

Содержание и состав липидов в листьях растений на Южном Тимане (ботанический заказник «Сойвинский»)

Е. В. Силина, Г. Н. Табаленкова, Т. К. Головки

Институт биологии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН,
г. Сыктывкар
silina@komisc.ru

Аннотация

Изучены содержание и состав липидов в листьях *Aconitum septentrionale* Koelle. (аконит высокий), *Astragalus danicus* Retz. (астрагал датский) и *Medicago lupulina* L. (люцерна хмелевидная) на Южном Тимане. Установлено, что содержание и состав липидов больше зависели от условий местообитания, чем от вида растения. Листья затененных растений накапливали в 1,5 раза больше липидов и характеризовались более низким вкладом фосфо- и нейтральных липидов в общий пул липидов по сравнению с растениями, произрастающими на освещенных участках. Доля насыщенных жирных кислот в листьях *M. lupulina*, предпочитающего открытые местообитания, была заметно выше, чем в листьях *A. danicus*, произрастающего в густом травостое. Полученные результаты свидетельствуют о значимости изучения содержания и состава липидов для понимания механизмов адаптации растений к условиям окружающей среды.

Ключевые слова:

общие липиды, фосфолипиды, нейтральные липиды, жирные кислоты, освещенность, листья, растения, Южный Тиман

Введение

В настоящее время вопросы выявления, оценки и рационального использования растительных ресурсов приобретают особое значение. Для рационального использования ресурсов важно не только оценивать запасы сырья и содержание целевого продукта, необходимо более полное знание об их эколого-биологических и биохимических свойствах. Среди растений природной флоры таежной зоны Республики Коми большой интерес представляет *Aconitum septentrionale* Koelle (аконит высокий), *Astragalus danicus* Retz. (астрагал датский) и *Medicago lupulina* L. (люцерна хмелевидная).

Липиды – один из основных классов биомолекул, которые являются структурной основой клеточных мембран. Благодаря способности модулировать физические свой-

The content and composition of lipids in plant leaves in the Southern Timan (Soivinsky Botanical Reserve)

E. V. Silina, G. N. Tabalenkova, T. K. Golovko

Institute of Biology, Komi Science Centre of the Ural Branch of the
Russian Academy of Sciences,
Syktyvkar
silina@komisc.ru

Abstract

The paper is concerned with the content and composition of lipids in the leaves of *Aconitum septentrionale* Koelle (monkshood high), *Astragalus danicus* Retz. (danish astragalus), and *Medicago lupulina* L. (hop-shaped alfalfa) in the Southern Timan. The content and composition of lipids have been found to depend rather on the habitat conditions than on the plant species. Leaves of plants grown in shaded conditions accumulate by 1.5 time more lipids and have a lower contribution of phospho- and neutral lipids to the total lipid pool compared to plants grown in light areas. The proportion of saturated fatty acids in the leaves of *M. lupulina*, which prefers open habitats, is noticeably higher than that in leaves of *A. danicus*, which grows in dense herbage. Our results indicate the importance of studying changes in the content and composition of lipids for understanding the mechanisms of plant adaptation to environmental conditions.

Keywords:

total lipids, phospholipids, neutral lipids, fatty acids, light, leaves, plants, Southern Timan

ства мембран, выступать в роли сенсоров и сигнальных молекул, а также взаимодействовать с белками, влияя на их внутриклеточную локализацию и активность, липиды вносят существенный вклад в функционирование клеток [1-3]. Липиды участвуют в регуляции многих процессов, включая рост и деление клеток, мембранный транспорт, внутриклеточную сигнализацию и межклеточную коммуникацию, формирование ответных реакций на факторы среды [4]. Указанное многообразие функций липидов подчеркивает важность изучения данных соединений для характеристики свойств растений, изменения метаболизма в процессе их роста и/или при адаптации к условиям местообитания.

В данной работе приведены результаты изучения содержания липидов и жирных кислот в листьях трех видов многолетних травянистых растений, произрастающих на территории ботанического заказника «Сойвинский» (Южный Тиман).

Материалы и методы

Район исследований (62.74904° с. ш., 55.82610° в. д.) характеризуется умеренно-континентальным климатом с длинной, умеренно холодной зимой и коротким, умеренно теплым летом. Средняя температура самого теплого месяца – июля – +16–17° С. В период проведения исследований (первая декада июля) погода выдалась сравнительно прохладной с выпадением обильных осадков и высокой облачностью; среднесуточная температура была ниже нормы на 3–4° С.

