

Научная статья/Research Article

УДК 581.547

DOI: 10.36718/1819-4036-2026-4-24-33

Ираника Николаевна Торохова¹, Артем Юрьевич Маняхин², Константин Вадимович Киселев³, Андрей Романович Супрун⁴✉

¹Дальневосточный федеральный университет, Владивосток, Россия

^{1,2,3,4}ФНЦ биоразнообразия наземной биоты Восточной Азии ДВО РАН, Владивосток, Россия

¹torohovairanika@gmail.com

²mau84@mail.ru

³kiselev@biosoil.ru

⁴suprun@biosoil.ru

СОДЕРЖАНИЕ СТИЛЬБЕНОВ В ВЕСЕННИХ ПРОРОСТКАХ *REYNOUTRIA JAPONICA*

Цель исследования – определение качественного и количественного состава стильбенов в молодых весенних проростках растения горца японского (*Reynoutria japonica*). Исследование проводилось в Федеральном научном центре биоразнообразия наземной биоты Восточной Азии ДВО РАН (Россия). Объекты исследования – весенние проростки *R. japonica*, собранные весной в 2025 г. на территории дендрария Горнотаежной станции – филиала ФНЦ Биоразнообразия ДВО РАН (Приморский край, Россия). Отбор материала проводили в фазе активного роста проростков, что позволяло минимизировать влияние онтогенетической неоднородности на химический состав образцов. Всего было собрано по три проростка с каждого из восьми материнских растений; объединенные пробы от каждого растения рассматривались как независимые биологические повторности. В качестве основного метода исследования использовалась высокоэффективная жидкостная хроматография с ультрафиолетовым и масс-спектрометрическим детектированием (ВЭЖХ-УФ-МС/МС). Для анализа методом ВЭЖХ-УФ-МС/МС побеги *R. japonica* высушивали при 60 °С в течение 48 ч и измельчали на лабораторной мельнице IKA A 10 basic. Были оптимизированы условия экстракции стильбенов, включая подбор растворителя (метанол, этанол, вода), температуры (20, 40, 60 °С) и продолжительности процесса (2, 4, 6 ч). Молодые проростки характеризовались исключительно высоким содержанием стильбенов. Основными идентифицированными соединениями стали ресвератролозид, транс-полидатын и транс-ресвератрол. Наибольшая эффективность экстракции была достигнута при использовании 70 % метанола и 70 % этанола (до 78 и 86,6 мг/г сухой массы соответственно) в течение 2 ч, а оптимальными параметрами являлись температура 60 °С и время экстракции 6 ч. При оптимальных условиях суммарное содержание стильбенов из проростков *R. japonica* достигало 95 мг/г сухой массы, что сопоставимо с показателями, ранее зарегистрированными для этого и других видов растений. Весенние проростки горца японского (*R. japonica*) являются одним из самых богатых известных природных источников стильбенов.

Ключевые слова: стильбены, HPLC-MS/MS, горец японский, рейнунтрия, сезонные колебания

Для цитирования: Торохова И.Н., Маняхин А.Ю., Киселев К.В., и др. Содержание стильбенов в весенних проростках *Reynoutria japonica* // Вестник КрасГАУ. 2026. № 4. С. 24–33. DOI: 10.36718/1819-4036-2026-4-24-33.

Финансирование: работа выполнена в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (номер темы 124012200181-4).

Iranika Nikolaevna Torokhova¹, Artem Yuryevich Manyakhin², Konstantin Vadimovich Kiselev³,
Andrey Romanovich Suprun⁴✉

¹Far Eastern Federal University, Vladivostok, Russia

^{1,2,3,4}FSC for Biodiversity of Terrestrial Biota of East Asia, FEB RAS, Vladivostok, Russia

¹torohovairanika@gmail.com

²mau84@mail.ru

³kiselev@biosoil.ru

⁴suprun@biosoil.ru

STILBENES CONTENT IN SPRING SPROUTS OF *REYNOUTRIA JAPONICA*

The aim of the study is to investigate the qualitative and quantitative composition of stilbenes in young spring seedlings of Japanese knotweed (*Reynoutria japonica*). Research was conducted at the Federal Scientific Center for Biodiversity of Terrestrial Biota of East Asia, Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences (Russia). The objects of the study were spring seedlings of *R. japonica*, collected in the spring of 2025 from the arboretum of the Gornotaezhnaya Station, a branch of the Federal Scientific Center for Biodiversity, Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences (Primorsky Region, Russia). The material was collected during the active growth phase of the seedlings, which minimized the influence of ontogenetic heterogeneity on the chemical composition of the samples. A total of three seedlings were collected from each of the eight maternal plants; the combined samples from each plant were considered independent biological replicates. High-performance liquid chromatography with ultraviolet and mass spectrometric detection (HPLC-UV-MS/MS) was used as the primary research method. For HPLC-UV-MS/MS analysis, *R. japonica* shoots were dried at 60 °C for 48 h and ground in an IKA A 10 basic laboratory mill. Stilbenes extraction conditions were optimized, including solvent selection (methanol, ethanol, water), temperature (20, 40, 60 °C), and process duration (2, 4, 6 h). Young seedlings were characterized by exceptionally high stilbenes content. The main identified compounds were resveratrol, trans-polydatin, and trans-resveratrol. The highest extraction efficiency was achieved using 70 % methanol and 70 % ethanol (up to 78 and 86.6 mg/g dry weight, respectively) for 2 h, and the optimal parameters were a temperature of 60 °C and an extraction time of 6 h. Under optimal conditions, the total stilbenes content from *R. japonica* seedlings reached 95 mg/g dry weight, which is comparable to values previously recorded for this and other plant species. Spring sprouts of Japanese knotweed (*R. japonica*) are one of the richest known natural sources of stilbenes.

