

Научная статья

УДК 66.067

DOI 10.24888/2541-7835-2024-31-43-53

ПЕРСПЕКТИВЫ СУХОГО ОХМЕЛЕНИЯ В ПИВОВАРЕНИИ

Ключников Андрей Иванович¹✉

¹Московский государственный университет технологий и управления им. К. Г. Разумовского (ПКУ), Москва, Россия

¹kaivanov@mail.ru✉

Аннотация. Неуклонное расширение ассортимента и производство новых сортов пива с многообразными вкусо-ароматическими оттенками является одной из составляющих успеха неуклонного развития пивоваренной отрасли. Причем речь здесь не идет о пивных напитках, в рецептуре которых можно встретить нетрадиционные ингредиенты, не свойственные классическому пивоварению. В основе получения новых сортов пива с характерными вкусо-ароматическими особенностями находится использование определенных сортов хмеля, вносимого в напиток на разных технологических стадиях его производства определенным способом, в различных сочетаниях и в соответствии с обоснованным алгоритмом. В настоящей статье рассматриваются существующие способы и оборудование для сухого охмеления, обоснован ожидаемый набор органолептических свойств пива, приобретаемых в зависимости от применяемого способа, приведено экспериментальное оборудование для приготовления сусле и пива, сухого охмеления динамическим способом и на стадии главного брожения, результаты органолептической оценки образцов пива, полученных в результате сухого охмеления при помощи дескрипторно-профильного метода, их вкусо-ароматические профили и физико-химические свойства, обоснованы сорта хмеля и их дозировка в рецептурах напитка, производимого в условиях пивоваренных предприятий малой мощности.

Ключевые слова: пиво, сухое охмеление, ароматные и горькие сорта хмеля, хмелевой экстрактор, вкусо-ароматический профиль

Для цитирования: Ключников А.И. Перспективы сухого охмеления в пивоварении // Агропромышленные технологии Центральной России. 2024. № 1(31). С. 43-53. <https://doi.org/10.24888/2541-7835-2024-31-43-53>.

Original article

PROSPECTS FOR DRY HOPPING IN BREWING

Andrey I. Klyuchnikov¹✉

¹Moscow State University of Technology and Management K. G. Razumovsky (PKU), Moscow, Russia

¹kaivanov@mail.ru✉

Abstract. Steady expansion of the assortment and production of new varieties of beer with diverse flavors and aromatic shades is one of the components of the success of the steady development of the brewing industry. Moreover, we are not talking about beer drinks, in the recipe of which you can find non-traditional ingredients that are not typical for classical brewing. The basis for obtaining new varieties of beer with characteristic taste and aromatic characteristics is the use of certain varieties of hops, introduced into the drink at different technological stages of its production in a certain way, in various combinations and in accordance with a well-founded algorithm. This article discusses existing methods and equipment for dry hopping, substantiates the expected set of organoleptic properties of beer acquired depending on the method used, provides experimental equipment for the preparation of wort and beer, dry hopping in a dynamic way and at the stage of main fermentation, results of organoleptic evaluation of beer samples, obtained as a result of dry hopping using the descriptor-profile method, their flavor and aroma profiles and physical and chemical properties, hop varieties and their dosage in the recipes of drinks produced in low-power breweries are substantiated.

Keywords: beer, dry hopping, aromatic and bitter hop varieties, hop extractor, flavor and aroma profile

For citation: Klyuchnikov A.I. Prospects for dry hopping in brewing. Agro-industrial technologies of Central Russia, 2024, no. 1(31), pp. 43-53. <https://doi.org/10.24888/2541-7835-2024-31-43-53>.

Введение

В настоящее время актуальным является вопрос по разработке новых сортов пива с более изысканными и разнообразными оттенками вкуса и аромата, ввиду того, что потребитель стал более разборчиво подходить к выбору определенного сорта, соответствующего его запросам. Обилие информации о сортах пива, например, IPA, APA, DIPa, BIPa, AIPa, TIPA и др., способах его производства, видах используемого сырья, в т.ч. нетрадиционного, требует от владельцев пивоваренного бизнеса постоянного поиска новых нестандартных решений в рецептурах напитков для привлечения новых клиентов [1-3]. Одним из легко доступных способов расширения ассортимента и улучшения вкусо-ароматической составляющей пива является технология сухого охмеления, которая на сегодняшний день остается наиболее распространенной и легко реализуемой в условиях пивоваренного производства малой мощности. При этом технология сухого охмеления пива существенным образом не влияет на горечь конечного продукта и предназначена, главным образом, для формирования хмелевого аромата. Важным остается выбор технологии и техники для сухого охмеления, сортов хмеля и их сочетания, стадий, на которых предполагается внесение хмелепродуктов. Кратко рассмотрим эти способы [4, 5, 10]. 1. Охмеление в сусловарочном аппарате. При классическом охмелении горячего пивного сусла используют расходные резервуары в количестве, равным числу этапов внесения хмеля при кипячении. Хмель вносится в кипящее сусло в автоматическом режиме в соответствии с временным алгоритмом, например, в начале кипячения вносится горький хмель, в середине – горький хмель, за 10 – 15 мин до окончания процесса – ароматный хмель. Горький и ароматный хмель в расчетных количествах загружают в расходные резервуары с герметичными крышками. Горячее сусло с помощью циркуляционного насоса забирается из сусловарочного аппарата и направляется в один из расходных резервуаров, проходя через который увлекает за собой все количество хмеля. В зависимости от степени автоматизации гранулированный хмель для последующих варок загружается в расходные резервуары вручную или автоматически. На малых пивоварнях хмель задается непосредственно в сусловарочный аппарат в несколько стадий, согласно принятому технологическому регламенту. В этом случае при открытом способе кипячения сусла следует считаться с потерями хмелевого аромата вместе со вторичным паром, что следует учитывать при расчете ожидаемой горечи конечного продукта [6].

