

УДК 631.527:577.21

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ RAPD-МАРКЕРОВ ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ ОТБОРА ИСХОДНОГО МАТЕРИАЛА ПЕРЦА СЛАДКОГО (*CAPSICUM ANNUM L.*) В СЕЛЕКЦИИ НА ГЕТЕРОЗИС

© 2013 г. М.Н. Шаптуренко¹, Л.А. Тарутина¹, Т.В. Печковская¹,
Л.А. Мишин², Л.В. Хотылёва¹

¹ Институт генетики и цитологии НАН Беларуси, Минск, Беларусь,
e-mail: shapturenko@igc.bas-net.by;

² Институт овощеводства, Минск, Беларусь

Поступила в редакцию 1 ноября 2012 г. Принята к публикации 16 января 2013 г.

С целью изучения эффективности использования ДНК-скрининга для проведения отбора дивергентных пар гибридизации в селекции на гетерозис выполнен RAPD анализ полиморфизма образцов перца сладкого различного эколого-географического происхождения. Определены генетические дистанции, коллекция расклассифицирована методом UPGMA. Отобраны дивергентные генотипы и проведена их гибридизация по полной диаллельной схеме 5×5. Дана оценка комбинационной способности линий и эффекта гетерозиса их гибридов. Выявлены комбинации с высоким уровнем гетерозиса по основным показателям продуктивности и определен вклад аддитивных и доминантных генов в реализации генетического потенциала исходных родительских форм. Показано, что при формировании гетерозиса в F₁ у изученных нами гибридов перца сладкого вклад специфической комбинационной способности родительских линий был более важен, чем общая комбинационная способность. При оценке сопряженности величины эффекта гетерозиса и уровня дивергенции родительских форм перца сладкого выявлены положительные связи для основных признаков продуктивности, однако их величины невысокие. В целом ДНК-анализ оказался наиболее информативным для установления генетических различий между фенотипически однородным материалом, он нацеливает на поиск отдельных ДНК-локусов, положительно ассоциированных с гетерозисом в F₁.

Ключевые слова: перец сладкий (*Capsicum annuum L.*), гетерозис, комбинационная способность, молекулярные маркеры, генетические дистанции.

ВВЕДЕНИЕ

В селекции на гетерозис перца сладкого, как и других хозяйственно важных растений с автогамным типом размножения, особое значение имеет стратегия отбора исходного материала, который должен отвечать селекционным требованиям в части реализации желаемых признаков, в первую очередь высокой урожайности, и обладать достаточным уровнем дивергенции, поскольку, согласно генетической концепции гетерозиса, значительный вклад в формирование гетерозисного эффекта вносят гетерозиготные локусы (Birchler *et al.*, 2003). Однако иденти-

фикация дивергентных генотипов этой культуры при отборе фенотипически сходных форм затруднена даже при использовании метода педигри, так как в результате длительной селекции с применением специфических подходов и ограниченного числа выдающихся генотипов происходило постепенное сужение генетического пула рода *Capsicum*, который в основном представлен сортами, принадлежащими к ограниченному числу экотипов. Идентификация форм, способных дать превосходное гибридное потомство, является одним из самых дорогих и трудозатратных этапов селекции, поэтому предсказание гибридного качества рассматри-

вается как наиболее привлекательный аспект для исследователей, способный увеличить эффективность селекционных программ.

Начиная с 60-х годов прошлого столетия были предприняты попытки использования морфологических индексов, сведений о географическом происхождении и несколько позже – биохимических маркеров для предсказания гетерозиса, но их точность оказалась низкой (Moll *et al.*, 1965; Frei *et al.*, 1986). С развитием молекулярно-генетических подходов полиморфизм ДНК стал рассматриваться как мера генетической разнородности и критерий отбора дивергентных генотипов для различных культур. Несмотря на то что в ряде исследований была показана полезность такой оценки для подбора пар скрещиваний (Selvaraj *et al.*, 2010; Becker, Link, 2000), единого мнения о связи гетерозиготности с гибридной силой так и не сложилось (Syed, Chen, 2005). Некоторые исследователи считают, что оценка общей гетерогенности не может быть адекватным критерием подбора родительских пар при гибридизации, так как она отражает общий уровень различий между генотипами и не имеет связи с рассматриваемыми признаками (Renming *et al.*, 2008). Результаты, полученные при использовании QTL и других типов маркеров, оказались также неубедительными (Garcia *et al.*, 2008; Frascaroli *et al.*, 2009).

