

Александр Дмитриевич Симагин^{1✉}, Ольга Евгеньевна Ханбабаева², Михаил Игоревич Попченко³, Людмила Платоновна Кудрявцева⁴

^{1,2} Российский государственный аграрный университет – МСХА им. К.А. Тимирязева, Москва, Россия

³ Институт молекулярной биологии им. В.А. Энгельгардта Российской академии наук, Москва, Россия

⁴ Федеральный научный центр лубяных культур – обособленное подразделение Института льна, Торжок, Тверская область, Россия

¹ alexander.d.simagin@yandex.ru

² hanbabaeva@yandex.ru

³ popchenko_m@inbox.ru

⁴ l.kudryavtseva.trk@fncl.ru

ОЦЕНКА УСТОЙЧИВОСТИ СОРТООБРАЗЦОВ ЛЬНА-ДОЛГУНЦА К ФУЗАРИОЗНОМУ УВЯДАНИЮ

Цель работы – выявление образцов льна-долгунца, устойчивых к фузариозному увяданию, одному из самых опасных заболеваний культурного льна. Для выполнения поставленной цели была проведена оценка устойчивости к фузариозному увяданию сортов и образцов льна-долгунца (*Linum usitatissimum* L.) из «Коллекции русского льна» Научно-исследовательского института льна (ОП НИИЛ, г. Торжок). Опыт проводили на протяжении трех лет – с 2019 по 2021 г. в условиях «вегетационного домика» на провакцинно-инфекционном фоне. Изучаемый патоген отличается сильной вирулентностью и длительным временем сохранения в почве фузариума (*Fusarium oxysporum* Schlecht. f. *lini* (Bolley) Snyd. etHans). Инфекционный фон создан путем внесения в почву 30–70 г льносоломы, пораженной патогеном в предыдущие годы, и 200–300 г чистой культуры патогена. Для каждого учетного растения площадь питания составляла 2,5×2,5 см. По краям опытных делянок были размещены защитные рядки (по 3 растения в ряду). Опыт проводили в трехкратной повторности. Поражаемость патогеном сортов и линий оценивали в течение трех лет, в результатах приведены средние данные в процентах. Большинство из исследуемых образцов показали среднюю устойчивость к данному заболеванию (на уровне 50–80 %). Однако наибольшую степень устойчивости к фузариозному увяданию (87,5–100 %) показали коллекционный образец НИИЛ К-3529* (89,2 %) и сорт Сурский (86,9 %) селекции ВНИИ льна. Наименьшую устойчивость к заболеванию показали сорта Б-100 (40,4 %) и Пересвет (37,1 %), их показатели устойчивости оказались ниже восприимчивого сорта стандарта AP-5 (45,6 %), что позволяет отнести их к сильновосприимчивым.

Ключевые слова: лен-долгунец, *Linum usitatissimum*, фузариоз, фузариозное увядание, устойчивость, болезни льна, грибные заболевания льна.

Для цитирования: Оценка устойчивости сортообразцов льна-долгунца к фузариозному увяданию / А.Д. Симагин [и др.] // Вестник КрасГАУ. 2023. № 8. С. 39–46. DOI: 10.36718/1819-4036-2023-8-39-46.

Благодарность: Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования РФ в рамках ГЗ ФГБНУ ФНЦ ЛК № FGSS 0477 - 2019 – 0016, а также при поддержке Минобрнауки России в рамках соглашения № 075-15-2022-317 от 20 апреля 2022 г. о предоставлении гранта в форме субсидий из федерального бюджета на осуществление государственной поддержки создания и развития научного центра мирового уровня «Агротехнологии будущего».

Alexander Dmitrievich Simagin^{1✉}, Olga Evgenievna Khanbabaeva², Mikhail Igorevich Popchenko³, Lyudmila Platonovna Kudryavtseva⁴

^{1,2} Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Moscow, Russia

³ Institute of Molecular Biology named after V.A. Engelhardt of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

⁴ Federal Scientific Center for Bast Crops – a separate subdivision Flax Institute, Torzhok, Tver Region, Russia

