

Обзор: сухое охмеление в пивоварении

Инна В. Новикова	¹	noviv@list.ru
Павел В. Рукавицын	¹	kafedra_tbisp@mail.ru
Александр С. Муравьев	¹	hnrtrun@mail.ru

¹ Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия

Реферат. Сухое охмеление определяется как добавление хмеля или хмелепродуктов на холодной стадии процесса пивоварения. Практика сухого охмеления в настоящее время используется во многих американских стилях пива (IPA, APA, ImperialStout), бельгийских (эли и трипели), традиционных британских (IPA, ExtraSpecialBitter), а также других стилях пива с развитой ароматической составляющей. К основным летучим горько-ароматическим компонентам хмеля относят терпены (мирцен, гумулен и бетакариофиллен), которые характеризуются «травянистым» ароматом. Также присутствуют линалоол и гераниол, которые придают цветочные и фруктовые ноты. Терпинеол и пинен вносят смолистый характер. В настоящее время разработаны специальные технологии внесения хмеля и соответствующее оборудование для сухого охмеления: с шишковым хмелем; хмелевой суспензией; с хмелевыми гранулами, полуавтоматические методы. Сухое охмеление проводится для увеличения «хмелевого» аромата пива и нашло применение благодаря возросшей популярности малого пивоварения в мире. Поскольку сухое охмеление производится при относительно низких температурах термическое разложение и улетучивание ароматических соединений значительно снижается. Это позволяет получить более высокую концентрацию этих соединений в готовом продукте. Источником ароматических свойств пива является полифенолы. В процессе сухого охмеления около 80–90% полифенолов извлекаются в течение первых 12 часов. Флаван-3-олы увеличивают воспринимаемую горечь и терпкость. Мономеры и олигомеры флаван-3-олов играют роль в стабильности вкуса, коллоидной стабильности и пеностойкости напитка, обладают антирадикальными и антиоксидантными свойствами.

Ключевые слова: сухое охмеление, пивоварение, фенольные соединения

Review: dry hopping in brewing

Inna V. Novikova	¹	noviv@list.ru
Pavel V. Rukavitsyn	¹	kafedra_tbisp@mail.ru
Aleksandr S. Muravev	¹	hnrtrun@mail.ru

¹ Voronezh state university of engineering technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia

Summary. Dry hopping defined as the addition of hops or hops-products at the cold stage of the brewing process. The practice of dry hopping is currently used in many American styles of beer (IPA, APA, Imperial Stout), Belgian (Ali and Tripoli), traditional British (IPA, Extra Special Bitter), as well as other styles of beer with a developed aromatic component. The main volatile bitter and aromatic components of hops include terpenes (myrcene, humulene and betacarotene), which are characterized by “herbaceous” aroma. There are also linalool and geraniol, which give floral and fruity notes. Terpeneol and pinene are making a resinous character. Currently developed special technology, the introduction of hops and the appropriate equipment for dry hopping: flower hops; hop suspension; hop pellets; semi-automatic methods. Dry hopping carried out to increase the “hoppy” aroma of beer and found application due to the increased popularity of small brewing in the world. Since dry hopping performed at relatively low temperatures thermal decomposition and volatilization of aromatic compounds is significantly reduced. This results in a higher concentration of these compounds in the finished product. The source of the aromatic properties of the beer is the polyphenols. In the process of dry hopping about 80-90% of polyphenols extracted during the first 12 hours. Flavan-3-ols increases perceived bitterness and astringency. Monomers and oligomers of flavan-3-ol play a role in the stability of taste, colloidal stability and foam resistance of the drink, have antiradical and antioxidant properties.

Keywords: dry hopping, brewing, phenolic compounds

Введение

Термин сухое охмеление определяется как добавление хмеля или хмеле-продуктов на холодной стадии процесса пивоварения. В последние годы эта техника приобрела мировую популярность, в основе лежит технология, применяемая в течение многих лет британскими пивоварами с бочковым созреванием эля. Практика сухого охмеления в настоящее время используется во многих американских стилях пива (IPA, APA, ImperialStout), бельгийских (эли и трипели), традиционных британских стилях (IPA, ExtraSpecialBitter), а также других стилях пива с развитой ароматической составляющей [1, 2].

