

РЕГУЛЯТОРЫ РОСТА ПОВЫШАЮЩИЕ ПРОДУКТИВНОСТЬ СОИ

А. И. Даминова, А. К. Сибгатуллова

Реферат. Регуляторы роста растений обладают широким спектром физиологической активности. Благодаря их действию наблюдается устойчивость растений сои к неблагоприятным факторам внешней среды, болезням, на рост, а также развитие и ее качество. Соя - самая распространенная масличная культура в мире. Мировое годовое производство сои превышает 260 млн т. Она является основным съедобным растением и главным источником растительного белка во всем мире. Мировой спрос на сою постоянно растет, поскольку ее семена обеспечивают необходимыми белками, маслом и нутрицевтиками. В стремлении удовлетворить возросший спрос на эту культуру стало необходимым внедрять агротехнические методы, которые способствуют адаптации к сложным условиям окружающей среды, способные улучшать устойчивость сои к абиотическому стрессу и повышать урожайность. Регуляторы роста растений в основном используются для достижения этой цели из-за их решающей роли в росте и развитии растений. Одним из основных регуляторов роста являются такие фитогормоны как: ауксины, гиббереллины, цитокинины, брассинолиды, этилен, абсцизовая и жасмоновые кислоты. Каждая из групп фитогормонов производит свое характерное действие, сходное у растений разных видов. Деление и растяжение клеток лежащие в основе всех процессов роста и морфогенеза, находятся у растений под контролем ауксинов и цитокинов, поэтому полное их отсутствие может привести к летальному исходу. Эти соединения в целом положительно влияют на морфологию, физиологию и на качество урожая сои. Также они способны регулировать и контролировать в значительной мере процессы роста и дифференцировки клеток растений. Следует отметить, что эти фитогормоны необходимы в незначительных количествах для активации и регуляции морфогенетических процессов в сое и других сельскохозяйственных растениях.

Ключевые слова: соя, регуляторы роста, растения, абиотический стресс, урожайность, рост.

Введение. В настоящее время соя распространилась далеко за пределы региона своего происхождения в страны с различными почвенно-климатическими условиями. В мировом растениеводстве производство этой культуры развивается очень динамично, что объясняется возрастающим спросом на растительные масла и дефицитом животного белка [1, 2, 3]. Крупнейшими производителями сои являются США, Аргентина и Бразилия [4]. В последние годы происходит стремительный рост производства сои в России за счет увеличения ареала возделывания и повышения ее урожайности.

В данных странах осуществляется более 80% производство всего мирового урожая сои. В 2020 году под соей было занято 2,86 млн га, что составило 3,6% от общего объема посевных площадей в стране. Валовой сбор культуры увеличился до 3,6 млн тонн [5].

Зернобобовые культуры являются жизненно важной и доминирующей группой культур после таких зерновых, как пшеница, рис и кукуруза, которые вносят огромный вклад в питание человека. Их питательная ценность особенно заметна для развивающегося мира, поскольку в этих регионах недостаточно продуктов животного происхождения [6].

Среди бобовых культур соя (*Glycine max* (L.) является уникальной и обособленной культурой, принадлежащей к семейству *Fabaceae* (*Leguminosae*), относится к порядку *Fabales* и подсемейству *Papilionaceae* [7].

Высокая питательная ценность сои делает ее незаменимой культурой, занимающей 6-е место по общему урожаю и наиболее

культивируемой масличной культурой, которая адаптируется к различным климатическим условиям [8].

Цель исследования - провести анализ основных регуляторов роста применяемых в активации роста сои.

Условия, материалы и методы. При написании статьи был проведен углубленный поиск и обобщение литературы в базе данных PubMed, Web of Science, Google Scholar, а также Российского научного цитирования – РИНЦ с применением Science Index по регуляторам роста повышающие продуктивность сои. После проведенного анализа мы осуществили выборку 30 актуальных зарубежных и отечественных научных статей.

Результаты и обсуждение. Соя содержит несколько жизненно важных питательных веществ, таких как углеводы, жиры, белки, витамины, α -токоферол и минералы. Эта культура широко потребляется благодаря своему превосходному источнику белков высшего качества [9].

Соеводство достаточно хорошо развито в Российской Федерации, однако общие объемы производства этой культуры в нашей стране остаются крайне недостаточными для удовлетворения потребностей народного хозяйства в высокобелковом сырье [10].

