

2. Dronova T.N., Burtseva N.I., Molokantseva E.I. The results of work with perennial grasses. *Izvestiya Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: nauka i vyssheye professionalnoye obrazovaniye*. 2017. No 3 (47). pp. 46-56 [in Russian]
3. Dyachenko O. V., Dronov A.V., Slezko E.I. Cultivation of perennial mixtures as an effective method of forage production in the Bryansk region. *Vestnik Bryanskoy GSKHA*. 2016. No 6 (58). pp. 29-33 [in Russian]
4. Zaryanova, Z.A., Osin A.A., Kiryukhin S.V. Fodder productivity and longevity of some species of the perennial grass and grass mixtures in the conditions of the Oryol region. *Zernobobovyye i krupyanyye kultury*. 2014. № 1 (9). pp. 72-78 [in Russian]
5. Kramarenko M.V. The influence of the single-row sowing scheme on the productivity of a perennial bean-bluegrass mixture and the stability of the bean component. *Vestnik Altayskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2010. No 11 (73). pp. 13-15 [in Russian]
6. Kramarenko M.V. The influence of the dynamics of the content of legumes in the crop mass on the productivity of perennial legume-cereal mixtures of long-term use. *Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2015. No 3 (53). pp. 61-62 [in Russian]
7. Safin H.M., Sitdikov F.M., Zaripova G.K. Effectiveness of forage crop rotations under condition of Trans-Urals in Bashkortostan Republic. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK*. 2010. No 2. pp. 34-36 [in Russian]
8. Malmberg C., Smith H. Relationship between plant weight and density in mixed populations of Medicago sativa and Trifolium pratense. *Oikos*. 2012. No 5. P. 365-368.

УДК 633.111.1:631.52:575.1

DOI: 10.34655/bgsha.2020.60.3.007

Н.А. Рушина, Г.В. Мирская

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ АЛЛЕЛЬ-СПЕЦИФИЧНЫХ МАРКЕРОВ ГЕНА *PPD-D1* ДЛЯ ОТБОРА СКОРОСПЕЛЫХ ФОРМ ПШЕНИЦЫ НА НАЧАЛЬНЫХ ЭТАПАХ СЕЛЕКЦИИ

Ключевые слова: яровая мягкая пшеница, фотопериод, молекулярные маркеры, срок колошения, гибрид, гетерозис, продуктивность колоса

Выявление образцов, несущих нечувствительный к фотопериоду аллель *Prpd-D1a*, необходимо для использования в селекции скороспелых сортов яровой пшеницы. Целью нашего исследования был подбор селекционного материала методом молекулярно-генетического скрининга по наличию аллелей гена фотопериодизма *Prpd-D1* и на основе оценки величины и степени проявления гетерозиса в F_1 . Использование этих двух методов позволяют отобрать генетический материал для ускоренной селекции новых форм пшеницы, сочетающих высокую скорость развития и повышенную продуктивность. Приведены результаты оценки яровой мягкой пшеницы по наличию аллелей гена фотопериодизма *Prpd-D1* у 26 образцов яровой мягкой пшеницы. Установлено наличие аллеля *Prpd-D1a* у 12 образцов пшеницы (ITMI 10, 29, 47, 57, 58, 59, 60, 89, 94, AFI-91, AFI-177, Opata 85). У 14 образцов пшеницы (ITMI 7, 31, 32, 44, 80, 88, 83, 115, Злата, Лиза, Агата, Любава, W7984) обнаружен рецессивный аллель *Prpd-D1b*. По результатам комплексной оценки осуществлен подбор пар для получения 10 гибридных комбинаций. Установлено достоверное влияние ($p < 0,5$) аллельного состояния гена *Prpd-D1* на изменчивость признаков «срок колошения» и «высота растения». На основе оценки величины и степени проявления гетерозиса признаков главного колоса в F_1 , таких как «длина колоса», «число зерен с колоса» и «масса зерен с колоса», выявлены 4 направления скрещивания для создания линий пшеницы, сочетающих скороспелость и повышенную продуктивность: Любава х ITMI 88, ITMI 7 х АФИ 177, АФИ 91 х ITMI 7, ITMI 89 х АФИ 91.

N. Rushina, G. Mirskaya

USING ALLELE-SPECIFIC MARKERS OF *PPD-D1* GENE FOR THE EARLY FORMS SELECTION OF BREAD WHEAT IN THE INITIAL SELECTION STAGES

Keywords: spring bread wheat, photoperiod, molecular markers, heading time, hybrid, heterosis, spike productivity.

