

ОЦЕНКА РАЗВИТИЯ АНДРОГЕННЫХ ДИГАПЛОИДНЫХ ЛИНИЙ ОЗИМОЙ ПШЕНИЦЫ ПОКОЛЕНИЯ R1 В УСЛОВИЯХ *IN VIVO*

Н. В. Калинина, научный сотрудник лаборатории клеточной селекции, kalinina74783@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-2305-4189;

Н. Г. Черткова, младший научный сотрудник лаборатории клеточной селекции, tycik17082012@gmail.com, ORCID ID: 0000-0003-4005-9771;

В. Ю. Донцова, младший научный сотрудник лаборатории клеточной селекции, valja-doncova@mail.ru, ORCID ID: 0000-0003-1083-9881;

Д. М. Марченко, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник отдела селекции и семеноводства озимой пшеницы, wiza101@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-5251-3903

ФГБНУ Аграрный научный центр «Донской»,
347740, Ростовская обл., г. Зерноград, ул. Научный городок, д. 3; e-mail: vniizk30@mail.ru

Получение дигаплоидных линий с помощью биотехнологических методов может снизить не только срок выведения нового сорта, но и трудозатраты и технические ресурсы. Ранее в наших исследованиях был получен семенной материал андрогенных дигаплоидных растений-регенерантов R0 поколения, выращенный в условиях *ex vitro*. Следующим этапом работы был посев семян этих растений *in vivo*. Целью исследования была оценка развития в условиях *in vivo* растений озимой пшеницы андрогенных дигаплоидных линий поколения R1 и родительских сортов по таким признакам, как продолжительность фенофаз, вегетационного периода, морфометрическая оценка для сравнения их между собой и с родительскими генотипами, а также для размножения семян. В результате выполненных в 2022–2024 гг. исследований оценен новый исходный материал мягкой озимой пшеницы, полученный на основе ранее проведенных биотехнологических работ. Проведено изучение андрогенных дигаплоидных линий R1 по признакам вегетативных и генеративных органов, по зерновой продуктивности растений и всхожести семян. Отобраны перспективные линии для дальнейшей селекционной оценки. Андрогенные дигаплоидные линии озимой пшеницы поколения R1 79.1.5.1, 79.1.5.2, 79.2.1.1, 84.3.1.1, 84.3.3.1, 85.2.1.1 выделились по вегетативным, генеративным признакам, зерновой продуктивности и всхожести семян. Наилучшими показателями продуктивности и всхожести характеризовались андрогенные дигаплоидные линии на основе гибридной комбинации Ростовчанка 7 × Безостая 100.

Ключевые слова: озимая пшеница, андрогенез *in vitro*, андрогенная дигаплоидная линия, растения в условиях *in vivo*, морфометрические признаки.

Для цитирования: Калинина Н. В., Черткова Н. Г., Донцова В. Ю., Марченко Д. М. Оценка развития андрогенных дигаплоидных линий озимой пшеницы поколения R1 в условиях *in vivo* // Зерновое хозяйство России. 2024. Т. 16, № 5. С. 26–32. DOI: 10.31367/2079-8725-2024-94-5-26-32.



ESTIMATION OF THE DEVELOPMENT OF ANDROGENIC DIHAPLOID LINES OF WINTER WHEAT OF THE R1 GENERATION *IN VIVO*

N. V. Kalinina, researcher of the laboratory for cell breeding, kalinina74783@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-2305-4189;

N. G. Chertkova, junior researcher of the laboratory for cell breeding, tycik17082012@gmail.com, ORCID ID: 0000-0003-4005-9771;

V. Yu. Dontsova, junior researcher of the laboratory for cell breeding, valja-doncova@mail.ru, ORCID ID: 0000-0003-1083-9881;

D. M. Marchenko, Candidate of Agricultural Sciences, leading researcher of the department of winter wheat breeding and seed production, wiza101@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-5251-3903

FSBSI Agricultural Research Center “Donskoy”,
347740, Rostov region, Zernograd, Nauchny Gorodok Str., 3; e-mail: vniizk30@mail.ru

