

ИММУНИТЕТ КУЛЬТУРНЫХ РАСТЕНИЙ И ИХ ДИКИХ РОДИЧЕЙ

Научная статья

УДК 633.11.1

DOI: 10.30901/2227-8834-2022-1-199-207

Выполненность соломины как важный фактор защиты пшеницы от хлебного пилильщика (*Cerphus pugnax* L.) на Алтае

С. Б. Лепехов, В. А. Петин, М. В. Чебатарева

Федеральный Алтайский научный центр агробиотехнологий, Барнаул, Россия

Автор, ответственный за переписку: Сергей Борисович Лепехов, sergei.lepehov@yandex.ru

Актуальность. Стеблевой хлебный пилильщик *Cerphus pugnax* L. относится к серьезным вредителям пшеницы в Алтайском крае. Устойчивость растений-хозяев к этому насекомому основана на выполненности соломины. Влияние данного признака на заселенность стеблей личинками пилильщика и морфобиологические признаки яровой мягкой пшеницы в условиях Алтайского края не изучено.

Материалы и методы. Исследование проведено на опытном поле ФГБНУ «Федеральный Алтайский научный центр агробиотехнологий» в 2019–2021 гг. Индекс выполненности соломины оценен по 20-балльной шкале. Взаимосвязь выполненности соломины с заселенностью стеблей пшеницы личинками хлебного пилильщика изучена на 12 генотипах. Влияние выполненности соломины на морфобиологические признаки исследовано на шести парах сестринских линий. По индексу выполненности соломины изучено 100 сортов, по устойчивости к хлебному пилильщику – 184 сорта.

Результаты. Коэффициент корреляции Спирмена между индексом выполненности соломины и заселенностью стеблей личинками хлебного пилильщика составил –0,77 в 2019 г. и –0,80 в 2020 г. Линии с выполненной соломиной в среднем за два года характеризовались меньшей высотой растения (–5 см), меньшей озерненностью одного колоска (–0,11 штук), массой 1000 зёрен (–1,7 г) и продуктивностью главного колоса (–0,08 г), но большей массой зерна побегов кущения (+0,11 г). Отрицательного влияния выполненности соломины на урожайность и качество зерна не выявлено. Обнаружено 11 сортов с индексом выполненности соломины > 15 баллов: 'Ершовская 33', 'Изера', 'Квинтус', 'КВС Аквилон', 'Тибальт', 'Cunningham', 'KW 240-3-13', 'KBC 3.13', 'Lillian', 'Sparrow', 'WW-4'.

Заключение. Выполненность соломины существенно снижает вред, наносимый стеблевым хлебным пилильщиком, и не сказывается отрицательно на урожайности и показателях качества зерна. Рекомендуется использовать выделенные сорта с выполненной соломиной в селекции пшеницы на устойчивость к хлебному пилильщику.

Ключевые слова: урожайность, качество зерна, вредитель, устойчивость, селекция

Благодарности: работа выполнена в рамках государственного задания Федерального Алтайского научного центра агробиотехнологий 0534-2021-0003 «Использование молекулярно-генетических и биотехнологических методов исследований в селекции растений».

Авторы выражают признательность бывшему младшему научному сотруднику молекулярно-генетической лаборатории ФГБНУ ФАНЦА Касаткиной Елизавете Сергеевне за значительный вклад при работе с растительным материалом. Авторы благодарят рецензентов за их вклад в экспертную оценку этой работы.

Для цитирования: Лепехов С.Б., Петин В.А., Чебатарева М.В. Выполненность соломины как важный фактор защиты пшеницы от хлебного пилильщика (*Cerphus pugnax* L.) на Алтае. Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2022;183(1):199-207. DOI: 10.30901/2227-8834-2022-1-199-207

IMMUNITY OF CULTIVATED PLANTS AND THEIR WILD RELATIVES

Original article

DOI: 10.30901/2227-8834-2022-1-199-207

Stem solidness as an important factor for wheat protection from European wheat stem sawfly (*Cephus pygmaeus* L.) in Altai

Sergey B. Lepekhov, Vadim A. Petin, Maria V. Chebatoreva

Federal Altai Scientific Centre of Agro-BioTechnologies, Barnaul, Russia

Corresponding author: Sergey B. Lepekhov, sergei.lepehov@yandex.ru

Background. European wheat stem sawfly (*Cephus pygmaeus* L.) is the main pest of wheat in Altai Territory, Russia. Resistance of host plants to this insect is based on a solid stem. The effect of a solid stem on the infestation of wheat stem sawfly larvae and on agronomic traits of spring bread wheat under the conditions of Altai Territory has not been studied.

Materials and methods. The study was conducted on the experimental field of the Federal Altai Scientific Centre of Agro-BioTechnologies, Barnaul, Russia, in 2019–2021. The index of stem solidness was assessed according to a 20 point scale. The interplay between stem solidness and wheat stem sawfly larvae infestation of wheat plants was studied on 12 genotypes. The effect of stem solidness on agronomic traits was studied on 6 pairs of sister lines. One hundred cultivars were studied for the stem solidness index and 184 cultivars were tested for their resistance to wheat stem sawfly.