Keywords: stilbenes, HPLC-MS/MS, Japanese knotweed, knotweed, seasonal variations

For citation: Torokhova IN, Manyakhin AY, Kiselev KV, et al. Stilbenes content in spring sprouts of *Reynoutria japonica*. *Bulletin of KSAU*. 2026;(4):24-33. (In Russ.). DOI: 10.36718/1819-4036-2026-4-24-33.

Funding: this work was supported by a state assignment from the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation (topic number 124012200181-4).

Введение. Горец японский (*Reynoutria japonica* Houtt., syn. *Fallopia japonica*) – многолетнее корневищное травянистое растение семейства Гречишные (*Polygonaceae*), относящееся к роду *Reynoutria* [1]. Вид является эндемиком Восточной Азии, однако вследствие антропогенного расселения натурализовался в западных регионах, где проявляет инвазивные свойства и характеризуется высокой экологической пластичностью [2]. В настоящее время *R. japonica* рассматривается как один из наиболее агрессивных инвазивных видов в Европе и Северной Америке, оказывающий существенное влияние на структуру растительных сообществ, почвенные процессы и функционирование прибрежных экосистем. Считается, что *R. japonica* сформировалась как вид в горных районах Японии, где

благодаря высокой вулканической активности и частым нарушениям почвенного покрова (оползни, извержения, наводнения) выработала высокую регенерационную способность и вегетативную устойчивость. Эти эволюционно закрепленные адаптации обеспечили растению выраженное преимущество в условиях регулярных стрессовых воздействий, включая механические повреждения, колебания влажности и дефицит питательных веществ. В состав таксономической группы входят два основных вида – *Reynoutria japonica* (Houtt.) и *Reynoutria sachalinensis* (F. Schmidt) (syn. *Fallopia sachalinensis*), а также их гибриды *R. × bohémica* [3]. *R. japonica* подразделяется на ряд внутривидовых таксонов, большинство из которых эндемичны для Восточной Азии, за исключением двух морфотипов:

высокорослой равнинной разновидности *var. japonica* (*R. japonica* s.s.) и низкорослой горной *var. compacta* (Hook.f.) [4].

Несмотря на высокую инвазивность, следует отметить, что *R. japonica* рассматривается как ценный источник биологически активных соединений. Горец японский широко используется в клинической практике в странах Восточной Азии, таких как Китай, Япония и Корея. В Китае он официально включен в фармакопею и часто назначается практикующими врачами для лечения гепатита, желтухи, аменореи, ожогов, ушибов, гиперлипидемии, кашля, как противовоспалительное и иммуностимулирующее средство [5–7]. Фармакологическое действие препаратов на основе *R. japonica* связывают прежде всего с антиоксидантными, гепатопротекторными и антиатерогенными свойствами содержащихся в нем фенольных соединений. Помимо медицинского применения японский горец часто используется в повседневной пище как в Китае, так и в Японии. Корневая часть *Fallopia multiflora* (Thunb.) используется в Корее для приготовления напитков [8]. Различные органы горца японского характеризуются высоким содержанием вторичных метаболитов разнообразных классов. В их состав входят флавоноиды (рутин, апигенин, кверцетин, изорамнетин и кемпферол), стильбены (ресвератрол, полидатин, ресвератролозид, пицеатаннол), антрахиноны (эмодин, цитреорозеин, фисцион, фаллацинол, хризофанол, филлохиноны В и С и антрагликозиды А и В), а также кумарины, эфирные масла и ряд других биологически активных соединений, включая лапатолизид, 8-гидроксикаламенен, олеаноловую кислоту, хлорогеновую и протокатеховую кислоты, галловую кислоту и тахиозид [9]. Такое разнообразие химического состава указывает на сложную систему вторичного метаболизма, обеспечивающую растению как защитные, так и регуляторные функции.

Особое место среди них занимают стильбены – фенольные вторичные метаболиты, синтез которых связан с функционированием фенилпропаноидного пути и активацией защитных реакций растений. Известно, что стильбены обладают выраженной антиоксидантной, противовоспалительной и хемопревентивной активностью, что делает их объектом пристального внимания фармакологии и нутрицевтики. Среди многочисленных растений, синтезирующих стильбены, горец японский отличается одним из самых высоких содержаний ресвератрола (до 12,1 мг/г сухой массы) [10], полидатина

(до 130 мг/г сухой массы) [9], ресвератролозида (до 19,6 мг/г сухой массы) [11], глюкозида пицеатаннола (до 23 мг/г сухой массы) [9] и астрингина (до 1,92 мг/г сухой массы) [12]. Эти соединения были тщательно изучены и, как полагают, играют решающую роль в лечебных свойствах японского горца [13]. Несмотря на обширные данные о химическом составе корневищ и надземных органов горца японского, информация о вторичных метаболитах молодых проростков остается крайне ограниченной. Между тем ранние этапы онтогенеза характеризуются высокой метаболической активностью, что позволяет предположить интенсивное накопление защитных фенольных соединений именно в проростках.

Цель исследования – определить качественный и количественный состав стильбенов в весенних проростках горца японского (*R. Japonica*).

Объекты и методы. Весенние проростки горца японского (*R. japonica*) были собраны в Приморском крае, Россия, на территории дендрария Горнотаежной станции – филиала ФНЦ Биоразнообразия ДВО РАН в мае 2025 г. (43.69727:132.15556). Отбор материала проводили в фазе активного роста проростков, что позволяло минимизировать влияние онтогенетической неоднородности на химический состав образцов. Всего было собрано по три проростка с каждого из восьми материнских растений; объединенные пробы от каждого растения рассматривались как независимые биологические повторности. Для анализа методом ВЭЖХ-УФ-МС/МС побеги *R. japonica* высушивали при 60 °С в течение 48 ч и измельчали на лабораторной мельнице IKA A 10 basic (IKA Werke GmbH & Co. KG, Штауфен-им-Брайсгау, Германия).