Development of dihaploid lines using biotechnological methods can reduce not only the time required to breed a new variety, but also labor costs and technical resources. Earlier in our studies, there has been obtained seed material of androgenic dihaploid of the regenerated plants of the R0 generation, grown *ex vitro*. The next stage of the work dealt with sowing the seeds of these plants *in vivo*. The purpose of the current study was to estimate the development of winter wheat plants of androgenic dihaploid lines of the R1 generation and parental varieties *in vivo* according to such characteristics as a length of phenophases, a vegetation period, morphometric estimation for comparison with each other and with parental genotypes, as well as for seed propagation. As a result of the study carried out in 2022–2024, there has been estimated a new initial material of winter common wheat obtained on the basis of previously conducted biotechnological work. There have been studied androgenic dihaploid R1 lines according to the traits of vegetative and generative organs, for grain productivity of plants and seed germination. There have been selected promising lines for further breeding evaluation. Androgenic dihaploid lines of winter wheat of the R1 generation 79.1.5.1, 79.1.5.2, 79.2.1.1, 84.3.1.1, 84.3.3.1, 85.2.1.1 were the best according to vegetative, generative traits, grain productivity and seed germination. The best indicators of productivity and germination were characterized by androgenic dihaploid lines based on the hybrid ‘Rostovchanka 7 x Bezostaya 100’.

Keywords: winter wheat, androgenesis *in vitro*, androgenic dihaploid line, plants *in vivo*, morphometric traits.

Введение. Пшеница является первостепенной сельскохозяйственной культурой, возделываемой во всем мире, и выступает в качестве основного злака в питании людей. Современная стратегия селекции пшеницы направлена на создание сортов, обладающих комплексной устойчивостью к неблагоприятным абиотическим и биотическим факторам окружающей среды, экологической пластичностью. Сложность выведения сорта заключается в слишком длительном процессе, в частности в количестве лет на его создание, поэтому селекционеры все чаще прибегают к привлечению биотехнологических методов наряду с традиционными (Жингазиев и др., 2016; Grauda et al., 2010). Андрогенез *in vitro* – это наиболее часто применяемый метод, позволяющий получать гаплоидные и дигаплоидные растения, которые являются уникальным селекционным материалом (Сельдимирова и др., 2014; Осадчая и др., 2016; Grauda et al., 2016). Получение дигаплоидных линий может снизить не только срок выведения нового сорта, но и трудозатраты и технические ресурсы.

Практическую значимость дигаплоидов определяет образование на конечном этапе полноценных фертильных растений, гомозиготных по всем локусам, что позволяет быстро провести достоверную оценку полученного материала (Круглова и др., 2017; Созинова, 2004). Ранее в наших исследованиях был получен семенной материал андрогенных дига-

плоидных растений R0 поколения, выращенный в условиях *ex vitro* (Черткова и др., 2023). Была выявлена высокая гаплопродукционная способность и фертильность колосьев растений на основе гибридной комбинации Ростовчанка 7 × Безостая 100. Поскольку в условиях *in vitro* и *ex vitro* можно провести оценку ограниченного числа признаков, то важно оценить развитие андрогенных дигаплоидных растений следующего поколения R1 в условиях *in vivo*. Были проведены посев семян андрогенных дигаплоидных растений пшеницы, выращивание и наблюдение за растениями (на экспериментальной вегетационной площадке) по таким показателям, как продолжительность фенологических фаз, вегетационного периода, морфометрическая оценка для сравнения их между собой и с родительскими сортами, а также для размножения семян. Поэтому целью исследования была оценка развития в условиях *in vivo* растений озимой пшеницы андрогенных дигаплоидных линий поколения R1 и родительских сортов.

Материалы и методы исследований. Объектом исследования являлись растения озимой мягкой пшеницы 10 андрогенных дигаплоидных линий поколения R1, полученные через культуру пыльников *in vitro* (табл. 1) в ФГБНУ «АНЦ «Донской» (Черткова и др., 2023), и пяти родительских сортов (Вольница, Ростовчанка 7, Безостая 100, Княгиня Ольга, Алексеич) (табл. 1).

Таблица 1. Происхождение дигаплоидных линий
Table 1. Origin of the dihaploid lines

Линия	Гибридная комбинация
78.3.2.1	Вольница × Герда
79.1.5.1	Ростовчанка 7 × Безостая 100
79.1.5.2	Ростовчанка 7 × Безостая 100
79.1.6.1	Ростовчанка 7 × Безостая 100
79.2.1.1	Ростовчанка 7 × Безостая 100
79.2.1.2	Ростовчанка 7 × Безостая 100
79.3.4.1	Ростовчанка 7 × Безостая 100
84.3.1.1	1585/16 × Княгиня Ольга
84.3.3.1	1585/16 × Княгиня Ольга
85.2.1.1	586/13 × Алексеич

растения андрогенных дигаплоидных R1 и сорта родителей выращивали на вегетационной площадке в естественных климатических условиях, характерных для южной зоны Ростовской области в 2022–2024 годах. На площадке был установлен стеллаж (Д × Ш × В: 4 × 2 × 0,7 м), расположенный на 0,6 м от поверхности земли и засыпанный почвой. Делянки 2-рядковые, длиной 1 м с междурядьями 0,15 м, площадью 0,3 м². Повторность двукратная. Размещение вариантов систематическое. Посев зерен, уборку и обмолот проводили вручную. В ходе вегетации растений озимой пшеницы фиксировали наступление фенофаз и их продолжительность по Ф.М. Куперман (1977). После созревания определяли следую-

щие морфометрические признаки: высота растений, длина колоса, количество колосков в колосе, количество и масса зерна с колоса, масса зерна с 1 м² и др.

