БИОЛОГИЧЕСКИЕ НАУКИ

УДК 577.12

Клонирование дрожжей: перспективы внедрения в пищевую промышленность

Е.Ю. Пономарь, В.С. Лигачева
Донской государственный технический университет, г. Ростов-на-Дону, Российская Федерация

Аннотация
Исследованы генетические модификации и клонирование дрожжей. Проанализированы перспективы внедрения технологии клонирования дрожжей в пищевую промышленность. Рассмотрены методы генетических модификаций и клонирования, примеры применения клонированных дрожжевых штаммов в пищевой промышленности, а также перспективы, этические аспекты и потенциальные риски, связанные с их использованием. Оценены преимущества дрожжей, подвергнутых генной модификации. Выявлены аспекты, препятствующие внедрению данной технологии.

Ключевые слова: генетические модификации, клонирование, дрожжи, пищевая промышленность, биотехнологии

Для цитирования. Пономарь Е.Ю., Лигачева В.С. Клонирование дрожжей: перспективы внедрения в пищевую промышленность. *Молодой исследователь Дона.* 2025;10(6):62–64.

Yeast Cloning: Prospects for Implementing into the Food Industry

Evgeny Yu. Ponomar, Victoria S. Ligacheva
Don State Technical University, Rostov-on-Don, Russian Federation

Abstract
Genetic modifications of yeast and yeast cloning technologies have been studied. The prospects for implementing yeast cloning into the food industry have been analysed. Genetic modification and cloning techniques have been investigated, as well as examples of using the cloned yeast strains in the food industry, prospects, ethical aspects and potential risks related to the use of these techniques. The advantages of genetically modified yeast have been evaluated and constraints in implementation of this technology have been determined.

Keywords: genetic modifications, cloning, yeast, food industry, biotechnology

For Citation. Ponomar EYu, Ligacheva VS. Yeast Cloning: Prospects for Implementing into the Food Industry. *Young Researcher of Don*. 2025;10(6):62–64.

Введение. К наиболее распространенным и широко используемым в пищевой промышленности группам относятся плесени и бактерии, а также дрожжи. Дрожжи представляют собой уникальную сборную группу одноклеточных грибов, отличительной чертой которых является отсутствие привычного для других грибов мицелия. Они существуют в виде отдельных эукариотических клеток, а также их колоний, которые способны к почкованию. Дрожжи находят применение в хлебобулочной (например, в качестве биологического разрыхлителя), спиртовой (в качестве возбудителей брожения) и молочной (в качестве пробиотической добавки) промышленности. Из них получают различные соединения, необходимые для химической промышленности, такие как кислоты, витамины, ферменты и другие. Кроме того, дрожжевые препараты используются в медицине, фармакологии и в качестве кормовых добавок в животноводстве [1].

Широкое применение дрожжей в различных областях промышленности требует поиска новых усовершенствованных методов их получения. Современные достижения в биотехнологии открывают возможности для реализации таких подходов, в том числе клонирования. Цель исследования заключается в анализе перспектив внедрения клонированных дрожжевых штаммов в пищевую промышленность.

© Пономарь Е.Ю., Лигачева В.С., 2025

1. Методы клонирования и генетической модификации дрожжей

Ключевым преимуществом клонирования дрожжей является возможность получения штаммов с заданными свойствами и высокой продуктивностью, что позволяет предсказывать и контролировать качество производимой продукции. К основным методам клонирования и генетической модификации можно отнести использование интегративных и эписомных экспрессирующих векторов (Saccharomyces cerevisiae, Pichia pastoris), обеспечивающих стабильную трансформацию и экспрессию необходимых генов [2–5]. Генная модификация с применением технологии CRISPR/Cas9 дает возможность точечно изменять генетический код дрожжевых клеток для улучшения их характеристик [3, 6, 7]. Создание искусственных дрожжевых хромосом (YAC) позволяет переносить крупные фрагменты ДНК и обеспечивает стабильное размножение клонированных клеток [8, 9]. Применение SCRaMbLE (Synthetic Chromosome Rearrangement and Modification by LoxP-mediated Evolution) позволяет проводить случайные перестройки генома и улучшать свойства клеток [10, 11].

