

СИНТЕЗ АМИДОВ И СОЛЕЙ ЩАВЕЛЕВОЙ КИСЛОТЫ И ИХ ПРИМЕНЕНИЕ В КАЧЕСТВЕ РЕГУЛЯТОРОВ РОСТА РАСТЕНИЙ

© Мамедов Джалал Ш. оглу (а), Султанова Джамиля Фахрад гызы (b)

(а) Институт Нефтехимических процессов Министерства Науки и Образования Азербайджана доктор биологических наук, зав. лаборатории «Биологически активные природные соединения», mammadov_dj@mail.ru, Баку

(b) Институт Нефтехимических процессов Министерства Науки и Образования Азербайджана докторант, н.с. лаборатории «Биологически активные природные соединения», djamasultanova23@gmail.com, Баку

Аннотация. Щавелевая кислота играет очень важную роль в жизнедеятельности растительных организмов. Кроме того, ее соли и амидные производные также обладают стимулирующими ростовыми свойствами. В этой работе нами показаны результаты исследований в области синтеза амидных производных щавелевой кислоты, а также исследованы их ростовые свойства на примере некоторых сельскохозяйственных культур.

Ключевые слова: щавелевая кислота, оксалаты, амиды кислот, ростовые вещества, стимуляторы роста, фитогормоны, регуляторы роста растений.

SYNTHESIS OF AMIDES AND SALTS OF OXALIC ACID AND THEIR USE AS PLANT GROWTH REGULATORS

© Mammadov Jalal Sh. (a), Sultanova Jamila Fakhrad (b)

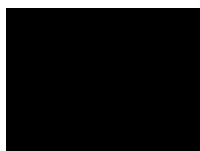
(a) Institute of Petrochemical Processes of Ministry of Science and Education of Azerbaijan doctor of biological sciences, head of laboratory «Biologically active natural compounds», mammadov_dj@mail.ru, Baku

(b) Institute of Petrochemical Processes of Ministry of Science and Education of Azerbaijan doctoral student, researcher of laboratory «Biologically active natural compounds», djamasultanova23@gmail.com, Baku

Abstract. Oxalic acid plays a very important role in the life of plant organisms. In addition, its salts and amide derivatives also have growth-stimulating properties. In this work, we show the results of research in the field of synthesis of amide derivatives of oxalic acid, and also investigated their growth properties using the example of some agricultural crops.

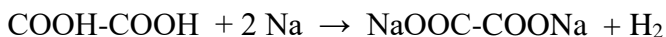
Key words: oxalic acid, oxalates, acid amides, growth substances, growth stimulants, phytohormones, plant growth regulators.

Щавелевая кислота является простейшим представителем двухосновных алифатических кислот и обладает всеми свойствами последних.



щавелевая кислота

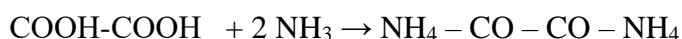
Эта кислота легко образует амиды и соли, причем как неполные, так и полные соли и амиды:



Щавелевая кислота способна реагировать с аммиаком при нагревании в кислой среде с образованием оксамида и воды:



При недостаточной температуре реакция может протекать по другому и приводит к образованию оксалата аммония:

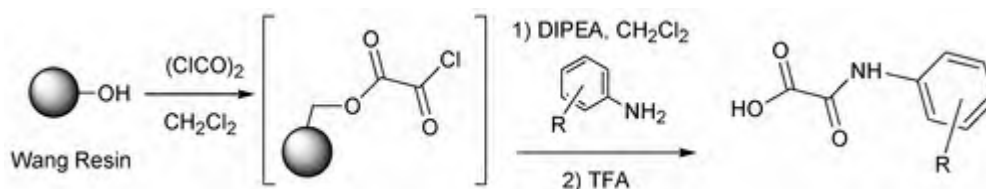


В этой работе нами рассмотрены результаты исследований в области синтеза амидных производных щавелевой кислоты, а также показаны основные области применения этих соединений. Так, в работах [1,2] описан новый способ получения эфиров и амидов щавелевой кислоты с заместителем различной химической природы и показано, что эти соединения имеют множество промышленных применений, главным образом в качестве промежуточных продуктов и стабилизаторов в области полимеров.