В лабораторных условиях проводили оценку энергии прорастания и всхожести семян по общепринятой методике (ГОСТ 12038-84).

Погодно-климатические условия в годы исследования складывались разнообразно. 2022/2023 с.-х. год (температура 11,6 °С, превышение над среднемноголетними данными 1,9 °С, количество осадков 569 мм – 97,7 % от среднемноголетней) оказался наиболее благоприятным для роста, развития растений и формирования урожая зерна. 2023/2024 с.-х. год был неблагоприятным

для озимой мягкой пшеницы (резкий приход весны сменился возвратными заморозками, затем наступила длительная засуха).

Статистическую обработку данных проводили методом однофакторного дисперсионного анализа с помощью программы Excel.

Результаты и их обсуждение. Изучение растений андрогенных дигамплоидных линий озимой мягкой пшеницы R1 поколения и родительских сортов проводили в течение двух вегетационных периодов. Согласно анализу полученных данных все основные фазы развития растений у андрогенных дигамплоидных

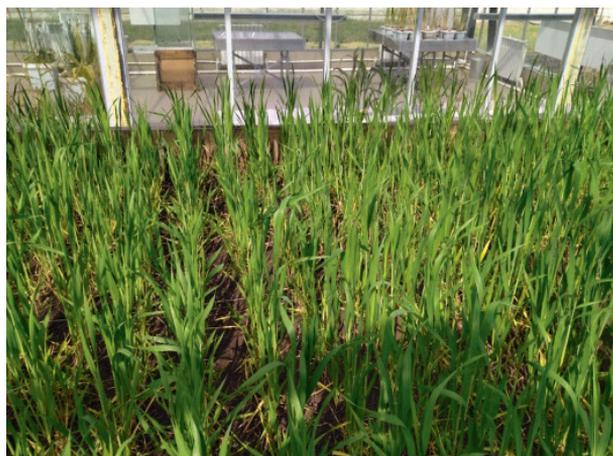
линий (от прорастания семян до полной спелости) прошли сходно с родительскими сортами. Не было выявлено значимых различий по последовательности и продолжительности фенофаз. Посев проводили во влажную почву: в 2022 г. – 3 октября, а в 2023 г. – на 10 дней позже. Появление всходов в среднем за два года (первый лист) отмечали на 9-е сутки от даты посева (рис.1,а). Однако выделились две линии с более длительным периодом прорастания семян: 85.2.1.1 – на 4 дня позже (2022 г.) и 78.3.2.1 – на 6 дней (2023 г.).



а



б



в



г

Рис. 1. Растения озимой пшеницы андрогенных дигамплоидных линий R1 в условиях *in vivo*:

а – всходы; б – период зимнего покоя (яровизация);

в – выход в трубку и рост стебля раскустившихся растений; г – полная спелость

Fig. 1. Winter wheat plants of androgenic dihaploid lines R1 *in vivo*:

a – sprouts; b – winter dormancy period (vernalization);

c – booting stage and stem growth of tillered plants; d – full maturity

Полевая всхожесть семян андрогенных дигамплоидных линий за два года исследования в среднем составила 75,7 %, однако в благоприятный по климатическим условиям 2022/2023 с.-х. она была выше, чем в неблагоприятный.

