

Разработка специального сорта пива повышенной антиоксидантной активности с ягодами бузины (*Sambucus nigra* L.)



Л. Ч. Бурак^{1,*}, А. П. Завалей²

¹ ООО «БЕЛРОСАКВА», Минск, Республика Беларусь

² СООО «Ароматик», Дзержинск, Республика Беларусь

Поступила в редакцию: 20.12.2021

Поступила после рецензирования: 11.02.2022

Принята к публикации: 14.02.2022

*e-mail: leonidburak@gmail.com

© Л. Ч. Бурак, А. П. Завалей, 2022



Аннотация.

Использование фруктов и ягод в пивоварении способствует увеличению антиоксидантной активности пива. Ягоды бузины (*Sambucus nigra* L.) содержат биологически активные соединения с высокой антиоксидантной способностью. Цель работы – создание специального сорта пива с использованием ягод бузины, вносимых на разных этапах технологического процесса, и изучение антиоксидантной активности.

В качестве объектов исследования выступают образцы пива из светлого солода с добавлением ягод бузины на различных стадиях технологического процесса. pH определяли pH-метром, содержание углеводов и цвет – с помощью спектрофотометра, концентрацию общих полифенолов – колориметрическим методом Фолина-Чокальтеу, антиоксидантную активность – методом улавливания радикалов DPPH, поглощение – с помощью спектрофотометра УФ-видимой области при $\lambda = 517$ нм.

Добавление ягод бузины в количестве 62,5 и 125 г/дм³ увеличивает степень сбраживания. Для достижения оптимального цвета пива (22,29 ед. Европейской пивоваренной конвенции) ягоды необходимо вносить через 15 мин после начала кипячения суслу. Внесение ягод в охлажденное сусло снижает цвет на 6,97 ед. Европейской пивоваренной конвенции. Установлена положительная корреляция между концентрацией вносимых ягод бузины и антиоксидантной активностью продукта. Внесение большего количества ягод бузины способствовало увеличению содержания полифенолов. Изменения pH пива в ходе процесса не установлено: находилось в пределах от 4,25 до 4,81. Концентрация ягод бузины в количестве 1,25 г/дм³ увеличивает антиоксидантную активность в 13,4 раз, а концентрация 125 г/дм³ – в 22 раза. Добавление ягод бузины после кипячения в неохлажденное сусло способствует повышению антиоксидантной активности пива, тогда как при внесении бузины после охлаждения суслу снижается на 16,1 %.

Содержание полифенолов в пиве с бузиной зависит от концентрации ягод, цвет и антиоксидантная способность – от вносимого количества ягод бузины и этапа технологического процесса, в ходе которого добавляли ягоды. С целью сохранения антиоксидантной активности и пищевой ценности пиво с бузиной целесообразно производить нефилтрованным и непастеризованным. Это позволит мини-пивоварням расширить ассортимент и привлечь новых потребителей.

Ключевые слова. Пивное сусло, бузина, ферментация, цвет, полифенолы, антоцианы

Для цитирования: Бурак Л. Ч., Завалей А. П. Разработка специального сорта пива повышенной антиоксидантной активности с ягодами бузины (*Sambucus nigra* L.) // Техника и технология пищевых производств. 2022. Т. 52. № 1. С. 168–177. <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2022-1-168-177>

Elderberry (*Sambucus nigra* L.) Beer with Antioxidant Properties

Leonid Ch. Burak^{1,*}, Andrey P. Zavaley²

¹ LLC “BELROSAKVA”, Minsk, Republic of Belarus

² JLLC “Aromatic”, Dzherzhinsk, Republic of Belarus

Received: 20.12.2021

Revised: 11.02.2022

Accepted: 14.02.2022

*e-mail: leonidburak@gmail.com

© L.Ch. Burak, A.P. Zavaley, 2022



Abstract.

Fruits and berries increase the antioxidant activity of beer. Elderberries (*Sambucus nigra* L.) contain biologically active compounds with high antioxidant capacity. The research objective was to develop a new kind of beer with elderberries introduced at different stages of the technological process, as well as to study the antioxidant activity of this functional drink. The pH was determined with a pH meter, the carbohydrate content and color – with a spectrophotometer, the optical density – with a spectrophotometer, the total polyphenol content – by the Folin-Ciocalteu colorimetric method, the antioxidant activity – by the DPPH radical scavenging method, and the absorption – with a UV-visible spectrophotometer at $\lambda = 517$ nm.

Elderberries added in the amount of 62.5 and 125 g/dm³ increased the degree of fermentation. According to the European Brewing Convention, the optimal beer color is 22.29 units. To achieve this standard, elderberries had to be added 15 min after the start of boiling the wort. When elderberries were added to the cooled wort, its color decreased by 6.97 units. The concentration of elderberries appeared to have a positive correlation with the antioxidant activity of the finished product: more elderberries meant more polyphenols. The pH did not change during the brewing process and remained within the standard limit of 4.25–4.81. When the concentration of elderberries was 1.25 g/dm³, the antioxidant activity increased by 13.4 times, at 125 g/dm³ – by 22 times. The beer reached its maximal antioxidant activity when elderberries were added to uncooled wort after boiling; it decreased by 16.1% when elderberries were added after cooling the wort.

