

# 冷鲜猪肉在贮藏过程中生物胺含量变化及不同包装方式对生物胺含量变化的影响研究

赵红波<sup>1</sup>, 叶磊海<sup>2</sup>, 杨黎耀<sup>1</sup>, 郎欢<sup>1</sup>, 陆燕萍<sup>1</sup>, 柴振林<sup>1</sup>, 欧菊芳<sup>1\*</sup>

(1. 浙江省林业科学研究院, 杭州 310023; 2. 浙江公正检验中心有限公司, 杭州 310009)

**摘要:** **目的** 研究冷鲜猪肉在 35°C 下贮藏过程中生物胺的变化情况, 以及不同包装方式(高氧气调包装、高氧气调包装结合隔热材料、真空包装和真空包装结合隔热材料)对冷鲜猪肉贮藏过程中生物胺变化的影响。**方法** 将新鲜猪肉胴体快速冷却后切割, 按照不同包装方式分组包装, 以无包装为对照组, 在 35°C 下贮藏, 于 0、12、24、36、48、60 h 对 96 份样品中生物胺含量和种类进行检测, 分析不同包装条件下样品生物胺变化情况。**结果** 精胺和亚精胺在不同包装方式下 0~60 h 内均有检出; 腐胺和尸胺在 4 种包装方式和无包装方式下的含量始终较高。与对照组相比, 真空包装腐胺和尸胺检出时间延缓了 24 h, 组胺和酪胺检出时间延缓了 12 h; 在真空包装结合了隔热材料之后, 腐胺、尸胺、组胺和酪胺的检出时间延缓了 12 h。与真空包装比, 高氧气调包装组胺始终未检出, 腐胺、尸胺和酪胺的检出时间延缓了 12 h, 且含量更低, 在高氧气调包装结合了隔热材料之后, 这 3 种生物胺的检出时间进一步延缓 12 h。**结论** 精胺和亚精胺是冷鲜猪肉中天然存在的生物胺; 腐胺、尸胺和酪胺是冷鲜猪肉腐败过程中产生的主要生物胺种类, 且随着贮藏时间的延长, 其含量显著增加, 其中腐胺和尸胺含量较高, 是影响冷鲜猪肉质量安全的主要生物胺。真空包装和高氧气调包装均能有效抑制生物胺的形成, 就包装方式而言, 相较于真空包装, 高氧气调包装能更有效地抑制生物胺的产生, 就有无隔热材料而言, 结合隔热材料能更有效地抑制生物胺的产生。

**关键词:** 冷鲜猪肉; 生物胺; 高氧气调包装; 真空包装; 隔热材料

## Study on the change of biogenic amine content of chilled pork during storage and the effect of different packaging methods on the change of biogenic amine content

ZHAO Hong-Bo<sup>1</sup>, YE Lei-Hai<sup>2</sup>, YANG Li-Yao<sup>1</sup>, LANG Huan<sup>1</sup>,  
LU Yan-Ping<sup>1</sup>, CHAI Zhen-Lin<sup>1</sup>, OU Ju-Fang<sup>1\*</sup>

(1. Zhejiang Academy of Forestry, Hangzhou 310023, China; 2. Zhejiang Gongzheng Testing Center Co., Ltd., Hangzhou 310009, China)

**ABSTRACT: Objective** To study the changes of biogenic amine in chilled pork during storage at 35°C and the effects of different packaging methods (vacuum packaging and vacuum packaging combined with thermal insulation materials, high oxygen modified packaging, high oxygen modified packaging combined with thermal insulation

基金项目: 国家重点研发计划项目(2016YFD0401201)

Fund: Supported by the National Key Research and Development Program of China (2016YFD0401201)

\*通信作者: 欧菊芳, 硕士, 高级工程师, 主要研究方向为食品检测。E-mail: 25995977@qq.com

\*Corresponding author: OU Ju-Fang, Master, Senior Engineer, Zhejiang Academy of Forestry, No.399 Liuhe Road, Xihu District, Hangzhou 310023, China. E-mail: 25995977@qq.com

materials) on the changes of biogenic amine in chilled pork during storage. **Methods** The fresh pork carcass was cut after rapid cooling, packed in groups according to different packaging methods with no packaging as the control group, and stored at 35°C. The content and type of biogenic amines in 96 samples were detected at 0, 12, 24, 36, 48, and 60 h, respectively, and the changes of biogenic amines in samples under different packaging conditions were analyzed. **Results** Spermine and spermidine were detected within 0–60 hours under different packaging methods; the content of putrescine and cadaverine remained relatively high in all 4 packaging methods and without packaging. Compared with no packaging, the detection time of putrescine and cadaverine in vacuum packaging was delayed by 24 hours, and the detection time of histamine and tyramine was delayed by 12 hours; after the combination of insulation materials in vacuum packaging, the detection time of putrescine, cadaverine, histamine, and tyramine was delayed by 12 hours. Compared to vacuum packaging, histamine was never detected in high oxygen modified packaging, and the detection time of putrescine, cadaverine, and tyramine was delayed by 12 hours, with lower levels; after the combination of insulation materials in high oxygen modified packaging, the detection time of 3 kinds of biogenic amines was further delayed by 12 hours. **Conclusion** Spermine and spermidine are natural biogenic amine in chilled fresh pork; putrescine, cadaverine and tyramine are the main biogenic amine produced in the process of corruption of chilled fresh pork, and their content increases significantly with the extension of storage time, of which putrescine and cadaverine are the main biogenic amine affecting the quality and safety of chilled fresh pork. Both vacuum packaging and high oxygen atmospheric packaging can effectively inhibit the formation of biogenic amine. Compared with vacuum packaging, high oxygen atmospheric packaging can more effectively inhibit the production of biogenic amine. With or without thermal insulation materials, combined with thermal insulation materials can more effectively inhibit the production of biogenic amines.

**KEY WORDS:** chilled pork; biogenic amines; high oxygen atmospheric packaging; vacuum packaging; thermal insulation materials

## 0 引言

猪肉是我国居民日常膳食结构的重要组成部分,但其品质容易受到贮藏条件的影响,易腐易损,易引发食品安全问题。2022 年上海闵行区在疫情封控期间发生了“劣质猪肉”事件,居民收到的猪肉品相不佳,变质变味。事件暴露出了生鲜猪肉在脱离了冷库或者冷藏车之后的终端储运与控制问题。随着科技发展进步,生鲜猪肉衍生出了一种新的肉制品消费类型,即冷鲜猪肉。冷鲜猪肉是将屠宰后的猪肉胴体温度迅速降至 0~4°C,并在流通和销售过程中始终保持 0~4°C。冷鲜猪肉虽然温度较低,但由于其营养丰富、水分滋润,导致其在屠宰加工、流通运输、贮藏或者销售的过程中依然容易受到嗜冷微生物污染,嗜冷微生物的繁殖代谢进一步导致生物胺的产生和积累。生物胺是一类碱性的有机含氮化合物,主要由引发肉品腐败的微生物分泌氨基酸脱羧酶作用于前体氨基酸发生脱羧反应产生<sup>[1]</sup>。当生物胺达到较高水平时会产生毒性作用<sup>[2-8]</sup>。不同微生物种群分泌的氨基酸脱羧酶具有底物特异性,以特定类型的氨基酸为前体物质,进而反应生成结构各异的生物胺:如大肠杆菌、芽孢杆菌、沙门氏菌分泌的氨基酸脱羧酶对组氨酸具有较强的脱羧能力,这类微生物

