

СОДЕРЖАНИЕ И ОЦЕНКА АМИНОКИСЛОТ В ЛИСТЬЯХ СИЛЬФИИ ПРОНЗЕННО-ЛИСТНОЙ ПЕРВОГО ГОДА ЖИЗНИ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ТИПА ПОЧВ И УРОВНЯ АЗОТНОГО ПИТАНИЯ

ЧЖАО СЮЭПИН, Б. В. ШЕЛЮТО

УО «Белорусская государственная орденов Октябрьской Революции и Трудового Красного Знамени сельскохозяйственная академия», г. Горки, Республика Беларусь, 213407

(Поступила в редакцию 28.03.2025)

В данной работе были определены типы и содержание аминокислот в листьях сильфии пронзеннолистной первого года жизни при различных почвенных и минеральных условиях, а также проведена оценка аминокислот в соответствии со стандартами CS и AAS.

Результаты показали, что в листьях первого года сильфии было обнаружено 19 видов аминокислот, 8 из которых были незаменимыми. Аминокислотой с относительно высоким содержанием был аспарагин, достигающей 14965,66 мг/г. Не было выявлено никакой разницы в типах аминокислот в разных почвенных условиях, однако содержание аспарагина в красном грунте было значительно выше, чем в песчаном. Аминокислоты, присутствующие в умеренных количествах, включают глутаминовую кислоту, аргинин, аланин, тирозин, метионин, изолейцин, лейцин, фенилаланин и лизин. К аминокислотам с низким содержанием относятся цистин, серин, глицин, валин, пролин и глутамин. Азотное питание также оказывает определенное влияние на содержание аминокислот. Увеличение азотных удобрений может значительно увеличить содержание аспарагина. В красном грунте содержание гистидина и аргинина значительно увеличилось с увеличением норм азотного питания. Треонин не был обнаружен ни в одном из экспериментальных условий. Проведена оценка биологической ценности аминокислот в соответствии со стандартами AAS («аминокислотный скор») и CS («химическое число») показывающая, что состав незаменимых аминокислот в листьях сильфии первого года жизни несбалансирован, а содержание треонина, валина и лизина резко недостаточно. Треонин – первая лимитирующая аминокислота, валин – вторая лимитирующая аминокислота, а лизин – третья лимитирующая аминокислота. Если в качестве концентрированного корма используется сильфия первого года жизни, недостаток необходимо компенсировать путем смешивания ее с другими источниками белка.

Ключевые слова: сильфия, типы аминокислот, оценка аминокислот.

In this study, the types and contents of amino acids in the leaves of the first-year *Silphium perfoliatum* were determined under different soil and mineral conditions, and the amino acids were evaluated according to CS and AAS standards. The results showed that 19 kinds of amino acids were found in the leaves of the first year *Silphium*, of which 8 were essential. The amino acid with a relatively high content was asparagine, reaching 14965.66 mg/g. There was no difference in the types of amino acids among different soil conditions, but the asparagine content was significantly higher in red soil than in sandy soil. The amino acids present in moderate amounts include glutamic acid, arginine, alanine, tyrosine, methionine, isoleucine, leucine, phenylalanine and lysine. The amino acids with low content include cystine, serine, glycine, valine, proline and glutamine. Nitrogen nutrition also has a certain effect on the amino acid content. An increase in nitrogen fertilizers can significantly increase the asparagine content. In red soil, the histidine and arginine content increased significantly with an increase in nitrogen nutrition rates. Threonine was not detected in any of the experimental conditions. The biological value of amino acids was assessed according to the AAS (Amino Acid Score) and CS (Chemical Score) standards, showing that the composition of essential amino acids in the leaves of the first-year *silphium* is unbalanced, and the content of threonine, valine and lysine is sharply insufficient. Threonine is the first limiting amino acid, valine is the second limiting amino acid, and lysine is the third limiting amino acid. If the first-year *silphium* is used as a concentrated feed, the deficiency must be compensated for by mixing it with other protein sources.

Key words: *silphium*, types of amino acids, amino acid assessment.

