

Методы исследований

© КОЛЛЕКТИВ АВТОРОВ, 2017

УДК 613.5:635.9:633.8]-074:543.42.062

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

ХРОМАТО-МАСС-СПЕКТРОМЕТРИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ЛЕТУЧИХ ВЫДЕЛЕНИЙ ЭФИРОНОСНЫХ РАСТЕНИЙ ДЛЯ ОЦЕНКИ ХИМИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ИХ ПРИМЕНЕНИЯ В ЗАКРЫТЫХ ПОМЕЩЕНИЯХ

¹ ФГБУ «Центр стратегического планирования и управления медико-биологическими рисками здоровью» Минздрава России, 119991, Москва;

² ФГБУН «Главный ботанический сад им. Н.В. Цицина» РАН, 127276, Москва

Вопросы оздоровления окружающей среды в настоящее время входят в круг важнейших для населения крупных административных и промышленных центров. Улучшение качества окружающей среды и создание комфортных условий жизнедеятельности человека экологически безопасными методами – одно из современных актуальных направлений в гигиене окружающей среды. Улучшение качества внутренней среды помещений предусматривает использование различных современных технических систем жизнеобеспечения для регулирования параметров среды. Однако существующие методы очистки и кондиционирования воздуха общественных и производственных помещений не только не обеспечивают необходимое качество очистки, но и нередко могут приводить к возникновению токсичных веществ, способствовать деионизации воздуха и ухудшению его качества по биологическим показателям. Для очистки и оздоровления воздуха и придания ему свойств, благоприятных для жизнедеятельности человека применяют методы фитодизайна. Наиболее популярными в озеленении интерьеров являются тропические, субтропические и ароматические растения. Их применение обусловлено выделением ими в процессе жизнедеятельности в окружающую среду биологически активных веществ – фитонцидов, способных улучшать состав воздуха, снижать количество бактерий, грибов, вирусов и оказывать лечебный эффект. Хромато-масс-спектрометрические исследования состава летучих органических компонентов эфирноносных растений фитоконпозиции при использовании для искусственного освещения фитопламп с узкоспектральным красным и синим светом показали, что в составе летучих выделений растений фитомодуля, выращенных при естественном освещении, идентифицировано 26 органических соединений. Наибольший вклад в компонентный состав смеси вносили насыщенные углеводороды (36%). Вклад кислородсодержащих соединений, в том числе фенолов, составил 13%, альдегидов и циклических неароматических углеводородов – 12 и 11%, соответственно. Несмотря на полезность для растений дополнительного искусственного освещения, установлен рост количества веществ с образованием новых соединений и увеличение суммарного содержания идентифицированных веществ. Возросло содержание токсичных веществ: фенола (в 14 раз), бензальдегида (в 10 раз) и ацетофенона (в 7 раз). 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, эфиры), относящиеся к токсичным и опасным группам химических веществ. Более 50% выявленных соединений не имели гигиенических нормативов, оценить их опасность или безопасность для здоровья человека не представляется возможным. Применение эфирноносных растений в закрытых помещениях требует химико-аналитического контроля состава летучих выделений и установления оптимальных условий (насыщенность растений в помещении, объём помещения, наличие кондиционирующих или озонирующих установок, температурный режим, влажность и др.) с целью обеспечения химической безопасности для здоровья человека.

Ключевые слова: летучие выделения; эфирноносные растения; хромато-масс-спектрометрические исследования; терпеновые углеводороды; кислородсодержащие компоненты; закрытые помещения; химическая безопасность.

Для цитирования: Мальшиева 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; 96(10): 975-979. DOI: <http://dx.doi.org/10.18821/0016-9900-2017-96-10-975-979>

Для корреспонденции: Мальшиева Алла Георгиевна, д-р биол. наук, проф., рук. лаб. физико-химических исследований ФГБУ «Центр стратегического планирования и управления медико-биологическими рисками здоровью» Министерства здравоохранения Российской Федерации, 119992, Москва. E-mail: fizhim@yandex.ru

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

CHROMATOGRAPHIC MASS-SPECTROMETRIC STUDY OF VOLATILE EMISSIONS OF ETHER-BEARING PLANTS FOR CHEMICAL SAFETY ASSESSMENT OF THEIR USE IN ENCLOSED SPACES

