

Экспериментальные исследования

© КОЛЛЕКТИВ АВТОРОВ, 2019

Мальшиева А.Г.¹, Шелепова О.В.^{1,2}, Юдин С.М.¹

ТРАНСФОРМАЦИЯ КОМПОНЕНТНОГО СОСТАВА ЭФИРНОГО МАСЛА И ЛЕТУЧИХ ВЫДЕЛЕНИЙ РАСТЕНИЙ ПОД ВЛИЯНИЕМ ИСКУССТВЕННОГО ОСВЕЩЕНИЯ

¹Федеральное государственное бюджетное учреждение «Центр стратегического планирования и управления медико-биологическими рисками здоровью» Министерства здравоохранения Российской Федерации, 119121, Москва;

²Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Главный ботанический сад им. Н.В. Цицина Российской академии наук, 127276, Москва

Введение. Большое внимание уделяется производству зелёной продукции пряно-ароматических растений из местного сырья как одному из приоритетных направлений, реализуемых в рамках программы «Концепция государственной политики в области здорового питания населения РФ на период до 2020 г.». Для круглогодичного потребления зелёной массы растений используют разные технологии выращивания. Выращивание в специфических условиях (короткий световой день и пониженная освещённость) в осенне-зимний период высокопродуктивных растений в нашей стране возможно только с применением дополнительных источников искусственного света.

Материал и методы. Исследования влияния разных технологий выращивания на компонентный состав эфирного масла и летучих выделений растений на примере мяты перечной проведены методами хромато-масс-спектрометрии на аналитическом комплексе «Clarus 600M» фирмы «Perkin Elmer» (США) с пламенно-ионизационным и масс-спектрометрическим детекторами и хромато-масс-спектрометрической системы Focus GC с DSQ II (США).

Результаты. Применение новых технологий выращивания эфирноносных растений может вызывать изменение качественно-количественного состава эфирного масла и летучих выделений растений. В результате досветки узкополосным светом выявлено исчезновение обнаруженных в контрольных образцах сабинена, бурбонена, миртенола, коламена, образование кумола, 3-гексил-2-метилбутирата, гермакрена, карвона, кубенола, уменьшение содержания основных компонентов: ментола, ментона, бензилового спирта, сабинена, бурбонена, увеличение содержания ментилацетата, изоментона, изоментола, неоментилацетата. При комбинированном освещении установлено снижение с 43 до 31 соединения с уменьшением их суммарного содержания в составе летучей фракции.

Заключение. Наиболее гигиенически значимыми при использовании дополнительного искусственного освещения растений мяты были легкотрансформируемые терпеновые углеводороды и кислородсодержащие соединения (альдегиды, кетоны, фенолы, фураны, пираны, эфиры), относящиеся к группам токсичных и опасных химических веществ.

Ключевые слова: трансформация; хромато-масс-спектрометрические исследования; химическая безопасность; летучие выделения; эфирное масло; мята; терпеновые углеводороды; искусственное освещение.

Для цитирования: Мальшиева А.Г., Шелепова О.В., Юдин С.М. Трансформация компонентного состава эфирного масла и летучих выделений растений под влиянием искусственного освещения. *Гигиена и санитария*. 2019; 98(11): 1228-1234. DOI: <http://dx.doi.org/10.18821/0016-9900-2019-98-11-1228-1234>

Для корреспонденции: Мальшиева Алла Георгиевна, доктор биол. наук, профессор, ФГБУ «Центр стратегического планирования и управления медико-биологическими рисками здоровью» Министерства здравоохранения Российской Федерации, 119121, Москва. E-mail: fizhim@yandex.ru

Финансирование. Исследование не имело спонсорской поддержки.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Участие авторов: концепция и дизайн исследования – Мальшиева А.Г., Юдин С.М.; сбор и обработка материала – Мальшиева А.Г., Шелепова О.В.; статистическая обработка – Шелепова О.В.; написание текста – Мальшиева А.Г.; редактирование – Юдин С.М.; утверждение окончательного варианта статьи, ответственность за целостность всех частей статьи – все авторы.

Поступила 12.03.2019

Принята к печати 17.09.19

Опубликована: ноябрь 2019

Malysheva A.G.¹, Shelepova O.V.^{1,2}, Yudin S.M.¹

TRANSFORMATION OF THE COMPONENT STRUCTURE OF ESSENTIAL OIL AND VOLATILE ALLOCATION OF PLANTS UNDER THE IMPACT OF ARTIFICIAL LIGHTING

¹Center for Strategic Planning, Russian Ministry of Health, Moscow, 119121, Russian Federation;

²The N.V. Tsyitsyn Main botanical garden, Moscow, 127276, Russian Federation

Introduction. Much attention is paid to the production of green products of aromatic plants from local raw materials, as one of the priorities implemented under the program “The Concept of the State Policy in the Field of Healthy Nutrition of the Population of the Russian Federation for the Period until 2020”. For the year-round consumption of green mass of plants, there are used different technologies of cultivation. Specific growing conditions (short light day and low light) in the autumn-winter period of highly productive plants in our country are possible only with the use of additional sources of artificial light.

Material and methods. Studies of the effect of different growing technologies on the component composition of essential oil and volatile plant excreta using the example of peppermint carried out by chromatography-mass spectrometry with analytical complex «Clarus 600M» by Perkin Elmer (USA) (flame ionization) and mass spectrometry detectors with gas chromatography-mass spectrometry system Focus GC DSQ II by Thermo Scientific (USA).

