

食品生物胺安全控制关联的包装技术研究进展

刘亚楠¹, 李天舒¹, 王彦波¹, 傅玲琳¹, 张德权², 李欢¹

(1.浙江工商大学 食品与生物工程学院, 杭州 310018; 2.中国农业科学院农产品加工研究所
农业农村部农产品质量安全收贮运管控重点实验室, 北京 100193)

摘要: **目的** 综述包装技术在食品生物胺安全控制领域的研究现状及应用进展, 为新型高效的食品生物胺控制包装的研发提供借鉴与参考, 助力食品安全国家战略的实施。**方法** 通过收集和整理相关文献, 在概述食品中生物胺的形成机制和危害的基础上, 探讨传统食品包装在控制生物胺形成方面的成效和局限性, 重点总结近年来出现的新型生物胺控制包装技术(气调包装、抑脱羧酶活性包装及抑菌活性包装)及其研究进展, 并对其未来发展方向进行展望。**结论** 食品包装可实现生物胺的安全控制, 研发新型、高效的生物胺安全控制包装技术对于保障消费者舌尖上的安全具有重要的现实意义。

关键词: 食品包装; 生物胺控制; 气调包装; 抑酶活性包装; 抑菌活性包装

中图分类号: TS206.6 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2022)15-0150-10

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2022.15.017

Research Progress in Packaging Technologies for Safety Control of Food Biogenic Amines

LIU Ya-nan¹, LI Tian-shu¹, WANG Yan-bo¹, FU Ling-lin¹, ZHANG De-quan², LI Huan¹

(1. School of Food Science and Biotechnology, Zhejiang Gongshang University, Hangzhou 310018, China; 2. National Risk Assessment Laboratory of Agro-Products Processing Quality and Safety under the Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Institute of Food Science and Technology, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100193, China)

ABSTRACT: The work aims to investigate the research status and application progress of packaging technologies in safety control of food biogenic amines, so as to provide references for the research and development of new and efficient food biogenic amines control packaging and contribute to the implementation of the national strategy on food safety. Through the collection and analysis of relevant literature, the formation mechanism and hazard of food biogenic amines were reviewed to discuss the effectiveness and limitations of the traditional food packaging in controlling the formation of biogenic amines. Then, the new biogenic amines control packaging technologies (modified atmosphere packaging, decarboxylase enzyme inhibiting active packaging, and antibacterial packaging) and their research progress in recent years were summarized, and their future development directions were prospected. Food packaging can realize the safety control of biogenic amines, which is of great practical significance to develop a new and efficient packaging technology for safety control of biogenic amines to ensure the food safety of consumers.

KEY WORDS: food packaging; biogenic amines control; modified atmosphere packaging; enzyme inhibiting active packaging; antibacterial packaging

收稿日期: 2022-01-26

基金项目: 农业农村部农产品质量安全收贮运管控重点实验室开放课题(S2020KFKT-07)

作者简介: 刘亚楠(1995—), 女, 博士研究生, 主要研究方向为食品质量与安全。

通信作者: 张德权(1972—), 男, 博士, 研究员, 主要研究方向为肉品科学与技术; 李欢(1991—), 女, 博士, 讲师, 主要研究方向为食品贮藏与保鲜技术。

生物胺是一类具有生物活性的低分子量碱性含氮化合物的总称, 主要产生于食品的腐败变质过程。近年来, 食品中的生物胺引发了一系列食品安全问题, 引起了人们的广泛关注。我国沿海地区(特别是浙江、广东、江苏和山东等地)均发生过生物胺中毒事件^[1]。食物中常见的生物胺有组胺、酪胺、腐胺、尸胺、 β -苯乙胺、色胺、亚精胺及精胺等。过量摄入这些胺类物质不仅存在较大的中毒风险, 还可能导致机体发生过敏反应^[2]。常规的低温冷藏及高温烹饪等方法均无法有效地抑制食品中生物胺的产生^[3], 如何高效便捷地控制食品中生物胺的形成和积累, 保障消费者的食用安全, 成为了当前的研究热点。

食品包装作为食品的外部保护屏障, 可有效阻隔环境及微生物等外部因素对食品的侵害, 有助于延长食品的货架期, 提升食品质量, 保障食品安全, 它已成为食品加工、贮藏产业的有力支撑部分^[4-5]。近年来, 在食品安全保障需求下, 食品包装作为一种高效便捷的技术手段被广泛应用于生物胺的控制中。文中将在概述食品中生物胺的形成机制和危害的基础上, 探讨传统食品包装在控制生物胺形成方面的成效和局限性, 重点总结近年来出现的新型生物胺控制包装技术及其研究进展, 旨在为今后开发新型、高效的生物胺控制食品包装提供借鉴与参考, 以保障消费者舌尖上的安全。

1 食品生物胺的形成机制与潜在危害

生物胺广泛存在于各类高蛋白食品中, 如肉制品、水产品及发酵豆制品等。除部分生物胺由醛酮类化合物的氨基化和转氨基作用生成外, 大部分生物胺由氨基酸前体通过微生物中的氨基酸脱羧酶脱羧形成^[6-7](如图 1)。其中, 游离氨基酸不但是生物胺的前体物质, 还是微生物生长的供能物质, 其总量与腐胺、尸胺、精胺、亚精胺等生物胺的生成量显著相关^[8]。微生物所含氨基酸脱羧酶在生物胺的形成过程中扮演着至关重要的角色。研究发现, 当脱羧酶中 *aguB* 基因的表达受到抑制时, 会影响由精氨酸向腐胺的转化^[9]。此外, 原料组成、加工和贮藏条件等也会对食品中生物胺的形成产生显著的影响, 如脂肪含量、环境的 pH 值、贮藏温度和包装条件等^[10-11]。从

原料组成来看, 当食品(如肉品等)中的脂肪含量较高时, 生物胺的生成量往往较低。这是因为高脂肪含量带来的低水分活度会抑制微生物的生长及游离氨基酸的生成, 进一步减少食品中生物胺的形成^[12]。微生物产胺实际上是它抵抗酸性环境所做出的一种生理性反应, 因此氨基酸脱羧酶往往在低 pH 条件下具有较高的活性, 微生物在酸性环境下的产胺能力一般也较高^[13]。贮藏温度也会显著影响生物胺的形成, 比如, 较高的贮藏温度一方面会加快微生物的生长和蛋白质的分解, 另一方面也会显著提升氨基酸脱羧酶和蛋白水解酶的活性, 最终加快生物胺的形成及积累速度^[13]。包装条件可对食品中的微生物种类、数量及代谢情况等产生显著影响, 进而造成生物胺形成和积累量的差异。例如, 食品中的肺炎克雷伯菌(*Klebsiella pneumoniae*) 在无氧包装条件下, 尸胺的生成量会大幅减少, 腐胺的生成量会显著增加^[14]。

