

БИОТЕХНОЛОГИИ

BIOTECHNOLOGIES

УДК 547.913(476)

И. С. Черней¹, В. Т. Чещевик¹, И. М. Орлов²

¹Полесский государственный университет

²ООО «Белхмельагро»

КОМПОНЕНТНЫЙ СОСТАВ ЭФИРНОГО МАСЛА РАЗЛИЧНЫХ СОРТОВ *HUMULUS LUPULUS*, КУЛЬТИВИРУЕМЫХ В БЕЛАРУСИ

Наиболее широко хмель и производные на его основе применяются в медицине и пищевой промышленности. Каждый сорт хмеля имеет специфический состав эфирного масла, который определяет хемотип и экотип хмеля и является основой для оценки качества хмеля.

В работе исследованы выход, качественный и количественный состав эфирного масла из 7 сортов хмеля (Магнум, Геркулес, Сладек, Норден Бревнер, Перле, Шпальтер Селект, Традиционный), произрастающих на территории Беларуси. Выход эфирного масла в зависимости от сорта варьировал в диапазоне 0,4–2,0%. При этом наибольший выход эфирного масла был показан для сорта Магнум (2,053%). Преобладающими компонентами являлись мирцен и гумулен. Каждый сорт хмеля в составе эфирного масла содержал также β -пинен, кариофиллен, α -кадинен, β -кадинен и гумулен оксид в разных пропорциях. Установлены количественный и качественный состав уникальных компонентов эфирного масла, специфичных для каждого из исследованных сортов хмеля обыкновенного.

Ключевые слова: *Humulus lupulus*, эфирное масло, газовая хромато-масс-спектрометрия, Магнум, Геркулес, Сладек, Норден Бревнер, Перле, Шпальтер Селект, Традиционный.

Для цитирования: Черней И. С., Чещевик В. Т., Орлов И. М. Компонентный состав эфирного масла различных сортов *Humulus lupulus*, культивируемых в Беларуси // Труды БГТУ. Сер. 2, Химические технологии, биотехнологии, геоэкология. 2023. № 2 (271). С. 65–72. DOI: 10.52065/2520-2669-2023-271-2-9.

I. S. Chernei¹, V. T. Cheshchevik¹, I. M. Orlov²

¹Polessky State University

²LLC “Belkhemelagro”

COMPONENT COMPOSITION OF ESSENTIAL OIL OF DIFFERENT *HUMULUS LUPULUS* VARIETIES CULTIVATED IN BELARUS

Hops and their derivatives are most widely used in medicine and the food industry. Each hop variety has a specific composition of essential oils, which determines the chemotype and ecotype of the hop and is the basis for hop quality evaluation.

The yield, qualitative, and component composition of essential oils of seven hop varieties (Magnum, Hercules, Sladek, Northern Brewer, Perle, Spalter Select, and Tradition) growing in Belarus have been studied. The yield of essential oil varied depending on the variety in the range from 0.4 to 2.0%. The highest yield of essential oil was shown for the Magnum variety (2.053%). Myrcene and humulene were the predominant components. Each hop variety also contained β -pinene, caryophyllene, α -cadinene, β -cadinene and humulene oxide in different proportions in its essential oil composition. The quantitative and qualitative compositions of the unique components of the essential oil specific to each varieties of the common hops studied were established.

Keywords: *Humulus lupulus*, essential oil, gas chromatography-mass spectrometry, Magnum, Hercules, Sladek, Northern Brewer, Perle, Spalter Select, Traditional.

For citation: Chernei I. S., Cheshchevik V. T., Orlov I. M. Component composition of essential oil of different *Humulus lupulus* varieties cultivated in Belarus. *Proceedings of BSTU, issue 2*,

Chemical Engineering, Biotechnologies, Geoecology, 2023, no. 2 (271), pp. 65–72. DOI: 10.52065/2520-2669-2023-271-2-9 (In Russian).

Введение. *Humulus lupulus* относится к семейству *Cannabaceae*. Это многолетнее вьющееся растение, высота которого достигает от 3 до 6 м, произрастает в умеренном климате Евразии и Северной Америки. Основное применение хмель находит в медицине и пищевой промышленности. Соцветия, а также лупулиновые железы *Humulus lupulus* используются как лекарственное сырье. Его соплодия применяют как в пивоварении, так и в хлебопечении при производстве определенных сортов хлеба и жидких дрожжей.

