

УДК 615.322:547.1-32-304.2]-001.8

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СВОБОДНЫХ АМИНОКИСЛОТ В ПОДЗЕМНЫХ ОРГАНАХ ЭЛЕУТЕРОКОККА КОЛЮЧЕГО (*ELEUTHEROCOCCLUS SENTICOSUS* RUPR. ET MAXIM)

© А.А. Комарова^{1*}, Т.А. Степанова¹, И.А. Прокопьев^{2,3}

¹ Дальневосточный государственный медицинский университет, ул. Карла Маркса, 35, Хабаровск, 68000 (Россия), e-mail: aytakom26@gmail.com

² Институт биологических проблем криолитозоны СО РАН, пр. Ленина, 41, Якутск, 677007 (Россия)

³ Ботанический институт имени В.Л. Комарова РАН, ул. Профессора Попова, 2, Санкт-Петербург, 197376 (Россия)

Проведено изучение свободных аминокислот в подземных органах элеутерококка колючего (*Eleutherococcus senticosus* Rupr. et Maxim, сем. Аралиевые – *Araliaceae*). Материалом для исследования служили образцы корневищ и корней элеутерококка, собранные в Амурской области, Еврейской автономной области, Приморском и Хабаровском краях.

Определение аминокислот проводили методом ГХ-МС. По результатам исследований в корневищах и корнях элеутерококка колючего обнаружены от двух до девяти аминокислот, из которых 6 заменимых (аланин, пролин, серин, глутамин, пироглутаминовая кислота, аспарагиновая кислота) и 3 незаменимых (валин, лейцин, треонин). Суммарное содержание аминокислот в изученных образцах в среднем составило 20.1 мг/100 г. Выявлено, что доминирующей группой являются гетероциклические аминокислоты, к представителям которых относятся пролин и пироглутаминовая кислота. Среднее содержание пролина и пироглутаминовой кислоты составило 4.9 и 7.1 мг/100 г соответственно. На основе сравнительного анализа аминокислотного состава десяти образцов показано, что аминокислотный состав корневищ и корней элеутерококка из разных популяций различается. В результате проведенного кластерного анализа по содержанию аминокислот в исследуемых образцах выделяются две группы: образцы из Хабаровского края – Амурской области, образцы из Приморского края – Еврейской автономной области (Ленинский район).

Ключевые слова: элеутерококк колючий, свободные аминокислоты, биологически активные вещества, аминокислотный состав.

Работа выполнена И.А. Прокопьевым в рамках государственных заданий БИН РАН (AAAA-A18-118032390136-5) и ИБПК СО РАН (AAAA-A21-121012190035-9).

Введение

В середине XX века начался активный поиск новых источников растительного сырья с адаптогенными свойствами. Одним из самых перспективных адаптогенов оказался элеутерококк колючий (*Eleutherococcus senticosus* Rupr. et Maxim). Элеутерококк обладает не только уникальными фармакологическими свойствами, но и характеризуется достаточной сырьевой базой, что имеет большое значение для производства адаптогенных растительных средств в промышленных масштабах [1]. В качестве официального сырья используют корневища и корни элеутерококка.

Комарова Айтальяна Куо Александровна – ординатор кафедры фармации и фармакологии, e-mail: aytakom26@gmail.com

Степанова Татьяна Алексеевна – доктор фармацевтических наук, профессор кафедры фармации и фармакологии, e-mail: tastep01@yandex.ru

Прокопьев Илья Андреевич – кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, e-mail: ilya.a.prokopiev@gmail.com

Со второй половины XX века до настоящего времени проведено множество исследований, посвященных изучению фармакологических свойств, а также химического состава корневищ и корней элеутерококка колючего [2–5]. В литературе, посвященной изучению биологически активных веществ подземных органов элеутерококка, встреча-

* Автор, с которым следует вести переписку.

ется информация о содержании простых фенолов, лигнанов, кумаринов, тритерпеноидов, стероидов и полисахаридов, т.е. преимущественно веществ вторичного происхождения [6–9]. Между тем известно, что фармакологические свойства средств растительного происхождения обусловлены не только наличием вторичных метаболитов. Существенный вклад в развитие терапевтического эффекта вносят также первичные метаболиты, в том числе аминокислоты. Аминокислоты занимают особое место в регуляции обмена веществ, они используются при синтезе гормонов, витаминов и других соединений [10, 11]. Этим объясняется значительное внимание, которое уделяется изучению качественного и количественного аминокислотного состава лекарственных растений [12–14]. Однако данные по аминокислотному составу сырья элеутерококка практически отсутствуют, за исключением работы китайских ученых, которые при исследовании общего химического состава корней элеутерококка методом ВЭЖХ-МС отметили присутствие в образцах пироглутаминовой кислоты и фенилаланина [15].