Выбор условий экстракции является ключевым этапом фитохимических исследований, поскольку эффективность извлечения фенольных соединений в значительной степени определяется полярностью растворителя, температурным режимом и продолжительностью процесса. Использование водно-спиртовых смесей позволяет оптимизировать извлечение как гликозилированных форм стильбенов, так и их агликонов, минимизируя при этом деградацию термолабильных компонентов [14,15].

Для определения оптимального растворителя при извлечении стильбенов из проростков горца японского (*R. japonica*) использовали 100 мг измельченной воздушно-сухой растительной массы. Экстракцию проводили с при-

менением 3 мл метанола (100 и 70 %), этанола (96, 70 и 40 %) и воды при температуре 60 °С в течение 2 ч.

Для установления наиболее эффективных параметров процесса – температуры и продолжительности экстракции – использовали 70 % метанол в качестве растворителя, варьируя температуру (20, 40 и 60 °С) и время экстракции (2, 4 и 6 ч). Соотношение растительного материала и растворителя во всех вариантах экстракции поддерживали постоянным. Экстракт очищали с помощью картриджа для твердофазной экстракции Discovery® DSC-18 SPE (Supelco, Bellefonte, PA, США) согласно инструкции, а затем использовали для анализа методом УФ-ВЭЖХ-МС/МС. Измерения для каждого образца повторяли дважды. Применение твердофазной экстракции на стадии пробоподготовки обеспечивало снижение матричных эффектов и повышение точности количественного определения соединений при последующем хроматографическом анализе.

Идентификацию стильбенов проводили с использованием аналитической системы ВЭЖХ 1260 Infinity (Agilent Technologies, Санта-Клара, Калифорния, США), сопряженной с системой Bruker HCT ultra PTM Discovery System (Bruker Daltonik GmbH, Бремен, Германия), оснащенной источником ионизации электрораспылением (ESI), как описано в предыдущей работе [16]. Данные были получены в режиме отрицательной ионизации. Количественное определение стильбенов проводили с помощью ВЭЖХ с диодно-матричным детектированием LC20AD XR (Shimadzu, Киото, Япония), как описано ранее [17]. Вкратце, проростки *R. japonica* разделяли на колонке Shim-pack GIST C18 (150 мм, 2,1 мм в.д., размер частиц 3 мкм; Shimadzu, Япония). Для разделения анализируемых соединений в качестве подвижных фаз А и В использовали 0,1 % муравьиную кислоту и ацетонитрил, соответственно, со следующим профилем элюирования: 0–35 мин – 0 % В; 35–40 мин – 40 % В;

40–50 мин – 50 % В; 50–65 мин – 100 % В. Объем анализируемой пробы 3 мкл, температура колонки 40 °С. Скорость потока составляла 0,2 мл/мин. Спектры регистрировали в диапазоне от 190 до 600 нм. Количественный анализ стильбенов был выполнен при длине волны 310 нм.

Все идентифицированные вещества определяли с использованием аналитических стандартов, масс-спектров, времени удерживания и УФ-спектров. Количественное определение стильбенов проводили методом внешнего стандарта с использованием четырехточечных калибровочных кривых регрессии, построенных с использованием аналитических стандартов. Аналитические стандарты ресвератролозида, полидатина и ресвератрола были получены от компании Sigma-Aldrich (Сент-Луис, Миссури, США).

Результаты и их обсуждение. Анализ, выполненный методом ВЭЖХ-УФ-МС/МС, показал, что молодые проростки горца японского (*R. japonica*), собранные в мае, характеризуются высоким содержанием стильбенов (рис. 1, 2; табл. 1). Полученные хроматографические профили отличались высокой воспроизводимостью между восемью биологическими повторностями, анализ каждой объединенной пробы выполняли в двух технических повторах, что указывает на стабильность химического состава проростков на данной стадии развития. Примечательно, что именно стильбены являлись основными компонентами в анализируемых образцах. Однако, в отличие от проростков, корневища богаты также множеством сопутствующих вторичных метаболитов, отсутствующих в молодых растениях. Таким образом, химический профиль проростков характеризуется относительной химической однородностью, что облегчает аналитическое определение и потенциальное выделение целевых соединений. Основываясь на анализе УФ-спектров отдельных компонентов экстракта, нами было показано, что ресвератролозид, *транс*-полидатын и *транс*-ресвератрол являются преобладающими соединениями в образцах (рис. 2).

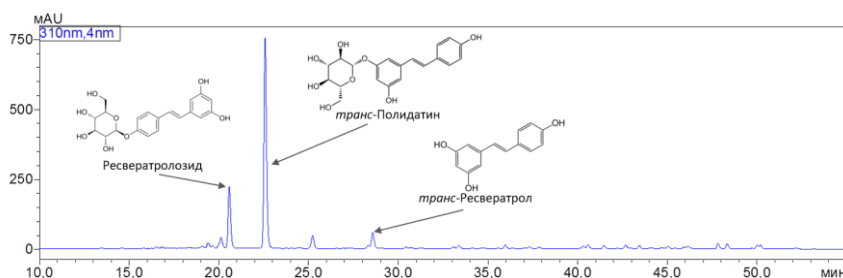


Рис. 1. УФ хроматографический профиль этанольного экстракта проростков *R. japonica* (310 нм)
UV chromatographic profile (310 nm) for the ethanol extract of the dried sprout *R. japonica*

