

Жанар Калибеккызы – кандидат биологических наук, ассоциированный профессор, Шәкәрім университет; e-mail: zhanar_moldabaeva@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6384-0646>.

Самат Кайратович Касымов – кандидат технических наук, ассоциированный профессор кафедры «Пищевых технологий», Шәкәрім университеті, Республика Казакстан; e-mail: samat-kasymov@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7384-6996>.

Айгуль Омарбековна Майжанова – докторант кафедры «Пищевая технология», Шәкәрім университет, Республика Казакстан; e-mail: fquekm2710@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4845-9465>.

Information about the authors

Assel Dautova* – Master, Senior Lecturer of the Department of Food Technology, Shakarim University; e-mail: a.dautova@shakarim.kz. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2373-2445>.

Kumarbek Amirkhanov – Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of «Food Technology», Shakarim University, Republic of Kazakhstan; e-mail: aspirant57@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7988-988X>.

Zhanar Kalibekkyzy – Candidate of Biology Sciences, Associate Professor, Shakarim University, Semey, Kazakhstan; e-mail: zhanar_moldabaeva@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6384-0646>.

Samat Kasymov – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Food Technologies, Shakarim University, Republic of Kazakhstan; e-mail: samat-kasymov@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7384-6996>.

Aigul Maizhanova – doctoral student of the Department of «Food Technology», Shakarim University, Republic of Kazakhstan; e-mail: fquekm2710@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4845-9465>.

Редакцияға енуі 10.01.2026

Өңдеуден кейін түсуі 08.03.2022

Жариялауға қабылданды 10.03.2026

[https://doi.org/10.53360/2788-7995-2026-1\(21\)-52](https://doi.org/10.53360/2788-7995-2026-1(21)-52)

МРНТИ: 65.63.03



**А.О. Утегенова¹, А.С. Камбарова¹, З.В. Капшакбаева², Ж.М. Атамбаева¹,
Б.М. Кулуштаева¹**

¹Шәкәрім университет,

071412, Республика Казакстан, г. Семей, ул. Глинки, 20 А

²Торайгыров университет,

140008, Республика Казакстан, г. Павлодар, ул. Ломова 64

*e-mail: asia_aksu@mail.ru

ОБОСНОВАНИЕ ВЫБОРА МЕТОДА И МАТЕРИАЛА ДЛЯ ИММОБИЛИЗАЦИИ ФЕРМЕНТОВ

Аннотация: В статье приведены исследования по разработке тест-системы по определению фосфорорганических соединений в молоке на основании проведенных исследований нами выбран гидролитический фермент с наиболее высокой удельной активностью, и соответственно, проявляющий высокую чувствительность к ингибирующим свойствам карбофоса в молоке, а именно, ацетилхолинэстераза.

Основой для создания экспресс-методов определения пестицидов являются физико-химические, микробиологические, биохимические, молекулярно-биологические и иммунологические способы и они постоянно совершенствуются.

В статье были применены теоретические и экспериментальные исследования. Экспериментальные исследования были проведены на основе общепринятых, модифицированных и стандартных методов исследований физико-химических, органолептических, реологических, гигиенических показателей безопасности объектов исследований, а также удельной активности ферментов.

Поскольку, молоко является сложной полидисперсной системой, то важным фактором является выбор фермента с более высокой удельной активностью. По данным литературных

источников гидролитические ферменты (ацетилхолинэстеразы и бутирилхолинэстеразы) обладают высокой чувствительностью к ингибирующим свойствам карбофоса, которая проявляется в понижении удельной активности фермента. Результаты проведенных экспериментальных исследований показали, что из двух гидролитических ферментов наибольшую удельную активность показывает ацетилхолинэстераза в сравнении с бутирилхолинэстеразой как в водной среде, так и в молоке.

Исходя из результатов исследования, можно отметить, что при оптимальной температуре гелеобразования 18-20°C максимальную активность ацетилхолинэстераза проявляет при оптимальной величине pH среды для полимерного геля, полученного на основе желатина 6,1; для среды для полимерного геля, полученного на основе альгината натрия – 5,4.

Ключевые слова: пестициды, карбофос, иммобилизация, гидролитический фермент, ацетилхолинэстераза, молоко, биосенсорная тест-система.

