

 pismavavilov.ru

DOI 10.18699/LettersVJ-2022-8-08

Оригинальное исследование

## Оценка коллекции многолетней пшеницы в условиях южной лесостепи Западной Сибири

А.Н. Айдаров , С.С. Шепелев , В.П. Шаманин  

**Аннотация:** Возделывание однолетних монокультур негативно воздействует на окружающую среду. Потери азота при возделывании однолетних культур могут быть в 30–50 раз выше, чем при культивировании многолетних. В мире направлению использования потенциала многолетних культур уделено значительное внимание. Разрешение проблемы объединения в одном растении комплекса ценных хозяйственно-биологических свойств имеет большое значение, однако эта задача сложна для выполнения в связи с тем, что применяемые при создании многолетних сортов пшеницы дикие многолетние травы характеризуются низкой урожайностью и массой 1000 зерен. Цель исследования – оценка образцов международной коллекции многолетней пшеницы для использования в селекции. Объектом исследований выбраны 27 образцов коллекции, полученные из СИММИТ (Международный центр улучшения кукурузы и пшеницы). Полевые наблюдения в период с 2017 по 2020 г. позволили выделить наиболее зимостойкие формы (От38, 235А), установить высокую устойчивость образцов к поражению основными болезнями и оценить их по 15 хозяйственно ценным признакам. По результатам анализа методом главных компонент выявлены лучшие по комплексу хозяйственно ценных признаков линии, а именно 11955, TAF46, От38 и 235А. Каждая из выделенных линий представляет практическую ценность для селекции. Установлено превосходство образцов коллекции многолетней пшеницы над сортом-стандартом яровой пшеницей по содержанию белка и клейковины в зерне. Выделены два перспективных для дальнейшей работы номера – 11955 и TAF46, которые демонстрировали высокие параметры крупности зерна. У этих номеров крупнозерность достоверно коррелировала с показателем массы 1000 зерен.

**Ключевые слова:** многолетняя пшеница; дикие злаки; урожайность; хозяйственно ценные признаки; корреляция.

**Благодарности:** Анализ качества зерна выполнен при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования РФ (соглашение № 075-15-2021-534 от 28.05.2021 г.); посев, уборка, анализ и статистическая обработка экспериментальных данных проведены в Омском ГАУ при финансовой поддержке Министерства сельского хозяйства РФ.

**Для цитирования:** Айдаров А.Н., Шепелев С.С., Шаманин В.П. Оценка коллекции многолетней пшеницы в условиях южной лесостепи Западной Сибири. *Письма в Вавиловский журнал генетики и селекции*. 2022;8(2):197-205. DOI 10.18699/LettersVJ-2022-8-08


Original article


## Evaluation of the collection of perennial wheat in the southern forest-steppe of Western Siberia environments

A.N. Aydarov , S.S. Shepelev , V.P. Shamanin  

**Abstract:** The production of annual monocultures has a negative impact on the environment, including water pollution, soil erosion, reduced carbon storage, increased greenhouse gas emissions and the use of large amounts of fertilizers. Nitrogen losses from annual crops can be 30–50 times higher than from perennial crops. The development of perennial crops that can exist in the fields for several years is one of the approaches that can be used to improve food security and this direction is given considerable attention in the world. The breeding of perennial wheat is aimed at creating new highly productive varieties that combine important economically useful and biological features in one plant. Solving the problem of combining a complex of valuable economic and biological properties in one plant is of great importance. This is difficult to achieve due to the fact that when creating perennial wheat varieties, it is necessary to use wild perennial bluegrass grasses that have negative agronomic traits. The purpose of the study is to evaluate samples of the international collection of perennial wheat for further use in breeding. The object of our research was 25 samples of the international col-

Омский государственный аграрный университет им. П.А. Столыпина, Омск, Россия  
P.A. Stolypin Omsk State Agrarian University, Omsk, Russia

 vp.shamanin@omgau.org

 © Айдаров А.Н., Шепелев С.С., Шаманин В.П., 2022

lection of perennial wheat obtained from CIMMYT. The studies were conducted in the period from 2017 to 2020. The field assessment made it possible to identify the most winter-hardy forms of Ot38, 235A; to establish a high resistance of the samples of the collection of perennial wheat to the defeat of major diseases; an assessment was carried out on 15 agronomical traits and an analysis of the main components was performed according to these parameters; the best samples of the collection by economically valuable traits of perennial wheat were 11955, TAF46, Ot38, 235A. Each of the selected lines has practical value for further breeding. The superiority of the samples of the collection of perennial wheat over the standard spring wheat variety in terms of protein and gluten content in the grain has been established. Two numbers 11955 and TAF46 with high grain size parameters were determined and the obtained results were highly correlated with the mass of 1000 grains.

**Key words:** perennial wheat; wild cereals; yield; valuable traits; correlation.

**For citation:** Aydarov A.N., Shepelev S.S., Shamanin V.P. Evaluation of the collection of perennial wheat in the southern forest-steppe of Western Siberia environments. *Pisma v Vavilovskij Zhurnal Genetiki i Selekcii* = *Letters to Vavilov Journal of Genetics and Breeding*. 2022;8(2):197-205. DOI 10.18699/LettersVJ-2022-8-08 (in Russian)

## Введение

Обеспечение продовольственной безопасности – одна из глобальных задач в мире из-за быстрого роста населения Земли и изменения климата (Glover et al., 2010). Однолетние зерновые культуры, такие как кукуруза, рис и пшеница, служат основными источниками продовольственного зерна. Возделывание однолетних монокультур оказывает негативное воздействие на окружающую среду вследствие загрязнения воды, эрозии почвы, сокращения накопления углерода, увеличения выбросов парниковых газов и применения большого количества удобрений (Monfreda et al., 2008). Потери азота при возделывании однолетних культур могут быть в 30–50 раз выше, чем от культивирования многолетних (Randall et al., 2001). Включение в севооборот многолетних культур, которые могут произрастать на полях в течение нескольких лет, может повысить продовольственную безопасность. В мире этому направлению уже много лет уделяют значительное внимание (Цицин, 1978; Упелниек и др., 2012). Омск был одним из географических пунктов при мультилокационном испытании гермоплазмы многолетних культур (Hayes et al., 2018).