¹ Centre for Strategic Planning and Management of Biomedical Health Risks, Moscow, 119991, Russian Federation;

² N. V. Tsiitsin Main Botanical Garden of RAS, Moscow, 127276, Russian Federation

Issues of improving the environment are now among the most important for the population of large administrative and industrial cities. Improving the quality of the environment and creating comfortable living conditions for people using environmentally friendly methods is the one of most up-to-date directions in environmental health. Improving the quality of the internal environment of the premises involves the use of various modern technical life support systems to regulate parameters of the environment. However, existing methods of cleaning and air conditioning of public and industrial premises not only fail to provide the required quality of cleaning, but also can often lead to the appearance of toxic substances, promote

deionization of air and deterioration of its quality according to by biological indices. Both to clean and improve the air and give it the properties that are favorable for the life-activity of a person, phytodesign methods are used. The most popular in the gardening of interiors are tropical, subtropical and aromatic plants. Their application is due to their release in the process of vital activity in the environment of biologically active substances – phytoncides, which can improve the air composition, reduce the number of bacteria, fungi, viruses and have a therapeutic effect. Chromatographic-mass-spectrometric studies of the composition of volatile organic components of ether-bearing plants of phytocomposites, when used for artificial illumination of phytolamps with narrow spectral red and blue light, have shown that 26 organic compounds have been identified in the composition of volatile discharges of phytomodule plants grown under natural illumination. The greatest contribution to the component composition of the mixture was made by saturated hydrocarbons (36%). The contribution of oxygen-containing compounds, including phenols, was 13%, aldehydes and cyclic non-aromatic hydrocarbons – 12 and 11% respectively. Despite the usefulness of additional artificial lighting for plants, an increase in the amount of substances has been established with the formation of new compounds and an increase in the total content of the identified substances. There was an increase in the content of toxic phenol (by 14 times), benzaldehyde (by 10 times) and acetophenone (by 7 times). The most hygienic significance was the group of terpenic hydrocarbons, which belongs to the group of readily convertible substances, as well as groups of oxygen-containing compounds (aldehydes, ketones, phenols, ethers), which belong to the naturally occurring entities of the toxic and dangerous groups of chemicals. More than 50% of the identified compounds did not have hygienic standards, it is not possible to assess their danger or safety for human health. The use of ether-bearing plants in closed rooms requires the chemical-analytical control of the composition of volatile emissions and the establishment of optimal conditions (saturation of plants in the room, room volume, the presence of conditioning or ozonizing units, temperature regime, humidity, etc.) in order to provide the chemical safety for human health.

Key words: volatile emissions; etheriferous plants; chromatography mass-spectrometry; terpenic hydrocarbons; oxygen-containing components; closed rooms, chemical safety.

For citation: Malysheva A.G., Shelepova O.V., Kozlova N.Yu., Yudin S. M. Chromatographic mass-spectrometric study of volatile emissions of ether-bearing plants for chemical safety assessment of their use in enclosed spaces. *Gigiena i Sanitariya (Hygiene and Sanitation, Russian journal)* 2017; 96(10): 975-979. (In Russ.). DOI: <http://dx.doi.org/10.18821/0016-9900-2017-96-10-975-979>

For correspondence: Alla G. Malysheva, Doctor of Biological Sciences, Professor, Head of the Laboratory of Physical and Chemical Research Centre for Strategic Planning and Management of Biomedical Health Risks, Moscow, 119991, Russian Federation. E-mail: fizhim@yandex.ru

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

Acknowledgment: The study had no sponsorship.

Received: 15 February 2017

Accepted: 05 July 2017

Введение

Важной гигиенической проблемой представляется уровень химического загрязнения воздуха в помещениях. По оценкам экспертов Всемирной организации здравоохранения, человек более 80% своего времени проводит в помещениях непромышленного характера. Качество воздуха помещений может оказывать серьёзное влияние на здоровье человека. К сожалению, качественный и количественный состав веществ, загрязняющих воздух помещения, разнообразнее и выше, чем наружного атмосферного воздуха [1–3].

