DOI: 10.19812/j.cnki.jfsq11-5956/ts.20260209008
引用格式: 张文宣, 廖涛, 王琛, 等. 龟鳖食品质量安全风险及检测技术研究进展[J]. 食品安全质量检测学报, 2026, 17(8): 259–270.
ZHANG WX, LIAO T, WANG C, *et al*. Research progress on food quality and safety risks and detection technologies of turtles and soft-shelled turtles [J]. Journal of Food Safety & Quality, 2026, 17(8): 259–270. (in Chinese with English abstract).

龟鳖食品质量安全风险及检测技术研究进展

张文宣[1,2], 廖　涛[1], 王　琛[1], 朱皓天[1], 周　乐[1], 李彦森[1], 吴文锦[1*]

(1. 农业农村部农产品冷链物流技术重点实验室/湖北省农业科学院农产品加工与核农技术研究所/特色农产品资源挖掘与高质利用湖北省重点实验室, 武汉　430064; 2. 华中农业大学食品科学技术学院, 武汉　430070)

摘　要: 龟鳖作为重要的药食同源水生动物, 其产品安全问题直接关系到消费者健康和产业可持续发展。本文综述了龟鳖食品质量安全风险及检测技术, 重点涉及化学性风险(微塑料、重金属、持久性有机污染物、农兽药残留及生物毒素)和生物性风险(沙门氏菌、副溶血性弧菌、寄生虫及病毒)。研究表明, 龟鳖具有较强的环境污染物富集能力, 部分野生龟鳖体内重金属及有机污染物含量可能超过食品安全限量。同时, 龟鳖还可作为多种人兽共患病原微生物的重要携带宿主, 如沙门氏菌及副溶血性弧菌等, 对公共卫生构成潜在风险。未来需构建全产业链监测体系, 结合标准化养殖和绿色加工技术, 以保障龟鳖食品安全并推动产业可持续发展。

关键词: 龟鳖; 质量安全; 化学性风险; 生物性风险

Research progress on food quality and safety risks and detection technologies of turtles and soft-shelled turtles

ZHANG Wen-Xuan[1,2], LIAO Tao[1], WANG Chen[1], ZHU Hao-Tian[1], ZHOU Le[1], LI Yan-Sen[1], WU Wen-Jing[1*]

(1. *Key Laboratory of Cold Chain Logistics Technology for Agro-product*, *Ministry of Agriculture and Rural Affairs*/*Institute of Agro-product Processing and Nuclear Agricultural Technology*, *Hubei Academy of Agricultural Sciences*/*Hubei Key Laboratory of Characteristic Resources and Utilization*, *Wuhan* 430064, *China*; 2. *College of Food Science and Technology*, *Huazhong Agricultural University*, *Wuhan* 430070, *China*)

ABSTRACT: Turtles and soft-shelled turtles, as important aquatic animals with both edible and medicinal value, are closely associated with consumer health and the sustainable development of the industry in terms of product safety. This article reviewed the quality and safety risks of turtle and soft-shelled turtle products and the corresponding detection technologies, with a focus on chemical risks, including microplastics, heavy metals, persistent organic pollutants, pesticide and veterinary drug residues and biotoxins, as well as biological risks such as *Salmonella*, *Vibrio parahaemolyticus*, parasites and viruses. Studies had shown that turtles and soft-shelled turtles possess a strong capacity to accumulate environmental pollutants, and the levels of heavy metals and organic contaminants in some wild individuals might exceed food safety limits. At the same time, turtles and soft-shelled turtles could also serve as

收稿日期: 2026-02-09
基金项目: 湖北省农业科技创新中心项目(2026-620-000-001-25)
第一作者: 张文宣(1996—), 男, 硕士, 主要研究方向为农产品加工与质量安全。E-mail: 863490276@qq.com
***通信作者:** 吴文锦(1982—), 男, 博士, 研究员, 主要研究方向为水产品加工与质量安全。E-mail: wuwenjin@hbaas.com

important carriers of various zoonotic pathogens, such as *Salmonella* and *Vibrio parahaemolyticus*, thereby posing potential risks to public health. Future efforts should focus on establishing a whole-chain monitoring system, together with standardized farming practices and green processing technologies, in order to ensure the safety of turtle and soft-shelled turtle products and promote the sustainable development of the industry.

KEY WORDS: turtles and soft-shelled turtles; quality and safety; chemical risks; biological risks

0 引 言

龟鳖隶属于爬行纲龟鳖目, 全球现存约 357 个物种, 涵盖海龟、淡水龟及陆龟等多个类群[1]。在我国人工养殖的淡水龟鳖已成为市场供给的主体, 中华草龟(*Chinemys reevesii*)与中华鳖(*Trionyx sinesis*)作为代表性养殖物种, 其规模化养殖技术成熟, 产业基础雄厚。根据《2025 中国渔业统计年鉴》, 2024 年全国淡水养殖龟类产量达 63100 吨, 鳖类产量高达 541589 吨, 养殖产品与捕捞产品的产值比例达 82.5:17.5[2]。中国作为其核心产区贡献了全球约 90%的养殖产量, 形成了显著的产业优势[1], 这一数据凸显了中国在全球龟鳖产业中的主导地位。营养组成分析表明, 龟鳖具有优异的营养品质与高蛋白特性。中华草龟肉粗蛋白达 16.46%, 必需氨基酸指数(essential amino acid index, EAAI)为 70.91, 完全符合联合国粮食及农业组织(Food and Agriculture Organization of the United Nations, FAO)和世界卫生组织(World Health Organization, WHO)标准[3], 其脂肪酸组成中, 多不饱和脂肪酸(polyunsaturated fatty acid, PUFA)占比 36.42%, Σ*n*-6PUFA/Σ*n*-3PUFA 比值为 1.83, 远低于 4.0 的安全限值, 显示出良好的脂肪酸均衡性[3]。中华鳖的营养品质更为突出, 平均含肉率 25.48%, 粗蛋白含量高达 19.31%, 脂肪仅 2.16%, 7 种必需氨基酸占总氨基酸的 48.82%, 苏氨酸、异亮氨酸、亮氨酸等含量均超 FAO/WHO 标准值[4]。此外, 龟鳖组织富含铁、锌及钙等矿物质, 兼具抗炎、抗氧化等生物活性, 在功能性食品开发中潜力巨大[1,3]。

然而, 随着龟鳖养殖规模的持续扩大及其产品开发利用的不断深入, 质量安全问题逐渐成为制约产业高质量发展的关键因素。现有研究表明[5–9], 龟鳖类产品在养殖、加工及消费过程中, 可能面临微塑料、重金属和持久性有机污染物等化学性风险, 同时还伴随细菌、寄生虫等生物性风险; 这些潜在风险不仅直接关系到消费者健康, 也对龟鳖产业的标准化生产、产品开发与市场流通提出了更高要求。基于此, 本文对龟鳖食品质量安全风险及其检测技术进行系统梳理, 以期为相关监管、生产实践及产业转型升级提供理论参考。

1 龟鳖质量安全现行标准及其规定

我国迄今已制定了数十项与龟鳖类水产品相关的国家标准、行业标准, 涵盖龟鳖类养殖环境、鲜、冻产品、深加工制品、质量安全等多个领域, 已形成相互衔接、互补的质量安全标准体系。其中, GB 2733—2015《食品安全国家标准 鲜、冻动物性水产品》是目前龟鳖类鲜、冻产品感官品质及质量安全判定的基准依据, GB 10136—2015《食品安全国家标准 动物性水产制品》为龟鳖类加工制品(如龟鳖预制菜、即食甲鱼块等)提供了安全依据, 绿色食品还应符合 NY/T 1050—2018《绿色食品 龟鳖类》的要求, 共同构成龟鳖类水产品质量安全的核心标准体系。

