

СОЗДАНИЕ ГАПЛОИДНЫХ РАСТЕНИЙ ОЗИМОЙ ПШЕНИЦЫ НА ОСНОВЕ МЕТОДА ОТДАЛЕННОЙ ГИБРИДИЗАЦИИ С КУКУРУЗОЙ

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

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

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

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

Для ускорения процесса селекции и расширения генетического разнообразия озимой пшеницы новым исходным материалом могут служить гаплоидные линии. Одним из способов получения гаплоидов у растений пшеницы является отдаленная гибридизация при скрещивании с растениями кукурузы и последующей селективной элиминацией хромосом. Постгамную несовместимость родительских растений можно преодолеть культивированием зародышей в условиях *in vitro*. Цель исследования – получение гаплоидных растений озимой мягкой пшеницы с применением метода отдаленной гибридизации при скрещивании с кукурузой и селективной элиминацией хромосом. В данной работе представлены результаты гибридизации сортов и гибридов озимой пшеницы ([('Одесская 200 x Агрофак 100') x Раздолье], 1608/21, 1638/19, Станичная, 221/20, Вольница, Княгиня Ольга, Безостая 100, Алексеич) и линий-гаплопродюсеров кукурузы (SM7, Kr 935/86, Kr 651) с использованием метода эмбриокультуры *in vitro*. В результате установлено, что завязываемость гибридных зерен в среднем составила 64 %. Наибольший процент зерновок с зародышами в комбинации Станичная x SM7 (30 %), Безостая 100 x SM7 (33%) и Вольница x SM7 (36%). Максимальное число гаплоидных проростков образовалось у гибридных комбинаций Станичная x SM7 (8 шт.), Безостая 100 x SM7 и Вольница x SM7 (7 и 7 шт.). Получено 37 гаплоидных растений по 13 комбинациям скрещиваний. Выживаемость растений после пересадки в почву составила 62 %. Далее планируется оценить полученный селекционный материал.

Ключевые слова: озимая пшеница, кукуруза, гаплоиды, отдаленная гибридизация, элиминация хромосом.

Для цитирования: Калинина Н. В., Донцова В. Ю., Черткова Н. Г., Марченко Д. М. Создание гаплоидных растений озимой пшеницы на основе метода отдаленной гибридизации с кукурузой // Зерновое хозяйство России. 2024. Т. 16, № 6. С. 74–80. DOI: 10.31367/2079-8725-2024-95-6-74-80.



DEVELOPMENT OF HAPLOID WINTER WHEAT BY THE METHOD OF DISTANT HYBRIDIZATION WITH MAIZE

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

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

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

D. M. Marchenko, Candidate of Agricultural Sciences, leading researcher, head 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

In order to improve the breeding process and expand the genetic diversity of winter wheat, haploid lines can serve as new initial material. One of the methods for developing haploids in wheat plants is distant hybridization when crossing with maize plants and subsequent selective elimination of chromosomes. Postgamic incompatibility of parent plants can be overcome by growing embryos *in vitro*. The purpose of the current study was to develop haploid winter common wheat plants using the method of distant hybridization when crossing with maize and selective elimination of chromosomes. The current paper has presented the hybridization results of winter wheat varieties and hybrids ([('Odesskaya 200' x 'Agrofak 100') x 'Razdol'ye], '1608/21', '1638/19', 'Stanichnaya', '221/20', 'Volnitsa', 'Knyaginya Olga', 'Bezostaya 100', 'Alekseich') and haploproducer lines of maize (SM7, Kr 935/86, Kr 651) using the embryo-culture method *in vitro*. As a result, there was established that the mean setting rate of hybrid grains was 64 %. The highest percentage of grains with embryos was in the combinations 'Stanichnaya x SM7' (30 %), 'Bezostaya 100 x SM7' (33 %) and 'Volnitsa x SM7' (36 %). The maximum number of haploid sprouts was formed in the hybrid combinations 'Stanichnaya x SM7' (8 pcs.), 'Bezostaya 100 x SM7' and 'Volnitsa x SM7' (7 and 7 pcs.). There were developed 37 haploid plants from 13 cross combinations. The survival rate of plants after putting into soil was 62 %. It is being planned to evaluate the developed breeding material.

Keywords: winter wheat, maize, haploids, distant hybridization, chromosome elimination.