¹ alexander.d.simagin@yandex.ru

² hanbabaeva@yandex.ru

³ popchenko_m@inbox.ru

⁴ l.kudryavtseva.trk@fncl.ru

ASSESSMENT OF THE FLAX VARIETIES RESISTANCE TO FUSARIUM WILT

The purpose of the work is to identify fiber flax samples resistant to *Fusarium* wilt, one of the most dangerous diseases of cultivated flax. To achieve this goal, an assessment was made of the resistance to *Fusarium* wilt of varieties and samples of fiber flax (*Linum usitatissimum* L.) from the Russian Flax Collection of the Flax Research Institute (OP NIIL, Torzhok). The experiment was carried out for three years – from 2019 to 2021 in the conditions of a "vegetation house" against a provaccination-infectious background. The studied pathogen is characterized by strong virulence and long time of preservation in the soil of *Fusarium* (*Fusarium oxysporum* Schlecht. f. *lini* (Bolley) Snyd. et Hans). The infectious background was created by introducing into the soil 30–70 g of flax straw affected by the pathogen in previous years, and 200–300 g of pure pathogen culture. For each accounting plant, the feeding area was 2.5 × 2.5 cm. Protective rows were placed along the edges of the experimental plots (3 plants per row). The experiment was carried out in triplicate. The susceptibility of cultivars and lines to the pathogen was assessed for three years; the results show average data in percentages. Most of the studied samples showed an average resistance to this disease (at the level of 50–80%). However, the highest degree of resistance to *Fusarium* wilt (87.5–100%) was shown by the collection specimen NIIL K-3529* (89.2%) and the variety Sursky (86.9%), selected by the All-Russian Research Institute of Flax. Varieties B-100 (40.4%) and Peresvet (37.1%) showed the least resistance to the disease, their resistance indicators were lower than the susceptible variety of the AR-5 standard (45.6%), which allows them to be classified as highly susceptible.

Keywords: fiber flax, *Linum usitatissimum*, *fusarium*, *fusarium* wilt, resistance, flax diseases, fungal diseases of flax.

For citation: Assessment of the flax varieties resistance to fusarium wilt / A.D. Simagin [et al.] // Bulletin KrasSAU. 2023;(8):39–46. (In Russ.). DOI: 10.36718/1819-4036-2023-8-39-46.

Acknowledgments: Work with the support of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation within the framework of the State Budget of the Federal State Budgetary Scientific Institution FNTs LK No. FGSS 0477 - 2019 - 0016, as well as with the support of the Ministry of Education and Science of Russia under the agreement No. 075-15-2022-317 of April 20, 2022 on the provision of a grant the form of subsidies from the federal budget for the representation of the state administration by the creation and development of the scientific center of the international level "Agrotechnologies of the Future".

Введение. Грибные заболевания льна-долгунца (*Linum usitatissimum* L. var. *elongata*) являются одним из главных факторов снижения рентабельности возделывания данной культуры [1]. Среди болезней льна, вызываемых грибными патогенами, самыми вредоносными являются: фузариозное увядание (*Fusarium oxysporum* Schlecht. emend. Snyder et Hansen), антракноз (*Colletotrichum lini* Pethybr.),

пасмо (*Septoria linicola* (Speg.) Garass.) и ржавчина (*Melampsora lini* (Ehrenb.) Lév.) [2].

Фузариозное увядание – это комплексное грибное заболевание, которое вызвано несовершенным грибом *Fusarium oxysporum* Schlecht. f. *lini* (Bolley) Snyd. et Hans из отдела аскомицетов, а также другими патогенами, но фузариум среди них преобладает. Основными органами, через которые происходит проникновение фузариума в растения льна, являются

корневая система и корневая шейка. Источниками инфекции могут быть растительные остатки пораженных растений. Патоген хорошо сохраняется в семенах и почве. Монокультура льна, отсутствие севооборота способствуют накоплению фузариума в почве.

Симптомы фузариоза как заболевания обнаруживаются на протяжении всей вегетации льна-долгунца, но наибольший вред патоген причиняет молодым растениям в фазе «елочки», вызывая сильное поражение и полную гибель растений. Внешнее проявление болезни характеризуется прежде всего пониканием верхушки растения, в дальнейшем растение желтеет и увядает (рис. 1), одновременно происходит проникновение патогена в корневую систему, вызывающее ее разрушение [3, 4].

