23.4-24.3 %. The varieties show uniformity in terms of plant height, flowering and maturity. Their distinctive feature is the intensive initial growth of plants and a fairly high resistance to lodging. The varieties have been registered in the State Register of Varieties and are recommended for cultivation in the Republic of Belarus since 2023.

УДК 633.15:631.547.15:631.524.85

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ АНАЛИТИЧЕСКОГО ФОНА «РАННИЙ СРОК СЕВА» ДЛЯ ОЦЕНКИ ХОЛОДОСТОЙКОСТИ СЕЛЕКЦИОННОГО МАТЕРИАЛА КУКУРУЗЫ

В.И. Кравцов, Л.П. Шиманский, кандидат с.-х. наук
РНДУП «Полесский институт растениеводства»
vit.krawtsov2016@yandex.ru

(Дата поступления статьи в редакцию 25.04.2024)

Рецензент: Надточаев Н.Ф., кандидат с.-х. наук

Аннотация. В статье приведены результаты оценки нового исходного материала (константных самоопыленных линий) кукурузы по косвенным признакам, характеризующим холодостойкость: полевая всхожесть, длина периода «посев – полные всходы». Для повышения эффективности отбора холодостойких форм использовался провокационный фон «ранний срок сева». По результатам оценки среди кремнистых самоопыленных форм выделены самоопыленные линии с более коротким межфазным периодом «посев – полные всходы» при раннем сроке сева – БКР 311, БКР 803, БКР 201 – кремнистые; БКР 804 и БКР1984 – зубовидные. Отмечено, что зубовидные формы в большей степени снижали полевую всхожесть при раннем сроке сева по сравнению с оптимальным – на 9,9 %, в то время как кремнистые – на 6,7 %.

Среди кремнистых форм выделены самоопыленные линии, которые в меньшей степени реагировали снижением полевой всхожести при раннем сроке сева по сравнению с оптимальным – БКР 101, БКР 46, БКР 201.

Среди зубовидных форм выделены самоопыленные линии БКР 804, БКР 802, БКР 129 с наименьшей реакцией на холодную почву. Максимальную полевую всхожесть при раннем сроке сева имели самоопыленные линии БКР 1984, БКР 804, БКР 703 – выше 70 %.

Введение

Для создания гибридов кукурузы, приспособленных для выращивания в условиях республики, необходимо создавать новый исходный материал с высокими показателями адаптивности, в частности, с высокой холодостойкостью в начальный период роста и развития.

При создании нового исходного материала кукурузы необходимо проводить оценку самоопыленных линий не только по продуктивности и комбинационной способности, но и по устойчивости к неблагоприятным факторам среды. Последние в разные годы могут складываться не одинаково, соответственно, генотипы получают недостаточно объективную оценку. В связи с этим необхо-

димо усовершенствовать селекционный процесс и ежегодно проводить достоверную оценку самоопыленных линий, в том числе с использованием провокационных фонов оценки. При этом также важно установить важнейшие селекционные признаки, характеризующие устойчивость генотипов к тем или иным неблагоприятным факторам среды, а также определить их наследуемость и степень проявления в гибридном потомстве.

Для оценки реакции генотипов культурных растений на действие стрессора необходимо иметь адекватные методы оценки степени изменений физиологических, биохимических и других параметров функционирования растения. С этой целью разработаны различные методы оценки устойчивости растений к тем или иным стрессовым факторам окружающей среды [1].

По мнению многих исследователей, наиболее полное и точное представление об устойчивости образца может дать прямой метод оценки устойчивости – оценка устойчивости в полевых условиях. Обычно при этом методе учитывается депрессия урожая (или степень выживаемости растений) под влиянием проявления стресса в естественных условиях. Критериями оценки холодостойкости являются полевая всхожесть, длительность появления всходов, энергия роста и развития всходов в начальный период, реакция растений на возврат весенних похолоданий.

Высокая полевая всхожесть при раннем сроке посева, интенсивное прохождение фаз роста предполагает и высокую холодостойкость. Наиболее устойчивые к пониженным температурам линии могут прорасти без значительных повреждений и развивать нормальные проростки. Недостатком же метода контрастных сроков сева является сложность создания двух фонов выращивания (оптимальный и экстремальный) для диагностики устойчивости по организационным и экономическим причинам, недостатку семян или земельной площади [2–5].

