DOI: 10.19812/j.cnki.jfsq11-5956/ts.20260323006
引用格式: 张玉梅, 王锋, 杨皓, 等. 不同包装材料条件下 4 种酱腌菜中二氧化硫残留量变化分析[J]. 食品安全质量检测学报, 2026, 17(15): 25–31.
Zhang Yumei, Wang Feng, Yang Hao, et al. Analysis of changes in sulfur dioxide residues in 4 kinds of pickled vegetables under different packaging materials [J]. Journal of Food Safety & Quality, 2026, 17(15): 25–31. (in Chinese with English abstract).

不同包装材料条件下 4 种酱腌菜中二氧化硫残留量变化分析

张玉梅[1,2], 王　锋[1], 杨　皓[2*], 陈青妍[2], 张梦娅[2*]
(1. 湖南农业大学食品科学技术学院, 长沙　410128; 2. 华容县检验检测中心, 岳阳　414200)

摘　要: 目的　探究不同包装条件下 4 种酱腌菜中二氧化硫(SO_2)残留量的变化, 并对酱腌菜的感官质量进行评价, 分析二者的相关性。**方法**　选取剁辣椒、鱼酸菜、红油豆角和水晶蒜头, 分别采用不同材料包装, 室温、自然光条件下存放, 在第 0、7、14、21、28、35、60、90、150 d 采用 GB 5009.34—2022《食品安全国家标准 食品中二氧化硫的测定》中的第一法酸碱滴定法, 检测其 SO_2 残留量, 并结合第 35 d 和 150 d 的感官质量评分进行分析。**结果**　剁辣椒、鱼酸菜、水晶蒜头样品 SO_2 残留量在前 7 d 下降明显, 聚对苯二甲酸乙二醇酯(polyethylene terephthalate, PET)塑料瓶装剁辣椒样品 SO_2 残留量下降更快, 质地下降更突出; 双向拉伸聚酯薄膜/镀铝聚对苯二甲酸乙二醇酯复合薄膜(biaxially oriented polyethylene/vacuum metallized polyethylene terephthalate, BOPP/vmPET)和聚酰胺/镀氧化铝双向拉伸聚酯薄膜/聚乙烯复合薄膜(biaxially oriented nylon/aluminum oxide-biaxially oriented polyester terephthalate/polyethylene, BOPA/Al_2O_3-BOPET/PE)装的鱼酸菜样品 SO_2 残留量下降相对缓慢, 150 d 时, 分别剩余 32.7%、14.1%, 35 d 时色泽、质地评分差异明显; BOPA/Al_2O_3-BOPET/PE 包装水晶蒜头样品 SO_2 残留量下降较慢, 150 d 时, 剩余 25%, 感官质量更优。聚对苯二甲酸乙二醇酯/铝箔/聚乙烯复合薄膜(poly-ethylene terephthalate/aluminum foil/polyethylene, PET/Al/PE)和 BOPP/vmPET 包装红油豆角样品 SO_2 残留量下降缓慢, 感官质量表现稳定, 150 d 时, SO_2 残留量分别下降了 14.2%、41.7%, 且仅 BOPP/vmPET 样品的质地评分低于 7 分。**结论**　4 种酱腌菜 SO_2 残留量均随着时间延长而下降, 色泽、质地、气味随 SO_2 残留量变化下降明显, 但不同包装材料酱腌菜的 SO_2 残留量下降幅度和感官质量评分存在差异。同时, 同种材料包装的不同种类酱腌菜其 SO_2 残留量下降幅度也存在差异。通过对不同包装材料条件下 4 种酱腌菜中 SO_2 残留量和感官质量随时间的变化分析, 总结不同包装条件下 SO_2 残留量的变化规律, 分析酱腌菜感官质量与 SO_2 残留量的变化相关性, 为产品包装材料、感官质量改进和市场风险监管提供参考和方向。

关键词: 包装材料; 酱腌菜; 二氧化硫残留量; 感官质量; 变化分析
中图分类号: TS255.53; TS206.4　　**文献识别码:** A　　**文章编号:** 2095–0381(2026)15–0025–07

收稿日期: 2026-03-23
基金项目: 湖南省市场监督管理局科技计划项目(2024KJJH59)
第一作者: 张玉梅(1982—), 女, 高级工程师, 主要研究方向为质量检验。E-mail: 158465430@qq.com
***通信作者:** 杨皓(1990—), 女, 主要研究方向为食品、药品质量检测。E-mail: yh394035476@foxmail.com
张梦娅(1995—), 女, 工程师, 主要研究方向为质量检验。E-mail: 598404869@qq.com

Analysis of changes in sulfur dioxide residues in 4 kinds of pickled vegetables under different packaging materials

ZHANG Yu-Mei[1,2], WANG Feng[1], YANG Hao[2*], CHEN Qing-Yan[2], ZHANG Meng-Ya[2*]

(1. *School of Food Science and Technology*, *Hunan Agricultural University*, *Changsha* 410128, *China*; 2. *Huarong County Inspection and Testing Center*, *Yueyang* 414200, *China*)

