

УДК 663.41

DOI: 10.46548/21vek-2021-1056-0024

ВЛИЯНИЕ СОЕДИНЕНИЙ ПИВА НА ФОРМИРОВАНИЕ ЦВЕТА

© 2021

Грибкова Ирина Николаевна, кандидат технических наук, старший научный сотрудник
Всероссийский научно-исследовательский институт пивоваренной, безалкогольной и винодельческой
промышленности – филиал ФГБНУ «ФНЦ пищевых систем им. В.М. Горбатова» РАН
(119021, Россия, Москва, улица Россолимо, д. 7, e-mail: institut-beer@mail.ru)

Елисеев Михаил Николаевич, доктор технических наук, профессор
Российский экономический университет им. Г.В. Плеханова
(117997, Российская Федерация, г. Москва, Стремянный пер., 36, e-mail: michail_eliseev@mail.ru)

Аннотация. Приведен аналитический обзор соединений, участвующих в образовании окраски пивоваренной продукции, а также методов ее определения. Установлено, что вклад в развитие окраски пива принадлежит полифенолам, меланоидинам, ионам металлов, некоторым витаминам и зависит от сырья и технологических условий производства. Приведен подробный состав полифенольных соединений, участвующих в образовании цвета продукции, как наиболее весомых по количественному признаку. Показано наиболее весомое влияние на развитие окраски катехинов и проантоцианидинов растительного сырья, применяемого в технологии пивоварения. Оценена роль ионов Fe^{2+} и Cu^{2+} относительно влияния на развитие темного окрашивания вследствие их высокой способности к хелатированию. Оценено влияние рибофлавина на развитие окраски светлых сортов пива. Рассмотрены системы оценки цветовых характеристик в отечественной и зарубежной пивоваренной отрасли. Приведены и оценены спектрофотометрические и другие методы измерения цветовых характеристик пива в рамках оценки качественных параметров. Установлены недостатки в оценке цветовых характеристик вследствие применения неполного спектра длин волн, что позволяет говорить об актуальности проведения исследовательских работ в этой области с целью изменения методологической базы оценки качественных параметров пивоваренной продукции.

Ключевые слова: пиво, формирование цвета, полифенолы, меланоидины, спектрофотометрические методы определения

THE BEER COMPOUNDS INFLUENCE ON COLOR FORMATION

© 2021

Gribkova Irina Nikolaevna, candidate of technical sciences, senior researcher
All-Russian Research Institute of the brewing, non-alcoholic and wine-making industry
A branch of the FSBI "FNT food systems them. V.M. Gorbato" RAS
(119021, Russia, Moscow, Rossolimo St., 7, e-mail: institut-beer@mail.ru)

Eliseev Michail Nikolaevich, doctor of technical sciences, professor
Russian University of Economics. G.V. Plekhanov
(117997, Russia, Moscow, Stremyanniy lane, 36, e-mail: michail_eliseev@mail.ru)

Abstract. An analytical review of the brewing products color compounds formation involved, as well as methods for its determination is given. It has been established that the contribution to the development of beer color belongs to polyphenols, melanoidins, metal ions, some vitamins and depends on raw materials and technological conditions of production. The detailed composition of polyphenolic compounds participating in the formation of product color, as the most significant in terms of quantitative characteristics, is given. The most significant influence on the color development of catechins and proanthocyanidins of plant raw materials used in brewing technology is shown. The Fe^{2+} and Cu^{2+} ions role in relation to their influence on the dark coloration development due to their high ability to chelate was evaluated. The influence of riboflavin on the color development of light beers has been assessed. The systems for assessing color characteristics in the domestic and foreign brewing industry are considered. The spectrophotometric and other methods of measuring the color characteristics of beer in the framework of the assessment of qualitative parameters are presented and evaluated. Disadvantages in the assessment of color characteristics due to the use of an incomplete spectrum of wavelengths have been established, which allows us to speak about the relevance of research work in this area in order to change the methodological base for assessing the quality parameters of brewing products.

Keyword: beer, color formation, polyphenols, melanoidins, spectrophotometric determination methods.

Введение. В последнее время требования к качеству продуктов питания, в частности пива, возросли в связи с экономическими требованиями стран ЕвразЭС. Это связано с желанием гармонизировать требования к отечественной продукции на территории Евразийского Сообщества и сделать продукцию конкурентноспособной на европейском рынке.

