

УДК 631.52:631.53.02:633.112.9

ВЛИЯНИЕ СПОНТАННОЙ ГИБРИДИЗАЦИИ НА СОРТОВУЮ ЧИСТОТУ ПОСЕВОВ ТРИТИКАЛЕ (\times TRITICOSECALE WITTM.)

В.С. РУБЕЦ, А.В. ШИРОКОЛАВА, В.В. ПЫЛЬНЕВ

(РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева)

Проведено изучение величины спонтанной гибридизации трех белоколосых сортов-реципиентов (Л. 21759/97, Валентин и Гермес) с различными донорами пыльцы (диплоидной и тетраплоидной рожью, гексаплоидной пшеницей, гексаплоидной тритикале), и дана оценка влияния биологического засорения спонтанными гибридами на сортовую чистоту посева тритикале в условиях Нечерноземной зоны. Показано, что спонтанная гибридизация тритикале с диплоидной рожью и пшеницей мягкой не влияет на значение ее сортовой чистоты, а с тетраплоидной рожью и другими сортами тритикале — влияет существенно.

Выяснено, что метеорологические условия, сложившиеся в фазу цветения, оказывают существенное влияние на величину спонтанной гибридизации сортов тритикале со слабой склонностью к перекрестному опылению (Валентин и Гермес) и не оказывают его для сортов с высокой склонностью (Л. 21759/97).

Величина хазмогамного цветения тритикале не оказывает достоверного влияния на содержание спонтанных гибридов в потомстве.

Ключевые слова: тритикале, пшеница мягкая, диплоидная рожь, тетраплоидная рожь, цветение, спонтанная гибридизация, биологическое засорение, категория семян, сортовая чистота

В результате биологического засорения может существенно снизиться сортовая чистота семеноводческого посева.

Одной из нерешенных проблем в практической селекции и семеноводстве тритикале остается спонтанное перекрестное опыление, приводящее к биологическому засорению семенных посевов в разной степени. Тритикале потенциально способна к спонтанному перекрестному опылению как с другими формами той же культуры, так и с обоими родительскими видами — пшеницей и рожью [11, 17, 20, 21]. При этом тритикале, являясь преимущественно самоопыляющейся культурой, обладает более высокой способностью к спонтанному перекрестному опылению (до 6–17%), чем пшеница (до 2%). Это приводит к регулярному появлению нетипичных растений в селекционных и семеноводческих посевах тритикале; в итоге их сортовая чистота снижается [2, 17].

Достоверная информация относительно частоты спонтанного перекрестного опыления в посевах тритикале в настоящее время отсутствует. Имеющиеся в литературе данные зачастую или значительно расходятся, или прямо противоречат друг другу. Нет уверенности в том, что существующие нормы пространственной изоляции достаточно надежно гарантируют приемлемую сортовую чистоту посевов [13].

Спонтанное перекрестное опыление тритикале может определяться различными факторами: генотипом тритикале, степенью открытого цветения, временем жизнеспособности пыльцы, дальностью переноса пыльцы ветром, избирательностью оплодотворения, метеорологическими факторами, сложившимися во время цветения [5, 11–13, 16].

Данная работа посвящена изучению влияния биологического засорения на сортовую чистоту посевов озимой гексаплоидной тритикале для дальнейшей оптимизации селекционного и семеноводческого процессов этой культуры. Кроме того, изучено влияние генотипа, метеорологических факторов вегетации и уровня открытого цветения на величину спонтанной гибридизации тритикале.

Материал и методика

Исследования проводили на кафедре генетики, биотехнологии, селекции и семеноводства и Селекционной станции имени П.И. Лисицына Российского государственного аграрного университета — МСХА имени К.А. Тимирязева в 2011–2015 гг.

Полевой опыт был основан на свободном переопылении исследуемых рецессивных форм тритикале с потенциальными источниками биологического засорения. В качестве материала для исследований были использованы сортообразцы тритикале с рецессивными признаками: белой окраской колоса и отсутствием опушения колосковых чешуй. Эти *реципиенты пыльцы* представляли собой *основной сорт*. Их высевали на больших делянках, имитируя семеноводческие посевы размножаемого сорта. Они были подобраны также по склонности к перекрестному опылению: линия 21759/97 отличается повышенной склонностью к перекрестному опылению (Донской зональный НИИСХ); у сорта Валентин не выявлено склонности к перекрестному опылению (РГАУ-МСХА); сорт Гермес характеризуется повышенной склонностью к самоопылению (Московский НИИСХ «Немчиновка») [12].

Потенциальные засорители, гибридные формы с которыми можно было бы легко обнаружить в посевах основного сорта, являлись *донорами пыльцы*. В качестве возможных доноров пыльцы были использованы различные культуры: сорт озимой диплоидной ржи Альфа (Московский НИИСХ «Немчиновка»), сорт озимой тетраплоидной ржи Верасень (Беларусь), сорта озимой пшеницы мягкой Гармония (Беларусь) и Московская 39 (Московский НИИСХ «Немчиновка») и сорт озимой тритикале Водолей (Донской зональный НИИСХ). Сорт Водолей обладает доминантными морфологическими признаками (красная окраска колоса и опушенные колосковые чешуи).

Эксперимент по изучению биологического засорения тритикале состоял из нескольких циклов. Один цикл эксперимента занимал два года. В первый год получали семена сортов-реципиентов с возможным биологическим засорением гибридными формами с различными донорами пыльцы (*год цветения*). Был использован метод, разработанный для изучения спонтанной гибридизации у пшеницы [1] и адаптированный для тритикале [5, 19]. Этот метод не требует принудительного опыления и не приводит к завышению частоты перекрестного опыления из-за нарушения нормального процесса цветения. Он заключался в том, что основной сорт и возможные доноры пыльцы высевали чередующимися рядками на делянке площадью 1 м². Всего на делянке размещалось 6 рядков, из которых 3 — сорт-реципиент, 3 — донор пыльцы. Повторность трехкратная. В целом получилось 15 вариантов возможного биологического засорения (табл. 1).

