

Влияние слабого переменного магнитного поля на рост и активность микромицетов

*Т. Ф. Сырбу^а, **С. Н. Маслоброд^б, А. И. Шibaев^с, И. В. Шibaева^с, ***А. С. Сидоренко^с

^аИнститут микробиологии и биотехнологии,

г. Кишинев, MD-2028, Молдова, *e-mail: sirbutf@rambler.ru

^бИнститут генетики, физиологии и защиты растений,

г. Кишинев, MD-2002, Молдова, **e-mail: maslobrod37@mail.ru

^сИнститут инженерной электроники и нанотехнологий,

г. Кишинев, MD-2028, Молдова, ***e-mail: sidorenco@int.fzk.da

Обнаружена специфика влияния слабого переменного магнитного поля (СПМП) с частотой 1–10 Гц, интенсивностью 40–50 мкТ и экспозицией 20, 40 и 60 мин натри штамма микромицетов рода *Penicillium* (*P. funiculosum* CNMN FD 11, *P. piceum* CNMN FD 21, *P. verrucosum* CNMN FD 19), проявляющих четко выраженную антимикробную активность по отношению к фитопатогенам. СПМП оказывает положительное влияние на активность каталазы и рост биомассы штаммов *P. piceum* и *P. verrucosum* CNMN FD 19 и ингибирующее воздействие на активность каталазы штамма *P. funiculosum* CNMN FD 11. Наблюдается повышение антифунгальной активности штаммов *P. funiculosum* CNMN FD 11 и *P. piceum* CNMN FD 21: рост фитопатогенных грибов задерживается сильнее. Следовательно, СПМП в диапазоне 1–10 Гц повышает эффективность биосинтеза биологически активных веществ грибов *P. Penicillium*, определяющих их рост, ферментную и антимикробную активность. Полученные результаты можно объяснить тем, что использованное СПМП имеет параметры так называемых шумановских резонансов, которые жизненно необходимы для синхронизации биологических ритмов живых объектов, в том числе микроорганизмов.

Ключевые слова: микромицеты, фитопатогенные грибы, слабое магнитное поле, антифунгальная активность, активность каталазы.

УДК 579.22

DOI: 10.5281/zenodo.1345702

ВВЕДЕНИЕ

Любое изменение внешней среды для растущих клеток можно рассматривать как стрессовое воздействие. Первоначальный ответ микробных клеток на любой стресс направлен на то, чтобы нивелировать вызванные им сдвиги внутриклеточного равновесия и обеспечить свое выживание. Почти во всех случаях это основано на уже действующих биохимических механизмах, кроме того, могут происходить изменения в экспрессии генов – для синтеза новых компонентов или для стимуляции имеющихся систем [1].

Все живые организмы функционируют в условиях действия на них магнитного поля Земли. Слабые магнитные и электромагнитные поля могут влиять на физиологические процессы в организмах животных, растений, микроорганизмов. У микробов, как и у других живых существ, наблюдается магнитотропизм, то есть ориентационное движение по магнитному меридиану. В целом внешние электромагнитные поля (ЭМП) существенно влияют на микроорганизмы, изменяя их активность, морфологические, культуральные и биохимические свойства [2–6]. Так, они способствуют

появлению разнонаправленных изменений в чувствительности патогенных микроорганизмов к антибиотикам. В одних случаях ЭМП повышают устойчивость микробов, в других – снижают [7–9].

В последние годы были применены различные формы магнитных полей для изучения их вредных или полезных эффектов на эукариотических или прокариотических клетках, а также их промышленного и медицинского потенциала. Научная литература изобилует исследованиями влияния слабых магнитных полей на биологические системы, где приводятся различные сведения об этом влиянии. Эффект существенно зависит от амплитудно-частотных параметров поля, вида и геомагнитной обстановки. Действие переменных полей обычно более эффективно, чем постоянных [10–15]. Магнитное поле с успехом используют в медицине для диагностики и лечения [16–18]. В биотехнологии это поле применяют для выращивания микроорганизмов промышленного значения и накопления биомассы, а также для замораживания и сохранения продуктов питания и для криоконсервации биологических образцов, таких как клетки, ткани и органы [19, 20]. Магнитное поле нашло приме-

нение и в сельском хозяйстве. Так, использование переменного магнитного поля в растительных объектах одновременно с обрабатываемой этим же полем водой приводит к увеличению скорости прорастания семян и растительной массы в несколько раз [21, 22]. В практике борьбы с болезнями полевых культур, помимо известных методов (очистка продовольственного зерна и удаление поврежденных зерен, термическое обеззараживание, а также обеззараживание с помощью рентгеновского и гамма-излучений), используют облучение зерна и зернопродуктов потоком энергии электромагнитных колебаний сверхвысокой частоты (СВЧ). СВЧ-обработка используется для стерилизации зерна, а также продуктов питания за счет повышения температуры, а также диэлектрического разрушения клеток живой ткани [23].