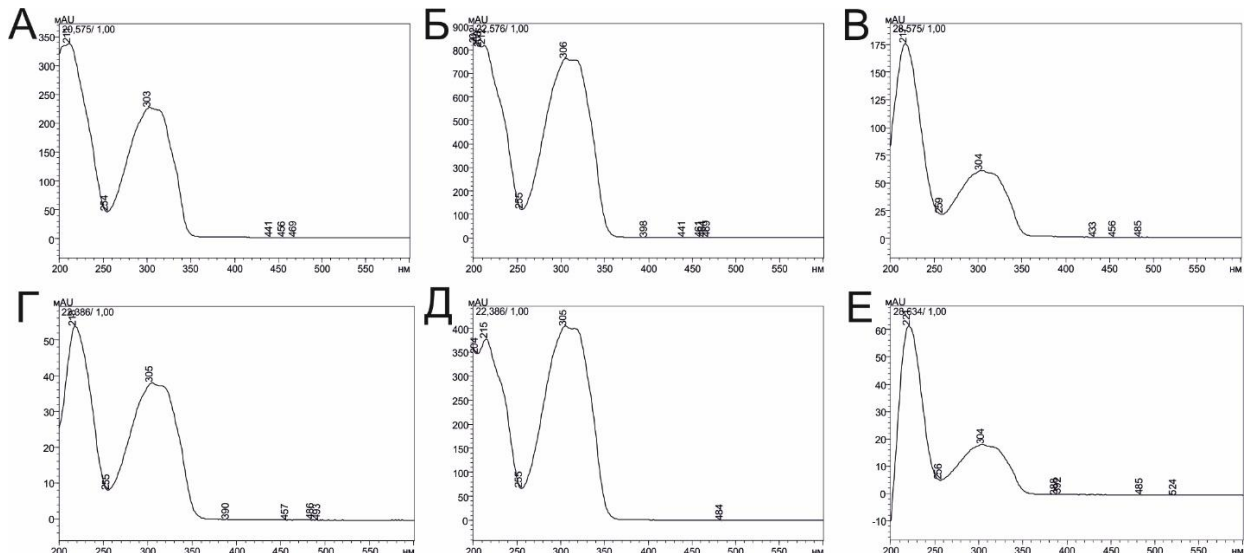


Рис. 2. УФ-спектр ресвератролозида (А), транс-полидатаина (Б), транс-ресвератрола (В) в проростках *R. japonica* и аналитических стандартов ресвератролозида (Г), транс-полидатаина (Д) и транс-ресвератрола (Е)
 UV spectra of resveratrol (A), trans-polydatin (B), trans-resveratrol (B) in *R. japonica* sprouts and analytical standards of resveratrol (Г), trans-polydatin (Д), and trans-resveratrol (E)

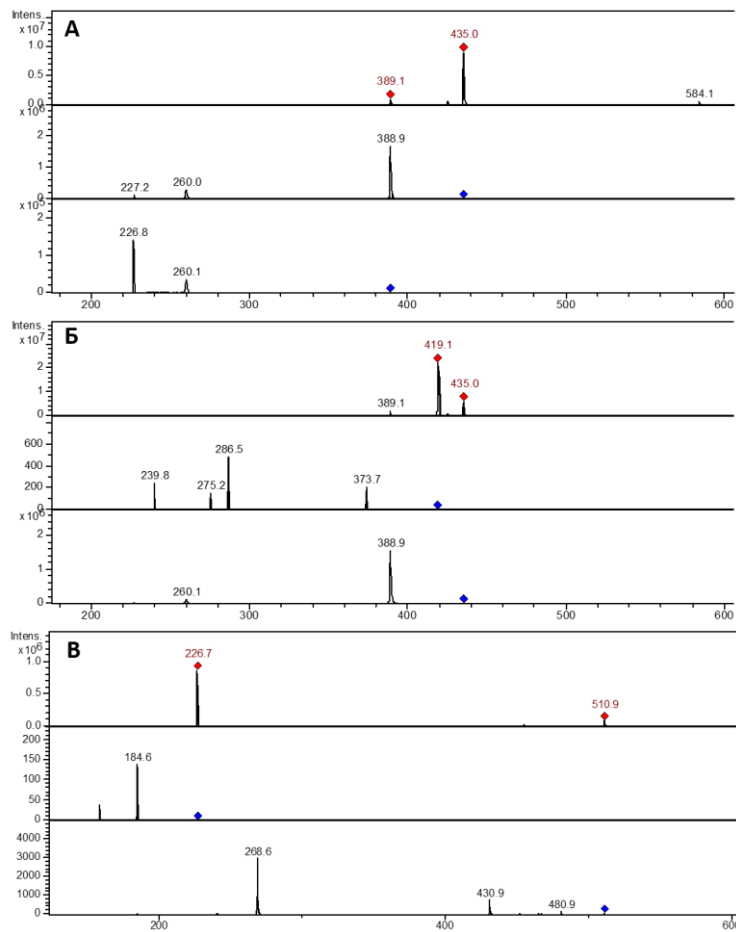


Рис. 3. MS/MS спектры транс-ресвератролозида (А), транс-полидатаина (Б) и транс-ресвератрола (В) в проростках *R. japonica*
 MS/MS spectra of trans-resveratrol (A), trans-polydatin (B) and trans-resveratrol (B) in *R. japonica* sprouts

После проведения детального качественного анализа состава стильбенов в проростках *R. japonica* был выполнен их количественный анализ. С целью оптимизации условий извлечения изучено влияние природы растворителя, температуры и продолжительности процесса на эффективность экстракции стильбенов из растительного материала. Согласно ранее проведенным исследованиям, для извлечения стильбенов используются различные растворители, такие как этанол, метанол или этилацетат. В настоящей работе проведено сравнение экстракционной способности метанола (MeOH), этанола (EtOH), водно-спиртовых смесей и воды при выделении стильбенов из проростков *R. japonica*.

