

燕窝中亚硝酸盐研究现状

王文枝, 李立, 蒋萍萍, 孙利*

(中国检验检疫科学研究院, 北京 100176)

摘要: 2011年因在食用燕窝产品中检测到高含量的亚硝酸盐,引起了公众对燕窝中亚硝酸盐的恐慌和高度关注。鉴于此,2012年原卫生部公布了食用燕窝亚硝酸盐临时管理限量值,以确保食用燕窝的安全性。经研究,亚硝酸盐是燕窝的内源性物质,燕窝在形成过程中因环境因素会产生不同含量的亚硝酸盐,从而使燕窝呈现白色、黄色和红色等不同颜色。同时基于亚硝酸盐易溶于水的特性,燕窝中亚硝酸盐可有效去除。本文从燕窝中亚硝酸盐的来源和含量情况、有效的去除方法及其对燕窝颜色的影响等方面进行综述,指导消费者对燕窝中亚硝酸盐的正确理解和认识。

关键词: 燕窝; 亚硝酸盐; 去除; 颜色

Research status of nitrite in bird's nest

WANG Wen-Zhi, LI Li, JIANG Ping-Ping, SUN Li*

(Chinese Academy of Inspection and Quarantine, Beijing 100176, China)

ABSTRACT: In 2011, the high content of nitrite is detected in edible bird's nest products, which caused public panic and high concern about nitrite in edible bird's nest. In view of this, in 2012, the former Ministry of Health announced the temporary management limit value of nitrite in edible bird's nest to ensure the safety of edible bird's nest. According to the research, nitrite is an endogenous substance of bird's nest, and different levels of nitrite will be produced during the formation of bird's nest due to environmental factors, resulting in different colors of bird's nest, such as white, yellow and red. At the same time, because nitrite is easily soluble in water, nitrite in bird's nest can be effectively removed. This paper reviewed the source and content of nitrite in bird's nest, the effective removal methods and their effects on the color of bird's nest to guide consumers to correctly understand nitrite in bird's nest.

KEY WORDS: bird's nest; nitrite; remove; color

0 引言

燕窝是由雨燕科动物金丝燕的唾液与绒羽等混合凝结所筑成的巢窝,作为金丝燕繁殖和栖息的场所^[1],含有极其丰富的唾液酸、蛋白质、矿物质和氨基酸^[2-4],具有养阴益气、强身健体等功效^[5-6]。燕窝的主要产地为印度尼西亚、马来西亚、泰国等东南亚岛国,其中印度尼西亚是燕

窝最大的生产国,占据了全球燕窝产量的一半以上^[7-8]。而我国是世界上最大的燕窝消费区,全球80%以上的燕窝均由我国消费^[9]。

2011年,原浙江省工商局在对流通领域的食品质量抽检中,发现血燕产品普遍存在亚硝酸盐含量严重超标问题,平均亚硝酸盐含量达4400 mg/kg,最高达11000 mg/kg^[10-11]。血燕亚硝酸盐超标事件的曝光,让这

基金项目: 中国检验检疫科学研究院基本科研业务费项目(2019JK037)

Fund: Supported by the Scientific Research Program of Chinese Academy of Inspection and Quarantine (2019JK037)

*通信作者: 孙利, 博士, 副研究员, 主要研究方向为食品安全质量控制技术。E-mail: sunny712712@163.com

*Corresponding author: SUN Li, Ph.D, Associate Professor, Chinese Academy of Inspection and Quarantine, No.11, Ronghua South Road, Yizhuang Economic and Technological Development Zone, Beijing 100176, China. E-mail: sunny712712@163.com