Для цитирования

Новикова И.В., Рукавицын П.В., Муравьев А.С. Обзор: сухое охмеление в пивоварении // Вестник ВГУИТ. 2018. Т. 80. № 2. С. 144–149. doi:10.20914/2310-1202-2018-2-144-149

Многие из ароматических соединений хмеля испаряются во время кипячения суслу [3]. Однако, если хмель добавляется на холодной стадии пивоварения, эти соединения легче диспергируются и сохраняются в пиве, особенно в присутствии этанола [4]. К ним относятся летучие терпены (такие как мирцен, гумулен и бетакариофиллен), которые характеризуются «травянистым» ароматом. Также присутствуют линалоол и гераниол, которые придают больше цветочных и фруктовых нот, и, наконец, терпинеол и пинен, которые вносят смолистый характер. В дополнение

For citation

Novikova I.V., Rukavitsyn P.V., Muravev A.S. Review: dry hopping in brewing. *Vestnik VGUIT* [Proceedings of VSUET]. 2018. vol. 80. no. 2. pp. 144–149. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2018-2-144-149

к ароматическим соединениям некоторые альфа-кислоты, полифенолы и другие соединения из хмеля также переходят в пиво. Многие из этих компонентов останутся в нефилтрованном пиве; однако часть удаляется при фильтрации [5].

Тип аромата и вкуса, придаваемый пиву, сильно зависит от используемых ароматических сортов хмеля, которые традиционно обладают более низкими значениями α -кислоты. Расход хмеля на процесс сухого охмеления зависит от стиля пива, например, в случае индийского пэйл эля (IPA), расход может варьироваться от 50 до 500 г/гЛ [6].

Общая характеристика хмеля как горько-ароматического компонента

Хмель не всегда были одним из основных ароматических ингредиентов в пиве, каким он является сегодня. До XII века вместо хмеля часто использовали такие травы, как одуванчик, полынь и вереск, как ароматический компонент в пиве [7]. Хмель главным образом использовали в медицинских целях в качестве консерванта. Он обладает как антибактериальными, так и успокоительными свойствами, а также высокой концентрацией фенольных соединений, которые могут выступать в качестве антиоксидантов [8, 9]. В дополнение к своим целебным качествам хмель вносит огромный вклад в вкус и горечь пива.

В мире существует более 80 различных коммерческих сортов хмеля. Химические и сенсорные исследования хмеля показывают основные их различия. Aberl и Coelhan выполнили газохроматографическое исследование и обнаружили некоторые ключевые различия между европейскими сортами хмеля [10]. Sibaka и др. были исследованы свободные терпеноиды и тиолы для того, чтобы выяснить различия у сортов хмеля [11]. Так, источником вкуса и горечи хмеля являются масла и смолы в лупулиновых железах хмеля [12]. Эффективность извлечения этих веществ зависит от химических и механических разрывов лупулиновых желез. Большинство выращиваемого хмеля перерабатывается в гранулы, чтобы эффективно высвободить эти ароматические вещества. При добавлении хмеля во время кипячения сусле извлекаются многие группы химических соединений. Терпены, терпеноиды, оксигенированные сесквитерпены, полифенолы, соединения серы и гликозилированные вещества – все они способствуют ароматике хмеля [13]. Горечь в пиве в основном предоставлена изомеризованными формами соединений, называемыми α -кислоты (АК), которые находятся в смоле желёз хмеля [12].

Эти компоненты изомеризуются во время кипячения и переходят в изо- α -кислоты (ИАК). Существует в общей сложности шесть ИАК в пиве: цис- и трансизогумулоны, изокогумулоны и изоадгумулоны [14]. Обычно в охмеленном сусле, в которое добавляются только гранулы хмеля или цельные шишки, соотношение цис- к транс-изомерам около 70:30 [15, 16]. Цис-изомеры более термодинамически стабильны и разрушаются гораздо медленнее, чем транс-изомеры и обладают более высокой горечью [17]. Это явление делает соотношение транс- и цисизогумулонов показателем стабильности вкуса пива [16]. Гораздо меньше известно о β -кислотах (БК) в хмеле. Считается, что они в какой-то мере, хотя и незначительно, способствуют ощущаемой горечи. Сенсорные и химические анализы показали, что продукты окисления БК имеют относительно низкие пороги распознавания вкуса [18]. Идентификация и количественная оценка продуктов окисления БА в пиве проводилась ВЭЖХ [19]. Окисление БА может происходить при кипячении сусле и давать горькие соединения. Кроме хмелевых кислот, полифенолы, полученные из хмеля, также способствуют усматриваемой горечи [18].

Полифенольные соединения хмеля

Источником ароматических свойств пива является полифенолы [20]. Установлено что в процессе сухого охмеления около 80–90% полифенолов извлекаются в течение первых 12 часов [13]. Поскольку сегодня спрос на пиво с более заметным вкусом хмеля увеличивается – пивовары будут всё чаще применять процесс сухого охмеления. Он позволяет получить больше полифенолов, чем другие методы охмеления. В некоторых сортах пива таким образом можно извлечь из хмеля около 50% от общего количества полифенолов в готовом пиве. Это намного больше, чем в среднем лагере, где хмелевые вещества составляют менее 20% [21]. Полифенолы, извлеченные во время сухого охмеления, представляют собой сложную матрицу гидроксibenзойной кислоты, гидроксикоричные кислоты, флавоноиды, проантоцианидины стильбены [22].