Было показано, что в эксперименте с двухфазовой экстракцией 70 % концентрация метанола и этанола обеспечивает наибольший суммарный выход стильбенов, достигающий 80 и

86,6 мг/г сухой массы соответственно. Интересно отметить, что при экстракции данными растворителями преимущественно экстрагировались гликозилированные формы стильбенов, в частности ресвератролозид и *транс*-полидатын (см. табл. 1). Это может быть связано с более высокой растворимостью гликозидов в водно-спиртовых смесях по сравнению с агликонами. Использование более концентрированных растворителей – 95 % этанола и 100 % метанола способствовало увеличению выхода *транс*-ресвератрола (до 1,5 мг/г сухой массы) по сравнению с другими растворителями. Экстракция водой оказалась наименее эффективной: содержание стильбенов составляло лишь 0,6 мг/г сухой массы, что более чем в 100 раз меньше, чем при использовании спиртовых растворителей (табл. 1).

Таблица 1

Содержание стильбенов в проростках *R. japonica* после экстракции различными растворителями в течение 2 ч при температуре 60 °С, мг/г сухой массы
Stilbenes content in *R. japonica* sprouts after extraction with different solvents for 2 hours at 60 °C, mg/g dry weight

Стильбен,	95 % EtOH	70 % EtOH	50 % EtOH	100 % MeOH	70 % MeOH	50 % MeOH	H ₂ O
Ресвератролозид	15,75±0,78	19,87±2,89	11,40±1,81	17,50±1,72	18,25±2,65	12,00±1,43	0,12±0,11
<i>транс</i> -Полидатын	49,80±3,57	65,29±9,80	33,37±3,38	56,25±4,15	58,40±8,79	34,04±1,63	0,39±0,32
<i>транс</i> -Ресвератол	1,51±0,15	1,48±0,17	0,76±0,14	1,48±0,15	1,33±0,22	0,24±0,11	0,10±0,04
Сумма	67,05±4,46	86,64±12,86	45,52±5,45	75,22±6,01	77,98±9,46	46,28±2,06	0,61±0,42

Далее была проанализирована зависимость выхода и состава стильбенов от температуры и продолжительности экстракции с использованием в качестве растворителя 70 % метанола. Установлено, что применение более низких температур (20 и 40 °С) приводит к существенному снижению выхода стильбенов по сравнению с инкубацией при 60 °С (табл. 2), в свою очередь повышение температуры и увеличение времени экстракции приводят к росту суммарного содержания стильбенов, что свидетельствует об отсутствии выраженной термической деструкции данных соединений в исследуемом диапазоне условий. Таким образом, температура

60 °С является оптимальной для экстракции стильбенов из проростков *R. japonica*, поскольку, согласно литературным данным, при нагреве стильбенов до 70 °С и выше наблюдается их разрушение [18]. Для оценки возможности термической деструкции стильбенов при данной температуре время экстракции было увеличено с 2 до 4 и 6 ч. Как показано в таблице 2, содержание большинства стильбенов увеличилось через 4 и 6 ч инкубации по сравнению с 2 ч. Полученные данные свидетельствуют, что инкубация при 60 °С в течение 6 ч обеспечивает больший выход стильбенов, достигающий 95 мг/г сухой массы.

**Содержание стильбенов в проростках *R. japonica*
при различной температуре и времени экстракции, мг/г сухой массы
Stilbenes content in *R. japonica* sprouts
at different extraction temperatures and durations, mg/g dry weight**

Стильбены,	2 ч, 20 °С	2 ч, 40 °С	2 ч, 60 °С	4 ч, 20 °С	4 ч, 40 °С	4 ч, 60 °С	6 ч, 20 °С	6 ч, 40 °С	6 ч, 60 °С
Ресвератролозид	4,90±0,23	7,24±1,22	16,37±1,27	16,81±0,98	18,71±1,14	15,69±1,48	14,12±1,15	16,92±2,01	22,78±3,42
<i>транс</i> -Полидатын	13,97±1,46	21,47±2,59	51,02±5,53	27,97±3,01	31,97±2,74	52,01±5,64	46,27±2,34	57,21±4,51	70,46±9,27
<i>транс</i> -Ресвератол	0,43±0,05	0,61±0,08	1,55±0,75	0,68±0,14	0,94±0,38	1,52±0,14	1,29±0,19	1,55±0,42	1,77±0,23
Сумма	19,30±1,74	29,32±3,37	68,94±7,56	45,46±4,28	51,62±4,69	69,22±7,25	61,68±3,68	75,68±6,94	95,02±12,91

Известно, что представители более чем 30 семейств растений синтезируют стильбены, но большинство из них не способны накапливать эти метаболиты в больших количествах. Как правило, содержание стильбенов в растительных тканях ограничено несколькими миллиграммами на грамм сухой массы и существенно варьирует в зависимости от органа, стадии развития и условий произрастания. Высокие уровни стильбенов были зарегистрированы в коре *Picea jezoensis* (250 мг/г сухой массы) [19], *Pinus koraiensis* (54,8 мг/г сухой массы) [20], *Morus albus* (54 мг/г сухой массы) [21] и в корнях *Vitis vinifera* (10,8–10,9 мг/г сухой массы) [22]. Корни некоторых представителей рода *Polygonum* также содержат значительное количество ресвератрола, пицеида и других стильбенов [9]. Так, Vastano et al. (2020) показали, что корни *Polygonum cuspidatum* преимущественно накапливали пицеатаннол глюкозид, ресвератролозид, пицеид и ресвератрол, суммарное содержание которых достигает 12,6 мг/г сухой массы [23]. Аналогичные результаты были получены Nawrot-Hadzik et al. (2018), согласно которым корни *R. japonica* содержат 14,83 мг/г пицеида и 1,29 мг/г ресвератрола, тогда как в корневищах *R. sachalinensis* стильбены не обнаружены [14]. Эти данные указывают на выраженную видо- и органоспецифичность накопления стильбенов даже в пределах одного таксономического комплекса. В то же время в ряде других исследований сообщается о значительно более высоком содержании отдельных стильбенов: ресвератрола – до 12,1 мг/г сухой массы [10], полидатына – 40,3 мг/г сухой массы [24], ресвератролозида – до 19,6 мг/г сухой массы [11], что сопоставимо с наибольшими зарегистрированными концентрациями стильбенов в растительном мире. Следует отметить, что большинство по-