В еще одном патенте [3] предложен способ получения амидных эфиров щавелевой кислоты и их солей, который включает следующие стадии: введение определенного количества газообразного аммиака в низкотемпературный безводный этанол с получением этанольного раствора безводного аммиака; и взаимодействие этанольного раствора аммиака, используемого в качестве агента аминолиза, с диэтилоксалатом (или диметиллоксалатом) с получением этилового эфира амида щавелевой кислоты (или метилового эфира амида щавелевой кислоты). Этот метод имеет большую экономическую выгоду, может значительно улучшить качество продукта и соответствовать строгим требованиям к качеству продукта в таких областях, как биохимические реагенты и тому подобное.

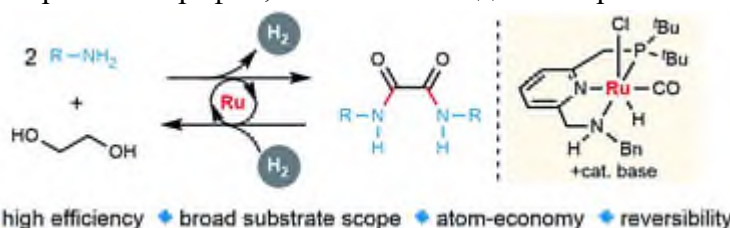
В патенте [4] описан метод получения амидоэфиров щавелевой кислоты, а в патентах [5,6] предлагается композиция, пригодная для использования в качестве модификатора трения для автоматической коробки передач, содержащая бис-амид или амид-эфир щавелевой кислоты, содержащий по меньшей мере две гидрокарбильные группы с количеством атомов углерода от 12 до 22.

Моноамиды щавелевой кислоты представляют интерес как биоизостерические замены фосфатных групп при создании новых ингибиторов ферментов [7]. В этой работе авторы продемонстрировали использование щавелевой кислоты в качестве линкера смолы Ванга для синтеза отдельных или серии фосфатных биостеров. Высокореактивный хлорангидрид кислоты, связанный со смолой, реагирует с ариламинами с образованием связанных со смолой N-арилоксамовых кислот (оксаниловых кислот). Эта методология особенно полезна для быстрого синтеза 2-(оксалиламино)бензойных кислот (ОБК), поскольку ее можно использовать для синтеза библиотек и устраняет промежуточную стадию очистки, необходимую в реакциях в растворенной фазе. Продукты отщепляются от смолы трифторуксусной кислотой в дихлорметане с хорошими выходами.



Синтез и изучение областей применения амидов щавелевой кислоты также рассматривались в работах [8, 9].

В работе [10] представлен устойчивый новый синтез оксаламидов путем безакцепторного дегидрирования этиленгликоля с аминами с образованием H_2 , гомогенно катализируемый комплексом рутениевых хелатных комплексов. Обратная реакция гидрирования также осуществляется с использованием того же катализатора. Предложен вероятный механизм реакции, основанный на стехиометрических реакциях, исследованиях ЯМР, рентгеновской кристаллографии, а также наблюдении вероятных промежуточных продуктов.

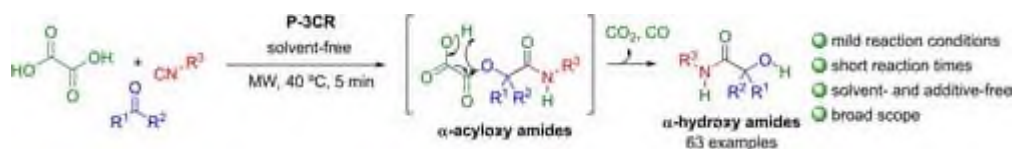


Синтезу амидов щавелевой кислоты также посвящены исследования [11,12].

В патенте [13] предложен способ защиты органических материалов, которые могут быть повреждены ультрафиолетовым светом, от воздействия ультрафиолетовых лучей, отличающийся тем, что амидный эфир щавелевой кислоты включается в поверхность защищаемых материалов или наносится на нее. или перед указанными материалами размещают фильтрующий слой, содержащий сложные эфиры амида щавелевой кислоты.