会导致产品中组胺含量增加;粪肠球菌、乳酸菌主要产生酪胺,假单胞菌产生腐胺,肠杆菌产生尸胺<sup>[1]</sup>。不同肉制品污染的微生物类别也有很大差异,造成不同肉制品腐败过程中产生的生物胺种类也有所差别,比如鱼肉组织中以组胺、腐胺、尸胺为主,对于组氨酸含量丰富的鱼,如金枪鱼、沙丁鱼,组胺是最主要的生物胺腐败性指标;对于组氨酸含量较少的鱼,通常为淡水鱼,如鲫鱼、鲤鱼等,尸胺和腐胺可作为主要的生物胺监测指标<sup>[9-12]</sup>;牛肉中以腐胺、尸胺、酪胺为主,酪胺和尸胺是检测牛肉是否滋生腐败菌的重要指标<sup>[13-14]</sup>。猪肉中常见的生物胺主要包括色胺、苯乙胺、腐胺、尸胺、组胺、酪胺、亚精胺和精胺 8 种,其中腐胺、酪胺、尸胺含量与生鲜猪肉新鲜度的密切相关<sup>[8-9]</sup>,在温度较低条件下,猪肉中腐胺、尸胺、酪胺含量会随着时间的延长而增加,并与菌落总数呈良好的正相关性<sup>[15-16]</sup>。

对冷鲜猪肉生物胺的安全控制,除了采用低温贮藏,还可借助包装技术来实现<sup>[17]</sup>。包装可有效阻隔外界环境和微生物对肉品的侵害,减少微生物在冷鲜肉上的定植和繁殖,缓解生物胺的产生,是高效便捷的生物胺控制技术,目前主要有真空、气调和托盘包装等。托盘包装主要用于暂存和展示。相比于真空包装,气调包装是最近几十年发

展起来的一种新型包装技术,它利用一种或数种混合气体改变食物所处的环境来抑制产胺微生物的生长,对水产品<sup>[18]</sup>、肉品<sup>[19-21]</sup>具有良好的保鲜能力,可有效延长货架期。气调包装目前主要有高氧气调和低氧气调两种方式,高氧气调包装有良好的抑制微生物生长能力,同时又可以使肉色红润,拥有较好的保水性,是更佳的气调包装方式<sup>[22]</sup>。蒋兆景等<sup>[23]</sup>比较了托盘包装、真空包装、高氧气调对冷鲜猪肉的贮藏品质影响,发现相对于普通的托盘包装,高氧气调包装和真空包装能显著抑制冷鲜肉微生物生长并延长冷鲜猪肉的货架期。近年气调包装结合植物来源天然抗氧化剂、天然抗菌化合物、活性物生物助剂方式也逐步成为研究和应用热点<sup>[19-20,24-25]</sup>。对气调包装技术在冷鲜猪肉贮藏上展开进一步的深入研究,可为开发新型、高效的生物胺控制食品包装提供借鉴与参考。此外,刘晨星<sup>[26]</sup>在隔热材料对冷鲜猪肉在运输过程中新鲜度的影响研究中发现,与不结合隔热材料相比,真空包装或和高氧气调包装结合隔热材料能有效控制猪肉温度上升,使冷鲜猪肉能较长时间处于较低温度,与不使用隔热材料相比,其在挥发性盐基氮、菌落总数、色度和酸度方面都有很好的表现,而蓄冷剂的种类改变对冷鲜肉货架期延长无明显效果,终端温度是判断和评估冷鲜肉电商运输过程中新鲜状况的有效指标。研究真空包装和气调包装结合隔热材料对猪肉生物胺的影响,在实际应用和理论探索等方面都有很大的意义。

综上,本研究以 8 种生物胺为目标,拟重点探究冷鲜猪肉在贮藏过程中生物胺含量的变化情况,以及高氧气调包装、高氧气调包装结合隔热材料、真空包装、真空包装结合隔热材料对冷鲜猪肉在贮藏过程中生物胺变化的影响,并结合现有研究成果,对变化机制进行推测思考,为评价冷鲜猪肉质量、掌控冷鲜猪肉新鲜度<sup>[27]</sup>和提高冷鲜猪肉品质<sup>[28]</sup>,以及丰富不同包装方式为后续开发冷鲜猪肉新型包装材料提供科学依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料与试剂

色胺、 $\beta$ -苯乙胺、腐胺、尸胺、组胺、酪胺、亚精胺、精胺(纯度 $\geq 98\%$ ,德国 Dr.Ehrenstorfer GmbH 公司);乙腈(色谱纯,美国 Avantor J.T. Baker 公司);丹磺酰氯(纯度 $\geq 99\%$ ,德国 Merck Sigma-Aldrich 公司);盐酸、氢氧化钠、氯化钠、碳酸氢钠(分析纯,西陇科学股份有限公司);丙酮、正己烷(色谱纯,上海凌峰化学试剂有限公司);氨水(优级纯,上海阿拉丁生化科技股份有限公司);高氯酸(优级纯,永华化学股份有限公司);190 mm $\times$ 250 mm 铝塑复合袋(气调包装和真空包装材料,东光县国彩塑业有限公司);

20 mm 厚度的硅酸铝陶瓷纤维棉(隔热材料,3M 中国有限公司)。

### 1.2 仪器与设备

1260 Infinity II 高效液相色谱仪、ODS C<sub>18</sub> 柱(250 mm $\times$ 4.6 mm, 5  $\mu$ m)(美国安捷伦公司);Secura224-1CN 电子天平[精度 0.0001 g,赛多利斯科学仪器(北京)有限公司];Vortex 3 涡旋混匀器(德国 IKA 公司);Bioridge TGL-20M 台式高速离心机(上海卢湘仪离心机仪器有限公司);Star A214pH/ISE 台式测量仪(配 8102BNUMP 超级 ROSS pH 电极,美国 Orion 公司);HWS-45 恒温恒湿培养箱(上海森信实验仪器有限公司);S30-LA56 多功能绞肉机(九阳股份有限公司);KH-600DE 型数控超声波清洗器(昆山禾创超声仪器有限公司);有机相过滤器(0.45  $\mu$ m,上海兴亚净化材料厂)。

### 1.3 试验方法

#### 1.3.1 样品分组与包装

样品:新鲜屠宰后的猪肉胴体(后腿肉)在冷库中快速冷却(冷却条件:2 m/s 风速,-20 $^{\circ}$ C) 4 h,然后在 0~4 $^{\circ}$ C 的低温条件下进行切割包装,将包装好的冷鲜猪肉样品放入含有冰袋的泡沫盒(270 mm $\times$ 270 mm $\times$ 165 mm,冰袋与猪肉质量比为 4:5)中,运回实验室。

分组与包装:将切割好的冷鲜猪肉分别采用高氧气调包装和真空包装处理,部分包装好的样品再用硅酸铝陶瓷纤维棉进行完全包裹,所有样品共分为 4 组:第一组为真空包装(无隔热材料)处理,第二组为真空包装结合隔热材料处理,第三组为高氧气调包装(无隔热材料)处理[气体组成<sup>[29-30]</sup>:5%(体积分数,下同)氮气、15%二氧化碳和 80%氧气混合气体],第四组为高氧气调包装结合隔热材料处理。每组 24 份样品,共 96 份样品,于 35 $^{\circ}$ C 下贮藏,0、12、24、36、48、60 h 取样品待测。