The content of polyphenols in elderberry beer depended on the concentration of elderberries, while the color and antioxidant capacity – on the amount of elderberries and the stage of the technological process. Unfiltered and unpasteurized elderberries maximized the antioxidant activity and nutritional value of the finished product. The new beer sort will allow microbreweries to expand their product range and attract new consumers.

Keywords. Beer wort, elder, fermentation, color, polyphenols, anthocyanins

For citation: Burak LCh, Zavaley AP. Elderberry (*Sambucus nigra* L.) Beer with Antioxidant Properties. Food Processing: Techniques and Technology. 2022;52(1):168–177. (In Russ.). <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2022-1-168-177>

Введение

Пиво – самый потребляемый алкогольный напиток во всем мире. Является третьим по популярности после воды и чая [1]. Для приготовления пива в качестве основного сырья используется солод, хмель, вода и пивные дрожжи. В готовом продукте содержатся такие вещества, как углеводы, минералы (калий, магний), витамины (ниацин, рибофлавин, фолиевая кислота, кобаламин, пиридоксин) и аминокислоты. В пиве присутствует большое количество фенольных соединений (рассматриваемых как биологически активные вещества из-за их антиоксидантных свойств), которые образуются из солода (70–80 %) и хмеля (ксантогумол) [2].

Гидроксibenзойные кислоты и флавонолы являются основными фенольными соединениями,

содержащимися в пиве [3, 4]. Преобладающими фенольными соединениями являются феруловая, *n*-кумаровая, ванилиновая и протокатеховая кислоты, небольшое количество катехина, а также *p*-гидроксibenзойная, хлорогеновая, кофейная и синапиновая кислоты [5, 6]. Все эти соединения оказывают влияние на цвет, аромат, вкус и коллоидную стабильность, т. к. при взаимодействии с белками вызывают помутнение [7]. Концентрация фенолов и содержание биологически активных соединений зависит от многих факторов. В первую очередь от состава сырья, используемого в процессе пивоварения [8].

Учитывая потребительский спрос на натуральные и функциональные продукты питания, предприятия пищевой промышленности создают новые продукты и

изменяют рецептуры традиционных. Развитие пивной промышленности дает широкие возможности для расширения ассортимента выпускаемой продукции, улучшения органолептических свойств продукта и его функциональности.

На мировом рынке преобладает пиво, которое варится по классической технологии и производится крупными пивоваренными предприятиями. Это связано с тем, что в некоторых странах на законодательном уровне разрешено использование только основных ингредиентов (вода, солод, хмель и дрожжи). Например, в Баварии (Германия) запрещается вносить любые добавки к пиву, а в Бельгии существует давняя традиция пива с фруктовыми добавками. В Республике Беларусь, в соответствии с действующим законодательством и СТБ 395-2017, есть возможность выпускать специальные сорта пива с использованием плодового и/или растительного сырья и продуктов их переработки. В соответствии с утвержденным Техническим регламентом Евразийского экономического союза «О безопасности алкогольной продукции» ТР ЕАЭС 047/2018 возможность выпускать специальные сорта пива будет у предприятий стран-участниц Таможенного Союза.

В последнее время наблюдается увеличение объема рынка крафтового пива [9]. Появляются специальные сорта пива с более короткими инновационными циклами, чем у традиционного [10]. Это привело к диверсификации традиционных сортов пива и активному поиску новых с различными вкусами [11–13].

Существующие на сегодняшний день современные технологии дают возможность на базе классического пива производить различные сорта с дополнительными функциональными свойствами, которые полезны для здоровья человека, и высокими органолептическими показателями. Это позволяет производителям разрабатывать различные рецептуры новых сортов пива, расширять рынок пивоваренной промышленности и привлекать новых потребителей.

Пиво, сваренное с добавлением фруктовых ингредиентов, характеризуется приятным вкусом. Фруктовые добавки обеспечивают увеличение содержания в готовом продукте биологически активных соединений и антиоксидантной активности напитка. Проведенные исследования подтверждают, что добавление фруктов (вишня, малина, персик, яблоко, плоды айвы и т. д.) в процессе брожения способствует увеличению в готовом пиве биологически активных соединений, таких как каротиноиды и полифенолы. Пиво с добавлением фруктов положительно сказывается на органолептических и функциональных свойствах напитка и оказывает благотворное влияние на организм [1, 14–16].

Бузина (*Sambucus nigra* L.) – род цветковых растений семейства Адоксовых (*Adoxaceae*), включающий около двадцати пяти видов кустарников. Распространена в юго-западной и южной полосе европейской части России, в Беларуси, на Украине и в горах Кавказа до среднегорного пояса. Растет в подлесках лиственных лесов, реже смешанных и хвойных, на плодородных землях и опушках. Многочисленные исследования бузины отечественными и зарубежными учеными подтверждают, что она содержит компоненты с высокой биологической активностью. Это полифенолы, а именно антоцианы, флавонолы, фенольные кислоты и проантоцианидины, а также терпены и лектины. В ягодах бузины установлены следующие антоцианы на основе цианида: цианидин 3-самбубиозид-5-глюкозид, цианидин 3,5-диглюкозид, цианидин 3-самбубиозид, цианидин 3-глюкозид и цианидин 3-рутинозид. Суммарная концентрация антоцианов варьировалась от 756 мг/100 г в бузине дикорастущей до 957 мг/100 г в бузине садовой [17–19]. Ягоды бузины содержат большое количество витаминов и минеральных веществ (магний и кальций). В сухой ягоде бузины содержатся витамин С ~ 1700 мкг/г, β-каротин (провитамин А) ~ 18 мкг/г и общее количество токоферолов (витамин Е) 324 мкг/г, а именно α-токоферол (~ 300 мкг/г). Аналогичные результаты были получены и другими исследователями, которые пришли к выводу о том, что мука из семян бузины является источником α- и γ-токоферолов. Кроме того, в ягодах бузины был обнаружен комплекс витаминов группы В (В₂, В₃, В₅, В₆, В₉) [20–22].

