УДК 633.8+577.115.3+582.475.4

СОСТАВ И СОДЕРЖАНИЕ ЖИРНЫХ КИСЛОТ В СЕМЕНАХ СОСНЫ СТЛАНИКОВОЙ

И. С. Хромченко, Т. И. Голованова, А. Е. Рудченко

Сибирский федеральный университет
660041, Красноярск, пр. Свободный, 79

E-mail: issheveleva@sfu-kras.ru, tgolovanova@sfu-kras.ru, rudchenko.a.e@gmail.com

Поступила в редакцию 26.09.2025 г.
Принята к публикации 16.12.2025 г.

Сосна стланиковая (*Pinus pumila* (Pall.) Regel) является ценным источником пищевых липидов, содержащих биологически активные жирные кислоты (ЖК), включая пиноленовую, линолевую и олеиновую, обладающих противовоспалительными, гиполипидемическими и кардиопротективными свойствами, оказывающих ряд благоприятных эффектов на массу тела, а также на отложение жира за счет увеличения расход энергии (окисление жирных кислот) и снижение потребления энергии с пищей (снижение аппетита). Сбор шишек сосны стланиковой проводили на территории Бодайбинского района Иркутской области вблизи пос. Артемовского и в Билибинском районе Чукотского автономного округа на месторождении Баимка (Песчанка). Гравиметрическим методом установлено высокое содержание липидов в семенах сосны стланиковой: на территории Иркутской области общее содержание липидов – 66.25 %, а на территории Чукотского АО – 64.67 %, что подтверждает их питательную и функциональную ценность. Методом газовой хроматографии с масс-спектрометрическим детектированием (ГХ-МС) определено содержание жирных кислот: линолевая (42.29–42.43 %), олеиновая (24.58–25.51 %) и пиноленовая (17.27–18.29 %) кислоты оказались доминирующими жирными кислотами, тогда как доля насыщенных ЖК (пальмитиновой и стеариновой) не превышала 7.5 %, что дополнительно повышает питательную привлекательность сырья. Установлено, что общее содержание липидов и профиль большинства ЖК сохраняются на высоком и стабильном уровне. Однако выявлены статистически значимые различия в содержании пиноленовой кислоты между семенами из разных регионов (p <0.05), что может быть связано с климатическими условиями произрастания. Полученные результаты свидетельствуют о высокой перспективности использования липидов сосны стланиковой для разработки инновационных функциональных пищевых продуктов, биологически активных добавок и фармацевтических препаратов, направленных на коррекцию метаболических нарушений и улучшение кардиоваскулярного здоровья.

Ключевые слова: *Pinus pumila (Pall.) Regel, пиноленовая кислота, масло семян сосны стланиковой, линолевая кислота, олеиновая кислота, жирные кислоты, липиды, ГХ-МС.*

DOI: 10.15372/SJFS20260104

ВВЕДЕНИЕ

Сосна стланиковая – кедровый стланик (*Pinus pumila* (Pall.) Regel) – является представителем семейства сосновые (Pinaceae) рода сосна (*Pinus* L.), насчитывающем 29 видов, семена которых (орехи) обладают пищевой ценностью и могут быть отнесены к категории съедобных (Орлова, 2000). Она играет значительную роль в экосистемах северных и высокогорных регионов. Вид демонстрирует адаптационную пластичность, что позволяет ему успешно произрастать в экстремальных климатических условиях (Тихомиров, 1949; Москалюк, 2018).

Однако в настоящее время изучены полезные свойства только орехов сосны сибирской – кедра сибирского (*Pinus sibirica* Du Tour), а точные данные о том, какие именно жирные кислоты и в каком количестве содержатся в семенах конкретно сосны стланиковой, произрастающей в условиях Крайнего Севера и приравненных к нему территорий, отсутствуют.

© Хромченко И. С., Голованова Т. И., Рудченко А. Е., 2026

Кедровые орехи, наиболее часто употребляемые в пищу, принадлежат к родственным видам сосны стланиковой – сосне корейской – кедру корейскому (*Pinus koraiensis* Siebold & Zucc), с. сибирской, с. пинии (*Pinus pinea* L.) (Destaillats et al., 2010). Они широко применяются в пищевой промышленности и кулинарии в разных регионах мира как в сыром виде, так и в составе различных блюд (Vanhanen, Savage, 2013). Биохимический состав, включающий высокое содержание липидов и уникальный профиль жирных кислот, обусловливает их значительную роль в поддержании физиологического гомеостаза человека, а также в промышленных процессах (Ferramosca, Zara, 2014; Rogachev, Salakhutdinov, 2015).