добных значений получены для подземных органов взрослых растений, тогда как данные по ранним стадиям онтогенеза остаются крайне ограниченными. Известно, что корневища *R. japonica* содержат большое количество стильбенов (до 229 мг/г сухой массы) [10].

В данном исследовании было показано, что содержание стильбенов в весенних проростках *R. japonica* может достигать 95 мг/г от сухой массы, что делает данный вид одним из наиболее богатых природных источников данных вторичных метаболитов. Доминирование гликозилированных форм стильбенов указывает на активное функционирование ферментных систем, обеспечивающих конъюгацию агликонов с углеводными остатками. Подобная форма накопления фенольных соединений способствует их стабилизации, внутриклеточному и межклеточному транспорту. Кроме того, гликозилирование рассматривается как один из ключевых механизмов самосохранения растительного организма от высокой активности некоторых агликонов или регуляции биологической активности фенольных метаболитов в растительных клетках. Полученные значения сопоставимы с высокими концентрациями стильбенов, ранее зарегистрированными для корней и корневищ представителей рода *Reynoutria*, а также для ряда хвойных и древесных видов. Исключительно высокое содержание стильбенов в проростках *R. japonica* позволяет рассматривать ранние стадии онтогенеза данного вида как наиболее перспективные с точки зрения получения природных фенольных соединений. Вероятно, усиленный синтез стильбенов в весенний период обусловлен повышенной уязвимостью растений на начальных этапах развития к биотическим и абиотическим воздействиям, а также влиянием комплекса стрессовых факторов, включая ульт-

рафиолетовое излучение, колебания температуры и повышенную влажность [24]. Это согласуется с климатическими условиями юга Приморского края и указывает на адаптивную и защитную роль стильбенов в тканях *R. japonica* в условиях неблагоприятной среды.

Заключение. В результате проведенного исследования охарактеризован качественный и количественный состав стильбенов в весенних проростках *R. japonica*. Основными стильбенами проростков являются ресвератролозид, трансполидаты и транс-ресвератрол, суммарное содержание которых достигает 95 мг/г сухой массы, что сопоставимо или превышает концентрации стильбенов, ранее зарегистрированные в корнях и корневищах данного вида, а также у других представителей семейства Polygonaceae. Тем самым подтверждена высокая метаболическая активность проростков на ранних этапах онтогенеза.

Полученные результаты расширяют представления о фитохимическом потенциале данного вида и подчеркивают важность учета онтогенетической стадии при оценке содержания вторичных метаболитов, указывая на то, что молодые проростки *R. japonica* представляют собой один из наиболее богатых природных источников стильбенов. Высокие уровни этих соединений, вероятно, связаны с активной физиолого-биохимической адаптацией проростков к абиотическим стрессорам, таким как УФ-излучение, колебания температуры и влажности. Таким образом, проростки *R. japonica* могут рассматриваться как перспективное растительное сырье для получения природных стильбенов, обладающих фармакологической активностью, а также как модельный объект для дальнейшего изучения путей биосинтеза и регуляции стильбенов у высших растений.

Список источников

1. Desjardins S., Bailey J., Zhang B., et al. New Insights into the phylogenetic relationships of Japanese knotweed (*Reynoutria Japonica*) and allied taxa in subtribe Reynoutriinae (*Polygonaceae*) // PhytoKeys. 2023. Vol. 220. P. 83–108. DOI: 10.3897/phytokeys.220.96922.
2. Bailey J.P., Bímová K., Mandák B. The potential role of polyploidy and hybridisation in the further evolution of the highly invasive fallopia taxa in Europe // Ecological research. 2007. Vol. 22. P. 920–928. DOI: 10.1007/s11284-007-0419-3.
3. Drazan D., Smith A.G., Anderson N.O., et al. History of knotweed (*Fallopia* spp.) invasiveness // Weed Sci. 2021. Vol. 69. P. 617–623. DOI: 10.1017/wsc.2021.62.
4. Bailey J. The Japanese knotweed invasion viewed as a vast unintentional hybridisation experiment // Heredity. 2013. Vol. 110. P. 105–110. DOI: 10.1038/hdy.2012.98.
5. Bralley E.E., Greenspan P., Hargrove J.L., et al. Topical anti-inflammatory activity of polygonum cuspidatum extract in the TPA model of mouse ear inflammation // J Inflamm (Lond). 2008. Vol. 5. P. 1. DOI: 10.1186/1476-9255-5-1.
6. Chen L.-L., Verpoorte R., Yen H.-R., et al. Effects of processing adjuvants on traditional Chinese herbs // Journal of Food and Drug Analysis. 2018. Vol. 26. P. S96–S114. DOI: 10.1016/j.jfda.2018.02.004.
7. Patocka J., Navratilova Z., Ovando-Martínez M. Biologically active compounds of knotweed (*Reynoutria* spp.) // Mil Med Sci Lett. 2017. Vol. 86. P. 17–31. DOI: 10.31482/mmsl.2017.004.
8. Yuan H., Ma Q., Ye L., et al. The traditional medicine and modern medicine from natural products // Molecules. 2016. Vol. 21. P. 559. DOI: 10.3390/molecules21050559.
9. Suprun A.R., Kiselev K.V., Aleynova O.A., et al. Analysis of phenolic compounds of *Reynoutria sachalinensis* and *Reynoutria japonica* growing in the Russian Far East // Plants. 2024. Vol. 13. P. 3330. DOI: 10.3390/plants13233330.
10. Chen H., Tuck T., Ji X., et al. Quality assessment of Japanese knotweed (*Fallopia japonica*) grown on Prince Edward island as a source of resveratrol // J Agric Food Chem. 2013. Vol. 61. P. 6383–6392. DOI: 10.1021/jf4019239.
11. Khalil A.A.K., Akter K.-M., Kim H.-J., et al. Comparative inner morphological and chemical studies on *Reynoutria* species in Korea // Plants. 2020. Vol. 9. P. 222. DOI: 10.3390/plants9020222.
12. Beňová B., Adam M., Onderková K., et al. Analysis of selected stilbenes in *Polygonum cuspidatum* by HPLC coupled with CoulArray detection // J Sep Sci. 2008. Vol. 31. P. 2404–2409. DOI: 10.1002/jssc.200800119.
13. Huang W.-Y., Cai Y.-Z., Xing J., et al. Comparative analysis of bioactivities of four polygonum species // Planta Medica. 2007. Vol. 74. P. 43–49. DOI: 10.1055/s-2007-993759.

