

超快速冷却结合不同包装贮藏对冷鲜猪肉品质的影响

王素^{1,2}, 张德权¹, 王卫², 颜统晶¹, 李海宾³, 侯成立^{1*}

(¹ 中国农业科学院农产品加工研究所 农业农村部农产品质量安全收贮运管控重点实验室 北京 100193

² 成都大学 肉类加工四川省重点实验室 成都 610106

³ 北京顺鑫农业股份有限公司鹏程食品分公司 北京 101316)

摘要 为探究超快速冷却(冷却速度 14.43 °C/h)结合不同包装方式对贮藏猪肉品质的影响,对超快速冷却处理的猪背最长肌分别进行有氧托盘包装、气调包装(50%O₂+50%CO₂)、真空包装和真空收缩包装,分析猪背最长肌在(-1.0±0.5) °C贮藏过程中 pH、肉色、蒸煮损失、质构特性、菌落总数、挥发性盐基氮和脂肪氧化的变化,以期明确超快速冷却结合 4 种包装的猪肉在贮藏期间的品质变化规律。结果表明,在贮藏 30 d 时,超快速冷却结合气调包装猪肉红度值 *a*^{*}(3.62)高于超快速冷却结合有氧托盘包装(3.35)、真空包装(3.20)和真空收缩包装(1.66)的猪肉;超快速冷却结合真空包装和真空收缩包装的猪肉蒸煮损失分别为 20.82%和 21.83%,显著低于有氧托盘包装和气调包装的猪肉(*P*<0.05);真空收缩包装猪肉的菌落总数、挥发性盐基氮和脂肪氧化程度分别为 4.92 lg(CFU/g),9.69 mg/100 g 和 0.77 mg MDA/kg,显著低于其它 3 种包装猪肉(*P*<0.05)。与有氧托盘包装相比,真空包装、真空收缩包装及气调包装更有利于提高猪肉贮藏期间的保水力和肉色;超快速冷却结合真空收缩包装相较于其它包装方式,更适宜冷鲜猪肉长期贮藏,其货架期接近 50 d。

关键词 超快速冷却; 包装方式; 贮藏; 肉品品质; 货架期

文章编号 1009-7848(2023)10-0238-11 **DOI:** 10.16429/j.1009-7848.2023.10.024

中国是肉类生产和消费大国,肉类总产量和总消费量位居世界第一^[1]。据国家统计局统计,2021 年,畜禽肉产量 8 887 万 t,其中猪肉产量 5 296 万 t,猪肉在我国国民生活中占据绝对核心地位。近年来,受非洲猪瘟疫情的影响,“调猪”逐渐向“调肉”转变。如何保持冷鲜肉品质,延长货架期成为研究的热点。

冷却是冷鲜肉加工的必要工序,传统冷却方式冷却时间长、肉品品质劣变严重,而超快速冷却技术为冷鲜肉保质保鲜提供了新的技术手段。超快速冷却技术是在畜禽宰后 5 h 内将肌肉的中心温度快速降至-1 °C 的一项新型冷却技术^[2]。对比传统的冷却方式,该冷却方式能够更好地维持冷鲜肉贮藏过程中的良好品质,可将肉品的货架期有效延长 1.5~4 倍^[3]。Yan 等^[4]研究表明,-35 °C 超快速冷却(冷却速度 15.10 °C/h)与 4 °C 传统冷却(冷却速度 1.94 °C/h)相比,超快速冷却后的羊肉不会

发生冷收缩且抑制了宰后僵直的发生,有效提升了肉品嫩度。Liang 等^[5]比较-35 °C 超快速冷却(冷却速度 14.52 °C/h)和 4 °C 传统冷却(冷却速度 1.76 °C/h)处理的羊胴体,结果发现在相同的贮藏时间,超快速冷却处理的羊胴体表面菌落总数低于传统冷却处理,可有效延长其货架期。

包装技术已广泛应用于冷鲜肉的贮藏保鲜,包装在一定程度上可以提高冷鲜肉品质,延长其货架期。现今我国冷鲜肉最常见的包装方式有托盘包装、真空包装和气调包装三大类^[6]。托盘包装是目前流通市场上最常见的包装方式;真空包装对延长肉品的货架期起到积极作用,并在传统基础上发展了真空收缩包装等新型的真空包装形式,收缩使包装与肉块贴合更加紧密,外观更加美观,从而提升了肉品的吸引力;气调包装可通过调节肉品所处环境中气体比例实现保鲜效果。本团队前期研究表明,包装方式的选择影响生鲜羊肉品质保持效果^[7]。然而,对于超快速冷却结合不同包装贮藏对猪肉品质的影响尚不清楚。研发超快速冷却与包装技术相结合的复合保鲜技术,可有效提高肉品保鲜效果,满足不同应用场景、不同货架期的保鲜需要。

收稿日期: 2022-10-15

基金项目: “十四五”国家重点研发计划项目
(2021YFD2100802)

第一作者: 王素,女,硕士生

通信作者: 侯成立 E-mail: houchengli@163.com

为了明确超快速冷却结合不同包装贮藏对猪肉的保质保鲜效果,本研究将超快速冷却(冷却时间 2 h 38 min,平均冷却速度 14.43 °C/h)处理的猪背最长肌分别进行有氧托盘包装(Aerobic packaging, AP)、50% O₂+50% CO₂ 气调包装(Modified atmosphere packaging, MAP)、真空包装(Vacuum packaging, VP)和真空收缩包装(Vacuum shrink packaging, VSP),研究不同包装猪肉贮藏过程中的品质变化,以期超快速冷却技术产业化应用过程中,包装方式的选择提供数据支持。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

