

ВЛИЯНИЕ МЯГКОЙ ХОЛОДНОЙ ПЛАЗМЫ НА РОСТОВЫЕ ПРОЦЕССЫ И СОДЕРЖАНИЕ АКТИВНЫХ ФОРМ КИСЛОРОДА В КОРНЯХ ВЫСШИХ РАСТЕНИЙ

И. В. Змитрович, М. А. Красовский

*Белорусский государственный университет, пр. Независимости, 4,
220030, г. Минск, Беларусь, samokhina@bsu.by
Научный руководитель — В. В. Самохина*

В работе было показано, что обработка холодной плазмой вызывает накопление АФК в кончиках корней и ингибирует рост *Arabidopsis thaliana*. Добавление антиоксидантов снижает токсическое действие плазмы. Наиболее эффективно себя показали тиомочевина и СОД, следовательно, повреждающее действие плазмы в первую очередь связано с синтезом гидроксильных и супероксиданионных радикалов.

Ключевые слова: холодная плазма; медь; рост; активные формы кислорода; дигидроэтидиум; арабидопсис.

Плазма – это полностью или частично ионизированная газовая смесь, состоящая из фотонов, электронов, положительных и отрицательных ионов, нейтральных частиц и свободных радикалов [1]. Плазму можно разделить на две группы в зависимости от метода генерации: холодную и высокотемпературную. Холодная плазма (ХП) образуется в условиях электрического разряда, когда к электродам подводится напряжение частотой от 50 Гц до нескольких килогерц амплитудой 2–4 кВ [2]. Не нагревая обрабатываемый объект, плазма воздействует на объекты посредством реакционно активных частиц: активных форм кислорода (АФК: гидроксильного радикала HO^\bullet , озона, пероксида водорода H_2O_2 и др.), окислов азота, фотонов ультрафиолетового излучения [3]. Эти факторы, содержащиеся в холодной плазме, обуславливают ее практическое применение. Цель данной работы – изучить влияние холодной плазмы атмосферного давления на ростовые показатели высших растений, а также возникновение окислительного стресса при воздействии холодной плазмы на различные зоны корневой системы растений.

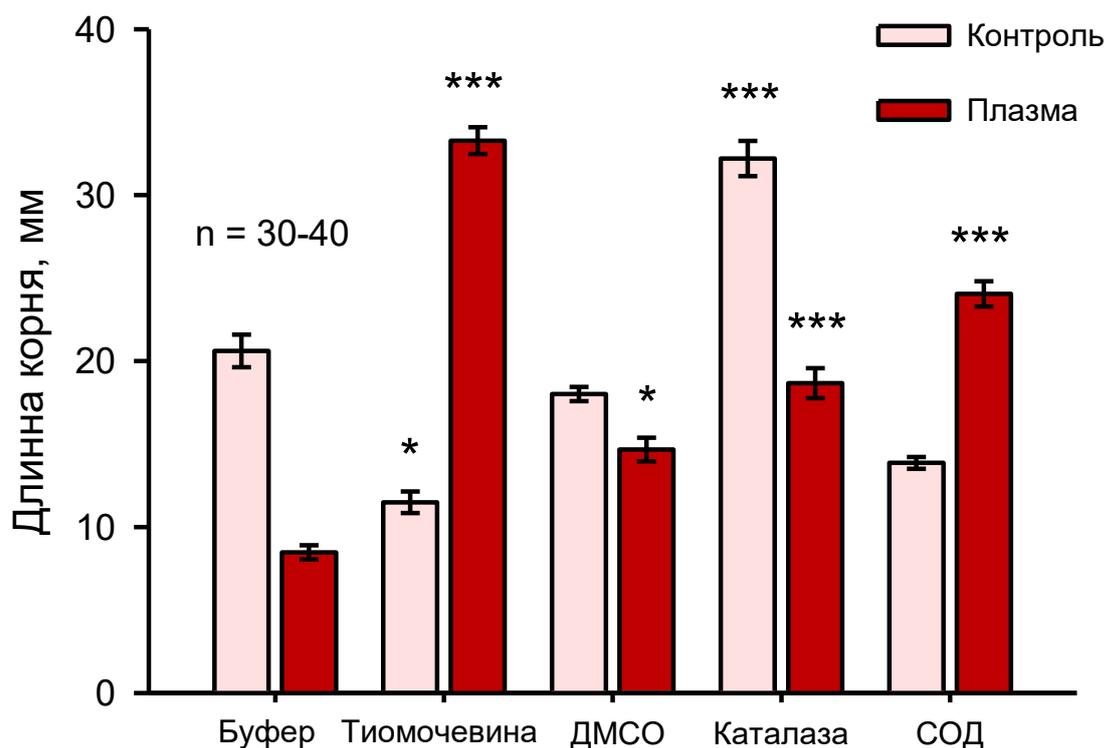
В качестве объекта исследования использовались проростки *Arabidopsis thaliana* (L.) Heynh. Были проведены ростовые тесты в стерильной культуре, а также проанализирована генерация АФК в клетках корней при обработке холодной плазмой. Плазма генерировалась при общей потребляемой мощности 75 Вт, расходе газа (Ar) 142 л/ч. Расстояние от торца разрядной системы до объекта 20-25 мм. Время обработки составляло 3 секунды. Также эффект плазмы был сравнен с действием