ABSTRACT: Objective To investigate the changes in sulfur dioxide (SO_2) residues in 4 kinds of pickled vegetables under different packaging materials, evaluate their sensory quality, and analyze the correlation between them. **Methods** The 4 kinds of pickled vegetables—chopped peppers, pickled mustard, chili oil cowpeal and crystal *Allium* Chinense—packaged with different materials, stored under room temperature and natural light conditions. On 0, 7, 14, 21, 28, 35, 60, 90 and 150 d, detected the SO_2 residues by the acid-base titration method, the first method of *National food safety standard-Determination of sulfur dioxide in food*, analyzed alongside the sensory quality scores on 35 d and 150 d. **Results** The SO_2 residues decreased significantly in the first 7 d in chopped peppers, pickled mustard and crystal *Allium* Chinense. The SO_2 residues in chopped peppers packaged with polyethylene terephthalate (PET) plastic bottles decrersed faster, with more pronounced quality degradation. The SO_2 residues in pickled mustard packaged with biaxially oriented polyethylene/vacuum metallized polyethylene terephthalate (BOPP/vmPET) and biaxially oriented nylon/aluminum oxide-biaxially oriented polyester terephthalate/polyethylene (BOPA/Al_2O_3-BOPET/PE) decreased relatively slowly, remaining 32.7% and 14.1% after 150 d, respectively. On 35 d, significant differences were observed in color and texture scores. The SO_2 residues in crystal *Allium* Chinense packaged with BOPA/Al_2O_3-BOPET/PE decreased slowly, remaining 25% on 150 days, with better sensory quality. The SO_2 residues in chili oil cowpeal packaged with poly-ethylene terephthalate/aluminum foil/polyethylene (PET/Al/PE) and BOPP/vmPET decreased slowly, with stable sensory quality. On 150 d, the SO_2 residues decreased by 14.2% and 41.7%, respectively, and only the texture score of BOPP/vmPET samples was lower than 7 points. **Conclusion** The SO_2 residues in all 4 kinds of pickled vegetables decrease over time, with noticeable declines in color, texture and aroma as SO_2 levels drop. However, differences are observed in the rate of SO_2 residues and sensory quality scores among different packaging materials. Additionally, variations in SO_2 residue decline are noted between different kinds of pickled vegetables packaged in the same material. By analyzing the changes in SO_2 residues and sensory quality of 4 kinds of pickled vegetables packaged with different materials over time, this study summarizes the variation patterns of SO_2 residues under various packaging conditions, examined the correlation between the sensory quality of pickles and SO_2 residue changes, and provides references and recommendations for product packaging materials, sensory quality improvement and market risk supervision.

KEY WORDS: packaging materials; pickled vegetables; sulfur dioxide residue; sensory quality; analysis of changes

0 引 言

酱腌菜是常见的佐餐开胃佳品，其感官质量是反映产品质量的重要指标，消费者对其非常敏感，是选购的重要考量[1–2]。为了提高酱腌菜产品的感官质量，减缓产品色泽褐变、质地软化、香气变淡等护色、防腐及保鲜问题[3–6]，生产过程中常使用具有漂白、防腐、抗氧化功能的焦亚硫酸钠、低亚硫酸钠等食品添加剂(下文统称为亚硫酸盐)[7–8]。添加的亚硫酸盐摄入后可转化为二氧化硫(SO_2)，对人体呼吸系统、消化系统及营养物质的吸收均会产生不利影响[9–12]。为了保障消费者的身体健康，亚硫酸盐的使用应符合 GB 2760—2024《食品安全国家标准 食品添加剂使用标准》的限量要求，即 SO_2 残留量小于等于 0.1 g/kg[13]。

实际生产中，亚硫酸盐按规定使用量添加时，不同包装材料酱腌菜的感官差异较大，部分产品保质期较短，需要增加使用量，企业认为这可能与亚硫酸盐在包装材料及酱腌菜中的稳定性差异有关，但其对各酱腌菜 SO_2 残留量变化过程及感官品质影响的相关性不清楚。目前，关于食品中 SO_2 残留量变化的报道较少[14]，对具体酱腌菜品种中 SO_2 残留量变化规律和产品感官质量的变化情况，鲜见文献报道，企业和监管部门对 SO_2 残留量变化的风险评估缺乏数据支撑，存在酱腌菜生产和监管的双重困难[15]，也给消费者带来一定的健康风险。本研究选取鱼酸菜、剁辣椒、红油豆角、水晶菖头 4 种常见酱腌菜，根据现有产品包装

习惯和质量要求(如透明度、避光性), 结合包装材料相关性能的研究[16–20]和其他食品包材的应用情况, 探讨不同包装材料条件下 4 种酱腌菜中 SO_2 残留量随时间的变化规律, 同时对不同包装材料条件下 4 种酱腌菜感官质量变化进行评价, 分析酱腌菜感官质量与 SO_2 残留量变化的相关性, 为 4 种酱腌菜包装材料、感官质量改进提供指导, 为 SO_2 残留量的市场风险监管提供方向。

1　材料与方法

1.1　材料与试剂

1.1.1　原料

剁辣椒半成品、鱼酸菜半成品、红油豆角半成品和水晶菖头半成品(华容县酱腌菜企业); 聚对苯二甲酸乙二醇酯(polyethylene terephthalate, PET)塑料瓶、玻璃瓶(市售); 双向拉伸聚酯薄膜/镀铝聚对苯二甲酸乙二醇酯复合薄膜(biaxially oriented polyethylene/vacuum metallized polyethylene terephthalate, BOPP/vmPET)、聚对苯二甲酸乙二醇酯/铝箔/聚乙烯复合薄膜(poly-ethylene terephthalate/aluminum foil/polyethylene, PET/Al/PE)、聚酰胺/聚乙烯复合薄膜包装(polyamide/polyethylene compound films, PA/PE)、聚对苯二甲酸乙二醇酯/聚乙烯复合薄膜包装(polyethylene terephthalat/polyethylene compound films, PET/PE)、聚酰胺/镀氧化铝双向拉伸聚酯薄膜/聚乙烯复合薄膜(biaxially oriented nylon/aluminum oxide-biaxially oriented polyester terephthalate/polyethylene, BOPA/Al_2O_3-BOPET/PE)(益阳三鼎包材有限公司)。

