

**ФЕРМЕНТАТИВНАЯ ФУНКЦИОНАЛИЗАЦИЯ ВОЛОКНИСТЫХ МАТЕРИАЛОВ
ДЛЯ ПРИДАНИЯ ИМ ЗАЩИТНЫХ СВОЙСТВ ОТ ДЕЙСТВИЯ ТОКСИКАНТОВ**

И.В. Лягин, О.В. Маслова, О.В. Сенько, Н.А. Степанов, А. Асланлы, Е.Н. Ефременко

МГУ имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия

Идея функционализации волокон и волокнистых материалов ферментами и / или нанообъектами не нова, и исследования в данной области проводятся уже длительное время (в частности, при разработке самоочищающихся материалов и др.). Тем не менее, современный уровень знаний позволяет реализовать многие давно известные подходы на качественно новом уровне. Так, в качестве объектов для внедрения инноваций могут выступать сами волокнистые материалы (например, нановолокна [1], металлоорганические каркасные структуры [2] и т. д.), так и препаративная форма самих ферментов. В последнем случае принципиально могут быть задействованы самые разнообразные наноформуляции ферментов и, в частности, фермент-полиэлектролитные комплексы [3]. В этом случае искусственное увеличение размеров биологически-активного катализатора может способствовать более эффективному его удерживанию в матрице волокна или волокнистого материала без необходимости его ковалентной пришивки к такому носителю.

В ходе данной работы был исследован процесс функционализации различных органических волокнистых материалов ферментом – гексагистидин-содержащей органофосфатгидролазой (His₆-ОРН), эффективно катализирующей гидролитическую детоксификацию опасных фосфорорганических токсикантов [4] и микотоксинов [5]. Максимальная активность фермента сохранялась при использовании материалов, содержащих в своём составе не более 80 % вискозного волокна, и среды с рН 7–7,5. В отсутствие ковалентной сшивки His₆-ОРН с волокнистым материалом фермент, ожидаемо, довольно быстро вымывался из него. Так что остаточная активность на втором и последующем цикле составляла менее 10 % от той, что наблюдалась на первом цикле использования. Дополнительное покрытие ад(б)сорбированного фермента пэгиллированным поликатионом не принесло какой-либо стабилизации такой системы.

Гораздо более позитивно проявили себя фермент-полиэлектролитные комплексы His₆-ОРН с блок-сополимером полиэтиленгликоля с полиглутаминовой кислотой. Это позволило в 8 и более раз увеличить сохраняемую исходную каталитическую активность и эффективно препятствовать быстрому вымыванию His₆-ОРН из функционализуемого волокна. Таким образом, была подтверждена первоначальная гипотеза о возможности модификации волокнистого материала ферментом в отсутствие необходимости их ковалентной сшивки.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант 18–29–17069).

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Wong D.E., Senecal K.J., Goddard J.M. Immobilization of chymotrypsin on hierarchical nylon 6,6 nanofiber improves enzyme performance. // *Colloids Surf. B Biointerfaces*, 2017, v. 154, p. 270–278.
- [2] Sun Q., Fu C.W., Aguila B., Perman J., Wang S., Huang H.Y., Xiao F.S., Ma S. Pore environment control and enhanced performance of enzymes infiltrated in covalent organic frameworks. // *J. Am. Chem. Soc.*, 2018, v. 140(3), p. 984–992.
- [3] Lyagin I.V., Efremenko E.N. Biomolecular engineering of biocatalysts hydrolyzing neurotoxic organophosphates. // *Biochimie*, 2018, v. 144, p. 115–121.
- [4] Efremenko E.N., Lyagin I.V. Advanced biocatalysts based on hexahistidine-containing organophosphorus hydrolase for chemical and biological defense. // *Вестник войск РХБ защиты*, 2019, т. 3(2), с. 111–116.
- [5] Lyagin I., Efremenko E. Enzymes for detoxification of various mycotoxins: origins and mechanisms of catalytic action. // *Molecules*, 2019, v. 24(13), p. 2362.