

УДК 579.61 + УДК 531.7 + УДК 004.62

АЛГОРИТМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ МОРФОЛОГИЧЕСКИХ ИЗМЕНЕНИЙ БАКТЕРИЙ НА ОСНОВЕ ДАННЫХ АТОМНО-СИЛОВОЙ МИКРОСКОПИИ

Банков А.А. (Университет ИТМО)

Жуков М.В. (ИАП РАН)

Научный руководитель – к.т.н., м.н.с., Жуков М.В.

(Институт аналитического приборостроения Российской академии наук)

Введение. В условиях постоянно эволюционирующей среды бактерий неоднократно подчеркивалась проблема роста устойчивости бактериальных штаммов к антибиотикам, что требует более точных и быстрых методов детекции и оценки эффективности используемых препаратов [1]. В настоящее время с появлением новых методов визуализации и анализа, таких, как атомно-силовая микроскопия (АСМ), ученые получили мощный инструмент для высокоточного изучения морфологических характеристик как резистентных, так и персистирующих бактериальных клеток [2]. Преимуществом АСМ также является возможность работы в различных средах с минимальным повреждением образца, при котором становится возможным анализ поверхности неоднородных образцов и работы при нормальных условиях температуры и давления [3]. Однако, вместе с этим возникает потребность в разработке эффективных алгоритмов и автоматизации обработки АСМ-данных для ускорения подсчета измененных бактерий и изучения их характеристик.

Целью данного исследования является разработка алгоритма обработки структурных изменений морфологии бактерий на основе данных, полученных с использованием АСМ-изображений, с последующим анализом их с помощью программных средств. Этот алгоритм предполагает комбинацию различных методов сегментации, фильтрации и анализа данных с целью повышения точности и надежности анализа морфологических изменений бактерий.

Основная часть.

В рамках данной работы измерения проводились на Ntegra Aura (НТ-МДТ) методом атомно-силовой микроскопии в воздушной среде в полуконтактном режиме. Для анализа полученных АСМ-данных использовались функциональные возможности программ Gwyddion, ImageJ и Wolfram Mathematica. По результатам исследований можно назвать данные программы подходящими инструментами для подбора метрик, обработки и интерпретации данных, полученных с помощью АСМ. Эти программные средства предоставляют широкий спектр функций для сегментации, измерения и визуализации морфологических изменений бактерий, что позволяет получать трехмерное представление о особенностях клетки и её механических свойствах.

В работе реализован алгоритм поиска порога для выделения бактерий, изучены различные методы сегментации. Реализован автоматический подсчет и нумерация бактерий, изучение параметров распределения высот бактерий, их удлинения (отношение длины к диаметру), изучение формы, площади и объема, строились гистограммы высот, проводился анализ корреляции между различными параметрами бактерий до и после применения антибиотика. Помимо этого, производились операции фильтрации и бинаризации данных, построение статистических графиков и морфометрических карт бактерий по АСМ-данным.

Выполнение данных задач позволило сделать вывод о существующих трудностях и

выявлении оптимальных подходов к обработке АСМ-данных.

Выводы. Реализован и протестирован алгоритм обработки АСМ-данных, включающий автоматическое распознавание, выделение и изучение морфологических характеристик бактерий до и после применения антибиотика. Выявлена необходимость в создании условий, позволяющих проводить исследование на одних и тех же бактериях до и после обработки препаратов в одной области, с целью увеличения достоверности результатов. Данное исследование в перспективе может внести вклад в область исследовательской микробиологии, обеспечивая более точные и надежные методы анализа антибиотикорезистентности и эффективности антибактериальных препаратов.

Список использованных источников:

1. Akram F., Imtiaz M., ul Haq I. Emergent crisis of antibiotic resistance: A silent pandemic threat to 21st century //Microbial Pathogenesis. – 2023. – Т. 174. – С. 105923.
2. C. Uzoечи S., I. Abu-Lail N. Variations in the morphology, mechanics and adhesion of persister and resister E. coli cells in response to ampicillin: AFM study //Antibiotics. – 2020. – Т. 9. – №. 5. – С. 235.
3. Magazzù A., Marcuello C. Investigation of soft matter nanomechanics by atomic force microscopy and optical tweezers: A comprehensive review //Nanomaterials. – 2023. – Т. 13. – №. 6. – С. 963.