

ВЛИЯНИЕ ФИТОГОРМОНОВ И ИХ АНАЛОГОВ НА ПРОРАСТАНИЕ СЕМЯН И МОРФОМЕТРИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ПРОРОСТКОВ ГОРОХА

Шерстнева О.Н.,¹ Сурова Л.М.,¹ Синицына Ю.В.,¹ Агеева М.Н.,¹ Середнева Я.В.,
Воденев В.А.,¹ Сухов В.С.¹

¹ФГАОУ ВО «Научный исследовательский Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского», Нижний Новгород, Россия (603950, Нижний Новгород, пр. Гагарина, 23), e-mail: sherstneva-oksana@yandex.ru

Гормональная система является одним из основных компонентов системы регуляции, обеспечивающей устойчивость растительного организма к стрессовым условиям. Фитогормоны и их синтетические аналоги активно используются в сельском хозяйстве для усиления роста и продуктивности сельскохозяйственных культур. В настоящей работе был проведён анализ влияния различных концентраций фитогормонов и их синтетических аналогов на прорастание семян и морфометрические показатели проростков гороха посевного (*Pisum sativum* L.). Обработка фитогормонами (абсцизовая кислота, эпибрасинолид) и их аналогами (пирабактин, эпин) осуществлялась на стадии замачивания семян. Анализ всхожести семян, длины побега и корня, а также сырого и сухого веса проростков показал, что зависимость различных показателей от концентраций исследованных соединений имеет разную выраженность. Вследствие этого, полученные результаты были проанализированы комплексно, что позволило определить оптимальные концентрации растворов абсцизовой кислоты, пирабактина, эпибрасинолида и эпина для предпосевной обработки семян гороха.

Ключевые слова: фитогормоны, *Pisum sativum*, абсцизовая кислота, пирабактин, эпибрасинолид, эпин

PHYTOHORMONES AND THEIR ANALOGUES INFLUENCE ON SEED GERMINATION AND MORPHOMETRIC PARAMETERS OF PEA SEEDLINGS

¹Sherstneva O.N.,¹ Surova L.M.,¹ Sinitsyna Y.V.,¹ Ageeva M.N.,¹ Seredneva Y.V.,
¹Vodeneev V.A.,¹ Sukhov V.S.

¹ Lobachevsky State University of Nizhni Novgorod, Nizhni Novgorod, Russia (603950, Nizhni Novgorod, pr. Gagarina, 23), e-mail: sherstneva-oksana@yandex.ru

Hormonal system is one of the main components of regulation system ensuring plant tolerance to stress conditions. Phytohormones and their synthetic analogues are used actively in agriculture for growth and productivity enhancement of crops. Analysis of different concentrations of phytohormones and their synthetic analogues influence on seed germination and morphometric parameters of pea seedlings (*Pisum sativum* L.) was carried out in present work. Treatment by phytohormones (abscisic acid, epibrassinolide) and their synthetic analogues (pirabaktin, epin) was performed at the stage of seeds soaking. Analysis of seed germination, shoot and root length as well as green and dry weight of seedlings has shown that dependence of different parameters on explored solution concentrations is evident differently. Consequently, obtained results were fully analysed that allow us to identify optimal solution concentrations of abscisic acid, pirabaktin, epibrassinolide and epin for pea seeds pretreatment.

Keywords: phytohormones, *Pisum sativum*, abscisic acid, pirabaktin, epibrassinolide, epin

Жизнедеятельность растительных организмов находится в непосредственной зависимости от условий окружающей среды, в адаптации к которым участвует, в частности, гормональная система регуляции. В ее основе лежит синтез и транспорт фитогормонов различной природы, которые играют ключевую роль в регуляции интегральных физиологических процессов растительных организмов, включая развитие ответных реакций на воздействие неблагоприятных факторов среды [2, 8]. Фитогормоны контролируют все этапы онтогенеза высших растений, могут модифицировать ростовые процессы и положительно влиять на устойчивость к действию неблагоприятных факторов [2, 5].

Широкий спектр действия фитогормонов открывает широкие перспективы для их использования в сельском хозяйстве. В частности, весьма перспективными является использование brassinosterоидов и абсцизовой кислоты (АБК) и их аналогов.

