

微波杀菌及包装材料的微波穿透性对湿豆皮保鲜品质的影响

骆佳¹, 段志蓉¹, 程玉娇², 周俞含¹, 舒丽洁¹, 廖雯¹, 张敏¹

(1.西南大学 食品科学学院, 重庆 400715; 2.西南大学柑桔研究所, 重庆 400712)

摘要: **目的** 探究不同包装材料结合微波杀菌对湿豆皮保鲜效果的影响, 为湿豆皮提供新的保鲜方案。**方法** 将湿豆皮分别装入 OPP/PE 和 PET/PE/ CPP 材料的包装袋中, 经密封后进行微波杀菌处理, 测定其贮藏期间的指标。**结果** 经微波处理后, 湿豆皮在 OPP/PE 中的表面温度比在 PET/PE/ CPP 中高 8 °C, 菌落总数少 0.66 lg(CFU/g), 说明微波更易穿透 OPP/PE 材料, 更能有效延缓长期贮藏中因微生物活动造成的氧气含量下降和二氧化碳上升, 延缓湿豆皮的 pH 值、水分含量和拉伸性的下降, 抑制其 TVB-N 含量的上升, 从而抑制组织结构的破坏, 减缓脂质酸败的速率, 还可减小色差的变化幅度, 维持更高的感官评价得分。**结论** 采用微波处理能够有效延长湿豆皮的保鲜期, OPP/PE 和 PET/PE/ CPP 材料组湿豆皮的保鲜期分别延长了 15、12 d 左右, 且对不同材料包装的湿豆皮品质的影响差异显著。采用微波穿透性更好的包装材料, 其微波作用强度更大, 杀菌效果更明显, 保鲜效果更好。

关键词: 湿豆皮; 保鲜; 微波杀菌; 包装材料; 微波穿透性

中图分类号: TS206.4 文献标识码: A 文章编号: 1001-3563(2023)15-0060-08

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2023.15.009

Effect of Microwave Sterilization and Microwave Penetrability of Packaging Materials on the Preservation Quality of Thin Sheets of Wet Bean Curd

LUO Jia¹, DUAN Zhi-rong¹, CHENG Yu-jiao², ZHOU Yu-han¹, SHU Li-jie¹,
LIAO Wen¹, ZHANG Min¹

(1. College of Food Science, Southwest University, Chongqing 400715, China;

2. Citrus Research Institute, Southwest University, Chongqing 400712, China)

ABSTRACT: The work aims to explore the effect of different packaging materials combined with microwave sterilization on the thin sheets of wet bean curd (TWB), and provide a new preservation scheme for TWB. TWB was put into OPP/PE and PET/PE/ CPP bags respectively, sealed and sterilized by microwave, and then the indexes during storage were determined. After microwave treatment, the surface temperature of OPP/PE was 8 °C higher than that of PET/PE/ CPP, and the total number of bacterial colonies was 0.66 lg(CFU/g) lower, indicating that microwave was easier to penetrate the OPP/PE material, and could more effectively delay the decline of oxygen content in the headspace and the rise of carbon dioxide caused by microbial activities in TWB during long-term storage and delay the decline of pH value, water content,

收稿日期: 2023-01-21

基金项目: 国家自然科学基金青年科学基金 (32101891)

作者简介: 骆佳 (1999—), 女, 硕士生, 主攻食品贮运保鲜技术。

通信作者: 张敏 (1975—), 男, 副教授, 主要研究方向为食品的贮运保鲜及快递包装技术。

tensile strength and the rise of TVB-N content, thus inhibiting the destruction of tissue structure and slowing down the rate of lipid rancidity. It could also reduce the change of color difference and maintain a higher sensory evaluation score. Microwave treatment can effectively extend the preservation period and make OPP/PE and PET/PE/OPP material groups extend for about 15 and 12 days respectively and has significant effects on the quality of TWB packaged with different materials. Packaging materials with high microwave penetrability have higher microwave action intensity, more obvious sterilization effect and better preservation effect.

KEY WORDS: thin sheets of wet bean curd; preservation; microwave sterilization; packaging materials; microwave penetrability

湿豆皮营养丰富、色泽金黄、口感独特,且其豆香味浓郁,是深受消费者喜爱的豆制品。由于湿豆皮在常温下1~2 d内就会出现失水、腐败、油脂氧化、褐变等品质劣变问题^[1],其货架期较短,作为一种特色农副产品,无法打开其外销渠道,限制了其销售半径,因此研究湿豆皮保鲜技术具有重要意义。

目前,对于豆制品保鲜,国内外常采用的杀菌技术为辐照杀菌、高压杀菌、脉冲电场杀菌和水浴杀菌等^[2]。微波杀菌作为新兴技术,具有诸多优点,微波杀菌对技术和设备的要求较低,在杀菌过程中可直接作用于食品,更节能环保^[3]。微波杀菌利用热效应和非热效应可以在极短时间内以较低温度达到杀菌目的,同时低温也可保持食品本身的营养物质和特色风味^[4]。此外,在含水量较高的产品中,微波能量主要被水吸收,水在电场中从无序旋转变为有序旋转,在此过程中氢键会断裂产热^[5]。湿豆皮的含水量较高,采用微波可以达到高效杀菌效果。虽然食品在微波中会产生不均匀加热现象^[6],但是针对湿豆皮这类成分均匀、厚薄基本一致的产品,能够很好地规避这一缺陷。从市场应用前景来看,家用微波炉更贴近手工作坊及加工门店的应用场景,其设备简单、价格低廉,研究家用微波炉的微波杀菌技术有助于小商户实现电商远距离快速销售,扩大销售半径,增加收入。

