

УДК 574.24

КОМПОНЕНТНЫЙ СОСТАВ ФИТОСТЕРИНОВ НАДЗЕМНОЙ ЧАСТИ ХВОЩА ПЕСТРОГО *EQUISÉTUM VARIEGATUM* SCHLEICH. EX. WEB., ПРОИЗРАСТАЮЩЕГО В СЕВЕРО-ВОСТОЧНОЙ ЯКУТИИ

© Л.В. Дударева¹, Н.В. Семенова¹, В.В. Нохсоров², Е.Г. Рудиковская^{1*}, К.А. Петров³

¹ Сибирский институт физиологии и биохимии растений СО РАН,
ул. Лермонтова, 134, Иркутск, 664033 (Россия), e-mail: rudal69@mail.ru

² Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова,
ул. Кулаковского, 48, Якутск, 677000 (Россия)

³ Институт биологических проблем криолитозоны СО РАН, пр. Ленина, 41,
Якутск, 677890 (Россия)

Известно, что фитостерины обладают высокой иммуномодулирующей, гипохолестеринемической и онкопротекторной активностью и широко применяются в медицине. Кроме того, содержащиеся их растения используются в кормах сельскохозяйственных животных в качестве биодобавок, стимулирующих рост и иммунную систему. Перспективными, но слабоизученными источниками этих биологически активных соединений могут быть растения класса Хвощевых (*Equisetopsida*), выросшие в экстремальных условиях резко континентального климата Якутии. В работе впервые изучен стеринный состав надземной части хвоща пестрого (*Equisétum variegatum*) во время летней и осенней вегетации. Показано, что в состав основных свободных стеринов входят β -ситостерин, кампестерин, стигмастерин, изофукостерин, а также небольшое количество холестерина. Общее количество свободных и связанных стеринов в тканях надземной части этого вида составляет около 0.5 мг/г сухого веса или 2% от суммарного содержания всех липидных компонентов. При этом содержание свободных стеринов в надземной части хвоща пестрого на порядок превышает содержание эфиров стеринов в этих тканях. Выявлены особенности сезонной (осенне-летней) динамики изменений относительного содержания стигмастерина, кампестерина и изофукостерина и абсолютного суммарного содержания стеринов в надземной части хвоща пестрого.

Ключевые слова: хвощ пестрый, *Equisétum variegatum* Schleich. ex. Web., криолитозона, свободные стерины, эфиры стеринов.

Введение

На территории Якутии в особенно суровых условиях северо-восточной части региона (Верхоянский улус, вблизи Полюса холода северного полушария) произрастают реликтовые споровые растения класса Хвощевых (*Equisetopsida*), в том числе хвощ пестрый *Equisétum variegatum* Schleich.ex. Web., подрод

Дударева Любовь Виссарионовна – кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник, заведующая лабораторией ФХМИ, e-mail: laser@sifibr.irk.ru

Семенова Наталья Викторовна – ведущий технолог, e-mail: tashasemyonova@mail.ru

Нохсоров Василий Васильевич – кандидат биологических наук, старший преподаватель, e-mail: vv.nokhsorov@s-vfu.ru

Рудиковская Елена Георгиевна – кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, e-mail: rudal69@mail.ru

Петров Клим Алексеевич – доктор биологических наук, старший научный сотрудник, e-mail: kar_75@bk.ru

тур, не встречающиеся ни в одной другой точке мира [2]. Способность растений выживать в экстремальных

Hippochaete Milde. Этот вид хвоща, кроме Якутии, произрастает во многих областях Сибири, в Красноярском крае, в Республике Алтай, а также в горных районах и тайге Евразии и Северной Америки [1]. Короткий вегетационный период, экстремально низкие зимой (55–60 °С) и весьма высокие летом (до 38 °С) температуры, приводящие к дефициту влаги в воздухе и почве, характеризуют резко континентальный климат Якутии. На этой территории, полностью расположенной в пределах криолитозоны – многолетней мерзлоты, отмечаются максимальные сезонные амплитуды темпера-

* Автор, с которым следует вести переписку.

