

Исследование сортообразцов сои *Glycine max* (L) Merr. и идентификация метаболитов методом тандемной масс-спектрометрии

Майя Разгонова^{1, 2}, Елена Черевач¹,
Юлия Зинченко^{1, 2}, Кирилл Голохваст^{1, 2, 3}

¹ Дальневосточный федеральный университет,
г. Владивосток, Россия

² ФИЦ Всероссийский институт генетических ресурсов растений им. Н.И. Вавилова (ВИР)
г. Санкт-Петербург, Россия

³ Сибирский федеральный научный центр агробиотехнологий
г. Краснообск, Новосибирская обл., Россия

Информация о статье

Поступила в редакцию:

16.12.2022

Принята

к опубликованию:

06.03.2023

УДК 615.322

JEL Q23

Ключевые слова:

Glycine max (L) Merr., соя, ВЭЖХ-МС/МС, тандемная масс-спектрометрия, полифенольные соединения.

Keywords:

Glycine max (L) Merr., soja, HPLC-MS/MS, tandem mass spectrometry, polyphenolic compounds.

Аннотация

Семена сои *Glycine max* (L) Merr. содержат большое количество полифенольных комплексов, являющихся биологически активными соединениями. В данной статье авторы впервые попытались представить полный метаболомный состав экстрактов сои *Glycine max* (L) Merr. Результаты начальных исследований выявили присутствие 31 полифенольного соединения, из них 13 идентифицировано впервые в *Glycine max* (L) Merr. Полученные данные помогут интенсифицировать будущие исследования по разработке и производству новых лекарственных препаратов, биологически активных добавок и различных продуктов функционального и специализированного назначения, содержащих целевые экстракты *Glycine max* (L) Merr.

Soybean Varieties *Glycine max* (L) Merr.: Identification of Metabolites by Tandem Mass Spectrometry

Maya P. Razgonova, Elena I. Cherevach,
Yulia N. Zinchenko, Kirill S. Golokhvast

Abstract

Considerable research suggests that soybean seeds *Glycine max* (L) Merr. contain significant concentrations of polyphenolic complexes, which are biologically active compounds. The aim of the study is

to identify a complete metabolomic composition of extracts of soybean varieties Glycine max (L) Merr. A.K. Seagulls. As a result, the presence of 31 polyphenolic compounds has been revealed, with 13 compounds identified by the authors of the paper for the first time. The data obtained will help to intensify research on the development of new drugs, dietary supplements and various functional products containing targeted extracts of Glycine max (L) Merr.

Введение

Соя — пожалуй, самая наиважнейшая сельскохозяйственная культура на Дальнем Востоке, и она занимает первое место в структуре посевных площадей всего Дальневосточного региона. За время возделывания данной культуры изучен большой круг вопросов, связанных с биологией, селекцией и технологией выращивания. В настоящее время большой интерес для исследователей представляет подробное изучение полифенольного состава зерна сои, так как подобные данные имеют большое теоретическое и практическое значение, что плотно связано с вопросами сохранения коллекционного материала и создания продовольственного и семенного фондов. На современном этапе в научном сообществе сложилось консолидированное мнение, что содержание белка в семенах зависит от ряда факторов: генотипа сорта, почвенно-климатических условий зоны, обеспеченности растений элементами питания, а также от условий и продолжительности хранения [1]. Центр происхождения сои находится в Восточной Азии, где она используется в пищу более 5000 лет [2]. Являясь известным источником дешёвого концентрированного белка и растительного масла, соя в настоящее время приобрела мировое значение среди сельскохозяйственных культур. Имея 53% мирового производства всех масличных культур, соя занимает значительное место в большинстве систем сельскохозяйственного производства крупных стран, таких как США, Китай, Бразилия, Аргентина и Индия [3, 4]. В последнее время производство сои в России демонстрирует стабильный рост за счёт расширения посевных площадей.

Исследователи и потребители проявляют большой интерес к потенциальной роли сои и соевых продуктов в профилактике заболеваний. Клинические и научные доказательства выявили лечебные свойства компонентов сои при нарушениях обмена веществ и других хронических заболеваниях (диабете, ожирении, раке, остеопорозе, анемии и т.д.). В качестве шага к пониманию механизмов влияния пищевых компонентов на здоровье важно исследовать химический состав и выявить активные компоненты, ответственные за полезные эффекты. Было показано, что польза сои для здоровья обусловлена вторичными метаболитами в соевых экстрактах, такими как изофлавоны, фитостеролы, лецитины, сапонины и т. д. [5]. В частности, было доказано, что изофлавоны действуют в сочетании с белками для защиты от рака, сердечно-сосудистых заболеваний и остеопороза [6].

