

Глава 4.

ФИЗИОЛОГИЯ И БИОХИМИЯ РАСТЕНИЙ

УДК 581.1:63

doi:10.31360/2225-3068-2021-76-89-99

**РЕГУЛЯТОРЫ РОСТА РАСТЕНИЙ
И ИХ ПРИМЕНЕНИЕ В РАСТЕНИЕВОДСТВЕ
(ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР)**

Василейко М. В.

*Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
«Федеральный исследовательский центр «Субтропический научный центр
Российской академии наук»,
г. Сочи, Россия; e-mail: mvasileyko@gmail.com*

В статье представлен обзор библиографических источников по вопросу возможности применения регуляторов роста в качестве агроприёма выращивания сельскохозяйственных культур. Дана классификация наиболее часто встречаемых препаратов различной природы, представлена краткая историческая справка по данным соединениям. Показан механизм их действия, роль в повышении устойчивости растений к стресс-факторам. Дана информация о возможности использования регуляторов роста растений в биотехнологии и защите растений. Проанализированы данные по влиянию регуляторов роста различной природы на урожайность сельскохозяйственных культур, качество продукции.

Ключевые слова: регуляторы роста, сельскохозяйственные культуры, метаболизм, рост, развитие, устойчивость.

Метаболические процессы, идущие в растительном организме, протекают при непосредственном участии эндогенных (природных) регуляторов роста. Как показали исследования многочисленных учёных [1, 2, 4, 16, 20, 22, 27, 29, 35, 39, 60 и др.], эти соединения могут быть использованы в качестве агроприёма культивирования разнообразных культур. И если на первых этапах упор делался на природные, извлекаемые из растений регуляторы, то в дальнейшем было выяснено, что есть возможность их синтеза [7, 14, 15, 41, 52, 56]. Глобальные климатические изменения и усиление антропогенного воздействия на окружающую среду негативно влияют на рост и развитие сельскохозяйственных культур, в результате чего снижается их урожайность, качество продукции и устойчивость к стрессовым факторам различной природы. В этой связи, применение соединений, проявляющих регуляторный эффект, является перспективным направлением в выращивании

растений [5, 11, 13, 42, 55 и др.]. Такой подход может помочь снизить загрязнение окружающей среды и получить качественную сельскохозяйственную продукцию, повысить урожайность, усилить иммунитет растений, повысить их устойчивость к стрессам абиотической природы (засуха, засоленность почв, экстремальные температуры, высокая инсоляция и дефицит питательных веществ).

Так как растительный организм достаточно быстро адаптируется к используемым препаратам, постоянно идёт поиск новых и улучшение свойств существующих органических соединений, обладающих регуляторным эффектом. В связи с тем, что зона влажных субтропиков России является условно благоприятной (мягкие зимы приводят к росту патогенов, изменение теплового режима и влажности в последние годы влияют на урожайность культур), остро стоит вопрос о поиске препаратов, направленных на активацию механизмов устойчивости субтропических культур. А учитывая рекреационный характер зоны, важным является поиск эффективных, но экологически безопасных препаратов [4, 5, 22, 35, 47]. В Федеральном исследовательском центре «Субтропический научный центр Российской академии наук» начата работа по испытанию экологически безопасных регуляторов роста, проводимая в лаборатории физиологии и биохимии растений ФИЦ СНИЦ РАН, что является актуальным и перспективным направлением исследований.

В сельском хозяйстве применение регуляторов роста растений началось в середине 1930-х годов в США [32]. В настоящее время известно пять фитогормонов и изучен их механизм действия: ауксины [34], гиббереллины [28], цитокинины [20], абсцизовая кислота [15] и этилен [8]. Три гормона (ауксины, гиббереллины и цитокинины) стимулируют рост и развитие растений, усиливают физиологические и биохимические процессы; два остальных (абсцизовая кислота и этилен) – замедляют рост и протекание определённых реакций обмена веществ [30].

Наиболее известным эндогенным регулятором роста является ауксин, строение которого установлено еще в 1934 г. голландским химиком Кеглем [27]. На сегодняшний день известна целая группа разнообразных химических соединений ауксиновой природы, более распространённым из которых является гетероауксин (β -индолилуксусная кислота (ИУК)). ИУК в зависимости от концентрации ауксина может не только стимулировать рост растения, но и ингибировать его [51,61].

