

ISSN 1561-8323 (Print)
ISSN 2524-2431 (Online)

УДК 581.192.2

<https://doi.org/10.29235/1561-8323-2018-62-4-447-454>

Поступило в редакцию 15.02.2018

Received 15.02.2018

Д. В. Кочкин¹, Е. С. Глаголева¹, Б. А. Галишев², Е. В. Спиридович³,
А. М. Носов¹, академик В. Н. Решетников³

¹Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова, Москва, Российская Федерация

²Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина,
Екатеринбург, Российская Федерация

³Центральный ботанический сад Национальной академии наук Беларуси, Минск, Республика Беларусь

АНАЛИЗ ГИНЗЕНОЗИДОВ В КОРНЯХ ЖЕНЬШЕНЯ НАСТОЯЩЕГО (*PANAX GINSENG*), ИНТРОДУЦИРОВАННОГО В ЦЕНТРАЛЬНОМ БОТАНИЧЕСКОМ САДУ НАН БЕЛАРУСИ

Аннотация. Впервые с помощью высокоэффективной жидкостной хроматографии, совмещенной с масс-спектрометрией (ВЭЖХ-МС) проведено подробное изучение качественного и количественного состава гинзенозидов в корнях женьшеня настоящего (*P. ginseng* С. А. Меу.), интродуцированного в условиях Республики Беларусь (опытный участок ЦБС НАН Беларуси). Установлено, что в изученных корнях присутствуют все основные нейтральные гликозиды женьшеня (гинзенозиды Rb₁, Rc, Rb₂/Rb₃, Rd, Rf, Rg₁ и Re), а также их малонилированные производные (малонил-гинзенозиды Rb₁, Rc, Rb₂/Rb₃, Rd, Rg₁ и Re) и некоторые «минорные» гинзенозиды (20-глюко-гинзенозид Rf, нотогинзенозиды R₁ и R₂, изомеры малонил-гинзенозидов Rb₁ и Rd). Показано также, что разные части корней *P. ginseng* существенно отличаются по суммарному содержанию гинзенозидов: для основного корня этот параметр составил 3,3 % от сухой массы, а для боковых корней – 7,8 % от сухой массы.

Ключевые слова: интродукция, женьшень, Аралиевые, *Panax ginseng*, Araliaceae, тритерпеновые гликозиды, гинзенозиды, ВЭЖХ-МС

Для цитирования: Анализ гинзенозидов в корнях женьшеня настоящего (*Panax ginseng*), интродуцированного в Центральном ботаническом саду НАН Беларуси / Д. В. Кочкин [и др.] // Докл. Нац. акад. наук Беларуси. – 2018. – Т. 62, № 4. – С. 447–454. <https://doi.org/10.29235/1561-8323-2018-62-4-447-454>

Dmitry V. Kochkin¹, Elena S. Glagoleva¹, Boris A. Galischev², Elena V. Spiridovich³,
Alexander M. Nosov¹, Academician Vladimir N. Reshetnikov³

¹Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russian Federation

²Ural Federal University named after the first President of Russia B. N. Yeltsin, Yekaterinburg, Russian Federation

³Central Botanical Garden of the National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Republic of Belarus

ANALYSIS OF GYNZENOSIDES IN THE ROOTS OF *PANAX GINSENG* INTRODUCED IN THE CENTRAL BOTANICAL GARDEN OF NAS OF BELARUS

Abstract. For the first time, a detailed study of the qualitative and quantitative composition of ginsenosides in the *Panax ginseng* roots was carried out with the help of high-performance liquid chromatography combined with mass spectrometry (HPLC-MS). The plants were introduced into the conditions of the Republic of Belarus at the experimental plot of the Central Botanical Garden of the National Academy of Sciences of Belarus. It was found that in the examined roots, all basic neutral glycosides of ginseng (ginsenosides Rb₁, Rc, Rb₂/Rb₃, Rd, Rf, Rg₁ and Re), as well as their malonylated derivatives (malonyl-ginsenosides Rb₁, Rc, Rb₂/Rb₃, Rd, Rg₁ and Re) and some “minor” ginsenosides (20-gluco-ginsenoside Rf, notoginsenosides R₁ and R₂, isomers of malonyl-ginsenosides Rb₁ and Rd) are present. The research also showed that different parts of the *P. ginseng* roots differ significantly in a total content of ginsenosides: for the main root, this parameter was 3.3 % of dry mass, and for the lateral roots – 7.8 % of dry mass.

Keywords: introduction, *Panax ginseng*, Araliaceae, triterpene glycosides, ginsenosides, HPLC-MS

For citation: Kochkin D. V., Glagoleva E. S., Galischev B. A., Spiridovich E. V., Nosov A. M., Reshetnikov V. N. Analysis of ginsenosides in the roots of *Panax ginseng* introduced in the Central Botanical Garden of the NAS of Belarus. *Doklady Natsional'noi akademii nauk Belarusi = Doklady of the National Academy of Sciences of Belarus*, 2018, vol. 62, no. 4, pp. 447–454 (in Russian). <https://doi.org/10.29235/1561-8323-2018-62-4-447-454>

Ведение. Различные виды женьшеня (род *Panax* L., *Araliaceae*) активно используются в медицинских целях. Например, женьшень настоящий (*Panax ginseng*) является одним из наиболее востребованных лекарственных растений в традиционной медицине народов Юго-Восточной Азии [1].

