

УДК 633.15:631.527(470.54/.56+470.58)

ПРОДУКТИВНОСТЬ КУКУРУЗЫ В ЛЕСОСТЕПИ ЗАУРАЛЬЯ КАК ФУНКЦИЯ СКОРОСПЕЛОСТИ ГИБРИДОВ

А. Э. Панфилов, Н. И. Казакова

Цель исследований – экспериментальное обоснование выбора адаптированных гибридов кукурузы для северной зоны кукурузосеяния через изучение зависимости основных хозяйственно полезных признаков от продолжительности вегетационного периода. В ходе исследований установлена обратная связь урожайности зерна от чисел ФАО, характеризующих скороспелость гибридов, вызванная депрессией массы 1000 зерен сравнительно позднеспелых форм под влиянием дефицита тепла. Расширение диапазона скороспелости в пользу более адаптированных ультраранних форм приводит к ослаблению этой связи с сильной до средней, что позволяет выявить оптимальные границы скороспелости гибридов для зернового направления использования. Связь чисел ФАО с урожайностью сухой массы также зависит от диапазона скороспелости гибридов. Со смещением этого диапазона в направлении от раннеспелых к ультраранним гибридам она трансформируется из обратной в прямую. Качественные параметры урожая (влажность зерна, содержание сухого вещества в зеленой массе, концентрация обменной энергии в сухом веществе) находятся в тесной обратной связи с продолжительностью вегетационного периода независимо от исследуемого интервала скороспелости гибридов. Результаты многолетних исследований позволяют заключить, что приоритетным признаком в селекции кукурузы для северных регионов как для силосного, так и для зернового использования является скороспелость, причем для стабильного производства необходимо углубление работы с группами ФАО 100–120 (скороспелые гибриды) и 130–150 (ультраранние). Лишь на этой генетической основе возможна полноценная реализация в фенотипе прочих хозяйственно полезных признаков (продуктивного потенциала, качественных параметров, способности к быстрой потере влаги зерном и т.п.). В данном направлении селекционные центры Российской Федерации имеют серьезный приоритет перед европейскими и американскими компаниями, что обеспечивает для них наиболее успешную конкуренцию на рынке прежде всего в северной зоне кукурузосеяния.

Ключевые слова: Зауралье, кукуруза, гибриды, скороспелость, урожайность, влажность зерна, содержание сухого вещества в зеленой массе, концентрация обменной энергии в сухом веществе.

Гибриды кукурузы для северных регионов России, к которым относится и Зауралье, должны обладать комплексом признаков, обеспечивающих локальную адаптацию культуры к совокупности неблагоприятных факторов. Существенное отличие обширного пояса России, отнесенного В.С. Циковым [1] к третьей зоне кукурузосеяния, заключается в дефиците тепла. Основным источником этого дефицита является короткий период вегетации, тогда как температурный режим летних месяцев зачастую вполне благоприятен для развития и продукционного процесса кукурузы [2].

Вследствие этого главным условием продвижения кукурузы на север стала селекция на скороспелость [3, 4]. По мнению А.И. Супрунова [5], гибриды кукурузы для северных регионов России должны опережать в развитии современные раннеспелые стандарты на 5–7 дней.

Изменчивость кукурузы по продолжительности вегетационного периода имеет весьма широкие границы [6]. Один из источников скороспелости в селекции – местные популяции, возникшие в результате миграции населения центральных районов России, переселенцев с Украины и Северного Кавказа в северо-восточном направлении и известные с конца



XVIII века [7, 8]. Наиболее скороспелыми в мире формами кукурузы являются сибирские сорта [2]. Кроме того, при создании раннеспелых линий эффективны периодический (рекуррентный) отбор на раннее цветение из более позднеспелых гибридов и популяций [9], выделение инцухт-линий из раннеспелых гибридов [10].

В XX столетии в Урало-Сибирском регионе было предпринято как минимум три попытки освоения кукурузы как зерновой культуры: в начале века [11], в конце пятидесятых – начале шестидесятых [12] и в конце восьмидесятых годов [13, 14]. Слабая результативность всех трех попыток обусловлена отсутствием адаптированных гибридов зернового направления, моделей, на базе которых эти гибриды могли быть созданы, и теоретических представлений, которые легли бы в основу таких моделей.