个完全依靠进口的行业遭遇了“灭顶之灾”，我国也一度停止了所有海外燕窝产品的进口，燕窝中亚硝酸盐问题引起了广泛的关注^[12]。

亚硝酸盐是自然界中广泛存在的一类含氮化合物的总称，最常见的是亚硝酸钠，作为防腐剂、抗菌剂和护色剂广泛应用于腌肉和其他食品中^[9,13-15]。但是亚硝酸根离子(NO_2^-)具有极强的毒性，可引起高铁血红蛋白血症^[16]及直肠癌^[17]、胃癌^[18-19]和食管癌^[20]。血燕事件后，为确保食用燕窝的安全性，在风险评估基础上，2012 年原卫生部公布了食用燕窝亚硝酸盐临时管理限量值，通过综合分析清洁过的燕窝亚硝酸盐含量和我国居民燕窝食用情况，评估认为在食用燕窝亚硝酸盐含量小于等于 30 mg/kg 情况下，按照较高消费量 8 g/d(相当于每日食用 1~2 盏燕窝)计算，人体亚硝酸盐暴露量小于每日容许摄入量(allowable daily intake, ADI)值的 5%，对健康风险极低^[21-22]。本文拟从燕窝亚硝酸盐的来源、含量水平、去除方法、对燕窝颜色的影响等方面进行综述，以期为我国消费者提供正确认识和理解燕窝中亚硝酸盐的途径。

1 燕窝中亚硝酸盐的来源

1.1 燕窝中亚硝酸盐的形成机理

燕窝中亚硝酸盐的形成机理主要是鸟类排泄的粪便和尿酸在微生物作用下产生氨，氨在硝化细菌的作用下进一步被转化为亚硝酸盐和硝酸盐^[12]；燕窝中含有的硝酸盐在硝酸盐还原酶的酶法转化下，也可被触发形成亚硝酸盐^[23]。此外，燕窝所处的天然环境中的有机物通过上述途径也可产生亚硝酸盐，进而对燕窝产品造成污染^[12,24]。

1.2 燕窝中亚硝酸盐的来源

燕窝中亚硝酸盐的来源主要有 3 种：一是由燕窝自身在特定的温度和湿度条件下产生；二是由燕窝所处的天然环境产生导致燕窝的污染；三是血燕的造假过程中造成的亚硝酸盐残留^[25]。

1.2.1 燕窝自身产生的亚硝酸盐

受东南亚气候和环境的影响，燕窝中的氨基酸在特定的湿度和温度下可以转化为亚硝酸盐。研究表明，燕窝样品均匀喷洒 15% 的水，于封口食用级聚乙烯(polyethylene, PE)袋中 30 °C 焖 72 h(仿东南亚气候)，燕窝中亚硝酸盐的含量明显升高^[26]。升高的原因可能是由于燕窝富含氨基酸，氨基酸在厌氧微生物作用下生成氨，氨经硝化细菌作用转化为亚硝酸盐。

燕窝中含有亚硝酸盐是自然现象，未经处理的燕窝含有亚硝酸盐是不可避免的。南洋网报道称，一般燕窝从燕屋取出后已带有不超过 20 mg/kg 的亚硝酸盐，燕窝本底就含有亚硝酸盐，不仅血燕，其他白燕、黄燕同样都含有亚硝酸盐^[25]。郑玉忠等^[27]亲自从马来西亚天然燕窝洞

和印度尼西亚燕屋中采集部分样本进行检测发现，新鲜采收的样本中亚硝酸盐的含量同样较高，大多数燕窝中亚硝酸盐超过了 30 mg/kg(食用燕窝亚硝酸盐临时管理限量值)。

1.2.2 燕窝所处环境产生的亚硝酸盐

燕屋内部常年潮湿、不透光、空气流通不畅，燕子粪便中产生的氨在自然硝化过程中被氧化成亚硝酸盐，也会造成燕窝中亚硝酸盐含量的增加。从印度尼西亚屋燕的养殖和经营传统来看，为了吸引燕子到燕屋中筑巢，一般情况下不会扫除燕屋中的粪便。随着粪便累积，含氮有机物会转化为亚硝酸盐，投产年代越久的燕屋中粪便的亚硝酸盐含量越高^[9,12,28]。

CHAN 等^[24]采集燕窝生产现场环境样本分析发现，生产现场的环境样本普遍受到亚硝酸盐和硝酸盐的污染，燕子粪便周围的水样含有高水平的亚硝酸盐和硝酸盐，所有的燕子粪便中均检测到了高含量的硝酸盐。

1.2.3 血燕造假过程造成亚硝酸盐残留

由于红燕(血燕)产量较低而且传统上认为对健康更有益，因而售价也比白燕更高^[29]。报道有不法分子在血燕的造假过程中添加亚硝酸盐，如在燕子粪便中加入亚硝酸盐，然后用粪便把白燕窝熏红，当做“血燕”出售牟取暴利^[10]。2011 年震惊全球的“血燕事件”中，原浙江省工商局抽检发现 30000 多盏血燕的亚硝酸盐全部超过国家管理限量(国家卫生部门制订和公布食用燕窝亚硝酸盐临时管理限量值为 30 mg/kg)，含量最高达 11000 mg/kg，为规定限量的 350 倍^[10,21]。来自工商部门的视频材料显示，多位燕窝经销商承认，市场上销售的血燕就是在加工作坊里对白燕窝进行熏制或染色后形成的，在加工过程中产生了大量的亚硝酸盐^[10]。

