

## ФЕНОТИПИЧЕСКАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ АМИНОКИСЛОТНОГО И ЖИРНОКИСЛОТНОГО СОСТАВА ЛИСТЬЕВ СТЕВИИ

Я. О. Рудаков<sup>1</sup>, О. Б. Рудаков<sup>2</sup>, Л. В. Рудакова<sup>3</sup>, В. Ф. Селеменев<sup>1</sup>

<sup>1</sup> ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет»

<sup>2</sup> ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет»

<sup>3</sup> ФГБОУ ВО «Воронежский государственный медицинский университет им. Н.Н. Бурденко»

Поступила в редакцию 20.10.2021 г.

**Аннотация.** В последние годы заметно возрос прикладной и научный интерес к стевии (*Stevia rebaudiana* Bertoni). Это связано с наличием в листьях стевии дитерпеновых гликозидов (стевиозидов) – натуральных сахарозаменителей, превосходящих по сладости сахарозу в 50-300 раз, безопасных для человека при длительном употреблении. Стевию интродуцировали во многих странах. Из стевии производят различные подсластители в виде экстрактов, порошка и таблеток. Листья и гликозиды стевии используют в технологиях производства газированных напитков, чаев, йогуртов, выпечки и мороженого. Но биологическая ценность растения заключается не только в наличии гликозидов, немаловажное значение имеет аминокислотный и жирнокислотный состав растительного сырья. В работе был выполнен статистический анализ данных о биохимическом брутто-составе, аминокислотном и жирнокислотном составе листьев стевии, выращенной в разных географических зонах. Были установлены характерные соотношения для протеиногенных аминокислот и высших жирных кислот, обнаруженных в высушенных листьях стевии. Для статистического анализа данных было использовано построение в табличном процессоре Microsoft Excel 2019 матриц парных корреляций. Достаточно тесные линейные корреляции, для которых абсолютное значение коэффициента  $|R| > 0.70$  выявлены для 25 пар аминокислот. Значимые прямые (симбатные) корреляции наблюдаются между содержанием глицина, аланина и пролина при изменении состава белков. Содержание фенилаланина прямо пропорционально содержанию аланина, тирозина и аргинина. Содержание валина тесно связано с содержанием треонина и аргинина. Асимбатные корреляции характерны для таких пар аминокислот, как серин с глицином, пролином, валином и лизином. Есть прямые и обратные корреляции между суммарным содержанием протеина и отдельными аминокислотами. Значимые корреляции наблюдаются также между высшими жирными кислотами, выделенными из жировой фазы листьев стевии. Заметная конкуренция наблюдается между пальмитиновой и стеариновой кислотой (асимбатные тренды), аналогичные взаимосвязи наблюдаются между пальмитиновой и олеиновой и линолевой кислотами. В тоже время содержание олеиновой и линолевой кислот варьируют в жирном масле симбатно. Имеется несколько трендов между общим содержанием жирного масла в сырье и отдельными жирными кислотами.

Найденные корреляции могут быть полезными в идентификации растительного сырья, а также в биологических, биохимических, фармакологических, диетологических и агрономических исследованиях.

**Ключевые слова:** стевия, аминокислоты, высшие жирные кислоты, фенотипическая изменчивость, биоинформатика

Стевия (*Stevia rebaudiana* Bertoni) – многолетний полукустарник семейства Asteraceae, в диком виде это растение произрастает в предгорьях Амамбай на северо-востоке Парагвая и соседних к нему регионах Бразилии и Аргентины. В по-

следние двадцать лет заметно возрос прикладной и научный интерес к этому растению, что связано с наличием в листьях стевии дитерпеновых гликозидов (стевиозидов) – натуральных сахарозаменителей, превосходящих по сладости сахарозу в 50-300 раз и практически безопасных для человека при длительном употреблении [1-16]. Так, с 2001 по 2021 г. в международной библио-

© Рудаков Я. О., Рудаков О. Б., Рудакова Л. В., Селеменев В.Ф., 2022

графической базе данных Web of Science зарегистрировано более 900, а в электронной научной библиотеке Elibrary.ru более 2000 публикаций, посвященных стевии и стевиозидам. При этом если в начале 2000-ных в год публиковалось 1-2 статьи, в настоящее время – более 100 в год. Это связано с тем, что стевию интродуцировали во многих странах. Япония была первой страной, в которой выращивание и переработку стевии поставили на промышленный уровень, затем ее начали культивировать в значительных объемах в странах Азии – Китае, Малайзии, Сингапуре, Южной Корее, Тайване и Таиланде. В настоящее время ее также выращивают в США, Канаде, Южной Америке, Израиле, Филиппинах, Гавайях, странах Евросоюза, Восточной Европе и в России [1-8].