Целью представленной работы явился детальный метаболомный анализ сортообразцов сои *Glycine max*, из коллекции ФНЦ агробиотехнологий им. А.К. Чайки.

Материалы и методы

В качестве объекта исследования были использованы сортообразцы сои *Glycine max* (L) Merr. из коллекции ФНЦ агrobiотехнологий им А.К. Чайки, выращенные и собранные в сентябре 2021 г. В выборке представлен метаболомный анализ мацерационных экстрактов сортообразцов сои Приморская 4, Приморская 96, Муссон и Бриз.

Для получения высококонцентрированных экстрактов была применена дробная мацерация. При этом общее количество экстрагента (метилового спирта х.ч.) разделено на 3 части и последовательно настояно на плодах *Glycine max* (L) Merr. с первой частью, затем со второй и третьей. Время настойки каждой части экстрагента составляло 7 дней.

Для идентификации целевых аналитов в экстрактах, полученных мацерационным методом, использовали высокоэффективную жидкостную хроматографию (ВЭЖХ) в комплексе с ионной ловушкой BRUKER DALTONIKS (тандемная масс-спектрометрия).

Высокоэффективная жидкостная хроматография. Для выполнения разделения многокомпонентных смесей использовали жидкостный хроматограф высокого давления Shimadzu LC-20 Prominence HPLC (Shimadzu, Япония), оборудованный UV-детектором и обратнофазной колонкой Shodex ODP-40 4E. Программа элюции градиента следующая: 0,0–4 мин, 100% CH_3CN ; 4–60 мин, 100% – 25% CH_3CN ; 60–75 мин, 25% – 0% CH_3CN ; контрольная промывка 75–120 мин 0% CH_3CN . Весь ВЭЖХ-анализ сделан с UV-VIS-детектором SPD-20A (Kanda-Nishikicho 1-chrome, Shimadzu, Chiyoda-ku, Токио, Япония) при длинах волн 230 нм и 330 нм; температура 50 °С. Объём впрыска составлял 1 $\mu\text{л}$.

Тандемная масс-спектрометрия. Масс-спектрометрические данные получены с помощью ионной ловушки amaZon SL (производство фирмы BRUKER DALTONIKS, Германия), оснащённой источником ионизации электрораспылением ESI в режимах отрицательных и положительных ионов. Оптимизированные параметры получены следующим образом: температура источника ионизации: 70 °С, поток газа: 4 л/мин, газ-небилайзер (распылитель): 7,3 psi, капиллярное напряжение: 4500 V, напряжение на изгибе торцевой пластины: 1500 V, фрагментатор: 280 V, энергия столкновения: 60 eV. Масс-спектрометр использовался в диапазоне сканирования m/z 100–1.700 для MS и MS/MS. Произведена фрагментация 4 порядка.

Результаты исследования и их обсуждение

Уточнение метаболомного состава — чрезвычайно важный результат в системе биохимического анализа. Распределённый график тандемной масс-спектрометрии, анализируемых целевых аналитов экстрактов *Glycine max* (L) Merr., представлен на рис. 1.

Всего на ионных хроматограммах было обнаружено 300 пиков выделенных целевых аналитов. Для простоты идентификации составлена унифицированная системная таблица молекулярных масс целевых аналитов, выделенных из экстрактов семян сои *Glycine max* (L) Merr. (см. таблицу).

*Соединения, идентифицированные в экстракте семян сои *Glycine max (L.) Merr.**

Идентифицированное химическое Соединение	Химическая формула	Молярная масса	Ион-аддукт [M-H] ⁻	Ион-аддукт [M+H] ⁺	Фрагментация 1 порядка МС/МС	Фрагментация 2 порядка МС/МС	Фрагментация 3 порядка МС/МС	Источник
1. Феруловая кислота	C ₁₀ H ₁₀ O ₄	194.184		195	177; 141	126		<i>Lonicera japonicum</i> [7]; Andean blueberry [8]; <i>Bougainvillea</i> [9]
2. Апитенин	C ₁₅ H ₁₀ O ₅	270.2369		271	153; 215	111		Andean blueberry [8]; <i>Hedyotis diffusa</i> [10]; millet grains [11]; <i>Lonicera japonicum</i> [7]; Mexican lupine species [12]
3. Акацетин	C ₁₆ H ₁₂ O ₅	284.2635		285	270; 224	241		Mexican lupine species [12]; <i>Dracosephalum palmatum</i> [13]; <i>Wissadula periplocifolia</i> [14]
4. Кемпферол	C ₁₅ H ₁₀ O ₆	286.2363	285		257; 184; 117	117		<i>Lonicera japonicum</i> [7]; Andean blueberry [8]; <i>Rhus coriaria</i> [15]; Potato leaves [16]
5. Катехин	C ₁₅ H ₁₄ O ₆	290.2681		291	243; 189	215; 197		millet grains [11]; <i>Triticum</i> [17]; <i>Vaccinium macrocarpon</i> [18]
6. Эпикатехин	C ₁₅ H ₁₄ O ₆	290.2681		291	273; 117	255; 145		millet grains [11]; <i>Radix polygoni multiflori</i> [19]; <i>Camellia kucha</i> [20]
7. Хризэриол	C ₁₆ H ₁₂ O ₆	300.2629		301	299; 253; 152	226		Mexican lupine species [12]; <i>Dracosephalum palmatum</i> [13]; <i>Rhus coriaria</i> [15]
8. Эллаговая кислота	C ₁₄ H ₆ O ₈	302.1926		303	275; 202	157	139	<i>Rhus coriaria</i> [15]; <i>Chamaecrista nictitans</i> [21]; <i>Punica granatum</i> [22]

