

## Оценка содержания гинзенозидов с антиоксидантной активностью в экстрактах из белого женьшеня

© 2026. А. В. Сазанов<sup>1</sup>, к. б. н., и. о. зав. кафедрой,  
А. А. Алалыкин<sup>1</sup>, к. х. н., доцент, М. Л. Сазанова<sup>2</sup>, к. б. н., н. с.,  
М. Ю. Милославский<sup>3</sup>, генеральный директор,  
<sup>1</sup>Вятский государственный университет,  
610000, Россия, г. Киров, ул. Московская, д. 36,  
<sup>2</sup>Институт биологии Коми научного центра  
Уральского отделения Российской академии наук,  
167982, Россия, г. Сыктывкар, ул. Коммунистическая, д. 28,  
<sup>3</sup>ООО «Экстракты глубокой очистки»,  
610014, Россия, г. Киров, ул. Пугачева, д. 32,  
e-mail: usr11759@vyatsu.ru

Гинзенозиды/панаксозиды – гликозиды тритерпеноидов, активные компоненты растений из рода *Panax*, обладающие антиокислительным, противовоспалительным, антимикробным, противодиабетическим, противоопухолевым действием. С помощью ВЭЖХ-МС/МС исследован химический профиль гинзенозидов углекислотного, водно-спиртового и уксуснокислого экстрактов белого женьшеня, выращенного в Китае. Идентифицировано 23 соединения, в том числе основные полярные гинзенозиды – Rb<sub>1</sub>, Rb<sub>2</sub>, Rc, Rd (протопанаксадиоловый тип, ППД-тип) и Re, Rf, Rg<sub>1</sub> (протопанаксатриоловый тип, ППТ-тип), а также минорные неполярные – F<sub>2</sub>, Rg<sub>3</sub>, Rh<sub>2</sub> (ППД-тип) и Rg<sub>2</sub>, Rh<sub>1</sub> (ППТ-тип). Нестабильностью олеанановых сапонинов (Ro) при нагревании объясняется их отсутствие в исследуемых экстрактах и появление зингиброзида R<sub>1</sub> (аддукт Ro) в водно-спиртовом экстракте. Основную долю в уксуснокислом и CO<sub>2</sub>-экстрактах составляли минорные неполярные гинзенозиды и аддукты; водно-спиртовый экстракт содержал примерно равное количество основных и минорных гинзенозидов. Наибольшее содержание аддуктов с антиоксидантным эффектом – гинзенозиды Rg<sub>3</sub>, Rh<sub>1</sub>, Rh<sub>2</sub>, Rk<sub>1</sub>, Ck, Rg<sub>1</sub>, Rb<sub>1</sub>, Rb<sub>2</sub>, Re – отмечено в CO<sub>2</sub>-экстракте (67,7 %), наименьшее – в водно-спиртовом (29,7 %).

**Ключевые слова:** гинзенозиды, *Panax ginseng*, ВЭЖХ-МС/МС, экстракт, антиоксидантное действие.

## Assessment of antioxidant ginsenosides content in white ginseng extracts

© 2026. A. V. Sazanov<sup>1</sup> ORCID: 0000-0002-6934-3330, A. A. Alalykin<sup>1</sup> ORCID: 0000-0001-7453-3617  
M. L. Sazanova<sup>2</sup> ORCID: 0000-0003-3492-8395, M. Yu. Miloslavskiy<sup>3</sup> ORCID: 0009-0007-8673-9859  
<sup>1</sup>Vyatka State University,  
36, Moskovskaya St., Kirov, Russia, 610000,  
<sup>2</sup>Institute of Biology of Komi Science Centre of the Ural Branch of the Russian Academy of  
Sciences,  
28, Kommunisticheskaya St., Syktyvkar, Russia, 167982,  
<sup>3</sup>JSC “Extracts of deep purification”,  
32, Pugacheva St., Kirov, Russia, 610014  
e-mail: usr11759@vyatsu.ru

Ginsenosides/panaxosides are glycosides of triterpenoids, active components of *Panax* plants. They have antioxidant, anti-inflammatory, antimicrobial, antidiabetic, and antitumor effects. The chemical profile of ginsenosides in supercritical carbonic acid (SC-CO<sub>2</sub>), aqueous alcohol (70 %), and acetic acid (5 %) extracts of white ginseng cultivated in China was studied using HPLC-MS/MS. The mass fraction of ginsenosides in white ginseng CO<sub>2</sub>-extract is higher than in aqueous alcohol and acetic acid extracts, respectively 3.5 %, 2.4 % and 1.1 % dry matter. 23 compounds were identified, including the main polar ginsenosides – Rb<sub>1</sub>, Rb<sub>2</sub>, Rc, Rd (PPD-type) and Re, Rf, Rg<sub>1</sub> (PPT-type), as well as minor nonpolar ones – F<sub>2</sub>, Rg<sub>3</sub>, Rh<sub>2</sub> (PPD-type) and Rg<sub>2</sub>, Rh<sub>1</sub> (PPT-type). The instability of oleanane saponins (Ro)

upon heating is explained by their absence in the studied extracts and the appearance of zingibroside R<sub>1</sub> (Ro adduct) in the aqueous alcohol extract. Minor nonpolar ginsenosides and adducts accounted for the majority of acetic acid and SC-CO<sub>2</sub> extracts; the aqueous alcohol extract contained approximately equal amounts of major and minor ginsenosides. The highest content of adducts with antioxidant effect – ginsenosides Rg<sub>3</sub>, Rh<sub>1</sub>, Rh<sub>2</sub>, Rk<sub>1</sub>, CK, Rg<sub>1</sub>, Rb<sub>1</sub>, Rb<sub>2</sub>, Re – was noted in SC-CO<sub>2</sub> extract (67.7 %), the lowest – in alcohol extract (29.7 %). A product with the desired metabolic profile can be obtained by varying the extraction conditions.