Натуральные продукты на основе кедровых орехов активно используются в медицине и фармацевтике в качестве сырья для синтеза биологически активных соединений и лекарственных препаратов. Особый интерес представляют растительные масла, полученные из этих орехов, благодаря их способности модулировать клеточные процессы и оказывать профилактическое действие в отношении онкопатологий (Xie et al., 2016).

Масло кедровых орехов характеризуется высоким содержанием специфических полиненасыщенных жирных кислот (ПНЖК). Среди них особое место занимают:

– пиноленовая кислота (C18 : 3 Δ5, 9, 12), составляющая 14–19 % от общего пула жирных кислот;

– сциадоновая кислота (C20 : 3 Δ5, 11, 14);

– таксоленовая кислота (C20 : 3 Δ5, 9, 12) (Destaillats et al., 2010).

Жирные кислоты, входящие в состав кедровых орехов, играют ключевую роль в метаболических путях человека, выступая предшественниками для синтеза эйкозаноидов, включая простагландины, лейкотриены и тромбоксаны (Rogachev, Salakhutdinov, 2015). Кроме того, они участвуют в регуляции экспрессии генов, связанных с метаболизмом липидов и белков, посредством взаимодействия с ядерными рецепторами и транскрипционными факторами (Nergiz, Dönmez, 2004).

Экспериментальные исследования позволяют предположить, что масло кедровых орехов обладает широким спектром фармакологической активности, включая:

– антимикробное действие (антибактериальное, противогрибковое, противовирусное);

– антисептический и отхаркивающий эффекты;

– влияние на гепатобилиарную систему (желчегонное действие);

– модуляцию диуреза (мочегонный эффект);

– гипотензивные свойства (Amr, Abeer, 2011).

Клинические исследования демонстрируют, что пиноленовая кислота проявляет:

– противовоспалительную активность;

– иммуномодулирующие свойства;

– антиатерогенный эффект (снижение риска развития атеросклероза);

– противоревматическое действие (Takala et al., 2021, 2022).

Установлено ее влияние на снижение массы тела за счет модуляции липидного обмена (Pasman et al., 2008).

Пиноленовая кислота и масло кедрового ореха рассматриваются как перспективные агенты для коррекции гиперхолестеринемии, что подтверждается исследованиями их способности снижать уровень холестерина липопротеинов низкой плотности (ЛПНП) (Xie et al., 2016).

Таким образом, семена сосны стланиковой и их производные представляют собой ценный ресурс для пищевой, фармацевтической и медицинской отраслей благодаря их уникальному биохимическому составу и многофункциональной биологической активности.

Целью настоящего исследования был анализ качественного и количественного состава жирных кислот в семенном материале сосны стланиковой, произрастающей в условиях Крайнего Севера.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Для исследования были использованы семена сосны стланиковой, собранные в лесных массивах Бодайбинского района Иркутской области вблизи пос. Артемовского (58°12′28″ с. ш. 114°38′45″ в. д.) и в Билибинском районе Чукотского автономного округа на месторождении Баимка (Песчанка) (66°33′48″ с. ш. 164°27′44″ в. д.) в третьей декаде августа 2023 г.

Для определения состава и содержания липидов и отдельных жирных кислот были отобраны навески семян – по 0.4 г каждая, а состава и содержания ЖК – пробы семян гомогенизировали с проведением одновременной экстракции общих липидов по методу J. Folch (1957). Общее содержание липидов определяли гравиметри-

ческим методом. Для количественного определения ЖК на единицу массы перед обработкой в пробы добавляли аликвоты раствора внутреннего стандарта (нонадекановая кислота, 19 : 0) в хлороформе. Концентрация внутреннего стандарта составляла 1 мг/мл, соотношение массы добавляемого стандарта и массы пробы было ~ 1 : 1000. После добавления внутреннего стандарта, пробы трижды гомогенизировали с использованием ступки и стеклянных бус в 3–5 мл смеси хлороформ: метанол (2 : 1, по объему) (Gladyshev et al., 2014).

