

ИЗМЕНЕНИЕ АКТИВНОСТИ ЭНДОЦЕЛЛЮЛЯРНЫХ ОКСИДОРЕДУКТАЗ МИКРОМИЦЕТОВ В УСЛОВИЯХ ВОЗДЕЙСТВИЯ НИЗКОЧАСТОТНОГО ИМПУЛЬСНОГО МАГНИТНОГО ПОЛЯ И НИЗКОИНТЕНСИВНОГО ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

© 2023 г. И.О. Макаров*, Д.А. Ключев*, В.Ф. Смирнов*,[#] О.Н. Смирнова*, Н.А. Аникина*, Н.В. Дикарева*, А.Ю. Шишкин*

*Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского, просп. Гагарина, 23, Нижний Новгород, 603950, Россия

[#]E-mail: biodeg@mail.ru

Поступила в редакцию 27.09.2021 г.

После доработки 18.01.2023 г.

Принята к публикации 01.02.2023 г.

Исследовано действие низкочастотного импульсного магнитного поля (1.5 Гц) и низкоинтенсивного лазерного излучения (0.3 и 0.7 Вт) на активность эндоцеллюлярных оксидоредуктаз микромицетов, являющихся активными агентами биодеструкции промышленных материалов – *Penicillium cyclopium*, *Aspergillus niger*, *Alternaria alternata*. Исследуемые физические факторы имели дозозависимые эффекты на активность внутриклеточных оксидоредуктаз грибов (каталазу, пероксидазу): отмечены как увеличение, так и снижение активности ферментов. Увеличение активности ферментов может способствовать проявлению адаптационных свойств грибов к действию таких физических факторов как низкоинтенсивное лазерное излучение и магнитное поле. Снижение активности эндокаталазы и эндопероксидазы под воздействием указанных факторов возможно подавляет жизнедеятельность микроорганизмов.

Ключевые слова: низкочастотное импульсное магнитное поле, низкоинтенсивное лазерное излучение, микромицеты, эндокаталаза, эндопероксидаза.

DOI: 10.31857/S0006302923030080, EDN: FQTDGG

Известно, что микроскопические грибы способны в качестве источников питания использовать различные субстраты как природного, так и синтетического происхождения. К последним относятся многочисленные материалы и изделия из них [1–3].

Высокая деструктивная активность микромицетов обусловлена мощностью, лабильностью и разнообразием их ферментных систем. Деструкция материалов грибами может быть оценена двояко. С одной стороны, необходимо предотвращать процессы биodeградации и биодеструкции полимерных материалов и изделий из них, т.е. способствовать ресурсосбережению. С другой стороны, высокая деструктивная активность грибов может быть использована для разработки биотехнологий по утилизации техногенных отходов, которыми могут являться, в том числе и отработанные полимерные материалы. Это будет спо-

собствовать решению проблемы защиты окружающей среды от антропогенных воздействий. Также необходимо помнить и о том, что среди грибов могут быть и условно-патогенные представители видов, способные вызвать микогенные аллергии, микотоксикозы и микозы [4].

Все вышеизложенное говорит о важности регуляции метаболизма микромицетов, что, несомненно, скажется как на их деструктивной активности, так и на жизнедеятельности в целом.

В качестве таких регуляторов используются химические и физические факторы. Если действие химических факторов на метаболизм грибов достаточно хорошо изучено, то действие физических факторов в этом плане исследовано недостаточно.

В последнее время в качестве таких факторов используют электромагнитное излучение, например, низкоинтенсивное лазерное излучение (НИЛИ) и магнитные поля (МП) различной природы и интенсивности [5, 6].

Сокращения: НИЛИ – низкоинтенсивное лазерное излучение, МП – магнитное поле.

Ранее нами исследовано действие низкочастотного импульсного магнитного поля и низкоинтенсивного лазерного излучения на мицелиальные грибы — активные биодеструкторы различных полимерных материалов [6, 7].