*Determination the photoperiod-insensitive allele (*Ppd-D1a*) in wheat cultivars is necessary for use in breeding development of newly wheat cultivars. The aim of our study was to select breeding material by screening *Ppd-D1* gene alleles and estimation value and the degree of heterosis in F_1 . Using these two methods, it is possible to select genetic material for increased breeding of new wheat li that combine earliness and increased productivity. In this study 26 varieties of spring soft wheat were screened for the *Ppd-D1* gene alleles. The *Ppd-D1a* allele was detected in 12 wheat varieties (ITMI 10, 29, 47, 57, 58, 59, 60, 89, 94, AFI-91, AFI-177, Opata 85), the recessive *Ppd-D1b* allele was detected in 14 wheat varieties (ITMI 7, 31, 32, 44, 80, 88, 83, 115, Zlata, Lisa, Agata, Lubava, W7984). A significant effect ($p < 0.5$) of *Ppd-D1* gene allelic state on the variability of the heading signs period and plant height was established. Based on the results of a comprehensive assessment, parental pairs were chosen and 10 recombinants were obtained. Based on estimation value and the degree of heterosis of the main ear traits in F_1 , such as "ear length", "number of grains from the ear" and "weight of grains from the ear" were identified 4 crosses as initial to create wheat cultivars that combine earliness and increased productivity: Lyubava x ITMI 88, ITMI 7 x AFI 177, AFI 91 x ITMI 7, ITMI 89 x AFI 91.*

Рушина Наталия Алексеевна, младший научный сотрудник отдела светофизиологии растений и биопродуктивности агроэкосистем, аспирант кафедры агрофизики; e-mail: ampollina@yandex.ru;

Natalia A. Rushina, Junior Research Scientist of Plant Light-physiology and Bioproductivity of Agroecosystems Department, e-mail: ampollina@yandex.ru;

Мирская Галина Владимировна, кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник отдела светофизиологии растений и биопродуктивности агроэкосистем, e-mail: galinanm@gmail.com;

Galina V. Mirskaya, Candidate of Biological Sciences, Leading Research Scientist of Plant Light-physiology and Bioproductivity of Agroecosystems Department, e-mail: galinanm@gmail.com;

ФГБНУ «Агрофизический научно-исследовательский институт», Санкт-Петербург, Россия
Agrophysical Research Institute, Saint-Petersburg, Russia.

Введение. В северных районах РФ селекция, помимо высокой адаптивности и урожайности, должна учитывать создание более скороспелых сортов. В связи с тем, что скороспелые сорта, благодаря сравнительно короткому вегетационному периоду, менее подвержены действию неблагоприятных факторов среды – избыточному увлажнению в период созревания зерна, поздним весенним и ранним осенним заморозкам. Известно, что гены *Ppd*, отвечающие за чувствительность растений пшеницы к длине дня (фотопериоду), оказывают существенное влияние на скорость их развития [3]. Как пра-

вило, сорта, обладающие слабой фотопериодической чувствительностью, являются скороспелыми. Для идентификации генотипов с доминантными или рецессивными аллелями гена *Ppd-D1* разработаны аллель-специфичные праймеры [14]. Установлено, что сорта пшеницы, имеющие доминантный аллель гена *Ppd-D1a*, достоверно опережают другие генотипы по скорости развития до колошения и являются более скороспелыми даже при возделывании в условиях длинного светового дня. Анализ сортов мягких пшениц, возделываемых на территории РФ в различных регионах, показал, что лишь не-

многие яровые сорта несут нечувствительные к фотопериоду аллели гена *Ppd-D1* [4].

Цель исследования - подбор селекционного материала методом молекулярно-генетического скрининга и на основе оценки величины и степени проявления гетерозиса в F_1 для создания скороспелых форм пшеницы с повышенной продуктивностью колоса.

Условия и методика исследований. В качестве материала для исследований использовали сорта яровой мягкой пшеницы (*Triticum aestivum* L.) Агата, Любава, Злата, Лиза, Opata 85, авторские ультраскороспелые линии AFI-177, AFI-91, синтетический гексаплоид: W7984(Synthetik) и 18 рекомбинантных инбредных линий (РИЛ) картирующей популяции ITMI (International Triticeae Mapping Initiative). РИЛ популяции ITMI отличаются полиморфизмом по большинству хозяйственно ценных признаков [7].

Выращивание и оценку образцов мягкой пшеницы, а также гибридов первого поколения проводили в условиях регулируемой агроэкосистемы биополигона ФГБНУ «Агрофизический научно-исследовательский институт» (АФИ) в вегетационных облучательных установках (БОУ) [1], оснащенных лампами ДНаТ-400 с заданной облученностью $50 \pm 0,5$ Вт/м² ФАР. Фотопериодический режим включал 16-часовое ежесуточное освещение. Температурный режим поддерживался на уровне 23-24°C – день / 19-20°C ночь. Растения выращивали в вегетационных сосудах объемом 2 л. В качестве корнеобитаемой среды использовали субстрат, разработанный в АФИ на основе верхового торфа низкой степени разложения «Агрофит» [2]. Режим полива в ходе проведения опытов: вода/1N раствор Кнопа с добавлением микроэлементов. Повторность для каждого сорта и линии - 15-кратная, для гибридов F_1 - 5-кратная. Образцы были проанализированы по ряду хозяйственно ценных признаков: длительность периода «всходы-колошение», высота растений, длина колоса, число зерен

в колосе, масса зерна с колоса. При анализе элементов структуры урожая вычисляли средние значения признака и их доверительные интервалы, рассчитанные при 0,05 уровне значимости. Показатель наследования изучаемых признаков рассчитывали по методике [12] по формуле:

$$H = \frac{F - P_{cp}}{P_l - P_{cp}},$$

где F – символ среднего значения признака и гибрида; P_{cp} – среднее значение признаков родителей; P_l – среднее значение признака лучшего родителя.

