

Научная статья

УДК 633.854.78:575

DOI: 10.25230/2412-608X-2023-1-193-14-18

Перекрёстная гербицидоустойчивость к трибенурон-метилу и имидазолинонам у подсолнечника

Яков Николаевич Демури
Наталья Владимировна Магомедова
Анастасия Александровна Пихтярёва
Андрей Александрович Широких

ФГБНУ ФНЦ ВНИИМК

Россия, 350038, г. Краснодар, ул. им. Филатова, д. 17
Тел.: (861) 274-55-94
genetic@vniimk.ru

Аннотация. Изучение перекрёстной устойчивости к гербицидам проводили в полевых условиях в 2021 и 2022 гг. Изучали гибрид Сурус и крупноплодный сорт Консул, гомозиготные по гену устойчивости к трибенурон-метилу *Sur*, а также крупноплодный сорт Аладдин, гомозиготный по гену устойчивости к имидазолинонам *Imr*. Крупноплодный сорт Караван был стандартом восприимчивости к гербицидам. Использовали гербициды Экспресс (трибенурон-метил) и Евро-Лайтнинг (имазамокс, имазапир). Обработку растений гербицидом проводили в фазе шести настоящих листьев с применением ранцевого опрыскивателя. Оценку степени повреждения растений выполняли на 10-й день после обработки по 9-балльной шкале фитотоксичности. Наличие восприимчивых, но непогибших растений с морфозами листьев в количестве до 16 % при обработке гербицидом Евро-Лайтнинг сульфониомочвиноустойчивых гибрида Сурус и сорта Консул указывает на их частичную перекрёстную устойчивость к имидазолинонам. Наличие восприимчивых, но непогибших растений с морфозами листьев в количестве до 35 % при обработке гербицидом Экспресс имидазолиноустойчивого сорта Аладдин указывает на его частичную перекрёстную устойчивость к трибенурон-метилу. Морфологические аномалии в росте и развитии восприимчивых, но непогибших растений, относящихся к промежуточным баллам 4–6 шкалы фитотоксичности, делают биологически выжившие растения бесперспективными с селекционной точки зрения.

14

Ключевые слова: гибрид, сорт, крупноплодность, устойчивость к гербициду, шкала фитотоксичности

Для цитирования: Демури Я.Н., Магомедова Н.В., Пихтярёва А.А., Широких А.А. Перекрёстная гербицидоустойчивость к трибенурон-метилу и имидазолинонам у подсолнечника // Масличные культуры. 2023. Вып. 1 (193). С. 14–18.

Благодарности. Авторы признательны Децыне А.А., кандидату сельскохозяйственных наук, заведующему лабораторией селекции сортов подсолнечника ФГБНУ ФНЦ ВНИИМК за предоставленные для исследования семена крупноплодных сортов подсолнечника.

Исследование выполнено при финансовой поддержке гранта «Разработка методов контролируемой активации мобильных элементов генома для расширения генетического разнообразия и улучшения технологических характеристик селекционных линий подсолнечника» по Соглашению № 22-64-00076 от 08.08.2022 г. с Российским научным фондом.

UDC 633.854.78:575

Cross herbicide resistance to tribenuron-methyl and imidazolinones in sunflower

Demurin Ya.N., head of the lab., chief researcher, doctor of biology, professor

Magomedova N.V., post-graduate student

Pihtyareva A.A., senior researcher, PhD in biology

Shirokikh A.A., analytic

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

17 Filatova str., Krasnodar, 350038, Russia

Tel.: (861) 274-55-94

genetic@vniimk.ru

Abstract. Herbicide cross-resistance studies were conducted in the field in 2021 and 2022. We studied the Surus hybrid and the large-seeded cultivar Consul, homozygous for the gene of resistance to tribenuron-methyl *Sur*, as well as the large-seeded cultivar Aladdin, homozygous for the gene of resistance to imidazolinones *Imr*. The large-seeded cultivar Caravan was the standard for herbicide susceptibility. Herbicides Express (tribenuron-methyl) and Euro-Lightning (imazamox, imazapyr) were used. Plants were treated with herbicide in the phase of three pairs of leaves using a backpack sprayer. The degree of plant damage was assessed on the 10th day after treatment using a 9-point scale of phytotoxicity. The presence of susceptible, but not dead plants with leaf morphoses, in an amount of up to 16% when treated with Euro-Lightning sulfonylurea-resistant hybrid Surus and variety Consul indicates their partial cross-resistance to imidazolinones. The presence of susceptible, but not dead plants with leaf morphoses, in an amount of up to 35%, when the imidazolinone-resistant cultivar

