

УДК 633.11 (470.620)

4.1.1. Общее земледелие и растениеводство (сельскохозяйственные науки)

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ОТБОРА НА ЗАСУХОУСТОЙЧИВОСТЬ В ПОПУЛЯЦИИ КУКУРУЗЫ В РАЗЛИЧНЫХ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ

Котляров Владимир Владиславович
Д.с.-х.н., профессор
РИНЦ SPIN-код 5905-0474
vladimir.v.kotlyarov@gmail.com

Котляров Денис Владимирович
Д.с.-х.н., профессор
РИНЦ SPIN-код 2928-5639
d.kotlyarov@argensa.ru

Яблонская Елена Карленовна
д.с.-х.н., доцент
РИНЦ SPIN-код 2881 - 4547
yablonskay@mail.ru

Новожилов Артем Сергеевич
Студент
Кубанский государственный аграрный университет, Россия, 350044, Краснодар, Калинина, 13

Потепление климата приводит к увеличению частоты засушливых сезонов в период вегетации кукурузы, что приводит к снижению урожайности. Поэтому повышение засухоустойчивости сельскохозяйственных культур весьма актуальная задача. Отбора в популяции кукурузы на засухоустойчивость в различных экологических условиях это необходимый действенный инструмент в селекции сельскохозяйственных культур, в частности кукурузы. Засуха вызывает преждевременное старение листьев и замедляет рост початков, а сильный стресс приводит к полному высыханию. Это ведёт к уменьшению накопления продуктов фотосинтеза и значительному снижению массы зёрен. В результате отбора в условиях засухи выявлены засухоустойчивые линии кукурузы с высоким потенциалом продуктивности. Установлено, что отбор на засухоустойчивость целесообразно проводить не только по признакам продуктивности растений, но и в том числе прямым признакам. Оценка по признаку «скручиваемость листьев» позволила отобрать наиболее засухоустойчивые линии в популяции кукурузы на более ранних этапах роста и развития растений. Особенно эффективным оказался отбор в регионах с засушливыми условиями

Ключевые слова: КУКУРУЗА, ПОПУЛЯЦИИ, ОТБОР, ЗАСУХОУСТОЙЧИВОСТЬ, ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ, ПРОДУКТИВНОСТЬ

UDC 633.11 (470.620)

4.1.1. General agriculture and crop production (agricultural sciences)

EFFECTIVENESS OF SELECTION FOR DROUGHT RESISTANCE IN CORN POPULATIONS UNDER DIFFERENT ECOLOGICAL CONDITIONS

Kotlyarov Vlaimir Vladislavovich
Dr.Sci.Agr,professor
RSCI SPIN-code: 5905-0474
vladimir.v.kotlyarov@gmail.com

Kotlyarov Denis Vladimirovich
Dr.Sci.Agr,professor
RSCI SPIN-code: 2928-5639
d.kotlyarov@argensa.ru

Yablonskay Helena Karlenovna
Dr.Sci.Agr, associate professor
RSCI SPIN-code: 2881 - 4547
yablonskay@mail.ru

Novojilov Artem Sergeevich
student
Kuban State Agrarian University, Krasnodar, Russia 350044, Kalinina, 13

Climate warming leads to an increase in the frequency of dry seasons during the growing season of corn, which leads to a decrease in yield. Therefore, increasing the drought resistance of agricultural crops is a very urgent task. Selection in the corn population for drought resistance in various environmental conditions is a necessary effective tool in the breeding of agricultural crops, in particular corn. Drought causes premature aging of leaves and slows down the growth of cobs, and severe stress leads to complete drying. This leads to reduced accumulation of photosynthetic products and a significant decrease in grain weight. As a result of selection in drought conditions, drought-resistant corn lines with high productivity potential were identified. It was found that selection for drought resistance is advisable to carry out not only by plant productivity traits, but also by direct traits. Evaluation by the "leaf curl" trait made it possible to select the most drought-resistant lines in the corn population at earlier stages of plant growth and development. Selection in regions with arid conditions turned out to be especially effective