**Keywords:** ginsenosides, *Panax ginseng*, HPLC-MS/MS, extract, antioxidant effect.

Повышение антропогенной нагрузки на окружающую среду провоцирует развитие в живых организмах оксидативного стресса, связанного с продукцией активных форм кислорода (АФК): супероксид-аниона, пероксида водорода, гидроксильного радикала, синглетного кислорода, гидропероксидов липидов, пероксильных радикалов липидов, алкоксильных радикалов липидов и т. п. [1]. Вырабатываемые аэробами в малых/умеренных количествах АФК выступают в качестве молекулярных сигналов, регулирующих защиту от инфекционных агентов, поддержание тонуса сосудов, контроль вентиляции и выработки эритропоэтина, а также передачу сигналов от мембранных рецепторов в различных физиологических процессах [2]. Парадокс, но многие опосредованные АФК реакции защищают клетки от окислительного стресса [1]. Однако избыток АФК окисляет редокс-чувствительные молекулы белков, липидов, нуклеиновых кислот и др., нарушая метаболизм. В частности, активизируется перекисное окисление липидов (ПОЛ), цепные реакции которого вызывают денатурацию фосфолипидов клеточных мембран, что изменяет степень их текучести и приводит к инактивации связанных с мембраной рецепторов или ферментов. Установлено, что образующиеся при ПОЛ α, β-ненасыщенные реакционноспособные альдегиды (малоновый диальдегид, акролеин, 4-гидроксинонен-2-аль, изопростаны) ковалентно модифицируют критически важные макромолекулы и могут служить маркерами окислительного стресса [1, 3].

Для предотвращения повреждения молекул и клеток при окислительном стрессе у живых организмов выработался эффективный эндогенный механизм для удаления или переработки АФК. Он включает, в первую очередь, низкомолекулярные антиоксиданты (аскорбиновая кислота, полифенолы, флавоноиды, токоферолы, каротиноиды и др.), которые снижают скорость генерации свободных радикалов либо уменьшают концентрации продуктов реакций, протекающих с участием радикалов. Также антиоксидантный эффект проявляет ряд ферментов (дегидроаскорбат-

редуктаза, глутатионпероксидаза, супероксиддисмутаза и др.), которые катализируют металлы переменной валентности и участвуют в разложении гидропероксидов нерадикальным путём [4]. К эндогенным антиоксидантам организма человека, помимо вышеупомянутых ферментов, относятся глутатион, коэнзим Q10, мелатонин, L-карнитин и др. [1]. В условиях, способствующих пролонгированию окислительного стресса, эндогенных антиоксидантов может быть недостаточно, и для поддержания оптимальных клеточных функций могут потребоваться экзогенные антиоксиданты. Пищевые антиоксидантные добавки, равно как и косметические, становятся всё более популярной практикой для поддержания оптимального функционирования организма.

Антиоксидантный эффект выявлен для многих видов растений, в т. ч. для растений из рода *Panax* [5, 6]. Женьшень обыкновенный (*Panax ginseng* C.A. Mey.) является самым распространённым видом рода *Panax* семейства аралиевых; встречается на Дальнем Востоке России, в Китае, Корее, Индии, Мьянме, Камбодже [7]. Основными биологически активными компонентами женьшеня являются гинзенозиды/панаксозиды (сапонины – гликозиды тритерпеноидов), аминокислоты, фенолы, алкалоиды, пептиды и витамины [8]. Физиологические эффекты гинзенозидов сводятся к не связанному с рецепторами антиокислительным, противовоспалительным, антимикробным, противодиабетическим, противоопухолевым [9]. На данный момент идентифицировано 289 гинзенозидов из 11 видов женьшеня [10], суммарное число идентифицированных женьшеневых сапонинов, включая гинзенозиды и их производные, превышает 600 [11]. Содержание гинзенозидов зависит от вида/сорта женьшеня, региона произрастания, возраста растений, сезона сбора урожая, части растения (корень, стебель, листья), метода обработки (белый женьшень, красный или чёрный), а также способа подготовки образца и метода анализа [11, 12]. Например, свежий корень *P. ginseng*, а также белый женьшень (высушенный на солнце или при низкой тем-

пературе) в наибольшем количестве (70 % от общего содержания гинзенозидов) содержат основные полярные гинзенозиды Rb<sub>1</sub>, Rb<sub>2</sub>, Rc, Rd (протопанаксадиоловый тип, ППД), Re, Rf, Rg<sub>1</sub> (протопанаксатриоловый тип, ППТ), и Ro (олеанановый тип), а также малонилгинзенозиды (Ma-Rb<sub>1</sub>, Ma-Rb<sub>2</sub>, Ma-Rc, Ma-Rd), тогда как в составе красного женьшеня (пропаривание при 95–100 °С) преобладают минорные гинзенозиды (ППД-тип: Rg<sub>3</sub>, Rh<sub>2</sub>, Rs<sub>3</sub>; ППТ-тип: Rg<sub>2</sub>, Rh<sub>1</sub>; C17SV-тип: Rk<sub>1</sub>, Rg<sub>5</sub>) [12, 13].

