

УДК 663.44; 663.45

Использование дрожжей *Saccharomyces cerevisiae* var. *boulardii* в качестве стартовой культуры в технологии пшеничного пива

Д. В. МАНЬШИН, д-р техн. наук Т. В. МЕЛЕДИНА*, А. А. ШИЛЕНКО,

В. Д. МАТВЕЕВ, канд. техн. наук А. А. ФЕДОРОВ

Университет ИТМО

*E-mail: tvmeledina@itmo.ru

Поиск и применение ранее неиспользуемых дрожжевых культур в пивоварении является одним из направлений разработки новых продуктов с уникальным органолептическим профилем. Дрожжи *Saccharomyces cerevisiae* var. *boulardii* представляют особый интерес как в пивоварении, так и пищевой биотехнологии в целом, что обусловлено их родством с промышленными штаммами дрожжей вида *Saccharomyces cerevisiae*, а также их отличительным свойством — пробиотической активностью. В работе было показано, что дрожжи *Saccharomyces cerevisiae* var. *boulardii* Y-3925 могут быть успешно использованы в технологии пшеничного пива в качестве стартовой культуры. При этом, было установлено, что данная дрожжевая культура имеет ряд технологически значимых отличий от контрольного штамма *Saccharomyces cerevisiae* W-68, среди которых относительно низкая ферментативная, флокуляционная и биосинтетическая активность. Так, в ходе главного брожения с участием *Saccharomyces cerevisiae* var. *boulardii* Y-3925 наблюдалась относительно низкая скорость брожения и конечная степень сбраживания $3,23 \pm 0,63$ %-масс./сутки и $52,42 \pm 2,00$ %, соответственно (в случае контрольного штамма W-68 скорость брожения составляла $4,70 \pm 0,43$ %-масс./сутки, а конечная степень сбраживания $63,44 \pm 1,16$ %). Следствием низкой конечной степени сбраживания являлась меньшая концентрация этилового спирта, что говорит о возможности применения этих дрожжей для производства пива со сниженным содержанием этанола (слабоалкогольного пива). Величина флокуляционной активности *Saccharomyces cerevisiae* var. *boulardii* Y-3925, определенная методом Хельма, составляла лишь $6,04 \pm 0,96$ %, что позволяет отнести данную культуру к группе слабофлокулирующих дрожжей. С точки зрения биосинтеза вкусоароматических соединений (вторичных метаболитов) штамм Y-3925 уступает контролю, что может расцениваться как положительное технологически значимое свойство в случае нежелательных вкусоароматических соединений таких как ацетальдегид, диацетил и высшие спирты. Полученные в работе результаты могут служить отправной точкой при внедрении на пивоваренном производстве дрожжей *Saccharomyces cerevisiae* var. *boulardii* в качестве стартовой культуры.

Ключевые слова: пивоваренные дрожжи, *Saccharomyces cerevisiae* var. *boulardii*, пшеничное пиво, пивоварение.

Информация о статье:

Поступила в редакцию 03.04.2025, одобрена после рецензирования 29.04.2025, принята к печати 05.05.2025

DOI: 10.17586/1606-4313-2025-24-2-64-71

Язык статьи — русский

Для цитирования:

Маньшин Д. В., Меледина Т. В., Шиленко А. А., Матвеев В. Д., Федоров А. А. Использование дрожжей *Saccharomyces cerevisiae* var. *Boulardii* в качестве стартовой культуры в технологии пшеничного пива. // Вестник Международной академии холода. 2025. № 2. С. 64–71. DOI: 10.17586/1606-4313-2025-24-2-64-71

The yeast *Saccharomyces cerevisiae* var. *boulardii* as a starter culture in wheat beer technology

D. V. MANSIN, D. Sc. T. V. MELEDINA, A. A. SHILENKO, V. D. MATVEEV, Ph. D. A. A. FEDOROV

ITMO University

*E-mail: tvmeledina@itmo.ru

One of the directions for the development of new products with a unique organoleptic profile is the search and usage of previously unused yeast cultures in brewing. The yeast *Saccharomyces cerevisiae* var. *boulardii* is of particular interest both in brewing and food biotechnology in general due to its relatedness to industrial yeast strains of the *Saccharomyces cerevisiae* species, as well as its distinctive property — probiotic activity. In this work, it was shown that the yeast *Saccharomyces cerevisiae* var. *boulardii* Y-3925 can be successfully used in wheat beer technology as a starter culture.

*It was found that this yeast culture has a number of technologically significant differences from the control strain *Saccharomyces cerevisiae* W-68, including relatively low enzymatic, flocculation, and biosynthetic activity. Thus, during the main fermentation with *Saccharomyces cerevisiae* var. *boulardii* Y-3925, a relatively low fermentation rate and final digestion rate of 3.23 ± 0.63 %-mass/day and 52.42 ± 2.00 % were observed, respectively (in the case of the control strain W-68, the fermentation rate was 4.70 ± 0.43 %-mass/day and final digestion rate was 63.44 ± 1.16 %). Low final degree of digestion resulted in a lower concentration of ethyl alcohol, which indicates that this yeast can be used for the production of beer with a reduced ethanol content (low-alcohol beer). The flocculation activity of *Saccharomyces cerevisiae* var. *boulardii* Y-3925, determined by the Helm method, was only 6.04 ± 0.96 %, which allows this culture to be classified as a weakly flocculating yeast. In terms of biosynthesis of flavour compounds (secondary metabolites), strain Y-3925 is inferior to the control, which can be regarded as a positive technologically significant property in the case of undesirable flavour compounds such as acetaldehyde, diacetyl and higher alcohols. The results obtained in this work can be used as a starting point for the introduction of the yeast *Saccharomyces cerevisiae* var. *boulardii* as a starter culture in brewing.*

Keywords: brewing yeast, *Saccharomyces cerevisiae* var. *boulardii*, wheat beer, brewing.

