

Хранение и переработка

УДК 663.53

DOI 10.31857/S2500262725030116 EDN FESNDL

ВЛИЯНИЕ УСЛОВИЙ ПРИГОТОВЛЕНИЯ СУСЛА ИЗ ЗЕРНА ПШЕНИЦЫ И ЖМЫХА ЧЕРНОЙ СМОРОДИНЫ НА ПРОЦЕССЫ МЕТАБОЛИЗМА ДРОЖЖЕЙ И СПИРТОВОГО БРОЖЕНИЯ

© 2025 г. **Е. М. Серба**, доктор биологических наук, член-корреспондент РАН, **Е. Р. Крючкова**, аспирант, **Л. В. Римарева**, доктор технических наук, академик РАН, **Н. И. Игнатова**, **М. Б. Оверченко**, кандидат технических наук, **Е. Н. Соколова**, кандидат биологических наук

Всероссийский научно-исследовательский институт пищевой биотехнологии –
филиал Федерального исследовательского центра питания, биотехнологии и безопасности пищи,
111033, Москва, Самокатная ул., 4б
E-mail: serbae@mail.ru

Актуальность исследования обусловлена необходимостью расширения ассортимента конкурентоспособных спиртных напитков, обладающих оригинальными органолептическими свойствами и обеспечивающих эффективное импортозамещение. Полученные ранее результаты по применению жмыха черной смородины в технологии приготовления зерно-фруктового сусла выявили сложности совместной переработки сырьевых составляющих и показали необходимость их раздельной подготовки с последующим соединением на стадии осахаривания и протеолиза. Практически отсутствуют данные о влиянии особенностей биохимического состава зерно-фруктового сусла на рост и метаболизм дрожжевых клеток. Цель исследований состояла в разработке условий совместной переработки зерна пшеницы и жмыха черной смородины для получения сусла, обеспечивающего повышение эффективности процессов генерации дрожжей, синтеза этанола и летучих метаболитов. Предварительная подготовка жмыха для достижения поставленной цели предусматривала обработку ферментами ксиланолитического действия с последующей пастеризацией и подщелачиванием до pH 4,5. Использование ферментированного жмыха (pH 4,5) при совместном приготовлении сырьевых компонентов пшенично-черносмородинового сусла способствовало снижению его вязкости в 1,7 раза, увеличению концентрации растворимых углеводов с 22,0 до 25,1 %, повышению содержания фенольных веществ практически в 2 раза. Особенности состава пшенично-черносмородинового сусла оказали положительное воздействие на процессы метаболизма дрожжей и спиртового брожения, что привело к увеличению выхода спирта на 22...27 %, снижению уровня образования вторичных метаболитов на 10...17 %, в основном благодаря снижению синтеза высших спиртов. Одновременно возросла концентрация сложных эфиров (на 29...38 %), которые могут влиять на появление оригинальных оттенков в аромате и вкусе дистиллятов. Разработана принципиальная схема комплексной переработки зерна пшеницы и черносмородинового жмыха в технологии зерно-фруктовых дистиллятов с оригинальными свойствами.

INFLUENCE OF CONDITIONS OF PREPARATION OF WHEAT GRAIN WORT AND BLACKCURRANT CAKE ON YEAST METABOLISM AND ALCOHOLIC FERMENTATION PROCESSES

E. M. Serba, E. R. Kryuchkova, L. V. Rimareva, N. I. Ignatova, M. B. Overchenko, E. N. Sokolova

The All-Russian Research Institute of Food Biotechnology,
Branch of the Federal Research Center for Nutrition, Biotechnology and Food Safety,
111033, Moscow, Samokatnaya ul., 4b
E-mail: serbae@mail.ru

The relevance of the study is due to the need to expand the range of competitive alcoholic beverages with original organoleptic properties and ensuring effective import substitution. The previously obtained results on the use of blackcurrant cake in the technology of grain and fruit wort preparation revealed the difficulties of joint processing of raw materials and showed the need for their separate preparation followed by their combination at the stage of saccharification and proteolysis. There is practically no data on the effect of the biochemical composition of grain and fruit wort on the growth and metabolism of yeast cells. The purpose of these studies was to develop conditions for the joint processing of wheat grain and blackcurrant cake to produce a wort that improves the efficiency of yeast generation, ethanol synthesis, and volatile metabolites. blackcurrant cake, a secondary resource of juice production, was used as an unconventional raw material. The conditions for the preliminary preparation of the cake have been developed, including treatment with xylanolytic enzymes followed by pasteurization and alkalization to pH 4.5. The use of fermented cake (pH 4.5) in the joint preparation of the raw materials of wheat and blackcurrant wort had a positive effect on its performance: the viscosity decreased by 1.7 times, the concentration of soluble carbohydrates increased from 22.0 to 25.1 %, phenolic substances – almost 2 times. The peculiarities of the composition of wheat-blackcurrant wort had a positive effect on the processes of yeast metabolism and alcoholic fermentation, which led to an increase in alcohol yield by 22...27 %, a decrease in the formation of secondary metabolites by 10...17 %, mainly due to a decrease in the synthesis of higher alcohols. At the same time, the concentration of esters increased (by 29...38 %), which can affect the appearance of original shades in the aroma and taste of distillates. A schematic diagram of the complex processing of wheat and blackcurrant cake in the technology of grain-fruit distillates with original properties has been developed.

