

 pismavavilov.ru

DOI 10.18699/LettersVJ-2023-9-10

Оригинальное исследование

Изучение факультативных форм тритикале после осеннего и весеннего сева

П.И. Стёпочкин , Н.Н. Ермошкина

Аннотация: Факультативные формы тритикале могут давать потомство как после осеннего, так и весеннего сева. Вопрос, при каком типе сева их целесообразней выращивать, решается экспериментально. Цель данной работы заключается в определении способа сева факультативных форм тритикале, при котором они в большей степени реализовывают положительные свойства и потенциал продуктивности в условиях Новосибирской области. В 2020 и 2021 гг. после осеннего и весеннего сева изучены размещенные по черному пару по общепринятой методике полевого опыта факультативные формы тритикале, созданные из двух озимых сортов и четырех яровых коллекционных образцов. Тритикале Цекад 90/5 и Сирс 57/2/4, полученные из озимых сортов, показали длительный вегетационный период и высокую перезимовку (97.5–100 %) в отличие от четырех форм, выделенных из яровых коллекционных образцов – Укро, Квадро, Ульяна, Лотас, у которых этот показатель варьировал от 37.5 (Укро) до 80 (Лотас) %. У всех форм увеличилась натура зерна, масса 1000 зерен, длина соломины, число колосков в колосе, а число зерен и длина колоса уменьшились (кроме Укро) при осеннем севе по сравнению с весенним. Число продуктивных стеблей после осеннего сева и перезимовки было существенно выше, чем после весеннего сева, у трех форм: Цекад 90/5, Сирс 57/2/4 и Квадро. У других трех форм, наоборот, растения после весеннего сева были более кустистыми. У тритикале Цекад 90/5 и Сирс 57/2/4 продуктивность зерна была значительно выше при осеннем севе, чем при весеннем. У четырех форм, выделенных из яровых коллекционных образцов, показатель продуктивности зерна оказался выше при весеннем севе. Таким образом, у факультативных форм тритикале, созданных из озимых сортов, лучшие показатели селекционно ценных признаков проявляются после осеннего сева, а у факультативных форм, созданных из яровых коллекционных форм, – после весеннего сева.

Ключевые слова: факультативная форма; тритикале; осенний сев; весенний сев; перезимовка; признак.

Для цитирования: Стёпочкин П.И., Ермошкина Н.Н. Изучение факультативных форм тритикале после осеннего и весеннего сева. *Письма в Вавиловский журнал генетики и селекции*. 2023;9(2):81-85. DOI 10.18699/LettersVJ-2023-9-10

Благодарности: Работа поддержана бюджетным проектом ИЦиГ СО РАН FWN-2022-0018.

Original article

Study of facultative forms of Triticale after autumn and spring planting

P.I. Stepochkin , N.N. Ermoshkina

Abstract: Facultative forms of triticale can give offspring both after autumn and after spring sowing. The question of what type of sowing it is more expedient to grow them is being solved experimentally. The purpose of this work is to identify under which method of sowing of facultative triticale forms they better realize positive properties and productivity potential in the conditions of the Novosibirsk region. Two triticale forms made from two winter varieties and four forms made from spring collection accessions were studied in 2020 and 2021 in the experiments of autumn and spring sowing according to the method of field experiments. Triticale Tsekad 90/5 and Sears 57/2/4, made from winter varieties, showed long vegetative period and high overwintering (97.5–100 %), in contrast to four forms made from spring collection accessions – Ukro, Kvadro, Uliana and Lotas. Their index of winter survival varies from 37.5 (Ukro) to 80 (Lotas) %. The indexes of volume grain weight, the mass of 1000 kernels, the length of the culm, the number of spikelets increased, but the indexes of the number of kernels, the length of spike decreased after autumn sowing compared to spring one in all studied forms (except for Ukro k-3644). The number of productive stems of plants of three triticale forms: Tsekad 90/5, Sirs 57/2/4 and Kvadro k-4073 after autumn sowing and overwintering was significantly higher than that after spring sowing. The plants of the other three forms on the contrary had more calms after spring sowing. Grain productivity of Tsekad 90/5 and Sears 57/2/4 was significantly higher

