

## ФЕНОТИПИЧЕСКАЯ ДИАГНОСТИКА УСТОЙЧИВОСТИ ОБРАЗЦОВ ЗАРОДЫШЕВОЙ ПЛАЗМЫ *LINUM USSITATISSIMUM* L. К ОСМОТИЧЕСКОМУ СТРЕССУ

### PHENOTYPIC DIAGNOSTICS OF *LINUM USSITATISSIMUM* L. GERM PLASMA SAMPLE RESISTANCE TO OSMOTIC STRESS

**Ключевые слова:** лён, зародышевая плазма, стресс, фактор, индекс устойчивости, селекционный отбор.

В связи с негативным эффектом изменения климата всё более актуальным для селекционно-генетических исследований становится отбор стрессоустойчивых генотипов. Отражены результаты лабораторного тестинга и образцов льна-долгунца ( $G_1-G_{20}$ ) из коллекционного фонда Тюменского государственного университета в условиях осмотического стресса. В цель исследований входило изучить ответные реакции льна при действии 3 уровней ( $E_1-E_3$ ) моделируемого стресс-фактора по прорастанию семян и формированию морфометрических параметров проростков. Методом комбинированного анализа согласно используемой модели AMMI-biplot были выявлены достоверные ( $p \leq 0,05^*$ ,  $p \leq 0,01^{**}$ ) различия между образцами ( $G_1-G_{20}$ ), средовыми условиями ( $E_1-E_3$ ). С использованием анализа главных компонент установлен определяющий характер сложного генотип-средового взаимодействия ( $GxE$ ), согласно которому наибольший вклад в его структуру вносили 1-я IPCA<sub>1</sub> (51,3-42,8%) и 2-я IPCA<sub>2</sub> (34,6-22,8%) компоненты, составляющие 85,9-65,6% от общей вариабельности тест-критериев. Неоднозначный характер фенотип-ответных реакций у образцов зародышевой плазмы льна-долгунца выражался в снижении индекса прорастания (GP) на 5,7-2,8%, длины корня (RW) – 3,8-1,9%, длины побега (SW) – 8,3-4,7%, сырой массы корня (FRW) – 4,1-2,4%, сырой массы побега (FSW) – 6,1-2,9% при усиливении стрессового фактора по сравнению с обычным фоном ( $E_0$ ), без определения стимуляционного эффекта сред. Согласно анализу компонент (IPCA) отобраны ценные генотипы в среде  $E_1$  ( $n=10$ ), среде  $E_2$  ( $n=6$ ), среде  $E_3$  ( $n=4$ ). На основании индексного метода (SI, TOL) выявлены перспективные образцы льна-долгунца  $G_2$ ,  $G_7$ ,  $G_8$ ,  $G_{13}$ , представляющие интерес для дальнейшей селекционной работы.

Королёв Константин Петрович, к.с.-х.н., доцент, Тюменский государственный университет, г. Тюмень, Российская Федерация, e-mail: corolev.konstantin2016@yandex.ru.

#### Введение

Глобальное изменение климата оказывает негативный эффект на формирование биологического статуса культурных растений, что обу-

**Keywords:** flax (*Linum ussitatissimum* L.), germplasm, stress, factor, resistance index, selection.

Due to the negative effect of climate change, the selection of stress-resistant genotypes becomes increasingly important for plant breeding and genetic research. This paper discusses the findings of laboratory testing of fiber flax accessions ( $G_1-G_{20}$ ) from the collection fund of the Tyumen State University under osmotic stress. The research goal was to study the flax responses to three levels ( $E_1-E_3$ ) of simulated stress factor on seed germination and the formation of morphometric parameters of sprouts. Using the combined analysis method according to the AMMI-biplot model, reliable ( $p < 0.05^*$ ,  $p < 0.01^{**}$ ) differences between the accessions ( $G_1-G_{20}$ ) and environmental conditions ( $E_1-E_3$ ) were revealed. Using principal component analysis, the structural nature of the complex genotype-environment interaction ( $GxE$ ) was determined according to which the greatest contribution to its structure was made by the first IPCA<sub>1</sub> (51.3-42.8%) and the second IPCA<sub>2</sub> (34.6-22.8%) accounting for 85.9-65.6% of the total variability of the test criteria. The ambiguous nature of the phenotype-response reactions in the flax germplasm samples was expressed in decrease of the germination index (GP) by 5.7-2.8%, root length (RW) - 3.8-1.9%, shoot length (SW) - 8.3-4.7%, root wet weight (FRW) - 4.1-2.4%, shoot wet weight (FSW) - 6.1-2.9% with increased stress factor compared to the normal background ( $E_0$ ) without revealing the stimulating effect of the environment. According to the component analysis (IPCA), valuable genotypes were selected in the  $E_1$  medium ( $n = 10$ ),  $E_2$  medium ( $n = 6$ ), and  $E_3$  medium ( $n = 4$ ). Based on the index method (SI, TOL), promising accessions of fiber flax  $G_2$ ,  $G_7$ ,  $G_8$ ,  $G_{13}$  were selected being of interest for further selective breeding work.