#### 1.3.2 生物胺的检测

参照 GB 5009.208—2016《食品安全国家标准 食品中生物胺的测定》中第一法高效液相色谱法,每份样品做 3 次平行试验,结果取 3 个平行试验的平均值。

### 1.4 数据处理

采用 SPSS 22.0 软件进行单因素方差分析和多因素显著性差异(Duncan)检验( $P < 0.05$ ),确定组间的显著性差异。试验数据表示为至少 3 个独立试验的平均值 $\pm$ 标准偏差。

## 2 结果与分析

### 2.1 无包装冷鲜猪肉在贮藏过程中生物胺含量变化研究

由表 1 可知,随贮藏时间的增加,冷鲜猪肉中不同的生物胺其含量变化各异。亚精胺和精胺在 0 h 就有检出,其

中精胺含量较高, 从 0 h 至 36 h, 两者含量均趋于上升。36 h 后, 两者含量均出现显著降低, 也即两者含量在贮藏过程中呈现先增高后降低的现象, 刘妹韵等<sup>[31]</sup>在对云南牛干巴加工过程中生物胺变化研究中也发现。精胺和亚精胺是猪肉中的组成性胺类, 非微生物代谢产生, 理论上精胺与亚精胺的含量与贮藏时间无关<sup>[32]</sup>。对于导致精胺和亚精胺含量降低的原因, 目前主要有两种解释: 一是微生物代谢产生了可以降解精胺和亚精胺的酶, 在一定条件下精胺和亚精胺部分降解<sup>[33]</sup>。二是在酶的作用下, 同源的腐胺与精胺、亚精胺之间相互转化, 并保持一定的动态平衡<sup>[34]</sup>, 目前的研究结果多倾向于第二种解释。李东蕊等<sup>[35]</sup>在对豆瓣酱发酵过程中生物胺的含量研究中发现, 腐胺在第 0 d 为 50.67 mg/kg, 制曲结束后, 迅速升至最大值 134.96 mg/kg, 随着发酵的进行腐胺逐渐降低至 26.42 mg/kg。而亚精胺与精胺则在第 0 d 存在, 制曲结束后降低至 5 mg/kg 以内, 随后逐渐增加至 20 mg/kg 左右, 腐胺与精胺、亚精胺呈显著负相关性。另外, 从腐胺的产生机制上也可以辅证这一点: 腐胺除了通过鸟氨酸脱羧酶对鸟氨酸脱羧产生外, 还可以由精氨酸经过精胺酸脱羧酶的催化形成鲱精胺, 鲱精胺水解成 N-氨基甲基腐胺后再形成腐胺, 而腐胺再经连续加入氨基丙基残基生成亚精胺和精胺, 腐胺与精胺、亚精胺存在一定程度的化学平衡关系<sup>[36-38]</sup>。结合表 1 中腐胺、精胺和亚精胺在 36 h 至 60 h 的含量变化可知, 当精胺和亚精胺出现显著降低的同时, 腐胺含量出现显著增长, 这进一步验证了上述腐胺与精胺、亚精胺之间相互转化并保持一定的动态平衡的推测。

无包装组冷鲜猪肉在 12 h 时就有腐胺和尸胺检出, 24 h 时酪胺有检出, 随着贮藏时间的延长, 腐胺、尸胺和酪胺的含量都显著增加, 60 h 时均达到最大值, 这与王真真等<sup>[39]</sup>的研究结果一致, 其在冷却猪肉中生物胺相关性研究中发现, 冷鲜猪肉在贮藏过程中腐胺、尸胺和酪胺含量明显增加, 并且三者之间在 0.01 水平上显著相关。尸胺初始含量较低,

后期增加最快, 推测可能与猪肉中富含赖氨酸有关<sup>[40]</sup>, 赖氨酸是产生尸胺的前体物质, 在赖氨酸脱羧酶的作用下, 大量的赖氨酸转化为了尸胺, 使尸胺浓度迅速升高。在 60 h 时尸胺含量达到最高, 其次为腐胺, 这说明在无包装条件下贮藏 12 h 后, 冷鲜猪肉蛋白质开始腐败水解产生大量的赖氨酸、鸟氨酸和精氨酸等产胺前体氨基酸, 同时滋生了相应的产胺微生物。研究表明猪肉的腐胺、尸胺和酪胺与微生物数量等显著相关<sup>[41-42]</sup>。这也提出可以通过检测腐胺、尸胺和酪胺的含量变化来考察冷鲜猪肉的腐败变质进程, 判断冷鲜猪肉的品质变化。同时, 鉴于微生物产生的氨基酸脱羧酶的底物特异性, 据此可以推测冷鲜猪肉的优势菌群, 对冷鲜猪肉贮藏中微生物研究和生物胺产生抑制研究等提供思路。酪胺主要有两个产生途径, 一是酪氨酸脱羧产生, 二是与羰基化合物发生羰基-氨基反应产生<sup>[43]</sup>。本研究中普通包装条件下, 可能部分猪肉在贮藏过程中被氧气氧化产生了脂质氧化产物, 其再通过与酪氨酸的羰基-氨基反应生成来部分酪胺; 另外, 冷鲜猪肉(被污染)滋生粪肠球菌或屎肠球菌产生酪氨酸脱羧酶使酪氨酸脱羧, 形成了部分酪胺。

组胺在 36 h 时有检出, 由于在 12 h 和 24 h 时已经有腐胺、尸胺和酪胺检出, 说明猪肉已经分解出氨基酸, 结合生物胺产生的 3 个必须条件即前体物质、微生物和酶活性, 推测无包装组在贮藏 36 h 后, 开始滋生繁殖产生组胺的摩氏摩根菌或者蜡芽芽孢杆菌, 或者在 36 h 之前的微生物态下(比如温度条件), 摩氏摩根菌或者蜡芽芽孢杆菌产生的脱羧酶还不具有较高的活性来满足脱羧反应。随着贮藏时间增加, 组胺含量也显著增加, 60 h 时达到最高。另外, 苯乙胺在 48 h 时有检出, 而色胺在 60 h 才有少量检出, 由于在 12 h 猪肉已经水解产生大量前体氨基酸, 由此推测, 在无包装冷鲜猪肉在贮藏 48 h 和 60 h 后, 生长繁殖了产苯乙胺的乳杆菌属和产色胺的大肠杆菌等产胺微生物, 使猪肉品质进一步下降。

表 1 无包装冷鲜猪肉在贮藏过程中生物胺含量的变化(mg/kg)  
Table 1 Changes of biogenic amine content in unpackaged chilled pork during storage (mg/kg)

