



УДК 577.112.3+665.931.7

ОСОБЕННОСТИ АМИНОКИСЛОТНОГО СОСТАВА ЖЕЛАТИНОВ ИЗ ОРГАНОВ И ТКАНЕЙ РЯДА СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ЖИВОТНЫХ

© 2024 г. С. Ю. Зайцев*,#

* ФГБНУ “Федеральный исследовательский центр животноводства – ВИЖ им. акад. Л.К. Эрнста”,
Россия, 142132 Подольск, Дубровицы, 60

Поступила в редакцию 05.01.2024 г.

После доработки 21.01.2024 г.

Принята к публикации 22.01.2024 г.

Желатины образуются при технологических процессах переработки белков соединительной ткани животных (прежде всего коллагенов) и с биохимической точки зрения представляют собой различные полипептидные продукты. В большинстве случаев желатины, как коммерческие продукты, на 52.5% производятся из кожи и костей крупного рогатого скота (КРС), на 46.0% – из кожи свиней и только на 1.5% – с использованием других видов животных. В начале XXI века основная масса произведенных желатинов используется в пищевых продуктах, около трети – в медицинском секторе и только ~6% – в технических или других областях промышленности. В настоящее время усилилась тенденция к здоровому образу жизни, что, наряду с религиозно-культурными традициями многих стран, побуждает ученых искать источники желатинов, не относящиеся к млекопитающим, но близкие к ним по физико-химическим и функциональным характеристикам. Поэтому в последнее время появилась тенденция к некоторому снижению гигантского объема производства желатинов из млекопитающих (КРС и свиней), но пока несущественному по сравнению с относительным ростом производства желатинов из субпродуктов и отходов промышленного птицеводства, тем более что за последние десятилетия мировое производство мяса птицы выросло более чем на треть. Показано оптимальное содержание аминокислот (АК) и их соотношений в желатинах из кожи КРС и свиней для их дальнейшего использования. Конечно, содержание АК в желатинах из кожи свиньи и КРС, определенное в различных технологических условиях, может существенно отличаться, но в целом эти отличия носят не критический характер, поэтому иногда желатины получают из смеси отходов животноводства. Недавно в России была предложена композиция белковых ингредиентов из гидролизатов кожи свиньи и КРС с добавками высушенной плазмы крови, которая имела более “ценный” АК-состав, чем в традиционных желатинах, что позволило авторам сделать предположение о повышенной биологической и пищевой ценности разработанного продукта. Кроме того, ряд авторов обнаружил улучшение отдельных показателей и биологических свойств желатинов из смеси отходов животноводства при образовании некоторых специфических пептидов. Таким образом, в настоящее время активно разрабатываются новые композиции на основе известных желатинов с оптимальным АК-составом, способствующим улучшению питательных и функциональных свойств. Научная и практическая значимость данного обзора заключается в детальном описании основных исследований по АК-составу желатинов и выявлении взаимосвязи их АК-состава с ключевыми биохимическими и технологическими показателями материалов на основе желатинов.

Ключевые слова: аминокислотный состав, белки, желатины и коллагены, биохимия животных

DOI: 10.31857/S0132342324050018, **EDN:** LSGJXZ

СОДЕРЖАНИЕ

- | | |
|---|-----|
| 1. ВВЕДЕНИЕ | 578 |
| 2. СОДЕРЖАНИЕ АМИНОКИСЛОТ В РАЗЛИЧНЫХ ЖЕЛАТИНАХ | 579 |

Сокращения: АК – аминокислоты; КРС – крупный рогатый скот.

Автор для связи: (тел.: +7 (4967) 651-363; +7 (499) 237-42-81; эл. почта: s.y.zaitsev@mail.ru).

2.1. Аминокислотный состав желатинов из кожи и костей крупного рогатого скота	580
2.2. Аминокислотный состав желатинов свиней	583
2.3. Аминокислотный состав желатинов из субпродуктов и отходов промышленного птицеводства	585
3. ЗАКЛЮЧЕНИЕ	587
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	587

1. ВВЕДЕНИЕ

В тематику Института биоорганической химии (ИБХ) АН СССР (ныне ИБХ им. акад. М.М. Шемякина и Ю.А. Овчинникова РАН), связанную со структурно-функциональными исследованиями различных пептидов и белков, мне повезло включиться после зачисления стажером-исследователем в лабораторию полимеров для биологии с 16 октября 1980 г. (зав. лабораторией проф. В.П. Зубов). Лаборатория была создана директором ИБХ акад. Ю.А. Овчинниковым для решения ряда прикладных проблем биоорганической химии, физико-химической биологии и биотехнологии. Одними из главных направлений нашей лаборатории были хроматографический анализ пептидов и белков, включая их аминокислотный состав; создание специфических хроматографических материалов для разделения мембранных белков и липидов; получение ультратонких пленочных и супрамолекулярных систем на основе синтетических и природных полимеров. Ю.А. Овчинников регулярно посещал нашу лабораторию после ее переезда из помещений корпуса "А" МГУ в один из первых корпусов (№ 34) нового здания ИБОХ АН СССР, поскольку ему (и как директору, и как ученому) было важно лично посмотреть, как функционирует научная лаборатория в помещениях, оснащенных новой лабораторной мебелью (по удобству работы не имеющей аналогов в СССР) и специальным оборудованием. При этом он всегда искренне интересовался работой молодых сотрудников лаборатории и периодически читал лекции для студентов как в МГУ и ИБХ, так и на зимних молодежных научных школах в Пушкино, куда мы с радостью приезжали при первой возможности. Также хочу отметить замечательную книгу Ю.А. Овчинникова "Биоорганическая химия" [1], которая стала для меня одной из первых систематических книг по аминокислотному составу белков и другим многочисленным вопросам биоорганической химии, а также очень помогала мне не только в научной работе, но и при проведении занятий со студентами и аспирантами. Эта книга Ю.А. Овчинникова не потеряла своего значения и в наше время,

она может быть рекомендована для понимания методических подходов и этапов развития большого научного направления исследований аминокислот (АК) и других биоорганических соединений.

Имея такую большую и славную историю [1], в настоящее время в мире активно продолжают исследования АК-состава органов и тканей именно сельскохозяйственных животных, что имеет не только фундаментальное [2–4], но и важное прикладное значение [5–7]. Например, исследования АК-состава органов и тканей основных видов сельскохозяйственных животных связаны как с оптимизацией их кормления, содержания, получения качественных продуктов питания животного происхождения [5–7], так и с переработкой субпродуктов животноводства в полезные пищевые или технические добавки [8, 9], что ярко иллюстрируется продуктами и материалами на основе желатинов животного происхождения [10]. По заявлениям ряда авторов [8], в мире существует необходимость в увеличении производства желатинов различного типа (пищевых и технических), которое с 2011 по 2018 гг. увеличилось практически на треть [8]. Согласно ряду международных источников [8–10], прогнозируется большой рост мирового рынка желатина. Например, к концу 2027 г. общий объем рынка желатина может составить 6.7 млрд долларов США при среднегодовом темпе роста 9.29% [10].

Как известно, желатины образуются при технологических процессах переработки белков соединительной ткани животных (прежде всего коллагенов) и с формальной точки зрения представляют собой различные полипептидные продукты [11–14]. Многочисленные определения желатина приводятся практически в каждой статье, упоминающей этот важный продукт, в том числе в публикациях, цитируемых выше и ниже в данном обзоре. В большинстве случаев желатины, как коммерческие продукты, на 52.5% производились из кожи и костей крупного рогатого скота (КРС), на 46.0% – из кожи свиней и только на 1.5% – с использованием других видов животных [14].

