

燕窝肽及相关产物与健康：研究概况

郭宝忠

(厦门市燕之屋丝浓食品有限公司燕窝研究院, 福建厦门 361100)

摘要: 燕窝是一种由金丝燕的颌下腺分泌物为主构建的可食用生物制品, 历史悠久, 被视为东方滋补佳品。最新的研究发现燕窝的水解物——燕窝肽, 在一些领域具有更为优越的生物活性, 超越传统燕窝。该综述主要内容包括燕窝的来源与基本组成、燕窝肽概述、燕窝肽的制备方法、燕窝肽的组成特征、燕窝肽的健康效应、燕窝肽的研究和应用中存在的科学与技术问题、燕窝肽的应用与市场趋势。研究显示, 燕窝肽的制备方式包括水提取、酶水解、模拟消化、物理场辅助酶解。燕窝肽的制备方式极大地影响了其组成、结构和分子量, 导致其功能性质不一。同时, 由于其独特的结构和分子量分布, 燕窝肽也被赋予了不同于燕窝的内服、外用两种使用方式。在健康效应方面, 燕窝肽在抗氧化、抗衰老、美白、抗炎、皮肤保护、抗病毒、免疫调节、神经退行性疾病改善等多个领域都展现出了其独特的功效。特别是在特定领域燕窝肽具有优于燕窝的特点, 例如美白。同时, 燕窝肽仍然存在制备方法效率低、氨基酸序列不明确、核心肽段不明确、市场规模低等问题, 仍需从基础研究、标准化等方面持续开展研究。该文可以为燕窝肽的技术创新和现代化发展提供理论参考。

关键词: 燕窝; 燕窝肽; 燕窝水解物; 燕窝提取物; 健康效应

文章编号: 1673-9078(2024)09-388-397

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2024.9.1058

Edible Bird's Nest Peptides, Related Products, and Health Benefits: Research Overview

GUO Baozhong

(Research Institute of Bird's Nest, Xiamen Yan Palace Seelong Food Co. Ltd., Xiamen 361100, China)

Abstract: Edible bird's nest is a biologically derived consumable product primarily made from the secretion of the submandibular gland of swiftlet birds. With a long history, it is regarded as a precious tonic in the East. The hydrolyzate of edible bird's nest, known as edible bird's nest peptide, exhibits superior biological activities in some areas compared to the traditional edible bird's nest. This review covers the origin and basic composition of edible bird's nest, gives an overview of edible bird's nest peptides, their preparation methods, compositional characteristics, health effects, scientific and technical issues in their research and applications, application, and market trends. Edible bird's nest peptide preparation methods include water extraction, enzymatic hydrolysis, simulated digestion, and physical field-assisted enzymolysis. The preparation method greatly influences its composition, structure, and molecular weight, resulting in differing functional properties. Due to its unique structure and molecular weight distribution, the administration methods of edible bird's nest peptide differ from traditional edible bird's nest; it can be used both orally and topically. In terms of health benefits, edible bird's nest peptide has demonstrated unique benefits in various areas, such as antioxidant, anti-aging, skin whitening, anti-inflammatory, skin

引文格式:

郭宝忠. 燕窝肽及相关产物与健康: 研究概况[J]. 现代食品科技, 2024, 40(9): 388-397.

GUO Baozhong. Edible bird's nest peptides, related products, and health benefits: Research overview [J]. Modern Food Science and Technology, 2024, 40(9): 388-397.

收稿日期: 2023-09-06

作者简介: 郭宝忠 (1995-), 男, 博士, 工程师, 研究方向: 食品生物大分子, E-mail: guobaozhong0482@163.com

protection, antiviral, immunoregulation, and neurodegenerative disease improvement. Notably, in certain areas, edible bird's nest peptides showed characteristics superior to edible bird's nest, such as skin whitening. However, certain issues regarding edible bird's nest peptides remain, such as low efficiency in preparation methods, unclear amino acid sequences, unclear core peptide segments, and a small market size. Continuous effort is required for basic research and standardization. This study could serve as a theoretical reference for the technological innovation and modernization of edible bird's nest peptide development.

Key words: edible bird's nest; peptides from edible bird's nest; edible bird's nest hydrolyzate; edible bird's nest extract; health benefits

燕窝（特指可食用燕窝，又名“Edible bird's nest”、“Swiftlet's nest”），历史文献中屡次出现，为东方滋补佳品。在千年文化底蕴的中国，其被赋予的不仅仅是养身、滋补的功能，更代表了一种品质的追求，一种对生活的高标准。燕窝是特定的金丝燕（雨燕目 Apodiformes, 雨燕科 Apodidae）颌下腺分泌物与燕羽、草等混合构建的可食用生物制品^[1,2]。能筑造燕窝的燕类主要包括侏金丝燕属（*Collocalia*）、金丝燕属（*Aerodramus*）和雨燕属（*Apus*）3 属等中的十多个物种，如爪哇金丝燕（*Aerodramus fuciphagus*）或其亚种、大金丝燕（*Aerodramus maximus*）或其亚种。起初燕窝仅作为金丝燕繁育下一代的巢穴，提供对鸟蛋和雏鸟的保护。但在经过精细的处理后，该巢穴转变成可供人食用的燕窝。

在中国古代的朝代，如唐、元、清，燕窝常出现在皇家的食谱和儒家的诗文中，是身份和地位的象征^[2-4]。中医经典中，其功效描述为“益气化痰、滋肾养肺、补脾和胃、调补虚劳”^[4]。随着时间的推移，现代医药科学研究证明，燕窝在美白、抗病毒、免疫调节、智力和记忆力增强、神经退行性疾病改善和抗氧化等多个领域都展现出了其独特的功效^[1,2,5-7]，这使得其在现代医学领域的价值逐渐凸显。

最新的研究进展更是令人振奋，燕窝的水解物——燕窝肽，在一些领域被证实具有更为优越的生物活性，超越传统燕窝^[8,9]。这一新的突破为燕窝创造了更广阔的研究空间，暗示着燕窝还有更多的营养价值有待挖掘。然而，对于燕窝肽的研究进展仍然鲜有综述。因此，详实地呈现燕窝的历史与现代科学研究成果，对燕窝肽的最新研究进行综述显得尤为重要。基于此，本文详细介绍了燕窝的来源与基本组成、燕窝肽的制备工艺、燕窝肽的组成特征、燕窝肽的健康效应。旨在帮助更多的学者和消费者深入了解燕窝和燕窝肽的价值，并为未来的燕

