

7universum.com

UNIVERSUM:

ХИМИЯ И БИОЛОГИЯ

8(146)

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ

Аарон Круг (Арон Лазаревич Круг; 11 августа 1926, Желвас — 20 ноября 2018, Кембридж, Великобритания) — литовско-южноафриканский учёный, биохимик. Лауреат Нобелевской премии по химии (1982) за разработку метода кристаллографической электронной микроскопии и разъяснение структуры биологически важного комплекса нуклеиновая кислота – белок.

Член Лондонского королевского общества (1969)[2], иностранный член Национальной академии наук США (1984)[3]. Родился в литовском местечке Жялва в еврейской семье. Родителей его звали Лейзер Круг и Бейля Круг (в девичестве Силин). Когда Аарону было три года, Круги переехали в Дурбан (Южная Африка), куда семья Бейли эмигрировала в начале XX века. Аарон посещал местную начальную школу. Языком общения в семье был идиш, но переехав в Южную Африку, семья перешла на английский.

С 1937 по 1941 год Круг учился в школе г. Дурбан. После того, как мальчик прочитал книгу Поля де Крайфа «Охотники за микробами», у него родился интерес к науке.

Поступив в 1942 году в Университет Витватерсранда в Йоханнесбурге, Круг стал посещать подготовительный курс по медицине, однако лекции по физике его заинтересовали больше, поэтому он разработал собственные курсы по химии, физике и математике. К тому времени, когда в 1945 году он окончил университет, получив степень бакалавра естественных наук, его выбором стала физика.

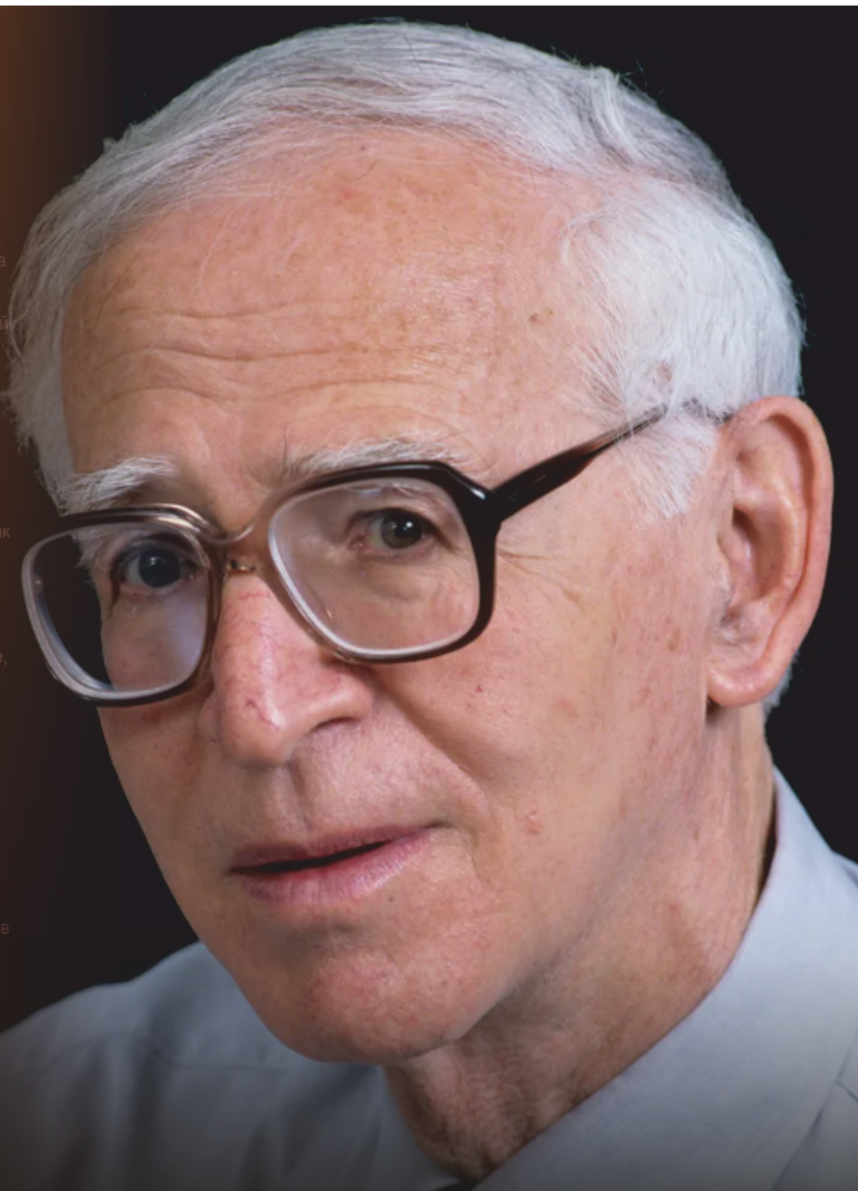
В январе 1946 году Аарон переехал в Университет Кейптауна, чтобы пройти магистратуру. Там, помимо физики, Круг изучал математику, философию и поэзию. Также занимаясь в Кейптаунском университете на выделенную ему стипендию, он изучил у одного из своих учителей, Реджинальда Уильяма Джеймса, метод рентгеновской кристаллографии и использовал его для исследования п-бромхлорбензола. По результатам исследований, Круг опубликовал свою первую статью[4]. Получив в 1946 году степень магистра естественных наук, Круг остался в Кейптаунском университете, чтобы продолжить свою работу с Джеймсом над изучением органических соединений с помощью дифракции рентгеновских лучей. Там, Аарон изобрёл метод[5], основанный на молекулярных преобразованиях, и использовал его для определения структуры трифенилена. Несмотря на то, что структура, созданная по его расчётам, оказалась неверной, Круг был удостоен стипендии Британской империи (1951) и стипендии Роуз Болл в Тринити-колледже Кембриджа.

Карьера и научные исследования

Круг был принят сэром Лоуренсом Брэггом, директором Кавендишской лаборатории. Аарон хотел работать в области медицинских исследований у нобелевского лауреата Роберта М. Перуца и работать над изучением структуры белка, но там не было свободных мест. Тогда Брэгг предложил ему заняться беспорядок в силикатах, однако Аарон не был заинтересован в этом проекте, поэтому он, под руководством Брэгга, начал изучать структуру стали. В ходе проекта он разработал метод определения модели перехода от неупорядоченного состояния к упорядоченному и росте кристаллов. Его работа была опубликована в журнале «Дифференциальная геометрия» в 1953 году. В 1954 году он получил стипендию Роуз Болл в Тринити-колледже Кембриджа.

100 ЛЕТ СО ДНЯ РОЖДЕНИЯ
11 августа 2026 г.

ААРОН
КЛУГ
1926-2018 гг.





UNIVERSUM: ХИМИЯ И БИОЛОГИЯ

Научный журнал

Издается ежемесячно с ноября 2013 года

Выпуск: 8(146)

Август 2026 г.

Часть 3

Новосибирск
2026

ББК 24+28

U55

Главный редактор журнала:

Ларионов Максим Викторович – д-р биол. наук.

Редакционная коллегия:

Арестова Инесса Юрьевна – канд. биол. наук;

Аронбаев Сергей Дмитриевич – д-р хим. наук, проф.;

Даминова Шахло Шариповна – д-р хим. наук, проф.;

Кадырова Гульчехра Хакимовна – д-р биол. наук;

Кван Ольга Вилориевна – д-р биол. наук;

Кунавина Елена Александровна – канд. хим. наук, доц.;

Жуманиязов Максуд Жаббиевич – д-р техн. наук, проф.;

Пилигримова Эмма Глебовна – канд. биол. наук;

Радкевич Мария Викторовна – д-р техн. наук, проф.;

Севостьянова Ольга Игоревна – канд. биол. наук, доц.;

Ткачева Татьяна Александровна – канд. хим. наук;

Шахова Валерия Николаевна – д-р биол. наук, проф.;

Шейда Елена Владимировна – д-р биол. наук, проф.;

Яковлев Иван Геннадиевич – канд. хим. наук;

Скоркина Марина Юрьевна – д-р биол. наук, доц.;

Баженова Ольга Прокопьевна – д-р биол. наук, проф.;

Рудаков Олег Борисович – д-р хим. наук, проф.;

Комарова Людмила Николаевна – д-р биол. наук, проф.

U55 Universum: химия и биология : электронный научный журнал. — № 8(146). — Часть 3. — Новосибирск : Изд-во «Юниверсум», 2026. — 112 с. — Текст : электронный. — URL: <https://7universum.com/ru/nature/archive/category/8146> (дата публикации: 07.08.2026).

ISSN 2311-5459

DOI: 10.32743/UniChem.2026.146.8

Учредитель и издатель: ООО «Юниверсум»

© ООО «Юниверсум», 2026 г.

Содержание

Статьи на русском языке

Биология

Биотехнологии и бионанотехнологии

- Определение углеводного состава надземной части *Phlomis labiosa* L. методом высокоэффективной жидкостной хроматографии** 5
Холикова Нозима Рахмонжоновна
Дехконов Рахматилла Султонович
Абдуллаев Шавкат Вохидович

Микробиология и вирусология

- Скрининг перспективных биоагентов против вирулентных фитопатогенов хлопчатника и статистическая оценка их эффективности** 12
Алиев Зафар Зокирович
Халилов Илхом Маматкулович
Усмонкулова Азиза Анвар кизи
Азимова Нодира Шойим кизи
Абдуллаев Анвар Кадируллаевич
Бобокулов Муродали Шавкат угли
Рустамова Нигора Актамовна
Давранов Кахрамон Давранович

Экология и охрана окружающей среды

- От индикаторов к управлению: интеграция системного подхода и ГОСТ Р ИСО 14031 в оценке экологической эффективности предприятия** 26
Криворотова Софья Андреевна
- Влияние различных норм капельного орошения на урожайность и качество урожая технических сортов винограда** 34
Файзиев Жамолiddин Насирович
Фархадов Абдор Акмалович

Articles in English

Chemistry

Inorganic and Analytical Chemistry

- Immobilization of alizarin red s onto silk fibroin fibers and spectral characterization** 46
Madaminova Kamila
Ashirov Mansur
- Agrochemical efficacy of defoliants with physiologically active effects** 59
Melieva Nargiza Fayzullaevna

Organic Chemistry

- Structural properties of polyester resins modified with polymethylenephthalenesulfonic acid** 67
Goyipov Azizbek
Nurmanov Suvonqul

Chemistry of High-Molecular Compounds and Polymers

- Treatment of silk fibroin with ammonia solution and its application in bleaching cottonseed oil** 76
Matrasulova Nazokat Ismailovna
Eshchanov Khushnudbek Odilbekovich
Baltaeva Mukhabbat Matnazarovna

Biology

Biochemistry and Molecular Biology

Effect of growth regulators and planting time on the rooting and survival of hardwood cuttings of stone-fruit clonal rootstocks 85

Khaitboev Bakhodir Toirovich

Biochemical composition of raspberry cultivars during summer and autumn harvest seasons in Uzbekistan 92

Ortiqboyev Nurmuhammad Ulug'bek o'g'li

Microbiology and Virology

Antagonistic activity of endophytic bacteria isolated from *Ferula varia* against *Alternaria* SPP 99

Murodullayev Dilmurod Dilshodovich

Alimova Dildora Farxod qizi

Rustamova Nigora Aktamovna

Davranov Kakhramon

Давранов Кахрамон

СТАТЬИ НА РУССКОМ ЯЗЫКЕ

БИОЛОГИЯ

БИОТЕХНОЛОГИИ И БИОНАНОТЕХНОЛОГИИ

Статья поступила в редакцию: 03.07.2026

Статья принята к публикации: 31.07.2026

Статья опубликована: 07.08.2026

УДК 615.322:543.544.5

DOI: 10.32743/UniChem.2026.146.8.23249

**Определение углеводного состава надземной части *Phlomis labiosa* L.
методом высокоэффективной жидкостной хроматографии**

Холикова Нозима Рахмонжоновна
докторант

Наманганский государственный университет
Республика Узбекистан, г. Наманган
E-mail: bekzodhaydarov1303@gmail.com

Дехконов Рахматилла Султонович
д-р хим. наук, проф.

Наманганский государственный университет
Республика Узбекистан, г. Наманган
ORCID ID: 0009-0004-0788-5531
E-mail: derakhmatilla64@gmail.com

Абдуллаев Шавкат Вохидович
д-р хим. наук, проф.

Наманганский государственный университет
Республика Узбекистан, г. Наманган
ORCID ID: 0009-0001-5294-7373
E-mail: abdullaev_sh_v@mail.ru

Determination of carbohydrate composition of the aboveground part of *Phlomis labiosa* L. by high-performance liquid chromatography

Kholikova Nozima Rakhmonzhonovna

Doctoral student

Namangan State University

Republic of Uzbekistan, Namangan

Dekhkonov Rakhmatilla Sultonovich

Prof., Doctor of Chemical Sciences

Namangan State University

Republic of Uzbekistan, Namangan

Abdullaev Shavkat Vokhidovich

Prof., Doctor of Chemical Sciences

Namangan State University

Republic of Uzbekistan, Namangan

Аннотация

В статье представлены результаты исследования углеводного состава надземной части *Phlomis labiosa* L. методом высокоэффективной жидкостной хроматографии (ВЭЖХ) с рефрактометрическим детектированием. Идентификация компонентов осуществлялась путем сравнения времен удерживания стандартных образцов и исследуемого экстракта. В образце обнаружены фруктоза, глюкоза, сахароза и мальтоза. Количественный анализ показал преобладание мальтозы ($0,567 \pm 0,002$ мг/г) и глюкозы ($0,494 \pm 0,004$ мг/г). Общее содержание идентифицированных углеводов составило $1,122 \pm 0,011$ мг/г. Полученные результаты расширяют сведения о химическом составе *Phlomis labiosa* L. и могут быть использованы при стандартизации лекарственного растительного сырья.

Abstract

The article presents the results of a study on the carbohydrate composition of the aerial parts of *Phlomis labiosa* L. using high-performance liquid chromatography (HPLC) with refractive index detection. The identification of carbohydrate components was carried out by comparing the retention times of standard compounds with those of the analyzed plant extract. Fructose, glucose, sucrose, and maltose were identified in the sample. Quantitative analysis revealed that maltose (0.567 ± 0.002 mg/g) and glucose (0.494 ± 0.004 mg/g) were the predominant carbohydrates. The total content of the identified carbohydrates was 1.122 ± 0.011 mg/g. The obtained results expand current knowledge of the chemical composition of *Phlomis labiosa* L. and may be useful for the standardization and quality control of medicinal plant raw materials.

Ключевые слова: *Phlomis labiosa* L., углеводы, ВЭЖХ, фруктоза, глюкоза, сахароза, мальтоза, лекарственное растительное сырье.

Библиографическое описание: Холикова Н.Р., Дехконов Р.С., Абдуллаев Ш.В. Определение углеводного состава надземной части *Phlomis labiosa* L. методом высокоэффективной жидкостной хроматографии // *Universum: химия и биология : электрон. научн. журн.* 2026. 8(146). URL: <https://7universum.com/ru/nature/archive/item/23249>

Keywords: *Phlomis labiosa* L, carbohydrates, HPLC, fructose, glucose, sucrose, maltose, medicinal plant raw material.

Введение

Лекарственные растения являются важным источником биологически активных соединений, используемых в современной фармации и медицине. Особое внимание исследователей привлекают представители семейства *Lamiaceae*, характеризующиеся высоким содержанием фенольных соединений, флавоноидов, иридоидов, терпенов и других метаболитов, обладающих широким спектром фармакологической активности [1, 3].

Одним из перспективных представителей данного семейства является *Phlomis labiosa* L., распространенный в горных районах Центральной Азии. Растение традиционно используется в народной медицине, однако его химический состав изучен недостаточно полно [7].

Углеводы относятся к числу основных первичных метаболитов растений и играют важную роль в процессах энергетического обмена, биосинтеза структурных компонентов клетки и адаптации растений к условиям окружающей среды [4]. Исследование углеводного состава лекарственного растительного сырья имеет важное значение для фармакогностической характеристики, стандартизации и оценки качества растительных объектов [2].

Материалы и методы исследования

Объектом исследования служила воздушно-сухая надземная часть *Phlomis labiosa* L., собранная в период цветения и высушенная в естественных условиях.

Хроматографический анализ

Определение углеводного состава проводили методом высокоэффективной жидкостной хроматографии на жидкостном хроматографе Agilent 1100, оснащенный дегазатором Degasser G1379A, насосом QuatPump G1311A, автосемплером ALS G1313A, термостатом колонок ColCom G1316A, рефрактометрическим детектором RID G1362A и программным обеспечением Agilent ChemStation Rev. B.01.03.

Разделение осуществляли на колонке Supelcosil LC-NH₂ (4,6 × 250 мм, 5 мкм, Supelco, США). В качестве подвижной фазы использовали смесь ацетонитрила и воды в объемном соотношении 82:18. Элюирование проводили в изократическом режиме при скорости потока 1,0 мл/мин. Объем вводимой пробы составлял 10 мкл, температура колонки поддерживалась на уровне 35 °C [9].

Для идентификации углеводов использовали стандартные образцы фруктозы, глюкозы, сахарозы и мальтозы. Времена удерживания стандартов составили соответственно 4,999; 5,486; 7,461 и 8,479 мин. Идентификацию компонентов исследуемого образца проводили путем сопоставления времен удерживания со стандартными веществами. Хроматограмма стандартной смеси углеводов представлена на рисунке 1, а хроматограмма исследуемого образца — на рисунке 2.

Статистическая обработка результатов

Все определения выполняли в трех параллельных повторностях ($n = 3$). Полученные результаты обрабатывали методами вариационной статистики с использованием программного пакета Microsoft Excel 2021. Результаты представлены в виде среднего арифметического значения и стандартной ошибки среднего ($M \pm m$). Для оценки воспроизводимости метода рассчитывали среднее значение, стандартное отклонение (SD) и стандартную ошибку среднего (SEM) [5].

Результаты и обсуждение

В результате ВЭЖХ анализа надземной части *Phlomis labiosa* L. были идентифицированы фруктоза, глюкоза, сахароза и мальтоза. Согласно данным хроматограммы стандартной смеси углеводов (рис. 1), пики исследуемых соединений характеризуются четким разделением и хорошей воспроизводимостью. Сопоставление времен удерживания стандартных веществ и анализируемого образца позволило достоверно идентифицировать указанные углеводы в составе растительного сырья. Согласно данным хроматограммы исследуемого образца (рис. 2), наиболее интенсивные пики соответствуют глюкозе и мальтозе, что свидетельствует о преобладании данных соединений в углеводном комплексе растения.

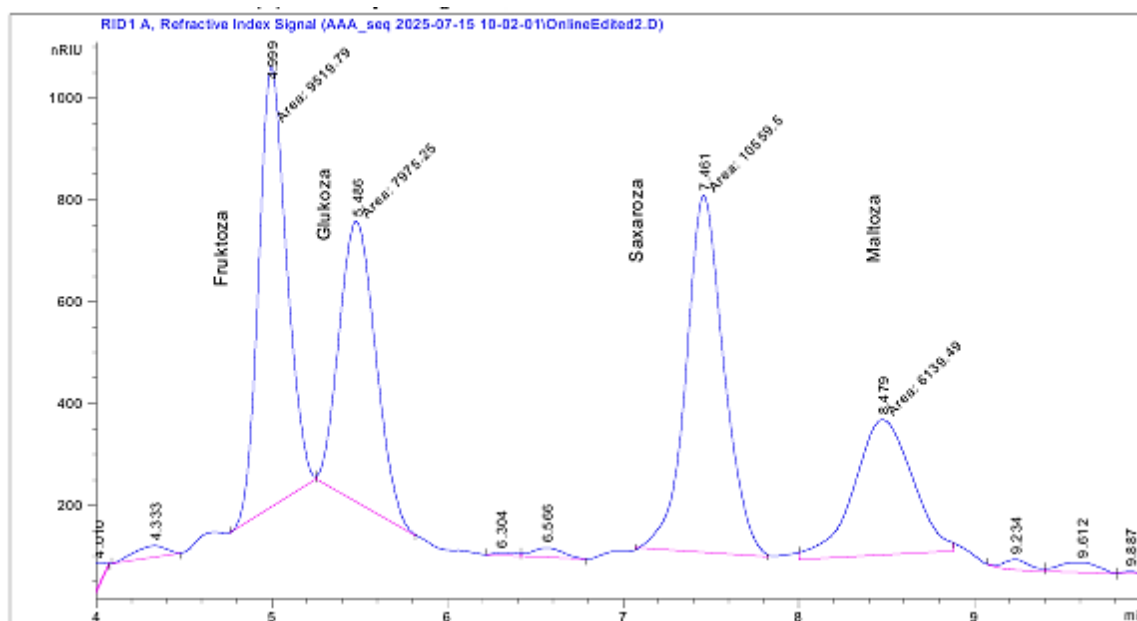


Рисунок 1. ВЭЖХ-хроматограмма стандартной смеси углеводов (фруктоза, глюкоза, сахароза и мальтоза)

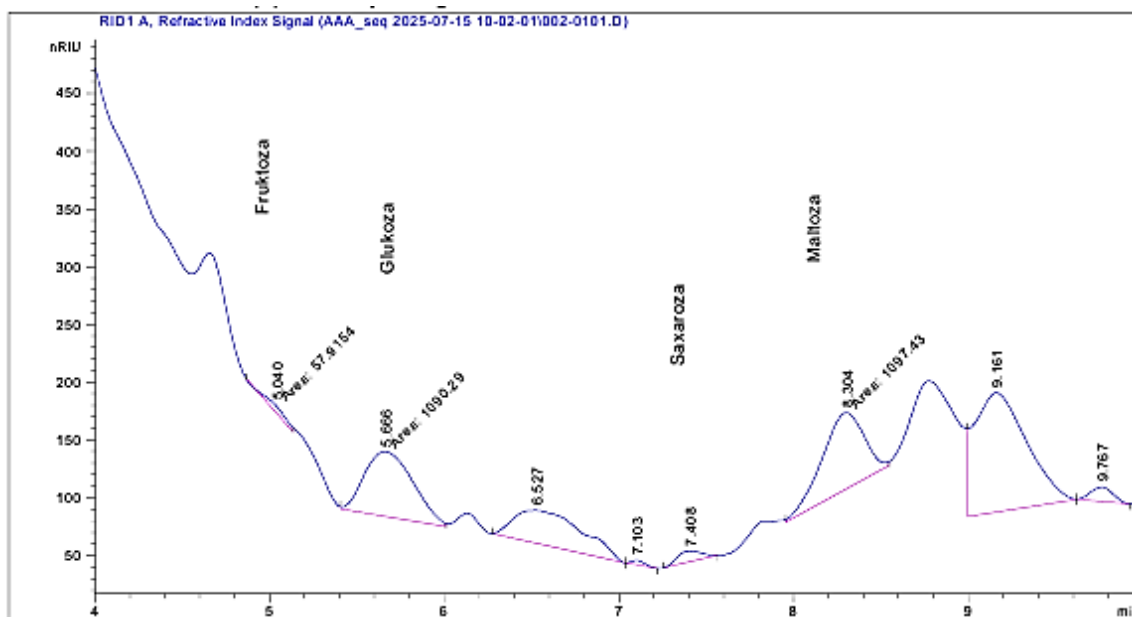


Рисунок 2. ВЭЖХ-хроматограмма углеводного состава надземной части *Phlomis labiosa* L

Как следует из данных таблицы 1, суммарное содержание идентифицированных углеводов в надземной части *Phlomis labiosa* L. составило $1,122 \pm 0,011$ мг/г. Среди обнаруженных соединений наибольшее содержание установлено для мальтозы ($0,567 \pm 0,002$ мг/г), доля которой составляет около 50,5 % от общего количества выявленных сахаров. Вторым по содержанию компонентом является глюкоза ($0,494 \pm 0,004$ мг/г), на долю которой приходится около 44,0 % общего содержания углеводов.

Таблица 1.

Углеводный состав надземной части *Phlomis labiosa* L

Углевод	Rt стандарта, мин	Rt образца, мин	Содержание ($M \pm m$), мг/г ($n=3$)
Фруктоза	4,999	5,040	$0,026 \pm 0,003$
Глюкоза	5,486	5,666	$0,494 \pm 0,004$
Сахароза	7,461	8,304	$0,035 \pm 0,002$
Мальтоза	8,479	9,161	$0,567 \pm 0,002$
Итого	—	—	$1,122 \pm 0,011$

Содержание сахарозы и фруктозы было значительно ниже и составило соответственно $0,035 \pm 0,002$ мг/г и $0,026 \pm 0,003$ мг/г. Их суммарная доля не превышала 6 % от общего количества идентифицированных сахаров. Подобное распределение углеводов может свидетельствовать о высокой интенсивности процессов углеводного обмена в растении и активном использовании простых сахаров в физиологических процессах.

Следует отметить, что мальтоза является промежуточным продуктом ферментативного гидролиза крахмала и других запасных полисахаридов. Высокое содержание данного дисахарида может указывать на активные процессы трансформации запасных углеводов

в исследуемом растительном сырье. В свою очередь, значительное содержание глюкозы обусловлено ее центральной ролью в энергетическом обмене и биосинтетических процессах растительной клетки [8].

Сравнение времен удерживания стандартных веществ и компонентов анализируемого образца показало хорошее соответствие полученных значений. Различия между R_t стандартов и исследуемых образцов не превышали допустимых значений и могут быть связаны с влиянием матрицы растительного экстракта, особенностями пробоподготовки и условиями хроматографического разделения. Полученные результаты подтверждают высокую селективность и воспроизводимость применяемого метода ВЭЖХ для анализа углеводного состава растительного сырья [9, 8].

Установленный углеводный профиль *Phlomis labiosa* L. представляет интерес для дальнейших фармакогностических и фитохимических исследований. Известно, что растворимые углеводы участвуют в регуляции осмотического давления клеток, энергетическом обеспечении метаболических процессов и повышении устойчивости растений к неблагоприятным факторам окружающей среды [4, 6]. Поэтому полученные данные могут быть использованы при разработке подходов к стандартизации сырья и комплексной оценке его качества.

Заключение

Методом высокоэффективной жидкостной хроматографии с рефрактометрическим детектированием исследован углеводный состав надземной части *Phlomis labiosa* L. В исследуемом образце идентифицированы фруктоза, глюкоза, сахароза и мальтоза. Установлено, что доминирующими компонентами являются мальтоза ($0,567 \pm 0,002$ мг/г) и глюкоза ($0,494 \pm 0,004$ мг/г). Общее содержание идентифицированных углеводов составило $1,122 \pm 0,011$ мг/г. Полученные результаты дополняют сведения о химическом составе *Phlomis labiosa* L. и могут быть использованы при стандартизации данного лекарственного растительного сырья.

Список литературы

1. Государственная фармакопея Республики Узбекистан. Т. 1. – Ташкент, 2021. – 682 с.
2. Государственная фармакопея Евразийского экономического союза. – М., 2021. – Т. 2. – С. 1450–1458.
3. Dewick P.M. Medicinal Natural Products: A Biosynthetic Approach. – 3rd ed. – Chichester: Wiley, 2009. – 539 P.
4. Ermakov A.I., Арасимович В.В., Смирнова-Иконникова М.И. Методы биохимического исследования растений. – Л.: Агропромиздат, 1987. – 430 с.
5. Glantz S.A. Primer of Biostatistics. New York: McGraw-Hill, 2012. 320 P.
6. Nelson D.L., Cox M.M. Lehninger Principles of Biochemistry. – 8th ed. – New York: W.H. Freeman, 2021. – 1328 P.
7. Salimov B.T., Mamatkulov A.M. Биологически активные вещества растений семейства Lamiaceae // Химия природных соединений. – 2021. – № 4.

8. Snyder L.R., Kirkland J.J., Dolan J.W. Introduction to Modern Liquid Chromatography. – 3rd ed. – New York: Wiley, 2010. – 912 P.
9. Waksmundzka-Hajnos M., Sherma J., Kowalska T. Waksmundzka-Hajnos M., Sherma J., Kowalska T. High Performance Liquid Chromatography in Phytochemical Analysis. – CRC Press, 2011. – 904 P. CRC Press, 2011. – 904 с.

References

1. Gosudarstvennaya farmakopeya Respubliki Uzbekistan. T. 1. – Tashkent, 2021. – 682 s (In Russ.)
2. [State Pharmacopoeia of the Eurasian Economic Union]. – M., 2021. – T. 2. – S. 1450–1458 (In Russ.)
3. Dewick P.M. Medicinal Natural Products: A Biosynthetic Approach. – 3rd ed. – Chichester: Wiley, 2009. – 539 P.
4. Ermakov A.I., Арасимович В.В., Смирнова-Иконникова М.И. Методы биохимического исследования растений. – Л.: Агропромиздат, 1987. – 430 с.
5. Glantz S.A. Primer of Biostatistics. New York: McGraw-Hill, 2012. 320 P.
6. Nelson D.L., Cox M.M. Lehninger Principles of Biochemistry. – 8th ed. – New York: W.H. Freeman, 2021. – 1328 P.
7. Salimov B.T., Mamatkulov A.M. Биологически активные вещества растений семейства Lamiaceae // Химия природных соединений. – 2021. – № 4.
8. Snyder L.R., Kirkland J.J., Dolan J.W. Introduction to Modern Liquid Chromatography. – 3rd ed. – New York: Wiley, 2010. – 912 P.
9. Waksmundzka-Hajnos M., Sherma J., Kowalska T. Waksmundzka-Hajnos M., Sherma J., Kowalska T. High Performance Liquid Chromatography in Phytochemical Analysis. – CRC Press, 2011. – 904 P. CRC Press, 2011. – 904 с.

МИКРОБИОЛОГИЯ И ВИРУСОЛОГИЯ

Статья поступила в редакцию: 19.06.2026

Статья принята к публикации: 04.07.2026

Статья опубликована: 07.08.2026

УДК 632.937

DOI: 10.32743/UniChem.2026.146.8.23139

Скрининг перспективных биоагентов против вирулентных фитопатогенов хлопчатника и статистическая оценка их эффективности

Алиев Зафар Зокирович

докторант (PhD)

Институт микробиологии Академии наук Республики Узбекистан

Республика Узбекистан, г. Ташкент

E-mail: aliyevzafar24@gmail.com

Халилов Илхом Маматкулович

д-р биол. наук, заведующий

лабораторией биоконтроля фитопатогенов, Институт микробиологии Академии наук

Республики Узбекистан

Республика Узбекистан, г. Ташкент

E-mail: ilkhom2002@yahoo.com

Усмонкулова Азиза Анвар кизи

канд. биол. наук

ст. науч. сотр., Научно-исследовательский институт карантина и защиты растений

Республика Узбекистан, г. Ташкент

E-mail: usmonkulova.aziza@mail.ru

Азимова Нодира Шойим кизи

канд. биол. наук

ст. науч. сотр. Институт микробиологии АН РУз

Республика Узбекистан, г. Ташкент

E-mail: azimovanodira@mail.ru

Абдуллаев Анвар Кадируллаевич

PhD, заведующий

лабораторией общего анализа, Научно-исследовательский институт рисоводства

Республика Узбекистан, г. Ташкент

E-mail: anvar_abdullaev_1974@mail.ru

Бобокулов Муродали Шавкат угли

докторант (PhD)

Научно-исследовательский институт рисоводства

Республика Узбекистан, г. Ташкент

E-mail: bmurodali97@gmail.com

Рустамова Нигора Актамовна

д-р биол. наук, вед. науч. сотр. Институт микробиологии АН РУз

Республика Узбекистан, г. Ташкент

E-mail: n.rustamova@yahoo.com

Давранов Кахрамон Давранович
акад., директор
Институт Микробиология АН РУЗ
Республика Узбекистан, г. Ташкент
E-mail: k-davranov@mail.ru

Screening of promising bioagents against virulent phytopathogens of cotton and statistical evaluation of their effectiveness

Aliyev Zafar
PhD Student
Institute of Microbiology
Academy of Sciences of the Republic of Uzbekistan
Uzbekistan, Tashkent

Khalilov Ilkhom
doctor of Biological Sciences
Head of the Laboratory of Phytopathogen Biocontrol
Institute of Microbiology
Academy of Sciences of the Republic of Uzbekistan
Uzbekistan, Tashkent

Usmonkulova Aziza
candidate of Biological Sciences
Senior Researcher
Research Institute of Plant Quarantine and Protection
Republic of Uzbekistan, Tashkent

Azimova Nodira
candidate of Biological Sciences
Senior Researcher
Institute of Microbiology
Academy of Sciences of the Republic of Uzbekistan
Uzbekistan, Tashkent

Abdullayev Anvar
PhD
Head of the General
Analysis Laboratory
Rice Research Institute
Uzbekistan, Tashkent

Bobokulov Murodali
PhD Student
Rice Research Institute
Uzbekistan, Tashkent

Rustamova Nigora
doctor of Biological Sciences
Leading Researcher, Institute of Microbiology
Academy of Sciences of the Republic of Uzbekistan
Uzbekistan, Tashkent

Davranov Kakhramon
Academician, director of the Institute
of Microbiology of the Russian Academy of Sciences
Uzbekistan, Tashkent

Аннотация

Целью исследования явилась сравнительная оценка антифунгальной активности перспективных бактериальных штаммов в отношении фитопатогенных грибов родов *Fusarium* и *Alternaria*. Установлено, что наиболее высокой антагонистической активностью характеризовался штамм *Azospirillum brasilense* 1–7, обеспечивший ингибирование радиального роста всех исследованных фитопатогенов с показателями RI 54,16–61,9 %, при максимальном значении 61,9 % для *Fusarium* sp.1. Высокую эффективность также продемонстрировали *Bacillus subtilis* 1 и *Bacillus thuringiensis* 1fo, при этом максимальный показатель RI у *B. subtilis* 1 достигал 64,1 % в отношении *Fusarium* sp.28. Штаммы *Pseudomonas aeruginosa* и *Pseudomonas putida* проявили умеренную антифунгальную активность, тогда как *Bacillus safensis* MB26, *B. subtilis* 2 и *B. thuringiensis* 26 ингибировали рост лишь отдельных фитопатогенов. Штамм *Azotobacter chroococcum* sp. антагонистической активности не проявил. Антагонистическую активность определяли методом двойных культур на агаризованной питательной среде, а статистическую обработку результатов проводили с использованием дисперсионного анализа (ANOVA) при уровне значимости $p < 0,05$.

Abstract

The aim of this study was to comparatively evaluate the antifungal activity of promising bacterial strains against phytopathogenic fungi of the genera *Fusarium* and *Alternaria*. The strain *Azospirillum brasilense* 1–7 exhibited the highest antagonistic activity, inhibiting the radial growth of all tested phytopathogens with RI values ranging from 54.16 to 61.9 %, with the highest value (61.9 %) recorded against *Fusarium* sp.1. High antifungal activity was also demonstrated by *Bacillus subtilis* 1 and *Bacillus thuringiensis* 1fo, with the maximum RI value of 64.1 % observed for *B. subtilis* 1 against *Fusarium* sp.28. *Pseudomonas aeruginosa* and *Pseudomonas putida* exhibited moderate antifungal activity, whereas *Bacillus safensis* MB26, *B. subtilis* 2, and *B. thuringiensis* 26 inhibited the growth of only selected phytopathogens. No antagonistic activity was detected for *Azotobacter chroococcum*. Antagonistic activity was assessed using the dual culture assay on solid agar medium, and the experimental data were statistically analyzed by analysis of variance (ANOVA) at a significance level of $p < 0.05$.

Ключевые слова: хлопчатник, агенты биологического контроля, фитопатогенные грибы, *Fusarium* spp, *Alternaria* sp, бактерии-антагонисты, антифунгальная активность.

Keywords: cotton, biological control agents, phytopathogenic fungi, *Fusarium* spp, *Alternaria* sp, antagonistic bacteria, antifungal activity.

Библиографическое описание: Скрининг перспективных биоагентов против вирулентных фитопатогенов хлопчатника и статистическая оценка их эффективности // *Universum: химия и биология : электрон. научн. журн.* Алиев З.З. [и др.]. 2026. 8(146). URL: <https://7universum.com/ru/nature/archive/item/23139>

Введение

Фитопатогенные грибы остаются одним из основных факторов, ограничивающих урожайность и фитосанитарную устойчивость сельскохозяйственных культур. По данным исследований, потери урожая вследствие болезней растений достигают 20–30 %, при этом значительная часть ущерба обусловлена развитием грибов родов *Fusarium*, *Alternaria*, *Verticillium*, *Rhizoctonia* и других [30]. Хлопчатник (*Gossypium hirsutum* L.) особенно подвержен грибным заболеваниям, распространяющимся через почву и семена, что существенно снижает его продуктивность [10].

Грибы родов *Fusarium* и *Alternaria* вызывают корневые гнили, трахеомикозное увядание, некрозы стеблей и листьев, нанося значительный экономический ущерб сельскому хозяйству [4, 19]. При фузариозном увядании хлопчатника поражаются корневая система и проводящие ткани, нарушается транспорт воды и питательных веществ, что приводит к увяданию и гибели растений [29]. Представители рода *Alternaria* вызывают некрозы листьев и стеблей, ухудшение качества семян и снижение урожайности [27]. Распространению заболеваний способствуют климатические изменения, длительное возделывание культур в условиях монокультуры и деградация почвенной микробиоты [31].

