

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
НАУЧНЫЙ СОВЕТ ПО ФИЗИКЕ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОЙ ПЛАЗМЫ РАН
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЯДЕРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ «МИФИ»

СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ ДИАГНОСТИКИ ПЛАЗМЫ И ИХ ПРИМЕНЕНИЕ

СБОРНИК ТЕЗИСОВ ДОКЛАДОВ XIV КОНФЕРЕНЦИИ

**МОСКВА, НИЯУ МИФИ
10–12 ДЕКАБРЯ 2024 г.**

МОСКВА 2024

ББК 22.333Я5

УДК 533.9 (06)

С 56

Современные методы диагностики плазмы и их применение: сборник тезисов докладов XIV конференции. Москва, 10–12 декабря 2024 г. [Электронный ресурс]. М.: НИЯУ МИФИ, 2024. – 184 с.

Сборник содержит материалы, представленные в виде устных и стендовых докладов на XIV конференции «Современные методы диагностики плазмы и их применение». Поскольку конференция нацелена на обмен опытом в области современных достижений в диагностике как высокотемпературной, так и низкотемпературной плазмы, с акцентом на привлечение к участию в ней студентов, молодых специалистов и ученых, тематика сборника достаточно широка. Она охватывает вопросы диагностики плазмы в лазерно-плазменных и термоядерных установках, а также аспекты диагностики импульсных и стационарных газовых разрядов в исследовательском и технологическом оборудовании.

Редакционная коллегия: А.П. Кузнецов, А.С. Савёлов, Ю.М. Гаспарян, А.В. Казиев

Тезисы издаются в авторской редакции.

Тезисы получены до 24.11.2024.

ISBN 978-5-7262-3114-3

© Национальный исследовательский
ядерный университет «МИФИ», 2024

ОСОБЕННОСТИ ВОЗДЕЙСТВИЯ ГАЗОРАЗРЯДНОЙ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОЙ ПЛАЗМЫ АТМОСФЕРНОГО ДАВЛЕНИЯ НА ГРАМОТРИЦАТЕЛЬНЫЕ И ГРАМПОЛОЖИТЕЛЬНЫЕ БАКТЕРИИ

Г. Н. Абрашитов¹, Д. М. Манченко¹, М. Р. Леонтьева², В. Г. Якунин³,
В. П. Савинов³, В. Ю. Тимошенко³

*¹Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова,
биологический факультет, кафедра физиологии человека и животных*

*²Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова,
биологический факультет, кафедра микробиологии*

*³Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, физический
факультет*

Поток газоразрядной низкотемпературной плазмы атмосферного давления, часто называемой холодной атмосферной плазмой (ХАП), представляет собой уникальный инструмент для решения актуальных задач биомедицины [1,2]. Несмотря на то, что в качестве плазмообразующих газов обычно используются инертные гелий и аргон, струя ХАП вызывает появление большого числа радикалов и возбужденных состояний молекул, среди которых главную роль играют активные формы кислорода и азота (АФКА), а также включает в себя электроны и световое излучение в широкой области спектра [2]. Генерируемые плазменной струей АФКА вступают в реакцию с мембраной клеток, попадают во внутриклеточное пространство и могут приводить к повреждению ДНК, перекисному окислению липидов, денатурации белка и нарушению клеточного метаболизма, что и индуцирует «окислительный стресс» у клеток и бактерий [3].

Ранее нами была продемонстрирована эффективность компактных источников ХАП для генерации широкого спектра АФКА, которые можно использовать для создания контролируемого окислительного стресса в модельных одноклеточных организмах [4,5]. Целью настоящей работы было выяснение особенностей воздействия холодной газоразрядной плазмы атмосферного давления на грамотрицательные и грамположительные бактерии.