1.1.2　试　剂

30%过氧化氢、无水乙醇、盐酸(分析纯, 湖南汇宏试剂有限公司); 氢氧化钠(分析纯, 广东省化学试剂工程技术研究开发中心); 甲基红(分析纯, 天津市福晨化学试剂厂); 氮气(纯度>99.99%, 长沙赛众特种气体有限公司)。

1.2　仪器与设备

JYS-M01 九阳组织捣碎机(九阳股份有限公司); BS/224S 电子分析天平[精度 0.0001 g, 赛多利斯科学仪器(北京)有限公司]; 配电热套和气体流量计全玻璃蒸馏装置、25 mL 碱式滴定管、250 mL 碘量瓶(蜀牛玻璃仪器有限公司)。

1.3　试验方法

1.3.1　试验设计

采集华容县酱腌菜企业生产的添加了亚硫酸盐待包装的剁辣椒、鱼酸菜、红油豆角、水晶菖头半成品样本, 在相应灌装车间完成灌装及后续加工。根据产品包装的行业习惯、展示需求、使用便利性, 以及阻油、阻氧性能要求, 试验设计差异化的包装方案如下: 剁辣椒样品采用符合陈列展示习惯的 PET 瓶装和玻璃瓶两种材料灌装; 鱼酸菜样品依据对便利性、展示性和避光性等的需求, 采用透明、阻氧性好的 BOPA/Al_2O_3-BOPET/PE 复合袋、生产常用 PA/PE 透明复合袋、PET/PE 透明复合袋以及具有避光性的 BOPP/vmPET 复合袋等 4 种包装材料灌装; 水晶菖头采用 PA/PE、BOPA/Al_2O_3-BOPET/PE 两种透明复合袋灌装; 红油豆角样品基于产品对阻油、阻氧、避光等需求, 采用 PET/Al/PE、BOPP/vmPET 两种复合袋灌装。每种包装材料灌装样本 35 份, 每份 650 g。

将灌装后的样本平铺陈列在货架上, 在室温(20~30 ℃)自然散射光条件下存放, 各样本分别在生产后第 0、7、14、21、28、35、60、90、150 d 时各取 3 份, 分别搅碎混匀, 进行 SO_2 残留量检测; 在第 35 d、150 d 时, 各样品取 4 份, 鱼酸菜样品切碎后混匀, 其他 3 种样品直接混匀, 分成 8 份, 进行感官评价。

1.3.2　SO_2 残留量试验方法

采用 GB 5009.34—2022《食品安全国家标准 食品中二氧化硫的测定》中的第一法 酸碱滴定法进行 SO_2 残留量检测。

1.3.3　感官评价

感官评分标准参考 GB/T 16291.1—2012《感官分析选拔与培训 感官分析优选评价员导则》, 并结合各酱腌菜的感官质量特征制定[21–23], 具体评分标准如表 1 所示。本研究邀请酱腌菜加工及检验方面的专业人士 8 人, 对 4 种酱腌菜的各类包装的色泽、气味、滋味、质地、组织形态等进行综合评定, 评定结果取 8 人的平均值。

1.4　质量控制

每次检测时做空白试验, 每类样品采用 3 平行样测定, 检测结果取平均值, 保留 3 位有效数字。

1.5　数据处理

使用 WPS 365 Excel 软件对数据进行分析和图表绘制, 检测结果以平均值表示, 所有实验均重复 3 次。

2　结果与分析

2.1　不同包装材料剁辣椒中 SO_2 残留量和感官质量的变化分析

不同包装剁辣椒中 SO_2 残留量随时间的变化见图 1, 由图 1 可知, PET 塑料瓶和玻璃瓶包装的剁辣椒中 SO_2 残留量均随时间延长而下降, 在前 7 d 二者下降幅度最大, 分别下降 51.3%、46.7%, 在 7~150 d, SO_2 残留量下降速度较平稳, 且 PET 塑料瓶剁辣椒的 SO_2 残留量的下降趋势比玻璃瓶更明显。35 d 时, PET 塑料瓶和玻璃瓶装剁辣椒的 SO_2 残留量下降幅度接近, 分别下降了 67.1%、53.9%; 60 d 时, 分别下降了 75.4%、57.2%; 90 d 时, 分别下降 81.0%、61.4%; 150 d 时, 分别下降 90.8%、68.4%, 此时, PET 塑料瓶的残留量低于定量限 0.01 g/kg。

