

Научная статья

УДК 633.854.78:631.52

DOI: 10.25230/2412-608X-2023-2-194-20-27

**Жизнеспособность
и оплодотворяющая способность
пыльцы различного срока
хранения у линий-восстановителей
фертильности рапса озимого
в тепличных условиях**

Эмма Борисовна Бочкарева
Юлия Дмитриевна Сырова
Евгений Александрович Стрельников

ФГБНУ ФНЦ ВНИИМК

Россия, 350038, г. Краснодар, ул. им. Филатова, д. 17
raps@vniimk.ru

Аннотация. В целях ускорения селекционного процесса по созданию гибридов рапса озимого во ВНИИМК используется фитотронно-тепличный комплекс для получения дополнительных генераций растений. Была изучена жизнеспособность пыльцы и ее оплодотворяющая способность у девяти линий-восстановителей фертильности и четырех материнских ЦМС-линий с целью выявления оптимальных условий гибридизации в теплице, обеспечивающих получение максимально возможного количества семян. Было установлено, что пыльца только что распустившихся цветков у линий-восстановителей фертильности обладает высокой жизнеспособностью – на уровне 80–98 %. При хранении ее в темноте при комнатной температуре 22–24 °С в течение 24 ч теряет жизнеспособность в зависимости от генотипа в 2,0–2,5 раза. Однако такое значительное падение жизнеспособности пыльцы существенно не влияло на завязываемость плодов и семян. Гибриды от скрещивания с отцовскими линиями с жизнеспособностью суточной пыльцы от 15 до 52 % не имели значительных различий по завязываемости семян. Удовлетворительная завязываемость семян у гибридов наблюдалась при использовании пыльцы, хранившейся до пяти суток. При хранении пыльцы в течение десяти суток при температуре 22–24 °С семена в гибридных комбинациях не завязывались. Были обнаружены существенные

различия по оплодотворяющей способности между изученными линиями-восстановителями фертильности. В этой связи данному признаку необходимо уделять внимание при создании коммерческих гибридов. Пониженная оплодотворяющая способность пыльцы конкретного восстановителя фертильности будет влиять на урожай гибридных семян на участках гибридизации.

Ключевые слова: рапс озимый, линии-восстановители фертильности, жизнеспособность пыльцы, оплодотворяющая способность пыльцы, завязываемость стручков и семян

Для цитирования: Бочкарева Э.Б., Сырова Ю.Д., Стрельников Е.А. Жизнеспособность и оплодотворяющая способность пыльцы различного срока хранения у линий-восстановителей фертильности рапса озимого в тепличных условиях // Масличные культуры. 2023. Вып. 2 (194). С. 20–27.

UDC 633.854.78:631.52

The viability and fertilizing ability of pollen of the different storage dates of the lines-restorers of fertility of winter rapeseed in greenhouses

Bochkaryova E.B., chief researcher, doctor of biology

Syrova Yu.D., post-graduate student

Strelnikov E.A., head of the lab., PhD in biology

V.S. Pustovoi All-Russian Research Institute of Oil Crops

17 Filatova str., Krasnodar, 350038, Russia
raps@vniimk.ru

Abstract. To fasten breeding process of winter rapeseed hybrids, in V.S. Pustovoi All-Russian Research Institute of Oil Crops, a phytotron-greenhouse complex is used to obtain additional generations of plants. We studied the viability and fertilizing ability of pollen of nine lines-restorers of fertility and four maternal CMS-lines with purpose to determine optimal conditions for the hybridization in a greenhouse, which provide maximal amount of seeds. It was stated pollen of only open flowers of lines-restorers of fertility possesses the high viability – about 80–98%. When storing in a darkness at a room air temperature of 22–24 °С during 24 hour, pollen loses the viability by 2.0–2.5 times depending on a genotype. However, such important lowering of the pollen viability does not influence significantly on setting of seeds and seedpods. The seed formation in hybrids obtained after crossing with paternal lines having the viability of a day pollen from 15 to 52% did not distinguished significantly. The acceptable level of seed formation

in hybrids was observed when using pollen with a storage period until five days. When using pollen storing for ten days at a temperature of 22–24 °C, seeds were not formed at hybrid combinations. There were detected the significant differences by the fertilizing ability between studied lines-restorers of fertility. So it is necessary to pay attention to this trait when developing commercial hybrids. The lowered fertilizing ability of pollen of the concrete restorer of fertility will influence the yield of hybrid seeds on the hybridization plots.

