

ВЛИЯНИЕ ДИОДНОГО УЛЬТРАФИОЛЕТОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА РОСТ И НАКОПЛЕНИЕ АФК В КЛЕТКАХ КОРНЯ *ARABIDOPSIS THALIANA*

А. А. Толкач¹⁾, Е. Ч. Микша²⁾

¹⁾Белорусский государственный университет, пр. Независимости, 4,
220030, г. Минск, Беларусь, tolkachanna02@gmail.com

Научный руководитель — В. С. Мацкевич

²⁾Белорусский государственный университет, пр. Независимости, 4,
220030, г. Минск, Беларусь

Научный руководитель — В. В. Самохина

В статье представлены данные о том, как ультрафиолетовое излучение (УФ-С) влияет на рост корня при облучении семян и проростков модельного растения *Arabidopsis thaliana*. Также было показано накопление активных форм кислорода (АФК) в клетках корня в ответ на УФ-С и проанализирован эффект добавления антиоксидантов.

Ключевые слова: УФ-С; рост; активные формы кислорода; окислительный стресс; антиоксиданты; арабидопсис.

В современном мире, где устойчивое сельское хозяйство играет ключевую роль, технологии светодиодного освещения набирают все большие обороты, предлагая инновационные подходы к повышению урожайности и качества растительных культур. Одним из таких подходов является использование ультрафиолетового света, который предлагает уникальные возможности для оптимизации роста растений и улучшения их устойчивости к внешним стрессовым факторам. Целью настоящей работы являлось изучение влияния УФ-С на рост и накопление активных форм кислорода (АФК) в клетках корня *Arabidopsis thaliana* L. Heynh.

На первом этапе были проведены ростовые тесты. Сначала воздействию ультрафиолета (УФ-С) подвергались 5-дневные проростки арабидопсиса, выращенные в стерильной вертикальной культуре. После облучения их культивирование продолжалось в тех же условиях еще в течение 5 сут, когда регистрировался прирост корня (рис. 1).