Установлено, что данные факторы по-разному действуют на споры и вегетативный мицелий грибов. Исследуемые физические факторы имели дозозависимые эффекты на активность внеклеточных оксидоредуктаз грибов (каталазу, пероксидазу); отмечены как увеличение, так и снижение активности ферментов.

Представляло интерес продолжить исследование в этом плане и изучить действие низкочастотного импульсного электромагнитного поля и низкоинтенсивного лазерного излучения на активность эндооксидоредуктаз (каталазы, пероксидазы) микромицетов — деструкторов полимерных материалов, что и явилось целью данной работы.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В качестве объектов исследования служили следующие штаммы мицелиальных грибов, полученные из Всероссийской коллекции микроорганизмов (ИБФМ РАН, Пушкино, Московская обл.): *Penicillium cyclopium* Westling BKM F-265, *Aspergillus niger* van Tieghen BKM F-1119, *Alternaria alternata* (Fr. Keissler BKM F-1120). Эти виды микромицетов являются биодеструкторами различных промышленных материалов и хорошими продуцентами оксидоредуктаз, в частности каталазы и пероксидазы [8].

В качестве физического фактора, воздействующего на грибы, использовали низкочастотное импульсное электромагнитное поле. Для создания поля использовали источник VL2 (пачки по 20 импульсов длительностью 227 мкс с амплитудой магнитной индукции 1.5 мТл, следующие с частотой 1.5 Гц) и применяли генератор фирмы Elektro-Biology Inc. (США).

Также для воздействия на микромицеты использовался многомодовый полупроводниковый InGaP/GaAs/InGaAs-лазер полоскового типа, изготовленный в НИФТИ ННГУ (Нижний Новгород. Режим работы лазера непрерывный, длина волны генерации 980 нм. Изучали воздействие лазера на двух показателях мощности — 0.3 и 0.7 Вт, мощность плотности потока излучения составляла 1 и 2.3 Вт/см² соответственно. Диапазон мощности выбран нами для исключения влияния теплового эффекта на объекты исследований.

Для определения активности эндооксидоредуктаз грибы выращивали в колбах Эрленмейера емкостью 500 мл с 250 мл жидкой питательной среды Чапека—Докса при перемешивании

(200 об/мин) и температуре $27 \pm 2^\circ\text{C}$. Время культивирования составляло 10 суток, после чего навески мицелия по 300 мг подвергали воздействию: 1) лазерного излучения, время экспозиции для каждой мощности составляло 5 и 10 мин, 2) электромагнитного поля, время экспозиции составляло 30, 90 и 150 мин. После облучения мицелий помещали в колбы Эрленмейера емкостью 100 мл с 50 мл жидкой питательной среды Чапека—Докса и культивировали еще 10 суток в тех же условиях.

Для оценки активности эндооксидоредуктаз навеску мицелия гриба (500 мг) отделяли от культуральной среды, дезинтегрировали, центрифугировали при 10000 g в течение 15 мин, затем отбирали супернатант для проведения анализа.

Общую активность ферментов (каталазы, пероксидазы) грибов определяли спектрофотометрически на приборе UVmini 1240 (Shimadzu, Япония): каталазную — при длине волны 240 нм по убыли H₂O₂ [9], пероксидазную — при длине волны 535 нм по окислению *para*-фенилендиамина [10]. За единицу активности каждого фермента принимали изменение оптической плотности реакционной смеси за 1 мин в пересчете на 1 мг белка.

Содержание белки в мицелии определяли методом Лоури—Фолина [11].

Все результаты, полученные не менее чем в трех независимых экспериментах и не менее чем в трех-пяти повторностях, обрабатывали с помощью программ Statistica 10.0 и Microsoft Excel 2007. Оценку достоверности различий средних значений проводили по критерию Стьюдента для уровня вероятности не менее 95%. На рисунках приведены средние значения всех опытов со стандартными ошибками [12].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Известно, что оксидоредуктазы играют важную роль в жизнедеятельности микроорганизмов, в том числе микроскопических грибов. Экстрацеллюлярные ферменты участвуют в трансформации различных субстратов природного и синтетического происхождения. Эндооксидоредуктазы участвуют в поддержании окислительно-восстановительного гомеостаза.