Международный стандарт для продуктов с женьшенем (CODEX STAN 321-2015) регламентирует только идентификацию основных гинзенозидов Rb<sub>1</sub> и Rf методами тонкослойной или высокоэффективной жидкостной хроматографии (ВЭЖХ). Однако структура гинзенозидов изменяется при нагревании, изменении pH среды, действии ферментов пищеварительного тракта или микроорганизмов. Основные полярные гинзенозиды окисляются или дегликолизуются или гидролизуются с образованием минорных гинзенозидов. Поскольку физиологическая активность препаратов на основе женьшеня напрямую зависит от количества биологически активных веществ, определение химического профиля гинзенозидов имеет решающее значение для оценки качества сырья и его фармакологической активности [14]. С другой стороны, невысокое содержание гинзенозидов в сухом корне женьшеня предполагает совершенствование методов экстракции с целью наиболее полного извлечения функциональных компонентов [15], а также получения экстрактов с большим молекулярным разнообразием гинзенозидов [16].

Цель работы – определение содержания гинзенозидов, обладающих антиоксидантной активностью, в экстрактах из белого женьшеня.

### Объекты и методы исследования

В качестве объекта исследования использован белый женьшень – высушенный на солнце корень женьшеня, выращенного в провинции Цзилинь (Китай). Выбор объекта исследования обусловлен доступностью и невысокой стоимостью сырья. Сырьё измельчалось с помощью жерновой мельницы, фракция 50 мкм. Экстракты готовили с использованием трёх способов экстракции: углекислотного, спиртового (70 % водный раствор этанола) и уксуснокислого (5 % раствор уксусной кислоты).

СО<sub>2</sub>-экстракция осуществлялась с помощью установки ЭЗТ-3 (Россия). 1000 г измельчённого растительного сырья помещали в кассету, которую опускали в термостатированную экстракционную колонку. После герметизации в реактор насосом высокого давления подавали жидкий углекислый газ до создания рабочего давления и фиксировали время начала опыта. Далее многократно осуществлялся процесс экстракции сырья сверхкритическим флюидом углекислого газа в замкнутом контуре. По окончании процесса экстракции насос переключался на перекачку газа в рабочий баллон. При достижении в контуре исходного давления 4–5 МПа насос высокого давления отключался, а остаточное количество газа выбрасывалось в атмосферу через отводящий газопровод. При достижении в системе давления, равного атмосферному, открывался сборник и производилась разгрузка экстракта через сепаратор. Экстракция проводилась в динамичном режиме в течение 60 мин при скорости потока СО<sub>2</sub> 1,4 л/мин. Рабочие параметры в режиме экстракции в докритическом состоянии – 45 °С, 18 МПа; в сепараторе 42 °С, 6 МПа. Полученные экстракты хранились в холодильнике при 4 °С.

Для приготовления водно-спиртового экстракта навеску измельчённого белого женьшеня, массой 7,5 г, экстрагировали 70 % водным этанолом (сырьё:растворитель – 1:10) в течение 3 ч. Полученный экстракт упаривали в роторном испарителе до получения сухого остатка. Для ВЭЖХ-анализа сухие образцы экстрактов (10 мг) растворяли в 1 мл 70 % этанола и фильтровали. Аналогично получали уксуснокислый экстракт (5 % раствор уксусной кислоты, соотношение сырьё:растворитель – 1:30).

Определение содержания гинзенозидов проводили методом высокоэффективной жидкостной хроматомасс-спектрометрии (ВЭЖХ-МС/МС) на Shimadzu LCMS-8040 (Киото, Япония) с системой трёх квадруполей. Исследуемый образец экстракта женьшеня, объёмом 10 мкл, экстрагировали 2 мл смеси воды с метанолом (1:1 по об.) с целью извлечения гинзенозидов. Полученную смесь фильтровали через шприцевой полиамидный фильтр с размером пор 0,2 мкм и анализировали в следующих условиях.

Колонка Dr. Maisch Reprosil-Pur Basic C18 100 × 2 мм с размером зёрен неподвижной фазы 3 мкм. Дозируемый объём пробы – 10 мкл. Температура термостата колонок – 45 °С. Расход подвижной фазы 0,2 мл/мин.

Режим элюирования – бинарный градиент: фаза «Б» – 20% с 0 до 0,1 мин; 20–95 % с 0,1 до 10 мин; 95 % с 10 до 25 мин. Подвижная фаза: «А» – очищенная вода типа I (Milli-Q) с добавкой муравьиной кислоты (0,01 %); «Б» – изопропиловый спирт. Тип ионизации – электроспрей (положительная полярность); ионизирующее напряжение – 3,5 кВ. Температура интерфейса 400 °С. Температура линии десольватации – 250 °С. Расход газа – распылителя (азот) 3 л/мин. Расход газа – осушителя (азот) 15 л/мин. Режим сбора данных: SIM с регистрацией сигналов по заданным  $m/z$ .

Последующую обработку данных осуществляли с помощью программного обеспечения LabSolutions LCMS 5.86. В ходе регистрации сигналов  $m/z$ , обусловленных образованием псевдомолекулярных ионов, характерных для определяемых гинзенозидов, получали отдельные масс-хроматограммы. При этом каждая масс-хроматограмма соответствует значению  $m/z$ , характерному для своего гинзенозида. В качестве стандартов использован стандартный образец гинзенозидов тип G115 (Shanghai Tauto Biotech Co., Ltd., Китай). Оценку количественного содержания гинзенозидов в пробе делали на основании измерения площадей соответствующих хроматографических пиков.