Для статистической оценки достоверного (недостоверного) различия по изучаемым признакам между образцами-носителями альтернативных аллелей гена *Ppd-D1* использовали непараметрический U-критерий Манна-Уитни.

Для проведения молекулярно-генетического скрининга изучаемых образцов геномную ДНК выделяли из 5-дневных проростков растений по стандартной методике с использованием СТАВ-буфера [10]. Для выявления генотипов с доминантным и рецессивным аллелями гена *Ppd-D1* использовали опубликованный протокол [9] и аллель-специфичные праймеры (табл. 1).

Качество и количество выделенной ДНК определялось с помощью спектрофотометра. Визуализацию продуктов ПЦР проводили с помощью электрофоретического анализа в агарозном геле с добавлением бромистого этидия. Анализ полученных данных осуществляли в программе Bio-Rad Image Lab 4.1

Результаты исследования и их обсуждения. В результате проведенного молекулярно-генетического анализа 18 генотипов РИЛ картирующей популяции ITMI, а также 8 линий и сортов яровой мягкой пшеницы доминантная аллель *Ppd-D1a* обнаружена у 12 образцов. На рисунке 1 представлена электрофореграмма продуктов полимеразной цепной реакции (ПЦР) с аллель-специфичными праймерами для гена *Ppd-D1* у исследованных генотипов.

Таблица 1 – Условия проведения ПЦР-реакции для выявления аллелей гена фотопериодичности *Ppd-D1*

Тестируемый аллель	Аллель-специфичные праймеры, использованные в ПЦР	Темп. отжига, t°(с)	Время элонгации, с	Ожидаемый размер, п.н.	Литературный источник
<i>Ppd-D1a</i>	<i>Ppd-D1_F</i> :ACGCCTCCCACTACACTG <i>Ppd-D1_R2</i> :CACTGGTGGTAGCTGAGATT	54	60	288	Beales <i>et al.</i> , 2007
<i>Ppd-D1b</i>	<i>Ppd-D1_R1</i> :GTTGGTTCAAACAGAGAGC			414	

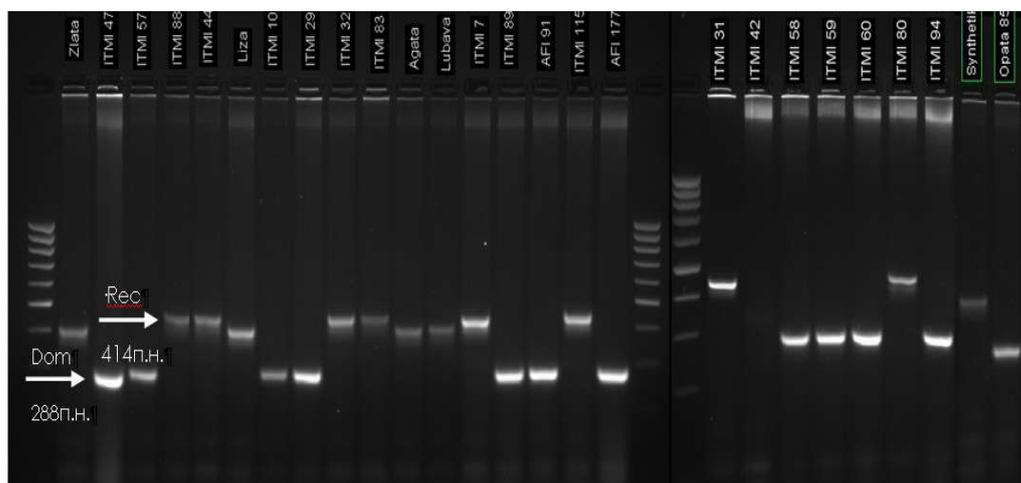


Рисунок 1. Фрагмент электрофореграммы скрининга исходных сортов и линий пшеницы по аллелям гена *Ppd-D1* с помощью аллель-специфичных маркеров (доминантный аллель - 288 п.н., рецессивный аллель - 414 п.н.)

ПЦР позволяет различить рецессивную аллель чувствительных к фотопериоду генотипов (*Ppd-D1b*, размер фрагмента 414 п.н.) и доминантную аллель нечувствительных генотипов (*Ppd-D1a*, размер фрагмента 288 п.н.). Доминантная аллель *Ppd-D1a* обнаружена у линий ITMI 10, 29, 47, 57, 58, 59, 60, 89, 94, у сорта Opata 85, а также у ультраскороспелых линий AFI-91, AFI-177. Среди изученного в данном эксперименте сортимента пшеницы носители доминантного аллеля *Ppd-D1a* составили 46 % и в основном они представлены линейным материалом. В то же время, все включенные в анализ сорта отечественной селекции являются носителями рецессивного аллеля гена *Ppd-D1b* определяющего высокую фоточувствительность. Показано, что частота

встречаемости доминантного аллеля *Ppd-D1a* среди сортов мягких пшениц, возделываемых на территории РФ, крайне мала (до 8,5%) [4]. В то же время отмечается все большее распространение аллеля *Ppd-D1a* в современных коммерческих сортах мягкой пшеницы по всему миру [11].

