

## ХАРАКТЕРИСТИКА МЕСТНЫХ СОРТОВ И НОВЫХ ЛИНИЙ ЛОПАЮЩЕЙСЯ КУКУРУЗЫ ПО СПЕКТРАМ ЗЕИНА

**В. В. Сидорова, Г. В. Матвеева, А. В. Конарев**

Электрофоретический анализ зеина новых линий и местных сортов лопающейся кукурузы показал, что по спектрам зеина их можно различать и идентифицировать. Анализ простого сестринского гибрида F<sub>1</sub> (А96 х АГ96) подтвердил, что методом электрофореза зеина можно по маркерным белковым компонентам прогнозировать гетерозисный эффект, целенаправленно скрещивать линии и определять процент гибридных семян.

### **Введение**

Кукуруза лопающаяся (*Zea mays* L., subsp. *everta* Sturt., Zhuk.) – согласно многим исследованиям считается наиболее древней среди других подвидов кукурузы – представителей рода *Zea* L. По форме строения зерновки лопающуюся кукурузу разделяют на: рисовую (клювовидная верхушка) и перловую (округлая верхушка). Зерновки перловой кукурузы визуально идентичны таковым мелкозерных местных сортов кремнистого подвида кукурузы [1, 2, 3].

Зерновки подвида лопающейся кукурузы характеризуются большим удельным весом стекловидного эндосперма. Незначительная мучнистая часть эндосперма локализована вблизи зародыша. Зерновка отличается относительно высоким содержанием белка (до 16%), который без технологической обработки очень плохо усваивается человеком. После поджаривания зерна белки переходят в легко усваиваемую форму, что позволяет использовать этот подвид для пищевых целей. Зерно рисовой лопающейся кукурузы мельче зерна перловой и технологические показатели у нее, как правило, при поджаривании ниже перловой.

Растения лопающейся кукурузы формируют большое число (иногда до 6) початков, а также большое число побочных побегов (более 6) различной высоты (от 15 см до высоты основного растения), которые создают хорошую листостебельную зеленую массу, сохраняющуюся после созревания початков. Масса 1000 зерен колеблется в пределах от 30 до 170 г. По урожайности она значительно уступает кремнистым сортам.

Подвид лопающейся кукурузы в коллекции ВНИИР им. Н.И. Вавилова представлен разновидностями с белой, желтой, красной, темно-синей, полосатой окраской зерновок. В каждую разновидность входит разное количество местных сортов собранных во многих странах мира. Недостатком местных сортов и самоопыленных линий, поступивших в коллекцию в начале 30-х годов прошлого столетия, считается слишком длинный для условий нашей страны вегетационный период. Поэтому, зарубежный исходный материал лопающейся кукурузы способен хорошо вызреть лишь на юге России (вегетационный период 120-130 дней). Проблемы при уборке из-за кустистости и большой листостебельной массы, неравномерное созревание, высокая уборочная влажность зерна, избирательность при оплодотворении, отсутствие раннеспелых и среднеспелых линий, постепенно снизили спрос к этому подвиду кукурузы. Все эти недостатки побудили провести на Майкопской опытной станции ВИР селекционные работы для создания принципиально новых линий лопающейся кукурузы на основе линий подвида зубовидной кукурузы. Полученные новые линии лопающейся кукурузы отличались от зарубежных образцов одностебельностью, раннеспелостью, повышенной массой 1000 зерен (150-260 г.), высокими технологическими качествами (коэффициент увеличения объема зерна при поджаривании 25-30 раз), а также проявляли высокий гетерозис при скрещивании с другими подвидами [4].

Для идентификации и регистрации сортов и биотипов большинства важнейших сельскохозяйственных культур, а также для анализа динамики биотипного (генотипического) состава в процессе селекции успешно используется электрофорез запасных белков зерна – проламинов, состав спектров которых стабилен и не зависит от условий выращивания. Качественные спектры этих белков могут быть получены и для семян, имеющих значительные сроки хранения [5].