Введение. Озимая мягкая пшеница (*Triticum aestivum* L.) – это сельскохозяйственная культура, которая является экономически ценной и важной для потребления человеком во всем мире (Niu et al., 2014). Для ускорения процесса селекции и расширения генетического разнообразия озимой пшеницы новым исходным материалом могут служить гаплоидные линии. Одним из способов получения гаплоидов у растений пшеницы является отдаленная гибридизация при скрещивании с растениями кукурузы (*Zea mays* L.) и последующей селективной элиминацией хромосом (Бондаренко и др., 2024). Данный биотехнологический метод является технически простым и недорогостоящим, а также представляет особый интерес для селекционеров (Давоян и др., 2019). Отдаленные скрещивания пшеницы с гаплопродуцером – идеальный способ индуцировать женские гаметы, которые приводят к образованию гаплоидных зерновок (Zhang et al., 2014). Главной причиной сложности получения гибридов при отдаленных скрещиваниях является постгамная несовместимость родительских растений (Петраш и Степочкин, 2023). При использовании такого метода наблюдают нарушение формирования эндосперма, что приводит к гибели зародыша, поэтому применяют культивирование зародышей в условиях *in vitro* (Жамбакин и др., 2006; Петраш и Степочкин, 2023).

В настоящее время для получения гаплоидов пшеницы чаще используют кукурузу из-за меньшей чувствительности пыльцы кукурузы к генам-ингибиторам скрещиваемости, что подтверждается результатами многих исследователей (Дьячук и др., 2019; Chaudhary et al., 2002). Т. И. Дьячук и ее коллеги при цитологических исследованиях выяснили, что пыльца кукурузы успешно прорастает на рыльце пшеницы,

достигая зародышевого мешка с последующим оплодотворением и формированием гаплоидного зародыша пшеницы ($2n = 21$) (Дьячук и др., 2019). Уровень образования гаплоидных зерновок, по данным разных авторов, может составлять от 30 до 75 % (Давоян и др., 2019). Процент завязываемости гаплоидных зерновок зависит от родительских генотипов, включенных в скрещивания.

Цель исследования – получение гаплоидных растений озимой мягкой пшеницы с применением метода отдаленной гибридизации при скрещивании с кукурузой и селективной элиминацией хромосом.

Материал и методы исследований.

В качестве материнских форм использовали 4 образца озимой мягкой пшеницы, выращенных в теплице (Вольница, Княгиня Ольга, Безостая 100, Алексеич) и 5 образцов – в полевых условиях отдела селекции и семеноводства озимой пшеницы (интенсивного типа – [(Одесская 200 х Агрофак 100) х Раздолье], 1608/21, 1638/19; полуинтенсивного типа – Станичная, 221/20). В качестве отцовских форм в скрещивания включили 3 линии кукурузы селекции НЦЗ им. П. П. Лукьяненко, любезно предоставленные его сотрудниками (СМ7, Кр 935/86, Кр 651).

Растения пшеницы и кукурузы выращивали в вегетационных сосудах в условиях теплицы. Селекционные образцы озимой пшеницы высевали в рулоны (09.01.2024 г.) для проращивания и прохождения яровизации (50 дней) в фазе всходов. Затем растения пшеницы высаживали рассадой в вегетационные сосуды с почвой в условиях теплицы (29.02.2024 г.) (рис. 1, а). Для совмещения сроков гибридизации растения кукурузы были посеяны в сосуды с почвой в три срока (28.12.2024 г.; 27.02.2024 г.; 25.03.2024 г.) (рис. 1, б).

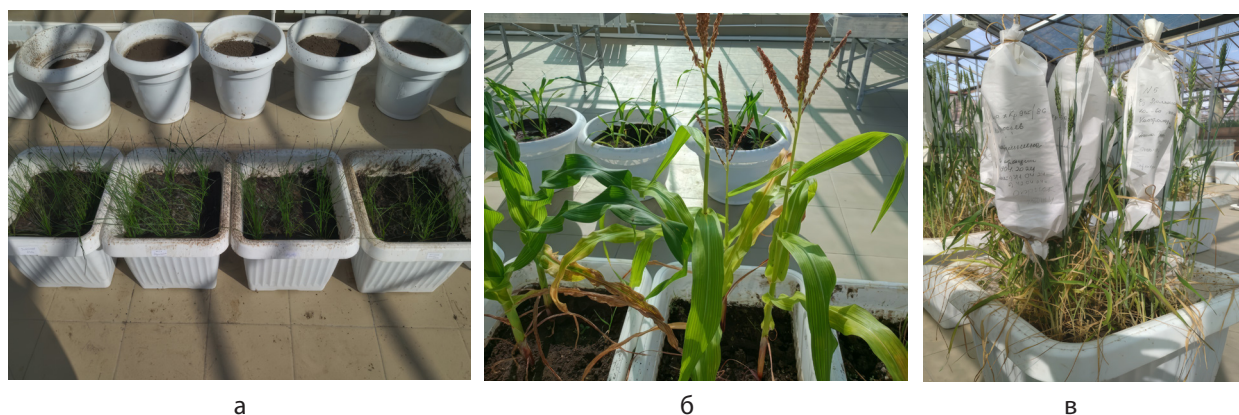


Рис. 1. Совмещение фенологических фаз озимой пшеницы и гаплопродуцеров: а – растения пшеницы, высаженные рассадой в теплице; б – кукуруза, посеянная в разные сроки; в – опыленные растения пшеницы