Было установлено, что фенолы и, в частности, флаван-3-олы увеличивают воспринимаемую горечь и терпкость [23–25]. Флаван-3-олы широко рассмотрены в литературе из-за их влияния на пиво. Мономеры и олигомеры флаван-3-олов играют определенную роль в стабильности вкуса, коллоидной стабильности и пеностойкости [26].

Известно, что они обладают как антирадикальными, так и антиоксидантными свойствами [27] и оказывают положительное влияние на стабильность как пищевых продуктов, так и напитков [26].

Сегодня идентифицированы и количественно определены десятки фенольных соединений в пиве с помощью передовых аналитических методов [28]. Наиболее полный список фенолов в пиве, включая различные методики, был представлен в работе Callemein и Collin [21]. Наиболее объективным количественным методом химического анализа фенольных видов хмеля, ячменя и пива является высокоэффективная жидкостная хроматография (ВЭЖХ) [29]. Альтернативным методом количественного определения полифенолов является масс-спектрометрия после хроматографического разделения [28].

Способы сухого охмеления

Методы сухого охмеления могут значительно различаться, и, экспериментируя с различными методами, можно оценить качество и интенсивность аромата хмеля в готовом пиве. В целом, к факторам, влияющим на аромат хмеля при сухом охмелении, относят [5, 30–33]:

- Урожай хмеля;
- Размер частицы хмеля;
- Дозировка и технология задачи;
- Состояние лупулиновых желез;
- Температура – зависит от стадии добавления (например, брожение, созревание/длительная выдержка);
- Количество дрожжевых клеток и штамм дрожжей;
- Время контакта;
- Задержка молекулами CO_2 .

Влияние дрожжей на интенсивность, характер, качество и выход аромата может быть значительным. С одной стороны, присутствие дрожжей в момент внесения хмеля поможет высвобождению гликозидно-связанных ароматических соединений из растворимых гликозидов хмеля [34], а при вторичном брожении дрожжи будут способствовать адсорбции ароматических соединений хмеля на своей поверхности. Увеличение потерь также может произойти из-за задержки CO_2 летучих компонентов хмеля [35].

Самым доступным способом сухого охмеления является добавление хмеля непосредственно в емкость с готовым пивом. Этот метод традиционно используется в течение многих лет небольшими и средними пивоваренными предприятиями. Все чаще сухое охмеление используется большими пивоваренными заводами

как для эля, созреваемого в бочках, так и для выдержанного пива [36]. В настоящее время разработаны специальные технологии внесения хмеля и соответствующее оборудование [2, 37–40].

1. Сухое охмеление с шишковым хмелем. Это самый традиционный метод сухого охмеления, при этом его основной проблемой для пивовара является удаление остатков шишкового хмеля из бродильной емкости или форфаса. Чтобы избежать этой проблемы хмель заранее укладывают в льняные мешки, в сетки или проволочные клетки. Подвешивают их в емкостях для простого дальнейшего извлечения.

2. Сухое охмеление хмелевой суспензией. В этом способе хмелевые гранулы или измельченный шишковый хмель смешивают с деаэрированной, деминерализованной водой в отдельной емкости (при этом возможно чрезмерное вспенивание). Суспензию затем перекачивают в приемную емкость и тщательно перемешивают. С помощью этого метода можно достичь более лучших результатов, чем прямым внесением хмеля, как описано выше.

3. Сухое охмеление хмелевыми гранулами. Гранулы могут быть добавлены в бродильную емкость или танк дображивания до/во время перекачки холодного суслу или молодого пива. Твердые вещества хмеля обычно удаляются вместе с дрожжами или осадком в основании емкости перед перекачкой на созревание. Регенерация дрожжей из бродильной емкости, в который был добавлен хмель, обычно невозможен из-за хмелевого осадка и хмелевых ароматических соединений, адсорбированных на поверхность дрожжей, что потенциально влияет на вкус последующих варок. Это может быть основным фактором, ограничивающим использование этого варианта охмеления на некоторых пивоваренных заводах. Перекачка в отдельный танк дображивания позволяет избежать проблем загрязнения дрожжей и часто позволяет увеличить время контакта при теплых температурах созревания, что приводит к лучшему поглощению аромата хмеля. В зависимости от размера и формы емкости для созревания возможно смешение хмеля с молодым пивом с помощью CO_2 .

4. Полуавтоматические методы сухого охмеления. Некоторые пивоварни внедряют специально разработанное оборудование для извлечения и сохранения хмеля, предназначенного для сухого охмеления. Несколько примеров приведены ниже, причем несомненно существует множество других способов, которые позволяют сделать процесс сухого охмеления более эффективным и воспроизводимым.

