

ИССЛЕДОВАНИЯ ВЛИЯНИЯ *ZINC PYRITHIONE* НА АКТИВНЫЕ СВОЙСТВА ПЛЕНОЧНЫХ ЭКОМАТЕРИАЛОВ

А.В. Малинин, malininav@susu.ru

М. Шемек, shemekm@susu.ru

М.Э. Энтону, moentos@yahoo.com

Южно-Уральский государственный университет, Челябинск, Россия

Аннотация. На сегодняшний день проблема пролонгирования сроков хранения пищевых систем является актуальной в рамках реализации Повестки-2030 (ЦУР), а именно относящейся к цели № 2, которая направлена на ликвидацию голода, обеспечение продовольственной безопасности и улучшение питания, содействие устойчивому развитию сельского хозяйства, а также в рамках Стратегии научно-технологического развития РФ. Одним из возможных способов решения данной проблемы может стать разработка и внедрение активной органической упаковки для пролонгирования сроков хранения пищевых систем. Целью данного исследования являлось изучение влияния встраивания *Zinc pyrithione* при разных концентрациях внесения от 0,1 до 0,5 % на активные свойства будущей органической упаковки на основе крахмала рисового. В рамках исследования были получены 5 образцов и образец контроля. Образцы оценивались по расширенной номенклатуре показателей качества (антиоксидантная и фунгицидная активность). Полученные результаты исследований позволяют говорить о положительном эффекте встраивания цинка пиритиона при разных концентрациях внесения от 0,1 до 0,5 % в рисовую крахмальную пластифицированную матрицу с формированием активных свойств. Максимальная антиоксидантная и фунгицидная активность была выявлена у образца 5 при вносимой концентрации цинка пиритиона 0,5 %. Максимальная зона задержки роста плесневелых грибов *Aspergillus flavus* составила $(22,33 \pm 0,5)$ мм при антиоксидантной активности $(65,59 \pm 0,2)$ % (DPPH метод). Полученные данные будут полезны для проектирования и создания водорастворимых активных покрытий и упаковок для пролонгирования сроков хранения пищевых систем.

Ключевые слова: цинк пиритион, рисовый крахмал, антиоксидантная активность, фунгицидная активность, органическая упаковка

Благодарности. Статья выполнена при финансовой поддержке в рамках грантовой программы Виктора Христенко «Шаг в будущее».

Для цитирования: Малинин А.В., Шемек М., Энтону М.Э. Исследования влияния *Zinc pyrithione* на активные свойства пленочных экоматериалов // Вестник ЮУрГУ. Серия «Пищевые и биотехнологии». 2025. Т. 13, № 1. С. 30–35. DOI: 10.14529/food250104

Original article
DOI: 10.14529/food250104

STUDIES OF THE EFFECT OF *ZINC PYRITHIONE* ON THE ACTIVE PROPERTIES OF FILM ECOMATERIALS

A.V. Malinin, malininav@susu.ru
M. Chemek, shemekm@susu.ru
M.E. Entonu, moentos@yahoo.com
South Ural State University, Chelyabinsk, Russia

Abstract. Today, the problem of prolonging the shelf life of food systems is relevant within the framework realization of the 2030 Agenda, namely related to Goal No. 2, which aims to eliminate hunger, ensure food security and improve nutrition, promote sustainable agricultural development, as well as the Strategy of Scientific and Technological Development of the Russian Federation. One of the possible ways to solve this problem may be the development and implementation of active organic packaging for prolonging the shelf life of food systems. The purpose of this study was to study the effect of embedding *Zinc pyrithione* at different application concentrations from 0.1 to 0.5 % on the active properties of future organic packaging based on rice starch. As part of the study, 5 samples and a control sample were obtained. The samples were evaluated according to an expanded range of quality indicators (antioxidant and fungicidal activity). The obtained research results suggest a positive effect of embedding zinc pyrithione at different concentrations of 0.1 to 0.5 % in rice starch plasticized matrix with the formation of active properties. The maximum antioxidant and fungicidal activity was detected in sample 5 at an applied zinc pyrithione concentration of 0.5 %. The maximum growth retardation zone of moldy fungi *Aspergillus flavus* was (22.33 ± 0.5) mm with an antioxidant activity of (65.59 ± 0.2) % (DPPH method). The data obtained will be useful for designing and creating water-soluble active coatings and packages for prolonging the shelf life of food systems.