Fig. 1. Combination of phenological phases of winter wheat and haploproducers: а – wheat plants planted as sprouts in a greenhouse, б – maize sown at different times; в – pollinated wheat plants

Гибридизацию в условиях теплицы проводили в начале апреля (08.04–15.04) (рис. 1, в), а в полевых условиях – в середине мая. Цветение метелок кукурузы длилось с 25.03–18.05.

Кастрацию колосьев пшеницы проводили ручным методом путем удаления пыльников

пинцетом. Кастрированные колосья помещали под изолятор, на котором указывали комбинацию скрещивания, дату и сотрудирика, проводившего кастрацию. На вторые–четвертые сутки после кастрации производили опыление цветков пшеницы пылью кукурузы. Использовали свежесобранную пыльцу и пыльцу после кратковременного хранения в холодильнике по методике К. Ж. Жамбакина и др. (2006). Пыльцу кукурузы наносили кисточкой на кастрированные колосья два дня подряд. Через 2–3 дня после последнего опыления колосья опрыскивали водным раствором 2,4-Д в концентрации 100 мг/л для улучшения завязываемости. На 15–17-е сутки после последнего опыления пшеничные побеги с колосьями срезали, выделяли из них зерновки. Зерновки подвергали двухэтапной стерилизации (спирт 96%-й – 3 мин, гипохлорит натрия 5%-й – 15 мин). Далее в асептических условиях ламинарного бокса извлекали из зерновок зародыши и инокулировали их на твердую питательную среду Р-8 по методике С. Ф. Лукьянюк, С. А. Игнатовой (1980). Инокулирование зародышей на горизонтальную питательную среду проводили щитком вниз, по 5 штук в пробирку. Инкубирование осуществляли в термостате при полной темноте и температуре 25 °С

до появления каллусов или гаплоидных проростков. Для дальнейшего развития полученные проростки переносили в ростовую камеру на 16-часовой фотопериод с освещенностью 3 тыс. люкс и температурой 25 °С. Хорошо развитые проростки *in vitro* помещали на яровизацию в течение 50 дней при температуре 4 °С. После холодной обработки гаплоидные проростки пересаживали в вегетационные сосуды с почвой, выращивали в климатической камере при температуре 21/18 °С и освещенности 16/8 ч. Результаты опыта обрабатывали с помощью программ пакета Excel.

Результаты и их обсуждение. В 2024 г. лабораторией клеточной селекции и отделом селекции и семеноводства озимой мягкой пшеницы были проведены отдаленные скрещивания пшеницы пылью кукурузы в тепличных и полевых условиях. В поле проведена гибридизация по пяти комбинациям скрещиваний, из которых две комбинации (образцы пшеницы Станичная и 221/20) с образцом кукурузы CM7, три комбинации [(Одесская 200 x Агрофак 100) x Раздолье], 1608/21 и 1638/19) – с образцом кукурузы Кр935/86. Были получены гибридные зерновки с разной степенью развития и выполненности эндосперма (рис. 2).

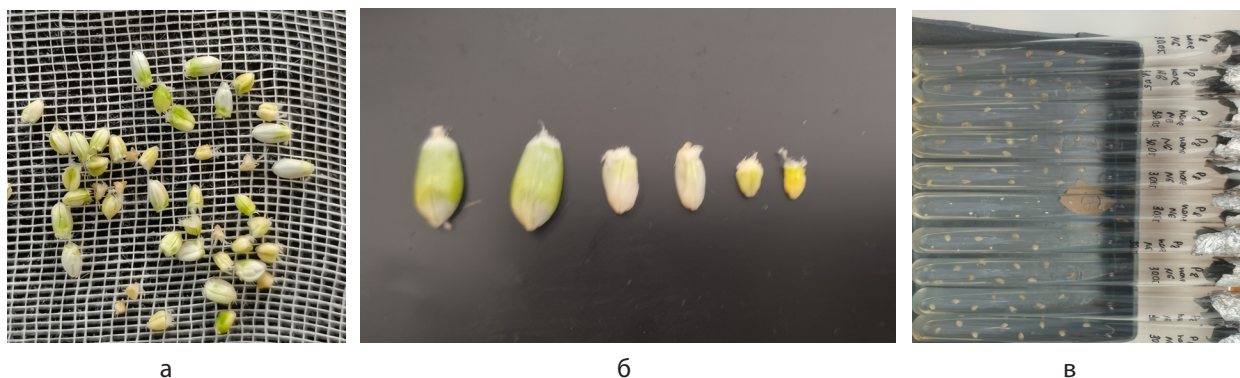


Рис. 2. Зерновки отдаленных гибридов:

а, б – зерновки пшеницы разной степени развития; в – гаплоидные зародыши на питательной среде

Fig. 2. Caryopses of distant hybrids:

а, b – wheat caryopses of different stages of development; c – haploid embryos on a nutrient medium

В нашем исследовании во время гибридизации в полевых условиях опылили 29 колосьев и 882 цветка. Общее количество завязавшихся гибридных зерновок составило 794 шт. (90 %

завязываемость от количества опыленных цветков), из них с зародышем 18,4 % (146 шт.) (табл. 1).

Таблица 1. Результаты гибридизации образцов озимой пшеницы и кукурузы, 2024 г.
Table 1. Hybridization of winter wheat and maize samples, 2024

№ п/п	Гибридная комбинация	Количество колосьев, шт.	Среднее количество цветков, опыленных на колос, шт.	Количество опыленных цветков, всего, шт.	Количество гибридных зерновок, всего		% зерновок с зародышами
					шт.	%	
Полевые условия							
1	Станичная x CM7	6	24	144	135	94	30
2	221/20 x CM7	5	23,6	118	88	74	13
3	1608/21 x Кр 935/86	6	33,6	202	188	93	18
4	1638/19 x Кр 935/86	6	29,6	178	162	91	10

Продолжение табл. 1

№ п/п	Гибридная комбинация	Количество колосьев, шт.	Среднее количество цветков, опыленных на колос, шт.	Количество опыленных цветков, всего, шт.	Количество гибридных зерновок, всего		% зерновок с зародышами
					шт.	%	
5	[(Одесская 200 х Агрофак 100) х Раздолье] х Кр 935/86	6	40	240	221	92	16
Сумма		29	150,8	882	794	444	—
Среднее		5,8	30,2	176,4	158,8	88,8	18,4
Коэффициент вариации		6,9	22,8	27,1	31,9	9,3	41,8
Стандартное отклонение		0,4	6,9	47,9	50,8	8,3	7,7
Тепличные условия							
1	Вольница х СМ7	14	17,8	250	86	34	36
2	Безостая 100 х СМ7	7	19,8	139	99	71	33
3	Княгиня Ольга х СМ7	15	23,4	352	280	79	7
4	Алексеич х Кр 935/86	35	22,3	780	460	56	6
5	Безостая 100 х Кр 935/86	8	22,7	182	103	56	27
6	Княгиня Ольга х Кр 935/86	15	22,8	342	228	66	9
7	Вольница х Кр 935/86	13	20,5	266	140	53	17
8	Безостая 100 х Кр 651	7	22,6	158	121	76	24
Сумма		127	190,8	2715	1517	491	—
Среднее		14,1	21,2	301,7	189,6	61,4	14,2
Коэффициент вариации		69,5	9,4	73,6	72,5	23,9	90,1
Стандартное отклонение		9,8	2,0	222,1	137,6	14,7	12,8

В условиях теплицы провели скрещивания по восьми комбинациям, из которых три (Вольница, Безостая 100 и Княгиня Ольга) – с СМ7, четыре (Алексеич, Безостая 100, Княгиня Ольга и Вольница) – с Кр935/86, одна (Безостая 100) – с Кр651. Общее количество опыленных колосьев составило 127 шт., а число цветков – 2715 шт. Всего получили 1517 зерновок (56 % от опыленных цветков), из них с зародышем 14,2 % (216 шт.). Наилучшие результаты по отдаленной гибридизации получены в полевых скрещиваниях в комбинации Станичная х СМ7 (41 зерновка, 30 % от завязавшихся зерен) и 1608/21 х Кр 935/86 (40 зерновок, 18 %); в тепличных скрещиваниях – Вольница х СМ7 (31 зерновка, 36 % от завязавшихся зерен), Безостая 100 х СМ7 (33 зерновки, 33 %) и Безостая 100 х Кр935/86 (28 зерновок, 27 %).

