Для корреспонденции
Туршатов Михаил Владимирович – кандидат технических наук, заведующий лабораторией технологии спиртового производства ВНИИПБТ – филиала ФГБУН «ФИЦ питания и биотехнологии»
Адрес: 111033, Российская Федерация, г. Москва, ул. Самокатная, д. 4Б
Телефон: (495) 361-71-90
E-mai: lab78@mail.ru
https://orcid.org/0000-0003-1277-5498

Абрамова И.М.[1], Бессонов В.В.[2], Богачук М.Н.[2], Кривченко В.А.[1], Макаренко М.А.[2], Сокуренко М.С.[2], Соловьев А.О.[1], Туршатов М.В.[1], Шевякова Л.В.[2]

Пути повышения пищевой ценности зерновой клетчатки спиртового производства

Ways of nutritional value increasing of distillary grain fiber

Abramova I.M.[1], Bessonov V.V.[2], Bogachuk M.N.[2], Krivchenko V.A.[1], Makarenko M.A.[2], Sokurenko M.S.[2], Solovyov A.O.[1], Turshatov M.V.[1], Shevyakova L.V.[2]

[1] Всероссийский научно-исследовательский институт пищевой биотехнологии – филиал Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федеральный исследовательский центр питания, биотехнологии и безопасности пищи, 111033, г. Москва, Российская Федерация
[2] Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Федеральный исследовательский центр питания, биотехнологии и безопасности пищи, 109240, г. Москва, Российская Федерация
[1] All-Russian Scientific Research Institute of Food Biotechnology – a Branch of the Federal Research Centre for Nutrition, Biotechnology and Food Safety, 111033, Moscow, Russian Federation
[2] Federal Research Center for Nutrition, Biotechnology and Food Safety, 109240, Moscow, Russian Federation

В процессе переработки зерна на спирт практически расходуются только углеводы, представленные в основном в виде крахмала. Остальные компоненты (белок, жиры, клетчатка, минеральные вещества) транзитом переходят в зерновую клетчатку, оставшуюся после отгонки спирта из бражки. По своим показателям зерновая клетчатка спиртового производства превосходит пшеничные отруби, так как в процессе переработки она обогащается биомассой спиртовых дрожжей. Кроме того, существует технологическая возможность ее дополнительного обогащения белком, аминокислотами, витаминами за счет изменения режимов спиртового брожения.

***Цель** работы – провести исследования по влиянию режимов и условий спиртового брожения на состав зерновой клетчатки спиртового производства.*

***Материал и методы.** В лабораторных условиях методом бродильной пробы из пшеницы при различных режимах брожения были получены образцы зерновой*

Финансирование. Научно-исследовательская работа по подготовке рукописи проведена за счет средств субсидии на выполнение государственного задания (№ 0529-2019-0066).
Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие конфликта интересов.
Для цитирования: Абрамова И.М., Бессонов В.В., Богачук М.Н., Кривченко В.А., Макаренко М.А., Сокуренко М.С., Соловьев А.О., Туршатов М.В., Шевякова Л.В. Пути повышения пищевой ценности зерновой клетчатки спиртового производства // Вопросы питания. 2020. Т. 89, № 5. С. 110–118. DOI: 10.24411/0042-8833-2020-10071
Статья поступила в редакцию 21.05.2020. **Принята в печать** 20.09.2020.

Fundng. Research work on the preparation of the manuscript was carried out at the expense of the state task grant (No. 0529-2019-0066).
Conflict of interest. The authors declare no conflict of interests.
For citation: Abramova I.M., Bessonov V.V., Bogachuk M.N., Krivchenko V.A., Makarenko M.A., Sokurenko M.S., Solovyov A.O., Turshatov M.V., Shevyakova L.V. Ways of nutritional value increasing of distillary grain fiber. Voprosy pitaniia [Problems of Nutrition]. 2020; 89 (5): 110–8. DOI: 10.24411/0042-8833-2020-10071 (in Russian)
Received 21.05.2020. **Accepted** 20.09.2020.

клетчатки спиртового производства. В полученных образцах определяли следующие показатели: белок по Барнштейну, сырой протеин, витамины B_1, B_2, B_6, Е, а также аминокислотный состав. В полупродуктах спиртового производства определяли объемную долю этилового спирта, массовую концентрацию сбраживаемых углеводов, концентрацию дрожжевых клеток.

Результаты и обсуждение. *Исследования по влиянию дрожжей различных производителей на показатели брожения, рост биомассы и состав зерновой клетчатки показали преимущество расы Y-717 с точки зрения накопления спирта (11,5%об.), скорости сбраживания (56 ч) и концентрации дрожжевых клеток (260 млн/см³), которая оказалась на 15–30% больше, чем в других вариантах. Однако с точки зрения повышения содержания белка по Барнштейну и сырого протеина в образцах зерновой клетчатки с дрожжами Y-717 отмечен рост всего 3–4% по сравнению с другими вариантами, что связано со снижением концентрации дрожжей к 72 ч брожения за счет автолиза. Исследования по влиянию начальной концентрации дрожжей на рост биомассы, скорость брожения и показатели зерновой клетчатки показали, что при увеличении начальной концентрации дрожжей с 15 до 45 млн/см³ продолжительность брожения сокращается до 48 ч, рост биомассы на конец брожения составляет 20%, содержание белка в зерновой клетчатке увеличивается на 15%, витаминов B_1, B_2, B_6 и Е, а также аминокислот – на 13–17%.*

Заключение. *По результатам проведенных исследований показана технологическая возможность получения зерновой клетчатки спиртового производства с более высоким содержанием белка, аминокислот и витаминов за счет изменения режимов процесса брожения при переработке зернового сырья на спирт. В частности, за счет использования дрожжей с высокой скоростью роста, увеличения начальной концентрации дрожжевой биомассы, сокращения срока брожения и предотвращения автолиза дрожжей на стадии дображивания.*

Ключевые слова*: пищевые волокна, зерновая клетчатка спиртового производства, дрожжевая биомасса, сырой протеин, аминокислоты, витамины*

In the process of grain processing for ethyl alcohol, practically only carbohydrates are consumed, which are presented mainly in the form of starch. The remaining components (protein, fats, fiber, minerals) in transit pass into the grain fiber remaining after distillation of the alcohol from the mash. Distillery grain fiber surpasses wheat bran in its indicators, since during the processing it is enriched with biomass of alcohol yeast. In addition, there is a technological possibility of its additional enrichment with protein, amino acids, and vitamins due to changes in the modes of alcoholic fermentation.