Keywords: Zinc pyrithione, rice starch, antioxidant activity, fungicidal activity, organic packaging

Acknowledgments. The article was financially supported by within the framework of the Viktor Khristenko grant program «Step into the Future».

For citation: Malinin A.V., Chemek M., Entonu M.E. Studies of the effect of *Zinc pyrithione* on the active properties of film ecomaterials. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Food and Biotechnology*, 2025, vol. 13, no. 1, pp. 30–35. (In Russ.) DOI: 10.14529/food250104

Введение

На сегодняшний день проблема продления сроков хранения пищевых систем заключается в том, что каждый продукт имеет собственный предельный срок хранения, при превышении которого начинаются нежелательные биохимические, микробиологические и химические процессы. Стоит отметить, что на срок хранения оказывают влияние такие факторы, как температура, влажность, световой режим и товарное соседство, условия транспортирования. Для решения данной проблемы используются различные методы: физическая обработка, химическая обработка, пакование в газомодифицированной среде. Также одним из инновационных решений, которое позволит продлить срок хранения

пищевых систем и тем самым повысить продовольственную безопасность, является разработка активной упаковки с биоразлагаемой способностью. Активная упаковка – это упаковка, в органическую матрицу которой встроен активный компонент, обладающий как антимикробными свойствами, так и фунгицидной активностью.

Ученые во всем мире разрабатывают и тестируют активные упаковки для продления сроков хранения пищевых систем, полученные на основе крахмала с добавлением активных компонентов, таких как оксид цинка, диоксид титана и т. д. Одним из возможных ингредиентов, имеющих похожие активные свойства, является цинк пиритион (ZnP). ZnP – это комплексное соединение, со-

держашее цинк. Бесцветное твердое вещество, применяемое в качестве фунгицида и антибактериального средства. Молярная масса ZnP составляет 317,7 г/моль. Лиганды пиритиона, которые формально являются моноанионами, образуют внутрикомплексное соединение с атомом цинка, в котором Zn^{2+} связан с атомами кислорода и серы. В кристаллическом состоянии пиритион цинка существует в виде centrosymmetrical димеров, соединённых связями Zn-O (таким образом, в димере атом цинка связан с двумя атомами серы и тремя атомами кислорода). В растворе димер диссоциирует из-за разрыва одной связи Zn-O [2, 4, 5, 7].

Целью данного исследования является изучение влияния встраивания цинка пиритиона при разных концентрациях внесения от 0,1 до 0,5 % на активные свойства будущей органической упаковки на основе рисового крахмала.

Объекты и методы исследования

Объектами исследования являлись образцы активных пленок на основе цинка пиритиона с разной дозировкой внесения от 0,1 до 0,5 %. В качестве основного сырья использовали рисовый крахмал, поливиниловый спирт. В качестве активного компонента – порошок цинка пиритиона (ZnP). В качестве пластификатора матрицы использовался глицерин. Вода дистиллированная использовалась в качестве растворителя.

Встраивание активного компонента при разной дозировке внесения осуществляли путем поэтапного смешивания ингредиентов при помощи магнитной мешалки с подогревом при температуре 80 °C и скорости смешивания 1500 об/мин в течение 15 минут до получения однородной гомогенной суспензии. Далее полученный композитный раствор подвергали тепловой обработке на водяной бане в течение 10 минут при температуре 95 °C. Затем остужали до комнатной температуры и осуществляли процесс формования в силиконовых формах. Далее образцы высушивали в вакуумном сушильном шкафу до образования пленочной структуры. В рамках исследования были получены следующие образцы активных пленок: контроль (без внесения ZnP), образец 1 (ZnP 0,1 %), образец 2 (ZnP 0,2 %), образец 3 (ZnP 0,3 %), образец 4 (ZnP 0,4 %), образец 5 (ZnP 0,5 %).

Для достижения цели были определены следующие показатели качества.

Определение антиоксидантной активности. Антиоксидантную активность определяли спектрофотометрически при 515 нм путем определения поглощающей способности свободного радикала 1,1-дифенил-2-пикрилгидразила (DPPH) [1].

