

Полина Александровна Аболенцева¹, Сергей Витальевич Хижняк²,
Анатолий Николаевич Халипский³, Софья Владимировна Овсянкина⁴✉,
Максим Викторович Кирилов⁵

^{1,2,3,4,5}Красноярский государственный аграрный университет, Красноярск, Россия

¹polina18.ti@gmail.com

²skhizhnyak@yandex.ru

³halipskiy@mail.ru

⁴sofi-kras@mail.ru

⁵maksimkirilov306@gmail.com

ТАКСОНОМИЧЕСКИЙ СОСТАВ И РАСПРОСТРАНЕННОСТЬ ИНФЕКЦИИ СЕМЯН ЯРОВОГО РАПСА В КРАСНОЯРСКОМ КРАЕ

Цель исследования – изучить таксономический состав и распространенность семенной инфекции ярового рапса в Красноярском крае. Объектом исследования были семена шести сортов (Лакриц, Сибирский, Надежный 92, Сириус, Кампино, Герос) урожая 2022 г., полученные в производственных посевах в Сухобузимском, Ужурском и Балахтинском районах Красноярского края. Средняя по образцам распространенность инфекции семян составила 29,3 %. Минимальная распространенность семенной инфекции отмечена у сорта Надежный 92 (10,6 %), максимальная – у сортов Сириус и Герос (соответственно 46,3 и 44,4 %). В структуре патокомплекса на первом месте находятся представители р. *Alternaria* (48,4 % от общего числа выделенных изолятов), на втором месте – представители р. *Fusarium* (33,4 % от общего числа выделенных изолятов), на третьем – возбудители плесневения семян (18,2 % от общего числа выделенных изолятов), представленные р.р. *Penicillium*, *Cladosporium*, *Aspergillus* и *Rhizopus*. Бактериальная инфекция была выделена в единичном случае. Распространенность семенной инфекции и структура патокомплекса статистически значимо зависели как от сортовой принадлежности, так и от географического происхождения семян. Наименьшая распространенность инфекции (16,2 %) наблюдалась у семян, произведенных в Сухобузимском районе, наибольшая – у семян, произведенных в Балахтинском районе (38,0 %). Для всех сортов, кроме сорта Сибирский, отмечена статистически значимая отрицательная связь между распространенностью альтернариозно-фузариозной инфекции и энергией прорастания ($r = -0,908$, $p < 0,05$) и всхожестью ($r = -0,921$, $p < 0,05$) семян.

Ключевые слова: яровой рапс, инфекция семян, *Alternaria*, *Fusarium*, *Penicillium*, *Cladosporium*, *Aspergillus*, *Rhizopus*

Для цитирования: Таксономический состав и распространенность инфекции семян ярового рапса в Красноярском крае / П.А. Аболенцева [и др.] // Вестник КрасГАУ. 2023. № 12. С. 111–120. DOI: 10.36718/1819-4036-2023-12-111-120.

Благодарности: работа выполнена при финансовой поддержке Краевого государственного автономного учреждения «Красноярский краевой фонд поддержки научной и научно-технической деятельности» в рамках выполнения научных исследований и разработок по проекту № 2023030309439 «Разработка биопрепарата для защиты рапса от грибных болезней и стимулирования роста рапса в почвенно-климатических условиях Красноярского края».

Polina Aleksandrovna Abolentseva¹, Sergey Vitalievich Khizhnyak²,
Anatoly Nikolaevich Khalipsky³, Sofya Vladimirovna Ovsyankina⁴✉, Maxim Viktorovich Kirilov⁵