Браassinosterоиды, в частности, эпибраcсинолид (ЭБ), обычно относят к ростовым гормонам, так как показано, что они ускоряют элонгацию, усиливают реакцию геотропизма, способствуют дифференциации ксилемы, повышают жизнеспособность пыльцы, задерживают старение листьев у ряда растений [1, 3, 12]. Однако имеются также довольно многочисленные данные, которые показывают, что brassinosterоиды могут увеличивать устойчивость растений к повышенной и пониженной температуре [4, 9], к засухе [9], к повышенной концентрации солей [11] и другие.

АБК играет ключевую роль в развитии устойчивости растения к стресс-факторам, что проявляется в ее способности индуцировать синтез более десятка стрессовых белков с доказанными протекторными свойствами [2, 14]. Также известно, что АБК подавляет транспирацию в условиях засухи, участвует в регуляции аквапорин-связанной проводимости мембран для воды, вносит вклад в поддержание тургора в клетках и др. [2, 14,15].

В настоящее время фитогормоны и их синтетические аналоги активно исследуются и применяются в сельском хозяйстве для регуляции роста, продуктивности и устойчивости растений. Целью настоящей работы стало исследование влияния некоторых фитогормонов (АБК, ЭБ) и их синтетических аналогов (пирабактин (ПБ), эпин) на прорастание семян и морфометрические показатели проростков гороха (*Pisum sativum* L.).

Материалы и методы исследования

В работе использовались 18-24-х дневные проростки гороха посевного (*Pisum sativum* L., сорт «Альбумен»). Растения были культивированы в климатической камере Binder KBW 240 (Германия) при 24°C в условиях 16-ти часового светового дня. При этом семена предварительно проращивали в течение 4 дней в 50% среде Хогланда-Арнона. Дальнейшее выращивание также осуществлялось на 50% среде Хогланда-Арнона гидропонным способом. Семена были погружены в раствор фитогормонов или их аналогов на стадии замачивания. При использовании эпибраcсинолида (ЭБ, 24-эпибраcсиннолид, Sigma-Aldrich, США) и эпина («Эпин-экстра», ННПП «НЭСТ М», Россия) время инкубации составляло 6 часов. Для ЭБ были использованы концентрации 10^{-7} М, 10^{-6} М и 10^{-5} М [7, 10], для его аналога эпина были использованы такие дозировки, при которых содержание основного действующего вещества (ЭБ) в нем было 10^{-7} М, 10^{-6} М и 10^{-5} М. При использовании абсцизовой кислоты (АБК, Sigma-Aldrich, США) и пирабактина (ПБ, Sigma-Aldrich, США) длительность воздействия достигала 24 часов. При исследовании их влияния на всхожесть и

морфометрические показатели растения семена замачивали в 10^{-6} М, 10^{-5} М и 10^{-4} М растворах исследуемых препаратов [6, 13].

В ходе экспериментов регистрировалась всхожесть семян, а также морфометрические показатели проростков гороха, такие как длина побега, длина корня (определенная как максимальная длина), сырой и сухой вес. Биологическая повторность экспериментов для морфометрических показателей составляла 15-25, для показателя всхожести семян - 50-200 ($n=500$ для контроля). На рис. 1 представлены средние значения и их стандартное отклонение.

Результаты исследования и их обсуждение

Исследование влияния обработки фитогормонами и их аналогами на всхожесть семян гороха показало недостоверное влияние АБК и ПБ на этот процесс в исследуемом диапазоне концентраций (Рис. 1). Иная картина наблюдалась при использовании ЭБ. В этом случае концентрация 10^{-5} М вызывала значительное уменьшение всхожести семян (от 68% в контроле до 30% в опыте). Более низкие концентрации не оказывали значимого влияния на всхожесть. Еще более существенным было влияние эпина, который вызывал снижение всхожести при всех исследованных концентрациях. В то же время при использовании 10^{-6} М эпина (10^{-6} М ЭБ в нем) негативный эффект был минимальным (всхожесть составляла 50 %).

Анализ морфометрических показателей показал (Табл. 1, 2), что влияние на них фитогормонов имеет сложный характер. Так, 10^{-5} М и 10^{-4} М АБК вызывали достоверное снижение сырого и сухого веса, а также уменьшения длины побега растения. Обработка семян 10^{-5} М АБК снижала также длину корня. Таким образом, негативное влияние на ростовые процессы гороха не было выявлено лишь для 10^{-6} М АБК.

Анализ влияния пирабактина показал, что 10^{-4} М ПБ негативно влияло на ростовые процессы, снижая длину стебля. При использовании 10^{-6} М также наблюдался некоторый негативный эффект, проявляющийся в снижении сырого и сухого веса. Таким образом, использование 10^{-5} М ПБ представляется наиболее обоснованным для обработки гороха.