窝和燕窝肽研究明确方向，提升燕窝营养的利用效率和应用价值。

1 材料与方法

1.1 文献检索策略

时间设定为自建库至 2023 年 8 月，以“燕窝肽”、“燕窝水解”、“燕窝提取”、“燕窝消化”为中文检索词，检索中国知网数据库、万方医学数据库、维普数据库；以“edible bird's nest peptide”、“edible bird's nest extract”、“edible bird's nest hydrolysis”为英文检索词，检索 Web of Science 数据库。

1.2 纳入与排除标准

纳入标准：燕窝肽的研究，包含未定义成燕窝肽的燕窝水解物、燕窝提取物（仅包含肽、糖肽提取物，不包含唾液酸提取物），包括一手研究数据、综述、系统综述等非一手研究数据。

排除标准：与主题无关的文献；非中英文文献；摘要及标题中不含有关键词的文献；无法获得全文的文献；专利。最终，共筛选出文献 51 篇（其中中文 15 篇、英文 36 篇），作为本次综述的主要证据。

2 燕窝的来源与基本组成

燕窝主要源于某些特定的金丝燕种类，如侏金丝燕属（*Collocalia*）、金丝燕属（*Aerodramus*）和雨燕属（*Apus*）3 属等中的十多个物种，包括爪哇金丝燕（*Aerodramus fuciphagus*）或其亚种、大金丝燕（*Aerodramus maximus*）或其亚种等。这些燕子选用特殊的生态环境，如海边的悬崖或深洞，为筑巢繁衍地。燕窝的形成主要是由于金丝燕的颌下腺分泌出的粘性蛋白质物质。这些蛋白质物质在接触空气后会迅速凝固，形成坚硬的巢，即燕窝。燕窝中还可能混杂有燕子的羽毛、草秆和其他微小杂质，但这些通常在后期的加工过程中会被彻底清除。

值得注意的是, 燕窝作为金丝燕繁育下一代的场所, 一般只有繁育的雏鸟具备独自生活能力, 飞离燕窝后才会进行下一步的加工。雏鸟离开后被工人采摘的燕窝经过去除粪便、土壤以及一般杂质的初级处理、无霉变、未添加任何物质的燕窝产品被称为毛燕窝。毛燕窝根据燕窝建造时混合的金丝燕羽毛的量又被分类为轻毛、中毛、重毛燕窝。随后, 毛燕窝经分拣、水浸泡、清洁、去除羽毛、重新塑型、加热烘干、分装等工艺制成但无外源添加物的燕窝产品被称为净燕窝。

燕窝中蛋白质含量范围为 56.34%~69.5%, 脂肪含量范围为 0.03%~1.28%, 碳水化合物含量范围为 17.12%~31.68%, 水分含量范围为 12%~24.3%, 唾液酸含量范围为 7.64%~12.52%, 同时氨基酸种类丰富且必须氨基酸比例较大, 还有丰富的矿物质和多种必需常量和微量元素 (如 Na、Ca、Mg、K、P、Fe、Cu、Zn、Mn、Mo、Co、Se、Cr)、维生素 (如维生素 A、维生素 D、维生素 C、维生素 B₁、维生素 B₇)^[10]。值得注意的是, 除了上述基本组成成分以外, 在燕窝及其制品中也越来越多地发现了对人体有益的健康因子。例如, Zhang 等^[11]报道的在即食燕窝中发现的 3'-唾液酸乳糖, 被报道具有调节脑代谢、提高免疫力、抗病毒、抗菌、提高学习记忆力、促进婴儿大脑发育等作用; Bai 等^[12]报道的在燕窝中发现的表皮生长因子 (Epidermal Growth Factor, EGF), 被报道具有优良的促进伤口愈合等作用。因此, 燕窝的价值不仅仅体现在基本组成的优异上, 还体现在其特殊的营养成分中。燕窝中的成分仍然值得研究人员进一步挖掘, 以提供更多关于燕窝的有益证据, 阐述燕窝促进健康的机理。

3 燕窝肽概述

2023 年 6 月由中国食品工业协会组织制定的 T/CNFIA 172-2023《燕窝肽》团体标准正式发布, 其中定义了燕窝肽, 为“以食用燕窝为原料, 经水解工艺生产的, 主要成分的相对分子质量低于 10 000 的产品”。实际上, 早在 1984 年, 北京医学院生物化学教研室的童坦君和美国生物制品标准局生物化学与生物物理研究部的刘德勇就通过胃蛋白酶消化、葡聚糖凝胶 G50 分离, 从燕窝中得到了燕窝肽, 当时被称为“糖肽”^[13,14]。因此, 燕窝肽可定义为以食用燕窝为原料, 经水解工艺生产的, 主要成分为氨基酸通过肽键连接而成的相对分子质量低于

10 000 的肽, 次要成分可包括低聚糖、唾液酸等燕窝特征性成分。

目前, 研究人员、企业更多地将燕窝肽命名为燕窝提取物、燕窝水解物等。因此, 本综述也将燕窝提取物、燕窝水解物纳入了燕窝肽范畴。但要说明的是排除了不包含肽的燕窝提取物, 如燕窝唾液酸提取物。

4 燕窝肽的制备方法

如图 1 和表 1 所示, 燕窝肽目前被报道可以通过四种方法之一制备^[15-18]: 水提取 (通常为沸水提取)、酶水解、模拟消化, 以及物理场辅助酶水解。水提取通过高温长时间的水处理破坏蛋白质结构制备燕窝肽, 似乎是最简单的燕窝肽提取方法, 但通常需要在长时间沸腾后才能获取燕窝肽^[15], 同时, 所得燕窝肽分子量可能相对大于其他方法所得燕窝肽分子量。

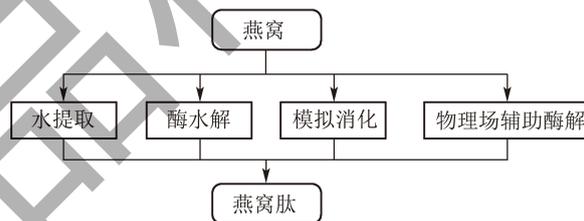


图 1 燕窝肽制备方法

Fig.1 Preparation method of edible bird's nest peptide

表 1 燕窝肽制备工艺文献报道

Table 1 Literature reports on the preparation process of edible bird's nest peptides