Article info:

Received 03/04/2025, approved after reviewing 29/04/2025, accepted 05/05/2025

DOI: 10.17586/1606-4313-2025-24-2-64-71

Article in Russian

For citation:

Manshin D. V., Meledina T. V., Shilenko A. A., Matveev V. D., Fedorov A. A. The yeast *Saccharomyces cerevisiae* var. *boulardii* as a starter culture in wheat beer technology. *Journal of International Academy of Refrigeration*. 2025. No 2. p. 64-71. DOI: 10.17586/1606-4313-2025-24-2-64-71

Введение

Роль дрожжей в технологии пива сложно переоценить, поскольку считается, что преимущественно именно дрожжи определяют органолептические характеристики конечного продукта [1, 2]. По этой причине применение новых дрожжевых культур является одним из способов получения пива с уникальным сенсорным профилем.

В последнее время в научном сообществе и индустрии ведутся активные работы по поиску и селекции новых штаммов, относящихся к видам *Saccharomyces cerevisiae* и *Saccharomyces pastorianus* [3, 4]. Наряду с этим, также вызывает интерес возможность использования в пивоварении нетрадиционных дрожжевых культур, не принадлежащих к роду *Saccharomyces* [5, 6]. Последнее, однако, осложнено биосинтетической специфичностью некоторых представителей несакхаромицетов, которая заключается в образовании высоких концентраций соединений, являющихся дефектами аромата и вкуса пива (уксусная кислота, диацетил, 2,3-бутандиол) [1].

Не так давно дрожжи *Saccharomyces cerevisiae* var. *boulardii* (*S. c. b.*) привлекли внимание ученых в области пищевой биотехнологии в первую очередь благодаря их пробиотической активности. Стоит отметить, что данная дрожжевая культура является единственным зарегистрированным пробиотическим эукариотическим микроорганизмом [7]. На сегодняшний день были проведены апробации по применению *S. c. b.* в технологии следующих пищевых продуктов: йогурта [8, 9], сыра [10], мороженого [10], ферментированных овощей [11], медовухи [12], вина [13] и пива [14, 15].

Наряду с положительной оценкой возможности использования *S. c. b.* в пивоварении в ряде работ [14]–[16], Маншин Д. В. и соавторы в исследовании [17] выдвинули предположение, что наиболее подходящей категорией пива для применения *S. c. b.* может стать категория пшеничного пива, что обусловлено низкой степенью ос-

ветления (седиментации дрожжевых клеток) и присутствием фенольной ноты в сенсорном профиле при ферментации солодового сусле с участием *S. c. b.* По причине последнего цель работы заключалась в попытке продемонстрировать возможность включения в технологию пшеничного пива дрожжей *S. c. b.* в качестве стартовой культуры и установить особенности их использования.

Объекты и методы исследований

Объекты исследования

В качестве объектов исследования выступали дрожжевые культуры *Saccharomyces cerevisiae* var. *boulardii* Y-3925 (коллекция ВКПМ, Россия), *Saccharomyces cerevisiae* W-68 (коллекция Hefebank Weihestephan, Россия), *Saccharomyces pastorianus* W-34/70 (коллекция Hefebank Weihestephan, Россия).

Выращивание и анализ посевного материала

Посевной материал получали путем простого периодического культивирования. Первый пассаж культивирования производился на среде YPD (1% дрожжевого экстракта, 2% пептона, 2% глюкозы) при 28 °C, в течение 24 ч. Последующие этапы — на 8% неохмеленном солодовом сусле с 10-кратным увеличением объема сусле при 120 об/мин на орбитальном шейкере до достижения поздней экспоненциальной стадии роста (18–20 ч). Определение концентрации клеток в полученном посевном материале осуществляли методом микроскопии с использованием камеры Горяева. Учет мертвых клеток проводился путем окрашивания образцов метиленовым синим [18].

Производство образцов пива

Для получения пивного сусле была использована модульная система «Доктор Губер» (Россия), включающая в себя суслотварочный котел, фильтр чан и винтовой насос. Перечень сырья и вспомогательных материалов,

а также режимы основных технологических операций представлены в табл. 1.

Охлажденное до 18±1 °С сусло перекачивалось в кеги типа Корнелиус общим объемом 19 л (KegLand, Австралия), оснащенные шпунт-аппаратом Blowtie 2 (KegLand, Австралия). После чего осуществляли задачу посевного материала и аэрацию с использованием воздушного компрессора CIAO 25/1850 (Finì, Италия) в течении 15 мин с расходом воздуха 2,08 л/мин. Для стерилизации подаваемого воздуха в магистраль были включены обеспложивающие фильтры Midisart® 2000 0,2 мкм (Sartorius, Германия). Режимы главного брожения и дображивания отражены в табл. 2.

