

ОБРАЗЦЫ ПРЯДИЛЬНОГО И МАСЛИЧНОГО ЛЬНА (*Linum usitatissimum* L.) — ИСТОЧНИКИ ЭФФЕКТИВНЫХ ГЕНОВ УСТОЙЧИВОСТИ К ФУЗАРИОЗНОМУ УВЯДАНИЮ И ЕЕ ЗАВИСИМОСТЬ ОТ ТЕМПЕРАТУРЫ

Т.А. РОЖМИНА, Н.И. ЛОШАКОВА

Фузариозное увядание льна, вызываемое преимущественно грибом *Fusarium oxysporum* f. *lini*, — одно из наиболее вредоносных и распространенных заболеваний культуры. Для повышения эффективности селекции прядильного и масличного льна на устойчивость к патогену необходим достаточный запас источников, обладающих эффективными R-генами. Создание моногенных по признаку устойчивости к заболеванию сортов льна позволит сократить срок их выведения и обеспечит существенное подавление болезни. В настоящем исследовании мы провели оценку образцов мирового генофонда *Linum usitatissimum* L. на устойчивость к высокоагрессивным моноизолятам *Fusarium oxysporum* f. *lini*, а также изучили влияние температурного фактора на экспрессивность R-генов устойчивости к фузариозному увяданию. Исследования проводили в 2006–2010 годах на 28 коллекционных образцах прядильного и масличного льна, характеризующихся высокой устойчивостью к популяции гриба *F. oxysporum* f. *lini*. В работе использовали высокоагрессивные моноизоляты и наиболее распространенные расы возбудителя. Для идентификации генов устойчивости были выполнен анализ гибридов F₂ от скрещиваний изучаемых образцов с линиями, обладающими известными R-генами, на фоне с моноизолятом № 39 *F. oxysporum* f. *lini*. Закладку питомников и оценку материала осуществляли в естественных условиях вегетационного опыта (посев в ящики) и при регулируемом температурном режиме в климатической камере. Степень поражения растений льна фузариозным увяданием подсчитывали в фазу ранней желтой спелости. Проводили ранжирование сортов и коллекционных образцов по устойчивости к фузариозному увяданию. Было выделено 16 образцов прядильного и масличного льна, обладающих эффективными генами устойчивости к фузариозному увяданию. Реакция остальных 12 образцов на заражение различными изолятами указывала на недостаточную эффективность генов устойчивости к патогену, причем в зависимости от условий года наблюдалось усиление агрессивности отдельных рас возбудителя. Результаты гибридологического анализа подтвердили данные фитопатологического тестирования, указывающие на генетические различия образцов № 3896, л. 6 (Россия); Siciliana 285, л. 4 (Италия) и Honkej 21, л. 4 (Китай), устойчивость которых к фузариозному увяданию детерминировалась эффективными генами — соответственно *Fu 4*, *Fu 7* и *Fu 8*. Установлено, что при температуре воздуха 26–28 °C в период всходы—«елочка» экспрессивность генов устойчивости к заболеванию может снижаться вследствие повышения агрессивности отдельных рас возбудителя. Экспрессивность гена *Fu 7* была в значительной мере подвержена влиянию повышенных температур воздуха. При этом эффективность R-генов образца к-5657 (Minnesota, США) не зависела от температурного фактора. Использование в селекционном процессе прядильного и масличного льна новых источников, обладающих различными генами устойчивости к фузариозному увяданию, позволит избежать эпифитотий этого заболевания, а также будет способствовать стабилизации и дальнейшему росту урожайности и качества продукции льна.

Ключевые слова: лен-долгунец, лен масличный, устойчивость, фузариозное увядание, генетические источники, температурный фактор.

Лен (*Linum usitatissimum* L.) обладает высокими адаптивными свойствами, поэтому разные его виды возделываются практически на всей территории России: в северных широтах — лен-долгунец (*Linum usitatissimum* L. f. *elongate*), в средней и южной части страны — лен масличный (*Linum usitatissimum* L. var. *intermedia*) (1).

Фузариозное увядание, вызываемое грибом *Fusarium oxysporum* f. *lini*, — одно из наиболее вредоносных заболеваний культуры во всех странах, где выращивают лен (2–4). Многие современные отечественные и зарубежные сорта льна характеризуются высокой и средней устойчивостью к этому заболеванию (5–7). Вместе с тем существует опасность потери их устойчивости вследствие изменения состава популяции возбудителя, значительной генетической однородности сортового материала, несоблюдения

севооборотов и воздействия климатических факторов (8-10). Устойчивость льна к фузариозному увяданию может определяться генами горизонтальной (11, 12) и вертикальной устойчивости (13-15).