В настоящей работе проведена оценка полиморфной структуры коллекции перца сладкого на основе RAPD PCR и анализ хозяйственно важных признаков диаллельных гибридов F₁ для изучения сопряженности уровня дивергенции родительских форм и эффекта гетерозиса в поколении F₁.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Для отбора пар скрещиваний оценивали молекулярно-генетическую дивергенцию образцов перца сладкого различного эколого-географического происхождения (из коллекций Института генетики и цитологии НАН Беларуси и Института овощеводства НАН Беларуси) на основе полимеразной цепной реакции с произвольными десятичленными праймерами, синтезированными по аналогам фирмы Oregon Tech. (ОРА-02, ОРА-04, ОРА-11, ОРА-20, ОРВ-01, ОРВ-02, ОРВ-20, ОРС-01, ОРW-01, ОРW-03,

ОРW-05, ОРW-06, ОРW-07, ОРW-09, ОРW-11, ОРW-15). Праймеры отбирали по способности выявлять межлинейный полиморфизм *Capsicum annum* L. Полимеразную цепную реакцию проводили в стандартном режиме с использованием предварительного (5 циклов) мягкого отжига (–3 °С от t_{пл} праймера). Генетические дистанции (GD) рассчитывали по Nei (Nei, Li, 1979):

$$G_{Dij} = 1 - 2N_{ij}/(N_i + N_j),$$

где N_{ij} – число общих фрагментов i- и j-го образцов, N_i и N_j – число фрагментов каждого из образцов. Кластеризацию экспериментального материала осуществляли методом UPGMA с помощью программного пакета Treeconw (vers. 1.3b). Достоверность проведенной кластеризации оценивали на основе bootstrap-анализа.

Отобранные формы перца сладкого изучали в системе полных диаллельных скрещиваний (5 × 5). Опыление осуществляли вручную. Оценивали гибридное потомство F₁ и родительские линии в рендомизированных блоках с 5 повторностями в остекленных неотапливаемых теплицах Института генетики и цитологии НАН Беларуси. Анализировали следующие количественные признаки: масса и количество плодов с растения, средняя масса, длина и диаметр плода, толщина перикарпия. Оценку общей (ОКС) и специфической (СКС) комбинационной способности проводили по методу I. Griffing (Турбин и др., 1974). Наследуемость в узком смысле оценивали как отношение дисперсий, вызванной аддитивными эффектами генов, к общей фенотипической дисперсии. Относительный гипотетический гетерозис рассчитывали в процентах как превышение F₁ над средней величиной обеих родительских линий.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Оценка ДНК-полиморфизма линий перца сладкого

Традиционно определение хозяйственной ценности образца и последующая оценка перспектив его использования как компонента гибридизации основаны на изучении фенотипа. Одним из наиболее важных показателей, характеризующих родительские формы гибрида, является комбинационная способность, которая определяет относительную ценность

генотипа и перспективы его использования в селекции на гетерозис. Такой путь предполагает обязательное проведение скрещиваний и анализ гибридного потомства. При этом, как правило, наблюдается варьирование величины гетерозиса по отдельным комбинациям. Поэтому ценность одной и той же формы может быть выражена двумя способами: средней величиной гетерозиса, наблюдаемой во всех гибридных комбинациях – соответствует ОКС, либо отклонением от этой величины в отдельных комбинациях – соответствует СКС (Турбин и др., 1974). Успех использования такого подхода определяется выбором рациональных схем скрещивания и использованием исходного материала, обладающего высокими адаптивными и хозяйственно ценными свойствами.

Для оптимизации селекционного процесса были предприняты попытки найти маркерные признаки, ассоциированные с комбинационной способностью. В некоторых исследованиях были обнаружены положительные связи между такими признаками и комбинационной способностью. Однако отбор пар для гибридизации на основе этих связей не был

результативным (Cheres *et al.*, 2000; Jin-Xiong Shen *et al.*, 2006). С развитием технологий молекулярно-генетического анализа продолжился поиск эффективных «предсказателей» гибридной силы, основанный на разработке систем отбора и ранжирования исходных коллекций по гетерогенным группам (Fisher *et al.*, 2010). Наиболее актуальна данная проблема для самоопыляющихся культур, для которых идентификация генетически отличных генотипов затруднена.

С целью разработки приемов подбора перспективных пар скрещивания мы исследовали уровень генетической разнородности коллекции перца сладкого на основе RAPD PCR с использованием 16 праймеров, отобранных по результатам предварительных испытаний как полиморфные. Нами рассмотрено 136 ампликонов, из которых 60 оказались полиморфными. Уровень выявленного полиморфизма составил 44,1 %. Наиболее эффективным для оценки ДНК-дивергенции было использование праймеров OPW-15, OPA-04, а также OPW-11 на матрице, полученной после амплификации с OPC-01 (рис. 1).