Из данных таблицы видно, что посевные площади сои в хозяйствах всех категорий Российской Федерации за последние 5 лет изменились, в 2020 году отмечали низкий показатель площади посевов сои он составлял 2858 тыс. га, а в 2022 году возрос до 3487 тыс. га [11].

АГРОНОМИЯ

Самый низкий уровень валового сбора сои был отмечен в 2018 году и составлял 40269 тыс. ц, а в 2022 году было всего зафиксировано 57889 тыс. ц. Самый высокий

показатель урожайности сои в хозяйствах всех категорий в Российской Федерации отмечали в 2022 году - 18,0 (ц с 1 га убранной площади), а в 2018 году составляло 14,7 (ц с 1 га) [11].

Таблица - Посевные площади, валовые сборы и урожайность сои в Российской Федерации в период с 2018 по 2022 годы

2018 год	2019 год	2020 год	2021 год	2022 год
Посевные площади сои в хозяйствах всех категорий Российской Федерации (тыс. га)				
2949	3079	2858	3068	3487
Валовые сборы сои в хозяйствах всех категорий в Российской Федерации (тыс. ц)				
40269	43600	43076	47599	57889
Урожайность сои в хозяйствах всех категорий в Российской Федерации (ц с 1 га убранной площади)				
14,7	15,7	15,9	15,9	18,0

В попытке повысить продуктивность сои используются генетические улучшения, а также внесение удобрений и пестицидов в сочетании с улучшенными методами культивирования [12].

Регуляторы роста растений могут быть эффективными в реализации потенциала урожайности этих культур из-за их многочисленных воздействий на жизнь растений, включая цветение, рост и плодоношение [13].

Известно, что регуляторы роста растений повышают урожайность и обеспечивают желаемый прирост на единицу площади и за определенное время. Регуляторы роста также необходимы для прорастания, развития цветков и корней, созревания семян, хранения и других функциональных процессов в растениях [14].

Сообщалось, что при производстве сои такие регуляторы роста, как ауксин, цитокинин, абсцизовая кислота, этилен, жасмоновая кислота, салициловая кислота, гиббереллины и брассиностероиды, среди прочих, способствуют росту и продуктивности растений [13]. Они устойчиво стимулируют рост корней и побегов, повышают эффективность использования воды, способствуют цветению и завязыванию стручков, увеличивают содержание хлорофилла, улучшают скорость фотосинтеза, усиливают транслокацию фотоассимилятов, увеличивают накопление биомассы и индуцируют устойчивость к нескольким абиотическим стрессам, что приводит к усиленному росту и урожайности [14].

Ауксины. Ауксины - это органические фитогормоны с морфогеноподобными свойствами, участвующие в координации нескольких процессов развития растений.

Синтетические ауксины, включая 2,4-дихлорфеноксиуксусную кислоту (2,4-D), 2,5-трихлорфеноксиуксусную кислоту, нафталиноуксусную кислоту, 2-метил-4-хлорфеноксиуксусную кислоту и индолмасляную кислоту, имитируют физиологические реакции индолуксусной кислоты [7]. Ауксины усиливают физиологические процессы, которые непосредственно контролируют рост растений. Например, низкие концентрации ауксинов способствуют фототропизму, зарождению боковых корней, гравитропизму, развитию

сосудов, влияют на апикальное доминирование, продольный рост побегов, образование корней у черенков. Однако следует отметить что высокие концентрации могут негативно влиять на растения, вызывая окислительный стресс, гибель клеток и подавлять развитие пазушных почек [7].

Гиббереллины. Гиббереллины представляют собой основную группу тетрациклических дитерпеноидных соединений с разнообразными свойствами, которые, как известно, влияют на различные процессы развития растений [15]. Гиббереллиновая кислота является наиболее производимым и часто используемым гиббереллином, связанным с ростом и развитием растений. Она также способствует фотосинтезу, прорастанию семян, цветению, удлинению стебля, росту листьев и делению клеток в побегах растений, вызванному прямой регуляцией синтеза белка и РНК (рибонуклеиновой кислоты). Кроме того, гиббереллины стимулируют продольный рост, вызванный развитием меристематических тканей [15, 16].