Переход к расхоложиванию и дображиванию определялся выходом на плато по концентрации экстракта (отсутствие падения экстракта в течение 2 сут). Молодое пиво снимали с дрожжевого осадка путем перекачки в пустой кег, который заранее продувался обеспложивающим CO₂; операцию повторяли при дображивании по прошествии 7 сут. Готовый продукт разливался в стеклянные бутылки объемом 0,33 л с использованием системы розлива напитков iTap S (BOEL Technologies, Россия).

Физико-химический анализ сусла

Концентрацию экстракта в сусле определяли рефрактометрическим методом с использованием автоматического рефрактометра PTR 46 (Index Instruments Ltd, Великобритания). Активную кислотность с помощью рН-метра 150МИ (Измерительная техника, Россия). Для установления цветности сусла использовали спектрофотометрический метод при длине волны 430 нм (Аналитика ЕВС 8.5) [19]. Определение концентрации α-аминного азота осуществляли нингидриновым методом (Аналитика ЕВС 8.10.1) [19]. Конечную степень сбраживания сусла определяли путем опытного сбраживания (Аналитика ЕВС 8.6) [19].

В табл. 3 представлены результаты физико-химического анализа полученного пивного сусла.

Контроль процесса брожения
и анализ готового продукта

Концентрацию экстракта и этанола в ходе процесса брожения и готовом продукте определяли с использованием алколайзера (Anton Paar, Австрия) по ГОСТ 12787–2021. Скорость брожения и конечную степень сбраживания рассчитывали по формулам (1) и (2), соответственно.

Таблица 1
Рецептура и технология пивного сусла

Recipe and technology of beer wort		
Состав засыпи	Тип солода	%
	Ячменный солод Пэйл Эль, 4–6,5 ЕВС (Курский солод, Россия)	50
	Пшеничный солод, 6,6 ЕВС (Курский солод, Россия)	50
Начальная температура воды, °С	45	
Гидро модуль	1:4	
CaCl ₂ , г/л	0,14	
10% Н ₃ РO ₄	до рН затора 5,4–5,6	
Режим затирання	Температура, °С	Продолжительность, мин
	43	15
	52	10
	62	40
	72	До осахаривания
	78	5
Объем промывной воды, л/кг	3	
Режим охмеления и кипячения сусла	Продолжительность, мин	60
	Hallertau Mittelfruh, α-кислоты 4,1% (HVG, Германия), г/л	1
	ZnCl ₂ , мг/л	0,42

Таблица 2
Режим главного брожения и дображивания

Main and secondary fermentation mode			
Главное брожение	Аэрация	Продолжительность, мин	15
		Расход, л/мин	2,08
	Величина засева, млн/мл на 1 % сусла		1
	Температура, °С		20±1
Дображивание	Шпунтование		При концентрации остаточного экстракта 1 %
	Температура, °С		2±1
	Продолжительность, сут		10
	Съем с дрожжевого осадка, сут		7

Таблица 3
Результаты физико-химического анализа пивного сусла

Phisico-chemical analysis of the beer wort	
Показатель	Значение
Ег, %-масс.	12,4±0,1
КСС, %	54,30±2,31 ¹ /66,67±1,16 ²
рН	5,60±0,01
Цвет, ед. ЕВС	13,06±0,16
Концентрация α-аминного азота, мг/л	213,66±1,86

¹ КСС для штамма Y-3925
² КСС для штамма W-68

$$V_{\text{бр}} = \frac{Er_i - Er_j}{\tau_i - \tau_j}, \tag{1}$$

где $V_{\text{бр}}$ — скорость брожения, %-масс./сут; Er_i — концентрация экстракта в момент времени τ_i , %-масс.; Er_j — концентрация экстракта в момент времени τ_j , %-масс.; τ_i и τ_j — моменты времени, сут.

$$\text{КСС} = \frac{Er_0 - Er_{\text{к}}}{Er_0} \cdot 100\%, \tag{2}$$

где КСС — конечная степень сбраживания, %; Er_0 и $Er_{\text{к}}$ — начальная и конечная концентрация экстракта, %-масс, соответственно.

В готовом продукте определялись следующие показатели: pH по ГОСТ 31764–2012, цвет по ГОСТ 12789–2022, массовая доля двуокиси углерода по ГОСТ 32038–2012, пенообразование и пеностойкость по ГОСТ 30060–2022. Концентрацию взвешенных дрожжевых клеток определяли методом микроскопии с использованием камеры Горяева. Концентрацию вкусоароматических соединений в пиве определяли методом газовой хроматографии с использованием хроматографа Hewlett-Packard — HP 6890 GC System (Agilent Technologies Inc., USA). Органолептический анализ готового продукта проводили согласно ГОСТ 30060–2022.