Results. The use of new technologies for growing ether-bearing plants may cause a change in the qualitative and quantitative composition of the essential oil and volatile plant excretions. Because of re-lighting by narrow cavity light, there have been changes in the qualitative and quantitative composition of the essential oil and volatile mint emissions. The disappearance of sabinene, bourbonene, myrtenol, colamen found in control samples and the formation of cumene, 3-hexyl-2-methylbutyrate, germacrene, carvone, cubenol, a decrease in the content of the main components: menthol, menton, benzyl alcohol, sabinene, bourbonene; an increase in the content of methylacetate, isomentone, isomenthol, neomentilacetate. With combined lighting, a reduction from 43 to 31 compounds was established with a decrease in their total content in the composition of the volatile fraction.

Conclusion. Terpene hydrocarbons are the most hygienically significant substances belonging to the group of easily transformed substances, and oxygen-containing compounds (aldehydes, ketones, phenols, furans, pyrans, ethers) identified in the group of toxic and dangerous chemicals

Key words: transformation; gas chromatography-mass spectrometry; chemical safety; volatile emissions; essential oil; mint; terpene hydrocarbons; artificial lighting

For citation: Malysheva A.G., Shelepova O.V., Yudin S.M. Transformation of the component structure of essential oil and volatile allocation of plants under the impact of artificial lighting. *Gigiena i Sanitariya (Hygiene and Sanitation, Russian journal)* 2019; 98(11): 1228-1234. (In Russ.). DOI: <http://dx.doi.org/10.18821/0016-9900-2019-98-11-1228-1234>

For correspondence: Alla G. Malysheva, MD, Ph.D., DSci., professor, Center for Strategic Planning and Management of Biomedical Health Risks, Moscow, 119121, Russian Federation. E-mail: fizhim@yandex.ru

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

Acknowledgment. The study had no sponsorship.

Contribution: research concept and design – Malysheva A.G., Yudin S.M.; collection and processing of material – Malysheva A.G., Shelepova O.V.; statistics – Shelepova O.V.; text – Malysheva A.G.; editor – Yudin S.M.; approval of the final version of the article, responsibility for the integrity of all parts of the article – all co-authors.

Received: March 12, 2019

Accepted: September 17, 2019

Published: November 2019

Введение

В последние годы не ослабевает интерес к изучению специфических веществ, выделяемых растениями. К их числу относятся органические вещества, обладающие широким спектром биологической активности. Эти вещества оказывают эффективное азростимулирующее, терапевтическое, а также фитонцидное действие на микроорганизмы, поглощают из атмосферы вредные соединения и ионизируют воздух [1–4]. Из растений могут быть препаративно выделены полезные соединения [5–7]. В настоящее время сведения о компонентном составе летучих веществ, выделяемых различными видами растений, совершенно недостаточны или совсем отсутствуют, так как такие исследования возможны лишь на основе применения хромато-масс-спектрометрического метода, позволяющего идентифицировать широкий спектр соединений в составе сложной смеси веществ [8–12].

Необходимость оценки химического воздействия на здоровье населения разработанных новых фитотехнологий с одновременным поиском оптимальных эколого-гигиенических условий их применения является в настоящий момент актуальным направлением химико-аналитических исследований в гигиене [13–16], так как развитие современного производства и применение новых технологий может сопровождаться изменением и ухудшением экологической ситуации в районах их применения. Это в дальнейшем требует дополнительных мероприятий по очистке выбросов производств, обеззараживанию и очистке питьевой воды, кондиционированию воздушной среды помещений и др. При этом процесс использования новых природоохраняющих технологий и мероприятий имеет два аспекта. С одной стороны, их применение направлено на достижение основного целевого назначения, но с другой стороны – их использование может сопровождаться побочным отрицательным эффектом [17–25].

В настоящее время большое внимание уделяется производству зелёной продукции пряно-ароматических растений на основе местного сырья. Это одно из приоритетных направлений реализации программ, осуществляемых в рамках «Концепции государственной политики в области здорового питания населения РФ на период до 2020 г.» [26]. В то же время следует обратить

внимание на присутствие в производимой зелёной продукции повышенного количества биологически активных соединений, поступление которых может оказать отрицательное воздействие на здоровье населения. Значимость этой проблемы возрастает в связи с широким применением населением эссенций, экстрактов и ароматизаторов, производимых из пряно-ароматических растений, которые могут содержать такие биологически активные вещества, как кумарин, ментофуран, метилэвгенол и т. д. Их содержание в растениях в большинстве случаев достаточно низкое, поэтому при традиционном использовании в питании они не представляют какой-либо угрозы. Но при получении экстрактов растений содержание этих соединений существенно увеличивается, в связи с чем они должны строго контролироваться в конечной продукции. И хотя в настоящее время существует Межгосударственный стандарт на хроматографическое определение состава эфирных масел [27], остаётся проблемным вопрос отсутствия в настоящее время аналитических методов определения ряда отдельных компонентов эфирного масла. Кроме того, многие входящие в состав эфирного масла компоненты гигиенически не регламентированы [28].

Влияние новых технологий выращивания на изменение компонентного состава эфирного масла и летучих выделений растительного происхождения изучено на примере воздействия освещения источниками искусственного света на растения мяты.

Мята перечная (мята английская, мята холодная) (*Mentha piperita* L.) – многолетнее травянистое растение семейства яснотковых (*Lamiaceae*), ценное эфиромасличное и лекарственное растение. Листья используются в качестве спазмолитического, желудочного, желчегонного средства, настойку из листьев применяют как болеутоляющее средство и против тошноты и рвоты. Параметры стандартизации листьев мяты перечной представлены в ФС.2.5.0029.15 [26]. Лист мяты входит в состав многих БАДов.

Из свежесобранной надземной массы получают эфирное масло, которое обладает успокаивающим и спазмолитическим действием и используется как освежающее и антисептическое средство. Из эфирного масла выделяется ментол – обезболивающее средство, входящее в состав многих комплексных препаратов, используемых в виде масляных и спиртовых настоек [9, 11].

