

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

DOI: <https://doi.org/10.60797/JAE.2025.61.4>

ФИТОПАТОЛОГИЧЕСКАЯ ДИАГНОСТИКА ГЕНОТИПОВ ЛЬНА-ДОЛГУНЦА (LINUM USITATISSIMUM L.) В УСЛОВИЯХ СЕВЕРНОГО ЗАУРАЛЬЯ

Научная статья

Королев К.П.^{1,*}

¹ORCID : 0000-0001-9595-3493;

¹Тюменский государственный университет, Тюмень, Российская Федерация

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

Аннотация

Представлены результаты диагностики генотипов льна-долгунца ($n=30$) в полевых условиях по реакции их на поражение фитопатогенами. Цель работы – оценка гибридных линий льна-долгунца F_3 - F_5 по устойчивости к фузариозному увяданию (возб. *Fusarium lini* Boll.) и септориозу (возб. *Septoria linicola* (Speg) Grass.). Выявлено, что толерантность к болезням в данном экологическом пункте была обусловлена генотипом (G , 11,1-22,1%; $p \geq 0,01^{**}$), средовыми условиями (E , 24,3-46,1%, $p \geq 0,05^*$), взаимодействием генотипа и среды (GxE , 30,0-62,9%; $p \geq 0,01^{**}$). По степени развития болезни ($R, \%$) и ее распространённости ($P, \%$) изучаемые гибридные линии различались, из которых, наибольшую ценность для дальнейшего селекционного использования представляют генотипы с комплексной устойчивостью – $G1$, $G2$, $G4$, $G8$, $G12$, $G14$.

Ключевые слова: лен-долгунец, фитопатогены, факторы среды, вредоносность, устойчивость.

PHYTOPATHOLOGICAL DIAGNOSIS OF LINEN FLAX (LINUM USITATISSIMUM L.) GENOTYPES IN THE CONDITIONS OF THE NORTHERN TRANS-URALS REGION

Research article

Korolev K.P.^{1,*}

¹ORCID : 0000-0001-9595-3493;

¹Tyumen State University, Tyumen, Russian Federation

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

Abstract

The results of field diagnostics of linen flax genotypes ($n=30$) based on their response to phytopathogen infection are presented. The aim of the study was to evaluate F_3 - F_5 linen flax hybrid lines for resistance to fusarial wilt (caused by *Fusarium lini* Boll.) and septoria (caused by *Septoria linicola* (Speg) Grass.). It was found that disease tolerance at this ecological site was determined by genotype (G , 11.1–22.1%; $p > 0.01^{**}$), environmental conditions (E , 24.3–46.1%, $p > 0.05^*$), and the interaction between genotype and environment (GxE , 30.0–62.9%; $p > 0.01^{**}$). The hybrid lines studied differed in terms of the degree of disease development ($R, \%$) and its prevalence ($P, \%$), of which genotypes with complex resistance — $G1$, $G2$, $G4$, $G8$, $G12$, $G14$ — are of the greatest value for further selective use.

Keywords: linen flax, phytopathogens, environmental factors, harmfulness, resistance.

Введение

Устойчивость растений к различным факторам окружающей среды является важным аспектом для проявления максимальной степени реализации биологического статуса культурных растений. Однако, на его эффективный уровень, непосредственное влияние могут оказывать современные тенденции глобального потепления климата, приводящие к изменению вирулентности штаммов микроорганизмов, их особенностей жизнедеятельности, структуры во взаимодействии «хозяин-патоген», появлении новых, более вредоносных из них для агробиоценозов [1], [2].

В активность развития болезней могут вносить вклад различные факторы. Одним из составляющих элементов высокой вирулентности фитопатогенов является температурный режим, который оказывает влияние не только на биологические особенности растений, но и непосредственно связанную с ними приспособительную деятельность штаммов микроорганизмов [3], [4].

Влажностный режим это один из наиболее важных компонентов проявления вредоносности фитопатогенных микроорганизмов. Известно [5], [7] о ведущей роли уровня влажности для образования и дальнейшего роста и развития возбудителей болезней, при этом условия водообеспеченности могут влиять на процессы транспирации, устойчивой проводимости, дыхания, фотосинтетической деятельности, скорости и степени проникновения в систему «растение-хозяин».