Поскольку передача инфекции происходит главным образом через почву и протекает с меньшей скоростью, чем в случае заболеваний, распространяемых с помощью ветра, воды и насекомых, то к фузариозному увяданию применима защита, обусловленная единичными эффективными генами (16, 17). Так, сорт Л-1120, созданный более полувека назад, входит в родословную большинства отечественных сортов льна-долгунца и обеспечивает их устойчивость к фузариозному увяданию, детерминируемую двумя R-генами (18). Преимущество такого подхода состоит в сокращении срока выведения моногенных сортов и значительном подавлении болезни.

Первые сведения о фузариозном увядании на льне получены еще в конце XIX века, однако до настоящего времени у льна идентифицировано всего три гена устойчивости к этой болезни (19): два гена у сорта Dakota и один — у сорта Punjab, который в условиях России неэффективен (20). Не исследована и реакция известных R-генов льна на изменения факторов внешней среды. Ограниченнность запаса эффективных генов устойчивости к *F. oxysporum* f. *lini*, а также отсутствие информации об их надежности существенно снижают результативность программ селекции льна.

В настоящей работе мы выделили образцы прядильного и масличного льна, обладающие эффективными генами устойчивости к фузариозному увяданию в условиях Нечерноземной зоны России, и впервые установили снижение экспрессивности некоторых генов при температуре воздуха выше 25 °C.

Целью нашего исследования было выявление в мировой коллекции льна образцов с различными эффективными генами устойчивости к фузариозному увяданию и оценка влияния температурного фактора на их экспрессивность для обеспечения надежной и долговременной защиты новых сортов от заболевания в условиях изменения климата.

Методика. Исследования проводились в 2006-2010 годах. Материалом служили 28 коллекционных образцов прядильного и масличного льна (*Linum usitatissimum* L.), характеризующихся высокой устойчивостью к популяции гриба *F. oxysporum* f. *lini*, включающей штаммы из различных регионов Российской Федерации (21). Проведено их фитопатологическое тестирование на устойчивость к высокоагрессивным моноизолятам и наиболее распространенным расам возбудителя — №№ 39, 187, 200 (раса 12), 259 (раса 15), 282, 326, 293 и 284 (22).

Для идентификации генов устойчивости был выполнен анализ гибридов F₂ от скрещивания изучаемых образцов с линиями, обладающими известными R-генами, которые были выделены из образцов коллекции Всероссийского НИИ льна (23) — к-5240 (Г-4729, л. 3), к-5588 (г-2101-4-7, л. 7), к-4241 (Querandi, л. 1), к-3978 (Currong, л. 3), к-3510 (Roja, л. 8), к-3218 (Dakota, л. 8), к-1771 (Linota, л. 12), к-5064 (Родник, л. 2), а также с линиями-донорами л. 303/8 BC₂ (к-5588, г-2101-4-7, л. 7 × к-5324, AP5) и л. 252/7 BC₂ (к-3510, Roja, л. 8 × к-5323, AP4). Опыты проводили на фоне с моноизолятом № 39 *F. oxysporum* f. *lini*.

Закладку питомников и оценку материала осуществляли в естественных условиях вегетационного опыта (посев в ящики) и при регулируемом температурном режиме (26-28 °C) в климатической камере в соответствии с методическими указаниями (24).

Степень поражения растений льна фузариозным увяданием подсчитывали в фазу ранней желтой спелости по общепринятой в практике

фитопатологии формуле:

$$Рб = \frac{\Sigma(a \times б) \times 100}{A \times K} ,$$

где Рб — степень развития болезни, %; а — число растений с одинаковыми признаками поражения; б — соответствующий этому признаку балл поражения; Σ — сумма произведений числовых показателей; А — число здоровых и больных растений в учете; К — высший балл учетной шкалы.

При фитопатологическом анализе стеблей льна степень поражения оценивали по 4-балльной шкале: 0 — отсутствие поражения, здоровое растение; 1 — частичное побурение растения, одностороннее побурение стебля; 2 — побурение всего растения с коробочками; 3 — полностью бурое, погибшее или отмершее до образования коробочек растение.

Ранжирование сортов и коллекционных образцов льна по устойчивости к фузариозному увяданию проводили на основании результатов учета степени поражения, или процента пораженных растений: до 20 % — устойчивые (У); с 20 до 30 % — слабовосприимчивые (УВ); с 30 до 50 % — средневосприимчивые (ВУ), свыше 50 % — сильно восприимчивые (В) (24).

Статистическую обработку данных выполняли с использованием методики D.R. Metcalfe (25).

Результаты. Ранее мы идентифицировали восемь генов устойчивости льна к *F. oxysporum* f. *lini*, эффективных в условиях России (табл. 1).