Results. Stem solidness negatively correlated with wheat stem sawfly infestation (Spearman's rank correlation coefficient was $r_s = -0.77$ in 2019 and $r_s = -0.80$ in 2020). Sister lines with a solid stem had significantly shorter plant height (–5 cm), less kernels per spikelet (–0.11 kernels), 1000 grain weight (–1.7 g) and grain weight per spike (–0.08 g), but higher grain weight per tiller spike (+0.11 g), compared to sister lines with a hollow stem averaged over two years. Stem solidness had no negative effect on yield or grain quality. Eleven cultivars with a solid stem index higher than 15 points were identified ('Ershovskaya 33', 'Izera', 'Kvintus', 'KWS Akvilon', 'Tybalt', 'Cunningham', 'KW 240-3-13', 'KWS 3.13', 'Lillian', 'Sparrow', 'WW-4').

Conclusion. Stem solidness significantly decreases the damage from wheat stem sawfly and has no negative effect on yield or gluten and protein content in grain. The abovementioned cultivars with a solid stem are recommended for use in breeding for resistance to wheat stem sawfly.

Keywords: yield; grain quality, pest, resistance, breeding

Acknowledgments: the work was implemented within the framework of the Federal Altai Scientific Centre of Agro-BioTechnologies 0534-2021-0003 "The use of molecular genetics and biotechnological research methods in plant breeding".

The authors are grateful to Elizaveta S. Kasatkina, former Associate Research Scientist at the Molecular Genetics Laboratory of FASCA, for her significant contribution to the work with plant material.

The authors thank the reviewers for their contribution to the peer review of this work.

For citation: Lepekhov S.B., Petin V.A., Chebatoreva M.V. Stem solidness as the important factor for wheat protection from stem sawfly (*Cephus pygmaeus* L.) in Altai. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2022;183(1):199-207. DOI: 10.30901/2227-8834-2022-1-199-207

Введение

Стеблевые пилильщики из семейства Cephidae относятся к вредителям злаков. В Евразии широко распространен вид *Cephus pygmaeus* L., а в Северной Америке – *Cephus cinctus* Norton. Начиная с 2007 г. стеблевой хлебный пилильщик (*C. pygmaeus*) стал экономически значимым вредителем яровой пшеницы в Алтайском крае. Он встречается во всех почвенно-климатических зонах региона. Главная особенность вредителя сибирской популяции состоит в его питании на яровой пшенице, а не на озимой, как в европейской части России (Dolmatova, 2016).

Негативное воздействие пилильщика на урожайность сводится к физиологическому и физическому влиянию. Личинка, развивающаяся внутри стебля, снижает продуктивность колоса на 11–22%, содержание белка на 0,6–1,2%, повреждая сосудисто-волокнистые пучки, уменьшая приток ассимилятов и воды в зерновки (Holmes, 1977). Физическое воздействие заметно визуально и наиболее губительно. Личинка подгрызает стебель изнутри у основания, вызывая его падение. Упавшие стебли с колосом уже не могут быть убраны. Потери зерна, вызванные подпиливанием, оцениваются в 0,8–1,6 т/га (Farstad, Jacobson, 1945).

Несмотря на контроль за распространением стеблевого хлебного пилильщика с помощью агротехнических, химических и биологических приемов, только устойчивость растений-хозяев, основанная на выполненности соломины, оказалась эффективной (Beres et al., 2011). Паренхима внутри стебля препятствует перемещению личинки в корневую часть растения, что предотвращает подпиливание стеблей и ведет к гибели личинки. Сорта с выполненной соломиной существенно меньше повреждены личинками пилильщика, и этот эффект заметнее, когда заселено более 15% растений (Szczepaniec et al., 2015). У первого канадского сорта пшеницы с выполненной соломиной 'Rescue' потери стеблестоя в 1947 г. в Монтане не превышали 5%, а у сортов с полой соломиной составили 95% (Platt et al., 1948). К сожалению, урожайность этого сорта была ниже на 8–15%, чем у других сортов (Stoa, 1947).

Главный фактор широкого использования выполненности соломины в селекции пшеницы заключается в простоте отбора по данному признаку (Varella et al., 2015). Выполненность соломины в подавляющем большинстве случаев контролируется локусом *Qss.msub-3BL*, который на 76% определяет изменчивость данного признака (Cook et al., 2004). Выявлен также локус *Qss.msub-3DL*, который в другой картирующей популяции определял 31% изменчивости выполненности соломины (Lanning et al., 2006).

В исследованиях последних десяти лет негативное влияние выполненности соломины на другие агрономические признаки, включая урожайность и качество зерна, не обнаружено (Sherman et al., 2015; Cook et al., 2019). Однако в ранних работах такое влияние обнаруживалось, что, вероятно, было обусловлено наличием генов с отрицательными эффектами, переданных от первоначальных источников – S-615, а затем и сорт 'Rescue' (Hayat et al., 1995).