Ключевые слова: пшеница, жмых черной смородины, ферментация, зерно-фруктовое сусло, дрожжи, брожение, метаболиты.

Keywords: wheat, blackcurrant cake, fermentation, grain-fruit mash, yeast, fermentation, metabolites.

Анализ научных публикаций о биохимическом составе ягод черной смородины и применяемых технологиях их переработки свидетельствует о широкой востребованности этого вида сырья в пищевой промышленности при производстве соков, морсов, сиропов, кондитерских и ликероводочных изделий [1, 2, 3]. Авторы указывают, что использование черносмородинового сырья придает целевой продукции функциональные свойства [3, 4, 5] и приятные сенсорные характеристики [6, 7, 8], но сопровождается образованием значительного количества вторичного продукта в виде жмыха [9, 10, 11]. Результаты многочисленных исследований подтверждают целесообразность комплексного использования черносмородинового сырья как источника биологически активных соединений [12, 13], а также жмыха – вторичного ресурса, в котором после переработки ягод на сок остаются неэкстрагируемые фенольные соединения, присоединенные к полисахаридам клеточных стенок и белкам [3, 11, 14]. Однако исследований о биотехнологическом потенциале черносмородинового жмыха проведено явно недостаточно. В основном авторы отмечают, что выжимки ягод как источники пищевых волокон, фенольных соединений и органических кислот в технологическом отношении могут служить функциональным ингредиентом, способствующим повышению антиоксидантных и антимикробных свойств целевой продукции, а также обладающим влагоудерживающей способностью [3, 14, 15]. Приведенные в публикациях данные свидетельствуют о том, что лучше всего исследована возможность использования жмыха ягод черной смородины в производстве спредов [16], крекеров [17], печенья [3, 10], снеков [18], в составе маринадов [19] для улучшения вкуса и повышения хранимоспособности пищевой продукции.

В результате последних исследований подтверждена перспективность использования ягод черной смородины и вторичных продуктов их переработки, содержащих цвето-, вкусо- и ароматобразующие соединения, в бродильных производствах для изготовления оригинальных напитков [8, 20, 21]. Наличие пищевых и биологически активных веществ в фруктовом сырье позволяет обогатить сусло не только дополнительным количеством растворимых углеводов и азотистых веществ, но и различными фенольными соединениями, которые могут придавать напиткам брожения интересные сенсорные характеристики [8, 11]. Приведенные в ряде публикаций данные свидетельствуют о том, что алкогольные напитки, приготовленные из черносмородинового сырья и ферментированные дрожжами, обладали ярко выраженным ароматом черной смородины [7, 8, 22]. При этом авторы отмечали высокое содержание в перерабатываемом сырье органических кислот, что приводило к усилению кислотности сусла.

Результаты последних исследований по использованию жмыха черной смородины и пшеничного сырья в технологии приготовления зерно-фруктового сусла выявили сложности совместной переработки сырьевых компонентов, связанные с высокой кислотностью, а также повышенным содержанием клетчатки и пектиновых веществ в жмыхе [8, 11, 22]. Особенно негативно его введение в состав ингредиентов сказывалось на реологических свойствах сусла, вязкость которого повышалась в 2...3 раза, по сравнению с аналогичными показателями в пшеничном сусле. Повышение дозировки ксиланазы в процессе приготовления замеса позволило несколько снизить динамическую вязкость зерно-фруктового сусла, но достичь показателей пшеничного сусла не удалось [11]. В результате было сделано заключение о преимуществе раздельного способа приготовления сырьевых

составляющих сусла: пшеничного замеса и ферментированного жмыха с последующими их соединением на стадии осахаривания и протеолиза. Однако сложность и повышенная трудоемкость автономных процессов приготовления зерно-фруктового сусла стали причиной необходимости дальнейшей оптимизации технологического процесса.

Цель исследований – разработка условий совместной переработки зерна пшеницы и жмыха черной смородины для получения сусла, обеспечивающего повышение эффективности процессов генерации дрожжей, синтеза этанола и летучих метаболитов.

Методика. Объекты исследований – жмых черной смородины, полученный после ферментативной обработки ягодного сырья пектолитическими и протеолитическими ферментами и отделения сока [11]; зерно пшеницы, измельченное до размера частиц 40...120 мкм на мультифункциональной дробилке Вилитек VLM-6 (ООО «Вилитек», Россия); ферментные препараты (ФП) – источники термостабильной α -амилазы (Неозим AA 180, Hunan Hong Ying Xiang Biochemistry Industry Co., LTD, КНР) и глюкоамилазы (Биозим 800L, Shandong Longda Bio-products, КНР) – для декстринизации и осахаривания крахмала зерна; ксиланазы (Висколаза 150L, Shandong Longda Bio-products, КНР) – для деструкции некрахмальных полисахаридов; комплекса протеаз (КФП, ВНИИПБТ, РФ) – для гидролиза белковых веществ; спиртовые дрожжи *Saccharomyces cerevisiae* расы 985-T [11] (табл. 1).