Продолжительное применение химических фунгицидов способствует формированию устойчивости патогенов, сокращению численности полезных микроорганизмов, нарушению экологического равновесия почвы и накоплению токсичных остатков в окружающей среде [17, 7, 33]. В связи с этим разработка экологически безопасных методов защиты растений на основе агентов биологического контроля (Biological Control Agents BCA), в частности ризобактерий, стимулирующих рост растений (Plant Growth-Promoting Rhizobacteria, PGPR), является актуальным направлением современной фитопатологии [11, 25, 5].

Бактерии родов *Bacillus*, *Pseudomonas*, *Azospirillum* и *Azotobacter* рассматриваются как перспективные агенты биологического контроля и стимуляции роста растений [1]. Представители рода *Bacillus* отличаются спорообразованием, устойчивостью к неблагоприятным условиям и высокой метаболической пластичностью [6]. Они синтезируют антифунгальные липопептиды — итурин, фенгицин, сурфактин и бацилломицин, эффективно ингибирующие развитие возбудителей фузариоза и альтернариоза [4, 15, 26, 14]. Биопрепараты на основе *Bacillus subtilis* успешно применяются для повышения устойчивости агроэкосистем и стабильности сельскохозяйственного производства [8, 23].

Представители рода *Pseudomonas* также обладают выраженной антагонистической активностью, обусловленной синтезом сидерофоров, феназинов, пиолитеорина, цианистого водорода и других вторичных метаболитов, подавляющих развитие фитопатогенов [7, 15, 9]. Эффективность штаммов *Pseudomonas putida* и *Pseudomonas aeruginosa* в качестве агентов биологического контроля против *Fusarium oxysporum*, *Alternaria alternata* и других фитопатогенных грибов подтверждена рядом исследований [3, 32].

Штаммы рода *Azospirillum*, традиционно рассматриваемые как продуценты фитогормонов и азотфиксирующие микроорганизмы, в последние годы привлекают внимание как перспективные агенты биоконтроля. Установлено, что *Azospirillum brasilense* синтезирует литические ферменты (хитиназу и β -1,3-глюканазу), антифунгальные

метаболиты и индуцирует системную резистентность растений (ISR), обеспечивая выраженный фунгистатический эффект [20, 2, 12]. Наряду с этим *Azotobacter chroococcum* рассматривается как многофункциональный микроорганизм, повышающий плодородие почвы, стимулирующий рост растений и обладающий биоконтрольным потенциалом [21]. Вместе с тем эффективность бактериальных антагонистов определяется их генетическими особенностями, штаммовой специфичностью и вирулентностью фитопатогенных изолятов, что может обуславливать вариабельность результатов *in vitro* [21].

Одним из наиболее информативных методов скрининга микроорганизмов-антагонистов является метод двойной культуры (*dual culture assay*) *in vitro* [24, 13, 28]. Он позволяет оценить ингибирование роста грибного мицелия, конкурентные взаимодействия за субстрат и влияние диффундирующих внеклеточных биоактивных метаболитов [15, 13, 28]. Для количественной оценки антагонистической активности широко применяют показатели ингибирования радиального роста (RI, %) и индекс зоны ингибирования (IZI) [28]. Высокую эффективность демонстрирует модификация метода «газон–лунка», обеспечивающая стабильное взаимодействие между антагонистом и патогеном и точную оценку действия диффундирующих метаболитов [4].

Достоверность результатов экспериментов методом двойной культуры оценивают с использованием дисперсионного анализа (ANOVA), критерия Тьюки (Tukey HSD) и критерия Краскала–Уоллиса (Kruskal–Wallis), что соответствует современным требованиям микробиологических исследований [36, 19]. Изучение способности новых бактериальных изолятов, выделенных из агробиоценозов хлопчатника Сырдарьинской области, подавлять рост фитопатогенных грибов и статистическая оценка их штамм-специфических особенностей являются важным этапом разработки экологически безопасных биофунгицидов нового поколения.

Целью настоящего исследования являлась сравнительная оценка антифунгальной активности штаммов бактерий-антагонистов различных таксономических групп в отношении *Fusarium* spp. и *Alternaria* sp. с использованием модифицированного метода двойной культуры «газон–лунка», выявление перспективных агентов биологического контроля и статистическая оценка полученных результатов методом дисперсионного анализа в программной среде R.

Материалы и методы исследования

Антифунгальную активность бактериальных штаммов оценивали методом двойной культуры (*dual culture assay*), позволяющим исследовать прямые антагонистические взаимодействия между бактериями и фитопатогенными грибами, а также оценить способность бактерий к колонизации субстрата и синтезу диффундирующих биоактивных метаболитов *in vitro* [26, 13].

Фитопатогенные грибы культивировали на картофельно-декстрозном агаре (PDA), бактериальные штаммы — на питательном агаре (РА) методом газонного посева. После формирования бактериального газона стерильным пробойником вырезали агаровые блоки, переносили их в чашки Петри с PDA, дополненным пептоном (5 г/л), и размещали напротив грибного инокулюма. Инкубацию проводили при 27 °С в течение 10 суток [11, 26].

Антифунгальную активность оценивали по показателю ингибирования радиального роста (RI, %), который рассчитывали по формуле:

$$R_i (\%) = ((r_1 - r_2) / r_1) \times 100,$$

где R_1 — радиус грибной колонии в контроле; R_2 — радиус грибной колонии со стороны бактериального антагониста [11, 34, 16].

Статистическую обработку результатов проводили с использованием программы **RStudio** (версия 4.3.2). Данные представлены в виде **среднего значения $\pm$ стандартного отклонения (Mean $\pm$ SD)** по трём независимым повторностям. Различия считали статистически значимыми при $p < 0,05$.

Результаты исследования

В ходе исследования антифунгальная активность штаммов бактерий-антагонистов в отношении различных фитопатогенных грибов была оценена по показателю радиального ингибирования роста (RI, %). Полученные результаты показали существенные различия в уровне антагонистического потенциала между исследованными бактериями. Реакция каждого бактериального штамма по отношению к фитопатогенам была проанализирована отдельно.

Результаты оценки антагонистической активности бактериальных штаммов в отношении фитопатогенных грибов показали наличие существенных различий между исследуемыми штаммами (табл. 1).

Наиболее высокие показатели ингибирования радиального роста были отмечены у штамма *A. brasilense* 1–7. Данный штамм проявил стабильную антагонистическую активность в отношении всех исследованных фитопатогенов, при этом значения RI варьировали в пределах 54,16–61,90%. Наиболее выраженный уровень ингибирования был зарегистрирован в отношении изолята *Fusarium* sp.1 (61,9%), тогда как для остальных изолятов *Fusarium* значения RI также превышали 55% (рис. 1).

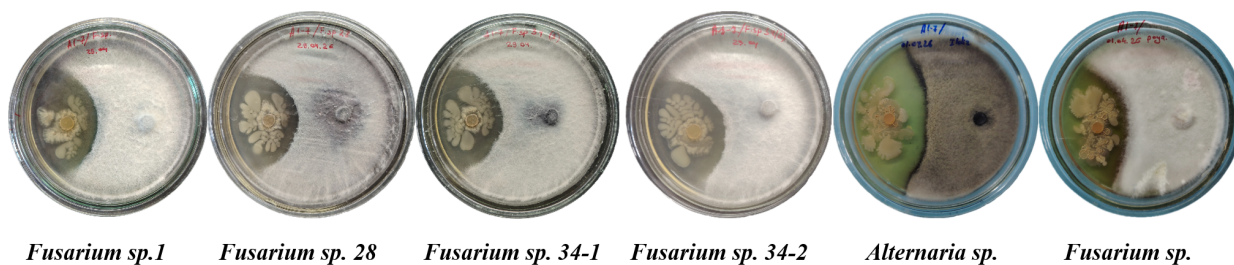


Рисунок 1. Активность штамма *A. brasilense* 1–7 против грибов

Штамм *B. thuringiensis* 1fo также продемонстрировал широкий спектр антагонистической активности. В отношении *Alternaria* sp. и *Fusarium* sp. значения RI составили соответственно 57,5 и 56,25%, тогда как для остальных изолятов *Fusarium* уровень ингибирования находился в диапазоне 47,76–53,84% (рис. 2).

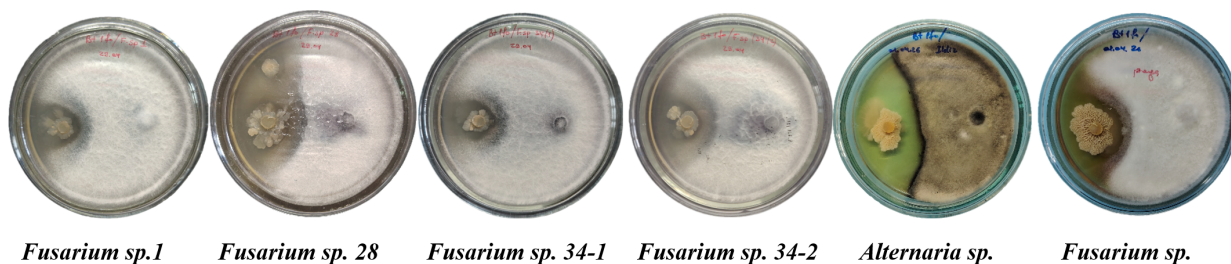


Рисунок 2. Активность штамма Bt 1fo против грибов

B. subtilis 1 проявил антагонистическую активность в отношении всех исследованных фитопатогенов. Наиболее высокая эффективность данного штамма была отмечена в отношении изолята *Fusarium* sp.28, где значение RI составило 64,1%. В отношении остальных фитопатогенов значения RI варьировали от 45,83 до 58,33%, что свидетельствует о наличии у данного штамма стабильного антагонистического потенциала в отношении различных фитопатогенов (рис. 3).

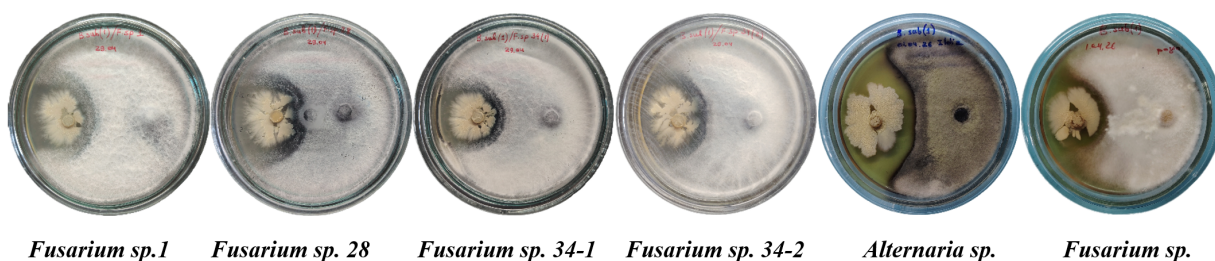


Рисунок 3. Активность штамма B. subtilis 1 против грибов

Штаммы *P. aeruginosa* и *P. putida* проявили антагонистическую активность средней степени в отношении всех фитопатогенов, использованных в эксперименте. Значения RI в отношении *Alternaria* sp. и *Fusarium* sp. составили соответственно 39,58 и 43,5%. Для отдельных изолятов *Fusarium* уровень ингибирования превышал 50%. В частности, штамм *P. putida* продемонстрировал одинаковые значения RI (59,52%) в отношении изолятов *Fusarium* sp.34-1 и *Fusarium* sp.34-2 (рис. 4 и 5).

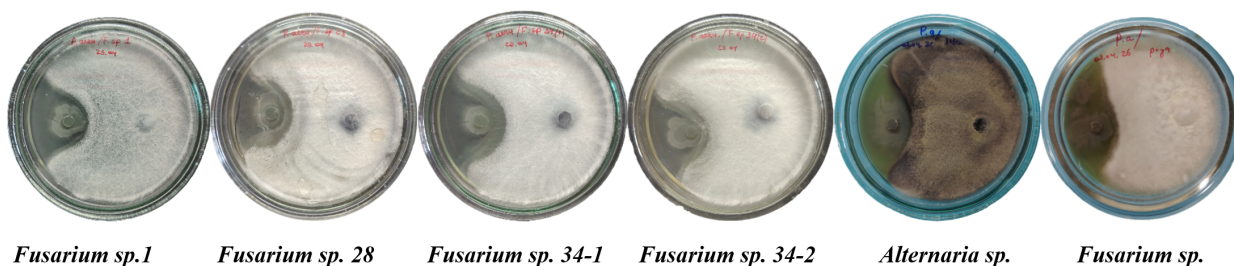


Рисунок 4. Активность штамма Pseudomonas aeruginosa sp. против грибов

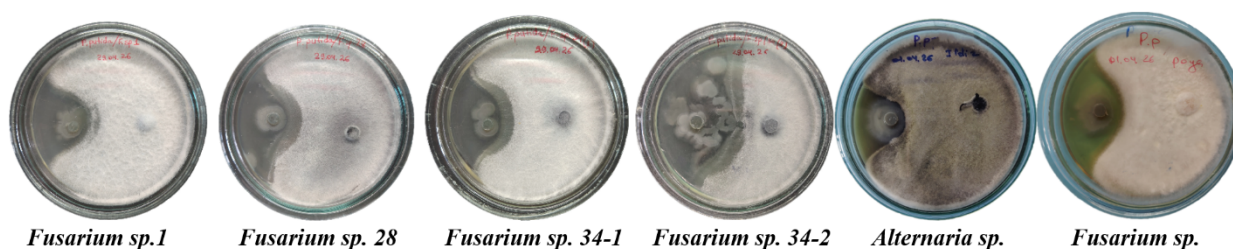


Рисунок 5. Активность штамма *Pseudomonas putida* против грибов

B. safiensis MB26 проявил антагонистическую активность только в отношении *Alternaria* sp. и общего изолята *Fusarium* sp., при этом значения RI составили соответственно 43,75 и 43,5%. Однако в отношении отдельных изолятов *Fusarium* антагонистическая активность не наблюдалась (рис. 6).

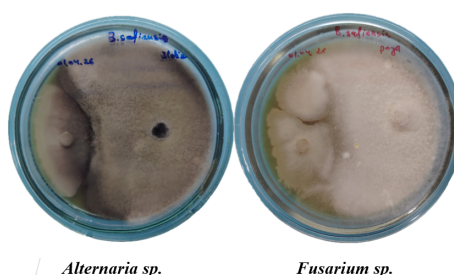
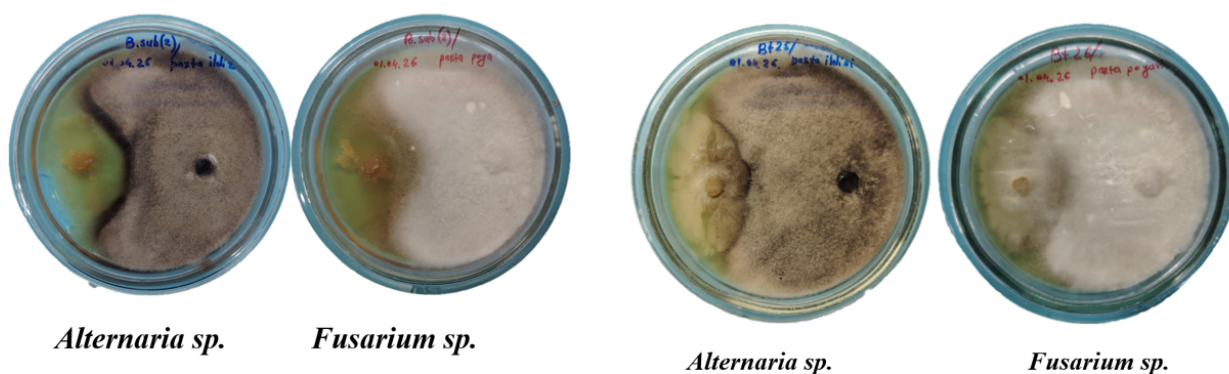


Рисунок 6. Активность штамма *B. safiensis* MB26 против грибов

Аналогичная картина была отмечена у штаммов *B. subtilis* sp.2 и *B. thuringiensis* 26. Данные штаммы проявили антагонистическую активность в отношении *Alternaria* sp. и общего изолята *Fusarium* sp., где значения RI составили соответственно 41,58 и 50 %, а также 27,5 и 45,75%, однако ингибирования роста отдельных изолятов *Fusarium* не наблюдалось (рис. 7 А и Б). Штамм *A. chroococcum* sp. не проявил антагонистической активности в отношении всех исследованных фитопатогенов.



А)

Б)

Рисунок 7. Активность штамма А) *B. subtilis* 2, Б) *Bt* 26 против грибов

Таблица 1.

Антифунгальная активность штаммов бактерий-антагонистов (RI, %, среднее значение $\pm$ SD, n = 3)

Бактериальный штамм	<i>Alternaria</i> sp.	<i>Fusarium</i> sp.	<i>Fusarium</i> sp. 1	<i>Fusarium</i> sp. 28	<i>Fusarium</i> sp. 34-1	<i>Fusarium</i> sp. 34-2
	Среднее значение RI (%)					
<i>A. brasilense</i> 1–7	56,25 $\pm$ 2,2	54,16 $\pm$ 1,4	61,9 $\pm$ 4,1	60,68 $\pm$ 0,9	56,55 $\pm$ 4,3	55,86 $\pm$ 3,6
<i>B. safiensis</i> MB26	43,75 $\pm$ 2,8	43,5 $\pm$ 3,2	0	0	0	0
<i>B. subtilis</i> 1	58,33 $\pm$ 2,3	45,83 $\pm$ 1,5	50,0 $\pm$ 0,0	64,1 $\pm$ 2,2	51,28 $\pm$ 4,4	51,28 $\pm$ 4,4
<i>B. subtilis</i> 2	50 $\pm$ 0,8	45,75 $\pm$ 1,5	0	0	0	0
<i>B. thuringiensis</i> 26	41,58 $\pm$ 0,4	27,5 $\pm$ 1,7	0	0	0	0
<i>P. aeruginosa</i> sp.	39,58 $\pm$ 1,6	41,66 $\pm$ 1,2	50,0 $\pm$ 7,1	54,76 $\pm$ 4,1	56,19 $\pm$ 1,6	52,38 $\pm$ 5,6
<i>P. putida</i> sp.	41,67 $\pm$ 0,9	43,5 $\pm$ 0,9	50,0 $\pm$ 7,1	54,38 $\pm$ 2,3	59,52 $\pm$ 4,1	59,52 $\pm$ 8,2
<i>B. thuringiensis</i> 1fo	57,5 $\pm$ 1,5	56,25 $\pm$ 1,8	50,0 $\pm$ 0,0	53,84 $\pm$ 3,1	47,76 $\pm$ 2,0	51,28 $\pm$ 4,4
<i>A. chroococcum</i> sp.	0	0	0	0	0	0

В целом среди исследованных штаммов наиболее высокая и стабильная антагонистическая активность была зарегистрирована у *A. brasilense* 1–7, *B. subtilis* sp.1 и *B. thuringiensis* 1fo. Штаммы рода *Pseudomonas* проявили антагонистическое действие средней степени, сохранявшееся в отношении всех исследованных фитопатогенов. В отличие от них, антагонистическая активность *B. safiensis* MB26, *B. subtilis* sp.2 и *B. thuringiensis* 26 была ограничена в отношении отдельных фитопатогенов, тогда как штамм *A. chroococcum* sp. в исследуемых условиях не проявил антагонистических свойств.

Обсуждение

Результаты исследования показали существенные различия в уровне антифунгальной активности между бактериями-антагонистами. Наиболее высокая активность была отмечена у штаммов *Azospirillum brasilense*, *Pseudomonas putida* и *Bacillus thuringiensis*, что свидетельствует о том, что антагонистические свойства зависят не столько от видовой принадлежности микроорганизма, сколько от генетических и метаболических особенностей конкретного штамма.

Высокая антифунгальная активность *Azospirillum brasilense* согласуется с данными Mehanni и El-Katatny [18]. Авторы установили, что штаммы *Azospirillum* обеспечивали ингибирование роста *Fusarium oxysporum* на уровне 95–100 %. Хотя полученные нами результаты были несколько ниже, различия могут быть обусловлены особенностями используемых штаммов бактерий и изолятов фитопатогенов. Тем не менее, полученные данные подтверждают высокий биоконтрольный потенциал представителей рода *Azospirillum* [18].

Согласно данным Yasmin и соавт. [34], штамм *Pseudomonas aeruginosa* Z5 ингибировал рост *Fusarium oxysporum* на 82,5 %, а в отношении некоторых других фитопатогенов уровень ингибирования достигал 86,5–91,5 %. В нашем исследовании антифунгальная активность *P.*

aeruginosa была ниже указанных значений, однако *Pseudomonas putida* продемонстрировал более высокую активность в отношении отдельных изолятов. Это подтверждает штаммоспецифический характер антагонистических свойств бактерий [34].

Liang и соавт. [16] показали, что штамм *Bacillus thuringiensis* GBAC46 эффективно подавляет развитие грибов рода *Fusarium*. Аналогично, в нашем исследовании штамм *B. thuringiensis* 1fo проявил высокую антифунгальную активность, тогда как другой штамм того же вида — *B. thuringiensis* 26 — характеризовался значительно более низкой активностью. Данный факт указывает на существенные различия биоконтрольного потенциала между штаммами одного вида [16].

По данным Zhang и соавт. [35], фэнгицины, продуцируемые *Bacillus subtilis*, практически полностью подавляют рост *Alternaria solani*. В нашем исследовании штамм *B. subtilis* 1 также проявил выраженную антифунгальную активность, тогда как *B. subtilis* 2 оказывал значительно более слабое воздействие на некоторые фитопатогенные грибы. Вероятно, это связано с различиями в экспрессии генов, отвечающих за синтез липопептидов [35].

Prakash и Arora [22] установили, что штамм *Bacillus safensis* STJP практически полностью подавляет мицелиальный рост и образование конидий *Alternaria alternata*. В отличие от этого, штамм *B. safensis* MB26, исследованный в нашей работе, проявил сравнительно более низкую антифунгальную активность, что, вероятно, обусловлено различиями в метаболической активности исследуемых штаммов [22].

У *Azotobacter chroococcum* антифунгальная активность не была выявлена. Полученные результаты согласуются с литературными данными, согласно которым основное значение представителей данного рода связано не с биоконтролем фитопатогенов, а с фиксацией атмосферного азота и стимуляцией роста растений.

Заключение

Результаты проведённого исследования показали, что антифунгальная активность бактериальных штаммов-антагонистов существенно варьирует в зависимости от вида фитопатогенного гриба. Наиболее высокую антагонистическую активность в отношении изолятов *Fusarium* sp.34-1 и *Fusarium* sp.34-2 продемонстрировали штаммы *Pseudomonas putida* sp. и *Azospirillum brasilense* 1–7. В отношении *Alternaria* sp. и *Fusarium* sp., выделенных из корневой системы и стеблей хлопчатника, наибольшая эффективность была зарегистрирована у штамма *B. thuringiensis* 1fo.

Статистический анализ подтвердил наличие достоверных различий между исследованными бактериальными штаммами по уровню антифунгальной активности в отношении отдельных фитопатогенов. В то же время штамм *Azotobacter chroococcum* sp. не проявил антифунгальной активности ни в одном из исследованных вариантов.

Полученные результаты позволяют рассматривать штаммы *Bacillus thuringiensis* 1fo, *Pseudomonas putida* и *Azospirillum brasilense* 1–7 в качестве перспективных агентов биологического контроля для защиты хлопчатника от фитопатогенных грибов.

Благодарность

Мы выражаем благодарность Институту микробиологии Академии наук Республики Узбекистан, который выполнил основную базовую работу по данной теме, за создание достаточных условий для проведения экспериментов в лаборатории.

Список литературы

1. Backer R, Rokem JS, Ilangumaran G, Lamont J, Praslickova D, Ricci E, Subramanian S and Smith DL (2018) Plant Growth-Promoting Rhizobacteria: Context, Mechanisms of Action, and Roadmap to Commercialization of Biostimulants for Sustainable Agriculture. *Front. Plant Sci.* 9:1473. doi: 10.3389/fpls.2018.01473.
2. Cassan, Fabricio & Coniglio, Anahí & Lopez, Gaston & Molina, Romina & Nievas, Sofia & Le Noir de Carlan, Coline & Donadio, Florencia & Torres, Daniela & Rosas, Susana & Pedrosa, Fabio & Souza, Emanuel & Díaz-Zorita, Martín & de-Bashan, Luz & Mora, V. (2020). Everything you must know about Azospirillum and its impact on agriculture and beyond. *Biology and Fertility of Soils*. 56. 10.1007/s00374-020-01463-y.
3. Castro Tapia MP, Madariaga Burrows RP, Ruiz Sepúlveda B, Vargas Concha M, Vera Palma C and Moya-Elizondo EA (2020) Antagonistic Activity of Chilean Strains of *Pseudomonas protegens* Against Fungi Causing Crown and Root Rot of Wheat (*Triticum aestivum* L.). *Front. Plant Sci.* 11:951. doi: 10.3389/fpls.2020.00951.
4. Duan, Y., Pang, Z., Yin, S., Xiao, W., Hu, H. & Xie, J. (2023). Screening and analysis of antifungal strains *Bacillus subtilis* JF-4 and *B. amylum* JF-5 for the biological control of *Fusarium* wilt of banana. *Journal of Fungi*, 9(9), 886 [Электронный ресурс]. URL: <https://doi.org/>. (дата обращения 07.08.2026)
5. El-Saadony MT, Saad AM, Soliman SM, Salem HM, Ahmed AI, Mahmood M, El-Tahan AM, Ebrahim AAM, Abd El-Mageed TA, Negm SH, Selim S, Babalghith AO, Elrys AS, El-Tarabily KA and AbuQamar SF (2022) Plant growth-promoting microorganisms as biocontrol agents of plant diseases: Mechanisms, challenges and future perspectives. *Front. Plant Sci.* 13:923880. doi: 10.3389/fpls.2022.923880.
6. Etesami, Hassan & Jeong, Byoung Ryong & Glick, Bernard. (2023). Biocontrol of plant diseases by *Bacillus* spp.. *Physiological and Molecular Plant Pathology*. 126. 10.1016/j.pmpp.2023.102048.
7. Gharsallah H, Cheffi M, Mallek R, Omri N, Triki MA, Öztop MH and Zarai Z (2025) Antifungal potential of *Bacillus* strains: implications for biocontrol strategies in food safety and sustainable agriculture. *Front. Microbiol.* 16:1615252. doi: 10.3389/fmicb.2025.1615252.
8. Giri, B.R., Chattaraj, S., Rath, S., Pattnaik, M.M., Mitra, D. & Thatoi, H. (2025). Unveiling the Molecular Mechanism of *Azospirillum* in Plant Growth Promotion. *Bacteria*, 4(3), 36 [Электронный ресурс]. URL: <https://doi.org/>. (дата обращения 07.08.2026)

9. Hajji-Hedfi, L., Wannassi, T., Khlif, A., Kavhiza, N.J., & Rebouh, N.Y. (2025). Investigating the Biocontrol and Plant Growth-Promoting Potential of *Pseudomonas yamanorum* for Sustainable Management of Tomato Early Blight (*Alternaria alternata*). *Plants*, 14(20), 3117 [Электронный ресурс]. URL: <https://doi.org/>. (дата обращения 07.08.2026)
10. Hillocks, R.J. (2012). *Cotton Diseases*. CAB International.
11. Jimenez-Quiros, C., Okechukwu, E.C., Hong, Y., Baysal, Ö., & Tör, M. (2022). Comparison of Antifungal Activity of *Bacillus* Strains against *Fusarium graminearum* In Vitro and In Planta. *Plants*, 11(15), 1999 [Электронный ресурс]. URL: <https://doi.org/>. (дата обращения 07.08.2026)
12. Kerečki, Slavica & Pecinar, Ilinka & Karlicic, Vera & Mirkovic, Nemanja & Kljujev, Igor & Raičević, Vera & Jovicic-Petrovic, Jelena. (2022). *Azotobacter chroococcum* F8/2: A multitasking bacterial strain in sugar beet biopriming // *Journal of Plant Interactions*. 17. 719–730. – 2022. – DOI: 10.1080/17429145.2022.2091802.
13. Khan N, Martínez-Hidalgo P, Ice TA, Maymon M, Humm EA, Nejat N, Sanders ER, Kaplan D and Hirsch AM (2018) Antifungal Activity of *Bacillus* Species Against *Fusarium* and Analysis of the Potential Mechanisms Used in Biocontrol. *Front. Microbiol.* 9:2363. doi: 10.3389/fmicb.2018.02363.
14. Korangi Alleluya V, Argüelles Arias A, Ribeiro B, De Coninck B, Helmus C, Delaplace P and Ongena M (2023) *Bacillus* lipopeptide-mediated biocontrol of peanut stem rot caused by *Athelia rolfsii*. *Front. Plant Sci.* 14:1069971. doi: 10.3389/fpls.2023.1069971.
15. Li, Y., Zhang, X., He, K., Song, X., Yu, J., Guo, Z. & Xu, M. (2023). Isolation and Identification of *Bacillus subtilis* LY-1 and Its Antifungal and Growth-Promoting Effects. *Plants*, 12(24), 4158 [Электронный ресурс]. URL: <https://doi.org/>. (дата обращения 07.08.2026)
16. Liang, Z., Ali, Q., Wu, H., Gu, Q., Liu, X., Sun, H. & Gao, X. (2025). Biocontrol mechanism of *Bacillus thuringiensis* GBAC46 against diseases and pests caused by *Fusarium verticillioides* and *Spodoptera frugiperda*. *Biomolecules*, 15(4), 519 [Электронный ресурс]. URL: <https://doi.org/>. (дата обращения 07.08.2026)
17. Maake, T.W. & Sibisi, P. (2025). Microbial Antagonists for the Control of Plant Diseases in Solanaceae Crops: Current Status, Challenges, and Global Perspectives. *Bacteria*, 4(3), 29 [Электронный ресурс]. URL: <https://doi.org/>. (дата обращения 07.08.2026)
18. Mehanni, M.M. & El-Katatny, M.H. (2023). Evaluation of the antifungal activity of some *Azospirillum* strains for their possible role as biocontrol agents. *Research Square* [Электронный ресурс]. URL: <https://doi.org/>. (дата обращения 07.08.2026)
19. Patel, Dhaval & Tetarwal, ML & Pandya, Kajal & Purohit, Jyotika & Meena, RL & Chattopadhyay, Anirudha. (2024). Status of *Alternaria* leaf blight in cotton and its fungicidal management. *JOURNAL OF MYCOLOGY AND PLANT PATHOLOGY*. 54. 279. 10.59467/JMPP.2024.54.279.
20. Pelagio-Flores, R., Ravelo-Ortega, G., García-Pineda, E., & López-Bucio, J. (2025). A century of *Azospirillum*: plant growth promotion and agricultural promise. *Plant signaling & behavior*, 20(1), 2551609 [Электронный ресурс]. URL: <https://doi.org/>. (дата обращения 07.08.2026)

21. Pirttilä, A.M. Mohammad Parast Tabas, H., Baruah, N., & Koskimäki, J.J. (2021). Biofertilizers and Biocontrol Agents for Agriculture: How to Identify and Develop New Potent Microbial Strains and Traits. *Microorganisms*, 9(4), 817 [Электронный ресурс]. URL: <https://doi.org/>. (дата обращения 07.08.2026)
22. Prakash, J. & Arora, N.K. (2021). Novel metabolites from *Bacillus safensis* and their antifungal property against *Alternaria alternata*. *Antonie van Leeuwenhoek*, 114, 1245–1260 [Электронный ресурс]. URL: <https://doi.org/>. (дата обращения 07.08.2026)
23. Raaijmakers, J.M. & Mazzola, M. (2012). Diversity and natural functions of antibiotics produced by beneficial and plant pathogenic bacteria. *Annual review of phytopathology*, 50, 403–424 [Электронный ресурс]. URL: <https://doi.org/>. (дата обращения 07.08.2026)
24. Rafanomezantsoa, P., Gharbi, S., Karkachi, N. & Kihal, M. (2022). Antifungal activity of *Bacillus* spp. against *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* and *Ascochyta* sp. *Journal of Plant Protection Research*, 62(1), 45–54 [Электронный ресурс]. URL: <https://doi.org/>. (дата обращения 07.08.2026)
25. Raut L. S, Dalvi S. M, Rakh R.R. Antifungal Potential of *Bacillus subtilis* subsp. *inaquosorum* RLS76 for Management of *Fusarium* Wilt Disease of Bt- Cotton. *Curr Agri Res* 2024; 12(1). doi: [Электронный ресурс]. URL: <http://dx.doi.org/>. (дата обращения 07.08.2026)
26. Russi, A., Almança, M.A. K., & Schwambach, J. (2022). *Bacillus subtilis* strain F62 against *Fusarium oxysporum* and promoting plant growth in the grapevine rootstock SO4. *Anais da Academia Brasileira de Ciencias*, 94(suppl 3), e20210860 [Электронный ресурс]. URL: <https://doi.org/>. (дата обращения 07.08.2026)
27. Salotti I, Giorni P and Battilani P (2024) Biology, ecology, and epidemiology of *Alternaria* species affecting tomato: ground information for the development of a predictive model. *Front. Plant Sci.* 15:1430965. doi: 10.3389/fpls.2024.1430965.
28. Salotti, I., Giorni, P. & Battilani, P. (2024). Biology, ecology, and epidemiology of *Alternaria* species affecting tomato: ground information for the development of a predictive model. *Frontiers in plant science*, 15, 1430965 [Электронный ресурс]. URL: <https://doi.org/>. (дата обращения 07.08.2026)
29. Sampaio, A.M., Araújo, S. d. S., Rubiales, D., & Vaz Pato, M.C. (2020). *Fusarium* Wilt Management in Legume Crops. *Agronomy*, 10(8), 1073 [Электронный ресурс]. URL: <https://doi.org/>. (дата обращения 07.08.2026)
30. Savary, S., Ficke, A., Aubertot, J.N. & Hollier, C. (2019). The global burden of pathogens and pests on major food crops. *Nature Ecology & Evolution*, 3, 430–439 [Электронный ресурс]. URL: <https://doi.org/>. (дата обращения 07.08.2026)
31. Singh, B.K. Delgado-Baquerizo, M., Egidi, E., Guirado, E., Leach, J.E., Liu, H., & Trivedi, P. (2023). Climate change impacts on plant pathogens, food security and paths forward. *Nature reviews. Microbiology*, 21(10), 640–656 [Электронный ресурс]. URL: <https://doi.org/>. (дата обращения 07.08.2026)

32. Tagoe, J.N. A., Ojha, B., Horne, S.M., & Prüß, B.M. (2026). *Azospirillum brasilense* and plant exudate components increase phytopathogen resistance and modulate the phyllosphere and rhizosphere. *Canadian Journal of Microbiology*, 72(1), 45–59 [Электронный ресурс]. URL: <https://doi.org/>. (дата обращения 07.08.2026)
33. Verdadero, F.X. D., Agarap, A.Z., Macatingrao, C.N. E., Ordonez, I.A., Jr., Tavu, L.E. J., Pires, D., & Balendres, M.A. O. (2025). Pesticides in the Environment: Benefits, Harms, and Detection Methods. *Sci*, 7(4), 171 [Электронный ресурс]. URL: <https://doi.org/>. (дата обращения 07.08.2026)
34. Yasmin, S., Hafeez, F.Y., & Rasul, G. (2014). Evaluation of *Pseudomonas aeruginosa* Z5 for biocontrol of cotton seedling disease caused by *Fusarium oxysporum*. *Biocontrol Science and Technology*, 24(11), 1227–1242.
35. Zhang, X. et al. (2022). Fengycin produced by *Bacillus subtilis* ZD01 inhibits *Alternaria solani* and alters fungal gene expression. *Frontiers in Microbiology*, 13, 861113 [Электронный ресурс]. URL: <https://doi.org/>. (дата обращения 07.08.2026)
36. Zhou, J., Zhang, X., Qu, Z., Zhang, C., Wang, F., Gao, T., Yao, Y. & Liang, J. (2024). Progress in Research on Prevention and Control of Crop Fungal Diseases in the Context of Climate Change. *Agriculture*, 14(7), 1108 [Электронный ресурс]. URL: <https://doi.org/>. (дата обращения 07.08.2026)

ЭКОЛОГИЯ И ОХРАНА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

Статья поступила в редакцию: 22.06.2026

Статья принята к публикации: 27.06.2026

Статья опубликована: 07.08.2026

УДК 502.174+658.5

От индикаторов к управлению: интеграция системного подхода и ГОСТ Р ИСО 14031 в оценке экологической эффективности предприятия

Криворотова Софья Андреевна

магистрант

Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева

РФ, г. Москва

E-mail: s.temple.s16@gmail.com

From indicators to management: integrating the systems approach and GOST R ISO 14031 in assessing an enterprise's environmental performance

Krivorotova Sofya Andreevna

graduate Student, D.I. Mendeleev University of Chemical Technology

Russia, Moscow

Аннотация

В статье рассматривается проблема разрыва между сбором экологических данных и их использованием для принятия управленческих решений на промышленном предприятии. Актуальность темы связана с ростом нагрузки на природу и необходимостью перехода от простого учёта к активному управлению. Предложена концептуальная модель интеграции системного причинно-следственного анализа и системы показателей оценки экологической результативности по ГОСТ Р ИСО 14031-2023. Разработана матрица соответствия, сопоставляющая каждый уровень экологического управления с конкретными типами показателей (ПЭУ, ПЭФ, ПСОС), что позволяет использовать статистическую информацию как инструмент управления экологической безопасностью. На примере корпоративного стандарта ПАО «Газпром» показана практическая реализация предложенного подхода, демонстрируется связь управленческих, операционных и экологических индикаторов. Обосновано, что рост экологической эффективности при сбалансированной оценке ведёт к повышению безопасности, однако возможны противоречия (например, экономия за счёт концентрации отходов), поэтому необходима единая система управления экологической результативностью, основанная на наилучших доступных технологиях. Таким образом,

Библиографическое описание: Криворотова С.А. От индикаторов к управлению: интеграция системного подхода и ГОСТ Р ИСО 14031 в оценке экологической эффективности предприятия // Universum: химия и биология : электрон. научн. журн. 2026. 8(146). URL: <https://7universum.com/ru/nature/archive/item/23242>

сделан вывод, что потребность в такой системе приведёт к формированию комплексного управления экологической результативностью предприятия и позволит не только оценивать текущее состояние, но и прогнозировать последствия принимаемых решений.