Слабое переменное магнитное поле (СПМП) оказывает информационное (регуляторное) действие на живой объект. В 30-е годы XX столетия немецкий физик В. Шуман сделал открытие, что флуктуации магнитного поля Земли с резонансами на частотах 7,8; 14,1; 20,3 и 24,6 Гц практически совпадают (резонируют) с частотами α (альфа) и β (бета) ритмов головного мозга человека [24]. Эти волны жизненно необходимы для синхронизации биологических ритмов живых объектов. Основная частота резонанса Шумана соответствует частоте α -ритма мозга человека – 7,83 Гц, а вторая частота из гармонички резонанса Шумана (14 Гц) соответствует учащенному α -ритму головного мозга [25]. α -Ритмы, самые интенсивные по амплитуде среди мозговых волн, активизируют процессы оздоровления в десять раз интенсивней, чем β -ритмы.

Ранее в наших опытах также было использовано СПМП (индукция магнитного поля не превышает индукцию магнитного поля Земли) с частотой волн Шумана 1–10 Гц, интенсивностью 40–50 мТ и экспозицией 30 мин. Было показано, что при обработке семян тритикале данным фактором с последующим заражением семян патогенным грибом наблюдался стимуляционный и фунгицидный эффекты от СПМП [26]. В продолжение экспериментов по биотропному действию СПМП целью наших исследований было изучить его влияние на рост и активность микромицетов.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Изучали влияние СПМП в диапазоне частот 1–10 Гц и экспозициями 20, 40 и 60 мин на три штамма грибов *P. Penicillium (Penicillium funiculosum CNMN FD 11, Penicillium piceum CNMN FD 21, Penicillium verrucosum CNMN*

FD 19), проявляющих четко выраженную антимикробную активность по отношению к некоторым фитопатогенам [27]. Штаммы культивировали в течение шести суток в конических колбах объемом 0,5 л на качалках (180–200 об/мин) при 28–30°C на подобранных ранее оптимальных средах. Посевным материалом была водная суспензия спор 14-дневной культуры, выращенной на сусло-агаровой среде в количестве 5×10^6 спор. Активность каталазы в культуральной жидкости определяли методом титрования [28]. Культуральную жидкость, содержащую комплекс экзометаболитов (ЭМ) исследуемых грибов, отделяли от биомассы центрифугированием. Биомассу определяли весовым методом, антимикробную активность – методом диффузии в агар с использованием металлических цилиндров, в которые заливают по 1 мл раствора культуральной жидкости пенициллов [29]. В качестве тест-культур были использованы фитопатогенные грибы *Fusarium solani* и *Fusarium oxysporum*. Магнитное поле формировалось с помощью кольцевого индуктора, внутрь которого помещались чашки Петри с исследуемой культурой. Опыты повторялись три раза. Экспериментальные данные были подвергнуты статистической обработке с использованием компьютерной программы Excel 2007.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЯ

Большинство исследователей сходятся во мнении, что воздействие даже слабых магнитных полей является для живых организмов стрессовым. Многочисленные данные свидетельствуют о том, что окислительный стресс может быть как причиной, так и следствием многих патологических состояний на уровне клеток, тканей и органов, активные формы кислорода могут вызывать повреждения практически всех клеточных компонентов [1, 8, 16]. Магнитное поле может также вызвать повреждение бактериальной ДНК и торможение его репликации [2, 16].