условиях вблизи Полюса холода обеспечивается, наряду с другими характеристиками, особым липидным обменом: составом и количеством жирных кислот и других липидов [3]. Ранее нами было установлено, что хвощ пестрый (как и хвощ полевой и камышовый) содержит заметное относительное количество гексадекатриеновой кислоты [4], что характерно для голосеменных растений, мхов и папоротников [5]. В составе жирных кислот его надземной части идентифицированы кислоты Δ -5 ряда, в том числе юнипероновая, что также характерно для эволюционно древних таксонов. Другим важным классом соединений, играющим значительную роль в адаптации растений к неблагоприятным условиям внешней среды, являются фитостерины, относящиеся к липофильным метаболитам. Известно, что они являются жизненно важными компонентами мембран, отвечая не только за структурную, но и за регуляторную функцию во многих ключевых клеточных процессах. Наиболее распространенными стеринами растений являются β -ситостерин, стигмастерин и кампестерин, а также холестерин, который у большинства видов содержится в относительно небольших количествах. Считается, что β -ситостерин и 24-метилхолестерин способны регулировать текучесть и проницаемость растительных мембран, ограничивая подвижность жирных ацильных цепей. Стерины могут быть вовлечены в процессы адаптации растительных мембран к изменениям температуры, влажности, а также модулировать активность мембраносвязанных ферментов [6]. Стерины находятся в растительных тканях как в свободном состоянии, так и в сопряжении с жирными кислотами, а также в виде стерилгликозидов и ацилстерилгликозидов.

Липидный метаболизм растений в связи с их устойчивостью к низким температурам изучен далеко не полностью. Этим объясняется интерес к исследованию механизмов липидной низкотемпературной адаптации у растений, произрастающих в климатических условиях Якутии. Помимо фундаментального интереса изучение липидного, в том числе стеринового состава многих растений этого региона имеет также важное прикладное значение, поскольку фитостерины находят широкое применение и в медицине и в так называемом «функциональном питании» [7, 8]. Например, препараты хвоща полевого используют не только в виде отваров и настоев в кардиологии и урологии, но и в сухом виде как пищевую добавку, регулирующую уровень холестерина в крови и печени [9]. Кроме того, авторами работы [10] отмечено, что хвощу пестрому присуща особенно высокая кормовая ценность для животных Крайнего Севера. Известно, что фитостерины являются экологически чистыми кормовыми добавками, которые стимулируют рост животных, положительно влияют на иммунный статус их организма. Хотя хвощи могут быть токсичными для многих животных, однако известно, что после первых заморозков токсичность этих растений резко снижается за счет появления других полезных физиологически активных веществ [11, 12]. На северо-востоке Якутии этот вид является одним из наиболее известных зимне-зеленых нажировочных кормовых растений осенне-зимнего периода для оленей и якутских лошадей. В холодный период года побеги хвоща являются излюбленным кормом, способным за короткое время восстанавливать силу и упитанность ослабленных животных [10]. Можно полагать, что этот вид хвоща может рассматриваться в качестве источника фитостеринов не только для медицинских целей, но и для добавок в корм животных Севера в осенне-зимний период. Поэтому информация о стеринном составе надземной части хвоща пестрого может представлять интерес и для оценки полезных для человека и животных свойств этого вида, и для понимания путей адаптации к неблагоприятным условиям внешней среды у семейства Хвощевых. На сегодняшний день сведения о стеринном составе тканей в отношении класса *Equisetopsida* в литературе ограничены единичными работами [13–15], которые посвящены анализу стеринового профиля хвоща полевого, относящегося к подроду *Equisetum*. В отношении хвоща пестрого такие работы не проводились.

В связи с вышеизложенным целью данной работы был анализ качественного и количественного состава свободных стерinov и их эфиров в надземной части хвоща пестрого, произрастающего на территории северо-востока Якутии.

