

## ВЛИЯНИЕ ФИТОГОРМОНОВ ЭПИНА И ПИРАБАКТИНА НА РОСТОВЫЕ РЕАКЦИИ РАСТЕНИЙ ГОРОХА В УСЛОВИЯХ ИСКУССТВЕННОЙ ЗАСУХИ

Синицына Ю.В.<sup>1</sup>, Олюнина Л.Н.<sup>1</sup>, Крутова Е.К.<sup>2</sup>, Березина Е.В.<sup>1</sup>, Якунина А.В.<sup>1</sup>, Сухов В.С.<sup>1</sup>, Веселов А.П.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им. Н. И. Лобачевского», Нижний Новгород, Россия (630950, Нижний Новгород, пр. Гагарина, 23), e-mail: jsin@inbox.ru

<sup>2</sup> ФГБОУ ВО «Нижегородская государственная сельскохозяйственная академия», Нижний Новгород, Россия (603107, г. Нижний Новгород, пр. Гагарина, 97)

Исследовали влияние синтетических фитогормонов эпина и пирабактина в разных концентрациях на ростовые и функциональные параметры растений гороха в условиях искусственной засухи. Показано, что обработка фитогормонами, в целом, замедляла обезвоживание растений и наступление почвенной засухи. Наибольшая реакция растений на обработку фитогормонами характерна для листьев верхнего и нижнего ярусов. Как эпин, так и пирабактин уменьшали негативное воздействие засухи на растения. Сравнение изменений длины побегов и корней, индуцированных засухой, выявило неоднозначный ответ: рост побегов в варианте без обработки гормонами был подавлен, корни слабо прореагировали на дефицит воды в почве, а в вариантах с эпином их рост активировался. В результате происходил сдвиг отношения "побег-корень" в сторону корневой системы. Засуха вызывала колебания индекса хлорофилла в листьях гороха, причем все исследованные фитогормоны не изменяли их характер, но модифицировали амплитуду. Как для эпина, так и для пирабактина был выявлен больший физиологический ответ растений на низкие концентрации фитогормонов.

Ключевые слова: горох, засуха, фитогормоны, эпин, пирабактин, ростовая активность, хлорофилл.

## EFFECT OF PLANT HORMONES EPIN AND PYRABACTIN ON PEA GROWTH REACTIONS IN CONDITIONS OF ARTIFICIAL DROUGHT

Sinitsyna Yu.V.<sup>1</sup>, Olunina L.N.<sup>1</sup>, Krutova E.K.<sup>2</sup>, Beresina E.V.<sup>1</sup>, Yakunina A.V.<sup>1</sup>, Sukhov V.S.<sup>1</sup>, Veselov A.P.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Lobachevsky State University of Nizhniy Novgorod, Nizhniy Novgorod, Russia (603950, Nizhniy Novgorod, Gagarin av., 23), e-mail: jsin@inbox.ru

<sup>2</sup>Nizhny Novgorod State Agricultural Academy, Nizhniy Novgorod, Russia (603107, Nizhniy Novgorod, Gagarin av., 97)

Effect of synthetic phytohormones epin and pyrabactin in different concentrations on pea growth and functional parameters in conditions of artificial drought was studied. It was showed that phytohormone top-treatment delayed plant dehydration and soil drought appearance. Leaves of upper and lower layers were characterized with the most noticeable reaction towards phytohormone application. Both epin and pyrabactin decreased negative effects of drought on plants. Comparison of drought-induced changes in shoot and root length revealed that in the variant without phytohormone treatment shoot growth was suppressed and roots slightly reacted to soil water deficient. Vice versa in the variant with epin treatment roots grew actively. As a result a shift in shoot-root ratio towards root system was observed. Drought led to leaf chlorophyll index fluctuation; all the examined phytohormones modified the amplitude. The most observable physiological reaction of plants was showed towards low hormone concentrations.

Keywords: pea, drought, phytohormones, epin, pyrabactin, growth reaction, chlorophyll.

Фитогормоны - регуляторы роста и развития растений - довольно часто используются в практике сельского хозяйства для повышения устойчивости, а, следовательно, и урожайности растений [1]. Эпин - коммерческий препарат, основным действующим веществом которого является эпибрассинолид, представитель брассиностероидов (брассинов), пирабактин - функциональный аналог абсцизовой кислоты [4]. Как брассины, так и абсцизовая кислота участвуют в регуляции водного режима растений, есть

предположение, что оба они изменяют развитие устьичного аппарата растений [5]. Цель исследования - выявление участия данных фитогормонов в формировании реакций растений на действие засухи.

