

**СОСТАВ, СТРОЕНИЯ, СВОЙСТВА И ПРИМЕНЕНИЯ СЕРИЦИНА****ХОЖАНИЯЗОВ АЗАМАТ РУЗИМБАЕВИЧ***Ассистент Ургенчского филиала Ташкентского медицинского академии**E-mail: [x.azamat1992@gmail.com](mailto:x.azamat1992@gmail.com)***IBODULLAYEVA MUKADDAS OLIMBAYEVNA***Toshkent tibbiyot akademiyasi Urganch filiali assistenti**E-mail: [ibodullayevamuqaddas@gmail.com](mailto:ibodullayevamuqaddas@gmail.com)***БАЛТАЕВА МУХАББАТ МАТНАЗАРОВНА***Доцент, кандидат химических наук кафедры химии факультета естественных и сельскохозяйственных наук Ургенчского государственного университета*

**АННОТАЦИЯ:** Серицин, белок шелка, который обычно выбрасывается в больших количествах в шелководстве и текстильной промышленности в процессе гидратации производства шелка из шелковичных коконов, может быть исследован для его применения в упаковке пищевых продуктов и в других пищевых секторах в качестве функционального пищевого продукта и компонента пищевых продуктов. Следовательно, его перепрофилирование может привести к снижению экономических затрат и экологических отходов. Серицин, извлеченный из шелковичного кокона, содержит несколько полезных аминокислот, таких как аспарагиновая кислота, глицин и серин. Кроме того, серицин обладает сильным гидрофильным свойством, которое обеспечивает эффективные биологические и биосовместимые характеристики, включая антибактериальные, антиоксидантные, противораковые и анти酪氨酸азные свойства. При использовании в сочетании с другими биоматериалами серицин доказал свою эффективность в производстве пленок, покрытий или упаковочных материалов. В данном обзоре подробно рассмотрены характеристики серициновых материалов и их потенциальное применение в отраслях пищевой промышленности.

**ANNOTATION:** Sericin, a silk protein that is usually discarded in large quantities by the sericulture and textile industries during the degumming process of manufacturing silk from silk cocoons, can be explored for its application in food packaging and in other food sectors as a functional food and component of food items. Hence, its repurposing can result in reduced economic costs and environmental waste. Sericin extracted from silk cocoon possesses several useful amino acids, such as aspartic acid, glycine, and serine. Likewise, sericin is strongly hydrophilic, a property that confers effective biological and biocompatible characteristics, including antibacterial, antioxidant, anticancer, and anti-tyrosinase properties. When used in combination with other biomaterials, sericin has proved to be effective in the

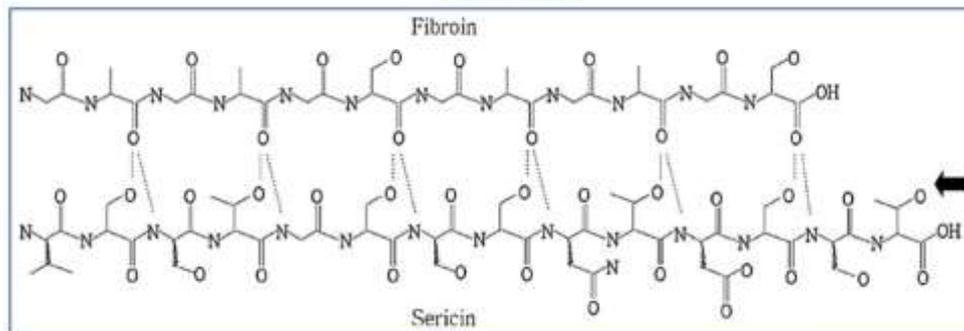
manufacture of films or coating or packaging materials. In this review, the characteristics of sericin materials and their potential application in food-sector industries are discussed in detail.

**Ключевые слова:** Серицин; упаковочный материал для пищевых продуктов; функциональные продукты питания; антиоксидантное; противоопухолевое; антитирозиназа

