

УДК 633.15:631.523:581.192

## **ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЗЕИНОВЫХ МАРКЕРОВ В ПОВЫШЕНИИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ГЕТЕРОЗИСНОЙ СЕЛЕКЦИИ КУКУРУЗЫ**

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

Всероссийский научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова  
РАСХН, Санкт-Петербург, Россия, e-mail: [a.konarev@vir.nw.ru](mailto:a.konarev@vir.nw.ru)

### **Резюме**

Зеиновые маркеры – электрофоретические спектры запасного белка семян кукурузы (зеина) использовали в анализе инбредных линий, сортов и гибридов из мировой коллекции ВИР им. Н.И.Вавилова и полученных от селекционеров. Выявлены зеиновые маркеры гибридности. Эффективность маркеров продемонстрирована на гетерозисных гибридах. Показано: чем больше различий в спектрах родительских линий, тем больший гетерозисный эффект можно ожидать от гибридной комбинации. Применение белковых (зеиновых) маркеров позволяет осуществлять объективный контроль за степенью генетической однородности линий, выявлять генетически более отдаленные линии для получения максимального гетерозисного эффекта, определять «процент» гибридности и т.д.

Ключевые слова: кукуруза, электрофоретические спектры зеина, гибридность, высокий гетерозисный эффект

## **POSSIBILITIES OF ZEIN MARKERS IN MAIZE HETEROSIS BREEDING IMPROOVING**

**V.V.Sidorova, G.V.Matveeva, Yu.A.Kerv, A.V.Konarev**

<sup>1</sup>N.I.Vavilov All-Russian Research Institute of Plant Industry (VIR), RAAS, St.Petersburg 190000  
e-mail: [a.konarev@vir.nw.ru](mailto:a.konarev@vir.nw.ru)

### **Summary**

Zein markers – electrophoretic patterns of maize seed storage proteins (zein) for analysis inbred lines, varieties and hybrids from N.I.Vavilov Institute world collection and received from breeders were used. Zein markers of hybridity corn are revealed. Efficiency of markers was shown on heterosis hybrids; comparing zein spectra, it is possible to assume (to predict) which lines at crossing give high heterosis hybrids: the more differences (distinctions) have spectra of parental lines, the greater heterosis effect it is possible to expect from a hybrid combination. Zein markers of maize may be used in breeding, for evaluation of homogeneity and marking of inbred lines, to reveal parental lines with essential zein pattern differences for high heterotic effect, to determine of seed hybridity level in hybrid maize seed production.

**Key words:** maize, zein electrophoretic spectra, hybridity, high heterotic effect

### **Введение**

Успехи в создании гетерозисных гибридов в значительной мере определяются правильным подбором исходного материала для скрещиваний – самоопыленных (инбредных) линий. Высокогетерозисные гибриды кукурузы, как правило, получают от

скрещивания генетически разнокачественных инбредных линий. Отмечено, что для получения гетерозисного эффекта генетические различия между родительскими формами могут иметь даже большее значение, чем комбинационная способность (Шмараев, 1974; Югенхеймер, 1979). В ряде стран значительные усилия были потрачены на получение гибридов кремнистой и зубовидной кукурузы. В Европе селекционеры создавали линии кремнистого подвида кукурузы, а в США – зубовидного. Некоторые гибриды созданные на основе этих линий имели высокую степень гетерозиса. Инбредные линии кремнистого подвида кукурузы вносят в гибриды такие ценные качественные признаки, как раннее и дружное созревание, хорошую всхожесть и мощность проростков при пониженных температурах. Родительские формы зубовидной кукурузы придают гибриднему потомству высокую урожайность, устойчивость к болезням и полеганию растений.

В селекции кукурузы анализ популяций, сортов, линий и гибридов осуществляется в основном по морфологическим признакам. Подавляющая часть генетических различий при этом не выявляется (Конарев, 2001). Поиск удачных гетерозисных гибридных комбинаций кукурузы проводится преимущественно путем скрещивания огромного количества инбредных линий между собой или известных простых гибридов с модифицированными устаревшими инбредными линиями. В скрещиваниях используют в основном один и тот же набор исходных родительских форм. Это, как правило, приводит к обеднению генетического пула используемого селекционного материала и может, например, вызвать вспышки болезней на посевах кукурузы (Ullstrup, 1972).

Существенный сдвиг на пути к раскрытию генетической гетерогенности в морфологически однородных популяциях произошел благодаря появлению методов молекулярного анализа, основанных на белковых и ДНК-маркерах. Эти методы позволяют с большей полнотой и надежностью выявлять полиморфизм популяций, идентифицировать и регистрировать генотипы, определять их соотношение в популяциях, линиях и т.п. (Конарев, 2001). Поскольку инбредные линии интенсивно используются для получения гибридов кукурузы (в гибридной селекции кукурузы) необходимы знания генетической природы и родства среди мирового генофонда линий, понимание распределения у них генетического разнообразия (Pejic et al., 1998; Liu Kejun et al., 2003). Эффективность анализа исходного и селекционного материала с использованием молекулярных маркеров показана в последние десятилетия в работах отечественных и зарубежных исследователей (Конарев, 2001, 2002, 2006; Кудрявцев, 2009; Pejic et al., 1998; Liu Kejun et al., 2003; Nagy et al., 2009).

В селекции и семеноводстве кукурузы особенно актуальны проблемы идентификации и маркирования инбредных линий, контроль их гомозиготности, выявление степени генетических различий линий и, наконец, оценка зерна межлинейных гибридов на уровень гибридности.

Среди различных методов и маркерных систем наиболее удобным и надежным для решения этих проблем оказался электрофорез генетически полиморфного запасного белка семян кукурузы – зеина (Сидорова и др., 1987, 1998; Конарев и др., 1990, 2000). Анализ полиморфизма зеина положен в основу международных и отечественных стандартных методов идентификации линий и сортов, а также оценки степени гибридности кукурузы (Конарев и др., 2000). Электрофоретический анализ зеина позволяет оценивать инбредные линии на генетическую неоднородность. Многочисленными исследованиями показано: у генетически чистой линии все зерна выборки (50-100 семян) дают одинаковый спектр. По компонентному составу спектров зеина можно с большой долей вероятности говорить о степени генетического родства тех или иных линий между собой (Сидорова и др., 1987, 1998; Конарев, 2001).