Введение

Сильфия пронзеннолистная (*Silphium perfoliatum*) – многолетнее травянистое растение, которое в последние годы привлекло широкое внимание в кормовой промышленности из-за своей высокой биомассы, высокой устойчивости к стрессам и высокой питательной ценности [1]. В сельском хозяйстве сильфия широко используется в качестве высококачественного источника корма для скота, особенно жвачных, благодаря высокому содержанию белка и богатству минеральных элементов. Высокие показатели биомассы позволяют производить большое количество корма с единицы площади, что значительно повышает эффективность землепользования.

Аминокислоты являются основными строительными блоками белка, а их типы и содержание оказывают важное влияние на качество корма [2]. Белок является основой роста и развития животных, иммунной функции и метаболической активности, а аминокислотный состав напрямую определяет питательную ценность белка. В зависимости от влияния и специфической роли аминокислот на качество кормов их часто делят на три категории: незаменимые аминокислоты, лимитирующие аминокислоты и заменимые аминокислоты. Незаменимые аминокислоты – это аминокислоты, которые не могут быть синтезированы или синтезируются в недостаточном количестве у животных и должны поступать с кормом. К распространенным незаменимым аминокислотам относятся лизин, метионин, треонин, триптофан, валин, изолейцин, лейцин, фенилаланин и гистидин. Содержание и соотношение

незаменимых аминокислот в кормах напрямую влияют на рост, развитие и продуктивность животных. Дефицит может привести к замедлению роста и снижению конверсии корма. Несбалансированное соотношение аминокислот приведет к потере некоторых аминокислот и увеличению затрат на корм. Лимитирующие аминокислоты – это те аминокислоты, содержание которых в корме наименьшее и которые в первую очередь ограничивают использование белка животным. К распространенным лимитирующим аминокислотам в кормах относятся лизин, метионин и треонин. Добавляя лимитирующие аминокислоты, можно улучшить коэффициент использования белка в корме и снизить затраты на корм. Заменяемые аминокислоты – это аминокислоты, которые могут синтезироваться организмом животного, но при определенных обстоятельствах, таких как стресс, болезнь или быстрый рост, потребность животного в некоторых заменимых аминокислотах увеличивается. Например: аргинин играет важную роль в регуляции иммунитета и репродуктивной функции. Глютамин является важным источником энергии для клеток кишечника и необходим для поддержания здоровья кишечника [3]. Тип и содержание аминокислот являются ключевыми факторами, определяющими качество кормов, а также важными показателями для оценки качества кормов.

Однако питательная ценность продукта зависит и от того, какая его доля способна усваиваться организмом. Помимо технологических особенностей, питательная ценность белкового комплекса определяется его физико-химическими свойствами, а также соответствием аминокислотного состава белка составу тех белков, на построение которых он используется в организме человека или животных. Содержание и степень использования поступающих в организм аминокислот характеризует их биологическую ценность.

Для расчета биологической ценности белка применяют биологические и расчетные методы. Проведение биологических исследований на живых организмах позволяет наиболее объективно рассчитать биологическую ценность того или иного продукта. В связи с тем, что проведение биологических исследований на живых организмах в практике не всегда представляется возможным, существуют расчетные методы биологической оценки продукции. Следует учитывать, что расчетные методы дают возможность определить лишь относительную биологическую ценность продукта, в то время как на живых организмах можно получить более объективное представление о питательности исследуемого продукта. Вместе с тем, применение расчетных методов определения биологической ценности белка позволяет эффективно их использовать как при проведении исследований, так и при практическом внедрении научных разработок. При расчете биологической ценности продуктов питания и кормов сравнивают состав и содержание аминокислот их белков с содержанием аминокислот в эталонных белках (белок куриного яйца – метод «химического числа» или «эталонный белок» ФАО/ВОЗ) – метод «аминокислотного сора» [7, 8].

Поэтому целью наших исследований явилось изучение содержания аминокислот в силъфии пронзеннолистной, являющейся ценной кормовой культурой в кормлении сельскохозяйственных животных, в зависимости от типа почвы, а также рассчитать биологическую ценность белка.

Основная часть

Силъфия обладает высокой стрессоустойчивостью и может расти на бедных почвах и в неблагоприятных климатических условиях, что снижает зависимость сельскохозяйственного производства от химических удобрений и орошения, а также имеет значительные экологические и экономические преимущества. В данной работе изучены аминокислотный состав и оценка биологической ценности аминокислот в соответствии со стандартами AAS («аминокислотный скор») и CS («химическое число») при различных почвенных условиях и уровня минерального питания. Схема опыта представлена в табл. 1.

