

СТИМУЛИРУЮЩЕЕ ДЕЙСТВИЕ ЛЕКТИНОВ МИКРОМИЦЕТОВ РОДА *ALTERNARIA* НА СЕМЕНА И ПРОРОСТКИ ПШЕНИЦЫ

¹Зинуров М. Р., ²Зинурова Е. Е. ORCID ID 0000-0002-6639-2524,

³Багаева Т. В. ORCID ID 0000-0002-1672-5052

¹Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Казанский национальный исследовательский технологический университет», Казань, Российская Федерация;

²Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Первый Московский государственный медицинский университет имени И. М. Сеченова» Министерства здравоохранения Российской Федерации (Сеченовский университет), Москва, Российская Федерация;

³Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Казанский (Приволжский) федеральный университет», Казань, Российская Федерация, e-mail: tatbag@rambler.ru

Спектр ростостимулирующих препаратов на рынке сегодня достаточно широк. Однако поиск новых форм остается на высоком уровне. Известно, что в механизмах прорастания и созревания семян задействованы эндогенные лектины растений. В то же время было показано, что подобными свойствами обладают и лектины некоторых микроорганизмов, преимущественно бактерий. Взаимодействие растительных организмов возможно и с лектинами микромицетов. Предварительное выдерживание семян зерновых культур в лектинсодержащих растворах может оказать положительное влияние на их всхожесть и развитие растения в целом. Цель работы – установить наличие влияния лектинов микромицетов на семена зерновых культур на примере пшеницы и оценить степень данного действия. В качестве продуцента лектинов использовали штамм микромицета *Alternaria alternata* 4 музея кафедры биотехнологии, института фармации им. А. П. Нелюбина Первого МГМУ им. И. М. Сеченова Минздрава России. Нарращивание биомассы микромицета проводили на среде из картофельного отвара с глюкозой, в термостате при температуре 28 °С. Выделение лектинов осуществляли на 6-е сутки по стандартной методике. Для обработки были выбраны семена озимой пшеницы сорта «Казанская 560». Семена выдерживались в лектинсодержащих растворах разных концентраций. Впервые получены данные о влиянии лектинов микромицетов рода *Alternaria* на энергию прорастания, всхожесть и развитие пшеницы. Установлен диапазон концентраций лектина, оказывающих ростостимулирующее действие. Показано, что ростостимулирующее действие лектинов имеет дозозависимый характер. Установлено положительное влияние лектинов микромицета *Alternaria alternata* 4 на морфометрические показатели корней и проростков пшеницы. Установлено, что предварительное выдерживание семян в лектинсодержащих растворах *Alternaria alternata* 4 оказывает положительное влияние на энергию прорастания, всхожесть и развитие пшеницы. Установлен диапазон концентраций лектина, способствующих ростостимулирующему действию.

Ключевые слова: лектины, микромицеты, *Alternaria alternata*, зерновые культуры, пшеница, ростостимулирующая активность

STIMULATING EFFECT OF MICROMYCETES LECTINS OF THE GENUS *ALTERNARIA* ON WHEAT SEEDS AND SEEDLINGS

¹Zinurov M. R., ²Zinurova E. E. ORCID ID 0000-0002-6639-2524,

³Bagaeva T. V. ORCID ID 0000-0002-1672-5052

¹Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education “Kazan National Research Technological University”, Kazan, Russian Federation;

²Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education First Moscow State Medical University named after I. M. Sechenov” of the Ministry of Health of the Russian Federation (Sechenov University), Moscow, Russian Federation;

³Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education “Kazan (Volga Region) Federal University”, Kazan, Russian Federation, e-mail: tatbag@rambler.ru

The range of growth-stimulating drugs on the market today is quite wide. However, the search for new forms remains at a high level. It is known that endogenous plant lectins are involved in the mechanisms of germination and maturation of seeds. At the same time, it has been shown that the lectins of some microorganisms, mainly bacteria, possess similar properties. The interaction of plant organisms is also possible with micromycete lectins. Pre-aging of seeds of grain and vegetable crops in lectin-containing extracts can have a positive effect on their germination and the development of the plant as a whole. The aim of the work is to establish the effect of micromycete lectins on grain seeds using wheat as an example and to assess the degree of this effect. A strain of the micromycete *Alternaria alternata* 4 from the Museum of the Department of Biotechnology, the A. P. Nelyubin Institute of Pharmacy,

