



## ПИЩЕВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Научная статья/Research Article

УДК 663.4

DOI: 10.36718/1819-4036-2024-126-134

**Ирина Николаевна Грибкова<sup>1✉</sup>, Михаил Николаевич Елисеев<sup>2</sup>, Петр Иванович Токарев<sup>3</sup>,  
Ольга Алексеевна Косарева<sup>4</sup>**

<sup>1</sup>Всероссийский НИИ пивоваренной, безалкогольной и винодельческой промышленности – филиал ФНЦ пищевых систем им. В.М. Горбатова РАН, Москва, Россия

<sup>2,3</sup>Российский экономический университет им. Г.В. Плеханова, Москва, Россия

<sup>4</sup>Московский финансово-промышленный университет «Синергия», Москва, Россия

<sup>1</sup>beer\_institut@mail.ru

<sup>2</sup>michail\_eliseev@mail.ru

<sup>3</sup>tokarev.pi@rea.ru

<sup>4</sup>oakosareva@mail.ru

### ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ОРГАНИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ ЗЕРНОВОГО СЫРЬЯ НА ОБРАЗОВАНИЕ ЦВЕТА ПИВА

*Цель исследования – выявление факторов и особенностей формирования цвета пива в зависимости от типа зернового сырья. Задачи: исследовать состав органических соединений и динамику их изменения в образцах на основе различного зернового сырья в течение брожения не только физико-химическими, но и математическими методами, позволяющими выявить неочевидные зависимости между органическими соединениями; составить уравнения зависимости образования цвета от соединений, оказывающих наибольшее влияние на образование цвета. Объекты исследования – сусло и пиво, полученные из солода с 5 % заменой на несоложенные культуры (ячмень, кукурузу, рис, пшеницу). Показано изменение содержания соединений в зависимости от применяемого злака: содержание  $\beta$ -глюкана увеличивается (в солодово-пшеничном сусле в 1,8 раз, в солодово-рисовом – в 1,6 раз, в солодово-кукурузном – в 1,5 раз и солодово-ячменном – в 1,3 раза по сравнению с солодовым суслом); растворимого азота аналогично; катехинов увеличивается при использовании 5 % ячменя – в 1,8 раза, риса или пшеницы – в 1,2–1,22 раза по сравнению с солодовым суслом. Показатель цвета сусла из солода и кукурузы превышал тот же показатель солодового сусла в 2 раза, а показатели других образцов – в 1,08–1,33 раза превышали показатели цвета солодового сусла. Наблюдалось увеличение содержания рибофлавина при использовании несоложенных злаков. Авторы связывали изменения цвета в процессе брожения с изменением содержания  $\beta$ -глюкана, растворимого азота, катехинов, меланоидинов и рибофлавина, что подтверждается коэффициентами корреляции при математическом анализе данных. Приведены корреляционные характеристики зависимости цвета пива от типа сырья, свидетельствующие о влиянии протеома зерна на показатели пива.*

**Ключевые слова:** пиво, цвет пива, растворимый азот, некрахмальный полисахарид, катехины, рибофлавин, несоложенные зернопродукты, корреляционный анализ

**Для цитирования:** Исследование влияния органических соединений зернового сырья на образование цвета пива / И.Н. Грибкова [и др.] // Вестник КрасГАУ. 2024. № 12. С. 126–134. DOI: 10.36718/1819-4036-2024-12-126-134.

Irina Nikolaevna Gribkova<sup>1✉</sup>, Mikhail Nikolaevich Eliseev<sup>2</sup>, Petr Ivanovich Tokarev<sup>3</sup>, Olga Alekseevna Kosareva<sup>4</sup>

<sup>1</sup>All-Russian Research Institute of Brewing, Soft Drinks and Wine Industry – branch of V.M. Gorbатов FSC of Food Systems of the RAS, Moscow, Russia