Большое значение имеет методическая база, посредством которой будут оцениваться качественные показатели пивоваренной продукции – она должна быть также гармонизирована в соответствии с требованиями Европейской пивоваренной конвенции и Аналитической комиссии по пивоварению Центральной Европы (МЕВАК). Прежде всего, необходимо

точно определиться, какие соединения ответственны за образование цвета или окраски пивоваренной продукции.

Установлено, что соединения, формирующие цвет пива – это меланоидины, карамели, полифенолы, ионы металлов, таких как медь и железо, и кофермент биохимических процессов рибофлавин [1-3].

Меланоидины, как известно, являются водорастворимыми пигментами, цвет которых находится в диапазоне от желтого до темно-коричневого [4]. Формируются меланоидины в основном при производстве солода на стадии сушки и отсушки готового солода в условиях высоких температур при реакции Майяра между моно-, ди- и трисахарами и аминокислотами [5]. Карамели образуются в результате реакции карамелизации при температурах выше 120°C и зависят от *pH* и типа сахара [6]. Также карамелизация может происходить в условиях финальной стадии приготовления солода.

Полифенольные соединения оказывают разностороннее влияние на качество пива, потому что вследствие многочисленности форм они влияют на образование аромата, вкуса, цвета и помутнений в технологии [7-10].

Ионы металлов меди и железа присутствуют в пиве в составе коллоидов (белков, сахаридов, полифенолов), встречаются в составе соединений, ответственных за помутнения [11]. Помимо включения в состав полифенолов, ионы меди выступают катализатором синтеза перекисей в присутствии кислорода воздуха, способствует прохождению реакции распада сахаридов при нагревании, что влияет на стабильность пива [11].

Содержание рибофлавина в безалкогольном пиве доходит до 0,11 мг/дм³, а в пиве, содержащем алкоголь, достигает 0,3-1,3 мг/дм³ [12]. Сам по себе рибофлавин окрашен в ярко-оранжевый цвет, что, несомненно, может влиять на вклад данного соединения в образование цвета пива. Рибофлавин имеет солодовое происхождение, хмель и дрожжи незначительно вносят вклад в его содержание [13].

Исследование проблемы влияния соединений растительного сырья на цвет готового пива является

перспективным направлением в современном пивоварении с точки зрения выявления путей влияния того или иного соединения на цвет, а также разработку или уточнение методики для оценки интенсивности цвета для гармонизации методов определения качества пива с европейскими стандартами.

Целью работы являлось теоретическое обоснование и анализ степени влияния соединений растительного сырья пива на формирование цветовых характеристик готового пива.

Материалы и результаты исследований. Материалами для исследования послужили научные и аналитические данные зарубежных и отечественных источников информации.

В качестве методов исследования использовались мониторинг и анализ источников информации, их систематизация и обобщение для осуществления подведения итогов проведенной исследовательской работы.

Необходимо рассмотреть вопрос количественного содержания цветоформирующих соединений в составе пива, которые представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Содержание соединений в пиве, влияющих на образование цвета [5, 14-17]

Перечень основных соединений	Содержание, мг/дм ³
Меланоидины	0,61-0,49
Полифенолы	до 800
Ионы металлов:	
- медь	около 0,06
- железо	0,63-1,20
Рибофлавин	до 1,3

Как видно из данных таблицы 1, что в перечне отсутствуют данные по содержанию карамелей в пиве. На самом деле, исследователи часто используют оценку интенсивности цвета в единицах ЕВС вместо количественной оценки содержания карамелей в пиве по причине проблематичности их выделения [18].

По значимости минорных соединений, судя по данным таблицы 1, первое место принадлежит полифенольным соединениям.

На рисунке 1 представлены виды, а в таблице 2 – характеристика полифенольных соединений пива.

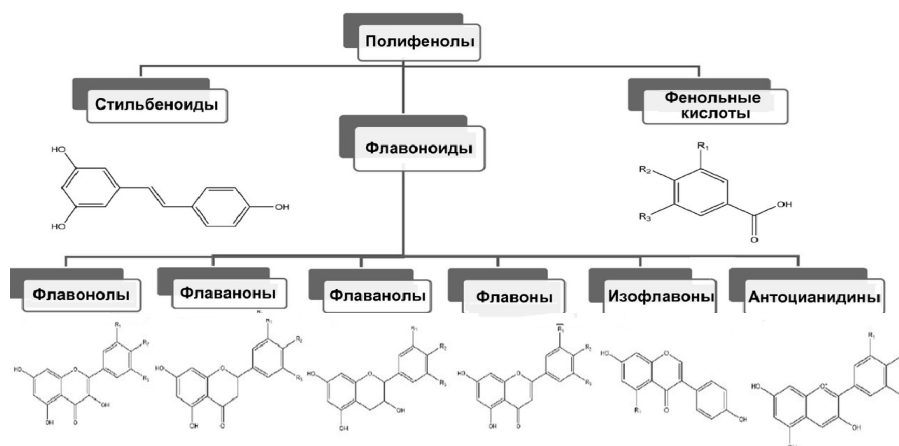


Рисунок 1 – Классификация и строение полифенольных соединений пива [19, 20].