Так как ягоды бузины обладают антиоксидантной активностью, то было сделано предположение о том, что их добавление на различных стадиях технологического процесса производства пива приведет к извлечению антиоксидантов бузины и их сохранению после процесса ферментации.

Цель данного исследования – разработать специальный сорт пива, обогащенного ягодами бузины, для повышения антиоксидантной активности и определить, сохраняется ли антиоксидантная способность на основе полифенолов на стадии брожения производства пива.

Объекты и методы исследования

Объектами исследования являются образцы пива, полученные брожением пивного сусла, приготовленного из светлого солода, внесением хмеля, дрожжей и добавлением ягод бузины (*Sambucus nigra* L.) на различных стадиях технологического процесса. Использовали светлый пильзенский солод производства ОАО «Белсолод» (Республика Беларусь), хмель Hallertauer Herkules (Майнбург, Германия) и сухие пивные дрожжи

Safale S-04 для сброживания пивного сусла (ООО «Мальтбай», Республика Беларусь).

Для проведения исследования использовали следующие реактивы: галловая кислота; фенольный реактив Фолина-Чокальтеу, 2 М, 500 мл, Sigma, 47641-500ML-F и 2,2-дифенил-1-пикрилгидразил (DPPH); аскорбиновая (99,5 %) и серная кислоты (95 %); абсолютный этиловый спирт (99,9 %), этиловый спирт (94,5 %) и метиловый спирт (99,9 %) (ООО «Альгимед Трейд», Республика Беларусь); безводный карбонат натрия (99 %); фенол (98 %) (ЗАО «Пять океанов», Республика Беларусь). Сырые ягоды бузины без плодоножек были закуплены ООО «Ароматик» у населения и хранились в течение месяца в оригинальной упаковке в холодильнике при температуре 5 °С.

Приготовление образцов пива с плодами бузины.

Затор был приготовлен из светлого пильзенского солода, который был измельчен и смешан с водой в соотношении 1:4 на лабораторной пивоваренной установке PICO50 (SALM, Австрия). Процесс затирания начинали при температуре 52 °С в течение 20 мин с паузами для осахаривания при температуре 63 °С в течение 30 мин и при 70 °С в течение 15 мин. Затем сусло фильтровали и отделяли от пивной дробины с помощью установленного металлического сетчатого фильтра и дополнительной фильтрацией через ткань. Сусло разделяли на образцы по 800 мл. Пять образцов кипятили с различной концентрацией плодов бузины в течение 1 ч и добавляли 0,2 г хмеля. Так как ягоды бузины придают отличительный вкус и терпкость, то дополнительная выраженная горечь хмеля не нужна, поэтому его вносили в один прием за 10 мин до окончания кипячения. Это позволяет максимально сохранить хмелевой аромат за счет снижения потерь хмелевых смол и масел при кипячении. Другие пять образцов сусла кипятили с 10 г ягод бузины, добавленных в разное время в процессе кипячения. За 10 мин до окончания кипячения добавляли 0,2 г хмеля. Готовые образцы охмеленного сусла охлаждали и вносили по 0,5 г дрожжей. Процесс брожения начинали при температуре 18 °С. Еще два образца готовили, добавляя по 10 г ягод бузины. В один – сразу после кипячения, во второй – после охлаждения. В два образца вносили по 10 г бузины: в один – после одного дня брожения, во второй – после трех дней брожения. Контрольный образец был приготовлен таким же образом, но без добавления ягод бузины. Описание и обозначение образцов приведены в таблице 1.

Определение pH, содержание углеводов и цвета.

Определение pH проводили с помощью pH-метра стационарного HI 2211-02 (Германия).

Содержание углеводов в пиве определяли методом фенол-серноокислотного анализа, раствор глюкозы использовали для построения калибровочного гра-

фика [22]. Образцы пива разбавляли водой в соотношении 1:50. Затем 50 мкл разбавленного образца помещали в 96-луночный планшет и смешивали с 150 мкл серной кислоты и 30 мкл 5 % фенола. После выдержки в нагревательной бане в течение 5 мин при 90 °С планшет охлаждали до комнатной температуры и измеряли на спектрофотометре BioTek Epoch2 (США) при $\lambda = 490$ нм. Цвет измеряли двумя методами с помощью спектрофотометра УФ-видимой области при $\lambda = 430$ нм в соответствии со стандартным эталонным методом (SRM) и методом в единицах EBC [23]. При анализе крафтовых сортов фруктового пива эти методы могут давать неточный результат, т. к. фруктовые добавки разного цвета имеют другой спектр поглощения, чем обычное пиво [24].

Для сравнения и большей достоверности результата цвет определяли в двух единицах SRM и EBC [24]. Все измерения проводили трехкратно.

Анализ общего содержания полифенолов (TPC).