В России первым сортом яровой мягкой пшеницы с выполненной соломиной стал сорт 'Ершовская 33', созданный в 2004 г. С 2008 г. данный сорт вовлекался в гибридизацию в ФГБНУ «Федеральный Алтайский научный центр агробиотехнологий». После скрининга кол-

лекции в 2013 г. лабораторией селекции мягкой пшеницы были привлечены в гибридизацию европейские генотипы, обладающие выполненной соломиной. В результате этой работы создан селекционный материал, характеризующийся устойчивостью к стеблевому хлебному пилильщику.

Цель исследования: а) оценить влияние выполненности соломины на заселенность стеблей яровой мягкой пшеницы личинками хлебного пилильщика и на морфобиологические признаки растений; б) изучить коллекцию яровой мягкой пшеницы и выделить сорта с выполненной соломиной.

Материалы и методы

Исследование проведено на опытном поле ФГБНУ «Федеральный Алтайский научный центр агробиотехнологий» в 2019–2021 гг. Для оценки влияния выполненности соломины на заселенность стеблей яровой мягкой пшеницы личинками хлебного пилильщика использовали 12 сортов и линий конкурсного испытания в 2019 и 2020 гг. с различной степенью выполненности соломины: 'Алтайская 70', 'Спикер', 'SK-9' (среднеранние); 'Алтайская жница', 'Алтайская 75', 'Юнион', 'Лютесценс 360/15', 'Лютесценс 1188' (среднеспелые); 'Степная нива', 'Лидер 80', 'Гонец' и 'Тобольская' (среднепоздние).

Посев проведен сеялкой ССФК-7 в I декаде мая по паровому предшественнику. Повторность четырехкратная. Площадь делянки – 25 м². Норма высева – 500 всхожих зерен на 1 м². В период полной спелости убирали учетные снопы, состоящие приблизительно из 100 стеблей. Для каждого стебля определяли индекс выполненности соломины по методике В. А. Крупнова и В. И. Касатова (Krupnov, Kasatov, 1977). Заполненность каждого из четырех междоузлий паренхимой оценивается по 5-балльной шкале. Сумма этих оценок дает индекс выполненности соломины, который варьирует от 4 (соломина полая) до 20 (соломина выполненная). Затем каждый стебель разрезали вдоль для определения заселенности его личинкой пилильщика. Все обследованные растения делили на две группы: заселенные и незаселенные личинкой пилильщика. Данные группы изучены по высоте растений, длине колоса, количеству колосков в колосе, озерненности колоса, массе зерна колоса и массе 1000 зерен по общепринятым методикам (Methods of state variety trials..., 1985).

Для оценки влияния выполненности соломины на морфобиологические признаки растений в 2019 г. по индексу выполненности соломины был обследован контрольный питомник и селекционный питомник второго года лаборатории селекции мягкой пшеницы (более 1000 генотипов). В результате выделены шесть пар сестринских линий с одинаковой длительностью периода «всходы – колошение», морфологически похожие друг на друга, но контрастные по выполненности соломины в пределах одной комбинации скрещивания. Данные сестринские линии принадлежали к следующим комбинациям скрещиваний: Тибальт × Ершовская 33, Степная волна × Тибальт, Степная волна × Гамлет, Рикс × Штру 380/27, отбор из сорта 'Лидер 80', Лютесценс 1085 × Штру 380/27. В 2020 и 2021 г. линии высевали в I декаде мая по паровому предшественнику ручной сеялкой СР-1М на делянках площадью 1,26 м² в трех повторностях. Норма высева – 400 зерен на 1 м². Изучали выживаемость растений, количество растений и стеблей на 1 м², коэффициент продуктивной кустистости, био-

массу и высоту растений, количество колосков и стерильных колосков в колосе, озерненность главного колоса и колоска, массу зерна главного колоса, массу зерна побега кущения, массу 1000 зерен, коэффициент хозяйственного использования фотосинтеза (доля зерна в биомассе растений) – $K_{\text{хоз}}$, урожайность по общепринятым методикам. Содержание белка и клейковины в зерне определяли при помощи инфракрасного анализатора «ИнфраЛЮМ ФТ-10» (Россия).

Оценили степень выполненности соломины в двух выборках образцов пшеницы. Первый набор (2019 г.) включал 100 образцов, где были представлены преимущественно российские сорта. Второй набор (2020 и 2021 г.) состоял из 184 сортов, в основном иностранной селекции. Первый набор изучен по индексу выполненности соломины. Второй набор сортов оценивали по устойчивости к пилюльщику с последующей проверкой индекса выполненности соломины у устойчивых генотипов. Устойчивым считали сорт, у которого за два года исследования к моменту уборки ни одно растение не упало в результате подпиливания личинкой пилюльщика.

Полученные данные обрабатывали с использованием дисперсионного анализа. Сопряженность выполненности соломины и заселенности стеблей пшеницы личинками хлебного пилюльщика оценивали с помощью коэффициента корреляции Спирмена.

Результаты

Средняя заселенность стеблей сортов пшеницы личинками хлебного пилюльщика в 2019 г. составила 37%, а в 2020 – 26% и варьировала от 16% ('Лютесценс 1188') до 68% ('Алтайская 70') в 2019 г. и от 1% ('Юнион') до 65% ('Алтайская жница') в 2020 г. По выполненности соломины сорта распределились на две группы: до 5 баллов и более 11 баллов. Рисунки 1 и 2 демонстрируют зависимость между выполненностью соломины и долей заселенных личинками пилюльщика стеблей. Коэффициент корреляции Спирмена между данными признаками в 2019 г. составил $-0,77$, в 2020 г. – $-0,80$.