Идентифицированное химическое Соединение	Химическая формула	Молярная масса	Ион-аддукт [M-H] ⁻	Ион-аддукт [M+H] ⁺	Фрагментация 1 порядка МС/МС	Фрагментация 2 порядка МС/МС	Фрагментация 3 порядка МС/МС	Источник
9. Кверцетин	C ₁₅ H ₁₀ O ₇	302.2357		303	244; 202; 184	175; 156	129	millet grains [11]; <i>Rhus coriaria</i> [15]; Potato leaves [16]; <i>Triticum</i> [17]; <i>Vaccinium macrocarpon</i> [18]
10. 5,7-Диметоксилютеолин	C ₁₇ H ₁₄ O ₆	314.2895	313		212; 185; 113	113		<i>Rosa davurica</i> [23]
11. Рамнетин I	C ₁₆ H ₁₂ O ₇	316.2623		317	299; 243; 189; 165; 123	147; 123		<i>Phlomis (Lamiaceae)</i> [24]; <i>Rhus coriaria L. (Sumac)</i> [15]
12. Изорамнетин	C ₁₆ H ₁₂ O ₇	316.2623		317	288; 243; 189	260; 242; 187		Andean blueberry [8]; <i>Phlomis (Lamiaceae)</i> [24]; <i>Embelia</i> [25]
13. Мирицетин	C ₁₅ H ₁₀ O ₈	318.2351		319	271; 217	243; 189; 171	171	Andean blueberry [8]; millet grains [11]; <i>F. glaucescens</i> [26]
14. Умбеллиферон гексозид	C ₁₅ H ₁₆ O ₈	324.2827		325	306; 289; 225; 163	145		<i>G. linguiforme</i> [26]
15. 5,7-Диметоксн-3,3',4'-тригидроксифлаван	C ₁₇ H ₁₄ O ₇	330.2889		331	303; 185	157		<i>Oxalis corniculata</i> [27]
16. Мирицетин 5-метилловый эфир	C ₁₆ H ₁₂ O ₈	332.2617		333	287; 241; 205; 177	177; 149	149; 123	<i>Vitis amurensis</i> [28]; <i>Rhodiola rosea</i> [29]
17. Сиригетин	C ₁₇ H ₁₄ O ₈	346.2883		347	317; 290; 219; 169	289; 272; 219	261; 173	<i>C. edulis</i> [26]
18. Магагресинол	C ₂₀ H ₂₂ O ₆	358.3851		359	325; 289; 258; 198	143	127	Wheat [29]; <i>Lignans</i> [30]
19. Дериватив кофейной кислоты	C ₁₆ H ₁₈ O ₉ Na	377.2985	377		341; 215	179		<i>Bougainvillea</i> [9]; <i>Embelia</i> [25]
20. Сальвианоловая кислота D	C ₂₀ H ₁₈ O ₁₀	418.3509		419	373; 293; 212; 127	329; 271; 192; 127		<i>Mentha</i> [32]; <i>Salvia multiorrizae</i> [33]

