

НАКОПЛЕНИЕ АНТОЦИАНОВ В КОРНЯХ ПШЕНИЦЫ ПОД ДЕЙСТВИЕМ 5-АМИНОЛЕВУЛИНОВОЙ КИСЛОТЫ

С.М. Савина, Е.В. Емельянова, Ю.В. Прищепчик, Н.Г. Аверина

ГНУ «Институт биофизики и клеточной инженерии НАН Беларуси», Минск,
svetlanapavluchkova@yandex.ru

Введение. Флавоноиды, в том числе антоцианы, играют важную роль в регуляции роста и развития растений, в защите растений от патогенов и неблагоприятных факторов окружающей среды [1]. Так, в работе [2] была показана корреляция между холодоустойчивостью растений пшеницы и окраской, содержащих антоцианы колеоптилей. А в работе [3] отмечено, что накопление антоцианов в корнях усиливает защиту растений от вредителей и болезней. В настоящее время ведется активный поиск природных индукторов накопления антоцианов в сельскохозяйственных культурах. Имеются сведения, что в качестве таких индукторов могут выступать жасмонаты, этилен, хитозан и др. [4]. 5-аминолевулиновая кислота (АЛК) – важнейший предшественник в системе биосинтеза циклических и линейных тетрапирролов, экологически безопасный природный регулятор роста растений и антистрессор [5, 6], а также высокоэффективный индуктор накопления антоцианов. АЛК усиливает обусловленную антоцианами окраску плодов, улучшает не только товарный вид, но и вкусовые качества яблок, персиков, груш, китайской сливы [7]. В работах [8, 9] показана индукция накопления антоцианов с помощью АЛК в семядольных листьях озимого рапса.

Целью нашей работы являлось изучение влияния АЛК на накопление антоцианов в листьях, колеоптилях и корнях растений озимой пшеницы (*Triticum aestivum* L.).

Материалы и методы. Объектом исследования служили листья, колеоптили и корни 10-дневных проростков озимой пшеницы (*Triticum aestivum* L.) сорта Мера, характеризующегося красной окраской семени и колеоптиля. Семена пшеницы проращивали в течение 2-х суток в дистиллированной воде в чашках Петри при $+25\pm 2^\circ\text{C}$. Пророщенные семена помещали в пластиковые емкости на фильтровальную бумагу, заливали поверхность семян дистиллированной водой и выращивали растения пшеницы до 6-дневного возраста при $+25\pm 2^\circ\text{C}$ под люминесцентными лампами белого света Philips TL-D 36W/765 в режиме 14 ч света (интенсивность $160 \text{ мкмоль квантов}\cdot\text{м}^{-2}\cdot\text{с}^{-1}$) и 10 ч темноты. Далее растения с уже хорошо сформированной корневой системой помещали на растворы АЛК в концентрациях 10, 50, 100, 200 и 300 мг/л и выращивали под теми же источниками освещения при $+25\pm 2^\circ\text{C}$ еще в течение 4-х дней. При этом полив растений дистиллированной водой и растворами АЛК осуществляли ежедневно, заливая свежим раствором только поверхность семени и корни. Контролем служили 10-суточные растения, выращенные только на дистиллированной воде.

Содержание суммы антоцианов в листьях, колеоптилях и корнях определяли по методу, описанному в работе [10] с модификациями. Навеску 0,05 г растительного материала гомогенизировали в 1 мл 1% HCl. К полученному экстракту добавляли 1 мл хлороформа, перемешивали и центрифугировали 10 мин при 12000 g. Отбирали супернатант и измеряли оптическую плотность при 510 нм. Содержание антоцианов рассчитывали в мкмольях на г сырой массы (в эквиваленте цианидин-3-гликозида), используя коэффициент молярной экстинкции $26,9 \text{ M}^{-1}\cdot\text{см}^{-1}$ [4].

Морфометрические показатели (длину корней, листьев, колеоптиля) определяли с помощью линейки.

В работе приведены средние значения из 5 экспериментов и их стандартные ошибки.

Результаты и их обсуждение. Показано, что АЛК во всех исследуемых концентрациях является индуктором накопления антоцианов в корнях растений пшеницы.

Наибольшее содержание антоциановых пигментов было зафиксировано в корнях растений, выращенных на растворе АЛК в концентрации 200 мг/л, что составило 1250% по отношению к контролю (таблица). При этом в листьях и coleoptiles озимой пшеницы достоверного увеличения содержания антоцианов под действием АЛК зафиксировано не было.

Таблица – Содержание антоцианов в корнях пшеницы

| Концентрация АЛК, мг/л | Содержание антоцианов, мкмоль/г сырой массы | Содержание антоцианов, % к контролю |
|------------------------|---|-------------------------------------|
| 0 (контроль) | 8,0±0,9 | 100 |
| 10 | 30,9±3,4 | 386 |
| 50 | 59,9±27,2 | 749 |
| 100 | 66,3±6,4 | 829 |
| 200 | 100,4±34,6 | 1250 |
| 300 | 71,3±14,4 | 891 |

Механизм накопления антоцианов в корневой системе растений под действием АЛК остается неясным. Следует отметить, что во всех вариантах эксперимента корни растений находились на свету. Известно, что свет стимулирует передачу сигнала и увеличение экспрессии генов, участвующих в биосинтезе антоцианов. Под действием экзогенной АЛК на свету в работе [7] в кожуре яблок и в листьях Гинкго двулопастного отмечено повышение экспрессии генов, кодирующих ключевые ферменты системы биосинтеза антоцианов (фенилаланинаммиаклиазу, халконсинтетазу, халконфлаванонизомеразу, дигидрофлованол-4-редуктазу). С другой стороны АЛК может запускать каскад фотодинамических реакций и синтез антоцианов является защитным механизмом при избыточном освещении. Описанный эффект был хорошо виден визуально (рисунок 1).