На 14–17-е сутки наблюдали появление 3–4-го листа. В этой фазе развития у растений некоторых андрогенных дигамплоидных

линий отмечали отставание в росте. У таких линий, как 78.3.2.1 и 85.2.1.1, третий лист появился на 3 дня позже в сравнении с остальными. В стадию зимнего покоя растения андрогенных дигамплоидных линий «ушли» не раскустившись (рис. 1, б). Возобновление ростовых процессов в среднем за два года отмечали через 105–110 дней. Выход в трубку и рост стебля наблюдали в среднем через 146 дней

от посева (рис. 1, в). Фаза колошения наступила у линии 79.2.1.1 в конце апреля (27.04.), у линий 85.2.1.1 и 85.3.1.1 – 8 мая, а у остальных растений – 3 мая. Разница в цветении между линиями составила 11 дней. Так, колосья андрогенной дигиплоидной линии 79.2.1.1 зацвели 3.05, 84.3.1.1 – 14.05, а остальные – 9.05. Несмотря на небольшие различия в продолжительности некоторых фаз развития растений, полное созревание семян андрогенных дигиплоидных линий озимой пшеницы в 2023 г. наступило одновременно – в конце июня, а в 2024 г. – в начале июня (рис. 1, з). Засушливые метеоусловия 2024 г. сократили сроки налива и созревания зерна в среднем на 12 дней. Период вегетации растений андрогенных дигиплоидных линий в 2023 г. составил 262 дня, в 2024 г. – 234 дня, в среднем за 2 года 248 ± 5 дней. Растения андрогенных дигиплоидных линий 84.3.1.1,

78.3.2.1, 85.2.1.1 созрели соответственно на 2, 5 и 8 дней позже. Продолжительность вегетации родительских сортов составила 251 ± 3 дня, что больше, чем у андрогенных дигиплоидных линий.

После уборки растений был проведен морфометрический анализ по важнейшим хозяйственно ценным признакам. Общее количество стеблей андрогенных дигиплоидных линий озимой пшеницы поколения R1 в условиях *in vivo* в среднем за два года составило $254,2$ шт./м² (табл. 2). Максимальное количество стеблей сформировала линия 79.2.1.1 ($308,5$ шт./м²), а минимальное – линия 78.3.2.1 ($68,4$ шт./м²). Среди родительских форм выделился сорт Безостая 100 ($286,4$ шт./м²), который был одним из родителей выделившейся линии.

Таблица 2. Признаки вегетативных органов растений озимой пшеницы андрогенных дигиплоидных линий R1 и родительских сортов (среднее за 2022–2024 гг.)
Table 2. Traits of vegetative organs of winter wheat plants of androgenic dihaploid lines R1 and parental varieties (mean in 2022–2024)

№	Линия / сорт	Общее количество стеблей, шт./м ²	Общая кустистость	Количество продуктивных стеблей, шт./м ²	Продуктивная кустистость	Высота растения, см
Андрогенные дигиплоидные линии						
1	78.3.2.1	68,4	1,4	58,4	1,2	60,9
2	79.1.5.1	243,5	1,5	171,8	1,0	87,9*
3	79.1.5.2	270,1	1,3	230,1	1,1	87,0*
4	79.1.6.1	280,2	1,6	230,1	1,2	73,1
5	79.2.1.1	308,5*	1,4	260,1*	1,1	93,1*
6	79.2.1.2	271,8	1,3	216,8	1,1	82,1
7	79.3.4.1	256,8	1,8*	203,4	1,3	83,9
8	84.3.1.1	253,5	1,5	250,1*	1,1	81,9
9	84.3.3.1	280,2	1,9*	153,4	1,2	65,6
10	85.2.1.1	268,5	1,3	240,1*	0,9	82,7
Среднее		254,2	1,5	208,2	1,2	81,2
НСР ₀₅		31,2	0,16	26	0,12	6,1
Родительские сорта						
1	Княгиня Ольга	299,7	2,1	180,1	1,6	61,3
2	Ростовчанка 7	199,8	1,4	153,4	1,3	73,5
3	Безостая 100	286,4*	1,7	166,8	1,7*	75,7*
4	Вольница	239,7	1,5	173,4	1,4	72,7
5	Алексеич	239,7	1,5	153,4	1,5	67,1
Среднее		253,1	1,6	165,4	1,5	70,1
НСР ₀₅		30,4	0,2	23,1	0,15	4,8

Примечание. * – достоверно на 5%-м уровне значимости.

Общая кустистость изученных андрогенных дигиплоидных линий варьировала от 1,3 до 1,9 стеблей на растении. Достоверное превышение над средним значением наблюдали у линий 79.3.4.1 (1,8) и 84.3.3.1 (1,9). Количество продуктивных стеблей растений андрогенных дигиплоидных линий на 1 м² достоверно выше среднего было у линий 79.2.1.1, 84.3.1.1, 85.2.1.1, причем это больше, чем у родительских сортов. По продуктивной кустистости достоверное превышение над средним в годы изучения наблюдали лишь у сорта Безостая 100. По признаку «высота растения» выделились линии 79.2.1.1 (93,1 см), 79.1.5.1 (87,9 см),

79.1.5 (87,0 см). Причем растения андрогенных дигиплоидных линий были выше родительских сортов. Высота растений озимой пшеницы у родительских форм колебалась от 61,3 см у сорта Княгиня Ольга до 75,7 см у сорта Безостая 100. Одним из родителей выделившихся по высоте растений линий был сорт Безостая 100.