Таблица 2 – Характеристика фенольных соединений в пиве [21–31]

Класс фенолов	Группа	Соединения	Источник, соотношение	Участие в образовании		Концентрация, мг/дм ³ , в пиве
				помутнения	цвета	
Мономерные	спирты	тирозол	солод	-	-	3–40
	кислоты и их производные	гидроксibenзойная	солод<хмель	-	-	10–30
		протокатеховая	солод		-	
		галловая	солод<хмель		-	
		ванильная	солод<хмель		-	
		сиреневая	солод<хмель		-	
		гентисиковая	солод		-	
		п-кумаровая	солод<хмель		-	
		кофейная	солод<хмель		-	
		феруловая, коричная	солод<хмель		+	
		синаповая	солод<хмель		-	
		хлорогеновая	солод<хмель		-	
		4-винилгваякол и гомологи	солод		+	
		этилфенол	солод		-	
	амины	горденин, тирамин, N-метилтирамин, тирозамин, тирозин	солод	-	-	10–20
	флавоноиды, флаван-3-олы (катехины)	(+) катехин, (+) эпикатехин и др. изомеры	солод<хмель	+	+	0,5–13
	пренилфлавоноиды	ксантогумол, изоксантогумол и гомологи	хмель	-	-	0,002–3,5
	антоцианогены	B3, B4 процианидин B3 продельфинидин, процианидин и продельфинидин C	солод<хмель солод>хмель	+	+	4–80
	флавонолы	кемпферол, гликозиды кверцетин, гликозиды мирицетин, гликозиды рутин и др.	хмель	-	-	менее 10
Конденсированные		димерные катехины	солод, хмель	+	+	5–8
		тримеры		+	+	менее 1

Данные таблицы 2 свидетельствуют о том, что ответственны за образование цвета наибольшим образом флаван-3-олы и их изомеры, а также антоцианогены.

Флаваноиды характеризуют наличие желтого цвета в продукте [32]. Подобная окраска формируется за счет метилирования или гидроксилирования ядра А в составе структуры флаваноида. Отмечено, что различные флавонолы и флавоны выступают в роли пигментов антоцианов [33, 34]. Поэтому представленные в пиве флавонолы в сочетании с проантоцианидинами имеют легкий буроватый цвет за счет их реакции с другими полифенолами, особенно антоцианами, и за счет других ферментативных реакций [35]. Как показали исследования, наряду с флаван-3-олами в окраске пива из мономерных представителей фенольных кислот участвовали коричная и производные 4-винилгваякола [36].

На втором месте по количественному признаку в отношении образования цвета стоят ионы меди и железа (табл. 3).

Установлено, что ионы металлов по причине хелатирующего действия могут связываться с азотистыми и полифенольными соединениями в структуре пива [37, 38].

Ученые установили, что поведение ионов меди в пиве зависит от степени гидрофобности и заряда. Большая часть (74–82%) меди, содержащейся в пиве, находится в остаточной (инертной) фракции, в гидрофобной форме находились 10–14% всего количества меди в структуре полифенолов, а на катионные части-

цы или свободную *Si* приходилось 12–13% от общего ее содержания [39].

Ионы железа способны встраиваться в состав ядра А у полифенолов, что приводит к потемнению окраски пива, и эта реакция была положена в основу методов определения полифенолов [40, 41].

Третье место по количественному признаку относительно формирования цвета пива занимает рибофлавин. Рибофлавин имеет солодовое происхождение, и меняется незначительно в ходе технологических процессов (фильтрации, брожения, осветлении и пастеризации), но чувствителен к свету [42]. Пик поглощения рибофлавина находится на уровне 445 нм, причем наибольшее влияние он оказывает на светлые типы пива [42].

Последнее место по количественному признаку относительно формирования цвета пива принадлежит соединениям с высокой антиоксидантной активностью – меланоидинам и карамелям [4].