Цитокинины. Цитокинины представляют собой фитогормоны, синтезируемые в меристематических органах и тканях [17]. Они способствуют регулированию разнообразных физиологических и биохимических процессов во многих органах растений, пролиферацию и дифференцировку клеток, а также реакцию растений на стрессовые условия. Недостаток цитокинина может останавливать клеточный цикл и влиять на клеточную активность из-за его кардинальной роли в делении растительных клеток путем прямой регуляции синтеза белка во время митоза [17].

Цитокинины способствуют росту корней, развитию побегов из междоузлий, созреванию хлоропластов, инициируют образование каллуса и стимулируют реакцию растений на различные биотические и абиотические стрессы, а также на питательные вещества, предотвращая дегенерацию клеток, передачу сигналов синтеза белка и усиливая защитные ферменты. Экзогенный цитокинин увеличивает завязывание стручков, ингибируя прерывание цветения у сои и люпина, и в конечном итоге повышает урожайность [12].

Брассинолиды. Брассинолид является стероидом, стимулирующим рост растений, и наиболее значимым природным брассиностероидом благодаря своим эффективным биологическим функциям и широкому распространению [18].

У томатов брассинолид значительно улучшал вегетативный рост за счет увеличения длины корней, побегов и биомассы, структуры побегов и общего содержания хлорофилла, каротиноидов, углеводов, а также минеральных веществ. Кроме того этот активатор роста улучшал активность нитратредуктазы, усвояемость нитратных удобрений, высоту растений, накопление биомассы и устойчивость к неблагоприятным условиям окружающей среды у различных видов растений, включая нут, сою, пшеницу, чечевицу, кукурузу и рис [16].

Абсцизовая кислота. По данным Zhu Y. (2017) абсцизовая кислота, является ключевым регулятором устойчивости растений к абиотическому стрессу, также выполняет функцию координации нескольких кардинальных процессов роста и развития [19].

Эта кислота улучшает устойчивость к осмотическому стрессу, синтез белка и липидов, регулирует гены синтеза белка, защищает растения от патогенов, контролирует поглощение воды и ионов, морфогенез и эмбриогенез, а также способствует уменьшению опадению листьев [20].

Этилен. Это многофункциональный гормон, синтезируемый практически всеми тканями, связанными с ростом растений, в присутствии кислорода.

В зависимости от вида растения, концентрации и времени применения этилен может стимулировать, ингибировать или индуцировать рост и старение растений. Исследования многих ученых показали, что этилен способствует росту, повышая толерантность к различным стрессовым условиям [21].

Например, по данным Ma B., Chen S., Zhang J. (2020), применение этилена улучшает устойчивость риса к условиям переувлажнения, вызывая появление придаточных корней, образование аэренхимы в корнях и удлинение побегов [21].

Согласно исследованиям Wang et al. (2020), этилен повышал всхожесть семян люцерны в условиях солевого стресса и ослаблял его воздействие на проростки [22].

Жасмоновая кислота. Жасмоновая кислота является производным бета-линоленовой кислоты и считается важным компонентом мембран хлоропластов, относящихся к оксипидам. Следует отметить что жасмоновая кислота одновременно является стимулятором и ингибитором роста [19].

По данным ряда исследователей Gutierrez L., Mongelard G. (2012), экзогенная жасмоновая кислота подавляла разрастание листьев и образование придаточных корней у арабидопсиса, снижал рост колеоптилей и высоту растений у риса и подавлял рост колосовых побе-

гов у кукурузы. Кроме того, экзогенное применение этой кислоты индуцировало активность хлорофиллазы, старение листьев и деградацию микроотростков растений сои [23].

Регуляторное воздействие различных усилителей роста на сою. Различные исследования свидетельствуют о положительном влиянии регуляторов роста на морфологию, физиологию, урожайность и качество урожая сельскохозяйственных культур, особенно сои [23, 24].

Влияние на морфологию сои. Морфология растения обычно состоит из корневой системы и системы побегов. Корневая система включает в себя различные типы корней, динамических по морфологии и функциям. Корни, являясь центральной границей между растениями и окружающей средой, выполняют ключевые функции в росте и развитии растений. Рост и развитие корней напрямую влияют на рост растения сои. Поскольку эти фитогормоны влияют на рост, понимание их влияния на корни очень важно [25].

При выращивании сои большинство свойств корней зависят от особенностей растения сои, а не от почвы, в отличие от большинства культур, где длина и вес корней зависят от содержания кислорода в почве, которое определяется пористостью почвы [25]. Корни сои при различных параметрах почвы, таких как влажность, температура, пустоты, могут вызывать изменения в морфологии корней в дополнение к другим факторам окружающей среды. Такие условия, как стресс от переувлажнения и засуха, сильно влияют на рост корней [26].