Из стевии производят различные подсластители в виде экстрактов, порошка и таблеток. Листья и гликозиды стевии используют в технологиях производства газированных напитков, чаев, йогуртов, выпечки и мороженого. Они также являются компонентами зубных паст, жидкостей для полоскания рта и жевательной резинки [1].

Дитерпеновые гликозиды стевии, структурной основой которых является агликон стевиол, определяющие аномальную сладость листьев стевии идентифицированы и выделены в чистом виде [1]. Три из них, как правило, содержатся в листьях в наибольших количествах: стевиозид (5-10%), ребаудиозид А (2-4%), дулькозид А (0.4-0.7%) от массы сухих листьев [1]. К настоящему моменту в стевии идентифицировано еще около 40 минорных гликозидов, отличающихся количеством и типом остатков моноз, присоединенных к агликону стевиолу. Это остатки глюкозы, рамнозы, ксилозы, фруктозы и дезоксиглюкозы, присоединенные через  $\alpha$ - или  $\beta$ -гликозидные связи к агликону. Общее содержание гликозидов в сухих листьях зависит от генотипа и условий выращивания стевии и может варьировать от 4 до 20%. Из полисахаридов наиболее часто приводятся данные о содержании сырой клетчатки, которая составляет 10.5-18.5%. Ценность клетчатки состоит в том, что под ее влиянием в желудке человека замедляется эвакуация пищи, создается длительное чувство насыщения, ограничивающее потребление высококалорийной пищи, что способствует похудению. Содержание белка в листьях стевии также значительно и составляет, по данным разных авторов, от 6.6 до 20.4%. Наиболее подробно изучено содержание аминокислот. Было идентифицировано в листьях стевии до 17 аминокислот, в том числе 9 незаменимых [1-5].

Биологическая ценность растительного сырья обусловлена более или менее сбалансированным составом протеиногенных аминокислот (АК), а именно определенным соотношением незаменимых и заменимых АК, входящих в состав белков. На конкретный аминокислотный состав белков в растениях оказывает влияние много факторов – генотипических и фенотипических. Аналогичные заключения можно сделать и о составе жирных кислот (ЖК), входящих в триацилглицерины (масла), и, возможно, о составе углеводов.

Целью настоящей работы был статистический анализ данных о биохимическом брутто-составе и аминокислотном и жирнокислотном составе листьев стевии, выращенной в разных географических зонах. Представлялось интересным установить наличие наиболее характерных соотношений для протеиногенных АК и высших жирных кислот (ЖК).

Такого рода исследования входят в междисциплинарную область науки – биоинформатику, объединяющую общую биологию, молекулярную биологию, генетику, химию, компьютерные науки, математическую статистику. Биоинформатика главным образом направлена на получение, анализ, хранение и визуализацию биологических данных, ее цель – способствовать пониманию биологических процессов [17]. Одним из алгоритмов, применяемых в биоинформатике является построение матрицы корреляций биологических данных, из которой вычлняются тесные ( $R \geq 0.80$ ) и значимые парные корреляции ( $R \geq 0.50$ ). Найденные корреляции позволяют выявить генотипические и фенотипические факторы, наиболее сильно влияющие на биологический объект, в нашем случае, на содержание АК и ЖК в конкретном растительном сырье. Найденные соотношения могут быть полезными для решения практических и теоретических проблем, возникающих при анализе биологических данных.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Для создания матриц корреляций и статистического анализа были использованы результаты исследований, приведенные в обзоре [1] и первоисточниках, цитируемых в нем. В табл. 1, 2, 5 приведены диапазоны варьирования усредненных данных по биохимическому составу листьев стевии, выращенной в разных регионах. Парные корреляции определяли в табличном процессоре Microsoft Excel 2019. Всего для анализа исполь-

зовано 129 экспериментальных результатов, для каждого из которых в первоисточниках указано, что они получены усреднением не менее 2 повторных измерений, выполненных с относительной погрешностью от 10 до 25% от определяемой величины.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Рассмотрение начнем с данных о брутто-составе, которые могут быть полезными для биоинформатики и отраслей науки, которые пользуются ее результатами, а именно по соотношениям основных компонентов сырья – воды, белков, жиров, золы, углеводов и клетчатки (табл. 1), взятые из работ [1, 3, 5-12].