Растения, поражение которых происходит в фазе «цветения», сильно отстают в росте и раз-

витии, у них наблюдается побурение листьев и стеблей, они чаще всего не переходят к плодоношению. Такие растения редко завязывают семена, а если завязывание семян происходит, то они формируются щуплыми. Эти же симптомы проявляются на растениях при заражении на более поздней стадии – «зеленой спелости». Единственным отличием является лишь большая вероятность завязываемости семян, как правило, низкого качества, при этом они будут являться источником первичной инфекции в следующем сезоне.

Фузариоз льна имеет очаговый характер проявления. При сильном поражении посевов урожай волокна может снижаться на 90–97 %; урожай семян на 43–65 %. При сильном поражении посевов возможна полная потеря урожая семян [4–7].



Рис. 1. Растение с симптомами фузариозного увядания



Рис. 2. Провокационно-инфекционный питомник на фузариозное увядание, 2021 г.

Цель исследований – выявление устойчивых образцов льна-долгунца к фузариозному увяданию.

Объекты, методы, результаты и их обсуждение. В опыте изучено 20 сортов и образцов «Коллекции русского льна» НИИЛ (Научно-исследовательский институт льна, г. Торжок). Провокационно-инфекционный питомник на проверку устойчивости посевов льна-долгунца к фузариозному увяданию организован в условиях «вегетационного домика» вследствие агрессивности возбудителя и особенностей его сохранения в почве. Инфекционный фон в ящичном посеве создан путем совместного внесения в почву 30–70 г льносоломы и 200–300 г чистой культуры фузариума. Площадь питания каждого

растения составляла 2,5×2,5 см. По краям опытных делянок в три ряда были посеяны защитные рядки. Опыт проводили в трехкратной повторности (см. рис. 2) [2].

Чистую культуру патогена выделяли путем посева растительных остатков с признаками грибного налета на агаризованную питательную среду. Небольшое количество мицелия набирали посевной иглой, затем приподнимали крышку чашки Петри и наносили на поверхность агаризованной среды кусочки мицелия. После того как при раскладке проявился мицелий, была проведена идентификация мицелия при помощи микроскопа. Путем многократных пересевов получена «чистая культура» фузариума, затем

проведена визуальная идентификация патогенов [6].

На питательной среде при средней температуре 25 °С *F. oxysporum* образует пушистые войлочные колонии средней плотности. Цвет колоний варьирует от белого до розового (рис.



Рис. 3. Колония *Fusarium oxysporum*

3). Средний размер колоний 2–10 мм. Конидиеносцы простые или разветвленные. Каждая конидия содержит от 2 до 6 перегородок. Макроконидии преобладают над микроконидиями (в основном одноклеточные) (рис. 4).

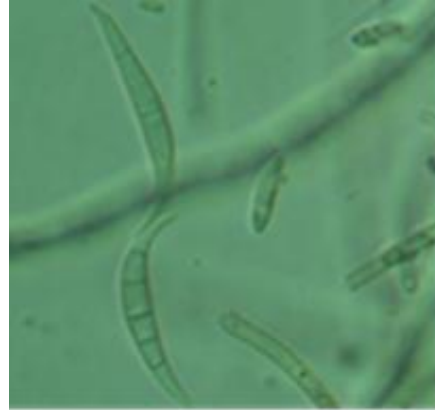


Рис. 4. Конидии *Fusarium oxysporum*

Во время вегетационного периода 2019 г. складывались благоприятные температурные условия для развития возбудителя фузариозного увядания (рис. 5). В момент посева, а это первая декада мая, температура воздуха достигала 18 °С, что является благоприятными условиями для развития фузариума. Высокая влажность воздуха также положительно сказалась на развитии болезни (рис. 6). Максимальное количество осадков выпало в последней декаде июля и первой декаде августа, что могло повлиять на появление признаков фузариозного побурения (рис. 7).

При проведении посевов в 2020 г. температура воздуха была ниже (13,2 °С), чем в

2019 г. (18 °С), при оптимальной для заражения 15–17 °С, что могло сыграть роль в заражении растений. Но на протяжении всего остального вегетационного периода был благоприятный температурный фон для развития фузариума, так как осадков выпало больше, чем в другие годы проведения опыта (рис. 5–7).

В 2021 г. при проведении опытных посевов отмечена температура выше 16 °С, которая положительно повлияла на заражение растений льна фузариумом. В июле наблюдали самые высокие температуры за три года исследований, при этом общий температурный фон был благоприятным для развития фузариума (рис. 5).

