

Сергеева Ксения Сергеевна  
студент, ЯГТУ, г. Ярославль

Степененко Марина Анатольевна  
студент, ЯГТУ, г. Ярославль

Булатов Антон Александрович  
магистрант, ЯГТУ, г. Ярославль

Пашенко Анастасия Андреевна  
студент, ЯГТУ, г. Ярославль

Научный руководитель:  
Герасимова Нина Петровна  
профессор, д.х.н, ЯГТУ, г. Ярославль

## РЕГУЛЯТОРЫ РОСТА РАСТЕНИЙ: ИХ ВИДЫ И ПРИМЕНЕНИЕ

**Аннотация:** Регуляторы роста растений — одна из перспективных групп химических средств защиты растений (ХСЗР). Их отличительной особенностью является то, что они не преследуют цели биологического уничтожения вредных организмов, а оказывают существенное влияние на ростовые, физиологические и формообразовательные процессы, происходящие в растениях. Применение регуляторов роста обеспечивает решение многих проблем агрономии и экономики. Классы самых перспективных пестицидов рассмотрены в данной статье.

**Ключевые слова:** регуляторы роста, онтогенез, фитогормоны, активаторы, ингибиторы.

Изучение фитогормонов является одним из важнейших направлений в физиологии растений. Природные (фитогормоны) и синтетические регуляторы роста и развития растений (РРР) или как их называют – фиторегуляторы – это эффективное средство управления онтогенезом растений [1].



Регуляторы роста растений представляют собой органические соединения, вызывающие (в очень низких концентрациях) стимуляцию или подавление роста и морфогенеза растений. Развитие растений – качественные изменения в структуре и функциональной активности растения и его частей (органов, тканей и клеток) в процессе онтогенеза, а рост растения – это необратимое увеличение размеров и массы клетки, органа или всего организма, связанное с новообразованием элементов и их структур [2].

Гормоны растений классифицируются в зависимости либо от их химической природы, либо от оказываемого ими действия. Регуляторы роста условно можно разделить на вещества стимулирующего характера (активаторы) и соединения, тормозящие физиологические и биохимические процессы (ингибиторы). К ХСЗР относятся ауксины, гиббереллины и цитокинины, этилен, абсцизовая и салициловая кислоты, свойства и применение которых рассматриваются в данной статье.

### Фитогормоны ауксины

Природные фитогормоны разнообразны по химическому строению и по эффектам. Первый природный гормон был открыт еще Ч. Дарвином при изучении фототропизма. При дальнейших исследованиях было установлено химическая природа этих веществ и физиологические эффекты. Открытый гормон получил название «ауксин» (от греч. *auxein* – увеличивать) и идентифицирован как индолилуксусная кислота (ИУК) (рис. 1). Данный фитогормон стимулирует рост клеток в зоне растяжения, что приводит к росту побегов. На молекулярном уровне он влияет на процессы дифференциации клеток, дыхания, фотосинтеза и на активность белоксинтезирующего аппарата (Дефлинг К., 1985).

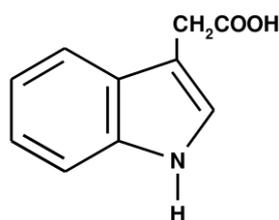


Рис. 1 — Химическая формула индолилуксусной кислоты

Природными ауксинами являются производные индола, например: 3-(3-индолил) пропионовая кислота, 4-(3-индолил) масляная кислота (ИМК), (4-хлор-3-индолил) уксусная кислота; известен также неиндольный ауксин - фенилуксусная кислота [5].

### Фитогормоны гиббереллины

В 1926 году японский ботаник Е. Куросава выделил и описал возбудителя болезни риса - гриб *Gibberella fujikuroi*. Вскоре выяснилось, что многие симптомы «бешеного риса» можно вызвать культуральной жидкостью, в которой рос гриб, так как он выделяет некоторое растворимое в воде вещество, усиливающее рост риса. По родовому названию гриба вещество было названо гиббереллином. В 1935 году японский ученый Т. Ябута выделил гиббереллины в кристаллическом виде и дал им существующее название. К 1955 году структура первого из гиббереллинов была окончательно установлена. Позже установили, что растения и сами способны вырабатывать похожие вещества, за которыми сохранилось название гиббереллинов. Это – самый обширный класс растительных гормонов, на сегодня их известно более 100. Поскольку большинство из гиббереллинов - кислоты, их принято обозначать как ГК (гибберелловая кислота) с соответствующим индексом. Например: ГК24, ГК53 и т.д. [3].