Были получены кристаллические соли щавелевой кислоты стеарамида, олеаида и элаидамида, состоящие из 2 моль амида на 1 моль щавелевой кислоты, и охарактеризованы с помощью температур плавления, а также ИК- и рентгеноструктурных измерений [14]. Их ИК-спектры сопоставлены со спектрами амидов. Сообщается о больших расстояниях для кристаллических солей, а также о длинных и коротких расстояниях для этих амидов и линолеаида.

Сообщается [15], что α -гидроксиамиды представляют собой важный класс соединений, встречающихся в натуральных продуктах и биоактивных молекулах потенциальных лекарств. В этой работе авторы сообщают о простом и прямом подходе к этим соединениям посредством декарбонилирования/декарбоксилирования щавелевой кислоты во время трехкомпонентной реакции Пассерини в условиях без растворителей при микроволновом нагреве. Эта очень удобная методика обеспечивает получение названных в заголовке соединений посредством возможного согласованного внутримолекулярного декарбонилирования/декарбоксилирования из промежуточного α -ацилоксиамида.



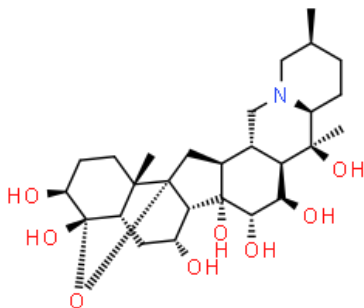
В работе [16] синтезированы амиды янтарной и щавелевой кислот на основе их реакции с моноэтаноламином в мольных соотношениях 1:1 и 1:2. Получены ИК-спектры полученных веществ, определена и подтверждена их структура, изучены физико-химические

свойства. Приготовлены 10%-ные водные растворы этих веществ, определены их физико-химические показатели и изучены бактерицидные свойства. Бактерицидная эффективность N-моноэтаноламида янтарной кислоты составила 82,9% при концентрации 25 мг/л, при концентрации 50 мг/л - 88 % и 95% при концентрации 100 мг/л. Бактерицидная эффективность N₁,N₂-бис-моноэтаноламида янтарной кислоты составила 69% при концентрации 25 мг/л, 83,2% при концентрации 50 мг/л и 90% при концентрации 100 мг/л. Также изучен бактерицидный эффект N-моноэтаноламида щавелевой кислоты: 82% при концентрации 25 мг/л, 91% при концентрации 50 мг/л и 97% при концентрации 100 мг/л.

Таким образом, из приведенного анализа результатов исследований можно заключить, что амидные производные щавелевой кислоты обладают широким спектром применения.

Среди таких областей следует особо отметить применение щавелевой кислоты и ее производных в качестве регуляторов роста растений. В этом направлении ранее были показаны результаты, в которых описаны стимулирующие свойства этой кислоты и ее функционально-замещенных производных. Так, в работах [17,18] отмечается, что щавелевая кислота и ее производные играют важную роль в регуляции роста и развития растений, участвуют в реакциях, влияющие как на биотические, так и на абиотические стрессы.

В работе [19] собраны и разработаны данные, указывающие на то, что оксалат кальция играет значительную и ранее непредвиденную роль в биохимии внеклеточного матрикса (ЕСМ) высших растений. Было показано, что гермин, давно известный как белковый маркер начала роста прорастающей пшеницы, а позже известный как ЕСМ белок представляет собой оксалаксоксидазу. Растворение оксалата кальция и индуцированная герминами деградация полученного растворимого оксалата может привести к высвобождению Ca²⁺ и H₂O₂, которые, как известно, играют центральную роль в биохимии ЕСМ у высших растений. Открытия об оксалате как источнике H₂O₂ дополняют современные представления Варнера о центральной роли H₂O₂ в развитии, дифференцировке, васкуляризации и сигнальных процессах высших растений.