Определение флокulyационной активности дрожжей

Определение флокulyационной активности дрожжевых культур проводили с использованием метода Хельма [20]. Дрожжевую биомассу выращивали на 12% солодовом сусле при 25 °С, 150 об/мин, в течение 48 ч. Дрожжевую суспензию в количестве 10 мл переносили в пробирки 2-х типов: «А» и «В». Пробирки «А» центрифугировали при 2500 об/мин в течение 2,5 мин, после удаления супернатанта дрожжевой осадок ресуспендировали с помощью вортекса в 9,9 мл воды и 0,1 мл 0,5 М ЭДТА. Затем полученную суспензию разводили в 10 раз дистиллированной водой и измеряли оптическую плотность при 600 нм относительно дистиллированной воды с использованием фотометра КФК-3 (АО «ЗМЗ», Россия). Пробирки «В» центрифугировали при 2500 об/мин в течение 2,5 мин, после удаления супернатанта дрожжевой осадок ресуспендировали с помощью вортекса в 0,05% растворе CaSO_4 , после чего осуществляли повторное центрифугирование, супернатант удаляли, а дрожжевой осадок ресуспендировали в буферном растворе (CaSO_4 — 0,51 г/л, CH_3COONa — 6,8 г/л, CH_3COOH — 4,05 г/л). Полученная суспензия выдерживалась статично в течение 6 мин, после чего 1 мл суспензии (с верхней части) разводили 9 мл дистиллированной воды и измеряли оптическую плотность при 600 нм относительно дистиллированной воды.

Флокulyационная активность дрожжевых культур рассчитывалась по формуле (3).

$$\Phi_{\text{лок}_a} = \frac{OD_A - OD_B}{OD_A} \cdot 100\%, \tag{3}$$

где $\Phi_{\text{лок}_a}$ — флокulyационная активность, %; OD_A и OD_B — оптическая плотность суспензий типа «А» «В» при длине волны 600 нм, соответственно.

Результаты и их обсуждение

Ферментативная активность — это комплексная характеристика индустриальных дрожжевых культур, определяемая такими показателями, как скорость брожения, конечная степень сбраживания (КСС) и концентрация вырабатываемого этанола. На рис. 1 и в табл. 4 представлены результаты исследования процесса главного брожения. При анализе кинетики потребления субстрата кривая брожения разбивалась на три участка: I — стадия разбраживания; II — стадия активного брожения; III — стадия замедления. Согласно полученным данным, дрожжи *S. c. b.*, проявляют меньшую ферментативную активность в сравнении с контрольным штаммом, что определяется низкой скоростью брожения (в первую очередь на II и III этапах главного брожения), КСС и концентрацией этанола в сброженном сусле. Следствием относительно невысокой скорости брожения является большая продолжительность процесса (достижения плато по концентрации экстракта), которая для штамма Y-3925 составляла 6 сут, в то время как для контрольного штамма W-68—4 сут.

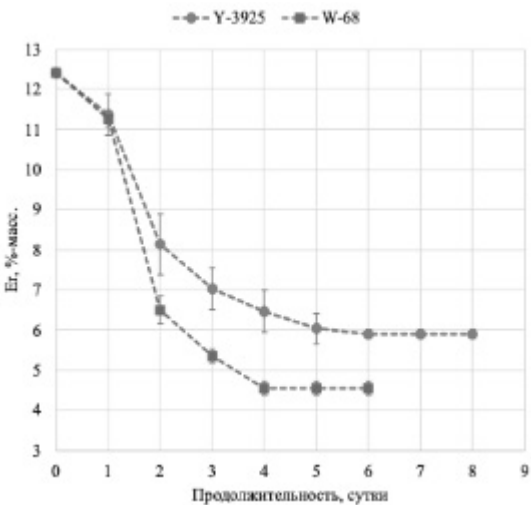


Рис. 1. Изменение концентрации экстракта в ходе главного брожения

Fig. 1. Changes of extract concertation during main fermentation

Таблица 4
Результаты физико-химического анализа в ходе главного брожения

Table 4
Phisico-chemical analysis during main fermentation

Показатель	Штамм	
	Y-3925	W-68
$V_{\text{бр}}$ на I-этапе, %-масс./сут*	1,11±0,21	1,23±0,38
$V_{\text{бр}}$ на II-этапе, %-масс./сут*	3,23±0,63	4,70±0,43
$V_{\text{бр}}$ на III-этапе, %-масс./сут*	0,56±0,13	0,75±0,12
КСС, %	52,42±2,00	63,44±1,16
Концентрация этанола, %-об.	4,03±0,14	4,99±0,21
pH (конечный)	4,34±0,07	4,31±0,07

* I и II этапы: 0–1 и 1–2 сут для обоих штаммов; III этап: 2–6 сутки и 2–4 сут для штаммов Y-3925 и W-68, соответственно.

Как и ожидалось, согласно результатам определения КСС суслу путем опытной ферментации (табл. 3), молодое пиво, полученное с использованием штамма Y-3925 отличалось низкой КСС и концентрацией этанола в сравнении с контролем. О меньшей конечной степени сбраживания дрожжей *S. c. b.* в сравнении с пивоваренными штаммами сообщалось ранее [17, 21], что предположительно связано со слабой ферментативной активностью в отношении мальтозы и ее отсутствием в отношении мальтотриозы у данной культуры. В случае производства ординарного пива использование дрожжевых культур, обеспечивающих глубокое сбраживание суслу (КСС больше 80%), является целесообразным. Однако некоторые стили пива, например стили в категории стаут, должны включать в свой сенсорный профиль сладость и выраженную полноту тела, что может быть обеспечено остаточным экстрактом. Кроме того, дрожжи с низкой степенью сбраживания могут применяться в технологии слабоалкогольного и безалкогольного пива. Тем не менее, при необходимости, для повышения КСС при использовании дрожжей *S. c. b.* может быть предложено применение глюкоамилазы на этапе затирания для повышения содержания глюкозы и снижения мальтозы и мальтотриозы в составе сбраживаемого экстракта.