Таблица 1. Схема опыта

Тип почвы	Уровень минерального питания
Песчаная почва	P ₆₀ K ₉₀ (фон) [A]
Краснозем	Фон+N ₉₀ [B]
	Фон+ N ₁₂₀ [C]

Агрохимические показатели почвы опытных участков перед закладкой опытов представлены в табл. 2.

Таблица 2. Агрохимические показатели почвы

Тип почвы	pH	Органическое вещество (g/kg)	Общий азот (g/kg)	Общий фосфор (g/kg)	Калий общий (g/kg)	Быстродействующий фосфор (mg/kg)	Быстродействующий калий (mg/kg)
Песчаная почва	8.30	2.69	0.24	0.23	1.59	5.55	69.19
Краснозем	5.90	31.19	2.05	0.65	13.33	17.68	118.86

Аминокислотный состав белка в листьях силъфии определяли по почвенным разностям и уровням минерального питания, который представлен в табл. 3.

Таблица 3. Содержание аминокислот в листьях сельфий первого года жизни в зависимости от типа почвы и уровня минерального питания, мг/г

Название аминокислоты	Песчаная почва			Краснозем		
	ГруппаА	ГруппаВ	ГруппаС	ГруппаА	ГруппаВ	ГруппаС
Аспарагиновая кислота	461.82	548.21	582.66	723.73	803.32	731.68
Глутамат	138.93	158.63	195.92	108.06	135.22	270.96
Цистин	214.43	220.73	324.18	0.00	0.00	0.00
Серин	45.39	48.33	49.12	121.13	173.01	210.70
Глицин	36.20	34.03	39.95	42.23	48.11	38.76
Гистидин	1576.61	1357.52	1850.52	1628.52	3093.27	2549.93
Аргинин	252.79	185.90	584.94	765.74	922.69	966.33
Аспарагин	1720.47	1926.02	5240.97	7731.56	13861.84	14965.66
Треонин	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Аланин	66.68	79.17	193.40	287.01	501.68	514.32
Пролин	0.00	37.86	35.27	37.13	0.00	36.21
Глютамин	245.75	0.00	147.27	143.33	307.23	387.03
Тирозин	198.65	303.62	186.78	176.86	155.37	164.40
Валин	41.75	53.12	44.75	41.24	41.26	40.70
Метионин	62.01	62.45	98.42	70.26	76.70	71.18
Триптофан	1641.41	1453.39	1445.14	1121.04	1143.01	1498.61
Изолейцин	147.94	168.28	145.32	169.90	167.79	153.13
Лейцин	119.93	115.87	136.88	150.35	167.07	148.09
Фенилаланин	99.45	92.83	93.22	113.94	148.22	120.31
Лизин	64.40	67.12	65.16	85.97	105.55	84.22

Согласно данным, представленным в табл. 3, в структуре белка сельфий обнаружено 19 аминокислот. Треонин не был обнаружен ни в одном из экспериментальных условий. Аминокислотой с относительно высоким содержанием в красноземе на фоне с внесением азота 120 кг/га д.в. был аспарагин, максимальное содержание которого достигало 14965,66 мг/г. Было обнаружено восемь незаметных аминокислот, но цистин не был обнаружен в красной почве (песчаная почва: 214,43–324,18 мг/г). Это может быть связано с тем, что низкая доступность серы в кислой почве ограничивает синтез серосодержащих аминокислот (цистин, метионин) [4].

На рис. 1 и 2 представлено графическое содержание аминокислот в белке сельфий по типам почв уровням минерального питания.