Содержание клетчатки и золы в листьях симбатно увеличивается с количеством в них воды, жировая фаза не коррелирует ни с одним компонентом биохимического состава, а вот между белками, углеводами и клетчаткой наблюдается конкуренция, при увеличении доли белка в листьях обратно пропорционально падает содержание как углеводов ( $W_{\text{углеводы}} = 89.1W_{\text{белок}} - 2.1$ ,  $R = -0.82$ ), так и клетчатки ( $W_{\text{клетчатка}} = 38.6W_{\text{белок}} - 2.1$ ,  $R = -0.96$ ). На рис. 1 приведена в качестве демонстрации корреляция между содержанием белка и клетчатки в разных образцах сырья. Тесная корреляция заметна и в соотношениях золы и углеводов: чем больше золы, тем меньше углеводов ( $W_{\text{углеводы}} = 76.9W_{\text{зола}} - 2.7$ ,  $R = -0.89$ ),

При рассмотрении данных по аминокислотному составу в листьях стевии, приведенных в публикациях [1-5] (табл. 2) установлены достаточно тесные линейные корреляции (табл.3), т.е. такие, для которых абсолютное значение коэффициента парной корреляции  $|R| > 0.70$ . В табл. 3 приведена не вся матрица корреляций, а только наиболее значимые, хотя следует отметить, что даже корреляции с  $R > 0.50$  в статистическом анализе принято считать не случайными. Как видим, глицин, аланин и пролин, лейцин и изолейцин, тирозин и фенилаланин симбатно меняются при изменении состава белков. Содержание фенилаланина

коррелирует с содержанием аланина, суммы лейцина и изолейцина, тирозина и лизина. На рис. 2 приведен пример симбатной корреляции между содержанием фенилаланина и суммой лейцина и изолейцина в листьях стевии. Содержание валина тесно связано с содержанием треонина и аргинина. Асимбатные корреляции характерны для таких пар АК, как серин с глицином, пролином, валином и лизином. Есть прямые и обратные корреляции между суммарным содержанием протейна и отдельными АК. Соотношение некоторых АК в выборке изменяется незначительно, в этом случае корреляции исчезают вовсе.

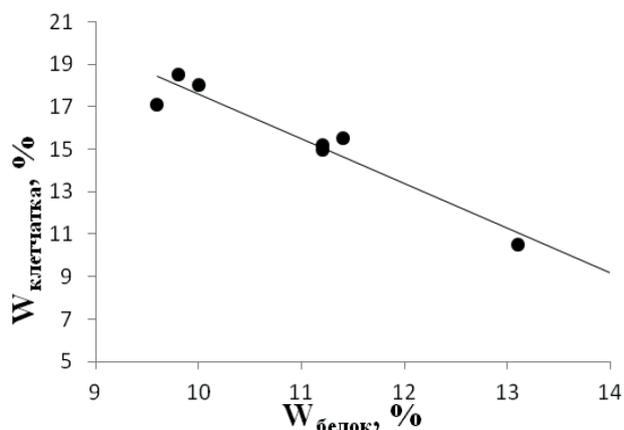


Рис. 1. Корреляция соотношений  $W_{\text{белок}}/W_{\text{клетчатка}}$  в сухих листьях стевии

Найденные тренды, безусловно, необходимо уточнять на более массивных выборках. Однако в самом их наличии не приходится сомневаться. Эти изменения соотношений АК связаны с разным соотношением белков, выполняющих разные функции в растении при изменении условий созревания. Кстати, об этом косвенно говорит и наличие корреляции «общий белок/клетчатка», выявленной для рассматриваемой выборки (рис.1).

Не только аминокислотный состав, но и жирнокислотный состав листьев стевии обнаруживает определенные взаимосвязи, обусловленные биохимическими процессами, протекающими в зависимости от генотипических и фенотипических факторов. В табл. 5 приведены данные о

Таблица 1.

Биохимический состав сухих листьев стевии (г/100 г сухой массы)

Компонент	Бразилия [6]	Парагвай [7, 8]	Египет [9, 12]	Индия [3, 5, 10]	Бангладеш [11]
Вода	4.7	н/о*	7.0	5.4	н/о
Белок	11.2	11.2	9.8	11.4	9.6
Жир	1.9	5.6	2.5	3.7	3.5
Зола	6.3	н/о	10.5	7.4	3.1
Углеводы	н/о	53.0	52.0	61.9	66.5
Клетчатка	15.2	15.0	18.5	15.5	17.1

\*н/о – не определяли

Таблица 2.