and the Sechenov First Moscow State Medical University of the Ministry of Health of the Russian Federation was used as a producer of lectins. The biomass of the micromycete was increased on a medium of potato broth with glucose, in a thermostat at a temperature of 28 °C. Lectins were isolated on day 6 according to the standard procedure. Winter wheat seeds of the «Kazanskaya 560» variety were selected for processing. The seeds were aged in lectin-containing extracts of different concentrations. For the first time, data have been obtained on the effect of micromycete lectins of the genus *Alternaria* on germination energy, germination and development of wheat. A range of lectin concentrations that have a growth-stimulating effect has been established. It has been shown that the growth-stimulating effect of lectins is dose-dependent. The positive effect of the micromycete *Alternaria alternata* 4 lectins on the morphometric parameters of wheat roots and seedlings has been established. It has been established that the pre-aging of seeds in lectin-containing extracts of *Alternaria alternata* 4 has a positive effect on the germination energy, germination and development of wheat, a range of lectin concentrations contributing to the growth-stimulating effect has been established.

Keywords: lectins, micromycetes, *Alternaria alternata*, grain crops, wheat, growth-stimulating activity

Введение

Одно из основных направлений биологизации сельского хозяйства связано с поиском новых продуцентов и биопрепаратов, направленных на увеличение продуктивности сельскохозяйственно значимых культур. Несмотря на многообразие известных стимуляторов роста растений, этот вопрос остается одним из приоритетных, поскольку связан с продовольственной безопасностью и защитой окружающей среды.

Среди различных ростостимулирующих препаратов наиболее часто рассматриваются препараты, функционирующие на основе бактерий. Среди них такие препараты, как Фитоспорин, Ризобакт, Биофил, Агрофил и др. [1].

Новым направлением в поиске ростостимулирующих препаратов являются исследования, связанные с использованием лектинов микроорганизмов. Лектины – это белки или гликопротеины, обладающие гемагглютинирующей активностью, способные к взаимодействию с поверхностными структурами клеток. Для лектинов показано, что они принимают участие в процессе распознавания вирусных, бактериальных, микоплазменных и паразитарных инфекций, а также при метастазировании рака, росте и дифференцировке клеток [2–4]. Однако значительное число данных исследований связано с использованием лектинов растений [5]. В настоящее время установлено, что многие функции, выполняемые лектинами растений, характерны и для лектинов микроорганизмов. В этом отношении хорошо изучены бациллы, псевдомонады, азоспирилы [6–8]. Исследований, связанных с лектинами микромицетов, значительно меньше.

Лектины микромицетов были описаны как химиотерапевтические агенты, митогены и средства доставки лекарств к необходимым мишеням [9]. Для некоторых из них установлена антибактериальная, инсектицидная, противовирусная активность [10–12].

Действие лектинов микромицетов на растительные объекты отражено в небольшом количестве опубликованных работ, в основном связанных с защитой растений от насекомых. Инсектицидные свойства лектинов грибов установлены у ряда грибов-базидиомицетов, дикариотических грибов, у маннозо-специфичного лектина из *Penicillium chrysogenum* и лектина *Phytophthora parasitica* [13–15].

Ростостимулирующее действие поверхностных лектинов *Fusarium solani* установлено на всхожесть и рост гороха [16]. Для лектинов других микромицетов данные работы не проводились.

Среди наиболее распространенных в природе микромицетов активно изучаются в настоящее время грибы рода *Alternaria*. Данный род включает как сапрофитные, так и фитопатогенные грибы. Установлено, что многие из них способны к образованию различных биологически активных соединений [17]. Однако способность данных микроорганизмов к синтезу лектинов была установлена только в последнее время [18]. Поскольку данные микромицеты, как и микромицеты рода *Fusarium*, способны к синтезу лектинов, было решено исследовать их действие на растительные объекты.

Цель исследования – изучение действия различных концентраций лектина микромицета рода *Alternaria* на энергию прорастания, всхожесть и ростовые процессы зерновых культур.

Материалы и методы исследования

В работе использовали штамм микромицета *Alternaria alternata* 4 музея кафедры биотехнологии Первого государственного медицинского университета им. И. М. Сеченова.

Культивирование микромицета осуществляли на картофельном отваре с добавлением глюкозы, жидкофазным методом, при периодическом культивировании в ста-

ционных условиях роста. Температура культивирования 28 °С.