2 燕窝中亚硝酸盐含量情况

2011 年“血燕事件”引起了公众对燕窝消费安全的担忧，也引起了公众对这些食用的燕窝是否真的“可食用”的怀疑，国内外学者纷纷展开了对燕窝中亚硝酸盐含量的调查。表 1 显示了不同来源和不同类型燕窝样品中亚硝酸盐的测试结果。

从表 1 中可以看出，不同的燕窝样本因产地和类型不同，亚硝酸盐的含量差别很大。大部分白燕中亚硝酸盐含量低于 100 mg/kg，黄燕和红燕中亚硝酸盐含量都比较高，洞燕的亚硝酸盐含量明显高于屋燕，这种变化可能归因于不同的洞燕所处环境不同，如湿度、pH 和气候等，以及燕窝的采集时间。此外，燕屋中的鸟粪频繁清除而洞燕的鸟粪一直留在洞里未进行清理，及时清除鸟粪有助于降低亚硝酸盐在屋燕中的含量。此外，燕屋良好的通风也有助于减少厌氧细菌发酵过程，从而降低亚硝酸盐的浓度。

表 1 燕窝亚硝酸盐含量情况
Table 1 Nitrite content in bird's nest

序号	燕窝类型	亚硝酸盐/(mg/kg)	测定方法	样品来源	地区	文献
1	血燕	平均达 4400 最高达 11000	送公司检测	浙江省市场抽检	马来西亚	屈凌燕等 ^[10]
	白燕	100(平均)				
2	黄燕	510(平均)	液相色谱法	购自香港市场	印度尼西亚、马 来西亚、泰国、 越南	CHAN 等 ^[24]
	血燕	600(平均)				
(含量范围 0~6430)						
3	屋燕(白燕)	12.9, 22.0, 7.9	离子色谱法	购自香港市场	东南亚	PAYDAR 等 ^[29]
	洞燕(棕色)	47.44, 212.9				
4	洞燕(红色)	39.2, 65.0	离子色谱法	福州平安阁有限公司、 福州药材批发市场	马来西亚、印度 尼西亚	简育莹 ^[30]
	白燕	5.042~73.097				
5	毛燕窝	14.578~358.664	离子色谱法	收集	马来西亚	QUEK 等 ^[31]
	血燕	3264.093				
6	屋燕	5.7±6.7	液相色谱法	香港入口和销售	印度尼西亚、马 来西亚、泰国、 越南	郑玉忠等 ^[27]
	洞燕	843.8±460.9				
7	白燕(屋燕)	0~166.65	离子色谱法	收集	马来西亚	QUEK 等 ^[32]
	黄燕(屋燕)	17.26~2400.42				
8	血燕(屋燕)	499.70~6429.58	分光光度法	收集	印度尼西亚	YUSUF 等 ^[33]
	白燕(洞燕)	14.04~733.00				
9	血燕(洞燕)	102.27~2993.28	离子色谱法	收集	马来西亚	TAN 等 ^[34]
	屋燕	31.63±54.99				
	洞燕	702±473				

3 燕窝中亚硝酸盐的去除方法

未经处理的燕窝中含有亚硝酸盐是不可避免的, 即燕窝本底就含有亚硝酸盐^[12,35]。因而, 要保证燕窝中亚硝酸盐含量满足限量要求, 需要对其含量进行严格的控制。由于亚硝酸盐易溶于水, 可以在加工环节采用浸泡、清洗及食用前采用炖煮等方式来降低燕窝中亚硝酸盐的含量^[36-37]。

CHAN 等^[24]通过浸泡和浸泡后炖煮 2 种方式来去除燕窝中的亚硝酸盐, 测试结果显示燕窝经浸泡(白燕 3 h、黄燕 10 h、红燕 15 h)后高达 98%的亚硝酸盐和硝酸盐可以被去除, 经浸泡后炖煮(白燕 0.5 h、黄燕和红燕 2.5 h)亚硝酸盐含量已低于最低检出限, 上述结果与郑玉忠等^[27]的研究结果一致。赵琴等^[38]的研究结果表明, 亚硝酸盐含量会随燕窝浸泡时间的增加而不断降低, 4 h 后下降率可达 90%以上。