Полученные экстракты пропускали через слой безводного Na_2SO_4 для удаления влаги и объединяли. Растворители выпаривали из экстракта на роторно-вакуумном испарителе (RV-6M, IKA-Werke, Германия) при температуре 35–40 °C. Далее выполняли трансэтерификацию липидов в смеси метанол: NaOH (8 г/л) объемом 1 мл в течение 10 мин при 90 °C, и далее в смеси метанол: H_2SO_4 (97 : 3, по объему) объемом 1 мл при 90 °C. Реакцию получения метиловых эфиров жирных кислот (МЭЖК) завершали добавлением к реакционной смеси 5 мл концентрированного раствора NaCl и 2–4 мл гексана (Gladyshev et al., 2020). Смесь несколько раз интенсивно встряхивали, гексановую фазу, содержащую МЭЖК, промывали водой в делительной воронке и осушали пропусканием через безводный Na_2SO_4. Далее гексан удаляли из раствора под вакуумом при 35 °C. Полученные МЭЖК хранили при температуре –20 °C до проведения газохроматографического анализа.

Анализы МЭЖК выполняли на газовом хроматографе с масс спектрометрическим детектором (ГЖХ-МС, модель 6890/5975C, Agilent Technologies, США) (Matyash et al., 2008). Условия анализа: несущий газ гелий, ввод с делением потока, капиллярная колонка HP-FFAP длиной 30 м и внутренним диаметром 0.25 мм. Применялся температурный градиент: подъем от 100 до 190 °C со скоростью 3 °C/мин, затем 5 мин изотермально, второй подъем температуры от 190 до 230 °C со скоростью 10 °C/мин и 20 мин изотермально. Температура инжектора составляла 250 °C, интерфейса – 280 °C; энергия ионизации детектора – 70 эВ, сканирование проводили в диапазоне 45–450 а.е.м. Пики МЭЖК на хроматограммах идентифицировали по полученным масс-спектрам, сравнением со спектрами, имеющимися в базе данных NIST2005 (Agilent Technologies, США), а также сравнением времени удерживания с таковыми стандартами (Supelco, США).

Статистическая обработка данных осуществлялась с применением методов математической статистики, включая однофакторный дисперсионный анализ (ANOVA) и U-критерий Манна – Уитни. Уровень статистической значимости установлен на уровне $p < 0.05$.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Жирнокислотный состав семян сосны стланиковой, произрастающей в Иркутской области и Чукотском автономном округе, показал значительное накопление липидов (табл. 1).

Содержание липидов в семенах сосны стланиковой на территории Иркутской области (662.53 мг/г) несколько превышают таковые на Чукотке (646.67 мг/г).

Несмотря на существенные различия климатических условий между изучаемыми регионами, включая более экстремальные температурные колебания и выраженную сезонную динамику на Чукотке, количественное содержание липидов в семенах сосны стланиковой не демонстрирует статистически достоверных межрегиональных различий.

На основании проведенных исследований можно предположить, что данный вид обладает выраженной фенотипической пластичностью, обеспечивающей стабильность липидного метаболизма в широком диапазоне экологических условий. Альтернативное объяснение может заключаться в существовании консервативного генетически закреплённого механизма регуляции биосинтеза и депонирования липидов, что имеет критическое значение для формирования энергетических ресурсов семян и, как следствие, для успешности репродукции вида в стрессовых условиях среды (Matthaus, Ozcan, 2013).

Таблица 1. Общее содержание липидов в семенах сосны стланиковой, произрастающей на территориях Иркутской области и Чукотского АО, $m \pm$ SEM

Показатель	Чукотский АО	Иркутская обл.	U	p
Липиды:				
мг/ г	646.67 ± 14.72	662.53 ± 10.90	8.0	0.3472
%	64.67 ±1.47	66.25 ± 1.09	8.0	0.3472

Примечание. $m \pm$ SEM – среднее значение ± стандартная ошибка среднего; U – критерий Манна – Уитни (использован из-за малой выборки или отклонения от нормальности); p-value – уровень статистической значимости ($\alpha = 0.05$).

Таблица 2. Сравнение содержания жирных кислот (%) в образцах из Чукотского АО и Иркутской области, $m \pm$ SEM