Объектами исследования служили листья *Aconitum septentrionale* Koelle. (аконит высокий), *Astragalus danicus* Retz. (астрагал датский) и *Medicago lupulina* L. (люцерна хмелевидная). Растения *A. septentrionale* (сем. Ranunculaceae) произрастали в двух типичных для данного района сообществах на левом берегу р. Сойвы. Ценопопуляция 1 (ЦП 1) охарактеризована как ельник крупнотравно-злаковый, а ЦП 2 описана как сероольшанник аконитовый [5]. Растения ЦП 1 получали меньше света, чем растения ЦП 2. Растения *A. danicus* и *M. lupulina* (сем. Faboideae) обитали в разных по световому режиму условиях. Растения *A. danicus* произрастали в густом травостое на лугу, растения *M. lupulina* – на хорошо освещенном участке, вдоль дороги. Растения всех изученных видов находились в фазе цветения.

Образцы листьев отбирали в утренние часы, высушивали в сушильном шкафу при температуре +80° С до постоянного веса и хранили в бумажных пакетах в сухом месте до проведения анализов. Перед анализом пробы листьев измельчали до порошковидного состояния с помощью аналитической мельницы «IKA A 11 basic» (Япония).

Выделение общих липидов (ОЛ) проводили методом Фолча [6]. Общие липиды экстрагировали из сухой массы листьев смесью хлороформ-метанол (2 : 1) из расчета 20 частей экстрагирующей смеси на одну часть ткани. Экстракцию осуществляли трижды при постоянном перемешивании. Полученный экстракт упаривали на ротационном испарителе «Heidolph Hei VAP Value G3» (Россия), в вакууме досуха при температуре не выше +40° С в предварительно взвешенных круглодонных колбах. Сухой остаток взвешивали и рассчитывали выход ОЛ. Содержание ОЛ выражали в мг/г сухой массы.

Для выделения фосфолипидов (ФЛ) сухой остаток ОЛ растворяли в минимальном количестве хлороформа. К раствору добавляли охлажденный в морозильной камере ацетон до появления мутного осадка и оставляли в морозильной камере для оседания ФЛ. Затем смесь фильтровали через предварительно взвешенные бумажные фильтры, высушивали в сушильном шкафу и взвешивали. Содержание ФЛ выражали в мг/г сухой массы.

Для извлечения нейтральных липидов (НЛ) использовали неполярный растворитель – гексан. С целью наиболее полного перехода исследуемых липидов в органическую фазу навески высушенных образцов листьев подвергали трехкратной экстракции при постоянном перемешивании. Экстракт фильтровали и упаривали на ротационном испарителе «Heidolph Hei VAP Value G3» (Россия) в вакууме досуха при температуре не выше +40° С в предварительно взвешенных круглодонных колбах. Сухой остаток взвешивали, рассчитывали выход нейтральных липидов [7].

Определение жирнокислотного состава общих липидов проводили путем их метилирования по методу [8]. Жирные кислоты (ЖК) определяли в виде их метиловых эфиров (МЭЖК) после проведения кислотного метанолиза липидов с последующей этерификацией выделившихся кислот. Метиловые эфиры разделяли на газовом хроматографе «КРИСТАЛЛ 2000М» (Хроматэк) с пламенно-ионизационным детектором в изотермическом режиме температуры термостата колонок (200° С) на кварцевой капиллярной колонке 30 м × 0,2 мм, газ-носитель – гелий, чистота – 99,99 %. Анализ высших ЖК проводили в экоаналитической лаборатории Института биологии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН. Регистрацию и обработку хроматограмм осуществляли с помощью системы сбора и обработки хроматографических данных «Хроматэк». Идентификацию и количественное определение МЭЖК проводили методом хромато-масс-спектрометрии на приборе «TRACE-DSQ» (Thermo Fisher Scientific, США) в режиме полного ионного тока (энергия электронов: 70 эВ). Сканирование МЭЖК осуществляли в диапазоне от 30 до 650 массовых чисел.