Korolev Konstantin Petrovich, Cand. Agr. Sci., Assoc. Prof., University of Tyumen, Tyumen, Russian Federation, e-mail: corolev.konstantin2016@yandex.ru.

славливает необходимость повышения их устойчивости, в связи с чем в селекционной работе необходим поиск и создание нового исходного материала с высокими показателями адап-

тивности [1-3]. Сложность подбора сортов, сочетающих продуктивность с устойчивостью, требует использования современного достоверного инструментария с его высокой эффективностью и практической ценностью [4, 5].

Из группы прядильных сельскохозяйственных растений важное место занимает лён-долгунец [6-8], являющийся ценным источником волокнистой продукции и компонентов его переработки для многих отраслей промышленности. Сортовой потенциал льна достаточно разнообразен, созданы и районированы наиболее ценные сорта для многих агроклиматических зон Российской Федерации. В 2024 г. в Государственный реестр селекционных достижений, допущенных к использованию, включены сорта, характеризующиеся скороспелостью, продуктивностью, устойчивостью к полеганию и основным фитопатогенным агентам в агробиоценозах льноводческой зоны.

В связи с тем, что в последние годы в Тюменской области наблюдаются периоды с высоким температурным режимом и низкой влажностью в период активного роста и развития растений, актуальным становится наличие районированных сортов и источников засухоустойчивости уже на раннем этапе онтогенеза для включения их в селекционный процесс.

**Цель** исследования заключалась в оценке генотипов различного эколого-географического происхождения льна-долгунца по морфобиологическим параметрам проростков.

**Задачи:** выявление фито-реакционного потенциала льна-долгунца в трёх средовых условиях моделируемого осмотического стресса и отбор наиболее перспективных из них согласно индексному методу для дальнейшего применения.

### Объект, методика

#### и условия проведения исследований

Для исследований использованы образцы зародышевой плазмы льна-долгунца ( $G_1-G_{20}$ ) из коллекционного фонда Тюменского государственного университета. Морфологический тестинг генотипов льна проводили в лаборатории Школы естественных наук. Схема опыта включала следующие варианты: 1. Контроль – проращивание семян в термостате в чашках Петри при  $25^{\circ}\text{C}$  на среде с дистиллированной водой ( $E_0$ , контроль) и 3,0% ( $E_1$ ), 7,0% ( $E_2$ ), 9,0% ( $E_3$ ) растворах сахарозы. Диагностику образцов выполняли на седмые сутки эксперимента путем

определения индекса прорастания (GI, %), длины корней (RW, см), побега (SW, см), взвешивания сырой массы корней (FRW, мг) и побега (FSW, мг).

Для отбора ценных генотипов использовали подход, основанный на расчете индексов устойчивости (SI, %) [9] и толерантности (TOL, ед.) [10]. Статистическую обработку экспериментальных данных проводили методом комбинированного дисперсионного анализа с определением компонентного состава структуры сложного взаимодействия генотипа и среды (GxE) согласно модели AMMI-biplot [11]. Достоверность различий между изученными генотипами устанавливали на основе критерия множественных различий Дункана с применением программы Statistica 10 (Statsoft Inc., USA).

### Результаты исследований и их обсуждение

Важным компонентом при разработке стратегии адаптивной селекции является получение наиболее полной комплексной информации по каждому изучаемому генотипу, определение факториальности средовых условий и их влияние на степень проявления признаков в каждом конкретном экологическом пункте [12]. Для решения данных задач необходимо использование различного статистического инструментария [13, 14].