Табл. 1. Биокаталитическая активность ферментных препаратов и их дозировка

Наименование ФП	Ферментативная активность (ФС)	Уровень активности в ФП, ед. ФС/г (см ³)	Дозировка ФП, ед./г сырья, при гидромодуле сусла	
			1:3	1:2
Неозим AA 180	амилолитическая (АС)	1870,0±85,0*	0,3	0,5
Биозим 800L	глюкоамилазная (ГЛС)	13000,0±550,0*	4,0	7,5
Висколаза 150L	ксиланазная (КС)	6500,0±280,0*	0,3**	0,5**
КФП	протеолитическая (ПС)	650,0±31,0*	0,3	0,7

*значения представлены в виде средняя ± стандартное отклонение.

**для приготовления пшеничного сусла (гидромодуль 1:3 и 1:2) дозировки ксиланазы снижали до 0,15 и 0,25 ед. КС/г соответственно.

Ферментативную активность ФП определяли согласно существующим стандартизированным методикам [11]. Приготовление пшеничного и пшенично-черносмородинового сусла осуществляли по схеме ферментативно-гидролитической обработки сырья [11], дозируя ферменты с учетом их биокаталитической активности в используемых ФП (табл. 1). При повышении концентрации сусла дозировки ферментов увеличивали. На стадии приготовления пшеничного замеса для разжижения некрахмальных полисахаридов дозировку ксиланазы снижали, по сравнению с пшенично-черносмородиновым замесом, до 0,15...0,25 ед. КС/г сырья.

Приготовление зерно-фруктового сусла осуществляли двумя способами: 1 – совместной гидродинамической и ферментативной обработкой зерна пшеницы и жмыха черной смородины на всех этапах от стадии замеса, на которой проходило разжижение и декстринизация крахмала, до стадии осахаривания и протеолиза; 2 – раздельной подготовкой пшеницы и жмыха черной смородины, при этом соединение пшеничного замеса

с ферментированным черносмородиновым жмыхом происходило на стадии осахаривания и протеолиза [11].

Биокаталитическую конверсию полимеров зернового и зерно-фруктового сырья осуществляли в колбах Эрленмейера объемом 750 см³, содержащих измельченное зерно пшеницы, жмых и воду (гидромодуль 1:3 или 1:2 в зависимости от условий эксперимента), помещенных в водяную баню ПЭ-4300 («Экрос», Россия). В зерновой или зерно-фруктовый замес добавляли термостабильную α -амилазу и ксиланазу, выдерживали при температуре 60...65 °С в течение 30 мин. для разжижения. В дальнейшем температуру замеса повышали до 86...92 °С и выдерживали в течение 180...240 мин. при периодическом перемешивании. На следующей стадии содержимое колб охлаждали до 58...60 °С, добавляли глюкоамилазу и протеазы, инкубировали в течение 60 мин. для осахаривания частично расщепленного крахмала и гидролиза белковых веществ сусла (протеолиза). Во всех опытных вариантах сусла соотношение пшеницы и ферментированного жмыха черной смородины составляло 70:30. В контроле использовали только пшеничное сусло.

Процесс сбраживания сусла проводили в одинаковых условиях: при температуре 30 °С длительностью 70 ч. Для сбраживания использовали водную суспензию клеток дрожжей *S. cerevisiae* 985-Т, которую вносили в зерновое сусло из расчета 10 млн клеток/см³.

Содержание растворимых сухих веществ (РСВ) анализировали на рефрактометре Rochet PAL-S, ATAGO (Япония); аминного азота – методом йодометрического титрования [23]; общих (ОРВ) и растворимых редуцирующих веществ (РВ) – колориметрическим методом [24]; фенольных веществ – спектрофотометрическим методом [25]; pH – на ионметре Mettler-Toledo SevenCompactTM (Швейцария); вязкость сусла измеряли на вискозиметре SV-10 (Япония). Состав и содержание летучих метаболитов, синтезируемых дрожжами, тестировали с использованием газового хроматографа серии HP Agilent 6890 (США). Концентрацию этанола в бражке определяли на анализаторе относительной плотности спирта Densimat-Alcomat 2 (Gibertini, Италия).

Статистическую обработку экспериментальных данных, полученных не менее чем в 3 повторностях, осуществляли методом однофакторного дисперсионного анализа с апостериорным критерием Тьюки при $p < 0,05$ с использованием программы Statistica 6.0.

Результаты и обсуждение. Для проведения исследований по применению жмыха черной смородины как нетрадиционного сырьевого компонента в составе зерно-фруктового сусла осуществили его предварительную обработку с использованием источника ксиланазы (0,3 ед. КС/г сырья) и пастеризацией при температуре 75...80 °С в течение 30 мин. Полученный ферментированный жмых характеризовался более высоким содержанием аминного азота и редуцирующих углеводов, ассимилируемых дрожжами, а также

Табл. 2. Биохимический состав жмыха ягод черной смородины*

Жмых черной смородины	Аминный азот, мг%	Редуцирующие вещества, %		Фенольные вещества, мг%	pH
		общие	растворимые		
Исходный	310,0±14,2	9,2±0,3 ^a	6,4±0,2	9240±405,0 ^a	2,9 ^a
После ферментации	407,8±16,1	9,1±0,3 ^a	7,9±0,2	9793±440,0 ^a	2,9 ^a

*значения представлены в виде средних ± стандартное отклонение; различия величин в столбцах, отмеченных одинаковыми буквенными индексами, статистически не значимы при $p < 0,05$.

