

贴体包装对湿豆皮保鲜品质的影响

舒丽洁, 段志蓉, 廖雯, 周俞含, 骆佳, 张敏*
(西南大学 食品科学学院, 重庆 400715)

摘要: **目的** 研究贴体包装对湿豆皮在贮藏过程中保鲜品质的影响。**方法** 分别设置贴体包装+脱氧组、贴体包装组、非贴体包装+脱氧组、非贴体包装组, 研究贴体包装及其在是否脱氧的环境下对湿豆皮保鲜品质的影响。**结果** 贮藏期间, 进行贴体包装处理的2个实验组对菌落总数的抑制效果均优于非贴体包装处理的2组, 第6天时, 非贴体包装+脱氧组的菌落总数已高达7.72 lg(CFU/g), 极显著大于贴体包装+脱氧组, 可见即使采用有利于保鲜的脱氧技术, 非贴体包装依然会促使微生物生长。同时贴体包装比非贴体包装能更显著抑制脂质氧化、褐变、TVB-N含量增加、剪切力降低。**结论** 光靠脱氧处理不能很好地解决非贴体包装带来的负面影响, 而通过采用贴体包装的方式能更有效地延缓湿豆皮的品质劣变。

关键词: 湿豆皮; 贴体包装; 保鲜

中图分类号: TB485.9; TS205.9; TS206.6 文献标识码: A 文章编号: 1001-3563(2023)21-0161-08
DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2023.21.020

Effect of Skin Packaging on Freshness Quality of Thin Sheets of Wet Bean Curd

SHU Li-jie, DUAN Zhi-rong, LIAO Wen, ZHOU Yu-han, LUO Jia, ZHANG Min*

(College of Food Science, Southwest University, Chongqing 400715, China)

ABSTRACT: The work aims to study the effect of skin packaging on the freshness quality of thin sheets of wet bean curd (TWB) during storage. Skin packaging + deoxygenation group, skin packaging group, inflatable packaging + deoxygenation group and inflatable packaging group were provided respectively to study the effect of skin packaging and deoxygenation environment on the freshness quality of TWB. During storage, the inhibition of total bacterial colonies in the two experimental groups treated with skin packaging was better than that in the two groups treated with inflatable packaging, and the total bacterial colonies in the inflatable packaging + deoxygenation group were already as high as 7.72 lg(CFU/g) on day 6, which was significantly greater than that in the skin packaging + deoxygenation group, showing that even with the use of deoxygenation technology, which was beneficial for preservation, inflatable packaging still promoted microbial growth. At the same time, the skin packaging could inhibit lipid oxidation, browning, increase in TVB-N content and decrease in shear force more significantly than the inflatable packaging. The negative effects of inflatable packaging cannot be solved well by deoxygenation treatment alone, and the quality deterioration of TWB can be delayed more effectively with skin packaging.

KEY WORDS: thin sheets of wet bean curd (TWB); skin packaging; preservation of freshness

湿豆皮 (Thin Sheets Of Wet Bean Curd, TWB) 又名千张, 是豆腐制品的一种, 含有人体必需的8种氨基酸, 其卵磷脂可以降低血液中胆固醇含量, 减少动脉粥样硬化的发生, 能有效预防心血管疾病, 保护

心脏^[1]。湿豆皮虽营养丰富深受消费者喜爱, 却不耐贮藏, 在常温下1~2 d^[2]品质就会严重劣变, 从而失去食用价值。目前商户对湿豆皮的包装认识十分简单, 没有包装或者进行简陋包装后就予以流通, 其保

鲜时间短,品质劣变严重。

食品从业人员对湿豆皮包装内含氧量有一定的了解,知道包装内含氧量对湿豆皮品质劣变速率有着重要影响,因此无氧充氮或无氧充二氧化碳^[3-5]的气调包装被认为是很好的包装方式。但很少有人研究即使在无氧情况下,包装不贴体是否会对产品保鲜品质产生影响,这一方面存在较大空白。本实验通过控制无菌空气的充入与否和脱氧剂的使用与否来探究贴体包装对湿豆皮保鲜的影响,为湿豆皮的包装保鲜提供科学依据。

1 实验

1.1 材料与仪器

主要材料:对采购回来的新鲜湿豆皮(购于重庆市北碚区永辉超市)在经过紫外灯照射 30 min 的超净台进行无菌分装处理,整个分装过程在酒精灯火焰旁完成,包装袋采用尼龙/聚乙烯/流延聚丙烯(PA15 μm/PE15 μm/CPP30 μm,购于上海义光包装设备制造有限公司)复合包装材料(尺寸为 17 cm×23 cm、透氧性 65 cm³/(m²·24 h·0.1 MPa))。注入无菌空气方式采用一次性医用推注式大号给药器(购于余姚市通济医疗器械有限公司)在超净台里抽取酒精灯附近的无菌空气待其充分冷却后,将给药器针头通过包装袋上的硅胶片插入包装中注入,来形成包装不贴体环境。

主要仪器:MLtraScan® PRO 色度仪,上海一恒科学仪器有限公司;K9860 凯氏定氮仪,海能仪器公司;TA-XT plus 物性测定仪,英国 Stable Micro System 公司;HHWS-III-300 恒温恒湿培养箱,上海跃进医疗器械有限公司;PHS-3E 雷磁 pH 计,上海精密科技有限责任公司;L5S 紫外可见分光光度计,上海仪电分析仪器有限公司。

