

# АГРОНОМИЯ

УДК 633.111.1:581.43  
DOI: 10.53083/1996-4277-2023-221-3-5-10

С.Б. Лепехов  
S.B. Lepekhov

## РЕЗУЛЬТАТ ОТБОРА ПО КОЛИЧЕСТВУ ЗАРОДЫШЕВЫХ КОРНЕЙ У ЯРОВОЙ МЯГКОЙ ПШЕНИЦЫ

### RESULT OF SELECTION REGARDING SEMINAL ROOT NUMBER IN SPRING SOFT WHEAT

**Ключевые слова:** яровая мягкая пшеница, отбор, зародышевая корневая система, урожайность, масса 1000 зёрен.

Разнообразие сортов яровой мягкой пшеницы по количеству зародышевых корней свидетельствует о возможности отбора по данному признаку. Однако результат такого отбора и его влияние на признаки продуктивности и урожайность не ясны. В 3 комбинациях скрещивания яровой мягкой пшеницы осуществлён 3-кратный индивидуальный отбор ( $F_3$ ,  $F_4$  и  $F_5$ ) по количеству зародышевых корней. Семена заворачивали в рулоны увлажнённой бумаги и помещали в термостат на 7 дней при температуре 18°C. Полученные линии  $F_7$  яровой мягкой пшеницы достоверно различались по данному признаку (от 3,92 до 5,68 корней на 1 растение). В 2022 г. 9 линий  $F_8$  (по 3 в каждой комбинации скрещивания) были испытаны по урожайности и элементам её структуры на опытном поле ФГБНУ ФАНЦА (г. Барнаул). Линии с различным количеством зародышевых корней на 1 растение не имели достоверных различий по урожайности в 2 комбинациях скрещивания из 3. В 3-й комбинации скрещивания линия с наименьшим количеством зародышевых корней на 1 растение (4,14 шт.) имела достоверное преимущество по урожайности перед линией с наибольшим количеством зародышевых корней (5,34 шт.): 474 и 404 г/м<sup>2</sup> соответственно. Хотя исследуемые линии часто достоверно отличались друг от друга по морфобиологическим признакам, но эти различия были специфичны для конкретной комбинации скрещивания. Общая тенденция для всех комбинаций скрещивания заключалась в более продолжительном периоде «всходы-колошение», большей озёрнённости колоса и меньшей массе 1000 зёрен для линий с меньшим количеством зародышевых корней. Обсуждается возможное адаптивное преимущество растений с низким количеством зародышевых корней. Учитывая комплексность признака «количество зародышевых корней» и

его тесную взаимосвязь с массой 1000 зёрен, не можем рекомендовать прямой отбор по количеству зародышевых корней для целей селекции мягкой пшеницы.

**Keywords:** spring soft wheat, selection, seminal root system, yield, thousand-kernel weight.

The diversity of spring soft wheat varieties regarding the number of seminal roots suggests the possibility of selection for this character. However, the result of such selection and its influence on productivity characters and yielding capacity are not clear. Three times individual selection ( $F_3$ ,  $F_4$  и  $F_5$ ) for seminal root number was carried out in three cross combinations of spring soft wheat. The seeds were wrapped in rolls of moistened paper and placed in a thermostat for 7 days at a temperature of 18°C. The obtained spring soft wheat lines  $F_7$  significantly differed regarding this character (from 3.92 to 5.68 roots per plant). In 2022, nine lines  $F_8$  (three in each combination) were tested for yield and its elements under field conditions at the Federal Altai Research Center of Agro-Biotechnologies (Barnaul). The lines with different seminal root number per plant had no significant differences regarding yield in two from three cross combinations. In third cross combination, the line with the least number of seminal roots per plant (4.14 roots) had significant advantage of the line with large number of seminal roots per plant (5.34 roots): 474 and 404 g m<sup>2</sup>, respectively. Although the studied lines often had significant differences regarding morphobiological characters, the differences were specific for particular combination. The common trend for all combinations was longer period from seedling to heading, greater ear grain content and lesser thousand-kernel weight for lines with lowest seminal root number. A possible adaptive advantage of plants with low seminal root number is discussed. Taking into account the complexity of character "seminal root number" and its close association with thousand-kernel weight, we cannot recommend direct selection regarding seminal root number for soft wheat breeding.

