УДК 663.444

Оценка эффективности современного способа экстракции хмеля в пивоваренной промышленности с применением специализированного оборудования

Федоренко Борис Николаевич[1],
Орлов Илья Андреевич[1], **Каледин Иван Михайлович**[1],
Скоморохов Никита Сергеевич[1]

[1] ***ФГБОУ ВО «Московский государственный университет пищевых производств»***

Корреспонденция, касающаяся этой статьи, должна быть адресована Федоренко Борису Николаевичу, ФГБОУ ВО «Московский государственный университет пищевых производств», адрес: 125080, Москва, Волоколамское шоссе, 11, e-mail: FedorenkoBN@mgupp.ru

В данной статье представлены результаты сравнительного анализа эффективности двух методов дозировки хмеля на стадии созревания в производстве пива. В ходе эксперимента для сравнения выбран способ внесения ароматического хмеля «Galaxy» в пиво на стадии холодного созревания при помощи специального оборудования, в качестве которого был использован хмелеотделитель, произведенный компанией ООО «УралСпецТранс», а также способ дозировки хмеля напрямую в емкость дображивания. В рамках работы определяли основные физико-химические показатели молодого пива до и после процесса охмеления, также для контроля процесса экстракции растворимых веществ хмеля определяли концентрацию полифенолов и α-кислот. Исследовали молодое пиво до и после процесса сухого охмеления. Результаты сравнительного анализа показали эффективность метода дозировки хмеля, реализуемого на специализированном оборудовании.

Ключевые слова: пивоваренная промышленность, хмель, экстракция

Введение

Современные тенденции рынка пивоваренной индустрии в связи с увеличивающимся ассортиментом выпускаемой продукции требуют внедрения инновационных технологических решений в устоявшиеся производственные процессы индустрии напитков.

В производстве пива сегодня все большее применение находит технология сухого охмеления. Она подразумевает внесение хмеля в пиво на технологической стадии созревания с целью экстракции растворимых веществ и перехода в напиток ароматических компонентов. Существуют различные методы реализации технологии сухого охмеления. Целью данной работы является сравнение и выявление наиболее эффективного из двух распространенных способов – внесения хмеля напрямую в емкость с напитком и рециркуляции пива через специальный аппарат, в который предварительно дозируются хмелевые гранулы.

В данной работе проведен сравнительный анализ эффективности методов дозировки хмеля на стадии созревания с применением специализированного оборудования и классической задачи напрямую в емкость с продуктом. Для сравнения эффективности экстрагирования ароматических веществ из хмелевых гранул были использованы такие показатели, как концентрация полифенолов и α-кислот в полученном пиве.

Термин «сухое охмеление» определяется как добавление хмеля или хмелепродуктов на холодной стадии процесса пивоварения. Существует множество различных методов сухого охмеления, экспериментируя с которыми можно оценить качество и интенсивность аромата

Материал опубликован в соответствии с международной лицензией Creative Commons Attribution 4.0.

Как цитировать

Федоренко, Б. Н., Орлов, И. А., Каледин, И. М., & Скоморохов, Н. С. (2020). Оценка эффективности современного способа экстракции хмеля в пивоваренной промышленности с применением специализированного оборудования. *Health, Food & Biotechnology, 2*(3). https://doi.org/10.36107/hfb.2020.i3.s79

в готовом пиве (Рукавицын, 2017; Maye, 2016; Матвеева, 2014; Mitter, 2013). В настоящее время разработаны специальные технологии внесения хмеля и специализированное оборудование. Добавление хмеля непосредственно в емкость с молодым пивом является одним из наиболее доступных способов сухого охмеления, такой метод используется пивоваренными предприятиями малой и средней мощности. Все чаще сухое охмеление используется и крупными пивоваренными заводами для производства сортов пива с ярко выраженным хмелевым ароматическим профилем, однако сохранение стабильности аромата является предметом дискуссий (Cibaka, 2018; Vollmer, 2018; Haley, 1983).