Экологические преимущества многолетних культур включают уменьшение эрозии почвы, защиту водных ресурсов, минимизацию вымывания питательных веществ, повышенное удержание углерода в почве (Kantar et al., 2016). Выращивание многолетних культур снижает затраты на семена и удобрения (поскольку посевы производят один раз на длительный срок), а также расходы на борьбу с сорняками и обработку почвы. Многолетние культуры можно использовать не только для производства продуктов питания и кормов, но и получения топлива и других непищевых биопродуктов (Cooney et al., 2017). Основными стратегиями, используемыми для разработки новых многолетних зерновых культур, являются доместикация диких многолетних видов и межвидовая гибридизация однолетних культур с многолетними родственными видами. Межвидовая гибридизация предпочтительнее, потому что сокращает время, необходимое для создания (получения) таких культур (Zhao et al., 2012).

В России еще в 1930-е гг. академик Н.В. Цицин первым в мире высказал идею создания многолетней пшеницы (Цицин, 1978). В настоящее время его работы продолжают в Главном ботаническом саду РАН (Москва). По мнению В.П. Упелниэка и коллег (2012), возделывание многолетних зерновых культур позволит эффективнее получать пище-

вую и кормовую продукцию, а также снизить затраты на их производство и улучшить состояние экологии.

Селекция многолетней пшеницы направлена на выведение новых высокопродуктивных сортов, совмещающих в одном растении важные хозяйственно полезные и биологические признаки. Разрешение проблемы объединения в одном растении комплекса ценных хозяйственных и биологических свойств играет важную роль. Однако этого сложно достичь в связи с тем, что при создании многолетних сортов пшеницы используют дикие многолетние мятликовые травы, которые имеют негативные агрономические признаки (Кочерина, Драгавцев, 2008).

Цель исследования состоит в оценке образцов международной коллекции многолетней пшеницы для их дальнейшего применения в селекции в Омском регионе.

## Материал, условия и методика проведения исследований

Объектом исследований являлись 27 образцов международной коллекции многолетних зерновых культур, из которых три линии многолетнего ячменя из Шведского сельскохозяйственного университета, остальные – многолетняя пшеница: четыре линии на основе *Thinopyrum elongatum*, 11 линий на основе *Thinopyrum intermedium*, четыре линии на основе *Thinopyrum ponticum* и одна линия на основе *Thinopyrum junceiforme*. Материал для исследования получен от А.И. Моргунова из Международного центра улучшения кукурузы и пшеницы (СИММИТ). В табл. 1 представлены родословные и оригинаторы образцов коллекции многолетней пшеницы.

Полевые опыты проведены в 2017–2020 гг. на учебно-опытном поле ФГБОУ ВО Омский ГАУ. Данные о метеоусловиях в годы исследований получены от гидрометцентра ФГБУ «Обь-Иртышское УГМС». Погодные условия за указанный период отличались значительным разнообразием.

В 2017 г. сложились засушливые условия для развития растений. Наиболее неблагоприятные условия отмечены в ранние этапы роста растений – с мая по июнь. Погодные условия вегетации 2018 г. можно охарактеризовать как благоприятные. Жаркий май достаточно увлажненный, в июне наблюдался недобор осадков, но погода была прохладнее среднемноголетней. Во второй и третьей декадах июля выпало большее в сравнении с многолетними значениями количество осадков. Август был теплым и сухим. В 2019 г. от-

