

УДК 574.5+(581.19: 547.9+543.42)

ПЕРВЫЕ СВЕДЕНИЯ О НИЗКОМОЛЕКУЛЯРНОМ МЕТАБОЛОМЕ *Lobelia dortmanna* (Campanulaceae, Magnoliophyta), ПРОИЗРАСТАЮЩЕМ НА СЕВЕРО-ЗАПАДЕ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

© 2024 г. А. М. Чернова^{а, *}, Д. А. Филиппов^а, Е. А. Курашов^{а, b}

^аИнститут биологии внутренних вод им. И.Д. Папанина Российской академии наук,
пос. Борок, Некоузский р-н, Ярославская обл., Россия

^bИнститут озероведения Российской академии наук,
обособленное подразделение СПб ФИЦ РАН, Санкт-Петербург, Россия

*e-mail: nuphar@mail.ru

Поступила в редакцию 16.07.2023 г.

После доработки 01.11.2023 г.

Принята к публикации 21.11.2023 г.

Методом газовой хроматографии/масс-спектрометрии впервые исследован компонентный состав низкомолекулярного метаболома (НМ) реликтового водного макрофита, занесенного в Красные книги Российской Федерации и Республики Беларусь, *Lobelia dortmanna* L. (Campanulaceae, Magnoliophyta), произрастающей на северо-западе Вологодской обл. Выявлено 127 летучих низкомолекулярных органических соединений, включая 13 мажорных соединений, достигающих 77.23% общей концентрации летучих низкомолекулярных органических соединений (198.75 мкг/г сухой массы растения). В составе НМ преобладали карбоновые кислоты и углеводороды. Присутствие в составе НМ *L. dortmanna* большого числа биологически активных метаболитов с высокой концентрацией может свидетельствовать о значительном влиянии данного растения на гидробиоценозы литоральной зоны олиготрофных озер. Дальнейшие исследования НМ водных макрофитов олиготрофных озер позволят оценить фоновые характеристики природной среды для более эффективного мониторинга экологического состояния водных объектов Северо-Запада РФ и рационального использования их биологических ресурсов.

Ключевые слова: *Lobelia dortmanna*, лобелия Дортмана, эфирное масло, низкомолекулярный метаболом, хромато-масс-спектрометрия, летучие низкомолекулярные органические соединения, олиготрофные озера

DOI: 10.31857/S0320965224040163, **EDN:** YINTRH

Род лобелия *Lobelia* L. (Campanulaceae, Magnoliophyta) насчитывает ~300 видов растений, распространенных почти по всему миру, прежде всего, в субтропическом поясе и несколько меньше — в зонах умеренного климата. Представители рода являются ценным природным ресурсом, поскольку растения *Lobelia* обладают, в частности, лекарственными свойствами (Cocks, Moller, 2002; Joshi et al., 2011; Tamboli et al., 2012; Chen et al., 2014; Vigneshwaran et al., 2014). Из наземных представителей *Lobelia* выделяют сапонины, флавоноиды, фенолы, фитостеролы, белки, дубильные вещества и >20 алкалоидных соединений, самые важные из которых лобелин, лобеланин, лобеланидин, лелобанидин, лобинин, лобинанидин (Bálványos et al., 2004; Glover et al.,

2010; Мазнев, 2012; Stolom et al., 2016; Folquitto et al., 2019). В то же время компонентный состав НМ единственного в роде водного растения *Lobelia dortmanna* L. почти не изучен. Имеются лишь отрывочные сведения о содержании следовых концентраций алкалоидов в растениях (Калашников, 1939). Известно, что между корнями *Lobelia dortmanna* L. и сообществами микроорганизмов в донных отложениях образовались специфические функциональные отношения, позволяющие благополучно существовать обоим компонентам в литоральной зоне олиготрофных озер (Lewicka-Rataj et al., 2018).

L. dortmanna — реликтовый атлантический вид, обитатель олиготрофных вод, отмечен в северной Европе, Великобритании, Скандинавии, Финляндии, Прибалтике, Беларуси, а также в умеренном поясе Северной Америки и европей-

Сокращения: НМ — низкомолекулярный метаболом, ЛНОС — летучие низкомолекулярные органические соединения.

