

3. Орлюк, А.П. Принципы трансгрессивной селекции пшеницы / А.П. Орлюк, В.В. Базалий. – Херсон, 1998. – 274с.

4. Малышкина, Ю.С. Определение степени доминирования эффекта гетерозиса и трансгрессии в питомнике гибридов люпина белого в условиях северо-востока Беларуси / Ю.С. Малышкина, Е.В. Равков, М.И. Лукашевич // Вестник Белорусской государственной сельскохозяйственной академии. – 2021. – № 1. – С. 103-108.

5. Гатальская, Д.В. Оценка гибридов люпина желтого по степени доминирования, проявление эффекта гетерозиса и трансгрессивности / Д.В. Гатальская, Е.В. Равков // Вестник Белорусской государственной сельскохозяйственной академии. – 2023. – № 3. – С. 98-101.

6. Вавилов, Н.И. Критический обзор современного состояния генетической теории селекции растений и животных // Генетика. – 1965. – №1. – С.20-40

7. Воскресенская, Г.С. Трансгрессия признаков у гибридов *Brassica* и методика количественного учета этого явления / Г.С. Воскресенская, В.И. Шпота // Доклады ВАСХНИЛ. – М.: Колос, 1967. – №7. – С. 18-20.

EVALUATION OF BREEDING VALUE OF F_2 , F_3 SPRING TRITICALE HYBRIDS BY THE DEGREE OF TRANSGRESSION OF AGRONOMIC CHARCTERS

Zh.S. Pilipenko, S.I. Grib

As a result of intraspecific and distant crosses, 15 hybrid combinations of spring triticale were obtained and the transgressive variability in plant height and yield structure elements (productive bushiness, number of spikelets and grains in an ear, grain weight per ear) in F_2 , F_3 hybrid progenies was evaluated. The isolated genotypes with a high degree of transgression are valuable recombinants for breeding of highly productive competitive varieties of spring triticale.

УДК 633.367.2:[631.527:526.32]

РЕЗУЛЬТАТЫ ОЦЕНКИ СЕЛЕКЦИОННОГО МАТЕРИАЛА ЛЮПИНА УЗКОЛИСТНОГО, СОЗДАННОГО С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДОВ ТРАДИЦИОННОЙ И МАРКЕР-СОПУТСТВУЮЩЕЙ СЕЛЕКЦИИ

М.Н. Крицкий, кандидат с.-х. наук, **А.А. Козловский**, научный сотрудник,

Н.В. Анисимова*, канд. биол. наук, **А.В. Кильчевский***, академик
РУП «Научно-практический центр НАН Беларуси по земледелию»

* Институт генетики и цитологии НАН Беларуси

(Дата поступления статьи в редакцию 14.03.2024)

Рецензент: Гордей С.И., кандидат биол. наук

Аннотация. В статье приводятся результаты изучения образцов люпина узколистного, созданных и оцененных с использованием методов традиционной и маркер-сопутствующей селекции по признакам: устойчивость к антракнозу, растрескиваемость бобов, содержание алкалоидов, склонность к яровизации, влагопроницаемость оболочки семян. Приведены основные характеристики нового сорта люпина узколистного Жакей с редуцированным ветвлением, созданного с использованием данных методик. Описываются основные

показатели продуктивности, качества семян, а также морфологические признаки.

Введение

Для увеличения объемов производства растительного белка в Республике Беларусь важная роль отводится люпину, посевные площади которого в перспективе планируется увеличить до 100 тыс. га, что даст возможность получить не менее 300 тыс. тонн зерна. Возделывание люпина в сельскохозяйственных предприятиях определяется необходимостью балансирования по белку концентрированных кормов, что в конечном итоге позволяет сократить импорт дорогостоящего высокобелкового сырья.

Создание технологичных и устойчивых к заболеваниям сортов люпина является одной из наиболее актуальных проблем современной селекции. В традиционную селекцию люпина все успешнее привлекаются молекулярно-генетические методы, которые способствуют успешному решению ряда задач и открывают новые перспективы для создания конкурентоспособных сортов.