Полученные в ходе проведенного нами вегетационного эксперимента данные о скорости развития до колошения свидетельствуют о наличии в пределах изученных образцов пшеницы генотипических различий по этому признаку. В целом, по всем испытанным сортам и линиям варьирование данного периода в условиях 16-часового режима освещения было в пределах от 29,7 до 58,8 суток (табл. 2).

Таблица 2 – Срок колошения и показатели продуктивности сортов и линий яровой мягкой пшеницы

Сорт, линия	Высота растения, см	Длина колоса, см	Число зерен с колоса, шт	Масса зерен с колоса, г	Срок колошения, сут
ITMI 7	73.7±0.5	8.0±0.1	30.0±0.9	1.5±0.13	45.3±1.4
ITMI 10	59.3±2.3	9.2±1.9	27.7±4.1	1.2±0.14	43.3±2.4
ITMI 29	52.5±3.4	8.3±1.0	24.0±2.2	0.9±0.11	39.0±2.3
ITMI 31	71.7±7.7	8.4±1.2	29.7±3.4	0.8±0.19	58.8±3.1
ITMI 32	58.8±6.2	9.5±1.1	25.3±5.3	1.1±0.31	38.5±2.6
ITMI 42	53.7±3.5	9.7±0.8	31.5±3.7	1.4±0.26	52.3±2.3
ITMI 44	54.5±4.9	8.5±0.5	22.7±4.9	0.9±0.18	41.5±2.5
ITMI 47	60.5±2.8	7.7±1.9	24.3±3.7	1.1±0.19	43.8±1.9
ITMI 57	57.1±5.8	10.3±1.0	35.7±1.9	1.5±0.13	48.5±2.0
ITMI 58	51.3±5.4	9.3±0.9	27.5±1.5	1.3±0.16	49.4±2.7
ITMI 59	46.8±5.9	7.3±0.7	16.5±2.1	0.8±0.19	44.8±2.9
ITMI 60	60.8±5.1	9.8±0.9	25.3±2.7	1.2±0.31	40.1±3.2
ITMI 80	54.7±2.9	10.1±0.9	33.0±6.5	1.7±0.37	58.3±3.1
ITMI 83	57.3±3.3	7.5±0.6	26.8±4.8	1.2±0.36	48.8±2.8
ITMI 88	68.3±3.7	8.3±0.4	24.5±4.8	1.1±0.09	54.5±1.6
ITMI 89	64.5±1.4	8.5±0.5	28.0±1.8	1.5±0.18	54.3±1.4
ITMI 94	51.3±4.1	8.7±0.9	32.8±3.1	1.5±0.17	43.4±3.1
ITMI 115	66.5±6.3	10.8±0.6	34.3±4.8	1.9±0.27	44.5±2.7
Агата	65.5±4.9	10.1±0.7	34.8±1.6	1.4±0.13	43.5±0.8
Любава	73.5±0.8	12.3±0.4	35.5±5.3	1.4±0.19	39.8±1.1
Злата	64.3±3.2	10.0±0.2	31.6±3.4	1.2±0.17	40.3±1.2
Лиза	54.5±2.6	9.8±0.4	38.9±7.9	1.6±0.26	40.5±1.6
Opata 85	67.3±5.4	8.8±0.4	35.0±3.2	1.5±0.14	44.5±2.8
Synthetik	52.0±7.1	7.8±0.5	27.7±1.7	1.4±0.09	51.0±3.5
АФИ 91	61.7±3.2	6.6±1.5	29.4±1.5	1.1±0.12	29.7±0.5
АФИ 177	35.8±1.7	7.3±0.4	31.9±1.9	1.2±0.14	31.0±0.9

По продолжительности периода «всходы-колошение» исследованные формы можно отнести к разным группам спелости – от ультраскороспелых (АФИ-177, АФИ-91) до позднеспелых (ITMI 31, ITMI 80). Для идентификации генотипов со слабой и сильной фотопериодической чувствительностью классическими методами требуется большой объем выборки и длительный период культивирования растительного материала. Поэтому, использование молекулярных маркеров, сцепленных с целевыми локусами гена *Ppd-D1* на этапе оценки исходного материала и подбора родительских пар для гибридизации, позволит значительно ускорить процесс

введения в современные сорта пшеницы *Ppd-D1a* аллель слабой фотопериодической чувствительности.

Одними из основных элементов продуктивности, из которых складывается урожайность, являются высота растения и показатели продуктивности главного колоса: длина колоса, число зерен с колоса и масса зерна колоса. Проведенный нами морфо-биологический скрининг выявил разнообразие в проявлении этих признаков и их сочетании среди исследованных сортов и линий мягкой пшеницы (табл. 2). Высота растений – важный показатель архитектуры растений и урожая [13]. Известно, что урожайность часто связа-

на с высотой растения, особенно в условиях недостаточного увлажнения, поэтому необходимо использовать в селекции генетические источники высокой урожайности, устойчивые к полеганию и характеризующиеся низкой и средней высотой [6]. В целом, по всем испытанным сортам и линиям варьирование высоты растения находилось в диапазоне от 35,8 см (AFI-177) до 73,7 см (ITMI 7). Соответственно, все исследуемые образцы относятся к группе карликовых и низкорослых растений. По признаку «длина колоса» проанализированные растения входили в группу со средним и длинным колосом, значения признака находились в пределах 6,6 см (AFI-91) – 12,3 см (Любава). Значения показателя озерненности главного колоса варьировали от 16,5 (ITMI 59) до 38,9 шт. (Лиза). Масса зерна колоса – один из наиболее важных элементов структуры урожая пшеницы на ранних этапах селекционного процесса, так как селекционеры осуществляют индивидуальный отбор нового селекционного материала по ко-

лосу. В ходе проведенного анализа по признаку «масса зерен с колоса» выявлено, что исследуемые образцы входят в группу с малым (до 1,4 г) и средним (до 1,9 г) показателем массы зерна. Масса зерна колоса варьировала от 0,8 г до 1,9 г. В целом, наибольшую массу зерна колоса формировали образцы ITMI 80, ITMI 115, самой низкой массой зерна колоса характеризовались образцы ITMI 31, ITMI 59.