贮藏时间/h	0	12	24	36	48	60
色胺	ND	ND	ND	ND	ND	0.31±0.14
苯乙胺	ND	ND	ND	ND	0.33±0.28 <sup>b</sup>	0.67±0.10 <sup>a</sup>
腐胺	ND	0.47±0.14 <sup>c</sup>	1.97±0.05 <sup>d</sup>	5.14±0.16 <sup>c</sup>	19.49±0.28 <sup>ab</sup>	23.55±0.09 <sup>a</sup>
尸胺	ND	0.26±0.09 <sup>c</sup>	3.54±0.04 <sup>d</sup>	7.81±0.11 <sup>c</sup>	23.78±0.17 <sup>b</sup>	31.62±0.01 <sup>a</sup>
组胺	ND	ND	ND	1.04±0.26 <sup>c</sup>	3.11±0.13 <sup>b</sup>	4.31±0.06 <sup>a</sup>
酪胺	ND	ND	0.39±0.09 <sup>d</sup>	1.71±0.06 <sup>c</sup>	4.53±0.11 <sup>b</sup>	9.36±0.27 <sup>a</sup>
亚精胺	1.96±0.14 <sup>bc</sup>	2.79±0.09 <sup>b</sup>	5.91±0.25 <sup>a</sup>	4.12±0.13 <sup>ab</sup>	1.34±0.11 <sup>c</sup>	0.97±0.14 <sup>d</sup>
精胺	21.67±0.31 <sup>bc</sup>	23.54±0.05 <sup>b</sup>	28.24±0.09 <sup>a</sup>	25.46±0.14 <sup>ab</sup>	15.05±0.16 <sup>c</sup>	10.77±0.20 <sup>d</sup>

注: ND 为未检出; 同行不同字母表示不同时间点数据具有显著差异( $P < 0.05$ ), 下同。

综上,无包装冷鲜猪肉在35°C贮藏过程中,精胺和亚精胺一直有检出,其含量先增高再降低。腐胺、尸胺和酪胺含量随着贮藏时间的延长显著增加,其中腐胺和尸胺含量较高,是冷鲜猪肉腐败过程中产生的主要生物胺,也是影响冷鲜猪肉安全和品质质量的主要生物胺。组胺在36 h开始有检出,含量随贮藏时间增加而增加,色胺和苯乙胺在后期有少量检出。

## 2.2 真空包装对冷鲜猪肉在贮藏过程中生物胺的变化影响研究

真空包装是通过排除包装内空气特别是氧气来抑制微生物生长代谢的一种包装技术<sup>[44]</sup>。由表2可知,与无包装冷鲜猪肉在60 h检出色胺、48 h检出苯乙胺相比,冷鲜猪肉经真空包装处理后,色胺和苯乙胺在整个60 h贮藏过程中均无检出。与无包装冷鲜猪肉12 h有腐胺和尸胺检出相比,真空包装组腐胺和尸胺在36 h时才有检出,在60 h时含量分别低于无包装组。ZANTOPOULOS等<sup>[45]</sup>研究发现,经4°C贮藏后,真空包装的鲜牛肉比未包装的鲜牛肉中的腐胺的产生量显著降低,这与本研究结果一致。另外,组胺在48 h时有少量检出,酪胺在36 h少量检出,与无包装处理冷鲜猪肉相比,二者的检出时间均推迟了12 h。

生物胺控制策略可通过降前体物氨基酸含量、控制相关微生物生长和降低氨基酸脱羧酶活性3个手段来实现<sup>[46]</sup>。真空包装条件下,大部分微生物生长繁殖受到抑制,真空环境下猪肉蛋白质的氧化分解也会受到抑制<sup>[47]</sup>,进而延缓前体产胺氨基酸的产生,抑制了生物胺的产生,除此之外,厌氧环境下冷鲜猪肉中的嗜冷乳酸杆菌是优势菌,其代谢产物如乳酸、过氧化氢和其他抑菌产物又进一步抑制其他菌的生长,从而抑制生物胺的产生。在冷鲜猪肉中,腐胺主要由鸟氨酸脱羧酶直接脱羧生成<sup>[48]</sup>,而鸟氨酸脱羧酶是由革兰氏阳性菌产生,结合表2数据、上文成果和生物胺的产生机制可推测:在真空条件下,大多数革兰氏阳性菌的生长受到抑制,只有少数厌氧革氏菌能缓慢滋生,延缓

了腐胺的产生;产尸胺的赖氨酸是猪肉中的主要氨基酸,在真空环境下,猪肉蛋白质的氧化分解被延缓从而推迟了尸胺的产生;色胺主要由大肠杆菌产生,真空包装阻断外部大肠杆菌污染的同时,包装内的优势菌乳杆菌和真空环境又对大肠杆菌的生长产生抑制,进而阻碍色胺的产生。值得注意的是,苯乙胺是由乳杆菌产生,而乳杆菌是猪肉厌氧环境下的优势菌,但由表2结果可知,苯乙胺未检出,这可能是由于猪肉蛋白质的氧化分解受阻,抑制了产胺前体物质苯丙氨酸的产生;结合2.1对酪胺和组胺的检出分析,推测在真空条件下,二者的产胺菌屎肠球菌(或粪肠球菌)和摩氏摩根菌(或蜡样芽孢杆菌)的生长也受到了优势菌乳杆菌的抑制,从而延缓了酪胺和组胺的产生。

综上,真空包装有效抑制或延缓了猪肉中生物胺的产生,能有效阻止和抑制大多微生物的生长繁殖,是控制食品中生物胺安全质量的有效手段。

## 2.3 真空包装结合隔热材料对冷鲜猪肉在贮藏过程中生物胺的影响

温度是影响生物胺的重要因素之一。温度对生物胺的影响主要通过微生物的生长繁殖和氨基酸脱羧酶活性的影响来实现。在低温条件下,微生物的生长、氨基酸脱羧酶的活性和蛋白质的氧化分解都会受到抑制<sup>[46]</sup>,从而延缓猪肉中生物胺产生,保持猪肉新鲜度。真空包装结合隔热材料可以减少冷鲜猪肉与外界的热交换,延缓冷鲜猪肉本身的温度升高,使猪肉能更长时间处于较低的预冷温度下,达到抑制生物胺产生的目的。由表3可知,真空包装结合隔热材料冷鲜猪肉在48 h有腐胺和尸胺检出,与真空包装相比,检出时间推迟了12 h,60 h腐胺和尸胺含量分别低于真空包装组;真空包装结合隔热材料冷鲜猪肉组胺只在60 h有检出,比真空包装组延迟了12 h,含量也更低;酪胺在48 h有检出,从检出时间和检出浓度上,比未结合隔热材料包装组均有改善。刘晨星<sup>[26]</sup>研究发现,在35°C条件

表2 真空包装对冷鲜猪肉在贮藏过程中生物胺的影响(mg/kg)  
Table 2 Effects of vacuum packaging on biogenic amines during the storage of chilled pork (mg/kg)

贮藏时间/h	0	12	24	36	48	60
色胺	ND	ND	ND	ND	ND	ND
苯乙胺	ND	ND	ND	ND	ND	ND
腐胺	ND	ND	ND	2.14±0.04 <sup>c</sup>	7.83±0.04 <sup>b</sup>	19.78±0.09 <sup>a</sup>
尸胺	ND	ND	ND	1.87±0.11 <sup>c</sup>	6.78±0.08 <sup>b</sup>	20.45±0.01 <sup>a</sup>
组胺	ND	ND	ND	ND	0.21±0.08 <sup>b</sup>	4.31±0.06 <sup>a</sup>
酪胺	ND	ND	ND	0.40±0.06 <sup>c</sup>	1.80±0.11 <sup>b</sup>	8.93±0.48 <sup>a</sup>
亚精胺	1.74±0.02 <sup>c</sup>	2.38±0.09 <sup>b</sup>	2.31±0.06 <sup>b</sup>	3.08±0.13 <sup>a</sup>	1.54±0.16 <sup>c</sup>	0.73±0.17 <sup>d</sup>
精胺	22.85±0.12 <sup>a</sup>	20.32±0.02 <sup>ab</sup>	23.32±0.19 <sup>a</sup>	24.86±0.06 <sup>a</sup>	16.94±0.20 <sup>b</sup>	11.82±0.08 <sup>c</sup>