Результаты наших исследований согласуются с данными других исследователей. В работе Н. Sharma и др. получено 1446 гибридных

зерновок и установлено, что завязываемость в среднем составила 87 %, из них с зародышем 16 % (231 зерновка) (Sharma et al., 2002). Х. М. Chen в своих исследованиях установил, что процент образования гаплоидных зародышей варьировал от 18,5 до 29,1 % (Chen, 1998). По данным разных авторов, уровень образования гаплоидных зародышей от скрещиваний пшеницы с кукурузой может составлять от 28 до 75 %, но при этом выход гаплоидных растений остается невысоким (Inagaki, 2003).

В процессе инкубирования зародышей на питательной среде проявлялись разные типы морфогенеза: каллусы, каллусы с ростком, каллусы с корнем и проростки (рис. 3), что наблюдали и в нашем предыдущем исследовании. Разнообразие морфогенного ответа гибридных комбинаций связано с разной степенью дифференциации зародышей и неоднородностью каллусных клеток (Калинина и др., 2023).

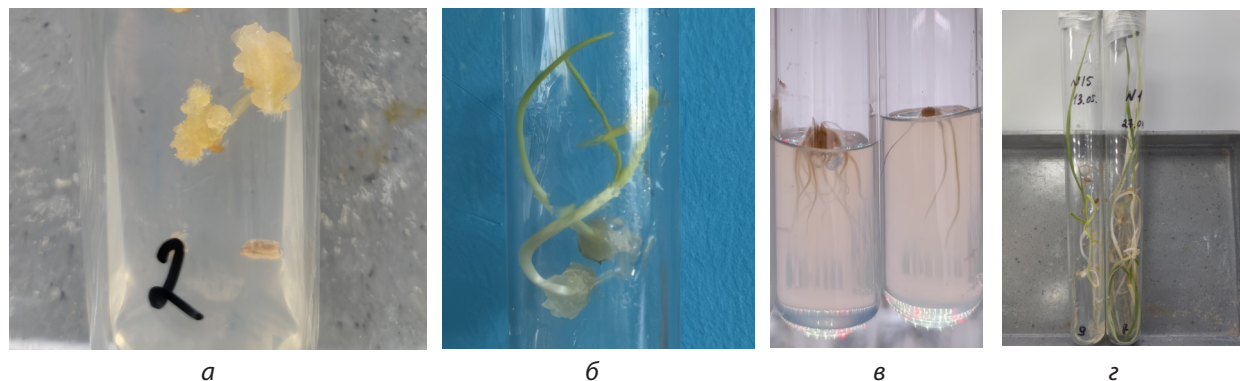


Рис. 3. Типы морфогенеза в эмбриокультуре *in vitro*: а – каллус; б – каллус с ростком; в – каллус с корнем; г – зеленые проростки

Fig. 3. Types of morphogenesis in embryo culture *in vitro*: а – callus; б – callus with a sprout; в – callus with a root; г – green sprouts

Все гибридные зародыши сформировали гаплоидные проростки, при этом они значительно различались по морфогенному ответу. Количество образовавшихся каллусов с корнем варьировало от 2 до 12 шт. (в среднем 6,2 шт.) и каллусов с ростком – 1–6 шт. (в среднем 2,4 шт.). Максимальное количество гаплоидных проростков (8 шт.) образовалось

у гибридной комбинации Станичная х СМ7, полученной в полевых условиях, что составило 19 % от количества культивируемых зародышей. Суммарное количество гаплоидных проростков составило 13 шт., 8,2 % от количества культивируемых зародышей. Наблюдали большое количество неотзывчивых на индукцию гаплоидных зародышей (табл. 2).

Таблица 2. Эффективность получения гаплоидов озимой пшеницы при отдаленных скрещиваниях, 2024 г.
Table 2. Efficiency of developing winter wheat haploids in distant hybridization, 2024

№ п/п	Гибридная комбинация	Количество культивируемых гаплоидных зародышей, шт.	Количество гаплоидных проростков		Количество каллусов с корнем, шт.	Количество каллусов с ростком, шт.	Коли- чество каллусов, шт.	Количество не проросших зародышей, шт.
			шт.	%				
Полевые условия								
1	Станичная х СМ7	41	8	19	12	1	10	10
2	221/20 х СМ7	12	1	8	3	1	2	5
3	[(Одесская 200 х Агрофак 100) х Раздолье] х Кр 935/86	36	1	3	10	2	12	11
4	1608/21 х Кр 935/86	40	2	5	11	1	10	16
5	1638/19 х Кр 935/86	17	1	6	4	2	6	4
Сумма		146	13	41	40	7	40	46
Среднее		29,2	2,6	8,2	8	1,4	8	9,2
Кoeffициент вариации		46,9	80,8	76,8	52,3	39,1	50,0	52,9
Стандартное отклонение		13,7	2,1	6,3	4,2	0,5	4,0	4,9
Тепличные условия								
1	Вольница х СМ7	31	7	22	9	2	2	11
2	Безостая 100 х СМ7	33	7	24	6	3	7	9
3	Княгиня Ольга х СМ7	20	1	5	5	3	5	6
4	Алексеич х Кр 935/86	30	3	10	4	2	10	11
5	Безостая 100 х Кр 935/86	28	1	4	2	2	8	15
6	Княгиня Ольга х Кр 935/86	21	1	5	7	4	4	5
7	Безостая 100 х Кр 651	29	3	10	5	6	5	10
8	Вольница х Кр 935/86	24	1	4	3	2	10	8
Сумма		216	24	84	41	24	51	75
Среднее		27	3	10,5	5,1	3,0	6,4	9,4
Кoeffициент вариации		17,8	83,3	77,1	43,1	46,7	45,3	34,0
Стандартное отклонение		4,8	2,5	8,1	2,2	1,4	2,9	3,2