В связи с приведенным выше представлялось целесообразным определить профиль и количественное содержание свободных аминокислот в корневищах и корнях элеутерококка колючего. Для этой цели был выбран один из современных методов анализа – газовая хроматография с масс-спектрометрическим детектированием, которая позволяет обнаружить следовые количества веществ.

Экспериментальная часть

Объектами для исследования служили 10 образцов корневищ и корней элеутерококка колючего (*Eleutherococcus senticosus* Rupr. et Maxim, сем. Аралиевые – *Araliaceae*), из которых 6 образцов были заготовлены на территории Приморского края, 2 – в Амурской области и по одному образцу в Еврейской автономной области и Хабаровском крае. Заготовка сырья осуществлялась в фазы начала вегетации (май), массового цветения (июль) и окончания вегетации (сентябрь–октябрь) в период 2019–2021 гг. Все образцы отвечали требованиям нормативного документа на лекарственное растительное сырье, в т.ч. по содержанию основного действующего вещества элеутерозида В [16].

Пробоподготовка перед проведением анализа осуществлялась следующим образом. Исследуемые образцы корневищ и корней элеутерококка измельчали сначала на мельнице ножевой РМ-120В, затем на микромельнице Culatti WB-1S до размера частиц, проходящих сквозь сито с диаметром отверстий 0.5 мм. Для анализа свободных аминокислот около 2 г точной навески сырья помещали в коническую колбу вместимостью 100 мл и прибавляли 25 мл спирта метилового, взвешивали общую массу колбы со смесью и затем экстрагировали в течение 30 мин в ультразвуковой ванне. После завершения экстрагирования колбу со смесью повторно взвешивали, добавляли необходимое количество спирта метилового для получения первичной массы и тщательно перемешивали [17]. Полученную смесь центрифугировали при 1300 об./мин. 100 мкл полученного супернатанта переносили в стеклянную вials и упаривали досуха при 80 °С. Полученный сухой остаток растворяли в 50 мкл пиридина и затем добавляли 50 мкл триметилхлорсилана для получения триметилсилильных (ТМС) производных. Смесью инкубировали при температуре 80 °С в течение 1 ч [18]. Компонентный состав и количественное содержание аминокислот определяли с использованием газового хроматографа МАЭСТРО 7820 (Россия) с масс-спектрометрическим детектором Agilent 5975 (США). Для хроматографирования применяли колонку HP-5MS (30 м × 0.25 мм, Agilent, США). Элюировали со скоростью потока газа-носителя (гелий) 1 мл/мин. Объем пробы составлял 0.5 мкл, температура инжектора 250 °С. Анализ проводили в градиентном режиме по следующей схеме: в течение первых трех минут при температуре 100 °С, от 3 до 50 мин – при температуре от 100 до 200 °С, 50–66 мин – при температуре от 200 до 250 °С. Идентификация обнаруженных на хроматограмме веществ осуществлялась с использованием базы данных NIST 2017 [19].

Для статистической обработки полученных результатов применяли дисперсионный, а также иерархический кластерный анализ, где в качестве меры близости объектов использовалось евклидово расстояние, для объединения в классы применялся метод Варда [20].

Обсуждение результатов

В ходе эксперимента в исследуемых образцах было идентифицировано от двух до девяти аминокислот. Результаты качественного анализа аминокислотного профиля представлены в таблице 1, где приведены наименования идентифицированных соединений и данные о времени удерживания. Как видно из

таблицы 1, три аминокислоты относятся к группе моноаминомонокарбоновых аминокислот, две – к группе гетероциклических, две – к группе оксимоноаминокарбоновых, а также по одной аминокислоте из группы моноаминодикарбоновых аминокислот и амидов моноаминодикарбоновых кислот. Среди найденных аминокислот 3 относятся к незаменимым (валин, лейцин, треонин), а остальные являются представителями заменимых аминокислот.

При анализе образцов обнаружено различие в хроматографических профилях. В качестве примера представлены фрагменты хроматограмм на рисунке 1.

Таблица 1. Характеристика обнаруженных аминокислот в корневищах и корнях элеутерококка колючего

Наименование аминокислоты	Время удерживания, мин
<i>Моноаминомонокарбоновые аминокислоты</i>	
Аланин (Ala)	7.38
Валин (Val)	9.79
Лейцин (Leu)	11.03
<i>Оксимоноаминокарбоновые аминокислоты</i>	
Серин (Ser)	13.02
Треонин (Thr)	13.6
<i>Амид дикарбоновых аминокислот</i>	
Глутамин (Gln)	15.3
<i>Гетероциклические аминокислоты</i>	
Пироглутаминовая кислота (PCA)	16.25
Пролин (Pro)	11.53
<i>Дикарбоновая аминокислота</i>	
Аспарагиновая кислота (Asp)	16.34