^{1,2,3,4,5}Krasnoyarsk State Agrarian University, Krasnoyarsk, Russia

¹polina18.ti@gmail.com

²skhizhnyak@yandex.ru

³halipskiy@mail.ru

⁴sofi-kras@mail.ru

⁵maksimkirilov306@gmail.com

TAXONOMICAL COMPOSITION AND INCIDENCE OF SPRING RAPE SEED INFECTION IN THE KRASNOYARSK REGION

The purpose of research is to study the taxonomic composition and prevalence of seed infection of spring rapeseed in the Krasnoyarsk Region. The object of the study was seeds of six varieties (Lakrits, Sibirsky, Nadezhny 92, Sirius, Campino, Heros) of the 2022 harvest, obtained in industrial crops in the Sukhobuzimo, Uzhur and Balakhta Districts of the Krasnoyarsk Region. The average prevalence of seed infection across samples was 29.3 %. The minimum prevalence of seed infection was observed in the Nadezhny 92 variety (10.6 %), the maximum in the Sirius and Heros varieties (46.3 and 44.4 %, respectively). In the structure of the pathocomplex, representatives of the p. *Alternaria* are in the first place (48.4 % of the total number of isolated isolates), representatives of the p. *Fusarium* (33.4 % of the total number of isolated isolates) are in the second place, in the third place there are pathogens of seed mold (18.2 % of the total number of isolated isolates), represented by p.p. *Penicillium*, *Cladosporium*, *Aspergillus* and *Rhizopus*. Bacterial infection was isolated in a single case. The prevalence of seed infection and the structure of the pathocomplex depended statistically significantly on both the variety and the geographic origin of the seeds. The lowest prevalence of infection (16.2 %) was observed in seeds produced in the Sukhobuzimo District, the highest in seeds produced in the Balakhta District (38.0 %). For all varieties, except for the Sibirsky variety, a statistically significant negative relationship was noted between the prevalence of *Alternaria-Fusarium* infection and germination energy ($r = -0.908$, $p < 0.05$) and germination ($r = -0.921$, $p < 0.05$) of seeds.

Keywords: spring rape, seed infection, *Alternaria*, *Fusarium*, *Penicillium*, *Cladosporium*, *Aspergillus*, *Rhizopus*

For citation: Taxonomical composition and incidence of spring rape seed infection in the Krasnoyarsk Region / P.A. Abolentseva [et al.] // Bulliten KrasSAU. 2023;(12): 111–120. (In Russ.). DOI: 10.36718/1819-4036-2023-12-111-120.

Acknowledgments: the work has been financially supported by the Krasnoyarsk Regional State Autonomous Institution "Krasnoyarsk Regional Fund for the Support of Scientific and Scientific and Technical Activities" as part of research and development under project № 2023030309439 "Development of a biological product to protect rapeseed from fungal diseases and stimulate the growth of rapeseed in soil and climatic conditions of Krasnoyarsk Region".

Введение. Рапс (*Brassica napus* L.) является одной из важнейших масличных культур, хозяйственное значение которой в последние десятилетия неуклонно возрастает в связи с использованием рапсового масла в производстве биодизеля. По данным Росстата, посевные площади под яровым и озимым рапсом в Российской Федерации за период с 2017 по 2022 г. выросли в 2,33 раза – с 1005 до 2343 тыс. га, из них на яровой рапс приходится 75 %, на озимый – 25 %. По состоянию на 2022 г., по посевным площадям под рапсом Красноярский край зани-

мает первое место среди субъектов Российской Федерации, на долю края приходится 10 % всей площади под данной культурой в нашей стране. В связи с существующими агроклиматическими условиями в Красноярском крае возделывается только яровой рапс, при этом более 83 % используемых элитных семян приходится на сорта отечественной селекции [1].

Одним из важных факторов, снижающих урожайность рапса, является поражение культуры болезнями, в первую очередь – грибной этиологии. Наиболее вредоносными возбудите-

лями грибных болезней рапса в мире являются *Alternaria* spp., *Leptosphaeria maculans*, *Peronospora parasitica*, *Plasmodiophora brassicae*, *Sclerotinia sclerotiorum*, *Erysiphe cruciferarum*, *Pythium* spp., *Albugo candida*, *Neopseudocercospora capsellae* [2].

Отечественные источники добавляют к этому списку также *Rhizoctonia* spp., *Fusarium* spp., *Pseudocercospora capsellae*, *Botrytis cinerea*, *Pyrenopeziza brassicae*, *Olpidium brassicae*. При этом возбудители альтернариоза (*Alternaria* spp.) рассматриваются в качестве наиболее распространенного и вредоносного заболевания [3].

Одним из наиболее опасных путей передачи возбудителей болезней растений являются семена. У ярового рапса через семена может про-

исходить передача возбудителей фузариоза (*Fusarium* spp.), альтернариоза (*Alternaria* spp.), плесневения семян (сапротрофные грибы р.р. *Penicillium*, *Aspergillus*, *Cladosporium*, *Mucor*, *Rhizopus*) и ряда других заболеваний [4].

