УДК 633.854.78:631.524.86:632.4 **Исследовательская статья**

Оценка селекционного материала подсолнечника на устойчивость к ложной мучнистой росе (*Plasmopara halstedii*)

Щербань С.В., Щербань Н.Ф., Абитаев Ф.К., Соционер А.С.

ТОО «Опытное хозяйство масличных культур»
Восточно-Казахстанская область, Глубоковский район, с. Солнечное, Казахстан

Автор-корреспондент: Щербань С.В.: selekcia@ukr.net
Соавторы: (1: НЩ) selekcia@ukr.net; (2: ФА) ohmk7@mail.ru; (3: АА) sotsioner.a@mail.ru

Получено: 07.06.2026 **Принято:** 07.10.2026 **Опубликовано:** 09.10.2026

Авторские права: Щербань С.В. и др. Данная статья размещена в открытом доступе и распространяется на условиях международной лицензии Creative Commons Attribution 4.0 (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

Аннотация

Предпосылки и цель. Стабильное производство подсолнечника напрямую зависит от внедрения устойчивого к патогенам селекционного материала, что позволяет снижать потери урожая. Ложная мучнистая роса (ЛМР), вызываемая оомицетом *Plasmopara halstedii*, остается одной из опасных болезней подсолнечника. Целью исследования являлась оценка линий-восстановителей фертильности пыльцы подсолнечника с различным уровнем инбридинга для выявления образцов с высокой полевой устойчивостью к ЛМР в условиях Восточно-Казахстанской области.

Материалы и методы. В период 2021–2024 гг. проведен полевой фитопатологический скрининг селекционного материала. Естественный провокационный фон сформировался в 2023 году при сочетании высокой влажности почвы и резких суточных перепадов температуры. Для молекулярной оценки селекционного материала применяли конкурентный аллель-специфичный ПЦР-анализ (KASP) по маркерным системам Pl_{arg} и P18.

Результаты. В 2021, 2022 и 2024 гг. визуальные симптомы ЛМР отсутствовали. Массовое проявление заболевания в 2023 году позволило дифференцировать селекционный материал и провести отбраковку восприимчивых генотипов. Выделены линии с высокой полевой устойчивостью к локальной популяции *Plasmopara halstedii*; молекулярный анализ выявил устойчивые сигналы по маркерным системам Pl_{arg} и P18 у ряда изученных потомств.

Заключение. Выделенные линии-восстановители фертильности представляют практический интерес как исходный материал для дальнейшей селекции гибридов подсолнечника, устойчивых к ложной мучнистой росе и адаптированных к условиям региона.

Ключевые слова: подсолнечник; устойчивость; ложная мучнистая роса; линии-восстановители; ДНК-маркеры.

Введение

Создание и внедрение в сельскохозяйственное производство сортов и гибридов подсолнечника, устойчивых к основным болезням, является одним из ключевых элементов защиты урожая. Среди наиболее опасных заболеваний культуры особое место занимает ложная мучнистая роса (ЛМР), вызываемая оомицетом *Plasmopara halstedii* [1, 2]. Патоген способен поражать растения на ранних стадиях развития, вызывая системную инфекцию, угнетение роста и снижение продуктивности [2].

Проблема устойчивости подсолнечника к ЛМР имеет динамический характер вследствие высокой эволюционной изменчивости *Plasmopara halstedii*. Появление новых вирулентных рас и их распространение могут приводить к преодолению ранее эффективной генетической устойчивости [3]. Изменение расовой структуры патогена, включая распространение рас 710 и 730, показано и для юга Российской Федерации [4].

Генетическая устойчивость подсолнечника к *Plasmopara halstedii* контролируется рядом Pl-генов. Исследования наследования устойчивости к различным расам патогена подтверждают

Как цитировать: Щербань, С.В., Щербань, Н.Ф., Абитаев, Ф.К., Соционер, А.С. (2026). Оценка селекционного материала подсолнечника на устойчивость к ложной мучнистой росе (*Plasmopara halstedii*). *Евразийский агротехнический журнал*, 3(131), 230-239. DOI: https://doi.org/10.51452/eaj.2026.3(131).2266

необходимость использования генетически разнообразных источников и сочетания нескольких механизмов устойчивости в селекционных программах [5].

Развитие ложной мучнистой росы определяется не только генотипом растения и вирулентностью патогена, но и условиями среды. Температура, влажность и состояние растений в период заражения существенно влияют на выраженность заболевания [6, 7]. Поэтому естественные эпифитотийные условия могут использоваться как дополнительный фон для дифференциации селекционного материала. Общие принципы селекции и возделывания подсолнечника также предусматривают необходимость комплексной оценки устойчивости исходного материала [8].