Возрастающая нагрузка на культурные растения, изменчивость популяций фитопатогенов и их неоднозначность, расширение путей и скорости инфицирования растительного организма в различных агроэкологических зонах культивирования растений, приводят к необходимости адаптации и усилении защитных функций растений, их способности быстро и эффективно противостоять данной нагрузке [8], [9].

Одним из ценных культурных растений является лён, продукты биологической деятельности которого, позволяют обеспечивать перерабатывающую промышленность отечественным, экологически ценным продуктом (волокном и маслом) [10], [11]. Потенциал сортов льна достаточно высок в различных агроэкологических зонах, при этом, его

потенциал, имеет тенденцию к минимализации, в том числе и за счет возрастающей фитопатогенной нагрузки. Из возбудителей болезней, в посевах льна, встречаются фузариоз, септориоз, бактериоз и ряд других, оказывающие негативный эффект на формирование высокого уровня продуктивности, качества и их устойчивости.

В связи с расширением посевных площадей и неоднородным сортовым составом агробиоценозов льна, в Тюменской области, крайне важным становится подбор сортов с высоким уровнем толерантности к «местным» штаммам фитопатогенов, поэтому комплексная оценка новых, созданных гибридных популяций льна к болезням является актуальной.

Методы и принципы исследования

Полевые исследования проводили на биологической станции Тюменского государственного университета (подтаежная агроэкологическая зона, Нижнетавдинский район). Объекты изучения – межсортовые гибридные линии F_3 - F_5 льна-долгунца (коды: G₁-G₃₀), полученные в системе диаллельных скрещиваний. Почва опытного участка – дерново-подзолистая, супесчаная, со средним содержанием гумуса 3,6%, подвижных форм фосфора (P_2O_5) – 433,3 мг/кг; обменного калия (K_2O) – 234,0 мг. Ширина делянки – 1 м, длина – 0,2-0,4 м, расстояние между ярусами – 1 м. В течение вегетации проводили визуальную диагностику поражения каждой гибридной линии льна (выборка 50-70 шт. растений) фузариозным увяданием и септориозом. На основании полученных данных рассчитывали степень развития болезни ($R, \%$) и ее распространенность ($P, \%$) согласно Методических рекомендаций [12], [13]. Погодные условия в годы проведения исследований различались по температурному и влажностному режимам ($\Gamma\text{TK}=1,2-1,6$), что обуславливало различный уровень ответных реакций генотипов к поражению возбудителями болезней, позволило провести полноценный скрининг и выделить источники устойчивости для дальнейшего селекционного отбора. Статистическую обработку экспериментальных данных осуществляли методами дисперсионного и кластерного анализа в программе STATISTICA 10.0.

Основные результаты

Важным компонентом в программе научных исследований является выявление достоверности полученных экспериментальных данных. Для проверки значимости различий между генотипами (G), средами (E), генотип-средовым взаимодействием (GxE) использовали многофакторный дисперсионный анализ с расчетом вклада каждого компонента в структуре общей изменчивости (рис. 1). Установлено, что степень развития и распространенность фитопатогенов льна-долгунца сформирована за счет высокого долевого участия факторов среды (E, 30,1-46,1%) и взаимодействия его со средой (GxE, 50,8-62,9%), что в дальнейшем обуславливало наличие гибридных линий с различной степенью устойчивости, как к фузариозному увяданию, так и септориозу.