**Схема возможного спонтанного переопыления рецессивных форм тритикале
и доноров пыльцы**

	Рецессивные формы (реципиенты пыльцы)		
	Валентин	Гермес	Линия
Доноры пыльцы	Альфа	Альфа	Альфа
	Верасень	Верасень	Верасень
	Водолей	Водолей	Водолей
	Гармония	Гармония	Гармония
	Московская 39	Московская 39	Московская 39

В опыте были использованы семена тритикале, полученные только от самоопыления. Для предотвращения неконтролируемого перекрестного опыления с другими формами тритикале рядки попарно (реципиент — донор пыльцы) помещали под большие пергаментные изоляторы на время цветения. По окончании цветения изоляторы снимали. После созревания убрали вручную рядки сортов-реципиентов; обмолачивали их также вручную, чтобы не потерять щуплые зерна, которые могли оказаться межродовыми гибридами тритикале с пшеницей или рожью, а также для предотвращения возможности механического засорения. Семена высевали сеялкой СН-10Ц, располагая варианты так, чтобы можно было легко отличить случайное механическое засорение во время посева. Поскольку сорта-реципиенты морфологически сильно отличались друг от друга, сделать это было нетрудно. Число делянок каждого варианта зависело от наличия семян.

В следующем году (*год анализа*) проводили изучение засоренности посевов спонтанными гибридами с донорами пыльцы. Отдаленные гибриды тритикале с пшеницей и рожью имели характерную морфологию и были стерильными. Внутривидовые гибриды с сортом тритикале Водолей отличались красной окраской колоса и опушенными колосковыми чешуями, поэтому выделение гибридных форм не представляло трудностей.

Для анализа пятиметровую делянку делили на две части (по 2,5 м²). С каждой такой части убрали стебли в отдельный сноп. Повторностью считали сноп, а общее число повторностей каждого варианта равнялось числу снопов (от 2 до 20 в зависимости от объема полученных в предыдущем году семян). В целом в каждый год в опыте по изучению биологического засорения тритикале было проанализировано около 90 снопов.

Сноп разбирали на фракции по типу апробации (развитые стебли основного сорта-реципиента, развитые стебли примесей, морфологически соответствующих гибридам с донорами пыльцы). Определяли сортовую чистоту как отношение числа развитых стеблей основного сорта к общему числу развитых стеблей основного сорта и спонтанных гибридов, выраженное в процентах [6]. Засоренность посева (содержание спонтанных гибридов) определяли как разность (100% минус сортовая чистота).

Статистическая обработка полученных результатов имела свои особенности в связи с тем, что изучаемые показатели выражены в процентах. Кроме того, значения сортовой чистоты лежали в пределах, превышающих 80%, а засоренности — в пределах, меньших 20%, поэтому вначале для расчета доверительных интервалов было проведено преобразование данных в $\varphi = \arcsin \sqrt{\text{процент}}$ определены значения стандартной ошибки $S_\varphi = 1/\sqrt{n}$, где n — объем выборки (число снопов). Доверительный интервал рассчитывали по формуле $\varphi \pm t_{05} S_\varphi$. После этого границы доверительного интервала снова переводили в проценты, сохраняя исходное значение среднего арифметического значения [4, 14]. В большинстве случаев «плечи» доверительного интервала для \bar{x} получились неодинаковыми. На рисунках и в таблицах они приведены как $(\bar{x} \pm t_{05} S_x)$.

Сравнение значений сортовой чистоты, полученных в разные годы по каждому варианту биологического засорения, проводили попарно при помощи t -критерия Стьюдента [4, 14].

Открытое цветение определяли по методу А.П. Горина, подсчитывая число пыльников, оставшихся в цветке после цветения [1]. Хазмогамными считали цветки, в которых отсутствовал хотя бы один пыльник. Для каждого сорта анализировали 15 колосьев.

Метеорологические факторы не оказывают влияния на проявление доминантных или рецессивных морфологических признаков у потомства (красная или белая окраска колоса, наличие или отсутствие опушения на колосковых чешуях). Однако они могут влиять на величину спонтанной гибридизации. Известно, что средняя продолжительность жизни пыльцы в солнечную погоду составляет около 10 мин., а в облачную — 30–60 мин. [13, 16], ветер способствует перенесению пыльцы на дальние расстояния, дождь осаждаёт пыльцу. Поэтому следует подробно рассмотреть метеорологические условия, сложившиеся в период цветения, чтобы более объективно проанализировать полученные результаты.

Все метеоданные были предоставлены Метеорологической обсерваторией имени В.А. Михельсона.

В 2011 г. наблюдались неблагоприятные погодные условия во время цветения. Жаркая сухая погода, низкая влажность воздуха, высокая интенсивность солнечной инсоляции не способствуют успеху перекрестного опыления у злаков, однако сильные ветры облегчали перенос пыльцы.

Условия 2012 г. характеризовались относительно благоприятными значениями среднесуточной температуры воздуха, наличием осадков, отсутствием дефицита влаги, высокой относительной влажностью воздуха, высокой облачностью, непродолжительным периодом солнечной инсоляции, сильными ветрами. Такие условия благоприятны для сохранения жизнеспособности пыльцы в течение относительно большого промежутка времени. Однако регулярный дождь, возможно, способствовал быстрому намоканию и осадению пыльцы.

В 2013 г. период цветения характеризовался высокой среднесуточной температурой, отсутствием осадков, и при этом — небольшим дефицитом влаги и благоприятной относительной влажностью воздуха. Облачность в течение всего периода цветения была незначительной, а продолжительность солнечного сияния — большой, ветер — сильным. Такие условия не способствуют длительному сохранению жизнеспособности пыльцы тритикале, однако не препятствуют переносу ее ветром.

В 2014 г. наблюдалась жаркая, сухая, ветреная погода с низкой относительной влажностью воздуха и сильным дефицитом влаги. Было отмечено отсутствие облач-

ности и длительный период солнечной инсоляции. Такие условия неблагоприятны для сохранения жизнеспособности пыльцы в воздухе, но они не препятствуют ее переносу ветром.

Таким образом, наиболее благоприятными для протекания открытого цветения и сохранения жизнеспособности пыльцы был 2012 г., самым неблагоприятным — 2014 г.

Результаты и их обсуждение

Сортовая чистота посева каждого сортообразца, полученная в ходе эксперимента, была сопоставлена с требованиями, приведенными в ГОСТ Р 52325-2005 [10], определяющем нормы сортовой чистоты посевов для различных категорий семян озимой тритикале:

– 99,5% — для категории ОС — оригинальных семян (не более 0,5% засорения), на рисунках это красная линия;

– 99,2% — для категории ЭС — элитных семян (не более 0,8% засорения) (коричневая линия);

– 98,0% — для категории РС — репродукционных семян (не более 2% засорения) (зеленая линия);

– 95,0% — для категории РСт — репродукционных семян, предназначенных для производства товарной продукции (не более 5% засорения) (синяя линия).