<sup>2,3</sup>Plekhanov Russian University of Economics, Moscow, Russia

<sup>4</sup>Moscow Financial and Industrial University Synergy, Moscow, Russia

<sup>1</sup>beer\_institut@mail.ru

<sup>2</sup>michail\_eliseev@mail.ru

<sup>3</sup>tokarev.pi@rea.ru

<sup>4</sup>oakosareva@mail.ru

## STUDY OF GRAIN RAW MATERIALS ORGANIC COMPOUND INFLUENCE ON BEER COLOR FORMATION

*The aim of the study is to identify the factors and features of color formation depending on the type of grain raw material. Objectives: to study the composition of organic compounds and the dynamics of their changes in samples based on various grain raw materials during fermentation using not only physico-chemical, but also mathematical methods, allowing to identify non-obvious dependencies between organic compounds; to compile equations for the dependence of color formation on the compounds that have the greatest influence on color formation. The objects of the study are wort and beer obtained from malt with 5% replacement by unmalted crops (barley, corn, rice, wheat). The change in the content of compounds depending on the cereal used is shown: the content of  $\beta$ -glucan increases (in malt-wheat wort by 1.8 times, in malt-rice – by 1.6 times, in malt-corn – by 1.5 times and malt-barley – by 1.3 times compared to malt wort); soluble nitrogen is similar; The content of catechins increases when using 5 % barley – by 1.8 times, rice or wheat – by 1.2–1.22 times compared to malt wort. The color index of the malt and corn wort exceeded the same index of malt wort by 2 times, and the indices of other samples exceeded the color indices of malt wort by 1.08–1.33 times. An increase in the riboflavin content was observed when using unmalted cereals. The authors associated color changes during fermentation with changes in the content of  $\beta$ -glucan, soluble nitrogen, catechins, melanoidins and riboflavin, which is confirmed by the correlation coefficients in the mathematical analysis of the data. Correlation characteristics of the dependence of beer color on the type of raw materials are given, indicating the influence of the grain proteome on beer indices.*

**Keywords:** beer, beer color, soluble nitrogen, non-starch polysaccharide, catechins, riboflavin, unmalted grain products, correlation analysis

**For citation:** Study of grain raw materials organic compound influence on beer color formation / I.N. Gribkova [et al.] // Bulliten KrasSAU. 2024;(12): 126–134 (In Russ.). DOI: 10.36718/1819-4036-2024-12-126-134.

**Введение.** Потребительскими характеристиками пивоваренной продукции являются органолептические и физико-химические показатели. Цвет как показатель качества относится с одной стороны к характеристикам, приборно определяемым, а с другой – является видовой оценкой качества, относящей его к тому или иному типу пива.

Цвет пивоваренной продукции определяется органическими соединениями и наличием/отсутствием модификации зернового сырья, применяемого в пивоварении [1]. Исследователи пола-

гают [2], что основным фактором интенсивности цветообразования является температурный режим сушки солода. К вторичному фактору относят процессы преобразования полифенолов сырья при хранении готовой продукции [1].

К органическим соединениям, формирующим цвет пива, принято относить меланоидины, карамели, катехины и другие фенольные соединения, а также рибофлавин [3]. Однако все эти соединения связаны спротеомной матрицей пива с помощью связей различной природы (химической, ионной, водородной, ковалентной, физичес-

ких ван-дер-ваальсовых и пр.), и на этом было основано изучение поведения белковых (азотистых) соединений в отношении помутнения, стабильности, гашинга и прочих проблем с качеством [4], чего, на наш взгляд, недостаточно.

Подробно рассмотреть формирование цвета, с точки зрения протеомики, можно на примере образцов пивоваренной продукции, приготовленной с применением разного зернового сырья.

**Цель исследования** – выявление факторов и особенностей формирования цвета пива в зависимости от типа зернового сырья.

**Задачи:** исследовать состав органических соединений и динамику их изменения в образцах на основе различного зернового сырья в течение брожения не только физико-химическими, но и математическими методами, позволяющими выявить неочевидные зависимости между органическими соединениями; составить уравнения зависимости образования цвета от соединений, оказывающих наибольшее влияние на образование цвета.

**Объекты и методы.** Объектом исследования послужило сусло, приготовленное из следующего зернового сырья: солода ячменного светлого, ячменя, кукурузы, риса и пшеницы. Несоложеное зерновое сырье вносилось из расчета 5 % от всей массы зернопродуктов. Варки осуществлялись на пилотной пивоварне (Германия) со структурой помола, состоящей из 85 % мелкой фракции и 15 % крупной (крупки).

Затор выдерживался при всех температурных паузах, характерных для настойного способа затирания. Для классического охмеления применялся хмель сорта Магnum (производство Германия) из расчета 1 г/дм<sup>3</sup> сусла во всех случаях. Сбраживание проводилось дрожжами *S. cerevisiae* 34/70 из расчета 20 млн кл/см<sup>3</sup> охмеленного сусла при температурном режиме низового типа брожения: 7 сут при 7–9 °С длилось главное брожение и 21 сут при 1–2 °С длилось дображивание. Пиво фильтровалось, разливалось в стерильную тару, герметично укупоривалось и хранилось при (5 ± 3) °С в течение 5 сут (период исследования). В таблице 1 представлены характеристики объектов исследования и пива, полученного на их основе.