“Hop torpedo”, “hopgun” или “hopbomb” – эти методы, при которых молодое пиво рециркулирует из резервуара для созревания через аппарат, заполненный шишковым хмелем или гранулами, позволяя при этом извлекать соединения хмеля, сохраняя сам хмель в устройстве. “Hop cannon” «заряжается» хмелем или гранулами, а затем с помощью CO₂ направляется в емкость, заполненный пивом. Система “Dry HOPNIK” совмещает 2 непрерывных этапа – смешивание и рециркуляцию. Она состоит из емкости, содержащей прибор, который размалывает хмель и после этого равномерно диспергирует его в молодое пиво, которое после этого нагнетается назад в емкость для созревания.

Заключение

Традиционный способ внесения хмеля происходит во время кипения и может рассматриваться как процесс экстракции горячим сушлом. Хмель, добавленный в начале кипения, считается горьким, так как все его летучие масла испаряются во время кипения. Хмель, добавленный в середине или конце кипения, являются горько-ароматными. Такие хмели вносят некоторую горечь при изомеризации, но в основном используются

для вкуса и аромата. Хмель также можно добавлять сразу после кипения в гидроциклонный аппарат для придания хмелевого аромата. Переход вкусо-ароматических компонентов горько-ароматного хмеля во время кипячения отличается от таковых при популярном сегодня методе сухого охмеления [41]. Это объяснимо тем, что во время сухого охмеления изомеризация не происходит, а любое увеличение горечи незначительно. Однако, это не означает, что сухое охмеление не придает горечи. Полифенолы и другие соединения, как известно, извлекаются во время сухого охмеления и, как было показано, способствуют увеличению горечи пива [20, 23]. Это говорит о том, что изменение горечи не является основной целью сухого охмеления. Сухое охмеление проводится для увеличения «хмелевого» аромата пива и нашло применение благодаря возросшей популярности малого пивоварения в мире. Поскольку сухое охмеление производится при относительно низких температурах термическое разложение и улетучивание ароматических соединений значительно снижается. Это позволяет получить более высокую концентрацию этих соединений в готовом продукте.

ЛИТЕРАТУРА

- 1 Bamforth C. W. Standards of brewing: A practical approach to consistency and excellence. Boulder Colo.: Brewers Publications, 2002. № XI. P. 209.
- 2 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.
- 3 Kunze W. Technologie Brauer und Mälzer. Berlin: VLB Versuchs- und Lehranstalt für Brauerei, 2007. 1118 p.
- 4 Карпенко Д.В., Позднякова И.Э. Повышение экстрактивности хмеля с помощью акустической обработки // Пиво и напитки. 2016. № 6. С. 46–49.
- 5 Хмелевская А.В., Черчесова С.К., Компанцев А.А., Караева И.Т. Биологически активные вещества дикорастущего хмеля обыкновенного (*Humulus lupulus* L.), произрастающего в республике Северная Осетия-Алания // Известия Горского государственного аграрного университета. 2017. № 2. С. 195–198.
- 6 Strong G. WCP Beer Style Guidelines. 2015. 79 p.
- 7 Zanoli P., Zavatti M. Pharmacognostic and pharmacological profile of *Humulus lupulus* L // Journal of Ethnopharmacology. 2008. V. 116. № 3. P. 383–396.
- 8 Yamaguchi N., Satoh-Yamaguchi K., Ono M. In vitro evaluation of antibacterial, anticollagenase, and antioxidant activities of hop components (*Humulus lupulus*) addressing acne vulgaris // Phyto-medicine: international journal of phytotherapy and phytopharmacology. 2009. V. 16. № 4. P. 369–376.
- 9 Lermusieau G., Liégeois C., Collin S. Reducing power of hop cultivars and beer ageing // Food chemistry. 2001. V. 72. № 4. P. 413–418.
- 10 Aberl A., Coelho M. Determination of volatile compounds in different hop varieties by headspace-trap GC/MS – in comparison with conventional hop essential oil analysis // Journal of agricultural and food chemistry. 2012. V. 60. № 11. P. 2785–2792.
- 11 Cibaka M.-L. K., Gros J., Nizet S., Collin S. Quantitation of selected terpenoids and mercaptans in the dual-purpose hop varieties Amarillo, Citra, Hallertau Blanc, Mosaic, and Sorachi Ace // Journal of agricultural and food chemistry. 2015. V. 63. № 11. P. 3022–3030.
- 12 Katsiotis S.T., Langezaal C.R., Scheffer J.J.C., Verpoorte R. Comparative study of the essential oils from hops of various *Humulus lupulus* L. Cultivars // Flavour and Fragrance Journal. 1989. V. 4. P. 187–191.

