

Д. Ф. Султанова (докторант), Л. И. Алиева (д.т.н., проф.), Д. Ш. Мамедов (д.с.-х.н., проф., зав.лаб.)

ПРИМЕНЕНИЕ ПРОИЗВОДНЫХ ДИКАРБОНОВЫХ КИСЛОТ В КАЧЕСТВЕ РЕГУЛЯТОРОВ РОСТА РАСТЕНИЙ

Институт нефтехимических процессов им. акад. Ю.Г. Мамедалиева
Министерства науки и образования Азербайджанской Республики,
лаборатория «Синтез и технология биологически активных химических реагентов»
Республика Азербайджан, AZ 1025, г. Баку, пр. Ходжалы, 30; e-mail: djamassultanova23@gmail.com

D. F. Sultanova, L. I. Aliyeva, D. Sh. Mammadov

APPLICATION OF DICARBOXYLIC ACIDS DERIVATIVES AS PLANT GROWTH REGULATORS

Y. H. Mamedaliyev's Institute of Petrochemical Processes of the Ministry of Science and Education
30, Khojaly ave. 30, AZ1025, Baku, Republic of Azerbaijan; e-mail: djamassultanova23@gmail.com

В качестве стимуляторов и регуляторов роста растений могут быть использованы различные химические соединения. В последнее время усиленное внимание уделяется производным дикарбоновых кислот, которые нашли широкое применение в качестве подобных соединений. В этой работе нами рассмотрены основные представители дикарбоновых кислот и их функционально-замещенные производные, находящие применение в качестве регуляторов роста растений, а также показаны результаты собственных исследований авторов статьи. Отмечается, что щелочные соли, амиды, а также этаноламинные комплексы дикарбоновых кислот ряда C_2-C_5 обладают рострегулируемыми свойствами и могут быть предложены в качестве фитогормонов для практического применения в сельском хозяйстве.

Ключевые слова: гибберелиновая кислота; дикарбоновые кислоты; регуляторы роста растений; стимуляторы роста; фитогормоны

Регуляторы роста растений (РРР) были объектом агрохимических исследований с 1930-х годов и теоретически остаются основным средством повышения эффективности растениеводства. Однако практический прогресс в их открытии и коммерческом применении был намного слабее, чем в случае пестицидов ^{1, 2}.

Агенты, регулирующие рост растений, могут изменять рост и развитие растений несколькими способами. Они могут влиять на метаболизм или транспорт растительных гормонов, или изменять реакцию растений на эти гормоны. Была разработана рациональная система классификации, основанная на способах действия некоторых из этих химических веществ ^{3, 4}.

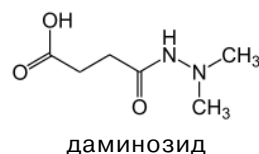
Дата поступления 25.01.24

The use of plant growth regulators has increased significantly and has become a major component in modern agriculture. Various chemical compounds can be used as plant growth stimulants and regulators. Recently, increased attention has been paid to derivatives of dicarboxylic acids, which have found wide use as such compounds. In this work, we examined the main representatives of dicarboxylic acids and their functionally substituted derivatives, which are used as plant growth regulators, and also showed the results of the authors' own research. It is noted that alkaline salts, amides, as well as ethanolamine complexes of dicarboxylic acids of the C_2-C_5 series have growth-regulated properties and can be proposed as phytohormones for practical use in agriculture.

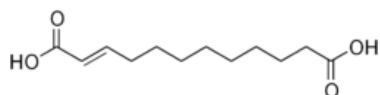
Key words: dicarboxylic acids; gibberellic acid; growth stimulants; phytohormones; plant growth regulators.

В последние годы к стимуляторам роста растений проявляется повышенный интерес. Разработка новых эффективных экологически безопасных регуляторов роста растений и путей их рационального использования становится одной из актуальных задач современной фитохимии.

