T. Trudnosti peredela. CHto meshaet razvitiyu glubokoj pererabotki zerna [Difficulties of redistribution. What hinders the development of deep grain processing] // «Agroinvestor» [Elektronnyj resurs] Rezhim dostupa: <https://www.agroinvestor.ru/analytics/article/32529-trudnosti-peredela/>.
5. Krivosheev G. Ya., Ignat'ev A. S. Analiz kolichestvennyh priznakov u samoopylennyh linij voskovidnoj kukuruzy (*Zea mays l. Ceratina*) [Analysis of quantitative traits of the self-pollinated waxy maize lines (*Zea mays l. Ceratina*)] // Zernovoe hozyajstvo Rossii. 2018. № 6(71). S. 59–62.
6. Hatefov E. B., Matveeva G. V., Hachidogov A. V., Kagermazov A. M., Kazmahov, A. V. Resursnyj potencial kolekcii kukuruzy VIR kak istochnik amilopektinovogo krahmala [Resource potential of the IPI maize collection as a source of amylopectin starch] // APK Rossii. Tom 25. № 2. S. 244–248.

Поступила: 16.02.21; принята к публикации: 18.03.21.

Критерии авторства. Автор статьи подтверждает, что имеет на статью права и несет ответственность за плагиат.

Конфликт интересов. Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Авторский вклад. Игнат'ев А. С. – концептуализация исследования, подготовка опыта, выполнение полевых опытов и сбор данных, анализ данных и их интерпретация, подготовка рукописи.

Автор прочитал и одобрил окончательный вариант рукописи.