Т. И. Пенева и др. на основании результатов изучения большого числа линий и сортов ржи сделано заключение, что сведения о составе и встречаемости спектров и компонентов проламина линий и сортов ржи можно использовать при подборе пар для скрещивания, анализе их комбинационной способности и для прогнозирования возможного гетерозисного эффекта (Конарев, 2006; См. настоящий сборник: Пенева и др., 2012). Ранее связь эффекта



(собственные специфические) типы спектров. Была установлена идентичность (или близость) спектров зеина сестринских линий кукурузы (Сидорова и др., 1998).

В электрофоретических спектрах зеина изученных линий идентифицированы основные (или маркерные) компоненты (рис. 1), по которым в дальнейшем проводился сравнительный анализ инбредных линий, сортов и гибридов кукурузы (Сидорова и др., 1998).

Выяснено, что отдельные компоненты в белковых спектрах могут быть сцеплены между собой и служить в качестве «маркерных комбинаций», состоящих из 2-3 компонентов. Отдельные компоненты таких блоков могут быть самостоятельными маркерами.

Все изученные линии мы разделили на две основные группы. В первую вошли линии с маркерной комбинацией 38-57 (т.е. с компонентами 38 и 57). Во вторую – линии без компонента 57, но с комбинацией таковых 36-39 (за исключением некоторых линий с 38 компонентом).

В электрофоретических спектрах линий, как с комбинацией компонентов 38-57, так и без нее, встречаются другие маркерные комбинации (52-67 и 64-69), а также различные сочетания компонентов: 63 и 64, 63 и 65, 63 и 66, 63 и 67 и только 63 компонент; в редких случаях – отсутствие компонентов с подвижностью от 63 до 69. Некоторые линии проявляли индивидуальные особенности в составе компонентов с подвижностью от 45 до 51. Зону компонентов с подвижностью от 70 до 86 при обсуждении результатов мы не учитывали, так как она мало информативна для решения поставленных задач.

При сравнении двух основных групп линий по компонентному составу зеина было установлено, что в первую (с комбинацией 38-57) вошли почти все инбредные линии кремнистого подвида и много линий подвида зубовидной кукурузы. Во вторую группу (без компонента 57) вошли в основном линии подвида зубовидной кукурузы и несколько линий подвида кремнистой.

Анализ типов спектров большого числа стародавних местных сортов кукурузы показал, что маркерная комбинация компонентов 38-57 наиболее характерна для сортов подвида кремнистой кукурузы: Gloria Janetzi – 100%, Schindelmeiser – 98%, Старинская местная – 81% и Кремнистая 880Т – 52%. У сорта подвида зубовидной кукурузы Funk's Cug Corn спектры с маркерными компонентами 38-57 не встречаются. В других сортах подвида зубовидной кукурузы количество спектров без маркерной комбинации 38-57 немного – 35% у Reid's Yellow Dent, 26% у Lancaster Schar Crop и 19% – Sterling White. В сортах кремнистой кукурузы количество таких спектров еще меньше и составляет 19% у Старинской местной, 3% у Schindelmeiser, а в сорте Gloria Janetzi таких спектров нет.

Установлено, что инбредные линии, в спектрах которых присутствует маркерная комбинация 52-67, относятся в основном к подвиду зубовидной кукурузы. Соответственно в спектрах сортов зубовидного подвида кукурузы встречаемость типов спектров с такой комбинацией наибольшая – например, в сорте Lancaster Schar Crop – 100%. В спектрах линий подвида кремнистой кукурузы комбинация компонентов 52-67 встречается очень редко. Эта маркерная комбинация отсутствует и в спектрах сортов подвида кремнистой кукурузы (Кремнистая 880Т, Schindelmeiser и Gloria Janetzi).

Маркерная комбинация компонентов 64-69 встречается в спектрах некоторых линий как кремнистого, так и зубовидного подвида кукурузы. Среди сортов встречаемость спектров с этой комбинацией компонентов наибольшая у сорта подвида зубовидной кукурузы Funk's Cug Corn – 96%. У сорта Кремнистая 880Т – 58%, а в популяции BS16Eto – 63%. В спектрах других сортов такая комбинация встречается редко (Gloria Janetzi – 17%, Schindelmeiser – 4%) или совсем не встречается (Reid's Yellow Dent, Старинская местная, Sterling White и Lancaster Schar Crop).

Гораздо больше выявлено инбредных линий, имеющих в спектрах маркерные компоненты 63 и 64. В основном это линии подвида зубовидной кукурузы и только несколько линий подвида кремнистой кукурузы. Соответственно, в сортах подвида зубовидной кукурузы встречаемость типов спектра с компонентами 63 и 64 – наибольшая (Lancaster Schar Crop и Sterling White – 100%).

Типы спектров с компонентами 63 и 65 встречаются у незначительного числа линий как кремнистого, так и зубовидного подвидов кукурузы. Наибольшая встречаемость спектров с компонентами 63 и 65 отмечена в сортах подвида кремнистой кукурузы Schindelmeiser (85%) и Кремнистая 880Т (63%), в сорте подвида зубовидной кукурузы Reid's Yellow Dent (27%). В других изученных сортах спектры с компонентами 63 и 65 не встречаются.

В селекционных программах широко используются линии зубовидного подвида кукурузы, в спектрах которых присутствуют компоненты 63 и 66. Таких компонентов нет у линий подвида кремнистой кукурузы. Тем не менее, они встречаются в спектрах зеина сорта подвида кремнистой кукурузы Старинская местная.