Идентифицированное химическое Соединение	Химическая формула	Молярная масса	Ион-аддукт [M–H] ⁻	Ион-аддукт [M+H] ⁺	Фрагментация 1 порядка МС/МС	Фрагментация 2 порядка МС/МС	Фрагментация 3 порядка МС/МС	Источник
21. Апитенин-7- <i>O</i> -глюкозид	C ₂₁ H ₂₀ O ₁₀	432.3775		433	271	153; 214		<i>Mexican lupine species</i> [12]; <i>Dracosperthium palmatum</i> [13]
22. Дигидрокемпферол-3- <i>O</i> -рамнозид	C ₂₁ H ₂₂ O ₁₀	434.3934	433		259	258; 229	199	<i>Vitis vinifera</i> [34]
23. Аромалендрин 7- <i>O</i> -рамнозид	C ₂₁ H ₂₂ O ₁₀	434.3934		435	261; 243	243; 165	215; 161	<i>Eucalyptus</i> [35]
24. Каликозин-7- <i>O</i> -бета- <i>D</i> -глюкозид	C ₂₂ H ₂₂ O ₁₀	446.4041		447	285	270; 225; 145	242; 152	<i>Astragali radix</i> [36]; Huolisu Oral Liquid [37]
25. Акацетин <i>O</i> -глюкозид	C ₂₂ H ₂₂ O ₁₀	446.4041		447	285	269; 227; 145	241	<i>Mexican lupine species</i> [12]
26. Кемпферол-3- <i>O</i> -гексо-зид	C ₂₁ H ₂₀ O ₁₁	448.3769		449	329; 203	303; 257; 203; 185; 157		<i>Andean blueberry</i> [8]; <i>Rhus coriaria</i> [15]; <i>Punica granatum</i> [22]
27. Цианидин-3- <i>O</i> -глюко-зид	C ₂₁ H ₂₁ O ₁₁ ⁺	449.3848		449	287	213; 175	213; 185; 141	<i>Disterigma</i> [8]; Triticum [17]
28. Kaempferol diacetyl hexoside	C ₂₅ H ₂₄ O ₁₃	532.4503		533	285	270; 229; 145	242; 224; 152	<i>A. cordifolia</i> [26]
29. Акацетин <i>O</i> -глюкозид малонилированный	C ₂₅ H ₂₄ O ₁₃	532.4503		533	285	269; 228; 145	196; 152	<i>Mexican lupine species</i> [12]
30. Процианидин димер А-вида	C ₃₀ H ₂₄ O ₁₂	576.501		577	547; 493; 425; 245; 181	217	189; 161	<i>Vaccinium macrocarpon</i> [18]
31. Проантоцианидин Б1	C ₃₀ H ₂₆ O ₁₂	578.5202		579	409; 343; 291; 247; 205	287; 259; 203; 163	245	<i>Andean blueberry</i> [8]; millet grains [11]; <i>Vaccinium macrocarpon</i> [18]; <i>Camellia kucha</i> [20]

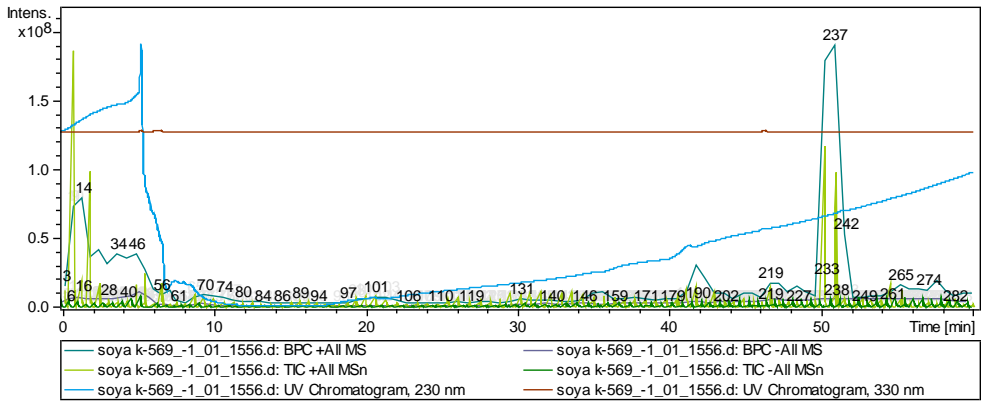


Рис. 1. Распределённый график тандемной масс-спектрометрии анализируемых целевых аналитов экстракта *Glycine max* (L) Merr., представленный ионной хроматограммой

В результате масс-спектрометрического исследования выделено 31 фенольное соединение, из них 15 химических соединений идентифицированы в *Glycine max* впервые. Идентификация соединений (значения m/z и фрагментированные ионы) производилась путём сравнения полученных экспериментальных данных с известными опубликованными научными масс-спектрометрическими результатами [7–37].

Наиболее яркие примеры масс-спектров ионных хроматограмм, полученных с помощью тандемной масс-спектрометрии, показаны на рис. 2, 3. Масс-спектр кемпферола в режиме отрицательных ионов, полученный из экстракта *Glycine max* (L) Merr., показан на рис. 2.