1. Известные гены устойчивости льна (*Linum usitatissimum* L.) к фузариозному увяданию, вызываемому грибом *Fusarium oxysporum* f. *lini* (26)

Ген	Линия	Автор
<i>Fu 1</i>	Dakota, л. 48-94 (к-3218, США)	Knowles et al., 1955
<i>Fu 2</i>	Dakota, л. 48-94 (к-3218, США)	Knowles et al., 1955
	Dakota, л. 8 (к-3218, США)	Рожмина, 2000
<i>Fu 3</i>	Punjab, л. 53 (к-3217, Индия)	Knowles et al., 1956
<i>Fu 4</i>	Г-4729, л. 3 (к-5240, Россия)	Рожмина, 1989
	№ 340, л. 7 (к-4263, Аргентина)	Рожмина, 1994
	Areco, л. 4 (к-5568, Голландия)	Рожмина, 2005
	Atalante, л. 2 (к-5575, Голландия)	Рожмина, 2005
<i>Fu 5</i>	Querandi, л. 1 (к-4241, Аргентина)	Рожмина, 1994
	K-65, л. 1 (к-6266, Республика Беларусь)	Рожмина, 2012
<i>Fu 6</i>	Currong, л. 3 (к-3978, Австралия)	Рожмина, 1994
<i>Fu 7</i>	Roja, л. 8 (к-3510, Канада)	Рожмина, 1994
<i>Fu 8</i>	г-2101-4-7 (к-5588, Россия)	Рожмина, 1997
	Родник, л. 8 (к-5064, Республика Беларусь)	Рожмина, 2000
	Z 95199 (к-6385, Румыния)	Рожмина, 2008
<i>Fu 9</i>	Родник, л. 8 (к-5064, Республика Беларусь)	Рожмина, 2002
<i>Fu 10</i>	Linota, л. 12 (к-1771, Аргентина)	Рожмина, 2005

Приимечание. Гены *Fu 2*, *Fu 4*, *Fu 5*, *Fu 6*, *Fu 7*, *Fu 8*, *Fu 9* и *Fu 10* эффективны в условиях Российской Федерации. Представлены образцы коллекции Всероссийского НИИ льна.

В результате фитотестирования в условиях вегетационного опыта выявили 16 образцов с высокой устойчивостью ко всем восьми монокультурам *F. oxysporum* f. *lini*, что указывает на наличие у них эффективных R-генов в условиях Нечерноземной зоны России. Реакция остальных 12 образцов на заражение различными изолятами указывала на недостаточную эффективность генов устойчивости к патогену (табл. 2). При этом в зависимости от условий года наблюдалось усиление агрессивности некоторых рас возбудителя: в 2008 году — монокультур №№ 259 (раса 15) и 326, в 2006 году — монокультура № 282. В 2006 году отмечали поражение практически всех 12 образцов одним или несколькими монокультурами возбудителя (исключением стал только к-6217).

На основании полученных результатов можно сделать вывод о генетическом разнообразии образцов льна по признаку устойчивости к заболеванию, а также о генетических различиях самих монокультур.

Тестиирование 16 образцов, проявивших в условиях вегетационного опыта высокую устойчивость к популяции и некоторым моногибридам возбудителя, продолжили в климатической камере при оптимальном для *F. oxysporum* f. *lini* температурном режиме (26–28 °C) (в таких условиях отмирание растений льна отмечается на ранних стадиях). Полученные результаты указывали на усиление агрессивности моногибридов №№ 187, 282 и 326 при повышенной температуре воздуха в период всходы—«елочки» (табл. 3).

2. Реакция коллекционных образцов льна (*Linum usitatissimum* L.) на заражение различными моногибридами *Fusarium oxysporum* f. *lini* в разные годы (вегетационный опыт, Всероссийский НИИ льна, Тверская обл.)

Номер по каталогу ВНИИЛ, название, происхождение образца	Год	Номер моногибрида							
		39	187	200	259	282	326	293	284
к-5645, Linda, Франция	2006	И	ВУ	И	И	И	У	И	У
	2008	У	И	—	В	УВ	ВУ	—	—
к-5047, Buenos Aires, Аргентина	2006	У	У	И	У	ВУ	У	И	ВУ
	2008	ВУ	УВ	—	ВУ	УВ	ВУ	—	—
к-5656, Michail, Франция	2006	ВУ	У	И	У	ВУ	УВ	И	И
	2008	У	И	—	ВУ	У	ВУ	—	—
к-5317, г-1847-4-1, Россия	2006	ВУ	ВУ	У	У	ВУ	УВ	И	У
	2008	ВУ	ВУ	—	ВУ	В	ВУ	—	—
к-4830, № 363-4, Франция	2006	И	В	И	УВ	ВУ	ВУ	И	У
	2008	У	И	—	—	У	И	—	—
к-4626, Д-1444-66, Республика Беларусь	2006	В	УВ	У	У	В	ВУ	И	УВ
	2008	И	И	—	И	У	У	—	—
к-4830, С-108, Россия	2006	В	В	У	У	В	В	У	ВУ
	2008	ВУ	ВУ	—	УВ	ВУ	В	—	—
к-4613, Факел, Россия	2006	ВУ	В	УВ	В	В	В	И	В
	2008	И	И	—	И	У	У	—	—
к-5246, л. 07-107, Россия	2006	В	В	И	УВ	В	В	У	И
	2008	ВУ	ВУ	—	ВУ	ВУ	У	—	—
к-317, Л-1120, Россия	2006	В	В	И	И	В	В	ВУ	ВУ
	2008	УВ	В	—	ВУ	У	УВ	—	—
к-6264, Artemida, Польша	2006	УВ	В	И	У	ВУ	У	И	УВ
	2008	В	ВУ	—	ВУ	ВУ	В	—	—
к-6217, V-874410, Китай	2006	И	И	И	И	У	И	И	УВ
	2008	УВ	В	—	В	ВУ	В	—	—
Стандарт Славный 82		В	В	В	В	В	В	В	В

