

Оригинальная статья

Адаптивные изменения жирнокислотного состава *Oxytropis scheludjakovae* и *Oxytropis strobilacea* при температурных условиях вегетационного сезона в Центральной Якутии

Г. В. Филиппова^{✉,1}, Д. Н. Андросова¹, Н. С. Данилова¹,
И. А. Прокопьев^{1,2}, И. В. Воронов¹

¹Институт биологических проблем криолитозоны СО РАН, г. Якутск, Российская Федерация

²Ботанический институт им. В.Л. Комарова РАН, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация

✉nureeva@yandex.ru

Аннотация

Несмотря на то, что механизмам адаптационной устойчивости растений уделяется все большее внимание, для многих видов растений информация является неполной или вовсе отсутствует. Впервые методом газожидкостной хроматографии исследованы жирнокислотный (ЖК) состав вегетативных и генеративных органов двух видов рода *Oxytropis* – *O. scheludjakovae* и *O. strobilacea*, а также динамика качественного и количественного содержания ЖК в течение всего вегетационного сезона. Растения произрастали в условиях интродукции в коллекционном питомнике природной флоры Якутии Якутского ботанического сада (ЯБС). Установлено, что основную группу жирных кислот составляли кислоты с 14–24 углеродными атомами. Не выявлено существенных отличий по качественному составу ЖК эндемичного вида Северо-Востока *O. scheludjakovae* от вида *O. strobilacea*, имеющего более широкий ареал. Наибольшее содержание суммы ЖК (19,5 мг/г_{тканн}) отмечено в листьях *O. scheludjakovae* в июне; в листьях *O. strobilacea* – в июне и июле (17,0 мг/г_{тканн}). Показано, что основной насыщенной ЖК двух изученных видов рода *Oxytropis* являлась пальмитиновая кислота (от 20,3 до 29,6 % от суммы кислот), а ненасыщенной ЖК – линоленовая кислота, доля которой в тканях соцветий и цветоносов составляла около 40,0 % от общей суммы ЖК и до 58 % в тканях листьев. Адаптация исследованных видов растений к повышению среднесуточной температуры воздуха происходила за счет снижения суммы ненасыщенных ЖК, а к понижению температуры, наоборот, повышения их содержания. Для вида *O. strobilacea*, имеющего более широкий ареал, расчетный коэффициент ненасыщенности ЖК в течение всего вегетационного периода имел более высокие значения, чем у *O. scheludjakovae*.

Ключевые слова: адаптация, жирнокислотный состав, жирные кислоты, *Oxytropis scheludjakovae* Karav. et Jurtz., *Oxytropis strobilacea* Bunge, Центральная Якутия

Финансирование. Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования РФ по проектам «Растительный покров криолитозоны таежной Якутии: биоразнообразие, средообразующие функции, охрана и рациональное использование» (тема № FWRS-2021-0023; гос. регистрация № АААА-А21-121012190038), «Физиолого-биохимические механизмы адаптации растений, животных, человека к условиям Арктики/Субарктики и разработка биопрепаратов на основе природного северного сырья повышающих эффективность адаптационного процесса и уровень здоровья человека в экстремальных условиях среды» (тема № FWRS-2021-0025; гос. регистрация в ЕГИСУ № АААА-А21-121012190035-9) с применением оборудования ЦКП ФИЦ «ЯНЦ СО РАН» (грант № 13.ЦКП.21.0016) и проекту «Оценка изменений корреляционной структуры метаболитных сетей в процессе роста и развития грибов и растений с позиций системной биологии» (тема № FWRS-2021-0025; гос. регистрация № АААА-А18-118032390136-5).

Для цитирования: Филиппова Г.В., Данилова Н.С., Андросова Д. Н., Прокопьев И.А., Воронов И.В. Адаптивные изменения жирнокислотного состава *Oxytropis scheludjakovae* и *Oxytropis strobilacea* при температурных условиях вегетационного сезона в Центральной Якутии. *Природные ресурсы Арктики и Субарктики*. 2024;29(2):277–286. <https://doi.org/10.31242/2618-9712-2024-29-2-277-286>

Adaptive changes in the fatty acid composition of *Oxytropis scheludjakovae* and *Oxytropis strobilacea* under temperature fluctuations during the growth season in Central Yakutia

Galina V. Filippova^{✉,1}, Daria N. Androsova¹, Nadezhda S. Danilova¹,
Иля А. Прокопьев^{1,2}, Ivan V. Voronov¹

¹Institute for Biological Problems of Cryolithozone,

Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Yakutsk, Russian Federation

²Komarov Botanical Institute, Russian Academy of Sciences, St. Petersburg, Russian Federation

✉ nureeva@yandex.ru

Abstract

Although there is growing interest in understanding the mechanisms of plant adaptive resistance, there is still incomplete or missing information for many plant species. In this study, we conducted an analysis of the fatty acid composition in the vegetative and generative organs of two species belonging to the *Oxytropis* genus, namely *O. scheludjakovae* and *O. strobilacea*. Gas-liquid chromatography was used to analyze the qualitative and quantitative changes in fatty acids throughout the growing season. The plants were grown in the natural flora collection nursery at the Yakutsk Botanical Garden. The main fatty acids identified had carbon atoms ranging from 14 to 24. There were no significant differences in fatty acid composition between the endemic species *O. scheludjakovae* and the more widely distributed species *O. strobilacea*. The highest total fatty acid content (19.5 mg/g tissue) was observed in the leaves of *O. scheludjakovae* in June and in the leaves of *O. strobilacea* (17.0 mg/g tissue) in June and July. Palmitic acid was the primary saturated fatty acid in both species, while linolenic acid was the main unsaturated fatty acid. The adaptation of these plants to temperature changes was reflected in the variation of unsaturated fatty acid content. *O. strobilacea* showed higher values of fatty acid unsaturation coefficient throughout the growing season compared to *O. scheludjakovae*.