在微波炉中常用的包装材料为玻璃、塑料、纸等,其中塑料的应用范围最广。聚丙烯(Polypropylene, PP)和结晶化聚酯(Polyethylene Terephthalate, PET)比较稳定,常用于微波食品包装^[7]。为了适应微波杀菌处理的工艺要求,食品包装材料必须具有良好的微波穿透性,微波才能穿透包装材料到达食品内部发生作用^[8]。目前,关于微波杀菌机理和杀菌效果的研究颇多,但针对包装材料的微波穿透性对食品品质影响的研究十分匮乏,同时微波杀菌技术在豆制品的应用也鲜有报道,因此研究微波对不同包装材料的穿透性及对湿豆皮杀菌保鲜效果的影响具有十分重要的意义。这里将湿豆皮分别装入OPP/PE和PET/PE/OPP 2种不同阻隔性的塑料复合包装袋中,并进行微波杀菌处理,探究微波对不同包装材料的穿透性及湿豆皮保

鲜效果的影响,旨在为湿豆皮保鲜提供新的杀菌及包装方案。

1 实验

1.1 材料

主要材料:新鲜湿豆皮,重庆天润食品开发有限公司,当天制作,并送达实验室;聚酯/聚乙烯/流延聚丙烯(PET 12 μm /PE 15 μm /CPP 30 μm)包装袋,透氧率为116 $\text{cm}^3/(\text{m}^2\cdot\text{d}\cdot 0.1\text{ MPa})$,透湿率为16 $\text{g}/(\text{m}^2\cdot\text{d})$,重庆顶正包材有限公司;拉伸聚丙烯/聚乙烯(OPP 19 μm /PE 30 μm)包装袋,透氧率为919.5 $\text{cm}^3/(\text{m}^2\cdot\text{d}\cdot 0.1\text{ MPa})$,透湿率为18 $\text{g}/(\text{m}^2\cdot\text{d})$,重庆顶正包材有限公司。

1.2 仪器与设备

主要仪器与设备:KD23B-DA微波炉,广州美的电器制造有限公司;HHWS-III-300恒温恒湿培养箱,上海跃进公司;MitraScan® PRO色度仪,上海一恒公司;L5S紫外可见分光光度计,上海仪电公司;CheckMate3顶空气体分析仪,宁波新芝公司;pH计,上海精密科技有限责任公司;自动薄膜封口机、红外测温仪,浙江鼎业公司;TA-XT plus物性测定仪,英国Stable Micro System公司。

1.3 方法

1.3.1 样品准备

在桌上式洁净工作台上将湿豆皮进行无菌分装,分为以下4个处理组:PET/PE/OPP对照组,将湿豆皮平铺装入PET/PE/OPP包装袋后,压平封口;PET/PE/OPP微波处理组,将湿豆皮平铺装入PET/PE/OPP包装袋后,压平封口,再进行微波杀菌,功率为300 W,时间为10 s;OPP/PE对照组,将湿豆皮平铺装入OPP/PE包装袋后,压平封口;OPP/PE微波处理组,将湿豆皮平铺装入OPP/PE包装袋后,压平封口,再进行微波杀菌,功率为300 W,时间为10 s。每袋装入(25±5) g湿豆皮,将所有样品经处理后,待其冷却至室温后,置于4℃冷鲜柜里进行低温贮藏,每3 d从各组随机取样3袋,检测其各项指

标, 试验周期为 15 d。

1.3.2 微波处理样品后表面温度的测定

采用红外测温仪, 在微波处理后测定样品的表面温度, 每种材料测量 3 次, 取其平均值。

1.3.3 菌落总数

按照 GB 4789.2—2016《食品安全国家标准 食品微生物学检验 菌落总数测定》测定样品的菌落总数。

1.3.4 pH 值

参考 Huang 等^[9]的方法, 取湿豆皮样品 10 g, 加入 90 mL 蒸馏水, 经匀浆过滤后, 用 pH 计测定样品的 pH 值。

1.3.5 水分含量

按照 GB 5009.3—2016《食品安全国家标准 食品中水分的测定》中的水分直接干燥法测定样品的水分含量。

1.3.6 拉伸性

参考王睿智^[10]的方法, 使用 TA-XT plus 物性测定仪测定湿豆皮的拉伸性。测定参数设置及方法: 测前速率为 1 mm/s, 测定速率为 3 mm/s, 测后速率为 10 mm/s, 拉伸距离为 40 mm, 触发力为 0.049 N。使用 A/NPLT 制备工具将湿豆皮剪切为环形后, 将样品套到 A/SPR 探头上进行拉伸测试。