Key words: winter rapeseed, lines-restorers of fertility, viability of pollen, fertilizing ability of pollen, setting of seedpods and seeds

Введение. Мировой опыт показывает, что использование в сельскохозяйственном производстве гибридов рапса озимого позволяет значительно повысить урожайность этой культуры. Для получения гибридов в промышленных масштабах наиболее технологичным является использование цитоплазматической мужской стерильности (ЦМС) и генов восстановления фертильности. Во ВНИИМК программа создания отечественных гибридов рапса озимого осуществляется на базе *Ogura* ЦМС. Одним из основных факторов успешной работы как по селекции, так и по семеноводству гибридов рапса озимого является изучение биологии цветения и опыления. Прежде всего, это изучение физиологической активности рыльца пестика у растений материнских линий и качества пыльцы у отцовских форм. Для характеристики качества пыльцы используются три основных показателя: фертильность, жизнеспособность и оплодотворяющая способность. Фертильность пыльцы определяется процентом пыльцевых зерен с нормальным гаметофитом от общего числа пыльцевых зерен в пробе путем окрашивания. Жизнеспособность пыльцы измеряется процентом проросших пыльцевых зерен от общего их числа в пробе. Оплодотворяющую способность пыльцы показывает процент завязывания плодов и семян [1]. В практической селекцион-

ной работе при проведении скрещиваний чаще всего используются показатели жизнеспособности пыльцы и ее оплодотворяющей способности [2; 3].

Пыльца представляет собой массу мельчайших зерен микроскопических размеров. Ее развитие происходит в пыльниках, которые состоят из четырех клеточных слоев: эпидермиса, эндотелия, среднего слоя и тапетума. Тапетум играет важную роль в поступлении питательных веществ к пыльцевым зернам и их развитию [4].

Зрелые пыльцевые зерна желтой окраски, удлинненно-эллиптические, с пористой сетчатообразной поверхностью (рис. 1) [2]. Их оболочка состоит из двух слоев: наружного – экзины и внутреннего – интины. Экзина представляет собой липидно-белковую матрицу, сформированную тапетумом, она защищает пыльцу от высыхания и участвует в адгезии и гидратации пыльцевых зерен во время опыления. Интина в своем составе содержит белки, сформировавшиеся позднее в самих пыльцевых зернах [5]. Общее количество пыльцевых зерен, образуемых одним цветком рапса, составляет 30–36 тыс. шт. размером 27,6–29,8 × 38,2–41,5 мкм [6].

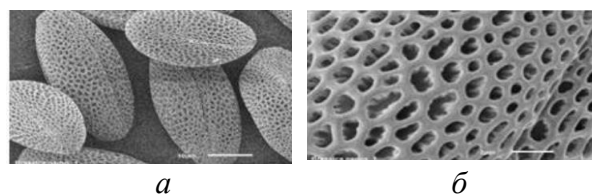


Рисунок 1 – Внешний вид пыльцевого зерна и его оболочки под электронным микроскопом. Увеличение: *a* – ×500; *б* – ×1000. Изображение взято из статьи Zubkova T. [et al.] (2022) [7]

Раскрытие цветков рапса во время цветения обычно происходит рано утром (8–9 ч) в зависимости от погодных условий. Цветки остаются открытыми до трех дней, ночью они частично могут закрываться и повторно открываться утром [8].

При наиболее благоприятной температуре для опыления 20 °С пыльцевые зерна начинают высвобождаться из микроспорангиев в состоянии физиологического покоя с замедленным метаболизмом [9]. При попадании пыльцы на рыльце пестика происходит регидратация, которая сопровождается изменением формы и восстановлением объема пыльцевого зерна (гармомегатия). Гидратация начинается через 1–2 мин после осадения пыльцы на рыльце пестика и продолжается в течение 30 мин, после чего жизнеспособные пыльцевые зерна начинают прорастать [10].

В оптимальных для культуры рапса условиях жизнеспособность пыльцы высокая. На уровень этого показателя влияют: генотип, факторы окружающей среды (влажность, температура) и количество питательных элементов в пыльцевом зерне (кислоты, сахара) [6].

Растения, испытывающие водный стресс во время цветения, характеризуются обезвоженными пыльцевыми зернами во время их созревания, данные факторы способствуют снижению жизнеспособности. Высокая влажность, напротив, влияет на повышение уровня содержания воды в вакуолях пыльцевых зерен, что благоприятствует быстрой потере жизнеспособности во время опыления и при последующем хранении пыльцы [11].

Высокая температура воздуха во время цветения – более 30 °С – способствует уменьшению растворимых углеводов. Они, в том числе сахароза, участвуют в водном гомеостазе, а также играют важную роль в повышении устойчивости пыльцы и пыльцевых трубок к неблагоприятным условиям и действуют как термозащита против теплового стресса [12].

Пыльца с высокой жизнеспособностью является залогом успеха селекционных работ как по созданию сортов, так и гибридов. Зачастую при проведении гибридных работ селекционеру необходимо сохранить пыльцу отцовских линий, у которых не совпадают сроки цветения с материнскими.

Многими учеными были проведены исследования по определению жизнеспособности пыльцы при разных условиях ее хранения. Как правило, успешное сохранение пыльцы наблюдается при низкой температуре с пониженной влажностью и отсутствием света, то есть при условиях, когда жизненные процессы максимально замедлены. В опытах Осиповой Г.М. пыльца рапса в стерильных условиях и при пониженной температуре сохранялась в течение года. При комнатной температуре пыльца хранилась 2–3 недели, но спустя 3–4 дня степень завязываемости семян снижалась [13].

