

二氧化碳含量对不同精加工猪产品的保鲜作用比较

祁玉霞, 李宏宇, 吴熙, 常光强, 闵成军*
(北京二商肉类食品集团有限公司, 北京通州 101100)

摘要: 为探究不同二氧化碳气体含量对精加工鲜猪产品品质的影响, 选取鲜精加工猪小里脊、五花肉片、肋排块为研究对象, 研究在体积分数 70% O₂/15% CO₂/15% N₂、70% O₂/30% CO₂ 的气调包装条件下, 3 种产品储藏过程中色差、剪切力、总挥发性盐基氮 (Total Volatile Base-Nitrogen, TVB-N) 值、pH 值、水分含量、菌落总数 (Total Bacterial Count, CFU) 等指标的变化规律。通过实验可得, 在贮藏 8 d 时, 70% O₂/30% CO₂ 处理方式下, 猪小里脊肉的 TVB-N 值、lg CFU/g 值分别为 14.63 mg/100 g、5.55, 五花肉片的 TVB-N 值、lg CFU/g 值分别为 14.95 mg/100 g、5.78, 而 70% O₂/15% CO₂/15% N₂ 处理方式下同类产品 TVB-N 值、lg CFU/g 值已超过国标限量要求, 2 种处理方式均与产品水分含量影响的相关性不大, 在同一气调包装条件下, 3 种产品的各项指标变化差异不显著; 综合分析可得 70% O₂/30% CO₂ 处理方式可以显著 ($P<0.05$) 的控制产品菌落总数、TVB-N 值的变化程度, 缓解产品 pH 值的升高, 对红度值影响显著 ($P<0.05$), 更有利于气调精加工猪产品的品质保持。

关键词: 气调包装; 气体比例; 生鲜猪肉; 精加工; 二氧化碳

文章编号: 1673-9078(2025)12-124-130

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2025.12.1152

Comparison on the Preservation Effect of Carbon Dioxide Content on Different Highly Processed Pork Products

QI Yuxia, LI Hongyu, WU Xi, CHANG Guangqiang, MIN Chengjun*
(Beijing Ershang Meat Food Group Co. Ltd., Beijing 101100, China)

Abstract: To explore the impacts of different carbon dioxide concentrations on the quality of fresh highly processed pork products, fresh processed pork tenderloin, pork belly slices, and pork rib pieces were selected as research subjects. The changing trends of color difference, shear force, total volatile base nitrogen (TVB-N) value, pH value, water content, and total bacterial count (CFU) of the three products were investigated during storage under modified atmosphere packaging conditions of 70% O₂/15% CO₂/15% N₂ or 70% O₂/30% CO₂. The experimental results showed that after 8 days of storage under the 70% O₂/30% CO₂ treatment, the TVB-N and lg CFU/g values were 14.63 mg/100 g and 5.55 for the pork tenderloin, and were 14.95 mg/100 g and 5.78 for pork belly slices. However, under the 70% O₂/15% CO₂/15% N₂ treatment, the TVB-N and lg CFU/g values of the same pork products exceeded the national standard limits. Both treatments showed little correlation with the pork products' water contents, and under the same modified atmosphere packaging conditions, the differences in all the indicators among the three products were insignificant. Comprehensive analysis revealed that the 70% O₂/30% CO₂ treatment can significantly ($P<0.05$) control the changes in the total bacterial count and TVB-N value, slow down the increase in pH value, and influence significantly ($P<0.05$) the redness

引文格式:

祁玉霞,李宏宇,吴熙,等.二氧化碳含量对不同精加工猪产品的保鲜作用比较[J].现代食品科技,2025,41(12):124-130.

QI Yuxia, LI Hongyu, WU Xi, et al. Comparison on the preservation effect of carbon dioxide content on different highly processed pork products [J]. Modern Food Science and Technology, 2025, 41(12): 124-130.

收稿日期: 2024-08-06 ; 修回日期: 2024-12-16 ; 接受日期: 2024-12-23

基金项目: 北京市通州区金桥工程种子项目

作者简介: 祁玉霞 (1992-) 女, 硕士, 工程师, 研究方向: 农产品加工与贮藏, E-mail: 1015953156@qq.com

通讯作者: 闵成军 (1978-), 男, 硕士, 研究员级高级工程师, 研究方向: 农产品加工与贮藏, E-mail: minchengjun@139.com

value, which is more conducive to maintaining the quality of modified atmosphere highly processed pork products.

