

## ФИЗИОЛОГИЧЕСКИЙ МЕХАНИЗМ ДЕЙСТВИЯ 24-ЭПИБРАССИНОЛИДА НА РАСТЕНИЯ-РЕГЕНЕРАНТЫ КАРТОФЕЛЯ СОРТА ЛУГОВСКОЙ ПРИ АДАПТАЦИИ К УСЛОВИЯМ ГИДРОПОНИКИ

И.Ф. Головацкая<sup>1</sup>, М.К. Кадырбаев<sup>1</sup>, О.Г. Бендер<sup>2</sup>, И.Н. Плюснин<sup>1</sup>, М.В. Ефимова<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский Томский государственный университет», Томск, Россия, [golovatskaya.irina@mail.ru](mailto:golovatskaya.irina@mail.ru)

<sup>2</sup>Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт мониторинга климатических и экологических систем Сибирского отделения Российской академии наук, Томск, Россия, [obender65@mail.ru](mailto:obender65@mail.ru)

**Аннотация.** Показано, что при адаптации растений-регенерантов картофеля к условиям гидропоники снижалась скорость роста побега и листьев, увеличивалось содержание флавоноидов в листьях. Корневая обработка 24-эпибрассинолидом (ЭБЛ) стимулировала рост побега и листьев, образование столонов и клубней. ЭБЛ изменил функциональное состояние листьев, увеличивая в них содержание фотосинтетических пигментов, интенсивность фотосинтеза, транспирации и перекисного окисления липидов на фоне низкого содержания флавоноидов.

**Ключевые слова:** *Solanum tuberosum*, фотосинтетические пигменты, фотосинтез, перекисное окисление липидов, флавоноиды, 24-эпибрассинолид

**DOI:** 10.31255/978-5-94797-319-8-226-228

Картофель служит незаменимым продуктом питания населения в большинстве стран мира. В связи со сложными фитопатологическими условиями на сельскохозяйственных территориях продуктивность растений картофеля падает. Создание новых сортов – длительный процесс обеспечения высокой урожайности картофеля. Наиболее быстрым способом является использование оздоровленного семенного материала, полученного биотехнологическим методом через культуру апикальных меристем.

Поскольку рост и развитие растений контролируется фитогормонами, то их использование может изменить сроки и величину урожая семян картофеля. Среди важных регуляторов роста выделяют стероидные фитогормоны, которые в ничтожно малых количествах осуществляют существенные морфогенные модификации растительного организма. Использование таких регуляторов является экологически чистым способом хозяйствования. Одним из активных представителей брассиностероидов является 24-эпибрассинолид (ЭБЛ). Показано, что он участвует в регуляции экспрессии генов, мембранного потенциала, баланса цитокининов, стимуляции синтеза белков, роста клеток, фотоморфогенеза и устойчивости растений [Efimova et al., 2017]. Недостаточно изучен физиологический механизм адаптации растений картофеля к условиям гидропоники, не показана роль ЭБЛ в этих процессах.

В связи с этим целью исследования было изучение влияния 24-эпибрассинолида на физиологические параметры растений-регенерантов картофеля сорта Луговской при адаптации к условиям гидропоники.

В качестве объекта исследований взяты растения-регенеранты *Solanum tuberosum* L. среднеспелого сорта Луговской. Растения-регенеранты картофеля получали *in vitro* из оздоровленных через культуру апикальных меристем микроклонов, которые культивировали на агаризованной питательной среде по Мурасиге-Скугу. Затем последовательно проводили 14-дневную адаптацию растений-регенерантов к жидкой питательной среде Прянишникова и обработку их корней водой (контроль) или 0,1 нМ

раствором 24-эпибрассинолида (опыт) в течение 16 ч. Корни отмывали от гормона и растения высаживали на гидропонную установку «Картофельное дерево» (КД-10). Через каждые 7 дней определяли ростовые параметры (длину главного побега, количество ярусов, количество боковых побегов, столонов и клубней). Физиологические параметры (содержание фотосинтетических пигментов и флавоноидов, интенсивность перекисного окисления липидов) измеряли в листьях средних ярусов на 42 сутки культивирования растений в гидропонике. До высадки растений на гидропонную установку определяли скорость ассимиляции углекислоты и транспирации через 4 ч после воздействия экзогенных стероидных гормонов и по истечении 20 ч после отмывания корней дистиллированной водой. Для измерения интенсивности видимого фотосинтеза и транспирации использовали портативный инфракрасный газоанализатор Li-6400 (LI-COR, Inc., Lincoln, Nebraska, USA).

В процессе культивирования растений-регенерантов картофеля в условиях гидропоники наблюдали за динамикой ростовых процессов побега. Обработанные стероидным гормоном растения не только стопроцентно приживались, но и активно росли, увеличивая размеры и массу побега. Корневая обработка 24-эпибрассинолидом привела к активации растяжения побега и увеличению количества ярусов в начальный период культивирования растений. Последующее торможение роста главного побега к 28 суткам было обусловлено активным его ветвлением. Увеличивалось на 36% количество боковых побегов и на 77% – количество столонов. Корневая обработка ЭБЛ поддерживала преимущества в ростовых процессах листьев и побега у 42-дневных растений картофеля. У обработанных гормоном растений отмечено более раннее формирование клубней. Стимулирующие эффекты ЭБЛ на рост и развитие растений-регенерантов сорта Луговской были подобны эффектам, показанным для растений-регенерантов картофеля сорта Жуковский ранний на более поздних этапах гидропонного культивирования [Головацкая и др., 2018a].