Согласно статистическим данным организации FAOСТАТ, лидерами по выращиванию хмеля на 2019–2020 гг. являются Германия (47 000 т/год), Чехия (6000 т/год), Польша (3500 т/год), Словения (2700 т/год), Албания (1700 т/год) [1]. Все остальные страны Европы выращивают меньше 500 т/год.

Соплодия хмеля веками применялись в пивоварении из-за их аромата и горечи [2]. В пивоварении культивируемый хмель по соотношению α -кислот к β -кислотам подразделяют на три основных класса: ароматический, горький и горько-ароматический (двойного назначения) [3]. Для приготовления высококачественного пива используют сорта, относящиеся к ароматическому и горько-ароматическому классам, в то время как сорта горького класса в основном идут на приготовление всевозможных экстрактов.

Каждый сорт хмеля имеет свой типичный состав эфирного масла, который определяет хемотип и экотип и служит для оценки качества хмеля [4]. Вещество, которое формируется на чешуйках соплодия (шишках) и околоцветниках женских шишек, является лупулином, в котором содержится большое количество эфирных масел, придающих пиву своеобразный хмельной аромат [5]. Содержание эфирного масла варьируется в пределах 0,5–3,0% от общего состава высушенного сырья в зависимости от сорта.

Несмотря на типичный компонентный профиль эфирного масла хмеля такие факторы, как географическое положение, климат и агрономическое возделывание, также влияют на состав эфирного масла, потенциально создавая разные профили для образцов хмеля с одним и тем же генотипом [6].

Эфирное масло хмеля обладает многообразным химическим составом, который напрямую зависит от сорта и территории произрастания [7]. Согласно разработанной классификации, все известные эфирные масла хмеля можно разделить на три группы: углеводородные (содержат монотерпены, сесквитерпеновые и алифатические углеводороды), кислородсодержащие (терпеновые,

сесквитерпеновые спирты и другие кислородсодержащие соединения), серосодержащие соединения (тиоэфиры, сульфиды и другие соединения серы). Наиболее распространенными представителями углеводородной группы являются такие соединения, как α - и β -пинен, мирцен, лимонен и сесквитерпены (α -гумулен, β -фарнезен, β -кариофиллен, α - и β -селинен и γ -мууролон). Кислородсодержащая фракция (до 30% всего масла) образуется при созревании, обработке и хранении хмеля. Соединениями кислородсодержащей группы являются линалоол, гераниол, кариофиллен оксид и фарнезол [8].

Наличие летучих органических соединений, в основном терпенов (монотерпенов (мирцена) и сесквитерпенов (гумулена, кариофиллена и β -фарнезена), и нелетучих горьких кислот, включая α -кислоты (гумулон, когумулон и адгумулон) и β -кислоты (лупулон, колупулон и адлупулон), влияет на биологическую активность хмелепродуктов. Эти горькие кислоты обладают бактериостатическими свойствами, также они ответственны за горький вкус пива, тогда как эфирные масла придают продукту характерный вкус [4].

Другим обширным направлением применения хмеля является его использование в производстве лекарственных препаратов. В медицинских целях компоненты эфирного масла хмеля стимулируют секрецию желудочного сока без повышения кислотности, а также сырье хмеля богато фитострогенами, которые применяются в качестве пищевых добавок женщинами в период менопаузы и гормональных нарушений [8]. Хмель также является мягким седативным средством, которое по активности немного уступает валериане [9]. Сырье хмеля используется в изготовлении известных медицинских препаратов для лечения острых и хронических инфекций мочевыводящих путей и болезней почек (например, «Уролесан»), а также при лечении сердечно-сосудистых заболеваний, неврозов, в качестве седативных препаратов (например, «Валокордин», «Невромед»). Известно, что ряд компонентов эфирного масла, полученного из *Humulus lupulus*, способны взаимодействовать с ферментами, участвующими в развитии диабета II типа и гипертонии [10].

Цель исследования – установить химический состав эфирного масла различных сортов хмеля, произрастающих на территории Беларуси. С одной стороны, это позволит выявить территориальные особенности состава эфирного масла культивируемых у нас сортов. С другой стороны, установленный состав эфирного масла различных сортов хмеля даст возможность

для более точного определения области применения того или иного сорта хмеля в пищевой промышленности.