The aim *of the work was to assess the influence of the mode and conditions of alcoholic fermentation on the composition of distillery grain fiber.*

Material and methods. *Under laboratory conditions, samples of grain fiber of alcohol production were obtained by the method of fermentation samples from wheat under various fermentation conditions. In the obtained samples, the following parameters were determined: protein according to Barnstein, crude protein, vitamins B_1, B_2, B_6, E, as well as the amino acid composition. The volume fraction of ethyl alcohol, the mass concentration of fermentable carbohydrates, and the concentration of yeast cells were determined in intermediate products of alcohol production.*

Results and discussion. *Studies on the effect of yeast from various manufacturers on fermentation rates, biomass growth and grain fiber composition showed the advantage of race Y-717 in terms of alcohol accumulation (11.5% vol.), Fermentation rate (56 hours) and yeast cell concentration (260 million/cm³), which was 15–30% more than in other options. However, from the point of view of increasing the content of protein according to Barnstein and crude protein in samples of grain fiber with yeast Y-717, an increase of only 3–4% was noted compared with other options. This was associated with a decrease in the concentration of yeast by 72 h of fermentation due to autolysis. Studies on the influence of the initial yeast concentration on the growth of biomass, the fermentation rate and grain fiber indices showed that with an increase in the initial yeast concentration from 15 to 45 million/cm³, the fermentation time reduced to 48 h, the biomass growth at the end of fermentation was 20%, the protein in grain fiber increased by 15%, the content of vitamins B_1, B_2, B_6 and E as well as amino acids increased by 13–17%.*

Conclusion. *According to the results of the studies, the technological possibility of enriching distillery grain fiber with protein, amino acids, and vitamins due to a change in the fermentation process during the processing of grain raw materials to alcohol is shown. In particular, this could be achieved through the use of yeast with a high growth rate, by increasing the concentration of yeast biomass, shortening the fermentation period and preventing yeast autolysis at the maturation stage.*

Keywords: *dietary fiber, distillery grain fiber, yeast biomass, crude protein, amino acids, vitamins*

Пищевые волокна относятся к основным компонентам, необходимым для сбалансированного и здорового питания. Оптимальное поступление пищевых волокон в организм вносит существенный вклад в сохранение здоровья, в том числе за счет способности поддерживать функционирование желудочно-кишечного тракта [1, 2], предупреждать формирование нарушений обмена веществ (избытка массы тела, ожирения, гиперлипидемий) [3, 4], снижать риск сердечно-сосудистых и онкологических заболеваний [5–7].

По данным литературы, для большинства населения дефицит пищевых волокон в суточном рационе составляет до 40–50% рекомендуемого уровня [8–10]. Основные источники пищевых волокон – крупы, цельнозерновой хлеб, овощи, фрукты. Наиболее высокое содержание клетчатки в отрубях зерновых культур.

Как известно, зерно относится к продуктам, все компоненты которого имеют потребительские свойства [11, 12]. Зерновые культуры: кукуруза, пшеница, рожь и др. – основное сырье для производства этилового спирта.

В процессе переработки зерна на спирт практически расходуются только углеводы, представленные в виде крахмала и небольшого количества свободных сахаров. Остальные компоненты (белок, жиры, клетчатка) транзитом переходят в зерновую клетчатку, оставшуюся

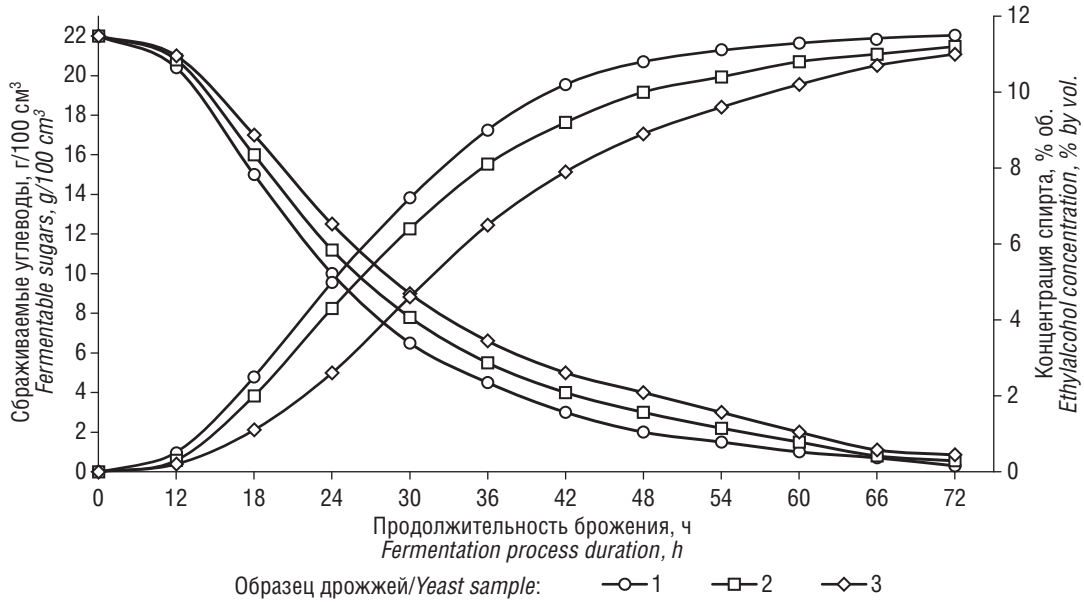


Рис. 1. Динамика накопления спирта и усвоения углеводов различными дрожжами

Fig. 1. *Ethyl alcohol accumulation and carbohydrate consumption dynamics by various yeast*

после отгонки спирта из бражки. Одновременно в процессе спиртового брожения зерновая клетчатка обогащается биомассой дрожжей *Saccharomyces cerevisiae*. Дрожжи являются источником незаменимых аминокислот, витаминов группы В, витаминов Е, РР, D, ферментов, минеральных веществ (кальция, магния, цинка, железа, фосфора, селена) [13–15]. Пивные дрожжи и их экстракты, широко применяемые в качестве биологически активных добавок к пище, способствуют повышению сопротивляемости организма инфекционным заболеваниям, работоспособности, укреплению иммунитета, нормализации артериального давления, а также связыванию и выведению токсинов из организма [16–18].