Усредненное содержание аминокислот в листьях стевии, выращенной в разных географических зонах, % [1-5].

Аминокислота	Крым	Краснодар	Пенза	Тверь	Индия	Парагвай
Глицин	0.68	0.4	0.45	0.55	0.63	0.41
Аланин	0.83	0.53	0.48	0.58	0.73	0.63
Валин	0.76	0.44	0.82	0.78	0.66	0.54
Лейцин + Изолейцин	0.85	0.51	0.48	0.58	0.75	0.61
Пролин	0.61	0.44	0.56	0.68	0.62	0.54
Фенилаланин	0.68	0.42	0.41	0.45	0.58	0.52
Тирозин	0.36	0.24	0.23	0.26	0.26	0.27
Метионин	0.11	0.14	0.19	0.09	0.16	0.13
Лизин	0.58	0.44	0.43	0.60	0.57	0.58
Аргинин	0.67	0.48	0.65	0.53	0.48	0.54
Гистидин	0.22	0.11	0.16	0.17	0.12	0.21
Серин	0.76	1.03	0.77	0.87	0.78	0.93
Треонин	0.77	0.45	0.85	0.80	0.67	0.55
Протеин (суммарное содержание)	17.3	19.1	18.4	18.0	18.7	18.9

Таблица 3.

Значимые линейные тренды для аминокислот  $y=ax+b$  и степени парной корреляции

Соотношения аминокислот	Тренд	R
глицин/пролин	$y = 0.50x + 0.32$	0.71
глицин/аланин	$y = 0.91x + 0.15$	0.83
глицин/серин	$y = -0.66x + 1.20$	-0.73
глицин/тирозин	$y = 0.28x + 0.13$	0.71
глицин/лизин	$y = 0.38x + 0.33$	0.59
глицин/фенилаланин	$y = 0.71x + 0.14$	0.80
глицин/лейцин+изолейцин	$y = 1.06x + 0.08$	0.87
глицин/сум	$y = -4.20x + 20.58$	-0.75
пролин/серин	$y = -0.89x + 1.37$	-0.68
пролин/лизин	$y = 0.67x + 0.15$	0.72
пролин/валин	$y = 1.40x - 0.14$	0.77
пролин/треонин	$y = 1.42x - 0.14$	0.75
пролин/сум	$y = -5.27x + 21.43$	-0.66
аланин/тирозин	$y = 0.31x + 0.07$	0.88
аланин/лизин	$y = 0.41x + 0.28$	0.69
аланин/фенилаланин	$y = 0.80x + 0.01$	0.99
аланин/лейцин+изолейцин	$y = 1.09x - 0.06$	0.99
аланин/сум	$y = -2.82x + 20.17$	-0.56
серин/валин	$y = -1.18x + 1.68$	-0.85
серин/треонин	$y = -1.21x + 1.72$	-0.84
серин/аргинин	$y = -0.48x + 0.97$	-0.63
серин/сум	$y = 4.05x + 14.93$	0.66
тирозин/лизин	$y = 0.94x + 0.28$	0.57
тирозин/фенилаланин	$y = 2.03x - 0.04$	0.89
тирозин/лейцин+изолейцин	$y = 2.66x - 0.09$	0.86
тирозин/гистидин	$y = 0.67x - 0.02$	0.69
тирозин/сум	$y = -11.01x + 21.37$	-0.77
лизин/фенилаланин	$y = 0.87x + 0.05$	0.63
лизин/метионин	$y = -0.33x + 0.31$	-0.70
лизин/лейцин+изолейцин	$y = 1.26x - 0.04$	0.67
валин/треонин	$y = 1.04x - 0.01$	0.99
валин/аргинин	$y = 0.37x + 0.31$	0.67
валин/сум	$y = -3.31x + 20.60$	-0.75
фенилаланин/лейцин+изолейцин	$y = 1.34x - 0.05$	0.99
фенилаланин/сум	$y = -3.60x + 20.23$	-0.57
треонин/аргинин	$y = 0.36x + 0.31$	0.67
треонин/сум	$y = -3.10x + 20.51$	-0.73
Лейцин+изолейцин/сум	$y = -2.73x + 20.11$	-0.59
гистидин/аргинин	$y = 1.24x + 0.35$	0.67
гистидин/сум	$y = -9.06x + 19.89$	-0.62
аргинин/сум	$y = -5.80x + 21.64$	-0.73

Таблица 5.