近年来, 由水产品、肉制品及奶制品等食品中的生物胺引起的食品安全事件屡见不鲜^[15-16], 我国沿海地区(特别是浙江、广东、江苏和山东等地)均发生过生物胺中毒事件^[1]。江苏省南京市某工厂曾发生 100 余人日本鲭鱼食物中毒事件。浙江省宁海县某企业部分职工食用不新鲜青占鱼后, 陆续出现头痛、头晕、恶心、呕吐、皮疹、腹痛等症状, 经调查发现, 所食用青占鱼的组胺平均含量高达 2.3 g/kg, 是国标限量标准的 2.3 倍^[15,17]。当机体摄入含高水平生物胺的食品时, 过量的生物胺无法及时被小肠黏膜内的胺氧化酶分解代谢, 极易在体内蓄积, 从而对机体健康造成损伤, 引发呕吐、呼吸障碍、头痛, 甚至中毒等症状^[18-20]。研究表明, 食用高组胺食品会引起头痛、红疹、血压紊乱等症状, 还可通过组胺受体 4 促进粒细胞浸润肠黏膜, 诱发如克罗恩病、溃疡性结肠炎等相关疾病。此外, 组胺作为 I 型变态反应重要的炎性介质, 可导致过敏性食物中毒的发生^[18,21-24]。酪胺可能引起偏头痛、呼吸紊乱、高血压等病症, 同时还会增强大肠杆菌 O157:H7 在小肠上皮细胞上的黏附, 增强其致病性^[18,25]。尸胺和腐胺不仅能够与亚硝酸盐反应生成亚硝胺致癌物, 过量存在于体内时还将促进恶性肿瘤的转移^[26-27]。除此以外, 腐胺还可以提高致病性革兰氏阳/阴性菌的毒性^[28]。由此可见, 不当摄入生物

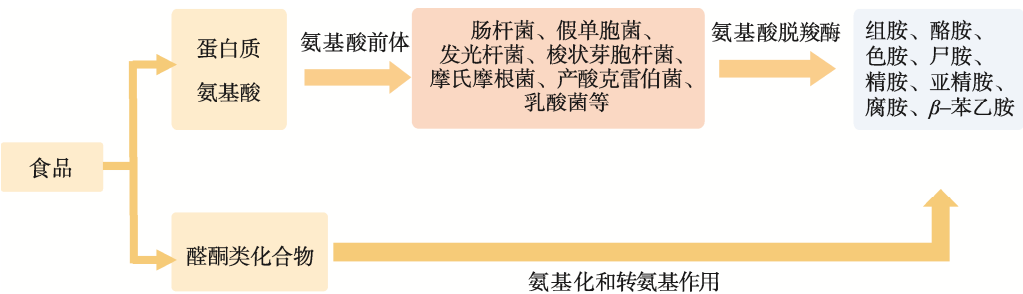


图 1 生物胺的形成途径
Fig.1 Formation of biogenic amines in food

胺对人体健康存在着较大的威胁。对此,我国以水产品中最容易产生、毒性最强的组胺为代表设置了最高限量水平,即高组胺鱼类中组胺含量不得超过 400 mg/kg,其他鱼类中组胺含量不得超过 200 mg/kg^[29]。可见,有效地控制食品中生物胺的形成对于保障消费者的生命健康具有重要的意义。

2 传统食品包装与生物胺安全控制

如前所述,食品中生物胺的产生与原料组成、加工储存条件等密切相关^[30]。添加植物或化学物质,采用非热物理处理等加工方法是减少或抑制食品中生物胺形成的重要举措^[28]。然而,这些方法通常会导致食品组分和感官特性发生变化^[31]。此外,消费者对部分加工方式及添加剂的接受度较差^[32]。消费者和食品行业生产者均偏好质量高、添加剂少、保质期长的产品^[33]。食品包装作为物理保护屏障,可有效隔绝外部环境和物质对内含食品的污染,减少微生物在食品中的定植与生长等,可在一定程度上减缓生物胺的生成^[34],且消费者对其接受度和认可度较高。姜晓娜^[35]模拟物流过程不同包装方式对黄鳍金枪鱼品质变化影响的研究中发现,聚乙烯包装组中黄鳍金枪鱼的组胺含量显著低于无包装处理组中黄鳍金枪鱼的组胺含量,表明食品包装对组胺的产生具有显著的抑制作用。真空包装通过改变包装环境中氧气的含量,从而影响微生物生长和代谢等多种生命活动过程^[12],可有效降低鱼片和干香肠等肉制品在储存过程中的生物胺生成量^[36-37]。蔡秋杏等^[38]采用真空和普通等 2 种包装方式在 25 °C 下贮藏液熏罗非鱼片,并比较了其生物胺产生量的变化,研究发现,贮藏结束后真空包装和普通包装样品中腐胺的含量分别为 13.94 mg/kg 和 16.25 mg/kg,表明真空包装能够显著抑制腐胺含量的增加。刘义等^[39]将真空贴体包装与普通真空包装、托盘包装进行对比,探究在 4 °C 冷藏过程中鲟鱼片的品质变化规律,研究发现,真空贴体包装组鲟鱼片的生物胺含量显著低于普通真空包装和托盘包装组鲟鱼片的生物胺含量,且货架期被延长至 9 d。Kaniou 等^[40]研究发现,在 4 °C 贮藏条件下,真空包装的鲜牛肉与未包装的鲜牛肉相比,腐胺的产生量显著降低。对于发酵食品而言,在配送和贮藏过程中通常采用盐溶液包装,而 NaCl 的存在可能会加速泡菜等

发酵食品对腐胺的降解或转化^[41]。Zhao 等^[31]比较了不同包装方式(有氧包装、NaCl 溶液包装、真空包装)对泡菜贮藏过程中生物胺产生水平的影响,研究发现,真空包装对泡菜中组胺、酪胺和腐胺的积累的抑制作用优于有氧包装和 NaCl 溶液包装。然而,真空包装、有氧包装和盐溶液包装等传统包装方式在减少或抑制食品生物胺产生和积累方面的效果较为有限,研发新型、高效的包装技术对于食品生物胺控制至关重要,如食品气调包装、食品活性包装(如图 2)等。