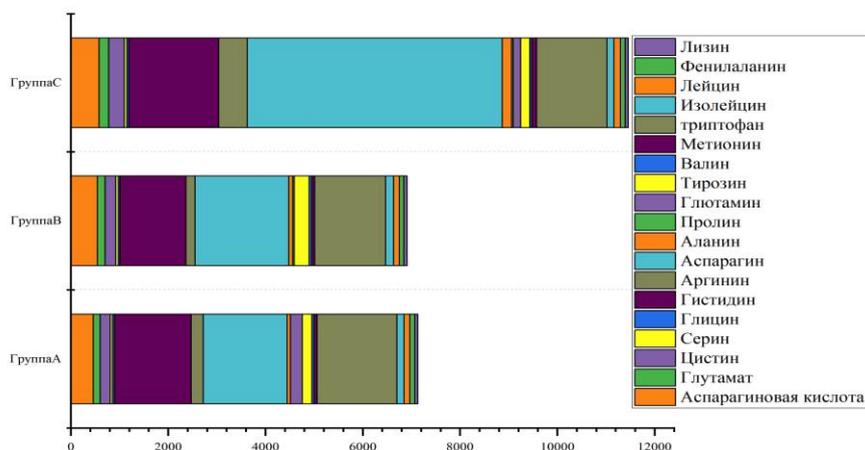


Рис. 1. Содержание аминокислот в песчаной почве в зависимости от агрофона, мг/г

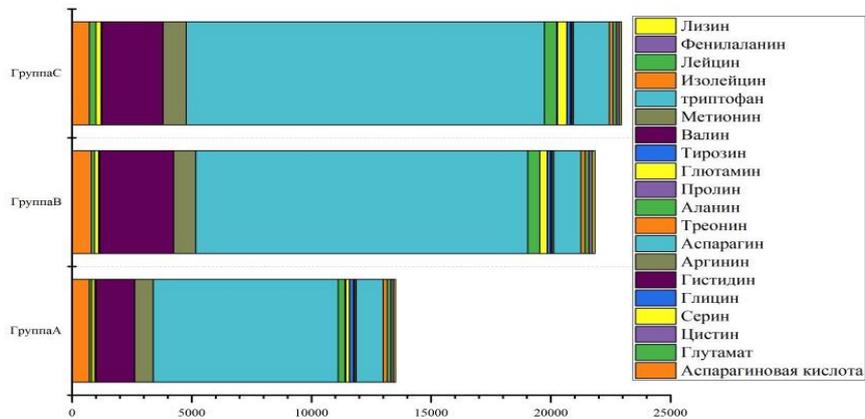


Рис. 2. Содержание аминокислот в красноземе в зависимости от агрофона, мг/г

Как видно из рис. 1 и 2 и табл. 3, распределение содержания аминокислот выглядит следующим образом: к типам аминокислот с высоким содержанием относятся аспарагин, гистидин и триптофан. Аминокислоты, присутствующие в умеренных количествах, включают глутаминовую кислоту, аргинин, аланин, тирозин, метионин, изолейцин, лейцин, фенилаланин и лизин. К аминокислотам с низким содержанием относятся цистин, серин, глицин, валин, пролин и глутамин. Распределение гистидина и триптофана в двух почвах было различным. Содержание гистидина в красной почве (1628,52–3093,27 мг/г) было выше, чем в песчаной почве (1576,61–1850,52 мг/г), что может быть связано с более высоким содержанием оксидов железа и алюминия в красной почве. Имидазольная группа гистидина обладает способностью хелатировать металлы и может участвовать в реакции растений на стресс, вызванный тяжелыми металлами [5].

Содержание гистидина в песчаной почве достигало 1576,61–1850,52 мг/г, содержание аспарагина может достигать 1720,47–5240,97 мг/г, а содержание триптофана может достигать 1445,14–1641,41 мг/г. Содержание аспарагина в красной почве может достигать 7731,56–14965,66 мг/г, содержание гистидина может достигать 1628,52–3093,27 мг/г, а содержание триптофана может достигать 1121,04–1498,61 мг/г. Однако содержание аспарагина в красноземе значительно выше, чем в песчаном. Это тесно связано с рН почвы и доступностью азота. Красноземы, как правило, имеют высокую кислотность (рН = 5,9), что может подавлять активность глутаминсинтетазы (ГС), заставляя растения преобразовывать свободный азот в аспарагин вместо глутамин [6]. Кроме того, аспарагин является формой хранения азота, и его высокое накопление может отражать адаптацию азотного метаболизма растений к кислой среде.