类别	包含制备方式	文献
水提取	沸水提取	[17,24-27]
酶水解	胃蛋白酶、胰蛋白酶、胰酶、酸性蛋白酶、中性蛋白酶、碱性蛋白酶、木瓜蛋白酶、Protamex®、Alcalase	[9,19,20,28-47]
模拟消化	模拟胃液、肠液	[9,16,18,21,22,48,49]
物理场辅助酶解	超声处理辅助酶解、高压高温处理辅助酶解	[23,50]

酶水解法又称酶消化法, 在燕窝肽的制备过程中指使用水解酶水解燕窝蛋白质制备燕窝肽的方法。由于高回收率、基本无溶剂残留、环保等的优点, 酶水解法在燕窝肽的制备过程中非常常见。过程主要包括燕窝原料预处理、酶解、灭酶、精制和干燥等过程。Bai 等^[19]报道了使用碱性蛋白酶酶解

制备燕窝肽的工艺, 所得燕窝肽具有较低的分子量和优异的生物活性。Cao 等^[20]研究了六种蛋白酶酶解制备燕窝肽的工艺, 包括木瓜蛋白酶、酸性蛋白酶、中性酶、碱性酶、胃蛋白酶和胰蛋白酶, 但研究的六种蛋白酶具有差别明显的水解能力, 提示了选择合适蛋白酶酶解制备燕窝肽的重要性。

模拟消化旨在模拟人体胃、肠道系统, 通过体外模拟的方式获得燕窝的消化产物即燕窝肽。在模拟消化中, 除胃蛋白酶、胰酶等的使用外, 通常还包含人体胃肠道中富含的盐类物质。如王鑫等^[9]、Lai 等^[18,21]、Kong 等^[22]报道了通过模拟人体消化方法制备燕窝肽的工艺, 过程中包含模拟胃液、肠液的使用, 其中除了酶外还使用了氯化钙等盐类物质, 获得的燕窝肽具有良好的美白、抗炎等生物活性。然而, 无论是酶水解法或模拟消化法制备燕窝肽, 均存在过程复杂等缺陷, 仍然需要不断的改善。

最后, 也有研究人员报道了通过物理场辅助酶水解制备燕窝肽的方式。例如, Chantakun 等^[23]通过超声处理辅助 Alcalase 酶水解制备燕窝肽, 具有提高的水解度和抗氧化活性。基于此, 物理场辅助酶水解是一种有潜力的燕窝肽制备方法, 值得进一步探索。

如上所述, 燕窝肽虽然已开发出多种制备工艺, 但各自均存在一定的局限性, 影响了燕窝肽产业的发展。因此, 仍然需要不断探索新型的燕窝肽制备方式, 例如借鉴其他蛋白肽的制备方法, 优化工艺应用于燕窝肽的制备。可能的方向包括更多物理场的辅助应用, 如动态高压微射流。

5 燕窝肽的组成特征

5.1 基本组成

燕窝中富含蛋白质、碳水化合物、唾液酸, 还包括丰富的矿物质和多种必需常量和微量元素 (如 Na、Ca、Mg、K、P、Fe、Cu、Zn、Mn、Mo、Co、Se、Cr)、维生素 (如维生素 A、维生素 D、维生素 C、维生素 B₁、维生素 B₇), 其中蛋白质氨基酸种类丰富且必需氨基酸比例较大。燕窝肽在以肽为主要成分的同时也包含了燕窝中的一些其他营养成分。

由于燕窝肽中的蛋白质大部分被水解为肽, 因此从科学定义上蛋白质含量通常不应作为考量指标, 而应通过氨基酸含量、组成、氨基酸一级序列

结构、肽分子量综合表示。然而, 同样有文献报道通过检测氮含量折算燕窝肽中的蛋白质含量。Amin 等^[39]通过 AOAC 的标准方法测定燕窝肽的蛋白质含量, 发现燕窝肽蛋白质含量可达 66.16%。在氨基酸组成上, 大部分文献表明燕窝肽至少含 18 种氨基酸, 且具有优良的氨基酸组成^[19,35,40]。Bai 等^[19]测定了燕窝肽的氨基酸含量和组成, 发现燕窝肽中的氨基酸含量为 68.89 g/100 g, 特别是燕窝肽中的总必需氨基酸达到 30.90 g/100 g, 占总氨基酸的 44.89%, 明显高于其他富含蛋白质的食物 (如鸡蛋 4.7~7.0 g/100 g 和牛奶 1.1 g/100 g), 同时远高于 FAO/WHO 推荐的优质蛋白质标准。Gan 等^[35]同样在燕窝肽中表征了 18 种氨基酸, 发现研究中的所有燕窝肽样品均包含所有必需氨基酸, 必需氨基酸总计 38.91~44.74g/100 g。除氨基酸含量外, 燕窝肽中氨基酸排布方式, 即氨基酸序列也同样重要, 可以决定燕窝肽的生物活性。在通过胰蛋白酶、胃蛋白酶消化得到的燕窝肽中, 发现在研究范围内具有最优生物活性的燕窝肽分子量小于 3 ku, 同时大多数肽序列的 N 端或 C 端含有疏水性氨基酸, 如甘氨酸 (Gly)、酪氨酸 (Tyr)、亮氨酸 (Leu)、蛋氨酸 (Met)、脯氨酸 (Pro)、色氨酸 (Trp)、缬氨酸 (Val) 和苯丙氨酸 (Phe) 残基^[51]。基于此, 研究人员和产品开发人员也应关注燕窝肽的氨基酸序列, 以获得相对高的活性。

燕窝肽中同样存在碳水化合物。例如 Amin 等^[39]表征所得燕窝肽中碳水化合物为 28.01%。而 Chong 等^[52]在燕窝肽中发现了更少的碳水化合物, 9.74%~13.48%。可知碳水化合物含量的波动受燕窝肽制备方法的影响。与燕窝相同, 燕窝肽中的碳水化合物同样受贡献于其中的唾液酸、半乳糖胺等。

燕窝肽中的唾液酸仍然是备受关注的。相对于燕窝中的唾液酸含量 (7.64%~12.52%)^[10], 燕窝肽中的唾液酸含量被报道可高达 200.3 g/kg (即 20.03%)^[41]。甚至王鑫等^[9]在中性蛋白酶酶解所得燕窝肽中检测到 59.10% 的唾液酸含量。因此, 单从唾液酸的角度, 燕窝肽相对于燕窝而言也是一种更为优良的补充剂。分析燕窝肽富集唾液酸的原因, 可以发现富含唾液酸的燕窝肽通常通过蛋白酶水解燕窝制备。其中蛋白酶仅水解燕窝中的蛋白质部分, 而对唾液酸不产生影响。而经过特定的筛选如膜过滤、离心后, 唾液酸被更多的富集。因此, 燕窝肽的制备方法仍然是影响其组成、活性的关键因素。

