

УДК 663.42

Исследование сорбционных свойств целлюлозно-лигнинного комплекса обработанной дробины

И. Н. Грибкова, И. В. Лазарева

Всероссийский научно-исследовательский институт пивоваренной, безалкогольной и винодельческой промышленности — филиал Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный научный центр пищевых систем им. В.М. Горбатова» РАН, г. Москва, Российская Федерация

КОРРЕСПОНДЕНЦИЯ:

Грибкова Ирина Николаевна
E-mail: institut-beer@mail.ru

ЗАЯВЛЕНИЕ О ДОСТУПНОСТИ ДАННЫХ:

данные текущего исследования доступны по запросу у корреспондирующего автора.

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:

Грибкова, И.Н., & Лазарева, И.В. (2023). Исследование сорбционных свойств целлюлозно-лигнинного комплекса обработанной дробины. *Хранение и переработка сельхозсырья*, (3), 147-155. <https://doi.org/10.36107/spfp.2023.466>

ПОСТУПИЛА: 02.06.2023

ПРИНЯТА: 15.09.2023

ОПУБЛИКОВАНА: 30.09.2023

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ:

авторы сообщают об отсутствии конфликта интересов.

**АННОТАЦИЯ**

Введение: Разработка малоотходных технологий в любой отрасли производства, в том числе пищевого, является актуальной задачей для исследователей. Исследование состава сырья позволяет разработать направления для его глубокой переработки направленного действия. Пивная дробина составляет 80 % от всех вторичных сырьевых ресурсов пивоварения. Лигноцеллюлозные структуры дробины представляют собой ценность с точки зрения сорбционной способности при ее переработке для создания свободных карбоксильных —COOH групп, спиртовых и фенольных гидроксидов —ОН, силанольных групп —Si—ОН, выступающих в роли активных центров на сорбционной поверхности. Сорбционные способности дробины могут быть исследованы на основе спиртовых хмелевых экстрактов, представляющих комплекс фенольных, эфирных соединений и горьких смол, представляющих интерес в технологии пивоварения.

Цель: исследование сорбционных свойств целлюлозно-лигнинного комплекса обработанной дробины для оценки возможности создания носителя вкусо-ароматических компонентов на растительной основе.

Материалы и методы: В работе использовали 2 вида обработанной дробины разными физико-химическими способами. Сорбционную способность определяли по разнице в содержании соединений хмеля 2 видов (горького и ароматного) в спиртовых экстрактах. Оцениваемыми соединениями хмеля являлись горькие смолы (α -кислота), полифенольные соединения, определяемые по ГОСТ.

Результаты: Исследуемые образцы целлюлозно-лигнинного комплекса дробины проявляли сорбционную способность в отношении горьких смол, фенольных соединений и эфирных масел с разной долей эффективности, что говорит о достижении поставленной цели исследования.

Выводы: Проведенные исследования свидетельствуют о том, что физические методы обработки дробины (избыточное атмосферное давление, ультразвук) в присутствии ЭХА-активированной воды способствуют возникновению свободных связей внутри целлюлозно-лигнинного комплекса, которые и являются местами обратимого связывания соединений хмеля. В результате исследования сорбционно-десорбционных процессов двух образцов обработанной дробины установлено, что вне зависимости от способов переработки структуры дробины (избыточное давление или ультразвук), происходит сорбция полифенолов на 22,6–28,0 % обработанной дробиной № 1, и 13,6–21,4 % обработанной дробиной № 2; горькие α -кислоты сорбируются на 14,9–20,2 % дробиной № 1 и на 9,6–15,1 % дробиной № 2; эфирные масла сорбируются на 11,1–12,0 % и 6,7–8,9 % дробиной № 1 и № 2 соответственно от начального содержания в экстракте. Десорбция полифенольных соединений происходит на 2/3, а горьких и эфирных соединений — на 1/2 от количества сорбируемых не зависимо ни от типа хмеля, ни от вида дробины. Исследования относительно условия проведения процессов сорбции и десорбции будут продолжены.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

пивная дробина, физико-химическая обработка, горькие смолы хмеля, общие полифенолы, сорбционная способность

The brewer's spent grain cellulose lignin complex sorption capacity study

All-Russian Scientific Research Institute of Brewing, Beverage and Wine Industry – Branch of V.M. Gorbатов Federal Research Center for Food Systems, Moscow, Russian Federation

CORRESPONDENCE:

Irina N. Gribkova

E-mail: institut-beer@mail.ru

FOR CITATIONS:

Gribkova, I.N., & Lazareva, I.V. (2023). The brewer's spent grain cellulose lignin complex sorption capacity study. *Storage and Processing of Farm Products*, (3), 148-156. <https://doi.org/10.36107/spfp.2023.466>

RECEIVED: 02.06.2023

ACCEPTED: 15.09.2023

PUBLISHED: 30.09.2023

DECLARATION OF COMPETING

INTEREST: none declared.