Объектами исследования служили растения гороха (*Pisum sativum* L.), отличающиеся относительно низкой засухоустойчивостью среди сельскохозяйственных культур средней полосы. Растения выращивали в вегетационных сосудах, заполненных светло-серой лесной легко-суглинистой почвой. Для опыта использовали сосуды Вагнера диаметром 20 см и высотой 25 см на 6 кг почвы. Удобрения перед посадкой не вносили, влажность почвы составляла 60%. На один сосуд высевали 20 семян пшеницы и 15 семян гороха [2]. Сосуды размещали на улице под навесом из полимерной пленки. В возрасте трех недель наземную часть растений опрыскивали следующими фитогормонами: эпином в концентрациях  $10^{-9}$  М,  $10^{-7}$  М; пирабактином в концентрациях  $10^{-6}$  М,  $10^{-5}$  М; контроль - опрыскивание водой. Спустя трое суток все экспериментальные растения делили на две группы. Растения одной из них продолжали поливать в течение всей вегетации (влажность почвы в сосудах поддерживали на уровне 60%). Растения другой группы подвергали искусственной засухе: полив прекращали на 5 суток, после чего вновь его возобновляли. Далее в тексте, соответственно, обсуждаются варианты "полив" и "засуха". Общая продолжительность эксперимента составила 36 дней. Влажность почвы определяли весовым методом, ростовую активность растений по длине и ширине листьев разных ярусов, длине побегов и корней. Функциональную активность листьев оценивали по индексу хлорофилла, измеренного на листьях среднего яруса с помощью портативного хлорофиллометра CL-01 (Hansatech, Великобритания). Результаты обработаны методами параметрической статистики.

Нарастание водного дефицита почвы регистрировали на 2 и 5 сутки засухи (рис. 1). Как видно из представленных данных, в контроле происходило быстрое падение количества почвенной воды. Сохранение повышенной влажности почвы в сосудах, в которых выращивали обработанные фитогормонами растения, является, по-видимому, результатом более экономного водного обмена (снижение потери почвенной воды за счет уменьшения транспирации растений после их обработки фитогормонами). Можно предположить, что обработка фитогормонами замедляет обезвоживание растений, соответственно, наступление почвенной засухи.

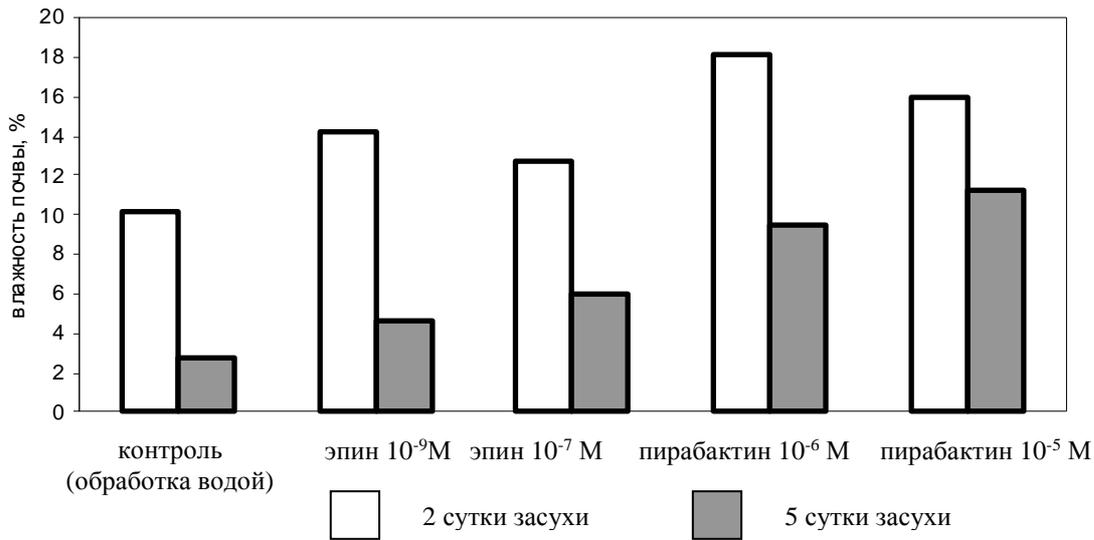


Рис.1. Влажность почвы в сосудах с растениями в условиях засухи

Известно, что основная функция фитогормонов - это регуляция ростовых процессов и, как следствие - изменение структуры отдельных органов и архитектоники растения в целом. Главный орган транспирации - лист. Стандартные измерения размеров листовой пластинки (рис.2), высоты побегов и длины корней (рис.3) осуществляли через 10 дней после прекращения засухи. Такой отсроченный анализ позволял оценить адаптивные возможности растений, подвергнутых воздействию водного дефицита.