燕窝肽中同样存在其他燕窝中存在的活性成分,例如表皮生长因子。Bai等^[12]探究了不同酶处理所得燕窝肽的表皮生长因子含量,在实验条件下的所有燕窝肽中均发现了表皮生长因子的存在。

5.2 分子量分布

肽类物质的分子量是考量其应用方式的重要指标,例如较大分子量的肽类物质仍难以通过皮肤屏障从而限制了在外用产品中的应用,而较小分子量的肽类物质既可以拥有优良的体内吸收作用力还拥有通过皮肤屏障发挥外用作用的能力。例如,发现<1 000 u分子量的肽具有较高的抗氧化活性^[53];Wang等^[54,55]研究酪蛋白肽在Caco-2细胞中的转运,发现<500 u的肽具有更高的生物利用度。然而,从科学上,目前对肽类的分子量和透皮作用力、体内吸收作用力之间的关系还未建立明确的联系,还需要更多的实验证明。同时,肽类的氨基酸序列也是影响其透皮作用力、体内吸收作用力的重要因素,仍需要进一步研究。

在燕窝肽中,不同的制备方式可以极大地影响制备所得燕窝肽的分子量。Wong等^[16]通过模拟消化方式制备所得燕窝肽主要尺寸小于6.5 ku。王鑫等^[9]发现燕碎仅炖煮后水溶性提取物以分子量128 ku和108 ku的糖蛋白为主;通过模拟消化制备的燕窝肽以低聚肽(<500 u)为主,但是仍然有36%的蛋白没有被水解成多肽;而通过酶水解制备的产物中,碱性蛋白酶和风味蛋白酶水解燕窝肽的低聚肽相对含量较高,均超过50%。其中风味蛋白酶燕窝肽中的低聚肽(<500 u)含量达到48%;木瓜蛋白酶解燕窝肽的低聚肽(<500 u)含量最低,仅为24%;而风味蛋白酶水解燕窝肽的中等分子量肽含量最低。因此,在燕窝肽的制备过程中应充分考量制备方法对燕窝肽分子量的影响,以获取具有优势分子量的燕窝肽。

6 燕窝肽的健康效应

燕窝肽健康效应文献报道如表2所示。目前对燕窝肽的健康效应报道具有一定规模,主要表现在抗氧化、抗衰老、美白、提高免疫、抗炎等方面。从细分功能上,燕窝肽具有多种健康效应,但不应将燕窝肽作为万能物质。从底层逻辑上,燕窝肽具有多种细分的健康效应归功于某些共有的生物活性。例如,在机体衰老、黑色素过度生成、免疫降低、

皱纹产生、炎症发生等过程中,氧化均是不可忽视的过程,因此燕窝肽的抗氧化能力对这些健康效应均有不同程度的贡献。因此,研究人员、消费者应更多的关注燕窝肽作用的底层机理,并持续深入的挖掘底层机理,以更好的阐述和理解燕窝肽的健康效应。

6.1 抗氧化

如上所述,抗氧化是一个重要的能力,参与多项细分健康效应,如抗衰老、抑制黑色素生成、提高免疫、抗皱、抗炎等过程^[18,19]。例如,在黑色素生成过程中,黑色素生成中间体多巴醌会通过多步氧化反应生成真黑素和褐色素。因此,抗氧化的能力也赋予了阻断多巴醌通过多步氧化反应生成黑色素的能力。此外,过量的活性氧自由基(ROS)也会损伤机体DNA,产生连锁不良反应例如炎症、皮肤损伤(皱纹)。因此,抗氧化的能力也赋予了抗炎、皮肤保护等能力。

燕窝肽的抗氧化效应被报道得较多,研究通过体外生化、细胞、动物三个层次均发现了燕窝肽的抗氧化能力^[9,19,20,23,28-30,34,35,41,42,46,48,51,52]。燕窝肽可以从清除活性氧自由基、降低氧化应激水平等机制实现抗氧化。Bai等^[19]通过清除DPPH自由基、ABTS⁺自由基、OH自由基,以及保护H₂O₂诱导的HaCaT细胞损伤表征了碱性蛋白酶酶解燕窝肽的抗氧化能力。Murugan等^[25]等口服灌胃小鼠以沸水提取的燕窝肽,发现其可以抑制氧化应激反应。基于此,燕窝肽是一个优良的抗氧化剂,同时也因此被赋予其他健康效应。

6.2 抗衰老

研究人员及消费者对抗衰老有多种理解,可以包括抗体内活性氧自由基对机体的损害,抗光导致的皮肤老化、破损,改善皮肤质量,下调衰老相关基因等。如上所述,燕窝肽具有优异的抗氧化能力,因此可以达到抗衰老的效果。同时,燕窝肽被报道具有抗光导致的皮肤老化、破损,改善皮肤质量,下调衰老相关基因能力^[19,36,42,43]。Bai等^[19]通过斑马鱼模型考察燕窝肽的抗光老化能力,发现碱性蛋白酶酶解制备的燕窝肽可以抑制紫外光导致的斑马鱼尾鳍收缩、破损。Matsukawa等^[36]通过切除卵巢大鼠模型模拟绝经期人体,发现食用胰酶F(Pancreatin F)酶解制备的燕窝肽后切除卵巢大鼠因为衰老导致的真皮层厚度被改善。Kim等^[42]通过小鼠考察燕窝肽的抗光老化能力,发现食用燕窝肽

可以抑制紫外光导致的氧化应激和皮肤老化。Kim等^[43]通过细胞考察复合蛋白酶(Protamex®)酶解制备的燕窝肽的抗衰老能力,发现燕窝肽可以抑制H₂O₂诱导的细胞毒性并清除细胞内活性氧,下调H₂O₂诱导的MMP-1 mRNA表达,降低细胞外信号调节激酶(ERK)和c-Jun N端激酶(JNK)的活化,从而起到抗衰老效应。