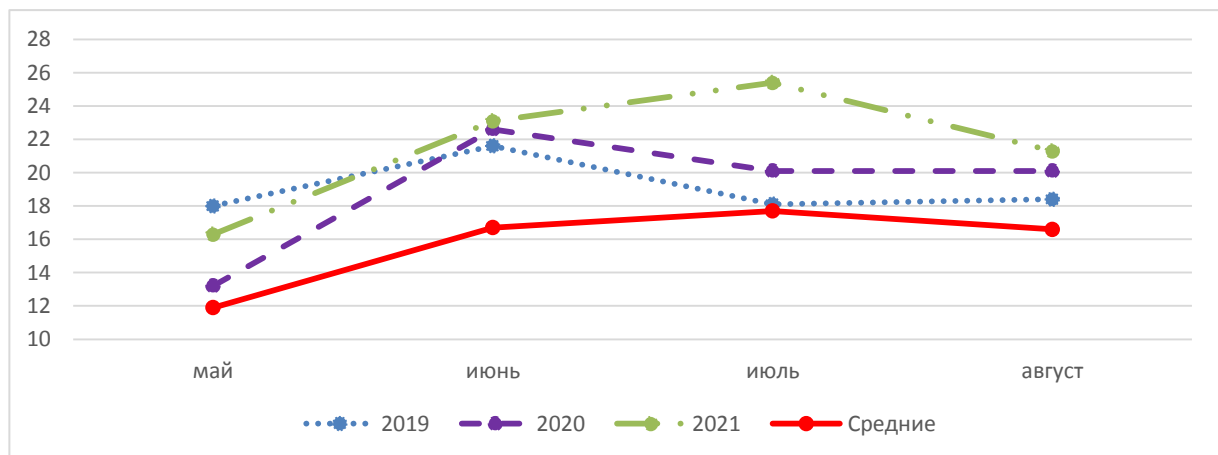


Рис. 5. Среднемесячные температуры вегетационных периодов, 2019–2021 гг., °С

Средняя влажность воздуха и количество выпавших осадков оказались ниже, чем за другие годы испытаний, при этом в августе отмечена самая высокая влажность за все три года (рис. 6, 7).

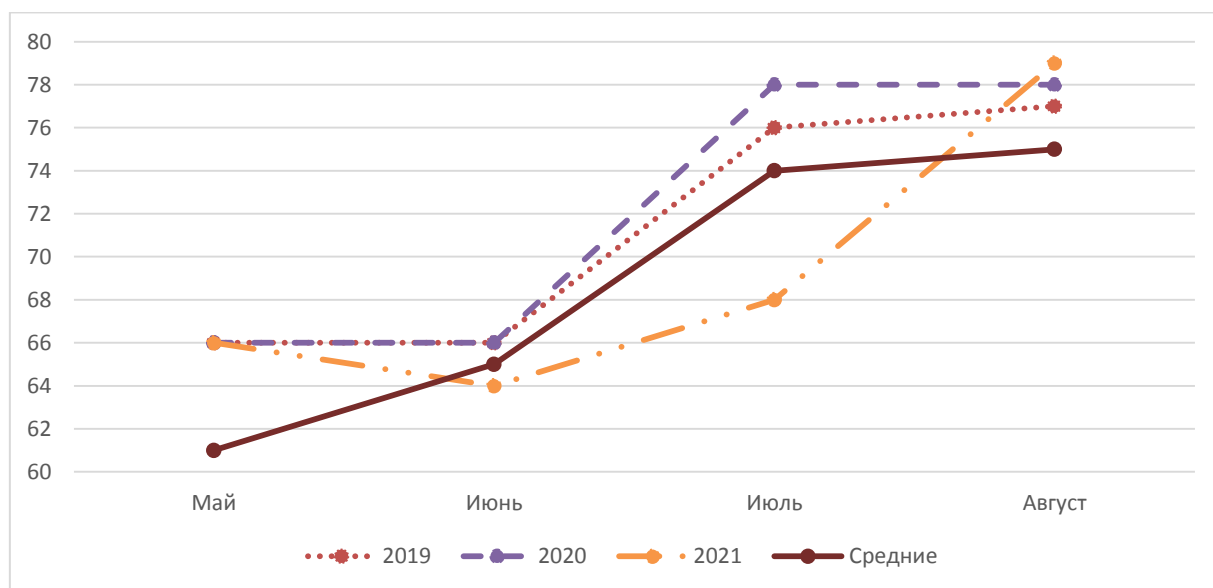


Рис. 6. Среднемесячная влажность воздуха вегетационных периодов в 2019–2021 гг., %