Стресс от переувлажнения подавляет рост корней, уменьшая их размер, в то время как засуха влияет на архитектуру корней за счет удлинения боковых корней и развития корневых волосков для лучшего поглощения воды. Переувлажнение заполняет поры почвы, что ограничивает газообмен, вызывая образование придаточных корней [27].

Влияние на физиологию сои. В целом, физиология растений охватывает все механизмы, которые обеспечивают продукционные процессы растения, такие как фотосинтез, использование водного режима и физиология окружающей среды [26]. Они контролируют рост и развитие как побегов, так и корней, устойчивость к окружающей среде и взаимодействие факторов, связанных с ростом, таких как питание, гормоны, температура, углерод и энергетический обмен. Все вышеуказанные механизмы были использованы при исследовании сои. Применение регуляторов роста на сое повышало использование гормонов, удобрений, воды, ферментов и фотосинтеза [28, 29].

Следует отметить что регуляторы роста растений повышают уровень эндогенных гормонов в них. У сои экзогенное применение такого вещества как метилжасмоната увеличивало содержание абсцизовой кислоты в растениях, подвергшихся солевому стрессу, таким

образом, была повышена стрессоустойчивости [30]. В заключение, экзогенные регуляторы роста стабилизируют уровни эндогенных гормонов для усиления метаболических процессов растений, связанных с ростом и продуктивностью.

Использование удобрений и фиксация азота. Азот является одним из главных питательных веществ для роста растений. Как правило, бобовые могут фиксировать азот в почвах, который в дальнейшем используется растением для роста [28, 30].

Фиксация диазота зернобобовыми культурами (азотное питание), обеспечивает высокую устойчивость и экономическую конкурентоспособность, следовательно, участвуя в экологически безопасном сельскохозяйственном производстве, а также в производстве высококачественной растениеводческой продукции [31].

Сообщалось, что у сои увеличение роста и урожайности зависит от большого поступления азота в периоды от начала роста стручков (R3) до полного прорастания семян (R6), что требует более высокого содержания азота.

Растения сои действуют как поглотители почвенного азота и эффективно его

используют для своего развития [31].

Однако, увеличение концентрации азота в почве при посадке позволяет понизить реакцию сои на азотистые удобрения [32, 33].

Выводы. Регуляторы роста растений широко применяются в сельском хозяйстве для улучшения всхожести, закладки всходов, роста и развития, а также урожайности даже при неблагоприятных условиях окружающей среды и почвы.

Они используются в определенный период роста и в соответствующих концентрациях, влияют на урожайность и компоненты урожая сои. Нанесение регуляторов роста непосредственно на вегетативные и регенеративные органы защищает растения от биотических и абиотических стрессов, повышает эффективность использования воды, нарушает период покоя и улучшает устойчивость к засухе. Регуляторы роста применяемые в определенный период роста и в соответствующих концентрациях, влияют на урожайность и структуры урожая сои.

В целом, можно сделать вывод, что регуляторы роста не только способствуют росту и развитию растений сои, но и повышают ее продуктивность.