Лыгина Л.М. в своих исследованиях по горчице показывала, что при хранении пыльцы горчицы при температуре от 0 до 5 °С в начале происходило снижение оплодотворяющей способности, а через 30 дней этот показатель повышался. При хранении пыльцы при температуре 20–25 °С без эксикатора на свету качество пыльцы снижалось на 3-й день, стручков завязывалось в 8 раз меньше, чем при опылении свежей пыльцой [1]. По результатам исследований Голубинского И.Н. у многих плодовых культур, а также у ячменя пыльца, взятая в момент раскрытия пыльников, имела несколько пониженную скорость прорастания пыльцевых трубок, но при хранении пыльцы в течение 1–2 дней данный показатель заметно повышался. Возможно, пыльца подобно семенам должна некоторое время «дозреть» [14].

Целью наших исследований было изучение жизнеспособности и оплодотворяющей способности пыльцы линий-восстановителей фертильности рапса озимого в зависимости от срока ее хранения для выполнения скрещиваний в тепличных условиях.

Материалы и методы. Исследования проводили в фитотронном тепличном комплексе ВНИИМК в 2021–2022 гг. Жизнеспособность пыльцы изучали у девяти линий-восстановителей фертильности рапса озимого: ОРК-4, ОРК-7, ОРК-9, ОРК-10,

ОРК-11, ОРК-13, ОРК-14, ОРК-18 и ОРК-20. Сбор пыльцы проводили с цветков, расположенных на центральной кисти.

Жизнеспособность пыльцы определяли по методике Транковского Б.А. путем подсчета количества проросших пыльцевых зерен на искусственной питательной среде. На предметное стекло наносили пипеткой несколько капель питательной среды, затем свежесобранную пыльцу при помощи пинцета равномерно распределяли по питательной среде. Предметное стекло с пыльцой помещали во влажную камеру чашки Петри, которая исключала подсыхание и изменение концентрации сахарного раствора. Чашки Петри помещали в термостат на сутки при температуре 25 °С для проращивания. Подсчет жизнеспособных и нежизнеспособных пыльцевых зерен проводили в 2-кратной повторности с использованием цифрового микроскопа Биолаб TS-2000 при 40-кратном увеличении в десяти полях зрения. Также определяли жизнеспособность пыльцы через 0,5; 4; 6 и 24 ч после ее сбора.

В опытах по изучению оплодотворяющей способности пыльцы использовали две материнские ЦМС-линии: ВН-14 и ВН-18, и три линии-восстановители фертильности: ОРК-9, ОРК-10, ОРК-14. В 2022 г. в опыты были включены еще две перспективные материнские ЦМС-линии ВН-4 и ВН-2. Пыльцу, собранную с опытных растений, подсушивали, хранили в стеклянном бюксе при комнатной температуре 22–24 °С в темноте. Для опыления материнских линий использовали пыльцу, хранившуюся: сутки, трое, пять и десять суток. В качестве контроля растения опыляли свежей пыльцой «спред-методом». На растениях материнских линий для каждого варианта опыления оставляли по 15 бутонов под изолятором из агро-спанбонда. По каждому варианту подсчитывали процент завязавшихся стручков и семян. Потенциальную продуктивность репродуктивных органов, т.е. число семязачатков в завязи цветка, учитывали по методике Федоренко Т.С. [15].

Результаты и обсуждение. Результаты исследований показали, что свежая пыльца в условиях ФТК имеет высокую жизнеспособность у всех изученных линий-восстановителей фертильности и составляет в среднем за два года от 80 до 98 %. По мере увеличения срока хранения данный показатель снижался по всем вариантам опыта (табл. 1).

Таблица 1

Жизнеспособность пыльцы разного срока хранения рапса озимого (%)

ФТК, ФГБНУ ФНЦ ВНИИМК, 2021–2022 г.

Линия	Срок хранения, час, по годам											
	0,5			4			6			24		
	2021	2022	Ф.	2021	2022	Ф.	2021	2022	Ф.	2021	2022	Ф.
ОРК-4	80	79	80	73	63	68	55	52	53	46	36	41
ОРК-7	86	88	87	75	80	77	60	62	61	45	25	35
ОРК-9	98	90	94	94	79	86	89	72	80	85	52	68
ОРК-10	90	91	91	87	86	87	65	43	54	37	32	34
ОРК-11	92	89	90	79	70	75	64	45	54	36	24	30
ОРК-13	97	99	98	84	62	73	65	46	55	52	20	36
ОРК-14	98	80	89	96	61	78	91	35	63	78	15	46
ОРК-18	91	92	92	88	77	82	57	47	52	45	33	39
ОРК-20	86	81	83	87	79	83	88	43	65	70	10	40
НСР ₀₅	0,7	0,3	-	0,3	0,4	-	0,4	0,8	-	0,5	0,6	-

Пыльца линии ОРК-9 с жизнеспособностью свежей пыльцы 94 %, через 24 ч после хранения сохраняла наиболее высокие показатели этого признака – на уровне 68 % в среднем за 2 года (рис. 2).