Чтобы получить данные сорта пива - внедряют специально разработанное оборудование для дозировки хмеля, предназначенного для сухого охмеления. Принцип работы данного оборудования заключается в том, что молодое пиво рециркулирует из резервуара для созревания через аппарат, заполненный шишковым хмелем или гранулами, позволяя при этом экстрагировать растворимые компоненты хмеля, сохраняя хмелевые гранулы в устройстве (Матвеева, Титов, 2015).

На ароматический профиль пива после процесса сухого охмеления влияют такие факторы, как норма дозировки, урожай, состояния лупулиновых желез, технология задачи и размер частиц хмеля, продолжительность контакта, количество дрожжевых клеток, штамм дрожжей (Хмелевская, 2017; Hough, 1982; Bailey, 2009; Barry, 2018).

Наиболее простым и доступным способом сухого охмеления является добавление хмеля непосредственно в емкость с созревающим пивом, но в настоящее время разработаны специальные технологии внесения хмеля и сопутствующее оборудование (Бородулин, 2017; Рукавицын, 2016; Rouck, 2011).

Распространенные методы внесения хмеля с применением специализированного оборудования основываются на рециркуляции пива из резервуара для созревания через аппарат, заполненный шишковым хмелем или гранулами. При этом извлекаются экстрагируемые вещества, а сам хмель остается в аппарате.

Открытым остается вопрос выбора оптимальной технологии экстрагирования растворимых веществ хмеля. Для восполнения пробела данных по указанной проблематике в представленной работе проведен сравнительный анализ данных, полученных опытным путем, по содержанию α-кислот и полифенолов в пиве, полученном с применением различных технологий внесения хмеля.

Оборудование

В ходе эксперимента выбран способ внесения ароматического хмеля «Galaxy» в пиво на стадии холодного созревания при помощи специального оборудования, в качестве которого был использован хмелеотделитель, произведенный компанией ООО «УралСпецТранс». Данный хмелеотделитель представляет собой емкость вместимостью 60 литров, снабженную фильтрующим элементом – сеткой с ячейкой 0,63 мм, распылителями, люком кольцевым, коллектором, трубопроводом CIP со штуцером резьбовым, тангенциальными патрубками подачи продукта, патрубком слива продукта, смотровыми диоптрами, манометром с разделителем сред, шланговой надставкой для подачи углекислого газа, клапаном ограничительным и патрубком для подачи продукта внутрь фильтрующего элемента[3]. Конструктивное устройство хмелеотделителя изображено на Рис. 1.

Для оптимальной экстракции растворимых веществ хмеля процесс сухого охмеления был проведен при температурном режиме 6°С. Цилиндроконический танк (ЦКТ), в котором находится охмеляемое пиво, соединен с хмелеотделителем, предварительно заполненным хмелем, в один циркуляционный контур при помощи насоса и съемных шлангов, как изображено на Рис. 2.

Процесс циркуляции осуществляется при открытых кранах, как это указано на Рис. 2, и включенном насосе. Продолжительность сухого охмеления в ходе эксперимента составила 4 часа до наблюдения максимальной степени растворения хмелевых гранул в смотровом стекле хмелеотделителя.

При опыте с дозировкой хмеля без применения специализированного оборудования температурный режим в ЦКТ также составлял 6°С.

На каждый опыт в хмелеотделитель вносили одинаковое количество хмеля – 25 г/дал пива.