- 13 Wolfe P., Qian M. C., Shellhammer T. H. The Effect of Pellet Processing and Exposure Time on Dry Hop Aroma Extraction. // Flavor Chemistry of Wine and Other Alcoholic Beverages. Washington, DC: American Chemical Society, 2012. P. 203–215.
- 14 Hughes P. The Significance of Iso- α -Acids for Beer Quality Cambridge Prize Paper // Journal of the Institute of Brewing. 2000. V. 106. № 5. P. 271–276.
- 15 Praet T., van Opstaele F., Jaskula-Goiris B., Aerts G., Cooman L. de. Biotransformations of hop-derived aroma compounds by *Saccharomyces cerevisiae* upon fermentation // Cerevisia. 2012. V. 36. № 4. P. 125–132.
- 16 Araki, S., Takashio, M. and Shinotsuka, K., A new parameter for determination of the extent of staling in beer // J. Am. Soc. Brew. Chem. 2002. № 60. P. 26–30.
- 17 Bamforth C. Schonberger C. The processing of hops. // Brewing. CRC Press. 2006.
- 18 Haseleu G., Intelmann D., Hofmann T. Identification and RP-HPLC-ESI-MS/MS quantitation of bitter-tasting beta-acid transformation products in beer // Journal of agricultural and food chemistry. 2009. V. 57. № 16. P. 7480–7489.
- 19 Taniguchi Y., Matsukura Y., Ozaki H., Nishimura K. et al. Identification and Quantification of the Oxidation Products Derived from α -Acids and β -Acids During Storage of Hops (*Humulus lupulus* L.) // Journal of agricultural and food chemistry. 2013. V. 61. № 12. P. 3121–3130.
- 20 Mikyška A., Hrabák M., Hašková D., Šrogl J. The role of malt and hop polyphenols in beer quality, flavour and haze stability // Journal of the Institute of Brewing. 2002. V. 108. P. 78–85.
- 21 Callemien D., Collin S. Use of RP-HPLC-ESI(-)-MS/MS to Differentiate Various Proanthocyanidin Isomers in Lager Beer Extracts // Journal of the American Society of Brewing Chemists. 2018. V. 66. № 2. P. 109–115.
- 22 Jaskula-Goiris B., Goiris K., Stryn E., van Opstaele F. et al. The Use of Hop Polyphenols during Brewing to Improve Flavor Quality and Stability of Pilsner Beer // Journal of the American Society of Brewing Chemists. 2018. V. 72. № 3. P. 175–183.
- 23 McLaughlin I. R., Lederer C., Shellhammer T. H. Bitterness-Modifying Properties of Hop Polyphenols Extracted from Spent Hop Material // Journal of the American Society of Brewing Chemists. 2018. V. 66. № 3. P. 174–183.
- 24 Delcour J. A., Schoeters M. M., Meysman E. W., Dondeyne P., Moerman E. The intrinsic influence of catechins and procyanidins on beer haze formation // Journal of the Institute of Brewing. 1984. V. 90. № 6. P. 381–384.