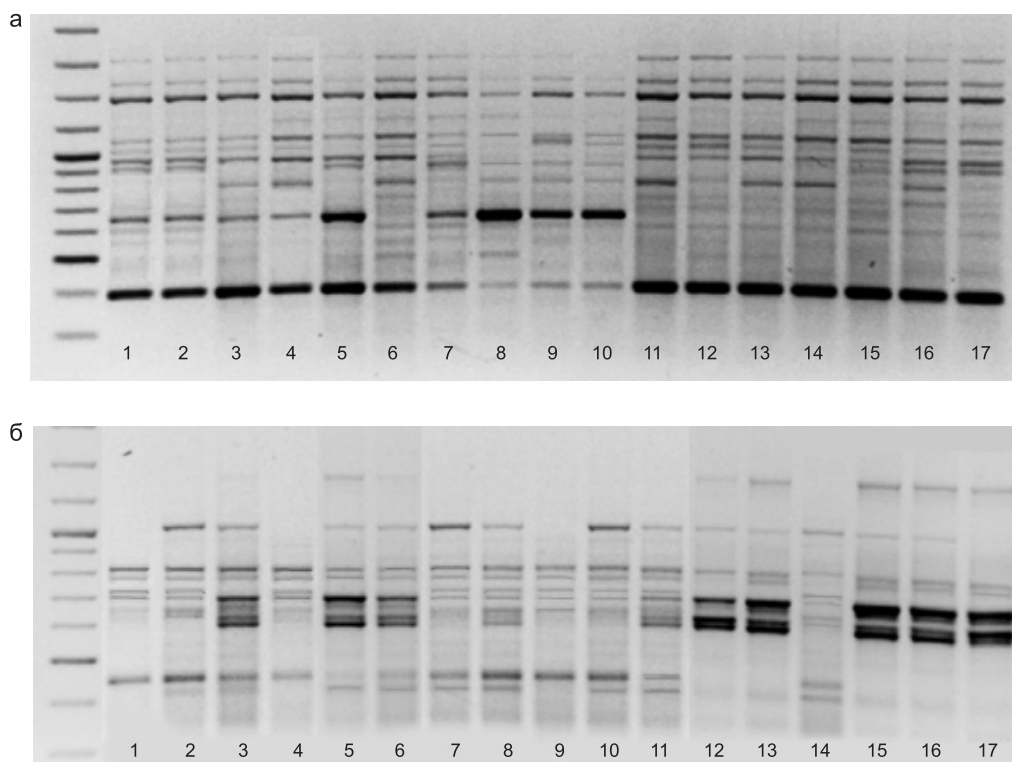


Рис. 1. Фингерпринтинг амплификации с праймерами OPW-15 (а) и OPW-11 на ДНК-матрице OPC-01 (б).

Результаты ПЦР-анализа позволили разделить экспериментальные образцы перца сладкого на дивергентные классы в соответствии с алгоритмом UPGMA. Согласно иерархической кластеризации изученные генотипы организованы в субкластеры с различным размахом дистанций, что позволило идентифицировать полиморфные пары скрещивания (рис. 2).

На основе данных молекулярно-генетического и биометрического анализов нами были отобраны для гибридизации в системе диаллельных скрещиваний 5 селекционных линий перца Л1603, Л1604, Л1605, Л1606, Л1608, которые характеризовались хорошим сочетанием хозяйственно важных признаков (урожайность, архитектура плода, срок созревания) и обладали достаточным уровнем генетической дивергенции.

Анализ комбинационной ценности линий и эффекта гетерозиса в F_1

Изучение гибридов перца сладкого в системе полных диаллельных скрещиваний с последующей оценкой характера проявления ряда количественных признаков, комбинационной ценности и эффекта гетерозиса в F_1 по основным компонентам продуктивности выявило высокосignимые различия между генотипами

по большинству анализируемых показателей (табл. 1). Средние квадраты (MS), обусловленные общей комбинационной способностью, значительно отличались от MS случайных отклонений ($P < 0,01$) для массы, количества плодов с растения и средней массы плода. MS специфической комбинационной способности также высокосignимы для этих же признаков и длины плода. Это говорит о том, что между линиями как по общей, так и по специфической комбинационной способности существуют достоверные различия, что дает нам возможность перейти к анализу эффектов ОКС и констант СКС.

Лучшими по ОКС оказались линии Л1603 ($\hat{g}_7 = 0,1$) и Л1608 ($\hat{g}_5 = 0,15$), которые по массе и количеству плодов с растения достоверно отличались от остальных линий и имели относительно высокие варианты специфической комбинационной способности (табл. 2). Следовательно, эти линии должны проявить себя положительно и как компонент синтетического гибридного сорта, и в отдельных гибридных комбинациях.

Показатели изменчивости ОКС и СКС не достоверны для диаметра плода и толщины перикарпия, что обусловлено высоким фенотипическим сходством исходных линий в характере проявления данных признаков. По этим признакам полученные гибриды не имели статистически значимых отличий от родителей.