Aladdin is treated with Express indicates its partial cross-resistance to tribenuron-methyl. Morphological anomalies in the growth and development of susceptible but not dead plants, which are intermediate points of 4-6 on the phytotoxicity scale, make biologically surviving plants unpromising from a breeding point of view.

Key words: hybrid, cultivar, large fruit size, herbicide resistance, phytotoxicity scale

Acknowledgements. Acknowledgments. The authors thank Alexander Detsyna, PhD in agriculture, head of the laboratory of sunflower OP-varieties breeding, for the seeds of confectionary sunflower varieties granted for the research.

The research was conducted under the financial support of a grant "Development of methods of the controlled activation of mobile elements in genome to spread the genetic diverse and improve technological characteristics of breeding sunflower lines" due to the Agreement No. 22-64-00076 dated 08.08.2022 with the Russian Scientific Fund

Введение. Гербициды из класса сульфонилмочевин широко используются в сельском хозяйстве с момента их появления с 80-х годов прошлого столетия. В настоящее время они представляют один из эффективных методов борьбы с сорняками для многих сельскохозяйственных культур. Однако культурный подсолнечник изначально не был устойчив к сульфонилмочевинным гербицидам. Открытие спонтанно возникшей в популяции дикорастущего подсолнечника точковой мутации (замена цитозина на тимин в кодоне 197), обуславливающей устойчивость подсолнечника к трибенурон-метилу, позволило применить эту перспективную группу гербицидов на подсолнечнике [1; 2].

В мировых селекционных программах по созданию сульфонилмочевинуустойчивых гибридов подсолнечника используется два источника устойчивости: из дикорастущей популяции *H. annuus* L. – линии публичного доступа SURES-1 и SURES-2, а также генотип, полученный с помощью индуцированного химического мутагенеза (EMS) и запатентованный компанией DuPont-Pioneer [3; 4].

На основе двух вышеуказанных источников разработаны технологии SUMO и ЭкспрессСан, представляющие комбинацию гербицидоустойчивого гибрида и

гербицида с действующим веществом трибенурон-метил. Гербициды данного ряда высокоэффективны против широкого спектра двудольных сорняков. Трибенурон-метил мало опасен для теплокровных и обладает быстрым периодом разложения, поэтому отсутствует его негативное действие на последующие культуры в севообороте.

Компания DuPont-Pioneer и Институт полевых и овощных культур (г. Нови Сад, Сербия) были первыми оригинаторами сульфонилмочевинуустойчивых гибридов подсолнечника. Первые наблюдения их коммерческого производства показали, что необходимо гомозиготное состояние обоих родителей по гену устойчивости, а не только отцовской линии. Так, после обработки гербицидом посевов первых гетерозиготных гибридов часто наблюдался высокий процент пораженных растений [4], что, вероятно, отражало семеноводческие проблемы получения 100 % генетически чистых гетерозиготных *Sursur* семян при отсутствии гена гербицидоустойчивости у материнской линии. Кроме того, в пользу получения гомозиготных гибридов указывало в некоторых случаях неполное доминирование гена *Sur*.

Во ВНИИМК работа по изучению наследования признака устойчивости к сульфонилмочевинным гербицидам, а также по созданию гербицидоустойчивых гибридов началась в 2006 г. с момента получения публичных источников SURES-1 (закрепитель стерильности) и SURES-2 (восстановитель фертильности) из Института полевых и овощных культур (г. Нови Сад, Сербия).