фенольных веществ, которые могут участвовать в формировании сенсорных показателей зерно-фруктовых дистиллятов (табл. 2).

Введение в состав сырьевых компонентов сусла черносмородинового жмыха (pH 2,9) привело к снижению pH замеса до 4,1 (табл. 3), что отрицательно сказалось на результатах каталитического действия разжижающих ферментов, оптимальная активность которых проявляется при значениях pH ≥ 5,0. Вязкость пшенично-черносмородинового сусла с концентрацией растворимых сухих веществ 28,0% увеличилась, по сравнению с пшеничным суслом, в 1,6 раза, 19,0% – в 1,4 раза. Поэтому на стадии предварительной обработки жмыха черной смородины был включен дополнительный этап – подщелачивание 3N раствором NaOH до pH 4,5.

С использованием ферментированного жмыха со значением pH 4,5 биохимические и физико-химические показатели пшенично-черносмородинового сусла, приготовленного путем совместной обработки сырьевых ингредиентов, несколько улучшились, особенно реологические свойства концентрированного сусла. Так, вязкость зерно-фруктового сусла с концентрацией РСВ 28,9% (гидромодуль 1:2) снизилась в 1,7 раза (с 67,5 до 39,9 мПа·с) и практически соответствовала величине этого показателя у пшеничного сусла; концентрация растворимых углеводов увеличилась на 3,1% (с 22,0 до 25,1%). Аналогичная закономерность выявлена и в образцах сусла с гидромодулем 1:3 (см. табл. 3).

Результаты сравнительных исследований процессов генерации дрожжей *S. cerevisiae* 985-Т и спиртового брожения подтвердили целесообразность предварительного подщелачивания черносмородинового жмыха, способствующего получению сусла и бражки с улучшенными показателями, особенно при сбраживании сусла с концентрацией растворимых сухих веществ 20% (гидромодуль 1:3). Повышение содержания растворимых углеводов и аминного азота, хорошие реологические свойства сусла способствовали интенсификации процессов генерации дрожжей и более эффективному сбраживанию. Количество клеток увеличилось в 1,3 раза, по сравнению с контрольным вариантом на пшеничном сусле (табл. 4). При этом была получена бражка практически с нормативными показателями: концентрация этанола – 11,0% об., выход спирта со 100 г сырья – 36,9 г, ранее подобных показателей достичь не удавалось [11]. Разработанные

Табл. 3. Биохимический состав пшенично-черносмородинового сусла

pH жмыха	PCB сусла, %	pH		РВ, %	ОРВ, %	Вязкость, мПа·с	Аминный азот, мг%	Фенольные вещества, мг/дм³
		замеса	сусла					
Гидромодуль 1:2								
Контроль	29,3±1,5 ^a	5,5	5,2	26,3±1,3 ^a	27,2±1,3 ^a	41,6±2,1 ^a	44,1±2,2 ^a	620,5±31,0 ^a
2,9	28,0±1,4 ^a	4,1	4,0	22,0±1,1 ^b	23,5±1,2 ^b	67,5±3,4 ^b	84,3±4,2 ^b	1194,0±55,0 ^b
4,5	28,9±1,4 ^a	5,1	4,7	25,1±1,2 ^a	26,2±1,2 ^a	39,9 ±3,8 ^a	83,7±4,1 ^b	1152,8±54,5 ^b
Гидромодуль 1:3								
Контроль	21,8±1,1 ^b	5,5	5,3	17,4±0,9 ^c	18,4±0,9 ^c	11,3±0,6 ^c	14,7±0,7 ^c	435,0±21,8 ^c
2,9	19,0±0,9 ^b	4,1	4,0	11,3±0,5 ^d	13,7±0,6 ^d	15,2±0,8 ^d	48,9±2,4 ^d	876,0±43,5 ^d
4,5	20,4±1,0 ^b	5,2	4,8	16,0±0,8 ^c	16,8±0,7 ^c	10,3±0,5 ^c	49,0±2,4 ^d	953,0±47,7 ^d

*значения представлены в виде средних ± стандартное отклонение; различия между величинами в столбцах, отмеченными одинаковыми буквенными индексами, статистически не значимы при $p < 0,05$.

Табл. 4. Влияние рН жмыха, используемого в составе сусла, на показатели бражки

рН жмыха	Дрожжи, млн/см ³	Показатели бражки					Выход спирта, г/100 г сырья	
		Фенольные вещества, мг/дм ³	рН	СО ₂ , г	Остаточные углеводы, %			Спирт, % об.
					ОРВ	РВ		
Гидромодуль 1:2								
Контроль	109±5,1	642,1±29,0 ^a	5,1±0,2 ^a	18,2±0,9 ^a	0,48±0,02	0,31±0,02	14,4±0,7 ^a	36,5±1,8 ^a
2,9	129±6,1	1251,0±52,0 ^b	4,1±0,1 ^b	15,1±0,7 ^{bc}	0,70±0,03	0,61±0,03	12,0±0,6 ^{bc}	28,2±1,4 ^b
4,5	165±8,2	1178,1±63,0 ^b	4,5±0,1 ^b	16,2±0,8 ^{ab}	0,59±0,02	0,49±0,02	13,3±0,6 ^{ab}	34,5±1,7 ^a
Гидромодуль 1:3								
Контроль	108±5,5	617,0±30,0 ^a	5,0±0,2 ^a	16,5±0,8 ^{ab}	0,34±0,02	0,22±0,01	11,1±0,5 ^{cd}	37,2±1,8 ^a
2,9	130±6,4 ^a	1115,1±61,0 ^b	4,1±0,1 ^b	12,0±0,5	0,51±0,03	0,41±0,02	10,0±0,4 ^d	29,0±1,4 ^b
4,5	142±7,0 ^a	1158,0±65,0 ^b	4,4±0,1 ^b	14,9±0,7 ^c	0,40±0,02	0,27±0,01	11,0±0,5 ^{cd}	36,9±1,7 ^a