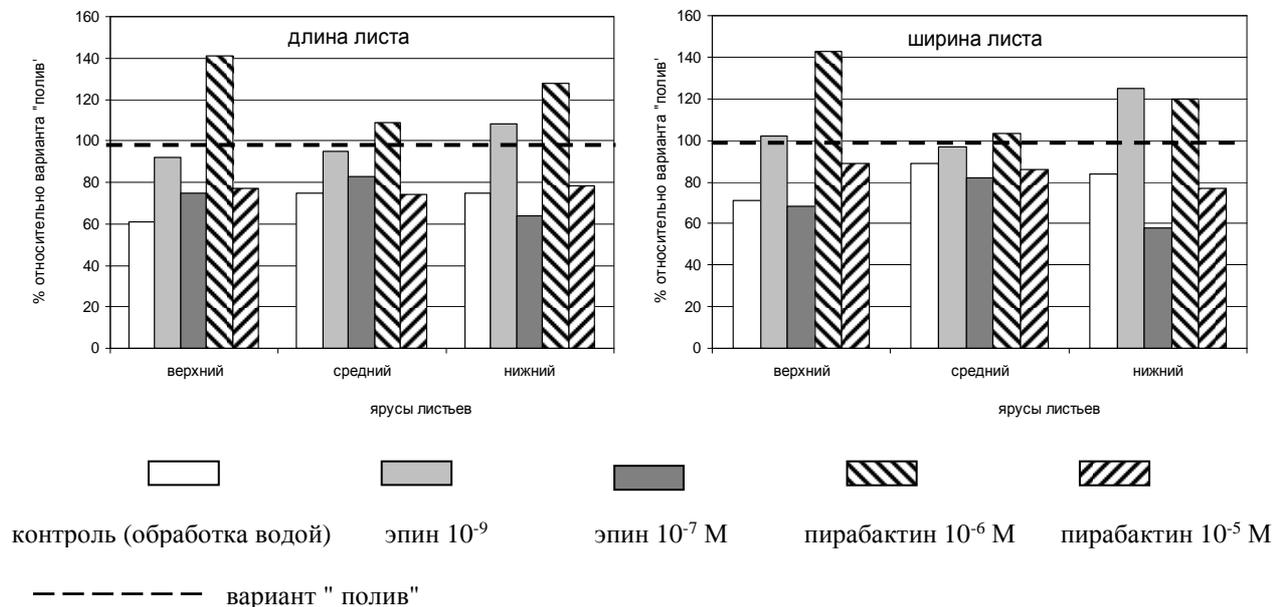


Рис.2. Индуцированные засухой изменения длины и ширины листьев разных ярусов растений, обработанных и необработанных фитогормонами. Единицы по оси ОУ: вариант "засуха" / вариант "полив" \* 100%

Удалось показать, что наибольшая реакция растений на обработку фитогормонами характерна для листьев верхнего и нижнего ярусов. Засуха уменьшала длину и ширину листьев, а предобработка гормонами снизила степень негативных явлений, причем самый лучший защитный эффект был обнаружен при использовании более низких концентраций фитогормонов (эпин  $10^{-9}$  М и пирабактин  $10^{-6}$  М). Увеличение концентраций обоих гормонов изменяло ответ вплоть до противоположного. Так, при обработке растений эпином в концентрации  $10^{-7}$  М зафиксировано усиление действия засухи, то есть гормонсвязанное уменьшение поверхности листа, обусловленное не столько влиянием на длину, сколько на ширину листовой пластинки.

Сравнение изменений длины побегов и корней, индуцированных засухой, выявило неоднозначный ответ: рост побегов в варианте без обработки гормонами ("контроль, обработка водой") был подавлен; корни слабо прореагировали на дефицит воды в почве (рис. 3, таблица). Модифицирующий эффект фитогормонов на данные параметры в побегах гороха был незначителен, статистически значимых изменений не обнаружено: засуха одинаково снижала показатели как в контроле, так и в вариантах с разными фитогормонами. Тем не менее, можно отметить важную для водного режима растений активацию в условиях засухи роста корней под воздействием эпина (рис.3), и, как следствие, смещение величины отношения «длина побега/корня» в пользу корневой системы (таблица).