Наибольшую длину колоса сформировала линия 85.2.1.1 (9,4 см), в родословной которой был сорт Алексеич, длина колоса которого была наибольшей (8,2 см). По средним значениям длины колоса между андрогенными дигиплоидными линиями и родительскими сортами достоверных отличий не было (табл. 3).

Таблица 3. Признаки генеративных органов и продуктивность растений озимой пшеницы андрогенных дигамплоидных линий R1 и родительских сортов (среднее за 2022–2024 гг.)
Table 3. Traits of generative organs and productivity of winter wheat plants of androgenic dihaploid lines R1 and parental varieties (mean in 2022–2024)

№	Линия / сорт	Длина колоса, см	Количество колосков в колосе, шт.	Количество зерен в колосе, шт.	Масса зерна с колоса, г	Масса 1000 зерен, г	Продуктивность, г/м ²
Андрогенные дигамплоидные линии							
1	78.3.2.1	6,4	14,3	15,7	0,5	30,1	71,7
2	79.1.5.1	7,6	18,3	23,5*	1,05*	45,4*	167,4*
3	79.1.5.2	7,6	18,2	23,9*	0,95*	39,5*	195,8*
4	79.1.6.1	6,8	17,7	16,0	0,7	38,5	87,3
5	79.2.1.1	7,5	19,0	19,4	0,8	40,7*	171,3*
6	79.2.1.2	7,6	18,7	21,6	0,8	36,4	136,5
7	79.3.4.1	6,6	19,2	21,1	0,65	31,4	116,7
8	84.3.1.1	6,1	17,2	18,0	0,55	30,4	138,2
9	84.3.3.1	8,0*	17,6	24,1*	0,9*	37,3	108,7
10	85.2.1.1	9,4*	19,9	17,4	0,75	42,6*	141,1
Среднее		7,4	18,0	19,8	0,75	37,1	135,7
НСР ₀₅		0,8	2,1	2,0	0,1	2,4	15,6
Родительские сорта							
1	Княгиня Ольга	7,4	18,2	29,3	1,06	36,2	174,5
2	Ростовчанка 7	6,4	20,7	22,1	0,9	40,7	137,8
3	Безостая 100	7,3	16,5	33,1*	1,3*	39,3	209,2*
4	Вольница	7,05	19,3	24,4	1,04	42,6	175,1
5	Алексеич	8,2*	19,9	29,1	1,2	41,2	167,8
Среднее		7,3	18,9	27,6	1,1	40,0	172,8
НСР ₀₅		0,8	2,2	3,5	0,1	3,9	18,4

Примечание. * – достоверно на 5 %-м уровне значимости.

По признаку «количество колосков в колосе» достоверных отличий от средних значений не наблюдали. У родительских сортов по признаку «количество колосков» варьирование составило от 16,5 шт. (Безостая 100) до 20,7 шт. (Ростовчанка 7). Количество зерен в колосе и масса зерна с колоса являются важными элементами структуры урожая. Максимальное значение по признаку «количество зерен» отмечено у линии 84.3.3.1 (24,1 шт.), также достоверно высокие значения признака наблюдались у линий 79.1.5.2 (23,9 шт.) и 79.1.5.1 (23,5 шт.). Среди родительских сортов выделился сорт Безостая 100 с количеством зерен в колосе 33,1 шт. У изучаемых андрогенных дигамплоидных линий и родительских сортов по признаку «масса зерна с колоса» варьирование находилось в пределах от 0,5 до 1,06 г. Андрогенная дигамплоидная линия 79.1.5.1 показала максимальное значение (1,05 г), что свидетельствует о высокой продуктивности колоса. По признаку «масса 1000 зерен» достоверно выше среднего выделились линии 79.1.5.1 (45,4 г), 79.1.5.2 (39,5 г) и 85.2.1.1 (42,6 г), а у родительских форм максимальное значение было у сорта Вольница – 42,6 г. В среднем родительские сорта имели массу 1000 зерен выше, чем андрогенные дигамплоидные линии на 2,9 г. По признаку продуктивность зерен с 1 м² родительские сорта превышали андрогенные дигамплоидные линии на 37,1 г. Максимальные значения по продук-