Key words: modified atmosphere packaging(MAP); gas ratio; fresh pork; precision processed; carbon dioxide

气调包装 (Modified Atmosphere Package, MAP) 可以延长畜肉类和家禽产品的保质期, 是满足消费者食用品质需求的保鲜技术之一^[1], 该技术通过气调包装机对包装盒 / 袋内的空气与外部设置好比例的混合气体进行置换, 改变需要保鲜肉禽产品的外部气体环境, 达到抑制微生物生长繁殖, 减缓肉类产品蛋白降解、脂肪氧化程度的目的, 从而延长肉禽产品的保质期^[2]。在肉禽产品中, 常用的气体有二氧化碳、氮气、氧气及使用量较少的气体如一氧化碳、氩等^[3,4], 其中 CO₂ 气体起抑菌作用, 可以抑制大多数腐败细菌和霉菌生长繁殖; O₂ 能够保持鲜肉色泽, 同时可抑制大多数厌氧腐败细菌的生长繁殖; N₂ 是惰性气体, 作为填充作用, 与 CO₂、O₂ 等组成复合保鲜气体^[3,4]。气调包装技术已经在鸵鸟肉、牛肉、羊肉等生鲜肉类得到了广泛的应用, 选用合适的气体成分、包装材料等, 可将产品的货架期延长 5 d 以上^[5-7], 同时目前针对气调包装内产品质量监控的衍生技术和辅助技术也有较多的研究^[8,9], 因此研究气调包装具有广泛的应用前景和较强的研究价值。

猪肉具有肌肉纤维软细、结缔组织少、肌间脂肪多的特点, 是人体动物类脂肪和蛋白质的关键来源。因为其富含营养的特殊属性, 极易引起微生物的生长繁殖, 导致产品腐败变质^[10]。目前生猪肉小包装产品主要采用气调包装, 为满足消费者的不同需求, 生鲜猪肉精细加工产品种类日益丰富, 不同气体比例组成可能对不同产品的品质影响不同, 研究不同比例气体成分对不同精细加工产品的影响, 可以在一定程度上提高产品保质期内的食用安全性^[11]。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

300 g 猪小里脊、300 g 3×3 cm 肋排块、300 g 1 cm 五花肉片, 均取自北京二商肉类食品集团有限公司, 经 12 h 排酸预冷, 约克夏猪。

选用食品级的浓度为 99% 以上的 O₂、N₂、CO₂。

氯化钠、氯化钾、2-硫代巴比妥酸、三氯乙酸、三氯甲烷、硼酸等, 均为国产分析纯, 平板计数琼脂, 青岛海博生物技术有限公司。

1.2 仪器与设备

DF-101S 集热式恒温加热磁力搅拌器, 巩义市科瑞仪器有限公司美国; UV-2550 型紫外-可见分光光度计, 日本岛津公司; CR-400 色彩色差计, 日本 Konica-Minol-

ta 公司; TA.XT plus 质构仪, 英国 Stable Micro Systems 公司; T25 basic 型高速分散均质机, 德国 IKA 公司; MS105DU 分析天平, 梅特勒-托利多仪器 (上海) 有限公司; FOSS 8400 全自动定氮仪, 瑞典 FOSS 公司。

1.3 方法

1.3.1 样品准备

将排酸后新鲜的猪里脊肉、五花、排骨剔除猪肉杂质后, 置于低温环境下进行分割, 分别采用 70% O₂/15% CO₂/15% N₂ (T1)、70% O₂/30% CO₂ (T2) 2 种气体组成比例进行气调包装, 每盒 (300±5) g, 每组 36 盒, 每次取 6 平行样品进行实验研究, 取其结果平均值。将包装好的产品置于 4 ℃ 以下分别贮藏 0、2、4、6、8 d, 对处理完毕后的猪肉进行色差、剪切力、菌落总数、TVB-N、水分、pH 值的测定。实验设计如表 1 所示。

表 1 实验组设计
Table 1 Experimental group design

代号	气体组成	产品
T1D1	70% O ₂ /15% CO ₂ /15% N ₂	猪小里脊
T2D1	70% O ₂ /30% CO ₂	猪小里脊
T1D2	70% O ₂ /15% CO ₂ /15% N ₂	五花肉片
T2D2	70% O ₂ /30% CO ₂	五花肉片
T1D3	70% O ₂ /15% CO ₂ /15% N ₂	排骨块
T2D3	70% O ₂ /30% CO ₂	排骨块

1.3.2 色差测定

考虑到块状五花肉片存在脂肪和精瘦肉部分颜色有差异、脂肪颜色变化不明显的情况, 因此使用色差仪对五花肉片的精瘦肉部分进行 L*、a* 值测定, 其余产品正常检测, 测定前需要用设备自带标准白板、黑板进行色差的矫正, 每组 3 个平行, 结果取平均值^[12]。

1.3.3 剪切力测定

参考 Lindahl 等^[13]的方法, 略有更改。将不同处理的猪肉样品分别置于 80 ℃ 的水浴锅内加热至中心温度为 72 ℃, 后流水降温至室温。顺着肉样肌纤维方向把肉样修整成 5.0 cm×1.0 cm×1.0 cm 大小的肉块, 使用质构仪进行测定, 记录剪切力变化。摆放样品时肌纤维方向为平方向, 实验于室温下进行。设定参数为: 探头类型 p/5, 测前速度 1 mm/s, 测试速度 0.5 mm/s, 测后速度 1 mm/s, 压缩比例 40%, 感应力 5.0 g, 测定时间 5 s。每个样品重复测定 6 次, 结果取平均值, 所有结果用牛顿 (N) 表示^[13]。