П р и м е ч а н и е. ВНИИЛ — Всероссийский НИИ льна; И — иммунный тип реакции, У — степень поражения растений от 1 до 20 %, УВ — от 21 до 30 %, ВУ — от 31 до 50 %, В — более 50 %. Прочерки означают отсутствие данных.

3. Реакция коллекционных образцов прядильного и масличного льна (*Linum usitatissimum* L.), устойчивых к фузариозному увяданию, на заражение различными моногибридами *Fusarium oxysporum* f. *lini* в условиях климатической камеры при температуре 26–28 °C (период всходы—«елочки»)

Номер по каталогу ВНИИЛ, название, происхождение образца	Ботаническая форма	Номер моногибрида				
		39	187	259	282	326
к-5657, Minnesota, США	Межеумок	У	И	И	И	УВ
к-1709, Redwing Sel., США	Межеумок	У	И	УВ	У	ВУ
к-5245, л. к-6746, Россия	Долгунец	У	ВУ	И	ВУ	У
к-6333, Швеция	Межеумок	ВУ	ВУ	У	ВУ	УВ
к-5383, Honkei 21, Китай	Долгунец	УВ	В	И	УВ	У
к-5635, № 3896, Россия	Межеумок	УВ	УВ	У	В	УВ
к-6268, Сигнал, Республика Беларусь	Долгунец	УВ	У	У	В	У
к-5404, Honkei 41, Китай	Долгунец	У	У	У	В	УВ
к-4972, 4025/15, Украина	Долгунец	И	У	У	В	УВ
к-5327, КЛН, Россия	Долгунец	У	ВУ	УВ	В	ВУ
к-5365, Honkei 334, Китай	Долгунец	УВ	ВУ	И	В	ВУ
к-5396, Honkei 35, Китай	Долгунец	У	ВУ	И	В	ВУ
к-5413, Minamishi, Япония	Долгунец	ВУ	ВУ	У	В	ВУ
к-4056, Siciliana 285, Италия	Крупносемянный	УВ	В	И	В	ВУ
к-6339, Fr-681, Канада	Межеумок	УВ	ВУ	И	ВУ	В
к-6215, № 8714/2, Китай	Долгунец	ВУ	ВУ	И	ВУ	В

П р и м е ч а н и е. ВНИИЛ — Всероссийский НИИ льна (Тверская обл.); И — иммунный тип реакции, У — степень поражения растений от 1 до 20 %, УВ — от 21 до 30 %, ВУ — от 31 до 50 %, В — более 50 %.

По реакции на заражение различными изолятами возбудителя в ус-

ловиях климатической камеры (26–28 °C) образцы разделили на группы: к-5657 (Minnesota) — высокостойчивы ко всем моногенам возбудителя; к-5383 (Honkei 21) — восприимчивы (поражено свыше 50 % растений) к моногенам № 187; к-5635 (№ 3896), к-5327 (КЛН), к-6268 (Сигнал), к-4972 (4025/15), к-5404 (Honkei 41), к-5365 (Honkei 334), к-5396 (Honkei 35), к-5413 (Minamishi) — восприимчивы к моногенам № 282; к-6339 (Fr-681), к-6215 (№ 8714/2) — восприимчивы к моногенам № 326; к-4056 (Siciliana 285) — восприимчив к моногенам №№ 187 и 282.

Можно предположить, что устойчивость образцов из этих групп детерминируется различными R-генами, экспрессивность которых в той или иной мере подвержена влиянию температурного фактора вследствие изменения агрессивности некоторых рас возбудителя. Образцы, находящиеся в одной группе и восприимчивые к одному и тому же моногену, но при этом сохраняющие устойчивость к другим, были генетически близки.

В результате анализа гибридов F₂ от скрещивания линий с разными генами устойчивости к фузариозному увяданию с образцами к-4056 (Siciliana-285, л. 3, Италия), к-5635 (№ 3896, л. 6, Краснодарский край) и к-5383 (Honkei 21, л. 4, Япония) был выявлен преимущественно дигенный характер расщепления (χ^2 от 0 до 3,75) (табл. 4). Следовательно, устойчивость исследуемых линий определялась одним эффективным геном, отличавшимся от R-генов линий, с которыми была проведена гибридизация. Исключение составила гибридная комбинация с участием сорта Родник (соотношение устойчивых и восприимчивых растений 63:1), поскольку устойчивость этой линии детерминировалась двумя доминантными генами.