**Лепехов Сергей Борисович**, к.с.-х.н., вед. науч. сотр., ФГБНУ «Федеральный Алтайский научный центр агробиотехнологий», г. Барнаул, Российская Федерация, e-mail: sergei.lepehov@yandex.ru.

**Lepekhov Sergey Borisovich**, Cand. Agr. Sci., Leading Researcher, Federal Altai Research Center of Agro-Biotechnologies, Barnaul, Russian Federation, e-mail: sergei.lepehov@yandex.ru.

### Введение

На важность работы по созданию сортов пшеницы с мощной хорошо развитой корневой системой обращают внимание многие селекционеры [1, 2]. У пшеницы имеется 2 типа корней. Первичная корневая система образуется при прорастании зародышевых корней зерновки, а вторичная развивается позднее из узла кущения. В условиях засухи, когда вторичные корни не образуются или их рост ограничен, пшеница формирует урожай благодаря зародышевым корням [3]. В связи с этим селекция яровой мягкой пшеницы на засухоустойчивость неразрывно связана с отбором растений по корневой системе. В ряде исследований продемонстрировано преимущество по урожайности у генотипов с большей длиной и количеством зародышевых корней [4, 5]. Выявлен значительный селекционный прогресс по числу зародышевых корней, достигнутый за последние 30 лет [6].

Оценка по количеству зародышевых корней осуществляется на ранних стадиях развития растений, что делает данный признак удобным для отбора. Наследуемость рассматриваемого признака высока [7, 8]. Наличие трансгрессий и нормальное распределение рекомбинантных инбредных линий по количеству зародышевых корней свидетельствуют о строгом полигенном контроле этого признака [5]. Обнаружено несколько QTL, ассоциированных с признаками первичной корневой системы [9].

**Цель** исследования: создать линии яровой мягкой пшеницы с различным количеством зародышевых корней и сравнить их по морфобиологическим признакам.

### Объекты и методы

В 2016 г. были изучены семена 16 гибридных популяций F<sub>2</sub> яровой мягкой пшеницы по распределению зародышевых корней. Семена заворачивали в рулоны увлажнённой бумаги и помещали в термостат при температуре 18<sup>0</sup>С на 7 дней. Среди 16 гибридных популяций были выбраны 3 (Лютесценс 453/2 × Лютесценс 827/01-42, Целинная 3/с × Лютесценс 827/01-42 и Лютесценс 453/2 × Алтайская жница), картина расщепления в которых позволяла надеяться на эффективный отбор. В

2017 г. данные гибридные популяции F<sub>3</sub> были посеяны разреженно для того, чтобы получить достаточное количество зёрен с растений. Случайным образом было взято около 50 растений из каждой гибридной популяции. Пятнадцать зёрен от каждого растения исследовали по количеству зародышевых корней, а оставшиеся зёрна использовали для посева в следующем году. Зерно каждого растения высевали в отдельный рядок. Случайным образом из одного рядка брали одно растение, обмолачивали его, а семена исследовали по количеству зародышевых корней. Такая процедура проводилась трёхкратно с 2017 по 2019 г. Отбор вёлся в 3 направлениях: линии с наибольшим количеством зародышевых корней, линии с наименьшим количеством зародышевых корней и линии с 5 корнями. Потомки, значительно отклонявшиеся по количеству зародышевых корней от исходных линий, забраковывались. Таким образом, к 2020 г. произошло сокращение линий до 1-4 в каждой группе отбора. В 2020 г. данные линии пересевались для достижения фенотипической однородности. В 2021 г. линии были размножены и окончательно оценены по количеству зародышевых корней. В каждой группе отбора была оставлена единственная линия, достоверно отличающаяся по количеству зародышевых корней от линий в других группах отбора этой же комбинации скрещивания. В 2022 г. на опытном поле отдела АНИИСХ (ФГБНУ ФАНЦА, г. Барнаул) высевали 9 линий F<sub>8</sub> в 3-кратной повторности на делянках площадью 0,9 м<sup>2</sup>. Предшественник – пар, норма высева – 500 зёрен/м<sup>2</sup>. В поле изучали следующие признаки: длительность периода «всходы-колошение», высота растений. Для проведения структурного анализа случайным образом брали 10 растений с учётного снопа. Изучали следующие морфобиологические признаки: биомасса растения, количество колосков в главном колосе, озёрность главного колоса, масса 1000 зёрен, масса зерна главного колоса и растения, коэффициент хозяйственного использования фотосинтеза (K<sub>хоз</sub>). Убранные снопы обмолачивали на молотилке для определения урожайности.