Литература

1. Фадеева А. Н., Абросимова Т. Н. Урожайность и качество семян сортов сои различного эколого-географического происхождения // Земледелие. 2019. № 3. С. 37–40.
2. Экономическая эффективность возделывания сои в зависимости от агрометеорологических условий / О. Г. Шабалдас, К. И. Пимонов, С. С. Фролов Э. Г. Устарханова, С. С. Вайцеховская // Вестник АПК Ставрополя. 2020. № 4 (40). С. 74–80.
3. Influence of weather and climatic conditions on soybean yield / M. Tsekhmeistruk, O. Pankova, V. Kolomatska et al. // Ukrainian Journal of Ecology. 2021. №. 11 (4). pp. 11–17.
4. Шаповал О. А., Можарова И. П., Мухина М. Т. Влияние регуляторов роста растений нового поколения на рост и продуктивность растений сои // Плодородие. 2015. № 5. С. 32-34
5. Сельское хозяйство в России. 2021: Стат. сб. Москва: Росстат, 2021. С.100 https://rosstat.gov.ru/storage/mediabank/S-X_2021.pdf
6. Shakyu M., Patel M., Singh V. Knowledge level of chickpea growers about chickpea production technology. Indian Research Journal of Extension Education // 2016. Vol. 8. pp. 65–68.
7. Growth regulators promote soybean productivity: a review / H. Amoanimaa-Dede, C. Su, A. Yeboah et al. // Peer J. 2022. 10:e12556
8. Comparative analysis of endogenous hormones level in two soybean (*Glycine max L.*) lines differing in waterlogging tolerance / Y-H. Kim, S-J. Hwang, Waqas M., A. L. Khan et al. // Frontiers in Plant Science. 2015. Vol. 6. pp. 714.
9. Lokuruka M. Soybean nutritional properties: The good and the bad about soy foods consumption-A review. / African Journal of Food, Agriculture, Nutrition and Development. 2010. Vol. 10. pp. 2439–2459.
10. Разаева В. В., Краснова Е. А. Продуктивность сои в северной лесостепи Тюменской области в зависимости от агротехнических приемов. Кормление сельскохозяйственных животных и кормопроизводство. 2022. № 1. С. 10-26.
11. Посевные площади, валовые сборы и урожайность сельскохозяйственных культур в Российской Федерации в 2022 году. <https://rosstat.gov.ru/compendium/document/13277>
12. Khan K., Mazid M. Chickpea responses to application of plant growth regulators, organics and nutrients // Advances in Plants and Agriculture Research. 2018. Vol. 8. pp. 259–273.
13. Колесар В. А. Оценка эффективности использования разных ростостимуляторов на сорте сои скульптор // Актуальные вопросы использования земельных ресурсов, геодезии и природопользования: сборник трудов Всероссийской (национальной) научно-практической конференции кафедры землеустройства и кадастров Казанского ГАУ. - Казань, 2021. С. 78-86.
14. Roy Choudhury S., Johns S. M., Pandey S. A convenient, soil-free method for the production of root nodules in soybean to study the effects of exogenous additives // Plant Direct. 2019.3:e00135.
15. Multi-layered regulation of SPL15 and cooperation with SOC1 integrate endogenous flowering pathways at the Arabidopsis shoot meristem / Y. Hyun, R. Richter, C. Vincent et al. // Developmental Cell. 2016. Vol. 37. pp. 254–266.
16. Gibberellins producing endophytic fungus *Porostereum spadiceum* AGH786 rescues growth of salt affected soybean / M. Hamayun, A. Hussain, S. A. Khan et al. // Frontiers in Microbiology. 2017. Vol. 8 P. 686.
17. Rademacher W. Plant growth regulators: backgrounds and uses in plant production // Journal of Plant Growth Regulation. 2015. Vol. 34. pp. 845–872.
18. Combined use of trichoderma atroviride CCTCCSBW0199 and brassinolide to control *Botrytis cinerea*