Экспериментальная часть

В качестве материала для анализа стеринового состава были использованы надземные части хвоща пестрого *E. variegatum*. Время и место отбора образцов: летняя вегетация – начало августа, осенняя вегетация – конец сентября, Северо-Восточная Якутия, 67° с.ш., 137° в.д. (Полюс холода). Растительный образец с целью уменьшения возможных автолитических изменений фиксировали в жидком N₂ и растирали до получения гомогенной массы для экстракции липидов. Для работы использовали охлажденную лабораторную посуду и реактивы.

Выделение свободных и связанных стеринов. Для экстракции липидов навеску растительного материала (30 мг сухого веса) фиксировали в жидком азоте, добавляя антиоксидант 0.001% ионол. Липиды экстрагировали 10 мл смеси хлороформ : метанол (2 : 1 v/v) тщательно перемешивали и оставляли на 30 мин до полной диффузии липидов в растворитель. Для анализа отделяли нижнюю хлороформную фракцию. Хлороформ из липидного экстракта удаляли под вакуумом с помощью роторного испарителя RVO-64 (Чехия). Стерины выделяли и идентифицировали с помощью метода одномерной тонкослойной хроматографии ТСХ на пластинках Sorbfil (ПТСХ-АФ-В). Пластинку помещали в камеру заполненную элюентом гексан : диэтиловый эфир : уксусная кислота (80 : 20 : 1 v/v/v). Для визуализации зоны стеринов и их эфиров край пластины обрабатывали 10% раствором серной кислоты в этаноле и нагревали на плитке при температуре 180 °С [16]. Далее стерины и их эфиры экстрагировали последовательно хлороформом и этилацетатом. На каждом из этих этапов образец помещали в растворителе на ультразвуковую баню, затем центрифугировали при 3000 g. Этилацетатную фракцию отбирали пипеткой объемом 1 мл, переносили в стеклянные пробирки и выпаривали в токе азота досуха.

Силилирование. Для анализа получали триметилсилильные производные целевых компонентов, нагревая образец в течение 30 мин при 70 °С с добавлением 150 мкл N,O-бис(триметилсилил)ацетамида, 50 мкл гексаметилдисилазана (Sigma-Aldrich, США) и 300 мкл этилацетата (чистый для хроматографии, Компонент Реактив, Россия). В качестве внутреннего стандарта использовали эргостерол (Sigma-Aldrich, США).

ГХ-МС анализ. Анализ свободных и связанных стеринов проводили методом газожидкостной хроматографии с использованием хромато-масс-спектрометра 7777QQQ/7890N MSD/DS Agilent Technologies (США). Детектор – квадрупольный масс-спектрометр, способ ионизации – электронный удар, энергия ионизации 70 эВ, для анализа использовали режим регистрации полного ионного тока. Для разделения использовали капиллярную колонку HP5-MS (30 м × 250 мкм × 0.25 мкм) со стационарной фазой – 5% фенилметилполисилоксан. Подвижная фаза – гелий, скорость потока газа 1 мл/мин, градиент температуры: от 150 до 300 °С со скоростью 10 °С /мин и выдержка 23 мин при этой температуре. Температура испарителя 250 °С, источника ионов 230 °С, детектора 150 °С, температура линии, соединяющей хроматограф с масс-спектрометром, 280 °С. Диапазон сканирования 50–700 а.е.м. Объем вводимой пробы – 1 мкл, делитель потока 5 : 1.

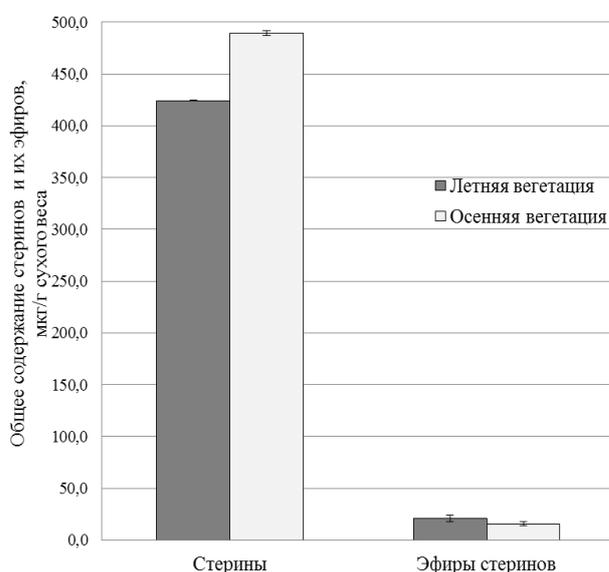
Идентификация и количественный анализ. Идентификацию свободных стеринов и их эфиров проводили с использованием стандартов целевых компонентов сравнением времени удерживания. При необходимости использовали библиотеки масс-спектров NIST 08, Wiley 7. Абсолютное суммарное содержание свободных и связанных стеринов определяли взвешиванием с помощью электронных весов GR-120 (A&N Company Ltd., Япония), образец высушивали до постоянного веса. Количественный анализ целевых компонентов проводили методом внешней калибровки с учетом отклика внутреннего стандарта.