Листья мяты перечной входят в состав успокоительных, желудочных и желчегонных чаёв, из них готовят отвары, повышающие аппетит, их используют при лечении заболеваний верхних дыхательных путей. Мята перечная входит в состав травяных сборов, используемых для лечения лёгочных и сердечно-сосудистых заболеваний.

Кроме того, листья и соцветия мяты перечной широко применяются в кондитерской и ликёро-водочной промышленности, а также в кулинарии многих народов как пряно-ароматическое и пряно-вкусовое растение. Входящие в её состав физиологически активные вещества улучшают вкусовые качества продуктов и усиливают их усвояемость, благоприятно влияют на обменные процессы, деятельность нервной и сердечно-сосудистой систем человека [9].

При круглогодичном использовании зелёной массы мяты в кулинарии необходимо выращивание растений в большинстве районов Российской Федерации в условиях защищённого грунта. Это стало возможным благодаря развитию современных агротехнологий. При этом основным лимитирующим фактором остаётся освещение. При коротком световом дне и пониженной солнечной экспозиции в осенне-зимние месяцы получение высококачественной растительной продукции возможно только с использованием источников искусственного света. В последние годы для дополнительного освещения тепличных комплексов используются специальные фитолампы с узкоспектральным красным (660 нм) и синим (400 нм) светом. Спектральная плотность излучения этих ламп обладает максимальным фотосинтетическим воздействием на растения и способствует их росту и цветению. Кроме того, они потребляют минимум энергии и не оказывают вредное воздействие на человека.

К настоящему времени установлен ряд фундаментальных положений о роли спектра и интенсивности фотосинтетически активной радиации в формировании наиболее важных составляющих продукционного процесса [29, 30]. Тем не менее узкоспектральный свет фитоламп может изменить интенсивность и направленность метаболических процессов в растениях и, следовательно, изменить качественный состав продуцируемого эфирного масла [31]. Ранее в литературе было показано, что эфирноносные растения, произрастающие в жёстких условиях обитания, прекращают синтезировать полный набор мажорных компонентов эфирного масла, и в составе продуцируемых растениями летучих органических компонентов начинают доминировать ациклические соединения [32–34].

Поэтому исследование влияния технологии выращивания, основанной на совместном действии естественного освещения и узкополосного спектрального света (синего и красного) на компонентный состав мяты перечной (*M. piperita* L.), представлялось актуальной задачей.

Материал и методы

В эксперименте использованы растения мяты перечной (*M. piperita* L.), сорт Митчамская, выращенные в полевых условиях на экспериментальном участке, а затем осенью пересаженные в сосуды с почвой. В оранжерее растения выращивали в полуконтролируемых условиях: к естественному свету добавляли красный свет (max 600 нм) (вариант 1 – КС) или синий свет (max 400 нм) (вариант 2 – СС). Интенсивность света (плотность фотонов) КС – $2,58 \cdot 10^{18}/\text{м}^2\text{с}$, СС – $6,04 \cdot 10^{18}/\text{м}^2\text{с}$. В качестве дополнительных источников света использованы светодиодные лампы компании «Фокус» (Россия) модели ПС-2 (УСС-12). Досветку растений проводили в течение 2 мес (с 17 октября по 19 декабря) по 12 ч ежедневно. Контролем служили растения, выращенные при естественном освещении.

Пробы надземной части брали сразу после окончания досветки и одновременно контрольные образцы. Эфирное масло из воздушно-сухого материала получали методом гидродистилляции. Качественный состав эфирного масла растений опыта проводили методом хромато-масс-спектрометрии на аналитическом комплексе «Clarus 600M» фирмы «Perkin Elmer» (США) (ГХ капиллярная колонка «Elite Wax» – 60 м • 0,32 мм • 0,5 мк по ранее опубликованной методике [35].

Таблица 1

Компонентный состав эфирного масла, полученного из надземной части растений мяты перечной при разных технологиях выращивания, %

Вещество	Контроль (естественное освещение)	Досветка узкополосным спектральным светом
α -Пинен	0,19	0,33
β -Пинен	0,10	0,21
Сабинен	0,11	–
Лимонен	0,20	0,70
Эукалиптол (1,8-Цинеол)	0,06	0,14
п-Кумол	–	0,05
Октанол-3	0,06	0,14
Ментон	6,06	3,18
цис-3-Гексил-2-метилбутират	–	0,11
Изоментон	7,96	8,73
β -Бурбонен	0,07	–
Изоментилацетат	0,05	0,21
Ментилацетат	12,33	29,35
изо-Пулегилацетат	0,07	0,16
Неоментилацетат	0,18	0,51
Изоментол	0,70	0,94
β -Кариофиллен	0,04	0,80
Неоментол	1,00	1,11
Ментол	68,17	50,73
Пулегон	0,91	0,36
изо-Неоментол	0,44	0,31
Копаен	0,04	0,08
α -Терпинеол	0,05	0,14
Гермакрен D	–	0,21
Пиперитон	0,30	0,24
Карвон	–	0,03
Миртенол	0,04	–
Коламен	0,03	–
Бензиловый спирт	0,81	0,15
Кариофиллен оксид	0,38	0,17
Кубенол	–	0,03
Тимол	0,07	0,06
τ -Мюралол	0,13	0,11

Кроме того, проанализирован состав летучих выделений растений мяты. Отбор проб проведён в воздушном пространстве около растений контроля и опытного варианта с досветкой узкополосным спектральным светом фитоламп. Отбор проб осуществляли статической сорбцией летучих выделений растений на полимерный сорбент (Tenax TA, зернение 0,2–0,25 мм, удельная площадь сорбции $35 \text{ м}^2/\text{г}$) с последующей термодесорбцией. Анализы выполнены хромато-масс-спектрометрическим методом по ранее опубликованной методике [10].