表 1 4 种酱腌菜感官质量评价表

Table 1 Sensory evaluation form of 4 kinds of pickled vegetables

样品	评价指标	8~10	5~7	0~4
剁辣椒	色泽	色泽鲜红，有光泽	稍有变暗，光泽降低	呈暗红褐色，无光泽
	气味	香气浓郁，无不良气味	香气较淡，无不良气味	无香气，有不良气味
	滋味	滋味鲜香，无异味	鲜香味淡，无异味	难以下咽，有异味
	质地	口感脆嫩，无软化	口感较脆嫩，微软化	口感绵软，咀嚼性差
	组织形态	汁液透亮，结构完整	汁液较透亮，结构较完整	汁液浑浊，皮肉有分离
鱼酸菜	色泽	黄褐色，有光泽	稍有褐变，光泽降低	呈黑褐色，无光泽
	气味	芥辣香浓郁，无不良气味	香气较淡，无不良气味	无香气，有不良气味
	滋味	酸香爽口，无异味	鲜香味淡，无异味	难以下咽，有异味
	质地	口感脆嫩	口感较脆嫩	口感绵软
	组织形态	汁液清透，形态紧致	清透一般，形态较紧致	汁液微浑浊，形态软化
红油豆角	色泽	色泽均匀，有光泽	色泽均匀，光泽微暗	色泽暗淡，发黑
	气味	香气浓郁，无不良气味	香气较淡，无不良气味	无香气，有不良气味
	滋味	酸香可口，无异味	酸香一般，无异味	难以下咽，有异味
	质地	口感脆嫩，无软化	口感较脆嫩，微软化	口感绵软
	组织形态	汁液透亮，形态紧致	汁液较透亮，形态较紧致	汁液微浑浊，形态软化
萹头	色泽	乳白色，有光泽	微黄，光泽微暗	黄棕色，光泽暗淡
	气味	具有泡萹头清爽香气	香气变淡，无不良气味	无香气，有不良气味
	滋味	酸甜爽口，无异味	酸甜一般，无异味	难以下咽，有异味
	质地	口感清脆，有咀嚼感	脆感适中，有咀嚼感	脆感一般，口感绵软
	组织形态	汁液透亮，个头饱满	汁液较透亮，个头较饱满	汁液浑浊，个头欠饱满

不同包装剁辣椒的感官质量的变化见图 2，由图 2 可知，PET 塑料瓶和玻璃瓶包装的剁辣椒样品的感官质量评分在 35 d 时相差不大，150 d 时，二者差距较大，玻璃瓶装剁辣椒在色泽、滋味、气味、组织形态和质地方面均优于 PET 塑料瓶装，且在色泽、滋味、气味方面较 35 d 时的玻璃瓶装的评分相差不大，但塑料瓶较 35 d 时各指标均下降明显。

结合图 1~2 可知，在初始亚硫酸盐添加量相当时，玻璃瓶和 PET 塑料瓶剁辣椒中 SO_2 残留量均会下降，但下降速度不同，当 SO_2 残留量保持较高水平时，剁辣椒产品的感官质量较稳定，但随着 SO_2 残留量的下降，感官质量随之下降。PET 塑料瓶剁辣椒的 SO_2 残留量下降速度更快，感官质量也下降更明显，特别是质地下降突出。剁辣椒中的 SO_2 残留量和感官质量在两种包装材料中的差异可能还与包装材料的透光性、产品真空度等因素有关[24–26]。

2.2 不同包装材料鱼酸菜中 SO_2 残留量和感官质量随时间的变化分析

不同包装鱼酸菜中 SO_2 残留量随时间的变化见图 3，由图 3 可知，PA/PE、PET/PE、BOPP/vmPET 和 BOPA/Al_2O_3-BOPET/PE 4 种包装材料的鱼酸菜样品中 SO_2 残留量均会随时间下降，在前 7 d 下降幅度最大，分别下降 73.9%、61.5%、29.8%、45.8%。4 种材料中，相较于 BOPP/vmPET 和 BOPA/Al_2O_3-BOPET/PE 鱼酸菜 SO_2 残留量，PA/PE 和 PET/PE 下降速度更快，其在 21 d 时 SO_2 残留量接近定量限，但 BOPP/vmPET 和 BOPA/Al_2O_3-BOPET/PE

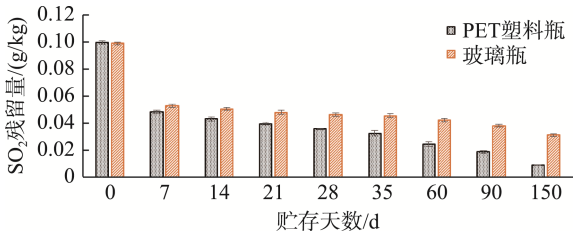


图 1 不同包装材料剁辣椒中 SO_2 残留量的变化趋势

Fig.1 Variation trend of SO_2 residues in chopped peppers with different packaging materials

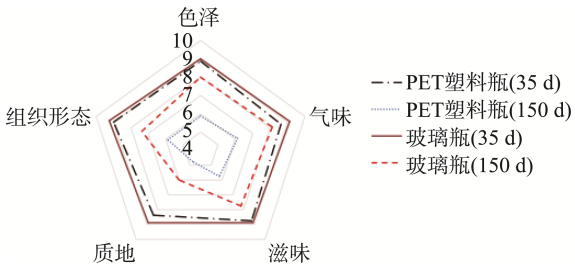


图 2 不同包装材料剁辣椒 35 d 和 150 d 感官评价图

Fig.2 Sensory evaluation chart of chopped peppers with different packaging materials after 35 d and 150 d

在 150 d 时的分别剩余 32.7%、14.1%, SO_2 残留量在这两种材料中表现较为稳定, 且在 BOPP/vmPET 中更稳定。

不同鱼酸菜的感官质量评分的变化见图 4, 由图 4 可知, 35 d 时, 4 种包装条件下的鱼酸菜的各项感官质量评分有差距, 但评分均高于 7 分, 感官质量较好; 150 d 时, BOPP/vmPET 和 BOPA/Al_2O_3-BOPET/PE 两种条件下的鱼酸菜各项感官质量评分仍高于 7 分, 而 PA/PE 和 PET/PE 鱼酸菜在色泽、气味和质地方面的感官质量评分低于 6 分。