选取 10 头饲养条件、生长环境相近的 6 月龄杜长大去势公猪为试验材料,平均胴体质量(76.31±2.32)kg,按北京顺鑫农业股份有限公司鹏程食品分公司规定的程序进行屠宰,宰后选取猪背最长肌。

高阻隔真空包装袋(PA/EVOH/PE,厚度 150 μm, O₂ 透过率为 4 cm³/m²/d,水蒸气透过率为 4.5 cm³/m²/d)、热收缩包装袋(PE/PVDC/EVA,厚度 55 μm, O₂ 透过率 < 20 cm³/m²/d,水蒸气透过率为 6 g/m²/d)、气调包装盒(PP)、托盘包装盒(PP)、气调包装盖膜(PA/EVOH/PE,厚度 100 μm, O₂ 透过率为 2 cm³/m²/d,水蒸气透过率为 5 g/m²/d)由升辉新材料股份有限公司提供。

pH 校准液(pH=4.00, pH=7.00),赛默飞世尔科技(中国)有限公司;平板计数琼脂、生理盐水,青岛海博生物有限公司;硼酸、盐酸、甲基红、溴甲酚绿、乙醇、氧化镁,国药集团北京有限公司;2-硫代巴比妥酸、氯仿、丁基羟基茴香醚,上海阿拉丁生化科技股份有限公司。

1.2 仪器与设备

TL500 托盘包装机,德国 Vibomec 公司;Plus-Vac21 小型真空包装机,德国 Calmette 制造有限公司;ML204/02 电子分析天平,瑞士 METTLER-TOLEDO 仪器设备公司;HH-4S 恒温水浴锅,荣华仪器有限公司;LS-B100L 蒸汽灭菌器,滨江医疗设备有限公司;SW-CJ-2FD 洁净工作台,苏净安泰有限公司;205 便携式 pH 计,德国 Testo 公司;TA-XTplus[®]质构仪,英国 Stable Micro System 制

造有限公司;CM-600D 色差计, Konica 办公系统有限公司;Kjeltec 8200 全自动凯氏定氮仪,丹麦 FOS 公司;SpectraMax190 酶标仪,美国 Molecular Devices 制造有限公司。

1.3 方法

1.3.1 样品制备 从猪屠宰放血开始计时,宰后 30 min 内取下猪右侧背最长肌(取约 2 kg),在无菌条件下剔除表面筋膜和脂肪后均分成 4 等份(每份约 500 g),置于保温箱中 30 min 内转运到-35 °C速冻库(风速 3 m/s)中进行超快速冷却处理。猪背最长肌中心温度降至目标温度(-1 °C)的平均时间为 2 h 38 min,平均冷却速度为 14.43 °C/h。取出样品随机进行有氧托盘包装、气调包装(50%O₂+50%CO₂)、真空包装和真空收缩包装(样品抽真空热封后,置于(85±1)°C热水中约 2~3 s)。随后转入(-1.0±0.5)°C冰温柜中贮藏。根据货架期差异,AP 和 MAP 于宰后 1, 5, 10, 15, 20, 30 d 取样,VP 和 VSP 于宰后 1, 10, 20, 30, 40, 50 d 取样,测定 pH、肉色、蒸煮损失、质构特性和菌落总数(Total viable counts, TVC)等指标,并将剩余肉样置于液氮中速冻后运回实验室统一测定所有时间点的挥发性盐基氮(Total volatile base nitrogen, TVB-N)和硫代巴比妥酸(Thio barbituric acid reactive substances, TBARS)值等指标。

1.3.2 指标测定

1.3.2.1 pH 参考 Szerman 等^[8]的方法,使用便携式 pH 计进行 pH 指标测定。使用 pH 标准缓冲液(pH=4.00, pH=7.00)校准 pH 计后,将探头插入肉样中,等待 pH 计显示读数稳定,记录数据。

1.3.2.2 肉色 参考 Li 等^[9]的方法,使用 CM-600D Minolt 色差计测定肉色指标。测定前先将仪器校准。在每组肉样的表面随机选择 4 个点进行测定,并记录亮度值 L^* 、红度值 a^* 和黄度值 b^* 。

1.3.2.3 蒸煮损失 参考 Hopkins 等^[10]的方法,取 4 cm × 3 cm × 3 cm 肉样质量记为 M_1 ,放置于蒸煮袋内,排出袋内空气。置于 71 °C 的水浴中加热 35 min 后,将肉样取出用流水冷却 30 min,用滤纸擦去表面水分后称重记为 M_2 ,并计算蒸煮损失。

$$\text{蒸煮损失}(\%) = \frac{M_1 - M_2}{M_1} \times 100 \quad (1)$$

1.3.2.4 质构 参考 Ma 等^[11]的方法,将蒸煮后的

肉样切成 1.0 cm × 1.0 cm × 1.0 cm 的正方体置于探头正下方,使用质构仪分析,在实际测量前对质构仪进行校核(力度校核和探头高度校核)。测定样品的硬度、弹性、咀嚼性、回弹性及凝聚性。

1.3.2.5 菌落总数 参考《食品安全国家标准-食品微生物学检验 菌落总数的测定》(GB 4789.2-2016)^[12]进行测定。

1.3.2.6 挥发性盐基氮 参考 Huang 等^[13]的方法,取 5 g 肉样加入 50 mL 超纯水,室温下匀浆 30 min,5 000×g 离心 10 min,取 10 mL 上清液与 1 g 氧化镁混合,利用全自动凯氏定氮仪测定挥发性盐基氮,结果以 mg/100 g 表示。