Keywords: CORN, POPULATIONS, SELECTION, DROUGHT RESISTANCE, ECOLOGICAL CONDITIONS, PRODUCTIVITY

<http://dx.doi.org/10.21515/1990-4665-205-038>

Введение. Кукуруза является третьей по значимости продовольственной культурой в мире и после риса и пшеницы [1,2]. Потепление климата приводит к увеличению частоты засушливых сезонов в период вегетации кукурузы, что приводит к снижению урожайности. Поэтому повышение засухоустойчивости сельскохозяйственных культур весьма актуальная задача [1,3, 5-8]. Влияние засухи на растения зависит от взаимодействия факторов, связанных с растениями, окружающей средой и особенностью технологий выращивания: стадия роста и развития растения, скорость возникновения дефицита воды, пиковая интенсивность дефицита и густота стояния.

Что касается стадии развития, то кукуруза наиболее чувствительна к засухе в период цветения. Сильный дефицит воды в период от нескольких дней до начала формирования початков и примерно в течение 25 дней может полностью уничтожить урожай. Засуха приводит к задержке роста початков и метёлок, увеличивая интервал между цветением метёлок и появлением тычиночных нитей на початке до такой степени, что это препятствует оплодотворению. В результате початки остаются бесплодными или проявляется череззёрница. Даже при успешном оплодотворении абортивность зёрен может начаться уже на 2–3 сутки, что приводит к уменьшению числа зёрен. Засуха в начале формирования зёрен также может значительно снизить или полностью уничтожить урожай [1,5]. Поскольку продуктивность растений достигается до начала цветения, потребление воды, в этот период, достигает максимума. Засуха вызывает преждевременное старение листьев и замедляет рост початков, а сильный стресс приводит к полному высыханию. Это ведёт к уменьшению накопления продуктов фотосинтеза и значительному снижению массы 1000 зёрен [4, 5-8].

<http://ej.kubagro.ru/2025/01/pdf/38.pdf>

Цель исследований - отбор на высокий потенциал продуктивности в селекции на устойчивость к засухе растений кукурузы. Даже в условиях достаточного увлажнения такой отбор неизменно приводит к повышению урожайности зерна, как в условиях дефицита воды, так и в условиях её избытка [5]. Такая работа способствует также повышению устойчивости к другим абиотическим стрессам, таким как высокие или низкие положительные температуры и низкая плодородие почвы.

Материал и методика исследований. Исследования были проведены на базе кафедры физиологии и биохимии растений КубГАУ в 2024 г., а отборы на засухоустойчивость произведены в Кировском районе Ставропольского края, Курганском НИИСХ и Краснодарском крае (на базе ООО МИП Кубанские агротехнологии при КубГАУ) в период 2021-2024 гг. в условиях засухи.

Особенности почвенно-климатических условий Краснодарского края в период исследований. Почвы в экспериментах – чернозёмы выщелоченные [1]. Засушливые явления в период вегетации кукурузы наблюдались в 2022 и 2023 гг. при этом в течение налива зерна отмечалась низкая относительная влажность воздуха (до 40-45 %). Наиболее засушливым оказался 2024 г., когда осадки выпали в середине мая, что благоприятно повлияло на всходы кукурузы. В последующие периоды вплоть до вымётывания кукуруза осадков не было, что позволило сделать оценку на засухоустойчивость. Однако после начала вымётывания были сделаны поливы для получения урожая из-за критического состояния растений. Относительная влажность воздуха в период вегетации картофеля (3 декада апреля – 2 декада августа) составила 45 – 82 %. Сумма температур за период активной вегетации - около 2500°C. дневная температура достигала в среднем 35-40°C, что позволило провести отборы в условиях экстремальных температур.

Особенности почвенно-климатических условий Ставропольского края в период исследований. Почвы в Кировском районе этого края каштановые. Климатические условия за период исследований 2022-2024 вегетационных лет характеризуются засушливыми и жаркими вегетационными сезонами, а также дождливым сезоном в конце июня – начале июля 2023 г., но полным отсутствием осадков со середины мая до уборки кукурузы в 2024 г.