Концентрацию общих полифенолов в образцах пива определяли колориметрическим методом Фолина-Чокальтеу. Фенольный реагент Фолина и Чокальтеу (FCR) разбавляли водой 1:15. 15 мкл образца помещали в 96-луночный микропланшет и добавляли разбавленный FCR. Смесь инкубировали в темноте 10 мин при 18 °С. Затем в каждую лунку добавляли 15 мкл 20 % карбоната натрия, планшет встряхивали и измеряли оптическую плотность с помощью спектрофотометра УФ-видимой области при $\lambda = 755$ нм. Результаты в диапазоне концентраций 25–300 мкг/см³ находили с помощью калибровочного графика [25].

Определение антиоксидантной активности.

Антиоксидантную активность в образцах определяли методом улавливания радикалов DPPH [26].

Спектрофотометрия свободных радикалов основана на реакции DPPH (2,2-дифенил-1-пикрилгидразил), растворенного в метаноле, с образцом антиоксиданта (АН) по схеме: DPPH + АН DPPH-H + А. В результате восстановления DPPH (C₁₈H₁₆N₅O₆ – молекулярная масса 394,33) антиоксидантом снижается пурпурно-синяя окраска DPPH в метаноле, а реакция контролируется по изменению оптической плотности при 517 нм методами спектрофотометрии. 10 мг DPPH растворяли в 250 мл 80 % метанола. Затем 20 мкл образца помещали в лунку микроплшета и добавляли 300 мкл раствора DPPH. Смесь инкубировали в темноте 30 мин при 18 °С. Поглощение измеряли с помощью спектрофотометра УФ-видимой области при $\lambda = 517$ нм. Результаты находили по калибровочному графику в диапазоне 5–100 мкг/см³ аскорбиновой кислоты.

Статистический анализ. Для сравнения средних значений полученных данных применяли односторонний дисперсионный анализ. Статистически

Таблица 1. Описание образцов

Table 1. Samples

Образец	Характеристика	Массовая концентрация ягод бузины, г/дм ³	Стадия процесса добавления бузины
№ 1	Добавление плодов бузины	1,25	Перед кипячением
№ 2	Добавление плодов бузины	6,25	Перед кипячением
№ 3	Добавление плодов бузины	25,0	Перед кипячением
№ 4	Добавление плодов бузины	62,5	Перед кипячением
№ 5	Добавление плодов бузины	125,0	Перед кипячением
№ 6	Кипячение сусла с бузиной 60 мин	12,5	Перед кипячением
№ 7	Кипячение сусла с бузиной 45 мин	12,5	За 45 мин до окончания кипячения
№ 8	Кипячение сусла с бузиной 30 мин	12,5	За 30 мин до окончания кипячения
№ 9	Кипячение сусла с бузиной 15 мин	12,5	За 15 мин до окончания кипячения
№ 10	Кипячение сусла с бузиной 5 мин	12,5	За 5 мин до окончания кипячения
№ 11	Кипячение сусла с бузиной 60 мин	12,5	Перед кипячением
№ 12	Добавление ягод после окончания кипячения	12,5	После окончания кипячения
№ 13	Добавление ягод бузины после охлаждения сусла	12,5	После охлаждения сусла до 18 °С
№ 14	Добавление ягод бузины через день после начала брожения	12,5	Через день после начала брожения
№ 15	Добавление ягод бузины через три дня после начала брожения	12,5	Через три дня после начала брожения
Контроль	–	–	–

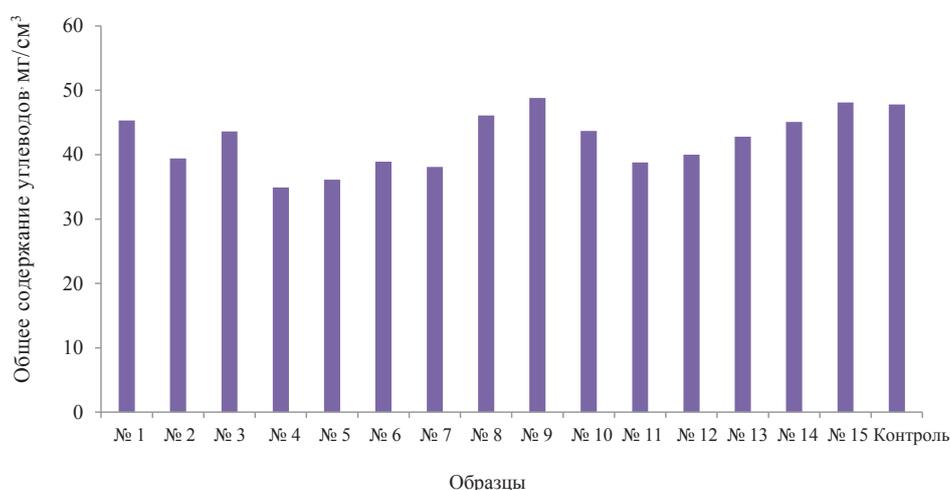


Рисунок 1. Общее содержание углеводов в пиве с добавлением бузины

Figure 1. Total carbohydrate content in elderberry beer

значимым принимали $P < 0,05$. Корреляционный анализ проводился с коэффициентами корреляции Пирсона в Microsoft Excel 16.0.