SUSILO 等^[39]研究了采用流动水清洗不同的时间对燕窝亚硝酸盐含量的影响, 每次清洗 30 s, 3 次清洗后燕窝中亚硝酸盐含量由原来的 93.12 mg/kg 降低到 30.87 mg/kg, 去除率为 66.8%。这主要是由于流动水清洗的主要是燕窝外表面的亚硝酸盐, 燕窝内部的亚硝酸盐还需要用浸泡或炖煮等方式去除。

上述研究表明, 经过清水浸泡、清洗及炖煮等方式均可有效去除燕窝中亚硝酸盐含量, 这也与中国人传统的食用处理方式相同。

4 亚硝酸盐对燕窝颜色的影响

4.1 红燕(血燕)的成因

根据颜色的不同, 燕窝可分为白燕、黄燕和红燕。白燕占据了燕窝市场供应的 90%以上^[40], 但是由于红燕产量较低而且传统上认为对健康更有益, 市场售价更高^[41]。关

于红燕的成因,主要有4种传说:第一种是雨燕急于在产卵前完成筑巢,红色来自于唾液中的血液;第二种是这种颜色来自海藻或含有丰富矿物质的食物;第三种是说这种红色来自于鸟巢与悬崖岩壁的接触而缓慢堆积的矿物质;第四种认为是人工染色的结果^[40,42]。但是以上说法都没有科学依据,学者BUT等^[42]在印度尼西亚走访时发现,大量的红燕是白燕通过“燕子粪便”熏蒸而成。随后BUT等^[42]和PAYDAR等^[29]通过实验验证了亚硝酸盐与燕窝变色的相关性。他们将白燕分别用“燕子粪便”、添加了亚硝酸盐的“燕子粪便”以及NaNO₂弱酸性溶液进行熏蒸,均可使白燕在不同的时间内变红。说明“燕子粪便”确实能导致燕窝颜色的变化,在其中添加亚硝酸盐可以增强其红化特性,“燕子粪便”中的发红剂与亚硝酸盐有关,同时也说明了亚硝酸盐在红燕中含量高的原因。

4.2 燕窝的变色机理研究进展

4.2.1 与酸性哺乳动物几丁质样蛋白质结合铁离子有关

WONG等^[40]认为燕窝的变红与酸性哺乳动物几丁质酶(acidic mammalian chitinase, AMCase)样蛋白质结合了铁离子有关。AMCase样蛋白是燕窝含有的主要蛋白质^[43-45],AMCase样蛋白提供了铁离子的结合位点,“燕子粪便”提供了NaNO₂和弱酸性环境,燕窝中的NaNO₂作为氧化剂改变了铁离子的价态导致燕窝颜色的变化。推测NO₂可能与AMCase样蛋白质部分的铁离子发生反应,在蛋白质上形成更多的有机金属键,导致结构更强更紧密,更不易水解和酶的消化。拉曼光谱显示红燕中含有更多的Fe-O键,也证实了这一点。

4.2.2 与酪氨酸的硝基化有关

SHIM等^[46]从蛋白的硝基化入手解释了红燕形成的原因,推测燕窝变红的过程和酪氨酸的硝基化密切相关。其反应过程大致为单电子氧化剂·NO₂可与糖蛋白酪氨酸发生缓慢反应产生酪氨酸自由基,与·NO₂进一步快速反应生成3-硝基酪氨酸残基(3-NTyr)^[47-48],酪氨酸自由基也可以(缓慢地)与·NO反应形成中间产物3-亚硝基酪氨酸残基,该残基能被迅速氧化为3-NTyr^[47,49-50]。金丝燕的粪便中含有大量的蛋白和含氮化合物,这些含氮化合物在微生物的作用下产生亚硝酸和硝酸气体,白燕吸收这些气体后随着3-NTyr含量的增加最终变成红燕,这也证实了红燕中含有高水平硝酸盐和亚硝酸盐的原因。同时,SHIM等^[46]对白燕和红燕中3-NTyr的含量进行了分析,结果显示红燕中3-NTyr的浓度是白燕的成百上千倍,天然白燕中3-NTyr的含量为2.5±1.2 mg/kg,而天然红燕中为(9.84±1.24)×10² mg/kg。