По данным Института производителей желатина Америки (Gelatin Manufacturers Institute of America) [14], в начале XXI века 63% желатина используется в пищевых продуктах, 31% – в медицинском секторе и 6% – в технических или других областях промышленности [8–10]. Интересно, что в последнее время “кошерный/халяльный статус” стал одним из основных индикаторов по отношению к желатину млекопитающих на глобальном рынке продовольствия с точки зрения маркетинга [8–10]. Кроме религиозно-культурных традиций в настоящее время усилилась тенденция к здоровому образу жизни, что побуждает ученых искать источники желатина, не относящиеся к млекопитающим, но близкие к ним по физико-химическим и функциональным характеристикам [8–10]. Поэтому в последнее время появилась тенденция к некоторому снижению гигантского объема производства желатинов из млекопитающих (коров и свиней), пока еще несущественному по сравнению с относительным ростом производства желатинов из субпродуктов и отходов промышленного птицеводства (голова, лапки, кости, части соединительной ткани тушек). За последнее десятилетие производство мяса птицы выросло на ~37.34% [8–10].

Известно, что большое содержание коллагенов в соединительной ткани (в коже, сухожилиях, связках и т.д.) – большой плюс как для людей, так и для животных в физиолого-биохимическом аспекте [11, 15], коллагены составляют примерно треть от общего количества белков организма [13]. Коллагены и полученные из них продукты в настоящее время широко используются в пищевой, фармацевтической и косметической промышленности благодаря своим питательным и функциональным свойствам [11–15]. Как известно [11–15], одна молекула коллагена, независимо от его многочисленных типов, состоит из трех полипептидных цепей и в сумме имеет молекулярную массу ~300 кДа, включая ~3000 а.о. [15–18]. Коллаген I типа широко известен как основной фибриллярный коллаген у человека и многих млекопитающих из-за его уникальной способности образовывать *in vitro* нерастворимые волокна с высокой прочностью на растяжение и стабильностью [15–18]. Соответственно, в целом основная структура молекулы коллагена (как и желатина) характеризуется наличием высокого содержания глицина (Gly), пролина (Pro) и гидроксипролина (HyPro) в аминокислотных цепях (в виде повторяющихся триплетов) [11–18]. Например, присутствие Gly в каждом третьем остатке – критическое условие для формирования

суперспиральной структуры коллагена [11, 15, 18], но важная роль здесь принадлежит HyPro, а также серину (Ser) и треонину (Thr) за счет возможности гидроксильных групп поддерживать межцепочечные связи [11–18]. Таким образом, структурно-функциональные особенности белков определяются их первичными аминокислотными последовательностями, что полностью согласуется с фундаментальными основами современной химии белков, заложенными во многих работах акад. Ю.А. Овчинникова и сотрудников. Здесь, из-за краткости обзора, предлагаю читателям вновь обратиться к замечательной книге Ю.А. Овчинникова [1], которая до сих пор является настольным пособием для студентов и преподавателей, молодых научных сотрудников и меня лично. Вплотную аминокислотным анализом мне пришлось заниматься в период длительных зарубежных командировок, работы заведующим кафедрой органической и биологической химии Московской государственной академии ветеринарной медицины и биотехнологии им. К.И. Скрябина, а исследованием особенностей АК-состава белков крови и других органов и тканей ряда видов сельскохозяйственных животных – в настоящее время в ФГБНУ ФИЦ ВИЖ им. акад. Л.К. Эрнста. Ряд данных последних лет по этим вопросам собран в монографии 2022 г. [19].

Цель данного исследования – выявление общих параметров и отличительных особенностей АК-состава желатинов из коллагенов основных видов сельскохозяйственных животных (прежде всего КРС, свиней и птиц) для оценки состояния и перспектив промышленного применения таких желатинов.

2. СОДЕРЖАНИЕ АМИНОКИСЛОТ В РАЗЛИЧНЫХ ЖЕЛАТИНАХ

Наиболее общий и самый дешевый комплексный способ получения желатинов – денатурация растворимых коллагенов животных при термическом воздействии и гидролизе, катализируемом кислотой или щелочью (в присутствии или в отсутствие катализаторов) [20–24]. В простейшем случае термическая денатурация образцов декальцинированной соединительной ткани происходит либо в жестких условиях в случае костей и кожи крупного рогатого скота (КРС) [20, 21], либо в более мягких условиях путем нагревания коллагена в нейтральных или слабокислых условиях до ~40°C [22, 23]. В первый момент разрушаются только водородные связи и гидрофобные взаимодействия, т.е. происходит дестабилизация спиралей коллагенов,

в результате чего образуются мономерные единицы тропоколлагенов [21]. На следующем этапе гидролиза коллагенов происходит разрыв внутримолекулярных связей и образуется смесь полипептидов [24]. Свойства и физико-химические характеристики полученных желатинов напрямую связаны с их АК-составом и молекулярно-массовым распределением [25–28]. Например, желатины с низким содержанием определенных аминокислот (Pro и HyPro) имеют более низкую температуру плавления и прочность геля [25]. Эти результаты показывают важность полноты экстракции АК из исходного сырья, т.е. превращения коллагенов в желатины при разрывах меж- и внутримолекулярных связей [29]. Выявлены существенные различия в степени и типе этих связей, обнаруженных в костях и коже животных [11–15, 29, 30], рыб [17–19, 22, 31–34] и насекомых [21, 26–28]. На функциональные свойства желатинов сильно влияет структура и АК-состав полипептидных цепей, что будет описано ниже.

2.1. Аминокислотный состав желатинов из кожи и костей крупного рогатого скота

Первая особенность приводимых данных по АК-составу как исходных коллагенов, так и желатинов животного происхождения – отсутствие, как правило, такой аминокислоты, как Trp [15, 21, 31–33]. При детальном рассмотрении их АК-состава выясняется, что преобладают глицин Gly, Pro и HyPro [15, 12, 34]. Ключевые сложности в сравнении данных разных авторов [35–44] – неодинаковое количество определяемых аминокислот (от 10 до 19) в образцах, разные условия (и даже методы) анализа и единицы измерения содержания АК (г/100 г или мг/100 мг сухого и беззольного белка, моль/100 000 г белка, мг% и др.).

Имеются многочисленные данные о содержании аминокислот в желатинах, выделенных из различных тканей КРС, таких как бычья шкура, кожа, шерсть, кости, хрящи и сухожилия. Наиболее хорошо изучено содержание АК в желатине из кожи и костей КРС, полученном при различных условиях приготовления желатина (табл. 1) [33, 45, 46].

В работах за последние десятилетия [33–47] обобщены основные данные по анализу содержания АК в различных желатинах КРС, которые показали большое различие практически по всем АК. Эти различия связаны не столько с составом органов и тканей КРС, сколько с отличиями в методиках гидролиза коллагенов (т.е. выделения

желатинов КРС) и с несовершенством методов анализа АК. Если пытаться определить качественные сходства и наиболее общие интервалы содержания АК в различных желатинах КРС, то в этих работах можно выделить ряд основных АК, таких как Gly (20–27%), Pro (10–15%), Ala (7–10%) и др. (табл. 1). Эти данные получены после обработки исходных значений для основных 19 аминокислот (без Trp) и без учета гидроксикаминокислот: гидроксипролина (HyPro) и гидроксизина (HyLys), которые имеют важное значение, но не часто определяются в таких образцах.

Иногда вместо 19 протеиногенных АК говорят о содержании только 16 или 17 аминокислот, поскольку ряд аминокислот (Cys и амиды), как правило, не выдерживает процесса экстракции при повышенных температурах [5, 34]. Так, Cys практически полностью разрушается во многих препаратах, Asn и Gln во многих препаратах превращаются в Asp и Glu, поэтому реальное значение содержания Asp включает в себя бывший Asn, так же как Gly и Gln, которые часто измеряются вместе.