1.2 方法

1.2.1 样品准备

将无菌分装后的湿豆皮分为 4 组处理:A 组为贴体包装+脱氧组,即将湿豆皮单层平铺并与 2 包脱氧剂(铁系脱氧剂,质量为 5 g/包,主要成分为还原铁粉、树脂、二氧化硅、氯化钠、活性炭、水,购于欣荣天丽科技实业有限公司)一起装入包装袋,再压平封口,使包装袋贴紧豆皮;B 组为贴体包装组,即将湿豆皮单层平铺装入包装袋后压平封口,使包装袋贴紧豆皮;C 组为非贴体包装+脱氧组,即将湿豆皮单层平铺,并与 2 包脱氧剂一起装入包装袋,并压平封口,再注入 800 mL 无菌空气至包装袋鼓胀,形成非贴体包装环境;D 组为非贴体包装组,即将湿豆皮单层平铺装入包装袋后压平封口,再注入 800 mL 无菌空气至包装袋鼓胀。所有湿豆皮样品分装处理完后,于 4 °C 冷鲜柜低温贮藏,分别测定第 0、3、6、9、12、15 天的各项指标。每袋湿豆皮为(25±5)g。

1.2.2 测试指标

1.2.2.1 水分含量

按 GB 5009.3—2016《食品安全国家标准 食品中水分的测定》执行,测定包装中湿豆皮的水分含量。

1.2.2.2 菌落总数

按 GB 4789.2—2022《食品安全国家标准 食品微生物学检验 菌落总数测定》执行,测定每组中湿豆皮的菌落总数。

1.2.2.3 pH 值

参考 Huang 等^[6]的方法,略有改动。取 10 g 样品,加 90 mL 蒸馏水,均质过滤后用 pH 计测定。

1.2.2.4 剪切力

参考王睿智^[7]的方法,略有改动。使用 TA-XT plus 物性测定仪测定湿豆皮样品的剪切力,测定参数和方法:测前速率为 1 mm/s,测定速率为 1 mm/s,测后速率为 5 mm/s,触发力为 5 g,设定压缩程度为 80%。切分湿豆皮后堆叠至 2 cm 厚,用 A/MORS 探头进行剪切测定。

1.2.2.5 拉伸性

参考王睿智^[7]的方法,略有改动。使用 TA-XT plus 物性测定仪测定湿豆皮样品的拉伸性,测定参数和方法: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 5 g。用 A/NPLT 样品制备工具将湿豆皮样品剪切为环形,再将样品套到 A/SPR 探头上做拉伸测试。

1.2.2.6 色差

使用 MLtraScan® PRO 色度仪测试湿豆皮的色差。 L^* 值的大小代表湿豆皮的明暗度, L^* 值高颜色偏亮, L^* 值低颜色偏暗; b^* 值代表湿豆皮的黄蓝色, b^* 值高颜色偏黄, b^* 值低颜色偏蓝。

1.2.2.7 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》中分光光度法测定湿豆皮中硫代巴比妥酸(TBA)值。测定的丙二醛(MDA)含量标准曲线如图 1 所示。

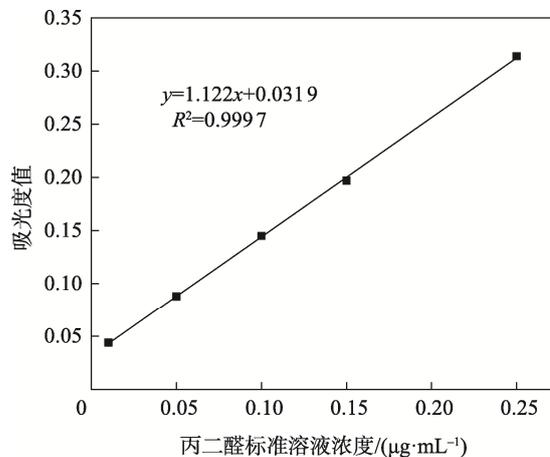


图 1 丙二醛(MDA)含量测定标准曲线
Fig.1 Standard curve of malondialdehyde (MDA) content determination

1.2.2.8 挥发性盐基氮含量

参考 GB 5009.228—2016《食品安全国家标准 食品中挥发性盐基氮的测定》中自动凯氏定氮仪法, 略有改动。称取搅碎后的湿豆皮 20 g, 加入 100 mL GB/T 6682—2008《分析实验室用水规格和试验方法》规定的三级水, 不时振摇, 试样在样液中分散均匀, 浸渍 30 min 后过滤。准确移取 10 mL 滤液加入消化管内, 加入 1.0 g 氧化酶, 进行蒸馏测试, 设置测定参数: 蒸馏时间为 7 min, 蒸汽流量为 80%, 硼酸为 25 mL, 稀释水和碱为 0 mL, 滴定酸浓度为 0.1 mol/L。

1.2.2.9 感官评价

参考王睿智^[7]方法, 感官评定由 5 位经过感官培训的评定员完成, 共 4 个评价项目, 分别为色泽、异味、黏度、质地, 感官指标评定标准如表 1 所示。

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

评分	色泽	异味	是否发黏	质地
7.1~9	色泽微黄 有光泽	无异味	无发黏	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