Одним из представителей регуляторов роста растений является даминозид – 2,2-диметилгидразид янтарной кислоты: ⁵



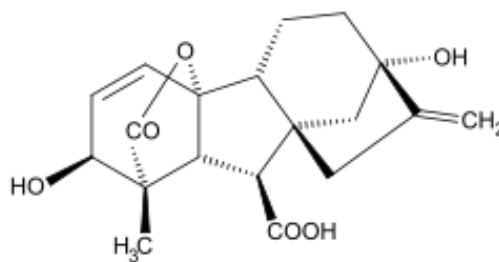
Другим представителем регуляторов роста растений является трауматическая кислота, которая была идентифицирована как промотор деления клеток в поврежденном мезокарпе фасоли и была одной из первых биологически активных молекул, выделенных непосредственно из растительной ткани. Структура этой молекулы была установлена в 1939 г.^{6,7}



додец-2-ендиовая (трауматическая) кислота

Известно, что в современном мире ртуть стала чрезвычайно опасным загрязнителем из-за интенсивной деятельности человека. В настоящее время источниками ртути являются отходы химических производств, а также шахты, продукты сгорания нефти и бытовые отходы. Фитоэкстракция тяжелых металлов из почвы считается одной из наиболее перспективных и экономически эффективных технологий их выделения из окружающей среды. Эффективность этого процесса можно повысить путем внесения различных добавок. Использование добавок при фитоэкстракции позволяет усилить всасывание тяжелых металлов и повысить их концентрацию в различных частях растения. В статье⁸ представлены результаты исследования различных хелатирующих агентов для эффективной фитоэкстракции ртути клевером белым (*Trifolium repens* L.) и кресс-салатом (*Lepidium sativum*). В этой работе использовалась моноэтаноламиновая соль дитиодиуксусной кислоты (МЕДБА). Определена оптимальная концентрация МЕДБА на кресс-салате и клевере ползучем для высокоэффективной фитоэкстракции ртути. Исследования проводились с комплексом экзогенных регуляторов роста (GA/IAA/Fe-EDDHA). Результаты показали, что использование фитогормонов и регуляторов роста растений в сочетании с тиосульфатом приводит к синергическому эффекту, однако, при использовании МЕДБА наблюдался выраженный ингибирующий эффект.

Производные гиббереллина представляют собой семейство тетрациклических дитерпеноидных растительных гормонов, используемых в сельском хозяйстве в качестве регуляторов роста растений⁹. Среди них выделяют производные гиббереллиновой кислоты, в частности, (1 α ,2 β ,3 α ,4 β ,10 β)-2,3,7-тригидрокси-1-метил-8-метилгибб-4-ен-1,10-дикарбоновая кислота.



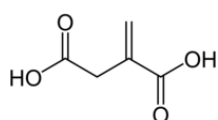
гиббереллиновая кислота

Применение производных дикарбоновых кислот в качестве регуляторов роста растений исследовалось также в работах^{10,11}. Так, в работе¹⁰ представлены результаты синтеза, спектроскопические и биохимические аспекты новой серии комплексов свинца(II) на основе 1,2-диаминонафталина и дикарбоновых кислот ряда C₃–C₆ в безводном бензоле в соотношении 1:2:2. Строение этих соединений выяснено методами микрооценки, ИК, ¹H ЯМР, ¹³C ЯМР, ²⁰⁷Pb ЯМР исследований и рентгеноспектрального анализа. Исследования проводились на пшенице с целью изучения эффективности обработки семян этими синтетическими регуляторами роста растений. Из-за различной методики обработки семян наблюдались различия в длине и весе сеянцев. Было отмечено, что низкая концентрация синтезированных регуляторов увеличивает длину и массу проростков пшеницы.

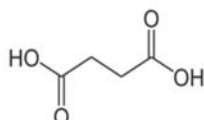
В работе¹² показано, что эфиры некоторых дикарбоновых кислот обладают регулирующей активностью в отношении роста растений. Авторы отмечают, что эти регуляторы можно использовать для различных цветов: гвоздики (*Dianthus caryophyllus* L.), душистого горошка (*Lathyrus odoratus* L.), лилии Тунберга (*Lilium elegans* Thunb.), мальвы древовидной (*Lavatera tripestris* L.) и др. Регулятор роста растений способен существенно снизить содержание эндогенного этилена в растении, не вызывая серьезной фитотоксичности цветка.

В работе¹³ замедляющее рост побегов влияние монометилового эфира итаконовой кислоты (IAME) и моноэтилового эфира янтарной кислоты (SAEE) на яблони, груши, черешню и вишню сравнивали с влиянием моно-N,N-диметилгидразида янтарной кислоты (даминозида). IAME и SAEE оказались также эффективными в замедлении роста при применении через 2 недели после цветения, причем замедляющее влияние IAME и SAEE на побеги яблони было больше, чем у даминозида. Снижение роста побегов груш, черешни и вишни, обработанных IAME и SAEE, было почти эквивалентно эффекту, вызванному даминозидом.