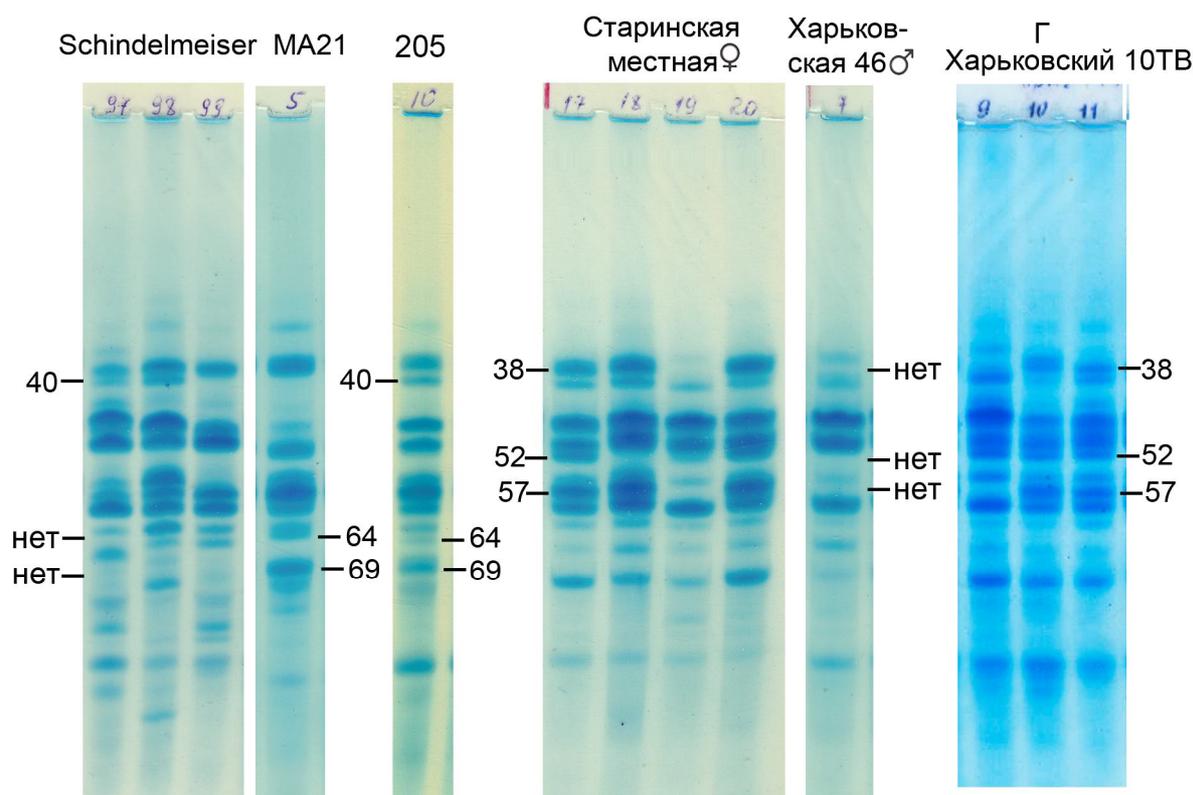
Сочетание компонента 63 с интенсивным компонентом 67 встречается только в спектрах линий подвида кремнистой кукурузы. Соответственно, в сорте подвида кремнистой кукурузы Gloria Janetzis это сочетание компонентов можно встретить у 83% спектров. В спектрах линий подвида зубовидной кукурузы маркерный компонент 67 проявляется очень слабо.

Среди линий, в спектрах которых в зоне с подвижностью компонентов от 63 до 69 обнаружен единственный компонент 63, много линий подвида зубовидной кукурузы и только две подвида кремнистой кукурузы. Сорт подвида зубовидной кукурузы Reid's Yellow Dent имеет 13% таких спектров. В остальных изученных сортах подобные типы спектра не встречаются.

Выделена группа из десяти линий, в спектрах которых присутствует интенсивный компонент 38. Обычно он сцеплен с маркером 57, но в данном случае «38» выступает как самостоятельный маркерный компонент. Ему сопутствует менее интенсивный компонент 45 и группа интенсивных компонентов 48-49-50. Можно предположить, что эти линии кукурузы сестринские. Хотя они имеют разное название и созданы в разных странах они, видимо, созданы на основе классической линии P502.

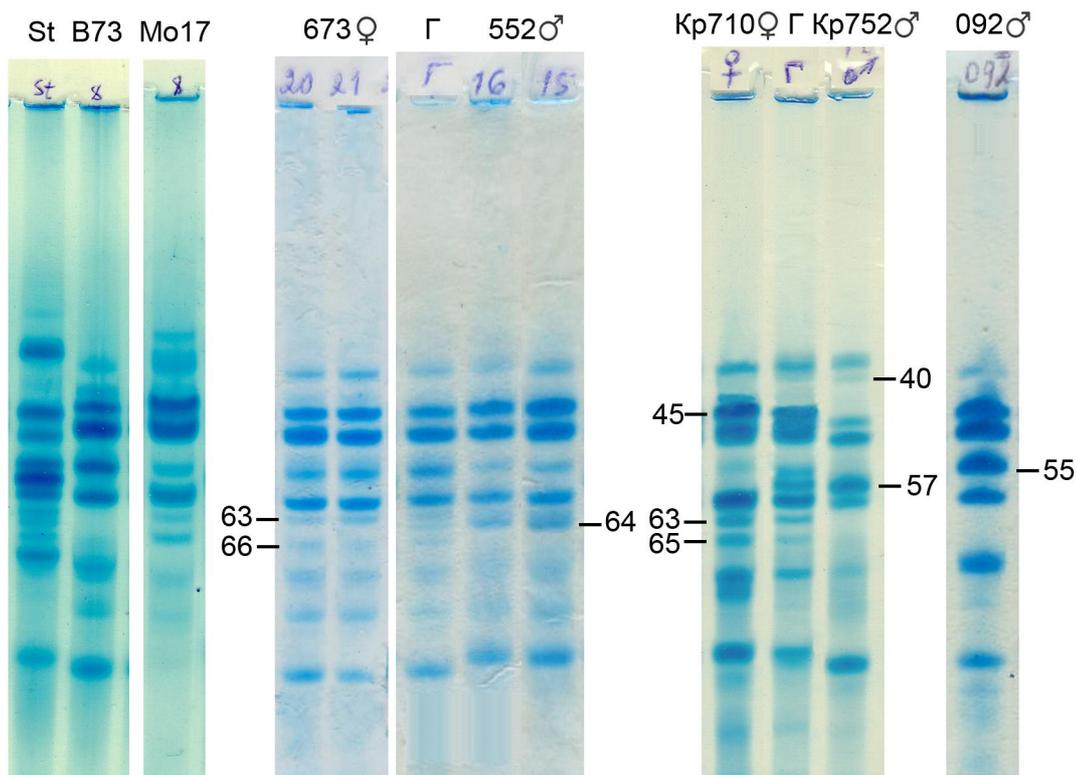
*Анализ селекционного материала.* В селекции при создании новых инбредных линий кукурузы часто используют староместные сорта. Основное условие – подбор генетически разнородного материала. Выбрать сорт, с которым лучше скрестить ту или иную линию можно с помощью молекулярных маркеров. Так Гаркушка В.Г. (Кубанская опытная станция ВИР – КОС ВИР) на основе гибрида между высоко-полиморфным сортом подвида кремнистой кукурузы Schindelmeiser и французской линией подвида кремнистой кукурузы (с маркерными комбинациями 38-57 и 64-69) создал ценную с высокой комбинационной способностью линию 205MB. Скрещиваемые формы были очень разными не только фенотипически, но и по спектрам зеина: в сорте Schindelmeiser спектров с комбинацией компонентов 64-69 оказалось всего 4% (рис. 2).

