

УДК 543.551

БЕСКОНТАКТНЫЙ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЙ СЕНСОР ДЛЯ ОЦЕНКИ СКОРОСТИ РОСТА БАКТЕРИАЛЬНЫХ И КЛЕТЧОНЫХ КУЛЬТУР

Юськина Е.А. (Санкт-Петербургский государственный университет)

Научный руководитель – доктор химических наук, Кирсанов Д.О.

(федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский университет ИТМО»)

Введение. Оценка скорости роста бактериальных и клеточных культур является актуальной задачей во многих областях, таких как: медицинские исследования, контроль качества пищевых продуктов, мониторинг окружающей среды [1]. Предпочтение отдается методам, позволяющим проводить анализ в режиме онлайн. К настоящему времени для оценки скорости роста биологических объектов довольно распространены оптические методы, например: флуоресценция [2], дифракция [3], отражение [4]. Однако для данных методов нежелательным является анализ окрашенных растворов или наличие примесей, что ограничивает их области применения. Использование электрохимических методов решает данную проблему, но результат анализа может быть менее воспроизводим из-за загрязнения поверхности электродов, поэтому перспективным направлением является использование онлайн методов для оценки скорости роста биологических объектов в бесконтактном режиме.

Одним из наиболее простых технических способов, обеспечивающих проведение анализа в бесконтактном режиме, являются высокочастотные измерения проводимости, которые широко изучались в середине XX века. Устройства использовались только в качестве детекторов для кондуктометрического титрования из-за возникающих сложностей с математической обработкой получаемого сигнала. В дальнейшем технология развилась в несколько независимых методов и устройств: высокочастотную бесконтактную кондуктометрию, диэлектрическую спектроскопию [5], микроволновые сенсоры, С4D детекторы (емкостно-связанное бесконтактное определение проводимости) [1], которые могут быть также использованы для анализа бактериальных и клеточных культур.

Основная часть. В данной работе предложен простой и недорогой сенсор для получения кривых роста бактерий (*E.coli*) и клеточных культур (дермальной папиллы). Устройство основано на принципах высокочастотной бесконтактной кондуктометрии. Разработанный сенсор состоит из катушки индуктивности, подключенной к генератору высокочастотного электрического тока (4-114 МГц) [6]. Образец в пластиковой пробирке помещается внутрь катушки и становится сердечником индуктора, при этом изменяются свойства электрического сигнала, проходящего через катушку. Подключенный к катушке приемник регистрирует спектр отклика, который сложным образом зависит от проводимости, диэлектрической проницаемости, поляризуемости образца, а также от его магнитных и емкостных свойств. В отличие от описанных ранее методов, где сигнал регистрируется на фиксированной частоте тока, разработанный сенсор позволяет получать спектр для каждого конкретного образца на различных частотах. Полученные спектры обрабатываются методами хемометрики для извлечения качественной и количественной информации об образцах. С помощью методов обработки многомерных данных можно с большей точностью, получаемой за счет усреднения избыточных данных, получать информацию о росте бактериальных или клеточных культур.

Выводы. К настоящему времени были получены отклики детектора для культуры кишечной палочки (*E.coli* ML35) в зависимости от фазы роста бактерии. Было показано, что с помощью разработанного детектора можно получать информацию о росте и размножении *E.coli*, а также информацию о влиянии антибиотика меропинема на рост кишечной палочки. Для подтверждения полученных результатов был использован референтный метод – метод

спектрофотометрии, были получены кривые роста для того же образца *E.coli*. Коэффициент детерминации PLS (Partial Least Square) модели со спектрофотометрическими данными составил 0.97, что близко к 1 и свидетельствует о достоверности полученных данных. Кроме того, были получены кривые роста для дермальной папиллы (human hair follicle dermal papilla cells (HFDPC)).

В докладе будут представлены наши последние результаты по исследованию применимости метода для анализа биологических объектов.

Список использованных источников:

1. Zhang X., Jiang X., Yang Q., Wang X., Zhang Y., Zhao J., Qu K., Zhao C. Online Monitoring of Bacterial Growth with an Electrical Sensor // *Anal. Chem.* – 2018. – V. 90. – P. 6006–6011.

2. Si Y., Grazon C., Clavier G., Rieger J., Audibert J.-F., Sclavi B., Méallet-Renault R. Rapid and accurate detection of *Escherichia coli* growth by fluorescent pH-sensitive organic nanoparticles for high-throughput screening application // *Biosens. Bioelectron.* – 2016. – V. 75. – P. 320–327.

3. Goh M. C., Borisenko V. Microfluidic biochip and integrated diffractive optics for bacteria growth control and monitoring // *Anal. Methods.* – 2017. – V. 9. – P. 2392–239

4. Russel M., Sophocleous M., JiaJia S., Xu W., Xiao L., Maskow T., Alam M., Georgiou J. High-frequency, dielectric spectroscopy for the detection of electrophysiological/biophysical differences in different bacteria types and concentrations // *Anal. Chim. Acta.* – 2018. – V. 1028. – P. 86.

5. Leonard H., Halachmi S., Ben-Dov N., Nativ O., Segal E. Unraveling Antimicrobial Susceptibility of Bacterial Networks on Micropillar Architectures Using Intrinsic Phase-Shift Spectroscopy // *ACS Nano.* – 2017. – V. 11. – P. 6167–6177.

6. Yuskina E., Makarov N., Khaydukova M., Filatenkova T., Shamova O., Semenov V., Panchuk V., Kirsanov D. A Simple Contactless High-Frequency Electromagnetic Sensor: Proof of Concept // *Anal. Chem.* – 2022. – V. 94. – P. 11978–11982.