6.3 美白

燕窝肽的美白效应研究集中在黑色素生成抑制以及黑色素生成关键酶——酪氨酸酶的抑制方面。王鑫等^[9]在模拟消化、酶解制备的燕窝肽中均发现了酪氨酸酶抑制的作用。Bai等^[19]为燕窝肽的美白效应提供了更为直接的证据,在斑马鱼模型中发现了显著的抑制斑马鱼体表黑色素生成现象。进一步在B16F10细胞中, Kim等^[42]发现燕窝肽可以通过下调cAMP、PKA、CREB、MITF、TRP-1、TRP-2和酪氨酸酶途径来抑制黑色素生成。更值得注意的是, Wong等^[16]发现,通过模拟消化制备的燕窝肽

相较未被消化的燕窝,对B16细胞的黑色素生成和酪氨酸酶的酶活性具有更强的抑制作用。

黑色素的生成通过多步的反应实现,包括MITF调节酪氨酸酶的生成、酪氨酸酶参与的黑色素生成、TRP-1和TRP-2参与的黑色素转运。燕窝肽的研究结果充分的反映了燕窝肽在美白上的优势,即燕窝肽可以参与体内酪氨酸酶合成的调节,抑制酪氨酸酶活性,抑制黑色素生成过程所需的氧化反应,抑制黑色素转运。相对于其他成分单一的美白机理,燕窝肽表现出了更大的潜力。

6.4 抗炎

机体的炎症起因有多种,例如生物因子如病毒、细菌引起的炎症,物理因子如高温、低温、紫外线引起的炎症,化学因子如酸、碱、不良代谢物引起的炎症,以及坏死组织引起的炎症。炎症发生后机体会通过促炎症因子例如TNF- α 、IL-2、IL-6、IL-8促进炎症反应,也会通过抑炎症因子例如IL-4、IL-13、IL-10、TGF- β 抑制炎症反应。

表2 燕窝肽健康效应文献报道

Table 2 Literature reports on the health effects of edible bird's nest peptides

类别	作用机制	实验对象	作用方式	文献
抗氧化	清除自由基、抑制氧化应激	体外生化、细胞、动物	外用	[9,19,20,23,28-30,34,35,41,46,48,51,52]
			口服	[25,42]
抗衰老	抗光老化、改善皮肤质量、下调衰老相关基因	细胞、动物	外用	[19,43]
			口服	[36,42]
美白	酪氨酸酶活性抑制、黑色素生成抑制	体外生化、细胞、动物	外用	[9,16,19]
			口服	[42]
抗炎	抑制促炎症因子	细胞、动物	外用	[17,18]
			口服	[26]
骨保护	保护骨基质、促进成骨、提高骨强度	细胞、动物	外用	[16,17]
			口服	[36]
提高免疫	抑制不良细胞、保护免疫系统	细胞	外用	[24,47,56]
皮肤保护	促进皮肤细胞增殖、保护皮肤损伤	细胞、动物	外用	[19,57]
保护、改善神经系统	抑制帕金森病、促进神经元分化	细胞	外用	[31,38]
抗病毒	抑制流感病毒对细胞的损害	细胞	外用	[33,49]
抗高血压	抑制血管紧张素转化酶	体外生化	外用	[28,35]
改善糖尿病	改善胰岛素信号传导和抗氧化酶	动物	口服	[26]
促进益生菌生长	促进植物乳杆菌生长	微生物	外用	[34]
保湿	促进保湿相关基因表达	细胞	外用	[21]
抗皱	口服临床实验	人体	口服	[58]

燕窝肽抗炎的研究主要集中于对促炎症因子的抑制。Chua 等^[17]通过人软骨关节细胞的关节炎模型研究了燕窝肽的抗炎效应,发现热水提取制备的燕窝肽可以抑制人软骨关节细胞中的促炎症因子 IL-1、IL-6、IL-8。Lai 等^[18]在 HaCaT 细胞和小鼠皮肤中均观察到使用模拟消化制备的燕窝肽后促炎细胞因子 IL-1 β 、IL-6、TNF- α 和负责炎症反应的酶 Cox-2 的下调。进一步地,口服燕窝肽的抗炎效应也被报道,Choy 等^[26]灌胃小鼠以热水提取制备的燕窝肽,发现燕窝肽可以降低促炎症因子 IL-6 和 TNF- α 的表达。

6.5 皮肤保护和保湿

燕窝肽是一种具有优良皮肤保护作用的生物活性物质。事实上,皮肤保护作用的展现形式有多种。例如促进皮肤细胞的增殖与分化、抵抗紫外线损伤、减轻皮肤炎症、保湿,均可以看作为皮肤保护效应。如上所述,燕窝肽具有抗衰老、抗炎效应,反映了燕窝肽皮肤保护的健康效应。此外,更多地研究也报道燕窝肽具有促进皮肤细胞增殖、保护皮肤细胞损伤的作用^[19,57]。例如,Bai 等^[19]在斑马鱼模型中发现,碱性蛋白酶酶解制备的燕窝肽可以减少紫外光导致的斑马鱼皮肤(尾鳍)损伤。董建辉等^[57]发现燕窝肽可以显著促进表皮角质细胞的生长和分化。此外,Lai 等^[18]提供了更为引人注意的证据,研究发现模拟消化制备的燕窝肽可以促进聚丝蛋白(Filaggrin)和聚丝蛋白-2(Filaggrin-2)表达,从而反映燕窝肽的皮肤保护和保湿能力。

6.6 抗病毒和提高免疫力

燕窝肽被报道具有抗病毒和提高免疫力的健康效应,可以归结为对机体的保护。主要通过抑制病毒对机体的损害,抑制不良细胞,保护免疫系统实现。Guo 等^[33]研究报道,通过胰酶 F (Pancreatin F) 酶解制备的燕窝肽可以中和流感病毒对 MDCK 细胞的感染,抑制流感病毒对红细胞的血凝作用。林洁茹等^[49]通过 80 °C 水提取加模拟消化的方法制备燕窝肽,发现其对 H5N1 禽流感假病毒活性有抑制作用。Lee 等^[24]在对水提取制备的燕窝肽研究中发现,燕窝肽对乳腺癌细胞系(MCF-7)具有直接的细胞毒性作用,而不会对人类免疫细胞表现出细胞毒性作用。此外,高建萍等^[47]报道,燕窝低聚肽对胸腺依赖性淋巴细胞(T细胞)的增殖效果显著高于燕窝并且可显著抑制自然杀伤细胞(NK细胞)