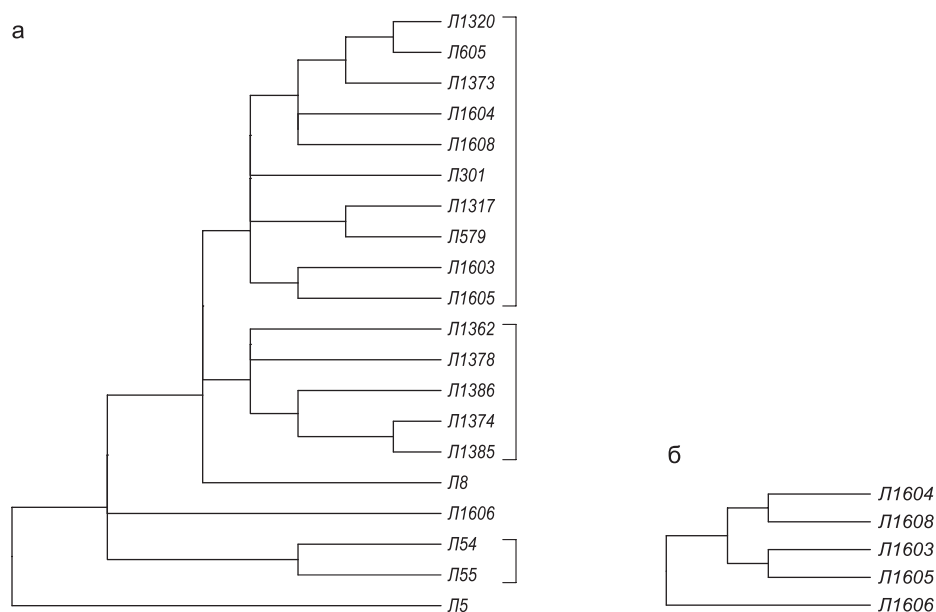


Рис. 2. Иерархическая кластеризация, основанная на данных RAPD-фингерпринтинга.

а – селекционная коллекция перца сладкого, б – линии, использованные в диаллельных скрещиваниях.

Таблица 1

Дисперсионный анализ комбинационной способности, оценки аддитивной ($\sigma_{ад.}^2$) и неаддитивной ($\sigma_{неад.}^2$) генетических вариантов и наследуемости в узком смысле (h^2) по основным компонентам продуктивности в 5×5 диаллельном скрещивании перца сладкого

Источник варьирования	Степень свободы	Средние квадраты (ms), отнесенные к индивидуальному наблюдению в опыте					
		Масса плодов растения, кг	Кол-во плодов растения	Средняя масса плода, г	Длина плода, см	Диаметр плода, см	Толщина стенки плода, мм
Общая	74						
Гибриды	24	0,49**	22,61**	1399,8**	5,84**	0,75*	0,85
ОКС	4	0,76**	57,42**	4048,5**	3,92	0,71	0,64
СКС	10	0,56**	21,77**	1230,3**	9,73**	0,66	0,91
Реципрокный эффект	10	0,32**	10,03**	509,8	2,73**	0,86*	0,87
Случайные отклонения	50	0,06	2,03	398,5	2,67	0,39	0,59
$\sigma_{ад.}^2 = 2\sigma_g^2$		0,04	7,23	563,6	0	0,01	0
$\sigma_{неад.}^2 = 2\sigma_s^2$		0,30	11,45	495,1	4,20	0,16	0,19
$h^2 = 2\sigma_g^2 / (2\sigma_g^2 + \sigma_s^2 + \sigma^2)$		0,10	0,35	0,39	0	0,02	0

Примечание. * $P < 0,05$, ** $P < 0,01$.

Интересно сравнить относительные величины вариантов ОКС и СКС одной и той же линии, т. е. величины σ_{gi}^2 и σ_{si}^2 . В основном значения σ_{si}^2 достоверно превосходили σ_{gi}^2 по большинству проанализированных признаков (табл. 2). Согласно интерпретации G.F. Sprague, L.A. Tatum (1942), эти результаты указывают на то, что в генетическом контроле компонентов продуктивности значительную роль играют доминантные и эпистатические эффекты. Этот вывод подтверждается и долей изменчивости, обусловленной аддитивными эффектами генов, — наследуемостью, которая была невысокой и варьировала в зависимости от признака в пределах 0,1–0,39 (табл. 1), что также свидетельствует о преобладающей роли аллельных и неаллельных взаимодействий генов в определении фенотипа линий перца, включенных в наш анализ.