3 食品气调包装与生物胺安全控制

气调包装是利用一种或数种混合气体改变食品所处气体环境的一种新型包装方式^[1]。研究表明, O₂ 含量的减少可有效降低气调包装内食品的菌落总数,尤其是对梭状芽胞杆菌属(*Clostridium*)和假单胞菌属(*Pseudomonas*)等典型产胺菌的生长有抑制作用^[42]。目前,用于控制生物胺的气调包装主要集中在降低食品外部包装袋中 O₂ 所占比值。如利用 CO₂、N₂ 等气体调控食品外部包装气体组成来抑制梭状芽胞杆菌和假单胞菌等产胺微生物的生长,从而达到降低生物胺含量的目的^[42],见表 1。Ozogul 等^[43]以暴露于空气中的沙丁鱼为对照,比较了在 4 °C 贮藏条件下 CO₂/N₂(体积分数为 60%/40%)气调包装和真空包装中沙丁鱼生物胺的变化情况,研究发现,虽然各类包装方式均未能完全消除生物胺的积累和增加,但与对照组相比,真空包装沙丁鱼中生物胺的质量分数降低了 51.8%,CO₂/N₂(体积分数为 60%/40%)气调包装沙丁鱼的生物胺含量降低了 77.4%。由此可见,气调包装对沙丁鱼生物胺的抑制能力优于真空包装。Yew 等^[44]比较了不同 CO₂ 浓度(体积分数为 30%、60%、80%、100%)对熟鸡胸肉丝中组胺形成的影响,研究结果显示,气调包装中 CO₂ 的体积分数分别为 30%、60%、80%和 100%时,鸡肉中组胺的质量分数分别降低了 8.5%、70.3%、78.8%和 90.2%。此外,Rodriguez 等^[45]也研究了具有不同 CO₂ 浓度(体积分数为 10%、30%、50%、70%和 90%)的气调包装对熟鸡胸肉丝中生物胺形成的影响,研究发现,贮藏于不同 CO₂ 条件下鸡胸肉丝中的腐胺和尸胺含量显著减少,且减小程度随 CO₂ 浓度的增加而增加。同时,研究还发现产腐胺的细菌对 CO₂ 的敏感度相对较弱。

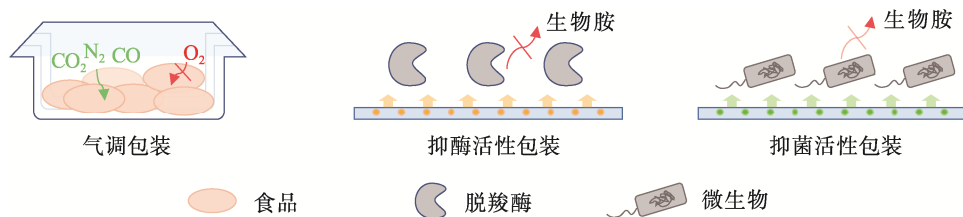


图 2 具有生物胺控制功效的食品包装

Fig.2 Food packaging with control ability of biogenic amines

表 1 气调包装用于食品中生物胺控制
Tab.1 Control of biogenic amines based on modified atmosphere packaging

气体条件 (体积分数)	包装对象	效果	参考文献
CO ₂ (60%)/N ₂ (40%)	沙丁鱼	与对照组的生物胺含量相比, 真空包装和 CO ₂ (60%)/N ₂ (40%)气调包装中总生物胺的质量分数分别降低了 51.8%和 77.4%, 气调包装效果最好	[43]
CO ₂ (30%)/N ₂ (65%)/O ₂ (5%)、 CO ₂ (60%)/N ₂ (35%)/O ₂ (5%)23、 CO ₂ (80%)/N ₂ (15%)/O ₂ (5%)、 CO ₂ (100%)/N ₂ (0%)/O ₂ (0%)	鸡肉	与对照组相比, 组胺的质量分数分别降低了 8.5%、70.3%、78.8%和 90.2%, 高浓度 CO ₂ 的保鲜效果最好	[44]
CO ₂ (10%)/N ₂ (90%)、CO ₂ (30%)/N ₂ (70%)、 CO ₂ (50%)/N ₂ (50%)、CO ₂ (70%)/N ₂ (30%)、 CO ₂ (90%)/N ₂ (10%)	鸡肉	与有氧包装相比, 总生物胺的质量分数分别降低了 41.4%、61.07%、63.0%、76.3%、79.8%, 腐胺和尸胺的降低最为明显	[45]
CO ₂ (50%)/N ₂ (50%)、 CO(0.5%)/CO ₂ (50%)/N ₂ (49.5%)、 Ar(50%)/N ₂ (50%)、 CO(0.5%)/CO ₂ (80%)/N ₂ (19.5%)、 N ₂ (100%)	火鸡	生物胺含量降低, 其中添加高浓度 CO ₂ 和 CO 混合气体的包装抑制肉品中生物胺产生的效果最好	[46]
CO ₂ (80%)/N ₂ (20%)	鸡肉片	与 3.4 °C 和 5.4 °C 相比, 2.9 °C 低温条件气调包装中生物胺含量的增加更为缓慢	[47]
CO ₂ (80%)/N ₂ (20%)	虹鳟鱼片	延缓腐胺和尸胺的增加, 抑制微生物的生长, 延长保质期	[36]
O ₂ (40%)/CO ₂ (20%)/N ₂ (40%)	鸭肉	菌落总数、肠杆菌数量、假单胞菌数量和乳酸菌数量显著低于对照组, 苯乙胺、腐胺、尸胺、组胺和酪胺的含量显著降低, 减缓了生物胺的生成和积累	[48]
CO ₂ (100%)/N ₂ (0%)、CO ₂ (75%)/N ₂ (25%)、 CO ₂ (50%)/N ₂ (50%)、CO ₂ (25%)/N ₂ (75%)	澳洲肺鱼	生物胺的含量显著降低, 且与 CO ₂ 浓度呈负相关	[49]
CO ₂ (60%)/O ₂ (15%)/N ₂ (25%)、 CO ₂ (40%)/O ₂ (40%)/N ₂ (20%)	金枪鱼	生物胺的含量均降低, 其中 CO ₂ (60%)/O ₂ (15%)/N ₂ (25%)气调包装组生物胺抑制效率最高	[50]
O ₂ (30%)/N ₂ (10%)/CO ₂ (60%)	鲫鱼	抑制了鲫鱼表面细菌的生长, 减少了组胺的产生	[51]
O ₂ (35%)/N ₂ (30%)/CO ₂ (35%)	牛肉	结合低温等离子体技术时菌落总数、肠杆菌数量、热死索丝菌数量、假单胞菌数量和乳酸菌数量显著降低, 苯乙胺、腐胺、亚精胺、组胺和精胺的含量显著降低	[52]