Соединения меланоидинов имеют молекулярную массу 10–50 кДа и образуются в результате сахароаминной реакции (реакция Майяра). Интенсивность реакции определяется строением предшественников (аминокислот, пептидов, пептонов, моно-, ди и три-сахаров) и параметрами процесса (соотношением реагирующих веществ, температурой, *pH* среды, длительностью).

Снижение реакционной активности аминокислот и сахаров в реакции Майяра прослеживается в следующем порядке: – аминокислоты: лизин → глицин →

метионин → аланин → валин → глутамин → фенилаланин → цистин → тирозин; – сахара: ксилоза → арабиноза → глюкоза → лактоза → мальтоза → фруктоза [43].

Установлено, что температура влияет на скорость реакции более значимо – интенсивность реакции нарастает при увеличении показателей температуры в узком диапазоне значений – с 60°C до 90°C, при температуре 140°C образование меланоидинов полностью затухает, так как аминокислоты термически необратимо разрушаются. Оптимальным значением кислотности среды является pH от 7 до 8 ед., причем реакция Майяра протекает в широком интервале pH от 3 до 10 ед. [44].

Интенсификацией меланоидинообразования можно добиться введением в реактивную среду металлов с переменной валентностью [45].

Реакция Майяра многостадийна – первом этапе происходит образование гликозиламина, не обладающего ни цветом ни запахом, и только на последующих стадиях в зависимости от строения реагирующих соединений образуются разноокрашенные продукты с присутствием различных хромофоров, таких например как 2-[(2-фурил)метилен]-4-гидрокси-5-метил-2Нфуран-3-он, имеющего характерный желтый цвет [46].

Вследствие протекающего комплекса сложных реакций Амадори образуются низкомолекулярные дикарбонильные соединения (2-оксопропаналь), сшивающие молекулы 4-гидрокси-5-метил-3-фуранона с образованием соединений темно-оранжевого цвета [46].

Кроме того, промежуточные продукты 1,2-енолизации в течение всего процесса могут вступать в реакцию с различными аминокислотами с образованием окрашенных соединений: фурфурола с пролином при нагревании способствует образованию вещества с хромофором интенсивно желтого цвета, а с аланином – красного цвета [46]. Фурфурол или 5-гидроксиметилфурфурол с азотистыми соединениями образуются комплексы коричневой окраски молекулярной массой более 50 кДа [46], часто не растворимые в воде, и характеризующиеся сильным поглощением в ультрафиолетовом свете с выраженными восстановительными свойствами [46]. Кроме того, обнаружено присутствие карбонильных соединений (например, пировиноградной кислоты и ее производного – ацетона), редуцтонов и дегидроредуцтонов, веществ, обладающих сильно выраженными восстанавливающими свойствами [43].

Интересно отметить, что основные продукты реакции меланоидинообразования ответственны только за окраску, и лишь побочные продукты отвечают за вкус и аромат [48].

Стандартный меланоидин содержит гидроксильные, карбонильные и карбоксильные группировки, кратные и эфирные связи, что обуславливает его реакционную способность, выражающуюся в агломерации с другими соединениями коллоидной системы пива [43].

Необходимо отметить, что интенсивность и разно-

образие аромата от продуктов реакции Майяра в пиве ограничено сырьевыми и технологическими особенностями [47]. Так, в зерновом сырье присутствуют из сахаров мальтотриоза, мальтоза, сахароза, глюкоза и фруктоза, аминокислотный ряд представлен шире: 70-80% аминокислот имеют зерновое происхождение, остальные получены в результате жизнедеятельности дрожжей [49].

Проведению реакции Майяра способствует, в основном, стадия и длительность соложения, а также температурные условия сушки солода, а также осветления сусла при кипячении его с хмелем, то есть в условиях pH 5,6-5,7 и температуре от 70°C до 100°C в присутствии кислорода в зависимости от особенностей аппаратного оформления стадии охмеления.

Карамелеобразование направлено на реакцию между углеводными остатками, продукты данного процесса полимерны и представлены летучими веществами и группой олигоконденсированных нелетучих углеводов [50]. Показано, что карамелизованная сахароза содержит 3 основных продукта: продукт дегидратации, карамелан $C_{12}H_{18}O_9$; и два полимера, карамелен $C_{36}H_{50}O_{25}$ и карамелин $C_{96}H_{102}O_{51}$ и ряд сопутствующих в виде альдегидов фуранового ряда и меланоидинов, отвечающих за антиоксидантные свойства [51, 52].