14. Nawrot-Hadzik I., Granica S., Domaradzki K., et al. Isolation and determination of phenolic glycosides and anthraquinones from rhizomes of various *Reynoutria* species // *Planta Med.* 2018. Vol. 84. P. 1118–1126. DOI: 10.1055/a-0605-3857.
15. Qian G., Leung S.-Y., Lu G., et al. Optimization and validation of a chromatographic method for the simultaneous quantification of six bioactive compounds in rhizoma et radix *Polygoni cuspidati* // *Journal of Pharmacy and Pharmacology.* 2008. Vol. 60. P. 107–113. DOI: 10.1211/jpp.60.1.0014.
16. Suprun A.R., Dubrovina A.S., Aleynova O.A., et al. The bark of the spruce *Picea jezoensis* Is a rich source of stilbenes // *Metabolites.* 2021. Vol. 11. P. 714. DOI: 10.3390/metabo11110714.
17. Suprun A.R., Dubrovina A.S., Tyunin A.P., et al. Profile of stilbenes and other phenolics in Fanagoria White and Red Russian wines // *Metabolites.* 2021. Vol. 11. P. 231. DOI: 10.3390/metabo11040231.
18. Bancuta O.R., Chilian A., Bancuta I., et al. Thermal characterization of resveratrol // *Rev. Chim.* 2018. Vol. 69. P. 1346–1351. DOI: 10.37358/RC.18.6.6322.
19. Suprun A., Dubrovina A., Grigorchuk V., et al. Stilbene content and expression of stilbene synthase genes in Korean Pine *Pinus Koraiensis* Siebold & Zucc. // *Forests.* 2023. Vol. 14. P. 1239. DOI: 10.3390/f14061239.
20. Piao S., Chen L., Kang N., et al. Simultaneous determination of five characteristic stilbene glycosides in root bark of *Morus Albus* L. (*Cortex mori*) using high-performance liquid chromatography // *Phytochem Anal.* 2011. Vol. 22. P. 230–235. DOI: 10.1002/pca.1270.
21. Houillé B., Besseau S., Delanoue G., et al. Composition and tissue-specific distribution of stilbenoids in grape canes are affected by downy mildew pressure in the vineyard // *J Agric Food Chem.* 2015. Vol. 63. P. 8472–8477. DOI: 10.1021/acs.jafc.5b02997.
22. Vastano B.C., Chen Y., Zhu N., et al. Isolation and identification of stilbenes in two varieties of *Polygonum cuspidatum* // *J. Agric. Food Chem.* 2000. Vol. 48. P. 253–256. DOI: 10.1021/jf9909196.
23. Pogačnik L., Bergant T., Skrt M., et al. In vitro comparison of the bioactivities of Japanese and Bohemian knotweed ethanol extracts // *Foods.* 2020. Vol. 9. P. 544. DOI: 10.3390/foods9050544.
24. Valletta A., Iozia L.M., Leonelli F. Impact of environmental factors on stilbene biosynthesis // *Plants (Basel).* 2021. Vol. 10. P. 90. DOI: 10.3390/plants10010090.