表 3 真空包装结合隔热材料对冷鲜猪肉在贮藏过程中生物胺的影响(mg/kg)

Table 3 Effects of vacuum packaging and cool insulation materials on biogenic amines during the storage of chilled pork (mg/kg)

贮藏时间/h	0	12	24	36	48	60
色胺	ND	ND	ND	ND	ND	ND
苯乙胺	ND	ND	ND	ND	ND	ND
腐胺	ND	ND	ND	ND	8.77±0.91 <sup>a</sup>	16.78±0.32 <sup>a</sup>
尸胺	ND	ND	ND	ND	12.08±0.04 <sup>a</sup>	12.31±0.06 <sup>a</sup>
组胺	ND	ND	ND	ND	ND	2.71±0.01
酪胺	ND	ND	ND	ND	3.99±0.67 <sup>a</sup>	3.54±0.01 <sup>a</sup>
亚精胺	1.74±0.02 <sup>c</sup>	2.53±0.14 <sup>b</sup>	3.49±0.18 <sup>a</sup>	2.12±0.21 <sup>bc</sup>	1.35±0.08 <sup>c</sup>	1.58±0.05 <sup>c</sup>
精胺	22.85±0.12 <sup>bc</sup>	27.68±0.07 <sup>a</sup>	23.65±0.01 <sup>b</sup>	24.30±0.06 <sup>b</sup>	14.69±0.05 <sup>d</sup>	21.35±0.16 <sup>c</sup>

下, 与不结合隔热材料相比, 真空包装结合隔热材料可以有效延缓冷鲜猪肉温度上升, 延缓猪肉微生物生长, 能够使电商猪肉货架期延长 35 h, 这与本研究真空包装结合隔热材料对冷鲜猪肉生物胺影响的变化趋势一致, 说明与无隔热材料真空包装处理组相比, 结合隔热材料的真空包装处理方式更能有效地抑制猪肉中生物胺的产生。

#### 2.4 高氧气调包装对冷鲜猪肉在贮藏过程中生物胺的影响

对比表 4 和表 2 可知, 经高氧气调包装处理的冷鲜猪肉腐胺、尸胺和酪胺在 48 h 时有检出, 比真空包装延缓了 12 h。48 h 至 60 h 高氧气调包装组猪肉腐胺、尸胺和酪胺含量分别显著低于真空包装处理组生物胺含量( $P<0.05$ )。值得注意的是, 组胺在高氧气调包装组在贮藏过程中始终无检出。这说明, 与真空包装相比, 高氧气调包装能更有效地抑制冷鲜猪肉中生物胺的增加, 从而延长冷鲜猪肉的货架期。高氧气调包装对冷鲜猪肉生物胺产生的抑制是氧气、二氧化碳和氮气 3 种保护气共同作用的结果。其中, 氧气能够使肉色保持红润新鲜又不至于引起肉的褐变<sup>[49]</sup>。SPANOS 等<sup>[50]</sup>研究发现, 适度的氧气还可以维持肉品长时

间运输和销售中脂质和蛋白质稳定性, 从而更好地延长肉品货架期; 氮气作为一种惰性气体, 可以抑制微生物的生长繁殖, 延缓肉的腐败<sup>[51]</sup>。二氧化碳则可以使肉的 pH 降低, 低 pH 环境可以抑制大部分微生物的繁殖, 减少生物胺产生, 进而延长肉的保质期<sup>[52]</sup>。

#### 2.5 高氧气调包装结合隔热材料对冷鲜猪肉在贮藏过程中生物胺的影响

由表 5 可知, 高氧气调结合隔热材料后, 色胺、苯乙胺、腐胺、尸胺、组胺和酪胺在 0~48 h 贮藏期间均未检出, 而无隔热材料的高氧气调包装处理组在贮藏 48 h 检测到腐胺、尸胺和酪胺, 这说明隔热材料可以进一步抑制微生物的繁殖, 从而抑制了生物胺的生成。结合 2.2、2.3 和 2.4 的分析, 推测高氧气调包装结合隔热材料可以进一步抑制冷鲜猪肉中生物胺产生的主要原因: 一是氧气、二氧化碳和氮气对冷鲜猪肉微生物生长繁殖的抑制作用, 减缓了生物胺的产生; 二是气调包装减少了猪肉和外界的大面积直接接触, 切断了冷鲜猪肉与外界的直接热交换, 延缓了猪肉温度的上升; 三是隔热材料能使猪肉能更长时间维持在预冷温度和较低温度, 进一步抑制了微生物的生长, 并减弱了脱羧酶的活性。

表 4 高氧气调包装对冷鲜猪肉在贮藏过程中生物胺的影响(mg/kg)

Table 4 Effects of high oxygen atmospheric packaging on biogenic amines during the storage of chilled pork (mg/kg)

贮藏时间/h	0	12	24	36	48	60
色胺	ND	ND	ND	ND	ND	ND
苯乙胺	ND	ND	ND	ND	ND	ND
腐胺	ND	ND	ND	ND	3.41±0.01 <sup>b</sup>	7.54±0.09 <sup>a</sup>
尸胺	ND	ND	ND	ND	2.64±0.09 <sup>b</sup>	3.26±0.12 <sup>a</sup>
组胺	ND	ND	ND	ND	ND	ND
酪胺	ND	ND	ND	ND	0.18±0.07 <sup>b</sup>	0.66±0.29 <sup>a</sup>
亚精胺	1.60±0.01 <sup>a</sup>	1.77±0.13 <sup>a</sup>	1.32±0.03 <sup>b</sup>	1.53±0.04 <sup>a</sup>	1.19±0.11 <sup>bc</sup>	0.87±0.10 <sup>c</sup>
精胺	19.55±0.23 <sup>b</sup>	22.62±0.06 <sup>a</sup>	15.41±0.02 <sup>c</sup>	18.32±1.09 <sup>b</sup>	11.83±0.03 <sup>c</sup>	13.42±0.01 <sup>d</sup>

表 5 高氧气调包装结合隔热材料对冷鲜猪肉在贮藏过程中生物胺的影响(mg/kg)  
Table 5 Effects of high oxygen atmospheric packaging and cool insulation materials on biogenic amines during the storage of chilled pork (mg/kg)

贮藏时间/h	0	12	24	36	48	60
色胺	ND	ND	ND	ND	ND	ND
苯乙胺	ND	ND	ND	ND	ND	ND
腐胺	ND	ND	ND	ND	ND	12.38±0.08
尸胺	ND	ND	ND	ND	ND	9.13±0.06
组胺	ND	ND	ND	ND	ND	0.90±0.04
酪胺	ND	ND	ND	ND	ND	2.22±0.16
亚精胺	1.60±0.01 <sup>bc</sup>	3.39±0.26 <sup>a</sup>	2.69±0.01 <sup>b</sup>	2.70±0.12 <sup>b</sup>	1.37±0.03 <sup>c</sup>	2.77±0.11 <sup>b</sup>
精胺	19.55±0.23 <sup>c</sup>	27.10±0.04 <sup>ab</sup>	30.09±0.02 <sup>a</sup>	23.87±0.09 <sup>b</sup>	18.82±0.07 <sup>c</sup>	23.78±0.16 <sup>b</sup>