В зависимости от типа сахара наибольшей скоростью реакции обладала фруктоза, за ней сахароза, глюкоза, крахмальный сироп и мальтоза. При исследовании влияния температуры было показано, что повышение температуры среды до 110°C способствовало увеличению скорости реакции в 5 раз. Было показано, что pH 10 наиболее эффективная кислотность среды для интенсивного карамелеобразования [53].

Реакция карамелеобразования наиболее характерна для специальных типов солодов, поскольку наиболее интенсивно проходит в условиях пониженного содержания воды, таким образом карамели переходят в пиво исключительно из сырья.

Отметим различие градаций в определении типовой принадлежности пива к светлому или темному в России и за рубежом (табл. 3).

Таблица 3 – Градация пива по цвету [54-57]

Цвет, ед. ЕВС	Характеристика цвета пива в зависимости от страны производства	
	Россия	Европа, США
3-6	светлое	от очень светлого до светлого
6-10		от светлого до соломенного
10-18		от соломенного до золотого
18-30		от золотого до медно-красного
30-40	темное	от медно-красного до красно-коричневого
40-80		темно-коричневое
более 80		черное

Как видим, оттенков у светлого и темного типов пива много, поэтому методы определения пива преимущественно спектрофотометрические, однако существуют и другие способы определения цвета пивоваренной продукции – это методы сравнения (окрашенных растворов или цветовых шкал) и пр. [54, 58, 59].

В таблице 4 представлены методы определения

цвета в зависимости от спектрофотометрических характеристик.

Таблица 4 – Спектрофотометрические методы определения цветности пива [60-62]

Наименование методики	Рабочая длина волны, λ, нм	Соединения с максимумом поглощения при данной длине волны
Цвет по ЕВС (Комитет по анализу Европейской пивоваренной конвенции)	430±10	полифенолы, рибофлавин
Цвет по МЕВАК	440±10	
Цвет по отечественной методике	540±10	меланоидины, проантоцианидины, ионы металлов

Данные таблицы 4 свидетельствуют о том, что спектры поглощения некоторых цветообразующих соединений не учтены, например, с максимум поглощения при $\lambda=600\div750$ нм.

Поэтому некоторые исследователи заявляют, что по имеющимся методикам существует некорректное определение цвета пива – существуют случаи образцов с одинаковыми величинами цветности по ЕВС, но отличающихся разными спектрами пропускания света за пределами рабочей длины волны [63, 64].

Таким образом, необходимо более глубокое исследование веществ, присутствующих в пиве и влияющих на уровень цвета в образцах продукции.

Выводы. Анализ публикационной активности относительно рассматриваемой проблемы выявил несомненный интерес относительно оценки степени влияния различных соединений пива на формирование цвета. Установлена несомненная роль и степень влияния на образование окраски пива такими соединениями, как полифенолы, меланоидины, некоторые витамины, ионы металлов. Оценена роль полифенолов в формировании окраски пива и установлены источники их происхождения. Показан перечень методик по оценке уровня цвета пива и системы градации пивоваренной продукции по цвету. Проведенный аналитический анализ позволил выявить проблему адекватной оценки цветности пива и неточности методик, применяемых при изучении качества пивоваренной продукции, а также необходимости продолжать исследования в этой области для того, чтобы учесть влияние всех соединений, присутствующих в пиве и участвующих в формировании цвета на всех этапах производства.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