Ранее был изучен состав зерновой клетчатки спиртового производства в зависимости от вида перерабатываемого зернового сырья [19]. Полученные данные свидетельствуют о ее преимуществе в сравнении с пшеничными отрубями и перспективности применения в качестве источника пищевых волокон.

Однако практический интерес представляет не только изучение качественных показателей зерновой клетчатки, но и разработка технологических методов ее обогащения белком, аминокислотами, витаминами за счет изменения режимов спиртового брожения.

В спиртовом производстве применяются дрожжи, обладающие различными свойствами по термотолерант-

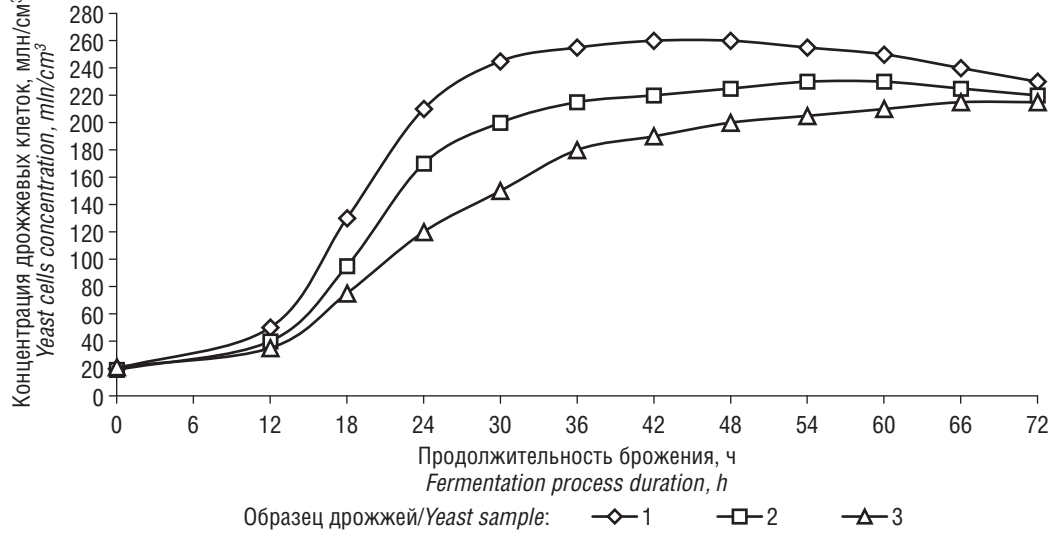


Рис. 2. Изменение концентрации дрожжевых клеток в процессе брожения

Fig. 2. *Yeast cell concentration dynamics during fermentation*

Таблица 1. Содержание белка и сырого протеина в образцах зерновой клетчатки спиртового производства при использовании различных дрожжевых культур (% на а.с.в.)

Table 1. *The content of the true and crude protein in distillery grain fiber samples under using various yeast cultures (% a.d.s.)*

Показатель *Parameter*	**Содержание в образцах зерновой клетчатки спиртового производства** *Content in distillery grain fiber samples*		
	дрожжи 1 *yeast 1*	**дрожжи 2** *yeast 2*	**дрожжи 3** *yeast 3*
Массовая доля сырого протеина *Crude protein mass fraction*	35,5±0,1	34,9±0,2	34,2±0,2
Массовая доля белка по Барнштейну *True protein mass fraction*	34,9±0,2	34,4±0,2	33,7±0,1

ности, спиртоустойчивости, ассимиляции углеводов. Как правило, исследования по применению дрожжей в технологии спиртового производства направлены на ускорение процесса брожения, увеличение выхода спирта, переработку концентрированных сред. Данные о влиянии дрожжевой биомассы на показатели зерновой клетчатки как пищевого ингредиента практически отсутствуют.

Цель работы – исследования по влиянию режимов и условий спиртового брожения на состав зерновой клетчатки спиртового производства.

Материал и методы

В качестве исходного сырья для получения образцов зерновой клетчатки спиртового производства использовали пшеницу. Образцы зерна были получены со спиртового завода ООО «Эталон» (Москва). Для исследований была отобрана средняя проба в количестве 3 кг со следующими показателями: влажность – 12,4%, условная крахмалистость – 56,3%, сорность – 0,5%, массовая доля сырого протеина – 11,8% в пересчете на абсолютно сухое вещество (а.с.в.), массовая доля белка по Барнштейну – 10,9% на а.с.в.

Получение образцов зерновой клетчатки спиртового производства осуществляли в лабораторных условиях по методике постановки бродильных проб. После отгонки спирта из оставшегося жидкого остатка каждой пробы центрифугированием выделяли осадок, который высушивали в сушильном шкафу при температуре 105–110 °С до влажности ниже 10%. Данная методика исключает влияние на качество зерновой клетчатки производственно-технологических факторов.