тивности зерен с 1 м² показали линии 79.1.5.2 (195,8 г), 79.1.5.1 (167,4 г) и 79.2.1.1 (171,3 г), а родительские сорта – Безостая 100 (209,2 г). Высокая зерновая продуктивность выделенных линий 79.1.5.2, 79.1.5.1 и 79.2.1.1 обусловлена такими структурными элементами, как количество зерен в колосе, масса зерна с колоса, масса 1000 зерен. Продуктивность зерен андрогенных дигамплоидных линий 84.3.1.1 и 85.2.1.1 была выше среднего значения, но в пределах НСР₀₅, что обусловлено большим количеством продуктивных стеблей и массой 1000 зерен. Линия 84.3.3.1 показала достоверно высокие значения по таким элементам структурного анализа, как количество зерен (24,1 шт.) и масса зерна (0,9 г) с колоса, но достоверно уступила по зерновой продуктивности (108,7 г), что обусловлено малым числом продуктивных стеблей (153,4 шт.).

Заключительным этапом в исследовании являлась оценка энергии прорастания и лабораторной всхожести полученного семенного материала (рис. 2).

В исследовании Кругловой и др. лабораторная всхожесть была разделена на 3 условные группы: 1 группа – всхожесть выше 80 %, 2 группа – от 60–80 %, 3 группа – всхожесть менее 60 % (Круглова и др., 2017). Установлена различная энергия прорастания и лабораторная всхожесть зерновок андрогенных растений R1 и их родительских форм (рис. 3).

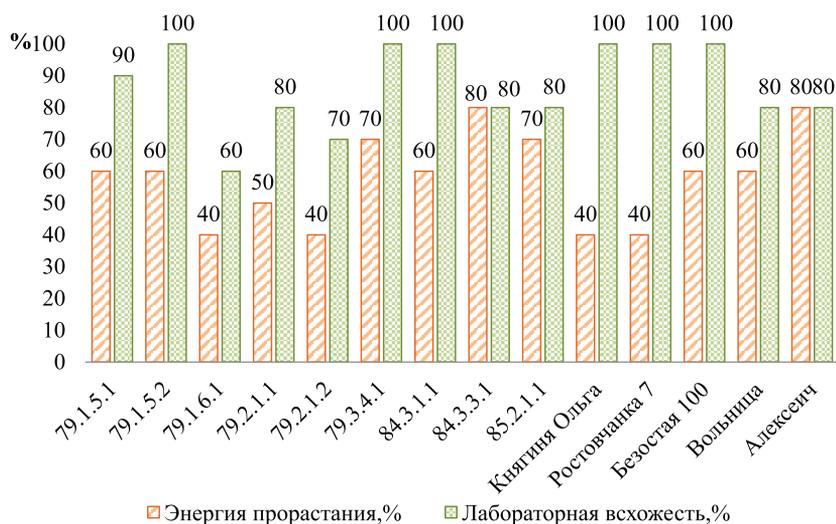


Рис. 2. Энергия прорастания и лабораторная всхожесть зерновок андрогенных растений пшеницы R1
Fig. 2. Germination energy and laboratory germination of grains of androgenic wheat plants R1

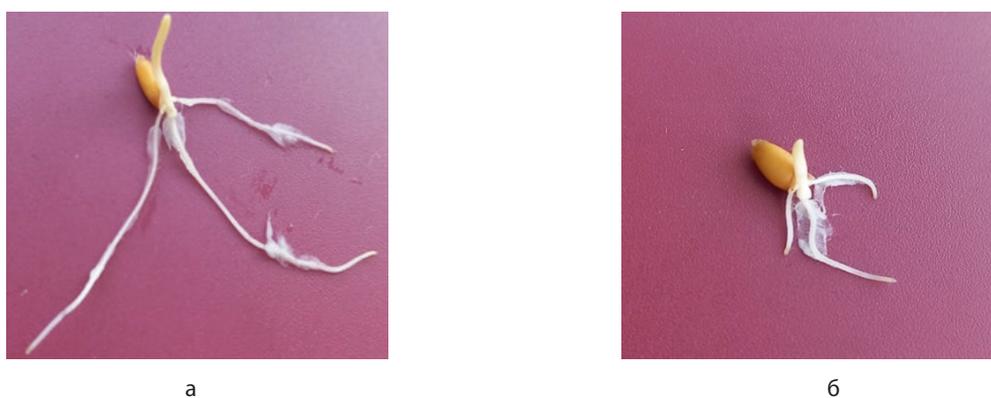


Рис. 3. Прорастание зерновок андрогенных дигаплоидных растений поколения R1:
 а – 1-я группа всхожести; б – 2-я группа всхожести
Fig. 3. Germination of grains of androgenic dihaploid plants of the R1 generation:
 а – 1st germination group; б – 2nd germination group

Исследуемые андрогенные дигаплоидные линии разделили по всхожести на группы: 1-я группа – линии 79.1.5.1, 79.1.5.2, 79.2.1.1, 79.3.4.1, 84.3.1.1, 84.3.3.1, 85.2.1.1 и все родительские сорта, 2-я группа – линии 78.3.2.1, 79.1.6.1, 79.2.1.2. По 3-й группе (всхожесть менее 60 %) образцов не обнаружено.