[3] «НОМАС» - завод емкостного оборудования https://nomas.ru

Рисунок 1
Хмелеотделитель (Электронный ресурс: https://nomas.ru)

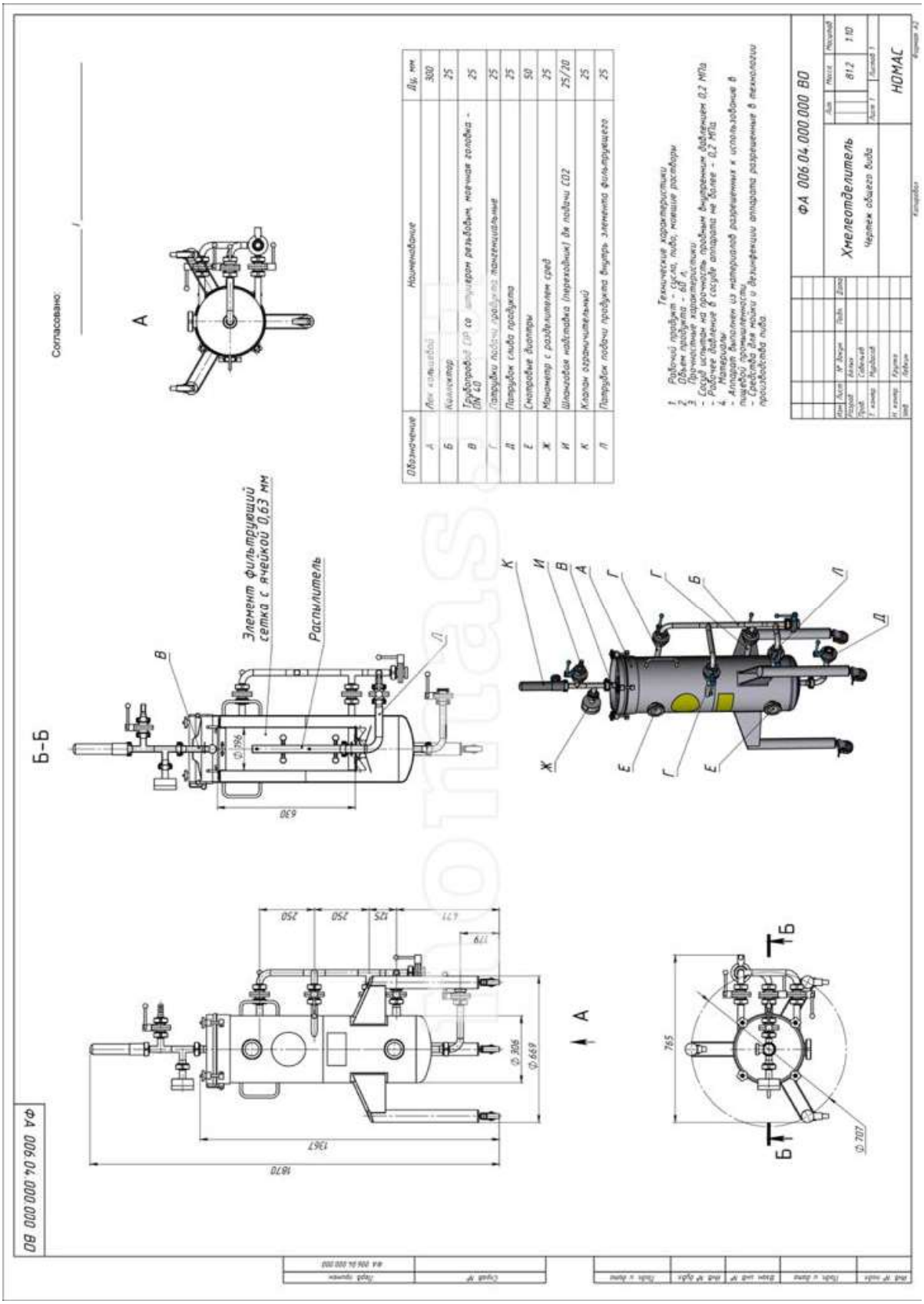
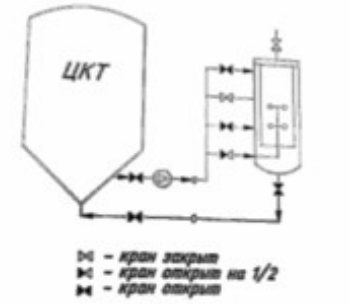


Рисунок 2
Схема соединения ЦКТ и хмелеотделителя в единый циркуляционный контур



Материалы исследования

Образцы пива готовили настойным способом из солода Pale Ale DINGEMANS (Бельгия), количество которого в засыпи составляло 95%, и 5% солода Chateau Melano (Бельгия). Качественные показатели использованного зернового сырья представлены производителями и указаны в Таблицах 1 и 2 соответственно.