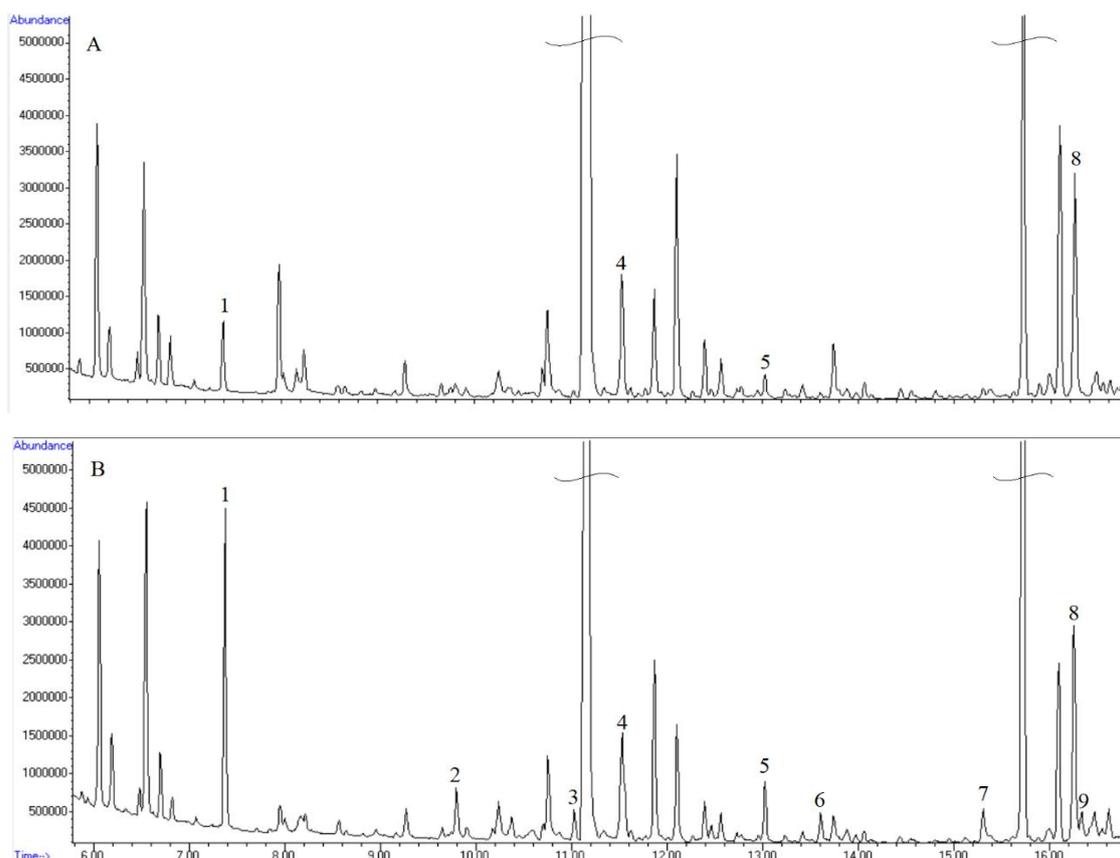


Рис. 1. Фрагменты хроматограмм извлечения из подземных органов элеутерококка колючего:

А – образец из Еврейской автономной области (Ленинский район), В – Образец из Приморского края (Красноармейский район); обнаруженные аминокислоты: 1 – аланин; 2 – валин; 3 – лейцин; 4 – пролин; 5 – серин; 6 – треонин; 7 – глутамин; 8 – пироглутаминовая кислота; 9 – аспарагиновая кислота

Количественную интерпретацию хроматограмм проводили методом внутренней стандартизации по трикозану. Результаты определения содержания свободных аминокислот в исследуемых образцах приведены в таблице 2. Как видно из представленных данных, наблюдается значительная вариабельность как в качественном, так и в количественном содержании суммы аминокислот в разных образцах. Суммарное содержание свободных аминокислот в сырье элеутерококка в среднем оказалось на уровне 20.1 мг/100 г, при этом самое высокое содержание составило 42.8 мг/100 г. В образцах из Амурской области (7) и Хабаровского края сумма аминокислот не превышает 3 мг/100 г, в то время как содержание суммы аминокислот в образцах из Приморского края (4 и 5) и Еврейской автономной области выше 30 мг/100г. При сравнении содержания свободных аминокислот в образцах из Приморского края отмечено, что количество аминокислот в образцах 2019 и 2020 гг. несколько ниже значений образцов 2021 г., что возможно связано с хранением сырья. Однако сравнение дисперсий по критерию Стьюдента между двумя указанными группами не показало значимых различий ($t_{\text{эмп.}} < t_{\text{табл.}}$, при уровне значимости $P=95\%$).

