

ВЛИЯНИЕ ПЕПТИДНОГО ЭЛИСИТОРА АТРЕР1 НА МОРФОФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ РАСТЕНИЙ САЛАТА В УСЛОВИЯХ ОКИСЛИТЕЛЬНОГО СТРЕССА

В.Д. Гвоздь, Г.Г. Филиппова

Белорусский государственный университет, Минск, gvozdveronika2004@mail.ru

Растительные организмы постоянно находятся под влиянием разнообразных факторов среды: биотических, абиотических и антропогенных. В связи с особенностями строения они не способны уйти от неблагоприятных воздействий и поэтому им приходится совершенствовать свою иммунную систему. В отличие от животных, у которых имеется целостная иммунная система, у растений каждая отдельная клетка способна принять сигнал от стрессора и далее индуцировать собственный иммунный ответ.

Для передачи сигнала другим клеткам, растения способны синтезировать ряд веществ, которые индуцируют защитные реакции. К группе таких соединений относятся элиситоры – разнообразные по химическому строению соединения, способные связываться с рецепторами на поверхности клеток и запускать иммунный ответ внутри клетки. При этом независимо от того были ли элиситоры синтезированы в самом растении (эндогенные элиситоры) или попали в растительный организм извне (экзогенные элиситоры) они в обоих случаях приведут к схожим ответным реакциям [1].

Нами было исследовано влияние пептидного элиситора AtPer1 на устойчивость растений к абиотическому стрессу. В качестве стрессового фактора использовался раствор, генерирующий гидроксильный радикал (CuCl_2 , аскорбиновая кислота, H_2O_2 в концентрациях 10^{-3} М). Стоит отметить, что даже в условиях отсутствия стресса в растениях всегда содержится некоторое количество АФК, которые выполняют роль сигнальных молекул. Кроме этого есть данные, что в малых концентрациях АФК принимают участие в процессах пролиферации и дифференцировки клеток [3].

Использованный в работе элиситор относится к группе эндогенных пептидных элиситоров. Он состоит из 28 аминокислотных остатков и синтезируется из С-конца белка предшественника PROPER1 [1]. В литературе отмечается, что под действием AtPer уже через 10 минут происходит увеличение содержания АФК в изолированных корнях арабидопсиса в 3–4 раза в сравнении с контролем, схожие результаты наблюдаются при действии fgl22, гораздо меньшее влияние на исследуемый параметр оказывает хитин [2].

В качестве объектов исследования были выбраны латук посевной (*Lactuca sativa* L.) и эрука посевная, или рукола (*Eruca sativa* Mill.). Растения выращивались в лабораторных условиях в термостате при 24°C и искусственном освещении в течение 4 недель. Фотопериод составлял 16 ч – свет, 8 ч – темнота. Интенсивность освещения составляла $205 \text{ мкмоль/м}^2/\text{с}$ кванта света, в люксах освещенность была около 14700 лк. В процентном соотношении диапазон длин волн был следующим: 18% 400–499 нм, 46% 500–599 нм, 32% 600–699 нм и 4% 700–800 нм. В литературе отмечается, что при выращивании латука при температуре 23°C , благоприятная интенсивность света с преобладанием волн длиной в 440 и 650 нм составляет от 360 до 600 $\text{мкмоль/м}^2/\text{с}$ [4]. Оптимальными условиями для руколы являются температура $25^\circ\text{C} \pm 2^\circ\text{C}$, влажность $70\% \pm 10\%$ и интенсивность освещения $220\text{--}300 \text{ мкмоль/м}^2/\text{с}$ с максимумами волн в 460 и 660 нм [5].

В качестве субстрата использовалась смесь почвогрунта универсального, почвы на основе торфа, перлита, вермикулита и биогумуса в соотношении 5:5:1:1:2 соответственно. После посадки семян осуществлялась обработка фитоспорином.

На второй неделе выращивания проводился полив проростков половинным раствором Кнопа, содержащего $MgSO_4$, KH_2PO_4 , KCl , $FeCl_3$ и $Ca(NO_3)_2 \cdot 4H_2O$.

Часть 3-недельных проростков обрабатывали AtPep1 в концентрации 10^{-6} М, а часть – 10^{-7} М (контроль – без обработки). После чего через 24 часа осуществлялся полив проростков стрессующим раствором.

На рисунке 1 представлены результаты влияния элиситора на массу надземной части 4-недельных растений латука. В условиях окислительного стресса сухая масса снизилась на 14,9%, в том время как её значение для растений, подвергшихся предварительной обработке элиситором, оказались соизмеримы со значением сухой массы контрольной группы. При этом разницы при использовании элиситора в разных концентрациях не было обнаружено.