- infection in tomato. / T. T. Li, J. D. Zhang, J. Q. Tang. et al. // *Plant Disease*. 2020. Vol. 104. pp. 1298–1304.
19. An Arabidopsis nucleoporin NUP85 modulates plant responses to ABA and salt stress / Y. Zhu, B. Wang, K. Tang et al. // *PLOS Genetics*. 2017.13:e1007124.
20. Arabidopsis duodecuple mutant of PYL ABA receptors reveals PYL repression of ABA-independent SnRK2 activity. / Y. Zhao, Z. Zhang, J. Gao et al. // *Cell Reports*. 2018. Vol 23. pp. 3340–3351.
21. Ma B., Chen S., Zhang J. Ethylene signaling in rice // *Chinese Science Bulletin*. 2010. Vol. 55. pp. 2204–2210.
22. Ethylene enhances seed germination and seedling growth under salinity by reducing oxidative stress and promoting chlorophyll content via ETR2 pathway / Y. Wang, P. Diao, L. Kong et al. // *Frontiers in Plant Science*. 2020;11:1066.
23. Auxin controls Arabidopsis adventitious root initiation by regulating jasmonic acid homeostasis. / L. Gutierrez, G. Mongelard, K. Flokova et al. // *The Plant Cell*. 2012. Vol 24. pp. 2515–2527.
24. Пахомова В. М., Дамина А. И. Действие антиоксидантов на рост растений // *Достижения науки и техники АПК*, 2019. Т. 33. № 11. С. 26-28.
25. Wijewardana C., Reddy K. R., Bellaloui N. Soybean seed physiology, quality, and chemical composition under soil moisture stress // *Food Chemistry*. 2019. Vol 278. pp. 92–100.
26. Комплексная оценка состояния почвы после различных сельскохозяйственных культур / Р. М. Сабирова, И. Х. Вафин, А. А. Абрамова, Р. И. Сафин // *Агробиотехнологии и цифровое земледелие*. 2022. № 4 (4). С. 40-44.
27. Шарипова Г. Ф., Колесар В. А., Сафин Р.И. Эффективность применения удобрений с микроэлементами на различных сортах сои // *Плодородие*. 2020. № 3 (114). С. 9-12.
28. Колесар В. А. Эффективность технологии использования органоминеральных удобрений для улучшения урожайности и фитосанитарного состояния посевов сои обыкновенной в Республике Татарстан // Современное состояние и перспективы развития технической базы агропромышленного комплекса. Научные труды Всероссийской (национальной) научно-практической конференции, посвященной памяти д.т.н., профессора Мартынова А. П. Казанский государственный аграрный университет. Казань, 2022. С. 556-563.
29. Regulation of ROS metabolism in plants under environmental stress: a review of recent experimental evidence / M. Hasanuzzaman, M. Bhuyan, K. Parvin et al. // *International Journal of Molecular Sciences*. 2020. Vol. 21. P.8695.
30. Амиров М. Ф. Совершенствование агротехнологий производства сельскохозяйственных культур // Глобальные вызовы для продовольственной безопасности: риски и возможности: Научные труды международной научно-практической конференции. Казань, 2021. С. 32-38.
31. GmPAP12 is required for nodule development and nitrogen fixation under phosphorus starvation in soybean. / Y. Wang, Z. Yang, Y. Kong et al. // *Frontiers in Plant Science*. 2020b. Vol. 11. P. 450.
32. Эффективность применения микроудобрений на сое / В. А. Колесар, Г. Ф. Шарипова, Д. Р. Сафина, Р. И. Сафин // *Сельское хозяйство и продовольственная безопасность: технологии, инновации, рынки, кадры*. Научные труды международной научно-практической конференции, посвященной 100-летию аграрной науки, образования и просвещения в Среднем Поволжье. 2019. С. 124-129.
33. Эффективность некорневого внесения различных удобрений на сое в Предкамье Республики Татарстан / Г. Ф. Шарипова, П. А. Дмитриева, Д. Р. Сафина, В. А. Колесар, Р. И. Сафин // *Воспроизводство плодородия почв и продовольственная безопасность в современных условиях: Сборник трудов международной научно-практической конференции, посвященной 100-летию кафедры агрохимии и почвоведения Казанского ГАУ*. Казань, 2021. С. 192-198.

Сведения об авторах:

Дамина Аниса Илдаровна - кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, e-mail: danis14@mail.ru
 Сибгатуллова Адыля Камилевна - кандидат ветеринарных наук, старший преподаватель, e-mail: sibgatullova92@mail.ru
 Казанский государственный аграрный университет, г. Казань, Россия

GROWTH REGULATORS THAT INCREASE SOYAN PRODUCTIVITY

A. I. Daminova, A. K. Sibgatullova

Abstract. Plant growth regulators have a wide spectrum of physiological activity. Thanks to their action, resistance of soybean plants to adverse environmental factors, diseases, growth, development and quality is observed. Soy is the most widely used oilseed in the world. The world annual production of soybeans exceeds 260 million tons. It is the main edible plant and the main source of vegetable protein worldwide. The global demand for soybeans is constantly growing as its seeds provide essential proteins, oils and nutraceuticals. In an effort to meet the increased demand for this crop, it has become necessary to introduce cultural practices that promote adaptation to difficult environmental conditions, can improve soybean tolerance to abiotic stress and increase yields. Plant growth regulators are mainly used for this purpose due to their critical role in plant growth and development. One of the main growth regulators are such phytohormones as: auxins, gibberellins, cytokinins, brassinolides, ethylene, abscisic and jasmonic acid. Each of the groups of phytohormones produces its own characteristic action, which is similar in plants of different species. Cell division and elongation, which underlie all processes of growth and morphogenesis, are under the control of auxins and cytokines in plants, so their complete absence can lead to death. These compounds generally have a positive effect on the morphology, physiology and quality of the soybean crop. They are also able to regulate and control to a large extent the processes of growth and differentiation of plant cells. It should be noted that these phytohormones are required in small amounts for the activation and regulation of morphogenetic processes in soybean and other agricultural plants.