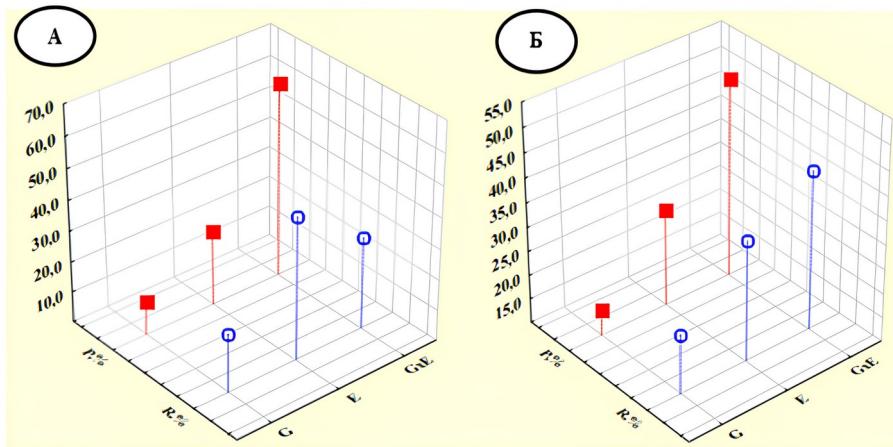


Рисунок 1 - Вклад факториальных компонентов в структуре общей изменчивости фузариозного увядания (A) и септориоза (Б)

DOI: <https://doi.org/10.60797/JAE.2025.61.4.1>

Примечание: фактор G – генотип, E – среда, взаимодействие генотипа и среды (GxE), R – степень развития, P – распространенность фитопатогенов

Фузариозное увядание наиболее часто встречающееся заболевание в льноводческих агробиоценозах. Возбудителями фузариоза могут быть грибы из рода *Fusarium* Link. Чаще всего растения льна поражаются *F. oxysporum* Schl. f. *lini* Snyd. et Hans (*F. lini* Bolley), степень его проявления и уровень вредоносности зависит от наличия оптимальных условий для роста и развития фитопатогенного микроорганизма [14], [15].

Диагностику поражения растений фузариозным увяданием осуществляли в течение всей вегетации. Внешние симптомы в фазу «ёлочки» заключались в поникании верхней части растений, с дальнейшим ее пожелтением и усыханием, при этом, за счет проникновения возбудителя в корневую систему, происходило ее разрушение и гибель целого растения. В период цветения – ранней желтой спелости также отмечали поникание верхушки и изменение

окраски стебля и листьев, растения были более низкорослыми, наблюдали отсутствие формирования полноценных плодов (коробочек), либо наличие в них щуплых семян, что приводило к снижению продуктивности растений.

Септориоз, пасмо – вызывается возбудителями *Septoria linicola* (Speg.) Gar. причиняет вред посевам льна во всех регионах России. Негативная деятельность приводит к повреждению стеблей, нарушении его анатомической структуры, что в конечном итоге обуславливает снижение показателей качества получаемого волокна (параметры прочности, гибкости метрического номера) [16], [17]. В период всходов льна-долгунца симптомы септориоза включали появление на семядольных листьях пятен коричневой окраски, в центре которых позже наблюдали темные точки (пикники), затем пятна покрывали полностью всю площадь листовой пластинки, они засыхали и опадали. На более поздних этапах онтогенеза септориоз распространялся на стебель, формируя подобные пятна, что делало стебель пестрым.

На основании полученных данных с использованием кластерного анализа генотипы льна-долгунца были распределены на несколько групп по устойчивости (см. табл.). Представленные гибридные линии имели достоверные различия по выявленным заболеваниям. Среднее популяционное значение степени развития фузариозного увядания составляло от $4,58 \pm 1,31\%$ до $14,56 \pm 1,72\%$, септориоза – $9,33 \pm 0,42\%$ – $16,34 \pm 1,35\%$, распространенности – $23,5 \pm 1,45\%$ – $44,6 \pm 2,17\%$ соответственно. Из генотипов с низким уровнем распространенности болезней следует отметить G1, G2, G5, G12, G26, G29.

Кластеризация генотипов позволила объединить их в три кластера по фузариозу и в два – по септориозу.

Таблица 1 - Распределение генотипов льна-долгунца по степени развития болезни

DOI: <https://doi.org/10.60797/JAE.2025.61.4.2>

Кластер	R, %		Генотипы
	min	max	
Фузариозное увядание			
I (n=7)	$1,32 \pm 0,65^*$	$9,19 \pm 0,82^*$	G1, G2, G8, G10, G11, G12, G24
II (n=13)	$11,40 \pm 1,35^*$	$13,56 \pm 0,18^*$	G3, G4, G5, G7, G9, G13, G14, G19, G20, G23, G25, G29, G30
III (n=10)	$20,24 \pm 0,18$	$22,28 \pm 0,18^*$	G6, G15, G16, G17, G18, G21, G22, G26, G27, G28
Септориоз			
I (n=11)	$3,55 \pm 0,69^{**}$	$10,55 \pm 1,82^*$	G2, G4, G5, G7, G12, G13, G14, G15, G16, G24, G30
II (n=19)	$13,52 \pm 1,35^*$	$31,11 \pm 1,88$	G1, G3, G6, G8, G9, G10, G11, G17, G18, G19, G20, G21, G22, G23, G25, G26, G27, G28, G29