Испытания в условиях закрытого грунта показали, что среди исходных родительских форм самыми высокоурожайными являются линии Л1604 и Л1608 (табл. 2). Большинство гибридов, полученных на основе этих линий, превосходило родителей по продуктивности. Лучшими комбинациями были Л1608 \times Л1603, Л1603 \times Л1608. Гибриды Л1604 \times Л1605, Л1606 \times Л1608 имели значимо низкое по отношению к родителям

выражение основных компонентов продуктивности (табл. 3).

Анализ прямых и обратных гибридов F_1 выявил наличие реципрокных эффектов. Так, по признаку «масса плодов с растения» комбинации Л1606 \times Л1608 и Л1604 \times Л1605 достоверно отличались от своих реципрокных гибридов Л1608 \times Л1606 и Л1605 \times Л1604.

На основе оценки комбинационной способности определены генотипы, обладающие высоким генетическим потенциалом для селекции (табл. 2). Линии Л1608 и Л1603 характеризуются наибольшими эффектами ОКС (\hat{g}_i) по массе и числу плодов с растения. Полученные с участием данных линий гибриды реализуют потенциально высокую продуктивность в большинстве комбинаций.

Высокими значениями вариантов СКС (σ_{si}^2) обладают Л1603, Л1606 и Л1608, что определяет индивидуальную ценность их отдельных гибридов, которые характеризуются высокими константами СКС (\hat{s}_{ij}). Например, гибриды Л1603 \times Л1608 и Л1605 \times Л1606 имели самые высокие константы СКС по массе и количеству плодов с растения, а гибриды Л1604 \times Л1606 и Л1606 \times Л1608 — по средней массе плода (табл. 2).

Таблица 2

Средние значения (x_i) оценки эффектов ОКС (g_i), констант СКС (s_{ij}), варiances ОКС (σ_{si}^2) и СКС (σ_{gi}^2) линий перца сладкого по основным компонентам продуктивности

Признак	Линия	x_i	\hat{g}_i	Стандартная ошибка		\hat{s}_{ij}					σ_{si}^2	σ_{gi}^2
				\hat{g}_i	$\hat{g}_i - \hat{g}_j$	Л1603	Л1604	Л1605	Л1606	Л1608		
Масса плодов с растения, кг	Л1603	1,05	0,1			-0,40	-0,08	0,04	-0,06	0,50	0,1	0,01
	Л1604	1,17	0,1				-0,27	-0,02	0,32	0,05	0,04	0,01
	Л1605	0,42	-0,23	0,04	0,06			-0,37	0,36	-0,02	0,06	0,05
	Л1606	0,55	-0,13						-0,45	-0,16	0,11	0,01
	Л1608	1,18	0,15							-0,36	0,09	0,02
Количество плодов с растения	Л1603	6,3	1,2			-3,13	-0,60	-0,33	-0,07	4,13	6,61	1,38
	Л1604	8,3	0,67				-0,40	-0,47	1,30	0,17	0,38	0,39
	Л1605	2,3	-2,1	0,23	0,37			-0,87	1,90	-0,23	0,95	4,35
	Л1606	4,3	-0,7						-1,67	-1,47	2,32	0,43
	Л1608	6,7	0,93							-2,60	6,28	0,81
Средняя масса плода, г	Л1603	155,6	-11,3			6,80	1,19	10,00	-1,95	-16,04	57,4	117,3
	Л1604	142,3	-2,5				-24,09	10,23	14,26	-1,59	178,4	0
	Л1605	182,7	19	3,3	5,2			-26,71	6,34	0,14	194,8	349,8
	Л1606	126,8	-6,6						-31,41	12,75	304,4	32,8
	Л1608	179	1,4							4,74	66,5	0
Длина плода, см	Л1603	10,9	0,4			-2,25	0,84	-0,23	0,62	1,03	1,64	0,12
	Л1604	11	-0,11				-1,15	0,13	0,47	-0,29	0,41	0
	Л1605	11,2	0,34	0,21	0,33			-0,47	1,16	-0,59	0,31	0,07
	Л1606	11,5	0,13						-1,19	-1,05	0,94	0
	Л1608	13,1	-0,08							0,89	0,67	0

На основании полученных результатов можно сделать заключение, что при формировании гетерозиса в F_1 у изученных нами гибридов перца сладкого вклад СКС родительских линий был более важен, чем ОКС. Это подтверждает и корреляционный анализ, который выявил наличие тесной связи ($r = 0,61$) между значениями эффекта гетерозиса и константами СКС у 20 диаллельных гибридов для признака «масса плодов с растения» (рис. 3).