Со скороспелостью гибридов тесно связана не только зерновая, но и силосная продуктивность кукурузы, поскольку биоэнергетическая ценность силоса практически целиком обусловлена содержанием в нем транзитного крахмала, основным источником которого является зерно [15]. Таким образом, выбор адаптированных гибридов кукурузы для северной зоны кукурузосеяния во многом сводится к исследованию зависимости основных хозяйственно полезных признаков от продолжительности вегетационного периода, выраженной, в частности, через числа ФАО.

Материалы и методы

Материал для исследований получен в ходе многолетнего (1983–2017 годы) экологического испытания различных по скороспелости гибридов кукурузы в северной и южной лесостепных зонах Зауралья на базе Курганского НИИСХ и Южно-Уральского ГАУ. Метод исследований – полевой опыт. Исследования проводили по методике Еусагрия, для проверки статистических гипотез использовали стандартные алгоритмы дисперсионного, корреляционного и регрессионного анализов.

Результаты исследований

Экологическое испытание гибридов позволило выявить отчетливую тенденцию развития селекции кукурузы на скороспелость в течение тридцатилетнего периода (рис. 1). Так, в первый десятилетний этап этого испытания пик частоты распределения гибридов по скороспелости (около 16%) приходился на класс ФАО 180, а более 40% испытываемых образцов входило в группу ФАО 170-190.

На втором этапе заметен сдвиг частоты в сторону уменьшения чисел ФАО: пик (14%) соответствует значению ФАО 150, при этом около 40% гибридов в испытании входит в диапазон ФАО 140–160. Третий этап отражает дальнейшее развитие этой тенденции – распределение частот характеризуется сдвигом максимума в интервал ФАО 120–130.

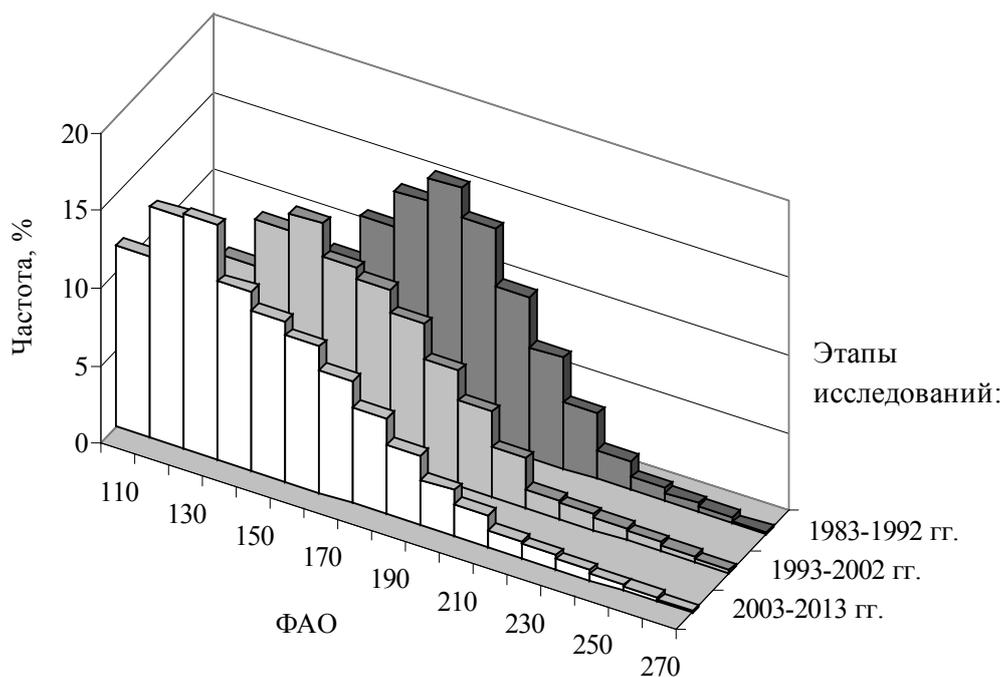


Рис. 1. Гистограммы распределения гибридов кукурузы по скороспелости в экологическом сортоиспытании в различные периоды исследований (КНИИСХ, Институт агроэкологии, 1983–2013 гг.)