Определение фунгицидной активности. Оценку фунгицидной активности образцов активных пленок с внесенным активным ингредиентом при разной концентрации оценивали при помощи двух методов: диффузии в агар (метод «колодцев»), а также диско-диффузионного метода определения чувствительности (метод дисков). В рамках эксперимента использовался штамм плесневых грибов вида *Aspergillus flavus*. Исследование проводили в соответствии с методическими указаниями МУК 4.2.1890-04 [3].

Результаты и их обсуждение

На первом этапе исследования для достижения поставленной цели были приготовлены шесть образцов активных пленок: контроль (без внесения ZnP) и пять образцов с концентрацией внесения ZnP от 0,1 до 0,5 %. Все образцы пленок имели однородную структуру, частицы ZnP были встроены равномерно в крахмальную матрицу. Пленки обладали повышенной эластичностью и прочностью. Для определения активных свойств пленочного материала в первую очередь оценивалась антиоксидантная активность материала с помощью анализа на удаление радикалов с помощью DPPH. Антиоксиданты – это химические вещества, которые нейтрализуют АФК, образующиеся в результате биологических процессов. Результаты определения антиоксидантной активности образцов активных пленок представлены в табл. 1 [3, 5, 6].

Таблица 1
Результаты определения антиоксидантной активности образцов активных пленок при разной концентрации вносимого цинка пиритиона

Объект исследования	Антиоксидантная активность, % (DPPH метод)
Контроль	43,46± 0,2
Образец 1	43,02± 0,1
Образец 2	44,26± 0,2
Образец 3	51,36± 0,5
Образец 4	57,94± 0,2
Образец 5	65,59± 0,2

Представленные результаты исследования демонстрируют увеличение антиоксидантной активности при повышении концентрации цинка пиритиона от 0,1 до 0,5 % в крахмальной матрице активной пленки. Максимальная антиоксидантная активность наблюдается у образца 5 при внесении ZnP в количестве 0,5 %. Таким образом, активная упаковка с высокой антиоксидантной активностью позволяет уменьшить окислительные процессы и снизить или предотвратить развитие микроорганизмов [3, 9].

На заключительном этапе исследования проводилась оценка фунгицидной активности образцов активных пленок с внесенным цинком пиритиона при разных концентрациях при помощи методов диффузии в агар (метод «колодцев»), а также диско-диффузионного метода определения чувствительности (метод дисков) (см. рисунок). В рамках эксперимента использовался штамм плесневых грибов вида *Aspergillus flavus*. Показатели зон задержки роста плесневелых грибов вокруг активных пленок представлены в табл. 2.

Полученные результаты исследования, представленные выше, демонстрируют чувствительность активных пленок к гетероталличным грибам-аскомицетам вида *Aspergillus flavus* при увеличении концентрации цинка пиритиона (ZnP) от 0,1 до 0,5 %. При использовании метода диффузии в агар (метод «колодцев») зона задержки роста была выявлена у образца 5 и составила $(15,22 \pm 0,2)$ мм, в то время как у остальных образцов было выявлено полное отсутствие зоны задержки роста. Далее оценивалась фунгицидная активность

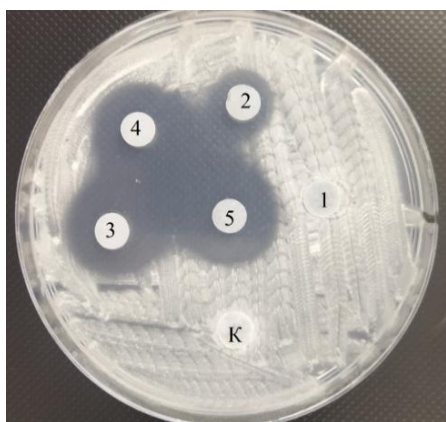
образцов активных пленок при помощи диско-диффузионного метода определения чувствительности (метод дисков), при котором максимальный эффект зоны задержки роста был выявлен у образца 5 (с добавлением 0,5 % цинка пиритиона в крахмальную матрицу) и составил $(22,33 \pm 0,5)$ мм. Фунгицидная активность цинка пиритиона предположительно обусловлена влиянием на разрушение транспортировочной способности мембраны путём блокирования протонного насоса, который подаёт энергию на транспортный механизм. Полученные результаты подтверждают возможность использования цинка пиритиона при разных концентрациях в качестве добавки для получения активной упаковки [7, 8, 10].