### Результаты и обсуждение

В литературе описано много способов экстрагирования гинзенозидов из женьшеня, основанных на разных факторах. Чаще всего применяют жидкостную экстракцию водой [17, 18], метанолом [18–20], этанолом [13, 15, 18, 19], смесью метанола и этанола в различных соотношениях [18], экстракцию сверхкритическим  $\text{CO}_2$  [15], а также микроволновую [11, 15, 18], ультразвуковую [11, 15, 18, 21, 22], сверхвысоким давлением [11, 15] и др. По данным [15], выход гинзенозидов при экстракции в водно-этанольном растворе самый высокий, причём наибольший выход основных/нейтральных гинзенозидов отмечается при 70 % концентрации растворителя. При низких значениях рН гинзенозидный профиль изменяется из-за разрушения и обезвоживания ряда гинзенозидов. Этот факт объясняет отличия гинзенозидного профиля красного и белого женьшеня: при обработке паром большое количество малонил- и ацетилгинзенозидов преобразуется в процессе демалонилирования и деацетилирования, а высвобождающиеся малононовая и уксусная кислоты способствуют дальнейшей деграда-

ции гинзенозидов [17]. С другой стороны, в подобных условиях увеличивается количество минорных гинзенозидов, обладающих широким спектром физиологических эффектов и лучшей усваиваемостью в организме человека [10, 13]. Таким образом, варьируя условия, можно получить экстракты с различным метаболитным профилем под конкретные задачи биологически активного препарата.

Проведённый анализ показал, что массовая доля гинзенозидов в  $\text{CO}_2$ -экстракте из белого женьшеня выше, чем в водно-спиртовом и уксуснокислом экстрактах, соответственно 3,5; 2,1 и 1,1 % в пересчёте на сухое вещество, что связано со щадящими условиями экстракции [18].

Химические профили всех образцов были получены с помощью ВЭЖХ-МС/МС. На хроматограмме путём сравнения времени удерживания, значений  $m/z$  и ионов фрагментов с данными из литературы были идентифицированы 23 гинзенозида и их аддукта (без учёта стереоизомеров): 15 – в  $\text{CO}_2$ -экстракте, 16 – в водно-спиртовом экстракте и 17 – в уксуснокислом экстракте (табл.).

Представленные данные свидетельствуют о наличии в исследуемых образцах ППД-гинзенозидов ( $\text{Rb}_1$ ,  $\text{Rb}_2$ ,  $\text{Rc}$ ,  $\text{Rd}$ ,  $\text{F}_2$ ,  $\text{Rg}_3$ ,  $\text{Rh}_2$ ) и ППТ-гинзенозидов ( $\text{Re}$ ,  $\text{Rf}$ ,  $\text{Rg}_1$ ,  $\text{Rg}_2$ ,  $\text{Rh}_1$ ), и отсутствии олеанановых сапонинов ( $\text{Ro}$ ) (табл.). Согласно [23, 24], белый женьшень относительно богат ППД-гинзенозидами  $\text{Rb}_2$ ,  $\text{Rb}_3$ ,  $\text{Rc}$ ,  $\text{Rd}$ ,  $\text{Re}_1$ ,  $\text{F}_2$  и ППТ-гинзенозидами  $\text{Re}$ ,  $\text{Rf}$  и  $\text{Rg}_1$ . Это подтвердили и наши исследования. В частности, установлено, что в сравнении с углекислотным и уксуснокислым экстрактами, водно-спиртовой экстракт из белого женьшеня (щадящие условия изготовления) содержит относительно большое количество  $\text{Rb}_1$ ,  $\text{Rb}_2$ ,  $\text{Rd}$ ,  $\text{Re}$  и  $\text{Rf}$  (последний в углекислотном и уксуснокислом экстрактах не идентифицирован) (табл.). Низкое содержание основного гинзенозида  $\text{Rb}_1$  можно объяснить его неустойчивостью в кислой среде: при  $\text{pH} < 6,0$  он трансформируется в  $\text{Rg}_3(\text{S/R})$ ,  $\text{Rk}_1$  и  $\text{Rg}_5$  [25]. Отсутствие  $\text{Ro}$  объясняется его гидролизом по сложноэфирной связи C–28 при нагревании выше 60 °С [26]; этим же можно объяснить появление зингиброзида  $\text{R}_1(\text{Z-R}_1)$  в водно-спиртовом экстракте, который является аддуктом  $\text{Ro}$  [13].

Основную долю в  $\text{CO}_2$ - и уксуснокислом экстрактах составляли минорные неполярные гинзенозиды –  $\text{Rh}_1$ ,  $\text{Rh}_2$ ,  $\text{Rg}_3$ ,  $\text{Mc}$  (суммарно, соответственно, 66,2 и 54,4 %) и аддукты –  $\text{PPT}$ ,  $\text{CK}$ ,  $\text{F}_2$  (суммарно, соответственно, 28,8

Таблица / Table

Содержание гинзенозидов в образцах различных экстрактов *Panax ginseng*, % от суммы гинзенозидов  
Ginsenosides' content in the samples of *Panax ginseng* various extracts, % from the total ginsenosides