Статистическую обработку данных вели методом дисперсионного анализа. Погодные усло-

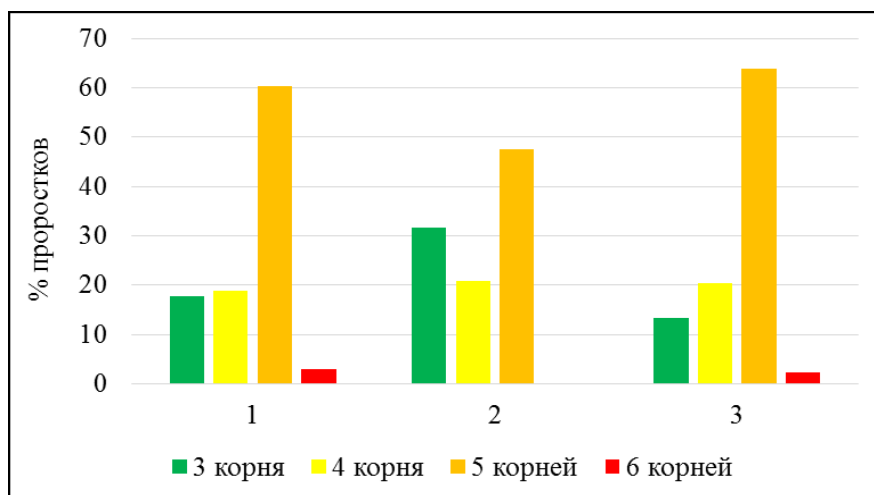
вия 2022 г. можно охарактеризовать как засушливые в начале и достаточно увлажнённые во второй половине вегетации.

**Результаты и их обсуждение**

В комбинациях скрещивания Лютесценс 453/2 × Лютесценс 827/01-42 и Лютесценс 453/2 × Алтайская жница, помимо проростков с 3, 4 и 5 корнями, имелась небольшая доля проростков с 6 зародышевыми корнями, что указывало на возможность отбора растений с вы-

соким количеством зародышевых корней. В комбинации скрещивания Целинная 3/с × Лютесценс 827/01-42 имелась значительная доля трёхкорешковых проростков, что позволяло надеяться на отбор линий с низким числом зародышевых корней (рис.).

Фактически же при помощи отбора удалось создать линии как с высоким, так и с низким количеством зародышевых корней в каждой комбинации скрещивания (табл.).



**Рис. Распределение 3 гибридных популяций F<sub>2</sub> яровой мягкой пшеницы по количеству зародышевых корней:**

**1 – Лютесценс 453/2 × Лютесценс 827/01-42; 2 – Целинная 3/с × Лютесценс 827/01-42; 3 – Лютесценс 453/2 × Алтайская жница**

Таблица

**Среднее количество зародышевых корней у отбираемых линий в каждой группе отбора 3 комбинаций скрещивания яровой мягкой пшеницы (2017-2021 гг.)**