Полученные результаты обрабатывали статистически с использованием программы Microsoft Excel. В работе представлены усреднённые результаты биологической и аналитической повторностей. Ошибка данных не превышает допустимой погрешности ($p \leq 5\%$).

Таблица 2

Компонентный состав летучей фракции растений мяты перечной при разных технологиях выращивания

Соединение	Концентрация, мг/м ³		ПДКм.р., мг/м ³	Соединение	Концентрация, мг/м ³		ПДКм.р., мг/м ³
	при естественном освещении (контроль)	при досветке узкополостным спектральным светом			при естественном освещении (контроль)	при досветке узкополостным спектральным светом	
Углеводороды, в том числе:	0,163	0,016		3-метил-3-бутен-1-ол	0,007	0,003	0,075
<i>насыщенные:</i>	0,053	0,004		диметилбензиловый спирт	0,003	0,001	–
гексан	0,008	0,003	60,0	фурфуриловый спирт	–	0,001	0,1
гептан и изомеры	0,036	0,001	∑C ₆ –C ₁₀ = 50	<i>фенолы:</i>	0,021	0,008	
октан и изомеры	0,011	–	–	фенол	0,007	0,002	0,01
нонан	0,001	–	–	ди-трет-бутилкрезол	0,014	0,006	–
<i>ненасыщенные:</i>	0,002	–		<i>альдегиды:</i>	0,027	0,019	
2,4-диметилгептен-1	0,002	–	н/у	гексаналь	0,005	0,004	0,020
<i>циклические</i>	0,032	0,002		гептаналь	–	0,002	0,020
<i>неароматические:</i>				нонаналь	0,007	0,004	0,020
диметилциклопентаны	0,014	0,001	н/у	метакролеин	–	0,004	
циклогексан	0,004	–	1,4	бензальдегид	0,015	0,004	0,040
метилциклогексан	0,013	0,001	н/у	фурфураль	–	0,001	0,08
метилциклогексен	0,001	–	н/у	<i>кетоны:</i>	0,024	0,011	
<i>терпеновые:</i>	0,033	0,004		2-бутанон	–	0,003	0,100
α-пинен	0,007	0,001	н/у	метилвинилкетон	–	0,004	н/у
сабинен	0,003	–	н/у	3-гексен-2-он	0,006	0,001	н/у
мирцен	0,006	–	–	циклогексанон	0,005	0,001	н/у
карен	0,002	–	н/у	ацетофенон	0,013	0,002	0,010
п-Цимол	0,002	–	н/у	<i>пираны и фураны:</i>	0,008	–	
лимонен	0,009	0,001	н/у	5,6-дигидро-2-метилпиран	0,003	–	н/у
γ-терпинен	0,004	0,002	н/у	2,4-диметилфуран	0,005	–	н/у
<i>ароматические:</i>	0,043	0,006		<i>терпеновые</i>	0,453	0,001	
бензол	0,006	0,002	0,3	<i>кислородсодержащие:</i>			
толуол	0,016	0,001	0,6	ментол	0,115	–	н/у
этилбензол	0,003	0,001	0,04	экваментол	0,009	0,001	н/у
м,п-ксилолы	0,011	–	0,25	ментон	0,045	–	н/у
о-ксилол	0,001	0,001	0,3	пулегон	0,032	–	н/у
метилэтилбензол	0,003	–	н/у	ментилацетат	0,015	–	н/у
триметилбензол	0,003	0,001	0,04	ментофуран	0,237	–	н/у
Кислородсодержащие соединения, в том числе:	0,548	0,046		<i>другие</i>	0,001	0,001	
<i>спирты:</i>	0,014	0,006		<i>кислородсодержащие:</i>			
бутанол	0,004	0,001	0,1	2,6-ди-трет-бутилхинон	0,007	0,001	н/у
Количество идентифицированных соединений					43	31	
Суммарная концентрация, мг/м ³					0,711	0,062	

Примечание. н/у – гигиенический норматив не установлен.

Результаты

Растения мяты перечной, выращенные при совместном действии естественного освещения и узкополостного спектрального красно-синего света, обладали высокой скоростью отращения биомассы листьев, к концу опыта сформировали хорошо облиственные кусты с 2–3 цветоносными побегами, при этом листья имели интенсивную темно-зеленую окраску, тогда как у растений контроля (только естественное освещение) были более мелкие светло-зеленые листья и несколько вытянутые побеги. Содержание эфирного масла в воздушно-сухой массе надземной части растений в среднем составило 2,9% у контрольных растений и 3,2% – при досветке искусственным светом. Компонентный состав эфирного масла мяты перечной, полученный при использовании разных технологий выращивания, приведен в табл. 1.