Fraqueza 等^[46]比较了 CO₂ 与其他气体构成不同气调包装环境时对火鸡生物胺产生量的影响, 研究发现, 与普通有氧包装相比, 在气调包装中添加较高浓度 CO₂ 和 CO 混合气体时, 肉品的生物胺含量较低。Rokka 等^[47]对比了气调包装 (体积分数 80%的 CO₂+ 体积分数 20%的 N₂) 中的鸡肉片在不同温度 (2.9、3.4、5.4 °C) 下生物胺含量的变化情况, 研究发现, 随着储藏时间的增加, 在 2.9 °C低温环境下贮藏的气调包装中鸡肉片的生物胺含量的增加更为缓慢。Rodriguez 等^[36]探究了辐射处理、真空包装和气调包装对虹鳟鱼片生物胺含量的影响, 研究发现, 采用气调包装可有效减缓虹鳟鱼中腐胺和尸胺的形成, 进而延长了虹鳟鱼片的保质期, 且生物胺控制能力为 3 种处理方式中最强的。徐思雨^[48]将复合保鲜剂 (白藜芦醇、迷迭香酸和肉桂醛) 与气调包装相结合, 研究其对生鲜鸭胸肉的保鲜效果, 研究发现, 实验组的菌落总数、肠杆菌数量、假单胞菌数量和乳酸菌数量显著低于对照组的, 苯乙胺、腐胺、尸胺、组胺和酪胺的

含量显著降低, 说明复合保鲜剂与气调包装 (体积分数 40%的 CO₂+ 体积分数 20%的 CO₂+ 体积分数 40%的 N₂) 相结合的活性包装方式增强了气调包装减缓生物胺的生成和积累的能力。

4 食品活性包装与生物胺安全控制

4.1 具有氨基酸脱羧酶活性抑制功效的活性包装

由于食品中的生物胺主要由微生物中的氨基酸脱羧酶作用于游离氨基酸产生, 故抑制氨基酸脱羧酶活性是减少生物胺形成的有效途径之一^[4]。研究发现, 如阿魏酸、儿茶素、丁香酚等活性物质可通过降低氨基酸脱羧酶活性来抑制生物胺的产生^[53-54]。将抑酶活性物质包埋于包装膜材料中, 进而减少包装食品中生物胺的积累, 是目前基于活性包装材料控制生物胺的研究热点之一, 见表 2。

研究表明,在阿魏酸的作用下,*E. faecalis*等产胺菌的酪氨酸脱羧酶基因和酪氨酸/酪胺透性酶基因的表达均会受到抑制,其对酪氨酸的敏感性大大减弱,进而导致酪胺的产量降低^[58]。同时,阿魏酸具有抑制大肠杆菌等微生物生长的功效,因此将具有双重功效的阿魏酸与其他物质结合制备活性包装可为控制生物胺提供新的策略。肖乃玉等^[55]以胶原蛋白为成膜基材,制备了阿魏酸-胶原蛋白复合膜,并进一步探究了阿魏酸-胶原蛋白复合膜对腊肠中生物胺生成量的影响。研究发现,阿魏酸-胶原蛋白复合膜可显著降低腊肠中挥发性生物胺的含量,且可将腊肠的货架期延长 8.5 d。儿茶素不仅可抑制赖氨酸脱羧酶、组氨酸脱羧酶和苯丙氨酸脱羧酶等多种脱羧酶的活性,还可以抑制微生物的生长,且对风味微生物生长的影响较小^[53]。Cao 等^[56]将表没食子儿茶素没食子酸酯添加到明胶膜中制备出了表没食子儿茶素没食子酸酯-明胶薄膜,将其用于包装罗非鱼片后,鱼片中的腐胺及尸胺生成量显著降低,并可有效减缓鱼片中

脂肪和蛋白质的氧化,延长了保质期。除儿茶素外,丁香酚对赖氨酸脱羧酶、组氨酸脱羧酶和苯丙氨酸脱羧酶等多种脱羧酶也具有抑制功效^[53],且对微生物的生长具有明显的抑制作用^[59]。Zhou 等^[57]探究了采用丁香酚-明胶涂膜与气调包装联用的方式对鲈鱼的保鲜功效,研究发现,丁香酚-明胶涂膜可有效抑制假单胞菌的生长,减少游离氨基酸的生成量,从而抑制生物胺的生成。未来可进一步开发对氨基酸脱羧酶具有特异性抑制功能的活性成分,将其与活性包装技术相结合,从而更加精准地控制生物胺的产生和积累。

4.2 具有抑菌功效的活性包装

由生物胺的形成机制可知,除抑制脱羧酶活性外,抑制食品中具有脱羧酶活性的产胺菌或蛋白酶产生菌等微生物的生长也有助于减缓生物胺的生成。利用抑菌包装材料控制食品中的产胺菌活性,进而减少生物胺的生成,已成为控制食品中生物胺产生的一个高潜力途径,见表 3。

表 2 具有氨基酸脱羧酶活性抑制功效的活性包装用于生物胺控制
Tab.2 Application of active packaging with amino acid decarboxylase enzyme inhibiting effect in control of biogenic amines

包装种类	包装对象	效果	参考文献
阿魏酸-胶原蛋白复合膜	腊肠	显著降低腊肠中挥发性生物胺的含量,将货架期延长 8.5 d	[55]
表没食子儿茶素没食子酸酯-明胶薄膜	罗非鱼片	腐胺和尸胺的含量降低,并可减缓脂肪和蛋白质的氧化,延长保质期	[56]
丁香酚-明胶涂膜	鲈鱼	抑制假单胞菌的生长,减少游离氨基酸的生成量,降低鲈鱼中生物胺的含量	[57]

表 3 具有抑菌功效的活性包装用于食品生物胺控制
Tab.3 Application of antibacterial active packaging in control of biogenic amines

包装种类	包装对象	效果	参考文献
壳聚糖涂膜	金枪鱼	与其他组相比,壳聚糖涂膜组菌落总数显著降低,抑制生物胺生成的效果最佳	[60]
没食子酸-壳聚糖复合涂膜	太平洋鲭鱼	抑制微生物生长,减缓了组胺、腐胺和尸胺的形成	[61]
丙氨酸/酪氨酸二肽-叉红藻胶/水解明胶活性双层膜	大西洋鲭鱼	降低了大西洋鲭鱼中假单胞菌数量,减缓了腐胺、尸胺、组胺、精胺、亚精胺和 2-苯乙胺的形成	[62]
海藻酸钠-竹叶提取物	鲍鱼	降低了假单胞菌、H ₂ S 产生菌、肠杆菌科和乳酸菌的数量,减少了鲍鱼体内腐胺、尸胺和酪胺的累积	[63]
壳聚糖-月桂酸单甘酯-丁香精油	草鱼	与对照组相比,腐胺和组胺的质量分数分别降低了 92%、94%	[64]
茶多酚-羧甲基壳聚糖-蜂胶	海湾扇贝	抑制了扇贝体内酶的作用和微生物的繁殖,延缓了腐胺、尸胺和亚精胺的产生,有效地延长了扇贝的货架期	[65]
壳聚糖-茶多酚复合涂膜	南美白对虾	腐胺、尸胺含量显著降低,优势腐败菌 <i>Vibrio</i> 和 <i>Photobacterium</i> 的生长受到抑制	[66]