Так как действие ауксина проявляется в активации ряда метаболических процессов, координации взаимодействия различных растительных органов, включении механизмов устойчивости растений, с момента установления его строения шли поиски синтетических органических

соединений, проявляющих свойства ауксина [2, 49]. Часто используемыми синтетическими аналогами являются 2,4-дифеноксисукусная кислота, 1-натилуксусная кислота и индолмаслянная кислота, которые в растении могут превращаться в ИУК.

Ауксин-родственные регуляторы роста растений широко используются в сельском хозяйстве и садоводстве в качестве гербицидов (пиклорам, дикамба и др.), как регуляторы, стимулирующие укоренение изолированных органов растений [1, 41, 64, 75], а также как компоненты питательных сред для культивирования изолированных клеток и тканей в условиях *in vitro* (например, индолил-3-бутановая кислота) [58, 72].

В последние годы значительное внимание во всем мире уделяется поиску новых аналогов ауксинов среди различных классов низкомолекулярных соединений [11, 41, 53, 56, 58, 64], некоторые из них – производные пиридина, пиримидина, пиразола [24] – уже нашли практическое применение в сельском хозяйстве в качестве эффективных регуляторов роста растений, гербицидов, фунгицидов и антимикробных агентов [73]. Достаточно часто ауксины используются в качестве индукторов ризогенеза [33, 52, 57]. Используется воздействие экзогенного ауксина на растение перед периодом активного опадения плодов и завязей. Оказалось, что периоды опадения завязей следуют за снижением уровня ауксинов в растении. На этом основан метод применения синтетических ауксинов в садоводстве для предотвращения опадения плодов [4, 31, 43, 50, 56, 62].

Не менее распространённым регулятором роста являются цитокинины, которые первоначально были идентифицированы в растениях тополя [19, 20, 66], а позже и у арабидопсиса [33]. Цитокинины стимулируют деление клеток, регулируют взаимодействие между корневой и надземной частями растений. Незаменимы при тепловом, осмотическом и световом стрессах ([50]. Так, Pavle и Novak (2018) было показано, что применение цитокининов в условиях теплового стресса замедляет старение листьев и улучшает устойчивость растений [67]. Цитокинины снижают процессы распада хлорофилла, считается, что они играют роль в функционировании фотосинтетического аппарата растений [55].

В последние десятилетия было изучено влияние цитокининов на повышение урожайности злаковых, бобовых, плодовых и ягодных культур [19, 23, 46]. Исследования ряда авторов показало, что применение цитокининов на бобовых культурах помогает предотвратить нежелательное осыпание цветов, увеличивает массу семян, урожайность [54, 59, 63]. Цитокинины в малых концентрациях на фоне использования ауксинов

стимулируют репликацию ДНК и индуцируют деление клеток, активируют рост семядолей двудольных растений *in vitro*, а в повышенных концентрациях вызывают образование каллуса и индуцируют на нем побегообразование [12].

Важная роль природных цитокининов и положительные результаты их применения вызвали необходимость разработки ряда биологически активных синтетических аналогов цитокининов. В итоге были получены соединения цитокининовой природы, которые нашли применение в практике сельского хозяйства и биотехнологии не только в качестве стимуляторов роста и развития растений, но и как гербициды и ретарданты [23].

Еще одна многочисленная группа эндогенных регуляторов роста растений – гиббереллины, которые регулируют удлинения стебля, прорастание семян, цветение. Наиболее распространённый гиббереллин известен как гибберелловая кислота [29, 70]. Основные места синтеза гиббереллинов – молодые листья, но также они могут синтезироваться в корнях. Транспорт синтезируемых гиббереллинов идёт по флоэме и ксилеме, а на небольшие расстояния – путём диффузии, поэтому миграция гормона происходит во всех направлениях от точки их синтеза. Действие гиббереллинов аналогично ауксинам, однако данные соединения действуют в основном на интеркалярные (вставочные) меристемы и поэтому способствуют удлинению междоузлий, расположенных рядом с молодыми листьями (местом синтеза гормона). Чем крупнее лист, тем больше гормона в нём может образоваться, и, соответственно, тем длиннее будет его междоузлие. Гиббереллины могут выступать в роли стимуляторов цветения [18, 56, 71]. Так как синтез гормона связан с изменением длины светового дня, можно, обработав растения гиббереллинами, вызвать цветение длиннодневных растений даже при недостаточной длине светового дня. При прорастании семян гиббереллины мобилизуют запасные вещества в семенах в ответ на внешние стимулы (например, свет, температура). С увеличением концентрации гиббереллинов возрастает процент проросших семян, луковиц [28, 39, 65]. Обработывая гормоном не завязавшиеся неопыленные плоды, можно стимулировать образование крупных бессемянных ягод винограда, в то время как без обработки бессемянные сорта дают очень мелкие ягоды. Кроме того, обработка гиббереллинами стимулирует проявление пола у растений: так, например, происходит преимущественное образование мужских цветков (при обработке цитокинином и ауксином – женских) [38, 40, 45].