В наших исследованиях необходимо было установить насколько отличаются по спектрам запасного белка – зеина новые селекционные линии от стародавних местных сортов лопающейся кукурузы, а также от исходных линий зубовидной кукурузы и выяснить, какие произошли изменения в составе биотипов. Кроме того по белковым спектрам целесообразно было провести контроль чистоты новых линий лопающейся кукурузы и определить белковые маркеры, характеризующие каждый образец.

Мы поставили перед собой следующие задачи: с использованием электрофореза зеина выяснить и сравнить биотипный состав коллекционных образцов стародавних местных сортов лопающейся кукурузы (поступивших в коллекцию ВИР в 1921, 1922 гг.) и новых линий лопающейся кукурузы, созданных на основе лучших линий зубовидной кукурузы; на примере простого сестринского гетерозисного гибрида между линией зубовидной кукурузы А96 и созданной на ее основе новой линией лопающейся кукурузы АГ96 установить по спектрам зеина предпосылки гетерозисного эффекта и определить маркерные компоненты, указывающие на гибридность.

## **Методы исследования**

Материалом для исследования служили образцы коллекции кукурузы ВИР: местные сорта лопающейся кукурузы – к-241 (Mapledale перловая белая, 1921г.), к-683 (Местная перловая белая, 1922 г.), к-710 (Amber, рисовая бело-желтая), к-712 (Yellow Pop Corn перловая желтая); новые линии лопающейся кукурузы АГ52, АГ44, АГ96, АГ69 и АГ37; линии зубовидной кукурузы А374, В37, А375, А344, А96 и простой сестринский гибрид F<sub>1</sub> между линиями А96 х АГ96.

Исследования проводили по стандартной методике ISTA для зеина кукурузы, разработанной с участием отдела биохимии и молекулярной биологии ВИР [6, 7]. Электрофоретические спектры фотографировали и записывали в виде белковых формул. Интенсивность компонентов выражали в баллах по трехбалльной шкале. В таблицах состав белковых спектров дан сокращенно в виде значимых для линий и сортов компонентов. Зону компонентов с подвижностью от 70 до 86 при обсуждении результатов не учитывали, так как она мало информативна для решения поставленных задач [8].

## **Результаты и обсуждение.**

По спектрам зеина изучен биотипный состав коллекционных образцов местных сортов и новых линий лопающейся кукурузы, созданных впервые на основе линий зубовидной кукурузы. Различия спектров зеина исследованных местных сортов проявились, как по наличию (или по отсутствию) отдельных компонентов, так и по интенсивности одинаковых по подвижности компонентов. Изученные местные сорта представлены несколькими биотипами (от 4 до 6). У четырех стародавних местных сортов лопающейся кукурузы выявлен 21 тип электрофоретических спектров (Табл. 1). Каждый сорт представлен несколькими типами спектров. По шесть типов спектра имеют местные сорта к-712 и к-710. Местные сорта к-683 и к-241 имеют пять и четыре типа спектров соответственно.

**Таблица 1.** Состав и интенсивность компонентов электрофоретических спектров зеина у местных сортов лопающейся кукурузы