В табл. 5 представлены результаты физико-химического анализа готового продукта и определения в нем концентрации дрожжевых клеток. Согласно полученным данным, тестовые образцы пива соответствовали требованиям ГОСТ 31711–2012 по всем физико-химическим показателям за исключением цвета. В свою очередь образец пива, полученный с использованием дрожжей *S. c. b.* в качестве стартовой культуры, также не соответствовал ГОСТ 31711–2012 по пороговой концентрации дрожжевых клеток.

Недостаточный цвет полученного продукта может быть объяснен использованием в составе засыпи солодов с низкой цветностью. Однако, стоит заметить, что согласно классификации стилей пива по BJCP (2021 г.) цвет вайсбира должен составлять 2–6 SRM, что соответствует 3,94–11,82 EBC. Тем не менее, для повышения цветности готового продукта, может быть предложено использование специальных солодов в составе засыпи.

Относительно высокая концентрация взвешенных дрожжевых клеток в готовом продукте может быть связана с низкой флокуляционной активностью дрожжевой культуры *S. c. b.*, о чем сообщалось ранее [17]. Для подтверждения этого предположения нами был проведен анализ флокуляционной активности штамма Y-3925 с использованием метода Хельма, в качестве контроля выступали штаммы дрожжей W-68 и W-34/70, характеризующиеся средней и высокой флокуляционной активностью, соответственно. Из полученных данных (рис. 2) следует, что штамм дрожжей Y-3925 действительно обладает низкой флокуляционной активностью — $6,04 \pm 0,96\%$ (по методу Хельма при флокуляционной активности $<20\%$ дрожжевая культура относится к группе слабофлокулирующих дрожжей). С одной стороны, данная проблема может быть решена путем осветления готового или молодого пива с использованием сепаратора и/или вспомогательных оклеивающих материалов, например рыбьего клея (очищенного коллагена) [22]. С другой же стороны, известно, что флокуляционная активность является одним из технологических свойств дрожжей, которое предопределено генетически, но при этом зависит от физико-химических факторов внешней среды таких как концентрация сахаров и ионов кальция, pH, температура и др. [23]. Ввиду того, что пиво, полученное с использованием штамма Y-3925 имеет относительно высокую концентрацию остаточного экстракта, недостаточная степень осветления пива от дрожжевых клеток может быть связана непосредственно с проявлением ингибирующего действия простых сахаров в отношении процесса флокуляции дрожжевых клеток. Однако для установления возможности повышения флокуляции штамма Y-3925 путем изменения физико-химических факторов в пределах, допустимых спецификой процессов в пивоварении, необходимы дополнительные исследования.

В табл. 6 представлены результаты анализа вкусоароматических соединений в полученных образцах пива. По содержанию вкусоароматических соединений пиво, произведенное с использованием дрожжей *S. c. b.* уступает контролю. Однако стоит учитывать, что присутствие некоторых вкусоароматических компонентов в концентрациях, превышающих порог восприятия, нежелатель-

Результаты физико-химического и микробиологического анализа готового продукта

Таблица 5

Table 5

Phisico-chemical and microbiological analysis of the finished product

Показатель		Штамм		ГОСТ 31711–2012
		Y-3925	W-68	
Объемная доля спирта, %		4,08±0,10	5,13±0,10	не менее 3,5 (4,5) *
pH		4,41±0,04	4,39±0,02	3,8–4,8
Цвет, ед. EBC		6,63±0,16	7,49±0,13	9,5–26
Массовая доля двуокиси углерода, %		0,50±0,05	0,48±0,01	не менее 0,4
Пенообразование	высота пены, мм	115±5	105±5	не менее 40
	пеностойкость, мин	7,0±0,5	7,0±0,5	не менее 3
Концентрация клеток, млн/см³		5,88±0,38	0,95±0,25	не более 2**

* Не менее 3,5 для экстрактивности начального суслу 12%; не менее 4,5 для экстрактивности начального суслу 13%. Допустимые отклонения от объемной доли этилового спирта для пива конкретного наименования составляют $\pm 0,5\%$