Abstract

This article examines the gap between environmental data collection and its use for management decision-making at an industrial enterprise. The relevance of this topic is linked to the increasing burden on the environment and the need to move from simple accounting to active management. A conceptual model for integrating systemic cause-and-effect analysis and a system of environmental performance indicators in accordance with GOST R ISO 14031-2023 is proposed. A correspondence matrix has been developed that correlates each level of environmental management with specific types of indicators (environmental performance indicators, environmental condition indicators, management performance indicators), enabling the use of statistical information as a tool for environmental safety management. Using the corporate standard of PJSC Gazprom as an example, the practical implementation of the proposed approach is demonstrated, demonstrating the relationship between management, operational, and environmental indicators. It is substantiated that increased environmental efficiency through a balanced assessment leads to improved safety. However, contradictions are possible (e.g., savings due to waste concentration). Therefore, a unified environmental performance management system based on the best available technologies is necessary. Thus, it was concluded that the need for such a system will lead to the formation of a comprehensive management of the enterprise's environmental performance and will allow not only to assess the current state, but also to predict the consequences of decisions made.

Ключевые слова: экологическая эффективность, экологическая безопасность, оценка экологической результативности, ГОСТ Р ИСО 14031, управление окружающей средой, системный подход.

Keywords: environmental efficiency, environmental safety, environmental performance assessment, GOST R ISO 14031, indicators, environmental management, systems approach.

Введение

Современное промышленное предприятие сталкивается с одной из проблемой, чтобы управлять экологией, а не просто фиксировать ущерб, нужно три вещи: что именно и в каком объёме попадает в природу; утверждение конкретных целей по снижению вреда; регулярный контроль результатов. В научной литературе и нормативных документах экологическая безопасность и экологическая эффективность часто рассматриваются отдельно: первая трактуется как состояние защищённости, вторая — как результат природоохранных мер [1]. Однако на практике они образуют единое целое, где рост эффективности при правильном управлении ведёт к повышению безопасности, а нарушение безопасности снижает эффективность.

Актуальность темы, заключается в том, что современное развитие промышленности сопровождается ростом нагрузки на окружающую среду. В этих условиях обеспечение экологической безопасности становится не только государственной задачей, но и требованием к каждому хозяйствующему субъекту. Однако простое соблюдение

нормативов (ПДК, ПДВ) часто оказывается недостаточным: предприятиям нужны инструменты, позволяющие оценивать, насколько эффективно используются ресурсы и снижается негативное воздействие. Именно здесь возникает понятие «экологическая эффективность», которое в последние годы активно внедряется в корпоративный менеджмент и международные стандарты (ISO 14031) [2].

Цель данной статьи — разработать методологию интеграции системного подхода и стандартизированной системы показателей, позволяющую предприятиям не просто собирать данные об экологических показателях, но и использовать их для обоснованных управленческих решений в области экологической безопасности.

Материалы и методы

Системный причинно-следственный анализ как основа экологического управления

Для эффективного управления экологической безопасностью предприятия необходимо рассматривать воздействие на окружающую среду как систему взаимосвязанных элементов, каждый из которых требует своих показателей. В теории экологического менеджмента выделяют пять последовательных элементов такой системы:

1. Экономическая деятельность и потребности общества. Это основные причины экологических проблем: рост производства, увеличение потребления ресурсов, развитие инфраструктуры, изменение структуры спроса. Эти факторы определяют масштаб и характер будущего воздействия на природу [3].

2. Нагрузки на окружающую среду. В основном нагрузки включают: выбросы загрязняющих веществ в атмосферу, сбросы в водные объекты, образование отходов производства и потребления, забор воды из природных источников, изменение землепользования.

3. Состояние компонентов природной среды. Оно отражает результат воздействия нагрузок: концентрации загрязняющих веществ в атмосферном воздухе на границе санитарно-защитной зоны и в зоне влияния предприятия, качество воды в водных объектах в местах водозабора и сброса сточных вод, состояние почвенного покрова на территории предприятия и прилегающих территориях, уровень шумового воздействия на границе жилой застройки [4].

4. Последствия изменения состояния среды. Это воздействие на здоровье населения (рост заболеваемости, снижение продолжительности жизни), экономические последствия (ущерб от загрязнения, компенсационные выплаты, штрафы).

5. Управленческие меры реагирования. Это действия, предпринимаемые предприятием, обществом и государством для снижения нагрузок, улучшения состояния среды или смягчения последствий: технологические инновации, внедрение лучших доступных технологий, инвестиции в природоохранную деятельность, проведение экологических аудитов, обучение персонала, разработка разрешительной документации [5].

Преимущество системного подхода заключается в том, что он описывает не статичную картину, а цикл, позволяющий выявить, какие именно управленческие меры воздействуют на какие звенья причинно-следственной цепи.

Система показателей ГОСТ Р ИСО 14031-2023

Классификация показателей экологической эффективности (по ГОСТ Р ИСО 14031-2023) «Экологический менеджмент. Оценка экологической результативности. Руководящие указания» закрепляет классификацию, согласно которой все показатели экологической эффективности подразделяются на три основные категории: показатели эффективности управления (ПЭУ), показатели эффективности функционирования (ПЭФ) и показатели состояния окружающей среды (ПСОС). Данные группы формируют общую систему, которая помогает организации комплексно оценивать и совершенствовать свою экологическую результативность [6].

1. Показатели эффективности управления (ПЭУ). Обеспечивают информацию о решениях, действиях и усилиях руководства, направленных на улучшение экологической эффективности организации.

2. Показатели эффективности функционирования (ПЭФ). Отражают экологическую эффективность самих производственных и операционных процессов организации, то есть непосредственное воздействие предприятия на окружающую среду.

3. Показатели состояния окружающей среды (ПСОС). Предоставляют информацию о местных, региональных, национальных или глобальных условиях окружающей среды, помогая организации выявить своё фактическое и потенциальное влияние на экосистему [7].

Стандарт подчёркивает, что оценка экологической результативности — это непрерывный процесс, основанный на модели «Планирование – Выполнение – Проверка – Действие».

Результаты и обсуждение

В данной работе была разработана матрица соответствия между элементами системного причинно-следственного анализа и группами показателей ГОСТ Р ИСО 14031 [8]. Благодаря этой матрице (таб. 1), мы сможем проанализировать результат работ на каждом этапе.

Таблица 1.

Матрица интеграции системного подхода и показателей экологической результативности

Пункты системного анализа	Тип показателя по ГОСТ Р ИСО 14031	Примеры конкретных индикаторов
Экономическая деятельность	ПЭУ + ПЭФ (контекстные)	Рост объёма производства, потребление ресурсов, изменение структуры спроса
Нагрузки на окружающую среду	ПЭФ (операционные)	Удельные выбросы на единицу продукции, масса отходов по классам опасности, водопотребление на тонну продукции, энергоёмкость производства
Состояние компонентов природной среды	ПСОС	Концентрации загрязняющих веществ на границе СЗЗ, качество воды в местах водозабора и сброса, состояние почв, уровень шума
Последствия изменения состояния среды	ПСОС + ПЭУ (оценочные)	Заболеваемость населения, экономический ущерб от загрязнения, снижение биоразнообразия

Пункты системного анализа	Тип показателя по ГОСТ Р ИСО 14031	Примеры конкретных индикаторов
Управленческие меры реагирования	ПЭУ	Степень выполнения планов природоохранных мероприятий, инвестиции в «зелёные» технологии, количество экологических аудитов, наличие разрешительной документации

Главный смысл матрицы — сделать экологию управляемой. Без неё предприятие видит только кусочки: вот выбросы, вот отходы, вот затраты. С ней — всю цепочку: от того, что попадает в трубу, до того, как это отражается на здоровье людей [9]. Это позволяет не тратить деньги зря, а вкладывать их туда, где будет реальный эффект, и при этом быть открытыми перед обществом и государством.

Практическая реализация: корпоративный стандарт ПАО «Газпром»

Примером успешной адаптации системы показателей к корпоративным нуждам служит СТО Газпром 9 – 2005 «Оценка экологической эффективности в системе менеджмента охраны окружающей среды». Стандарт, разработанный на основе ГОСТ Р ИСО 14031, конкретизирует показатели применительно к газовой отрасли и содержит три группы индикаторов, полностью соответствующих предложенной матрице интеграции [10].

Показатели эффективности функционирования системы — аналог ПЭФ, характеризует экологическую результативность производственных процессов, включая:

- Удельные показатели использования сырья, материалов, топливно-энергетических ресурсов на единицу продукции.
- Показатели образования, утилизации и размещения отходов производства.
- Показатели выбросов загрязняющих веществ в атмосферу и сбросов в водные объекты, в том числе в расчёте на единицу продукции или единицу времени.
- Показатели использования водных ресурсов и водоотведения.

Показатели эффективности управления — отражают результативность управленческих воздействий и включают

- Степень достижения экологических целей и выполнения планов природоохранных мероприятий.
- Количество проведённых экологических аудитов, проверок и обучений персонала.
- Объём финансирования природоохранной деятельности и затраты на выполнение экологических обязательств.
- Наличие и актуальность необходимой разрешительной документации (лимиты, нормативы) [11].

Показатели состояния окружающей среды — характеризуют влияние деятельности организации на компоненты природной среды и могут включать:

- Концентрации загрязняющих веществ в атмосферном воздухе на границе санитарно-защитной зоны и в зоне влияния предприятия.
- Качество воды в водных объектах в местах водозабора и сброса сточных вод.
- Состояние почвенного покрова на территории предприятия и прилегающих территориях.
- Уровень шумового воздействия на границе жилой застройки [12].

Выводы

Проведённый анализ показывает, что системный подход и классификация показателей по ГОСТ Р ИСО 14031 дополняют друг друга. Первый даёт понимание цепочки «причины – воздействия – последствия – меры», второй – измеримый инструмент для каждого пункта.

Предложенная матрица интеграции помогает предприятиям трансформировать экологические данные в новые решения, связывая операционные показатели (ПЭФ), управленческие усилия (ПЭУ) и состояние среды (ПСОС). Это преодолевает разрыв между разными подходами и общим управлением безопасностью.

Опыт ПАО «Газпром» подтверждает практическую применимость подхода. При этом важно помнить о связи эффективности и безопасности: рост эффективности (снижение ресурсоёмкости и выбросов) обычно повышает безопасность, но возможны противоречия (например, концентрация отходов ради экономии). Поэтому необходима сбалансированная оценка, основанная на наилучших доступных технологиях и единой базе.

Список литературы

1. Бардаханова Т.Б., Мункуева В.Д. Использование DPSIR для сравнения методологических подходов к измерению эколого-экономической информации // Вестник Бурятского государственного университета. Экономика и менеджмент. – 2020. – № 3.
2. Башуров В.Б., Дербенева Г.В., Пыхтеева Е.В., Широбоков С.Н. Экологическая безопасность предприятия: комплексная методика оценки // Экономические науки. – 2015. – № 3.
3. ГОСТ Р 113.00.16–2023. Наилучшие доступные технологии. Подходы к проведению сравнительного анализа ресурсоэффективности и экологической результативности предприятий для предупреждения или минимизации негативного воздействия на окружающую среду. – М.: Российский институт стандартизации, 2023.
4. ГОСТ Р ИСО 14031-2016. Экологический менеджмент. Оценка экологической эффективности. Руководство по оценке экологической эффективности. – М.: Стандартинформ, 2016.
5. ГОСТ Р ИСО 14031-2023. Экологический менеджмент. Оценка экологической результативности. Руководящие указания. – М.: Российский институт стандартизации, 2023.
6. Постановление Правительства РФ от 03.03.2018 № 222 «Об утверждении Правил установления санитарно-защитных зон и использования земельных участков, расположенных в границах санитарно-защитных зон» // Собрание законодательства РФ. – 2018. – № 12. – Ст. 1685.
7. Приказ Минприроды России от 19.11.2021 № 871 «Об утверждении Порядка проведения инвентаризации стационарных источников и выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух, корректировки ее данных, документирования и хранения данных, полученных в результате проведения таких инвентаризации и корректировки» [Электронный ресурс]. // Официальный интернет-портал правовой информации. URL: <http://pravo.gov.ru> (дата обращения: 21.07.2026).

8. Приказ Минприроды России от 29.12.2020 № 1118 «Об утверждении методики разработки нормативов допустимых сбросов загрязняющих веществ в водные объекты» (с изменениями на 2025–2026 гг.) [Электронный ресурс]. // Официальный интернет-портал правовой информации. URL: <http://pravo.gov.ru> (дата обращения: 21.07.2026).
9. СТБ ИСО 14001-2005. Системы управления окружающей средой. Требования и руководство по применению. – Минск: Госстандарт Республики Беларусь, 2005. Минск: Госстандарт Республики Беларусь, 2005.
10. СТО Газпром 9–2005. Система стандартизации ОАО «Газпром». Оценка экологической эффективности в системе менеджмента охраны окружающей среды. – М.: ОАО «Газпром», 2005.
11. Хван М.С., Лишко Д.С. Методика оценки уровня экологической безопасности социально-экономических систем: информационная база, алгоритмы оценки, апробация // Вестник Новосибирского государственного университета экономики и управления. – 2016. – № 3.

References

1. Bardakhanova T.B., Munkueva V.D. Using DPSIR to Compare Methodological Approaches to Measuring Environmental and Economic Information // Bulletin of the Buryat State University. Economics and Management. – 2020. – № 3.
2. Bashurov V.B., Derbeneva G.V., Pykhteeva E.V., Shirobokov S.N. Environmental Safety of an Enterprise: A Comprehensive Assessment Methodology // Economic Sciences. – 2015. – № 3.
3. GOST R 113.00.16–2023. Best Available Technologies. Approaches to Conducting a Comparative Analysis of Resource Efficiency and Environmental Performance of Enterprises to Prevent or Minimize Negative Impact on the Environment. – Moscow: Russian Institute of Standardization, 2023. Moscow: Russian Institute of Standardization, 2023.
4. GOST R ISO 14031-2016. Environmental management. Environmental performance assessment. Guidelines for environmental performance assessment. – Moscow: Standartinform, 2016. Moscow: Standartinform, 2016.
5. GOST R ISO 14031-2023. Environmental management. Environmental performance assessment. Guidelines. – Moscow: Russian Institute of Standardization, 2023. Moscow: Russian Institute of Standardization, 2023.
6. RF Government Resolution of 03.03.2018 No. 222 «On approval of the Rules for establishing sanitary protection zones and using land plots located within the boundaries of sanitary protection zones» // Collected Legislation of the Russian Federation. – 2018. – Т. 1685, № 222.
7. Order of the Ministry of Natural Resources of Russia dated November 19, 2021 No. 871 «On Approval of the Procedure for Conducting an Inventory of Stationary Sources and Emissions of Pollutants into the Atmospheric Air, Adjusting Its Data, Documenting and Storing Data Obtained as a Result of Such Inventory and Adjustment» // Official Internet Portal of Legal Information. – URL: <http://pravo.gov.ru> (accessed 07.08.2026) (дата обращения: 21.07.2026).

8. Order of the Ministry of Natural Resources of Russia dated December 29, 2020 No. 1118 «On Approval of the Methodology for Developing Standards for Permissible Discharges of Pollutants into Water Bodies» (as amended for 2025–2026) // Official Internet Portal of Legal Information. – URL: <http://pravo.gov.ru> (accessed 07.08.2026) (дата обращения: 21.07.2026).
9. STB ISO 14001-2005. Environmental Management Systems. Requirements and Guidance for Use. – Minsk: Gosstandart of the Republic of Belarus, 2005. Minsk: Gosstandart of the Republic of Belarus, 2005.
10. STO Gazprom 9–2005. Standardization system of OAO Gazprom. Assessment of environmental efficiency in the environmental management system. – Moscow: OAO Gazprom, 2005. Moscow: OAO Gazprom, 2005.
11. Khvan M.S., Lishko D.S. Methodology for assessing the level of environmental safety of socio-economic systems: information base, assessment algorithms, testing // Bulletin of the Novosibirsk State University of Economics and Management. – 2016. – № 3.

Статья поступила в редакцию: 07.07.2026

Статья принята к публикации: 28.07.2026

Статья опубликована: 07.08.2026

УДК 634.8:631.674.6

DOI: 10.32743/UniChem.2026.146.8.23243

Влияние различных норм капельного орошения на урожайность и качество урожая технических сортов винограда

Файзиев Жамолиддин Насирович

д-р с.-х. наук, проф., начальник

отдела агротехники и коллекции плодовых культур, Научно-исследовательский институт садоводства, виноградарства и виноделия имени академика М. Мирзаева

Узбекистан, с. Гулистан

ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-9829-2840>

E-mail: j.fayziyev0102@gmail.com

Фархадов Аброр Акмалович

докторант (PhD)

мл. науч. сотр., Научно-исследовательский институт садоводства, виноградарства и виноделия имени академика М. Мирзаева

Узбекистан, с. Гулистан

ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-3748-4670>

E-mail: farxodovabrор@gmail.com

Influence of various drip irrigation rates on yield and quality of technical grape varieties

Farkhadov Abror Akmalovich

PhD

Doctoral Researcher

Junior Research Fellow at the Research Institute of Horticulture Viticulture and Winemaking named after Academician M. Mirzaev

Uzbekistan, Gulistan

Fayziev Jamoliddin Nasirovich

doctor of Agricultural Sciences, Professor

Head of the Department of Agricultural Technology and Fruit Crop Collection, Academician

M. Mirzaev Research Institute of Horticulture

Viticulture, and Winemaking

Uzbekistan, Gulistan

Библиографическое описание: Файзиев Ж.Н., Фархадов А.А. Влияние различных норм капельного орошения на урожайность и качество урожая технических сортов винограда // Universum: химия и биология : электрон. научн. журн. 2026. 8(146). URL: <https://7universum.com/ru/nature/archive/item/23243>

Аннотация

В данной статье изучено влияние различных норм капельного орошения на урожайность и качество урожая винных сортов винограда Баян ширей, Ркацители и Рангдор. Исследования проводились в 2023–2025 годах на опытных участках Научно-исследовательского института садоводства, виноградарства и виноделия имени академика М. Мирзаева. В опыте в качестве контрольного варианта применялось традиционное бороздковое орошение с оросительной нормой 800 м³/га. Опытные варианты предусматривали капельное орошение с поливными нормами 600, 500, 400, 300 и 200 м³/га в каждую фенологическую фазу развития растений. Результаты исследований показали, что у всех изученных сортов наилучшие показатели были получены при норме капельного орошения 400 м³/га в каждую фенологическую фазу (сезонная норма — 1600 м³/га). В данном варианте доля плодоносных побегов у сортов Баян ширей, Ркацители и Рангдор составила соответственно 74,9; 76,1 и 72,5 %. Также отмечены высокие показатели урожайности с одного куста и содержания сахаров в соке ягод. Полученные результаты свидетельствуют о том, что применение капельного орошения с нормой 400 м³/га является оптимальным для эффективного использования водных ресурсов и получения высокого урожая винных сортов винограда.

Abstract

This article investigates the effect of different drip irrigation rates on the yield and fruit quality of the wine grape cultivars Bayan Shirey, Rkatsiteli, and Rangdor. The research was conducted during 2023–2025 at the experimental fields of the Academician M. Mirzayev Research Institute of Horticulture, Viticulture and Winemaking. In the experiment, traditional furrow irrigation with an irrigation rate of 800 m³/ha was used as the control treatment. The experimental treatments included drip irrigation with irrigation rates of 600, 500, 400, 300, and 200 m³/ha applied at each phenological stage of plant development. The results showed that the highest values for all studied cultivars were obtained under the drip irrigation rate of 400 m³/ha at each phenological stage (seasonal irrigation rate of 1,600 m³/ha). Under this treatment, the proportion of fruitful shoots reached 74.9 %, 76.1 %, and 72.5 % for the cultivars Bayan Shirey, Rkatsiteli, and Rangdor, respectively. In addition, this irrigation regime provided high yield per vine and increased sugar content in the berry juice. The obtained results indicate that drip irrigation with an irrigation rate of 400 m³/ha is the optimal regime for efficient water use and achieving high yield and quality in wine grape cultivars.

Ключевые слова: виноград, винные сорта, капельное орошение, урожайность, гроздь винограда, сахаристость, кислотность, Баян Ширей, Ркацители, Рангдор.

Keywords: grapevine, wine grape varieties, drip irrigation, yield, grape cluster, sugar content, acidity, Bayan Sheriy, Rkatsiteli, Rangdor.

Введение

В Республике Узбекистан виноградарство является одной из стратегически важных отраслей сельского хозяйства. В нашей стране виноградарство занимает важное место в обеспечении населения качественными продуктами питания, развитии перерабатывающей промышленности и производстве экспортно-ориентированной продукции. В частности, выращивание высококачественного винограда для винодельческой промышленности имеет большое значение для диверсификации экономики страны и повышения её экспортного потенциала [2; 5; 6]. В последние годы глобальное изменение климата и всё более ограниченные запасы водных ресурсов обуславливают необходимость внедрения водосберегающих технологий при возделывании сельскохозяйственных культур, в том числе виноградников. С этой точки зрения технология капельного орошения является одним из наиболее эффективных способов рационального использования водных ресурсов, улучшения водообеспеченности растений, а также повышения урожайности и качества получаемой продукции [1; 7; 9; 11; 17].

Урожайность и качество продукции технических сортов винограда в значительной степени зависят от почвенно-климатических условий и режима орошения. Как избыточные, так и недостаточные нормы полива могут отрицательно влиять на рост виноградной лозы, формирование элементов урожая, развитие гроздей, а также на содержание сахаров и органических кислот в ягодах. В связи с этим определение оптимальных норм орошения для технических сортов винограда в конкретных почвенно-климатических условиях является актуальной научной и практической задачей [14; 17; 16; 18].

Исследования зарубежных и отечественных учёных свидетельствуют о положительном влиянии капельного орошения на рост виноградной лозы, урожайность, механический состав гроздей и биохимические показатели ягод винограда. Однако в условиях Узбекистана влияние различных норм капельного орошения на урожайность и качество продукции технических сортов винограда, таких как Баян ширей, Ркацители и Рангдор, изучено недостаточно [8; 12; 13; 15; 3]. Целью исследования являлось изучение влияния различных норм капельного орошения на урожайность, механический состав гроздей и химические показатели технических сортов винограда Баян ширей, Ркацители и Рангдор, а также определение оптимальной нормы орошения для производственных условий. Полученные результаты позволят усовершенствовать технологию возделывания технических сортов винограда, обеспечить более эффективное использование водных ресурсов и разработать научно обоснованные рекомендации по выращиванию высококачественного винограда для виноделия. Статистическая обработка экспериментальных данных выполнена методом дисперсионного анализа по Б.А. Доспехову [6].

Материалы и методы

Исследования проводились в 2023–2025 годах на опытном участке Научно-исследовательского института садоводства, виноградарства и виноделия имени академика М. Мирзаева, расположенном в Паркентском районе Ташкентской области Республики Узбекистан. Объектами исследования являлись технические сорта винограда Баян ширей,

Ркацители и Рангдор. Опыт был заложен методом полевого эксперимента по Б.А. Доспехову в четырехкратной повторности. Схема посадки виноградника составляла $3,0 \times 2,5$ м, густота стояния растений — 1333 куста на гектар.

Изучали шесть вариантов водного режима:

Контроль — традиционное бороздковое орошение ($800 \text{ м}^3/\text{га}$ в каждую фенологическую фазу);

капельное орошение — $600 \text{ м}^3/\text{га}$;

капельное орошение — $500 \text{ м}^3/\text{га}$;

капельное орошение — $400 \text{ м}^3/\text{га}$;

капельное орошение — $300 \text{ м}^3/\text{га}$;

капельное орошение — $200 \text{ м}^3/\text{га}$.

Контрольным вариантом служило традиционное бороздковое орошение, которое использовали для сравнительной оценки эффективности различных режимов капельного орошения. Указанные нормы применялись в каждую фенологическую фазу развития растений: распускание почек, перед цветением, формирование ягод и созревание урожая.

Каждый куст оснащался двумя капельницами общей производительностью 8 л/ч. Поливы проводились с учетом поддержания оптимальной влажности корнеобитаемого слоя почвы.

В процессе исследований определяли:

долю плодоносных побегов;

количество гроздей на побеге;

массу и размеры гроздей;

механический состав гроздей;

урожайность с куста;

урожайность с гектара;

содержание сахаров;

титруемую кислотность ягод.

Сахаристость определяли рефрактометрическим методом, титруемую кислотность — методом титрования в соответствии с общепринятыми методиками виноградарства.

Экспериментальные данные подвергались математической обработке методом дисперсионного анализа по Б.А. Доспехову (Методика полевого опыта, 1985). Достоверность различий между вариантами оценивали по критерию HCP_{05} ($\text{LSD}_{0.05}$) при уровне значимости $P \leq 0,05$.

Результаты и обсуждение

По результатам исследований установлено, что в четвёртом варианте опыта, при применении капельного орошения нормой $400 \text{ м}^3/\text{га}$, у сорта винограда Баян ширей отмечено наибольшее развитие плодоносных побегов (табл. 1).

При этом доля побегов с одной гроздью составила 45,3 %, с двумя гроздьями — 26,4 %, с тремя гроздьями — 3,2 %, а общая доля плодоносных побегов достигла 74,9 %. Среднее количество гроздей на одном плодоносном побеге составило 1,61. По сравнению

с контрольным вариантом доля побегов с одной и двумя гроздьями была выше на 5,1 и 4,3 % соответственно, доля побегов с тремя гроздьями — на 3,2 %, а общая доля плодоносных побегов — на 12,6 %.

Установлено, что как недостаточные, так и избыточные нормы орошения отрицательно влияли на развитие плодоносных побегов. При капельном орошении нормой 200 м³/га общая доля плодоносных побегов была на 2,7 % ниже по сравнению с контрольным вариантом. При применении капельного орошения нормами 300, 500 и 600 м³/га этот показатель также оказался ниже контроля и составил на 0,3 % меньше.

У сорта Ркацители также наилучшие результаты были получены в четвёртом варианте опыта. При капельном орошении нормой 400 м³/га доля побегов с одной гроздью составила 47,5 %, с двумя гроздьями — 25,4 %, с тремя гроздьями — 3,2 %, а общая доля плодоносных побегов достигла 76,1 %. Среднее количество гроздей на одном плодоносном побеге в данном варианте составило 1,55.

Таблица 1.

Влияние различных норм капельного орошения на развитие плодоносных побегов технических сортов винограда (2023–2025 гг.)

Варианты	Норма орошения за одну фазу, м ³ /га	Сезонный расход воды, м ³ /га	Плодоносные побеги, %				Количество гроздей на одном плодo-носном побе-ге, шт.
			с одной гроздью	с двумя гроздьями	с тремя гроздьями	всего	
Сорт Баян шерий							
Контроль (бороздковое орошение)	800	3200	40,2	22,1	0	62,3	1,34
При капельном орошении	600	2400	40,0	21,1	0	61,1	1,30
При капельном орошении	500	2000	40,1	21,3	0,8	62,2	1,29
При капельном орошении	400	1600	45,3	26,4	3,2	74,9	1,61
При капельном орошении	300	1200	40,1	20,3	1,0	61,4	1,30
При капельном орошении	200	800	40,4	20,3	0	60,7	1,32
Сорт Ркацители							
Контроль (бороздковое орошение)	800	3200	43,4	21,3	0	64,7	1,31
При капельном орошении	600	2400	41,6	21,2	1,8	64,6	1,30
При капельном орошении	500	2000	42,6	21,0	0	63,6	1,29
При капельном орошении	400	1600	47,5	25,4	3,2	76,1	1,55
При капельном орошении	300	1200	42,2	20,4	0	62,6	1,30
При капельном орошении	200	800	41,1	20,2	0	60,3	1,24

Варианты	Норма орошения за одну фазу, м ³ /га	Сезонный расход воды, м ³ /га	Плодоносные побеги, %				Количество гроздей на одном плодoносном побеге, шт.
			с одной гроздью	с двумя гроздьями	с тремя гроздьями	всего	
Сорт Рангдор							
Контроль (бороздковое орошение)	800	3200	42,3	23,1	0	65,4	1,38
При капельном орошении	600	2400	41,0	21,0	1,2	64,2	1,36
При капельном орошении	500	2000	41,5	21,5	1,3	64,3	1,35
При капельном орошении	400	1600	45,6	24,5	2,4	72,5	1,55
При капельном орошении	300	1200	42,2	22,6	0	64,8	1,25
При капельном орошении	200	800	40,8	21,2	0	62,0	1,20

В четвёртом варианте сорт Рангдор также, исходя из своих биологических особенностей, показал следующие результаты. Доля побегов с одной гроздью составила 45,6 %, с двумя гроздьями — 24,5 %, с тремя гроздьями — 2,4 %, а общая доля плодоносных побегов достигла 72,5 %.

По сравнению с контрольным вариантом доля побегов с одной гроздью была выше на 1,1 %, с двумя гроздьями — на 1,0 %, с тремя гроздьями — на 3,3 %, а общая доля плодоносных побегов увеличилась на 7,1 %.

У сорта Ркацители как недостаточное, так и избыточное водообеспечение оказало отрицательное влияние на развитие плодоносных побегов. При капельном орошении с оросительными нормами 300, 500 и 600 м³/га по сравнению с контрольным вариантом доля побегов с одной гроздью была ниже на 1,2–1,2 %, с двумя гроздьями — на 0,1–0,9 %, с тремя гроздьями — на 1,8 %, а общая доля плодоносных побегов уменьшилась на 0,2 %. При очень низкой оросительной норме 200 м³/га также наблюдалось снижение общей доли плодоносных побегов на 0,7 % по сравнению с контрольным вариантом.

У сорта Рангдор наиболее высокие показатели были отмечены при капельном орошении с оросительной нормой 400 м³/га. По результатам наблюдений доля побегов с одной гроздью составила 45,6 %, с двумя гроздьями — 24,5 %, с тремя гроздьями — 2,4 %, а общая доля плодоносных побегов достигла 72,5 %. При изучении влияния различных норм орошения на механический состав винных сортов винограда были определены масса и размеры гроздей, а также их общий механический состав, включая содержание мякоти и сока, гребней, кожицы и семян. По результатам исследований установлено, что изучаемые показатели в большей степени влияли на массу и размеры гроздей исследуемых сортов винограда и в меньшей степени — на их механический состав (таблица 2).

Таблица 2.

**Влияние различных норм капельного орошения на механический состав гроздей
винных сортов винограда (2023–2025 гг.)**

Варианты	Норма орошения за одну фазу, м³/га	Сезонный расход воды, м³/га	Грозди винограда		Состав массы грозди, %			
			масса грозди, г	размер, см	мякоть и сок	гребень	кожица	семена
Сорт Баян ширей								
Контроль (бороздковое орошение)	800	3200	330	15×9	86,4	4,1	4,2	5,3
При капельном орошении	600	2400	390	15×9	86,4	4,2	4,2	5,2
При капельном орошении	500	2000	387	16×9	86,6	4,1	4,1	5,2
При капельном орошении	400	1600	395	16×10	86,6	4,2	4,1	5,1
При капельном орошении	300	1200	375	16×9	86,3	4,2	4,2	5,3
При капельном орошении	200	800	360	15×9	86,4	4,1	4,2	5,3
НСР ₀₅			1,8	–	–	–	–	–
НСР _%			1,1	–	–	–	–	–
Сорт Ркацители								
Контроль (бороздковое орошение)	800	3200	160	19×13	90,2	3,8	3,9	2,1
При капельном орошении	600	2400	187	20×15	90,1	3,7	4,1	2,1
При капельном орошении	500	2000	185	21×13	90,1	3,8	4	2,1
При капельном орошении	400	1600	190	22×15	90,2	3,7	4,1	2,0
При капельном орошении	300	1200	175	21×12	90,0	3,9	3,9	2,2
При капельном орошении	200	800	170	19×13	90,2	3,8	3,9	2,1
НСР ₀₅			1,9	–	–	–	–	–
НСР _%			1,3	–	–	–	–	–
Сорт Рангдор								
Контроль (бороздковое орошение)	800	3200	320	19×10	85,5	3,3	6,9	4,3
При капельном орошении	600	2400	380	19×10	86	3,2	6,6	4,2
При капельном орошении	500	2000	378	21×10	85,7	3,3	6,7	4,3
При капельном орошении	400	1600	384	21×11	86,0	3,2	6,6	4,2
При капельном орошении	300	1200	370	20×10	85,7	3,3	6,7	4,3

Варианты	Норма орошения за одну фазу, м ³ /га	Сезонный расход воды, м ³ /га	Грозди винограда		Состав массы грозди, %			
			масса грозди, г	размер, см	мякоть и сок	гребень	кожица	семена
При капельном орошении	200	800	362	19×10	85,5	3,3	6,9	4,3
НСР ₀₅				—	—	—	—	—
НСР _%			1,4	—	—	—	—	—

Указанные показатели у всех исследуемых сортов были наиболее высокими в четвёртом варианте опыта. У сорта Баян ширей при капельном орошении с оросительной нормой 400 м³/га масса грозди составила 395 г, а её размер — 16×10 см. По сравнению с контрольным вариантом масса грозди была больше на 65 г, а размер — на 1×1 см. В данном варианте механический состав грозди сорта Баян ширей характеризовался следующим образом: мякоть и сок — 86,6 %, гребень — 4,2 %, кожица — 4,1 %, семена — 5,1 %. Наименьшие показатели были получены в шестом варианте при капельном орошении с оросительной нормой 200 м³/га, где масса грозди составила 325 г, а её размер — 15×9 см, что было соответственно на 5 г и 1×0 см меньше по сравнению с контрольным вариантом.

В четвёртом варианте у сорта Ркацители масса грозди составила 190 г, размер — 22×15 см, а механический состав характеризовался следующими показателями: мякоть и сок — 90,2 %, гребень — 3,7 %, кожица — 4,1 %, семена — 2,0 %. По массе и размеру грозди данный вариант превосходил контрольный на 30 г и 3×2 см соответственно. В то же время существенных различий в механическом составе гроздей между вариантами опыта практически не наблюдалось. Наименьшие показатели массы и размеров гроздей были отмечены в шестом варианте при капельном орошении с оросительной нормой 200 м³/га, где масса грозди составила 154 г, а её размер — 18×11 см.

В четвёртом варианте у сорта Рангдор отмечены наиболее высокие показатели строения гроздей по сравнению с другими вариантами опыта. Масса грозди составила 384 г, размер — 22×11 см. По механическому составу гроздей содержание мякоти и сока составило 85,5 %, гребней — 3,2 %, кожицы — 6,6 %, семян — 4,2 %. По результатам исследований установлено, что у сорта Рангдор наиболее высокие показатели также были отмечены в четвёртом варианте. Масса грозди составила 384 г, а её размер — 21×11 см. Механический состав грозди характеризовался следующим образом: мякоть и сок — 85,5 %, гребень — 3,2 %, кожица — 6,6 %, семена — 4,2 %. По сравнению с контрольным вариантом масса грозди была больше на 64 г, а её размер — на 1 см. Нормы капельного орошения оказали особенно значительное влияние на количество гроздей на кусте и урожайность с одного куста. Кроме того, они положительно повлияли на содержание сахаров и кислот в виноградном соке. По результатам учётов и наблюдений установлено, что по мере снижения содержания сахаров в соке содержание кислот возрастало, то есть между этими показателями наблюдалась обратная зависимость (таблица 3). Анализ данных таблицы 3 показал, что различные нормы капельного орошения оказали существенное влияние на урожайность винных сортов винограда и биохимический состав виноградного сока. У всех изучаемых сортов наиболее высокие показатели урожайности были отмечены в варианте, где в каждую фенологическую фазу применялась оросительная норма 400 м³/га. В частности,

у сорта Баян ширей количество гроздей на одном кусте составило 68 шт., а урожайность с одного куста — 30,6 кг, что соответственно на 6 гроздей и 4,1 кг больше по сравнению с контрольным вариантом. У сорта Ркацители эти показатели составили 64 грозди и 25,7 кг, а у сорта Рангдор — 52 грозди и 23,8 кг соответственно.

Таблица 3.

Влияние различных норм капельного орошения на количество гроздей на одном кусте и химический состав винных сортов винограда (2023–2025 гг.)