Keywords: adaptation, fatty acid composition, fatty acids, *Oxytropis scheludjakovae* Karav. et Jurtz., *Oxytropis strobilacea* Bunge, Central Yakutia

Funding. This study was conducted within the framework of the state assignment of the Ministry of Higher Education and Science of the Russian Federation under the projects: “Vegetation cover of the permafrost zone of the taiga Yakutia: biodiversity, habitat-forming functions, protection and rational use” (theme No. FWRS-2021-0023; registration No. AAAA-A21-121012190038), “Physiological and biochemical mechanisms of adaptation of plants, animals, humans to the conditions of the Arctic / Subarctic and the development of biological products based on natural northern raw materials that increase the efficiency of the adaptation process and the level of human health in extreme environmental conditions” (theme No. FWRS-2021-0025; registration No. AAAA-A21-121012190035-9) with the use of the equipment provided by Core Shared Research Facilities of the Federal Research Centre “The Yakut Scientific Centre SB RAS” (grant No. 13.CSRF.21.0016), and “Assessment of changes in the correlation structure of metabolite networks during the growth and development of fungi and plants from the standpoint of systems biology” (theme No. FWRS-2021-0025; registration No. AAAA-A18-118032390136-5).

For citation: Filippova G.V., Danilova N.S., Androsova D.N., Prokopiev I.A., Voronov I.V. Adaptive changes in the fatty acid composition of *Oxytropis scheludjakovae* and *Oxytropis strobilacea* under temperature fluctuations during the growth season in Central Yakutia. *Arctic and Subarctic Natural Resources*. 2024;29(2):277–286. (In Russ.); <https://doi.org/10.31242/2618-9712-2024-29-2-277-286>

Введение

Представителями рода *Oxytropis* – Остролодочник являются около 380 видов и подвидов растений. Произрастают в умеренной и арктической зонах Северного полушария [1].

Сведения по химическому составу тканей представителей рода *Oxytropis* немногочисленны и недостаточны, а по некоторым видам и вовсе отсутствуют. В тканях растений рода *Oxytropis*

содержится значительное количество вторичных метаболитов: флавоноиды, алкалоиды, кумарины, сапонины. Отвары и экстракты травы некоторых видов рода *Oxytropis* обладают седативным, сердечно-сосудистым, мочегонным, противовоспалительным, ранозаживляющим, антимикробным и антигипоксическим свойствами, обусловленными разнообразием их химического состава [2].

Способность растительных организмов синтезировать вещества, поддерживающие гомеостаз, является биохимическим адаптационным механизмом формирования устойчивости к окружающим условиям среды и одним из факторов, определяющих пределы ареала видов [3–5]. Большой интерес вызывают холодоустойчивые виды растений, метаболизм которых адаптирован к суровым климатическим условиям. Растительные липиды играют важную роль в росте, фотосинтезе, а также тесно связаны с дыханием, адаптацией к неблагоприятным условиям среды, активно изменяют обмен веществ в осенний период и повышают устойчивость растений к низким температурам [3].

Ключевую роль в механизмах холодоустойчивости, позволяющих растениям обитать в экстремальных климатических условиях, отводят липидам клеточных мембран, при этом устойчивость клеток растений обуславливается возможностью к фазовым переходам в зависимости от температуры окружающей среды, т. е. к изменению текучести мембран [6]. Поддержание функциональных свойств растительного организма обеспечивается посредством изменения качественного и количественного состава жирных кислот, прежде всего, соотношения насыщенных и ненасыщенных ЖК [7–9]. Вместе с тем, при акклиматизации к низким положительным температурам отмечается повышение ненасыщенности жирных кислот в липидах мембран микросомальных фракций и тилакоидов [7, 10–12].

Известно, что при осеннем закаливании растений, произрастающих в условиях криолитозоны, наблюдается высокая резистентность к холоду за счет увеличения содержания полиненасыщенных ЖК [13, 14]. Кроме того, имеются сведения о межвидовой изменчивости состава ЖК диких видов из числа лекарственных растений, произрастающих в условиях Предбайкалья, что выражается в различном соотношении содержания основных насыщенных и ненасыщенных ЖК [15]. Также отмечалось, что в листьях представителей *Polypodiophita*, произрастающих в условиях приполярья Урала, основную группу ЖК составляли кислоты с длиной цепи 16–24 атомов углерода [16].

Цель работы – исследование адаптивных изменений жирнокислотного профиля в надземных органах двух видов рода *Oxytropis* (*O. scheludjakovae* и *O. strobilacea*) в температурных условиях вегетационного сезона Центральной Якутии.

Методы и материалы

Объектами исследования являлись два вида растений сем. Fabaceae, рода *Oxytropis* DC – *Oxytropis scheludjakovae* Karav. et Jurtz. и *Oxytropis strobilacea* Bunge, выращиваемые в коллекции растений природной флоры Якутии Якутского ботанического сада (ЯБС) на мерзлотных лугово-черноземных супесчаных почвах.

O. scheludjakovae – степной эндемик северо-востока России, ареал которого связан с реликтовыми степными сообществами. В Якутии встречается в бассейнах рек Яна и Индигирка и в центральной части республики (бассейн р. Амга, нижнее течение р. Алдан и окрестности г. Якутск). Кроме Якутии, отмечен также в Колымском, Охотско-Колымском и Омолонском флористических районах Магаданской области [17, 18]. Распространен в пределах лесной зоны, приурочен к южным склонам коренных берегов рек или прилежащих горных массивов [19].