Применяли следующие методы исследования: определение содержания β-глюкана проводилось по [5], определение растворимого азота проводилось по методу Кьельдаля [6], определение катехинов проводили методом высокоэффективной жидкостной хроматографии диодно-матричном детектировании при длине волны 280 нм [7]; определение изогумулона проводили спектрофотометрическим методом по [8]; определение цвета проводили по методу [9]; определение содержания карамелей проводили фотоэлектроколориметрическим методом по [10]; определение содержания рибофлавина проводили спектрофотометрическим методом по [11].

Таблица 1

### Характеристики исследуемых сусла и пива

Показатель	Содержание в образце из сырья, %				
	солода	Солода +			
		ячменя	кукурузы	риса	пшеницы
Сусло					
Содержание сухих веществ, %	12,60±0,40	11,60±0,3	13,0±0,40	13,0±0,40	12,5±0,40
Пиво					
Содержание действительного экстракта, %	5,40±0,15	4,40±0,1	4,30±0,1	4,40±0,15	4,70±0,15
Содержание спирта, %об.	3,81±0,20	3,60±0,2	4,20±0,3	4,50±0,15	3,70±0,1

Фракционирование как азотистых, так и связанных с ними соединений проводилось методом осаждения с последующим определением общего азота по [6]. Высокомолекулярный растворимый азот (а также связанные с ними органические соединения) осаждали 2 % водным раствором танина (фракция А, 40–100 кДа); для

осаждения высокомолекулярных и среднемолекулярных фракций азота использовали раствор молибдата натрия (Na<sub>2</sub>MoO<sub>4</sub>, 50 % раствор в кислой среде). В пробах исследовали содержание органических соединений.

Статистический анализ проводили в пяти повторностях. Была проведена описательная

статистика, и значения выражены как среднее  $\pm$  стандартное отклонение с пределом достоверности полученных данных ( $p \geq 0,95$ ). Статистические данные обрабатывались с помощью программы Statistica (Statsoft).

**Результаты и их обсуждение.** Затираание, как этап технологии пивоварения, служит основным способом переноса/извлечения раствори-

мых соединений в жидкую фазу, формирующих в последующем структуру пива. В таблице 2 представлены показатели суслу, как исходного, так и в период брожения на разных стадиях. Выбор мониторинга представляемых в таблице 2 показателей неслучаен, поскольку все они имеют отношение к формированию окраски в течение технологического процесса пивоварения.