Варианты	Норма орошения за одну фазу, м³/га	Сезонный расход воды, м³/га	Количество гроздей на кусте, шт	Урожай с куста, кг	Сахаристость, %	Кислотность, г/л
Сорт Баян ширей						
Контроль (бороздковое орошение)	800	3200	62	26,5	17,3	5,6
При капельном орошении	600	2400	65	29,9	19,1	5,3
При капельном орошении	500	2000	66	29,8	20,7	5,2
При капельном орошении	400	1600	68	30,6	23,0	5,0
При капельном орошении	300	1200	64	28,8	24,4	4,6
При капельном орошении	200	800	58	27,9	25,5	4,0
НСР ₀₅			2,1	0,6	—	—
НСР _%			1,1	0,10	—	—
Сорт Ркацители						
Контроль бороздковое орошение	800	3200	58	21,6	18,8	5,7
При капельном орошении	600	2400	61	25,2	19,3	5,2
При капельном орошении	500	2000	63	24,9	22,5	5,1
При капельном орошении	400	1600	64	25,7	23,4	5,0
При капельном орошении	300	1200	60	23,8	24,3	4,3
При капельном орошении	200	800	54	23,4	25,0	4,1
НСР ₀₅			1,4	0,5	—	—
НСР _%			1,3	0,08	—	—
Сорт Рангдор						
Контроль (бороздковое орошение)	800	3200	47	21,1	17,7	5,2
При капельном орошении	600	2400	48	23,4	19,5	4,8
При капельном орошении	500	2000	49	23,0	22,3	4,5

Варианты	Норма орошения за одну фазу, м³/га	Сезонный расход воды, м³/га	Количество гроздей на кусте, шт	Урожай с куста, кг	Сахаристость, %	Кислотность, г/л
При капельном орошении	400	1600	52	23,8	23,6	5,1
При капельном орошении	300	1200	49	22,5	24,3	5,2
При капельном орошении	200	800	48	22,0	25,1	5,4
НСР ₀₅			1,8	0,6	–	–
НСР _%			1,2	0,10	–	–

В ряде случаев показатели сахаристости повышались при снижении норм водообеспечения, однако при этом наблюдалось снижение урожайности. Например, в вариантах с нормами орошения 200 и 300 м³/га отмечалась более высокая сахаристость, но при этом снижались урожай с куста и количество гроздей на кусте. Таким образом, по совокупной оценке показателей урожайности и качества продукции наиболее оптимальным признан вариант с нормой капельного орошения 400 м³/га, применяемой в каждой фенологической фазе.

Выводы

Установлено, что при сравнении с традиционным бороздковым орошением наиболее эффективным оказался режим капельного орошения с поливной нормой 400 м³/га в каждую фенологическую фазу. Данный вариант обеспечил повышение урожайности, улучшение качественных показателей продукции и более рациональное использование оросительной воды. Полученные результаты соответствуют современным мировым исследованиям в области водосберегающих технологий выращивания винограда и подтверждают перспективность применения капельного орошения в условиях дефицита водных ресурсов.

Список литературы

1. Абдуллаев А.А. Эффективность технологии капельного орошения в виноградарстве // Ўзбекистон қишлоқ хўжалиги журнали. – 2022. – № 3.
2. Боймуродов Ш.Т. Агротехника технических сортов винограда. – Ташкент: Фан, 2021. – 210 с.
3. Вандеревайде Дж., Насроллахиязар Е., Шульце С., Саббатини П., Кастелларин С.Д. VanderWeide J., Nasrollahiazar E., Schultze S., Sabbatini P., Castellarin S.D. Impact of Cluster Thinning on Wine Grape Yield and Fruit Composition: A Review and Meta-Analysis [Электронный ресурс]. // Australian Journal of Grape and Wine Research. URL: <https://doi.org/> (дата обращения: 31.07.2026).
4. Жуманов А., Хасанова С. Дефицит водных ресурсов и урожайность винограда в условиях Узбекистана // Агроилм. – 2020. – № 4.

5. Ибрагимов М.М. Перспективы развития виноградарства в Узбекистане // *Archivarius*. – 2021. – Т. 7, № 4.
6. Мирзаев М.М. Основы виноградарства и виноделия. – Ташкент: Меҳнат, 2019. – 340 с.
7. Худоев И.Ж., Хужакулов Р. Основы технологии капельного орошения // *Инновационные технологии*. – 2023. – № 2.
8. Эргашев Б.Б. Влияние норм орошения на урожайность и качество технических сортов винограда // *Научный вестник сельского хозяйства*. – 2024. – № 1.
9. Abrisqueta I., Ayars J.E. Effect of alternative irrigation strategies on yield and quality of grapevine // *Water*. – 2018.
10. Centofanti T., Bañuelos G.S., Ayars J.E. Fruit nutritional quality under deficit irrigation: the case of table grapes in California // *Journal of the Science of Food and Agriculture*. – 2019.
11. Conesa M.R. de la Rosa J.M., Domingo R. Physiological response of deficit irrigation strategies in grapevine // *Agricultural Water Management*. – 2018.
12. Costa J.M., Vaz M., Escalona J. et al. Impact of deficit irrigation on grapevine cv. Touriga Nacional // *Plants*. – 2022. – Т. 859.
13. Intrigliolo D.S., Castel J.R. Deficit irrigation in grapevine production: Current knowledge and future prospects // *Scientia Horticulturae*. – 2024.
14. Keller M. *The Science of Grapevines: Anatomy and Physiology*. – London: Academic Press, 2020. – 756 P.
15. Losciale P., Conti L., Seripierri S. et al. Effect of different deficit irrigation regimes on vine performance, grape composition and wine quality of the «Primitivo» variety under Mediterranean conditions // *Irrigation Science*. – 2024.
16. Wang J., Gao L., Hou X., Hao W., Nangia V., Gong D. Vine age, variety and planting density influencing the effects of water supply on yield and quality of wine grapes: A meta-analysis // *Agricultural Water Management*. – 2025. – Т. 109768.
17. Wang Y., Zhang X., Li H. et al. Optimization of drip fertigation in wine grape production // *Agricultural Water Management*. – 2023. – Т. 108188.
18. Yu R., Li Y., Zhang H. et al. Advances in precision drip irrigation for sustainable viticulture // *Farming for the Future: Smart Agriculture Innovations* edited by Santosh D.T. – 2023. – DOI: 10.30954/NDP-farming.2023.3.

References

1. [Effectiveness of Drip Irrigation Technology in Viticulture] // *Ўзбекистон қишлоқ хўжалиги жўрнали*. – 2022. – № 3.
2. [Agrotechnics of Technical Grape Varieties]. – Tashkent: Fan, 2021. – 210 s (In Russ.)
3. Vanderevaje Dzh., Nasrollahiazar E., Shul'tse S., Sabbatini P., Kastellyarin S.D. [VanderWeide J., Nasrollahiazar E., Schultze S., Sabbatini P., Castellarin S.D. Impact of Cluster Thinning on Wine Grape Yield and Fruit Composition: A Review and Meta-Analysis] // *Australian Journal of Grape and Wine Research*. (In Russ.). – URL: <https://doi.org/>. (accessed 07.08.2026)

4. Zhumanov A., Khasanova S. [Water Resource Deficit and Grape Yield under Uzbekistan Conditions] // *Agroilm.* – 2020. – № 4.
5. [Prospects for the Development of Viticulture in Uzbekistan] // *Archivarius.* – 2021. – T. 7, № 4.
6. [Fundamentals of Viticulture and Winemaking]. – Tashkent: Mexnat, 2019. – 340 s (In Russ.)
7. Khudoev I.Zh., Khuzhakulov R. [Fundamentals of Drip Irrigation Technology] // *Innovatsionnye tekhnologii.* – 2023. – № 2.
8. [Influence of Irrigation Norms on Yield and Quality of Technical Grape Varieties] // *Nauchnyj vestnik sel'skogo khozyajstva.* – 2024. – № 1.
9. Abrisqueta I., Ayars J.E. Effect of alternative irrigation strategies on yield and quality of grapevine // *Water.* – 2018.
10. Centofanti T., Bañuelos G.S., Ayars J.E. Fruit nutritional quality under deficit irrigation: the case of table grapes in California // *Journal of the Science of Food and Agriculture.* – 2019.
11. Conesa M.R. de la Rosa J.M., Domingo R. Physiological response of deficit irrigation strategies in grapevine // *Agricultural Water Management.* – 2018.
12. Costa J.M., Vaz M., Escalona J. et al. Impact of deficit irrigation on grapevine cv. Touriga Nacional // *Plants.* – 2022. – T. 859.
13. Intrigliolo D.S., Castel J.R. Deficit irrigation in grapevine production: Current knowledge and future prospects // *Scientia Horticulturae.* – 2024.
14. Keller M. *The Science of Grapevines: Anatomy and Physiology.* – London: Academic Press, 2020. – 756 P.
15. Losciale P., Conti L., Seripierri S. et al. Effect of different deficit irrigation regimes on vine performance, grape composition and wine quality of the «Primitivo» variety under Mediterranean conditions // *Irrigation Science.* – 2024.
16. Wang J., Gao L., Hou X., Hao W., Nangia V., Gong D. Vine age, variety and planting density influencing the effects of water supply on yield and quality of wine grapes: A meta-analysis // *Agricultural Water Management.* – 2025. – T. 109768.
17. Wang Y., Zhang X., Li H. et al. Optimization of drip fertigation in wine grape production // *Agricultural Water Management.* – 2023. – T. 108188.
18. Yu R., Li Y., Zhang H. et al. Advances in precision drip irrigation for sustainable viticulture // *Farming for the Future: Smart Agriculture Innovations* edited by Santosh, D.T. – 2023. – DOI: 10.30954/NDP-farming.2023.3.

ARTICLES IN ENGLISH

CHEMISTRY

INORGANIC AND ANALYTICAL CHEMISTRY

Статья поступила в редакцию: 12.07.2026

Статья принята к публикации: 15.07.2026

Статья опубликована: 07.08.2026

УДК 543.42:544.77:677.074

DOI: 10.32743/UniChem.2026.146.8.23193

**Immobilization of alizarin red s onto silk fibroin fibers and spectral
characterization**

Madaminova Kamila

PhD Student

Khorezm Mamun Academy

Uzbekistan, Khiva

E-mail: komilam002@gmail.com

Ashirov Mansur

Senior Researcher, Candidate of Chemical Sciences, PhD

Khorezm Mamun Academy

Uzbekistan, Khiva

E-mail: mansur.ashirov.86@mail.ru

**Иммобилизация красителя ализарина красного s на волокнах шелкового
фибрина и спектральная характеристика**

Мадаминова Камила Нурединовна

аспирант

Академия им. Хорезма Мамуна

Узбекистан, г. Хива

Аширов Мансур

ст. науч. сотр., канд. хим. наук

Академия им. Хорезма Мамуна

Узбекистан, г. Хива

Abstract

In the present study, Alizarin Red S (ARS) was immobilized onto silk fibroin fibers with the aim of developing a novel functional composite material based on a natural biopolymer matrix. The physicochemical properties of the resulting ARS-silk fibroin system were investigated using diffuse

reflectance spectroscopy (DRS) and Fourier transform infrared (FTIR) spectroscopy. The results demonstrated that the optimal immobilization conditions were achieved within the pH range of 3.32 – 4.65 and at temperatures between 25 and 30 °C. Under these conditions, 0.2 g of silk fibroin effectively immobilized up to 79.9 mmol·g⁻¹ of ARS within 30 min. The appearance of a characteristic absorption band at 435 – 440 nm in the DRS spectra confirmed the successful immobilization of ARS onto the fibroin matrix. FTIR analysis further indicated the presence of intermolecular interactions between the amide groups of silk fibroin and the hydroxyl and sulfonate groups of ARS molecules. The obtained findings demonstrate that the ARS-modified silk fibroin possesses excellent sorption properties and can be considered a promising functional biomaterial for the development of optical and colorimetric sensors intended for the determination of heavy metal ions in environmental and analytical applications.

Аннотация

В данном исследовании с целью создания нового функционального композитного материала на основе природного биополимера – волокон шелкового фиброина – была проведена иммобилизация реагента Ализарин красный S (АКС). Физико-химические свойства полученной системы Ализарин красный S (АКС)-фиброин были исследованы методами спектроскопии диффузного отражения (DRS) и инфракрасной спектроскопии с преобразованием Фурье (FTIR). Результаты исследования показали, что оптимальные условия процесса иммобилизации достигаются в диапазоне pH 3,32 – 4,65 при температуре 25–30 °C. При указанных условиях образец шелкового фиброина массой 0,2 г способен эффективно связывать до 79,9 ммоль·г⁻¹ молекул АКС в течение 30 минут. Характерная полоса поглощения в области 435 – 440 нм, наблюдаемая в спектрах DRS, подтверждает успешную иммобилизацию АКС на матрице фиброина. Анализ FTIR-спектров свидетельствует о наличии межмолекулярных взаимодействий между амидными группами фиброина и гидроксильными и сульфонатными группами АКС. Полученные результаты демонстрируют, что модифицированный Ализарин красный S (АКС) шелковый фиброин обладает высокими сорбционными свойствами и может рассматриваться как перспективный функциональный биоматериал для создания оптических и колориметрических сенсоров, предназначенных для определения ионов тяжелых металлов.

Keywords: Alizarin Red S, silk fibroin, immobilization, diffuse reflectance spectroscopy (DRS), biomaterial, optical sensor.

Ключевые слова: ализариновый красный S, фиброин шелка, иммобилизация, спектроскопия диффузного отражения (DRS), биоматериал, оптический датчик.

Библиографическое описание: Мадаминова К.Н., Аширов М. Иммобилизация красителя ализарина красного s на волокнах шелкового фиброина и спектральная характеристика // Universum: химия и биология : электрон. научн. журн. 2026. 8(146). URL: <https://7universum.com/ru/nature/archive/item/23193>

For citation: Madaminova K., Ashirov M. Immobilization of alizarin red s onto silk fibroin fibers and spectral characterization // Universum: Chemistry and Biology : electronic scientific journal. 2026. No. 8(146). Available at: <https://7universum.com/ru/nature/archive/item/23193>

Acknowledgements

This research is being conducted within the framework of priority direction 2 – «Smart Materials and Nanotechnologies» under the priority research directions of the Academy of Sciences of the Republic of Uzbekistan planned until 2030.

1. Introduction

In recent years, the immobilization of organic indicator reagents onto solid support materials has become one of the rapidly developing scientific directions in analytical chemistry, biomaterials, and optical sensor technologies [1–3]. Immobilization technology makes it possible to enhance the chemical and photochemical stability of indicator reagents, reduce their leaching from the support matrix, improve reusability, and significantly enhance analytical parameters such as sensitivity and selectivity [1]. For this reason, extensive research is being conducted on the immobilization of various chromogenic and complex-forming reagents onto support materials based on silica gel, chitosan, cellulose, polymer membranes, nanocomposites, and natural biopolymers [2,3]. Modern research demonstrates that optical sensors based on immobilized reagents exhibit high analytical performance in environmental monitoring, biological fluid analysis, food safety, and industrial process control. Therefore, combining immobilization technologies with novel functional biomaterials is currently regarded as one of the priority scientific directions in analytical chemistry and sensor technologies.

Silk fibroin is a biodegradable material that induces a low-level inflammatory response in living organisms [4]. Due to its high biocompatibility, mechanical strength, controllable biodegradation properties, and excellent optical characteristics, it is widely applied as a promising biomaterial in various biomedical fields [5,6]. SF degrades at a controllable rate under in vivo and in vitro conditions [6]. The final degradation products consist of amino acids, which are easily assimilated by the organism [7]. These very properties are among the main reasons for the widespread application of silk fibroin in biomedicine [4]. Furthermore, by altering the degree of crystallinity and the β -sheet content of fibroin, as well as by processing it through various technological or post-treatment methods, its biodegradation rate can be controlled from several weeks to several years [8].

Silk fibroin obtained from local silk waste has been used as a functional support material, and the possibilities of immobilizing various organic analytical reagents, determining optimal conditions, and detecting Co(II) ions by sorption-spectroscopic methods have been studied. In particular, the successful immobilization of Eriochrome Black T reagent onto fibroin fiber, the immobilization mechanism, and the DRS and FTIR spectral characteristics of the resulting material were investigated, and this system was recommended as a promising material for the development of optical sensors [9].

However, an analysis of the available literature shows that the immobilization of ARS onto natural silk fibroin fiber, the optimal conditions of the immobilization process, and the diffuse reflectance and infrared spectral properties of the resulting material have not been sufficiently studied. This situation indicates the necessity of conducting additional research on the development of new functional biomaterials and optical sensors based on silk fibroin.

2. Experimental

2.1 Analytical Reagent Solutions

In this study, Alizarin Red S (ARS) was used as the analyte reagent to be immobilized. Alizarin Red S (CAS: 130-22-3) is an organic chromogenic reagent belonging to the class of anthraquinone derivatives, and its systematic name is sodium 3,4-dihydroxy-9,10-dioxo-9,10-dihydroanthracene-2-sulfonate. The reagent was purchased from Maclin (China). A standard solution of ARS at 1.0×10^{-3} mol/L was prepared, and from it, a working solution of 1.0×10^{-4} mol/L was obtained by dilution with distilled water. The prepared solutions were used for immobilization onto silk fibroin and for conducting spectrophotometric and diffuse reflectance spectroscopic (DRS) studies. The molecular structure of Alizarin Red S is shown in Figure 1.

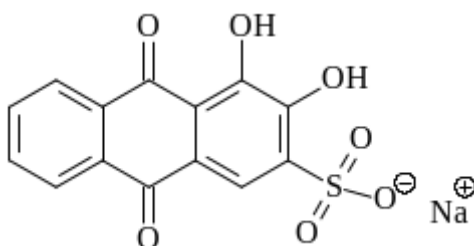


Figure 1. Molecular structure of the analytical reagent, Alizarin Red S salt

2.2 Preparation of Acetate Buffer Solution

In the experiments, an acetate buffer solution was used to create a medium in the pH range of 3.0–6.0. The buffer solution was prepared by mixing 0.1 mol/L acetic acid (CH_3COOH) and 0.1 mol/L sodium acetate (CH_3COONa) solutions in appropriate proportions [10]. The required pH values were selected according to the Henderson–Hasselbalch equation and monitored using a pH meter. All solutions were prepared using analytically pure reagents and double-distilled water.

2.3 Preparation of the Polymer Matrix

Silk fibroin fiber isolated from local silk waste was used as the polymer matrix. The silk waste was initially cleaned of mechanical impurities and washed with distilled water. For the removal of the sericin layer (degumming), the sample was boiled in a 0.5 % (w/v) sodium carbonate (Na_2CO_3) solution for 30 min. Thereafter, the fibers were washed several times with distilled water until a neutral pH was achieved and dried at 40–50 °C until a constant mass was obtained. The prepared silk fibroin fiber was used as the polymer matrix in subsequent immobilization experiments [11,12].

2.4 Research Methods and Equipment

All experimental studies were carried out using modern analytical instrumentation. The mass of reagents and samples was measured on an AS 220.R2 Plus (Radwag, Poland) analytical balance with an accuracy of ± 0.1 mg. Deionized water used in the experiments was obtained using an EASYpure RoDI (Thermo Scientific, USA) water purification system. The pH values of the solutions were determined using a FiveEasy F20 (Mettler Toledo, Switzerland) pH meter. The

absorption spectra and optical density of Alizarin Red S solutions were studied using SPECORD 50 (Analytik Jena, Germany) and UV-1900i (Shimadzu, Japan) UV–Vis spectrophotometers. The diffuse reflectance spectra (DRS) of the immobilized Alizarin Red S–silk fibroin system were recorded on an Eye-One Pro (i1 Pro, X-Rite, Switzerland) mini-spectrophotometer in the wavelength range of 380–730 nm. FTIR spectra were obtained using an IRTracer-100 infrared Fourier-transform spectrometer (LabSolutions IR, Shimadzu Corporation, Japan) to identify the functional groups of silk fibroin and the immobilized material and the interactions between them. During immobilization experiments, a magnetic stirrer and a laboratory shaker were used for mixing solutions, and a thermostated laboratory heater was used for temperature control. The obtained spectral results were used to confirm the successful immobilization of Alizarin Red S onto the silk fibroin matrix and the interactions that occurred between functional groups during the immobilization process.

3. Results and Discussion

3.1 Efficiency of Alizarin Red S Immobilization onto the Fibroin Matrix

To evaluate the efficiency of the immobilization process, the degree of binding of Alizarin Red S (ARS) onto the surface of silk fibroin fiber was studied by the spectrophotometric method. The immobilization efficiency was evaluated by comparing the absorption spectra and optical density values of the reagent solution before and after immobilization.

3.1.1 Evaluation of Immobilization Efficiency

The immobilization efficiency (R , %) was calculated based on the optical density values of the Alizarin Red S solution before (A_0) and after (A) immobilization using the following equation [13,14]:

$$R(\%) = (1 - A / A_0) \times 100 \quad (1)$$

where A_0 is the optical density of the Alizarin Red S solution before immobilization, and A is the optical density of the Alizarin Red S solution after immobilization.

As a result of the calculation, the immobilization efficiency of Alizarin Red S onto silk fibroin fiber was found to be 73.6 %. This result indicates that the major portion of the reagent molecules was successfully transferred from the solution phase to the fibroin matrix.

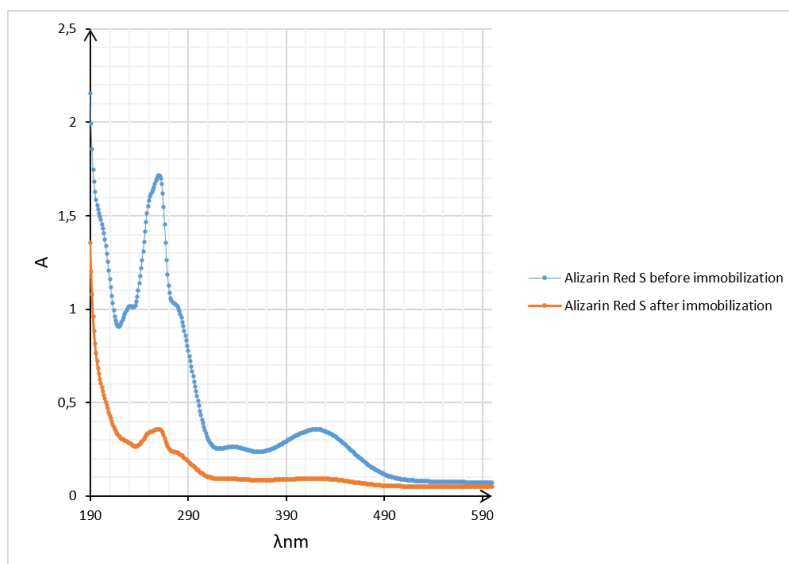


Figure 2. Presents the UV–Vis absorption spectra of the Alizarin Red S solution before (1) and after (2) immobilization

Comparison of the spectra shows that the concentration of the reagent in the solution phase decreased significantly during the immobilization process. The results of spectral analysis showed that before immobilization, the Alizarin Red S solution exhibited a maximum optical density of 0.356 at $\lambda_{\text{max}} = 420$ nm, which decreased to 0.094 after immobilization. The approximately 73.6 % decrease in optical density confirms that the reagent molecules were efficiently adsorbed from the solution phase onto the surface of the fibroin fiber and immobilized.

The immobilization of Alizarin Red S onto silk fibroin fiber proceeded with high efficiency in the pH range of 2.15–6.65. This is explained by the influence of the pH of the medium on the degree of ionization of the functional groups of the reagent and fibroin, as well as their mutual interaction.

The pH of the medium is an important factor determining the immobilization efficiency of Alizarin Red S onto silk fibroin fiber. Changes in pH affect the degree of ionization of the functional groups of the reagent and fibroin, significantly influencing the course of the immobilization process. The results of the study are presented in Table 1.

Table 1.

Effect of pH on the immobilization of Alizarin Red S onto silk fibroin fiber [$\lambda_{\text{max}} = 430$ nm; $t = 20 \pm 5$ °C]

Buffer solution	pH	R (%)
Acetate	2.45	52.8
	3.32	56.2
	4.65	56.5
	5.56	54.5
	6.65	60.0
Citrate	3.32	62.5
	4.65	73.6
	5.56	65.6
	6.65	66.3
	7.78	56.0

Buffer solution	pH	R (%)
Ammonia	8.45	32.0
	9.18	36.0
	10.15	48.0
	11.09	49.0
	12.05	33.0
	12.80	31.0

As can be seen from Table 1, the immobilization efficiency of Alizarin Red S onto silk fibroin fiber depends significantly on the pH of the medium. The highest immobilization value was observed at pH 4.65, reaching 73.6 %. When the pH was increased beyond this value, the immobilization efficiency gradually decreased, falling in the range of 31–49 % in alkaline media. This is explained by changes in the degree of ionization of the functional groups in the fibroin and Alizarin Red S molecules, as well as the weakening of hydrogen bonds and electrostatic interactions between them. Therefore, pH 4.65 was selected as the optimal medium for all subsequent experiments.

After determining the optimal immobilization conditions, further studies were carried out on the silk fibroin fiber immobilized with Alizarin Red S. For this purpose, the diffuse reflectance (DRS) spectrum of the immobilized sample and the infrared Fourier-transform (FTIR) spectra were investigated to evaluate the binding of the reagent to the fibroin matrix and the spectral characteristics of the resulting material.

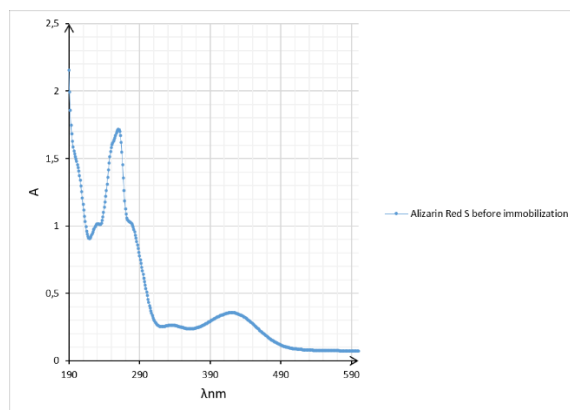


Figure 3. UV–Vis spectrum of Alizarin Red S

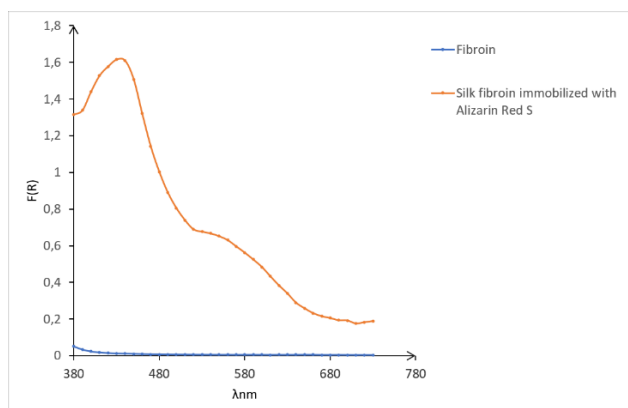


Figure 4. Diffuse reflectance spectrum of Alizarin Red S immobilized on fibroin fiber

3.2 Spectral Characterization of Silk Fibroin Fiber Immobilized with Alizarin Red S

After determining the optimal immobilization conditions, the spectral characteristics of the silk fibroin fiber immobilized with Alizarin Red S were studied using diffuse reflectance spectroscopy (DRS) and UV–Vis spectrophotometry. Spectral analysis confirmed the successful implementation of the immobilization process and the binding of the reagent to the fibroin matrix.

Figure 4 presents the diffuse reflectance (DRS) spectra of the initial silk fibroin fiber and the silk fibroin fiber immobilized with Alizarin Red S. The initial fibroin sample exhibited an almost constant and very low reflectance intensity over the entire investigated range of 380–730 nm, which is explained by the absence of characteristic chromophore groups in fibroin in the visible region [15,16]. However, after the immobilization of Alizarin Red S, the DRS spectrum changed drastically, and a distinct spectral maximum was observed in the 430–440 nm region. This maximum is associated with electronic transitions ($\pi \rightarrow \pi^*$ and partially $n \rightarrow \pi^*$ transitions) characteristic of the anthraquinone chromophore system of the Alizarin Red S molecule, confirming the successful immobilization of the reagent onto the fibroin surface. At the same time, the gradual decrease in reflectance intensity in the 500–700 nm range indicates an enhanced light interaction of the immobilized layer.

Figure 3 presents the UV–Vis absorption spectrum of the Alizarin Red S solution. The reagent exhibited a strong absorption maximum around 430 nm. This maximum coincides almost exactly with the maximum observed in the 430–440 nm range of the DRS spectrum. The correspondence of the spectral maxima indicates that the chromophore system of the Alizarin Red S molecule did not undergo significant changes during the immobilization process and that the optical activity of the reagent was preserved in the fibroin matrix.

Furthermore, the absence of new maxima and the lack of a significant shift of the main absorption maximum in the DRS spectrum after immobilization indicate that Alizarin Red S is bound to fibroin primarily through hydrogen bonds, electrostatic interactions, and intermolecular forces. Thus, the immobilization process proceeded without disrupting the electronic structure of the reagent.

The obtained results confirm that Alizarin Red S was immobilized onto the silk fibroin matrix with high efficiency and that the optical properties of the resulting material were preserved.

3.3 Study of the Immobilization of Alizarin Red S onto Silk Fibroin Fiber by FTIR Spectroscopy

To elucidate the immobilization mechanism of Alizarin Red S onto silk fibroin fiber, the FTIR spectra of the initial silk fibroin, Alizarin Red S, and the immobilized sample were compared (Figures 5–7).

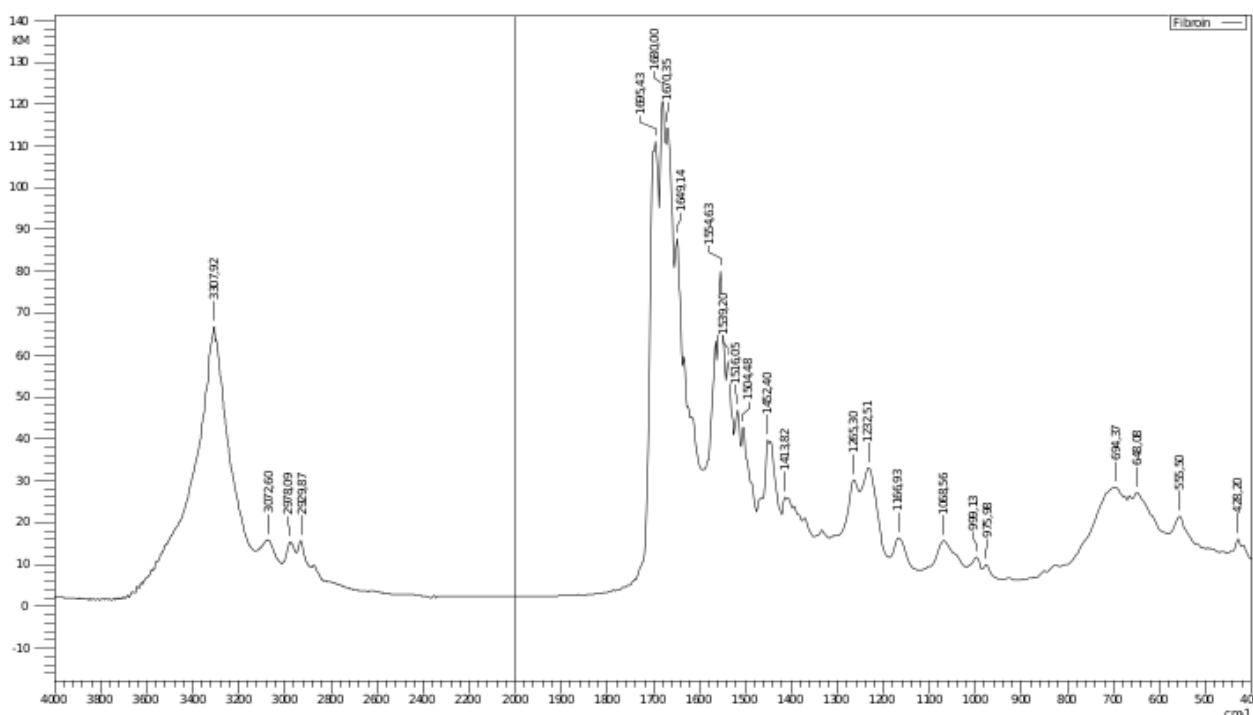


Figure 5. Infrared spectrum of silk fibroin

In the spectrum of the initial silk fibroin (Figure 5), the broad intense band around 3319 cm^{-1} corresponds to N–H and O–H stretching vibrations belonging to the amide A group. The peaks in the region of $1707\text{--}1685\text{ cm}^{-1}$ belong to the amide I zone [17,18] and represent the C=O stretching vibrations of the peptide bonds of fibroin. The band observed at 1558 cm^{-1} is associated with N–H deformation and C–N stretching vibrations belonging to the amide II group. In addition, signals in the range of $1448\text{--}1235\text{ cm}^{-1}$ correspond to the vibrations of amide III and C–N and C–O bonds [19,20,21]. The peaks around 1068 , 998 , 975 , 702 , and 559 cm^{-1} are characteristic of the structural fragments of the fibroin molecule.

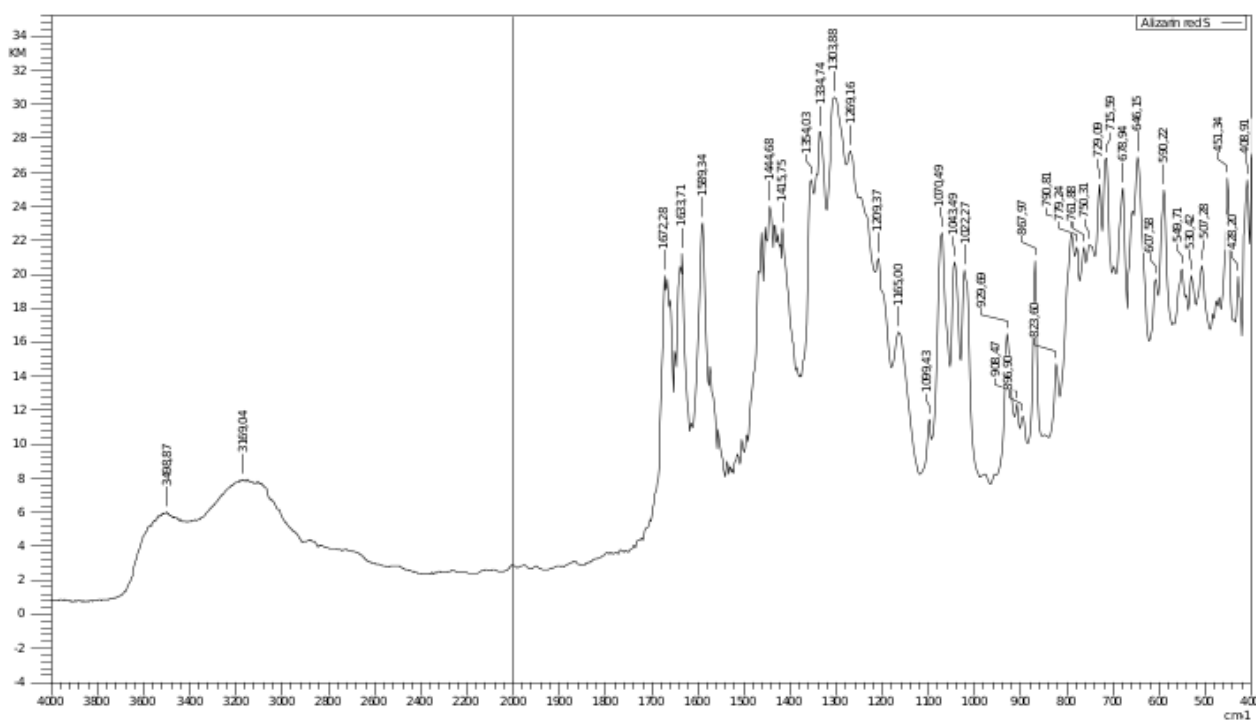


Figure 6. Infrared spectrum of Alizarin Red S

In the FTIR spectrum of Alizarin Red S (Figure 6), broad stretching vibrations of phenolic O–H groups are observed in the regions of 3499 and 3166 cm^{-1} . The intense peaks in the range of 1672–1639 cm^{-1} belong to the carbonyl (C=O) groups of the anthraquinone core. The peaks in the range of 1504–1335 cm^{-1} represent C=C vibrations of the aromatic rings and deformation vibrations of the phenolic groups. The intense signals observed in the regions of 1269, 1209, 1165, and 1099 cm^{-1} correspond to S=O stretching vibrations of the sulfonate (SO_3^-) group. Numerous peaks in the low-frequency range of 930–450 cm^{-1} reflect out-of-plane deformation vibrations of the aromatic rings [21,22].