Работа была проведена с озимой культурой, поэтому год цветения и год анализа не совпадают. На рисунках приведены годы анализа, поскольку результаты были получены именно тогда, когда выросло потомство, полученное от цветения, произошедшего в предыдущем году (например, для результатов 2013 г. цветение проходило в 2012 г.). В таблицах, где оценивается влияние метеорологических условий на результат спонтанной гибридизации, приведены годы цветения.

Спонтанная гибридизация тритикале с диплоидной рожью как возможная причина снижения сортовой чистоты ее посевов

В 2013 г. в посевах всех сортов-реципиентов не было отмечено наличие спонтанных гибридов их с рожью (рис. 1), поэтому их сортовая чистота была на максимально возможном уровне.

В 2014 г. в посевах Л. 21759/97 и сорта Валентин спонтанных гибридов с диплоидной рожью обнаружено не было. Только у сорта Гермес среди 3487 стеблей было найдено 2 стебля, морфологически соответствующих отдаленным гибридам тритикале с рожью. При этом сортовая чистота посева сорта Гермес существенно не снизилась и была близка к максимально возможной (рис. 1).

В 2015 г. в посевах всех сортов-реципиентов были обнаружены спонтанные гибриды с диплоидной рожью. Прослеживается влияние генотипа тритикале на величину спонтанной гибридизации с диплоидной рожью — Л. 21759/97 сильнее подвержена ей, чем сорта Валентин и Гермес. У данной линии было отмечено максимальное число гибридов (43 из 6859 проанализированных стеблей), что повлекло за собой снижение сортовой чистоты ниже требований к ОС (рис. 1). Для двух других сортов-реципиентов засорение спонтанными гибридами с диплоидной рожью оказалось незначительным. Оно практически не повлияло на значение сортовой чистоты.

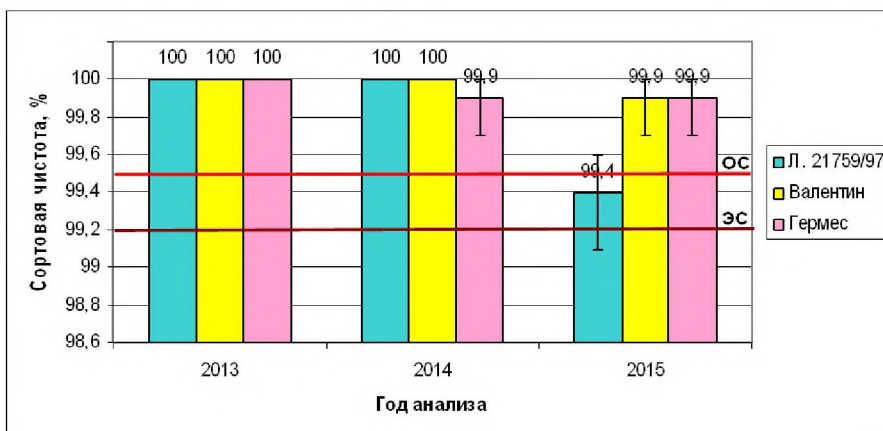


Рис. 1. Сортовая чистота посевов тритикале с возможным засорением спонтанными межродовыми гибридами с диплоидной рожью Альфа, ($\bar{x} \pm S_{\bar{x}} t_{05}$)

Такие результаты позволяют утверждать, что биологическое засорение посевов тритикале спонтанными гибридами с диплоидной рожью является незначительным и не оказывает влияния на значение сортовой чистоты.

Нами был проведен анализ влияния метеорологических условий, сложившихся в период цветения тритикале, на результат ее спонтанной гибридизации с диплоидной рожью.

В 2015 г. в посевах всех сортов-реципиентов были обнаружены спонтанные гибриды, которые были получены во время цветения в 2014 г., т.е. в неблагоприятных погодных условиях для сохранения жизнеспособности пыльцы, а в наиболее благоприятных условиях 2012 г. спонтанная гибридизация вообще не отмечена.

Статистическая обработка полученных результатов показала, что у двух сортов-реципиентов (Л. 21759/97 и Валентин) в 2014 г. уровень спонтанной гибридизации с диплоидной рожью оказался достоверно выше, чем в 2012 г., и у Л. 21759/97 — выше, чем в 2013 г. (табл. 2), т.е. результаты оказались прямо противоположными ожидаемым: самый неблагоприятный с точки зрения сохранения жизнеспособности пыльцы 2014 г. оказался наиболее благоприятным для спонтанной гибридизации тритикале с диплоидной рожью.

Спонтанная гибридизация тритикале с тетраплоидной рожью как возможная причина снижения сортовой чистоты ее посевов

При использовании в качестве донора пыльцы сорта тетраплоидной ржи Верасень выяснилось, что у Л. 21759/97 способность к спонтанной гибридизации с ней достоверно выше, чем у сортов Валентин и Гермес, у сорта Гермес — выше, чем у сорта Валентин (рис. 2).

Сортовая чистота Л. 21759/97 вследствие спонтанной гибридизации с тетраплоидной рожью Верасень снижается значительно — ниже требований, установленных для категорий оригинальных (ОС) и элитных семян (ЭС) в 2013 г., и даже

**Влияние метеорологических условий вегетации
на величину спонтанной гибридизации тритикале с диплоидной рожью Альфа**

Основной сорт	Годы цветения	Критерий Стьюдента		Значимость различий по годам при $p < 0,05$
		фактический $t_{ф}$	табличный t_{05}	
Л. 21759/97	2012 /2013	Спонтанных гибридов не отмечено		
	2012 / 2014	10,78	2,31	Значимы
	2013 /2014	10,78	2,45	Значимы
Валентин	2012 /2013	Спонтанных гибридов не отмечено		
	2012 / 2014	2,55	2,45	Значимы
	2013 /2014	2,08	2,78	Незначимы
Гермес	2012 /2013	2,08	2,78	Незначимы
	2012 / 2014	2,08	2,78	Незначимы
	2013 /2014	0,00	2,45	Незначимы