Проведенный нами статистический анализ ассоциации между полиморфизмом гена *Ppd-D1* и изменчивостью исследуемых признаков образцов яровой мягкой пшеницы установил, что аллельное состояние гена *Ppd-D1* достоверно ($p < 0,5$) влияет на изменчивость признаков «срок колошения» и «высота растения» (табл. 3). Таким образом, образцы, являющиеся носителями доминантного аллеля *Ppd-D1a*, в среднем имели более высокую скорость развития до колошения и были более низкорослыми, по сравнению с образцами-носителями рецессивного аллеля *Ppd-D1b*.

Таблица 3 – Влияние доминантного и рецессивного аллелей гена *Ppd-D1* на изменчивость количественных признаков у сортов и линий пшеницы по результатам U-критерия Манна-Уитни

Признаки	U	p-level	Среднее значение признака	
			<i>Ppd-D1a</i>	<i>Ppd-D1b</i>
Число зерен в колосе, шт.	44.5	0.068	26.7	31.1
Масса зерна с колоса, г	66.5	0.538	1.3	1.4
Высота растения, см	41.5	0.046	53.4	61.3
Длина колоса, см	53.5	0.186	8.5	9.3
Срок колошения, сут.	33.0	0.026	42.6	50.2

Оценка возможности создания рекомбинантов, сочетающих высокую скорость развития до колошения и повышенную продуктивность колоса, проведена на гибридах F_1 10 комбинаций скрещивания. На основании полученных данных молекулярно-генетического анализа, оценки признаков продуктивности колоса исходных сортов и линий пшеницы были выбраны наиболее перспективные родительские пары и проведена гибридизация. Подбор пар по признакам продуктивности для проведения гибридизации осуществляли с учетом степени выраженности

целевых признаков. Средние значения исследуемых признаков родительских образцов и гибридов F_1 показаны в таблице 2 и 4.

Выбирали родительские формы как с признаками, близкими по значениям, так и различающиеся по значениям компонентов продуктивности колоса. Известно, что выбор родителей, различающихся по компонентам урожайности, может быть предварительным условием для получения гетерозиса по исследуемым признакам, также отмечается более высокая вероятность получения гетерозисного потом-

Таблица 4 – Срок колошения и продуктивность главного колоса гибридов F₁

Гибрид	Длина колоса, см	Число зерен с колоса, шт	Масса зерен с колоса, г	Высота растения, см	Срок колошения, сут
Любава х ITMI 88	12.0±0.3	41.1±0.4	1.80±0.04	79.1±0.2	47.0±0.9
Любава х ITMI 10	11.4±0.5	37.0±3.0	1.55±0.05	78.4±4.7	47.2±2.7
Любава х ITMI 57	11.0±1.1	23.4±6.1	0.92±0.36	64.4±2.3	39.6±2.1
Агата х ITMI 29	9.8±0.8	33.8±5.2	1.45±0.15	72.0±3.2	41.8±2.2
Любава х ITMI 47	9.8±0.9	26.6±4.0	1.24±0.17	79.0±5.1	45.2±1.4
Агата х ITMI 88	10.2±0.7	33.6±4.5	1.38±0.17	68.2±3.7	49.4±1.4
ITMI 7 х АФИ 177	9.2±0.3	45.3±1.4	2.30±0.16	59.7±1.9	39.0±0.9
ITMI 7 х АФИ 91	8.5±0.5	42.5±2.3	2.00±0.18	78.8±1.1	37.3±0.5
АФИ 91 х ITMI 7	9.7±0.6	39.0±6.5	2.50±0.18	74.7±1.0	48.0±0.9
ITMI 89 х АФИ 91	8.9±0.4	32.0±0.3	1.71±0.02	60.0±0.4	41.0±0.9

ства при скрещивании родителей, которые отличаются по нескольким признакам продуктивности колоса [8].

На основании результатов молекулярно-генетического скрининга осуществлен подбор родительских пар по скорости развития до колошения. Целенаправленно были отобраны три варианта скрещивания, включающие родительские образцы, характеризующиеся наличием доминантного аллеля *Ppd-D1a* (ITMI 89 х АФИ-91), пары, несущие только рецессивный аллель *Ppd-D1b* (Любава х ITMI 88,

Агата х ITMI 88). В остальных комбинациях скрещивания родительские образцы несут разные аллели чувствительности гена *Ppd-D1*.

