**Индикаторы на основе углеродных точек для умной упаковки пищевых продуктов**

***Хасанов Д.Г., Ионов Я.А., Назарова Е.А.***

*Студент, 2 курс магистратуры*

*Институт SCAMT, Университет ИТМО, Санкт-Петербург*

*E-mail: khasanov@scamt-itmo.ru*

Безопасность пищевых продуктов является глобальным приоритетом и одной из основных целей действующего законодательства в области пищевой промышленности. Однако риски микробиологической контаминации пищевых продуктов даже сегодня являются одним из основных источников болезней пищевого происхождения. Современным решением данной проблемы может выступать умная упаковка, которая предоставляет информацию о состоянии продукта питания (интеллектуальная упаковка) или продлевает срок жизни продукта (активная упаковка) [1].

Углеродные точки (УТ) – биосовместимый наноматериал, который достаточно просто синтезируется и обладает уникальными флуоресцентными свойствами в зависимости от поверхностных групп. Синтез УТ можно вести непосредственно на полимерном материале для концентрирования и увеличения интенсивности флуоресценции [2]. УТ часто используются в сенсорике, но при синтезе их на биополимере, например хитине с антибактериальными свойствами, можно создать основу для активной и интеллектуальной упаковки [3]. Также углеродные точки могут применяться в технологиях аддитивной печати [1], что существенно упрощает нанесение индикатора на поверхность упаковки.

Для создания универсальных и высокочувствительных сенсоров и индикаторов, содержащих УТ, перспективным направлением является совместное использование УТ и ферментов. С данной концепцией уже создан сенсор на глюкозу [4], но взаимодействие между материалом и ферментами еще недостаточно изучено.

В данной работе предлагается способ создания индикаторных систем на порчу мяса для встраивания в упаковку продукта. На нанокристаллическом хитине синтезированы УТ с длиной волны возбуждения 355 нм и длиной волны эмиссии 425 нм. Поскольку мясные продукты выделяют в газовую среду большое количество компонентов, в том числе сульфиды, альдегиды и спирты [5], было показано, что при взаимодействии с некоторыми газами, выделяющимися при порче, происходит гашение флуоресценции УТ. Также проведены эксперименты, которые продемонстрировали, что сульфид-ион можно определить количественно в растворе с УТ по гашению интенсивности флуоресценции – уменьшение в 3 раза при концентрации S2-=60мМ. Более того, данные УТ можно комбинировать с ферментами для определения различных аналитов. Используя оксидазы, при наличии в системе иона железа (II) можно определять соответствующие вещества. Например, спирты могут быть окислены до альдегидов с выделением перекиси, которая в присутствии ионов железа влияет на уменьшение интенсивности флуоресценции УТ.

Данный способ может являться универсальным и специфичным, благодаря ферментам. Количество аналитов ограничивается разнообразием оксидаз с реакцией выделения перекиси.

**Литература**

1. Tracey C. T. et al. A 3D printing approach to intelligent food packaging // Trends Food Sci. Technol. 2022. Vol. 127. P. 87–98.

2. Gupta D, Kumar L., Gaikwad K. K. Carbon dots for food packaging applications // Sustainable Food Technol. 2023. Vol. 1. № 2. P. 185-199.

3. Benhabiles M.S. et al. Antibacterial activity of chitin, chitosan and its oligomers prepared from shrimp shell waste // Food Hydrocoll. 2012. Vol. 29. № 1. P. 48-56.

4. Wang H. et al. Presence of fluorescent carbon nanoparticles in baked lamb: their properties and potential application for sensors // J. Agric. Food Chem. 2017. Vol. 65. № 34. P. 7553–7559.

5. Casaburi A. et al. Bacterial populations and the volatilome associated to meat spoilage // Food Microbiol. 2015. Vol. 45. P. 83–102.