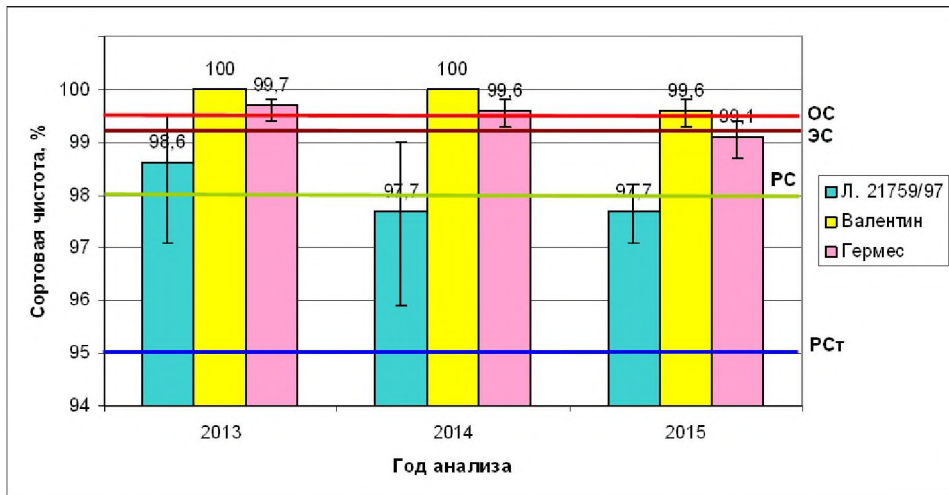


Рис. 2. Сортовая чистота посевов тритикале с возможным засорением спонтанными межродовыми гибридами с тетраплоидной рожью Верасень, ($\bar{x} \pm S_x t_{05}$)

для категории репродукционных семян (РС) в 2014 и 2015 гг. Посевы этого сортообразца по результатам апробации могут быть признаны только как категория репродукционных семян, предназначенных для производства товарной продукции (РСт).

При этом метеорологические условия в период цветения не влияют достоверно на величину спонтанной гибридизации Л. 21759/97 с тетраплоидной рожью Верасень (табл. 3).

Т а б л и ц а 3

Влияние метеорологических условий вегетации на величину спонтанной гибридизации тритикале с тетраплоидной рожью Верасень

Основной сорт	Годы цветения	Критерий Стьюдента		Значимость различий по годам при $p < 0,05$
		фактический t_{ϕ}	табличный t_{05}	
Л. 21759/97	2012 /2013	1,90	4,30	Незначимы
	2012 / 2014	2,33	2,45	Незначимы
	2013 /2014	0,00	2,45	Незначимы
Валентин	2012 /2013	Спонтанных гибридов не отмечено		
	2012 / 2014	5,58	2,31	<i>Значимы</i>
	2013 /2014	4,41	2,45	<i>Значимы</i>
Гермес	2012 /2013	0,78	2,31	Незначимы
	2012 / 2014	3,57	2,31	<i>Значимы</i>
	2013 /2014	3,12	2,23	<i>Значимы</i>

Сортовая чистота посевов сорта Валентин в 2013 и 2014 гг. была максимально высокой вследствие отсутствия в них спонтанных гибридов с тетраплоидной рожью (рис. 2). Только в 2015 г. отмечено некоторое снижение этого показателя, однако и в этом случае он был выше требований, предъявляемых к категории ОС. Отмечено влияние метеорологических условий цветения на величину спонтанной гибридизации: в 2014 г. ее уровень был достоверно выше, чем в 2012 и 2013 гг. (табл. 3).

В посевах сорта Гермес во все годы исследований были найдены спонтанные гибриды его с тетраплоидной рожью (рис. 2). При этом сортовая чистота в 2013 и 2014 гг. оставалась на высоком уровне и соответствовала категории ОС, а в 2015 г. значительно снизилась до категории РС. Влияние метеорологических условий в период цветения на величину спонтанной гибридизации аналогично этому влиянию для сорта Валентин (табл. 3).

Таким образом, спонтанная гибридизация тритикале с тетраплоидной рожью приводит к значительному снижению сортовой чистоты посевов тритикале. Величина спонтанной гибридизации зависит от генотипа сорта-реципиента тритикале. Так, Л. 21759/97 обладает достоверно более высокой склонностью к скрещиванию с рожью, чем два других изученных сорта. Отмечено, что метеорологические условия, сложившиеся в период цветения, не оказывают значительного влияния на уровень спонтанной гибридизации тритикале с тетраплоидной рожью в тех случаях, когда генотип тритикале характеризуется высокой способностью к спонтанной гибридизации, и оказывают — когда генотип этим не обладает.

Спонтанная гибридизация тритикале с пшеницей как возможная причина снижения сортовой чистоты ее посевов

Возделываемые в производстве сорта озимой тритикале имеют гексаплоидный уровень плоидности, такой же, как пшеница мягкая. Кроме того, общими для обеих культур являются два субгенома (AB). Поэтому взаимное переопыление тритикале и пшеницы мягкой представляется вполне возможным.

Наши исследования были проведены с участием двух сортов пшеницы мягкой озимой — Гармония и Московская 39.

Во все годы исследований в посевах сортов-реципиентов тритикале не было обнаружено ни одного гибрида с сортом Гармония.

Единичные гибридные растения тритикале с пшеницей Московская 39 были обнаружены в посевах Л. 21759/97 в 2015 г. и сорта Валентин в 2013 и 2015 гг. (рис. 3). В посевах сорта Гермес таких гибридов найдено не было во все годы исследований.