2. Охмеление в гидроциклонном аппарате. Внесение хмеля в гидроциклонный аппарат не способно существенным образом повлиять на горечь пива, предназначено для создания сбалансированного и явно выраженного хмелевого аромата. Поскольку хмель вносится в горячее сусло температурой выше 80...85 °С, некоторая часть α -кислот может изомеризоваться, что также следует учитывать при расчете дозировки вносимых хмелепродуктов [8].

3. Динамическое охмеление. Способ охмеления динамическим способом предусматривает использование специального оборудования («Hopmaster», «Hoptower», «Hopgun», «HopRocket», «HopBack» и др.), в корпусе которого размещается вертикальный сетчатый цилиндр с гранулированным хмелем, через который в циркуляционном режиме циркулирует готовое пиво. Хмелевой экстрактор подключается к танку с готовым пивом, откуда продукт при помощи мембранного насоса, в циркуляционном режиме прокачивается через гранулированный хмель в течение определенного времени [9].

4. Охмеление в аппарате главного брожения или дображивания. Способ сухого охмеления на стадии главного брожения применяется достаточно ограниченно, если только этого требует стилистика конкретного пива. Причиной тому являются значительные потери аромата из-за интенсивного образования углекислого газа во время главного брожения. Сухое охмеление на стадии дображивания пива является традиционным и достаточно распространенным способом. Как в первом, так и во втором случаях для сухого охмеления используют сет-

ку-контейнер, подвешиваемый в аппарате для главного брожения или дображивания до его заполнения [7].

Безусловно, на первом месте остается сенсорный анализ готовой продукции, который в условиях мини-пивоварен может быть осуществлён при помощи дескрипторно-профильного метода, позволяющего выстроить графическую визуальную модель вкусо-ароматических характеристик пива. Это становится возможным при сравнении вариаций продукта с измененными составами относительно друг друга и последующего выбора варианта, получившего максимальную оценку дегустаторов. Созданные в ходе такого анализа индивидуальные признаки напитка позволяют определить, в каких пределах можно изменять вкусо-ароматические характеристики продукта в зависимости от их количественной величины [11-15].

Целью исследования являлось изучение физико-химических и органолептических свойств пива, полученного различными способами сухого охмеления.

Материалы и методы исследований

Экспериментальные исследования по сухому охмелению пива проводились в ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет инженерных технологий» (2022 – 2023 гг.) в ФГБОУ ВО «Московский государственный университет технологий и управления им. К. Г. Разумовского (ПКУ)» (с 2023 г. по наст. время).

При выполнении настоящей работы использовались общепринятые для пивоваренной отрасли методы анализа: ГОСТ 12786-80 «Пиво. Правила приемки и методы отбора проб», ГОСТ 12787-81 «Пиво. Методы определения спирта, действительного экстракта и расчет сухих веществ в начальном сусле», ГОСТ 12788-87 «Пиво. Методы определения кислотности», ГОСТ 12789-87 «Пиво. Методы определения цвета», ГОСТ 30060-93 «Пиво. Методы определения органолептических показателей и объема продукции», ГОСТ Р 51154-98 «Пиво. Методы определения двуокиси углерода и стойкости».

Для идентификации вкуса и аромата в исследуемых образцах пива использовали дескрипторно-профильный метод – метод количественного отображения совокупности наиболее значимых органолептических признаков напитка: аромата и вкуса в виде графических профилей с использованием выбранных дескрипторов.

Специальные методики были основаны на подготовке технологического оборудования (настойной пивоварни и цилиндрикоконического аппарата «iBrew» для главного брожения и созревания, фильтродержателя с колбой, сетки-контейнера для гранулированного хмеля) к проведению процессов сухого охмеления пива.