Цель исследования – изучение распространенности и таксономического состава возбудителей инфекции семян рапса разного географического происхождения и различной сортовой принадлежности, произведенных на территории Красноярского края.

Объекты и методы. Объектом исследования были семена ярового рапса шести сортов урожая 2022 г., полученные в производственных посевах в трех районах Красноярского края (табл. 1).

Таблица 1

Перечень исследованных образцов семян

Сорт	Производитель семян	Район
Лакриц	ООО Учебно-опытное хозяйство «Миндерлинское»	Сухобузимский
Сибирский	ФГУП «Михайловское»	Ужурский
Надежный 92	ФГУП «Михайловское»	Ужурский
Сириус	ООО «КХ Родник»	Балахтинский
Кампино	ООО «КХ Родник»	Балахтинский
Герос	ООО «КХ Родник»	Балахтинский

Зараженность семян определяли биологическим методом в соответствии с ГОСТ 12044-93 «Семена сельскохозяйственных культур. Методы определения зараженности болезнями».

Идентификацию возбудителей проводили по культурально-морфологическим свойствам. Микроскопические исследования выполняли с использованием микроскопа «Микмед 6» вар. 3, оснащенного цифровой камерой DCN-130E. Энергию прорастания и всхожесть семян определяли в соответствии с ГОСТ 12038-84 «Семена сельскохозяйственных культур. Методы определения всхожести».

Статистическую значимость различий между сортами по распространенности и таксономическому составу семенной инфекции, а также по энергии прорастания и по всхожести проверяли методом χ^2 . В качестве программного обеспечения использовали пакет StatSoft STATISTICA 8.0.

Результаты и их обсуждение. Средняя по образцам распространенность инфекции семян составила 29,3 %. При этом уровень зараженности семян у исследуемых сортов статистически значимо ($p < 0,001$) различался. Минимальная распространенность семенной инфекции отмечена у сорта Надежный 92 (10,6 %), максимальная – у сортов Сириус и Герос (соответственно 46,3 и 44,4 %) (рис. 1).

Среди возбудителей семенной инфекции преобладали микромицеты р. *Alternaria* (48,4 % от общего числа случаев инфекции семян) и р. *Fusarium* (33,4 % от общего числа случаев) (рис. 2–5). Прочие грибы, на долю которых пришлось 18,2 % случаев заражения семян рапса, были представлены сапротрофными возбудителями плесневения семян р.р. *Penicillium*, *Cladosporium*, *Aspergillus* и *Rhizopus* (рис. 6). Бактериальная инфекция была выделена в единичном случае.

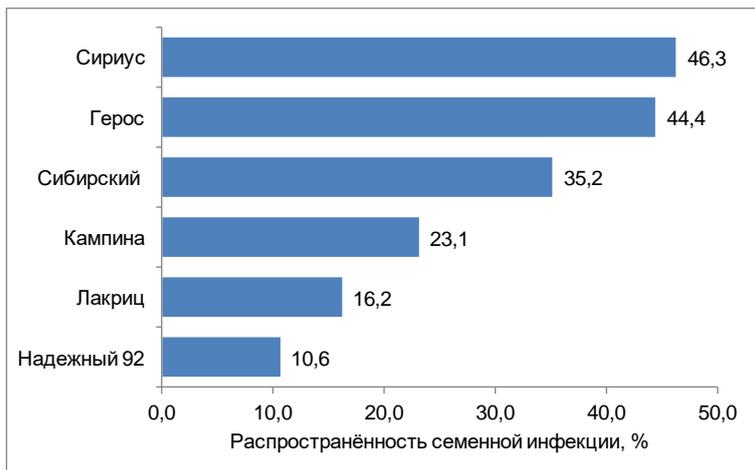


Рис. 1. Распространённость семенной инфекции у разных сортов рапса



Рис. 2. *Alternaria brassicae*, выделенная из семян рапса; длина масштабной полоски 10 мкм



Рис. 3. *Alternaria* spp., выделенная из семян рапса; длина масштабной полоски 10 мкм



Рис. 4. *Fusarium* sp., выделенный из семян рапса (слева – макроконидия, справа – микроконидии); длина масштабной полоски 10 мкм