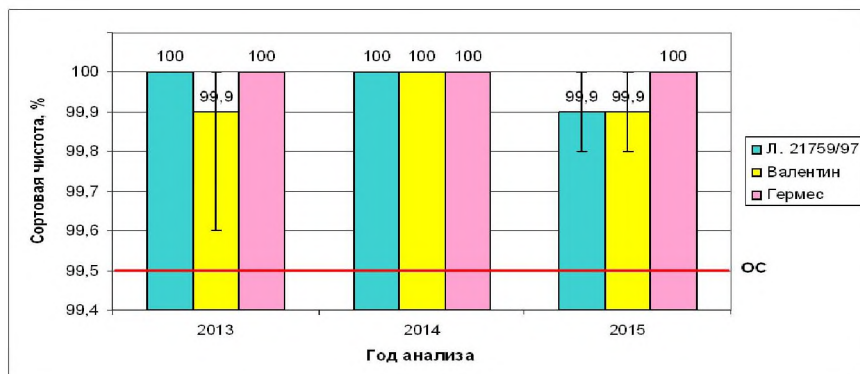


Рис. 3. Сортовая чистота посевов тритикале с возможным засорением спонтанными межродовыми гибридами с пшеницей мягкой Московская 39, ($\bar{X} \pm S_x \cdot t_{05}$)

Спонтанная гибридизация тритикале с пшеницей мягкой не повлияла на величину сортовой чистоты: у всех сортов-реципиентов она приближалась к максимально возможной. Влияние генотипа тритикале на уровень спонтанной гибридизации ее с пшеницей явно не прослеживается (он приближается к нулю у всех изученных сортов-реципиентов). Однако отмечено влияние метеорологических условий: в период цветения, в 2014 г., сложились условия, более благоприятные для спонтанной гибридизации Л. 21759/97 с пшеницей, чем в 2012 и 2013 гг., а для сорта Валентин наиболее благоприятные условия сложились в 2012 г. (табл. 4).

Таким образом, спонтанная гибридизация тритикале с гексаплоидной пшеницей не оказывает влияния на сортовую чистоту тритикале. Влияние генотипа тритикале на уровень спонтанной гибридизации с пшеницей не выявлено, однако имеет место влияние погодных условий в период цветения.

Влияние метеорологических условий вегетации на величину спонтанной гибридизации тритикале с сортом пшеницы мягкой Московская 39

Основной сорт	Годы цветения	Критерий Стьюдента		Значимость различий по годам при $p < 0,05$
		фактический t_{ϕ}	табличный t_{05}	
Л. 21759/97	2012 /2013	Спонтанных гибридов не отмечено		
	2012 / 2014	2,55	2,45	<i>Значимы</i>
	2013 /2014	2,55	2,45	<i>Значимы</i>
Валентин	2012 /2013	2,34	2,57	Незначимы
	2012 / 2014	0,00	2,37	Незначимы
	2013 /2014	2,79	2,31	<i>Значимы</i>
Гермес	2012 /2013	Спонтанных гибридов не отмечено		
	2012 / 2014			
	2013 /2014			

Спонтанная межсортовая гибридизация тритикале как возможная причина снижения сортовой чистоты ее посевов

Изучение спонтанной межсортовой гибридизации тритикале было проведено в течение четырех лет (цветение проходило в 2011–2014 гг.). В 2011 г. в эксперимент было включено два сорта-реципиента — Валентин и Гермес.

Сортовая чистота белоколосых сортов-реципиентов во все годы исследований снижалась вследствие биологического засорения спонтанными гибридами с красноколосым сортом тритикале Водолей (рис. 4).

Наибольшая способность к спонтанной гибридизации была выявлена у Л. 21759/97 — сортовая чистота ее посевов снизилась до значений РСт. Влияние погодных условий в период цветения на величину спонтанной межсортовой гибридизации у этой линии обнаружено не было — во все годы она была стабильно высокой (рис. 4, табл. 5).

У сортов Валентин и Гермес прослеживается влияние погодных условий в период цветения на результаты спонтанной гибридизации (рис. 4, табл. 5).

В 2011 и 2012 гг. метеорологические условия в период цветения были благоприятными для спонтанной межсортовой гибридизации сорта Валентин. Это привело к тому, что сортовая чистота его посевов в 2012 и 2013 гг. была ниже для категории РС и соответствовала только категории РСт, причем достоверных различий по содержанию спонтанных гибридов в эти годы обнаружено не было. В 2013 и 2014 гг. метеорологические условия в фазу цветения были неблагоприятными для осуществления спонтанной межсортовой гибридизации, поэтому в 2014 и 2015 гг. были отмечены самые высокие значения сортовой чистоты, соответствующие категориям

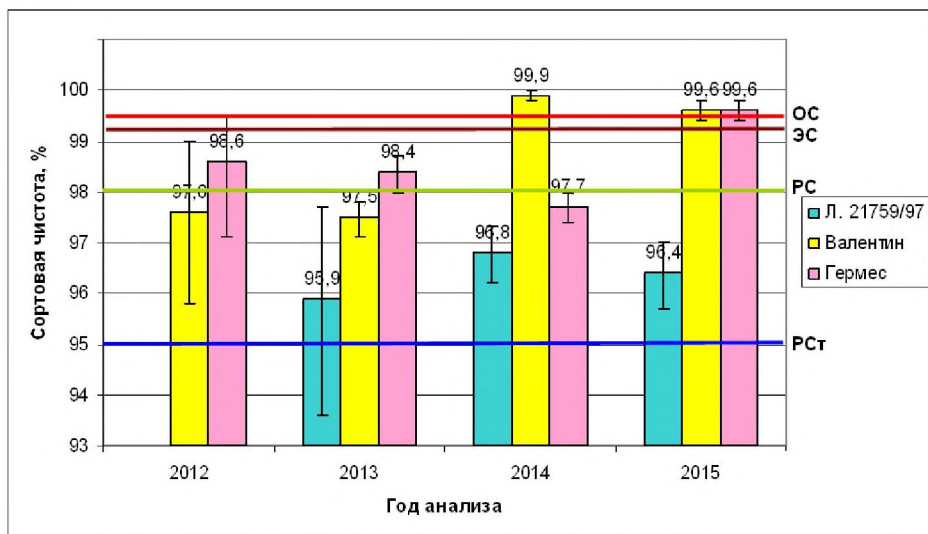


Рис. 4. Сортная чистота посевов тритикале с возможным засорением спонтанными межсортными гибридами с сортом тритикале Водолей, ($\bar{x} \pm S_{\bar{x}} t_{05}$)

Т а б л и ц а 5

Влияние метеорологических условий вегетации на величину спонтанной межсортной гибридизации тритикале с сортом Водолей

Основной сорт	Годы цветения	Критерий Стьюдента		Значимость различий по годам при $p < 0,05$
		фактический t_{ϕ}	табличный t_{05}	
Л. 21759/97	2012 / 2013	1,12	2,31	Незначимы
	2012 / 2014	0,98	2,45	Незначимы
	2013 / 2014	0,19	2,18	Незначимы
Валентин	2011 / 2012	0,26	2,23	Незначимы
	2011 / 2013	8,98	2,31	Значимы
	2011 / 2014	6,70	2,31	Значимы
	2012 / 2013	15,38	2,12	Значимы
	2012 / 2014	11,59	2,12	Значимы
	2013 / 2014	3,59	2,15	Значимы