Каталаза же, как известно, является одним из основных ферментов антиоксидантной системы защиты клетки в стрессовых ситуациях. Воздействие СПМП на метаболизм микроскопических грибов, в зависимости от длительности экспозиции, может иметь различный характер. Результаты проводимых нами исследований показывают, что активность каталазы у штамма *P. funiculosum CNMN FD 11* с увеличением экспозиции СПМП уменьшается по отношению к контролю (до 16%), а у штамма *P. piceum CNMN FD 21* – увеличивается: наибольший эффект (превышение на 23%) получен при экспозиции 40 мин. У штамма *P. verrucosum CNMN FD 19* при экспозиции СПМП 20 мин

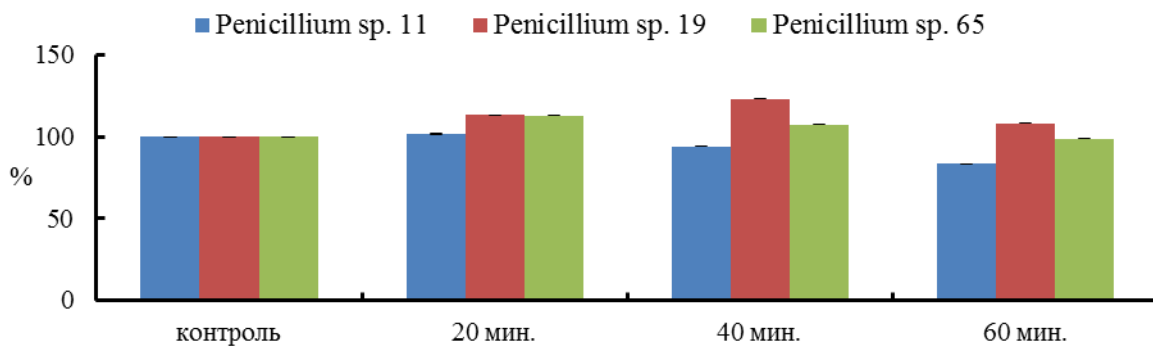


Рис. 1. Изменение активности каталазы штаммов микромицетов под влиянием СПМП, в % по отношению к контролю.

Действие СПМП с различными экспозициями на рост и накопление биомассы штаммов *Penicillium funiculosum* CNMN FD 11, *Penicillium piceum* CNMN FD 21, *Penicillium verrucosum* CNMN FD 19

Штаммы	Биомасса (% по отношению к контролю)		
	Экспозиции СПМП		
	20 мин	40 мин	60 мин
<i>P. funiculosum</i> CNMN FD 11	90,7 ± 0,01	96,9 ± 0,01	99,1 ± 0,03
<i>P. piceum</i> CNMN FD 21	64,2 ± 0,05	103,7 ± 0,11	79,3 ± 0,08
<i>P. verrucosum</i> CNMN FD 19	105,6 ± 0,05	109,6 ± 0,03	105,3 ± 0,02

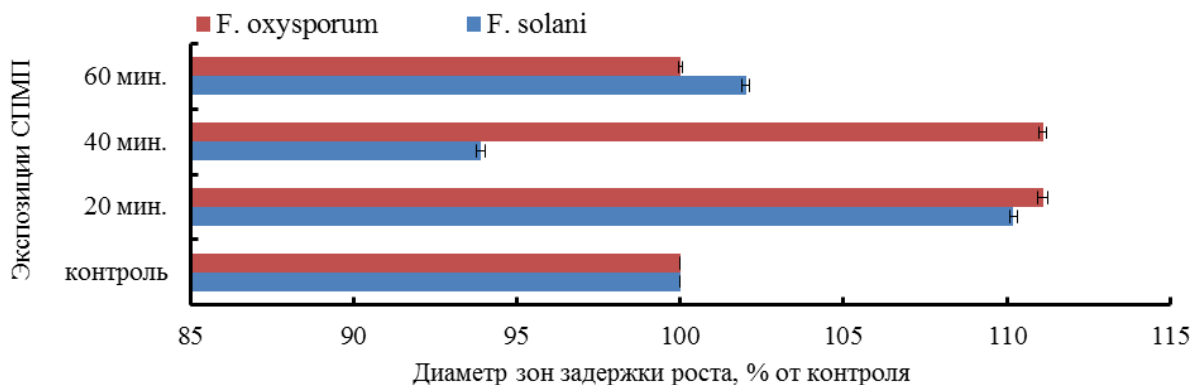


Рис. 2. Изменение антифунгальной активности штамма *P. funiculosum* CNMN FD 11 под влиянием СПМП.

отмечено увеличение (на 13%), а при экспозиции 40 и 60 мин – уменьшение активности каталазы (рис. 1).