Эпин и ЭБ оказывали негативный эффект и при концентрациях ниже, и при концентрациях выше 10^{-6} М. Так 10^{-7} М ЭБ или эпина снижали сухой вес растения, кроме того, обработка эпином в этой концентрации снижала также сырой вес растения. Более высокие концентрации эпина и ЭБ (10^{-5} М) достоверно снижали длину корня. Таким образом, концентрация равная 10^{-6} М ЭБ может быть использована для гороха.

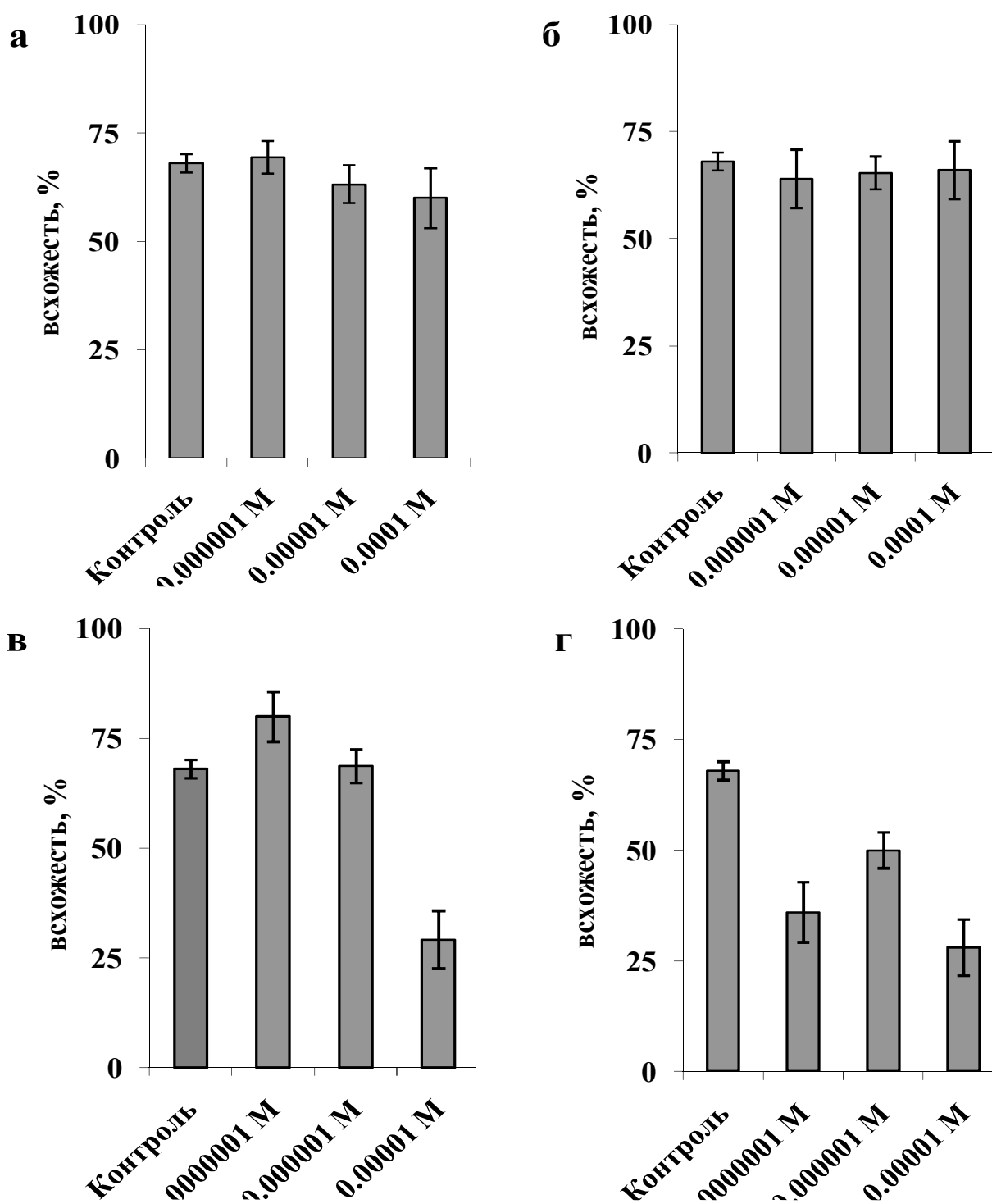


Рис. 1. Влияние обработки фитогормонами на всхожесть семян гороха

а - абсцизовая кислота, б - пирабактин, в - эпибрасиналид, д - эпин (приводится концентрация ЭБ в нём). Приведён % проросших от общего количества замоченных семян ($n = 50 - 200$ для экспериментальных растений). Контроль усреднён по всей совокупности экспериментов ($n = 500$) и приведён на каждом рисунке. Стандартная ошибка всхожести (доли проросших) рассчитана по Лакину (1968). * - $p < 0,05$ по сравнению с контролем.