Таблица 1
Физико-химические показатели солода Pale Ale DINGEMANS (Бельгия)

Параметр, ед. изм.	Результаты испытаний
Массовая доля влаги, %	4,5
Экстрактивность, % СВ	80
Цвет сусла, ЕВС	8-10
Цвет после кипячения, ЕВС	12-14
pH	6
Общий белок, % СВ	12
Растворимый белок, % СВ	5

Таблица 2
Физико-химические показатели солода Chateau Melano (Бельгия)

Параметр, ед. изм.	Результаты испытаний
Массовая доля влаги, %	4,5
Экстрактивность, % СВ	78
Цвет сусла, ЕВС	80
pH	6

Для придания пиву горечи на стадии варки сусла в начале кипячения добавляли гранулированный хмель сорта «Columbus», его показатели предоставлены производителем «Yakima Chief» (Табл. 3).

Таблица 3
Физико-химические показатели гранулированного хмеля «Columbus»

Параметр, ед. изм.	Результаты испытаний
Содержание α-кислот, %	13,9
Содержание β-кислот, %	4-5
Когумулон, % от α-кислот	34-37
Содержание масел хмеля, мл/100	1,2-2

Для сухого охмеления использовали гранулированный хмель сорта «Galaxy», показатели которого представлены производителем «Joh.Barth&Sohn GmbH&Co. KG» и указаны в Таблице 4.

Таблица 4
Физико-химические показатели гранулированного хмеля «Galaxy»

Параметр, ед. изм.	Результаты испытаний
Содержание α-кислот, %	13,1
Содержание масел хмеля, мл/100 г	2.0

Для сбраживания были использованы американские дрожжи SafAle US-05 в дозировке 25 г/гл. Температура основного брожения составляла 20 °С.

Воду использовали питьевую, соответствующую ГОСТ Р 51232-98.

В качестве вспомогательных материалов применяли:

- пищевую молочную кислоту для подкисления затора;
- в качестве источника ионов кальция соль CaCl

Методы исследования

В рамках работы определяли основные физико-химические показатели молодого пива до и после процесса охмеления, также для контроля процесса экстракции растворимых веществ хмеля в пиво определяли концентрацию полифенолов и α-кислот.

Анализ молодого пива проводили на 8 сутки брожения, перед процессом сухого охмеления и после него.

Использовали следующие методики:

- определение содержания этилового спирта и вязкости на анализаторе AntonPaar DMA4500 M;
- ГОСТ 31764-2012 Пиво. Метод определения pH;
- определение мутности по прибору фирмы «Haffmans B.V.», модель «Vos Rota 90/25»;

- ГОСТ 12788-87 Пиво. Методы определения кислотности;
- метод определения концентрации полифенольных соединений в пиве, основанный на изменении интенсивности окраски раствора полифенольных соединений в щелочной среде в присутствии железа лимонноаммиачного коричневого, водного;
- метод определения α-кислот в пиве, основанный на их экстракции из пива изооктаном.

Результаты исследования

Процесс сухого охмеления проводили в двух цилиндроконических танках (ЦКТ) с образцами пива, приготовленного по одинаковым рецептурам. В ЦКТ №1 внесение гранулированного хмеля «Galaxy» осуществлялась без применения специализированного оборудования напрямую в емкость дображивания через люк. В ЦКТ №2 дозировка хмелевых гранул производилась по описанной выше технологии сухого охмеления с применением специализированного оборудования.