Исходя из состава спектров зеина, можно предположить какие линии и сорта при скрещивании дадут высокогетерозисное гибридное потомство. Например, для получения сортолинейного гибрида Харьковский 10ТВ использовали сорт Старинская местная и линию Харьковская 46. В сорте Старинская местная присутствует 83% генотипов с маркерной комбинацией 52-66 (из них 81% с маркером 57), тогда как в спектрах линии этих компонентов нет. Таким образом, чем больше различий в спектрах скрещиваемых образцов по маркерным компонентам, тем большего гетерозисного эффекта можно ожидать от гибридной комбинации (рис.2).



**Рис. 2.** Сопровождение зеиновыми маркерами процесса создания новой инбредной линии (205MB) и наследование маркерных компонентов в гибриде (Г) Харьковский 10ТВ (Старинская местная × Харьковская 46).

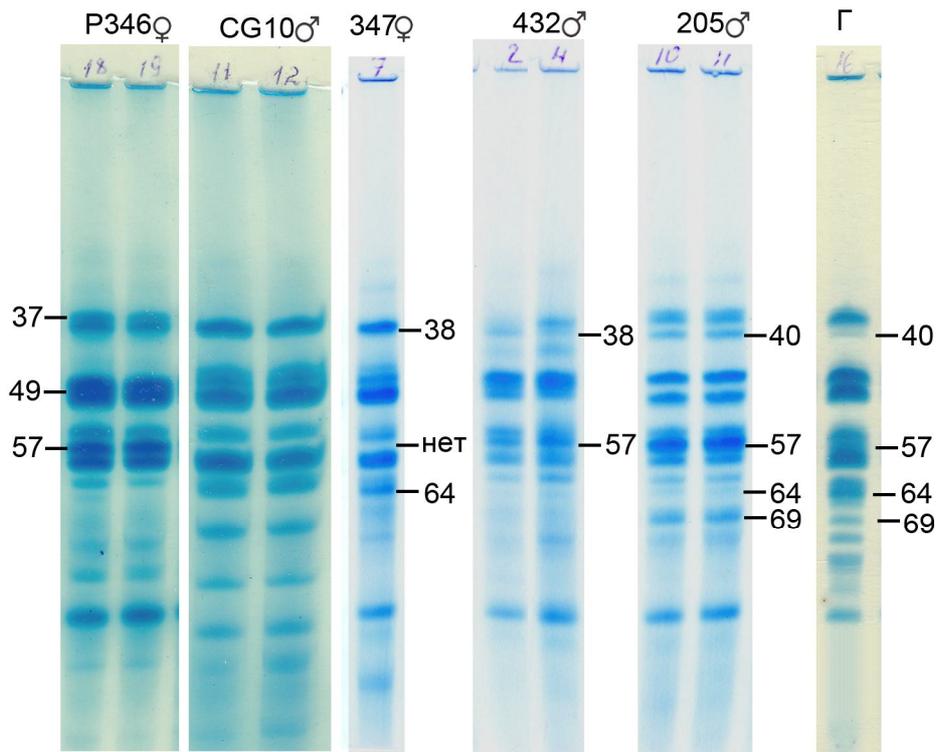
Известно, что в результате многократных самоопылений у линий снижается устойчивость к болезням, урожайность и другие биологические и хозяйственные показатели. Такие линии можно улучшить. Примером может служить улучшение родительских линий выдающегося районированного гетерозисного гибрида В73 × Мо17. После восьмикратного самоопыления гибрида Мо17СВ × ХМ552 В. Г. Гаркушка вывел из него линию 552СВ, которая существенно отличается по маркерным компонентам от Мо17СВ. В ее электрофоретическом спектре обнаружен четкий маркерный компонент 64. Улучшенную линию использовали при создании гибрида 673 × 552СВ. Линия 673 – это улучшенная версия линии В73. В спектре линии 673 выявлены интенсивные компоненты 63 и 66. Таким образом, в результате селекционной работы увеличилась разница между двумя «улучшенными линиями» по составу маркерных белков, благодаря чему увеличилась гибридная мощность кукурузы. Маркер 64 от отцовской линии позволяет точно определить процент гибридных семян (рис. 3).



