

## ВЛИЯНИЕ МЕТИЛЖАСМОНАТА НА КОЛИЧЕСТВЕННЫЙ УРОВЕНЬ И ИММУНОРАСПРЕДЕЛЕНИЕ ФИТОГОРМОНОВ И ЛЕКТИНА ПШЕНИЦЫ ПРИ ОСМОТИЧЕСКОМ СТРЕССЕ

М.В. Безрукова, А.Р. Лубянова, Д.Р. Масленникова, А.А. Плотников, Ф.М. Шакирова

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт биохимии и генетики Уфимского научного центра Российской академии наук, Уфа, Россия, [lectin@anrb.ru](mailto:lectin@anrb.ru)

**Аннотация.** Полученные данные о содержании и иммунолокализации АБК и лектина агглютинаина зародыша пшеницы (АЗП) в тканях корней предобработанных метилжасмонатом (МеЖ) или БАП растений пшеницы, подвергнутых действию ПЭГ, свидетельствуют о влиянии этих фитогормонов на укрепление экзо- и эндодермального транспортного барьеров.

**Ключевые слова.** АБК, лектин пшеницы, метилжасмонат, цитокинин, ПЭГ

**DOI:** 10.31255/978-5-94797-319-8-123-126

В сценарии климатических изменений засуха определена как основной стресс, влияющий на урожайность сельскохозяйственных культур. Известно, что основным гормоном, который регулирует ответные реакции растений на абиотические стрессы, является АБК. Однако становится все более очевидным, что и другие растительные гормоны, в том числе салициловая кислота и жасмонат, также участвуют в повышении толерантности растений к абиотическим стрессам посредством управления физиологическими и биохимическими процессами. Пристальное внимание к жасмоновой кислоте и ее активному производному метилжасмонату (МеЖ), прежде всего, вызвано их ключевой ролью в развитии индуцированной системной устойчивости. Однако жасмонаты являются эндогенными регуляторами роста с широким спектром физиологического действия на растения в ходе онтогенеза и играют, как показывают многочисленные литературные данные, немаловажную роль в регуляции роста и развитии растительного организма, как в обычных, так и неблагоприятных условиях.

Цель работы состояла в проведении сравнительного анализа влияния 100 нМ МеЖ и синтетического аналога природного цитокинина (ЦК) зеатина 6-бензиаминопурина (БАП) в концентрации 44 нМ на количественный уровень и иммунораспределение лектина агглютинаина зародыша пшеницы (АЗП) и АБК на срезах базальной части корней пшеницы, подвергнутых засухе, моделируемой 12%-ным полиэтиленгликолем (ПЭГ). Гормональной системе отводят ключевую роль в регуляции ростовых процессов растений. Проведенный нами иммуноанализ концентрации фитогормонов в необработанных и в ходе обработки МеЖ или БАП растений в норме выявил на фоне отсутствия сдвигов в уровне ИУК и АБК стойкое двукратное накопление цитокининов в варианте с обработкой БАП и более чем полуторакратное обратимое накопление цитокининов в варианте с обработкой МеЖ с максимумом, приходящимся на 2-4 ч, за счет торможения экспрессии гена и активности цитокининоксидазы, ключевого фермента деградации цитокининов, как было выявлено ранее [Avalbaev et al., 2016]. Воздействие 12%-ного ПЭГ привело к ярко выраженному дисбалансу в гормональной системе, который обусловлен как накоплением АБК, так и значительным падением уровня цитокининов относительно контроля (рис. 1). Вслед за ПЭГ-индуцированным транзиторным накоплением АБК наблюдалось существенное увеличение уровня АЗП с максимумом, приходящимся на третий час обезвоживания, после чего содержание лектина в корнях постепенно снижалось за счет его экскреции в