- De Schutter D.P., Saison D., Delvaux F., Derdelinckx G. et al. The chemistry of aging beer. In *Beer in Health and Disease Prevention*, 1st ed., Preedy, V.R., Ed.; Academic Press Inc.: New York, NY, USA, 2008; pp. 375–388.
- Lewis M.J., Bamforth C.W. *Essays in Brewing Science*, 1st ed.; Lewis, M.J., Bamforth, C.W., Eds.; Springer: New York, NY, USA, 2006; pp. 20–27.
- Pozdrik R., Roddick F.A., Rogers P.J., Nguyen T. Spectrophotometric method for exploring 3-methyl-2-butene-1-thiol (MBT) Formation in Lager. // *J. Agric. Food Chem.* 2006. V.5. pp. 6123–6129.
- Солуянова А.А., Ямашев Т.А., Решетник О.А. Условия образования меланоидинов при производстве сиропов. // *Вестник Казанского технологического университета*. 2014. Т. 21. № 23. С. 273–275.
- Кунце Л. Технология солода и пива. СПб.: Профессия, 2001. 911 с.
- Park C.W., Kang K.O., Kim W.J. Effects of reaction conditions for improvement of caramelization rate. // *Korean J. Food Sci. Technol.* 1998. V. 30. pp. 983–987.
- Awad P.A., Decloux V., Ferrari M. et al. The Evolution of Volatile Compounds during the Distillation of Cognac Spirit. // *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2017. V.65. pp. 7736–7748. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.7b02406>.
- Inui T., Tsuchiya F., Ishimaru M. et al. Different beers with different hops. Relevant compounds for their aroma characteristics. // *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2013. V.61. no.20. pp. 4758–4764. <https://doi.org/10.1021/jf3053737>.
- Rettberg N., Biendl M., Garbe L.-A. Hop Aroma and Hoppy Beer Flavor: Chemical Backgrounds and Analytical Tools - A Review. // *Journal of the American Society of Brewing Chemists*. 2018. V.76. no 1. pp. 1–20. <https://doi.org/10.1080/03610470.2017.1402574>.
- Козлов В.И., Грибкова И.Н. Влияние полифенолов на качество пива. // *Актуальные вопросы индустрии напитков*. 2018. № 2. С. 74–76. DOI 10.21323/978-5-6041190-3-7-2018-2-74-76.
- Даниловцева А.Б., Царева И.В. Влияние содержания высокомолекулярных соединений на технологические параметры производства пива. // *Пиво и напитки*. № 2. С. 32–36.
- Меледина Т.В., Дедегкаев А.Т. Коллоидная стойкость пива: Учеб. пособие. СПб.: НИУ ИТМО; ИХиБТ, 2014. с. 8–9.
- Пьер Э., Фам А.-Л., Дантюк М. Пивогарфика: легкое лакомство с историей, географией, производством. М.: Эксмо, 2019. 128 с.
- Duyvis M., Hilhorst R., Laane C., Evans D., Schmedding D. Role of Riboflavin in Beer Flavor Instability: Determination of Levels of Riboflavin and Its Origin in Beer by Fluorometric Apoptotic Titration. // *Journal of agricultural and food chemistry*. 2002. V.50. pp. 1548–52. <https://doi.org/10.1021/jf010511k>.
- Rivero D., Pérez S., González M.L. et al. Inhibition of induced DNA oxidative damage by beers: Correlation with the content of polyphenols and melanoidins. // *J. Agric. Food Chem.* 2005. V.53. pp. 3637–3642.
- Zhao H., Li H., Sun G., Yang B. et al. Assessment of endogenous antioxidative compounds and antioxidant activities of lager beers. // *J. Sci. Food Agric.* 2013. V. 93. pp. 910–917.
- Третьяк Л.Н. Проблемы нормирования содержания соединений металлов в пиве. // *Известия Оренбургского государственного аграрного университета*. 2011. Т. 2. № 30–1. С. 281–284.
- Неудачина Л.К., Лебедева Е.Л. Определение ионов меди(II) методом капиллярного зонного электрофореза в виде комплекса с этилендиаминтетрауксусной кислотой. // *Аналитика и контроль*. 2012. Т. 16. № 2. С. 162–168.
- Coghe S., Gheeraert B., Michiels A., Delyvaux F.R. Development of Maillard Reaction Related Characteristics During Malt Roasting. // *J. Inst. Brew.* 2006. V. 112. No2. pp. 148–156.
- Itika Arora, Manvi Sharma, Trygve O. Tollefsbol. Combinatorial Epigenetics Impact of Polyphenols and Phytochemicals in Cancer Prevention and Therapy. // *Int. J. Mol. Sci.* 2019. V. 20. No 18. 4567.
- Tinahones F.J., Moreno-Indias I. et al. A New Perspective on the Health Benefits of Moderate Beer Consumption: Involvement of the Gut Microbiota. // *Metabolites*. 2019. V. 9. No 11. 272.
- Gerhauser C. Beer constituents as potential cancer chemopreventive agents. // *Eur. J. Cancer*. 2005. V. 41. pp. 1941–1954.
- De Keukeleire D. Fundamentals of beer and hop chemistry. // *Quim. Nova*. 2000. V. 23. pp. 108–112.
- Меледина Т.В. Сырье и вспомогательные материалы в пивоварении. СПб.: Профессия, 2003. – 304 с.
- Callemien D., Collin S. Structure, Organoleptic Properties, Quantification Methods, and Stability of Phenolic Compounds in Beer—A Review. // *Food Reviews International*. 2009. V. 26. No.1. pp. 1–84. <http://dx.doi.org/10.1080/87559120903157954>.
- Asano K., Ohtsu K., Shinagawa K., Hashimoto N. Turbidity formed in beer at low temperatures. Affinity of proanthocyanidins and their oxidation products for haze-forming proteins of beer and the formation of chill haze. // *Agricultural and Biological Chemistry*. 1984. V.48. No 5. pp. 1139–1146.
- Es-Safi N. E., Le Guerneve C., Fulcrand H., Cheynier V. et al. New polyphenolic compounds with xanthylum skeletons formed through reaction between (+)-catechin and glyoxylic acid. // *J. Agric. Food Chem.* 1999. V. 47 No 12. pp. 5211–5217.
- Es-Safi N.E., Fulcrand H., Cheynier V., Moutounet M. Studies on the acetaldehyde-induced condensation of (-)-epicatechin and malvidin 3-O-glucoside in a model solution system. // *J. Agric. Food Chem.* 1999. V. 47. No 5. pp. 2096–2102.
- Es-Safi N.E., Cheynier V., Moutounet M. Study of the reactions between (+)-catechin and furfural derivatives in the