Таблица 2
Показатели зон задержки роста плесневелых грибов *Aspergillus flavus* вокруг активных пленок в виде дисков с внесенным цинком пиритиона при разных концентрациях

Объект исследования	Зона задержки роста, мм
Контроль	0
Образец 1	0
Образец 2	$14,66 \pm 0,4$
Образец 3	$20,00 \pm 0,5$
Образец 4	$21,66 \pm 0,3$
Образец 5	$22,33 \pm 0,5$

Выводы по результатам работы

Таким образом, полученные результаты исследований позволяют говорить о положи-



Результаты оценки фунгицидной активности исследуемых образцов активных пленок при разной концентрации вносимого цинка пиритиона в отношении плесневелых грибов *Aspergillus flavus*, диско-диффузионного метода определения чувствительности

тельном эффекте встраивания цинка пиритиона при разных концентрациях внесения от 0,1 до 0,5 % в рисовую крахмальную пластифицированную матрицу с формированием активных свойств. Максимальная антиоксидантная и фунгицидная активность была выявлена у образца 5 при вносимой концентрации цинка пиритиона 0,5 %. Максимальная

зона задержки роста плесневелых грибов *Aspergillus flavus* составила ($22,33 \pm 0,5$) мм при антиоксидантной активности ($65,59 \pm 0,2$) % (DPPH метод). Полученные данные будут полезны для проектирования и создания водорастворимых активных покрытий и упаковок для пролонгирования сроков хранения пищевых систем.

Список литературы

1. Биоразлагаемые экопленки на основе органического сырья с активными компонентами / А.В. Цатуров, И.Ю. Потороко, А.М.Я. Кадри и др. // Вестник ЮУрГУ. Серия «Пищевые и биотехнологии». 2023. Т. 11, № 3. С. 40–47. DOI: 10.14529/food230305.
2. Лонг, Ю. Биоразлагаемые полимерные смеси и композиты из возобновляемых источников. СПб.: Научные основы и технологии, 2013. 464 с.
3. Abdelghany S. Shaban, Medhat E. Owda, Mostafa M. Basuoni et al. Punica granatum peel extract mediated green synthesis of zinc oxide nanoparticles: structure and evaluation of their biological applications // Biomass Conversion and Biorefinery. 2024. Vol. 14. P. 12265–12281. DOI: 10.1007/s13399-022-03185-7
4. Bourtoom T. and Chinnan M.S. Preparation and properties of rice starch-chitosan blend biodegradable film // LWT – Food Science and Technology. 2008. Vol. 41. P. 1633–1641. DOI: 10.1016/j.lwt.2007.10.014
5. James R. Schwartz. Zinc Pyrithione: A Topical Antimicrobial With Complex Pharmaceutics // Drugs Dermatol. 2016. Vol. 15 (2). P. 140–144.
6. Khalishah Rahma Safira, Saroat Rawdkuen. Rice Starch-Based Film Incorporated with Zinc Oxide Nanoparticles // Postharvest / Food Technology and Process Engineering (5th), 2019.
7. Mahmood Alizadeh-Sani, Ehsan Moghaddas Kia, Zahra Ghasempour et al. Preparation of Active Nanocomposite Film Consisting of Sodium Caseinate, ZnO Nanoparticles and Rosemary Essential Oil for Food Packaging Applications // Journal of Polymers and the Environment. 2021. Vol. 29. P. 588–598. DOI: 10.1007/s10924-020-01906-5.
8. Nafchi A.M., Alias A.K., Mahmud S. and Robal M. Antimicrobial, rheological, and physico-chemical properties of sago starch films filled with nanorod-rich zinc oxide // Journal of Food Engineering. 2012. Vol. 113. P. 511–519. DOI: 10.1016/j.jfoodeng.2012.07.017.
9. Shanshan Tie, Qing Zhang, Yixuan Zhao et al. Design and preparation of novel antioxidant and antibacterial films containing procyanidins and phycocyanin for food packaging // RSC Adv. 2024. Vol. 14. P. 7572–7581. DOI: 10.1039/D3RA08653D
10. Shankar S., Teng X. and Rhim J. Effects of concentration of ZnO nanoparticles on mechanical, optical, thermal, and antimicrobial properties of gelatin / ZnO nanocomposite films // Korean Journal of Packaging Science and Technology. 2014. Vol. 20. P. 41–49.