4.2.3 人造血燕与天然血燕的鉴定

虽然WONG等^[40]和SHIM等^[46]对燕窝的发色机理进行了研究,但是并未提出有效的方法和相应的化学标记物来鉴别和区分人造血燕和天然血燕。CHENG等^[1]通过实验分析了准确区分人造血燕和天然血燕的方法,其同样认为

燕窝的变色与L-酪氨酸有关,利用超高效液相色谱-飞行时间质谱法(ultra high performance liquid chromatography-time of flight/mass spectrometry, UHPLC-TOF/MS)测定了燕窝颜色由黄到红的过程中物质的变化,结果显示C₉H₁₀N₂O₅的含量增加了而C₉H₉NO₆的含量明显降低。此外,在人工熏蒸的燕窝中均检测到C₉H₁₀N₂O₅和C₉H₉NO₆,而天然的燕窝中仅检测到C₉H₉NO₆。

另外,CHENG等^[1]通过傅里叶变换红外光谱法(Fourier transform infrared spectroscopy, FT-IR)测定显示,人工熏蒸的血燕中出现了六元环上代表C=O的特异峰;二维红外光谱法(two-dimensional infrared spectroscopy, 2D-IR)测定显示,人工熏蒸的血燕在同步相关谱中有一个明显的峰。其研究表明,可以利用多种检测手段区分人造血燕与天然血燕,同时各种方法可以互相论证。

5 结束语

燕窝借助其温补的特性和消费人群的普适性,占据了我国滋补品的重要地位。血燕事件后,国家对燕窝生产企业实行注册、备案等相关规定并制定了临时管理限量值,但是燕窝中亚硝酸盐超标事件时有发生。有媒体披露一些企业为了降低燕窝成品中的亚硝酸盐含量,采用双氧水和臭氧水浸泡毛燕窝,此种做法在去除亚硝酸盐的同时是否会导致营养成分的流失和破坏需要进一步验证。此外,目前市场上销售的一部分燕窝是经过了化学试剂的漂白、去毛、增重、增香等非法处理,经过处理的燕窝产品营养成分、气味成分是否有变化、蛋白质结构是否遭到破坏以及所使用的增重剂、去毛剂、增香剂等成分的鉴定和安全性评估也是今后的研究方向。

参考文献

- [1] CHENG CS, LAO CC, CHENG QQ, *et al.* Identification of blood-red color formation in edible bird's nests provides a new strategy for safety control [J]. *Food Chem*, 2021, (354): 129454.
- [2] 邵建宏, 丁琦, 王珊, 等. 东南亚食用燕窝研究现状[J]. *食品安全质量检测学报*, 2018, 9(5): 975-973.
SHAO JH, DING Q, WANG S, *et al.* Research status of the edible bird's nest from southeast Asia [J]. *J Food Saf Qual*, 2018, 9(5): 975-973.
- [3] QUEK MC, CHIN NL, YUSOF YA, *et al.* Characterization of edible bird's nest of different production, species and geographical origins using nutritional composition, physicochemical properties and antioxidant activities [J]. *Food Res Int*, 2018, (109): 35-43.
- [4] 梅秀明, 吴肖肖, 乔玲, 等. 燕窝的营养成分和危害因子分析[J]. *现代食品科技*, 2020, 36(2): 277-282, 178.
MEI XM, WU XX, QIAO L, *et al.* Nutrient composition and hazard factors of the edible bird's nest [J]. *Mod Food Sci Technol*, 2020, 36(2): 277-282, 178.
- [5] CHAN GKL, WU KQY, FUNG AHY, *et al.* Searching for active