Методика проведения исследований

Полевые исследования по оценке холодостойкости исходного материала кукурузы проводили на полях РНДУП «Полесский институт растениеводства в 2019–2021 гг. по общепринятым методикам.

В качестве исходного материала для исследований использовали 20 константных самоопыленных линий, различающихся по консистенции зерна и относящихся к различным условным гетерозисным группам (по происхождению). Большинство изучаемых линий созданы в Полесском институте растениеводства.

При раннем посеве кукурузы (провокационный фон для оценки холодостойкости) целенаправленно воздействует на растения низкотемпературный и другие виды стресса. Посев тех же образцов в благоприятных (стандартных) условиях является контролем. При этом чрезмерно ранний посев повышает уровень стресса до максимального, при котором возможные различия между образцами будут неразличимыми, а также увеличивает риски повреждения образцов ранневесенними заморозками.

В связи с этим нами были выбраны следующие сроки сева кукурузы:

- **ранний срок сева** - начало второй декады апреля (при температуре почвы на глубине заделки семян $5-7^{\circ}\text{C}$);

- **оптимальный срок сева** – конец третьей декады апреля (при температуре почвы на глубине заделки семян $10-12^{\circ}\text{C}$).

Посев образцов – вручную, пунктирным способом с нормой высева 80 тыс./га. Повторность опыта 4-х кратная, расположение делянок систематическое со смещением. Учетная площадь делянки – $2,45\text{ м}^2$.

Обработка почвы и технология ухода за посевами – общепринятая для кукурузы, включающая весь комплекс агротехнических мероприятий и мероприятий по химической защите от вредителей и болезней.

Результаты исследований и их обсуждение

Пониженные температуры замедляют прорастание семян и удлиняют период от посева до всходов, так как при этом происходит торможение поглощения воды, снижение активности ферментов и замедление развития зародыша. Долгое нахождение семян в холодной почве часто приводит к активированию патогенной микрофлоры и снижению полевой всхожести семян.

В наших опытах период появления всходов наиболее продолжительным был в 2021 г. (при раннем сроке в среднем по изучаемым образцам составил 35 дней), коротким – в 2019 г. (при раннем сроке сева в среднем по линиям составил 21,1 день). В сложившихся агроклиматических условиях 2019–2020 гг. было затруднительно провести оценку холодостойкости самоопыленных линий по длине периода прорастания семян.

В 2019 г. при раннем сроке сева межфазный период «посев – полные всходы» по всем объектам исследований был длиннее, чем при оптимальном, что объясняется низкими температурами воздуха и почвы в период всходов (1 декада мая) по сравнению с 3 декадой апреля, когда стояла теплая погода. Это сделало невозможно оценить реакцию образцов на пониженные температуры почвы по данному показателю. При раннем сроке сева наиболее короткий период «посев – полные всходы» был у самоопыленных линий БКР 109, БКР 105 и БКР 311.

В 2020 г. также не наблюдалось существенных различий по длине периода «посев – полные всходы» у самоопыленных линий в зависимости от сроков сева. Так, в среднем по линиям независимо от сроков сева он составил 27,6 дней. Крестные линии всходили на 27,1 день после посева, зубовидные – на 28 (РС) – 28,2 (ОС) день. Выделена самоопыленная линия БКР 311 с наиболее коротким периодом «посев – полные всходы» как при раннем, так и при оптимальном сроках сева – 24 и 24,8 дня соответственно.

В 2021 г. в отличие от предыдущих лет исследований наблюдались существенные различия по показателю «посев – полные всходы», который в наибольшей степени характеризует холодостойкость исходного материала. Отмечено, что при раннем сроке сева данный период в среднем по самоопыленным линиям составил 34,8 дней, при оптимальном сроке сева – 23,9 дня, что на 10,9 дней короче. Не наблюдалось существенных различий у изучаемых форм по

длине данного периода в зависимости от консистенции зерна. Среди кремнистых самоопыленных форм выделены самоопыленные линии с более коротким межфазным периодом «посев – полные всходы» при раннем сроке сева – БКР 311, БКР 803, БКР 201 – 31-33 дня; среди зубовидных форм – БКР 804 и БКР1984 – 31,8–32,8 дней.