- presence or absence of anthocyanins and their implication in food color change. // J. Agric. Food Chem. 2000. V. 48. No 12. pp. 5946–5954.
30. Es-Safi N.E., Le Guerneve C., Fulcrand H., Cheynier V. et al. Xanthylum salts formation involved in wine colour changes. // International Journal of Food Science and Technology. 2000. V. 35. No 1. pp. 63–74.
31. Fulcrand H., Cheynier V., Oszmianski J., Moutounet M. An oxidized tartaric acid residue as a new bridge potentially competing with acetaldehyde in flavan-3-ol condensation. // Phytochemistry. 1997. V. 46. No 2. pp. 223–227.
32. He J., Santos-Buelga C., Silva A.M.S., Mateus N. et al. Isolation and structural characterization of new anthocyanin-derived yellow pigments in aged red wines. // J. Agric. Food Chem. 2006. V. 54. No 25. pp. 9598–9603.
33. Макаренко О.А., Левицкий А.П. Физиологические функции флавоноидов в растениях // Физиология и биохимия культ. растений. 2013. Т. 45. № 2. С. 100–112.
34. Andersen O.M., Markham K.R. Flavonoids: chemistry, biochemistry and application. — New York: CRC Press, 2005. — P. 397–441.
35. Parr A.J., Bolwell G.P. Phenols in the plant and man. The potential for possible nutritional enhancement of the diet by modifying the phenols content or profile // J. Sci. Food Agr. 2000. V.80. pp. 985–1012.
36. Shoji T. Polyphenols as Natural Food Pigments: Changes During Food Processing. // American Journal of Food Technology. 2007. V. 2. pp. 570–581. <https://doi.org/10.3923/ajft.2007.570.581>.
37. Zhao H., Chen W., Lu J., Zhao M. Phenolic profiles and antioxidant activities of commercial beers. // Food Chem. 2010. V.119. pp. 1150–1158. doi: 10.1016/j.foodchem.2009.08.028.
38. Mochaba F., O'Connor-Cox E. S. C., Axcell B. C. Effects of yeast quality on the accumulation and release of metals causing beer instability. // J. Am. Soc. Brew. Chem. 1996. V.54. No 3. pp. 164–171.
39. Zufall C., Tyrell T. The influence of heavy metal ions on beer flavour stability. // J. Inst. Brew. 2008. V. 114. No 2. pp. 134–142.
40. Pohl P., Sergiel I. Evaluation of the total content and the operationally defined species of copper in beers and wines. // J. Agr. Food Chem. 2009. V. 57. pp. 9378–9384.
41. Patel D.S, Shah P.B, Managoli N.B. Evaluation of in-vitro Anti-oxidant and Free Radical Scavenging activities of Withania somnifera and Aloe vera. // Asian J. Pharm. Tech. 2012. V. 2. No 4. pp. 143–147.
42. Dvořáková M., Hulín P., Karabín M., Dostálek P. Determination of polyphenols in beer by an effective method based on solid-phase extraction and high performance liquid chromatography with diode-array detection. // Czech J. Food Sci. 2007. V. 25. pp. 182–188.
43. Hucker B., Wakeling L., Vriesekoop, F. The quantitative analysis of thiamine and riboflavin and their respective vitamers in fermented alcoholic beverages // J. Agric. Food Chem. 2011. V. 59. pp. 12278–12285. <https://doi.org/10.1002/jfb.312>.
44. Хачатурян Э.Е., Гвасалия Т.С., Якименко Т.П. Двести составляющих реакции меланоидинообразования. // Современная наука и инновации. 2014. № 4(8). С. 22–32.
45. Inoue S., Noguchi M., Hanaoka T., Minowa T. Organic compounds formed by thermochemical degradation of glucose-glycine melanoidins using hot compressed water. // J Chem Eng Jpn. 2004. V. 37. No 7. pp. 915–919. <https://doi.org/10.1252/jcej.37.915>.