1.3 数据分析

使用 Origin 2022 和 SPSS 软件进行数据差异性比较和相关性分析。

2 结果与分析

2.1 水分含量的变化

贴体包装对湿豆皮水分含量的影响如图 2 所示, 所有处理组水分含量均呈不同程度的下降趋势, 这与张园园等^[8]对复配保鲜剂保鲜干豆腐的研究中水分含量中后期的变化情况相似。其中非贴体包装的 C、D 处理组在贮藏初期水分含量下降较快, 在第 6 天后有逐渐减小的趋势, 这一方面可能是由于非贴体包装的初始包装顶空量较大促使湿豆皮内部的水分迁移到表面, 随后水分流失到包装内, 不易恢复到湿豆皮内部所致; 另一方面是由于 C、D 处理组微生物数量相对较高所致, 但在贮藏后期包装内相对湿度过饱和形成冷凝水滴落在湿豆皮表面, 减缓了水分含量的下降^[9]。其中 C 组水分含量在贮藏期间均显著高于 D 组 ($P<0.05$), 这是由于 C 组包装内 O_2 含量较低抑制了菌落总数的增长, 从而减轻湿豆皮中蛋白质分解,

水分流失也随之减缓^[10]。贴体包装的 A、B 处理组水分含量变化幅度不大, 其中 B 组水分含量在第 3 天后与 A 组形成显著性差异 ($P<0.05$), 这说明贴体包装对维持湿豆皮水分含量有积极作用, 如在此基础上再进行脱氧处理能有效抑制微生物大量繁殖分解蛋白质, 能够更好地保持湿豆皮水分含量。

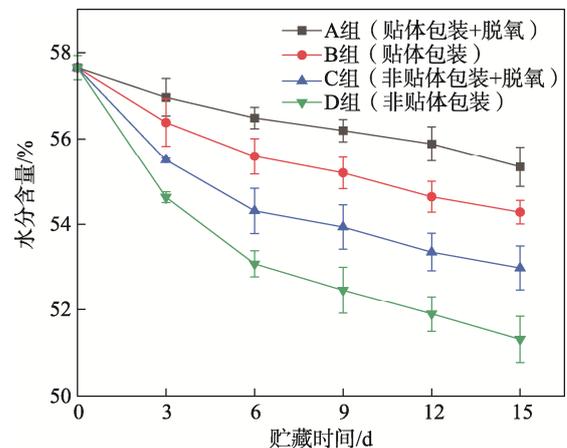


图 2 贴体包装对湿豆皮水分含量的影响

Fig.2 Effect of skin packaging on moisture content of TWB

2.2 菌落总数的变化

在有氧环境下, 微生物的生长代谢速率要快于在缺氧环境下的生长代谢速率, 包装内 O_2 含量受到初始顶空量和包装材料两方面的影响, 在包装材料透氧性较低的情况下, 主要受初始顶空量影响, 本试验采用的包装材料透氧性较低, 如若不采用贴体包装方式, 则初始顶空量大, 那么可供微生物进行有氧呼吸的氧气量大, 在短时间内不会被消耗完形成缺氧环境。如图 3 所示, B、C 和 D 处理组湿豆皮的菌落总数均呈大幅度上升的趋势, 这与林碧莲等^[11]报道的预包装豆腐研究情况相似, 但 A 组菌落总数基本持平, 极显著低于 B、C 和 D 处理组 ($P<0.01$), 这说明在采用贴体包装方式的基础上维持包装内低氧环境, 可以有效抑制微生物的生长繁殖。非贴体包装的 C、D 组菌落总数在第 6 天后极显著大于 B 组 ($P<0.01$), 原因是多方面的, 首先非贴体包装使得包装内顶空量大, 湿豆皮易发生水分流失, 再加上其本身表面积大且轻薄, 更容易出现质量损失现象, 水分流失使湿豆皮形成气孔, 为微生物侵入提供了条件^[10]; 其次是由于加工食品的包装材料透湿性一般较低, 一旦湿豆皮质量损失速率大于包装材料透过水蒸气的速率, 就会导致包装内相对湿度过饱和和形成冷凝水^[12], 并且将常温下包装的湿豆皮放入低温下贮藏, 有一个变温过程, 这个明显的温度波动也会促进冷凝水形成^[13], 这些冷凝水滴落在湿豆皮表面会促进微生物生长代谢; 其三可能是非贴体包装的包装内初始顶空量较大, 利