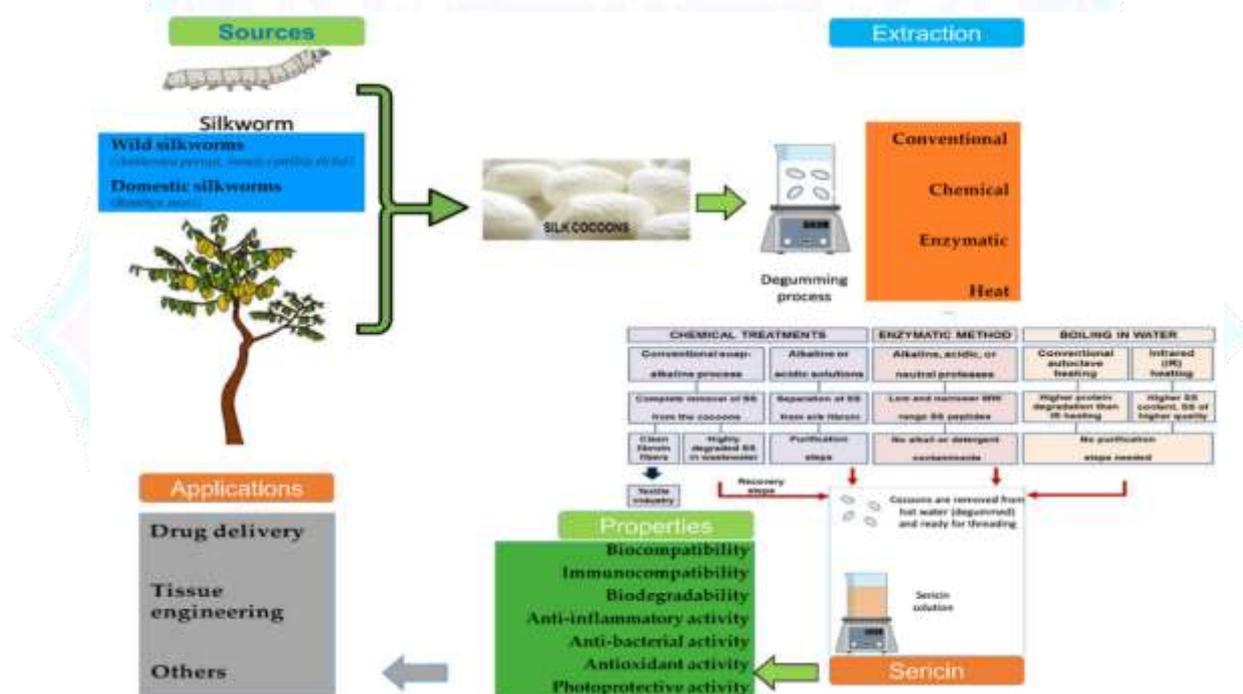
**Keyword:** Cericin; packaging material for food products; healthy foods; antioxidant; antitumor; antityrosinase

Шелковое волокно, являющееся важным компонентом текстильной промышленности или шелководства, в основном вырабатывается рядом тутовых шелкопрядов, принадлежащих к семействам Bombycidae, Lasiocampidae и Saturniidae, к которым относится несколько пауков [1,2,3,4]. Наиболее часто используется шелк из шелковичных коконов, производимых тутовым шелкопрядом *Bombyx mori*. Согласно статистическим данным, опубликованным Международной комиссией по шелководству, в 2019 и 2020 годах в мире было произведено 1 09 111,10 и 91 771,00 тонн шелковичных коконов соответственно. Шелковые волокна в основном состоят из двух типов белка: фиброина и серицина (рис. 1). В качестве адгезивного вещества серицин окружает внешнюю поверхность фиброина, который находится в центре шелковых волокон. В процессе гидратации серицин обычно отделяют от фиброина и выбрасывают, и только фиброин используют в качестве шелка. Серицин отделяется от фиброина в шелковой промышленности для улучшения гладкости, блеска, легкости и окрашиваемости волокон. Поскольку серицин является основным компонентом шелка-сырца, было подсчитано, что из 4,0 тыс. тонн сухих коконов, производимых во всем мире, около 50 000 тонн серицина обычно выбрасываются в качестве отходов в сточные воды, представляющие опасность для окружающей среды

Сообщается, что серицин имеет ряд полезных применений, начиная от полезных пищевых элементов и заканчивая применениями в косметической и медицинской сферах [6,10,12]. Кроме того, биохимические и биофизические



характеристики серицина варьируются в зависимости от процесса, используемого для экстракции. Серицин извлекается с помощью различных



методов, таких как горячая вода, кислота, раствор лимонной кислоты, мочевины и раствор карбоната натрия; тем не менее, гидратация является методом, наиболее часто используемым в промышленности (Рисунок 2). Различные методы экстракции шелка могут приводить к различным молекулярным массам, содержанию аминокислот, конформации, дзета-силе и размеру частиц, а также к различным физико-химическим свойствам и биологической активности серицина [13,14]. Следовательно, различные факторы, такие как pH, температура, время обработки и химические реагенты, оказывают большое влияние на содержание серицина

Серицин содержит 18 аминокислот, включая положительно и отрицательно заряженные, ароматические, полярные и неполярные аминокислоты. Более того, эти свойства серицина сделали его полезным для