Жирные кислоты	Чукотский АО	Иркутская обл.	U	p
Насыщенные жирные кислоты				
Миристиновая (C14 : 0)	0.02 ± 0.00	0.03 ± 0.00	10	0.6015
Пальмитиновая (C16 : 0)	4.36 ± 0.06	4.40 ± 0.09	7	0.2506
Маргариновая (C17 : 0)	0.06 ± 0.00	0.06 ± 0.00	11	0.7540
Стеариновая (C18 : 0)	3.12 ± 0.12	3.14 ± 0.16	11	0.7540
Арахиновая (C20 : 0)	0.41 ± 0.01	0.44 ± 0.02	5	0.1172
Бегеновая (C22 : 0)	0.13 ± 0.00	0.14 ± 0.01	5	0.1172
Мононенасыщенные жирные кислоты				
Пальмитолеиновая (C16 : 1)	0.04 ± 0.00	0.05 ± 0.00	6	0.1745
Гептадеценовая (C17 : 1)	0.03 ± 0.00	0.03 ± 0.00	11	0.7540
Олеиновая (C18 : 1n9)	24.58 ± 0.26	25.51 ± 0.37	3	0.0472*
Вакценовая (C18 : 1n7)	0.36 ± 0.04	0.37 ± 0.03	10	0.6015
Гондоиновая (C20 : 1)	1.19 ± 0.03	1.18 ± 0.03	11	0.7540
Полиненасыщенные жирные кислоты				
Линолевая (C18 : 2n6)	42.43 ± 0.14	42.29 ± 0.17	9	0.4647
α-Линоленовая (C18 : 3n3)	0.16 ± 0.01	0.17 ± 0.01	7	0.2506
Пиноленовая (C18 : 3n6)	18.29 ± 0.18	17.27 ± 0.26	0	0.0090*
Эйкозадиеновая (C20 : 2)	0.45 ± 0.02	0.43 ± 0.01	6	0.1745
Дигомо-γ-линоленовая (C20 : 3n6)	0.17 ± 0.01	0.15 ± 0.01	5	0.1172
Сциадоновая (C20 : 3n3)	0.91 ± 0.03	0.86 ± 0.02	6	0.1745
Другие				
Гипогеиновая	0.03 ± 0.00	0.03 ± 0.00	7	0.2506
Анетеизогептодекановая	0.05 ± 0.00	0.05 ± 0.01	11	0.7540
Таксолевая	3.09 ± 0.11	3.32 ± 0.11	5	0.1172
Прочие ЖК	0.11 ± 0.01	0.12 ± 0.01	10	0.6015

Примечание. $m \pm$ SEM – среднее значение ± стандартная ошибка; U – значение U-критерия Манна – Уитни; p – уровень статистической значимости (* $p < 0.05$).

Полученные результаты коррелируют с данными других исследователей (Meshgi, Asadi-Gharneh, 2019). Максимальная концентрация жирных кислот была отмечена у сосны стланиковой европейской (*Pinus mugo* Turra) (37.40 %) и сосны эльдарской (*Pinus brutia* var. *eldarica* (Medw.) Silba) (44.10 %). Результаты исследования липидного состава семян сосны стланиковой представлены в табл. 2.

Наибольшее содержание зафиксировано для линолевой кислоты (42.43 ± 0.14 % в Чукотском АО и 42.29 ± 0.17 % в Иркутской области), олеиновой кислоты (24.58 ± 0.26 и 25.51 ± 0.37 % соответственно) и пиноленовой кислоты (18.29 ± 0.18 и 17.27 ± 0.26 %). Данные соединения составляют основную часть липидного спектра семян. Пиноленовая кислота (омега-6) показывает статистически достоверные межрегиональные различия (p = 0.0090), что может свидетельствовать о влиянии климатических или эдафических условий на её аккумуляцию.

Насыщенные жирные кислоты пальмитиновая (4.36–4.40 %) и стеариновая (3.12–3.14 %) характеризуются относительно высоким содержанием. Помимо преобладающих линолевой и олеиновой кислот, значимые содержания отмечены для таксолевой (~ 3.09–3.32 %) и гондоиновой (~ 1.18–1.19 %) кислот. Миристиновая, маргариновая и арахидоновая кислоты присутствуют в следовых концентрациях (≤ 0.44 %).

Аналогичные результаты полученные V. Meshgi и Asadi-Gharneh (2019). В образцах сосны стланиковой европейской были зафиксированы следующие концентрации: пальмитиновая кислота – 4.21 %, стеариновая – 3.03 %, олеиновая – 19.97 % и пиноленовая – 65.53 %. При этом максимальные уровни пальмитиновой (6.33 %) и олеиновой кислот (36.29 %) были выявлены у сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.). Наибольшая доля стеариновой кислоты отмечена у сосны Роксбурга (*Pinus roxburghii* Sarg.) – 3.86 %. Высокое содержание линолевой кислоты

Таблица 3. Содержание жирных кислот (мг/г) в семенах кедрового стланика, произрастающего на территориях Иркутской области и Чукотского АО, $m \pm$ SEM

