

Влияние чужеродных замещений и транслокаций на проявление признаков, определяющих устойчивость к стрессам и качество зерна мягкой пшеницы

Ефремова Т.Т.^{1}, к.б.н., с.н.с.; Чуманова Е.В.¹, м.н.с.; Соболев К.В.^{1,2}, магистрант; Кондратьева И.В.², к.с.-х.н., доцент.*

¹*Федеральный исследовательский центр Институт цитологии и генетики СО РАН, Новосибирск, Россия*

²*Новосибирский государственный аграрный университет, Новосибирск, Россия*

**email: efremova@bionet.nsc.ru*

Получены голубозёрные линии с чужеродными транслокациями, несущими гены устойчивости к заболеваниям (пирамида генов от ржи и пырея: Lr26/Pm8/Sr31, Lr19/Sr25, Lr6Ai#2/Sr6Ai/Pm6Ai) и исследованы особенности формирования изучаемых признаков в зависимости от комбинаций чужеродных хромосом или их сегментов. Изучено влияние чужеродного замещения хромосом 5R(5A) на тип развития и время колошения мягкой пшеницы.

Ключевые слова: мягкая пшеница, чужеродная интрогрессия, транслокации, молекулярные маркеры, адаптация, устойчивость к болезням.

Influence of alien substitutions and translocations on the manifestation of traits that determine stress resistance and grain quality of common wheat

Efremova T.T.^{1}, Chumanova E.V.¹, Sobolev K.V.^{1,2}, Kondratyeva I.V.²*

¹*Federal Research Center Institute of Cytology and Genetics, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, Russia*

²*Novosibirsk State Agrarian University, Novosibirsk, Russia*

**email: efremova@bionet.nsc.ru*

Blue-grain lines with alien translocations carrying disease resistance genes were obtained (gene pyramid from rye and wheatgrass: Lr26/Pm8/Sr31, Lr19/Sr25, Lr6Ai#2/Sr6Ai/Pm6Ai) and the features of the formation of the studied traits depending on combinations of alien chromosomes or their segments were studied. The effect of 5R(5A) chromosome substitution on the type of development and heading time of common wheat was studied.

Key words: common wheat, alien introgressions, translocations, molecular markers, adaptation, disease resistance.

Мягкая пшеница (*Triticum aestivum* L., $2n = 6x = 42$, BBAADD) — одна из важнейших сельскохозяйственных культур во всем мире. Главной задачей селек-

ции данной культуры является повышение урожайности и улучшение питательных свойств зерна. В связи с этим создание интрогрессивных линий мягкой пшеницы с чужеродным генетическим материалом от диких и культурных сородичей является эффективным методом расширения генофонда пшеницы. Однако в настоящее время практически отсутствуют данные о комбинировании нескольких чужеродных транслокаций или замещений хромосом, которые влияют не только на устойчивость к болезням, но и на такие признаки как, качество зерна, тип развития, время колошения и адаптация к условиям среды. Хорошо изученным примером чужеродных замещений и транслокаций являются пшенично-ржаная транслокация 1RS.1BL (*Lr26/Pm8/Sr31*), пшенично-пырейная транслокация T7DS.7DL-Ae#1L(*Lr19*) и замещенные линии с хромосомой 6Ai#2 от пырея *Agropyron intermedium* (Host) Beauv. [1]. Кроме того, для создания сортов с повышенным содержанием антоцианов используют линии с голубой окраской зерна, у которых идентифицированы замещение или транслокации от *Agropyron elongatum* (Host) Beauv. в хромосомах 4-й гомеологической группы [2]. С помощью пшенично-ржаных линий с чужеродным замещением хромосом 5-й гомеологической группы изучены их эффекты на проявление признаков, влияющих на время колошения и тип развития [3].

Целью исследования является: 1) изучение устойчивости к бурой ржавчине голубозёрных интрогрессивных линий яровой мягкой пшеницы; 2) изучение влияния 5R(5A) замещения хромосом на время колошения и тип развития.

Материалом для исследования послужили яровые голубозёрные интрогрессивные линии устойчивые к бурой ржавчине (табл. 1) и яровые и озимые пшенично ржаные 5R(5A) замещенные линии по различным сортам пшеницы.