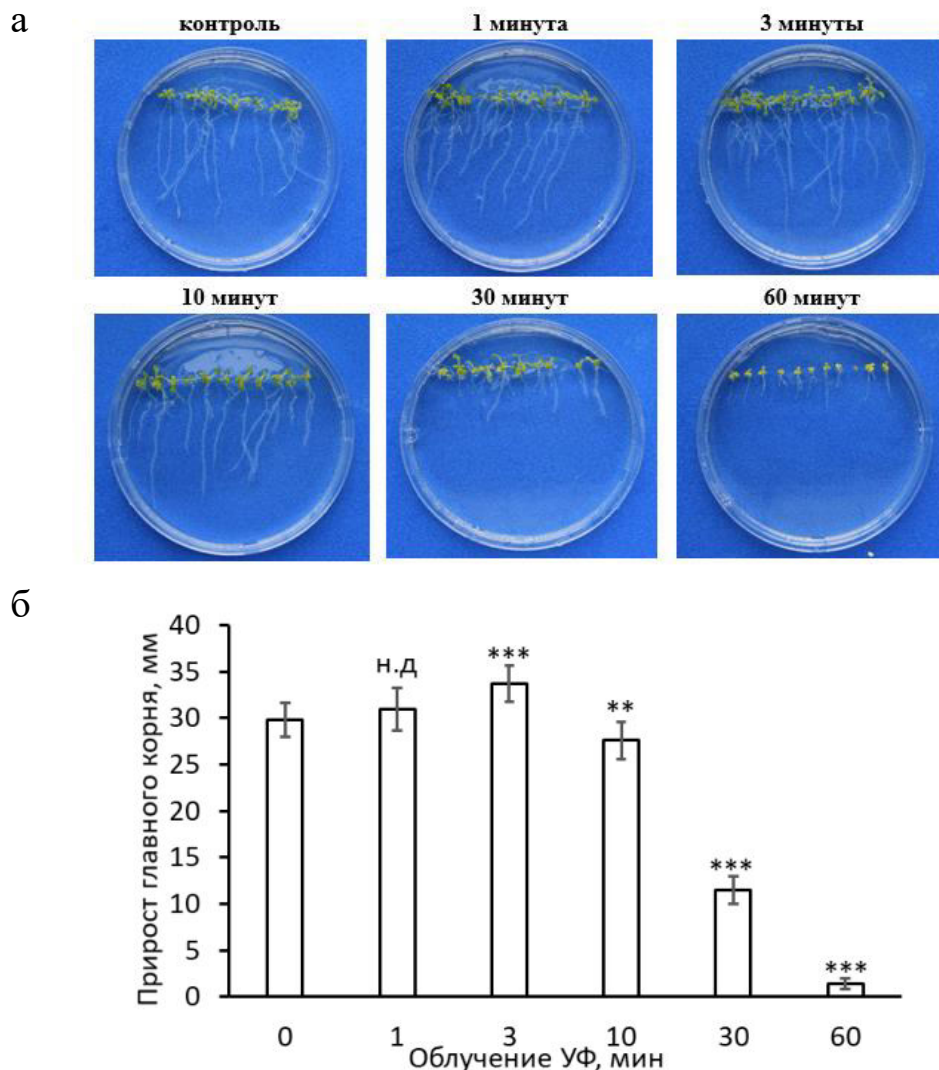


Рис. 1. Модификация роста *A. thaliana* дикого типа при обработке проростков УФ:
 а – фотографии 10-дневных проростков арабидопсиса; б – прирост длины основного корня

Примечание. Для расчета достоверности различий между группами производился анализ ANOVA-теста, где *** $p < 0,001$; ** $p < 0,01$; * $p < 0,05$ н.д. $> 0,05$ ($n=30$).

Как видно из графика, обработка УФ в течение 3 мин вызывала увеличение прироста длины корня у растений дикого типа (WT) на 13% по сравнению с контролем. Дальнейшее облучение УФ ингибировало рост корней: при 10 мин – в 1,07 раз, при 30 мин – в 2,6 раза, при 60 мин рост растений полностью останавливался. Следует отметить, что линия *gork1-1*, лишенная K^+ -канала GORK, была менее чувствительной к УФ. Замена Цис-151 на Сер в АФК-чувствительном центре данного канала также делала растения более устойчивыми к обработке УФ в диапазоне времени 1-10 мин по сравнению с WT. Важность АФК-сигнализации была

протестирована впоследствии при помощи флуоресцентной микроскопии (рис.2).