На первом этапе оценивали образцы льна-долгунца методом комплексного многофакторного дисперсионного анализа (табл. 1). Установлены достоверные различия ( $p \leq 0,05^*$ ,  $p \leq 0,01^{**}$ ) между ними в контрольных и опытных вариантах у фактора G (генотип,  $n=19$ ), фактора E (среда,  $n=2$ ), взаимодействие генотипа и среды (GxE,  $n=38$ ).

Для повышения эффективности селекционного отбора необходима более полноценная информация о генотипе, особенностях роста и развития под действием факторов окружающей среды. При этом важным компонентом является определение сложного взаимодействия генотипа и среды. Для этого был предложен метод, основанный на модели AMMI-biplot. Согласно полученным данным, в структуре GxE по используемым диагностическим показателям наибольший удельный вес занимали первые две компоненты: по индексу прорастания ( $\text{IPCA}_{1,2} = 81,1\text{-}69,4\%$ ), длине корня ( $\text{IPCA}_{1,2} = 71,2\text{-}64,9\%$ ), длине побега ( $\text{IPCA}_{1,2} = 71,6\text{-}61,0\%$ ), сырой массе корня ( $\text{IPCA}_{1,2} = 85,9\%$ ).

62,1%), сырой массе побега ( $IPCA_{1,2} = 70,3\text{-}68,6\%$ ).

На следующей этапе оценивали образцы зародышевой плазмы по их адаптивным фиторе-

акциям по методу AMMI, согласно которому выявлены различия между ними по изученным показателям (рис.).

Таблица 1

## Результаты комбинированного дисперсионного анализа, среднее

Источник дисперсии	Средний квадрат, MS, с учетом числа степеней свободы (n)		
	G (n=19)	E (n=2)	GxE (n=38)
Индекс прорастания, GP	100,2**	89,6**	113,6**
Длина корня, RW	28,8**	53,8*	84,5**
Длина побега (SW)	39,5**	21,4*	63,9**
Сырая масса корня (FRW)	19,2**	34,5*	42,2**
Сырая масса побега (FSW)	24,7**	48,8*	19,3**
IPCA <sub>1</sub>	64,3**	21,1*	10,5**
IPCA <sub>2</sub>	10,5**	22,9*	31,4**
IPCA <sub>3</sub>	21,0**	42,2*	38,3**
IPCA <sub>4</sub>	17,6**	11,5	52,8**

Примечание. Различия достоверны при  $p \leq 0,05^*$ ,  $p \leq 0,01^{**}$  с учетом выполнения требования ( $F_{\text{факт}} > F_{\text{теорет.}}$ ).