При проведении гибридизации в теплице выделились две комбинации: Безостая 100 х СМ7 и Вольница х СМ7, сформировавшие максимальное число гаплоидных проростков – 7 шт. (24 %) и 7 шт. (22%) соответственно. Процент образования гаплоидных проростков при скрещивании озимой мягкой пшеницы с кукурузой в среднем составил 8,2–10,5 %. Таким образом, из 362 культивируемых гаплоидных зародышей было получено 37 гаплоидных проростков (10 %).

Как следует из результатов, полученных в настоящей работе, между гибридными комбинациями выражены различия по проявлению признаков морфогенеза в эмбриокультуре. Это согласуется с ранее полученными данными (Sharma et al., 2002; Inagaki, 2003) о низкой способности к формированию гаплоидных

проростков. Так, в исследовании Н. Sharma и др. оценена возможность получения гаплоидов при гибридизации мягкой краснозерной озимой пшеницы с кукурузой. Установлено, что культивируемые зародыши дифференцировались в каллус с корнем (25 %), каллус с ростком (41 %) и гаплоидные проростки с нормально развитыми корнями и побегами (36 %) (Sharma et al., 2002). М. N. Inagaki в своей работе установил, что количество гаплоидных проростков пшеницы варьировало от 56 до 74 %, в среднем 65 % от количества гаплоидных зерновок (Inagaki, 2003).

Полученные в нашем исследовании гаплоидные проростки после яровизации высаживали в сосуды с почвой. Гаплоидные растения выращивали в климатической камере (рис. 4).

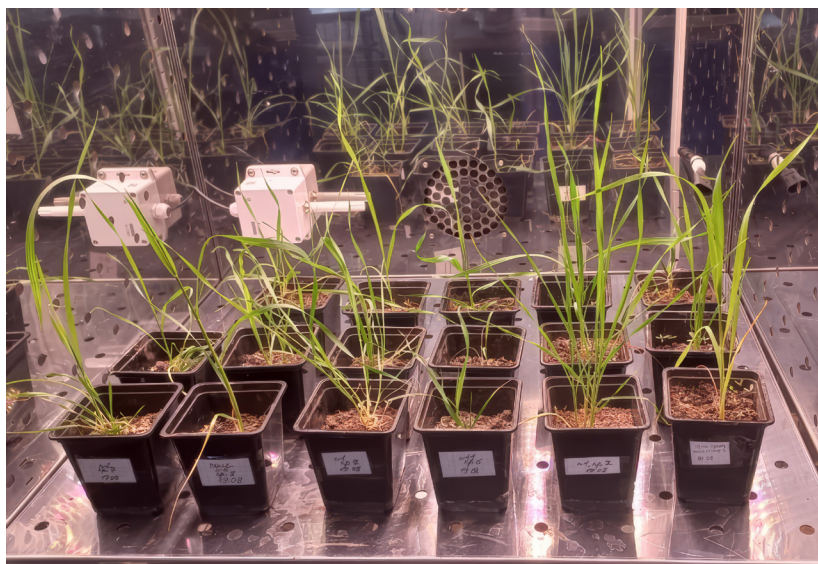


Рис. 4. Гаплоидные растения в условиях климатической камеры
Fig. 4. Haploid plants in a climate chamber

Выживаемость растений после пересадки составила 62 %. Далее планируется провести оценку пloidности полученных растений.

