

## ЛИПИДНЫЙ СОСТАВ ОСЕННЕГО КРИОКОРМА ЖИВЫХ ОРГАНИЗМОВ В УСЛОВИЯХ ЯКУТИИ

К.А. Петров<sup>1</sup>, В.В. Нохсоров<sup>2</sup>, А.А. Перк<sup>1</sup>, В.А. Чепалов<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт биологических проблем криолитозоны Сибирского отделения Российской академии наук, Якутск, Россия, *kap\_75@bk.ru*

<sup>2</sup>Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Северо-Восточный федеральный университет имени М.К. Аммосова», Якутск, Россия, *vv.nokhsorov@s-yfu.ru*

**Аннотация.** Впервые установлено существенное возрастание содержания суммарных липидов, а также фосфолипидов и их жирных кислот у злаковых растений (на примере *Bromopsis inermis* Leyss.) во время холодового закаливания в условиях криолитозоны Якутии. Предполагается, что корма со значительным количеством фосфолипидов и незаменимых ПНЖК (линолевая и линоленовая) позволяют сформировать уникальный состав запасных жиров аборигенных животных во время их зимовки.

**Ключевые слова:** криокорм, липиды, жирные кислоты, адаптация животных

**DOI:** 10.31255/978-5-94797-319-8-630-633

Теория поэтапного повышения криорезистентности растительного организма, разработанная в прошлом веке, явилась основой того бурного развития, которое претерпело учение о холодо- и морозоустойчивости растений в последние три-четыре десятилетия. С одной стороны, многочисленными исследованиями, проведенными во многих лабораториях разных стран, получены данные об адаптивном накоплении липидного комплекса и их полиненасыщенных жирных кислот (ПНЖК) при экспериментальном холодовом закаливании в различных органах растений. С другой, у многолетних травянистых и древесных растений, произрастающих в экстремальных природно-климатических условиях Якутии, в осенне-зимний период происходит также поэтапное повышение их криоустойчивости. Какие же внешние факторы и физиологические механизмы обеспечивают переход растений из вегетирующего в закаленное морозостойкое состояние? В природе этот процесс протекает осенью на фоне укорачивающейся длины дня и снижения температуры воздуха, что характеризуется положительными (I фаза) и начальными отрицательными температурами (II фаза). Началом осеннего сезона в Якутии считается устойчивый переход температуры воздуха через 15 °С (таблица).

Как следует из данных таблицы, продолжительность периода с осенними низкими положительными температурами воздуха от 10 °С до 0 °С в Ц-Я составляет 17...24, Я-И – 30...36 и Кол – 15...23 дня. В период первой фазы холодового закаливания (в конце лета и осенью) в Якутии складываются самые благоприятные погодные условия для повышения термоустойчивости осенневегетирующих травянистых, кустарниковых и древесных растений. Переход температуры воздуха через 10 °С совпадает примерно с наступлением осенних заморозков, когда I фаза закаливания проходит на свету при низких положительных температурах (+10 °С днем и +2 °С...4 °С ночью). Переход среднесуточной температуры воздуха через 5 °С (окончание роста и развития осенневегетирующих травянистых растений, глубокий физиологический покой кустарников и деревьев) наблюдается в середине сентября, а через 0 °С – в конце сентября – начале октября. При наступлении морозов осенне-вегетирующие растения (отава) уходят под снег в зеленом состоянии, обеспечивая зимним кормом травоядных животных. Поэтому весьма актуальным является изучение содержания и состава

липидов и их ПНЖК в листьях летне- и осенневегетирующих растений в условиях криолитозоны Якутии.

Таблица.