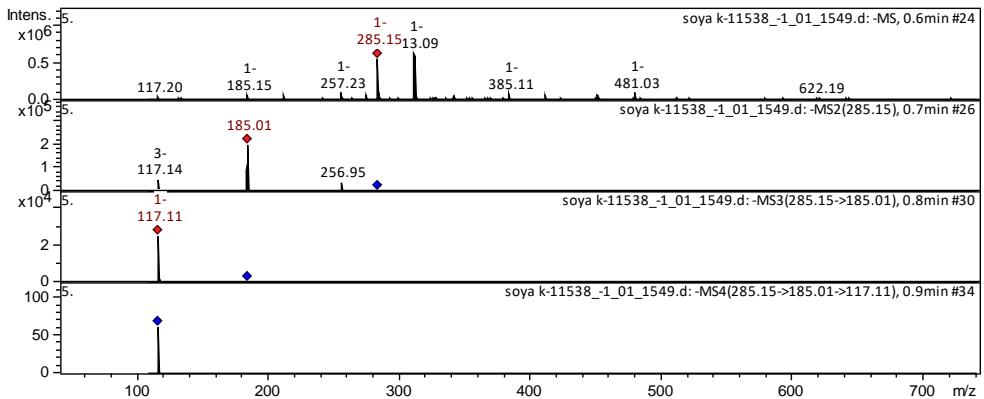


Рис. 2. Масс-спектр соединения кемпферола, полученный из экстракта *Glycine max* (L) Merr., m/z 285.15

$[M+H]^-$ ион продуцирует три фрагментированных иона, m/z 257, m/z 185 и m/z 117 (рис. 2). Фрагментированный ион m/z 185 формирует один характерный дочерний ион (m/z 117). В данных научных статьях при рассмотрении подобных масс-спектров *Lonicera japonicum* [7]; *Andean blueberry* [8]; *Rhus coriaria* [15]; листья картофеля [16] — это соединение классифицируется как флавонол кемпферол. Масс-спектр

кверцетин в режиме положительных ионов, полученный из экстракта *Glycine max* (L) Merr., показан на рис. 3.

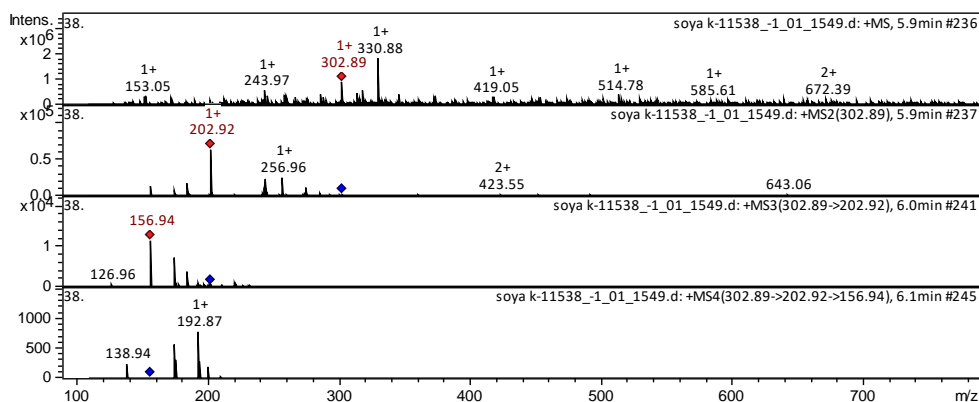


Рис. 3. Масс-спектр кверцетина, полученный из экстракта *Glycine max* (L) Merr., m/z 302.89

$[M-H]^-$ ион продуцирует два фрагментированных иона, m/z 203 и m/z 257 (рис. 3). Фрагментированный ион m/z 203 формирует два характерных дочерних иона: m/z 157 и m/z 127. Фрагментированный ион m/z 157 формирует один дочерний ион с m/z 139. В ниже приведённых научных статьях данное соединение идентифицируется, как кверцетин: [11], *Rhus coriaria* [15], листья картофеля [16], *Triticum* [17], *Vaccinium macrocarpon* [18].

Таким образом в мацерационных экстрактах *Glycine max* (L) Merr. было идентифицировано 31 соединение полифенольной группы, многие из которых характерны для вида *Glycine max* (L) Merr. Из них 13 соединений были идентифицированы впервые в данном виде растения. Это флавоны: апигенин, акацетин, акацетин О-глюкозид, сирингетин, каликозин-7-О-бета-D-глюкозид, 5,7-диметоксилитеолин, хризозеиол, феноловые кислоты эллаговая кислота, сальвианоловая кислота D, флавонолы рамнетин I, изорамнетин, лигнан медиоресиол и др.