### 3 讨论与结论

本研究表明,精胺和亚精胺是冷鲜猪肉中天然存在的生物胺,腐胺、尸胺、酪胺和组胺随着贮藏时间的增加,其含量逐渐增加,其中腐胺和尸胺含量较高,是冷鲜猪肉中主要生物胺。真空包装和高氧气调包装均能有效抑制生物胺的形成,就包装方式而言,相较于真空包装,高氧气调包装能更有效地抑制冷鲜猪肉生物胺的产生,这说明5%氮气、15%二氧化碳和80%氧气混合气体可以有效抑制冷鲜猪肉中微生物的生长繁殖。就有无隔热材料而言,放入隔热材料能更有效地抑制生物胺的产生,这可能与隔热材料的热传导阻隔作用有关,隔热材料阻隔了冷鲜猪肉与外界环境的接触,使冷鲜猪肉长期处在一个低温的环境,从而有效抑制了微生物的生长<sup>[53]</sup>,并降低了蛋白质水解酶和氨基酸脱羧酶的活性。

目前隔热材料用于改善猪肉品质的研究不多,本研究证实了隔热材料结合高氧气调包装或真空包装能更好地抑制冷鲜猪肉中生物胺的形成,这为后续开发具有改善冷鲜猪肉品质、提高冷鲜猪肉货架期的包装方法提供了新思路,可对冷链猪肉物流终端质量控制提供参考,为建立冷鲜猪肉品质安全控制提供技术支持。但其具体的作用机制尚未完全阐明清楚,后续可采用蛋白组学、转录组学、微生物组学等多组学技术从蛋白和微生物的角度对其抑制作用机制进行阐明和验证。事实上,真空包装特别是气调包装对包装技术和包装材料都有比较高的要求,在本研究过程中就出现了部分真空包装失败或者气调包装漏气的现象,包裹隔热材料也占用了一定的人力物力成本,后续可对其其他新型包装方法展开对比和联合研究,比如植源性天然保鲜剂涂层、微胶囊包埋技术等,筛选开发一种适合产业化应用的方法方式;冷鲜猪肉在切割和包装运输过程中难免会受到微生物的污染,本研究的几种包装方式虽然对微生物的生长和生物胺的产生有延缓和抑制作用,但还没有做到阻断或对已有生物胺的降解,近几年生物胺降解菌受到越来越多的研究,朱翠翠等<sup>[54]</sup>从天然发酵鱼露中筛选的

MZ5菌株以降解组胺等9种生物胺,组胺降解率更高;LEE等<sup>[55]</sup>筛选的多粘芽孢杆菌D05-1可降低咸鱼中34%(质量分数,下同)的组胺和30%的总生物胺。但这些研究在冷鲜猪肉保鲜方面还没有大量开展,对此,未来可开展冷鲜猪肉中生物胺降解菌的筛选研究,并应用到包装材料中,达到更好的冷鲜猪肉保鲜效果; $\gamma$ -射线对特定生物胺也具有一定的降解作用,有研究<sup>[56]</sup>发现经不小于5 kGy的 $\gamma$ -射线灭菌处理后,试验食物中的腐胺、精胺和亚精胺显著降解,其降低生物胺含量的原理可能是基于 $\gamma$ -射线对产胺微生物的灭杀作用;抗菌活性包装技术近些年也引起了人们的广泛关注,其对特定微生物生长有较好的抑制效果,并可以改善高氧气调包装容易出现的肉品脂质和蛋白质氧化稳定性<sup>[57]</sup>。其缺点是不能延缓猪肉的褐变,降低了顾客的购买欲望,目前可以应用的抗菌活性物种种类也不多,高氧气调包装则具有安全和适应性广的特点,此外,基于生物胺传感机制的鲜肉新鲜度智能指示标签目前已经有了较多研究<sup>[58]</sup>,应用生物胺的碱性特点能更便捷更直观地检测肉品的新鲜度。该技术目前已实现了无接触检测肉中的胺含量,具有良好的实际应用价值和现实意义。因此,未来可在降解菌、 $\gamma$ -射线灭菌处理、抗菌活性结合高氧气调包装方向做进一步的研究,两种或者多种技术的联合既可以减少颜色变化、脂质和蛋白质的氧化变质,又能延缓微生物的生长提高冷鲜猪肉的保质期,同时结合智能指示标签快速检测技术,实现对冷鲜肉品质的实时控制。

### 参考文献

- [1] 杨春婷,赵晓娟,白卫东. 肉类中的生物胺形成及其在肉类新鲜度评价中的应用研究进展[J]. 肉类研究, 2017, 31(1): 55-59.  
YANG CT, ZHAO XJ, BAI WD. Formation of biogenic amines during meat storage and their application in assessment of meat freshness [J]. Meat Res, 2017, 31(1): 55-59.
- [2] TONG RX, PANSS, PAN LQ, *et al.* Effects of biogenic amines on the immune response and immunoregulation mechanism in hemocytes of *Litopenaeus vannamei* in vitro [J]. Mol Immunol, 2020, 128: 1-9.