其中, 农药残留限量应符合 GB 2763—2021《食品安全国家标准 食品中农药最大残留限量》的规定; 兽药残留限量应符合 GB 31650—2019《食品安全国家标准 食品中兽药最大残留限量》及其增补版 GB 31650.1—2022《食品安全国家标准 食品中 41 种兽药最大残留限量》的规定, 同时明确了龟鳖类养殖中允许氯丙嗪等 9 种兽药作治疗用, 但不得在动物性食品中检出; 污染物限量应符合 GB 2762—2022《食品安全国家标准 食品中污染物限量》的规定; 有害微生物的限量要求主要参照 GB 29921—2021《食品安全国家标准 预包装食品中致病菌限量》; 具体要求如表 1 所示。此外, 食品添加剂的使用应符合 GB 2760—2024《食品安全国家标准 食品添加剂使用标准》的规定, 鲜、冻龟鳖产品不得添加任何食品添加剂; 深加工制品中允许使用的防腐剂、增稠剂、着色剂等, 但需严格遵守限量要求, 不得超范围、超限量使用。

2 龟鳖产品的化学性安全风险

2.1 微塑料

龟鳖样品中微塑料(microplastics pollution, MP)的检测方法多样, 包括光学显微镜、扫描电镜-能谱技术(scanning electron microscopy-energy dispersive spectroscopy, SEM-EDS)、显微傅立叶变换红外光谱法(micro-Fourier transform infrared spectroscopy, μ-FTIR)[10]、拉曼光谱分析法(micro-Raman spectroscopy, μ-Raman)[11]、热裂解-气相色谱-质谱法(pyrolysis-gas chromatography/mass spectrometry, Py-GC-MS)[12]和激光直接红外成像系统(laser direct infrared imaging, LDIR)[13]等。不同方法在颗粒大小分辨率、材料识别能力、样品类型适用性以及检测灵敏度方面存在差异。光学显微镜适合快速观察颗粒形态, 而 μ-FTIR、μ-Raman 和 Py-GCMS 可精确识别微塑料聚合物类型并进行定量分析。表 2 系统整理了各方法的检测特点、颗粒范围及适用样品类型, 为龟鳖微塑料污染监测提供科学依据。

表 1　龟鳖质量安全限量要求

Table 1　Quality and safety limit requirements for turtles and soft-shelled turtles

限量项目	类别	具体项目	限量值/(mg/kg)		
			鲜、冻产品	加工制品	绿色食品
农药	杀虫剂	滴滴涕	0.5	0.5	-
		六六六	0.1	0.1	-
		敌百虫	-	-	ND
兽药	喹诺酮类合成抗菌药	恩诺沙星	0.1	0.1	0.1
		二氟沙星	0.3	0.3	0.3
		洛美沙星/诺氟沙星/氧氟沙星/培氟沙星	0.002	0.002	0.002
		噁喹酸	-	-	ND
	磺胺类合成抗菌药	磺胺二甲嘧啶	0.1	0.1	ND
		磺胺类(原形总和)	0.1	0.1	ND
	β-内酰胺类抗生素	阿莫西林	0.05	0.05	0.05
		氨苄西林	0.05	0.05	0.05
		氯唑西林	0.3	0.3	0.3
		苯唑西林	0.3	0.3	0.3
	四环素类抗生素	土霉素/金霉素/四环素	-	-	ND
	氨基糖苷类抗生素	卡那霉素	0.1	0.1	0.1
		新霉素	0.5	0.5	0.5
	酰胺醇类抗生素	氟苯尼考	0.1	0.1	0.1
	大环内酯类抗生素	红霉素	0.2	0.2	0.2
	抗线虫药	阿苯达唑	0.1	0.1	0.1
	杀虫药	氟胺氰菊酯	0.01	0.01	0.01
	其他	氯丙嗪	ND	ND	ND
		地西泮(安定)	ND	ND	ND
		地美硝唑	ND	ND	ND
		苯甲酸雌二醇	ND	ND	ND
		潮霉素 B	ND	ND	ND
		甲硝唑	ND	ND	ND
		苯丙酸诺龙	ND	ND	ND
		丙酸睾酮	ND	ND	ND
		赛拉嗪	ND	ND	ND
		硝基呋喃类代谢物	-	-	ND
		氯霉素	-	-	ND
		己烯雌酚	-	-	ND
		孔雀石绿	-	-	ND
污染物	重金属	铅(Pb)	0.5	0.5	0.5
		镉(Cd)	0.1	0.1	0.1
		汞(Hg, 以甲基汞计)	0.5	0.5	0.5
		砷(As, 以无机砷计)	0.5	0.5	0.5
		铬(Cr)	2.0	2.0	2.0
	有机污染物	多氯联苯(以 7 种多氯联苯总和计)	0.02	0.02	0.02
		N-二甲基亚硝胺	-	0.004	-
		苯并[a]芘	-	0.005	-
致病菌	革兰氏阴性菌	沙门氏菌	-	ND	-
		副溶血性弧菌	-	1000*	-
	革兰氏阳性菌	单核细胞增生李斯特氏菌	-	ND	-

注: -表示在相关标准中无明确规定; ND 表示不得检出。*数据的单位是 MPN/g。

表 2 微塑料检测技术对比
Table 2 Comparison of microplastic detection technologies

检测技术	最小粒径/μm	主要优势	主要局限	适用样品类型
光学显微镜	50	直观, 可分形状	分辨率低, 难以区分材料类型	肠道内容物
SEM-EDS	1	高分辨率, 可分析元素组成	成本高, 样品处理复杂	肌肉
μ-FTIR	20	可精确识别聚合物类型	检测时间长, 颗粒需分离	粪便、肠道内容物、组织
μ-Raman	1~3*	高分辨率, 可定性材料	荧光干扰, 操作复杂	肠道、血液、组织
Py-GCMS	1	可定量, 材料识别准确	破坏性检测, 无法得到颗粒形态	肌肉、肝脏、肾脏
LDIR	10	高通量, 自动化分析	仪器昂贵, 颗粒需分离	粪便、肠道内容物

注: *为 μ-Raman 为最小可检测粒径参考文献报道范围 1~3 μm, 具体取决于样品基质和仪器条件。

微塑料污染已成为威胁龟鳖类水生生物质量安全的重大化学性危害因素。ARANDA 等[10]对墨西哥加勒比海绿海龟粪便的非侵入性分析揭示, 微塑料在该物种中普遍存在, 含量范围达(10±2)~(89±3) MP/g, 其中纤维状微塑料占比高达 98%, 主要聚合物类型为尼龙(75%)、聚氯乙烯(10%)等。此外, 能量色散 X 射线光谱分析显示微塑料纤维中除碳、氧等主要元素外, 还检出了铬(0.3%~2.54%)和铁(0.3%~2.3%)等元素, 提示这些微塑料可能携带一定的无机元素污染特征。YAGHMOUR 等[11]进一步指出, 海龟摄入的宏观塑料碎片在消化道内会浸出双酚 A、邻苯二甲酸酯及锑等内分泌干扰物, 其中聚氯乙烯和聚苯乙烯单体具有已知的致癌和致突变风险。这些污染物可在龟鳖体内富集, 并通过食物链传递, 从而对以龟鳖为原料的食品安全构成潜在威胁。PURNAMA 等[14]在对印度尼西亚海龟肠道内容物的调查中发现绿海龟每 50 g 样品中平均含 14~18 个微塑料颗粒, 而鹰嘴海龟每 50 g 样品中含 7~12 个微塑料颗粒, 且塑料形态以碎片和纤维为主, 提示海龟体内微塑料暴露普遍且数量显著。CURL 等[13]在对棱皮海龟未发育海龟蛋的研究中, 共调查了 70 个巢穴和 350 枚蛋, 结果显示平均每个巢穴含有 7.29±1.83 个微塑料碎片, 每枚蛋含有 1.46±0.01 个微塑料颗粒, 揭示微塑料在早期生命周期阶段的累积情况及可能对胚胎发育的风险。总体来看, 这些研究从粪便、消化道、肠道内容物到卵样品等多个层面共同表明, 微塑料污染在龟鳖类中具有广泛存在、类型多样的特点, 微塑料对龟鳖类食品安全的潜在影响不仅体现在颗粒本身的摄入与累积, 还体现在其作为化学污染物载体及潜在毒性来源所带来的复合风险。

