

СЕЛЕКЦИЯ, СЕМЕНОВОДСТВО И БИОТЕХНОЛОГИЯ РАСТЕНИЙ / PLANT BREEDING, SEED PRODUCTION AND BIOTECHNOLOGY

DOI: <https://doi.org/10.60797/JAE.2024.51.8>

ОТВЕТНЫЕ РЕАКЦИИ ГЕНОТИПОВ *LINUM USITATISSIMUM* L. ПРИ ДЕЙСТВИИ РАЗЛИЧНОГО УРОВНЯ ХЛОРИДНОГО ЗАСОЛЕНИЯ

Научная статья

Королев К.П.<sup>1,\*</sup>

<sup>1</sup>ORCID : 0000-0001-9595-3493;

<sup>1</sup>Тюменский государственный университет, Тюмень, Российская Федерация

\* Корреспондирующий автор (korolevkonstantin799[at]gmail.com)

**Аннотация**

Отражены результаты тестирования 12 генотипов льна-долгунца (G1-G40) в условиях моделируемого провокационного фона (среда E1, 0,5 МПа, среда E2, 1 МПа, среда E3, 1,5 МПа). Путем проращивания семян в чашках Петри анализировали морфометрические параметры проростков, накопление биомассы с последующим расчетом индекса устойчивости (SI), индекса толерантности (TOL). Выявлены достоверные различия ( $p > 0,05$ ,  $p > 0,01$ ) между сортами по изученному набору признаков. На основании дисперсионного анализа выявлен максимальный вклад генотипа в трех средах (42,1-42,2%, сырая масса корня, сухая масса побега), среды (62,1-42,0%, длина побега, длина корня), взаимодействия генотипа со средой (62,2-43,3%, энергия прорастания, лабораторная всхожесть). К устойчивым генотипам на солевой стресс по индексам (SI) и (TOL) в среде E1 отнесено 8,8-52,2% сортов, в среде E2 – 7,2-34,5%, в среде E3 – 1,1-11,2%. Комплексной относительной устойчивостью характеризовались сорта Ярок, Hermes, Ottawa 770 B See, Печерский кряж, Дукач, Маяк, Грант, Currong, Томский-16, Томич, Восход, Ива, которые можно рекомендовать в качестве исходного материала для адаптивной селекции льна.

**Ключевые слова:** лен-долгунец, солевой стресс, факторы среды, индекс устойчивости (SI), индекс толерантности (TOL).

RESPONSES OF *LINUM USITATISSIMUM* L. GENOTYPES UNDER THE INFLUENCE OF VARIOUS LEVELS OF CHLORIDE SALINITY

Research article

Korolev K.P.<sup>1,\*</sup>

<sup>1</sup>ORCID : 0000-0001-9595-3493;

<sup>1</sup>Tyumen State University, Tyumen, Russian Federation

\* Corresponding author (korolevkonstantin799[at]gmail.com)

**Abstract**

The paper presents the results of testing flax genotypes (G1-G40) under simulated provocative background conditions (E1, 0,5 MPa, E2, 1 MPa, E3, 1,5 MPa). The morphometric parameters of seedlings, biomass accumulation with subsequent calculation of stability indices (SI), and tolerance index (TOL) were analyzed by germinating seeds in Petri dishes. Significant differences ( $p > 0,05$ ,  $p > 0,01$ ) were found between varieties for the studied set of traits. The analysis of variance (ANOVA) revealed the maximum contribution of the genotype in three environments (42,1-42,2%, root fresh weight, shoot dry weight), environment (62,1-42,0%, shoot length, root length), and genotype-environment interaction (62,2-43,3%, germination energy, laboratory germination). The genotypes resistant to salt stress according to the indices (SI) and (TOL) in the E1 environment included 8,8-52,2% of varieties, in the E2 environment – 7,2-34,5%, in the E3 environment – 1,1-11,2%. The following varieties were characterized by complex relative resistance: Yarak, Hermes, Ottawa 770 B See, Pechersky Kryazh, Dukat, Mayak, Grant, Currong, Tomsky-16, Tomich, Voskhod, Iva, which can be recommended as source material for adaptive selection of flax.