Идентифицирован ряд генов, контролирующих формирование основных хозяйственно значимых признаков люпина и детерминирующих устойчивость к некоторым болезням. Выявлен ген, отвечающий за низкое содержание алкалоидов, получивший название *iucundus*; ген, отвечающий за проницаемость оболочки семян, – *mollis*; ген чувствительности к яровизации – *Ku*; гены, обеспечивающие нарастескиваемость бобов – *tardus* и *lentus* [1–5]. Устойчивость к антракнозу у узколистного люпина детерминирована геном *Lanr1* [6]. Имеется информация о том, что у некоторых сортов устойчивость к антракнозу определяется *R*-геном [7]. Использование ДНК-маркирования в процессе создания устойчивых сортов позволяет эффективно выявлять источники аллелей устойчивости и использовать их в селекционной работе.

Для экономически важных генов разработаны тесно с ними сцепленные ДНК-маркеры, которые позволяют проводить отбор ценных генотипов [1–7]. Вероятно, существуют и другие гены, влияющие на проявление хозяйственно значимых признаков, которые пока не идентифицированы. Выявление ценных генов и генетических источников устойчивости, разработка молекулярных маркеров значительно облегчают и ускоряют процесс селекции сортов люпина с необходимыми хозяйственными характеристиками и устойчивостью к болезням, а также значительно уменьшает трудоемкость и финансовые затраты на их создание.

Целью нашей работы было вовлечение в селекционный процесс люпина узколистного (*Lupinus angustifolius* L.) современных методик маркер-сопутствующей селекции для эффективного скрининга исходного материала и создания нового селекционного материала с улучшенными характеристиками с применением ДНК-маркеров к основным генам хозяйственно-ценных признаков и устойчивости к антракнозу, выявление перспективных образцов, несущих целевые аллели, оценка их в испытательных питомниках для последующей передачи в Государственное сортоиспытание нового сорта.

Материалы и методика исследований

Полевые исследования проводили в 2015–2019 гг. в селекционных питомниках и в условиях фитотронно-тепличного комплекса РУП «Научно-практический центр НАН Беларуси по земледелию». Почва опытного участка дерново-подзолистая, развивающаяся на водно-ледниковой супеси, подстилаемой с глубины 0,5 м мореным суглинком, связно-супесчаная. Характеризуется следующими агрохимическими показателями: pH_{KCl} – 6,2–6,4; содержание гумуса – 2,11–2,46 %; P_2O_5 – 200–260 мг/кг почвы; K_2O – 220–270 мг/кг почвы.

Закладка полевых экспериментов проводилась по общепринятым методам. В опытах изучались сорта и образцы люпина узколистного различного эколого-географического происхождения. Предшественник – озимые зерновые. В качестве контроля высевались сорта *Талант*, *Миртан*. Площадь делянки – 1–10 м². Повторность опыта – четырехкратная, расположение делянок – рендомизированное.

Агротехнические мероприятия проводились в сроки согласно технологическому регламенту. Фосфорно-калийные удобрения вносили общим фоном в основную заправку в дозе $P_{60}K_{90}$.

Молекулярно-генетические исследования проводили в ГНУ «Институт генетики и цитологии НАН Беларуси» с использованием соответствующих методик [5, 11].

Результаты исследований и обсуждение

В рамках выполнения совместного проекта РУП «Научно-практический центр НАН Беларуси по земледелию» и ГНУ «Институт генетики и цитологии НАН Беларуси» была проведена работа по отработке методики и оценке селекционного материала люпина узколистного. Для вовлечения в селекционный процесс люпина проводились мероприятия по отработке и использованию методики маркер-сопутствующей селекции люпина узколистного (*Lupinus angustifolius* L.) по признакам: устойчивость к антракнозу, растрескиваемость бобов, содержание алкалоидов, склонность к яровизации, влагопроницаемость оболочки семян. Одновременно проводилось получение нового и оценка созданного селекционного материала методами традиционной селекции, базирующейся на оценке морфологических, хозяйственно-полезных признаков, методов гибридологического анализа и межсортовой внутривидовой гибридизации с использованием гибридных селекционных питомников.