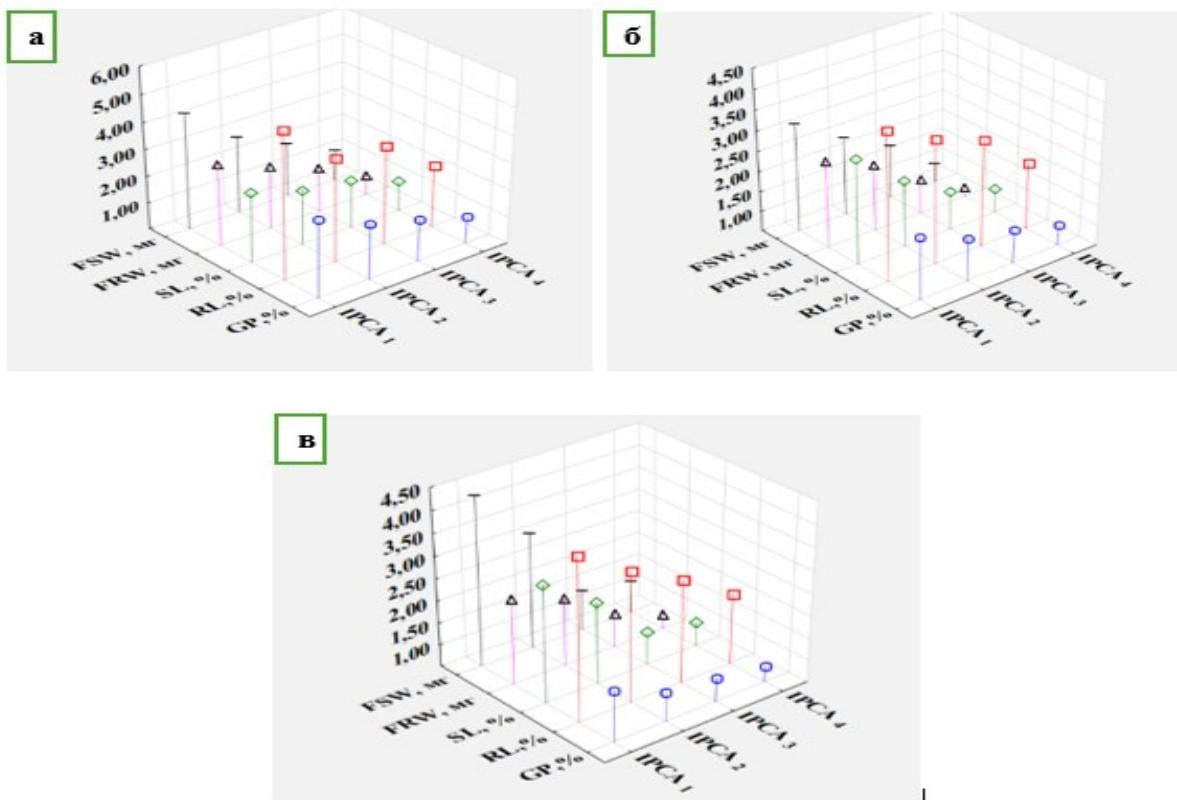


Рис. Компонентный состав (IPCA) генотип-средового взаимодействия (GxE) в вариантах с 3,0% (а), 7,0% (б), 9,0% (в) растворов сахарозы у образцов льна-долгунца по изученным признакам, согласно модели AMMI-biplot (среднее)

Расчет индивидуальных критериев позволил установить наиболее адаптивные ( $IPCA_1 > 0$ ) из них в первой среде ( $E_1$ , 3,0%) –  $G_1$  ( $IPCA_1 = 3,16\text{-}1,17$ , индекс прорастания, длина корня, масса корня);  $G_2$  ( $IPCA_1 = 5,09\text{-}1,88$  индекс прорастания, длина корня, масса корня);  $G_3$  ( $IPCA_1 = 4,42\text{-}2,16$ , длина корня, длина побега, масса корня);  $G_5$  ( $IPCA_1 = 3,48\text{-}2,81$ , длина корня, длина побега,

масса побега);  $G_8$  ( $IPCA_1 = 7,92\text{-}3,14$ , индекс прорастания, длина корня);  $G_{10}$  ( $IPCA_1 = 5,94\text{-}2,82$ , индекс прорастания, длина корня, масса побега);  $G_{11}$  ( $IPCA_1 = 6,66\text{-}3,15$ , длина корня, длина побега, масса корня, масса побега);  $G_{16}$  ( $IPCA_1 = 9,23\text{-}2,18$ , длина побега, масса побега);  $G_{18}$  ( $IPCA_1 = 3,54\text{-}2,19$ , длина корня, масса корня);  $G_{20}$  ( $IPCA_1 = 2,09\text{-}1,12$ , длина корня, длина побега).

Во второй среде ( $E_2$ , 7,0%) –  $G_1$  ( $IPCA_1=7,34-3,55$ , индекс прорастания, длина побега, масса корня);  $G_2$  ( $IPCA_1=2,58-1,45$ , длина корня, длина побега, масса корня);  $G_3$  ( $IPCA_1=9,09-4,44$ , длина корня, длина побега, масса корня);  $G_5$  ( $IPCA_1=6,66-3,15$ , индекс прорастания, длина корня, длина побега, масса корня);  $G_{11}$  ( $IPCA_1=4,87-2,41$ , длина корня, длина побега, масса корня);  $G_{20}$  ( $IPCA_1=2,08-1,43$ , длина корня, масса корня).

В третьей среде ( $E_3$ , 9,0%) –  $G_1$  ( $IPCA_1=8,42-4,00$ , индекс прорастания, длина корня, длина побега, масса корня);  $G_5$  ( $IPCA_1=3,41-2,19$ , длина корня, длина побега, масса корня);  $G_{11}$  ( $IPCA_1=10,05-4,22$ , длина корня, длина побега, масса побега);  $G_{20}$  ( $IPCA_1=8,11-5,91$ , индекс прорастания, длина корня, длина побега, масса корня). Образцы с  $IPCA_1<0$  отнесены нами к группе с низкой устойчивостью к стресс-фактору.