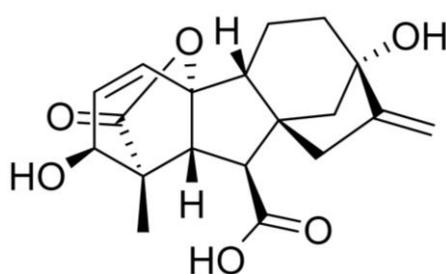


Рис. 2 — Химическая формула гибберелловой кислоты

Гиббереллины вызывают растяжение междоузлий стебля, индуцируют стрелкование розеточных растений, изменяют форму листьев. Подобно ауксинам, они участвуют в разрастании завязи и образовании партенокарпических плодов. Известно их значение в образовании столонов у картофеля, стимуляции цветения ряда растений. Физиологические функции гиббереллинов проявляются и в увеличении числа мужских цветков, например,



у огурца, конопли и двудомных растений. На рост корней стимулирующее влияние не оказывают [4].

### **Фитогормоны цитокинины**

В 1913-1923 гг. Г. Габерландт обнаружил в проводящих пучках растений гормоны, вызывающие деление клеток. Однако по причине очень низкого содержания этих гормонов в биологических объектах их долго не удавалось выделить в чистом виде и определить структурные формулы. Открытие цитокининов связано с исследованиями по выращиванию каллуса, образовавшегося из изолированной ткани сердцевинки стебля табака на питательной среде (Ф. Скуг и К. Миллер). Было показано, что клетки каллуса в стерильной культуре через определенный промежуток времени прекращают деление. Однако при добавлении к питательной среде производных ДНК, получающихся после ее автоклавирования, деление клеток возобновляется [3].

Основное место синтеза цитокинов — апикальные меристемы корней. Из корней они пассивно транспортируются по ксилеме с пасокой в надземные органы.

Главной функцией цитокининов является стимуляция деления клеток, усиление синтеза белка и нуклеиновых кислот. Благодаря аттрагирующей способности они могут притягивать ассимиляты (аминокислоты, углеводы) и другие фитогормоны. Нарушают апикальное доминирование, вызывая заложение пазушных почек и их рост. Задерживают старение листьев, стимулируя синтез фотосинтетических пигментов. У растений с однополыми цветками вызывают образование большого количества пестичных цветков [4].

ЦТК — производные пуриновых азотистых оснований, а именно аденина, в котором аминогруппа в шестом положении замещена различными радикалами (рис. 4). Содержатся в растениях не только в свободном состоянии, но и в виде рибозидов, риботидов, гликозидов.



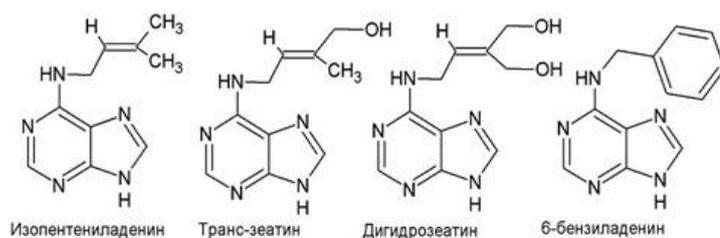


Рис. 3 — Представители класса цитокининов (природные и синтетические)

### Абсцизовая кислота (АБК)

Ингибиторы роста являются такими же равноправными компонентами регуляторного комплекса растений, как ауксины, гиббереллины или цитокинины. Принимая участие в контроле интенсивности разнообразных биохимических процессов, они делают возможной реализацию активности всех других эндогенных регуляторов роста.

Природные соединения, в том числе и эндогенные ауксины, анализировали хроматографическими методами. В определенных зонах хроматограмм исследователи отмечали присутствие веществ, ингибирующих биотесты. Началось изучение свойств этих соединений [5].

Абсцизовая кислота, гормон растений, регулирующий процессы увядания, опадения листьев, покоя. По химической природе изопреноид абсцизовая кислота (от англ. *Abscission* - отделение, опадение). Тормозит ростовые и метаболические процессы, подавляет транспирацию в условиях засухи, способствует формированию и покою семян, клубней и корнеплодов, а также облегчает опадение цветков и плодов многих растений [3].

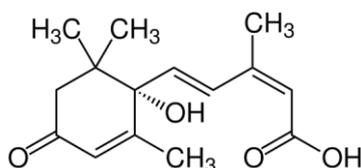


Рис. 4 — Химическая формула абсцизовой кислоты

Она содержится в корнях, плодах, почках, стеблях, листьях, во флоэмном и ксилемном соке, но особенно много - в покоящихся почках, семенах, клубнях. АБК, синтезируемая в листьях из мевалоновой кислоты, транспортируется по сосудам и ситовидным трубкам вверх и вниз во все органы; синтезируемая в

корневом чехлике — передвигается базипетально. Инактивация ее происходит в результате превращения в фазевую кислоту. Действие АБК проявляется в торможении процессов растяжения и деления клеток у молодых проростков, ингибировании распускания почек. Она способствует закрыванию устьиц, что уменьшает интенсивность фотосинтеза и является причиной торможения ростовых процессов, способствует опаданию семядолей, листьев, цветков и зрелых плодов. В этом случае АБК можно рассматривать как природный антитранспирант. [4]