Параметры процессов переработки зернового сырья по методу бродильной пробы следующие: помол – 95%, схема тепловой обработки – механико-ферментативная при 90 °С, осахаривание – совмещенное с брожением, концентрация сусла – 21,5%, ферментные препараты и их дозировка (л/т условного крахмала): LpHera (термостабильная альфа-амилаза) – 0,25, Viscoferm (ксиланаза) – 0,1, Saczyme Plus 2X (глюкоамилаза) – 0,5. Сбраживание сусла проводили при следующих усло-

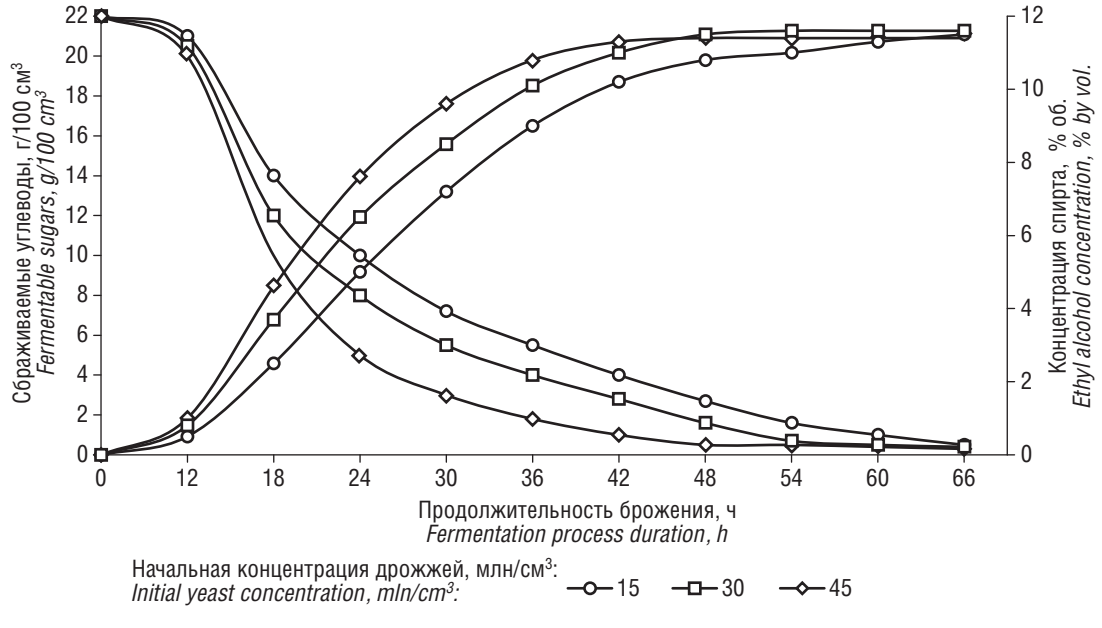


Рис. 3. Динамика показателей процесса брожения в зависимости от начальной концентрации дрожжей

Fig. 3. *Fermentation indicators dynamics depending on initial* yeast concentration

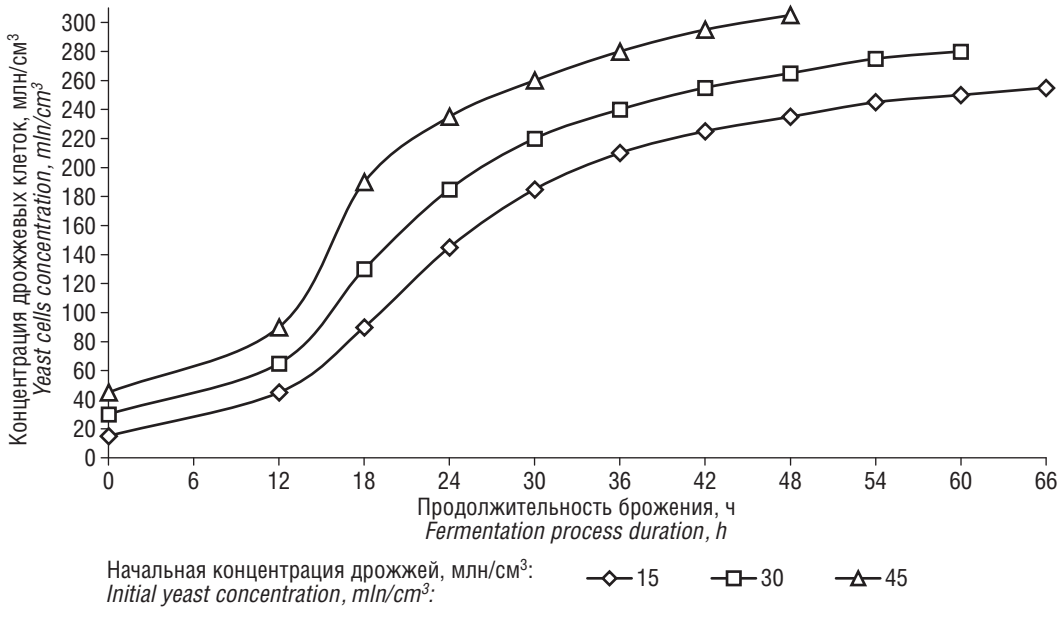


Рис. 4. Динамика изменения концентрации дрожжевых клеток в процессе брожения в зависимости от начальной концентрации дрожжей

Fig. 4. *Yeast cell concentration change during fermentation depending on initial yeast concentration*

виях: температура – 34–36 °С, продолжительность – 48–72 ч; дрожжи *Saccharomyces cerevisiae* (торговые марки): чистая культура Y-717 (из музея микроорганизмов ВНИИПБТ), сухие дрожжи Angel (Angel Yeast Co., Китай) и Fermiol (Oenobrands, Франция).

Анализ полупродуктов спиртового производства (сусло, зрелая бражка, барда) проводили в соответствии с инструкцией по технохимическому и микробиологическому контролю спиртового производства [20]: содержание растворимых сухих веществ в сусле – рефрактометрическим методом, определение массовой концентрации несброженных углеводов, нерастворенного крахмала и декстринов проводили с использованием колориметрического антронового метода, определение pH в растворах – потенциометрически, определение титруемой кислотности зрелой бражки осуществляли титрованием фильтрата исследуемого раствора 0,1н NaOH в присутствии индикатора метилового красного, определение объемной доли этилового спирта проводили денсиметрическим методом, массовую долю сырого протеина и белка по Барнштейну в образцах клетчатки – по методу Кьельдаля, массовую долю золы определяли методом озоления. Контроль роста дрожжевой биомассы осуществляли по концентрации дрожжевых клеток в бражке, подсчет клеток проводили с применением камеры Горяева. Аминокислотный состав полученных образцов пищевой клетчатки спиртового производства определяли методом высокоэффективной жидкостной хроматографии с предварительным гидролизом [21]. Содержание витаминов B_1 (в пересчете на тиамина хлорид), B_2 (рибофлавина), B_6 (в пересчете на пиридоксина гидрохлорид) и витамина Е (суммы токоферолов в пересчете на токоферола ацетат) определяли методом высокоэффективной жидкостной хроматографии [21].