Выявление потенциала фенотипической устойчивости у образцов льна-долгунца к осмотическому стрессу является актуальным направлением исследований, в связи с чем требуется использование различных подходов для

изучения статуса их устойчивости. Рядом авторов [9, 10] предложен индексный метод, позволяющий уже на раннем этапе онтогенеза провести диагностику параметров их устойчивости по наиболее ценным признакам и свойствам. Согласно тест-критериям отобраны наиболее устойчивые из них (табл. 2).

К образцам со средней и высокой относительной устойчивостью по индексу прорастания ( $GP$ , %) к данным средовым условиям были отнесены  $G_1$ ,  $G_2$ ,  $G_5$  ( $SI=54,6-28,9\%$ ); длине корня ( $RW$ , см) –  $G_1$ ,  $G_4$ ,  $G_7$ ,  $G_8$  ( $SI=41,0-21,5\%$ ); длине побега ( $SW$ , см) –  $G_1$ ,  $G_8$ ,  $G_9$ ,  $G_{13}$  ( $SI=51,0-22,3\%$ ); сырой массе корня ( $FRW$ , мг) –  $G_1$ ,  $G_8$ ,  $G_{16}$  ( $SI=59,1-21,2\%$ ); сырой массе побега ( $FSW$ ) –  $G_8$ ,  $G_{19}$  ( $SI=43,6-28,1\%$ ).

По проценту прорастания, согласно ( $TOL$ ), следует отметить образцы  $G_2$ ,  $G_5$ ,  $G_{15}$  ( $TOL=0,43-0,13$ ); длине корня ( $RW$ , см) –  $G_8$ ,  $G_{13}$  ( $TOL = 0,72-0,16$ ); длине побега ( $SW$ , см) –  $G_1$ ,  $G_2$ ,  $G_{19}$  ( $TOL=0,34-0,09$ ); сырой массе корня ( $FRW$ , мг) –  $G_1$ ,  $G_8$ ,  $G_{16}$  ( $TOL=0,66-0,35$ ); сырой массе побега ( $FSW$ , мг.) –  $G_2$ ,  $G_7$  ( $TOL=0,65-0,14$ ).