Таблица 2

**Органические соединения суслу и пива из разного зернового сырья**

Содержание	Содержание в образцах с допустимым отклонением, мг/дм <sup>3</sup>			
	сусло	пиво		
		молодое	после дображивания	готовое
1	2	3	4	5
<b>Солод</b>				
$\beta$ -глюкана	124,1 $\pm$ 11	98,2 $\pm$ 7	94,4 $\pm$ 7	86,9 $\pm$ 7
Растворимого азота	975,0 $\pm$ 88	716,3 $\pm$ 64	705,25 $\pm$ 63	693,2 $\pm$ 62
Катехинов	20,4 $\pm$ 1,0	15,4 $\pm$ 0,8	12,5 $\pm$ 1,3	5,98 $\pm$ 1,3
Изогумуллона	26,0 $\pm$ 3	19,0 $\pm$ 2	18,5 $\pm$ 2	18,0 $\pm$ 2
Цвета, ед. ЕВС	12,0 $\pm$ 0,5	10,3 $\pm$ 0,5	10,0 $\pm$ 0,5	10,0 $\pm$ 0,5
Карамелей, ед. ИН	1,75 $\pm$ 0,1	1,35 $\pm$ 0,1	1,30 $\pm$ 0,1	1,25 $\pm$ 0,1
Меланоидинов	125,0 $\pm$ 12	110,5 $\pm$ 10	109,0 $\pm$ 10	107,0 $\pm$ 10
Рибофлавина	1,48 $\pm$ 0,1	1,75 $\pm$ 0,1	1,65 $\pm$ 0,1	1,40 $\pm$ 0,1
<b>Солод и ячмень</b>				
$\beta$ -глюкана	166,5 $\pm$ 15	136,7 $\pm$ 12	123,5 $\pm$ 11	108,2 $\pm$ 10
Растворимого азота	987,5 $\pm$ 88	740,6 $\pm$ 65	722,0 $\pm$ 64	716,4 $\pm$ 63
Изогумуллона	29,5 $\pm$ 3	22,0 $\pm$ 3	21,0 $\pm$ 3	19,7 $\pm$ 2
Катехинов	37,5 $\pm$ 2	27,0 $\pm$ 1	19,5 $\pm$ 1	4,0 $\pm$ 1
Рибофлавина	2,709 $\pm$ 0,3	2,045 $\pm$ 0,1	1,655 $\pm$ 0,1	1,183 $\pm$ 0,1
Меланоидинов	135,0 $\pm$ 14	140,6 $\pm$ 14	115,0 $\pm$ 10	105,0 $\pm$ 10
Карамелей, ед. ИН	2,21 $\pm$ 0,1	0,90 $\pm$ 0,1	0,80 $\pm$ 0,1	0,56 $\pm$ 0,1
Цвета, ед. ЕВС	16,0 $\pm$ 0,5	15,5 $\pm$ 0,5	14,6 $\pm$ 0,5	13,5 $\pm$ 0,5
<b>Солод и кукуруза</b>				
$\beta$ -глюкана	184,5 $\pm$ 14	147,6 $\pm$ 10	105,0 $\pm$ 7	98,1 $\pm$ 7
Растворимого азота	1004,5 $\pm$ 90	746,2 $\pm$ 65	654,5 $\pm$ 59	616,7 $\pm$ 55
Изогумуллона	33,8 $\pm$ 4	31,2 $\pm$ 4	27,0 $\pm$ 3	24,7 $\pm$ 3
Катехинов	20,62 $\pm$ 1	17,85 $\pm$ 1	15,4 $\pm$ 0,7	13,2 $\pm$ 0,7
Рибофлавина	1,55 $\pm$ 0,01	0,62 $\pm$ 0,01	0,45 $\pm$ 0,01	0,28 $\pm$ 0,01
Карамелей, ед. ИН	1,35 $\pm$ 0,1	1,30 $\pm$ 0,1	0,85 $\pm$ 0,1	0,50 $\pm$ 0,1
Меланоидинов	140,0 $\pm$ 13	73,0 $\pm$ 7	55,0 $\pm$ 5	35,5 $\pm$ 3
Цвета, ед. ЕВС	25,0 $\pm$ 0,5	14,8 $\pm$ 0,5	14,0 $\pm$ 0,5	13,5 $\pm$ 0,5
<b>Солод и рис</b>				
$\beta$ -глюкана	196,4 $\pm$ 14	188,0 $\pm$ 14	176,4 $\pm$ 14	158,6 $\pm$ 11
Растворимого азота	1085,5 $\pm$ 97	874,3 $\pm$ 80	852,1 $\pm$ 77	850,3 $\pm$ 77
Изогумуллона	25,5 $\pm$ 3	20,4 $\pm$ 3	19,7 $\pm$ 3	18,4 $\pm$ 2
Катехинов	25,0 $\pm$ 1	23,0 $\pm$ 1	14,2 $\pm$ 0,7	5,1 $\pm$ 0,2
Рибофлавина	4,45 $\pm$ 0,04	3,15 $\pm$ 0,03	3,55 $\pm$ 0,03	2,98 $\pm$ 0,03

Окончание табл. 2

1	2	3	4	5
Карамелей, ед. ИН	2,05±0,1	1,80±0,1	1,40±0,1	1,05±0,1
Меланоидинов	185,5±15	155,6±14	145,0±13	135,6±12
Цвета, ед. ЕВС	14,0±0,5	11,5±0,5	10,55±0,5	10,0±0,5
Солод и пшеница				
β-глюкана	228,5±15	215,8±15	206,5±15	198,6±14
Растворимого азота	1032,5±93	805,4±72	755,0±68	675,8±60
Изогумулона	28,0±3	24,2±3	22,5±3	21,0±3
Катехинов	24,5±1	23,0±1	14,2±0,7	4,6±0,2
Рибофлавина	3,90±0,03	2,52±0,03	2,41±0,02	2,20±0,02
Карамелей, ед. ИН	1,35±0,1	0,70±0,1	0,70±0,1	0,70±0,1
Меланоидинов	168,2±15	163,0±15	155,0±14	145,8±14
Цвета, ед. ЕВС	13,0±0,5	11,0±0,5	10,5±0,5	9,5±0,5

Как видно по результатам таблицы 2, содержание β-глюкана в зависимости от применяемого злака увеличивается в сусле. Так, в солодово-пшеничном, солодово-рисовом, солодово-кукурузном и солодово-ячменном образцах сусла наблюдается увеличение содержания некрахмального полисахарида в 1,8; 1,6; 1,5 и 1,3 раза соответственно по сравнению с показателем солодового сусла. Выделение β-глюканов совместно с декстринами крахмала, структурного белка, липидов, фенольных соединений из клеточных стенок эндосперма несоложенных зерен происходит за счет действия ферментов солода [12]. Содержание β-глюкана злаковых (пшеницы и кукурузы) близко и составляет 1,7–1,8 %, в ячмене самое высокое содержание – до 19,8 %, а в рисе самое низкое – 0,13 % [13]. Однако на количественное содержание высвобождаемого β-глюкана влияет его растворимость, которая в рисе выше, чем в других злаках [13].