Таблица 1. Список образцов коллекции многолетней пшеницы

№	Название	Родословная	Оригинатор	Донор от многолетней культуры
1	235A*	Madsen//ChineseSpring/ <i>Th. elongatum</i> PI531718	Washington State University, США	<i>Th. elongatum</i>
2	P15	Madsen//ChineseSpring/PI531718		<i>Th. elongatum</i>
3	251B	Madsen//ChineseSpring/PI531718		<i>Th. elongatum</i>
4	B373	Tam110/PI401201//Jag & 2137	Texas Land Title Institute, США	<i>Th. intermedium</i>
5	B1126***	Tam110/PI401201//Jag & 2137/3/PI520054/4/PI401168/5/(Tam110/PI401201//Jag2137)		<i>Th. intermedium</i>
6	B1321	PI573182/Bfc2-4//Bfc2-N/3/PI440048/4/(Tam110/PI401201//Jag2137)/5/(PI636500/PI414667//PI414667/3/(PI573182/PI314190//BFC1-FF))	Texas Land Title Institute, США	<i>Th. intermedium</i>
7	B913	PI634318/PI414667		<i>Th. junceiforme</i>
8	12G401 F2***	Kandura1137/C3-3891		<i>Th. intermedium</i>
9	Zhong 3**	(Keqiang/Nanda2419)/ <i>Th. intermedium</i> //Wheat	Китай	<i>Th. intermedium</i>
10	Zhong 7**	(Keqiang/Nanda2419)/ <i>Th. intermedium</i> //Wheat	Китай	<i>Th. intermedium</i>
11	Summer 1**	Hezuo#2/ <i>Th. intermedium</i> //Wheat	Китай	<i>Th. intermedium</i>
12	Ot38*	Wheat- <i>Th. intermedium</i> частичный амфидиплоид	Россия	<i>Th. intermedium</i>
13	PWM706/PWM3**	Wheat- <i>Th. ponticum</i> частичный амфидиплоид	Россия	<i>Th. ponticum</i>
14	MT-2	Nodak/ <i>Th. intermedium</i>	University of Minnesota, США	<i>Th. intermedium</i>
15	OK7211542	Wheat- <i>Th. ponticum</i> частичный амфидиплоид	Ohio University, США	<i>Th. ponticum</i>
16	Agrotana*	Wheat- <i>Th. ponticum</i> частичный амфидиплоид	Другое	<i>Th. ponticum</i>
17	TAF46*	Vilmorin 27*2/ <i>Th. intermedium</i>	Франция	<i>Th. intermedium</i>
18	11955*	Wheat- <i>Th. ponticum</i> частичный амфидиплоид	США	<i>Th. ponticum</i>
19	#20238	<i>T. durum</i> / <i>Th. elongatum</i>	СИММУТ	<i>Th. elongatum</i>
20	Ostankinskaya	Wheat- <i>Th. intermedium</i> частичный амфидиплоид	Россия	<i>Th. intermedium</i>
21	C3-3471	<i>Th. intermedium</i> (Perennial Check)	Texas Land Title Institute, США	Perennial Check
22	IL#24**	IL#24	Swedish University of Agricultural Sciences, Швеция	<i>Hordeum vulgare</i>
23	IL#46**	IL#46		<i>Hordeum vulgare</i>
24	IL#118**	IL#118		<i>Hordeum vulgare</i>
25		Безостая 1	Россия	Стандарт
26		Ukr-Od 952.92/Ae. Squarrosa (1031)	СИММУТ	Стандарт
27		Perennial Grass Control ( <i>Th. intermedium</i> )	Турция	Стандарт

\* Лучшие по зимостойкости в Омске

\*\* Сорты и линии ярового типа развития в условиях Западной Сибири

\*\*\* Способны к отрастанию, но слабоморозостойки и утеряны в 2018 г. из-за гибели в зимний период

*Th.* – *Thinopyrum*

мечены затяжная холодная весна и в целом более холодное лето с низкой по отношению к средней многолетней суммой активных температур. Количество влаги в течение вегетационного периода, кроме июля, превысило среднемноголетние значения. Погодные условия в 2020 г., по данным ФГБУ «Обь-Иртышское УГМС», сложились неблагоприятными. За весенний и летний период вегетации зарегистрирован значительный недостаток осадков в сравнении с многолетними данными.

Сумма активных температур также превышала средние многолетние значения. В целом погодные условия за три года испытания были контрастными, что позволило объективно оценить популяции по основным хозяйственно ценным признакам.

Почвы участка проведения опыта представлены в основном разновидностями обыкновенных слабовыщелоченных и карбонатных черноземов. Почва опытного поля – лугово-черноземная маломощная среднегумусовая тяжелосуглинистая.

В 2017 г. во второй декаде мая произведен ручной посев рядками (1 пог. м) коллекции многолетней пшеницы, глубина заделки семян 4–5 см, предшественник чистый пар. Весной 2018 г. оценена зимостойкость образцов, в течение вегетации выполнены полевые наблюдения. Уборку проводили по мере созревания образцов вручную. По результатам структурного и математического анализов отобраны лучшие линии и пересеяны делянками площадью 1 м<sup>2</sup>. Весной 2019 г. отобранные линии оценены на зимостойкость,

**Таблица 2.** Результаты полевых наблюдений по зимостойкости и устойчивости к болезням лучших образцов коллекции многолетней пшеницы, 2019 г.

Название	Число растений, шт.		Зимостой- кость, %	Мучнистая роса, балл	Стеблевая ржавчина, %	Бурая ржавчина, %	Септориоз, балл
	После всходов	Перезимо- вавших					
Agrotana	22	15	70	2	0	0	5
11955	14	9	76	5	0	0	4
235A	20	16	82	8	5MR	0	7
TAF46	23	16	69	5	0	0	8
Ot38	29	27	92	2	40S	0	4

**Таблица 3.** Показатели полевых наблюдений лучших образцов коллекции многолетней пшеницы, 2020 г.

№ делянки	Название	Число растений, шт.		Зимостой- кость, %	Мучнистая роса, балл	Стеблевая ржавчина, %	Бурая ржавчина, %	Септориоз, балл
		После всходов	Перезимо- вавших					
2	Agrotana	94	24	22	4	0	0	4
4	11955	73	24	33	7	0	0	3
10	235A	88	65	73	8	5MR	0	6
11	TAF46	81	25	30	6	0	0	6
12	Ot38	100	86	86	3	20MS	0	5

проведены полевые наблюдения. Осенью 2019 г. произведена уборка и отобран сноповой материал для структурного анализа, далее отобранные линии посеяны деланками 1 м<sup>2</sup> в трехкратной повторности. В 2020 г. повторены все учеты и наблюдения по оценке образцов международной коллекции многолетней пшеницы (Методика ..., 1985). Устойчивость к болезням определена по методике СИММИТ (Duveiller et al., 2012).