Сибирский научно-исследовательский институт растениеводства и селекции – филиал Федерального исследовательского центра Институт цитологии и генетики Сибирского отделения Российской академии наук, р.п. Краснообск, Новосибирская область, Россия
Siberian Research Institute of Plant Production and Breeding – Branch of the Institute of Cytology and Genetics of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Krasnoobsk, Novosibirsk region, Russia

 petstep@ngs.ru

 © Стёпочкин П.И., Ермошкина Н.Н., 2023

after autumn sowing than one after spring sowing. Grain productivity index was higher after spring sowing than after autumn sowing of four forms made from spring collection accessions. Thus, the facultative forms of triticale made from winter varieties show the best indexes of selection valuable traits after autumn sowing, but the facultative forms made from spring collection triticale lines show the best indexes of these traits after spring sowing.

Key words: facultative form; triticale; autumn, spring sowing; overwintering; trait.

For citation: Stepochkin P.I., Ermoshkina N.N. Study of facultative forms of Triticale after autumn and spring planting. *Pisma v Vavilovskii Zhurnal Genetiki i Selekcii = Letters to Vavilov Journal of Genetics and Breeding*. 2023;9(2):81-85. DOI 10.18699/LettersVJ-2023-9-10 (in Russian)

Acknowledgements: This work was supported by the budget project of IGG SB RAS FWNR-2022-0018 in part of field trial and experimental measurements.

Введение

Злаковые культуры, к которым относится и тритикале, могут иметь озимый, яровой, а также альтернативный тип развития, при котором растения могут переходить к генеративному развитию при возделывании и по озимой, и по яровой технологии. Озимым культурам для перехода к генеративному развитию необходимо пройти стадию яровизации, т. е. подвергнуться воздействию низких положительных температур в течение нескольких недель. Яровым растениям это не требуется. Растения альтернативного типа развития, так называемые факультативные формы, могут проходить все фазы развития как при осеннем, так и весеннем севе (Зайцева, 2015).

Факультативные формы – удобный объект изучения влияния образа жизни растений при осеннем или весеннем севе на урожай зерна и другие хозяйственно полезные признаки. Фактически генотип растения попадает в контрастные условия проявления действия генов *VRN* (*response to vernalization*). Продукты деятельности этих генов регулируют переход к генеративной фазе развития растения (Yan et al., 2003, 2004, 2006; Yoshida et al., 2010). Ген *VRN1* непосредственно ответствен за выработку в апикальной меристеме проростка семени транскрипционных факторов, определяющих переход растения от вегетативной к генеративной фазе развития (Yan et al., 2003). Ортологи этого гена *VRN-A1*, *VRN-B1* и *VRN-D1* локализованы у мягкой пшеницы в длинных плечах гомеологичных хромосом пятой группы в геномах A, B и D соответственно (Law et al., 1976). У ржи ген *VRN-R1* находится в хромосоме 5RL (Plaschke et al., 1993). Озимые растения несут рецессивные аллели этих генов. Есть доказательства того, что яровизация растений с рецессивными аллелями этих генов вызывает деметилирование их ДНК, приводящее к генеративному развитию и цветению растений (Sherman, Talbert, 2002). Доминантные аллели любого из этих генов обеспечивают яровым растениям прохождение всех фаз развития без необходимости длительной обработки низкими положительными температурами (Nowak et al., 2014).

У факультативных форм развитие растений может определяться активностью доминантных аллелей гена *VRN-B1* (Стелямах, 1985) или доминантного аллеля *VRN-D1b*, который возник вследствие единичной нуклеотидной мутации в промоторном участке гена *VRN-D1a* (Zhang et al., 2012). В результате этого растения способны переходить к генеративному развитию при весеннем севе. При осеннем севе действие доминантных аллелей этих генов притормажива-

ется, и растения уходят в зиму по типу озимых форм. По некоторым источникам, факультативные формы тритикале более продуктивны, чем озимые, при тех же сроках сева (Mazurenko et al., 2020). Целесообразность выращивания факультативных форм тритикале при весеннем или осеннем севе решается экспериментально.