用脱氧的这段时间,微生物在贮藏前期已经形成一个较大的基数。

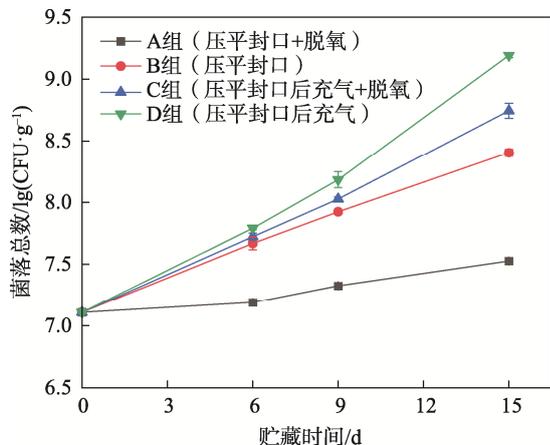


图3 贴体包装对湿豆皮菌落总数的影响

Fig.3 Effect of skin packaging on total number of TWB colony

2.3 pH值的变化

采用pH计测定湿豆皮pH值在贮藏期间的变化,可以作为判断湿豆皮腐败变质的依据^[11]。贴体包装对湿豆皮pH值的影响如图4所示,所有处理组pH值均呈不同程度的下降趋势,并且贴体包装的A、B组下降速率明显低于非贴体包装的C、D组,且贴体包装并进行脱氧处理的A组下降速率更缓慢,这主要是由于C、D组微生物数量相对较多,且A组菌落总数基本无增长。可见无论是否进行脱氧处理,贴体包装更能抑制微生物生长,抑制微生物代谢碳水化合物产酸,从而更能抑制pH降低,比非贴体包装的处理组更能达到保鲜湿豆皮的效果。但D组在第12天后有上升的趋势,这是由于D组在贮藏后期微生物数量相对较高,引起蛋白质大量降解造成氨类等碱性物质积累,促使pH值上升^[14],这与张园园等^[8]的研究结果一致。A组的下降速率最缓,在整个贮藏期间都极显著高于B组($P<0.01$),这是由于在贴体包装的基础上进行脱氧处理能够有效抑制微生物生长繁殖,减轻其对湿豆皮内碳水化合物的分解作用。B组的pH值在第9天后下降趋势有所减缓,这可能与湿豆皮内的碳水化合物含量逐渐被耗尽有关,C、D组的pH值在贮藏中后期下降趋势减缓均是基于此原理。C组的pH值从第3天开始直至第12天均与D组形成显著性差异($P<0.05$),这主要是由于D组O₂含量较高促进了微生物生长代谢,大量分解湿豆皮中碳水化合物,引起pH值大幅度下降^[15],加速湿豆皮腐败变质。

2.4 剪切力的变化

剪切力可以用来衡量湿豆皮的咀嚼性,随着湿豆皮水分含量越高越容易咀嚼,即剪切力越小,其剪切力也受湿豆皮内腐败微生物影响。如图5所示,各处

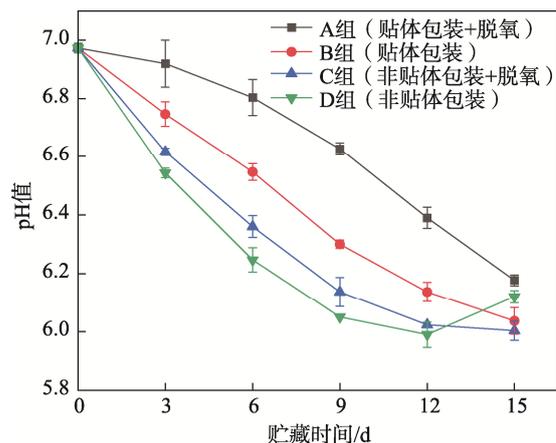


图4 贴体包装对湿豆皮pH值的影响

Fig.4 Effect of skin packaging on pH value of TWB

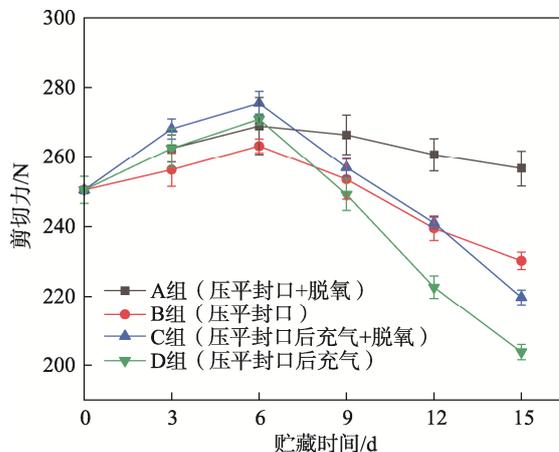


图5 贴体包装对湿豆皮剪切力的影响

Fig.5 Effect of skin packaging on shear force of TWB

理组湿豆皮剪切力在贮藏前期有一个短暂上升的过程,在第6天后呈整体下降的趋势。这是由于在贮藏前期湿豆皮中微生物的数量相对较少,剪切力主要受水分含量的影响,水分流失引起湿豆皮剪切力短暂的上升^[16]。其中非贴体包装的C、D处理组剪切力上升幅度均大于贴体包装的处理组,这主要是因为非贴体包装的初始顶空量较大加快了湿豆皮的水分流失。在贮藏后期非贴体包装的C、D处理组剪切力下降幅度均大于贴体包装的A、B处理组,这是由于C、D处理组贮藏后期包装内的冷凝水滴落在湿豆皮表面,加大的湿豆皮表面含水量,同时这些冷凝水也促进了微生物的生长代谢,加快了蛋白质的分解^[17],加速了湿豆皮腐败变质。由此可见,无论脱氧与否,非贴体包装的样品会比贴体包装的样品更快腐败变质。但C组的剪切力在整个贮藏期间都略高于D组,这主要是因为C组进行了脱氧处理,在一定程度上抑制了微生物生长繁殖分解蛋白质。A组剪切力在整个贮藏期间的波动不大,与B组形成显著性差异($P<0.05$),甚至在贮藏后期还略高于初始剪切力。这是由于在贴