Для получения лектинов использовали экстракты 6-суточного мицелия гриба *Alternaria alternata* 4. Мицелий собирали фильтрованием с помощью промышленной ткани, маркировки (полиэтилентерефталат) для лабораторного биопроцессинга фирмы «АкваАналитикс Техника». После чего собранный мицелий тщательно промывали стерильной дистиллированной водой, а затем 20 мМ Tris-HCl буфером (рН 7,2), с последующей гомогенизацией в данном буфере при соотношении 1:1. Гомогенизацию производили на размольной garniture ESSA марки В800 компании «АМТЕХ». Полученный гомогенат оставляли при перемешивании в течение 5–6 ч при температуре 4 °С. Затем осадок отделяли центрифугированием в течение 10 мин при 5000 g, 4°С. Полученный супернатант анализировали на присутствие белка и лектинов.

Белок определяли по методу Бредфорда [19, с. 183], активность лектинов – реакцией агглютинации с нативными эритроцитами человека I группы крови. В работе использовали 2 %-ную суспензию эритроцитов, полученную по методу Луцика с соавт. [20, с. 13].

В работе с растениями использовали лектин микромицета *Alternaria alternata* 4, в виде суммарного белка, осажденного сульфатом аммония 65 % из клеточного экстракта мицелия гриба и содержащего лектин в концентрации 67–70 %.

Действие лектинов *Alternaria alternata* 4 в различных концентрациях изучали на зерне озимой пшеницы «Казанская 560». Перед посевом семена растений предварительно стерилизовали 2 %-ным перманганатом калия в течение 15 мин, после чего многократно промывали дистиллированной водой.

В экспериментах определяли энергию прорастания и всхожесть семян. Для определения ростовых показателей использовали морфометрические данные: длину корней и побегов, число корней и их сырую биомассу. Все эксперименты проводились в трех повторностях, с учетом необходимого количества исследуемых семян.

Статистическую обработку экспериментальных данных проводили путем определения средних арифметических значений и их стандартных ошибок, используя стандартный пакет программ Microsoft Office Excel 2013. Достоверность разницы между сравнимыми величинами оценивали по критерию Стьюдента. Статистически значимыми считали различия при 95 % доверительной вероятности ($p \leq 0,05$).

Результаты исследования и их обсуждение

Для оценки влияния мицелиальных лектинов микромицета *Alternaria alternata* 4 на энергию прорастания и всхожесть семян пшеницы проводили их обработку в течение 24 ч, с последующим распределением на поверхности, увлажненной стерильной водой, фильтровальной бумаги, в чашках Петри. В работе использовали лектин в концентрации 5, 10, 20, 40, 80 и 400 мкг/мл. Выбор концентраций был основан на ранее проведенных исследованиях по лектинам грибов и бактерий [21, с. 106; 22]. Контролем, служили образцы семян, которые замачивались в 20 мМ трис-HCl буфере (рН 7,2). Определение энергии прорастания устанавливали на 3-е сутки после обработки семян лектином, всхожесть регистрировали через 7 дней, что соответствует принятым временным значениям для данного вида семян (табл. 1).

Таблица 1

Влияние лектина *Alternaria alternata* 4 на энергию прорастания, всхожесть семян пшеницы

Варианты опыта	Концентрация лектина, мкг/мл	Энергия прорастания, %	Всхожесть, %
Контроль	0	68,5	74,0
Лектин <i>Alternaria alternata</i> 4	5	69,4	76,3
	10	82,3	86,6
	20	81,9	87,9
	40	69,7	84,9
	80	68,2	73,8
	400	0	0

Примечание: составлена авторами на основе полученных данных в ходе исследования.