В среднем за годы исследований при раннем сроке сева у кремнистых самоопыленных линий данный период был на 3,2 дня, у зубовидных форм – на 3,3 дня длиннее, чем при оптимальном сроке сева. Варьирование данного признака при раннем сроке было выше, чем при оптимальном – коэффициент вариации по кремнистым формам составил 4,7 (РС) и 4,2 (ОС), по зубовидным формам – 5,6 и 4,8 соответственно.

Наблюдаются различия по полевой всхожести семян в зависимости от года исследований. Наибольшая полевая всхожесть семян наблюдалась в 2019 году – в среднем по всем объектам исследований при раннем сроке сева она составила 76,2 %, при оптимальном сроке сева – 74,9 %, наименьшая – в 2021 г. – 50,8 и 79,9 % соответственно (таблица 1).

Таблица 1. Продолжительность появления всходов и полевая всхожесть семян самоопыленных линий кукурузы (среднее за 2019–2021 гг.)

Показатель	Продолжительность периода «посев-полные всходы», дней			Полевая всхожесть, %		
	РС*	ОС	Δ, %	РС*	ОС	Δ, %
кремнистые линии						
Среднее	27,7	24,5	113,1	67,4	74,1	91,0
Min	25,1	23,1	108,7	49,6	61,1	81,1
Max	29,4	26,9	109,3	82,9	86,9	95,4
Вариация, %	4,7	4,2		12,5	13,2	
<i>БКР 311 – наиболее короткий период при РС БКР 201 – наиболее продолжительный период при РС</i>				<i>БКР 101, БКР 46, БКР 201 – низкая реакция на холод БКР 109, БКР 105, БКР 43 – высокая чувствительность к холоду БКР 101, БКР 41, БКР 311 – максимальная полевая всхожесть при РС</i>		
зубовидные линии						
Среднее	28,4	25,1	113,1	62,9	72,8	86,4
Min	25,8	23,7	108,9	42,9	44,6	96,3
Max	32,9	27,5	119,6	84,6	92,5	91,4
Вариация, %	5,6	4,8		25,4	23,9	
<i>БКР 804 - наиболее короткий период при РС БКР 129 – наиболее продолжительный период при РС</i>				<i>БКР 804, БКР 802, БКР 129 - низкая реакция на холод БКР 903, БКР 703, БКР 261, СП 139 – высокая чувствительность к холоду БКР 1984, БКР 804, БКР 703– максимальная полевая всхожесть при РС</i>		

Примечание: здесь и далее: РС – ранний срок сева, ОС – оптимальный срок сева, Δ – относительные различия, выраженные к оптимальному сроку сева.

Кремнистые линии при раннем сроке сева имели более высокую полевую всхожесть по сравнению с оптимальным сроком сева – на 3,4 %, у зубовидных линий при оптимальном и раннем сроке сева полевая всхожесть была на одном уровне – разница 0,9 %. Отмечена более высокая полевая всхожесть кремнистых линий при раннем сроке сева по сравнению с зубовидными формами. При оптимальном сроке сева наблюдается обратная тенденция – более высокая полевая всхожесть у зубовидных форм по сравнению с кремнистыми.

В сложившихся климатических условиях 2020 г. (холодная весна) в среднем по линиям полевая всхожесть при раннем сроке сева была на 1,3 % выше, чем при оптимальном. Кремнистые линии в среднем по опыту при раннем сроке сева снижали полевую всхожесть по сравнению с оптимальным на 0,6 %, зубовидные – повышали на 3,3 %. Среди кремнистых линий как при раннем, так и при оптимальном сроке сева максимальную полевую всхожесть имели линии БКР 109 (81,3–85,0 %) и БКР 311 (91,3 % независимо от срока сева). Не снижали полевую всхожесть при раннем сроке сева по сравнению с оптимальным самоопыленные линии БКР 101, БКР 227, БКР 201. Максимально снижали полевую всхожесть при раннем сроке сева по сравнению с оптимальным самоопыленные линии БКР 105 и БКР 46.

