

DOI: 10.25205/978-5-4437-1843-9-82

БИОСЕНСОРНАЯ СИСТЕМА НА ОСНОВЕ УГЛЕРОДНЫХ ТОЧЕК И ФЕРМЕНТОВ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КАЧЕСТВА ПИЩЕВЫХ ПРОДУКТОВ^{*}

BIOSENSOR SYSTEM BASED ON CARBON DOTS AND ENZYMES TO DETERMINE FOOD QUALITY

Я. А. Ионов, Е. А. Назарова

Университет ИТМО, Санкт-Петербург

Y.A. Ionov, E.A. Nazarova

ITMO University, Saint Petersburg

✉ yaionov@itmo.ru

Аннотация

В настоящее время нередки случаи приобретения некачественных и фальсифицированных продуктов питания. Отсутствие универсальных и портативных методов обнаружения анализаторов не позволяет выявить небезопасные продукты до их появления на полках магазинов, что негативно сказывается на здоровье населения. В данном исследовании разработаны методы определения пероксида водорода с помощью углеродных точек и глюкозы с помощью углеродных точек и глюкозооксидазы.

Abstract

Currently, cases of purchasing low-quality and adulterated food products are common. Due to the lack of universal and portable methods for detecting unsafe analytes, it is not always possible to identify low-quality products before they are placed on store shelves, which is why public health suffers. In this study, methods for quantitative determination of hydrogen peroxide using carbon dots and glucose using carbon dots and glucose oxidase were developed.

С момента появления пищевой промышленности ей всегда требовались быстрые и точные методики определения параметров продуктов. В реальных условиях необходим метод, позволяющий проводить анализ на месте и получать точную интерпретацию результата. В настоящее время существует множество способов оценки качества продуктов, таких как спектральный анализ, масс-спектрометрия, хроматография, но все они требуют больших временных и денежных затрат, а также специального и сложного оборудования. Изготовление новых, совместимых со смартфоном тест-систем на основе функциональных материалов и биомолекул позволит проводить анализ в любое удобное время и любому пользователю. В качестве перспективного материала для создания сенсора в последнее время используют углеродные материалы.

Углеродные точки (УТ) — наночастицы, способные флуоресцировать под ультрафиолетом, — были синтезированы двумя разными методами (без носителя и на носителе в виде нанокристаллов хитина [1, 2]) с использованием допирующих веществ, необходимых для реагирования на перекись водорода [3]. В процессе разложения перекиси водорода выделяются гидроксильные радикалы, которые имеют сильное влияние на поверхностные группировки УТ [4], в результате чего изменяется флуоресценция. По степени гашения можно судить о количестве анализа в образце, используя калибровочную кривую с известными концентрациями анализа. Таким образом, можно детектировать не только перекись водорода, но и другие аналиты, которые окисляются оксидазами до перекиси водорода. Соответственно, были разработаны сенсоры на определение глюкозы как модельные системы проверки работоспособности метода детекции, с использованием глюкозооксидазы и УТ без носителя и на нанокристаллическом хитине.

На первом этапе проводилось изучение взаимного влияния компонентов сенсорной системы, которое выявило незначительные отклонения в пределах 5 % от исходной активности фермента и интенсивности флуоресценции. Для разработки метода анализа исследованы два типа схем с ионами железа (II) и (III). Время реакции определения пероксида водорода и глюкозы составляет 20 мин.

Для обоих анализаторов калибровочные кривые были построены с помощью планшетного ридера TECAN и специально разработанного флуоресцентного устройства на базе смартфона и программы ImageJ. В программе проводится обработка фотографий, где по степени уменьшения интенсивности серого оттенка пикселя судят о степени гашения интенсивности флуоресценции тест-системы. Установлено, что УТ на хитине в присутствии ионов железа (II) имеют линейную зависимость ($R^2 = 0,9825$) в широком диапазоне концентраций перекиси во-

* Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 24-76-10093).

© Я. А. Ионов, Е. А. Назарова, 2025

дорода от 13 до 440 мМ. Для определения количества глюкозы наиболее точной оказалась схема с УТ без носителя в присутствии ионов железа (II). Калибровка представлена двумя линейными зависимостями в диапазоне концентраций от 0,55 до 4 мМ и от 4 до 60 мМ ($R^2 = 0,9799$, $R^2 = 0,919$). Для проверки селективности системы использовались моно- и дисахариды. Для биосенсора с УТ без носителя отклик на другие сахара составил менее 11 % относительно реакции на глюкозу. Сенсорные системы были протестированы на реальных продуктах: измеренная концентрация добавленного пероксида водорода в молоке составила $8,5 \pm 2,1$ мМ, содержащейся глюкозы в яблочном соке — 57 ± 8 мМ. В результате данный метод может быть развит для других аналитов и стать универсальной основой для создания новых флуоресцентных тест-систем.

Результаты данного исследования могут быть использованы для постоянного мониторинга качества на всех стадиях жизненного цикла продукта, включая этап реализации. Это поможет минимизировать репутационные риски для производителей и поставщиков, а также усилить защиту здоровья потребителей.

Литература

1. Zhang Y. Highly fluorescent nitrogen and boron doped carbon quantum dots for selective and sensitive detection of Fe³⁺ // Journal of Materials Chemistry B. 2021. Vol. 9, No. 23. P. 4654–4662.
2. Ngo T. S. et al. Reusable carbon dot/chitin nanocrystal hybrid sorbent for the selective detection and removal of Cr(VI) and Co(II) ions from wastewater // Carbohydrate Polymers. 2023. Vol. 304. P. 120471.
3. Yan F. The fluorescence mechanism of carbon dots, and methods for tuning their emission color: a review // Microchimica Acta. 2019. Vol. 186, No. 8.
4. Hu S. et al. Modulation and effects of surface groups on photoluminescence and photocatalytic activity of carbon dots // Nanoscale. 2013. Vol. 5, No. 23. P. 11665.