При статистической обработке экспериментальных данных рассчитывали среднее значение определяемой величины не менее чем из 2 повторностей и их среднеквадратичное отклонение. Статистическую значимость различий определяли методом однофакторного дисперсионного анализа с апостериорным критерием Тьюки при $p<0,05$ с использованием программы Statistica 6.0.

Таблица 2. Содержание белка и сырого протеина в образцах зерновой клетчатки спиртового производства в зависимости от начальной концентрации дрожжей (% на а.с.в.)

Table 2. *The content of the true and crude protein in distillery grain fiber samples depending on initial yeast concentration (% a.d.s.)*

Показатель *Parameter*	**Начальная концентрация клеток дрожжей, млн/см³** *Initial yeast concentration, mln/cm³*		
	15	**30**	**45**
Массовая доля сырого протеина *Crude protein mass fraction*	37,2±0,15	39,1±0,17	40,9±0,20
Массовая доля белка по Барнштейну *True protein mass fraction*	36,7±0,12	38,5±0,18	40,3±0,15

Результаты и обсуждение

На первом этапе были проведены исследования по влиянию дрожжей различных производителей на рост биомассы и показатели зерновой клетчатки спиртового производства. В исследовании использовали 3 расы спиртовых дрожжей, применяемых в настоящее время на спиртовых заводах России: чистая культура дрожжей Y-717 (1) и сухие дрожжи Angel (2) и Fermiol (3).

Количество дрожжей, задаваемых в осахаренное сусло, рассчитывали исходя из их начальной концентрации 20 млн/см^3. Продолжительность брожения составила 72 ч. Результаты эксперимента по влиянию дрожжевых культур на показатели брожения и концентрацию клеток представлены на рис. 1, 2.

Результаты эксперимента показывают, что динамика параметров процесса брожения зависит от вида применяемых дрожжей. Наилучшие показатели по накоплению спирта и усвоению сахаров показали дрожжи 1. Причем из рис. 1 следует, что процесс брожения в эксперименте с этими дрожжами фактически завершился к 56–60 ч. При этом объемная доля этилового спирта составила 11,3%об., что на 8,5% больше, чем в варианте с дрожжами 2 и на 16% больше, чем с дрожжами 3. Концентрация остаточных сахаров к этому моменту в варианте с дрожжами 1 составила 0,6 г/100 см^3, а нарастание концентрации спирта в последующие 18 ч – всего 0,2%об. Концентрация дрожжевых клеток на 56 ч брожения в варианте с дрожжами 1 составила 260 млн/см^3, что на 15 и 30% больше, чем в варианте с дрожжами 2 и 3.

Однако к нормативным 72 ч брожения конечные показатели зрелой бражки (остаточные углеводы, концентрация спирта) во всех вариантах эксперимента выровнялись и расхождение в основных показателях составило не более 5%. Аналогичная картина наблюдается и с концентрацией дрожжевых клеток: в результате автолиза на стадии дображивания (56–72 ч) количество клеток в эксперименте с дрожжами 1 снизилось на 12%, до 231 млн/см^3, и приблизилось к концентрации клеток в других вариантах: 220 и 212 млн/см^3 с дрожжами 2 и 3.

Данные о влиянии дрожжевых культур на содержание белка и сырого протеина в образцах зерновой клетчатки спиртового производства представлены в табл. 1.

Данные табл. 1 показывают незначительную разницу (3–4%) содержания белка в образцах клетчатки спиртового производства, что связано с выравниванием количества дрожжевой биомассы к 72 ч брожения.

Из результатов эксперимента следует, что сокращение продолжительности брожения при соблюдении нормативных показателей по выходу спирта может привести к снижению потерь биомассы дрожжей на стадии дображивания и повысить ценность зерновой клетчатки спиртового производства. Этого можно достичь за счет увеличения скорости брожения. Основным фактором, лимитирующим этот показатель, является начальная концентрация дрожжей.

Таблица 3. Аминокислотный состав образцов зерновой клетчатки спиртового производства в зависимости от концентрации клеток дрожжей в зрелой бражке (% на а.с.в.)

Table 3. *Amino acids composition of distillery grain fiber depending on yeast cells concentration in fermented beer (% a.d.s.)*

Аминокислота ***Amino acid***	**Концентрация клеток дрожжей в зрелой бражке, млн/см^3** ***Yeast cells concentration in fermented beer, mln/cm^3***	
	230	**305**
Лизин *Lisine*	1,58±0,07	1,72±0,09
Гистидин *Histidine*	1,37±0,08	1,68±0,10*
Аргинин *Arginine*	1,49±0,10	1,61±0,09
Аспарагиновая кислота *Asparagine acid*	0,99±0,08	1,24±0,07*
Треонин *Threonine*	1,39±0,08	1,45±0,06
Серин *Serine*	1,86±0,04	2,29±0,08*
Глутаминовая кислота *Glutaminik aci0d*	8,02±0,11	9,35±0,09*
Пролин *Proline*	1,55±0,1	1,65±0,04
Глицин *Glycine*	1,79±0,06	2,26±0,011*
Аланин *Alanine*	1,99±0,09	2,09±0,1
Цистин *Cystine*	0,53±0,03	0,71±0,04*
Валин *Valine*	2,40±0,09	2,66±0,09*
Метионин *Methionine*	0,76±0,08	0,76±0,02
Изолейцин *Isoleucine*	2,15±0,1	2,48±0,06*
Лейцин *Leucine*	2,80±0,08	3,12±0,04*
Тирозин *Tyrosine*	1,35±0,08	1,65±0,07*
Фенилаланин *Phenylalanine*	2,19±0,09	2,62±0,08*
Триптофан *Tryptophan*	0,34±0,04	0,29±0,05
Сумма ***Total***	**34,55**	**39,73**

Примечание. Статистически значимое отличие p<0,05.
Note. Statistically significant difference p<0.05.

Процесс брожения начинается с момента смешивания засевных дрожжей с осахаренным субстратом. Поэтому начальная концентрация дрожжей определяется соотношением этих потоков.