Статистическая обработка. В таблице представлены средние данные из 3 биологических повторностей и их стандартные отклонения. Достоверность различий сравниваемых средних значений оценивали с помощью t-критерия (P<0.05), гипотезу о нормальности распределения проверяли с помощью критерия Шапиро-Уилка.

Обсуждение результатов

На рисунке представлено общее содержание свободных и связанных стеринов в тканях хвоща пестрого во время летней и осенней вегетации. Количество свободных стеринов значительно превышает содержание связанных стеринов (эфиров жирных кислот), что соответствует литературным данным [5]. Авторы этой работы связывают такое распределение с регуляцией содержания свободных стеринов в клетке. Считается, что эфиры стеринов служат инертной формой хранения свободных стеринов, из которой они легко могут быть вовлечены в процессы адаптации растительного организма к неблагоприятным условиям среды [17]. Действительно, полученные результаты показывают, что осенью, в период снижения среднесуточных температур содержание свободных стеринов у хвоща пестрого заметно возрастает относительно летних значений, а связанных – достоверно уменьшается. Общее количество свободных стеринов и их эфиров в тканях этого вида составляет около 0.5 мг/г. сухого веса, или 2% от суммарного содержания всех липидных компонентов (26.6±0.12 мг/г. сухого веса [3]). Эти значения сравнимы с общим содержанием свободных стеринов у некоторых кормовых злаков. Например, показано, что цельные зерна пшеницы, ячменя и овса содержат 0.69, 0.76 и 0.44 мг/г сухого веса соответственно [18]. Качественный состав основных типов свободных стеринов надземной части хвоща пестрого (табл.) включает в себя β-ситостерин, кампестерин, стигмастерин, а

также небольшое количество холестерина. Ткани хвоща пестрого содержат также изофукостерин, количество которого заметно (более чем в два раза) возрастает вслед за сезонным снижением температуры. Следует отметить, что относительное содержание этого стерина у хвоща выше, чем в среднем у высших растений. Авторы обзора [5] отмечают, что у тех растений, ткани которых содержат изофукостерин, среднее его содержание составляет около 3% от суммарного содержания стеринов. В работе [13] установлено, что для хвоща полевого этот показатель был 5.9%. В наших исследованиях во время летней вегетации в надземной части хвоща пестрого содержалось 5.75% изофукостерина, а во время осенней – 12.16% от общего количества свободных стеринов, что может указывать на его участие в холодовой адаптации. По-видимому, такое относительно высокое относительное содержание изофукостерина является видовой особенностью хвоща пестрого. Сравнение полученных данных с результатами, представленными в работах [14, 15], показало, что содержание изофукостерина в тканях хвоща пестрого превосходит соответствующий показатель в разных тканях хвоща полевого почти в два раза (стерильные побеги 7.4% и стробилы 7.7% соответственно). Стигмастерин не был обнаружен в пробах, отобранных во время летней вегетации. Сравнительно небольшое содержание этого стерина было показано в образцах хвоща пестрого в осенний период. Этот результат представляется закономерным, поскольку стигмастерин считается «стрессовым» стеринном, увеличение его содержания в ответной реакции растения на изменения условий среды может изменять текучесть и проницаемость мембран и влиять тем самым на устойчивость растительной ткани к низкотемпературному стрессу [19]. Считается, что у высших растений содержание β -ситостерина увеличивается, а кампестерола уменьшается при холодовом стрессе [2]. Однако в наших экспериментах мы наблюдали обратную картину: содержание β -ситостерина достоверно не различалось между летней и осенней вегетацией, при этом содержание кампестерина увеличилось от лета к осени почти на 40%. Возможно, это свидетельствует об особенностях стеринового метаболизма, присущим споровым растениям. Во всяком случае, судя по данным об изменениях в содержании связанных стеринов в надземной части хвоща пестрого, представленным в таблице, кампестерин весьма активно вовлекается в реакцию растения на осеннее снижение температуры. Его количество в связанной форме снижалось на 60%, в то время как содержание β -ситостерина в связанной форме снижалось только на 22%.