Среди зубовидных линий максимальную полевую всхожесть при раннем сроке сева показали самоопыленные линии БКР 804, БКР 903 и БКР 1984 – 78,8–81,3 %, минимальную – самоопыленные линии БКР 802 и БКР 129 – 55 %. Не снижали полевую всхожесть при раннем сроке сева по сравнению с оптимальным самоопыленные линии БКР 804, БКР 901, БКР 715, СП 139–141 БКР 802 и БКР 129. Более чувствительными к раннему посеву оказались линии БКР 903, БКР 703, БКР 261 и БКР 1984 – снижение полевой всхожести при раннем сроке сева по сравнению с оптимальным – 2,5–8,7 %.

В сложившихся климатических условиях 2021 года отмечены существенные различия у самоопыленных линий по полевой всхожести в зависимости от срока сева. При сопоставлении раннего и оптимального сроков сева установлено, что у кремнистых самоопыленных линий при раннем сроке сева полевая всхожесть составила 51,6 %, при оптимальном сроке сева – 74,5 %, что на 22,9 % выше. Среди кремнистых форм в меньшей степени реагировали снижением полевой всхожести при раннем сроке сева по сравнению с оптимальным, самоопыленные линии БКР 201, БКР 311, БКР 46.

У зубовидных линий полевая всхожесть при раннем сроке сева составила 48,4 %, что на 3,2 % ниже, чем у кремнистых линий. При оптимальном сроке сева полевая всхожесть зубовидных линий была на 31,6 % выше, чем при раннем сроке сева. Среди зубовидных форм выделяются самоопыленные линии БКР 804 и БКР 1984, у которых полевая всхожесть при раннем сроке сева была максимальной и составила 60–81,3 %.

Таким образом, в 2021 г. отмечена более высокая потенциальная холодостойкость кремнистых форм по сравнению с зубовидными формами.

В среднем за три года исследований при использовании раннего срока сева в качестве аналитического фона для оценки холодостойкости исходного мате-

риала отмечено, что в среднем по всем самоопыленным линиям при раннем сроке сева полевая всхожесть была на 9,1 % ниже, чем при оптимальном. При этом зубовидные формы в большей степени снижали полевую всхожесть при раннем сроке сева по сравнению с оптимальным – на 9,9 %, в то время как кремнистые – на 6,7 %.

Среди кремнистых форм выделены самоопыленные линии, которые в меньшей степени реагировали снижением полевой всхожести при раннем сроке сева по сравнению с оптимальным – **БКР 101, БКР 46, БКР 201**. Максимальной полевой всхожестью при раннем сроке сева обладали самоопыленные линии **БКР 101, БКР 41, БКР 311**.

Среди зубовидных форм выделены самоопыленные линии **БКР 804, БКР 802, БКР 129** с наименьшей реакцией на холодную почву. Максимальную полевую всхожесть при раннем сроке сева имели самоопыленные линии **БКР 1984, БКР 804, БКР 703** – выше 70 % (таблица 2).

Таблица 2. Полевая всхожесть самоопыленных линий в зависимости от сроков сева, % (среднее за 2019-2021 гг.)