1.3.7 顶空气体成分

使用顶空气体分析仪检测湿豆皮包装内的氧气和二氧化碳的浓度。

1.3.8 硫代巴比妥酸值

按照 GB 5009.181—2016《食品安全国家标准 食品中丙二醛的测定》中的分光光度法测定样品的硫代巴比妥酸值。

1.3.9 挥发性盐基氮含量

按照 GB 5009.228—2016《食品安全国家标准 食品中挥发性盐基氮的测定》中的自动凯氏定氮仪法测定样品的挥发性盐基氮含量。

1.3.10 色差

使用 MltraScan®PRO 色度仪测试湿豆皮的色差。

1.3.11 感官评价

参考王睿智^[10]的方法, 由经过培训的 5 人在规定

时间内根据感官评定标准, 评定湿豆皮的色泽、异味、黏度、质地 4 个感官指标。感官指标评定标准如表 1 所示。

1.3.12 数据分析

采用 SPSS 软件对试验数据的差异性和相关性进行分析, 并使用 Origin 2018 进行绘图。

2 结果与分析

2.1 微波处理后表面温度的变化

在微波作用下, 食品中的极性分子高速运动, 所产生的热量会使温度升高^[5]。测定了经微波处理后不同材料包装的湿豆皮的表面温度, 如图 1 所示。表面温度不同可说明微波对不同包装材料的穿透性存在差异。由图 1 可知, 采用 OPP/PE 材料包装的湿豆皮经微波处理后, 其表面温度比 PET/PE/PP 材料包装湿豆皮的表面温度高 8 °C 左右。说明微波对不同包装材料的穿透性存在差异, 且对 OPP/PE 材料的穿透性高于 PET/PE/PP 材料。

2.2 菌落总数的变化

微波处理及不同包装材料对湿豆皮菌落总数的影响如图 2 所示。由于 OPP/PE 材料的透氧量比 PET/PE/PP 的透氧量大, 较好的透氧性会促使微生物生长繁殖^[11], 导致贮藏过程中 OPP/PE 对照组样品的菌落总数比 PET/PE/PP 对照组的多。经同样的微波处理后, OPP/PE 微波处理组样品的菌落总数反而比 PET/PE/PP 微波处理组的低, 且在贮藏过程中始终明显低于后者 ($P < 0.01$)。说明相较于 PET/PE/PP 材料, 微波能更好地穿透 OPP/PE 材料并作用于湿豆皮, 其杀菌效果更好, 初始带菌量更少, 弥补了透氧性的不足, 维持了贮藏过程中的低菌落水平。

2.3 pH 值的变化

微波处理及不同包装材料对湿豆皮 pH 值的影响如图 3 所示。在处理结束时, PET/PE/PP、OPP/PE 微波处理组的 pH 值与对照组相比变化不明显, 说明微波处理对湿豆皮 pH 值的影响较小。之后, 各处理组样品的 pH 值随着贮藏时间的延长不断下降, 其中 OPP/PE 对照组样品的 pH 值在第 3 天时的下降幅度

表 1 感官评定标准
Tab.1 Standard of sensory evaluation

评分	色泽	异味	黏度	质地
7.1~9	色泽微黄, 有光泽	无异味	未发黏	组织软硬适中, 有弹性
5.1~7	色泽偏黄, 有光泽	轻度异味	轻度发黏	组织较软或较硬, 弹性较小
3.1~5	色泽偏黄, 无光泽	明显异味	明显发黏	明显变软或变硬, 无弹性
1~3	褐变严重	严重异味	严重发黏	严重变软或变硬

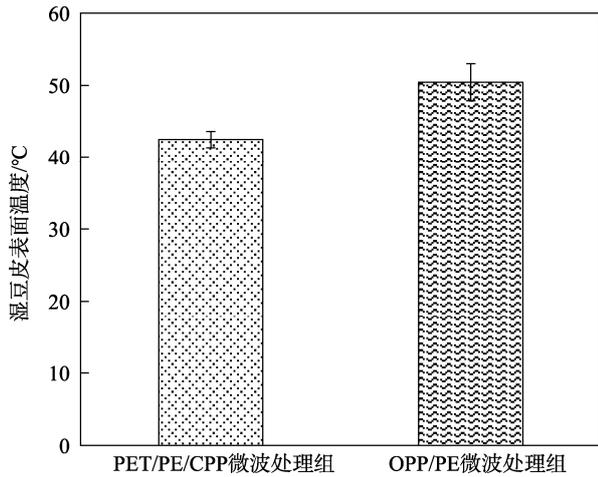


图 1 微波处理及不同包装材料对湿豆皮表面温度的影响

Fig.1 Effects of microwave treatment and different packaging materials on TWB surface temperature

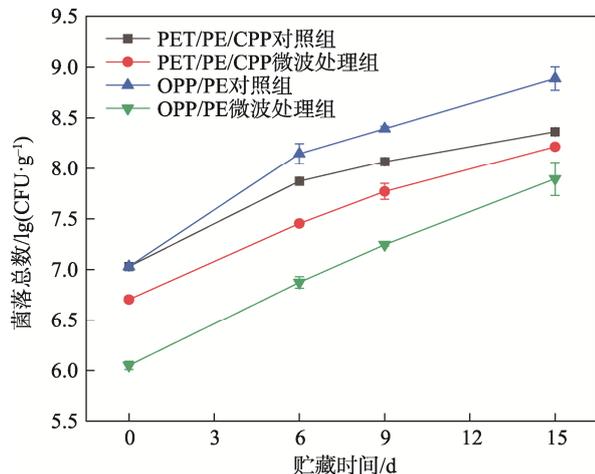


图 2 微波处理及不同包装材料对湿豆皮菌落总数的影响

Fig.2 Effects of microwave treatment and different packaging materials on the total number of bacteria in TWB