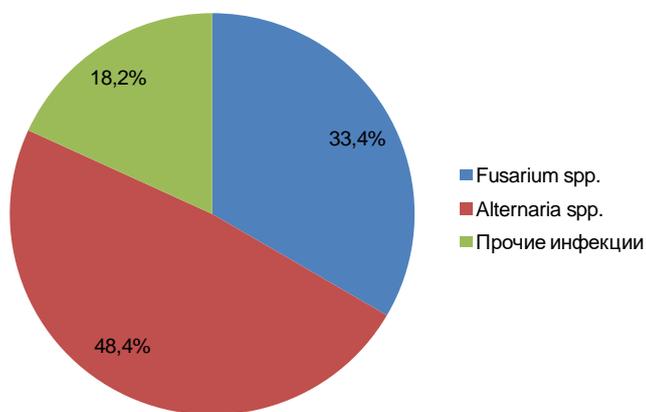


Рис. 5. Таксономический состав возбудителей семенной инфекции в целом по изученным сортам рапса, % от общего числа выделенных изолятов

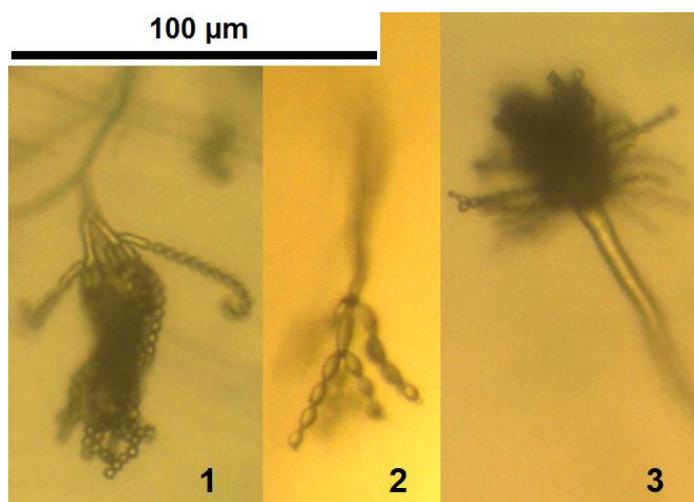


Рис. 6. Представители р.р. *Penicillium* (1), *Cladosporium* (2) и *Aspergillus* (3), выделенные из семян рапса; длина масштабной полоски 100 мкм

Состав семенной инфекции у разных сортов статистически значимо ($p < 0,001$) различался. Так, если для большинства сортов было характерно преобладание видов р. *Alternaria* (от 47,8 до 76,0 % от общего числа выделенных изолятов), в то время как на долю представителей р. *Fusarium* пришлось от 8,7 до 34,3 % изолятов, у сорта Герос на долю р. *Alternaria* пришлось

лишь 2,1 %, а на долю р. *Fusarium* – 66,7 % изолятов (рис. 7).

Анализ зараженности семян с учетом их происхождения показал, что минимальная распространенность семенной инфекции наблюдается в Сухобузимском районе, максимальная – в Балахтинском районе (рис. 8).

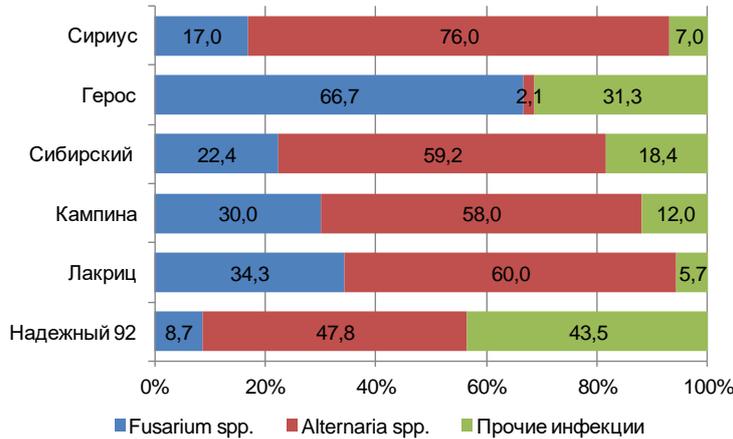


Рис. 7. Таксономический состав возбудителей семенной инфекции у разных сортов рапса, % от общего числа выделенных изолятов