Фактором начала данных исследований послужило массовое проявление ложной мучнистой росы на опытном селекционном поле в 2023 году, что позволило провести скрининг высеваемого материала в естественных условиях.

Цель исследования – провести генетическую и фенологическую оценку линий-восстановителей фертильности пыльцы подсолнечника разного уровня инбридинга для выявления селекционных номеров с высокой устойчивостью к *Plasmopara halstedii* в условиях Восточно-Казахстанской области.

Материалы и методы

Данные, полученные в результате полевого мониторинга (2023 г.), определили и дальнейший ход исследований. Так, были проведены необходимые работы по дальнейшему сохранению селекционного материала, где было проведено самоопыление потомств (инцухт I1…I5), переопыление потомств с высоким уровнем инбридинга (I6), для проведения оценок на устойчивость к ложной мучнистой росе (*Plasmopara halstedii*) с применением лабораторных исследований.

Геномную ДНК выделяли из молодых листьев подсолнечника (25–50 мг свежей ткани или проростков), растирая материал в жидком азоте с помощью шаровой мельницы. Далее использовали прогретый CTAB-буфер с добавлением 2% поливинилпирролидона (MW 40000) и 0,2–0,5% β-меркаптоэтанола для нейтрализации полифенольных соединений. Подход основан на CTAB-методе выделения растительной ДНК Doyle и Doyle [9].

Концентрацию и чистоту выделенной ДНК оценивали с помощью спектрофотометра. Для KASP-анализа использовали образцы ДНК с соотношением оптической плотности A_{260}/A_{280}=1,8-2,0 и A_{260}/A_{230}> или =2,0, стандартизированные до рабочей концентрации 5–10ng/m 1.

В 2024 году для характеристики генетического фона изучаемых образцов применяли конкурентный аллель-специфичный ПЦР-анализ (KASP). Метод основан на аллель-специфичной амплификации SNP с использованием двух аллель-специфичных прямых и одного общего обратного праймера и флуоресцентных репортёров FAM и HEX. В настоящем исследовании результаты генотипирования учитывали по маркерным системам Plarg и P18. Подходы к разработке и применению диагностических SNP-маркеров генов устойчивости подсолнечника к ложной мучнистой росе описаны *Qi* et al. [10] и *Radwan* et al. [11].

Статистическую обработку результатов полевого мониторинга проводили методами описательной статистики. Для каждого исходного материала определяли общее количество учтенных потомств и растений, абсолютное количество пораженных потомств и растений, их долю (%) от общего числа учтенных объектов, а также минимальную и максимальную долю поражения. Результаты молекулярного анализа представляли в виде абсолютного распределения образцов по категориям «устойчивый», «неизвестный», «восприимчивый» и «устойчивый/ восприимчивый». Поскольку исследование носило скрининговый характер, методы проверки статистических гипотез и уровень статистической значимости не применялись.

Результаты

В период 2021–2024 гг. (исключение 2023 г.) независимо от типа устойчивости к возбудителю ЛМР, на всех высеваемых селекционных номерах подсолнечника было отмечено полное отсутствие симптомов проявления болезни.

В мае-июне вегетационного периода 2023 года в Восточно-Казахстанской области сложились благоприятные погодные условия для проявления многих болезней на подсолнечнике, особенно ЛМР.

Полевые работы по подготовке почвы к посеву начались 2–4 мая, посев проводили 6–11 мая, всходы были получены 18–22 мая. Основные метеорологические показатели вегетационного периода 2023 года представлены в таблице 1.

Июнь месяц характеризовался высокими дневными температурами воздуха, среднемесячная температура составила 20,4 °С, что выше средних многолетних показателей на 1,5 °С. В июне месяце выпало 9,0 мм осадков, что ниже средней многолетней на 50,0 мм. Первые признаки заболевания были отмечены в конце мая и максимально проявились на протяжении всего вегетационного периода июня месяца и в период цветения. Это вызвано тем, что в этот период наблюдались резкие перепады дневных и ночных температур воздуха (10–15 °С), влажностью почвы 80–90% от полной влагоемкости и за счет зимних запасов влаги, когда снежный покров достигал 1,5 м.