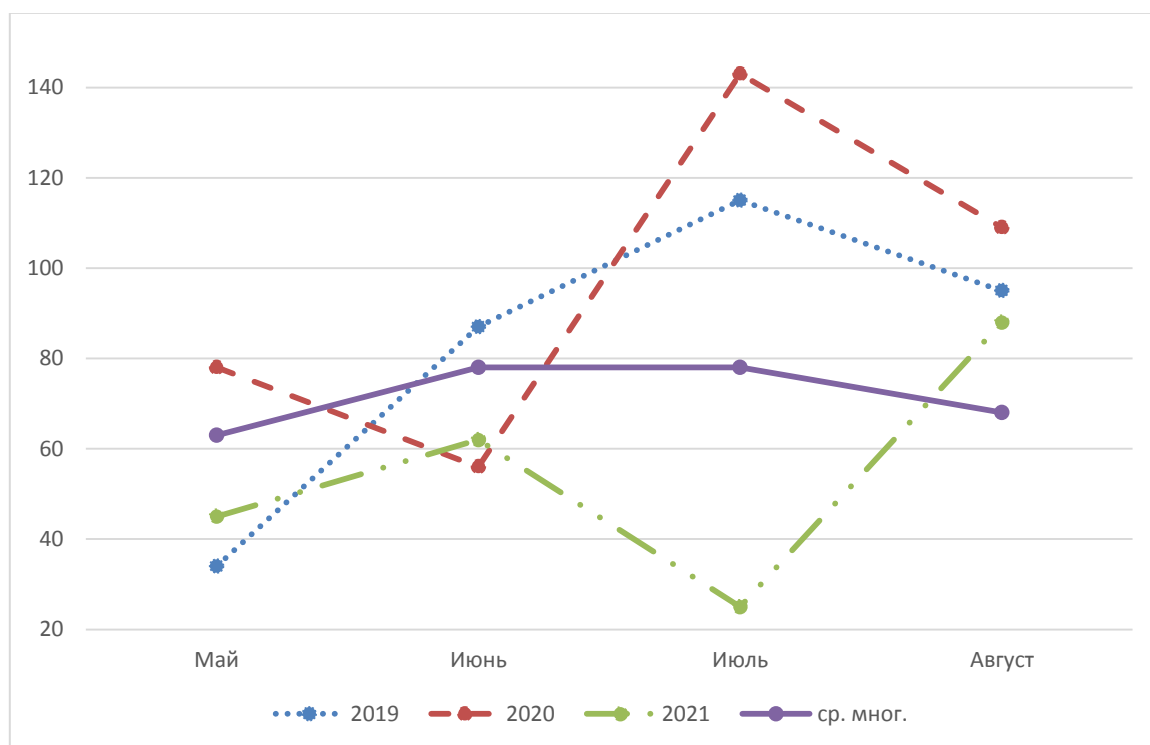


Рис. 7. Среднемесячное количество осадков вегетационных периодов в 2019–2021 гг., мм

Низкая влажность в июне и июле 2021 г. могла негативно сказаться на развитии фузариума.

Получены данные по устойчивости 20 коллекционных образцов льна-долгунца в сравнении с 2 контрольными сортами (стандарт) к фу-

зариозному увяданию. Для оценки достоверности полученных результатов собранные данные (с 2019 по 2021 г.) обработаны с помощью дисперсионного анализа и представлены в таблице.