References

1. Desjardins S, Bailey J, Zhang B, et al. New Insights into the phylogenetic relationships of Japanese knotweed (*Reynoutria Japonica*) and allied taxa in subtribe Reynoutriinae (*Polygonaceae*). *PhytoKeys.* 2023;220:83-108. DOI: 10.3897/phytokeys.220.96922.
2. Bailey JP, Bímová K, Mandák B. The potential role of polyploidy and hybridisation in the further evolution of the highly invasive *Fallopia* taxa in Europe. *Ecological research.* 2007;22:920-928. DOI: 10.1007/s11284-007-0419-3.
3. Drazan D, Smith AG, Anderson NO, et al. History of knotweed (*Fallopia* spp.) invasiveness. *Weed Sci.* 2021;69:617-623. DOI: 10.1017/wsc.2021.62.
4. Bailey J. The Japanese knotweed invasion viewed as a vast unintentional hybridisation experiment. *Heredity.* 2013;110:105-110. DOI: 10.1038/hdy.2012.98.
5. Bralley EE, Greenspan P, Hargrove JL, et al. Topical anti-inflammatory activity of *Polygonum cuspidatum* extract in the TPA model of mouse ear inflammation. *J Inflamm (Lond).* 2008;5:1. DOI: 10.1186/1476-9255-5-1.
6. Chen L-L, Verpoorte R, Yen H-R, et al. Effects of processing adjuvants on traditional Chinese herbs. *Journal of Food and Drug Analysis.* 2018;26:S96-S114. DOI: 10.1016/j.jfda.2018.02.004.
7. Patocka J, Navratilova Z, Ovando-Martínez M. Biologically active compounds of knotweed (*Reynoutria* spp.). *Mil Med Sci Lett.* 2017;86:17-31. DOI: 10.31482/mmsl.2017.004.
8. Yuan H, Ma Q, Ye L, et al. The traditional medicine and modern medicine from natural products. *Molecules.* 2016;21:559. DOI: 10.3390/molecules21050559.
9. Suprun AR, Kiselev KV, Aleynova OA, et al. Analysis of phenolic compounds of *Reynoutria sachalinensis* and *Reynoutria japonica* growing in the Russian Far East. *Plants.* 2024;13:3330. DOI: 10.3390/plants13233330.
10. Chen H, Tuck T, Ji X, et al. Quality assessment of Japanese knotweed (*Fallopia japonica*) grown on Prince Edward island as a source of resveratrol. *J Agric Food Chem.* 2013;61:6383–6392. DOI: 10.1021/jf4019239.

11. Khalil AAK, Akter K-M, Kim H-J, et al. Comparative inner morphological and chemical studies on Reynoutria species in Korea. *Plants*. 2020;9:222. DOI: 10.3390/plants9020222.
12. Beňová B, Adam M, Onderková K, et al. Analysis of selected stilbenes in Polygonum cuspidatum by HPLC coupled with CoulArray detection. *J Sep Sci*. 2008;31:2404–2409. DOI: 10.1002/jssc.200800119.
13. Huang W-Y, Cai Y-Z, Xing J, et al. Comparative analysis of bioactivities of four polygonum species. *Planta Medica*. 2007;74:43-49. DOI: 10.1055/s-2007-993759.
14. Nawrot-Hadzik I, Granica S, Domaradzki K, et al. Isolation and determination of phenolic glycosides and anthraquinones from rhizomes of various Reynoutria species. *Planta Med*. 2018;84:11180-1126. DOI: 10.1055/a-0605-3857.
15. Qian G, Leung S-Y, Lu G, et al. Optimization and validation of a chromatographic method for the simultaneous quantification of six bioactive compounds in rhizoma et radix polygoni cuspidate. *Journal of Pharmacy and Pharmacology*. 2008;60:107-113. DOI: 10.1211/jpp.60.1.0014.
16. Suprun AR, Dubrovina AS, Aleynova OA, et al. The bark of the spruce Picea jezoensis Is a rich source of stilbenes. *Metabolites*. 2021;11:714. DOI: 10.3390/metabo11110714.
17. Suprun AR, Dubrovina AS, Tyunin AP, et al. Profile of stilbenes and other phenolics in Fanagoria White and Red Russian wines. *Metabolites*. 2021;11:231. DOI: 10.3390/metabo11040231.
18. Bancuta OR, Chilian A, Bancuta I, et al. Thermal characterization of resveratrol. *Rev. Chim*. 2018;69:1346-1351. DOI: 10.37358/RC.18.6.6322.
19. Suprun A, Dubrovina A, Grigorochuk V, et al. Stilbene content and expression of stilbene synthase genes in Korean Pine Pinus Koraiensis Siebold & Zucc. *Forests*. 2023;14:1239. DOI: 10.3390/f14061239.
20. Piao S, Chen L, Kang N, et al. Simultaneous determination of five characteristic stilbene glycosides in root bark of Morus Albus L. (Cortex mori) using high-performance liquid chromatography. *Phytochem Anal*. 2011;22:230-235. DOI: 10.1002/pca.1270.
21. Houillé B, Besseau S, Delanoue G, et al. Composition and tissue-specific distribution of stilbenoids in grape canes are affected by downy mildew pressure in the vineyard. *J Agric Food Chem*. 2015;63:8472-8477. DOI: 10.1021/acs.jafc.5b02997.
22. Vastano BC, Chen Y, Zhu N, et al. Isolation and identification of stilbenes in two varieties of polygonum cuspidatum. *J. Agric. Food Chem*. 2000;48:253-256. DOI: 10.1021/jf9909196.
23. Pogačnik L, Bergant T, Skrt M, et al. In vitro comparison of the bioactivities of Japanese and Bohemian knotweed ethanol extracts. *Foods*. 2020;9:544. DOI: 10.3390/foods9050544.
24. Valletta A, Iozia LM, Leonelli F. Impact of environmental factors on stilbene biosynthesis. *Plants (Basel)*. 2021;10:90. DOI: 10.3390/plants10010090.

Статья принята к публикации 03.02.2026 / The article accepted for publication 03.02.2026

Информация об авторах:

Ираника Николаевна Торохова, студентка

Артем Юрьевич Маняхин, старший научный сотрудник лаборатории лекарственных растений, кандидат биологических наук

Константин Вадимович Киселев, ведущий научный сотрудник лаборатории биотехнологии, доктор биологических наук

Андрей Романович Супрун, старший научный сотрудник лаборатории биотехнологии, кандидат биологических наук

Information about the authors:

Iranika Nikolaevna Torokhova, student

Artem Yuryevich Manyakhin, Senior Researcher at the Laboratory of Medicinal Plants, Candidate of Biological Sciences

Konstantin Vadimovich Kiselev, Leading Researcher at the Biotechnology Laboratory, Doctor of Biological Sciences

Andrey Romanovich Suprun, Senior Researcher at the Biotechnology Laboratory, Candidate of Biological Sciences