Название Name	Псевдомолекулярный ион / Pseudomolecular ion	MS, m/z	Содержание / Content, %*		
			SCE	AE	AAE
G-Rb <sub>1</sub>	[M + Na] <sup>+</sup>	1131,5	tr.	3,6	0,4
G-Rc	[M + Na] <sup>+</sup>	1101,5	tr.	2,2	0,7
G-Rb <sub>2</sub>				1,9	
G-Re + G-Rd	[M + Na] <sup>+</sup>	969,4	1,4	7,0	1,1
GP-XVII				–	
G-Rg <sub>1</sub>	[M + Na] <sup>+</sup>	823,5	3,6	3,5	3,8
G-Rg <sub>2</sub>	[M + Na] <sup>+</sup>	819,0	–	4,8	–
VG-R <sub>4</sub>	[M + Na] <sup>+</sup>	810,6	–	7,3	–
NG-R <sub>2</sub>	[M + Na] <sup>+</sup>	807,7	–	4,2	3,9
NG-R <sub>4</sub>	[M + Na] <sup>+</sup>		–	5,8	5,3
G-F <sub>2</sub>	[M + Na] <sup>+</sup>	807,5	4,8	–	3,1
G-Rf	[M – 2H <sub>2</sub> O + H] <sup>+</sup>	781,3	–	14,1	–
G-Mc	[M + Na] <sup>+</sup>	777,6	8,3	–	8,8
G-M <sub>1</sub>	[M + Na] <sup>+</sup>	775,5	–	10,0	–
G-Rg <sub>3</sub> (S/R)	[M – 2H <sub>2</sub> O + H] <sup>+</sup>	749,5	4,1	2,6	3,5
G-Rh <sub>1</sub> (S/R)	[M + Na] <sup>+</sup>	661,3	3,2	5,1	2,6
G-F <sub>1</sub>				–	
G-CK	[M + Na] <sup>+</sup>	645,2	4,8	–	1,9
Z-R <sub>1</sub>	[M + Na] <sup>+</sup>	612,0	–	10,0	–
G-Rh <sub>2</sub> (S/R)	[M – 2H <sub>2</sub> O + H] <sup>+</sup>	587,4	50,6	17,9	39,5
PPT(S)	[M – 2H <sub>2</sub> O + H] <sup>+</sup>	441,3	19,2	–	25,4
Всего / Total			100	100	100

Примечание: G – гинзенозид, GP – гипенозид, VG – вина-гинзенозид, NG – нотогинзенозид, Z – зингиброзид, PPT – протопанаксатриол; MS – масс-спектр, m/z; \* – среднее значение для трёх образцов; экстракты из белого женьшеня: SCE – CO<sub>2</sub>-экстракт, AE – водно-спиртовой, AAE – уксуснокислый; tr. – следы; прочерк означает, что вещество не обнаружено; жирным шрифтом выделены гинзенозиды с антиоксидантным действием (по данным [10]).

Note: G – ginsenoside, GP – gypenoside, VG – vinaginsenoside, NG – notoginsenoside, Z – zingibroside, PPT – protopanaxatriol; MS – mass-spectrum, m/z; \* – mean value for three samples; tr. – trace amount; white ginseng extracts: SCE – supercritical CO<sub>2</sub>-extract, AE – alcohol extract, AAE – acetic-acid extract; a dash means undetected substance; ginsenosides with antioxidant effect (according to [10]) are highlighted in bold.

и 31,6 %). Водно-спиртовой экстракт содержал примерно равное количество основных и минорных гинзенозидов – в сумме, 32,3 и 25,6 % соответственно. Это согласуется с данными [10, 13, 27–30], что при длительной обработке паром 98–100 °С (изготовление красного или чёрного женьшеня), или ферментирования с участием симбионтов кишечника, а также в кислой среде, содержание природных полярных гинзенозидов в продукте постепенно снижается, в то время как повышается содержание вторичных неполярных гинзенозидов, таких как Rg<sub>2</sub>, Rh<sub>1</sub> и Rg<sub>3</sub>, которые лучше усваиваются организмом. Наше исследование подтвердило данные [29] о наличии минорных неполярных гинзенозидов,

в частности, Rg<sub>2</sub>, Rg<sub>3</sub>, Rh<sub>1</sub>, Rh<sub>2</sub>, в спиртовом экстракте из белого женьшеня.

По данным большинства авторов [10, 29, 31–34], антиоксидантный эффект свойственен, в первую очередь, неполярным минорным гинзенозидам – 20(S/R)-Rg<sub>3</sub>, Rh<sub>1</sub>, Rh<sub>2</sub>, Rk<sub>1</sub>, соединению K (CK), а также полярным – Rg<sub>1</sub>, Rb<sub>1</sub>, Rb<sub>2</sub>, Re. По нашим данным, наибольшее суммарное содержание вышеуказанных аддуктов отмечено в CO<sub>2</sub>-экстракте – 67,7 %, наименьшее – в водно-спиртовом, 29,7 %, что согласуется с ранее описанными результатами: преобладание минорных гинзенозидов в углекислотном экстракте.

В отношении механизмов антиоксидантного эффекта вышеперечисленных гинзено-

зидов установлено следующее. Гинзенозид Rg<sub>3</sub> ингибирует выработку цитокинов, одновременно усиливая действие антиоксидантных ферментов – супероксиддисмутазы, каталазы и глутатиона [31]. Установлена стереоспецифичность в отношении удаления АФК с участием гинзенозидов, получаемых при термической обработке. Так, наличие кратной связи у С-20(22) или гидроксогруппа у С-20, геометрически близкая к ОН-группе у С-12, увеличивает активность гинзенозидов, таких как Rg<sub>5</sub> и 20(S)-Rg<sub>3</sub>, по нейтрализации гидроксид-радикалов [32, 33]. Антиоксидантный механизм может быть связан с активацией путей Akt и Nrf2-ARE [31].

Минорный гинзенозид Rh<sub>1</sub> *in vivo* образуется при дегликолизации гинзенозида Rg<sub>1</sub>. G-Rh<sub>1</sub> показал широкий спектр фармакологических эффектов, включая противовоспалительное, антиоксидантное, иммуномодулирующее и др. действия. Антиоксидантное действие связано со снижением выработки АФК или подавлением генерации супероксид-радикала за счёт активации сигнального пути Nrf2/НО-1 [34, 35].