References

1. Tsaturov A.V., Potoroko I.Yu., Kadi A.M.Y., Chemek M., Malinin A.V. Biodegradable eco-films based on organic raw materials with active components. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Food and Biotechnology*, 2023, vol. 11, no. 3, pp. 40–47. (In Russ.) DOI: 10.14529/food230305
2. Long Yu. *Biirazlagaemye polimernye smesi i kompozity iz vozobnovlyaemykh istochnikov* [Biodegradable polymer mixtures and composites from renewable sources]. St. Petersburg, 2013. 464 p.
3. Abdelghany S. Shaban, Medhat E. Owda, Mostafa M. Basuoni, Mohamed A. Mousa, Ahmed A. Radwan, Ahmed K. Saleh. Punica granatum peel extract mediated green synthesis of zinc oxide nanoparticles: structure and evaluation of their biological applications. *Biomass Conversion and Biorefinery*, 2024, vol. 14, pp. 12265–12281. DOI: 10.1007/s13399-022-03185-7

4. Bourtoom T. and Chinnan M.S. Preparation and properties of rice starch-chitosan blend biodegradable film. *LWT – Food Science and Technology*, 2008, vol. 41, pp. 1633–1641. DOI: 10.1016/j.lwt.2007.10.014
5. James R. Schwartz. Zinc Pyrithione: A Topical Antimicrobial With Complex Pharmaceutics. *Drugs Dermatol*, 2016, vol. 15 (2), pp. 140–144.
6. Khalishah Rahma Safira, Saroat Rawdkuen. Rice Starch-Based Film Incorporated with Zinc Oxide Nanoparticles. *Postharvest/Food Technology and Process Engineering* (5th), 2019.
7. Mahmood Alizadeh-Sani, Ehsan Moghaddas Kia, Zahra Ghasempour, Ali Ehsani. Preparation of Active Nanocomposite Film Consisting of Sodium Caseinate, ZnO Nanoparticles and Rosemary Essential Oil for Food Packaging Applications. *Journal of Polymers and the Environment*, 2021, vol. 29, pp. 588–598. DOI: 10.1007/s10924-020-01906-5.
8. Nafchi A.M., Alias A.K., Mahmud S. and Robal M. Antimicrobial, rheological, and physico-chemical properties of sago starch films filled with nanorod-rich zinc oxide. *Journal of Food Engineering*, 2012, vol. 113, pp. 511–519. DOI: 10.1016/j.jfoodeng.2012.07.017.
9. Shanshan Tie, Qing Zhang, Yixuan Zhao, Ying Wu, Dasu Liu, Lina Zhao and Shaobin Gu. Design and preparation of novel antioxidant and antibacterial films containing procyanidins and phycocyanin for food packaging. *RSC Adv.*, 2024, vol. 14, pp. 7572–7581. DOI: 10.1039/D3RA08653D
10. Shankar S., Teng X. and Rhim J. Effects of concentration of ZnO nanoparticles on mechanical, optical, thermal, and antimicrobial properties of gelatin/ ZnO nanocomposite films. *Korean Journal of Packaging Science and Technology*, 2014, vol. 20, pp. 41–49.

Информация об авторах

Малинин Артем Владимирович, ассистент кафедры «Пищевые и биотехнологии», Южно-Уральский государственный университет, Челябинск, Россия; malininav@susu.ru

Шемек Маруан, Ph.D, кафедра «Пищевые и биотехнологии», Южно-Уральский государственный университет, Челябинск, Россия; shemekm@susu.ru

Энтону Мозес Эдаче, аспирант кафедры «Пищевые и биотехнологии», Южно-Уральский государственный университет, Челябинск, Россия; moentos@yahoo.com

Information about the authors

Artem V. Malinin, Assistant at the Department of Food and Biotechnologies, South Ural State University, Chelyabinsk, Russia; malininav@susu.ru

Marouane Chemek, Doctor of Philosophy, the Department of Food Technology and Biotechnology, South Ural State University, Chelyabinsk, Russia; shemekm@susu.ru

Moses Edache Entonu, Post-graduate student at the Department of Food and Biotechnologies, South Ural State University, Chelyabinsk, Russia; moentos@yahoo.com

Статья поступила в редакцию 20.12.2024

The article was submitted 20.12.2024