Результаты и их обсуждение

Содержание углеводов. Несброженные сахара в готовом пиве повышают его питательную ценность и сладость. Проведенный фенол-сернокислотный анализ использовался для определения остаточной

концентрации углеводов в готовом пиве в пересчете на глюкозу. Снижение аттенюации является показателем хода процесса брожения сусла. Это вызвано такими факторами, как температура ферментации, наличие несбраживаемых сахаров, низкая ферментативная способность дрожжей или ингибирующее действие биологически активных веществ, содержащихся в пивном сусле с бузиной. Из рисунка 1 видно, что происходит увеличение сбраживания

сахаров – статистически значимое снижение содержания углеводов ($P < 0,05$) – при добавлении большего количества плодов бузины и при более продолжительном времени экстракции. Установлено снижение на 12,9 и 11,7 мг/см³ эквивалента глюкозы в образцах № 2 и 5 соответственно, а также на 8,9 и 9,7 мг/см³ в образцах № 6 и 7 соответственно по сравнению с контрольным образцом.

Ягоды бузины могут увеличивать содержание углеводов в пиве и влиять на видимую степень сбраживания. Однако содержание углеводов в бузине составляет $87,62 \pm 2,48$ мг/кг сырого вещества [17]. Это предполагает очень незначительное увеличение (приблизительно от 0,9 до 1,2 мг/см³ для образцов № 6–15) общего содержания углеводов в пиве. Полученный результат свидетельствует о том, что добавление ягод бузины не снижает ферментативную способность используемого штамма дрожжей, но более высокие концентрации ягод бузины – 62,5 и 125 г/дм³ – способствуют увеличению степени сбраживания. Поскольку уровни оксигенации и внесения дрожжей одинаковы для всех образцов, то pH пива было в пределах от 4,25 до 4,81 (табл. 2). Других изменений параметров процесса не установлено. Наблюдаемая разница в аттенюации связана с соединениями, извлеченными из плодов бузины. Влияние экстракта бузины на аттенюацию не опубликовано. Поэтому этот процесс не исследовался и есть необходимость в проведении дальнейших исследований.

Цвет. При добавлении ягод бузины на стадии кипячения происходило увеличение цвета в течение 45 мин кипячения на 2,74 ед. SRM или 5,36 ед. EBC.

Таблица 2. Значения pH и оценка цвета (SRM и EBC) в образцах пива с бузиной

Table 2. pH and color (SRM and EBC) in elderberry beer

Образец	pH	Цвет	
		ед. SRM	ед. EBC
Контроль	4,34	6,75 ± 0,01	13,28 ± 0,03
№ 1	4,40	7,85 ± 0,11	15,44 ± 0,06
№ 2	4,76	8,27 ± 0,04	16,25 ± 0,24
№ 3	4,39	9,01 ± 0,02	17,73 ± 0,08
№ 4	4,39	9,83 ± 0,06	19,33 ± 0,07
№ 5	4,30	13,26 ± 0,08	26,06 ± 0,16
№ 6	4,44	8,60 ± 0,14	16,93 ± 0,15
№ 7	4,36	11,34 ± 0,14	22,29 ± 0,32
№ 8	4,35	9,62 ± 0,21	18,91 ± 0,45
№ 9	4,42	8,12 ± 0,09	15,96 ± 0,06
№ 10	4,34	8,02 ± 0,09	15,76 ± 0,17
№ 11	4,44	8,60 ± 0,14	16,93 ± 0,15
№ 12	4,28	11,96 ± 0,22	23,51 ± 0,41
№ 13	4,40	8,42 ± 0,02	16,54 ± 0,04
№ 14	4,41	7,45 ± 0,11	14,67 ± 0,21
№ 15	4,32	7,02 ± 0,01	13,84 ± 0,11

Затем наблюдалось снижение цвета. Это указывает на то, что, наряду с процессом экстракции антоцианов из ягод бузины в сусло, под действием температуры происходит их термическое разложение. Установлено, что оптимальное время для внесения ягод бузины – через 15 мин после начала процесса кипячения, если необходимо получить такой цвет пива, значение которого равно 22,29 ед. EBC. Внесение ягод бузины в сусло после кипячения привело к аналогичному показателю цвета, тогда как результат добавления ягод в охлажденное сусло показывает снижение еще на 3,54 ед. SRM или 6,97 ед. EBC. Это свидетельствует о том, что более высокие температуры улучшают экстракцию цвета даже при незначительном времени воздействия. Снижение цвета в ед. EBC на 30 % в образцах, кипяченных в течение 60 мин, по сравнению с образцами, в которые ягоды бузины были добавлены после кипячения, можно объяснить термической деградацией антоцианов. В процессе брожения происходило снижение цвета на 0,97 ед. SRM (1,67 ед. EBC) через день после начала брожения и на 1,4 ед. SRM (2,7 ед. EBC) после трех дней брожения. Это объясняется общеизвестными процессами, влиянием pH броющего сусла, а также дрожжей, которые адсорбируют на поверхности клеточной стенки красящие вещества

Содержание общих полифенолов. Общее количество полифенольных соединений показано на рисунке 2. Общее количество фенолов в образцах не зависело от продолжительности кипячения и не показало прямой корреляции с показателем цвета пива. Это позволяет предположить, что цвет и общее содержание полифенолов взаимосвязаны, но не прямо пропорционально. Полученные данные свидетельствуют о прямой зависимости между общей концентрацией полифенолов и антиоксидантной активностью. Также установлено, что с увеличением концентрации вносимых ягод бузины растет общее содержание полифенолов. Поэтому можно сделать вывод о том, что экстракция протекает эффективно благодаря высокой растворимости и полному извлечению полифенолов из ягод бузины.