Технические характеристики ЦКТ представлены производителем ООО «УралСпецТранс» (Табл. 5).

Таблица 5
Технические характеристики ЦКТ

Наименование параметра	Значение величины
Рабочий продукт	пиво
Рабочий объем продукта, л.	2000
Давление избыточное рабочее/ испытательное в сосуде, МПа	0,069/ 0,200
Температура продукта, max/min, °C	2%
Внутренний диаметр ёмкости, мм.	1400
Наружный диаметр max, мм.	1536
Высота, мм.	2800
Масса нетто, кг.	500

Отбор проб осуществляли непосредственно перед процедурой охмеления – образец №1, на первые сутки после охмеления – образец №2, на вторые сутки после охмеления – образец №3, на третьи сутки после охмеления – образец №4, на четвертые сутки после охмеления – образец №5, на пятые сутки – образец №6. Результаты анализов отобранных проб из ЦКТ№1 и ЦКТ№2 приведены в таблицах № 6 и 7 соответственно.

Для сравнения эффективности экстрагирования ароматических веществ из хмелевых гранул изменения

Таблица 6
Физико-химические показатели охмеленного пива в ЦКТ №1

Образец, №	Этиловый спирт, %	pH	Кислотность, к. ед.	Полифенолы, мг/л	Мутность, ед. EBC (при 20 *C)	Вязкость, мПа*С	α-кислоты, мг/л
1	4,89	4,5	1,9	197	14,51	1,574	8,9
2	4,9	4,6	2	211	47,6	1,572	13,1
3	4,9	4,5	2	219	12,3	1,561	14,8
4	4,91	4,6	2	221	11,2	1,55	20,2
5	4,94	4,6	2	231	12,2	1,611	22,3
6	4,94	4,6	2,1	239	12,2	1,612	25,9

Таблица 7
Физико-химические показатели охмеленного пива в ЦКТ №2

Образец, №	Этиловый спирт, %	pH	Кислотность, к. ед.	Полифенолы, мг/л	Мутность, ед. EBC (при 20*C)	Вязкость, мПа*С	α-кислоты, мг/л
1	4,9	4,5	1,9	204	14,51	1,579	9,1
2	4,9	4,6	2,1	225	52,3	1,571	14,3
3	4,9	4,5	2	219	12,53	1,564	15,6
4	4,93	4,6	2	235,3	35,0	1,55	22,2
5	4,97	4,6	2	233,1	7,5	1,622	24,2
6	4,95	4,6	2,1	243	12,4	1,615	34,9

показателей концентрации полифенолов и α-кислот со временем в полученном пиве приведены на графиках (Рис. 3–6). Отражены полиномиальные линии тренда и уравнения, описывающие зависимости прироста содержания полифенолов и α-кислот от времени, с коэффициентом достоверности R2 .

Рисунок 3
График изменения концентрации полифенолов в ЦКТ №1 с течением времени

Рисунок 4
График изменения концентрации α-кислот в ЦКТ №1 с течением времени

Рисунок 5
График изменения концентрации полифенолов в ЦКТ №2 с течением времени

Рисунок 6
График изменения концентрации α-кислот в ЦКТ №2 с течением времени

Обсуждение результатов исследования

Полученные зависимости и коэффициенты описывающих их уравнений свидетельствуют о более выраженной положительной динамике процесса экстракции полифенолов и α-кислот в опытах с применением хмелеотделителя в ЦКТ № 2. Наблюдаемые результаты подтверждают выявленный И.В. Новиковой, П.В. Рукавицыным и А.С. Муравьевым положительный эффект использования специализированного оборудования для дозировки хмеля на экстракцию полифенолов (Новикова, 2019).

Результаты проведенных испытаний показали, что прирост концентрации полифенолов в ЦКТ №1 в течение 5 суток после охмеления составлял в среднем 8,4 мг/мл за сутки.