Проведенные нами опыты показали, что на рост грибов и накопление биомассы СПМП действует по-другому: у штамма *P. funiculosum* CNMN FD 11 самое низкое количество биомассы (89,2%) наблюдается при воздействии СПМП с экспозицией 20 мин (см. таблицу). СПМП с этой же экспозицией отрицательно повлияло на рост и накопление биомассы штамма *P. piceum* CNMN FD 21 (64,2% по отношению к контролю). При экспозиции 40 мин у этого штамма уровень биомассы находится в пределах контроля, а при повышении экспозиции до 60 мин накопление биомассы опять снижается на 20%. Положительно повлияло СПМП, независимо от экспозиции, только на рост и накопление биомассы *P. verrucosum* CNMN FD 19, которая увеличивается у этого штамма постепенно, достигая максимального значения при экспозиции 40 мин (110%).

С учетом имеющихся в литературе сведений можно утверждать, что СПМП влияет также на биосинтетические свойства микромицетов: оно положительно сказывается на синтезе веществ с антифунгальной активностью у штамма *P. funiculosum* CNMN FD 11. Зоны задержки роста под влиянием веществ *P. funiculosum* CNMN FD 11 фитопатогенных грибов *Fusarium solani* и *Fusarium oxysporum* отличаются от контроля. Так, у *Fusarium solani* зоны задержки роста при воздействии СПМП экспозицией 20 и 60 мин превышают контроль, а при 40 мин – чуть ниже контроля. У *Fusarium oxysporum* зоны задержки роста при воздействии поля экспозицией 20 и 40 мин на 11% выше контроля, а при экспозиции 60 мин – на уровне контроля (рис. 2).

Антифунгальная активность штамма *P. piceum* CNMN FD 21 под влиянием СПМП также изменяется и отличается от контроля. Так, при экспозиции поля 20 мин антифунгальная активность остается почти без изменений, а при экспозиции 40 и 60 мин у *Fusarium solani* наблюдается увеличение диаметра зон задержки роста

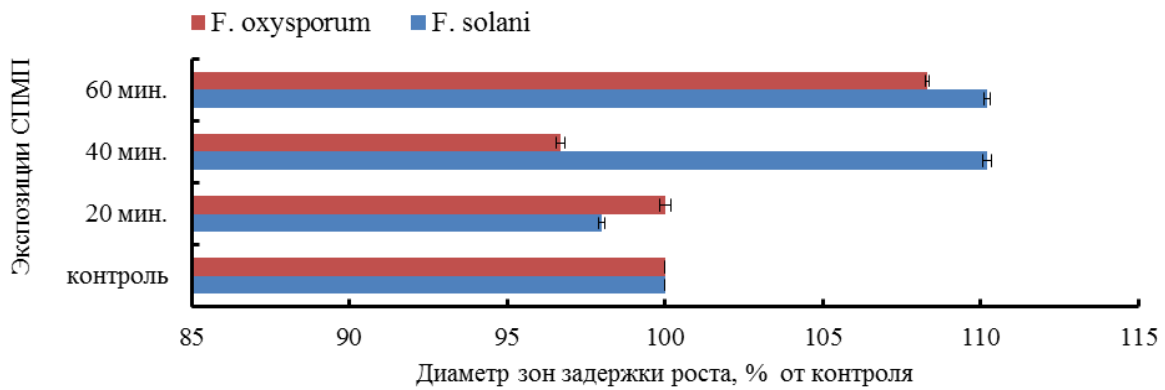


Рис. 3. Влияние СПМП на антифунгальную активность штамма *Penicillium piceum* CNMN FD 21.