| Влияние обработки семян фитогормонами на длину корня и побега у проростков гороха ($n = 15-25$) | | | |
|---|--------------------|-----------------|------------------|
| | концентрация | длина корня, см | длина побега, см |
| контроль | - | 10.0±0.4 | 20.0±0.9 |
| абсцизовая кислота | 10 ⁻⁶ М | 10.4±0.4 | 20.6±1.6 |
| | 10 ⁻⁵ М | 9.2±0.4 * | 16.5±0.8 * |
| | 10 ⁻⁴ М | 9.5±0.9 | 12.4±1.1 * |
| пирабактин | 10 ⁻⁶ М | 10.9±0.4 | 19.1±0.8 |
| | 10 ⁻⁵ М | 10.3±0.4 | 21.8±1.6 |
| | 10 ⁻⁴ М | 10.8±0.9 | 17.3±0.6 * |
| эпибрассинолид | 10 ⁻⁷ М | 10.3±0.7 | 18.8±1.1 |
| | 10 ⁻⁶ М | 9.0±0.9 | 20.9±1.0 |
| | 10 ⁻⁵ М | 7.4±1.1 * | 19.6±3.2 |
| эпин (приводится концентрация ЭБ в нем) | 10 ⁻⁷ М | 8.9±0.9 | 17.8±1.6 |
| | 10 ⁻⁶ М | 10.0±0.5 | 23.3±1.9 |
| | 10 ⁻⁵ М | 6.8±0.8 * | 20.0±1.0 |

* - $p < 0.05$ по сравнению с контролем

| Влияние обработки семян фитогормонами на сырой и сухой вес проростков гороха ($n = 15-25$) | | | |
|--|--------------------|--------------|---------------|
| | концентрация | сырой вес, г | сухой вес, г |
| контроль | - | 1.36±0.07 | 0.137±0.009 |
| абсцизовая кислота | 10 ⁻⁶ М | 1.20±0.11 | 0.117±0.013 |
| | 10 ⁻⁵ М | 0.95±0.08 * | 0.097±0.009 * |
| | 10 ⁻⁴ М | 1.00±0.06 * | 0.083±0.005 * |
| пирабактин | 10 ⁻⁶ М | 1.06±0.07 * | 0.095±0.007 * |
| | 10 ⁻⁵ М | 1.35±0.10 | 0.128±0.010 |
| | 10 ⁻⁴ М | 1.32±0.08 | 0.131±0.010 |
| эпибрассинолид | 10 ⁻⁷ М | 1.22±0.09 | 0.102±0.008 * |
| | 10 ⁻⁶ М | 1.39±0.08 | 0.145±0.010 |
| | 10 ⁻⁵ М | 1.37±0.18 | 0.136±0.017 |
| эпин (приводится концентрация ЭБ в нем) | 10 ⁻⁷ М | 1.08±0.09 * | 0.102±0.008 * |
| | 10 ⁻⁶ М | 1.47±0.14 | 0.134±0.013 |
| | 10 ⁻⁵ М | 1.11±0.19 | 0.108±0.020 |

* - $p < 0.05$ по сравнению с контролем

Заключение

Фитогормоны регулируют активность жизненно важных процессов в растении, такие как рост, морфогенез, адаптация к стрессовым условиям и др. Для улучшения показателей этих процессов в сельском хозяйстве активно используется предпосевная обработка семян фитогормонами и их синтетическими аналогами. На основе анализа всхожести семян и морфометрических показателей проростков гороха были определены оптимальные для такой обработки концентрации растворов абсцизовой кислоты, пирабактина, эпибрассинолида и эпина. Было показано, что растворы концентрацией 10⁻⁶ М абсцизовой кислоты, 10⁻⁵ М

пирабактина и 10^{-6} М эпибрасинолида (а также раствор эпина с концентрацией эпибрасинолида в нём 10^{-6} М) существенно не оказывали негативного влияния на всхожесть и ростовые процессы проростков гороха, что говорит о потенциальной возможности их использования при предпосевной обработке семян для повышения устойчивости растений в сельском хозяйстве.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (проект № 14-26-00098)