Лабораторная пивоварня настольного типа (рис. 1) представляла собой вертикальный цилиндрический корпус с коническим днищем, в нижней части которого установлен ТЭН с электронным программируемым контроллером для выбора необходимой температуры, мощности нагревания, продолжительности ферментативных пауз. Внутри вертикального цилиндрического корпуса установлена перфорированная корзина для измельченного солода. Устройство снабжалось охладителем змеевикового типа для охлаждения охмеленного пивного сусла до температуры главного брожения 12...15 °С. Для обеспечения равномерного нагревания заторной массы, сусла во время его кипячения с хмелем предназначался циркуляционный насос. С целью предотвращения попадания крупных твердых частиц в циркуляционный насос на выпускной патрубке внутри корпуса устанавливалась фильтр-сетка. Для минимизации контакта заторной массы и пивного сусла с кислородом воздуха и потерь теплоты сверху корпус закрывали стеклянной крышкой.



Рис. 1. Комплект оборудования «iBrew» для приготовления пива:

- а) змеевик для охлаждения горячего пивного сусла; б) аппарат для затирания и кипячения; в) бродительный аппарат; г) сетка-контейнер для сухого охмеления; д) бутылка с бугельной пробкой для дображивания.

Далее осуществляли перелив охлажденного сусла в бродительный аппарат, в котором предварительно размещали сетку-контейнер с ароматным гранулированным хмелем. Бродительный аппарат помещали в холодильный шкаф с температурой 12...15 °С для главного брожения в течение 6...8 сут. По окончании процесса главного брожения из нижней части аппарата аккуратно сбрасывали осевшие дрожжи и осуществляли перелив сброженного пивного сусла в стеклянные бутылки с бугельными пробками. Затем переводили температуру холодильного шкафа на 2...4 °С и осуществляли дображивание пива в бутылках в течение 25...30 сут.

Динамический способ сухого охмеления заключался в подключении фильтродержателя (рис. 2, а) с колбой-картриджем к танку с готовым пивом (губки, входящие в комплект, не использовались). Процесс осуществляли в циркуляционном режиме в течение определенного времени. Расход пива регулировался за счет изменения частоты вращения рабочего колеса насоса.



Рис. 2. Комплекс оборудования для сухого охмеления динамическим способом: а) фильтродержатель; б) колба-картридж.

Результаты исследований и их обсуждение

Наибольшую практическую значимость представляло исследование вкусо-ароматического профиля пива, охмеленного в бродительном аппарате.

В качестве объекта сравнения выступал контрольный образец пива с экстрактивностью 11 %, приготовленный с использованием светлого солода «Пилснер» и специального солода «Мюнхен 15». Охмеление осуществлялось в сусловарочном аппарате в три этапа: 1-ый этап –

до кипячения при температуре сусла 96...97 °С, хмель «Nugget»; 2-ой этап – в середине кипячения при температуре сусла 102 °С, хмель «Nugget»; 3-ий этап – за 10 мин до окончания кипячения при температуре сусла 102 °С, хмель «Saaz». Главное брожение проводили при температуре 8...12 °С в течение 8...10 сут., используемые дрожжи – «Saflager W34/70».

Органолептическая оценка контрольного образца характеризовалась следующим образом. Во вкусе (рис. 3, а) отмечалось наличие чистого солодового вкуса, гармонично сочетающегося с приятной хмелевой горечью. Аромат пива был представлен слабым травяным, цветочным, дрожжевым оттенками с преобладанием хмелевой и солодовой нот. В целом, органолептические показатели соответствовали типу пива и нормативно-технической документации.

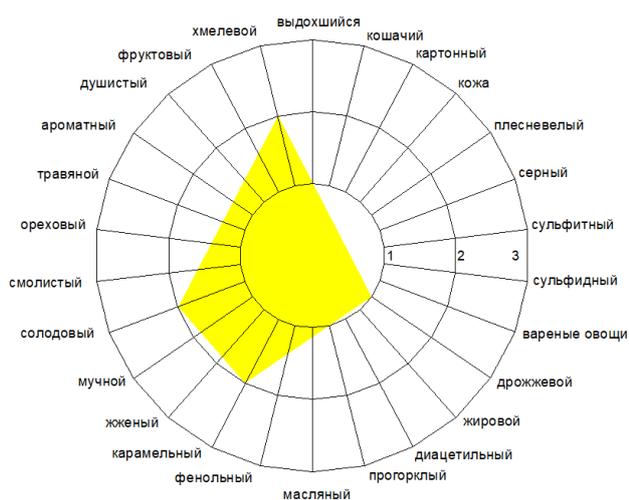
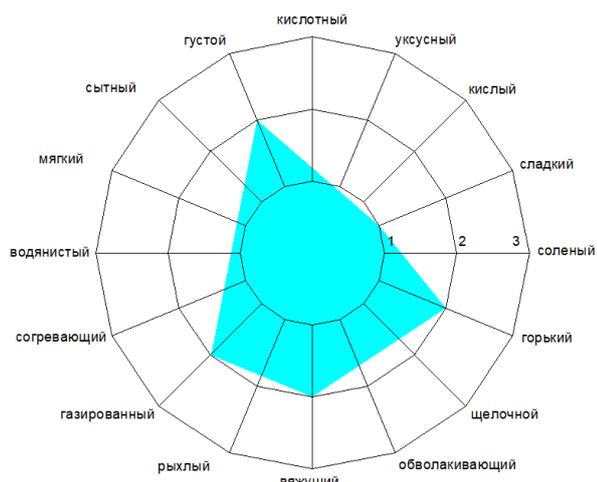
Образец № 1 приготавливали аналогично контрольному образцу и использованием дополнительного охмеления в бродильном аппарате хмелем «Citra» в количестве 10 г на 12 л его полезной вместимости. Хмель задавался в сетке-контейнере, предварительно размещаемой в бродильном аппарате до перекачки в него охлажденного сусла. Во вкусе (рис. 3, б) также отмечалось наличие чистого солодового вкуса, сочетающегося с приятной хмелевой горечью и сильно выраженными вяжущими и густыми хмелевыми нотами. Аромат пива был представлен сильно выраженными смолистым, фруктовым, цитрусовым оттенками с явным преобладанием хмелевой составляющей. Органолептические показатели также продолжали соответствовать типу пива и нормативно-технической документации.

