

Transcriptome profile of yeast reveals the essential role of PMA2 and uncharacterized gene YBR056W-A (MNC1) in adaptation to toxic manganese concentration

Andreeva N., Kulakovskaya E., Zvonarev A., Penin A., Eliseeva I., Teterina A., Lando A., Kulakovskiy I., Kulakovskaya T.

Kazan Federal University, 420008, Kremlevskaya 18, Kazan, Russia

Abstract

© The Royal Society of Chemistry. Adaptation of *S. cerevisiae* to toxic concentrations of manganese provides a physiological model of heavy metal homeostasis. Transcriptome analysis of adapted yeast cells reveals upregulation of cell wall and plasma membrane proteins including membrane transporters. The gene expression in adapted cells differs from that of cells under short-term toxic metal stress. Among the most significantly upregulated genes are PMA2, encoding an ortholog of Pma1 H⁺-ATPase of the plasma membrane, and YBR056W-A, encoding a putative membrane protein Mnc1 that belongs to the CYSTM family and presumably chelates manganese at the cell surface. We demonstrate that these genes are essential for the adaptation to toxic manganese concentration and propose an extended scheme of manganese detoxification in yeast.

<http://dx.doi.org/10.1039/c6mt00210b>

References

- [1] K. A. Feeney L. L. Hansen M. Putker C. Olivares-Yañez J. Day L. J. Eades L. F. Larrondo N. P. Hoyle J. S. O'Neill G. van Ooijen *Nature* 2016 532 375-379
- [2] D. Canadell and J. Ariño, *Adv. Exp. Med. Biol.*, 2016, vol. 892, pp. 271-289
- [3] V. C. Culotta M. Yang M. D. Hall *Eukaryotic Cell* 2005 4 1159-1165
- [4] M. Thorsen G. G. Perrone E. Kristiansson M. Traini T. Ye I. W. Dawes O. Nerman M. J. Tamás *BMC Genomics* 2009 10 105
- [5] R. Wysocki M. J. Tamás *FEMS Microbiol. Rev.* 2010 34 925-951
- [6] S. Rajakumar C. Ravi V. Nachiappan *Metallomics* 2016 8 453-460
- [7] Y. H. Jin P. E. Dunlap S. J. McBride H. Al-Refai P. R. Bushel J. H. Freedman *PLoS Genet.* 2008 4 e1000053
- [8] P. J. Kennedy A. A. Vashisht K.-L. Hoe D.-U. Kim H.-O. Park J. Hayles P. Russell *Toxicol. Sci.* 2008 106 124-139
- [9] J. Crowley, D. Traynor and D. Weatherburn, in *Manganese and its role in biological processes. Met. Ions Biol. Syst.*, ed. A. Siegel and H. Siegel, 1999, pp. 209-257
- [10] G. F. Kwakye M. M. B. Paoliello S. Mukhopadhyay A. B. Bowman M. Aschner *Int. J. Environ. Res. Public Health* 2015 12 7519-7540
- [11] S. Bouabid A. Tinakoua N. Lakhdar-Ghazal A. Benazzouz J. *Neurochem.* 2016 136 677-691
- [12] V. C. Culotta M. J. Daly *Antioxid. Redox Signaling* 2013 19 933-944
- [13] A. R. Reddi L. T. Jensen V. C. Culotta *Chem. Rev.* 2009 109 4722-4732
- [14] L. T. Jensen M. Ajua-Alemanji V. C. Culotta *J. Biol. Chem.* 2003 278 42036-42040
- [15] L. Rosenfeld A. R. Reddi E. Leung K. Aranda L. T. Jensen V. C. Culotta *J. Biol. Inorg. Chem.* 2010 15 1051-1062