Введение

Для разработки тест-системы по определению фосфорорганических соединений в молоке на основании проведенных исследований нами выбран гидролитический фермент с наиболее высокой удельной активностью, и соответственно, проявляющий высокую чувствительность к ингибирующим свойствам карбофоса в молоке, а именно, ацетилхолинэстераза.

Как отмечают ряд ученых для разработки биосенсорной тест-системы необходимо проводить иммобилизацию ферментов, поскольку иммобилизованный фермент в сравнении с нативным ферментом довольно длительное время сохраняет максимальную работоспособность, при этом, не подвергаясь структурным изменениям. То есть, иммобилизованные ферменты более устойчивые и не уступают по эффективности нативным ферментам [1-3].

На основании вышеизложенного в данной работе поставлена задача – проведение исследований по подбору метода и материала для иммобилизации фермента ацетилхолинэстеразы.

На первом этапе работы обоснован выбор метода и материала иммобилизации фермента ацетилхолинэстеразы.

Как известно, существуют несколько методов иммобилизации ферментов, которые подразделяются согласно классической классификации на физические и химические методы иммобилизации.

К физическим методам иммобилизации относятся адсорбция и включение в гель, к химическим же методам – ковалентное связывание и сшивание [1].

На основании проведенного литературного обзора установлено, что метод адсорбции иммобилизации ферментов относится к одному из простых и недорогих методов иммобилизации и ему присущи ряд недостатков. К одному из основных недостатков данного метода относится низкая прочность связывания фермента с носителем [1].

Химический же метод иммобилизации ферментов, как указывают исследователи, применяются в основном для проведения лабораторных исследований. Для серийного производства наиболее приемлемы физические методы иммобилизации ферментов, поскольку данные методы более доступны и экономически целесообразны [1, 5-8].

Учитывая, что в данной статье изучена разработка биосенсорной тест-системы для определения фосфорорганических пестицидов для серийного выпуска, то для иммобилизации фермента ацетилхолинэстеразы был выбран физический метод – метод включения в гель, а также второй способ – метод включения в гель с дополнительным применением одного из способа химического метода – кроссшивание.

Методы исследования:

Для иммобилизации фермента в статье были применены два способа: получение полимерного геля с включенными в него молекулами фермента, а также добавление в реакционную смесь бифункциональных сшивающих агентов [3, 6].

При первом способе фермент вносится в раствор готового полимера, тщательно перемешивается для равномерного распределения фермента в носителе и оставляется в покое до перехода полимера в гелеобразное состояние при температуре 18-20°C.

Во втором же способе фермент вносится в раствор готового полимера, тщательно перемешивается для равномерного распределения фермента в носителе. Готовый полимер наносится на поверхность подложки тест-системы с выдержкой 5 секунд, затем подложку

тест-системы погружаем в раствор кросс-сшивающего агента на 5 секунд. В качестве кросс-сшивающего агента для желатина выбран глутаровый альдегид, для низкометилированного пектина и альгината натрия - хлористый кальций (CaCl_2).

Экспериментальные исследования по иммобилизации фермента ацетилхолинэстеразы проведены методом включения в гель двумя способами.

В качестве носителя для иммобилизации фермента ацетилхолинэстеразы, были выбраны желатин, низкометилированный пектин и альгинат натрия. Известно, что в качестве носителей в основном для разработки биосенсорных тест-систем используют природные вещества, а именно, животные белки и растительные полисахариды. Из белковых веществ применяют желатин, из растительных полисахаридов пектин и альгинат натрия, как наиболее доступные и экономически целесообразные [5, 6, 9].

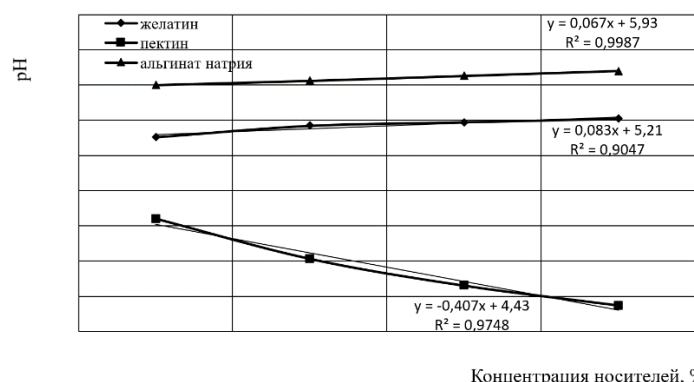
На следующем этапе работы проведены исследования по апробации первого способа физического метода иммобилизации фермента ацетилхолинэстеразы основанного на его включении в носитель.