Таблица 1. Среднемесячная температура воздуха и осадки, 2023 г

Месяц	Температура, °С			Осадки, мм		
	фактическая	средне-многолетняя	отклонение	фактическая	средне-многолетняя	отклонение
Май	+12,9	+13,7	-0,8	34,8	46,0	-11,2
Июнь	+20,4	+18,9	+1,5	9,0	59,0	-50,0
Июль	+21,3	+21,2	+0,1	12,2	64,0	-51,8
Август	+21,0	+21,2	-0,2	84,4	47,0	+37,4
Сентябрь	+11,2	+12,9	-1,7	103	32,0	+71,0

В июле среднесуточные температуры составили 21,3 °С, что на 0,1 °С выше по сравнению со средней многолетней. Во время цветения подсолнечника и во второй и третьей декадах июля среднесуточная температура воздуха была 23,4 и 22,0 °С соответственно. Однако, дневные температуры поднимались до отметки 38,8 °С. Осадков в июле месяце выпало 12,2 мм, что на 51,8 мм ниже средних многолетних показателей, что отрицательно сказалось на процессе гибридизации, цветения и завязывания семян.

Среднемесячная суточная температура сентября месяца была на уровне 11,2 °С. Осадков за сентябрь выпало 103,0 мм, что выше средних многолетних показателей на 71,0 мм.

В летний период 2023 года провели оценку селекционного материала, когда наблюдалось массовое распространение заболевания (ЛМР) на линиях-восстановителях фертильности пыльцы (Rf), для выявления исходных форм с признаками устойчивости в полевых условиях. Оценка проводилась визуально (полевой мониторинг), по типу наличия инфекции на растении, независимо от ее проявления (карликовость, хлороз листа, поражение листовой пластинки, наличие спороношения на обратной стороне листа и др.). Минимальный (min %) и максимальный (max %) проценты поражения растений для каждого поколения рассчитывались по формуле относительной доли пораженных растений в наименее и наиболее пораженных семьях (с/о потомствах):

$$min\% = \frac{(n\ min\ /\ )}{(N - \text{общ})} \times 100\%$$

$$max\% = \frac{(n\ max\ /\ )}{(N - \text{общ})} \times 100\%,$$

где n_{min} – наименьшее количество поражённых растений в отдельном потомстве;
n_{max} – наибольшее количество поражённых растений в отдельном потомстве;
N-общ – общее количество учтённых растений соответствующего исходного материала.

Результаты полевого мониторинга селекционных образцов подсолнечника на устойчивость к ложной мучнистой росе представлены в таблице 2.

Таблица 2. Оценка селекционных образцов подсолнечника на устойчивость к ложной мучнистой росе (полевой мониторинг), 2023 г.

Исходный материал, (происхождение)	Уровень инбри-динга	Колич. потом.	с/о шт.	% пораж.	Колич. шт.	раст.	% пораж.	Колич.	пораж.	раст.	шт.
		всего	пораж		всего	пораж		min	%	max	%
F1 Горфилд	I1 -I3	7	2	28,5	89	5	5,6	2	2,3	3	3,4
F1 ВКУ 222 Б × СВ 208 Rf	I1 -I2	51	20	39,2	645	39	6,0	1	0,2	5	0,8
F1 Спринт	I2	10	5	50,0	126	15	11,9	1	0,8	5	4,0
F1 Светлана	I2	17	2	11,7	210	3	1,4	1	0,5	2	1,0
F1 G (Сингента)	I1 -I2	110	50	45,4	1637	120	7,3	1	0,1	6	0,4
F1 NK KONDI	I6	14	11	78,5	165	36	21,8	1	0,6	7	4,2
F1 TUTTI	I5	63	14	22,2	766	38	5,0	1	0,1	8	1,0
F1 Горстар	I1 -I2	10	3	30,0	121	9	7,4	2	1,7	4	3,3
F1 ВКУ 222 Б × СВ 208 Rf	I1 -I2	12	4	33,0	207	4	1,9	1	0,5	1	0,5

Как видно из таблицы 2, было проанализировано 294 потомства различного уровня инбридинга, полученных от 30 гибридов первого поколения; в таблице представлены потомства девяти гибридов. Всего учтено 3966 растений, из которых 269 были поражены (6,73%). Наименьшая доля пораженных растений отмечена у F1 Светлана (1,4%) и у одной из групп ВКУ 222 Б × СВ208 Rf (1,9%). Относительно низкая пораженность также установлена у F1 TUTTI (5,0%), F1 Горфилд (5,6%) и другой группы ВКУ 222 Б × СВ208 Rf (6,0%). Более высокая доля пораженных растений наблюдалась у F1 G (Сингента) (7,3%), F1 Горстар (7,4%) и F1 Спринт (11,9%), а максимальная – у F1 NK KONDI (21,8%). По доле пораженных потомств минимальное значение отмечено у F1 Светлана (11,7%), тогда как максимальное — у F1 NK KONDI (78,5%). Таким образом, наиболее перспективными по результатам полевого мониторинга являлись формы с минимальной долей пораженных растений и потомств, прежде всего F1 Светлана, а также отдельные группы ВКУ 222 Б × СВ208 Rf и F1 TUTTI. Различия между материалом с разным уровнем инбридинга не имели строго линейной зависимости от поколения инбридинга: как среди ранних поколений I1–I3, так и среди более поздних I5–I6 встречались формы с различной степенью поражения, что указывает на определяющее значение генотипа конкретной комбинации.