различных целей, особенно в пищевой промышленности. Полярные химические группы боковых цепей аминокислот, такие как гидроксильные и карбонильные, позволяют осуществлять сшивающую сополимеризацию и образование смесей с другими полимерами. Полярные химические группы белка серицина обладают антиоксидантными, антибактериальными и антитирозиназными свойствами, а также противовоспалительной, противоопухолевой и анти-GST активностью (рис. 2) [3,10,12,19]. Серин содержится в наибольшей доле (40,51%) полярных аминокислотных боковых цепей, присутствующих в серицине. Кроме того, серицин также содержит низкомолекулярные (<20 кДа) и высокомолекулярные (>20 кДа) аминокислоты, каждая из которых полезна в различных приложениях. Низкомолекулярные материалы могут использоваться в качестве биоматериалов, медицинских, косметических и лекарственных препаратов, в то время как высокомолекулярные обычно используются в качестве биоматериалов, мембран, гидрогелей и сложных полимеров. Также сообщалось о различных применениях серицина, в том числе в косметике, фармацевтике, пищевой и текстильной промышленности.

### Серицин: процесс экстракции и характеристики

Существуют различные методы извлечения серицина из шелковичных коконов, из которых очень распространен традиционный метод экстракции с использованием только горячей воды. Его преимущество заключается в том, что он позволяет использовать природный полимер, хотя чистота серицина в этом случае значительно ниже, чем при использовании других методов экстракции. Кроме того, имеется весьма ограниченная информация о составе серицина, экстрагированного методом экстракции горячей водой. Другим традиционным методом экстракции серицина является процесс мыльно-щелочной гидратации с использованием марсельского мыла и химических веществ, таких как раствор

Таблица 1. Различные методы извлечения серицина, их преимущества и ограничения.

Методы	Преимущества	Ограничения	
Физические свойства	Горячая вода	- Это использование натуральных полимеров. - Чистота серицина была низкой; - Ограниченная информация о составе.	
Химическая	Щелочной раствор: Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> (диализный раствор серицина, содержащий щелочные или кислотные растворы)	- Это недорогой продукт для использования в больших масштабах; - Он обладает хорошим выходом и антиоксидантной активностью.	- Разделение ионов и молекул в растворе серицина; - Обмен с ионами и другими молекулами.
	Щелочные свойства: Марсельское мыло	- Мыло является натуральным материалом.	- Разделение марсельского мыла очень затруднено; - Мыло очень дорогое.
	CaCl <sub>2</sub> (хлорид кальция)	- Извлекают высокочистый серицин из шелкового кокона; - Уменьшают количество микробных отходов.	- Процесс диализа имеет важное значение.
Ферментативный	Фермент протеаза	- Активность по удалению радикалов DPPH и общее содержание незаменимых аминокислот в три раза выше, чем при методе водной экстракции. - Использование в больших количествах обходится дорого.	

бикарбоната натрия ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) уваривают при атмосферном давлении при высокой температуре. Однако в этом процессе восстановление серицина и его качество очень низкие, что приводит к потере его функциональных свойств. Обычно процесс кипячения при экстракции существенно влияет на структуру шелка, и после длительных периодов кипячения молекулярная масса снижается из-за фрагментации серицина, что приводит к деградации аморфных участков, в том числе их гидрофильных свойств. Учитывая недостатки традиционных процедур экстракции, разрабатывается ряд других методов экстракции серицина (рис. 2). Эти методы можно разделить на три основные группы: физические, ферментативные и химические

### Аминокислотный состав

Содержание аминокислот в серицине всегда было одинаковым; однако методы экстракции оказывают незначительное влияние на долю аминокислот. Аминокислотный профиль серицина, как сообщается в различных публикациях, представлен в таблице 2. Большинство соответствующих публикаций показали, что из всех аминокислот, присутствующих в серицине, серин присутствует в наибольшей пропорции, около 30% [18,19,29,34,35,36,37,38]. Следующими наиболее широко представленными аминокислотами в серицине после серина являются аспарагиновая кислота и глицин. Серин играет важную роль в определении функциональных и физико-химических свойств серицина

Таблица 2. Аминокислотный профиль серицина согласно различным работам, опубликованным в литературе.