Общее содержание свободных и связанных стеринов в надземной части хвоща пестрого *E. variegatum* Schleich.ex. Web. во время летней и осенней вегетации в условиях северо-востока Якутии

Состав свободных и связанных стеринов надземной части хвоща пестрого *E. variegatum*

Стерины	Летняя вегетация (начало августа), мкг/г сухого веса	Осенняя вегетация (конец сентября), мкг/г сухого веса
1	2	3
Свободные		
Холестерин	4.9±1.1	2.7±0.0
Кампестерин	63.3±1.7	88.3±2.0
Стигмастерин	н/о	4.3±0.3
β -ситостерин	331.7±3.0	334.6±6.5
Изофукостерин	24.4±1.5	59.5±3.7

Окончание таблицы

1	2	3
Связанные (эфиры стеринов)		
Холестерин	3.0±0.4	1.2±0.1
Кампестерин	6.1±0.3	2.4±0.3
Стигмастерин	н/о	5.4±0.2
β-ситостерин	7.7±0.3	6.0±0.8
Изофукостерин	3.9±0.4	0.8±0.0

Заключение

Таким образом, установлено, что в тканях надземной части хвоща пестрого свободных стеринов содержится на порядок больше, чем стеринов в связанной форме (в основном эфиров). Качественный состав стеринов представлен в порядке убывания содержания: β-ситостерином, кампестерином, изофукостерином, стигмастерином и холестеринном. Хотя, в целом, качественный состав стеринов хвоща пестрого сходен с таковым у ряда высших растений, однако количественный состав и динамика изменений в содержании β-ситостерина, кампестерина и изофукостерина в связи с сезонными изменениями температуры носит видоспецифичный характер.

Работа выполнена на оборудовании ЦКП «Биоаналитика» Сибирского института физиологии и биохимии растений СО РАН (Иркутск).