Результаты ПЦР-анализа самоопыленных потомств первого года инцухта (I1) представлены в таблице 3, распределение генотипов показано на рисунке 1.

Таблица 3. Результаты ПЦР-анализа самоопыленных потомств первого года инцухта (I_1)

Происхождение исходного материала	Селек. номер	PI_{arg}				P 18			
		уст.	неизв.	восп.	уст/ воспр.	уст.	неизв.	восп.	уст/ воспр.
F1 – G (Сингента)	6916-5	5	-	-	-	4	1	-	-
F1 – Горстар	6825-4	1	4	-	-	4	1	-	-
F1 – ВКУ408Б ×СВ208Rf	6859-2	3	2	-	-	-	3	2	-
F1 – ВКУ408Б ×СВ208Rf	6862-3	4	1	-	-	1	-	4	-
F1 – Hybrid P6222	7068-3	5	-	-	-	-	1	4	-
ВКУ 222 Б × СВ208 Rf	6851-1	3	1	-	1	1	1	2	1
ВКУ 408 Б ×СВ208 Rf	6858-2	4	-	1	-	2	2	1	-
ВКУ 408 Б × СВ208 Rf	6859-3	1	4	-	-	-	-	4	1

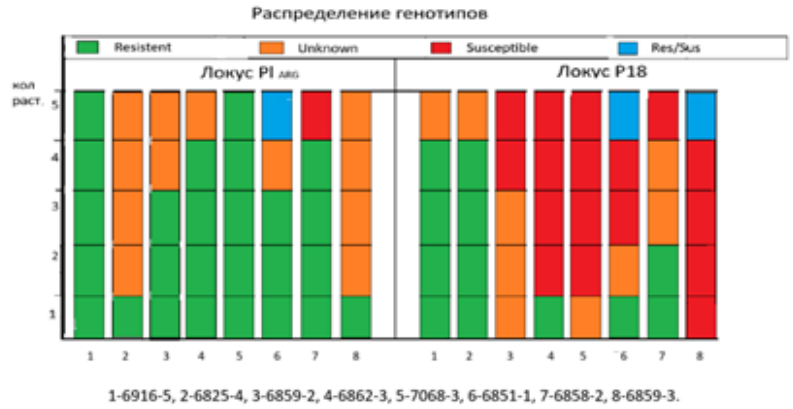


Рисунок 1. Распределение генотипов потомств первого года инцухта (I1)

По данным таблицы 3 и рисунка 1, у потомств I1 выявлена неоднородная структура генотипов, что соответствует раннему этапу инбридинга. У ряда образцов регистрировались одновременно сигналы устойчивости и восприимчивости, тогда как в исходном материале F1 G (Сингента) выявлены локусы устойчивости Plarg и P18.

Результаты ПЦР-анализа самоопыленных потомств второго и третьего года инцухта (I2–I3) представлены в таблице 4, распределение генотипов показано на рисунке 2.

Таблица 4. Результаты ПЦР-анализа самоопыленных потомств второго и третьего года инцухта (I_2- I_3)

Происхождение исходного материала	Селек. номер	PI_{arg}				P 18			
		уст.	неизв.	восп.	уст/ воспр.	уст.	неизв.	восп.	уст/ воспр.
ВКУ 225 Б ×СВ208 Rf	7316-1	5	-	-	-	5	-	-	-
ВКУ 225 Б ×СВ208 Rf	7324-2	5	-	-	-	4	1	-	-
F1 – Светлана	7291-1	3	1	-	1	5	-	-	-
F1 – Спринт	7260-1	4	1	-	-	-	2	3	-
F1 – Горстар	7268-1	2	2	-	1	4	1	-	-
F1 – Горфилд	7274-	2	3	-	-	-	2	3	-
ВКУ 222 Б × СВ208 Rf	7300-2	4	-	-	1	2	3	-	-
ВКУ 222 Б × СВ208 Rf	7341-2	3	2	-	-	1	4	-	-
F1 – G (Сингента)	7410-1	5	-	-	-	2	1	2	-
F1 – Горфилд	7277-1	5	-	-	-	4	1	-	