结合图 3~4 可知, 4 种常见的包装材料条件下鱼酸菜样品中的 SO_2 残留量随时间呈现不同程度的持续下降, 产品的感官质量也表现出不同程度下降。总体来说, BOPP/vmPET 和 BOPA/Al_2O_3-BOPET/PE 鱼酸菜 SO_2 残留量较稳定, BOPP/vmPET 和 BOPA/Al_2O_3-BOPET/PE 包装的鱼酸菜比 PA/PE 和 PET/PE 包装的鱼酸菜的感官质量也更稳定, 产品的感官质量评分与 SO_2 残留量表现出较高的一致性。同时, 35 d 时, 在 BOPP/vmPET 和 BOPA/Al_2O_3-BOPET/PE 两种条件下的样品 SO_2 残留量较高且残留量接近, 但在色泽、质地方面却有较明显差异, 说明鱼酸菜的感官质量不仅与 SO_2 残留量有关还与包装材料的特性有关。

2.3　不同包装材料红油豆角中 SO_2 残留量和感官质量随时间的变化分析

不同包装红油豆角中 SO_2 残留量随时间的变化见图 5, 由图 5 可知, 红油豆角初始亚硫酸盐添加量相当, 到 150 d 时, PET/Al/PE 和 BOPP/vmPET 红油豆角中 SO_2 残留量分别为 0.0278 g/kg、0.0189 g/kg, 其 SO_2 残留量分别下降了 14.2%、41.7%。两种包装材料红油豆角中 SO_2 残留量随时间缓慢下降, BOPP/vmPET 下降相对较快。

不同包装红油豆角感官质量评分及变化见图 6, 由图 6 可知, PET/Al/PE 和 BOPP/vmPET 两种包装材料的红油豆角的感官质量评分随时间小幅下降, 感官质量表现相对稳定, 至 150 d 时, 仅 BOPP/vmPET 包装材料样品的质地评分微低于 7 分, PET/Al/PE 包装材料样品的各项均高于 8 分。

结合图 5~6 可知, 两种包装材料条件下红油豆角的 SO_2 残留量、感官质量均随时间下降, PET/Al/PE 中 SO_2 残留量下降更缓慢, 感官质量表现更稳定, 这可能与两种材料的阻氧性有关[27]。

2.4　不同包装材料水晶蔊头中 SO_2 残留量和感官质量随时间的变化分析

不同包装水晶蔊头中 SO_2 残留量随时间的变化见图 7, 由图 7 可知, PA/PE 和 BOPA/Al_2O_3-BOPET/PE 两种透明包装材料水晶蔊头中的 SO_2 残留量随时间延长而不断下降, 二者在前 7 d 下降幅度最大, 分别下降 53.7%、22.3%, 前者下降速度更快, 其在 35 d 时, 低于定量限, 后者在 150 d 时, 剩余 25%。

不同包装水晶蔊头感官质量评分及变化见图 8, 由图 8 可知, 两种包装材料条件下, 样品的感官质量随时间的变化差异较大, PA/PE 包装水晶蔊头下降更快, 35 d 时, 其各项评分均高于 7 分, 150 d 时, 其在色泽和质地方面下降显著, 评分低于 5 分, 而采用 BOPA/Al_2O_3-BOPET/PE 包装的水晶蔊头在 150 d 时与 PA/PE 包装 35 d 时的感官质量评分相差不大, 感官质量表现更优。

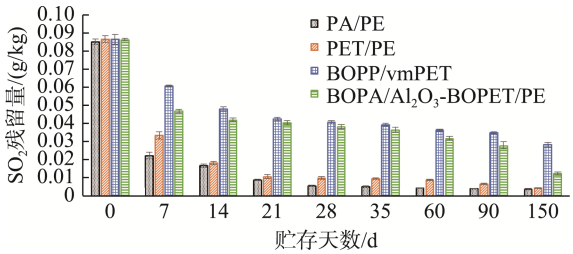


图 3　不同包装鱼酸菜中 SO_2 残留量的变化趋势

Fig.3　Variation trend of SO_2 residues in pickled mustard with different packaging materials

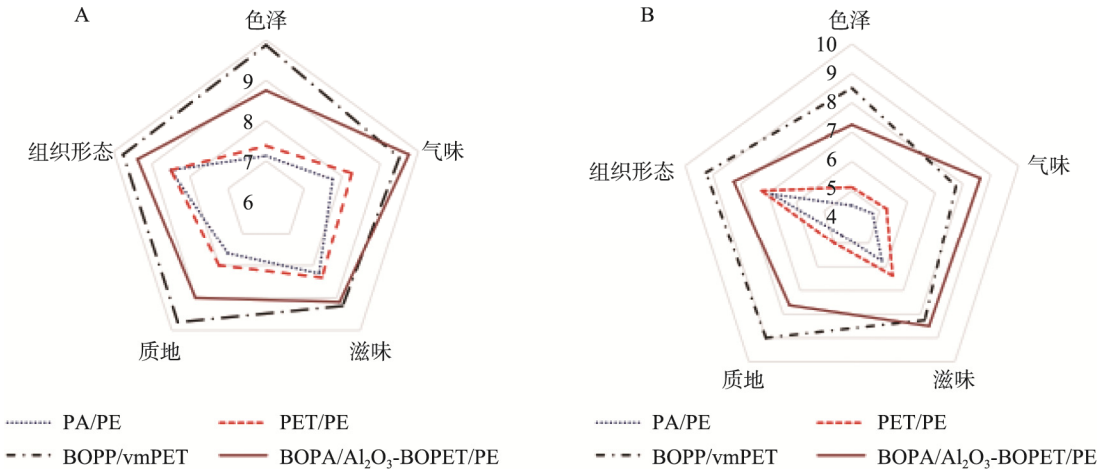


图 4　不同包装材料鱼酸菜 35 d (A)和 150 d (B)感官评价图

Fig.4　Sensory evaluation chart of pickled mustard with different packaging materials after 35 d (A) and 150 d (B)