Среди природных стимуляторов выделяется единственный газообразный регулятор роста растений – этилен, который синтезируется в растениях и в крайне низких концентрациях регулирует их рост, активирует созревание плодов, вызывает старение листьев и цветков, опадение листьев и плодов, участвует в ответе растений на различные стрессовые факторы и т. д. [10]. Как и большинство фитогормонов, этилен обладает широким спектром регуляторных функций, причём даже в пределах одного растения возможны различные реакции клеток на этот фитогормон. Синтез этилена в растениях вызывают высокие концентрации ауксина, однако, синтезированный этилен подавляет реакции, вызванные ауксином. В отличие от ауксина, он индуцирует образование в черенке специального выделительного слоя клеток, по которому происходит отрыв органа от растения, то есть, этилен вызывает опадение листьев и плодов. Также он может блокировать транспорт ауксина. Несмотря на то, что этилен считается ингибитором, он выполняет и функции стимулирующего характера. Например, этилен в период созревания плодов регулирует все процессы. Под действием этого гормона увеличивается выделение латекса в каучуконосных растениях, он влияет на пол цветков, вызывая образование женских цветков в однодомных растениях [36].

Этиленом индуцируются образование корней на стебле и формирования в стебле паеренхимы, что выступает защитным механизмом в условиях кислородного голодания корней (например, при затоплении почвы) [48]. Также, этилен является защитным механизмом растений на различные повреждающие воздействия [18]. Он синтезируется в ответ на атаку патогенов. При этом он индуцирует синтез большого числа ферментов, например, ферментов, разрушающих клеточную стенку грибов, а также ферментов, участвующих в синтезе фитоалексинов (соединений, ядовитых для патогенов).

В последнее время в практике сельского хозяйства широко используются синтетические аналоги этилена – 2-хлорэтилфосфоновая кислота и её производные – Этрел, Гидрел, Кампозан, Этефон и т. д. Эти препараты влияют на ускорение созревания плодов яблони, сливы, томата, что позволяет обеспечить одновременность созревания, что необходимо для механизированной уборки [16, 41, 42].

Адаптивность растений напрямую связана с их способностью в нужное время тормозить физиологические процессы. В этом механизме важную роль играют регуляторы роста, в частности абсцизовая кислота (АСК). Выявлена абсцизовая кислота была в ходе изучения опадения листьев/плодов и покоя почек. Именно во время опадания

плодов синтезируется наибольшее количество АБК. Было установлено, что основными органами синтеза АБК являются листья, затем идёт её транспорт по всему растению [44]. В итоге, АБК содержится в различных органах растений (почках, сухих семенах, в клубнях и т. д.), особенно в состоянии глубокого покоя. АБК тормозит процессы роста, снижает интенсивность фотосинтеза, задерживает прорастание семян, влияет на переход растений в состояние покоя, регулирует опадение листьев и плодов.

АБК рассматривают как антистрессовый фактор, усиливающий адаптацию растений к различным неблагоприятным условиям. Неблагоприятные условия повышают содержание АБК. В связи с этим АБК называют гормоном стресса. Показано, что содержание данного гормона резко повышается при недостатке азота [37]. Считают, что задержка ростовых процессов в засуху также связана с накоплением АБК. Есть данные, что содержание АБК в листьях винограда растёт в 40 раз, когда он начинает увядать [48]. Под влиянием полива содержание АБК падает. Обработанные АБК растения в условиях водного дефицита характеризуются более высоким содержанием воды. Перед наступлением зимних холодов происходит увеличение количества АБК в растении, а до окончания покоя её содержание уменьшается [17].