2.2 重金属蓄积

龟鳖类产品重金属常用的检测方法包括电感耦合等离子体质谱法(inductively coupled plasma-mass spectrometry, ICP-MS)、电感耦合等离子体发射光谱法(inductively coupled plasma atomic emission spectrometry, ICP-OES)、火焰原子吸收光谱法(flame atomic absorption spectrometry, FAAS)、石墨炉原子吸收光谱法(graphite furnace atomic absorption spectrometry, GFAAS)、冷蒸气原子吸收光谱法(cold vapor atomic absorption spectrometry, CV-AAS)以及热解吸原子吸收光谱法(thermal desorption atomic absorption spectrometry, TDA-AAS)[15−19]。Hg 的测定常使用 CV-AAS 或 TDA-AAS, 部分文献结合 ICP-MS 冷蒸气前处理实现 Hg 与其他元素的同步分析[18]。

龟鳖类作为长寿且处于高营养级的水生爬行动物, 对重金属具有极强的富集能力龟鳖重金属在不同组织中的分布存在明显差异, 这与其食性、代谢能力、组织功能以及生命周期阶段密切相关。AGUIRRE 等[6]研究显示, 墨西哥西北部绿海龟肾脏镉含量高达 652 μg/g(干重), 远超 25 μg/g 的食品安全标准, 部分样本汞含量达 8.15 μg/g(湿重), 明显超过 WHO 推荐的 0.5 μg/g 安全阈值。BARBIERI 等[15]研究中显示, 巴西东南部海岸绿海龟肝脏 Cu 为(39.9±1.94) μg/g, 肾脏 Cd 为(2.18±0.27) μg/g, 显示肝脏对必需元素 Cu 的高效富集; DA-SILVA 等[16]研究中显示, 绿海龟肝脏 Cd 为(5.9±0.9) μg/g, 肾脏(28.3±2.3) μg/g, 肌肉(0.4±0.1) μg/g, 提示 Cd 在解毒器官的显著积累; SAKAI 等[17]研究中显示, 棱皮海龟肝脏 Hg (0.132±0.077) μg/g, 肾脏 Cd (38.5±21.3) μg/g, 反映 Hg 与 Cd 在不同组织的选择性蓄积; SEE 等[18]研究中显示, 棱头海龟肝脏 Hg (0.07±0.05) μg/g, Cd (2.01±0.42) μg/g, 而血液 Hg、Cd 浓度较低, 说明血液可用于短期监测; 同时结果显示, 绿海龟血液中幼体 Cd (4.88±2.82) μg/L, Pb (23.0±9.57) μg/L, 产卵期成体 Cd (6.50±1.75) μg/L, Pb (106.1±43.36) μg/L, 说明生命周期阶段对重金属积累有明显影响, 成体、产卵期个体血液中 Cd、Pb 浓度明显高于幼体。TANABE 等[19]研究中显示, 绿海龟孵化幼体肝脏 Fe (423.58±111.89) μg/g、Cu (10.41±9.77) μg/g、Zn (36.57±6.51) μg/g, 肌肉 Cu (4.78±2.23) μg/g, Pb (0.24±0.23) μg/g, 卵黄 Cd (0.11±0.24) μg/g, 显示在肝脏和肌肉的稳定富集; 总体来说, 肝脏和肾脏通常是 Cd、Pb、Hg、Cu、Zn 等元素的主要富集部位, 反映了解毒和代谢功能, 而肌肉、血液及卵黄/胚胎浓度相对较低, 为食用组织和生态风险评估提供参考。总体来看, 现有研究表明龟鳖类重金属污染具有明

显的组织特异性和生命周期差异性, 其中肝脏和肾脏是评价长期蓄积风险的关键组织, 而血液样品则可为短期监测、食用安全评估和早期发育风险分析提供依据。

2.3　持久性有机污染物

在检测方法上, 龟鳖持久性有机污染物(persistent organic pollutants, POPs)检测主要依赖气相色谱-质谱技术(gas chromatography-mass spectrometry, GC-MS), 根据检测器类型和离子化方式的不同可分为多种方法。MOSS 等[20]在对淡水龟血浆的分析中, 采用液-液萃取法并结合 GC-MS 进行检测, 电子轰击模式用于多氯联苯(polychlorinated biphenyls, PCBs)、滴滴涕及其主要代谢物(dichlorodiphenyltrichloroethane and its main metabolites, DDTs)等常规 POPs 的分析, 负化学电离模式针对含卤素化合物提升检测灵敏度, 保障多类 POPs 的有效检出。KUZUKIRAN 等[21]在红海龟多种组织的分析中, 采用 QuEChERS 法结合配备离子阱检测器的 GC-MS 进行检测, 检出限(limit of detection, LOD)为 0.11~0.78 ng/g(湿重)。MORÃO 等[22]在对绿海龟全血的分析中, 采用超声辅助提取法, 结合气相色谱-高分辨质谱法检测 18 种 PCBs 和 26 种多溴联苯醚(polybrominated diphenyl ether, PBDEs), LOD 为 0.016~0.77 ng/g(干重); 同时结合气相色谱-三重四极杆串联质谱法检测 13 种有机氯农药(organochlorine pesticides, OCPs), LOD 为 0.02~0.37 ng/g(干重)。CECIARINI 等[23]针对红海龟卵内容物样本, 采用索氏提取法结合配备电子捕获检测器的高分辨率毛细管气相色谱仪检测, LOD 低至 0.1 ng/kg。

龟鳖类体内常见的 POPs 主要包括 PCBs、OCPs(包括 DDTs、六氯环己烷和氯丹)、溴化阻燃剂(包括 PBDEs 和六溴环十二烷)以及部分多环芳烃(polycyclic aromatic hydrocarbons, PAHs)。近年来, 针对龟鳖 POPs 检测的研究逐渐深入。MOSS 等[20]对田纳西河峡谷淡水龟的血浆检测发现, PCBs 为主要污染物(10 ng/g 湿重), 浓度显著高于 DDTs、氯丹和 PBDEs (1 ng/g 湿重), 狄氏剂和灭蚁灵浓度再低一个数量级, 且污染物含量与栖息地距工业污染源的距离呈显著负相关。MOON 等[7]对韩国海域 44 只海龟(含红海龟、绿海龟等 5 种)的肝脏组织研究显示, POPs 富集顺序为 PAHs>PCBs>DDTs>PBDEs, 其中 PAHs 以均值 84 ng/g(脂重)成为最主要的累积污染物; 70%的样本中检出未在韩国注册使用的灭蚁灵, 推测其通过大气或洋流实现跨界输入, 反映了污染物的区域传输特性。MORÃO 等[22]的研究显示, 在圣多美和普林西比筑巢的绿海龟血液中, ΣPCBs 的平均水平最高[293 ng/g(脂重)], 其次是 ΣOCPs (90.2 ng/g)和 ΣPBDEs (12.4 ng/g), 提示这些传统 POPs 在海龟体内的暴露强度明显高于其他类; 研究还测定了 PCBs 的非二噁英样和二噁英样组分, 分别为 194 ng/g(脂重)和 98.9 ng/g(脂重), 这些结果说明不同 PCBs 毒性同类物也具有明显累积。ARIENZO[24]的报道表明, 墨西哥绿海龟脂肪中 OCPs 含量达(104.9±290.7) ng/g, 且 FINLAYSON 等[25]通过绿海龟血液有机污染物提取分析证实的 POPs 蓄积量随暴露时间增加而显著升高, 与区域污染物空间分布呈现明显匹配特征的结论, 进一步揭示了污染物暴露的时空关联性。总体来看, 现有研究表明龟鳖类体内 POPs 污染具有污染物种类多、组织分布差异明显、区域来源复杂及暴露呈时空累积等特征, PCBs、OCPs 和 PBDEs 是龟鳖体内最常检出的传统 POPs。

2.4　农兽药残留及生物毒素

在检测方法上, 液相色谱-串联质谱法(liquid chromatography-tandem mass spectrometry, LC-MS/MS)和 GC-MS 因其高灵敏度和特异性, 被认为是农兽药残留分析的核心技术, 能够同时检测超过 100 种残留物[26–27]。对于生物毒素(如短裸甲藻毒素), 酶联免疫吸附(enzyme-linked immunosorbent assay, ELISA)是常用的诊断方法, 通过检测血液、肝脏或胃肠道内容物中的毒素浓度来诊断海龟的中毒情况[28–29]。