По сумме аминокислот к исследованным объектам из Приморского края примыкает образец из Еврейской автономной области. Этот факт, в частности, можно объяснить соответствием почвенно-климатических характеристик Ленинского и Октябрьского районов Еврейской автономной области и некоторых равнинных районов Приморского края. Наше предположение подтверждается имеющимися данными о сходстве вегетативного развития сельскохозяйственных культур в указанных регионах [21]. В другую группу с относительно низким содержанием суммы аминокислот выделяются образцы Амурской области и Хабаровского края. Дисперсионный анализ показал достоверность различий в содержании суммы аминокислот между двумя указанными группами: Приморский край – Еврейская автономная область и Амурская область – Хабаровский край. При уровне значимости $P=95\%$ $t_{\text{эмп.}}=5.06$ и $t_{\text{табл.}}=1.86$. Дополнительно нами была предпринята попытка сгруппировать результаты определения суммы аминокислот по годам и срокам сбора, при этом дисперсионный анализ не выявил достоверных различий ($t_{\text{эмп.}} < t_{\text{табл.}}$, при уровне значимости $P=95\%$).

Таблица 2. Количественное содержание свободных аминокислот в элеутерококке колючем в пересчете на а.с.с., мг/100 г

№	Характеристика образцов	Сроки сбора	Ala	Val	Leu	Pro	Ser	Thr	Gln	PCA	Asp	ΣАК
1	Еврейская автономная область, Ленинский район, окр. с. Куколево	10.2021	9.4	1.7	1.0	5.6	2.1	1.1	2.1	8.3	0.6	31.9
2	Приморский край, Красноармейский район, окр. с. Мельничное	08.2019	2.4	–	–	5.0	0.9	–	–	10.0	–	18.2
3	Приморский край, Кавалеровский район, окр. п.г.т. Кавалерово	07.2019	3.4	0.5	0.5	3.8	1.4	0.5	–	7.2	–	17.8
4	Приморский край, Арсеньевский городской округ, окр. г. Арсеньев	10.2021	10.8	1.4	1.3	4.2	3.2	1.8	1.4	17.5	1.4	42.8
5	Приморский край, Кавалеровский район, окр. п.г.т. Кавалерово	10.2021	3.4	1.5	1.0	11.8	3.3	1.1	1.4	6.7	2.0	32.2
6	Приморский край, Чугуевский район, окр. с. Чугуевка	08.2021	2.0	1.5	0.5	6.1	1.1	0.5	–	11.1	–	22.8
7	Амурская область, (промышленный образец 1)	09.2021	0.5	0.5	–	0.5	0.3	–	–	–	–	1.7
8	Амурская область (промышленный образец 2)	05.2021	2.1	1.4	–	1.5	1.5	–	–	3.3	–	9.8
9	Приморский край (промышленный образец)	05.2020	3.2	1.0	–	8.2	1.0	–	–	7.5	–	20.9
10	Хабаровский край (промышленный образец)	05.2021	0.3	–	–	2.4	–	–	–	–	–	2.7
\bar{X}			3.7	0.9	0.4	4.9	1.5	0.8	0.5	7.1	0.4	20.1
Min			0.3	0.5	0.5	0.5	0.3	0.5	1.4	3.3	0.6	1.7
Max			10.8	1.7	1.0	11.8	3.3	1.8	2.1	17.5	2.0	42.8

Примечание. ΣАК – суммарное содержание аминокислот. Цифровые индексы 1-2 указывают принадлежность к разным промышленным партиям сырья. Знак «–» обозначает отсутствие вещества или содержание ниже, чем предельно обнаруживаемая концентрация.

Данные по количественному содержанию отдельных аминокислот, представленные в таблице 2, позволили провести оценку относительного содержания групп аминокислот в общей сумме аминокислот в сырье элеутерококка. Как видно из таблицы 3, наибольшее количество из найденных аминокислот приходится на гетероциклические аминокислоты (пролин и пироглутаминовая кислота), содержание которых достигает 60.9% от общей суммы аминокислот. В значительно меньших количествах, относительно общей концентрации аминокислот, содержатся представители группы дикарбоновых кислот и их амидов (1.1 и 1.4%).

Анализ результатов количественного содержания отдельных аминокислот в исследуемых образцах также показал высокую вариабельность. Как следует из таблицы 2, количество отдельных аминокислот существенно меняется от минимальных концентраций до 17.5 мг/100 г. Наличие аланина и пролина было подтверждено во всех образцах. Концентрация аланина колебалась от 0.3 до 10.8 мг/100 г, а пролина от 0.5 до 11.8 мг/100 г. Серин был обнаружен в 9 образцах из 10, а пироглутаминовая кислота – в 8 образцах. Содержание серина было в пределах 0.3–3.3 мг/100 г, а пироглутаминовой кислоты – 3.3–17.5 мг/100 г. Наименьшими по количественному содержанию в образцах являлись валин, лейцин, треонин, глутамин и аспарагиновая кислота. Валин был обнаружен в 8 образцах. Лейцин, треонин, глутамин и аспарагиновая кислота были найдены меньше, чем в половине изученных образцов. Минимальное значение валина, треонина, лейцина и аспарагиновой кислоты составило 0.5–0.6 мг/100 г, а максимальное не превышало 2 мг/100 г. Концентрация глутамина находилась в пределах от 1.4–2.1 мг/100 г.