壳聚糖是一类具有广谱抑菌性的生物大分子,其带正电的分子结构有助于其通过静电作用破坏微生物细胞膜,进而达到柔性杀菌的目的^[67]。李苗苗等^[60]比较了4种不同包装方式(壳聚糖涂膜、气调包装、真空包装和托盘包装)对金枪鱼中生物胺形成的影响,结果表明,壳聚糖涂膜组的菌落总数最少,对生物胺的抑制效果最佳,气调包装、真空包装和托盘包装抑制菌落生长及生物胺生成的能力较弱。Wu等^[61]采用没食子酸-壳聚糖制备了太平洋鲑鱼片的可食用涂膜,并观察了它对冷藏储存期间鱼中生物胺生成量的影响,研究发现,壳聚糖-没食子酸涂膜能够有效抑制微生物的生长,减缓组胺、腐胺和尸胺等生物胺的形成。Jamróz等^[62]将含丙氨酸-酪氨酸二肽的叉红藻胶/水解明胶活性双层膜用于大西洋鲑鱼的保鲜研究,研究发现,活性双层膜降低了大西洋鲑鱼的假单胞菌数量,减缓了腐胺、尸胺、组胺、精胺、亚精胺和2-苯乙胺的形成,对于大西洋鲑鱼的贮藏保鲜具有重要的现实意义。Topuz等^[68]比较了不同涂膜材料(明胶、海藻酸盐和果胶)对虹鳟鱼肉中生物胺形成的影响,研究发现,经海藻酸盐处理后虹鳟鱼肉的生物胺含量最低。Hao等^[63]研究了海藻酸钠-竹叶提取物或迷迭香提取物涂层处理对冷藏条件下皱纹盘鲍生物胺含量的影响,结果表明,该涂层可有效抑制腐败微生物假单胞菌、H₂S产生菌、肠杆菌和乳酸菌的生长,改变鲍鱼中的微生物组成,从而降低腐胺、尸胺和酪胺的含量。

5 结语

生物胺是高蛋白食品发酵或储藏过程中生成的常见有害物质之一,由此引发的食品安全问题引起了广泛的关注。如何高效便捷地控制食品中生物胺的产生与积累是当前的研究热点。添加天然或化学物质,采用非热物理处理等加工工艺是减少或抑制食品中生物胺形成的重要方法。然而,这些方法通常会导致食品组成和感官特性的变化,存在消费者接受度低等局限性。食品包装可以有效防止食品受到微生物等的侵染,有助于延长食品的保质期和货架期,在生物胺控制领域展现出了巨大的应用前景。真空包装、有氧包装和盐溶液包装等传统包装方式被证明具有一定的生物胺控制功效,但其控制效率有待提升。随着技术的发展,气调包装和活性包装逐渐成为生物胺控制领域的新兴包装方式。气调包装和活性包装通过抑制产胺菌的生长和脱羧酶的活性,实现了对生物胺的有效控制。

尽管食品包装技术在生物胺控制领域展现出了较好的成效,但在今后的研究中,还应加强对下述方面更为深入的探索。

1) 大肠杆菌和乳酸杆菌在厌氧条件下仍会产生

和积累酪胺,将气调包装与其他技术结合以抑制这类产胺微生物的生长是今后的研究方向之一。

2) 活性包装已在水产品、肉制品等食品的生物胺控制中取得了一定的成效,然而在发酵食品的生物胺控制方面的探索较少,相关研究较为匮乏。

3) 目前,有关活性包装抑制生物胺的机理研究较少,加强相关的机理研究可为今后开发高效的食品生物胺控制包装技术提供理论支撑。

4) 目前,活性包装主要通过抑制微生物的生长来间接抑制生物胺的产生,未来可开发更有针对性的生物胺抑制活性包装,以减少对有益菌群的影响。

参考文献:

- [1] 刘红,李传勇,曾志杰,等.水产品中生物胺的检测与控制技术研究进展[J].食品安全质量检测学报,2015,6(11):4516-4523.
LIU Hong, LI Chuan-yong, ZENG Zhi-jie, et al. Research Progress on the Determination Methods and Control Technology of Biogenic Amines in Seafood[J]. Journal of Food Safety & Quality, 2015, 6(11): 4516-4523.
- [2] GALLI S J, TSAI M. IgE and Mast Cells in Allergic Disease[J]. Nature Medicine, 2012, 18(5): 693-704.
- [3] GUIZANI N, AL-BUSAIDY M A, AL-BELUSHI I M, et al. The Effect of Storage Temperature on Histamine Production and the Freshness of Yellowfin Tuna (*Thunnus Albacares*)[J]. Food Research International, 2005, 38(2): 215-222.
- [4] 刘亚楠,李欢,连仁杰,等.水产品生物胺控制技术研究进展[J].食品科学,2022,43(11) 246-253.
LIU Ya-nan, LI Huan, LIAN Ren-jie, et al. Research Progress of Biogenic Amine Control Techniques in Aquatic Products[J]. Food Science, 2022, 43(11): 246-253.
- [5] 姚倩儒,陈历水,李慧,等.冷鲜肉保鲜包装技术现状和发展趋势[J].包装工程,2021,42(9): 194-200.
YAO Qian-ru, CHEN Li-shui, LI Hui, et al. Current Situation and Development Trend of Packaging Technology for Chilled Fresh Meat[J]. Packaging Engineering, 2021, 42(9): 194-200.
- [6] JIA Ruo-nan, TIAN Wei-guo, BAI Hao-tian, et al. Amine-Responsive Cellulose-Based Ratiometric Fluorescent Materials for Real-Time and Visual Detection of Shrimp and Crab Freshness[J]. Nature Communications, 2019, 10: 795.
- [7] SANTOS M H S. Biogenic Amines: Their Importance in Foods[J]. International Journal of Food Microbiology, 1996, 29(2/3): 213-231.