**Keywords:** flax, salt stress, environmental factors, stability index (SI), tolerance index (TOL).

**Введение**

Адаптивность сортов культурных растений имеет важное значение в селекции. В связи с глобальными преобразованиями климата все более актуальным становится получение и отбор генотипов не только с высокой продуктивностью, но и устойчивостью к различным факторам окружающей среды [1, С. 1-767], [2, С. 3-29], [3, С. 239-250]. Засоление почв крайне острая проблема, обусловленная нарушением технологий выращивания растений, усилением эрозионных процессов и ряда других обстоятельств. Предполагается [4, С. 123-131], что к 2050 году более 50% пашни будет засолено. В Тюменской области засоленные почвы (>1,0%), встречаются в южной части области, где сосредоточено основное производство сельскохозяйственной продукции, что ограничивает более широкое выращивание культурных растений, в т. ч. и современных генотипов льна.

На сортах льна, выявлены различия по особенностям прорастания при действии солевого стресса [5, С. 954-966], [6, С. 764-772], [7, С. 657-662]. Были отобраны устойчивые линии льна, с учетом их биомассы, особенностей калий-натриевого катионного соотношения [8, С. 716-739], [9, С. 517-521], [10, С. 296-304]. С использованием цифровой экспрессии генов установлено нарушение метаболизма, процессов фотосинтеза [11, С. 27-32] в растительном

организме. В исследованиях [12, С. 344-351] идентифицированы гены, связанные с повышением устойчивости к стрессу, за счет увеличения параметров корневой системы, снижения повреждаемости мембранного комплекса.

Важным является отбор устойчивых сортов на раннем этапе онтогенеза с использованием различных методических подходов. Для условий Тюменской области, имеющей территории с различным типом и уровнем засоления, крайне важно подобрать сорта, характеризующиеся устойчивостью к солевому стрессу, и дальнейшей способностью сформировать высокую биологическую продуктивность. Цель исследования – морфологический тестинг сортов льна-долгунца в условиях солевого провокационного фона на основе индексного подхода и выделение наиболее устойчивых из них для дальнейшей адаптивной селекции.

### Методы и принципы исследования

Оценку сортов льна-долгунца в условиях моделируемого солевого стресса осуществляли в течение 2018-2022 гг. в лаборатории биотехнологических и микробиологических исследований Института биологии Тюменского государственного университета. В качестве объектов исследования использовали 40 сортов льна-долгунца из коллекционного фонда ТюмГУ. Семена проращивали в термостате (25°C), в чашках Петри на фильтровальной бумаге, предварительно смоченной дистиллированной водой (контроль) и растворами NaCl (среда E1, 0,5 МПа; среда E1, 1,0 МПа, среда E3, 1,5 МПа), повторность опыта – четырехкратная. Генотипы оценивали по энергии прорастания (3-е сутки), лабораторной всхожести семян (7-е сутки), длине, сырой и сухой массе корня и побега. Обработку полученных экспериментальных данных осуществляли по методике [13, С. 1-295], рассчитывали индексы устойчивости (SI) [14, С. 943-946] и толерантности (TOL) [15, С. 59-66]. Достоверность различий устанавливали на основе критерия Стьюдента.

### Основные результаты

По результатам многофакторного дисперсионного анализа, установлены достоверные различия ( $p < 0,05^*$ ,  $p < 0,01^{**}$ ) между сортами льна-долгунца по изученным параметрам. Установлен вклад факторов в варибельность признаков (см. рис. 1).