гермин

Показано [20], что щавелевая кислота широко распространена в растениях и выполняет разнообразные физиологические функции. Было высказано предположение, что щавелевая кислота биосинтезируется в растениях тремя путями, а именно глиоксилатно-гликолятным, аскорбатным и оксалоацетатным. Разложение оксалата происходит путем окисления, декарбоксилирования и ацелирования. Кроме того, на накопление щавелевой кислоты влияют сорта растений и агрономические мероприятия.

Секреция оксалатов грибами дает множество преимуществ для их роста и колонизации субстратов [21]. Роль щавелевой кислоты в патогенезе заключается в подкислении тканей хозяина и секвестрации кальция из стенок клеток хозяина. Образование кристал-

лов оксалата кальция ослабляет клеточные стенки, тем самым позволяя полигалактуроназе быстрее осуществлять деградацию в результате синергетического ответа. Существует хорошая корреляция между патогенезом, вирулентностью и секрецией щавелевой кислоты. Растворимость почвенных питательных веществ достигается почвенными видами, когда катионы, освобожденные за счет оксалата, диффундируя в слои глины, повышают эффективную растворимость Al и Fe. Оксалат, сохраняющийся в гифальных матах микоризных видов, увеличивает доступность фосфатов и сульфатов. Образование кристаллов оксалата кальция обеспечивает резервуар кальция в экосистеме. Способность оксалата связывать двухвалентные катионы способствует детоксикации меди, что особенно заметно в древесине, консервированной солями меди. Оксалат играет уникальную роль в деградации лигноцеллюлозы древесногниющими базидиомицетами, действуя как низкомолекулярный агент, инициирующий гниение. Кроме того, у грибов белой гнили оксалат действует как потенциальный донор электронов для восстановления, катализируемого лигнин-пероксидазой, и хелатирует марганец, обеспечивая растворение Mn^{3+} из марганец-ферментного комплекса и, таким образом, стимулируя внеклеточную активность пероксидазы марганца. Обсуждаются биосинтез и деградация оксалатов.

В патенте [22] описан способ борьбы с патогенами с помощью фермента, продуцирующего оксалат, отдельно или в сочетании с токсичным белком, который может быть применен непосредственно к растению или продуцирован на нем микроорганизмами, или путем генетической модификации растения для получения фермента

Изучению роли щавелевой кислоты и ее производных в растительных организмах также посвящены исследования [23-29].

Учитывая вышесказанное, представлял интерес для проведения исследований в области изучения регуляторных свойств солей и амидных производных щавелевой кислоты в отношении семян некоторых сельскохозяйственных культур [30-32].

Для этой цели нами был осуществлен синтез полных и неполных солей, а также этаноламиновых комплексов щавелевой кислоты и приготовлены их растворы различной концентрации – 0,05, 0,01, 0,005, 0,001 и 0,0001 % и испытаны в качестве регуляторов роста кукурузы и гороха. Для сравнения были приготовлены растворы индолилуксусной кислоты, которая часто используется в качестве регулятора роста растений, в тех же концентрациях. В две чашки Петри помещали расчетное количество семян указанных растений, причем в одну из чашек добавляли дистиллированную воду, а в другую – приготовленные растворы анализируемых веществ. После нескольких дней наблюдений было замечено, что 0,001-0,0001 %-ные растворы производных щавелевой кислоты способствуют интенсивному росту обоих видов семян и наблюдается прирост как корневой, так и наземной части растений. Установлено, что в случае солей полные соли щавелевой кислоты обладают более выраженным ростовым свойством по сравнению с кислыми солями, однако в обоих случаях наблюдается увеличение роста семян.

Кроме того, нами установлено, что неполный амид щавелевой кислоты оказывает более сильное влияние на рост семян гороха по сравнению с полным амидом этой кислоты.

Таким образом, можно сделать заключение, что соли и амидные производные щавелевой кислоты обладают ярко выраженным регуляторным свойством в процессе созревания семян гороха и кукурузы. В связи с этим, они были рекомендованы в качестве стимуляторов роста этих растений в сельскохозяйственной практике.

