

**Фунгицидная активность растительных биоцидов
в отношении микромицетов-биодеструкторов рукописных и
старопечатных книг Матенадарана**

Пароникян Армине

DOI: <https://doi.org/10.58726/27382923-2026.1ns-37>

Ключевые слова: эфирные масла, биодеструкция, сохранение архивных материалов, противогрибковые агенты, парофазная активность, контактное ингибирование, консервация культурного наследия, летучие соединения

Введение

Биодеструкция рукописных и архивных материалов является одной из наиболее актуальных проблем сохранения культурного наследия. В условиях длительного хранения библиотечных и архивных фондов наблюдается постепенное разрушение бумажных и пергаментных носителей, обусловленное воздействием биологических агентов, среди которых ведущую роль играют микромицеты, а также бактерии и насекомые [1, 8].

Микроскопические грибы широко распространены в воздушной среде книгохранилищ и обладают высокой экологической пластичностью, что позволяет им адаптироваться к пониженной влажности и ограниченному содержанию питательных веществ. Их споры сохраняют жизнеспособность длительное время, что способствует повторному заражению библиотечных материалов и формированию устойчивых очагов биоповреждений [8]. В результате их жизнедеятельности происходят биохимические изменения целлюлозы, сопровождающиеся снижением механической прочности и изменением структуры бумажных носителей [5; 6].

Традиционно для борьбы с биодеструкторами применяются синтетические фунгициды, однако их использование ограничено рядом факторов, включая потенциальную токсичность для человека, воздействие на материалы культурного наследия и возможное формирование устойчивых форм микроорганизмов [7]. В связи с этим особую актуальность приобретает поиск экологически безопасных и эффективных альтернативных средств защиты.

Одним из перспективных направлений является использование эфирных масел растений, обладающих выраженной антимикробной, антибактериальной и фунгицидной активностью [3; 4; 7]. Многочисленные исследования подтверждают их эффективность в отношении различных патогенных и сапротрофных микроорганизмов, что делает их потенциально пригодными для применения в области консервации библиотечных и архивных фондов.

Важным аспектом является также обращение к традиционным знаниям, зафиксированным в средневековых рукописях, где описаны рецептуры растительных средств с антимикробными свойствами. Ранее проведённые исследования в Институте древних рукописей Матенадаран имени Месропа Маштоца выявили значительное разнообразие микромицетов-биодеструкторов в рукописных и старопечатных фондах, а также подтвердили эффективность растительных экстрактов в их подавлении [1; 2].

Настоящее исследование направлено на изучение фунгицидной активности эфирных масел растений Армянского нагорья в отношении микромицетов, выделенных из рукописных и архивных материалов Матенадарана, а также на сравнительный анализ их контактного и парофазного действия с целью выявления наиболее эффективных природных биоцидов для защиты библиотечных фондов.

Материалы и методы

Растительный материал и эфирные масла. В работе исследована фунгицидная активность водных растворов эфирных масел, полученных из следующих видов растений: *Cotinus coggygia* Scop., *Achillea tenuifolia* Lam., *Ziziphora tenuior* L., *Thymus ararati-minoris* Klokov & Des.-Shost., *Artemisia maritima* var. *erevanica* Willd., *Pelargonium graveolens* L'Her., *Tanacetum argyrophyllum* (C. Koch) Tzvel. и *Capparis spinosa* L. (рисунок 1).



Рисунок 1. Названия исследованных растений по номерам: *Cotinus coggygia* Scop. (1), *Achillea tenuifolia* Lam. (2), *Ziziphora tenuior* L. (3), *Thymus ararati-minoris* Klokov & Des. - Shost. (4), *Artemisia maritima* var. *erevanica* Willd. (5), *Pelargonium graveolens* L'Her. (6), *Tanacetum argyrophyllum* (C. Koch) Tzvel. (7), *Capparis spinosa* L. (8)

Данные виды широко распространены на территории Армении и были отобраны в связи с их известной или предполагаемой антимикробной активностью. Используемые части растений для получения эфирных масел представлены в таблице 1.