Удобрение также оказывает определенное влияние на содержание аминокислот. Увеличение азотных удобрений может значительно увеличить содержание аспарагина. В песчаной почве увеличение азотных удобрений (90 кг/га или 120 кг/га) значительно увеличило содержание аспарагина (с 1720,47 мг/г до 5240,97 мг/г). В красноземе содержание гистидина и аргинина значительно увеличивалось с увеличением азотных удобрений.

На основании данных, представленных в табл. 3, был проведен анализ незаменимых аминокислот в сельфии. Результаты показаны на рис. 3–4.

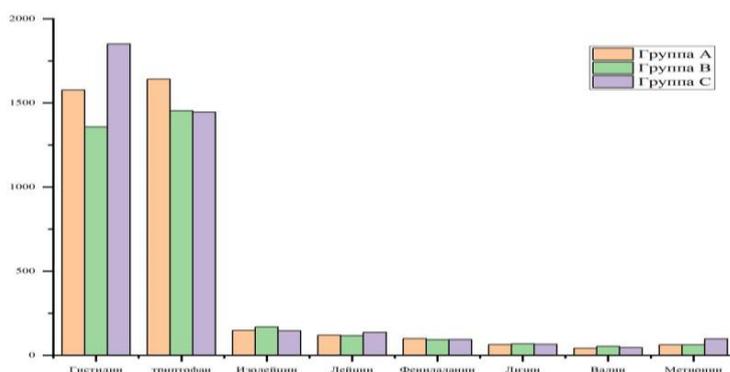


Рис. 3. Содержание незаменимых аминокислот в песчаной почве в зависимости от уровня азотного питания, мг/г

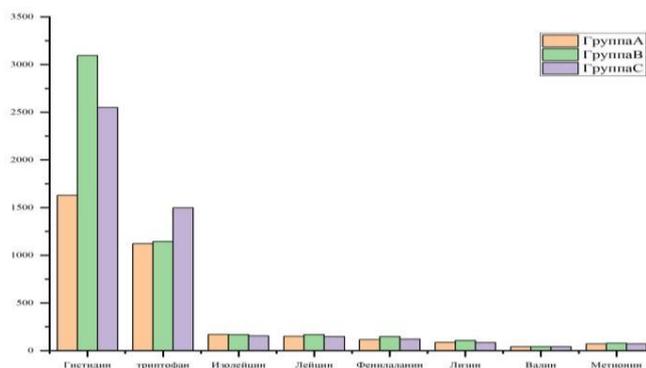


Рис. 4. Содержание незаменимых аминокислот в красноземе в зависимости от уровня азотного питания, мг/г.

В листьях сельфии было обнаружено 8 незаменимых аминокислот, среди которых треонин не был обнаружен. Это может быть связано с тем, что образцы не были собраны в период вегетативного роста (до цветения), и активность синтеза треонина может быть относительно низкой. Содержание гистидина и триптофана было значительно выше, чем других незаменимых аминокислот, что может указывать на специфическое обогащение гистидином и триптофаном, и это необходимо подтвердить

с помощью метаболомного анализа. Оценка биологической ценности аминокислот проводилась в соответствии со стандартами AAS («аминокислотный скор») и CS («химическое число») [7], результаты представлены в табл. 4. Если CS и AAS меньше или равно 100 %, это означает, что аминокислота является лимитирующей.

Таблица 4. Оценка биологической ценности аминокислот силфвии пронзеннолистной, в зависимости от условий возделывания