体包装的基础上维持较低的 O_2 含量能够有效抑制微生物繁殖, 湿豆皮的水分流失到包装内不易回复, 引起剪切力略有上升^[18]。

2.5 拉伸性的变化

拉伸测试是用来测试湿豆皮抵抗形变的能力, 与其内部的结合力密切相关。根据图 6 可得, 各处理组的湿豆皮拉伸性均呈先上升后下降的趋势。这主要是由于贮藏前期湿豆皮菌落总数较少, 拉伸性主要受湿豆皮水分含量影响, 水分流失引起的拉伸性短暂增大, 贮藏后期微生物数量急剧上升降解了维持湿豆皮内部结合力的蛋白质。在贮藏前期非贴体包装的 C、D 处理组拉伸性显著大于贴体包装的 A、B 处理组 ($P<0.05$), 但在第 6 天后急剧下降最终均显著小于贴体包装的 A、B 处理组 ($P<0.05$)。这是由于在贮藏前期非贴体包装的初始顶空量大促使水分流失, 但拉伸性在第 6 天后受微生物大量降解蛋白质的影响而显著减小^[18-19]。其中 C 组拉伸性与 D 组形成显著性差异 ($P<0.05$), 主要是受菌落总数的影响, C 组的微生物数量小于 D 组的, 即 C 组蛋白质的降解程度小于 D 组。A 组拉伸性在贮藏期间变化幅度不大, 并且在第 6 天后显著大于 B 组 ($P<0.05$), 这说明在贴体包装的情况下, 进行脱氧处理能够有效保持湿豆皮的口感。

2.6 色差的变化

湿豆皮的色泽会随着贮藏时间的延长而发生改变, 降低消费者的购买欲望, 而微生物繁殖、水分流失和油脂氧化等都会加速此变化。如图 7a~b 所示, 随贮藏时间增加, 各样品 L^* 值呈总体下降趋势, b^* 值呈逐渐增加的趋势, 这与郑奥泽^[2]的研究结果相似。非贴体包装的 C、D 处理组 L^* 值有一个短暂的上升趋势后大幅度下降, b^* 值在贮藏前期略小于贴体包装的 A、B 处理组, 在第 3 天后显著增大。这可能是因为在贮藏前期湿豆皮微生物数量相对较少, 色泽受到

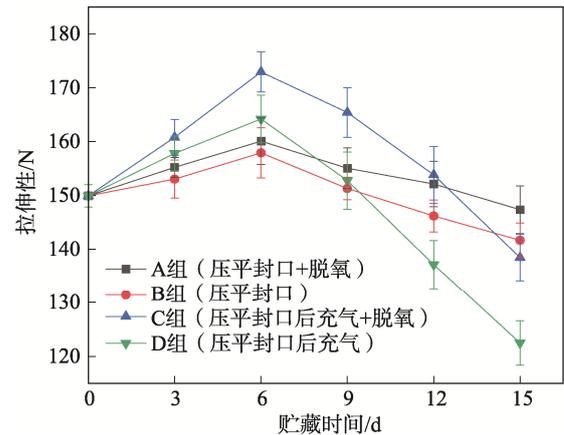


图 6 贴体包装对湿豆皮拉伸性的影响
Fig.6 Effect of skin packaging on tensile properties of TWB

其水分含量的影响较大, 非贴体包装的初始顶空量较大, 会促进湿豆皮内部水分迁移至表面, 导致其表面的亮度值增大^[20], 黄度 b^* 值变化不显著, 但在第 3 天后湿豆皮微生物大量繁殖, 降解蛋白质使其持水力下降, 水分流失, 微生物还会分泌一些橙色色素至细胞外, 另湿豆皮油脂氧化会生成一些深色物质, 致使其色泽变暗, 黄度 b^* 值增大^[21]。贴体包装的 A、B 处理组 L^* 值、 b^* 值变化均不明显, 说明贴体包装对湿豆皮色泽影响显著, 能够较好地维持湿豆皮的原有色泽。其中 A 组 L^* 值和 b^* 值在贮藏末期第 15 天时均与 B 组形成极显著差异 ($P<0.01$), 这说明在贴体包装的基础上进行脱氧处理能够进一步维持好湿豆皮的原有色泽。

2.7 硫代巴比妥酸值的变化

油脂酸败主要受到氧含量、水分和微生物等因素的影响, 通常使用 TBA 值表征油脂酸败的程度。如图 8 所示, 所有处理组 TBA 值在贮藏期间均不同程度的增大, 这与赵钜阳等^[22]报道的抗氧化型轻食干叶