Примечание: достоверно при сравнении со средним популяционным ($p > 0,05^*$; $p > 0,01^{**}$); ф. бутонизации – цветения; среднее за 2020–2022 гг.

В первый кластер вошли более устойчивые из них, имеющие практическую ценность при селекционном отборе, из которых следует отметить G1, G2, G8, G14 (R, $1,45 \pm 1,35^{**}$ – $6,34 \pm 1,85\%$). Для второго кластера, в который было объединено максимальное количество генотипов (43,3% от всего набора) характерно также наличие ценных гибридных линий – G3, G4. Генотипы третьего кластера характеризовались более низкой устойчивостью к фузариозу, однако и там удалось выявить перспективные – G16, G17. По отношению к септориозу более ценными были линии льна из первого кластера – G2, G4, G16, G24, из второго – G1, G3, G5, G8. В целом, комплексной устойчивостью к двум фитопатогенам можно отнести следующие гибридные линии: G1, G2, G4, G8, G12, G14, составляющие 20,0% от всех изученных.

Заключение

На основании выполненных исследований выявлены различия между генотипами льна-долгунца по восприимчивости к фузариозному увяданию и септориозу, обусловленные как степенью развития болезни ($R=4,58 \pm 1,31\%$ – $14,56 \pm 1,72\%$), так и ее распространенностью ($P=23,5 \pm 1,45\%$ – $44,6 \pm 2,17\%$). Отобраны наиболее устойчивые гибридные линии к фузариозу (G1, G2, G3, G4, G8, G12, G14, G17) и септориозу (G1, G2, G3, G4, G5, G8, G12, G14, G16, G24). Комплексной устойчивостью к двум фитопатогенам характеризовались G1, G2, G4, G8, G12, G14, которые представляют наибольшую селекционную ценность для дальнейшей селекционной работы в условиях Северного Зауралья.

Конфликт интересов

Не указан.

Рецензия

Все статьи проходят рецензирование. Но рецензент или автор статьи предпочли не публиковать рецензию к этой статье в открытом доступе. Рецензия может быть предоставлена компетентным органам по запросу.

Conflict of Interest

None declared.

Review

All articles are peer-reviewed. But the reviewer or the author of the article chose not to publish a review of this article in the public domain. The review can be provided to the competent authorities upon request.