Современные исследования свидетельствуют о наличии в женьшене целого спектра физиологически активных веществ [2]. Помимо тритерпеновых гликозидов – главных действующих веществ женьшеня, в нем содержатся полиацетиленовые производные, сесквитерпены, необычные аминокислоты, пептиды и ряд других биологически активных веществ [2]. Однако основными биологически активными соединениями женьшеня принято считать именно гинзенозиды – тритерпеновые гликозиды [2; 3]. Уникальными для растений рода *Panax* L. являются гинзенозиды с тетрациклическими агликонами даммаранового ряда – протопанаксадиолом и протопанаксатриолом [3]. Особый тип тритерпеновых гликозидов женьшеня составляют гинзенозиды, агликонами которых выступают производные окотиллола – продукта дополнительной модификации боковой цепи даммаранового скелета [3]. В настоящее время из различных видов женьшеня выделено более 300 индивидуальных гинзенозидов, но основные из них семь – Rb₁, Rc, Rb₂, Rd, Rf, Rg₁, Re [2; 3]. Помимо этих гликозидов в растениях женьшеня присутствуют тритерпеновые гликозиды, имеющие пентациклический агликон на основе олеаноловой кислоты [2].

Закономерности накопления гинзенозидов в интактных растениях *P. ginseng* достаточно хорошо изучены [2; 4]. В большинстве случаев эти результаты получены при исследовании состава тритерпеновых гликозидов в растениях женьшеня настоящего, выращенных на плантациях в Корее или Китае, т. е. в географических, климатических и экологических условиях, характерных для естественных ареалов распространения этого растения [2; 4]. Между тем, особенности качественного и количественного состава гинзенозидов в растениях *P. ginseng*, выращенных в нетипичных для этого вида условиях, например в Беларуси, исследованы недостаточно. Таким образом, работы по изучению гинзенозидов в растениях женьшеня настоящего, интродуцированных в новую экологическую обстановку, являются весьма актуальными.

В Центральном ботаническом саду НАН Беларуси (ЦБС НАН Беларуси) была осуществлена интродукция в условия климата Восточно-Европейской равнины ценных лекарственных растений из разных регионов мира, в том числе женьшеня, естественные запасы которого истощены (женьшень занесен в Международную Красную книгу). Экспериментальные работы по выращиванию женьшеня в ЦБС НАН Беларуси ведутся с 1982 г., однако до недавнего времени подробное изучение состава гинзенозидов в растениях *P. ginseng*, выращенных на опытных участках сада, не проводилось.

Целью настоящей работы является детальное изучение с помощью высокоэффективной жидкостной хроматографии, совмещенной с масс-спектрометрией (ВЭЖХ-МС), качественного и количественного состава гинзенозидов в корнях растений *P. ginseng*, выращенных в ЦБС НАН Беларуси.

Материалы и методы исследований. *Объекты исследования.* В работе использовали лиофильно высушенные корни пятилетнего растения *P. ginseng* С. А. Меу., собранного на опытном участке ЦБС НАН Беларуси (Минск). Химический анализ проводили отдельно для основного и боковых корней женьшеня.

Подготовка проб для качественного анализа тритерпеновых гликозидов. Подготовку проб для качественного анализа тритерпеновых гликозидов в образцах корней женьшеня настоящего (навеска измельченных лиофильно высушенных корней – 5 мг) осуществляли согласно опубликованной методике [5].

ВЭЖХ-МС (качественный анализ). Анализ проводили на хроматографе Waters Aquity UPLC (Waters, США), оснащенном гибридным квадрупольным времяпролетным масс-спектрометром XEVO QTOF (Waters, США). Пробу в объеме 1 мкл наносили на колонку ACQUITY UPLC BEH Phenyl (50 × 2,1 мм, 1,7 мкм; Waters, США). Температура колонки составляла 40 °С, объемная скорость потока подвижной фазы – 0,4 мл/мин. В качестве подвижной фазы использовали 0,1 %-ный (по объему) раствор муравьиной кислоты в воде (растворитель А) и 0,1 %-ный (по объему) раствор муравьиной кислоты в ацетонитриле (растворитель Б). Хроматографическое разделение тритерпеновых гликозидов женьшеня проводили в режиме градиентного элюирования. В процессе анализа состав подвижной фазы менялся следующим образом (Б, % по объему): 0–1 мин – 15 %, 1–5 мин – 15 → 30 %, 5–15 мин – 30 → 38 %, 15–15,5 мин – 38 → 45 %, 15,5–23 мин – 45 %, 23–23,5 мин – 45 → 95 %. Анализ осуществляли в режиме детектирования

положительных ионов (диапазон m/z 100–3000). Параметры источника ионизации: температура источника ионизации – 120 °С, температура десольвации – 250 °С, напряжение на капилляре – 3,0 кВ, напряжение на конусе ввода пробы – 30 В, скорость подачи азота (десольвационный газ) 600 л/ч. Обработку полученных результатов производили с помощью программы MassLynx (Waters, США).