Роль скороспелости в селекции кукурузы для севера вытекает из анализа корреляционных связей между этим признаком, с одной стороны, и параметрами продуктивности и качества урожая кукурузы – с другой (табл. 1). Первый этап исследований показал тесную обратную зависимость урожайности зерна от величины чисел ФАО, что вступало в явное противоречие с концепцией роста потенциальной продуктивности с удлинением вегетационного периода и связанного с ним усиления ассимиляционного аппарата.

У кукурузы, в частности, потенциальная продуктивность реализуется через число зерен в початке, которое положительно связано с продолжительностью вегетационного периода в южной зоне кукурузосеяния и рассматривается здесь как главный компонент урожайности [16]. Однако в наших исследованиях этот элемент структуры урожая был связан с зерновой продуктивностью лишь в средней степени. Напротив, установлена тесная зависимость урожайности от массы 1000 зерен, которая в традиционных регионах выращивания кукурузы прослеживается достаточно слабо. Таким образом, выявленное противоречие разрешается тем, что

на фоне дефицита тепла фактическая урожайность определяется не потенциалом гибрида, а степенью его реализации в процессе созревания и налива зерна. Очевидно, что этот процесс к окончанию периода вегетации наиболее полно завершается у наиболее скороспелых форм.

Это позволило предположить, что достижение оптимального уровня скороспелости приведет к ослаблению обнаруженных зависимостей или к изменению их характера. Данное предположение нашло подтверждение на втором и третьем этапах исследований, показавших явную тенденцию к снижению модуля коэффициента корреляции (на третьем этапе характеризующего связь лишь как среднюю). Следовательно, установленная первоначально линейная корреляция между урожайностью и скороспелостью должна рассматриваться лишь как частный случай общей закономерности, которая может быть выражена через квадратичную зависимость с максимумом, совпадающим с оптимальным для региона диапазоном чисел ФАО.

Это положение наиболее полно иллюстрируют результаты последних лет исследований (рис. 2).

Таблица 1 – Коэффициенты корреляции между числами ФАО и некоторыми хозяйственно полезными признаками гибридов кукурузы (1983–2013 гг.)

Признак	Этапы исследований		
	1984–1992	1993–2002	2003–2013
Урожайность зерна	-0,84	-0,71	-0,57
Урожайность сухой массы	-0,30	-0,07	0,29
Влажность зерна	0,88	0,84	0,83
Содержание СВ в зеленой массе	-0,81	-0,79	-0,87
Концентрация ОЭ в сухом веществе	-0,76	-0,78	-0,82

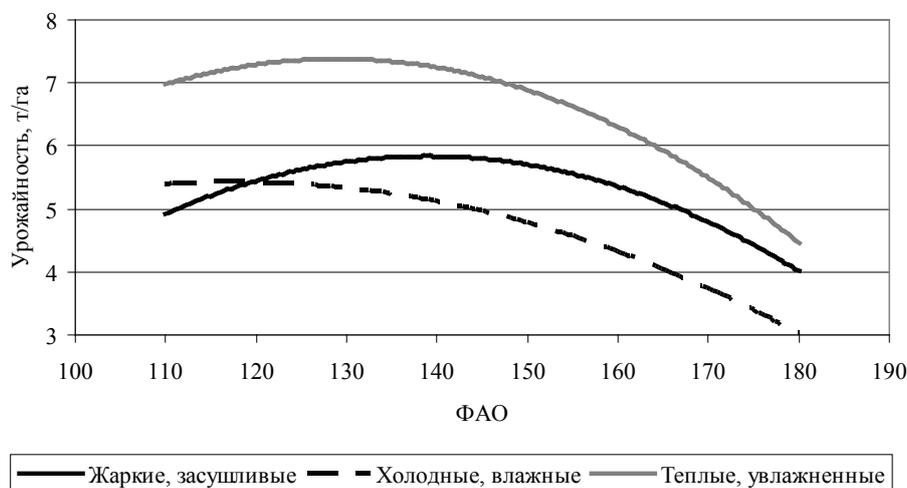


Рис. 2. Зависимость урожайности зерна кукурузы от чисел ФАО гибридов в различных условиях вегетации (2006–2017 годы)



В нормальных условиях вегетации, характеризующихся сбалансированностью ресурсов тепла и влаги, максимальная урожайность достигается в интервале чисел ФАО от 120 до 140 единиц, но в холодные, влажные годы экстремум смещается к 120, а в жаркие, засушливые – к 140 единицам.