Статистическую обработку данных проводили с использованием программы Statistica 10 («StatSoft Inc.», США). Значимость различий между средними значениями измеряемых показателей оценивали с применением критерия Стьюдента. Расчеты осуществляли при заданном уровне значимости $p \leq 0,05$. В таблицах и на рисунках приведены средние арифметические значения со стандартной ошибкой.

Результаты и их обсуждение

На рис. 1 представлены сравнительные данные о содержании липидов в листьях растений *A. septentrionale* из разных ценопопуляций. В ельнике крупнотравно-злаковом (ЦП 1) содержание липидов в сухой массе листьев *A. septentrionale* превышало 10 %, тогда как в сероольшаннике (ЦП 2) величина этого показателя была достоверно ниже и составляла около 7 %. Растения из ЦП 1 и ЦП 2 не отличались достоверно по содержанию фосфо- и нейтральных липидов, на долю которых приходилось соответственно около 3 и 1 % сухой биомассы листьев. Однако относительное содержание ФЛ и НЛ (в % от ОЛ) было существенно выше в листьях растений из ЦП 2, чем в листьях растений из ЦП 1 (табл. 1). Вклад ФЛ и НЛ в пул ОЛ у листьев растений ЦП 2 составлял 39 и 13 %, а в листьях растений ЦП 1 – 27 и 11 % соответственно.

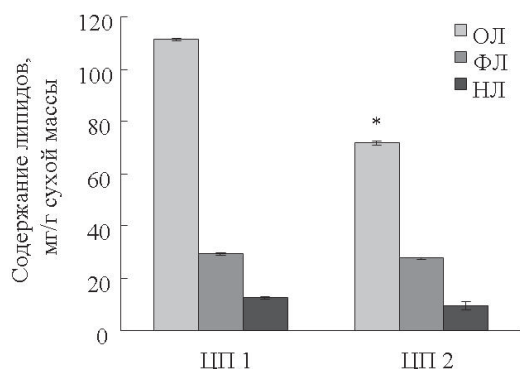


Рисунок 1. Содержание и состав липидов в листьях растений *Aconitum septentrionale*, произрастающих в ельнике крупнотравно-злаковом (ЦП 1) и сероольшаннике (ЦП 2).

Условные обозначения. Здесь и в рис. 2: ОЛ – общие липиды; ФЛ – фосфолипиды; НЛ – нейтральные липиды. * статистически значимые различия исследуемого показателя ($p \leq 0,05$).

Figure 1. The content and composition of lipids in the leaves of *Aconitum septentrionale* plants growing in large-herb-cereal spruce forest (ЦП 1) and grey alder forest (ЦП 2).

Keys. Here and in Figure 2: ОЛ – total lipids; ФЛ – phospholipids; НЛ – neutral lipids. * statistically significant differences in the studied parameter ($p \leq 0,05$).

Таблица 1

Относительное содержание нейтральных и фосфолипидов в листьях растений *Aconitum septentrionale* из разных ценопопуляций (% от суммы общих липидов)

Table 1

Relative content of neutral and phospholipids in the leaves of *Aconitum septentrionale* plants from different coenopopulations (as a percentage of the total lipid content)

Местообитания / Habitats	Фосфолипиды	Нейтральные липиды
Ельник крупнотравно-злаковый	27,1±1,0	11,2±1,0
Сероольшанник	39,2±2,2*	13,1±3,3

Условное обозначение. Здесь и в табл. 2: * статистически значимые различия исследуемого показателя ($p \leq 0,05$).

Key. Here and in Table 2: * statistically significant differences in the studied parameter ($p \leq 0,05$).

Изучение липидов у двух видов бобовых показало, что содержание липидов в сухой массе листьев растений *A. danicus*, обитающих на лугу в густом травостое составляло около 12 % сухой биомассы (рис. 2). Содержание ФЛ и НЛ в листьях *A. danicus* составляло соответственно около 3 и 1,5 % сухой биомассы. Содержание липидов в растениях *M. lupulina*, произрастающих вдоль дороги, на открытом участке составляло чуть более 7 % сухой биомассы листьев. Содержание ФЛ и НЛ в листьях *A. danicus* составляло соответственно около 3 и 1,5 % сухой биомассы. Содержание ФЛ и НЛ в листьях растений *M. lupulina* мало отличалось от данных показателей в листьях *A. danicus*. Однако на долю ФЛ в листьях *M. lupulina* приходилось почти 45 % ОЛ, тогда как у листьев *A. danicus* вклад ФЛ в ОЛ был вдвое меньше (табл. 2). Значимых различий в относительном содержании НЛ у листьев исследованных видов бобовых не обнаружено.