В оба года исследования заселенность стеблей личинками пилюльщика у сортов пшеницы с полой соломи-

ной находилась примерно на одном уровне (41–68%), а у сортов с выполненной соломиной в 2020 г. снизилась до 1–16% в сравнении с 2019 (16–36%).

Для того чтобы выявить влияние пилюльщика на морфобиологические признаки растений, мы провели трехфакторный дисперсионный анализ у сортов с полой соломиной ('Алтайская 70', 'Алтайская жница', 'Алтайская 75', 'Степная нива' и 'Тобольская') за два года исследований. Данные сорта взяты, поскольку группы с заселенными и незаселенными стеблями у этих генотипов были представлены примерно одинаковым количеством растений.

Незаселенные личинками пилюльщика растения пшеницы в среднем характеризовались главным колосом меньшей длины ($-0,4$ см), меньшим числом зерен ($-1,4$ штуки), но большей массой 1000 зерен ($+2,4$ г). По высоте растения, числу колосков в колосе и массе зерна колоса главного рассматриваемые группы достоверно не различались (табл. 1).

Сравнение сестринских линий яровой мягкой пшеницы, контрастных по выполненности соломины, показало, что они различаются по ряду признаков (табл. 2). Линии с выполненной соломиной в среднем за два года характеризовались меньшей высотой растения (-5 см), меньшей озерненностью одного колоска ($-0,11$ штук), массой 1000 зерен ($-1,7$ г) и продуктивностью главного колоса ($-0,08$ г), но большей массой зерна побегов кущения ($+0,11$ г). По урожайности данные группы линий значимо не различались. Выполненность соломины не влияет на содержание белка и клейковины в зерне.

Скрининг коллекции, состоящей из 100 сортов, по выполненности соломины в 2019 г. позволил выделить следующие шесть сортов: 'Ершовская 33', 'Изера', 'Квинтус', 'КВС Аквилон', 'Тибальт', 'WW-4' (индекс выполненности соломины > 15 баллов).

В коллекции из 184 сортов, изученных в 2020 и 2021 г., выявлено десять образцов, устойчивых к стеблевому хлебному пилюльщику: 'Cunningham', 'KW 240-3-13', 'KBC 3.13', 'Lillian', 'Sparrow' (индекс выполненности соломины > 15 баллов) и 'Calingiri', 'Cara', 'Darter', 'Lankao Aizhao 8', 'Lillimur' (индекс выполненности соломины 6,0–7,9 балла).

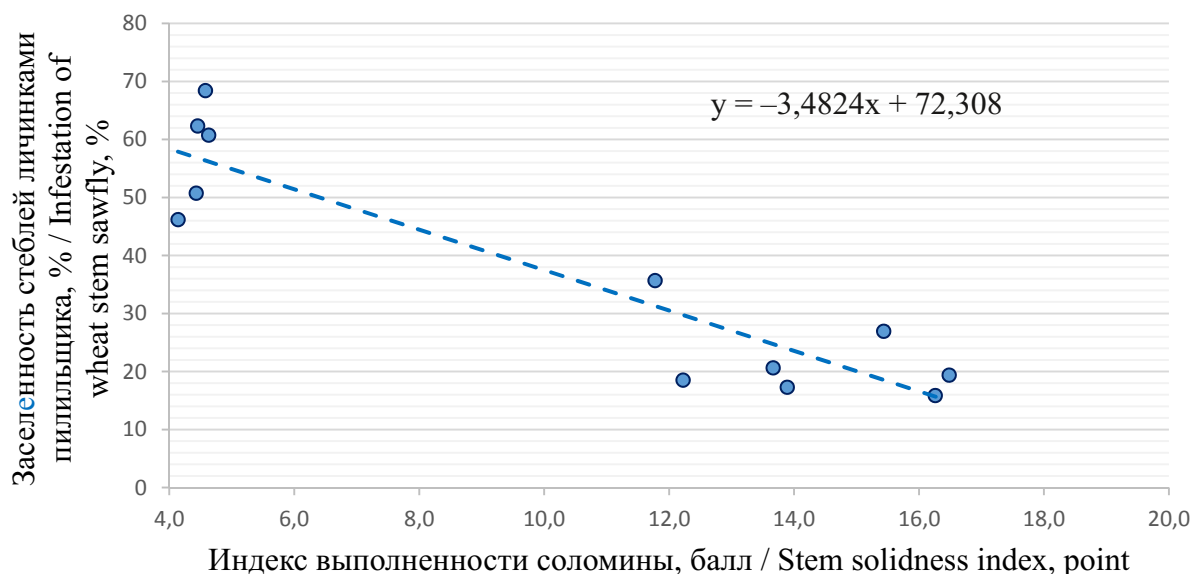


Рис. 1. Взаимосвязь выполненности соломины пшеницы с заселенностью стеблей хлебным пилюльщиком, 2019 г.