O. strobilacea – довольно распространенный в Сибири вид. Встречается в Восточной и Западной Сибири, на Дальнем Востоке, на Казахском Алтае, в Монголии и Северном Китае [20]. В Якутии произрастает в центральной части, на юге и юго-западе республики. Растет в сухих лесах и их опушках, на остепненных лугах, степных и щебнистых склонах, на скалах, на выходах карбонатных пород, галечниках и на песчаных наносах на берегах рек [21]. Основываясь на современном распространении вида, Г.А. Пешкова [22] считает, что *O. strobilacea* был обычным растением плейстоценовой степи.

Остролодочники – многолетние бесстебельные растения с утолщенным корнем и укороченными подземными побегами. Выступая на поверхность, эти побеги несут листья и безлистные побеги – цветоносы [23]. Зимнезеленые, в начале мая отмечается разветвление новых молодых листьев. Бутонизация – во второй половине мая, цветение непродолжительное, в первой декаде июня, в течение 10–15 дней. Семена созревают в июле, легко осыпаются [24].

O. scheludjakovae в ЯБС выращивается с 1966 г., посеян семенами, собранными в бассейне р. Индигирка. *O. strobilacea* выращивается с 1970 г., пересажен с остепненного берегового склона в устье р. Буотома.

Отбор образцов надземных вегетирующих органов растений проводили строго до полудня в первой декаде каждого месяца с июня по сен-

тябрь 2015 г. Среднюю пробу готовили путем измельчения воздушно-сухого сырья до размеров 1–2 мм.

Исследование липидных веществ (жирных кислот) проводили методом газожидкостной хроматографии. Для получения метиловых эфиров ЖК использовали метод кислотного гидролиза [25], 50 мг измельченных воздушно-сухих тканей исследуемых видов растений помещали в герметичные контейнеры, добавляли 1 мл 2,5%-й H_2SO_4 , растворенной в метаноле, и помещали на 1,5 ч в термошейкер при 80 °С и 1000 об./мин. После охлаждения до комнатной температуры (20 °С) к полученному раствору добавляли 1 мл 0,9%-го раствора NaCl. Далее метиловые эфиры жирных кислот экстрагировали 0,5 мл гексана. Полученную смесь помещали в шейкер на 1 мин, затем центрифугировали 1 мин при 10 000g. Метиловые эфиры жирных кислот отбирали декантацией из супернатанта. Для анализа отбирали 200 мкл.

Гексановый экстракт эфиров ЖК помещали в автосамплер хроматографа «МАЭСТРО» 7820/5975, построенного на базе газового хроматографа Agilent 7820 и масс-спектрометрического детектора 5975 того же производителя. Для разделения использовали капиллярную колонку HP-INNOWax (30 м, 0,25 мм, 0,25 мкм), скорость газа-носителя (гелий) 2 мл/мин. Для ввода пробы объемом 10 мкл использовали лайнер без деления потока, температура инжектора 270 °С. Температурная программа разделения: 40 °С (5 мин); 250 °С (4 °С/мин, 5 мин). Температура линии, соединяющей хроматограф и масс-спектрометр, 270 °С, температура источника ионов – 230 °С, температура детектора – 150 °С. Регистрацию осуществляли по полному ионному току (режим SCAN).

Для определения концентрации метиловых эфиров ЖК была проведена калибровка с использованием набора стандартов метиловых эфиров ЖК фирмы Supelco. 37-Component FAME Mix (кат. номер 18919-1MP). При построении калибровочной кривой среднеквадратичное отклонение составляло менее 1 % для всех использованных стандартов метиловых эфиров ЖК.

Все аналитические измерения выполнены в трех повторностях. Результаты экспериментов представлены в виде средней арифметической величины и ее стандартного отклонения. Расчет проводился с помощью пакета AnalystSoft, StatPlus – программа статистического анализа, v.2007.

Результаты и обсуждение

Результаты химического состава ЖК вегетативных органов и динамика жирнокислотного состава листьев в период вегетации исследуемых видов растений представлены в таблицах 1 и 2.

Установлено, что листовые пластинки *O. scheludjakovae*, собранные в июне, и листья *O. strobilacea*, собранные в июне и июле, имели высокое содержание как насыщенных, так и ненасыщенных ЖК, по сравнению с тканями листьев, отобранными в другие месяцы вегетационного периода, и тканями соцветий и цветоносов. Суммарное содержание ЖК составляло 19,5 мг/г_{ткани} у *O. scheludjakovae* и около 17,0 мг/г_{ткани} у *O. strobilacea*.

Основной насыщенной ЖК вегетативных частей двух изученных видов рода *Oxytropis* являлась пальмитиновая кислота (от 20,3 до 29,6 % от суммы кислот). Ее максимальное содержание в листьях *O. scheludjakovae* и *O. strobilacea* отмечено в июне и составляло 4,21 мг/г_{ткани} и 3,90 мг/г_{ткани} соответственно. Пальмитиновая кислота (С 16:0) является одной из наиболее распространенных в природе насыщенных ЖК. У ряда видов растений ее содержание в мембранах оргanelл при воздействии водного дефицита, холодового стресса может значительно увеличиваться [26].