最大, 后趋于平缓。这是由于 OPP/PE 对照组未进行微波杀菌处理, 且 OPP/PE 材料的透氧性较大, 进一步促进了微生物繁殖分解碳水化合物, 导致 pH 值下降。第 3 天后, 湿豆皮内的碳水化合物逐渐减少, 导致 pH 的下降幅度开始减缓^[12]。OPP/PE 微波处理组样品的 pH 值在贮藏期间均显著高于其他处理组 ($P<0.05$), 这主要与 OPP/PE 微波处理组样品的菌落总数相对较少有关, 同时也说明初始带菌量小对维持湿豆皮的 pH 值有着显著效果。

2.4 水分含量的变化

湿豆皮的水分含量会对其组织结构、微生物生长、色泽等多方面产生显著影响。微波处理及不同包装材料对湿豆皮水分含量(用质量分数表示)的影响如图 4 所示, 在处理结束时, 各微波处理组样品的水

分含量显著低于对照组 ($P<0.05$)。这是由于对于湿豆皮这种含水量较高的食品, 微波主要作用于水, 水作为极性分子在电场中从无序旋转变为有序状态, 在此过程中氢键断裂产热, 使湿豆皮的温度在迅速上升的同时也促使其水分蒸发^[5]。其中, OPP/PE 微波处理组样品的水分含量极显著低于 PET/PE/CPP 微波处理组 ($P<0.01$), 充分说明 OPP/PE 材料的微波穿透性比 PET/PE/CPP 材料大。在贮藏过程中, PET/PE/CPP、OPP/PE 微波处理组与对照组相比, 微波处理组样品的水分含量流失速率均小于对照组。这是由于经微波处理后, 微生物数量相对较少, 初始带菌量较低, 减缓了湿豆皮中蛋白质持水力的下降^[13]。说明虽然微波处理刚开始会减少湿豆皮的水分含量, 但在长期贮藏中能有效延缓湿豆皮水分含量的下降。

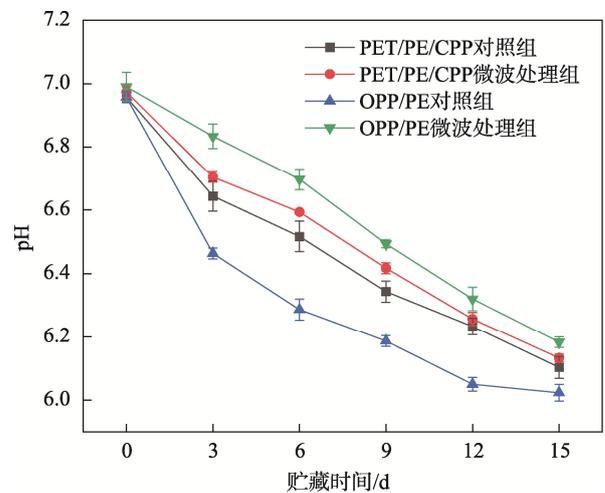


图 3 微波处理及不同包装材料对湿豆皮 pH 值的影响

Fig.3 Effects of microwave treatment and different packing materials on pH value of TWB

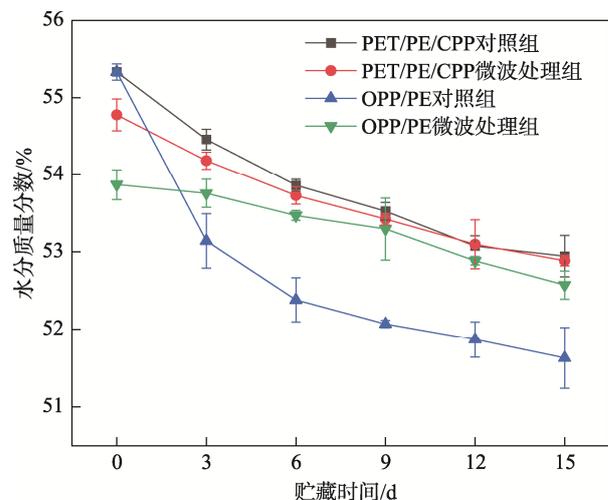


图 4 微波处理及不同包装材料对湿豆皮水分含量的影响

Fig.4 Effects of microwave treatment and different packaging materials on moisture content of TWB

2.5 拉伸性的变化

微波处理及不同包装材料对湿豆皮拉伸性的影响如图 5 所示。在处理结束时,各微波处理组样品的拉伸性极显著大于对照组 ($P<0.01$)。这主要与微波处理引起湿豆皮水分流失和蛋白质交联有关,并且 OPP/PE 微波处理组样品的拉伸性极显著高于 PET/PE/ CPP 微波处理组 ($P<0.01$),说明 OPP/PE 材料的微波穿透性强于 PET/PE/ CPP 材料,微波导致湿豆皮蛋白质交联和水分流失的程度较大。各处理组样品的拉伸性随着贮藏时间的延长,呈先上升后下降的趋势。这是因为在贮藏前期微生物的数量相对较少,拉伸性主要受到湿豆皮水分流失的影响而增大^[14]。

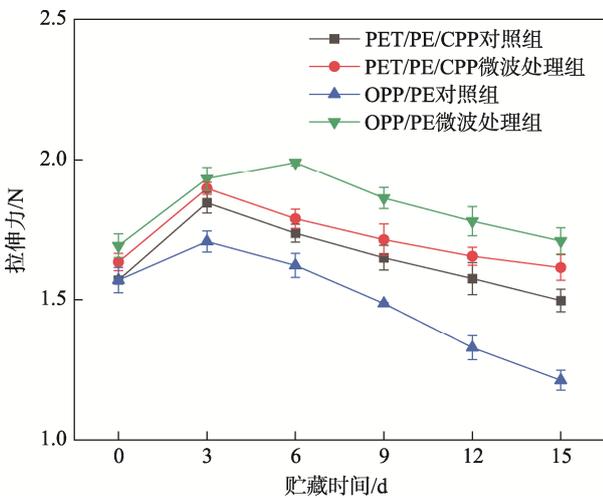


图 5 微波处理及不同包装材料对湿豆皮拉伸力的影响
Fig.5 Effects of microwave treatment and different packaging materials on tensile properties of TWB

