

УСТОЙЧИВОСТЬ ШТАММОВ *PANTOEA BRENNERI* К ТЯЖЕЛЫМ МЕТАЛЛАМ *

RESISTANCE OF *PANTOEA BRENNERI* STRAINS TO HEAVY METALS

Р. Р. Исламов, Е. С. Васильева, Л. В. Сокольникова, А. Д. Сулейманова

Институт фундаментальной медицины и биологии Казанского (Приволжского) федерального университета

R. R. Islamov, E. S. Vasileva, L. V. Sokolnikova, A. D. Suleimanova

Institute of Fundamental Medicine and Biology, Kazan Federal University

✉ renalplan07@gmail.com

Аннотация

Исследована устойчивость штаммов *Pantoea brenneri* (3.1, 3.2, 3.5.2, 3.6.1) к токсичным солям цинка, меди, хрома и кадмия. С помощью геномного анализа выявлены гены, обеспечивающие устойчивость к тяжелым металлам. Результаты демонстрируют потенциал использования штаммов для биоремедиации почв.

Abstract

The resistance of *Pantoea brenneri* strains (3.1, 3.2, 3.5.2, 3.6.1) to toxic salts of zinc, copper, chromium, and cadmium has been studied. Genomic analysis has identified heavy metal resistance genes. The results demonstrate the applicability of the strains for soil bioremediation.

Бактерии рода *Pantoea* являются перспективными агентами биоремедиации почв, загрязненных тяжелыми металлами (ТМ). Однако их устойчивость к ТМ изучена недостаточно, особенно на генетическом уровне. Стандартные методы (например, определение минимальной ингибирующей концентрации, МИК) не раскрывают молекулярных механизмов резистентности [1]. Целью работы явился комплексный анализ устойчивости штаммов *P. brenneri* к ТМ.

Исследовали штаммы *P. brenneri* 3.1, 3.2, 3.5.2, 3.6.1. Устойчивость бактерий к ТМ оценивали на жидкой и агаризованной питательной среде LB, содержащей следующие соли: $ZnSO_4$, $CuCl_2$, $K_2Cr_2O_7$, $CdCl_2$. МИК определяли по отсутствию роста после 48 ч инкубации при 30 °C [2]. Геномы (депонированы в GenBank под номерами доступа JBCGB000000000.1, JMRT00000000.3, JBCGBH000000000.1 и JBCGBI000000000.1) анализировали с помощью программы Proteinortho v.6.

На твердой питательной среде МИК $ZnSO_4$ и $K_2Cr_2O_7$ для штаммов *P. brenneri* составила 800 мг/л, однако для штамма *P. brenneri* 3.5.2 МИК $ZnSO_4$ была ниже — 400 мг/л. Для $CuCl_2$ и $CdCl_2$ ингибирование роста не наблюдалось даже при достижении максимальных концентраций — 1600 мг/л для ионов меди и 200 мг/л для ионов кадмия. На жидкой питательной среде МИК ряда тяжелых металлов снизилась для всех штаммов *P. brenneri*: для $K_2Cr_2O_7$ до 100 мг/л, для $CuCl_2$ до 800 мг/л. В то же время для $ZnSO_4$ МИК осталась неизменной — 800 мг/л. Устойчивость к $CdCl_2$ сохранилась на экстремально высоком уровне (МИК > 320 мг/л).

Анализ геномов исследуемых бактерий позволил идентифицировать наличие генов *copA*, кодирующих медь-экспортирующую АТФазу Р-типа, генов *copC*, *copD*, кодирующих переплазматический и мембранный медь-связывающие белки, и гены систем транспорта ионов тяжелых металлов ($Zn/Cd/Hg/Pb$ -АТФазы, *MerR*-регуляторы). Кроме того, было выявлено множество генов цинк-связывающих белков, 6 генов специфичных цинковых транспортеров и ген цинк-связывающего белка семейства *YnfU*.

Таким образом, полученные данные демонстрируют потенциал использования штаммов *Pantoea brenneri* в качестве перспективных агентов биоремедиации почв, а также раскрывают геномные детерминанты, обеспечивающие устойчивость исследуемых бактерий к тяжелым металлам.

Литература

1. Lekired A., Cherif-Silini H., Silini A., Ben Yahia H. Comparative genomics reveals the acquisition of mobile genetic elements by the plant growth-promoting *Pantoea eucrina* OB49 in polluted environments // Genomics. 2023. Vol. 115, No. 2. P. 110579.
2. Ullah A. Phytoremediation of heavy heavy metals assisted by plant growth promoting (PGP) bacteria: A review // Environmental and Experimental Botany. 2015. Vol. 117. P. 28–40.

* Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 24-26-00289).

© Р. Р. Исламов, Е. С. Васильева, Л. В. Сокольникова, А. Д. Сулейманова, 2025