Таблица 2

**Источники устойчивости к осмотическому стрессу по изученным морфологическим показателям, среднее**

Индекс	GP	RW	SW	FRW	FSW
Среда $E_1$					
SI	$G_1^*$ , $G_2^{**}$ , $G_3^*$ , $G_4^*$ , $G_5$ , $G_{12}^{**}$ , $G_{14}^*$ , $G_{20}^{**}$	$G_1^*$ , $G_4$ , $G_7^*$ , $G_8^{**}$ , $G_{13}^{**}$ , $G_{14}$ , $G_{17}^*$ , $G_{20}^{**}$	$G_1^{**}$ , $G_6^{**}$ , $G_8^*$ , $G_9^*$ , $G_{13}$	$G_1^*$ , $G_4^{**}$ , $G_7^*$ , $G_8^*$ , $G_{16}$ , $G_{17}^{**}$ , $G_{20}^*$	$G_1^{**}$ , $G_7^*$ , $G_8$ , $G_9^*$ , $G_{10}$ , $G_{13}^{**}$ , $G_{19}^*$ , $G_{20}^{**}$
TOL	$G_1^*$ , $G_5^{**}$ , $G_9^*$ , $G_{10}^*$ , $G_{13}$ , $G_{15}^{**}$ , $G_{19}^*$ , $G_{20}^{**}$	$G_6^{**}$ , $G_8^{**}$ , $G_9^*$ , $G_{13}$ , $G_{15}^*$ , $G_{18}^*$ , $G_{19}$	$G_1^{**}$ , $G_2^*$ , $G_4^{**}$ , $G_7^*$ , $G_8^*$ , $G_{13}^*$ , $G_{19}$	$G_1^*$ , $G_7^*$ , $G_8^{**}$ , $G_{13}^{**}$ , $G_{15}^*$ , $G_{16}^*$	$G_2^{**}$ , $G_4^*$ , $G_7^*$ , $G_{13}^*$ , $G_{16}$ , $G_{19}^*$
Среда $E_2$					
SI	$G_1^*$ , $G_2^{**}$ , $G_3$ , $G_4^*$ , $G_{12}^{**}$ , $G_{14}$ , $G_{20}$	$G_1^{**}$ , $G_4^{**}$ , $G_7^*$ , $G_8$ , $G_{13}^*$ , $G_{14}^{**}$	$G_1^{**}$ , $G_8^{**}$ , $G_9^*$ , $G_{13}^*$	$G_1$ , $G_8^{**}$ , $G_{16}^{**}$ , $G_{17}$	$G_7$ , $G_8^{**}$ , $G_{10}^*$ , $G_{13}^{**}$ , $G_{19}^{**}$
TOL	$G_1^{**}$ , $G_2$ , $G_5^*$ , $G_{15}^*$	$G_8^{**}$ , $G_9^*$ , $G_{13}^{**}$	$G_1^{**}$ , $G_2$ , $G_7^{**}$ , $G_8$ , $G_{16}^{**}$ , $G_{19}^*$	$G_1^{**}$ , $G_8^{**}$ , $G_{13}^*$ , $G_{15}^*$ , $G_{16}^{**}$	$G_2^{**}$ , $G_7$ , $G_{13}^{**}$
Среда $E_3$					
SI	$G_1^{**}$ , $G_2^*$ , $G_5$ , $G_{15}^*$	$G_4^{**}$ , $G_7^{**}$ , $G_8^{**}$	$G_1^{**}$ , $G_6^{**}$ , $G_8^*$ , $G_9^*$ , $G_{13}$	$G_4^*$ , $G_8^{**}$ , $G_{20}^{**}$	$G_8^{**}$ , $G_{19}^{**}$
TOL	$G_2^{**}$ , $G_5^*$ , $G_{15}$	$G_8$ , $G_{13}^{**}$ , $G_{14}$	$G_1^{**}$ , $G_2^{**}$ , $G_{19}^*$	$G_1^{**}$ , $G_8^*$ , $G_{13}^*$ , $G_{16}^{**}$	$G_2^{**}$ , $G_7^*$

Примечание. Индекс прорастания ( $GP$ , %), длина корня ( $RW$ , см), длина побега ( $SW$ , см), сырая масса корня ( $FRW$ , см), сырая масса побега ( $FSW$ , см); индексы устойчивости (SI) и толерантности (TOL). Различия у образцов льна с контролем достоверны при  $p \leq 0,05^*$ ,  $p \leq 0,01^{**}$ .

### Заключение

С использованием осмотического моделируемого стресса у изученного набора образцов льна-долгунца установлен различный характер

их фитоустойчивости, в зависимости от уровня средовой нагрузки ( $E_1 < E_2 < E_3$ ). Выявлена достоверная ( $p \leq 0,05^*$ ,  $p \leq 0,01^{**}$ ) значимость между ними по индексу прорастания ( $GP$ , %), длине

корня и побега (SW, RW, см), их сырой массе (FSW, FRW, мг).

На основании результатов комплексного дисперсионного анализа определены вклад факторов генотип (G), среда (E). Согласно AMMI-biplot в структуре взаимодействия генотипа и среды (GxE), определяющими по большинству показателей были первые две главные компоненты (IPCA<sub>1,2</sub>). По результатам многосторонней оценки, согласно индексам (SI, %; TOL, ед.), отобраны перспективные образцы зародышевой плаэмы льна-долгунца G<sub>2</sub>, G<sub>7</sub>, G<sub>8</sub>, G<sub>13</sub>, которые можно рекомендовать для дальнейших селекционно-генетических работ в качестве исходного материала.