Таблица 1 - Исследованный материал и его происхождение

№	Линия	Родословная линий
1	4Ag(4B)+6Ag ⁱ (6D)	F ₅ : C294Ag(4B)/Мульти6R
2	Л-3	F ₇ : C294Ag(4B)/1RS.1BL+T7DS.7DL-Ae#1L+5R(5D)
3	Л-4	F ₉ : 1RS.1BL+T7DS.7DL-Ae#1L+5R(5D)/C294Ag(4B)
4	Л-7	F ₅ : C294Th(4B)/1RS.1BL+T7DS.7DL-Ae#1L+5AS.5RL
5	Л-8	F ₅ : 1RS.1BL+T7DS.7DL-Ae#1L+5AS.5RL/C294Ag(4B)

Выделены голубозёрные линии устойчивые к листовой ржавчине, несущие двойное замещение от *Ag. intermedium* и *Ag. elongatum* - 4Ag(4B)+6Agⁱ(6D) или транслокации от ржи – 1RS.1BL и пырея *Ag. elongatum* T7DS.7DL-Ae#1L (рис. 1). Для уточнения хромосомного состава двойной голубозёрной пшенично-пырейной замещенной линии 4Ag(4B)+6Agⁱ(6D) был использован PLUG (PCR-based LandmarkUniqueGene) маркер TNAC1752 (6L) для идентификации хромосомы 6Agⁱ пырея. У замещенной линии отсутствует амплификация с TNAC1752

маркером в комбинации с рестриктазой *HaeIII*, что свидетельствует об отсутствии хромосомы 6D пшеницы. При использовании TNAC1752+*TaqI* (TNAC1752 маркер в сочетании с рестриктазой *TaqI*) амплифицируется фрагмент длиной 850 п.н., у пырея *Ag. intermedium* и пшенично-пырейной линии, а у пшеницы этот фрагмент отсутствует (рис. 2). Полученные результаты указывают, что в изученной линии произошло замещение хромосомы 6D пшеницы на хромосому 6Agⁱ. Известно, что хромосома 6Agⁱ несет высокоэффективный ген *Lr6Ai#2*, контролирующий устойчивость к бурой ржавчине [1]. На основании полевых экспериментов взрослых растений было показано, что пшенично-пырейная линия с двойным замещением хромосом 4Ag(4B)×6Agⁱ(6D) обладает устойчивостью к бурой ржавчине в условиях Западной Сибири, также как и исходная линия Мульти6R, но при этом имеет голубое зерно, обусловленное 4Ag(4B) замещением хромосом.

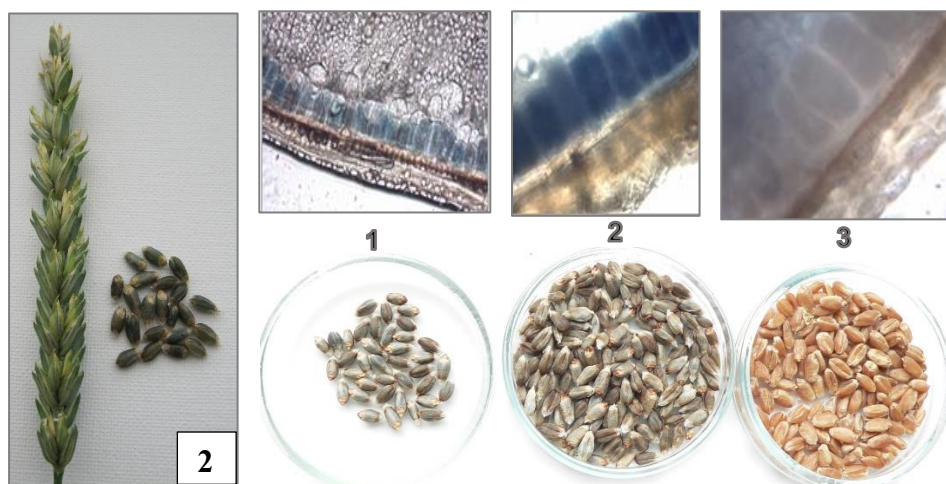


Рис. 1. Колос, зерно и продольный разрез зерновки у линий: 1 – голубозёрная линия s:C294Ag(4B); 2 – голубозёрная линия 4Ag(4B)+6Agⁱ(6D); 3 – красноезёрная линия 6Agⁱ(6D)