Использовали чистые культуры грамотрицательных (*Escherichia coli*) и грамположительных (*Bacillus megaterium*) бактерий, которые высевались методом глубокого посева в питательную среду бульон-сусло-агар (БСА) и культивировались в термостате при температуре 28°C в течение 24 часов. Площадь просветления (гибели микроорганизмов) после облучения была рассчитана с помощью программы ImageJ (Фиджи) [6]. Воздействие ХАП осуществлялось с помощью компактного генератора холодной плазмы (плазмотрона), использующего низкочастотный (30 кГц) газовый разряд с плазмообразующим газом гелием со скоростью потока 3 л/мин при полной потребляемой мощности установки порядка 10 Вт (см. детали в работе [5]). Воздействие ХАП на бактерии проводилось в течение 5 и 10 минут.

В процессе плазменной обработки бактерий анализировался спектр свечения струи ХАП, который содержал как линии эмиссии возбужденных состояний атомов гелия, так и возбужденных молекул O_2 и N_2 , радикалов NO и OH (рис. 1).

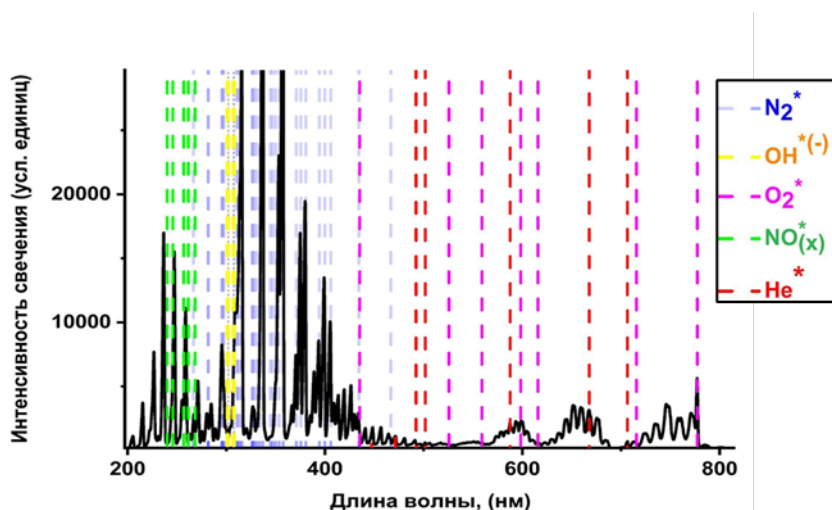


Рис. 1 Спектр свечения низкотемпературной гелиевой плазмы атмосферного давления. Вертикальные пунктирные линии указывают полосы свечения радикалов и возбужденных молекул.

Анализ внешнего вида колоний, а также общей морфологии методом световой микроскопии позволил выявить снижение численности живых клеток, потерю нормальной структуры колоний и иссушение среды. В случае острого воздействия плазмы, изображения прокариотических организмов, полученные с

помощью СЭМ, помогли выявить многочисленные морфологические изменения в ультраструктуре покровов микроорганизмов. К их числу относятся перфорации клеточной мембраны, отслоение клеточной стенки, потеря палочковидной бактериальной формы, утечка внутриклеточного содержимого. При изучении эффекта холодной плазмы на глубинные посевы наших культур, мы выявили серьезные отличия в чувствительности грамположительных и грамотрицательных бактерий к обработке плазмой. Через 3 и 24 часа после эксперимента зона подавления бактериального роста у грамотрицательных бактерий была намного больше, чем таковая у грамположительных (рис. 2). При анализе эффекта ХАП на глубинные посевы бактериальных культур было отмечено, что со временем данный эффект усиливался для всех типов бактерий (рис. 2). Это может быть объяснено динамической генерацией и амплификацией реактивных частиц, возникающих из источника плазмы, но впоследствии модифицируемых за счет взаимодействия с биологическим веществом (т.е. мембранными липидами, полисахаридами или белками) [2]. Соответственно, может происходить окисление и разрушение питательных веществ, присутствующих в среде, а это приводит к ингибированию дальнейшего роста культур в чашках.

