

## Аккумуляция кремния как ответ дрожжей *Yarrowia lipolytica* на стрессовые воздействия

Аринбасарова А.Ю., Мачулин А.В., Бирюкова Е.Н., Сорокин В.В., Меденцев А.Г., Сузина Н.Е.

ФИЦ «Пушинский научный центр биологических исследований РАН»,  
Институт биохимии и физиологии микроорганизмов им. Г.К. Скрыбина РАН;  
aarin@rambler.ru

В природных экосистемах микроорганизмы постоянно подвергаются воздействию неблагоприятных факторов окружающей среды. Способность к существованию в экстремальных условиях связана с высокими адаптационными возможностями микроорганизмов, «запускающими» механизмы, обеспечивающие им выживание и конкурентоспособность в различных стрессовых условиях, в том числе при действии оксидантов, температуры и др.

Механизмы адаптации представляют большой интерес для исследователей как в отношении роли этих механизмов в эволюционных процессах, так и при реализации биосинтетических возможностей клетки.

Ранее было показано, что стресс-реакции дрожжей *Yarrowia lipolytica* проявляются как изменения энергетического и антиоксидантного статусов клетки [1]. Кроме того, адаптация к различным стрессовым воздействиям включает также дополнительные «специализированные» реакции, такие как реструктуризация и появление новых клеточных ультраструктур, таких как мембранные везикулы, каналцы, многослойная плазмалемма, полифосфатные гранулы, а также глобулярные структуры на поверхности клеточной стенки.

Цель работы - показать аккумуляцию кремния как одну из реакций дрожжей *Yarrowia lipolytica* на стрессовые воздействия и в связи с изменением ультраструктурной организации клеточной оболочки.

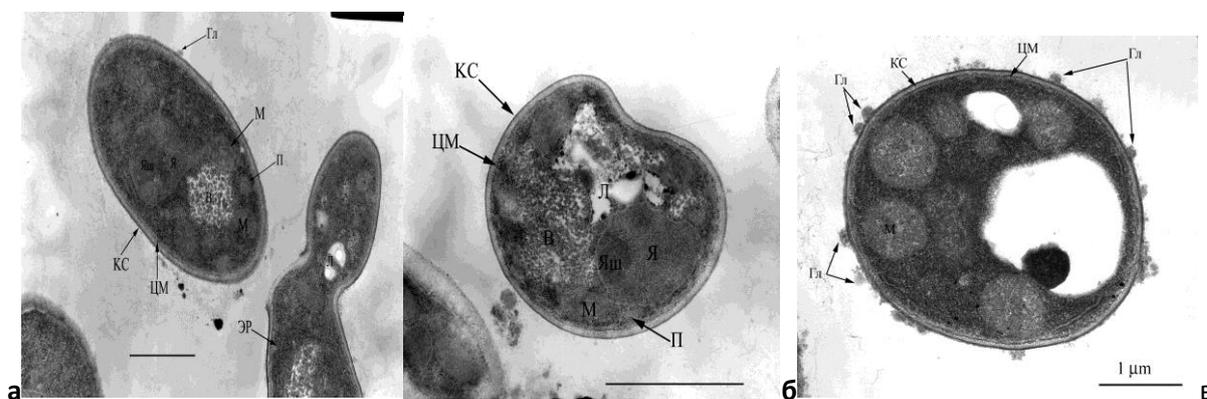


Рис. 1. Ультратонкий срез клеток *Y. lipolytica* [1].

**а** - экспоненциальная фаза роста (контроль); **б** - стационарная фаза роста; **в** - условия окислительного стресса. Длина масштабной метки 1 мкм.

Я – ядро, Яш – ядрышко, Кс – клеточная стенка, Цм – цитоплазматическая мембрана, Л – лизосома, ЭР – эндоплазматический ретикулум, М – митохондрия, П – пероксисома, В – вакуоль, Лп – липиды, Пп – полифосфаты, Гл – глобулярные структуры.