Также был обнаружен эффект прореживания плодов на яблонях в присутствии IAME и SAEE



итаконная кислота



янтарная кислота

Пиридин-2,4-дикарбоновая кислота (PDCA) является структурным аналогом 2-оксоглутарата и, как известно, ингибирует 2-оксоглутар-зависимые диоксигеназы¹⁴. Было исследовано действие этого ингибитора на проростки томата при различных концентрациях, приводящее к укорочению корней и гипокотилей дозозависимым образом. Частичное угнетение роста корней было более резким по сравнению с гипокотильями и объяснялось уменьшением удлинения корней и клеток гипокотыля. Концентрации 100 и 250 мкМ PDCA снижали содержание гидроксипролина в корнях, тогда как при 250 мкМ наблюдалось снижение содержания гидроксипролина и в побегах. Сеянцы, обработанные 100 мкМ PDCA, демонстрировали усиленный рост клеток гипокотыля и семядолей и более высокое содержание гидроксипролина, что приводило к образованию семядолей с большей площадью поверхности. Однако изменений длины гипокотилей не наблюдалось. Кроме того, при высокой концентрации 250 мкМ, характерной для тканей корня с дефектами гликозилирования, наблюдались выпуклые эпидермальные клетки корня. Полученные результаты показывают, что PDCA вызывает плеiotропные эффекты во время роста проростков, в то время, как для лучшего изучения физиологического значения этого аналога 2-оксоглутарата необходимы дальнейшие исследования.

В патентах^{15, 16} показано использование дикарбоновых кислот, имеющих от 2 до 5 атомов углерода, для контроля роста голо- или гемипаразитных растений, а также штамма *Azospirillum brasilense* L4, способных продуцировать дикарбоновую кислоту, обладающую биогербицидной активностью в отношении *Striga* и *Orobanchae*.

Влияние некоторых моноэфиров дикарбоновых кислот на рост, содержание хлорофилла, активность хлорофиллазы (ЕС 3.1.1.14) и общую пероксидазную активность (ЕС 1.11.1.7.) исследовали на отделенных и неповрежденных листьях растений кукурузы (*Zea mays*), выращенных в теплице¹⁸. β -монометиловый эфир итаконной кислоты (МЕИА) в концентрации 1250 ppm не влиял на их рост. Однако применение моноэтилового эфира янтарной (МЕСА) и моноэтилового эфира адипиновой (МЭАДА) кислот (1250 ppm)

приводило к увеличению площади листьев, свежей и сухой массы листьев и стеблей. Эти соединения замедляли деградацию хлорофилла как в оторванных, так и в неповрежденных листьях. Измеряли активность хлорофиллазы в контрольных и обработанных листьях и связывали с содержанием хлорофилла. Замедление старения обработкой моноэфирами привело к увеличению содержания хлорофилла и белка по сравнению с контролем. Однако соотношение активность хлорофиллазы/хлорофилл в обработанных растениях снижалось. Общая активность пероксидазы была выше в стареющих листьях, но все обработки ингибировали повышение активности этого фермента.

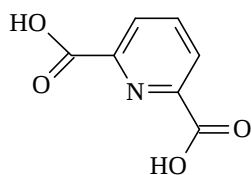
Доступность для растений фосфора (Р) в кислых сульфатных почвах низкая из-за фиксации его алюминием (Al) и железом (Fe), что приводит к снижению эффективности использования фосфора и урожайности сельскохозяйственных культур. В настоящее время предполагается, что использование полимерной дикарбоновой кислоты (DCAP), нанесенной на фосфорные удобрения, повысит эффективность использования фосфора и продуктивность растений. Однако влияние DCAP на растворимость фосфора и урожайность батата, выращиваемого на кислых почвах, не было установлено. Поэтому, целью исследования¹⁹ являлась оценка влияния использования фосфорных удобрений, покрытых DCAP, на доступность и усвоение питательных веществ фосфора, а также на урожайность батата. В тепличных условиях использование DCAP значительно улучшило доступность фосфора (~3 мг Р/кг), увеличив диаметр и длину клубней на ~0.5 и ~1.0 см соответственно. Кроме того, использование DCAP в сочетании с удобрением, содержащим 75% фосфора, увеличило доступность фосфора на ту же величину, что и при использовании удобрения, содержащего 100% фосфора. Следовательно, использование DCAP позволяет сократить количество химических фосфорных удобрений, вносимых в почву, примерно на 25%.