Таблица 1

Видовой состав растений и их использованные части для получения эфирных масел

Латинское название растения	Русское название растения	Использованные части растений
<i>Cotinus coggygria</i> Scop.	Скумпия кожевенная	Листья
<i>Achillea tenuifolia</i> Lam.	Тысячелистник узколистный	Соцветия
<i>Ziziphora tenuior</i> L.	Зизифора тонкая	Надземная часть в фазе цветения
<i>Thymus ararati-minoris</i> Klokov & Des.-Shost.	Тимьян араратский	Надземная
<i>Artemisia maritima</i> var. <i>erevanica</i> Willd.	Польнь душистая	Соцветия
<i>Pelargonium graveolens</i> L'Her.	Пеларгония пахучая	Надземная зелёная
<i>Tanacetum argyrophyllum</i> (C. Koch) Tzvel.	Копеечник серебристолистый	Сухое соцветие с семенами
<i>Capparis spinosa</i> L.	Каперсы колючие	Надземная зелёная

Микологический материал. В качестве тест-организмов использовали микромицеты-микромикеты-биодеструкторы, выделенные с повреждённых рукописей, старопечатных книг и архивных документов Матенадарана: *Penicillium cyclopium* Westling, *Aspergillus niger* Tiegh., *Aspergillus ochraceus* G. Wilh., *Alternaria alternata* (Fr.) Keissl. (syn. *A. tenuis* Nees).

Постановка эксперимента и оценка активности

Водные растворы эфирных масел готовили в концентрации 25 %. Для обеспечения равномерного распределения масла в водной фазе смесь интенсивно перемешивали с использованием вортексного миксера. Экспериментальные образцы наносили в объёме 1 мл на поверхность питательной среды в чашках Петри.

Антимикотическая активность растительных биоцидов оценивалась с использованием модифицированного чашечного метода Петри [2]. В каждую стерильную чашку Петри с агаризованной питательной средой помещали три агаровых блока размером 1 × 1 см, вырезанных из активно растущей чистой культуры исследуемого микромицета. Два агаровых блока обрабатывали водным раствором биоцидов, приготовленным на основе эфирных масел исследуемых растений в объёме 1 мл. на блок при концентрациях 1:4 соответственно. Третий агаровый блок оставляли без обработки.

Все эксперименты проводили в трёхкратной повторности (n = 3).

Инкубацию проводили при температуре 26°C в течение 5 суток. Дополнительную оценку динамики роста микромицетов осуществляли на 10-е сутки от начала эксперимента.

Эффективность биоцидного действия оценивали по следующим показателям:

- скорость и интенсивность радиального роста колоний;
- степень ингибирования роста;

- наличие и размер зоны подавления роста;
- процент ингибирования роста, рассчитываемый по формуле:

$$I = (D_c - D_t) / D_c \times 100$$

где I – процент ингибирования роста, D_c - диаметр колонии в контрольных вариантах (примерно 90 мм), D_t – диаметр колонии в опыте.

Расчёт процента ингибирования роста проводили по стандартной методике, широко применяемой в исследованиях антимикотической активности эфирных масел и основанной на сравнении диаметра колоний в контроле и опыте [9].

В качестве контроля использовали рост микромицетов на питательной среде без воздействия эфирных масел, где колонии достигали края чашки Петри.

Активный рост микромицетов в вариантах без выраженного ингибирующего эффекта рассматривали как нормальное развитие культуры и использовали в качестве сравнительного (условного) контроля. Снижение роста или его полное подавление в опытных образцах интерпретировали как проявление фунгицидного эффекта биоцидов.

Отдельно оценивали влияние летучих компонентов эфирных масел. Ингибирование роста грибов без прямого контакта с раствором интерпретировали как проявление фумигантной (парофазной) антимикотической активности.

В данной постановке эксперимента классический контроль без воздействия летучих компонентов эфирных масел в пределах одной чашки Петри отсутствовал, поскольку все агаровые блоки находились в замкнутом объёме и подвергались воздействию паров исследуемых веществ. В связи с этим для оценки фумигантного эффекта использовали сравнительный подход, при котором за условный контроль принимали варианты с отсутствием выраженной летучей активности эфирных масел.