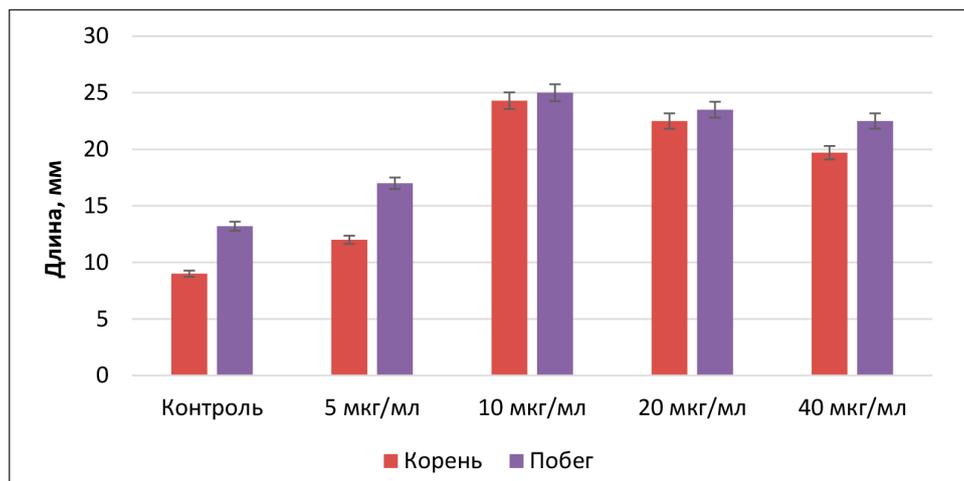


Рис. 1. Длина корней и побега на 10-й день выращивания пророщенных семян пшеницы, обработанных лектином *Alternaria alternata* 4

Примечание: составлен авторами по результатам данного исследования

Проведенные исследования показали положительное влияние лектина *Alternaria alternata* 4 на энергию прорастания и всхожесть семян зерновых культур, в концентрациях 5–40 мкг/мл. Лучшие результаты были получены при обработке семян пшеницы лектином в концентрации 10 и 20 мкг/мл, когда энергия прорастания и всхожесть семян увеличивалась на 7–14 % относительно контроля. Более низкие и более высокие концентрации лектина (5 и 40 мкг/мл) увеличивали энергию прорастания и всхожесть семян, но в меньшей степени. Повышение концентрации лектина в растворе до 80 мкг/мл не вызывало увеличения стимулирующего действия на семена, а концентрации 400 мкг/мл тормозили всхожесть. Однако ингибирующее действие лектина было обратимым: семена, промытые и помещенные в водный раствор, полностью восстанавливали свою всхожесть. Такое действие лектинов азоспирилл на семена пшеницы отмечалось в работах Никитиной с соавт. [23]. Данные результаты показали, что концентрация лектина играет важную роль при воздействии лектина на растения и имеет дозозависимый эффект.

Для оценки влияния лектина микроицета *Alternaria alternata* 4 на рост и развитие растений мы обрабатывали 3-суточные проросшие семена пшеницы лектином в концентрации 5, 10, 20, 40 мкг/л. Обработку вели в течение 24 ч. Контролем служили образцы проросших семян, которые замачивались в 20 мМ трис-НСl буфере (рН 7,2).

Результаты исследований показали, что обработка семян лектином *Alternaria alternata* 4 оказывала положительное действие и на морфометрические показатели растений (рис. 1). Обработка семян пшеницы лектином *Alternaria alternata* 4 в концентрации 5 мкг/мл усиливала рост корней и зародышевого побега растения в 1,3 раза по сравнению с контролем. По мере увеличения концентрации лектина до 10 мкг/мл положительный эффект был более выраженным: увеличилось количество корней и их длина (в 2,7 раза), зародышевые побеги были длиннее и утолщеннее (в 1,9 раза) по сравнению с контролем. При обработке семян растений лектином в концентрации 20 мкг/мл общая картина увеличения корней и побега сохранялась (корни увеличивались в 2,5 раза, побеги – в 1,8 раза). При обработке семян растений лектином в концентрации 40 мкг/мл длина корней и побегов увеличивалась, но сохранялась на уровне, соответствующем обработке при 20 мкг/мл (рис. 2).

Полученные данные по увеличению длины корней и побегов пшеницы после обработки семян лектином *Alternaria alternata* 4 подтверждаются данными по определению их биомассы (табл. 2).

Определение биомассы корней пшеницы показало, что наибольшее количество биомассы образуется при обработке проросших семян лектином *Alternaria alternata* 4 в концентрации 10 и 20 мкг/мл, в данных вариантах опыта количество биомассы корней пшеницы возрастало в 2,3–2,5 раза, а биомасса побегов – в 3,3–4,0 раза.



Рис. 2. Обработка проросших семян пшеницы лектином *Alternaria alternata* 4: 1 – контроль (без обработки лектином), 2 – обработка лектином в концентрации 10 мкг/мл
Примечание: составлен авторами по результатам данного исследования

Таблица 2

Биомасса корней и побегов пшеницы на 10-й день выращивания растений после обработки лектином *Alternaria alternata* 4

№	Концентрация лектина, мкг/мл	Биомасса корней, г/15 растений	Биомасса побегов, г/15 растений
1	Контроль	0,70±0,02	0,30±0,02
2	5	1,21±0,02	0,60±0,04
3	10	1,72±0,04	1,22±0,02
4	20	1,63±0,04	0,98±0,04
5	40	1,62±0,04	0,87±0,04

Примечание: составлена авторами на основе полученных данных в ходе исследования.