Подготовка проб для количественного анализа тритерпеновых гликозидов. Навеску растительного материала (10 мг) экстрагировали 3 раза по 1 мл 70 %-ного (по объему) водного метилового спирта в течение 30 мин под действием ультразвука (УЗВ-12, Сапфир, Россия), после чего центрифугировали при 10000 об/мин в течение 10 мин (Микроцентрифуга МЦФ, Россия) и отбирали супернатант в грушевидную колбу. Объединенные спиртовые экстракты упаривали под вакуумом (при температуре 40 °С). Полученный экстракт суспендировали в 1 мл 5 %-ного (по объему) раствора уксусной кислоты в дистиллированной воде и наносили на патрон для твердофазной экстракции Supelclean ENVI-18 (Supelco, США). Патрон промывали 3 мл 5 %-ного (по объему) раствора уксусной кислоты в дистиллированной воде, аналиты смывали 3 мл этанола. Полученный раствор упаривали под вакуумом при 40 °С. Перед анализом экстракты растворяли в 1 мл 70 %-ного (по объему) водного метилового спирта и фильтровали с помощью нейлонового фильтра с порами 0,2 мкм (Acrodisc, Pall Corporation, США).

ВЭЖХ-МС (количественный анализ). Анализ осуществляли на приборе Agilent 1260 Infinity (Agilent Technologies, США), оснащенном масс-селективным детектором (6100, Agilent Technologies, США). Колонка: Poroshell 120 EC-C18 (100 мм × 3 мм, 2,7 мкм, Agilent, США). Температура колонки – 43 °С, скорость потока подвижной фазы 0,55 мл/мин.

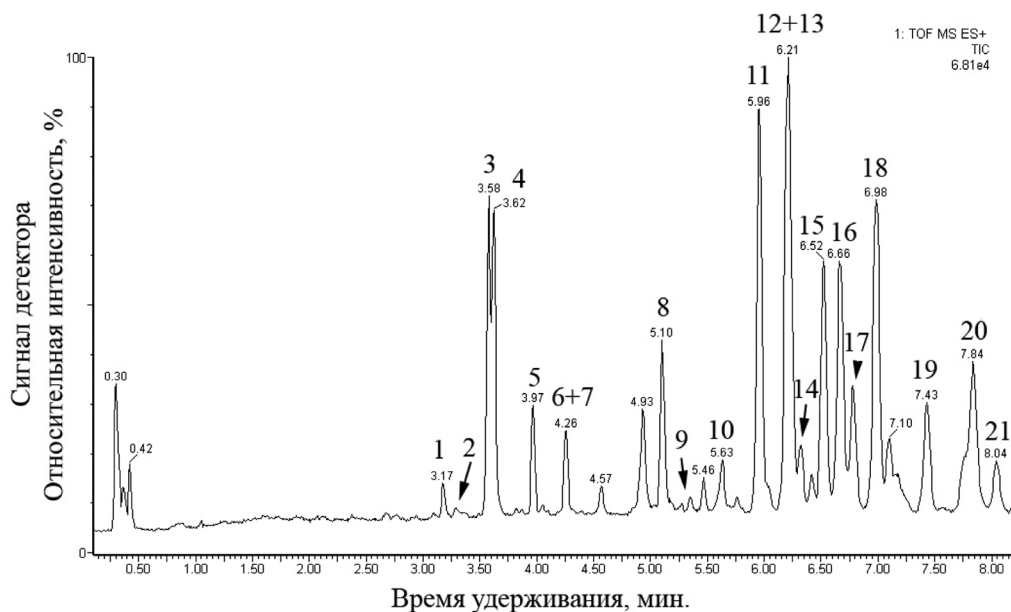
В качестве подвижной фазы использовали 0,05 %-ный (по объему) раствор муравьиной кислоты в воде (растворитель А) и ацетонитрил (растворитель Б). Хроматографическое разделение тритерпеновых гликозидов проводили в режиме градиентного элюирования. В процессе анализа состав подвижной фазы менялся следующим образом (А, % по объему): 0–1 мин – 79 %, 1–5 мин – 79 → 69 %, 5–15 мин – 69 → 62 %, 15–17 мин – 62 → 55 %, 17–25 мин – 55 %, 25–27 мин – 55 → 39 %, 27–27,5 мин – 39 → 5 %, 27,5–29,5 мин – 5 %, 29,5–30 мин – 5 → 79 %, 30–31 мин – 79 %. Анализ осуществляли в режиме детектирования отрицательных ионов. Параметры источника ионизации: температура квадруполя – 100 °С, температура газа-носителя (азот) – 150 °С, напряжение на капилляре – 4,0 кВ, скорость подачи азота (распыляющий газ) 12 л/мин.

Количественное определение содержания индивидуальных гинзенозидов проводили методом внешней калибровки против стандартных образцов гинзенозидов Rb₁, Rc, Rb₂, Rd, Rf, Rg₁, Re (Sigma, США). Расчет содержания малонилированных гинзенозидов (малонил-Rb₁, -Rc, -Rb₂, -Rd, -Rg₁ и Re) осуществляли с использованием калибровочных кривых для соответствующих нейтральных гинзенозидов [6]. Обработку хроматограмм производили с помощью программы Open Chrom (Lablicate GmbH, Германия).

В описанных условиях проведения анализа относительное стандартное отклонение времен удерживания гинзенозидов не превышало 0,5 %. В рабочем диапазоне концентраций (2,1–200 мкг/мл) калибровочные кривые всех гинзенозидов аппроксимировались прямыми линиями с коэффициентами детерминации (R^2) выше 0,995.

