

## РОЛЬ РЕДОКС-ЗАВИСИМЫХ БЕЛКОВ В РЕАЛИЗАЦИИ РЕДОКС-РЕГУЛЯЦИИ КЛЕТОК

УДК 577.151.63

### ЦИТОХРОМ *bd* КАК АНТИОКСИДАНТНЫЙ РЕДОКС-ФЕРМЕНТ<sup>1</sup>

© 2023 г. В. Б. Борисов<sup>a, \*</sup>, М. R. Nastasi<sup>b</sup>, E. Forte<sup>b</sup>

<sup>a</sup> Научно-исследовательский институт физико-химической биологии им. А.Н. Белозерского, Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Москва, 119991 Россия

<sup>b</sup> Department of Biochemical Sciences, Sapienza University of Rome, I-00185 Rome, Italy

\*e-mail: bor@belozersky.msu.ru

Поступила в редакцию 21.03.2023 г.

После доработки 01.06.2023 г.

Принята к публикации 01.06.2023 г.

Одна из основных функций ферментных комплексов, составляющих электрон-транспортные (дыхательные) цепи организмов, – поддержание клеточного окислительно-восстановительного гомеостаза за счет окисления восстановительных эквивалентов: NADH и хинола. Цитохром *bd* – уникальная терминальная оксидаза цепей многих бактерий, в том числе патогенных. Этот редокс-фермент сопрягает окисление убихинола или менахинола молекулярным кислородом с образованием протон-движущей силы – универсальной энергетической валюты. Последняя используется организмом для производства АТФ, еще одной энергетической валюты клетки, посредством окислительно-фосфорилирования. *Escherichia coli* содержит две оксидазы типа *bd* – *bd*-I и *bd*-II, кодируемые оперонами *cydAB* и *appCB* соответственно. Удивительно, но оба фермента *bd* также вносят вклад в молекулярные механизмы поддержания соответствующего окислительно-восстановительного баланса в бактериальной клетке путем нейтрализации активных форм кислорода, таких как пероксид водорода. В представленном обзоре обобщены полученные за последнее время экспериментальные данные о редокс-модулируемых активностях цитохромов *bd*-I и *bd*-II *E. coli* в удалении H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>. Также обсуждается возможность наличия таких антиоксидантных свойств у цитохромов *bd* других бактерий.

**Ключевые слова:** редокс-фермент, дыхательная цепь, цитохром *bd*, гем, пероксид водорода, *Escherichia coli*, терминальная оксидаза, активные формы кислорода, окислительный стресс

DOI: 10.31857/S0026898423060034, EDN: QOYAOW

### Cytochrome *bd* as Antioxidant Redox Enzyme

V. B. Borisov<sup>1, \*</sup>, M. R. Nastasi<sup>2</sup>, and E. Forte<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Belozersky Institute of Physico-Chemical Biology, Lomonosov Moscow State University, Moscow, 119991 Russia

<sup>2</sup>Department of Biochemical Sciences, Sapienza University of Rome, I-00185 Rome, Italy

\*e-mail: bor@belozersky.msu.ru

One of the main functions of enzyme complexes that constitute electron transport (respiratory) chains of organisms is to maintain cellular redox homeostasis by oxidizing reducing equivalents, NADH and quinol. Cytochrome *bd* is a unique terminal oxidase of the chains of many bacteria including pathogenic species. This redox enzyme couples the oxidation of ubiquinol or menaquinol by molecular oxygen to the generation of proton motive force, a universal energy currency. The latter is used by the organism to produce ATP, another cellular energy currency, via oxidative phosphorylation. *Escherichia coli* contains two *bd*-type oxidases, *bd*-I and *bd*-II, encoded by the *cydAB* and *appCB* operons, respectively. Surprisingly, both *bd* enzymes make a further contribution to molecular mechanisms of maintaining the appropriate redox balance in the bacterial cell by means of elimination of reactive oxygen species, such as hydrogen peroxide. This review summarizes recent data on the redox-modulated H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>-scavenging activities of cytochromes *bd*-I and *bd*-II from *E. coli*. The possibility of such antioxidant properties in cytochromes *bd* from other bacteria is also discussed.

**Keywords:** redox enzyme, respiratory chain, cytochrome *bd*, heme, hydrogen peroxide, *Escherichia coli*, terminal oxidase, reactive oxygen species, oxidative stress

<sup>1</sup> Статья представлена авторами на английском языке.