Прирост концентрации α-кислот в ЦКТ №1 в течение 5 суток после охмеления составлял в среднем 3,4 мг/мл за сутки.

Прирост концентрации полифенолов в ЦКТ №2 в течение 5 суток после охмеления составлял в среднем 7,5 мг/мл за сутки.

Прирост концентрации α-кислот в ЦКТ №2 в течение 5 суток после охмеления составлял в среднем 5,16 мг/мл за сутки.

Исходя из полученных данных, можно заключить, что при дозировке хмеля с использованием специализированного оборудования экстрагирование α-кислот происходит активнее, чем при классической задаче хмеля через люк ЦКТ.

Также показатели концентрации α-кислот и полифенолов на 5 сутки после дозировки хмеля выше при варианте с использованием хмелеотделителя. Сравнительный анализ показал эффективность применения специализированного оборудования при экстрагировании растворимых веществ хмеля на стадии сухого охмеления в пивоваренном производстве в сравнении с дозировкой напрямую в емкость дображивания.

Заключение

Проведенная аналитическая работа позволяет подобрать пивоваренным предприятиям наиболее оптимальный режим задачи хмеля, который позволит извлечь большее количество полифенолов и α-кислот.

В связи со стремительно развивающимся инженерно-техническим обеспечением пивоваренных производств появляются новые варианты специализированного оборудования для дозировки хмеля, что обуславливает необходимость оценки эффективности новых способов охмеления и подбора оптимального режима.

Список литературы

Бородулин, Д. М., Иванец, В. Н., Сафонова, Е. А., Просин, М. В., Миленький, И. О., & Носкова, В. В. (2017). Интенсификация процесса охмеления пивного сусла с применением роторно-пульсационного аппарата. *Научный журнал НИУ ИТМО. Серия «Процессы и аппараты пищевых производств»*, (4), 3-12.

Матвеева, Н. А., & Титов, А. А. (2014). Выбор сорта хмеля для технологии сухого охмеления. *Научный журнал НИУ ИТМО. Серия «Процессы и аппараты пищевых производств»,* (4), 120-125.

Матвеева, Н. А., & Титов, А. А. (2015). Применение технологии сухого охмеления в пивоварении. *Научный журнал НИУ ИТМО. Серия*

«Процессы и аппараты пищевых производств», (1), 111-118.

Новикова, И .В., Рукавицын, П. В., & Муравьев, А. С. (2019). К вопросу перехода ароматических соединений хмеля в пиво при реализации сухого охмеления. *Пищевая промышленность*, (1), 69-73.

Рукавицын, П. В., Новикова, И. В., Коростелев, А. В., & Парашкин, М. Ю. (2016). Перспективы применения способа сухого охмеления в пивоварении. В *Инновационные решения при производстве продуктов питания из растительного сырья,* (с. 105–109).

Рукавицын, П. В., & Новикова, И. В.(2017). Условия реализации способа «сухого» охмеления в пивопроизводстве. В *Актуальные вопросы нутрициологии; биотехнологии и безопасности пищи*, (с. 213–216).

Хмелевская, А. В., Черчесова, С. К., Компанцев, А. А., & Караева, И. Т. (2017). Биологически активные вещества дикорастущего хмеля обыкновенного (Humuluslupulus L.), произрастающего в республике Северная Осетия-Алания. *Известия Горского государственного аграрного университета*, (2), 195–198.

Bailey, B., Schoenberger, C., Drexler, G., Gahr A., Newman, R., Poeschl, M., & Geiger, E. (2009). The influence of hop harvest date on hop aroma in dry-hopped beers. *Technical Quarterly,* (1), 1-7.