Образец № 2 приготавливали аналогично образцу № 1 с единственным отличием в дозировке задаваемого хмеля «Citra», составляющей 20 г на 12 л полезной вместимости бродильного аппарата. Во вкусе (рис. 3, в) отмечалось наличие сильно выраженного грубого горького оттенка с присущим вяжущим тоном. Аромат пива представлен сильно выраженным смолистым, фруктовым, цитрусовым, травяным оттенками, хмелевой аромат был преобладающим и навязчивым.

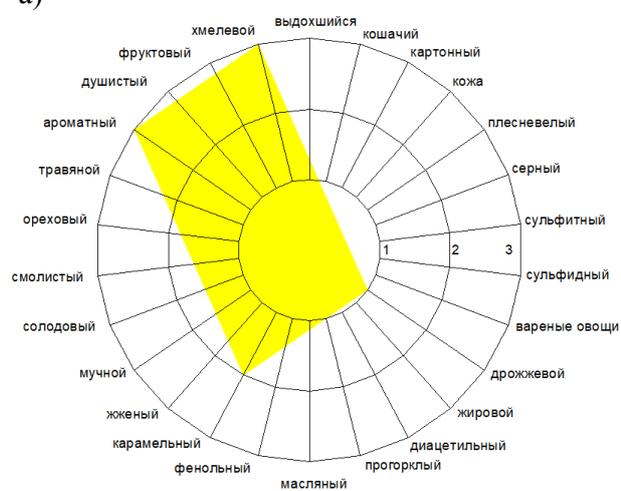
Все образцы пива имели золотистый цвет (табл. 1), с незначительной опалесценцией, наливались в бокал с небольшой малоустойчивой шапкой пены, поддерживаемой пузырьками поднимающегося углекислого газа. По вкусу и аромату контрольный образец и образец № 1 сбалансированы в целом, по вкусу, у образца № 1 выдавался цитрусовый оттенок, послевкусие – долгое, полнота вкуса – средняя, текстура – гладкая, карбонизация – средняя. У образца № 2 сильно выдавался хмелевой оттенок с долгим маслянистым послевкусием с присутствием травянистого тона. Вкус, скорее всего, не сбалансирован, полнота вкуса – средняя, текстура – маслянистая.

Таблица 1. Результаты дегустационной оценки образцов пива

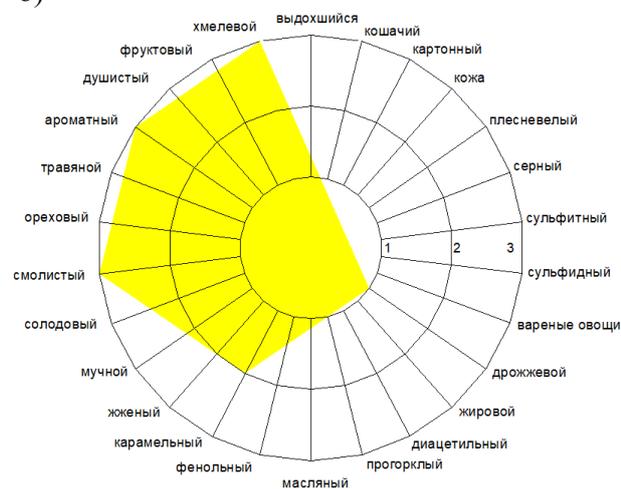
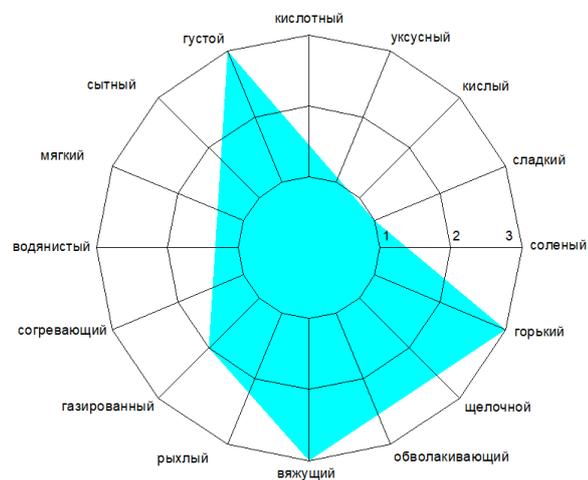
Наименование образца	Показатели качества								
	прозрачность	цвет	вкус	хмелевая горечь	аромат	пенообразование	Высота пены, мм	пеностойкость, мин	Итого, балл
Контрольный	1	3	4	5	2	4	20	3	22
Образец № 1	1	2	5	5	4	3	20	3	23
Образец № 2	1	2	3	2	4	3	20	3	18