Результаты и их обсуждение. На первом этапе работы с помощью ВЭЖХ-МС был проведен анализ качественного состава гинзенозидов в спиртовых экстрактах из корней растений *P. ginseng*, выращенных в ЦБС НАН Беларуси. При записи хроматограмм и масс-спектров был выбран режим детектирования положительных ионов, поскольку именно в этом режиме можно получить максимальную (при единичном анализе) информацию о структуре тритерпеновых гликозидов за счет их фрагментации в источнике ионизации [7]. Полученные результаты представлены на рисунке и в табл. 1.

На полученных хроматограммах, записанных в режиме полного ионного тока, присутствовали пики не менее 21 соединения. Результаты идентификации некоторых пиков (проведена с помощью расшифровки МС-спектров, сопоставления их хроматографического поведения и МС-спектров со стандартными образцами гинзенозидов) свидетельствуют о присутствии в корнях *P. ginseng*



ВЭЖХ-МС хроматограмма (записана в режиме полного ионного тока при регистрации положительных ионов) спиртового экстракта из основного корня растения *P. ginseng*, выращенного на плантации ЦБС НАН Беларуси. Обозначения: 1 – 20-глюкозил-гинзенозид Rf; 2 – нотогинзенозид R₁; 3 – гинзенозид Rg₁; 4 – гинзенозид Re; 5 – малонил-гинзенозид Rg₁; 6 – изо-малонил-гинзенозид Rg₁; 7 – малонил-гинзенозид Re; 8 – гинзенозид Rf; 9 – нотогинзенозид R₂; 10 – гинзенозид Rg₂; 11 – гинзенозид Rb₁; 12 – малонил-гинзенозид Rb₁; 13 – гинзенозид Rc; 14 – гинзенозид R₀; 15 – малонил-гинзенозид Rc; 16 – гинзенозид Rb₂/Rb₃; 17 – изо-малонил-гинзенозид Rb₁; 18 – малонил-гинзенозид Rb₂/Rb₃; 19 – гинзенозид Rd; 20 – малонил-гинзенозид Rd; 21 – изо-малонил-гинзенозид Rd

HPLC-MS chromatography (within the total ion current regime when recording positive ions) of the alcohol extract of the main root of the *P. ginseng* grown at the experimental plot of the Central Botanical Garden of the National Academy of Sciences of Belarus. The notations are: 1 – 20-gluco-ginsenoside Rf, 2 – notoginsenosides R₁; 3 – ginsenoside Rg₁; 4 – ginsenoside Re; 5 – malonyl-ginsenoside Rg₁; 6 – iso-malonyl-ginsenoside Rg₁; 7 – malonyl-ginsenoside Re; 8 – ginsenoside Rf; 9 – notoginsenoside R₂; 10 – ginsenoside Rg₂; 11 – ginsenoside Rb₁; 12 – malonyl-ginsenoside Rb₁; 13 – ginsenoside Rc; 14 – ginsenoside R₀; 15 – malonyl-ginsenoside Rc; 16 – ginsenoside Rb₂/Rb₃; 17 – iso-malonyl-ginsenoside Rb₁; 18 – malonyl-ginsenoside Rb₂/Rb₃; 19 – ginsenoside Rd; 20 – malonyl-ginsenoside Rd; 21 – iso-malonyl-ginsenoside Rd

основных гинзенозидов группы 20(S)-протопанаксатриола (гинзенозиды Rg₁, Re, Rf), 20(S)-протопанаксадиола (гинзенозиды Rb₁, Rc, Rb₂/Rb₃, Rd, малонил-Rb₁, малонил-Rb₂/Rb₃, -Rc, малонил-Rd) и олеаноловой кислоты (R₀), а также некоторых так называемых минорных гинзенозидов (редко встречающиеся в интактных растениях, как правило, в исчезающе малых количествах) (табл. 1). Полученные результаты вполне согласуются с данными литературы [8; 9].

К общим особенностям состава гинзенозидов в исследованных корнях *P. ginseng* следует отнести наличие малонилированных производных гликозидов протопанаксадиола и протопанаксатриола (табл. 1, рисунок). Интересно, что некоторые из обнаруженных малонильных производных гинзенозидов присутствовали в корнях *P. ginseng* в виде нескольких изомерных форм (например, для гинзенозида малонил-Rg₁ показано наличие двух изомерных форм со временами удерживания на обращенной фазе 3,97 и 4,26 мин). Изомеры малонилированных гинзенозидов описываются в интактных растениях женьшеня довольно часто [8; 9]. До недавнего времени идентификация этих соединений была основана исключительно на данных ВЭЖХ, совмещенной с масс-спектрометрией [5]. Только в 2017 г. некоторые из этих изомеров были выделены из интактных растений и *P. ginseng* и охарактеризованы с помощью спектроскопии ядерного магнитного резонанса [10]. При этом было установлено, что разнообразие изомерных форм малонилированных гинзенозидов определяется присоединением малоновой кислоты к первичным гидроксильным группам разных остатков глюкозы (например, в углеводных цепях у C3-/C6- и/или C20-гидроксильных групп агликона), а также к различным гидроксильным группам одного остатка глюкозы (прежде всего, к C4- или C3-гидроксильным группам глюкозы) [10]. При этом стоит заметить, что пока трудно судить, являются ли все изомерные формы гинзенозидов натив-