**Результаты устойчивости сортообразцов льна-долгунца к фузариозному увяданию,
среднее за 2019–2021 гг., %**

| Сорт | Средняя по повторностям степень устойчивости к фузариозному увяданию | | | Среднее по 3 годам |
|----------------------|--|------|------|--------------------|
| | 2019 | 2020 | 2021 | |
| Факел | 81,5 | 84 | 64,3 | 76,6 |
| Алей | 70,8 | 50 | 26,7 | 49,2 |
| Пересвет | 50 | 22,9 | 38,5 | 37,1 |
| Томич | 60 | 64,4 | 66,7 | 63,7 |
| Борец | 90 | 86,7 | 68,8 | 81,8 |
| Заказ | 68,7 | 75 | 53,3 | 65,7 |
| Новоторжский | 86,7 | 46,7 | 78,6 | 70,7 |
| Старт | 90 | 58,6 | 93,3 | 80,6 |
| Оршанский | 88,4 | 73,3 | 93,3 | 85 |
| Ритм | 90,8 | 80 | 73,3 | 81,4 |
| Сюрприз | 77,8 | 88,1 | 57,1 | 74,3 |
| Квартет | 60 | 44,6 | 41,7 | 48,8 |
| Феникс | 89,8 | 75,6 | 76,9 | 80,8 |
| Сурский | 91,7 | 94,1 | 75 | 86,9 |
| Крепыш | 44,6 | 62 | 46,7 | 51,1 |
| Б-100 | 28,6 | 44,6 | 47,9 | 40,4 |
| Melina | 70 | 68,9 | 46,7 | 61,9 |
| Лирика | 88,8 | 61 | 86,7 | 78,8 |
| К-3529* | 87 | 86,8 | 93,7 | 89,2 |
| К-1186* | 80,4 | 71,4 | 86,7 | 79,5 |
| Стандарты (контроль) | | | | |
| А-29 (устойчивый) | 87,9 | 86,8 | 87,9 | 87,2 |
| АР-5 (восприимчивый) | 46,2 | 48,6 | 42 | 45,6 |

В связи с тем, что рассчитанный фактический критерий Фишера оказался равен 5,91, а табличный критерий Фишера равен 1,8, достоверно доказаны существенные различия между полученными результатами.

В результате сравнения 20 образцов льна по степени устойчивости к фузариозному увяданию в сравнении с показателями устойчивости сортов-стандартов установлено, что большинство исследованных сортов являются среднеустойчивыми.

Оценка устойчивости льна к фузариозному увяданию имеет стратегическое значение в условиях современного льноводства. Площади возделывания данной культуры значительно снизились за последние 20 лет, поэтому остро

стоит вопрос о возделывании наиболее урожайных и наиболее устойчивых к грибным заболеваниям сортов. У образцов при сильном проявлении данной болезни не образовывались семена, а волокно было ломкое.

При проявлении болезни на 50–65 % выход льносоломки длинного волокна уменьшался на 70 %. При проявлении болезни на 80–96 % длинное волокно не образовывалось, а короткое волокно было ломкое.

Заключение. Сорта Б-100 (40,4 %) и Пересвет (37,1 %) показали очень низкую устойчивость, что позволяет их отнести к сильновосприимчивым к данной болезни. Оба этих сорта показали устойчивость к фузариозному увяданию

нию ниже, чем у восприимчивого сорта-стандарта АР-5 (45,6 %).

Наибольшую устойчивость к фузариозному увяданию показали сорт Сурский (86,9 %) селекции НИИЛ и образец К-3529* (89,2 %) из «коллекции русского льна». При этом К-3529* показал устойчивость выше, чем у устойчивого сорта стандарта А-29 (87,2 %).

Большинство исследованных нами образцов показали среднюю устойчивость к фузариозному увяданию. Таким образом, образцы, устойчивость которых находится на уровне 70 % и выше, можно рекомендовать в качестве родительских компонентов для селекции на устойчивость к фузариозному увяданию.

Наиболее устойчивыми оказались сортообразец К-3529* (89,2 %) и сорт Сурский (86,9 %), которые показали устойчивость выше, чем у стандарта А-29 (45,6 %). Наименьшую устойчивость к фузариозному увяданию показали сорта Б-100 (40,4 %) и Пересвет (37,1 %), их показатели устойчивости оказались ниже показателей восприимчивого сорта стандарта АР-5 (45,6 %), что позволяет отнести их к сильновосприимчивым.

В дальнейшем планируется провести гибридологический анализ лучших образцов на оценку способности быть донорами устойчивости к фузариозному увяданию льна-долгунца.