В работах^{20, 21} сообщается о ранее упомянутой травматической кислоте, являющейся растительным гормоном и по химическому строению относящейся к группе производных жирных кислот.

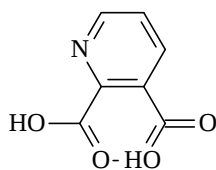
В патенте²² описаны синергетические композиции регулятора роста растений, содержащие агент, индуцирующий этиленовую реакцию или реакцию этиленового типа, и производное малоновой кислоты.

Исследовано влияние производных пиридин- и пиазинкарбоновых кислот на рост, индукцию цветения, содержание ниацина и НАД (никотинамид аденин динуклеотид) в короткодневном растении *Lemna paucicostata*²³. Известно, что пи-

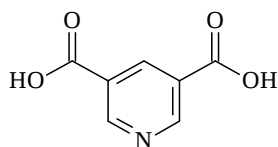
ридинкарбоновая кислота существует в виде нескольких изомеров: 2,3-, 2,4-, 2,5-, 2,6-, 3,4- и 3,5-пиридиндикарбоновых кислот:



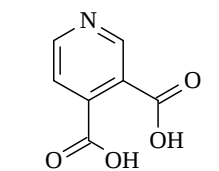
2,6-изомер – дипиколиновая кислота



2,3-изомер



3,5-изомер – диникотиновая кислота



3,4-изомер – цинхомероновая кислота

Среди соединений, способствующих росту растений, наиболее эффективными оказались цинхомероновая кислота и тригонеллин (метил-бетаинникотиновая кислота). Самым сильным ингибитором роста растений среди испытуемых оказалась дипиколиновая кислота. Эти эффекты могут быть связаны с биосинтезом и метаболизмом НАД. Результаты, полученные в этом исследовании, показали, что для стимулирования роста растений необходимы наибольший объем и высокая электроотрицательность заместителей в третьем положении пиридинового кольца.

В патенте ²⁴ предложен метод стимулирования роста растений водными растворами таких насыщенных дикарбоновых кислот, как малоновая, щавелевая, яблочная или янтарная при концентрации в водном растворе 10^{-11} – 10^{-15} моль/л. Преимуществом метода является повышение экономичности

и экологической безопасности за счет снижения количества используемого стимулятора при одновременном повышении его эффективности.

О применении производных дикарбоновых кислот в качестве стимуляторов и регуляторов роста растений также сообщалось в работах ^{25–30}.

В области разработки новых эффективных регуляторов роста растений в Институте Нефтехимических процессов проводятся широкие исследования под руководством академика В.М. Аббасова и сотр. ^{31–33}.

В наших исследованиях ^{34–36} в качестве дикарбоновых кислот были использованы алифатические дикарбоновые кислоты ряда C_2 – C_4 , их различные функционально-замещенные производные, в частности, соли, амиды, а также комплексы с моно-, ди- и триэтаноламинами. Полученные соединения были испытаны в качестве ростового вещества для некоторых растений. Исследования проводили на нескольких сельскохозяйственных культурах. Показано, что синтезированные производные янтарной кислоты способствуют росту растений, увеличивая наземную часть кукурузы на 1.9–15.5 %, гороха на 1.9–16.2 %, а также подземную часть гороха на 7.8–36.2 %, кукурузы на 6.8–35.4 %.

Резюмируя результаты представленных исследований, можно заключить, что синтезированные нами комплексы, полученные взаимодействием алкиламинов с производными дикарбоновых кислот, по составу сходны со стимуляторами и удобрениями, внедряемыми в сельском хозяйстве и они обладают ростостимулирующим влиянием на растительные организмы. В этом направлении проводятся широкие исследования, и поиск новых эффективных стимуляторов роста растений на основе этих классов органических соединений создает предпосылки для продолжения исследований в этой области и разработки процессов получения новых фитогормонов.