Особенности почвенно-климатических условий Курганской области — это резко континентальный климат. Почвы в месте проведения опытов - выщелоченные чернозёмы. Климатические условия за период исследований 2022-2023 вегетационных лет характеризуются сухой весной, а также жарким летом с повышенным выпадением осадков со второй половины июня. Распределение осадков по сезонам неравномерно. Большая часть осадков приходится на осень и зиму, когда циклоны приносят влажные воздушные массы с Атлантического океана, поэтому в этом региона, как правило, накапливается в почве большой запас продуктивной влаги. Летом осадки менее интенсивны, что способствует формированию жаркой и сухой погоды.

Регион в целом характеризуется более продолжительным днём по сравнению с южными регионами России, что влияет на наступление вымётывания для чувствительных к фотопериоду форм кукурузы.

В качестве объекта исследований использовали популяции кукурузы народной селекции (отбор вёлся не менее 50 лет) из Успенского и Анапского районов Краснодарского края, где наиболее часто возникают засушливые явления в период вегетации этой культуры.

Посадка проводилась вручную с междурядьем 70 см и 4 семени на 1 погонный метр.

Уход за посевами и уборка урожая работы осуществлялись вручную. Обмолот отобранных початков производили вручную.

Площадь селекционных участков (используемых для отбора на засухоустойчивость) в Краснодарском крае составляла 1 га, в Ставропольском крае 0,5 га, в Курганской области 0,15-0,25 га.

Результаты исследований. Как уже отмечалось [5], важными показателями, влияющими на результативность селекции кукурузы на повышение засухоустойчивости, является продуктивность початков (особенно количество рядов в нём и его длина). Руководствуясь этим, были проведены отборы в различных по влагообеспеченности и продолжительности дня экологических условиях. Краснодарский край по количеству осадков в период вегетации культуры в целом более благоприятен (за исключением 2024 г.), Кировский район Ставропольского края отличается засухой течение всего вегетационного периода. Курганская область характеризуется крайне неустойчивым выпадением осадков, запасом продуктивной влаги в почве, высокой температурой, но низкой относительной влажностью воздуха и длительной продолжительностью дня.

В этой связи результативность отбора на засухоустойчивость может носить нестабильный характер. При этом в более благоприятном Краснодарском крае сохраняется высокая частота продуктивных початков в течение трёх лет исследований (таблица 1).

Таблица 1 - Результативность отбора в популяции кукурузы на устойчивость к засухе (среднее число продуктивных початков и их процент от числа растений)

Регион	2022		2023		2024	
	среднее	%	среднее	%	среднее	%
Краснодарский край	2334	1,7	2078	1,6	2670	3,5
Курганская область	690	6,9	903	9	476	11,5
Ставропольский край	1640	8,2	2020	8	1040	4

Как показали результаты, выход продуктивных форм кукурузы в целом был выше в регионе с более благоприятными почвенно-климатическими условиями – в Краснодарском крае. Однако в процентном отношении засухоустойчивых растений оказалось меньше, чем в засушливых условиях. В результате были отобраны перспективные линии кукурузы с высоким потенциалом продуктивности (рисунок 1).



Рисунок 1 – Один из отобранных из популяции кукурузы в условиях Краснодарского края початок (2022)

В засушливом Ставропольском крае увеличение выхода продуктивных форм кукурузы в целом оказалось в 2023 г., когда в критические периоды роста и развития растений наблюдалось существенное выпадение осадков. Однако доля продуктивных растений кукурузы в условиях сильной засухи в 2024 г. достигла большей величины, что связано с давлением направленного отбора на этот признак в течение предыдущих двух лет (рисунок 2).



Рисунок 2 – Засухоустойчивая популяция кукурузы в результате двукратного отбора на этот признак в засушливых условиях (Кировский район Ставропольского края, 2024)

Тем не менее, даже в этих условиях удалось выявить высокопродуктивный исходный материал кукурузы (рисунок 3).