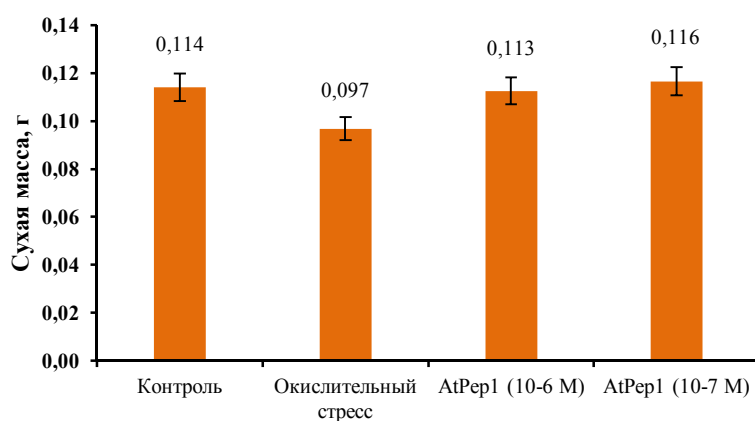


Рисунок 1. – Влияние пептидного элиситора AtPep1 на морфометрические показатели растений латука, подвергнутых окислительному стрессу

В условиях стрессового воздействия гидроксилгенерирующей смеси значение сухой массы 4-недельных растений руколы уменьшились на 28,9% в сравнение с контролем. В свою очередь при обработке AtPep1 как в концентрации 10^{-6} М и 10^{-7} М сухая масса проростков оказалась меньше контроля только на 15,7%. То есть предстрессовая обработка пептидом привела к снижению негативного влияния окислительного стресса на надземную массу растения. Полученные результаты позволяют заключить, что эндогенный пептидный элиситор AtPep1 в концентрациях 10^{-6} М и 10^{-7} М оказывает защитное действие на проростки как латука, так и руколы в условиях окислительного стресса.

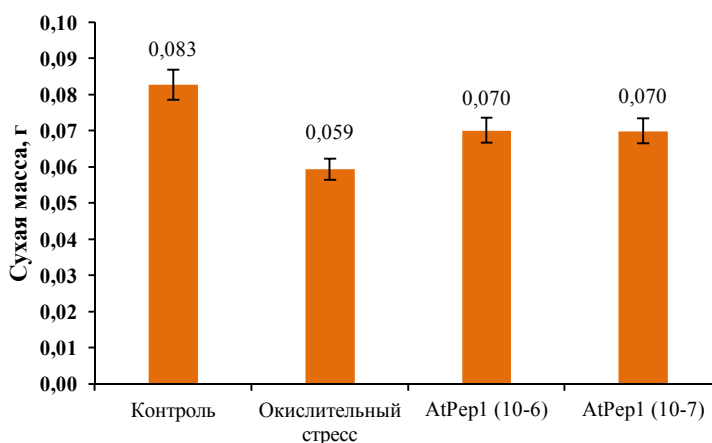


Рисунок 2. – Влияние пептидного элиситора AtPep1 на морфометрические показатели растений руколы, подвергнутых окислительному стрессу

Для определения защитной роли элиситора на процессы фотосинтеза был проведен анализ содержания фотосинтетических пигментов. На рисунке 3 представлены концентрации пигментов в листьях растений латука. Анализ полученных результатов показал, что стрессовое воздействие не оказало негативного влияния на уровень пигментов, а наоборот привело к увеличению хлорофилла *a* на 20%, хлорофилла *b* – на 69%, каротиноидов – на 18% по сравнению с контролем. AtPep1 в концентрации 10^{-6} М привёл к увеличению хлорофилла *b* на 30,5%, в отличие от значений хлорофилла *a* и каротиноидов, которые практически не изменились в сравнении с контрольными значениями. При использовании пептида в концентрации 10^{-7} М произошло увеличение хлорофилла *b* на 60%, уменьшение хлорофилла *a* на 5,8%, а количество каротиноидов оказалось соизмеримо со значениями контрольных проростков.

Из полученных результатов видно, что в случае с обработанными, так и необработанными пептидом проростками в условиях окислительного стресса произошло увеличение содержания хлорофилла *b*, что может быть связано с адаптационными перестройками фотосинтетического аппарата латука.

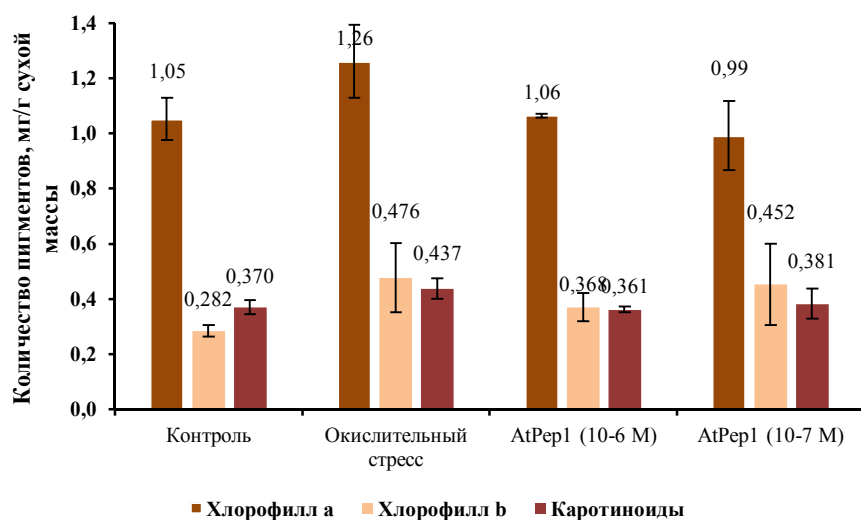


Рисунок 3. – Влияние пептидного элиситора AtPep1 на количество фотосинтетических пигментов в листьях растений латука, подвергнутых окислительному стрессу