Irina N. Gribkova, Irina V. Lazareva

ABSTRACT

Introduction: The development of low-waste technologies in any industry, including food, is an urgent task for researchers. Studying the raw material composition allows us to develop directions for its deep processing with targeted action. Brewer's spent grain make up 80 % of all secondary raw materials for brewing. The grain lignocellulosic structures are valuable in terms of sorption capacity during its processing to create free carboxyl –COOH groups, alcohol and phenolic hydroxyls –OH, silanol groups –Si–OH, which act as active centers on the sorption surface. The brewer's spent grain sorption abilities can be studied on the basis of alcoholic hop extracts, which are a complex of phenolic, etheric compounds and bitter resins that are of interest in brewing technology.

Purpose: The sorption properties study of the brewer's spent grain cellulose-lignin complex to assess the possibility of creating a carrier of flavoring components on a plant basis.

Materials and Methods: 2 types of processed brewer's spent grain were used by different physicochemical methods. The sorption capacity was determined by the difference in the content of 2 types hop compounds (bitter and aromatic) in alcohol extracts. The evaluated hop compounds were bitter resins (α -acid), polyphenolic and aromatic compounds determined according to GOST.

Results: The studied samples of the brewer's spent grain cellulose-lignin complex showed sorption capacity for bitter resins, phenolic compounds and essential oils with different degrees of efficiency, which indicates the achievement of the goal of the study.

Conclusion: The conducted studies indicate that the physical methods of brewer's spent grain processing (excessive atmospheric pressure, ultrasound) in the presence of ECA-activated water contribute to the formation of free bonds within the cellulose-lignin complex, which are the sites of reversible binding of hop compounds. As a result of sorption-desorption processes of brewer's spent grain two samples study, it was found that, regardless of the processing methods the structure of the brewer's spent grain (excessive pressure or ultrasound), polyphenols are sorbed by 22.6–28.0 % of the treated pellet No. 1, and 13.6–21.4 % processed shot No. 2; bitter α -acids are sorbed by 14.9–20.2 % with pellet No. 1 and by 9.6–15.1 % with pellet No. 2; essential oils are sorbed by 11.1–12.0 % and 6.7–8.9 % of pellets No. 1 and No. 2, respectively, from the initial content in the extract. The polyphenolic compounds desorption occurs by 2/3, and bitter and ester compounds – by 1/2 of the amount of sorbed ones, regardless of either the type of hop or the brewer's spent grain type. Research on the conditions for carrying out the processes of sorption and desorption will be continued.

KEYWORDS

brewer's spent grain, physic-chemical treatment, hop's bitter resins, total polyphenols, sorption capacity.

ВВЕДЕНИЕ

Актуальной проблемой любого производства, в том числе пищевого, является его оптимизация с учетом применения малоотходных технологий. Допустимым решением использования вторичных сырьевых ресурсов является идея полного, комплексного использования сырья при модернизации имеющегося производства (Элакунова & Сатылганова, 2017).

Пивная дробина составляет до 80% общего объема отходов пивоваренной отрасли (Пономарев с соавт., 2016), она является скоропортящимся сырьевым ресурсом и требует утилизации или переработки в течение первых двух суток хранения. Причиной непродолжительных сроков хранения служит состав дробины — она состоит на 75–85% из воды, около 6,6% из азотистых соединений, на 1,7% липидных и 9,7% безазотистых соединений (Данильченко с соавт., 2020). В состав безазотистых соединений входят в основном лигноцеллюлозные структуры, на 28% представляющие арабиноксилан, на 17% целлюлозу и на 28% лигнин (Reis et al., 2015). Углеводные структуры представляют собой ценность с точки зрения сорбционной способности при соответствующей переработке.

Известно, что сорбционные свойства различных материалов осуществляются посредством пор, слабых Ван-дер-Ваальсовых взаимодействий, химического связывания (водородными или ковалентными связями) (Морозова с соавт., 2019). В сорбентах, произведенных на основе растительных отходов отмечена роль карбоксильных —COOH групп, спиртовых и фенольных гидроксидов —OH, силанольных групп —Si—OH, которые выступают в роли активных центров сорбции на сорбционной поверхности (Мерентин, 2019). Исследователями установлено, что структура пивной дробины, кондиционированное с применением раствора соляной кислоты, повышает сорбцию металлов на 40% (Izinyon et al., 2016). Изучением сорбции металлов посвящено много работ (Izinyon et al., 2016; Smyatskaya et al., 2019; Adelagun et al., 2014), в результате чего установлен механизм сорбции тяжелых металлов структурами дробины — ионный обмен.