Цель данной работы – определение способа сева факультативных форм тритикале, при котором они лучше реализовывают положительные свойства и потенциал продуктивности в условиях Новосибирской области.

Материал и методы

Исследование проводили с 2018 по 2021 г. в лесостепи Новосибирской области в СибНИИРС – филиале ИЦиГ СО РАН. Полевые опыты закладывали посевом тритикале по черному пару на делянках, расположенных согласно принятой методике полевого опыта (Доспехов, 1985). Климат Новосибирской области континентальный, с суровой продолжительной зимой и коротким и часто засушливым летом. В 2018–2020 гг. для высеванных осенью тритикале была умеренно теплая погода с чередованием высоких температур воздуха с заморозками при продолжительной осенней вегетации (до второй декады октября). В сентябре среднемесячная температура воздуха соответствовала уровню среднесезонных данных – от +10.8 до +11.0 °С. В 2018 г. зафиксировано оптимальное количество осадков (113 %), в 2019 и 2020 гг. отмечено избыточное количество осадков – 175 и 163 % соответственно. В зимний период снежный покров составил от 56 до 67 см, а минимальная температура почвы на глубине узла кущения растений достигала –11 °С. Существенный недобор осадков наблюдался в 2021 г. (68 %), тогда как в 2019 и 2020 гг. зафиксирована дождливая погода – 126 и 154 % соответственно. В июне и июле среднесуточная температура воздуха была на уровне среднесезонных значений. В 2019 и 2020 гг. в июне отмечен дефицит осадков (44–46 %), а в июле, наоборот, избыток (128–147 %). Иначе сложились условия в 2021 г.: в июне количество осадков было больше (133 %), а в июле меньше (33 %). Осенний и весенний сев проводили по чистому пару в оптимальные сроки сева с нормой высева 5 млн всхожих семян на 1 га. Исходным материалом являлись 10 яровых форм пшенично-ржаных амфидиплоидов из мировой коллекции ВИР – Укро, Ровня, Квадро, Арсенал, Русло, Карго, Лотас, Норманн, Ульяна, Узор, два озимых сорта – Цекад 90, Сирс 57 и две факультативные формы тритикале – Цекад 90/5, Сирс 57/2/4. Факультативные тритикале, пере-

Таблица 1. Перезимовка (%) в 2020 и 2021 гг. форм тритикале альтернативного типа развития
Table 1. Winter survival (%) in 2020 and 2021 of triticale forms of alternative development

Год	Сирс 57/2/4	Цекад 90/5	Лотас (к-3889)	Ульяна (к-3887)	Квадро (к-4073)	Укро (к-3644)
2020	100	95	70	65	60	40
2021	100	100	90	80	75	35
Среднее	100	97.5	80	72.5	67.5	37.5

Таблица 2. Морфологические признаки вызревших растений факультативных форм тритикале после перезимовки и весеннего сева в 2021 г.

Table 2. Morphological traits of ripe plants of facultative triticale forms after winter survival and after spring sowing in 2021

Тритикале	Вегетационный период, сут	Число стеблей, шт. / 0.1 м ²	Длина соломины, см	Длина колоса, см	Число колосков / 1 см колоса
Цекад 90/5 (В)	92	22.2 ± 1.5	81 ± 2	12.4 ± 0.4*	2.61 ± 0.07
Цекад 90/5 (О)	126	27.4 ± 0.7*	95 ± 2*	11.1 ± 0.4	2.77 ± 0.10
Сирс 57/2/4 (В)	93	31.0 ± 1.3	76 ± 4	11.3 ± 0.6	2.71 ± 0.14
Сирс 57/2/4 (О)	126	42.2 ± 0.9*	95 ± 3*	10.6 ± 0.3	2.73 ± 0.06
Квадро (к-4073) (В)	82	20.8 ± 2.6	86 ± 3	13.1 ± 0.7*	1.86 ± 0.10
Квадро (к-4073) (О)	114	31.2 ± 1.8*	110 ± 4*	9.4 ± 0.2	2.37 ± 0.10*
Ульяна (к-3887) (В)	82	22.4 ± 1.3	93 ± 5	12.0 ± 0.8	2.16 ± 0.07
Ульяна (к-3887) (О)	118	20.8 ± 0.9	115 ± 3*	10.1 ± 0.7	2.67 ± 0.10*
Укро (к-3644) (В)	80	26.4 ± 0.7*	105 ± 3	10.6 ± 0.3	2.31 ± 0.08
Укро (к-3644) (О)	122	11.6 ± 0.9	108 ± 3	11.4 ± 0.7	2.34 ± 0.12
Лотас (к-3889) (В)	85	28.6 ± 1.4*	85 ± 5	11.9 ± 0.4	2.19 ± 0.05
Лотас (к-3889) (О)	118	24.2 ± 0.8	113 ± 5*	11.0 ± 0.5	2.38 ± 0.08