Выводы. Проведенная отдаленная гибридизация, в которую были вовлечены озимая пшеница и кукуруза, показала, что завязываемость гибридных зерен в среднем составила 64 %. Наибольший процент зерновок с зародышами – в комбинациях Станичная х СМ7

(30 %), Безостая 100 х СМ7 (33 %) и Вольница х СМ7 (36 %). Максимальное число гаплоидных проростков образовалось у гибридных комбинаций Станичная х СМ7 (8 шт.), Безостая 100 х СМ7 и Вольница х СМ7 (7 и 7 шт.). В результате исследования получили 37 гаплоидных растений по 13 комбинациям скрещиваний. Выживаемость растений после пересадки в почву составила 62 %.

Библиографический список

1. Бондаренко Е. В., Лапочкина И. Ф., Пишенин И. А., Макарова И. Ю., Яшина Н. А., Смирнова А. С., Казакова Е. А., Блинова Я. А., Празян А. А., Волкова П. Ю. Влияние гамма-облучения женского гаметифита в кастрированных растениях яровой мягкой пшеницы на разрастание завязей при скрещивании с кукурузой // Зерновое хозяйство России. 2024. Т. 16, № 4. С. 50–59. DOI: 10.31367/2079-8725-2024-93-4-50-59
2. Давоян Р. О., Давоян Э. Р., Бебякина И. В., Зинченко А. Н., Миков Д. С., Зубанова Ю. С., Болдаков Д. М. Изучение эффективности гаплопродюсеров кукурузы для стимулирования образования гаплоидных зародышей мягкой пшеницы // Рисоводство. 2019. № 4(45). С. 12–18.
3. Дьячук Т. И., Акинина В. Н., Хомякова О. В., Калашникова Э. В. Отдаленная гибридизация как метод получения гаплоидных растений у злаков // Биотехнология и селекция растений. 2019. Т. 2, № 2. С. 44–52. DOI: 10.30901/2658-6266-2019-2-44-52
4. Жамбакин К.Ж., Терлецкая Н.В., Бердина М.А., Мухитдинова З.Р., Исмагулова Н.К., Исакова А.Б. Получение гаплоидов ячменя и пшеницы с использованием гаплопродюсеров // Биотехнология. Теория и практика. 2006. № 3. С. 27–33.
5. Калинина Н. В., Донцова В. Ю., Чертова Н. Г., Марченко Д. М. Получение растений-регенерантов межвидовых гибридов пшеницы с использованием незрелых зародышей в качестве эксплантов // Зерновое хозяйство России. 2023. Т. 15, № 6. С. 52–58. DOI: 10.31367/2079-8725-2023-89-6-52-58
6. Петраш Н. В., Степочкин П. И. Создание фиолетовозерных гибридов в отдаленных скрещиваниях тритикале, мягкой пшеницы и полбы методом эмбриокультуры in vitro // Биотехнология растений. 2023. № 9(4). С. 218–223. DOI: 10.18699/LettersVJ-2023-9-25
7. Chen, X. M. Effect of different crossing techniques on haploid production in wheat x maize crosses 8 // Acta Agron Sinica. 1998. Vol. 24, P. 743–746.
8. Chaudhary H. K., Singh S., Sethi G. S. Interactive influence of wheat and maize genotypes on haploid induction in winter x spring wheat hybrids // Journal of Genetics & Breeding (Italy). 2002. Vol. 56. P. 259–266.
9. Inagaki, M. N. Doubled haploid production in wheat through wide hybridization // Doubled Haploid Production in Crop Plants. A Manual / M. Maluszynski, K.J. Kasha, B. P. Forster, I. Szarejko. New York: Springer Science+Business Media, 2003. P. 53–58. DOI: 10.1007/978-94-017-1293-4
10. Niu Z., Jlang A., AbuHammad W., Oladzadabbasabadi A., Xu S. S., Mergoum M., Elias E. M. Review of doubled haploid production in durum and common wheat through wheat x maize hybridization // Plant Breeding. 2014. Vol. 133(3). P. 313–320. DOI:10.1111/pbr.1216
11. Sharma H., Yang Y., Ohm H. An assessment of doubled haploid production in soft red winter wheat by wheat x corn wide crosses // Cereal Research Communications. 2002. Vol. 30. P. 269–275.
12. Zhang W., Wang K., Lin Z. S., Du L. P., Ma H. L., Xiao L. L., Ye X. G. Production and identification of haploid dwarf male sterile wheat plants induced by corn inducer // Botanical Studies. 2014. Vol. 55(1), № 26. P. 1–8. DOI: 10.1186/1999-3110-55-26