Цель данной статьи: описание исследования сорбционных свойств целлюлозно-лигнинного комплекса обработанной дробины для оценки возможности

создания носителя вкусо-ароматических компонентов на растительной основе. Для осуществления цели необходимо: (1) выделить вкусо-ароматические соединения хмеля из растительной матрицы хмелепродуктов; (2) оценить с помощью валидированных методик количественные характеристики основных групп соединений хмеля; (3) провести исследования по сорбции и десорбции структурами обработанной дробины основных групп соединений хмеля.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Объект исследования

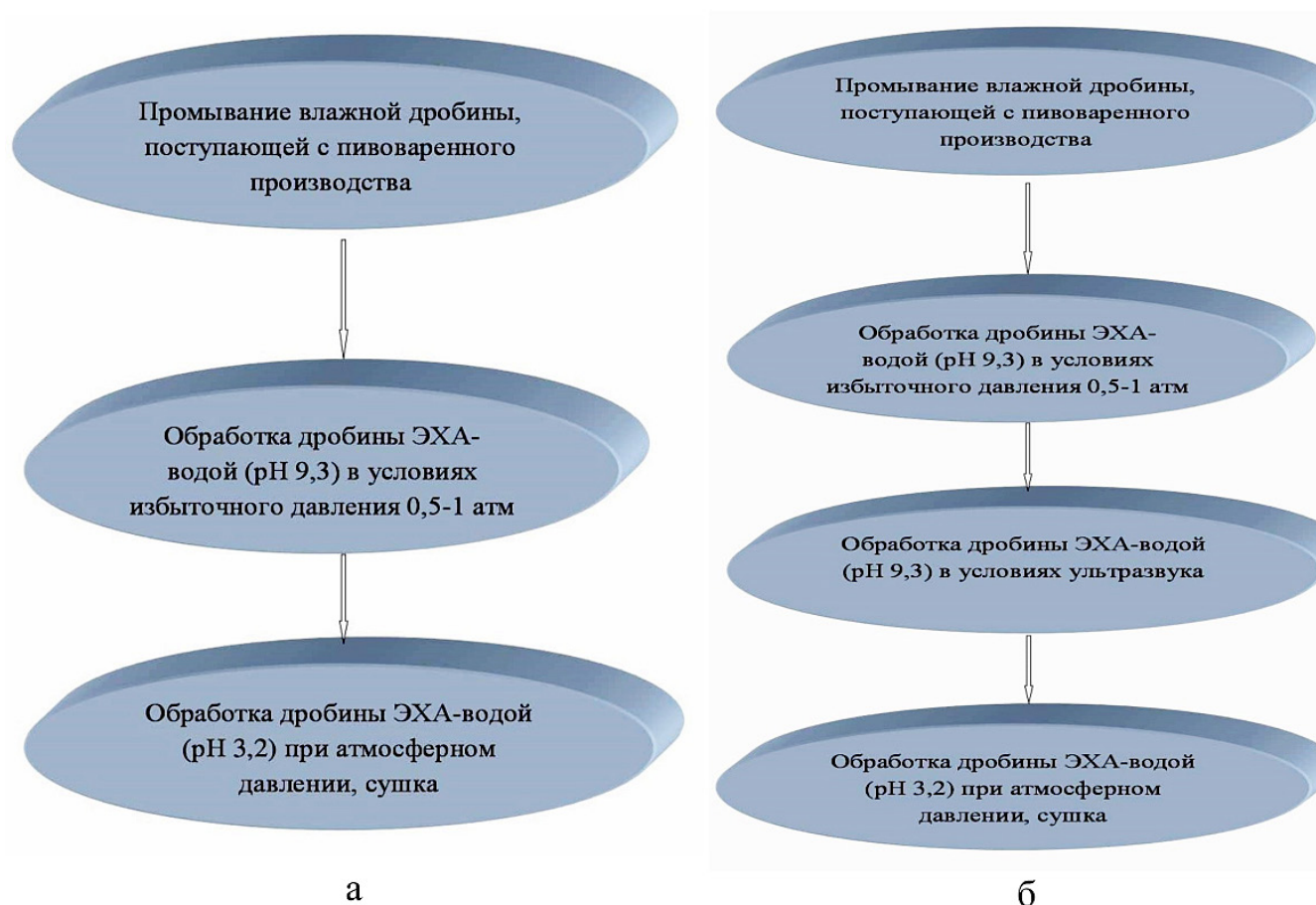
В работе в качестве материалов для исследования использовали солодовую дробину, полученную после приготовления солодового сусла на пилотной пивоварне (Германия) со степенью помола 85% : 15% (мелкий помол : крупка). Дробину с фильтрационных сит подвергали промыванию в проточной воде для удаления остатков растворимых соединений (редуцирующих сахаров, декстринов, растворимых азотистых и прочих веществ), после чего ее обсушивали фильтровальной бумагой от остаточной влаги, упаковывали в полиэтиленовые пакеты с Zip-застежкой и хранили в морозильной камере при $(-4 \pm 2)^\circ\text{C}$ в течение периода исследования.