Примечание. Здесь и далее в табл. 3: О – перезимовавшая форма после осеннего сева; В – форма после весеннего сева. * достоверно при $p < 0.05$.

шедшие к генеративному развитию, возникли при весеннем севе в 2007 г. в популяциях озимых сортов Цекад 90 и Сирс 57 с частотой 11/2145000 и 7/1744400 соответственно (Стёпочкин, 2005). Так, получены две факультативные формы – Цекад 90/5 и Сирс 57/2/4, способные давать урожай зерна как при весеннем, так и осеннем севе.

Осенью 2018 г. высевали 10 яровых форм пшенично-ржаных амфидиплоидов, два озимых сорта и две факультативные формы тритикале на площади делянок 2 м². Перезимовавшие в 2019 г. формы посеяны вновь 2 сентября 2020 г. В 2021 г. проводили структурный анализ растений форм, перезимовавших весной 2019 г. и посеянных осенью в первых числах сентября 2020 г. и весной в середине мая 2021 г. на делянках 2 м² с одинаковой нормой посева – 500 зерен на 1 м². Размещение делянок и опыты выполняли по методике полевого опыта (Доспехов, 1985). Фенологические наблюдения проводили в полевых условиях, определение структуры урожая – в лабораторных. Результаты исследования обрабатывали статистически с помощью t -критерия Стьюдента (Доспехов, 1985).

Результаты и обсуждение

В 2019 г. перезимовали только растения коллекционных форм Укро (к-3644), Квадро (к-4073), Ульяна (к-3887), Лотас (к-3889) и факультативные тритикале Цекад 90/5, Сирс 57/2/4. В последующие два года средний показатель их перезимовки был разным: факультативные формы – 100 %, Лотас – 80 %, Ульяна – 72.5 %, Квадро – 67.5 %, Укро – 37.5 % (табл. 1).

Длительность вегетационного периода от всходов до полного созревания зерен как после весеннего, так и после осеннего (за вычетом суток зимнего анабиоза растений) сева у двух факультативных форм Сирс 57/2/4 и Цекад 90/5 гораздо выше, чем у четырех остальных форм (табл. 2). Длительность вегетационного периода у перезимовавших форм складывалась из числа суток от всходов растений в первой декаде сентября до прекращения вегетации и ухода в зиму в начале октября (30–35 сут) и от начала весенней вегетации во второй декаде апреля до полного созревания растений во второй – третьей декаде июля (80–90 сут). Полное созревание растений тритикале,

Таблица 3. Основные количественные признаки структуры урожая факультативных тритикале после перезимовки и весеннего сева в 2021 г.**Table 3.** The main quantitative traits of the yield structure of the facultative triticale after overwintering and spring sowing in 2021

Тритикале	Число зерен с колоса, шт.	Масса 1000 зерен, г	Натура зерна, г/л	Урожайность, г/м ²
Цекад 90/5 (В)	113 ± 12*	27 ± 3	571 ± 31	688 ± 26
Цекад 90/5 (О)	60 ± 5	45 ± 3*	749 ± 6*	746 ± 21
С 57/2/4 (В)	84 ± 10*	25 ± 4	567 ± 27	662 ± 29
С 57/2/4 (О)	48 ± 5	39 ± 2*	697 ± 8*	782 ± 30*
Квадро (к-4073) (В)	89 ± 10*	49 ± 6	696 ± 33	898 ± 30*
Квадро (к-4073) (О)	48 ± 4	52 ± 2	797 ± 10*	774 ± 26
Ульяна (к-3887) (В)	76 ± 12	42 ± 6	698 ± 29	728 ± 31
Ульяна (к-3887) (О)	61 ± 8	53 ± 2	782 ± 8*	672 ± 45
Укро (к-3644) (В)	67 ± 5	53 ± 3	752 ± 11	922 ± 47**
Укро (к-3644) (О)	60 ± 7	51 ± 2	757 ± 75	356 ± 23
Лотас (к-3889) (В)	74 ± 9	39 ± 3	649 ± 19	808 ± 30
Лотас (к-3889) (О)	55 ± 5	57 ± 3*	754 ± 17*	766 ± 24