Список литературы

1. Медведев С.С. Физиология растений. – СПб: Изд-во СПбГУ, 2004. – 336 с.
2. Шакирова Ф.М. Неспецифическая устойчивость растений к стрессовым факторам и её регуляция. – Уфа: Гилем, 2001. – 160 с.
3. Clouse S. Brassinosteroid signal transduction: from receptor kinase activation to transcriptional networks regulating plant development // *The Plant Cell*. – 2011. – Vol. 23. – P. 1219 – 1230.
4. Dhaubhadel S., Chaudhary S., Dobinson K.F., Krishna P. Treatment with 24-epibrassinolide, a brassinosteroid, increases the basic thermotolerance of *Brassica napus* and tomato seedlings // *Plant Mol. Biol.* – 1999. – V. 40. – P. 333 – 342.
5. Eyidogan F., Oz M.T., Yucel M., Oktem H.A. Signal transduction of phytohormones under abiotic stress. In: *Phytohormones and Abiotic Stress Tolerance in Plants* / N.A. Khan et al. (eds.). Springer-Verlag Berlin Heidelberg. – 2012. – P. 1 – 48.
6. Ivanov A.G., Kitcheva M.I., Christov A.M., Popova L.P. Effects of abscisic acid treatment on the thermostability of the photosynthetic apparatus in barley chloroplasts // *Plant Physiol.* – 1992. – Vol. 98. – P. 1228 – 1232.
7. Janeczko A., Biesaga-Kościelniak J., Oklestkova J., Filek M., Dziurka M., Szarek-Łukaszewska G., Kościelniak J. Role of 24-Epibrassinolide in wheat production: physiological effects and uptake // *Journal of Agronomy and Crop Science*. – 2010. – Vol. 196. – P. 311 – 321.
8. Javid M.J., Sorooshzadeh A., Moradi F., Modarres Sanavy S.A.M., Allahdadi I. The role of phytohormones in alleviating salt stress in crop plants // *Australian Journal of Crop Science*. – 2011. – Vol. 5. № 6. – P. 726 – 734.
9. Kagale S., Divi U.K., Krochko J.E., Keller W.A., Krishna P. Brassinosteroid confers tolerance in *Arabidopsis thaliana* and *Brassica napus* to a range of abiotic stresses // *Planta*. – 2007. – Vol. 225. – P. 353 – 364.

10. Madhan M., Mahesh K., Rao S.S.R. Effect of 24-epibrassinolide on aluminium stress induced inhibition of seed germination and seedling growth of *Cajanus cajan* (L.) Millsp. // International Journal of Multidisciplinary and Current Research. – 2014. – Vol. 2. – P. 286 – 290.
11. Sharma I., Ching E., Saini S., Bhardwaj R., Pati P.K. Exogenous application of brassinosteroid offers tolerance to salinity by altering stress responses in rice variety Pusa Basmati-1 // Plant Physiol. Biochem. – 2013. – Vol. 69. – P. 17 – 26.
12. Vert, G., Nemhauser, J.L., Geldner, N., Hong, F., Chory, J. Molecular mechanisms of steroid hormone signaling in plants // Annu. Rev. Cell Dev. Biol. – 2005. – Vol. 21. – P. 177 – 201.
13. Wang S., Sui X., Hu L., Sun J., Wei Y., Zhang Z. Effects of exogenous abscisic acid pretreatment of cucumber (*Cucumis sativus*) seeds on seedling growth and water-stress tolerance // New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science. – 2011. – Vol. 38. № 1. – P. 7 – 18.
14. Wilkinson S., Kudoyarova G.R., Veselov D.S., Arkhipova T.N., Davies W.J. Plant hormone interactions: innovative targets for crop breeding and management // Journal of Experimental Botany. – 2012. – Vol. 63. № 9. – P. 3499 – 3509.
15. Xiong L., Schumaker K.S., Zhu J.-K. Cell signaling during cold, drought, and salt stress // the plant cell. – 2002. – Vol. 14. – P. 165 – 183.

Рецензенты:

Постнов И.Е., д.б.н., профессор, зав. кафедрой "Водные биоресурсы и аквакультура" ФГБОУ ВО "Нижегородская государственная сельскохозяйственная академия" Министерства сельского хозяйства РФ, г. Нижний Новгород;

Шурганова Г.В., д.б.н., профессор кафедры экологии, ФГАОУ ВО «Научный исследовательский Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского», г. Нижний Новгород.