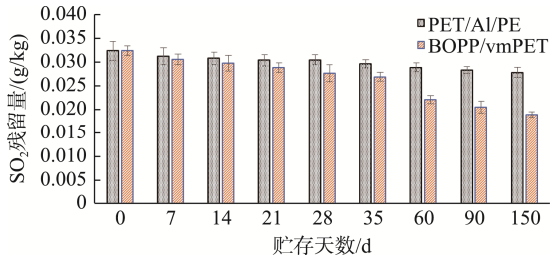


图 5 不同包装材料红油豆角中 SO_2 残留量的变化趋势

Fig.5 Variation trend of SO_2 residues in chili oil cowpeal with different packaging materials

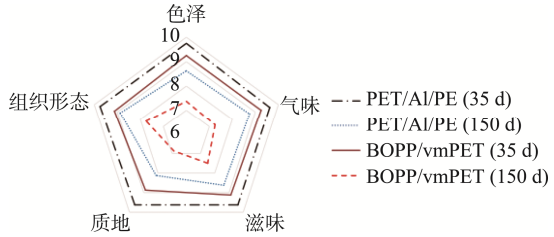


图 6 不同包装材料红油豆角 35 d 和 150 d 感官评价图

Fig.6 Sensory evaluation chart of chili oil cowpeal with different packaging materials after 35 d and 150 d

结合图 7~8 可知，两种包装材料条件下水晶蒿头的 SO_2 残留量、感官质量随时间下降；在 SO_2 残留量下降较缓慢的 BOPA/Al_2O_3-BOPET/PE 包装中的水晶蒿头样品的感官质量下降更缓慢；35 d后，在 SO_2 残留量低于定量限时，PA/PE 包装中的水晶蒿头样品的感官质量评分下降突出，SO_2 残留量较低时对感官品质的作用有限。水晶蒿头采用透明 BOPA/Al_2O_3-BOPET/PE 包装时更有利于亚硫酸盐和感官质量稳定。

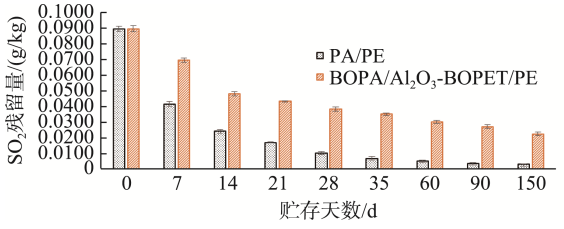


图 7 不同包装材料水晶蒿头中 SO_2 残留量的变化趋势

Fig.7 Variation trend of SO_2 residues in crystal *Allium* Chinense with different packaging materials

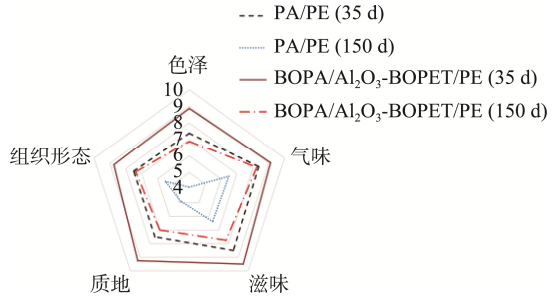


图 8 不同包装材料水晶蒿头 35 d 和 150 d 感官评价图

Fig.8 Sensory evaluation chart of crystal *Allium* Chinense with different packaging materials after 35 d and 150 d

3 讨论与结论

本研究针对剁辣椒、鱼酸菜、红油豆角、水晶蒿头等 4 种酱腌菜，在不同包装材料条件下，研究其 SO_2 残留量随时间的变化，同时结合酱腌菜感官质量的变化进行分析比较。总体来看，4 种酱腌菜的 SO_2 残留量和感官质量评分均随着时间的延长而下降，但不同种类酱腌菜和不同包装条件的酱腌菜 SO_2 残留量在 0~150 d 的下降幅度不一样，PA/PE 鱼酸菜的 SO_2 残留量下降幅度最大，PET/Al/PE 红油豆角的 SO_2 残留量下降幅度最小，为 14.2%。4 种酱腌菜的各材料包装样品的感官质量评分随时间变化差异较大，特别是在色泽、质地和气味方面，结合研究数据可知，剁辣椒、鱼酸菜、红油豆角和水晶蒿头的感官质量分别在玻璃瓶、BOPP/vmPE、PET/Al/PE、BOPA/Al_2O_3-BOPET/PE 包装时更优，这与 SO_2 残留量变化表现出一致性。采用 BOPA/AL_2O_3-BOPET/PE 包装的鱼酸菜和水晶蒿头，在 SO_2 残留量起始量相当时，150 d 时 SO_2 残留量下降幅度差异较大，这说明基质特性、加工工艺等也可能会影响亚硫酸盐类的稳定性；35 d 时，BOPP/vmPET 和 BOPA/Al_2O_3-BOPET/PE 两种材料包装的鱼酸菜，SO_2 残留量相差不大，但感官质量差异较大，这说明感官质量可能与包装材料的特性有关。