Гинзенозид СК считается одним из основных биоактивных метаболитов гинзенозидов Rb<sub>1</sub>, Rb<sub>2</sub> и Rc, обладающих различными фармакологическими свойствами, в том числе антиоксидантным, противораковым, антипролиферативным и противодиабетическим действием [36]. Образуется при дегликолизации гинзенозидов кишечной микробиотой и активно всасывается в кровоток [37]. Электронодонорная активность G-СК сопоставима с радикал-связывающим антиоксидантным действием аскорбиновой кислоты [38]. Вероятный механизм подавления окислительного стресса связан со снижением экспрессии НАДФН-оксидазы и ингибированием сигнального пути NF-κB/p38 [34].

По мнению [34, 39], антиоксидантная активность полярных гинзенозидов – Rg<sub>1</sub>, Rb<sub>1</sub>, Re – связана со снижением выработки маломолекулярного диальдегида и повышением активности супероксиддисмутазы и глутатионпероксидазы через активацию сигнальных путей Nrf2/НО-1, Wnt/β-катенин либо PI3K/Akt/Nrf2. Установлен антиоксидантный эффект гинзенозида Rb<sub>2</sub> в отношении развития остеопороза: G-Rb<sub>2</sub> снижает уровень АФК в клетке, защищает остеобласты от цитотоксичности и остеобластной дисфункции, вызванной H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> [40].

По мнению [34], комбинация различных гинзенозидов, равно как и сочетание гинзенозидов с другими активными ингредиентами

(например, сочетание тыквенного полисахарида с гинзенозидом Rg<sub>1</sub>), может приводить к синергетическому эффекту, усиливая антиоксидантные функции и снижая окислительный стресс.

В целом, исследования показали, что все представленные экстракты содержат набор гинзенозидов с антиоксидантной активностью; наиболее перспективным может считаться СО<sub>2</sub>-экстракт.

### Заключение

Таким образом, при исследовании содержания гинзенозидов в экстрактах белого женьшеня идентифицировано 23 соединения, среди которых основные полярные гинзенозиды – Rb<sub>1</sub>, Rb<sub>2</sub>, Rc, Rd (ППД-тип) и Re, Rf, Rg<sub>1</sub> (ППТ-тип), а также минорные неполярные – F<sub>2</sub>, Rg<sub>3</sub>, Rh<sub>2</sub> (ППД-тип) и Rg<sub>2</sub>, Rh<sub>1</sub> (ППТ-тип). Отсутствие олеанановых сапонинов (Ro) в исследуемых экстрактах объясняется их нестабильностью при нагревании: гидролиз по сложноэфирной связи. Основную долю в уксуснокислом и СО<sub>2</sub>-экстрактах составляли минорные неполярные гинзенозиды и аддукты; водно-спиртовой экстракт содержал примерно равное количество основных и минорных гинзенозидов. Наибольшее содержание аддуктов с антиоксидантным эффектом (гинзенозиды 20(S/R)-Rg<sub>3</sub>, Rh<sub>1</sub>, Rh<sub>2</sub>, Rk<sub>1</sub>, СК) отмечено в СО<sub>2</sub>-экстракте – 67,7 %, наименьшее – в водно-спиртовом 29,7 %. При разработке биологически активных добавок важно учитывать условия экстракции, варьируя которые можно получить продукт с желаемым метаболитным профилем.

*Работа выполнена в рамках государственного задания ИБ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН по теме «Оценка состояния трансформированных экосистем подзоны южной тайги, методические подходы к их биоремедиации», номер государственной регистрации в ЕГИСУ № 125021402208-5.*

### References

1. Kurutas E.B. The importance of antioxidants which play the role in cellular response against oxidative/nitrosative stress: current state // *Nutr. J.* 2015. V. 15. Article No. 71. doi: 10.1186/s12937-016-0186-5
2. Young I.S., Woodside J.V. Antioxidants in health and disease // *J. Clin. Pathol.* 2001. V. 54. P. 176–186.
3. Kerchev P.I., Van Breusegem F. Improving oxidative stress resilience in plants // *Plant J.* 2022. V. 109. No. 2. P. 359–372. doi: 10.1111/tpj.15493