В ходе экспериментов нами было установлено, что для всех исследованных грибов была обнаружена активность эндокаталазы и эндопероксидазы. Все грибы имели разную активность данных ферментов. Максимальная активность каталазы обнаружена у *Aspergillus niger*, минимальная — у *P. cyclopium*. Максимальная активность эндопероксидазы была выявлена у *P. cyclopium*, а минимальная у *Alternaria alternata*. Все это говорит о

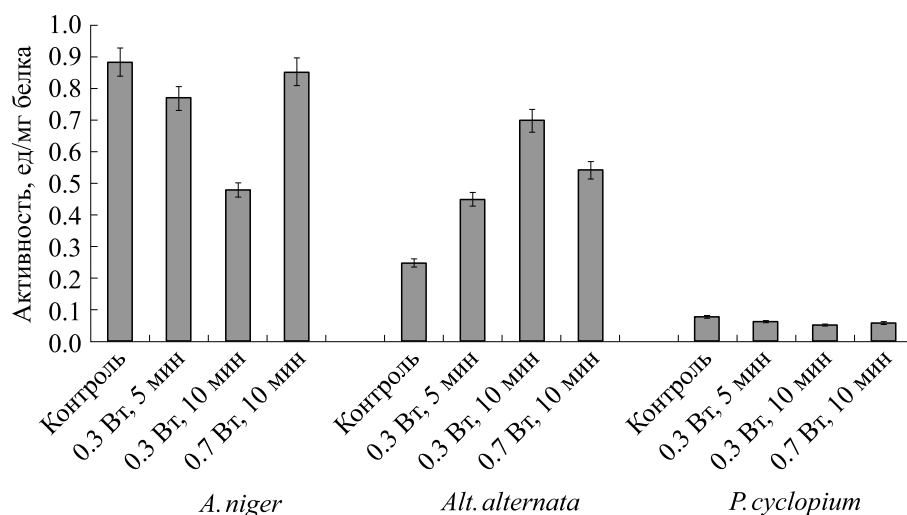


Рис. 1. Влияние НИЛИ на активность эндокаталазы грибов.

разных физиолого-биохимических особенностях исследуемых объектов.

Полученные данные, представленные на рис. 1, позволяют сказать, что НИЛИ вызвало снижение активности внутриклеточной каталазы *Aspergillus niger* при слабом кратковременном и долговременном воздействиях, при этом минимальная активность фермента отмечена при слабом долговременном воздействии. Таким образом, можно выделить тенденцию снижения активности фермента по мере увеличения времени слабого воздействия мощностью 0.3 Вт.

При анализе данных, полученных при изучении воздействия НИЛИ на активность внутриклеточной каталазы *P. cyclopium*, можно подчеркнуть, что при всех вариантах воздействия НИЛИ оказывало ингибирующий эффект на активность

фермента, достигающий максимума при слабом долговременном воздействии. Как для *P. cyclopium*, так и для *A. niger* характерно снижение активности каталазы при увеличении времени воздействия.

Хотелось бы подчеркнуть, что для *Alternaria alternata* оказалось свойственно увеличение активности внутриклеточной каталазы при всех вариантах воздействия, достигающее при слабом долговременном воздействии максимума более чем в 2.5 раза больше активности контрольного образца.

Интерпретируя результаты, представленные на рис. 2, хотелось бы отметить, что для *Aspergillus niger* характерно увеличение активности внутриклеточной пероксидазы при всех выбранных вариантах воздействия НИЛИ, достигающее мак-