Key words: soybean, growth regulators, plants, abiotic stress, yield, growth.

References

1. Fadeeva A. N., Abrosimova T. N. Yield and seed quality of soybean varieties of different ecological and geographical origin // *Zemledelie*. 2019. No. 3. pp. 37–40.
2. Economic efficiency of soybean cultivation depending on agrometeorological conditions / O. G. Shabaldas, K. I. Pimonov, S. S. Frolov, E. G. Ustarkhanova, S. S. Vaytsekhovskaya // *Bulletin of the APK of Stavropol*. 2020. No. 4 (40). pp. 74–80.

3. Influence of weather and climatic conditions on soybean yield / M. Tsekhmeistruk, O. Pankova, V. Kolomatska et al. // *Ukrainian Journal of Ecology*. 2021. No. 11 (4). pp. 11–17.
4. Shapoval O. A., Mozharova I. P., Mukhina M. T. Influence of plant growth regulators of a new generation on the growth and productivity of soybean plants // *Fertility*. 2015. No. 5 pp. 32-34.
5. *Agriculture in Russia. 2021: Stat. Sat. Moscow: Rosstat, 2021. P.100* https://rosstat.gov.ru/storage/mediabank/S-X_2021
6. Shakya M., Patel M., Singh V. Knowledge level of chickpea growers about chickpea production technology. *Indian Research Journal of Extension Education* // 2016. Vol. 8. pp. 65–68.
7. Growth regulators promote soybean productivity: a review / H. Amoanimaa-Dede, C. Su, A. Yeboah et al. // *Peer J*. 2022. 10:e12556
8. Comparative analysis of endogenous hormones level in two soybean (*Glycine max* L.) lines differing in waterlogging tolerance / Y-H. Kim, S-J. Hwang, M. Waqas, A. L. Khan et al. // *Frontiers in Plant Science*. 2015. Vol. 6. P.714.
9. Lokuruka M. Soybean nutritional properties: The good and the bad about soy foods consumption-A review. *African Journal of Food, Agriculture, Nutrition and Development*. 2010. Vol. 10. pp. 2439–2459.
10. Razaeva V. V., Krasnova E. A. Soybean productivity in the northern forest-steppe of the Tyumen region, depending on agricultural practices. Feeding farm animals and fodder production. 2022. No. 1. pp. 10-26.
11. Cultivated areas, gross yields and crop yields in the Russian Federation in 2022. <https://rosstat.gov.ru/compendium/document/13277>.
12. Khan K., Mazid M. Chickpea responses to application of plant growth regulators, organics and nutrients // *Advances in Plants and Agriculture Research*. 2018. Vol. 8. pp.259–273.
13. Kolesar V. A. Evaluation of the effectiveness of the use of different growth stimulants on the sculptor soybean variety // *Topical issues of land use, geodesy and nature management: a collection of proceedings of the All-Russian (National) Scientific and Practical Conference of the Department of Land Management and Cadastre of the Kazan State Agrarian University*. Kazan, 2021. pp. 78-86.
14. Roy Choudhury S., Johns S. M., Pandey S. A convenient, soil-free method for the production of root nodules in soybean to study the effects of exogenous additives // *Plant Direct*. 2019.3:e00135.
15. Multi-layered regulation of SPL15 and cooperation with SOC1 integrate endogenous flowering pathways at the *Arabidopsis* shoot meristem / Y. Hyun, R. Richter, C. Vincent et al. // *Developmental Cell*. 2016. Vol. 37. pp.254–266.
16. Gibberellins producing endophytic fungus *Porostereum spadiceum* AGH786 rescues growth of salt affected soybean / M. Hamayun, A. Hussain, S. A. Khan et al. // *Frontiers in Microbiology*. 2017. Vol.8. P.686.
17. Rademacher W. Plant growth regulators: backgrounds and uses in plant production // *Journal of Plant Growth Regulation*. 2015. Vol. 34. pp. 845–872.
18. Combined use of trichoderma atroviride CCTCCSBW0199 and brassinolide to control *Botrytis cinerea* infection in tomato / T. T. Li, J. D. Zhang, J. Q. Tang et al. // *Plant Disease*. 2020. Vol. 104. pp. 1298–1304.
19. An *Arabidopsis* nucleoporin NUP85 modulates plant responses to ABA and salt stress / Y. Zhu, B. Wang, K. Tang et al. // *PLOS Genetics*. 2017.13:e1007124.