Выводы

Полученные результаты показали, что лектины *Alternaria alternata* 4 в концентрации 10 и 20 мкг/мл стимулируют энергию прорастания (на 13–14 %), всхожесть семян зерновых культур (на 13–14 %), а также обладают ростостимулирующим действием на развитие корней (в 2,5–2,7 раза) и побегов зерновых культур (в 1,8–1,9 раза). Несмотря на то, что эффективное действие препарата на семена и растения приходится на концентрации 10 и 20 мкг/мл, лучшие показатели в исследованиях соответствуют концентрации лектина 10 мкг/мл, которую можно рекомендовать для использования.

Заключение

Согласно проведенным исследованиям, лектин микромицета *Alternaria alternata* 4 можно отнести к разряду биологически активного препарата. В исследованиях было показано, что лектин микромицета рода *Alternaria*, особенно в концентрации 10 мкг/мл

стимулировал все показатели, характерные для всхожести семян, роста и развития растений. Благоприятное действие лектинов на развитие растений способствовало увеличению длины корней и побегов пшеницы, а также к накоплению растительной биомассы, что напрямую связано с повышением урожайности культур. Действие лектинов *Alternaria alternata* имеет дозозависимый эффект, но высокие концентрации не приводят к гибели растений, что говорит о возможности использования исследуемых лектинов в растениеводстве.

Список литературы

- ГОСТ 33980-2016. Продукция органического производства. Правила производства, переработки, маркировки и реализации. М.: Издательство стандартов. 2018. 59 с.
- Coelho B. B., don Santos Silva P. V., de Oliveira V. F. et.al. Lectins antimicrobial agent // J. Applied Microbiol. 2018. Vol. 125. Is. 5. P. 1238–1252. DOI: 10.1111/jam.14055.
- Carneiro D. C. et al. A patent review of the antimicrobial applications of lectins: Perspectives on therapy of infectious diseases // J. Appl. Microbiol. 2022. Vol. 132. Is. 2. P. 841–854. DOI: 10.1111/jam.15263.

