

## НАСЛЕДОВАНИЕ ПРИЗНАКОВ УСТОЙЧИВОСТИ К ИМИДАЗОЛИНОВЫМ ГЕРБИЦИДАМ В СЕЛЕКЦИОННОМ МАТЕРИАЛЕ

### INHERITANCE OF CHARACTERS OF RESISTANCE TO IMIDAZOLINONE HERBICIDES IN BREEDING MATERIAL

**Ключевые слова:** подсолнечник, самоопыленная линия, устойчивость к гербицидам, имидазолиноны, фенотип, гибрид, гибридизация, генотип, Евро-Лайтнинг, зарази́ха.

Производственная система выращивания подсолнечника Clearfield (BASF), в основу которой положено применение двух компонентов – гербицидов, содержащих действующие вещества имазапир и имазамокс, относящихся к имидазолиноновому ряду, и гербицидоустойчивых гибридов, получила широкое распространение в мировом аграрном производстве. Создание гербицидоустойчивых гибридов подсолнечника, адаптивных к конкретным условиям выращивания, способных составить конкуренцию иностранным гибридам, открывает новые возможности для отечественной селекции. Целью исследований является создание отечественных гибридов подсолнечника, устойчивых к гербицидам класса имидазолинонов, адаптированных к условиям выращивания в основных районах Республики Казахстан, не уступающих по хозяйственно-ценным признакам зарубежным аналогам. Опыты проводили в поле селекционного севооборота ТОО «ОХМК», Восточно-Казахстанская область, РК; агротехника – общепринятая для выращивания подсолнечника. При изучении материала исследования проводили по полевым, селекционным и лабораторным методикам по Б.А. Доспехову, А.И. Гундаеву, В.С. Пустовойту, А.Б. Дьякову, А.В. Анащенко, В.М. Лукомец. Работу по введению гена гербицидоустойчивости путем насыщающих скрещиваний в родительские линии-реципиенты осуществляли как в полевых условиях, так и в контролируемых условиях камеры искусственного климата, что позволило получать 2 поколения в 1 год. Селекционная работа, включающая самоопыление и отбор, позволила получить к 2023 г. константные гомозиготные гербицидоустойчивые аналоги материнских и отцовских селекционных образцов. Проведена работа по оценке и тестированию новых самоопыленных линий, устойчивых к гербицидам группы имидазолинонов. Изучение проходили 424 образцов. По результатам селекционной работы были получены 105 образцов и выделены 4 материнских и 5 линий восстановителей фертильности пыльцы генами Rf, обладающие устойчивостью. В результате многократного беккроссирования нами осуществлен перенос признаков

устойчивости с линии донора на селекционные линии реципиентов.

**Keywords:** sunflower, self-pollinated line, herbicide resistance, imidazolinones, phenotype, hybrid, hybridization, genotype, Euro-Lightning herbicide, sunflower broomrape.

The Clearfield® sunflower production system (BASF) based on the use of two components - herbicides containing the active ingredients imazapyr and imazamox belonging to the imidazolinone series and herbicide-resistant hybrids, has become widespread in global agricultural production. The development of herbicide-resistant sunflower hybrids adaptive to specific growing conditions and capable of competing with foreign hybrids opens up new opportunities for domestic plant breeding. The research goal is to develop domestic sunflower hybrids that are resistant to herbicides of the imidazolinone class adapted to the growing conditions in the main regions of the Republic of Kazakhstan, and that are not inferior to foreign analogues regarding economic characters. The experiments were carried out in the selection crop rotation field of the Experimental Farm for Oil-Bearing Crops, East-Kazakhstan Region, Republic of Kazakhstan; the agricultural technology was common for sunflower growing. When studying the material, research was carried out using field, selection and laboratory methods according to B.A. Dospikhov, A.I. Gundaev, V.S. Pustovoyt, A.B. Dyakov, A.V. Anashchenko, and V.M. Lukomets. The work on introducing the herbicide resistance gene through saturation technique into the parental recipient lines was carried out both in the field and under controlled conditions of the artificial climate chamber which made it possible to obtain two generations during one year. The selection work, including self-pollination and selection, made it possible to obtain constant homozygous herbicide-resistant analogues of maternal and paternal selection accessions by 2023. New self-pollinated lines resistant to imidazolinone herbicides were evaluated and tested. Altogether, 424 accessions were studied. Based on the results of the breeding work, 105 accessions were obtained and four maternal and five lines of pollen fertility restorers with Rf genes that were resistant were isolated. As a result of repeated backcrossing, we transferred resistance characters from the donor line to the recipient selection lines.