Рисунок 3 – Отобранный на засухоустойчивость в Ставропольском крае початок кукурузы с высоким потенциалом продуктивности (2024)

В Курганской области с её резко континентальным климатом наибольший выход высокопродуктивных форм оказался в 2023 г., но доля отобранных засухоустойчивых форм росла пропорционально и максимума достигла в 2024 г. и это не смотря на влияние выбраковки чувствительных к фотопериоду растений. Следовательно, давление отбора на засухоустойчивость позволила увеличить частоту растений с высокой продуктивностью в условиях засухи (рисунок 4).



Рисунок 4 – Не чувствительные к фотопериоду, засухоустойчивые, высокопродуктивные формы кукурузы, отобранные в Курганской области (2022)

Следует заметить, что в 2024 г. (когда отбор вёлся в этой популяции, но в Краснодаре) произошло снижение по количеству отобранных на засухоустойчивость продуктивных форм кукурузы, а на это повлияли весьма засушливые условия этого года.

Поскольку при отборе на засухоустойчивость большое значение имеет оценка по массе 1000 зёрен [5], результативность такой работы оказалась неоднозначной (таблица 2).

Таблица 2 - Влияние отбора на засухоустойчивость на массу 1000 зёрен кукурузы в разных экологических условиях

Регион	2022		2023		2024	
	среднее	от - до	среднее	от - до	среднее	от - до
Краснодарский край	390	375-405	385	370-400	400	385-415
Курганская область	290	275-305	290	280-310	280	265-295
Ставропольский край	325	310-340	330	315-345	320	305-335

Как оказалось, увеличение этого показателя оказалось при отборе в благоприятном Краснодарском крае (в среднем с 390 г до 400 г) и это несмотря на весьма засушливый в этом регионе год (2024). В наиболее неблагоприятных по почвенно-климатическим условиям регионах (Ставропольском крае и Курганской области) в целом выявлена стабильно низкая масса 1000 зёрен, а в 2024 г. (засушливом) она ещё снизилась в среднем на 10 г (несмотря на давление направленного отбора), что связано с почвенной и воздушной засухой в период налива зерна.

В условиях засухи листья одних линий туго свёртываются (рисунок 4), а у других возникает сильный ожог их верхушек (рисунок 5), в тоже время некоторые линии остаются зелёными и не теряют тургор.



Рисунок 4 – Признак «скручиваемости листа» кукурузы в условиях засухи (Краснодарский край, 2024)



Рисунок 5 – Проявление ожога верхушек листа кукурузы, как признака низкой засухоустойчивости (Краснодарский край, 2024)

Дифференциацию по засухоустойчивости можно выражать в классах повреждений или в процентах поврежденной листовой поверхности [3]. Для выделения засухоустойчивых линий кукурузы нами была проведена оценка по степени потери тургора листьев по скручиваемости листьев (таблица 3). Как и ожидалось, отбор на скручиваемость листьев кукурузы в регионах с засушливыми условиями оказался более эффективным.

Так, в 2023 г. частота таких растений в Ставропольском крае достигла 8 % (против 1,6 % в Краснодарском крае) а в 2024 г., в условиях силь-

ной почвенной и воздушной засухи в регионе, она составила в этом же регионе 11,5 % (при 3,5 % в Краснодарском крае).

Таблица 3 – Частота растений с не скручивающимися листьями

Регион	2022		2023		2024	
	среднее	%	среднее	%	среднее	%
Краснодарский край	2334	1,7	2078	1,6	2670	3,5
Курганская область	690	6,9	903	9	476	11,5
Ставропольский край	1640	8,2	2020	8	1040	4

Такая работа позволила выделить в 2024 г. более засухоустойчивые линии этой культуры (рисунок 6).