Во всех случаях измерения желатина из бычьей кожи показано общее сходство для основных АК, таких как Gly, Pro, Ala, и ряда других (табл. 1). Есть несколько значений содержания аминокислот в желатине из бычьей кожи, которые немного отличаются: Lys, His, Phe, HyPro, Met, Tug и Thr (табл. 1). Напротив, существуют большие различия между значениями АК для желатина из бычьей кожи [45, 46] и из костей [33], особенно для Pro, Ala, Ser, Tug и Val. То же самое справедливо и для некоторых других работ [47–50], поэтому целесообразно рассматривать значения содержания АК в желатине из бычьих шкур [46] как референтную ссылку (табл. 1) для других данных по содержанию АК в желатине из бычьих шкур.

В целом такая тенденция сохраняется и для современных данных по содержанию АК в различных желатинах из кожи (шкур) молодых бычков (табл. 2), полученных путем действия ультразвука при напряжении 200–400 Вт [50].

Содержание свободных АК может отражать процесс гидролиза белков [50] – чем больше извлечение белка, тем лучше эффект гидролиза [50]. По сравнению с контрольной группой степень гидролиза, скорость восстановления белка в гидролизатах и их антиоксидантная активность были значительно выше после обработки ультразвуком мощностью до 300 Вт, но при дальнейшем увеличении мощности ультразвука существенных изменений не наблюдалось (табл. 2).

Таблица 1. Содержание аминокислот в различных желатинах из кожи и костей КРС [33, 45, 46]

№	АК	Содержание аминокислот					
		кожа КРС*, М/10 ⁵ г [45]	кожа КРС, % [45]	кожа КРС*, М/10 ⁵ г [46]	кожа КРС, % [46]	кости КРС, г/кг [33]	кости КРС, % [33]
1	Ala	113	11.17	123.2	11.18	93.9	10.6
2	Arg	47	4.64	50.8	4.62	88.9	10.1
3	Asp	46	4.55	50.6	4.60	46.4	5.3
4	Cys	–	–	–	–	21.6	2.4
5	Gly	342	33.79	366.0	33.28	235.0	26.6
6	Glu	74	7.31	77.8	7.07	80.8	9.2
7	His	4	0.40	5.0	0.45	6.9	0.8
8	Ile	11	1.09	13.2	1.20	14.1	1.6
9	Leu	24	2.37	25.4	2.31	31.1	3.5
10	Lys	25	2.47	30.6	2.78	47.3	5.4
11	Met	4	0.40	6.0	0.55	7.7	0.9
12	Phe	12	1.19	13.5	1.23	7.6	0.9
13	Pro	127	12.55	141.9	12.90	122.1	12.7
14	Ser	39	3.85	40.2	3.65	45.2	5.1
15	Thr	33	3.26	18.6	1.69	16.5	1.9
16	Tyr	4	0.40	1.6	0.15	4.9	0.5
17	Val	19	1.88	22.1	2.01	22.6	2.5
18	HyPro	83	8.20	107.4	9.76	107.1	–
19	HyLys	5	0.49	6.0	0.55	–	–

Примечание: HyPro – гидроксипролин; HyLys – гидроксизин. Прочерк – не определялось количественно.

* Значения приведены в моль/10⁵ г сухого и беззольного белка.

Таблица 2. Влияние ультразвука (200–400 Вт) на содержание аминокислот в различных желатинах из кожи (в гидролизате шкур) молодых бычков [50]

№	АК	Содержание аминокислот, г/100 г			
		200 Вт	300 Вт	400 Вт	К
1	Ala	7.27	7.32	7.12	6.69
2	Arg	6.30	6.44	6.22	5.82
3	Asp	4.95	5.00	4.87	4.67
4	Cys	–	–	–	–
5	Gly	20.32	20.60	20.13	19.08
6	Glu	8.54	8.66	8.46	8.11
7	His	0.57	0.58	0.53	0.47
8	Ile	1.15	1.15	1.17	0.95
9	Leu	2.64	2.92	2.59	2.41
10	Lys	2.98	3.02	2.95	2.76
11	Met	0.60	0.60	0.59	0.34
12	Phe	1.75	2.10	1.88	1.47
13	Pro	10.57	10.70	10.47	9.79
14	Ser	2.67	2.70	2.65	2.53
15	Thr	1.56	1.56	1.54	1.46
16	Tyr	0.79	1.40	0.74	0.57
17	Val	1.96	1.98	1.92	1.79

Примечание: прочерк – не определялось количественно. Контрольный образец желатина (К) был извлечен из коллагена без использования ферментов.

Как показано в табл. 2, общее содержание свободных АК в желатиновом гидролизате из кожи молодых бычков, предварительно обработанном ультразвуком мощностью 200, 300 и 400 Вт, составило 0.864, 0.876 и 0.913 г/100 г, что на 5.9, 7.3 и 11.9% выше, чем в контроле (0.816 г/100 г). Эти результаты близки к данным Zou et al. [51] по изменениям в содержании АК в гидролизате головного мозга свиньи после обработки ультразвуком. Содержание свободных АК возрастает при увеличении мощности ультразвука, что согласуется с результатами по степени гидролиза и скорости восстановления белка, однако антиоксидантная активность гидролизата достигла максимального значения 14.3% при мощности 300 Вт, что было на 45.2% выше, чем у контроля (возможно, из-за того, что ультразвуковая обработка изменила структуру белка и увеличила количество основных и ароматических аминокислот). Как показано в табл. 2, предварительная обработка ультразвуком мощностью 200, 300 и 400 Вт изменила содержание общих (основных) аминокислот до значений 68.93, 76.43 и 76.73 г/100 г, что на 6.6% меньше или на 3.5 и 3.9% выше, чем в контроле (73.83 г/100 г). Примечательно, что как основные (Lys, Arg и His), так и ароматические АК являются донорами водорода и считаются эффективными поглотителями свободных радикалов [51, 52]. В настоящем исследовании содержание Asp и Glu в гидролизате желатина из бычьей кожи, предварительно обработанного ультразвуком мощностью 300 Вт, составляло 5.00 и 8.66 г/100 г соответственно; эти значения были на 7.06 и 6.78% выше, чем в контроле (4.67 и 8.11 г/100 г соответственно). Кроме того, антиоксидантная способность гидролизата была связана с содержанием C-концевых (Arg и Tyr) и N-концевых аминокислот (His, Phe и Leu) [52]. По сравнению с контролем, гидролизаты желатина из бычьей кожи, обработанные ультразвуком оптимальной мощностью 300 Вт, имели содержание C- и N-концевых аминокислот на 22.69 и 28.74% выше соответственно.

В работах [29–32, 47–49] изучено влияние на АК-состав желатинов различных ферментов (растительных и животных), которые использовали для предварительной обработки бычьей кожи. Например, растительные ферменты актинидин (А) и папаин (Р) использовали на уровне 5–25 ед./г кожи для предварительной обработки бычьей кожи при соответствующих оптимальных рН и температуре в течение 48 ч (табл. 3) [49].

Содержание таких аминокислот, как Gly, Pro и HyPro (табл. 3), при гидролизе пепсином (П) на

уровне 5–25 отн. ед. (на 1 г кожи) варьировалось и составляло ~21.5, 10.5 и 14.8% соответственно, т.е. было близко к показателю в контрольной группе (К): 19.9, 10.3 и 14.1% соответственно [47]. При этом указанные значения (как в случае П, так и в случае К) сильно отличаются от данных Mulyani et al. [53] по Gly (ниже на 16.2 или 10.0%), но практически совпадают с данными по Pro и HyPro [53]; незначительно отличаются от данных Aukin-Dinçer et al. [54]: ниже на 4.2% или выше на 3.4% по Gly, тогда как более чем на порядок (на 95–102%) выше по Pro и значительно ниже (на 43.9–51.0%) по HyPro [54]. Это связано с существенными различиями в процессах предварительной обработки кислотой [31, 52–54] или с отсутствием ферментной обработки [55], что и привело к изменению содержания аминокислот. Так, сообщалось [31, 53–55] о гораздо меньшем (на 13.0 или на 31.0%) содержании суммы иминокислот (Pro и HyPro) в желатине из бычьей кожи по сравнению с содержанием суммы иминокислот как в случае П (~25.3%), так и в случае К (~24.4%).