Для выявления сходства между образцами из разных регионов по содержанию отдельных аминокислот был проведен иерархический кластерный анализ. Как видно из дендрограммы, полученной в ходе анализа, при использовании в качестве группировочного признака района произрастания можно выделить 2 основных класса, сформированных по содержанию аминокислот (рис. 2). К одному классу, как и в случае содержания суммы аминокислот, относятся образцы из географически и климатически близких регионов – Амурской области и Хабаровского края, ко второму – образцы из Приморского края и Еврейской автономной области. В свою очередь образцы Приморского края делятся на 2 подкласса: образец 4 из г. Арсеньев Приморского края и все остальные. Вместе с тем, оценка результатов проведенного кластерного анализа с группировкой по периоду сбора показала отсутствие обоснованных классов. Таким образом, результаты кластерного анализа хорошо согласуются с результатами дисперсионного анализа и подтверждают сходство образцов из Приморского края и Еврейской автономной области.

Таблица 3. Относительное содержание групп аминокислот в образцах сырья элеутерококка колючего, %

№	Характеристика образцов	Моноаминокарбоновые АК	Дикарбоновые АК	Гетероциклические АК	Оксимоноаминокарбоновые АК	Амиды дикарбоновых АК
1	Еврейская автономная область, Ленинский район, окр. с. Куколево	38.0	2.0	43.5	10.0	6.5
2	Приморский край, Красноармейский район, окр. с. Мельничное	13.0	–	82.0	5.1	–
3	Приморский край, Кавалеровский район, окр. п.г.т. Кавалерово	27.5	–	62.1	10.5	–
4	Приморский край, Арсеньевский городской округ, окр. г. Арсеньев	31.3	3.2	50.7	11.6	3.2
5	Приморский край, Кавалеровский район, окр. п.г.т. Кавалерово	18.3	6.1	57.6	13.6	4.4
6	Приморский край, Чугуевский район, окр. с. Чугуевка	17.3	–	75.4	7.2	–
7	Амурская область, (промышленный образец 1)	54.9	–	26.3	18.8	–
8	Амурская область (промышленный образец 2)	35.6	–	49.0	15.4	–
9	Приморский край (промышленный образец)	20.2	–	75.2	4.7	–
10	Хабаровский край (промышленный образец)	12.7	–	87.3	–	–
	\bar{X}	26.9	1.1	60.9	9.7	1.4

Примечание. Знак «–» обозначает, что группа аминокислот не обнаружена в образце. АК – аминокислоты.

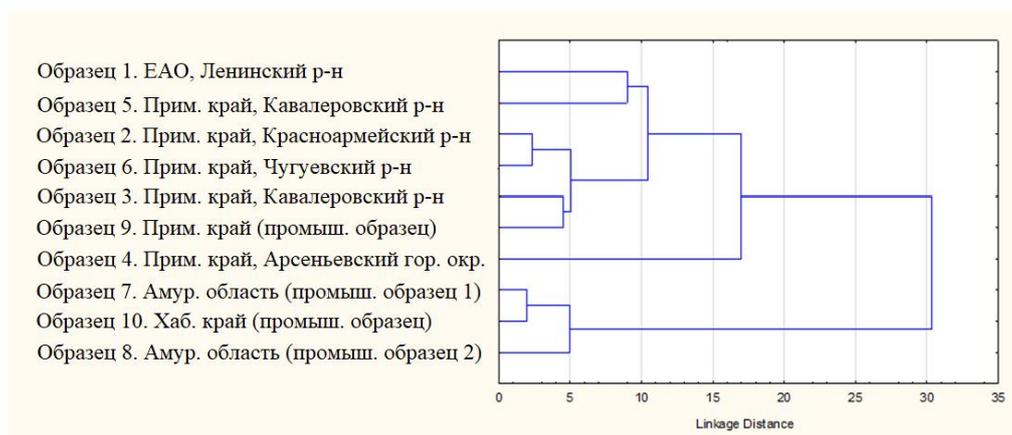


Рис. 2. Дендрограмма кластеризации образцов элеутерококка колючего из разных районов произрастания по содержанию свободных аминокислот: ЕАО – Еврейская автономная область, Прим. край – Приморский край, Амур. область – Амурская область, Хаб. край – Хабаровский край. Р-н – район, гор. окр. – городской округ, промыш. – промышленный