表 2 不同气调包装贮藏条件下猪产品贮藏过程中色差值的变化

Table 2 Changes in color difference values of pig products during storage under different MAP storage conditions						
处理方式	产品类别	贮藏时间/d				
		0	2	4	6	8
L*	T1 猪小里脊	42.20 ± 0.28 ^a	43.69 ± 0.13 ^{ac}	42.82 ± 0.20 ^{af}	40.17 ± 0.22 ^{bg}	39.14 ± 0.25 ^c
	T2 猪小里脊	42.20 ± 0.28 ^a	43.08 ± 0.08 ^a	44.49 ± 0.25 ^a	43.92 ± 0.51 ^b	42.02 ± 0.07 ^b
	T1 五花肉片	43.99 ± 0.04 ^a	44.50 ± 0.25 ^a	43.29 ± 0.32 ^{ac}	42.01 ± 0.04 ^{af}	39.84 ± 0.27 ^{bg}
	T2 五花肉片	43.99 ± 0.04 ^a	44.90 ± 0.05 ^b	45.19 ± 0.18 ^{bc}	44.52 ± 0.23 ^{bc}	43.60 ± 0.52 ^{abc}
	T1 排骨块	41.43 ± 0.28 ^a	42.58 ± 0.06 ^b	42.20 ± 0.50 ^b	41.77 ± 0.16 ^b	41.50 ± 0.32 ^{ab}
	T2 排骨块	41.43 ± 0.28 ^a	41.93 ± 0.1 ^a	42.42 ± 0.14 ^b	42.10 ± 0.03 ^b	41.40 ± 0.08 ^{ac}
a*	T1 猪小里脊	5.40 ± 0.03 ^a	5.60 ± 0.05 ^b	6.33 ± 0.08 ^c	5.98 ± 0.08 ^{ce}	5.60 ± 0.06 ^d
	T2 猪小里脊	5.40 ± 0.03 ^a	5.99 ± 0.04 ^a	6.31 ± 0.05 ^b	6.71 ± 0.11 ^b	6.30 ± 0.06 ^b
	T1 五花肉片	5.88 ± 0.06 ^a	6.37 ± 0.06 ^a	6.05 ± 0.04 ^{ae}	5.88 ± 0.06 ^{af}	5.55 ± 0.17 ^{af}
	T2 五花肉片	5.88 ± 0.06 ^a	6.20 ± 0.04 ^a	6.50 ± 0.03 ^a	6.08 ± 0.06 ^a	5.99 ± 0.02 ^a
	T1 排骨块	5.52 ± 0.06 ^a	5.71 ± 0.04 ^a	6.00 ± 0.01 ^b	6.30 ± 0.02 ^{ce}	6.08 ± 0.08 ^{cf}
	T2 排骨块	5.52 ± 0.06 ^a	5.81 ± 0.03 ^a	6.22 ± 0.04 ^b	6.48 ± 0.03 ^b	6.29 ± 0.10 ^b

注：a~d 表示同一贮藏方式不同贮藏时间的指标已达显著性差异（ $P<0.05$ ）；e~g 表示同一贮藏时间不同贮藏方式的指标已达显著性差异（ $P<0.05$ ）。

1.3.4 水分含量测定

参考 GB 5009.3-2016《食品安全国家标准 食品中水分的测定》进行测定。

1.3.5 pH值测定

按照 GB 5009.237-2016《食品安全国家标准 食品 pH 值的测定》稍作修改进行。分别取 5 g 打碎的生鲜肉样品，加入 50 mL 0.1 mol/L 氯化钾溶液，以 10.0 kr/min 转速均质器均质 30 s，静置 5 min 后过滤，利用 pH 计测定 pH 值，每个样品重复 3 次并取平均值。

1.3.6 TVB-N值测定

TVB-N 值的测定参照 GB 5009.228-2016《食品安全国家标准 食品中挥发性盐基氮的测定》中自动凯氏定氮仪法测定。参考的标准为：鲜度≤15 mg/100 g。

1.3.7 菌落总数测定

按 GB 4789.2-2022《食品微生物学检验 - 菌落总数测定》规定的方法测定。

1.4 数据分析

每次实验指标设置 3 平行，结果取平均值，表示为平均值 ± 标准差。利用 Excel 2016 和 SPSS 120.0 等统计软件对实验数据进行统计分析。并对实验数据进行单因素方差分析（ANOVA），用 Duncan 多重比较分析差异的显著性（ $P<0.05$ ），Origin 2019 作图。

2 结果与分析

2.1 色差分析

表 2 是不同气调包装条件下猪产品贮藏过程中色差值随贮藏时间的变化情况，生鲜肉的颜色是决定消费者是否购买产品的首要影响因素，表中 L^* 值反映的是不同猪产品的亮度情况， L^* 值越大表明越白（亮）， L^* 值越小表明越黑（暗）， a^* 值反映的是不同精加工猪产品的红度情况^[14]。