- [8] ÖZDESTAN Ö, ÜREN A. Biogenic Amine Content of Tarhana: A Traditional Fermented Food[J]. *International Journal of Food Properties*, 2013, 16(2): 416-428.
- [9] 黄笠原, 毛顺, 李蕊婷, 等. 大蒜精油对熏马肠中德氏乳杆菌产腐胺的影响机制[J]. *食品科学*, 2019, 40(5): 17-23.
- HUANG Li-yuan, MAO Shun, LI Rui-ting, et al. Effect and Mechanism of Garlic Essential Oil on Putrescine Accumulation by *Lactobacillus Delbrueckii* Isolated from Smoked Horse Meat Sausages[J]. *Food Science*, 2019, 40(5): 17-23.
- [10] ANLİ R E, BAYRAM M. Biogenic Amines in Wines[J]. *Food Reviews International*, 2008, 25(1): 86-102.
- [11] RUIZ-CAPILLAS C, HERRERO A M. Impact of Biogenic Amines on Food Quality and Safety[J]. *Foods* (Basel, Switzerland), 2019, 8(2): 62.
- [12] RUIZ-CAPILLAS C, JIMÉNEZ-COLMENERO F. Biogenic Amines in Meat and Meat Products[J]. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 2005, 44(7/8): 489-599.
- [13] 王翔, 卢士玲, 徐幸莲, 等. 发酵肉制品中生物胺的形成及影响因素研究进展[J]. *食品与发酵工业*, 2010, 36(11): 133-136.
- WANG Xiang, LU Shi-ling, XU Xing-lian, et al. Review of Biogenic Amines Formation and Influencing Factors in Fermented Meat Products[J]. *Food and Fermentation Industries*, 2010, 36(11): 133-136.
- [14] HALÁSZ A, BARÁTH Á, SIMON-SARKADI L, et al. Biogenic Amines and Their Production by Microorganisms in Food[J]. *Trends in Food Science & Technology*, 1994, 5(2): 42-49.
- [15] 莫星忱, 吕柏东, 伍彬, 等. 发酵食品中组胺危害及控制研究进展[J]. *现代食品*, 2020(7): 46-48.
- MO Xing-you, LYU Bai-dong, WU Bin, et al. Research Progress on Hazard and Control of Histamine in Fermented Food[J]. *Modern Food*, 2020(7): 46-48.
- [16] 班雨函, 朱明坤, 董晶晶, 等. 发酵水产品中生物胺控制技术进展[J]. *食品研究与开发*, 2022, 43(3): 199-206.
- BAN Yu-han, ZHU Ming-kun, DONG Jing-jing, et al. Research Progress on Control Technology of Biogenic Amines in Fermented Aquatic Products[J]. *Food Research and Development*, 2022, 43(3): 199-206.
- [17] 赵庆志. 水产品中生物胺的变化规律及风险评估[D]. 上海: 上海海洋大学, 2018: 8.
- ZHAO Qing-zhi. Change Rule and Risk Assessment of Biogenic Amines in Aquatic Products[D]. Shanghai: Shanghai Ocean University, 2018: 8.
- [18] 王波, 肖珊, 蔡燕雪, 等. 发酵食品中生物胺的研究现状[J]. *食品安全质量检测学报*, 2020, 11(16): 5614-5619.
- WANG Bo, XIAO Shan, CAI Yan-xue, et al. Research Status of Biogenic Amines from Fermented Foods[J]. *Journal of Food Safety & Quality*, 2020, 11(16): 5614-5619.
- [19] BARBIERI F, MONTANARI C, GARDINI F, et al. Biogenic Amine Production by Lactic Acid Bacteria: A Review[J]. *Foods*, 2019, 8(1): 17.
- [20] LI Huan, GAN Jia-cheng, YANG Qing, et al. Colorimetric Detection of Food Freshness Based on Amine-Responsive Dopamine Polymerization on Gold Nanoparticles[J]. *Talanta*, 2021, 234: 122706.
- [21] WECHSLER J B, SZABO A, HSU C L, et al. Histamine Drives Severity of Innate Inflammation via Histamine 4 Receptor in Murine Experimental Colitis[J]. *Mucosal Immunology*, 2018, 11(3): 861-870.
- [22] HASSAN A H A, SAPPILA L, MOURA S L, et al. Biomimetic Magnetic Sensor for Electrochemical Determination of Scombrotoxin in Fish[J]. *Talanta*, 2019, 194: 997-1004.
- [23] 蒋红玲, 向军俭. 食物过敏中肥大细胞释放组胺的研究进展[J]. *医学理论与实践*, 2007, 20(3): 269-271.
- JIANG Hong-ling, XIANG Jun-jian. Research Progress of Histamine Release from Mast Cells in Food Allergy[J]. *The Journal of Medical Theory and Practice*, 2007, 20(3): 269-271.
- [24] 范青霞, 孔亚明, 马洪喜. 一起因食用鲭鱼引起的组胺过敏慢性食物中毒[J]. *医学动物防制*, 2006, 22(4): 295-296.
- FAN Qing-xia, KONG Ya-ming, MA Hong-xi. A Case of Histamine Allergy and Chronic Food Poisoning Caused by Mackerel Consumption[J]. *Chinese Journal of Pest Control*, 2006, 22(4): 295-296.
- [25] LYTE M. The Biogenic Amine Tyramine Modulates the Adherence of *Escherichia Coli* O157: H7 to Intestinal Mucosa[J]. *Journal of Food Protection*, 2004, 67(5): 878-883.
- [26] DEL RIO B, REDRUELLO B, LINARES D M, et al. The Biogenic Amines Putrescine and Cadaverine Show *in Vitro* Cytotoxicity at Concentrations that can be Found in Foods[J]. *Scientific Reports*, 2019, 9: 120.
- [27] IGNATENKO N A, BESSELSSEN D G, ROY U K B, et al. Dietary Putrescine Reduces the Intestinal Anticarcinogenic Activity of Sulindac in a Murine Model of Familial Adenomatous Polyposis[J]. *Nutrition*