*значения представлены в виде средних ± стандартное отклонение; различия между величинами в столбцах, отмеченными одинаковыми буквенными индексами, статистически не значимы при $p < 0,05$.

условия подготовки жмыха черной смородины позволили увеличить выход спирта на 22...27% в зависимости от концентрации сусла (табл. 4).

Следует отметить, что разработанный способ совместного приготовления зерно-фруктового сусла с использованием предварительно подщелоченного и ферментированного жмыха позволяет также реализовать возможность получения концентрированного сусла, что подтвердили технологические показатели пшенично-черносмородинового сусла (вязкость – 39,9 мПас, РВ – 25,1%) и бражки (РВ – 0,49%, спирт – 13,3% об.) (см. табл. 3 и 4). Повышение концентрации сусла будет способствовать не только увеличению производительности и рентабельности производства, но и позволит снизить образование технологических отходов в виде после спиртовой барды.

Кроме того, включение в состав сырьевых компонентов жмыха ягод черной смородины привело к повышению концентрации фенольных веществ, влияющих на формирование оригинальных сенсорных характеристик целевой продукции [7, 22]. Содержание полифенолов в опытных вариантах зерно-фруктового сусла и бражки увеличилось в 1,8...2,2 раза, по сравнению с контрольными вариантами пшеничного сусла (см. табл. 3, 4).

Как известно, летучие компоненты, образующиеся в дистиллятах, влияют на качество спиртных напитков, формируя их вкус и аромат [7, 8]. Поэтому интересно было установить, какое влияние оказывает включение нетрадиционного сырья в состав сусла на синтез вторичных и побочных метаболитов дрожжами *S. cerevisiae* 985-T при культивировании клеток на пшенично-черносмородиновом сусле, приготовленном путем совместной и раздельной ферментативно-гидролитической обработки сырьевых составляющих. Использование изучаемого сырья оказало определенное влияние на уровень образования и состав летучих метаболитов, сопутствующих синтезу этанола. Общее количество

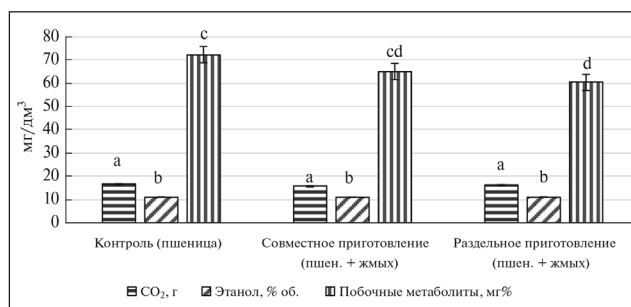


Рис. 1. Влияние способа приготовления пшенично-черносмородинового сусла на показатели процесса спиртового брожения (различия между величинами, отмеченными одинаковыми буквенными индексами, статистически не значимы при $p < 0,05$).

побочных продуктов брожения снизилось с 72,3 мг % в отгонах пшеничной бражки до 60,3...65,0 мг % (рис. 1). Введение стадии дополнительной обработки черносмородинового жмыха позволило практически устранить разницу в техно-химических показателях бражек, чего ранее достичь не удавалось [11]. При этом способы приготовления пшенично-черносмородинового сусла по разработанному алгоритму не оказывали значимого влияния на образование диоксида углерода (15,6...16,1 г), синтез этанола (11,0...11,1% об.) и побочных метаболитов (65,0...60,3 мг %).

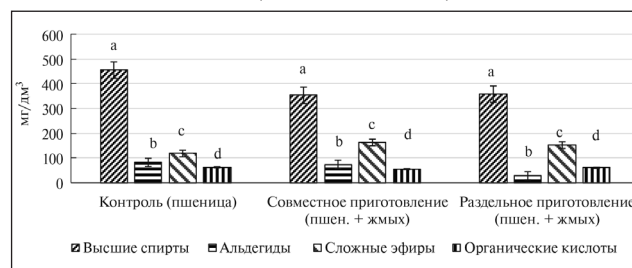


Рис. 2. Состав летучих метаболитов и органических кислот, синтезированных при сбразживании пшеничного и пшенично-черносмородинового сусла (различия между величинами, отмеченными одинаковыми буквенными индексами, статистически не значимы при $p < 0,05$).

