

УДК 54.057

ОПТИМИЗАЦИЯ УСЛОВИЙ ПОЛУЧЕНИЯ МЕТИОНАТА КАЛЬЦИЯ*А.И. Петрова, Д.Ю. Цветков, Н.В. Лакина, В.Ю. Долуда, А.И. Сидоров**Тверской государственный технический университет (г. Тверь)*© Петрова А.И., Цветков Д.Ю., Лакина Н.В.,
Долуда В.Ю., Сидоров А.И., 2025

Аннотация. Метионин входит в состав белков и пептидов. Кормовая добавка на основе метионина предназначена для улучшения роста и продуктивности крупного рогатого скота, в том числе коров. Соли метионина обладают значительными преимуществами перед самим метионином, и поэтому являются более привлекательными для широкого применения. На данный момент существует общая методика получения хелатных комплексов метионина, но каждый металл обладает своими особенностями, поскольку имеются разные произведения растворимости. Настоящая работа посвящена оптимизации условий синтеза метионата кальция, ценного кормового ингредиента и пищевой добавки. Процесс получения метионата кальция, как правило, включает взаимодействие метионина с источником кальция в щелочной среде и последующее выделение целевого продукта кристаллизацией. Оптимизация направлена на повышение выхода, улучшение чистоты продукта и снижение затрат на производство. Предложенная стратегия оптимизации включает проведение серии экспериментов с варьированием ключевых параметров, статистический анализ полученных данных для определения оптимальных условий и подтверждение результатов при повторных опытах. Таким образом, целью исследования является разработка метода получения эффективного метионата кальция с высоким выходом и чистотой, отвечающего требованиям промышленности и нормативным стандартам.

Ключевые слова: метионин, метионат кальция, кристаллизация.

DOI: 10.46573/2658-7459-2025-1-88-94**ВВЕДЕНИЕ**

Метионат кальция представляет собой хелатное соединение кальция с метионином. Данное соединение изучается в различных областях, включая кормовую промышленность, поскольку метионат кальция является ценной кормовой добавкой для сельскохозяйственных животных и птицы [1–3]. Он обеспечивает поступление в организм как кальция, необходимого для формирования костей и зубов, так и метионина – незаменимой аминокислоты, играющей важную роль в белковом синтезе, росте и развитии. Хелатная форма обеспечивает лучшую усвояемость этих элементов по сравнению с неорганическими солями. В пищевой промышленности метионат кальция рассматривается как потенциальная пищевая добавка, обогащающая продукты питания кальцием и метионином. В фармацевтической промышленности исследуется потенциальное использование метионата кальция в качестве лекарственного средства для профилактики и лечения остеопороза и других заболеваний, связанных с дефицитом кальция и метионина, так как он имеет высокую биодоступность и синергетический эффект.

На сегодняшний день производство метионата кальция ограничено существующими производственными мощностями, а также геополитическими факторами, влияющими на логистику и доступность импортных поставок. В связи с растущим спросом на метионат кальция разработка эффективных и экономически выгодных методов его получения является актуальной задачей [4].

Традиционные методы получения метионата кальция, как правило, включают следующие этапы:

1. Растворение метионина в водной среде.
2. Взаимодействие метионина с источником кальция (например, гидроксидом кальция, карбонатом кальция).
3. Выделение метионата кальция из раствора путем кристаллизации.
4. Сушку продукта [5].

Существуют методы с использованием гидроксида кальция и L- или DL-метионина; карбоната кальция (CaCO_3); оксида кальция (CaO); органических растворителей; микроволнового излучения; ультразвука; ионообменных смол [6].

Однако данные методы часто характеризуются недостаточным выходом целевого продукта, низкой чистотой и высокими затратами на производство. Это обусловлено влиянием множества факторов на процесс синтеза (например, соотношения реагентов, температуры, pH, времени реакции, эффективности перемешивания, природы используемых растворителей и методов выделения и очистки продукта).