Основной сорт	Годы цветения	Критерий Стьюдента		Значимость различий по годам при $p < 0,05$
		фактический $t_{ф}$	табличный $t_{ос}$	
Гермес	2011 / 2012	0,65	2,23	Незначимы
	2011 / 2013	2,56	2,09	Значимы
	2011 / 2014	7,64	2,06	Значимы
	2012 / 2013	3,62	2,05	Значимы
	2012 / 2014	7,80	2,12	Значимы
	2013 / 2014	12,17	2,06	Значимы

ОС (рис. 4), причем в 2014 г. спонтанных гибридов было достоверно меньше, чем в 2015 г. (табл. 5). Для сорта Гермес наиболее благоприятными для осуществления спонтанных межсортовых скрещиваний оказались 2011, 2012 и 2013 гг., поэтому сортовая чистота посевов оказалась довольно низкой: в 2012 и 2013 гг. ее значения соответствовали категории РС, а в 2014 г. — только категории РСт (рис. 4). В 2014 г. величина спонтанной гибридизации была небольшой, поэтому сортовая чистота посевов в 2015 г. соответствовала категории ОС. В 2011 и 2012 гг. не отмечено достоверных различий по сортовой чистоте, что можно расценивать как отсутствие влияния погодных условий в период цветения в эти годы на уровень спонтанной гибридизации. Во все остальные годы такие различия имели место (табл. 5).

Таким образом, результаты наших исследований позволяют утверждать, что из всех изученных типов биологического засорения наиболее вредоносным является именно спонтанная межсортовая гибридизация.

Величина спонтанной межсортовой гибридизации тритикале зависит от генотипа (у Л. 21759/97 способность к спонтанной гибридизации достоверно выше, чем у сортов Валентин и Гермес). Метеорологические условия периода цветения оказывают влияние на величину спонтанной гибридизации у сортов тритикале с невысокой склонностью к перекрестному опылению (как Валентин и Гермес) и не оказывают — у сортов с высокой способностью к скрещиванию с другими сортами (как Л. 21759/97). Межсортовая спонтанная гибридизация является наиболее значимой причиной снижения сортовой чистоты тритикале.

На рисунке 5 представлены значения сортовой чистоты в среднем по годам для всех изученных сортов-реципиентов с возможным биологическим засорением спонтанными гибридами со всеми донорами пыльцы. Сильнее всего сортовая чистота снижается вследствие засорения посевов спонтанными гибридами с гексаплоидной тритикале и тетраплоидной рожью. Заметно влияние генотипа: Л. 21759/97 обладает достоверно большей способностью к спонтанной гибридизации, чем сорта Валентин и Гермес.

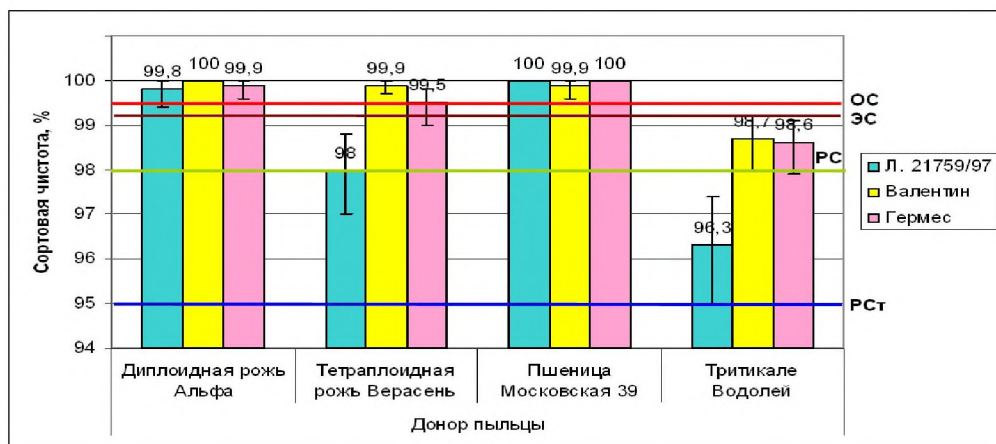


Рис. 5. Сортовая чистота сортов-реципиентов тритикале в зависимости от степени биологического засорения их спонтанными гибридами с донорами пыльцы — в среднем по годам ($\bar{x} \pm S_{\bar{x}} t_{05}$)

Спонтанная гибридизация тритикале с диплоидной рожью и пшеницей мягкой не влияет на величину сортовой чистоты тритикале.

Результаты наших исследований показали наличие влияния метеорологических факторов в период цветения на уровень спонтанной гибридизации тритикале, причем ожидаемые результаты были отмечены лишь для межсортовой гибридизации. Для межродовой гибридизации ясной картины не наблюдается. В случае с диплоидной и тетраплоидной рожью максимальная спонтанная гибридизация с ними тритикале отмечена в условиях, наиболее неблагоприятных для сохранения жизнеспособности пыльцы (год цветения — 2014). Этот неожиданный результат нуждается в дополнительном изучении.

Открытое цветение тритикале и его влияние на уровень спонтанной гибридизации

Тритикале в своей родословной имеет два различных по биологии цветения и опыления родителя: самоопыляющуюся пшеницу и перекрестноопыляющуюся рожь.

Под цветением в широком смысле понимают доступность для агентов переноса пыльцы тычинок и пестиков. Во время цветения цветки растений могут находиться в раскрытом состоянии или не раскрываться вовсе. В первом случае цветение будет называться хазмогамным (или открытым), во втором — клейстогамным (или закрытым) [8]. Ясно, что для осуществления перекрестного опыления необходимо иметь открытые цветки. Клейстогамное цветение способствует самоопылению. Однако хазмогамное цветение еще не гарантирует перекрестное опыление, а лишь увеличивает вероятность попадания пыльцы на рыльце. Если на рыльце раньше попала собственная пыльца, ее прорастание началось раньше, то и вероятность оплодотворения будет выше, чем чужеродной.