- ingredients in edible bird's nest [J]. *J Complement Med Alt Healthc*, 2018, 6(2): 555683.
- [6] HWANG E, PARK S, JUNG-EUN Y. Anti-aging, anti-inflammatory, and wound-healing activities of edible bird's nest in human skin keratinocytes and fibroblasts [J]. *Pharmacogn Mag*, 2020, (16): 336–342.
- [7] 徐敦明, 孙利, 李红卫. 燕窝探秘 走进印尼燕窝[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 2021.
- XUN DM, SUN L, LI HW. Bird's nest exploration walk into Indonesian bird's nest [M]. Shanghai: Shanghai Scientific & Technical Publishers, 2021.
- [8] 孙利. 加强燕窝产品生产监管的几点思考[J]. *市场监督管理*, 2021, (8): 54–55.
- SUN L. Thoughts on strengthening the production supervision of bird's nest products [J]. *Market Superv Manage*, 2021, (8): 54–55.
- [9] 郑璇, 王莹, 李晶晶, 等. 燕窝进口安全因素风险分析[J]. *食品安全质量检测学报*, 2016, 7(5): 2140–2144.
- ZHENG X, WANG Y, LI JJ, *et al*. Risk analysis of safety elements in imported edible bird's nest [J]. *J Food Saf Qual*, 2016, 7(5): 2140–2144.
- [10] 屈凌燕, 章苒, 王译文. 抽查发现血燕亚硝酸盐严重超标[J]. *中国品牌与防伪*, 2011, (9): 17–18.
- QU LY, ZHANG R, WANG YW. It was found that the nitrite of the blood-red bird's nests exceeded the standard [J]. *China Brand Anti-counter*, 2011, (9): 17–18.
- [11] YEO BH, TANG TK, WONG SF, *et al*. Potential residual contaminants in edible bird's nest [J]. *Front Pharmacol*, 2021, 12(3): 631136.
- [12] MD ISA. Prevalence of nitrite (NO₂) and nitrate (NO₃) in edible bird's nest harvested from swiftlet ranches in the state of Johor [J]. *J Food Sci*, 2013, 12(78): 1940–1947.
- [13] 付传鹏. 浅析肉类食品亚硝酸盐含量测定中的问题[J]. *山西医药杂志*, 2020, 49(21): 2990–2992.
- FU CP. Problems in determination of nitrite content in meat food [J]. *Shanxi Med J*, 2020, 49(21): 2990–2992.
- [14] KIMBERLY LZ, ROLANDO SG, AILYN RL, *et al*. Residual nitrite in processed meat products in Costa Rica: Method validation, long-term survey and intake estimations [J]. *Food Chem*, 2021, (361): 130082(1–8).
- [15] 邱怡筠, 都芸, 左惠君. 亚硝酸盐对肉制品的抗氧化及抑制微生物的作用[J]. *中国饲料*, 2020, (16): 9–12.
- QIU YJ, DU Y, ZUO HJ. The effect of nitrite on anti-oxidation of meat products and inhibition of microorganisms [J]. *China Feed*, 2020, (16): 9–12.
- [16] HICKEY TBM, MACNEIL JA, HANSMEYER C, *et al*. Fatal methemoglobinemia: A case series highlighting a new trend in intentional sodium nitrite or sodium nitrate ingestion as a method of suicide [J]. *Forensic Sci Int*, 2021, (361): 110907.
- [17] HAMEED A, NAZIR S, REHMAN JU, *et al*. Assessment of health hazards related to contaminations of fluorides, nitrates, and nitrites in drinking water of Vehari, Punjab, Pakistan [J]. *Hum Ecol Risk Assess*, 2021, 27(6): 1509–1522.