Связь чисел ФАО с урожайностью сухой массы также изменялась по этапам в зависимости от охваченного диапазона скороспелости гибридов. На первом этапе она, как и для урожайности зерна, была обратной, но выраженной лишь в средней степени. На втором этапе, с увеличением доли потенциально менее продуктивных ультраранних гибридов, эта связь практически не прослеживается. Наконец, для третьего этапа вновь характерна средняя связь между числами ФАО и урожайностью, но в связи с еще большей долей ультраранних и скороспелых гибридов она трансформируется в прямую.

Уборочная влажность зерна, а также содержание сухого вещества в зеленой массе и концентрация обменной энергии в сухом веществе, определяющие в конечном счете качество силоса, находились в обратной зависимости от числа ФАО в течение всего периода исследований. Таким образом, селекция кукурузы на скороспелость играет определяющую роль в формировании как зерновой, так и силосной продуктивности.

Как показывают исследования последних 12 лет, на протяжении которых среди гибридов наиболее полно представлен диапазон ФАО 110–150, максимальная и стабильная урожайность сухой массы характерна для ультраранних и раннеспелых форм, тогда как зерновая – для скороспелых и ультраранних (табл. 2).

При создании гибридов зернового направления использования для севера в качестве необходимого признака зачастую рассматривается быстрая потеря влаги зерном в период созревания, иногда – как альтернатива селекции

на ультраскороспелость [17, 18, 19]. При этом следует учитывать, что у самоопыленных линий с ярко выраженным признаком ускоренной влагоотдачи, как правило, проявляется пониженная устойчивость к неблагоприятным факторам среды [20, 21]. Кроме того, как показали исследования в условиях Южного Урала [22], в северной зоне кукурузосеяния скорость потери влаги находится в сильной зависимости от погодных условий в период созревания (относительной влажности воздуха и осадков), что может нивелировать проявление генетических особенностей гибридов в фенотипе.

Таким образом, для Уральского региона актуален вопрос о том, в какой мере генетические предпосылки к ускоренной потере влаги зерном могут проявляться в фенотипе на неблагоприятном погодном фоне, типичном для этого региона в период созревания зерна кукурузы. Исследования, направленные на решение этого вопроса, проведены в 2016–2017 годах в Южно-Уральском ГАУ (северная лесостепь Челябинской области) и Всероссийском НИИ кукурузы (степная зона Ставропольского края). Размещение опытов в двух географических точках позволило выявить как потенциальную скорость потери влаги на заведомо благоприятном гидротермическом фоне Северного Кавказа, так и фактическую ее реализацию генотипами в условиях Южного Урала.

Двухфакторный дисперсионный анализ показал достоверность взаимодействия между факторами «климатическая зона» и «гибрид» по критерию Фишера. Следовательно, статистически доказано, что взаимодействие является неаддитивным и различия между гибридами по скорости потери влаги зависят от зоны наблюдений. Так, в Ставропольском крае в 2016 году по скорости потери влаги выделено четыре группы гибридов (таблица 3). К первой группе относится гибрид Биляр 160 – с быстрой потерей влаги; ко второй – Уральский 150,

Таблица 2 – Силосная и зерновая продуктивность гибридов кукурузы различных классов созревания (2006–2017 гг.)

Класс гибридов	ФАО	Урожайность, т/га	
		сухой массы	зерна
Скороспелые	110–120	8,74	5,81
Ультраранние	130–150	10,61	5,98
Раннеспелые	160–180	10,42	5,23
Среднеранние	190–210	9,24	4,24
НСР ₀₅	–	1,07	0,36

Машук 150 МВ, Кубанский 141 СВ – со средней скоростью влагоотдачи; к третьей Росс 130 МВ и Обский 140 СВ – с умеренной влагоотдачей; к четвертой группе Нур – с медленной потерей влаги. Аналогично распределились гибриды и в 2017 году, за исключением того, что Нур, не образуя отдельной группы, показал среднюю скорость потери влаги.