С этой целью были получены полимерные гели на основе желатина, низкометилированного пектина и альгината натрия с включенными в него молекулами фермента при оптимальной температуре гелеобразования 18-20°C и при разных концентрациях носителей [10, 11].

На первом этапе было исследовано изменение активной кислотности при получении гелей в зависимости от концентрации желатина, пектина и альгината натрия. Анализ литературных источников показал, что к одним из факторов, влияющих на активность фермента, относится pH среды, то есть каждый фермент проявляет максимальную активность при оптимальном значении pH среды. Данные исследования проведены для обоснования активности ацетилхолинэстеразы, иммобилизованного на разных носителях.

Результаты исследований

На рисунке 1. Представлены результаты исследований



$$y = 0,067x + 5,93 (R^2 = 0,9987); y = 0,083x + 5,21 (R^2 = 0,9047); y = -0,407x + 4,43 (R^2 = 0,9748)$$

Рисунок 1 – Изменения pH носителей при их различных концентрациях

Как видно из рисунка 1 с повышением концентрации желатина и альгината натрия в растворе активная кислотность увеличивается постепенно и незначительно. Вместе с тем, в растворе на основе пектина с включенными в него молекулами фермента ацетилхолинэстеразы активная кислотность понижается с 4,1 до 2,87, то есть увеличивается кислотность раствора. Вероятнее всего это связано с тем, что карбоксильные группы, входящие в состав низкометилированного пектина при диссоциации снижают pH.

На основании математической обработки полученных экспериментальных данных получено уравнение линейной регрессии:

$$Y = bx + a \quad (1)$$

где b и a – коэффициенты регрессии;

x – концентрация носителей, %.

В результате анализа коэффициентов регрессии установлено, что абсолютная величина коэффициента регрессии b для желатина и альгината натрия имеет положительную величину и определяет незначительную зависимость изменения активной кислотности от их

концентрации. Абсолютная величина коэффициента регрессии b для пектина имеет отрицательное значение, что показывает наибольшую зависимость изменения активной кислотности от его концентрации. Необходимо отметить, что коэффициент детерминации (R^2) как видно из рисунка 1 близок к единице, что означает достоверность полученных результатов.

Таким образом, на основании экспериментальных исследований по иммобилизации фермента ацетилхолинэстеразы методом включения в гель желатина, пектина и альгината натрия при оптимальной температуре гелеобразования 18-20°C и при разных концентрациях носителей установлено, что с повышением концентрации желатина и альгината натрия в растворе активная кислотность увеличивается постепенно и незначительно. Вместе с тем в растворе на основе пектина с включенными в него молекулами фермента ацетилхолинэстеразы активная кислотность понижается с 4,1 до 2,87, то есть увеличивается кислотность раствора.

На втором этапе исследований был проведен анализ внешнего вида полученных гелей на используемых носителях. Результаты анализа приведены в таблицах 1, 2, 3.

Таблица 1 – Оценка внешнего вида полимерного геля на основе желатина

Концентрация, %	Характеристика внешнего вида
1	Консистенция однородная, текучая, цвет слегка розовый
2	Консистенция однородная, текучая, цвет слегка розовый
3	Консистенция однородная, не текучая, цвет розовый
4	Консистенция однородная, не текучая, цвет розовый

Как видно из таблицы 1, полимерный гель, полученный на основе желатина с концентрацией 1% характеризуется однородной и текучей консистенцией, цвет слегка розовый.

С увеличением концентрации до 2% желатина консистенция приобретает однородную консистенцию, текучую, цвет слегка розовый.

Дальнейшее увеличение концентрации до 3% желатина приводит к получению геля с однородной и густой консистенцией, не текучей, цвет розовый.

Увеличение же концентрации желатина до 4% приводит к получению геля с плотной и однородной консистенцией, не текучей, цвет розовый.

Таким образом, наиболее оптимальным является полимерный гель, полученный при содержании желатина в концентрации 3%.