Список источников

1. Кудрявцев Н.А., Захарова Л.М., Зайцева Л.А. Мониторинг вредных организмов в посевах льна и использование высокомолекулярного препарата Артафит для их контроля // Владимирский земледелец. 2018. № 2 (84). С. 32–37.
2. Лошакова Н.И., Крылова Т.В., Кудрявцева Л.П. Методические указания по фитопаталогической оценке устойчивости льна-долгунца к болезням. М.: Изд-во РАСХН, 2000. С. 22–26.
3. Лошакова Н.И. Устойчивые сорта – эффективный путь борьбы с болезнями льна // Защита и карантин растений. 2011. № 9. С. 43–44.
4. Пересыпкин В.Ф. Болезни сельскохозяйственных культур. Т. 2. Болезни технических культур и картофеля. Киев, 1990. 248 с.
5. Рогаш А.Р. Льноводство. М., 1967. 583 с.
6. Соколова Л.М. Система селекционно-иммунологических методов создания сортов и гибридов моркови столовой с групповой устойчивостью к *Alternaria* sp. и *Fusarium* sp. с комплексом хозяйственно ценных признаков: дис. ... д-ра с.-х. наук: 06.01.05 / ВНИИО – филиал ФГБНУ ФНЦО. Одинцово, 2021. 321 с.
7. Черников В.Г. и др. Влияние факторов окружающей среды на урожай и качество льняного сырья // Вестник аграрной науки. 2020. № 5 (86). С. 3–10.

References

1. Kudryavcev N.A., Zaharova L.M., Zajceva L.A. Monitoring vrednyh organizmov v posevah l'na i ispol'zovanie vysokomolekulyarnogo preparata Artafit dlya ih kontrolya // Vladimirskij zemledelec. 2018. № 2 (84). S. 32–37.
2. Loshakova N.I., Krylova T.V., Kudryavceva L.P. Metodicheskie ukazaniya po fitopatologicheskoj ocenke ustojchivosti l'na-dolgunca k boleznyam. M.: Izd-vo RASKHN, 2000. S. 22–26.
3. Loshakova N.I. Ustojchivye sorta – effektivnyj put' bor'by s boleznyami l'na // Zashchita i karantin rastenij. 2011. № 9. S. 43–44.
4. Peresyppkin V.F. Bolezni sel'skohozyajstvennyh kul'tur. T. 2. Bolezni tekhnicheskikh kul'tur i kartofelya. Kiev, 1990. 248 s.
5. Rogash A.R. L'novodstvo. M., 1967. 583 s.

6. *Sokolova L.M.* Sistema selekcionno-immunologicheskikh metodov sozdaniya sortov i gibridov morkovi stolovoj s gruppovoj ustojchivost'yu k *Alternaria* sp. i *Fusarium* sp. s kompleksom hozyajstvenno cennyh priznakov: dis. ... d-ra s.-h. nauk: 06.01.05 / VNIIO – filial FGBNU FNCO. Odincovo, 2021. 321 s.
7. *Chernikov V.G.* i dr. Vliyanie faktorov okruzhayushchej sredy na urozhaj i kachestvo l'nyanogo syr'ya // *Vestnik agrarnoj nauki*. 2020. № 5 (86). S. 3–10.

Статья принята к публикации 13.04.2023 / The article accepted for publication 13.04.2023.

Информация об авторах:

Александр Дмитриевич Симагин, магистрант кафедры генетики, селекции и семеноводства

Ольга Евгеньевна Ханбабаева, доцент кафедры генетики, селекции и семеноводства, доктор сельскохозяйственных наук, доцент

Михаил Игоревич Попченко, научный сотрудник лаборатории постгеномных исследований, кандидат биологических наук

Людмила Платоновна Кудрявцева, ведущий научный сотрудник отдела иммунитета растений, кандидат сельскохозяйственных наук

Information about the authors:

Alexander Dmitrievich Simagin, Master student at the Department of Genetics, Breeding and Seed Production

Olga Evgenievna Khanbabaeva, Associate Professor at the Department of Genetics, Breeding and Seed Production, Doctor of Agricultural Sciences, Docent

Mikhail Igorevich Popchenko, Researcher, Laboratory of Postgenomic Research, Candidate of Biological Sciences

Lyudmila Platonovna Kudryavtseva, Leading Researcher, Department of Plant Immunity, Candidate of Agricultural Sciences