MERLEAU 等[30]对法国湿地受威胁的淡水龟血液样品利用 LC-MS/MS 进行定量测定, 结果显示: 在 29 种目标农药及代谢物中, 其中检出率最高的 5 种农药残留是苯唑隆(36.5%)、3,4-二氯苯胺代谢物(12%)、氧恶唑酮(8%)、苯恶唑酰草酰(6%)、特布康唑(5%), 最大浓度分别为 78.92、12、9.5、8.2 和 7.1 ng/g, 血液中农药浓度随采样地点和时间显著变化, 反映了湿地水体农业排水和施药季节对龟类农药暴露的影响, 而个体性别、年龄及体况与农药浓度无显著相关性。AGUIRRE 等[6]研究显示, 美国北大西洋沿岸海龟体内 DDTs 衍生物的检出浓度最高可达 1210 μg/kg, 地中海海龟中总 DDTs 浓度可达 739 μg/kg, 均显著高于 FAO/WHO 及欧洲经济共同体规定的食品中总 DDTs 最大残留限量(20~50 μg/kg), 提示海龟产品可能存在较高的有机氯农药暴露风险。目前, 龟鳖类兽药相关研究主要集中于中华鳖等养殖种的抗生素药代动力学、组织残留消除及休药期评价, 但针对市售龟鳖产品中兽药残留污染现状的公开研究仍相对有限。黎玉林等[31]对 4 个无公害龟鳖样品进行了农药及兽药残留检测, 结果显示所有样品的敌百虫、土霉素、金霉素、四环素、磺胺类药物和噁喹酸均未检出, 表明这些无公害龟鳖产品在农兽药残留方面处于安全水平。

其他如生物毒素等仍对健康构成较大威胁, 海龟体内可能累积的天然毒素是海龟相关公共卫生事件中最重要的风险来源, 其主要表现为食用某些海龟肉而引起的特定食源性中毒。MOREIRA-GONZÁLEZ 等[12]在巴西绿海龟肠道组织中检测到最高 24.1 ng/g 的冈田酸, 这种生物源毒素具有强效促癌作用, 被认为是诱发海龟纤维乳头状瘤病的关键环境化学因子, 毒素来源可能是海龟通过摄食毒素

污染猎物而发生毒素蓄积，如果人食用了，可能会中毒死亡。SEMMOURI 等[32]对海龟毒素中毒的报道指出，全球已记录 62 起中毒事件，涉及超过 2400 名受害者和 420 名死亡，致毒机制与海龟摄入蓝细菌(*Moorenaproducens*)产生的海龟毒素有关，其中海龟毒素 A 对小鼠经口半数致死量为 2000 μg/kg。

总体来看，龟鳖类食品安全风险不仅涉及外源性农兽药输入，还包括毒素在食物链中的传递与放大，应在监测中关注环境暴露、组织残留及食用中毒风险。

3 龟鳖产品的生物性安全风险

龟鳖类作为典型的水陆两栖水生动物，其天然及人工养殖的生活环境复杂多样，不仅极易富集水体环境中的各类微生物，还具备病原体携带与传播能力，是多种人兽共患病原的重要宿主。已有相关研究明确指出，人类一旦摄入受病原污染的龟鳖产品，极易引发腹泻、呕吐、严重脱水等急性消化道症状，病情严重者还可能因并发症需要住院治疗，极端情况下甚至会导致死亡，对人体健康构成严重威胁[7]。在龟鳖产业的养殖、加工、流通及消费全产业链环节中，生物性安全风险主要来源于细菌性病原污染、寄生虫感染以及病毒性病原体侵袭 3 大类因素。这些生物性风险不仅直接关乎龟鳖产品的食用安全与消费者的身体健康，还会对龟鳖养殖产业的健康可持续发展产生深远影响[33]。

3.1 细菌性病原

龟鳖产品的细菌性病原污染是其生物性安全风险中最突出的类型之一，这类污染具有传播范围广、感染致病性强、易引发食源性疾病暴发等特点，食用龟鳖产品的风险包括细菌(沙门氏菌属、弧菌属)[34]。

3.1.1 沙门氏菌

龟鳖类沙门氏菌的检测主要包括传统培养分离方法与分子生物学方法[聚合酶链式反应(polymerase chain reaction, PCR)/实时荧光定量 PCR(quantitative real-time polymerase chain reaction, qPCR)]两类，传统的分离培养方法仍是很多龟类沙门氏菌研究的基础，常用于检测龟类背甲、肠腔、粪便样品及其栖息环境，分子生物学方法具有快速、灵敏度高，但不能区分死菌；目前针对龟鳖类沙门氏菌的检测多采用“培养分离+分子 PCR/qPCR 补充”的组合策略，提高了对潜在健康风险的监测能力[35−37]。

沙门氏菌是龟鳖相关公共卫生安全风险中最受关注的细菌性病原之一[38]，BACK 等[39]研究表明，龟鳖类等爬行动物可作为沙门氏菌的无症状携带者，并可通过粪便间歇性排菌；该研究进一步发现，宠物龟及其饲养环境均可检出沙门氏菌，且土壤和水体样本中的分离率随时间升高，提示龟类排菌可导致周围饲养环境和水体逐渐污染，进而增加病原传播风险；该研究共检测 34 只宠物龟，其中 17 只粪便样本检出沙门氏菌，总阳性率为 50%；不同龟种的阳性率分别为 80%、37.5%、50%和 75%。此外，相关综述指出，沙门氏菌在龟鳖类等爬行动物中的携带和排出具有明显的隐匿性与间歇性，单次阴性检测并不能完全排除其带菌状态，且圈养爬行动物的排菌率往往高于野生个体，因此宠物饲养、运输及交易过程可能成为病原扩散的重要环节[40]。在流行病学方面，目前已经报道龟相关人类沙门氏菌感染病例主要分布于北美、欧洲及亚洲等地区。其中美国病例报告最多，占 22.7%，其次为西班牙(18.8%)，而智利和日本各占 13.63%，其余国家(中国、罗马尼亚、荷兰、比利时、希腊、法国及澳大利亚)约各占 4.54%(表 3)[41]。

不同生态习性龟类之间的沙门氏菌携带率差异较大，MUSLIN 等[42]报道了 1986—2023 年间发表的有关龟鳖类的文献，结果显示，海龟(18.8%)和陆龟(16.3%)的沙门氏菌属携带率显著高于淡水龟(7.6%)(表 4)。总体沙门氏菌检出率为 11.2% (95%置信区间: 8.8%~14.2%)。

表 3 龟相关沙门氏菌在人类病例中的国家分布

Table 3 National distribution of turtle-associated *Salmonella* in human cases

国家	病例类型	主要感染来源	主要血清型/菌株	备注	病例占比/%
美国	多州暴发+个案	小型宠物龟接触	Typhimurium、Poona 等	病例占比最高	22.70
西班牙	聚集性病例	宠物淡水龟	Paratyphi B var. Java	同一宠物店来源	18.80
智利	婴幼儿散发病例	宠物水龟接触	Montevideo、Newport、Pomona	与家庭水族箱相关	13.63
日本	儿童病例	宠物龟	Litchfield、Poona、Abony	多血清型	13.63
荷兰	成人个案	家养龟及水体	Enteritidis	人-水体-龟同源	4.54
比利时	婴儿重症	宠物龟粪便污染	Abony	可致败血症/脑膜炎	4.54
罗马尼亚	青少年个案	湖泊龟接触	diarizonae	环境暴露	4.54
希腊	青少年个案	宠物龟接触	arizonae	血培养阳性	4.54
法国	婴儿重症	宠物龟	enterica serotype Vitkin	脑膜炎病例	4.54
中国	婴幼儿病例	宠物龟接触	Pomona	手口传播风险	4.54
澳大利亚	群体暴发	海龟肉食用	Muenchen	半熟龟肉暴发	4.54

表 4　基于不同生态习性的龟类沙门氏菌检出情况
Table 4　*Salmonella* detection situation in turtles based on different ecological habits

种类	文献数量/篇	测试动物数量	阳性动物数量	携带率百分比(95%置信区间)
海龟	9	294	64	18.8 (9.6~33.6)
野生	7	286	61	17.1 (7.8~33.3)
圈养	2	8	3	37.5 (12.5~71.5)
淡水龟	64	4377	821	7.6 (5.1~11.2)
野生	26	2028	251	8.9 (4.7~16.2)
圈养	43	2339	569	7.0 (4.1~11.6)
陆龟	44	2772	888	16.3 (11.3~23.0)
野生	10	354	110	24.4 (6.1~61.6)
圈养	35	2416	778	16.5 (11.5~23.2)