Таблица 2 – Оценка внешнего вида и консистенция полимерного геля на основе низкометилизованного пектина

Концентрация, %	Характеристика внешнего вида
1	Консистенция однородная, текучая, цвет слегка розовый
2	Консистенция однородная, не текучая, цвет слегка розовый
3	Консистенция однородная, не текучая, цвет розовый
4	Консистенция однородная, не текучая, цвет розовый

Как видно из таблицы 2, полимерный гель, полученный на основе пектина с концентрацией 1% характеризуется однородной и густой консистенцией, цвет слегка розовый.

Увеличение концентрации до 2% пектина не повлияло на изменение внешнего вида геля в сравнении с концентрацией пектина 1%.

При дальнейшем увеличении концентрации до 3% пектина наблюдается уплотнение консистенции полимерного геля и не текучести, цвет розовый.

С увеличением концентрации пектина до 4% приводит к получению полимерного геля с не текучей консистенцией, цвет розовый.

Таким образом, наиболее оптимальным является полимерный гель, полученный при содержании пектина в концентрации 1 и 2%.

Как видно из таблицы 3, внешний вид полимерного геля, полученного на основе альгината натрия, характеризуется при разных его концентрациях также как и при получении полимерного геля на основе пектина. Также, наиболее оптимальным является полимерный гель, полученный при содержании альгината натрия в концентрации 1 и 2%.

Таблица 3 – Оценка внешнего вида полимерные гели на основе альгината натрия

Концентрация, %	Характеристика внешнего вида
1	Консистенция однородная, не текучая, цвет слегка розовый
2	Консистенция однородная, не текучая, цвет слегка розовый
3	Консистенция однородная, не текучая, цвет розовый
4	Консистенция однородная, не текучая, цвет розовый

Обсуждение научных результатов

В результате оценки внешнего вида полимерных гелей, полученных на основе различных носителей, установлено, что оптимальным являются гели на основе 3% желатина, 2% низкометилированного пектина и 2% альгината натрия. При вышеуказанных концентрациях получены гели с однородной и густой консистенцией, не текучей, розового цвета.

На дальнейшем этапе исследования полимерные гели были нанесены на стеклянную поверхность тест-системы. С этой целью стеклянную палочку опускали в полученный раствор полимера с ферментом, затем вынимали стеклянную палочку и оставляли в покое до образования на ее поверхности твердого геля розового цвета.

Полимерный гель, полученный на основе желатина с концентрацией 3%, нанесенный на стеклянную поверхность тест-системы был распределен неравномерно на стеклянной поверхности тест-системы и при этом наблюдались значительные разрывы.

Полученная тест-система была апробирована в подготовленных образцах молока с содержанием карбофоса от 0,01 до 0,12 мг/кг.

Результат исследования представлен на рисунке 2.

Как видно из рисунка 2 тест-система окрасилась в желтый цвет при содержании карбофоса в молоке свыше 0,05 мг/кг, что свидетельствует о том, что данная тест-система позволяет определить присутствие фосфорорганического пестицида в молоке. Вместе с тем, необходимо отметить, что нанесенная на поверхность стеклянной палочки, полимер желатина с концентрацией 3% распределен неравномерно и наблюдаются значительные разрывы.

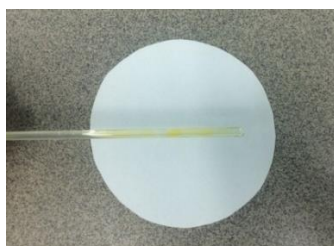


Рисунок 2 – Апробированная тест-система в молоке с карбофосом (>0,05 мг/кг) на основе желатина (3%)

Полимерный гель, полученный на основе пектина с концентрацией 2%, нанесенный на стеклянную поверхность тест-системы также был неравномерно распределен на стеклянной поверхности тест-системы и при этом основная масса полимерного геля скапливалась на кончике стеклянной палочки.

Полученная тест-система была апробирована в подготовленных образцах молока с содержанием карбофоса от 0,01 до 0,12 мг/кг. Результат исследования представлен на рисунке 3.



Рисунок 3 – Апробированная тест-система в молоке с карбофосом (>0,05 мг/кг) на основе пектина (2%)

Как видно из рисунка 3, при апробировании данной тест-системы в образце молока с повышенным содержанием карбофоса свыше 0,05 мг/кг цвет тест-системы не изменился, что свидетельствует о том, что данная тест-система не позволяет определить присутствие фосфорорганического пестицида в молоке. По-видимому, это связано с тем, что в растворе на основе пектина с включенными в него молекулами фермента ацетилхолинэстеразы активная кислотность понижается с 4,1 до 2,87, то есть увеличивается кислотность раствора. Вместе с тем, как видно из рисунка 3, полимерный гель, полученный на основе пектина, неравномерно распределен на стеклянной поверхности тест-системы и при этом основная масса полимерного геля скапливается на кончике стеклянной палочки.