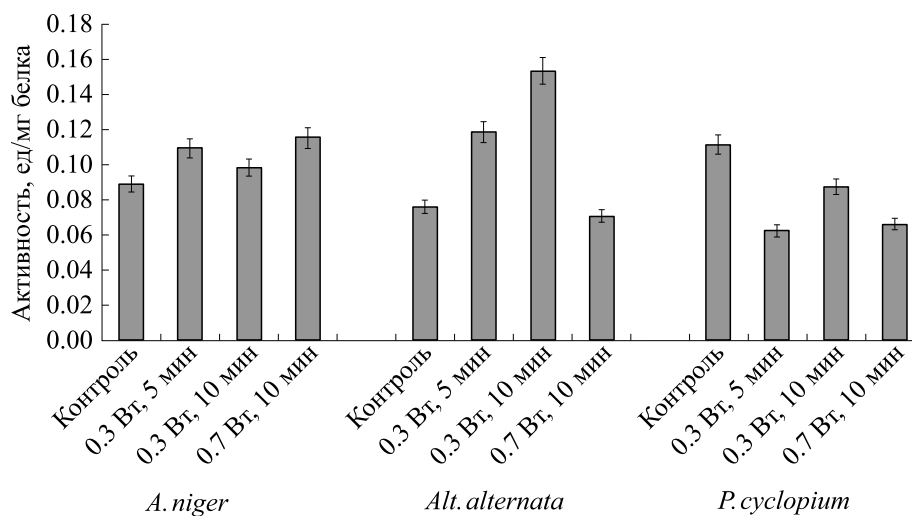


Рис. 2. Влияние НИЛИ на активность эндопероксидазы грибов.

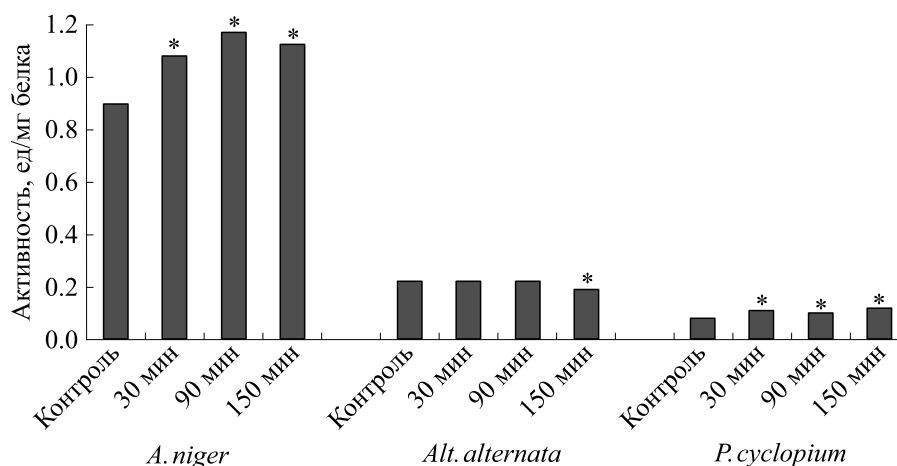


Рис. 3. Влияние МП на активность эндокаталазы грибов.

симула при сильном долговременном воздействии.

Увеличение времени слабого воздействия мощностью 0.3 Вт продемонстрировало тенденцию возвращения активности к сравнимым с контролем уровням, так как прирост активности внутриклеточной пероксидазы при слабом кратковременном воздействии вдвое больше, чем прирост активности при слабом долговременном воздействии.

Для *P. cyclopium* воздействие НИЛИ на активность внутриклеточной пероксидазы продемонстрировало значительный ингибирующий эффект при всех вариантах воздействия, достигающий своего максимума при слабом кратковременном воздействии. Стоит отметить, что увеличение времени воздействия в два раза также приводит к увеличению устойчивости ферментативной активности к воздействию исследуемого фактора.

У *Alternaria alternata* отмечалось увеличение ферментативной активности при слабом кратковременном и долговременном воздействии, достигающее максимума при воздействии излучением мощностью 0.3 Вт в течение 10 мин, в то время как сильное долговременное воздействие не привело к значимым по сравнению с контролем изменениям. Следует отметить, что активность внутриклеточной пероксидазы *Alternaria alternata* пропорционально возрастает при увеличении времени воздействия НИЛИ мощностью 0.3 Вт.