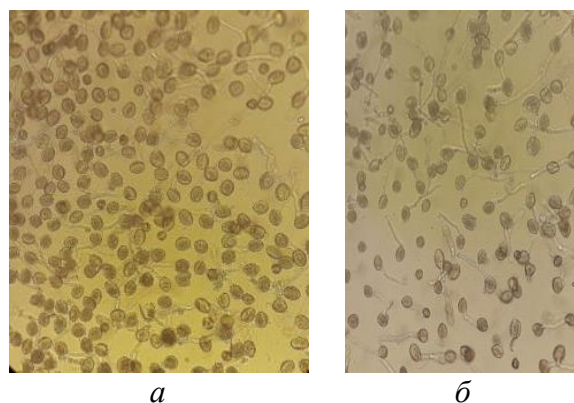


Рисунок 2 – Проросшие пыльцевые зерна рапса озимого (ОРК-9):
а – свежая пыльца, б – пыльцевые зерна через сутки, увеличение ×40 (ориг.)

Самый низкий показатель (30 %) был отмечен у линии ОРК-11, притом что

жизнеспособность свежей пыльцы довольно высокая (90 %) (рис. 3).

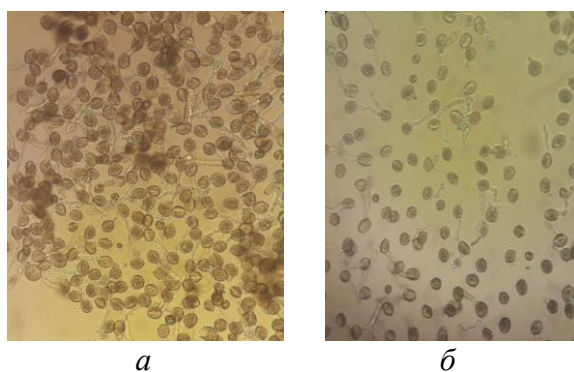


Рисунок 3 – Проросшие пыльцевые зерна рапса озимого (ОРК-11):
а – свежая пыльца, б – пыльцевые зерна через сутки, увеличение $\times 40$ (ориг.)

Для изучения оплодотворяющей способности пыльцы были выбраны три линии, различающиеся по ее жизнеспособности после 24 ч хранения: ОРК-9 (85 % в 2021 г.; 52 % в 2022 г.), ОРК-14 (78 % в 2021 г.; 15 % в 2022 г.) и ОРК-10 (37 % в 2021 г.; 32 % в 2022 г.). Результаты исследований показали, что при опылении пыльцой, хранившейся в течение суток, в большинстве случаев не наблюдалось значительного снижения количества стручков и семян в стручке по сравнению с контрольным вариантом (табл. 2, 3). Так, в гибридных комбинациях с отцовской линией ОРК-10 с жизнеспособностью суточной пыльцы 37 % в 2021 г. завязываемость стручков составила 53,3 %, на кисти сформировалось восемь стручков, завязываемость плодов варьировала от 47,2 до 67,1 % в среднем, отмечалось от 13 до 17 семян в стручке.

В варианте, где в качестве отцовской линии была взята ОРК-14 с жизнеспособностью пыльцы 78 %, завязалось 60 % стручков и от 61,8 до 71,1 % семян. В гибридных комбинациях с использованием ОРК-9 (с жизнеспособностью суточной пыльцы 85 %) завязалось от 60,0 до 66,6 % стручков и от 15 до 21 семени в стручке (табл. 2, 3).

Таблица 2

Результативность опыления цветков ЦМС-линий рапса озимого пыльцой разного срока хранения

ФТК, ФГБНУ ФНЦ ВНИИМК, 2021–2022 г.