### Библиографический список

- Генетические основы селекции растений: в 4 томах / науч. ред. А.В. Кильчевский, Л. В. Хотылева; Нац. акад. наук Беларуси, Ин-т генетики и цитологии. – Минск: Беларуская наука, 2008. – С. 1-551. – Текст: непосредственный.
- Жученко, А. А. мл. Мобилизация генетических ресурсов льна / А. А. Жученко мл., Т. А. Рожмина. – Москва: Старица. – 2000. – 224 с. – Текст: непосредственный.
- Banik M, Duguid S, Cloutier S. (2011). Transcript profiling and gene characterization of three fatty acid desaturase genes in high, moderate, and low linolenic acid genotypes of flax (*Linum usitatissimum L.*) and their role in linolenic acid accumulation. *Genome*. 54: 471–483. DOI: 10.1139/g11-013.
- Бражников, В. Н. Продуктивность и жирнокислотный состав масла сортообразцов льна масличного в конкурсном сортоиспытании / В. Н. Бражников. – Текст: электронный // Международный сельскохозяйственный журнал. – 2024. – № 1 (397). – С. 99-102. – URL: doi:10.55186/25876740\_2024\_67\_1\_99 (дата обращения: 5.01.2025).
- Низова, Г. К. Изучение генетической коллекции льна на качество масла / Г. К. Низова, Н. Б. Брач. – Текст: электронный // Аграрная Россия. – 2010. – № 1. – С. 32-35. – URL: <https://doi.org/10.30906/1999-5636-2010-1-32-35> (дата обращения: 23.03.2025).
- Попова, Г. А. Мировые генетические ресурсы льна коллекции ВИР в создании сортов Томской селекции / Г. А. Попова, Н. Б. Рогальская, В. М. Трофимова. – Текст: электронный // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. – 2023. – Т. 53, № 4. – С. 34-47. – URL: <http://doi:10.26898/0370-8799-2023-4-4> (дата обращения: 18.02.2025).
- Fan, L., Xu, J., Guan, X., et al. (2023). Developing radio frequency pretreatment technology for improving yield and quality of flaxseed oil extractions. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*. 86. 103363. DOI: 10.1016/j.ifset.2023.103363.
- Королёв, К. П. Оценка генотипов льна-долгунца (*Linum usitatissimum L.*) по экологической адаптивности и стабильности в условиях северо-восточной части Беларуси / К. П. Королёв, Н. А. Боме. – Текст: электронный // Сельскохозяйственная биология. – 2017. – № 52 (3). – С. 615-621. – URL: <http://doi:10.15389/agrobiology.2017.3.615rus> (дата обращения: 13.04.2025).
- Rosielle, A.A., Hamblin, J. (1981) Theoretical Aspects of Selection for Yield in Stress and Non-Stress Environments. *Crop Science*, 21, 943-946. <http://dx.doi.org/10.2135/cropsci1981.0011183X002100060033x>.
- Rao, M, LakshmiKantha RG, Kulkarni RS, et all. (2004). Stability analysis of sunflower hybrids through non-parametric model. *Helia*, 27, 59–66. <https://doi.org/10.2298/HEL0441059R>.
- Zobel, R.W., Wright J.M., Gauch J.H. (1988). Statistical analysis of yield trial. *Agronomy Journal*, 80, 388–393. <http://dx.doi.org/10.2134/agronj1988>.
- Kumar, N. (2021) Assessment of genetic diversity in linseed germplasm using morphological traits. *Electronic Journal of Plant Breeding*, 12 (1), 66–73. <https://doi.org/10.37992/2021.1201.010>.
- Yan, W., Hunt L.A., Sheng Q., et al. (2000). Cultivar evaluation and mega environment investigation based on the GGE biplot. *Crop Science*, 40, 597-605. <https://doi.org/10.2135/cropsci2000.403597x>.
- Kaya, Y., Akçura M., Taner S. (2006). GGE-biplot analysis of multi-environment yield trials in bread wheat. *The Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 30 (5), 325-337.

### References

- Geneticheskie osnovy selektsii rasteniy: v 4 t. / Nats. akad. nauk Belarusi, In-t genetiki i tsitologii; nauch. red. A.V. Kilchevskiy, L. V. Khotyleva. Minsk: Belaruskaya navuka, 2008. – С. 1–551.
- Zhuchenko, A.A. ml. Mobilizatsiya geneticheskikh resursov lna / A.A. Zhuchenko ml., T.A. Rozhmina. – Moskva: Staritsa, 2000. – 224 s.