Активация ростовых процессов стероидным гормоном могла быть связана с их участием в углеводном обмене. Известно, что они контролируют выгрузку сахара [Xu et al., 2015]. Это может являться решающим этапом в переносе углеводов на большие расстояния к местам интенсивного роста. Отток сахаров также может увеличивать интенсивность фотосинтеза. Показано, что дефицит брассиностероидов нарушает накопление крахмала, активность цикла трикарбоновых кислот, клеточное растяжение и накопление биомассы [Schröder et al., 2014].

Оценка функционального состояния листьев средних 3-х ярусов показала, что ЭБЛ увеличивал суммарное содержание хлорофиллов ( $a+b$ ) у опытных растений относительно контрольных. Одновременно увеличивалась интенсивность поглощения углекислоты и транспирации. При этом повышалась интенсивность перекисного окисления липидов, и снижалось содержание флавоноидов. Такая реакция на действие стероидного гормона могла свидетельствовать о повышении функциональной активности листьев, поскольку известно, что с завершением роста листа содержание флавоноидов в нем увеличивается.

Таким образом, адаптация растений-регенерантов картофеля к условиям гидропоники происходила через изменение функционального состояния листьев. При переходе на новый субстрат в растении увеличивалось содержание флавоноидов, во-первых, как механизм удаления избытка активных форм кислорода, во-вторых, как механизм повышения осмолитов для поддержания водного статуса листьев. Корневая обработка 24-эпибрассинолидом оказала положительное действие на процессы адаптации растений-регенерантов картофеля к условиям гидропоники. Стероидный гормон увеличил приживаемость растений, интенсивность ростовых процессов листьев и их функциональную активность. В листьях увеличивалось

содержание фотосинтетических пигментов, повысилась интенсивность фотосинтеза, транспирации и перекисного окисления липидов на фоне снижения уровня эндогенных флавоноидов. 24-эпибрассинолид активировал столоно- и клубнеобразование у оздоровленных растений картофеля сорта Луговской в условиях гидропоники, что свидетельствовало о повышении семенной продуктивности растений.

*Работа выполнена при финансовой поддержке проекта Российского научного фонда № 16-16-04057.*

#### Литература

Головацкая И.Ф., Бендер О.Г., Ефимова М.В., Бойко Е.В., Малофий М.К., Мурган О.К., Плюснин И.Н. Роль экзогенных стероидных фитогормонов в регуляции функционирования фотосинтетического аппарата растений // Актуальные проблемы картофелеводства: фундаментальные и прикладные аспекты: материалы Всероссийской научно-практической конференции с международным участием (Россия, Томск, 10–13 апреля 2018 года). – Томск, 2018b. – С. 103–107.

Головацкая И.Ф., Ефимова М.В., Плюснин И.Н., Бойко Е.В., Малофий М.К., Коломейчук Л.В., Видершпан А.Н., Мурган О.К., Медведева Ю.В., Дорофеев В.Ю., Лаптев Н.И., Большакова М.А., Кузнецов Вл.В., Хрипач В.А. Стероидные гормоны регулируют образование клубней у растений-регенерантов картофеля в условиях аквакультуры // Актуальные проблемы картофелеводства: фундаментальные и прикладные аспекты: материалы Всероссийской научно-практической конференции с международным участием (Россия, Томск, 10–13 апреля 2018 года). – Томск, 2018a. – С. 211–215.

Efimova M.V., Vankova R., Kusnetsov V.V., Litvinovskaya R.P., Zlobin I.E., Dobrev P., Vedenicheva N.P., Savchuk A.L., Karnachuk R.A., Kudryakova N.V., Kuznetsov V.V. Effects of 24-epibrassinolide and green light on plastid gene transcription and cytokinin content of barley leaves // *Steroids*. – 2017. – V. 120. – P. 32–40.

Schröder F., Lisso J., Obata T., Erban A., Maximova E., Giavalisco P., Kopka J., Fernie A.R., Willmitzer L., Müssig C. Consequences of induced brassinosteroid deficiency in *Arabidopsis* leaves // *BMC Plant Biology*. – 2014. – V. 14. – P. 309.

Xu F., Xi Z.-M., Zhang H., Zhang C.-J., Zhang Z.-W. Brassinosteroids are involved in controlling sugar unloading in *Vitis vinifera* «Cabernet Sauvignon» berries during véraison // *Plant Physiology and Biochemistry*. – 2015. – V. 94. – P. 197–208.

### PHYSIOLOGICAL MECHANISM OF THE 24-EPIBRASSINOLIDE ACTION ON POTATO PLANT-REGENERANTS OF LOUGOVSKY VARIETY UNDER HYDROPONIC CONDITION

I.F. Golovatskaya<sup>1</sup>, M.K. Kadyrbaev<sup>1</sup>, O.G. Bender<sup>2</sup>, I.N. Plyusnin<sup>1</sup>, M.V. Efimova<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Tomsk State University, Tomsk, Russia, [golovatskaya.irina@mail.ru](mailto:golovatskaya.irina@mail.ru)

<sup>2</sup>Institute of Monitoring of Climatic and Ecological Systems, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Tomsk, Russia, [obender65@mail.ru](mailto:obender65@mail.ru)

**Abstract.** It was shown that during the adaptation of potato plants to the hydroponics conditions, the growth rate of shoot and leaves decreased, the flavonoids content in leaves increased. Root treatment with 24-epibrassinolide (EBL) stimulated the growth of shoot and leaves, the formation of stolons and tubers. EBL changed the functional state of the leaves. It increased the content of photosynthetic pigments in them, the intensity of photosynthesis, transpiration and lipid peroxidation against a background of low flavonoids content.

**Keywords:** *Solanum tuberosum*, photosynthetic pigments, photosynthesis, lipid peroxidation, flavonoids, 24-epibrassinolide