Вариант	Комбинация скрещивания	Кол-во опыленных цветков, шт.	Завязалось стручков, шт.			Завязываемость стручков, %		
			2021 г.	2022 г.	ср.	2021 г.	2022 г.	ср.
Свежая пыльца	ВН-14 \times ОРК-9	15	7	5	6,0	46,6	33,3	39,9
	ВН-14 \times ОРК-10	15	7	7	7,0	46,6	46,6	46,6
	ВН-14 \times ОРК-14	15	7	6	6,5	46,6	40,0	43,3
	ВН-18 \times ОРК-9	15	6	6	6	40,0	40,0	40,0
	ВН-18 \times ОРК-10	15	6	7	6,5	40,0	46,6	43,3
	ВН-18 \times ОРК-14	15	7	13	10,0	46,6	86,6	66,6
НСР ₀₅			0,1	0,3	-	0,1	0,9	-
Суточная пыльца	ВН-14 \times ОРК-9	15	10	7	8,5	66,6	46,6	56,6
	ВН-14 \times ОРК-10	15	8	5	6,5	53,3	33,3	43,3
	ВН-14 \times ОРК-14	15	9	3	6,1	60,0	20,0	40,0
	ВН-18 \times ОРК-9	15	9	6	7,5	60,0	40,0	50,0
	ВН-18 \times ОРК-10	15	8	8	8,0	53,3	53,3	53,3
	ВН-18 \times ОРК-14	15	9	4	6,5	60,0	26,6	43,3
НСР ₀₅			0,2	0,3	-	0,2	0,3	-
3-суточная пыльца	ВН-14 \times ОРК-9	15	6	0	3,0	40,0	0	20,0
	ВН-14 \times ОРК-10	15	6	0	3,0	40,0	0	20,0
	ВН-14 \times ОРК-14	15	6	0	3,0	40,0	0	20,0
	ВН-18 \times ОРК-9	15	7	3	5,0	46,6	20,0	33,3
	ВН-18 \times ОРК-10	15	6	0	3,0	40,0	0	20,0
	ВН-18 \times ОРК-14	15	6	0	3,0	40,0	0	20,0
НСР ₀₅			0,1	-	-	0,1	-	-
5-суточная пыльца	ВН-14 \times ОРК-9	15	4	0	2,0	26,6	0	13,3
	ВН-14 \times ОРК-10	15	4	0	2,0	26,6	0	13,3
	ВН-14 \times ОРК-14	15	5	0	2,5	33,3	0	16,6
	ВН-18 \times ОРК-9	15	4	4	4,0	26,6	26,6	26,6
	ВН-18 \times ОРК-10	15	4	0	2,0	26,6	0	13,3
	ВН-18 \times ОРК-14	15	4	0	2,0	26,6	0	13,3
НСР ₀₅			0,1	-	-	0,1	-	-

В 2022 г. жизнеспособность суточной пыльцы линий-восстановителей фертильности была ниже, чем в 2021 г., и составила 15 % у линии ОРК-14, 52 % у линии ОРК-9 и 32 % у ОРК-10 (табл. 1). Однако в гибридах от их скрещивания с материнской линией ВН-18 завязываемость семян

была практически одинаковой – в пределах 47,2–61,8 %.

Таблица 3

Завязываемость семян ЦМС-линий рапса озимого в результате опыления пыльцой разного срока хранения

ФТК, ФГБНУ ФНЦ ВНИИМК, 2021–2022 г.

Вариант	Комбинация скрещивания	Число семязачатков, шт.	Количество семян в стручке, шт.			Завязываемость семян, %		
			2021 г.	2022 г.	ср.	2021 г.	2022 г.	ср.
Свежая пыльца	ВН-14 × ОРК-9	25,3	18	15	16,5	71,1	59,2	65,1
	ВН-14 × ОРК-10	25,3	25	23	24,0	98,8	90,9	94,8
	ВН-14 × ОРК-14	25,3	22	9	15,5	86,9	35,5	61,2
	ВН-18 × ОРК-9	27,5	19	19	19,0	69,0	69,0	69,0
	ВН-18 × ОРК-10	27,5	24	23	23,5	87,2	83,6	85,4
	ВН-18 × ОРК-14	27,5	23	8	15,5	83,6	29,0	56,3
НСР ₀₅			0,2	0,1	-	0,2	0,7	-
Суточная пыльца	ВН-14 × ОРК-9	25,3	21	7	14,0	83,0	27,6	55,3
	ВН-14 × ОРК-10	25,3	17	5	11,0	67,1	19,7	43,4
	ВН-14 × ОРК-14	25,3	18	3	10,5	71,1	11,8	41,4
	ВН-18 × ОРК-9	27,5	15	16	15,5	54,5	58,1	56,4
	ВН-18 × ОРК-10	27,5	13	13	13,0	47,2	47,2	47,2
	ВН-18 × ОРК-14	27,5	17	15	16,0	61,8	54,5	58,1
НСР ₀₅			0,8	0,9	-	0,3	0,8	-
3-суточная пыльца	ВН-14 × ОРК-9	25,3	5	0	2,5	19,7	0	9,8
	ВН-14 × ОРК-10	25,3	13	0	6,5	51,3	0	25,6
	ВН-14 × ОРК-14	25,3	14	0	7,0	55,3	0	27,6
	ВН-18 × ОРК-9	27,5	7	3	5,0	25,4	10,9	18,1
	ВН-18 × ОРК-10	27,5	13	0	6,5	47,2	0	23,6
	ВН-18 × ОРК-14	27,5	14	0	7,0	50,9	0	25,4
НСР ₀₅			0,3	-	-	0,4	-	-
5-суточная пыльца	ВН-14 × ОРК-9	25,3	7	0	3,5	27,6	0	13,8
	ВН-14 × ОРК-10	25,3	8	0	4,0	31,6	0	15,8
	ВН-14 × ОРК-14	25,3	9	0	5,0	35,5	0	17,7
	ВН-18 × ОРК-9	27,5	10	2	6,0	36,3	7,2	21,7
	ВН-18 × ОРК-10	27,5	10	0	5,0	36,3	0	18,1
	ВН-18 × ОРК-14	27,5	8	0	4,0	29,0	0	14,5
НСР ₀₅			0,2	-	-	0,2	-	-

Последовательное снижение количества как стручков, так и семян в стручке наблюдается в вариантах опыления материнских ЦМС-линий пыльцой, хранившейся в течение трех и пяти суток. При этом значительные различия по количеству стручков на растении и семян в стручке также обнаружены по годам исследований и по комбинациям скрещивания.