Заключение

Экстракты *Glycine max* (L) Merr. содержат большое количество полифенольных комплексов, являющихся биологически активными соединениями. Для наиболее полного и безопасного экстрагирования был использован метод мацерации с помощью MeOH. Для идентификации целевых аналитов в экстрактах использована ВЭЖХ в комплексе с ионной ловушкой BRUKER DALTONIKS. Результаты предварительного исследования показали присутствие 31 фенольного соединения, соответствующих семейству *Glycine*, из них 13 идентифицировано впервые в *Glycine max* (L) Merr.

Полученные данные помогут интенсифицировать будущие исследования по разработке и производству различных продуктов функционального питания, содержащих целевые экстракты *Glycine max* (L) Merr.

Большое разнообразие биологически активных полифенольных соединений открывает богатые возможности для создания новых лекарственных препаратов, а также биологически активных добавок на основе экстрактов из семейства *Glycine*, и дальнейших исследований по функциональному и специализированному питанию, использующих в своей основе продукты из сои.

Список источников

1. Вавилов П.П., Посыпанов Г.С. Бобовые культуры и проблема растительного белка. — М.: Россельхозиздат, 1983. — 256 с.
2. Hymowitz, T. On the domestication of the soybean // *Economic botany*. 1970. Vol. 24.4. P. 408–421.
3. Pratap A., Gupta S.K., Kumar J. [et al.]. Chapter 12. Soybean // In book: *Technological Innovations in Major World Oil Crops*. 2012. Vol. 1.
4. Sinegovskii M., Yuan S., Sinegovskaya V. [et al.]. Current status of the soybean industry and research in the Russian Federation // *Soybean Science*. 2018. Vol. 37 (1).
5. Dixit A.K., Antony J., Sharma N.K. [et al.]. Soybean constituents and their functional benefits // *Research Singpost*. 2011. 37.2. P. 661.
6. Omoni A.O., Aluko R.E. Soybean foods and their benefits: potential mechanisms of action // *Nutr Rev*. 2005. Vol. 63 (8). P. 272–283.
7. Cai Z., Wang C., Zou L. [et al.]. Comparison of Multiple Bioactive Constituents in the Flower and the Caulis of *Lonicera japonica* Based on UFLC-QTRAP-MS/MS Combined with Multivariate Statistical Analysis // *Molecules*. 2019. Vol. 24. P. 1936.
8. Aita S.E., Capriotti A.L., Cavaliere C. [et al.]. Andean Blueberry of the Genus *Disterigma*: A High-Resolution Mass Spectrometric Approach for the Comprehensive Characterization of Phenolic Compounds // *Separations*. 2021. Vol. 8. P. 58.
9. El-Sayed M.A., Abbas F.A., Refaat S. [et al.]. UPLC-ESI-MS/MS Profile of The Ethyl Acetate Fraction of Aerial Parts of *Bougainvillea* 'Scarlett O'Hara' Cultivated in Egypt // *Egyptian J. of Chem*. 2021. Vol. 64 (2). P. 22.
10. Chen X., Zhu P., Liu B. [et al.]. Simultaneous determination of fourteen compounds of *Hedyotis diffusa* Willd extract in rats by UHPLC–MS/MS method: application to pharmacokinetics and tissue distribution study // *Journal of pharmaceutical and biomedical analysis*. 2018. Vol. 159. P. 490–512.
11. Chandrasekara A., Shahidi F. Determination of antioxidant activity in free and hydrolyzed fractions of millet grains and characterization of their phenolic profiles by HPLC-DAD-ESI-MSn // *J. of Functional Foods*. 2011. Vol. 3. P. 144–158.
12. Wojakowska A., Piasecka A., Garcia-Lopez P.M. [et al.]. Structural analysis and profiling of phenolic secondary metabolites of Mexican lupine species using LC–MS techniques // *Phytochem*. 2013. Vol. 92. P. 71–86.
13. Olennikov D.O., Chirikova N.K., Okhlopkova Z.M. [et al.]. Chemical Composition and Antioxidant Activity of *Tánara Ótó* (*Dracocephalum palmatum* Stephan), a Medicinal Plant Used by the North-Yakutian Nomads // *Molecules*. 2013. Vol. 18. P. 14106.
14. Teles Y.C.E., Rebello Horta C.C., de Fatima Agra M. [et al.]. New Sulphated Flavonoids from *Wissadula periplocifolia* (L.) C. Presl (*Malvaceae*) // *Molecules*. 2015. Vol. 20. P. 20161–20172.