由表可得随着贮藏时间的延长，两种处理方式下，3 种产品的 L^* 值均呈现先升高后降低的变化趋势。70% O₂/15% CO₂/15% N₂、70% O₂/30% CO₂ 处理方式下的猪小里脊 L^* 值分别在贮藏第 2 天、第 4 天时达到最高值，两种处理方式变化显著（ $P<0.05$ ）。五花肉片瘦肉在贮藏第 8 天时，70% O₂/15% CO₂/15% N₂ 处理方式的 L^* 值为 39.84，70% O₂/30% CO₂ 处理方式的 L^* 值为 43.60，较贮藏 0 d 时变化显著（ $P<0.05$ ），两种处理方式相比，变化显著（ $P<0.05$ ）；在贮藏 2 d 时，70% O₂/15% CO₂/15% N₂ 处理的排骨块的 L^* 值达到高值，贮藏第 4 天时，70% O₂/30% CO₂ 处理的排骨块的 L^* 值达到高值，两种方式相比，贮藏过程中 L^* 值变化不显著，说明处理方式对排骨块的 L^* 值变化影响较小。

a^* 值变化趋势与 L^* 值变化趋势一致，70% O₂/15%

CO₂/15% N₂、70% O₂/30% CO₂ 处理的猪小里脊 *a** 值分别在贮藏第 4 天时、第 6 天时达到最高值, 贮藏后期, 两种处理方式 *a** 值变化显著 ($P < 0.05$); 70% O₂/15% CO₂/15% N₂、70% O₂/30% CO₂ 处理方式下的五花肉片瘦肉 *a** 值分别在贮藏第 2 天、第 4 天时达到最高值, 变化不显著 ($P > 0.05$), 贮藏后期, 不同处理方式 *a** 值变化显著 ($P < 0.05$); 贮藏 4 d、6 d 时, 70% O₂/15% CO₂/15% N₂、70% O₂/30% CO₂ 处理方式下的排骨块 *a** 值分别达到最高值, 与贮藏初期相比, 变化显著 ($P < 0.05$), 两种处理方式差异显著 ($P < 0.05$), 说明处理方式对排骨块的 *a** 值变化影响较大。

两种处理方式下生鲜产品 *L**、*a** 值均出现先升高后下降的变化趋势。综合比较, 70% O₂/30% CO₂ 储藏方式变化较缓, 更能恒定保持产品 *L**、*a** 值的稳定性, 能保证产品的色泽, 有利于产品的销售与贮藏, Haute 等^[15]的研究结论与此结果变化情况基本相同。分析原因可能是: 猪肉与气调包装内的氧气接触, 逐渐生成氧合肌红蛋白, 但 70% O₂/30% CO₂ 与 70% O₂/15% CO₂/15% N₂ 相比, 高浓度 CO₂ 抑制了需氧腐败微生物的生长, 延长了因需氧腐败微生物生长繁殖导致产品水分含量、pH 值、营养成分等发生变化的时间, 从而对产品亮度产生了一定的影响^[16,17]。

2.2 剪切力

剪切力反映将由两方向施力于一定厚度的肉的相邻部分, 使两部分沿各自的着力方向发生相对位移的力, 实质上可以反映产品嫩度^[18], 剪切力越大, 肉嫩度越小, 主要影响因素为肌节长度、肌原纤维蛋白结构及水解程度等, 研究表明高氧气调包装可以使鲜肉剪切力下降, 嫩度提升, 二氧化碳气体可以通过改变肉内部的 pH 值从而影响其剪切力^[19]。

图 1 为不同气调包装贮藏条件下猪产品贮藏过程中剪切力值随贮藏时间的变化情况, 随贮藏时间的延长, 各产品剪切力呈逐渐上升趋势, 贮藏 0 d 时, 猪小里脊、五花肉片、排骨块产品的剪切力值分别为 48.23、46.68、48.64 N, 贮藏至 8 d 时, 70% O₂/15% CO₂/15% N₂、70% O₂/30% CO₂ 处理的猪小里脊产品的剪切力值分别为 38.55、39.46 N, 五花肉片的剪切力值分别为 37.97、39.07 N, 排骨块的剪切力值分别为 37.56、39.03 N, 同种产品在特定贮藏方式下, 剪切力值随贮藏时间变化的相关性不大 ($P > 0.05$), 70% O₂/15% CO₂/15% N₂ 处理方式剪切力值均小于 70% O₂/30% CO₂ 处理方式, 表明 70% O₂/30% CO₂ 处理方式在一定程度上对产品品质的影响程度低于 70%

O₂/15% CO₂/15% N₂ 处理方式^[20], 原因可能是在 CO₂ 浓度较高的情况下, CO₂ 溶解于肌肉组织的浓度较高, 导致产品 pH 值可能会出现降低的情况, 进而导致肌细胞内蛋白质交联反应变慢, 在一定程度上延长了肌肉组织的僵化时间。