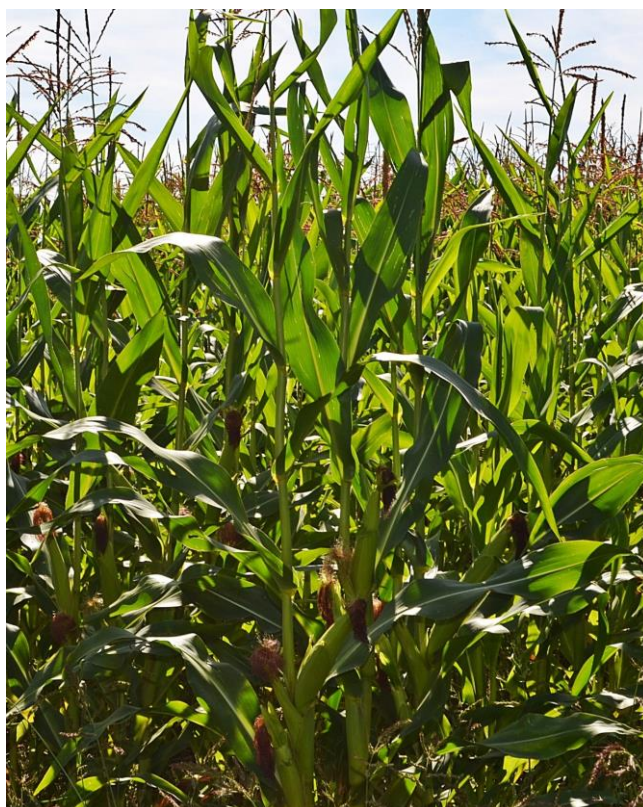


Рисунок 6 – Выделенные засухоустойчивые линии кукурузы, не теряющие тургор в условиях засухи (Краснодарский край, 2024)

Следует заметить, что корреляционный коэффициент между скручиваемостью листьев и продуктивностью является отрицательным, очень тесным и составил – 0,72. Однако выбраковка осуществлялась и проявлению ожога верхушек листа. Приоритетом отбора были растения, хорошо сохраняющие тургор листьев, а также с синхронным появлением метёлки и початка.

Эти линии показали высокую продуктивность в засушливых условиях, сформировав по 2 початка из которых один оказался полноценным, во втором в таких жёстких условиях практически не завязались семена.

Результаты и обсуждения. Результаты экспериментов показали, что эффективность отбора на засухоустойчивость в популяции кукурузы в различных экологических условиях носит неоднозначный характер. Причём, наибольший выход засухоустойчивых и высокопродуктивных растений этой культуры в целом оказался в более благоприятном по почвенно-климатическим условиям Краснодарском крае. При этом надо учитывать, что усреднение результатов отбора на этот признак не всегда приводит к достижению поставленной цели. Так, например, особенности почвенно-климатических условий уральского региона (достаточные запасы продуктивной влаги в почве, более продолжительный день) обеспечивают успех в отборе приспособленных к этим условиям популяций кукурузы. Более засушливые условия и экстремально высокие температуры в период вегетации кукурузы в Ставропольском крае, дают возможность выявить наиболее продуктивные и пластичные популяции этой культуры для данной экологической ниши. Это и подтвердили данные по проценту отобранных засухоустойчивых форм кукурузы в Ставропольском крае и Курганской области, которые оказались существенно выше, чем в Краснодарском крае.

Установлено, что отбор на засухоустойчивость целесообразно проводить не только по признакам продуктивности растений, но и другим, в

том числе прямым (с учётом высокой отрицательной корреляционной зависимостью между этими признаками достигшей – 0,72). Так, например, оценка по признаку «скручиваемость листьев» позволила отобрать наиболее засухоустойчивые линии в популяции кукурузы на более ранних этапах роста и развития растений. Особенно эффективным оказался отбор в регионах с засушливыми условиями.

Заключение. В целом же выбраковка линий с признаками низкой засухоустойчивости (ожог верхушек листа, скручиваемость листа, не синхронное вымётывание и появление тычиночных нитей початка) и наоборот отбор линий, не теряющих тургор в таких экстремальных условиях, обеспечили выявление высокопродуктивных форм кукурузы в качестве исходного материала для селекции на этот значимый признак.

Таким образом, отбор на засухоустойчивость кукурузы в различных экологических условиях является необходимым и действенным инструментом в селекции этой культуры.