В 2021 г. стручки и семена завязались как при опылении 3-суточной, так и 5-суточной пыльцой. Максимальная завязываемость семян отмечена в комбинациях с отцовскими линиями ОРК-10 и ОРК-14 при опылении пыльцой, хранившейся трое суток, – 47,2 и 50,9 % соответственно. В 2022 г. в вариантах опыления материнских ЦМС-линий ВН-14 и ВН-18 пыльцой разного срока хранения (3 и 5 суток) стручки и семена завязались только у одного гибрида – ВН-18 × ОРК-9. При опылении пыльцой, хранившейся в течение 10 суток, стручки и семена не завязались.

В 2022 г. были получены аналогичные данные по опылению суточной пыльцой в комбинациях от скрещивания изучаемых отцовских линий с материнской ЦМС-линией ВН-2. У всех гибридов завязываемость плодов составила от 46,6 до 53,3 %, что соответствует 7–8 стручкам на кисти (табл. 4).

Таблица 4

Результативность опыления ЦМС-линий рапса озимого пыльцой с разным сроком хранения

ФТК, ФГБНУ ФНЦ ВНИИМК, 2022 г.

Вариант	Комбинация скрещивания	Количество опыленных цветков, шт.	Количество стручков на кисти, шт.	Завязываемость стручков, %
Свежая пыльца	ВН-2 × ОРК-9	15	15	100
	ВН-2 × ОРК-10	15	14	93,3
	ВН-2 × ОРК-14	15	6	40,0
	ВН-4 × ОРК-9	15	11	73,3
	ВН-4 × ОРК-10	15	10	66,6
	ВН-4 × ОРК-14	15	6	40,0
НСР ₀₅			0,6	0,6
Суточная пыльца	ВН-2 × ОРК-9	15	8	53,3
	ВН-2 × ОРК-10	15	7	46,6
	ВН-2 × ОРК-14	15	7	46,6
	ВН-4 × ОРК-9	15	6	40,0
	ВН-4 × ОРК-10	15	8	53,3
	ВН-4 × ОРК-14	15	3	20,0
НСР ₀₅			0,8	0,2
3-суточная пыльца	ВН-2 × ОРК-9	15	0	0
	ВН-2 × ОРК-10	15	0	0
	ВН-2 × ОРК-14	15	6	40,0
	ВН-4 × ОРК-9	15	0	0
	ВН-4 × ОРК-10	15	3	20,0
	ВН-4 × ОРК-14	15	0	0

При скрещивании с материнской ЦМС-линией ВН-4 только в одной комбинации с отцовским компонентом ОРК-10 завязалось 8 стручков (53,3 %). В

остальных вариантах гибриды с отцовскими линиями ОРК-9 и ОРК-14 значительно уступали в степени завязываемости стручков. Этот показатель составлял от 40 до 20 %. В 2022 г. при опылении 3-суточной пылью материнских ЦМС-линий ВН-2 и ВН-4 стручки завязались только в двух комбинациях: ВН-2 × ОРК-14 и ВН-4 × ОРК-10. При опылении 5-суточной пылью ни в одной гибридной комбинации стручки не завязались.

Высокие показатели завязываемости семян – от 56,6 до 98,1 %, были получены во всех комбинациях при опылении свежей пылью спред-методом материнских линий ВН-2 и ВН-4 (табл. 5).

Таблица 5

Завязываемость семян ЦМС-линий рапса озимого в результате опыления разновозрастной пылью

ФТК, ФГБНУ ФНЦ ВНИИМК, 2022 г.

Вариант	Комбинация скрещивания	Число семязачатков, шт.	Кол-во семян в стручке, шт.	Завязываемость семян, %
Свежая пыльца	ВН-2 × ОРК-9	26,5	26	98,1
	ВН-2 × ОРК-10	26,5	23	86,7
	ВН-2 × ОРК-14	26,5	15	56,6
	ВН-4 × ОРК-9	28,5	26	91,2
	ВН-4 × ОРК-10	28,5	23	80,7
	ВН-4 × ОРК-14	28,5	20	70,1
НСР ₀₅			0,6	0,2
Суточная пыльца	ВН-2 × ОРК-9	26,5	22	83,0
	ВН-2 × ОРК-10	26,5	21	79,2
	ВН-2 × ОРК-14	26,5	19	71,6
	ВН-4 × ОРК-9	28,5	12	45,2
	ВН-4 × ОРК-10	28,5	20	75,4
	ВН-4 × ОРК-14	28,5	6	22,6
НСР ₀₅			0,8	0,4
3-суточная пыльца	ВН-2 × ОРК-9	26,5	0	0
	ВН-2 × ОРК-10	26,5	0	0
	ВН-2 × ОРК-14	26,5	10	37,7
	ВН-4 × ОРК-9	28,5	0	0
	ВН-4 × ОРК-10	28,5	2	7,5
	ВН-4 × ОРК-14	28,5	0	0

При опылении пылью, хранившейся 24 ч, мы наблюдали снижение завязываемости семян, например, у комбинации ВН-4 × ОРК-14 она понизилась в 3 раза и составила 22,6 %. Но в варианте опыления материнской линии ВН-2 суточной пылью ОРК-14 отмечалось большее количество семян в стручке по сравнению с опылением спред-методом. В данной

комбинации с 3-суточной пылью завязываемость составила 37,7 %.