**Особенности холодого закаливания растений в условиях Якутии**

Флористические районы	Годы	Даты перехода среднесуточной температуры воздуха через:					Продолжительность I фазы закаливания, дни
		15 °С (начало осени)	10 °С (начало холодого закаливания)	5 °С (окончание вегетации)	0 °С (окончание I фазы закаливания)	-5 °С (окончание осени, II фаза закаливания)	
Центрально-Якутский (Ц-Я)	2015	17.08	01.09	15.09	25.09	13.10	24
	2016	15.08	07.09	21.09	24.09	09.10	17
	2017	17.08	13.09	18.09	30.09	15.10	17
Яно-Индигирский (Я-И)	2015	19.07	15.08	01.09	19.09	23.09	34
	2016	06.07	17.08	19.09	23.09	27.09	36
	2017	13.07	17.08	07.09	16.09	02.10	30
Колымский (Кол)	2014	10.08	11.08	18.09	26.09	11.10	15
	2015	27.07	01.08	14.09	24.09	03.10	23
	2016	06.08	02.08	10.09	25.09	17.10	23

Участок с опытными многолетними растениями *Bromopsis inermis* Leys. располагался в средней пойме р. Лена (Центральная Якутия, окрестности г. Якутска, 62° с.ш. и 130° в.д.). Схема опыта (2013–2014 гг.) строилась с таким расчетом, чтобы растения подвергались естественному холодому закаливанию во второй половине сентября. Для этого летом в начале фазы трубкования часть растений срезали на высоте 4–5 см от уровня земли для стимулирования закладки молодых побегов (отава). Остальные растения служили контрольным вариантом.

Листья *B. inermis* фиксировали жидким азотом с последующей лиофилизацией (VirTis, USA). Экстракцию суммарных липидов (СЛ), количественное определение содержания фосфолипидов проводили по общепринятым методикам. Анализ полученных метиловых эфиров ЖК производился методом газожидкостной хроматографии с использованием хромато-масс-спектрометра 5973/6890N MSD/DS (Agilent Technologies, USA). Опыты проводили в трехкратной биологической повторности.

В летнее время (июль-август) у *B. inermis* в варианте без срезки отмечали низкое содержание СЛ (25,8–75,5 мг/г сух. массы). Напротив, начиная с последней декады августа, по мере закаливания осенневегетирующей отавы злака, наблюдали значительное увеличение СЛ, содержание которых возросло до 93,3–136,8 мг/г сух. массы.

Результаты анализа показали, что в листьях травянистых растений были выявлены следующие ФЛ: фосфатидилхолин (ФХ), фосфатидилинозит, фосфатидилэтанолламин, фосфатидилглицерин, фосфатидная кислота, дифосфатидилглицерин. Осенью, в период наступления низких положительных температур в листьях отавы костреца количество ФХ увеличилось в 3,6 раза по сравнению с летними показателями контрольных растений.

Исследование жирнокислотного состава костреца безостого выявило 17 типов ЖК. Более половины суммы всех ЖК листьев *B. inermis* составляла линоленовая кислота, затем насыщенная пальмитиновая. У отавы, отрастающей после срезки

надземной части, содержание суммы насыщенных и ненасыщенных ЖК было выше, чем у летневегетирующих растений, при этом содержание насыщенных ЖК увеличилось на 3,6 мг/г, ненасыщенных – на 32,4 мг/г сух. массы. Соответственно, показатель коэффициента ненасыщенности (К) вырос почти в 1,4 раза.

Таким образом, можно сделать вывод о том, что для осенневегетирующей отавы *V. inermis*, проходящей холодовое закаливание в условиях криолитозоны Якутии, характерно существенное накопление как содержания СЛ, так и полярных ФЛ, особенно ФХ, а также ПНЖК, по сравнению с летневегетирующими растениями. Полученные данные согласуются с физиологической ролью липидов в адаптации растений к низкотемпературному воздействию [Верещагин, 2007]. Это обеспечивает продление функционирования фотосинтеза в период первой фазы холодового закаливания и способствует завершению подготовки растений к длительной зиме.

Следует отметить, что продолжительность периода с осенними низкими положительными температурами воздуха от 10 °С до 0 °С в Центральной Якутии составляет 17-24 дня. В период первой фазы холодового закаливания (в конце лета и осенью) в Якутии складываются самые благоприятные погодные условия для повышения термоустойчивости осенневегетирующих травянистых растений. Преобладающими метеорологическими элементами являются наличие большого числа ясных солнечных дней, необходимых для фотосинтеза, и прохладных ночей, задерживающих расходование углеводов на дыхание.