Аланин	Аргинин	Аспарагиновая кислота	Глутаминовая кислота	Глицин	Гистидин	Изолейцин	Лейцин	Лизин	Метионин	Фенилаланин	Серин	Треонин
6.47	9.75	3.82	6.90	12.24	3.50	4.23	2.85	4.76	1.56	7.89	7.01	7.24
5.71	4.45	NA	NA	12.17	0	1.48	2.03	0.6	0	NA	32.55	7.48
3.28	4.71	11.52	2.92	12.6	2.05	0.34	1.05	2.33	0.13	0.03	40.51	8.45
4.1	2.87	15.64	4.61	15.03	NA	0.56	1	2.35	3.39	0.28	33.63	8.16
5.3	1.8	18	4.6	15.7	1.3	0.7	1.1	2.5	<0.05	0.4	32.2	8.4
3.8	3.9	17.8	4.4	19.1	1	0.4	0.8	2.7	<0.05	0.2	31	8
NA	5-15	7-10	4-6	10-20	3-6	NA	NA	20-30	NA	NA	7-16	3-10
4.6	2.8	19.1	4.1	12.2	0.9	1.4	0.6	10.2	<0.05	0.4	30.4	6
6	3.1	16.7	4.4	13.5	1.3	0.7	1.1	3.3	0.04	0.5	33.4	9.7
4.6	2.8	19.1	4.1	12.2	0.9	1.4	0.6	10.2	<0.05	0.4	30.4	6
4.3	4.9	18.8	7.2	10.7	1.7	1.3	1.7	2.1	0.5	1.6	27.3	7.6
NA	11.95	14	3.3	23.2	1.13	0.91	2.08	3.18	0.77	1.29	21.56	7.04

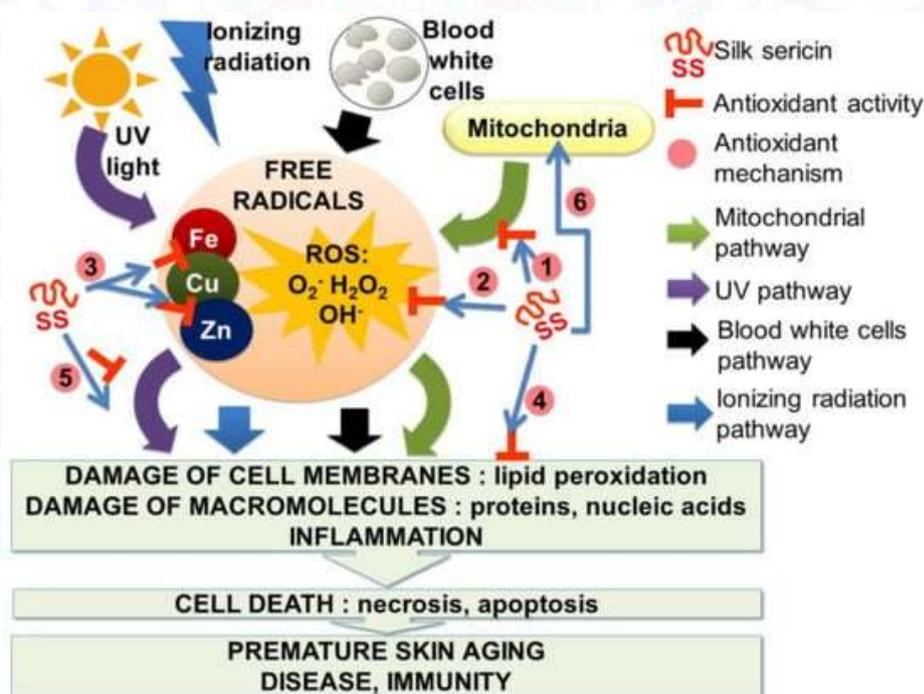
Значения указаны в Моль (%). NA = данные отсутствуют.

благодаря его сильным полярным гидроксильным группам. Аспарагиновая кислота и глицин также важны с точки зрения функции серицина. Кроме того, серицин также содержит гидрофильные аминокислоты (около 70%), что обуславливает его хорошую растворимость и водопроницаемость. Кроме того, ароматические кислоты встречаются в гораздо меньших количествах, например, фенилаланин (6,6%).

### Антиоксидантный потенциал серицина

Хотя активные формы кислорода (АФК) образуются в процессе клеточного метаболизма, они становятся токсичными в высоких концентрациях. АФК со свободными радикалами обладают высокой реакционной способностью с другими веществами из-за их нестабильности. В пищевой промышленности обычно используются синтетические антиоксиданты, такие как ВНТ и ВНА, поскольку они более мощные и доступные, чем природные антиоксиданты. Однако это всегда сопровождается беспокойством по поводу использования синтетических антиоксидантов из-за безопасности для здоровья. Поэтому предпочтение отдается натуральным источникам белка, а не синтетическим антиоксидантам. Серицин, как природный макромолекулярный белок, имеет такие функциональные группы, как Tyr, Trp, His и Cys. Благодаря своей склонности отдавать водород и взаимодействовать, они производят более стабильные молекулы, используя свободные радикалы, и прерывают радикальную цепную реакцию, а функциональные группы в аминокислотах восстанавливают и обесцвечивают ДФПГ.