Статистическую обработку экспериментальных данных проводили с помощью программы R-Statistics (Доспехов, 1985; Usueli, 2014). Достоверность различий оценивали по наименьшей существенной разности при уровне значимости 5 % ( $HC_{P_{05}}$ ) с использованием пакета прикладных статистических программ Microsoft Excel. Для анализа параметров зерновки применяли сканер Epson Expression 11000XL и программу SmartGrain. Качество белка и клейковины определяли с помощью прибора «Инфралюм ФТ-10».

Анализ главных компонент проведен по признакам: Plant height – высота растения, см; Number of plants – число растений; Number of tillers – число стеблей; Weight of plant – масса растения; Yield – урожайность; Harvest of spike –  $K_{x_{03}}$  колоса; Harvest of plant –  $K_{x_{03}}$  растения; Spiklets – число колосков, шт.; Grains of spike – число зерен с колоса, шт.; Weight of grain spike – масса зерна колоса, г; Weight of 1000 grain – масса 1000 семян, г; Spike length – длина колоса, см; Weight of spike – масса колоса, г; Number of spike per 1 plant – продуктивная кустистость; Tillering – общая кустистость.

## Результаты и обсуждение

Из 27 образцов, посеянных в 2017 г. в Омском ГАУ (см. табл. 1), лучшей способностью к отрастанию и перезимовке характеризовались семь номеров, из которых в последующем, в более суровых зимних условиях 2018–2019 гг., два номера исключены из-за низкой зимостойкости. Остав-

шиеся пять образцов отличались высокой зимостойкостью и использованы в дальнейших исследованиях по оценке хозяйственно важных признаков. В табл. 2 представлены результаты оценки зимостойкости и устойчивости к основным заболеваниям, характерным для Западной Сибири в 2019 г., пяти образцов многолетней пшеницы.

В результате полевых наблюдений установлено, что высокой зимостойкостью характеризовались образцы Ot38 (92%) из России и 235A из Вашингтонского университета (США), созданные на основе пырея сизого (*Th. intermedium*). Остальные формы имели более низкие показатели зимостойкости, которые варьировали от 69 % у французского образца TAF46 до 76 % у образца 11955 из США, созданного с использованием пырея высокого *Th. ponticum* (Podp.) Z.-W.Liu & R.-C. Wang.

Образцы многолетней пшеницы демонстрировали разный уровень устойчивости к наиболее распространенным в условиях Западной Сибири грибным заболеваниям пшеницы. Низкая устойчивость к мучнистой росе отмечена у Ot38 и Agrotana – 2 балла. Образец 235A показал высокую устойчивость в условиях 2019 г. – на уровне 8 баллов.

Устойчивость к стеблевой ржавчине имели образцы Agrotana, 11955, TAF46, средний уровень устойчивости отмечен у 235A (5 MR). Поражения бурой ржавчиной среди образцов многолетней пшеницы не выявлено. У всех образцов отмечен средний уровень устойчивости к септориозу – от 3 до 6 баллов.

Осенью 2020 г. выделенные образцы посеяны на 1 м<sup>2</sup> в трехкратной повторности для дальнейшего изучения. В табл. 3 представлены данные полевых наблюдений выделенных образцов коллекции многолетней пшеницы.

Полевые наблюдения показывают, что при сложившихся суровых условиях зимы зимостойкость образцов Ot38 (86%) и 235A (73%) была значительно выше среднего. Наи-

**Таблица 4.** Показатели образцов коллекции многолетней пшеницы, урожай 2019 и 2020 гг.

Признак	Год	Agrotana	11955	235A	TAF46	Ot38	HCP <sub>05</sub>	Корреляция с массой 1000 зерен
Длина стебля, см	2019	84.5	91.4	75.7	91.3	111.3	7.5	-0.05
	2020	78.2	87.3	85.3	79.8	122.3	10.6	0.07
	Среднее	81.4	89.4	80.5	85.6	116.8	9.1	0.01
Длина верхнего междоузлия, см	2019	36.7	47.4	35.7	45.7	45.0	3.8	0.54
	2020	35.1	43.6	38.3	35.8	55.6	5.6	0.23
	Среднее	35.9	45.5	37.0	40.8	50.3	4.7	<b>0.39*</b>
Длина флагового листа, см	2019	18.4	23.6	16.4	30.5	24.2	3.6	0.55
	2020	13.1	18.2	16.3	19.2	18.8	1.56	0.57
	Среднее	15.8	20.9	16.4	24.9	21.5	2.6	<b>0.56*</b>
Ширина колоса, см	2019	0.83	1.0	0.9	1.3	1.0	0.1	0.53
	2020	0.68	1.03	0.83	1.00	0.73	0.09	0.80
	Среднее	0.76	1.02	0.87	1.2	0.87	0.10	<b>0.67*</b>
Длина колоса, см	2019	12.6	13.2	11.7	13.9	17.3	1.14	-0.09
	2020	13.4	15.7	11.2	15.6	14.1	1.07	0.20
	Среднее	13.0	14.5	11.5	14.8	15.7	1.11	0.06
Число колосков в колосе, шт.	2019	15.6	15.8	17.6	16.4	23.8	1.82	-0.29
	2020	13.9	18.9	16.8	18.6	20.3	1.43	0.10
	Среднее	14.8	17.4	17.2	17.5	22.1	1.63	-0.10
Продуктивная кустистость, шт./раст.	2019	1.98	2.9	1.8	3.1	2.7	0.37	0.55
	2020	1.96	3.75	2.37	2.19	1.52	0.45	0.70
	Среднее	1.97	3.33	2.09	2.65	2.11	0.41	<b>0.63*</b>
Плотность колоса**, шт.	2019	12.54	12.0	15.1	11.8	13.8	0.85	-0.36
	2020	13.1	12.7	14.9	11.4	14.8	0.81	-0.10
	Среднее	12.8	12.4	15	11.6	14.3	0.83	-0.23