ЛИТЕРАТУРА

1. Pat. 4981963. US. 1988. Method of preparation of oxalic acid esters and amides / Messina G., Sechi G., Lorenzoni L., Chessa G. /
2. Pat. 2052800T3. ES. 1989. Method of preparation of oxalic acid esters and amides / Messina G., Sechi G., Lorenzoni L., Chessa G. /
3. Pat. 102442925A. CN. 2010. Preparation method of oxalic acid amide esters and salts thereof
4. Pat. 2609380A. US. 1949. Amido-amide derivatives of oxalic acid and processes of preparing the same / Goldstein H., Clary S. /
5. Pat. 8691740B2. US. 2010. Oxalic acid bis-amides or amide-ester as friction modifiers in lubricants / Vickerman R., Sacsomando D. /
6. Pat. 2010096321A1. WO. Oxalic acid bis-amides or amide-ester as friction modifiers in lubricants / Vickerman R., Sacsomando D. /
7. Georgiadis, T. Solid-Phase Synthesis of an Oxalic Acid Amide Library / T. Georgiadis, N. Baikdur, M. Player // J. Comb. Chem. - 2004. - V. 6. - N. 2. - Pp. 224-229
8. Petiunin, G.P. Amides and hydrazides of oxalic acid. XXVI. The synthesis and properties of N-R-oxamoylanthranilic acids / G.P. Petiunin, V.A. Bulgakov // Pharm. Zh. - 1973. - V. 26. - N. 6. - Pp. 21-24
9. Chernykh, V.P. Amides and hydrazides of oxalic acid. XX. Substituted amides and heterylidene hydrazides of 4-N-acyl-(heteryl)-sulfamoyloxanilic acids / V.P. Chernykh, N.N. Valyashko, T.S. Dshan-Temirova // Pharmaceutical Chemistry Journal. - 1973. - V. 6. - N. 1. - Pp. 426-428
10. Zou, Y-Q. Synthesis of oxalamides by acceptorless dehydrogenative coupling of ethylene glycol and amines and the reverse hydrogenation catalyzed by ruthenium / Y-Q. Zou, Q. Zhou, Y. Posner // Chemical Science. - 2020. - V. 27. - N. 11. - Pp. 7188-7193
11. Petiunin, A. Oxalic acid amides and hydrazides. XXIX. The synthesis and properties of N-R-substituted amides of benzylsulfonyloxamic acid / A. Petiunin, V.P. Chernykh, I.P. Bannyi // Pharm. Zh. - 1975. - N. 2. - Pp. 26-29
12. Razuvaeva, V.P. Amides and hydrazides of oxalic acid. XXV. Synthesis and analgesic activity of esters of N-(4-antipyril)-oxaminic acid / V.P. Razuvaeva, T.P. Pastikhova, G.P. Petiunin // Pharm. Zh. - 1977. - V. 32. - N. 1. - Pp. 49-51
13. Pat. 3639249A. US. 1967. Bis-oxalic acid ester amides for use as ultraviolet stabilizers / Luethi Ch., Biland H.R., Duennenberger M. /
14. Mod, R. Preparation and properties of oxalic acid salts of C₁₈ saturated and unsaturated fatty amides / R. Mod, F. Mange, E.I. Skau // Journal of the American Oil Chemists Society. - 1973. V. 50. - N. 4. - Pp. 126-128
15. Martinho, L. Passerini Reaction to Access α -Hydroxy Amides by Facile Decarbonylation/Decarboxylation of Oxalic Acid / L. Martinho, T.P. Rosalba, C.K. Andrade // European Journal of Organic Chemistry. - 2022. - N 48. - Pp. 1199-1204
16. Ismayilov, T.A. Synthesis of amides with monoethanolamine of amber and oxalic acid and research of their bactericide properties / T.A. Ismayilov, S.S. Suleymanova, S.B. Asadova // Nature and Science. - 2019. - N 1. - Pp. 38-44
17. Pengfei, L. Oxalate in Plants: Metabolism, Function, Regulation, and Application / L. Pengfei, L. Chuntan, Y. Luo // J. Agricult. Food Chem. - 2022. - V. 70. - N. 51. - Pp. 16037-16049