Основная часть. В работе использовано сухое сырье хмеля, выращиваемое ООО «Белхмельагро» (Малоритский район, Брестская область). Предприятием было предоставлено 7 сортов хмеля (Магнум, Перле, Геркулес, Сладек, Норден Бревер, Шпальтер Селект, Традиционный), собранных и заготовленных в августе – сентябре 2021 г. Краткая характеристика данных сортов, согласно Hoplist, приведена в табл. 1 [11].

Получение эфирного масла проводили методом гидроdistилляции с использованием аппарата Клевенджера [12]. В колбу емкостью 1000 см³ вносили 30 г измельченного в мелкую фракцию сырья и заливали его дистиллированной водой до 2/3 объема. Колбу устанавливали в колбонагреватель. Сконденсированная жидкость, состоящая из воды и мелких капель эфирного масла, спускалась по трубке, находящейся внутри обратного холодильника, и попадала в приемник для сбора эфирного масла. Процесс гидроdistилляции в стадии кипения продолжали не менее 3 ч. Отбор эфирного масла осуществляли с использованием шприца с длинной иглой. Во избежание погрешностей гидроdistилляция проводилась в трехкратном повторении для каждого сорта исследуемого сырья.

Качественный и количественный состав эфирных масел определяли с помощью газового хромато-масс-спектрометра Shimadzu QP2010 посредством электронной ионизации с детектором ионизации MSFID splitter с использованием неполярной капиллярной колонки (30 м × 0,32 мм × 0,5 мкм, активная фаза Rtx-1MS Restek). Анализ был выполнен при следующем температурном режиме: начальная температура 50°C на протяжении 3 мин, далее температура повышалась на 4°C/мин

до 310°C. Газ-носитель – гелий с постоянным давлением 49,5 кПа, режим инъекции – с расщеплением потока 1/3. Пробоподготовка: эфирное масло объемом 10 мкл смешивали с 1,5 мл ди-хлорметана. Объем пробы эфирного масла, вносимый в газовый хроматограф, составил 1 мкл. Идентификацию компонентов полученных эфирных масел определяли путем сравнения их масс-спектров со спектрами базы данных Wiley и по индексу удержания в колонке [7].

Статистический анализ проводили методами вариационной статистики при помощи однофакторного дисперсионного анализа с последующим попарным сравнением экспериментальных групп данных. Во избежание погрешностей эксперименты выполнялись в трехкратном повторении. Различия между исследованными группами признавались статистически достоверными при $p < 0,05$. Результаты представлены как средние арифметические ± стандартная ошибка среднего (SEM). Статистическая обработка проведена с использованием программы статистического анализа GraphPad Prism7.

Результаты и их обсуждение. При применении метода гидроdistилляции установлено, что процентный выход эфирного масла хмеля характеризовался сортовой принадлежностью и варьировал от 0,4 до 2,0% (табл. 2).

Наибольший выход эфирного масла наблюдается у сорта Магнум (2,053% в среднем). Это связано с тем, что данный сорт относится к классу горьких сортов. В свою очередь, сорта Геркулес, Норден Бревер и Перле относятся к классу горько-ароматических сортов, и выход эфирного масла в среднем ниже в 3 раза по сравнению с сортом Магнум. Три оставшихся сорта относятся к классу ароматических, и выход эфирного масла по отношению к сорту Магнум в среднем ниже почти в 5 раз.

Таблица 1

Основные характеристики исследуемых сортов *Humulus lupulus*

Сорт	Содержание α-кислоты, %	Содержание β-кислоты, %	Класс	Страна происхождения
Магнум	11,0–16,0	5,0–7,0	Горький	Германия
Геркулес	12,0–17,0	4,0–5,5	Горько-ароматический	
Норден Бревер	7,0–10,0	3,5–5,0		
Перле	6,0–10,0	2,5–5,0		
Шпальтер Селект	3,0–6,5	2,5–5,0	Ароматический	
Традиционный	5,0–7,0	4,0–5,0		
Сладек	6,0–8,1	4,0–4,6		Чехия

Данные свидетельствуют о том, что выход эфирного масла у горьких сортов выше, чем у ароматических, что может быть связано с большим количеством лупулина, а также соотносится с классификацией, предложенной другими авторами, где выход эфирного масла у ароматических сортов ниже, чем у горьких [13]. Данную закономерность используют в пивоварении для минимизации испарений эфирного масла и сохранности ароматических соединений, добавляя ароматические сорта хмеля на более поздних стадиях производства пива.