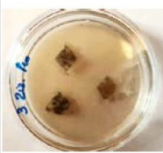

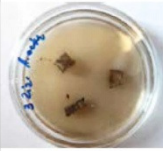
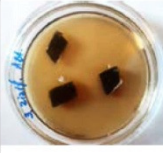
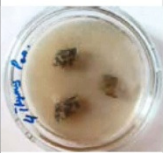
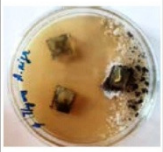
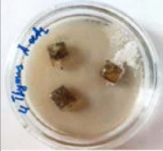
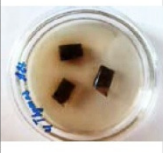

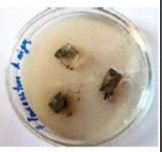
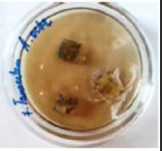
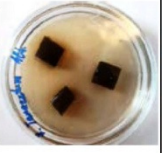
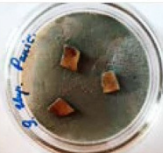



Результаты

Результаты проведённого исследования (табл. 2) показали, что эфирные масла растений Армянского нагорья обладают выраженной, но неоднородной антимикотической активностью, зависящей как от вида растения, так и от вида микромицета, а также от характера воздействия (контактного или парофазного).

Степень ингибирования роста варьировала в широких пределах - от отсутствия эффекта до полного подавления (0-100 %), что свидетельствует о выраженной селективности действия исследуемых растительных биоцидов.

Таблица 2

Влияние эфирных масел отдельных растений на рост
микромикро-биодеструкторов рукописных и старопечатных книг
(на рисунках представлен рост микроскопических грибов в течение 7 дней)

Биоцидная жидкость	Виды микродеструкторов			
	<i>Penicillium cycloporium</i>	<i>Aspergillus niger</i>	<i>Aspergillus ochraceus</i>	<i>Alternaria alternata</i>
<i>Ziziphora tenuior</i>				
<i>Thymus ararati-minoris</i>				
<i>Tanacetum argyrophyllum</i>				
Контроль				

Контактное действие

При непосредственном контакте с эфирными маслами (табл. 3) наблюдалось наиболее выраженное подавление роста микромицетов. Полное ингибирование роста (100%) в течение всего периода наблюдения отмечено для эфирных масел *Thymus ararati-minoris*, *Ziziphora tenuior* и *Tanacetum argyrophyllum* в отношении большинства исследованных видов грибов, что указывает на их выраженное фунгицидное действие.

Таблица 3

Контактная антимикотическая активность эфирных масел в отношении микромицетов-биодеструкторов

Эфирное масло	<i>Penicillium cyclopium</i>	<i>Aspergillus niger</i>	<i>Aspergillus ochraceus</i>	<i>Alternaria alternata</i>
<i>Cotinus coggygria</i>	0%	0%	0%	0%
<i>Achillea tenuifolia</i>	100%	85-90%	100%	100%
<i>Ziziphora tenuior</i>	100%	100%	100%	100%
<i>Thymus ararati-minoris</i>	100%	100%	100%	100%
<i>Artemisia erivanica</i>	60%	100%	100%	100%
<i>Pelargonium graveolens</i>	100%	100%	100%	100%
<i>Tanacetum argyrophyllum</i>	100%	100%	100%	100%
<i>Capparis spinosa</i>	0%	0%	0%	0%

Эфирное масло *Achillea tenuifolia* также демонстрировало высокую активность, обеспечивая практически полное подавление роста *Aspergillus ochraceus* и *Alternaria alternata*, а также значительное ингибирование *Aspergillus niger* (до 85-90 %). Вместе с тем в ряде случаев отмечалась частичная обратимость эффекта, что позволяет характеризовать действие данного масла как преимущественно фунгистатическое.