- 25 Plumb G. W., Pascual-Teresa S. de, Santos-Buelga C., Cheynier V. et al. Antioxidant properties of catechins and proanthocyanidins: Effect of polymerisation, galloylation and glycosylation // Free radical research. 1998. V. 29. № 4. P. 351–358.
- 26 Aron P. M., Kennedy J. A. Flavan-3-ols: Nature, occurrence and biological activity // Molecular nutrition & food research. 2008. V. 52. № 1. P. 79–104.
- 27 Scott B. C., Butler J., Halliwell B., Aruoma O. I. Evaluation of the antioxidant actions of ferulic acid and catechins // Free radical research communications. 1993. V. 19. № 4. P. 241–253.
- 28 Quifer-Rada P., Vallverdú-Queralt A., Martínez-Huélamo M., Chiva-Blanch G. et al. A comprehensive characterisation of beer polyphenols by high resolution mass spectrometry (LC-ESI-LTQ-Orbitrap-MS) // Food chemistry. 2015. V. 169. P. 336–343.
- 29 García A. A., Grande B. C., Gándara J. S. Development of a rapid method based on solid-phase extraction and liquid chromatography with ultraviolet absorbance detection for the determination of polyphenols in alcohol-free beers // Journal of chromatography. A. 2004. V. 1054. № 1-2. P. 175–180.
- 30 Hough J. S., Briggs D. E. Malting and brewing science. London: Chapman and Hall, 1981–1982. 540 p.
- 31 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.
- 32 Bailey. The Influence of Hop Harvest Date on Hop Aroma in Dry-Hopped Beers // Technical Quarterly. 2009.
- 33 Barry S., Muggah E. M., McSweeney M. B., Walker S. A preliminary investigation into differences in hops' aroma attributes // International Journal of Food Science & Technology. 2018. V. 53. № 3. P. 804–811.
- 34 Hahn C. D., Lafontaine S. R., Pereira C. B., Shellhammer T. H. Evaluation of Nonvolatile Chemistry Affecting Sensory Bitterness Intensity of Highly Hopped Beers // Journal of agricultural and food chemistry. 2018. V. 66. № 13. P. 3505–3513.
- 35 Bryant R. W., Cohen S. D. Characterization of Hop Acids in Spent Brewer's Yeast from Craft and Multinational Sources // Journal of the American Society of Brewing Chemists. 2018. V. 73. № 2. P. 159–164.
- 36 Хоконова М. Б. Применение хмеля в пивоваренном производстве // Символ науки. 2015. №7-1.
- 37 Бородулин Д. М., Иванец В. Н., Сафонова Е. А., Прошин М. В. и др. Интенсификация процесса охмеления пивного сусла с применением роторно-пульсационного аппарата // Processes and Food Production Equipment. 2017. № 4.
- 38 Рукавицын П.В., Новикова И.В., Коростелев А.В. Условия реализации способа "сухого" охмеления в пивопроизводстве. // Актуальные вопросы нутрициологии; биотехнологии и безопасности пищи материалы Всероссийской конференции молодых ученых с международным участием, 2017. С. 213–216.
- 39 Рукавицын П.В., Новикова И.В., Коростелев А.В., Парашкин М.Ю. и др. Перспективы применения способа сухого охмеления в пивоварении. // Инновационные решения при производстве продуктов питания из растительного сырья Сборник научных статей и докладов II Международной научно-практической конференции (заочной). 2016. С. 105–109.
- 40 van Opstaele F., Rouck G. de, Clippeleer J. de, Aerts G. et al. Analytical and sensory assessment of hoppy aroma and bitterness of conventionally hopped and advanced hopped Pilsner beers // Cerevisia. 2011. V. 36. № 2. P. 47–59.
- 41 Podeszwa T., Harasym J. New methods of hopping dry-hopping and their impact on sensory properties of beer // Acta Innovations. 2016. № 21. P. 79–86.
- 6 Strong G. BJCP Beer Style Guidelines, 2015.
- 7 Zanolini P., Zavatti M. Pharmacognostic and pharmacological profile of Humulus lupulus L. Journal of Ethnopharmacology, 2008, vol. 116, no. 3, pp. 383–396.
- 8 Yamaguchi N., Satoh-Yamaguchi K., Ono M., In vitro evaluation of antibacterial, anticollagenase, and antioxidant activities of hop components (Humulus lupulus) addressing acne vulgaris, Phytomedicine international journal of phytotherapy and phytopharmacology, 2009, vol. 16, no. 4, pp. 369–376.
- 9 Lermusieau G., Liégeois C., Collin S., Reducing power of hop cultivars and beer ageing, Food chemistry, 2001, vol. 72, no. 4, pp. 413–418.
- 10 Aberl A., Coelhan M., Determination of volatile compounds in different hop varieties by headspace-trap GC/MS – in comparison with conventional hop essential oil analysis, Journal of agricultural and food chemistry, 2012, vol. 60, no. 11, pp. 2785–2792.
- 11 Cibaka M.-L.K., Gros J., Nizet S., Collin S., Quantitation of selected terpenoids and mercaptans in the dual-purpose hop varieties Amarillo, Citra, Hallertau Blanc, Mosaic, and Sorachi Ace, Journal of agricultural and food chemistry, 2015, vol. 63, no. 11, pp. 3022–3030.
- 12 Katsiotist S.T., Langezaal C.R., Scheffer J.J.C., Verpoorte R. Comparative study of the essential oils from hops of various Humulus lupulus L. Cultivars, Flavour and Fragrance Journal, 1989, vol. 4, pp. 187–191.
- 13 Wolfe P., Qian M.C., Shellhammer T.H. The Effect of Pellet Processing and Exposure Time on Dry Hop Aroma Extraction. Flavor Chemistry of Wine and Other Alcoholic Beverages, ACS Symposium Series. American Chemical Society, Washington, 2015. vol. 1104. pp. 203–215.
- 14 Hughes P., The Significance of Iso- α -Acids for Beer Quality Cambridge Prize Paper, Journal of the Institute of Brewing, 2000, vol. 106, no. 5, pp. 271–276.
- 15 Praet T., van Opstaele F., Jaskula-Goiris B., Aerts G. et al. Bio-transformations of hop-derived aroma compounds by Saccharomyces cerevisiae upon fermentation, Cerevisia, 2012, vol. 36, no. 4, pp. 125–132.
- 16 Araki S., Takashio M., Shinotsuka, K., A new parameter for determination of the extent of staling in beer. J. Am. Soc. Brew. Chem., 2002, no. 60, pp. 26–30.
- 17 Schonberger C. The processing of hops. Brewing. 2006.
- 18 Haseleu G., Intelmann D., Hofmann T., Identification and RP-HPLC-ESI-MS/MS quantitation of bitter-tasting beta-acid transformation products in beer, Journal of agricultural and food chemistry, 2009, vol. 57, no. 16, pp. 7480–7489.
- 19 Taniguchi Y., Matsukura Y., Ozaki H., Nishimura K. et al. Identification and Quantification of the Oxidation Products Derived from α -Acids and β -Acids During Storage of Hops (Humulus lupulus L.), Journal of agricultural and food chemistry, 2013, vol. 61, no. 12, pp. 3121–3130.
- 20 Mikyška A., Hrabák M., Hašková D., Šrogl J. The role of malt and hop polyphenols in beer quality, flavour and haze stability, Journal of the Institute of Brewing, 2002, vol. 108, pp. 78–85.
- 21 Callemien D., Collin S. Use of RP-HPLC-ESI(–)-MS/MS to Differentiate Various Proanthocyanidin Isomers in Lager Beer Extracts, Journal of the American Society of Brewing Chemists, 2018, vol. 66, no. 2, pp. 109–115.
- 22 Jaskula-Goiris B., Goiris K., Stryn E., van Opstaele F. et al. The Use of Hop Polyphenols during Brewing to Improve Flavor Quality and Stability of Pilsner Beer, Journal of the American Society of Brewing Chemists, 2018, vol. 72, no. 3, pp. 175–183.
- 23 McLaughlin I.R., Lederer C., Shellhammer T.H. Bitterness-Modifying Properties of Hop Polyphenols Extracted from Spent Hop Material, Journal of the American Society of Brewing Chemists, 2018, vol. 66, no. 3, pp. 174–183.
- 24 Delcour J.A., Schoeters M.M., Meysman E.W., Dondey P. et al. The intrinsic influence of catechins and procyanidins on beer haze formation, Journal of the Institute of Brewing, 1984, vol. 90, no. 6, pp. 381–384.
- 25 Plumb G.W., Pascual-Teresa S. de, Santos-Buelga C., Cheynier V. et al. Antioxidant properties of catechins and proanthocyanidins. Effect of polymerisation, galloylation and glycosylation, Free radical research, 1998, vol. 29, no. 4, pp. 351–358.
- 26 Aron P.M., Kennedy J.A., Flavan-3-ols. Nature, occurrence and biological activity, Molecular nutrition & food research, 2008, vol. 52, no. 1, pp. 79–104.
- 27 Scott B.C., Butler J., Halliwell B., Aruoma O.I. et al. Evaluation of the antioxidant actions of ferulic acid and catechins, Free radical research communications, 1993, vol. 19, no. 4, pp. 241–253.
- 28 Quifer-Rada P., Vallverdú-Queralt A., Martínez-Huélamo M., Chiva-Blanch G. et al. Comprehensive characterisation of beer polyphenols by high resolution mass spectrometry (LC-ESI-LTQ-Orbitrap-MS), Food chemistry, 2015, vol. 169, pp. 336–343.