высеянных в первой декаде мая, было в начале – середине августа.

Все формы осеннего сева, по сравнению с весенним, увеличили длину соломины и число колосков в колосе (см. табл. 2), при этом длина колоса у них (кроме Укро) уменьшилась. В результате этого колос у форм тритикале после осеннего сева был плотнее, чем после весеннего. Число стеблей на растение у перезимовавших форм Цекад 90/5, Сирс 57/2/4 и Квадро было больше, чем у этих же форм, высеянных весной. У коллекционных форм Укро, Ульяна и Лотас, напротив, было больше стеблей у растений при весеннем севе, чем при осеннем.

В основном масса 1000 зерен и натура зерна у перезимовавших форм осеннего сева характеризовались более высокими показателями, чем у этих же форм после весеннего сева, но число зерен с колоса было меньше (табл. 3). Селекционные формы Цекад 90/5 и Сирс 57/2/4 были более урожайными при осеннем севе, чем при весеннем.

Полученные из яровых коллекционных образцов зимующие формы можно считать условно факультативными из-за невысокой зимостойкости в условиях сибирского региона. Слабая перезимовка растений повлияла на их невысокую урожайность. Самый слабозимостойкий из всех изученных тритикале Укро при осеннем севе показал наиболее низкую урожайность, но при яровом севе он по этому признаку превзошел все остальные изученные формы. Видимо, разные генетические системы определили альтернативный тип развития растений у форм, полученных из озимых популяций и яровых.

Те факультативные формы, которые выделены из озимых популяций, оказались и самыми зимостойкими. После осеннего сева их урожайность выше, чем после весеннего. При весеннем севе в тех же условиях выращивания у них более длительный вегетационный период, чем у коллекционных

форм. Возможно, это связано с активностью аллелей гена *VRN-B1*. В научной литературе представлены сообщения о том, что альтернативный тип развития растений может быть проявлением некоторых доминантных аллелей гена *VRN-B1* (Стельмах, 1985) или доминантного аллеля *VRN-D1b*, возникающего в результате единичной нуклеотидной мутации в промоторном участке гена *VRN-D1a* (Zhang et al., 2012).

По нашим наблюдениям, факультативные формы тритикале, выделенные из озимых популяций, не отличаются ни по морфологическим признакам, ни по перезимовке, ни по продуктивности от исходных озимых форм. Другие исследования включают данные, согласно которым факультативные формы даже более урожайные, чем озимые, при тех же условиях выращивания (Mazurenko et al., 2020).

Заключение

Данные представленного исследования указывают на то, что у факультативных форм тритикале, созданных из озимых сортов, лучшие показатели селекционно ценных признаков проявляются после осеннего сева, а у факультативных форм, созданных из яровых коллекционных форм, – после весеннего сева.

Список литературы / References

- Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). М., 1985.
 [Dospikhov B.A. Field experiment technique (with the basics of statistical processing of research results). Moscow, 1985. (in Russian)]
- Зайцева О.И., Лемеш В.А. Аллельный состав генов *VRN-A1*, *VRN-B1*, и *VRN-B3* у линий удвоенных гаплоидов гексаплоидной тритикале. *Генетика*. 2015;51(7):766-774. DOI 10.7868/S0016675815070140.
 [Zaitseva O.I., Lemesh V.A. Allelic composition in the *VRN-A1*, *VRN-B1*, and *VRN-B3* genes of double haploid lines of hexaploid triticale. *Russian Journal of Genetics*. 2015;51(7):653-660. DOI 10.1134/S1022795415070145.]