Кроме пальмитиновой кислоты в тканях вегетативных частей изученных видов растений обнаружены насыщенные ЖК с 17, 18, 20, 21, 22, 23, 24 атомами углерода. Следует отметить, что от суммы ЖК на долю стеариновой кислоты (С 18:0) приходилось от 3,3 (цветонос) до 4,9 % (соцветия) у *O. scheludjakovae* и от 3,2 (цветонос) до 5,7 % (соцветия) у *O. strobilacea*. В тканях листьев исследуемых видов растений в течение всего вегетационного периода доля стеариновой кислоты находилась в пределах 4,0 %. Доля арахидиновой кислоты (С 20:0) в тканях вегетативных органов растений составляла от 2,0 до 5,5 %, бегеновой (С 22:0) – от 1,7 до 4,0 %. Доля остальных предельных ЖК не превышала 2,0 %.

Обращает на себя внимание факт наличия жирных кислот с нечетным количеством углеродородов – маргаринавая (С 17:0), генэйкозановая (С 21:0), трикозановая (С 23:0) кислоты, которые крайне редко и в низких концентрациях встречаются в растительном мире. При этом у *O. scheludjakovae* генэйкозановая кислота (С 21:0) отсутствовала только в тканях цветоносов, а у *O. strobilacea* она не идентифицировалась ни в тканях цветоносов, ни в листьях, собранных в ав-

**Содержание ЖК (мг/г_{сухой ткани}) в вегетативных и генеративных органах
и сезонная динамика ЖК в листьях, суммы насыщенных и ненасыщенных жирных кислот
и коэффициента ненасыщенности *Oxytropis scheludjakovae***

Table 1

**FA content (mg/g_{dry tissue}) in vegetative and generative organs and seasonal dynamics of FA in leaves,
total saturated and unsaturated fatty acids and unsaturation coefficient of *Oxytropis scheludjakovae***

Жирная кислота Fatty acid	Соцветия Inflorescences	Цветонос Peduncle	Листья Leaves			
	Июнь June		Июль July	Август August	Сентябрь September	
C14:0	–	–	0,12±0,03	0,17±0,02	0,09*	0,20±0,02
C16:0	2,52±0,58	2,68±0,12	4,21±0,33	3,63±0,23	3,09±0,05	3,40±0,12
C17:0	0,04±0,01	0,03*	0,07*	0,07*	0,07*	0,09*
C18:0	0,44±0,11	0,32±0,01	0,70±0,05	0,65±0,03	0,61±0,01	0,64±0,02
C18:2Δ9,12	1,60±0,41	2,29±0,10	2,00±0,1	1,71±0,02	1,56±0,08	1,93±0,12
C18:3Δ9,12,15	3,50±0,59	4,01±0,16	11,03±0,86	9,21±0,62	7,07±0,06	8,97±0,28
C20:0	0,45±0,06	0,18*	0,62±0,04	0,45±0,02	0,59±0,01	0,43±0,01
C 21:0	0,02*	–	0,01*	0,01*	0,01*	0,02*
C22:0	0,36±0,03	0,24*	0,46±0,02	0,44±0,03	0,55±0,02	0,48±0,01
C23:0	0,01*	0,02*	0,02	0,02*	0,02*	0,03*
C24:0	0,10±0,02	0,08*	0,17±0,01	0,17±0,01	0,22*	0,19*
ΣFA	9,07±1,85	9,89±0,42	19,45±1,45	16,57±0,96	13,91±0,16	16,42±0,55
ΣSFA	3,97±0,85	3,58±0,15	6,41±0,51	5,64±0,35	5,27±0,10	5,51±0,19
ΣUFA	5,10*	6,30±0,27	13,04±0,95	10,93±0,64	8,63±0,08	10,91±0,35
К	1,28±0,02	1,75*	2,03±0,05	1,93±0,06	1,63±0,03	1,97*

Примечание. ΣUFA – сумма ненасыщенных ЖК, ΣSFA – сумма насыщенных ЖК, ΣFA – общая сумма ЖК. К (коэффициент ненасыщенности) – ΣUFA / ΣSFA. * – стандартное отклонение по выборке < 0,01.

Note. ΣUFA represents the sum of unsaturated fatty acids, ΣSFA represents the sum of saturated fatty acids, ΣFA represents the total amount of FA. К (unsaturation factor) – ΣUFA / ΣSFA. * – sample standard deviation < 0.01.

густе. Кроме того, была отмечена отличительная особенность жирнокислотного состава *O. scheludjakovae*, которая выражалась в наличии мистриновой кислоты (С 14:0) в листьях в течение всего вегетационного периода с максимумом в сентябре – 0,20 мг/г_{ткани} и минимумом в августе – 0,09 мг/г_{ткани}, тогда как в тканях листьев *O. strobilacea* эта ЖК была зафиксирована только в июле (0,20 мг/г_{ткани}).

В составе ненасыщенных жирных кислот в тканях исследуемых видов растений были идентифицированы две полиненасыщенные жирные кислоты: диеновая – линолевая (С 18:2Δ9,12) и триеновая – линоленовая (С 18:3Δ9,12,15). В тканях цветоносов *O. scheludjakovae* и *O. strobilacea* содержание линолевой кислоты составляло 2,29 и 2,04 мг/г_{ткани}, соответственно, на ее долю от суммы ЖК приходилось 22,0–23,0 %. В соцветиях доля линолевой кислоты составляла 17,6 % (1,6 мг/г_{ткани}) у *O. scheludjakovae* и

16,4 % (1,67 мг/г_{ткани}) у *O. strobilacea*. В листьях исследуемых видов растений в течение вегетационного периода на долю данной кислоты приходилось от 10,0 до 12,5 % от суммы ЖК. Максимальное содержание линолевой кислоты (2,00 мг/г_{ткани}) отмечено в июне и сентябре у *O. scheludjakovae* и только в сентябре у *O. strobilacea*.