Примечание. Критическое значение  $r = 0.37$ ; \* значения с достоверной корреляцией с массой 1000 зерен; \*\* число колосков на 10 см колоса

**Таблица 5.** Показатели продуктивности растений у образцов коллекции многолетней пшеницы, урожай 2019 и 2020 гг.

Признак	Год	Agrotana	11955	235A	TAF46	Ot38	HCP <sub>05</sub>	Корреляция с массой 1000 зерен
Число зерен в главном колосе, шт.	2019	22.9	23.9	25.5	37.8	45.9	5.7	-0.05
	2020	11.7	39.8	37.5	25.5	28.1	6.7	0.18
	Среднее	17.3	31.9	31.5	31.6	37.0	<b>6.2</b>	0.07
Число зерен с растения, шт.	2019	31.5	38.7	29.1	55.8	68.5	11.0	0.06
	2020	18.6	26.1	27.3	31.3	22.2	3.0	0.55
	Среднее	25.1	32.4	28.2	43.6	45.4	<b>7.0</b>	0.31
Масса колоса, г	2019	1.23	1.67	1.54	2.48	2.13	0.3	0.46
	2020	0.85	1.92	1.45	1.31	1.10	0.2	0.52
	Среднее	1.04	1.80	1.50	1.90	1.62	0.2	<b>0.49*</b>
Масса зерна главного колоса, г	2019	0.56	0.95	0.82	1.42	1.34	0.2	0.42
	2020	0.33	1.32	1.01	0.61	0.72	0.2	0.50
	Среднее	0.45	1.14	0.92	1.02	1.03	0.2	<b>0.46*</b>
Масса зерна с растения, г	2019	0.76	3.44	1.17	4.38	2.00	0.8	0.73
	2020	0.58	2.37	1.78	1.49	1.35	0.4	0.64
	Среднее	0.67	2.91	1.48	2.94	1.68	0.6	<b>0.69*</b>
$K_{хоз}$ колоса	2019	0.45	0.57	0.53	0.57	0.63	0.4	0.36
	2020	0.40	0.69	0.70	0.47	0.66	0.1	0.39
	Среднее	0.43	0.63	0.62	0.52	0.65	0.2	<b>0.38*</b>
Масса 1000 зерен, г	2019	24.8	39.8	32.2	37.8	29.3	3.3	-
	2020	18.1	39.2	27.5	25.2	25.5	4.0	-
	Среднее	21.4	39.5	29.9	31.5	27.4	3.7	-

Примечание. Критическое значение  $r = 0.37$ ; \* значения с достоверной корреляцией с массой 1000 зерен

более восприимчивы к мучнистой росе Ot38 (3 балла) и Agrotana (4 балла), высокую устойчивость имел образец 235A – 8 баллов.

В 2020 г. в связи с особенностями погодных условий не наблюдалось сильного развития стеблевой ржавчины. Незначительное поражение зарегистрировано у 235A (5MR) и Ot38 (20S), остальные были устойчивы к заболеванию, поражения бурой ржавчиной не выявлено. Средний уровень устойчивости к септориозу отмечен у образца 11955 (3 балла), восприимчивыми к поражению данным патогеном были 235A и TAF46 (6 баллов).

В табл. 4 приведены результаты лабораторного анализа образцов многолетней пшеницы по признакам структуры и урожаю за 2019 и 2020 гг.

На основании оценки показателей образцов коллекции многолетней пшеницы за 2019 и 2020 гг. испытаний установлена достоверная корреляция массы 1000 зерен с длиной флагового листа, длиной верхнего междоузлия, шириной колоса и продуктивной кустистостью. Указанные признаки можно использовать в селекции на повышение массы 1000 зерен – одного из важных показателей при создании сорта многолетней пшеницы. По данным морфологическим параметрам выделились следующие номера: по длине верхнего междоузлия – 11955 (45.5 см) и Ot38 (50.3 см), по показателю длины флагового листа – TAF46 (24.9 см) и Ot38 (21.5 см), по ширине колоса – образец TAF46 (1.2 см), по продуктивной кустистости – 11955 (2.9 шт.) и TAF46 (3.1 шт.). На основании полученных результатов для использования в селекции рекомендованы три образца – 11955, TAF46 и Ot38.

В табл. 5 представлены результаты оценки коллекции многолетней пшеницы по основным элементам продуктивности растений из урожая 2019 и 2020 гг.

В результате анализа элементов продуктивности за 2019 и 2020 гг. показатель числа зерен в главном колосе варьировал от 17.3 (Agrotana) до 37 (Ot38) шт., у остальных образцов число зерен в колосе в среднем составило 32 зерна. Наибольшим числом зерен на растении обладали образцы TAF46 и Ot38 – в среднем 43.6 и 45.4 шт. соответственно, остальные исследуемые образцы имели существенно более низкие значения. По массе колоса отмечены образцы TAF46 (1.90 г) и 11955 (1.80 г), признак варьировал от 1.04 до 1.90 г. По массе зерна с главного колоса варьирование за исследуемый период составило от 0.45 (Agrotana) до 1.14 (11955) г, в среднем все образцы, за исключением сорта Agrotana, имели массу зерна колоса на уровне 1 г. По показателю массы зерна с растения лучшими были образцы 11955 и TAF 46 (2.91 и 2.94 г соответственно).