В 1962 г. из эфирного масла жасмина крупноцветкового (*Jasminum grandiflorum*) была выделена жасмоновая кислота (жасмонат), которая, как позже оказалось, ингибирует рост побегов, образования калуса, способствуют закрытию устьиц и т. д. На сегодняшний день известно, что жасмонат участвует в двух принципиально различных регуляторных процессах: сдерживает вегетативный рост и способствует переходу к состоянию покоя; усиливает иммунный ответ [21].

Ещё одно соединение, физиологическая природа регуляторного действия которого была выявлена не сразу – салициловая кислота. Этот гормон участвует в росте и развитии растений, фотосинтезе, транспирации и др. Является элементом неспецифической защиты растений от патогенов [68,69]. Салициловая кислота (СК) вместе с АБК и этиленом принадлежит к фитогормонам, задействованным в реакциях растений не только на биотические, но и на абиотические стрессы. В результате, данный гормон позиционируется как эффективное средство защиты [6, 9].

В последнее время возрастает интерес к регуляторам роста растений, произведенным на основе продуктов жизнедеятельности бактерий и грибов. Они создают условия для повышения устойчивости растений к патогенам, а в ряде случаев блокируют жизнедеятельность последних [25, 68].

Помимо природных стимуляторов, популярность приобретает использование синтетических регуляторов, которые обходятся производителям значительно дешевле, а по своему действию ничуть не уступают растительным. Все синтетические аналоги, в зависимости от характера вызываемых при их использовании биологических эффектов, подразделяются на ряд групп: стимуляторы, ингибиторы, десиканты, дефолианты, гербициды и др. [13, 26, 41, 43, 74 и др.]. В Российской Федерации на сегодняшний момент в основном популярны препараты на основе гуминовых соединений [3]. Однако в последнее время на основе соединений, выделенных из растений, широко применяются и такие препараты, как эпин-экстра, иммуноцитифит, циркон, проросток, мелафен, обстактин и др. [4, 5, 47]. Все новые препараты, производимые на основе природных, обладают широким спектром физиологической активности, безопасны для человека и окружающей среды.

Таким образом, все перечисленное выше показывает, что разработка технологии применения регуляторов роста, обладающих комплексным действием на субтропические растения актуальна, и требует длительных исследований.

*Публикация подготовлена в рамках реализации
ГЗ ФИЦ СХЦ РАН №0492-2021-0007*

Библиографический список

1. Балакшина В.И., Диканев Г.П., Устименко Н.И., Шевяхова Е.А. Использование регуляторов роста при выращивании сельскохозяйственных культур // Научно-аграрный журнал. – 2008. – № 2(83). – С. 14-18. – ISSN 2500-0047.
2. Баскаков Ю.А., Шаповалов А.А. Регуляторы роста растений. – М.: Знание, 1982. – 64 с.
3. Безуглова О.С. Применение гуминовых удобрений и стимуляторов роста в сельском хозяйстве // Актуальные проблемы обеспечения продовольственной безопасности юга России: инновационные технологии для сохранения биоресурсов, плодородия почв, мелиорации и водообеспечения: мат-лы Междун. науч. конф. 27-30 сент. Ростов н/Д. – Ростов на/Д.: ЮНЦ РАН, 2011. – С. 158-161. – ISBN 978-5-4358-0018-0.
4. Белоус О.Г., Платонова Н.Б. Влияние экзогенных регуляторов роста на ростовые процессы и работу фотосинтетического аппарата растений карликового мандарина (*Citrus unshiu* Marc.) // Садоводство и виноградарство. – № 6. – С. 18-23. – doi: 10.31676/0235-2591-2020-6-18-23.
5. Белоус О.Г., Платонова Н.Б. Фотосинтетический аппарат карликового мандарина сорта 'Миагава-Васе' при обработках регуляторами роста // Субтропическое и декоративное садоводство. – 2019. – Вып. 68. – С. 157-164. – doi: 10.31360/2225-3068-2019-68-157-164.
6. Белых Ю.В., Кириллова Н.В., Спасенков А.И. Влияние салициловой кислоты на антиоксидантную и прооксидантную активности в растительных клетках // Biological Communications. – 2009. – № 2. – С. 145-151. – ISSN 2542-2154.
7. Благовещенский А.В. Биогенные стимуляторы и биохимическая природа, природа их действия // Бюл. Главного ботанического сада. – 1956. – С. 25-121.