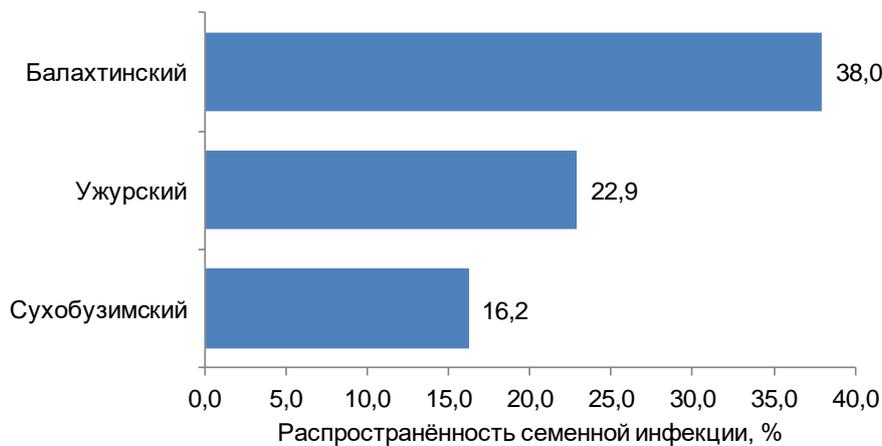


Рис. 8. Распространённость семенной инфекции в разных районах

Статистическая значимость различий между семенами рапса из разных районов по распространенности семенной инфекции по тесту χ^2 составила $p < 0,001$. В то же время как внутри хозяйства ФГУП «Михайловское» (Ужурский район), так и внутри хозяйства ООО «КХ Родник» (Балахтинский район) наблюдались статистически значимые ($p < 0,001$) межсортовые различия по распространенности семенной инфекции. Во ФГУП «Михайловское» размах межсортового варьирования по этому показателю составил

24,6 процентных пункта, в ООО «КХ Родник» – 23,2 процентных пункта (см. рис. 1).

Кроме распространенности семенной инфекции, статистически значимые ($p < 0,01$) различия между семенами рапса из разных районов отмечены и по составу патоконплекса. Так, максимальная встречаемость представителей р. *Fusarium* наблюдалась в инфицированных семенах из Балахтинского района, минимальная – в семенах из Ужурского района (рис. 9).

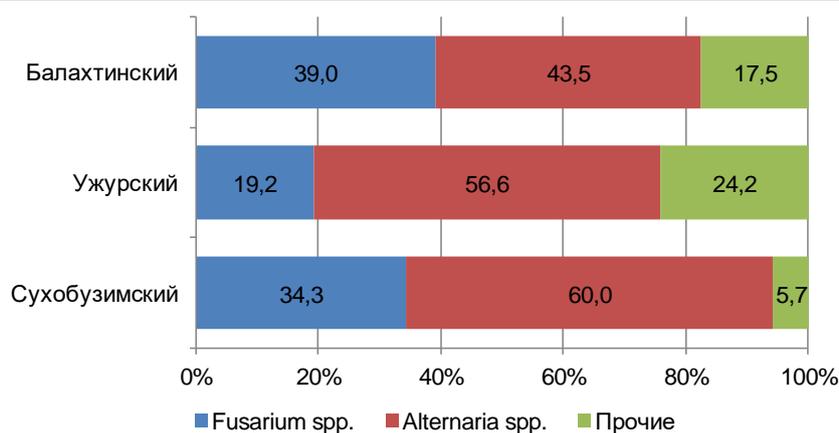


Рис. 9. Таксономический состав возбудителей семенной инфекции в семенах рапса из разных районов, % от общего числа выделенных изолятов

Энергия прорастания семян исследуемых сортов варьировала от 28,1 (сорт Сириус) до 85,8 % (сорт Надежный 92). Всхожесть варьировала от 29,6 (сорт Сириус) до 94,4 % (сорт Надежный 92) (табл. 2). В целом по образцам наблюдалась отрицательная корреляция между распространенностью семенной инфекции – с одной стороны, и всхожестью и энергией про-

растания семян – с другой стороны (табл. 3). Однако эта корреляция не является статистически значимой. Отсутствие статистически значимой корреляции было обусловлено сохранением высокой энергии прорастания и всхожести семян у сорта Сибирский, несмотря на высокую распространенность семенной инфекции.