Соответственно, увеличение величины растворимого азота в сусле из солода и злаковых также объясняется ферментололизом соединений органической матрицы зерновых солодовыми протеазами.

Содержание катехинов более всего увеличивается при использовании 5 % ячменя – в 1,8 раза, риса или пшеницы – в 1,2–1,22 раза по сравнению с солодовым суслом (табл. 2), что подтверждает растворение злаковых полифенолов, содержащихся в несоложенных культурах в количестве 0,164–0,272 % в порядке снижения

при последовательности: рис → кукуруза → ячмень → пшеница [14].

Показатель цвета в сусле из солода и кукурузы превышал в 2 раза, а в сусле из других злаковых – в 1,08–1,33 раза по сравнению с данным показателем чисто солодового сусла соответственно. Увеличение цветности сусла не коррелировало с увеличением содержания меланоидинов, поскольку окраску в комплексе реакций Майяра обеспечивают некоторые соединения, не всегда образующиеся в условиях конгрессного режима затирания сусла и его кипячения с хмелем [15].

Присутствие несоложенных злаков при затирании способствует увеличению содержания рибофлавина в сусле под воздействием ферментов солода. Есть данные, что все применяемые в исследовании злаки содержат рибофлавин, мг%: ячмень – 0,25; кукуруза – 0,20; рис – 0,09; пшеница – 0,11 соответственно [16]. Как видно из данных таблицы 2, содержание рибофлавина в сусле с применением несоложенных зернопродуктов количественно убывает в следующем порядке: рис → пшеница → ячмень → кукуруза, что не коррелирует с количеством витамина В<sub>2</sub> в зерне. Предположим, что это связано с избирательным действием ферментов солода на структуру зерен, имеющую свои биохимические особенности [16].

В процессе брожения происходят трансформационные процессы, затрагивающие большинство органических соединений коллоидной матрицы.

Показатель цвета наибольшим образом снижается в случае применения кукурузного сырья при затирании (см. табл. 2), также как и содержание  $\beta$ -глюкана, растворимого азота и катехинов – в 1,5 раза, 2,5 и 1,3 раза соответственно, а также меланоидинов и рибофлавина. Понижение цвета в наименьшей степени по сравнению со всеми образцами происходит в образцах пива из солода и солода с добавлением ячменя. Так, наблюдается снижение содержания  $\beta$ -глюкана, растворимого азота на 30 % и катехинов в 5 раз. Снижение содержания меланоидинов в сусле из ячменя и солода равнозначны, рибофлавина – до 50 % по сравнению с солодовым суслом (см. табл. 2).

Интересно отметить, что в случае чисто солодового сусла происходит небольшое накопление рибофлавина в течение процесса главного брожения и его содержание в молодом пиве увеличивается на 18 %, и далее происходит снижение содержания витамина. Данные колебания содержания обусловлены способностью дрожжей накапливать витамин  $B_2$  в присутствии достаточного количества редуцирующих соединений и аминокислот и потреблять (в условиях дображивания) оставшимися дрожжами [17].

Для выявления взаимосвязи между изменением цвета и органическими соединениями данные таблицы 2 были подвергнуты математическому анализу и получены коэффициенты корреляции, представленные в таблице 3.

Таблица 3

Показатели корреляции цвета и органических соединений сусла/пива

Показатель	Коэффициент корреляции							
	Цвет	$\beta$ -глюкан	Растворимый азот	Катехины	Изогумулон	Карамели	Меланоидины	Рибофлавин
Цвет	1	0,68	0,81	0,45	0,77	0,18	-0,65	-0,18
$\beta$ -глюкан	0,68	1	0,67	0,37	0,35	0,23	0,78	0,72
Растворимый азот	0,81	0,67	1	0,59	0,46	0,73	0,70	0,76
Катехины	0,45	0,37	0,59	1	0,56	0,59	0,33	0,35
Изогумулон	0,77	0,35	0,46	0,56	1	0,25	-0,05	-0,09
Карамели	0,18	0,23	0,73	0,59	0,25	1	0,40	0,55
Меланоидины	-0,65	0,78	0,70	0,33	-0,05	0,40	1	0,89
Рибофлавин	-0,18	0,72	0,76	0,35	-0,09	0,55	0,89	1

Данные таблицы 3 показывают сильную ( $0,5 < r < 1,0$ ) связь между цветом и некрахмальным полисахаридом, азотом, изогумулоном и меланоидинами. Существуют сильные связи корреляции между азотом и  $\beta$ -глюканом, карамелями, меланоидинами, рибофлавином; катехины изменяются в связи с азотом, изогумулоном и карамелями. Влияние некрахмальных полисахаридов, азота и меланоидинов на колористические характеристики цвета изучены [3, 15, 16]. Влияние изогумулона на цвет может объясняться опосредованным взаимодействием с белками различных фракций.