3. Banik M, Duguid S, Cloutier S. (2011). Transcript profiling and gene characterization of three fatty acid desaturase genes in high, moderate, and low linolenic acid genotypes of flax (*Linum usitatissimum L.*) and their role in linolenic acid accumulation. *Genome*. 54: 471–483. DOI: 10.1139/g11-013.
4. Brazhnikov, V.N. Produktivnost i zhirnokislotnyy sostav masla sortoobraztsov lna maslichnogo v konkursnom sortoispytanii / V.N. Brazhnikov // Mezhdunarodnyy selskokhozyaystvennyy zhurnal. – 2024. – No. 1 (397). – S. 99–102. URL: DOI 10.55186/25876740\_2024\_67\_1\_99.
5. Nizova, G.K., Brach N.B. Izuchenie geneticheskoy kollektii lna na kachestvo masla // Agrarnaia Rossiya. – 2010. – No. 1. – S.32–35. <https://doi.org/10.30906/1999-5636-2010-1-32-35>.
6. Popova, G.A., Rogalskaya N.B., Trofimova V.M. Mirovye geneticheskie resursy lna kollektii VIR v sozdaniis sortov Tomskoy selektsii // Sibirskiy vestnik selskokhozyaystvennoy nauki. – 2023. – T. 53. – No. 4. – S. 34–47. DOI: 10.26898/0370-8799-2023-4-4.
7. Fan, L., Xu, J., Guan, X., et al. (2023). Developing radio frequency pretreatment technology for improving yield and quality of flaxseed oil extractions. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*. 86. 103363. DOI: 10.1016/j.ifset.2023.103363.
8. Korolev, K.P. Otsenka genotipov lna-dolguntsa (*Linum usitatissimum L.*) po ekologicheskoy adaptivnosti i stabilnosti v usloviyakh severo-vostochnoy chasti Belarusi / K.P. Korolev, N.A. Bome // Selskokhozyaystvennaya biologiya. – 2017. – No. 52 (3). – C. 615-621. <http://doi:10.15389/agrobiology.2017.3.615rus>.
9. Rosielle, A.A., Hamblin, J. (1981) Theoretical Aspects of Selection for Yield in Stress and Non-Stress Environments. *Crop Science*, 21, 943-946. <http://dx.doi.org/10.2135/cropsci1981.0011183X002100060033x>.
10. Rao, M, Lakshmiyantha RG, Kulkarni RS, et all. (2004). Stability analysis of sunflower hybrids through non-parametric model. *Helia*, 27, 59–66. <https://doi.org/10.2298/HEL0441059R>.
11. Zobel, R.W., Wright J.M., Gauch J.H. (1988). Statistical analysis of yield trial. *Agronomy Journal*, 80, 388–393. <http://dx.doi.org/10.2134/agronj1988>.
12. Kumar, N. (2021) Assessment of genetic diversity in linseed germplasm using morphological traits. *Electronic Journal of Plant Breeding*, 12 (1), 66–73. <https://doi.org/10.37992/2021.1201.010>.
13. Yan, W., Hunt L.A., Sheng Q., et al. (2000). Cultivar evaluation and mega environment investigation based on the GGE biplot. *Crop Science*, 40, 597-605. <https://doi.org/10.2135/cropsci2000.403597x>.
14. Kaya, Y., Akcura M., Taner S. (2006). GGE-biplot analysis of multi-environment yield trials in bread wheat. *The Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 30 (5), 325-337.



УДК 632.782M(470.25)-047.36  
DOI: 10.53083/1996-4277-2025-249-7-25-30

**А.В. Крюкова, З.В. Николаева  
A.V. Kryukova, Z.V. Nikolaeva**

## МОНИТОРИНГ ПОПУЛЯЦИИ КАШТАНОВОЙ МИНИРУЮЩЕЙ МОЛИ В ПСКОВСКОЙ ОБЛАСТИ

### MONITORING THE POPULATION OF THE HORSE CHESTNUT LEAF MINER IN THE PSKOV REGION

**Ключевые слова:** инвазивный вид, каштановый минёр, городское озеленение, распространение, вредоносность, динамика лёта.

Представлены результаты наблюдений за популяцией инвазивного для Псковской области вида – каштановой минирующей моли *Camerariaohridella Desch. & Dimic*. Каштановый минер наносит серьезный ущерб декоративному облику насаждений и вызывает их ослабление. Конский каштан оказался под угрозой мас-

сового повреждения и усыхания в результате вредоносной деятельности каштанового минера. Изучены основные показатели, характеризующие популяцию вредителя: встречаемость, заселённость листьев и плотность популяции. Представлена многолетняя динамика встречаемости и вредоносности каштановой минирующей моли в районе исследований. Установлено, что вредитель начал распространяться по объектам озеленения в городе Великие Луки с 2012 г. В течение последующих 5 лет встречаемость и численность ми-