** Для нефилтрованного неосветленного пива

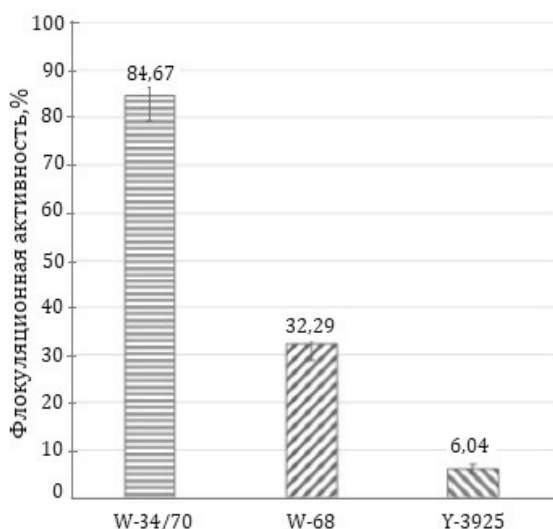


Рис. 2. Флокуляционная активность дрожжевых штаммов

Fig. 2. Flocculation activity of the yeast strains

но в пиве. Последнее справедливо для таких веществ как ацетальдегид (зеленое яблоко, альдегидный), диметилсульфид (вареные овощи, сладкая кукуруза) и диацетил (молочный, прогорклый, маслянистый). При этом ацетальдегид и диацетил имеют дрожжевое происхождение [24], а снижение их концентрации ниже порога восприятия является технологическим маркером для перехода от главного брожения и созревания к дображиванию. Поскольку ацетальдегид представляет собой промежуточный продукт спиртового брожения меньшая его концентрация в случае *S. c. b.* Y-3925 может быть связана с меньшей степенью сбраживания сусла, которая наблюдается для данного штамма. В свою очередь относительно низкая концентрация диацетила в готовом продукте может быть опосредована меньшим биосинтезом предшественника диацетила — α -ацетолактата и/или большей редукцией диацетила (восстановление до 2,3-бутандиола) дрожжами *S. c. b.*

Одной из отличительных характеристик некоторых стилей пшеничного пива является фруктовая (банановая) нота в сенсорном профиле напитка, что обусловлено высокими концентрациями изоамилацетата (около 4 мг/л), которые обеспечиваются биосинтетической специфичностью некоторых пшеничных штаммов дрожжей [28]. Согласно полученным данным дрожжи *S. c. b.* продуцируют лишь малые количества изоамилацетата (концентрация в готовом продукте меньше порога восприятия), что позволяет рекомендовать данную культуру для производства стилей пшеничного пива, которым не свойственна «банановая» нота в органолептическом профиле (например, витбир, американское пшеничное пиво). С другой стороны, известно, что биосинтез сложных эфиров дрожжами зависит от таких факторов как температура брожения, начальная плотность сусла и концентрация растворенного кислорода [29]. Однако для установления возможности повышения биосинтеза сложных эфиров, в том числе изоамилацетата, дрожжами *S. c. b.* за счет варьирования отмеченных физико-химических факторов необходимы дополнительные исследования.

Таблица 6
Содержание вкусоароматических соединений
в образцах полученного пива

Table 6

The content of flavor aromatic compounds
in the obtained samples of beer

Соединение	Порог восприятия	Штамм	
		Y-3925	W-68
Ацетальдегид, мг/л	25,00 [26]	1,00	3,70
Диметилсульфид, мкг/л	30,00 [27]	91,20	64,70
Этилацетат, мг/л	21,00 [26]	7,45	30,02
Изоамилацетат, мг/л	1,4 [26]	0,07	2,73
Высшие спирты (сумма), мг/л	—	72,18	146,80
Диацетил, мкг/л	100,00 [28]	0,98	35,50
Пентадион, мкг/л	1000,00 [26]	0,10	0,10

Интересно заметить, что для пива, полученного с применением штамма Y-3925, характерна большая концентрация диметилсульфида, который поступает в готовый продукт преимущественно из солода. В пивоварении содержание диметилсульфида контролируется (снижается), в первую очередь, на этапе получения сусла (выбор солода по степени его растворения, режима затирания зернопродуктов и кипячения сусла), однако на этапе главного брожения также возможно снижение концентрации данного соединения за счет его улетучивания вместе с диоксидом углерода [24]–[27]. С учетом последнего, возможно предположить, что большая концентрация диметилсульфида в пиве, полученном с использованием штамма Y-3925 является следствием меньшей бродильной активности (а значит меньшей интенсивности газообразования) данной дрожжевой культуры на этапе главного брожения (рис. 1, табл. 4) в сравнении с контролем.

Высшие спирты (сивушные масла) также являются вкусоароматическими соединениями пива, однако их концентрация выше 100 мг/л может негативно сказываться на сенсорном профиле напитка [24]. Более того, известно, что данная группа соединений проявляет негативное воздействие на организм человека, что говорит о целесообразности стремления к снижению их концентрации в готовом продукте несмотря на исключение их вклада в профиль аромата и вкуса пива. Таким образом установленная нами относительно низкая биосинтетическая активность *S. c. b.* с точки зрения образования высших спиртов при ферментации пивного сусла может быть охарактеризована как положительное технологическое свойство данной дрожжевой культуры.

Согласно результатам органолептического анализа пиво, полученное с использованием *S. c. b.* Y-3925, в целом соответствует требованиям ГОСТ 31711–2012. Стоит отметить, что в аромате готового продукта отмечались фенольные ноты. Является возможным предположить, что исследуемая культура дрожжей может относиться к группе POF+, что требует дополнительных исследований.