наружную среду (рис. 2а). Следует подчеркнуть, что максимумы в гормональной индукции экспрессии гена АЗП предшествуют по времени максимумам накопления лектина в корнях пшеницы. Следовательно, существенный вклад в увеличение содержания АЗП под влиянием фитогормонов вносит новообразование этого белка. Вместе с тем, нами были получены сведения об участии в регуляции экспрессии гена АЗП и других фитогормонов на фоне отсутствия сдвигов в уровне эндогенной АБК, в частности, индолиуксусной и гибберелловой кислот [Авальбаев и др., 2001], а также 24-эпибрасинолида [Shakirova et al., 2004]. Обнаружено, что сама обработка проростков БАП или МеЖ вызвала соответственно двух- и полуторахкратное накопление АЗП в корнях в нормальных условиях произрастания. Предобработка проростков пшеницы в течение 24 ч МеЖ или БАП уменьшала индуцированный засухой дисбаланс фитогормонов. Корни предобработанных МеЖ или БАП растений, подвергнутых воздействию 12%-ного ПЭГ, характеризовались заметно меньшим уровнем стресс-индуцированного накопления АБК и, соответственно, меньшим по уровню содержанием АЗП в них (рис. 1а), а также в окружающей корня среде (рис. 2а), что демонстрирует проявление защитного действия этих фитогормонов на растения.

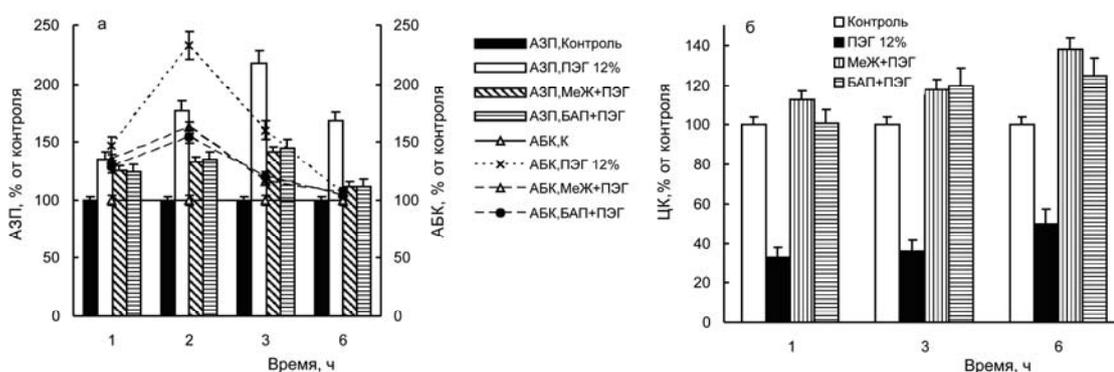


Рис. 1. Динамика изменения уровня АЗП, АБК (а) и ЦК (б) в корнях 5-суточных предобработанных МеЖ и БАП проростков пшеницы в условиях засухи, моделируемой 12%-ным ПЭГ.

Воздействие ПЭГ-индуцированной засухи оказало сильно выраженный негативный эффект на деление клеток апикальной меристемы корней необработанных гормонами проростков (рис. 2б), который проявился в двукратном падении митотического индекса (МИ) уже через 5 ч. В то же время показатели МИ апикальной