Литература

1. Lever B.G. Plant growth regulators as a target for chemical industry research // *SHS Acta Horticulturae*-239. – 1989. – Pp.455-464.
2. Mottley J. Classification of plant growth regulating agents according to their modes of action // *Journal of Agronomic Education*. – 1983. – V.12, №1. – Pp.64-66.
3. Velez P., Nelson L., Kloepper J. Agricultural uses of plant biostimulants // *Plant and Soil*. – 2014. – V.383, №1-2. – Pp.3-41.
4. Flors V., Miralles M.C., Varas E., Company P. Effect of analogues of plant growth regulators on in vitro growth of eukaryotic plant pathogens // *Plant Pathology*. – 2004. – V.53, №1. – Pp.58-64.
5. Rose N., Woon E.C., Tumber A., Walport L. The Plant Growth Regulator Daminozide is a Selective Inhibitor of the Human KDM2/7 Histone Demethylases // *J. Med. Chem.* – 2012. – V.55, №14. – Pp.6639-6643.

References

1. Lever B.G. [Plant growth regulators as a target for chemical industry research]. *SHS Acta Horticulturae*-239, 1989, pp.455-464.
2. Mottley J. [Classification of plant growth regulating agents according to their modes of action]. *Journal of Agronomic Education*, 1983, vol.12, no.1, pp.64-66.
3. Velez P., Nelson L., Kloepper J. [Agricultural uses of plant biostimulants]. *Plant and Soil*, 2014, vol.383, no.1-2, pp.3-41.
4. Flors V., Miralles M.C., Varas E., Company P. [Effect of analogues of plant growth regulators on in vitro growth of eukaryotic plant pathogens]. *Plant Pathology*, 2004, vol.53, no.1, pp.58-64.
5. Rose N., Woon E.C., Tumber A., Walport L. [The Plant Growth Regulator Daminozide is a Selective Inhibitor of the Human KDM2/7 Histone Demethylases]. *J. Med. Chem.*, 2012, vol.55, no.14, pp.6639-6643.