Жирнокислотный состав жирного масла листьев стевии [1, 3, 5-12].

Жирные кислоты	Индия	Парагвай	Украина	Узбекистан
Миристиновая (C14:0)	0	0.6	0.88	1.1
Пальмитиновая (C16:0)	27.5	29.5	15.7	40.5
Пальмитолеиновая (C16:1)	1.3	3.0	1.3	4.1
Стеариновая (C18:0)	1.2	4.0	3.7	1.2
Олеиновая (C18:1)	4.4	9.9	15.4	9.0
Линолевая (C18:2)	12.4	16.8	40.2	11.6
Линоленовая (C18:3)	21.6	36.2	19.2	31.4
Сумма липидов г/100 г	4.3	2.6	4.7	1.6

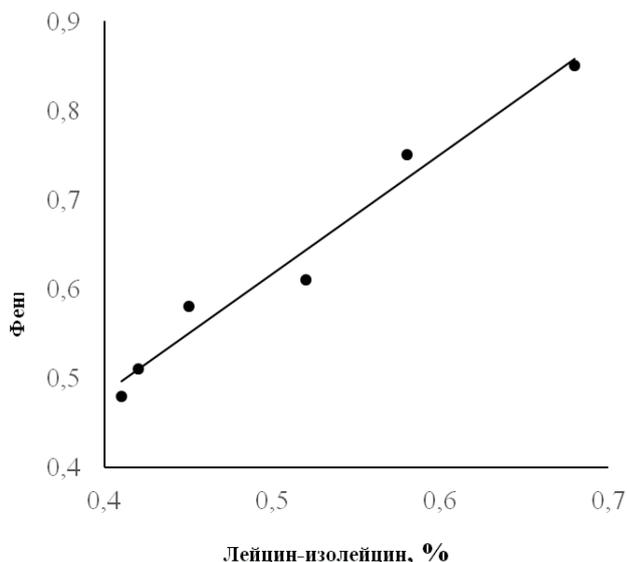


Рис. 2. Корреляция между содержанием фенилаланина и суммы лейцина и изолейцина в листьях стевии

Таблица 6.

Значимые линейные тренды для жирных кислот жирного масла стевии  $y=ax+b$  и степени парной корреляции

Соотношение жирных кислот	Тренд	R
C14:0/C16:1	$y = 1.8x + 1.3$	0.61
C14:0/C18:1	$y = 6.5x + 5.5$	0.69
C16:0/C16:1	$y = 0.12x - 0.88$	0.86
C16:0/C18:0	$y = -0.1x + 5.1$	-0.60
C16:0/C18:1	$y = -0.2x + 16.6$	-0.55
C16:0/C18:2	$y = -1.15x + 52.67$	-0.86
C16:0/C18:3	$y = 0.5x + 11.8$	0.68
C16:0/сум	$y = -0.13x + 6.96$	-0.90
C16:1/C18:3	$y = 4.85x + 15.32$	0.83
C16:1/сум	$y = -1.05x + 5.85$	-0.99
C18:0/C18:1	$y = 2.1x + 4.3$	0.72
C18:1/C18:2	$y = 2.63x - 5.19$	0.88
C18:2/C18:3	$y = -0.3x + 33.9$	-0.56
C18:2/сум	$y = 0.07x + 1.92$	0.63
C18:3/сум	$y = -0.16x + 7.53$	-0.86

составе ЖК, а в табл. 6 – установленные корреляционные соотношения. Заметна конкуренция между пальмитиновой и стеариновой кислотой (асимбатные тренды), аналогичные взаимосвязи

между пальмитиновой и олеиновой и линолевой кислотами, содержание которых в свою очередь меняется симбатно. Имеется несколько трендов между общим содержанием жирного масла в сырье и отдельными ЖК.

Обнаруженные тенденции и тренды необходимо уточнять и проверять в дальнейших исследованиях, дополняя матрицу данных, но уже на этой стадии системного анализа можно сделать определенные выводы и использовать их в биоинформатике. Было бы полезно сверить полученные результаты с климатическими данными, как это сделано в работах [19-21], посвященных биохимическому составу расторопши пятнистой. Так, на примере этого растения установлено, что в растениях, выросших на более кислых почвах, в белке увеличивается содержание глутаминовой кислоты, аспарагина и триптофана, уменьшается доля треонина, лизина, пролина и серина. На температурные факторы реагирует содержание глутаминовой кислоты, валина, серина, треонина, лизина и триптофана. Факторы освещенности влияют асимбатно на содержание в белке аланина, лейцина, изолейцина и гистидина – чем больше солнечных дней, тем ниже в белке содержание этих кислот. Влажность и наличие осадков имеют значение для таких АК как триптофан, глутаминовая кислота (симбатные тренды), аспарагин, серин (асимбатные тренды).