При исследовании действия карбоновых кислот (соляной, уксусной и лимонной) в присутствии пепсина (7 ч при 70°C) на процесс экстракции желатинов из костной ткани КРС в работе Cao et al. [56] показано, что лимонная кислота более эффективно разрушает структуру исходного коллагена по сравнению с уксусной и соляной кислотами в равных концентрациях [56]. Кроме того, использование пепсина в смеси с любой из кислот приводит к достоверно более высоким выходам желатинов ($p < 0.05$) по сравнению с контрольной группой без участия пепсина [56]. Таким образом, коллагены, предварительно обработанные лимонной кислотой и пепсином, более эффективно гидролизуются в желатину, чем без ферментативной обработки [56].

Важно, что содержание иминокислот (Pro и HyPro) в желатине бычьей кожи при использовании ферментов типа актинидина (А), папаина (Р), бромелаина (Б) и зингибаина (З) составляло 19.3, 25.1, 24.9 и 25.5% соответственно [48, 49], что значительно ниже (на 20.9% в случае А), незначительно отличается (на 2.9 или 4.5% в случае Р или З) или сопоставимо (для Б) с контролем (~24.4%) [47]. При использовании всех указанных ферментов (на уровне 25 ед./г кожи) выход желатинов был значительно выше, чем в контроле (достоверные отличия, $p < 0.05$) [47–49]. Причем значения прочности геля и вязкости для желатинов, экстрагированных с использованием актинидина, были значительно выше, чем в контроле (283.35 г) (достоверные отличия, $p < 0.05$) [47–49]. Однако

Таблица 3. Аминокислотный состав желатинов, экстрагированных из бычьей кожи при добавлении пепсина (П) [47], бромелаина (Б) [48], зингибаина (З) [48], актинидина (А) [49] и папаина (Р) [49], на уровне 25 отн. ед. на г кожи в сравнении с контролем (К)

№	АК	Аминокислотный состав, %/г кожи					
		К	П	Б	З	А	Р
1	Hyp	14.14	14.76	14.49	15.42	10.93	14.96
2	Asp	4.06	3.54	3.54	3.57	2.95	3.80
3	Ser	2.82	3.20	3.03	3.27	2.11	3.11
4	Glu	7.81	7.18	7.01	7.11	5.70	7.63
5	Gly	19.87	21.47	20.84	21.65	15.97	21.38
6	His	0.82	0.93	0.85	0.94	0.57	0.93
7	Arg	6.87	7.35	7.13	7.29	5.26	7.14
8	Thr	1.63	1.79	1.74	1.78	1.30	1.72
9	Ala	6.50	6.70	6.79	6.68	5.01	6.79
10	Pro	10.29	10.51	10.40	10.08	8.31	10.14
11	Tyr	0.62	0.69	0.78	0.80	0.47	0.72
12	Val	2.11	2.07	2.14	2.13	1.68	2.13
13	Lys	3.13	3.01	2.91	2.84	2.32	3.15
14	Ile	1.30	1.35	1.43	1.44	1.02	1.36
15	Leu	2.66	2.76	2.78	2.89	2.12	2.71
16	Phe	1.78	1.89	1.93	2.01	1.41	1.85

Примечание: контрольный образец желатина (К) был извлечен из коллагена без использования ферментов.

прочность геля и вязкость для желатинов, экстрагированных с использованием папаина и бромелаина, была значительно ниже, чем в контроле (283.35 г) (достоверные отличия, $p < 0.05$) [47–49]. Образцы желатина, экстрагированного зингибаином (З), не образовывали гель, а вязкость этих желатинов была значительно ниже, чем у желатинов, экстрагированных с использованием бромелаина (достоверные отличия, $p < 0.05$) [48]. Полученные данные можно объяснить степенью деградации α - и β -цепей, а также присутствием пептидов с невысокой молекулярной массой [40, 47–49]. С использованием этих и других методов (инфракрасной спектроскопии с преобразованием Фурье и сканирующей электронной микроскопии) обнаружены существенные изменения в молекулярном порядке (нарушения α -спиральной структуры), что позволило авторам [40, 47–49] сделать вывод о том, что актинидин и бромелаин могут более эффективно использоваться как для относительного увеличения выхода, так и для улучшения свойств желатина из бычьей кожи по сравнению с другими изученными ферментами [40, 47–49].

2.2. Аминокислотный состав желатинов свиной

Следует обратить внимание, что в доступной литературе представлены данные об АК-составе желатинов только из кожи свиной или вообще без

упоминания органов и тканей свиной [57–60] – это существенное отличие от данных по желатинам, получаемым из разных органов и тканей КРС (что описано выше). Представляется важным сравнить литературные данные об АК-составе желатинов из кожи свиной (PSG) с таковыми из кожи КРС (BSG). В солидной работе Hafidz et al. [57] были исследованы желатины из бычьей и свиной кожи не только в плане сравнения по АК-составу (табл. 4) и структуре полипептидов, но и по “силе проседания”, мутности и пенообразующим свойствам [57], что исключительно важно для технического применения желатинов.

По мнению авторов [57], абсолютное содержание Gly, Pro и Arg в свином желатине было заметно выше, чем в бычьем желатине, хотя структура полипептидов обоих желатинов очень близка (как в столбцах 1 и 4 в табл. 4). Однако если пересчитать это в относительные данные (% к сумме всех АК, как в столбцах 2 и 3 в табл. 4), то заметные отличия видны только по содержанию Tyr (на 48.1%), Phe (на 14.6%), Thr (10.3%), Val (10.3%), которых больше в свином желатине, чем в бычьем желатине [57]. Кроме того, содержание Ile (на 27.3%), Met (на 9.1%), Gly (на 6.2%) меньше в свином желатине, чем в бычьем желатине [57]. Причем в этой работе не приведены данные по Cys и His, их содержание обычно невелико и не повлияет на общие тенденции в полученных

Таблица 4. Аминокислотный состав желатинов кожи свиней (PSG) и крупного рогатого скота (BSG) в сравнительном аспекте [57]

№	АК	Содержание аминокислот			
		PSG*	PSG, %	BSG*	BSG, %
1	Ala	80	8.85	33	8.62
2	Arg	111	12.28	47	12.27
3	Asp	41	4.54	17	4.44
4	Cys	–	–	–	–
5	Gly	239	26.44	108	28.20
6	Glu	83	9.18	34	8.88
7	His	–	–	–	–
8	Ile	12	1.33	7	1.83
9	Leu	29	3.21	12	3.13
10	Lys	27	2.99	11	2.87
11	Met	10	0.11	4	1.04
12	Phe	27	2.99	10	2.61
13	Pro	151	16.70	63	16.45
14	Ser	35	3.87	15	3.92
15	Thr	26	2.88	10	2.61
16	Tyr	7	0.77	2	0.52
17	Val	26	2.88	10	2.61

Примечание: прочерк – не определялось количественно.

* Число остатков на 1000 а.о.

значениях содержания АК в свином и бычьем желатине (табл. 4). Небольшие отличия в свином и бычьем желатинах [57] по содержанию Glu и Gln, Pro и ряда других АК (менее чем на 5%) не являются статистически значимыми (табл. 4) и не будут здесь обсуждаться.