В качестве способа обработки дробины применяли комбинированные физико-химические способы, схема обработки представлена на Рисунок 1 (а, б).

Сорбционную способность полученного целлюлозно-лигнинного комплекса двух образцов дробины исследовали с помощью хмелевых спиртовых экстрактов, получаемых с применением горького сорта Магнум (Германия) и ароматного сорта Тетнангер (Германия) урожая 2022г. Хмелевые экстракты получали путем настаивания навески хмеля в 96% этиловом спирте при $(25 \pm 2)^\circ\text{C}$ в течение 1 ч (контрольные растворы — К). Далее навеску дробину заливали экстрактом хмеля, выдерживали 1 ч при $(25 \pm 2)^\circ\text{C}$, далее отделяли целлюлозно-лигнинный комплекс от экстракта, просушивали его от лишнего экстракта фильтровальной бумагой, высушивали на открытом воздухе 10–15 мин до сухого состояния и помещали для контроля сорбируемых соединений в чистый 96% раствор

Рисунок 1

Схема обработки дробины по типу 1 (а) и типу 2 (б)



этилового спирта и выдерживали 30 мин, после чего отделяли целлюлозно лигнинный комплекс фильтрованием, а полученные растворы использовали для исследования (опытные растворы — О).

Методы

Сорбционную способность оценивали по определению кондуктометрического показателя горечи (содержание α -горькой кислоты) — по ГОСТ 32912–2014¹, определению содержания общих полифенолов — по ГОСТ 34798–2021², определению

содержания эфирного масла (летучие соединения) — по ГОСТ 14618.11–78³.

Процедура исследования

Исследовали содержание основных контролируемых показателей в контрольных и опытных образцах и сравнивали их между собой. Эффективность сорбционной способности оценивали по количеству сорбируемых соединений на 1 г целлюлозно-лигнинного комплекса дробины.

¹ ГОСТ 32912–2014. (2019). *Хмелепродукты. Общие технические условия*. М.: Стандартинформ.

² ГОСТ 34798–2021. (2023). *Производство пивоваренная. Идентификация. Фотоэлектроколориметрический метод определения массовой концентрации полифенолов*. М.: Стандартинформ

³ ГОСТ 14618.11–78. (2023). *Масла эфирные, вещества душистые и полупродукты их синтеза. Методы определения растворимости, летучих веществ и примесей*. М.: Стандартинформ

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Для решения поставленной цели исследования необходимо было решить поэтапные задачи : первая — определиться с группами соединений, идентифицируемых в исследовании, которые могут характеризовать аромат и вкус хмеля; вторая — количественная оценка идентифицируемых групп соединений при их контакте с обработанной дробинкой (сорбция); третья — количественная оценка идентифицируемых групп соединений при спиртовой экстракции адсорбированных соединений на дробине чистым органическим растворителем (96 % этиловым спиртом) (десорбция). Поставленные задачи помогли определить эффективность сорбции/десорбции органических соединений хмеля структурами дробины и решить поставленную цель исследования.

Определение вкусо-ароматических групп соединений хмеля, ответственных за органолептический профиль пива

Группами соединений хмеля, на наш взгляд, отвечающими за вкус и аромат, являются горькие смолы, ответственные за хмелевую горечь, полифенольные соединения (моно- и мономерные молекулы), ответственные за горечь, терпкость, остроту восприятия как хмелевой, так и нехмелевой горечи (Gribkova et al., 2022), а также эфирные масла, под-

разумевающие дополнительные оттенки аромата и вкуса (от травяных до цветочных) (Lafontaine et al., 2019).

Количественная оценка идентифицируемых групп соединений при их контакте с обработанной дробинкой (сорбция)

В результате проведенной оценки основных групп соединений, вызывающих интерес с точки зрения возможной сорбции соединениями обработанной дробины (по типу *a* и *б*, Рисунок 1), с помощью валидированных стандартизированных методик были оценены количественные характеристики в начальных хмелевых экстрактах (K_M и K_T), а также в экстрактах после выдержки с дробинкой (тип *a* соответствовал 1 индексу, по тип *б* — 2) ($\mathcal{E}_{1M}$, $\mathcal{E}_{1T}$, $\mathcal{E}_{2M}$, $\mathcal{E}_{2T}$), и по разнице был определен процент сорбированных соединений. Результаты представлены в Таблице 1.