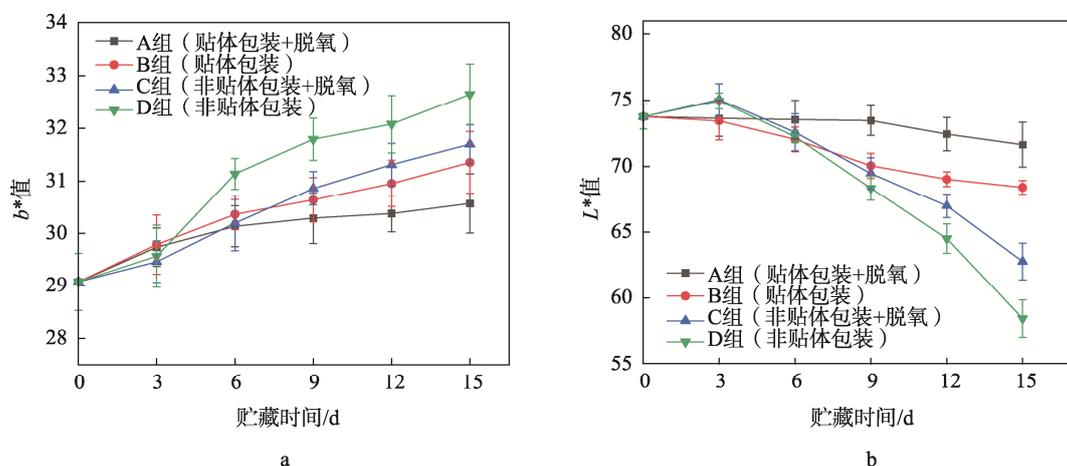


图 7 贴体包装对湿豆皮色差的影响
Fig.7 Effect of skin packaging on TWB color difference

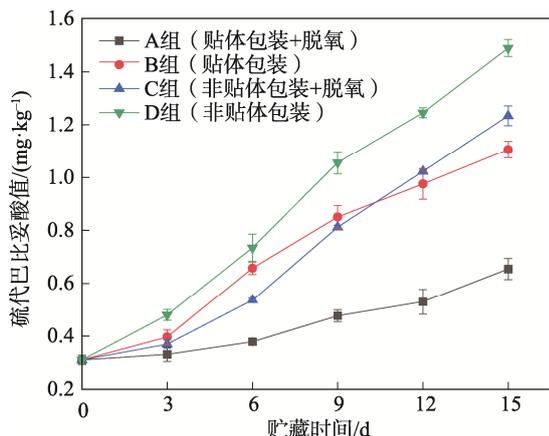


图8 贴体包装对湿豆皮硫代巴比妥酸 (TBA) 值的影响

Fig.8 Effect of skin packaging on thiobarbituric acid (TBA) value of TWB

豆腐的研究情况相似。其中 D 组在贮藏期间的增长量最大,显著高于其他处理组 ($P<0.05$),这主要是由于非贴体包装的 D 组初始顶空量大导致其包装内含氧量较高,且受冷凝水的影响,微生物大量繁殖,加速了油脂的酸败^[23]。同样非贴体包装的 C 组 TBA 值在贮藏前期增长缓慢的原因主要是包装内含氧量较低的缘故,但后期受到冷凝水的影响,微生物大量繁殖,加速了油脂酸败。贴体包装的 A、B 组 TBA 值在贮藏期间差异显著 ($P<0.05$),由此说明在采用贴体包装的情况下,降低包装内 O_2 含量能有效抑制油脂酸败。

2.8 挥发性盐基氮含量的变化

TVB-N 含量可以表征湿豆皮蛋白质的腐败变质程度,与湿豆皮的水分含量、组织结构等密切相关。如图 9 所示,各处理组 TVB-N 含量均呈上升趋势,这与杨立娜等^[1]报道的 Nisin 及纳他霉素生物保鲜剂

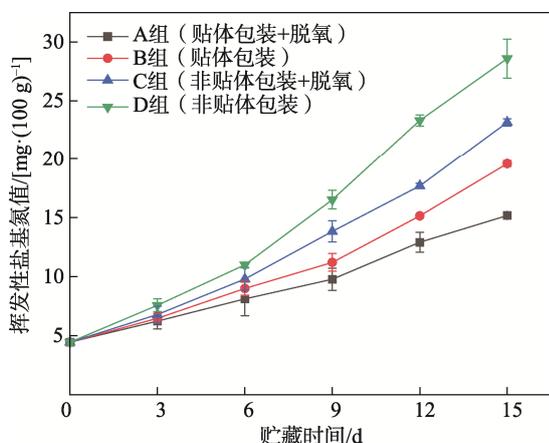


图9 贴体包装对湿豆皮挥发性盐基氮 (TVB-N) 含量的影响

Fig.9 Effects of skin packaging on content of total volatile base nitrogen (TVB-N) in TWB

保鲜豆腐的研究结果一致。其中非贴体包装的 C、D 处理组 TVB-N 含量在第 6 天后显著大于贴体包装的 A、B 处理组 ($P<0.05$),这是由于贮藏后期受冷凝水等影响微生物大量繁殖引起蛋白质降解,氨类等挥发性物质增多。在贴体包装的前提下,进行脱氧处理的 A 组 TVB-N 含量在贮藏后期显著低于未进行脱氧处理的 B 组 ($P<0.05$)。这充分说明在贴体包装的前提下,湿豆皮包装内含氧量越低越能有效抑制微生物的分解作用。

2.9 感官评价的变化

所有理化指标的变化最后都体现在湿豆皮的感官品质上,感官鉴定是最直接鉴别湿豆皮腐败变质的方法,也较好地弥补了理化指标测定的繁琐以及延后性^[24]。如图 10 所示,非贴体包装的 C、D 处理组感官评价得分均呈快速下降的趋势,且组间无显著性差异 ($P>0.05$),在第 6 天后感官评价得分就小于 7 分,根据感官评价标准 7 分以上才能说明湿豆皮色泽、质地、气味等方面维持的良好;在第 15 天已经下降到 2 分左右,根据感官评价标准,此时湿豆皮已经严重腐败变质,这充分说明了非贴体包装会对湿豆皮贮藏稳定性产生严重的负面影响,即使此时降低包装内的 O_2 含量也于事无补。B 组感官评价得分在第 9 天后显著低于 A 组 ($P<0.05$),且 A 组在贮藏末期都将感官评价得分维持在 6 分左右,根据感官评价标准,此时湿豆皮只有些许品质劣变,这说明在贴体包装的前提下进行脱氧处理能够有效维持湿豆皮的感官品质。