- [18] PRATIWI WH, PUTRI GL, PRATAMA MA, *et al*. Health risk analysis of nitrite, nitrate, and heavy metal pollution in groundwater near landfill area: A case study of the Sumur Batu village in Bekasi, Indonesia [J]. *Earth Env Sci*, 2021, (633): 012015.
- [19] 任顺成, 胡海洋. 肉制品中亚硝化反应的控制措施和检测方法研究进展[J]. *河南工业大学学报(自然科学版)*, 2021, 42(3): 120–127.
- REN SC, HU HY. Research progress on control measures and detection methods of nitrication in meat products [J]. *J Henan Univ Technol (Nat Sci Ed)*, 2021, 42(3): 120–127.
- [20] 徐森, 张倩男, 杨辉, 等. 亚硝胺及前体化合物的致癌效应及其食用安全性研究进展[J]. *癌变·畸变·突变*, 2018, 30(1): 76–79.
- XU M, ZHANG QN, YANG H, *et al*. Research progress on carcinogenic effects and edible safety of nitrosamines and their precursors [J]. *Carcinogen Teratogen Mutagen*, 2018, 30(1): 76–79.
- [21] 卫监督函〔2012〕62号. 卫生部关于通报食用燕窝亚硝酸盐临时管理限量值的函[EB/OL]. [2012-04-05]. <http://www.nhc.gov.cn/cms-search/xxgk/getManuscriptXxgk.htm?id=54454> [2012-04-06].
- Health Supervision Letter (2012) No. 62. Letter from the Ministry of Health on notification of temporary management limits for nitrite in edible bird's nest [EB/OL]. [2012-04-05]. <http://www.nhc.gov.cn/cms-search/xxgk/getManuscriptXxgk.htm?id=54454> [2012-04-06].
- [22] 中华人民共和国国家卫生健康委员会政策解读. 食用燕窝中亚硝酸盐知识问答[EB/OL]. [2012-04-05]. <http://www.nhc.gov.cn/wjw/zcjd/201304/bf7aa71f8571468b8dccc6cd9ccc3d3e4.shtml> [2012-04-05].
- Policy interpretation of the National Health Commission of the people's Republic of China. Q & A on nitrite in edible bird's nest [EB/OL]. [2012-04-05]. <http://www.nhc.gov.cn/wjw/zcjd/201304/bf7aa71f8571468b8dccc6cd9ccc3d3e4.shtml> [2012-04-05].
- [23] 徐子婷, 卫润鑫, 王坤, 等. 食品中硝酸盐和亚硝酸盐的来源、危害及预防措施[J]. *中国化工贸易*, 2014, (32): 168.
- XU ZT, WEI RX, WANG K, *et al*. Sources, hazards and preventive measures of nitrate and nitrite in food [J]. *China Chem Trade*, 2014, (32): 168.
- [24] CHAN GKL, ZHU KY, CHOU DJY, *et al*. Surveillance of nitrite level in cubilose: Evaluation of removal method and proposed origin of contamination [J]. *Food Control*, 2013, (34): 637–644.
- [25] 权威发布. 马来西亚燕窝再被检测出亚硝酸盐[J]. *标准生活*, 2012, (1): 52–55.
- Authority Issued. The nitrite was detected in bird's nest originated from Malaysian [J]. *Stand Living*, 2012, (1): 52–55.
- [26] 李兆奎, 周红艳, 李卫红, 等. 燕窝中亚硝酸盐来源及定量分析[J]. *中国中医药科技*, 2010, 17(5): 419–420.
- LI ZK, ZHOU HY, LI WH, *et al*. Source and quantitative analysis of nitrite in bird's nest [J]. *Chin J Tradit Med Sci Technol*, 2010, 17(5): 419–420.
- [27] 郑玉忠, 董婷霞, 陈嘉伦, 等. 48批燕窝的亚硝酸盐含量测定及浸泡和炖煮对燕窝中亚硝酸盐含量的影响[J]. *中国医院用药评价与分析*, 2017, 17(11): 1441–1447.
- ZHENG YZ, DONG TX, CHEN JL, *et al*. Content determination of nitrite and effects of soaking and stewing on its content in 48 batches of edible bird's nest [J]. *Evaluat Anal Drug-use Hosp China*, 2017, 17(11): 1441–1447.
- [28] DAI YW, CAO J, WANG YY, *et al*. A comprehensive review of edible