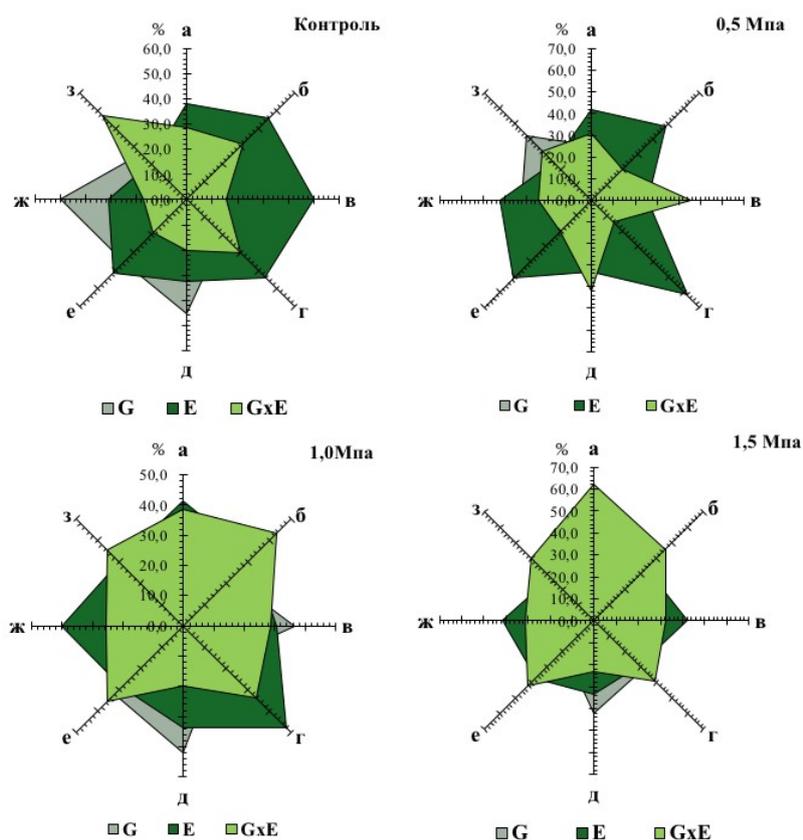


Рисунок 1 - Вклад факторов в формирование количественных признаков у сортов льна-долгунца в контрольных и опытных вариантах, чашки Петри

DOI: <https://doi.org/10.60797/JAE.2024.51.8.1>

Примечание: G – генотип, E – среда, GxE – взаимодействие генотипа и среды, а – энергия прорастания, б – лабораторная всхожесть, в – длина корня, г – длина побега, д – сырая масса корня, е – сырая масса побега, ж – сухая масса корня, з – сухая масса побега

Наибольшее влияние генотипа отмечено в проявлении длины корня (Е3, 42,1%) и сырой массе побега (Е2, 42,1%), средовые условия оказывали влияние на длину корня (Е3, 42,0%), длину побега (Е1, 62,1%).

Взаимодействие генотипа и среды было определяющим для лабораторной всхожести семян (Е3, 45,8%, Е2, 43,3%), длины корня (Е1, 45,5%).

Важным показателем сортов культурных растений является способность семян к прорастанию и появлению полноценных всходов. В контрольном варианте, энергия прорастания была на уровне 96,7%-92,4%, лабораторная всхожесть – 97,8±0,22%-95,3±0,31%. В среде Е1 и Е2 данные показатели выявлены максимальными (90,1±0,12%-82,5±0,06%), достоверно снижаясь в Е3 (56,2±0,11%-11,4±0,31%), по сравнению с контролем. Аналогичную тенденцию наблюдали и по другим показателям (исключение у сортов К-65, Веліч, С-108, у них отмечен стимуляционный эффект в среде Е3 по длине корня), что указывает на сильную зависимость уровня признака от средовых условий. Полученные экспериментальные данные обрабатывали с использованием двух индексов по восьми признакам, при трех средовых условиях (см. табл. 1).

Таблица 1 - Распределение генотипов льна-долгунца по признакам с учетом индексов SI, TOL в трех средовых условиях, среднее, 2018-2022 гг.