Следует обратить внимание, что “сила проседания” – важная характеристика, определяющая сорт желатинов и область их использования в промышленности [20–23]. Обнаружено, что “сила проседания” у желатинов свиней существенно выше (в среднем в 1.5 раза), чем у бычьих желатинов (в диапазоне pH 3–10) [57], причем желатины из обоих источников обладали самыми высокими (низкими) “силами проседания” при pH 9 (pH 3). Так, по данным Hafidz et al. [57], у желатинов из свиных кож максимальные (минимальные) значения составляли 415.1 (330.6), а у желатинов из бычьих кож – 270.4 (193.5) отн. ед. Блума. С другой стороны, такие параметры, как расширение и стабильность пены (FE и FS), у бычьих желатинов были в разной степени выше, чем у свиных желатинов при всех изученных концентрациях водных растворов (2–5%) [57]. Так, у желатинов из бычьих кож максимальные (минимальные) значения FE и FS составляли 93.0 ± 2.7 и $91.7 \pm 3.2\%$ (72.3 ± 5.5 и $86.5 \pm 5.5\%$) при концентрациях 2% (5%). Для сравнения, у

желатинов из свиных кож максимальные (минимальные) значения FE и FS составляли 93.0 ± 1.0 и $88.67 \pm 2.5\%$ (53.0 ± 1.0 и $51.33 \pm 0.6\%$) при концентрациях 3% (5%) [57].

По данным Hafidz et al. [57], у желатинов из свиных кож значения мутности (поглощения их растворов при 360 нм) были значительно ниже (почти в 12 раз), чем у желатинов из бычьих кож при всех изученных pH (pH 3.0–9.0). Мутность растворов желатинов из бычьих кож была максимальной при pH 7 и снижалась при щелочных pH, тогда как растворы желатинов из свиных кож показали наибольшую мутность при pH 9 (хотя эти значения мало отличались от таковых в области pH 5–7) [57]. Эти эффекты связаны с различиями в изоэлектрических точках растворов указанных желатинов [20–22]. Как известно, при pH, близких к изоэлектрической точке растворов указанных желатинов, происходит агрегация молекул этих белковых и пептидных фрагментов (с β - и α -цепями молекулярных масс ~220 и 100 кДа), поскольку снижается их взаимодействие с молекулами воды [20–22].

Конечно, полученные в различных технологических условиях данные по содержанию АК в желатинах из кожи свиньи и КРС могут существенно отличаться [14, 34, 40, 46, 57–61]. Однако в целом эти отличия носят не критический

характер, как описано выше. Именно поэтому желатины в промышленности иногда получают из смеси отходов животноводства. Более того, в работе Kremenevskaya et al. [61] была предложена композиция белковых ингредиентов из гидролизатов кожи свиньи и КРС с добавками высушенной плазмы крови в соотношении 45 : 45 : 10. Показано, что АК-состав препаратов, полученных с добавлением сухой плазмы крови, существенно более “ценный”, чем в традиционных желатинах (по аминокислотному “скорю” в сравнении с идеальным белком, рекомендованным ВОЗ/ВТО), что позволило авторам сделать предположение о повышенной биологической и пищевой ценности разработанного продукта [61]. Кроме того, авторы обнаружили улучшение реологических и органолептических показателей при добавлении до 15% указанной выше композиции вместо говядины в технологию производства фаршевых полуфабрикатов [61].

2.3. Аминокислотный состав желатинов из субпродуктов и отходов промышленного птицеводства

В работах [14, 41–45] приведены данные о содержании аминокислот в желатинах из органов и тканей кур и цыплят, уток и индеек. Конечно, наибольший интерес представляет сравнение АК-состава желатинов птиц со свиным и бычьим желатинами. Поэтому обращаем внимание на работу Abedinia et al. [14], в которой приведены данные по АК-составу желатинов из кожи и ног уток, кур и индеек в сравнении с коммерческим желатином из шкуры свиной (табл. 5), о котором говорилось выше (табл. 4).

Согласно данным Abedinia et al. [14], желатины из кожи уток (DSG) после экстракции 0.1 М (0.6%-ным) раствором уксусной кислоты по АК-составу сильно отличались как в положительную сторону по Pro (+34.0), Ser (+30.6), Gly (+28.9), Met (+21.8), His (+21.3), Ala (+18.6), так и в отрицательную сторону по Thr (–83.8), Lys (–28.0), Val (–22.9), Asn + Asp (–19.8), Ile (–15.4), Cys (–9.0), Leu (–6.9), Tyr (–10.0), Arg (–7.4) и практически не отличались по Phe (–4.3), Gln + Glu (+1.2) (табл. 5) по сравнению с таковым для желатина из свиной кожи (коммерческий тип А).

Желатины из кожи цыплят (CSG) после экстракции раствором NaOH (0.15%, *m/v*), а затем раствором серной кислоты (0.15%, *v/v*) по АК-составу сильно отличались как в положительную сторону по Gly (+66.8), Tyr (+52.5), Ala (+21.4), Lys (+16.5), так и в отрицательную сторону по Met (–93.6), Asn + Asp (–64.8), His (–62.5), Gln + Glu (–44.4),

Ser (–38.9), Thr (–36.9), Arg (–34.5), Val (–19.2), Phe (–15.7), Ile (–11.5), Leu (–9.3) и практически не отличались по Cys (–2.0) и Pro (± 0.1) (табл. 5) по сравнению с таковым для желатина из свиной кожи [14].

Согласно данным Abedinia et al. [14], желатины из кожи индейки (MDTRG) после экстракции 5%-ным раствором соляной кислоты при 70°C по АК-составу сильно отличались как в положительную сторону по Ile (+80.8), Gly (+74.0), Ala (+56.5), Thr (+31.3), Lys (+25.3) и Met (+19.1), так и в отрицательную сторону по Leu (–53.1), Tyr (–46.3), Arg (–32.5), His (–27.5), Ser (–23.6), Phe (–21.4), Gln + Glu (–17.5), Val (–6.7) и практически не отличались по Asn + Asp (–3.0), Cys (–2.0), Pro (+3.5) (табл. 5) по сравнению с таковым для желатина из свиной кожи [14].

Интересно, что желатины из лап уток (DFG) после экстракции 4%-ным раствором уксусной кислоты по АК-составу сильно отличались как в положительную сторону только по Met (+21.8), так и в отрицательную сторону по Thr (–70.6), Lys (–56.3), Gly (–56.0), Asn + Asp (–54.7), Gln + Glu (–47.3), Tyr (–46.3), Arg (–33.3), Ser (–23.6), Leu (–13.8), His (–12.5), Phe (–12.4), Ile (–12.3), Val (–6.7), Ala (–2.2) и практически не отличались по Pro (+3.5) (табл. 5) по сравнению с таковым для желатина из свиной кожи [14]. При этом АК-состав полученных желатинов сильно отличался (в разные стороны) от такового для желатинов из шкуры уток (DSG) (табл. 5) по большинству АК: Ala, Arg, Asn + Asp, Gly, Gln + Glu, His, Lys, Phe, Pro, Ser, Thr, Tyr и Val [14].

Важно, что желатины из лап кур (DFG) после экстракции 1.5%-ным раствором уксусной кислоты по АК-составу сильно отличались как в положительную сторону по Gly (+56.0), Ala (+21.8), Leu (+19.7), Met (+1.8), так и в отрицательную сторону по Gln + Glu (–70.2), Ser (–60.3), Phe (–50.5), Lys (–39.8), Pro (–31.3), Asn + Asp (–29.3), Ile (–14.4), Val (–4.25) и практически не отличались по Arg, Cys, His, Thr, Tyr и Trp (табл. 5) по сравнению с таковым для желатина из свиной кожи [14]. При этом АК-состав полученных желатинов слабо отличался от такового для желатинов из шкуры кур (DSG) (табл. 5).