В результате проделанной работы выявлены образцы, обладающие хозяйственно-полезными признаками и представляющие интерес для селекции в условиях Беларуси. Анализ данных ДНК-типирования показал, что у всех образцов селекционного и коллекционного материала обнаружены культурные аллели следующих генов: *iucundus* (пониженное содержание алкалоидов), *Ku* (термонейтральность), *mollis* (влагопроницаемость оболочки семян), *lentus* (нерастрескиваемость бобов). По гену нерастрескиваемости бобов *tardus* в исследуемой коллекции выявлен полиморфизм. Около 20 % образцов несут дикий аллель, детерминирующий нежелательный признак самопроизвольного растрес-

кивания боба в процессе созревания. Однако около 14,5 % образцов показали наличие в гомо- или гетерозиготной форме дикого аллеля $TaLi^W$ (309 п.н.), обуславливающего преждевременное растрескивание боба. Выявлено несколько генотипов, у которых нежелательный дикий аллель $TaLi^W$ находится в гомозиготном состоянии. При отсутствии каких-либо ценных аллелей устойчивости подобные формы (6 номеров) целесообразно исключить из дальнейшей селекционной работы.

ДНК-типирование образцов люпина узколистного (*L. angustifolius* L.) с использованием ДНК-маркеров, связанных с генами, контролирующими устойчивость к антракнозу *R* (сорта Mandelup) и *Lanr1*, показало неоднородность исследуемой коллекции. Генотипирование по *R*-гену устойчивости выявило 4 образца, несущие фрагмент размером 226 п.н., близкий по размеру к устойчивому. Остальные образцы исследуемой коллекции демонстрируют наличие восприимчивых к антракнозу аллелей гена *R*. Аллель устойчивости к антракнозу DCAnS3 гена *Lanr1* несут 40 % изученных генотипов. Маркерный аллель DCAnS4 выявлен у 30 % образцов. Эти же образцы давали положительный результат при генотипировании с маркером DCAnS3, что позволяет с уверенностью утверждать о наличии у них гена устойчивости к антракнозу *Lanr1*. Фрагмент результатов генотипирования коллекционных и селекционных образцов люпина узколистного по генам устойчивости к антракнозу представлены в таблице 1.

Генотипирование исследуемых образцов с помощью маркера DCAnS показало наличие аллелей устойчивости у 14 из 41 проанализированных генотипов (34%).

По маркеру к гену устойчивости к антракнозу *R* сорта Mandelup 90 % проанализированных образцов несут аллели восприимчивости к данной болезни (212 и 214 п.н.). Образцы 17ks -1 msa, 17ks -5 msa, 17ks -6 msa показали наличие аллеля, характерного для сорта *Миртан* длиной 226 п.н., который на 2 нуклеотида короче аллеля устойчивости сорта *Mandelup* (228 п.н.). Образцы 17ks -5 msa, 17ks -6 msa гетерозиготны по гену *R*.

По гену нерастрескиваемости бобов *tardus* в исследуемой коллекции выявлен полиморфизм. Около 20 % образцов несут дикий аллель, детерминирующий нежелательный признак «самопроизвольное растрескивание боба» в процессе созревания.

По результатам оценки выделено 6 перспективных образцов с урожайностью семян выше контроля для исследования в 2020–2022 гг.

В результате проведенной генетико-селекционной работы создан сорт люпина узколистного *Жакей*. В таблице 2 приведены сводные результаты ДНК-типирования нового сорта люпина узколистного *Жакей* и образцов исследуемой коллекции люпина узколистного по ключевым генам нерастрескиваемости бобов.