Вопросы оздоровления среды обитания в настоящее время входят в круг важнейших для населения крупных административных и промышленных центров. Улучшение качества окружающей среды и создание комфортных условий жизнедеятельности человека экологически безопасными методами – одно из современных актуальных направлений гигиены окружающей среды. Улучшение качества внутренней среды помещений предусматривает использование различных современных технических систем жизнеобеспечения для регулирования параметров среды. Однако существующие методы очистки и кондиционирования воздуха общественных и производственных помещений не только не обеспечивают необходимое качество очистки, но и нередко под влиянием физико-химического воздействия очистных установок могут приводить к изменению состава воздуха с образованием новых загрязняющих веществ и способствовать его деионизации [4]. Кроме того, воздух, обработанный кондиционирующими установками, часто не отвечает современным требованиям также и по биологическим показателям.

Для очистки и оздоровления воздуха и придания ему свойств, благоприятных для жизнедеятельности человека, применяют методы фитодизайна [5–7]. Действенным способом улучшения экологической ситуации в жилище, офисе, служебном или производственном помещении может быть комплекс мероприятий, осуществление которых позволит заметно повысить качество воздуха. В современной практике фитодизайна в интерьере помещений широко используются декоративные растения, так как они наряду с эстетическими качествами выполняют санитарно-гигиенические функции, благотворно влияя на экологию жилых и служебных помещений. Многие виды растений эффективно очищают воздух в помещениях. Движимые борьбой за выживание,

растения чутко улавливают отрицательные изменения состояния среды и приспосабливаются к ним. Адаптируясь к внешней ситуации, комнатные растения сами оказывают воздействие на собственное окружение. Создавая для себя благоприятные условия существования, они, тем самым, активно участвуют в поддержании необходимого уровня комфортности в помещениях. В процессе своей жизнедеятельности растения осуществляют детоксикацию вредных веществ различными способами. Одни вещества связываются цитоплазмой растительных клеток, благодаря чему становятся неактивными. Другие подвергаются превращениям в растениях и становятся нетоксичными, после чего включается метаболизм растительных клеток, который используется для нужд растения. Для того чтобы получить от комнатных растений максимальный эффект очистки воздуха, им необходимо обеспечить оптимальные условия существования, включающие: режим освещения, температуры, влажности, а также состав почвы. Особенно важно регулярно смывать пыль с растений. Эта процедура может повысить эффективность использования растений. В результате воздух в помещении может улучшиться в среднем на 40%, чем в тех помещениях, где растения отсутствуют. Используя растения в качестве естественных воздухоочистителей, следует учитывать, что увлажнённые листья поглощают газы в 2–3 раза интенсивнее сухих. Существует также прямая связь между температурой и способностью листьев к поглощению газов. При температуре более 25 °С интенсивность поглощения газа в среднем в 2 раза выше, чем при 13 °С. Следует принять во внимание, что для растений существует предел в насыщении определённым вредным веществом (например, аммиаком), после чего дальнейшая его переработка в корнях и листьях уменьшается или остается на неизменном уровне. Усиление целебных свойств эфирноносных растений (лавра, герани, розмарина, сантолина кипарисового) достигается при помощи биостимуляторов. Для этого в воду для полива добавляют гетероауксин и раствор глюкозы, аспирин. Корневая подкормка и опрыскивание листьев растворами таких микроэлементов, как медь и железо, способствуют увеличению скорости детоксикации фенолов. Если светолюбивые растения стоят в квартире дальше 1–1,5 м от окна, то их следует подсвечивать специальными лампами для растений. Ещё одно преимущество растений, находящихся в помещении – все они уменьшают сухость воздуха, которая присуща помещениям с центральным отоплением.