2.6 顶空气体成分的变化

微波处理及不同材料对湿豆皮顶空气体成分的影响如图 6 所示。通过对比使用 PET/PE/ CPP 材料的 2 组样品的 O₂ 和 CO₂ 含量变化情况可知, PET/PE/ CPP 微波处理组样品的 O₂ 含量的下降速率和 CO₂ 的上升速率均较缓慢,但差异不大,说明使用 PET/PE/ CPP 材料的微波杀菌效果不佳。OPP/PE 对照组样品的顶空气体成分与 OPP/PE 微波处理组样品的顶空气体成分在贮藏后期差异极显著 ($P<0.01$),说明使用 OPP/PE 材料的微波杀菌效果显著。

2.7 硫代巴比妥酸值的变化

湿豆皮的脂质酸败除了与包装内氧气含量、微生物等密切相关外,微波处理也会促进湿豆皮的脂质氧化^[15]。由图 7 所示,在处理结束时, PET/PE/ CPP、OPP/PE 微波处理组样品的硫代巴比妥酸 (TBA) 值显

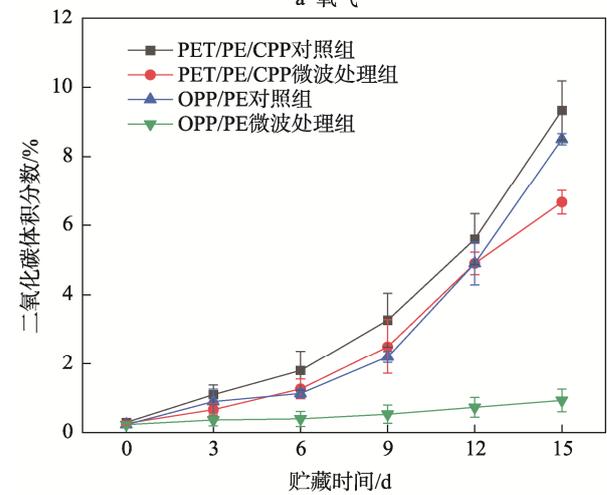
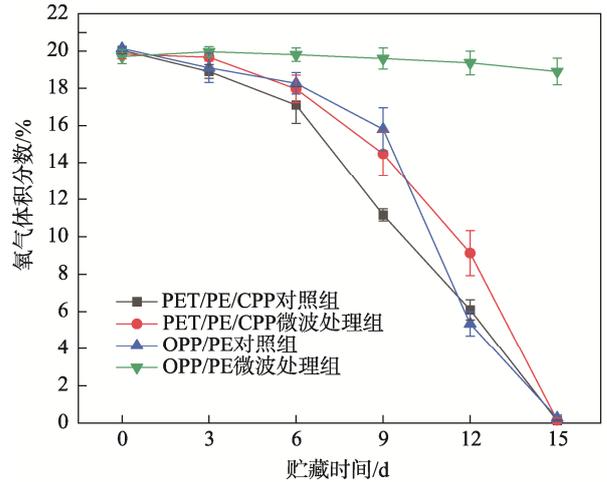


图 6 微波处理及不同包装材料对湿豆皮顶空气体成分的顶空气体成分的影响
Fig.6 Effects of microwave treatment and different packaging materials on the composition of TWB headspace

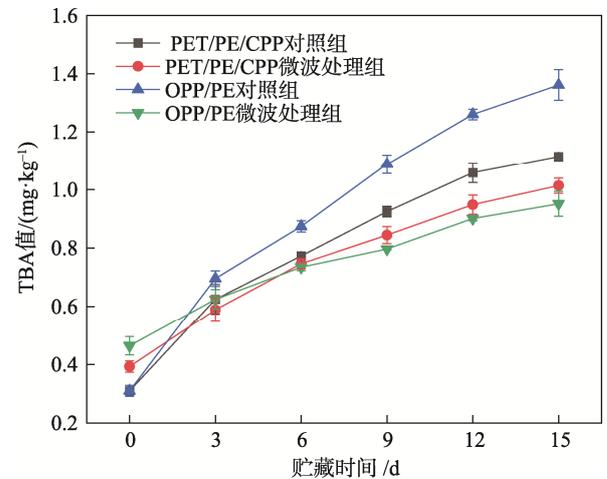


图 7 微波处理及不同包装材料对湿豆皮硫代巴比妥酸的影响
Fig.7 Effects of microwave treatment and different packaging materials on thiobarbituric acid value in TWB