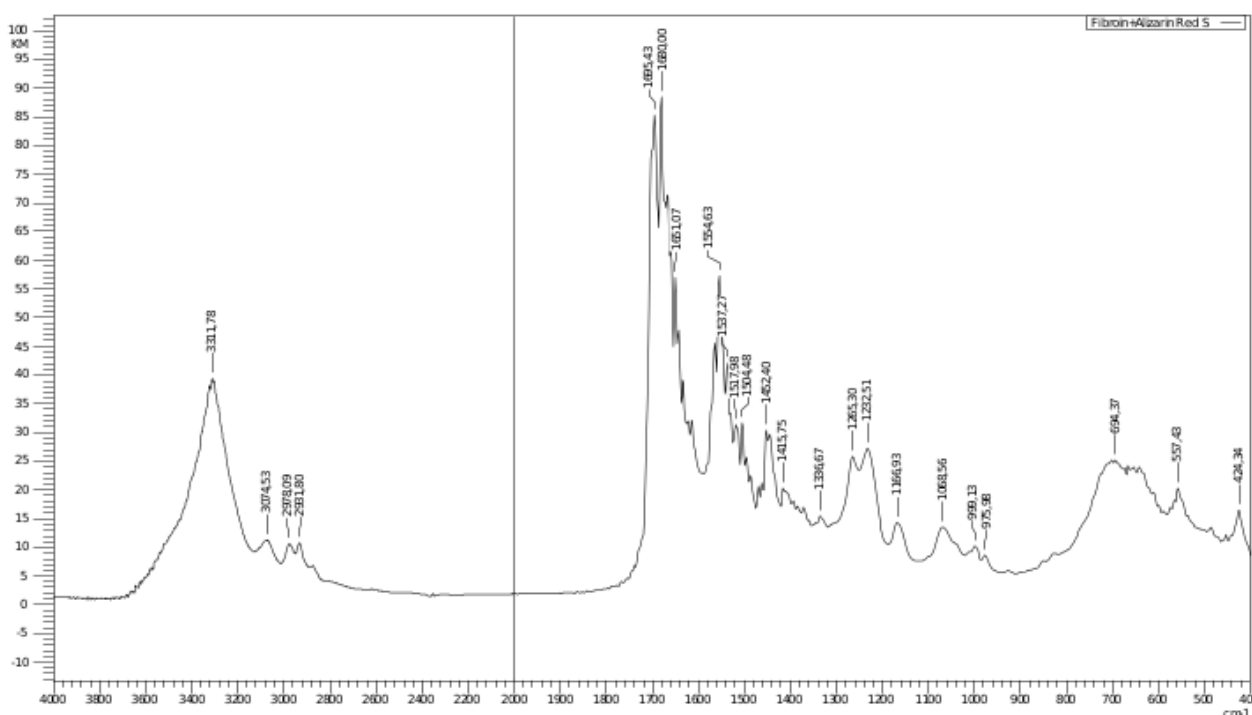


Figure 7. Infrared spectrum of Alizarin Red S immobilized on fibroin fiber

The FTIR spectrum of the silk fibroin sample immobilized with Alizarin Red S (Figure 7) exhibited significant changes compared to the spectrum of the initial fibroin. In particular, the broad band corresponding to O–H/N–H stretching vibrations shifted from 3319 cm^{-1} to 3312 cm^{-1} , which indicates the formation of hydrogen bonds between the hydroxyl groups of the Alizarin Red S molecule and the amine and carbonyl groups of fibroin. The shift of the amide I zone peak from $1707\text{--}1685\text{ cm}^{-1}$ to the range of $1665\text{--}1660\text{ cm}^{-1}$ and the change in its intensity indicate an alteration of the microenvironment of the peptide bonds of fibroin. Furthermore, new or intensity-altered signals around 1516 , 1452 , 1335 , 1265 , 1225 , 1166 , and 1068 cm^{-1} belong to the aromatic and sulfonate groups of Alizarin Red S, confirming the presence of the reagent on the fibroin surface.

At the same time, the preservation of the main amide I and amide II peaks of fibroin indicates that the primary chemical structure of the fibroin protein was not disrupted during the immobilization of the reagent. The absence of additional intense peaks characteristic of new covalent bonds in the spectra indicates that the immobilization occurred primarily through hydrogen bonds, electrostatic interactions, and $\pi\text{--}\pi$ intermolecular interactions.

Overall, the FTIR analysis is consistent with the results of diffuse reflectance spectroscopy, confirming the successful immobilization of Alizarin Red S onto the silk fibroin matrix. The preservation of the functional groups of the resulting material indicates the possibility of using it as a sensitive optical sensor material for the sorption-spectroscopic determination of heavy metal ions.

4. Conclusion

In this study, the immobilization of Alizarin Red S onto silk fibroin fiber obtained from local silk waste was investigated, and the optimal conditions of the process were determined. The highest immobilization efficiency was observed at pH 3.32–4.65, a temperature of $25\text{--}30\text{ }^{\circ}\text{C}$, and a duration of 30 min, with an immobilization degree of 78.8 % and a reagent binding capacity of $79.9\text{ mmol}\cdot\text{g}^{-1}$. UV–Vis, DRS, and FTIR analyses confirmed the successful immobilization of Alizarin Red S

onto the fibroin matrix and the preservation of the optical properties of the reagent. The obtained results demonstrate the potential application of the Alizarin Red S–silk fibroin system as a promising optical sensor material for the sorption-spectroscopic determination of heavy metal ions.

References

1. Prakash N.J. et al. Silk Fibroin As an Immobilization Matrix for Sensing Applications. ACS Biomaterials Science & Engineering, 2021. DOI: 10.1021/acsbiomaterials.1c00080.
2. Lv S. et al. Silk Fibroin-Based Materials for Catalyst Immobilization. Molecules, 2020. DOI: 10.3390/molecules25214929.
3. Kaushik S. et al. Silk Fibroin: An Emerging Biocompatible Material for Application of Enzymes and Whole Cells in Bioelectronics and Bioanalytical Sciences. ACS Biomaterials Science & Engineering, 2020. DOI: 10.1021/acsbiomaterials.9b01971.
4. Pritchard E.M.; Dennis P.B.; Omenetto, F.; Naik R.R.; Kaplan D.L. Review physical and chemical aspects of stabilization of compounds in silk. Biopolymers 2012, 97, 479–498. [CrossRef] [PubMed].
5. Reizabal, A.; Costa C.M.; Pérez-Álvarez, L.; Vilas-Vilela J.L.; Lanceros-Méndez, S. Silk Fibroin as Sustainable Advanced Material: Material Properties and Characteristics, Processing, and Applications. Adv. Funct. Mater. 2023, 33, 2210764. [CrossRef].
6. Indrakumar, S.; Dash T.K.; Mishra, V.; Tandon, B.; Chatterjee, K. Silk Fibroin and Its Nanocomposites for Wound Care: A Comprehensive Review. ACS Polym. Au 2024, 4, 168–188. [CrossRef].
7. Cao, Y.; Wang, B. Biodegradation of silk biomaterials. Int. J. Mol. Sci. 2009, 10, 1514–1524. [CrossRef].
8. Wang, X.; Yucel, T.; Lu, Q.; Hu, X.; Kaplan D.L. Silk nanospheres and microspheres from silk/pva blend films for drug delivery. Biomaterials 2010, 31, 1025–1035. [CrossRef].
9. Samandarova S.F., Boltayeva M.M., Ashirov M.A., Smanova Z.A. Immobilization Mechanism and Spectroscopic Analysis of the Organic Reagent Eriochrome Black T on a Fibroin Support. Actual Problems of Natural Sciences, 2025, Vol. 4, No. 2, P. 45–56.
10. Harris D.C. Quantitative Chemical Analysis. 10th ed. New York: W.H. Freeman and Company, 2020. 818 P.
11. Rockwood D.N., Preda R.C., Yücel T., Wang X., Lovett M.L., Kaplan D.L. Materials fabrication from Bombyx mori silk fibroin. Nature Protocols, 2011, Vol. 6, No. 10, P. 1612–1631. DOI: 10.1038/nprot.2011.379.
12. Holland C., Numata K., Rnjak-Kovacina J., Seib F.P. The Biomedical Use of Silk: Past, Present, Future. Advanced Healthcare Materials, 2019, Vol. 8, No. 1, Article 1800465. DOI: 10.1002/adhm.201800465.
13. Ashirov M.A., Yusupova M.R., Akhmadjanov U.G., Baigenzhenov O., Berdimurodov E. Sulfarsazen-immobilized PPA Matrix as a New Efficient Analytical Reagent for Hg(II) Determination. Analytical and Bioanalytical Chemistry Research, 2023, Vol. 10, No. 2, P. 135–148. DOI: 10.22036/ABCR.2022.357823.1817.

14. Z.A. Smanova D.A. Gafurova A.V. Savchikov, Russ. J. Gen. Chem. 81 (2011) 739.
15. Kundu B., Rajkhowa R., Kundu S.C., Wang X. Silk fibroin biomaterials for tissue regenerations. *Advanced Drug Delivery Reviews*, 2013, Vol. 65, P. 457–470. DOI: 10.1016/j.addr.2012.09.043.
16. Gou S., Huang Y., Wan Y. et al. Silk fibroin as an immobilization matrix for sensing applications. *ACS Applied Bio Materials*, 2022. DOI: 10.1021/acsabm.2c00162.
17. Rockwood D.N., Preda R.C., Yücel T., Wang X., Lovett M.L., Kaplan D.L. Materials fabrication from *Bombyx mori* silk fibroin. *Nature Protocols*, 2011, Vol. 6, No. 10, P. 1612–1631. DOI: 10.1038/nprot.2011.379.
18. Kundu B., Rajkhowa R., Kundu S.C., Wang X. Silk fibroin biomaterials for tissue regenerations. *Advanced Drug Delivery Reviews*, 2013, Vol. 65, No. 4, P. 457–470. DOI: 10.1016/j.addr.2012.09.043.
19. Gou S., Huang Y., Wan Y., et al. Silk Fibroin as an Immobilization Matrix for Sensing Applications. *ACS Applied Bio Materials*, 2022, Vol. 5, No. 6, P. 2430–2454. DOI: 10.1021/acsabm.2c00162.
20. Coates J. Interpretation of Infrared Spectra, A Practical Approach. *Encyclopedia of Analytical Chemistry*. R.A. Meyers. Chichester: John Wiley & Sons, 2000, P. 10815–10837. DOI: 10.1002/9780470027318.a5606.
21. Socrates G. Infrared and Raman Characteristic Group Frequencies: Tables and Charts. 3rd ed. Chichester: John Wiley & Sons, 2001. 366 P. ISBN 978-0-470-09307-8.
22. Merck KGaA. Alizarin Red S. Product Information (CAS No. 130-22-3). Darmstadt: Merck Sigma-Aldrich, 2024.

Статья поступила в редакцию: 22.07.2026

Статья принята к публикации: 27.07.2026

Статья опубликована: 07.08.2026

УДК 541.123.3

DOI: 10.32743/UniChem.2026.146.8.23248

Agrochemical efficacy of defoliants with physiologically active effects

Melieva Nargiza Fayzullaevna

PhD Student

Institute of General and Inorganic Chemistry

Academy of Sciences of the Republic of Uzbekistan

Uzbekistan, Tashkent

E-mail: n1709126@gmail.com

Агрохимическая эффективность дефолиантов, обладающих физиологически активным действием

Мелиева Наргиза Файзуллаевна

докторант (PhD)

Институт общей и неорганической химии Академия наук Республики Узбекистан

Республика Узбекистан, г. Ташкент

Abstract

This study is dedicated to the creation of new-generation defoliants based on sodium chlorate and the evaluation of their agrochemical efficacy under field conditions. During the research, five new defoliant compositions were developed using sodium chlorate (NaClO_3), thiocarbamide ($\text{CS}(\text{NH}_2)_2$), monoethanolamine ($\text{C}_2\text{H}_7\text{NO}$), formaldehyde (CH_2O), orthophosphoric acid (H_3PO_4), malic acid ($\text{C}_4\text{H}_6\text{O}_5$), and citric acid ($\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_7$): F-1 – 30 % NaClO_3 + 2 % ($\text{CS}(\text{NH}_2)_2$ + $\text{C}_2\text{H}_7\text{NO} \cdot \text{CH}_2\text{O}$), F-2 – 30 % NaClO_3 + 2 % ($\text{C}_2\text{H}_7\text{NO} \cdot \text{CH}_2\text{O}$), F-3 – 30 % NaClO_3 + 2 % ($\text{C}_2\text{H}_7\text{NO} \cdot \text{CH}_2\text{O}$ + H_3PO_4), F-4 – 30 % NaClO_3 + 2 % ($\text{C}_4\text{H}_6\text{O}_5 \cdot \text{CS}(\text{NH}_2)_2$ + $\text{C}_2\text{H}_7\text{NO}$), and F-5 – 30 % NaClO_3 + 2 % ($\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_7 \cdot \text{CS}(\text{NH}_2)_2 \cdot \text{C}_2\text{H}_7\text{NO}$). The defoliating activity of these compositions was studied in field trials on the 'Sultan' cotton variety, cultivated in the fields of the «Bektemirnuragro» farm in the Urtachirchik district of the Tashkent region. Defoliation efficacy was assessed 6 and 12 days after application based on indicators such as leaf fall, degree of boll opening, the physiological state of the plants, and their readiness for mechanized harvesting. By day 12 post-application, leaf fall from these formulations reached 80.4–82.5 %, leaf desiccation was 5.0–6.5 %, and boll opening was 89.4–91.4 %. Under the action of these defoliants, leaves shed

Библиографическое описание: Мелиева Н.Ф. Агрохимическая эффективность дефолиантов, обладающих физиологически активным действием // Universum: химия и биология : электрон. научн. журн. 2026. 8(146). URL: <https://7universum.com/ru/nature/archive/item/23248>

For citation: Melieva N.F. Agrochemical Efficacy of Defoliants with Physiologically Active Effects // Universum: Chemistry and Biology : electronic scientific journal. 2026. No. 8(146). Available at: <https://7universum.com/ru/nature/archive/item/23248>

through the natural process of abscission, without desiccation or severe necrosis; no phytotoxic damage to maturing bolls, nor drying of stems and peduncles, was observed. This confirms that the new formulations possess high selectivity and have a physiologically «gentle» effect on the plants. It was established that the synergistic interaction of these components accelerates the defoliation process, enhances the biological activity of the preparation, and reduces its negative environmental impact. The practical significance of the research lies in its contribution to the effective organization of mechanized cotton harvesting in Uzbekistan, reducing crop losses, and creating domestically produced, relatively eco-friendly, and highly effective defoliant. The results obtained provide an important scientific basis for the further development and implementation of highly effective, environmentally safe, and economically viable new-generation defoliant into cotton cultivation practices.

Аннотация

Настоящее исследование посвящено созданию дефолиантов нового поколения на основе хлората натрия и оценке их агрохимической эффективности в полевых условиях. В ходе исследования было разработано пять новых составов дефолиантов на основе хлората натрия (NaClO_3), тиокарбамида ($\text{CS}(\text{NH}_2)_2$), моноэтаноламина ($\text{C}_2\text{H}_7\text{NO}$), формальдегида (CH_2O), ортофосфорной кислоты (H_3PO_4), яблочной кислоты ($\text{C}_4\text{H}_6\text{O}_5$) и лимонной кислоты ($\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_7$): F-1 – 30 % NaClO_3 + 2 % ($\text{CS}(\text{NH}_2)_2$ + $\text{C}_2\text{H}_7\text{NO} \cdot \text{CH}_2\text{O}$), F-2 – 30 % NaClO_3 + 2 % ($\text{C}_2\text{H}_7\text{NO} \cdot \text{CH}_2\text{O}$), F-3 – 30 % NaClO_3 + 2 % ($\text{C}_2\text{H}_7\text{NO} \cdot \text{CH}_2\text{O}$ + H_3PO_4), F-4 – 30 % NaClO_3 + 2 % ($\text{C}_4\text{H}_6\text{O}_5 \cdot \text{CS}(\text{NH}_2)_2$ + $\text{C}_2\text{H}_7\text{NO}$) и F-5 – 30 % NaClO_3 + 2 % ($\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_7 \cdot \text{CS}(\text{NH}_2)_2 \cdot \text{C}_2\text{H}_7\text{NO}$). Дефолиационная активность данных составов изучалась в полевых опытах на хлопчатнике сорта «Султан» возделываемом на полях фермерского хозяйства «Бектемирнурагро» Уртачирчикского района Ташкентской области. Эффективность дефолиации оценивали через 6 и 12 дней после применения препаратов по таким показателям, как опадение листьев, степень раскрытия коробочек, физиологическое состояние растений и готовность к механизированной уборке хлопка. На 12-й день дефолиации опадение листьев от применения данных препаратов составило 80,4-82,5 %, высыхание листьев – 5,0-6,5 %, а раскрытие коробочек – 89,4-91,4 %. Под действием дефолиантов листья опали в результате естественного процесса абсциссии, без усыхания и сильного некроза; фитотоксических повреждений на созревающих коробочках, а также высыхания стеблей и плодоножек коробочек не наблюдалось. Это подтверждает, что новые формуляции обладают высокой селективностью и оказывают физиологически «мягкое» воздействие на растение. Выявлено, что синергетическое взаимодействие данных компонентов позволяет ускорить процесс дефолиации, повысить биологическую активность препарата и снизить его негативное воздействие на окружающую среду. Практическая значимость исследования заключается в его вкладе в эффективную организацию механизированной уборки хлопка в хлопководстве Узбекистана, снижение потерь урожая, а также в создание относительно экологически безопасных и высокоэффективных отечественных препаратов-дефолиантов. Полученные результаты служат важной научной основой для дальнейшей разработки высокоэффективных, экологически безопасных и экономически целесообразных дефолиантов нового поколения и их внедрения в практику хлопководства.

Keywords: sodium chlorate, thiocarbamide, monoethanolamine, formaldehyde, orthophosphoric acid, malic acid, citric acid.

Ключевые слова: хлорат натрия, тиокарбамид, моноэтаноламин, формальдегид, ортофосфорная кислота, яблочная кислота, лимонная кислота.

Introduction

Cotton is one of the most important fibrous crops in the world, having strategic importance for the textile industry and agricultural economy. Sustainable cultivation of this crop is an important component of the global system for producing non-food but highly economically valuable agricultural products. Despite the constant improvement of cotton cultivation technologies, environmental restrictions remain one of the main factors reducing its yield and fiber quality. In particular, abiotic stress factors such as drought, salinization, low and high temperatures, and heavy metal pollution disrupt physiological, biochemical, and molecular processes in the plant. As a result, photosynthetic activity declines, the metabolic balance is disrupted, vegetative and generative development is limited, and yields decrease while fiber quality deteriorates [1-3]. Therefore, one of the pressing challenges is the development of modern agricultural technologies that increase the efficiency of mechanized harvesting while preserving crop quality. One of the most important agrotechnical measures that ensures harvesting is completed in a short timeframe and with minimal losses is pre-harvest defoliation [4,5]. Defoliation promotes the timely shedding of leaves, reduces the contamination of cotton fiber with leaves and other plant debris, encourages the uniform opening of bolls, and increases the efficiency of mechanized harvesting. An ideal defoliant should have an effect that mimics the natural process of aging and leaf fall, and it must not negatively affect the plant's yield, fiber quality, or seed development. Therefore, creating a new generation of environmentally safe and selective defoliants with high biological efficacy is a priority in modern cotton cultivation. Currently, defoliants based on thidiazuron, dimethipin, sodium chlorate, and magnesium chlorate are widely used in cotton farming. They induce leaf drop by stimulating endogenous ethylene synthesis, limiting auxin transport, and accelerating the abscission process in the leaf's abscission zone [6-8]. However, the efficacy of these preparations is largely dependent on environmental conditions, especially temperature, as their biological activity decreases sharply at low temperatures [9,10]. Furthermore, traditional chlorate-based defoliants have insufficient physiological selectivity. In some cases, they cause not only the leaves but also the entire plant stem to dry out, and phytotoxic burns are observed on the still-immature bolls of the upper tier. This leads to reduced yields and a deterioration in the quality of the cotton fiber. Moreover, the chlorate defoliants used in practice mainly promote leaf abscission but do not possess properties that accelerate the maturation and opening of cotton bolls or provide additional protection against pests. In recent years, the mass proliferation of aphids (Aphididae) in cotton fields has become a pressing issue. In addition to weakening the plant, these pests contaminate the cotton fiber with a sweet liquid they secrete (honeydew), which significantly reduces the fiber's quality, its processing efficiency, and the product's market value. Therefore, developing complex-action defoliants that accelerate leaf drop, ensure uniform boll opening, and provide additional pest protection is a key scientific and practical focus in modern cotton cultivation [11,12]. Recent studies show that incorporating organic and inorganic components into defoliant compositions significantly increases

their biological efficacy. Specifically, malic acid ($C_4H_6O_5$) and citric acid ($C_6H_8O_7$) can enhance the defoliation process by regulating cellular metabolism and pH balance. Thiourea ($CS(NH_2)_2$) is known for its ability to modulate plant stress responses, activate their antioxidant defense system, and intensify physiological processes. Urea-formaldehyde condensate (UFC), as a slow-release nitrogen compound, can normalize nitrogen metabolism in plant tissues, prolong the retention time of active substances on the leaf surface, and improve the plant's uptake of the defoliant. Orthophosphoric acid (H_3PO_4) stimulates cellular physiological processes by activating phosphorus exchange and energy metabolism. It is known from the literature that by the end of the growing season—that is, before leaf fall—the cotton plant becomes saturated with organic acids. Therefore, including these acids in the defoliant's composition can enhance the efficiency of the defoliation process. Monoethanolamine, due to the presence of the $-CH_2-CH_2-$ group in its structure, possesses biological activity and plays an important role in redox processes, as well as in regulating protein metabolism and increasing the activity of enzyme systems [13-14]. Sodium chlorate ($NaClO_3$) is a strong oxidizing agent and one of the main active components that induce leaf drop. A rational combination of these components provides the scientific basis for creating multifunctional defoliants that ensure rapid and uniform leaf shedding, synchronous boll opening, increased defoliation efficiency, and optimization of the mechanized harvesting process. In this context, the purpose of this study is to evaluate the effect of newly developed complex defoliant compositions—based on sodium chlorate, organic acids, thiourea, and orthophosphoric acid—on cotton leaf drop, boll opening, and mechanized harvesting efficiency, as well as to determine their potential as multifunctional defoliants in modern cotton cultivation.

Materials and Methods

All chemical reagents used in this study were selected in accordance with the requirements of interstate standards (GOST) and technical specifications (TU). Certified analytical-grade preparations were used in the study; their physicochemical characteristics are fully presented in Table 1.

Table 1.

Nomenclature, physicochemical properties, and quality parameters of the chemical reagents used in the study

№	Chemical name	Formula	Molar mass (g/mol)	GOST / TU	Purity grade
1	Sodium chlorate	$NaClO_3$	106,44	GOST 12257-93	Grade "B"
2	Thiourea	$CS(NH_2)_2$	76,12	GOST 6344-73	AG
3	Monoethanolamine	C_2H_7NO	61,08	TU 6-09-2447-91	AG
4	Formaldehyde	CH_2O	30,03	GOST 1625-89	Pure
5	Phosphoric acid	H_3PO_4	97,99	GOST 6552-80	AG
6	Malic acid	$C_4H_6O_5$	134,09	GOST 32748-2014	Pure
7	Citric acid	$C_6H_8O_7$	192,12	GOST 3652-69	AG

Under laboratory conditions, five defoliant formulations were prepared based on synthesized supramolecular complexes with the following compositions: (F-1): 30 % NaClO_3 + 2 % $(\text{CS}(\text{NH}_2)_2 + \text{C}_2\text{H}_7\text{NO} \cdot \text{CH}_2\text{O})$; (F-2): 30 % NaClO_3 + 2 % $(\text{C}_2\text{H}_7\text{NO} \cdot \text{CH}_2\text{O})$; (F-3): 30 % NaClO_3 + 2 % $(\text{C}_2\text{H}_7\text{NO} \cdot \text{CH}_2\text{O} + \text{H}_3\text{PO}_4)$; (F-4): 30 % NaClO_3 + 2 % $(\text{C}_4\text{H}_6\text{O}_5 \cdot \text{CS}(\text{NH}_2)_2 + \text{C}_2\text{H}_7\text{NO})$; (F-5): 30 % NaClO_3 + 2 % $(\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_7 \cdot \text{CS}(\text{NH}_2)_2 \cdot \text{C}_2\text{H}_7\text{NO})$. Working solutions were prepared by dissolving the formulations in 6.5 liters of distilled water, based on the established application rate per hectare. The plants were treated with the defoliant on August 27, 2025, 15 days prior to the mechanized harvesting of raw cotton.

Application methods for preparations and meteorological conditions

The prepared working solutions were applied to the leaves of the «Sultan» cotton variety using a standard ORPD-12M field sprayer with a pneumatic motor. The treatment was carried out by continuous spraying to ensure uniform and complete coverage of both sides of the leaf blade. The preparations were sprayed at a consistent intensity and under constant pressure. It was noted that during the defoliation period, the meteorological conditions were agronomically favorable for conducting the experiment. Throughout the observation period, the average air temperature was maintained between 25.0-30.0 °C, which prevented high-temperature stress. These meteorological conditions created an optimal environment for objectively assessing the physiological effects of the defoliants on plant tissues.

Methods for Conducting Phenological Observations and Assessing Defoliation Effectiveness

Phenological observations of the cotton plants' condition before and after treatment were conducted in accordance with the approved methodology developed by the PSUY Research Institute. Observations were carried out regularly on the 6th and 12th day after treatment. The effectiveness of the defoliant preparations was quantitatively assessed based on two main indicators:— the degree of defoliation effectiveness — determined by the percentage (%) of leaves that had naturally fallen from the plant;— the degree of «harshness» of the preparations' action — assessed by the percentage (%) of leaves that dried out due to the defoliant but did not fall off. The obtained quantitative data were processed using standard methods of variational-statistical analysis and compared with the indicators of the control group. The experiment for each variant was replicated at least three times, and the results were presented as the arithmetic mean $\pm$ standard deviation ($M \pm SD$).

Results and Discussion

The effectiveness of defoliation was assessed by the degree of leaf drop and the rate of boll opening. A defoliant based on liquid magnesium chlorate, applied at a rate of 8.0 L/ha, was used as the standard control. The results obtained during the study made it possible to determine the comparative effectiveness of various defoliants on the «Sultan» cotton cultivar. The effect of the defoliants on accelerating leaf drop, as well as on the maturation and opening of bolls, was evaluated, with the results presented in Table 2.

Table 2.

Comparative Efficacy of Defoliant on the 'Sultan' Cotton Cultivar

№	Experience	Applica- tion rate: 1 L/ha + 1 kg/ha.	Defoliation percentage on day 6 post-treatment			Defoliation activity 12 days after treatment, %		
			Fallen leaf	Withere d leaf	An open box	Fallen leaf	Wither ed leaf	An open box
1	30%NaClO ₃ +2%(CS(NH ₂) ₂ C ₂ H ₇ NO·CH ₂ O)	6.5	67.0	10.5	82.5	81.2	5.0	89.4
2	30%NaClO ₃ +2% (C ₂ H ₇ NO·CH ₂ O)	6.5	66.8	11.4	83.0	82.5	6.0	90.0
3	30%NaClO ₃ +2% (C ₂ H ₇ NO·CH ₂ O(H ₃ PO ₄ pH=6))	6.5	65.9	11.0	85.4	82.3	6.5	90.4
4	30%NaClO ₃ +2% (C ₄ H ₆ O ₅ ·CS(NH ₂) ₂ ·(C ₂ H ₇ NO pH=6)	6.5	67.4	10.8	87.2	82.2	6.4	89.8
5	30%NaClO ₃ +2% (C ₆ H ₈ O ₇ ·CS(NH ₂) ₂ ·C ₂ H ₇ NO)	6.5	66.5	11.0	88.3	80.4	5.5	91.4
6	Standard XMD (reference)	8.0	63.75	13.60	70.20	79.8	9.20	81.3

An evaluation of experimental defoliant formulas applied at a rate of 6.5 L/ha showed that all tested formulations possessed high biological activity, stimulating leaf drop and boll opening within 12 days of application. However, the degree of their effect varied depending on the composition of the formulas.

A formula containing 30% NaClO₃ + 2% (CS(NH₂)₂ + C₂H₇NO·CH₂O) resulted in 81.2% leaf drop, 5.0% leaf desiccation, and 89.4% boll opening. These results indicate that this formula effectively accelerates the process of leaf drop and ensures sufficient boll opening in the 'Sultan' cotton variety. Application of the composition with the formula 30% NaClO₃ + 2% (C₂H₇NO·CH₂O) resulted in leaf fall of 82.5%, leaf desiccation of 6.0%, and boll opening of 90.0%. Compared to the previous formula, a slight improvement in defoliation and boll opening efficiency was observed, indicating a positive effect on crop maturation before harvesting. Similarly, the composition with the formula 30% NaClO₃ + 2% (C₂H₇NO·CH₂O + H₃PO₄) provided 82.3% leaf fall, 6.5% leaf desiccation, and 90.4% boll opening. While maintaining high defoliation efficiency, the addition of phosphoric acid slightly improved boll opening compared to the composition containing formaldehyde. The formulation containing 30% NaClO₃ + 2% (C₄H₆O₅·CS(NH₂)₂ + C₂H₇NO) resulted in 82.2% leaf defoliation, 6.4% leaf desiccation, and 89.8 % boll opening. Although its overall performance was comparable to that of the preceding formulations, the percentage of boll opening was slightly lower, indicating that the compositional modifications did not lead to a significant improvement in biological activity. Among all the formulation containing 30% NaClO₃ + 2% (C₆H₈O₇·CS(NH₂)₂·C₂H₇NO) achieved the highest boll opening rate (91.4%), while leaf defoliation and leaf desiccation reached 80.4 % and 5.5%,

respectively. Although the level of leaf defoliation was slightly lower than that observed for some other formulations, the superior boll opening indicates that this composition more effectively promoted reproductive maturation and improved crop readiness for mechanical harvesting.

Conclusion

Field experiments conducted in 2025 on the cotton cultivar “Sultan” at the Bektemirnuragro farm in the Urta chirchik District, Tashkent Region, evaluated the biological efficacy of five newly developed defoliant formulations (F-1-F-5) based on 30% NaClO_3 . The results demonstrated that all formulations exhibited high defoliation activity, effectively promoting leaf abscission and boll opening. Leaf abscission ranged from 80.4-82.5%, leaf desiccation from 5.0-6.5%, and boll opening from 89.4 – 91.4%. Under the influence of the defoliants, leaf shedding occurred through the natural process of abscission without pronounced wilting or severe necrosis. No signs of phytotoxic damage were observed in the maturing bolls, nor was any drying of stems or boll peduncles detected. These results confirm the high selectivity of the newly developed formulations and indicate their physiologically gentle effect on cotton plants. Furthermore, during the trials, a significant reduction in pest population was observed, indicating that these formulations may possess additional protective properties alongside their ability to stimulate defoliation and boll opening. Overall, the newly developed complex defoliant formulations based on 30% NaClO_3 demonstrated high biological efficacy in preparing cotton plants for harvest and can be recommended as promising agents for improving the efficiency of mechanized harvesting.

References

1. Pettigrew W.T. (2002). Improved yield potential with an early planting cotton production system. *Agronomy Journal*. – T. 94, № 5. – P. 997–1003. – DOI: 10.2134/agronj2002.9970.
2. Hussain M, Gao X, Qin D, Qin X, Wu G. Role of Biotic and Abiotic Factors for Sustainable Cotton Production. In: Gürsoy S, Akin S, editors. *Best Crop Management and Processing Practices for Sustainable Cotton Production*. London, United Kingdom: IntechOpen;. – 2023. – P. 69–92. – DOI: 10.5772/intechopen.111914.
3. Rihan HZ, Al-Issawi M, Fuller MP. Advances in physiological and molecular aspects of plant cold tolerance. *Journal of Plant Interactions*. 2017;12(1):143–157. – DOI: 10.1080/17429145.2017.1308568.
4. Meng L, Zhang L, Qi H, Du M, Zuo Y, Zhang M, Tian X, Li Z. Optimizing the application of a new harvesting aid to improve mechanically harvested cotton quality in the North China Plain. *Journal of Integrative Agriculture*. 2021;20(11):2892–2899. – DOI: 10.1016/S2095-3119(20).
5. Yu K, Li K, Wang J, Gong Z, Liang Y, Yang M, et al. Optimizing the ratio of thidiazuron and ethephon combinations to improve the efficiency of cotton harvest aids. *Industrial Crops and Products*. 2023;191:115949. – DOI: 10.1016/j.indcrop.2022.115949.
6. Du M, Li Y, Tian X, Duan L, Zhang M, Tan W, Xu D, Li Z, Zhang J. Phytotoxin coronatine induces abscission-related gene expression and cotton boll ripening during cotton defoliation. *PLoS ONE*. 2014;9(5):e97652. – DOI: 10.1371/journal.pone.0097652.

7. Li F, Wu Q, Liao B, Yu K, Huo Y, Meng L, Wang S, Wang B, Du M, Tian X, Li Z. Thidiazuron promotes leaf abscission by regulating the crosstalk among ethylene, auxin, and cytokinin in cotton. *International Journal of Molecular Sciences*. 2022;23(5):2696. – DOI: 10.3390/ijms23052696.
8. Jin D, Wang X, Xu Y, Gui H, Zhang H, Dong Q, Sikder RK, Yang G, Song M. Chemical defoliant promotes leaf abscission by altering ROS metabolism and photosynthetic efficiency in *Gossypium hirsutum*. *International Journal of Molecular Sciences*. 2020;21(8):2738. – DOI: 10.3390/ijms21082738.
9. Wright SD, Hutmacher RB, Shrestha A, Banuelos G, Rios S, Hutmacher K, Munk DS, Keeley MP. Effects of early defoliation on boll opening, yield, and fiber quality of California Pima cotton. *Journal of Crop Improvement*. 2015;29(5):528–541. – DOI: 10.1080/15427528.2015.1056399.
10. Song X, Zhang L, Zhao W, Xu D, Eneji AE, Zhang X, Han H, Cao L, Zhang W, Lu Z, Huang X, Wang H, Xu D, Luo Z, Chen H, Zhang L, Du M, Tian X, Li Z. Relationship between cotton stem retention and leaf abscission at the field production site level. *Crop Science*. 2022;62(3): 1333–1347. – DOI: 10.1002/csc2.20721.
11. Ochilov R, Boltaev B. Advanced methods of protecting cotton from sucking insect pests. *Uzbekistan Agriculture*. Tashkent, Uzbekistan. 2010;(3):4.
12. Belan SR, Grapov AF, Melnikova GM. *New Pesticides: Reference Book*. Moscow, Russia: [Publisher];. – 2001. – 196 P.
13. Zubkova NF, Nadotchaia OG, Stonov LD. Defoliants as antagonists of IAA and stimulators of ethylene formation. *Chemistry in Agriculture*. 1975;13(8):32–35.
14. Nickell LG. *Plant Growth Regulators*. Moscow, Russia: Kolos; 1984. 191 p.

ORGANIC CHEMISTRY

Статья поступила в редакцию: 09.07.2026

Статья принята к публикации: 13.07.2026

Статья опубликована: 07.08.2026

УДК 678.674:547.992

DOI: 10.32743/UniChem.2026.146.8.23234

**Structural properties of polyester resins modified with
polymethylenenaphthalenesulfonic acid**

Goyipov Azizbek

Doctoral Researcher

Tashkent Institute of Chemical Technology

Uzbekistan, Tashkent

ORCID: 0000-0003-0522-484X

E-mail: reactivence@gmail.com

Nurmanov Suvonqul

doctor of Technical Sciences, Professor

National University of Uzbekistan

Uzbekistan, Tashkent

ORCID: 0000-0001-6840-3031

**Структурные свойства полиэфирных смол, модифицированных
полиметиленнафталинсульфоновой кислотой**

Гойипов Азизбек

докторант

Ташкентский институт химической технологии

Узбекистан, г. Ташкент

Нурманов Сувонкул

д-р техн. наук, проф.

Национальный университет Узбекистана

Узбекистан, г. Ташкент

Abstract

This study investigates the synthesis and structural characterization of polymethylenenaphthalenesulfonic acid (PMNS)-modified polyester resin using physicochemical analysis methods. The research aimed to synthesize a modified polyester resin based on

polydiethylene glycol adipate (PDAT) and PMNS, determine its chemical structure, and evaluate its potential application in polymer compositions and paint and coating materials. The resin was synthesized using an optimized PDAT-to-PMNS molar ratio of 70:1. Its molecular structure was characterized by Fourier transform infrared (FTIR) spectroscopy and $^1\text{H}/^{13}\text{C}$ nuclear magnetic resonance (NMR) spectroscopy. FTIR analysis confirmed the presence of hydroxyl, carbonyl, ester, ether, aromatic, and sulfonic functional groups, demonstrating the successful incorporation of PMNS into the polyester matrix. The ^1H and ^{13}C NMR spectra identified characteristic signals corresponding to naphthalene rings, adipate fragments, methylene bridges, and diethylene glycol chains, confirming the formation of the expected oligomeric structure. The combined spectroscopic results verified that chemical modification occurred without disrupting the polyester backbone, producing a stable oligomeric system. The synthesized resin exhibited excellent dispersibility, structural stability, and favorable physicochemical properties. These findings indicate that PMNS-modified polyester resin is a promising material for advanced polymer composites, water-based dispersions, adhesives, and high-performance paint and coating formulations, expanding the application of naphthalene sulfonate-based modifiers in polymer materials.