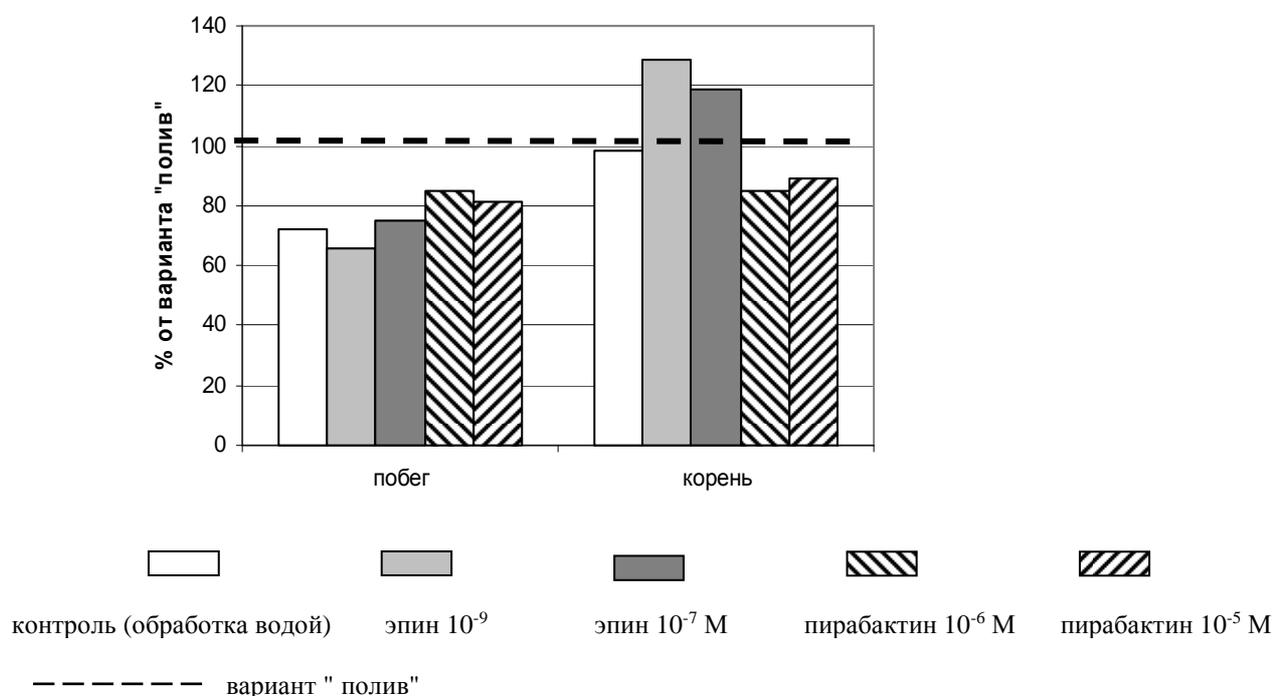


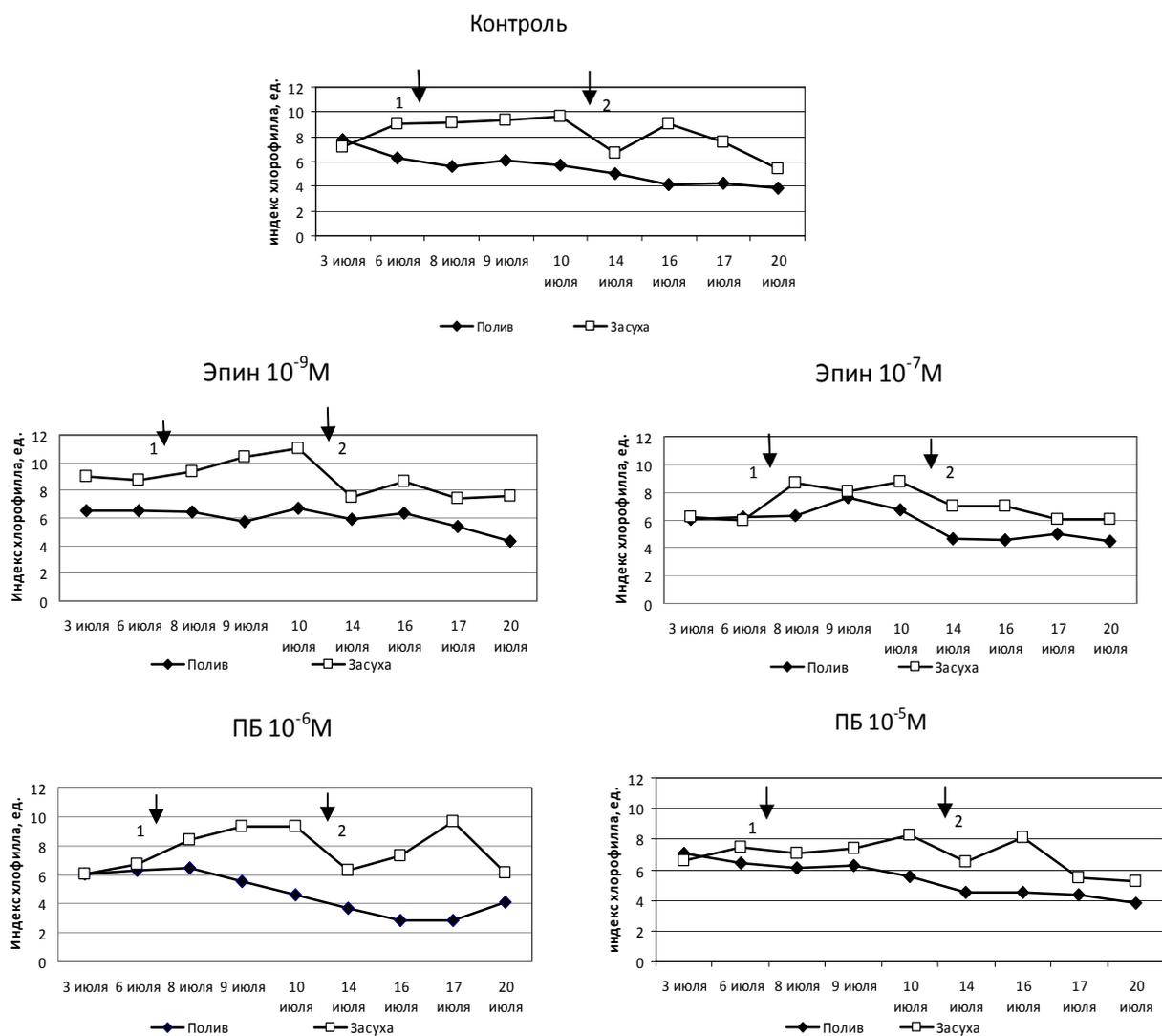
Рис. 3. Индуцированные засухой изменения длины побегов и корней растений, обработанных и необработанных фитогормонами. Единицы по оси ОУ: отношение длин в вариантах "засуха" / "полив" \* 100% (ПБ - пирабактин)

Отношение длин «побег/корень» у растений гороха, обработанных фитогормонами

Обработка	Полив	Засуха
Контроль (обработка водой)	2,54 ± 0,14	1,96 ± 0,14
Эпин 10 <sup>-9</sup> М	5,44 ± 0,51	2,33 ± 0,14
Эпин 10 <sup>-7</sup> М	3,26 ± 0,17	2,13 ± 0,12
Пирабактин 10 <sup>-6</sup> М	2,46 ± 0,11	2,49 ± 0,12
Пирабактин 10 <sup>-5</sup> М	2,81 ± 0,22	2,42 ± 0,10

Так, в контрольном варианте эта величина под воздействием засухи уменьшилась в 1,3 раза, в варианте с предобработкой эпином 10<sup>-9</sup> М - в 2,3, эпином в концентрации 10<sup>-7</sup> М - в 1,5 раза. В вариантах с предобработкой растений пирабактином существенных изменений этой величины не обнаружено. Экспериментальным доказательством повышения адаптивности гороха при обработке эпином послужили результаты исследований, выполненных в полевых условиях: сохранность растений (число сохранившихся к уборке растений в процентах к числу всходов) в варианте с эпином перед уборкой составила 65%, в контроле - 39%.