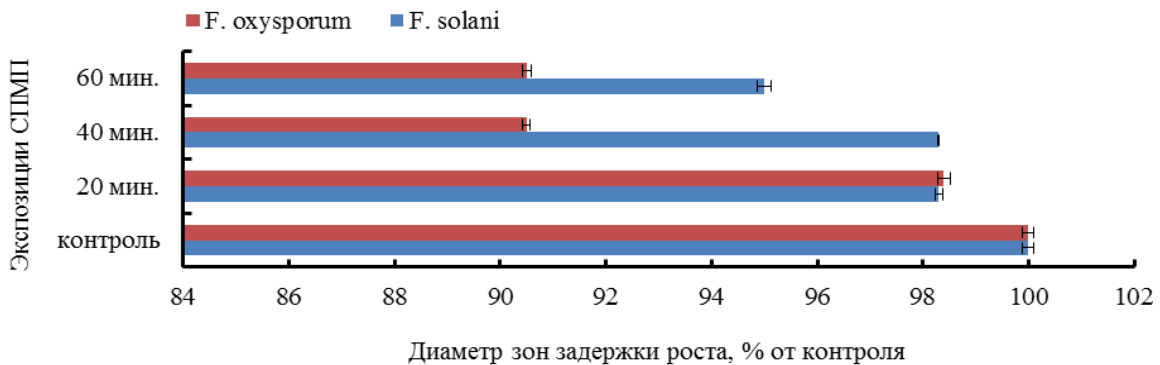


Рис. 4. Диаметр зон задержки роста фитопатогенов под влиянием СПМП *P. verrucosum* CNMN FD 19.

на 10% по отношению к контролю. Также наблюдается увеличение зон задержки роста *Fusarium oxysporum* в вариантах, где использовали культуральную жидкость штамма, обработанного СПМП при экспозиции 60 мин (рис. 3).

Под влиянием СПМП антифунгальная активность штамма *P. verrucosum* CNMN FD 19 снижается по сравнению с контролем: при воздействии поля экспозицией 20 мин – на 2%, а при экспозиции 40 и 60 мин – на 10% (рис. 4).

В результате проведенных опытов обнаружена специфика влияния СПМП на частоте шумановских волн на три штамма *P. Penicillium*. На основании полученных данных можно предположить, что СПМП действует на клеточную мембрану, в результате чего происходят различные изменения в метаболической активности и делении клеток исследуемых микроорганизмов. Итак, СПМП оказывает положительное действие на активность каталазы и рост биомассы штаммов *P. piceum* CNMN FD 21 и *P. verrucosum* CNMN FD 19 и ингибирующее действие на активность каталазы штамма *P. funiculosum* CNMN FD 11. Кроме того, замечено повышение антифунгальной активности штаммов *P. funiculosum* CNMN FD 11 и *P. piceum* CNMN FD 21: рост фитопатогенных грибов задерживается сильнее. Нами было установлено также, что СПМП по-разному повлияло на штаммы рода *Penicillium* в зависи-

мости от времени действия и вида микроорганизма. Мы полагаем, что эти эффекты обусловлены индивидуальными биофизическими характеристиками видов пенициллов.

В целом можно отметить, что слабое переменное магнитное поле в диапазоне 1–10 Гц способно увеличивать эффективность биосинтеза биологически активных веществ микроскопических грибов рода *Penicillium*, определяющих их рост, ферментную и антимикробную активность.

Многими авторами доказано, что на взаимодействие между магнитными полями и живыми организмами влияет множество параметров, таких как магнитная интенсивность, время экспозиции и тип магнитного поля, а их влияние всегда приводит к разнонаправленному изменению биологической активности и роста живого организма.

Результаты исследований биологического влияния магнитных полей противоречивы и не дают ясных ответов относительно их влияния на функционирование клеток.

Эффект магнитных полей (МП), наблюдаемый с рекомбинацией радикальных пар, является одним из хорошо известных механизмов взаимодействия МП с биологическими системами. Взаимодействие статических магнитных полей (СМП) с живыми организмами может увеличить активность, концентрацию и время жизни парамагнитных свободных радикалов, которые могут

вызвать окислительный стресс и, как следствие, повредить ионные каналы, что приводит к изменениям в морфологии клеток и экспрессии различных генов и белков, а также изменениям в апоптозе и пролиферации. Воздействие только СМП не оказывает влияния или чрезвычайно мало влияет на рост клеток и генетическую токсичность, независимо от объемной плотности энергии магнитного поля, однако в сочетании с другими внешними факторами, такими как ионизирующее излучение и некоторые химические вещества, модифицирует их эффекты [18]. Ewa Kurzeja с соавторами, исследуя воздействия статического магнитного поля на антиоксидантную систему фибробластов крыс, продемонстрировала, что умеренные СМП модифицируют окислительно-восстановительный гомеостаз фибробластов, подвергнутых воздействию ионов фтора. СМП уменьшают окислительный стресс, вызванный ионами фторида, и нормализуют активность антиоксидантных ферментов, включая супероксиддисмутазу (SOD), глутатионпероксидазу (GPx) и каталазу (CAT) [30]. Wang и соавторы выявили, что с помощью магнитного поля с интенсивностью 10–35 мТ можно регулировать антиоксидантную систему защиты *Clorela vulgaris* [31].