ской части России; считается редким исчезающим видом (Farmer, Spence, 1987; Красная..., 2008; Филиппов и др., 2016).

В Вологодской обл. *L. dortmanna* встречается обычно в малых (как правило, олиготрофных, непроточных или слабо проточных) озерах небольшими группами (хотя максимально зафиксированная площадь сообществ с участием лобелии достигает 22 га), большей частью в мелководных хорошо прогреваемых заливах. Зарастание озер с лобелией обычно прибрежное, прибрежно-фрагментарное или сплошное подводное. В Вологодской обл. лобелию регистрировали, в основном, на мелководных участках озер (0.1–0.8 м), однако, отмечали и на большей глубине (до 2.8–3.5 м) (Филиппов и др., 2016).

Цель работы – получить данные о компонентном составе НМ и возможной биологической активности наиболее значимых летучих низкомолекулярных органических соединений (ЛНОС) *L. dortmanna*, произрастающей в олиготрофных местообитаниях Северо-Запада Российской Федерации.

Растительный материал собран в середине июня 2013 г. на оз. Янсорское в Вытегорском р-не Вологодской обл. (61.1039° с.ш., 37.9132° в.д.). Это малое озеро площадью 1.6 км², из которого берет начало р. Янсорка (бассейн Верхней Волги). Растения собраны в заливе, на мелководье глубиной 0.4–0.7 м, на песчано-мелкокаменистом с наилком грунте в лобелиево-тростниковом сообществе (ассоциация *Lobelieto dortmannae-Phragmitetum australis*). Проективное покрытие лобелии достигало 15–25% всего фитоценоза, растения находились на стадии вегетации. В сообществе, помимо *Lobelia dortmanna* и *Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex Steud., зафиксированы единичные экземпляры *Carex rostrata* Stokes и *Isoetes echinospora* Durieu (Philippov et al., 2022).

Собранный для анализа растительный материал состоял из вегетативных розеточных побегов и корневой части (совокупности придаточных корней). Растения тщательно промывали от имеющихся загрязнений и обрабатывали в соответствии с ГОСТ 31412-2012¹ и сушили до воздушно-сухого состояния без доступа прямых солнечных лучей при комнатной температуре и влажности ≤ 75%.

Перед гидродистилляцией растительный материал (несколько экземпляров растений) измельчали до порошкообразного состояния в лабораторном блендере для получения интегральной пробы, из которой брали навеску массой 4.96 г для

дальнейшего исследования. Эфирное масло лобелии получали на приборе Клевенджера методом паровой гидродистилляции в течение 6 ч. Полученный дистиллят экстрагировали 5 мл гексана. Гексановый экстракт для дальнейшего хромато-масс-спектрометрического анализа хранили в плотно закрытых пузырьках из темного стекла в морозильной камере при температуре –18°С.

Состав ЛНОС эфирного масла *L. dortmanna* выявляли в гексановых экстрактах на хромато-масс-спектрометрическом комплексе POLARISQ (ThermoElectronCorporation) с колонкой TRACETMTR-5MSGCColumn 30 м × 0.25 мм с фазой ID 0.25 мкм в Санкт-Петербургском государственном университете (г. Санкт-Петербург) на кафедре экологической безопасности и устойчивого развития регионов. Газом-носителем служил гелий. Напряжение ионизации было 70 эВ. Масс-спектры снимали в режиме сканирования по полному диапазону масс (30–580 m/z) в программированном режиме температур (40° – 3 мин, 5°/мин до 80° – 3 мин, 10°/мин до 150° – 3 мин, 15°/мин до 240° – 10 мин) с последующей пошаговой обработкой хроматограмм. Выявленные низкомолекулярные органические соединения идентифицировали с помощью библиотек масс-спектров “NIST-2014” и “Wiley”. Для более точной идентификации применяли линейные индексы удерживания (Ткачев, 2008), полученные с использованием стандартов алканов C7 – C30. Для количественного анализа применяли сертифицированные эталонные материалы Мерк декафторбензофенона и бензофенона (номера CAS 119-61-9 и 853-30-4) в качестве внутренних стандартов.