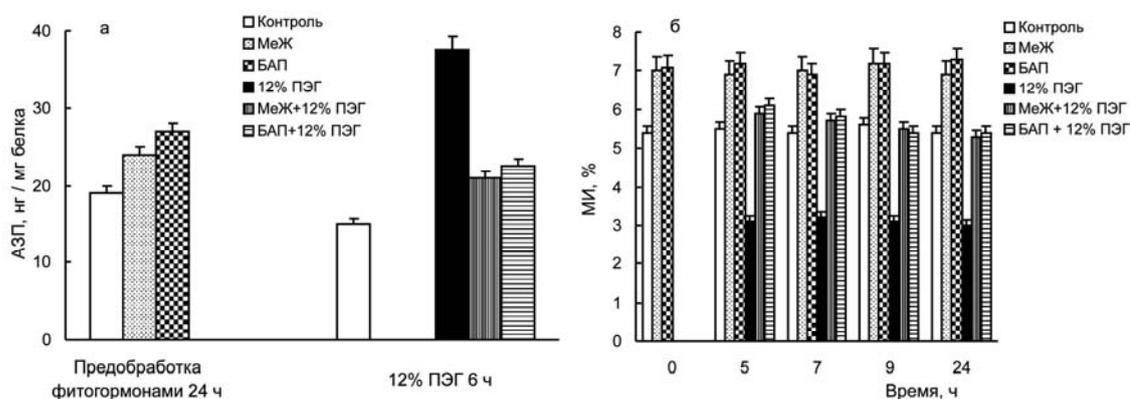
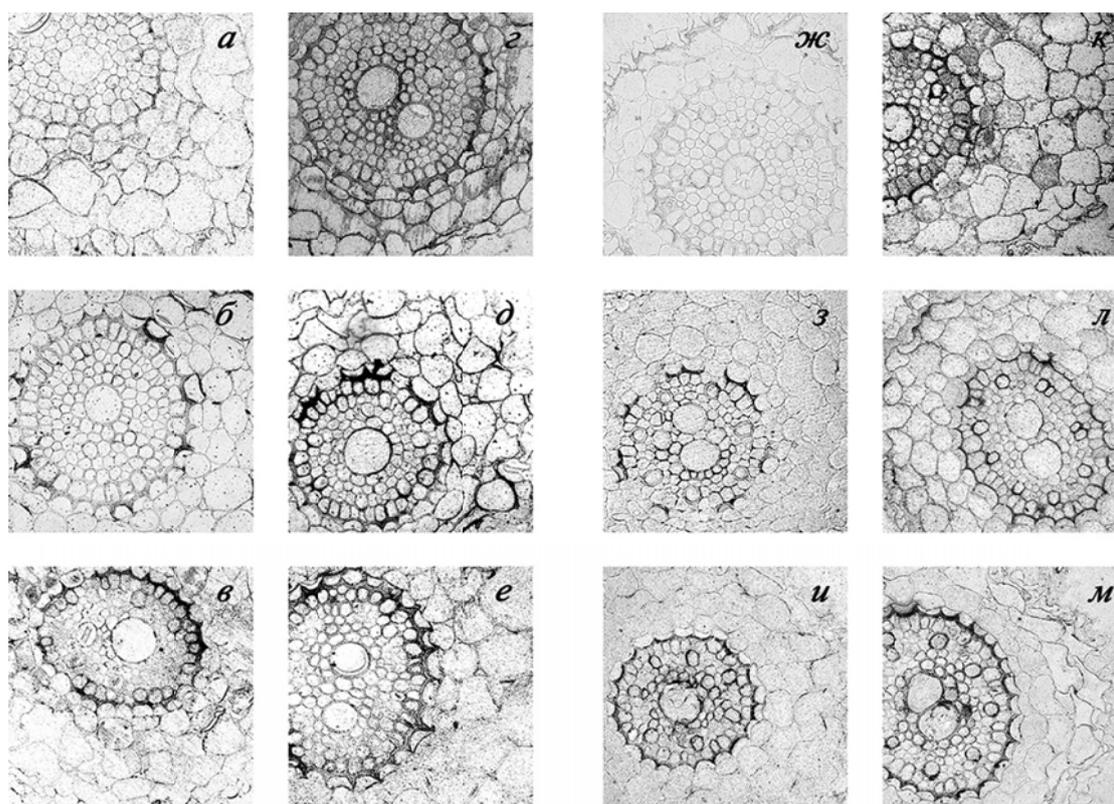


Рис. 2. Влияние предобработки фитогормонами на содержание АЗП в среде выдерживания 5-суточных проростков пшеницы (а) и МИ (б) в условиях ПЭГ-индуцированной засухи.

меристемы корней предобработанных МеЖ или БАП растений в ходе 24 ч воздействия ПЭГ поддерживались на уровне контрольных вариантов, что иллюстрирует ярко выраженный сопоставимый по уровню защитный эффект гормонов на деление клеток.

Таким образом, нами продемонстрирована сопоставимая по уровню рост-стимулирующая и антистрессовая активность МеЖ и БАП на растения, подвергнутые моделируемой ПЭГ засухе, что также свидетельствует в пользу вовлечения эндогенных цитокининов в реализацию физиологического действия МеЖ на растения пшеницы.