Динамику быстрых изменений структуры и функций листа можно определить с помощью хлорофиллометра - прибора, регистрирующего оптическое поглощение листа при длинах волн 620 и 940 нм. Получаемый показатель - индекс хлорофилла - положительно коррелирует с содержанием хлорофилла, пересчитанным на единицу площади листа [3]. Определение индекса хлорофилла в ходе эксперимента продемонстрировало его увеличение в ответ на засуху, резкий спад после возобновления полива и постепенное возвращение к исходному уровню через вторичный подъем (рис.4). На фоне обработки высокими концентрациями фитогормонов (эпин 10<sup>-7</sup>М, пирабактин 10<sup>-5</sup>М) происходило снижение как индекса хлорофилла, так и площади листьев при засухе (рис.2), следовательно, повышенные (нефизиологические) концентрации фитогормонов вызвали снижение относительного содержания хлорофилла в листьях. Необходимо отметить, что наши результаты выявили более высокий индекс хлорофилла у растений варианта "засуха" по сравнению с вариантом "полив". Мы связываем этот эффект с увеличением ксероморфности листьев при дефиците воды. Данный факт отражает, по-видимому, существование более сложных связей между параметрами индекса хлорофилла и его истинным содержанием в листьях, нежели указанные в публикации [3].



*Рис.4. Динамика индекса хлорофилла в листьях растений гороха, обработанных фитогормонами при поливе и засухе. Стрелками обозначены прекращение (1) и возобновление (2) полива растений в варианте "засуха". Контроль - необработанные фитогормонами растения; ПБ - пирабактин*

Таким образом, при анализе ростовой реакции гороха на засуху был зафиксирован сдвиг отношения длины побега/корня в сторону корневой системы, обработка фитогормонами, а особенно эпином в концентрации  $10^{-9}$  М, усилила этот сдвиг, что свидетельствует о неоднозначности гормонального воздействия на рост побега и корня. Ростовая активность побега (верхнего) и корня (нижнего) концевого двигателя водного потока находятся в тесной зависимости друг от друга. Их совместное функционирование - основа механизма регуляции водообмена при варьировании обеспеченности растений водой, в частности, при возникновении водного дефицита в почве. В поддержании координации баланса роста корней и побегов определяющую роль играют фитогормоны.

В целом, проведенные исследования показали, что протекторная функция фитогормонов при адаптации растений к засухе может быть реализована через их влияние на ростовые процессы. Данное влияние в значительной мере зависит от концентрации фитогормонов, что указывает на необходимость тщательного их подбора при проведении экспериментов и/или соответствующих мероприятий в практике сельского хозяйства.

*Исследования выполнены при финансовой поддержке Российского научного фонда (проект № 14-26-00098).*

### Список литературы

1. Волобуева О.Г. Влияние биопрепаратов и регуляторов роста на бобово-ризобиальный симбиоз растений гороха // Современные проблемы науки и образования. – 2015. – № 1. – URL: [www.science-education.ru/125-20063](http://www.science-education.ru/125-20063).
2. Пискунов А.С. Методы агрохимических исследований. – М.: Колосс, 2004. - 312 с.
3. Cassol D., De Silva F.S.P., Falqueto A.R., Vacarin M.A. An evaluation of non-destructive methods to estimate total chlorophyll content // Photosynthetica, 2008. V.46. № (4) P. 634-636.
4. Park S.-Y. Abscisic Acid Inhibits Type 2C Protein Phosphatases via the PYR/PYL Family of START Proteins/ S.-Y. Park, P. Fung, N. Nishimura, D.R. Jensen, H. Fujii, Y. Zhao, S. Lumba, J. Santiago, A. Rodrigues, T.-F. Chow, S.E. Alfred, D. Bonetta, R. Finkelstein, N.J. Provart, D. Desveaux, P.L. Rodriguez, P. McCourt, J.-K. Zhu, J.I. Schroeder, B.F. Volkman, S.R. Cutler // Science. – 2009. Vol. 324. – P. 1068-1071.
5. Serna L. The role of brassinosteroids and abscisic acid in stomatal development // Plant Science. – 2014. V.225. – P. 95–101.

### Рецензенты:

Смирнов В.Ф., д.б.н., профессор, руководитель лаборатории микробиологического анализа ОХБИ НИИХимии ФГАОУ ВО ННГУ им. Н.И. Лобачевского, г. Нижний Новгород;  
Романова Е.Б., д.б.н., профессор кафедры экологии ИББМ ФГАОУ ВО ННГУ им. Н.И. Лобачевского, г. Нижний Новгород.