Как следует из табл. 5, 6 и соответствующих работ, общее содержание аминокислот в желатинах из кожи птиц близко к таковому из кожи свиной (т.к. разница в 3.7% не является статистически значимой).

Если взять общее содержание аминокислот (HyPro и Pro) в желатинах из кожи КРС и свиной как референтное значение, то в желатинах из

Таблица 5. Содержание аминокислот в желатинах из кожи и лапок уток, кур и индеек в сравнении с таковым из шкуры свиней [14]

№	АК	Содержание аминокислот, %					
		DSG	CSG	MDTRG	DFG	CFG	PSG
1	Ala	9.84	10.08	12.99	8.12	10.11	8.30
2	Arg	7.87	5.57	5.74	5.67	–	8.50
3	Asp	4.81	2.11	5.82	2.72	4.24	6.00
4	Cys	0.02	0.16	–	–	–	0.20
5	Gly	26.04	33.70	35.14	29.81	31.51	20.20
6	Glu	10.63	5.84	8.66	5.53	3.13	10.50
7	His	0.97	0.30	0.58	0.70	–	0.80
8	Ile	1.10	1.15	2.35	1.14	–	1.30
9	Leu	2.70	2.63	1.36	2.50	3.47	2.90
10	Lys	2.88	4.66	2.99	1.75	2.41	4.00
11	Met	1.34	0.07	0.89	1.47	1.12	1.10
12	Phe	2.19	1.77	1.65	1.84	3.16	2.10
13	Pro	8.84	13.42	13.87	10.68	17.60	13.40
14	Ser	2.50	2.20	2.57	3.75	1.43	3.60
15	Thr	2.94	1.01	2.10	2.37	–	1.90
16	Trp	–	0.04	–	–	1.23	–
17	Tyr	0.72	1.22	0.43	0.46	0.96	0.80
18	Val	1.85	1.94	2.24	2.00	1.38	2.40
19	HyPro	12.78	12.13	–	10.70	9.24	10.80
20	HyLys	–	–	–	–	2.25	1.20

Примечание: HyLys – гидроксизин; HyPro – гидроксипролин. Прочерк – не определялось количественно. DSG – желатины из кожи уток, CSG – желатины из кожи цыплят, MDTRG – желатины из кожи индейки, DFG – желатины из лап уток, CFG – желатины из лап кур, PSG – желатины кожи свиней.

Таблица 6. Содержание аминокислот в желатинах из кожи КРС (BSG) и пекинских уток (DFG) при различных обработках [62]

№	АК	Содержание аминокислот, ед./1000			
		BSG	Ac-DFG	Al-DFG	En-DFG
1	Ala	81.22	81.28	78.98	84.18
2	Arg	51.90	56.73	59.64	63.22
3	Asp	32.20	32.20	30.00	30.79
4	Cys	4.70	–	–	–
5	Gly	365.00	298.11	251.27	279.16
6	Glu	54.14	55.37	59.49	60.77
7	His	–	7.08	25.91	11.99
8	Ile	10.10	11.41	12.84	12.35
9	Leu	18.90	25.10	29.19	29.15
10	Lys	48.80	17.58	18.16	20.74
11	Met	2.20	14.79	10.73	11.06
12	Phe	16.02	18.41	20.22	20.56
13	Pro	101.12	106.83	101.56	100.13
14	Ser	29.40	37.57	37.72	37.95
15	Thr	8.20	23.72	23.59	26.04
16	Tyr	10.60	4.65	5.14	5.65
17	Val	20.07	20.28	20.46	21.59
18	HyPro	102.32	107.08	105.04	98.89

Примечание: прочерк – не определялось количественно. HyPro – гидроксипролин, Ac-DFG – при кислой обработке сырой массы DFG, Al-DFG – при щелочной обработке сырой массы DFG, En-DFG – при ферментативной обработке сырой массы DFG.

кожи кур это содержание значительно выше (на 18–20%). Как известно, высокий уровень общего содержания HyPro и Pro в желатинах улучшает характеристики геля, в том числе свойства пищевых продуктов на его основе. Таким образом, желатины из кожи кур могут служить альтернативой желатинам из других источников.

Abedinia et al. [62] исследовали влияние различных видов обработки и экстракции на процент выхода и состав, физико-химические и реологические свойства желатинов из утиных лапок (DFG). Желатины экстрагировали из цельных лап пекинской утки со средним выходом 4.09, 3.65 и 5.75% при кислой (Ac-DFG), щелочной (Al-DFG) и ферментативной (En-DFG) предварительной обработке сырой массы [62]. При этом содержание белков было на уровне 81.38, 79.41, 82.55 и 87.38% по основному составу желатинов (Ac-DFG, Al-DFG, En-DFG и бычьего соответственно) [62]. Аминокислотный анализ показал, что Gly, безусловно, преобладает во всех образцах, особенно в бычьем желатине. Далее следуют HyPro , Pro , Ala , прежде всего для образцов Ac-DFG, а затем и других образцов Al-DFG и En-DFG. Более высокая термостабильность связана именно с высоким содержанием Pro и HyPro (в Ac-DFG и Al-DFG) по сравнению с таковым в BG и En-DFG [62]. Методом ИК-спектроскопии с Фурье-преобразованием показано, что пики желатинов расположены преимущественно в области амидной полосы (амиды I, II и III) [62]. Реологический анализ показал, что максимальный модуль упругости (9972.25 Па) и модуль потерь (4956.28 Па) [62] были значительно выше у желатина Ac-DFG, чем у других желатинов. Таким образом, именно желатин из утиных лапок (типа Ac-DFG) наиболее перспективен как альтернатива желатинам млекопитающих в пищевой и фармацевтической промышленности.

3. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основными коммерческими источниками желатинов выступают органы и ткани КРС и свиней, хотя в последнее время начинают применять желатины из птиц, рыб и даже насекомых. Во многих пищевых продуктах желатин используется в качестве источника текстуры и связующего агента, стабилизатора и наполнителя. Показано оптимальное содержание аминокислот и их соотношений в желатинах из кожи КРС и свиней для их дальнейшего использования. Конечно, данные по содержанию АК в желатинах из кожи свиней и КРС, полученные в различных технологических условиях, могут существенно отличаться, однако в целом эти отличия носят не критический ха-

рактер. Именно поэтому в промышленности желатины иногда получают из смеси отходов животноводства. Недавно в России была предложена композиция белковых ингредиентов из гидролизатов кожи свиньи и КРС с добавками высушенной плазмы крови, которая имела более “ценный” АК-состав, чем в традиционных желатинах, что позволило авторам сделать предположение о повышенной биологической и пищевой ценности разработанного продукта [61]. Кроме того, ряд авторов обнаружил улучшение отдельных показателей и биологических свойств желатинов из смеси отходов животноводства при образовании некоторых специфических пептидов.

Таким образом, в настоящее время активно разрабатываются новые композиции на основе известных желатинов с оптимальным АК-составом, способствующим улучшению питательных и функциональных свойств продуктов.

БЛАГОДАРНОСТИ

Автор выражает благодарность к.х.н. И.С. Зайцеву за помощь в технической подготовке текста.

ФОНДОВАЯ ПОДДЕРЖКА

Исследования по подразделам “Аминокислотный состав желатинов из кожи и костей крупного рогатого скота” и “Аминокислотный состав желатинов из субпродуктов и отходов промышленного птицеводства” выполнены при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках выполнения государственного задания 124020200032-4 на 2024 г. (регистрационный номер ЕГИСУ темы НИР FGGN-2024-0016).

Исследования по разделу “Введение” и подразделу “Аминокислотный состав желатинов свиней” выполнены при финансовой поддержке Российского научного фонда (проект № 20-16-00032-П).