Pelargonium graveolens характеризовалось выраженной контактной активностью (до 100% ингибирования) в отношении всех исследованных микромицетов. При этом визуально наблюдаемые светлые участки в зоне контакта соответствовали остаткам агаровых блоков и не отражали реального роста мицелия.

Artemisia maritima var. *erevanica* проявляла вариабельную активность: от умеренного ингибирования роста *Penicillium cyclopium* (около 60%) до полного подавления роста *Aspergillus ochraceus* и *Alternaria alternata*.

В противоположность указанным видам, эфирные масла *Cotinus coggygria* и *Capparis spinosa* не оказывали выраженного контактного воздействия: развитие колоний всех исследованных микромицетов соответствовало контрольным значениям.

Парофазное (фумигантное) действие

Анализ парофазной активности показал (табл. 4), что летучие компоненты эфирных масел способны оказывать выраженное ингибирующее действие без прямого контакта с субстратом, однако его интенсивность в целом была ниже по сравнению с контактным воздействием и носила более селективный характер.

Наиболее выраженная фумигантная активность установлена для эфирных масел *Thymus ararati-minoris* и *Ziziphora tenuior*, обеспечивающих полное подавление роста

Alternaria alternata, *Aspergillus ochraceus* и *Penicillium cyclopium*. В то же время *Aspergillus niger* демонстрировал меньшую чувствительность к летучим компонентам, сохраняя частичный рост.

Таблица 4

Парофазная (фумигантная) антимикотическая активность эфирных масел в отношении микромицетов-биодеструкторов

Эфирное масло	<i>Penicillium cyclopium</i>	<i>Aspergillus niger</i>	<i>Aspergillus ochraceus</i>	<i>Alternaria alternata</i>
<i>Cotinus coggygria</i>	0 %	0 %	0 %	65–70 %
<i>Achillea tenuifolia</i>	60 %	50 %	70–75 %	75–80 %
<i>Ziziphora tenuior</i>	100 %	20–25 %	100 %	100 %
<i>Thymus ararati-minoris</i>	100 %	50 %	85–90 %	100 %
<i>Artemisia erevanica</i>	20–25 %	65–70 %	100 %	100 %
<i>Pelargonium graveolens</i>	10–15 %	35–40 %	60–65 %	65–70 %
<i>Tanacetum argyrophyllum</i>	65–70 %	~70–75 %	~0–75 %	100 %
<i>Capparis spinosa</i>	0 %	0 %	0 %	0 %

Tanacetum argyrophyllum характеризовалось стабильно высокой парофазной активностью (70–75%) в отношении всех исследованных микромицетов, а также полным ингибированием роста *Alternaria alternata*, что свидетельствует о высокой биологической активности его летучих соединений.

Achillea tenuifolia проявляла умеренную фумигантную активность (50–80 %), сопровождающуюся формированием угнетённых, морфологически изменённых колоний.

Pelargonium graveolens демонстрировало выраженную зависимость эффекта от вида микромицета: при слабом ингибировании *Penicillium cyclopium* (10–15 %) наблюдалось более значительное подавление роста *Alternaria alternata* и *Aspergillus ochraceus* (до 60–70 %).

Artemisia maritima var. *erevanica* проявляла селективную фумигантную активность: от слабого ингибирования *Penicillium cyclopium* (20–25 %) до полного подавления роста *Aspergillus ochraceus* и *Alternaria alternata*.

Cotinus coggygria характеризовалось узкоспециализированным действием, проявляя выраженную активность только в отношении *Alternaria alternata* (65–70 %) при отсутствии эффекта на другие виды.

Capparis spinosa не проявляло парофазной активности, что подтверждается отсутствием достоверных различий с контрольными вариантами.

Обобщение результатов

Установлено, что эфирные масла исследованных растений обладают выраженной селективностью антимикотического действия. Наиболее перспективными являются

Thymus ararati-minoris, *Ziziphora tenuior* и *Tanacetum argyrophyllum*, демонстрирующие высокую эффективность как при контактном, так и при парофазном воздействии. Полученные результаты подтверждают потенциал использования растительных биоцидов в качестве экологически безопасной альтернативы синтетическим фунгицидам при сохранении культурного наследия.