Список литературы

1. Кашина Л.И., Красноборов И.М., Шауло Д.Н. и др. Флора Сибири: в 14 т. Т. 1: Lycopodiaceae – Hydrocharitaceae. Новосибирск, 1988. 200 с.
2. Petrov K.A., Sofronova V.E., Bubyakina V.V., Perk A.A., Tatarinova T.D., Ponomarev A.G., Chepalov V.A., Okhlopko Zh.M., Vasilieva I.V., Maximov T.Ch. Woody plants of Yakutia and low-temperature stress // Russ. J. Plant Physiol. 2011. Vol. 58. Pp. 1011–1018. DOI: 10.1134/S1021443711060148.
3. Nokhsorov V.V., Dudareva L.V., Petrov K.A. Content and composition of lipids and their fatty acids in needles of *Pinus sylvestris* L. and *Picea obovata* Ledeb. upon cold hardening in the cryolithozone of Yakutia // Russ. J. Plant Physiol. 2019. Vol. 66. N4. Pp. 286–294. DOI: 10.1134/S1021443719040101.
4. Dudareva L.V., Nokhsorov V.V., Rudikovskaya E.G., Petrov K.A. Fatty-acid profiles of aerial parts of three horsetail species growing in Central and Northern Yakutia // Chem. Nat. Compd. 2015. Vol. 51. N2. Pp. 220–223. DOI: 10.1007/s10600-015-1247-2.
5. Hildebrand D. The AOCs Lipid Library. 2011. URL: <https://lipidlibrary.aocs.org/chemistry/physics/plant-lipid/production-of-unusual-fatty-acids-in-plants>
6. Valitova J.N., Sulkarnayeva A.G., Minibayeva F.V. Plant Sterols: diversity, biosynthesis, and physiological functions // Biochem. 2016. Vol. 81. N8. Pp. 819–834. DOI: 10.1134/S0006297916080046.
7. Berger A., Jones P.J.H., Abumweis S.S. Plant sterols: factors affecting their efficacy and safety as functional food ingredients // Lipids Health Dis. 2004. Pp. 3–5. DOI: 10.1186/1476-511X-3-5.
8. Piironen V., Lindsay D.G., Miettinen T.A., Toivo J., Lampi A-M. Plant sterols: biosynthesis, biological function and their importance to human nutrition // J. Sci. Food Agric. 2000. Vol. 80. Pp. 939–966. DOI: 10.1002/(SICI)1097-0010(20000515)80:7<939::AID-JSFA644>3.3.CO;2-3.
9. Хучиева М.А., Перова Н.В., Ахмеджанов Н.М. Растительные стеринны и станолы как пищевые факторы, снижающие гиперхолестеринемия путем ингибирования всасывания холестерина в кишечнике // Кардиоваскулярная терапия и профилактика. 2011. Т. 10. №6. С. 124–132. DOI: 10.15829/1728-8800-2011-6-124-132.
10. Петров К.А., Чепалов В.А., Софронова В.Е., Перк А.А., Исаев А.П., Седалищев В.Т. Каротиноиды и кормовая ценность *Equisetum variegatum* (Хвоща пестрого), произрастающего на Полюсе холода // Вестник СВФУ им. М.К. Аммосова. 2007. Т. 4. №4. С. 5–10.
11. Александрова В.Д., Андреев В.Н., Вахтина Т.В. и др. Кормовая характеристика растений Крайнего Севера. М., Л.: Наука, 1964. 484 с.
12. Петров К.А. Криорезистентность растений: эколого-физиологические и биохимические аспекты. Новосибирск: Издательство СО РАН, 2016. 276 с.
13. D'Agostino M., Dini A., Pizza C., Senatore F., Aquino R. Sterols from *Equisetum arvense* // Boll. Soc. Ital. Biol. Sper. 1984. Vol. 60. N12. Pp. 2241–2245.
14. Ganeva Y., Chaney C., Dentchev T. Triterpenoids and sterols from *Equisetum arvense* // Doklady Bulgarian Academy of Sciences. 2001. Vol. 54. N2. Pp. 53–56.
15. Takatsuto S., Abe H. Sterol Composition of the strobilus of *Equisetum arvense* L. // Biosci. Biotech. Biochem. 1992. Vol. 5. Pp. 834–835.

16. Kates M. Techniques of lipidology: isolation, analysis and identification of lipids. Laboratory techniques in biochemistry and molecular biology. Elsevier, 1986. Vol. 3. 464 p.
17. Athenstaedt K., Daum G. The life cycle of neutral lipids: synthesis, storage and degradation // Cell. Mol. Life Sci. 2006. Vol. 63. N12. Pp. 1355–1369. DOI: 10.1007/s00018-006-6016-8.
18. Piironen V., Toivo J., Lampi A.-M. Plant sterols in cereals and cereal products // Cereal Chemistry. 2002. Vol. 79. Pp. 148–154. DOI: 10.1094/CCHEM.2002.79.1.148.
19. Senthil-Kumar M., Wang K., Mysore K.S. AtCYP710A1 gene-mediated stigmasterol production plays a role in imparting temperature stress tolerance in *Arabidopsis thaliana* // Plant Signal. Behav. 2013. Vol. 8. N2. Article e23142. DOI: 10.4161/psb.23142.
20. Schaeffer A., Bronner R., Benveniste P., Schaller H. The ratio of campesterol to sitosterol that modulates growth in *Arabidopsis* is controlled by sterol methyltransferase 2;1 // Plant J. 2001. Vol. 25. N6. Pp. 605–615. DOI: 10.1046/j.1365-313x.2001.00994.x.