的活性,证明经过酶水解制备的燕窝低聚肽可显著提高免疫力。最后,还有报道显示通过磷酸盐缓冲液水提取制备的燕窝肽具有促进 B 细胞增殖和活化的能力^[56]。综上所述,燕窝肽是一个潜在的提高免疫力的物质,但其作用机理仍然需要进一步探究。同时,燕窝肽中的唾液酸可能是贡献其免疫作用、抗病毒作用的关键,需要更多的证据证明。

6.7 其他健康效应

如表 2 所示,燕窝肽还有其他健康效应被报道。典型地,包括 Kim 等^[58]进行的人体临床实验,发现 20% 酶水解制备的燕窝肽具有口服抗皱的能力。酶水解制备的燕窝肽具有植物乳杆菌的体外益生菌活性^[34]。Yew 等^[31,38]在胰酶水解制备的燕窝肽中发现了神经保护和促神经元分化的作用,指向了潜在的神经退行性疾病的改善能力。

简而言之,燕窝肽具有多样的健康效应,在特定领域优于燕窝。同时,燕窝肽的小分子量特点赋予了其不同于燕窝的作用方式,例如外用。虽然燕窝肽有多方面的健康效应,但总结其原因,更多的归因于某些特定的能力,例如抗氧化。而相应的能力来源于燕窝肽的特定制备方式所产生的特定燕窝肽结构,例如 Ghassem 等^[51]提出的,N 端或 C 端含有疏水性氨基酸展现出了更优异的抗氧化能力。所以,无论是研究人员亦或消费者,均应对燕窝肽有科学的认知,了解燕窝肽制备的方式和关键点,理解燕窝肽结构与其功能之间的关系,理清不同燕窝肽之间的差异和原因。这方面仍然需要各界共同探索。

7 燕窝肽的研究和应用中存在的科学与技术问题

燕窝肽的研究和应用中存在的科学与技术问题主要包括以下几点:

制备方法效率低。当前制备燕窝肽的方法主要包括水提取、酶水解、模拟消化、物理场辅助酶解。其中大多数方法,如水提取、酶水解方法存在制备效率低的问题,需要继续探索新的工艺提高燕窝肽的制备效率。除此之外,模拟消化、物理场辅助酶解的方法还未有实际生产过程中的应用,应进一步考虑如何应用于实际燕窝肽生产过程中。综合考虑,物理场辅助酶解的方法似乎是解决现有制备方法效率低问题更可行的路径。

氨基酸序列不明确。如前文所述,肽的氨基酸序列是决定其物理特性、消化特性、功能特性的决定性因素之一。目前,虽然研究人员针对燕窝肽开发了多种制备方法,并开展了多种健康效应研究,然而燕窝肽的氨基酸序列还未被广泛关注和表征,未建立燕窝肽氨基酸序列与其功能间的联系。因此,在研究燕窝肽的健康效应及其机理的同时,应该进一步关注不同制备方法带来的燕窝肽氨基酸序列的差异,为燕窝肽健康效应及其机理提供更多和深入的解释。

核心肽段不明确。除燕窝肽氨基酸序列外,仍应该进一步明确燕窝肽发挥特定健康效应的核心肽段,包括其结构及序列。通过明确其核心肽段,可以进一步拓展燕窝肽的制备方法以及应用领域,例如开发结构清晰、功能明确的医用产品。

综上所述,为了更好地研究和应用燕窝肽,需要进一步解决制备方法效率低、氨基酸序列不明确、核心肽段不明确等技术问题。这些问题的解决将有助于推动燕窝肽的研究和应用向着更深层次、更广领域发展。

8 燕窝肽的应用与市场趋势

燕窝肽在市场上有较多的应用,以“天猫”、“淘宝”平台为例,主要领域包括“膳食营养补充食品及保健品”、“传统滋补品”、“护肤品”,主要面向注重健康、养生的消费者。其中“膳食营养补充食品及保健品”按照保健品或功能性食品的标准为入驻资格。划分在“传统滋补品”类目下的燕窝肽食品按照“燕窝制品”的准入标准。但值得注意的是,在不同领域,市场上关于燕窝肽的应用更多地将其命名为“燕窝提取物”。然而,燕窝肽虽然在市场上有较多应用,但未形成明显的市场规模,同时以国内市场分布为主,仍需进一步拓展。值得一提的是,2022年厦门市燕之屋丝浓食品有限公司获得了中国大陆首个“燕窝肽”化妆品新原料备案(国妆原备字20220041),正式将燕窝肽作为原料获得了护肤品市场的准入资格。这一事件标志着燕窝肽在护肤品领域的应用得到了认可和推动,也为燕窝肽的进一步应用和发展提供了新的方向和动力。

不同公司、品牌的入局也揭示了燕窝肽优异的市场潜力和趋势。但相对而言,燕窝肽食品、护肤品整体市场刚刚起步,除老品牌外,没有其他有影响力的明星品牌和产品。同时燕窝肽概念并没有被

广泛接受。因此,在燕窝肽领域,仍然需要各方共同协作,从基础研究、标准化、原料备案、产品开发等多方面进行探索。未来,随着人们对健康和美容的需求不断增长,以及燕窝肽研究的深入和标准化工作的推进,燕窝肽的应用和前景将更加广阔。

9 结论

本文综述了燕窝肽的来源与科学研究成果,包括燕窝的来源与基本组成、燕窝肽的制备工艺、燕窝肽的组成特征、燕窝肽的健康效应。简而言之,现有报道燕窝肽的制备方式包括水提取、酶水解、模拟消化、物理场辅助酶解。燕窝肽的制备方式极大地影响了其组成、结构和分子量,导致其功能性不一。同时,由于其独特的结构和分子量分布,燕窝肽也被赋予了不同于燕窝的内服、外用两种使用方式。在健康效应方面,燕窝肽在抗氧化、抗衰老、美白、抗炎、皮肤保护、抗病毒、免疫调节、神经退行性疾病改善等多个领域都展现出了其独特的功效。特别是,在特定领域燕窝肽具有优于燕窝的特点。此外,燕窝肽已在市场上有较多的应用,但整体市场刚刚起步,缺乏广泛的认同。因此,燕窝肽仍然需要从基础研究、标准化等方面持续开展研究,以期获得更多科学的证据和全面的了解。

参考文献

- [1] EL SHEIKHA A F. Why the importance of geo-origin tracing of edible bird nests is arising? [J]. Food Research International, 2021, 150: 110806.
- [2] DAI Y, CAO J, WANG Y, et al. A comprehensive review of edible bird's nest [J]. Food Research International, 2021, 140: 109875.
- [3] 范群艳.基于脑肠轴的燕窝对断乳后仔鼠智力影响的分子机制[D].福州:福建农林大学,2023.
- [4] 樊耀华,范群艳,李宗晖,等.燕窝功效考[J].广东药科大学学报,2020,36(4):590-593.
- [5] WEI D, JIANG L, WANG C, et al. Research progress of biological activity of sialic acid and its application [J]. Food & Nutrition in China, 2011, 7: 66-70.
- [6] 白伟娟,柳训才,张晓婷,等.燕窝成分及功效研究进展[J].食品科技,2020,45(5):96-100.
- [7] MA F, LIU D. Sketch of the edible bird's nest and its important bioactivities [J]. Food Research International, 2012, 48(2): 559-567.
- [8] FAN Q, LIAN J, LIU X, et al. A study on the skin whitening activity of digesta from edible bird's nest: a mucin glycoprotein [J]. Gels, 2022, 8(1): 24.