Результаты по влиянию окислительного стресса на уровень фотосинтетических пигментов в растениях руколы представлены на рисунке 4. Можно отметить, что в условиях стресса произошло снижение количества всех пигментов: хлорофилла *a* на 14,8%, хлорофилла *b* – на 16,8%, каротиноидов – на 12% в сравнение с контролем. В случае с растениями, обработанными элиситором в концентрации 10^{-6} М, количество хлорофилла *a* уменьшилось на 11,2%, хлорофилла *b* – на 10,9%, каротиноидов на 7,7%. То есть можно сказать, что AtPep1 в концентрации 10^{-6} М оказывает защитное действие на фотосинтетический аппарат руколы. При обработке растений элиситором в концентрации 10^{-7} М уровень всех пигментов оказался выше, чем в контрольной группе. Так, количество хлорофилла *a* увеличилось на 17,5%, хлорофилла *b* на 14,5% и каротиноидов на 21%. Полученные результаты доказывают защитное влияние AtPep1 в концентрации 10^{-7} М на растения руколы, подвергнутые окислительному стрессу.

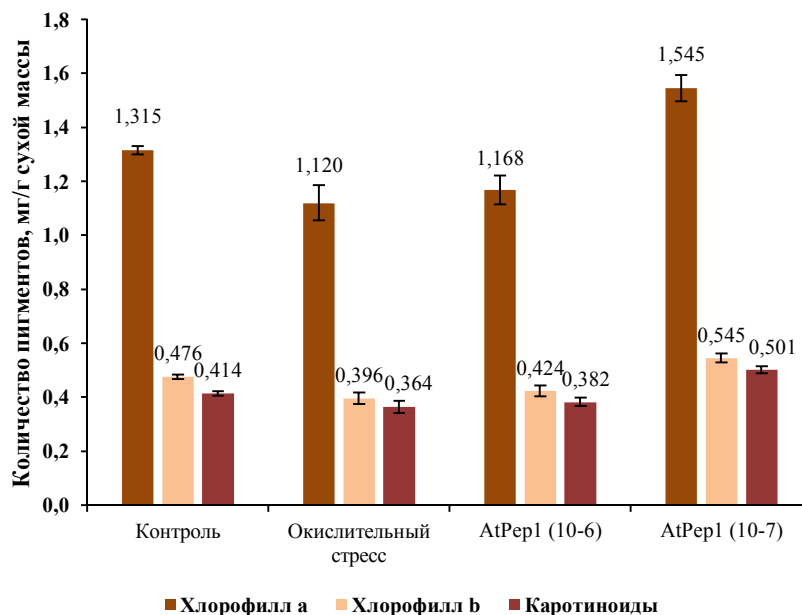


Рисунок 4. – Влияние пептидного элиситора AtPep1 на количество фотосинтетических пигментов в листьях растений руколы, подвергнутых окислительному стрессу

Полученные в ходе исследования данные позволяют заключить, что предварительная обработка растений руколы и латука эндогенным пептидным элиситором AtPep1 оказывает элиситорный эффект и позволяет минимизировать негативное влияние окислительного стресса на данные растения. Поскольку окислительный стресс развивается под действием самых разнообразных стрессовых факторов, можно предположить, что обработка растений пептидом будет способствовать повышению неспецифической устойчивости как к абиотическим, так и к биотическим неблагоприятным воздействиям и позволит повысить продуктивность данных культур.

Список использованных источников

1. Huffaker, A. An endogenous peptide signal in *Arabidopsis* activates components of the innate immune response / A. Huffaker, G. Rearce, C.A. Ryan // PNAS USA. – 2006. – Vol. 103. – P. 10098–10103.
2. In roots of *Arabidopsis thaliana*, the damage-associated molecular pattern AtPep1 is a stronger elicitor of immune signalling than flg22 or the chitin heptamer / L. Poncini [et al.] // PLOS one. – 2017. – Vol. 12, n. 10. – P. 1–21.
3. Mechanisms of ROS regulation of plant development and stress responses / H. Huang [et al.] // Frontiers in Plant Science. – 2019. – Vol. 10. – P. 1–10.
4. Effects of light intensity and temperature on the photosynthesis characteristics and yield of lettuce / Z. Jing, P. Li, J. Wang // Horticulture. – 2022. – Vol. 8, n. 2. – P. 1–11.
5. Photosynthetic performance of rocket (*Eruca sativa* Mill.) grown under different regimes of light intensity, quality, and photoperiod / N.A. Elmaryd [et al.] // PLOS one. – 2021. – Vol. 16, n. 9. – P. 1–19.