1.3.2.7 硫代巴比妥酸 参考 Sinnhuber 和 Yu^[14]的方法,取 2 g 绞碎搅匀的样品放入 50 mL 离心管中,加入 3 mL 1%的硫代巴比妥酸溶液、17 mL 2.5%的氯仿盐酸混合液和 1 mL 丁基羟基茴香醚。将样品置于 100 °C 的水浴中加热 30 min 后,流水冷却至室温。取上清液 3 mL 与等量氯仿混合,3 000×g 离心 10 min,532 nm 波长处测定上清液的吸光度。 A_{532nm} 指上清液在 532 nm 波长处的吸光度, m 指猪肉样品的质量,结果以 mg MDA/kg 猪肉表示。

$$TBARS = \frac{A_{532}}{m} \times 9.48 \quad (2)$$

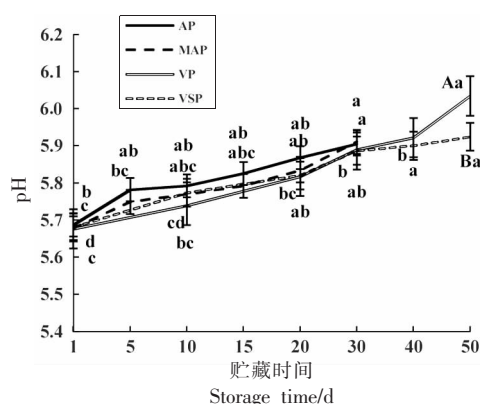
1.4 数据处理

本试验进行 10 个生物学重复。试验结果通过 Microsoft Excel 2013 软件进行数据处理,IBM SPSS Statistics 22 软件进行分析。采用 t 检验分析同一时间点仅有 2 个包装处理组的样品各品质指标的差异显著性($P < 0.05$)。采用单因素方差分析中 Duncan 多重比较分析同一包装不同时间点和同一时间点 3 个及以上包装处理组的样品各品质指标的差异显著性($P < 0.05$)。结果以“平均值±标准差”表示。

2 结果与分析

2.1 超快速冷却结合不同包装处理猪肉 pH 变化

超快速冷却结合不同包装猪肉在贮藏期内 pH 变化如图 1 所示。超快速冷却结合 4 种包装猪肉的初始 pH 值相近,均在 5.68~5.69 范围之内。随着贮藏时间延长,所有样品 pH 均呈上升趋势



注:不同小写字母表示同一处理组宰后不同贮藏时间猪肉 pH 具有显著差异($P < 0.05$);不同大写字母表示不同处理组同一贮藏时间猪肉 pH 具有显著差异($P < 0.05$)。

图 1 超快速冷却结合不同包装对猪肉贮藏期间 pH 的影响

Fig.1 Effects of very fast chilling with different packaged pork on pH during storage

($P < 0.05$)。贮藏至 30 d 时,所有处理组猪肉 pH 值均在 5.89~5.91 之间,其中 AP 与 MAP 猪肉 pH 值为 5.91;贮藏至 50 d 时,VP 与 VSP 猪肉 pH 值在 5.92~6.03 之间。本研究 AP 猪肉 pH 整体大于其它 3 种包装猪肉,推测可能是随着贮藏时间的延长,AP 猪肉相比于其它 3 种包装猪肉蛋白水解和微生物代谢产物积累更为严重,因此其 pH 最高,这与刘婷婷等^[15]研究结果相似。相关文献报道,一级鲜肉 pH 值范围为 5.8~6.2,故当 pH > 6.2 时其新鲜度降低^[16-17]。因此,仅从 pH 角度来分析,本研究中超快速冷却结合 4 种包装猪肉均处于鲜肉 pH 值范围(pH < 6.2)。

2.2 超快速冷却结合不同包装处理猪肉肉色变化

肉色对于广大消费者而言是评价肉品卫生程度和新鲜度的品质指标之一^[18]。超快速冷却结合不同包装猪肉在贮藏过程中亮度值 L^* 、红度值 a^* 、黄度值 b^* 变化如表 1 所示。随着贮藏时间的延长,超快速冷却结合 AP 猪肉亮度值 L^* 、红度值 a^* 、黄度值 b^* 无明显差异($P > 0.05$);超快速冷却结合 MAP、VP 和 VSP 猪肉的亮度值 L^* 和黄度值 b^* 整体呈上升趋势($P < 0.05$),红度值 a^* 呈先上升后下降的趋势($P < 0.05$)。

前人研究表明,不同气体比例的 MAP(10%

O₂+90%N₂、70%O₂+30%CO₂)猪肉随着贮藏时间的延长亮度值 L^* 整体呈上升趋势^[19-20],这与本研究结果一致。超快速冷却结合 MAP 猪肉在贮藏过程中红度值 a^* 整体呈先上升后下降的变化趋势,这与杜曼婷等^[21]研究结果一致;这可能是由于贮藏初期 O₂ 充足,有利于肉中肌红蛋白向氧合肌红蛋白转化,使肉品呈现鲜红色,从而红度值 a^* 上升^[22];而伴随着贮藏时间的延长,猪肉 pH 升高,不利于氧合肌红蛋白的形成,肉样变得暗淡,导致红度值 a^* 降低^[23]。而整体来说,超快速冷却结合 MAP 猪肉红度值 a^* 高于其它 3 种包装,说明超快速冷却与 MAP(50%O₂+50%CO₂)结合对维持猪肉稳定的肉色起到积极的作用。

2.3 超快速冷却结合不同包装处理猪肉蒸煮损失变化

肉品在贮藏过程中的保水能力及品质变化可通过蒸煮损失这一指标来进行评判^[24]。超快速冷却结合不同包装猪肉在贮藏过程中蒸煮损失变化如图 3 所示。随着贮藏时间的延长,超快速冷却结合 4 种包装猪肉蒸煮损失总体均呈上升的变化趋势($P < 0.05$),表明猪肉的保水能力随着贮藏时间的延长而下降。