20. *Arabidopsis* duodecuple mutant of PYL ABA receptors reveals PYL repression of ABA-independent SnRK2 activity / Y. Zhao, Z. Zhang, J. Gao et al. // *Cell Reports*. 2018. Vol 23. pp. 3340–3351.
21. Ma B., Chen S., Zhang J. Ethylene signaling in rice. // *Chinese Science Bulletin*. 2010. Vol. 55. pp. 2204–2210.
22. Ethylene enhances seed germination and seedling growth under salinity by reducing oxidative stress and promoting chlorophyll content via ETR2 pathway / Y. Wang, P. Diao, L. Kong et al. // *Frontiers in Plant Science*. 2020a;11:1066.
23. Auxin controls *Arabidopsis* adventitious root initiation by regulating jasmonic acid homeostasis / L. Gutierrez, G. Mongelard, K. Flokova et al. // *The Plant Cell*. 2012. Vol 24. pp. 2515–2527.
24. Pakhomova V. M., Daminova A. I. The effect of antioxidants on plant growth // *Achievements of science and technology of the APK*, 2019. V. 33. No. 11. pp. 26-28.
25. Wijewardana C., Reddy K. R., Bellaloui N. Soybean seed physiology, quality, and chemical composition under soil moisture stress // *Food Chemistry*. 2019. Vol 278. pp. 92–100.
26. Comprehensive assessment of the state of the soil after various agricultural crops / R. M. Sabirova, I. Kh. Vafin, A. A. Abramova, R. I. Safin // *Agrobiotechnologies and digital farming*, 2022. No. 4 (4). pp. 40-44.
27. Sharipova G. F., Kolesar V. A., Safin R. I. The effectiveness of the use of fertilizers with microelements on various soybean varieties // *Fertility*. 2020. No. 3 (114). pp. 9-12.
28. Kolesar V. A. The effectiveness of the technology of using organomineral fertilizers to improve the yield and phytosanitary condition of soybean crops in the Republic of Tatarstan // *Current state and prospects for the development of the technical base of the agro-industrial complex. Scientific works of the All-Russian (national) scientific-practical conference dedicated to the memory of Doctor of Technical Sciences, Professor A.P. Martyanov Kazan State Agrarian University*. Kazan, 2022. pp.556-563.
29. Regulation of ROS metabolism in plants under environmental stress: a review of recent experimental evidence. / M. Hasanuzzaman, M. Bhuyan, K. Parvin et al. // *International Journal of Molecular Sciences*. 2020. Vol. 21. P.8695.
30. Amirov M. F. Improving agricultural technologies for the production of agricultural crops // *Global Challenges for Food Security: Risks and Opportunities: Scientific Works of the International Scientific and Practical Conference*. Kazan, 2021. pp. 32-38.
31. GmPAP12 is required for nodule development and nitrogen fixation under phosphorus starvation in soybean. / Y. Wang, Z. Yang, Y. Kong et al. // *Frontiers in Plant Science*. 2020b. Vol. 11 . P. 450.
32. Kolesar V. A. The effectiveness of the use of microfertilizers on soybean / V. A. Kolesar, G. F. Sharipova, D. R. Safina, R. I. Safin // *Agriculture and food security: technologies, innovations, markets, personnel. Scientific works of the international scientific-practical conference dedicated to the 100th anniversary of agricultural science, education and enlightenment in the Middle Volga region*. 2019. pp. 124-129.
33. Sharipova G. F. Efficiency of foliar application of various fertilizers on soybeans in the Pre-Kama region of the Republic of Tatarstan / G. F. Sharipova, P. A. Dmitrieva, D. R. Safina, V. A. Kolesar, R. I. Safin // *Reproduction of soil fertility and food security in modern conditions: Proceedings of the international scientific and practical conference dedicated to the 100th anniversary of the Department of Agrochemistry and Soil Science of the Kazan State Agrarian University*. Kazan, 2021. pp. 192-198.

Authors:

Daminova Anisa Ildarovna – Candidate of Agricultural Sciences, e-mail: danis14@mail.ru
 Sibgatullova Adylya Kamilevna – senior lecturer, e-mail: sibgatullova92@mail.ru
 Kazan State Agrarian University, Kazan, Russia