著大于其他组 ($P<0.05$), 一方面是由于经微波处理后湿豆皮的温度上升, 促使湿豆皮发生了脂质氧化^[16]; 另一方面是由于微波本身也会促进湿豆皮的脂质氧化^[17]。各处理组样品的 TBA 值随着贮藏时间的延长呈现不同程度的上升, 其中 PET/PE/CPP、OPP/PE 对照组样品的 TBA 值上升速率相对较快, 尤其是 OPP/PE 对照组。这主要是由于各对照组样品的菌落总数相对较高, 且 OPP/PE 材料的透氧性较大, 致使微生物活动频繁。在贮藏过程中, PET/PE/CPP、OPP/PE 微波处理组样品的 TBA 值上升速率相对缓慢。尤其是 OPP/PE 微波处理组, 其 TBA 值在第 15 天时低于其他处理组, 且极显著低于 OPP/PE 对照组 ($P<0.01$)。这主要是由于 OPP/PE 微波处理组的杀菌效果较好, 能够有效减缓湿豆皮的脂质酸败^[18]。同时说明微波处理虽然会促进脂质氧化, 但从长远来看却能减缓湿豆皮的脂质酸败, 所以微波处理在减缓湿豆皮脂质酸败上具有积极作用。

2.8 挥发性盐基氮含量的变化

湿豆皮的挥发性盐基氮 (TVB-N) 含量主要与微生物分解蛋白质有关, 可以通过 TVB-N 含量表征微生物分解活动的活跃程度, 判定微波处理的杀菌效果^[19]。微波处理及不同包装材料对湿豆皮的影响情况如图 8 所示。在处理结束时, 各组湿豆皮的 TVB-N 含量组间差异不明显, 说明微波处理无明显影响。各处理组样品的 TVB-N 含量随着贮藏时间的延长不断上升, 其中 PET/PE/CPP 材料组在第 6 天之前的组间差异不显著 ($P>0.05$), 直至第 9 天时 PET/PE/CPP 微波处理组样品的 TVB-N 含量才显著小于 PET/PE/CPP 对照组 ($P<0.05$), 由此说明微波对 PET/PE/CPP 材料的穿透性较小, 对湿豆皮的杀菌效果不明显。通过对比同样使用 OPP/PE 材料的 2 组样品可知, OPP/PE 微波处理组样品的 TVB-N 含量上升趋势较缓慢, 在整个湿豆皮贮藏期间极显著低于 OPP/PE 对照组

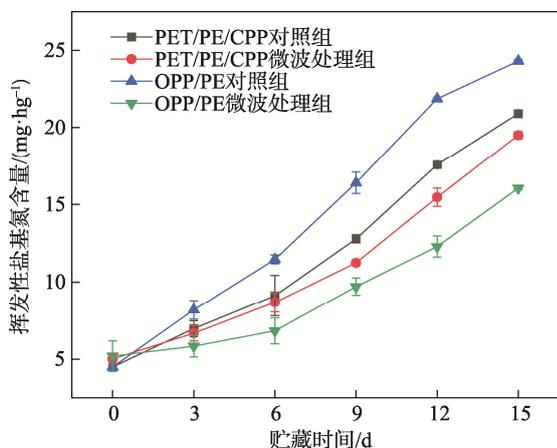


图 8 微波处理及不同包装材料对湿豆皮挥发性盐基氮含量的影响

Fig.8 Effects of microwave treatment and different packaging materials on content of total volatile basic nitrogen in TWB

($P<0.01$), 且在贮藏后期显著低于 PET/PE/CPP 材料的 2 组 ($P<0.05$), 由此说明微波对 OPP/PE 材料的穿透性较好, 对湿豆皮的杀菌效果显著。

2.9 色差的变化

随着贮藏时间的延长, 湿豆皮的色泽会加深且变得灰暗, 这与湿豆皮的水分含量、微生物、脂质氧化等密切关系。如图 9 所示, 随着湿豆皮贮藏时间的延长, 其 L^* 呈逐渐下降的趋势, b^* 略微上升。在处理结束时, PET/PE/CPP、OPP/PE 微波处理组样品的 L^* 不同程度地下降, b^* 不同程度地上升。这主要是由于微波处理促使湿豆皮水分流失, 脂质氧化后会产生一些深色物质, 导致湿豆皮的亮度下降、黄度上升, 且 OPP/PE 微波处理组样品的色差变化更明显。在贮藏后期, 微波处理组样品的色差变化相对减缓, 这主要是由于湿豆皮中的腐败微生物在贮藏期间会分泌一些橙色色素^[20], 而微波处理在一定程度上减少了微生物的数量。使用 OPP/PE 材料的 2 组样品的 L^* 在第 15 天时差异极显著 ($P<0.01$), 说明虽然 OPP/PE 材料的透氧性较大, 但是通过杀菌处理降低了湿豆皮的初始菌落总数, 在长期贮藏中可以有效保持湿豆皮的色差。