Анализ комбинационной способности позволяет делать заключения о ценности родительских линий исходя из предпочтения типа действия генов, ответственных за фенотипическое проявление признака у гибрида. Однако более существенное значение для практических целей имеет количественная оценка эффекта гетерозиса, которая непосредственно в абсолютных

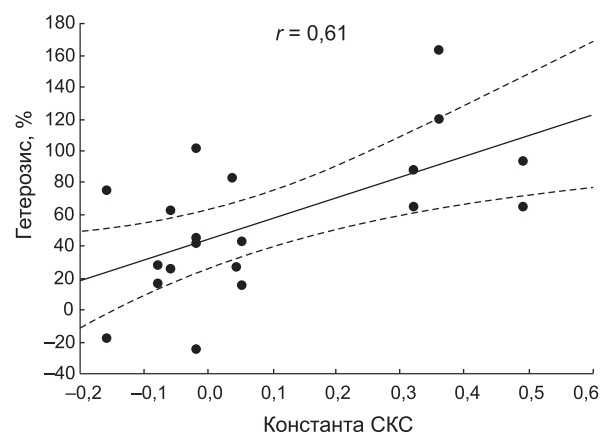


Рис. 3. Связь эффекта гетерозиса в F_1 с величиной константы СКС для признака «масса плодов с растения».

величинах определяет качество гибридов F_1 в сравнении с родителями.

В результате испытания F_1 достоверные значения гетерозиса обнаружены во всех 20 комбинациях, причем 10 гибридов превосходили родителей по признаку «масса плодов с растения» более чем на 50 %, в 8 комбинациях положительные эффекты составляли 16–46 % и только две комбинации характеризовались достоверно отрицательными значениями гетерозиса (табл. 3).

Превосходно показали себя прямые и реципрокные гибриды F_1 Л1605 × Л1606, Л1603 × Л1608, которые характеризуются наибольшими значениями констант СКС по признаку «масса плодов с растения» (табл. 3). Однако, если в первом случае реализация продуктивного потенциала обеспечена равным вкладом аддитивного и неаддитивного действия генов ($\sigma_{si}^2 \approx \sigma_{gi}^2$), то во втором преимущественное значение имело неаддитивное действие ($\sigma_{si}^2 > \sigma_{gi}^2$).

В целом величины гетерозиса, наблюдаемые по массе плодов с растения, достаточно высокие (16–164 %), за исключением комбинаций Л1604 × Л1605 и Л1606 × Л1608, у которых гетерозис по отношению к родительским линиям был отрицательным. Тем не менее это не оказало существенного влияния на средний уровень гетерозиса по всей группе гибридов (56,5 %).

Роль генетической дивергенции родительских форм в реализации генетического потенциала их гибридов F_1

Высказывается мнение, что генетические дистанции (GD), рассчитанные на основе ДНК анализа, не всегда могут быть использованы для точного предсказания урожайности гибридов, если используемые маркеры не связаны с локусами количественных признаков (Birchler *et al.*, 2010). Кроме того, подобные связи достаточно условны, поскольку большинство хозяйственно важных признаков полигенны и находятся под влиянием среды. Мы полагаем, что для повышения эффективности селекции на гетерозис необходимо строить селекционные стратегии на выборе генотипов, отвечающих необходимым требованиям, сохраняя равновесие между агрономической ценностью исходных форм и уровнем их генетической дивергенции.

Таблица 3
Генетические дистанции (GD)
и уровень гетерозиса в F_1

Гибридная комбинация		GD	Относительный гипотетический гетерозис, %			
♀	♂		Масса плодов с растения	Кол-во плодов с растения	Масса средняя плода	Длина плода
Л1603 × Л1604	Л1604 × Л1603	2,61	29	14	15	20
Л1604 × Л1605	Л1605 × Л1604	2,64	-24	-43	22	2
Л1603 × Л1605	Л1605 × Л1603	2,1	28	23	6	6
Л1603 × Л1606	Л1606 × Л1603	5,05	26	19	15	22
Л1603 × Л1608	Л1608 × Л1603	4,56	65	95	-14	4
Л1604 × Л1606	Л1606 × Л1604	6,59	88	38	40	10
Л1604 × Л1608	Л1608 × Л1604	3,06	44	37	1	-3
Л1605 × Л1606	Л1606 × Л1605	7,14	164	112	32	18
Л1605 × Л1608	Л1608 × Л1605	4,61	43	27	11	-9
Л1606 × Л1608	Л1608 × Л1606	7,38	-17	-27	17	-9
Средняя			56,5	42,5	11,4	9,3

Примечание. Значение гетерозиса ≥ 12 % достоверно при $P = 0,05$.