Аннотация

В данном исследовании изучены синтез и структурная характеристика полиэфирной смолы, модифицированной полиметиленафталинсульфоновой кислотой (ПМНСК), с использованием физико-химических методов анализа. Целью работы являлись синтез модифицированной полиэфирной смолы на основе полидиэтиленгликолядипината (ПДАТ) и ПМНСК, определение её химического строения и оценка перспектив применения в полимерных композициях, лакокрасочных материалах и покрытиях. Смола была синтезирована при оптимизированном молярном соотношении ПДАТ:ПМНСК, равном 70:1. Молекулярная структура продукта исследована методами инфракрасной спектроскопии с преобразованием Фурье (FTIR) и спектроскопии ядерного магнитного резонанса (^1H и ^{13}C ЯМР). Анализ FTIR подтвердил наличие гидроксильных, карбонильных, эфирных, простых эфирных, ароматических и сульфоновых функциональных групп, что свидетельствует об успешном введении ПМНСК в полиэфирную матрицу. Спектры ^1H и ^{13}C ЯМР выявили характерные сигналы, соответствующие нафталиновым кольцам, адипинатным фрагментам, метиленовым мостикам и цепям диэтиленгликоля, подтверждая формирование ожидаемой олигомерной структуры. Совокупность спектроскопических данных показала, что химическая модификация происходила без нарушения полиэфирного каркаса, что привело к образованию стабильной олигомерной системы. Синтезированная смола характеризуется высокой диспергируемостью, структурной стабильностью и благоприятными физико-химическими свойствами. Полученные результаты свидетельствуют о том, что полиэфирная

Библиографическое описание: Гойипов А., Нурманов С. Структурные свойства полиэфирных смол, модифицированных полиметиленафталинсульфоновой кислотой // Universum: химия и биология : электрон. научн. журн. 2026. 8(146). URL: <https://7universum.com/ru/nature/archive/item/23234>

For citation: Goyipov A., Nurmanov S. Structural Properties of Polyester Resins Modified with Polymethylenenaphthalenesulfonic Acid // Universum: Chemistry and Biology : electronic scientific journal. 2026. No. 8(146). Available at: <https://7universum.com/ru/nature/archive/item/23234>

смола, модифицированная ПМНСК, является перспективным материалом для создания современных полимерных композитов, водных дисперсий, клеевых композиций, а также высокоэффективных лакокрасочных материалов и покрытий, расширяя области применения модификаторов на основе нафталинсульфонатов в полимерных материалах.

Keywords: polymethylenenaphthalenesulfonic acid, polydiethylene glycol adipate, modified polyester resin, FTIR spectroscopy, NMR spectroscopy, molecular structure, polymer modification, oligomers, ester bonds, sulfo groups, physicochemical properties, polymer compositions.

Ключевые слова: полиметиленнафталинсульфовая кислота, полидиэтиленгликольадипинат, модифицированная полиэфирная смола, ИК-спектроскопия с преобразованием Фурье (FTIR), ЯМР-спектроскопия, молекулярная структура, модификация полимеров, олигомеры, эфирные связи, сульфогруппы, физико-химические свойства, полимерные композиции.

Introduction

In recent years, the development of polymer materials with enhanced functional properties, the improvement of their performance characteristics, and the production of locally manufactured import-substituting products have become among the most important directions in polymer chemistry and technology [1]. In particular, modified polyester resins are widely used in coatings, composite materials, dispersed systems, and construction chemistry due to their high adhesive properties, good solubility, thermal stability, and the possibility of incorporating various functional groups into their structure [2–4].

One of the effective approaches to improving the properties of polyester resins is their modification with compounds possessing aromatic and ionogenic characteristics [5]. From this perspective, polymethylenenaphthalenesulfonic acid (PMNS) has attracted considerable scientific interest. The presence of aromatic naphthalene rings and sulfo groups in the PMNS molecule enhances the dispersibility, hydrophilicity, thermal stability, and surface activity of polymer systems [6–7]. However, the molecular structure and structural properties of PMNS-modified polyester resins have not yet been sufficiently investigated [8].

Polydiethylene glycol adipate (PDAT) is a functional oligomer containing ester and ether linkages, and its combined use with PMNS makes it possible to obtain modified polyester systems with novel properties [9]. Determining the structural features of such polymers, identifying the functional groups present in their composition, and investigating the nature of the formed chemical bonds are of significant practical and theoretical importance [10–11].

Materials

A modified polyester resin based on polymethylenenaphthalenesulfonic acid (PMNS) and polydiethylene glycol adipate (PDAT) at a molar ratio of 70:1 was synthesized under acidic conditions at atmospheric pressure [12–14]. The following chemicals were used during the

synthesis: Shaffer acid (1-naphthylamine-7-sulfonic acid, CAS No. 84-87-7), formaldehyde (CAS No. 50-00-0), adipic acid (CAS No. 124-04-9), diethylene glycol (CAS No. 111-46-6), sulfuric acid (CAS No. 7664-93-9), and sodium hydroxide (CAS No. 1310-73-2).

Methods

During the study, the FTIR spectra of the polyester samples synthesized based on PMNS were recorded using an **IRTracer-100** spectrometer (SHIMADZU CORP., Japan, 2017). The samples were first finely ground in a mortar and then mixed with potassium bromide (KBr) at a ratio of 1:10. The resulting mixture was further ground and compressed into pellets for 4–5 minutes using a pellet mold, after which the samples were analyzed by FTIR spectroscopy [15–17].

In addition, the morphology of the synthesized samples was investigated using a **SEM-EVO MA 10** scanning electron microscope (Carl Zeiss, Germany). Prior to analysis, solid samples were thoroughly dried. Subsequently, 10–20 mg of the sample was dissolved in 0.6–0.7 mL of a deuterated solvent. The prepared solution was transferred into a standard 5 mm NMR tube. To avoid the formation of air bubbles, the solution was mixed gently and then placed in the NMR instrument for analysis [18–19].

Results and Discussion

In the initial stage of the study, FTIR spectroscopic analyses were carried out to identify the structural changes in samples synthesized from polymethylenenaphthalenesulfonic acid (PMNS) and polydiethylene glycol adipinate (PDAT) at a molar ratio of 70:1 and reacted at 98–100 °C for 120 min. Analysis of the obtained FTIR spectra enabled the identification of absorption bands corresponding to the functional groups present in the samples and allowed the evaluation of the structural changes that occurred during the modification process [20]. The spectral data obtained and the principal absorption bands are presented in the following figure (Figure 1).

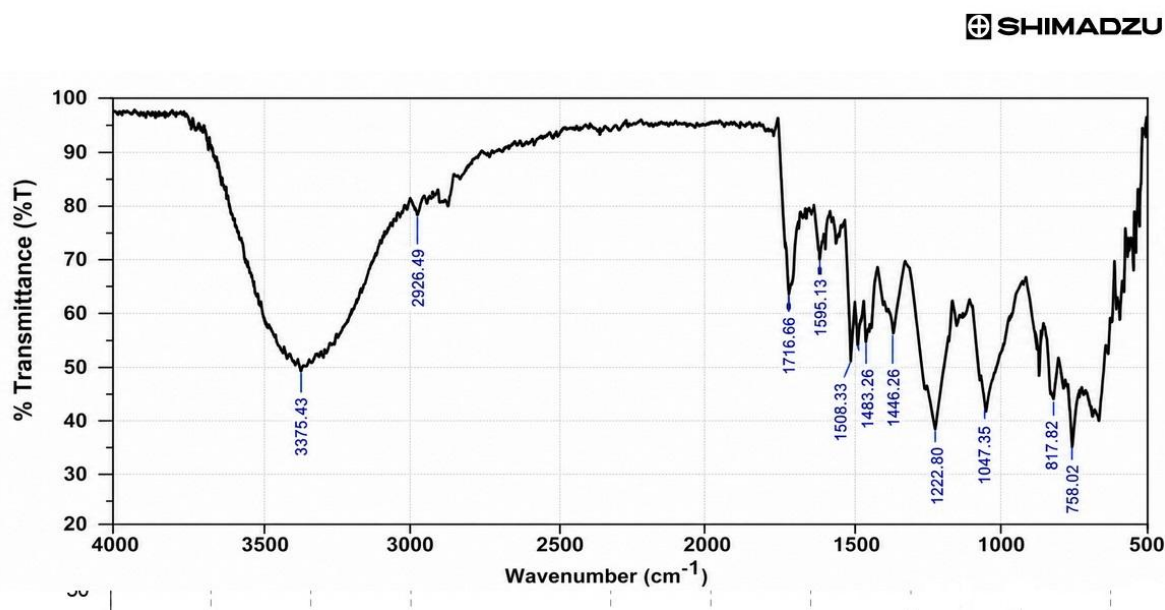


Figure 1. FTIR spectrum of the PMNSP resin modified at a molar ratio of 70:1

Based on the analysis of the spectrum presented in the graph and the data summarized in Table 2, it was established that the polyester resin modified with PMNS and PDAT contains several characteristic functional groups. The broad absorption band observed at 3381.21 cm^{-1} corresponds to the stretching vibrations of hydroxyl ($-\text{OH}$) groups, indicating the presence of hydroxyl fragments associated with polydiethylene glycol residues and sulfonic acid groups. The absorption bands at 2974.23 and 2877.79 cm^{-1} are attributed to the stretching vibrations of methylene ($-\text{CH}_2-$) groups, confirming the presence of aliphatic fragments in the polymethylenenaphthalene and polydiethylene glycol chains.

The strong absorption band observed at 1728.22 cm^{-1} is characteristic of the stretching vibrations of carbonyl ($\text{C}=\text{O}$) groups in the polyester resin and indicates the formation of ether- or ester-type linkages during the modification process. The signal at 1456.26 cm^{-1} is associated with the deformation vibrations of methylene groups and characterizes the aliphatic segments of the polymer chain. The intense absorption at 1045.42 cm^{-1} corresponds to the stretching vibrations of $\text{C}-\text{O}-\text{C}$ groups in ether linkages and $\text{S}=\text{O}$ bonds in sulfo groups. This signal indicates the incorporation of polydiethylene glycol fragments into the polymer structure and confirms the preservation of sulfo groups derived from polymethylenenaphthalenesulfonic acid.

Table 2.**Comparative analysis of the FTIR spectral characteristics**

№	Functional groups and bond types	Absorption peak in the spectrum, cm^{-1}	Absorption peak reported in the literature, cm^{-1}	Intensity and type of vibration
1.	Hydroxyl group ($-\text{OH}$).	3381.21	3200-3450	$\nu(\text{O-H})$, b., s.
2.	Methylene group ($-\text{CH}_2-$).	2974.23	2920-2980	$\nu(\text{C-H})$, w.
3.	Aliphatic stretching vibration ($-\text{C-H-}$).	2877.79	2850-2890	$\nu(\text{C-H})$, w.
4.	Carbonyl group ($\text{C}=\text{O}$).	1728.22	1720-1750	$\nu(\text{C}=\text{O})$, b.
5.	Naphthalene ring (aromatic $\text{C}=\text{C}$ stretching vibration).	1590-1600	1500-1600	$\delta(\text{C}=\text{C})$, m.
6.	Methylene bridges ($-\text{CH}_2-$).	1456.26	1440-1470	$\delta(\text{C-H})$, m.
7.	Dimethylene ether group ($-\text{C}-\text{O}-\text{C}-$).	1222.80	1200-1275	$\nu(\text{C-O-C})$, C
8.	Sulfonic acid group ($-\text{SO}_3\text{H}$).	1170-1200	1150-1250	$\nu(\text{S=O})$, b.
9.	Sulfoxide group ($-\text{S}=\text{O}$).	1042.45	1030-1070	$\nu(\text{C-O})$, m.
10.	1,2,6-Substituted naphthalene ring.	758.02-820	740-830	$\delta(\text{C-H})$, s.

In general, the FTIR spectral analysis confirmed the presence of aromatic naphthalene rings, methylene bridges, sulfo groups, hydroxyl groups, as well as ether and carbonyl functional groups in the polyester resin modified with PMNS and PDAT. The obtained results indicate that the modified polyester resin possesses the expected chemical structure.

Following the completion of the FTIR analyses, the synthesized product was further investigated by nuclear magnetic resonance (NMR) spectroscopy to obtain a more detailed understanding of its molecular structure. Initially, the ^1H NMR spectrum of the polyester resin

synthesized from polymethylenenaphthalenesulfonic acid and polydiethylene glycol adipinate at a molar ratio of 70:1 was examined, and the chemical shifts of the corresponding protons are presented in the following figure (Figure 3).

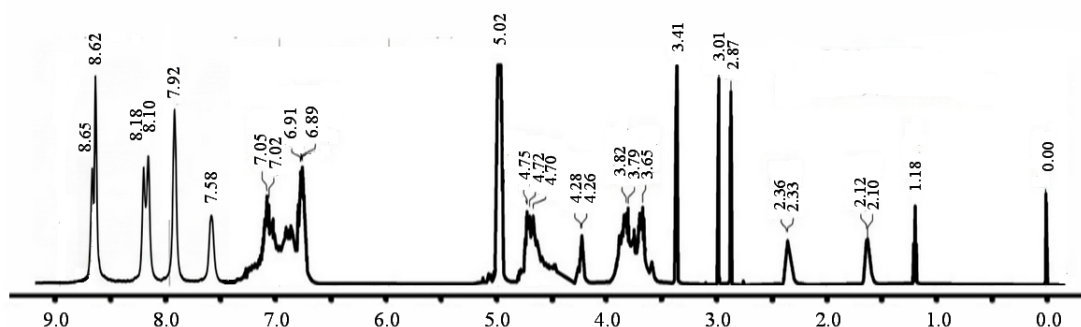


Figure 2. ^1H NMR spectra of the polyester resin synthesized from PMNS and PDAT at a molar ratio of 70:1

In the above spectrum, the numerous multiplet signals observed in the region of 6.89–8.65 ppm are attributed to the aromatic protons of the naphthalene ring, confirming the preservation of the aromatic fragment within the polymer structure. Owing to the electron-withdrawing nature of the sulfo group, some aromatic protons are shifted downfield and resonate in the range of 8.0–8.7 ppm.

The intense singlet observed at 5.02 ppm is assigned to the protons of the methylene group ($\text{Ar}-\text{CH}_2-\text{O}-$) linking the naphthalene ring through an oxygen atom, indicating the incorporation of the aromatic fragment into the polyester chain. The signals at 4.70–4.75 ppm and around 4.26 ppm are characteristic of the methylene protons ($-\text{OCH}_2-$) adjacent to oxygen atoms in the diethylene glycol residue.

The multiplet signals in the range of 3.65–3.82 ppm correspond to the internal $-\text{CH}_2-\text{O}-\text{CH}_2-$ protons of the diethylene glycol fragment. The presence of these signals confirms the formation of ether linkages within the polyester chain. The signals observed at 2.10–2.36 ppm are attributed to the methylene protons ($-\text{COCH}_2-$) adjacent to the carbonyl groups of the adipic acid residue, indicating the incorporation of the adipate fragment into the polymer structure. The signal at 1.18 ppm corresponds to the central methylene protons of the adipic acid chain.

The simultaneous observation of signals corresponding to aromatic protons, oxygen-bonded methylene groups, and protons associated with the adipate fragment confirms the presence of naphthalene rings, sulfo groups, and ester and ether linkages in the synthesized product. The obtained results are in good agreement with the proposed structural formula of the polyester resin modified with polymethylenenaphthalenesulfonic acid and polydiethylene glycol. Furthermore, the ^{13}C NMR spectrum of the same sample was investigated, and the chemical shifts of the corresponding carbon atoms are presented in the following figure (Figure 4).

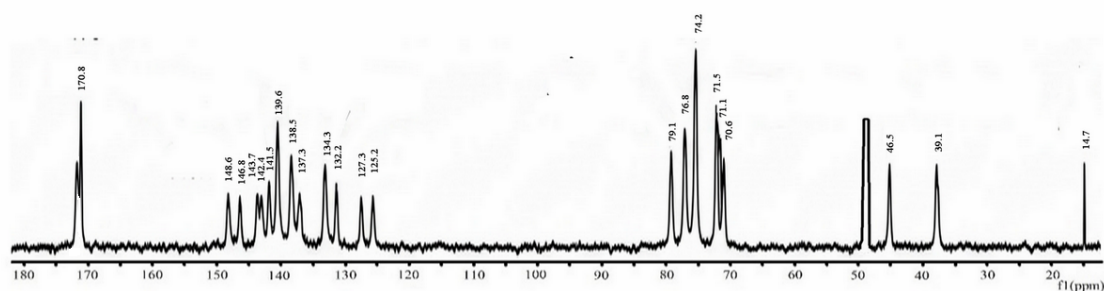


Figure 3. ^{13}C NMR spectrum of the polyester resin synthesized from PMNS and PDAT at a molar ratio of 70:1

In the presented spectrum, the intense signal observed at 170.8 ppm is attributed to the carbonyl carbon atom of the ester group ($-\text{COO}-$), indicating the formation of the polyester chain. This signal confirms the presence of ester linkages formed through the condensation of adipic acid residues with diethylene glycol fragments.

The numerous resonance signals observed in the range of 149.7–125.2 ppm are assigned to the aromatic carbon atoms of the naphthalene ring. In particular, the downfield signals at approximately 149.7, 148.6, 143.7, and 141.5 ppm correspond to aromatic carbon atoms bonded to sulfo groups and oxygen-containing substituents. The resonances in the range of 139.6–125.2 ppm are attributed to the remaining aromatic carbon atoms of the naphthalene ring. The signals observed at 79.1, 76.8, 74.2, 71.5, and 70.6 ppm are characteristic of the oxygen-bonded methylene carbons ($-\text{OCH}_2-$) in the diethylene glycol fragment. These signals indicate the presence of polyester chains in the polymer structure and confirm the successful formation of ether linkages.

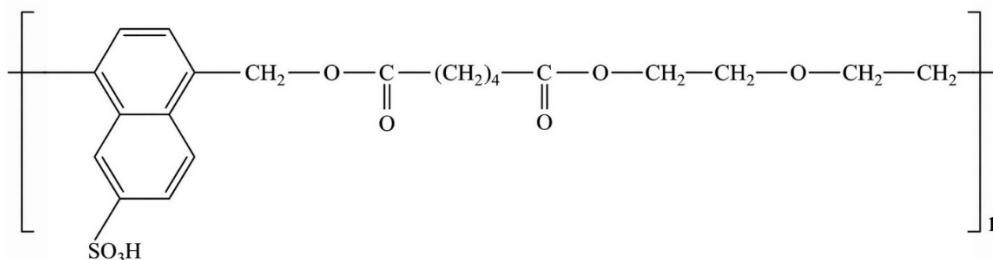
The signal observed at 46.5 ppm is assigned to the methylene carbon atom linking the naphthalene ring to the ester fragment ($\text{Ar}-\text{CH}_2-\text{O}-$), confirming the connection between the aromatic and aliphatic segments of the polymer. The signal at 39.1 ppm may be associated with methylene carbons located adjacent to carbonyl groups. The signal observed at 14.7 ppm is attributed to highly mobile aliphatic methylene carbons and provides additional evidence for the presence of the adipinate fragment in the synthesized polymer.

Furthermore, the presence of signals corresponding to ester carbonyl groups, the aromatic naphthalene ring, oxygen-bonded methylene carbons, and aliphatic fragments in the ^{13}C NMR spectrum confirms the existence of naphthalene rings, sulfo groups, and ester and ether linkages in the synthesized polymer. The obtained results are in complete agreement with the proposed structural formula of the polyester resin modified with polymethylenenaphthalenesulfonic acid and polydiethylene glycol.

In general, the observation of aromatic proton and carbon signals characteristic of the naphthalene ring in the ranges of 6.89–8.65 ppm in the ^1H NMR spectrum and 125.2–149.7 ppm in the ^{13}C NMR spectrum confirms the presence of an aromatic fragment in the polymer structure. The intense signal at 170.8 ppm was assigned to ester carbonyl groups, whereas the signals observed in the ranges of 3.65–5.02 ppm and 70.6–79.1 ppm were attributed to the proton and carbon atoms of the $-\text{OCH}_2-$ groups in the diethylene glycol fragment. In addition, aliphatic proton and carbon signals characteristic of the adipinate fragment were detected in the regions of 1.18–2.36 ppm and

14.7–39.1 ppm, respectively. These data reliably confirm the presence of a naphthalene ring, sulfo groups, and ester and ether linkages in the synthesized product and demonstrate complete agreement with the proposed structural formula of the obtained polymer.

During the study, the proposed structural formula of the modified polyester resin (PMNSP-70/1), synthesized from polymethylenenaphthalenesulfonic acid and polydiethylene glycol adipate components at a molar ratio of 70:1, was formulated as follows.



Conclusion

In this study, the structural properties of a polyester resin modified with PMNS and PDAT at a molar ratio of 70:1 were investigated using a комплекс of physicochemical methods. The obtained results confirmed the presence of naphthalene rings, sulfo groups, carbonyl, ester, and ether bonds in the polymer structure and demonstrated full agreement with the proposed structural formula of the synthesized product. The findings indicate that PMNS-modified polyester resins are promising compounds for the development of functional polymer materials.

References

1. Sayidov B.U. et al. Synthesis of high molecular mass resins based on furfuryl alcohol // Chemistry and chemical engineering. – 2024. – T. 2024.
2. G'oyipov A., Nizamov T. Termoplastik poliefirlar ishrirokida modifikatsiyalashning afzalliklari // Универсальная индексная библиотека Евразийского журнала академических исследований. – 2022. – Т. 2. – С. 191–197.
3. Mirkomilov S.M., Bozorov N.I., Ismoilov I.I. Polimerlar kimyosi // Nazariy asoslar Toshkent-2010. – 2013.
4. Septevani A.A. et al. A systematic study substituting polyether polyol with palm kernel oil based polyester polyol in rigid polyurethane foam // Industrial Crops and Products. – 2015. – Т. 66. – P. 16–26.
5. G'oyipov A., Nizamov T. Termoplastik poliefirlar ishrirokida modifikatsiyalashning afzalliklari // Универсальная индексная библиотека Евразийского журнала академических исследований. – 2022. – Т. 2. – С. 191–197.
6. G'oyipov A.R., Nurmanov S.E. Polimetilennaftalinsulfokislota asosidagi poliefirlarning termik xossalarini o'rganish // Innovatsion texnologiyalar va o'simliklar resurslarini samarali boshqarish: oziq-ovqat, qishloq xo'jaligi va kimyo sohalarida yangi yo'nalishlar va imkoniyatlar mavzusidagi xalqaro ilmiy-amaliy anjumani materiallari to'plami. – 2026.

7. Auyeshov A.P. et al. Effect of [alpha]-and [Beta]-Polymethyle Nenaphthalenesulfonate upon Properties of Cement Grout and Concrete // *Modern Applied Science*. – 2015. – Т. 9.
8. Kricheldorf H. Polycondensation // *History and new results*. – 2014.
9. Elizalde L.E. et al. Polycondensation // *Polymer Science, Engineering, and Sustainability*. – 2025. – Т. 1. – P. 19–63.
10. Трефц Я.Х., Зинченко С.Ю. Способ криоскопического определения среднечисловой молекулярной массы. – 1988.
11. Elizalde L.E. et al. Polycondensation // *Polymer Science, Engineering, and Sustainability*. – 2025. – Т. 1. – P. 19–63.
12. G'oyipov A.R. & Nurmanov S.E. (2026). Polimetilennaftalinsulfokislota sintezida resksiya sharoitlarining mahsulot xossalariga ta'siri. *Development Of Science*, 6(7), P. 226–234 – URL: <https://doi.org/0>. (accessed 07.08.2026)
13. O'G G.O.A.R. et al. Polietirifikatsiya jarayonlari orqali chiziqli poliefir-poliol sintez qilish va hossalarni tadqiq etish // *Механика и технология*. – 2026. – Т. 7. – P. 293–298.
14. Гойипов А.Р., Нурманов С.Э. Синтез и физико-механический анализ полиэфирных смол на основе полиметиленафталинсульфоокислоты // *Universum: химия и биология: электрон. научн. журн.* – URL: <https://7universum.com/ru/nature/archive/item/23106> (accessed 07.08.2026) (дата обращения: 07.07.2026).
15. Holland-Moritz K., Siesler H.W. Infrared spectroscopy of polymers // *Applied Spectroscopy Reviews*. – 1976. – Т. 11. – P. 1–55.
16. Bershtein V.A., Ryzhov V.A. Far infrared spectroscopy of polymers // *Polymer analysis and characterization*. – 2005. – P. 43–121.
17. Zimmermann B., Vrsaljko D. IR spectroscopy based thermal analysis of polymers // *Polymer testing*. – 2010. – Т. 29. – P. 849–856.
18. Hatada K., Kitayama T., Kitayama T. NMR spectroscopy of polymers. – Berlin: Springer, 2004. – С. 1–34.
19. McBrierty V.J., Packer K.J. Nuclear magnetic resonance in solid polymers. – 1993. – С. 370.
20. Goyipov, A. & Nurmanov, S. (2026). Ftir spectroscopic analysis of polyester resins modified with polymethylene naphthalene sulfonic acid. In *solution of social problems in management and economy* (Vol. 5, Number 8, P. 73–76). Zenodo – URL: <https://doi.org/>. (accessed 07.08.2026)

CHEMISTRY OF HIGH-MOLECULAR COMPOUNDS AND POLYMERS

Статья поступила в редакцию: 19.07.2026

Статья принята к публикации: 26.07.2026

Статья опубликована: 07.08.2026

УДК +547.962.94

DOI: 10.32743/UniChem.2026.146.8.23236

Treatment of silk fibroin with ammonia solution and its application in bleaching cottonseed oil

Matrasulova Nazokat Ismailovna

PhD Student

Urgench State University after named Abu Rayhan Beruni

Uzbekistan, Urgench

E-mail: matrasulova.nazokat@urdu.uz

Eshchanov Khushnudbek Odilbekovich

PhD

Urgench State University after named Abu Rayhan Beruni

Uzbekistan, Urgench

Baltaeva Mukhabbat Matnazarovna

doctor of Chemical Sciences

Urgench State University after named Abu Rayhan Beruni

Urgench

Uzbekistan, Urgench

Обработка шелкового фиброина аммиачным раствором и его применение при отбеливании хлопкового масла

Матрасулова Назокат Исмаиловна

докторант

Ургенчский государственный университет имени Аль-Бируни

Узбекистан, г. Ургенч

Эшчанов Хушнудбек Одилбекович

канд. хим. наук (PhD)

Ургенчский государственный университет имени Аль-Бируни

Узбекистан, г. Ургенч

Балтаева Мухаббат Матназаровна

проф. кафедры химии

Ургенчский государственный университет имени Аль-Бируни, д-р хим. наук

Узбекистан, г. Ургенч

Abstract

In recent years, various methods for utilizing silk fibroin waste have been developed. In this study, fibroin fiber obtained from silk fiber waste was swollen in 25 % ammonia solution and treated with microwave irradiation. The obtained hydrolyzed fibroin macromolecule was characterized by ultraviolet-visible (UV-Vis) spectroscopy and molecular weight analysis. The results showed that alkaline and microwave treatment had a significant effect on the structural composition of silk fibroin. The molecular weight was 388.3 kDa. The sorption properties of the obtained fiber were studied during bleaching with cottonseed oil: the acid value decreased to 0.15 mmol/L and the peroxide value to 6.22 mmol/L. IR spectroscopy analysis of cottonseed oil showed that cottonseed oil and hydrolyzed fibroin did not undergo a chemical reaction, and the basic chemical structure was preserved after bleaching of cottonseed oil. By purifying vegetable oils through the sorbent obtained in this way, not only is the oil purified, but it can also be another way to utilize waste from the silk industry.

Аннотация

В последние годы были разработаны различные методы утилизации отходов фиброина шелка. В данном исследовании фиброиновое волокно, полученное из отходов шелкового волокна, набухало в 25 %-ном растворе аммиака и обрабатывалось микроволновым излучением. Полученная гидролизованная макромолекула фиброина была охарактеризована с помощью ультрафиолетово-видимой (УФ-Вид) спектроскопии и анализа молекулярной массы. Результаты показали, что щелочная и микроволновая обработка оказали значительное влияние на структурный состав шелкового фиброина. Молекулярная масса составила 388,3 кДа. Сорбционные свойства полученного волокна изучались в процессе отбеливания хлопковым маслом: было установлено, что кислотное число снизилось до 0,15 ммоль/л, а перекисное число — до 6,22 ммоль/л. ИК-спектроскопический анализ хлопкового масла показал, что хлопковое масло и гидролизованный фиброин не вступали в химическую реакцию, и основная химическая структура сохранялась после отбеливания хлопкового масла. Очистка растительных масел с помощью полученного таким образом сорбента позволяет не только очистить само масло, но и использовать отходы шелковой промышленности в качестве еще одного способа утилизации.

Keywords: Silk fibroin, microwave irradiation, molecular mass, peroxide value, acid number.

Ключевые слова: фиброин шелка, микроволновое облучение, молекулярная масса, перекисное число, кислотное число.

Библиографическое описание: Матрасулова Н.И., Эшчанов Х.О., Балтаева М.М. Обработка шелкового фиброина аммиачным раствором и его применение при отбеливании хлопкового масла // Universum: химия и биология : электрон. научн. журн. 2026. 8(146). URL: <https://7universum.com/ru/nature/archive/item/23236>

For citation: Matrasulova N.I., Eshchanov K.O., Baltaeva M.M. Treatment of Silk Fibroin with Ammonia Solution and Its Application in Bleaching Cottonseed Oil // Universum: Chemistry and Biology : electronic scientific journal. 2026. No. 8(146). Available at: <https://7universum.com/ru/nature/archive/item/23236>

Introduction

Today, the increasing demand for sustainable materials-free technologies has increased the interest in the evaluation of protein-based industrial waste. Among natural biopolymers, silk fibroin has attracted great attention due to its biodegradability, biocompatibility, excellent mechanical properties, and abundance of reactive amino acid functional groups. Silk fibroin (SF) is a natural polymer derived from silk fibroin and accounts for 70 %–75 % of the total mass of silk fibers. In the textile industry, a portion of silk fiber is separated as fiber waste, and today it is important to make rational use of this fiber silk waste. In recent years, silk waste has been recognized as an important renewable resource for the production of high-value adsorbents and functional biomaterials, instead of being disposed of as textile waste [1,2,3]. Silk fibroin is a protein with a hierarchical structure composed of highly ordered β -sheet crystalline domains and amorphous regions. The interplay between these structural phases governs its physicochemical properties, including molecular stability, swelling properties, and adsorption capacity [3,4]. As a result, controlled chemical modification has become an effective strategy to tailor the structure of fibroin-based materials and improve their adsorption properties. Previous studies have shown that structural modification significantly affects crystallinity, surface activity, and adsorption efficiency [3–5].

Among the various modification methods, alkaline treatment is widely used because it partially hydrolyzes peptide bonds, weakens intermolecular hydrogen bonds, and exposes additional amino, hydroxyl, and carboxyl functional groups.[2,6] Compared with strong alkaline reagents, aqueous ammonia provides a relatively mild chemical environment that can induce structural rearrangement while preventing excessive degradation of the protein backbone. However, little is known about the structural evolution of hydrolyzed silk fibroin prepared from silk waste after ammonia treatment, especially in terms of molecular weight changes and crystallinity [2,6]. In addition, silk fibroin molecules have been well studied in alkaline medium[7]. Characterizing molecular and crystallinity changes is crucial for understanding the structure-property relationships of fibroin. UV-visible spectroscopy has been widely used to observe structural changes in protein materials and assess molecular fragmentation after chemical modification, while X-ray diffraction (XRD) remains one of the most reliable methods to study the crystalline and amorphous structure of silk fibroin and determine its crystallinity [4,8].

Recently, biobased adsorbents have attracted increasing attention in vegetable oil processing, as traditional bleaching earths and mineral adsorbents generate large amounts of secondary solid waste and require energy-intensive production processes [8]. Hydrolyzed silk fibroin has multipolar functional groups that can interact with phospholipids, pigments, oxidation products, soaps, and other polar compounds present in vegetable oils. However, there are still few studies on ammonia-modified hydrolyzed silk fibroin obtained from silk waste as an adsorbent for cottonseed oil purification [1,5,9]. This study investigated the preparation of hydrolyzed silk fibroin from silk processing waste and its adsorption performance in cottonseed oil purification.

Materials and methods

Materials and instruments. Fibrous waste of silk (Cleaned of additives, Urganch Bahmal, LLC, Urgench, Uzbekistan), Sodium bicarbonate (purity 99,9 %) was purchased from Chimreaktivinvest (Uzbekistan), Ammonia solution (pure for analysis) supplied by ESER

KIMYA(Turkey). Calcium chloride and ethyl alcohol (98 %) were purchased from Fortek company (Uzbekistan). Unrefined oil obtained from cotton seeds. Bidistilled water is obtained from the “GFL 2104 Double distillation water still” device (Germany). Microwave radiation was performed on an ME81ARW (Samsung) device at a frequency of 2450 MHz. The experiments used a UV-1800 Shimadzu spectrometer. Thermostat spare parts (Assistant cat. № 3180) (Hamburg, Germany), Lovibond® Tintometer Model F.

Extraction of fibroin fiber from natural silk waste. This study aims to use silk fibroin as a fiber sorbent by effectively utilizing silk waste in bleaching vegetable oils. The conditions for extracting fibroin from silk waste were selected: sericin was heated in NaHCO₃ solution at 90-100°C for 40 minutes. The obtained fibroin fibers were washed with distilled water [10].

Extraction of “HF” from silk fibroin. Further studies were conducted on the hydrolysis of fibroin fibers from silk fibers and their sorbent properties. Silk fibroin(SF) was hydrolyzed under alkaline conditions and microwave irradiation (800 W) to obtain hydrolyzed fibroin (“HF”) in the form of fibers [11]. Extraction of “HF” in an alkaline medium was carried out by swelling in 25 % ammonia solution. In this case, it took 1 hour to obtain “HF” in 25 % ammonia solution. The ampholytic properties of “HF” and the presence of polyfunctional groups allow it to be used in a variety of conditions. To further increase the cracks and porosity in the “HF” particles, the “HF” fiber was immersed in an alkaline medium in a wet state and then exposed to 800 W microwave radiation for 5 minutes. After the procedure, the sample was washed with hot distilled water to a neutral medium. As the cracks and pores in “HF” increase, its sorption properties also increase.

Determination of the molecular weight of the HF sample obtained in an alkaline (ammonia) medium using UV spectrophotometry. The measured mass of “HF” fiber was dissolved in a solution of CaCl₂:C₂H₅OH:H₂O (1:2:8 mol) at 65 °C [12]. To determine the molecular mass of “HF” obtained under laboratory conditions, solutions with concentrations of 0.008, 0.017, 0.056 and 0.12 g/L were prepared. The UV-1800 Shimadzu spectrophotometer showed that the maximum absorption wavelength of the prepared “HF” solution was 280 nm. The light absorption was determined in a 1 cm thick (l) cuvette [13].

Purification of cottonseed oil with “HF”. Cottonseed oil was purified to test the sorption properties of the obtained «HF» samples. 100 g of purified vegetable oil was poured into numbered flasks and immersed in a water bath. When the temperature reached 70°C, 1.0 g of the «HF» sample was added to the flask and mixed at a speed of 250 rpm. Continue mixing for 30 minutes, bringing the oil temperature to 90°C. At the end of the process, the oil was filtered. The color level of the filtered oil was measured on a Lovibond device. The peroxide value and acid content were measured by the method of [14].

Results and discussion

Considering the better swelling of silk fibroin in an alkaline environment, we treated it with ammonia solution[15]. When treated with ammonia solution, 93.7 % of the original fiber mass is retained. Then, microwave irradiation was applied to increase the porosity and cracks in the macromolecule. The practical application of HF was evaluated in the bleaching of cottonseed oil. The results obtained show that the combined treatment affected the molecular structure of silk

fibroin without causing complete decomposition of protein chains. These structural changes are expected to affect the physicochemical properties of the material, in particular its adsorption properties. Therefore, spectroscopic properties, molecular weight distribution, and sorption indices were analyzed together to determine the relationship between structural modification and functional efficiency.

Comparison of UV-Vis spectra shows that ammonia digestion and microwave treatment significantly affected the optical properties of silk fibroin. The UV spectra of silk fibroin and ammonia-treated HF sample solutions showed maximum absorption peaks at 280 nm in both samples, suggesting that the protein structure of fibroin remained largely preserved after ammonia treatment.

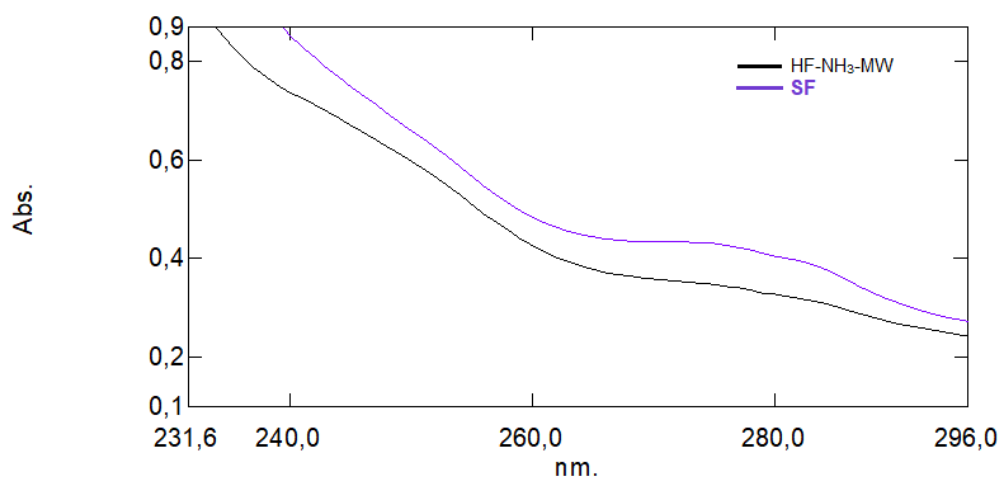


Figure 1. UV spectra of Silk fibroin(SF) and «HF» solution obtained under the influence of MW radiation

The light absorption values of “HF” solutions at 280 nm were determined and the A/l and C correlation graphs were plotted (Figure 2). To determine the molecular mass of “HF”, it is necessary to determine the angular length (α) of the graph line A/l—C concerning the C axis. Molecular mass is determined by the following formula.

$$M = \frac{tg\alpha}{\epsilon} \quad (1)$$

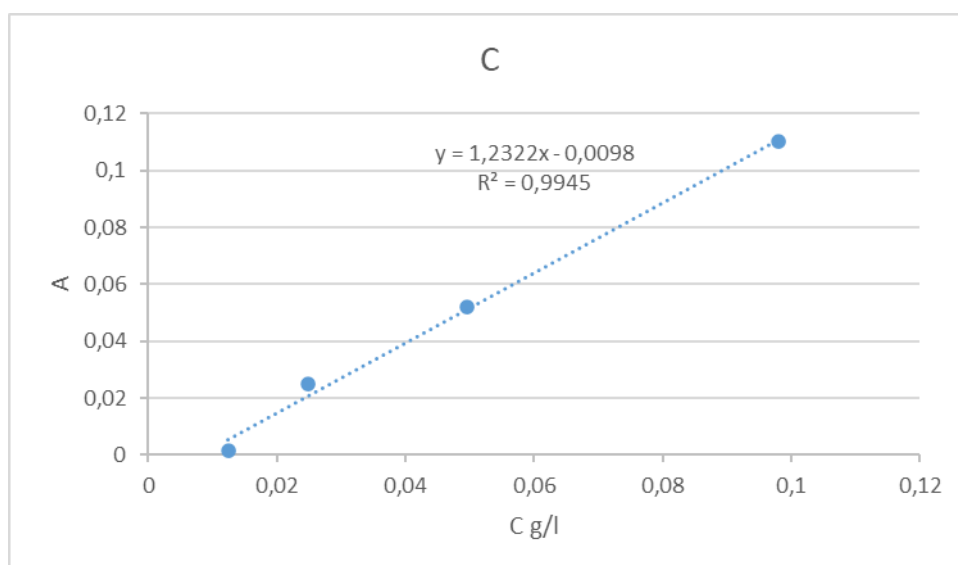


Figure 2. Graph of the dependence of A/I and C of the «HF» solution obtained under the influence of MW radiation

Based on the results obtained by spectrophotometry, it was determined that the molecular mass of «HF» obtained under the influence of MW rays in an alkaline medium (equation 1) is 388.3 kDa. The decrease in molecular weight can be explained by the hydrolysis process.