В настоящей работе указаны результаты проведения синтеза метионата кальция с использованием гидроксида натрия и хлорида кальция, а также особенности его проведения.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Методика синтеза метионата кальция с использованием гидроксида натрия и хлорида кальция

Способ получения метионата кальция может быть представлен схемой (рис. 1).

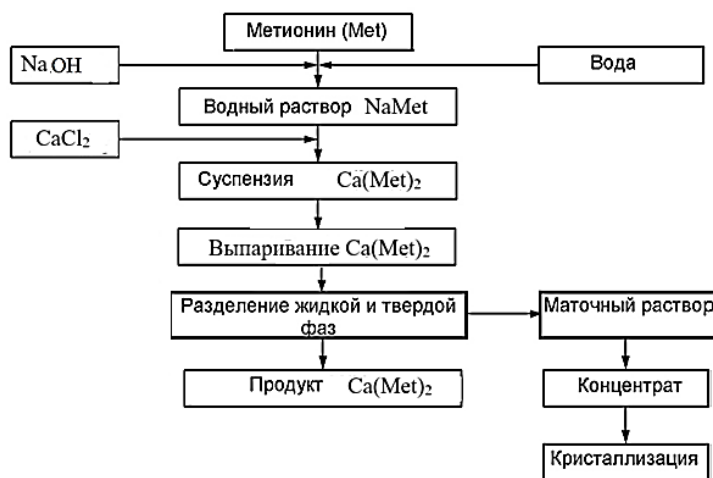


Рис. 1. Схема синтеза метионата кальция

Синтез соединения проводился по следующей методике:

- 1) готовили суспензию метионина в воде с концентрацией 10 %: 100 г метионина (0,68 моль) растворяли в 1 000 мл воды;

2) к приготовленной суспензии прибавляли 13,6 г (0,68 моль) гидроксида натрия, перемешивали в течение 10 мин, затем нагревали до 55–60 °С (рН гомогенного раствора 9–10);

3) к раствору порциями присыпали 37,74 г (0,34 моль) хлорида кальция при интенсивном перемешивании в течение 30–35 мин;

4) реакционную смесь упаривали в 2 раза;

5) реакционную смесь охлаждали до 10 °С, выпавший кристаллический продукт отфильтровывали, промывали водой от хлорид-ионов, параллельно проводя реакцию промывных вод на наличие хлорид-ионов с 0,1 М раствором нитрата серебра, затем промывали спиртом и замораживали;

6) полученный продукт сушили лиофильно в связи с тем, что данный вид сушки сохраняет структурную целостность и биологическую активность продукта.

Установка для проведения синтеза метионата кальция представлена на рис. 2.



Рис. 2. Установка для проведения синтеза метионата кальция

Синтез метионата кальция в водной среде хлорида кальция проводили по такой же методике, которая была описана выше, но без стадии добавления гидроксида натрия.

РЕЗУЛЬТАТЫ

В отличие от общей методики синтеза хелатных комплексов метионата, в синтезе метионата кальция имеется стадия упаривания, что является его особенностью. Причиной добавления еще одной стадии является высокое произведение растворимости. Если образующаяся соль метионина имеет высокое значение произведения растворимости, она будет хорошо растворимой в используемом растворителе. Это означает, что даже при высоких концентрациях ионов металла и метионина соль может оставаться в растворе, не

выпадая в осадок. В этом случае реакция может не идти до конца, выход продукта будет низким.

В результате исследования было проведено сравнение методов получения метионата кальция в щелочной и водной средах.

Теоретический выход в щелочной среде был посчитан по реакциям процесса, представленным на рис. 3 и 4.

Теоретический выход в водной среде можно посчитать по реакции на рис. 5. Он будет равен выходу реакции в щелочной среде.

