

DOI: 10.25205/978-5-4437-1691-6-72

МОНИТОРИНГ ПРОЦЕССА МИКРОБИОЛОГИЧЕСКОЙ ПОРЧИ МЯСНЫХ И РЫБНЫХ ПРОДУКТОВ С ПОМОЩЬЮ ОПТИЧЕСКИ АКТИВНЫХ ИНДИКАТОРОВ*

MONITORING OF MICROBIOLOGICAL SPOILAGE OF MEAT AND FISH PRODUCTS USING OPTICALLY ACTIVE INDICATORS

Я. А. Ионов, Д. Г. Хасанов, О. В. Фрейнкман, Е. А. Назарова

Институт SCAMT, Университет ИТМО, Санкт-Петербург

Y.A. Ionov, D.G. Khasanov, O.V. Freinkman, E.A. Nazarova

SCAMT Institute, ITMO University, Saint Petersburg

✉ ionov@scamt-itmo.ru

Аннотация

Потребители и производители часто сталкиваются с испорченными продуктами на разных этапах жизненного цикла. Разработанные флуоресцентные индикаторы на основе углеродных точек позволят отслеживать реальное состояние продукта внутри упаковки. Это поможет производителям быстрее находить критические точки на этапах хранения и транспортировки, а покупателям не беспокоиться о покупке товара несоответствующего качества.

Abstract

Consumers and manufacturers often encounter spoiled products at different stages of the product life cycle. Developed fluorescent indicators based on carbon dots will allow tracking the real state of the product inside the package. This will help manufacturers quickly find critical points at the stages of storage and transportation, and customers will not worry about buying goods of inappropriate quality.

Безопасность пищевых продуктов является важнейшим аспектом пищевой промышленности, но существующие методы контроля качества являются дорогостоящими, трудоемкими и отнимают много времени. Наиболее актуальным и современным способом решения данных проблем является умная упаковка. С помощью различных сенсоров и индикаторов в своем составе она может обеспечить непрерывный мониторинг состояния продукции, а также за счет дополнительных активных компонентов влиять на процессы, происходящие внутри упаковки, например, увеличивать срок хранения [1].

Главным параметром порчи мясных продуктов является количество условно-патогенных микроорганизмов на их поверхности. Допустимое количество микроорганизмов устанавливается нормативными документами [2], но вести их подсчет без нарушения герметичности упаковки не представляется возможным. Таким образом, важно разработать индикаторы, отслеживающие состояние продукции в режиме реального времени посредством реагирования на метаболиты, выделяемые микроорганизмами при порче в газовую фазу, и не требующие специальных навыков.

Углеродные точки могут быть перспективным материалом для сенсорных приложений и для создания умной упаковки благодаря своим флуоресцентным свойствам, нетоксичности и простоте синтеза [3, 4]. Так, они могут реагировать с изменением интенсивности флуоресценции на различные ионы или молекулы в растворе и газовой среде. Благодаря хорошей фотостабильности и чувствительности они с успехом применяются в аналитических тест-системах. В сфере умной упаковки углеродные точки могут применяться как компонент активной упаковки, придающий ей антибактериальные свойства [1].

В этой работе впервые предложено использование углеродных точек, синтезированных *in situ* на поверхности биополимера, для определения свежести мясных и рыбных продуктов. В качестве биополимера использовали нанокристаллический хитин, синтезированный путем кислотного гидролиза высокомолекулярных цепей [5]. Для удобства нанесения и формирования индикаторов были подобраны параметры гелирования с помощью различных агентов. Кроме того, были проведены всесторонние физико-химические исследования свойств углеродных точек и установлена корреляция между количеством микроорганизмов, вызывающих порчу продукта, и изменением оптического отклика при взаимодействии с метаболитами в газовой фазе. В процессе подсчета микро-

* Исследование выполнено при поддержке гранта РФФ (№ 24-76-10093).

© Я. А. Ионов, Д. Г. Хасанов, О. В. Фрейнкман, Е. А. Назарова, 2024

организмов использовался метод окраски по Граму. Для количественного определения гашения флуоресценции использовалась разработанная приставка для смартфона, обеспечивающая постоянные и необходимые условия измерения. Для определения изменения флуоресценции на фотографиях, сделанных смартфоном в приставке, считали среднее значение оттенка серого тестовой зоны с помощью программы ImageJ. Гашение флуоресценции составило при комнатной температуре — 14 и 15 %, при холодильном хранении — 17 и 16 % к моменту, когда продукт не пригоден к употреблению, для образцов курицы и креветки соответственно.

Результаты данного исследования могут быть направлены на обеспечение непрерывного контроля качества на всех этапах жизненного цикла продукта вплоть до его реализации. Это позволит как снизить репутационные риски производителей и поставщиков, так и обеспечить дополнительную защиту здоровья населения.

Литература

1. Roy S., Ezati P., Rhim J.-W. Gelatin/Carrageenan-Based Functional Films with Carbon Dots from Enoki Mushroom for Active Food Packaging Applications // *ACS Appl. Polymer Mater.* 2021. Vol. 3, No. 12. P. 6437–6445.
2. ТР ТС 021/2011. О безопасности пищевой продукции: Технический регламент Таможенного союза: изд. офиц.: введен впервые: дата введения 2011.12.09 // Комиссия Таможенного союза. 2021. 173 с.
3. Liu H., Zhong X., Pan Q. et al. A review of carbon dots in synthesis strategy // *Coord. Chem. Rev.* 2024. Vol. 498. P. 215468.
4. Deepika L., Kumar L., Gaikwad K.K. Carbon dots for food packaging applications // *Sustainable Food Technol.* 2023. Vol. 1, № 2. P. 185–199.
5. Ngo T. S., Tracey C. T., Navrotskaya A. G. et. al. Reusable carbon dot/chitin nanocrystal hybrid sorbent for the selective detection and removal of Cr(VI) and Co(II) ions from wastewater // *Carbohydr. Polym.* 2023. Vol. 304. P. 120471.