Проведенный у гибридов F₁ анализ наследования признаков продуктивности главного колоса, включающий «длина колоса», «число зерен с колоса», «масса зерен с колоса» показал, что у полученных нами гибридов первого поколения встречались все типы наследования – от отрицательной депрессии до положительного гетерозиса (табл. 5).

Таблица 5 – Распределение гибридов F₁ по характеру наследования признаков продуктивности колоса *

Гибрид	Длина колоса	Число зерен с колоса	Масса зерен с колоса
Любава х ITMI 88	0.85 УЛР	2.02 Г	3.29 Г
Любава х ITMI 10	0.42 УЛР	1.38 ДЛР	3.00 Г
Любава х ITMI 57	-0.30 УХР	-122.00 Д	-1.36 ДХР
Агата х ITMI 29	0.68 УЛР	0.81 УЛР	1.40 ДЛР
Любава х ITMI 47	-0.09 УХР	-0.66 УХР	-0.33 УХР
Агата х ITMI 88	1.11 ДЛР	0.77 УЛР	0.89 УЛР
ITMI 7 х АФИ 177	4.43 Г	15.11 Г	6.33 Г
АФИ 91 х ITMI 7	3.43 Г	31.00 Г	6.00 Г
ITMI 89 х АФИ 91	1.42 ДЛР	4.71 Г	2.43 Г

* >-2 – депрессия (Д), -1 – -2 – доминирование худших родителей (ДХР), 0 – -1 – уклонение в сторону худших родителей (УХР), 0 – соответствие признаков у родителей и гибридов, 0 – +1 – уклонение в сторону лучших родителей (УЛР), +1 – +2 – доминирование лучших родителей (ДЛР), >+2 – гетерозис (Г).

Полученные данные свидетельствуют, что гетерозис отмечается по всем показателям продуктивности колоса в зависимости от родительских пар, включенных

в скрещивания. В комбинациях скрещивания ITMI 7 х АФИ-177, АФИ-91 х ITMI 7 выявлен гетерозис по всем исследуемым признакам. Гетерозис по числу зерен с коло-

са и массе зерна с колоса был отмечен в комбинациях скрещивания Любава х ITMI 88 и ITMI 89 х АФИ-91. Гетерозис только по массе зерна с колоса отмечен у Любава х ITMI 10. Характер наследования признаков в F_1 может служить предварительным показателем ценности комбинации. Наличие гетерозиса по числу и массе зерен с колоса является одним из условий, при которых возникают трансгрессии по продуктивности. В комбинациях с гетерозисом по продуктивности в F_1 примерно у 85% проявляются трансгрессии по продуктивности, при промежуточном наследовании - у 15-25% [5].

Анализ гена *Ppd-D1* с использованием аллель-специфичных праймеров в гибридных потомствах первого поколения подтвердил наличие аллелей ожидаемого размера (288 п.н. и 414 п.н.) в комбинациях скрещивания (рис. 2).

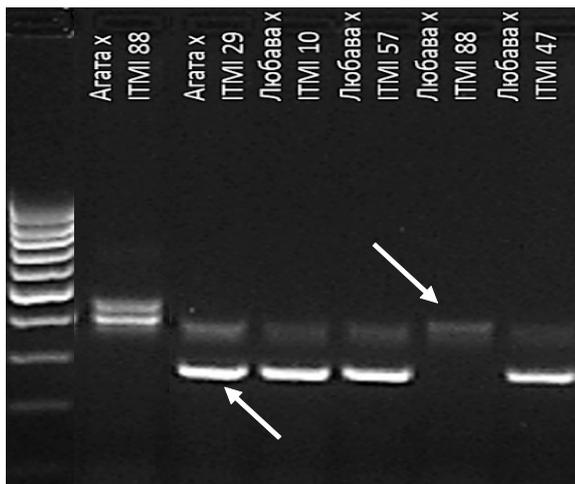


Рисунок 2. Выявление доминантного (288 п.н.) и рецессивного (414 п.н.) аллелей гена *Ppd-D1* с помощью аллель-специфичных маркеров у гибридов пшеницы первого поколения

В результате комплексной оценки, включающей оценку величины и степени проявления гетерозиса признаков продуктивности главного колоса гибридов первого поколения (табл. 5), а также данных молекулярно-генетического анализа, выявлены направления скрещивания для создания будущих линий пшеницы, сочетающих высокую скорость развития и повышенную продуктивность колоса -

Любава х ITMI 88, ITMI 7 х АФИ 177, АФИ 91 х ITMI 7, ITMI 89 х АФИ 91.

Выводы. 1. В результате проведенного молекулярно-генетического скрининга с аллель-специфичными маркерами гена *Ppd-D1* доминантный аллель *Ppd-D1a* обнаружен у 12 образцов яровой мягкой пшеницы, 14 форм характеризовались наличием рецессивного аллеля *Ppd-D1b*.

2. Установлено достоверное влияние ($p < 0,5$) аллельного состояния гена *Ppd-D1* на изменчивость признаков «срок колосения» и «высота растения».

3. Изучен характер наследования основных признаков продуктивности в первом гибридном поколении, выявлены комбинации скрещивания с проявлением гетерозиса по длине колоса, числу и массе зерна с колоса.