а)



б)



в)

Рисунок 3. Профили вкуса и аромата пива:

- а) контрольный образец, охмеленный при кипячении сусле (хмель «Nugget» и «Saaz»);
 - б) образец № 1 после сухого охмеления хмелем «Citra» в количестве 10 г / 12 л;
 - в) образец № 2 после сухого охмеления хмелем «Citra» в количестве 20 г / 12 л:
- 1 – слабо выраженный; 2 – выраженный; 3 – сильно выраженный.

Также наибольшую практическую значимость представляло исследование вкусо-ароматического профиля пива, получаемого с применением динамического способа охмеления.

В качестве объекта сравнения выступал контрольный образец пива с экстрактивностью 12 %, приготовленный с использованием светлого солода «Пилснер» и карамельного солода. Охмеление также осуществлялось в сушловарочном аппарате в три этапа: 1-ый этап – до кипячения при температуре суслу 96...97 °С, хмель «Nugget»; 2-ой этап – в середине кипячения при температуре суслу 102 °С, хмель «Saaz»; 3-ий этап – за 10 мин до окончания кипячения при температуре суслу 102 °С, хмель «Saaz». Главное брожение проводили при температуре 8...12 °С в течение 10...12 сут., используемые дрожжи – «Saflager W34/70», продолжительность дображивания – 40 сут.

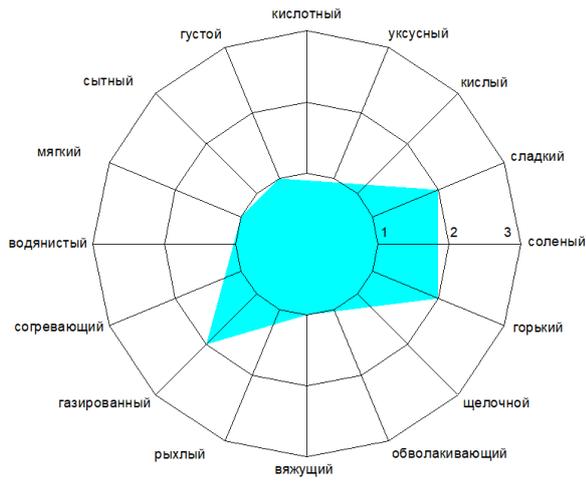
Органолептическую оценку контрольного образца можно охарактеризовать следующим образом. Во вкусе (рис. 4, а) присутствовал солодовый привкус с карамельным тоном, дополняемый сбалансированной хмелевой горечью. Аромат пива был представлен выраженными карамельными, солодовыми, травяными, фруктовыми оттенками, вызванными использованием особенностями применяемого сырья: светлого и обжаренного карамельного солода, хмеля двойного назначения «Saaz» и низовых дрожжей высокого качества. Слабо выраженный дрожжевой аромат был вызван своевременным выведением из пива обратных и избыточных дрожжей, а также дозировкой дрожжей, составляющей 40...45 г/г. В аромате отмечалось наличие хмелевого оттенка, но недостаточно выраженного, несмотря на дозировку хмеля – 1,1...1,5 г/л. По нашему мнению, потеря аромата была вызвана во время интенсивной фазы главного брожения с начальной температурой суслу 10...12 °С, во время которой ароматические вещества неизбежно терялись вместе с отводимой углекислотой. В целом, органолептические показатели контрольного образца соответствовали типу пива и нормативно-технической документации.

Образец № 1 приготавливали аналогично контрольному образцу и использованием дополнительного охмеления динамическим способом хмелем «Saaz» в количестве 5 г/л в течение 120 мин. Во вкусе (рис. 4, б) выделялся солодовый вкус с привкусом карамельного солода, соответствующий типу пива. Аромат чистый, свежий, сильно выраженный, с приятной хмелевой горечью и сильно выраженными вяжущими и густыми хмелевыми нотами, хмелевая горечь мягкая и слаженная.