Сравнительный анализ состава метаболитов в пшеничной и пшенично-черносмородиновых бражках, синтезированных дрожжами *S. cerevisiae* 985-T, показал, что изменения происходили в основном благодаря снижению синтеза высших спиртов, имеющих тяжелый сивушный запах и оказывающих негативное влияние на органолептические свойства спиртных напитков. Общее количество высших спиртов в отгонах пшенично-черносмородиновой бражки составило 355,0...359,4 мг/дм³, в пшеничной – 457 мг/дм³ (рис. 2). При этом в составе метаболитов зерно-фруктовой бражки на 29...38% повышалась концентрация сложных эфиров, которые могут повышать влияние на появление оригинальных оттенков и тонов в аромате и вкусе дистиллятов [3, 7]. Разработанные способы приготовления зерно-фруктового сусла не оказывали существенного влияния на процессы метаболизма дрожжей и спиртового брожения (рис. 1 и 2).

Полученные результаты подтвердили, что введение дополнительной стадии подготовки черносмородинового жмыха позволяет улучшить качество зерно-фруктового сусла, приготовленного способом совместной ферментативно-гидролитической обработки компонентов, для его эффективного использования в производстве спирта и зерно-фруктовых дистиллятов.

Принципиальная схема комплексной переработки черносмородинового сырья в технологии спиртовых дистиллятов с оригинальными свойствами (рис. 3) предусматривает два способа (раздельный и совместный)

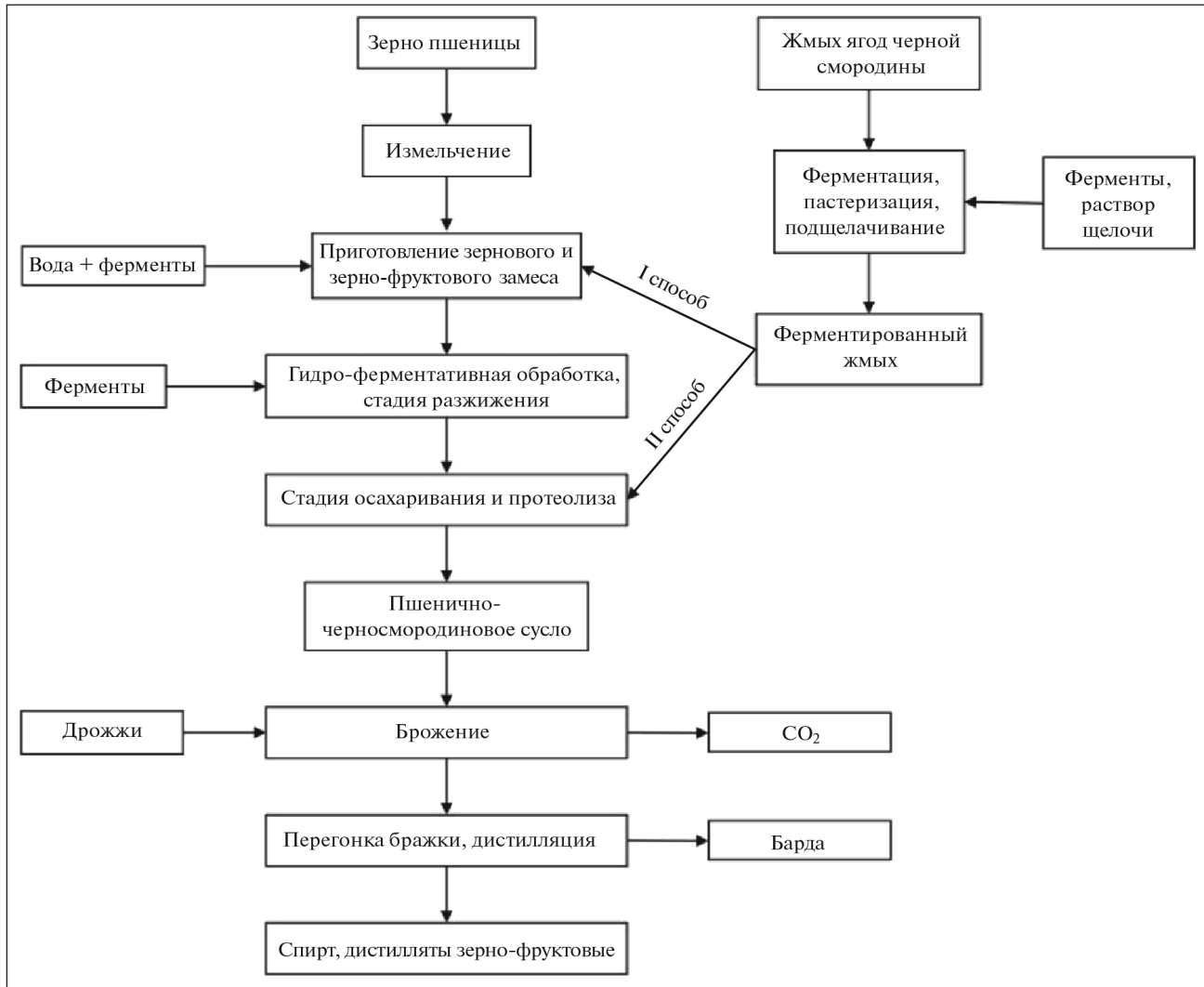


Рис. 3. Принципиальная схема приготовления зерно-фруктового сула (I способ – совместная подготовка сырьевых составляющих; II способ – раздельная подготовка зернового замеса и ферментированного жмыха).