Комбинация скрещивания	Группа отбора по количеству зародышевых корней	Год отбора			
		2017	2018	2019	2021
Лютесценс 453/2 × Лютесценс 827/01-42	Наименьшее количество	4,08	4,15	4,63	3,92
	5 корней	4,98	4,98	5,00	4,88
	Наибольшее количество	5,67	5,18	5,65	5,38
Целинная 3/с × Лютесценс 827/01-42	Наименьшее количество	3,80	4,04	4,37	4,14
	5 корней	5,04	4,84	5,07	4,69
	Наибольшее количество	5,27	5,31	5,38	5,34
Лютесценс 453/2 × Алтайская жница	Наименьшее количество	4,34	4,72	4,93	4,54
	5 корней	5,02	4,98	5,27	4,99
	Наибольшее количество	5,52	5,32	5,69	5,68

Хотя группа линий с 5 зародышевыми корнями численно преобладала во все годы проведения отбора, в 2021 г. для полевого исследования в комбинации скрещивания Целинная 3/с × Лютесценс 827/01-42 была отобрана линия с 4,69 зародышевыми корнями, чтобы в последующем сравнивать линии, достоверно различающиеся по рассматриваемому признаку.

Анализ морфобиологических признаков выявил достоверные отличия между линиями, с разным количеством зародышевых корней (табл. 2). В комбинациях скрещивания Целинная 3/с × Лютесценс 827/01-42 и Лютесценс 453/2 × Алтайская жница наблюдалась отрицательная взаимосвязь между количеством зародышевых корней и продолжительностью

периода «всходы-колошение». В комбинации скрещивания Лютесценс 453/2 × Лютесценс 827/01-42 полученные линии были средне-ранними и отличались по дате колошения не более чем на 2 дня. В данной комбинации скрещивания линия с 5,38 корнями достоверно превосходила линию с 3,92 корнями по массе 1000 зёрен, массе зерна растения и  $K_{хоз}$ . В комбинации скрещивания Целинная 3/с × Лютесценс 827/01-42 линия с 4,14 корнями превосходила 2 другие линии практически по всем признакам, за исключением массы 1000 зёрен и  $K_{хоз}$ . Линия с 5,34 корнями характеризовалась низкими значениями ряда признаков продуктивности и урожайности. В комбинации скрещивания Лютесценс 453/2 × Алтайская жница линия с 4,99 корнями имела преимущество по биомассе растения, количеству колосков в колосе, массе 1000 зёрен и массе зерна растения перед линией с 4,54 зародышевыми корнями. Из всех рассмотренных признаков продуктивности наиболее чёткую взаимосвязь с количеством зародышевых корней показала масса 1000 зёрен.

В результате длительного отбора А.В. Сидоров произвёл существенный сдвиг как по числу

зародышевых корней, так и по количеству проростков с 6 корнями [10]. В нашем эксперименте наблюдался аналогичный результат. На протяжении 3 циклов отбора нам удавалось выделять линии, различающиеся по данному признаку (табл. 1). В конечном счёте были созданы линии пшеницы, контрастные по количеству зародышевых корней, во всех трёх комбинациях скрещивания.

К сожалению, нам не удалось выделить линии одинаковой группы спелости в 2 гибридных популяциях из 3. Возможно, различия по элементам структуры урожая и урожайности у линий этих комбинаций скрещивания обусловлены несовпадением в дате колошения, а не в количестве зародышевых корней. В других исследованиях обнаружена аналогичная отрицательная взаимосвязь между длительностью вегетационного периода и количеством зародышевых корней [10], между длиной корневой системы, количеством корней и длительностью периода «всходы-колошение» [5, 11]. Таким образом, различия в количестве зародышевых корней между линиями отчасти могли быть обусловлены их фенологическими особенностями.