6. Farmer E. Fatty acid signalling in plants and their associated microorganisms // Chapter in Book Signals and Signal Transduction Pathways in Plants.– 1994.– Pp.187-201.
7. Farmer E. Fatty acid signalling in plants and their associated microorganisms // Plant Molecular Biology.– 1994.– V.26, №5.– Pp.423-437.
8. Makarova A., Nikulina E., Tsiurlikova N., Pishchayeva K. Effect of monoethanolamine salt-containing dicarboxylic acid and plant growth regulators on the absorption and accumulation of mercury // Saudi Journal of Biological Sciences.– 2022.– V.29, №5.– Pp.3448-3455.
9. Caboni P., Laus A., Etoh K., Ntalli N. Structural Elucidation of Relevant Gibberellic Acid Impurities and In Silico Investigation of Their Interaction with Soluble Gibberellin Receptor GID1 // ACS Omega.– 2023.– V.8, №2.– Pp.1957-1966.
10. Chaudhary A., Joshi S.C., Singh R.V. Investigations on New Revolutionary Plant Growth Regulators and Fertility Inhibitors Tetraazamacrocyclic Complexes of Lead(II) // Main Group Metal Chemistry.– 2007.– V.30, №2-3.– Pp.17-24.
11. Martin-Mora D., Ortega A., Perez-Maldonado F., Krell T. The activity of the C₄-dicarboxylic acid chemoreceptor of *Pseudomonas aeruginosa* is controlled by chemoattractants and antagonists // Sci. Rep.– 2018.– V.8, №1.– Pp.2102-2107.
12. Патент США №5228899A. Hydroxamic acid esters and plant growth regulation therewith / Yoshikazu I., Manabe A., Mizutani M. // Опубл. 12.01.1990.
13. Karanov E.N., Georgiyev E.N., Alexieva V.S., Mavrodiev S.I. Derivatives of some aliphatic dicarboxylic acids – their influence on vegetable growth of fruit trees // Acta Horticulturae.– 1989.– V.239.– Pp.243-248.
14. Fragkostefanakis S., Kaloudas D., Kalaitzis P. Pyridine 2,4-Dicarboxylic Acid Suppresses Tomato Seedling Growth // Front. Chem.– 2018.– V.6, №3.– Pp.30-36.
15. Патент №3020241A1 FR. Use of a dicarboxylic acid to combat plant growth holoparasites or hemiparasites / Bally R., Comte G., Bernillon J., Bellvert F. // Опубл. 13.05.2014.
16. Патент №2015166184A1 WO. Use of a dicarboxylic acid to combat plant growth holoparasites or hemiparasites / Prigent-Combaret C., Dupponois R., Wishniewski F., Bertrand C., Miche L. // Опубл. 24.04.2015.
17. Gutierrez-Gamboa G., Guerrero-Mendez M., Araya-Alman M. Sunscreen Based on Dicarboxylic Acid Salts Applications to Blueberries (*Vaccinium corymbosum* L.) Plants: Effects on Water Stress Tolerance and Productivity // Horticulturae.– 2022.– V.8, №2.– Pp.95-99.
18. Todorov D., Alexieva V., Karanov E. Effect of certain dicarboxylic acid monoesters on growth, chlorophyll content, chlorophyllase and peroxidase activities and gas-exchange of young maize plant // Journal of Plant Growth Regulation.– 1992.– V.11.– Pp.233-238.
19. Dang L.V., Hung N., Toan P., Ngoc Ph. Influence of dicarboxylic acid polymer in enhancing the growth and productivity of sweet potato (*Ipomoea batatas* L.) in acidic soil // Peer J.– 2023.– V.2, №11.– Pp.14803-14811.
20. Jablonska-Trypuc A., Pankiewicz W., Czerpak R. Traumatic Acid Reduces Oxidative Stress and Enhances Collagen Biosynthesis in Cultured Human Skin Fibroblasts // Lipids.– 2016.– V.51, №9.– Pp.1021-1035.
6. Farmer E. [Fatty acid signalling in plants and their associated microorganisms]. In Book Signals and Signal Transduction Pathways in Plants, 1994, pp.187-201.