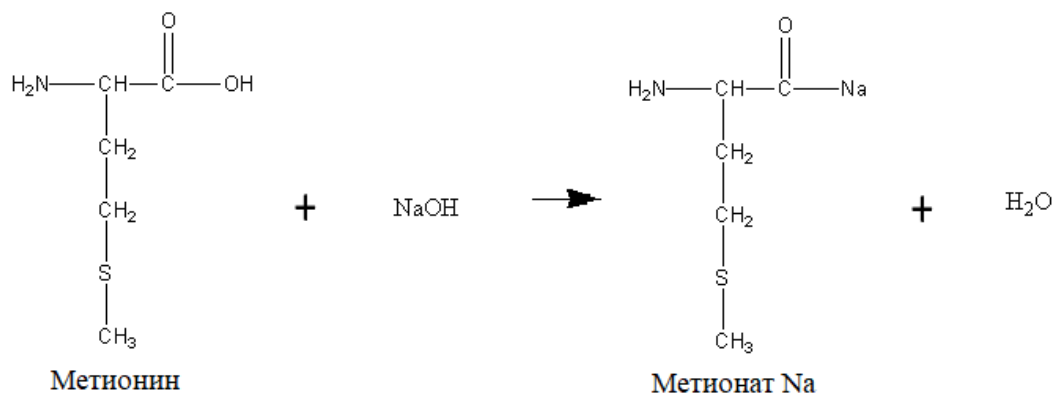


Рис. 3. Первая стадия синтеза метионата кальция

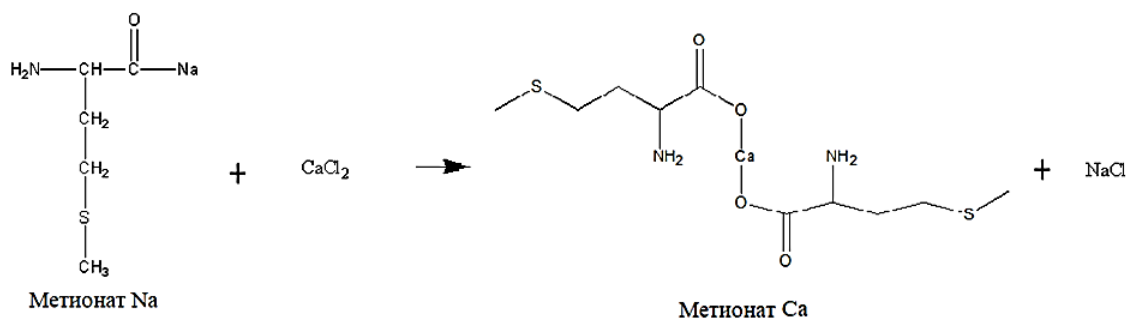


Рис. 4. Вторая стадия синтеза метионата кальция

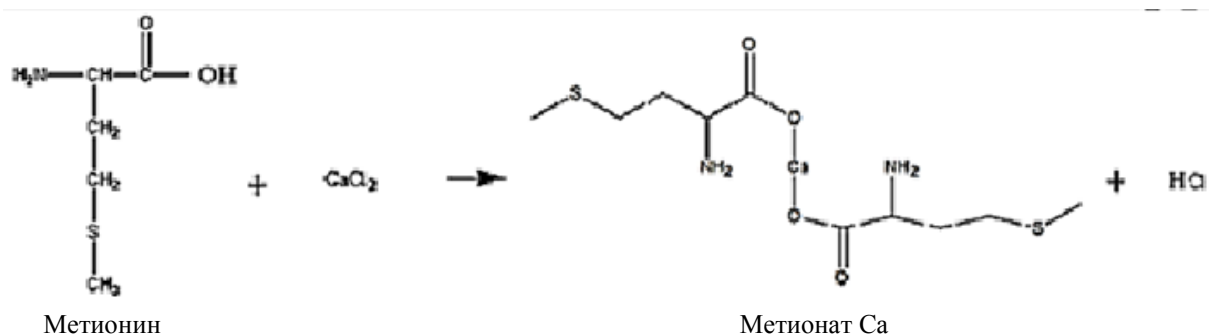


Рис. 5. Реакция синтеза метионата кальция в водной среде

Теоретический выход составил 72,83 г; практический выход по методике в водной среде – 74 %, в щелочной – 85 %. Исходя из полученных данных, можно говорить о синтезе в щелочной среде как более эффективной методике.