Кислота	Чукотский АО	Иркутская область	U	p
Олеиновая	**142.57 ± 6.38**	**146.43 ± 9.22**	**9.0**	**0.4647**
Таксолевая	17.97 ± 1.10	19.12 ± 1.53	6.0	0.1745
Линолевая	**245.99 ± 9.80**	**242.49 ± 13.58**	**12.0**	**0.9168**
Пиноленовая	**106.02 ± 4.40**	**98.90 ± 5.27**	**8.0**	**0.3472**
α-линоленовая	0.91 ± 0.05	0.95 ± 0.07	8.0	0.3472
Сциадоновая	5.29 ± 0.28	4.97 ± 0.32	10.0	0.6015
Сумма ЖК	579. 96 ±24.31	573.72 ± 33.30	11.0	0.7540

Примечание. Данные представлены как среднее ± стандартная ошибка ($m \pm$ SEM); для сравнения групп использован U-критерий Манна – Уитни (непараметрический тест); уровень значимости: $p < 0.05$.

зарегистрировано у сосны эльдарской (64.75 %) и с. стланиковой европейской (65.53 %).

Липидный состав семян сосны стланиковой отличается высоким уровнем полиненасыщенных жирных кислот, что позволяет предположить их потенциальную биологическую и фармакологическую значимость. Региональная вариабельность состава минимальна, за исключением пиноленовой кислоты, что может быть обусловлено адаптационными механизмами растения к локальным экологическим факторам.

Наибольшее содержание жирных кислот в семенах установлено для линолевой кислоты (≈ 242–246 мг/г), что соответствует типичному профилю жирных кислот у представителей хвойных таксонов (табл. 3).

Статистически значимые различия ($p > 0.05$) между исследуемыми регионами отсутствуют для всех индивидуальных жирных кислот, включая их суммарное содержание (≈ 574–580 мг/г).

Семена, собранные на Чукотке, характеризуются незначительным повышением уровня пиноленовой (106.02 против 98.90 мг/г) и сциадоновой (5.29 против 4.97 мг/г) кислот.

В семенах иркутской популяции наблюдается незначительное преобладание олеиновой (146.43 против 142.57 мг/г) и α-линоленовой (0.95 против 0.91 мг/г) кислот. Полученные данные могут свидетельствовать о высокой консервативности метаболизма жирных кислот у сосны стланиковой в ответ на вариации почвенно-климатических условий. Вместе с тем выявленные незначительные колебания (например, в содержании пиноленовой кислоты) потенциально могут быть обусловлены адаптационными механизмами к холодовому стрессу (Чукотский АО) и градиенту инсоляции (Иркутская область).

Липидный состав семян сосен может оказывать существенное влияние на их фармакологическую и коммерческую значимость (Matthaus, Ozcan, 2013). Жирнокислотный состав представляет собой ключевой хемотаксономический маркер, применяемый для дифференциации таксонов различного ранга, включая семейства, роды и виды растений. В ряде научных исследований было обнаружено преобладание линолевой (C18 : 2*n*-6) и олеиновой (C18 : 1*n*-9) кислот в составе идентифицированных жирных кислот, что свидетельствует об их значительном вкладе в общий липидный профиль исследуемых образцов (Matthäus et al., 2018).

Ненасыщенные жирные кислоты, включая пиноленовую, линолевую и олеиновую, играют существенную роль в модуляции физиологических процессов в организме человека. В частности, пиноленовая кислота демонстрирует выраженную противовоспалительную активность, ингибируя синтез провоспалительных медиаторов, таких как оксид азота, интерлейкин-6 (IL-6), фактор некроза опухоли альфа (TNF-α) и простагландин E2 (PGE2). Снижение концентрации простагландина E2 (PGE2) может быть обусловлено либо подавлением экспрессии циклооксигеназы-2 (COX-2), либо конкурентным взаимодействием Δ-7 ЭТА, продукта элонгации пиноленовой кислоты с арахидоновой кислотой (AA). Пиноленовая кислота, вероятно, способствует улучшению функциональной активности лимфоцитов. Употребление кедрового орехового масла и пиноленовой кислоты демонстрирует положительное влияние на регуляцию аппетита, что, предположительно, обусловлено усилением секреции гормонов насыщения – холецистокинина (CCK)-8 и глюкагоноподобного пептида-1 (GLP-1). Данные выводы подтверждены клиническими исследованиями с участием человека (Meshgi, Asadi-Gharneh, 2019). В экспериментальной модели на мышах, получавших высо-