Ингибирующее действие НИЛИ на микроорганизмы, в том числе и на грибы, было показано в работах [6, 13–15]. Механизм воздействия НИЛИ на живые организмы, в том числе и на микроорганизмы на сегодня недостаточно изучены. Известно, что с помощью воздействия источника света различной природы можно влиять на коли-

чество живых клеток, их пространственную ориентацию и физиологию [16].

Учитывая, что интенсивность НИЛИ в наших экспериментах не приводила к нагреванию клеток грибов, механизмы, связанные с термическим воздействием на клетки, исключаются. Комплекс биохимических процессов в тканях организма, происходящих при взаимодействии фотонов света с клетками-мишенями, носит название фотобиомодуляции [17]. Известно, что свет может оказывать антимикробное действие посредством возбуждения белков клеточных рецепторов. Подобное фотовозбуждение может в конечном итоге повлиять на ключевые физиологические сигнальные пути, вызывая апоптоз и гибель клеток.

По мнению ряда авторов, фотобиостимуляция может вызвать образование активных форм кислорода в достаточном количестве, чтобы вызвать инактивацию ряда ферментов, повредить структуры клетки и в конечном счете вызвать их гибель [18–22].

Далее нами исследовалось воздействие магнитного поля на эндооксидоредуктазы (рис. 3 и 4). На рис. 3 показаны результаты по исследованию действия слабого импульсного магнитного поля на активность внутриклеточной каталазы исследуемых микромицетов. Действие физического фактора на микромицет *Alternaria alternata* вызывало снижение активности эндокаталазы при экспозиции в магнитном поле в течение 150 мин. При действии МП в течение 30 и 90 мин активность не изменялась. Во всех вариантах эксперимента наблюдалось значительное увеличение активности эндокаталазы гриба *A. niger* в пределах 20–30%.

Магнитное поле оказывало существенный стимулирующий эффект и на активность эндокаталазы гриба *P. cyclopium* во всех трех вариантах

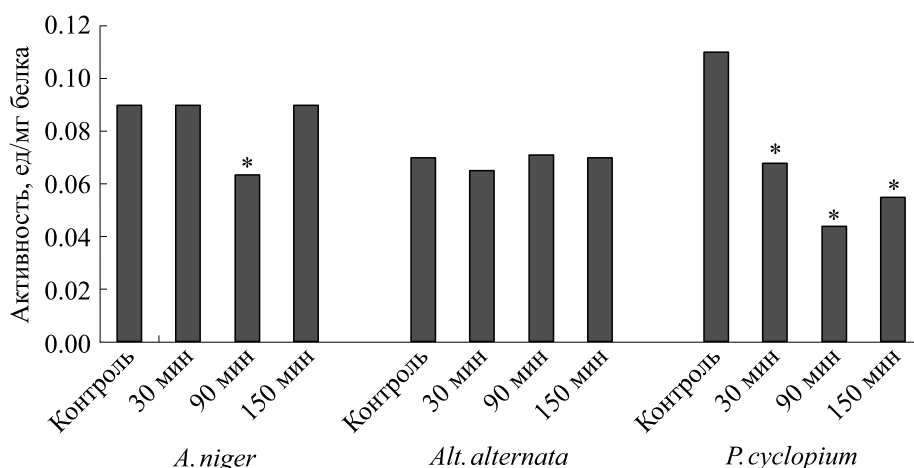


Рис. 4. Влияние МП на активность эндопероксидазы грибов.

эксперимента. При 30-минутной экспозиции в магнитном поле увеличение активности составило 47% в сравнении с контрольными показателями. При действии в течение 90 мин активность фермента увеличилась на 31%, а при действии в течение 150 мин — на 57%.

На рис. 4 отражены полученные данные по исследованию действия слабого импульсного магнитного поля на эндопероксидазную активность грибов.

Можно отметить, что, в отличие от действия данного фактора на каталазу, в случае с пероксидазой не обнаружено увеличение активности этого фермента.