### Этилен

В 1901 году Д. Нелюбов обнаружил влияние этилена на рост растений. В ничтожно малых концентрациях этот газ оказывал на растения тройную реакцию: тормозил растяжение, способствовал утолщению и изменял горизонтальную ориентацию. Позже было показано, что этилен ускоряет созревание плодов. Наконец в 1934 году Р. Гейн доказал, что сами растения способны синтезировать этилен. В образовании этилена участвует ряд ферментов, из которых особое значение имеет аминокicloпропанкарбосинтаза (АЦК-синтаза), катализирующая образование 1-аминоциклопропан-1-карбоновой кислоты (АЦК) — непосредственного предшественника этилена. Активность этого фермента возрастает в процессе созревания плодов, при поранении и, что самое главное, регулируется ауксином.

Этилен — бесцветный газ со слабым эфирным запахом. Это единственный газообразный регулятор роста растений, начиная с 60-х годов его стали относить фитогормонам. В очень низких концентрациях, порядка 0,001 - 0,1 мкл/л, он способен тормозить и изменять характер роста растений, ускорять созревание плодов. Этилен синтезируется в бактериях, грибах, низших и высших растениях, причем в больших количествах [3].

Одним из первых регуляторов был этрел (этефон, рис. 5 (1)). 2-Хлорэтилфосфоновая кислота (1) не является истинным рострегулятором, а лишь продуцентом этилена (рис. 5 (2)) — истинного природного фитогормона.





Рис. 5 — Химическая формула этилена и 2-хлорэтилфосфоновой кислоты

Эндогенный этилен регулирует рост органов растений, ускоряет созревание плодов, сохраняя их от преждевременного опадания, и может привести к опаданию листьев (дефолиации) [6].

### Салициловая кислота

Салициловая кислота — это вырабатываемый растениями гормон стресса, который необходим им для борьбы с вредными патогенами. Важная роль салициловой кислоты для растений в их борьбе с болезнями делает эти результаты фундаментально важными для таких областей исследований, как иммунитет растений [7].

СК является стресс-сигнальной молекулой, которая активирует экспрессию гена, отвечающего за абиотический стресс, и индуцирует экспрессию биосинтетических ферментов и белков в растениях в условиях экологических стрессов. Например, сообщали об усилении синтеза дегидриноподобных белков, шаперонов и белков теплового шока, а также наблюдали изменения активности протеинкиназ, содержания хлорофилла и рибулозо-бисфосфаткарбоксилазы (РуБисКо). Считается, что экспрессия этих генов должна приводить к снижению продукции активных форм кислорода (АФК) в фотосинтетически активных тканях. Несколько исследований показали, что применение СК дает положительный эффект, защищая растения от окислительного повреждения, вызванного засухой [8].

### Список использованных источников

1. Бахтенко, Е.Ю. Регуляция роста и развития растений: учебное пособие / Е.Ю. Бахтенко, П.Б. Курапов. – Вологда: ВолГУ, 2014. – 266 с.



2. Борюк В.В., Воскобойникова Т.В. Влияние регуляторов роста на стимуляцию плодообразования томатов. / *Фундаментальные исследования*. Фундаментальные исследования № 12, 2007. — с. 225-227
3. Князева Т.В. Регуляторы роста растений в Краснодарском крае: монография. / Т.В. Князева.- Краснодар: ЭДВИ, 2013. — 128 с.
4. Шаповал О.А., Вакуленко В.В., Прусакова Л.Д. Регуляторы роста растений. / О.А. Шаповал, В.В. Вакуленко, Л.Д. Прусакова. – М., Всерос. науч.-исслед. ин-т агрохимии им. Д.Н. Прянишникова, 2008. — 36 с.
5. Муромцев Г. С., Чкаников Д. И., Кулаева О. Н., Гамбург К. З. Основы химической регуляции роста и продуктивности растений. М.: Агропромиздпт, 1987. — 383 с.
6. Rekhter D., Lüdke D., Ding Y., Feussner K., Zienkiewicz K., Lipka V., Wiermer M., Zhang Y., Feussner I.. Isochorismate-derived biosynthesis of the plant stress hormone salicylic acid. / D. Rekhter, D. Lüdke, Y. Ding, K. Feussner, K. Zienkiewicz, V. Lipka, M. Wiermer, Y. Zhang, I. Feussner. // *Science*, 2019. — 365 с.
7. Солдатенков А. Т. Пестициды и регуляторы роста: прикладная органическая химия / А. Т. Солдатенков, Н. М. Колядина, А. Ле Туан. — 3-е изд. — М. : БИНОМ. Лаборатория знаний, 2015. — 224 с.
8. Khalvandi M. Salicylic acid alleviated the effect of drought stress on photosynthetic characteristics and leaf protein pattern in winter wheat. / M. Khalvandi, A. Siosemardeh, E. Roohi, S. Keramati. // *Heliyon* V. 7, 2021.— 11 с.