Fig. 1. The interplay between stem solidness and wheat stem sawfly infestation, 2019

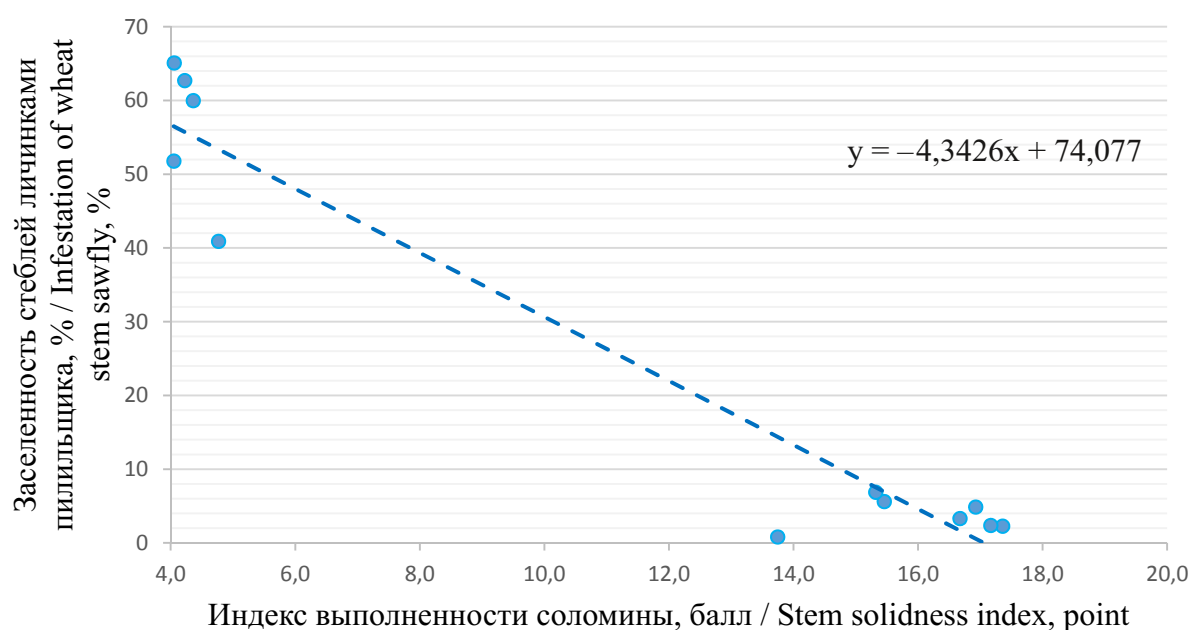


Рис. 2. Взаимосвязь выполненности соломины пшеницы с заселенностью стеблей хлебным пилильщиком, 2020 г.

Fig. 2. The interplay between stem solidness and wheat stem sawfly infestation, 2020

Таблица 1. Средние значения морфобиологических признаков для групп растений, заселенных и незаселенных личинками пилильщика, у 5 сортов яровой мягкой пшеницы в 2019 и 2020 г.

Table 1. Agronomic characters of infested and noninfested plants of 5 spring bread wheat cultivars averaged for 2019 and 2020

Признак / Character	Группа растений / Group of plants		Разность / Difference
	незаселенные пилильщиком / not infested by wheat stem sawfly	заселенные пилильщиком / infested by wheat stem sawfly	
высота растения, см / plant height, cm	92,6	93,1	-0,5
длина колоса, см / spike length, cm	7,6	8,0	-0,4*
число колосков в колосе, штук / number of spikelets per spike, pcs	15,1	15,3	-0,2
озерненность колоса, штук / number of grains per spike, pcs	25,6	27,0	-1,4*
масса 1000 зерен, г / 1000 grain weight, g	38,7	36,3	2,4*
масса зерна колоса, г / grain weight per spike, g	1,00	0,98	0,02

Примечание: * – различия между группами значимы при $p > 0,95$

Note: * – differences are significant at $p > 0,95$

Таблица 2. Средние значения морфобиологических признаков для двух групп сестринских линий яровой мягкой пшеницы, различающихся по выполненности соломины, 2020–2021 гг.**Table 2.** Agronomic characters in two groups of sister lines of spring bread wheat differing in stem solidness, averaged for 2020–2021

Признак / Trait	Группа выполненности соломины / Group of stem solidness		Разность / Difference
	Выполненная / solid	Полая / hollow	
выживаемость растений, % / survival rate, %	89	88	1
количество растений, штук/м ² / number of plants per m ² , pcs	277	280	–3
количество стеблей, штук/м ² / number of stems per m ² , pcs	422	412	10
коэффициент продуктивной кустистости / coefficient of productive tillering	1,59	1,52	0,07
биомасса растения, г / plant biomass, g	3,79	3,77	0,02
высота растения, см / plant height, cm	73	78	–5*
число колосков в колосе, штук / number of spikelets per spike, pcs	13,8	13,5	0,3
число стерильных колосков, штук / number of fertile spikelets per spike, pcs	1,4	1,6	–0,2
озерненность главного колоса, штук / number of grains per spike, pcs	28,5	29,2	–0,7
озерненность одного колоска, штук / number of grains per spikelet, pcs	2,06	2,17	–0,11*
масса зерна главного колоса, г / grain weight per spike, g	1,03	1,11	–0,08*
масса зерна побегов кущения, г / grain weight per tiller spike, g	0,47	0,36	0,11*
масса 1000 зерен, г / 1000 grain weight, g	35,7	37,4	–1,7*
Кхоз, % / harvest index, %	38,5	39,1	–0,6
урожайность, г/м ² / yield, g/m ²	405	406	–1
содержание белка в зерне, % / protein content in grain, %	13,5	13,3	0,2
содержание клейковины в зерне, % / gluten content in grain, %	26,6	26,8	–0,2