**Жаркова Сталина Владимировна**, д.с.-х.н., доцент, ФГБОУ ВО Алтайский ГАУ, г. Барнаул, Российская Федерация, e-mail: stalina\_zharkova@mail.ru.

**Zharkova Stalina Vladimirovna**, Dr. Agr. Sci., Assoc. Prof., Altai State Agricultural University, Barnaul, Russian Federation, e-mail: stalina\_zharkova@mail.ru.

Байгеленова Акерке Казезбековна, аспирант, ФГБОУ ВО Алтайский ГАУ, г. Барнаул, Российская федерация, e-mail: baygelenova.nauka@mail.ru.

Baygelenova Akerke Kazezbekovna, post-graduate student, Altai State Agricultural University, Barnaul, Russian Federation, e-mail: baygelenova.nauka@mail.ru.

### Введение

Подсолнечник – одна из наиболее распространенных масличных культур в сельскохозяйственной отрасли Республики Казахстан. Ежегодное увеличение посевных площадей, занимаемых культурой, обусловлено высокой рентабельностью выращивания и растущим спросом рынка. Подсолнечное поле Казахстана составляет более 860 тыс. га, обеспечивает внутренние потребности страны в растительном масле и обладает потенциалом его экспорта, преимущественно в страны Центральной Азии [1, 2].

Национальными проектами и госпрограммами определена политика ближайшей перспективы в диверсификации посевных площадей, которая позволит увеличить масличное поле за счет сокращения клина зерновых культур [3]. Тренд роста посевных площадей подсолнечника мотивируется растущими потребностями рынка, возможностями перерабатывающей промышленности и динамикой развития животноводства. Поля подсолнечника сосредоточены в основном в северной части страны – Восточно-Казахстанской, Абайской, Павлодарской, Акмолинской, Костанайской и Северо-Казахстанской областях.

Следует отметить, что потенциал урожайности в 3,0-4,0 т/га, которым обладают современные гибриды, пока еще не реализован аграрным производством: средняя реальная урожайность по стране составляет 1,0-1,2 т/га. Такой существенный недобор урожая обусловлен рядом факторов, среди которых в реальной практике имеет место несовершенная культура земледелия в конкретных почвенно-климатических условиях, несоблюдение регламентов технологии выращивания, также наносится сорняками, болезнями [4-6]. Более всего, продуктивность растений зависит от агроклиматических факторов окружающей среды; «даже в странах с наивысшим уровнем техногенной интенсификации вариабельность урожайности по годам на 50-80% зависит от капризов погоды» [7].

В селекционных программах научных учреждений страны наблюдается многоцелевая направленность, в которой основной целью обозначено: «создание сортов и гибридов, наиболее эффективно использующих местные благо-

приятные условия внешней среды и способные одновременно противостоять действию абиотических и биотических стрессоров, типичных для данной почвенно-климатической зоны» [8].

Относительно недавно мировым аграрным бизнесом с 2003 г., а в РФ – с 2008 г., освоена и приобрела популярность производственная система Clearfield (BASF), регламент которой предусматривает применение двух компонентов: послевсходовых гербицидов, содержащих имазапир и имазамокс (относятся к имидазолиноновому ряду, обладают системным действием), и посева гибридов подсолнечника, устойчивых к этим гербицидам. Такая производственная система позволяет более тщательно контролировать и подавлять сорняки, в том числе и злостные, а также растение-паразит – заразиху в посевах подсолнечника, что позволяет агроцепозу проявить присущий фенотипу потенциал продуктивности [9, 10].

Нами с 2019 г. положено начало селекционных работ по созданию родительских линий для отечественного гибрида, обладающего признаками устойчивости к гербицидам, содержащим имазапир и имазамокс, относящихся к имидазолиноновому ряду.

**Цель** исследований – выявление перспективных линий подсолнечника с наибольшей устойчивостью к гербицидам класса имидазолов, адаптированных к условиям зоны распространения посевов культуры, с высокими показателями урожайности и качества маслосемян для создания в дальнейшем селекционном процессе сортов и гибридов.