Таким образом, андрогенные дигаплоидные линии озимой пшеницы 79.1.5.1, 79.1.5.2, 79.2.1.1, 84.3.1.1, 84.3.3.1, 85.2.1.1, выделившиеся по вегетативным и генеративным признакам, продуктивности зерен и всхожести были оценены как более перспективные для дальнейших исследований.

Выводы. На основе проведенных исследований в 2022–2024 гг. при оценке развития

растений озимой пшеницы андрогенных дигаплоидных линий поколения R1 в условиях *in vivo* установлено, что продолжительность вегетационного периода линий в целом была на 3 дня меньше, чем у родительских сортов. Линии 79.1.5.1, 79.1.5.2, 79.2.1.1, родительскими сортами которых были Ростовчанка 7 и Безостая 100, выделились по массе 1000 зерен: 45,4, 39,5 и 40,7 г соответственно, по зерновой продуктивности: 167,4, 195,8 и 171,3 г/м² соответственно. Лабораторная всхожесть семян выделившихся линий была 80 % и более. В результате получен новый исходный материал, рекомендуемый для дальнейшей селекционной работы.

Библиографические ссылки

1. Жангазиев А. С., Тайчибеков А. У., Кашкынбаева Л. Б., Дюсенбаева Ж. С. Гаплоидная технология в использовании методов *in vitro* в селекции озимой пшеницы // Успехи современного естествознания. 2016. № 7. С. 42–45. EDN ZDGVPT.
2. Круглова Н. Н., Сельдиминова О. А., Зайцев Д. Ю., Галин И. Р., Зинатуллина А. Е., Анохина Н. С. Развитие андроклиных растений пшеницы в полевых условиях *in vivo* // Известия Уфимского научного центра РАН. 2017. № 3. С. 26–30.

3. Куперман, Ф.М. Морфофизиология растений: Морфофизиологический анализ этапов органогенеза различных жизненных форм покрытосеменных растений: учебное пособие для биол. специальностей вузов / 3-е изд., доп. Москва: Высшая школа, 1977. 288 с.
4. Сельдимирова О.А., Круглова Н.Н. Андроклиный эмбриогенез *in vitro* злаков // Успехи современной биологии. 2014. Т. 134, № 5. С. 476–487.
5. Созинова, Л.Ф. Расширение генофонда мягкой пшеницы на Севере Казахстана методами биотехнологии. Итоги 2004 года // Биотехнология. Теория и практика. 2005. № 1. С. 51–55.
6. Черткова Н.Г., Калинина Н.В., Донцова В.Ю., Марченко Д.М. Оценка результативности получения регенерантных линий озимой мягкой пшеницы в культуре пыльников *in vitro* // Зерновое хозяйство России. 2023. Т. 15, № 1. С. 76–81. DOI: 10.31367/2079-8725-2023-84-1-76-81
7. Осадчая Т.С., Трубочеева Н.В., Кравцова Л.А., Белан И.А., Россеева Л.П., Першина Л.А. Изучение фертильности и цитогенетической изменчивости у андрогенных растений (R0 и R1) аллоплазматических интрогрессивных линий мягкой пшеницы // Вавиловский журнал генетики и селекции. 2016. Т. 20, № 3. С. 370–377. DOI: 10.18699/VJ16.165
8. Grauda D., Lepse N., Strazdina V., Kokina I., Lapina L., Mikelsone A., Lubinskis L., Rashal I. Obtaining of doubled haploid lines by anther culture method for the Latvian wheat breeding // Agronomy Research. 2010. Vol. 8, № 3. P. 545–552.
9. Grauda D., Zagata K., Lanka G., Strazdina V., Fetere V., Lisina N., Krasnevskaya N., Fokina O., Mikelsone A., Ornicans R., Belogradova I., Rashal I. Genetic diversity of wheat (*Triticum aestivum* L.) plants-regenerants produced by anther culture // Vavilov Journal of Genetics and Breeding. 2016. Vol. 20, № 4. P. 537–544. DOI: 10.18699/VJ16.176