приготовления сырьевых составляющих сула (зерна пшеницы и ферментированного жмыха), в которые включена стадия предварительной подготовки жмыха (ферментация, пастеризация и подщелачивание). Выбор рациональной схемы производства будет зависеть от условий и основных задач производителя.

Выводы. В результате исследований обоснована и экспериментально подтверждена технологическая возможность эффективного использования жмыха ягод черной смородины в технологиях производства зерно-фруктовых дистиллятов, к ключевым факторам которых относятся уровень образования этанола и сопутствующих летучих соединений, формирующих вкус и аромат спиртных напитков.

Введение в технологию приготовления сула стадии предварительной подготовки ферментированного жмыха позволяет реализовать способ совместного приготовления сырьевых компонентов и получить зерно-фруктовое суло, обогащенное растворимыми углеводами (16,0...25,1%) и фенольными веществами (953,0...1152,8 мг/дм³) с улучшенными реологическими свойствами.

Разработанные условия приготовления пшенично-черносмородинового сула позволили обеспечить нормативные показатели бражки, интенсифицировать процессы генерации дрожжей и спиртового брожения, повысить

выход спирта на 22...27%, снизить уровень образования высших спиртов в сторону увеличения синтеза сложных эфиров на 29...38%, придающих оригинальные оттенки в аромате и вкусе спиртных напитков, по сравнению с зерновыми дистиллятами, полученными в результате сбраживания традиционных зерновых культур.

ФИНАНСИРОВАНИЕ РАБОТЫ.

Данные исследования по подготовке рукописи проведены за счет средств субсидии на выполнение государственного задания FGMF-2023-0004.

СОБЛЮДЕНИЕ ЭТИЧЕСКИХ СТАНДАРТОВ.

В данной работе отсутствуют исследования человека или животных.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ.

Авторы данной работы заявляют, что у них нет конфликта интересов.

Литература.

1. Причко Т. Г., Дрофичева Н. В. Использование перспективных сортов смородины черной в формировании продуктов лечебно-профилактического назначения // *Инновации и продовольственная безопасность*. 2019. Т. 26. № 4. С. 109–116. doi: 10.31677/2311-0651-2019-26-4-109-116.