- bird's nest [J]. *Food Res Int*, 2021, (140): 109875.
- [29] PAYDAR M, WONG YL, WONG WF, *et al.* Prevalence of nitrite and nitrate contents and its effect on edible bird nest's color [J]. *J Food Sci*, 2013, 12(78): 1940–1947.
- [30] 简育莹. 燕窝的质量控制研究[D]. 福州: 福建医科大学, 2014.
JIAN YY. The study on the quality control of the edible bird's nest [D]. Fuzhou: Fujian Medical University, 2014.
- [31] QUEK MC, CHIN NL, YUSOF YA, *et al.* Preliminary nitrite, nitrate and colour analysis of Malaysian edible bird's nest [J]. *Inf Process Agric*, 2015, 2(1): 1–5.
- [32] QUEK MC, CHIN NL, YUSOF YY, *et al.* Pattern recognition analysis on nutritional profile and chemical composition of edible bird's nest for its origin and authentication [J]. *Int J Food Prop*, 2018, 21(1): 1680–1696.
- [33] YUSUF B, FARAHMIDA P, JAMALUDDIN AW, *et al.* Preliminary study of nitrite content in south Sulawesi uncleaned edible bird nest [J]. *Earth Environ Sci*, 2020, (486): 012008.
- [34] TAN SN, SANI D, LIM CW, *et al.* Proximate analysis and safety profile of farmed edible bird's nest in Malaysia and its effect on cancer cells [J]. *Evid Based Complement Alternat Med*, 2020, (2020): 1–12.
- [35] 陈长兴, 范秀琴, 林决锦, 等. HACCP 在燕窝加工过程中的应用[J]. 食品安全质量检测学报, 2018, 9(14): 3847–3853.
CHEN CX, FAN XQ, LIN JJ, *et al.* Application of HACCP in the processing of edible bird's nest [J]. *J Food Saf Qual*, 2018, 9(14): 3847–3853.
- [36] LEE SC, SITI NZ. A comprehensive review of edible bird nests and swiftlet farming [J]. *J Integr Med*, 2016, 14(6): 415–428.
- [37] GWEE KL, CHENG LH, YEN KS. Optimization of lighting parameters to improve visibility of impurities in edible bird's nest [J]. *J Electron Imaging*, 2019, 28(2): 1–8.
- [38] 赵琴, 孙颖宜, 刘丁, 等. 燕窝中亚硝酸盐的含量分析与探讨[J]. 食品工业, 2013, 34(1): 128–131.
ZHAO Q, SUN YY, LIU D, *et al.* Analysis and explore of the nitrite content in cubilose [J]. *Food Ind*, 2013, 34(1): 128–131.
- [39] SUSILO H, LATIF H, RIDWAN Y. Application of washing method under running water to reduce nitrite level of edible bird's nest [J]. *J Kedokteran Hewan*, 2016, 10(2): 95–97.
- [40] WONG ZCF, CHAN GKL, DONG TTX, *et al.* Origin of red color in edible bird's nests directed by the binding of Fe ions to acidic mammalian chitinase-like protein [J]. *J Agric Food Chem*, 2018, 22(66): 5644–5653.
- [41] MARCONE MF. Characterization of the edible bird's nest the “Caviar of the East” [J]. *Food Res Int*, 2005, (38): 1125–1134.
- [42] BUT PP, JIANG RW, SHAW PC. Edible bird's nests-How do the red ones get red? [J]. *J Ethnopharmacol*, 2013, (145): 378–380.
- [43] WONG ZCF, CHAN GKL, ZHANG ML, *et al.* Characterization of edible bird's nest by peptide fingerprinting with principal component analysis [J]. *Food Qual Saf*, 2017, (1): 83–92.
- [44] WONG ZCF, CHAN GKL, WU L, *et al.* A comprehensive proteomics study on edible bird's nest using new monoclonal antibody approach and application in quality control [J]. *J Food Compos Anal*, 2018, (66): 145–151.
- [45] LIU XQ, LAI XT, ZHANG SW, *et al.* Proteomic profile of edible bird's nest proteins [J]. *J Agric Food Chem*, 2012, (60): 12477–12481.
- [46] SHIM EK, LEE SY. Nitration of tyrosine in the mucin glycoprotein of edible bird's nest changes its color from white to red [J]. *J Agric Food Chem*, 2018, 22(66): 5654–5662.
- [47] RADI R. Nitric oxide, oxidants, and protein tyrosine nitration [J]. *Natl Acad Sci USA*, 2004, 101(12): 4003–4008.
- [48] CUDIC M, DENDANE M, HOUÉLEVIN C, *et al.* Nitration of angiotensin II by $\cdot\text{NO}_2$ radicals and peroxynitrite [J]. *J Biol Chem*, 1999, 265(3): 967–971.
- [49] GOLDSTEIN S, CZAPSKI G, LIND J, *et al.* Tyrosine nitration by simultaneous generation of NO and O_2^- under physiological conditions [J]. *J Biol Chem*, 2000, 275(3): 3031–3036.
- [50] STURGEON BE, GLOVER RE, CHEN YR, *et al.* Tyrosine iminoxyl radical formation from tyrosyl radical/nitric oxide and nitrosotyrosine [J]. *J Biol Chem*, 2001, 276(49): 45516–45521.

(责任编辑: 张晓寒 郑 丽)

作者简介



王文枝, 硕士, 高级工程师, 主要研究方向为食品安全质量控制技术。
E-mail: wzwang666@163.com



孙 利, 博士, 副研究员, 主要研究方向为食品安全质量控制技术。
E-mail: sunny712712@163.com