В условиях лесостепи Челябинской области на неблагоприятном гидротермическом фоне гибриды по скорости влагоотдачи разделились не на четыре, а лишь на две группы. Первая – с высокой скоростью потери влаги – также представлена одним гибридом Биляр 160. Остальные гибриды отличись сравнительно медленной потерей влаги (от 0,21 до 0,24 процентного пункта в сутки). Такое же распределение гибридов по анализируемому признаку выявлено и в 2017 году, несмотря на то, что скорость влагоотдачи была в 2–2,5 раза выше. Следовательно, для большинства гибридов различия в скорости потери влаги в условиях Южного Урала не выявлены.

Это показывает, что генетические различия между гибридами по признаку потери влаги в наибольшей степени проявляются на благоприятном гидротермическом фоне, тогда как неблагоприятные условия (высокая относительная влажность воздуха и пониженная температура) затрудняют проявление этого признака в фенотипе. Поэтому в условиях Зауралья можно с высокой вероятностью ожидать нивелирования гибридов одной группы спелости по влажности зерна, что несколько обесценивает усилия по созданию гибридов, легко отдающих влагу, для северной зоны кукурузосеяния. Исключение могут составлять лишь отдельные генотипы, резко отличающиеся по данному признаку.

Следовательно, уборочная влажность зерна кукурузы обусловлена двумя признаками гибридов: уровнем скороспелости и способностью к быстрой потере влаги в предуборочный период. Роль каждого из этих признаков зависит от условий созревания зерна: на благоприятном гидротермическом фоне влажность зерна в большей степени определяется способностью генотипа гибрида к быстрой влагоотдаче. Напротив, при высокой относительной влажности и низкой температуре воздуха основное значение имеет раннее цветение початка, а генетические различия между гибридами по скорости потери влаги проявляются достаточно слабо.

Выводы

Результаты многолетних исследований Курганского НИИСХ и Института агроэкологии в условиях лесостепи Зауралья позволяют заключить, что приоритетным признаком в селекции кукурузы для северных регионов как для силосного, так и для зернового использования является скороспелость, причем для стабильного производства необходимо углубление работы с группами ФАО 100–120 (скороспелые гибриды) и 130–150 (ультраранние). Лишь на этой генетической основе возможна полноценная реализация в фенотипе прочих хозяйственно полезных признаков (продуктивного потенциала, качественных параметров, способности к быстрой потере влаги зерном и т.п.). В данном направлении селекционные центры Российской Федерации имеют серьезный приоритет перед европейскими и американскими компаниями, что обеспечивает для них наиболее успешную конкуренцию на рынке прежде всего в северной зоне кукурузосеяния.

Таблица 3 – Скорость потери влаги зерном различных гибридов кукурузы в двух климатических зонах, проц./сутки (2016–2017 гг.)

Гибрид	2016 г.		2017 г.	
	Южный Урал	Северный Кавказ	Южный Урал	Северный Кавказ
Обский 140 СВ	0,21	0,66	0,53	0,67
Кубанский 141СВ	0,22	0,71	0,52	0,74
Росс 130МВ	0,23	0,64	0,53	0,64
Нур	0,23	0,58	0,55	0,73
Машук 150МВ	0,24	0,71	0,58	0,76
Уральский 150	0,24	0,70	0,58	0,68
Биляр 160	0,35	0,81	0,72	0,81
НСР ₀₅ : гибриды	0,04		0,07	
зоны	0,02		0,04	
взаимодействие	0,05		0,09	