Таблица 2

**Морфобиологические признаки линий яровой мягкой пшеницы, различающихся количеством зародышевых корней, 2022 г.**

КЗК	В-К	ВР	БМ	ККК	ОЗГК	М1000	МЗГК	МЗР	$K_{хоз}$ , %	Урож.
Лютесценс 453/2 × Лютесценс 827/01-42										
3,92	40	95	3,1	11,6	23,3	37,1	0,91	1,16	38,3	374
4,88	38	92	3,5	11,9	20,9	40,3	0,87	1,40	40,1	376
5,38	39	98	3,6	12,1	20,6	43,7	0,94	1,51	42,4	417
Целинная 3/с × Лютесценс 827/01-42										
4,14	45	105	4,9	15,0	36,5	33,6	1,30	1,90	39,2	474
4,69	41	97	3,8	12,3	28,1	39,4	1,14	1,65	43,2	452
5,34	38	89	3,3	11,6	22,7	38,0	0,89	1,40	42,2	404
Лютесценс 453/2 × Алтайская жница										
4,54	45	96	3,3	13,0	28,5	34,7	1,00	1,42	42,8	381
4,99	42	100	4,4	14,6	26,2	38,3	1,01	1,81	41,6	405
5,68	39	99	3,6	12,7	26,3	44,7	1,19	1,49	41,2	400
<b>0,27</b>		<b>8</b>	<b>0,8</b>	<b>0,9</b>	<b>2,9</b>	<b>2,1</b>	<b>0,15</b>	<b>0,35</b>	<b>2,5</b>	<b>59</b>

Примечание. КЗК – количество зародышевых корней, шт.; В-К – длительность периода «всходы-колошение», дни; ВР – высота растения, см; БМ – биомасса 1 растения, г; ККК – количество колосков в главном колосе, шт.; ОЗГК – озёрность главного колоса, шт.; М1000 – масса 1000 зёрен, г; МЗГК – масса зерна главного колоса, г; МЗР – масса зерна растения, г; Урож. – урожайность, г/м<sup>2</sup>, в нижней строке указаны значения НСР<sub>05</sub>.

Контроль количества зародышевых корней у пшеницы связан с многими факторами. Известно о влиянии массы 1000 зёрен [9, 12] и размера зародыша [5] на количество первичных корней.

Аналогичная взаимосвязь между массой 1000 зёрен и количеством корней выявлена в нашем исследовании. Обычно корреляция невелика, следовательно, размер зерновки не единствен-



ный фактор, определяющий количество зародышевых корней [13].

Предполагалось, что в крупных семенах содержится большее количество энергии и питательных веществ для развития многокорешковых проростков [7]. Однако было убедительно продемонстрировано, что зародыши пшеницы, лишённые эндосперма, по-прежнему различались количеством зародышевых корней. Следовательно, признак связан с экспрессией генов в самом зародыше. Трёхкорешковые проростки пшеницы, после перенесённого водного стресса и отмирания всех 3 корней, могут развивать 4-е и 5-е корни, в то время как 5-корешковые растения, в случае отмирания 5 корней, образуют лишь небольшой 6-й корень. Таким образом, торможение развития 4-го и 5-го зародышевых корней может быть адаптивным признаком в условиях эпизодического водного стресса [14]. В нашем исследовании низкое количество зародышевых корней не было лимитирующим фактором для признаков продуктивности и урожайности. Учитывая комплексность признака «количество зародышевых корней» и его тесную взаимосвязь с массой 1000 зёрен, не можем рекомендовать прямой отбор по количеству зародышевых корней для целей селекции мягкой пшеницы. Отбор по массе 1000 зёрен менее трудозатратный и более производительный.

### Заключение

В результате 3-кратного индивидуального отбора были созданы линии яровой мягкой пшеницы, достоверно различающиеся количеством зародышевых корней. Не обнаружено преимуществ по урожайности у линий с наибольшим количеством зародышевых корней. Самая урожайная линия в опыте характеризовалась наименьшим количеством зародышевых корней в пределах своей комбинации скрещивания.

### Библиографический список

1. Цыганков, В. И. Создание адаптивных сортов яровой пшеницы для условий сухостепных зон Казахстана / В. И. Цыганков. – Текст: непосредственный // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2011. – № 2 (30). – С. 46-50.
2. Косенко, С. В. Особенности развития корневой системы различных по скороспелости сортов озимой мягкой пшеницы / С. В. Косенко. –

Текст: непосредственный // Таврический вестник аграрной науки. – 2022. – № 1 (29). – С. 57-64.