Сорт	№ компонента и его интенсивность, балл																				% биотипов	
	32	36	37	38	39	40	46	47	48	49	50	52	54	55	56	57	58	63	64	65		66
к-241 белая	2	1	–	–	1	2	3	–	1	–	3	–	1	3	–	–	2	2	2	–	2	40
	2	–	1	2	–	2	–	2	3	–	3	–	–	3	–	3	–	2	2	–	2	24
	2	–	2	1	–	–	2	1	2	–	3	–	3	–	–	3	–	2	–	–	2	16
	2	2	–	–	2	2	2	–	–	–	3	–	–	3	3	–	–	2	1	2	2	16
к-683 белая	2	–	2	2	–	–	–	–	2	–	3	–	–	2	–	3	–	2	–	–	2	40
	2	–	2	2	–	2	–	2	–	–	3	–	–	3	–	3	–	2	–	2	2	32
	1	–	2	3	–	2	–	2	3	–	3	–	–	3	–	3	–	2	–	2	2	8
	2	–	2	2	–	–	–	–	2	–	3	–	–	2	–	3	–	2	–	2	3	8
	2	–	3	3	–	2	–	2	–	–	3	–	–	3	–	3	–	3	–	–	2	8
к-712 желтая	1	1	1	–	1	2	3	1	–	–	2	2	–	2	–	–	–	–	–	2	2	24
	2	1	1	–	1	1	3	2	–	–	2	2	–	2	–	–	–	1	–	1	3	16
	2	1	–	–	1	1	3	–	2	–	2	3	–	2	–	–	–	–	–	2	2	16
	2	1	–	–	1	1	3	–	2	–	2	1	–	2	–	–	–	1	–	2	2	16
	2	2	–	–	2	–	3	–	2	–	3	1	–	2	–	–	–	–	–	–	2	8
	2	2	–	–	2	–	3	1	–	–	3	1	–	2	–	–	–	–	–	–	2	8
к-710 желто-белая	2	1	–	–	1	1	–	2	–	1	2	–	–	2	–	–	2	2	–	1	2	24
	2	2	–	–	2	1	3	2	–	2	3	–	–	2	–	–	–	2	–	1	2	24
	1	1	–	–	1	2	3	2	–	–	2	2	–	2	–	–	1	2	–	1	2	16
	2	2	–	–	2	1	3	2	–	2	3	–	–	2	–	1	–	2	–	–	2	16
	1	1	–	1	–	2	3	2	–	–	3	3	–	2	–	3	–	2	–	1	3	8
	2	2	–	–	2	–	3	2	–	3	3	–	–	3	–	2	–	3	–	–	2	8

**Примечание:** – отсутствие компонента

Наиболее стабильные (общие) компоненты 32, 50, 55, 60 и 66 присутствуют у всех местных сортов лопающейся кукурузы. Интенсивность некоторых из них может быть разной, но в основном это интенсивные компоненты. Частота их встречаемости у сортов составляет 90-100%.

К числу часто встречающихся (отсутствующие в спектрах только одного сорта) относятся компоненты 36, 39 и 46 (нет у сорта к-683), 48 (нет у к-710), либо присутствующие во всех сортах, но с разной частотой встречаемости – это компоненты 40 (48–88%), 47 (24–100%) и 65 (16–72%).

К числу редких компонентов мы относим те, которые присутствуют в спектрах только одного сорта (отсутствуют у других сортов). К ним можно отнести компоненты 49 (имеется только у сорта к-710), 54, 56 и 64 (у к-241), 58 (у к-241 и к-710) с частотой встречаемости от 8 до 80%. Их можно считать специфичными для сорта. Следующие белковые компоненты или комбинации компонентов также можно считать специфичными для сорта. Например, компонент 52 присутствует только в спектрах местных сортов к-712 и к-710 (с частотой встречаемости 100% и 24% соответственно). У белозерных сортов компонент 52 отсутствует. Комбинация компонентов 38–57 характерна в основном для белозерных сортов (к-241 и к-683), а 46–48 – для местных сортов к-241 и к-712.

Нами также был изучен компонентный состав пяти новых линий лопающейся кукурузы, созданных на основе линий зубовидной. Особенность этих новых линий заключается в том, что они дают высокий гетерозисный эффект при дальнейшем их скрещивании с линиями зубовидной кукурузы. В связи с этим важно было выявить в спектрах новых линий белковые маркеры (компоненты), отличающие новые линии от исходных линий зубовидной кукурузы (Табл. 2).