Полимерный гель, полученный на основе альгината натрия с концентрацией 2%, нанесенный на стеклянную поверхность биосенсорной тест-системы полимерный гель, полученный на основе альгината натрия, практически не закрепился на стеклянной поверхности биосенсорной тест-системы.

Полученная тест-система была апробирована в подготовленных образцах молока с содержанием карбофоса от 0,01 до 0,12 мг/кг.

Результат исследования представлен на рисунке 4.



Рисунок 4 – Апробированная тест-система в молоке с карбофосом (>0,05 мг/кг) на основе альгината натрия (2%)

Как видно из рисунка 4, при апробировании данной тест-системы в образце молока при содержании карбофоса в молоке свыше 0,05 мг/кг цвет тест-системы изменился слегка в желтый, что свидетельствует о том, что данная тест-система позволяет определить присутствие фосфорорганического пестицида в молоке. Вместе с тем как видно из рисунка 4 полимерный гель, полученный на основе альгината натрия, практически не закреплен на стеклянной поверхности тест-системы.

Заключение

На основании проведенных исследований установлено, что при разработке тест-системы для определения карбофоса по первому способу, то есть при внесении фермента в раствор готового полимера с дальнейшим гелеобразованием при температуре 18-20°C, наблюдается неравномерное распределение исследуемых полимерных гелей, с неплотной структурой и со значительными разрывами на поверхности стеклянной палочки. При апробировании же тест-систем, полученных на основе желатина и альгината натрия, на образцах молока с содержанием карбофоса свыше 0,05 мг/кг цвет тест-систем изменился, что свидетельствует о том, что данные тест-системы позволяют определить присутствие фосфорорганического пестицида в молоке.

Список литературы

1. Полимерные носители для иммобилизации ферментов / А.Г. Аракелян и др. // Проблемы науки. – 2018. – № 11(35). – С. 9-10.
2. Демьянцева Е.Ю. Способы инкапсулирования ферментов: учеб.-метод. пос. / Е.Ю. Демьянцева, А.В. Парфенова/ – СПб., 2018. – 20 с.
3. Спектрофотометрический метод определения протеолитической активности иммобилизованных в структуру биополимеров / Е.В. Волосова и др. // Успехи современного естествознания. – 2016. – № 4. – С. 18-22.
4. Ключева М.В. Основные аспекты иммобилизации ферментов на примере липаз / М.В. Ключева // Молодой ученый. – 2014. – № 8. – С. 320-325.
5. Ефимцева Э.А. Иммобилизация щелочной фосфатазы. Перспективы биомедицинского использования иммобилизованного фермента / Э.А. Ефимцева, Т.И. Челпанова // Биотехнология. – 2017. – Т. 33, № 4. – С. 54-75.

6. Методы функционализации поверхности сенсоров биологическими молекулами / Н.Е. Маслова и др. // Молекулярная медицина. – 2013. – № 5. – С. 8-15.
7. Приворотская Е.А. Получение стабилизированных форм гидролитических ферментов технического и фармацевтического назначения: дис. ... канд. хим. наук: 03.01.06. – М., 2017. – 171 с.
8. Мазеина Г.С. Разработка новых защитных групп для бороновых кислот на основе борадамантов / Г.С. Мазеина, А.Ю. Сухороков // Успехи в химии и в химической технологии. – 2017. – Т. 31, № 4. – С. 13-15.
9. Челпанова Т.И. Иммобилизация щелочной фосфотазы на сферических пектиновых гелях / Т.И. Челпанова, Э.А. Ефимцева // Прикладная биохимия и микробиология. – 2016. – Т. 52, № 1. – С. 44-52.
10. Water Contamination through Pesticide and Their Toxic Effect on Human Health / M.S. Sankhla et al // International Journal for Research in Applied Science and Engineering Technology. – 2018. – Vol. 6. – P. 967-970.
11. Effective removal of different species of organophosphorus pesticides (acephate, omthosate, and methyl parathion) using chitosan/Zeolite-A as multifunctional adsorbent / M. Mostafa et al // Environmental Technology & Innovation. – 2021. – Vol. 24. – P. 101875.