2. Применение клонированных дрожжей в пищевой промышленности

Несмотря на новизну направления, клонирование дрожжей уже находит применение в промышленности. Например, молочная кислота является широко востребованной в пищевой промышленности, и её мировое потребление составляет более 100000 тонн в год. Одним из методов её получения является использование дрожжей Saccharomyces cerevisiae, которые благодаря генной модификации содержат ген лактатдегидрогеназы из гриба Rhizopus oryzae и, как следствие, способны продуцировать молочную кислоту в больших масштабах [12]. Внедрение клонированных дрожжей улучшает стабильность вкусовых характеристик пивоваренной продукции и снижает содержание побочных продуктов брожения (например, диацетила), а введение в дрожжевые штаммы генов, ответственных за синтез витаминов и аминокислот, способствует обогащению продуктов питания полезными соединениями [13]. Дрожжи, подвергшиеся генной модификации, имеют ряд полезных отличий, представленных в таблице 1.

Таблица 1

Сравнительная характеристика клонированных и неклонированных дрожжей

Параметр	Клонированные дрожжи	Неклонированные дрожжи
Продуктивность (г/л)	50–60	30–40
Толерантность к кислотности (pH)	3,0–6,5	4,0–6,0
Эффективность ферментации (%)	85–90	70–75

Клонированные дрожжи имеют более высокий параметр продуктивности и эффективности ферментации, а также более высокий порог толерантности к кислотности, что обеспечивает их преимущество перед неклонированными дрожжами.

3. Перспективы и этические аспекты использования клонированных дрожжей

В 2025 году исследователям из Университета Маккуори в рамках глобального проекта Sc2.0 удалось представить synXVI — шестнадцатую хромосому Saccharomyces cerevisiae, размером 903 тыс. пар оснований, созданную, в том числе, благодаря технологии CRISPR, ранее упомянутой [14, 15]. Это первый случай создания полноценного синтетического эукариотического генома, который открывает возможности полного перекодирования дрожжевых клеток. В результате могут быть получены различные преимущества, например: улучшение технологий брожения и ферментации; создание штаммов, обладающих высокой устойчивостью к неблагоприятным условиям; производство продуктов с заданными характеристиками, такими как низкокалорийные напитки или безглютеновая выпечка.

Однако, учитывая новизну направления и возможные опасения со стороны потребителей, необходимо проведение масштабных исследований безопасности и разработка нормативных стандартов. Требуется строгий контроль за внедрением клонированных дрожжей в пищевое производство.

Заключение. Анализ перспектив внедрения клонированных дрожжевых штаммов в пищевую промышленность позволил выявить его преимущества и недостатки. Перспективы внедрения клонированных дрожжей в пищевую промышленность заключаются в следующем: в ходе генной модификации могут быть улучшены технологии брожения и ферментации, получены штаммы дрожжей с повышенной жизнестойкостью, заданными характеристиками и высокой продуктивностью. Это позволит повысить эффективность и снизить затраты производства, улучшить и контролировать качество продукции, а также создать новые продукты. Тем не менее, успешное внедрение технологии требует комплексного подхода.

https://mid-journal.ru

Список литературы

1. Банницына Т.Е., Канарский А.В., Щербаков А.В., Чеботарь В.К., Кипрушкина Е. И. Дрожжи в современной биотехнологии. *Вестник Международной академии холода*. 2016;(1):24–29.

2. Meirong Z, Jianfan M, Lei Z, Haishan Q. Engineering Strategies for Enhanced Heterologous Protein Production by Saccharomyces Cerevisiae. *Microbial Cell Factories.* 2024;23:32. https://doi.org/10.1186/s12934-024-02299-z

3. Pan Y, Yang J, Wu J, Yang L, Fang H. Current Advances of Pichia Pastoris as Cell Factories for Production of Recombinant Proteins. *Frontiers in Microbiology*. 2022;13:1059777. https://doi.org/10.3389/fmicb.2022.1059777

4. Gimeno-Pérez M, Linde D, Fernández-Arrojo L, Plou FJ, Fernández-Lobato M. Heterologous Overproduction of B-Fructofuranosidase from Yeast Xanthophyllomyces Dendrorhous, an Enzyme Producing Prebiotic Sugars. *Applied Microbiology and Biotechnology*. 2015;99(8):3459–3467. https://doi.org/10.1007/s00253-014-6145-1