References

1. Bondarenko E. V., Lapochkina I. F., Pishenin I. A., Makarova I. Yu., Yashina N. A., Smirnova A. S., Kazakova E. A., Blinova Ya. A., Prazyan A. A., Volkova P. Yu. Vliyanie gamma-oblucheniya zhenskogo gametofita v kastrirovannykh rasteniyakh yarovoi myagkoi pshenitsy na razrastanie zavyazei pri skreshchivani s kukuruzoi [Effect of gamma irradiation of female gametophyte in castrated spring common wheat plants on ovary growth when crossed with maize] // *Zernovoe khozyaistvo Rossii*. 2024. T. 16, № 4. S. 50–59. DOI: 10.31367/2079-8725-2024-93-4-50-59
2. Davoyan R. O., Davoyan E. R., Bebyakina I. V., Zinchenko A. N., Mikov D. S., Zubanova Yu. S., Boldakov D. M. Izucheniye effektivnosti gaploprodyuserov kukuruzy dlya stimulirovaniya obrazovaniya gaploidnykh zarodyshei myagkoi pshenitsy [Study of the effectiveness of maize haploproducers to stimulate the formation of haploid embryos of common wheat] // *Risovodstvo*. 2019. № 4(45). S. 12–18.
3. D'yachuk T. I., Akinina V. N., Khomyakova O. V., Kalashnikova E. V. Otdalennaya gibridizatsiya kak metod polucheniya gaploidnykh rastenii u zlakov [Distant hybridization as a method for developing haploid plants in cereals] // *Biotehnologiya i selektsiya rastenii*. 2019. T. 2, № 2. S. 44–52. DOI: 10.30901/2658-6266-2019-2-44-52
4. Zhambakin K. Zh., Terletskaya N. V., Berdina M. A., Mukhitdinova Z. R., Ismagulova N. K., Iskakova A. B. Polucheniet gaploidov yachmenya i pshenitsy s ispol'zovaniem gaploprodyuserov [Developing barley and wheat haploids using haploproducers] // *Biotehnologiya. Teoriya i praktika*. 2006. № 3. S. 27–33.
5. Kalinina N. V., Dontsova V. Yu., Chertkova N. G., Marchenko D. M. Poluchenie rastenii-regenerantov mezhvidovykh gibridov pshenitsy s ispol'zovaniem nezrelykh zarodyshei v kachestve eksplantov [Developing regenerant plants of interspecific wheat hybrids using immature embryos as explants] // *Zernovoe khozyaistvo Rossii*. 2023. T. 15, № 6. S. 52–58. DOI: 10.31367/2079-8725-2023-89-6-52-58
6. Petrash N. V., Stepochkin P. I. Sozdanie fioletovozernykh gibridov v otdalennykh skreshchivaniyakh tritikale, myagkoi pshenitsy i polby metodom embriokul'tury in vitro [Development of purple-grained hybrids in distant hybridization of triticale, common wheat and spelt using the embryo culture method in vitro] // *Biotehnologiya rastenii*. 2023. № 9(4). S. 218–223. DOI: 10.18699/LettersVJ-2023-9-25
7. Chen, X. M. Effect of different crossing techniques on haploid production in wheat x maize crosses 8 // *Acta Agron Sinica*. 1998. Vol. 24, P. 743–746.
8. Chaudhary H. K., Singh S., Sethi G. S. Interactive influence of wheat and maize genotypes on haploid induction in winter x spring wheat hybrids // *Journal of Genetics & Breeding (Italy)*. 2002. Vol. 56. P. 259–266.
9. Inagaki, M. N. Doubled haploid production in wheat through wide hybridization // *Doubled Haploid Production in Crop Plants. A Manual / M. Maluszynski, K.J. Kasha, B. P. Forster, I. Szarejko*. New York: Springer Science+Business Media, 2003. P. 53–58. DOI: 10.1007/978-94-017-1293-4
10. Niu Z., Jlang A., AbuHammad W., Oladzadabbasabadi A., Xu S. S., Mergoum M., Elias E. M. Review of doubled haploid production in durum and common wheat through wheat x maize hybridization // *Plant Breeding*. 2014. Vol. 133(3). P. 313–320. DOI:10.1111/pbr.1216
11. Sharma H., Yang Y., Ohm H. An assessment of doubled haploid production in soft red winter wheat by wheat x corn wide crosses // *Cereal Research Communications*. 2002. Vol. 30. P. 269–275.
12. Zhang W., Wang K., Lin Z. S., Du L. P., Ma H. L., Xiao L. L., Ye X. G. Production and identification of haploid dwarf male sterile wheat plants induced by corn inducer // *Botanical Studies*. 2014. Vol. 55(1), № 26. P. 1–8. DOI: 10.1186/1999-3110-55-26

Поступила: 21.11.24; доработана после рецензирования: 26.11.24; принята к публикации: 29.11.24.

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; Донцова В. Ю., Чертова Н. Г. – 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.