Выводы

Проведен качественный и количественный анализ содержания аминокислот в образцах подземных органов элеутерококка колючего, собранных по ареалу вида. В результате изучения аминокислотного состава в корневищах и корнях элеутерококка обнаружены от двух до девяти свободных аминокислот. Среднее содержание суммы свободных аминокислот составляет 20.1 мг/100 г. Содержание суммы и отдельных аминокислот в образцах из разных регионов характеризуется большой вариабельностью. Статистический анализ результатов изучения 10 образцов показал, что по содержанию аминокислот исследованные образцы можно разделить на 2 группы: образцы из Хабаровского края – Амурской области и образцы из Приморского края – Еврейской автономной области (Ленинский район).

Список литературы

1. Костырина Т.В., Приходько О.Ю. Ресурсы подземной части *Eleutherococcus Senticosus* (Rupr. et Maxim) Maxim в хвойно-широколиственных лесах южного приморья (на примере территории Волчанецкого участкового лесничества) // Вестник Бурятской государственной сельскохозяйственной академии имени В.П. Филиппова. 2021. Т. 64. №3. С. 92–101. DOI: 10.34655/bgsha.2021.64.3.012.
2. Jia A., Zhang Y., Gao H., Zhang Zh, Zhang Y., Wang Zh., Zhang J., Deng B, Qiu Zh., Fu Ch. A review of *Acanthopanax senticosus* (Rupr and Maxim.) harms: From ethnopharmacological use to modern application // Journal of Ethnopharmacology. 2021. Vol. 268. Pp. 1–17. DOI: 10.1016/j.jep.2020.113586.
3. Gerontakos S., Taylor A., Avdeeva A.Y., Shikova V.A., Pozharitskaya O.N., Casteleijn D., Wardle J., Shikov A.N. Findings of Russian literature on the clinical application of *Eleutherococcus senticosus* (Rupr. &Maxim.): A narrative review // Journal of Ethnopharmacology. 2021. Vol. 278(3). Pp. 1–13. DOI: 10.1016/j.jep.2021.114274.
4. Комарова А.А., Степанова Т.А. Элеутерококк колючий – популярный адаптоген Дальнего Востока: история изучения, исследование биологической и фармакотерапевтической активности // Дальневосточный медицинский журнал. 2018. №2. С. 65–70.
5. Li T., Ferns K., Yan Z.Q., Yin S.Y., Kou J.J., Li D., Zeng Z., Yin L., Wang X., Bao H.X., Zhou Y. J., Li Q.H., Zhao Zh.Y., Liu H., Liu Sh.L. *Acanthopanax senticosus*: Photochemistry and Anticancer Potential // The American Journal of Chinese Medicine. 2016. Vol. 44(8). Pp. 1–16. DOI: 10.1142/S0192415X16500865.
6. Yang S., Song F.X. UPLC-MS/MS analysis of the constituents in the root of *A. sessiflorus* and comparison with *A. gracilistus* and *A. senticosus* // Chinese Journal of Pharmaceutical Analysis. 2014. Vol. 34. Pp. 958–965.
7. Huang L., Zhao H., Huang B., Zheng Ch., Peng W., Qin L. *Acanthopanax senticosus*: review of botany, chemistry and pharmacology // Pharmazie. 2011. Vol. 66(2). Pp. 83–97.
8. Sun Y.L., Liu L.D., Hong S.K. *Eleutherococcus senticosus* as a crude medicine: Review of biological and pharmacological effects // Journal of Medicinal Plants Research. 2011. Vol. 25. Pp. 5946–5952. DOI: 10.5897/JMPR11.728
9. Tang W.C., Eisenbrand G. Chinese Drugs of Plant Origin, Subtitle: Chemistry, Pharmacology and Use in Traditional and Modern Medicine. Berlin, 1992. 1056 p.
10. Миняева О.А. Аминокислоты, как биологические объекты, в водных растворах // Научное обозрение. Биологические науки. 2016. №6. С. 43–47.