- and Cancer, 2006, 56(2): 172-181.
- [28] SHAH P, SWIATLO E. A Multifaceted Role for Polyamines in Bacterial Pathogens[J]. Molecular Microbiology, 2008, 68(1): 4-16.
- [29] GB 2733—2015, 食品安全国家标准 鲜、冻动物性水产品[S].
- GB 2733—2015, National Food Safety Standard — Fresh and Frozen Marine Products of Animal Origin[S].
- [30] KALAYCIÖĞLU Z, ERIM F B. Nitrate and Nitrites in Foods: Worldwide Regional Distribution in View of Their Risks and Benefits[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2019, 67(26): 7205-7222.
- [31] ZHAO Nan, LAI Hai-mei, HE Wei, et al. Reduction of Biogenic Amine and Nitrite Production in Low-Salt Paocai by Controlled Package during Storage: A Study Comparing Vacuum and Aerobic Package with Conventional Salt Solution Package[J]. Food Control, 2021, 123: 107858.
- [32] BEARTH A, SIEGRIST M. "As Long as It is not Irradiated"-Influencing Factors of US Consumers' Acceptance of Food Irradiation[J]. Food Quality and Preference, 2019, 71: 141-148.
- [33] LENEVEU-JENVRIN C, CHARLES F, BARBA F J, et al. Role of Biological Control Agents and Physical Treatments in Maintaining the Quality of Fresh and Minimally-Processed Fruit and Vegetables[J]. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 2020, 60(17): 2837-2855.
- [34] 侯晓阳. 新型食品包装材料的发展概况及趋势[J]. 食品安全质量检测学报, 2018, 9(24): 6400-6405.
- HOU Xiao-yang. Development and Tendency of Novel Food Packaging Materials[J]. Journal of Food Safety & Quality, 2018, 9(24): 6400-6405.
- [35] 姜晓娜. 模拟物流过程中黄鳍金枪鱼品质变化的研究[D]. 杭州: 浙江工商大学, 2018: 9-26.
- JIANG Xiao-na. Study on the Quality Change of Yellowfin Tuna in Simulated Logistics Process[D]. Hangzhou: Zhejiang Gongshang University, 2018: 9-26.
- [36] RODRIGUES B L, ALVARES T D S, SAMPAIO G S L, et al. Influence of Vacuum and Modified Atmosphere Packaging in Combination with UV-C Radiation on the Shelf Life of Rainbow Trout (*Oncorhynchus Mykiss*) Fillets[J]. Food Control, 2016, 60: 596-605.
- [37] SUN Qin-xiu, SUN Fang-da, ZHENG Dong-mei, et al. Complex Starter Culture Combined with Vacuum Packaging Reduces Biogenic Amine Formation and Delays the Quality Deterioration of Dry Sausage during Storage[J]. Food Control, 2019, 100: 58-66.
- [38] 蔡秋杏, 李来好, 陈胜军, 等. 液熏罗非鱼片在 25 °C 贮藏过程中生物胺的变化[J]. 南方水产, 2010, 6(5): 1-6.
- CAI Qiu-xing, LI Lai-hao, CHEN Sheng-jun, et al. Changes of Biogenic Amines in Liquid-Smoked Tilapia Stored at 25 °C[J]. South China Fisheries Science, 2010, 6(5): 1-6.
- [39] 刘义, 张源珊, 周幸, 等. 真空贴体包装对鲟鱼片冷藏过程中品质变化的影响[J]. 食品科学, 2019, 40(15): 218-224.
- LIU Yi, ZHANG Yuan-shan, ZHOU Xing, et al. Effect of Vacuum Skin Packaging on Quality Changes of Sturgeon (*Acipenser Schrenckii*) Fillets during Cold Storage[J]. Food Science, 2019, 40(15): 218-224.
- [40] KANIOU I, SAMOURIS G, MOURATIDOU T, et al. Determination of Biogenic Amines in Fresh Unpacked and Vacuum-Packed Beef during Storage at 4 °C[J]. Food Chemistry, 2001, 74(4): 515-519.
- [41] LARANJO M, GOMES A, AGULHEIRO-SANTOS A C, et al. Impact of Salt Reduction on Biogenic Amines, Fatty Acids, Microbiota, Texture and Sensory Profile in Traditional Blood Dry-Cured Sausages[J]. Food Chemistry, 2017, 218: 129-136.
- [42] GARDINI F, ÖZOGUL Y, SUZZI G, et al. Technological Factors Affecting Biogenic Amine Content in Foods: A Review[J]. Frontiers in Microbiology, 2016, 7: 1218.
- [43] ÖZOGUL F, ÖZOGUL Y. Biogenic Amine Content and Biogenic Amine Quality Indices of Sardines (*Sardina Pilchardus*) Stored in Modified Atmosphere Packaging and Vacuum Packaging[J]. Food Chemistry, 2006, 99(3): 574-578.
- [44] YEW C C, BAKAR F A, RAHMAN R A, et al. Effects of Modified Atmosphere Packaging with Various Carbon Dioxide Composition on Biogenic Amines Formation in Indian Mackerel (*Rastrelliger Kanagurta*) Stored at (5±1)°C [J]. Packaging Technology and Science, 2014, 27(3): 249-254.
- [45] RODRIGUEZ M B R, CONTE-JUNIOR C A, CARNEIRO C S, et al. Biogenic Amines as a Quality Index in Shredded Cooked Chicken Breast Fillet Stored under Refrigeration and Modified Atmosphere[J]. Journal of Food Processing and Preservation, 2015, 39(6): 2043-2048.
- [46] FRAQUEZA M J, ALFAIA C M, BARRETO A S. Biogenic Amine Formation in Turkey Meat under Modified Atmosphere Packaging with Extended Shelf Life: Index of Freshness[J]. Poultry Science, 2012, 91(6): 1465-1472.