4. Xie X., He Z., Chen N., Tang Z., Wang Q., Cai Y. The roles of environmental factors in regulation of oxidative stress in plant // *Biomed. Res. Int.* 2019. V. 2019. Article No. 9732325. doi: 10.1155/2019/9732325
5. In M.J., Kim D.C. Antioxidant potential of root extracts of *Panax ginseng* and *Panax notoginseng* // *J. Appl. Biol. Chem.* 2021. V. 64. No. 4. P. 407–411 (in Korean). doi: 10.3839/jabc.2021.055
6. Yang C.C., Chen C.Y., Wu C.C., Koo M., Yu Z.R., Wang B.J. *Panax ginseng* fraction F3 extracted by supercritical carbon dioxide protects against oxidative stress in ARPE-19 cells // *Int. J. Mol. Sci.* 2016. V. 17. No. 10. Article No. 1717. doi: 10.3390/ijms17101717
7. Hassler M. World Plants. Synonymic checklist and distribution of the world flora. Version 25.08 [Internet resource] <https://www.worldplants.de/world-plants-complete-list/complete-plant-list#plantUid-340048> (Accessed: 02.03.2025).
8. Zhou G., Wang C.-Z., Mohammadi S., Sawadogo W.R., Ma Q., Yuan C.-S. Pharmacological effects of ginseng: multiple constituents and multiple actions on humans // *Am. J. Chin. Med.* 2023. V. 51. P. 1085–1104. doi: 10.1142/s0192415x23500507
9. Ratan Z.A., Haidere M.F., Hong Y.H., Park S.H., Lee J.O., Lee J., Cho J.Y. Pharmacological potential of ginseng and its major component ginsenosides // *J. Ginseng Res.* 2021. V. 45. No. 2. P. 199–210. doi: 10.1016/j.jgr.2020.02.004
10. Wang Y., Mou C., Hu Y., He Z., Cho J.Y., Kim J.H. *In vivo* metabolism, pharmacokinetics, and pharmacological activities of ginsenosides from ginseng // *J. Ginseng Res.* 2025. V. 49. No. 5. P. 479–487. doi: 10.1016/j.jgr.2025.05.003
11. Yang Y., Ju Z., Yang Y., Zhang Y., Yang L., Wang Z. Phytochemical analysis of *Panax* species: a review // *J. Ginseng Res.* 2021. V. 45. No. 1. P. 1–21. doi: 10.1016/j.jgr.2019.12.009
12. Hou M.Q., Wang R.F., Zhao S.J., Wang Z.T. Ginsenosides in *Panax* genus and their biosynthesis // *Acta Pharm. Sin. B.* 2021. V. 41. No. 7. P. 1813–1834. doi: 10.1016/j.apsb.2020.12.017
13. Piao X.M., Huo Y., Kang J.P., Mathiyalagan R., Zhang H., Yang D.U., Kim M., Yang D.C., Kang S.C., Wang Y.P. Diversity of ginsenoside profiles produced by various processing technologies // *Molecules.* 2020. V. 25. No. 19. Article No. 4390. doi: 10.3390/molecules25194390
14. Lee J., Han H., Yuan X., Park E., Lee J., Kim J.-H. A rapid, simultaneous and quantitative analysis of 26 ginsenosides in white and red *Panax ginseng* using LC–MS/MS // *Appl. Biol. Chem.* 2021. V. 64. Article No. 13. doi: 10.1186/s13765-020-00588-w
15. Zhang S., Chen R., Wu H., Wang C. Ginsenoside extraction from *Panax quinquefolium* L. (American ginseng) root by using ultrahigh pressure // *J. Pharm. Biomed. Anal.* 2006. V. 41. No. 1. P. 57–63. doi: 10.1016/j.jpba.2005.10.043
16. Wang R.-F., Li J., Hu H.-J., Li J., Yang Y.-B., Yang L., Wang Z.-T. Chemical transformation and target preparation of saponins in stems and leaves of *Panax notoginseng* // *J. Ginseng Res.* 2018. V. 42. No. 3. P. 270–276. doi: 10.1016/j.jgr.2016.08.009
17. Zhang L., Zhou Q.L., Yang X.W. Determination of the transformation of ginsenosides in Ginseng Radix et Rhizoma during decoction with water using ultra-fast liquid chromatography coupled with tandem mass spectrometry // *J. Sep. Sci.* 2018. V. 41. No. 5. P. 1039–1049. doi: 10.1002/jssc.201701228
18. Rodin I.A., Stavrianidi A.N., Braun A.V., Shpigun O.A. Modern approaches for identification and determination of ginsenosides // *Moscow university chemistry bulletin.* 2013. V. 54. No. 3. P. 135–153 (in Russian).
19. Chen Y.J., Zhao Z.Z., Chen H.B., Brand E., Yi T., Qin M.J., Liang Z.T. Determination of ginsenosides in Asian and American ginsengs by liquid chromatography–quadrupole/time-of-flight MS: assessing variations based on morphological characteristics // *J. Ginseng Res.* 2017. V. 41. No. 1. P. 10–22. doi: 10.1016/j.jgr.2015.12.004
20. 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 of the National Academy of Sciences of Belarus.* 2018. V. 62. No. 4. P. 447–454 (in Russian). doi: 10.29235/1561-8323-2018-62-4-447-454
21. Stavrianidi A.N., Rodin I.A., Braun A.V., Shpigun O.A. Rapid method of ultrasound-assisted extraction of ginsenosides from plant materials and ginseng products applicable for HPLC-MS/MS analysis // *Analitika i kontrol.* 2013. V. 17. No. 4. P. 459–464 (in Russian).
22. Zhang P., Zhang D., Ma C., Wang R., Wang W. Free radical scavenging effect and immunomodulatory activity of total saponins extract of ginseng fibrous roots // *Molecules.* 2024. V. 29. Article No. 2770. doi: 10.3390/molecules29122770
23. Wu W., Sun L., Zhang Z., Guo Y., Liu S. Profiling and multivariate statistical analysis of *Panax ginseng* based on ultra-high-performance liquid chromatography coupled with quadrupole-time-of-flight mass spectrometry // *J. Pharm. Biomed. Anal.* 2015. V. 107. P. 141–150. doi: 10.1016/j.jpba.2014.12.030
24. Baleev D.N., Osipov V.I., Savin P.S., Baikova I.P., Sidelnikov N.I. Comparative analysis of the content and composition of ginsenosides in callus culture and root of *Panax ginseng* // *Biotekhnologiya.* 2022. V. 38. No. 2. P. 57–69. doi: 10.56304/S0234275822020028
25. Jang G.Y., Kim M.Y., Lee Y.J., Li M., Shin Y.S., Lee J., Jeong H.S. Influence of organic acids and heat treatment on ginsenoside conversion // *J. Ginseng Res.* 2018. V. 42. No. 4. P. 532–539. doi: 10.1016/j.jgr.2017.07.008
26. Zhu Q., Li D.K., Zhou D.Z., Ye Z.L. Study on hydrolysis kinetics of ginsenoside-Ro in alkaline medium and