Из литературы известно, что разнонаправленное изменение скорости роста различных микроорганизмов отмечалось при действии различных типов магнитного поля. Так, Karol Fijałkowski с соавторами, исследуя влияние вращающегося магнитного поля (ВМП) (магнитная индукция ВМП $B = 25\text{--}34$ мТл, частота ВМП $f = 5\text{--}50$ Гц, время экспозиции $t = 60$ мин, температура инкубации 37°C) на рост, метаболическую активность клеток и образование биопленки *S. aureus*, *E. coli*, *A. baumannii*, *P. aeruginosa*, *S. marcescens*, *S. mutans*, *C. sakazakii*, *K. oxytoca* и *S. xylosum*, показал, что ВМП стимулирует исследованные параметры *S. aureus*, *E. coli*, *S. marcescens*, *S. mutans*, *C. sakazakii*, *K. oxytoca* и *S. xylosum*, однако ингибирует клеточную метаболическую активность и образование биопленки *A. baumannii* и *P. aeruginosa*. ВМП, в зависимости от его магнитной индукции и частоты, может модулировать функциональные параметры различных видов [32]. Вращающееся магнитное поле с индукцией 30 мТл и частотой 50 Гц вызывает увеличение роста и клеточной метаболической активности *E. coli* и *S. aureus*, особенно в интервале времени от 30 до 150 мин. После экспозиции в ВМП оптическая плотность и метаболическая активность клеток были значительно выше в культурах *S. aureus*. Это может указывать на то, что эффект зависит от формы

облученных клеток [33]. При воздействии СМП 5 и 2 мТл на *B. cereus* штамм стал чувствительным к антибиотикам, экспоненциальная фаза микроорганизма увеличивалась, а активность α -амилазы уменьшалась до 1,5 мТ [9]. Воздействии СМП до 173 мТл на бактерию *Rhodospirillum rubrum* VKM B-1621 приводит к снижению активности амилазы, а импульсных МП 25 мТл – может регулировать бактериальную активность и, следовательно, может быть использовано в биотехнологии [4].

Е.Ю. Быстрова и соавторы установили, что постоянное магнитное поле (ПМП) с индукцией 8 мТл оказывает влияние на скорость роста грибов *Ulocladium consortiale* и *Neurospora crassa*, в то время как экранированное геомагнитное поле величиной 2 мкТл влияет на процессы спороношения колоний и морфологию клеток у исследуемых культур. Данный факт позволяет выдвинуть предположение о существовании разных механизмов, лежащих в основе рассматриваемых магнитобиологических эффектов, а также может считаться подтверждением идеи о том, что в различных диапазонах МП действуют свои принципы магнитной рецепции биообъектами [34].

Для ряда биологических объектов существуют экспериментальные подтверждения гипотезы, что эффекты слабых магнитных полей на рост, деление и морфогенез микроорганизмов, по крайней мере частично, опосредованы кальциевой сигнализацией [35]. На биосинтез активных веществ микроорганизмов по-разному влияют полюса магнитного поля [36, 37]. Также установлено, что полученные эффекты после действия МП обусловлены индивидуальными биофизическими характеристиками микроорганизмов [38].

Согласно результатам многочисленных исследований, известных из литературы, СПМП может увеличивать выход мутантов, уменьшать или вызывать разнонаправленные изменения в живом объекте.

Поскольку нами было использовано СПМП с шумановскими частотами, можно предположить, что оно действовало в резонансе с ритмом жизнедеятельности микроорганизмов, чем и обуславливается их как стимуляционное, так и ингибирующее влияние на биохимическую и ростовую активность объектов.

ВЫВОДЫ

Таким образом, проведенные исследования показали, что СПМП способствует повышению активности каталазы штаммов *P. piceum* CNMN FD 21 и *P. verrucosum* CNMN FD 19 на 23 и 13%,

росту биомассы соответственно на 4 и 10% при экспозиции поля 40 мин и ингибирующему действию на активность каталазы штамма *P. funiculosum* CNMN FD 11. Кроме того, замечено повышение антифунгальной активности штамма *P. funiculosum* CNMN FD на 10% при экспозиции 20 и 40 мин, а при экспозиции поля 40 и 60 мин – повышение на 10% активности штамма *P. riseum* CNMN FD 21 и снижение на 10% активности штамма *P. verrucosum* CNMN FD 19.