- 18.Libert B. Oxalate in crop plants / B. Libert, V. Franceschi // J. Agricult. Food Chem. - 1987. - V. 35. - N. 6. - Pp. 926-938
- 19.Lane, B.G. Oxalate, germin, and the extracellular matrix of higher plants / B.G. Lane // FASEB (Federeation of American Societies of Experimental Biology) Journal. - 1994. – V. 8. - N. 3. - Pp. 294-301
- 20.Cai, X. The oxalic acid in plants: biosynthesis, degradation and its accumulation regulation (in Chinese) / X. Cai, X. Chenxi, X.L. Wang // Plant Physiology Journal. - 2015. - V. 51. - N 3. – Pp. 267-272
- 21.Dutton, M. Oxalate production by fungi: its role in pathogenicity and ecology in the soil environment / M. Dunton, Ch. Evans // Canadian Journal of Microbiology. - 1996. - V. 42. - N 9. - Pp .196-203
- 22.Pat. 20060014641A1. US. 2006. Pathogen control with an oxalate (oxalic acid) / Zaghmout Q. /
- 23.Kang, K. Oxalic Acid Inhibits Feeding Behavior of the Brown Planthopper via Binding to Gustatory Receptor Gr23a / K. Kang, M. Zhang, L. Yue // Cells. - 2023. - V. 12. - N. 5. - Pp. 771-776
- 24.Tran, D. A role for oxalic acid generation in ozone-induced signalling in *Arabidopsis cells* / D. Tran, T. Kadono, M. Molas // Plant Cell Environ. - 2013. - V. 36. - N 3. - Pp. 569-578
- 25.El-Shabrawi, H. Humic and Oxalic Acid Stimulates Grain Yield and Induces Accumulation of Plastidial Carbohydrate Metabolism Enzymes in Wheat Grown under Sandy Soil Conditions / H. El-Shabrawi, A. Bakry, M. Ahmed // Agricultural Sciences. - 2015. – V. 9. - N. 1. - Pp. 175-185
- 26.Ying, S. Effects of salt and alkali stress on growth, accumulation of oxalic acid, and activity of oxalic acid-metabolizing enzymes in *Kochia sieversiana* // S. Ying, X. Wang, S.F. Zhang / Biologia Plantarum. - 2016. - V. 60. - N 4. - Pp. 774-782
- 27.Soltys, A. The effects of salicylic acid, oxalic acid and chitosan on damping-off control and growth in Scots pine in a forest nursery / A. Soltys, M. Studnicki, G. Zawadzki // iForest. - 2020. - V. 13. - N. 5. - Pp. 441-446
- 28.Pat 6992045B2. US. 2001. Pesticide compositions containing oxalic acid. / Xiaodong X., Brinker R., Reynolds T., Abraham W., Graham J./
- 29.Gouveia C. Quantitation of Oxalates in Corms and Shoots of *Colocasia esculenta* (L.) Schott Under Drought Conditions / C. Gouveia, J-F. Teixeira // Acta Physiologiae Plantarum. - 2018. - V. 40. - N 214. - Pp. 1-11
- 30.Sultanova, J.F. Etanolaminlərin qeyri-üzvi komplekslərinin bitkilərin inkişafına stimullaşdırıcı rolünün tədqiqi / J.F. Sultanova, L.I. Aliyeva, D.Sh. Mammadov, A.G. Piraliyev // Abstracts of International Scientific Conference «Actual Problems of Modern Chemistry» dedicated to the 90-th anniversary of the academician Y.H. Mammadaliyev Institute of Petrochemical Processes. - 2019. - October 2-4. - p. 299
- 31.Sultanova, J.F. Plant nutrients as an important environmentally friendly tool in the development of agriculture / J.F. Sultanova, F.A. Nabiyeu, G.A. Aliyeva // International scientific conference "Actual problems of modern natural and economic sciences". - Ganja. - 2023. - Pp. 19-21
- 32.Mammadov, Dzh.Sh. Исследование stimulatory action of some derivatives of malonic acid on the development of plants / D.Sh. Mammadov, F.A. Nabiyeu, F.D. Gambarova et al.