- [16] L. Li O. S. Chen D. M. Ward J. Kaplan J. *Biol. Chem.* 2001 276 29515-29519
- [17] K. J. Blackwell J. M. Tobin S. V. Avery *Appl. Microbiol. Biotechnol.* 1998 49 751-757
- [18] N. Andreeva L. Ryazanova V. Dmitriev T. Kulakovskaya I. Kulaev *FEMS Yeast Res.* 2013 13 463-470
- [19] N. Andreeva L. Ryazanova V. Dmitriev T. Kulakovskaya I. Kulaev *Folia Microbiol.* 2014 59 381-389
- [20] A. Sethuraman N. N. Rao A. Kornberg *Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A.* 2001 98 8542-8547
- [21] J. H. Kagi B. L. Vallee J. *Biol. Chem.* 1960 235 3188-3192
- [22] B. J. Bowman S. E. Mainzer K. E. Allen C. W. Slayman *Biochim. Biophys. Acta, Biomembr.* 1978 512 13-28
- [23] T. V Kulakovskaya N. A. Andreeva A. V Karpov I. A. Sidorov I. S. Kulaev *Biochemistry* 1999 64 990-993
- [24] M. Martin *EMBNet.journal* 2011 17 10
- [25] N. Joshi and J.Fass, Available at <https://github.com/najoshi/sickle>, 2011
- [26] S. R. Engel F. S. Dietrich D. G. Fisk G. Binkley R. Balakrishnan M. C. Costanzo S. S. Dwight B. C. Hitz K. Karra R. S. Nash S. Weng E. D. Wong P. Lloyd M. S. Skrzypek S. R. Miyasato M. Simison J. M. Cherry *G3* 2014 4 389-398
- [27] C. Trapnell L. Pachter S. L. Salzberg *Bioinformatics* 2009 25 1105-1111
- [28] S. Anders P. T. Pyl W. Huber *Bioinformatics* 2014 31 166-169
- [29] M. D. Robinson D. J. McCarthy G. K. Smyth *Bioinformatics* 2010 26 139-140
- [30] R. Balakrishnan J. Park K. Karra B. C. Hitz G. Binkley E. L. Hong J. Sullivan G. Micklem J. M. Cherry *Database* 2012 2012 bar062
- [31] P. Sengottaiyan J. Petrlova J. O. Lagerstedt L. Ruiz-Pavon M. S. Budamagunta J. C. Voss B. L. Persson *Biochem. Biophys. Res. Commun.* 2013 436 551-556
- [32] D. Hosiner S. Gerber H. Lichtenberg-Fraté W. Glaser C. Schüller E. Klipp *PLoS One* 2014 9 e83330
- [33] A. R. Fernandes I. Sá-Correia *Yeast* 2003 20 207-219
- [34] R. C. Vallari W. J. Cook D. C. Audino M. J. Morgan D. E. Jensen A. P. Laudano C. L. Denis *Mol. Cell. Biol.* 1992 12 1663-1673
- [35] A. M. Michel G. Fox A. M. Kiran C. De Bo P. B. F. O'Connor S. M. Heaphy J. P. A. Mullan C. A. Donohue D. G. Higgins P. V. Baranov *Nucleic Acids Res.* 2014 42 D859-D864
- [36] T. M. Venancio L. Aravind *Bioinformatics* 2010 26 149-152
- [37] A. Marchler-Bauer M. K. Derbyshire N. R. Gonzales S. Lu F. Chitsaz L. Y. Geer R. C. Geer J. He M. Gwadz D. I. Hurwitz C. J. Lanczycki F. Lu G. H. Marchler J. S. Song N. Thanki Z. Wang R. A. Yamashita D. Zhang C. Zheng S. H. Bryant *Nucleic Acids Res.* 2015 43 D222-D226
- [38] M. Kuramata S. Masuya Y. Takahashi E. Kitagawa C. Inoue S. Ishikawa S. Youssefian T. Kusano *Plant Cell Physiol.* 2009 50 106-117
- [39] P. Supply A. Wach A. Goffeau J. *Biol. Chem.* 1993 268 19753-19759
- [40] P. L. Coleman H. Weiner *Biochemistry* 1973 12 3466-3472
- [41] M. Kwolek-Mirek R. Zadrąg-Tecza *FEMS Yeast Res.* 2014 14 1068-1079
- [42] Y. Cohen M. Megyeri O. C. W. Chen G. Condomitti I. Riezman U. Loizides-Mangold A. Abdul-Sada N. Rimon H. Riezman F. M. Platt A. H. Futerman M. Schuldiner *PLoS One* 2013 8 e85519
- [43] R. Mir J. León *PLoS One* 2014 9 e87216
- [44] J. M. Cherry E. L. Hong C. Amundsen R. Balakrishnan G. Binkley E. T. Chan K. R. Christie M. C. Costanzo S. S. Dwight S. R. Engel D. G. Fisk J. E. Hirschman B. C. Hitz K. Karra C. J. Krieger S. R. Miyasato R. S. Nash J. Park M. S. Skrzypek M. Simison S. Weng E. D. Wong *Nucleic Acids Res.* 2012 40 D700-D705
- [45] K. P. Byrne K. H. Wolfe *Genome Res.* 2005 15 1456-1461
- [46] W.-K. Huh J. V Falvo L. C. Gerke A. S. Carroll R. W. Howson J. S. Weissman E. K. O'Shea *Nature* 2003 425 686-691
- [47] A. Mastrokolias Y. Ariyurek J. J. Goeman E. van Duijn R. A. C. Roos R. C. van der Mast G. B. van Ommen J. T. den Dunnen P. A. C. 't Hoen W. M. C. van Roon-Mom *Eur. J. Hum. Genet.* 2015 23 1349-1356