Таблица 7

Результаты органолептического анализа готового продукта

Table 7

Sensory evaluation of the finished product

Показатель	Штамм		ГОСТ 31711–2012
	У-3925	W-68	
Прозрачность	Непрозрачная пенящаяся жидкость без посторонних включений. Присутствует дрожжевой осадок.	Прозрачная с опалесценцией жидкость без посторонних включений.	Непрозрачная или прозрачная с опалесценцией пенящаяся жидкость без посторонних включений, не свойственных пиву. В процессе хранения допускается появление частиц белково-дубильных соединений. Допускается дрожжевой осадок.
Аромат	Сброженный солодовый, фенольный. Присутствуют пряно-ароматичные тона.	Сброженный солодовый, спиртовой. Ярко выраженная нота дюшеса.	Сброженный солодовый, с хмелевым ароматом, допускается дрожжевой оттенок, без посторонних запахов.
Вкус	Сброженный солодовый, легкая хмелевая горечь. Присутствует сладость.	Сброженный солодовый, легкая хмелевая горечь, спиртовой.	Сброженный солодовый, с хмелевой горечью допускается дрожжевой привкус. В пшеничном пиве присутствуют пряно- ароматичные тона во вкусе и аромате.

Заключение

Применение новых дрожжевых культур в технологии ферментированных напитков, в частности пива, является одним из направлений деятельности представителей индустрии в области инноваций и разработок. В результате проведенных исследований было показано, что дрожжи *S. c. b.* У-3925 могут быть использованы в качестве стартовой культуры для производства пшеничного пива. При этом было установлено, что данная дрожжевая культура имеет некоторые технологически значимые отличия от контрольного пшеничного штамма W-68. При потенциальном внедрении дрожжей *S. c. b.* в производство необходимо обратить внимание на их относительно низкую степень сбраживания, флокуляционную и биосинтетическую активность.

Литература/References

1. Iorizzo M. et al. Role of yeasts in the brewing process: Tradition and innovation. *Processes*. 2021. vol. 9. no 5. p. 839.

2. Michel M. et al. Pure non-Saccharomyces starter cultures for beer fermentation with a focus on secondary metabolites and practical applications. *Journal of the Institute of Brewing*. 2016. vol. 122. no 4. p. 569–587.

3. Steensels J. et al. Improving industrial yeast strains: exploiting natural and artificial diversity. *FEMS microbiology reviews*. 2014. vol. 38. no 5. p. 947–995.

4. Gibson B. et al. New yeasts — new brews: modern approaches to brewing yeast design and development. *FEMS Yeast Research*. 2017. vol. 17. no 4. p. fox038.

5. Qin X. et al. The non-Saccharomyces yeasts as novel starter cultures to innovate beer brewing. *CyTA-Journal of Food*. 2025. vol. 23. no 1. p. 2459819.

6. Vašítk P. et al. Potential of non-Saccharomyces yeast to produce non-alcoholic beer. *FEMS Yeast Research*. 2022. vol. 22. no 1. p. foac039.

7. Łukaszewicz M. Saccharomyces cerevisiae var. boulardii — Probiotic Yeast. *Probiotics*. IntechOpen, 2012.

8. Karaolis C. et al. Potential application of Saccharomyces boulardii as a probiotic in goat’s yoghurt: survival and organoleptic effects. *International Journal of Food Science and Technology*. 2013. vol. 48. no 7. p. 1445–1452.

9. Sarwar A. et al. Physicochemical and microbiological properties of synbiotic yogurt made with probiotic yeast Saccharomyces boulardii in combination with inulin. *Foods*. 2019. vol. 8. no 10. p. 468.

10. Zamora-Vega R. et al. Development and characterization of a symbiotic cheese added with Saccharomyces boulardii and inulin. *African Journal of Microbiology Research*. 2013. vol. 7. no 23. p. 2828–2834.

11. Chun A. et al. Physicochemical and functional properties of yeast-fermented cabbage. *Journal of Microbiology and Biotechnology*. 2023. vol. 33. no 10. p. 1329.

12. de Souza H. F. et al. Growing conditions of Saccharomyces boulardii for the development of potentially probiotic mead: Fermentation kinetics, viable cell counts and bioactive compounds. *Food Science and Technology International*. 2024. vol. 30. no 7. p. 603–613.

13. Mulero-Cerezo J. et al. Alcoholic and non-alcoholic rosé wines made with Saccharomyces cerevisiae var. boulardii probiotic yeast. *Archives of Microbiology*. 2023. vol. 205. No 5. p. 201.

14. Mulero-Cerezo J., Briz-Redón Á., Serrano-Aroca Á. Saccharomyces cerevisiae var. boulardii: Valuable probiotic starter for craft beer production. *Applied Sciences*. 2019. vol. 9. No 16. p. 3250.

15. Capece A. et al. Use of Saccharomyces cerevisiae var. boulardii in co-fermentations with S. cerevisiae for the production of craft beers with potential healthy value-added. *International journal of food microbiology*. 2018. Vol. 284. p. 22–30.

16. Senkarcinova B. et al. Probiotic alcohol-free beer made with Saccharomyces cerevisiae var. boulardii. *Lwt*. 2019. vol. 100. p. 362–367.