超快速冷却结合 AP 和 MAP 猪肉在贮藏期间的蒸煮损失均大于 VP 和 VSP,这可能是由于 VP 和 VSP 猪肉经真空挤压造成猪肉汁液流失严重,蒸煮前肌肉含水量达到稳定状态^[25-26]。Jakobsen

表 1 超快速冷却结合不同包装对猪肉贮藏期间肉色 L^* 、 a^* 、 b^* 值的影响

Table 1 Effects of very fast chilling with different packaged pork on L^* , a^* , b^* value during storage

指标	贮藏时间/d	包装方式			
		AP	MAP	VP	VSP
亮度值 (L^*)	1	49.42 ± 2.03 ^{ABa}	51.24 ± 2.17 ^{Ab}	48.22 ± 2.70 ^{Bc}	47.67 ± 2.76 ^{Bc}
	5	48.91 ± 5.35 ^{Aa}	48.95 ± 4.07 ^{Ab}	—	—
	10	50.49 ± 4.23 ^{Aa}	51.22 ± 3.30 ^{Aab}	48.51 ± 3.89 ^{Ac}	51.42 ± 5.19 ^{ABc}
	15	49.54 ± 2.86 ^{Aa}	51.95 ± 2.21 ^{Aa}	—	—
	20	51.47 ± 4.56 ^{Aa}	52.60 ± 2.12 ^{Aa}	52.82 ± 3.55 ^{Ab}	50.53 ± 4.50 ^{ABc}
	30	51.72 ± 3.90 ^{ABa}	52.62 ± 2.41 ^{Aa}	49.67 ± 2.84 ^{ABc}	52.20 ± 3.08 ^{AB}
	40	—	—	50.36 ± 5.76 ^{ABc}	52.60 ± 4.07 ^{Ab}
	50	—	—	66.10 ± 2.75 ^{Aa}	63.21 ± 3.67 ^{Aa}
红度值 (a^*)	1	3.32 ± 1.32 ^{Aa}	2.59 ± 1.66 ^{ABb}	0.15 ± 1.90 ^{Cd}	1.30 ± 2.25 ^{BCd}
	5	2.93 ± 1.24 ^{Aa}	4.12 ± 1.52 ^{Aa}	—	—
	10	2.51 ± 0.99 ^{Aa}	2.95 ± 1.09 ^{Aab}	1.93 ± 1.80 ^{Ac}	0.69 ± 1.01 ^{Bb}
	15	3.01 ± 1.01 ^{Aa}	2.56 ± 0.45 ^{Ab}	—	—
	20	2.99 ± 1.07 ^{Aa}	3.16 ± 0.91 ^{Aab}	1.30 ± 1.96 ^{Bd}	2.00 ± 1.15 ^{ABb}
	30	3.35 ± 1.01 ^{Aa}	3.62 ± 0.83 ^{ABb}	3.20 ± 1.37 ^{ABc}	1.66 ± 0.93 ^{Bb}
	40	—	—	4.50 ± 1.74 ^{Aa}	3.90 ± 1.26 ^{Aa}
	50	—	—	4.21 ± 0.85 ^{Aab}	4.94 ± 2.01 ^{Aa}
黄度值 (b^*)	1	11.57 ± 1.50 ^{Aa}	11.30 ± 0.84 ^{Aab}	8.78 ± 1.39 ^{Bc}	9.04 ± 0.92 ^{Bc}
	5	10.16 ± 1.59 ^{Aa}	11.21 ± 1.72 ^{Aab}	—	—
	10	10.85 ± 0.96 ^{Aa}	11.65 ± 0.69 ^{Aab}	8.96 ± 1.09 ^{Bc}	9.54 ± 1.27 ^{Bc}
	15	10.60 ± 1.52 ^{Aa}	10.63 ± 1.43 ^{Ab}	—	—
	20	11.22 ± 1.68 ^{ABa}	12.14 ± 1.36 ^{Aa}	10.33 ± 1.34 ^{ABc}	10.04 ± 1.43 ^{Bc}
	30	10.97 ± 1.07 ^{ABa}	12.20 ± 1.06 ^{Aa}	9.78 ± 2.34 ^{Bc}	10.55 ± 1.59 ^{ABc}
	40	—	—	11.68 ± 1.30 ^{Ab}	12.37 ± 2.29 ^{Ab}
	50	—	—	14.45 ± 1.67 ^{Aa}	15.25 ± 2.45 ^{Aa}

注:不同小写字母表示同一处理组不同贮藏时间猪肉亮度值 L^* 、红度值 a^* 、黄度值 b^* 具有显著差异($P < 0.05$);不同大写字母表示不同处理组同一贮藏时间猪肉亮度值 L^* 、红度值 a^* 、黄度值 b^* 具有显著差异($P < 0.05$);“—”表示未检测。