#### **Задачи исследований:**

- 1) отобрать линии, устойчивые к воздействию имидазолиновым гербицидам;
- 2) отобрать материнские и отцовские линии по основным хозяйственно-ценным показателям;
- 3) выявить перспективные для дальнейшего скрещивания.

#### **Условия, объекты и методы исследования**

Опыты проводили в поле селекционного севооборота ТОО «ОХМК», Восточно-Казахстанская область, РК; агротехника – общепринятая для выращивания подсолнечника (рис. 1).



**Рис. 1. Селекционное поле подсолнечника, 2023 г.**

При изучении материала исследования применяли полевые, селекционные и лабораторные методики по Б.А. Доспехову, А.И. Гундаеву, В.С. Пустовойту, А.Б. Дьякову, А.В. Анащенко, В.М. Лукомец.

Объект исследований – отцовские и материнские линии подсолнечника масличного.

Предмет исследований – препарат «Евро-Лайтнинг» (действующее вещество имазамокс+имазапир), производитель BASF (рис. 2).



**Рис. 2. Препарат «Евро-Лайтнинг», ВРК, применявшийся при проведении исследований**

Для проведения самоопыления растения подсолнечника (это пере­крестноопыляющаяся культура) помещали в индивидуальные изоляторы. Самоопыление проводили в несколько этапов. По мере открывания трубчатых цветков периодически на рыльце пестиков наносили отобранную, у отцовских линий, устойчивых к гербицидам класса имидазолов, пыльцу. При разноцветии отцовских и материнских линий пыльцу заготавливали заранее. Для сохранения

жизнеспособности пыльцы (по мере необходимости) бумажные пакеты с полученным материалом помещали в холодильные камеры на 3-7-е сут. с температурой +5°С.

Полученные в каждом изоляторе корзинки обмолачивали отдельно, очищали и сушили семена, которые с каждого номера помещали в индивидуальный пакет. Дальнейшую работу с полученным материалом вели в лабораторных условиях, определяя качественные показатели маслосемян.

Для ускорения получения нового селекционного материала в осенне-зимне-ранневесенний период опыты проводили в камере искусственного климата, где растения выращивали в сосудах для грун­т­контроля и определения устойчивости вновь полученных линий.

В полевых условиях в период с 2019 по 2023 гг. технология по обработке посевов гербицидом была осуществлена в соответствии с требованиями охраны труда и техники безопасности. Опрыскивали посевы в утренние часы, в безветренную погоду (рис. 3).



**Рис. 3. Обработка делянок в опыте**

Все исследования по оценке влияния гербицида на растения подсолнечника проводили в соответствии с инструкцией производителя [11].

Согласно методическим указаниям через 10 сут. после обработки посевов гербицидом



осуществляли осмотр делянок и поставили оценку поражения растений. Выделены устойчивые, толерантные и восприимчивые линии. Так как визуальная оценка не в полной мере отражает получаемый результат, дополнительно провели оценку действия гербицида на растения по шкале фитотоксичности ALS-ингибиторов (BASF) [12].

Линии-доноры, имеющие в своём генотипе гены гербицидоустойчивости, которые контролируются двумя генами: ген полудоминантного типа действия (Imr 1) и его ген-модификатор, использовали для опыления и получения резистентных к гербицидам аналогов селекционных линий. Для эффективности такой работы насыщающие скрещивания по введению гена гербицидоустойчивости проводили в полевых условиях и в камерах с искусственным микроклиматом, что позволяло получать два поколения линий в год. При получении путем проведения беккроссов выравненного материала переводили его на ЦМС.

Селекционная работа, включающая самоопыление и отбор, дала возможность получить к 2023 г. константные гомозиготные гербицидоустойчивые аналоги материнских и отцовских селекционных образцов.

### Результаты исследований и их обсуждение

Проведена работа по оценке и тестированию новых самоопыленных линий, устойчивых к гер-

бицидам группы имидазолинонов. Изучение подверглись 424 образцов. По результатам селекционной работы были получены 105 образцов и выделены 4 материнских и 5 линий восстановителей фертильности пыльцы генами Rf, обладающими устойчивостью, а также хозяйственно-ценными признаками (вегетационным периодом, низкой лужистостью, высокой масличностью).