СОБЛЮДЕНИЕ ЭТИЧЕСКИХ СТАНДАРТОВ

Настоящая статья не содержит описания исследований, выполненных автором данной работы с участием людей или использованием животных в качестве объектов.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Овчинников Ю.А. // Биоорганическая химия / Ред. Овчинников Ю.А. Москва: Просвещение, 1987. С. 27–91.
2. Kaur J., Rangra N.K., Chawla P.A. // Sep. Sci. Plus. 2023. V. 6. P. e2300040. <https://doi.org/10.1002/sscp.202300040>

3. *Нестеров С.В., Ягужинский Л.С., Подопригора Г.И., Нарциссов Я.Р.* // Биохимия. 2020. Т. 85. С. 459–475.
<https://doi.org/10.31857/S0320972520040016>
4. *Tsetlin V.I.* // Russ. J. Bioorg. Chem. 2023. V. 49. P. 224–228.
<https://doi.org/10.31857/S0132342323030235>
5. *Hou Y., Yin Y., Wu G.* // Exp. Biol. Med. 2015. V. 240. P. 997–1007.
<https://doi.org/10.1177/1535370215587913>
6. *Zaitsev S.Yu., Kolesnik N.S., Bogolyubova N.V.* // Molecules. 2022. V. 27. P. 2278.
<https://doi.org/10.3390/molecules27072278>
7. *Zaitsev S.Yu., Belous A.A., Voronina O.A., Savina A.A., Rykov R.A., Bogolyubova N.V.* // Animals. 2021. V. 11. P. 2400.
<https://doi.org/10.3390/ani11082400>
8. *Karim A.A., Bhat R.* // Trends Food Sci. Technol. 2008. V. 19. P. 644–656.
<https://doi.org/10.1016/j.tifs.2008.08.001>
9. *Alipal J., Pu'ad N.M., Lee T.C., Nayan N.H.M., Sahari N., Basri H., Idris M.I., Abdullah H.Z.* // Materials Today: Proceedings. 2021. V. 42. P. 240–250.
<https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.12.922>
10. Global Food Gelatin Market Industry. Growth, Share, Size, Forecast. 2019–2027.
<https://www.inkwoodresearch.com/reports/global-food-gelatinmarket/#report-summary> (accessed February 27, 2024).
11. *Liu D., Nikoo M., Boran G., Zhou P., Regenstein J.M.* // Ann. Rev. Food Sci. Technol. 2015. V. 6. P. 527–557.
<https://doi.org/10.1146/annurev-food-031414-111800>
12. *Зайцев С.Ю.* // Ветеринария, зоотехния и биотехнология. 2023. № 6. С. 119–129.
<https://doi.org/10.36871/vet.zoo.bio.202306015>
13. *Bello A.B., Kim D., Kim D., Park H., Lee S.-H.* // Tissue Eng. Part B Rev. 2020. V. 26. P. 164–180.
<https://doi.org/10.1089/ten.teb.2019.0256>
14. *Abedinia A., Nafchi A.M., Sharifi M., Ghalambor P., Oladzadabbasabadi N., Ariffin F., Huda N.* // Trends Food Sci. Technol. 2020. V. 104. P. 14–26.
<https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.08.001>
15. *Rather J.A., Akhter N., Ashraf Q.S., Mir S.A., Makroo H.A., Majid D., Barba F.J., Khaneghah A.M., Dar B.N.* // Food Packaging and Shelf Life. 2022. V. 34. P. 100945.
<https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2022.100945>
16. *Saito M., Takenouchi Y., Kunisaki N., Kimura S.* // Eur. J. Biochem. 2001. V. 268. P. 2817–2827.
<https://doi.org/10.1046/j.1432-1327.2001.02160.x>
17. *Liu Z.Y., Oliveira A.C.M., Su Y.C.* // J. Agric. Food Chem. 2010. V. 58. P. 1270–1274.
<https://doi.org/10.1021/jf9032415>
18. *Bae I., Osatomi K., Yoshida A., Osako K., Yamaguchi A., Hara K.* // Food Chem. 2008. V. 108. P. 49–54.
<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2007.10.039>
19. *Зайцев С.Ю., Боголюбова Н.В., Молянова Г.В.* // Биохимический анализ крови ряда пород свиней и их гибридов / Ред. Зайцев С.Ю. Москва: Сельскохозяйственные технологи, 2022. С. 162–256.
20. *Джафаров А.Ф.* // Производство желатина. Агропромиздат: Москва, 1990. 287 с.
21. *Mariod A.A., Adam H.F.* // Acta Sci. Pol. Technol. Aliment. 2013. V. 12. P. 135–147.
22. *Gimenez B., Turnay J., Lizarbe M.A., Montero P., Gómez-Guillén M.C.* // J. Food Hydrocoll. 2005. V. 19. P. 941–950.
<https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2004.09.011>
23. *Jusila J.* // J. Forensic Sci. Int. 2004. V. 141. P. 91–98.
<https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2003.11.036>
24. *Nishimoto M., Sakamoto R., Mizuta S., Yoshinaka R.* // J. Food Chem. 2005. V. 90. P. 151–156.
<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2004.03.034>
25. *Johnston-Banks F.A.* // Gelatine. In: Food Gels / Ed. Harris P. Elsevier Applied Food Science Series. Dordrecht: Springer, 1990. P. 233–289.
https://doi.org/10.1007/978-94-009-0755-3_7
26. *Mariod A.A., Bushra M., Abdel-Wahab S.I., Ain N.M.* // Int. J. Trop. Insect. 2011. V. 31. P. 145–153.
<https://doi.org/10.1017/S1742758411000282>
27. *Mariod A.A., Abdel-Wahab S.I., Ibrahim M.Y., Mohan S., Abd Elgadir M., Ain N.M.* // J. Food Sci. Eng. 2011. V. 1. P. 45–55.
28. *Cole C.G.B.* // In: Encyclopedia of Food Science and Technology. 2000. V. 4. P. 1183–1188.
29. *Cole C.G.B., McGill A.E.G.* // Int. J. Food Sci. Technol. 1988. V. 23. P. 525–529.
<https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1988.tb00610.x>
30. *Sims J.T., Bailey A.J.* // J. Chromat. 1992. V. 582. P. 49–55.
[https://doi.org/10.1016/0378-4347\(92\)80301-6](https://doi.org/10.1016/0378-4347(92)80301-6)
31. *Zhou P., Mulvaney S.J., Regenstein J.M.* // J. Food Sci. 2006. V. 71. P. C313–C332.
<https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2006.00151.x>
32. *Zhou P., Regenstein J.M.* // J. Food Sci. 2005. V. 70. P. 392–396.
<https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2005.tb11435.x>
33. *Acevedoa C.A., Diaz-Calderón P., Lópezcand D., Enrione J.* // CyTA—Journal of Food. 2015. V. 13. P. 227–234.
<https://doi.org/10.1080/19476337.2014.944570>
34. *Karim A.A., Bhat R.* // Food Hydrocoll. 2009. V. 23. P. 563–576.
<https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2008.07.002>
35. *Simon A., Grohens Y., Vandanjon L., Bourseau P., Balnois E., Levesque G.* // Macromol. Symp. 2003. V. 203. P. 331–338.
<https://doi.org/10.1002/masy.200351337>
36. *Morimura S., Nagata H., Uemura Y., Fahmi A., Shigematsu T., Kida K.* // J. Proc. Biochem. 2002. V. 37. P. 1403–1412.
[https://doi.org/10.1016/S0032-9592\(02\)00024-9](https://doi.org/10.1016/S0032-9592(02)00024-9)