Взаимосвязь пептонов и изогумулона подтверждается другими исследованиями, свидетельствующими о ковалентной или ионной связи пенообразующих белков (LTP и Z-пептонами) и изогумулона [18, 19].

Учитывая наиболее весомую роль азотистых соединений и их вклад в образование цвета, совместно с другими соединениями (табл. 2, 3), были рассчитаны уравнения зависимостей изменения цвета (Y) от растворимого азота (X) для каждого вида зернового сырья. Данные представлены в таблице 4.

## Корреляционные характеристики зависимости цвета пива от типа сырья

Состав сырья	Корреляционные характеристики	
	Уравнение	Коэффициент корреляции (R) и детерминации (R <sup>2</sup> )
Солод ячменный	$y = 0,00725x + 5,2285$	R=0,89; R <sup>2</sup> =0,79
Солод ячменный + ячмень	$y = 0,00484x + 9,4952$	R=0,84; R <sup>2</sup> =0,70
Солод ячменный + рис	$y = 0,00917x + 3,547$	R=0,91; R <sup>2</sup> =0,83
Солод ячменный + кукуруза	$y = 0,02745x - 3,0118$	R=1,0; R <sup>2</sup> =1,0
Солод ячменный + пшеница	$y = 0,00965x + 3,3281$	R=0,98; R <sup>2</sup> =0,96

Результаты таблицы 4 подтверждают наличие сильной корреляции рассматриваемых параметров на основании общих коэффициентов корреляции и детерминации. По данным очевидна группировка по коэффициенту при переменной X, что подтверждается различным составом азотистых соединений вследствие генных особенностей зернового сырья.

**Заключение.** Исследован состав органических соединений и динамика их изменения в образцах сусла и пива в зависимости от вида зернового сырья в течение брожения. Статистический анализ показал сильную ( $0,5 < r < 1,0$ ) связь между цветом и некрахмальным полисахаридом, азотом, изогумулоном и меланоидинами, а также между азотом и  $\beta$ -глюканом, карамелями, меланоидинами, рибофлавином; катехины изменяются в связи с азотом, изогумулоном и карамелями. Математические методы позволили выявить неочевидные зависимости между содержанием азотистых соединений и цветом пива, что связано со структурой протеома или набором аминокислотных последовательностей в составе азотистых фракций зернового сырья, определяемого генотипом. Приводимые исследования подтвердили влияние сырья как носителя азотистых соединений, взаимосвязь органических соединений пива в отношении влияния на вкус и цвет готового продукта. Дальнейшие перспективы исследования будут направлены на идентификацию соединений азотной природы, наибольшим образом участвующих в образовании вкуса и цвета готовой продукции. Проведенные исследования помогут в планировании получения пива с заданными показателями при определенной степени охмеления сусла.

## Список источников

1. How to objectively determine the color of beer? / D. Koren [et al.] // J Food Sci Technol. 2020.V. 57 (3). P. 1183–1189. DOI: 10.1007/s13197-020-04237-4.
2. Hellwig M., Witte S., Henle T. Free and protein-bound Maillard reaction products in beer: method development and a survey of different beer types // J Agric Food Chem. 2016. Vol. 64 (38). P. 7234–7243. DOI: 10.1021/acs.jafc.6b02649.
3. Грибкова И.Н., Елисеев М.Н. Влияние соединений пива на формирование цвета // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. 2021. Т. 10, № 4 (56). С. 117–122. DOI: 10.46548/21vek-2021-1056-0024.
4. Proteomics as a tool to understand the complexity of beer / M.L. Colgrave [et al.] // Food Research International. 2013. Vol. 54 (1). P. 1001–1012. DOI: 10.1016/j.foodres.2012.09.043.
5. ГОСТ 34799-2021. Продукция пивоваренная. Идентификация. Фотоэлектроколориметрический метод определения массовой концентрации  $\beta$ -глюкана. М.: Стандартинформ, 2021. 16 с.
6. ГОСТ 34789-2021. Продукция пивоваренная. Идентификация. Определение массовой концентрации общего азота методом Къельдаля. М.: Стандартинформ, 2021. 11 с.
7. Determination of polyphenols in beer by an effective method based on solid-phase extraction and highperformance liquid chromatography with diode-array detection / M. Dvorkova [et al.] // Czech Journal of Food Sciences. 2007. Vol. 25. P. 182–188. DOI: 10.17221/690-CJFS.