Хазмогамия считается первичной, поскольку изначально все злаки сформировались как перекрестноопыляемые виды. Клейстогамия вторична. Она экологически

обусловлена и вызывается неблагоприятными условиями внешней среды [3]. По мере увеличения ploидности наблюдается склонность к самоопылению и клейстогамному цветению.

У тритикале выделяют два типа цветения: открытый (хазмогамный) и закрытый (клейстогамный) [15, 18]. Обычно закрытое цветение наблюдается у цветков высшего порядка (3-х и 4-х в колоске) [13]. Во влажных условиях у тритикале и пшеницы более выражен открытый тип цветения. Засуха и высокая температура способствуют увеличению клейстогамного цветения [7].

В наших исследованиях было проведено изучение хазмогамного цветения сортов-реципиентов в 2012 и 2013 гг. (табл. 6). Уровень открытого (хазмогамного) цветения у них в оба года высок (выше 80%). Это делает весьма вероятным попадание пыльцы, находящейся в воздухе, в их цветки.

Т а б л и ц а 6

Влияние метеорологических условий вегетации на величину открытого цветения озимой тритикале, % (по данным Митрошиной, 2015) [9]

Сортообразец	Открытое цветение, %		t_{Φ} по годам
	2012 г.	2013 г.	
Л. 21759/97	82,8	95,2	11,6
Валентин	97,4	94,1	4,61
Гермес	96,6	95,6	1,77
—	—	—	$t_{05} = 2,78$

Напомним, что комплекс метеорологических факторов периода цветения в 2012 г. позволяет охарактеризовать его как более благоприятный для проявления признака открытого цветения, чем в 2013 г.

У линии 21759/97 содержание открытых цветков в 2012 г. было достоверно ниже, чем в 2013 г. (табл. 6). При этом в оба года анализа (2013 и 2014 гг.) отсутствовали гибриды с диплоидной рожью и пшеницей (рис. 1, 3). В 2013 г. было отмечено более низкое содержание спонтанных гибридов с тетраплоидной рожью (1,4%), чем в 2014 г. (2,3%), что соответствует значениям хазмогамии в годы цветения, однако различия недостоверны (табл. 3). В 2013 г. наблюдалось несколько больше спонтанных гибридов с сортом тритикале Водолей (4,1%), чем в 2014 г. (3,2%) (рис. 4). Это не соответствует уровню хазмогамии в годы цветения. Различия также недостоверны (табл. 5).

Таким образом, для Л. 21759/97 не прослеживается ясная связь между уровнем хазмогамии и содержанием спонтанных гибридов.

У сорта Валентин в 2012 г. был отмечен более высокий уровень хазмогамного цветения, чем в 2013 г. (табл. 6). В эти годы не было выявлено спонтанной гибридизации с диплоидной и тетраплоидной рожью (рис. 1, 2). В 2012 г. имело место образование гибридов с пшеницей (в 2013 г. был найден 1 стебель), в 2013 г. спонтанных скрещиваний с пшеницей не было обнаружено (рис. 3). В 2012 г. спонтанная межсортовая гибридизация была успешнее, чем в 2013 г. (рис. 4, табл. 5). Эти

результаты соответствуют значениям уровня хазмогамии и позволяют увидеть связь между ней и содержанием спонтанных гибридов (чем выше хазмогамия, тем больше гибридов).

У сорта Гермес в 2012 г. также был отмечен более высокий уровень хазмогамии, чем в 2013 г. (табл. 6). В 2012 г. не было выявлено наличие спонтанной гибридизации с диплоидной рожью, а в 2013 г. она имела место (рис. 1), однако ее величина была так мала, что статистическая обработка не выявила различий (табл. 2). Гибридизация с тетраплоидной рожью наблюдалась в оба года, ее результаты были одинаковы (рис. 2, табл. 3). С пшеницей гибридизация не была отмечена в оба года (рис. 3), с тритикале в 2013 г. спонтанных гибридов было существенно больше, чем в 2012 г. (табл. 5). Сопоставление уровня хазмогамии в год цветения и содержания спонтанных гибридов в год анализа у сорта Гермес в 2012 и 2013 гг. не выявило ясной зависимости между ними.

Таким образом, у двух сортов-реципиентов тритикале (Л. 21759/97 и Гермес) не выявлена зависимость между уровнем открытого цветения и содержанием спонтанных гибридов, у сорта Валентин такая зависимость обнаружена. Возможно, здесь имеет место сортовая специфика.

Выводы

1. Биологическое засорение посевов тритикале спонтанными гибридами ее с диплоидной рожью и пшеницей невелико и не оказывает влияния на сортовую чистоту.

2. Биологическое засорение посевов тритикале спонтанными гибридами ее с тетраплоидной рожью и гексаплоидной тритикале довольно велико и существенно снижает сортовую чистоту.

3. Из всех изученных типов биологического засорения наиболее вредоносным является спонтанная межсортовая гибридизация.

4. Величина спонтанной гибридизации тритикале зависит от генотипа: Л. 21759/97 характеризуется высокой способностью к спонтанной гибридизации, сорта Валентин и Гермес — низкой.

5. Метеорологические условия, сложившиеся в период цветения тритикале, оказывают существенное влияние на величину спонтанной гибридизации сортов тритикале со слабой склонностью к перекрестному опылению (как Валентин и Гермес) и не оказывают у сортов с высокой (как Л. 21759/97).

6. Не выявлена ясная зависимость между уровнем открытого цветения тритикале и содержанием спонтанных гибридов.

Библиографический список

1. Горин А.П. Биология цветения и естественной гибридизации у пшеницы: Дис. д. с.-х. н. М., 1950. 295 с.
2. Гуляев Г.В., Гужов Ю.Л. Селекция и семеноводство полевых культур. 3-е изд., перераб и доп. М.: Агропромиздат, 1987. 447 с.
3. Демьянова Е.И. Клейстогамия // В кн. Эмбриология цветковых растений. Терминология и концепции. Т. 3. Системы репродукции / Под ред. Т.Б. Батыгиной. СПб.: «Мир и семья», 2000. С. 96–99.
4. Доспехов Б.Д. Методика полевого опыта. М.: Колос, 1973. 336 с.