Наиболее популярными в озеленении интерьеров являются тропические и субтропические растения семейства Бромелиевых, Орхидных, Агавовых, Ароидных, Аралиевых, Аспарагусовых и др. Помимо широко известных тропических и субтропических видов в настоящее время в дизайне интерьера используются и ароматические растения. Применение этих видов обусловлено выделением в процессе жизнедеятельности данными растениями в окружающую среду биологически активных веществ – фитонцидов. Летучие фитонциды (аэрофолины) – это эфирные масла, терпеноиды и другие соединения, которые способны резко улучшать состав воздуха, снижать количество бактерий, грибов, вирусов и оказывать лечебный эффект. Отобранные в результате предварительного скрининга и адаптированные в интерьере растения со средоулучшающими свойствами обладают антисептическим, антиспазматическим, восстанавливающим и тонизирующим действиями [8, 9]. В настоящее время установлено, что фитонцидотерапия отдельных видов растений оказывает общеоздоровительное действие на организм человека, снижает уровень иммунной нагрузки на организм человека и вероятность заболевания, сокращает сроки выздоровления. Поэтому исследования по разработке аллелопатически активных фитокомпозиций для закрытых помещений с профилактическими и оздоравливающими свойствами, так называемых аэрофитотерапевтических модулей, являются актуальными и перспективными. Благодаря развитию современных агротехнологий культивирование фитокомпозиций стало возможным в офисных, производственных, оздоровительных помещениях и в обычных комнатных условиях. Однако основным лимитирующим фактором для ассортимента фитокомпозиций чаще всего является освещение. Из-за низкой освещенности и короткой продолжительности дня в осенне-зимние месяцы выращивание полноценных растений возможно только с применением источников искусственного света. В последние годы для системы освещения растений 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. И в то же время они потребляют минимум энергии и не оказывают вредное воздействие на человека.

Однако существует предположение, что узкоспектральный свет фитоламп может вызвать абиотический стресс у растений, а также существенно изменить в них интенсивность и направленность метаболических процессов [10]. Ранее в литературе было отражено, что в эфирноносных растениях, произрастающих в жестких условиях обитания, прекращается синтезирование полного набора мажорных компонентов эфирного масла и в составе продуцируемых растениями летучих органических соединений начинается доминирование ациклических соединений [11], способных трансформироваться в различные токсичные и опасные продукты – фитооксиданты.

Летучие выделения растений – эфирные масла (essential oils) – сложные смеси органических соединений, состоящие, в основном, из терпенов и их кислородсодержащих производных – терпеноидов [12]. Современная методология изучения состава сложных смесей летучих выделений растений основана на использовании инструментальных методов, в частности, основанных на газовой хроматографии [13], ядерном магнитном резонансе, ольфактометрии, масс-спектрологии [14], а также жидкостной хроматографии и капиллярном электрофорезе [15]. Практика изучения многокомпонентного состава эфирных масел существенно сложнее, чем анализ распространенных в природе смесей органических соединений [16, 17]. Это определяет необходимость разработки новых методов, направленных на идентификацию с количественной оценкой широкого спектра соединений в многокомпонентных смесях неизвестного состава. Разработка новых подходов и методов к исследованию природных носителей аромата и их применение для решения эколого-гигиенических проблем с оценкой химической безопасности их применения будет способствовать сохранению здоровья населения.

Целью работы являлись хромато-масс-спектрометрические исследования состава летучих выделений эфирноносных растений фитокомпозиции при использовании для искусственного освещения фитоламп для оценки химической безопасности их применения для оздоровления воздушной среды закрытых помещений.

Материал и методы

В фитомодуле, составленном с учётом разработок ВИЛАР [9], были использованы растения Melissa лекарственной (*Melissa officinalis* L.), котловника Мусина (*Nepeta mussinii* Spreng.), мяты колосистой (*Mentha spicata* L.), мяты перечной (*Mentha piperita* L.), пеларгонии крупнолистной (*Pelargonium grandiflorum* Willd.). Растения, высаженные в защищённый грунт (горшки) осенью 2016 года, выращивали при естественном освещении с регулярной подкормкой. Растения активно вегетировали, но при этом имели несколько вытянутые побеги и очень мелкие листья. В эксперименте растения фитомодуля получали в течение 1 сут. с дополнительным освещением красным (660 нм) и синим (400 нм) светом от светодиодных панелей компании «Фокус» модели ПС-2 (JCC-12).

Анализы выполнены хромато-масс-спектрометрическим методом, позволяющим идентифицировать и количественно определять с чувствительностью на уровне и ниже гигиенических нормативов широкий спектр органических веществ C_1 – C_{20} в воздухе с неизменным составом загрязняющих веществ с использованием хромато-масс-спектрометра Focus GC с DSQ II (США). Отбор проб проведен в свободном пространстве около растений фитомодуля до и после освещения растений узкоспектральным светом фитоламп. Отбор проб осуществлялся статической сорбцией летучих выделений растений на полимерный сорбент (Tenax TA, зернение 0,20–0,25 мм, удельная площадь сорбции 35 м²/г) с последующей термодесорбцией. Полученные результаты были обработаны статистически с использованием программы Microsoft Excel. В работе представлены усредненные результаты биологической и аналитической повторяемости. Ошибка данных не превышает допустимой погрешности ($p \leq 5\%$).