Благодаря продуктивной кустистости многолетняя пшеница в среднем имеет высокое значение массы зерна с растения в сравнении с массой главного колоса, прибавка к итоговой продуктивности растения за счет дополнительных побегов составляет ~200 %. Показатель массы 1000 зерен варьировал от 21.4 (Agrotana) до 39.5 (TAF 46) г, лучший образец многолетней пшеницы имел массу 1000 зерен на уровне сортов яровой пшеницы в Омске.

Анализ главных компонент с кластеризацией признаков использован для установления сопряженности показателя массы 1000 зерен с основными морфологическими и про-

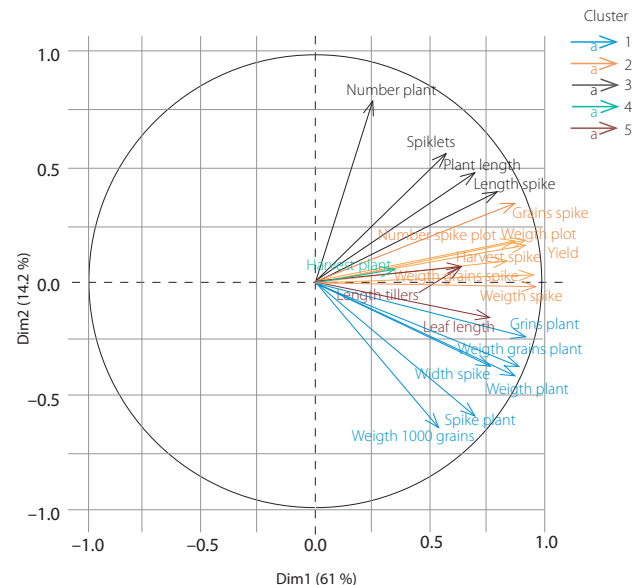


Рис. 1. Анализ главных компонент с кластеризацией признаков коллекции многолетней пшеницы, 2019 г.

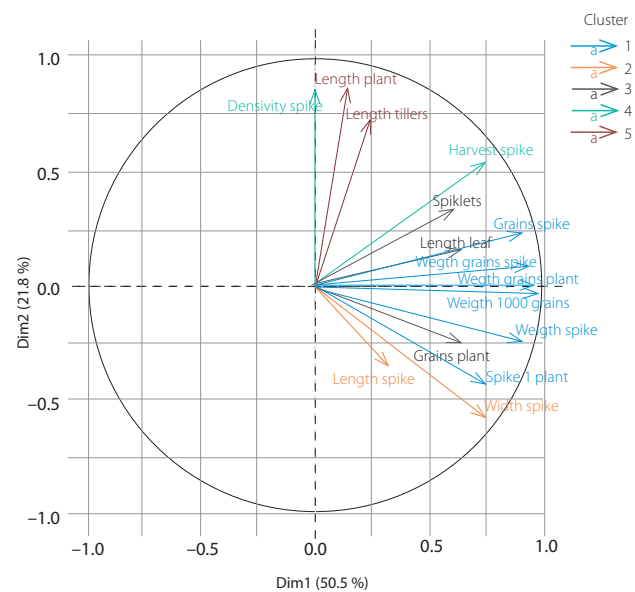


Рис. 2. Анализ главных компонент с кластеризацией признаков коллекции многолетней пшеницы, 2020 г.

дуктивными показателями (см. табл. 4, 5). Результаты, полученные в 2019 и 2020 гг., представлены на рис. 1 и 2.

Установлено, что масса 1000 зерен связана с продуктивной кустистостью, шириной колоса и длиной флагового листа. К маркерным признакам, позволяющим эффективнее проводить отбор по массе 1000 зерен в полевых условиях, относятся ширина колоса и длина флагового листа.

Анализ главных компонент в 2020 г. показал, что в засушливых условиях признаками, по которым можно было эффективно вести отбор по массе 1000 зерен, оставались длина флагового листа и ширина колоса.

**Таблица 6.** Показатели качества белка и клейковины, урожай 2019 и 2020 гг.

Название	Белок, %		Клейковина, %	
	2019 г.	2020 г.	2019 г.	2020 г.
Agrotana	20.35	19.22	38.12	37.89
11955	20.04	20.83	45.21	39.51
235A	18.55	19.21	39.08	34.34
TAF46	19.69	23.32	43.61	45.07
Ot38	20.23	21.47	42.53	40.72
Памяти Азиева	13.71	22.43	22.49	38.83
Пырей сизый Сова	20.52	18.42	36.21	37.72
HCP <sub>05</sub>	2.04	1.70	6.03	3.46
Корреляция с массой 1000 зерен	-0.23	0.15	0.83	0.01

**Таблица 7.** Параметры зерновки образцов многолетней пшеницы, урожай 2019 и 2020 гг.

Признак	Год	Agrotana	11955	235A	TAF46	Ot38	Корреляция с массой 1000 зерен
Площадь зерна, м <sup>2</sup>	2019	11.6	17.5	14.9	17.4	13.5	0.99
	2020	13.8	14.9	13.3	13.4	12.4	0.58
	Среднее	12.7	16.2	14.1	15.4	13.0	0.79
Периметр зерновки, мм	2019	15.3	18.9	16.5	17.7	16.8	0.95
	2020	17.0	17.8	16.2	16.7	16.6	0.58
	Среднее	16.2	18.4	16.4	17.2	16.7	0.77
Длина зерновки, мм	2019	6.38	7.78	6.57	7.01	7.01	0.81
	2020	7.04	7.26	6.51	6.75	6.76	0.39
	Среднее	6.71	7.52	6.54	6.88	6.89	0.60
Ширина зерновки, мм	2019	2.42	2.99	2.94	3.25	2.51	0.88
	2020	2.59	2.72	2.69	2.60	2.42	0.52
	Среднее	2.51	2.86	2.82	2.93	2.47	0.70
Циркулярность зерновки	2019	0.60	0.59	0.69	0.70	0.60	0.29
	2020	0.60	0.59	0.63	0.61	0.56	-0.08
	Среднее	0.60	0.59	0.66	0.66	0.58	0.11