Сорт *Жакей* (*Zhakei*) зернового направления использования с редуцированным симподиальным ветвлением первого порядка выведен методом индивидуального отбора растений из потомства 137-й гибридной комбинации.

Таблица 1 – Аллельное состояние генов устойчивости к антракнозу у образцов люпина узколистного (фрагмент)

Образец	Устойчивость к антракнозу		
	ген <i>R</i> (сорта Mandelup)	ген <i>Lanr1</i>	
	маркер AnMan M1	маркер DCAnS3	маркер DCAnS4
Мирган	226	R	S
КП-15 д.7 (Д х М) КСИ-2	214/ 226	R/S	S
КП-15 д.7 (Д х М) КСИ-3	214	S	S
КСИ-5 Гбр.66 (М х Т)	212 (226)	R	R/S
КСИ-6 (ТМ)	212	R	R/S
КСИ-9 (К-37)	226	R	S
КСИ-11 (Талант)	212	R	R
Коллекция д.17	214	S	S
Коллекция д.16	214	S	S
КП д.5 (Гбр. 232)	212	R	R
КП д.7 (Гбр. 232)	214	R	S
КП д.9 (КП-14 д.34)	214	S	S
КП д.12 (Гбр. 230)	214	R/S	S
КП д.22 (Гбр. 125)	214	R	S
КП д.47 (Гбр. 229)	214	R/S	S
КП д.87 (З. укосн.)	214	S	S
СП 2 д.17	214	S	S
Из 3	212	R	S
Из 4	212	R	R
Из 5	212	R	R

Примечание: **AnManM1**: фрагмент **226 п.н.** – аналог гена устойчивости к антракнозу сорта Mandelup; фрагменты 212,214 п.н. – восприимчивость к антракнозу, **DCAnS3, DCAnS4: R** – устойчивость к антракнозу; **S** – восприимчивость к антракнозу

Таблица 2 – Результаты маркерного анализа сортов узколистного люпина

Сорт	Нерастрескиваемость бобов, маркеры		
	ген <i>lentus</i>		ген <i>tardus</i>
	LeM1	LeM2	TaLi
Мирган – контроль	+	+	TaLi^d
Талант (КСИ-11)- контроль	+	+	TaLi^d
Кармавы (КП д.88)	+	+	TaLi^d
Жакей (КСИ-14 (К-80))	+	+	TaLi^d
Ванюша	+	+	TaLi ^w
Першцвет	+	+	TaLi^d

Примечание: **TaLi**: TaLi^d – нерастрескиваемость бобов, TaLi^w – растрескиваемость бобов; **LeM1, LeM2**: “+” – наличие диагностического фрагмента нерастрескиваемости бобов.

По результатам изучения в конкурсном сортоиспытании в 2017–2019 гг. установлено, что сорт *Жакей* характеризуется следующими показателями: высота растений в среднем 65 см при колебаниях от 60 до 70 см, средняя высота превышает контрольный сорт *Талант* на 22 см или 51 %. Семена нового сорта

мельче, чем у контроля, масса 1000 зерен составляет 140 г, что на 17,6 г (12,5 %) ниже. Длина вегетационного периода – 97 суток.

Отличительные апробационные признаки: листья и стебель зеленые, цветки и семена чисто белые (рисунок 1). Бобы перед созреванием розовые, внутренний эпидермис созревшего боба оранжевый



Рисунок 1. Растение, бобы и семена нового сорта люпина узколистного *Жакей*

В среднем за 3 года (2017–2019 гг.) сорт *Жакей* по урожайности семян превысил контрольный сорт *Талант* на 8,2 ц/га (20,5 %). Урожайность семян – 59,1 ц/га – была получена в 2017 г. (рисунок 2). Содержание белка в зерне 33,0–38,0 %, алкалоидов – 0,03–0,04 %. Сорт относится к разновидности var. *candidus*. Устойчив к загущению, полеганию, осыпанию, фузариозным корне-

вым гнилям, фомопсису, толерантен к антракнозу, бурой пятнистости. Обладает средним начальным темпом роста, позднеспелый.