**Рис. 3.** Сопровождение зеиновыми маркерами процессов улучшения инбредных линий (673 и 552СВ) и выявление маркеров гибридности у простого (673 × 552СВ) и трехлинейного (Кр710 × Кр752) × 092 гибридов (Г)

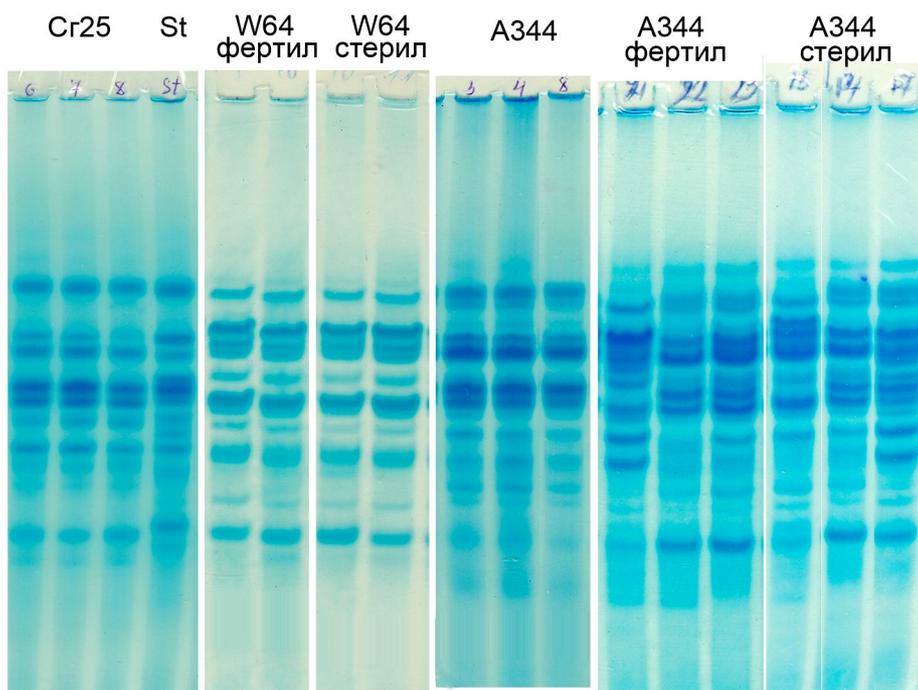
КНИИСХ им. П. П. Лукьяненко предоставил для оценки трехлинейный гибрид (Кр710 × Кр752) × 092, где линия Кр710 по составу компонентов в спектре похожа на несколько измененную линию Мо17, а линия 092 – на линию В73. В простом гибриде Кр710 × Кр752 маркером гибридности служит комбинация компонентов 38-57, которая отсутствует в материнской линии Кр710. В трехлинейном гибриде маркером гибридности может служить интенсивный компонент 55 (рис.3).

Другим примером улучшения линий на КОС ВИР является создание линии кукурузы 347зМ из простого гибрида Р346 × СГ10 (девять самоопылений). По основным маркерным компонентам линия 347 оказалась ближе к линии СГ10. В ее спектре нет компонента 57 и хорошо представлены компоненты 38 и 64. Линии кукурузы 347 и 205 использованы для получения трехлинейного гибрида Кубанский 247 (34×7432) × 205 МВ. Компонент 69 из спектра отцовской линии 205 – хороший маркер для установления процента гибридности семян (рис.4).



**Рис. 4.** Сопровождение белковыми спектрами процесса создания новых линий 347 и 205МВ (см. рис. 2) и наследование их маркерных компонентов в трехлинейном гибриде Кубанский 247МВ (347М × 432) × 205МВ (Г)

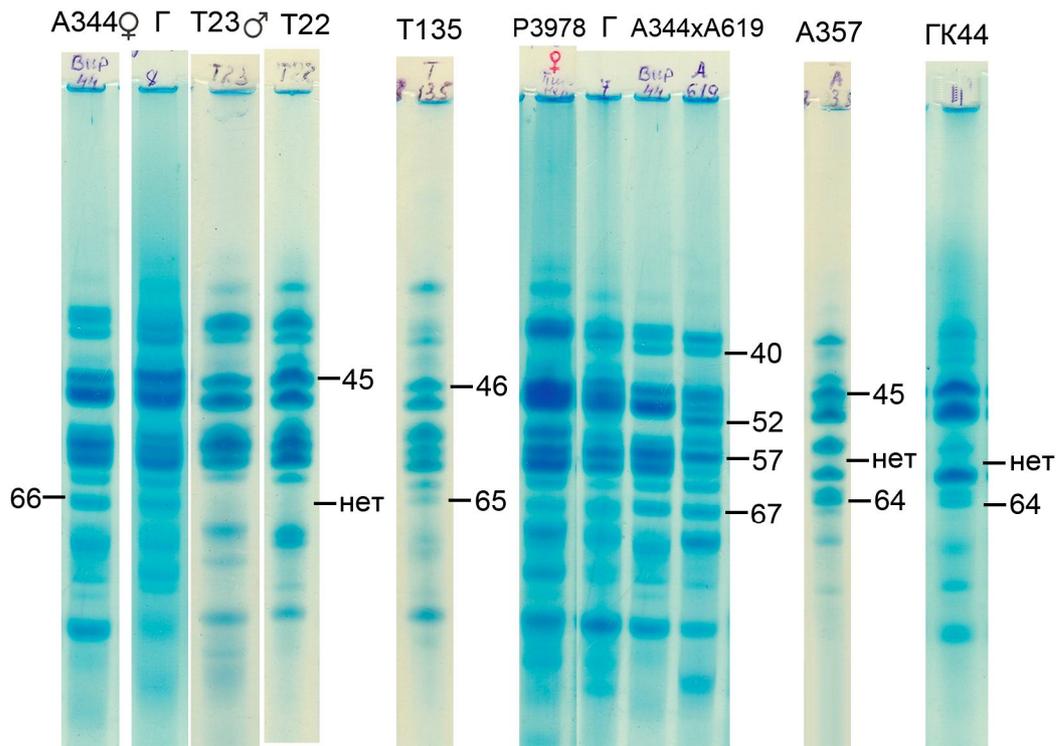
У селекционеров существует мнение, что некоторые линии в «норме» в своем составе могут иметь два-три биотипа. Мы считаем, что уровень гомозиготности линий в большинстве случаев зависит от стиля работы селекционеров, создающих линии. Нами проанализировано несколько идентичных инбредных линий, полученных из разных селекционных учреждений. Среди них идентифицированы линии, имеющие один тип спектра, например: Ст25 (колхоз им. Фрунзе, 1984), W64 (КНИИСХ, 1984) и А344 (КОС ВИР, 1987). Наличие нескольких генотипов у одной и той же линии селекционеры часто связывают с переводом их «на стерильную основу». Мы сравнили спектры фертильной и стерильной формы линии W64 (КНИИСХ, 1984). Белковые формулы у обеих форм оказались одинаковыми и представленными только одним биотипом. Такой же опыт мы провели с линией А 344, полученной из разных учреждений. Линия А344 из КОС ВИР (1987) была однородна по спектрам зеина, а линия А344 из КНИИСХ (1984), как фертильная, так и стерильная имели по несколько генотипов (рис. 5).