Установлено, что в жирнокислотном составе исследованных видов растений основной ЖК является линоленовая, доля которой составляла около 40,0 % от общей суммы жирных кислот в тканях соцветий и цветоносов (до 4,00 мг/г_{ткани}) и до 58 % в тканях листьев. Наибольшее ее содержание отмечалось у *O. scheludjakovae* в листьях, собранных в июне, и составляло 11,03 мг/г_{ткани} и у *O. strobilacea* июне, июле около 10,0 мг/г_{ткани}. Минимальное содержание зафиксировано в августе – 7,07 и 6,58 мг/г_{ткани} у *O. scheludjakovae* и *O. strobilacea* соответственно.

Содержание ЖК (мг/г_{сухой ткани}) в вегетативных и генеративных органах и сезонная динамика ЖК в листьях, суммы насыщенных и ненасыщенных жирных кислот и коэффициента ненасыщенности *Oxytropis strobilacea*

Table 2

Content of fatty acids (mg/g_{of dry tissue}) in vegetative and generative organs and seasonal dynamics of fatty acids in leaves, the sum of saturated and unsaturated fatty acids and the coefficient of unsaturation of *Oxytropis strobilacea*

Жирная кислота Fatty acid	Соцветия Inflorescences	Цветонос Peduncle	Листья Leaves			
	Июнь June		Июль July	Август August	Сентябрь September	
C14:0	–	–	–	0,20±0,02	–	–
C16:0	2,84±0,12	2,57*	3,90±0,08	3,56±0,07	2,80±0,05	3,14±0,12
C17:0	0,07*	0,03*	0,07*	0,01*	0,05*	0,13*
C18:0	0,54±0,02	0,29*	0,65±0,01	0,72±0,01	0,50±0,01	0,62±0,02
C18:2Δ9,12	1,67±0,01	2,04*	1,71±0,04	1,78±0,06	1,25±0,04	1,92±0,13
C18:3Δ9,12,15	3,96±0,03	3,76±0,02	10,04±0,19	9,83±0,29	6,58±0,10	8,60±0,24
C 20:0	0,53±0,09	0,20±0,01	0,49*	0,38±0,03	0,33*	0,42±0,03
C 21:0	0,03*	–	0,01*	0,01*	–	0,01*
C22:0	0,34±0,05	0,22±0,02	0,35*	0,28±0,01	0,39*	0,42±0,03
C 23:0	0,03*	0,02*	0,01*	0,02*	0,01*	0,03*
C24:0	0,14±0,02	0,08±0,01	0,12*	0,01*	0,17*	0,16±0,01
ΣFA	10,18±0,39	9,24±0,07	17,39±0,33	17,02±0,42	12,13±0,17	15,49±0,53
ΣSFA	4,53±0,34	3,44±0,04	5,64±0,11	5,40±0,13	4,29±0,04	4,95±0,23
ΣUFA	5,64±0,05	5,80±0,03	11,75±0,23	11,62±0,31	7,83±0,14	10,53±0,29
К	1,24±0,08	1,68±0,01	2,08±0,01	2,15±0,03	1,82±0,02	2,12±0,04

Примечание. ΣUFA – сумма ненасыщенных ЖК, ΣSFA – сумма насыщенных ЖК, ΣFA – общая сумма ЖК. К (коэффициент ненасыщенности) – ΣUFA / ΣSFA. * – стандартное отклонение по выборке < 0,01.

Note. ΣUFA represents the sum of unsaturated fatty acids, ΣSFA represents the sum of saturated fatty acids, ΣFA represents the total amount of FA. К (unsaturation factor) – ΣUFA / ΣSFA. * – sample standard deviation < 0,01.

Известно, что повышение или понижение температуры окружающей среды приводит к изменению содержания насыщенных и ненасыщенных ЖК в тканях растительных организмов. Для отражения изменения их соотношения среди прочих используется коэффициент ненасыщенности (К), характеризующий степень ненасыщенности липидов [22]. Показано, что при повышении среднесуточной температуры до 18,9 °С (август) коэффициент ненасыщенности жирных кислот в тканях листьев исследуемых видов растений снижается (см. рисунок). Так, для тканей листьев *O. scheludjakovae* коэффициент ненасыщенности (К) снизился до 1,63 против 2,03 в июне и 1,93 в июле, а у *O. strobilacea* – до 1,82 по сравнению с значениями в июне (2,08) и июле (2,15). При понижении среднесуточной температуры до 8,8 °С (сентябрь) коэффициент ненасыщен-

ности вновь повышался и составлял: 1,97 для *O. scheludjakovae* и 2,12 для *O. strobilacea*.

Заключение

Впервые проанализирован состав ЖК надземных частей у представителей рода *Oxytropis*, произрастающих в условиях Центральной Якутии. Основную группу жирных кислот составляли кислоты с 14–24 углеродными атомами. Не выявлено существенных отличий по качественному составу ЖК эндемичного вида северо-востока *O. scheludjakovae* от вида *O. strobilacea*, имеющего более широкий ареал.