Т а б л и ц а 1. Результаты ВЭЖХ-МС анализа (регистрация положительных ионов) спиртового экстракта из основного корня растения *P. ginseng*, выращенного на опытном участке ЦБС НАН БеларусиT a b l e 1. Results of the HPLC-MS analysis (recording of positive ions) of the alcohol extract of the main root of *P. ginseng* grown at the experimental plot of the Central Botanical Garden of the National Academy of Sciences of Belarus

t_R , мин ¹	Молекулярная формула Molecular formula	$[M+H]^+$, m/z^2	$[M+Na]^+$, m/z^2	Осколочные ионы, m/z Fragment ions	Название Title
3,17	$C_{48}H_{82}O_{19}$	963,5643 (963,5529)	985,5399 (985,5348)	945; 783; 765; 747; 441; 621; 603; 423; 405	20-Глюкозил-гинзенозид Rf
3,28	$C_{47}H_{80}O_{18}$	933,5464 (933,5423)	955,5278 (955,5242)	915; 771; 753; 735; 639; 621; 441; 423; 405	Нотогинзенозид R ₁
3,58	$C_{42}H_{72}O_{14}$	801,4955 (801,5000)	823,4840 (823,4820)	783; 765; 621; 603; 441; 423; 405	Гинзенозид Rg ₁
3,62	$C_{48}H_{82}O_{18}$	947,5502 (947,5579)	959,5357 (959,5399)	929; 913; 767; 749; 441; 423; 405	Гинзенозид Re
3,97	$C_{45}H_{74}O_{17}$	887,4976 (887,5004)	909,4787 (909,4824)	869; 707; 689; 671; 441; 423; 405	Малонил-гинзенозид Rg ₁
4,26	$C_{45}H_{74}O_{17}$	887,4979 (887,5004)	909,4863 (909,4824)	869; 707; 689; 671; 621; 441; 423	Изо-малонил-гинзенозид Rg ₁
4,26	$C_{51}H_{84}O_{21}$	1033,5668 (1033,5583)	1055,5439 (1055,5403)	1015; 767; 749; 441; 423; 405	Малонил-гинзенозид Re
5,10	$C_{42}H_{72}O_{14}$	801,4922 (801,5000)	823,4856 (823,4820)	783; 765; 747; 621; 603; 441; 423; 405; 3481	Гинзенозид Rf
5,34	$C_{41}H_{70}O_{13}$	771,5032 (771,4895)	793,4980 (793,4714)	753; 735; 621; 441; 423; 405;	Нотогинзенозид R ₂
5,63	$C_{42}H_{72}O_{13}$	785,4933 (785,4973)	807,4977 (807,4871)	767; 749; 441; 423; 405	Гинзенозид Rg ₂
5,96	$C_{54}H_{92}O_{23}$	1109,6182 (1109,6108)	1131,5946 (1131,5927)	1091; 947; 929; 785; 767; 425	Гинзенозид Rb ₁
6,21	$C_{57}H_{94}O_{26}$	1195,6141 (1195,6112)	1217,6069 (1217,5931)	1177; 425;	Малонил-гинзенозид Rb ₁
6,26	$C_{53}H_{90}O_{22}$	1079,5991 (1079,6002)	1101,5918 (1101,5821)	1061; 899; 767; 425	Гинзенозид Rc
6,31	$C_{48}H_{76}O_{19}$	957,5060 (957,5059)	979,4888 (979,4879)	939; 795; 777; 633; 439	Гинзенозид R ₀
6,52	$C_{56}H_{92}O_{25}$	1165,5950 (1165,6006)	1187,5968 (1187,5825)	1147; 853; 425;	Малонил-гинзенозид-Rc
6,66	$C_{53}H_{90}O_{22}$	1079,6096 (1079,6002)	1101,5781 (1101,5821)	1061; 917; 899; 767; 755; 637; 619; 425	Гинзенозид Rb ₂ /Rb ₃
6,78	$C_{57}H_{94}O_{26}$	1195,5990 (1195,6112)	1217,6162 (1217,5931)	1177; 425	Изо-малонил-гинзенозид Rb ₁
6,98	$C_{56}H_{92}O_{25}$	1165,6083 (1165,6006)	1187,6001 (1187,5825)	1147; 853; 425	Малонил-гинзенозид- Rb ₂ /Rb ₃
7,43	$C_{48}H_{82}O_{18}$	947,5630 (947,5579)	969,5447 (969,5399)	767; 425;	Гинзенозид Rd
7,84	$C_{51}H_{84}O_{21}$	1033,5626 (1033,5583)	1055,5497 (1055,5403)	853; 835; 425	Малонил-гинзенозид Rd
8,03	$C_{51}H_{84}O_{21}$	1033,5554 (1033,5583)	1055,5481 (1055,5403)	853; 835; 425	Изо-Малонил-гинзенозид Rd

Пр и м е ч а н и е: ¹ – время удерживания, мин; ² – в скобках указаны расчетные значения m/z для соответствующего иона.

Note: ¹ – retention time, min; ² – calculated values of m/z of an appropriate ion (in brackets).

ными соединениями и/или некоторые из них образуются в результате вызванной условиями экстракции внутримолекулярной миграции ацильной группы [8; 9].

Таким образом, можно предположить, что обнаруженные в корнях растений *P. ginseng*, выращенных в нетипичных для этого вида условиях (интродукция ЦБС НАН Беларуси), соединения также являются позиционными изомерами, различающимися положением остатка малонил-

вой кислоты. Однако для установления их точной структуры требуются дополнительные исследования.