Таблица 2
Процентный выход эфирного масла разных сортов *Humulus lupulus*

Сорт	Процент эфирного масла в сырье
Магнум	2,053 ± 0,128 ^б
Геркулес	0,653 ± 0,038 ^а
Норден Бревнер	0,653 ± 0,014 ^а
Перле	0,688 ± 0,022 ^а
Шпальтер Селект	0,458 ± 0,011 ^а
Традиционный	0,413 ± 0,021 ^{а,б}
Сладек	0,415 ± 0,019 ^{а,б}

Примечание. а – $p < 0,05$ в отношении к сорту Магнум; б – $p < 0,05$ в отношении к сорту Перле.

Кроме того, установлено, что эфирное масло из шишек хмеля разных сортов представляет собой сложную смесь, характеризующуюся специфическим количественным и качественным составом. Результат анализа эфирного масла разных сортов хмеля представлен в табл. 3.

В эфирном масле каждого из исследованных сортов хмеля было обнаружено от 12 до 18 компонентов, массовая доля идентификации компонентов составляет 100%. Наименьшее и менее разнообразное содержание компонентов было у эфирного масла сорта Магнум, который характеризовался преобладающим содержанием мирцена и гумулена. Более разнообразный химический состав эфирного масла у хмеля сорта Геркулес, который включал практически все наиболее часто встречающиеся компоненты эфирных масел.

Результаты анализа показали, что в эфирном масле всех исследуемых сортов хмеля наблюдается высокое содержание гумулена (18,1–45,15%), мирцена (25,07–48,97%) и кариофиллена (7,23–13,36%). Также в каждом эфирном масле хмеля в среднем процентном отношении присутствуют следующие компоненты: β-пинен (0,78%), α-кадинен (0,69%), δ-кадинен (1,25%) и гумулен оксид (1,89%). Содержание данных компонентов также наблюдается в сортах хмеля, культивируемых в иных климатогеографических условиях [7].

Содержание в среднем таких компонентов, как 4-деценовая кислота (2,65%) и γ-кадинен

(0,69%), отмечается у всех сортов эфирного масла, за исключением сорта Шпальтер Селект. Компонент 2-ундеканон отсутствует только у эфирного масла сорта Магнум.

С небольшим отличием эфирное масло разных сортов в среднем содержит одинаковые основные компоненты, но также стоит отметить присутствие минорных компонентов, которые могут обладать более значительной биологической активностью, чем основные компоненты. Так, в эфирном масле сорта Магнум наблюдается присутствие компонента геранилизобутират (1,27%), который также впервые был обнаружен в эфирном масле сортов Нагтет (Германия), Каскад (США), Аврора (Словения) и Уилламетт (США) [14].

В эфирном масле сорта Геркулес, в отличие от других сортов, присутствуют такие компоненты, как метилизооктаноат (0,62%), метилнонаноат (0,52%) и метиллиноленат (0,78%). Метилизооктаноат был обнаружен в том же количестве в эфирном масле следующих сортов: Кластер и Уилламетт (США), а два оставшихся компонента встречаются у других видов эфиромасличных растений, согласно базе данных LOTUS: Natural Products Online [15].

В эфирном масле сорта Сладек обнаруживаются такие компоненты, как фарнезен (1,07%), азулен (0,33%) и α-бисаболен (0,49%), содержание которых было определено в китайских сортах хмеля Tsingtao, Marco и SA-1, а также в других видах эфиромасличных растений [16].

Сорт Шпальтер Селект содержит в своем эфирном масле ряд специфичных компонентов, в частности 2-нонанон (0,93%), гермакрин (0,68%), аромадендрен (3,36%), β-селинен (2,82%), α-селинен (3,50%) и валентен (2,79%). Стоит отметить, что гермакрин, аромадендрен, α-селинен и β-селинен относятся к сесквитерпенам, которые обладают разнообразной биологической активностью (антимикотической, антиоксидантной, антибактериальной, антинематодной), в том числе могут быть использованы в качестве ароматизаторов [17, 8]. Данные соединения обнаружены в эфирном масле хмеля китайских сортов, а также встречаются в эфирных маслах таких растений, как полынь, перилла, куркума, эвкалипт, и у других видов, согласно базе данных LOTUS: Natural Products Online [15].