- structural analysis of its hydrolysate // *Zhongguo Zhong Yao Za Zhi*. 2014. V. 39. No. 5. P. 867–872 (in Chinese).
27. Chang K.H., Park S.H., Jee H.S., Kim K.T., Paik H.D., Lee J.Y. Enhancement of the cytotoxicities and antioxidative activities of white ginseng extract by hydrolysis under mild acidic conditions // *Food Sci. Biotechnol.* 2014. V. 23. P. 173–178. doi: 10.1007/s10068-014-0023-6
28. Kim S.N., Ha Y.W., Shin H., Son S.H., Wu S.J., Kim Y.S. Simultaneous quantification of 14 ginsenosides in *Panax ginseng* C.A. Meyer (Korean red ginseng) by HPLC-ELSD and its application to quality control // *J. Pharm. Biomed. Anal.* 2007. V. 45. No. 1. P. 164–170. doi: 10.1016/j.jpba.2007.05.001
29. Song H., Song K.W., Hong S.P. Simultaneous quantification of six nonpolar ginsenosides in white ginseng by reverse-phase high-performance liquid chromatography coupled with integrated pulsed amperometric detection // *J. Ginseng Res.* 2020. V. 44. P. 563–569. doi: 10.1016/j.jgr.2019.07.002
30. Kim H.J., Cho J.Y., Kim M.-Y. A comprehensive review of the effects of *Panax ginseng* and its constituents against inflammatory diseases // *J. Ginseng Res.* 2025. V. 49. No. 6. P. 605–612. doi: 10.1016/j.jgr.2025.06.001
31. Park Y.C., Lee C.H., Kang H.S., Kim K.W., Chung H.T., Kim H.D. Ginsenoside-Rh1 and Rh2 inhibit the induction of nitric oxide synthesis in murine peritoneal macrophages // *Biochem. Mol. Biol. Int.* 1996. V. 40. No. 4. P. 751–757. doi: 10.1080/15216549600201353
32. Kang K.S., Kim H.Y., Yamabe N., Yokozawa T. Stereospecificity in hydroxyl radical scavenging activities of four ginsenosides produced by heat processing // *Bioorg. Med. Chem. Lett.* 2006. V. 16. No. 19. P. 5028–5031. doi: 10.1016/j.bmcl.2006.07.071.071
33. Kang K.S., Kim H.Y., Yamabe N., Park J.H., Yokozawa T. Preventive effect of 20 (S)-ginsenoside Rg3 against lipopolysaccharide-induced hepatic and renal injury in rats // *Free Radic. Res.* 2007. V. 41. No. 10. P. 1181–1188. doi: 10.1080/10715760701581740
34. He B., Chen D., Zhang X., Yang R., Yang Y., Chen P., Shen Z. Oxidative stress and ginsenosides: an update on the molecular mechanisms // *Oxid. Med. Cell Longev.* 2022. V. 2022. Article No. 9299574. doi: 10.1155/2022/9299574
35. Tam D.N.H., Truong D.H., Nguyen T.T.H., Quynh L.N., Tran L., Nguyen H.D., Shamandy B.E., Le T.M.H., Tran D.K., Sayed D., Vu V.V., Mizukami S., Hirayama K., Huy N.T. Ginsenoside Rh1: a systematic review of its pharmacological properties // *Planta Med.* 2018. V. 84. No. 3. P. 139–152. doi: 10.1055/s-0043-124087
36. Huang Y., Liu H., Zhang Y., Li J., Wang C., Zhou L., Jia Y., Li X. Synthesis and biological evaluation of ginsenoside compound K derivatives as a novel class of LXR $\alpha$  activator // *Molecules.* 2017. V. 22. No. 7. Article No. 1232. doi: 10.3390/molecules22071232
37. Lee J.W., Kim M.O., Song Y.N., Min J.H., Kim S.M., Kang M.J., Oh E.S., Lee R.W., Jung S., Ro H., Lee J.K., Ryu H.W., Lee D.Y., Lee S.U. Compound K ameliorates airway inflammation and mucus secretion through the regulation of PKC signaling *in vitro* and *in vivo* // *J. Ginseng Res.* 2022. V. 46. No. 3. P. 496–504. doi: 10.1016/j.jgr.2021.12.008
38. Hossen M.J., Hong Y.D., Baek K.S., Yoo S., Hong Y.H., Kim J.H., Lee J.O., Kim D., Park J., Cho J.Y. *In vitro* antioxidative and anti-inflammatory effects of the compound K-rich fraction BIOGF1K, prepared from *Panax ginseng* // *J. Ginseng Res.* 2017. V. 41. No. 1. P. 43–51. doi: 10.1016/j.jgr.2015.12.009
39. Sng K.S., Li G., Zhou L.Y., Song Y.J., Chen X.Q., Wang Y.J., Yao M., Cui X.J. Ginseng extract and ginsenosides improve neurological function and promote antioxidant effects in rats with spinal cord injury: A meta-analysis and systematic review // *J. Ginseng Res.* 2022. V. 46. No. 1. P. 11–22. doi: 10.1016/j.jgr.2021.05.009
40. Huang Q., Gao B., Jie Q., Wei B.Y., Fan J., Zhang H.Y., Zhang J.K., Li X.J., Shi J., Luo Z.J., Yang L., Liu J. Ginsenoside-Rb2 displays anti-osteoporosis effects through reducing oxidative damage and bone-resorbing cytokines during osteogenesis // *Bone.* 2014. V. 66. P. 306–314. doi: 10.1016/j.bone.2014.06.010