7. Farmer E. [Fatty acid signalling in plants and their associated microorganisms]. *Plant Molecular Biology*, 1994, vol.26, no.5, pp.423-437.
8. Makarova A., Nikulina E., Tsiurlikova N., Pishchayeva K. [Effect of monoethanolamine salt-containing dicarboxylic acid and plant growth regulators on the absorption and accumulation of mercury]. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 2022, vol.29, no.5, pp.3448-3455.
9. Caboni P., Laus A., Etoh K., Ntalli N. [Structural Elucidation of Relevant Gibberellic Acid Impurities and In Silico Investigation of Their Interaction with Soluble Gibberellin Receptor GID1]. *ACS Omega*, 2023, vol.8, no.2, pp.1957-1966.
10. Chaudhary A., Joshi S.C., Singh R.V. [Investigations on New Revolutionary Plant Growth Regulators and Fertility Inhibitors Tetraazamacrocyclic Complexes of Lead(II)]. *Main Group Metal Chemistry*, 2007, vol.30, no.2-3, pp.17-24.
11. Martin-Mora D., Ortega A., Perez-Maldonado F., Krell T. [The activity of the C₄-dicarboxylic acid chemoreceptor of *Pseudomonas aeruginosa* is controlled by chemoattractants and antagonists] *Sci. Rep.*, 2018, vol.8, no.1, pp.2102-2107.
12. Yoshikazu I., Manabe A., Mizutani M. [Hydroxamic acid esters and plant growth regulation therewith]. Patent USA no.5228899A, 1990.
13. Karanov E.N., Georgiyev E.N., Alexieva V.S., Mavrodiev S.I. [Derivatives of some aliphatic dicarboxylic acids – their influence on vegetable growth of fruit trees]. *Acta Horticulturae*, 1989, vol.239, pp.243-248.
14. Fragkostefanakis S., Kaloudas D., Kalaitzis P. [Pyridine 2,4-Dicarboxylic Acid Suppresses Tomato Seedling Growth]. *Front. Chem.*, 2018, vol.6, no.3, pp.30-36.
15. Bally R., Comte G., Bernillon J., Bellvert F. [Use of a dicarboxylic acid to combat plant growth holoparasites or hemiparasites]. Patent FR no.3020241A1, 2014.
16. Prigent-Combaret C., Dupponois R., Wishniewski F., Bertrand C., Miche L. [Use of a dicarboxylic acid to combat plant growth holoparasites or hemiparasites]. Patent WO no.2015166184A1, 2015.
17. Gutierrez-Gamboa G., Guerrero-Mendez M., Araya-Alman M. [Sunscreen Based on Dicarboxylic Acid Salts Applications to Blueberries (*Vaccinium corymbosum* L.) Plants: Effects on Water Stress Tolerance and Productivity]. *Horticulturae*, 2022, vol.8, no.2, pp.95-99.
18. Todorov D., Alexieva V., Karanov E. [Effect of certain dicarboxylic acid monoesters on growth, chlorophyll content, chlorophyllase and peroxidase activities and gas-exchange of young maize plant]. *Journal of Plant Growth Regulation*, 1992, vol.11, pp.233-238.
19. Dang L.V., Hung N., Toan P., Ngoc Ph. [Influence of dicarboxylic acid polymer in enhancing the growth and productivity of sweet potato (*Ipomoea batatas* L.) in acidic soil]. *Peer J.*, 2023, vol.2, no.11, pp.14803-14811.
20. Jablonska-Trypuc A., Pankiewicz W., Czerpak R. [Traumatic Acid Reduces Oxidative Stress and Enhances Collagen Biosynthesis in Cultured Human Skin Fibroblasts]. *Lipids*, 2016, vol.51, no.9, pp.1021-1035.
21. Zimmerman D.C., Courdon C.A. [Identification of Traumatol, a Wound Hormone, as 12-Oxo-trans-10-dodecenoic Acid]. *Plant Physiol.*, 1979, vol.63, no.3, pp.536-541.