Выводы

1. Установлено, что эфирные масла исследованных растений проявляют выраженную, но селективную антимикотическую активность в отношении микромицетов-биодеструкторов рукописных и старопечатных материалов.

2. Наиболее высокой фунгицидной активностью обладают эфирные масла *Thymus ararati-minoris*, *Ziziphora tenuior* и *Tanacetum argyrophyllum*, обеспечивающие полное ингибирование роста большинства исследованных микромицетов (до 100 %) при контактном воздействии.

3. Показано, что эфирные масла *Thymus ararati-minoris* и *Ziziphora tenuior*, а также *Tanacetum argyrophyllum* обладают выраженной фумигантной (парофазной) активностью, обеспечивая подавление роста микромицетов без прямого контакта, что существенно расширяет возможности их практического применения.

4. Эфирные масла *Achillea tenuifolia*, *Pelargonium graveolens* и *Artemisia maritima* var. *erevanica* характеризуются вариабельной активностью и преимущественно фунгистатическим действием, зависящим от вида микромицета и формы воздействия.

5. Установлена выраженная видоспецифическая чувствительность микромицетов: наиболее устойчивым к парофазному воздействию оказался *Aspergillus niger*, тогда как *Alternaria alternata* и *Aspergillus ochraceus* демонстрировали высокую чувствительность к летучим компонентам эфирных масел.

6. Эфирные масла *Cotinus coggrygia* и *Capparis spinosa* не проявили значимой антимикотической активности в исследуемых условиях, за исключением селективного действия *Cotinus coggrygia* в отношении *Alternaria alternata*.

7. Показано, что летучие компоненты эфирных масел способны обеспечивать эффективное ингибирование роста микромицетов в замкнутом объеме, что имеет практическое значение для разработки методов профилактики биоповреждений архивных и библиотечных материалов.

8. Полученные результаты подтверждают перспективность использования эфирных масел в качестве экологически безопасной альтернативы синтетическим фунгицидам при сохранении объектов культурного наследия.

DOI: <https://doi.org/10.58726/27382923-2026.1ns-37>

Литература

1. Абрамян Дж. Г., Нанаголян С. Г., Элиазян Г. А., Пароникян А. Е., Маркарян Л. Ю. Микодеструкторы, поражающие книжный фонд Матенадарана. Современная микология в России. Москва, 2012, т. 3, с. 208.
2. Пароникян А. Е., Нанаголян С. Г., Элиазян Г. А. Выявление биоповреждений рукописного фонда Матенадарана Армении и их консервация биоцидами растительного происхождения. Современная микология в России. Москва, 2015, т. 4, с. 291-294.

3. Bakkali F., Averbeck S., Averbeck D., Idaomar M. Biological effects of essential oils: a review. *Food and Chemical Toxicology*, 2008. Vol. 46, pp. 446-475.
4. Florian M. L. *Fungal Facts: Solving Fungal Problems in Heritage Collections*. London: Archetype Publications, 2002, - 146 p.
5. Gutarowska B. Metabolic activity of modules as a factor of building materials biodegradation // *International Biodeterioration & Biodegradation*. 2010. Vol. 64, p. 247-252.
6. Michaelsen A., Pinzari F., Ripka K., Lubitz W., Piñar G. Application of molecular techniques for identification of fungal communities on paper material. *International Biodeterioration & Biodegradation*. 2009. Vol. 63, pp. 110-118.
7. Rakotonirainy M. S., Lavédrine B. Screening for antifungal activity of essential oils and related compounds // *International Biodeterioration & Biodegradation*. 2005. Vol. 55, pp. 141-147.
8. Sterflinger K. Fungi: their role in deterioration of cultural heritage // *Fungal Biology Reviews*. 2010. Vol. 24, pp. 47-55.
9. Mahilraj S., Nandakumar J., Kailayalingam R., Manoharan N., Srivastava S. Screening the antifungal activity of essential oils against decay fungi from cultural heritage materials. *Brazilian Journal of Microbiology*. 2014. Vol. 45(1), pp. 143-151.