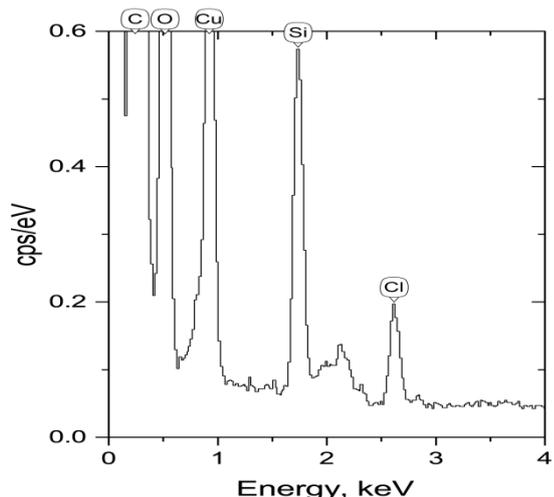


Рис. 2. Рентгеновский спектр глобулы на поверхности *Y. lipolytica*.

Присутствие элемента кремния в глобулярных структурах показано с помощью метода рентгеновского микроанализа. Помимо кремния в глобулах был обнаружен кислород, при этом никаких других элементов обнаружено не было. Это позволяет предположить наличие кремния в виде оксида или кремниевой кислоты.

Рентгеновский микроанализ элементного состава тонких срезов клеток проводили без дополнительного контрастирования с помощью электронного микроскопа JEM-100CXII (JEOL, Япония), снабженного сканирующей приставкой EM-ASID4D и рентгеновским микроанализатором LINK-860 с детектором E5423 (Link-System, Англия) при увеличении 20 тыс. и напряжении 60 кэВ.

Одинаковые результаты были получены в условиях окислительного (экзогенного или эндогенного), теплового или холодного стрессов.

По литературным данным [2,3] в природе минерализация кремния была продемонстрирована для морских организмов и, как правило, при высоких концентрациях этого элемента в окружающей среде. Накопление кремния в стрессовых условиях было показано в качестве защитной реакции для растений [4]. Ассимиляция кремния была обнаружена у бактерий *Proteus mirabilis mirabilis*: кремний образовывал комплексы с белками клеточной стенки посредством связи Si–O–C. В текущей литературе не описана аккумуляция кремния в качестве стресс-реакции у дрожжей.

Для дрожжей *Y. lipolytica* было показано поглощение различных веществ, например, тяжелых металлов, что, в частности, вносит свой вклад в их индустриальный потенциал [5].

В настоящей работе мы впервые показали аккумуляцию кремния дрожжами *Y. lipolytica*. Аккумуляция кремния имеет место в стрессовых условиях и связана с образованием глобулярных структур. Образование глобулярных структур, содержащих кремний, происходит одновременно с другими изменениями ультраструктуры, в частности, модификациями клеточной оболочки, которая играет особую роль в сохранении формы и целостности клетки [6].

Изучение особенностей аккумуляции кремния дрожжами и его взаимосвязи с другими процессами в клетке является предметом дальнейших исследований.

## Литература

1. Аринбасарова А.Ю., Бирюкова Е.Н., Меденцев А.Г. Антистрессовые системы у дрожжей *Yarrowia lipolytica* // Прикладная биохимия и микробиология. 2015. Т. 51. № 2. С. 122-131.
2. Jones B., de Ronde C.E.J. and Renaut R.W. Mineralized microbes from giggenbach submarine volcano // J. Geophys. Res. 2008. V. 113. doi:10.1029/2007JB005482.
3. Otzen D. The role of proteins in biosilicification. Scientifica (Cairo). 2012: 867562.

doi:10.6064/2012/867562.

4. Coskun D., Britto D.T., Huynh W.Q., Kronzucker H.J. The role of silicon in higher plants under salinity and drought stress // *Front Plant Sci.* 2016.V. 18 № 7. P. 1072.
5. Darvishi Harzevili F, 2014. Biotechnological Applications of the Yeast *Yarrowia lipolytica*, *SpringerBriefs in Microbiology*. Springer International Publishing, Cham.
6. Arinbasarova A., Machulin A., Biryukova E., Sorokin V., Medentsev A. and Suzina N. Structural changes in the cell envelope of *Yarrowia lipolytica* yeast under stress conditions // *The Canadian Journal of Microbiology*. 2018. doi: 10.1139/cjm-2018-0034.