References

1. Polimernye nositeli dlya immobilizatsii fermentov / A.G. Arakelyan i dr. // Problemy nauki. – 2018. – № 11(35). – С. 9-10. (In Russian).
2. Dem'yantseva E.YU. Sposoby inkapsulirovaniya fermentov: ucheb.-metod. pos. / E.YU. Dem'yantseva, A.V. Parfenova/ – SPb., 2018. – 20 s. (In Russian).
3. Spektrofotometricheskii metod opredeleniya proteoliticheskoi aktivnosti immobilizovannykh v strukturu biopolimerov / E.V. Volosova i dr. // Uspekhi sovremennogo estestvoznaniya. – 2016. – № 4. – С. 18-22. (In Russian).
4. Klyueva M.V. Osnovnye aspekty immobilizatsii fermentov na primere lipaz / M.V. Klyueva // Molodoi uchenyi. – 2014. – № 8. – С. 320-325. (In Russian).
5. Efimtseva E.H.A. Immobilizatsiya shchelochnoifosfotazy. Perspektivy biomeditsinskogo ispol'zovaniya immobilizovannogo fermenta / E.H.A. Efimtseva, T.I. Chelpanova // Biotekhnologiya. – 2017. – Т. 33, № 4. – С. 54-75. (In Russian).
6. Metody funktsionalizatsii poverkhnosti sensorov biologicheskimi molekulami / N.E. Maslova i dr. // Molekulyarnaya meditsina. – 2013. – № 5. – С. 8-15. (In Russian).
7. Privorotskaya E.A. Poluchenie stabilizirovannykh form gidroliticheskikh fermentov tekhnicheskogo i farmatsevticheskogo naznacheniya: dis. ... kand. khim. nauk: 03.01.06. – М., 2017. – 171 s. (In Russian).
8. Mazeina G.S. Razrabotka novykh zashchitnykh grupp dlya boronovykh kislot na osnove boradamantov / G.S. Mazeina, A.YU. Sukhorokov // Uspekhi v khimii i v khimicheskoi tekhnologii. – 2017. – Т. 31, № 4. – С. 13-15. (In Russian).
9. Chelpanova T.I. Immobilizatsiya shchelochnoifosfotazy na sfericheskikh pektinovykh gelyakh / T.I. Chelpanova, E.H.A. Efimtseva // Prikladnaya biokhimiya i mikrobiologiya. – 2016. – Т. 52, № 1. – С. 44-52. (In Russian).
10. Water Contamination through Pesticide and Their Toxic Effect on Human Health / M.S. Sankhla et al // International Journal for Research in Applied Science and Engineering Technology. – 2018. – Vol. 6. – P. 967-970. (In English).
11. Effective removal of different species of organophosphorus pesticides (acephate, omthosate, and methyl parathion) using chitosan/Zeolite-A as multifunctional adsorbent / M. Mostafa et al // Environmental Technology & Innovation. – 2021. – Vol. 24. – P. 101875. (In English).

А.О. Утегенова^{*1}, А.С. Камбарова¹, З.В. Капшакбаева², Ж.М. Атамбаева¹, Б.М. Кулуштаева¹

¹Шәкәрім университеті, 071412, Қазақстан Республикасы, Семей қ., Глинка к-сі, 20 А

²Торайғыров университеті, 140008, Қазақстан Республикасы, Павлодар қ., Ломов көшесі 64

*e-mail: asia_aksu@mail.ru

ФЕРМЕНТТЕРДІ ИММОБИЛИЗАЦИЯЛАУ ӘДІСІ МЕН МАТЕРИАЛЫН ТАҢДАУДЫҢ НЕГІЗДЕМЕСІ

Мақалада сүттегі фосфорганикалық қосылыстарды анықтауға арналған тест жүйесін әзірлеу бойынша зерттеулер келтірілген, біз жүргізген зерттеулерге сүйене отырып, ең жоғары үлестік белсенділігі бар гидролитикалық ферментті таңдадық және сәйкесінше сүттегі

карбофостың ингибиторлық қасиеттеріне жоғары сезімталдықты көрсетеміз, атап айтқанда ацетилхолинэстераза.