Список литературы / References

1. Ogbonna M.J. Pathogen penetration into the host plant tissues challenges and obstacles—An overview / M.J. Ogbonna, O.E. Umunna // Scholars Journal of Agriculture and Veterinary Sciences. — 2017. — Vol. 3. — P. 37–41.
2. Velasquez A.C. Plant–pathogen warfare under changing climate conditions / A.C. Velasquez, C.D.M. Castroverde, S. He // Current Biology. — 2018. — Vol. 28. — P. R619–R634.
3. Hunjan M.S. Climate change: impact on plant pathogens, diseases, and their management / M.S. Hunjan, J.S. Lore // Crop Protection Under Changing Climate. — Cham : Springer, 2020. — P. 85–100.
4. Sayed A.E. Climatic changes and their role in emergence and reemergence of diseases / A.E. Sayed, M. Kamel // Environmental Science and Pollution Research. — 2020. — Vol. 27. — P. 22336–22352.
5. Ji T. Modeling the effects of the environment and the host plant on the ripe rot of grapes, caused by the *Colletotrichum* species / T. Ji, I. Salotti, C. Dong [et al.] // Plants. — 2021. — Vol. 10. — Art. 2288.
6. Maurya M.K. Impact of climate change on diseases of crops and their management—a review / M.K. Maurya, V.K. Yadav, S.P. Singh [et al.] // Journal of Agricultural Science and Technology. — 2022. — Vol. 12B. — P. 1–15.
7. Sivalingam S. Plant responses to concurrent abiotic and biotic stress: unravelling physiological and morphological mechanisms / S. Sivalingam, P.N. Murali-Baskaran, R.K. Senthil-Kumar [et al.] // Plant Physiology Reports. — 2023. — Vol. 29. — P. 6–17.
8. Grassi C. Aerobic rice: crop performance and water use efficiency / C. Grassi, B.A.M. Bouman, A.R. Castaneda [et al.] // Journal of Agriculture and Environment International Development. — 2009. — Vol. 103. — P. 259–270.
9. Olori-Great N.G. Defence mechanisms in plants against invading plant pathogenic microbes in Nigeria / N.G. Olori-Great, E.U. Opara // Journal of Agriculture and Sustainability. — 2017. — Vol. 10. — P. 80–96.
10. Stafecka I. The evaluation of disease resistance of flax genotypes in relation to environmental factors / I. Stafecka, D. Grauda, S. Stramkale // Zemdirbyste-Agriculture. — 2019. — Vol. 106, № 4. — P. 367–376.
11. Лошакова Н.И. Состояние и перспективы исследований по иммунитету льна-долгунца к болезням / Н.И. Лошакова, Л.Н. Павлова // Научные достижения — льноводству : материалы Междунар. науч.-практ. конф. (Торжок, 12–13 марта 2010 г.). — Торжок : ВНИИЛ, 2010. — С. 109–116.
12. Методические указания по фитопатологическим работам со льном-долгунцом / Л.В. Караджова, Е.И. Дударев, Т.В. Крылова [и др.]. — Торжок : ВНИИЛ, 1969. — 32 с.
13. Методические указания по изучению коллекции льна (*Linum usitatissimum* L.) / В.З. Богдан [и др.]; под общ. ред. В.З. Богдана. — Устье : РУП «Ин-т льна», 2011. — 12 с.
14. Курчакова Л.Н. Происхождение образцов национальной коллекции русского льна и устойчивость их к основным грибным заболеваниям / Л.Н. Курчакова // Защита растений : материалы II Всерос. съезда (Москва, 12–15 марта 2005 г.). — Москва : ВИЗР, 2005. — С. 490–493.
15. Samsonova A. A genomic blueprint of flax fungal parasite *Fusarium oxysporum* f. sp. *Lini* / A. Samsonova, A. Kanapin, M. Bankin [et al.] // International Journal of Molecular Sciences. — 2021. — Vol. 22, № 5. — Art. 2665.
16. Novakovskiy R.O. Data on genetic polymorphism of flax (*Linum usitatissimum* L.) pathogenic fungi of *Fusarium*, *Colletotrichum*, *Aureobasidium*, *Septoria*, and *Melampsora* genera / R.O. Novakovskiy, E.M. Dvorianinova, T.A. Rozhmina [et al.] // Data in Brief. — 2020. — Vol. 31. — Art. 105710.
17. Кудрявцева Л.П. Система фитопатологических оценок-отборов на устойчивость льна к антракнозу и пасмо / Л.П. Кудрявцева // Агро XXI. — 2009. — № 7–9. — С. 19–21.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Ogbonna M.J. Pathogen penetration into the host plant tissues challenges and obstacles—An overview / M.J. Ogbonna, O.E. Umunna // Scholars Journal of Agriculture and Veterinary Sciences. — 2017. — Vol. 3. — P. 37–41.
2. Velasquez A.C. Plant–pathogen warfare under changing climate conditions / A.C. Velasquez, C.D.M. Castroverde, S. He // Current Biology. — 2018. — Vol. 28. — P. R619–R634.
3. Hunjan M.S. Climate change: impact on plant pathogens, diseases, and their management / M.S. Hunjan, J.S. Lore // Crop Protection Under Changing Climate. — Cham : Springer, 2020. — P. 85–100.
4. Sayed A.E. Climatic changes and their role in emergence and reemergence of diseases / A.E. Sayed, M. Kamel // Environmental Science and Pollution Research. — 2020. — Vol. 27. — P. 22336–22352.
5. Ji T. Modeling the effects of the environment and the host plant on the ripe rot of grapes, caused by the *Colletotrichum* species / T. Ji, I. Salotti, C. Dong [et al.] // Plants. — 2021. — Vol. 10. — Art. 2288.
6. Maurya M.K. Impact of climate change on diseases of crops and their management—a review / M.K. Maurya, V.K. Yadav, S.P. Singh [et al.] // Journal of Agricultural Science and Technology. — 2022. — Vol. 12B. — P. 1–15.