Приведенные в Таблице 1 данные относительно содержания основных групп соединений в контрольных экстрактах для объективной оценки необходимо сравнить с данными прочих исследований. Так, заявляется о содержании общих полифенолов в этанольных экстрактах хмеля сорта Магнум на уровне 4903,5 мг/дм³ (Kobus-Cisowska et al., 2019) и 9300 мг/дм³ в сорте Тетнангер (Palmioli et al., 2022). Полученные нами результаты занижены по сравнению с литературными данными, что может объясняться иным методом определения фе-

Таблица 1

Содержание основных групп соединений спиртовых экстрактов хмеля до и после сорбции

Перечень показателей	Содержание в объектах					
	Магнум			Тетнангер		
	K_M	$\mathcal{E}_{1M}$	$\mathcal{E}_{2M}$	K_T	$\mathcal{E}_{1T}$	$\mathcal{E}_{2T}$
Общие полифенолы, мг/дм ³ :						
– всего	1312,0	1015,2	1133,5	2706,0	1947,5	2290,0
– сорбировано	–	296,8	178,5	–	758,5	416,0
α -кислота, %:						
– всего	4,90	3,91	4,16	2,08	1,77	1,88
– сорбировано	–	0,99	0,74	–	0,31	0,20
Эфирное масло, %:						
– всего	0,90	0,78	0,82	1,80	1,60	1,68
– сорбировано	–	0,12	0,08	–	0,20	0,12

нольных соединений — в исследованиях заявлен метод Фолина-Чокальтеу, нами был применен метод Еруманиса. Отметим, что тенденция большего содержания полифенолов в хмеле сорта Тетнангер сохранена. Содержание α -кислоты в хмеле сорта Магнум колеблется от 11,5 до 12,7 %, а β -кислоты — от 5,9 до 7,0 % (Sawicka et al., 2021). В хмеле сорта Тетнангер заявляется содержание α -кислоты около 3,2 %, а β -кислоты — около 4,6 % (Krofta, 2003). Полученные данные Таблицы 1 также снижены по отношению к литературным данным, что может говорить о влиянии колебаний климатических условий на физико-химические параметры хмеля (Sun et al., 2022). Эфирные масла представлены вне зависимости от сорта хмеля мирценом, гумуленом, фарнезеном и кариофилленом, причем мирцен превалирует по количественному признаку среди всех эфирных масел (Sawicka et al., 2021). Общее содержание эфирных масел для Магнума составляет 0,9–1,2 %, из них на долю мирцена приходится 42,3–44,5 %, гумулена — 18,6–22,3 %, фарнезена — 14,0–14,7 %, кариофилена — 4,2–4,9 % (Sawicka et al., 2021). Общее содержание эфирных масел для Тетнангера составляет 0,4–0,9 %, из них на долю мирцена приходится 42,0 %, фарнезена — 14,0–24,0 %, кариофилена — 4,0–4,5 % (Sun et al., 2022). Полученные результаты коррелируют с заявленными значениями общего содержания эфирных масел в экстрактах.

Данные о содержании основных показателей в экстрактах после применения целлюлозно-лигнинного комплекса двух образцов дробины свидетельствуют о том, что процесс сорбции происходил при контакте обработанной дробины и соединениями экстрактов. Оценивая сорбцию фенольных соединений, получили разницу в содержании начального и конечного содержания полифенолов хмеля Магнум 296,8 мг/дм³ при применении образца дробины № 1 (обработка избыточным давлением) и 178,5 мг/дм³ при применении дробины № 2 (обработка избыточным давлением и ультразвуком). Очевидно, что сорбция структурами дробины № 1 в 1,7 раза происходит интенсивнее по сравнению с интенсивностью сорбции структур дробины № 2. В отношении фенольных соединений экстракта ароматного сорта Тетнангер отмечена та же тенденция — разница в случае применения обработанной дробины № 1 составляет 758,5 мг/дм³, а дробины № 2 — 416,0 мг/дм³, что подтверждает интенсификацию сорбции структурами дробины № 1

в 1,8 раза по сравнению с сорбцией структурами дробины № 2.

По данным Таблицы 1 относительно горькой α -кислоты наблюдается также сорбция структурами дробины. При исследовании сорбционных процессов в отношении смол экстрактов горького сорта Магнум показано, что структурами дробины № 1 сорбируется 0,99 % α -кислот, а структурами дробины № 2 — 0,74 %, что свидетельствует о большей сорбционной емкости в 1,3 раза структур дробины № 1 в отношении горьких кислот хмеля. Подобная тенденция наблюдается в отношении сорбции горьких смол экстрактов хмеля сорта Тетнангер — дробина № 1 сорбирует в 1,6 раза больше горьких смол по сравнению с дробинкой № 2.