REFERENCES

- 1.Pat. 4981963. US. 1988. Method of preparation of oxalic acid esters and amides / Messina G., Sechi G., Lorenzoni L., Chessa G. /
- 2.Pat. 2052800T3. ES. 1989. Method of preparation of oxalic acid esters and amides / Messina G., Sechi G., Lorenzoni L., Chessa G. /
- 3.Pat. 102442925A. CN. 2010. Preparation method of oxalic acid amide esters and salts thereof
- 4.Pat. 2609380A. US. 1949. Amido-amide derivatives of oxalic acid and processes of preparing the same / Goldstein H., Clary S. /
- 5.Pat. 8691740B2. US. 2010. Oxalic acid bis-amides or amide-ester as friction modifiers in lubricants / Vickerman R., Sacsomando D. /
- 6.Pat. 2010096321A1. WO. Oxalic acid bis-amides or amide-ester as friction modifiers in lubricants / Vickerman R., Sacsomando D. /
- 7.Georgiadis, T. Solid-Phase Synthesis of an Oxalic Acid Amide Library / T. Georgiadis, N. Baikdur, M. Player // J. Comb. Chem. - 2004. - V. 6. - N. 2. - Pp. 224-229
- 8.Petiunin, G.P. Amides and hydrazides of oxalic acid. XXVI. The synthesis and properties of N-R-oxamoylanthranilic acids / G.P. Petiunin, V.A. Bulgakov // Pharm. Zh. - 1973. - V. 26. - N. 6. - Pp. 21-24
- 9.Chernykh, V.P. Amides and hydrazides of oxalic acid. XX. Substituted amides and heterylidene hydrazides of 4-N-acyl -(heteryl)- sulfamoyloxanilic acids / V.P. Chernykh, N.N. Valyashko, T.S. Dshan-Temirova // Pharmaceutical Chemistry Journal. - 1973. - V. 6. - N. 1. - Pp. 426-428
- 10.Zou, Y-Q. Synthesis of oxalamides by acceptorless dehydrogenative coupling of ethylene glycol and amines and the reverse hydrogenation catalyzed by ruthenium / Y-Q. Zou, Q. Zhou, Y. Posner // Chemical Science. - 2020. - V. 27. - N. 11. - Pp. 7188-7193
- 11.Petiunin, A. Oxalic acid amides and hydrazides. XXIX. The synthesis and properties of N-R-substituted amides of benzylsulfonyloxamic acid / A. Petiunin, V.P. Chernykh, I.P. Bannyi // Pharm. Zh. - 1975. - N. 2. - Pp. 26-29
- 12.Razuvaeva, V.P. Amides and hydrazides of oxalic acid. XXV. Synthesis and analgesic activity of esters of N-(4-antipyril)-oxaminic acid / V.P. Razuvaeva, T.P. Pastikhova, G.P. Petiunin // Pharm. Zh. - 1977. - V. 32. - N. 1. - Pp. 49-51
- 13.Pat. 3639249A. US. 1967. Bis-oxalic acid ester amides for use as ultraviolet stabilizers / Luethi Ch., Biland H.R., Duennenberger M. /
- 14.Mod, R. Preparation and properties of oxalic acid salts of C₁₈ saturated and unsaturated fatty amides / R. Mod, F. Mange, E.I. Skau // Journal of the American Oil Chemists Society. - 1973. V. 50. - N. 4. - Pp. 126-128
- 15.Martinho, L. Passerini Reaction to Access α -Hydroxy Amides by Facile Decarbonylation/Decarboxylation of Oxalic Acid / L. Martinho, T.P. Rosalba, C.K. Andrade // European Journal of Organic Chemistry. - 2022. - N 48. - Pp. 1199-1204
- 16.Ismayilov, T.A. Synthesis of amides with monoethanolamine of amber and oxalic acid and research of their bactericide properties / T.A. Ismayilov, S.S. Suleymanova, S.B. Asadova // Nature and Science. - 2019. - N 1. - Pp. 38-44
- 17.Pengfei, L. Oxalate in Plants: Metabolism, Function, Regulation, and Application / L.