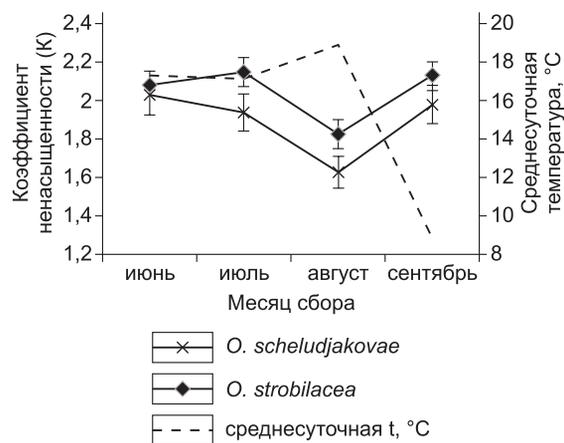
Наибольшее содержание суммы ЖК отмечено в июне в листьях *O. scheludjakovae*; в июне–июле – у *O. strobilacea*. Показано, что основной насыщенной ЖК вегетативных частей двух изученных видов рода *Oxytropis* являлась пальми-

тиновая кислота (от 20,3 до 29,6 % от суммы кислот), а ненасыщенной ЖК – линоленовая кислота, доля которой в тканях соцветий и цветоносов составляла около 40,0 % от общей суммы ЖК и до 58 % в тканях листьев. Выявлена особенность жирнокислотного состава *O. scheludjakovae*, которая выражалась наличием мистриновой кислоты (С 14:0) в тканях листьев в течение всего вегетационного периода, с максимумом в сентябре – 0,20 мг/г_{ткани} и минимумом в августе – 0,09 мг/г_{ткани}, тогда как в тканях листьев *O. strobilacea* наличие этой ЖК было зафиксировано только в июле (0,20 мг/г_{ткани}).

Установлено, что при адаптации исследованных видов растений к повышению среднесуточной температуры воздуха происходило снижение суммы ненасыщенных ЖК, а к понижению температуры, наоборот, повышение их содержания в тканях растений. Для вида *O. strobilacea*, имеющего более широкий ареал, расчетный коэффициент ненасыщенности ЖК в течение всего вегетационного периода имел более высокие значения, чем у *O. scheludjakovae*.

Список литературы / References

1. Yakovlev G.P., Sytin A.K., Roskov Yu.R. *Legumes of Northern Eurasia: A Checklist*. Kew: Royal Botanic Gardens; 1996, pp. 295–360.
2. Бахтина С.М., Лесиовская Е.Е., Саканян Е.И. и др. Противогипоксическая и анальгезирующая активности некоторых видов остролодочника. *Казанский медицинский журнал*. 1995;76(3):205–208.
Bahtina S.M., Lesiovskaya E.E., Sakanyan E.I., et al. Antihypoxic and analgesic activity of some species of *Oxytropis*. *Kazan medical journal*. 1995;76(3):205–208. (In Russ.)
3. Хочачка П.В., Сомеро Д. *Биохимическая адаптация*: Пер. с англ. М.: Мир; 1988. 568 с.
Hochachka P.V., Somero D. *Biochemical adaptation*. Moscow: Mir; 1988. 568 p. (In Russ.)
4. Колесниченко А.В., Войников В.К. *Белки низкотемпературного стресса растений*. Иркутск: Арт-Пресс; 2003. 196 с.
Kolesnichenko A.V., Vojnikov V.K. *Proteins of low-temperature stress in plants*. Irkutsk: Art-Press; 2003. 196 p. (In Russ.)
5. Богданова Е.С., Васюков В.М., Розенцвет О.А. Сравнительный анализ жирнокислотного состава различных видов *Thymus* (Lamiaceae). *Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Естественные науки*. 2023;41(1):83–92.
Bogdanova E.S., Vasjukov V.M., Rozentsvet O.A. Comparative analysis of the fatty acid composition of various species of *Thymus* (Lamiaceae). *University pro-*



Коэффициент ненасыщенности (К) жирных кислот в тканях листьев *Oxytropis scheludjakovae* и *Oxytropis strobilacea* в зависимости от среднесуточной температуры воздуха

Coefficient of unsaturation (K) of fatty acids in the leaf tissues of *Oxytropis scheludjakovae* and *Oxytropis strobilacea* based on the average daily air temperature.

ceedings. *Volga region. Natural Sciences*. 2023;41(1):83–92. (In Russ.)

6. Лось Д.А. Структура, регуляция экспрессии и функционирование десатураз жирных кислот. *Успехи биологической химии*. 2001;41:163–198.

Los' D.A. Structure, expression regulation and functioning of fatty acid desaturases. *Uspekhi Biologicheskoi Khimii*. 2001;41:163–198. (In Russ.)

7. Новицкая Г.В., Суворова Т.А., Трунова Т.И. Липидный состав листьев в связи с холодостойкостью растений томатов. *Физиология растений*. 2000;47(6):829–835.

Novitskaya G.V., Suvorova T.A., Trunova T.I. Lipid composition of tomato leaves as related to plant cold tolerance. *Russian Journal of Plant Physiology*. 2000;47:728–733. <https://doi.org/10.1023/A:1026646826048>

8. Марковская Е.Ф., Шерудило Е.Г., Рипатти П.О., Сысоева М.И. Роль липидов в устойчивости семядольных листьев огурца к постоянному и кратковременному периодическому действию низкой закалывающей температуры. *Труды Карельского научного центра РАН*. 2009;(3):67–74.

Markovskaya E.F., Sherudilo E.G., Ripatti P.O., Sysoeva M.I. Role of lipids in resistance of cucumber cotyledon to continuous and short-term periodic effect of low hardening temperatures. *Transactions of Karelian Research Centre of Russian Academy of Science*. 2009;(3):67–74. (In Russ.)

9. Соболева О.М., Кондратенко Е.П., Сухих А.С. Модификация жирнокислотного профиля как адаптация ячменя к окислительному стрессу. *Химия растительного сырья*. 2022.(3):229–236.