4. Определены комбинации скрещивания, перспективные для создания линий пшеницы, сочетающих высокую скорость развития и повышенную продуктивность колоса - Любава х ITMI 88, ITMI 7 х АФИ 177, АФИ 91 х ITMI 7, ITMI 89 х АФИ 91.

Библиографический список

1. Желтов Ю.И., Панова Г.Г. Устройство для выращивания растений // Патент на полезную модель №108705 от 07.10.2010 г. Бюл. № 27. - 2011.
2. Ермаков Е.И., Желтов Ю.И., Мильто Н.Е., Кучеров В.И. Пат. РФ на изобретение № 2081555 «Почвогрунт для выращивания растений «Агрофит»» // - 1997. - БИ №17.
3. Лихенко И.Е., Стасюк А.И., Щербань А.Б., Зырянова А.Ф., Лихенко Н.И., Салина Е.А. Изучение аллельного состава генов *Vrn-1* и *Ppd-1* у раннеспелых и среднеранних сортов яровой мягкой пшеницы Сибири // Вавил. журнал ген. и сел. - 2014. - Т.18. №4/1. - С.691-703
4. Лысенко Н.С., Киселева А.А., Митрофанова О.П., Потокина Е.К. Каталог районированных сортов мягкой пшеницы из коллекции ВИР с идентифицированными аллелями *Vrn* и *Ppd* генов. // - СПб.:ВИР Россельхозакадемии, 2014. - 29 с.
5. Фоменко М.А., Грабовец А.И. Трансгрессивная изменчивость и селекция на продуктивность у озимой мягкой пшеницы

- на Дону // *Зерновое хозяйство России*. - 2013. - № 1. - С. 34-39.
6. Цыбенков Б.Б., Билтуев А.С. Связь урожайности яровой пшеницы с элементами продуктивности в аридных условиях Бурятии // *Вестн. Гос. аграр. ун-та Сев. Зауралья*. - 2016. - 2(33). - С. 87-93.
7. Чесноков Ю.В., Мирская Г.В., Канаш Е.В., Кочерина Н.В., Ловассер У., Бёрнер А. Картирование QTL у яровой мягкой пшеницы (*Triticum aestivum* L.) в контролируемых условиях агроэкобиополигона // *Физиология растений*. - 2017. - Т. 64. - № 1. - С. 55-68.
8. Baric M., Sarcevic H., Keresa S. Analysis of yield components of F1 hybrids of crosses between spring and winter types (*Triticum aestivum* L.) // *Agriculturae Conspectus Scientificus*. - 2004. - 69(1). - С. 11-15.
9. Beales J., Turner A., Griffiths S. et al. A pseudo-response regulator is misexpressed in the photoperiod insensitive *Ppd-D1a* mutant of wheat (*Triticum aestivum* L.) // *Theor. Appl. Genet.* - 2007. - V. 115. - No 5. - P. 721-733.
10. Bousquet J., Simpson I., Lalonde M. DNA amplification from vegetative and sexual tissues of trees using polymerase chain reaction // *Canadian journal of forest research*, 1990. - pp. 254-257.
11. Kiss T., Balla K., Veisz O., Lang L., Bedo Z., Griffiths S., Isaac P., Karsai I. Allele frequencies in the *VRN-A1*, *VRN-B1* and *VRN-D1* vernalization response and *PPD-B1* and *PPD-D1* photoperiod sensitivity genes, and their effects on heading in a diverse set of wheat cultivars (*Triticum aestivum* L.) // *Mol. Breeding*. - 2014;34(2):297-310. DOI: 10.1007/s11032-014-0034-2.
12. Petr F.C., Frey K.J. Genotypic correlations, dominance and heritability of quantitative characters in oats // *Crop Science*. - 1966. - V.6. - P.259-262.
13. Sadeque A., Turner M.A. QTL analysis of plant height in hexaploid wheat doubled haploid population // *Thai J. Agric. Sci.* - 2010; 43:91-96.
14. Yang F.P., Zhang X.K., Xia X.C., Laurie D.A., Yang W.X., He Z.H. Distribution of the photoperiod insensitive *Ppd-D1a* allele in Chinese wheat cultivars // *Euphytica*. -2009. - V. 165. - P. 445-483.
1. Zheltov Yu.I., Panova G.G. Plant Growing Device. Utility model patent №108705 from 07.10.2010 g. Bulletin No 27. 2011 [in Russian]
2. Ermakov E.I., Zheltov Yu.I., Milto N.E., Kuchеров V.I. Pat. RF invention No. 2081555 "Soil for growing plants" Agrofit". 1997. Bulletin No 17 [in Russian]
3. Likhenko I.E., Stasyuk A.I., Shcherban' A.B., Zyryanova A.F., Likhenko N.I., Salina E.A. Study of the allelic composition of the *Vrn-1* and *Ppd-1* genes in early-ripening and medium-early varieties of spring common wheat of Siberia. *Vavil. zhurnal gen. i sel.* 2014. Vol.18. No 4/1. pp. 691-703 [in Russian]
4. Lysenko N.S., Kiseleva A.A., Mitrofanova O.P., Potokina E.K. Catalog of zoned soft wheat varieties from the VIR collection with identified alleles of the *Vrn* and *Ppd* genes. St. Petersburg. *VIR Rossel'khozakademii*. 2014. 29 p. [in Russian]
5. Fomenko M.A., Grabovets A.I. Transgressive variability and selection for productivity in winter common wheat on the Don. // *Zernovoe khozyaistvo Rossii*. 2013. No 1. pp. 34-39 [in Russian]
6. Tsybenov B.B., Biltuev A.S. Connection of spring wheat productivity with productivity elements in arid conditions of Buryatia. *Vestnik gosudarstvennogo agrarnogo universiteta Severnogo Zauralya*. 2016. No 2(33). pp. 87-93 [in Russian]
7. Chesnokov Yu.V., Mirskaya G.V., Kanash E.V., Kocherina N.V., Lovasser U., Berner A. QTL mapping in spring common wheat (*Triticum aestivum* L.) under controlled conditions of an agroecobiopoligon. *Fiziologiya rastenii*. 2017. Vol. 64. No 1. pp. 55-68 [in Russian]
8. Baric M., Sarcevic H., Keresa S. Analysis of yield components of F1 hybrids of crosses between spring and winter types (*Triticum aestivum* L.). *Agriculturae Conspectus Scientificus*, 2004, 69(1): 11-15pp.
9. Beales J., Turner A., Griffiths S. et al. A pseudo-response regulator is misexpressed in the photoperiod insensitive *Ppd-D1a* mutant of wheat (*Triticum aestivum* L.). *Theor. Appl. Genet.* 2007. V. 115. No 5. P. 721-733.
10. Bousquet J., Simpson I., Lalonde M. DNA amplification from vegetative and sexual tissues of trees using polymerase chain reaction. *Canadian journal of forest research*, 1990; 20:254-257.
11. Kiss T., Balla K., Veisz O., Lang L., Bedo Z., Griffiths S., Isaac P., Karsai I. Allele frequencies in the *VRN-A1*, *VRN-B1* and *VRN-D1* vernalization response and *PPD-B1* and *PPD-D1* photoperiod sensitivity genes, and their effects on heading in a diverse set of wheat cultivars (*Triticum aestivum* L.). *Mol. Breeding*.