В составе НМ *L. dortmanna* обнаружено 127 соединений, из них 116 идентифицированы (Доп. мат., табл. S1). Среди выявленных ЛНОС преобладали карбоновые кислоты, достигающие ~50% суммарной концентрации веществ (табл. 1). Второе место по значимости занимали углеводороды (29.27%), третье – кетоны (7.29%). На остальные группы соединений приходилось 13.5% (табл. 1).

Среди ЛНОС *L. dortmanna* 13 соединений были мажорными (>1% по содержанию): гексакановая кислота (hexadecanoic acid) (34.4%), пентакозан (pentacosane) (11.92%), циклогексадец-8-ен-1-он (cyclohexadec-8-en-1-one) (4.75%), генэйкозан (hencosane) (4.52%), линолевая кислота (linoleic acid) (4.07%), тетрадекановая кислота (tetradecanoic acid) (3.46%), α-линоленовая кислота (α-linolenic acid) (3.36%), 2,3-диметилгептан (2,3-dimethylheptane) (3.08%), 3,5-диметилгептан (3,5-dimethylheptane) (3.06%), пальмитолеиновая кислота (palmitoleic acid) (2.10%), трикозан (tricosane) (1.39%), (Z)-докоз-13-ен-1-ол((Z)-docos-13-en-1-ol) (1.34%), фуран-2-карбальдегид (furan-2-carbaldehyde) (1.12%). На их долю в сумме

¹ ГОСТ 31412-2010. Водоросли, травы морские и продукция из них. Методы определения органолептических и физических показателей. М.: Стандартинформ, 2011. 3+8 с. [= GOST 31412-2010. Seaweeds, sea grasses and products of their processing. Methods for determination of sensory and physical characteristics]. <https://docs.cntd.ru/document/1200082727>

Таблица 1. Группы ЛНОС эфирного масла *L. dortmanna*

Группа соединений	%	C _{ср}
Ароматические углеводороды	2.39	4.76
Спирты	3.00	5.97
Альдегиды	3.18	6.32
Углеводороды	29.06	57.76
Карбоновые кислоты	49.59	98.56
Эфиры	1.79	3.55
Неидентифицированные	1.04	2.06
Кетоны	7.26	14.44
Полифункциональные	1.58	3.14
Азотсодержащие	0.083	0.16
Хлор- или бромсодержащие	1.02	2.03
Всего	100.00	198.75 мкг/г

Примечание. % – процентное содержание группы в сумме всех веществ эфирного масла; C_{ср} – концентрация соединений группы в сухом растении, мкг/г сухой массы растения.

приходилось 77.23% общей концентрации ЛНОС. Пять из этих соединений – жирные кислоты с суммарным содержанием 47.39% (94.188 мкг/г сухой массы растения). Всего в составе НМ *L. dortmanna* выявлено 11 жирных кислот. Высокое содержание жирных кислот в процентном отношении и по абсолютной концентрации, а также их значительное число свидетельствуют, что исследуемое растение обитает в чистом олиготрофном водоеме. Такую закономерность ранее отмечали для других водных макрофитов (Курашов и др., 2018; Kurashov et al., 2018).

Основной особенностью выявленных жирных кислот, имеющей экологическое значение, можно считать их способность ограничивать/подавлять в процессе аллелопатического взаимодействия развитие фитопланктона, включая цианобактерий (Nakai et al., 2012; Wang et al., 2014; Kurashov et al., 2021; Zhu et al., 2021). Не исключено, что на фитообрастания и разнообразную микобиоту погруженных в воду фрагментов тростника (Воронин, Копытина, 2023), с которым водная лобелия часто образует растительные ассоциации, жирные кислоты оказывают активное биологическое влияние. Кроме того, жирные кислоты могут быть элементом химической защиты против фитофагов. Обнаружено, что тетрадеконовая кислота проявляет репеллентную активность против комаров *Aedes aegypti* (Linn.) и *Culex quinquefasciatus* (Say.) (Insecta: Diptera: Culicidae) (Sivakumar et al., 2011). Жирные кислоты могут иметь значение с точки зрения их использования в медицине и фармакологии, пищевой промышленности; они считаются ценным возобновляемым источником для промышленных химикатов и биотоплива (Zhao et al., 2004; Barceló-Coblijn, Murphy, 2009; Wu et al., 2012; Kim et al., 2014; Fukuda et al., 2015; Merino et al., 2016; Rad et al., 2016; Zhou et al., 2017).