- [3] DEL RB, REDRUELLO B, LINARES DM, *et al.* The dietary biogenic amines tyramine and histamine show synergistic toxicity towards intestinal cells in culture [J]. *Food Chem*, 2017, 218: 249–255.
- [4] SHUKLA S, LEE JS, BAJPAI VK, *et al.* Toxicological evaluation of lotus, ginkgo, and garlic tailored fermented Korean soybean paste (Doenjang) for biogenic amines, aflatoxins, and microbial hazards [J]. *Food Chem Toxicol*, 2019, 133: 133110729.
- [5] SANTOS MHS. Biogenic amines: Their importance in foods [J]. *Int J Food Microbiol*, 1996, 29(2): 213–231.
- [6] OZOGUL F, HAMED I. The importance of lactic acid bacteria for the prevention of bacterial growth and their biogenic amines formation: A review [J]. *Crit Rev Food Sci Nutr*, 2018, 58(10): 1660–1670.
- [7] RIO BD, REDRUELLO B, LINARES DM, *et al.* The biogenic amines putrescine and cadaverine show *in vitro* cytotoxicity at concentrations that can be found in foods [J]. *Sci Rep*, 2019, 9(1): 1–6.
- [8] IGNATENKO NA, BESSELSSEN DG, ROY UK, *et al.* Dietary putrescine reduces the intestinal anticarcinogenic activity of sundial in a murine model of familial adenomatous polyposis [J]. *Nutr Cancer*, 2006, 56: 172–181.
- [9] PARCHAMI R, KAMALABADIM, ALIZADEH N. Determination of biogenic amines in canned fish samples using head-space solid phase microextraction based on nanostructured polypyrrole fiber coupled to modified ionization region ion mobility spectrometry [J]. *J Chromatogr A*, 2017, 1481: 37–43.
- [10] ZARE D, MUHAMMAD K, BEJO MH, *et al.* Determination of urocanic acid, a compound implicated in histamine toxicity, and assessment of biogenic amines relative to urocanic acid content in selected fish and fish products [J]. *J Food Compos Anal*, 2015, 37: 95–103.
- [11] MOLOGNONI L, DAGUER H, PLOENCIO LA, *et al.* A multi-purpose tool for food inspection: *Simultaneous* determination of various classes of preservatives and biogenic amines in meat and fish products by LC-MS [J]. *Talanta*, 2018, 178: 1053–1066.
- [12] HWANG BS, WANG JT, CHOONG YM. A rapid gas chromatographic method for the determination of histamine in fish and fish products [J]. *Food Chem*, 2003, 82(2): 329–334.
- [13] RABIE MA, PERES C, MALCATA FX. Evolution of amino acids and biogenic amines throughout storage in sausages made of horse, beef and turkey meats [J]. *Meat Sci*, 2014, 96(1): 82–87.
- [14] MIN JS, LEE SO, JANG A, *et al.* Irradiation and organic acid treatment for microbial control and the production of biogenic amines in beef and pork [J]. *Food Chem*, 2007, 104(2): 791–799.
- [15] OMANOVIC-MIKLICANIN E, VALZACCHI S. Development of new chemiluminescence biosensors for determination of biogenic amines in meat [J]. *Food Chem*, 2017, 235: 98–103.
- [16] SACCANI G, TANZI E, PASTORE P, *et al.* Determination of biogenic amines in fresh and processed meat by suppressed ion chromatography-ass spectrometry using a cation-exchange column [J]. *J Chromatogr A*, 2005, 1082(1): 43–50.
- [17] 刘亚楠, 李天舒, 王彦波, 等. 食品生物胺安全控制关联的包装技术研究进展[J]. *包装工程*, 2022, 43(15): 150–159.
- LIU YN, LI TS, WANG YB, *et al.* Research progress in packaging technologies for safety control of food biogenic amines [J]. *Packag Eng*, 2022, 43(15): 150–159.
- [18] 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 Chem*, 2006, 99(3): 574–578.
- [19] SHALINI A, SAURABH A. Freshness-keeping methods and patented technologies to preserve meat product quality [J]. *Fleischwirtschaft*, 2022, 102(1): 73–81.
- [20] LI YX, ZHOU CY, HE J, *et al.* Combining e-beam irradiation and modified atmosphere packaging as a preservation strategy to improve physicochemical and microbiological properties of sauced duck product [J]. *Food Control*, 2022, 136: 108889.
- [21] 周立, 张锐, 王卫, 等. 不同气调包装对冷鲜羊肉保鲜效果研究[J]. *包装工程*, 2022, 43(21): 1–9.
- ZHOU L, ZHANG R, WANG W, *et al.* Effects of different modified atmospheres packaging on preservation of mutton in chilled storage [J]. *Packag Eng*, 2022, 43(21): 1–9.
- [22] 袁璐, 高峰, 周光宏. 高氧气调包装和真空包装对冷鲜肉贮藏过程中保水性和脂质氧化的影响[J]. *食品科学*, 2012, 33(18): 307–311.
- YUAN L, GAO F, ZHOU GH. Effects of high oxygen modified atmosphere packaging and vacuum packaging on water-holding capacity and lipid oxidation of porcine *Longissimus dorsi* during chilled storage [J]. *Food Sci*, 2012, 33(18): 307–311.
- [23] 蒋兆景, 马汉军, 康壮丽, 等. 包装方式对冷鲜猪肉贮藏品质的影响[J]. *河南工业大学学报(自然科学版)*, 2019, 40(4): 71–76.
- JIANG ZJ, MA HJ, KANG ZL, *et al.* Effect of packaging methods on storage quality of chilled pork [J]. *J Henan Univ Technol (Nat Sci Ed)*, 2019, 40(4): 71–76.
- [24] 马静, 张潮, 刘骞, 等. 生物保护菌联合气调包装应用于肉品中抑菌保鲜的研究进展[J]. *肉类研究*, 2022, 36(12): 36–42.
- MA J, ZHANG C, LIU Q, *et al.* Research progress in the application of biological protective bacteria combined with modified atmosphere packaging in the bacteriostasis and fresh-keeping of meat products [J]. *Meat Res*, 2022, 36(12): 36–42.
- [25] LIANG ZJ, VERONICA V, HUANG JH, *et al.* Combined effects of plant food processing by-products and high oxygen modified atmosphere packaging on the storage stability of beef patties [J]. *Food Control*, 2022, 133: 108586.
- [26] 刘晨星. 电商物流运输下冷鲜猪肉的质量控制技术[D]. 杭州: 浙江大学, 2019.