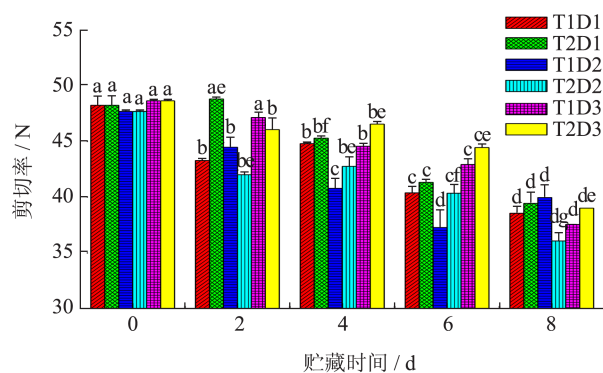


图 1 不同气调包装贮藏条件下猪产品贮藏过程中剪切力值的变化

Fig.1 Changes of shear force values of pig products during storage under different MAP storage conditions

注: 图中不同字母表示具有显著性差异 ($P < 0.05$)。下同。

2.3 水分含量

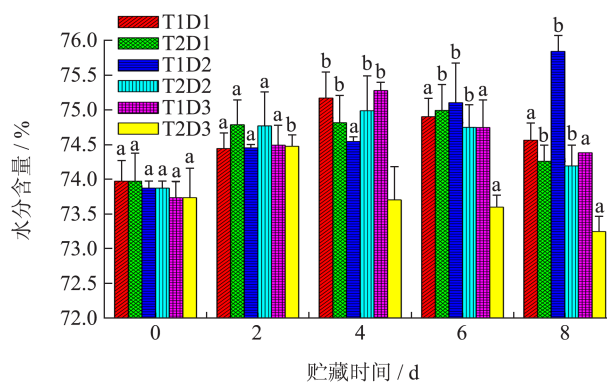


图 2 不同气调包装贮藏条件下猪产品贮藏过程中水分含量的变化

Fig.2 Changes in moisture content of pig products during storage under different MAP storage conditions

水是猪肉产品的重要组成成分, 约占猪肉的 70% 以上, 水分含量的变化可以反映猪肉的品质变化^[21], 研究水分在不同产品中的变化情况, 可以为分析产品的贮藏品质提供一定依据。由图 2 可得, 两种处理条件下, 70% O₂/15% CO₂/15% N₂ 的五花肉片瘦肉水分含量呈逐渐上升的趋势, 其余产品的水分含量均呈现先升高后下降的趋势, 贮藏 0 d 时, 猪小里脊、五花肉片瘦肉、排骨块瘦肉水分含量分别为 73.98%、73.88%、73.74%, 贮藏 2 d 时, 水分含量均有缓慢升高, 70% O₂/30% CO₂ 处理条件下排骨块瘦肉水分含量达到 74.48%, 后期逐渐下降。贮藏 8 d 时, 70% O₂/15% CO₂/15% N₂、70% O₂/30% CO₂ 处理条件下的猪小里

脊水分含量分别约为 74.57%、74.26%，五花肉片瘦肉分别约为 75.85%、74.20%，排骨块分别约为 74.39%、73.25%，贮藏 8 d 后两种处理方式相比，70% O₂/30% CO₂ 条件下产品水分含量变化较小，分析原因可能为相对于 70% O₂/15% CO₂/15% N₂ 处理条件而言，70% O₂/15% CO₂ 下产品因二氧化碳的溶解作用，导致产品 pH 发生变化，降低了产品的蛋白酶活性，导致肌原纤维蛋白、肌浆蛋白等成分发生变化，保水性降低，导致水分扩散至外部环境析出，从而水分含量降低^[22]。

2.4 pH 值变化

pH 值是猪肉产品新鲜度的重要指标，影响肉的感官品质及微生物安全品质^[23]，贮藏过程中猪肉产品的 pH 值变化如图 3 所示，由图可知，两种处理方式下，猪肉产品的 pH 值随贮藏时间延长均呈逐渐上升的趋势，贮藏 0 d 时，新鲜猪小里脊肉的 pH 值约为 5.39，五花肉片瘦肉的 pH 值约为 5.73、排骨块的 pH 值约为 5.63，贮藏 8 d 时，70% O₂/15% CO₂/15% N₂ 处理条件下产品的 pH 值分别为猪小里脊 6.53、五花肉片瘦肉 6.80、排骨块 6.90；70% O₂/30% CO₂ 处理条件下的猪小里脊为 5.89、五花肉片瘦肉为 6.29、排骨块为 6.39，根据相关文献关于鲜肉 pH 的标准（一级鲜肉 pH 值范围为 5.8~6.2），此时肉已经出现腐败变质现象^[24]，随贮藏时间的延长，pH 值变化显著（ $P<0.05$ ），贮藏 8 d 后两种处理方式相比，70% O₂/30% CO₂ 条件下 3 类产品 pH 值变化较小，与 70% O₂/15% CO₂/15% N₂ 处理条件相比差异显著（ $P<0.05$ ），说明 70% O₂/30% CO₂ 处理方式可以缓解猪肉产品的 pH 值变化，分析原因可能为 70% O₂/15% CO₂/15% N₂ 处理条件下产品的内源酶活性较高，同时贮藏后期 70% O₂/15% CO₂/15% N₂ 处理方式抑菌效果较弱，分解生鲜肉中的蛋白质及其他含氮的化合物，生成碱性物质，同时产品内水分含量降低，导致产品 pH 值升高^[25]。