8. Борисенко Т.Н., Нуштаева Т.И. Методы исследования качества сырья, полуфабрикатов и готовой продукции броидильных производств. В 3 ч. Ч. 3. Технология пива и безалкогольных напитков. Кемерово: КемТИПП, 2003. 104 с.
9. ГОСТ 12789-2022. Пивоваренная продукция. Методы определения цвета. М.: Стандартинформ, 2022. 19 с.
10. Linner R.T. Caramel color: a new method of determining its color hue and tinctorial power // Proceedings of the Society of Soft Drink Technologists Annual Meeting. Washington, 1970. P. 63–72.
11. Крыльский Д.В., Сливкин А.И., Брежнева Т.А. Практикум по фармацевтической химии (лекарственные вещества с гетероциклической структурой). Воронеж: Воронеж. гос. ун-т, 2008. 72 с.
12. Cereal  $\beta$ -d-Glucans in Food Processing Applications and Nanotechnology Research / L. Jurkaninová [et al.] // Foods. 2024. Vol. 13. P. 500. DOI: 10.3390/foods13030500.
13. Molecular Characteristics, Synthase, and Food Application of Cereal / W. Ma [et al.] // Journal of Food Quality. 2021. P. 6682014. DOI: 10.1155/2021/6682014.
14. Bioactive compounds and antioxidant activities of some cereal milling by-products / S.S. Smuda [et al.] // J Food Sci Technol. 2018. Vol. 55(3). P. 1134–1142. DOI: 10.1007/s13197-017-3029-2.
15. Böhm W., Stegmann R., Gulbis O. Amino acids and glycation compounds in hot trub formed during wort boiling // Eur Food Res Technol. 2023. Vol. 249. P. 119–131. DOI: 10.1007/s00217-022-04138-0.
16. Vitamins in Cereals: A Critical Review of Content, Health Effects, Processing Losses, Bioaccessibility, Fortification, and Biofortification Strategies for Their Improvement / M. Garg [et al.] // Frontiers in Nutrition. 2021. Vol. 8. P. 586815. DOI: 10.3389/fnut.2021.586815.
17. Зупаев Д.В., Кожухов А.Н., Макушин А.Н. Влияние тиамин и рибофлавина на чистую культуру дрожжей при брожении пивного суслу // Пиво и напитки. 2020. № 3. С. 28–31. DOI: 10.24411/2072-9650-2020-10027.
18. Lu Y., Bergenståhl B., Nilsson L. Interfacial properties and interaction between beer wort protein fractions and isohumulone // Food Hydrocolloids. 2020. Vol. 103. P. 105648. DOI: 10.1016/j.foodhyd.2020.105648.
19. Interaction of proteins and amino acids with iso- $\alpha$ -acids during wort preparation in the brewhouse / N. Bastgen [et al.] // European Food Research and Technology. 2022. P. 248. DOI: 10.1007/s00217-021-03926-4.

## References

1. How to objectively determine the color of beer? / D. Koren [et al.] // J Food Sci Technol. 2020.V. 57 (3). P. 1183–1189. DOI: 10.1007/s13197-020-04237-4.
2. Hellwig M., Witte S., Henle T. Free and protein-bound Maillard reaction products in beer: method development and a survey of different beer types // J Agric Food Chem. 2016. V. 64 (38). P. 7234–7243. DOI: 10.1021/acs.jafc.6b02649.
3. Gribkova I.N., Eliseev M.N. Vliyanie soedinenii piva na formirovanie tsveta // XXI vek: itogi proshlogo i problemy nasto-yashchego plyus. 2021. T. 10, № 4 (56). S. 117–122. DOI: 10.46548/21vek-2021-1056-0024.
4. Proteomics as a tool to understand the complexity of beer / M.L. Colgrave [et al.] // Food Research International. 2013. V. 54 (1). P. 1001–1012. DOI: 10.1016/j.foodres.2012.09.043.
5. GOST 34799-2021. Produktsiya pivovarennaya. Identifikatsiya. Fotoelektrokolorimetriceskii metod opredeleniya massovoi kontsentratsii  $\beta$ -glyukana. M.: Standartinform, 2021. 16 s.
6. GOST 34789-2021. Produktsiya pivovarennaya. Identifikatsiya. Opredelenie massovoi kontsentratsii obshchego azota metodom K"el'-dalya. M.: Standartinform, 2021. 11 s.
7. Determination of polyphenols in beer by an effective method based on solid-phase extraction and highperformanceliquid chromatography with diode-array detection / M. Dvorakova [et al.] // Czech Journal of Food Sciences. 2007. Vol. 25. P. 182–188. DOI: 10.17221/690-CJFS.
8. Borisenko T.N., Nushtaeva T.I. Metody isledovaniya kachestva syr'ya, polufabrikatov i gotovoi produktsii brodil'nykh proizvodstv. V 3 ch. CH. 3. Tekhnologiya piva i bezalkogol'nykh napitkov. Kemerovo: Kem-TIPP, 2003. 104 s.
9. GOST 12789-2022. Pivovarennaya produkciya. Metody opredeleniya tsveta. M.: Standartinform, 2022. 19 s.
10. Linner R.T. Caramel color: a new method of determining its color hue and tinctorial power //