Эндопероксидазная активность у гриба *Alternaria alternata* несколько снижалась при 30 минутной экспозиции в магнитном поле, тогда как при 90-минутной экспозиции она слегка повышалась (на 3.6% по сравнению с контролем), а при 150-минутной экспозиции оставалась неизменной. У *A. niger* же наблюдалось значительное снижение (на 25% по сравнению с контролем) эндопероксидазной активности при 90-минутной экспозиции.

Значительное ингибирование эндопероксидазной активности *P. cyclopium* магнитным полем происходило независимо от длительности воздействия. Так, эффект ингибирования был наиболее выражен при 90- и 150-минутной экспозиции, а именно, было показано снижение активности эндопероксидазы в сравнении с контролем до 39.9% и 50.7% соответственно. При 30-минутной экспозиции в магнитном поле наблюдалось меньшее, но все же значительное ингибирование эндопероксидазной активности.

Сравнивая действие МП на пероксидазу и каталазу грибов, можно отметить, что в случае с каталазой нами не отмечалось эффекта ингибирования данного фермента. При всех вариантах

длительности воздействия у всех грибов, напротив, в подавляющем большинстве случаев наблюдалось стимулирование активности этого фермента.

Действие МП на пероксидазу грибов не приводило к стимуляции ее активности, а для *P. cyclopium* наблюдалось подавление активности этого фермента во всех вариантах эксперимента.

Механизмы воздействия магнитных полей на живые организмы, которые вероятно имеют место и в наших экспериментах, до конца не исследованы. В литературе обсуждаются различные пути влияния данного фактора, как на отдельные биологические молекулы, так и на различные клеточные структуры. Среди них: влияние на реакции с участием радикальных пар [23–25], влияние на протоны воды и гидратированность биологически активных молекул [25, 26], влияние на ионы металлов, как свободные, так и связанные с ключевыми регуляторными белками [25, 27–30], влияние на цитоскелет [25, 31] и связанные с ним процессы выхода белков во внешнюю среду. В работах [6, 32, 33], также как и в наших исследованиях, было продемонстрировано, что магнитное поле может оказывать как положительный, так и отрицательный эффект на грибные оксидоредуктазы, увеличивая или снижая их активность. В некоторых литературных источниках сообщается, что воздействию МП подвергаются биологические молекулы, содержащие ферромагнитные металлы (цинк, железо) в структуре каталазы и пероксидазы, в результате чего активность данных ферментов может меняться [6, 34]. Также обнаружено, что эффективность воздействия на микроскопические грибы импульсного магнитного поля выше в сравнении с постоянным и переменным полями [6, 35]. Меньшая чувствительность каталазной активности к воздействию МП по сравнению с пероксидазной отмечалась и ра-

нее [7, 32, 34]. Для грибов этот факт особенно интересен, поскольку для них характерны каталазы-пероксидазы — белки, несущие одновременно две ферментативные активности [7, 36], и может свидетельствовать о меньшей подверженности магнитному воздействию на структуры молекул, отвечающих за каталазную активность. В работах [25, 37] не отмечалось под воздействием переменных магнитных полей статистически значимого возрастания уровня экспрессии оксидоредуктаз. В работах [25, 38] было зарегистрировано повышение уровня свободнорадикального окисления после воздействия нетеплового электромагнитного поля. Показано, что магнитное поле стабилизирует свободные радикалы, увеличивая, таким образом, их концентрацию в клетках и, следовательно, вероятность возникновения окислительных повреждений, что приводит к нарушению окислительно-восстановительного гомеостаза клеток и, как следствие, к изменению активности эндоцеллюлярных каталазы и пероксидазы.

При сравнении действия НИЛИ и МП на исследуемые ферменты можно отметить, что первый фактор в большем количестве исследованных вариантах воздействия вызывал стимуляцию активности данных ферментов. Отдельно необходимо указать на то, что действие МП и НИЛИ приводило к снижению пероксидазной активности у гриба *P. cyclopium*.