Примечание: * – различия между группами значимы при $p > 0,95$ Note: * – differences are significant at $p > 0,95$

Обсуждение

Средняя за 2019 и 2020 г. заселенность стеблей пшеницы личинками пилильщика в конкурсном сортоиспытании яровой мягкой пшеницы (31%) находилась примерно на том же уровне (28%), что и в более ранних исследованиях (Stetsov, Dolmatova, 2013). Однако в наших экспериментах, в отличие от выполненных ранее, 7 из 12 генотипов обладали выполненной соломиной, а заселенность только по сортам с полой соломиной составила 57%, что практически вдвое выше, чем в более ранних исследованиях (Stetsov, Dolmatova, 2013).

Выявленные нами существенные отрицательные значения коэффициента корреляции Спирмена между индексом выполненности соломины и заселенностью стеблей пшеницы согласуются с общеизвестной закономерностью (Sherman et al., 2010).

Исследователи практически сразу обратили внимание на то, что условия года влияют на выраженность признака «выполненность соломины» (Platt, 1941). В недавних работах были обнаружены сорта пшеницы со стабильно высоким индексом выполненности соломины при испытании их в различных экологических точках (Subedi et al., 2021).

«Вклад» личинки пилильщика в снижение продуктивности заселенного растения варьирует от исследования к исследованию, поскольку замаскирован выбором сорта хорошо развитого растения-хозяина с длинным стеблем (Buteler et al., 2009). Так, Г. Я. Стецов и Л. С. Долматова (Stetsov, Dolmatova, 2013) установили, что заселенные пилильщиком растения в среднем более высокорослы (+0,5...+7,1 см), с крупным (+0,3...+1,3 см, +0,4...+2,5 колосков) и озерненным (+0,8...+7,4 зерна) колосом, но меньшей массой 1000 зерен (–0,9...3,9 г). Наши результаты демонстрируют ту же закономерность, за исключением высоты растений и числа колосков в колосе.

Отсутствие негативного влияния выполненности соломины на урожайность и содержание белка и клейковины в зерне свидетельствует о перспективности включения данного признака в селекционные программы пшеницы. Снижение массы 1000 зерен и продуктивности главного колоса у линий с выполненной соломиной компенсировалось большей продуктивностью побегов кущения. Однако прибавка урожайности у линий с выполненной соломиной ни в один год исследования не выявлена, хотя опыт проводился на фоне естественной высокой численности насекомых.

Сорта с выполненной соломиной зачастую не получают широкого распространения, потому что обладают низким потенциалом урожайности и их использование дает преимущество только в годы с сильным повреждением растений пилильщиком (Szczeraniec et al., 2015). Стагнация в селекции на урожайность у сортов с выполненной соломиной, по сравнению с ростом, достигнутым у сортов с полой соломиной, в совокупности с внедрением приемов, снижающих потери зерна при уборке, замедлили распространение устойчивых к пилильщику сортов в Северной Америке (Weiss, Morrill, 1992).

Выполненность соломины – не единственная причина устойчивости растений к пилильщику. Даже сорта с полой соломиной в наших исследованиях различались более чем на 20% по количеству заселенных стеблей. Позднеспелые линии не заселяются пилильщиком, потому что в период откладки яиц их стебли еще недостаточно сформированы (Varella et al., 2015). По этой причине в исследованиях обнаружена ассоциация устойчивости

с генами развития *Vrn* и *Ppd* (Sherman et al., 2010). Все устойчивые сорта с низким индексом выполненности соломины, выявленные нами в 2020 и 2021 г., выколашивались на 3–11-й дней позднее среднепозднего стандарта. Однако задержка колошения и позднеспелость непрактична по агрономическим причинам.

Механизмы устойчивости сводятся как к антиксенозу, когда насекомое отвергает устойчивое растение для откладки яиц, так и к антибиозу, когда происходит гибель личинки внутри растения. В исследовании A. S. Varella et al. (2017) 204 образца из 1409 демонстрировали устойчивость к пилильщику, причем половина из них сочетала антиксеноз и антибиоз, 19,6% образцов проявляли антиксеноз и 26,5% – антибиоз. Лишь у 41% устойчивых сортов была выполненная или частично выполненная соломина. Исследователи неоднократно обнаруживали устойчивые сорта с полой соломиной (Beres et al., 2013) и пытались выявить другой механизм устойчивости, не связанный с внутренней структурой соломины. В результате были идентифицированы участки хромосом, ассоциированные с низкой заселенностью стеблей пилильщиком (Varella et al., 2015).