Полученные данные свидетельствуют о том, что высокая жизнеспособность пыльцы не является обязательным условием ее высокой оплодотворяющей способности. В исследованиях Лыгиной [1] опыление пылью с жизнеспособностью, близкой к 100 %, и жизнеспособностью 10–30 % у горчицы сарептской показало одинаковые результаты. По ее мнению, для практической работы важно определить нижний предел жизнеспособности пыльцы культуры. По результатам наших исследований можно предположить, что нижний предел жизнеспособности пыльцы рапса озимого для получения достаточного количества гибридных семян составляет 15–30 %. Так же мы наблюдали, что завязываемость стручков и семян в гибридных комбинациях зависит и от особенностей взаимовлияния компонентов скрещивания. В 2022 г. на качество пыльцы отцовских линий могли повлиять многочисленные обработки растений ядохимикатами против тли. Этот вопрос требует дальнейшего изучения.

Анализируя полученные результаты, можно сделать следующие выводы:

1. Пыльца с только что распустившихся цветков у линий-восстановителей фертильности рапса озимого в условиях фитотрона обладала высокой жизнеспособностью – от 80 до 98 %.

2. При хранении ее в течение суток в темноте при комнатной температуре пыльца теряла жизнеспособность в зависимости от генотипа в 2,0–2,5 раза.

3. Жизнеспособность пыльцы отцовских линий, хранившейся в течение суток, практически не влияла на ее оплодотворяющую способность, количество стручков и семян в стручке у гибридов при использовании отцовских линий с жизнеспособностью пыльцы 15 %, 32 и 52 % не имело значительных различий.

4. Завязываемость стручков и семян при гибридизации в условиях фитотрона зависит также от взаимовлияния родительских компонентов.

Заключение. Экстраполируя полученные данные в условиях фитотронно-тепличного комплекса на условия открытого грунта, можно предположить, что обнаруженные различия в оплодотворяющей способности различных линий-восстановителей фертильности дают основание учитывать этот фактор при проведении гибридизации. Например, при неблагоприятных погодных условиях (дождь, понижение температуры) в практической селекционной работе возможно использование пыльцы, хранившейся при комнатной температуре в течение трех суток.

Список литературы

1. *Лыгина Л.М.* Способы опыления и приемы скрещивания горчицы сарептской: дис. ... канд. с.-х. наук / Лилия Михайловна Лыгина. – Краснодар, 1972. – 190 с.
2. *Кравцов С.Ю.* Биологические основы первичного семеноводства беззерковых сортов рапса и сурепицы: дис. ... канд. с.-х. наук / Сергей Юрьевич Кравцов. – М., 1988. – 160 с.
3. *Пилюк Я.Э.* Научные основы селекции и технологии возделывания рапса (*Brassica napus oleifera* Metzg) в Беларуси: дис. ... д-ра с.-х. наук / Ядвига Эдвардовна Пилюк. – Жодино, 2021. – 80 с.
4. *Gomez J.F., Talle B. & Wilson Z.A.* Anther and pollen development: a conserved developmental pathway // *Journal of Integrative Plant Biology*. – 2015. – 57. – P. 876–891.
5. *Jia X.L., Xue J.S., Zhang F.* A due combination for the staining of pollen coat and pollen wall // *Plant Reprod.* – 2021 – Vol. 34. – P. 91–101.
6. *Старикова Д.В., Сырова Ю.Д., Горлова Л.А.* Влияние температуры и влажности семян на жизнеспособность пыльцы рапса озимого // *Масличные культуры*. – 2020. – Вып. 3 (185). – С. 51–57.
7. *Zubkova T., Motyleva S., Vinogradov D., Gulidova V., Dubrovina O.* Organic fertilizer and natural zeolite effects on morphometric traits of *Brassica napus* L. pollen grains // *SABRAO J. Breed. Genet.* – 2022. – 54 (2). – P. 397–406.
8. *Delaplane K.S., Mayer D.F.* Crop pollination by bees. – Wallingford, CABI Publishing, 2000. – 360 p.
9. *Thomas P.* Canola Grower's Manual. – Winnipeg, Canada: Canola Council of Canada, 2008. – 71 p.
10. *Rozier F., Riglet L., Koderer C., Bayle V., Durand E., Schnabel J., Gaude T., Fobis-Loisy I.* Live-cell imaging of early events following pollen perception in self-incompatible *Arabidopsis thaliana* // *Journal of Experimental Botany*. – 2020. – 71. – P. 2513–2526.
11. *Pacini E., Dolferus R.* Pollen developmental arrest: maintaining pollen fertility in a world with a changing climate // *Front. Plant Sci.* – 2019. – 10. – P. 1–15.
12. *Pacini E., Jacquard C., Clement C.* Pollen vacuoles and their significance // *Planta*. – 2011. – 234. – P. 217–227.
13. *Осипова Г.М.* Рапс в Сибири (Морфобиологические, генетические и селекционные аспекты). – Новосибирск, 1998. – С. 41–47.
14. *Голубинский И.Н.* Биология прорастания пыльцы: автореф. дис. ... д-ра биол. наук. – Харьков, 1971. – 68 с.
15. *Федоренко Т.С.* Методика подсчета количества семян в завязи крестоцветных // *Бюл. НТИ по масл. культурам ВНИИМК*. – Краснодар, 1969. – С. 12–13.