ЛИТЕРАТУРА

1. Пронин Е.А., Шуб Г.М. *Бюллетень медицинских Интернет-конференций*. 2012, **2**(6), 375–379.
2. Zablotskii V., Polyakova T., Lunov O. and Dejneka A. *Sci Rep*. 2016, **6**, Article number 37407; doi: 10.1038/srep37407.
3. Binhi V.N., Prato F.S. *PLoS ONE*. 2017, **12**(6), e0179340. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0179340>.
4. Khokhlova G. and Vainshtein M. *AMB Express*. 2017, **7**, 60. doi: 10.1186/s13568-017-0362-9.
5. Ece Bayir, Eyüp Bilgi, Aylin Şendimir-Ürkmez, Esin Hameş-Kocabaş. *Electromagn Biol Med*. 2015, **34**(1), 14–18. <http://dx.doi.org/10.3109/15368378.2013.853671>.
6. Haval Younis, Yacoob Aldosky et al. *J Phys Conf Ser*. 2012, **407** Article number 012020. doi: 10.1088/1742-6596/407/1/012020.
7. Morteza Haghi, Yigit Terzi, Salar Hassanzadeh, Zaka Abbaszade et al. *J Adv Res Sci Eng Technol*. 2017, **4**(7), 4160–4166.
8. Eljmalı S.R., Alshikhi S.I., Abed Alkreem N.M., Hamouda S.A. *Moldova University Bulletin*. 2017, **27**(1), 108–122. doi: 10.15507/0236-2910.027.201701.108-122.
9. Liboff Abraham R. *Electromag Biol Med*. 2014, **33**(3), 241–245. doi: 10.3109/15368378.2013.809579.
10. Răcuciu Mihaela. *Romanian J Biophysical*. 2011, **1**(21), 53–62.
11. Maffei M.E. *Front Plant Sci*. 2014, **5**, article # 445445. doi: 10.3389/fpls.2014.00445.
12. Павлович С.А. *Магниточувствительность и магнитовосприимчивость микроорганизмов*. Минск: Вышэйшая школа, 1981. 172 с.
13. Letuta U.G., Berdinskiy V.L. *Bioelectromagnetics*. 2017, **8**(38), 581–663. doi: 10.1002/bem.22073.
14. Kuzmina V.V., Ushakova N.V., Krylov V.V. *Biology Bulletin*. 2015, **42**(1), 61–66. doi: 10.7868/S0002332915010087.
15. Belova N.A., Daniel Acosta-Avalos D. *J Biophys*. 2015, Article ID 423838; 8 pages; doi: 10.1155/2015/423838.
16. Chervyakov A.V., Chernyavsky A.Y., Sinityn D.O. and Piradov M.A. *Front Hum Neurosci*. 2015, Jun 16, **9**, 303. doi: 10.3389/fnhum.2015.00303. eCollection 2015.
17. Brkovic Snezana, Postic Srdjan and Ilic Dragan. *J Appl Oral Sci*. 2015, **23**(2), 179–186. doi: 10.1590/1678-775720140243.
18. Soumaya Ghodbane, Aida Lahbib, Mohsen Sakly, and Hafedh Abdelmelek. *BioMed Res Int*. Volume 2013, Article ID 602987, 12 pages; <http://dx.doi.org/10.1155/2013/602987>.
19. Sirisha K., Syganya B., Sivasubramanian V. et.al. *JABB*. 2017, **3**(5), 409–413. doi: 10.15406/jabb.2017.03.0007800078.
20. Laura Otero, Antonio C. Rodríguez, Miriam Pérez-Mateos, Pedro D. Sanz. *Compr Rev Food Sci Food Saf*. 2016, **15**(3), 646–667. doi: 10.1111/1541-4337.12202.
21. Matwiczuk A., Kornarzyński K., Pietruszewski S. *Int Agrophys*. 2012, **26**(4), 271–278. doi: 10.2478/v10247-012-0039-1.
22. Sudsiri C.J., Nattawat J., Kongchana P. and Ritchie R.J. *Seed Sci & Technol*. 2016, **44**, 1–14.
23. Bañobre-López M., Rodrigues D., Espiña B., Azeredo J., Rivas J. *IEEE Transactions on Magnetics*, 2013, **49**(7), 3508–3511. doi: 10.1109/TMAG.2013.2247384.
24. Schumann W.O. *NuovoCimento*. 1952, **9**(12), 1116–1138.
25. Осовец С.М., Гинзбург Д.А., Гурфинкель В.С. и др. *Успехи физических наук*. 1983, **141**(1), 103–150.
26. Maslobrod S.N., Mirgorod Yu. A., Lupashku G.A. et. al. *FMBE Proceedings. The 3rd International Conference on Nanotechnologies and Biomedical Engineering*, Chisinau, Moldova, 2015, **55**, 275–279. doi: 10.1007/978-981-287-736-9_67.
27. Sirbu T., Birița C. *Buletinul AŞM. Ştiinţele vieţii*. 2014, (2), 151–157.
28. *Методы экспериментальной микологии*. Справочник. Под ред. В. Билай. Киев: Наукова думка, 1982. 550 с.
29. Егоров Н.С. *Основы учения об антибиотиках*. М.: Наука, 2004, 528 с.
30. Kurzeja E., Synowiec-Wojtarowicz A., Stec M., Glinka M. et al. *Int J Mol Sci*. 2013, **14**(7), 15017–15028. doi: 10.3390/ijms140715017.
31. Wang H-Y, Zeng X-B, Guo S-Y, Li Z-T. *Bioelectromagnetics*, 2008, **29**, 39–46. doi: 10.1002/bem.20360.
32. Fijałkowski K., Nawrotek P., Struk M. et al. *J Electromag Biol Med*. 2015, **34**(1), 48–55. <http://dx.doi.org/10.3109/15368378.2013.869754>.
33. Nawrotek P., Fijałkowski K., Struk M., Kordas M. et al. *J Electromag Biol Med*. 2014, **33**(1), 29–34. doi: 10.3109/15368378.2013.783848.
34. Быстрова Е.Ю., Богомолова Е.В., Гаврилов Ю.М., Панина Л.К. и др. *Микология и фитопатология*. 2009, **43**(5), 438–446.