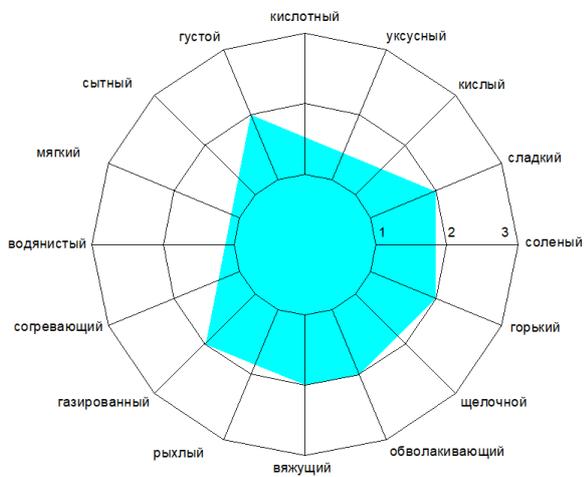
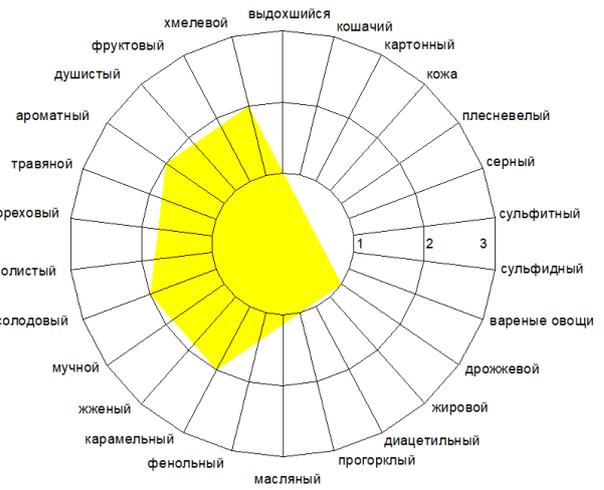
Образец № 2 приготавливали аналогично образцу № 1 с единственным отличием в дозировке вносимого хмеля «Saaz», составляющей 10 г/л в течение 120 мин. Теперь во вкусе (рис. 4, в) уже отмечалось наличие сильно выраженного грубого горького оттенка с навязчивым вяжущим тоном. Аромат сильно выраженный, хмелевая горечь не соответствовала типу пива, была очень грубой. Результаты дегустационной оценки образцов пива представлены в табл. 2.

Таблица 2. Результаты дегустационной оценки образцов пива

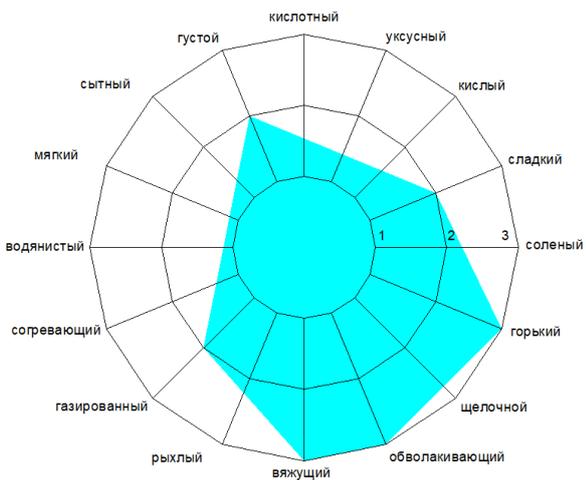
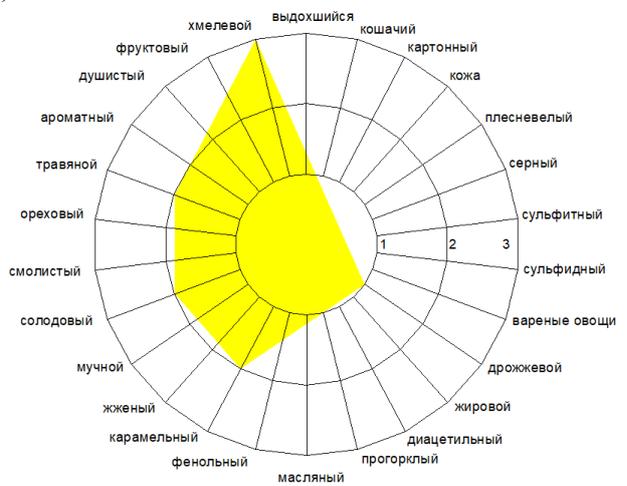
Наименование образца	Показатели качества								
	прозрачность	цвет	вкус	хмелевая горечь	аромат	пенообразование	Высота пены, мм	пеностойкость, мин	Итого, балл
Контрольный	2	3	4	4	3	4	20	3	23
Образец № 1	2	3	5	5	4	3	20	3	25
Образец № 2	2	3	3	3	4	3	18	2	20



а)



б)



в)