Есть некоторые отрывочные данные и для стевии, для которой аналогично наблюдается непостоянство содержания АК и ЖК, которое зависит от условий выращивания. Установлено, что при недостаточном содержании азота и молибдена в грунте количество свободных АК в наземной части значительно снижается. При внесении удобрений в грунт под плантациями стевии наблюдали резкое уменьшение метионина до полного отсутствия. Общее содержание АК не изменялось при внесении небольшого количества удобрений и возрастало на 70 % при повышенном содержании калия [1].

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Статистический анализ выборки данных по аминокислотному и жирнокислотному составу листьев стевии показал наличие значимых природных корреляций между содержанием этих компонентов в растительном сырье при варьировании условий выращивания стевии. Выявленные биохимические тренды в составе аминокислот и жирных кислот листьев стевии могут быть использованы в идентификации происхождения растительного сырья, а также в дальнейших биологических, биохимических, фармакологических и диетологических исследованиях. Вместе с тем, рассмотренный массив данных далеко не исчерпывает имеющиеся в научной периодике результаты аминокислотного анализа, и, строго говоря, не является однозначно репрезентативным. Выводы из выполненного статистического анализа имеют предварительный характер, однако они должны нацелить профильных специалистов на проверку обнаруженных тенденций и трендов.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кочетов А.А., Синявина Н.Г. // Химия растительного сырья. 2021. №2. С. 5-27.
2. Курдюков Е.Е., Семенова Е.Ф., Водопьянова О.А., Моисеев Я.П., Роди-на О.П., Полубояринов П.А. // Химия растительного сырья. 2021. №1. С. 113-119.
3. Tadhani M., Subhash R. // J. Medical Sci. 2006. Vol. 6, pp. 321-326.
4. Atteh J., Onagbesan O., Tona K., Buysel J., Decuypere E., Geuns J. // Ar-chivos de zootecnia. 2011. Vol. 60. № 229, pp. 133-136.
5. Кузнецова И.В. // Вестник Белорусской государственной сельскохозяйственной академии. 2014. № 1. С. 106-110.
6. Mishra P., Singh R., Kumar U., Prakash V. // Global. J. Biotech. Biochem. 2010. Vol. 5, pp. 62-74.
7. Goyal S.K., Samsher G.R.K., Goyal R.K. // Int. J. Food Sci. Nutr. 2010. Vol. 61. №1, pp. 1-10.
8. Serio L. // Phytothérapie. 2010. Vol. 8, pp. 26-32.
9. Savita S.M., Sheela K., Sunanda S., Shankar A.G., Ramakrishna P. // Jour-nal of Human Ecology. 2004. Vol. 15. № 4, pp. 261-264.
10. Abou-Arab A.E., Abou-Arab A.A., Abu-Salem M.F. // African Journal of Food Science. 2010. Vol. 4. № 5, pp. 269-281.
11. Kaushik R., Pradeep N., Vamshi V., Geetha M., Usha A. // J. Food Sci. Technol. 2010. Vol. 47. № 1, pp. 27-33.
12. Shuvo M.M.A., Mohammad A.M., Chowdhury T., Absar N., Hasanuzzaman M. // International Journal of Applied Sciences and Biotechnology. 2015. Vol. 3. № 4, pp. 721-726.
13. El-Nassag D.E., Ghamry H.I., Elhassaneen Y.A. Stevia // Journal of Studies and Searches of Specific Education. 2019. Vol. 5. № 1, pp. 157-180.
14. Рудаков О.Б., Верзилина Н.Д., Федоров С.А., Полянский К.К. // Молочная промышленность. 2004. №7. С. 54-55
15. Рудаков О.Б., Рудакова Л.В. // Кондитерское и хлебопекарное производ-ство. 2008. №9. С. 23-26.
16. Полянский К.К., Рудаков О.Б., Г.К. Подпороинова, Хрипушин В.В., Верзилина Н.Д. Натуральные и искусственные подсластители: свойства и экспертиза качества. Москва. ДелиПринт. 2009. 252 с.
17. Нефедов Е.И., Субботина Т.И., Яшин А.А. Современная биоинформа-тика // Москва. Горячая линия-Телеком. 2005. 272 с.
18. Рудаков, О.Б. Рудакова Л.В., Букша М.С. // Сорбционные и хроматографические процессы. 2020. Т. 20. № 1. С. 8-21.
19. Рамазанов А.Ш., Балаева Ш.А., Рудаков О.Б., Селеменев В.Ф. Сорбционные и хроматографические процессы. 2021. Т. 21. № 5. С. 697-707
20. А.Ш. Рамазанов, Ш.А. Балаева, Рудаков О.Б., Саранов И.А. // Химия растительного сырья. 2021. №4. С. 207-215.
21. Рудаков О.Б., И. А. Саранов, Ш.А. Балаева, А. Ш. Рамазанов, Я. О. Рудаков // Журнал аналитической химии. 2021. Т.76. №12. С.1137-1145.

ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет»

Рудаков О. Б., д.х.н., зав. кафедрой химии и химической технологии материалов

E-mail: robi57@mail.ru

Voronezh state technical University

Rudakov O. B., PhD., DSci., head of Department of chemistry and chemical technology of materials of Voronezh.

E-mail: robi57@mail.ru

Рудаков Я. О., Рудаков О. Б., Рудакова Л. В., Селеменев В. Ф.

ФГБОУ ВО «Воронежский государственный  
медицинский университет»

Рудакова Л. В., д.х.н., зав. кафедрой фармацев-  
тической химии и фармацевтической технологии  
E-mail: vodoley65@mail.ru

ФГБОУ ВО «Воронежский государственный  
университет»

Рудаков Я. О., аспирант, кафедра аналитиче-  
ской химии  
e-mail: voroneth36@gmail.com

Селеменев В. Ф. д.х.н., профессор, кафедра  
аналитической химии

Voronezh state medical University  
Rudakova L. V., PhD., DSci., head of Department  
of pharmaceutical chemistry and pharmaceutical  
technology  
E-mail: vodoley65@mail.ru

Voronezh State University  
Rudakov Y. O., postgraduate student, Department  
of analytical chemistry  
e-mail: voroneth36@gmail.com

Selemenev V. F., PhD., DSci., Department of  
analytical chemistry

## PHENOTYPIC VARIABILITY OF THE AMINO ACID AND THE FATTY ACID COMPOSITION OF STEVIA LEAVES

Ya. O. Rudakov<sup>1</sup>, O. B. Rudakov<sup>2</sup>, L. V. Rudakova<sup>3</sup>, V. F. Selemenev<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Voronezh State University

<sup>2</sup> Voronezh State Technical University

<sup>3</sup> Voronezh State Medical University

**Abstract.** In recent years, applied and scientific interest in stevia (*Stevia rebaudiana* Bertoni) has increased markedly. This is due to the presence of diterpene glycosides (steviosides) in stevia leaves – natural sweeteners that are 50-300 times sweeter than sucrose, safe for humans with prolonged use. Stevia has been introduced in many countries. Various sweeteners are produced from stevia in the form of extracts, powder and tablets. Stevia leaves and glycosides are used in the production of carbonated drinks, teas, yogurts, pastries and ice cream. But the biological value of the plant lies not only in the presence of glycosides, the amino acid and fatty acid composition of plant materials is of no small importance. A statistical analysis of data on the biochemical gross composition, amino acid and fatty acid composition of leaves of stevia grown in different geographic data was carried out. The characteristic ratios were established for proteinogenic amino acids and higher fat acid acids found in dried stevia leaves. For statistical analysis of the data, we used the construction of pair correlation matrices by the Microsoft Excel 2019 spreadsheet processor. Rather close linear correlations (the absolute value of the coefficient  $|R| > 0.70$ ) were found for 25 pairs of amino acids. Significant direct (sympate) correlations are observed between the content of glycine, alanine, and proline with changes in the composition of proteins. The phenylalanine content is directly proportional to the alanine, tyrosine and arginine content. Valine content is closely related to threonine and arginine content. Asympate correlations are characteristic of such pairs of amino acids as serine with glycine, proline, valine, and lysine. There are direct and inverse correlations between the total protein content and individual amino acids. Significant correlations are also observed between higher fatty acids isolated from the fatty phase of stevia leaves. A noticeable competition is observed between palmitic and stearic acid (asympate trends), similar relationships are observed between palmitic and oleic and linoleic acids, at the same time, the content of oleic and linoleic acids in the fatty oil varies sympatically. There are several trends between the total fatty oil content of raw materials and individual fatty acids.