4. Расщепление по устойчивости к моногенам № 39 *Fusarium oxyopogon* f. *lini* в F₂, полученном от скрещивания между устойчивыми линиями льна (*Linum usitatissimum* L.) (Всероссийский НИИ льна, Тверская обл., 2008–2010 годы)

Гибридная комбинация	Ген Fu	Соотношение фенотипов R:S		χ^2	P
		фактическое	теоретическое		
к-3218 (Dakota, л. 8) × к-5383 (Honkei 21, л. 4)	2	139:11	15:1	0,29	0,8-0,5
к-5240 (Г-4729, л. 3) × к-5383 (Honkei 21, л. 4)	4	131:4	15:1	2,46	0,2-0,05
к-4241 (Querandi, л. 1) × к-5383 (Honkei 21, л. 4)	5	226:12	15:1	0,57	0,5-0,2
к-3978 (Currong, л. 3) × к-5383 (Honkei 21, л. 4)	6	101:4	15:1	1,09	0,5-0,2
к-3510 (Roja, л. 8) × к-5383 (Honkei 21, л. 4)	7	74:5	15:1	0	< 0,99
л. 303/8 BC ₂ (к-5588, г-2101-4-7, л. 7 × к-5324, AP5) × к-5383 (Honkei 21, л. 4)	8	120:0			
к-1771 (Linota, л. 12) × к-5383 (Honkei 21, л. 4)	10	110:4	15:1	1,44	0,5-0,2
к-3218 (Dakota, л. 8) × к-4056 (Siciliana 285, л. 3)	2	185:19	15:1	3,20	0,2-0,05
к-5240 (Г-4729, л. 3) × к-4056 (Siciliana 285, л. 3)	4	153:7	15:1	0,96	0,5-0,2
к-4241 (Querandi, л. 1) × к-4056 (Siciliana 285, л. 3)	5	163:6	15:1	2,13	0,2-0,05
к-3978 (Currong, л. 3) × к-4056 (Siciliana 285, л. 3)	6	192:20	15:1	3,61	0,2-0,05
л. 252/7 BC ₂ (к-3510, Roja, л. 8 × к-5323, AP4) × к-4056 (Siciliana, л. 3)	7	149:0			
к-5064 (Родник, л. 8) × к-4056 (Siciliana 285, л. 3)	9	101:2	63:1	0,1	0,8-0,5
к-1771 (Linota, л. 12) × к-4056 (Siciliana 285, л. 3)	10	147:11	15:1	0,12	0,8-0,5
к-3218 (Dakota, л. 8) × к-5635 (№ 3896, л. 6)	2	208:13	15:1	0,05	0,95-0,8
к-5240 (Г-4729, л. 3) × к-5635 (№ 3896, л. 6)	4	92:0	—	—	—
к-4241 (Querandi, л. 1) × к-5635 (№ 3896, л. 6)	5	232:10	15:1	1,80	0,2-0,05
к-3978 (Currong, л. 3) × к-5635 (№ 3896, л. 6)	6	107:7	15:1	0	< 0,99
к-3510 (Roja, л. 8) × к-5635 (№ 3896, л. 6)	7	183:7	15:1	2,16	0,8-0,5
к-5588 (г-2101-4-7, л. 7) × к-5635 (№ 3896, л. 6)	8	141:6	15:1	1,19	0,5-0,2
к-1771 (Linota, л. 12) × к-5635 (№ 3896, л. 6)	10	97:3	15:1	3,75	0,2-0,05

П р и м е ч а н и е. R — устойчивый, S — чувствительный, χ^2 рассчитан с поправкой на неполную пенетрантность признака.

В гибридных популяциях F₂ л. 252/7 BC₂ (к-3510, Roja, л. 8 × к-5323, AP4) × к-4056, Siciliana 285, л. 3; F₂ к-5240, Г-4729, л. 3 × к-5635, № 3896, л. 6 и F₂ л. 303/8 BC₂ (к-5588, г-2101-4-7, л. 7 × к-5324, AP5) × к-5383, Honkei 21, л. 4 расщепление отсутствовало, что указывает на идентичность генов устойчивости у пар, входящих в гибридную комбинацию.

Результаты гибридологического анализа подтвердили данные фитопатологического тестирования, указывающие на генетические различия исследуемых образцов по устойчивости к заболеванию. Этот признак у них был детерминирован следующими генами: Siciliana 285, л. 3 — *Fu 7*; Honkej 21, л. 4 — *Fu 8*; № 3896, л. 6 — *Fu 4*. Высокая устойчивость перечисленных образцов к патогену в условиях Нечерноземной зоны России свидетельствует об эффективности идентифицированных R-генов.