46. Faist V., Erbersdobler H.F. Metabolic Transit and in vivo Effects of Melanoidins and Precursor Compounds Deriving from the Maillard Reaction. // Annals of Nutrition & Metabolism. 2001. V.45. No 1. pp. 1–12. <https://doi.org/10.1159/000046699>.
47. Gerrard J. The Maillard Reaction: Chemistry, Biochemistry and Implications by Harry Nursten. // Australian Journal of Chemistry. 2005. V.58. pp.756–756. <https://doi.org/10.1071/CH0505'BR>.
48. Gremer H.D., Menden E. Zusammenfassende Übersichtsberichte über nichtenzymatische Reaktionsreaktionen und ihre physiologischen Folgen – Z. Lebensmittel Unters. U.Forsch. 1956. – Bd. 104, h. S.33–42.
49. Davidek T., Blank I. Elucidating the Secrets of the Maillard Reaction Cascade – The Role of Amadori Compounds. // Chimia. 2005. V. 59. pp. 862–862. <https://doi.org/10.2533/000942905777675642>.
50. Хоконова М.Б. Азотистый состав суслу в зависимости от режима обработки несоложенного ячменя. // Пиво и напитки. 2012. № 5. С. 4–26.
51. Sengar G., Sharma H. K. Food caramels: a review. // Journal of food science and technology. 2014. V. 51. No 9. pp. 1686–1696. <https://doi.org/10.1007/s13197-012-0633-z>.
52. Zenkevich I.G., Pimenov A.I., Sokolova L.I., Makarov V.G. Identification and quantitative determination of 5-(hydroxymethyl) furfural in sugar color. // Russ J Appl Chem. 2001. V.74. No 7. pp. 1132–1136. doi: 10.1023/A:1013027203695.
53. Vtllalon Mir M., Quesada Granados J., Lopez H., de La Serrana G., Lopez Martinez M.C. High-performance liquid chromatography determination of furanic compounds in commercial brandies and caramels. // J Sci Food Agr. 1999. V. 76. No 4. pp. 579–587.
54. Park Ch.-W., Kang K.-O., Kim W.-J. Effects of Reaction Conditions for Improvement of Caramelization Rate // Korean Journal of Food Science and Technology. 1998. V.30. No 4. pp 983–987.
55. ГОСТ 31711 «Пиво. Общие технические условия», изд-во «Стандартинформ», 2019. – 15с.
56. Dornbusch H. Bavarian Helles Classic Beer Style Series No. 17. Brewers Publications. Boulder, Colorado. 2000. -pp. 59.
57. Jurado, J. The Renaissance of Red. // The Brewer International. 2002. V. 2. No 4. pp. 30–37.
58. Shellhammer T.H., Bamforth C.W. Accessing Color Quality of Beer, in: Color Quality of Fresh and Processed Food (Ed: Culver, C.A. and Wrolstad, R.E.). American Chemical Society. 2008. pp. 192–202.
59. Smedley S.M. Colour determination of beer using tristimulus values. // J. Inst. Brew. 1992. V. 98. pp. 497–504.
60. Lukinac J., Mastanjević K., Nakov G., Jukić M.. Computer Vision Method in Beer Quality Evaluation—A Review. // Beverages. 2019. V. 5. No 38. pp. 1–21; <https://doi.org/10.3390/beverages5020038>.
61. De Lange A.J. Color. In Brewing Materials and Processes. A Practical Approach to Beer Excellence, 1st ed.; Bamforth, C.W., Ed.; Academic Press Elsevier: London, UK, 2016; pp. 199–249.
62. ГОСТ 12789-1987 «Пиво. Методы определения цвета», Стандартинформ, 2011. – 10с.
63. Мальцев П.М., Великая Е.И., Заирная М.В., Колотуша П.В. Химико-технологический контроль производства солода и пива; М.: Пищевая промышленность, 1976. – 446с.
64. Smedley S. M. Towards Closer Colour Control in the Brewery. // Brew. Guard. 2005. No 9. pp. 22–25.

Статья поступила в редакцию 23.09.2021

Статья принята к публикации 07.12.2021