Накопление большого количества энерго- и материалоемких веществ, таких как белки, углеводы [Габышев, 1957; Потапов, 1967; Петров и др., 2017], а также липиды и их незаменимые ПНЖК в листьях осенневегетирующих и зимнезеленых злаковых, осоковых и хвощовых кормовых растений определяет их высокую питательную ценность. Липиды растений – важнейший компонент рациона животных, обеспечивающий значительную часть их энергетических потребностей и служащий источником эссенциальных ПНЖК [Гладышев, 2012].

Травоядные животные, получив жирные масла и незаменимые ПНЖК вместе с пищей, способны синтезировать из них длинноцепочечные ПНЖК Омега-6 (арахидоновая кислота) и Омега-3 (эйкозапентаеновая и докозагексаеновая кислоты) [Gladyshev et al., 2015]. Повышенное содержание жирных масел у осенневегетирующих кормовых растений, по-видимому, является одной из главных причин быстрого накопления жира у травоядных животных в условиях холодного климата криолитозоны Якутии. Так, еще профессор М.Ф. Габышев [1957, с. 166], исследуя нажировочную способность якутской лошади, впервые пришел к заключению: «Продолжительность нажировки зависит от отавности пастбищ, при обилии отавы нажировка заканчивается с наступлением первых морозов...».

Многие виды млекопитающих (северный олень, заяц-беляк, малый и длиннохвостый суслики и др.), обитающие в Якутии, отличаются развитой способностью к осеннему накоплению наружного и внутреннего жира, что может быть обусловлено их генетическими особенностями, сформировавшимися в процессе длительной эволюции. Вместе с тем, главным источником биоэнергетики, обеспечивающей жизнедеятельность таких травоядных животных зимой в условиях экстремально холодного климата криолитозоны, по-видимому, является зеленый криокорм с повышенным содержанием питательных веществ, включая липиды и их ЖК.

#### Литература

Верещагин А.Г. Липиды в жизни растений. 63-е Тимирязевское чтение. – М.: Наука, 2007. – 78 с.

Габышев М.Ф. Якутская лошадь. – Якутск, 1957. – 239 с.

Гладышев М.И. Незаменимые полиненасыщенные жирные кислоты и их пищевые источники для человека // Журнал Сибирского федерального университета. Биология. – 2012. – Т. 5, №4. – С. 352–386.

Петров К.А., Перк А.А., Чепалов В.А., Софронова В.Е., Ильин А.Н., Иванов Р.В. Эколого-физиологические и биохимические основы формирования зеленого криокорма в Якутии (Обзор) // Сельскохозяйственная биология. – 2017. – Т. 52, № 6. – С. 1129–1138.

Потапов В.Я. Углеводы и лигнин в кормовых травах Якутии. – М.: Наука, 1967. – 173 с.

Gladyshev M., Makhutova O., Gubanenko G., Rechkina E., Kalachova G., Sushchik N. Livers of terrestrial production animals as a source of long-chain polyunsaturated fatty acids for humans: An alternative to fish? // Eur. J. Lipid Sci. Technol. – 2015. – V. 117. – P. 1417–1421.

### LIPID COMPOSITION OF AUTUMN CRYOFEED OF LIVING ORGANISMS IN THE CONDITIONS OF YAKUTIA

K.A. Petrov<sup>1</sup>, V.V. Nokhsorov<sup>2</sup>, A.A. Perk<sup>1</sup>, V.A. Chepalov<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Institute for Biological Problems of Cryolithozone Siberian Branch of Russian Academy of Sciences, Yakutsk, Russia, *kap\_75@bk.ru*

<sup>2</sup>M.K. Ammosov North-Eastern Federal University, Yakutsk, Russia, *vv.nokhsorov@s-vfu.ru*

**Abstract.** Significant increase in summary lipids content, as well as in phospholipids and their fatty acids has been found for the first time in cereals (case study of *Bromopsis inermis* Leyss.) during cold acclimation under the cryolithic conditions of Yakutia. It is supposed that feed with a considerable amount of phospholipids and essential PUFA (linoleic and linolenic) contribute to the formation of a unique composition of reserve fat in aboriginal animals during their wintering.

**Keywords:** *cryofeed, lipids, fatty acids, animal adaptation*