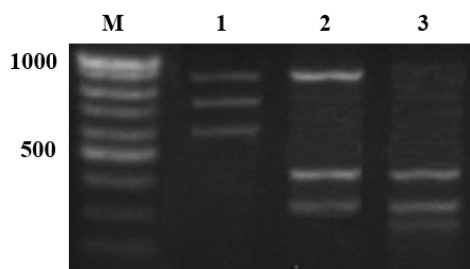


Рис. 2. ПЦР-продукт, полученный с использованием маркера TNAC1752 + *TaqI* (6L) с локализацией на хромосомах 6 гомеологической группы:
1 – *Ag. intermedium*, 2 – пшенично-пырейная линия 4Th(4B)+6Agⁱ(6D), 3 – Саратовская 29

Среди потомства интрогрессивных линий Л-7 и Л-8 в поколении F₂ голубозёрных гибридов с помощью ПЦР-маркеров к генам *Lr19* (SCS265) и *Lr26* (iag95) были выделены растения, сочетающие один или два гена устойчивости к бурой ржавчине *Lr19* и *Lr26* (рис. 3). Установлено, что три интрогрессивные линии –

4AAg(4B)+6Agⁱ(6D), Л-7 и Л-8 показали высокий уровень устойчивости взрослых растений к бурой ржавчине. У линий Л-3 и Л-4 наблюдали небольшие пустулы ржавчины на листьях, что свидетельствует об умеренной устойчивости к заболеванию.

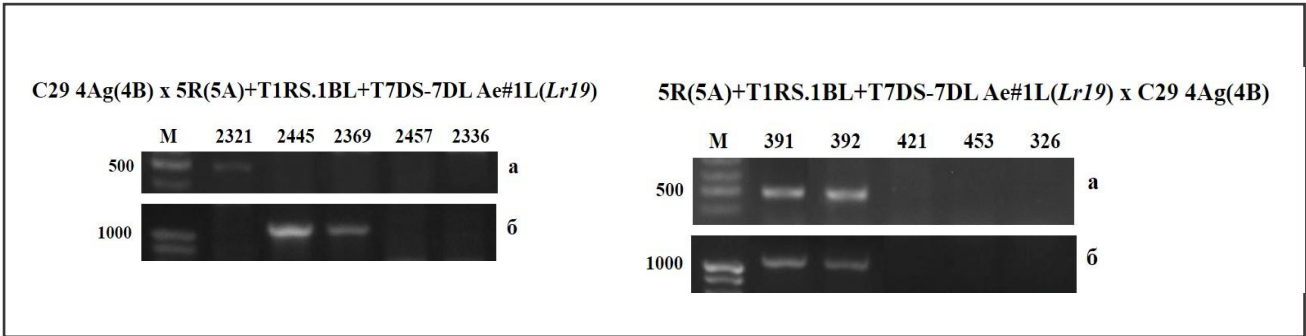


Рис. 3. Анализ гибридов F₂ с использованием ДНК-маркеров для идентификации генов *Lr19* (SCS265) (а) и *Lr 26* (iag95) (б) у интрогрессивных линий.
Цифры сверху – номера изученных растений

Проведена фенотипическая оценка пшенично-ржанных 5R(5A) замещенных линий по следующим признакам: тип развития, время колошения, чувствительность к яровизации (табл. 2). Установлено, что линия Фил.-Он. 5R(5A) не выколашивается в поле при весеннем посеве, а колошение в теплице наступает только после яровизации. Яровые линии с 5R(5A) замещением хромосом по озимым сортам Фил., Ул. и Б1 после 55-дневной яровизации выколашивались за 42, 45 и 43 дн. соответственно и незначительно отличались по времени колошения от неяровизированных растений (табл. 2). Тем самым показано, что доминантный ген *Vrn-R1* ржи не чувствителен к яровизации. Можно предположить, что ген *Vrn-R1* ржи, как и ген *Vrn-A1* пшеницы, определяет отсутствие потребности в яровизации. Пшенично-ржанные линии с участием ржи Вьет. имеют яровой тип развития и выколашиваются поле при естественном длинном дне за 46–49 дней, поскольку несут доминантный аллель *Vrn-R1* ржи в генетическом фоне озимых сортов (табл. 2). Полученные результаты показали, что доминантный ген *Vrn-R1* ржи по фенотипическому проявлению на время колошения эквивалентен гену *Vrn-A1* пшеницы. Тем самым показано, что яровые пшенично-ржанные линии можно использовать как источник чужеродных генов скороспелости.