Для оценки опасности присутствия выявленных концентраций веществ использованы гигиенические нормативы веществ – ПДК_{м.р} в атмосферном воздухе населённых мест [18].

Результаты и обсуждение

Результаты определения обнаруженных органических веществ в воздухе оранжереи и их гигиенические нормативы приведены в таблице.

Как видно из таблицы, в составе летучих выделений растений фитомодуля, выращенных при естественном освещении (контроль), идентифицированы 26 органических соединения, суммарное содержание которых составило 0,105 мг/м³. Наибольший вклад в компонентный состав смеси вносили насыщенные углеводороды (36%). Вклад кислородсодержащих соединений, в том числе фенолов, составил 13%, альдегидов и циклических неароматических углеводородов – 12 и 11%, соответственно.

Суточная дозировка узкоспектральным светом фитоламп привела к росту суммарного содержания легколетучих выделений растениями фитомодуля в 3,5 раза, и оно составило 0,371 мг/м³. Идентифицировано 50 (включая изомеры) органических соединений, таким образом в составе смеси легколетучих выделений появились 24 соединения, ранее не фиксируемые в контроле. Так, терпеновые кислородсодержащие соединения, не обнаруженные в составе летучих соединений при естественном освещении, составили 8% от общего содержания. В то же время известно, что терпеновые углеводороды, несмотря на то, что относятся к веществам природного происхождения и малотоксичны, принадлежат к группе легкотрансформируемых соединений и при воздействии различных физико-химических факторов среды распадаются с образованием более токсичных и опасных соединений [19]. Наибольший вклад в компонентный состав внесла группа кислородсодержащих соединений (61%) с доминированием фенолов (19%), альдегидов (16%) и кетонов (12%). Вклад углеводородов составил 32%, большая часть которых была представлена насыщенными соединениями (13%). При этом содержание отдельных соединений увеличилось от 2 до 14 раз, наиболее значительно возросло содержание фенола (в 14 раз по сравнению с контролем), бензальдегида (в 10 раз) и ацетофенона (в 7 раз). Отметим также, что для более 50% идентифицированных веществ гигиенические нормативы не установлены, а следовательно, и опасность их присутствия в воздухе помещений для здоровья человека остается неучтенной.

Сопоставление содержания отдельных нормируемых компонентов смеси летучих органических выделений растениями фитомодуля с их гигиеническими нормативами показало, что

Основные компоненты смеси летучих органических соединений эфирноносных растений фитомодуля