Таблица 2

Энергия прорастания, всхожесть и распространенность инфекции у семян исследуемых сортов, %

Сорт	Энергия прорастания	Всхожесть	Распространенность		
			<i>Fusarium</i> spp.	<i>Alternaria</i> spp.	Прочие инфекции
Сириус	28,1	29,6	7,9	35,2	3,2
Герос	51,7	54,6	29,6	0,9	13,9
Сибирский	72,5	89,8	7,9	20,8	6,5
Кампина	53,5	57,9	6,9	13,4	2,8
Лакриц	52,6	58,3	5,6	9,7	0,9
Надежный 92	85,8	94,4	0,9	5,1	4,6

Таблица 3

Коэффициенты корреляции между энергией прорастания, всхожестью и распространенностью инфекции у семян исследуемых сортов, %

Распространенность	Энергия прорастания	Всхожесть
<i>Fusarium</i> spp.	-0,308	-0,327
<i>Alternaria</i> spp.	-0,549	-0,449
Прочие инфекции	0,089	0,073
Семенная инфекция, всего	-0,636	-0,571

Для остальных пяти сортов наблюдается высокая и статистически значимая отрицательная корреляция между распространенностью фузариозно-альтернариозной семенной инфекции и

энергией прорастания семян ($r = -0,908$, $p < 0,05$), а также между распространенностью фузариозно-альтернариозной семенной инфекции и всхожестью семян ($r = -0,921$, $p < 0,05$) (рис. 10).