Липиды включают разнообразные жирные кислоты (ЖК). Исследования листьев бобовых растений показало наличие в их составе девяти ЖК, причем concentra-

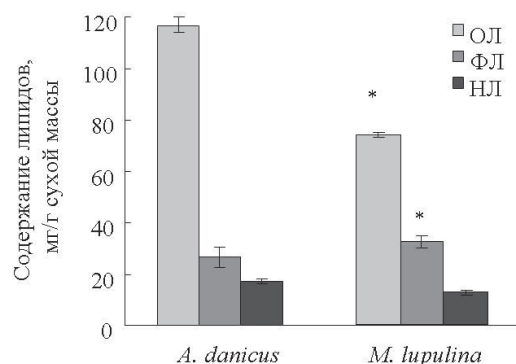


Рисунок 2. Содержание и состав липидов в листьях *Astragalus danicus* и *Medicago lupulina*.

Figure 2. Content and composition of lipids in the leaves of *Astragalus danicus* and *Medicago lupulina*.

Таблица 2

Относительное содержание нейтральных и фосфолипидов в листьях растений *Astragalus danicus* и *Medicago lupulina* (% от суммы общих липидов)

Table 2

Relative content of neutral and phospholipids in the leaves of *Astragalus danicus* and *Medicago lupulina* plants (as a percentage of the total lipid content)

Виды	Фосфолипиды	Нейтральные липиды
<i>Astragalus danicus</i>	22,7±1,5	14,4±2,1
<i>Medicago lupulina</i>	43,6±1,7*	17,0±1,0

ция трех была очень низкой (менее 1 % всех ЖК). Среди остальных ЖК идентифицированы две насыщенные (НЖК) и четыре ненасыщенные (ННЖК), которые вносили основной вклад в пул ЖК. На долю трех ЖК – пальмитиновой (C16:0), линолевой (C18:2) и линоленовой (C18:3), приходилось свыше 90 % пула ЖК (табл. 3). Доля стеариновой ЖК (C18:0) составляла около 4 %, примерно такой же вклад вносили мононенасыщенные ЖК – пальмитолеиновая (C16:1) и олеиновая (C18:1).

Липиды являются основным структурным компонентом мембран, входят в состав запасных веществ. Содержание общих липидов в сухой массе листьев варьирует в зависимости от вида и условий произрастания растений. Общие липиды обычно представляют собой смесь полярных (глико- и фосфолипиды) и нейтральных липидов [4]. Структурной основой всех клеточных мембран являются фосфо- и гликолипиды [9]. Помимо них, в составе мембранных липидов присутствуют также стерин и сфинголипиды. Фосфолипиды являются главными липидами плазмалеммы, митохондрий и других эндомембран. Мем-

Таблица 3

Содержание жирных кислот в листьях *Astragalus danicus* и *Medicago lupulina*, % от суммы высших жирных кислот общих липидов

Table 3

Fatty acid content in the leaves of *Astragalus danicus* and *Medicago lupulina*, % of the higher fatty acid content of total lipids

Виды	Насыщенные ЖК		Ненасыщенные ЖК			
	C16:0	C18:0	C16:1	C18:1	C18:2	C18:3
<i>Astragalus danicus</i>	20,8	4,0	1,9	2,9	18,1	52,1
<i>Medicago lupulina</i>	24,4	4,1	1,3	3,1	26,4	40,8

браны пластид содержат преимущественно галактоглицеролипиды, относящиеся к классу гликолипидов [3, 10]. Гликолипиды содержат высокие концентрации полиненасыщенных ЖК. К нейтральным липидам относят триглицериды, воски, эфиры стероидов, N-ацилэтаноламиды, церамиды. Триглицериды являются основной группой липидов, участвующих в запасании энергии, и предшественниками важных компонентов липидного обмена [11].

Нами получены данные об общем содержании липидов, фосфолипидов и нейтральных липидов в листьях трех видов растений, обитающих в различных условиях на территории заказника «Сойвинский» (Южный Тиман).