Barry, S., Muggah, E. M., McSweeney, M. B., & Walker, S. (2018). A preliminary investigation into differences in hops' aroma attributes. *International Journal of Food Science & Technology*, (3), 804–811. https://doi.org/10.1111/ijfs.13656

Cibaka, C., Ferreira, S., & Decourrière, L. (2018) Dry hopping with the dual-purpose varieties amarillo, citra, hallertau blanc, mosaic, and sorachi ace. Journal of the American Society of Brewing *Chemists*, (2), 122–129.

Maye, J. P. (2016). Dry hopping and its effects on the international bitterness unit test and beer bitterness. *Technical Quarterly*, (3), 134–136.http://dx.doi.org/10.1094/TQ-53-3-0808-01

Mitter, W. (2013). Dry hopping – a study of various parameters. Consequences of the applied dosing method. *Brewing and beverage industry international*, (4), 70–74.

Haley, J., & Peppard, T. L. (1983). Differences in utilisation of the essential oil of hops during the production of dry-hopped and late-hopped beers. *Journal of the Institute of Brewing*, (2), 87–91.

Hough, J. S., & Briggs D. E. (1982). *Malting and brewing science*. Chapman and Hall.

Rouck, G. de, & Clippeleer, J. de Aerts G. (2011). Analytical and sensory assessment of hoppy aroma and bitterness of conventionally hopped and advanced hopped Pilsner beers. *Cerevisia,* (2), 47–59.

Vollmer, D. M. & Shellhammer, T. H. (2018) Influence of hop oil content and composition on hop aroma intensity in dry-hopped beer. *Journal of the American Society of Brewing Chemists,* (4), 242–249. https://doi.org/10.1094/ASBCJ-2016-4123-01

Evaluation of the effectiveness of the modern hop extraction method in the brewing industry with the use of specialized equipment

Boris N. Fedorenko[1], Ilya A. Orlov[1], Ivan M. Kaledin[1], Nikita S. Skomorokhov[1]

[1] ***Moscow State University of Food Production***

Correspondence concerning this article should be addressed to Fedorenko Boris Nikolaevich, Moscow State University of Food Productions, address: 125080, Moscow, Volokolamskoe shosse, 11, e-mail: FedorenkoBN@mgupp.ru

This article presents the results of a comparative analysis of the effectiveness of two methods of hops dosage at the stage of maturation in beer production. During the experiment, for comparison, a method was chosen for adding Galaxy aromatic hops to beer at the cold maturation stage using special equipment, which was used as a hop separator produced by Uralspettrans LLC, as well as a method for dosing hops directly into the fermentation tank. As part of the work, the main physical and chemical parameters of young beer were determined before and after the hopping process, and the concentration of polyphenols and α-acids was also determined to control the extraction of soluble hop substances. Young beer was studied before and after the dry hopping process. The results of the comparative analysis showed the effectiveness of the hop dosage method implemented on specialized equipment.

Keywords: brewing industry, hops, extraction

References

Borodulin, D. M., Ivanec, V. N., Safonova, E. A., Prosin, M. V., Milen'kij, I. O., & Nºskova, V. V. (2017). Intensification of the beer wort hopping process using a rotary-pulsating apparatus. *Nauchnyj zhurnal NIU ITMO. Seriya «Processy i apparaty pishchevyh proizvodstv»* [Scientific journal of SRU ITMO. Series «Processes and Apparatus for Food Production»], (4), 3-12.

Matveeva, N. A., & Titov, A. A. (2014). Choosing a hop variety for dry hopping technology. *Nauchnyj zhurnal NIU ITMO. Seriya «Processy i apparaty pishchevyh proizvodstv»* [Scientific journal of SRU ITMO. Series «Processes and Apparatus for Food Production»], (4), 120-125.

Matveeva, N. A., & Titov, A. A. (2015). Application of dry hopping technology in brewing. *Nauchnyj zhurnal NIU ITMO. Seriya «Processy i apparaty pishchevyh proizvodstv»* [Scientific journal of SRU ITMO. Series «Processes and Apparatus for Food Production»], (1), 111-118.