5. Peter J, De Chiara M, Friedrich A, Yue JX, Pflieger D, Bergström A, et al. Genome Evolution Across 1,011 Saccharomyces Cerevisiae Isolates. *Nature*. 2018;556(7701):339–344. https://doi.org/10.1038/s41586-018-0030-5

6. Chen L, Tang L, Xiang H, Jin L, Li Q, Dong Y, et al. Advances in Genome Editing Technology and Its Promising Application in Evolutionary and Ecological Studies. *GigaScience*. 2014;3:24. https://doi.org/10.1186/2047-217X-3-24

7. Четвертакова Е.В. *Введение в биотехнологию*. Учебное пособие. Красноярск: Красноярский государственный аграрный университет; 2023. 194 с.

8. Annaluru N, Muller H, Mitchell LA, Ramalingam S, Stracquadanio G, Richardson SM, et al. Total Synthesis of a Functional Designer Eukaryotic Chromosome. *Science*.2014;344(6179):55–58. https://doi.org/10.1126/science.1249252

9. Noskov VN, Kouprina N, Leem SH, Ouspenski I, Barrett JC, Larionov V. A General Cloning System to Selectively Isolate Any Eukaryotic or Prokaryotic Genomic Region in Yeast. *BMC Genomics*. 2003;4(1):16. https://doi.org/10.1186/1471-2164-4-16

10. Цыганков М.А., Падкина М.В. Клонирование промоторов генов PpKAR2 и PpPDI1 дрожжей Pichia pastoris, оценка их активности и эффективности использования для экспрессии гетерологичных генов. *Экологическая генетика*. 2018;16(2):50–59.

11. Ma L, Li Y, Chen X, Ding M, Wu Y, Yuan YJ. SCRaMbLE Generates Evolved Yeasts with Increased Alkali Tolerance. *Microbial Cell Factories*. 2019;18:52. https://doi.org/10.1186/s12934-019-1102-4

12. Jang BK, Ju Y, Jeong D, Jung SK, Kim CK, Chung YC, et al. l-Lactic Acid Production Using Engineered Saccharomyces cerevisiae with Improved Organic Acid Tolerance. *Journal of Fungi*. 2021;7(11):928. https://doi.org/10.3390/jof7110928

13. Denby CM, Li RA, Vu VT, Costello Z, Lin W, Go Chan LJ, Williams J, et al. Industrial Brewing Yeast Engineered for the Production of Primary Flavor Determinants in Hopped Beer. *Nature Communications*. 2018;9:965. https://doi.org/10.1038/s41467-018-03293-x

14. Goold HD, Kroukamp H, Erpf PE, Zhao Y, Kelso P, Calame J. Construction and Iterative Redesign of SynXVI a 903 Kb Synthetic Saccharomyces Cerevisiae Chromosome. *Nature Communications.* 2025;16(1):841. https://doi.org/10.1038/s41467-024-55318-3

15. Wu Y., Li B., Zhao M., Mitchell L.A., Xie Z., Lin Q. (2017). Bug Mapping and Fitness Testing of Chemically Synthesized Chromosome X. *Science*. 2017;355(6329):eaaf4706. https://doi.org/10.1126/science.aaf470

Об авторах:

Евгений Юрьевич Пономарь, старший преподаватель кафедры «Техника и технологии пищевых производств» Донского государственного технического университета (344003, Российская Федерация, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1), Eyponomar@mail.ru

Виктория Сергеевна Лигачева, студент кафедры «Техника и технологии пищевых производств» Донского государственного технического университета (344003, Российская Федерация, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1), ligacheva_v01@mail.ru

Конфликт интересов: **авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.**

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

About the Authors:

Evgeny Yu. Ponomar, Senior Lecturer of Food Production Equipment and Technologies, Don State Technical University (1, Gagarin Sq., Rostov-on-Don, 344003, Russian Federation), eyponomar@mail.ru

Victoria S. Ligacheva, Student of the Food Production Equipment and Technologies, Don State Technical University (1, Gagarin Sq., Rostov-on-Don, 344003, Russian Federation), ligacheva_v01@mail.ru

Conflict of Interest Statement: **the authors declare no conflict of interest.**

All authors have read and approved the final manuscript.