В табл. 2 представлены результаты определения содержания основных гинзенозидов в корнях растений *P. ginseng*, выращенных на плантации ЦБС НАН Беларуси. Установлено, что разные части корней *P. ginseng* существенно отличаются по суммарному содержанию гинзенозидов: для основного корня этот параметр составил 3,3 % от сухой массы, а для боковых корней – 7,8 % от сухой массы. Этот результат вполне согласуется с данными литературы [3; 11]. Действительно, во многих исследованиях показано, что боковые корни (их часто именуют «тонкими» корнями женьшеня) *P. ginseng* часто характеризуются (при сравнении с основным корнем) наибольшим содержанием гинзенозидов [3; 11].

Т а б л и ц а 2. Содержание основных гинзенозидов в корнях *P. ginseng* (плантация ЦБС НАН Беларуси)

Table 2. Content of the main ginsenosides of the roots of *P. ginseng* grown at the experimental plot of the Central Botanical Garden of the National Academy of Sciences of Belarus

Гинзенозид Ginsenoside	Содержание, мг/г сухой массы Content, mg / g dry weight	
	Основной корень Main root	Боковые корни Lateral roots
Rg ₁	6,3	5,4
Re	1,3	5,3
Малонил-Rg ₁	0,7	0,7
Малонил-Re	–	0,2
Rf	2,1	2,3
Rb ₁	3,3	8,4
Rc	1,2	3,7
Rb ₂	1,5	4,6
Rd	0,2	1,4
Малонил-Rb ₁	8,9	20,4
Малонил-Rc	2,6	11,2
Малонил-Rb ₂ /Rb ₃	3,3	12,5
Малонил-Rd	0,3	1,9
R ₀	1,6	0,4
Сумма, мг/г сухой массы	33,3	78,4

Следует отметить, что существенную долю в суммарном содержании гинзенозидов составляют малонилированные производные этих соединений: в основном корне малонил-гинзенозиды составляют 47,6 %, а в боковых конях – 59,8 % от суммы гликозидов. Среди этих ацилированных форм гинзенозидов в количественном отношении преобладают малонил-гликозиды протопанаксадиола (малонил-Rb₁, -Rc, -Rb₂/Rb₃ и -Rd). Малонилированные формы гинзенозидов группы протопанаксатриола (малонил-Rg₁, -Re) обнаруживаются в существенно меньших количествах (табл. 2). Описанные закономерности также довольно часто отмечаются для корней разных видов женьшеня (в том числе женьшеня настоящего) [12; 13].

Закключение. Таким образом, впервые проведено достаточно подробное изучение качественного и количественного состава гинзенозидов в корнях растений женьшеня настоящего, интродуцированных в условиях Республики Беларусь. При этом установлено, что в изученных корнях присутствуют все основные нейтральные гликозиды женьшеня (гинзенозиды Rb₁, Rc, Rb₂/Rb₃, Rd, Rf, Rg₁, Re), а также их малонилированные производные и некоторые «минорные» гинзенозиды (20-глюко-гинзенозид Rf, нотогинзенозиды R₁ и R₂, изомеры малонил-гинзенозидов Rb₁ и Rd). Количественное содержание обнаруженных основных гинзенозидов в корнях растений *P. ginseng*, выращенных на опытных участках ЦБС НАН Беларуси, сопоставимо с их содержанием в образцах корней этого растения китайского или корейского происхождения.

Благодарности. Авторы выражают признательность В. В. Титку – директору ЦБС НАН Беларуси, Л. В. Кухаревой – вед. науч. сотруднику, Т. В. Гиль – науч. сотруднику лаборатории биоразнообразия растительных ресурсов ЦБС НАН Беларуси за помощь и содействие в исследованиях. Работа выполнена при финансовой поддержке гранта Российского фонда фундаментальных исследований 16-54-00158 Бел_а и Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований № 16Р-083.