本研究表明，酱腌菜的 SO_2 残留量随着时间的延长而下降，其感官质量也随之下降，但不同包装材料酱腌菜的 SO_2 残留量下降幅度和感官质量表现存在差异。同时，同一种材料包装的不同种类酱腌菜其 SO_2 残留量下降幅度也存在差异。因此，根据 SO_2 残留量与感官品质变化的同步性，建议企业选用的 SO_2 残留量下降更缓慢的包装材料，根据感官质量和 SO_2 残留量变化的差异性，以及同种包材条件下不同酱腌菜种类的 SO_2 残留量的变化差异，建议企业调整产品贮存环境、加工工艺、理化性质等[28]，降低亚硫酸盐的转化速度，延长产品保质期，但相关参数还需进一步研究。监管部门应谨防产品特性带来的 SO_2 残留量监管漏洞和风险，建议将转换的硫酸盐一并纳入亚硫酸盐类的使用量统计[29–30]，综合考量硫酸盐、亚硫酸盐类的健康风险[31]。

参考文献

[1] 崔文甲，王月明，弓志青，等. 酱腌菜国内外产业现状、研究进展及展望[J]. 食品工业，2017，38(11)：238–241.
Cui Wenjia, Wang Yueming, Gong Zhiqing, et al. The industry situation, research progress at home and abroad and the development of pickles [J]. The Food Industry, 2017, 38(11): 238–241.

[2] 李文涛. 酱腌菜行业标准现状及发展建议探讨[J]. 食品工业，2025，46(3)：214–217.
Li Wentao. Discussion on current situation and development suggestion of pickled vegetable industry standard [J]. The Food Industry, 2025, 46(3): 214–217.

[3] 陶海霞，于安芬，白滨，等. 焦亚硫酸钠对双孢蘑菇鲜品颜色和质量安全性的影响[J]. 甘肃农业科技，2019(4)：23–31.
Tao Haixia, Yu Anfen, Bai Bin, et al. Effect of sodium metabisulfite on color and quality safety of fresh *Agaricus bisporus* [J]. Gansu Agricultural Science and Technology, 2019(4): 23–31.

[4] 李共国, 何礼涛, 孙志栋. 影响腌制芥菜贮藏品质的非热加工因素通径分析[J]. 中国食品学报, 2022, 22(11): 318–325.
Li Gongguo, He Litao, Sun Zhidong. Path analysis of effects of non-thermal processing factors on storage quality of pickled mustard [J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2022, 22(11): 318–325.

[5] Ahmadi F, Lee Y H, Lee W H, et al. Preservation of fruit and vegetable discards with sodium metabisulfite [J]. Journal of Environmental Management, 2018, 224: 113–121.

[6] Robbins Carlos K S, de Jager L S. Comparison of multiple methods for the determination of sulphite in *Allium* and *Brassica* vegetables [J]. Food Additives & Contaminants: Part A, 2016, 33(10): 1509–1517.

[7] Lu Tian, Zhou Zhugui, Sun Yu, et al. Establishment of a comprehensive evaluation model for pickled mustard quality [J]. Journal of Food Composition and Analysis, 2025, 148: 108426.

[8] Yan Fei, Cui Jingnan, Wang Chao, et al. Real-time quantification for sulfite using a turn-on NIR fluorescent probe equipped with a portable fluorescence detector [J]. Chinese Chemical Letters, 2022, 33(9): 4219–4222.

[9] Kumar A, Triquigneaux M, Madenspacher J, et al. Sulfite-induced protein radical formation in LPS aerosol-challenged mice: implications for sulfite sensitivity in human lung disease [J]. Redox Biology, 2018, 15: 327–334.

[10] Zhang Yujie, Li Linke, Chen Yingying. High-sensitivity detection of sulfites/hydrosulfites: recent advances in small-molecule fluorescent probes [J]. Dyes and Pigments, 2026, 249: 113603.

[11] 张玉梅, 许炼. 华容县酱腌菜二氧化硫残留问题的调查[J]. 食品安全质量检测学报, 2016, 7(7): 3006–3009.
Zhang Yumei, Xu Lian. Investigation of sulfur dioxide residue in pickles in Huarong county [J]. Journal of Food Safety & Quality, 2016, 7(7): 3006–3009.

[12] Lester M R. Sulfite sensitivity: significance in human health [J]. Journal of the American College of Nutrition, 1995, 14(3): 229–232.

[13] 宋金丽, 高全利, 冯亮, 等. 酱腌菜中二氧化硫残留量的检测方法探讨[J]. 现代食品, 2023, 29(6): 189–192.
Song Jinli, Gao Quanli, Feng Liang, et al. Discussion on the detection method of sulfur dioxide residue in pickled vegetables [J]. Modern Food, 2023, 29(6): 189–192.

[14] 周艳华, 熊一朴, 张春艳. 不同贮藏时间条件下含硫食品中二氧化硫残留量变化规律研究[J]. 江苏调味副食品, 2021(4): 34–36.
Zhou Yanhua, Xiong Yipu, Zhang Chunyan. Study on the variation rule of sulfur dioxide residue in sulfur-containing food under different storage time [J]. Jiangsu Condiment and Subsidiary Food, 2021(4): 34–36.

[15] 邱柏. 破解干制蔬菜和腌渍蔬菜二氧化硫超标全国性难题的思考[N]. 宜宾日报, 2019-10-25 (003).
Qiu Bai. Thoughts on solving the nationwide problem of excessive sulfites in dried and pickled vegetables [N]. Yibin Daily, 2019-10-25 (003).