- [9] 王鑫.具有高美白活性燕碎肽的制备研究[D].无锡:江南大学,2021.
- [10] 宋咏焯,林咏惟,张娜. 不同类型燕窝营养检测现状及营养成分分析[J].中国食物与营养,2024,30(2):42-51.
- [11] ZHANG X, LIANG R, BAI W, et al. Determination of 3'-sialyllactose in edible bird's nests and the effect of stewing conditions on the 3'-sialyllactose content of edible bird's nest products [J]. *Molecules*, 2023, 28(4): 1703.
- [12] BAI W, DENG F, ZHANG X, et al. The determination of epidermal growth factor in edible bird's nest by enzyme-linked immunosorbent assay [J]. *Applied Biological Chemistry*, 2023, 66(1): 1-9.
- [13] 童坦君,刘德勇.燕窝糖肽的分离与鉴定[J].生理科学, 1984,1:19-20.
- [14] 童坦君,刘德勇.燕窝糖肽的分离与鉴定[J].科学通报, 1985,12:949-952.
- [15] DAUD N A, MOHAMAD YUSOP S, BABJI A S, et al. Edible bird's nest: physicochemical properties, production, and application of bioactive extracts and glycopeptides [J]. *Food Reviews International*, 2021, 37(2): 177-196.
- [16] WONG Z C F, CHAN G K L, WU K Q Y, et al. Complete digestion of edible bird's nest releases free N-acetylneuraminic acid and small peptides: an efficient method to improve functional properties [J]. *Food & Function*, 2018, 9(10): 5139-5149.
- [17] CHUA K H, LEE T H, NAGANDRAN K, et al. Edible bird's nest extract as a chondro-protective agent for human chondrocytes isolated from osteoarthritic knee: *in vitro* study [J]. *Bmc Complementary and Alternative Medicine*, 2013, 13(1): 1-9.
- [18] LAI Q W S, FAN Q, ZHENG B Z, et al. Edible bird's nest, an Asian health food supplement, possesses anti-inflammatory responses in restoring the symptoms of atopic dermatitis: an analysis of signaling cascades [J]. *Frontiers in Pharmacology*, 2022, 13: 941413.
- [19] BAI W, LIU X, FAN Q, et al. Study of the antiaging effects of bird's nest peptide based on biochemical, cellular, and animal models [J]. *Journal of Functional Foods*, 2023, 103: 105479.
- [20] CAO J, XIONG N, ZHANG Y, et al. Using RSM for optimum of optimum production of peptides from edible bird's nest by-product and characterization of its antioxidant's properties [J]. *Foods*, 2022, 11(6): 859.
- [21] LAI Q W S, GUO M S S, WU K Q, et al. Edible bird's nest, an Asian health food supplement, possesses moisturizing effect by regulating expression of filaggrin in skin keratinocyte [J]. *Frontiers in Pharmacology*, 2021, 12: 685982.
- [22] KONG H K, WONG K H, LO S C L. Identification of peptides released from hot water insoluble fraction of edible bird's nest under simulated gastro-intestinal conditions [J]. *Food Research International*, 2016, 85: 19-25.
- [23] CHANTAKUN K, BENJAKUL S. Effect of ultrasound-assisted pretreatment in combination with heating on characteristics and antioxidant activities of protein hydrolysate from edible bird's nest co-product [J]. *Journal of Food Science and Technology-Mysore*, 2022, 59(10): 3908-3917.
- [24] LEE T H, MARUTHAI Y, ABD AZIZ N H, et al. Chemopreventive and immunoadjuvant properties of standardised edible bird's nest extract on human breast cancer cell line [J]. *International Food Research Journal*, 2023, 30(2): 472-486.
- [25] MURUGAN D D, ZAIN Z M, CHOY K W, et al. Edible bird's nest protects against hyperglycemia-induced oxidative stress and endothelial dysfunction [J]. *Frontiers in Pharmacology*, 2020, 10: 1624.
- [26] CHOY K W, ZAIN Z M, MURUGAN D D, et al. Effect of hydrolyzed bird's nest on beta-cell function and insulin signaling in type 2 diabetic mice [J]. *Frontiers in Pharmacology*, 2021, 12: 632169.
- [27] AKMAL M N, INTAN-SHAMEHA A R, MANSOR R, et al. High-dose edible bird's nest extract (EBN) upregulates LDL-R via suppression of HMGCR gene expression in HepG2 cell lines [J]. *Sains Malaysiana*, 2020, 49(10): 2433-2442.
- [28] BABJIA S, SYARMILA E I K, ALIAH N D, et al. Assessment on bioactive components of hydrolysed edible bird nest [J]. *International Food Research Journal*, 2018, 25(5): 1936-1941.
- [29] HUI YAN T, MUN S L, LEE J L, et al. Bioactive sialylated-mucin (SiaMuc) glycopeptide produced from enzymatic hydrolysis of edible swiftlet's nest (ESN): degree of hydrolysis, nutritional bioavailability, and physicochemical characteristics [J]. *International Journal of Food Properties*, 2022, 25(1): 252-277.
- [30] TANG P L, GOH H S, SIA S S. Combined enzymatic hydrolysis and herbal extracts fortification to boost *in vitro* antioxidant activity of edible bird's nest solution [J]. *Chinese Herbal Medicines*, 2021, 13(4): 549-555.
- [31] YE W M Y, KOH R Y, CHYE S M, et al. Edible bird's nest ameliorates oxidative stress-induced apoptosis in SH-SY5Y human neuroblastoma cells [J]. *Bmc Complementary and Alternative Medicine*, 2014, 14(1): 1-12.
- [32] MASUDA S, MAKIOKA-ITAYA Y, IJICHI T, et al. Edible bird's nest extract downregulates epidermal apoptosis and helps reduce damage by ultraviolet radiation in skin of hairless mice [J]. *Journal of Clinical Biochemistry and Nutrition*, 2022, 70(1): 33-36.
- [33] GUO C T, TAKAHASHI T, BUKAWA W, et al. Edible bird's nest extract inhibits influenza virus infection [J]. *Antiviral Research*, 2006, 70(3): 140-146.
- [34] NOOR H S M, ARIFF R M, CHANG L S, et al. Enzymatic