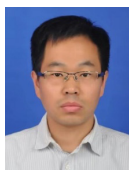


- LIU CX. Research on quality control technology of chilled pork under e-commerce logistics transportation [D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2019
- [27] WOJNOWSKI W, NAMIESNIK J, PLOTKA-WASYLKA J. Dispersive liquid-liquid microextraction combined with gas chromatography-mass spectrometry for in situ determination of biogenic amines in meat: Estimation of meat's freshness [J]. *Microchem J*, 2019, 145: 130-138.
- [28] 董越, 李文博, 孙武亮, 等. 基于肉中挥发性生物胺的新鲜度检测智能标签研究进展[J]. *包装工程*, 2021, 42(19): 129-135
- DONG Y, LI WB, SUN WL, *et al.* Research progress of smart Labels for freshness detection based on volatile biogenic amines in meat [J]. *Packag Eng*, 2021, 42(19): 129-135.
- [29] 张福生, 黄晶晶, 鄢嫣, 等. 高氧气调包装对安徽品种猪肉低温贮藏期间品质的影响[J]. *食品工业科技*, 2021, 42(11): 198-203.
- ZHANG FS, HUANG JJ, YAN Y, *et al.* Effect of high oxygen modified atmosphere packaging on quality of pork from Wei pig breeds in anhui stored at chilling temperature [J]. *Sci Technol Food Ind*, 2021, 42(11): 198-203.
- [30] 杨梦达, 伍军. 高氧气调包装对冷鲜肉猪肉保鲜效果的影响[J]. *北京农学院学报*, 2017, 32(2): 71-74.
- YANG MD, WU J. The impact of high-oxygen modified atmosphere packaging on chilled pork preservation [J]. *J Beijing Univ Agric*, 2017, 32(2): 71-74.
- [31] 刘姝韵, 孙灿, 王桂瑛, 等. 云南牛干巴加工过程中生物胺变化规律[J]. *肉类研究*, 2017, 31(6): 7-12.
- LIU SY, SUN C, WANG GY, *et al.* Changes of biogenic amines during processing of Yunnan dry-cured beef [J]. *Meat Res*, 2017, 31(6): 7-12 .
- [32] PATSIAS A, CHOULIARA I, PALEOLOGOS EK, *et al.* Relation of biogenic amines to microbial and sensory changes of precooked chicken meat stored aerobically and under modified atmosphere packaging at 4°C [J]. *Eur Food Res Technol*, 2006, 223(5): 683-689.
- [33] 郭慧. 不同贮藏温度条件下海洋鱼类生物胺变化规律研究及特征生物胺分析[D]. 杭州: 浙江大学, 2015.
- GUO H. Changes of biogenic amines in marine fish under different storage temperatures and analysis of characteristic biogenic amines [D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2015.
- [34] HALASZ A, BARATH A, SIMON-SARKADI L, *et al.* Biogenic amines and their production by microorganisms in food [J]. *Trends Food Sci Technol*, 1994, 5: 42-48.
- [35] 李东蕊, 刘红霞, 吴剑荣, 等. 豆瓣酱工业发酵过程中生物胺的生成规律[J]. *食品与发酵工业*, 2020, 46(9): 78-82.
- LI DR, LIU HX, WU JR, *et al.* The regular pattern of biogenic amine formation during the industrial fermentation of broad bean paste [J]. *Food Ferment Ind*, 2020, 46(9): 78-82.
- [36] 陈锐, 陈金萍, 杨雯翔, 等. 野蔷薇内源多胺的 HPLC 测定方法及其组织变化规律[J]. *安徽大学学报(自然科学版)*, 2022, 46(2): 101-108.
- CHEN R, CHEN JP, YANG WX, *et al.* Determination of endogenous polyamines in *Rosa multiflora* by HPLC and its tissue changes [J]. *J Anhui Univ (Nat Sci Ed)*, 2022, 46(2): 101-108.
- [37] PARK YK, LEE JH, MAH J, *et al.* Occurrence and reduction of biogenic amines in traditional Asian fermented soybean foods: A review [J]. *Food Chem*, 2019, 278: 1-9.
- [38] ARULKUMAR A, PARAMASIVAM S, RAMESHTHANGAM P, *et al.* Detection of biogenic amines in Indian fish and fishery products consumed in southeast coast region of India [J]. *J Aquat Food Prod Technol*, 2021, 30(1): 95-106.
- [39] 王真真, 李苗云, 赵改名, 等. 真空包装冷却猪肉生物胺与腐败指标的相关性[J]. *食品科学*, 2013, 34(14): 335-339.
- WANG ZZ, LI MY, ZHAO GM, *et al.* Correlations between biogenic Amines and spoilage parameters of vacuum-packaged chilled pork [J]. *Food Sci*, 2013, 34(14): 335-339.
- [40] 李苗云. 冷却猪肉中微生物生态分析及货架期预测模型的研究[D]. 南京: 南京农业大学, 2006.
- LI MY. Study on microbial ecological analysis and shelf life prediction model in cooled pork [D]. Nanjing: Nanjing Agricultural University, 2006.
- [41] OMANOVIC-MIKLICANIN E, VALZACCHI S. Development of new chemiluminescence biosensors for determination of biogenic amines in meat [J]. *Food Chem*, 2017, 235: 98-103.
- [42] SACCANI G, TANZI E, PASTORE P, *et al.* Determination of biogenic amines in fresh and processed meat by suppressed ion chromatography-mass spectrometry using a cation-exchange column [J]. *J Chromatogr A*, 2005, 1082(1): 43-50.
- [43] LOIZZO MR, SPIZZIRRI UG, BONESI M, *et al.* Influence of packaging conditions on biogenic amines and fatty acids evolution during 15 months storage of a typical spreadable salami (Nduja) [J]. *Food Chem*, 2016, 213: 115-122.
- [44] RUIZ-CAPILLAS C, JIMÉNEZ-COLMENERO F. Biogenic amines in meat and meat products [J]. *Crit Rev Food Sci Nutr*, 2005, 44(7/8): 489-599.
- [45] ZANTOPOULOS N, ELEFThERiADOU A, KANIou I, *et al.* Determination of biogenic amines in fresh unpacked and vacuum-packed beef during storage at 4°C [J]. *Food Chem*, 2001, 74(4): 515-519.
- [46] SUZZI G, GARDINI F. Biogenic amines in dry fermented sausages: A review [J]. *Int J Food Microbiol*, 2003, 88(1): 41-54.
- [47] 马利华, 王卫东, 宋慧, 等. 不同包装对肉品贮藏期间蛋白质氧化影响的研究[J]. *食品科技*, 2017, (5): 106-110.
- MA LH, WANG WD, SONG H, *et al.* Study on the effect of different packaging on protein oxidation during meat storage [J]. *Food Sci Technol*, 2017, (5): 106-110.
- [48] SAOWARATH J, PIRKKO M, PAULA M, *et al.* Content and biosynthesis of polyamines in salt and osmotically stressed cells of *Synechocystis* sp. PCC 6803 [J]. *FEMS Microbiol Lett*, 2005, 228: 129.

- [49] ESMER OK, IRKIN R, DEGIRMENCIOGLU N, *et al.* The effects of modified atmosphere gas composition on microbiological criteria, color and oxidation values of minced beef meat [J]. *Meat Sci*, 2011, 88(2): 221–226.
- [50] SPANOS D, TORNGREN MA, CHRISTENSEN M, *et al.* Effect of oxygen level on the oxidative stability of two different retail pork products stored using modified atmosphere packaging (MAP) [J]. *Meat Sci*, 2016, 113: 162–169.
- [51] BASSEY AP, CHEN Y, ZHU Z, *et al.* Assessment of quality characteristics and bacterial community of modified atmosphere packaged chilled pork loins using 16S rRNA amplicon sequencing analysis [J]. *Food Res Int*, 2021, 145(3): 110412.
- [52] 赵毓芝, 刘成国, 周玄. 气调包装技术在冷鲜肉生产中的研究进展[J]. *肉类研究*, 2011, 25(1): 72–77.  
ZHAO YZ, LIU CG, ZHOU X. Research progress of modified atmosphere packaging technology in cold fresh meat production [J]. *Meat Res*, 2011, 25(1): 72–77.
- [53] 赵冬寒, 赵楠, 梁美佳, 等. 不同贮藏温度下三文鱼鱼片生物胺和品质的变化[J]. *食品工业科技*, 2022, 43(11): 350–355.  
ZHAO DH, ZHAO N, LIANG MJ, *et al.* Changes of biogenic amines and quality of salmon fillets under different storage temperatures [J]. *Sci Technol Food Ind*, 2022, 43(11): 350–355.
- [54] 朱翠翠, 王海英, 赵玉莹, 等. 鱼露中组胺降解菌的分离筛选及耐受性[J]. *食品与生物技术学报*, 2022, 41(3): 8–15.  
ZHU CC, WANG HY, ZHAO YY, *et al.* Isolation, screening, and tolerance of histamine degrading bacteria in fish sauce [J]. *J Food Sci Biotechnol*, 2022, 41(3): 8–15.
- [55] LEE YC, KUNG HF, HUANG CY, *et al.* Reduction of histamine and biogenic amines during salted fish fermentation by *Bacillus polymyxa* as a starter culture [J]. *J Food Drug Anal*, 2016, 24(1): 157–163.
- [56] 邓斯予, 曹立民, 隋建新. 发酵食品加工与贮藏过程中生物胺的控制研究进展[J]. *食品安全质量检测学报*, 2023, 14(1): 156–164.  
DENG SY, CAO LM, SUI JX. Research progress on the control of biogenic amines in the processing and storage of fermented foods [J]. *J Food Saf Qual*, 2023, 14(1): 156–164.
- [57] LIANG ZJ, VERONICA VV, HUANG JH, *et al.* Combined effects of plant food processing by-products and high oxygen modified atmosphere packaging on the storage stability of beef patties [J]. *Food Control*, 2022, 133: 108586.
- [58] 关海宁, 冷思琦, 刘登勇, 等. 肉品新鲜度智能指示标签的形成分类与机制研究进展[J]. *食品安全质量检测学报*, 2023, 14(5): 77–84.  
GUAN HN, LENG SQ, LIU DY, *et al.* Research progress on the formation, classification and mechanism of meat freshness intelligent indicator label [J]. *J Food Saf Qual*, 2023, 14(5): 77–84.

(责任编辑: 郑丽 张晓寒)

## 作者简介



赵红波, 高级工程师, 主要研究方向为食品检测。

E-mail: 939834751@qq.com



欧菊芳, 硕士, 高级工程师, 主要研究方向为食品检测。

E-mail: 25995977@qq.com