

УДК 663.45

**БИОТРАНСФОРМАЦИИ АРОМАТИЧЕСКИХ КОМПОНЕНТОВ ХМЕЛЯ В
ПИВЕ ВО ВРЕМЯ БРОЖЕНИЯ****Анохин Валентин Николаевич,**

Студент магистратуры,
кафедра «Технология бродильных
производств и виноделие»
ФГБОУ ВО «Московский государственный
университет пищевых производств»
РФ, г. Москва, Волоколамское шоссе, 11

Гаушкин Дмитрий Владимирович,

Студент магистратуры,
кафедра «Технология бродильных
производств и виноделие»
ФГБОУ ВО «Московский государственный
университет пищевых производств»
РФ, г. Москва, Волоколамское шоссе, 11

Аннотация

Бум крафтового пивоварения стимулирует инновации в пивоваренной отрасли и предъявляет требования к новым и альтернативным методам производства пива. Традиционная практика пивоварения с добавлением хмеля на определенных этапах производства, когда хмель добавляется в начале кипячения сусла (для придания типичной хмелевой горечи), ближе к концу кипячения (для придания хмелевой ароматики пиву), во время дображивания, созревания пива (для придания более выраженного хмелевого вкуса и аромата) хорошо известна и давно изучена. Изыскания прошлых лет о воздействии веществ, содержащихся в хмеле, главным образом сводились к возможности контроля качества и количества горечи в пиве. Однако, до сих пор мало изучено влияние ароматических масел хмеля на вкус и аромат готового пива в процессе их трансформации во время брожения под воздействием ферментов дрожжей.

Ключевые слова: биотрансформация, пиво, дрожжи, хмелевая ароматика.

**BIOTRANSFORMATION OF HOP AROMA COMPONENTS IN BEER
DURING FERMENTATION**

Valentin N. Anokhin,

Master's student,
Department of "Technology of fermentation
production and winemaking "
Moscow State University of Food Production,
RF, Moscow, Volokolamskoe shosse, 11
E-mail: anokhin_v@mail.ru

Dmitry V. Gaushkin,

Master's student,
Department of "Technology of fermentation
production and winemaking "
Moscow State University of Food Production,
RF, Moscow, Volokolamskoe shosse, 11

ABSTRACT

The craft brewing boom is driving innovation in the brewing industry and is placing demands on new and alternative brewing methods. The traditional practice of hop brewing at certain stages of production is when hops are added at the beginning of the wort boil (to impart the typical hop bitterness), towards the end of the boil (to add hop aroma to the beer), during post-fermentation, beer maturation (to give a more pronounced hop taste and aroma) is well known and studied for a long time. Historical research on the effects of substances in hops has mainly focused on the ability to control the quality and amount of bitterness in beer. However, there is still little study of the effect of hop aroma oils on the taste and aroma of finished beer during their transformation during fermentation under the influence of yeast enzymes.

Keywords: biotransformation, beer, yeast, hop aromatics.

Основной и неотъемлемой характеристикой большинства сортов пива является хмелевая вкусоароматика. Количество и качество горьких веществ и ароматических соединений в хмеле определяется сортом, условиями произрастания (состав почвы, климатические условия и проч.).

В состав горьких веществ входят хмелевые смолы и горькие хмелевые кислоты. На долю альфа-кислот (гомулон, ко-гомулон, адгомулон, прегумулон, постгомулон) приходится от 1% до 17% всех горьких веществ хмеля [1]. Именно они изомеризуются во время кипячения сусла, растворяются в нем и придают готовому пиву необходимую горечь.

Ароматические сорта хмеля и сорта двойного назначения, характеризующиеся высоким содержанием ароматических веществ, таких как когомулон, гумулен, карифиллен, фарнезен, мирцен, придают пиву хмелевую ароматику.

На хмелевую вкусоароматику в готовом пиве оказывает влияние режим внесения хмеля – чем раньше задается хмель во время кипячения, тем больше хмелевой горечи будет в пиве, и тем меньше будет хмелевой ароматики. И наоборот, чем ближе к концу кипячения мы задаем хмель в сусло, тем меньше будет горечи и больше ароматики.

Общепризнано, что аромат охмеленного пива отличается от аромата хмеля как таковой. И в этой связи знания о хмелевой ароматике резко контрастируют и значительно уступают знаниям о хмелевой горечи.