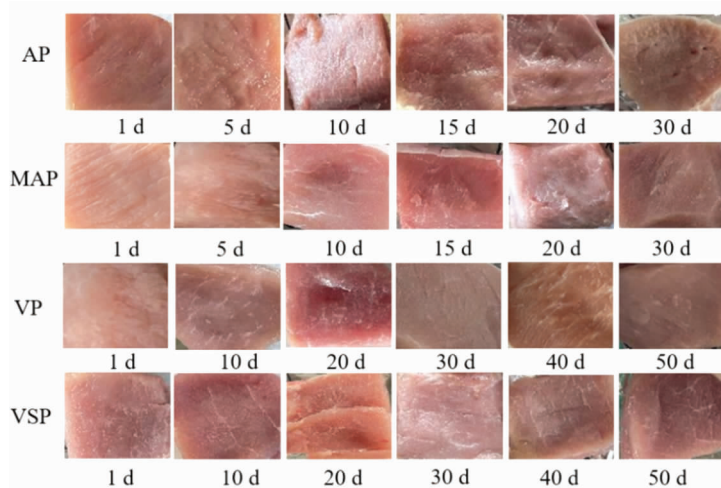
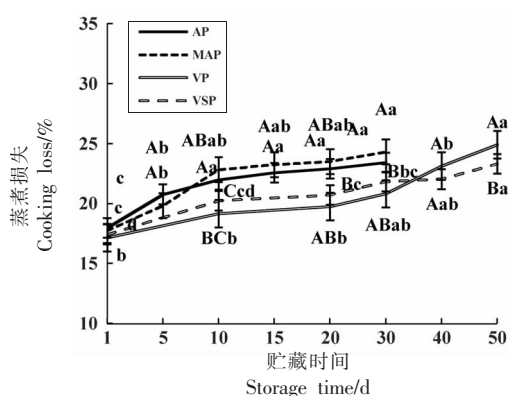


图2 超快速冷却结合不同包装贮藏猪肉直观图

Fig.2 Visualization of very fast chilling with different packages for pork storage



注：不同小写字母表示同一处理组宰后不同贮藏时间猪肉蒸煮损失具有显著差异($P < 0.05$)；不同大写字母表示不同处理组同一贮藏时间猪肉蒸煮损失具有显著差异($P < 0.05$)。

图3 超快速冷却结合不同包装对猪肉贮藏期间蒸煮损失的影响

Fig.3 Effects of very fast chilling with different packaged pork on cooking loss value during storage

等^[27]报道了 MAP 中注入的 CO_2 会使肉品的蒸煮损失增大,由于 CO_2 被肌肉组织吸收,加热会引起 CO_2 加速释放,形成大量孔隙,最终使肉品的保水力下降。因此 MAP 的蒸煮损失较高,这与本研究结果保持一致。

2.4 超快速冷却结合不同包装处理猪肉质构变化

肉品在组织劣变过程中,肌肉组织在蛋白酶和微生物作用下进一步分解,肌纤维发生断裂,使其整体结构变得松软,表面出现具有黏性的蛋白

和蛋白胨,改变了肉品的质构特性^[28-29],因此质构可用来表征肉品的组织状态、结构和口感等。超快速冷却结合不同包装猪肉在贮藏过程中质构参数变化如表 2 所示,随着贮藏时间的延长,超快速冷却结合 4 种包装猪肉的硬度和咀嚼性呈下降趋势($P < 0.05$)。可能由于肌原纤维在贮藏过程中被分解,围绕每个肌原纤维的肌质网瓦解,大部分可溶性肌纤维蛋白被降解,钙离子被释放,钾离子被吸收^[29-31]。因此肌肉的保水力提高,猪肉的嫩度增加,从而导致硬度降低。超快速冷却结合 VP 和 VSP 猪肉的硬度、咀嚼性的下降速度明显大于 AP 和 MAP 猪肉,随后下降速度趋于平缓。

2.5 超快速冷却结合不同包装处理猪肉菌落总数变化

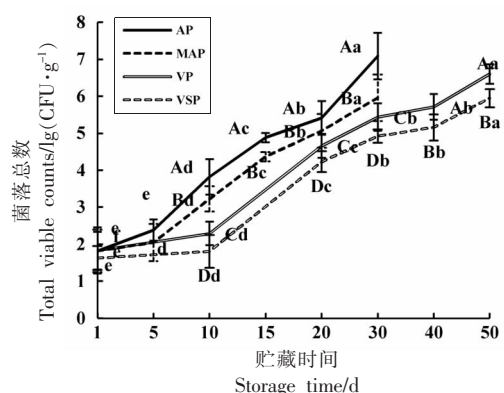
微生物污染是导致肉品货架期缩短至关重要的原因之一,TVC 能直接反映微生物对肉品的污染程度,因此 TVC 常被作为衡量肉品新鲜度和货架期的重要指标^[32]。超快速冷却结合 4 种包装猪肉在贮藏期内 TVC 变化如图 4 所示。4 种包装猪肉在贮藏期间均呈上升趋势。本研究中,4 种包装猪肉的初始 TVC 相近,处于 $1.63 \sim 1.83 \lg(\text{CFU/g})$ 范围之内。《NY/T 632-2002 冷却猪肉》^[33] 中规定微生物限量阈值为 $6.00 \lg(\text{CFU/g})$,超快速冷却结合 AP 贮藏至 20 d 时,猪肉 TVC 为 $5.41 \lg(\text{CFU/g})$;超快速冷却结合 MAP ($50\% \text{O}_2 + 50\% \text{CO}_2$) 贮藏至 30 d 时,猪肉 TVC 为 $5.96 \lg(\text{CFU/g})$ 。

表 2 超快速冷却结合不同包装对猪肉贮藏期间质构的影响

Table 2 Effects of very fast chilling with different packaged pork on TPA value during storage