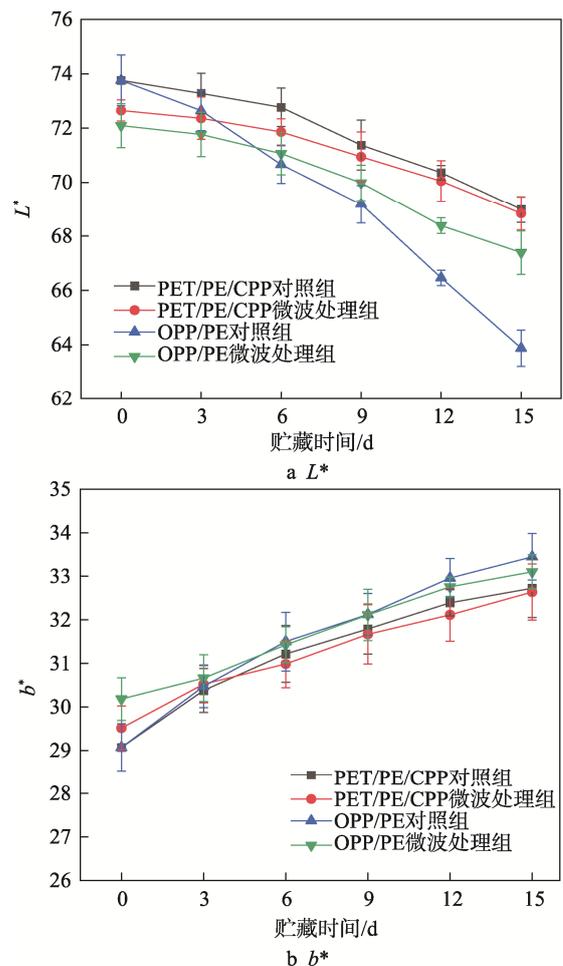


图 9 微波处理及不同包装材料对湿豆皮色差的影响

Fig.9 Effect of microwave treatment and different packaging materials on TWB color difference

2.10 感官评分的变化

微波处理及不同包装材料对湿豆皮感官评分的影响如图 10 所示。在处理结束时,微波处理组样品的感官评分与对照组相比略有下降,这可能是由于微波处理促使湿豆皮脂质氧化,使得样品的色泽略有加深^[21],但差异不显著,说明微波处理对湿豆皮感官品质的影响不大,微波杀菌技术作为湿豆皮的杀菌技术是可行的。根据感官评定标准,当感官评分低于 5 分后则失去商品性,故 PET/PE/PP 微波处理能将样品的保质期延长至 12 d 左右。OPP/PE 微波处理组样品的感官评分始终维持在较高水平,其下降主要与湿豆皮的色泽加深有关,较少受到气味、质地等的影响,能延长保质期至 15 d 左右。说明微波穿透性和初始带菌量对湿豆皮的感官品质有着极其重要的影响,微波穿透性越大,初始带菌量越小,湿豆皮的保质期越长。

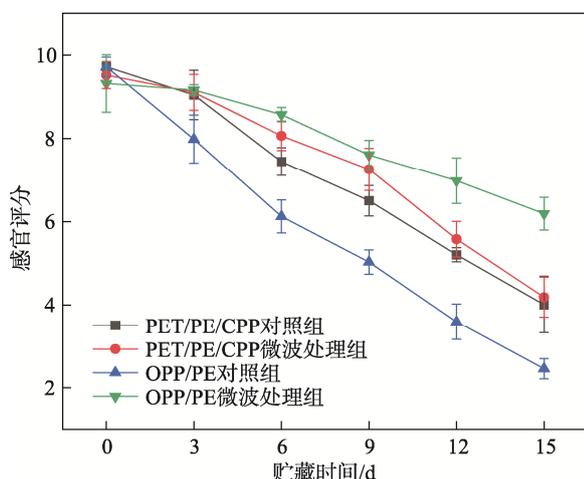


图 10 微波处理及不同包装材料对湿豆皮感官评分的影响

Fig.10 Effects of microwave treatment and different packaging materials on sensory evaluation of TWB

3 结语

微波处理能够有效延长湿豆皮的保质期,且对不同包装材料的湿豆皮品质的影响差异显著。在相同的微波功率及时间作用下,OPP/PE 组样品的表面温度比 PET/PE/PP 组的表面温度高,其菌落总数更少。说明微波更易穿透 OPP/PE 包装材料,微波强度更大,杀菌效果更明显,能更有效地减缓 pH 值的下降,以及顶空气中氧气含量的下降和二氧化碳的上升,在长期贮藏中能更有效地延缓样品水分含量和拉伸性的下降及 TVB-N 含量的上升,抑制组织结构被破坏,减缓脂质酸败的速率,减小色差的变化幅度,在贮藏期间维持样品更高的感官评价得分。此外,OPP/PE

材料的成本更低,采用简单、低价的普通家用真空包装机及家用微波炉,即可实现延长样品保鲜期的目标,大大降低了成本,并提高了可操作性,有助于小商户实现电商远距离快递销售,扩大了销售半径,增加了自身收入。

参考文献:

- [1] 曲敏,陈红丽,王宇,等.传统豆制品腐败菌污染及抑制研究进展[J].食品科学技术学报,2022,40(3):167-178.
QU Min, CHEN Hong-li, WANG Yu, et al. Research Progress of Spoilage Bacteria Pollution and Inhibition of Traditional Soy Products[J]. Journal of Food Science and Technology, 2022, 40(3): 167-178.
- [2] 李蓉,林海滨.食品杀菌新技术应用研究进展[J].现代食品,2022,28(12):63-67.
LI Rong, LIN Hai-bin. Research Progress on Application of New Food Sterilization Technology[J]. Modern Food, 2022, 28(12): 63-67.
- [3] 曹芸榕,吴任之,饶钧玥,等.微波及其联合杀菌技术在食品中的应用研究进展[J].微生物学杂志,2022:1-8.
CAO Yun-rong, WU Ren-zhi, RAO Jun-yue, et al. Progress in the Application of Microwave and Its Combined Sterilization Technology in Food[J]. Journal of Microbiology, 2022: 1-8.
- [4] 戴若平,王霞.食品加工中的杀菌技术应用研究[J].食品安全导刊,2022(3):130-132.
DAI Ruo-ping, WANG Xia. Research on Application of Sterilization Technology in Food Processing[J]. China Food Safety Magazine, 2022(3): 130-132.
- [5] SONI A, SMITH J, THOMPSON A, et al. Microwave-Induced Thermal Sterilization- a Review on History, Technical Progress, Advantages and Challenges as Compared to the Conventional Methods[J]. Trends in Food Science & Technology, 2020, 97: 433-442.
- [6] 王坤,卢立新.微波食品包装在改善其加热缺陷方面的研究进展[J].包装工程,2012,33(9):139-142.
WANG Kun, LU Li-xin. Research Progress of Microwave Food Packaging in Improving Their Heating Defects[J]. Packaging Engineering, 2012, 33(9): 139-142.
- [7] 杨涛,杨铄冰.微波食品塑料包装材料[J].塑料包装,2018,28(1):22-25.
YANG Tao, YANG Shuo-bing. Plastic Food Packaging Materials Suitable for Microwave Heating[J]. Plastics Packaging, 2018, 28(1): 22-25.
- [8] 王建清,邱桂斌,梁国权.微波处理对塑料薄膜包装