Помимо устойчивости к пилильщику, сорта с выполненной соломиной содержат больше водорастворимых углеводов в стебле, что повышает их засухоустойчивость (Saint Pierre et al., 2010). Такие сорта эффективнее образуют каллус и дают больший выход зеленых растений при андрогенезе *in vitro* (Weigt et al., 2016). Эти особенности сортов с выполненной соломиной также могут быть использованы в селекции.

Заключение

Между выполненностью соломины и заселенностью стеблей пшеницы личинками пилильщика существует сильная отрицательная связь ($r_s = -0,77 \dots -0,80$). Выполненность соломины не сказывается отрицательно на урожайности и содержании белка и клейковины в зерне. В качестве источников признака «выполненная соломина» рекомендуется использовать следующие сорта: 'Ершовская 33', 'Изера', 'Квинтус', 'КВС Аквилон', 'КВС 3.13', 'Тибальт', 'WW-4', 'Cunningham', 'KW 240-3-13', 'Lillian', 'Sparrow'.

References / Литература

- Beres B.L., Cárcamo H.A., Byers J.R., Clarke F.R., Pozniak C.J., Basu S.K. et al. Host plant interactions between wheat germplasm source and wheat stem sawfly *Cephus cinctus* Norton (Hymenoptera: Cephidae) I. Commercial cultivars. *Canadian Journal of Plant Science*. 2013;93(4):607-617. DOI: 10.4141/cjps2012-088
- Beres B.L., Cárcamo H.A., Weaver D.K., Dosdall L.M., Even-den M.L., Hill B.D. et al. Integrating the building blocks of agronomy and biocontrol into an IPM strategy for wheat stem sawfly. *Prairie Soils and Crops Journal*. 2011;(4):54-65.
- Buteler M., Weaver D.K., Peterson R.K.D. Oviposition behavior of the wheat stem sawfly when encountering plants infested with cryptic conspecifics. *Environmental Entomology*. 2009;38(6):1707-1715. DOI: 10.1603/022.038.0624
- Cook J.P., Weaver D.K., Varella A.C., Sherman J.D., Hofland M.L., Heo H.-Y. et al. Comparison of three alleles at a major solid stem QTL for wheat stem sawfly resistance and agronomic performance in hexaploid wheat.