Примечательно нахождение в составе ЛНОС лобелии водной бром- и хлорсодержащих соединений, в частности 2-хлоро-1,4-диметокси-нафталена (2-chloro-1,4-dimethoxynaphthalene) (0.06%) и 1-бром-3-метилбутана (1-bromo-3-methylbutane) (0.97%). Подобные соединения обладают определенной токсичностью и, возможно, могут рассматриваться как элементы химической защиты *L. dortmanna*. Кроме того, 1-бром-3-метилбутан (1-bromo-3-methylbutane) способен участвовать в синтезе гибридов кумаринов и халконов, обладающих разнообразными сильными биологическими активностями (Kang et al., 2018).

Также интересно обнаружение у лобелии водной некоторых соединений, ранее не обнаруженных у водных растений, например, моноамилфталат (monoamylphthalate) и жирная кислота 2-этилгексановая кислота (2-ethylhexanoic acid). Относительно последней известно, что она опасна для водных организмов² и, таким образом, ее синтез лобелией можно рассматривать как защитную реакцию против различных растительных гидробионтов и патогенов. Ранее данную кислоту находили у наземных растений *Theobroma cacao* L. и *Cordylandra renggerioides* Planchon & Triana (Erickson et al., 1987; Nogueira et al., 2001).

Происхождение и роль моноамилфталата (содержание 0.762 мкг/г сухой массы растения) неясна, является ли это соединение метаболитом растения или аккумулировано из окружающей среды. Однако, последнее маловероятно, поскольку при полученных в экспериментах значениях фактора биоконцентрации моноалкилфталатных эфиров растениями (1.7–2.5) (Sun et al., 2015) концентрация моноамилфталата в воде озера должна быть ~1.5 мг/л. Такое предположение вряд ли реалистично в отношении олиготрофного озера на территории особо охраняемой природной территории в Вытегорском р-не Вологодской обл. в отсутствии видимых источников загрязнения.

Как и у наземных видов рода (Joshi et al., 2011; Stolom et al., 2016), в составе НМ лобелии водной большое значение имеют углеводороды, в том числе относящиеся к терпенам и терпеноидам. Однако, в отличие от наземных видов рода у *L. dortmanna* преобладали карбоновые кислоты, что, по-видимому, связано со спецификой обитания в водной среде чистых олиготрофных водоемов, это подтверждают более ранние наблюдения (Курашов и др., 2018).

Для наземных представителей рода (*L. chinensis* L., *L. davidii* Franch., *L. flaccida* (C. Presl) A.DC., *L. inflata* L., *L. sessilifolia* Lamb., *L. trigona* Roxb.) выявлено присутствие многих биологически ак-

² 2-Этилгексановая кислота. 2018. [Электронный ресурс]. Дата обращения: 25.06.2023. https://www.ilo.org/dyn/icsc/showcard.display?p_lang=ru&p_card_id=0477&p_version=2

тивных соединений и наличие целого ряда биологических активностей и фармакологических свойств: мочегонное, желчегонное, возбуждение дыхательного центра, способность нейтрализовать яды, ингибирование альфа-глюкозидазы и снижение транспорта глюкозы через кишечный эпителий, анестезирующие свойства, антибактериальные и противовоспалительные свойства, а также способность проявлять противораковую активность (Ishimaru et al., 1991, 1994; Shibano et al., 2001; Bálványos et al., 2004; Kuo et al., 2011; Chen et al., 2014; Rex et al., 2015). Такие особенности наземных *Lobelia* позволили использовать их в народной медицине (Stolom et al., 2016; Alamgir, 2018). Не исключено, что исследованная нами водная *L. dortmannia* может обладать подобными свойствами. Спирты, альдегиды и кетоны, выявленные среди ЛНОС лобелии, также относятся к биологически активным соединениям (Kurashov et al., 2014).