Наши исследования сопряженности величины эффекта гетерозиса у гибридов F_1 перца сладкого и уровня генетической дивергенции исходных родительских форм, оцененного на основе RAPD-скрининга, показали, что существуют положительные ассоциации для признаков «масса плодов с растения» ($r = 0,39$), «средняя масса» ($r = 0,33$) и «диаметр плода» ($r = 0,41$). Тем не менее эти величины не столь высоки, чтобы обеспечить эффективный подбор компонентов гибридизации только на основании молекулярных маркеров (рис. 4). Возможно,

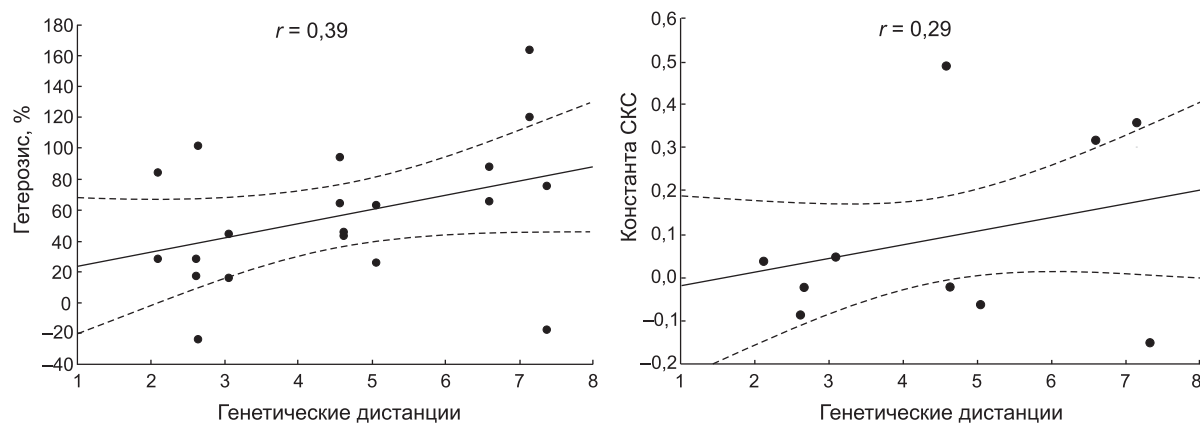


Рис. 4. Связь генетических дистанций с эффектом гетерозиса в F_1 и константой СКС для признака «масса плодов с растения».

полученные данные являются результатом использования в основе эксперимента полной диаллельной схемы скрещивания, при которой оцениваются как прямые, так и реципрокные гибриды, в реализации продуктивного потенциала которых задействованы различные механизмы, обусловленные влиянием материнской цитоплазмы. Оценка корреляций анализируемых показателей, проведенная отдельно среди прямых и обратных гибридов, показала, что в каждой выборке характер связи несколько различается: ее сила возрастает у прямых гибридов ($r = 0,44$) и уменьшается ($r = 0,37$) для реципрокных гибридов, например, по признаку «масса плодов с растения».

По признаку же «диаметр плода» у реципрокных гибридов эти корреляции существенно возросли до $r = 0,63$. Но, если считать, что степень «связанности» двух величин более точно измеряется квадратом коэффициента корреляции, т. е. $r^2 = 0,63^2 = 0,40$, то можно сделать заключение, что вклад генетической дивергенции родительских линий в реализацию гетерозиса по диаметру плода у реципрокных гибридов F_1 составил 40 %.

Поскольку в формировании гетерозиса у изученных нами гибридов F_1 вклад СКС родительских линий был более важен, чем ОКС, нами была предпринята попытка найти связь между GD , оцененными с использованием RAPD-маркеров, и константами СКС s_{ij} (рис. 4). При подсчете корреляций оказалось, что по массе плодов с растения между GD линий и s_{ij} их значения $r = 0,29$ статистически

недостовверны. Это дает основание считать, что роль аллельных и неаллельных взаимодействий генов в реализации данного признака в F_1 существенно не связана с дивергенцией исходных родительских форм.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенного исследования было установлено наличие положительных ассоциаций между уровнем дивергенции исходных родительских форм и уровнем гетерозиса их гибридов, но недостаточно высоких для проведения надежного отбора компонентов скрещивания. Анализ полученных результатов, а также данных, опубликованных другими исследователями (Dekkers, Hospital, 2002; Renning *et al.*, 2008), свидетельствует о целесообразности дальнейших исследований по разработке эффективных методов отбора в селекции на гетерозис на основе ДНК-маркирования, поскольку при отсутствии информации о генетической составляющей исходного материала такой путь может служить единственным подходом, дающим возможность идентифицировать размах генетического пула селекционных коллекций и позволяет отбирать генетически неоднородный материал среди фенотипически сходных форм.

ЛИТЕРАТУРА

Турбин Н.В., Хотыльёва Л.В., Тарутина Л.А. Диаллельный анализ в селекции растений. Минск: Наука и техника, 1974. 184 с.