HERNANDEZ 等[43]在美国佐治亚州人工池塘中野生淡水性水栖龟类的调查中发现, 野生水栖龟的沙门氏菌总体检出率为 23.2% (45/194); 幼体龟的检出率高于成体, 底栖/非晒背型物种的检出率高于晒背型物种), 此外, 约 85%的龟源分离株与人源分离株的脉冲场凝胶电泳(pulsed-field gel electrophoresis, PFGE)分型匹配, 说明野生水栖龟可能积累水体中的沙门氏菌, 并具有一定公共卫生意义(表 5)。

在已发生的沙门氏菌感染人群暴发事件中, 龟相关的沙门氏菌感染病例主要集中于儿童及免疫功能低下人群, 这类人群因自身抵抗力较弱, 成为沙门氏菌感染的易感群体。其主要传播途径包括与龟鳖或受污染环境的直接接触、养殖及生活环境的交叉污染, 以及受沙门氏菌污染的龟鳖产品引发的食品污染[38]。

3.1.2　副溶血性弧菌

相较于沙门氏菌, 龟鳖类副溶血性弧菌的检测研究报道相对较少。但现有文献表明, 其检测技术路线总体上以传统培养分离结合分子生物学(PCR)验证为主[44–45]。弧菌属病原菌是水产品食源性疾病的重要致病因素, 其中副溶血性弧菌对龟鳖产品的污染具有典型的水环境依赖特性, 是龟鳖产品中不可忽视的食源性风险。有研究从北墨西哥海龟体样中分离出多个副溶血性弧菌菌株, 其中部分携带毒力基因且表现出抗生素耐药性, 提示该病原菌在海龟体表或肠腔中也具有潜在的公共卫生风险[44]。此外, 在意大利托斯卡纳海岸搁浅的海龟样本研究中也检出副溶血性弧菌, 进一步支持龟类可能作为此类环境依赖型食源性病原的载体[45]。最新对橄榄丽龟饲养水体中的动态调查也表明[46]。这些嗜盐弧菌能够在养殖环境中持续存在并随水质条件波动, 可能通过水环境的传播进入龟类个体, 进而构成食用相关的微生物风险。

表 5　野生水龟沙门氏菌流行特征及公共卫生意义
Table 5　Epidemiological characteristics and public health significance of *Salmonella* in free-living aquatic turtles

指标类别	分组	沙门氏菌总体检出情况	公共卫生意义
总体流行水平	野生水栖龟总体	23.2%	说明野生水体龟类可作为环境沙门氏菌潜在储存宿主
年龄差异	幼体	36%	早期暴露风险高
	成体	20%	免疫适应可能降低感染
性别差异	雌性	33%	性别间存在差异, 提示生态行为可能影响暴露水平
	雄性	18%	-
生态行为差异	底栖型	31%	沉积物接触增加暴露风险
	晒背型	15%	暴露机会较低
季节变化	4 月	17%	春季开始上升
	5 月	22%	-
	6 月	37%	夏季高峰
	7 月	29%	-
	9 月	4%	秋季明显下降
	10~11 月	0%	冬季极低
关联	龟源分离株 *vs* 人源分离株	约 85% PFGE 分型匹配	龟源菌株与人群病例菌株存在较高相似性
优势血清型	主要血清型	Montevideo、Rubislaw	常见人兽共患血清型
	次要血清型	Muenchen、Newport、Mississippi、Java	食源性风险相关
环境影响因素	城市化程度高	流行率升高	人类活动促进传播
	森林覆盖高	流行率降低	自然生态系统缓冲效应

注: -表示无相关描述。

尽管目前针对龟鳖弧菌污染的系统性流行病学研究相对有限, 但在整个水产动物养殖体系中, 弧菌属广泛分布于养殖水环境及宿主体表、肠道等微生态位, 部分种类常作为条件致病菌存在, 并可在应激或环境失衡条件下引发疾病[47], 龟鳖养殖产业也无法规避这一潜在风险。

3.2 寄生虫

龟鳖类寄生虫病的检测方法主要分为传统显微镜方法和分子生物学方法两大类。传统方法包括粪便显微镜检查, 可用于观察寄生虫卵或囊体, 对肠道寄生虫和隐孢子虫等感染具有一定的诊断价值, 但其敏感性较低、易漏检[48]; 免疫荧光抗体检测则通过特异性抗体标记寄生虫结构, 提高观察直观性, 但仍受抗体试剂和设备条件限制[48]。相比之下, 分子检测方法如实时 PCR 可直接在龟鳖血液或粪便样本中检测寄生虫 DNA, 具有高灵敏性和特异性, 可用于体内低水平感染的早期诊断, 并可进一步进行种类鉴定和流行病学研究[49]。相关研究显示, 海龟血液中的螺旋吸虫(*Hapalotrema mistroides*)可通过实时 PCR 检出, 其敏感性远高于传统显微镜法[49]; 而龟类粪便中的隐孢子虫检测则可结合 PCR、改良 Ziehl-Neelsen 染色及直接荧光抗体法进行综合诊断, 以提高检出率[48]。总体来看, 龟鳖类寄生虫病检测趋向于分子方法为主、传统方法为辅的策略, 以提高检测灵敏度和准确性。

随着寄生虫学研究的不断深入, 现有证据表明, 包括龟鳖类在内的爬行动物可携带高度多样化的寄生虫群落, SAZMAND 等[50]对伊朗包括龟鳖类在内的爬行动物寄生虫的文献综述显示, 1922 年至 2024 年 8 月间共报道 56 种爬行动物携带 98 个寄生类群。同时, 也有多项研究指出, 包括龟鳖类在内的爬行动物可作为多种人畜共患寄生虫的重要储存宿主, 这些寄生虫可通过食物摄入、直接接触或环境暴露等途径传播至人类, 对公共卫生构成潜在威胁[51]。龟鳖类等爬行动物还可能通过蜱、螨及蚊虫等节肢动物媒介参与人兽共患病原传播过程, 进一步增加病原在生态系统中的传播复杂性[52]。

在龟鳖类相关寄生虫感染中, 裂头蚴是值得关注的人兽共患寄生虫之一。现有研究表明, 包括龟鳖类在内的爬行动物可参与裂头蚴的人兽共患传播过程, 并可能通过食物链增加人类感染风险[51]。人类感染裂头蚴的主要途径为摄入含有活虫体的生或未煮熟的龟鳖组织, 裂头蚴进入人体后会引发一系列临床症状, 主要表现为 3 大类: (1)皮下结节, 虫体在人体皮下组织移行, 形成无痛或有压痛的皮下硬结; (2)眼裂头蚴病, 虫体侵入眼部组织, 引发眼痛、视力下降、眼睑肿胀等症状, 严重者可导致失明; (3)脑裂头蚴病, 虫体侵入脑部组织, 引发头痛、癫痫、肢体麻木等中枢神经系统症状, 病情凶险且治疗难度大[53]。

此外, 国内外曾有明确的文献报道, 因食用生的中华鳖而导致人类旋毛虫感染的暴发事件, 这一事件直接证实了龟鳖可参与人兽共患寄生虫的传播链, 是旋毛虫传播的重要中间宿主[54]。人类感染龟鳖携带的旋毛虫, 主要传播途径包括生食龟鳖肉、对龟鳖进行半熟加工(未彻底杀灭虫体)以及厨房加工环节中的交叉污染(如切过生龟鳖肉的刀具、砧板未彻底清洗, 进而污染其他食物)。人体感染旋毛虫后, 会出现明显的临床症状, 主要表现为外周血中嗜酸性粒细胞增多、全身肌肉疼痛以及发热、乏力等全身炎症反应, 严重感染者还可能出现心肌、肺部、脑部等器官的损伤, 引发严重并发症。