Рисунок 2. Основные параметры нового сорта люпина узколистного *Жакей* в КСИ (среднее за 2017–2019 гг.)

Указанный выше сорт люпина узколистного передан для испытания в ГСИ Республики Беларусь в 2020-2022 гг. В зерне содержание белка у сорта колебалось от 28,6 % до 36,5 % при среднем значении 33,1 %. Данный показатель у контрольного сорта изменялся в пределах 28,8–36,25 % при среднем значении 32,9 %. Среднее содержание алкалоидов в зерне у сорта *Жакей* составляло 0,028 % с изменениями по годам 0,021–0,04 %, у контрольного сорта – 0,032 % (таблица 3).

Таблица 3. Характеристика образцов люпина узколистного по основным показателям качества (среднее за 2016-2022 гг.)

Сорт	Содержание в зерне, %				Сбор белка, ц/га	
	Белка		Алкалоидов		\bar{x}	$Lim_{min...max}$
	\bar{x}	$Lim_{min...max}$	\bar{x}	$Lim_{min...max}$		
Талант, контроль	32,9	28,8...36,25	0,032	0,02...0,043	7,4	2,9...11,5
Жакей	33,1	28,6...36,5	0,028	0,021...0,04	8,0	4,5...14,4

В ГСИ в среднем за 3 года сорт *Жакей* сформировал урожайность семян 28,1 ц/га, что было на 2,3 ц/га (+8,9 %) выше сорта контрольного сорта *Талант*. Максимальная урожайность семян – 48,7 ц/га – была получена в 2022 г. на ГСХУ «Лепельская СС» (рисунок 3).

Заклучение

В результате изучения образцов люпина узколистного с использованием традиционных методов, адаптированной методики маркер-сопутствующей селекции был получен и оценен перспективный селекционный материал по основным хозяйственно-ценным признакам. Анализ результатов генотипирования показал, что в исследуемой коллекции у всех образцов, включенных в состав



Рисунок 3. Урожайность зерна (семян) нового сорта узколистного люпина *Жакей* в Государственном сортоиспытании (среднее за 2020–2022 гг.)

коллекции, выявлены культурные аллели по следующим генам: *iucundus* (пониженное содержание алкалоидов), *Ku* (отсутствие потребности в яровизации), *mollis* (влагопроницаемость оболочки семян), *lentus* (нерастрескиваемость бобов).

На основании результатов испытаний в питомнике КСИ и затем государственного сортоиспытания был допущен к использованию на территории Республики Беларусь новый сорт люпина узколистного *Жакей*.

Полученные результаты показывают необходимость проведения дальнейшей планомерной работы по созданию современных сортов люпина узколистного при сочетании традиционных и методик маркер-сопутствующей селекции.