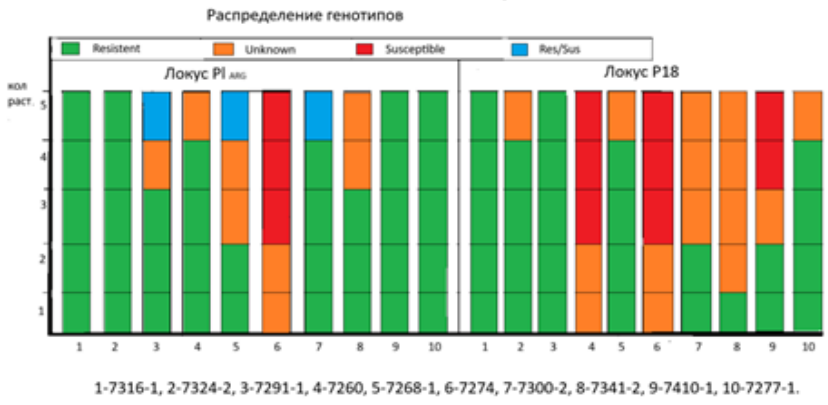


Рисунок 2. Распределение генотипов самоопыленных потомств второго и третьего года инцухта (I_2- I_3)

Как показано в таблице 4 и на рисунке 2, в поколениях I2–I3 локусы устойчивости Plarg и P18 выявлены у отдельных исходных форм, в том числе ВКУ 222 Б × СВ208 Rf и F1 Горфилд. Для части образцов сохранялись неопределенные результаты, что указывает на продолжающееся расщепление материала.

Результаты ПЦР-анализа самоопыленных потомств пятого года инцухта (I5) представлены в таблице 5.

Таблица 5. Результаты ПЦР-анализа самоопыленных потомств пятого года инцухта (I_5)

Происхождение исходного материала	Селек. номер	PI_{arg}				P 18			
		уст.	неизв.	восп.	уст/ воспр.	уст.	неизв.	восп.	уст/ воспр.
Сорт Раннеспелый	7109-1	4	1	-	-	4	1	-	-
Сорт Раннеспелый	7112-1	4	1	-	-	5	-	-	-
F1 – TUTTI	7036-2	3	2	-	-	3	2	-	-
F1 – TUTTI	7034-2	3	2	-	-	2	3	-	-

Согласно таблице 5, все четыре исследованных образца поколения I5 характеризовались наличием локусов устойчивости Plarg и P18: потомства 7109-1 и 7112-1 сорта Раннеспелый, а также 7036-2 и 7034-2, полученные из F1 TUTTI.

Результаты ПЦР-анализа самоопыленных потомств шестого года инцухта (I6) представлены в таблице 6, распределение генотипов показано на рисунке 3.

Таблица 6. Результаты ПЦР-анализа самоопыленных потомств шестого года инцухта (I_6)

Происхождение исходного материала	Селек. номер	PI_{arg}				P 18			
		уст.	неизв.	восп.	уст/ воспр.	уст.	неизв.	восп.	уст/ воспр.
F1 – LG 5542	7274-2	4	1	-	-	4	1	-	-
F1 – LG 5542	7677-1	5	-	-	-	5	-	-	-
F1 – LG 5542	7672-2	5	-	-	-	3	2	-	-
F1 – LG 5542	7678	5	-	-	-	5	-	-	-
F1 – LG 5542	7679	5	-	-	-	4	1	-	-
F1 – NK Kondi	7723	5	-	-	-	-	-	5	-
F1 – NK Kondi	7724-1	2	3	-	-	4	1	-	-
PR 63 A 90	7921	4	1	-	-	1	3	-	1

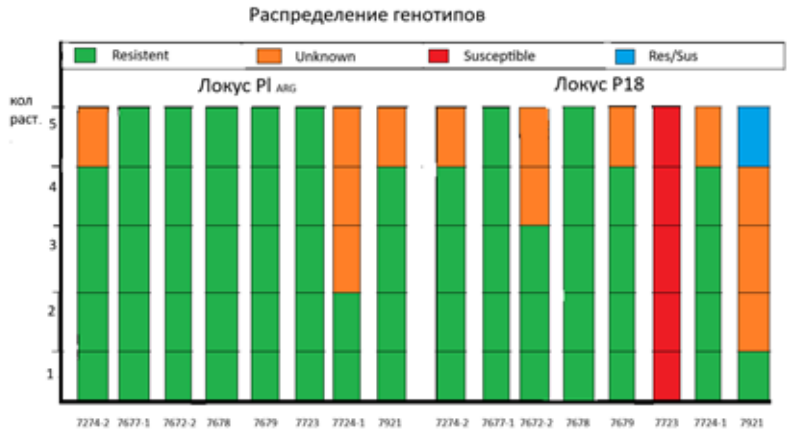


Рисунок 3. Распределение генотипов самоопыленных потомств шестого года инцухта (I_6)

По данным таблицы 6 и рисунка 3, в поколении I6 устойчивые сигналы по Plarg и P18 выявлены у нескольких образцов, происходящих от F1 LG5542. Для отдельных номеров отмечались сложные или неопределенные сигналы, требующие осторожной интерпретации и, при необходимости, дополнительной молекулярной верификации.