- Pengfei, L. CHuntan, Y. Luo // J. Agricult. Food Chem. - 2022. - V. 70. - N. 51. - Pp. 16037-16049
- 18.Libert B. Oxalate in crop plants / B. Libert, V. Franceschi // J. Agricult. Food Chem. - 1987. - V. 35. - N. 6. - Pp. 926-938
- 19.Lane, B.G. Oxalate, germin, and the extracellular matrix of higher plants / B.G. Lane // FASEB (Federeation of American Societies of Experimental Biology) Journal. - 1994. – V. 8. - N. 3. - Pp. 294-301
- 20.Cai, X. The oxalic acid in plants: biosynthesis, degradation and its accumulation regulation (in Chinese) / X. Cai, X. Chenxi, X.L. Wang // Plant Physiology Journal. - 2015. - V. 51. - N 3. – Pp. 267-272
- 21.Dutton, M. Oxalate production by fungi: its role in pathogenicity and ecology in the soil environment / M. Dunton, Ch. Evans // Canadian Journal of Microbiology. - 1996. - V. 42. - N 9. - Pp .196-203
- 22.Pat. 20060014641A1. US. 2006. Pathogen control with an oxalate (oxalic acid) / Zaghmout Q. /
- 23.Kang, K. Oxalic Acid Inhibits Feeding Behavior of the Brown Planthopper via Binding to Gustatory Receptor Gr23a / K. Kang, M. Zhang, L. Yue // Cells. - 2023. - V. 12. - N. 5. - Pp. 771-776
- 24.Tran, D. A role for oxalic acid generation in ozone-induced signallization in *Arabidopsis cells* / D. Tran, T. Kadono, M. Molas // Plant Cell Environ. - 2013. - V. 36. - N 3. - Pp. 569-578
- 25.El-Shabrawi, H. Humic and Oxalic Acid Stimulates Grain Yield and Induces Accumulation of Plastidial Carbohydrate Metabolism Enzymes in Wheat Grown under Sandy Soil Conditions / H. El-Shabrawi, A. Bakry, M. Ahmed // Agricultural Sciences. - 2015. – V. 9. - N. 1. - Pp. 175-185
- 26.Ying, S. Effects of salt and alkali stress on growth, accumulation of oxalic acid, and activity of oxalic acid-metabolizing enzymes in *Kochia sieversiana* // S. Ying, X. Wang, S.F. Zhang / Biologia Plantarum. - 2016. - V. 60. - N 4. - Pp. 774-782
- 27.Soltys, A. The effects of salicylic acid, oxalic acid and chitosan on damping-off control and growth in Scots pine in a forest nursery / A. Soltys, M. Studnicki, G. Zawadzki // iForest. - 2020. - V. 13. - N. 5. - Pp. 441-446
- 28.Pat 6992045B2. US. 2001. Pesticide compositions containing oxalic acid. / Xiaodong X., Brinker R., Reynolds T., Abraham W., Graham J./
- 29.Gouveia C. Quantitation of Oxalates in Corms and Shoots of *Colocasia esculenta* (L.) Schott Under Drought Conditions / C. Gouveia, J-F. Teixeira // Acta Physiologiae Plantarum. - 2018. - V. 40. - N 214. - Pp. 1-11
- 30.Sultanova, J.F. Etanolaminlərin qeyri-üzvi komplekslərinin bitkilərin inkişafına stimullaşdırıcı rolunun tədqiqi / J.F. Sultanova, L.I. Aliyeva, D.Sh. Mammadov, A.G. Piralıyev // Abstracts of International Scientific Conference «Actual Problems of Modern Chemistry» dedicated to the 90-th anniversary of the academician Y.H. Mammadaliyev Institute of Petrochemical Processes. - 2019. - October 2-4. - p. 299
- 31.Sultanova, J.F. Plant nutrients as an important environmentally friendly tool in the development of agriculture / J.F. Sultanova, F.A. Nabiyev, G.A. Aliyeva // International scientific conference "Actual problems of modern natural and economic sciences". - Ganja. - 2023. - Pp. 19-21

32. Mammadov, Dzh.Sh. Исследование stimulatory action of some derivatives of malonic acid on the development of plants / D.Sh. Mammadova, F.A. Nabiyeu, F.D. Gambarova et al. // Proceedings. Natural and technical sciences series. - 2023. - N 1. - Pp. 35-42