**Таблица 2.** Состав и интенсивность компонентов электрофоретических спектров зеина исходных зубовидных линий и новых линий лопающейся кукурузы

Линии	№ компонента и его интенсивность, балл																				% биотипов				
	32	36	37	38	39	40	41	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	63		64	65	66	
A374	–	1	3	–	1	–	1	3	–	–	3	3	–	–	1	3	3	–	–	2	3	–	–	100	
AG69	2	1	–	3	–	–	–	3	–	2	–	3	–	–	1	2	2	–	3	2	–	2	2	32	
	2	2	–	–	2	–	–	3	–	–	–	3	–	–	1	2	2	–	–	2	–	2	2	32	
	2	2	–	3	–	–	–	3	–	–	–	3	–	–	1	2	2	–	3	2	–	2	2	16	
	1	–	–	3	–	–	–	–	–	3	–	3	–	–	1	2	2	–	3	2	–	2	2	16	
B37	1	1	–	–	1	3	–	3	–	–	3	–	–	3	–	–	3	–	1	3	–	2	3	100	
AG37	–	–	2	2	–	–	1	–	1	3	1	3	–	–	–	–	1	1	3	2	2	–	2	28	
	–	–	–	2	–	–	–	–	–	–	1	3	–	–	–	–	–	–	3	2	–	–	2	24	
	–	–	–	3	–	–	–	–	–	–	2	2	–	–	3	–	–	–	3	3	2	–	–	3	16
	–	–	1	2	–	–	–	–	–	–	–	1	3	–	–	–	–	1	–	3	1	1	–	1	16
	–	–	–	3	–	–	–	–	–	–	2	3	–	–	3	–	–	–	3	3	2	1	–	3	12
A375	–	1	1	–	1	–	1	3	–	–	–	3	–	–	1	–	1	–	–	1	2	–	–	100	
AG52	1	3	–	3	–	–	2	2	–	2	–	3	–	–	–	1	2	–	3	3	3	–	–	100	
A344	–	1	3	3	–	2	–	–	2	–	1	3	–	–	–	–	2	–	3	2	–	–	2	100	
AG44	1	2	–	–	2	3	–	3	–	2	–	3	–	–	–	1	2	–	1	2	–	–	2	100	
A96 ♀	–	–	3	3	–	2	–	–	3	2	–	3	2	–	–	–	2	–	3	2	2	–	–	100	
AG96 ♂	3	–	3	3	–	–	–	–	–	2	–	3	–	–	–	1	3	–	3	2	2	–	2	100	
A96 x AG96	2	–	2	3	–	2	–	–	3	3	–	3	2	–	–	–	2	–	3	2	2	–	1		

**Примечание:** – отсутствие компонента

По данным электрофоретического анализа лишь три новые линии лопающейся кукурузы AG52, AG44 и AG96 представлены одним зеиновым биотипом. Другие новые линии AG69 и AG37 имеют по 4 и 5 типов спектров соответственно. Новая линия лопающейся кукурузы AG69 создана на основе зубовидной линии A374. В ее спектре присутствуют компоненты, отсутствующие в спектре зубовидной линии. Это компоненты 32, 38, 48, 57, 65 и 66, которые привнесены в спектр новой линии от лопающейся кукурузы, участвующей в создании новой линии. Незначительный полиморфизм новой линии AG69 формируется в основном за счет зоны компонентов 46–48. В спектрах остальных биотипов отсутствует либо компонент 46, либо компонент 48, в одном биотипе отсутствует компонент 57. Несмотря на полиморфизм, в спектрах линии AG69 много стабильных компонентов, три из которых при скрещивании могут служить маркерами гибридности в гетерозисном гибриде A374 x AG69. Это компоненты 32, 65 и 66. Маркерные компоненты 32, 65, 66 встречаются также у большинства биотипов стародавних местных сотов к-683 и к-712. Интенсивный компонент 65 отличает эту линию от остальных новых линий лопающейся кукурузы. Компонент 54 проявляется у AG69 более интенсивно, чем в других новых линиях.