Всего в составе эфирного масла мяты перечной обнаружено 33 компонента с содержанием каждого более 0,03% от общей суммы, идентифицированных по времени удерживания и масс-

спектам. Компонентный состав летучих выделений эфирного масла мяты перечной весьма разнообразен: среди них присутствуют терпены (α-пинен, β-пинен, сабинен, лимонен, карифиллен), спирты (ментол, изоментол, неоментол, терпинеол, кубенол, тимол, мюралол, бензиловый спирт и др.), сложные эфиры (изоментилацетат, неоментилацетат, ментилацетат) и др. Основными веществами являются ментол, ментилацетат, изоментон, ментон, неоментол. При этом содержание ментола составило 68,2%, ментилацетата – 12,3%, изоментона – 8%, ментона – 6,1%, неоментола – 1%, изоментола – 0,7%, пулегона – 0,9%, бензилового спирта – 0,8% и т. д. В составе контрольных образцов, подверженных только естественному освещению, обнаружено 28 веществ. Установлено, что в результате досветки узкополостным светом произошли изменения качественного и количественного состава эфирного масла мяты. Так, выявлено 29 веществ, при этом исчезли присутствующие в контрольных образцах сабинен, бурбонен, миртенол, коламен, в то же время образовались кумол, 3-гексил-2-метилбутират,

гермакрен, карвон, кубенон. Одновременно уменьшилось содержание ментола (в 1,3 раза), ментона (в 1,9 раза), бензилового спирта (в 4 раза), сабинена (в 10 раз), бурбонена (в 7 раз). В то же время существенно увеличилось содержание ментилацетата, изоментона, изоментола, неоментилацетата и др. Следовательно, установлено изменение качественно-количественного состава эфирного масла мяты у растений, выращенных по технологии, основанной на совместном действии естественного с искусственным освещением узкополосным спектральным красно-синим светом, по сравнению с технологией, основанной на выращивании растений только при естественном освещении.

В табл. 2 приведён состав летучей фракции растений мяты перечной при разных условиях выращивания и для сравнения предельно допустимые концентрации идентифицированных веществ в атмосферном воздухе.

Так, в составе компонентной смеси летучих соединений растений, выращенных при естественном освещении, идентифицировано 43 соединения, в то время как при досветке узкополосным светом выявлено 31 соединение. По сравнению с контролем также в 11,5 раза снизилось суммарное содержание летучих выделений и составило 0,062 мг/м³.

Обсуждение

Для эфирного масла надземной части растений, выращенных при использовании фитоламп, по сравнению с контролем характерны более высокие уровни монотерпеноидов (α - и β -пиненов, лимонена, эукалиптола), а также предшественников синтеза ментола (например, ментилацетата и изоментона (в 2,4 и 1,1 раза соответственно), и, следовательно, более низкие уровни основных мажорных компонентов ментона и ментола (в 1,9 и 1,3 раза соответственно). При этом вкусовые качества данных растений были несколько выше, они имели более мягкий вкус ввиду пониженного содержания ментола (ментол обеспечивает так называемый «холодный» мятный вкус). Также положительным моментом является пониженное содержание в масле ментона и пулегона. Из литературных данных известно, что эти соединения в организме человека превращаются в ментофуран, который способен вызывать у человека некроз печени [28]. Однако в целом, несмотря на произошедшие в результате использования искусственного облучения изменения, качественно-количественный состав эфирного масла растений мяты перечной, выращенной при совместном действии естественного освещения и узкополосного спектрального красно-синего света, полностью соответствовал требованиям СТО 18393365-004-2010 и ISO 856:2006.

Следует отметить также, что изменение содержания основных компонентов эфирного масла, формирующих ароматическую композицию, вызвало трансформацию аромата растений при использовании узкоспектрального света, что отразилось на составе легколетучих компонентов мяты (см. табл. 2). Так, растения контроля имели типичный мятный запах – свежий «холодный» аромат, обусловливаемый ментолом и ментоном, дополнительный пахучий пряный эффект добавили пулегоном с ментофураном. У растений, выращенных под фитолампами, был достаточно приятный несильный запах – освежающий, травянистый, с еле уловимыми пряными нотками.

Как видно из табл. 2, в составе летучих выделений растений мяты, выращенных при естественном освещении (контроль), идентифицировано 43 органических соединения, суммарное содержание которых составило 0,71 мг/м³. Наибольший вклад в компонентный состав смеси вносили терпеновые и терпеновые кислородсодержащие соединения. Досветка узкоспектральным светом привела к снижению суммарного содержания легколетучих выделений растениями мяты в 11,5 раза и снижению количества идентифицированных веществ до 31. Среди спектра идентифицированных веществ в составе смеси летучих выделений исчезло 18 соединений. Так, среди терпеновых и кислородсодержащих терпенов не обнаружено 9 соединений (ментола, ментона, пулегона, ментилацетата, сабинена, мирцена, карена и др.). Несмотря на то что терпеновые углеводороды относятся к веществам природного происхождения, они являются высокорекреационноспособными и

принадлежат к группе легкотрансформируемых соединений, которые при воздействии различных физико-химических факторов распадаются с образованием более токсичных и опасных соединений [36], что проиллюстрировано на примере воздействия искусственного освещения, которое привело к снижению содержания терпенов в составе летучих выделений растения мяты.

Сопоставление содержания отдельных компонентов смеси летучих выделений растениями мяты с их гигиеническими нормативами показало, что содержание всех нормируемых веществ при освещении естественным и досветке искусственным светом не превышало уровни гигиенических нормативов. В то же время для почти 50% идентифицированных летучих выделений мяты гигиенические нормативы не установлены, применение узкоспектрального света фитоламп при всех положительных моментах для растений требует химико-аналитического контроля качественного и количественного состава летучих выделений эфирноносных растений и определения оптимальных условий использования новых технологий выращивания с целью обеспечения химической безопасности их использования для здоровья человека.

Несомненно, гигиеническая значимость идентифицированной смеси веществ обусловлена комбинированным действием всех её компонентов. Вместе с тем для практического использования полученных результатов может быть полезной и концепция о приоритетных загрязняющих веществах. С этих позиций наибольшую гигиеническую значимость имеет специфическая для объектов природного происхождения группа терпеновых углеводородов, которая относится к группе легкотрансформируемых веществ, и при определённых условиях входящие в её состав соединения могут распадаться с образованием токсичных и опасных продуктов трансформации, а также группы кислородсодержащих соединений (альдегиды, кетоны, фураны, пираны, фенолы), относящиеся к токсичным группам химических веществ.