[16] 李丽. 论包材阻隔性对食品安全的重要性[J]. 中外食品工业, 2024(2): 23–25.
Li Li. On the importance of barrier property of packaging materials to food safety [J]. Global Food Industry, 2024(2): 23–25.

[17] 胡健, 黄媛媛, 刘桂孝, 等. 包装材料阻隔性能对黄酒风味的影响[J]. 中国食品学报, 2023, 23(11): 246–253.
Hu Jian, Huang Yuanyuan, Liu Guixiao, et al. Effects of barrier properties of packaging materials on the flavor of Huangjiu [J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2023, 23(11): 246–253.

[18] 于中玉, 黄佳琪, 周凤霞. 软包装材料阻隔性对鲜湿米粉常温储藏品质特性的影响[J]. 中国食品添加剂, 2022, 33(9): 159–166.
Yu Zhongyu, Huang Jiaqi, Zhou Fengxia. Effect of barrier properties of flexible packaging materials on the quality of fresh and wet rice noodles stored at room temperature [J]. China Food Additives, 2022, 33(9): 159–166.

[19] 余月红, 尹远. 蒸镀 *AlOx* 对 PET 薄膜性能影响的分析[J]. 绿色包装, 2022(12): 20–23.
Yu Yuehong, Yin Yuan. Effect of evaporation *AlOx* on the properties of PET film [J]. Green Packaging, 2022(12): 20–23.

[20] 陈兰兰, 孙小杰, 尉琳琳, 等. 利用 PEALD 制备 PET 基 Al_2O_3 阻隔膜及其性能研究[J]. 真空, 2022, 59(6): 40–44.
Chen Lanlan, Sun Xiaojie, Yu Linlin, et al. Properties of PET based Al_2O_3 barrier thin films fabricated by plasma enhanced atomic layer deposition [J]. Vacuum, 2022, 59(6): 40–44.

[21] 谭思思. 剁椒轻盐保存与发酵技术研究及应用[D]. 长沙: 湖南农业大学, 2024: 13.
Tan Sisi. Study and application of preservation and fermentation technology of chopped pepper with light salt [D]. Changsha: Hunan Agricultural University, 2024: 13.

[22] 王怡瑾, 刘力, 杨灿, 等. 一株植物乳植杆菌在粉杆芥菜二次发酵中的护色应用研究[J]. 天津农业科学, 2025, 31(6): 65–74.
Wang Yijin, Liu Li, Yang Can, et al. Application of *Lactobacillus plantarum* to color protection in secondary fermentation of powder stalk mustard [J]. Tianjin Agricultural Sciences, 2025, 31(6): 65–74.

[23] 文志州. 优良水晶薹头发酵菌株的筛选及产品研发[J]. 食品安全质量检测学报, 2025, 16(23): 357–366.
Wen Zhizhou. Screening of high-quality crystal *Allium chinense* G. Don fermentation strains strains and product development [J]. Journal of Food Safety & Quality, 2025, 16(23): 357–366.

[24] 施鹏, 倪书干, 易翔, 等. 玻璃瓶透光性对酒类产品质量的影响[J]. 酿酒科技, 2021(10): 49–52, 56.
Shi Peng, Ni Shugan, Yi Xiang, et al. Effect of glass bottle transmittance on the quality of alcohol products [J]. Liquor-Making Science & Technology, 2021(10): 49–52, 56.

[25] 王强. 玻璃瓶装番茄酱罐头杀菌条件的探讨[J]. 食品工业, 2010, 31(6): 53–55.
Wang Qiang. Study on sterilization conditions for canned tomato sauce in glass [J]. The Food Industry, 2010, 31(6): 53–55.

[26] 郑平. 温州蜜柑橘瓣罐头加工与贮藏中营养成分和色泽变化规律的研究[D]. 南京: 南京农业大学, 2014: 46–49.
Zheng Ping. Research on the changes in nutritional components and color of wenzhou honey mandarin segments in canned products and during storage [D]. Nanjing: Nanjing Agricultural University, 2014: 46–49.

[27] 刘容宏, 王微山, 宋亚光. 不同材质食品包装用塑料膜、袋透氧性研究[J]. 塑料包装, 2011, 21(1): 41–43, 40.
Liu Ronghong, Wang Weishan, Song Yaguang. Study on oxygen permeability of plastic films and bags for food packaging with different materials [J]. Plastics Packaging, 2011, 21(1): 41–43, 40.

[28] 崔玉民, 孙文中. 亚硫酸盐的光催化氧化[J]. 阜阳师范学院学报(自然科学版), 1998(2): 23–26.
Cui Yumin, Sun Wenzhong. Photocatalysis qxidation of sulfite [J]. Journal of Fuyang Normal University (Natural Science), 1998(2): 23–26.

[29] 胡国栋. 作为食品添加剂的亚硫酸盐的研究现状[J]. 食品与发酵工业, 1987(3): 70–72,54.
Hu Guodong. Research status of sulfites as food additives [J]. Food and Fermentation Industries, 1987(3): 70–72,54.

[30] Shi Yan, Zhan Xiancheng, Ma Lie, et al. Evaluation of antioxidants using oxidation reaction rate constants [J]. Frontiers of Chemistry in China, 2007,2(2): 140–145.

[31] Preethi B, Subramani T, Karunanidhi D, et al. Evaluation of sulphate contamination in surface and groundwater with health hazards in the largest opencast lignite mine region of Asia [J]. Scientific Reports, 2026, 16: 2962.

(责任编辑: 安香玉　曹岱琳)