Поступила в редакцию 22 мая 2019 г.

После переработки 10 декабря 2019 г.

Принята к публикации 30 января 2020 г.

Для цитирования: Дударева Л.В., Семенова Н.В., Нохсоров В.В., Рудиковская Е.Г., Петров К.А. Компонентный состав фитостеролинов надземной части хвоща пестрого *Equisétum variegatum* Schleich. ex. Web., произрастающего в северо-восточной Якутии // Химия растительного сырья. 2020. №2. С. 133–139. DOI: 10.14258/jcprm.2020025555.

Dudareva L.V.¹, Semenova N.V.¹, Nochsorov V.V.², Rudikovskaya E.G.^{1*}, Petrov K.A.³ THE COMPONENT COMPOSITION OF THE PHYTOSTEROLS OF THE AERIAL PART OF THE HORSETAIL VARIEGATED *EQUISÉTUM VARIEGATUM* SCHLEICH. EX. WEB. GROWING IN NORTH-EAST YAKUTIA

¹ Siberian Institute of Plant Physiology and Biochemistry SB RAS, ul. Lermontova, 134, Irkutsk, 664033 (Russia), e-mail: rudal69@mail.ru

² Northeast Federal University named after M.K. Ammosova, ul. Kulakovskogo, 48, Yakutsk, 677000 (Russia)

³ Institute of Biological Problems of Cryolithozone SB RAS, ul. Lenina, 41, Yakutsk, 677890 (Russia)

It is known that phytosterols have high immunomodulating, hypocholesterolemic and oncoprotective activity and are widely used in medicine. In addition, the plants containing them are used in feed of farm animals as dietary supplements that stimulate growth and the immune system. Promising, but poorly studied, sources of these biologically active compounds may be plants of the class Horsetails (Equisetopsida), grown under extreme conditions of sharply continental climate of Yakutia. The steric composition of the aerial part of the variegated horsetail (*Equisétum variegatum*) was studied for the first time during the summer and autumn vegetation. It is shown that the composition of the main free sterols includes β -sitosterol, campesterol, stigmasterol, isofucosterol, as well as a small amount of cholesterol. The total amount of free and bound sterols in the tissues of the aerial part of this species is about 0.5 mg/g dry weight or 2% of the total content of all lipid components. Moreover, the content of free sterols in the aerial part of variegated horsetail is an order of magnitude higher than the content of sterol esters in these tissues. Peculiarities of the seasonal (autumn-summer) dynamics of changes in the relative contents of stigmasterol, campesterol and isofucosterol and the absolute total content of sterols in the aerial part of variegated horsetail are revealed.

Keywords: variegated horsetail, *Equisétum variegatum* Schleich.ex. Web., Cryolithozone, free sterols, sterol esters.

* Corresponding author.