В эфирном масле сорта Традиционный отличительными являются два компонента: линалоол (0,39%) и метилоктаноат (0,41%). Метилоктаноат был выявлен в эфирном масле хмеля сорта Нагтет (Германия) и Галенит (США). Также был определен линалоол, который чаще встречается в эфирном масле разных сортов хмеля в виде линалоол оксида (пример, Кластер и Уилламетт (США)) [18].

Таблица 3

Химический состав эфирных масел сортов *Nimulus viridus*, культивируемых на территории Беларуси

Компоненты	Регистрационный номер CAS	Магнум	Геркулес	Сладек	Норден Бревер	Перле	Шпальтер Селект	Традиционный
β -Пинен	127-91-3	0,98	1,11	0,47	0,79	0,55	1,06	0,54
Мирцен	123-35-3	48,73	37,17	25,07	48,97	28,95	39,11	33,87
Изоамилбутират	2050-01-3	1,14	1,51	—	0,62	1,00	—	0,72
Метил- β -гептеноат	1745-17-1	—	0,31	—	—	0,17	—	0,55
α -Оцимен	6874-10-8	—	0,51	—	0,81	—	—	—
2-Ундеканон	112-12-9	—	1,52	1,36	0,75	0,62	2,82	0,84
2-Нонанон	821-55-6	—	—	—	—	—	0,93	—
Метилзооктаноат	2519-37-1	—	0,62	—	—	—	—	—
Линалоол	78-70-6	—	—	—	—	—	—	0,39
Метилоктаноат	111-11-5	—	—	—	—	—	—	0,41
Метилноаноат	1731-84-6	—	0,52	—	—	—	—	—
Метиллиноленат	301-00-8	—	0,78	—	—	—	—	—
4-Дециловая кислота	26303-90-2	2,20	3,53	2,78	0,58	2,06	—	4,73
α -Копанен	3856-25-5	—	—	—	0,37	0,47	—	—
Кариофиллен	87-44-5	8,44	9,46	8,80	9,55	13,36	7,23	10,83
Фарнезен	502-61-4	—	—	1,07	—	—	—	—
Гумулен	6753-98-6	32,93	38,07	34,90	31,96	45,15	18,10	41,48
Гермакрен	15423-57-1	—	—	—	—	—	0,68	—
Аромандендрен	489-39-4	—	—	—	—	—	3,36	—
β -Фарнезен	18794-84-8	—	—	16,04	1,35	1,45	9,85	—
α -Кадинен	23515-88-0	0,35	0,45	0,73	0,46	0,81	1,39	0,63
β -Селинен	17066-67-0	—	—	—	—	—	2,82	—
Азулен	22567-17-5	—	—	0,33	—	—	—	—
2-Тридеканон	593-08-8	—	0,37	0,45	—	—	—	—
α -Селинен	473-13-2	—	—	—	—	—	3,50	—
Линоленат	463-40-1	1,66	1,35	—	—	—	—	—
γ -Кадинен	39029-41-9	0,57	0,69	0,86	0,52	0,85	—	0,69
Геранилизобутират	2345-26-8	1,27	—	—	—	—	—	—
δ -Кадинен	483-76-1	1,19	1,30	1,31	1,04	1,62	0,86	1,42
Валентен	4630-07-3	—	—	—	—	—	2,79	—
Кариофиллен оксид	1139-30-6	—	—	1,05	—	0,53	0,62	0,43
Диэтилфталат	84-66-2	—	—	—	1,06	—	2,57	0,66
Гумулен оксид	19888-34-7	0,54	0,73	4,29	1,17	2,41	2,31	1,81
α -Бисаболен	17627-44-0	—	—	0,49	—	—	—	—

Таким образом, в результате исследования эфирного масла из различных сортов хмеля, помимо общих хорошо известных компонентов, обнаружены специфичные, характерные только для сортов хмеля, культивируемых на территории Беларуси. Полученные результаты впервые представляют количественный и качественный состав эфирных масел различных сортов хмеля обыкновенного, культивируемых в Беларуси, и могут являться перспективными для последующих их исследований и направлений применения биологической активности эфирных масел *Humulus lupulus*.