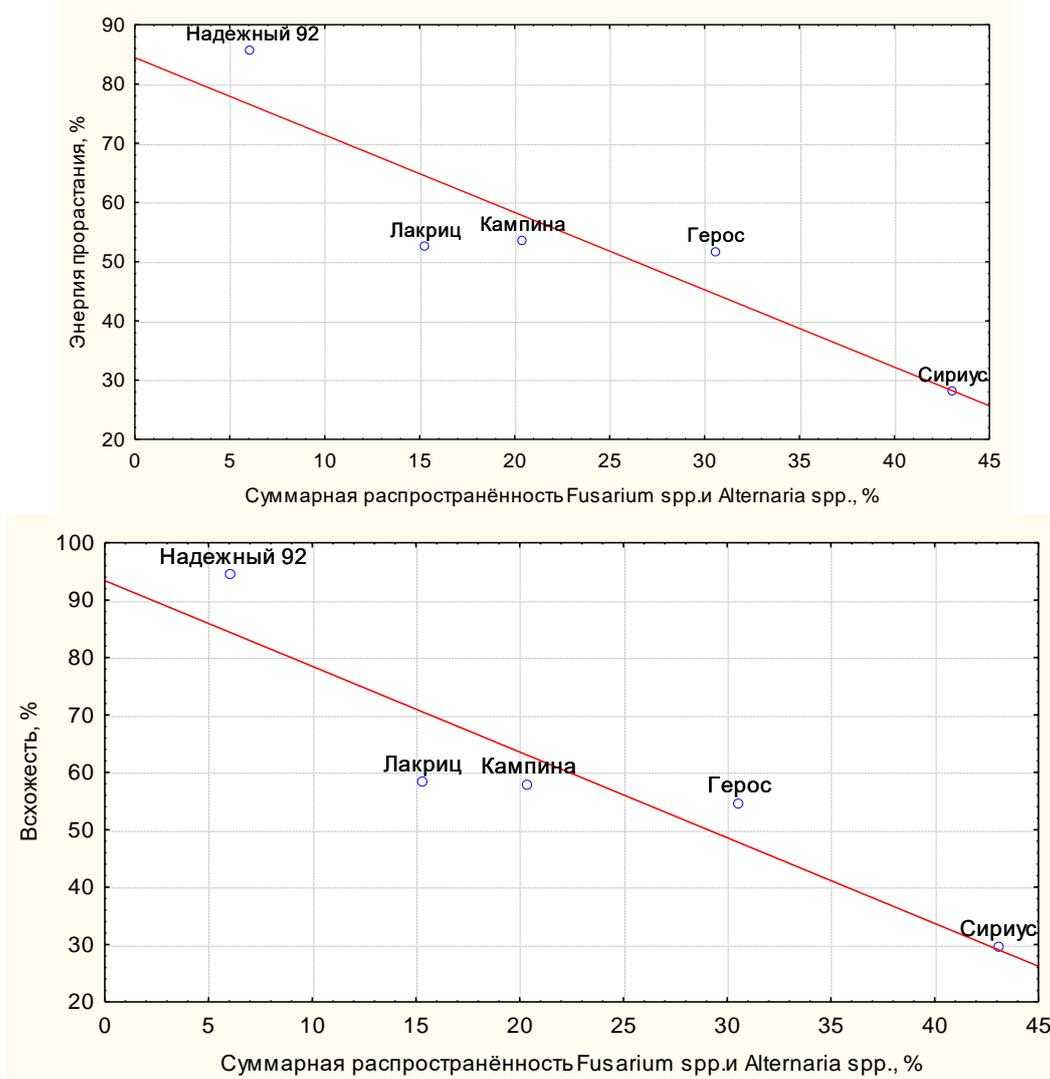


Рис. 10. Связь между распространённостью фузариозно-альтернариозной семенной инфекции и энергией прорастания и всхожестью семян у исследуемых сортов (без сорта Сибирский)

Сравнение результатов с литературными данными позволяет заключить, что зараженность семян исследуемых сортов, а также структура патогенного комплекса (представленного главным образом видами р.р. *Alternaria* и *Fusarium* с преобладанием р. *Alternaria*) в целом соответствует данным по другим регионам. В качестве основного отличия следует отметить более высокую долю грибов р. *Fusarium* в патогенном комплексе семян в сравнении с результатами, полученными в других регионах. Так, если в нашем исследовании распространённость представителей р. *Fusarium* достигала 29,6 %, то в работе [5] (Краснодарский край) распространённость данных патогенов на семенах была лишь 3 против 22 % у представителей р. *Alternaria*. Доля представителей р. *Fusarium* в патогенном комплексе семян рапса в нашем исследо-

вании варьировала от 8,7 до 66,7 % против 2,1–76,0 % у представителей р. *Alternaria*, в то время как в работе [4] (Курганская обл.) доля грибов р. *Fusarium* в патогенном комплексе составила лишь 19,3 против 61,5 % для р. *Alternaria*. Упомянутые различия могут быть связаны как с региональными особенностями популяций возбудителей, так и со спецификой местных почвенно-климатических условий и биологическими особенностями изученных сортов.

Также обращает на себя внимание тот факт, что сорт Сибирский, несмотря на достаточно высокую распространённость альтернариозно-фузариозной семенной инфекции, сохранил высокую энергию прорастания и всхожесть семян. Одним из возможных объяснений данного факта может быть повышенная выносливость данного сорта к упомянутым возбудителям.

Заключение. Изученные образцы семян рапса, произведенных на территории Красноярского края, в среднем характеризуются высокой распространенностью семенной инфекции (29,3 %). Патокомплекс семян представлен фитопатогенными грибами р.р. *Alternaria* и *Fusarium*, а также сапротрофными грибами – возбудителями плесневения семян р.р. *Penicillium*, *Cladosporium*, *Aspergillus* и *Rhizopus* при практически полном отсутствии возбудителей бактериальных инфекций. В структуре патокомплекса на первом месте находятся представители р. *Alternaria*, на долю которых пришлось 48,4 % от общего числа выделенных изолятов, на втором месте – представители р. *Fusarium* (33,4 % от общего числа выделенных изолятов), на третьем месте – возбудители плесневения семян (18,2 % от общего числа выделенных изолятов). Распространенность семенной инфекции и структура патокомплекса статистически значимо зависят как от сортовой принадлежности, так и от географического происхождения семян. Наименее поражаемым семенной инфекцией оказался сорт отечественной селекции Надужный 92 (оригинатор – ФГБУН Сибирский федеральный научный центр агробиотехнологий РАН, Новосибирская обл.), наиболее поражаемыми – сорта Сириус (оригинатор – ФГБНУ Всероссийский научно-исследовательский институт рапса, Липецкая обл.) и Герос (Германия). Минимальная распространенность инфекции отмечена у семян, произведенных в Сухобузимском районе, максимальная – у семян, произведенных в Балахтинском районе. Для всех сортов, кроме сорта Сибирский, отмечена статистически значимая отрицательная связь между распространенностью альтернариозно-фузариозной инфекции и энергией прорастания и всхожестью семян.