Антиоксидантная активность. Антиоксидантную активность определяли в контрольном образце и образцах с добавлением ягод бузины. Результаты показаны на рисунке 2.

Сравнивая антиоксидантную активность в образцах с добавлением ягод бузины с антиоксидантной активностью контрольного образца, установлено увеличение на 7,9 мг/см³ в образце пива на третий день брожения и на 78,2 мг/см³ в образце с наибольшей концентрацией ягод. Увеличение количества вносимых ягод бузины повышало антиоксидантную активность. Это привело к сильной положительной корреляции: коэффициент корреляции Пирсона 0,92 и $P < 0,009$. При внесении 125 г/дм³ ягод бузины происходит

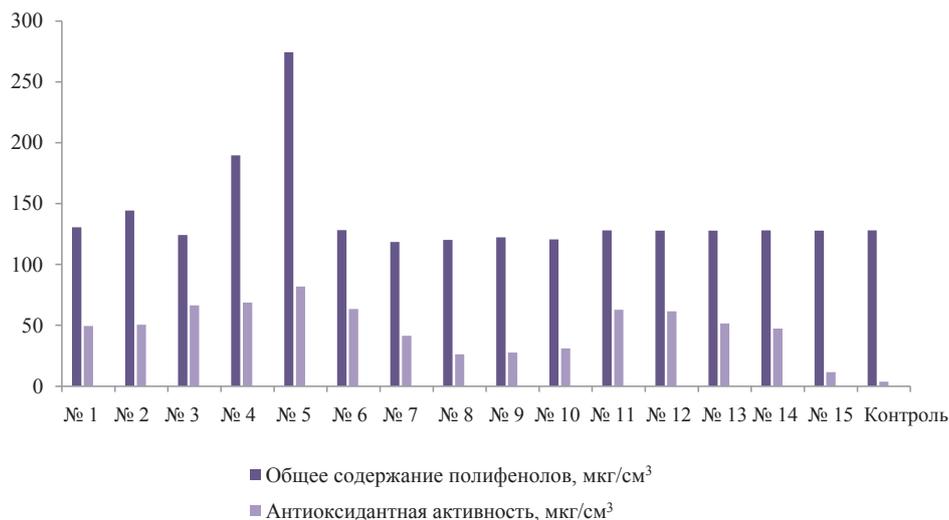


Рисунок 2. Общее количество полифенолов и антиоксидантная активность в эквиваленте витамина С в образцах пива с ягодами бузины

Figure 2. Total polyphenols and antioxidant activity in vitamin C equivalent in elderberry beer

увеличение антиоксидантной активности в 22 раза, а добавление ягод в концентрации 1,25 г/дм³ – в 13,4 раза. Антиоксидантная активность в образцах, в которые добавляли ягоды бузины перед кипячением и после кипячения (№ 11 и 12), отличается незначительно ($P = 0,48$): снижение составило 1,3 мкг/см³. В образцах, в которых бузину вносили во время кипячения, наблюдались низкие значения антиоксидантной активности. Потери составили более 49 %. Это говорит о том, что конечная концентрация антиоксидантных веществ зависит от двух факторов. Первый – скорость экстракции, второй – скорость разложения антиоксидантов под воздействием температуры. Добавление ягод бузины после кипячения, но до охлаждения сула, оказалось наиболее эффективным для обеспечения максимальной антиоксидантной активности пива. Добавление ягод бузины после охлаждения сула привело к снижению антиоксидантной способности на 16,1 %.

Добавление ягод бузины на разных стадиях брожения привело к низкой антиоксидантной активности продукта. Кроме этого, заметной разницы в терпкости, по сравнению с предварительной органолептической оценкой, не установлено. Поэтому вносить ягоды бузины в процессе брожения нецелесообразно. Внесение ягод бузины даже в небольших количествах увеличивало антиоксидантную активность в 3,1 раза (после добавления на третий день ферментации) и в 26,4 раза при добавлении 125 г/дм³ ягод бузины перед кипячением сула.

Влияние ягод бузины на антиоксидантную активность пива не будет зависеть от используемого солода или сорта хмеля. Однако использование других

типов солода, хмеля, разных параметров брожения и времени выдержки может повлиять на эти результаты, поскольку скорость и время ферментации могут привести к окислению полифенолов и к потере антиоксидантной активности готового продукта. Снижение полифенолов и антиоксидантной активности в готовом пиве неизбежно, т. к. в процессе дальнейшего брожения, созревания и взаимодействия дрожжей с фенольными веществами происходят физико-химические процессы. С целью минимального снижения антиоксидантной активности продукта пиво с бузиной целесообразно производить нефильтрованным и непастеризованным. Отсутствие процесса фильтрации и пастеризации позволит максимально сохранить пищевую ценность пива. Срок годности нефильтрованного пива меньше, что в условиях мини-пивоварен не критично.

Полученные результаты подтверждают данные исследований о том, что добавление свежих фруктов повышает антиоксидантную активность, общее содержание полифенолов и флавоноидов по сравнению с обычным пивом. Антиоксидантная активность, общее содержание полифенолов и флавоноидов были выше в большинстве сортов фруктового пива по сравнению с пивом без фруктов. Установленная положительная линейная корреляция между антиоксидантной активностью и общим содержанием полифенолов и флавоноидов позволяет предположить, что полифенолам принадлежит основная роль в антиоксидантной активности пива [14, 27–30].