других абиотических факторов, в частности воздействием редокс-активных металлов.

На первом этапе было показано, что воздействие мягкой холодной плазмы на проростки арабидопсиса достоверно уменьшало прирост длины корней на 55% (рисунок). Добавление антиоксидантов: 0,3% диметилсульфоксид (ДМСО), 1 ммоль/л тиомочевина, 1000 ед. каталазы, 600 ед. супероксиддисмутаза (СОД) – оказывало протекторное действие. В случае введения тиомочевины и СОД совместно с обработкой плазмой скорость роста корней восстанавливалась до контрольного уровня. Поскольку наиболее эффективными антиоксидантами являлись тиомочевина и супероксиддисмутаза, можно говорить о том, что основными АФК, которые действуют на корневую систему при обработке плазмой на основе аргона являются гидроксильный радикал (HO^\bullet) и супероксид анион (O_2^-).

Анализ генерации АФК в корнях арабидопсиса в ответ на плазму проводилось с использованием флуоресцентного красителя дигидроэтидиум, который в первую очередь показывает накопление супероксид-анионных радикалов. Обработка плазмой в течение 3 секунд вызывала увеличение флуоресценции ДГЭ в зоне деления корня на 40% по сравнению с контролем, что свидетельствует о сильной степени генерации АФК. Зона всасывания не была чувствительной к плазме. Добавление антиоксидантов снижало уровень флуоресценции ДГЭ в зоне деления корня до уровня контроля, уменьшая токсическое действие плазмы на рост корней. Как и в случае ростовых тестов, наиболее эффективными протектантами были тиомочевина и СОД.

Далее эффекты плазмы были сопоставлены с эффектами действия редокс-активных тяжелых металлов, а именно хлорида меди. Для этого были проведены ростовые тесты с использованием техники замены среды. Металл вводился на 5 сут выращивания, после чего культивирование продолжалось еще в течение 5 сут. Было показано, что добавление хлорида меди в концентрации свыше 0,01 мМ достоверно ингибировало рост корней арабидопсиса. У дикого типа арабидопсиса добавление 0,01 и 0,03 ммоль/л CuCl_2 снижало прирост длины главного корня на 15%, 0,1 ммоль/л CuCl_2 – на 60%, 0,3 ммоль/л CuCl_2 – на 75%, 1 ммоль/л CuCl_2 – на 95%. Вероятно, данный ингибирующий эффект связан с тем, что ионы меди могут катализировать производство гидроксильных радикалов и других АФК. Что делает механизм его действия схожим с действием плазмы. Таким образом, обработка плазмой соответствовала токсическому действию 0,1 ммоль/л CuCl_2 .



Изменение длины корня арабидопсиса при воздействии мягкой холодной плазмы и добавлении антиоксидантов (1 ммоль/л тиомочевина, 0,3% ДМСО, 1000 ед. каталаза и 600 ед. СОД).

Примечание. Достоверность различий рассчитывалась при помощи ANOVA теста по отношению к буферу: *, ** и *** означают $p < 0,01$, $p < 0,001$ и $p < 0,0001$ соответственно

Работа была выполнена в рамках задания «Закономерности воздействия холодной плазмы на процессы клеточной сигнализации у высших растений» Государственной программы научных исследований на 2021 – 2025 годы «Конвергенция-2025» подпрограммы «Микромир, плазма и Вселенная».

Библиографические ссылки

1. Cold Atmospheric Plasma Parameters Investigation for Efficient Drug Delivery in HeLa Cells / V. Vijayarangan [et al.] // IEEE Transactions on Nuclear Science. 2017. Vol. 2. P. 109–115.
2. Pinson J. & Thiry D. Surface Modification of Polymers. WILEY-VCH, 2020.
3. Improving functional properties of zein film via compositing with chitosan and cold plasma treatment / G. Chen [et al.] // Industrial Crops and Products. 2019. Vol. 129. P. 318–326.