3.3 病毒性病原体

龟鳖类病毒性病原体的检测主要依赖分子生物学技术、免疫学检测和传统病毒分离方法。qPCR 通过针对病毒保守基因设计的引物和探针, 可直接在血液或组织样本中检测病毒 DNA, 实现早期诊断和病毒负荷定量, 如针对 ranavirus 和疱疹病毒的检测已在箱龟和其他龟类中应用[55]。重组酶介导等温核酸扩增技术和环介导等温扩增技术能够在恒温条件下快速扩增病毒核酸, 适合现场快速检测中国软壳龟腺病毒和软壳龟虹彩病毒[56]。传统 PCR 仍用于病毒筛查和确认, 如检测陆龟疱疹病毒时结合序列分析进行分类[57]。此外, 免疫学检测方法如 ELISA 可用于检测龟类血清中特异性抗体, 从而评估病毒暴露史和流行情况[58]。总体而言, 这些方法互为补充, 形成了分子诊断为主、免疫学辅助、传统分离验证的综合检测体系。

相较于细菌性病原与寄生虫, 龟鳖养殖体系中的病毒性病原体虽一般不直接构成典型的食源性风险, 不会直接通过食用环节感染人类, 但这类病毒会对龟鳖的生长存活、龟鳖产品的品质造成严重损害, 同时也会影响整个龟鳖养殖产业的安全生产与稳定发展, 是龟鳖产业发展中不可忽视的生物性风险。

研究已从患病中华鳖中分离出虹彩病毒类病原[1,59–60], 病毒粒径约 120~160 nm, 属于 DNA 病毒, 可在多种鱼类及爬行动物细胞系中复制, 并产生明显细胞病变效应[61]。此外, 新发病毒 RANAVIRUS 等在鱼类、两栖类及爬行动物中呈现跨物种传播趋势, 显示其生态传播潜力[62]。

龟鳖感染病毒性疾病后, 会对龟鳖产品的品质造成严重影响[63], 同时也会增加养殖过程中的综合风险, 具体主要体现在 3 个方面: (1)造成龟鳖机体的组织损伤, 病毒感染会引发龟鳖体内的出血、组织坏死及组织结构破坏, 不仅会导致龟鳖的死亡率上升, 还会直接降低龟鳖产品的商品外观与组织完整性, 使其失去商品价值; (2)引发龟鳖的免疫抑制及继发感染, 病毒会侵袭龟鳖的免疫系统, 削弱其机体抵抗力, 使得龟鳖更易受到沙门氏菌、弧菌等细菌性病原的侵袭, 引发细菌性继发感染, 进而影响人的安全; (3)导致龟鳖机体的代谢紊乱, 病毒感染会干扰龟鳖正常的生理代谢, 影响其肌肉蛋白的降解速率、肉质中风味物质的形成, 同时也会降低龟鳖产品的贮藏稳定性, 使得

加工后的产品更易出现变质、腐败等问题, 影响产品的货架期与品质。

4　加工与流通环节的安全风险

龟鳖加工品类多样, 主要产品有: 龟冻、龟甲胶、罐头、龟苓膏等[1,59–60], 加工与流通环节涉及多个节点, 因其高蛋白、高水分特性, 易受微生物污染、非法添加等安全风险影响, 导致加工与流通环节易出现安全隐患[59,64]。

4.1　龟鳖加工环节质量安全风险

微生物污染是最主要风险, 源于原料、加工环境、设备及人员等, 龟鳖活体携带沙门氏菌、副溶血性弧菌等致病菌[39,41,65], 若宰杀前未净化或操作不规范, 易造成产品污染; 加工设备消毒不彻底、环境温湿度控制不当, 会导致交叉污染; 导致不规范处理的龟鳖肉中微生物检出率较高。部分企业非法添加甲醛、工业明胶等违禁物质, 滥用食品添加剂, 危害人体健康[66]。此外, 原料不新鲜、加工不当还会导致组胺、重金属(养殖污染或设备迁移)、挥发性盐基氮等理化指标超标[67]。

4.2　龟鳖流通环节质量安全风险

活体运输中, 密度、温湿度等条件不当会引发龟鳖应激反应, 导致代谢紊乱、免疫力下降, 从而降低产品品质[68–69]。存在一定的冷链仓储与运输断裂现象, 温度超过 4 ℃易导致微生物大量繁殖, 组胺快速积累[70]。终端销售环节卫生不达标、产品混放、违规使用添加剂等, 进一步加剧安全隐患。

4.3　龟鳖加工与流通环节质量安全控制技术

加工环节采用“源头净化+过程消毒+末端杀菌+人员健康”控制微生物, 规范原料采购, 添加剂使用严格遵守 GB 2760—2024, 即食产品采用高温高压杀菌, 龟苓膏采用巴氏杀菌。流通环节优化活体运输工艺, 缓解活运过程中应激水平, 提高运输后产品品质[68–69]; 完善冷链体系, 建立温度监控系统, 加强终端销售卫生管理, 规范产品摆放与溯源。

当前龟鳖加工与流通环节仍存在标准化程度低、中小企业管控薄弱、冷链不完善等问题。未来需进一步完善标准体系, 加强科技创新与技术推广, 强化全链条监管与违法处罚, 推动行业高质量可持续发展, 为消费者提供安全优质的龟鳖产品[71]。

5　结束语

龟鳖类产品在营养价值和产业发展方面具有重要意义, 但其质量安全问题不容忽视。龟鳖具有较强的环境污染物富集能力, 同时易携带多种人兽共患病原微生物, 导致其产品在化学性污染与生物性风险方面均存在潜在安全隐患。尤其是野生龟鳖, 其体内重金属、有机污染物及病原微生物风险明显高于人工养殖个体。此外, 病毒性疫病虽不直接威胁人体健康, 但会通过降低龟鳖存活率和产品品质, 对产业稳定发展产生重要影响。未来研究应重点围绕污染物来源控制、标准化养殖技术、绿色加工工艺及全链条质量安全监管体系构建, 推动龟鳖产业向安全化、标准化和可持续化方向发展。

参考文献

[1] REN M, LU J, LI Z, *et al*. Turtle shell as a health food ingredient: A review of global utilization, nutritients, health benefits, and functional food potential [J]. Trends in Food Science Technology, 2026, 169: 105574.

[2] 农业农村部渔业渔政管理局. 2025 中国渔业统计年鉴[M]. 北京: 中国农业出版社, 2025.
Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Bureau of Fisheries and Fishery Administration. China fishery statistical yearbook 2025 [M]. Beijing: China Agriculture Press, 2025.

[3] 徐莹莹, 赖年悦, 石扬, 等. 中华草龟龟肉的营养成分分析及品质评价[J]. 肉类工业, 2017(5): 27–35.
XU YY, LAI NY, SHI Y, *et al*. Nutritional component analysis and quality evaluation of *Chinemys reevesii* meat [J]. Meat Industry, 2017(5): 27–35.

[4] 毛学英, 马俪珍. 鳖肉营养价值的评定[C]//中国畜产品加工研究会. 2001 年肉类科技交流会暨中国畜产品加工研究会第三届肉类科技大会论文集. 北京: 中国农业大学食品学院, 2001, 160–162.
MAO XY, MA LZ. Evaluation of nutritional value of soft-shelled turtle meat [C]//China Animal Products Processing Research Association. Proceedings of 2001 Meat Science and Technology Conference and the 3rd Meat Science and Technology Conference of China Animal Products Processing Research Association. Beijing: College of Food Science, China Agricultural University, 2001: 160–162.

[5] 龙小艳, 陈莹, 费毅琴, 等. 龟甲及龟甲胶中 25 种金属及有害元素含量测定及初步风险评估[J]. 药物分析杂志, 2019, 39(5): 870–880.
LONG XY, CHEN Y, FEI QY, *et al*. Determination and risk evaluation of 25 metals and harmful elements in *Testudinis carapax* et Plastrum and *Testudinis carapax* et plastri colla [J]. Chinese Journal of Pharmaceutical Analysis, 2019, 39(5): 870–880.

[6] AGUIRRE AA, GARDNER SC, MARSH JC, *et al*. Hazards associated with the consumption of sea turtle meat and eggs: A review for health care workers and the general public [J]. EcoHealth, 2006, 3(3): 141–153.

[7] MOON Y, SHIM WJ, HA SY, *et al*. Legacy and emerging persistent organic pollutants in sea turtles from Korean waters: Levels, profiles, and interspecies differences [J]. Environmental Research, 2025, 277: 121593.