DOI: <https://doi.org/10.60797/JAE.2024.51.8.2>

Признаки	Индекс устойчивости, SI			Индекс толерантности, TOL		
	Е1	Е2	Е3	Е1	Е2	Е3
Энергия прорастания, %	35,5	11,8	8,6	52,2	26,6	11,2
Лабораторная всхожесть, %	25,5	24,1	5,3	36,6	21,1	9,6
Длина корня, мм	42,2	34,5	2,5	24,6	18,5	5,3
Длина побега, мм	18,1	10,3	1,5	11,5	9,9	2,2
Сырая масса корня, мг	32,2	18,9	4,1	18,4	10,2	3,7
Сырая масса побега, мг	14,3	10,2	1,9	10,9	7,3	2,4
Сухая масса корня, мг	21,2	16,6	2,3	11,2	9,9	2,6
Сухая масса побега, мг	11,2	9,9	1,1	8,8	7,2	2,0

Согласно расчету индекса SI, были выделены несколько групп (очень низкая, низкая, средняя, высокая, очень высокая) по отношению к солевому стресс-фактору. В первую, с очень низкой устойчивостью (SI=<20,0) вошло минимальное количество сортов (1,1-2,3%, Е1-Е3) по всем показателям, к низко устойчивым (SI=<21-40,0%) были отнесены сорта по энергии прорастания (5,4%, Е3), лабораторной всхожести (8,2%, Е3), длине корня (4,6%, Е3), его сырой массе (4,6%, Е3). Группа средней (SI=<41,0-60,0%) и высокой устойчивости (SI=<61,0-80,0%) были преобладающими. Например, по энергии прорастания отмечены сорта Дашковский, Томский-16, Грант, лабораторной всхожести – Ottawa 770 В See, Гдовский кряж, И-7,К-6, длине корня – Дукат, Томский-17, Зарецкий кряж; длине побега – Ottawa 770 В See, Томич, Могилевский, Родник; сырой массе корня – Маяк, Томский-18, Грант, сырой массе побега – Зоря-87, Глазур.

Из сортов, с комплексной устойчивостью по большинству признаков, в среде Е1, отобраны Томский-16, Маяк, Грант, Ива, в среде Е2 – Томич, Маяк, Дашковский в среде Е3 – Грант, Сиргонг, Псковский кряж. Изученные сорта различались по индексу толерантности (TOL). По энергии прорастания в условиях стресса отобраны сорта Томский-16, Сиргонг, Izolda (0,13-0,28; Е1, Е2), лабораторной всхожести – Дукат, Izolda, Маяк, Смолич Ива (0,26-0,41; Е1,Е2, Е3), длине корня –Томский-16, Маяк, Восход, Ива (0,09-0,24, Е1, Е2, Е3), длине побега – Маяк, Грант, Дашковский, Дукат (0,21-0,39, Е1,Е2), сырой массе корня – Томич, Грант, Велижский кряж, М-5, К-6 (0,17-0,51, Е1, Е2, Е3), побега – Маяк, Грант, Зоря-87, Псковский (0,09-0,35, Е1, Е2). К сортам, сочетающие толерантность и максимальный уровень признаков (n) отнесены Томский-16 (n=7), Маяк (n=7), Грант (n=6), Hermes (n=5), Дукат (n=5), Печерский кряж (n=4), Могилевский (n=2), Глазур (n=2), Зарецкий кряж (n=2), Светоч (n=2), К-6 (n=2), Веліч (n=2).

**Заключение**

Изучение сортов льна-долгунца в условиях моделируемого солевого стресса позволило выявить их ответные реакции. Установлен вклад генотипа, среды и их взаимодействия в общую вариабельность тестируемых признаков. Наибольший ингибирующий эффект оказывали средовые условия с высокой концентрацией NaCl (E3). Согласно индексу (SI) и толерантности (TOL) отобраны сорта со средней и высокой устойчивостью по энергии прорастания (11,9%), лабораторной всхожести (22,5%), параметрам проростков (38,4%) в двух средах (E1, E2). Сорта Томский-16, Яроч, Томич, Hermes, Ottawa 770 В See, Печерский кряж, Зарецкий кряж, Дукаг, Маяк, Грант, Cuirong, Восход, Ива, можно рекомендовать в качестве исходного материала для адаптивной селекции.