Название аминокислоты	Песчаная почва								
	ГруппаА			ГруппаВ			ГруппаС		
	Содержание (мг/г)	CS (%)	AAS (%)	Содержание (мг/г)	CS (%)	AAS (%)	Содержание (мг/г)	CS (%)	AAS (%)
Изолейцин	18.85	47.13	34.91	22.14	55.36	41	11.53	28.83	21.36
Лейцин	15.28	21.83	17.77	15.25	21.78	17.73	10.86	15.52	12.63
Лизин	8.21	14.15	11.72	8.83	15.23	12.62	5.17	8.92	7.39
Метионин + Цистеин	35.22	140.9	61.8	37.26	149.04	65.37	33.54	134.16	58.84
Фенилаланин + Тирозин	37.98	60.29	39.57	52.16	82.8	54.34	22.22	35.27	23.15
Треонин	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Триптофан	209.15	1901.36	1230.29	191.24	1738.5	1124.91	114.69	1042.67	674.67
Валин	5.32	10.64	8.06	6.99	13.98	10.59	3.55	7.1	5.38
Гистидин	200.89	1339.29	–	178.62	1190.81	–	146.87	979.11	–
Название аминокислоты	Краснозем								
	ГруппаА			ГруппаВ			ГруппаС		
	Содержание (мг/г)	CS (%)	AAS (%)	Содержание (мг/г)	CS (%)	AAS (%)	Содержание (мг/г)	CS (%)	AAS (%)
Изолейцин	11.43	28.56	21.16	6.98	17.45	12.93	6.07	15.16	11.23
Лейцин	10.11	14.44	11.76	6.95	9.93	8.08	5.87	8.38	6.82
Лизин	5.78	9.97	8.26	4.39	7.57	6.27	3.34	5.75	4.77
Метионин + Цистеин	4.73	18.9	8.29	3.19	12.76	5.6	2.82	11.28	4.95
Фенилаланин + Тирозин	19.56	31.04	20.37	12.63	20.05	13.16	11.28	17.9	11.75
Треонин	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Триптофан	75.39	685.37	443.47	47.55	432.31	279.73	59.36	539.62	349.16
Валин	2.77	5.55	4.2	1.72	3.43	2.6	1.61	3.22	2.44
Гистидин	109.52	730.12	–	128.69	857.95	–	101	673.33	–

Результаты показали, что содержание треонина, валина и лизина в листьях первого года силфвия было серьезно недостаточным, Треонин – первая лимитирующая аминокислота, валин – вторая лимитирующая аминокислота, а лизин – третья лимитирующая аминокислота. Также недостаточно было изолейцина, лейцина, метионин + цистеин и фенилаланин + тирозин. Этот результат может быть связан с особенностями многолетнего роста силфвия, которая в первый год формирует больше корневую систему и не реализует свой продуктивный потенциал. Если в качестве источника кормового белка используется силфвия первого года жизни, дефицит необходимо компенсировать путем смешивания ее с другими белково содержащими культурами. И только триптофана, и гистидина было в достаточном количестве.

Заключение

В составе белка листьев силфвии пронзеннолистной первого года жизни содержатся все незаменимые аминокислоты, кроме треонина. Содержание триптофана может достигать 1445,14–1641,41 мг/г, гистидина – 1357,52–3093,37 мг/г. Среди лимитирующих аминокислот первой является треонин, второй – валин, а лизин – третьей. Если в качестве концентрированного корма используется силфвия первого года жизни, недостаток необходимо компенсировать путем смешивания ее с другими источниками белка.

ЛИТЕРАТУРА

1. Peni D, Stolarski M J, Bordiean A, et al. Silphium perfoliatum—a herbaceous crop with increased interest in recent years for multi-purpose use[J]. Agriculture, 2020, 10(12): 640.
2. National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine. Nutrient Requirements of Dairy Cattle: National Academies Press [EB/OL]. – (2021).
3. Wu G. Amino acids: metabolism, functions, and nutrition[J]. Amino acids, 2009, 37: 1–17.
4. Hawkesford M J. Sulfur and plant ecology: a central role of sulfate transporters in responses to sulfur availability[M]//Sulfur in plants an ecological perspective. Dordrecht: Springer Netherlands, 2007: 1–15.
5. Jacob R H, Afify A S, Shanab S M, et al. Chelated amino acids: biomass sources, preparation, properties, and biological activities[J]. Biomass Conversion and Biorefinery, 2024, 14(3): 2907–2921.
6. Leng X, Wang H, Cao L, et al. Overexpressing GLUTAMINE SYNTHETASE 1; 2 maintains carbon and nitrogen balance under high-ammonium conditions and results in increased tolerance to ammonium toxicity in hybrid poplar[J]. Journal of Experimental Botany, 2024, 75(13): 4052–4073.
7. Кукреш, Л.В. Оценка белка зернобобовых культур по аминокислотному составу / Л. В. Кукреш, И. В. Рышкель // Весці Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі. Серыя аграрных навук: научны журнал. – 2008. – N 1. – С. 36–40.
8. Лапа, В. В. Применение удобрений и качество урожая / В. В. Лапа, В. Н. Босак. – Минск, 2006. – 120 с.