References

1. *Lygina L.M.* Sposoby opyleniya i priemy skreshchivaniya gorchitsy sareptskey: dis. ... kand. s.-kh. nauk / Liliya Mi-khaylovna Lygina. – Krasnodar, 1972. – 190 s.
2. *Kravtsov S.Yu.* Biologicheskie osnovy pervichnogo semenovodstva bezerukovykh sortov rapsa i surepitsy: dis. ... kand. s.-kh. nauk / Sergey Yur'evich Kravtsov. – M., 1988. – 160 s.
3. *Pilyuk Ya.E.* Nauchnye osnovy seleksii i tekhnologii vzdelyvaniya rapsa (*Brassica napus oleifera* Metzg) v Belarusi: dis. ... d-ra s.-kh. nauk / Yadviga Edvardovna Pilyuk. – Zhodino, 2021. – 80 s.
4. *Gomez J.F., Talle B. & Wilson Z.A.* Anther and pollen development: a conserved developmental pathway // *Journal of Integrative Plant Biology*. – 2015. – 57. – P. 876–891.
5. *Jia X.L., Xue J.S., Zhang F.* A due combination for the staining of pollen coat and pollen wall // *Plant Reprod.* – 2021 – Vol. 34. – P. 91–101.
6. *Starikova D.V., Syrova Yu.D., Gorlova L.A.* Vliyanie temperatury i vlazhnosti semyan na zhiznesposobnost' pyl'tsy rapsa ozimogo // *Maslichnye kul'tury*. – 2020. – Vyp. 3 (185). – S. 51–57.
7. *Zubkova T., Motyleva S., Vinogradov D., Gulidova V., Dubrovina O.* Organic fertilizer and natural zeolite effects on morphometric traits of *Brassica napus* L. pollen grains // *SABRAO J. Breed. Genet.* – 2022. – 54 (2). – P. 397–406.
8. *Delaplane K.S., Mayer D.F.* Crop pollination by bees. – Wallingford, CABI Publishing, 2000. – 360 p.
9. *Thomas P.* Canola Grower's Manual. – Winnipeg, Canada: Canola Council of Canada, 2008. – 71 p.
10. *Rozier F., Riglet L., Koderer C., Bayle V., Durand E., Schnabel J., Gaude T., Fobis-Loisy I.* Live-cell imaging of early events following pollen perception in self-incompatible *Arabidopsis thaliana* // *Journal of Experimental Botany*. – 2020. – 71. – P. 2513–2526.
11. *Pacini E., Dolferus R.* Pollen developmental arrest: maintaining pollen fertility in a world with a changing climate // *Front. Plant Sci.* – 2019. – 10. – P. 1–15.
12. *Pacini E., Jacquard C., Clement C.* Pollen vacuoles and their significance // *Planta*. – 2011. – 234. – P. 217–227.
13. *Osipova G.M.* Raps v Sibiri (Morfobiologicheskie, geneticheskie i selektsionnye aspekty). – Novosibirsk, 1998. – S. 41–47.
14. *Golubinskiy I.N.* Biologiya prorastaniya pyl'tsy: avtoref. dis. ... d-ra biol. nauk. – Khar'kov, 1971. – 68 s.
15. *Fedorenko T.S.* Metodika podscheta kolichestva semyapochek v zavязи krestovetnykh // *Byul. nauch.-tekh. informatsii po masl. kul'turam VNIIMK*. – Krasnodar, 1969. – S. 12–13.

Сведения об авторах

Э.Б. Бочкарева, гл. науч. сотр., д-р с.-х. наук
Ю.Д. Сырова, мл. науч. сотр.
Е.А. Стрельников, зав. лаб., канд. биол. наук

Получено/Received

10.03.2023

Получено после рецензии/Manuscript peer-reviewed

16.03.2023

Получено после доработки/Manuscript revised

22.03.2023

Принято/Accepted

26.04.2023

Manuscript on-line
30.06.2023