Суммарное содержание ЛНОС у *L. dortmannia* довольно высокое (>198 мкг/г сухой массы растения) и наиболее активной с экологической точки зрения группы карбоновых кислот (98.56 мкг/г сухой массы растения), что может свидетельствовать о значительном влиянии метаболитов лобелии на гидробиоценозы тех водоемов, где это растение развивается в достаточном количестве, как, например, в исследованном нами оз. Янсорское.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Впервые исследован компонентный состав НМ представителя флоры олиготрофных озер реликтовой *Lobelia dortmannia* L. (Campanulaceae, Magnoliophyta). Выявлен компонентный состав ЛНОС ее НМ. Присутствие в составе НМ *L. dortmannia* большого числа биологически активных метаболитов с высокой концентрацией может свидетельствовать о значительном влиянии данного растения на гидробиоценозы литоральной зоны тех олиготрофных озер, где доля лобелии в растительных сообществах сравнительно высока. Необходимы дальнейшие исследования НМ водных макрофитов олиготрофных озер (ценного возобновляемого ресурса), которые позволят оценить фоновые характеристики природной среды для более эффективного мониторинга экологического состояния водных объектов Северо-Запада Российской Федерации и рационального использования их биологических ресурсов.

ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Дополнительный материал (Приложение, табл. S1) публикуется только в электронном формате на сайтах <https://link.springer.com> и <https://www.elibrary.ru>.

Таблица S1. Компонентный состав эфирного масла *Lobelia dortmannia* L.

ФИНАНСИРОВАНИЕ

Полевые работы и подготовка проб выполнены в рамках госзадания Института биологии внутренних вод им. И.Д. Папанина РАН (№ 124032100076-2), анализ материала и написание статьи – за счет гранта Российского научного фонда № 22-24-00658, <https://rscf.ru/project/22-24-00658РНФ>.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Воронин Л.В., Копытина Н.И. 2023. Микобиота отмерших фрагментов тростника, погруженных в воду (Ярославская обл., Россия) // Биология внутр. вод. № 1. С. 20. <https://doi.org/10.31857/S0320965223010199>
- Калашиников В.П. 1939. О содержании алкалоидов в культивируемых и дикорастущих видах лобелии // Фармация. № 2–3. С. 24.
- Красная книга Российской Федерации (растения и грибы). 2008. М.: Тов-во науч. изданий КМК.
- Курашов Е.А., Крылова Ю.В., Егорова А.А. и др. 2018. Перспективы использования низкомолекулярного метаболома водных макрофитов для индикации экологического состояния водных экосистем // Вода: химия и экология. № 1–3. С. 68.
- Мазнев Н.И. 2012. Высокоэффективные лекарственные растения. Большая энциклопедия. М.: Эксмо.
- Качев А.В. 2008. Исследование летучих веществ растений. Новосибирск: Издательско-полиграфическое предприятие “Офсет”.
- Филиппов Д.А., Бобров Ю.А., Чхобадзе А.Б., Левашов А.Н. 2016. *Lobelia dortmannia* (Lobeliaceae) в Вологодской области // Вестн. Санкт-Петербург. ун-та. Сер. 3. Биология. Вып. 1. С. 84. <https://doi.org/10.21638/spbu03.2016.106>
- Alamgir A.N.M. 2018. Therapeutic use of medicinal plants and their extracts: V. 2. Phytochemistry and bioactive compounds. Springer Int. Publ. AG. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-92387-1>
- Bálványos I., Kursinszki L., Bányai P., Szöke É. 2004. Analysis of polyacetylenes by HPLC in hairy root cultures of *Lobelia inflata* cultivated in bioreactor // Chromatographia. V. 60. P. 235. <https://doi.org/10.1365/s10337-004-0188-x>
- Barceló-Coblijn G., Murphy E.J. 2009. Alpha-linolenic acid and its conversion to longer chain n–3 fatty acids: Benefits for human health and a role in maintaining tissue n–3 fatty acid levels // Progress in Lipid Res. V. 48. № 6. P. 355. <https://doi.org/10.1016/j.plipres.2009.07.002>
- Chen M.-W., Chen W.-R., Zhang J.-M. et al. 2014. *Lobelia chinensis*: chemical constituents and anticancer activity perspective // Chin. J. Nat. Med. V. 12. № 2. P. 103. [https://doi.org/10.1016/S1875-5364\(14\)60016-9](https://doi.org/10.1016/S1875-5364(14)60016-9)