- Crop Science*. 2019;59(4):1639-1647. DOI: 10.2135/cropsci2019.01.0009
- Cook J.P., Wichman D.M., Martin J.M., Bruckner P.L., Talbert L.E. Identification of microsatellite markers associated with a stem solidness locus in wheat. *Crop Science*. 2004;44(4):1397-1402.
- Dolmatova L.S. Biological peculiarities of pedicellate corn sawfly (*Cephus pygmaeus* L.) in the conditions of Altai Ob region. *Vladimirskiy zemledelets = Vladimir Agriculturist*. 2016;4(78):38-41. [in Russian] (Долматова Л.С. Биологические особенности стеблевого хлебного пилильщика (*Cephus pygmaeus* L.) в условиях Алтайского Приобья. *Владимирский земледелец*. 2016;4(78):38-41).
- Farstad C.W., Jacobson L.A. Manual for sawfly control workers in Alberta. Dominion Department of Agriculture – Science Service. Division of Entomology. Mimeographed Contribution 16. Ottawa: Dominion Department of Agriculture; 1945.
- Hayat M.A., Martin J.M., Lanning S.P., McGuire C.F., Talbert L.E. Variation for stem solidness and its association with agronomic traits in spring wheat. *Canadian Journal of Plant Science*. 1995;75(4):775-780. DOI: 10.4141/cjps95-131
- Holmes N.D. The effect of the wheat stem sawfly, *Cephus cinctus* (Hymenoptera: Cephidae) on the yield and quality of wheat. *The Canadian Entomologist*. 1977;109(12):1591-1598. DOI: 10.4039/Ent1091591-12
- Krupnov V.A., Kasatov V.I. Methods of identification of wheat varieties with resistance to stem sawfly (Metody vyvazheniya form pshenitsy, ustoychivyykh k khlebnomu pililshchiku). *Selektsiya i semenovodstvo = Plant Breeding and Seed Production*. 1977;6:59-60. [in Russian] (Крупнов В.А., Касатов В.И. Методы выявления форм пшеницы, устойчивых к хлебному пилильщику. *Селекция и семеноводство*. 1977;6:59-60).
- Lanning S.P., Fox P.D., Elser J., Martin J.M., Blake N.K., Talbert L.E. Microsatellite markers associated with a secondary stem solidness locus in wheat. *Crop Science*. 2006;46(4):1701-1703. DOI: 10.2135/cropsci2005.10-0379
- Methods of state variety trials for agricultural crops (Metodika gosudarstvennogo sortoispytaniya selskokhozyaystvennykh kultur). Moscow: Kolos; 1985. [in Russian] (Методика государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур. Москва: Колос; 1985).
- Platt A.W. The influence of some environmental factors on the expression of the solid stem character in certain wheat varieties. *Scientific Agriculture*. 1941;22(3):139-151. DOI: 10.4141/sa-1941-0072
- Platt A.W., Farstad C.W., Callenbach J.A. The reaction of Rescue wheat to sawfly damage. *Scientific Agriculture*. 1948;28(4):154-161. DOI: 10.4141/sa-1948-0026
- Saint Pierre C., Trethowan R., Reynolds M. Stem solidness and its relationship to water-soluble carbohydrates: association with wheat yield under water deficit. *Functional Plant Biology*. 2010;37(2):166-174. DOI: 10.1071/FP09174
- Sherman J.D., Blake N.K., Martin J.M., Kephart K.D., Smith J., Clark D.R. et al. Agronomic impact of a stem solidness gene in near-isogenic lines of wheat. *Crop Science*. 2015;55(2):514-520. DOI: 10.2135/cropsci2014.05.0403
- Sherman J.D., Weaver D.K., Hofl M.L., Sing S.E., Buteler M., Lanning S.P. et al. Identification of novel QTL for sawfly resistance in wheat. *Crop Science*. 2010;50(1):73-86. DOI: 10.2135/cropsci2009.03.0145
- Stetsov G.Ya., Dolmatova L.S. Biology and harmfulness of wheat stem sawfly in the Altai Priobye (the Ob river area). *Bulletin of Altai State Agricultural University*. 2013;5(103):063-066. [in Russian] (Стецов Г.Я., Долматова Л.С. Биология и вредоносность стеблевого хлебного пилильщика в условиях Приобья Алтайского края. *Вестник Алтайского государственного аграрного университета*. 2013;5(103):063-066).
- Stoa T.E. Rescue wheat. *North Dakota Agricultural Experiment Station Bimonthly Bulletin*. 1947;10(2):43-45.
- Subedi M., Cárcamo H.A., Knodel J.J., Weaver D.K., Cuthbert R.D., Pozniak C.J. et al. Stability analysis of stem solidness, grain yield, and grain protein concentration in spring wheat. *Canadian Journal of Plant Science*. 2021;101(4):456-475. DOI: 10.1139/cjps-2020-0089
- Szczepaniewicz A., Glover K.D., Berzonsky W. Impact of solid and hollow varieties of winter and spring wheat on severity of wheat stem sawfly (Hymenoptera: Cephidae) infestations and yield and quality of grain. *Journal of Economic Entomology*. 2015;108(5):2316-2323. DOI: 10.1093/jee/tov207
- Varella A.C., Weaver D.K., Cook J.P., Blake N.K., Hofland M.L., Lamb P.F. et al. Characterization of resistance to the wheat stem sawfly in spring wheat landrace accessions from targeted geographic regions of the world. *Euphytica*. 2017;213(7):153. DOI: 10.1007/s10681-017-1945-x
- Varella A.C., Weaver D.K., Sherman J.D., Blake N.K., Heo H.Y., Kalous J.R. et al. Association analysis of stem solidness and wheat stem sawfly resistance in a panel of North American spring wheat germplasm. *Crop Science*. 2015;55(5):2046-2055. DOI: 10.2135/cropsci2014.12.0852
- Weigt D., Kiel A., Nawracala J., Pluta M., Łacka A. Solid-stemmed spring wheat cultivars give better androgenic response than hollow-stemmed cultivars in another culture. *In Vitro Cellular and Developmental Biology – Plant*. 2016;52(6):619-625. DOI: 10.1007/s11627-016-9793-2
- Weiss M.J., Morrill W.L. Wheat stem sawfly (Hymenoptera: Cephidae) revisited. *American Entomologist*. 1992;38(4):241-245. DOI: 10.1093/ae/38.4.241

Информация об авторах

Сергей Борисович Лепехов, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник, Федеральный Алтайский научный центр агробиотехнологий, 656910 Россия, Барнаул, Научный городок, 35, sergei.lepehov@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1561-6345>

Вадим Андреевич Петин, младший научный сотрудник, Федеральный Алтайский научный центр агробиотехнологий, 656910 Россия, Барнаул, Научный городок, 35, 999.source.z@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-6175-9510>

Мария Васильевна Чебатарева, младший научный сотрудник, Федеральный Алтайский научный центр агробиотехнологий, 656910 Россия, Барнаул, Научный городок, 35, masha.vorotintseva@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8799-0681>

Information about the authors

Sergey B. Lepekhov, Cand. Sci. (Agriculture), Leading Researcher, Federal Altai Scientific Centre of Agro-BioTechnologies, 35 Nauchny Gorodok, Barnaul 656910, Russia, sergei.lepekhov@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1561-6345>

Vadim A. Petin, Associate Researcher, Federal Altai Scientific Centre of Agro-BioTechnologies, 35 Nauchny Gorodok, Barnaul 656910, Russia, 999.source.z@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-6175-9510>

Maria V. Chebatoreva, Associate Researcher, Federal Altai Scientific Centre of Agro-BioTechnologies, 35 Nauchny Gorodok, Barnaul 656910, Russia, masha.vorotintseva@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8799-0681>

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article.

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interests: the authors declare no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 13.12.2021; одобрена после рецензирования 28.01.2022; принята к публикации 28.02.2022.

The article was submitted on 13.12.2021; approved after reviewing on 28.01.2022; accepted for publication on 28.02.2022.