REFERENCES

- 1 Bamforth C. W. Standards of brewing: A practical approach to consistency and excellence. Boulder Colo.: Brewers Publications, 2002. no. XI. pp. 209
- 2 Matveeva N. A., Titov A. A. The technology of dry hopping in brewing. *Nauchnyy zhurnal NIU ITMO. Seriya Protsestryi apparatnyy ishchevyykh proizvodstv* [The scientific journal ITMO. Series Processes and equipment for food production], 2015. no. 1. pp. 111–118. (in Russian).
- 3 Kunze W., Technologie Brauer und Mälzer, 9., vollst. überarb. Aufl., 2007, VLB Versuchs- und Lehranstalt für Brauerei, Berlin. 1118 p.
- 4 Karpenko D.V., Pozdnyakova I.E. The increase of the extract content of hops with acoustic treatment. *Pivo inapitki* [Beer and drinks]. 2016. no. 6. pp. 46–49. (in Russian).
- 5 Khmelevskaya A.V., Cherchesova S.K., Kompantsev A.A., Karaeva I.T. Biologically active substances of wild hops ordinary (Humulus lupulus L.) grown in the Republic of North Ossetia-Alania. *Izvestiya Gorskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* [News of Gorsky state agrarian University], 2017. no. 2. pp. 195–198. (in Russian).

29 Garcia A.A., Grande B.C., Gándara J.S. Development of a rapid method based on solid-phase extraction and liquid chromatography with ultraviolet absorbance detection for the determination of polyphenols in alcohol-free beers, *Journal of chromatography*. A, 2004, vol. 1054, no. 1-2, pp. 175–180.