Новая линия лопающейся кукурузы AG37 создана на основе зубовидной линии B37. Полиморфизм новой линии AG37 формируется за счет наличия и отсутствия многих компонентов в спектрах. Эта линия составляет исключение из всех изученных нами образцов лопающейся кукурузы и характеризуется отсутствием компонента 32, который является специфичным для изученных нами образцов подвида лопающейся кукурузы. Компоненты 38, 48, 50 и 64 отсутствуют в зубовидной линии B37 и вошли в генотип новой линии от лопающейся кукурузы, участвующей в ее создании. Из них только компонент 38 и 57 (по интенсивности) служат маркерами гибридности в высокогетерозисном гибриде B37 x AG37. Комбинация компонентов 38–57 встречается также у местных сортов к-241 и к-683.

Линии, представленные одним биотипом. Новая линия лопающейся кукурузы АГ52 создана на основе зубовидной линии А375. Компоненты 32, 38, 48, 54 и 57 отсутствуют в исходной линии А375, они вошли в генотип новой линии АГ52 от лопающейся кукурузы, участвующей в ее создании. Маркерами гибридности при скрещиваниях с участием этих линий служат интенсивные компоненты 38, 48 и 57. Электрофоретический спектр новой линии АГ52 отличается от других линий и стародавних местных сортов лопающейся кукурузы отсутствием компонента 66. Комбинация интенсивных компонентов 46–48 обнаружена в новой линии АГ44, у одного из биотипов новой линии АГ69, а также у местных сортов к-241 и к-712.

Новая линия лопающейся кукурузы АГ44 создана на основе широко известной зубовидной линии А344. Компоненты 32, 46, 48 и 54 отсутствуют в спектре зубовидной линии А344. Они вошли в генотип новой линии АГ44 от лопающейся кукурузы, принимавшей участие в создании этой линии. Компоненты 32 и 54 маркеры довольно слабой интенсивности. Комбинация компонентов 46–48 проявляется интенсивно и служит маркером гибридности в высокогетерозисном гибриде А344 х АГ44. Эта комбинация компонентов характерна также для новой линии АГ52 и стародавнего местного сорта к-712. Электрофоретический спектр новой линии АГ44 отличается от других линий наличием интенсивных компонентов 39 и 40 и очень слабым компонентом 57. Комбинация компонентов 38–57, характерная для остальных новых линий у АГ 44 отсутствует.

Новая линия лопающейся кукурузы АГ96 создана на основе зубовидной линии А96. Для электрофоретического спектра этой линии характерно наличие интенсивных компонентов 32 и 37 и комбинации компонентов 38–57. Компоненты 32, 54 и 66 вошли в генотип новой линии от лопающейся кукурузы, участвовавшей в создании линии АГ96. Как и в спектрах линии АГ52 интенсивно проявляется компонент 64. Дополнительно к нему у линии АГ96 интенсивно проявляется компонент 66, отсутствующий в спектрах АГ52. Вместо комбинации компонентов 46–48, характерной для спектров линии АГ52, в линии АГ96 присутствует только компонент 48. Основные компоненты, характерные для новой линии АГ96 обнаружены также в белозерных стародавних местных сортах к-241 и к-683.

Методом электрофореза был изучен высокогетерозисный гибрид, полученный скрещиванием линии зубовидной кукурузы А96 с линией лопающейся кукурузы АГ96, описанной нами выше. Линии А96 и АГ96 различаются по семи компонентам. Как было показано нами ранее, чем больше разница в компонентном составе электрофоретических спектров скрещиваемых линий, тем выше вероятность гетерозисного эффекта [4]. Маркерами гибридности в данной комбинации являются только два компонента 32 и 66, присутствующие в отцовской линии (АГ96) и отсутствующие в материнской линии (А96). Остальные пять компонентов не могут быть маркерами гибридности, т.к. они присутствуют в материнской линии и отсутствуют в отцовской. Судя по наличию маркерных компонентов 32 и 66 все изученные нами зерновки гибрида А96 х АГ96 гибридные.