Рисунок 1. – Внешний вид листьев, coleoptилей и корней 10-дневных растений пшеницы, выращенных на дистиллированной воде (контроль) и на растворах АЛК в концентрации 200 мг/л (АЛК)

Выращивание растений пшеницы на растворах АЛК привело к дозозависимому подавлению ростовых характеристик листьев и корней (рисунок 2). В случае использования раствора АЛК в концентрации 300 мг/л высота листьев составила $8,1 \pm 1,8$ см (71% от водного контроля), а длина главного корня – $6,7 \pm 1,6$ см (46% от контроля). При этом длина coleoptilia не изменялась при выращивании растений на растворах АЛК. Известно, что АЛК в низких концентрациях является регулятором роста растений, оказывает стимули-

рующее действие на рост и урожайность ряда сельскохозяйственных культур, однако в высоких концентрациях данная молекула может проявлять свойства фотодинамического гербицида и наоборот подавлять ростовые процессы [5], что мы и наблюдали в наших экспериментах.

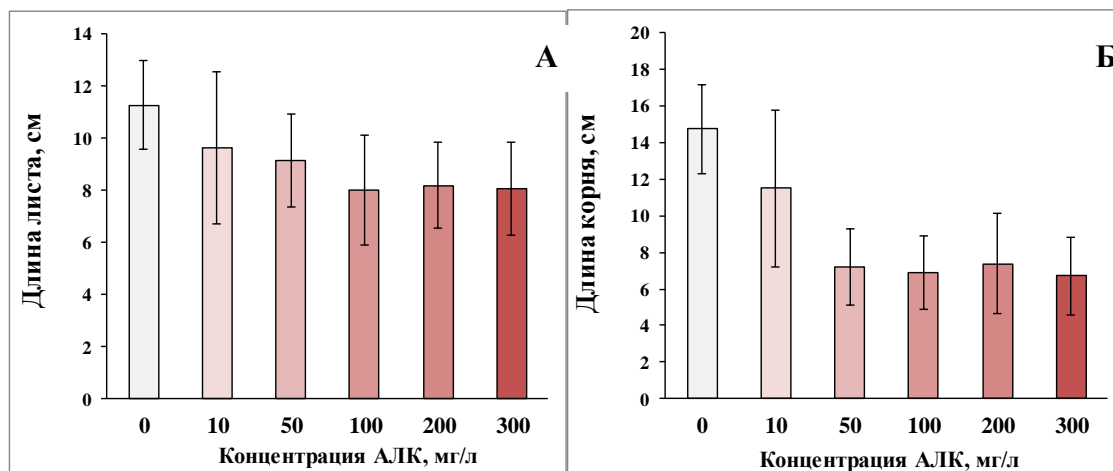


Рисунок 2. – Длина листа (А) и длина главного корня (Б) 10-дневных растений пшеницы, выращенных на дистиллированной воде и на растворах АЛК в концентрации 10, 50, 100, 200, 300 мг/л

Выводы. Полученные нами результаты свидетельствуют о том, что АЛК стимулирует накопление антоцианов в корнях 10-дневных растений озимой пшеницы. При этом содержание антоцианов возрастает с увеличением концентрации АЛК. Накопление антоцианов в корнях сопровождается дозозависимым подавлением ростовых характеристик растений. В будущем представляет значительный интерес выявить молекулярные механизмы действия АЛК на накопление корневых антоцианов и изучить роль последних в условиях различных стрессов.

Список использованных источников

1. Peer W.A., Murphy A.S. // Ed P.E. Grotewald. N.Y.: Springer. 2008. P. 239–268.
2. Schulz E., Tohge T., Zuther E., Fernie A.R., Hinchaa D.K. // Sci. Rep. 2016. V. 6. P. 34027.
3. Rao A.S. Roof flavonoids. The Botanical Review. 1990. V. 56. N 1. P. 1–84.
4. Góraj-Koniarska J., Stochmal A., Oleszek W., Mołdoch J., Saniewski M.// ACTA BIOLOGICA CRACOVIENSI. Series Botanica. 2015. V 57/1. P. 141–148,
5. Аверина Н.Г., Яронская Е.Б. Биосинтез тетрапирролов в растениях // Минск: Белорусская наука. 2012. 413 p.
6. Brzezowski P., Richter A.S., Grimm B. // Biochim. Biophys. Acta. Bioenergetics. 2015. V. 1847 (9). P. 968–985.
7. Xu F., Cheng S.Y., Zhu J., Zhang W., Wang Y. // Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca. 2011. V. 39 (1). P. 41–47.
8. Аверина Н.Г., Щербаков Р.А., Емельянова А.В., Доманская И.Н., Усатов А.В. // Физиол. раст. 2017. Т. 64. С. 1–10.
9. Емельянова А.В. // Весці НАН Беларусі. Сер. біял. навук, – 2016. – №3. – С. 66–69.
10. Xu F., Chang J., Cheng S., Zhu J., Li L.L., Wang Y., Cheng H. // African Journal of Biotechnology. 2009. V. 8, №16. P. 3769–3776.