References

1. Zhangaziev A.S., Taichibekov A.U., Kashkynbaeva L.B., Dyusenbaeva Zh. S. Gaploidnaya tekhnologiya v ispol'zovanii metodov *in vitro* v selektsii ozimoi pshenitsy [Haploid technology in the use of *in vitro* methods in winter wheat breeding] // Uspekhi sovremenno ego estestvoznaniya. 2016. № 7. S. 42–45. EDN ZDGVPT.
2. Kруглова N.N., Sel'dimirova O. A., Zaitsev D. Yu., Galin I.R., Zinatullina A.E., Anokhina N.S. Razvitiye androklinnykh rastenii pshenitsy v polevykh usloviyakh *in vivo* [Development of androclinal wheat plants in field conditions *in vivo*] // Izvestiya Ufimskogo nauchnogo tsentra RAN. 2017. № 3. S. 26–30.
3. Kuperman, F.M. Morfofiziologiya rastenii: Morfofiziologicheskii analiz etapov organogeneza razlichnykh zhiznennykh form pokrytosemennykh rastenii: ucheb. posobie dlya biol. spetsial'nostei vuzov [Morphophysiology of plants: Morphophysiological analysis of the stages of organogenesis of various life forms of angiosperms] / 3-е изд., доп. Москва: Vysshaya shkola, 1977. 288 с.
4. Sel'dimirova O. A., Kруглова N.N. Андроклиный эмбриогенез *in vitro* злаков [Androclinal embryogenesis *in vitro* of cereals] // Uspekhi sovremennoy biologii. 2014. Т. 134, № 5. С. 476–487.
5. Sozinova, L.F. Rasshirenie genofonda myagkoi pshenitsy na Severe Kazakhstana metodami biotekhnologii. Itogi 2004 goda [Expansion of the gene pool of common wheat in the North of Kazakhstan by biotechnology methods. Results of 2004] // Biotekhnologiya. Teoriya i praktika. 2005. № 1. С. 51–55.
6. Chertkova N.G., Kalinina N.V., Dontsova V.Yu. Marchenko D.M. Otsenka rezul'tativnosti polucheniya regenerantnykh linii ozimoi myagkoi pshenitsy v kul'ture pyl'nikov *in vitro* [Estimation of the efficiency of obtaining regenerative lines of winter common wheat in the culture of anther *in vitro*] // Zernovoe khozyaistvo Rossii. 2023. Т. 15, № 1. С. 76–81. DOI: 10.31367/2079-8725-2023-84-1-76-81
7. Osadchaya T.S., Trubacheeva N.V., Kravtsova L.A., Belan I.A., Rosseeva L.P., Pershina L.A. Izuchenie fertill'nosti i tsitogeneticheskoi izmenchivosti u androgennykh rastenii (R0 i R1) allopiazmaticheskikh introgressivnykh linii myagkoi pshenitsy [Study of fertility and cytogenetic variability in androgenic plants (R0 and R1) of alloplasmic introgressive lines of common wheat] // Vavilovskii zhurnal genetik i selektsii. 2016. Т. 20, № 3. С. 370–377. DOI: 10.18699/VJ16.165
8. Grauda D., Lepse N., Strazdina V., Kokina I., Lapina L., Mikelsone A., Lubinskis L., Rashal I. Obtaining of doubled haploid lines by anther culture method for the Latvian wheat breeding // Agronomy Research. 2010. Vol. 8, № 3. P. 545–552.
9. Grauda D., Zagata K., Lanka G., Strazdina V., Fetere V., Lisina N., Krasnevskaya N., Fokina O., Mikelsone A., Ornicans R., Belogradova I., Rashal I. Genetic diversity of wheat (*Triticum aestivum* L.) plants-regenerants produced by anther culture // Vavilov Journal of Genetics and Breeding. 2016. Vol. 20, № 4. P. 537–544. DOI: 10.18699/VJ16.176

Поступила: 09.10.24; доработана после рецензирования: 14.10.24; принята к публикации: 14.10.24.

Критерии авторства. Авторы статьи подтверждают, что имеют на статью равные права и несут равную ответственность за плагиат.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Авторский вклад. Калинина Н.В. – постановка цели и задач, формирование методологии исследования и концепции статьи, финальная доработка текста; Черткова Н.Г., Донцова В.Ю. – выполнение лабораторных опытов, сбор, анализ литературных и лабораторных данных, подготовка рукописи; Марченко Д.М. – предоставление материала для исследований, критический анализ текста.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.