Неоднозначность действия МП и НИЛИ на активность эндоцеллюлярной каталазы и пероксидазы, а также наблюдаемый дозозависимый эффект могут быть связаны с физиолого-биохимическими особенностями исследуемых грибов, а именно, с наличием у них механизмов адаптации к действию физических факторов, что позволяет им реагировать соответствующим образом на поддержание окислительно-восстановительного потенциала клеток грибов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе экспериментов нами отмечалась неоднозначность действия исследуемых факторов на эндокаталазу и эндопероксидазу. Имело место, как увеличение, так и снижение активности исследуемых оксидоредуктаз микромицетов. Увеличение активности ферментов, на наш взгляд, может способствовать проявлению адаптационных свойств грибов в плане сохранения их окислительно-восстановительного гомеостаза на соответствующем уровне при действии таких физических факторов как НИЛИ и МП. При этом снижение активности эндокаталазы и эндопероксидазы позволяет предположить, что НИЛИ и МП негативно действуют на окислительно-восстановительный гомеостаз клетки, что может

сказаться на подавлении жизнедеятельности микромицетов. Проведенные нами исследования расширяют наши представления о действии МП и НИЛИ на метаболизм микроскопических грибов деструкторов промышленных материалов, что может иметь практическую значимость при разработке методов использования этих факторов в качестве регуляторов жизнедеятельности микромицетов в процессе биodeградации ими материалов как природного, так и синтетического происхождения.

БЛАГОДАРНОСТИ

Работа выполнена с использованием оборудования ЦКП «Новые материалы и ресурсосберегающие технологии» (ННГУ им. Н.И. Лобачевского).

ФИНАНСИРОВАНИЕ РАБОТЫ

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации (базовая часть Государственного задания, проект № 0729-2020-0053).

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

СОБЛЮДЕНИЕ ЭТИЧЕСКИХ СТАНДАРТОВ

Настоящая работа не содержит описания исследований с использованием людей и животных в качестве объектов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. A. A. Shah, *Biotechnol. Adv.*, **26**, 246 (2008).
2. О. А. Легонькова и Л. А. Сухарева, *Тысяча и один полимер от биостойких до биоразлагаемых* (РадиоСофт, М., 2004).
3. В. Ф. Смирнов, И. О. Макаров, Д. А. Ключев и др., *Экология и промышленность России*, **24** (10), 67 (2020).
4. В. Б. Антонов, Н. А. Беляков, Н. В. Васильева и др., *Биоповреждение больничных зданий и их влияние на здоровье человека* (СПб МАПО, СПб., 2008).
5. Е. Ю. Быстрова, Е. В. Богомолова, Ю. М. Гаврилов и др., *Микология и фитопатология*, **43** (5), 438 (2009).
6. И. О. Макаров, Д. А. Ключев, В. Ф. Смирнов и др., *Микробиология*, **88** (1), 83 (2019).
7. Е. С. Касатова и др., *Микология и фитопатология*, **51** (2), 99 (2017).
8. Е. Л. Пехташева, А. Н. Неверов, Г. Е. Заиков и О. В. Стоянов, *Вестн. Казанского технологич. ун-та*, **8**, 222 (2012).
9. Y. Li, H. E. Shellhorn, *J. Biomol. Techniques*, **18**, 185 (2007).