Гибридологический анализ наследования признака устойчивости к трибенурон-метилу в поколениях F₁, F₂ и F₃ показал соответствие расщепления моногенному доминантному характеру генетического контроля [5; 6].

Результатом селекционно-генетической программы ВНИИМК по выведению сульфонилмочевинуустойчивых растений явилось создание простого межлинейного гибрида подсолнечника Сурус и кондитерского сорта Консул.

Изучение перекрёстной гербицидоустойчивости этих генотипов к ALS-ингибиторам входило в задачу данного исследования, поскольку наряду с сульфониломочевинами существует группа имидазолинонов, используемых в технологии Кларфилд.

Материалы и методы. Опыт по изучению перекрёстной устойчивости к гербицидам закладывали в полевых условиях в 2021 и 2022 гг. на центральной экспериментальной базе ФГБНУ ФНЦ ВНИИМК, г. Краснодар. Изучали гибрид Сурус и крупноплодный сорт Консул, гомозиготные по гену устойчивости к трибенурон-метилу *Sur*, а также крупноплодный сорт Аладдин, гомозиготный по гену устойчивости к имидазолинонам *Imr*. Крупноплодный сорт Караван был стандартом восприимчивости к гербицидам.

Растения на отдельных рядах каждого генотипа в фазе шести настоящих листьев обрабатывали в утренние часы гербицидами по схеме:

- трибенурон-метил в однократной дозировке (0,125 г/л, 1X, 25 г/га);
- имидазолинононы в однократной дозировке (3 мл/л, 1X, 1 л/га);
- контроль без обработки.

В опыте использовали гербициды: Экспресс® (д.в.: трибенурон-метил) и Евро-Лайтнинг® (д.в.: имазамокс, имазапир). Распыление водного раствора гербицидов проводили вручную с применением ранцевого электрического опрыскивателя Comfort (15 л; 0,6 МПа).

Оценку степени повреждения растений от действия гербицидов проводили на 10-й день после обработки по модифицированной 9-балльной шкале фитотоксичности: 0 – растения без симптомов повреждения; от 1 до 3 – появление хлороза листьев; от 4 до 6 – появление морфологических аномалий листьев; от 7 до 9 – появление некроза листьев, апекса и гибель растения [7; 8].

Результаты и обсуждение. Межлинейный гибрид масличного типа Сурус показал полную устойчивость к гербициду Экспресс за два года испытания с баллами фитотоксичности 0–1, но был

не устойчив к гербициду Евро-Лайтнинг с летальными баллами 7–9 (табл. 1 и 2).

Таблица 1

Тест на перекрёстную гербицидоустойчивость у подсолнечника в 2021 г.

ФГБНУ ФНЦ ВНИИМК, г. Краснодар

Генотип	Гербицид	Количество растений с баллом фитотоксичности, %										Общее число растений, шт.	
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9		
Сурус (<i>Sur</i>)	Контроль (без обработки)	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	43
	Экспресс, 1X	30	66	4	0	0	0	0	0	0	0	0	44
	Евро-Лайтнинг, 1X	0	0	0	0	0	0	0	55	36	9	0	22
Консул (<i>Sur</i>)	Контроль (без обработки)	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	45
	Экспресс, 1X	13	65	22	0	0	0	0	0	0	0	0	46
	Евро-Лайтнинг, 1X	0	0	0	0	16	4	0	28	44	8	0	25
Аладдин (<i>Imr</i>)	Контроль (без обработки)	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	13
	Экспресс, 1X	0	0	0	0	6	0	19	25	44	6	0	16
	Евро-Лайтнинг, 1X	0	19	75	0	6	0	0	0	0	0	0	16
Караван (st)	Контроль (без обработки)	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	48
	Экспресс, 1X	0	0	0	0	0	0	0	0	29	71	0	42
	Евро-Лайтнинг, 1X	0	0	0	0	0	0	0	0	22	78	0	18

Кроме того, в 2022 г. наблюдали появление у 8 % растений 5–6 баллов фитотоксичности после обработки Евро-Лайтнингом, что говорит о частичной перекрёстной гербицидоустойчивости (табл. 2).