- [47] ROKKA M, EEROLA S, SMOLANDER M, et al. Monitoring of the Quality of Modified Atmosphere Packaged Broiler Chicken Cuts Stored in Different Temperature Conditions[J]. Food Control, 2004, 15(8): 601-607.
- [48] 徐思雨. 调理鸭肉制品制作工艺及保鲜技术研究[D]. 宁波: 宁波大学, 2013: 29-37.
- XU Si-yu. Study on Processing Technology and Fresh-Keeping Technology of Duck Meat Products[D]. Ningbo: Ningbo University, 2013: 29-37.
- [49] YASSORALIPOUR A, BAKAR J, RAHMAN R A, et al. Biogenic Amines Formation in Barramundi (*Lates Calcarifer*) Fillets at 8 °C Kept in Modified Atmosphere Packaging with Varied CO₂ Concentration[J]. LWT - Food Science and Technology, 2012, 48(1): 142-146.
- [50] RUIZ-CAPILLAS C, MORAL A. Sensory and Biochemical Aspects of Quality of Whole Bigeye Tuna (*Thunnus Obesus*) during Bulk Storage in Controlled Atmospheres[J]. Food Chemistry, 2005, 89(3): 347-354.
- [51] 唐亚丽, 卢立新, 吕淑胜. 抗菌涂膜与气调包装对生鲜净鱼保鲜的影响[J]. 北京工商大学学报(自然科学版), 2011, 29(6): 58-62.
- TANG Ya-li, LU Li-xin, LYU Shu-sheng. Preservative Effect of Antimicrobial Film and Modified Atmosphere Packaging on Fish (*Carassius Auratus*)[J]. Journal of Beijing Technology and Business University (Natural Science Edition), 2011, 29(6): 58-62.
- [52] 黄明明, 乔维维, 章建浩, 等. 低温等离子体冷杀菌对生鲜牛肉主要腐败菌及生物胺抑制效应研究[J]. 食品科学技术学报, 2018, 36(4): 17-23.
- HUANG Ming-ming, QIAO Wei-wei, ZHANG Jian-hao, et al. Effects of Cold Plasma Cold Sterilization on Major Spoilage Bacteria and Biogenic Amines in Beef[J]. Journal of Food Science and Technology, 2018, 36(4): 17-23.
- [53] WENDAKOON C N, SAKAGUCHI M. Inhibition of Amino Acid Decarboxylase Activity of *Enterobacter Aerogenes* by Active Components in Spices[J]. Journal of Food Protection, 1995, 58(3): 280-283.
- [54] 张永生, 刘冬敏, 王建辉, 等. 植源性天然产物在食品中降生物胺作用研究进展[J]. 食品科学, 2022, 43(3): 315-324.
- ZHANG Yong-sheng, LIU Dong-min, WANG Jian-hui, et al. Advances of Plant-Derived Natural Products' Effects on Reducing Biogenic Amines in Food[J]. Food Science, 2022, 43(3): 315-324.
- [55] 肖乃玉, 卢曼萍, 陈少君, 等. 阿魏酸-胶原蛋白抗菌膜在腊肠保鲜中的应用[J]. 食品与发酵工业, 2014, 40(4): 210-215.
- XIAO Nai-yu, LU Man-ping, CHEN Shao-jun, et al. Application of Ferulic Acid-Collagen Protein Antibacterial Membrane in Fresh-Keeping of Meat[J]. Food and Fermentation Industries, 2014, 40(4): 210-215.
- [56] CAO Jun, WANG Qi, MA Ting-ting, et al. Effect of EGCG-Gelatin Biofilm on the Quality and Microbial Composition of Tilapia Fillets during Chilled Storage[J]. Food Chemistry, 2020, 305: 125454.
- [57] ZHOU Qian-qian, LI Pei-yun, FANG Shi-yuan, et al. Preservative Effects of Gelatin Active Coating Containing Eugenol and Higher CO₂ Concentration Modified Atmosphere Packaging on Chinese Sea Bass (*Lateolabrax Maculatus*) during Superchilling (-0.9 °C) Storage[J]. Molecules, 2020, 25(4): 871.
- [58] 薛林林, 王远, 李彬彬, 等. 阿魏酸对粪肠球菌和屎肠球菌产酪胺机制的影响[J]. 食品科学, 2019, 40(22): 33-38.
- XUE Lin-lin, WANG Yuan, LI Bin-bin, et al. Mechanistic Study of the Effect of Ferulic Acid on Tyramine Production by *Enterococcus Faecalis* and *Enterococcus Faecium*[J]. Food Science, 2019, 40(22): 33-38.
- [59] 高永生, 金斐, 朱丽云, 等. 植物精油及其活性成分的抗菌机理[J]. 中国食品学报, 2022, 22(1): 376-388.
- GAO Yong-sheng, JIN Fei, ZHU Li-yun, et al. Antimicrobial Mechanism of Plant Essential Oils and Its Active Ingredients[J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2022, 22(1): 376-388.
- [60] 李苗苗, 王江峰, 徐大伦, 等. 4种保鲜处理对冰温贮藏金枪鱼片生物胺的影响[J]. 中国食品学报, 2015, 15(2): 111-119.
- LI Miao-miao, WANG Jiang-feng, XU Da-lun, et al. Effects of 4 Packaging Methods on Biogenic Amines Formation in Yellowfin Tuna(*Thunnus Albacares*) Fillets under Controlled Freezing-Point Temperature[J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2015, 15(2): 111-119.
- [61] WU Chun-hua, LI Yuan, WANG Li-ping, et al. Efficacy of Chitosan-Gallic Acid Coating on Shelf Life Extension of Refrigerated Pacific Mackerel Fillets[J]. Food and Bioprocess Technology, 2016, 9(4): 675-685.
- [62] JAMRÓZ E, KULAWIK P, TKACZEWSKA J, et al. The Effects of Active Double-Layered Furcellaran/Gelatin Hydrolysate Film System with Ala-Tyr Peptide on Fresh Atlantic Mackerel Stored at -18 °C[J]. Food Chemistry, 2021, 338: 127867.
- [63] HAO Ruo-yi, LIU Yang, SUN Li-ming, et al. Sodium Alginate Coating with Plant Extract Affected Microbial Communities, Biogenic Amine Formation and Quality

- Properties of Abalone (*Haliotis Discus Hannai Ino*) during Chill Storage[J]. LWT - Food Science and Technology, 2017, 81: 1-9.
- [64] 余达威. 壳聚糖涂膜对冷藏草鱼片的品质影响研究[D]. 无锡: 江南大学, 2019: 65-70.
- YU Da-wei. Study on Effect of Chitosan-Based Coating on the Quality of Refrigerated Grass Carp (*Ctenopharyngodon Idella*) Fillets[D]. Wuxi: Jiangnan University, 2019: 65-70.
- [65] 吴雪丽. 生物保鲜剂对扇贝保鲜效果的研究及货架期模型的建立与评价[D]. 保定: 河北农业大学, 2014: 24-46.
- WU Xue-li. Study on Freshness Preservation of Biological Preservatives and Shelf-Life Model Establishment and Evaluation for Scallop[D]. Baoding: Hebei Agricultural University, 2014: 24-46.
- [66] 甘晖, 米强, 韦恺丽, 等. 壳聚糖-茶多酚复合物对冷藏南美白对虾的微生物区系与品质的影响[J]. 食品科学, 2020, 41(23): 212-220.
- GAN Hui, MI Qiang, WEI Kai-li, et al. Effect of Chitosan-Tea Polyphenols Composite on Microbiota Composition and Quality of *Penaeus Vannamei* during Refrigerated Storage[J]. Food Science, 2020, 41(23): 212-220.
- [67] PRANOTO Y, RAKSHIT S K, SALOKHE V M. Enhancing Antimicrobial Activity of Chitosan Films by Incorporating Garlic Oil, Potassium Sorbate and Nisin[J]. LWT-Food Science and Technology, 2005, 38(8): 859-865.
- [68] TOPUZ O K, YATMAZ H A, ALP A C, et al. Biogenic Amine Formation in Fish Roe in under the Effect of Drying Methods and Coating Materials[J]. Journal of Food Processing and Preservation, 2021, 45(1): e15052.

责任编辑: 彭颀