2014;34(2):297-310. DOI: 10.1007/s11032-014-0034-2.

12. Petr F.C., Frey K.J. Genotypic correlations, dominance and heritability of quantitative characters in oats. *Crop Science*. 1966. V.6. P.259-262.

13. Sadeque A., Turner M.A. QTL analysis of plant height in hexaploid wheat doubled

haploid population. *Thai J. Agric. Sci.* 2010; 43:91-96.

14. Yang F.P., Zhang X.K., Xia X.C., Laurie D.A., Yang W.X., He Z.H. Distribution of the photoperiod insensitive *Ppd-D1a* allele in Chinese wheat cultivars. *Euphytica*. 2009 V. 165 pp. 445-483.

УДК 633.853.52 (571.1)

DOI: 10.34655/bgsha.2020.60.3.008

В.В. Чибис, А.М. Асанов, С.П. Чибис

ВКЛЮЧЕНИЕ БОБОВОГО КОМПОНЕНТА В ПОЛЕВЫЕ СЕВООБОРОТЫ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ

Ключевые слова: севооборот, гумус, засоренность, соя, белок в зерне, урожайность зерна.

В настоящее время вопрос об оптимизации структуры использования сельскохозяйственных угодий посредством включения бобовых культур особенно актуален как никогда. Данная проблематика объясняется стабильным ростом посевных площадей этих культур, особенно сои в регионах Российской Федерации. Изучали посеvy полевых культур и их продуктивность в многолетних полевых опытах. Сопутствующие учеты и наблюдения за севооборотами в зоне южной лесостепи Западной Сибири проводили с использованием методики государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур и методическими указаниями Б.А. Доспехова. Определение показателей качества зерна сои по ГОСТ Р 53600-2009. Семена масличные, жмыхи и шроты. Метод определения белка; ГОСТ ISO 5983-2-2016 Корма, комбикорма, комбикормовое сырье. Определение массовой доли азота и вычисление массовой доли сырого протеина. В посевах использовали сорт сои Сибирячка. Опытным путем доказано, что максимальное накопление гумуса обеспечивают севообороты с плодосменным чередованием. При использовании чистого пара в ротации продуктивность всего севооборота возрастает до 2,36 т/га с содержанием кормовых единиц в 3,87 т/га. Плодосменные севообороты отличаются друг от друга по продуктивности, однако включение в схему масличной культуры позволило сбалансировать содержание кормовых единиц. Чередование культур и место сои в севооборотах существенно влияли на ее урожайность. Накопление белка не зависит от ротации и набора предшественников. Полученные результаты свидетельствуют о возможности применения изученных схем севооборотов для возделывания сои в целях повышения урожайности этой культуры в хозяйствах региона.

V. Chibis, A. Asanov, S. Chibis

INCLUSION OF BEAN COMPONENT IN FIELD CROP ROTATIONS IN WESTERN SIBERIA

Keywords: crop rotation, humus, contamination, soybeans, protein in grain, productivity of grain.

At present, the issue of optimizing the use of agricultural land through the inclusion of legumes is more relevant than ever. This problem is explained by the steady growth of the sown areas of these crops, especially soybeans in the regions of the Russian Federation. Field crops and their productivity were studied in many years of field experiments. Accompanying measurements and