| Соединение | Концентрация, мг/м ³ | | ПДК _{м.р.} , мг/м ³ | Соединение | Концентрация, мг/м ³ | | ПДК _{м.р.} , мг/м ³ |
|---|---------------------------------|--------------------------------------|---|---|---------------------------------|--------------------------------------|---|
| | при естественном освещении | после суточного освещения фитолампой | | | при естественном освещении | после суточного освещения фитолампой | |
| Углеводороды, в т.ч.: | 0,062 | 0,115 | – | фенолы | 0,014 | 0,071 | – |
| <i>насыщенные</i> | 0,038 | 0,047 | – | Фенол | 0,001 | 0,014 | 0,01 |
| Гексан | 0,016 | 0,009 | 60,0 | Ди-трет-бутилкрезол | 0,013 | 0,057 | – |
| Гептан и изомеры | 0,017 | 0,024 | ΣC ₆ -C ₁₀ = 50 | альдегиды | 0,012 | 0,060 | – |
| Октан и изомеры | 0,005 | 0,011 | | Гексаналь | 0,009 | 0,010 | 0,020 |
| Нонан | – | 0,003 | | Октаналь | – | 0,008 | 0,020 |
| <i>ненасыщенные</i> | 0,001 | 0,002 | | Нонаналь | – | 0,007 | 0,020 |
| 2,4-Диметилгептен-1 | 0,001 | 0,002 | н/у | Бензальдегид | 0,003 | 0,030 | 0,040 |
| <i>циклические неароматические</i> | 0,011 | 0,022 | | Фурфураль | – | 0,005 | 0,08 |
| Диметилциклопентаны | 0,004 | 0,010 | н/у | кетоны | 0,005 | 0,044 | – |
| Циклогексан | 0,002 | 0,003 | 1,4 | 2-Бутанон | 0,001 | 0,003 | 0,100 |
| Метилциклогексан | – | 0,009 | н/у | 2-Октанон | – | 0,003 | н/у |
| Метилциклогексен | 0,005 | – | н/у | 3-Гексен-2-он | 0,001 | 0,008 | н/у |
| <i>терпеновые</i> | 0,004 | 0,021 | – | Циклогексанон | – | 0,006 | н/у |
| α-Пинен | 0,003 | 0,005 | н/у | Ацетофенон | 0,003 | 0,024 | 0,010 |
| β-Пинен | – | 0,001 | н/у | <i>сложные эфиры</i> | 0,003 | 0,015 | – |
| Карен | – | 0,002 | н/у | Пентилнонаноат | – | 0,012 | н/у |
| п-Цимол | – | 0,002 | н/у | Октилбензоат | 0,003 | – | н/у |
| Лимонен | 0,001 | 0,009 | н/у | 2-Гидроксипропилметакрилат | – | 0,003 | н/у |
| γ-Терпинен | – | 0,002 | н/у | <i>пираны и фураны</i> | – | 0,008 | – |
| <i>ароматические</i> | 0,007 | 0,023 | – | 5,6-Дигидро-2-метилпиран | – | 0,003 | н/у |
| Бензол | 0,002 | 0,007 | 0,3 | 2,4-Диметилфуран | – | 0,005 | н/у |
| Толуол | 0,003 | 0,010 | 0,6 | <i>терпеновые кислородсодержащие</i> | – | 0,029 | – |
| Этилбензол | – | 0,002 | 0,04 | Ментол | – | 0,001 | н/у |
| м,п-Ксилолы | 0,001 | – | 0,25 | Борнеол | – | 0,002 | н/у |
| о-Ксилол | 0,001 | 0,001 | 0,3 | 2,5-Норборнандиол | – | 0,009 | н/у |
| Метилэтилбензол | – | 0,001 | н/у | Карвон (п-мента-6,8-диен-2-он) | – | 0,017 | н/у |
| Триметилбензол | – | 0,002 | 0,04 | <i>другие кислородсодержащие</i> | 0,002 | 0,006 | – |
| <i>другие углеводороды</i> | 0,001 | – | – | 2-Метил-1,3-диоксалан | 0,002 | 0,006 | н/у |
| Триметил-3-фенилиндан | 0,001 | – | н/у | Азотсодержащие соединения: | 0,001 | 0,005 | – |
| Кислородсодержащие соединения, в т.ч.: | 0,042 | 0,262 | – | Нитропиразол | 0,001 | 0,003 | н/у |
| <i>спирты</i> | 0,006 | 0,029 | – | Бензонитрил | – | 0,002 | н/у |
| Бутанол | 0,004 | 0,012 | 0,1 | Всего идентифицировано соединений | 26 | 46 | – |
| 2-Метил-2-бутен-1-ол | 0,002 | 0,011 | 0,075 | Суммарная концентрация, мг/м³ | 0,105 | 0,382 | – |
| Фурфуриловый спирт | – | 0,006 | 0,1 | | | | |

содержание таких альдегидов, как гексаналь и бензальдегид, составило 50 и 75% от их ПДК соответственно. А содержание кетона – ацетофенон – превышало ПДК в 2,4 раза. Поэтому применение узкоспектрального света фитоламп при всех положительных моментах для растений требует тщательного химико-аналитического контроля качественного и количественного компонентного состава летучих выделений эфирноносных растений фитомодулей и определения оптимальных условий (насыщенность растений в помещении, объём помещения, наличие кондиционирующих, озонирующих, ионизирующих установок и др.) с целью обеспечения химической безопасности их использования для здоровья человека.

Несомненно, что 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 имеют 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, фенолы), относящиеся к токсичным группам химических веществ.