Обсуждение

Полученные результаты подтверждают, что проявление ложной мучнистой росы зависит от взаимодействия генотипа растения, вирулентности патогена и условий среды. В нашем исследовании массовое проявление ЛМР в 2023 году позволило дифференцировать селекционный материал, тогда как в 2021, 2022 и 2024 гг. визуальные симптомы заболевания отсутствовали. Такая изменчивость проявления болезни согласуется с данными о биологии и эпидемиологии *Plasmopara halstedi*i [2, 6, 7].

Полевой мониторинг выявил существенные различия между исходными формами: доля пораженных растений варьировала от 1,4% у F1 Светлана до 21,8% у F1 NK KONDI. Сопоставление полевой оценки с последующим молекулярным анализом показало, что у материала с низкой полевой пораженностью выявлялись устойчивые сигналы по исследованным маркерным системам. Так, у F1 Светлана при пораженности 1,4% в потомстве 7291-1 поколения I2–I3 зарегистрированы устойчивые сигналы по Plarg и P18. У F1 TUTTI, для которого доля пораженных растений в поле составила 5,0%, в потомствах 7036-2 и 7034-2 поколения I5 также выявлены устойчивые сигналы по обеим маркерным системам. В то же время у F1 NK KONDI, характеризовавшегося максимальной полевой пораженностью (21,8%), в поколении I6 отмечена неоднородность молекулярных результатов: для отдельных потомств наряду с устойчивыми сигналами регистрировались неопределенные и восприимчивые варианты по P18. Полученные данные показывают, что результаты полевого и молекулярного скрининга целесообразно рассматривать в комплексе: полевая оценка позволяет выделять фенотипически устойчивый материал, а молекулярный анализ – дополнительно характеризовать его по исследованным маркерным системам.

Молекулярный анализ выявил устойчивые сигналы по маркерным системам Pl_{arg} и P18 в ряде изученных потомств. Литературные данные показывают, что устойчивость подсолнечника к *Plasmopara halstedii* связана с комплексом Pl-генов, причем отдельные локусы могут обеспечивать устойчивость к различным наборам рас [5, 10, 11]. Поэтому сочетание полевой оценки и молекулярного скрининга является более информативным, чем использование только одного из этих подходов.

В расщепляющихся поколениях I_1–I_3 нами регулярно регистрировались неоднородные и неопределенные сигналы, тогда как в более поздних поколениях I_5–I_6 увеличивалась доля генетически выровненных форм. Это соответствует ожидаемому результату последовательного самоопыления и отбора и подтверждает целесообразность повторной молекулярной оценки материала на разных этапах инбридинга.

Особого внимания требуют сложные и неоднозначные сигналы, выявленные у отдельных образцов I_6. Современные исследования генетической устойчивости подсолнечника к *Plasmopara halstedii* показывают сложность организации участков генома, связанных с устойчивостью, и необходимость точной молекулярной верификации выявляемых локусов [10, 11, 12]. Поэтому такие сигналы целесообразно рассматривать как основание для дополнительной проверки, а не как самостоятельное доказательство наличия конкретного гена устойчивости.

Полученные результаты согласуются с общей селекционной стратегией, направленной на создание более долговременной устойчивости подсолнечника к ложной мучнистой росе за счет отбора и комбинирования эффективных источников устойчивости [12]. Выделенные линии поздних поколений инбридинга, сочетающие полевую устойчивость и целевые молекулярные маркеры, представляют практический интерес как исходный материал для дальнейшей селекции гибридов, адаптированных к условиям Восточного Казахстана.

Заключение

Фитопатологический мониторинг селекционного материала подсолнечника (2021–2024 гг.) показал эффективность использования гидротермических условий вегетационного периода

2023 года в качестве естественного провокационного фона для отбраковки восприимчивых генотипов. На фоне массового развития ложной мучнистой росы выделена группа инбредных линий-восстановителей фертильности, характеризующихся высокой полевой устойчивостью к локальной популяции *Plasmopara halstedii*.

Молекулярный скрининг выявил устойчивые сигналы по маркерным системам Pl_{arg} и P18 у ряда изученных потомств. Выделенные линии представляют практический интерес как исходный материал и потенциальные родительские компоненты для дальнейшей селекции гибридов подсолнечника, устойчивых к ложной мучнистой росе в условиях Восточного Казахстана.