кожировую диету (HFD) с добавлением кедрового орехового масла, зафиксировано снижение прироста массы тела. Данный эффект обусловлен активацией окислительного метаболизма и процессов термогенеза, сопровождающихся утилизацией энергетических субстратов, что приводит к редукции жировой ткани и снижению интрамускулярного накопления липидов. Кроме того, отдельные исследования указывают на способность пиноленовой кислоты модулировать концентрацию ЛПНП в системном кровотоке за счет усиления их захвата гепатоцитами. Результаты *in vitro* экспериментов демонстрируют, что пиноленовая кислота проявляет свойства двойного агониста, коактивирующего рецепторы FFA1 и FFA4. Это потенциально может индуцировать усиление глюкозозависимой секреции инсулина и повышение инсулиновой чувствительности (Christiansen et al., 2015).

В некоторых исследованиях (Christiansen et al., 2015) пиноленовая кислота продемонстрировала превосходство над всеми другими исследуемыми жирными кислотами, включая полиненасыщенные жирные кислоты (ПНЖК) класса Омега 3, обладающие доказанными кардиопротективными свойствами. Инкубация человеческих раковых клеток с пиноленовой кислотой привела к значительному снижению их миграционной активности и инвазивного потенциала. Полученные данные позволяют предположить наличие у пиноленовой кислоты способности ингибировать процессы метастазирования злокачественных новообразований.

Кедровое ореховое масло способствует активации ключевых ферментов антиоксидантной защиты, таких как супероксиддисмутаза (SOD) и фосфолипидгидропероксид глутатионпероксидаза (GSH-Px), в сыворотке крови, одновременно снижая концентрацию малонового диальдегида (MDA) – маркера интенсификации процессов перекисного окисления липидов. Примечательно, что пиноленовая кислота способна потенцировать благоприятные эффекты конъюгированной линолевой кислоты (CLA) в экспериментах на мышах, не вызывая при этом негативных метаболических нарушений (Chuang et al., 2009).

Таким образом, пиноленовая кислота обладает потенциальными терапевтическими эффектами, включая улучшение инсулиновой чувствительности, снижение риска развития сердечно-сосудистых патологий, регуляцию пищевого поведения, а также уменьшение массы тела и подавление накопления жировой ткани.

R. Takala и соавт. (2021) выявили, что доминирующими жирными кислотами в липидной фракции семян сосны белой китайской (*Pinus armandii* Franch.) доминируют линолевая (35.2–58.2 г/100 г) и олеиновая (14.6–48.5 г/100 г). Сходные результаты были получены в других источниках (Kadri et al., 2015), которые установили преобладание линолевой (30–59 %) и олеиновой (17.4–34.6 %) кислот в составе ненасыщенных жирных кислот семян сосны алеппской (*Pinus halepensis Mill.*). Как отмечают E. Abedi и M. A. Sahari (2014), полиненасыщенные жирные кислоты играют критическую роль в физиологии человека, выступая в качестве эссенциальных нутриентов. Вследствие отсутствия у человека ферментативных систем, катализирующих синтез данных соединений, их поступление в организм должно обеспечиваться за счет рационального питания (DeFilippis, Sperling, 2006).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенное исследование позволило детально охарактеризовать липидный состав семян сосны стланиковой, произрастающей в экстремальных условиях Крайнего Севера. Установлено, что семена содержат значительное количество липидов (64.67–66.25 % от массы), что делает их ценным источником растительного масла. В жирнокислотном профиле доминируют ненасыщенные жирные кислоты, в частности линолевая (42.29–42.43 %), олеиновая (24.58–25.51 %) и пиноленовая (17.27–18.29 %), тогда как содержание насыщенных кислот (пальмитиновой и стеариновой) остаётся сравнительно низким (3.12–4.40 %).

Особый интерес представляет высокая концентрация пиноленовой кислоты, обладающей доказанной биологической активностью, включая противовоспалительное, гиполипидемическое и антиатерогенное действие. Полученные данные согласуются с результатами других исследований, подтверждающих важную роль кедровых орехов в питании и фармакологии.

Выявленные особенности состава семян сосны стланиковой подчёркивают их потенциал в качестве функционального пищевого продукта и сырья для фармацевтической и пищевой промышленности. Дальнейшие исследования могут быть направлены на изучение влияния экологических факторов, на накопление биологически активных соединений, а также на разработку технологий переработки кедрового ореха с сохранением его полезных свойств.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Орлова Л. В. Сосны России (*Pinus* L., Pinaceae): систематика и география: автореф. дис. ... канд. биол. наук: 03.00.05. СПб.: Бот. ин-т им. В. Л. Комарова РАН, 2000. 20 с.