指标	贮藏 时间/d	包装方式			
		AP	MAP	VP	VSP
硬度/g	1	11 317.69 ± 474.31 ^{Ala}	11 788.45 ± 1 514.97 ^{Aa}	10 475.50 ± 572.82 ^{Ba}	10 526.00 ± 1 172.00 ^{Ba}
	5	10 766.56 ± 774.42 ^{Aa}	10 029.10 ± 1 349.24 ^{Ab}	—	—
	10	9 836.03 ± 748.06 ^{Ab}	9 804.40 ± 1 133.86 ^{Abc}	8 907.47 ± 1 188.04 ^{Ab}	8 836.00 ± 991.00 ^{Ab}
	15	8 961.67 ± 928.06 ^{Ac}	8 988.27 ± 626.10 ^{Abcd}	—	—
	20	8 822.16 ± 1 062.79 ^{Ac}	8 774.34 ± 1 178.06 ^{Accl}	8 250.30 ± 685.01 ^{Abc}	8 036.48 ± 972.02 ^{Abc}
	30	8 592.95 ± 988.08 ^{Ac}	8 603.75 ± 531.07 ^{Ad}	8 137.74 ± 989.28 ^{Abc}	8 002.00 ± 1 098.75 ^{Abc}
	40	—	—	7 521.77 ± 984.15 ^{Ac}	7 462.58 ± 1 083.68 ^{Ac}
	50	—	—	7 415.23 ± 854.17 ^{Ac}	7 314.84 ± 883.63 ^{Ac}
咀嚼性/g	1	3 265.77 ± 397.43 ^{Ala}	3 309.29 ± 321.98 ^{Aa}	2 897.99 ± 567.45 ^{Ba}	2 359.24 ± 338.25 ^{Ca}
	5	2 774.27 ± 556.56 ^{Ab}	3 004.99 ± 567.45 ^{Ab}	—	—
	10	2 537.21 ± 590.84 ^{Bbc}	2 992.81 ± 404.20 ^{Ab}	2 452.74 ± 503.90 ^{Bb}	2 364.93 ± 434.31 ^{Ba}
	15	2 221.05 ± 532.27 ^{Ac}	2 725.44 ± 375.95 ^{Abc}	—	—
	20	2 088.94 ± 613.36 ^{Ac}	2 359.59 ± 193.87 ^{Accl}	2 452.74 ± 387.36 ^{Abc}	1 974.15 ± 451.85 ^{Ab}
	30	2 017.24 ± 616.56 ^{Ac}	2 175.09 ± 630.72 ^{Ad}	1 906.42 ± 342.69 ^{Ac}	1 888.15 ± 353.30 ^{Ab}
	40	—	—	1 836.97 ± 401.07 ^{Ac}	1 810.78 ± 449.81 ^{Ab}
	50	—	—	1 825.94 ± 551.26 ^{Ac}	1 692.67 ± 282.20 ^{Ab}
弹性	1	0.58 ± 0.03 ^{Ab}	0.58 ± 0.03 ^{Ab}	0.58 ± 0.03 ^{Ab}	0.58 ± 0.03 ^{Ab}
	5	0.57 ± 0.03 ^{Ab}	0.57 ± 0.02 ^{Ab}	—	—
	10	0.55 ± 0.03 ^{Aa}	0.54 ± 0.02 ^{Aa}	0.54 ± 0.02 ^{Bb}	0.53 ± 0.02 ^{Bc}
	15	0.52 ± 0.02 ^{Aa}	0.52 ± 0.02 ^{Aa}	—	—
	20	0.50 ± 0.02 ^{Aa}	0.50 ± 0.03 ^{Aa}	0.5 ± 0.02 ^{Aa}	0.50 ± 0.02 ^{Aa}
	30	0.48 ± 0.02 ^{Aa}	0.48 ± 0.02 ^{Aa}	0.48 ± 0.02 ^{Ab}	0.47 ± 0.02 ^{Ac}
	40	—	—	0.45 ± 0.02 ^{Aa}	0.45 ± 0.02 ^{Aa}
	50	—	—	0.45 ± 0.03 ^{Aa}	0.45 ± 0.02 ^{Aa}
回弹性	1	0.22 ± 0.01 ^{Aa}	0.22 ± 0.02 ^{Aa}	0.20 ± 0.02 ^{Ba}	0.19 ± 0.01 ^{Ca}
	5	0.19 ± 0.01 ^{Ab}	0.19 ± 0.03 ^{Ab}	—	—
	10	0.17 ± 0.01 ^{Bc}	0.19 ± 0.01 ^{Abc}	0.18 ± 0.02 ^{Ab}	0.18 ± 0.01 ^{Ab}
	15	0.17 ± 0.01 ^{Ac}	0.18 ± 0.01 ^{Abc}	—	—
	20	0.17 ± 0.01 ^{Ac}	0.17 ± 0.01 ^{Abc}	0.18 ± 0.02 ^{Ab}	0.18 ± 0.03 ^{Ab}
	30	0.16 ± 0.01 ^{Ad}	0.17 ± 0.02 ^{Ac}	0.18 ± 0.01 ^{Ab}	0.17 ± 0.01 ^{Ab}
	40	—	—	0.17 ± 0.02 ^{Ab}	0.17 ± 0.01 ^{Ab}
	50	—	—	0.17 ± 0.02 ^{Ab}	0.16 ± 0.01 ^{Ab}
凝聚性	1	0.51 ± 0.01 ^{Aa}	0.51 ± 0.01 ^{Ala}	0.51 ± 0.01 ^{Ala}	0.50 ± 0.01 ^{Ba}
	5	0.52 ± 0.02 ^{Aa}	0.50 ± 0.03 ^{Ab}	—	—
	10	0.48 ± 0.02 ^{Ab}	0.48 ± 0.04 ^{Abc}	0.49 ± 0.04 ^{Ab}	0.49 ± 0.02 ^{Aa}
	15	0.47 ± 0.02 ^{Abc}	0.47 ± 0.02 ^{Accl}	—	—
	20	0.46 ± 0.03 ^{Bc}	0.46 ± 0.03 ^{Bcd}	0.48 ± 0.03 ^{Ab}	0.49 ± 0.01 ^{Aa}
	30	0.45 ± 0.03 ^{Ac}	0.45 ± 0.01 ^{Ad}	0.47 ± 0.03 ^{Abc}	0.46 ± 0.02 ^{Ab}
	40	—	—	0.45 ± 0.04 ^{Accl}	0.46 ± 0.03 ^{Ab}
	50	—	—	0.44 ± 0.03 ^{Ad}	0.45 ± 0.02 ^{Ab}