Различия в устойчивости генотипов, выявленные при фитотестировании, можно объяснить тем, что идентифицированные у льна гены представляют собой тесно сцепленные блоки, которые обеспечивают эффект моногенного контроля (26). Вместе с тем некоторые гены этих олигогенов могут быть подвержены влиянию температурного фактора, что приводило к снижению экспрессивности (например, у гена *Fu 7*).

Таким образом, с использованием фитопатологического теста из мирового генофонда культуры выделено 16 образцов прядильного и масличного льна, обладающих эффективными генами устойчивости к фузариозному увяданию в условиях Нечерноземной зоны России. Установлено усиление агрессивности у части рас патогена при температуре воздуха выше 25 °С и снижение экспрессивности некоторых генов устойчивости. В наибольшей мере влиянию повышенных температур воздуха оказался подвержен ген *Fu 7*, контролирующий устойчивость у линии Siciliana 285, которая при температуре 26–28 °С становилась восприимчива к моноизолятам № 187, № 282 и среднеустойчива к № 326. У образца к-5657, Minnesota (США) экспрессивность генов устойчивости к *Fusarium oxysporum* f. *lini* не зависела от температурного фактора. Коллекция льна по устойчивости к фузариозному увяданию пополнилась тремя новыми генетическими источниками, обладающими эффективными R-генами: Siciliana 285, л. 3 (Италия) — *Fu 7*, Honkej 21, л. 4 (Китай) — *Fu 8* и № 3896, л. 6 (Россия) — *Fu 4*. Использование вновь выделенных генетических источников устойчивости с различными эффективными генами в программах селекции прядильного и масличного льна имеет важное значение для предотвращения возможности эпифитотий этого заболевания на культуре.

ЛИТЕРАТУРА

1. Жученко А.А., Рожмина Т.А., Понажев В.П., Павлова Л.Н., Тихомирова В.Я., Сорокина О.Ю. Эколо-генетические основы селекции льна-долгунца. Тверь, 2009.
2. Kroes I., Rashid K., Trouve J.-P., Domberg G., Hammoud J., Wullmers E., Rozhmina T., Keiser P., Lange W. Assessment of resistance to *Fusarium oxysporum* f. sp. *lini* in flax and linseed across locations and years. Aspects of resistance of flax and linseed (*Linum usitatissimum*) *Fusarium oxysporum* f. sp. L. Wageningen, 1997: 105–137.
3. Kroes G.M.L.W., Löffler H.J.M., Parlevliet J.E., Keizer L.C.P., Lange W., Interactions of *Fusarium oxysporum* f. sp. *lini*, the flax wilt pathogen, with flax and linseed. Plant Pathol., 1999, 48: 491–498.
4. Rashid K. Principal diseases of flax. In: Flax. The genus *Linum*. London—NY, 2003: 74–92.
5. Diederichsen A., Rozhmina T., Kudrjavceva L., Zhuchenko A., Jr. Variation patterns within 153 flax (*Linum usitatissimum* L.) genebank accessions based on evaluation for resistance to fusarium wilt, anthracnose and pasmo. Plant Genetic Resources: Characterization and Utilization, 2008, 6(1): 22–32.
6. Kumar M., Tripathi U.K., Tomer A., Kumar P., Singh A. Screening of linseed germplasm for resistance. Tolerance against *Fusarium oxysporum* f. sp. *lini* (Bolley) disease. Plant Pathol. Microbiol., 2014, 5: 235 (doi: 10.4172/2157-7471.1000235).
7. Mpolu S.I., Rashid K.Y. Vegetative compatibility groups within *Fusarium oxysporum* f. sp. *lini* from *Linum usitatissimum* (flax) wilt nurseries in western Canada. Journal of Botany, 2011, 79(7): 836–843.
8. Gruždevienė E., Brazauskienė I., Repečkienė J., Lugauskas A. The occurrence of pathogenic fungiduring flax growing seasonin central Lithuania. Journal of Plant