Сорбция эфирных масел из экстракта хмеля Магнум дробинкой № 1 эффективнее в 1,5 раза, а из экстрактов хмеля Тетнангер — в 1,7 раза по сравнению с сорбционной способностью дробины № 2 в обоих случаях. Предположительно, связывание молекул фенольных соединений происходит за счет водородных связей либо за счет хелатирования (Морозова с соавт., 2019; Smyatskaya et al., 2019), горьких смол также за счет присутствия в них -ОН групп (Przybyś & Skomra, 2020). В отношении эфирных масел сорбция обуславливается перечнем классов соединений, входящих в их состав — это терпены, спирты, сложные эфиры, альдегиды и кетоны, в том числе соединения, содержащие серу в составе (Dietz et al., 2020). Таким образом, в отношении эфирных масел имеет значение также водородные, ковалентные и хелатные типы связи при взаимодействии со структурами обработанной дробины.

Количественная оценка идентифицируемых групп соединений при спиртовой экстракции адсорбированных соединений на дробине чистым органическим растворителем (десорбция)

Полученные данные таблицы 1 позволили подтвердить эффект сорбции обработанной нами дробины по типу а и б, что впервые продемонстрировало возможность сорбирования хмелевых органических соединений. Предстояло достичь понимания, насколько эффективно при контакте с насыщенными соединениями хмеля матрицы целлюлозно-лигнинного комплекса дробины будет происходить десорбция соединений при контакте с полярным растворителем (этиловым спиртом).

В Таблице 2 представлены данные по десорбции соединений хмеля из структуры двух образцов дробины спиртом (O_{1M} , O_{1T} , O_{2M} , O_{2T}).

Исходя из полученных результатов десорбции различных групп соединений впервые показано, что в случае как горького (Магнум), так и ароматного (Тетнангер) сортов хмеля десорбция эффективнее проходит в случае целлюлозно-лигнинного комплекса дробины № 1. В большей степени десорбируются фенольные соединения, поскольку доля десорбции достигает 11,4–23,6 % от первоначального количества полифенолов в экстракте. Горькие α -кислоты или смолы в целом десорбируются на 4,3–9,2 %, а эфирные масла — на 3,9–8,9 % от первоначального содержания в экстрактах. В отношении горьких смол и эфирных соединений также сохраняется преимущественная активность дробины № 1 в отношении десорбции.

Для проведения полноценного анализа сорбционно-десорбционной емкости дробины были рассчитаны удельные величины данных емкостей, то есть на 1 г целлюлозно-лигнинного комплекса дробины. Данные представлены в Таблице 3.

Анализируя результаты Таблицы 3 показано, что величина сорбируемых соединений всегда больше величины выделяемых (десорбируемых) соединений вне зависимости от сорта хмеля (соединений, входящих в состав экстрактов), и определяется свободными связями (типом обработки) структуры дробины.

Структура целлюлозно-лигнинного комплекса дробины № 1 оставляет в своем составе 15,7–32 % полифенольных соединений, 54,5–54,8 % горьких смол и 33–45,0 % эфирных масел. Структура обработанной дробины № 2 оставляет в своем составе

Таблица 2

Показатели содержания соединений хмеля в процессе десорбции

Перечень показателей	Содержание в спиртовых экстрактах при применении хмеля			
	Магнум		Тетнангер	
	O_{1M}	O_{2M}	O_{1T}	O_{2T}
Общие полифенолы, мг/дм ³	202,54	149,24	639,6	344,4
Доля от содержания в экстракте, %	15,4	11,4	23,6	12,7
α -кислота, %	0,45	0,38	0,14	0,09
Доля от содержания в экстракте, %	9,2	7,6	6,7	4,3
Эфирное масло, %	0,08	0,04	0,11	0,07
Доля от содержания в экстракте, %	8,9	4,4	6,1	3,9

Таблица 3

Удельная характеристика процессов сорбции-десорбции соединений при применении двух образцов дробины

Соединения	Количество сорбируемого соединения на 1 г дробины							
	Магнум				Тетнангер			
	Дробина 1		Дробина 2		Дробина 1		Дробина 2	
	c^*	d^{**}	c	d	c	d	c	d
Полифенолы, мг	4,947	3,375	2,975	1,9154	12,642	10,660	6,933	5,740
α -кислота, %	0,660	0,300	0,493	0,253	0,207	0,093	0,133	0,060
Эфирного масла	0,200	0,13	0,133	0,07	0,333	0,18	0,200	0,12

c^* — сорбция; d^{**} — десорбция

16,4–17,2% фенольных соединений, 48,6–55,0% горьких смол и 41,7–50,0% эфирных масел исходя из количества адсорбированных соединений.