Исследования по влиянию начальной концентрации дрожжей на динамику процесса брожения и показатели зерновой клетчатки спиртового производства прово-

Таблица 4. Содержание витаминов в образцах зерновой клетчатки спиртового брожения в зависимости от концентрации клеток дрожжей в зрелой бражке (мг/100 г)

Table 4. *Vitamin content in distillery grain fiber samples depending on yeast cells concentration in fermented beer (mg/100 g)*

Витамин *Vitamin*	**Концентрация клеток дрожжей в зрелой бражке, млн/см³** *Yeast cells concentration in fermented beer, mln/cm³*	
	230	**305**
Витамин B_1 (в пересчете на тиамина хлорид) *Vitamin B_1 (in terms of thiamine chloride)*	0,48±0,08	0,54±0,05
Витамин B_2 (рибофлавин) *Vitamin B_2 (riboflavin)*	1,21±0,07	1,39±0,10*
Витамин B_6 (в пересчете на пиридоксина гидрохлорид) *Vitamin B_6 (in terms of pyridoxine hydrochloride)*	1,04±0,10	1,22±0,12
Витамин Е (сумма токоферолов в пересчете на токоферола ацетат) *Vitamin E (sum of tocopherols in terms of tocopherol acetate)*	20,6±1,1	23,2±1,4*

Примечание. Статистически значимое отличие p<0,05.

Note. Statistically significant difference p<0.05.

дили с дрожжами 1. Дозировку дрожжей рассчитывали по их начальной концентрации: 15, 30 и 45 млн/см³. Результаты эксперимента представлены на рис. 3, 4 и в табл. 2.

Полученные результаты доказывают эффективность повышения начальной концентрации дрожжевых клеток на динамику процесса брожения. Так, продолжительность брожения при концентрации дрожжевых клеток 15 млн/см³ составила 65–66 ч, при 30 млн/см³ – 54–56 ч, при 45 млн/см³ – 46–48 ч. При этом максимальная концентрация дрожжевых клеток в бражках, соответственно, составила 305, 280 и 255 млн в 1 см³.

В отличие от предыдущего эксперимента образцы зерновой клетчатки спиртового производства получали сразу по окончании процесса брожения.

Данные табл. 2 показывают, что количество дрожжевой биомассы в бражке оказывает прямое влияние на показатели сырого протеина и белка по Барнштейну в образцах зерновой клетчатки спиртового производства. По сравнению с образцом зерновой клетчатки из предыдущего эксперимента (см. табл. 1), полученным после 72 ч брожения, прирост белка в зависимости от начальной концентрации дрожжей составил 5–15%.

Содержание аминокислот и витаминов в образцах зерновой клетчатки спиртового производства в зависимости от концентрации дрожжевых клеток в зрелой бражке представлено в табл. 3 и 4.

Данные табл. 3 и 4 свидетельствуют о том, что содержание аминокислот и витаминов в образцах зерновой клетчатки спиртового производства находится в прямой зависимости от концентрации дрожжевых клеток в зрелой бражке и, соответственно, от условий проведения процесса брожения. Так, с увеличением концентрации дрожжевой биомассы с 230 до 305 млн/см³ содержание аминокислот и витаминов в зерновой клетчатке увеличилось в среднем на 13–17%.

Заключение

По результатам проведенных исследований показана технологическая возможность обогащения зерновой клетчатки спиртового производства белком, аминокислотами и витаминами за счет изменения режимов процесса брожения при переработке зернового сырья на спирт. Для достижения требуемого результата в процессе спиртового брожения необходимо использовать дрожжи с высокой скоростью роста, при периодической схеме брожения – обеспечить начальную концентрацию дрожжевых клеток не менее 40–45 млн/см³, что создаст условия для ускоренного роста дрожжевой биомассы и сокращения срока брожения.

Поскольку существуют и другие эффективные способы интенсификации процесса брожения, такие как организация непрерывного головного брожения, рециркуляция бродящего сусла, дрожжегенерация в аэробных условиях, актуально проведение исследований влияния указанных способов на состав зерновой клетчатки спиртового производства.

Сведения об авторах

Абрамова Ирина Михайловна (Irina M. Abramova) – доктор технических наук, директор ВНИИПБТ – филиала ФГБУН «ФИЦ питания и биотехнологии» (Москва, Российская Федерация)
E-mail: i-abramova@mail.ru
https://orcid.org/0000-0001-9297-0554
Бессонов Владимир Владимирович (Vladimir V. Bessonov) – доктор биологических наук, заведующий лабораторией химии пищевых продуктов ФГБУН «ФИЦ питания и биотехнологии» (Москва, Российская Федерация)
E-mail: bessonov@ion.ru
https://orcid.org/0000-0002-3587-5347

Богачук Мария Николаевна (Maria N. Bogachuk) – кандидат фармакологических наук, научный сотрудник лаборатории химии пищевых продуктов ФГБУН «ФИЦ питания и биотехнологии» (Москва, Российская Федерация)
E-mail: bmariyan@mail.ru
https://orcid.org/0000-0002-5820-8336
Кривченко Вера Александровна (Vera A. Krivchenko) – кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник отдела технологии спиртового производства и комплексной переработки сырья ВНИИПБТ – филиала ФГБУН «ФИЦ питания и биотехнологии» (Москва, Российская Федерация)
E-mail: lab78@mail.ru
https://orcid.org/0000-0001-6405-9915
Макаренко Мария Андреевна (Mariya M. Makarenko) – младший научный сотрудник лаборатории химии пищевых продуктов ФГБУН «ФИЦ питания и биотехнологии» (Москва, Российская Федерация)
E-mail: dragon.soul1992@ya.ru
https://orcid.org/0000-0003-1688-6304
Сокуренко Мария Сергеевна (Mariya S. Sokurenko) – младший научный сотрудник лаборатории химии пищевых продуктов ФГБУН «ФИЦ питания и биотехнологии» (Москва, Российская Федерация)
E-mail: sokmary@mail.ru
https://orcid.org/0000-0002-6416-7091
Соловьев Александр Олегович (Aleksandr O. Solovyov) – младший научный сотрудник отдела технологии спиртового производства и комплексной переработки сырья ВНИИПБТ – филиала ФГБУН «ФИЦ питания и биотехнологии» (Москва, Российская Федерация)
E-mail: solovey90@list.ru
orcid https://orcid.org/0000-0003-2666-6890
Туршатов Михаил Владимирович (Mikhail V. Turshatov) – кандидат технических наук, заведующий лабораторией технологии спиртового производства ВНИИПБТ – филиала ФГБУН «ФИЦ питания и биотехнологии» (Москва, Российская Федерация)
E-mail: lab78@mail.ru
https://orcid.org/0000-0003-1277-5498
Шевякова Людмила Владимировна (Lyudmila V. Shevyakova) – кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории химии пищевых продуктов ФГБУН «ФИЦ питания и биотехнологии» (Москва, Российская Федерация)
E-mail: 89035447986@yandex.ru
https://orcid.org/0000-0002-7447-8520