Лучшими по комплексу хозяйственно ценных признаков образцами из изученной коллекции многолетней пшеницы были 11955, TAF46, Ot38 и 235A. Каждая из выделенных линий имеет практическую ценность для дальнейшей селекции. Показатели основных хозяйственно ценных признаков лучших образцов омской коллекции многолетней пшеницы в опыте совпадают с результатами исследований других стран (Baker et al., 2021). Можно отметить, что в Омске выделена форма TAF46.

#### Качество зерна образцов

Многолетняя пшеница имеет высокое практическое значение для селекции на повышение питательной ценности пшеницы. Данная коллекция испытана как возможный источник увеличения питательной ценности зерновой продукции в Италии (Gazza et al., 2016, 2021) и Австралии (Baker et al., 2021). Общее содержание пищевых волокон в зерне в образцах коллекции многолетней пшеницы по сравнению с обычной пшеницей было выше на 2 %; содержание алкил

резорцинов (блокируют превращение обычных клеток в раковые) составило 366 мг/г, что на 58 мг/г больше, чем у обычной пшеницы; содержание полифенолов (защита от старения клеток) – 319 мг/г, что на 39 мг/г больше, чем у обычной пшеницы. Кроме того, отмечено меньшее содержание крахмала в зерне – 55.3 против 73.7 %, более высокое содержание желтого пигмента – 7.3 против 5.1 рп соответственно. Также в исследованиях определена возможность использования многолетней пшеницы при создании хлеба для людей с аллергией к глютену (Gazza et al., 2021).

Результаты анализа содержания белка и клейковины в зерне в 2019–2020 гг. и сравнение с сортом пырея сизого Сова, а также яровой пшеницей Памяти Азиева представлены в табл. 6.

Все образцы коллекции многолетней пшеницы продемонстрировали высокие показатели содержания белка и клейковины. В 2019 г. количество белка варьировало от 18.55 % у образца 235A до 20.35 % у Agrotana, содержание клейковины – от 38.12 % у Agrotana до 43.61 % у TAF46. В 2020 г.



**Рис. 3.** Образец TAF46. Опытное поле Омского ГАУ, 2019 г. Фото А.Н. Айдарова



**Рис. 4.** Образец Ot38. Опытное поле Омского ГАУ, 2019 г. Фото А.Н. Айдарова



**Рис. 5.** Образец 235A. Опытное поле Омского ГАУ, 2019 г. Фото А.Н. Айдарова



по качеству зерна выделены образцы TAF46 и Ot38, показавшие высокое содержание в зерне белка и клейковины.

### Параметры зерновки на сканере с помощью программы SmartGrain

Размер зерна – важный параметр, который позволяет выделить формы, в большей степени соответствующие яровой пшенице, поскольку размер зерна остается главной проблемой при селекции с дикими злаками. Значительное внимание изучению размеров зерна коллекции многолетней пшеницы уделяют в мировых исследованиях, в частности в Австралии (Tang et al., 2021).

Анализ параметров зерновки у образцов коллекции многолетней пшеницы представлен в табл. 7.

По площади зерновки образцы варьировали от 12.7 мм<sup>2</sup> (Agrotana) до 16.2 мм<sup>2</sup> (TAF46). Периметр зерновки у образцов составил от 16.2 мм<sup>2</sup> (Agrotana) до 18.4 мм<sup>2</sup> (11925). Наибольшая ширина зерновки отмечена у образца TAF46 (2.93 мм<sup>2</sup>), наименьшая – у Agrotana (2.51 мм<sup>2</sup>). Показатель длины зерновки варьировал от 6.54 мм<sup>2</sup> (235A) до 7.52 мм<sup>2</sup> (11955). Установлена высокая корреляция крупности зерна с массой 1000 зерен, а наибольшую ценность для дальнейшей селекции на повышение крупности зерна представляют номера 11955 и TAF46.

### Заключение

На основании исследований по оценке 27 образцов международной коллекции многолетней пшеницы в условиях Западной Сибири (Омск) для дальнейшего изучения отобраны пять образцов – Agrotana, 11955, TAF46 (рис. 3), Ot38 (рис. 4) и 235A (рис. 5). Из них наиболее высокой зимостойкостью характеризовался образец Ot38, а по хозяйственно ценным признакам – массе 1000 зерен, продуктивной кустистости, массе колоса и массе зерна колоса – лидировали 11955, 235A и TAF46. Данные образцы включены в дальнейшую селекционную проработку.