Полученные результаты имеют практическое значение для отбора и дальнейшего использования самоопыленных линий подсолнечника в селекционных программах, направленных на повышение устойчивости к ложной мучнистой росе. Данные линии рекомендованы в качестве родительских компонентов и доноров устойчивости для создания конкурентоспособных гибридов подсолнечника с пролонгированной генетической защитой для Восточного Казахстана.

Вклад авторов

СЩ: методика проводимых работ в полевых условиях, закладка опытов. Написание статьи. НЩ: учёты и наблюдения, оценка селекционного материала. Редактирование статьи. АА: подготовка селекционного материала к посеву. Посев изучаемых образцов. Проведение оценочных работ в полевых условиях. ФА: организация биохимических исследований селекционного материала.

Информация о финансировании

Работа выполнена в рамках программно-целевого финансирования Министерства сельского хозяйства Республики Казахстан по бюджетной программе BR 22885857 «Создание и внедрение в производство высокопродуктивных сортов и гибридов масличных, крупяных культур с целью обеспечения продовольственной безопасности Казахстана».

Список литературы

1 Pomazkov, Y.I. (1990). I*mmunitet rastenii k boleznyam i vreditelyam* [*Plant immunity to diseases and pests*]. Moskva: Izdatel'stvo Universiteta druzhby narodov (UDN), 77–80. [*In Russian]*.

2 Gascuel, Q., Martinez, Y., Boniface, M.-C., Vear, F., Pichon, M., Godiard, L. (2015). The sunflower downy mildew pathogen Plasmopara halstedii. *Molecular Plant Pathology*, 16(2), 109–122. DOI: 10.1111/mpp.12164.

3 Ahmed, S., Tourvieille de Labrouhe, D., Delmotte, F. (2012). Emerging virulence arising from hybridisation facilitated by multiple introductions of the sunflower downy mildew pathogen Plasmopara halstedii. *Fungal Genetics and Biology*, 49(10), 847–855. DOI: 10.1016/j.fgb.2012.06.012 .

4 Iwebor, M., Antonova, T.S., Saukova, S. (2016). Changes in the racial structure of Plasmopara halstedii (Farl.) Berl. et de Toni population in the south of the Russian Federation. *Helia*, 39(64), 113–121. DOI: 10.1515/helia-2016-0008.

5 Vear, F., Gentzbittel, L., Philippon, J., Mouzeyar, S., Mestries, E., Roeckel-Drevet, P., Tourvieille de Labrouhe, D., Nicolas, P. (1997). The genetics of resistance to five races of downy mildew (*Plasmopara halstedii*) in sunflower (*Helianthus annuus* L.). *Theoretical and Applied Genetic*s, 95(4), 584–589. DOI: 10.1007/s001220050599.

6 Novotel'nova, N. S. (1966). *Lozhnaya muchnistaya rosa podsolnechnika* [*Sunflower downy mildew*]. M.-L.: Nauka, 150. [*In Russian*].

7 Lukomets, V.M., Kotlyarova, I.A., Tereshch*enko, G.A. (2015). Atlas boleznei podsolnechnika [Atlas of sunflower diseases*]. Krasnodar: FGBNU VNIIMK; Prosveshhenie-Jug, 67. [*In Russian*].

8 Nikitchin, D.I. i dr. (2002). *Podsolnechnik: Biokhimiya, selektsiya, vozdelyvanie* [*Sunflower: Biochemistry, breeding, and cultivation*]. Pologi, 494. [*In Russian*].

9 Doyle, J.J., Doyle, J.L. (1987). A rapid DNA isolation procedure for small quantities of fresh leaf tissue. *Phytochemical Bulletin*, 19, 11–15.

10 Qi, L.L., Talukder, Z.I., Hulke, B.S., Foley, M.E. (2017). Development and dissection of diagnostic SNP markers for the downy mildew resistance genes PlArg and Pl8 and marker-assisted gene pyramiding in sunflower (*Helianthus annuu*s L.). *Molecular Genetics and Genomics*, 292(3), 551–563. DOI: 10.1007/s00438-017-1290-8.

11 Radwan, O., Bouzidi, M.F., Vear, F., Philippon, J., Tourvieille de Labrouhe, D., Nicolas, P., Mouzeyar, S. (2003). Identification of non-TIR-NBS-LRR markers linked to the Pl5/Pl8 locus for resistance to downy mildew in sunflower. *Theoretical and Applied Genetics*, 106(8), 1438–1446. DOI: 10.1007/s00122-003-1196-1.