Таблица 2

Тест на перекрёстную гербицидоустойчивость у подсолнечника в 2022 г.

ФГБНУ ФНЦ ВНИИМК, г. Краснодар

Генотип	Гербицид	Количество растений с баллом фитотоксичности, %										Общее число растений, шт.	
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9		
Сурус (<i>Sur</i>)	Контроль (без обработки)	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	45
	Экспресс, 1X	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	31
	Евро-Лайтнинг, 1X	0	0	0	0	0	2	6	46	46	0	0	35
Консул (<i>Sur</i>)	Контроль (без обработки)	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	46
	Экспресс, 1X	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	35
	Евро-Лайтнинг, 1X	0	0	0	0	0	4	8	50	38	0	0	26
Аладдин (<i>Imr</i>)	Контроль (без обработки)	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	47
	Экспресс, 1X	0	0	0	0	0	17	28	24	31	0	0	29
	Евро-Лайтнинг, 1X	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	40
Караван (st)	Контроль (без обработки)	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	45
	Экспресс, 1X	0	0	0	0	0	0	0	5	84	11	0	43
	Евро-Лайтнинг, 1X	0	0	0	0	0	0	0	0	64	36	0	39

Крупноплодный сорт Консул, гомозиготный по гену *Sur*, также показал полную устойчивость при обработке сульфонилмочевинным гербицидом Экспресс с баллами фитотоксичности в интервале 0–2 (табл. 1 и 2). Обработка имидазолиновым гербицидом Евро-Лайтнинг в дозе 1X растений этого сорта привела в 2021 г. к их 80%-ной гибели с баллами фитотоксичности 7–9, а оставшиеся 20 % растений имели среднюю степень поражения в 4–5 баллов (табл. 1). В 2022 г. наблюдали аналогичную закономерность с гибелью 88 % растений при 12 % особей с промежуточными 5–6 баллами (табл. 2).

Крупноплодный сорт Аладдин, гомозиготный по гену *Imr*, был неустойчив к гербициду Экспресс в дозе 1X для 75 % растений с баллами 7–9 и 25 % с баллами средней степени поражения 4 и 6 в 2021 г. (табл. 1). В 2022 г. гибель растений с баллами 7 и 8 составила 55 %, а средневосприимчивые с баллами 5 и 6 заняли 45 % особей (табл. 2). Этот сорт был закономерно устойчив к Евро-Лайтнингу в дозе 1X на 94 % с баллами 0–2 и 6 % растений со средним баллом поражения 4 в 2021 г. (табл. 1). В 2022 г. сорт Аладдин характеризовался полной 100%-ной устойчивостью с баллом 0 к имидазолинонам (табл. 2).

Стандартный крупноплодный сорт Караван, как и следовало ожидать для контроля без генов гербицидоустойчивости, на 100 % характеризовался летальными баллами фитотоксичности 8–9 для всех вариантов обработки гербицидами. С другой стороны, 100%-ное количество растений с баллом 0 для всех генотипов в контрольном варианте опыта без обработки гербицидами указывает на отсутствие других факторов среды, негативно влияющих на рост растений (табл. 1 и 2).

Далее было проведено объединение данных за два года испытания в три фенотипических класса гербицидоустойчивости: устойчивые растения (баллы 0–3); восприимчивые, но непогибшие (баллы 4–6), и погибшие (баллы 7–9).

Обработка гербицидом Экспресс в 2021–2022 гг. показала 100%-ную устойчивость растений гибрида Сурус и сорта

Консул, 65%-ную гибель растений сорта Аладдин с 35 % восприимчивых особей и 100%-ную гибель растений сорта Караван (рис. 1).