Заключение

Установлено изменение качественно-количественного состава эфирного масла растений мяты, выращенных по технологии, основанной на совместном действии естественного с искусственным освещением узкополосным спектральным красно-синим светом, по сравнению с технологией выращивания растений только при естественном освещении. Выявлено снижение содержания основных компонентов, входящих в состав эфирного масла мяты: ментола – в 1,3 раза, ментона – в 1,9 раза, бензилового спирта – в 4 раза, сабинена – в 10 раз, бурбонена – в 7 раз, при этом увеличилось содержание других компонентов смеси: ментилацетата – 2,4 раза, изоментона – в 1,1 раза, изоментола – в 1,3 раза, неоментилацетата – в 2,8 раза и др.

В составе летучих выделений растений мяты, выращенных при естественном освещении, идентифицировано 43 органических соединения. Наибольший вклад в компонентный состав смеси вносили терпеновые и терпеновые кислородсодержащие соединения. Досветка узкоспектральным светом привела к снижению суммарного содержания легколетучих выделений растениями мяты в 11,5 раза и снижению количества идентифицированных веществ до 31.

Наибольшую гигиеническую значимость имела специфическая для объектов природного происхождения группа терпеновых углеводородов, которая относится к группе легкотрансформируемых веществ, а также группы кислородсодержащих соединений (альдегиды, кетоны, фенолы, фураны, пираны, эфиры), относящиеся к токсичным и опасным группам химических веществ. Около 50% выявленных соединений не имеют гигиенических нормативов, оценить их химическую опасность или безопасность для здоровья человека не представляется возможным.

Применение новых технологий выращивания эфирноносных растений вызывает изменение качественно-количественного состава эфирного масла и летучих выделений, что требует химико-аналитического контроля состава и установления оптимальных условий их применения с целью обеспечения химической безопасности для здоровья человека.

Литература

(пп. 4, 18–24, 32, 34 см. References)

1. Рабинович А.М., Черкасов А.В. Комплексное использование полезных свойств растений, улучшающих среду обитания и здоровье человека. *Вопросы биологической, медицинской и фармацевтической химии*. 2008; 6: 12–4.
2. Быков В.А., Рабинович А.М., Черкасов А.В. и соавт. Улучшение среды обитания и здоровья человека с помощью полезных свойств растений. *Материалы научно-практической конференции «Проблемы озеленения крупных городов»*. М.; 2008: 51–3.
3. Гуринович Л.Т., Пучкова Т.В. *Эфирные масла: химия, технология, анализ, применение*. М.: Школа косметических химиков; 2005. 190 с.
5. Бёккер Ю. *Хроматография. Инструментальная аналитика: методы хроматографии и капиллярного электрофореза*. М.: Техносфера; 2009. 472 с.
6. Арутюнов Ю.И., Кудряшов С.Ю., Онучак Л.А., Платонов И.А. Газохроматографический анализ смесей, содержащих неизвестные компоненты. *Вестник СамГУ*. 2005; 5: 137–62.
7. Ташлицкий В.Н., Царев Д.А., Казьмина Э.М. ACD/AutoChrom: Разработка хроматографического метода разделения сложных смесей – быстрее, дешевле и качественнее. *Разработка и регистрация лекарственных средств*. 2013; 1(2): 38–42.
8. Лебедев А.Т. *Масс-спектрометрия в органической химии*. М.: Техносфера; 2015. 704 с.
9. Шайдудлина Г.М. Хромато-масс-спектрометрический анализ при производстве ароматобразующих композиций с использованием эфирных масел мяты. *Пищевая промышленность*. 2005; 5: 16–9.
10. Малышева А.Г., Шелепова О.В., Козлова Н.Ю., Юдин С.М. Хромато-масс-спектрометрическое исследование летучих выделений эфирноносных растений для оценки химической безопасности их применения в закрытых помещениях. *Гигиена и санитария*. 2017; 10: 975–9.
11. Ткачев А.В. *Исследование летучих веществ растений*. Новосибирск: Офсет; 2008. 969 с.
12. Малышева А.Г., Шелепова О.В., Козлова Н.Ю. Хромато-масс-спектрометрическое исследование летучих выделений растений для оценки химической безопасности применения аэрофитоконплексов. *Медицина труда и промышленная экология*. 2017; 9: 118–9.
13. Государственный доклад «О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2015 году». М.: Минприроды России; НИИ-Природа; 2016. 639 с.
14. Жученко А.А. мл. *Мобилизация мировых генетических ресурсов и средоулучшающие фитотехнологии*. М.: РУДН; 2007. 149 с.
15. Рахманин Ю.А., Малышева А.Г. Химико-аналитический контроль качества и безопасности окружающей среды. *Экоаналитика-2016. Тезисы докладов XV Всероссийской конференции по анализу объектов окружающей среды*. Углич; 2016: 140–1.
16. Малышева А.Г. Совершенствование химико-аналитического контроля качества и безопасности окружающей среды с учётом процессов трансформации веществ. *Российская гигиена – развивая традиции, устремляемся в будущее. Материалы XII Всероссийского съезда гигиенистов и санитарных врачей*. 2017: 690–3.
17. Малышева А.Г., Козлова Н.Ю., Юдин С.М. Неучтённая химическая опасность процессов трансформации веществ в окружающей среде при оценке эффективности применения технологий. *Гигиена и санитария*. 2018; 97(6): 490–7.
25. Малышева А.Г., Рахманин Ю.А., Растянкин Е.Г., Козлова Н.Ю. Химико-аналитические аспекты исследования комплексного действия факторов окружающей среды на здоровье населения. *Гигиена и санитария*. 2015; 94(7): 5–10.
26. Фармакопейная статья (ФС) 2.5.0029.15. Мята перечной листья: 10.
27. СТО 18393365-004-2010. Масло эфирные натуральные. ISO 856:2006. Oil of peppermint (Mentha x piperita L.).
28. Войткевич С.А. *Эфирные масла, ароматизаторы, консерванты*. М.: Пищевая промышленность; 2000. 96 с.
29. *Лекарственное сырьё растительного и животного происхождения. Фармакогнозия: учебное пособие под ред. Г.П. Яковлева*. СПб.: СпецЛит; 2006. 845 с.
30. Дудченко Л.Г., Козьяков А.С., Кривенко В.В. *Пряно-ароматические и пряно-вкусовые растения*. Киев: Наука. Думка; 1989. 304 с.
31. Тихомиров А.А., Лисовский Г.М., Сидько Ф.Я. *Спектральный состав света и продуктивность растений*. Новосибирск: Наука; 1991. 167 с.
33. Ушакова С.А., Волкова Э.К., Шалаева Е.Е., Тихомиров А.А. Фотосинтез, дыхание и продуктивность ценоза редиса, выращенного на красном и синем свете. *Физиология растений*. 1992; 39(3): 488–93.
35. Шелепова О.В., Кондратьева В.В., Олехнович Л.С., Бидюкова Г.Ф., Хуснетдинова Т.И. Воздействие узкополостного света на физиолого-биохимические параметры растений тагетиса низкорослого. *Агрохимический вестник*. 2018; 2: 46–9.