Пестицидтерді анықтаудың жедел әдістерін құрудың негізі физика-химиялық, микробиологиялық, биохимиялық, молекулалық-биологиялық және иммунологиялық әдістер болып табылады және олар үнемі жетілдіріліп отырады.

Мақалада теориялық және эксперименттік зерттеулер қолданылды.

Эксперименттік зерттеулер зерттеу объектілерінің қауіпсіздігінің физика-химиялық, органолептикалық, реологиялық, гигиеналық көрсеткіштерін, сондай-ақ ферменттердің меншікті белсенділігін зерттеудің жалпы қабылданған, өзгертілген және стандартты әдістері негізінде жүргізілді.

Сүт күрделі полидисперсті жүйе болғандықтан, меншікті белсенділігі жоғары ферментті таңдау маңызды фактор болып табылады. Әдеби дереккөздерге сәйкес гидролитикалық ферменттер (ацетилхолинэстеразалар және бутирилхолинэстеразалар) карбофостың ингибиторлық қасиеттеріне жоғары сезімталдыққа ие, бұл ферменттің меншікті белсенділігінің төмендеуінде көрінеді.

Жүргізілген эксперименттік зерттеулердің нәтижелері екеуінің гидролитикалық ферменттердің ең үлкен белсенділігі ацетилхолинэстераза сулы ортада да, сүтте де бутирилхолинэстеразамен салыстырғанда.

Түйін сөздер: Түйін сөздер: пестицидтер, карбофос, иммобилизация, гидролитикалық фермент, ацетилхолинэстераза, сүт, биосенсорлық тест жүйесі.

A.O. Utegenova^{*1}, A.S. Kambarova¹, Z.V. Kapshakbayeva², Zh.M. Atambayeva¹, B.M. Kulushtayeva¹

¹Shakarim Semey University, 071412, Republic of Kazakhstan, Semey, 20A Glinka St.

²Toraygyrov University, 140008, Republic of Kazakhstan, Pavlodar, 64 Lomov Street

*e-mail: asia_aksu@mail.ru

JUSTIFICATION OF THE CHOICE OF METHOD AND MATERIAL FOR ENZYME IMMOBILIZATION

The article presents research on the development of a test system for the determination of organophosphate compounds in milk. Based on our research, we selected a hydrolytic enzyme with the highest specific activity and, accordingly, highly sensitive to the inhibitory properties of carbophos in milk, namely, acetylcholinesterase.

The basis for the creation of express methods for the determination of pesticides are physico-chemical, microbiological, biochemical, molecular biological and immunological methods, and they are constantly being improved.

Theoretical and experimental studies were applied in the article.

Experimental studies were conducted on the basis of generally accepted, modified and standard research methods of physico-chemical, organoleptic, rheological, hygienic safety indicators of research objects, as well as the specific activity of enzymes.

Since milk is a complex polydisperse system, the choice of an enzyme with a higher specific activity is an important factor. According to literature data, hydrolytic enzymes (acetylcholinesterases and butyrylcholinesterases) are highly sensitive to the inhibitory properties of carbophos, which is manifested in a decrease in the specific activity of the enzyme.

The results of the experimental studies have shown that of the two hydrolytic enzymes, the highest specific activity is shown by acetylcholinesterase versus butyrylcholinesterase in both aqueous and milk environments.

Keywords: pesticides, carbophos, immobilization, hydrolytic enzyme, acetylcholinesterase, milk, biosensory test system.

Key words: pesticides, carbophos, immobilization, hydrolytic enzyme, acetylcholinesterase, milk, biosensory test system.

Сведения об авторах

Асия Оразбековна Утегенова* – PhD, и.о ассоциированного профессора кафедры «Пищевая технология», Шәкәрім университет, Казакстан; e-mail: asia_aksu@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3378-6815>.

Зарина Владимировна Капшакбаева – PhD, ассоциированный профессор кафедры «Биотехнология», Торайгыров университет, г. Павлодар, Казакстан; e-mail: z.k.87@mail.ru. ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-7989-5270>.

Арай Сагинбековна Камбарова – PhD, и.о ассоциированного профессора кафедры «Пищевая технология», Шәкәрім университет, Казакстан; e-mail: kambarova@mail.ru. ORCID <https://orcid.org/0000-0002-4289-3818>.