Soboleva O.M., Kondratenko E.P., Sukhikh A.S. Modification of the fatty acid profile as adaptation of barley to

- oxidative stress. *Chemistry of plant raw material*. 2022;(3): 229–236. (In Russ.)
10. Novitskaya G.V., Suvorova T.A. Alterations in membrane lipid composition in winter wheat seedlings during cold acclimation. *Russian Journal of Plant Physiology*. 1994;41:474–479.
11. Новицкая Г.В., Сальникова Е.Б., Суворова Т.А. Изменение ненасыщенности жирных кислот липидов растений озимой и яровой пшеницы в процессе закаливания. *Физиология и биохимия культурных растений*. 1990;22:257–264.
- Novitskaya G.V., Sal'nikova E.B., Suvorova T.A. Changes in unsaturation of fatty acids in winter and spring wheat plant lipids during hardening. *Physiology and biochemistry of cultivated plants*. 1990;22:257–264. (In Russ.)
12. Новицкая Г.В., Трунова Т.И. Связь холодостойкости растений с содержанием липидов мембран хлоропластов. *Докл. РАН*. 2000;371(2):258–260.
- Novitskaya G.V., Trunova T.I. Relationship between cold resistance of plants and the lipid content of their chloroplast membranes. *Doklady Biochemistry*. 2000;371(1-6): 50–52.
13. Нохсоров В.В., Дударева Л.В., Петров К.А. Сезонная динамика содержания липидов и жирных кислот в тканях злаков *Avena sativa* и *Bromopsis inermis*. *Известия Иркутского государственного университета. Серия: Биология. Экология*. 2022;40:73–79.
- Nohsorov V.V., Dudareva L.V., Petrov K.A. Seasonal dynamics of lipid and fatty acid content in tissues of common oat (*Avena sativa*) and smooth brome grass (*Bromopsis inermis*). *The Bulletin of Irkutsk State University. Series Biology. Ecology*. 2022;40:73–79. (In Russ.)
14. Петров К.А., Перк А.А., Чепалов В.А., Охлопкова Ж.М. Особенности жирнокислотного состава некоторых растений Якутии в период формирования криорезистентности. *Вестник Северо-Восточного федерального университета им. М.К. Аммосова*. 2011;8(2): 26–29.
- Petrov K.A., Perk A.A., Chepalov V.A., Ohlopkova Zh.M. Characteristics of fatty acid composition of some plants of Yakutia during the development of cryoresistance. *Vestnik of North-Eastern Federal University*. 2011;8(2):26–29. (In Russ.)
15. Граскова И.А., Дударева Л.В., Живетьев М.А. и др. Динамика сезонных изменений жирнокислотного состава, степени ненасыщенности жирных кислот и активности ацил-липидных десатураз в тканях некоторых лекарственных растений, произрастающих в условиях Предбайкалья. *Химия растительного сырья*. 2011;(4):223–230.
- Graskova I.A., Dudareva L.V., Zhivet'ev M.A., et al. Dynamics of seasonal changes in the fatty acid composition, the degree of unsaturation of fatty acids and the activity of acyl-lipid desaturases in the tissues of some medicinal plants growing in the Pre-Baikal region. *Chemistry of plant raw material*. 2011;(4):223–230. (In Russ.)
16. Розенцвет О.А., Богданова Е.С., Головки Т.К., Захожий И.Г. Состав липидов листьев некоторых представителей *Polypodiophyta* на приполярном Урале. *Химия растительного сырья*. 2013;(4):127–134.
- Rozentsvet O.A., Bogdanova E.S., Golovko T.K., Zahozhiy I.G. Composition of lipids of the leaves of some representatives of *Polypodiophyta* in the Polar Urals. *Chemistry of plant raw material*. 2013;(4):127–134. (In Russ.)
17. Хохряков А.П. *Флора Магаданской области*. М.: Наука; 1985. 396 с.
- Hohryakov A.P. *Flora in the Magadan region*. Moscow: Nauka; 1985. 396 p. (In Russ.)
18. Синельникова Н.В. Сем. Fabaceae. В кн.: Беркутенко А.Н. (ред.). *Флора и растительность Магаданской области: (конспект сосудистых растений и очерк растительности)*. Магадан: ИБПС ДВО РАН; 2010. С. 179–186.
- Sinel'nikova N.V. Sem. fabaceae. In: Berkutenko A.N. (ed.). *Flora and vegetation of the Magadan region*. Magadan: IBPN FEB RAS; 2010, pp. 179–186. (In Russ.)
19. Юрцев Б.А., Караваев М.Н. Новый остролодочник из секции *Baicalia* Bge. в горных степях северо-восточной Якутии. *Бюл. МОИП. Отд. биол.* 1961;66(4): 34–41.
- Yurtsev B.A., Karavaev M.N. *Oxytropis* § *Baicalia* Bge. in steppis montanis Jakutiae boreali-orientalis. *Byul. MOIP. Otd. biol.* 1961;66(4):34–41. (In Russ.)
20. Положий А.В. *Oxytropis* DC. – Остролодочник. В кн.: *Флора Сибири. Том 9. Fabaceae (Leguminosae). В 14 томах*. Новосибирск: Наука; 1994:74–151
- Polozhij A.V. *Oxytropis* DC. – *Ostrolodochnik*. In: *Flora Sibiriae. Tomus 9. Fabaceae (Leguminosae). In 14 tomis*. Novosibirsk: Nauka; 1994:74–151. (In Russ.)
21. Кузнецова Л.В., Захарова В.И. *Конспект флоры Якутии. Сосудистые растения*. Новосибирск: Наука; 2012. 265 с.
- Kuznecova L.V., Zaharova V.I. *Overview of the flora in Yakutia: Vascular plants*. Novosibirsk: Nauka; 2012. 265 p. (In Russ.)
22. Пешкова Г.А. *Флорогенетический анализ степной флоры гор Южной Сибири*. Новосибирск: Наука; 2001. 192 с.
- Peshkova G.A. *Florogenetic analysis of the steppe flora of the mountains in Southern Siberia*. Novosibirsk: Nauka; 2001. 192 p. (In Russ.)
23. Данилова Н.С. *Интродукция многолетних травянистых растений флоры Якутии*. Якутск: ЯНЦ СО РАН; 1993. 162 с.
- Danilova N.S. *Introduction of perennial herbaceous plants of the flora in Yakutia*. Yakutsk: YaSC SB RAS; 1993. 162 p. (In Russ.)
24. Данилова Н.С. Эндемы и субэндемы Центральной Якутии в интродукции. *Бюллетень Главного ботанического сада*. 2013;199(1):3–9.
- Danilova N.S. Endemics and sub-endemics of Central Yakutiya under introduction. *Bulletin Main Botanical Garden*. 2013;199(1):3–9. (In Russ.)