References

1. Rabinovich A.M., Cherkasov A.V. Complex use of useful properties of plants that improve the habitat and human health. *Voprosy biologicheskoy, meditsinskoy i farmatsevticheskoy khimii [Questions of Biological, Medical and Pharmaceutical Chemistry]*. 2008; 6: 12–4. (in Russian)
2. Bykov V.A., Rabinovich A.M., Cherkasov A.V. et al. Improvement of the environment and human health with the help of useful properties of plants. *Proceedings of the scientific-practical conference “Problems of greening large cities” [Materialy nauchno-prakticheskoy konferentsii “Problemy ozeleneniya krupnykh gorodov”]*. Moscow; 2008: 51–3. (in Russian)
3. Gourinovich L. *Essential oils: chemistry, technology, analysis, application [Efirnyye masla: khimiya, tekhnologiya, analiz, primeneniye]*. Moscow: School of Cosmetic Chemists; 2005. 190 p. (in Russian)
4. Marriott P.J., Graham T.E., Dufour J.-P. Emerging Opportunities for Flavor Analysis through Hyphenated Gas Chromatography. *J Agric Food Chem*. 2009; 57(21): 9962–71. DOI: 10.1021/jf9013845.
5. Bokker Yu. *Chromatography. Instrumental analysis: methods of chromatography and capillary electrophoresis [Instrumental'naya analitika: metody khromatografii i kapillyarnogo elektroforeza]*. Moscow: Technosphere; 2009. 472 p. (in Russian)
6. Aroutyunov Yu.I., Kudryashov S.Yu., Onuchak L.A., Platonov I.A. Gas-chromatographic analysis of mixtures containing unknown components. *Vestnik SamGU [Messenger of SSU]*. 2005; 5: 137–62. (in Russian)
7. Tashlitskiy V.N., Tsarev D.A., Kazmina E.M. ACD/AutoChrom: Development of the chromatographic method for separation of complex mixtures – faster, cheaper and better. *Razrabotka i registratsiya lekarstvennykh sredstv*. 2013; 1(2): 38–42. (in Russian)
8. Lebedev A.T. *Mass-spectrometry in organic chemistry [Mass-spektrometriya v organicheskoy khimii]*. Moscow; “Technosphere”: 2015. 704 p. (in Russian)
9. Shaidoullina G.M. Chromato-mass-spectrometric analysis in the production of aromatic-forming compositions using essential oils of mint. *Pishchevaya promyshlennost' [Food Industry]*. 2005; 5: 16–9. (in Russian)
10. Malysheva A.G., Shelepova O.V., Kozlova N.Yu., Yudin S.M. Chromato-mass-spectrometric study of volatile secretions of airborne plants to assess the chemical safety of their use in enclosed spaces. *Gigiyena i sanitariya [Hygiene and Sanitation, Russian Journal]*. 2017; 10: 975–9. (in Russian)
11. Tkachev A.V. *Research on plant volatiles [Issledovaniye letuchikh veshchestv rasteniy]*. Novosibirsk: Ofset; 2008. 969 p. (in Russian)
12. Malysheva A.G., Shelepova O.V., Kozlova N.Yu. Chromato-mass-spectrometric study of volatile secretions of airborne plants to assess the chemical safety of use of aërofitocomplexes. *Meditsina truda i promyshlennaya ekologiya [Russian Journal of Occupational Health and Industrial Ecology]*. 2017; 9: 118–9. (in Russian)
13. State report “About the state of the environment and about the environmental protection in Russian Federation in 2015”. Moscow: Ministry of Environment of Russia, NIA-Priroda; 2016. 639 p. (in Russian)
14. Zhuchenko A.A. jr. *Mobilization of the world's genetic resources and environmental improvement phytotechnology [Mobilizatsiya mirovykh geneticheskikh resursov i sredouluchshayushchiye fitotekhnologii]*. Moscow: PFUR; 2007. 149 p. (in Russian)
15. Rakhmanin Yu.A., Malysheva A.G. Chemical-analytical quality control and environmental safety. *Ekoanalitika-2016. Abstracts of the 10th All-Russian Conference on Environmental Analysis [Ekoanalitika-2016. Tezisy dokladov KH Vserossiyskoy konferentsii po analizu ob'yektov okruzhayushchey sredy]*. Uglich; 2016: 140–1. (in Russian)
16. Malysheva A.G. Improving the chemical-analytical quality control and environmental safety, taking into account the processes of transformation of substances. *Russian hygiene – developing traditions, we rush into the future. Proceedings of the XII All-Russian Congress of Hygienists and Sanitary Physicians [Materialy XII Vserossiyskogo s'yezda gigiyenistov i sanitarnykh vrachey]*. 2017: 690–3. (in Russian)
17. Malysheva A.G., Kozlova N.Yu., Yudin S.M. Unrecorded chemical hazards of environmental transformation processes in assessing the effectiveness of the use of technology. *Gigiyena i sanitariya [Hygiene and Sanitation, Russian Journal]*. 2018; 97(6): 490–7. (in Russian)
18. Lei Y., Zhu C., Lu J. et al. Photochemical transformation of dimethyl phthalate (DMF) with N(III)(H₂ONO⁺/HONO/NO₂⁻) in the atmospheric aqueous environment. *Photochem Photobiol Sci*. 2018; 17: 332–41.
19. Chen W., He J., Jiang Y. et al. Experimental and theoretical studies on the atmospheric degradation of 1, 1, 2, 2, 3, 3, 4-heptafluorocyclopentane. *Atmos Environ*. 2019; 196: 38–43.