Жибек Манаповна Атамбаева – ст.преподаватель кафедры «Пищевая технология», Шәкәрім университет, Казакстан; e-mail: zh.atambayeva@mail.ru ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7899-870X>.

Ботакос Манарбековна Кулуштаева – PhD, ст.преподаватель кафедры «Пищевая технология», Шәкәрім университеті, Қазақстан; e-mail: kulushtaeva_89@mail.ru ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0067-9872>.

Авторлар туралы мәліметтер

Асия Оразбековна Утегенова* – PhD, «Тамақ технологиясы» кафедрасының қауымдастырылған профессор м.а., Шәкәрім университеті, Қазақстан; e-mail: asia_aksu@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3378-6815>.

Зарина Владимировна Капшакбаева – PhD, «Биотехнология» кафедрасының қауымдастырылған профессоры, Торайғыров университеті, Павлодар қ., Қазақстан; e-mail: z.k.87@mail.ru ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-7989-5270>.

Арай Сагинбековна Камбарова – PhD, «Тамақ технологиясы» кафедрасының қауымдастырылған профессор м.а., Шәкәрім университеті, Қазақстан; e-mail: kambarova@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4289-3818>.

Жибек Манаповна Атамбаева – «Тамақ технологиясы» кафедрасының аға оқытушысы, Шәкәрім университеті, Қазақстан; e-mail: zh.atambayeva@mail.ru ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7899-870X>.

Ботакос Манарбековна Кулуштаева – PhD, «Тамақ технологиясы» кафедрасының аға оқытушысы, Шәкәрім университеті, Қазақстан; e-mail: kulushtaeva_89@mail.ru ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0067-9872>

Information about the authors

Assiya Orazbekovna Utegenova* – PhD, Acting Associate Professor of the Department of «Food Technology», Shakarim University, Kazakhstan; e-mail: asia_aksu@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3378-6815>.

Zarina Vladimirovna Kapshakbayeva – PhD, Associate Professor, Department of Biotechnology, Toraighyrov University, Pavlodar, Kazakhstan; e-mail: z.k.87@mail.ru. ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-7989-5270>.

Arai Saginbekovna Kambarova – PhD, Acting Associate Professor of the Department of «Food Technology», Shakarim University, Kazakhstan; e-mail: kambarova@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4289-3818>.

Zhibek Manapovna Atambayeva – Senior Lecturer of the Department of «Food Technology», Shakarim University, Kazakhstan; e-mail: zh.atambayeva@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7899-870X>.

Botakoz Manarbekovna Kulushtaeva – PhD, Senior Lecturer of the Department of «Food Technology», Shakarim University, Kazakhstan; e-mail: kulushtaeva_89@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0067-9872>.

Поступила в редакцию 26.01.2026

Поступила после доработки 02.03.2026

Принята к публикации 03.03.2026

[https://doi.org/10.53360/2788-7995-2026-1\(21\)-53](https://doi.org/10.53360/2788-7995-2026-1(21)-53)

FTAXP: 65.09.05



И.Р. Садырбаева¹, Б.М. Хамитова*, М.Ә. Тұрлыбек¹, И.А. Махатова¹, А.К. Игенбаев²

¹М. Өзов атындағы Оңтүстік Қазақстан университеті,

160012, Қазақстан Республикасы, Шымкент қ., Тауке хан даңғылы, 5

²С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті,

010011, Қазақстан Республикасы, Астана қ., Жеңіс даңғылы, 62

*e-mail: barno-007@mail.ru

БАЙЫТЫЛҒАН СҮЗБЕ ӨНІМДЕРІ ӨНДІРІСІНДЕ ЖЕРГІЛІКТІ ӨСІМДІК ШИКІЗАТЫН ПАЙДАЛАҢУ

Аңдатпа: Сүт өнімдерінің отандық нарығы қазіргі уақытта барлық сегменттер бойынша қатаң бәсекелестік жағдайымен сипатталады. Мұндай жағдайда өнім ассортиментін кеңейту, жаңа технологияларды енгізу және тұтынушылардың сұранысына жауап беретін функционалдық тағам өнімдерін өндіру ерекше маңызға ие. Жоғары бәсекеге қабілетті ортада жаңа өнімді тиімді түрде

©И.Р. Садырбаева, Б.М. Хамитова, М.Ә. Тұрлыбек, И.А. Махатова, А.К. Игенбаев