По длине вегетационного периода выделенные нами линии относятся к ранне- и средне-спелой группе созревания – 97-100 дней. Линии обладают генетической резистентностью к гербицидам имидазолиноновой группы, устойчивостью к ложной мучнистой росе и заразихе, толерантностью к белой и серой гнилям. Высота растений составляет 145-155 см, диаметр корзинки – 14-19 см, масса 1000 семян – 54-73 г, масличность семян – 47,9-51,8%.

Выделенные нами отцовские линии характеризуются ветвистым морфотипом, относятся к среднеспелой группе, длина вегетационного периода составляет 100-104 дня. При этом начало их цветения опережает по датам начало цветения материнских линий на 2-3 дня, а продолжительность цветения благодаря многокорзинности растянута по времени на 10-15 дней в сравнении с периодом цветения материнских линий. Высота растений достигает 98-135 см.

Таблица 1

#### Характеристика материнских линий по основным хозяйственно-ценным показателям

Образец	Устойчивость, %	Масса 1000 семян, г	Масличность, %	Содержание лужги, %
СВ 109	100	66,8	51,8	21,8
СВКс21	100	54,9	47,9	23,6
СВКс23	100	60,1	50,6	24,7
СВКс31	100	73,5	51,3	22,0

Таблица 2

#### Характеристика отцовских линий по основным хозяйственно-ценным показателям

Образец	Устойчивость, %	Масса 1000 семян, г	Масличность, %	Содержание лужги, %
СВК 622	100	42,0	54,0	25,2
СВК 659	100	41,8	49,2	28,4
СВК 693	100	38,7	55,6	23,5
СВК 753	100	42,0	54,6	26,6
СВК 777	100	45,8	51,9	30,4

Диаметр основной корзинки варьирует от 9 до 11 см. Ветвление имеет место по всему стеблю, ветви средней величины, корзинки на

ветвях диаметром 5-10 см. Линии обладают генетической резистентностью к гербицидам класса имидазолинонов, высокой пыльцевой продук-

тивностью, полной устойчивостью к основным болезням подсолнечника, выносливостью к засухе.

### Заключение

Таким образом, впервые для отечественной селекции были получены константные гомозиготные по гену устойчивости к имидазолинонам линии подсолнечника. Данные линии обладают генетической резистентностью к гербицидам класса имидазолинонов, высокой пыльцевой продуктивностью, полной устойчивостью к основным болезням подсолнечника, выносливостью к засухе, кроме того, они имеют хорошие показатели хозяйственно-ценных признаков и готовы к использованию в гибридных комбинациях.

### Библиографический список

1. В 2022/23 МГ Казахстан увеличил производство подсолнечного масла на 50%. – Текст: электронный // АПК Информ. Агронивости. – URL: <https://www.apk-inform.com/ru/news/1537767> (дата обращения: 24.03.2024).
2. Потребительская уверенность стран Центральной Азии в сентябре: что больше всего волнует жителей региона? / Freedom Broker. – URL: <https://ffin.kz/research/5-potrebitelskaya-uverennost-stran-tsentralnoy-azii-v-sentyabre-cto-bolshe-vsego> (дата обращения: 26.03.2024). – Текст: электронный.
3. Новая стратегия роста. Каких целей должен добиться АПК к 2030 году. – Текст: электронный // Агроинвестор. – 2022. – Ноябрь. – URL: <https://www.agroinvestor.ru/markets/article/39132-novaya-strategiya-rosta-kakikh-tseley-dolzhen-dobitsya-apk-k-2030-godu/> (дата обращения: 26.03.2024).
4. Пустовойт, В. С. Подсолнечник: монография / В. С. Пустовойт. – Москва: Колос, 1975. – 591 с. – Текст: непосредственный.
5. Васильев, Д. С. Подсолнечник / Д. С. Васильев. – Москва, 1990. – 174 с. – Текст: непосредственный.
6. Система ведения сельского хозяйства Восточно-Казахстанской области/ под редакцией Ж. О. Оспанбаева, З. Ж. Жексекенева. – Усть-Каменогорск, 2004. – 523 с. – Текст: непосредственный.
7. Жученко, А. А. Эколого-генетические основы адаптивного семеноводства / А. А. Жученко. – Текст: непосредственный // Семя: материалы Международной научно-практической конференции. – Москва: ИКАР, 1999. – С. 10-49.
8. Жученко, А. А. Адаптивная система селекции растений (эколого-генетические основы). – Москва: Агрорус, 2001. – Т. 1. – 779 с. – Текст: непосредственный.
9. Евро-Лайтнинг® – решение для любой ситуации на поле. – URL: <https://www.agro.basf.ru/ru/Products/Overview/Гербициды/ЕВРО-ЛАЙТНИНГ.html> (дата обращения: 10.05.2024) – Текст: электронный.
10. Miller, J.F., et. al. Development of herbicide resistant germplasm in sunflower // Proceedings of the 15th International Sunflower Associated Conference, France, June 12-15, 2000, p. 37-41.
11. Евро-Лайтнинг, ВРК. – URL: <https://glavagronom.ru/pesticides/gerbitsidy-evro-laytning-basf?ysclid=ix0ebbintf419066411> (дата обращения: 10.05.2024). – Текст: электронный.
12. Демулин, Я. Н. Шкала фитотоксичности ингибирующих гербицидов подсолнечника / Я. Н. Демулин, А. С. Тронин, Н. А. Пикалова. – Текст: непосредственный // Масличные культуры: научно-технический бюллетень ВНИИМК. – 2013. – № 2 (155-156). – С. 24-27.