17. Manshin D. et al. Comparison of the yeast Saccharomyces cerevisiae var. boulardii and top-fermenting brewing yeast strains during the fermentation of model nutrient media and beer wort. *Agronomy Research*. 2022. 20 (3):625–636. DOI: 10.15159/ar.22.066

18. Давыденко С. Г. и др. Применение методов окраски дрожжей для оценки их физиологического состояния // Пиво и напитки. 2011. №. 5. С. 8–11. [Davydenko S. G. and others. Application of yeast coloring methods to assess their physiological state. *Beer and beverages*. 2011. No. 5. pp. 8–11. (in Russian)]

19. Ермолаева Г. А. Справочник работника лаборатории пивоваренного предприятия. 2004. [Ermolaeva G. A. Handbook of an employee of the laboratory of a brewing enterprise. 2004. (in Russian)]
20. Mehta D. V. et al. A Mini review: The history of yeast flocculation with an emphasis on measurement techniques. *Journal of the American Society of Brewing Chemists*. 2021. vol. 79. no 4. С. 333–339.
21. de Paula B. P. et al. Technological features of *Saccharomyces cerevisiae* var. *boulardii* for potential probiotic wheat beer development. *LWT*. 2021. vol. 135. p. 110233.
22. Leiper K. A., Duszanskyj R., Stewart G. G. Premixing of isinglass and silica gel to obtain improved beer stability. *Journal of the Institute of Brewing*. 2002. vol. 108. no 1. p. 28–31.
23. Soares E. V. Flocculation in *Saccharomyces cerevisiae*: a review. *Journal of applied microbiology*. 2011. vol. 110. no 1. p. 1–18.
24. Buiatti S. Beer composition: An overview. *Beer in health and disease prevention*. 2009. p. 213–225.
25. Blanco C. A., Andrés-Iglesias C., Montero O. Low-alcohol beers: Flavor compounds, defects, and improvement strategies. *Critical reviews in food science and nutrition*. 2016. vol. 56. no 8. p. 1379–1388.
26. Hansen J. Inactivation of MXR1 abolishes formation of dimethyl sulfide from dimethyl sulfoxide in *Saccharomyces cerevisiae*. *Applied and Environmental Microbiology*. 1999. vol. 65. no 9. p. 3915–3919.
27. Нарцисс Л. Краткий курс пивоварения. СПб.: Профессия, 2007. С. 149–151. [Narciss L. A short course in brewing. St. Petersburg: Profession, 2007. pp. 149–151. (in Russian)]
28. Алябьев Б. А., Ростовская М. Ф. Особенности получения пшеничного пива. // Хранение и переработка сельхозсырья. 2021. № 3. С. 81–94. [Alyabyev B. A., Rostovskaya M. F. Features of obtaining wheat beer. *Storage and processing of agricultural raw materials*. 2021. No. 3. pp. 81–94. (in Russian)]
29. Меледина Т. В., Дедегкаев А. Т., Афонин Д. В. Качество пива: стабильность вкуса и аромата, коллоидная стойкость, дегаустация. Санкт-Петербург: Профессия, 2011. [Meledina T. V., Dedegkaev A. T., Afonin D. V. Beer quality: taste and aroma stability, colloidal stability, tasting. Saint Petersburg: Profession, 2011. (in Russian)]

Сведения об авторах

Маньшин Дмитрий Викторович

Аспирант, инженер, зав. лабораторией факультета биотехнологий Университета ИТМО, 191002, Санкт-Петербург, ул. Ломоносова, 9, dmanshin1@gmail.com

Меледина Татьяна Викторовна

Д. т. н., профессор, профессор факультета биотехнологий Университета ИТМО, 191002, Санкт-Петербург, ул. Ломоносова, 9, tvmeledina@itmo.ru

Шиленко Алексей Алексеевич

Студент факультета биотехнологий Университета ИТМО, 191002, Санкт-Петербург, ул. Ломоносова, 9, Alexey.Shilenko. 01@gmail.com

Матвеев Владимир Дмитриевич

Студент факультета биотехнологий Университета ИТМО, 191002, Санкт-Петербург, ул. Ломоносова, 9, matweew.vl4dim@yandex.ru

Федоров Алексей Александрович

К. т. н., доцент, зав. лабораторией факультета биотехнологий Университета ИТМО, 191002, Санкт-Петербург, ул. Ломоносова, 9, aafedorov@itmo.ru.
ORCID ID 0000-0003-3860-7708

Information about authors

Manshin Dmitry V.

Postgraduate, Engineer, Head of the laboratory of Faculty of Biotechnologies (BioTech), ITMO University, 191002, Russia, St. Petersburg, Lomonosov str., 9, dmanshin1@gmail.com

Meledina Tatyana V.

D. Sc., Professor, Professor of the Faculty of Biotechnologies (BioTech), ITMO University, 191002, Russia, St. Petersburg, Lomonosov str., 9, tvmeledina@itmo.ru

Shilenko Alexey A.

Student of the Faculty of Biotechnologies (BioTech), ITMO University, 191002, Russia, St. Petersburg, Lomonosov str., 9, Alexey.Shilenko. 01@gmail.com

Matveev Vladimir D.

Student of the Faculty of Biotechnologies (BioTech), ITMO University, 191002, Russia, St. Petersburg, Lomonosov str., 9, matweew.vl4dim@yandex.ru

Fedorov Alexey A.

Ph. D., Associate Professor, Head of the laboratory of Faculty of Biotechnologies (BioTech), ITMO University, 191002, Russia, St. Petersburg, Lomonosov str., 9, aafedorov@itmo.ru.
ORCID ID 0000-0003-3860-7708



Статья доступна по лицензии

Creative Commons «Attribution-NonCommercial»