Результаты исследования показали, что содержание и соотношение липидов в листьях *Aconitum septentrionale* зависело от условий местообитания растений. Концентрация всех исследованных групп липидов была выше в листьях растений, произрастающих в ельнике крупнотравно-злаковом. Листья растений *A. septentrionale*, обитающего в сероольшаннике, содержали на 36 % меньше ОЛ. В то же время растения достоверно не отличались по содержанию фосфо- и нейтральных липидов, доля которых составляла соответственно 3 и 1 % сухой биомассы листьев. Однако суммарный вклад ФЛ и НЛ в пул ОЛ листьев растений ЦП 2 был в 1,4 раза больше, чем в листьях растений ЦП 1, и составлял 52 %.

Анализ данных, полученных при исследовании липидов *Astragalus danicus* и *Medicago lupulina*, выявил различия между этими видами. Растения *A. danicus*, обитающие в густом травостое, содержали больше липидов, чем растения *M. lupulina*, произрастающие на открытом месте вдоль дороги. При этом суммарный пул ФЛ и НЛ в листьях люцерны хмелевидной составлял более 60 %, а астрагала датского – 37 % от содержания ОЛ. Изучение жирнокислотного состава выявило тенденцию к снижению соотношения ННЖК и НЖК в листьях *M. lupulina*, что свидетельствует о более высокой доле НЖК в пуле ЖК листьев у этого вида по сравнению с *A. danicus*.

В совокупности эти результаты позволяют полагать, что как в случае с двумя ценопопуляциями *A. septentrionale*, так и в случае с двумя видами бобовых одной из основных причин различия в содержании и качественном составе липидов являются условия местообитания, сглаживающие возможные межвидовые различия. Местообитания отличались по обеспеченности растений важнейшим для фотоавтотрофных организмов ресурсом – фотосинтетической радиацией. Свет является не только драйвером фотосинтеза, но и регулятором многих процессов жизнедеятельности, включая рост и развитие растений. Тот факт, что растения, получающие меньше света, содержали больше липидов, а суммарный вклад ФЛ и НЛ в липидный пул у них был ниже, вероятно, отражает более высокое содержание гликолипидов, связанных с пластидными мембранами. По имеющимся в литературе сведениям, 1 г листьев может содержать до 1 м пластидных мембран [12]. Доля пластидных липидов – глицеролипидов у арабидопсиса – составляла более 50 % всех липидов листа [9]. У исследованных нами растений вклад глицеролипидов в ОЛ листьев может варьиро-

вать от 45 до 60 % в зависимости от светового режима местообитания. По-видимому, различия достигаются за счет повышенного содержания гликолипидов в листьях *A. septentrionale* и *A. danicus*, произрастающих в условиях более низкого поступления световой радиации. Это согласуется с данными об отличиях световых и теневых растений *A. septentrionale* по удельной поверхностной плотности листьев и содержанию фотосинтетических пигментов [13].

Растения способны синтезировать более чем 200 различных ЖК. Мы идентифицировали в листьях исследованных видов девять высших ЖК. Модификации пула ЖК отводят важную роль в процессах адаптации растений к условиям произрастания [14]. В литературе имеются данные, свидетельствующие о значении количественных и качественных изменений ЖК для репарации ФС II при фотоингибировании [15]. Изменение состава и содержания ЖК является одним из механизмов поддержания микровязкости плазмалеммы в определенных пределах. Широкий диапазон изменчивости содержания различных ЖК связан как с видовыми особенностями, так и с условиями обитания растений [3, 16, 17]. Нами выявлена тенденция к изменению соотношения ННЖК и НЖК у бобовых видов растений, произрастающих в условиях различного светового режима. Растения на открытых участках, как правило, получают не только больше света, но и тепла. Поэтому снижение относительного содержания ННЖК и повышение НЖК в листьях *M. lupulina* можно рассматривать как адаптивную реакцию. Насыщенные жирные кислоты уменьшают текучесть мембран и снижают опасность их повреждения в результате перекисного окисления липидов.