12 Pecrix, Y., Buendia, L., Penouilh-Suzette, C., Maréchaux, M., Legrand, L., Bouchez, O., Rengel, D., Gouzy, J., Cottret, L., Vear, F., Godiard, L. (2019). Sunflower resistance to multiple downy mildew pathotypes revealed by recognition of conserved effectors of the oomycete Plasmopara halstedii. *The Plant Journal*, 97(4), 730–748. DOI: 10.1111/tpj.14157.

Күнбағыс селекциялық материалын жалған ақ ұнтақ ауруына (*Plasmopara halstedii*) төзімділігін бағалау

Щербань С.В., Щербань Н.Ф., Абитаев Ф.К., Соционер А.С.

«Майлы дақылдар тәжірибелік шаруашылығы» ЖШС
Қазақстан, Шығыс Қазақстан облысы, Глубокое ауданы, Солнечное ауылы

Түйін

Алғышарттар мен мақсат. Күнбағыс өндірісінің тұрақтылығы патогендерге төзімді селекциялық материалды пайдалануға тікелей байланысты. *Plasmopara halstedii* оомицеті қоздыратын жалған ақ ұнтақ ауруы (ЖАҰ) күнбағыстың қауіпті ауруларының бірі болып табылады. Зерттеудің мақсаты – Шығыс Қазақстан облысы жағдайында ЖАҰ-ға жоғары далалық төзімділігі бар үлгілерді анықтау үшін инбридинг деңгейі әртүрлі күнбағыс тозаңының фертильділігін қалпына келтіруші желілерді бағалау.

Материалдар мен әдістер. 2021–2024 жылдары селекциялық материалға далалық фитопатологиялық скрининг жүргізілді. 2023 жылы топырақ ылғалдылығының жоғары болуы және тәуліктік температураның күрт ауытқуы табиғи арандатушы фон қалыптастырды. Селекциялық материалды молекулалық бағалау үшін Pl_{arg} және P18 маркерлік жүйелері бойынша бәсекелес аллель-спецификалық ПТР-талдау (KASP) қолданылды.

Нәтижелер. 2021, 2022 және 2024 жылдары ЖАҰ-ның визуалды белгілері байқалмады. 2023 жылы аурудың жаппай көрінуі селекциялық материалды саралауға және сезімтал генотиптерді жарамсыздандыруға мүмкіндік берді. *Plasmopara halstedii* жергілікті популяциясына жоғары далалық төзімділігі бар желілер бөлініп, бірқатар ұрпақтарда Pl_{arg} және P18 маркерлік жүйелері бойынша төзімділік сигналдары анықталды.

Қорытынды. Бөлініп алынған фертильділікті қалпына келтіруші желілер жалған ақ ұнтақ ауруына төзімді және өңір жағдайына бейімделген күнбағыс будандарын одан әрі селекциялау үшін бастапқы материал ретінде практикалық қызығушылық тудырады.

Кілт сөздер: күнбағыс; төзімділік; жалған ақ ұнтақ ауруы; қалпына келтіруші желілер; ДНК маркерлері.

Evaluation of sunflower breeding material for resistance to downy mildew (*Plasmopara halstedii*)

Sergei V. Shcherban, Nataliya F. Shcherban, Farid K.Abitaev, Aigul S. Sotsioner

“Oil Crops Experimental Farm” LLP
Solnechnoye village, Glubokoye district, East Kazakhstan region, Kazakhstan

Abstract

Background and Aim. Stable sunflower production depends on the use of breeding material resistant to major pathogens. Downy mildew (DM), caused by the oomycete *Plasmopara halstedii*, remains an important disease of sunflower. The aim of this study was to evaluate sunflower pollen fertility-

restorer lines with different levels of inbreeding and identify genotypes with high field resistance to DM under the conditions of East Kazakhstan.

Materials and Methods. Field phytopathological screening of breeding material was conducted during 2021–2024. In 2023, high soil moisture combined with marked diurnal temperature fluctuations created a natural provocative background. Competitive allele-specific PCR (KASP) using the Pl_{arg} and P18 marker systems was applied for molecular evaluation of the breeding material.

Results. Visual symptoms of downy mildew were absent in 2021, 2022, and 2024. The widespread disease development observed in 2023 enabled differentiation of the breeding material and culling of susceptible genotypes. Lines with high field resistance to the local *Plasmopara halstedii* population were identified, and resistant signals for the Pl_{arg} and P18 marker systems were detected in a number of progenies.

Conclusion. The selected fertility-restorer lines are of practical interest as source material for further breeding of downy mildew-resistant sunflower hybrids and adapted to the regional conditions.

Keywords: sunflower; resistance; downy mildew; restorer lines; DNA markers.