Выводы

1. В составе летучих выделений растений фитомодуля, выращенных при естественном освещении, идентифицировано 26 органических соединений. Наибольший вклад в компонентный состав смеси вносили насыщенные углеводороды (36%). Вклад кислородсодержащих соединений, в том числе фенолов, составлял 13%, альдегидов и циклических неароматических углеводородов – 12 и 11%, соответственно.

2. Несмотря на полезность дополнительного искусственного освещения для растений, установлены рост количества веществ с образованием новых соединений и увеличение суммарного содержания идентифицированных веществ. Возросло содержание токсичных фенола (в 14 раз), бензальдегида (в 10 раз) и ацетофенона (в 7 раз).

3. Наибольшую гигиеническую значимость имела специфическая для объектов природного происхождения группа тер-

пеновых углеводов, которая, в свою очередь, относится к группе легкотрансформируемых веществ, а также группы кислородсодержащих соединений (альдегиды, кетоны, фенолы, эфиры), относящиеся к токсичным и опасным группам химических веществ.

4. Более 50% выявленных соединений не имели гигиенических нормативов, оценить их опасность или безопасность для здоровья человека не представляется возможным. Применение эфирных растений в закрытых помещениях требует микро-аналитического контроля состава летучих выделений и установления оптимальных условий (насыщенность растений в помещении, объём помещения, наличие кондиционирующих, озонирующих, ионизирующих и других установок, температурный режим, влажность и др.) с целью обеспечения химической безопасности для здоровья человека.

Финансирование. Исследование не имело спонсорской поддержки.
Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Литература (п.п. 10, 11, 13 см. References)

1. Губернский Ю.Д., Дмитриев М.Т. Атмосферный озон и ионы – основные компоненты свежести воздуха. *Природа*. 1976; (9): 26–31.
2. Малышева А.Г. Летучие органические соединения в воздушной среде помещений жилых и общественных зданий. *Гигиена и санитария*. 1999; 88(1): 43–6.
3. Малышева А.Г., Рахманин Ю.А. *Физико-химические исследования и методы контроля веществ в гигиене окружающей среды*. СПб.: Проффессионал; 2012.
4. Малышева А.Г., Гуськов А.С., Козлова Н.Ю., Губернский Ю.Д., Растянинов Е.Г., Беззубов А.А. Аналитические аспекты гигиенической оценки ионизации воздуха общественных помещений. *Гигиена и санитария*. 2006; (4): 32–7.
5. Жученко А.А., Труханов А.И. *Средоулучшающие фитотехнологии в северных мегаполисах*. М.: Красанд; 2009.
6. Жученко А.А. *Мобилизация мировых генетических ресурсов и средоулучшающие фитотехнологии*. М.; 2007.
7. Малышева А.Г., Рахманин Ю.А., Растянинов Е.Г., Козлова Н.Ю., Артюшина И.Ю., Шохин В.А. Хромато-масс-спектрометрическое исследование летучих выделений растений для оценки эффективности и химической безопасности применения средоулучшающих фитотехнологий. *Гигиена и санитария*. 2016; 95(6): 501–7.
8. 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.
9. Быков В.А., Рабинович А.М., Черкасов А.В., Свистунова Н.Ю. Улучшение среды обитания и здоровья человека с помощью полезных свойств растений. В кн.: *Материалы научно-практической конференции «Проблемы озеленения крупных городов»*. М.; 2008: 51–3.
10. Гуринович Л., Пучкова Т. *Эфирные масла: химия, технология, анализ, применение*. М.: Школа косметических химиков; 2005.
11. Шайдуллина Г.М. Хромато-масс-спектрометрический анализ при производстве ароматизирующих композиций с использованием эфирных масел мяты. *Пищевая промышленность*. 2005; (5): 16–9.
12. Бёккер Ю. *Хроматография. Инструментальная аналитика: методы хроматографии и капиллярного электрофореза*. Пер. с нем. М.: Техносфера; 2009.
13. Арутюнов Ю.И., Кудряшов С.Ю., Онучак Л.А., Платонов И.А. Газохроматографический анализ смесей, содержащих неизвестные компоненты. *Вестник Самарского государственного университета*. 2005; (5): 137–62.
14. Ташлицкий В.Н., Царев Д.А., Казьмина Э.М. ACD/AutoChrom: Разработка хроматографического метода разделения сложных смесей. Разработка и регистрация лекарственных средств. 2013; (2): 38–42.
15. Малышева А.Г. Закономерности трансформации органических соединений в окружающей среде. *Гигиена и санитария*. 1997; 86(3): 5–10.