8. Боровков В.В. Биохимические аспекты созревания и опадения плодов чёрной смородины (*Ribes nigrum* L.): автореф. дис. ... канд. биол. наук. – М.: МСХА, 1997. – 28 с.
9. Васюкова Н.И., Озерецковская О.Л. Индуцированная устойчивость растений и салициловая кислота (обзор) // Прикладная биохимия и микробиология. – 2007. – Т 43(4). – С. 405-411. – ISSN 0555-1099.
10. Гудвин Т., Мерсер Э. Введение в биохимию растений. – М.: Мир, 1986. – 705 с.
11. Деревенщюков С.Н. Новый регулятор роста – циркон и его возможности использования для защиты огурца в открытом грунте // Доклады III Междунар. научн. конф., посвящённой памяти Б.В. Квасникова, Москва. – М.: 2003. – С. 164-168.
12. Калинина Е.А. Влияние биологически активных соединений на рост, фотосинтез и продуктивность кукурузы (*Zea mays* L.) // Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии. – 2009. – № 3. – С. 181-186. – ISSN 0021-342X.
13. Кефели В.И., Власов П.В., Прусакова Л.Д. Природные и синтетические регуляторы онтогенеза растений. – М.: ВИНТИ, 1990. – 157 с.
14. Кефели В.И., Коф Э.М., Власов П.В., Кислин Е.Н. Природный ингибитор роста – абсцизовая кислота. – М.: Наука, 1989. – 182 с. – ISBN 5-02-004019-3.
15. Князева Т.В. Регуляторы роста растений в Краснодарском крае – Краснодар: ЭДВИ, 2013. – 128 с. – ISBN 978-5-901957-94-3.
16. Коломичева Е.А., Мурашев С.В. Действие аминокислотной обработки на состояние покоя растений, формирование плодов и их холодильное хранение (теоретические положения) // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия «Процессы и аппараты пищевых производств». – 2013. – № 2. – С. 9.
17. Кулаева О.Н. Как регулируется жизнь растений // Соросовский образовательный журнал. – 1995. – № 1. – С. 20-27.
18. Кулаева О.Н. Цитокинины, их структура и функция. – М.: Наука, 1973. – 264 с.
19. Кулаева О.Н., Хохлова В.Н., Фофанова Т.А. Цитокинины и абсцизовая кислота в регуляции роста и процессов внутриклеточной дифференцировки. Гормональная регуляция онтогенеза растений. – М.: Наука, 1984. – С. 83-86.
20. Кулуев Б. Регуляторы деления и пролиферации клеток в растениях // Биомика. – 2017. – № 9. – С. 119-135.
21. Лагошина А.Г., Пчихачев Э.К., Белоус О.Г. Влияние регуляторов роста растений на функциональные процессы сельскохозяйственных культур (обзор) // Субтропическое и декоративное садоводство. – 2020. – Т. 74. - С. 110-122. – doi: 10.31360/2225-3068-2020-74-120-131.
22. Ломин С.Н., Кривошеев Д.М., Стеклов М.Ю., Осолодкин Д.И., Романов Г.А. Свойства рецепторов и особенности сигналинга цитокининов // Acta Naturae. – 2020. – № 4(3). – С. 34-48. – ISSN 2075-8243.
23. Мажарова А.Г. Азотистые гетероциклы в медицине и сельском хозяйстве. – Новочеркасск: ЮРГПУ (НПИ), 2013. – 79 с.
24. Максимов И., Веселова С., Нужная Т., Сарварова Е., Хайруллин Р. Стимулирующие рост растений бактерии в регуляции устойчивости растений к стрессовым факторам // Физиология растений. – 2015. – № 62. – С. 763-775. – doi: 10.7868/S0015330315060111.
25. Мамонов Е.В., Старых Г.А., Гончаров А.В. Применение регуляторов роста растений на культурах семейства тыквенные (*Cucurbitaceae*) // Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии. – 2012. – № 2. – С. 94-99. – ISSN 0021-342X.
26. Муромцев Г.С. Регуляторы роста растений. – М.: Колос, 1979. – 246 с.
27. Муромцев Г.С., Агнистикова В.Н. Гиббереллины. – М.: Наука, 1984. – 208 с.