15. Abu-Reidah I.M., Ali-Shtayeh M.S., Jamous R.M. [et al.]. HPLC–DAD–ESI–MS/MS screening of bioactive components from *Rhus coriaria* L. (Sumac) fruits // Food Chem. 2015. Vol. 166. P. 179–191.
16. Rodriguez-Perez C., Gomez-Caravaca A.M., Guerra-Hernandez E. [et al.]. Comprehensive metabolite profiling of *Solanum tuberosum* L. (potato) leaves T by HPLC-ESI-QTOF-MS // Molecules. 2018. Vol. 112. P. 390–399.
17. Sharma M., Sandhir R., Singh A. [et al.]. Comparison analysis of phenolic compound characterization and their biosynthesis genes between two diverse bread wheat (*Triticum aestivum*) varieties differing for chapatti (unleavened flat bread) quality // Front. Plant. Sci. 2016. Vol. 7. P. 1870.
18. Abeywickrama G., Debnath S.C., Ambigaipalan P. [et al.]. Phenolics of selected cranberry genotypes (*Vaccinium macrocarpon* Ait.) and their antioxidant efficacy // J. Agric. Food Chem. 2016. Vol. 64 (49). P. 9342–9351.
19. Zhu Z.-W., Li J., Gao X.-M. [et al.]. Simultaneous determination of stilbenes, phenolic acids, flavonoids and anthraquinones in *Radix polygoni multiflori* by LC–MS/MS // J. of Pharmaceut and Biomedical Analys. 2012. Vol. 62. P. 162–166.
20. Qin D., Wang Q., Li H. [et al.]. Identification of key metabolites based on non-targeted metabolomics and chemometrics analyses provides insights into bitterness in Kucha [*Camellia kucha* (Chang et Wang) Chang] // Food Research International. 2020. Vol. 138 (B). P. 109789.
21. Mateos-Martin M.L., Fuguet E., Jimenes-Ardon A. [et al.]. Identification of polyphenols from antiviral *Chamaecrista nictitans* extract using high-resolution LC–ESI–MS/MS // Anal. Bioanal. Chem. 2014. Vol. 406. P. 5501–5506.
22. Mena P., Calani L., Dall’Asta C. [et al.]. Rapid and Comprehensive Evaluation of (Poly)phenolic Compounds in Pomegranate (*Punica granatum* L.) Juice by UHPLC-MSn // Molecules. 2012. Vol. 17. P. 14821–14840.
23. Razgonova M.P., Bazhenova B.B., Zabalueva Yu.Yu. [et al.]. *Rosa davurica* Pall., *Rosa rugosa* Thumb., and *Rosa acicularis* Lindl. originating from Far Eastern Russia: Screening of 146 Chemical Constituents in Tree Species of the Genus *Rosa* // Applied Sciences. 2022. Vol. 12. P. 9401.
24. Aghakhani F., Kharazian N., Gooini Z.L. Flavonoid Constituents of *Phlomis* (Lamiaceae) Species Using Liquid Chromatography Mass Spectrometry // Phytochemical Analysis. 2018. Vol. 29 (2). P. 180–195.
25. Vijayan K.P.R., Raghu A.V. Tentative characterization of phenolic compounds in three species of the genus *Embelia* by liquid chromatography coupled with mass spectrometry analysis // Spectroscopy Letters. 2019. Vol. 52 (10). P. 653–670.
26. Hamed A.R., El-Hawary S.S., Ibrahim R.M. [et al.]. Identification of Chemopreventive Components from Halophytes Belonging to Aizoaceae and Cactaceae Through LC/MS–Bioassay Guided Approach // J. Chrom. Sci. 2021. Vol. 59. P. 618–626.
27. Pandey B.P., Pradhan S.P., Adhikari K. LC-ESI-QTOF-MS for the Profiling of the Metabolites and in Vitro Enzymes Inhibition Activity of *Bryophyllum pinnatum* and *Oxalis corniculata* Collected from Ramechhap District of Nepal // Chemistry & Biodiversity. 2020. Vol. 17 (6). e2000155.
28. Razgonova M., Zakharenko A., Pikula K. [et al.]. LC-MS/MS Screening of Phenolic Compounds in Wild and Cultivated Grapes *Vitis amurensis* Rupr // Molecules. 2021. Vol. 26. P. 360
29. Zakharenko A.M., Razgonova M.P., Pikula K.S. [et al.]. Simultaneous determination of 78 compounds of *Rhodiola rosea* extract using supercritical CO₂-extraction and HPLC-ESI-MS/MS spectrometry // HINDAWY. Biochemistry Research International. 2021. Article ID 9957490.