Литература

1. Агрометеорологические бюллетени по территории Краснодарского края / Краснодар: Краснодарский краевой центр по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды, 2024
2. Вавилов П. П., Гриценко В. В., Кузнецов В. С. Растениеводство; Под ред. П. П. Вавилова. 5-е изд., перераб. и доп. — 1986, 512 с.
3. Жароустойчивость и засухоустойчивость кукурузы. Источник: <https://www.activestudy.info/zharoustojchivost-i-zasuxoustojchivost-kukuruzy/>
4. Устойчивость растений к неблагоприятным факторам среды: учеб. пособие / Ю. П. Федулов, В. В. Котляров, К. А. Доценко. – Краснодар: КубГАУ, 2015 – 64 с.
5. Improving drought tolerance in maize: Tools and techniques <https://www.frontiersin.org/journals/genetics/articles/10.3389/fgene.2022.1001001/full>
6. N.I. Nenko Physiological-biochemical criteria of the apple-tree resistance to the summer period abiotic stresses/ Nenko N.I., Kisileva G.K., Ulianovskaya E.V., Karavaeva A.V., Yablonskaya E.K./ EurAsian Journal of BioSciences. 2018. T. 12. № 1. С. 55-61.
7. E.K.Yablonskay Winter resistance of the apple-tree varieties in the south of russia/ Nenko N.I., Kisileva G.K., Ulyanovskaya E.V., Karavaeva A.V., Yablonskay E.K./Austrian Journal of Technical and Natural Sciences. 2018. № 34. С. 3-10.

8. Н.И. Ненько Физиолого-биохимические критерии устойчивости яблони к абиотическим стрессам летнего периода/Ненько Н.И., Киселева Г.К., Ульяновская Е.В., Яблонская Е.К., Караваева А.В./Сельскохозяйственная биология. 2019. Т. 54. № 1. С. 158-168.

References

1. Agrometeorologicheskiye byulleteni po territorii Krasnodarskogo kraya / Krasnodar: Krasnodarskiy krayevoy tsentr po gidrometeorologii i monitoringu okruzhayushchey sredy, 2024
2. Vavilov P. P., Gritsenko V. V., Kuznetsov V. S. Rasteniyevodstvo; Pod red. P. P. Vavilova. 5-ye izd., pererab. i dop. — 1986, 512 s.
3. Zharoustoychivost' i zasukhoustoychivost' kukuruzy. Istochnik: <https://www.activestudy.info/zharoustojchivost-i-zasuxoustojchivost-kukuruzy/>
4. Ustoychivost' rasteniy k neblagopriyatnym faktoram sredy: ucheb. posobiye / YU. P. Fedulov, V. V. Kotlyarov, K. A. Dotsenko. – Krasnodar: KubGAU, 2015 – 64 s.
5. Improving drought tolerance in maize: Tools and techniques <https://www.frontiersin.org/journals/genetics/articles/10.3389/fgene.2022.1001001/full>
6. N.I. Nenko Rhysiological-biochemical criteria of the apple-tree resistance to the summer period abiotic stresses/ Nenko N.I., Kisileva G.K., Ulianovskaya E.V., Karavaeva A.V., Yablonskaya E.K./ EurAsian Journal of BioSciences. 2018. T. 12. № 1. S. 55-61.
7. E.K.Yablonskay Winter resistance of the apple-tree varieties in the south of russia/ Nenko N.I., Kisileva G.K., Ulyanovskaya E.V., Karavaeva A.V., Yablonskay E.K./Austrian Journal of Technical and Natural Sciences. 2018. № 34. S. 3-10.
8. N.I. Nen'ko Fiziologo-biokhimicheskiye kriterii ustoychivosti yabloni k abioticheskim stressam letnego perioda/Nen'ko N.I., Kiseleva G.K., Ul'yanovskaya Ye.V., Yablonskaya Ye.K., Karavayeva A.V./Sel'skokhozyaystvennaya biologiya. 2019. T. 54. № 1. S. 158-168.