В данном исследовании не ставилась цель разработать и представить готовую рецептуру пива с добавлением ягод бузины, а также провести полный

физико-химический анализ и органолептическую оценку готовой продукции. Это является целью дальнейших исследований.

Выводы

Бузину черную (*Sambucus nigra* L.) как источник важных биологически активных соединений целесообразно использовать в пивоваренной отрасли не только как краситель, но и как антиоксидант. Добавление ягод бузины в пивное сусло на различных этапах технологического процесса производства пива оказывает положительное влияние на антиоксидантную активность готового продукта, а также на изменение цвета и pH. Общее содержание полифенолов в готовом пиве с бузиной зависит от количества добавленных ягод, а цвет и антиоксидантная активность готового продукта зависят не только от количества, но и от стадии технологического процесса, в ходе которого добавляются ягоды.

Для достижения максимальной антиоксидантной активности и минимальной окраски готового пива ягоды бузины следует вносить перед кипячением. Если конечной целью является получение продукта с высокой антиоксидантной активностью и насыщенным цветом, то ягоды бузины следует добавлять в горячее охмеленное сусло перед процессом охлаждения. Ягоды бузины в качестве фруктовой добавки, увеличивающей антиоксидантную активность пива, целесообразно использовать в производстве крафтовых сортов, которые не подвергаются фильтрации и пастеризации.

Нами продолжаются исследования по разработке рецептуры и утверждению нормативной документации, определению всех физико-химических и органолептических показателей специального сорта пива с добавлением бузины.

Критерии авторства

Л. Ч. Бурак – анализ данных литературы по проблеме, разработка плана исследования, получение экспериментальных данных, разработка технологического процесса, анализ полученных результатов, формулирование выводов и написание статьи. А. П. Завалей – работа с литературными источниками, подбор методов химического анализа и проведение испытаний, написание статьи.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Благодарности

Авторы выражают признательность и искреннюю благодарность руководству ООО «Ароматик» за предоставление образцов сырья и помощь в проведении испытаний.

Contribution

L.Ch. Burak reviewed scientific publications, developed the research plan, obtained experimental data, designed the technological process, analyzed the results, formulated the conclusions, and wrote the article. A.P. Zavaley worked with literary sources, selected the methods of chemical analysis and testing, and wrote the article.

Conflict of interest

The authors declare that there is no conflict of interest regarding the publication of this article.

Acknowledgments

The authors express their gratitude to the Aromatik JLLC for the raw materials and assistance.

References/Список литературы

1. Zapata PJ, Martínez-Esplá A, Gironés-Vilaplana A, Santos-Lax D, Noguera-Artiaga L, Carbonell-Barrachina ÁA. Phenolic, volatile, and sensory profiles of beer enriched by macerating quince fruits. *LWT*. 2019;103:139–146 <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.01.002>
2. Habschied K, Lončarić A, Mastanjević K. Screening of polyphenols and antioxidative activity in industrial beer. *Foods*. 2020;9(2). <https://doi.org/10.3390/foods9020238>
3. Gašior J, Kawa-Rygielska J, Kucharska AZ. Carbohydrates profile, polyphenols content and antioxidative properties of beer worts produced with different dark malts varieties or roasted barley grains. *Molecules*. 2020;25(17). <https://doi.org/10.3390/molecules25173882>
4. Tronina T, Popłoński J, Bartmańska A. Flavonoids as phytoestrogenic components of hops and beer. *Molecules*. 2020; 25(18). <https://doi.org/10.3390/molecules25184201>
5. Ducruet J, Rébénaque P, Diserens S, Kosińska-Cagnazzo A, Héritier I, Andlauer W. Amber ale beer enriched with goji berries – The effect on bioactive compound content and sensorial properties. *Food Chemistry*. 2017;226:109–118. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.01.047>