Однако, исследования в этой области будут продолжены, поскольку не исследованы прочие условия десорбции органических соединений хмелевых экстрактов (влияние температуры, pH и пр.).

ВЫВОДЫ

Проведенные исследования позволили решить поставленные задачи и впервые удостовериться в способности структур обработанной пивной дробины сорбировать органические соединения хмеля, ответственные за вкусо-ароматический профиль пива. Результаты, полученные в ходе проведения исследования, были неожиданными, поскольку впервые была показана способность сложных соединений сорбироваться структурами целлюлозно-лигнинного комплекса, то есть показана перспективность применения дробины для этих целей. Было доказано, что физические методы обработки дробины (избыточное атмосферное давление, ультразвук) в присутствии ЭХА-активированной воды,

то есть экологичная обработка, способствуют возникновению свободных связей внутри целлюлозно-лигнинного комплекса, которые и являются местами обратимого связывания соединений хмеля. В свете впервые полученных результатов было доказано применение дробины в качестве нерастворимого носителя для ароматов, что может быть применимо как в пищевой отрасли (технологии напитков), так и в смежных областях, где технология не подразумевает применения ароматизаторов на органических растворителях. свидетельствуют о том, что Исследования относительно условия проведения процессов сорбции и десорбции будут продолжены.

АВТОРСКИЙ ВКЛАД

Грибкова Ирина Николаевна: концептуализация, методология, верификация, формальный анализ, визуализация исследования, создание рукописи и ее редактирование.

Лазарева Ирина Валерьевна: формальный анализ, проведение исследования, создание черновика рукописи.

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

- Данильченко, А. С., Сиюхов, Х. Р., Короткова, Т. Г., & Сиюхова, Б. Б. (2020). Определение содержания свободной и связанной влаги в пивной дробине. *Новые технологии*, (4), 41–52. <https://doi.org/10.47370/2072-0920-2020-15-4-41-52>
- Danil'chenko, A. S., Siyukhov, Kh. R., Korotkova, T. G., & Siyukhova, B. B. (2020). Determination of the content of free and bound moisture in the beer pellet. *NNew Technologies*, (4), 41–52. <https://doi.org/10.47370/2072-0920-2020-15-4-41-52>
- Меретин, Р. Н. (2019). Сорбционные свойства угольно-минерального сорбента на основе рисовой лузги по отношению к ионам тяжелых металлов. *Сорбционные и хроматографические процессы*, 19(6), 703–710. <https://doi.org/10.17308/sorpchrom.2019.19/2232>
- Meretin, R. N. (2019). Sorption properties of a coal-mineral sorbent based on rice husk in relation to heavy metal ions. *Sorption and Chromatographic Processes*, 19(6), 703–710. <https://doi.org/10.17308/sorpchrom.2019.19/2232>
- Морозова, Е. О., Кулик, Е. А., Сапурина, И. Ю., Николаева, Т. Н., Бурцева, Е. И., Пронин, А. В., & Иванова, В. Т. (2019). Регенерируемые сорбенты на основе полипиррола для очистки водных сред от микробопагенов. *Сорбционные и хроматографические процессы*, 19(4), 390–398. <https://doi.org/10.17308/sorpchrom.2019.19/777>
- Morozova, E. O., Kulik, E. A., Sapurina, I. Yu., Nikolaeva, T. N., Burtseva, E. I., Pronin, A. V., & Ivanova, V. T. (2019). Regenerated sorbents based on polypyrrol for the purification of aqueous media from micropathogens. *Sorption and chromatographic processes*, 19(4), 390–398. <https://doi.org/10.17308/sorpchrom.2019.19/777>
- Пономарев, В. Я., Юнусов, Э. Ш., Ахметшин, Р. Р., & Самигулина, Л. Р. (2016). Сравнительный анализ способов гидролиза пивной дробины. *Вестник технологического университета*, (23), 136–138.
- Ponomarev, V. Ya., Yunusov, E. Sh., Akhmetshin, R. R. & Samigulina, L. R. (2016). Comparative analysis of methods of hydrolysis of beer pellets. *Bulletin of the Technological University*, (23), 136–138.
- Элакунова, Ж. И., & Сатылганова, Э. Ш. (2017). Обоснования выбора варианта ресурсосберегающих технологий пивоваренного производства. *Известия Иссик-Кульского форума бухгалтеров и аудиторов стран Центральной Азии*, (1–1), 113–118.
- Elakunova, Zh. I., & Satylganova, E. Sh. (2017). Substantiation of the choice of resource-saving