На основе результатов исследования рекомендуется обязательное предпосевное протравливание семян рапса против возбудителей грибной инфекции. В качестве наименее поражаемого семенной инфекцией сорта следует рекомендовать Надежный 92.

Список источников

1. Яровой рапс – перспективная культура для развития агропромышленного комплекса Красноярского края / Е.Н. Олейникова [и др.] // Вестник КрасГАУ. 2019. № 1. С. 74–80.
2. Mourou M., Raimondo M.L., Lops F., Carlucci A. Brassicaceae Fungal Diseases: Molecular Detection and Host-Plant Interaction. *Plants*. 2023. 12(5):1033. DOI: 10.3390/plants12051033.
3. Лешкевич Н.В. Эффективность фунгицидов в защите озимого рапса от альтернариоза // Защита растений. 2017. № 41. С. 167–173.
4. Григорьев Е.В., Постовалов А.А. Реакция ярового рапса на обработку посевов жидкими минеральными удобрениями // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. 2018. № 1 (41). С. 60–63. DOI: 10.18286/1816-4501-2018-1-60-63.
5. Влияние свето-импульсной обработки семян рапса ярового на лабораторную всхожесть и семенную инфекцию / Д.А. Курилова [и др.] // Масличные культуры. 2022. Вып. 4 (192). С. 79–83.

References

1. Yarovoj raps – perspektivnaya kul'tura dlya razvitiya agropromyshlennogo kompleksa Krasnoyarskogo kraya / E.N. Olejnikova [i dr.] // Vestnik KrasGAU. 2019. № 1. S. 74–80.
2. Mourou M., Raimondo M.L., Lops F., Carlucci A. Brassicaceae Fungal Diseases: Molecular Detection and Host-Plant Interaction. *Plants*. 2023. 12(5):1033. DOI: 10.3390/plants12051033.
3. Leshkevich N.V. 'Effektivnost' fungicidov v zaschite ozimogo rapsa ot al'ternarioza // Zashchita rastenij. 2017. № 41. S. 167–173.
4. Grigor'ev E.V., Postovalov A.A. Reakciya yarovogo rapsa na obrabotku posevov zhidkimi mineral'nymi udobreniyami // Vestnik Ul'yanovskoj gosudarstvennoj sel'skohozyajstvennoj akademii. 2018. № 1 (41). S. 60–63. DOI: 10.18286/1816-4501-2018-1-60-63.
5. Vliyanie sveto-impul'snoj obrabotki semyan rapsa yarovogo na laboratornuyu vshozhest' i semennuyu infekciyu / D.A. Kurilova [i dr.] // Maslichnye kul'tury. 2022. Vyp. 4 (192). S. 79–83.

Статья принята к публикации 07.08.2023 / The article accepted for publication 07.08.2023.

Информация об авторах:

Полина Александровна Аболентцева¹, научный сотрудник лаборатории селекции и оригинального семеноводства

Сергей Витальевич Хижняк², профессор кафедры экологии и природопользования, доктор биологических наук, доцент

Анатолий Николаевич Халипский³, заведующий кафедрой растениеводства, селекции и семеноводства, доктор сельскохозяйственных наук, профессор

Софья Владимировна Овсянкина⁴, заведующая межкафедральной научно-инновационной лабораторией сельского хозяйства и экологической биотехнологии, кандидат биологических наук

Максим Викторович Кирилов⁵, студент института агроэкологических технологий

Information about the authors:

Polina Aleksandrovna Abolentseva¹, Researcher, Laboratory of Breeding and Original Seed Production

Sergey Vitalievich Khizhnyak², Professor at the Department of Ecology and Environmental Management, IAET, Doctor of Biological Sciences, Docent

Anatoly Nikolaevich Khalipsky³, Head of the Department of Plant Growing, Selection and Seed Production, Doctor of Agricultural Sciences, Professor

Sofya Vladimirovna Ovsyankina⁴, Head of the Interdepartmental Research and Innovation Laboratory of Agriculture and Environmental Biotechnology, Candidate of Biological Sciences

Maxim Viktorovich Kirilov⁵, student at the Institute of Agroecological Technologies