Проведенный далее анализ иммунораспределения АЗП и АБК на поперечных срезах базальной части предобработанных МеЖ и БАП корней выявил максимальную локализацию АБК (рис. 3б, в) в области проксимальной части эндодермы, исключая пропускные клетки, перицикла, незрелых сосудов ксилемы, а также паренхимы стели и первичной коры, наиболее заметную в варианте с БАП. Под влиянием 12% ПЭГ количественное накопление АБК сопровождалось концентрированием этого фитогормона во всех тканях базальной части корней; несколько меньшая интенсивность окрашивания выявлена в сосудистых клетках и пропускных клетках эндодермы (рис. 3г). На срезах предобработанных фитогормонами корней пшеницы при действии засухи наблюдалось снижение количественного уровня АБК, а также ее иммунолокализации (рис. 3д, е), особенно заметное в области стелярной паренхимы и пропускных клеток эндодермы. Вариант опыта МеЖ+ПЭГ окрашивался менее интенсивно.



**Рис. 3.** Иммуногистохимическая локализация АБК (а-е) и АЗП (ж-м) в корнях 5-суточных проростков пшеницы необработанных (а, г, ж, к) и предобработанных МеЖ (б, д, з, л) и БАП (в, е, и, м) в условиях моделируемой 12% ПЭГ засухи.

В отсутствие стресса наблюдалась колокализация АБК и АЗП в корнях. Характер иммуногистохимического распределения АЗП на подвергнутых воздействию ПЭГ срезах отличался интенсивным отложением красителя в области перицикла,

проксимальной части эндодермы, менее значительным в клетках первичной коры, и, в отличие от АБК, стелярной паренхимы (рис. 3к). Под влиянием предобработки фитогормонами накопление АЗП во внутренних кортикальных клетках при стрессе было ниже при сохранении концентрирования его в эндодерме и в значительных количествах в клетках первичной коры (рис. 3л, м).

Полученные данные о содержании и иммунораспределении АБК и АЗП в тканях корней предобработанных МеЖ или БАП растений пшеницы, подвергнутых действию ПЭГ, позволяют предположить их влияние на состояние экзо- и эндодермального транспортного барьеров. В пользу этого свидетельствуют данные об ослаблении локализации АБК и АЗП в клетках паренхимы и эндодермы в корнях предобработанных фитогормонами проростков при осмотическом стрессе.

*Работа выполнена в рамках госзадания (№ темы АААА-А16-116020350029-1) при частичной поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (грант № 17-04-01853\_а) с привлечением приборного парка ЦКП «Биомика» (Отделение биохимических методов исследований и нанобиотехнологии РЦКП «Агидель») и УНУ «КОДИНК».*

#### Литература

Авальбаев А.М., Безрукова М.В., Шакирова Ф.М. Множественная гормональная регуляция содержания лектина в корнях проростков пшеницы // Физиология растений. - 2001. - Т. 48. - С. 718-722.

Avalbaev A., Yuldashev R., Fedorova K., Somov K., Vysotskaya L., Allagulova S., Shakirova F. Exogenous methyl jasmonate regulates cytokinin content by modulating cytokinin oxidase activity in wheat seedlings under salinity // J. Plant Physiol. - 2016. - V. 191. - P. 101–110.

Shakirova F.M., Kildibekova A.R., Bezrukova M.V., Avalbaev A.M. Wheat germ agglutinin regulates cell division in wheat seedling roots // Plant Growth Regul. - 2004. - V. 42. - P. 175-180.

### THE INFLUENCE OF METHYLJASMONATE ON THE QUANTITATIVE LEVEL AND IMMUNOLocalIZATION OF PHYTOGORMONES AND WHEAT LECTIN UNDER OSMOTIC STRESS

M.V. Bezrukova, A.R. Lubyanova, D.R. Maslennikova, A.A. Plotnikov, F.M. Shakirova

Institute of Biochemistry and Genetics of Ufa Science Centre RAS, Ufa, Russia, [lectin@anrb.ru](mailto:lectin@anrb.ru)

**Abstract.** The obtained data on the content and immunolocalization of ABA and wheat germ agglutinin (WGA) in the root tissues of pre-treated methyl jasmonate (MeJa) or BAP of wheat plants exposed to PEG testify to the influence of these phytohormones on the strengthening of exo- and endodermal transport barriers.

**Keywords:** ABA, wheat germ agglutinin, methyl jasmonate, cytokinin, PEG