30 Hough J.S., Briggs, D.E. *Malting and brewing science*, 2nd ed., London, Chapman and Hall, 1981-1982, 540 p.

31 Matveeva N.A., Titov A.A. The choice of hops for dry hopping. *Nauchnyy zhurnal NIU ITMO. Seriya: Protsesty apparatnyy ishchevykh proizvodstv* [The scientific journal ITMO. Series Processes and equipment for food production], 2014, no. 4, pp. 120–125. (in Russian).

32 Bailey, The Influence of Hop Harvest Date on Hop Aroma in Dry-Hopped Beers, *Technical Quarterly*, 2009.

33 Barry S., Muggah E.M., McSweeney M.B., Walker S., A preliminary investigation into differences in hops' aroma attributes, *International Journal of Food Science & Technology*, 2018, vol. 53, no. 3, pp. 804–811.

34 Hahn C.D., Lafontaine S.R., Pereira C.B., Shellhammer T.H. Evaluation of Nonvolatile Chemistry Affecting Sensory Bitterness Intensity of Highly Hopped Beers, *Journal of agricultural and food chemistry*, 2018, vol. 66, no. 13, pp. 3505–3513.

35 Bryant R.W., Cohen S.D. Characterization of Hop Acids in Spent Brewer's Yeast from Craft and Multinational Sources, *Journal of the American Society of Brewing Chemists*, 2018, vol. 73, no. 2, pp. 159–164.

36 Khokonova M.B. The use of hops in the brewing industry. *Simvolnauki* [Science symbol], 2015, no. 7-1. (in Russian).

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Инна В. Новикова д.т.н., профессор, кафедра технологии бродильных и сахаристых производств, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, noviv@list.ru

Павел В. Рукавицын аспирант, кафедра технологии бродильных и сахаристых производств, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, kafedra_tbsp@mail.ru

Александр С. Муравьев к.т.н., инженер, отдел стандартизации и метрологии, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, hntrun@mail.ru

КРИТЕРИЙ АВТОРСТВА

Все авторы в равной степени принимали участие в написании рукописи и несут ответственность за плагиат

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

ПОСТУПИЛА 21.03.2018

ПРИНЯТА В ПЕЧАТЬ 11.04.2018

37 Borodulin D.M., Ivanets V.N., Safonova E.A., Prosin M.V. et al. The intensification of the process of the hopping of wort with the use of a rotary-pulsation apparatus. *Processes and Food Production Equipment*. 2017, no. 4. (in Russian).

38 Rukavitsyn P.V., Novikova I.V., Korostelev A.V. Conditions for the implementation of the method of dry hopping in beer production *Aktual'nye voprosy nutritsiologii; biotekhnologii i bezopasnosti pishchi materialy Vserossiiskoi konferentsii molodykh uchenykh s mezhdunarodnym uchastiem* [Topical issues of nutrition; biotechnology and food safety materials of the all-Russian conference of young scientists with international participation], 2017, (in Russian).

39 Rukavitsyn P.V., Novikova I.V., Korostelev A.V., Parashkin M.Yu. et al. Prospects of application of method of dry hopping in brewing. *Innovatsionnye resheniya pri proizvodstve produktov pitaniya i zrasitel'nog osyr'ya Sbornik nauchnykh statei i dokladov II Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii (zaochnoi)* [Innovative solutions for the production of food products from vegetable raw materials the Collection of scientific articles and reports of the II International scientific-practical conference (in absentia)]. 2016. (in Russian).

40 van Opstaele F., Rouck G. de, Cliepleer J. de, Aerts G. et al. Analytical and sensory assessment of hoppy aroma and bitterness of conventionally hopped and advanced hopped Pilsner beers, *Cerevisia*, 2011, vol. 36, no. 2, pp. 47–59.

41 Podeszwa T., Harasym Joanna, New methods of hopping dryhopping and their impact on sensory properties of beer, *Acta Innovations*, 2016, no. 21, pp. 79–86.

INFORMATION ABOUT AUTHORS

Inna V. Novikova Dr. Sci. (Engin.), professor, technologies of fermentation and sugar industries department, Voronezh state university of engineering technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, noviv@list.ru

Pavel V. Rukavitsyn graduate student, technologies of fermentation and sugar industries department, Voronezh state university of engineering technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, kafedra_tbsp@mail.ru

Aleksandr S. Muravev Cand. Sci. (Ebgin.), engineer, department of metrology and standardization, Voronezh state university of engineering technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, hntrun@mail.ru

CONTRIBUTION

All authors equally took part in writing the manuscript and are responsible for plagiarism

CONFLICT OF INTEREST

The authors declare no conflict of interest.

RECEIVED 3.21.2018

ACCEPTED 4.11.2018