- Cocks M.L., Moller V. 2002. Use of indigenous and indigenized medicines to enhance personal well-being: a South African case study // Soc. Sci. Med. V. 54. № 3. P. 387. [https://doi.org/10.1016/s0277-9536\(01\)00037-5](https://doi.org/10.1016/s0277-9536(01)00037-5)
- Erickson B.J., Young A.M., Strand M.A., Erickson E.H. 1987. Pollination biology of *Theobroma* and *Herrania* (Sterculiaceae): II. Analyses of floral oils // Insect Sci. and Its Appl. V. 8. № 3. P. 301. <https://doi.org/10.1017/S1742758400005282>
- Farmer A.M., Spence D.H.N. 1987. Environmental control of the seasonal growth of the submersed aquatic macrophyte *Lobelia dortmanna* L. // New Phytol. V. 106. № 2. P. 289. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.1987.tb00144.x>
- Folquitto D.G., Swiech J.N.D., Pereira C.B. et al. 2019. Biological activity, phytochemistry and traditional uses of genus *Lobelia* (Campanulaceae): A systematic review // Fitoterapia. V. 134. P. 23. <https://doi.org/10.1016/j.fitote.2018.12.021>
- Fukuda H., Takeshima F., Akazawa Y. et al. 2015. Mo 1694 Potential role of palmitoleate in inflammatory bowel disease // Gastroenterology. V. 148. № 4. Suppl. 1. S. 687. [https://doi.org/10.1016/S0016-5085\(15\)32324-6](https://doi.org/10.1016/S0016-5085(15)32324-6)
- Glover E.D., Rath J.M., Sharma E. et al. 2010. A multi-center phase 3 trial of lobeline sulfate for smoking cessation // Am. J. Health Behav. V. 34. № 1. P. 101. <https://doi.org/10.5993/ajhb.34.1.12>
- Ishimaru K., Yonemitsu H., Shimomura K. 1991. Lobetyolin and lobetiolfom hairy root culture of *Lobelia inflata* // Phytochemistry. V. 30. № 7. P. 2255. [https://doi.org/10.1016/0031-9422\(91\)83624-T](https://doi.org/10.1016/0031-9422(91)83624-T)
- Ishimaru K., Arakawa H., Yamanaka M., Shimomura K. 1994. Polyacetylenes in *Lobelia sessilifolia* hairy roots // Phytochemistry. V. 35. № 2. P. 365. [https://doi.org/10.1016/S0031-9422\(00\)94765-4](https://doi.org/10.1016/S0031-9422(00)94765-4)
- Joshi S., Mishra D., Bisht G., Khetwal K.S. 2011. Essential oil composition and antimicrobial activity of *Lobelia pyramidalis* Wall. // EXCLI. J. V. 10. P. 274.
- Kang L., Gao X.-H., Liu H.-R. et al. 2018. Structure-activity relationship investigation of coumarin-chalcone hybrids with diverse side-chains as acetylcholinesterase and butyrylcholinesterase inhibitors // Mol. Diversity. V. 22. P. 893. <https://doi.org/10.1007/s11030-018-9839-y>
- Kim K.-B., Nam Y.A., Kim H.S. et al. 2014. α -Linolenic acid: Nutraceutical, pharmacological and toxicological evaluation // Food and Chem. Toxicol. V. 70. P. 163. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2014.05.009>
- Kuo P.-Ch., Hwang T.-L., Lin Y.-T. et al. 2011. Chemical constituents from *Lobelia chinensis* and their anti-virus and anti-inflammatory bioactivities // Arch. Pharm. Res. V. 34. № 5. P. 715. <https://doi.org/10.1007/s12272-011-0503-7>
- Kurashov E.A., Krylova J.V., Mitrukova G.G., Chernova A.M. 2014. Low-molecular-weight metabolites of aquatic macrophytes growing on the territory of Russia and their role in hydroecosystems // Contemp. Probl. Ecol. V. 7. № 4. P. 433. <https://doi.org/10.1134/S1995425514040064>
- Kurashov E.A., Mitrukova G.G., Krylova J.V. 2018. Interannual variability of low-molecular metabolite composition in *Ceratophyllum demersum* (Ceratophyllaceae) from a floodplain lake with a changeable trophic status // Contemp. Probl. Ecol. V. 11. № 2. P. 179. <https://doi.org/10.1134/S1995425518020063>
- Kurashov E., Krylova J., Protopopova E. 2021. The Use of Allelochemicals of Aquatic Macrophytes to Suppress the Development of Cyanobacterial “Blooms” // Plankton Communities. L.: Intech Open. <https://doi.org/10.5772/intechopen.95609>
- Lewicka-Rataj K., Świątecki A., Górniak D. 2018. The effect of *Lobelia dortmanna* L. on the structure and bacterial activity of the rhizosphere // Aquat. Bot. V. 145. P. 10. <https://doi.org/10.1016/j.aquabot.2017.11.003>
- Merino J., Sala-Vila A., Plana N. et al. 2016. Serum palmitoleate acts as a lipokine in subjects at high cardiometabolic risk // Nutr. Metab. Cardiovasc. Dis. V. 26. № 3. P. 261. <https://doi.org/10.1016/j.numecd.2015.12.008>
- Nakai S., Zou G., Okuda T. et al. 2012. Polyphenols and fatty acids responsible for anti-cyanobacterial allelopathic effects of submerged macrophyte *Myriophyllum spicatum* // Water Sci. Technol. V. 66. № 5. P. 993. <https://doi.org/10.2166/wst.2012.272>
- Nogueira P.C. de L., Bittrich V., Shepherd G.J. et al. 2001. The ecological and taxonomic importance of flower volatiles of *Clusia* species (Guttiferae) // Phytochem. V. 56. P. 443.
- Philippov D.A., Ivicheva K.N., Makarenkova N.N. et al. 2022. Biodiversity of macrophyte communities and associated aquatic organisms in lakes of the Vologda Region (north-western Russia) // Biodiversity Data J. V. 10. e77626. <https://doi.org/10.3897/BDJ.10.e77626>
- Rad H.M., Eslami M., Ghanie A. 2016. Palmitoleate enhances quality of rooster semen during chilled storage // Animal Reproduction Sci. V. 165. P. 38. <https://doi.org/10.1016/j.anireprosci.2015.12.003>
- Rex J.R.S., Sreeraj K., Nadar M.S.A.M. 2015. Qualitative Phytoconstituent Profile of *Lobelia trigona* Roxb Extracts // Int. J. Pharm. Tech. Res. V. 8. № 10. P. 47.
- Shibano M., Tsukamoto D., Masuda A. et al. 2001. Two new pyrrolidine alkaloids, radicamines A and B, as inhibitors of α -glucosidase from *Lobelia chinensis* Lour. // Chem. Pharm. Bull. V. 49. № 10. P. 1362. <https://doi.org/10.1248/cpb.49.1362>
- Sivakumar R., Jebanesan A., Govindarajan M., Rajasekar P. 2011. Larvicidal and repellent activity of tetradecanoic acid against *Aedes aegypti* (L.) and *Culex quinquefasciatus* (Say.) (Diptera: Culicidae) // Asian Pac. J. Trop. Med. V. 4. № 9. P. 706. [https://doi.org/10.1016/S1995-7645\(11\)60178-8](https://doi.org/10.1016/S1995-7645(11)60178-8)
- Stolom S., Oyemita I.A., Mawu R. et al. 2016. Chemical and biological studies of *Lobelia flaccida* (C. Presl) A. DC leaf: a medicinal plant used by traditional healers in Eastern Cape, South Africa // Trop. J. Pharm. Res. V. 15. № 8. P. 1715. <https://doi.org/10.4314/tjpr.v15i8.17>