5. Дударева О.В. Биологические особенности репродуктивной системы тритикале и их использование в селекции на озерненность / Автореф. дис. ...канд. с.-х. наук: 06.01.05 // Брянск, 2005. 18 с.
6. Инструкция по апробации сортовых посевов. Часть I (зерновые, крупяные, зернобобовые, масличные и прядильные культуры). М.: ВНИИТЭИагропром, 1996. 83 с.
7. Карпачев В.В., Шевченко В.Е. Биология цветения и индуст-толерантность тритикале // Научные основы селекции сельскохозяйственных культур в ЦЧЗ. Каменная Степь, 1985. С. 38–51.
8. Лотова Л.И. Морфология и анатомия высших растений. М.: Эдиториал УРСС, 2001. 528 с.
9. Митрошина О.В. Избирательность оплодотворения у сортов вторичной гексаплоидной тритикале: Дис. ...канд. биол наук: 06.01.05. М.: РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, 2015. 166 с.
10. Национальный стандарт Российской Федерации ГОСТ Р 52325-2005. Семена сельскохозяйственных растений. Сортовые и посевные качества. Общие технические условия: Издание официальное. М.: Стандартинформ, 2005. 19 с.
11. Пыльнев В.М., Рыжеева О.И., Кривенко А.А. Особенности цветения и опыления разных форм озимого тритикале // В кн.: Репродуктивный процесс и урожайность полевых культур. Одесса: ВСГИ, 1981. С. 27–40.
12. Рубец В.С., Митрошина О.В., Пыльнев В.В. Особенности избирательности оплодотворения у тритикале (*Triticosecale* Wittm.) // Известия ТСХА. М.: Изд-во РГАУ-МСХА, 2014. Вып. 6. С. 15–37.
13. Симинел В.Д., Кильчевская О.С. Особенности биологии цветения, опыления и оплодотворения тритикале. Кишинев: «Штиинца», 1984. 152 с.
14. Смиряев А.В., Кильчевский А.В. Генетика популяций и количественных признаков. М.: КолосС, 2007. 272 с.
15. Федорова Т.Н., Колесникова О.С., Чичкин С.Н. Биологические особенности цветения окто- и гексаплоидных тритикале // Сельскохозяйственная биология, 1982. Т. 17. № 3. С. 352–357.
16. Чеботарь А.А., Челак В.Р., Мошковиц А.М., Архипенко М.Г. Эмбриология зерновых, бобовых и овоще-бахчевых возделываемых растений. Кишинев: «Штиинца», 1987. 225 с.
17. Шевченко В.Е., Павлюк А.П., Дьяконов А.А. Районированные сорта и гибриды полевых культур в ЦЧР. Воронеж: ВГАУ, 1998. 292 с.
18. Шевченко В.Е., Шпилев Н.С. Биология цветения яровых гексаплоидных ($2n = 42$) тритикале // Науч. тр. НИИСХ ЦЧП, 1978. Т. 15. Вып. 3. С. 41–43.
19. Шпилев Н.С. Метод определения ксеногамии у сельскохозяйственных культур // Селекция и семеноводство. 2003. № 3. С. 12–13.
20. Hills M., Hall L., Messenger D., Graf R., Beres B., Eudes F. Evaluation of crossability between triticale (*X Triticosecale* Wittmack) and common wheat, durum wheat and rye. / Environmental Biosafety Research, 2007. Vol. 6 (4). P. 249–257.
21. Kociuba W., Kramek A. The analysis of some characteristics of triticale flowering biology suitable for breeding and reproduction of cultivars // Annales Universitatis Mariae Curie — Sklodowska, Agricultura, 2004. Vol. 59. № 1. P. 115–117.

THE INFLUENCE OF SPONTANEOUS HYBRIDIZATION ON TRITICALE (\times TRITICOSECALE WITTM.) PLANTINGS VARIETAL PURITY

V.S. RUBETS, A.V. SHIROKOLAVA, V.V. PYLNEV

(Russian Timiryazev State Agrarian University)

The spontaneous hybridization rate was measured between three white-spiked cultivars-receivers (line 21759/97, 'Valentin' and 'Germes') and different pollen-suppliers (diploid and tetraploid rye, hexaploid wheat, hexaploid triticale). The influence of biological contamination by spontaneous hybrids on varietal purity of triticale plantings was studied in the Non-Chernozem zone. It was shown that the spontaneous hybridization with diploid rye and common wheat has no effects on triticale's varietal purity; but with tetraploid rye and other triticale cultivars it has significant impact. The weather during blossoming influenced the spontaneous hybridization rate for triticale cultivars with low tendency to cross-pollination ('Valentin' and 'Germes'), but for cultivars with high tendency (line 21759/97) it did not have any effect. Triticale chasmogamous blossoming rate did not influence spontaneous hybrids content in progeny.

Key words: triticale, common wheat, diploid rye, tetraploid rye, blossoming, spontaneous hybridization, biological contamination, seed class, varietal purity.

Рубец Валентина Сергеевна — к. б. н., доц. кафедры генетики, биотехнологии, селекции и семеноводства РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева (127550, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49; тел.: (499) 976-12-72; e-mail: selection@timacad.ru).

Широколава Алексей Валерьевич — асп. кафедры генетики, биотехнологии, селекции и семеноводства РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева (127550, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49; тел.: (499) 976-12-72).

Пыльнев Владимир Валентинович — д. б. н., проф. кафедры генетики, биотехнологии, селекции и семеноводства РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева (127550, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49; тел.: (499) 976-12-72, e-mail: selection@timacad.ru).

Rubets Valentina Sergeevna — PhD in Biology, Associate Professor of the Department of Genetics, Biotechnology, Plant Breeding and Seed Production, Russian Timiryazev State Agrarian University (127550, Moscow, Timiryazevskaya str., 49; tel.: +7 (499) 976-12-72; e-mail: selection@timacad.ru).

Shirokolava Aleksey Valerievich — PhD-student of the Department of Genetics, Biotechnology, Plant Breeding and Seed Production, Russian Timiryazev State Agrarian University (127550, Moscow, Timiryazevskaya str., 49; tel.: +7 (499) 976-12-72; e-mail: selection@timacad.ru).

Pylynev Vladimir Valentinovich — PhD in Biology, Professor of the Department of Genetics, Biotechnology, Plant Breeding and Seed Production, Russian Timiryazev State Agrarian University (127550, Moscow, Timiryazevskaya str., 49; tel.: +7 (499) 976-12-72; e-mail: selection@timacad.ru).