Литература

1. Пырьева Е.А., Сафронова А.И. Роль и место пищевых волокон в структуре питания населения // Вопросы питания. 2019. Т. 88, № 6. С. 5–11. DOI: https://doi.org/10.24411/0042-8833-2019-10059
2. So D., Whelan K., Rossi M., Morrison M., Holtmann G., Kelly J.T. et al. Dietary fiber intervention on gut microbiota composition in healthy adults: a systematic review and meta-analysis // Am. J. Clin. Nutr. 2018. Vol. 107, N 6. P. 965–983. DOI: https://doi.org/10.1093/ajcn/ nqy041
3. Gibson R., Eriksen R., Chambers E., Gao H., Aresu M., Heard A. et al. Intakes and food sources of dietary fibre and their associations with measures of body composition and inflammation in UK adults: cross-sectional analysis of the airwave health monitoring study // Nutrients. 2019. Vol. 11, N 8. Article ID E1839. DOI: https://doi.org/10.3390/nu110818393
4. Davison K.M., Temple N.J. Cereal fiber, fruit fiber, and type 2 diabetes: explaining the paradox // J. Diabetes Complications. 2018. Vol. 32, N 2. P. 240–245. DOI: https://doi.org/10.1016/j.jdiacomp.2017.11.002
5. Ардатская М.Д. Клиническое применение пищевых волокон : методическое пособие. Москва : 4ТЕ Арт, 2010. 48 с.
6. Jonsson K., Andersson R., Bach Knudsen K.E., Hallmans G., Hanhineva K., Katina K. et al. Rye and health – where do we stand and where do we go? // Trends Food Sci. Technol. 2018. Vol. 79. P. 78–87. DOI: https://doi.org/10.1016/j.tifs.2018.06.018
7. Soliman G.A. Dietary fiber, atherosclerosis, and cardiovascular disease // Nutrients. 2019. Vol. 11, N 5. Article ID 1155. DOI: https://doi.org/10.3390/nu11051155
8. O'Keefe S.J. The association between dietary fibre deficiency and high-income lifestyle-associated diseases: Burkitt's hypothesis revisited // Lancet Gastroenterol. Hepatol. 2019. Vol. 4, N 12. P. 984–996. DOI: https://doi.org/10.1016/S2468-1253(19)30257-2
9. Кобелькова И.В., Мартинчик А.Н., Кудрявцева К.В., Батурин А.К. Режим питания в сохранении здоровья работающего населения // Вопросы питания. 2017. Т. 86, № 5. С. 17–21. DOI: https://doi.org/10.24411/0042-8833-2017-00071
10. Тутельян В.А., Никитюк Д.Б., Буряк Д.А., Акользина С.Е., Батурин А.К., Погожева А.В. и др. Атлас: Качество жизни. Здоровье и питание. Москва : Медицина, 2018. 696 с.
11. Химический состав российских пищевых продуктов : справочник / под ред. И.М. Скурихина, В.А. Тутельяна. Москва : ДеЛи принт, 2002. 236 с.
12. Composition of Foods Raw, Processed, Prepared / USDA National Nutrient Database for Standard Reference. Maryland : U.S. Department of Agriculture, 2019.
13. Puligundla P., Mok C., Park S. Advances in the valorization of spent brewer's yeast // Innov. Food Sci. Emerg. Technol. 2020. Vol. 62. Article ID 102350. DOI: https://doi.org/10.1016/j.ifset.2020.102350
14. Jach M.E., Serefko A., Sajnaga E., Kozak E., Poleszak E., Malm A. Dietary supplements based on the yeast biomass // Curr. Top. Nutr. Res. 2015. Vol. 13, N 2. P. 83–88.
15. Diet, Microbiome and Health / eds A.M. Holban, A.M. Grumezescu. 2018. 526 p. DOI: https://doi.org/10.1016/C2016-0-00475-8
16. Amorim M., Marques C., Pereira J.O., Guardão L., Martins M.J., Osório H. et al. Antihypertensive effect of spent brewer yeast pep-

tide // Process. Biochem. 2019. Vol. 76. P. 213–218. DOI: https://doi.org/10.1016/j.procbio.2018.10.004
17. Campagnollo F.B., Khaneghah A.M., Borges L.L., Bonatob M.A., Fakhri Y., Barbalhob C.B. et al. In vitro and in vivo capacity of yeast-based products to bind to aflatoxins B1 and M1 in media and foodstuffs: a systematic review and meta-analysis // Food Res. Int. 2020. Vol. 137. Article ID 109505. DOI: https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109505
18. Williams R., Dias D.A., Jayasinghe N., Roessner U., Bennett L.E. Beta-glucan-depleted, glycopeptide-rich extracts from Brewer's and Baker's yeast (Saccharomyces cerevisiae) lower interferon-gamma production by stimulated human blood cells in vitro // Food Chem. 2016. Vol. 197, pt A. P. 761–768. DOI: https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.11.015
19. Бессонов В.В., Богачук М.Н., Макаренко М.А., Сокуренко М.С., Шевякова Л.В., Абрамова И.М. и др. Исследование биохимического состава зерновой клетчатки спиртового производства // Пищевая промышленность. 2020. № 2. С. 12–15. DOI: https://doi.org/10.24411/0235-2486-2020-10014
20. Инструкция по технохимическому и микробиологическому контролю спиртового производства. 7-е изд., перераб и доп. / под ред. В.А. Полякова, И.М. Абрамовой, Г.В. Полыгалиной, Л.В. Римаревой, Г.Т. Корчагиной, Е.Н. Пискаревой. Москва : ДеЛи принт, 2007. 480 с.
21. Р 4.1.1672-03 Руководство по методам контроля качества и безопасности биологически активных добавок к пище. Москва: Федеральный центр госэпиднадзора Минздрава России, 2004. 240 с.