References

1. Kashina L.I., Krasnoborov I.M., Shauro D.N. et al *Flora Sibiri: v 14 t. T. 1: Lycopodiaceae – Hydrocharitaceae*. [Siberian Flora: in 14 vol. Vol. 1: *Lycopodiaceae – Hydrocharitaceae*]. Novosibirsk, 1988, 200 p. (in Russ.).
2. Petrov K.A., Sofronova V.E., Bubyakina V.V., Perk A.A., Tatarinova T.D., Ponomarev A.G., Chepalov V.A., Okhlopko Zh.M., Vasilieva I.V., Maximov T.Ch. *Russ. J. Plant Physiol.*, 2011, vol. 58, pp. 1011–1018. DOI: 10.1134/S1021443711060148.
3. Nokhsorov V.V., Dudareva L.V., Petrov K.A. *Russ. J. Plant Physiol.*, 2019, vol. 66, no. 4, pp. 286–294. DOI: 10.1134/S1021443719040101.
4. Dudareva L.V., Nokhsorov V.V., Rudikovskaya E.G., Petrov K.A. *Chem. Nat. Compd.*, 2015, vol. 51, no. 2, pp. 220–223. DOI: 10.1007/s10600-015-1247-2.
5. Hildebrand D. *The AOCs Lipid Library*, 2011, URL: <https://lipidlibrary.aocs.org/chemistry/physics/plant-lipid/production-of-unusual-fatty-acids-in-plants>.
6. Valitova J.N., Sulkarnayeva A.G., Minibayeva F.V. *Biochem.*, 2016, vol. 81, no. 8, pp. 819–834. DOI: 10.1134/S0006297916080046.
7. Berger A., Jones P.J.H., Abumweis S.S. *Lipids Health Dis.*, 2004, pp. 3–5. DOI: 10.1186/1476-511X-3-5.
8. Piironen V., Lindsay D.G., Miettinen T.A., Toivo J., Lampi A.-M. *J. Sci. Food Agric.*, 2000, vol. 80, pp. 939–966. DOI: 10.1002/(SICI)1097-0010(20000515)80:7<939::AID-JSFA644>3.3.CO;2-3.
9. Khuchiyeva M.A., Perova N.V., Akhmedzhanov N.M. *Kardiovaskulyarnaya terapiya i profilaktika*, 2011, vol. 10, no. 6, pp. 124–132. DOI: 10.15829/1728-8800-2011-6-124-132. (in Russ.).
10. Petrov K.A., Chepalov V.A., Sofronova V.Ye., Perk A.A., Isayev A.P., Sedalishchev V.T. *Vestnik SVFU im. M.K. Ammosova*, 2007, vol. 4, no. 4, pp. 5–10. (in Russ.).
11. Aleksandrova V.D., Andreyev V.N., Vakhtina T.V. et al *Kormovaya kharakteristika rasteniy Kraynego Severa*. [Feed characteristics of plants in the Far North]. Moscow, Leningrad, 1964, 484 p. (in Russ.).
12. Petrov K.A. *Kriorezistentnost' rasteniy: ekologo-fiziologicheskiye i biokhicheskiye aspekty*. [Cryoresistance of plants: ecological, physiological and biochemical aspects]. Novosibirsk, 2016, 276 p. (in Russ.).
13. D'Agostino M., Dini A., Pizza C., Senatore F., Aquino R. *Boll. Soc. Ital. Biol. Sper.*, 1984, vol. 60, no. 12, pp. 2241–2245.
14. Ganeva Y., Chaney C., Dentchev T. *Doklady Bulgarian Academy of Sciences*, 2001, vol. 54, no. 2, pp. 53–56.
15. Takatsuto S., Abe H. *Biosci. Biotech. Biochem.*, 1992, vol. 5, pp. 834–835.
16. Kates M. *Techniques of lipidology: isolation, analysis and identification of lipids. Laboratory techniques in biochemistry and molecular biology*. Elsevier, 1986, vol. 3, 464 p.
17. Athenstaedt K., Daum G. *Cell. Mol. Life Sci.*, 2006, vol. 63, no. 12, pp. 1355–1369. DOI: 10.1007/s00018-006-6016-8.
18. Piironen V., Toivo J., Lampi A.-M. *Cereal Chemistry*, 2002, vol. 79, pp. 148–154. DOI: 10.1094/CCHEM.2002.79.1.148.
19. Senthil-Kumar M., Wang K., Mysore K.S. *Plant Signal. Behav.*, 2013, vol. 8, no. 2, article e23142. DOI: 10.4161/psb.23142.
20. Schaeffer A., Bronner R., Benveniste P., Schaller H. *Plant J.*, 2001, vol. 25, no. 6, pp. 605–615. DOI: 10.1046/j.1365-313x.2001.00994.x.

Received May 22, 2019

Revised December 10, 2019

Accepted January 30, 2020

For citing: Dudareva L.V., Semenova N.V., Nokhsorov V.V., Rudikovskaya E.G., Petrov K.A. *Khimiya Rastitel'nogo Syr'ya*, 2020, no. 2, pp. 133–139. (in Russ.). DOI: 10.14258/jcprm.2020025555.