**Конфликт интересов**

Не указан.

**Рецензия**

Сообщество рецензентов Международного научно-исследовательского журнала  
DOI: <https://doi.org/10.60797/JAE.2024.51.8.3>

**Conflict of Interest**

None declared.

**Review**

International Research Journal Reviewers Community  
DOI: <https://doi.org/10.60797/JAE.2024.51.8.3>

**Список литературы / References**

1. Жученко А.А. Экологическая генетика культурных растений / А.А. Жученко. — Кишинёв : Штиинца, 1988. — 767 с.
2. Жученко А.А. Эколого-генетические основы адаптивной системы селекции растений / А.А. Жученко // Сельскохозяйственная биология. — 2000. — № 3. — С. 3–29.
3. Munns R. Comparative physiology of salt and water stress / R. Munns // *Plant Cell Environ.* — 2002. — № 25. — P. 239–250.
4. Shrivastava P. Soil salinity: A serious environmental issue and plant growth promoting bacteria as one of the tools for its alleviation / P. Shrivastava, R. Kumar // *Saudi Journal Biology Science.* — 2015. — № 22. — P. 123–131.
5. Dubey S. Effect of salinity stress on yield and quality parameters in flax (*Linum usitatissimum* L.) / S. Dubey, A. Bhargava, F. Fuentes [et al.] // *Notulae botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca.* — 2020. — № 48. — P. 954–966.
6. Guo R. Physiological responses of linseed seedlings to iso osmotic polyethylene glycol, salt, and alkali stresses / R. Guo, J. Zhou, G. Ren [et al.] // *Agronomy Journal.* — 2013. — № 105. — P. 764–772.
7. Kocak M.Z. The effect of different salinity levels on germination development of some flax (*Linum usitatissimum* L.) varieties / M.Z. Kocak, M. Göre, O. Kurt // *Journal Food Science Technology.* — 2022. — № 10. — P. 657–662.
8. El-Afry M.M. Exogenous application of ascorbic acid for alleviation the adverse effects of salinity stress in flax (*Linum usitatissimum* L.) / M.M. El-Afry, S.A. El-Okkiah, E.S.A. El-Kady [et al.] // *Middle East Journal.* — 2018. — № 7. — P. 716–739.
9. Nasri N. Influence of salinity on germination, seedling growth, ion content and acid phosphatase activities of *Linum usitatissimum* L. / N. Nasri, S. Maatallah, I. Saidi [et al.] // *Journal Animal Plant Science.* — 2017. — № 27. — P. 517–521.
10. Patil N.M. Salt-induced physiological and biochemical changes in two varieties of *Linum usitatissimum* L. / N.M. Patil, S.S. Datir, P.V. Shah // *International Journal Current Microbiology Science.* — 2015. — № 4. — P. 296–304.
11. Kaya M.D. Classification of some linseed (*Linum usitatissimum* L.) genotypes for salinity tolerance using germination, seedling growth, and ion content / M.D. Kaya, S. Day, Y. Cikili [et al.] // *Chilean Journal of Agricultural Research.* — 2012. — № 72. — P. 27–32.
12. Koca H. The effect of salt stress on lipid peroxidation, antioxidative enzymes, and proline content of sesame cultivars / H. Koca, M. Bor, F. Özdemir // *Environmental and Experimental Botany.* — 2007. — № 60. — P. 344–351.
13. Лакин Г.Ф. Биометрия / Г.Ф. Лакин. — Москва : Высшая школа, 1980. — 295 с.
14. Rosielle A.A. Theoretical aspects of selection for yield in stress and nonstress environment / A.A. Rosielle, J. Hamblin // *Crop Science.* — № 21. — P. 943–946.
15. Rao M. Stability analysis of sunflower hybrids through non-parametric model / M. Rao, G. Lakshmikantha Reddy, R.S. Kulkarni // *Helia.* — 2004. — № 27. — P. 59–66.