- technologies of brewing production. *Proceedings of the Issyk-Kul Forum of Accountants and Auditors of Central Asian Countries*, (1–1), 113–118.
- Adelagun, R. O. A., Itodo, A. U., Berezi, E. P., Oko, O. J., Kamba, E. A., Andrew, C., & Bello, H. A. (2014). Adsorptive removal of Cd²⁺ and Zn²⁺ from aqueous system by BSG. *Chemistry and Materials Research*, 6(2), 104–112.
- Dietz, C., Cook, D., Huismann, M., Wilson, C., & Ford, R. (2020). The multisensory perception of hop essential oil: A review. *Journal of the Institute of Brewing*, 126(4), 320–342. <https://doi.org/10.1002/jib.622>
- Gribkova, I. N., Kharlamova, L. N., Lazareva, I. V., Zakharov, M. A., Zakharova, V. A., & Kozlov, V. I. (2022). The influence of hop phenolic compounds on dry hopping beer quality. *Molecules*, (27), 740. <https://doi.org/10.3390/molecules27030740>
- Izinyon, O. C., Nwosu, O. E., Akhigbe, L. O. & Ilaboya, I. R. (2016). Performance evaluation of Fe (III) adsorption onto brewers' spent grain. *Nigerian Journal of Technology*, 35(4), 970–978. <https://doi.org/10.4314/njt.v35i4.36>
- Kobus-Cisowska, J., Szymanowska-Powalowska, D., Szczepaniak, O., Kmiecik, D., Przeor, M., Gramza Michalowska, A., Cielecka-Piontek, J., Smuga-Kogut, M., & Szulc, P. (2019). Composition and in vitro effects of cultivars of humulus lupulus l. hops on cholinesterase activity and microbial growth. *Nutrients*, (11), Article 1377. <https://doi.org/10.3390/nu11061377>
- Krofta, K. (2003). Comparison of quality parameters of Czech and foreign hop varieties. *Plant, Soil and Environment*, 49(6), 261–268.
- Lafontaine, S., Pereira, C., Vollmer, D., Shellhammer, T. H., Lafontaine, S., & Shellhammer, T. (2019). The effectiveness of hop volatile markers for forecasting dry-hop aroma intensity and quality of cascade and centennial hops. *BrewingScience*, (71), 116–140. <https://doi.org/10.23763/BrSc18-19lafontaine>
- Palmioli, A., Mazzoni, V., De Luigi, A., Bruzzzone, C., Sala, G., Colombo, L., Bazzini, C., Paola Zoia, C., Inserra, M., Salmona, M., de Noni, I., Ferrarese, C., Diomedea, L., & Airoidi, C. (2022). Alzheimer's disease prevention through natural compounds: Cell-Free. In Vitro, and. *ACS Chemical Neuroscience*, 22(13), 3152–3167. <https://doi.org/10.1021/acscchemneuro.2c00444>
- Przybyś, M., & Skomra, U. (2020). Hops as a source of biologically active compounds. *Polish Journal of Agronomy*, (43), 83–102. <https://doi.org/10.26114/pja.iung.438.2020.43.09>
- Reis, S.F., Coelho, E., & Coimbra, M. (2015). Improved efficiency of brewer's spent grain arabinoxylans by ultrasound-assisted extraction. *Ultrasonics Sonochemistry*, (24), 155–164. <http://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2014.10.01>
- Sawicka, B., Śpiewak, M., Kiełtyka-Dadasiewicz, A., Skiba, D., Bienia, B., Krochmal-Marczak, B., & Pszczółkowski, P. (2021). Assessment of the suitability of aromatic and high-bitter hop varieties (*Humulus lupulus* L.) for beer production in the conditions of the małopolska vistula gorge region. *Fermentation*, (7), Article 104. <https://doi.org/10.3390/fermentation7030104>
- Smyatskaya, Yu. A., Fazullina, A. A., Politaeva, N. A., Chusov, A. N., & Bezborodov, A. A. (2019). Wastewater treatment of Iron (III) ions with residual biomass of microalgae *Chlorella sorokiniana*. *Ecology and Industry of Russia*, 23(6), 22–27. <http://doi.org/10.18412/1816-0395-2019-6-22-27>
- Sun, S., Wang, X., Yuan, A., Liu, J., Li, Z., Xie, D., Zhang, H., Luo, W., Xu, H., Liu, J., Nie, C., & Zhang, H. (2022). Chemical constituents and bioactivities of hops (*Humulus lupulus* L.) and their effects on beer-related microorganisms. *Food and Energy Security*, (11), Article e367. <https://doi.org/10.1002/fes3.367>