**Рис. 5.** Примеры контроля гомозиготности линий кукурузы по электрофоретическим спектрам зеина.

Гомозиготность линии можно контролировать методом электрофореза, который показывает селекционеру, что процесс создания той или иной линии завершен. Есть линии, которым требуется 4-5 самоопылений, чтобы достичь гомозиготности, другим – до 9 и больше. Метод электрофореза позволяет более объективно судить о завершенности процесса, улучшая «качество» инбредных линий.

Мы проанализировали типы спектров линий, с использованием которых были получены многие районированные гибриды. Линия А344 (с компонентом 66 в спектре) подвита зубовидной кукурузы с высокой комбинационной способностью была использована в качестве материнской формы при создании многих отечественных простых, трехлинейных и двойных межлинейных гибридов, например, А344 × Т22, А344 × Т23 (Кубанский 275М) и А344 × Т135 и др. В этих гибридах отцовскими формами служили линии кремнистой кукурузы из Болгарии. В линиях Т22 и Т23 обнаружены маркеры 45 и 46, а в линии Т135 – 63 и 65 при отсутствии компонента 66 (рис. 6).



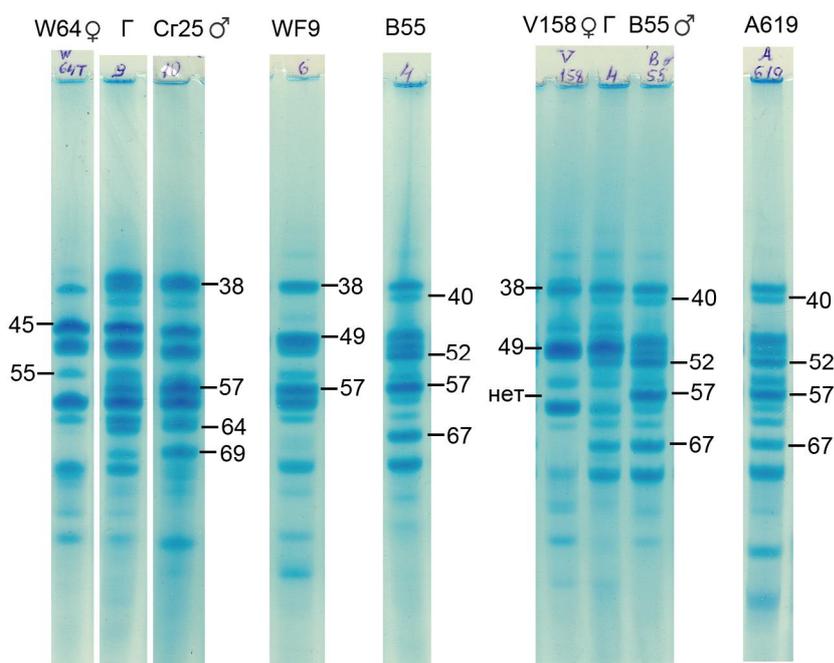
**Рис. 6.** Наследование маркерных компонентов зеина в простом гибриде Кубанский 275М (А344 × Т23) и двойном межлинейном гибриде Днепровский 505МВ Р3978 × (А344 × А619) при скрещивании материнской линии А344 с отцовскими линиями различных подвидов

Существует мнение, что для достижения эффекта гетерозиса скрещивание двух линий подвида зубовидной кукурузы не целесообразно. Наиболее продуктивные гибриды получаются, как правило, при скрещивании зубовидных и кремнистых форм. Однако линию А344 (материнская форма) успешно скрещивали с другими линиями зубовидной кукурузы: А619, W153R, ГК44, А357 и А334. Если родительские линии создаются на основе разных сортов зубовидной кукурузы и существенно отличаются друг от друга по наличию маркерных компонентов в спектрах, то в результате получают гибриды с высоким гетерозисным эффектом. Так выше перечисленные отцовские линии имеют специфичные маркерные комбинации, которые не встречаются в спектрах материнской линии: А619 – 52-67 (маркерные компоненты гибридности 52 и 67); W153R – 63 и 64 (маркер – 64). Линии ГК44 и А357 также имеют комбинацию 63-64-66 (но без маркерной комбинации 38-57). Отсутствие компонента не может служить показателем гибридности, но вносит отличие в спектры отцовских линий от материнского растения, что важно для проявления эффекта гетерозиса. Простые гибриды могут быть использованы для получения трехлинейных (А344 × Т135) × А619, (А344 × W153R) × МК159 и двойных межлинейных гибридов – Пионер 3978 × (А344 × Т22), Пионер 3978 × (А344 × А619) и (А344 × А357) × (Од301 × WФ9) (рис. 6).

При создании высокогетерозисных гибридов кукурузы целесообразно использовать отцовские и материнские линии, имеющие в своих спектрах разные маркерные компоненты. Примером может служить гибрид Днепровский 505МВ (Р346 × Р502) × А619, где линия А619 имеет специфичную маркерную комбинацию 52-67 и компонент 40, которые отсутствуют в спектре зеина материнской формы гибрида (рис. 6). Она с успехом может быть заменена линиями из этой же группы В55 или Оh43. Вместо линии А619 можно использовать линии зубовидной кукурузы с другими маркерами, либо контрастные линии кремнистой кукурузы (например, Т22). Отцовской формой может быть также простой

гибрид, но он должен иметь в своем составе хотя бы одну линию отличающуюся по спектрам от материнских форм.