Москалюк Т. А. Типы и разновидности экобиоморф *Pinus pumila* (Pinaceae) в производных каменноберезняках Магаданской области // Rus. J. Ecosyst. Ecol. 2018. Т. 3. № 4. 16 с.

Тихомиров Б. А. Кедровый стланик, его биология и использование. М.: Изд-во АН СССР, 1949. 105 с.

Abedi E., Sahari M. A. Long-chain polyunsaturated fatty acid sources and evaluation of their nutritional and functional properties // J. Food Sci. Nutr. 2014. V. 2. N. 5. P. 443–463.

Amr A. R., Abeer E. K. Hypolipideimic and hypocholestermic effect of pine nuts in rats fed high fat, cholesterol-diet // World Appl. Sci. J. 2011. V. 15. Iss. 12. P. 1667–1677.

Christiansen E., Watterson K. R., Stocker C. J., Sokol E., Jenkins L., Simon K., Grundmann M., Petersen R. S., Wargent E. T., Hudson B. D., Kostenis E, Ejsing C. S., Cawthorne M. A., Milligan G., Ulven T. Activity of dietary fatty acids on FFA1 and FFA4 and characterisation of pinolenic acid as a dual FFA1/FFA4 agonist with potential effect against metabolic diseases // Brit. J. Nutr. 2015. V. 113. Iss. 11. P. 1677–1688.

DeFilippis A. P., Sperling L. S. Understanding omega-3's // Amer. Heart J. 2006. V. 151. Iss. 3. P. 564–570.

Destaillats F., Cruz-Hernandez C., Giuffrida F., Dionisi F. Identification of the botanical origin of pine nuts found in food products by gas−liquid chromatography analysis of fatty acid profile // J. Agr. Food Chem. 2010. V. 58. N. 4. P. 2082–2087.

Ferramosca A., Zara V. Modulation of hepatic steatosis by dietary fatty acids // World J. Gastroenterol. 2014. V. 20. Iss. 7. P. 1746–1755.

Folch J. A simple method for the isolation and purification of total lipides from animal tissues // J. Biol. Chem. 1957. V. 226. N. 1. P. 497–509.

Gladyshev M. I., Sushchik N. N., Gubanenko G. A., Makhutova O. N., Kalachova G. S., Rechkina E. A., Malyshevskaya K. K. Effect of the way of cooking on contents of essential polyunsaturated fatty acids in filets of zander // Czech J. Food Sci. 2014. V. 32. Iss. 3. P. 226–231.

Gladyshev M. I., Anishchenko O. V., Makhutova O. N. The benefit-risk analysis of omega-3 polyunsaturated fatty acids and heavy metals in seven smoked fish species from Siberia // J. Food Compos. Analys. 2020. V. 90. P. Article 103489.

Chuang L. T., Tsai P. J., Lee C. L., Huang Y. S. Uptake and incorporation of pinolenic acid reduces n-6 polyunsaturated fatty acid and downstream prostaglandin formation in murine macrophage // Lipids. 2009. V. 44. Iss. 3. P. 217–224.

Kadri N., Khettal B., Aid Y., Kherfellah S., Sobhi W., Barragan-Montero V. Some physicochemical characteristics of pinus (*Pinus halepensis* Mill. *Pinus pinea* L., *Pinus pinaster* and *Pinus canariensis*) seeds from North Algeria, their lipid profiles and volatile contents // J. Food Chem. 2015. V. 188. P. 184–192.

Matthäus B., Li P., Ma F., Zhou H., Jiang J., Özcan M. M. Is the profile of fatty acids, tocopherols, and amino acids suitable to differentiate *Pinus armandii* suspicious to be responsible for the pine nut syndrome from other pinus species? // J. Chem. Biodivers. 2018. V. 15. Iss. 1. Article 323.

Matthaus B., Ozcan M. M. Fatty acid, tocopherol and sterol content of forest pine seed oil // Asian J. Chem. 2013. V. 25. N. 17. P. 9845–9847.

Matyash V., Liebisch G., Kurzchalia T. V., *Shevchenko A., Schwudke D.* Lipid extraction by methyl-tert-butyl ether for high-throughput lipidomics // J. Lipid Res. 2008. V. 49. Iss. 5. P. 1137–1146.

Meshgi V., Asadi-Gharneh H. A. Oil content and fatty acid profile of some pine nuts species (*Pinus* spp.) // J. Nuts. 2019. V. 10. N. 1. P. 71–78.