**Список литературы на английском языке / References in English**

1. Zhuchenko A.A. *Ekologicheskaya genetika kul'turnykh rasteniy* [Ecological genetics of cultivated plants] / A.A. Zhuchenko. — Chisinau : Shtiintsa, 1988. — 767 p. [in Russian]
2. Zhuchenko A. A. *Ekologo-geneticheskiye osnovy adaptivnoy sistemy selektsii rasteniy* [Ecological and genetic foundations of the adaptive system of plant selection] / A.A. Zhuchenko // *Agrobiologiya* [Agricultural Biology]. — 2000. — № 3. — P. 3–29. [in Russian]
3. Munns R. Comparative physiology of salt and water stress / R. Munns // *Plant Cell Environ.* — 2002. — № 25. — P. 239–250.
4. Shrivastava P. Soil salinity: A serious environmental issue and plant growth promoting bacteria as one of the tools for its alleviation / P. Shrivastava, R. Kumar // *Saudi Journal Biology Science.* — 2015. — № 22. — P. 123–131.
5. Dubey S. Effect of salinity stress on yield and quality parameters in flax (*Linum usitatissimum* L.) / S. Dubey, A. Bhargava, F. Fuentes [et al.] // *Notulae botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca.* — 2020. — № 48. — P. 954–966.

6. Guo R. Physiological responses of linseed seedlings to iso osmotic polyethylene glycol, salt, and alkali stresses / R. Guo, J. Zhou, G. Ren [et al.] // *Agronomy Journal*. — 2013. — № 105. — P. 764–772.
7. Kocak M.Z. The effect of different salinity levels on germination development of some flax (*Linum usitatissimum* L.) varieties / M.Z. Kocak, M. Göre, O. Kurt // *Journal Food Science Technology*. — 2022. — № 10. — P. 657–662.
8. El-Afry M.M. Exogenous application of ascorbic acid for alleviation the adverse effects of salinity stress in flax (*Linum usitatissimum* L.) / M.M. El-Afry, S.A. El-Okkiah, E.S.A. El-Kady [et al.] // *Middle East Journal*. — 2018. — № 7. — P. 716–739.
9. Nasri N. Influence of salinity on germination, seedling growth, ion content and acid phosphatase activities of *Linum usitatissimum* L. / N. Nasri, S. Maatallah, I. Saidi [et al.] // *Journal Animal Plant Science*. — 2017. — № 27. — P. 517–521.
10. Patil N.M. Salt-induced physiological and biochemical changes in two varieties of *Linum usitatissimum* L. / N.M. Patil, S.S. Datir, P.V. Shah // *International Journal Current Microbiology Science*. — 2015. — № 4. — P. 296–304.
11. Kaya M.D. Classification of some linseed (*Linum usitatissimum* L.) genotypes for salinity tolerance using germination, seedling growth, and ion content / M.D. Kaya, S. Day, Y. Cikili [et al.] // *Chilean Journal of Agricultural Research*. — 2012. — № 72. — P. 27–32.
12. Koca H. The effect of salt stress on lipid peroxidation, antioxidative enzymes, and proline content of sesame cultivars / H. Koca, M. Bor, F. Özdemir // *Environmental and Experimental Botany*. — 2007. — № 60. — P. 344–351.
13. Lakin G.F. *Biometriya* [Biometrics] / G.F. Lakin. — Moscow : Higher School, 1980. — 295 p. [in Russian]
14. Rosielle A.A. Theoretical aspects of selection for yield in stress and nonstress environment / A.A. Rosielle, J. Hamblin // *Crop Science*. — № 21. — P. 943–946.
15. Rao M. Stability analysis of sunflower hybrids through non-parametric model / M. Rao, G. Lakshmikantha Reddy, R.S. Kulkarni // *Helia*. — 2004. — № 27. — P. 59–66.