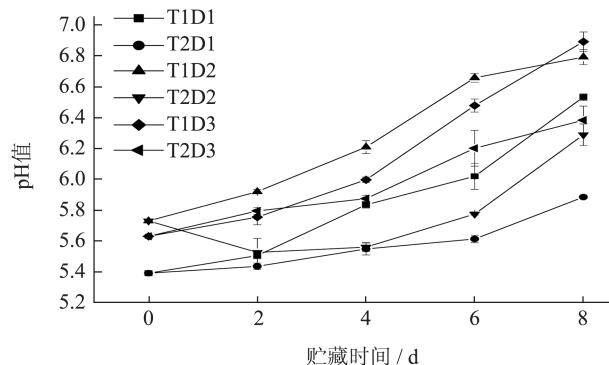


图 3 不同气调包装贮藏条件下猪产品贮藏过程中 pH 值的变化

Fig.3 Changes in pH of pig products during storage under different MAP storage conditions

2.5 TVB-N 含量变化

TVB-N 是动物性产品由于酶和细菌作用，在腐败过程中，使蛋白质分解而产生氨以及胺类等碱性含氮物质。此类物质具有挥发性，其含量越高，表明氨基酸破坏的越多，是反映肉制品腐败变质情况的重要指标^[26]。图 4 所示为不同气调包装贮藏条件下猪产品贮藏过程中 TVB-N 值的变化规律，由图可知，随贮藏时间的延长，猪肉产品的 TVB-N 值随贮藏时间延长均呈逐渐上升的趋势^[27]，贮藏 0 d，产品的 TVB-N 分别为猪小里脊肉约 4.34 mg/100 g、五花肉片瘦肉约 6.22 mg/100 g、排骨块瘦肉约 6.43 mg/100 g，贮藏 4 d 时，70% O₂/15% CO₂/15% N₂ 处理条件下排骨块产品的 TVB-N 值显著增高，达到 15.75 mg/100 g，贮藏 8 d 时，70% O₂/15% CO₂/15% N₂、70% O₂/30% CO₂ 处理方式的产品 TVB-N 值分别达到猪小里脊肉 17.88、16.65 mg/100 g，五花肉片瘦肉 21.68、19.05 mg/100 g，排骨块瘦肉为 29.74、24.25 mg/100 g，均超出 GB 2707-2016《鲜（冻）畜、禽产品》^[28]中规定的 15 mg/100 g，已经腐败变质，随贮藏时间的延长，TVB-N 值变化显著（ $P<0.05$ ），贮藏后期 2 种处理对猪小里脊影响显著（ $P<0.05$ ），70% O₂/30% CO₂ 处理条件下 3 类产品 TVB-N 变化程度较小，说明就 TVB-N 值分析，70% O₂/30% CO₂ 处理方式可以在一定程度上降低产品的 TVB-N 值升高速率，这与不同产品内 pH 值变化规律基本一致，可能与该条件下产品微生物的生长繁殖、内源酶活性有关，最终由于酶和细菌的共同作用，造成产品腐败变质，TVB-N 值升高。

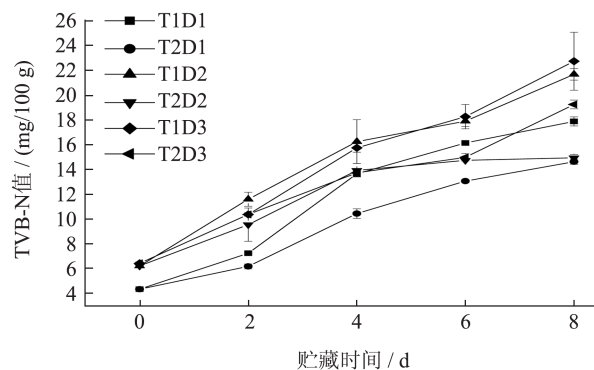


图 4 不同气调包装贮藏条件下猪产品贮藏过程中 TVB-N 的变化

Fig.4 Changes in TVB-N of pig products during storage under different MAP storage conditions