注:不同小写字母表示同一处理组宰后不同贮藏时间猪肉质构具有显著差异($P < 0.05$);不同大写字母表示不同处理组同一贮藏时间猪肉质构具有显著差异($P < 0.05$),“—”表示未检测。



注:不同小写字母表示同一处理组宰后不同贮藏时间猪肉 TVC 具有显著差异 ($P < 0.05$);不同大写字母表示不同处理组同一贮藏时间猪肉 TVC 具有显著差异 ($P < 0.05$)。

图4 超快速冷却结合不同包装对猪肉贮藏期间菌落总数的影响

Fig.4 Effects of very fast chilling with different packaged pork on total viable counts during storage

g);超快速冷却结合 VP 贮藏至 40 d 时,猪肉 TVC 为 5.71 lg(CFU/g);超快速冷却结合 VSP 贮藏至 50 d 时,猪肉 TVC 为 5.95 lg(CFU/g),在以上贮藏时间点猪肉 TVC 均未超出限量阈值。

Bassey 等^[34]研究表明,在冰温 (-1 ± 1) $^{\circ}\text{C}$ 贮藏的 AP 和 MAP 猪肉达到 TVC 上限值时间为 28 d,这与本研究结果基本一致。此外,Zhao 等^[35]研究 VP 猪肉的 TVC 在 21 d 时高达 6.00 lg(CFU/g),而本研究中经超快速冷却后的猪肉初始 TVC (1.83 ± 0.62) lg(CFU/g) 较低,因此货架期较长。AP 和 MAP 猪肉的 TVC 总是高于 VP 猪肉,这可能是因为 AP 和 MAP 的含氧量较高,更有利于微生物的生长。而超快速冷却结合 VSP 相较于 VP 而言,能够更好的延长冷鲜猪肉的货架期,可能原因是由于 VSP 的高收缩性和高阻隔性对抑制微生物的生长繁殖起到一定的作用,这与吕永平等^[36]采用二段冷却法对猪肉进行不同包装研究结果一致。

2.6 超快速冷却结合不同包装处理猪肉挥发性盐基氮变化

TVB-N 是肉品在微生物及内源性酶作用下降解产生的挥发性氨和胺类等碱性物质,其也是衡量肉品新鲜度和货架期的重要指标之一^[37]。超快速冷却结合 4 种包装猪肉在贮藏过程中 TVB-

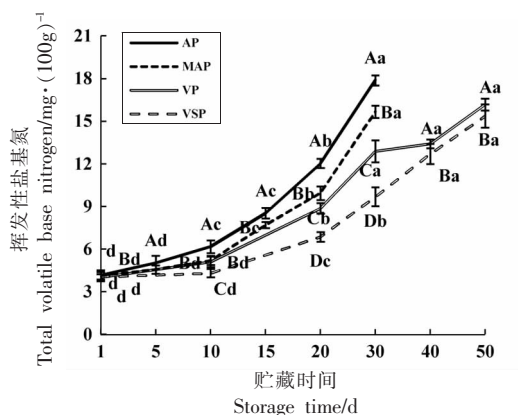
N 变化如图 5 所示。随着贮藏时间的延长,4 种包装猪肉的 TVB-N 整体呈稳步上升的趋势 ($P < 0.05$)。

本研究中超快速冷却结合不同包装猪肉的 TVB-N 与 TVC 含量具有一致的变化趋势,当 TVC 增长至一定程度时,TVB-N 含量进入快速增加状态,这与 Xiao 等^[38]和 Hong 等^[39]研究结果一致。其可能原因是伴随着猪肉贮藏时间的延长,微生物数量增加,分泌出大量的酶来分解蛋白质,从而导致猪肉 TVB-N 含量增加^[40-41]。超快速冷却结合 AP 和 MAP 猪肉在贮藏 30 d 时,其 TVB-N 含量分别达到 17.89, 15.67 mg/100 g;超快速冷却 VP 和 VSP 猪肉在贮藏 50 d 时,其 TVB-N 含量分别达到 16.18, 15.37 mg/100 g,均超出 GB 2707-2016 《鲜(冻)畜、禽产品》^[42]中规定的 15 mg/100 g。表明超快速冷却结合 AP 猪肉货架期超过 20 d;超快速冷却结合 MAP(50% O_2 +50% CO_2)猪肉货架期接近 30 d;超快速冷却结合 VP 猪肉货架期超过 40 d;超快速冷却结合 VSP 猪肉货架期接近 50 d。

2.7 超快速冷却结合不同包装处理猪肉硫代巴比妥酸值变化

TBARS 值与脂肪氧化程度有关,是评价肉品在贮藏过程中脂肪氧化产物丙二醛的变化,是造成肉品腐败变质和颜色产生褐变的重要原因之一,能够反应肉品的安全性和可靠性^[43-44]。超快速冷却处理后结合不同包装猪肉在贮藏过程中 TBARS 值变化如图 6 所示。超快速冷却结合 4 种包装的猪肉初始 TBARS 值约为 0.12 mg MDA/kg,随着贮藏时间的延长,超快速冷却结合不同包装猪肉 TBARS 值整体均呈上升趋势 ($P < 0.05$)。超快速冷却结合 4 种包装猪肉在贮藏前期(1~10 d) TBARS 值上升均不显著 ($P > 0.05$),说明贮藏前期猪肉脂肪氧化程度低,肉品新鲜程度较高。