28. Муромцев Г.С., Коренева В.М., Герасимова Н.М. Рост растений и природные регуляторы. – М.: Наука, 1977. – 293 с.
29. Муромцев Г.С., Чкаников Д.И., Кулаева О.Н., Гамбург К.З. Основы химической регуляции роста и продуктивности растений. – М.: Агропромиздат, 1987. – 382 с.
30. Нестерова Е.М., Нестеров Д.Н., Соловьёва А.М., Громаков А.А., Турчин В.В. Применение регуляторов роста растений в растениеводстве // Наука XXI века: вызовы и перспективы: мат. межрег. науч.-прак. конф., Элиста, 15 июня 2019 г. – Элиста: Калмыцкий ГУ им. Б.Б. Городовикова, 2019. – С. 167-173.
31. Нефедьева Е.Э., Белоухов С.Л., Верхотуров В.В., Лысак В.И. Роль фитогормонов в регуляции прорастания семян // Известия вузов. Прикладная химия и биотехнология. – 2013. – № 1(4). – С. 61-66. – ISSN 2227-2925.
32. Павличенко В.В., Протопопова М.В., Золотовская Е.Д., Байрамова Э.М., Коновалов А.Д., Войников В.К. Изучение влияния различных цитокининов на эффективность образования регенерантов при микроклональном размножении тополя берлинского (*Populus berolinensis* Dipp.) // Известия вузов. Прикладная химия и биотехнология. – 2016. – № 4(19). – С. 164-168. – ISSN 2227-2925.
33. Полевой В.В. Роль ауксина в системах регуляции растений. – Л.: Наука, 1986. – 80 с.
34. Рындин А.В., Белоус О.Г., Омаров М.Д., Абиьфазова Ю.С. Оценка эффективности применения новых регуляторов роста в субтропическом садоводстве // Проблемы экологии и агрохимии – 2019. – № 3. – С. 34-38. – doi: 10.26178/AE.2019.70.59.007.
35. Серков В.А., Хрянин В.Н., Климова Л.В. Влияние регуляторов роста на проявление пола и формирование комплекса хозяйственно полезных признаков растений однодомной конопли // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Естественные науки. – 2015. – № 3(11). – С. 42-53. – ISSN 2307-9150.
36. Сидоренко Е.С., Харитонашвили Е.В. Взаимодействие нитрата и АБК в регуляции роста боковых корней *Zea mays* L. // Вестник Московского университета. Серия: Биология. – 2012. – № 4. – С. 34-38. – ISSN 0137-0952.
37. Теханович Г.А. Влияние физиологически активных веществ на выраженность пола у дыни: сб. тр. аспирантов и молодых ученых. ВНИИР. – СПб.: ВНИИР, 1970. – Вып. 17. – С. 339-346.
38. Чайлахян М.Х. Гормональная регуляция роста и развития растений. – М.: Наука, 1982. – С. 7-17.
39. Чайлахян М.Х., Хрянин В.П. Пол растений и его нормальная регуляция. – М.: Наука, 1982. – 193 с.
40. Шаповал О.А., Можарова И.П. Регуляторы роста растений в сельском хозяйстве // Защита и карантин растений. – 2019. – № 4. – С. 9-14. – ISSN 1026-8634.
41. Шаповал О.А., Можарова И.П., Коршунов А.А. Регуляторы роста растений в агротехнологиях // Защита и карантин растений. – 2014. – № 6. – С. 16-20. – ISSN 1026-8634.
42. Шевелуха В.С. Регуляторы роста растений. – М.: Агропромиздат, 1990. – 192 с.
43. Шевякова Н., Мусатенко Л., Стеценко Л., Ракитин В., Веденичева Н., Кузнецов В. Влияние АБК на содержание пролина, полиаминов и цитокининов в растениях хрустальной травки при солевом стрессе // Физиология растений. – 2013. – № 60. – С. 784-792. – doi: 10.7868/S0015330313060122.
44. Atta-Aly M.A. Chemical regulation of growth and sex expression in squash plants // American agriculture Science. – 1992. – Vol. 37(1). – P. 173-180.
45. Baker D. Vascular transport of auxins and cytokinin in *Ricinus* // Plant Growth Regulation. – 2000. – Vol. 32(2). – P. 157-160.
46. Belous O., Abilphasova Ju. Effect of growth regulators on biochemical compounds of tangerine (*Citrus unshiu* Marc.) // Potravinarstvo Slovak Journal of Food Sciences. – 2019. – Vol. 13(1). – P. 443-448. – doi: 10.5219/1126.