Заключение. Выход эфирного масла зависит от класса, к которому относится исследуемый сорт хмеля. Так, сорт Магнум, относящийся к горькому классу, имеет максимальный выход эфирного масла, в отличие от других сортов, которые относятся к горько-ароматическому и ароматическому классам хмеля. Влияние класса может быть обусловлено тем, что содержание лупулина в горьких сортах больше по сравнению с ароматическими сортами хмеля.

Преобладающим компонентом эфирного масла хмеля сорта Магнум является мирцен (48,73%), сорта Геркулес – гумулен (38,07%), сорта Сладек – гумулен (34,90%), сорта Норден Бревер – мирцен (48,97%), сорта Перле – гумулен (45,15%), сорта Шпальтер Селект – мирцен (39,11%), сорта Традиционный – гумулен (41,48%).

Каждый сорт в составе эфирного масла содержит: β -пинен, мирцен, кариофиллен, гумулен, α -кадинен, β -кадинен и гумулен оксид в разном количестве. В то же время к специфическим компонентам эфирных масел сортов хмеля, произрастающих на территории Беларуси, относятся геранилизобутират, метилноаноат, метиллиноленат, 2-нонанон, гермакрен, аромандрен, валентен, линалоол, α - и β -селинен. Перспективным является исследование данных специфических компонентов и их биологической активности, так как полученные результаты позволят использовать эти компоненты и эфирное масло в целом как в медицине, так и в пищевой промышленности.

Таким образом, впервые был установлен и проанализирован химический профиль семи сортов эфирного масла *Humulus lupulus*, культивируемых на территории Беларуси. Выполненный анализ может быть использован в качестве простого инструмента для оценки разных хемотипов хмеля, а также для определения области применения того или иного сорта в медицине и пищевой промышленности.

Благодарность. Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования Республики Беларусь по гранту «Исследование взаимодействия компонентов эфирного масла *Humulus* spp. с белками биопленки *Candida albicans*» (договор № 93 от 21.03.2023).

Список литературы

1. Food and Agriculture Organization of the United Nations. URL: <https://www.fao.org/faostat/en/> (date of access: 20.05.2023).
2. Pharmacological profile of xanthohumol, a prenylated flavonoid from hops (*Humulus lupulus*) / M. Liu [et al.] // *Molecules*. 2015. Vol. 20, no. 1. P. 754–779.
3. Differentiation of aromatic, bittering and dual-purpose commercial hops from their terpenic profiles: An approach involving batch extraction, GC-MS and multivariate analysis / L. M. Duarte [et al.] // *Food Research International*. 2020. Vol. 138. Article 109768.
4. Comparative Gas Chromatographic-Mass Spectrometric Evaluation of Hop (*Humulus lupulus* L.) Essential Oils and Extracts Obtained Using Different Sample Preparation Methods / M. Ligor [et al.] // *Food Analytical Methods*. 2014. Vol. 7. P. 1433–1442.
5. Characterisation of four popular Polish hop cultivars / M. Leonardi [et al.] // *International Journal of Food Science & Technology*. 2013. Vol. 13. P. 1770–1774.
6. Rutnik K., Knez Hrnčič M., Jože Košir I. Hop Essential Oil: Chemical Composition, Extraction, Analysis, and Applications // *Food Reviews International*. 2021. Vol. 38. P. 529–551.
7. Влияние процесса озонирования на компонентный состав эфирных масел *Artemisia absinthium* и *Humulus lupulus* / И. С. Черней [и др.] // *Труды БГТУ. Сер. 2, Химические технологии, биотехнологии, геоэкология*. 2022. № 2 (259). С. 182–190.
8. Biologically Active Compounds from Hops and Prospects for Their Use / M. Karabín [et al.] // *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*. 2016. Vol. 15, no. 3. P. 542–567.
9. Eyres G., Dufour J.-P. Hop Essential Oil: Analysis, Chemical Composition and Odor Characteristics // *Beer in Health and Disease Prevention*. 2009. Vol. 22. P. 239–254.
10. The hop cones (*Humulus lupulus* L.): Chemical composition, antioxidant properties and molecular docking simulations / G. Kowalska [et al.] // *Journal of Herbal Medicine*. 2022. Vol. 33. Article 100566.
11. Hoplist. URL: <https://www.hoplist.com/> (date of access: 25.05.2023).