6. Sandoval-Ramírez BA, Lamuela-Raventós RM, Estruch R, Sasot G, Doménech M, Tresserra-Rimbau A. Beer polyphenols and menopause: Effects and mechanisms – A review of current knowledge. *Oxidative Medicine and Cellular Longevity*. 2017;2017. <https://doi.org/10.1155/2017/4749131>
7. Ambra R, Pastore G, Lucchetti S. The role of bioactive phenolic compounds on the impact of beer on health. *Molecules*. 2021;26(2). <https://doi.org/10.3390/molecules26020486>
8. Cheiran KP, Raimundo VP, Manfroi V, Anzanello MJ, Kahmann A, Rodrigues E, et al. Simultaneous identification of low-molecular weight phenolic and nitrogen compounds in craft beers by HPLC-ESI-MS/MS. *Food Chemistry*. 2019;286:113–122. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.01.198>
9. Burak LCh. Prospects for the production of beer with functional properties. *Technologies of the Food and Processing Industry of the Agro-Industrial Complex – Healthy Food Products*. 2021;(2):79–88. (In Russ.).
10. Бурак Л. Ч. Перспективы производства пива с функциональными свойствами // Технологии пищевой и перерабатывающей промышленности АПК – продукты здорового питания. 2021. № 2. С. 79–88.
11. Cabras I, Bamforth C. From reviving tradition to fostering innovation and changing marketing: the evolution of micro-brewing in the UK and US, 1980–2012. *Business History*. 2016;58(5):625–646. <https://doi.org/10.1080/00076791.2015.1027692>
12. Aquilani B, Laureti T, Poponi S, Secondi L. Beer choice and consumption determinants when craft beers are tasted: An exploratory study of consumer preferences. *Food Quality and Preference*. 2015;41:214–224. <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2014.12.005>
13. Ivanchenko OB, Danina MM. The use of leaves of sage and yarrow in the technology Dark Ales. *Journal of International Academy of Refrigeration*. 2018;(1):11–18. (In Russ.). <https://doi.org/10.17586/1606-4313-2018-17-1-11-18>
14. Sokolenko GG, Shilova ES. Development of technology of beer special with an extract of leaves of amaranth. *Beer and beverages*. 2015;(4):62–65. (In Russ.).
15. Соколенко Г. Г., Шилова Е. С. Разработка технологии пивного напитка с использованием листьев амаранта // Пиво и напитки. 2015. № 4. С. 62–65.
16. Nardini M, Garaguso I. Characterization of bioactive compounds and antioxidant activity of fruit beers. *Food Chemistry*. 2020;305. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.125437>
17. Granato D, Shahidi F, Wrolstad R, Kilmartin P, Melton LD, Hidalgo FJ, et al. Antioxidant activity, total phenolics and flavonoids contents: Should we ban *in vitro* screening methods? *Food Chemistry*. 2018;264:471–475. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.04.012>
18. Humia BV, Santos KS, Schneider JK, Lessa IL, de Abreu Barreto G, Batista T, et al. Physicochemical and sensory profile of Beaugard sweet potato beer. *Food Chemistry*. 2020;312. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.126087>
19. Młynarczyk K, Walkowiak-Tomczak D, Łysiak GP. Bioactive properties of *Sambucus nigra* L. as a functional ingredient for food and pharmaceutical industry. *Journal of Functional Foods*. 2018;40:377–390. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2017.11.025>
20. Młynarczyk K, Walkowiak-Tomczak D, Staniek H, Kidoń M, Łysiak GP. The content of selected minerals, bioactive compounds, and the antioxidant properties of the flowers and fruit of selected cultivars and wildy growing plants of *Sambucus nigra* L. *Molecules*. 2020;25(4). <https://doi.org/10.3390/molecules25040876>
21. Burak LCh, Zavaley AP. Technology of production and quality assessment of direct-squeezed juice and concentrated elderberry growing in the Republic of Belarus. *Food Industry*. 2021;(11):83–87. (In Russ.). <https://doi.org/10.52653/PPI.2021.11.11.001>
22. Domínguez R, Zhang L, Rocchetti G, Lucini L, Pateiro M, Munekata PES, et al. Elderberry (*Sambucus nigra* L.) as potential source of antioxidants. Characterization, optimization of extraction parameters and bioactive properties. *Food Chemistry*. 2020;330. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.127266>
23. Neves CMB, Pinto A, Gonçalves F, Wessel DF. Changes in elderberry (*Sambucus nigra* L.) juice concentrate polyphenols during storage. *Applied Sciences*. 2021;11(15). <https://doi.org/10.3390/app11156941>
24. Chow PS, Landhäusser SM. A method for routine measurements of total sugar and starch content in woody plant tissues. *Tree Physiology*. 2004;24(10):1129–1136. <https://doi.org/10.1093/treephys/24.10.1129>
25. DeLange AJ. The standard reference method of beer color specification as the basis for a new method of beer color reporting. *Journal of the American Society of Brewing Chemists*. 2008;66(3):143–150. <https://doi.org/10.1094/ASBCJ-2008-0707-01>
26. Koren D, Hegyesné Vecseri B, Kun-Farkas G, Urbin Á, Nyitrai Á, Sipos L. How to objectively determine the color of beer? *Journal of Food Science and Technology*. 2020;57(3):1183–118. <https://doi.org/10.1007/s13197-020-04237-4>
27. Prior RL, Wu X, Schaich K. Standardized methods for the determination of antioxidant capacity and phenolics in foods and dietary supplements. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2005;53(10):4290–4302. <https://doi.org/10.1021/jf0502698>

26. Sharma OP, Bhat TK. DPPH antioxidant assay revisited. *Food Chemistry*. 2009;113(4):1202–1205. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.08.008>
27. Gasiński A, Kawa-Rygielska J, Szumny A, Gąsior J, Głowacki A. Assessment of volatiles and polyphenol content, physicochemical parameters and antioxidant activity in beers with dotted hawthorn (*Crataegus punctata*). *Foods*. 2020;9(6). <https://doi.org/10.3390/foods9060775>
28. Nardini M, Foddai MS. Phenolics profile and antioxidant activity of special beers. *Molecules*. 2020;25(11). <https://doi.org/10.3390/molecules25112466>
29. Gouvinhas I, Breda C, Barros AI. Characterization and discrimination of commercial portuguese beers based on phenolic composition and antioxidant capacity. *Foods*. 2021;10(5). <https://doi.org/10.3390/foods10051144>
30. Ambra R, Pastore G, Lucchetti S. The role of bioactive phenolic compounds on the impact of beer on health. *Molecules*. 2021;26(2). <https://doi.org/10.3390/molecules26020486>