47. Chervin C. Ethylene seems required for the berry development and ripening in grape, a non-climacteric fruit // *Plant Science*. – 2004. – No 167. – P. 1301-1305.
48. Cleland R.E. Auxin and cell elongation. In: *Plant hormones and their role in plant growth and development*. – Springer, Dordrecht, 1987. – P. 132-148.
49. Cortleven A., Leuendorf J., Frank M., Pezzetta D., Bolt S., Schmülling Th. Cytokinin action in response to abiotic and biotic stress in plants // *Plant, Cell & Environment*. – 2018. – No 42. – doi: 10.1111/pce.13494.
50. Cvikrova M. Effect of inhibition of biosynthesis of phenylpropanoids on sessile oak somatic embryogenesis // *Plant Physiology and Biochemistry*. – 2003. – Vol. 41(3). – P. 251-259.
51. Das B., Katta V., Suneel K., Majhi A. Novel synthetic methodologies. An efficient and convenient protocol for the synthesis of quinoxalines and dihydropyrazines via cyclization – Oxidation processes using HClO₄ × SiO₂ as a heterogeneous recyclable catalyst // *Cheminform*. – 2007. – No 38. – doi: 10.1002/chin.200746133.
52. Dharmasiri N., Estelle M. Auxin signaling and regulated protein degradation // *Trends in plant science*. – 2004. – Vol. 9(6). – P. 302-308.
53. Dhruve J., Bhutka K., Patel J., Vakharia D. Investigation of Benzyl Adenine and Water Deficit Stress on Antioxidant Enzyme Activities in Peanut (*Arachis hypogaea* L.) // *Advances in Life Sciences*. – 2017. – No 5. – P. 5091-5100.
54. Dobranszki J., Mendler-Drienyovszki N. Cytokinin and photosynthetic apparatus of leaves on in vitro axillary shoots of apple cv. Freedom // *Hungarian Agricultural Research*. – 2015. – No 24. – P. 20-24.
55. George E.F., Hall M.A., Klerk G.J.D. Plant Growth Regulators I: Introduction; Auxins, their Analogues and Inhibitors. In: *Plant Propagation by Tissue Culture*. – Springer, Dordrecht, 2008. – doi: 10.1007/978-1-4020-5005-3_5.
56. Gozdz W. Bicontinuous phases of lyotropic liquid crystals // *Advances in Biomembranes and Lipid Self-Assembly*. – 2016. – Vol. 23. – P. 145-168. – doi: 10.1016/bs.abl.2015.12.003.
57. Hosek P., Kubes M., Lankova M., Dobrev P.I., Klima P., Kohoutova M., Petrasek J., Hoyerova K., Jirina M., Zazimalova E. Auxin transport at cellular level: new insights supported by mathematical modelling // *J. Exp. Bot.* – 2012. – No 63. – P. 3815-3827.
58. Ibrahim M.E., Bekheta M.A., El-Moursi A., Gaafar N.A. Effect of arginine, prohexadione-Ca, some macro and micro-nutrients on growth, yield and fiber quality of cotton plants // *World Journal of Agricultural Sciences*. – 2009. – No 5. – P. 863-870.
59. Jacobsen J.V Regulation of ribonucleic acid metabolism by plant hormones // *Ann. Rev. Plant Physiol.* – 1977. – Vol. 28. – P. 537-564.
60. Jimbo S. Wang J., Yashima Y. Block adaptive CNN/HEVC interframe prediction for video coding // *Proceedings SPIE 11049, International Workshop on Advanced Image Technology (IWAIT)*, 104936 (22 March 2019). – 2019. – Vol. 12. – doi: 10.1117/12.2520214.
61. Khodanitska O., Shevchuk O., Tkachuk O., Matviichuk O. Physiological activity of plant growth stimulators // *The Scientific Heritage*. – 2021. – No 58-1. – P. 36-38. – doi: 10.24412/9215-0365-2021-58-1-36-38
62. Liu H., Li Q., Zhang S., Yin R., Liu X., He Y., Dai K., Shan Ch.-X., Guo J., Liu Ch., Shen Ch., Wang X., Wang N., Wang Z., Wei R., Guo Zh. Electrically Conductive Polymer Composites for Smart Flexible Strain Sensors: A Critical Review // *Journal of Materials Chemistry*. – 2018. – P. 6. – doi:10.1039/C8TC04079F.
63. Ljung K. Auxin metabolism and homeostasis during plant development // *Development*. – 2013. – Vol. 140. – P. 943-950. – doi: 10.1242/dev.086363.
64. Luckwill L.C. Growth regulators in crop production. – London: Edward Arnold Ltd., 1981. – 59 p. – ISBN 071312816X.
65. Mok D.W.S., Mok M.C. Cytokinin metabolism and action // *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology*. – 2001. – Vol. 52. – P. 89-118.
66. Nordstrom A., Tarkowski P., Tarkowska D., Norbaek R., Astot C., Dolezal K., Sandberg G. Auxin regulation of cytokinin biosynthesis in *Arabidopsis thaliana*: A factor of potential