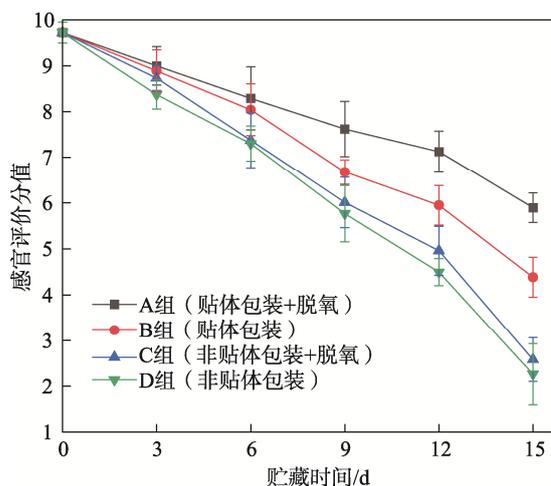


图10 贴体包装对湿豆皮感官评价的影响
Fig.10 Effect of skin packaging on sensory evaluation of TWB

3 结语

贴体包装对湿豆皮的品质有着极其重要的影响。在贮藏第 6 天时,非贴体包装+脱氧组菌落总数已高

达 7.72 Ig(CFU/g), 极显著大于贴体包装+脱氧组, 可见在使用脱氧剂将包装内氧气降为零的情况下, 非贴体包装依然会促使微生物生长。同时, 非贴体包装会促使湿豆皮的油脂酸败, 并加速湿豆皮水分流失, 且在温度波动的影响下会形成冷凝水, 冷凝水滴落在湿豆皮表面容易导致微生物生长繁殖。非贴体包装还会加速碳水化合物和蛋白质的分解, 其中非贴体包装组在第6天时 TVB-N 含量达 11.00 mg/100 g, 显著大于贴体包装组, 这导致非贴体包装组的湿豆皮在贮藏后期有更严重的变软、褐变和油脂酸败等品质劣变。贴体包装更能显著抑制脂质氧化及褐变, 其 TVB-N 含量增速更缓慢, 剪切力等指标变化幅度更小, 保鲜效果更佳。

综上所述, 光靠脱氧处理不能很好地解决非贴体包装带来的负面影响, 而通过包装贴体能更有效地延缓湿豆皮的品质劣变。后续可以考虑在此基础上, 研究不同杀菌技术, 如微波杀菌技术、巴氏杀菌技术对进一步延长湿豆皮保鲜期的作用。

参考文献:

- [1] 杨立娜, 赵亚凡, 马丹丹, 等. Nisin 及纳他霉素生物保鲜剂对干豆腐保鲜效果的研究[J]. 食品研究与开发, 2020, 41(10): 21-27.
YANG Li-na, ZHAO Ya-fan, MA Dan-dan, et al. Effect of Nisin and Natamycin Biological Preservative on Fresh-Keeping of Dried Tofu[J]. Food Research and Development, 2020, 41(10): 21-27.
- [2] 郑奥泽. 基于微胶囊技术的壳聚糖-大豆分离蛋白复合抗菌涂膜在豆腐保鲜中的应用研究[D]. 郑州: 河南工业大学, 2021.
ZHENG Ao-ze. Application of Chitosan and Soybean Protein Isolate Composite Antibacterial Coating on Tofu Preservation Based on Microencapsulation Technology[D]. Zhengzhou: Henan University of Technology, 2021.
- [3] 全爽, 顾泽茂, 王陈, 等. 不同包装方式对香酥虾球品质的影响[J]. 食品工业科技, 2023, 44(4): 296-307.
QUAN Shuang, GU Ze-mao, WANG Chen, et al. Effect of Different Packaging Methods on the Quality of Crispy Shrimp Balls[J]. Science and Technology of Food Industry, 2023, 44(4): 296-307.
- [4] ZHANG Xi-cai, HUANG Wen-bo, XIE Jing. Effect of Different Packaging Methods on Protein Oxidation and Degradation of Grouper (*Epinephelus Coioides*) during Refrigerated Storage[J]. Foods, 2019, 8(8): 325.
- [5] 王允, 李淑芳, 尹海燕, 等. 不同储藏条件对花生品质的影响[J]. 食品安全质量检测学报, 2021, 12(11): 4544-4551.
WANG Yun, LI Shu-fang, YIN Hai-yan, et al. Effects of Different Storage Conditions on the Quality of Peanuts[J]. Journal of Food Safety & Quality, 2021, 12(11): 4544-4551.
- [6] HUANG Z, ZHOU H, JIANG Q, et al. Study on the Quality Change And Deterioration Mechanism of Leisure Dried Tofu under Different Storage Temperature Conditions[J]. LWT-Food Science and Technology, 2022, 172: 1-9.
- [7] 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.
WANG Rui-zhi. Influence Mechanism and Regulation Technology of Water Quality on Dried Tofu Quality[D]. Harbin: Harbin University of Commerce, 2021.
- [8] 张园园, 卢奕彤, 张焕杰, 等. 茶多酚、壳聚糖、乳清蛋白复配保鲜剂对干豆腐保鲜效果的影响[J]. 食品安全质量检测学报, 2023, 14(3): 328-334.
ZHANG Yuan-yuan, LU Yi-tong, ZHANG Huan-jie, et al. Effects of Tea Polyphenol, Chitosan and Whey Protein Compound Preservatives on the Preservation Effects of Dried Tofu[J]. Journal of Food Safety & Quality, 2023, 14(3): 328-334.
- [9] BINSI P K, VIJI P, VISNUVINAYAGAM S, et al. Microbiological and Shelf Life Characteristics of Eviscerated and Vacuum Packed Freshwater Catfish (*Ompok Pabda*) during Chill Storage[J]. Journal of Food Science and Technology, 2015, 52(3): 1424-1433.
- [10] 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.
- [11] 林碧莲, 陈浩, 代传芝, 等. 壳寡糖的酶法可控制备及其在预包装豆腐保鲜中的应用[J]. 食品与发酵工业, 2023, 49(12): 136-143.
LIN Bi-lian, CHEN Hao, DAI Chuan-zhi, et al. Enzymatic Controlled Preparation of Chitosan Oligosaccharides and Its Application in Preservation of Pre-Packaged Tofu[J]. Food and Fermentation Industries, 2023, 49(12): 136-143.
- [12] JALALI A, RUX G, LINKE M, et al. Application of Humidity Absorbing Trays to Fresh Produce Packaging: Mathematical Modeling and Experimental Validation[J]. Journal of Food Engineering, 2018, 244: 115-125.
- [13] LINKE M, PRAEGER U, MAHAJAN P, et al. Water