Список литературы

1. Циков В. С., Матюха Л. А. Интенсивная технология возделывания кукурузы. М. : Агропромиздат, 1989. 247 с.
2. Кукуруза в Сибири / Н. И. Кашеваров, В. С. Ильин, Н. Н. Кашеварова, И. В. Ильин. Новосибирск : СО РАСХН, 2004. 400 с.
3. Еремин Д. И., Демин Е. А. Агроэкологическое обоснование выращивания кукурузы на зерно в условиях лесостепной зоны Зауралья // Вестник Государственного аграрного университета Северного Зауралья. 2016. № 1 (32). С. 6–11.
4. Орлянский Н. А., Орлянская Н. А. Селекция ультрараннеспелых гибридов кукурузы зернового типа // Кукуруза и сорго. 2001. № 5. С. 7.
5. Супрунов А. И. Селекция ультрараннеспелых гибридов кукурузы в Краснодарском крае // Кукуруза и сорго. 2009. № 1. С. 8–11.
6. Орлянский Н. А., Орлянская Н. А., Зубко Д. Г. Эффективность возделывания гибридов кукурузы различных групп спелости в условиях Центрального Черноземья // Кукуруза и сорго. 2008. № 1. С. 20–22.
7. Скалзубов Н. Л. Опыты северной культуры кукурузы // Земледельческая газета. 1915. № 2–3.
8. Шмараев Г. Е. Генофонд и селекция кукурузы. СПб. : ВИР, 1999. 390 с.
9. Супрунов А. И., Чуприна М. А. Периодический отбор в популяциях кукурузы. Краснодар : ООО «Эдви», 2010. 158 с.
10. Мустяца С. И., Мистрец С. И., Шиманский Л. П. Создание линий кукурузы с общей родословной в условиях Молдовы и Беларуси // Кукуруза и сорго. 1998. № 6. С. 9–12.
11. Скалзубов Н. Л. Опыты северной культуры кукурузы // Земледельческая газета. 1915. № 2–3.
12. Кузнецов П. И., Попова А. П. Кукуруза в Зауралье // Сборник научных работ, посвящ. 50-летию опытнической работы в сельском хозяйстве Зауралья. Курган, 1966. Вып. 1. С. 69–87.
13. Сикорский И. А. Научно-производственная система «Кукуруза»: Курганский вариант. М. : Агропромиздат, 1988. 77 с.
14. Панфилов А. Э. Культура кукурузы в Зауралье : монография. Челябинск : ЧГАУ, 2004. 356 с.
15. Еремин Д. И., Демин Е. А. Научно обоснованный подход к системе удобрений – залог получения зерна кукурузы в лесостепной зоне Зауралья (аналитический обзор) // Вестник Государственного аграрного университета Северного Зауралья. 2016. № 3 (34). С. 7–14.
16. Гурьев Б. П., Гурьева И. А. Селекция кукурузы на скороспелость. М. : Агропромиздат, 1988. 173 с.
17. Игнатъев А. С. Оценка нового исходного материала при создании среднеранних и среднеспелых гибридов кукурузы с интенсивным высушиванием зерна : автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. Зеленоград, 2011. 22 с.
18. Орлянский Н. А. Проблемы и перспективы возделывания и селекции зерновой кукурузы в Центральном Черноземье // Селекция, семеноводство, технология возделывания кукурузы. Пятигорск, 2009. С. 23–27.
19. Хорошилов С. А., Воронин А. Н., Журба Г. М. Выделение генотипов для создания гибридов кукурузы с пониженной влажностью зерна к уборке // Селекция, семеноводство, технология возделывания кукурузы. Пятигорск, 2009. С. 111–117.
20. Орлянский Н. А. Проблемы и перспективы возделывания и селекции зерновой кукурузы в Центральном Черноземье // Кукуруза и сорго. 2007. № 6. С. 2–3.
21. Орлянский Н. А. Селекция кукурузы на пониженную уборочную влажность зерна для Центрально-Черноземной зоны // Кукуруза и сорго. 2004. № 3. С. 10–13.
22. Иванова Е. С., Замятин А. Д. Особенности влагоотдачи при созревании зерна кукурузы в условиях Зауралья // АПК России. 2016. Т. 23. № 3. С. 659–663.

Панфилов Алексей Эдуардович, д-р с.-х. наук, главный научный сотрудник, Институт агроэкологии – филиал ФГБОУ ВО Южно-Уральский ГАУ.
E-mail: al_panfilov@mail.ru.

Казакова Наталья Ивановна, канд. с.-х. наук, доцент кафедры экологии, агрохимии и защиты растений, Институт агроэкологии – филиал ФГБОУ ВО Южно-Уральский ГАУ.
E-mail: kni1711@yandex.ru.

* * *