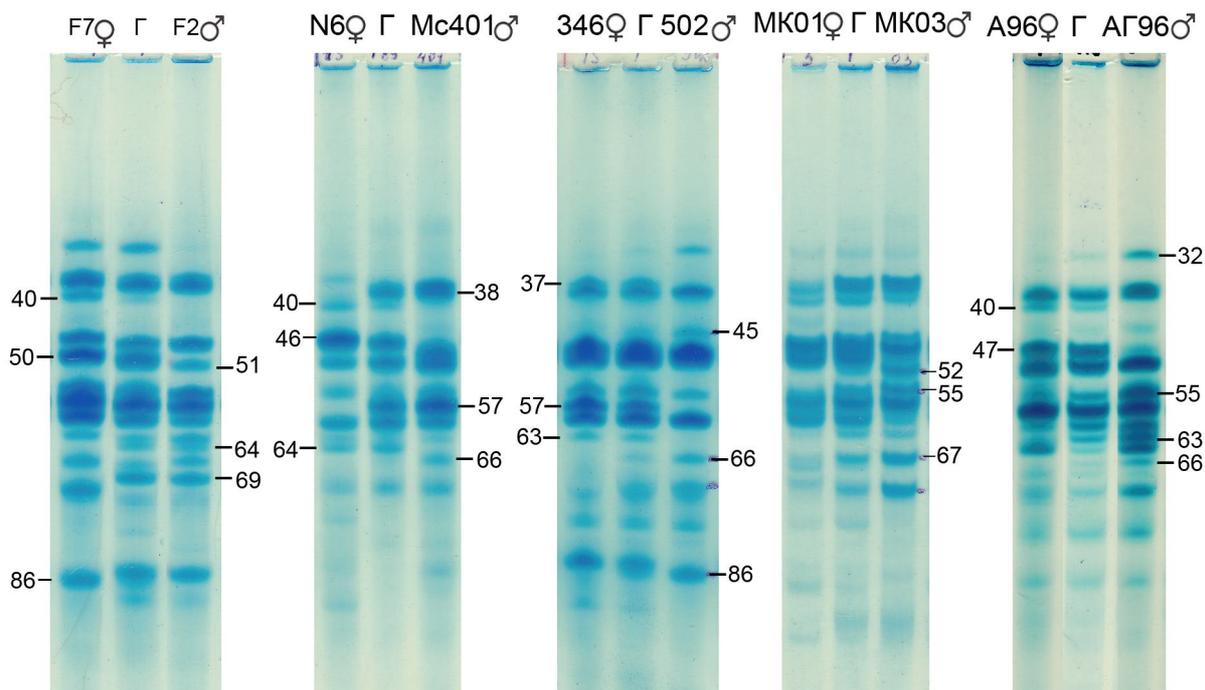
Известно много районированных гибридов селекции КНИИСХ им. П. П. Лукьяненко, в которые вошла линия зубовидной кукурузы W64 с высокой комбинационной способностью. Она использовалась в качестве родительской формы в простых (W64 × Cг25, W64 × WF9 и W64 × B55), трехлинейных и двойных межлинейных гибридах. Все линии этих гибридов относятся к подвиду зубовидной кукурузы и различаются по маркерным компонентам. Так в спектре линии W64 нет маркерной комбинации 38-57, но имеются компоненты 45, 46 и 65. В тоже время все отцовские линии в указанных гибридах имеют маркерную комбинацию 38-57 и у каждой из них есть дополнительные маркеры: для Cг25 – 37 и 64-69, для WF9 – 49 и 66, для B55 – 40, 47 и 52-67 (рис. 7).



**Рис. 7.** Наследование маркерных компонентов зеина в простых позднеспелых высокогетерозисных гибридах (Г) Краснодарский 303ТВ (W64 × Cг25), Краснодарский 602ТВ (V158 × B55), Кубанский 422ТВ (A619 × V158ТВ) и в трехлинейном гибриде Краснодарский 362АТВ (W64 × F9) × V158

В трехлинейных гибридах в качестве отцовской формы используют линию зубовидной кукурузы V158. Она не имеет маркерного компонента 57 (но присутствует компонент 38). Ее спектр не богат маркерами для определения гибридности, но отсутствие компонента 57 увеличивает разницу белковых спектров родительских форм. Большое число маркерных компонентов (52-67 и 57) для определения степени гибридности обнаружено у линии B55 в гибриде Краснодарский 602ТВ (V158 × B55). Вместо линии B55 можно использовать линию A619 (например, в гибриде Кубанский 422ТВ (A619 × V158ТВ), либо другую линию, имеющую аналогичные маркеры. Более удачным был трехлинейный гибрид (W64 × WF9) × Cг25, в котором вместо линии V158 использована линия Cг25, имеющая маркеры 37 и 64-69 (рис. 7).

В гибридной селекции часто весьма продуктивными получаются гибридные комбинации с участием только линий подвита кремнистой кукурузы. Это известный простой раннеспелый гибрид Дружба (F7 × F2) и некоторые другие (рис. 8).



**Рис. 8.** Наследование компонентов зеина исходных родительских линий в простых гибридах (Г) первого поколения Дружба (F7 × F2), Чуйский 466 (N6 × Mc401), Пионер 3978 (P346 × P502), Молдавский (МК01 × МК03) и А96 × АГ96

Весьма продуктивными оказываются гибриды, полученные от скрещивания линий с маркером 57 и без него. Эффект гетерозиса выше, когда в спектрах родительских линий есть дополнительные различия по маркерам из зон с другой подвижностью компонентов. Например, в гибриде Чуйский 466 (N 6 × Mc 401), линия Mc 401 имеет маркеры 57 и 66, которых нет в линии N 6. Кроме того, линия N 6 имеет компоненты 40, 45, 46 и 64, которых нет в спектре отцовской линии Mc 401 (рис. 8).

В другом гибриде – Краснодарский 201 (В 40 × С 103), родительские линии также имеют белковые спектры с различным составом маркерных компонентов. В спектре отцовской линии С 103 выявлены компоненты 57 и 66, которых нет в спектрах материнской линии В 40, а в спектре материнской линии присутствуют компоненты 45 и 65, отсутствующие в спектре отцовской линии. На рис. 8 даны еще несколько примеров наследования компонентов зеина в гибридах первого поколения.

В ходе работы по созданию новых гибридов с высоким эффектом гетерозиса селекционеры постоянно улучшают старые и создают новые инбредные линии. Поскольку полиморфизм зеина (как и других запасных белков семян и изоферментов), выявляемый электрофорезом и изоэлектрическим фокусированием, носит адаптивный характер (Конарев, 2002; Perez de la Vega, 1997) генетические изменения в линиях (сортах, генотипах) сопровождаются соответствующими изменениями в спектрах белка. Это подтверждается также более чем 30-ти летним опытом работы ВИР (Конарев, 2001, 2006), данными других исследователей (Perez de la Vega, 1997).