References

1. Pyr'eva E.A., Safronova A.I. The role and place of dietary fiber in the nutritional structure of the population. Voprosy pitaniia [Problems of Nutrition]. 2019; 88 (6): 5–11. DOI: https://doi.org/10.24411/0042-8833-2019-10059 (in Russian)
2. So D., Whelan K., Rossi M., Morrison M., Holtmann G., Kelly J.T., et al. Dietary fiber intervention on gut microbiota composition in healthy adults: a systematic review and meta-analysis. Am J Clin Nutr. 2018; 107 (6): 965–83. DOI: https://doi.org/10.1093/ajcn/nqy041
3. Gibson R., Eriksen R., Chambers E., Gao H., Aresu M., Heard A., et al. Intakes and food sources of dietary fibre and their associations with measures of body composition and inflammation in UK adults: cross-sectional analysis of the airwave health monitoring study. Nutrients. 2019; 11 (8): E1839. DOI: https://doi.org/10.3390/nu110818393
4. Davison K.M., Temple N.J. Cereal fiber, fruit fiber, and type 2 diabetes: explaining the paradox. J Diabetes Complications. 2018; 32 (2): 240–5. DOI: https://doi.org/10.1016/j.jdiacomp.2017.11.002
5. Ardatskaya M.D. Clinical use of dietary fiber: Methodological manual. Moscow: 4TE Art, 2010: 48 p. (in Russian)
6. Jonsson K., Andersson R., Bach Knudsen K.E., Hallmans G., Hanhineva K., Katina K., et al. Rye and health – where do we stand and where do we go? Trends Food Sci Technol. 2018; 79: 78–87. DOI: https://doi.org/10.1016/j.tifs.2018.06.018
7. Soliman G.A. Dietary fiber, atherosclerosis, and cardiovascular disease. Nutrients. 2019; 11 (5): 1155. DOI: https://doi.org/10.3390/nu11051155
8. O'Keefe S.J. The association between dietary fibre deficiency and high-income lifestyle-associated diseases: Burkitt's hypothesis revisited. Lancet Gastroenterol Hepatol. 2019; 4 (12): 984–96. DOI: https://doi.org/10.1016/S2468-1253(19)30257-2
9. Kobel'kova I.V., Martinchik A.N., Kudryavtseva K.V., Baturin A.K. Diet in maintaining the health of the working population. Voprosy pitaniia [Problems of Nutrition]. 2017; 86 (5): 17–21. DOI: https://doi.org/10.24411/0042-8833-2017-00071 (in Russian)
10. Tutelyan V.A., Nikityuk D.B., Buryak D.A., Akol'zina S.E., Baturin A.K., Pogozheva A.V., et al. Atlas: Quality of Life. Health and Nutrition. Moscow: Meditsina, 2018: 696 p. (in Russian)
11. Skurikhin I.M., Tutelyan V.A. (eds) The Chemical Composition of Russian Food Products: A handbook. Moscow: DeLi print, 2002: 236 p. (in Russian)
12. Composition of Foods Raw, Processed, Prepared. USDA National Nutrient Database for Standard Reference. Maryland: U.S. Department of Agriculture, 2019.
13. Puligundla P., Mok C., Park S. Advances in the valorization of spent brewer's yeast. Innov Food Sci Emerg Technol. 2020; 62: 102350. DOI: https://doi.org/10.1016/j.ifset.2020.102350
14. Jach M.E., Serefko A., Sajnaga E., Kozak E., Poleszak E., Malm A. Dietary supplements based on the yeast biomass. Curr Top Nutr Res. 2015; 13 (2): 83–8.
15. Holban A.M., Grumezescu A.M. (eds) Diet, Microbiome and Health. 2018: 526 p. DOI: https://doi.org/10.1016/C2016-0-00475-8
16. Amorim M., Marques C., Pereira J.O., Guardão L., Martins M.J., Osório H., et al. Antihypertensive effect of spent brewer yeast peptide. Process Biochem. 2019; 76: 213–8. DOI: https://doi.org/10.1016/j.procbio.2018.10.004
17. Campagnollo F.B., Khaneghah A.M., Borges L.L., Bonatob M.A., Fakhri Y., Barbalhob C.B., et al. In vitro and in vivo capacity of yeast-based products to bind to aflatoxins B1 and M1 in media and foodstuffs: a systematic review and meta-analysis. Food Res Int. 2020; 137: 109505. DOI: https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109505
18. Williams R., Dias D.A., Jayasinghe N., Roessner U., Bennett L.E. Beta-glucan-depleted, glycopeptide-rich extracts from Brewer's and Baker's yeast (Saccharomyces cerevisiae) lower interferon-gamma production by stimulated human blood cells in vitro. Food Chem. 2016; 197 (A): 761–8. DOI: https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.11.015
19. Bessonov V.V., Bogachuk M.N., Makarenko M.A., Sokurenko M.S., Shevyakova L.V., Abramova I.M., et al. Study of the biochemical composition of grain fiber alcohol production. Pishchevaya promyshlennost'. 2020; (2): 12–5. DOI: https://doi.org/10.24411/0235-2486-2020-10014 (in Russian)
20. Polyakov V.A., Abramova I.M., Polygalina G.V., Rimareva L.V., Korchagina G.T., Piskareva E.N. (eds) Instructions for Technological and Microbiological Control of Alcohol Production. 7th ed. rev. and add. Moscow: DeLi print, 2007: 480 p. (in Russian)
21. R 4.1.1672-03 Guidance on Methods for Monitoring the Quality and Safety of Dietary Supplements. Moscow Federal Center for State Epidemiological Surveillance of the Ministry of Health of Russia, 2004: 240 p. (in Russian)