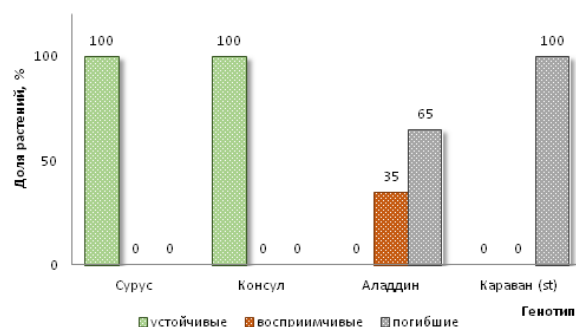


Рисунок 1 – Реакция растений различных генотипов подсолнечника на обработку гербицидом Экспресс, 1X (среднее за 2021–2022 гг.)

Обработка гербицидом Евро-Лайтнинг в среднем за 2021–2022 гг. показала 96%-ную гибель растений гибрида Сурус с 4 % восприимчивых, 84%-ную гибель растений сорта Консул с 16 % восприимчивых, 97 % устойчивых растений сорта Аладдин с 3 % восприимчивых особей, а также 100%-ную гибель растений сорта Караван (рис. 2).

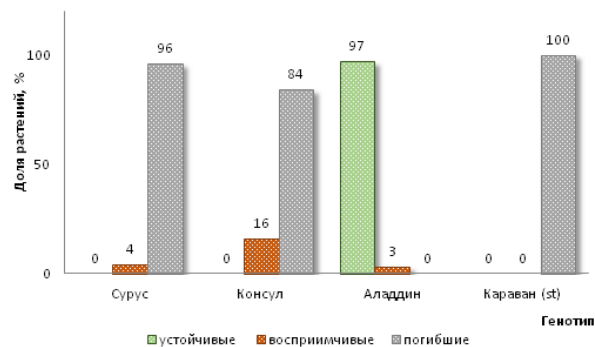


Рисунок 2 – Реакция растений различных генотипов подсолнечника на обработку гербицидом Евро-Лайтнинг, 1X (среднее за 2021–2022 гг.)

Заключение. Наличие восприимчивых, но непогибших растений с морфозами листьев в количестве до 16 % при обработке Евро-Лайтнингом сульфонилмочевиноустойчивых гибрида Сурус и сорта Консул указывает на их частичную

перекрёстную устойчивость к имидазолинонам. Наличие восприимчивых, но непогибших растений с морфозами листьев в количестве до 35 % при обработке гербицидом Экспресс имидазолиноноустойчивого сорта Аладдин указывает на его частичную перекрёстную устойчивость к трибенурон-метилу. Морфологические аномалии в росте и развитии восприимчивых, но непогибших растений, относящихся к промежуточным баллам 4–6 шкалы фитотоксичности, делают биологически выжившие растения бесперспективными с селекционной точки зрения.

Использование генотипов подсолнечника, предназначенных для выращивания по производственной системе ЭкспрессСан (СУМО) агрономически неприемлемо в системе Кларфилд, как и генотипов, созданных для Кларфилд, – в системе ЭкспрессСан. Гибель растений при выращивании по несоответствующей технологии варьирует от 65 до 96 %, а оставшиеся выжившие особи обладают значительными морфологическими аномалиями.

Список литературы

1. Miller J.F., Al-Khatib K. Registration of two oilseed sunflower genetic stocks, SURES-1 and SURES-2, resistant to tribenuron herbicide // *Crop Science*. – 2004. – V. 44. – P. 1037–1038.
2. Kolkman J.M., Slabaugh M.B., Bruniard J.M. [et al.]. Acetohydroxyacid synthase mutations conferring resistance to imidazolinone or sulfonylurea herbicides in sunflower // *Theoretical and Applied Genetics*. – 2004. – V. 109. – P. 1147–1159.
3. Sala C.F., Bulos M., Altieri E., Ramos M.L. Genetics and breeding of herbicide tolerance in sunflower // *Proc. 18-th Int. Sunflower Conf., Mar del Plata, Argentina, 2012*. – P. 75–81.
4. Шкорич Д. Селекция подсолнечника / В кн: Генетика и селекция подсолнечника: международная монография. Сербская академия наук и искусств, Ассоциация «Селекция и семеноводство подсолнечника». – Харьков, 2015. – С. 165–319.
5. Тронин А.С. Наследование и селекционное использование устойчивости к сульфониломочевинным гербицидам у подсолнечника: автореф. дис. ... канд. биол. наук. – Краснодар: КубГАУ, 2017. – 24 с.
6. Демури Я.Н., Пихтярёва А.А., Тронин А.С. Передача гена устойчивости к трибенурон-метилу в селекционный материал подсолнечника ВНИИМК // *Масличные культуры. Науч.-тех. бюл. ВНИИМК*. – 2013. – Вып. 1 (153–154). – С. 16–20.
7. Sala C.A., Bulos M. Inheritance and molecular characterization of broad range tolerance to herbicides targeting acetohydroxyacid synthase in sunflower //