- Sun J., Wu X., Gan J. 2015. Uptake and Metabolism of Phthalate Esters by Edible Plants // Environ. Sci. Technol. V. 49. № 14. P. 8471.
https://doi.org/10.1021/acs.est.5b01233
- Tamboli A.M., Rub R.A., Ghosh P., Bodhankar S. 2012. Antiepileptic activity of lobeline isolated from the leaf of *Lobelia nicotianaefolia* and its effect on brain GABA level in mice // Asian Pac. J. Trop. Biomed. V. 2. № 7. P. 537.
https://doi.org/10.1016/S2221-1691(12)60092-6
- Vigneshwaran V., Somegowda M., Pramod S. 2014. Pharmacological evaluation of analgesic and antivenom potential from the leaves of folk medicinal plant *Lobelia nicotianaefolia* // Amer. J. of Phytomedicine and Clinical Therapeutics. V. 2. № 12. P. 1404.
- Wang H.Q., Zhu H.J., Zhang L.Y. et al. 2014. Identification of antialgal compounds from the aquatic plant *Elodea nuttallii* // Allelopathy J. V. 34. № 2. P. 207.
- Wu Y., Li R., Hildebrand D.F. 2012. Biosynthesis and metabolic engineering of palmitoleate production, an important contributor to human health and sustainable industry // Progress in Lipid Res. V. 51. № 4. P. 340.
https://doi.org/10.1016/j.plipres.2012.05.001
- Zhao G., Etherton T.D., Martin K.R. et al. 2004. Dietary α -linolenic acid reduces inflammatory and lipid cardiovascular risk factors in hypercholesterolemic men and women // J. Nutr. V. 134. № 11. P. 2991.
https://doi.org/10.1093/jn/134.11.2991
- Zhou W., Wang H., Chen L. et al. 2017. Heterotrophy of filamentous oleaginous microalgae *Tribonema minus* for potential production of lipid and palmitoleic acid // Bioresour. Technol. V. 239. P. 250.
https://doi.org/10.1016/j.biortech.2017.05.045
- Zhu X., Dao G., Tao Y. et al. 2021. A review on control of harmful algal blooms by plant-derived allelochemicals // J. Hazardous Mat. V. 401. P. 123403.
https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2020.123403