[8] 程小飞, 袁希平, 向劲, 等. 野生与养殖中华鳖体内重金属蓄积特征及

安全评价[J]. 水产学杂志, 2021, 34(2): 51–55.
CHENG XF, YUAN XP, XIANG J, *et al*. Accumulation characteristics and safety assessment of heavy metals in wild and cultured Chinese soft-shelled turtles (*Pelodiscus sinensis*) [J]. Chinese Journal of Fisheries, 2021, 34(2): 51–55.

[9] TAO Z, XU J, DUBEY S, *et al*. Infectious diseases of the Chinese soft-shelled turtle (*Pelodiscus sinensis*): A focus on etiological agents and predisposing factors [J]. Aquaculture Reports, 2024, 37: 102227.

[10] ARANDA DA, SINDOU P, RODRIGUEZ JVC, *et al*. A non-invasive method of microplastics pollution quantification in green sea turtle *Chelonia mydas* of the mexican caribbean [J]. Marine Pollution Bulletin, 2024, 200: 116092.

[11] YAGHMOUR F, SAMARA F, GHALAYINI T, *et al*. Junk food: Polymer composition of macroplastic marine debris ingested by green and loggerhead sea turtles from the Gulf of Oman [J]. Science of The Total Environment, 2022, 828: 154373.

[12] MOREIRA-GONZÁLEZ AR, DOMIT C, ROSA KM, *et al*. Occurrence of potentially toxic microalgae and diarrhetic shellfish toxins in the digestive tracts of green sea turtles (*Chelonia mydas*) from southern Brazil [J]. Harmful Algae, 2023, 128: 102498.

[13] CURL LF, HURST SA, POMORY CM, *et al*. Assessing microplastics contamination in unviable loggerhead sea turtle eggs [J]. Science of the Total Environment, 2024, 912: 169434.

[14] PURNAMA D, ZAMANI NP, BENGEN DG, *et al*. Study on plastic ingestion in carcasses sea turtles on Enggano Island, Indonesia [J]. Egyptian Journal of Aquatic Biology & Fisheries, 2025, 29(1): 27–53

[15] BARBIERI E. Concentration of heavy metals in tissues of green turtles (*Chelonia mydas*) sampled in the Cananéia estuary, Brazil [J]. Brazilian Journal of Oceanography, 2009, 57(3): 243–248.

[16] DA-SILVA CC, VARELA JRAS, BARCAROLLI IF, *et al*. Concentrations and distributions of metals in tissues of stranded green sea turtles (*Chelonia mydas*) from the southern Atlantic coast of Brazil [J]. Science of the Total Environment, 2014, 466: 109–118.

[17] SAKAI H, SAEKI K, ICHIHASHI H, *et al*. Growth-related changes in heavy metal accumulation in green turtle (*Chelonia mydas*) from Yaeyama Islands, Okinawa, Japan [J]. Archives of Environmental Contamination and Toxicology, 2000, 39(3): 378–385.

[18] SEE MS, CHING XL, RAZALI N, *et al*. Blood heavy metals content and gut microbiota profile in immature and nesting wild green turtles (*Chelonia mydas*) [J]. Marine Environmental Research, 2025, 213: 107688.

[19] TANABE LK, CARVALHO S, DASARI V, *et al*. Potential effects of heavy metal pollution from a cement factory near Saudi Arabia's largest green turtle rookery [J]. Environmental Monitoring Assessment, 2022, 194(6): 450.

[20] MOSS S, KELLER JM, RICHARDS S, *et al*. Concentrations of persistent organic pollutants in plasma from two species of turtle from the tennessee river gorge [J]. Chemosphere, 2009, 76(2): 194–204.

[21] KUZUKIRAN O, SIMSEK I, KARA E, *et al*. An investigation of some persistent organic pollutants in loggerhead sea turtles (*Caretta caretta*) [J]. Marine Pollution Bulletin, 2024, 205: 116670.

[22] MORÃO I, MUÑOZ-ARNANZ J, SIMÕES T, *et al*. Discriminative influence of persistent organic pollutants on nesting green sea turtles through genotoxicity, oxidative stress and reproductive related markers [J]. Journal of Hazardous Materials, 2025, 498: 139762.

[23] CECIARINI I, CAPANNI F, MINOIA L, *et al*. Could persistent organic pollutants affect future generations of sea turtles by maternal transfer? First results for *Caretta caretta* nests along the North-Western coast of Italy [J]. Frontiers in Marine Science, 2024, 11: 1327137.

[24] ARIENZO M. Progress on the impact of persistent pollutants on marine turtles: A review [J]. Journal of Marine Science and Engineering, 2023, 11(2): 266.

[25] FINLAYSON KA, LIMPUS CJ, VANDE-MERWE JP. Temporal changes in chemical contamination of green turtles (*Chelonia mydas*) foraging in a heavily industrialised seaport [J]. Science of The Total Environment, 2022, 817: 152848.

[26] LEDOUX M. Analytical methods applied to the determination of pesticide residues in foods of animal origin. A review of the past two decades [J]. Journal of chromatography A, 2011, 1218(8): 1021–1036.

[27] FU L, ZHU J, ZHOU Q. Improved detection of veterinary drug residues: Advancing analytical techniques to ensure food safety [J]. Current Pharmaceutical Analysis, 2023, 19(10): 745–758.

[28] NEDERLOF RA, VANDER-VEEN D, PERRAULT JR, *et al*. Emerging insights into brevetoxicosis in sea turtles [J]. Animals, 2024, 14(7): 991.

[29] WALKER JS, SHAVER DJ, STACY BA, *et al*. Brevetoxin exposure in sea turtles in south Texas (USA) during Karenia brevis red tide [J]. Diseases of Aquatic Organisms, 2018, 127(2): 145–150.

[30] MERLEAU LA, LOURDAIS O, OLIVIER A, *et al*. Pesticide concentrations in a threatened freshwater turtle (*Emys orbicularis*): Seasonal and annual variation in the Camargue wetland, France [J]. Environmental Pollution, 2024, 341: 122903.

[31] 黎玉林, 江林源, 李坚明, 等. 无公害农产品质量安全水平的验证研究[J]. 中国渔业质量与标准, 2024, 14(5): 34–45.
LI YL, JIANG LY, LI JM, *et al*. Verification study on quality and safety level of pollution-free agricultural products [J]. Chinese Fishery Quality and Standards, 2024, 14(5): 34–45.

[32] SEMMOURI I, JANSSEN CR, ASSELMAN J. Health risks associated with the consumption of sea turtles: A review of chelonitoxism incidents

and the presumed responsible phycotoxins [J]. Science of the Total Environment, 2024, 954: 176330.

[33] AUTHORITY EFS. Public health risks involved in the human consumption of reptile meat-scientific opinion of the panel on biological hazards [J]. EFSA Journal, 2007, 5(11): 578.

[34] MAGNINO S, COLIN P, DEI-CAS E, *et al*. Biological risks associated with consumption of reptile products [J]. International Journal of Food Microbiology, 2009, 134(3): 163–175.

[35] GAERTNER JP, HAHN D, ROSE FL, *et al*. Detection of salmonellae in different turtle species within a headwater spring ecosystem [J]. The Journal of Wildlife Diseases, 2008, 44(2): 519–526.

[36] HIDALGO-VILA J, DÍAZ-PANIAGUA C, DEFRUTOS-ESCOBAR C, *et al*. *Salmonella* in free living terrestrial and aquatic turtles [J]. Veterinary Microbiology, 2007, 119(2-4): 311–315.

[37] EDWARDS JJ, AMADI VA, SOTO E, *et al*. Prevalence and phenotypic characterization of *Salmonella enterica* isolates from three species of wild marine turtles in Grenada, West Indies [J]. Veterinary World, 2021, 14(1): 222.

[38] SODAGARI HR, HABIB I, SHAHABI MP, *et al*. A review of the public health challenges of *Salmonella* and turtles [J]. Veterinary Sciences, 2020, 7(2): 56.

[39] BACK DS, SHIN GW, WENDT M, *et al*. Prevalence of Salmonella spp. in pet turtles and their environment [J]. Laboratory Animal Research, 2016, 32(3): 166–170.

[40] PEES M, BROCKMANN M, STEINER N, *et al*. Salmonella in reptiles: A review of occurrence, interactions, shedding and risk factors for human infections [J]. Frontiers in Cell and Developmental Biology, 2023, 11: 1251036.