Results of using HF sorbent in oil bleaching. Hydrolyzed fibroin («HF» – obtained under alkaline conditions by microwave radiation) sample are used in the purification of cottonseed oil. As a result of the cleaning process, the red color unit of the fat was reduced from 12 to 9. The acid number decreased from 0.33 mmol /L to 0.15 mmol L. There was also a significant decrease in the peroxide number, which decreased from 10.58 mmol/L to 6.22 mmol/L. The table below shows the cottonseed oil purification performance of the sample.

Table 1.

Parameters of cottonseed oil

Parameters	Unrefined oil Indicators	Oil refined with sample HF
Color level	Yellow unit:35 Red: 12	Yellow unit:35 Red: 9
The amount of Acid (mmol/L)	0.33	0.15
Peroxide value (mmol/L)	10,58	6.22

According to the bleaching results, the HF sorbent significantly reduced the acid number of cottonseed oil, and the decrease in peroxide value affects the increase in the shelf life of the oil.

FTIR spectra analysis of oil samples. FTIR analysis of unbleached crude cottonseed oil and cottonseed oil bleached with HF sorbent ATR-IR Fourier spectroscopy analyses were performed on a “FTIR 4600 JASCO” spectrophotometer and studied in the range of 4000 – 400 cm⁻¹ [16].

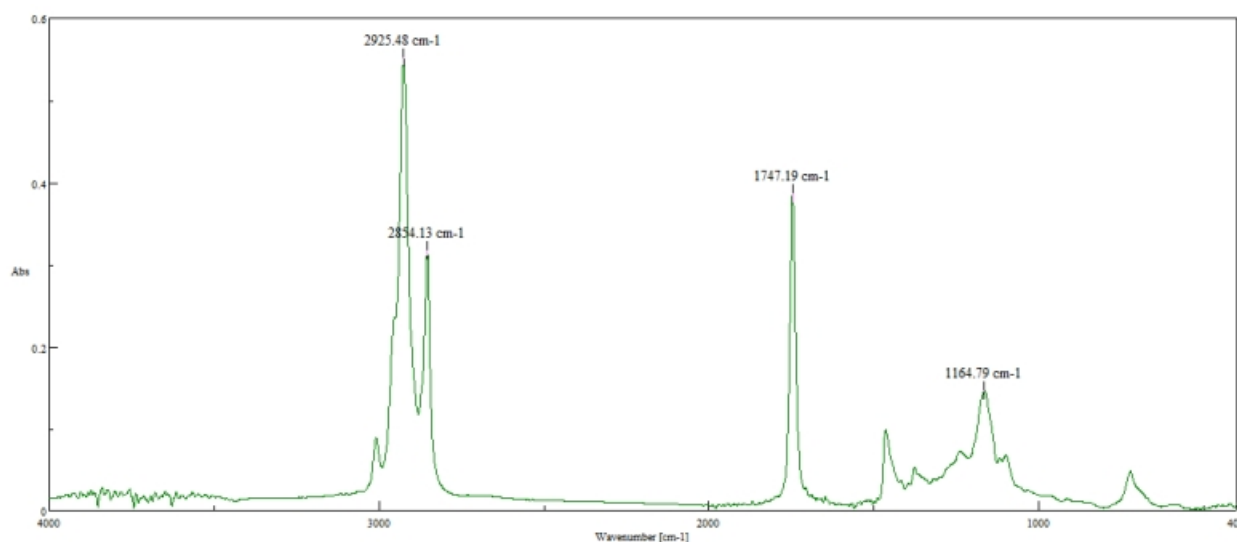


Figure 3. FTIR spectra of cottonseed oil

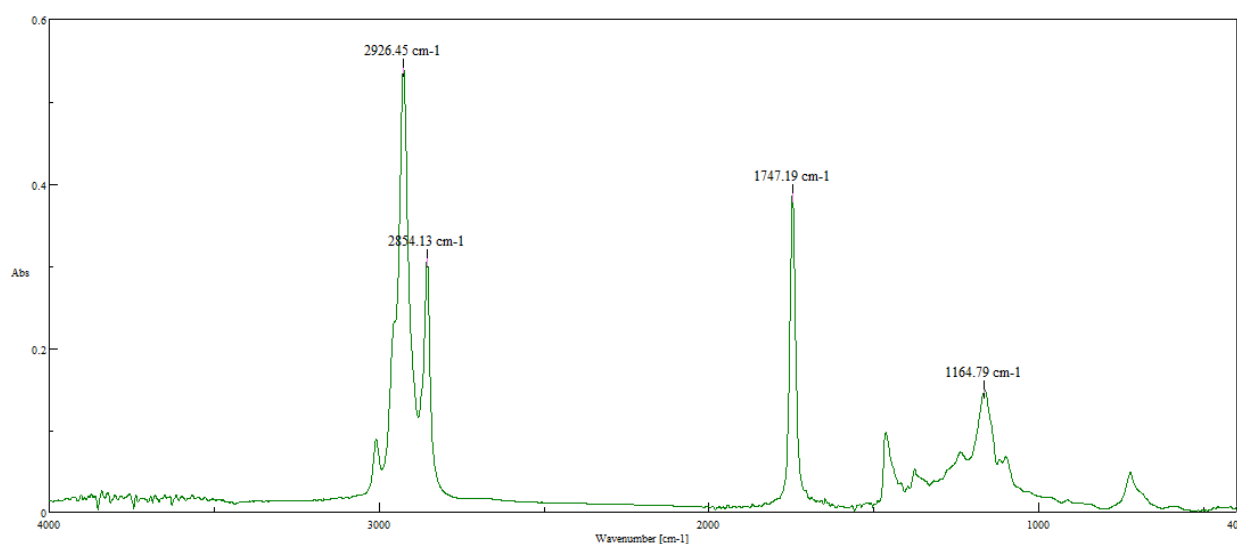


Figure 4. FTIR spectra of bleached cottonseed oil

The FTIR spectra of the crude and bleached cottonseed oils demonstrate that adsorption bleaching using the silk fibroin sorbent does not affect the molecular structure of triglycerides. The characteristic absorption bands at 2926, 2854, 1747, and 1165 cm^{-1} remain unchanged after treatment, while slight intensity changes in the fingerprint region indicate the effective removal of pigments and other minor impurities. These results confirm the high selectivity of the silk fibroin sorbent for oil purification without causing chemical degradation of the oil.

Conclusion

Silk fibroin treated with 25 % aqueous ammonia solution and then microwave irradiation underwent significant structural modification, as confirmed by UV-Vis spectroscopy and molecular weight analysis. The processed fibroin showed a molecular weight of 388.3 kDa. These structural changes increased the adsorption capacity of the material towards impurities in cottonseed oil. Hydrolyzed silk fibroin showed effective sorption performance during bleaching, reducing the acid value to 0.15 mmol/L and the peroxide value to 6.2 mmol/L. FTIR analysis confirmed that no new chemical bonds were formed between the sorbent and the purified oil.

Overall, the results indicate that ammonia- and microwave-treated silk fibroin is a promising, environmentally friendly, and sustainable biobased sorbent for the purification of vegetable oil. The proposed modification method is simple, efficient, and suitable for value-added utilization of silk fibroin waste.

References

1. Lu, L., Fan, W., Ge, S., Liew R.K., Shi, Y., Dou, H., & Lam S.S. (2022). "Progress in recycling and valorization of waste silk" *Science of the Total Environment*, V-830, Art 154812.
2. Reizabal A., Costa C.M., Pérez-Álvarez, L., Vilas-Vilela J.L., & Lanceros-Méndez, S. "Silk fibroin as sustainable advanced material: material properties and characteristics, processing, and applications." *Advanced Functional Materials* V-33 №3, 2023: P. 2210764.
3. Linlin Lu, Wei Fan, Shengbo Ge, Rock Keey Liew, Yang Shi, Hao Dou, Shujuan Wang, Su Shiung Lam, "Progress in recycling and valorization of waste silk", *Science of The Total Environment*, Volume 830, 2022, P. 154812.
4. Mia M.S., Yao, P., Zhu, X., Zhang, J., Xing, T., & Chen, G. "Removal of heavy metals from aqueous solutions by modified waste silk." *Textile Research Journal* V-92. №11–12 (2022): P. 1952–1965.
5. Martis, Lavita J., N. Parushuram, and Y. Sangappa. «Preparation, characterization, and methylene blue dye adsorption study of silk fibroin–graphene oxide nanocomposites» *Environmental Science: Advances* V-1, №3, 2022, P. 285–296.
6. Pilley, S., Kaur, H., Hippargi, G., Gonde, P., & Rayalu, S. «Silk fibroin: a promising biomaterial for the treatment of heavy metal-contaminated water, adsorption isotherms, kinetics, and mechanism.» *Environmental Science and Pollution Research* V-29, №7 (2022): Art 56606-56619.
7. Gupta, Shruti, and Balasubramanian Kandasubramanian. «Silk adsorbent for green and efficient removal of methylene blue from wastewater.» *Environmental Science and Pollution Research* V-32. №49 (2025): P. 28223-28238.
8. Martis, Lavita J., N. Parushuram, and Y. Sangappa. «Preparation, characterization, and methylene blue dye adsorption study of silk fibroin–graphene oxide nanocomposites.» *Environmental Science: Advances* V-1. №3 (2022): P. 285–296.
9. Xu, Qiao, et al. «Silk-waste-derived porous carbon for fast electric heating under safe voltage» *ACS applied materials & interfaces* V-14 №4 (2022): P. 6005–6015.
10. Agapov I.I. et al. Biodegradable matrices from regenerated "Bombyx mori* silk" *Doklady Akademii Nauk – Federal State Budgetary Institution «Russian Academy of Sciences»*, 2010. – Vol. 433. – No. 5. – P. 699–702.
11. Eshchanov K.O., Baltayeva M.M., Asarimsakov A. "Purification of Cottonseed Oil Using A Sorbent Obtained from the Fibrous Waste of Natural Silk" *Annals of the Romanian Society for Cell Biology*. – 2021. – T. 25. – №. 1. – P. 692–698.
12. Rafikov S.R., Pavlova S.A., Tverdokhlebova I.I. "Methods for determining molecular weights and polydispersity of high-molecular compounds." – *USSR Academy of Sciences*, 1963., P. 335.

-
13. Eshchanov Kh., Baltayeva M. “Determination of the molecular mass of hydrolyzed fibroin obtained from natural silk fibroin by spectrophotometry” Journal of the Turkish Chemical Society Section A: Chemistry. – 2022. V-9. №1. – P. 115–120.
 14. ISO-Standard 3960 third edition 2001 AOCS CD 8b-90.
 15. Eshchanov Kh, Baltayeva, S.Abdushkur, Sabirova M. “Swelling of hydrolyzed fibroin in water, acidic and alkaline solutions” Universum: химия и биология N8(86) 2021- pp81-85.
 16. JASCO Corporation, Fourier Transform Infrared Spectrometer FT/IR-4000 and 6000 series // Operation Manual. – 2002.

BIOLOGY

BIOCHEMISTRY AND MOLECULAR BIOLOGY

Статья поступила в редакцию: 26.06.2026

Статья принята к публикации: 26.07.2026

Статья опубликована: 07.08.2026

УДК 634.22+634.1-15

DOI: 10.32743/UniChem.2026.146.8.23245

Effect of growth regulators and planting time on the rooting and survival of hardwood cuttings of stone-fruit clonal rootstocks

Khaitboev Bakhodir Toirovich

Head of the Selection and Seed Production Laboratory, Tashkent Scientific-Experimental Station

Research Institute of Horticulture

Viticulture and Winemaking named after Academician M. Mirzaev

Uzbekistan, Tashkent

E-mail: siddiqova68@mail.ru

Влияние регуляторов роста и сроков посадки на укоренение и приживаемость одревесневших черенков клоновых подвоев косточковых культур

Хайтбоев Баходир Тоирович

заведующий лабораторией Селекция и семеноводство

Ташкентская научно-экспериментальная станция, Научно-исследовательский институт

садоводства, виноградарства и виноделия имени академика М. Мирзаева

Узбекистан, г. Ташкент

Abstract

This study examines in detail the propagation of promising clonal rootstocks of stone-fruit crops — the cultivars ‘Eureka 99’, ‘Myrobalan 29C’, ‘Fortuna’ and ‘Krymsky-5’ — by means of hardwood (lignified) cuttings, together with its efficiency. In the course of the field experiment, the influence of the biostimulant indole-3-butyric acid (IBA) and of a specialized callusing (kilchevanie) technique on the rooting parameters of the cuttings was comprehensively analyzed. It

Библиографическое описание: Хайтбоев Б.Т. Влияние регуляторов роста и сроков посадки на укоренение и приживаемость одревесневших черенков клоновых подвоев косточковых культур // Universum: химия и биология : электрон. научн. журн. 2026. 8(146). URL: <https://7universum.com/ru/nature/archive/item/23245>

For citation: Khaitboev B.T. Effect of Growth Regulators and Planting Time on the Rooting and Survival of Hardwood Cuttings of Stone-Fruit Clonal Rootstocks // Universum: Chemistry and Biology : electronic scientific journal. 2026. No. 8(146). Available at: <https://7universum.com/ru/nature/archive/item/23245>

was established that the highest effect was obtained by treating the cuttings with IBA in autumn, followed by a specialized callusing process and planting in open ground in early spring. Under this treatment, rooting and survival rates reached 77.8–87.6 %, substantially exceeding the results of the other variants. On the basis of the scientific and practical conclusions obtained, this highly efficient method is deemed suitable for wide adoption in production, in order to raise high-quality, standard rootstocks in horticulture and nursery management.

Аннотация

В данном исследовании подробно изучен процесс размножения одревесневшими черенками перспективных клоновых подвоев косточковых плодовых культур — сортов «Эврика 99», «Миробалан 29С», «Фортуна» и «Крымский-5», а также его эффективность. В ходе научного эксперимента всесторонне проанализировано влияние биостимулятора индолилмасляной кислоты (ИМК) и специального метода кильчевания на показатели укоренения черенков. Установлено, что наивысший эффект обеспечила осенняя обработка черенков препаратом ИМК с последующим прохождением специального процесса кильчевания и высадкой в открытый грунт ранней весной. При этом показатели укореняемости и приживаемости достигли 77,8–87,6 %, что существенно превышает результаты других вариантов. На основании полученных научно-практических выводов данный высокоэффективный метод признан целесообразным для широкого внедрения в производство с целью выращивания высококачественных и стандартных подвоев в сфере садоводства и питомниководства.

Keywords: clonal rootstocks, stone-fruit crops, vegetative propagation, hardwood cuttings, indole-3-butyric acid (IBA), callusing (kilchevanie), rooting rate, survival rate, biometric parameters.

Ключевые слова: клоновые подвои, косточковые культуры, вегетативное размножение, одревесневшие черенки, индолилмасляная кислота (ИМК), кильчевание, степень укореняемости, биометрические показатели.

Introduction

In modern fruit growing, the use of vegetatively propagated clonal rootstocks is an urgent task in establishing intensive orchards. Clonal rootstocks ensure uniform growth of trees, early onset of cropping, and good adaptability to soil-and-climate conditions. However, the low rooting percentage obtained when many valuable rootstock types — particularly those intended for stone fruits — are propagated by the conventional hardwood-cutting method remains one of the main problems.

In plant physiology, growth regulators of the auxin group, including indole-3-butyric acid (IBA), are widely used to stimulate root formation. At the same time, the rooting process depends not only on an externally applied growth regulator but also on the internal resources of the cutting — its diameter and its position on the mother plant. The aim of the present study was to determine, for various clonal rootstocks, the optimal combination of an appropriate IBA rate and cutting diameter.

It has been reported that in rootstocks of the genus *Prunus* the IBA concentration is the principal factor activating root formation; however, an individual optimal rate exists for each genotype, and concentrations above the optimum inhibit regeneration [1, 4]. In particular, the rootstocks of the 'Krymsk' series have been shown to be highly sensitive to external chemical treatments [5, 10, 11].

Studies on the morpho-physiological characteristics of the cutting confirm that cuttings prepared from the lower part of the shoot and of sufficient diameter provide higher stability in rooting owing to their higher content of reserve carbohydrates [2, 3, 9]. It has also been scientifically substantiated that soaking the basal part of the cuttings in an auxin solution is the most effective agronomic practice for production [6, 8].

Research site and conditions

The studies were carried out at the experimental field of the Research Institute of Horticulture, Viticulture and Winemaking named after Academician Mahmud Mirzaev. The soil of the site is a typical irrigated grey (sierozem) soil. It contains from 19.0 to 23.0 % carbonates, has a pH of 7.1, a weak structure and a tendency to compaction. According to the mechanical composition of the parent material, the soil of the experimental field is unstable and consists of medium and heavy loams. Because of the low content of humus and colloidal particles, the soil has a weak and fragile structure. The groundwater lies at a depth of 20–30 m below the soil surface.

The climate of the experimental field is distinguished by its abundance of heat and light, as well as by its dryness. The mean annual amplitude of air temperature is +28...+30 °C, and the absolute amplitude of air temperature is 75–80 °C. Summers are hot and dry, with an absolute maximum reaching +44 °C. Autumn is long and warm; the first autumn frost is observed on 3 October. Winter is unstable, with abrupt transitions from warm to cold. The mean monthly temperature in January is –0.4 °C, and the absolute minimum is –30 °C. The probability of a winter with a minimum air temperature of –15 °C is 75 %, of –20 °C is 15 %, and of –25 °C only 10 %. Spring is characterized by markedly variable air temperatures. The frost-free period averaged 203 days.

Materials and methods

Cuttings 18–22 cm long were prepared by cutting one-year-old shoots from mother plantations of the rootstocks at different dates; cuttings were separated from the basal (lower, 6–9 mm), middle (4–6 mm) and apical (upper, 2–4 mm) parts of the shoots.

The application rates of the root-promoting growth regulator indole-3-butyric acid (IBA) tested were: soaking the cuttings in water before planting (control); 45 mg/L; 60 mg/L; 75 mg/L; 90 mg/L; and 110 mg/L IBA.

The most suitable dates and methods for the sprouting of hardwood cuttings of the vegetative rootstocks for stone fruits were tested as follows:

First method: cuttings were prepared from one-year-old shoots of the rootstocks in autumn, in the third decade of November, soaked in water, buried in soil and stored in trenches until early spring, then planted in the first decade of March (control).

Second method: cuttings were prepared in autumn (third decade of November), treated with the selected growth regulator (IBA) at 75–90 mg/L, buried in soil, stored in trenches until early spring, and planted in the first decade of March.

Third method: cuttings were prepared in autumn (third decade of November), treated with IBA at 75–90 mg/L, buried in soil and stored in trenches until early spring; in the second decade of February the cuttings were dug out of the trenches, arranged with the treated (basal) ends facing upward, covered with a 5–10 cm layer of a 1:1 mixture of rotted manure and soil for callusing (kilchevanie), and planted in the first decade of March.

Fourth method: cuttings were prepared in autumn (third decade of November), treated with the optimal rate of the growth regulator, and planted directly.

Fifth method: in the last decade of February, cuttings were prepared from one-year-old shoots of the vegetative rootstocks and, after treatment with the selected rate of the growth regulator, were arranged with the treated ends facing upward, covered with a 5–10 cm layer of a 1:1 mixture of rotted manure and soil (callusing), and planted in the first decade of March.

The following planting schemes were tested for the stone-fruit rootstocks: 70 × 20 cm (control); 70 × 15 cm; and 70 × 10 cm. In each variant of the experiment, 1000 cuttings of each rootstock were planted in four replications.

Results and discussion

Analysis of morpho-biological changes among the rootstocks. Eureka 99 rootstock. In this clonal rootstock the survival rate in the control variant was 59.0%, whereas in the optimal variant using IBA together with callusing it rose to 87.6% (28.6% higher than the control). The total plant height increased from 72.7 cm in the control to 84.6 cm, and the number of leaves — which determines the photosynthetic and assimilation surface — rose from 98.2 to 113.3. In the variant treated with IBA in autumn and planted directly, plant height was the highest (87.3 cm), yet the survival rate (63.5%) lagged well behind the callused variant.

Myrobalan 29C rootstock. The same regularity was repeated in this rootstock: instead of the 55.5% survival of the control, the advanced technology (IBA + callusing + spring planting) recorded 86.8%. In this variant, the mean shoot length increased from 14.5 cm in the control to 16.7 cm. The IBA stimulant, by mobilizing the reserve nutrients of the cutting, ensured the balanced development of the above-ground and below-ground parts.

Fortuna and Krymsky-5 rootstocks. Owing to the specific biological characteristics of these rootstocks, their total height and shoot length recorded somewhat lower values than in Eureka 99; nevertheless, a proportional positive gain relative to the control was maintained. The survival of the Fortuna rootstock rose from 55.0% in the control to 79.7% under the effect of IBA and callusing. In the Krymsky-5 rootstock this indicator increased from 55.2% to 77.8%, and the rise in leaf number from 60.3 in the control to 72.4 directly reflected the activation of organic-matter synthesis in the plant and the future formation of healthy planting stock.

The variants of autumn IBA treatment followed by burial or direct planting also showed a marked advantage over the control, but did not provide the stable, maximum survival attained in the callused variant. In turn, although the method of cutting in spring, treating with IBA and callusing likewise gave fairly good results (for example, 72.6 % in Eureka 99), it did not reach the efficiency

of the autumn treatment (87.6 %). This indicates that the entry of the cuttings into winter dormancy and their gradual physiological preparation under the influence of IBA proceed more effectively at the autumn date.

The mathematical reliability of the statistical analyses is fully confirmed by the small values of the LSD (least significant difference) given at the end of the table (0.5–1.8 cm for height and length, and 2.1–2.8 % for survival rate).

Table 1.

Development of the crown of hardwood cuttings planted in a 70 × 15 cm scheme (with IBA applied at 75 mg/L), 2018–2020

Rootstock	Planting time / method	Plant height, cm	Shoots, pcs	Mean shoot length, cm	Leaves, pcs	Survival, %
Eureka 99	Autumn — soaked in water, buried, planted in spring (control)	72.7	3.9	19.5	98.2	59.0
	Autumn — treated with IBA, buried, planted in spring	88.4	4.3	24.2	117.6	70.4
	Autumn — treated with IBA, callused, planted in spring	84.6	4.1	23.3	113.3	87.6
	Autumn — treated with IBA, planted directly	87.3	4.6	25.4	118.2	63.5
	Spring — cut, treated with IBA, callused, planted	75.7	3.9	21.2	107.3	72.6
Myrobalan 29C	Autumn — soaked in water, buried, planted in spring (control)	66.4	3.1	14.5	68.6	55.5
	Autumn — treated with IBA, buried, planted in spring	74.3	3.6	16.1	94.7	73.6
	Autumn — treated with IBA, callused, planted in spring	77.4	3.5	16.7	95.6	86.8
	Autumn — treated with IBA, planted directly	78.3	3.8	17.8	97.4	70.1
	Spring — cut, treated with IBA, callused, planted	73.7	3.2	15.6	90.3	77.6

Rootstock	Planting time / method	Plant height, cm	Shoots, pcs	Mean shoot length, cm	Leaves, pcs	Survival, %
Fortuna	Autumn — soaked in water, buried, planted in spring (control)	44.3	3.1	11.2	51.3	55.0
	Autumn — treated with IBA, buried, planted in spring	55.4	3.6	14.4	63.4	72.2
	Autumn — treated with IBA, callused, planted in spring	56.7	3.8	16.1	67.3	79.7
	Autumn — treated with IBA, planted directly	55.3	3.2	13.2	60.3	64.0
	Spring — cut, treated with IBA, callused, planted	50.2	3.4	13.6	55.7	74.3
Krymsky-5	Autumn — soaked in water, buried, planted in spring (control)	55.6	3.6	13.3	60.3	55.2
	Autumn — treated with IBA, buried, planted in spring	64.4	4.1	17.6	68.5	68.4
	Autumn — treated with IBA, callused, planted in spring	67.8	4.4	19.3	72.4	77.8
	Autumn — treated with IBA, planted directly	64.7	4.1	16.5	67.3	51.3
	Spring — cut, treated with IBA, callused, planted	60.3	3.8	15.4	63.4	69.3
LSD₀₅	1.4	—	0.5	—	1.8	
LSD, %	2.1	—	2.8	—	2.6	

Note: In each variant, 1000 cuttings of each rootstock were planted in four replications. The highest survival values (callused variant) are shown in bold.

Conclusions

1. In the process of vegetative propagation of clonal rootstocks intended for stone-fruit species (Eureka 99, Myrobalan 29C, Fortuna, Krymsky-5), a sharp increase in the morphological and biometric indicators of the plants was recorded under the influence of the indole-3-butyric acid (IBA) stimulant compared with the control (water soaking) variant.

2. Among all the variants tested, the highest agronomic efficiency was scientifically substantiated to be achieved by the technology of stimulating the cuttings with an IBA solution in autumn, callusing (kilchevanie) them with the aid of artificial bottom heat, and planting them in spring. Under this optimal method, the survival rate of the rootstocks was high, ranging from 77.8 % to 87.6 %.

3. Under the combined effect of the callusing process and the IBA stimulant, the total height of the rootstock plants, the number of shoots and their mean length increased significantly more intensively than in the control variant. In particular, an expansion of the assimilation apparatus (leaf number) and vigorous development of the above-ground part were recorded in the Eureka 99 and Myrobalan 29C rootstocks.

4. The developmental dynamics of cuttings that were cut and treated with IBA in spring were lower than those of cuttings prepared in autumn. This showed, and was confirmed during the study, the important role of the autumn dormancy period and of the physiological-biochemical changes occurring under the influence of the stimulant in the formation of a strong root system in the cuttings.

References

1. Tsipouridis, C., & Thomidis, T. (2003). Effect of interaction between indole-3-butyric acid and chilling of cuttings on rooting of GF677; peach rootstock. *Acta Horticulturae*, 610, 135–139.
2. Tofanelli M.B.D., Rodrigues J.D., & Ono E.O. (2003). Rooting of peach hardwood cuttings treated with indolebutyric acid. *Ciência Rural*, 33(3), 437–442.
3. Exadaktylou, E., Thomidis, T., Grout, B., & Zakyntinos, G. (2009). Methods to improve the rooting of hardwood cuttings of the Gisela 5; cherry rootstock. *HortTechnology*, 19(2), 254–259.
4. Ercisli, S., Esitken, A., Cangi, R. & Sahin, I. (2003). Hardwood cutting propagation of some plum cultivars // *Journal of Fruit and Ornamental Plant Research*, 11, 23–28. – 2003.
5. Tsafouros, A., & Roussos P.A. (2021). Krymsk 86; stone fruit rootstock: high in vitro rooting potential even in absence of auxins. *Acta Horticulturae*, 1322, 187–192.
6. Blythe E.K., Sibley J.L., Tilt K.M. & Ruter J.M. (2007). Methods of application of auxins to cuttings: a review // *Journal of Environmental Horticulture*, 25(3), 166–185. – 2007.
7. Polikarpova F.Ya. (1990). Propagation of fruit and berry crops by softwood cuttings. Moscow: Agropromizdat, 96 P. [in Russian].
8. Roussos P.A., & Tsafouros, A. (2022). Vegetative propagation of Prunus rootstocks: The physiological and biochemical role of auxins and their impact on rooting. *Horticulturae*, 8(3), 205–218.
9. Ivanov, A., & Georgiev, D. (2021). Effect of IBA treatments on the rooting of hardwood cuttings in newer plum and cherry rootstocks under controlled environments. *Bulgarian Journal of Agricultural Science*, 27(4), 735–740.
10. Papadopoulos, K., Bletsos, F., & Zagas, T. (2023). Influence of planting time and indole-3-butyric acid on the survival rate and root architecture of stone fruit clonal rootstocks. *Agronomy*, 13(2), 412–425.
11. Korenevskaya, O.A., Eremin, V.G., & Provorchenko, A.V. (2022). Optimization of vegetative propagation methods of clonal rootstocks of stone fruit crops using root-formation stimulants. *Horticulture and Viticulture*, (1), 24–30. (in Russian).

Статья поступила в редакцию: 25.06.2026

Статья принята к публикации: 06.07.2026

Статья опубликована: 07.08.2026

УДК + 634.711+ 631.243.5

DOI: 10.32743/UniChem.2026.146.8.23142

Biochemical composition of raspberry cultivars during summer and autumn harvest seasons in Uzbekistan

Ortiqboyev Nurmuhammad Ulug'bek o'g'li

Doctoral student (PhD)

Scientific-Research Institute of Horticulture

Viticulture and Winemaking named after Academician M.Mirzaev

Uzbekistan, Gulistan

Биохимический состав сортов малины в летний и осенний периоды плодоношения в Узбекистане

Ортиқбоев Нурмухаммад Улуғбек оғли

докторант

Научно-исследовательский институт садоводства, виноградарства и виноделия имени

академика М. Мирзаева

Узбекистан, с. Гулистан

Abstract

Raspberry (*Rubus idaeus* L.) fruits are widely consumed due to their high nutritional value, pleasant taste, attractive aroma, and health-promoting properties. In addition, they contain vitamins, organic acids, sugars, and pectin substances that are important for human health. This study investigated the biochemical characteristics of four raspberry cultivars, Progress, Polka, Zyugana, and Heritage, grown under the conditions of the Tashkent region during summer and autumn harvesting periods. The contents of dry matter, total sugars, titratable acidity, vitamins C and A, and pectin substances were determined in the fruits. The results showed that the highest levels of dry matter and sugars in the summer harvest were recorded in the Polka (16.5 %) and Zyugana (14.6 %) cultivars. In the autumn harvest, the vitamin C content increased in all cultivars, reaching the highest value of 35.7 mg% in Zyugana. At the same time, the contents of vitamin A and pectin substances decreased compared with the summer harvest. The obtained results are of significant

Библиографическое описание: Ортиқбоев Н.У.О. Биохимический состав сортов малины в летний и осенний периоды плодоношения в Узбекистане // Universum: химия и биология : электрон. научн. журн. 2026. 8(146). URL: <https://7universum.com/ru/nature/archive/item/23142>

For citation: Ortiqboyev N.U.O. Biochemical Composition of Raspberry Cultivars During Summer and Autumn Harvest Seasons in Uzbekistan // Universum: Chemistry and Biology : electronic scientific journal. 2026. No. 8(146). Available at: <https://7universum.com/ru/nature/archive/item/23142>

scientific and practical importance for evaluating raspberry fruit quality, improving long-term storage technologies, enhancing processing efficiency, and improving consumer properties of raspberry products.

Аннотация

Плоды малины (*Rubus idaeus* L.) широко потребляются населением благодаря высокой пищевой ценности, приятному вкусу, аромату и лечебным свойствам. Кроме того, они содержат важные для здоровья человека витамины, органические кислоты, сахара и пектиновые вещества. В данном исследовании были изучены биохимические показатели сортов малины Прогресс, Полка, Зюгана и Херитейдж, выращиваемых в условиях Ташкентской области, в периоды летнего и осеннего плодоношения. В ходе исследования определяли содержание сухих веществ, общих сахаров, титруемой кислотности, витаминов С и А, а также пектиновых веществ в плодах. Результаты показали, что в летнем урожае наиболее высокие показатели содержания сухих веществ и сахаров были отмечены у сортов Полка (16,5 %) и Зюгана (14,6 %). В осеннем урожае содержание витамина С увеличилось у всех сортов, а максимальное значение было зарегистрировано у сорта Зюгана и составило 35,7 мг%. Одновременно наблюдалось снижение содержания витамина А и пектиновых веществ по сравнению с летним урожаем. Полученные результаты имеют важное научное и практическое значение для оценки качества плодов малины, совершенствования технологий длительного хранения, эффективной переработки и улучшения потребительских свойств продукции.

Keywords: Raspberry, biochemical composition, dry matter, vitamin C, pectin, summer harvest, autumn harvest.

Ключевые слова: Малина, биохимический состав, сухое вещество, витамин С, пектин, летний урожай, осенний урожай.

Introduction

Among small fruit crops, the red raspberry (*Rubus idaeus* L.) holds a distinct position due to its unique organoleptic profile, exquisite flavor, and rich nutritional value. Beyond its direct consumption as a fresh commodity, raspberry is highly therapeutic and extensively utilized in pharmacological and traditional medicine. In medical practice, both fresh and dehydrated raspberry fruits are widely prescribed as potent diaphoretic and antipyretic agents. Biochemically, raspberry fruits serve as a dense source of vital organic complexes, typically containing 5,0 % to 10,0 % sugars, 0,5 % to 2,5 % organic acids, alongside a comprehensive vitamin profile including vitamins B₁, B₂, B₆, B₉, B₁₂, C, D, E, PP, P, and K. The qualitative composition of raspberry berries is greatly affected by genetic traits and environmental conditions during fruit ripening. Modern primocane cultivars yield twice a year – in summer and autumn – introducing variations in physiological parameters and nutritional content. Evaluating pre-storage biochemical components across different harvest cycles is vital for predicting postharvest shelf life and cold storage stability. [1].

Ren et al. (2023) analyzed the metabolite profile of raspberry fruits using UPLC-MS/MS. Their results demonstrated significant differences in the contents of vitamins, organic acids, flavonoids and other bioactive compounds among raspberry samples, depending on genotype and fruit tissue. [6].

The temperature regime during raspberry growth and fruit ripening significantly influences the content and activity of antioxidants, including anthocyanins, ascorbic acid (vitamin C), and total phenolic compounds. In addition, berries grown under conditions of low light intensity and shorter day length have been reported to contain lower levels of sugars and exhibit reduced antioxidant activity. These factors directly affect the biochemical composition of raspberry fruits and, consequently, the quality characteristics of products derived from them. [2].

Miletić et al. (2024) evaluated the chemical composition of healthy raspberry fruits and found that the fruits contained high levels of vitamin C, phenolic compounds and antioxidant activity. The study confirmed that raspberry fruits are an important source of biologically active substances valuable for human nutrition. [7].

Raspberry possesses a higher antioxidant capacity compared to many other fruits and vegetables. Its rich content of ellagitannins, anthocyanins, total phenolic compounds, and ascorbic acid contributes to its high biological activity. These bioactive components play an important role in protecting cells against oxidative stress, and their consumption has been associated with a reduced risk of aging-related disorders, cardiovascular diseases, diabetes, and certain types of cancer. Furthermore, due to its strong antioxidant properties, raspberry is recognized as a functional food with significant dietary and therapeutic value. [3].

Raspberry fruits are rich in vitamins, including ascorbic acid, niacin, and thiamine, as well as various mineral elements, which contribute significantly to their nutritional and functional food value. Previous studies have demonstrated that the concentration and biological activity of bioactive compounds in raspberry fruits are strongly affected by cultivar-specific traits, fruit maturity stage, and postharvest storage conditions.[4].

Ispiryan et al. (2023) investigated the biochemical composition and antioxidant properties of different raspberry plant parts. The authors reported that raspberry fruits are rich in phenolic compounds, flavonoids and antioxidants, confirming their high nutritional and functional value. [5].

Materials and Methods

The study was conducted during 2022–2024 using raspberry (*Rubus idaeus* L.) plant material grown in the experimental fields of the Scientific Research Institute of Horticulture, Viticulture and Winemaking named after Academician M. Mirzaev, located in the Tashkent region of Uzbekistan. Four raspberry cultivars widely cultivated under local conditions, namely Progress, Polka, Zyugana, and Heritage, were selected as the experimental material.

Fruit samples were collected at the stage of full commercial maturity during two harvesting periods: summer and autumn fruiting seasons. Laboratory analyses were carried out immediately after harvest to evaluate the pre-storage biochemical characteristics of the fruits. The biochemical composition of raspberry fruits was determined using the following standard analytical methods:

Dry matter content was determined according to GOST 33977–2016 using the gravimetric oven-drying method.