37. Paul C., Leser S., Oesser S. // *Nutrients*. 2019. V. 11. P. 1079.
<https://doi.org/10.3390/nu11051079>
38. Ross-Murphy S.B. // *Imaging Sci. J.* 1997. V. 45. P. 205–209.
<https://doi.org/10.1080/13682199.1997.11736407>
39. Jamilah B., Harvinder K.G. // *Food Chem.* 2002. V. 77. P. 81–84.
[https://doi.org/10.1016/S0308-8146\(01\)00328-4](https://doi.org/10.1016/S0308-8146(01)00328-4)
40. Зайцев С.Ю. // *Вест. Моск. ун-та. Сер. 2: Химия*. 2023. Т. 64. С. 490–499.
<https://doi.org/10.55959/MSU0579-9384-2-2023-64-5-490-499>
41. Gómez-Guillén M.C., Montero P. // *J. Food Sci.* 2001. V. 66. P. 213–216.
42. Gómez-Guillén M.C., Ihl M., Bifani V., Silva A., Montero P. // *Food Hydrocoll.* 2007. V. 21. P. 1133–1143.
<https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2006.08.006>
43. Gómez-Guillén M.C., Turnay J., Fernandez-Diaz M.D., Ulmo N., Lizarbe M.A., Montero P. // *J. Food Hydrocoll.* 2002. V. 16. P. 25–34.
[https://doi.org/10.1016/S0268-005X\(01\)00035-2](https://doi.org/10.1016/S0268-005X(01)00035-2)
44. Nurilmala M., Suryamarevita H., Hizbullah H.H., Jacob A.M., Ochiai Y. // *Saudi J. Biol. Sci.* 2022. V. 29. P. 1100–1110.
<https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2021.09.056>
45. Gomez-Estaca J., Lopez de Lacey A., Gomez-Guillen M.C., Lopez-Caballero M.E., Montero P. // *J. Aquatic Food Product Technol.* 2009. V. 18. P. 46–52.
<https://doi.org/10.1080/10498850802581252>
46. Eastoe J.E. // *Biochem. J.* 1955. V. 61. P. 589–600.
<https://doi.org/10.1042/bj0610589>
47. Ahmad T., Ismail A., Ahmad S.A., Abdul Khalil K., Awad E.A., Akhtar M.T., Sazili A.Q. // *Polymers (Basel)*. 2021. V. 13. P. 1554.
<https://doi.org/10.3390/polym13101554>
48. Ahmad A., Ismail A., Ahmad S.A., Khalil K.A., Kee L.T., Awad E.A., Sazili A.Q. // *J. Food Sci. Technol.* 2020. V. 57. P. 3772–3781.
<https://doi.org/10.1007/s13197-020-04409-2>
49. Ahmad T., Ismail A., Ahmad S.A., Khalil K.A., Kee L.T., Awad E.A., Sazili A.Q., Ahmad A. // *Int. J. Food Prop.* 2019. V. 22. P. 138–153.
<https://doi.org/10.1080/10942912.2019.1576731>
50. He L., Gao Y., Wang X., Han L., Yu Q., Shi H., Song R. // *Ultrasonics Sonochemistry*. 2021. V. 78. P. 105738.
<https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2021.105738>
51. Zou Y., Wang W., Li Q., Chen Y., Zheng D., Zou Y., Zhang M., Zhao T., Mao G., Feng W., Wu X., Yang L. // *Process. Biochem.* 2016. V. 51. P. 431–443.
<https://doi.org/10.1016/j.procbio.2015.12.011>
52. Rajapakse N., Mendis E., Jung W.K., Je J.Y., Kim S.K. // *Food Res. Int.* 2005. V. 38. P. 175–182.
<https://doi.org/10.1016/j.foodres.2004.10.002>
53. Mulyani S., Setyabudi F.M.S., Pranoto Y., Santoso U. // *Korean J. Food Sci. Anim. Resour.* 2017. V. 37. P. 708–715.
<https://doi.org/10.5851/kosfa.2017.37.5.708>
54. Aykan-Dinçer E., Koç A., Erbas M. // *Poult. Sci.* 2017. V. 96. P. 4124–4131.
<https://doi.org/10.3382/ps/pex237>
55. Al-Hassan A.A. // *Food Hydrocoll.* 2020. V. 101. P. 105457.
<https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2019.105457>
56. Cao S., Wang Y., Xing L., Zhang W., Zhou G. // *Food and Bioproducts Processing*. 2020. V. 121. P. 213–223.
<https://doi.org/10.1016/j.fbp.2020.03.001>
57. Hafidz R.M.R.N., Yaakob C.M., Amin I., Noorfaizan A. // *Int. Food Res. J.* 2011. V. 18. P. 787–791.
58. Norizah M.S., Badii F., Howell N.K. // *Food Hydrocolloids*. 2013. V. 30. P. 143–151.
<https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2012.05.009>
59. Eastoe J.E., Leach A.A. // *Chemical Constitution of Gelatin*. In: *The Science and Technology of Gelatin* // Eds. Ward A.G., Courts A. London: Academic Press, 1977. P. 73–107.
60. Chen L., Ma L., Zhou M., Liu Y., Zhang Y. // *Food Hydrocoll.* 2014. V. 36. P. 316–322.
<https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2013.10.012>
61. Kremenevskaya M.I., Dobryagin R.V., Bogomolov V.V., Snarkiy S.I. // *Theory and Practice of Meat Processing*. 2019. V. 4. P. 20–26.
<https://doi.org/10.21323/2414-438X-2019-4-2-20-26>
62. Abedinia A., Ariffin F., Huda N., Nafchi A.M. // *Int. J. Biol. Macromol.* 2017. V. 98. P. 586–594.
<https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2017.01.139>

Features of the Amino Acid Composition of Gelatins from Organs and Tissues of a Number of Farm Animals

S. Yu. Zaitsev*, #

Phone: 7 (4967) 651-363, +7 (499) 237-42-81; e-mail: s.y.zaitsev@mail.ru

* Federal Research Center for Animal Husbandry named after Academy Member L.K. Ernst, Dubrovitsy 60, Podolsk, 142132 Russia

Gelatins are formed during technological stages of processing animal connective tissue proteins (primarily – collagens) and, from a biochemical point of view, are represented as various polypeptide products. In most cases, gelatins as commercial products are 52.5% made from the skin and bones of cattle; 46.0% – from pig skin and only 1.5% – using other animals. At the beginning of the 21st century, the bulk of gelatins produced are used in food products, about a third in the medical sector, and only about 6% in technical or other industrial applications. Currently, trends towards a healthy lifestyle have intensified, which, along with the religious and cultural traditions of many countries, encourages scientists to look for sources of gelatins that are not related to mammals, but are close to them in physicochemical and functional characteristics. Therefore, recently there has been a tendency that the gigantic volume of production of gelatins from mammals (cattle and pigs) is beginning to decline, although not significantly so far, compared with the relative increase in the production of gelatins from by-products and waste from industrial poultry farming. Moreover, over the past decades, global poultry meat production has increased by more than a third. The optimal content of amino acids (AA) and their ratios in gelatins from cattle and pig skin for their further use is shown. Of course, the AA content in gelatins from pig and cattle skin obtained under different technological conditions may differ significantly. However, in general, these differences are not critical and therefore, sometimes gelatins are obtained from a mixture of animal waste. Recently, in Russia, a composition of protein ingredients from hydrolysates of pig and cattle skin with the addition of dried blood plasma was proposed, which had a significantly better AA composition than in traditional gelatins, which allowed the authors to assume increased biological and nutritional value of the developed product. In addition, a number of authors have discovered an improvement in a number of indicators and biological properties of gelatins from a mixture of animal waste with the formation of a number of specific peptides. Thus, new compositions based on known gelatins with an optimal AA composition are currently being actively developed, leading to improved nutritional and functional properties. The fundamental and applied significance of this review lies in a detailed description of the main studies on the amino acid composition of gelatins and identifying their relationship with the key biochemical and technological indicators of gelatin-based materials.

Keywords: amino acid composition, proteins, gelatins and collagens, animal biochemistry