Theoretical and Applied Genetics. – 2012. – V. 124. – P. 355–364.

8. Демури Я.Н., Тронин А.С., Пикалова Н.А. Шкала фитотоксичности ALS-ингибирующих гербицидов у подсолнечника // *Масличные культуры. Науч.-тех. бюл. ВНИИМК*. – 2013. – Вып. 2 (155–156). – С. 24–27.

References

1. Miller J.F., Al-Khatib K. Registration of two oilseed sunflower genetic stocks, SURES-1 and SURES-2, resistant to tribenuron herbicide // *Crop Science*. – 2004. – V. 44. – P. 1037–1038.
2. Kolkman J.M., Slabaugh M.B., Bruniard J.M. [et al.]. Acetohydroxyacid synthase mutations conferring resistance to imidazolinone or sulfonylurea herbicides in sunflower // *Theoretical and Applied Genetics*. – 2004. – V. 109. – P. 1147–1159.
3. Sala C.F., Bulos M., Altieri E., Ramos M.L. Genetics and breeding of herbicide tolerance in sunflower // *Proc. 18-th Int. Sunflower Conf., Mar del Plata, Argentina, 2012*. – P. 75–81.
4. Shkorich D. Seleksiya podsolnechnika / V kn: Genetika i seleksiya podsolnechnika: mezhdunarodnaya monografiya. Serbskaya akademiya nauk i iskusstv, Assotsiatsiya «Seleksiya i semenovodstvo podsolnechnika». – Khar'kov, 2015. – S. 165–319.
5. Tronin A.S. Nasledovanie i selekcionnoe ispolzovanie ustoychivosti k sulfonilmochevinovym gerbitsidam u podsolnechnika: avtoref. dis. ... kand. biol. nauk. – Krasnodar: KubGAU, 2017. – 24 s.
6. Demurin Ya.N., Pikhtyareva A.A., Tronin A.S. Peredacha gena ustoychivosti k tribenuron-metiluu v selekcionnyy material podsolnechnika VNIIMK // *Maslichnye kul'tury. Nauch.-tekh. byul. VNIIMK*. – 2013. – Vyp. 1 (153–154). – S. 16–20.
7. Sala C.A., Bulos M. Inheritance and molecular characterization of broad range tolerance to herbicides targeting acetohydroxyacid synthase in sunflower // *Theoretical and Applied Genetics*. – 2012. – V. 124. – P. 355–364.
8. Demurin Ya.N., Tronin A.S., Pikalova N.A. Shkala fitotoksichnosti ALS-ingibiruyushchikh gerbitsidov u podsolnechnika // *Maslichnye kul'tury. Nauch.-tekh. byul. VNIIMK*. – 2013. – Vyp. 2 (155–156). – S. 24–27.

Сведения об авторах

Я.Н. Демури, зав. лаб., гл. науч. сотр., д-р биол. наук, профессор

Н.В. Магомедова, аспирант

А.А. Пихтярёва, вед. науч. сотр., канд. биол. наук

А.А. Широких, аналитик

Получено/Received

09.03.2023

Получено после рецензии/Manuscript peer-reviewed

10.03.2023

Получено после доработки/Manuscript revised

13.03.2023

Принято/Accepted

23.03.2023

Manuscript on-line

30.05.2023