- Proceedings of the Society of Soft Drink Technologists Annual Meeting. Washington, 1970. P. 63–72.
11. Kryl'skii D.V., Slivkin A.I., Brezhneva T.A. Praktikum po farmatsevticheskoi khimii (lekarstvennyye veshchestva s geterociklicheskoj strukturoj. Voronezh: Voronezh. gos. un-t, 2008. 72 s.
  12. Cereal  $\beta$ -d-Glucans in Food Processing Applications and Nanotechnology Research / L. Jurkaninová [et al.] // Foods. 2024. Vol. 13. P. 500. DOI: 10.3390/foods13030500.
  13. Molecular Characteristics, Synthase, and Food Application of Cereal / W. Ma [et al.] // Journal of Food Quality. 2021. P. 6682014. DOI: 10.1155/2021/6682014.
  14. Bioactive compounds and antioxidant activities of some cereal milling by-products / S.S. Smuda [et al.] // J Food Sci Technol. 2018. Vol. 55(3). P. 1134–1142. DOI: 10.1007/s13197-017-3029-2.
  15. Böhm W., Stegmann R., Gulbis O. Amino acids and glycation compounds in hot trub formed during wort boiling // Eur Food Res Technol. 2023. Vol. 249. P. 119–131. DOI: 10.1007/s00217-022-04138-0.
  16. Vitamins in Cereals: A Critical Review of Content, Health Effects, Processing Losses, Bioaccessibility, Fortification, and Biofortification Strategies for Their Improvement / M. Garg [et al.] // Frontiers in Nutrition. 2021. Vol. 8. P. 586815. DOI: 10.3389/fnut.2021.586815.
  17. Zipaev D.V., Kozhukhov A.N., Makushin A.N. Vliyanie tiamina i riboflavina na chistuyu kul'turu drozhzhei pri brozhenii pivnogo susla // Pivo i napitki. 2020. № 3. S. 28–31. DOI: 10.24411/2072-9650-2020-10027.
  18. Lu Y., Bergenståhl B., Nilsson L. Interfacial properties and interaction between beer wort protein fractions and isohumulone // Food Hydrocolloids. 2020. Vol. 103. P. 105648. DOI: 10.1016/j.foodhyd.2020.105648.
  19. Interaction of proteins and amino acids with iso- $\alpha$ -acids during wort preparation in the brewhouse / N. Bastgen [et al.] // European Food Research and Technology. 2022. P. 248. DOI: 10.1007/s00217-021-03926-4.

Статья принята к публикации 13.11.2024 / The article accepted for publication 13.11.2024.

Информация об авторах:

**Ирина Николаевна Грибкова**<sup>1</sup>, старший научный сотрудник отдела технологии пивоварения, кандидат технических наук

**Михаил Николаевич Елисеев**<sup>2</sup>, профессор кафедры товарной экспертизы и таможенного дела, доктор технических наук, профессор

**Петр Иванович Токарев**<sup>3</sup>, заведующий кафедрой товарной экспертизы и таможенного дела, доктор биологических наук

**Ольга Алексеевна Косарева**<sup>4</sup>, доцент кафедры коммерции и торгового дела, кандидат технических наук, доцент

Information about the authors:

**Irina Nikolaevna Gribkova**<sup>1</sup>, Senior Researcher, Department of Brewing Technology, Candidate of Technical Sciences

**Mikhail Nikolaevich Eliseev**<sup>2</sup>, Professor at the Department of Commodity Expertise and Customs Affairs, Doctor of Technical Sciences, Professor

**Petr Ivanovich Tokarev**<sup>3</sup>, Head of the Department of Commodity Expertise and Customs Affairs, Doctor of Biological Sciences

**Olga Alekseevna Kosareva**<sup>4</sup>, Associate Professor at the Department of Commerce and Trade, Candidate of Technical Sciences, Docent