Известно, что летучие ароматические соединения, присутствующие в эфирном масле хмеля или полученные из него отвечают за аромат хмеля. Было обнаружено, что монотерпеновый спирт линалоол постоянно присутствует выше порога чувствительности в готовом пиве и был предложен в качестве маркера интенсивности и качества хмелевого аромата традиционного позднего охмеления или охмеления после брожения (сухого охмеления). Но помимо линалоола, многие другие ароматические соединения хмеля, такие как фарнезен, цитронеллол, гераниол и др., присутствуют в готовом пиве и вносят вклад в хмелевую ароматику готового пива. Несмотря на многолетние исследования, до сих пор истинная природа аромата хмеля в значительной степени не изучена.

Хмелевые масла

Хмелевые масла в хмеле встречаются в количествах от 0,5 до 4% в зависимости от сорта хмеля, географии произрастания, климатических условий [2]. Основной состав масел на 50-80% состоит из углеводородных соединений: монотерпены – мирцен; сесквитерпены – кариофиллен, гумулен, фарнезен; алифатические углеводороды – пектан. В 30% окисленных соединений терпенические спирты – линалоол, гераниол; окисленные сесквитерпены – эпоксиды, спирты; другие – альдегиды, кетоны. Около 1% – соединения серы [3, 4].

Мирцен составляет большую часть общего количества эфирных масел – 20-70%. Он очень летуч и подвержен окислению. Порог восприимчивости мирцена в пиве составляет около 120 мкг/л. Его концентрация в пиве в зависимости от сортов хмеля, режима охмеления и количества, вводимого в сусло составляет от 0 до 200 мкг/л. [5].

Мирцен придает пиву широкий спектр вкусов и ароматов от смолистого соснового, травяного до цитрусового и цветочного [5]. Но эти вкусовые качества могут быть нарушены присутствием окисленных производных мирцена, которые образуются при традиционной варке хмеля и сформировать неприятный окислительный вкус пива [5].

Следует сказать, что и другие важные компоненты эфирных масел, такие, как гумулен и кариофиллен также подвергаются окислению в хмеле, но их окислительные производные представляют собой соединения, благотворно влияющие на качество вкуса пива [5].

Важнейшее соединение, формирующее приятные цитрусовые, цветочные и фруктовые ноты – терпеновый спирт линалоол; особенно когда он появляется в пиве в концентрациях выше его порога чувствительности (27 мкг/л). Другой терпеновый спирт – гераниол с порогом восприятия 36 мкг/л обеспечивает пиву цветочные и цитрусовые ароматы [5].

Исследования показали, что во время ферментации сусла дрожжи преобразуют ароматические соединения хмеля, такие как, например, линалоол или гераниол в другие ароматические соединения, такие как цитронеллол (отвечает за ярко выраженный цитрусовый аромат пива) или альфа-терпинеол [6, 7, 8], который в сочетании с сесквитерпенами эфирных масел (кариофиллен, гумулен и фарнезен), придает пиву смолистый, травяной и пряный аромат. Все эти компоненты и другие сложные эфиры, альдегиды и кетоны эфирных масел, а также продукты брожения пива вносят большой вклад в формирование хмелевого аромата в готовом пиве [9].

В результате поиска определенных сенсорных характеристик конечного пива, полученных из хмеля, помимо классического подхода к использованию хмеля в пивоварении, существует множество приемов и способов использования хмеля на разных

этапах производства пива. Все они ориентированы на одну общую цель - получить хмелевую горечь и экстраординарный хмелевой аромат и вкус.

Биотрансформация компонентов хмеля

Помимо ферментации сахара в спирт во время брожения, соединения хмеля также подвержены биотрансформации в биохимическом процессе, придавая пиву радикально новые вкусы и ароматы.

В пивоварении биотрансформация интересна по нескольким причинам. Во-первых, это дает пивоварам возможность искать новые техники охмеления, разрабатывать рецепты пива с новыми вкусоароматическими характеристиками. Во-вторых, благодаря знаниям процессов биотрансформации пивовары могут экономить на хмеле, поскольку правильный выбор дрожжей усиливает восприятие некоторых ароматических соединений хмеля, тем самым уменьшая количество хмеля, необходимое для пивоварения.

Движущая сила биотрансформации - дрожжи. Соединения хмеля превращаются в желательные вкусовые и ароматические соединения под воздействием ферментов дрожжей. В процессе исследований выяснилось, что хмель богатый маслами и заданный в сушло на этапе активного брожения под воздействием ферментативной активности дрожжей приобретает новые вкусовые характеристики [10]. Так, гераниол превращается в цитронеллол, который обладает сладким цитрусовым ароматом. Следовательно, хмель, богатый терпеноидами, будет выделять гераниол в сушло, который затем может быть биотрансформирован дрожжами для получения цитрусового вкуса.

Таким образом, очевидно, что выбор дрожжей является важным фактором при создании рецепта пива, который требует биотрансформации соединений хмеля. Различия, наблюдаемые у дрожжей, можно отнести к генетике дрожжевого штамма, который позволяет некоторым дрожжам вырабатывать активные формы ферментов, необходимых для трансформации соединений хмеля [11].