Таким образом, полученные нами результаты свидетельствуют о влиянии местообитания на липидный комплекс растений и значимости изучения изменений в содержании и составе липидов для понимания механизмов адаптации растений к условиям окружающей среды.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Литература

1. Hou, Q. Lipid signaling in plant responses to abiotic stress / Q. Hou, G. Ufer, D. Bartels // Plant, Cell & Environment. – 2016. – Vol. 39, № 5. – P. 1029–1048.
2. Plant lipids: key players of plasma membrane organization and function / A. M. Cassim, P. Gouguet, J. Gronnier [et al.] // Progress in Lipid Research. – 2019. – Vol. 73. – P. 1–27.
3. He, M. Plant unsaturated fatty acids: multiple roles in stress response / M. He, N. Z. Ding // Front. Plant Sci. – 2020. – Vol. 11. – Art. 562785.
4. Moreau, H. Lipids: plant biology's slippery superheroes / H. Moreau, E. M. Bayer // Frontiers in Plant Physiology. – 2023. – Vol. 1. – P. 1273816.
5. Паршина, Е. И. Биология и ресурсы алкалоидосодержащего вида *Aconitum septentrionale* Koelle в сообществах таежной зоны европейского северо-востока

- России: автореф. дис. ... канд. биол. наук / Е. И. Паршина. – Сыктывкар, 2009. – 18 с.
- Folch, J. A simple method for the isolation and purification of total lipids from animal tissues / J. Folch, M. Lees, G. H. Sloan Stanley // *Journal of Biological Chemistry*. – 1957. – Vol. 226. – P. 497–509.
 - Кейтс, М. Техника липидологии / М. Кейтс. – М.: Мир, 1975. – 236 с.
 - Патент № 542932 Союз Советских Социалистических Республик, G 01N 1/28. Способ приготовления проб липидов: № 2138675/13 : заявл. 26.06.1975 : опубл. 15.01.1977 / К. М. Синяк, И. И. Даниленко, З. П. Васюренко, В. И. Крук; заявитель Киевский НИИ эпидемиологии и паразитологии. – 2 с.
 - Lipids / C. Somerville, J. Browse, J. G. Jaworski [et al.] // *American Society of Plant Physiologists*. – 2000. – Vol. 252. – P. 80–87.
 - Kobayashi, K. Role of membrane glycerolipids in photosynthesis, thylakoid biogenesis and chloroplast development / K. Kobayashi // *Journal of Plant Research*. – 2016. – Vol. 129, № 4. – P. 565–580.
 - Нестеров, В. Н. Состав нейтральных липидов *Hydrilla verticillata* (L.fil.) Royle в условиях аккумуляции и элиминации ионов тяжелых металлов / В. Н. Нестеров // *Известия Самарского НЦ РАН*. – 2007. – Т. 9, № 4. – С. 1045–1054.
 - Мокроносов, А. Т. Фотосинтез. Физиолого-экологические и биохимические аспекты / А. Т. Мокроносов, В. Ф. Гавриленко, Т. В. Жигалова. – М.: Академия, 2006. – 448 с.
 - Физиолого-биохимическая характеристика растений *Aconitum septentrionale* в сообществах Южного Тимана / Т. К. Головкин, Г. Н. Табаленкова, Р. В. Малышев [и др.] // *Известия Самарского НЦ РАН*. – 2011. – Т. 13, № 1–4. – С. 808–812.
 - Henschel, J. M. Lipidomics in plants under abiotic stress conditions: an overview / J. M. Henschel, A. N. D. Andrade, J. B. L. dos Santos // *Agronomy*. – 2024. – Vol. 14, № 8. – P. 1670.
 - Photoinhibition of photosystem II under environmental stress / N. Murata, M. S. Takahashi, Y. Nishiyama [et al.] // *Biochimica et Biophysica Acta (BBA)-Bioenergetics*. – 2007. – Vol. 1767, № 6. – P. 414–421.
 - Singer, S. D. Abiotic factors influence plant storage lipid accumulation and composition / S. D. Singer, J. Zou, R. J. Weselake // *Plant Science*. – 2016. – Vol. 243. – P. 1–9.
 - Розенцвейт, О. А. Влияние кратковременных и продолжительных колебаний факторов среды на состав липидов *Plantago media* L. в условиях Южного Тимана / О. А. Розенцвейт, В. Н. Нестеров, Е. С. Богданова // *Известия Самарского НЦ РАН*. – 2012. – Т. 14, № 1–3. – С. 791–799.
 - Plant lipids: key players of plasma membrane organization and function / A. M. Cassim, P. Gouguet, J. Gronnier [et al.] // *Progress in Lipid Research*. – 2019. – Vol. 73. – P. 1–27.
 - He, M. Plant unsaturated fatty acids: multiple roles in stress response / M. He, N. Z. Ding // *Front. Plant Sci*. – 2020. – Vol. 11. – Art. 562785.
 - Moreau, H. Lipids: plant biology's slippery superheroes / H. Moreau, E. M. Bayer // *Frontiers in Plant Physiology*. – 2023. – Vol. 1. – P. 1273816.
 - Parshina, E. I. *Biologiya i resursy alkaloidosoderzhashchego vida Aconitum septentrionale Koelle v soobshchestvakh taezhnoy zony Evropeyskogo Severo-Vostoka Rossii* [Biology and resources of the alkaloid-containing species *Aconitum septentrionale* Koelle in the taiga zone communities of the European northeast of Russia] : extended abstract of Candidate's thesis (Biology) / E. I. Parshina. – Syktyvkar, 2009. – 18 p.
 - Folch, J. A simple method for the isolation and purification of total lipids from animal tissues / J. Folch, M. Lees, G. H. Sloan Stanley // *Journal of Biological Chemistry*. – 1957. – Vol. 226. – P. 497–509.
 - Keyts, M. *Tekhnika lipidologii* [Technique of lipidology] / M. Keyts. – Moscow : Mir, 1975. – 236 p.
 - Patent № 542932 Soyuz Sovetskikh Socialisticheskikh Respublik, G 01N 1/28. Sposob prigotovleniya prob lipidov: № 2138675/13 : yayavl. 26.06.1975 : opubl. 15.01.1977 [Patent № 542932 The Union of Soviet Socialist Republics, G 01N 1/28. Preparation method of lipid samples : № 2138675/13 : applied 26.06.1975 : published 15.01.1977] / K. M. Sinyak, I. I. Danilenko, Z. P. Vasyurenko, V. I. Kruk; yayavitel' Kievskij NII epidemiologii i parazitologii [applicant Kiev Research Institute of Epidemiology and Parasitology]. – 2 p.
 - Lipids / C. Somerville, J. Browse, J. G. Jaworski [et al.] // *American Society of Plant Physiologists*. – 2000. – Vol. 252. – P. 80–87.
 - Kobayashi, K. Role of membrane glycerolipids in photosynthesis, thylakoid biogenesis and chloroplast development / K. Kobayashi // *Journal of Plant Research*. – 2016. – Vol. 129, № 4. – P. 565–580.
 - Nesterov, V. N. Sostav nejtral'nyh lipidov *Hydrilla verticillata* (L.fil.) Royle v usloviyah akkumulyacii i eliminacii ionov tyazhelyh metallov [Composition of neutral lipids of *Hydrilla verticillata* (L.fil.) Royle under conditions of accumulation and elimination of heavy metal ions] / V. N. Nesterov // *Proceedings of the Samara Science Centre of the Russian Academy of Sciences*. – 2007. – Vol. 9, № 4. – P. 1045–1054.
 - Mokronosov, A. T. Fotosintez. Fiziologo-ekologicheskie i biokhimicheskie aspekty [Photosynthesis. Physiological, ecological, and biochemical aspects] / A. T. Mokronosov, V. F. Gavrilenko, T. V. Zhigalova. – Moscow : Akademiya, 2006. – 448 p.
 - Fiziologo-biokhimicheskaya harakteristika rastenij *Aconitum septentrionale* v soobshchestvakh Yuzhnogo Timana [Physiological and biochemical characteristics of *Aconitum septentrionale* plants in the communities of the