35. Pazur A., Rassadina V. *BMC Plant Biology*. 2009, **9**, 47. doi: 10.1186/1471-2229-9-47.
36. Aiman M. Ahmad, Abdul Ghani I. Yahya and Abdul Wahid Sh. Jabir. *J of Al-Nahrain University*, 2013, **16**(2), 180–187.
37. Pierce C.J., Mumper E., Brown E.E. et al. *Phys Rev E*. 2017, **95**, 062612. <https://doi.org/10.1103/PhysRevE.95.062612>.
38. Lucas W.E. Tessaro, Nirosha J. Murugan, Michael A. Persinger. *Microbiol Res*. 2015, **172**, 26–33. <https://doi.org/10.1016/j.micres.2014.12.008>.

Поступила 03.10.17

После доработки 13.06.18

Summary

A specific effect of a weak alternating magnetic field (WAMF) with a frequency of 1–10 Hz, an intensity of 40–50 μT and an exposure of 20, 40 and 60 min on 3 strains of fungi of the genus *Penicillium* (*P. funicullosum* CNMN FD 11, *P. piceum* CNMN FD 21, *P. verrucosum*

CNMN FD 19) was revealed, with the 3 strains exhibiting distinctly antimicrobial activity towards phytopathogens. WAMF has a positive effect on the catalase activity and biomass growth of *P. piceum* CNMN FD 21 and *P. verrucosum* CNMN FD 19 strains and an inhibitory effect on the catalase activity of strain *P. funicullosum* CNMN FD 11. An increase in the antifungal activity of strains *P. funicullosum* CNMN FD 11 and *P. piceum* CNMN FD 21 is observed, that is, the growth of pathogenic fungi is retarded significantly. Therefore, WAMF in the range 1–10 Hz improves the biosynthesis efficiency of biologically active substances of fungi of the genus *Penicillium*, determining their growth, enzymatic and antimicrobial activity. The result can be explained by the fact that the WAMF used has parameters of the so-called Schumann frequencies, which are vital for synchronizing the biological rhythms of living objects, including microorganisms.

Keywords: micromycetes, phytopatogenic fungi, weak magnetic field, antifungal activity, activity of catalase.