The found correlations can be useful in the identification of plant materials, as well as in biological, biochemical, pharmacological, nutritional and agronomic research.

**Key words:** stevia, amino acids, higher fatty acids, phenotypic variability, bioinformatics

### REFERENCES

1. Kochetov A.A., Sinyavina N.G. *Ximiya rastitel'nogo sy'r'ya*, 2021, No. 2, pp. 5-27.

2. Kurdyukov E.E., Semenova E.F., Vodop'yanova O.A., Moiseev Ya.P., Rodina O.P., Poluboyarinov P.A. *Ximiya rastitel'nogo sy'r'ya*, 2021, No. 1, pp. 113-119.

3. Tadhani M., Subhash R. J. Medical Sci., 2006, Vol. 6, pp. 321-326.
4. Atteh J., Onagbesan O., Tona K., Buyse J., De-cuypere E., Geuns J. Archivos de zoo-tecnia, 2011, Vol. 60, No. 229, pp. 133-136.
5. Kuzneczova I.V. Vestnik Belorusskoj gosudarstvennoj sel'skoxozyajstvennoj akademii, 2014, No. 1, pp. 106-110.
6. Mishra P., Singh R., Kumar U., Prakash V. Global. J. Biotech. Biochem., 2010, Vol. 5, pp. 62-74.
7. Goyal S.K., Samsher G.R.K., Goyal R.K. Int. J. Food Sci. Nutr., 2010, Vol. 61, No. 1, pp. 1-10.
8. Serio L. Phytothérapie, 2010, Vol. 8, pp. 26-32.
9. Savita S.M., Sheela K., Sunanda S., Shankar A.G., Ramakrishna P. Journal of Human Ecology, 2004, Vol. 15, No. 4, pp. 261-264.
10. Abou-Arab A.E., Abou-Arab A.A., Abu-Salem M.F. African Journal of Food Science, 2010, Vol. 4, No. 5, pp. 269-281.
11. Kaushik R., Pradeep N., Vamshi V., Geetha M., Usha A. J. Food Sci. Technol., 2010, Vol. 47, No. 1, pp. 27-33.
12. Shuvo M.M.A., Mohammad A.M., Chowdhury T., Absar N., Hasanuzzaman M. Inter-national Journal of Applied Sciences and Biotechnology, 2015, Vol. 3, No. 4, pp. 721-726.
13. El-Nassag D.E., Ghamry H.I., Elhassaneen Y.A. Stevia Journal of Studies and Searches of Specific Education, 2019, Vol. 5, No. 1, pp. 157-180.
14. Rudakov O.B., Verzilina N.D., Fedorov S.A., Polyanskij K.K. Molochnaya pro-my'shlennost', No. 7, 2004, pp. 54-55.
15. Rudakov O.B., Rudakova L.V. Konditerskoe i xlebopekarnoe proizvodstvo, No. 9, 2008, pp. 23-26.
16. Polyanskij K.K., Rudakov O.B., G.K. Podporinova, Xripushin V.V., Verzilina N.D. Natural'ny'e i iskusstvenny'e podslastiteli: svoystva i e'kspertiza kachestva. Moscow, DeliPrint, 2009, 252 p.
17. Nefedov E.I., Subbotina T I., Yashin A.A. Sovremennaya bioinformatika. Moscow, Goryachaya liniya-Telekom, 2005, 272 p.
18. Rudakov, O.B. Rudakova L.V., Buksha M.S. Sorbcionny'e i xromatograficheskie processy', 2020, Vol. 20, No. 1, pp. 8-21.
19. Ramazanov A.Sh., Balaeva Sh.A., Rudakov O.B., Selemenov V.F. Sorbcionny'e i xromatograficheskie processy', 2021, Vol. 21, No. 5, pp. 697-707.
20. A.Sh. Ramazanov, Sh.A. Balaeva, Rudakov O.B., Saranov I.A. Ximiya rastitel'nogo sy'r'ya, 2021, No. 4, pp. 207-215.
21. Rudakov O.B., Saranov I.A., Balaeva Sh. A., Ramazanov A. Sh., Rudakov Ya. O. Journal of Analytical Chemistry, 2021, Vol. 76, No. 12, pp. 1468-1475.