2.6 菌落总数

图 5 为不同气调包装贮藏条件下猪产品贮藏过程中菌落总数的变化，由图可得产品随贮藏时间的延长，其菌落总数均呈现逐渐上升的趋势。在贮藏 0 d

时,猪小里脊、五花肉片、排骨块的lg CFU/g分别为3.7、3.34、3.90,贮藏4 d时,70% O₂/15% CO₂/15% N₂、70% O₂/30% CO₂处理条件下各产品lg CFU/g值分别是猪小里脊为4.3、4.49,五花肉片分别约为4.86、4.59,排骨块分别为4.88、4.54,均略有上升,贮藏8 d时,猪小里脊产品不同处理方式的lg CFU/g值分别达到70% O₂/15% CO₂/15% N₂条件下为6.66,70% O₂/30% CO₂条件下为5.55,五花肉片产品的lg CFU/g值分别达到70% O₂/15% CO₂/15% N₂条件下为6.74,70% O₂/30% CO₂为5.78,排骨块产品的lg CFU/g值分别达到70% O₂/15% CO₂/15% N₂条件下为6.94,70% O₂/30% CO₂条件下为6.04,与贮藏0 d相比,变化显著($P<0.05$)。同时不同处理方式对3种产品的影响均较显著($P<0.05$),说明不同处理方式对产品的微生物影响相关性较大,70% O₂/30% CO₂处理方式更利于保持气调产品保质期内的食用安全品质^[29]。

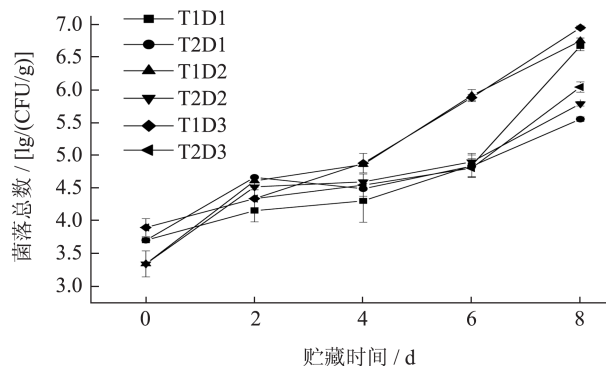


图5 不同气调包装贮藏条件下猪产品贮藏过程中菌落总数的变化

Fig.5 Changes in total bacterial count of pig products during storage under different MAP storage conditions

3 结论

国标 9959.2-2008 对于分割鲜冻猪瘦肉TVB-N ≤ 15 mg、菌落总数 $\leq 1\times 10^6$ 的限量要求,在保证4℃以下的贮藏温度时,70% O₂复合30% CO₂条件下猪小里脊肉贮藏第8天时的TVB-N值、lg CFU/g值分别为14.63 mg/100 g、5.55,五花肉片贮藏第8天时的TVB-N值、lg CFU/g值分别为14.95 mg/100 g、5.78,排骨块在贮藏第6天时的TVB-N值、lg CFU/g值分别为14.98 mg/100 g、6.03,均符合限量要求,而70% O₂复合15% CO₂、15% N₂方式下产品的TVB-N值、lg CFU/g值菌超过限量要求,两种贮藏方式下数据有显著性差异。综合分析本实验涉及的3款产品,其中排骨块受气体成分的影响最小。目前市面流通气调包装生鲜猪肉产品的货架期在6 d以内,本研究表明70% O₂复合30% CO₂的气体比例组分可在一定程度上延长生鲜猪肉产品的货架期,更有利于生鲜猪小

里脊肉、五花肉片、排骨块的贮藏流通。70% O₂复合30% CO₂的气体比例存在产品水分含量较低的情况,可能与其汁液流失比例较大有关^[30],具体原因需进行进一步的实验验证,是未来研究的主要方向。

参考文献

- [1] NARASIMHA RAO D, SACHINDRA N M. Modified atmosphere and vacuum packaging of meat and poultry products [J]. Food Reviews International, 2002, 18(4): 263-293.
- [2] MCMILLIN K W. Where is MAP going? A review and future potential of modified atmosphere packaging for meat [J]. Meat Science, 2008, 80(1): 43-65.
- [3] KANDEEPAN G, TAHSEEN A. Modified Atmosphere Packaging (MAP) of Meat and Meat Products: A Review [J]. Journal of Packaging Technology and Research, 2022, 6(3): 137-148.
- [4] 陈常秀.含氮(He)气调包装对冷却猪肉保鲜效果的影响[J].食品科学,2013,34(20):323-328.
- [5] BINGOL E B, ERGUN O. Effects of modified atmosphere packaging (MAP) on the microbiological quality and shelf life of ostrich meat [J]. Meat Science, 2011, 88(4): 774-785.
- [6] ŁOPACKA J, PÓLTORAK A, WIERZBICKA A. Effect of MAP, vacuum skin-pack and combined packaging methods on physicochemical properties of beef steaks stored up to 12 days [J]. Meat Science, 2016, 119: 147-153.
- [7] MORALES-DELANUEZ A, MORENO-INDIAS I, FALCÓN A, et al. Effects of various packaging systems on the quality characteristic of goat meat [J]. Asian-Australasian Journal of Animal Sciences, 2009, 22(3): 428-432.
- [8] KOLBECK S, HILGARTH M, VOGEL R F. Proof of concept: Predicting the onset of meat spoilage by an integrated oxygen sensor spot in MAP packages [J]. Letters in Applied Microbiology, 2021, 73(1): 39-45.
- [9] SAYADI M, LANGROODI A M, POURMOHAMMADI K. Combined effects of chitosan coating incorporated with Berberis vulgaris extract and Mentha pulegium essential oil and MAP in the shelf life of turkey meat [J]. Journal of Food Measurement and Characterization, 2021, 15: 5159-5169.
- [10] 田慧颖,张国华,贾如.不同猪肉的营养成分与食用品质分析[J].山西农业科学,2022,50(11):1583-1590.
- [11] KAMENÍK J, SALÁKOVÁ A, PAVLÍK Z, et al. Vacuum skin packaging and its effect on selected properties of beef and pork meat [J]. European Food Research and Technology, 2014, 239: 395-402.
- [12] YANG X Y, XU BAO C, LEI H M, et al. Effects of grape seed extract on meat color and premature browning of meat patties in high-oxygen packaging [J]. Journal of Integrative Agriculture, 2022, 21(8): 2445-2455.
- [13] LINDAHL G, LAGERSTEDT Å, ERTBJERG P, et al. Ageing of large cuts of beef loin in vacuum or high oxygen modified atmosphere-Effect on shear force, calpain activity, desmin degradation and protein oxidation [J]. Meat Science, 2010, 85(1): 160-166.