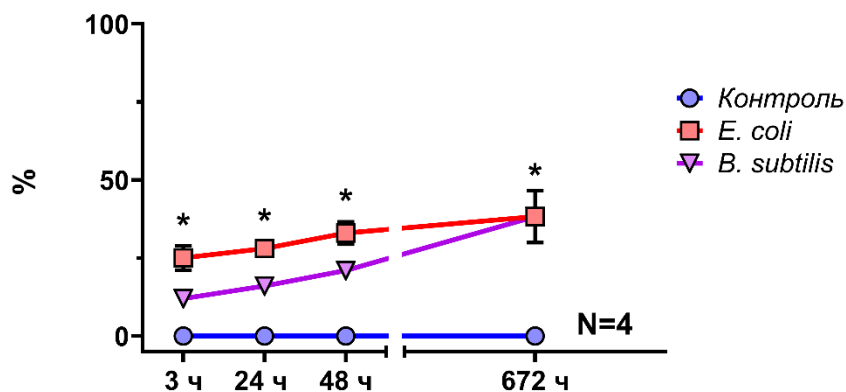


Рис. 2 Изменение площади зоны подавления роста в исследуемых образцах двух видов бактерий с течением времени. Звездочки указывают значимые отличия каждой из групп микроорганизмов по сравнению с контролем.

В результате проведенного исследования было установлено, что при определенных параметрах плазменной обработки можно добиться значимого эффекта селективной эрадикации микроорганизмов. Это происходит в результате модификации среды, в которой обитают данные организмы, свободными

радикалами, активно образующимися в потоке ХАП. Воздействие холодной плазмы на прокариотические организмы проявляется в разрушении клеточных покровов и подавлении их роста. Также было показано, что грамположительные и грамотрицательные бактерии имеют разную устойчивость к плазменному воздействию, что, по-видимому, не связано напрямую со строением их клеточных покровов. Предполагается, что данный эффект обусловлен различной чувствительностью к количеству и набору питательных веществ в обработанной плазме среде, что указывает на перспективность использования воздействия ХАП для направленной модификации биологических сред.

Литература:

1. Brany D., Dvorska D., Halašova E., Škovierova H. Cold Atmospheric Plasma: A Powerful Tool for Modern Medicine. *Int. J. Mol. Sci.*, 21, 2932 (2020).
2. Kazemi A., Nicol McK. J., Bilén S.G., Kirimanjeswara G.S., Knecht S.D. Cold Atmospheric Plasma Medicine: Applications, Challenges, and Opportunities for Predictive Control. *Plasma*, 7, 233–257 (2024).
3. Fernández A., Thompson A. The inactivation of Salmonella by cold atmospheric plasma treatment. *Food Research International*, 45, 678-684 (2012).
4. Gruzdev G.A., Karpukhina O.V., Yakunin V.G., Inozemtsev A.N., Savinov V.P., Timoshenko V.Yu., Kamensky A.A. Effect of Low-Temperature Atmospheric Pressure Plasma on Paramecium caudatum Cell Culture. *Moscow University Biological Sciences Bulletin* 76 (4), 244-248 (2021).
5. Abrashitov G.N., Gruzdev G.A., Yakunin V.G., Savinov V.P., Karpukhina O.V., Timoshenko V.Yu. Effect of Cold Atmospheric Pressure Gas-Discharge Plasma on Cellular Model of Paramecium caudatum in the Study of Antioxidant Properties of Mexidol. *Physics of Atomic Nuclei*, 86 (12), 2719-2723 (2023).
6. Schindelin J. et al. Fiji: an open-source platform for biological-image analysis. *Nature methods*, 9, 676-682 (2012).
7. Traylor M. J. et al. Long-term antibacterial efficacy of air plasma-activated water. *Journal of Physics D: Applied Physics*, 2011, 44, 472001.