The First Information on the Low Molecular Metabolome *Lobelia dortmanna* (Campanulaceae, Magnoliophyta) Growing in the Northwest of the Russian Federation

A. M. Chernova^{1,*}, D. A. Philippov¹, E. A. Kurashov^{1,2}

¹Papanin Institute for Biology of Inland Waters Russian Academy of Sciences, Borok, Nekouzskii raion, Yaroslavl oblast, Russia

²Institute of Limnology, a separate subdivision of the St. Petersburg Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences, Saint Petersburg, Russia

*e-mail: nuphar@mail.ru

The low molecular weight metabolome (LMWM) of *Lobelia dortmanna* L. (Campanulaceae, Magnoliophyta), a relic aquatic macrophyte listed in the Red Data Books of the Russian Federation and Republic of Belarus, was studied for the first time using the GC/MS technique. It is a macrophyte that grows in oligotrophic lakes in the northwest of the Vologda Region, Russia. Thirteen major chemicals were among the 127 volatile low molecular weight organic compounds (VOCs) discovered, which accounted for 77.23% of the overall VOC content (198.75 $\mu\text{g/g}$ dry plant weight). The main components of LMWM were carboxylic acids and hydrocarbons. The presence of a large number of biologically active metabolites with a high concentration in *L. dortmanna* LMWM may indicate a significant effect of this plant on the hydrobiocenoses of the littoral zone of oligotrophic lakes. Further research into the LMWM of aquatic macrophytes in oligotrophic lakes, a valuable renewable resource, is needed to assess the background characteristics of the natural environment for more effective monitoring of the ecological state of water bodies in the Russian Federation's North-West and the rational use of their biological resources.

Keywords: *Lobelia dortmanna*, water lobelia, essential oil, low molecular weight metabolome, gas chromatography-mass spectrometry, low molecular weight volatile organic compounds, oligotrophic lakes