В случае тиолов большая часть соединения остается связанной и неактивной. Во время биотрансформации тиолов дрожжами фермент цистеин-бета-лиаза, высвобождает неактивные связанные тиолы, присутствующие в хмелевом масле, с образованием свободных тиолов, которые придают пиву фруктовые нотки [12]. Исчерпывающей информации о дрожжах, которые могут выполнять этот тип преобразования, пока недостаточно. Однако некоторые дрожжевые лаборатории проводят исследования по разработке пивных дрожжей, способных выделять связанные тиолы в хмеле для улучшения вкуса пива. Между тем, некоторые винные дрожжи могут осуществлять эту биотрансформацию и могут быть смешаны с пивными дрожжами, если они не подавляют рост пивных дрожжей.

Можно сказать, что биотрансформация оказывает огромное влияние на вкус готового пива при сухом охмелении во время активного брожения. Исследования, проводимые в этом направлении, уже дают общее понимание методики их использования для практического применения малыми пивоваренными предприятиями. Понимание процессов биотрансформации компонентов хмеля под воздействием ферментов дрожжей дают возможность создания новых техник охмеления сусла с целью придания готовому пиву нестандартных ароматов. При этом, количество и соотношение различных компонентов хмеля в зависимости от сорта, штамм дрожжей, техника охмеления будет оказывать решающее значение на конечный результат.

Кроме того, инновационные решения также могут быть использованы для экстракции ароматизирующих веществ из другого сырья, например, свежих, замороженных или сушеных фруктов, различных специй и т. д.

Список литературы.

1. Oladokun O., James S., Cowley T., Smart K., Hort J., & Cook D. (2017). Dry-Hopping: the Effects of Temperature and Hop Variety on the Bittering Profiles and Properties of Resultant Beers. *Brewing Science*, 70, 187-196.
2. Lermusieau G., Collin S. Hop Aroma Extraction and Analysis. In *Analysis of Taste and Aroma*; Jackson, J. F., Linskens, H. F., Eds.; Springer: Berlin, Germany, 2002; pp 69–86.
3. Baranowski K., Chmielowe akcenty smakowo-zapachowe w piwie? No problem, ale ..., *Przemysł Fermentacyjny i Owocowo - Warzywny*, 11 (2016) 10.
4. Skomra U., Chmiel zwyczajny (*Humulus lupulus* L.) Gatunek o szerokim spektrum aktywności biologicznej, Instytut Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa (IUNG), <http://pw.ihar.edu.pl/assets/Uploads/1.2-Koryciny-Skomra-kolekcja-chmielu-referat.pdf> (dostęp 18.12.2016).
5. Baranowski K. (2016.) Chmielowe akcenty smakowo-zapachowe w piwie? No problem, ale ..., *Przemysł Fermentacyjny i Owocowo - Warzywny*, 11, 10.
6. King A. J., Dickinson R. J. (2003). Biotransformation of hop aroma terpenoids by ale and lager yeasts, *FEMS, Yeast Research*, 3, 53–62.
7. King A. J., Dickinson R. J. (2000). Biotransformation of monoterpene alcohols by *Saccharomyces cerevisiae*, *Torulaspora delbrueckii* and *Kluyveromyces lactis*, *Yeast*, 16, 499–506.
8. Takoi K., Koie K., Itoga Y., Katayama Y., Shimase M., Nakayama Y., Watari J. (2010). Biotransformation of Hop- Derived Monoterpene Alcohols by Lager Yeast and Their Contribution to the Flavor of Hopped Beer, *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 58, 5050–5058.
9. Skomra U., Chmiel zwyczajny (*Humulus lupulus* L.) Gatunek o szerokim spektrum aktywności biologicznej, Instytut Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa (IUNG), <http://pw.ihar.edu.pl/assets/Uploads/1.2-Koryciny-Skomra-kolekcja-chmielu-referat.pdf> (18.12.2016).
10. Fletcher E. march 16, 2021 Biotransformation: keep your hops alive with yeast <https://escarpmentlabs.com/blogs/resources/biotransformation-keep-hops-alive-with-yeastdrecjfhjvfnbxtcrbq>
11. King AJ, Dickinson JR. 2003. Biotransformation of hop aroma terpenoids by ale and lager yeasts. *FEMS Yeast Res* 3, 53– 62.
12. Fletcher E. march 16, 2021 Biotransformation: keep your hops alive with yeast <https://escarpmentlabs.com/blogs/resources/biotransformation-keep-hops-alive-with-yeastdrecjfhjvfnbxtcrbq>