References

- Southern Timan] / T. K. Golovko, G. N. Tabalenkova, R. V. Malyshev [et al.] // Proceedings of the Samara Science Centre of the Russian Academy of Sciences. – 2011. – Vol. 13, № 1–4. – P. 808–812.
14. Henschel, J. M. Lipidomics in plants under abiotic stress conditions: an overview / J. M. Henschel, A. N. D. Andrade, J. B. L. dos Santos // Agronomy. – 2024. – Vol. 14, № 8. – P. 1670.
 15. Photoinhibition of photosystem II under environmental stress / N. Murata, M. S. Takahashi, Y. Nishiyama [et al.] // Biochimica et Biophysica Acta (BBA)-Bioenergetics. – 2007. – Vol. 1767, № 6. – P. 414–421.
 16. Singer, S. D. Abiotic factors influence plant storage lipid accumulation and composition / S. D. Singer, J. Zou, R. J. Weselake // Plant Science. – 2016. – Vol. 243. – P. 1–9.
 17. Rozentsvet, O. A. Vliyanie kratkovremennykh i prodolzhitelnykh kolebaniy faktorov sredy na sostav lipidov *Plantago media* L. v usloviyakh Yuzhnogo Timana [The effect of short- and long-term fluctuations of environmental factors on the composition of *Plantago media* L. lipids in the Southern Timan] / O. A. Rozentsvet, V. N. Nesterov, E. S. Bogdanova // Proceedings of the Samara Science Centre of the Russian Academy of Sciences. – 2012. – Vol. 14, № 1–3. – P. 791–799.