Acknowledgements. The authors are grateful to V. V. Titko, Director of the Central Botanical Garden of NAS of Belarus, L. V. Kukhareva, leading researcher and T. V. Gil, researcher of the Laboratory of Biodiversity of Plant Resources of the Central Botanical Garden of NAS of Belarus for help and assistance in research. The work is financially supported by the grant 16-54-00158 Bel_a of the Russian Foundation for Fundamental Research and the grant 16P-083 of the Belarusian Republican Foundation for Fundamental Research.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Shin, B.-K. Chemical diversity of ginseng saponins from *Panax ginseng* / B.-K. Shin, S. W. Kwon, J. H. Park // Journal of Ginseng Research. – 2015. – Vol. 39, N 4. – P. 287–298. <https://doi.org/10.1016/j.jgr.2014.12.005>
2. Court, W. E. The Principal Active Chemicals in *Panax* Species / W. E. Court // Ginseng, the Genus *Panax*. – London: CRC Press, 2000. – P. 55–116.
3. Christensen, L. P. Ginsenosides: chemistry, biosynthesis, analysis, and potential health effects // Advances in Food and Nutrition Research. – 2008. – Vol. 55. – P. 1–99. [https://doi.org/10.1016/s1043-4526\(08\)00401-4](https://doi.org/10.1016/s1043-4526(08)00401-4)
4. Qi, L. W. Ginsenosides from American ginseng: chemical and pharmacological diversity / L. W. Qi, C. Z. Wang, C. S. Yuan // Phytochemistry. – 2011. – Vol. 72, N 8. – P. 689–699. <https://doi.org/10.1016/j.phytochem.2011.02.012>
5. Rare triterpene glycoside of ginseng (ginsenoside malonyl-Rg1) detected in plant cell suspension culture of *Panax japonicus* var. *repens* / D. V. Kochkin [et al.] // Russian Journal of Plant Physiology. – 2017. – Vol. 64, N 5. – P. 649–656. <https://doi.org/10.1134/s102144371705003x>
6. Chemical and bioactive comparison of flowers of *Panax ginseng* Meyer, *Panax quinquefolius* L., and *Panax notoginseng* Burk. / F. Li [et al.] // Journal of Ginseng Research. – 2017. – Vol. 41, N 5. – P. 487–495. <https://doi.org/10.1016/j.jgr.2016.08.008>
7. Single-run HPLC/ESI-LITMS profiling of ginsenosides in plant extracts and ginseng based products / A. Stavriani [et al.] // Biomedical Chromatography. – 2015. – Vol. 29, N 6. – P. 853–859. <https://doi.org/10.1002/bmc.3364>
8. Rapid separation and identification of 31 major saponins in Shizhu ginseng by ultra-high performance liquid chromatography–electron spray ionization–MS/MS / T.-T. Sun [et al.] // Journal of Ginseng Research. – 2016. – Vol. 40, N 3. – P. 220–228. <https://doi.org/10.1016/j.jgr.2015.07.008>
9. Complete (1)H-NMR and (13)C-NMR spectral assignment of five malonyl ginsenosides from the fresh flower buds of *Panax ginseng* / Y.-S. Wang [et al.] // Journal of Ginseng Research. – 2016. – Vol. 40, N 3. – P. 245–250. <https://doi.org/10.1016/j.jgr.2015.08.003>
10. Malonylginsenosides with Potential Antidiabetic Activities from the Flower Buds of *Panax ginseng* / S. Qiu [et al.] // J. Nat. Prod. – 2017. – Vol. 80, N 4. – P. 899–908. <https://doi.org/10.1021/acs.jnatprod.6b00789>
11. Determination of ginsenosides in Asian and American ginsengs by liquid chromatography–quadrupole/time-of-flight MS: assessing variations based on morphological characteristics / Y. Chen [et al.] // Journal of Ginseng Research. – 2017. – Vol. 41, N 1. – P. 10–22. <https://doi.org/10.1016/j.jgr.2015.12.004>
12. The effects of dynamic changes of malonyl ginsenosides on evaluation and quality control of *Panax ginseng* C. A. Meyer / Z. Liu [et al.] // Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis. – 2012. – Vol. 64–65. – P. 56–63. <https://doi.org/10.1016/j.jpba.2012.02.005>
13. Du, X. W. Changes in neutral and malonyl ginsenosides in American ginseng (*Panax quinquefolium*) during drying, storage and ethanolic extraction / X. W. Du, R. B. H. Wills, D. L. Stuart // Food Chemistry. – 2004. – Vol. 86, N 2. – P. 155–159. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2003.11.003>

References

1. Shin B.-K., Kwon S. W., Park J. H. Chemical diversity of ginseng saponins from *Panax ginseng*. *Journal of Ginseng Research*, 2015, vol. 39, no. 4, pp. 287–298. <https://doi.org/10.1016/j.jgr.2014.12.005>
2. Court W. E. The Principal Active Chemicals in *Panax* Species. *Ginseng, the Genus Panax*. London, CRC Press, 2000, pp. 55–116.
3. Christensen L. P. Ginsenosides: chemistry, biosynthesis, analysis, and potential health effects. *Advances in Food and Nutrition Research*, 2008, vol. 55, pp. 1–99. [https://doi.org/10.1016/s1043-4526\(08\)00401-4](https://doi.org/10.1016/s1043-4526(08)00401-4)
4. Qi L. W., Wang C. Z., Yuan C. S. Ginsenosides from American ginseng: chemical and pharmacological diversity. *Phytochemistry*, 2011, vol. 72, no. 8, pp. 689–699. <https://doi.org/10.1016/j.phytochem.2011.02.012>
5. Kochkin D. V., Galishev B. A., Glagoleva E. S., Titova M. V., Nosov A. M. Rare triterpene glycoside of ginseng (ginsenoside malonyl-Rg1) detected in plant cell suspension culture of *Panax japonicus* var. *repens*. *Russian Journal of Plant Physiology*, 2017, vol. 64, no. 5, pp. 649–656. <https://doi.org/10.1134/s102144371705003x>
6. Li F., Lv C., Li Q., Wang J., Song D., Liu P., Zhang D., Lu J. Chemical and bioactive comparison of flowers of *Panax ginseng* Meyer, *Panax quinquefolius* L., and *Panax notoginseng* Burk. *Journal of Ginseng Research*, 2017, vol. 41, no. 5, pp. 487–495. <https://doi.org/10.1016/j.jgr.2016.08.008>
7. Stavriani A., Rodin I., Braun A., Stekolshchikova E., Shpigun O. Single-run HPLC/ESI-LITMS profiling of ginsenosides in plant extracts and ginseng based products. *Biomedical Chromatography*, 2015, vol. 29, no. 6, pp. 853–859. <https://doi.org/10.1002/bmc.3364>