- Vapour Condensation on the Surface of Bulky Fruit: Some Basics and a Simple Measurement Method[J]. *Journal of Food Engineering*, 2021, 307: 1-9.
- [14] WOO I T, PARK L Y, PARK G S, et al. Effect of *Scutellaria Baicalensis* Georgi on Shelf Life of Tofu[J]. *Journal of the Korean Society of Food Science and Nutrition*, 2007, 36(4): 458-463.
- [15] 王玉娇. 乳酸菌青梅发酵汁的功能性研究及其在酸凝豆腐中的应用[D]. 南京: 南京农业大学, 2014.
- WANG Yu-jiao. Functional Study on Fermented Juice of Lactic Acid Bacteria *Prunus Micorosoftume* and Its Application in Acid-Curdled Tofu[D]. Nanjing: Nanjing Agricultural University, 2014.
- [16] PATEL J, AL-GHAMDI S, ZHANG H, et al. Determining Shelf Life of Ready-to-Eat Macaroni and Cheese in High Barrier and Oxygen Scavenger Packaging Sterilized via Microwave-Assisted Thermal Sterilization[J]. *Food and Bioprocess Technology*, 2019, 12(9): 1516-1526.
- [17] BOVI G G, CALEB O J, RAUH C, et al. Condensation Regulation of Packaged Strawberries under Fluctuating Storage Temperature[J]. *Packaging Technology and Science*, 2019, 32(11): 545-554.
- [18] CAI T, CHANG K C. Processing Effect on Soybean Storage Proteins and Their Relationship with Tofu Quality[J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 1999, 47(2): 720-727.
- [19] JAMES A T, YANG A. Interactions of Protein Content and Globulin Subunit Composition of Soybean Proteins in Relation to Tofu Gel Properties[J]. *Food Chemistry*, 2016, 194: 284-289.
- [20] 林丹, 吴宝珠, 冷朝杰, 等. 宫保鸡丁微波烹饪工艺优化及其挥发性风味物质分析[J]. *食品安全质量检测学报*, 2022, 13(19): 6171-6180.
- LIN Dan, WU Bao-zhu, LENG Chao-jie, et al. Optimization of Processing Technology of Kung Pao Chicken by Microwave and Analysis of Volatile Flavor Components[J]. *Journal of Food Safety & Quality*, 2022, 13(19): 6171-6180.
- [21] LEKJING S, VENKATACHALAM K. Effects of Modified Atmospheric Packaging Conditions on the Quality Changes of Pasteurized Oyster (*Crassostrea Belcheri*) Meat during Chilled Storage[J]. *Journal of Aquatic Food Product Technology*, 2018, 27(10): 1106-1119.
- [22] 赵钜阳, 孙昕萌, 袁惠萍, 等. 抗氧化型轻食千页豆腐的开发及其贮藏品质研究[J]. *包装工程*, 2022, 43(9): 107-114.
- ZHAO Ju-yang, SUN Xin-meng, YUAN Hui-ping, et al. Development of Antioxidant Light Food Chiba Tofu and Its Storage Quality[J]. *Packaging Engineering*, 2022, 43(9): 107-114.
- [23] LEE J S, CHANG Y, LEE E S, et al. Ascorbic Acid-Based Oxygen Scavenger in Active Food Packaging System for Raw Meatloaf[J]. *Journal of Food Science*, 2018, 83(3): 682-688.
- [24] SHI Y, YANG Y, PIEKOSZEWSKI W, et al. Influence of four Different Coagulants on the Physicochemical Properties, Textural Characteristics and Flavour of Tofu[J]. *International Journal of Food Science and Technology*, 2020, 55(3): 1218-1229.

责任编辑: 曾钰婵