Novikova, I. V., Rukavicyn, P. V., & Murav'ev, A. C. (2019). On the issue of the transition of aromatic hop compounds into beer during the implementation of dry hopping. *Pishchevaya promyshlennost'* [Food Industry], (1), 69-73.

Rukavicyn, P. V., Nºvikova, I. V., Korostelev, A. V., & Parashkin, M. Yu. (2016). Prospects for the application of the dry hopping method in brewing. In *Innovacionnye resheniya pri proizvodstve produktov pitaniya iz rastitel'nogo syr'ya* [Innovative plant-based food solutions], (pp. 105–109).

Rukavicyn, P. V., & Nºvikova, I. V. (2017). Conditions for the implementation of the method of «dry» hopping in beer production. In *Aktual'nye voprosy nutriciologii; biotekhnologii i bezopasnosti pishchi: Materialy Vserossijskoj konferencii molodyh uchenyh s mezhdunarodnym uchastiem* [Topical issues of nutritional science; biotechnology and food safety: Proceedings of the all-Russian conference of young scientists with international participation], (pp. 213–216).

Hmelevskaya, A. V., CHerchesova, S. K., Kompancev, A. A., & Karaeva, I. T. (2017). Biologically active substances of wild-growing ordinary hops (Humuluslupulus L.), growing in the Republic of Nºrth Ossetia-Alania. *Izvestiya Gorskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* [Bulletin of the Gorsk State Agrarian University], (2), 195–198.

Bailey, B., Schoenberger C., Drexler G., Gahr A., Newman R., Poeschl M., & Geiger E. (2009). The Influence of Hop Harvest Date on Hop Aroma in Dry-Hopped Beers. *Technical Quarterly*, (1), 1-7.

This article is published under the Creative Commons Attribution 4.0 International License.

How to Cite

Fedorenko, B. N., Orlov, I. A., Kaledin, I. M., & Skomorokhov, N. S. (2020). Evaluation of the effectiveness of the modern hop extraction method in the brewing industry with the use of specialized equipment. *Health, Food & Biotechnology, 2*(3). https://doi.org/10.36107/hfb.2020.i3.s79

Barry, S., Muggah E. M., McSweeney M. B., & Walker S. (2018). A preliminary investigation into differences in hops' aroma attributes. *International Journal of Food Science & Technology*, (3), 804–811. https://doi.org/10.1111/ijfs.13656

Cibaka, C., Ferreira S., & Decourrière L. (2018). Dry hopping with the dual-purpose varieties amarillo, citra, hallertau blanc, mosaic, and sorachi ace. *Journal of the American Society of Brewing Chemists,* (2), 122–129.

Maye, J. P. (2016). Dry hopping and its effects on the international bitterness unit test and beer bitterness. *Technical Quarterly*, (3), 134–136.http://dx-.doi.org/10.1094/TQ-53-3-0808-01

Mitter, W. (2013). Dry hopping – a study of various parameters. Consequences of the applied dosing method. *Brewing and beverage industry international*, (4), 70–74.

Haley, J., & Peppard T. L. (1983). Differences in utilisation of the essential oil of hops during the production of dry-hopped and late-hopped beers. *Journal of the Institute of Brewing*, (2), 87–91.

Hough, J. S., & Briggs D. E. (1982). Malting and brewing science. Chapman and Hall.

Rouck, G. de, & Clippeleer, J. de Aerts G. (2011). Analytical and sensory assessment of hoppy aroma and bitterness of conventionally hopped and advanced hopped Pilsner beers. *Cerevisia*, (2), 47–59.

Vollmer, D. M. & Shellhammer, T. H. (2018) Influence of hop oil content and composition on hop aroma intensity in dry-hopped beer. *Journal of the American Society of Brewing Chemists*, (4), 242–249. https://doi.org/10.1094/ASBCJ-2016-4123-01