- recovery of glycopeptides from different industrial grades edible bird's nest and its by-products: nutrient, probiotic and antioxidant activities, and physicochemical characteristics [J]. *Food Science and Human Wellness*, 2022, 11(6): 1555-1564.
- [35] GAN J Y, CHANG L S, NASIR N A M, et al. Evaluation of physicochemical properties, amino acid profile and bioactivities of edible Bird's nest hydrolysate as affected by drying methods [J]. *LWT-Food Science and Technology*, 2020, 131: 109777.
- [36] MATSUKAWA N, MATSUMOTO M, BUKAWA W, et al. Improvement of bone strength and dermal thickness due to dietary edible bird's nest extract in ovariectomized rats [J]. *Bioscience Biotechnology and Biochemistry*, 2011, 75(3): 590-592.
- [37] ROH K B, LEE J, KIM Y S, et al. Mechanisms of edible bird's nest extract-induced proliferation of human adipose-derived stem cells [J]. *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine*, 2012, 11: 797520.
- [38] YEW M Y, KOH R Y, CHYE S M, et al. Neurotrophic properties and the de novo peptide sequencing of edible bird's nest extracts [J]. *Food Bioscience*, 2019, 32: 100466.
- [39] AMIN A M, DIN K, HUI K C. Optimization of enzymatic hydrolysis condition of edible bird's nest using Protamex to obtain maximum degree of hydrolysis [J]. *Asian Journal of Agriculture and Biology*, 2019, 7(1): 1-9.
- [40] NG S R, NOOR H S M, RAMACHANDRAN R, et al. Recovery of glycopeptides by enzymatic hydrolysis of edible bird's nest: the physicochemical characteristics and protein profile [J]. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 2020, 14(5): 2635-2645.
- [41] LING J W A, CHANG L S, BABJI A S, et al. Recovery of value-added glycopeptides from edible bird's nest (EBN) co-products: enzymatic hydrolysis, physicochemical characteristics and bioactivity [J]. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 2020, 100(13): 4714-4722.
- [42] KIM O K, KIM D, LEE M, ET AL. Standardized edible bird's nest extract prevents UVB irradiation-mediated oxidative stress and photoaging in the skin [J]. *Antioxidants*, 2021, 10(9): 1452.
- [43] KIM K C, KANG K A, LIM C M, et al. Water extract of edible bird's nest attenuated the oxidative stress-induced matrix metalloproteinase-1 by regulating the mitogen-activated protein kinase and activator protein-1 pathway in human keratinocytes [J]. *Journal of the Korean Society for Applied Biological Chemistry*, 2012, 55(3): 347-354.
- [44] 王乃馨,王秀妍,贺羽,等.牛蒡燕窝肽复合饮料制备及体外模拟消化特性研究[J].*现代食品*,2023,29(1):72-75.
- [45] 郑心怡,李致瑜,曾红亮,等.响应面法优化燕窝不溶性蛋白酶解工艺的研究[J].*中国农学通报*,2019,35(6):151-157.
- [46] 文偲璇.燕碎蛋白肽与多糖的分离制备及抗氧化活性[D]. 厦门:集美大学,2016.
- [47] 高建萍,姚之龙,张贵锋.燕窝低聚肽制备工艺及生物学评价[J].*生物学杂志*,2019,36(1):96-99.
- [48] ZHANG Y, IMAM M U, ISMAIL M. *In vitro* bioaccessibility and antioxidant properties of edible bird's nest following simulated human gastro-intestinal digestion [J]. *Bmc Complementary and Alternative Medicine*, 2014, 14: 1-7.
- [49] 林洁茹,张莹,戴卫平等.燕窝提取物抗H5N1禽流感病毒的作用及机理研究[J].*广州中医药大学学报*,2016,33(5): 710-715.
- [50] NG C H, TANG P L, ONG Y Y. Enzymatic hydrolysis improves digestibility of edible bird's nest (EBN): combined effect of pretreatment and enzyme [J]. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 2023, 17(1): 549-563.
- [51] GHASSEM M, ARIHARA K, MOHAMMADI S, et al. Identification of two novel antioxidant peptides from edible bird's nest (*Aerodramus fuciphagus*) protein hydrolysates [J]. *Food & Function*, 2017, 8(5): 2046-2052.
- [52] CHONG P K, MUN S L, CHANG L S, et al. Fractionation of edible bird's nest glycoprotein hydrolysates: characterisation and antioxidative activities of the fractions [J]. *Food Science and Human Wellness*, 2022, 11(4): 886-894.
- [53] LORENZO J M, MUNEKATA P E S, GOMEZ B, et al. Bioactive peptides as natural antioxidants in food products-a review [J]. *Trends in Food Science & Technology*, 2018, 79: 136-147.
- [54] WANG B, LI B. Charge and hydrophobicity of casein peptides influence transepithelial transport and bioavailability [J]. *Food Chemistry*, 2018, 245: 646-652.
- [55] WANG B, LI B. Effect of molecular weight on the transepithelial transport and peptidase degradation of casein-derived peptides by using Caco-2 cell model [J]. *Food Chemistry*, 2017, 218: 1-8.
- [56] ZHAO R, LI G, KONG X J, et al. The improvement effects of edible bird's nest on proliferation and activation of B lymphocyte and its antagonistic effects on immunosuppression induced by cyclophosphamide [J]. *Drug Design Development and Therapy*, 2016, 10: 371-381.
- [57] 董建辉,田巧基,段素芳,等.燕窝提取物的抗氧化及促进表皮细胞生长活性比较[J].*食品与发酵工业*,2019, 45(17):73-78.
- [58] KIM H M, LEE Y M, KIM E H, et al. Anti-wrinkle efficacy of edible bird's nest extract: a randomized, double-blind, placebo-controlled, comparative study [J]. *Frontiers in Pharmacology*, 2022, 13: 843469.