3. Sanguineti, M.C., Li, S., Maccaferri, M., et al. (2007). Genetic dissection of seminal root architecture in elite durum wheat germplasm. *Annals of Applied Biology*. 151. 291-305. DOI: 10.1111/j.1744-7348.2007.00198.x.
4. Xie, Q., Fernando, M., Mayes, S., Sparkes, D. (2017). Identifying seedling root architectural traits associated with yield and yield components in wheat. *Annals of Botany*. 119. 1115–1129. DOI: 10.1093/aob/mcx001.
5. Rebetzke, G., Zhang, H., Ingvordsen, C., et al. (2022). Genotypic variation and covariation in wheat seedling seminal root architecture and grain yield under field conditions. *Theoretical and Applied Genetics*. 135. DOI: 10.1007/s00122-022-04183-z.
6. Федосенко, Д. Ф. Варьирование количества зародышевых корней у сибирских сортов яровой мягкой пшеницы / Д. Ф. Федосенко, А. В. Сидоров. – Текст: непосредственный // Вестник Бурятской государственной сельскохозяйственной академии им. В. Р. Филиппова. – 2020. – № 2 (59). – С. 47-52.
7. Christopher, J., Christopher, M.J., Jennings, R., et al. (2013). QTL for root angle and number in a population developed from bread wheats (*Triticum aestivum*) with contrasting adaptation to water-limited environments. *TAG. Theoretical and Applied Genetics. Theoretische und angewandte Genetik*. 126. DOI: 10.1007/s00122-013-2074-0.
8. Richard, C., Hickey, L., Fletcher, S., et al. (2015). High-throughput phenotyping of seminal root traits in wheat. *Plant Methods*. 11. 13. DOI: 10.1186/s13007-015-0055-9.
9. Hohn C.E., Bektas H. (2020). Genetic mapping of quantitative trait loci (QTLs) associated with seminal root angle and number in three populations of bread wheat (*Triticum aestivum* L.) with common parents. *Plant Molecular Biology Reporter* 1: 1-4.
10. Сидоров, А. В. Результаты селекции яровой пшеницы на увеличение числа и степени развития зародышевых корней / А.В. Сидоров, Д. Ф. Федосенко. – Текст: непосредственный // Вестник КрасГАУ. – 2015. – № 3 (102). – С. 77-82.
11. Figueroa Bustos, V., Palta, J., Chen, Y., Siddique, K. (2018). Characterization of Root and Shoot Traits in Wheat Cultivars with Putative Differences in Root System Size. *Agronomie*. 8. DOI: 10.3390/agronomy8070109.

12. Морфометрические параметры корневой системы и продуктивность растений у синтетических линий яровой мягкой пшеницы в условиях Западной Сибири в связи с засухоустойчивостью / В. П. Шаманин, И. В. Потоцкая, С. С. Шепелев [и др.]. – Текст: непосредственный // Сельскохозяйственная биология. – 2018. – Т. 53, № 3. – С. 587-597.

13. Shorinola, O., Kaye, R., Golan, G., et al. (2019). Genetic Screening for Mutants with Altered Seminal Root Numbers in Hexaploid Wheat Using a High-Throughput Root Phenotyping Platform. *G3-Genes, Genomes, Genetics*. 9. g3.400537.2019. DOI: 10.1534/g3.119.400537.

14. Golan, G., Hendel, E., Méndez Espitia, G.E., et al. (2018). Activation of seminal root primordia during wheat domestication reveals underlying mechanisms of plant resilience. *Plant, Cell & Environment*, 41(4), 755–766. <https://doi.org/10.1111/pce.13138>.

### References

1. Tsygankov V.I. Sozdanie adaptivnykh sortov iarovoi pshenitsy dlia uslovii sukhospeynykh zon Kazakhstana // Izvestiia Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2011. – No. 2 (30). – S. 46-50.