Антиоксидантное действие серицин-гидроксильных групп, таких как алкоголь, может быть связано с их способностью хелатировать следовые металлы, такие как медь и железо, что может частично обратить вспять эффекты окислительного стресса на печень мышей. Свободные радикалы, вызывающие



окислительное повреждение, стабилизируются поглощающим действием серицина. Размер молекулы серицина обратно пропорционален его антиоксидантной активности. Таким образом, его молекулярный размер может быть уменьшен для повышения его антиоксидантной активности. Кроме того, низкомолекулярные пептиды серицина продемонстрировали выдающуюся

способность поглощающей активности. Кроме того, следует отметить, что антиоксидантное действие серицина обусловлено присутствием полифенолов и флавоноидов. Следовательно, было обнаружено, что водород донорные свойства аминокислот, гидроксильных групп, высокомолекулярного серицина, полифенолов и флавоноидов позволяют уменьшать и обесцвечивать ДФПГ. Возможный режим антиоксидантного потенциала серицина обсуждался Lamboni et al. Таким образом, серицин является ценным многофункциональным веществом, которое может быть исследовано для его применения в косметической промышленности и пищевой консервантной промышленности в качестве натурального и безопасного ингредиента в отношении окислительных процессов, влияющих на качество пищевых продуктов и срок годности.

### Список литературы

1. Barajas-Gamboa, J.A.; Serpa-Guerra, A.M.; Restrepo-Osorio, A.; Álvarez-López, C. Sericin applications: A globular silk protein. *Ing. Y Compet.* **2016**, *18*, 193–206. [[Google Scholar](#)]
2. Humenik, M.; Scheibel, T.; Smith, A. Spider silk: Understanding the structure–function relationship of a natural fiber. *Prog. Mol. Biol. Transl. Sci.* **2011**, *103*, 131–185. [[Google Scholar](#)] [[PubMed](#)]
3. Lamboni, L.; Gauthier, M.; Yang, G.; Wang, Q. Silk sericin: A versatile material for tissue engineering and drug delivery. *Biotechnol. Adv.* **2015**, *33*, 1855–1867. [[Google Scholar](#)] [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
4. Dash, R.; Mandal, M.; Ghosh, S.K.; Kundu, S. Silk sericin protein of tropical tasar silkworm inhibits UVB-induced apoptosis in human skin keratinocytes. *Mol. Cell. Biochem.* **2008**, *311*, 111–119. [[Google Scholar](#)] [[CrossRef](#)]
5. Global Silk Production Statistics; International Sericultural Commission: Karnataka, India, 2019–2021. Available online: <https://inserco.org/en/sites/default/files/Global%20Silk%20Production%202020.png> (accessed on 21 December 2022).
6. Ghosh, S.; Rao, R.S.; Nambiar, K.S.; Haragannavar, V.C.; Augustine, D.; Sowmya, S.V. Sericin, a dietary additive: Mini review. *J. Med. Radiol. Pathol. Surg.* **2019**, *6*, 4–8. [[Google Scholar](#)] [[CrossRef](#)]
7. Gupta, D.; Agrawal, A.; Chaudhary, H.; Gulrajani, M.; Gupta, C. Cleaner process for extraction of sericin using infrared. *J. Clean. Prod.* **2013**, *52*, 488–494. [[Google Scholar](#)] [[CrossRef](#)]
8. Aramwit, P.; Siritientong, T.; Srichana, T. Potential applications of silk sericin, a natural protein from textile industry by-products. *Waste Manag. Res.* **2012**, *30*, 217–224. [[Google Scholar](#)] [[CrossRef](#)]

9. Giacomini, A.M.; Garcia, J.; Zonatti, W.F.; Silva-Santos, M.; Laktim, M.C.; Baruque-Ramos, J. Silk industry and carbon footprint mitigation. *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.* **2017**, *254*, 192008. [[Google Scholar](#)] [[CrossRef](#)] [[Green Version](#)]
10. Silva, A.S.; Costa, E.C.; Reis, S.; Spencer, C.; Calhelha, R.C.; Miguel, S.P.; Ribeiro, M.P.; Barros, L.; Vaz, J.A.; Coutinho, P. Silk Sericin: A Promising Sustainable Biomaterial for Biomedical and Pharmaceutical Applications. *Polymers* **2022**, *14*, 4931. [[Google Scholar](#)] [[CrossRef](#)]