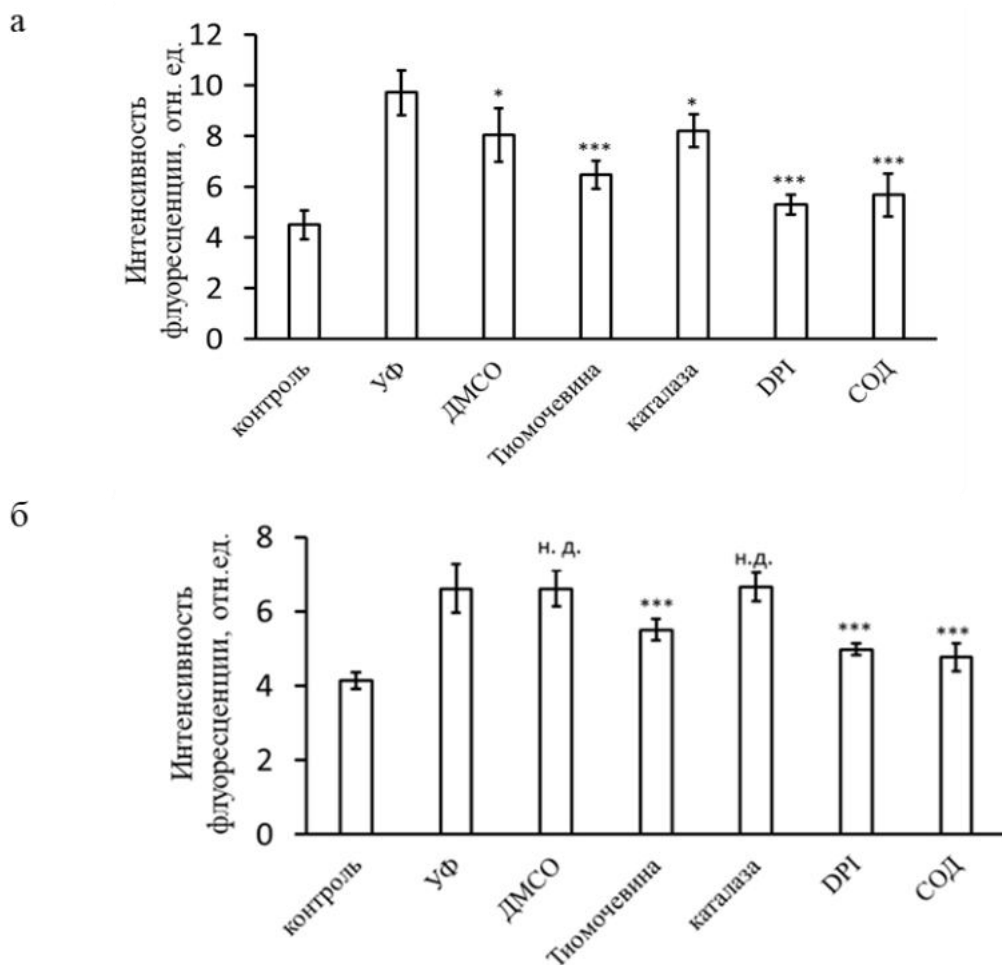


Рис. 2. Воздействие УФ-С и антиоксидантов на изменение интенсивности флуоресценции ДГЭ

а – в клетках корня арабидопсиса в зоне деления; *б* – в зоне всасывания

Примечания. Представлены средние ($\pm Sx$, $n=10-30$) интенсивности флуоресценции ДГЭ ($\lambda_{ex}=480$ нм, $\lambda_{em}=586$ нм). Для расчета достоверности различий между опытными и контрольными группами производился анализ ANOVA-теста, где *** $p<0,001$; ** $p<0,01$; * $p<0,05$; н.д. $>0,05$

В случае облучения семян УФ в течение 1-60 мин наблюдался стимулирующий эффект на рост *A. thaliana*. Наибольший прирост длины корня был при 1 мин (увеличение на 27% по сравнению с контролем). Дальше ростостимулирующий эффект немного снижался, однако, даже при обработке 60 мин длина корня была в 1,14 раза больше контроля.

На следующем этапе при помощи флуоресцентного зонда дигидроэтидиум (ДГЭ) нами был проанализирован эффект УФ на накопление АФК в клетках корней арабидопсиса. Интенсивности флуоресценции ДГЭ после обработки корней УФ-С в течение 60 мин возрастала в кончиках корней в 2,15 раза, в зрелой зоне корня – в 1,6 раз по сравнению с контролем (рис. 2). Следовательно, активно делящиеся клетки демонстрируют большую чувствительность к данному стресс-фактору.

Также было протестировано влияние добавления ряда антиоксидантов на накопление АФК в ответ на обработку УФ-С, тестируемые вещества накапывали на корни непосредственно перед облучением, к контрольной группе приливали буферный раствор. В кончиках корня интенсивность флуоресценции после обработки УФ в растворе буфера возрастала в 2,15 раза, ДМСО – в 1,78 раза, каталазы – в 1,82 раза (рис. 2, а). В зрелой зоне корня наблюдались схожие эффекты, однако интенсивности свечения зонда были меньше: после обработки УФ-С в растворе буфера в 1,6 раза по сравнению с контролем. Наиболее эффективными антиоксидантами также выступали тиомочевина, СОД и DPI (рис. 2, б).

В результате полученных данных, можно сделать вывод, что в клетках корня *Arabidopsis thaliana* в ответ на воздействие УФ-С в первую очередь генерируются высокоактивные АФК (супероксиданионный радикал и гидроксильный радикал) и в меньшей степени перекись водорода. Уменьшение накопления АФК при добавлении ингибитора НАДФН-оксидаз говорит о вовлечении данных ферментов в индукцию окислительного стресса в ответ на УФ-С. Вероятно НАДФН-оксидазы активируются на ранних этапах обработки УФ-излучением и катализируют синтез экзогенных гидроксильных радикалов, таким образом увеличивая уровень АФК и, соответственно, усиливая повреждающий эффект УФ.