[41] BENABDALLAH R, SAOUDI H, MATALLAH F, *et al*. Reptile trade and chelonians-associated Salmonellosis in humans: A public health concern [J]. Comparative Immunology, Microbiology Infectious Diseases, 2025, 117: 102305.

[42] MUSLIN C, SALAS-BRITO P, COELLO D, *et al*. Salmonella prevalence and serovar distribution in reptiles: A systematic review and meta-analysis [J]. Gut Pathogens, 2025, 17(1): 52.

[43] HERNANDEZ SM, MAURER JJ, YABSLEY MJ, *et al*. Free-living aquatic turtles as sentinels of *Salmonella* spp. for water bodies [J]. Frontiers in Veterinary Science, 2021, 8: 674973.

[44] ZAVALA-NORZAGARAY AA, AGUIRRE AA, VELAZQUEZ-ROMAN J, *et al*. Isolation, characterization, and antibiotic resistance of *Vibrio* spp. in sea turtles from Northwestern Mexico [J]. Frontiers in Microbiology, 2015, 6: 635.

[45] FICHI G, CARDETI G, CERSINI A, *et al*. Bacterial and viral pathogens detected in sea turtles stranded along the coast of Tuscany, Italy [J]. Veterinary Microbiology, 2016, 185: 56–61.

[46] EWINTIANI NKW, ROSIANA IW, WIRADANA PA, *et al*. Population dynamics and molecular identification of vibrio spp. on rearing water of olive ridley turtles (*Lepidochelys olivacea*) at Turtle Conservation and Education Center (TCEC) Serangan Bali [J]. Jurnal Acta Veterinaria Indonesiana, 2025, 13(2): 157.

[47] SANCHES-FERNANDES GMM, SÁ-CORREIA I, COSTA R. Vibriosis outbreaks in aquaculture: Addressing environmental and public health concerns and preventive therapies using gilthead seabream farming as a model system [J]. Frontiers in Microbiology, 2022, 13: 904815.

[48] LOURO M, HERNANDEZ L, ANTUNES J, *et al*. *Cryptosporidium* spp. in reptiles: Detection challenges, molecular characterization and zoonotic risk [J]. Food and Waterborne Parasitology, 2025, 40: e00272.

[49] MARCHIORI E, DOTTO G, TESSARIN C, *et al*. A pilot study on molecular diagnosis of *Hapalotrema mistroides* (Digenea:Spirorchiidae) infection in blood samples of live loggerhead turtles Caretta caretta [J]. BMC Veterinary Research, 2020, 16(1): 16.

[50] SAZMAND A, MIADFAR M, DEAK G, *et al*. Parasites of reptiles in Iran (1922 — 2023): A literature review [J]. International Journal for Parasitology: Parasites and Wildlife, 2024, 25: 100992.

[51] MENDOZA-ROLDAN JA, MODRY D, OTRANTO D. Zoonotic parasites of reptiles: A crawing threat [J]. Trends in Parasitology, 2020, 36(8): 677–687.

[52] MENDOZA-ROLDAN JA, MENDOZA-ROLDAN MA, OTRANTO D. Reptile vector-borne diseases of zoonotic concern [J]. International Journal for Parasitology: Parasites Wildlife, 2021, 15: 132–142.

[53] LIU W, GONG T, CHEN S, *et al*. Epidemiology, diagnosis, and prevention of sparganosis in Asia [J]. Animals, 2022, 12(12): 1578.

[54] LO YC, HUNG CC, LAI CS, *et al*. Human trichinosis after consumption of soft-shelled turtles, Taiwan [J]. Emerging Infectious Diseases, 2009, 15(12): 2056.

[55] ALLENDER MC, BUNICK D, MITCHELL MA. Development and validation of TaqMan quantitative PCR for detection of frog virus 3-like virus in eastern box turtles (*Terrapene carolina*) [J]. Journal of Virological Methods, 2013, 188(1-2): 121–125.

[56] TIAN F, ZHAN Z, PEI J, *et al*. Establishment and comparison of RF-RAA and qPCR for rapid detection of Chinese soft-shelled turtle adenovirus (CSTAdV) [J]. Virology Journal, 2025, 22(1): 284.

[57] UNE Y, MURAKAMI M, UEMURA K, *et al*. Polymerase chain reaction (PCR) for the detection of herpesvirus in tortoises [J]. Journal of Veterinary Medical Science, 2000, 62(8): 905–907.

[58] COBERLEY SS, HERBST LH, BROWN DR, *et al*. Detection of antibodies to a disease-associated herpesvirus of the green turtle, *Chelonia mydas* [J]. Journal of Clinical Microbiology, 2001, 39(10): 3572–3577.

[59] 徐莹莹, 黄卓, 林琳, 等. 即食香辣龟肉加工工艺的研究[J]. 肉类工业, 2017(3): 6–10.
XU YY, HUANG Z, LIN L, *et al*. Study on processing technology of instant spicy turtle meat [J]. Meat Industry, 2017(3): 6–10.

[60] 杨慧荣. 饮食人类学视角下梧州龟苓膏传承与发展研究[D]. 南宁: 广西民族大学, 2024.
YANG HR. Study on inheritance and development of Wuzhou Guilinggao from the perspective of dietary anthropology [D]. Nanning: Guangxi University for Nationalities, 2024.

[61] CHEN ZX, ZHENG JC, JIANG YL. A new iridovirus isolated from soft-shelled turtle [J]. Virus Research, 1999, 63(1-2): 147–151.

[62] GRAY MJ, CHINCHAR VG. Ranaviruses: Emerging pathogens of ectothermic vertebrates [M]. Berlin: Springer Nature, 2025.

[63] JIAO J, YAO J, LIN F, *et al*. The infection properties of *Trionyx sinensis* hemorrhagic syndrome virus and the antiviral effect of curcumin *in vivo* [J]. Animals, 2023, 13(23): 3665.

[64] 徐莹莹. 即食龟肉的加工及其风味物质的研究[D]. 合肥: 合肥工业大学, 2017.
Xu YY. Research on processing of ready-to-eat turtle meat and its flavor substances [D]. Hefei: Hefei University of Technology, 2017.

[65] SAELINGER CA, LEWBART GA, CHRISTIAN LS, *et al*. Prevalence of *Salmonella* spp in cloacal, fecal, and gastrointestinal mucosal samples from wild North American turtles [J]. Journal of the American Veterinary Medical Association, 2006, 229(2): 266–268.

[66] 李梦倩. 即食龟肉超声波卤制及蛋白质消化性的研究[D]. 扬州: 扬州大学, 2023.
LI MQ. Study on ultrasonic braising and protein digestibility of instant turtle meat [D]. Yangzhou: Yangzhou University, 2023.

[67] XU Y, WANG X, MAO Q, *et al*. Characterization of prepared soft-shelled turtle dishes of different pretreatment combined with irradiation based on flavor profiles using E-nose, E-tongue and HS-SPME-GC–MS [J]. Food Chemistry: X, 2025, 27: 102352.

[68] DING Y, DAI F, SU L, *et al*. Effects of chronic ammonia nitrogen stress on intestinal barrier function and microbial composition of Chinese soft-shelled turtle (*Pelodiscus sinensis*) [J]. Aquaculture, 2025, 614: 743459.

[69] LUO J, GAO J, SONG H, *et al*. Low temperature alleviated the adverse effects of simulated transport stress on the intestinal health in Chinese soft-shelled turtle *Pelodiscus sinensis* [J]. Fish & Shellfish Immunology, 2024, 154: 109936.

[70] 池学鑫. 海产品冷链物流环节食品安全风险分析与控制策略研究[J]. 中国食品, 2025(6): 30–32.
CHI XX. Research on food safety risk analysis and control strategies in cold chain logistics of seafood [J]. China Food, 2025(6): 30–32.

[71] 赵春光. 《食品安全法》为龟鳖产品质量安全提供保障[J]. 科学养鱼, 2009(9): 4–5.
ZHAO CG. *Food safety law* provides guarantee for quality and safety of turtle products [J]. Scientific Fish Farming, 2009(9): 4–5.

(责任编辑: 韩晓红 蔡世佳)