№	Шифр линии	Консистенция зерна	РС	ОС	Δ
1	<i>БКР109</i>	Кремнистая	64,6	81,7	-17,1
2	<i>БКР101</i>		71,7	71,0	0,7
3	<i>БКР803</i>		62,5	71,0	-8,5
4	<i>БКР105</i>		67,9	85,7	-17,8
5	<i>БКР 46</i>		68,8	63,8	5
6	<i>БКР 41</i>		71,3	80,7	-9,4
7	<i>БКР 311</i>		82,9	86,9	-4
8	<i>БКР227</i>		69,6	77,5	-7,9
9	<i>БКР43</i>		49,6	61,1	-11,5
10	<i>БКР 201</i>		65,0	61,7	3,3
Сред. по крем.			67,4	74,1	-6,7
<i>Min</i>			49,6	61,1	
<i>Max</i>			82,9	86,9	
<i>Вариация, %</i>			12,5	13,2	
11	БКР804	Зубовидная	75,8	68,5	7,3
12	БКР903		59,2	83,6	-24,4
13	БКР901		65,0	74,9	-9,9
14	БКР703		70,8	86,5	-15,7
15	БКР715		64,6	72,1	-7,5
16	БКР261		57,5	77,6	-20,1
17	СП 139		64,2	77,4	-13,2
18	БКР1984		84,6	92,5	-7,9
19	БКР 802		42,9	44,6	-1,7
20	БКР 129		44,4	50,4	-6
Сред. по зубовид.			62,9	72,8	-9,9
<i>Min</i>			42,9	44,6	
<i>Max</i>			84,6	92,5	
<i>Вариация, %</i>			25,4	23,9	
Сред. по линиям.			66,3	75,4	-9,1

<i>Min</i>	37,5	43,8	
<i>Max</i>	88,8	94,6	
<i>Вариация, %</i>	21,4	19,3	

Таким образом, использование аналитического фона «ранний срок сева» для оценки холодостойкости исходного материала кукурузы позволило выделить самоопыленные линии с высокой потенциальной холодостойкостью на ранних фазах роста и развития. Выделенные самоопыленные линии кукурузы в дальнейшем планируется использовать в селекционных программах по созданию холодостойких гибридов кукурузы.

Литература

1. Лукаткин, А. С. Определение состояния фотосинтетического аппарата высших растений при неблагоприятных воздействиях / А. С. Лукаткин, Е. В. Тютяев // Саранск: Изд-во Мордов. ун-та, 2017. – С. 64.
2. Филь, И.Н. Оценка образцов кукурузы на холодостойкость / И.Н. Филь // Кукуруза и сорго. – 2009. – № 5. – С. 14-16.
3. Панфилов, А.Э. Норма и стабильность реакции гибридов кукурузы на температуру почвы в период прорастания / А.Э. Панфилов, А.Г. Горбачева, И.А. Ветошкина, Н.А. Колесникова // Вестник ЧГАА. – 2015. – Т. 71. – С. 102-106.
4. Карнилов, А.А. О методике селекции кукурузы на холодостойкость / А.А. Карнилов // Селекция и семеноводство. – 1957. – №2. – С. 3-7.
5. Ротарь, А.И. Опыт использования методов оценки селекционного материала кукурузы на холодостойкость / А.И. Ротарь, Г.Е. Комарова // Создание гибридов кукурузы и сорго и технологии их возделывания. Сборник научных статей. – Кишинев: «Штица», 1992. – С. 89.

USE OF ANALYTICAL BACKGROUND «EARLY SOWING TERM» FOR EVALUATION OF COLD RESISTANCE OF CORN BREEDING MATERIAL

V. I. Kroutsou, L. P. Shimansky

The article presents the results of the evaluation of new corn initial material (constant self – pollinated lines) by indirect features characterizing cold resistance such as: field germination, and the length of the "sowing – full shoots" period. To increase the efficiency of the selection of cold-resistant forms, the provocative background "early sowing term" was used. According to the results of the assessment, among siliceous self – pollinated forms, the following self – pollinated lines with a shorter interphase «sowing – full shoots» period at an early sowing term were identified: BKR 311, BKR 803, BKR 201 – siliceous ones; BKR 804 and BKR1984 – tooth-shaped ones. It was noted that tooth – shaped forms reduced field germination by 9.9 % at an early sowing term compared to the optimal one, while in siliceous forms, that index was 6.7 %.

Among the siliceous forms, BKR 101, BKR 46, BKR 201 self – pollinated lines were isolated. At the early sowing term they decreased field germination to a lesser extent compared with the optimal term.

Among the tooth-shaped forms, BKR 804, BKR 802 and BKR 129 self – pollinated lines with the least reaction to cold soil were identified. BKR 1984, BKR 804, and BKR 703 self – pollinated lines had the maximum field germination at the early sowing term (above 70 %).