### References

1. V 2022/23 MG Kazakhstan uvelichil proizvodstvo podsolnechnogo masla na 50%. APK Inform. Agronovosti. [Elektronnyi resurs]. – Rezhim dostupa: <https://www.apk-inform.com/ru/news/1537767> (data obrashcheniia 24.03.2024).
2. Potrebitelskaia uverennost stran Tsentralnoi Azii v sentiabre: chto bolshe vsego volnuet zhitelei regiona? Freedom Broker. [Elektronnyi resurs]. – Rezhim dostupa: <https://ffin.kz/research/5-potrebitelskaya-uverennost-stran-tsentralnoy-azii-v-sentyabre-cto-bolshe-vsego> (data obrashcheniia 26.03.2024).
3. Novaia strategiiia rosta. Kakikh tselei dolzhen dobitsia APK k 2030 godu. Zhurnal «Agroinvestor», noiabr, 2022. [Elektronnyi resurs]. – Rezhim dostupa: <https://www.agroinvestor.ru/markets/article/39132-novaya-strategiya-rosta-kakikh-tseley-dolzhen-dobitsya-apk-k-2030-godu/> (data obrashcheniia 26.03.2024).
4. Pustovoiit B.C. Podsolnechnik: monografiia. – Moskva: Kolos, 1975. – 591 s.
5. Vasilev D.S. Podsolnechnik. – Moskva, 1990. – 174 s.
6. Sistema vedeniia selskogo khoziaistva Vostochno-Kazakhstanskoi oblasti / pod red.

Zh.O. Ospanbaeva, Z.Zh. Zheksekeneva. – Ust-Kamenogorsk, 2004. – 523 s.

7. Zhuchenko A.A. Ekologo-geneticheskie osnovy adaptivnogo semenovodstva // Mezhd. nauchn.-prakt. konferentsiia «Semia». Tezisy. – Moskva: IKAR, 1999. – S. 10-49.

8. Zhuchenko A.A. Adaptivnaia sistema selektsii rastenii (ekologo-geneticheskie osnovy). – Moskva: Agrorus, 2001. – T. 1. – 779 s.

9. Evro-Laitning. Dvigatel maksimalnoi rentabelnosti. – BASF, 2007. – 4 s.

10. Miller, J.F., et. al. Development of herbicide resistant germplasm in sunflower // Proceedings of

the 15th International Sunflower Associated Conference, France, June 12-15, 2000, p. 37-41.

11. Evro-Laitning, VRK. [Elektronnyi resurs]. – Rezhim dostupa: <https://glavagronom.ru/pesticides/gerbitsidi-ivro-laitning-basf?ysclid=lx0ebbintf419066411> (data obrashcheniia 10.05.2024).

12. Demurin, Ia.N. Shkala fitotoksichnosti ALS-ingibiruiushchikh gerbitsidov u podsolnechnika / Ia.N. Demurin, A.S. Tronin, N.A. Pikalova // Maslichnye kultury. Nauchno-tekhnicheskii biulleten Vserossiiskogo nauchno-issledovatel'skogo instituta maslichnykh kultur. – 2013. – No. 2 (155-156). – S. 24.