- 材料阻隔性能影响的研究[J]. 包装工程, 2004, 25(2): 7-8.
- WANG Jian-qing, QIU Gui-bin, LIANG Guo-quan. Study of the Inference of Microwave Treatment to Barrier Performance of the Plastic Film[J]. Packaging Engineering, 2004, 25(2): 7-8.
- [9] HUANG Zhan-rui, ZHOU Heng-ping, JIANG Qiong-hua, et al. Study on the Quality Change and Deterioration Mechanism of Leisure Dried Tofu under Different Storage Temperature Conditions[J]. LWT, 2022, 172: 114257.
- [10] 王睿智. 水质对干豆腐品质的影响机制及调控技术[D]. 哈尔滨: 哈尔滨商业大学, 2021: 39-40.
- WANG Rui-zhi. Influence Mechanism and Regulation Technology of Water Quality on Dried Tofu Quality[D]. Harbin: Harbin University of Commerce, 2021: 39-40.
- [11] WANG Li-mei, CHEN Qian-ru, ZHANG Jin, et al. Effect of Modified Atmosphere Packaging Materials on Physicochemical and Selected Enzyme Activities of *Agaricus Bernardii*[J]. Journal of Food Process Engineering, 2021, 44(3): 1-15.
- [12] LEE J S, KIM G N, JANG H D. Effect of Red Ginseng Extract on Storage and Antioxidant Activity of Tofu[J]. Journal of the Korean Society of Food Science and Nutrition, 2008, 37(11): 1497-1506.
- [13] YE Tao, CHEN Xing, CHEN Zhi-na, et al. Loss of Immobilized Water and Intense Protein Aggregation Responsible for Quality Deterioration of Ready to Eat Firm Tofu[J]. Journal of Texture Studies, 2021, 52(4): 492-500.
- [14] 江连洲, 冉安琪, 贾子璇, 等. 不同贮藏期大豆蛋白对千页豆腐品质的影响[J]. 农业工程学报, 2019, 35(20): 311-318.
- JIANG Lian-zhou, RAN An-qi, JIA Zi-xuan, et al. Effect of Soy Protein on the Quality of Qianye Tofu in Different Storage Periods[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2019, 35(20): 311-318.
- [15] 王振, 许光映, 高忠东, 等. 微波加热对亚麻籽油品质及脂肪酸组成的影响[J]. 粮食与油脂, 2022, 35(9): 74-76.
- WANG Zhen, XU Guang-ying, GAO Zhong-dong, et al. Effect of Microwave Heating on Quality and Fatty Acid Composition of Linseed Oil[J]. Cereals & Oils, 2022, 35(9): 74-76.
- [16] WEBER J, BOCHI V C, RIBEIRO C P, et al. Effect of Different Cooking Methods on the Oxidation, Proximate and Fatty Acid Composition of Silver Catfish (*Rhamdia Quelen*) Fillets[J]. Food Chemistry, 2008, 106(1): 140-146.
- [17] BRONCANO J M, PETRÓN M J, PARRA V, et al. Effect of Different Cooking Methods on Lipid Oxidation and Formation of Free Cholesterol Oxidation Products (COPs) in *Latissimus Dorsi* Muscle of Iberian Pigs[J]. Meat Science, 2009, 83(3): 431-437.
- [18] DEVI A F, AU X N, WEERAKKODY R, et al. Microwave Pasteurised Pear Snack: Quality and Microbiological Stability[J]. Food and Bioprocess Technology, 2021, 14(9): 1615-1630.
- [19] HOLMAN B W B, BEKHIT A E D A, WALLER M, et al. The Association between Total Volatile Basic Nitrogen (TVB-N) Concentration and other Biomarkers of Quality and Spoilage for Vacuum Packaged Beef[J]. Meat Science, 2021, 179: 108551.
- [20] FOUAD K E, HEGEMAN G D. Microbial Spoilage of Tofu (Soybean Curd)[J]. Journal of Food Protection, 1993, 56(2): 157-164.
- [21] 李加双, 张良, 王晶, 等. 热处理方式对豆腐品质特性的影响[J]. 食品与发酵工业, 2019, 45(23): 142-148.
- LI Jia-shuang, ZHANG Liang, WANG Jing, et al. Effects of Different Heat Treatments on the Quality and Characteristics of Tofu[J]. Food and Fermentation Industries, 2019, 45(23): 142-148.