10. P. Nagaraja, A. Shivakumar, and S. A. Kumar, *Anal. Sci.*, **25**, 1243 (2009).
11. Р. Досон и др., *Справочник биохимика* (Мир, М., 1991).
12. А. И. Кобзарь, *Прикладная математическая статистика* (Физматлит, М., 2006).
13. А. С. Касумьян и О. В. Азовская, *Смоленский мед. альманах*, **1**, 31 (2015).
14. В. М. Инюшин, *Лазерный свет и живой организм* (КазГУ, Алма-Ата, 1970).
15. H. M. Yusef and M. E. Allam, *Mycopathologia et mycologia applicata*, **33** (2), 81 (1967).
16. R. Salimbeni, *Archeometria* Muhely, **3** (1), 34 (2006).
17. Т. Г. Гришачева, Дис. ... канд. биол. наук (Институт эволюционной физиологии и биохимии им. И.М. Сеченова РАН, Санкт-Петербург, 2019).
18. D. Tisch and M. Schmoll, *Appl. Microbiol. Biotechnol.*, **85** (5), 1259 (2009).
19. L. Pereira-Pardo and C. Korenberg, *J. Cult. Herit.*, **31**, 236 (2018).
20. T. Rivas, J. S. Pozo-Antonio, and M. L. de Silanes, *Appl. Surf. Sci.*, **440**, 467 (2018).
21. В. А. Доровских, Е. А. Бородин и Г. П. Бородин, в сб. *Лазер и здоровье-99* (1999), 435.
22. В. Е. Кузмичев, М. А. Каплан и Г. В. Чернова, *Физ. медицина*, **5** (1–2), 65 (1996).
23. A. Pazur, C. Schimek, and P. Galland, *Central Eur. J. Biol.*, **2** (4), 597 (2007).
24. А. В. Дроздов и др., *Биофизика*, **55** (4), 740 (2010).
25. Е.С. Касатова, Дис. ... канд. биол. наук (Нижегородский госуниверситет им. Н.И. Лобачевского, Н. Новгород, 2011).
26. A. V. Zolotaryuk, A. V. Savin, and E. N. Economou, *Phys. Rev. Lett.*, **73** (21), 2871 (1994).
27. В. В. Леднев, *Биофизика*, **41**, 224 (1996).
28. А. Б. Узденский, *Биофизика*, **45** (5), 888 (2000).
29. В. В. Леднев, *Биофизика*, **41** (1), 224 (2003).
30. В. Н. Бинги и А. Б. Рубин, *Биомедицинские технологии и радиоэлектроника*, **2–4**, 63 (2007).
31. U. Lins and M. Farina, *Antonie van Leeuwenhoek*, **85**, 335 (2004).
32. A. Manoliu et al., *Analele Științifice ale Universității "Al. I. Cuza" din Iași. Biofizică, Fizică medicală și Fizica mediului*, **1**, 77 (2005).
33. L. Potenza, R. Saltarelli, E. Polidori et al., *Can. J. Microbiol.*, **58** (10), 1174 (2012).
34. Е. А. Новичкова и В. Г. Подковкин, *Вестник СамГУ*, **70**, 183 (2009).
35. A. Treu and E. Larnøy, *Int. Biodet. Biodeg.*, **114**, 244 (2016).
36. M. Zamocky, P.G. Furtmuller, and C. Obinger, *Biochem. Soc. Trans.*, **37**, 772 (2009).
37. J. Sinclair, et al., *Proteomics*, **6** (17), 4755 (2006).
38. D. Crouzier, et al., *Pathol. Biol.*, **57** (3), 245 (2009).

Changes in the Activity of Micromycete Endocellular Oxidoreductases under the Influence of Low-Frequency Pulsed Magnetic Field and Low-Intensity Laser Radiation

I.O. Makarov*, D.A. Klyuev*, V.F. Smirnov*, O.N. Smirnova*, N.A. Anikina*,
N.V. Dikareva*, and A.Yu. Shishkin*

*National Research Lobachevsky State University of Nizhni Novgorod, prosp. Gagarina 23, Nizny Novgorod, 603950 Russia

This study aims to investigate the effects of low-frequency pulsed magnetic field (1.5 Hz) and low-intensity laser radiation (0.3 and 0.7 W) on the activity of micromycete endocellular oxidoreductases that catalyze biodegradation of industrial materials such as *Penicillium cyclopium*, *Aspergillus niger*, and *Alternaria alternata*. The investigated physical factors had dose-dependent effects on the activity of fungal endocellular oxidoreductases (catalase and peroxidase): increases and decreases in the activities of enzymes have been observed. An increase in the activity of enzymes can contribute to the manifestation of the adaptive properties of fungi against the action of such physical factors as low-intensity laser radiation and magnetic field. A decrease in the activity of endocatalase and endoperoxidase under the influence of these factors may suppress the vital activity of microorganisms.

Keywords: low-frequency pulsed magnetic field, low-intensity laser radiation, micromycetes, endocatalase, endoperoxidase