21. Zimmerman D.C., Courdon C.A. Identification of Traumatins, a Wound Hormone, as 12-Oxo-trans-10-dodecenoic Acid // *Plant Physiol.*– 1979.– V.63, №3.– Pp.536-541.
22. Патент №0262209B1 EP. Synergistic plant growth regulator compositions / Raymond S., Fritz Ch., Manning D., Wheeler Th., Cooke A. // Оpubл. 05.09.1987.
23. Taguchi H., Kashimoto A., Nishitani H., Shimabayashi Y. The Effects of Pyridine and Pyrazine Carboxylic Acids Derivatives on the Growth of *Lemna paucicostata* 151 // *Agricultural and Biological Chemistry.*– 1988.– V.52, №1.– Pp.85-89.
24. Патент №2267924C1 РФ. Способ стимулирования роста растений / Верещагин А.Л., Кропоткина В.В., Акимова С.С. // Оpubл. 26.03.2004.
25. Патент №2078066C1 РФ. Азотное удобрение с регулятором роста растений / Кузнецова В.В., Щербакова Л.Н., Преображенский В.А., Флакман А.М. // Оpubл. 14.11.1994.
26. Русалимова О.А. Стимуляция прорастания семян смесью натриевых солей моно- и дикарбоновых кислот // *Почва и окружающая среда.*– 2020.– №3.– С.119-123.
27. Чупахина Г.Н., Романчук А.О. Возможный механизм стимулирования ростовых процессов янтарной кислотой // *Теоретические и прикладные аспекты биологии.*– Калининград, 1999.– С.46-51.
28. Патент № 2133092C1 РФ. Стимулятор роста и развития растений // Верещагин А.Л., Кропоткина В.В. / Оpubл. 27.01.2009.
29. Патент №2758599C1 РФ. Способ стимулирования роста и развития семян ярового рапса / Лупова Е.И., Виноградов Д.В., Бышов Н.Д. // Оpubл. 02.12.2021.
30. Змушко А.А., Красинская Т.А. Применение янтарной кислоты в растениеводстве // *Плодоводство.*– 2019.– Т.31, №3.– С.288-292.
31. Abbasov V.M., Mursalov N.I., Rasulov Ch.K., Mammadov J.Sh., Afandiyeva L.M., Mukhtarova G.S., Asadova R.A. Obtaining plant growth regulators on the basis of corn oil acids // *PPOR.*– 2023.– V.24, №4.– Pp.631-638.
32. Abbasov V.M., Allahverdiyev E.I., Gurbanova G.G. Study of the effect of synthesized compounds on the basis of organic acids on plant seeds // *PPOR.*– 2020.– V.21 №1.– Pp.155-167.
33. Abbasov V.M., Ismayilov I.T., Asadova R.A. Study of the effect of organic acids salts on the germination of tomato seeds and the formation of green biomass in seeding // *PPOR.*– 2021.– V.22, №1.– Pp.117-125.
34. Sultanova J.F. Synthesis of amides and salts of oxalic acids and their use as plant growth regulators // *Bulletin of Science and Practice.* – 2024. – V.10, №3.– Pp.51-59.
35. Султанова Дж.Ф. Производные янтарной кислоты и их биологическая активность // *Вестник Башкирского государственного медицинского университета.*– 2024.– №1.– С. 83-90.
36. Mammadov J.Sh., Nabiyeve F.A., Gambarova F.D., Aliyeva G.A., Sultanova J.F., Huseynova I.E., Shakhhtakhtinskaya Z.I. Investigation of stimulatory action of some derivatives of malonic acid on the development of plants // *Proceedings. Natural and technical sciences series.*– 2023.– №1.– Pp.35-42.
22. Raymond S., Fritz Ch., Manning D., Wheeler Th., Cooke A. [Synergistic plant growth regulator compositions]. Patent EP no.0262209B1, 1987.
23. Taguchi H., Kashimoto A., Nishitani H., Shimabayashi Y. [The Effects of Pyridine and Pyrazine Carboxylic Acids Derivatives on the Growth of *Lemna paucicostata* 151]. *Agricultural and Biological Chemistry*, 1988, vol.52, no.1, pp.85-89.
24. Vereshagin A.L., Kropotkina V.V., Akimova S.S. *Sposob stimulirovaniya rosta rasteniy* [Method for stimulating plant growth]. Patent RF no.2267924C1, 2004.
25. Kuznetsova V.V., Sherbakova L.N., Preobrazhenskiy V.A., Flaksman A.M. *Azotnoe udobrenie s regulyatorom rosta rasteniy* [Nitrogen fertilizer with plant growth regulator]. Patent RF no.2078066C1, 1994.
26. Rusalimova O.A. *Stimulyatsiya prorastaniya semyan smesyu natriyevykh solei mono- i dikarbonovykh kislot* [Stimulation of seed germination with a mixture of sodium salts of mono- and dicarboxylic acids]. *Pochva i okruzhayushaya sreda* [Soil and Environment], 2020, no.3, pp.119-123.
27. Chupakhina G.N., Romanchuk A.O. *Vozmozhnyi mekhanizm stimulirovaniya rostovykh protsessov yantarnoy kislotoi* [Possible mechanism for stimulating growth processes with succinic acid]. *Teoreticheskie i prikladnye aspekty biologii* [Theoretical and applied aspects of biology], Kaliningrad, 1999, pp.46-51.
28. Vereshchagin A.L., Kropotkina V.V. *Stimulyator rosta i razvitiya rasteniy* [Plant growth and development stimulator]. Patent RF no.2133092C1, 2009.
29. Lupova E.I., Vonogradov D.V., Byshov N.D. *Sposob stimulirovaniya rosta i razvitiya semyan yarovogo rapsa* [Method for stimulating the growth and development of spring rape seeds]. Patent RF no.2758599C1, 2021.
30. Zmushko A.A., Krasinskaya T.A. *Primenenie yantarnoy kisloty v rastenievodstve* [Application of succinic acid in plant growing]. *Plodovodstvo* [Fruit growing], 2019, vol.31, no.3, pp.288-292 .
31. Abbasov V.M., Mursalov N.I., Rasulov Ch.K., Mammadov J.Sh., Afandiyeva L.M., Mukhtarova G.S., Asadova R.A. [Obtaining plant growth regulators on the basis of corn oil acids]. *PPOR*, 2023, vol. 24, no.4, pp.631-638.
32. Abbasov V.M., Allahverdiyev E.I., Gurbanova G.G. [Study of the effect of synthesized compounds on the basis of organic acids on plant seeds]. *PPOR*, 2020, vol.21, no.1, pp.155-167.
33. Abbasov V.M., Ismayilov I.T., Asadova R.A. [Study of the effect of organic acids salts on the germination of tomato seeds and the formation of green biomass in seeding]. *PPOR*, 2021, vol.22, no.1, pp.117-125.
34. Sultanova J.F. [Synthesis of amides and salts of oxalic acids and their use as plant growth regulators]. *Bulletin of Science and Practice*, 2024, vol.10, no.3, pp.51-59.
35. Sultanova J.F. *Proizvodnyye yantarnoy kisloty i ikh biologicheskaya aktivnost'* [Proizvodnye yantarnoy kisloty i ikh biologicheskaya aktivnost']. *Vestnik Bashkirskogo Gosudarstvennogo Meditsinskogo Universiteta* [Vestnik Bashkirskogo gosudarstvennogo meditsinskogo universiteta], 2024, no.1, pp. 83-90.
36. Mammadov J.Sh., Nabiyeve F.A., Gambarova F.D., Aliyeva G.A., Sultanova J.F., Huseynova I.E., Shakhhtakhtinskaya Z.I. [Investigation of stimulatory action of some derivatives of malonic acid on the development of plants]. *Proceedings. Natural and technical sciences series*, 2023, no.1, pp.35-42.