Total sugar content was determined in accordance with GOST 8756.13–87.

Titrateable acidity was measured according to GOST ISO 750–2013 by titration with 0.1 N sodium hydroxide (NaOH) solution and expressed as malic acid percentage.

Pectin content was determined following GOST 29059–91.

Vitamin C (ascorbic acid) and **vitamin A** contents were determined according to the methodological guide Analytical Methods for Quality Control of Food Products and Raw Materials. Instrumental Methods of Ecological and Analytical Control (Bykovsky, 2014). All samples were prepared following the recommended analytical procedures. The analyses were performed using a Flexar UHPLC (Ultra High Performance Liquid Chromatography, Perkin Elmer, USA) system, which ensured accurate and reproducible determination of vitamin contents.

Statistical analysis of the experimental data obtained during the three-year study period was performed using analysis of variance. Mean values, standard deviations, and the significance of differences among cultivars and harvesting seasons were calculated to evaluate the reliability of the results.

Results

The three-year comprehensive screening revealed significant seasonal and cultivar-dependent variations in the biochemical metrics of the investigated raspberry fruits.

Analysis of the Dry Matter Content during the summer harvest indicated that Polka possessed the highest accumulation at 16,5 %, followed closely by Zyugana at 16,2 %. Conversely, the lowest dry matter value in summer was registered in Progress (14,7 %). During the autumn fruiting phase, a general reduction in dry matter was observed across all cultivars. Zyugana retained the highest autumn dry matter concentration at 15,8 %, whereas Progress dropped to a minimum of 12,4 %.

A similar trend was recorded for Total Sugars. In the summer cycle, Zyugana dominated with 14,6 % sugar content, while Progress displayed the lowest value (12,3 %). The autumn period induced a systematic decrease in sugar concentration across the board; Polka exhibited the highest autumn sugar value at 13,0 %, while Progress recorded the minimum at 11,2 %.

The Titrateable Acidity reached its maximum during the summer crop in Zyugana (0,96 %) and its lowest points in Polka (0,83 %) and Heritage (0,86 %). In autumn, titrateable acidity values declined markedly across all studied varieties. The highest value in the autumn crop was observed in Zyugana at 0,86 %, while the lowest was observed in Polka at 0,77 %. (Table 1)

Discussion

The most striking physiological pattern identified in this study relates to the inverse dynamics of vitamin accumulation between the seasons. **Vitamin C (Ascorbic Acid)** analysis revealed that autumn environmental conditions significantly favored the synthesis of vitamin C across all varieties compared to the summer months. In the summer harvest, vitamin C ranged from a maximum of 30,3 mg% (Zyugana) to a minimum of 27,4 mg% (Heritage). However, in the autumn harvest, vitamin C values amplified remarkably, peaking at 35,7 mg% in Zyugana, while the lowest registered value was 32,5 mg% in Polka. This indicates that lower autumn temperatures during fruit ripening stimulate ascorbic acid retention.

In sharp contrast to vitamin C, **Vitamin A** accumulation exhibited a clear downward trajectory during the autumn harvest phase. In summer, Zyugana yielded the highest vitamin A content at 0,38 mg% , whereas Polka produced the lowest at 0,28 mg%. In autumn, these values dropped across all varieties , with Zyugana decreasing to 0,33 mg% and Polka to 0,26 mg%. **Pectin** substances followed an identical structural decline in autumn. During the summer fruiting period, Polka displayed the highest pectin concentration at 0,965% , whereas Heritage showed the lowest at 0,859%. In the autumn cycle, pectin values uniformly decreased across all genetic lines; Polka maintained the highest relative position at 0,844% , while Heritage dropped significantly. Higher pectin and dry matter contents in summer crops suggest better structural integrity, which may improve mechanical resistance and postharvest shelf life during cold storage compared to autumn crops.



Figure 1. Biochemical analysis of raspberry fruits in the laborator

Table 1.
Biochemical composition of raspberry cultivars based on harvest seasons (2022-2024)

№	Cultivars	Dry Matter (%)	Sugar Content (%)	Titrateable Acidity (%)	Vitamin C (mg%)	Vitamin A (mg%)	Pectin Content (%)
Summer Harvest							
1	Progress	14,7±0,66	12,3±0,66	0,90±0,06	28,2±0,72	0,34±0,03	0,891±0,04
2	Polka	16,5±0,37	13,8±0,36	0,83±0,04	27,5±0,60	0,28±0,03	0,965±0,03
3	Zyugana	16,2±0,64	14,6±0,56	0,96±0,05	30,3±1,02	0,38±0,05	0,903±0,03
4	Heritage	15,4±0,43	13,2±0,70	0,86±0,06	27,4±0,52	0,32±0,04	0,859±0,02
Autumn Harvest							
1	Progress	12,4±0,56	11,2±0,30	0,84±0,04	33,1±0,83	0,30±0,01	0,752±0,03
2	Polka	14,3±0,70	13,0±0,87	0,77±0,05	32,5±1,02	0,26±0,01	0,844±0,03
3	Zyugana	15,8±0,78	12,6±0,55	0,86±0,05	35,7±0,73	0,33±0,005	0,785±0,03
4	Heritage	14,7±0,56	12,2±0,37	0,80±0,03	34,8±1,02	0,31±0,02	0,716±0,02

Conclusion

The results of the study demonstrated that the biochemical characteristics of raspberry fruits grown under the conditions of the Tashkent region are significantly influenced by cultivar-specific traits and harvesting season. Considerable differences were observed between the summer and autumn harvests for all investigated cultivars. The summer harvest was characterized by higher contents of dry matter, total sugars, and pectin substances. These parameters contribute positively to fruit taste, storage potential, and transportability. Among the studied cultivars, Polka and Zyugana exhibited the most favorable biochemical characteristics during the summer fruiting period, indicating their suitability for fresh consumption, short-term storage, and commercial distribution.

In contrast, the autumn harvest was distinguished by a significant increase in vitamin C content across all cultivars. The highest concentration of ascorbic acid was recorded in the Zyugana cultivar, reaching 35.7 mg%. However, a decrease in sugar, vitamin A, and pectin contents was observed in comparison with the summer harvest. Based on the obtained results, the cultivars Polka and Zyugana can be recommended as the most promising cultivars for the cultivation of high-quality raspberry fruits under the environmental conditions of the Tashkent region. The findings of this study provide valuable scientific and practical information for improving postharvest storage technologies, selecting suitable processing methods, and increasing the production of raspberry fruits with high nutritional and biological value.

References

1. Abdullaev R.M., Yagudina S.I. Tomorqalarda etishtiriladigan rezavor mevalar. – Tashkent: Mekhnat, 1989. – B. 71–80.
2. Perkins-Weazie P., Collins J.K. Quality of erect-type blackberry fruit after short intervals of controlled atmosphere storage // *Postharvest Biol. Technol.*, 2002. – 2002. – P. 235–239.
3. Alibabić V., Skender A., Bajramović M., Šertović E. & Bajrić E. Evaluation of morphological, chemical, and sensory characteristics of raspberry cultivars grown in Bosnia and Herzegovina // *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, – 2018. – P. 67–74.
4. Paredes-Lopez O., Cervantes-Ceja M.L., Vigna-Perez M. & Hernandez-Perez T. Berries: Improving Human Health and Healthy Aging and Promoting Quality of Life-A Review // *Plant Foods for Human Nutrition*, 2010. – 2010. – P. 299–308.
5. Ispiryan A., Viškelis J., et al. (2023). Biochemical and Antioxidant Profiling of Raspberry Plant Parts for Sustainable Processing. *Plants*, 12(13), 2424. DOI: 10.3390/plants12132424.
6. Ren X., Wang S., et al. (2023). Widely targeted metabolome profiling of different plateau raspberries and berry parts provides innovative insight into their antioxidant activities. *Frontiers in Plant Science*, 14. DOI: 10.3389/fpls.2023.1143439.
7. Miletić N., Mitić M., et al. (2024). Chemical Composition of Healthy and Raspberry Leaf Blotch Emaravirus-Infected Red Raspberry 'Willamette' Fruits. *Horticulturae*, 10(2), 187. DOI: 10.3390/horticulturae10020187.
8. GOST 33977–2016 Processed fruit and vegetable products. Methods for determination of total solids content. – Moscow: Standartinform, 2019. – P. 3–10.6.

-
9. GOST 8756.13–87 Processed fruit and vegetable products. Methods for determination of sugars. – Moscow: Standartinform, 2010. – 6 P.
 10. GOST ISO 750–2013 Processed fruit and vegetable products. Determination of titratable acidity. – Moscow: Standartinform, 2018. – P. 1–4.
 11. GOST 29059–91 Processed fruit and vegetable products. Titrimetric method for determination of pectin substances. – Moscow: Standartinform, 2010. – P. 198–202.
 12. Bikovsky S.N. Analytical methods for quality control of food products and food cheese. Instrumental methods of ecological-analytical control. – M; Chemistry, 2014, P. 1–188.

MICROBIOLOGY AND VIROLOGY

Статья поступила в редакцию: 10.07.2026

Статья принята к публикации: 15.07.2026

Статья опубликована: 07.08.2026

УДК 579

DOI: 10.32743/UniChem.2026.146.8.23180

Antagonistic activity of endophytic bacteria isolated from *Ferula varia* against *Alternaria* SPP

Murodullayev Dilmurod Dilshodovich

PhD student

Institute of Microbiology, Academy of Sciences of the

Republic of Uzbekistan, Teacher

Karshi state university Uzbekistan

Karshi

E-mail: dilmurodmurodullayev@gmail.com

Alimova Dildora Farxod qizi

PhD student

Institute of Microbiology, Academy of Sciences of the

Republic of Uzbekistan, Uzbekistan, Tashkent

E-mail: dildoraalimova2000@gmail.com

Rustamova Nigora Aktamovna

doctor of Biological Sciences

Senior Researcher Institute of Microbiology

Academy of Sciences of the

Republic of Uzbekistan, Uzbekistan, Tashkent

E-mail: k-davranov@mail.ru

Davranov Kakhramon

Doctor of Biological Sciences, Professor,

Chief Research Officer Institute of Microbiology,

Academy of Sciences of the Republic of Uzbekistan,

Uzbekistan, Tashkent

Антагонистическая активность эндофитных бактерий *Ferula varia* в отношении *Alternaria* SPP

Муродуллаев Дилмурод Дилшодович
докторант (PhD)

*Институт микробиологии, Академии наук Республики Узбекистан, преподаватель,
Каршинский государственный университет
Узбекистан, г. Карши*

Алимова Дилдора Фарход кизи
докторант (PhD)

*Институт микробиологии, Академии наук Республики Узбекистан
Узбекистан, г. Ташкент*

Рустамова Нигора Актамовна

*д-р биол. наук, ст. науч. сотр., Институт микробиологии, Академии наук Республики
Узбекистан
Узбекистан, г. Ташкент*

Давранов Кахрамон

*д-р биол. наук, проф., главный научный руководитель,
Институт микробиологии,
Академии наук Республики Узбекистан,
Узбекистан, г. Ташкент*

Abstract

For the first time, the taxonomic makeup and functional properties of the endophytic community inhabiting *Ferula varia* (Schrenk) Trautv. were examined. The work set out to recover endophytes from this plant, describe their morphology, and screen them for the ability to suppress fungal pathogens. Applying a surface-sterilization protocol to the roots, stems, leaves, and flowers of the plant yielded over forty distinct bacterial and fungal endophytes. When these isolates were examined morphologically and stained by the Gram method, most of the bacterial cultures displayed traits typical of the genus *Bacillus*. Their capacity to restrain fungal growth was screened against the phytopathogen *Alternaria* spp. by means of the dual-culture technique. Antagonism was recorded in six cultures (FV1i, FV3i, FV8i, FVB1, FVP2 and FVP1.1); of these, FV1i proved the most effective, curbing radial mycelial expansion by as much as 57 %. For this leading strain, the most favourable growth regime was found to combine oat broth as the nutrient base, incubation at 30 °C, and a medium reaction of pH 6.5. Taken together, the data indicate that the endophytes harboured by *F. varia* and the *Bacillus* representatives in particular hold appreciable promise as biological agents for managing plant diseases driven by *Alternaria*.

Аннотация

Состав и биологические свойства эндофитного микробного сообщества, обитающего в *Ferula varia* (Schrenk) Trautv., были охарактеризованы впервые. Работа была направлена на извлечение эндофитов из данного растения, описание их морфологических признаков и

проверку их способности подавлять грибные патогены. При обработке корней, стеблей, листьев и цветков методом поверхностной стерилизации удалось получить свыше сорока различных бактериальных и грибных изолятов. Морфологическое изучение и окрашивание по Граму показали, что большинство бактериальных культур обладают признаками, характерными для рода *Bacillus*. Их фунгистатический потенциал оценивали в отношении фитопатогена *Alternaria* spp. с применением метода встречных (двойных) культур. Антагонизм был зафиксирован у шести культур (FV1i, FV3i, FV8i, FVB1, FVP2 и FVP1.1); среди них наиболее результативным оказался штамм FV1i, сдерживавший радиальный рост мицелия вплоть до 57 %. Для этого ведущего штамма оптимальный режим культивирования сочетал овсяный бульон в роли питательной основы, инкубацию при 30 °C и реакцию среды pH 6,5. В совокупности полученные данные говорят о том, что эндофиты *F. varia* и в особенности представители рода *Bacillus* обладают заметным потенциалом в качестве биологических средств борьбы с болезнями растений, вызываемыми *Alternaria*.

Keywords: *F. varia* (Schrenk) Trautv, endophytic bacteria, *Bacillus*, secondary metabolites, antifungal activity, *Alternaria* spp, dual-culture assay, radial growth inhibition, biocontrol.

Ключевые слова: *F. varia* (Schrenk) Trautv, эндофитные бактерии, *Bacillus*, вторичные метаболиты, антифунгальная активность, *Alternaria* spp, метод двойных культур, ингибирование радиального роста, биологический контроль.

Introduction

Endophytes are microbial partners both bacterial and fungal that reside within plant tissues while leaving the host free of any outward disease signs. Over evolutionary time these microbes have forged a mutually beneficial association with the plants that shelter them, and in doing so they acquire the machinery to manufacture a broad palette of secondary metabolites endowed with antimicrobial, antioxidant, and growth-stimulating activities. The microbial partners of medicinal plants have, over the past several years, drawn growing interest as a fertile reservoir of previously undescribed bioactive molecules and candidate agents for biological control [1 – 3].

F. varia (Schrenk) Trautv. is a plant of regional character, occurring in the wild across Uzbekistan, Kazakhstan, and Kyrgyzstan. Members of the genus *Ferula* have a long record of folk-medical use as remedies that relieve spasms, expel gas, and act as antiseptics largely thanks to the abundance of bioactive terpenoids and coumarins they accumulate. Despite this, the microbial endophytes of the genus have received little scientific attention. Illustratively, a survey of more than

Библиографическое описание: Антагонистическая активность эндофитных бактерий *Ferula varia* в отношении *Alternaria* spp // Universum: химия и биология : электрон. научн. журн. Муродуллаев Д.Д. [и др.]. 2026. 8(146). URL: <https://7universum.com/ru/nature/archive/item/23180>

For citation: Antagonistic Activity of Endophytic Bacteria Isolated from *Ferula varia* Against *Alternaria* spp // Universum: Chemistry and Biology : electronic scientific journal. Murodullayev D.D. et al. 2026. No. 8(146). Available at: <https://7universum.com/ru/nature/archive/item/23180>

170 bacterial endophytes extracted from *Ferula songorica* showed that most of them fell within the phylum *Actinobacteria* [4]. As far as we are aware, no findings on the endophytic microflora of *F. varia* (Schrenk) Trautv. have yet appeared in the literature.

The genus *Alternaria*, meanwhile, ranks among the most damaging groups of plant-pathogenic fungi across the globe. Its members provoke an assortment of disorders leaf spotting and fruit decay among them in upwards of 400 host species, translating into heavy economic damage in the agricultural sector [5]. Synthetic fungicides continue to serve as the mainstay of control, yet their harmful ecological footprint, together with the steady rise of fungicide-tolerant strains, has made the search for greener control options a pressing priority. Against this backdrop, bacterial endophytes especially those belonging to the genus *Bacillus* stand out as attractive biocontrol candidates, chiefly because they secrete antifungal lipopeptides of the surfactin, iturin, and fengycin families.

Given these considerations, the present investigation was designed to recover endophytic microorganisms from *F. varia* (Schrenk) Trautv., to profile them according to their morphological traits, and to gauge their fungistatic performance against the phytopathogen *Alternaria* spp. through the dual-culture approach. A further objective was to establish, for the most active isolate, the culturing regime nutrient medium, incubation temperature, and pH that would best drive the output of its bioactive metabolites.

Materials and Methods

Plant Material

Sampling was carried out in the first days of May 2025 in the Konimex district of the Navoiy Region, Uzbekistan (40.739287, 63.747228). Vigorous, disease-free *F. varia* (Schrenk) Trautv. specimens were dug up with care so as not to damage the root architecture and were brought back to the laboratory along with the adhering rhizosphere soil [6].

Isolation of Endophytic Microorganisms

The stems, foliage, roots, and floral parts of *F. varia* (Schrenk) Trautv. were passed through a surface-disinfection sequence. To begin with, the tissues were rinsed at length beneath running tap water and then flushed with sterile distilled water. They were next held in 70 % ethanol for 2 min, transferred to a 10 % sodium hypochlorite bath for a further 2 min, and finally washed five successive times in sterile distilled water. As a check on the disinfection step, a 100 µL portion of the water from the fifth rinse was spread over Nutrient Agar (NA) and incubated to confirm that no colonies developed.

Once surface-sterilized, the samples were left to dry on sterile paper towels for 5 min under aseptic conditions. Roughly 10 g of the fresh, sterile tissue was then ground in a sterile porcelain mortar. A 1 g portion of the resulting homogenate was suspended in 9 mL of sterile distilled water and blended thoroughly on a vortex mixer, after which the suspension was subjected to a serial dilution down to 10^{-5} .

Measured volumes of the relevant dilutions were spread onto Nutrient Agar (NA; peptone, 5 g L⁻¹; yeast extract, 3 g L⁻¹; NaCl, 5 g L⁻¹; agar, 15 g L⁻¹; pH 7.4) to recover bacteria, and onto Potato Dextrose Agar (PDA; potato infusion from 200 g potatoes L⁻¹; dextrose, 20 g L⁻¹; agar, 15 g L⁻¹; with streptomycin added at 50 mg L⁻¹ after autoclaving; pH 5.7) to recover fungi. Plates were then held at 28 °C for 5 days.

Colonies that differed in shape, pigmentation, or texture were picked individually and repeatedly re-streaked on fresh NA or PDA until pure cultures were obtained. The purified isolates underwent an additional 5 day incubation at 28 °C prior to the analyses that followed [7 – 10].

Antifungal Activity Assay

The ability of the bacterial endophytes to antagonize phytopathogenic fungi was tested in vitro by the dual-culture method against *Alternaria* spp. Discs of agar 6 mm across were cut aseptically from the advancing edge of a 7 day old *Alternaria* spp. colony with a sterile cork borer and set at the middle of freshly poured Potato Dextrose Agar (PDA) plates.

In the treatment plates, 18-24 h cultures of the bacterial endophytes were introduced onto the same PDA surface by the agar-plug technique at two diametrically opposite points, some 35-40 mm away from the fungal disc. Control plates carried only the *Alternaria* spp. disc at the centre, with no bacterial inoculum. Every treatment was set up in triplicate.

Incubation proceeded in darkness at 25 – 28 °C for 7 – 10 days, continuing until the fungal colony on the control plates had spread over nearly the whole Petri dish. Afterwards, the radial extension of the fungal colony was recorded in millimetres along two axes toward the bacterial streak and directly away from it with a sterile ruler [11, 12].

To place the antagonism on a quantitative footing, the radial-inhibition percentage (RI, %) was derived from the expression below:

$$RI (\%) = \frac{(R^1 - R^2)}{R^1} \times 100$$

in which R¹ denotes the radius of the pathogen colony on the control plate (grown without any antagonist), and R² the radius of the pathogen colony on the treatment plate (grown in the company of the endophyte under test). Using the RI (%) figures obtained, each isolate was assigned to an antagonism category according to the thresholds set out in Table 1. Results are reported as mean ± standard deviation (M ± SD) from three independent replicates. Differences between groups were judged by one-way analysis of variance (ANOVA) with Tukey's post-hoc comparison, treating p < 0.05 as significant [13, 14].

Table 1. Categories used to grade the strength of antagonism from radial-inhibition values (RI, %).

Radial inhibition (RI, %)	Antagonistic Activity
≥ 75	High (strong) antagonism
50–74	Moderate antagonism
25–49	Weak antagonism
< 25	No detectable antagonism

Optimization of Cultivation Conditions

For strain FV1i, which had shown the strongest antifungal response, the growth conditions were fine-tuned by testing how the choice of medium, the incubation temperature, and the pH influenced both biomass accumulation and the yield of bioactive metabolites. The strain was propagated in a panel of liquid media Nutrient Broth (NB), Nitrogen Free Broth (N-free broth), Oat Broth, Luria Bertani (LB) Broth, and Tryptic Soy Dextrose (TSD) Broth across a range of temperatures and pH values (Table 2). Growth and metabolite output were monitored under each setting, and the medium that gave FV1i the greatest biomass together with the highest metabolite production was adopted as optimal for all later work [1, 7, 15].

Table 2. Composition of the culture media used for optimization of the cultivation conditions of strain FV1i.

Medium	Composition (g/L)	pH
Nutrient broth (NB)	Peptone, 5.0; beef extract, 3.0; NaCl, 5.0	7.4 ± 0.2
Nitrogen-free broth (N-free broth)	Mannitol, 20.0; K ₂ HPO ₄ , 0.5; MgSO ₄ ·7H ₂ O, 0.2; NaCl, 0.2; CaSO ₄ , 0.1; CaCO ₃ , 5.0; trace elements	7.0 ± 0.2
Oat broth	Oat infusion (from 50 g oat flakes); glucose, 20.0	6.5 ± 0.2
Luria–Bertani (LB) broth	Tryptone, 10.0; yeast extract, 5.0; NaCl, 10.0	7.0 ± 0.2
Tryptic soy dextrose (TSD) broth	Pancreatic digest of casein, 17.0; papaic digest of soybean meal, 3.0; NaCl, 5.0; K ₂ HPO ₄ , 2.5; dextrose, 2.5	7.3 ± 0.2

Preparation of Bacterial Extracts

Following incubation, the bacterial culture was spun at 4,000 rpm for 20 min and the cell-free supernatant recovered. This supernatant was partitioned against ethyl acetate at a 1:1 ratio in a separating funnel. Once the phases had separated, the organic layer was drawn off and taken to dryness under reduced pressure on a rotary evaporator, yielding the crude bacterial extract [16 – 18].

Statistical Analysis

Following incubation, the bacterial culture was spun at 4,000 rpm for 20 min and the cell-free supernatant recovered. This supernatant was partitioned against ethyl acetate at a 1:1 ratio in a separating funnel. Once the phases had separated, the organic layer was drawn off and taken to dryness under reduced pressure on a rotary evaporator, yielding the crude bacterial extract [19, 20].

Results and discussion

Isolation and Morphological Characterization of Endophytic Microorganisms

In all, more than forty bacterial and fungal endophytes were retrieved from the roots, stems, leaves, and flowers of *F. varia* (Schrenk) Trautv. As a rule the bacterial colonies were sizeable, with ragged edges and surfaces that were either coarse or waxy. The prevailing colours ranged from white to cream, though a handful of isolates gave off characteristic pigments. Colony textures spanned dry to moist, and a number of cultures took on a rhizoid outline. Gram staining classified every bacterial isolate as Gram-positive. On the combined evidence of colony appearance and Gram

reaction, the bacterial isolates were provisionally referred to the genus *Bacillus*. That *Bacillus* spp. should dominate this endophytic assemblage fits well with the genus's recognized knack for producing endospores and withstanding environmental stress attributes that let it settle and endure inside plant tissues more successfully than many competing bacterial lineages.

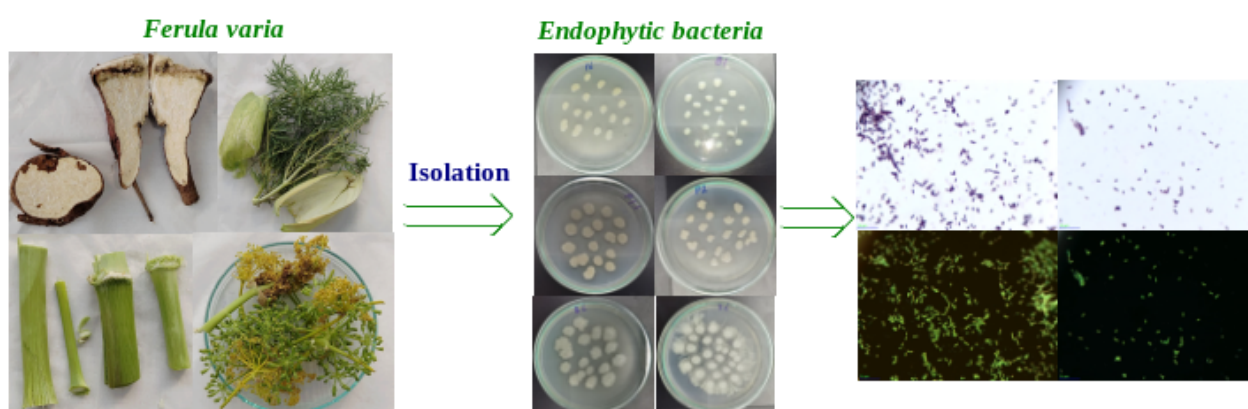


Figure 1. Isolation of Endophytic Microorganisms from *F. varia* (Schrenk) Trautv

Antifungal Activity

The fungistatic performance of the bacterial endophytes toward *Alternaria* spp. was assessed by the dual-culture assay. Out of the whole panel, only six isolates displayed antagonism against the pathogen. Pride of place went to isolate FV1i, which held back the radial spread of *Alternaria* spp. by 57 % a level that qualifies as strong antagonism. Isolates FVP2 and FVP1.1 likewise proved noteworthy, each trimming radial growth by 43 %, a figure that places them in the moderate-antagonism bracket. By contrast, FV3i and FVB1 curtailed fungal growth by 28 %, and FV8i by 21 %, so these three were rated as weak antagonists. On balance, FV1i emerged as the isolate with the greatest antagonistic capacity against *Alternaria* spp. and was therefore carried forward into the optimization phase aimed at boosting bioactive-metabolite production.

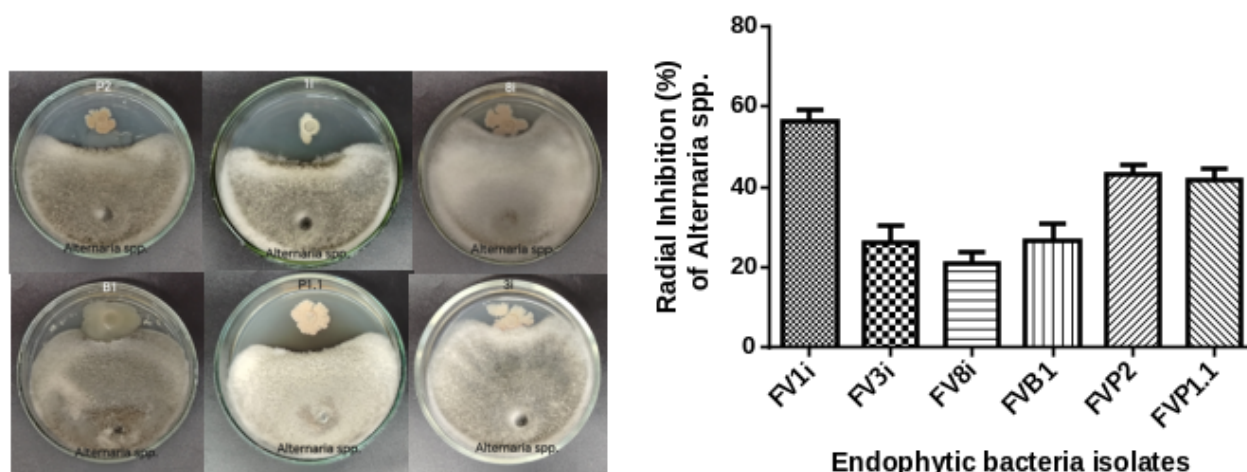


Figure 2. Antifungal Activity of Endophytic Bacterial Isolates Against *Alternaria* spp

Optimization of the Most Active Strain

In light of the antifungal screening, isolate FV1i stood out as the top performer and was accordingly chosen for optimization, in which the impact of assorted media, incubation temperatures, and pH levels on growth and metabolite formation was explored. Of all the regimes trialled, FV1i turned out the largest quantity of bioactive metabolites when cultured in oat broth at 30 °C and pH 6.5. These settings were consequently taken as optimal for growing strain FV1i and were retained for the remaining experiments.

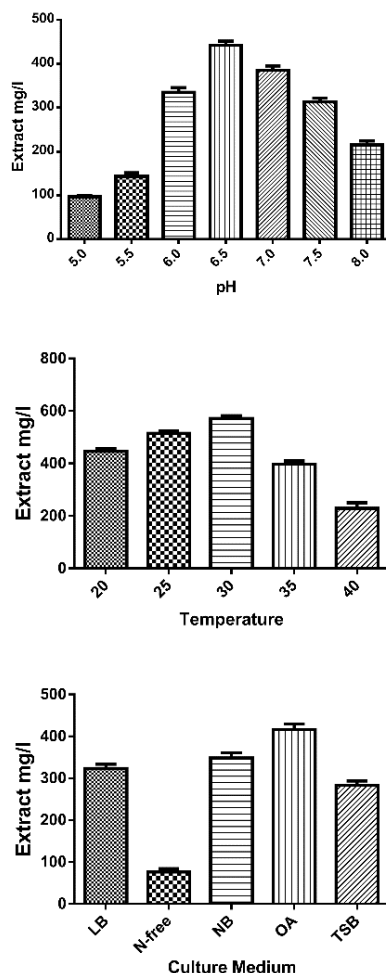


Figure 3. Optimization of cultivation conditions for endophytic bacterial strain FV1i

The dominance of *Bacillus* within the endophytic community of *F. varia* (Schrenk) Trautv. echoes earlier accounts of endophytic populations described from other plant hosts. This genus is widely noted both for its ability to establish stable residence in plant tissues and for the varied assortment of bioactive secondary metabolites it generates. Because the antifungal capacity of endophytes tied to *F. varia* has not previously been examined in any depth, the 57 % radial suppression of *Alternaria* spp. achieved by strain FV1i stands out as a meaningful result. Such antagonism is most plausibly linked to the secretion of antifungal lipopeptides surfactin, iturin, and fengycin among them which are known to compromise the integrity of the fungal cell membrane and, in turn, to arrest fungal development.

The optimal culturing conditions pinpointed for strain FV1i oat broth, an incubation temperature of 30 °C, and pH 6.5 align with the settings reported to favour secondary-metabolite formation in *Bacillus* species; such conditions have been tied to elevated expression of the genes underpinning antimicrobial compound biosynthesis. On the whole, the present results point to strain FV1i as a strong candidate for the biological management of diseases attributable to *Alternaria* spp. Even so, additional work will be needed to isolate and characterize the precise bioactive constituents behind its antifungal effect and to unravel the mechanisms through which they act.

Conclusion

The present study yielded more than forty endophytic microbial isolates from the roots, stems, leaves, and flowers of *F. varia* (Schrenk) Trautv. On morphological grounds, the bulk of the bacterial isolates were tentatively assigned to the genus *Bacillus*. Dual-culture screening identified six isolates with antifungal action against *Alternaria* spp., strain FV1i being the most inhibitory at 57 %. The culturing regime best suited to FV1i was established as oat broth, incubation at 30 °C, and pH 6.5.

Collectively, these observations underscore the promise of the *F. varia* endophytic microflora strain FV1i above all as a candidate biological agent for countering *Alternaria*-associated fungal diseases. The study likewise lays the groundwork for subsequent efforts directed at pinpointing the bioactive metabolites this strain produces and at assessing how they might be applied within sustainable plant-disease management.

References

1. Niu, L., et al., Diversity and Biological Activities of Endophytic Fungi from the Flowers of the Medicinal Plant *Vernonia anthelmintica*. *International Journal of Molecular Sciences*, 2022. 23(19): P. 11935.
2. Rustamova, N. et al., Secondary Metabolites and their Biological Activities from Endophytic Fungal Strain *Aspergillus terreus* XJA8 Associated with *Vernonia anthelmintica* // *Journal of Biologically Active Products from Nature*, – 2022. – P. 421–435.
3. Rustamova, N., et al., Biotransformation of natural compounds by fungal microorganisms and their biological activities. *Ann Phytomed*, 2025. 14: P. 396–411.
4. Liu, Y.-H., et al., Culturable endophytic bacteria associated with medicinal plant *Ferula songorica*: molecular phylogeny, distribution and screening for industrially important traits. *3 Biotech*, 2016. 6(2): P. 209.
5. Tralamazza S.M., et al., Toxigenic *Alternaria* species: impact in cereals worldwide. *Current Opinion in Food Science*, 2018. 23: P. 57–63.
6. Abduraimov, O., et al., Ecological Analysis of Species of the Genus *Ferula* L., Distributed in Navoi Region (Uzbekistan). *American Journal of Plant Sciences*, 2023. 14: P. 1248–1259.
7. Litao, N., et al., Culturable Diversity and Biological Properties of Bacterial Endophytes Associated with the Medicinal Plants of *Vernonia anthelmintica* (L.) Willd. *Applied Sciences*, 2023. 13(17): P. 9797.

8. Rustamova, N., et al., Characterization and biological activities of endophytic bacteria from *Vernonia anthelmintica* flowers. *Folia Microbiologica*, 2026: P. 1–17.
9. Rustamova, N., et al., Soil-associated microorganisms: A natural source of biologically active compounds. *Phytochemistry*, 2026. 246: P. 114820.
10. Rustamova, N. and A. Yili, Isolation, identification and biological activity of endophytic bacteria *Bacillus haynesii* XJB-6 associated with medicinal plant *Vernonia anthelmintica* stem. 2022. 1: P. 1–4.
11. Rustamova, N., et al., Characterization and biological activities of endophytic bacteria from *Vernonia anthelmintica* flowers. *Folia Microbiologica*, 2026.
12. Rustamova, N., et al., Characterization and biological activities of endophytic bacteria from *Vernonia anthelmintica* flowers. *Folia Microbiol (Praha)*, 2026.
13. Zhao, X. et al., Antifungal activity, identification and biosynthetic potential analysis of fungi against *Rhizoctonia cerealis* // *Annals of Microbiology*,. – 2021.
14. Sepkova, M., et al., Antifungal Potential of *Bacillus* spp., *Streptomyces* spp. and *Trichoderma asperellum* Against Phytopathogenic Fungi. *Pathogens*, 2026. 15(5): P. 458.
15. Rustamova, N., et al., Secondary metabolites and their biological activities from endophytic bacteria *Bacillus halotolerans* XJB-35 associated with *Baccharoides anthelmintica*. *Natural Product Research*, 2025: P. 1–5.
16. Murodullayev, D., et al., Isolation of Endophytic Microorganisms Associated with *Ferula varia* (Schrenk) Trautv. and Extraction of Their Secondary Metabolites. 2025.
17. Murodullayev, D., Modification of Natural Compounds Using Endophytic Microorganisms and Evaluation of Their Biological Activities. 2024-yil 4-son (2024/4) *Food Security: National and Global Challenges* Founders: Samarkand State University, 2025. 1(140/1): P. 72–89.
18. Alimova, D., et al., Bioactive natural products from soil-derived microorganisms. Issue 1 of 2025 (2025/1) *Food security: national and global issues*, 2025. 1(165): P. 5–19.
19. Rustamova, N., et al., Biological Activity of Endophytic Fungi from the Roots of the Medicinal Plant *Vernonia anthelmintica*. *Microorganisms*, 2020. 8(4): P. 586.
20. Rustamova, N. Novel secondary metabolites from endophytic fungi: synthesis, biological properties, and biotransformation.

ДЛЯ ЗАМЕТОК

ДЛЯ ЗАМЕТОК

ДЛЯ ЗАМЕТОК

UNIVERSUM: ХИМИЯ И БИОЛОГИЯ

Электронный научный журнал

№ 8(146)

Август 2026 г.

Часть 3

Мнение авторов может не совпадать с позицией редакции.

Издание содержит научную информацию и в соответствии с ч. 4 ст. 1 Федерального закона от 29.12.2010 № 436-ФЗ «О защите детей от информации, причиняющей вред их здоровью и развитию» не подлежит классификации (маркировке) по возрастным категориям

Издательство ООО «Юниверсум»

Объём издания: 112 с.

Минимальные системные требования: процессор с частотой от 1,3 ГГц; ОЗУ от 512 МБ; программа для чтения PDF-файлов; доступ к сети Интернет

Дата размещения в сети Интернет: 07.08.2026

Журнал размещается в:

CYBERLENINKA

НАУЧНАЯ ЭЛЕКТРОННАЯ
БИБЛИОТЕКА
eLIBRARY.RU

Google
scholar

ULRICHSWEB
GLOBAL SERIALS DIRECTORY

BASE

СОЦИОНЕТ

OpenAIRE



[Registry of Open Access
Repositories \(ROAR\)](#)