- Protection Research, 2008, 48(2): 255-264.
9. Lin Yuan, Na Mi, Shanshan Liu, Hui Ziqin Li. Genetic diversity and structure of the *Fusarium oxysporum* f. sp. *lini* populations on linseed (*Linum usitatissimum*) in China. Phytoparasitica, 2013, 41: 391-401 (doi: 10.1007/s12600-013-0300-6).
 10. Шиндин А.П., Захарова Л.М., Павлова Л.Н., Рожмина Т.А. Лен. Технологии возделывания и защиты от вредных организмов. М., 2012.
 11. Дынник В.П., Евминов В.Н. Наследование устойчивости гибридов льна-долгунца к фузариозному увяданию. Лен и конопля, 1982, 5: 33-34.
 12. Pavalek M. Dedicnost horisontalni resistance pradneho lnu proti fusarioze. Len a konopi (Czech Republic), 1983, 19: 7-164.
 13. Spielmeyer W., Lagudah E.S., Mendham N., Green A.G. Inheritance of resistance to flax wilt (*Fusarium oxysporum* f. sp. *lini*) in a doubled haploid population of *Linum usitatissimum* L. Euphytica, 1998, 101: 287-291 (doi: 10.1023/A:1018353011562).
 14. Рожмина Т.А. Генетическое разнообразие вида *L. usitatissimum* и его использование в селекции на устойчивость к абиотическим и биотическим факторам среды. В сб.: Генетические основы селекции. Уфа, 2008: 233-247.
 15. Kumar N., Paul S., Kumar A., Jamwal N.S. Inheritance of gene conferring resistance to wilt (*Fusarium oxysporum* f. sp. *lini*) disease of linseed (*Linum usitatissimum* L.) in North West Himalayas. Electronic Journal of Plant Breeding, 2015, 6(4): 1108-1110.
 16. Hall L.M., Booker H., Siloto R.M.P., Jhalala A.J., Weselake R.J. Flax (*Linum usitatissimum* L.). In: Industrial oil crops /T. McKeon, D. Hayes, D. Hildebrand, R. Weselake (eds.). AOCS Press, Elsevier Inc., 2016: 157-194 (doi: 10.1016/B978-1-893997-98-1.00006-3).
 17. Рожмина Т.А. Доноры устойчивости льна к фузариозному увяданию. В сб.: Идентифицированный генофонд растений и селекция. СПб, 2005: 406-419.
 18. Рожмина Т.А. Генетическое разнообразие льна (*Linum usitatissimum*) и его комплексное использование в селекции. Автореф. докт. дис. СПб, 2004.
 19. Кутузова С.Н. Генетика льна. В сб.: Генетика культурных растений. СПб, 1998: 6-52.
 20. Голубев А.Е., Рожмина Т.А., Понажев В.П., Рыжов А.И., Рыжов И.А., Семин М.И. Селекционно-генетические основы сырьевого обеспечения льноводства. М., 2010.
 21. Лошакова Н.И., Кудрявцева Л.П., Павлова Л.Н., Рожмина Т.А. Роль «Коллекции фитопатогенных микроорганизмов — возбудителей болезней льна» в селекции льна на групповую устойчивость к болезням. Масличные культуры (науч.-техн. бюл. ВНИИМК, Краснодар), 2014, 2(159-160): 172-178.
 22. Лошакова Н.И. Идентификация рас возбудителя фузариоза льна и определения их вирулентности для целей селекции. В сб.: Селекция, семеноводство, агротехника, экномика и первичная обработка льна-долгунца. Торжок, 2002: 44-47.
 23. Жученко Т.А., Рожмина Т.А. Мобилизация генетических ресурсов льна. Старица, 2000.
 24. Лошакова Н.И., Крылова Т.В., Кудрявцева Л.П. Методические указания по фитопатологической оценки устойчивости льна-долгунца к болезням. Торжок, 2000.
 25. Metcalfe D.R., Helgason S.B. Inheritance of loose smut resistance. Canad. J. Plant Sci., 1962, 42(3): 472-480.
 26. Рожмина Т.А. Селекционно ценные гены устойчивости к фузариозному увяданию у льна. Достижения науки и техники АПК, 2015, 12: 47-49.

**ФГБНУ Всероссийский НИИ льна,
172002 Россия, Тверская обл., г. Торжок, ул. Луначарского, 35,
e-mail: vniil@mail.ru**

*Поступила в редакцию
19 марта 2015 года*

Sel'skokhozyaistvennaya biologiya [Agricultural Biology], 2016, V. 51, № 3, pp. 310-317

NEW SOURCES OF EFFECTIVE RESISTANCE GENES TO FUSARIUM WILT IN FLAX (*Linum usitatissimum* L.) DEPENDING ON TEMPERATURE

T.A. Rozhmina, N.I. Loshakova

All-Russian Flax Research Institute, Federal Agency of Scientific Organizations, 35, ul. Lunacharskogo, Torzhok, Tver' Province, 172002 Russia, e-mail vniil@mail.ru

Received March 19, 2015

doi: 10.15389/agrobiology.2016.3.310eng

Abstract

Fusarium wilt caused mainly by fungus *Fusarium oxysporum* f. *lini*, is one of the most harmful and widespread diseases in flax. To increase the efficiency of breeding faber and oil flax plants resistant to the pathogen, the sufficient set of the parent plants possessing effective R-genes is necessary. Development of monogene-based resistant varieties will allow to reduce the time required for breeding, and provide essential suppression of disease. In the present research we tested the resistance of world *Linum usitatissimum* L. gene pool specimens to highly aggressive *Fusarium oxysporum* f. *lini* monoisolates, and also studied how the expressivity of R-genes was influenced by the