20. McNeill V.F. Atmospheric Aerosols: Clouds, Chemistry and Climate. *Annu Rev Chem Biomol Eng.* 2017; 8: 427–44
21. Li K., Chen L., White S.J. et al. Effect of nitrogen oxides (NO and NO₂) and toluene on SO₂ photooxidation, nucleation and growth: A smog chamber study. *Atmos Res.* 2017; 192: 38–47.
22. Li Y., Li Q., Su G. et al. Photochemical conversion of toluene in simulated atmospheric matrix and characterization of large molecular weight products by +APPI FT-ICR MS. *Sci Total Environ.* 2019; 649: 111–9.
23. Bais A.F., Lucas R.M., Bornman J.F.. Environmental effects of ozone depletion, UV radiation and interactions with climate change: UNEP Environmental Effects Assessment Panel, update 2017. *Photochem Photobiol Sci.* 2018; 17: 127–79.
24. Muilwijk C., Schrijvers P.J.C., Wuerz S., Kenjeres S. Simulations of photochemical smog formation in complex urban areas. *Photochem Photobiol Sci.* 2016; 147: 470–84.
25. Malysheva A.G., Rakhmanin Yu.A., Rastyannikov E.G., Kozlova N.Yu. Chemical and analytical aspects of the study of the complex effect of environmental factors on public health. *Gigiyena i sanitariya [Hygiene and Sanitation, Russian Journal]*. 2015; 94 (7): 5–10. (in Russian)
26. Pharmacopoeial Article (PA) 2.5.0029.15. Peppermint leaves: 10.
27. ISO 856:2006. Oil of peppermint (*Mentha x piperita* L.)
28. Voitkevich S.A. *Essential oils, flavors, preservatives [Efirnyye masla, aromatizatory, konservanty]*. Moscow: Pishchevaya promyshlennost'; 2000. 96 p. (in Russian)
29. Yakovleva G.P. *Medicinal raw materials of plant and animal origin. Pharmacognosy: a textbook [Lekarstvennoye syr'ye rastitel'nogo i zhi-votnogo proiskhozhdeniya. Farmakognoziya: uchebnoye posobiye pod red. G.P. Yakovleva]*. Saint-Petersburg: SpetsLit; 2006. 845 p. (in Russian)
30. Doudchenko L.G., Koziakov A.S., Krivenko V.V. *Spicy aromatic and spicy flavoring plants [Pryano-aromaticheskiye i pryano-vkusovyye rasteniya]*. Kyiv; 1989. 304 p. (in Russian)
31. Tikhomirov A.A., Lisovskiy G.M., Sidko F.Ya. *The spectral composition of light and plant productivity [Spektral'nyy sostav sveta i produktivnost' rasteniy]*. Novosibirsk: Nauka; 1991; 167 p. (in Russian)
32. Gouyon P.H., Vernet Ph., Guillermin J.L., Valdeyron G. Polymorphisms and environment: the adaptive value of the oil polymorphisms in *Thymus vulgaris* L. *Heredity.* 1986; 57: 59–66.
33. Ushakova S.A., Volkova E.K., Shalaeva E.E., Tikhomirov A.A. Photosynthesis, respiration and productivity of crenos radish grown on red and blue light. *Fiziologiya rasteniy.* 1992; 39 (3): 488–93. (in Russian)
34. Olle M., Viršilė A. The effects of light emitting diode lighting on greenhouse plant growth and quality. *Agr Food Sci.* 2013; 22: 223–4.
35. Shelepova O.V., Kondrat'eva V.V., Olecknovich L.S., Bidukova G.F., Khusnetdinova T.I. Influence of spectral light on the physiological and biochemical parameters of *Tagetes patula* L. *Agrokhimicheskiy vestnik [Chemistry in Agriculture]*. 2018; 2: 46–9. (in Russian)
36. Malysheva A.G., Rakhmanin Yu.A., Rastyannikov E.G., Kozlova N.Yu., Artyushina I.Yu., Shokhin V.A. Chromato-mass-spectrometric study of volatile emissions of plants for assessing the efficacy and chemical safety of the use of environment-improving phytotechnologies. *Gigiyena i sanitariya [Hygiene and Sanitation, Russian Journal]*. 2016; 95 (6): 501–7. (in Russian)