- Becker H.C., Link W. **Heterosis and hybrid breeding** // 100 Years of genetics for plant breeding. Mendel, meiosis and marker. Brno (Czech Republic). 2000. P. 319–327.
- Birchler J., Auger D., Riddle N. In search of the molecular basis of heterosis // *Plant Cell*. 2003. V. 15. P. 2236–2239.
- Birchler J.A., Yao H., Chudalayandi S. *et al.* Heterosis // *The Plant Cell*. 2010. V. 22. P. 2105–2112.
- Cheres M.T., Miller J.F., Crane J.M., Knapp S.J. Genetic distance as a predictor of heterosis and hybrid performance within and between heterotic groups in sunflower // *Theor. Appl. Genet.* 2000. V. 100. P. 889–894.
- Dekkers J., Hospital F. The use of molecular genetics in the improvement of agricultural populations // *Nat. Rev. Genet.* 2002. V. 3. No. 1. P. 22–32.
- Fisher S., Melchinger A.E., Korzun V. *et al.* **Molecular marker assisted broadening of the Central European heterotic groups in rye with Eastern European germplasm** // *Theor. Appl. Genet.* 2010. V. 120. No. 2. P. 291–299.
- Frascaroli E., Canè M.A., Pè M.E. *et al.* QTL detection in maize testcross progenies as affected by related and unrelated testers // *Theor. Appl. Genet.* 2009. V. 118. P. 993–1004.
- Frei O.M., Stuber C.W., Goodman M.M. Use of allozymes as genetic markers for predicting performance in maize single cross hybrids // *Crop Sci.* 1986. V. 26(1). P. 37–42.
- Garcia A., Wang S., Melchinger A., Zeng Z.B. Quantitative trait loci mapping and the genetic basis of heterosis in maize and rice // *Genetics*. 2008. V. 180. P. 1707–1724.
- Jin-Xiong Shen, Ting-Dong Fu, Guang-Sheng Yang *et al.* Prediction of heterosis using QTLs for yield traits in rapeseed (*Brassica napus* L.) // *Euphytic*. 2006. V. 151. No. 2. P. 165–171.
- Moll R.H., Lonquist J.H., Velez fortune J., Johnson E.C. The relationship of heterosis and genetic divergence in maize // *Genetics*. 1965. V. 52. P. 139–144.
- Renming Z., Yinghua L., Zhenglin Y. *et al.* Prediction of hybrid grain yield performances in Indica Rice (*Oryza sativa* L.) with effect-increasing loci // *Mol. Breed.* 2008. V. 22. No. 3. P. 467–476.
- Selvaraj I., Nagarajan P., Thiyagarajan K., Bharathi M. Predicting the relationship between molecular marker heterozygosity and hybrid performance using RAPD markers in rice (*Oryza sativa* L.) // *Afr. J. Biothec.* 2010. V. 9(45). P. 7641–7653.
- Sprague G.F., Tatum L.A. General vs. specific combining ability in single crosses of corn // *J. Amer. Soc. Agron.* 1942. V. 34. P. 923–932.
- Syed N.H., Chen Z.J. Molecular marker genotypes, heterozygosity and genetic interactions explain heterosis in *Arabidopsis thaliana* // *Heredity*. 2005. V. 94. P. 295–304.

USE OF RAPD MARKERS OPTIMIZES THE SELECTION OF SOURCE MATERIAL OF SWEET PEPPER (*CAPSICUM ANNUM* L.) IN BREEDING FOR HETEROISIS

M.N. Shapturenko¹, L.A. Tarutina¹, T.V. Pechkovskaya¹, L.A. Mishin², L.V. Khotyleva¹

¹ Institute of Genetics and Cytology, Belarus NAS, Minsk, Belarus,
e-mail: Shapturenko@igc.bas-net.by;

² Institute of Vegetable Crops, Belarus NAS, Minsk, Belarus

Summary

RAPD analysis of sweet pepper lines of various ecogeographical origins was made to study DNA screening efficiency for hybrid breeding. Genetic distances among parental lines were calculated. The collection was classified by UPGMA. Hybridization of polymorphic genotypes was carried out in 5 × 5 diallel cross. The combining ability of lines and the F₁ heterosis effect were evaluated. Combinations with high levels of heterosis for performance traits were revealed. The contributions of additive and dominant genes to the realization of the genetic potential of parental lines were determined. Our study showed that the specific combining ability of lines of the sweet pepper collection was more important for the formation of heterosis than the general combining ability. Positive correlations between DNA marker distances of parents and heterosis degree were found for some performance traits, however, their levels were low. We plan seeking specific DNA loci that would be positively associated with hybrid performance.

Key words: *Capsicum annuum* L., sweet pepper, heterosis, combining ability, molecular markers, genetic distance.