temperature. The study was conducted in 2006-2010 using 28 collection flax specimens characterized by high resistance to *F. oxysporum* f. *lini* population. Also highly aggressive monoisolates and the most widespread races of the pathogen were used. To identify R-genes, the F₂ plants from crossing studied specimens with the lines possessing known R-genes were tested with monoisolate № 39 *Fusarium oxysporum* f. *lini*. To rank the specimens on fusarium wilt resistance, the tests were conducted in the nurseries and a climatic chamber at optimal temperature (26-28 °C), and the plant damage was estimated at early yellow ripeness or early development, respectively. A total of 16 specimens were shown to possess effective resistance genes. The other 12 specimens, when tested with different monoisolates, seemed not to be effectively resistant, moreover, their resistance decreased depending on an increased aggressiveness of some races of the pathogen due to weather conditions of the year. Hybridological analysis data were in line with phytopathological tests specifying genetic distinctions of specimens № 3896, l. 6 (Russia); Siciliana 285, l. 4 (Italy) and Honkej 21, l. 4 (China) with effective resistance genes Fu 4, Fu 7 and Fu 8, respectively. It was shown that at 26-28 °C during the seedlings—«herringbone» period an expressivity of resistance genes can decrease owing to increased aggressiveness of some races of the pathogen. At that, the effectiveness of Fu 7 gene was significantly influenced by the raised temperatures, whereas the effect of R-genes in the k-5657 (Minnesota, the USA) did not depend on the temperature. The found sources possessing various R-genes against fusarium wilt, when used in breeding, will help to avoid epiphytoty and to provide a sustainable flax production.

Keywords: fibre-flax, linseed, resistance, fusarial wilt, genetic sources, the temperature factor.

Научные собрания

МЕЖДУНАРОДНАЯ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ «ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТИ ОТЕЧЕСТВЕННЫХ СОРТОВ, СЕМЯН, ПОСАДОЧНОГО МАТЕРИАЛА И ТЕХНОЛОГИЙ НА МИРОВОМ РЫНКЕ»

(13-20 сентября 2015 года, г. Ялта)

Российская Федерация — перспективный производитель сортовых семян и гибридов для внутреннего и внешнего рынков. Однако, согласно данным департамента растениеводства, химизации и защиты растений Минсельхоза, в 2014 году доля высейных семян иностранных сортов ячменя ярового, кукурузы, подсолнечника, свеклы сахарной составила соответственно 16,4; 43,2; 50,3 и 93,9 %. Экспансия иностранных сортов и гибридов в большинстве случаев происходит не из-за более высокого генотипического потенциала, а за счет высоких технологий выращивания, тщательной подготовки посевного материала. Семеноводство традиционно остается «узким местом» в реализации достижений селекции и эффективном функционировании рынка сортовых семян, сдерживающим фактором развития растениеводства в стране. Чтобы защитить экономические интересы отечественных товаропроизводителей на мировом рынке, необходимо принять меры по повышению конкурентоспособности применяемых технологий, сортов, гибридов, семян и посадочного материала.

С этой целью Отделение сельскохозяйственных наук РАН, Министерство сельского хозяйства Российской Федерации и ФАНО России на базе Никитского ботанического сада-Национального научного центра в сентябре 2015 года провели Международную научно-практическую конференцию «Пути повышения конкурентоспособности отечественных сортов, семян, посадочного материала и технологий на мировом рынке». В конференции приняли участие ученые 14 Всероссийских, 22 региональных, 4 отраслевых НИИ, 7 опытных станций, 11 аграрных ВУЗов, 6 производственных предприятий, сотрудники МСХ РФ, РАН, ФАНО России, ФГБУ «Россельхозцентр», ФГБУ «Госсорткомиссия», «Госинспекция по испытанию и охране сортов сельскохозяйственных растений Республики Беларусь», «Госкомиссии по сортопротивлению сельскохозяйственных культур Республики Казахстан».

На пленарном заседании и секциях было заслушано 126 докладов, в подготовке которых принимало участие более 300 ученых. Среди них 18 академиков и членов-корреспондентов РАН и НААН Украины, 95 докторов наук. В рамках Международной научно-практической конференции была проведена сессия «Школы молодых ученых», цель которой — возбудить у молодых ученых интерес к проблемам инновационных направлений общей биологии, генетики, биотехнологии, а также менеджмента и маркетинга в области селекции и семеноводства.

Методологическое и теоретическое содержание, научное и практическое значение материалов, представленных на конференции, а также уровень ее организации отразил в своем выступлении академик РАН В.А. Драгавцев: «Конференция посвящена важнейшей в современных условиях тематике. Четко поставлены задачи, хорошо подобраны докладчики, которые представили общую картину состояния селекции и семеноводства в Российской Федерации и наметили обоснованные направления развития этих важнейших отраслей на перспективу». В ходе конференции особое внимание уделялось развитию селекции, семеноводства, питомниководства и биотехнологических основ размножения в Крыму.

(Полностью сообщение размещено на сайте журнала http://www.agrobiology.ru/seed_conf.pdf)