2. Биологическая ценность плодов и ягод российского производства / М. Ю. Акимов, В. В. Бессонов, В. М. Коденцова и др. // Вопросы питания. 2020. Т. 8. № 4. С. 220–232. doi: 10.24411/0042-8833-2020-10055.
3. Современные предпосылки для комплексной переработки ягод черной смородины / В. М. Коденцова, Д. В. Рисник, Е. М. Серба и др. // Техника и технология пищевых производств. 2024. Т. 54. № 3. С. 621–632. doi: 10.21603/2074-9414-2024-3-2525.
4. Enhancement of Biological Properties of Blackcurrants by Lactic Acid Fermentation and Incorporation into Yogurt: A Review / R. Kowalski, E. Gustafson, M. Carroll, et al. // Antioxidants (Basel). 2020. Vol. 9. No. 12. P. 1194. URL: <https://www.mdpi.com/2076-3921/9/12/1194> (дата обращения: 13.08.2024). doi: 10.3390/antiox9121194.
5. Захаров В. Л., Зубкова Т. В. Влияние добавок ягод на качество и сохранность творога // Вестник КрасГАУ. 2022. Т. 182. № 5. С. 200–205. doi: 10.36718/1819-4036-2022-5-200-205.
6. Profiles of Volatile Compounds in Blackcurrant (*Ribes nigrum*) Cultivars with a Special Focus on the Influence of Growth Latitude and Weather Conditions / A. Marsol-Vall, M. Kortessniemi, S. T. Karhu, et al. // J Agric Food Chem. 2018. Vol. 66. No. 28. P. 7485–7495. doi: 10.1021/acs.jafc.8b02070.
7. Comparison of volatile compounds and sensory profiles of alcoholic black currant (*Ribes nigrum*) beverages produced with *Saccharomyces*, *Torulaspora*, and *Metschnikowia* yeasts / N. M. Kelanne, B. Siegmund, T. Metz, et al. // Food Chem. 2022. Vol. 370. P. 131049. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0308814621020550> (дата обращения: 11.02.2025). doi: 10.1016/j.foodchem.2021.131049.
8. К вопросу о целесообразности использования ягод черной смородины для получения оригинальных зерно-фруктовых дистиллятов / Л. В. Римарева, Е. М. Серба, Е. Н. Соколова и др. // Пищевая промышленность. 2023. № 5. С. 61–63. doi: 10.52653/PPI.2023.5.5.017.
9. Использование вторичных ресурсов ягодного сырья в технологии кондитерских и хлебобулочных изделий / И. А. Бакин, А. С. Мустафина, Е. А. Вечтомова и др. // Техника и технология пищевых производств. 2017. Т. 45. № 2. С. 5–12. doi: 10.21179/2074-9414-2017-2-5-12.
10. Дрофичева Н. В., Причко Т. Г. Функциональные продукты питания с использованием компонентов вторичного сырья сокового производства // Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. 2018. Т. 3. № 80. С. 134–139. doi: 10.20914/2310-1202-2018-3-134-139.
11. Биотехнологические аспекты получения зерно-фруктового сула из пшеницы и жмыха черной смородины / Е. М. Серба, Е. Н. Соколова, Л. В. Римарева и др. // Пищевые системы. 2024. Т. 7. № 4. С. 551–559. doi: 10.21323/2618-9771-2024-7-4-551-559.
12. Bioaccessibility of Antioxidants in Blackcurrant Juice after Treatment Using Supercritical Carbon Dioxide / U. Trych, M. Buniowska, S. Skapska, et al. // Molecules. 2022. Vol. 27. No. 3. P. 1036. URL: <https://www.mdpi.com/1420-3049/27/3/1036> (дата обращения: 15.09.2024). doi: 10.3390/molecules27031036.
13. Biological activities, therapeutic potential, and pharmacological aspects of blackcurrants (*Ribes nigrum* L): A comprehensive review / A. Ejaz, S. Waliat, M. Afzaal, et al. // Food Sci Nutr. 2023. Vol. 11. No. 10. P. 5799–5817. doi: 10.1002/fsn3.3592.
14. By-Products of Fruit and Vegetables: Antioxidant Properties of Extractable and Non-Extractable Phenolic Compounds / Y. Zeng, W. Zhou, J. Yu, et al. // Antioxidants (Basel). 2023. Vol. 12. No. 2. P. 418. URL: <https://www.mdpi.com/2076-3921/12/2/418> (дата обращения: 19.10.2024). doi: 10.3390/antiox12020418.
15. Fractionation and characterisation of dietary fibre from blackcurrant pomace / K. Alba, W. Macnaughtan, A. P. Laws, et al. // Food Hydrocolloids. 2018. Vol. 81. P. 398–408. doi: 10.1016/j.foodhyd.2018.03.023.
16. Reißner A. M., Rohm H., Struck S. Sustainability on Bread: How Fiber-Rich Currant Pomace Affects Rheological and Sensory Properties of Sweet Fat-Based Spreads // Foods. 2023. Vol. 12. No. 6. P. 1315. URL: <https://www.mdpi.com/2304-8158/12/6/1315> (дата обращения: 16.01.2025). doi: 10.3390/foods12061315.
17. Blackcurrant pomace from juice processing as partial flour substitute in savoury crackers: Dough characteristics and product properties / C. Schmidt, I. Geweke, S. Struck, et al. // International Journal of Food Science & Technology. 2018. Vol. 53. No. 1. P. 237–245. doi: 10.1111/ijfs.13639.
18. Разработка технологии производства снежков на основе ягод черной смородины (*Ribes nigrum*) / Н. В. Макарова, Д. Ф. Игнатова, Е. А. Васильева и др. // Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. 2019. Т. 81. № 3. С. 158–167. doi: 10.20914/2310-1202-2019-3-158-167.
19. The Effect of Fruit and Berry Pomaces on the Growth Dynamics of Microorganisms and Sensory Properties of Marinated Rainbow Trout / M. Roasto, M. Mäesaar, T. Püssa, et al. // Microorganisms. 2023. Vol. 11. No. 12. P. 2960. URL: <https://www.mdpi.com/2076-2607/11/12/2960> (дата обращения: 04.04.2024). doi: 10.3390/microorganisms11122960.
20. Подбор рас дрожжей для сбраживания фруктовой мезги, предназначенной для дистилляции / Л. А. Оганесянц, В. А. Песчанская, Е. В. Дубинина и др. // Пиво и напитки. 2017. № 6. С. 26–30.
21. Volatile Profile of Mead Fermenting Blossom Honey and Honeydew Honey with or without *Ribes nigrum* / G. Chitarrini, L. De Biasi, M. Stuffer, et al. // Molecules. 2020. Vol. 25. No. 8. P. 1818. URL: <https://www.mdpi.com/1420-3049/25/8/1818> (дата обращения: 07.02.2025). doi: 10.3390/molecules25081818.
22. Phenolic Compound Profiles in Alcoholic Black Currant Beverages Produced by Fermentation with *Saccharomyces* and Non-*Saccharomyces* Yeasts / N. Kelanne, B. Yang, L. Liljenbäck, et al. // J Agric Food Chem. 2020. Vol. 68. No. 37. P. 10128–10141. doi: 10.1021/acs.jafc.0c03354.
23. Общая фармакопейная статья: ОФС.1.2.3.0022.15 Определение аминного азота методами формольного и йодометрического титрования. URL: <https://pharmascopoeia.regmed.ru/pharmascopoeia-projects/izdanie-13/1/1-2/1-2-3/1-2-3-22/?vers=778> (дата обращения: 24.04.2024).
24. Инструкция по теххимическому и микробиологическому контролю спиртового производства / В. А. Поляков, И. М. Абрамова, Г. В. Полыгалина и др. // М: Дели принт. 2007. 480 с.
25. Денисенко Т. А., Вишник А. Б., Цыганок Л. П. Спектрофотометрическое определение суммы фенольных соединений в растительных объектах с использованием хлорида алюминия, 18-молибдодифосфата и реактива Фолина-Чокальтеу // Аналитика и контроль. 2015. Т. 19. № 4. С. 373–380. doi: 10.15826/analitika.2015.19.4.012.

Поступила в редакцию 28.03.2025
После доработки 20.04.2025
Принята к публикации 28.05.2025