- importance for auxin-cytokinin-regulated development // Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America. – 2004. – Vol. 101. – P. 8039-44. – doi: 10.1073/pnas.0402504101.
67. Pieterse C., Zamioudis Ch., Berendsen R., Weller D., van Wees S., Bakker P. Induced Systemic Resistance by Beneficial Microbes // Annual review of phytopathology. – 2014. – Vol. 52. – P. 347-375. – doi: 10.1146/annurev-phyto-082712-102340.
68. Pieterse C.M.J., Van Loon L.C. Salicylic acid-independent plant defense pathways // Trends Plant Sci. – 1999. – Vol. 4. – P. 52-58.
69. Polyvanyi S.V., Golunova L.A., Baiurko N.V., Khodanitska O.O., Shevchuk V.V., Rogach T.I., Tkachuk O.O., Knyazyuk O.V., Zavalnyuk O. L., Shevchuk O.A. Morphogenesis of mustard white under the action of the antigibberellic preparation chlormequat chloride // Modern Phytomorphology. – 2020. – Vol. 14. – P. 101-103.
70. Poprotska I., Kuryata V., Khodanitska O., Polyvanyi S., Golunova L., Prysedsky Y. Effect of gibberellin and retardants on the germination of seeds with different types of reserve substances under the conditions of skoto- and photomorphogenesis // Biologija. – 2019. – No 65(4). – P. 296-307.
71. Reemmer J., Murphy A. Intercellular Transport of Auxin. In: Auxin and Its Role in Plant Development. – Vienna: Springer, 2014. – P. 75-100. – doi: 10.1007/978-3-7091-1526-8_5.
72. Scriven L.E. Equilibrium bicontinuous structure // Nature. – 1976. – Vol. 263. – P. 123-125.
73. Shevchuk O.A., Tkachuk O.O., Kuryata V.G., Khodanitska O.O., Polyvanyi S.V. Features of leaf photosynthetic apparatus of sugar beet under retardants treatment // Ukrainian Journal of Ecology. – 2019. – Vol. 9(1). – P. 115-120.
74. Shimelis D., Bantte K., Feyissa T. Effects of polyvinyl pyrrolidone and activated charcoal to control effect of phenolic oxidation on *in vitro* culture establishment stage of micropropagation of sugarcane (*Saccharum officinarum* L.) // Advances in Crop Science and Technology. – 2015. – Vol. 3(4). – P. 184. – doi: 10.4172/2329-8863.1000184.
75. Зинатуллина А. Цитофизиологические особенности контрастных типов каллусов *in vitro* // Успехи современной биологии. – 2020. – № 140. – С. 183-194. – doi: 10.31857/S0042132420020040.

**PLANT GROWTH REGULATORS
AND THEIR USE IN CROP PRODUCTION
(literature review)**

Vasileyko M. V.

*Federal Research Centre the Subtropical Scientific Centre
of the Russian Academy of Sciences,
Sochi, Russia; e-mail: mvasileyko@gmail.com*

The paper presents a review of bibliographic sources on the possibility of using growth regulators as an agricultural method for growing crops. The classification of the most common preparations of a various nature is given, a brief historical reference on these compounds is presented. The mechanism of their action and their role in increasing plant resistance to stress factors are shown. Information is also given about the possibility of using plant growth regulators in biotechnology and plant protection. The data on the influence of various growth regulators on the yield of agricultural crops and product quality are analyzed.

Key words: growth regulators, agricultural crops, metabolism, growth, development, resistance.