25. Miquel M., Browse J. *Arabidopsis* mutants deficient in polyunsaturated fatty acid synthesis. *The Journal of biological chemistry*. 1992;267(3):1502–1509.

26. Алаудинова Е.В., Миронов П.В. Липиды меристем лесобразующих хвойных пород центральной Сибири в условиях низкотемпературной адаптации. 2. Особенности метаболизма жирных кислот фосфолипидов меристем *Larix sibirica* Lebeb., *Picea obovata*

L. и *Pinus sylvestris* L. *Химия растительного сырья*. 2009;(2):71–76.

Alaudinova E.V., Mironov P.V. Lipids of meristems of forest-forming coniferous species of Central Siberia under conditions of low-temperature adaptation. 2. Features of the metabolism of fatty acids in phospholipids of the meristems of *Larix sibirica* Lebeb., *Picea obovata* L. and *Pinus sylvestris* L. *Chemistry of plant raw material*. 2009;(2):71–76. (In Russ.)

Об авторах

ФИЛИППОВА Галина Валерьевна, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, <https://orcid.org/0000-0002-2024-6062>, SPIN: 8460-0822, e-mail: nureeva@yandex.ru

Андросова Дария Николаевна, кандидат биологических наук, научный сотрудник, <https://orcid.org/0000-0003-1521-0556>, SPIN: 7355-0928, e-mail: darija_androsova@mail.ru

ДАНИЛОВА Надежда Софроновна, доктор биологических наук, профессор, главный научный сотрудник, <https://orcid.org/0000-0001-6532-7977>, ResearcherID: S-8136-2016, Scopus Author ID: 144580, SPIN: 7793-3635, e-mail: nad9.5@mail.ru

ПРОКОПЬЕВ Илья Андреевич, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, <https://orcid.org/0000-0001-8755-7140>, ResearcherID: L-1301-2018, Scopus Author ID: 55037004900, SPIN: 6197-9570, e-mail: ilya.a.prokopiev@gmail.com

ВОРОНОВ Иван Васильевич, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, <https://orcid.org/0000-0002-5460-4024>, SPIN: 3470-6013, e-mail: viv_2002@mail.ru

Вклад авторов

Филиппова Г.В. – разработка концепции, администрирование данных и проекта

Андросова Д.Н. – создание черновика рукописи, ресурсное обеспечение исследования

Данилова Н.С. – создание черновика рукописи, редактирование рукописи

Прокопьев И.А. – методология, верификация данных, проведение статистического анализа

Воронов И.В. – проведение исследования, создание черновика рукописи

Конфликт интересов

Один из авторов – доктор биологических наук, профессор, главный научный сотрудник Данилова Н.С. является заместителем главного редактора журнала «Природные ресурсы Арктики и Субарктики». Авторам неизвестно о каком-либо другом потенциальном конфликте интересов, связанном с этой статьей.

About the authors

FILIPPOVA, Galina Valer'evna, Cand. Sci. (Biol.), Senior Researcher, <https://orcid.org/0000-0002-2024-6062>, SPIN: 8460-0822, e-mail: nureeva@yandex.ru

ANDROSOVA, Daria Nikolaevna, Cand. Sci. (Biol.), Researcher, <https://orcid.org/0000-0003-1521-0556>, SPIN: 7355-0928, e-mail: darija_androsova@mail.ru

DANILOVA, Nadezhda Sofronofna, Dr. Sci. (Biol.), Professor, Chief Researcher, <https://orcid.org/0000-0001-6532-7977>, ResearcherID: S-8136-2016, Scopus Author ID: 144580, SPIN: 7793-3635, e-mail: nad9.5@mail.ru

PROKOPIEV, Ilya Andreevich, Cand. Sci. (Biol.), Senior Researcher, <https://orcid.org/0000-0001-8755-7140>, ResearcherID: L-1301-2018, Scopus Author ID: 55037004900, SPIN: 6197-9570, e-mail: ilya.a.prokopiev@gmail.com

VORONOV, Ivan Vasil'evich, Cand. Sc. (Biol.), Senior Researcher, <https://orcid.org/0000-0002-5460-4024>, SPIN: 3470-6013, e-mail: viv_2002@mail.ru

Authors' contribution

Filippova G.V. – conceptualization, project administration

Androsova D.N. – original draft, resources

Danilova N.S. – original draft, review & editing

Prokopiev I.A. – methodology, validation, formal analysis

Voronov I.V. – investigation, original draft

Conflict of interest

One of the authors, Danilova N.S., Dr. Sci. (Biol.), Professor, Chief Researcher is the Deputy Editor-in-Chief for the journal “Arctic and Subarctic Natural Resources”. The authors are not aware of any other potential conflict of interest relating to this article.

Поступила в редакцию / Submitted 14.03.2023

Поступила после рецензирования / Revised 23.04.2024

Принята к публикации / Accepted 14.05.2024