References

1. Gubernskiy Yu.D., Dmitriev M.T. Atmospheric ozone and ions – the main components of fresh air. *Priroda*. 1976; (9): 26–31. (in Russian)
2. Malysheva A.G. Volatile organic compounds in the air of residential and public premises. *Gigiena i sanitariya*. 1999; 88(1): 43–6. (in Russian)
3. Malysheva A.G., Rakhmanin Yu.A. *The Physical and Chemical Studies and Methods of Substances Control in the Environmental Hygiene [Fiziko-khimicheskie issledovaniya i metody kontrolya veshchestv v gigiene okruzhayushchey sredy]*. St. Petersburg: Professional; 2012. (in Russian)
4. Malysheva A.G., Gus'kov A.S., Kozlova N.Yu., Gubernskiy Yu.D., Rastyannikov E.G., Bezzubov A.A. The analytical aspects of the hygienic assessments of air ionization in public premises. *Gigiena i sanitariya*. 2006; (4): 32–7. (in Russian)
5. Zhuchenko A.A., Trukhanov A.I. *The Environmental Improving Phyto-based Technologies in Northern Megacities [Sredouluchshayushchie fitotekhnologii v severnykh megapolisakh]*. Moscow: Krasand; 2009. (in Russian)
6. Zhuchenko A.A. *Mobilization of the World's Genetic Resources and Environmental improvement Phytotechnology [Mobilizatsiya mirovykh geneticheskikh resursov i sredouluchshayushchie fitotekhnologii]*. Moscow; 2007. (in Russian)
7. 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. *Gigiena i sanitariya*. 2016; 95(6): 501–7. (in Russian)
8. 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*. 2008; (6): 12–4. (in Russian)
9. Bykov V.A., Rabinovich A.M., Cherkasov A.B., Svistunova N.Yu. Improvement of the environment and human health with the help of useful properties of plants. In: *Materials of the Scientific-Practical Conference «Problems of Greening Large Cities» [Materialy nauchno-prakticheskoy konferentsii «Problemy ozeleneniya krupnykh gorodov»]*. Moscow; 2008: 51–3. (in Russian)
10. Olle M., Viršilė A. The effects of light emitting diode lighting on greenhouse plant grows and quality. *Agric. Food Sci*. 2013; 22(2): 223–34.
11. Gouyon P.H., Vernet P., Guillerme J.L., Valdeyron G. Polymorphisms and environment: the adaptive value of the oil polymorphisms in *Thymus vulgaris* L. *Heredity*. 1986; 57: 59–66.
12. Gurinovich L., Puchkova T. *Essential Oils: Chemistry, Technology, Analysis, Application [Efirnye masla: khimiya, tekhnologiya, analiz, primeneniye]*. Moscow: Shkola kosmeticheskikh khimikov; 2005. (in Russian)
13. 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.
14. Shaydullina G.M. Chromato-mass-spectrometric analysis in the production of aromatic-forming compositions using essential oils of mint. *Pishchevaya promyshlennost'*. 2005; (5): 16–9. (in Russian)
15. Böcker J. *Chromatographie Instrumentelle Analytik mit Chromatographie und Kapillarelektrophorese*. Würzburg, Germany: Vogel Industrie Medien GmbH & Co KG; 1997. (in German)
16. Arutyunov Yu.I., Kudryashov S.Yu., Onuchak L.A., Platonov I.A. Gas-chromatographic analysis of mixtures containing unknown components. *Vestnik Samarskogo gosudarstvennogo universiteta*. 2005; (5): 137–62. (in Russian)
17. Tashlitskiy V.N., Tsarev D.A., Kaz'mina E.M. ACD/AutoChrom: Development of a chromatographic method for separation of complex mixtures. *ACD. Razrabotka i registratsiya lekarstvennykh sredstv*. 2013; (2): 38–42. (in Russian)
18. Malysheva A.G. Regularities of the transformation of organic compounds in the environment. *Gigiena i sanitariya*. 1997; 86(3): 5–10. (in Russian)

Поступила 15.02.17
Принята к печати 05.07.17