- Стельмах А.Ф. Генотип типичных двуручек мягкой пшеницы по локусам *VRN1-3* и *Ppd1-3*. *Научно-технический бюллетень Всесоюзного селекционно-генетического института*. 1985;56(2): 15-20.
- [Stelmakh A.F. Genotype of typical facultative common wheat with loci *VRN1-3* and *Ppd1-3*. *Nauchno-tekhicheskiy Byulleten' Vsesoyuznogo Seleksionno-Geneticheskogo Instituta*. 1985;56(2): 15-20. (in Russian)]
- Стёпочкин П.И. Изучение факторов, влияющих на частоту возникновения яровых растений в популяциях озимой тритикале. *Доклады РАСХН*. 2005;(2):3-5.
- [Stepochkin P.I. Study of the factors influencing spring plants appearance frequency in the populations of winter triticales. *Doklady Rossiyskoy Akademii Selskokhozyaystvennykh Nauk = Proceedings of the Russian Academy of Agricultural Sciences*. 2005;(2):3-5. (in Russian)]
- Law C.N., Worland A.J., Giorgi B. The genetic control of ear-emergence time by chromosomes 5A and 5D of wheat. *Heredity*. 1976;1(36):49-58. DOI 10.1038/hdy.1976.5.
- Mazurenko B., Kalenska S., Honchar L., Novytska N. Grain yield response of facultative and winter triticale for late autumn sowing in different weather conditions. *Agron. Res.* 2020;18(1):183-193. DOI 10.15159/AR.20.008.
- Nowak M., Leśniowska-Nowak J., Zapalska M., Banaszak Z., Kondracka K., Dudziak K., Kowalczyk K. Analysis of *VRN1* gene in triticale and common wheat genetic background. *Sci. Agric.* 2014;71(5):380-386. DOI 10.1590/0103-9016-2013-0254.
- Plaschke J., Börner A., Xie D.X., Koeber R.M.D., Schlegel R., Gale M.D. RFLP mapping of genes affecting plant height and growth habit in rye. *Theor. Appl. Genet.* 1993;85(8):1049-1054. DOI 10.1007/BF00215046.
- Sherman J.D., Talbert L.E. Vernalization-induced changes of the DNA methylation pattern in winter wheat. *Genome*. 2002;45(2):253-260. DOI 10.1139/g01-147.
- Yan L., Loukoianov A., Tranquilli G., Helguera M., Fahima T., Dubcovsky J. Positional cloning of the wheat vernalization gene *VRN1*. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*. 2003;100(10):6263-6268. DOI 10.1073/pnas.0937399100.
- Yan L., Loukoianov A., Blechl A., Tranquilli G., Ramakrishna W., San-Miguel P., Bennetzen J.L., Echenique V., Dubcovsky J. The wheat *VRN2* gene is a flowering repressor down-regulated by vernalization. *Science*. 2004;5664(303):1640-1644. DOI 10.1126/science.1094305.
- Yan L., Fu D., Li C., Blechl A., Tranquilli G., Bonafede M., Sanchez A., Valarik M., Yasuda S., Dubcovsky J. The wheat and barley vernalization gene *VRN3* is an orthologue of *FT*. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*. 2006;103(51):19581-19586. DOI 10.1073/pnas.0607142103.
- Yoshida T., Nishida H., Zhu J., Nitcher R., Distelfeld A., Akashi Y., Kato K., Dubcovsky J. *VRN-D4* is a vernalization gene located on the centromeric region of chromosome 5D in hexaploid wheat. *Theor. Appl. Genet.* 2010;120(3):543-552. DOI 10.1007/s00122-009-1174-3.
- Zhang J., Wang Y., Wu S., Yang J., Liu H., Zhou Y. A single nucleotide polymorphism at the *VRN-D1* promoter region in common wheat is associated with vernalization response. *Theor. Appl. Genet.* 2012;125(8):1697-1704. DOI 10.1007/s00122-012-1946-z.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Поступила в редакцию 20.01.2023. После доработки 11.04.2023. Принята к публикации 18.04.2023.