4. El-Maradny Y. A., El-Fakharany E. M., Abu-Serie M. M., Hashish M. H., Selim H. S. Lectins purified from medicinal and edible mushrooms: Insights into their antiviral activity against pathogenic viruses // *J. Biol. Macromol.* 2021. Vol. 179. P. 239–258. DOI: 10.1016/j.jbiomac.2021.03.015.
5. El-Araby M. M., El-Shatoury E. H., Soliman M. M. et al. Characterization and antimicrobial activity of lectins purified from three Egyptian leguminous seeds // *AMB Expr.* 2020. Vol. 10. P. 90–95. DOI: 10.1186/s13568-020-01024-4.
6. Кобелев А. В., Клементьев С. В., Вдовина Т. В., Сироткин А. С. Оценка активности внеклеточных лектинов бактерий в формировании агрегированных микробных форм // *Бутлеровские сообщения.* 2021. Т. 1. № 65. С. 105–113. DOI: 10.37952/ROI-jbc-01/21-65-1-105. EDN: NKEUVI.
7. Кикалова Т. П., Сметанина М. Д., Карпунина Л. В. Биологическая активность лектина бацилл в составе экзополисахаридных гелей // *Фундаментальные исследования.* 2009. № 7. С. 14–17. URL: <https://fundamental-research.ru/ru/article/view?id=2099> (дата обращения: 29.01.2026).
8. Никитина В. Е., Богомолова Н. В., Пономарева Е. Г., Соколов О.И. Влияние лектинов азоспирилл на способность семян к прорастанию // *Известия Российской академии наук. Серия биологическая.* 2004. № 4. С. 431–435. EDN: OTUGXR.
9. Savanur M. A., Eligar S. M., Pujari R. et. al. *Sclerotium rolfsii* lectin induces stronger inhibition of proliferation in human breast cancer cells than normal human mammary epithelial cells by induction of cell apoptosis // *PLoS One.* 2014. Vol. 9. Is. 11. P. 110–107. DOI: 10.1371/journal.pone.0111017.
10. Мухаммадиев Рин. С., Мухаммадиев Риш. С., Багаева Т. В. Углеводная специфичность поверхностных лектинов грибов *Fusarium solani* // *Вестник биотехнологии.* 2017. Т. 12. № 3. С. 26–30. URL: https://biorosinfo.ru/upload/file/vestnik/2017/Annotation_V%202013_2017_3.pdf (дата обращения: 21.02.2026). EDN: TAJNHL.
11. Singh R. S., Amandeep K. W., Kennedy J. F. Structural aspects and biomedical applications of microfungus lectins // *International Journal of Biological Macromolecules.* 2019. Vol. 134. P. 1097–1107. DOI: 10.1016/j.jbiomac.2019.05.093.
12. De Oliveira D. S. D., Cardoso G., Neis A. et. al. Antifungal effect of *Bauhinia variegata* lectin (BvL) on *Bipolaris oryzae* // *Curr. Microbiol.* 2024. Vol. 81. Is. 10. P. 329–334. DOI: 10.1007/s00284-024-03848-w.
13. Pohleven J., Brzin J., Vrabec L. et. al. Basidiomycete *clitocybe nebularis* is rich in lectins with insecticidal activities // *Appl. Microbiol. Biotechnol.* 2011. Vol. 91. Is. 4. P. 114–118. DOI: 10.1007/s00253-011-3236-0.
14. Žurga S., Pohleven J., Renko M. et. al. A novel β -trefoil lectin from the parasol mushroom (*Macrolepiota procera*) is nematotoxic // *FEBS J.* 2014. Vol. 281. Is. 15. P. 489–506. DOI: 10.1111/febs.12875.
15. Francis F., Jaber K., Colinet F. et. al. Purification of a new fungal mannose-specific lectin from *Penicillium chrysogenum* and its aphicidal properties // *Fungal. Biol.-UK.* 2011. Vol. 115. Is. 11. P. 1093–1099. DOI: 10.1016/j.funbio.2011.06.010.
16. Мухаммадиев Р. С., Мухаммадиев Р. С., Скворцов Е. В., Валиуллин Л. Р., Глинушкин А. П., Багаева Т. В. Выделение, очистка и характеристика лектина *Fusarium solani* 4 // *Прикладная биохимия и микробиология.* 2021. Т. 57. № 2. С. 145–151. DOI: 10.31857/S0555109921020094. EDN: BDVBAD.
17. Далинова А. А., Салимова Д. Р., Берестецкий А. О. Грибы рода *Alternaria* как продуценты биологически активных соединений и биогербицидов // *Прикладная биохимия и микробиология.* 2020. Т. 56. № 3. С. 223–241. DOI: 10.31857/S0555109920030022.
18. Зинуров М. Р., Багаева Т. В., Зинурова Е. Е., Сысова М. А. Кинетика роста и образования лектинов грибами рода *Alternaria* в зависимости от времени культивирования и компонентов питательной среды // *Технология живых систем.* 2025. Т. 22. № 3. С. 99–108. DOI: 10.18127/j20700997-202503-10. EDN: IYVNCW.
19. Биссвангер Х. *Практическая энзимология* / Пер. с англ. Т. П. Мосолова. Под ред. Т. И. Почкаева. М.: Бином. Лаборатория знаний, 2010. 328 с. ISBN 978-5-94774-940-3.
20. Луцки М. Д., Панасюк Е. Н., Луцки А. Д. *Лектины* / Вища школа. Изд-во при Львов. ун-те, 1981. 156 с.
21. Мухаммадиев Р. С. Сравнительная характеристика лектинов сапрофитных и фитопатогенных штаммов грибов *Fusarium solani*: дис. ... канд. биол. наук. Казань, 2018. 148 с. [Электронный ресурс] URL: <https://www.dissercat.com/content/sravnitel'naya-kharakteristika-lectinov-saprofitnykh-i-fitopatogennykh-shtammov-gribov-fusari> (дата обращения: 20.02.2026).
22. Аленькина С. А., Никитина В. Е. Стимулирующий эффект лектинов ассоциированных бактерий рода *Azospirillum* на всхожесть и морфологические характеристики проростков яровой пшеницы при смоделированных абиотических стрессах // *Физиология растений.* 2021. Т. 68. № 2. С. 170–176. DOI: 10.31857/S0015330321010024. EDN: FOJYVH.
23. Аленькина С. А., Купряшина М. А. Дозозависимые эффекты лектина азоспирилл на рост проростков пшеницы в условиях солевого стресса // *Прикладная биохимия и микробиология.* 2024. Т. 60. № 1. С. 59–85. DOI: 10.31857/S0555109924010067. EDN: HCNLNC.

Конфликт интересов: Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest: The authors declare that there is no conflict of interest.