11. Нестеров С.В., Ягужинский Л.С., Подопригора Г.И., Нарциссов Я.Р. Аминокислоты как регуляторы метаболизма клетки // Биохимия. 2020. Т. 85. №4. С. 459–475. DOI: 10.31857/S0320972520040016.
12. Ломбоева С.С., Оленников Д.Н., Танхаева Л.М. Фармакогностическое исследование надземной части ортилии однобокой (*Orthilia secunda* (L.) House) // Химия растительного сырья. 2010. №1. С. 109–114.
13. Каржаубекова Ж.Ж., Гемеджиева Н.Г., Набиева Ж.С. К фитохимическим исследованиям *Cistanche salsa* (Orobanchaceae) // Химия растительного сырья. 2016. №4. С. 123–130. DOI: 10.14258/jcprm.2016041347.
14. Тринева О.В., Рудая М.А., Сливкин А.И., Дубовицких М.А. Исследование профиля свободных аминокислот плодов облепихи крушиновидной различных сортов методом тонкослойной хроматографии // Сорбционные и хроматографические процессы. 2020. Т. 20. №2. С. 277–283. DOI: 10.17308/sorpchrom.2020.20/2783.
15. Shi X., Yang Y., Ren H., Sun Sh., Mu L.T., Chen X., Wang Y., Zhang Y., Wang L.H., Sun Ch. Identification of multiple components in deep eutectic solvent extract of *Acanthopanax senticosus* root by ultra-high-performance liquid chromatography with quadrupole orbitrap mass spectrometry // Phytochemistry Letters. 2020. Vol. 35. Pp. 175–185.
16. ФС 2.5.0053.15. Элеутерококка колючего корневища и корни // Государственная Фармакопея Российской Федерации, XIV изд. Москва, 2018. С. 6649–6660.
17. Radix et Rhizoma seu Caulis *Acanthopanax Senticosi* // Pharmacopoeia of the People's Republic of China. Beijing, 2015. Pp. 215–215.
18. York W.S., Darvill A.G., McNeil M., Stevenson T.T., Albersheim P. Isolation and characterization of cell walls and cell wall components // Methods in enzymology. 1986. Vol. 118. Pp. 3–40.
19. Standard Reference Data Program, National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, MD. Standard Reference Database IA. URL: <http://www.nist.gov/srd/nist1a.htm>.
20. ОФС 1.1.0013.15. Статистическая обработка результатов химического эксперимента // Государственная фармакопея Российской Федерации, XIV изд. Москва, 2018. С. 289–316.
21. Stepanov A., Aseeva T., Dubrovin K. Forecasting Soybean Yield in Agricultural Regions of the Russian Far East Using Remote Sensing Data // Smart Innovation, Systems and Technologies. 2022. Vol. 245. Pp. 349–358.

Поступила в редакцию 12 июля 2022 г.

После переработки 7 декабря 2022 г.

Принята к публикации 17 мая 2023 г.

Для цитирования: Комарова А.А., Степанова Т.А., Прокопьев И.А. Определение свободных аминокислот в подземных органах элеутерококка колючего (*Eleutherococcus senticosus* Rupr. et Maxim) // Химия растительного сырья. 2023. №3. С. 193–200. DOI: 10.14258/jcprm.20230311670.

Komarova A.A.^{1*}, Stepanova T.A.¹, Prokopyev I.A.^{2,3} DETERMINATION OF FREE AMINO ACIDS IN UNDERGROUND ORGANS OF *ELEUTHEROCOCCUS SENTICOSUS* RUPR. ET MAXIM

¹ Far Eastern State Medical University, ul. Karla Marksa, 35, Khabarovsk, 68000 (Russia), e-mail: aytakom26@gmail.com

² Institute of Biological Problems of Cryolithozone SB RAS, pr. Lenina, 41, Yakutsk, 677007 (Russia)

³ Botanical Institute named after V.L. Komarova RAS, ul. Professora Popova, 2, St. Petersburg, 197376 (Russia)

A study of free amino acids in the underground organs of *Eleutherococcus senticosus* (*Eleutherococcus senticosus* Rupr. et Maxim, family Araliaceae) was carried out. The material for the study was samples of rhizomes and roots of *Eleutherococcus* collected in the Amur Region, Jewish Autonomous Region, Primorsky and Khabarovsk Territories.

Amino acids were determined by GC-MS. According to the results of studies, from two to nine amino acids were found in the rhizomes and roots of *Eleutherococcus senticosus*, of which 6 are nonessential (alanine, proline, serine, glutamine, pyroglutamic acid, aspartic acid) and 3 are essential (valine, leucine, threonine). The total content of amino acids in the studied samples averaged 20.1 mg/100 g. It was revealed that the dominant group is heterocyclic amino acids, the representatives of which include proline and pyroglutamic acid. The average content of proline and pyroglutamic acid was 4.9 and 7.1 mg/100 g, respectively. Based on a comparative analysis of the amino acid composition of ten samples, it was shown that the amino acid composition of the rhizomes and roots of *Eleutherococcus* from different populations varies. As a result of a cluster analysis based on the content of amino acids in the studied samples, two groups are distinguished: samples from the Khabarovsk Territory - Amur Region, samples from the Primorsky Territory - Jewish Autonomous Region (Leninsky District).

Keywords: *Eleutherococcus senticosus*, free amino acids, biologically active substances, amino acid composition.

* Corresponding author.