Литература

- Li X., Yang H., Buirchell B., Yan G. Development of a DNA marker tightly linked to low-alkaloid gene *iucundus* in narrow-leaved lupin (*Lupinus angustifolius* L.) // Crop Past Sci. – 2011. – № 62. – P. 218-224.
- Li X. et al. A molecular marker linked to the *mollis* gene conferring soft-seediness for marker-assisted selection applicable to a wide range of crosses in lupin (*Lupinus angustifolius* L.) breeding / X.Li, B.Buirchell, G.Yan, Yang H. // Mol Breed. – 2012. – Vol. 29. – P. 361–370.
- Boersma J.G. et al. Development of a sequence-specific marker linked to the *Ku* gene which removes the vernalization requirement in narrow-leaved lupin / J.G.Boersma, B.J.Buirchell, K.Sivasithamparam, H.Yang // Plant breed. – 2007. – Vol. 126. – P. 306–309.
- Boersma J.G. et al. Development of two sequence-specific PCR markers linked to the *le* gene that reduces pod shattering in narrow-leaved Lupin (*Lupinus angustifolius* L.) / J.G.Boersma, B.J.Buirchell, K.Sivasithamparam, H.Yang // Genet Mol Biol. – 2007. – Vol. 30. – P. 623–629.
- Li X, Yan G, Renshaw D, Yang H. Development of a co-dominant DNA marker tightly linked to gene *tardus* conferring reduced pod shattering in narrow-leaved lupin (*Lupinus angustifolius* L.) // Euphytica – 2010. – № 176. – P. 49–58.
- Yang H. et al. Application of next-generation sequencing for rapid marker development in molecular plant breeding: a case study on anthracnose disease resistance in *Lupinus angustifolius* L. / H.Yang, Y.Tao, Z.Zheng, C.Li, M.W.Sweetingham, J.G.Howieson // BMC Genomics – 2012. – Vol. 13: 318. – 11 p.
- A strategy to develop molecular markers applicable to a wide range of crosses for marker assisted selection in plant breeding: a case study on anthracnose disease resistance in lupin (*Lupinus angustifolius* L.) / H.Yang, D.Renshaw, G.Thomas, B.Buirchell, M.Sweetingham // Mol Breed. – 2008. – Vol. 21. – P. 473–483.

RESULTS OF EVALUATION OF BLUE LUPINE BREEDING MATERIAL DEVELOPED USING CONVENTIONAL AND MARKER-ASSISTED BREEDING METHODS

M.N. Kritsky, A.A. Kozlovsky, N.V. Anisimova, A.V. Kilchevsky

The article describes the results of the study of blue lupine samples, developed and evaluated using the methods of traditional and marker-assisted breeding for the following characters: anthracnose resistance, bean cracking, alkaloid content, tendency to vernalisation, moisture permeability of seed coat. The main characteristics of new blue lupine variety of Zhakey with reduced branching developed using the described methods are given. The main indicators of productivity, seed quality and morphological characters are presented.

УДК 633.367.2:631.526.32

НОВЫЕ СОРТА ЛЮПИНА УЗКОЛИСТНОГО ДИМЬЯН И ИСКАНДЕР

М.Н. Крицкий, В.Ч. Шор, М.В. Евсеенко, кандидаты с.-х. наук,

А.А. Козловский, научный сотрудник

РУП «Научно-практический центр НАН Беларуси по земледелию»

(Дата поступления статьи в редакцию 27.03.2024)

Рецензент: Урбан Э.П., доктор с.-х. наук

Аннотация. В статье представлены результаты изучения новых сортов люпина узколистного Димьян и Искандер в конкурсном и государственном сортоиспытании, описываются основные показатели продуктивности, качества семян, а также морфологические признаки. Урожайность семян люпина узколистного сорта Искандер в среднем за годы испытания (2018–2023 гг.) была на 5,8 ц/га (18,2 %), у сорта Димьян – на 6,1 ц/га (19,1 %) выше контрольного сорта. Содержание белка в семенах составляло 30,0–36,9 %, алкалоидов – 0,022–0,062 %. Средний сбор белка с зерном у сортов составил 7,4–7,5 ц/га. По урожайности сухого вещества новые сорта превышают контрольный сорт Миртан на 6,8–8,6 ц/га (13,3–16,4 %). Основным отличием сортов друг от друга является масса 1000 семян, у сорта Искандер она больше и достигает 181,1 г, у сорта Димьян – 140,0 г.

Введение

В Беларуси одной из важнейших бобовых культур является люпин узколистный, который рассматривается как источник сбалансированного белка, фактор биологизации земледелия, энерго- и ресурсосбережения. Использование в производстве посевов люпина способствует сохранению естественного плодородия почвы и его расширенному воспроизводству.

В современной селекции люпина одной из наиболее актуальных задач является создание технологичных и устойчивых к заболеваниям сортов. Вовлече-