12. Семитко И. С. Сравнительная характеристика влияния вида и периода вегетации на объем выделяемого эфирного масла из *Artemisia absinthium* и *Artemisia vulgaris* // Научный потенциал молодежи – будущему Беларуси: материалы XI Междунар. молодеж. науч.-практ. конф. В 2 ч. Пинск, 2017. Ч. 1. С. 342–343.

13. Differentiation of aromatic, bittering and dual-purpose commercial hops from their terpenic profiles: An approach involving batch extraction, GC-MS and multivariate analysis / L. M. Duarte [et al.] // *Food Research International*. 2020. Vol. 138. Article 109768.

14. Lam K. C., Nickerson G. B., Deinzer M. L. A rapid solvent extraction method for hop essential oils // *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 1986. Vol. 34, no. 1. P. 63–66.

15. LOTUS: Natural Products Online. URL: <https://lotus.naturalproducts.net/> (date of access: 21.05.2023).

16. Liu Z., Wang L., Liu Y. Rapid differentiation of Chinese hop varieties (*Humulus lupulus*) using volatile fingerprinting by HS-SPME-GC-MS combined with multivariate statistical analysis // *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 2018. Vol. 98, no. 10. P. 3758–3766.

17. The Complexity of Sesquiterpene Chemistry Dictates Its Pleiotropic Biologic Effects on Inflammation / N. Arizmendi [et al.] // *Molecules*. 2022. Vol. 27. Article 2450.

18. Direct Thermal Desorption-Gas Chromatography and Gas Chromatography-Mass Spectrometry Profiling of Hop (*Humulus lupulus* L.) Essential Oils in Support of Varietal Characterization / S. Eri [et al.] // *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2000. Vol. 48, no. 4. P. 1140–1149.

References

1. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Available at: <https://www.fao.org/faostat/en/> (accessed 20.05.2023).

2. Liu M., Hansen P. E., Wang G., Qiu L., Dong J., Yin H., Qian Z., Yang M., Miao J. Pharmacological profile of xanthohumol, a prenylated flavonoid from hops (*Humulus lupulus*). *Molecules*, 2015, vol. 20, no. 1, pp. 754–779.

3. Duarte L. M., Amorim T. L., Grazul R. M., de Oliveira M. A. L. Differentiation of aromatic, bittering and dual-purpose commercial hops from their terpenic profiles: An approach involving batch extraction, GC-MS and multivariate analysis. *Food Research International*, 2020, vol. 138, article 109768.

4. Ligor M., Stankevičius M., Wenda-Piesik A., Obelevičius K., Ragažinskienė O., Stanius Ž., Maruška A., Buszewskiet B. Comparative Gas Chromatographic-Mass Spectrometric Evaluation of Hop (*Humulus lupulus* L.) Essential Oils and Extracts Obtained Using Different Sample Preparation Methods. *Food Analytical Methods*, 2014, vol. 7, pp. 1433–1442.

5. Leonardi M., Skomra U., Agacka M., Stochmal A., Ambryszewska K. E., Oleszek W., Flamini G., Pistelli L. Characterisation of four popular Polish hop cultivars. *International Journal of Food Science & Technology*, 2013, vol. 13, pp. 1770–1774.

6. Rutnik K., Knez Hrnčič M., Jože Košir I. Hop Essential Oil: Chemical Composition, Extraction, Analysis, and Applications. *Food Reviews International*, 2021, vol. 38, pp. 529–551.

7. Chernei I. S., Bekhter A., Cheshchevik V. T., Smigielski K. Influence of the ozonation process on the composition of essential oils of *Artemisia absinthium* and *Humulus lupulus*. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], issue 2, Chemical Engineering, Biotechnologies, Geoecology, 2022, no. 2 (259), pp. 182–190 (In Russian).

8. Karabın M., Hudcova T., Jelínek L., Dostálek P. Biologically Active Compounds from Hops and Prospects for Their Use. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 2016, vol. 15, no. 3, pp. 542–567.