### Заключение

Таким образом, метод электрофореза зеина позволяет идентифицировать и регистрировать существующие и вновь создаваемые инбредные линии и сорта кукурузы, осуществлять контроль за гомозиготностью линий в процессе создания таковых и степенью гибридности.

Наши многолетние исследования показали: сфера применения данного метода – гораздо шире. Сопровождение селекции с использованием белковых (зеиновых) маркеров (marker assisted selection) – один из важных аспектов их применения. Это и формирование желаемого генотипического состава с использованием молекулярных маркеров (Сидорова и др., 2010), и подбор исходных родительских форм при гибридизации. В настоящей публикации мы постарались как можно более наглядно продемонстрировать возможности использования белковых маркеров в повышении эффективности гетерозисной селекции. Данные по составу спектров зеина, приведенные в наших предыдущих публикациях и, особенно в этой работе, будут способствовать целенаправленному созданию и оптимальному подбору исходных родительских форм (сортов, линий, простых гибридов и т.д.) для достижения высокого эффекта гетерозиса.

### Список литературы

*Азарин К.В.* Оценка комбинационной способности линий подсолнечника и подбор SSR-маркеров, ассоциированных с эффектом гетерозиса // Тезисы VI международной конференции молодых ученых и специалистов, Краснодар, ВНИИМК, 2011. С. 12-14.

*Конарев В.Г.* Морфогенез и молекулярно-биологический анализ растений // Спб., ВИР. 2001. 417с.

*Конарев А.В.* Адаптивный характер молекулярного полиморфизма и его использование в решении проблем генетических ресурсов растений и селекции // Аграрная Россия. 2002. № 3. С. 3-13.

*Конарев А.В.* Использование молекулярных маркеров в решении проблем генетических ресурсов растений и селекции // Аграрная Россия. 2006. № 6. С. 4-22.

*Конарев В.Г., Сидорова В.В., Тимофеева Г.И.* Электрофорез зеина как метод идентификации, регистрации и анализа сортов, линий и гибридов кукурузы // С.-х. биология. 1990. № 3. С. 167-177.

*Конарев В.Г., Гаврилюк И.П., Губарева Н.К. и др.* Идентификация, анализ и регистрация сортов, линий и гибридов кукурузы электрофорезом и изоэлектрофокусированием зеина // Идентификация сортов и регистрация генофонда культурных растений по белкам семян. СПб.: РАСХН ВИР. 2000. С. 73-89.

*Кудрявцев А.М.* Маркер опосредованная селекция растений // Молекулярная и прикладная генетика. Минск. 2009. Т. 9. С. 28-31.

*Орловская О.А., Корень Л.В., Хотылева Л.В.* Оценка генетического полиморфизма образцов яровой тритикале посредством RAPD- и ISSR-маркеров ( $\times$  Tritico-secale Wittmack) посредством RAPD- и ISSR-маркеров // Вавиловский журнал генетики и селекции. 2012.Т. 16. № 1. С. 279-275.

*Сидорова В.В., Матвеева Г.В., Тимофеева Г.И.* Анализ и регистрация линий, сортов и гибридов кукурузы по зеину методом электрофореза // Методические указания и каталог белковых формул // Под ред. В.Г. Конарева. СПб.: ВИР. 1998.50 с.

*Сидорова В.В., Тимофеева Г.И., Конарев В.Г.* Идентификация и регистрация сортов, линий и гибридов кукурузы методами электрофореза зеина // Труды по прикл. бот., ген. и сел. 1987. Т. 114. С. 61-75.

*Сидорова В.В., Матвеева Г.В., Конарев А.В., Янковский Н.К.* Характеристика местных сортов и новых линий лопающейся кукурузы по спектрам зеина // Аграрная Россия. 2010. № 3. С. 6-10.

*Югенхеймер Р.У.* Кукуруза. Улучшение сортов, производство семян, использование // М.: Колос. 1979. С. 103.

*Шмараев Г.Е.* Происхождение самоопыленных линий кукурузы, широко используемых в США // Труды по прикл. бот., ген. и сел. 1974. Т. 53. С. 82-105.

*Konarev A.V., Khomutnikova L.A., Malinovski B.N.* The use of electrophoresis of storage proteins in breeding sorghum for heterosis and in marking biotypes of value for breeding // Extended synopsis FAO IEAE Int. Symp. : The Use of induced Mutations and Molec. Techniques for Crop Improvement. Austria. Vienna. 1995. P. 201.

*Liu Kejun, Goodman M., Muse S., Smith J.S.C., Buckler Ed, and Doebley J.* Genetic structure and diversity among inbred lines as inferred from DNA microsatellites // Genetics. 2003. V. 165. P. 2117-2128.

*Nagy E., Szoke Cs., Spitko T., Marton L.Cs.* Изучение родства между разными видами кукурузы с помощью генетических маркеров // В кн.: Селекция. Семеноводство. Технология возделывания кукурузы. Материалы научно-практической конференции, посвященной 20-летию ГНУ ВНИИ кукурузы. Пятигорск. 2009. С. 88-91.

*Perez de la Vega.* Plant genetic adaptedness to climatic and edaphic enviroment. Adaptation in plant Breeding // Ed. P.M.A. Tigerstedt. 1997. P. 27-38.

*Rex Bernardo.* Prediction of Maize Single-Cross Performance Using RFLPs and Information from Related Hybrids // Crop Science, 1994. V. 34. № 1. P. 20-25

*Pejic I., Ajmone-Marsan P., Morgante M., Kozumplick V., Castiglioni P., Taramino G., Motto M.* Comparative analysis of genetic similarity among maize inbred lines detected by RFLPs, RAPDs, SSRs, and AFLPs // Theor. Appl. Genet. 1998. V. 97. P. 1248-1255.

*Ullstrup A.J.* The impacts of the southern corn leaf blight epidemics of 1970-1971 // Annual Review of Phitopathology. 1972. 10. P. 37.