7. Sivalingam S. Plant responses to concurrent abiotic and biotic stress: unravelling physiological and morphological mechanisms / S. Sivalingam, P.N. Murali-Baskaran, R.K. Senthil-Kumar [et al.] // Plant Physiology Reports. — 2023. — Vol. 29. — P. 6–17.
8. Grassi C. Aerobic rice: crop performance and water use efficiency / C. Grassi, B.A.M. Bouman, A.R. Castaneda [et al.] // Journal of Agriculture and Environment International Development. — 2009. — Vol. 103. — P. 259–270.
9. Olori-Great N.G. Defence mechanisms in plants against invading plant pathogenic microbes in Nigeria / N.G. Olori-Great, E.U. Opara // Journal of Agriculture and Sustainability. — 2017. — Vol. 10. — P. 80–96.
10. Stafecka I. The evaluation of disease resistance of flax genotypes in relation to environmental factors / I. Stafecka, D. Grauda, S. Stramkale // Zemdirbyste-Agriculture. — 2019. — Vol. 106, № 4. — P. 367–376.
11. Loshakova N.I. Sostoyanie i perspektivi issledovanii po immunitetu lna-dolguntsa k boleznyam [Status and prospects of research on flax immunity to diseases] / N.I. Loshakova, L.N. Pavlova // Nauchnie dostizheniya — Inovodstvu [Scientific achievements in flax growing] : Proc. of the Int. Scientific-Practical. Conf. (Torzhok, March 12-13, 2010). — Torzhok : VNIIL, 2010. — P. 109–116. [in Russian]
12. Metodicheskie ukazanija po fitopatologicheskim rabotam so l'nom-dolguncem [Guidelines for phytopathological work with fiber flax] / L.V. Karadzhova, E.I. Dudarev, T. V. Krylova [et al.]. — Torzhok : VNIIL, 1969. — 32 p. [in Russian]
13. Metodicheskie ukazanija po izucheniju kollekci l'na (*Linum usitatissimum* L.) [Guidelines for the study of the flax collection (*Linum usitatissimum* L.)] / V. Z. Bogdan [et al.]; under the general editorship of V. Z. Bogdan. — Ustye : Republican Unitary Enterprise "In-t Flax", 2011. — 12 p. [in Russian]
14. Kurchakova L.N. Proishozhdenie obrazcov nacional'noj kollekci russkogo l'na i ustojchivost' ih k osnovnym gribnym zabolеваниjam [Origin of samples of the national collection of Russian flax and their resistance to major fungal diseases] / L.N. Kurchakova // Zashchita rastenii [Plant protection] : materials of the II All-Russian Congress, (Moscow, March 12-15, 2005). — Moscow, 2005. — P. 490–493. [in Russian]
15. Samsonova A. A genomic blueprint of flax fungal parasite *Fusarium oxysporum* f. sp. *Lini* / A. Samsonova, A. Kanapin, M. Bankin [et al.] // International Journal of Molecular Sciences. — 2021. — Vol. 22, № 5. — Art. 2665.
16. Novakovskiy R.O. Data on genetic polymorphism of flax (*Linum usitatissimum* L.) pathogenic fungi of *Fusarium*, *Colletotrichum*, *Aureobasidium*, *Septoria*, and *Melampsora* genera / R.O. Novakovskiy, E.M. Dvorianinova, T.A. Rozhmina [et al.] // Data in Brief. — 2020. — Vol. 31. — Art. 105710.
17. Kudryavtseva L.P. Sistema fitopatologicheskikh ocenok-otborov na ustojchivost' l'na k antraknozu i pasmo [System of phytopathological assessments-selections for flax resistance to anthracnose and pasmo] / L.P. Kudryavtseva // Agro XXI [Agro XXI]. — 2009. — № 7–9. — P. 19–21. [in Russian]