2. Kosenko S.V. Osobennosti razvitiia kornevoi sistemy razlichnykh po skorospelosti sortov ozimoi miagkoi pshenitsy // Tavricheskii vestnik agrarnoi nauki. – 2022. – No. 1 (29). – S. 57-64.

3. Sanguineti, M.C., Li, S., Maccaferri, M., et al. (2007). Genetic dissection of seminal root architecture in elite durum wheat germplasm. *Annals of Applied Biology*. 151. 291-305. DOI: 10.1111/j.1744-7348.2007.00198.x.

4. Xie, Q., Fernando, M., Mayes, S., Sparkes, D. (2017). Identifying seedling root architectural traits associated with yield and yield components in wheat. *Annals of Botany*. 119. 1115–1129. DOI: 10.1093/aob/mcx001.

5. Rebetzke, G., Zhang, H., Ingvordsen, C., et al. (2022). Genotypic variation and covariation in wheat seedling seminal root architecture and grain yield under field conditions. *Theoretical and Applied Genetics*. 135. DOI: 10.1007/s00122-022-04183-z.

6. Fedosenko D.F., Sidorov A.V. Variirovanie kolichestva zarodyshevykh kornei u sibirskikh sortov iarovoi miagkoi pshenitsy // Vestnik Buriatskoi

gosudarstvennoi selskokhoziaistvennoi akademii im. V.R. Filippova. – 2020. – No. 2 (59). – S. 47-52.

7. Christopher, J., Christopher, M.J., Jennings, R., et al. (2013). QTL for root angle and number in a population developed from bread wheats (*Triticum aestivum*) with contrasting adaptation to water-limited environments. *TAG. Theoretical and Applied Genetics. Theoretische und angewandte Genetik*. 126. DOI: 10.1007/s00122-013-2074-0.

8. Richard, C., Hickey, L., Fletcher, S., et al. (2015). High-throughput phenotyping of seminal root traits in wheat. *Plant Methods*. 11. 13. DOI: 10.1186/s13007-015-0055-9.

9. Hohn C.E., Bektas H. (2020). Genetic mapping of quantitative trait loci (QTLs) associated with seminal root angle and number in three populations of bread wheat (*Triticum aestivum* L.) with common parents. *Plant Molecular Biology Reporter* 1: 1-4.

10. Sidorov A.V., Fedosenko D.F. Rezultaty selektsii iarovoi pshenitsy na uvelichenie chisla i stepeni razvitiia zarodyshevykh kornei // Vestnik KrasGAU. – 2015. – No. 3 (102). – S. 77-82.

11. Figueroa Bustos, V., Palta, J., Chen, Y., Siddique, K. (2018). Characterization of Root and Shoot Traits in Wheat Cultivars with Putative Differences in Root System Size. *Agronomie*. 8. DOI: 10.3390/agronomy8070109.

12. Shamanin V.P., Pototskaia I.V., Shepelev S.S., Pozherukova V.E., Morgunov A.I. Morfometricheskie parametry kornevoi sistemy i produktivnost rastenii u sinteticheskikh linii iarovoi miagkoi pshenitsy v usloviakh Zapadnoi Sibiri v sviazi s zasukhoustoichivostiu // Selskokhoziaistvennaia biologiiia. – 2018. – T. 53. – No. 3. – S. 587-597.

13. Shorinola, O., Kaye, R., Golan, G., et al. (2019). Genetic Screening for Mutants with Altered Seminal Root Numbers in Hexaploid Wheat Using a High-Throughput Root Phenotyping Platform. *G3-Genes, Genomes, Genetics*. 9. g3.400537.2019. DOI: 10.1534/g3.119.400537.

14. Golan, G., Hendel, E., Méndez Espitia, G.E., et al. (2018). Activation of seminal root primordia during wheat domestication reveals underlying mechanisms of plant resilience. *Plant, Cell & Environment*, 41(4), 755–766. <https://doi.org/10.1111/pce.13138>.