### Список литературы / References

- Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). 5-е изд., перераб. и доп. М., 1985.  
[Dospikhov B.A. Methodology of field experience (with the basics of statistical processing of research results). 5<sup>th</sup> edn. Moscow, 1985. (in Russian)]
- Кочерина Н.В., Драгавцев В.А. Введение в теорию эколого-генетической организации полигенных признаков растений и теорию селекционных индексов. СПб.: АФИ, 2008.  
[Kochergina N.V., Dragavtsev V.A. Introduction to the theory of ecological and genetic organization of polygenic plant traits and the theory of breeding indices. St.-Petersburg: AFI Publ., 2008. (in Russian)]
- Методика государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур. М., 1985. Вып. 1.  
[Methodology of state variety testing of agricultural crops. Moscow, 1985. Issue 1. (in Russian)]
- Упелник В.П., Белов В.И., Иванова Л.П., Долгова С.П., Демидов А.С. Наследие академика Н.В. Цицина – современное состояние и

- перспективы использования коллекции промежуточных гибридов пшеницы и пырея. *Вавиловский журнал генетики и селекции*. 2012;16(3):667-674.  
[Upelnik V.P., Belov V.I., Ivanova L.P., Dolgova S.P., Demidov A.S. The legacy of academician N.V. Tsitsin – the current state and prospect so fusing the collection of intermediate wheat-wheatgrass hybrids. *Vavilovskii Zhurnal Genetiki i Seleksii = Vavilov Journal of Genetics and Breeding*. 2012;16(3):667-674. (in Russian)]
- Цицин Н.В. Многолетняя пшеница. М.: Наука, 1978.  
[Tsitsin N.V. Perennial wheat. Moscow: Nauka Publ., 1978. (in Russian)]
- Baker S.J., Sinclair K., Hayes R.C., Newell M.T. Assessing the potential of perennial cereals in processing food products. Proceedings of the Perennial Artisan Grain Workshop. Cowra, 15–17 June. Newell M.T. (Ed.). Wagga, NSW: AgriFutures Australia, 2021;50-55.
- Cooney D., Kim H., Quinn L., Lee M.S., Guo J., Chen S.L., Xu B.C., Lee D.K. Switchgrass as a bioenergy crop in the Loess Plateau, China: potential lignocellulosic feedstock production and environmental conservation. *J. Integr. Agric.* 2017;16:1211-1226. DOI 10.1016/S2095-3119(16)61587-37.
- Duveiller E., Singh R.P., Singh P.K., Dababat A.A., Mezzalama M. Wheat diseases and pests: a guide for field identification (2<sup>nd</sup> edn). Mexico: CIMMYT, 2012.
- Gazza L., Galassi E., Cacciatori P. Agronomic, technological and nutritional characterization of selected perennial wheat lines grown in Italy. Proceedings of the Perennial Artisan Grain Workshop. Cowra, 15–17 June. Newell M.T. (Ed.). Wagga, NSW: AgriFutures Australia, 2021;27-33.
- Gazza L., Galassi E., Ciccoritti R., Cacciatori P., Pogna N.E. Qualitative traits of perennial wheat lines derived from different *Thinopyrum* species. *Genet. Resour. Crop Evol.* 2016;63:209-219. DOI 10.1007/s10722-015-0240-8.
- Glover J.D., Reganold J.P., Bell L.W., Borevitz J., Brummer E.C., Buckler E.S., Cox C.M., Cox T.S., Crews T.E., Culman S.W., DeHaan L.R., Eriksson D., Gill B.S., Holland J., Hu F., Hulke B.S., Ibrahim A.M.H., Jackson W., Jones S.S., Xu Y. Increased food and ecosystem security via perennial grains. *Science*. 2010;328(5986):1638-1639. DOI 10.1126/science.1188761.
- Hayes R.C., Wang S., Newell M.T., Turner K., Larsen J. The performance of early-generation perennial winter cereals at 21 sites across four continents. *Sustainability*. 2018;10:1124. DOI 10.3390/su10041124.
- Kantar M.B., Tyl C., Dorn K.M., Zhang X., Jungers J.M., Kaser J.M., Schendel R.R., Eckberg J.O., Runck B.C., Bunzel M., Jordan N.R., Stupar R.M., Marks M.D., Anderson J.A., Johnson G.A., Sheaffer C.C., Schoenfeld T.C., Ismail B.P., Heimpel G.E., Wyse D.L. Perennial Grain and Oilseed Crops. *Annu. Rev. Plant Biol.* 2016;67:703-729. DOI 10.1146/annurev-arplant-043015-112311.
- Monfreda C., Ramankutty N., Foley J.A. Farming the planet: 2. Geographic distribution of crop areas, yields, physiological types, and net primary production in the year 2000. *Global Biogeochem. Cycles*. 2008;22:GB1022. DOI 10.1029/2007GB002947.
- Randall G.W., Mulla D.J. Nitrate nitrogen in surface waters as influenced by climatic conditions and agricultural practices. *J. Environ. Qual.* 2001;30(2):337-44. DOI 10.2134/jeq2001.302337.
- Scheinost P., Lammer D., Cai X., Murray T., Jones S. Perennial wheat: The development of a sustainable cropping system for the U.S. Pacific Northwest. *American Journal of Alternative Agriculture*. 2001;16(4):147-151. DOI 10.1017/S088918930000911512.
- Uselli M. R Machine Learning Essentials. Packt Publishing, 2014.
- Tang J., Wang W., Jiang Y., Chu W. Diazinon exposure produces histological damage, oxidative stress, immune disorders and gut microbiota dysbiosis in crucian carp (*Carassius auratus gibelio*). *Environ. Pollut.* 2021;269:116129. DOI 10.1016/j.envpol.2020.116129.
- Zhao H.B., Zhang Y.M., Shi C.L., Tan C., Li Y.P., Li J.L. Development and cytogenetic analysis of perennial wheat in cold region. *Crop J.* 2012;38:1378-1386. DOI 10.3724/SP.J.1006.2012.01378.

**Конфликт интересов.** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Поступила в редакцию 21.01.2022. После доработки 11.03.2022. Принята к публикации 18.03.2022.