8. Sun T.-T., Liang X.-L., Zhu H.-Y., Peng X.-L., Guo X.-J., Zhao L.-S. Rapid separation and identification of 31 major saponins in Shizhu ginseng by ultra-high performance liquid chromatography–electron spray ionization–MS/MS. *Journal of Ginseng Research*, 2016, vol. 40, no. 3, pp. 220–228. <https://doi.org/10.1016/j.jgr.2015.07.008>

9. Wang Y.-S., Jin Y.-P., Gao W., Xiao S.-Y., Zhang Y.-W., Zheng P.-H., Wang J., Liu J.-X., Sun C.-H., Wang Y.-P. Complete (1)H-NMR and (13)C-NMR spectral assignment of five malonyl ginsenosides from the fresh flower buds of *Panax ginseng*. *Journal of Ginseng Research*, 2016, vol. 40, no. 3, pp. 245–250. <https://doi.org/10.1016/j.jgr.2015.08.003>

10. Qiu S., Yang W. Z., Yao C. L., Shi X. J., Li J. Y., Lou Y., Duan Y. N., Wu W. Y., Guo D. A. Malonylginsenosides with Potential Antidiabetic Activities from the Flower Buds of *Panax ginseng*. *Journal of Natural Products*, 2017, vol. 80, no. 4, pp. 899–908. <https://doi.org/10.1021/acs.jnatprod.6b00789>

11. Chen Y., Zhao Z., Chen H., Brand E., Yi T., Qin M., Liang Z. Determination of ginsenosides in Asian and American ginsengs by liquid chromatography–quadrupole/time-of-flight MS: assessing variations based on morphological characteristics. *Journal of Ginseng Research*, 2017, vol. 41, no. 1, pp. 10–22. <https://doi.org/10.1016/j.jgr.2015.12.004>

12. Liu Z., Li Y., Li X., Ruan C.-C., Wang L.-J., Sun G.-Z. The effects of dynamic changes of malonyl ginsenosides on evaluation and quality control of *Panax ginseng* C. A. Meyer. *Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis*, 2012, vol. 64–65, pp. 56–63. <https://doi.org/10.1016/j.jpba.2012.02.005>

13. Du X. W., Wills R. B. H., Stuart D. L. Changes in neutral and malonyl ginsenosides in American ginseng (*Panax quinquefolium*) during drying, storage and ethanolic extraction. *Food Chemistry*, 2004, vol. 86, no. 2, pp. 155–159. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2003.11.003>

Информация об авторах

Кочкин Дмитрий Владимирович – канд. биол. наук, ст. науч. сотрудник. Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова (Ленинские горы, 1/12, 119234, Москва, Российская Федерация). E-mail: dmitry-kochkin@mail.ru.

Глаголева Елена Сергеевна – науч. сотрудник. Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова (Ленинские горы, 1/12, 119234, Москва, Российская Федерация). E-mail: _yuga@mail.ru.

Галишев Борис Александрович – инженер-исследователь. Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина (ул. Куйбышева, 48, 620083, Екатеринбург, Российская Федерация). E-mail: galishev@mail.ru.

Спиридович Елена Владимировна – канд. биол. наук, доцент, заведующая лабораторией. Центральный ботанический сад НАН Беларуси (ул. Сурганова, 2В, 220012, Минск, Республика Беларусь). E-mail: e.spiridovich@cbg.org.by.

Носов Александр Михайлович – д-р биол. наук, профессор, заведующий кафедрой. Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова (Ленинские горы, 1/12, 119234, Москва, Российская Федерация). E-mail: al_nosov@mail.ru.

Решетников Владимир Николаевич – академик, д-р биол. наук, профессор, заведующий отделом. Центральный ботанический сад НАН Беларуси (ул. Сурганова, 2В, 220012, Минск, Республика Беларусь). E-mail: v.reshetnikov@cbg.org.by.

Information about the authors

Kochkin Dmitry Vladimirovich – Ph. D. (Biology), Senior researcher. Lomonosov Moscow State University (1/12, Leninskie gory, 119234, Moscow, Russian Federation). E-mail: dmitry-kochkin@mail.ru.

Glagoleva Elena Sergeevna – Researcher. Lomonosov Moscow State University (1/12, Leninskie gory, 119234, Moscow, Russian Federation). E-mail: _yuga@mail.ru.

Galishev Boris Aleksandrovich – Engineer-researcher. Ural Federal University named after the first President of Russia B. N. Yeltsin (48, Kuibyshev Str., 620083, Yekaterinburg, Russian Federation). E-mail: galishev@mail.ru.

Spiridovich Elena Vladimirovna – Ph. D. (Biology), Assistant Professor, Head of the Laboratory. Central Botanical Garden of the National Academy of Sciences of Belarus (2B, Sarganov Str., 220012, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: e.spiridovich@cbg.org.by.

Nosov Alexander Mikhailovich – D. Sc. (Biology), Professor, Head of the Department. Lomonosov Moscow State University (1/12, Leninskie gory, 119234, Moscow, Russian Federation). E-mail: al_nosov@mail.ru.

Reshetnikov Vladimir Nikolaevich – Academician, D. Sc. (Biology), Professor, Head of the Department. Central Botanical Garden of the National Academy of Sciences of Belarus (2B, Sarganov Str., 220012, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: V.Reshetnikov@cbg.org.by.