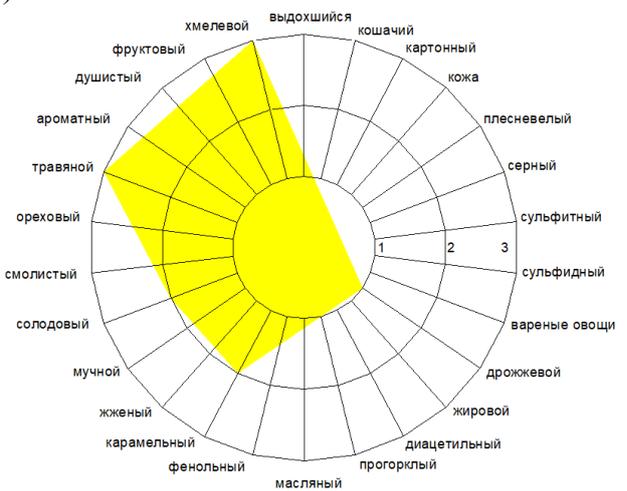


Рис. 4. Профили вкуса и аромата пива:

а) контрольный образец, охмеленный при кипячении сусли (хмель «Nugget» и «Saaz»);
 б) образец № 1 после сухого охмеления динамическим способом хмелем «Saaz» в количестве 5 г/л; в) образец № 2 после сухого охмеления динамическим способом хмелем «Saaz» в количестве 10 г/л. 1 – слабо выраженный; 2 – выраженный; 3 – сильно выраженный.

Выводы

1. Методы сухого охмеления промежуточного или готового продукта после кипячения направлены преимущественно на формирование выраженного хмелевого аромата. Хмелевая горечь, при этом, изменяется незначительно, т.к. изомеризации не происходит, но за счет извлекаемых полифенолов может существенно измениться общее восприятие данного показателя. Для данных условий при сухом охмелении в бродильном аппарате не рекомендуется превышать дозировку хмеля свыше 10 г на 12 л полезной вместимости при общей продолжительности главного брожения не более 8...10 сут. При динамическом сухом охмелении также не рекомендуется превышать дозировку хмеля более 5 г/л, а также время циркуляции более 120 мин.

2. Динамический способ охмеления пива по сравнению с внесением хмелепродуктов на стадии главного брожения является наиболее предпочтительным по причине его предсказуемого влияния на конечные показатели качества и, главным образом, на аромат. Способ легко поддается управлению за счет изменения количества вносимого хмеля, продолжительности и скорости циркуляции, величины избыточного давления.

3. Вне зависимости от выбранного способа сухого охмеления, следует отдавать предпочтение ароматным сортам хмеля с низким содержанием α -кислот (не более 6...8 %) и высокой концентрацией эфирных масел (до 3,8 %).

Список источников

1. Гернет М.В., Грибкова И.Н. Современные способы использования хмелепродуктов в пивоварении // *Хранение и переработка сельхозсырья*. 2020. №4. С. 34-42.
2. Грибкова И.Н., Борисенко О.А. Влияние соединений хмеля на формирование органолептических показателей пива при «холодном» способе охмеления // *Пиво и напитки*. 2021. №1. С. 30-35.
3. Гернет М.В., Грибкова И.Н., Борисенко О.А., Захаров М.А., Захарова В.А. Исследование миграции полифенолов хмеля в технологии пива при различных способах охмеления // *Техника и технология пищевых производств*. 2021. №3. С. 628-638.
4. Матвеева Н.А., Титов А.А. Выбор сорта хмеля для технологии сухого охмеления // *Научный журнал НИУ ИТМО. Серия «Процессы и аппараты пищевых производств»*. 2014. № 4. С. 120-125.
5. Матвеева Н.А., Титов А.А. Применение технологии сухого охмеления в пивоварении // *Научный журнал НИУ ИТМО. Серия «Процессы и аппараты пищевых производств»*. 2015. №1. С. 111-118.
6. Новикова И.В., Рукавицын П.В., Муравьев А.С. Оптимизация технологических параметров процесса сухого охмеления с разработкой методики интегральной оценки качества пива // *Хранение и переработка сельхозсырья*. 2021. №3. С. 163-172.
7. Оценка эффективности современного способа экстракции хмеля в пивоваренной промышленности с применением специализированного оборудования. Федоренко Б.Н., Орлов И.А., Каледин И.М., Скоморохов Н.С. // *Health, Food & Biotechnology*. 2020. №3. С. 57-66.
8. Тишин В. Б., Кондратьев Д.В. Процесс кипячения и охмеления пивного сусла с газлифтной циркуляцией // *Пиво и напитки*. 2006. №6. С. 8 – 9.
9. Федоренко Б. Н. Пивоваренная инженерия: технологическое оборудование отрасли. Санкт-Петербург: Профессия, 2009. 998 с.
10. Христюк А.В., Касьянов Г.И. Хмель в пивоварении // *Пиво и напитки*. 2007. № 1. С. 10-12.
11. Analysis of beer hopped with hop pellets previously used to dry-hop a beer. Gasińska A., Kawa-Rygielska J., Paszkota J., Pietrzaka W., Śniegowska J., Szumnyb A. // *LWT*. Vol. 159, 1 April 2022. P. 113186.