30. Cukelj N., Jakasa I., Sarajlija H. [et al.]. Identification and quantification of lignans in wheat bran by gas chromatography-electron capture detection // *Talanta*. 2011. Vol. 84. P. 127–132.
31. Eklund P.C., Backman M.J., Kronberg L.A. [et al.]. Identification of lignans by liquid chromatography-electrospray ionization ion-trap mass spectrometry // *J. Mass Spectr.* 2008. Vol. 43. P. 97–107.
32. Cirlini M., Mena P., Tassotti M. [et al.]. Phenolic and volatile composition of a dry spearmint (*Mentha spicata* L.) // *Molecules*. 2016. Vol. 21. P. 1007.
33. Jiang R.-W., Lau K.-M., Hon P.-M. [et al.]. Chemistry and Biological Activities of Caffeic Acid Derivatives from *Salvia miltiorrhiza* // *Current Med. Chem.* 2005. Vol. 12. P. 237–246.
34. De Rosso M., Panighel A.J., Dalla Vedota A. [et al.]. Characterization of Non-Anthocyanic Flavonoids in Some Hybrid Red Grape Extracts Potentially Interesting for Industrial Uses // *Molecules*. 2015. Vol. 20. P. 18095–18106.
35. Santos S.A.O., Vilela C., Freire C.S.R. [et al.]. Ultra-high performance liquid chromatography coupled to mass spectrometry applied to the identification of valuable phenolic compounds from Eucalyptus wood // *J. Chromatogr. B*. 2013. Vol. 938. P. 65–74.
36. Kafle B., Baak J., Brede C. Quantification by LC–MS/MS of astragaloside IV and isoflavones in Astragali radix can be more accurate by using standard addition // *Phytochemical Analysis*. 2020. Vol. 32 (16). P. 1–8.
37. Yin Y., Zhang K., Wei L. [et al.]. The Molecular Mechanism of Antioxidation of Huolisu Oral Liquid Based on Serum Analysis and Network Analysis // *Frontiers in Pharma*. 2021. Vol. 12. P. 710976.
38. Sun J., Liang F., Bin Y. [et al.]. Screening Non-colored Phenolics in Red Wines using Liquid Chromatography/Ultraviolet and Mass Spectrometry/Mass Spectrometry Libraries // *Molecules*. 2007. Vol. 12. P. 679–693.

Сведения об авторах / About authors

Разгонова Майя Петровна, кандидат технических наук, директор Дальневосточной опытной станции, Всероссийский институт генетических ресурсов растений им. Н.И. Вавилова (ВИР). 190031, Россия, Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, 42. ORCID: 0000-0002-9732-1649. E-mail: m.razgonova@vir.nw.ru.

Maya P. Razgonova, PhD in Technical Sciences, Head of Far East OS Branch of the All-Russian Institute of Plant Genetic Resources. N.I. Vavilov (VIR). Bld. 42, str. Bolshaya Morskaya, St. Petersburg, Russia, 190031. ORCID: 0000-0002-9732-1649. E-mail: m.razgonova@vir.nw.ru.

Черевач Елена Игоревна, доктор технических наук, доцент, профессор базовой кафедры “Биоэкономики и продовольственной безопасности”, Передовая инженерная школа “Институт биотехнологий, биоинженерии и пищевых систем”, Дальневосточный федеральный университет. 690922, Россия, г. Владивосток, остров Русский, Аякс, 10. ORCID: 0000-0003-4958-8928. E-mail: elena_cherevach@mail.ru.

Elena I. Cherevach, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Professor of Advanced Engineering School “Institute of Biotechnology, Bioengineering and Food Systems”, Far Eastern Federal University. Bld. G, FEFU Campus, Vladivostok, Russia, 690620. ORCID: 0000-0003-4958-8928. E-mail: elena_cherevach@mail.ru.

Зинченко Юлия Николаевна, магистрант, Передовая инженерная школа “Институт биотехнологий, биоинженерии и пищевых систем”, Дальневосточный федеральный университет. 690922, Россия, г. Владивосток, остров Русский, Аякс, 10. E-mail: yu-zinch@yandex.ru.

Yulia N. Zinchenko, master student, Advanced Engineering School “Institute of Biotechnology, Bioengineering and Food Systems”, Far Eastern Federal University. 690922, Vladivostok, Russian Federation, Fr. Russian, pos. Ajax. E-mail: yu-zinch@yandex.ru.

Голохваст Кирилл Сергеевич, доктор биологических наук, профессор РАН, член-корреспондент РАО, врио директора Сибирского федерального научного центра агrobiотехнологий РАН. 630501, Россия, Новосибирская обл., Краснообск, а/я 463. ORCID 0000-0002-4873-2281. E-mail: golokhvast@sfscs.ru.

Kirill S. Golokhvast, Doctor of Biological Sciences, Professor of the RAS, Corresponding Member of RAO, Interim Director, Siberian Federal Scientific Center for Agrobiotechnologies of the Russian Academy of Sciences. 630501, Russian Federation, Novosibirsk region, Krasnoobsk, SFNTSA RAS, P/O box 463. ORCID 0000-0002-4873-2281. E-mail: golokhvast@sfscs.ru.