По итогам проведения рентгенофлуоресцентного анализа был получен количественный элементный анализ. Результаты количественного содержания кальция в хелатном комплексе представлены в табл. 1, 2.

Таблица 1

Результаты рентгенофлуоресцентного анализа метионата кальция в водной среде

Компонент	Концентрация
$C_5H_{10}NO_2S$	96,92
Ca	3,05
Cu	0,03

Таблица 2

Результаты рентгенофлуоресцентного анализа метионата кальция в щелочной среде

Компонент	Концентрация
$C_5H_{11}NO_2S$	86,31
Ca	13,31
Ti	0,063
Br	0,15
Sn	0,17

После проведенного анализа можно утверждать, что щелочная среда способствует более эффективному связыванию ионов кальция с метионином. В щелочной среде гидроксильные группы (ОН-) депротонируют молекулы метионина, что делает его более способным к комплексообразованию с кальцием.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По итогам исследований, посвященных оптимизации условий синтеза метионата кальция, можно сделать следующие выводы:

1. Среди указанных методов наиболее эффективен синтез в щелочной среде.
2. Особенность синтеза метионата кальция заключается в его высоком производстве растворимости, что не дает хелатному комплексу выпасть в осадок сразу.

3. Синтез в щелочной среде проходит с выходом 85 % метионата кальция, а в водной – 74 % метионата кальция от теоретически рассчитанного количества.

4. Более устойчивые комплексы образуются при синтезе в щелочной среде (13,31 %).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шарова А.А., Волеводз Н.Н. Значение состава кальцийсодержащих препаратов в лечении и профилактике остеопенических состояний // *Проблемы эндокринологии*. 2010. Т. 56. № 3. С. 20–25.
2. Elango R. Methionine Nutrition and Metabolism: Insights from Animal Studies to Inform Human Nutrition // *J. Nutr.* 2020. No. 150. P. 2518–2523. URL: <https://doi.org/10.1093/jn/nxaa155> (дата обращения: 16.01.2025).
3. Кадырова Р.Г., Кабиров Г.Ф., Муллахметов Р.Р. Биологические свойства и синтез комплексных солей α-аминокислот биогенных металлов: монография. Казань: КГЭУ, 2014. 108 с.
4. Накоскин А.Н., Воронцов Б.С., Лунева С.Н., Ваганова Л.А. Квантово-химическое моделирование аминокислотных комплексов кальция и оценка возможности их применения для восполнения кальция // *Современные проблемы науки и образования*. 2012. Вып. 3. URL: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=6224> (дата обращения: 16.01.2025).
5. Фрумина Н.С. Аналитическая химия кальция. М.: Книга по Требованию, 2012. 127 с.
6. Li Z., Wang F., Liang B., Li Z., Wang F., Liang B., Su Y., Sun S., Xia S., Shao J., Zhang Z., Min Hong, Zhang F., Zheng S. Methionine Metabolism in Chronic Liver Diseases: an Update on Molecular Mechanism and Therapeutic Implication // *Signal Transduct Target Ther.* 2020. No. 5 (1) P. 280. URL: <https://doi.org/10.1038/s41392-020-00349-7> (дата обращения: 16.01.2025).