12. Donaldson B. A., Bamforth C. W., Heymann H. Sensory Descriptive Analysis and Free-Choice Profiling of Thirteen Hop Varieties as Whole Cones and After Dry Hopping of Beer // *Cerevisia*. Vol. 38. Issue 2. July 2013. P. 56.

13. Effect of dry hopping on the oxidative stability of beer / Hrabiaa O., Ditrychbc M., Cioseka A., Fularaa K., Andersenc M. L., Poredaa A. // *Food Chemistry*. Vol. 394. 15 November 2022. P. 133480.

14. Impact of harvest maturity on the aroma characteristics and chemistry of Cascade hops used for dry-hopping / Lafontainea S., Varnumb S., Rolandc A., Delpechc S., Daganc L., Vollmera D., Kishimotod T., Shellhammera T. // *Food Chemistry*. Vol. 278. 25 April 2019. Pp. 228-239.

15. Perceived bitterness character of beer in relation to hop variety and the impact of hop aroma / Oladokun O., James S., Cowley T., Dehrmann F., Smart K., Hort J., Cook D. // *Food Chemistry*. Vol. 230. 1 September 2017. Pp. 215-224.

References

1. Gernet M.V., Gribkova I.N. Modern methods of using hop products in brewing. Storage and processing of agricultural raw materials, 2020, no. 4, pp. 34-42.

2. Gribkova I.N., Borisenko O.A. Influence of hop compounds on the formation of organoleptic characteristics of beer with the «cold» method of hopping. *Beer and drinks*, 2021, no. 1, pp. 30-35.

3. Study of the migration of hop polyphenols in beer technology with different hopping methods. Gernet M.V., Gribkova I.N., Borisenko O.A., Zakharov M.A., Zakharova V.A. *Technology and technology of food production*, 2021, no. 3, pp. 628-638.

4. Matveeva N.A., Titov A.A. Selection of hop varieties for dry hopping technology. *Scientific journal of NRU ITMO. Series «Processes and apparatus of food production»*, 2014, no. 4, pp. 120-125.

5. Matveeva N.A., Titov A.A. Application of dry hopping technology in brewing. *Scientific journal of NRU ITMO. Series «Processes and apparatus of food production»*, 2015, no. 1, pp. 111-118.

6. Novikova I.V., Rukavitsyn P.V., Muravyov A.S. Optimization of technological parameters of the dry hopping process with the development of a methodology for integral assessment of beer quality. *Storage and processing of agricultural raw materials*, 2021, no. 3, pp. 163-172.

7. Assessing the effectiveness of a modern method of hop extraction in the brewing industry using specialized equipment. Fedorenko B.N., Orlov I.A., Kaledin I.M., Skomorokhov N.S. *Health, Food & Biotechnology*, 2020, no. 3, pp. 57-66.

8. Tishin V.B., Kondratyev D.V. The process of boiling and hopping beer wort with gas-lift circulation. *Beer and drinks*, 2006, no. 6, pp. 8-9.

9. Fedorenko B.N. *Brewing engineering: technological equipment of the industry*. St. Petersburg: Profession, 2009. 998 p.

10. Khristyuk A.V., Kasyanov G.I. Hops in brewing. *Beer and drinks*, 2007, no. 1, pp. 10-12.

11. Analysis of beer hopped with hop pellets previously used to dry-hop a beer. Gasińska A., Kawa-Rygielska J., Paszkota J., Pietrzaka W., Śniegowska J., Szumnyb A. *LWT*, vol. 159, 1 April 2022, p. 113186.

12. Donaldson B. A., Bamforth C. W., Heymann H. Sensory Descriptive Analysis and Free-Choice Profiling of Thirteen Hop Varieties as Whole Cones and After Dry Hopping of Beer. *Cerevisia*, vol. 38, issue 2, July 2013, p. 56.

13. Effect of dry hopping on the oxidative stability of beer. Hrabiaa O., Ditrychbc M., Cioseka A., Fularaa K., Andersenc M. L., Poredaa A. *Food Chemistry*, vol. 394, 15 November 2022, p. 133480.

14. Impact of harvest maturity on the aroma characteristics and chemistry of Cascade hops used for dry-hopping. Lafontainea S., Varnumb S., Rolandc A., Delpechc S., Daganc L., Vollmera D., Kishimotod T., Shellhammera T. *Food Chemistry*, vol. 278, 25 April 2019, pp. 228-239.

15. Perceived bitterness character of beer in relation to hop variety and the impact of hop aroma. Oladokun O., James S., Cowley T., Dehrmann F., Smart K., Hort J., Cook D. Food Chemistry, vol. 230, 1 September 2017, pp. 215-224.

Информация об авторах

А.И. Ключников – доктор технических наук, доцент, профессор кафедры технологии виноделия, броидильных производств и химии им. Г. Г. Агабальянца.

Information about the authors

A.I. Klyuchnikov – Doctor of technical sciences, associate professor, professor of the department of winemaking technology, fermentation and chemistry named after G. G. Agabalyants.