Таблица 2 – Реакция на яровизацию и время колошения пшенично-ржанных 5R(5A) замещенных линий в яровом посеве (Новосибирск)

Линия	Теплица		Поле 2023
	Яровизация	Без яровизации	
Филатовка-Вьетнамская 5R(5A)	42,8±0,07	44,0±1,81	46,33±1,49
Ульяновка-Вьетнамская 5R(5A)	45,83±3,35	47,0±1,42	49,48±1,42
Безостая 1-Вьетнамская 5R(5A)	43,17±1,32	41,20±0,35	49,20±2,09
Филатовка-Онохойская 5R(5A)	50,5±1,69	-	-

Финансирование: Исследование выполнено при финансовой поддержке гранта РФФИ 24-26-20028 и Новосибирской обл. (р-99).

Список литературы

- 1 Леонова И.Н. Влияние чужеродного генетического материала на проявление хозяйственно важных признаков мягкой пшеницы (*T. aestivum* L.). Вавиловский журнал генетики и селекции. 2018. 22(3):321-328.
- 2 Burešová, V., Kopecký, D., Bartoš, J., Martinek, P., Watanabe, N., Vyhnánek, T., Doležel, J. Variation in genome composition of blue-aleurone wheat. Theoretical and Applied Genetics. 2015. 128:273-282.
- 3 Efremova T.T., Maystrenko O.I., Arbuzova V.S., Laikova L.I., Panina G.M., Popova O.M., Berezova O.V. Effect of alien 5R(5A) chromosome substitution on ear-emergence time and winter hardiness in wheat-rye substitution lines. Euphytica. 2006. 151:145–153.

DOI 10.18699/GPB2024-34

ISSR-анализ генетической изменчивости в ценопопуляциях некоторых редких и уязвимых видов сибирской флоры

Жмудь Е.В. *, д.б.н., с.н.с., Дорогина О.В. *, д.б.н., проф., гл. н.с.; Кубан И.Н., м.н.с., Ачимова А.А., к.б.н., н.с., директор филиала.

ФГБУН Центральный сибирский ботанический сад СО РАН, Новосибирск; Горно-Алтайский ботанический сад, филиал Центрального сибирского ботанического сада СО РАН, Горно-Алтайск, Россия

*email: elenazhmi@gmail.com; *email: olga-dorogina@yandex.ru

В 2018–2023 гг. проведены сравнительные исследования генетической структуры в ценопопуляциях (ЦП) редких и уязвимых сибирских видов *Rhaponticum carthamoides* (5 ЦП), *Rhodiola rosea* (7 ЦП) и *Adonis villosa* (6 ЦП) в Республике Алтай методом ISSR – маркирования. Обнаружено, что минимальная генетическая гетерогенность (3 %) наблюдалась у *A. villosa*, более высокая – у представителей *R. carthamoides*. Основной фактор снижения этого показателя – пространственная изоляция популяций, итогом которой является гомогенизация их генетической структуры. Этот процесс может быть связан с географическим расположением ЦП (у *R. carthamoides*) и с фрагментацией ЦП в результате элиминации особей при антропогенном воздействии (у *R. rosea* и *A. villosa*).

Ключевые слова: Республика Алтай, *Rhaponticum carthamoides*, *Rhodiola rosea*, *Adonis villosa*, параметры генетического разнообразия.

ISSR-analysis of genetic variability in coenopopulations of some rare and vulnerable species of Siberian flora

Dorogina O.V. *, Kuban I.N., Achimova A.A., Zhmud E.V.

Central Siberian Botanical Garden SB RAS, Novosibirsk, Russia