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

ПЕТРОВА Арина Игоревна – студентка, ФГБОУ ВО «Тверской государственный технический университет», 170026, Россия, г. Тверь, наб. А. Никитина, д. 22. E-mail: arinapetrova989@gmail.com

ЦВЕТКОВ Дмитрий Юрьевич – студент, ФГБОУ ВО «Тверской государственный технический университет», 170026, Россия, г. Тверь, наб. А. Никитина, д. 22. E-mail: dm.cwetkow@mail.ru

ЛАКИНА Наталия Валерьевна – кандидат химических наук, доцент кафедры биотехнологии, химии и стандартизации, ФГБОУ ВО «Тверской государственный технический университет», 170026, Россия, г. Тверь, наб. А. Никитина, д. 22. E-mail: lakina@yandex.ru

ДОЛУДА Валентин Юрьевич – доктор химических наук, заведующий кафедрой химии и технологии полимеров, ФГБОУ ВО «Тверской государственный технический университет», 170026, Россия, г. Тверь, наб. А. Никитина, д. 22. E-mail: doludav@yandex.ru

СИДОРОВ Александр Иванович – кандидат химических наук, профессор кафедры биотехнологии, химии и стандартизации, ФГБОУ ВО «Тверской государственный технический университет», 170026, Россия, г. Тверь, наб. А. Никитина, д. 22. E-mail: sidorov_science@mail.ru

БИБЛИОГРАФИЧЕСКАЯ ССЫЛКА

Петрова А.И., Цветков Д.Ю., Лакина Н.В., Долуда В.Ю., Сидоров А.И. Оптимизация условий получения метионата кальция // Вестник Тверского государственного технического университета. Серия «Строительство. Электротехника и химические технологии». 2025. № 1 (25). С. 88–94.

OPTIMIZATION OF CONDITIONS FOR OBTAINING CALCIUM METHIONATE

A.I. Petrova, D.Yu. Tsvetkov, N.V. Lakina, V.Yu. Doluda, A.I. Sidorov
Tver State Technical University (Tver)

Abstract. Methionine is a part of proteins and peptides. The methionine-based feed additive is designed to improve the growth and productivity of cattle, including cows. Methionine salts have significant advantages over methionine itself, making them more attractive for a wide range of applications. At the moment, there is a general method for obtaining chelated methionine complexes. But each metal has its own characteristics, meaning different products of solubility. This work is devoted to optimizing the conditions for the synthesis of calcium methionate, a valuable feed ingredient and food additive. The process of obtaining calcium methionate, as a rule, involves the interaction of methionine with a calcium source in an alkaline medium, followed by the release of the target product by crystallization.

Keywords: methionine, calcium methionate, crystallization.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

PETROVA Arina Igorevna – Student, Tver State Technical University, 22, embankment of A. Nikitin, Tver, 170026, Russia. E-mail: arinapetrova989@gmail.com

TSVETKOV Dmitry Yuryevich – Student, Tver State Technical University, 22, embankment of A. Nikitin, Tver, 170026, Russia. E-mail: dm.cwetkow@mail.ru

LAKINA Natalia Valeryevna – Candidate of Chemical Sciences, Associate Professor of the Department of Biotechnology, Chemistry and Standardization, Tver State Technical University, 22, embankment of A. Nikitin, Tver, 170026, Russia. E-mail: lakina@yandex.ru

DOLUDA Valentin Yuryevich – Doctor of Chemistry, Head of the Department of Polymer Chemistry and Technology, Tver State Technical University, 22, embankment of A. Nikitin, Tver, 170026, Russia. E-mail: doludav@yandex.ru

SIDOROV Alexander Ivanovich – Candidate of Chemical Sciences, Professor of the Department of Biotechnology, Chemistry and Standardization, Tver State Technical University, 22, embankment of A. Nikitin, Tver, 170026, Russia. E-mail: sidorov_science@mail.ru

CITATION FOR AN ARTICLE

Petrova A.I., Tsvetkov D.Yu., Lakina N.V., Doluda V.Yu., Sidorov A.I. Optimization of conditions for obtaining calcium methionate // Vestnik of Tver State Technical University. Series «Building. Electrical engineering and chemical technology». 2025. No. 1 (25), pp. 88–94.