Благодарность (госзадание)

Работа выполнена в рамках темы госбюджетных НИОКР «Физиологические и молекулярные механизмы интеграции клеточных процессов и целостности растительного организма: фотосинтез и дыхание» (регистрационный номер 125020301262-2).

Acknowledgements (state task)

The work was performed within the frames of the state task “Fiziologicheskie i molekulyarnye mekhanizmy integracii kletochnykh processov i celostnosti rastitelnogo organizma: fotosintez i dyhanie [Physiological and molecular mechanisms of integration of cellular processes and the whole plant organism: photosynthesis and respiration]” (registration number 125020301262-2).

Информация об авторах:

Силина Екатерина Валерьевна – кандидат биологических наук, научный сотрудник Института биологии Коми научного центра Уральского отделения Российской академии наук (167982, Российская Федерация, Республика Коми, г. Сыктывкар, ул. Коммунистическая, д. 28; e-mail: silina@ib.komisc.ru).

Табаленкова Галина Николаевна – доктор биологических наук, доцент, ведущий научный сотрудник Института биологии Коми научного центра Уральского отделения Российской академии наук (167982, Российская Федерация, Республика Коми, г. Сыктывкар, ул. Коммунистическая, д. 28; e-mail: tabalenkova@ib.komisc.ru).

Головко Тамара Константиновна – доктор биологических наук, профессор, главный научный сотрудник Института биологии Коми научного центра Уральского отделения Российской академии наук (167982, Российская Федерация, Республика Коми, г. Сыктывкар, ул. Коммунистическая, д. 28; e-mail: golovko@ib.komisc.ru).

About the authors:

Ekaterina V. Silina – Candidate of Sciences (Biology), Researcher, Institute of Biology, Komi Science Centre of the Ural Branch of the Russian Academy of Science (28 Kommunisticheskaya st., 167982 Syktyvkar, Komi Republic, Russian Federation; e-mail: silina@ib.komisc.ru).

Galina N. Tabalenkova – Doctor of Sciences (Biology), Associate Professor, Leading Researcher, Institute of Biology, Komi Science Centre of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences (28 Kommunisticheskaya st., 167982 Syktyvkar, Komi Republic, Russian Federation; e-mail: tabalenkova@ib.komisc.ru).

Tamara K. Golovko – Doctor of Sciences (Biology), Professor, Chief Researcher, Institute of Biology, Komi Science Centre of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences (28 Kommunisticheskaya st., 167982 Syktyvkar, Komi Republic, Russian Federation; e-mail: golovko@ib.komisc.ru).

Для цитирования:

Силина, Е. В. Содержание и состав липидов в листьях растений на Южном Тимане (ботанический заказник «Сойвинский») / Е. В. Силина, Г. Н. Табаленкова, Т. К. Головко // Известия Коми научного центра Уральского отделения Российской академии наук. Серия «Экспериментальная биология и экология». – 2025. – № 7 (83). – С. 93–99.

For citation:

Silina, E. V. Soderzhanie i sostav lipidov v listyah rastenij na Yuzhnom Timane (botanicheskij zakaznik «Sojvinskij») [The content and composition of lipids in plant leaves in the Southern Timan (Soivinsky Botanical Reserve)] / E. V. Silina, G. N. Tabalenkova, T. K. Golovko // Proceedings of the Komi Science Centre of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences. Series "Experimental Biology and Ecology". – 2025. – № 7 (83). – P. 93–99.

Дата поступления статьи: 15.08.2025

Прошла рецензирование: 04.08.2025

Принято решение о публикации: 15.09.2025

Received: 15.08.2025

Reviewed: 04.08.2025

Accepted: 15.09.2025