## **Заключение**

Наши исследования показали, что по спектрам зеина можно различать и идентифицировать новые линии и местные сорта лопающейся кукурузы, и в дальнейшем контролировать их генетическую целостность при репродуцировании. Оригинальные образцы новых линий лопающейся кукурузы также надежно различаются между собой по электрофоретическим спектрам зеина. Следовательно, для получения гетерозисного эффекта при скрещиваниях их можно использовать как внутри подвида лопающейся кукурузы, так и с подвидами зубовидной кукурузы.

Сравнительный электрофоретический анализ показал, что местные сорта характеризуются собственными типами спектров. Причиной возникновения гетерозисного эффекта при скрещивании новых и исходных линий зубовидной кукурузы послужило то, что в создании новых участвовали линии лопающейся кукурузы из США. Оригинальность

спектров новых линий лопающейся кукурузы показана выше. Анализ простого сестринского гибрида F<sub>1</sub> (А96 х АГ96) подтвердил, что методом электрофореза зеина можно по маркерным белковым компонентам прогнозировать гетерозисный эффект, целенаправленно сочетать новые линии и определять процент гибридных семян.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Брунсон А. М. Лопающаяся кукуруза. В кн. Кукуруза и ее улучшение. – Л.- М.: ИЛ. 1957. – С. 333-348.
2. Шмараев Г. Е. Лопающаяся кукуруза. – Л. 1973. – 185 с.
3. Шмараев Г. Е. Кукуруза. – М.: Колос. 1975. – 304 с.
4. Матвеева Г. В. Новые самоопыленные линии лопающейся кукурузы и их селекционная ценность. Дис... канд. биол. наук. – Л. 1982. – 166 с.
5. Конарев А. В., Губарева Н. К. и др. Анализ генетической стабильности образцов коллекции мягкой пшеницы в процессе многолетнего поддержания путем многократных репродукций // *Аграрная Россия*. – 2004. – № 6. – С. 30-33.
6. Молекулярно-биологические аспекты прикладной ботаники, генетики и селекции // *Теоретические основы селекции* / Под ред. В. Г. Конарева. – М.: Колос. 1993. – Т.1. – 447 с.
7. Сидорова В. В., Конарев В. Г. и др. Электрофорез зеина как метод идентификации, регистрации и анализа сортов, линий и гибридов кукурузы. // *С.-х. биология*. – 1990. – № 3. – С. 167-177.
8. Сидорова В. В., Конарев А. В., Матвеева Г. В. Использование электрофоретического спектра зеина для прогнозирования гетерозиса у кукурузы // *Аграрная Россия*. – 2004. – № 6. – С. 34-40.

---

*Сидорова В. В., канд. биол. наук;*

*Матвеева Г. В., канд. биол. наук;*

*Конарев А. В., д-р биол. наук;*

*Всероссийский НИИ растениеводства им. Н. И. Вавилова*

Key words: bursting corn, zein electrophoretic spectra

Ключевые слова: лопающаяся кукуруза, электрофоретические спектры зеина

## THE CHARACTERISTIC OF LOCAL VARIETIES AND NEW LINES OF A BURSTING CORN ON ZEIN SPECTRA

**V.V. Sidorova, G.V. Matveeva and A.V. Konarev**  
**All-Russian N.I. Vavilov Institute of Plant Industry**

Zein electrophoretic analysis of bursting corn new lines and local varieties has shown, that they can be distinguished and identified on zein spectra. The analysis of simple sisterly hybrid F<sub>1</sub> (A96 x АГ96) has confirmed, that using zein electrophoretic method is possible on protein marker components to predict heterosis effect, purposefully to cross lines and to define percent of hybrid seeds.