- [14] HAN F K, HUANG X Y, JOSHUA H. A, et al. Detection of beef adulterated with pork using a low-cost electronic nose based on colorimetric sensors [J]. *Foods*, 2020, 9(2): 193.
- [15] HAUTE S V, RAES K, DEVLIEGHERE F, et al. Combined use of cinnamon essential oil and MAP/vacuum packaging to increase the microbial and sensorial shelf life of lean pork and salmon [J]. *Food Packaging & Shelf Life*, 2017, 12: 51-58.
- [16] WAKHID S, SARNO R, SABILLA S I. The effect of gas concentration on detection and classification of beef and pork mixtures using E-nose [J]. *Computers and Electronics in Agriculture*, 2022, 195: 106838.
- [17] 杨江,曾铄沅,熊哲民,等.恩施黑猪生鲜肉气调保鲜技术及其贮藏品质的研究[J].*肉类工业*,2021,9:18-23.
- [18] HAUTE S V, RAES K, DEVLIEGHERE F, et al. Combined use of cinnamon essential oil and MAP/vacuum packaging to increase the microbial and sensorial shelf life of lean pork and salmon [J]. *Food Packaging & Shelf Life*, 2017, 12: 51-58.
- [19] KNIGHT M I, LINDEN N, PONNAMPALAM E N, et al. Development of VISNIR predictive regression models for ultimate pH, meat tenderness (shear force) and intramuscular fat content of Australian lamb [J]. *Meat Science*, 2019, 155: 102-108.
- [20] YE K, DING D, ZHU X, et al. Modified atmosphere packaging with a small change in gas ratio could maintain pork quality during-3℃ storage [J]. *Food Control*, 2020, 109: 106943.
- [21] LUND M N, LAMETSCH R, HVIID M S, et al. High-oxygen packaging atmosphere influences protein oxidation and tenderness of porcine longissimus dorsi during chill storage [J]. *Meat Science*, 2007, 77(3): 295-303.
- [22] 郭旭茜,韩雪,李研东,等.猪肉水分含量测定方法的优化及比较[J].*肉类工业*,2020,1:33-37.
- [23] 李焕洋.壳聚糖/膳食纤维/芝麻酚复合膜的制备及其在生鲜猪肉保鲜中的应用[D].临汾:山西师范大学,2022.
- [24] BIDNER B S, ELLIS M, BREWER M S, et al. Effect of ultimate pH on the quality characteristics of pork [J]. *Journal of Muscle Foods*, 2004, 15(2): 139-154.
- [25] OLAOYE O A. Changes in physicochemical properties and volatiles of pork B alangu as possible indicators of spoilage during ambient temperature storage [J]. *Journal of Food Processing and Preservation*, 2016, 40(3): 473-482.
- [26] 袁宝多,马坤瑛,端肖楠,等.猪肉新鲜度快速检测方法及相关性分析[J].*食品工业*,2021,42(8):270-274.
- [27] BEKHIT A E D A, HOLMAN B W B, GITERU S G, et al. Total volatile basic nitrogen (TVB-N) and its role in meat spoilage: A review [J]. *Trends in Food Science & Technology*, 2021, 109: 280-302.
- [28] LUKIC M, PETRONIJEVIC R, PETROVIC Z, et al. Effects of different gas compositions on the color estimations of MAP packaged pork chops [J]. *Procedia Food Science*, 2015, 5: 168-171.
- [29] GB 2707-2016,食品安全国家标准 鲜(冻)畜、禽产品[S].
- [30] 刘海升.二氧化碳在有氧和无氧气调包装下对冷鲜猪排货架期和品质的影响研究[D].泰安:山东农业大学,2023.