Մատենադարանի ձեռագիր և հնատիպ գրքերի կենսաքայքայիչ միկրոմիցետների նկատմամբ բուսական կենսասպանների հակասնկային ակտիվությունը

Պարոնիկյան Արմինե

Ամփոփում

Հանգուցային բառեր. էթերային յուղեր, կենսաքայքայում, արխիվային նյութերի պահպանում, հակասնկային միջոցներ, գոլորշի ֆազի ակտիվություն, կոնսակտային արգելակում, մշակութային ժառանգության պահպանում, ցնդող միացություններ

Աշխատանքում ուսումնասիրվել է Հայկական լեռնաշխարհում աճող տեսակներից ստացված բուսական էքստրակտների հակասնկային ակտիվությունը Մատենադարանի ֆոնդերի ձեռագիր և հնատիպ գրքերի մակերեսից անջատված միկրոմիցետների կենսաքայքայիչների նկատմամբ: Որպես թեստային օրգանիզմներ օգտագործվել են միկրոմիցետներ՝ կենսաքայքայիչ միկրոմիցետներ՝ *Penicillium cyclopium* Westling, *Aspergillus niger* Tiegh., *Aspergillus ochraceus* G. Wilh., *Alternaria alternata* (Fr.) Keissl. (syn. *A. tenuis* Nees), որոնք նույնականացվել են վարակված նյութերի մանրէաբանական վերլուծության ընթացքում:

Փորձարարական պայմաններում գնահատվել է էթերային յուղերի ջրային լուծույթների ($n = 8$) ազդեցությունը նշված միկրոմիցետների աճի և զարգացման վրա: Պարզվել է, որ ուսումնասիրված էթերային յուղերի մի շարք օժտված է արտահայտված հակասնկային ակտիվությամբ: Առավել բարձր արգելակող ազդեցություն են ցուցաբերել *Tanacetum argyrophyllum* (C. Koch) Tzvel., *Ziziphora tenuior* L., *Thymus araraticus* Klokov & Des.-Shost բույսերից ստացված էթերային յուղերը:

Ստացված արդյունքները վկայում են բուսական կենսասպանների կիրառման հեռանկարայնության մասին որպես գրադարանային և արխիվային նյութերի կենսավնասվածքների կանխարգելման և վերահսկման համար սինթետիկ ֆունգիցիդների էկոլոգիապես անվտանգ այլընտրանք:

Antifungal Activity of Plant-Based Biocides against Micromycete Biodeteriorators isolated from Manuscripts and Early Printed Books of the Matenadaran

Paronikyan Armine

Summary

Key words: *essential oils, biodeterioration, archival preservation, antifungal agents, vapor-phase activity, contact inhibition, cultural heritage conservation, volatile compounds*

The present study investigates the antifungal activity of plant-derived extracts obtained from species growing in the Armenian Highlands against micromycete biodeteriorators isolated from the surface of manuscript and early printed book collections of the Matenadaran. The test organisms included *Penicillium cyclopium* Westling, *Aspergillus niger* Tiegh., *Aspergillus ochraceus* G. Wilh., and *Alternaria alternata* (Fr.) Keissl. (syn. *A. tenuis* Nees), identified through microbiological analysis of contaminated materials. Under experimental conditions, the effects of aqueous solutions of essential oils ($n = 8$) on the growth and development of the studied micromycetes were evaluated. The results demonstrated that several tested essential oils exhibited pronounced antifungal activity. The strongest inhibitory effect was observed for essential oils derived from *Tanacetum argyrophyllum* (C. Koch) Tzvel., *Ziziphora tenuior* L. and *Thymus ararati-minoris* Klokov & Des. -Shost. The findings indicate the potential of plant-based biocides as environmentally friendly alternatives to synthetic fungicides for the prevention and control of biodeterioration of library and archival materials.

Ներկայացվել է 14. 04. 2026 թ.

Գրախոսվել է 19. 04. 2026 թ.

Ընդունվել է տպագրության 27. 05. 2026 թ.