9. Eyres G., Dufour J.-P. Hop Essential Oil: Analysis, Chemical Composition and Odor Characteristics. *Beer in Health and Disease Prevention*, 2009, vol. 22, pp. 239–254.

10. Kowalska G., Bouchentouf S., Kowalski R., Wyrostek J., Pankiewicz U., Mazurek A., Sujka M., Włodarczyk-Stasiak M. The hop cones (*Humulus lupulus* L.): Chemical composition, antioxidant properties and molecular docking simulations. *Journal of Herbal Medicine*, 2022, vol. 33, article 100566.

11. Hoplist. Available at: <https://www.hoplist.com/> (accessed 15.05.2023).

12. Semitko I. S. Comparative characteristics of the influence of the species and the growing season on the amount of essential oil extracted from *Artemisia absinthium* and *Artemisia vulgaris*. *Nauchnyy potentsial molodezhi – budushchemu Belarusi: materialy XI Mezhdunarodnoy molodezhnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii* [The scientific potential of youth – the future of Belarus: materials of the XI International Youth Scientific and Practical Conference]. Pinsk, 2017, part 1, pp. 342–343 (In Russian).

13. Duarte L. M., Amorim T. L., Grazul R. M., de Oliveira M. A. L. Differentiation of aromatic, bittering and dual-purpose commercial hops from their terpenic profiles: An approach involving batch extraction, GC-MS and multivariate analysis. *Food Research International*, 2020, vol. 138, article 109768.

14. Lam K. C., Nickerson G. B., Deinzer M. L. A rapid solvent extraction method for hop essential oils. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 1986, vol. 34, no. 1, pp. 63–66.
15. LOTUS: Natural Products Online. Available at: <https://lotus.naturalproducts.net/> (accessed 21.05.2023).
16. Liu Z., Wang L., Liu Y. Rapid differentiation of Chinese hop varieties (*Humulus lupulus*) using volatile fingerprinting by HS-SPME-GC-MS combined with multivariate statistical analysis. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 2018, vol. 98, no. 10, pp. 3758–3766.
17. Arizmendi N., Alam S. B., Azyat K., Makeiff D., Befus A. D., Kulka M. The Complexity of Sesquiterpene Chemistry Dictates Its Pleiotropic Biologic Effects on Inflammation. *Molecules*, 2022, vol. 27, article 2450.
18. Eri S., Khoo B. K., Lech J., Hartman T. G. Direct Thermal Desorption-Gas Chromatography and Gas Chromatography-Mass Spectrometry Profiling of Hop (*Humulus lupulus* L.) Essential Oils in Support of Varietal Characterization. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2000, vol. 48, no. 4, pp. 1140–1149.

Информация об авторах

Черней Ирина Сергеевна – магистр биологических наук, аспирант. Полесский государственный университет (225710, г. Пинск, ул. Днепровской флотилии, 23, Республика Беларусь). E-mail: semitcko.i@yandex.ru

Чещевик Виталий Тадеушевич – кандидат биологических наук, доцент, декан биотехнологического факультета. Полесский государственный университет (225710, г. Пинск, ул. Днепровской флотилии, 23, Республика Беларусь). E-mail: cheshchevik.v@polessu.by

Орлов Илья Михайлович – директор. ООО «Белхмельагро» (225911, Брестская обл., Малоритский р-н, д. Замшаны, ул. Советская, 2, Республика Беларусь). E-mail: belhmelagro@tut.by

Information about the authors

Chernei Irina Sergeevna – Master of Biological Sciences, PhD student. Polessky State University (23, Dneprovskoy flotillii str., 225710, Pinsk, Republic of Belarus). E-mail: semitcko.i@yandex.ru

Cheshchevik Vitaliy Tadeushevich – PhD (Biology), Associate Professor, Dean of the Biotechnological Faculty. Polessky State University (23, Dneprovskoy flotillii str., 225710, Pinsk, Republic of Belarus). E-mail: cheshchevik.v@polessu.by

Orlov Ilya Mikhaylovich – Director. LLC “Belhmelagro” (2, Sovetskaya str., 225911, Brest region, Maloritsky district, Zamshany village, Republic of Belarus). E-mail: belhmelagro@tut.by

Поступила 15.06.2023