Nergiz C., Dönmez İ. Chemical composition and nutritive value of *Pinus pinea* L. seeds // J. Food Chem. 2004. V. 86. Iss. 3. P. 365–368.

Pasman W. J., Heimerikx J., Rubingh C. M., Berg R. van den, O'Shea M., Gambelli L., Hendriks H. F. J., Einerhand A. W. C., Scott C., Keizer H. G. , Mennen L. I. The effect of Korean pine nut oil on *in vitro* CCK release, on appetite sensations and on gut hormones in post-menopausal overweight women // Lipids in Health and Disease. 2008. V. 7. Iss. 1. Article 10. 10 p.

Rogachev A. D., Salakhutdinov N. F. Chemical composition of *Pinus sibirica* (Pinaceae) // J. Chem. Biodivers. 2015. V. 12. Iss. 1. P. 1–53.

Takala R., Ramji D. P., Andrews R., Zhou Y., Burston J., Choy E. Anti-inflammatory and immunoregulatory effects of pinolenic acid in rheumatoid arthritis // Brit. J. Rheumatol. 2021. V. 61. Iss. 3. P. 992–1004.

Takala R., Ramji D. P., Andrews R., Zhou Y., Farhat M., Elmajee M., Rundle S., Choy E. Pinolenic acid exhibits anti-inflammatory and anti-atherogenic effects in peripheral blood-derived monocytes from patients with rheumatoid arthritis // Sci. Rep. 2022. V. 12. Iss. 1. Article 8807. 15 p.

Vanhanen L. P., Savage G. P. Mineral analysis of pine nuts (*Pinus* spp.) grown in New Zealand // Foods. 2013. V. 2. Iss. 2. P. 143–150.

Xie K., Miles E. A., Calder P. C. A review of the potential health benefits of pine nut oil and its characteristic fatty acid pinolenic acid // J. Funct. Foods. 2016. V. 23. P. 464–473.

THE COMPOSITION AND CONTENT OF FATTY ACIDS IN THE SEEDS OF SIBERIAN DWARF PINE

I. S. Khromchenko, T. I. Golovanova, A. E. Rudchenko

Siberian Federal University
Prospekt Svobodny, 79, Krasnoyarsk, 660041 Russian Federation

E-mail: issheveleva@sfu-kras.ru, tgolovanova@sfu-kras.ru, rudchenko.a.e@gmail.com

Siberian dwarf pine (*Pinus pumila* (Pall.) Regel), is a valuable source of dietary lipids containing biologically active fatty acids (FA), including pinolenic, linoleic and oleic acids, which have anti-inflammatory, hypolipidemic and cardioprotective properties, have a number of beneficial effects on body weight, as well as on fat deposition by increasing energy consumption (oxidation of fatty acids) and reducing energy consumption with food (decreased appetite). Siberian dwarf pine cones were collected in the Irkutsk Oblast, Bodaibinsky District, near the village of Artemovsky and in the Bilibinsky District of the Chukotka Autonomous Okrug at the Bayimka (Peschanka) deposit. Gas chromatography with mass spectrometric detection (GC-MS) has revealed a high lipid content in Siberian dwarf pine seeds: in the Irkutsk Oblast, the total lipid content is 66.25 %, and in the Chukotka Autonomous District – 64.67 %, which confirms their nutritional and functional value. Linoleic acid (42.29–42.43 %), oleic acid (24.58–25.51 %) and pinolenic acid (17.27 –18.29 %) were the dominant fatty acids, while the proportion of saturated LC (palmitic and stearic) did not exceed 7.5 %, which further increases the nutritional attractiveness of raw materials. It has been established that the total lipid content and profile of most LC are maintained at a high and stable level. However, statistically significant differences in the content of pinolenic acid were found between seeds from different regions ($p < 0.05$), which may be related to the climatic conditions of growth. The results obtained indicate the high prospects of using siberian dwarf pine lipids for the development of innovative functional food products, biologically active additives and pharmaceuticals aimed at correcting metabolic disorders and improving cardiovascular health.

Keywords: *Pinus pumila (Pall.) Regel, pinolenic acid, Siberian dwarf pine nut oil, linoleic acid, oleic acid, fatty acids, lipids, GC-MS.*

How to cite: *Khromchenko I. S., Golovanova T. I., Rudchenko A. E.* The composition and content of fatty acids in the seeds of Siberian dwarf pine // *Sibirskij Lesnoj Zurnal* (Sib. J. For. Sci.). 2026. N. 1. P. 50–57 (in Russian with English abstract and references).