References

1. Kostyrina T.V., Prikhod'ko O.Yu. *Vestnik Buryatskoy gosudarstvennoy sel'skokhozyaystvennoy akademii imeni V.R. Filippova*, 2021, vol. 64, no. 3, pp. 92–101. DOI: 10.34655/bgsha.2021.64.3.012. (in Russ.).
2. Jia A., Zhang Y., Gao H., Zhang Zh., Zhang Y., Wang Zh., Zhang J., Deng B., Qiu Zh., Fu Ch. *Journal of Ethnopharmacology*, 2021, vol. 268, pp. 1–17. DOI: 10.1016/j.jep.2020.113586.
3. Gerontakos S., Taylor A., Avdeeva A.Y., Shikova V.A., Pozharitskaya O.N., Casteleijn D., Wardle J., Shikov A.N. *Journal of Ethnopharmacology*, 2021, vol. 278(3), pp. 1–13. DOI: 10.1016/j.jep.2021.114274.
4. Komarova A.A., Stepanova T.A. *Dal'nevostochnyy meditsinskiy zhurnal*, 2018, no. 2, pp. 65–70. (in Russ.).
5. Li T., Ferns K., Yan Z.Q., Yin S.Y., Kou J.J., Li D., Zeng Z., Yin L., Wang X., Bao H.X., Zhou Y. J., Li Q.H., Zhao Zh.Y., Liu H., Liu Sh.L. *The American Journal of Chinese Medicine*, 2016, vol. 44(8), pp. 1–16. DOI: 10.1142/S0192415X16500865.
6. Yang S., Song F.X. *Chinese Journal of Pharmaceutical Analysis*, 2014, vol. 34, pp. 958–965.
7. Huang L., Zhao H., Huang B., Zheng Ch., Peng W., Qin L. *Pharmazie*, 2011, vol. 66(2), pp. 83–97.
8. Sun Y.L., Liu L.D., Hong S.K. *Journal of Medicinal Plants Research*, 2011, vol. 25, pp. 5946–5952. DOI: 10.5897/JMPR11.728
9. Tang W.C., Eisenbrand G. *Chinese Drugs of Plant Origin, Subtitle: Chemistry, Pharmacology and Use in Traditional and Modern Medicine*. Berlin, 1992, 1056 p.
10. Minyayeva O.A. *Nauchnoye obozreniye. Biologicheskkiye nauki*, 2016, no. 6, pp. 43–47. (in Russ.).
11. Nesterov S.V., Yaguzhinskiy L.S., Podoprigora G.I., Nartsissov Ya.R. *Biokhimiya*, 2020, vol. 85, no. 4, pp. 459–475. DOI: 10.31857/S0320972520040016. (in Russ.).
12. Lomboyeva S.S., Olennikov D.N., Tankhayeva L.M. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya*, 2010, no. 1, pp. 109–114. (in Russ.).
13. Karzhaubekova Zh.Zh., Gemedzhiyeva N.G., Nabyeva Zh.S. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya*, 2016, no. 4, pp. 123–130. DOI: 10.14258/jcprm.2016041347.
14. Trineyeva O.V., Rudaya M.A., Slivkin A.I., Dubovitskikh M.A. *Sorbtsionnyye i khromatograficheskiye protsessy*, 2020, vol. 20, no. 2, pp. 277–283. DOI: 10.17308/sorpchrom.2020.20/2783. (in Russ.).
15. Shi X., Yang Y., Ren H., Sun Sh., Mu L.T., Chen X., Wang Y., Zhang Y., Wang L.H., Sun Ch. *Phytochemistry Letters*, 2020, vol. 35, pp. 175–185.
16. *Gosudarstvennaya Farmakopeya Rossiyskoy Federatsii, XIV izd.* [State Pharmacopoeia of the Russian Federation, XIV ed.]. Moscow, 2018, pp. 6649–6660. (in Russ.).
17. *Pharmacopoeia of the People's Republic of China*. Beijing, 2015, pp. 215–215.
18. York W.S., Darvill A.G., McNeil M., Stevenson T.T., Albersheim P. *Methods in enzymology*, 1986, vol. 118, pp. 3–40.
19. *Standard Reference Data Program, National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, MD. Standard Reference Database IA*. URL: <http://www.nist.gov/srd/nist1a.htm>.
20. *Gosudarstvennaya Farmakopeya Rossiyskoy Federatsii, XIV izd.* [State Pharmacopoeia of the Russian Federation, XIV ed.]. Moscow, 2018, pp. 289–316. (in Russ.).
21. Stepanov A., Aseeva T., Dubrovin K. *Smart Innovation, Systems and Technologies*, 2022, vol. 245, pp. 349–358.

Received July 12, 2022

Revised December 7, 2022

Accepted May 17, 2023

For citing: Komarova A.A., Stepanova T.A., Prokopyev I.A. *Khimiya Rastitel'nogo Syr'ya*, 2023, no. 3, pp. 193–200. (in Russ.). DOI: 10.14258/jcprm.20230311670.