本研究中超快速冷却结合不同包装猪肉 TBARS 值随贮藏时间延长而逐渐升高,这主要是由于不饱和脂肪酸在氧的作用下产生的醛和酮所致^[45];随着贮藏时间的延长,猪肉中的微生物数量不断增长,脂肪氧化速率加快,表现为 TBARS 值呈指数型上升,这与 Liang 等^[15]研究结果一致。Tarladgis 等^[46]研究表明,TBARS 值在 0.5~1.0 mg MDA/kg 范围之间不会产生腐败气味,含量是可以



注：不同小写字母表示同一处理组宰后不同贮藏时间猪肉 TVB-N 具有显著差异 ($P < 0.05$)；不同大写字母表示不同处理组同一贮藏时间猪肉 TVB-N 具有显著差异 ($P < 0.05$)。

图 5 超快速冷却结合不同包装对猪肉贮藏期间 TVB-N 的影响

Fig.5 Effects of very fast chilling with different packaged pork on TVB-N value during storage

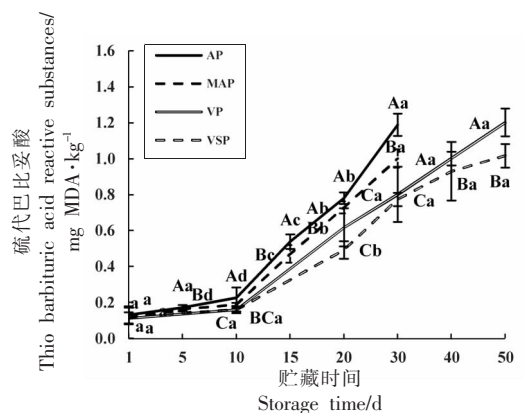
接受的；而本研究中，超快速冷却结合 AP、MAP、VP 和 VSP 猪肉分别在贮藏 20、30、40、50 d 时，其 TBARS 值均不超过 1.0 mg MDA/kg，在可接受范围内。

3 结论

包装方式的选择直接影响超快速冷却猪肉在贮藏期内的品质和新鲜度变化，超快速冷却结合 MAP(50%O₂+50%CO₂)有利于维持猪肉贮藏期间色泽及其稳定性，货架期接近 30 d；超快速冷却结合 VSP，更适宜冷鲜猪肉长期贮藏，货架期接近 50 d。因此，采用超快速冷却与包装组合，可延长冷鲜猪肉的货架期，为冷鲜猪肉调运提供数据支撑。

参 考 文 献

- [1] 张德权, 侯成立. 热鲜肉与冷却肉品质差异之管见[J]. 肉类研究, 2020, 34(5): 83-90.
- [2] JOSEPH R L. Very fast chilling of beef and tenderness—a report from an EU concerted action[J]. Meat Science, 1996, 43(1): 217-227.



注：不同小写字母表示同一处理组宰后不同贮藏时间猪肉 TBARS 具有显著差异 ($P < 0.05$)；不同大写字母表示不同处理组同一贮藏时间猪肉 TBARS 具有显著差异 ($P < 0.05$)。

图 6 超快速冷却结合不同包装对猪肉贮藏期间 TBARS 的影响

Fig.6 Effects of very fast chilling with different packaged pork on TBARS value during storage

- [3] BELLÉS M, ALONSO V, RONCALÉS P. The combined effects of superchilling and packaging on the shelf life of lamb[J]. Meat Science, 2017, 133(11): 126-132.
- [4] YAN T J, HOU C L, WANG Z Y, et al. Effects of chilling rate on progression of rigor mortis in postmortem lamb meat[J]. Food Chemistry, 2022, 373(Pt B): 131463.
- [5] LIANG C, ZHANG D Q, WEN X Y, et al. Effects of chilling rate on the freshness and microbial community composition of lamb carcasses[J]. LWT – Food Science and Technology, 2021, 153: 112559.
- [6] 路立立, 胡宏海, 张春江, 等. 真空收缩包装对冷却肉品质的影响[J]. 中国食品学报, 2016, 16(6): 145-152.
- [7] LU L L, HU H H, ZHANG C J, et al. The effect of vacuum shrink packaging on quality of chilled pork meat[J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2016, 16(6): 145-152.
- [8] 赵莹鑫, 张德权, 葛岳, 等. 包装方式和宰后不同时间包装对羊肉品质的影响[J]. 食品科学, 2022, 43(15): 199-208.
- [8] ZHAO Y X, ZHANG D Q, GE Y, et al. Effects of packaging methods and packaging at different post-mortem time on the quality of lamb meat[J]. Food Science, 2022, 43(15): 199-208.
- [8] SZERMAN N, RAO W L, LI X, et al. Effects of

- the application of dense phase carbon dioxide treatments on technological parameters, physicochemical and textural properties and microbiological quality of lamb sausages[J]. *Food Engineering Reviews*, 2014, 7(2): 241–249.
- [9] LI X, YAN Z, LI Z, et al. The effect of temperature in the range of -0.8 to 4 °C on lamb meat color stability[J]. *Meat Science*, 2017, 134: 28–33.
- [10] HOPKINS D L, TOOHEY E S, WARNER R D, et al. Measuring the shear force of lamb meat cooked from frozen samples: comparison of two laboratories [J]. *Animal Production Science*, 2010, 50(6): 382–385.
- [11] MA H J, LEDWARD D A. High pressure/thermal treatment effects on the texture of beef muscle[J]. *Meat Science*, 2004, 68(3): 347–355.
- [12] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会, 国家食品药品监督管理总局. 食品安全国家标准 食品微生物检验 菌落总数测定:GB 4789.2–2016[S]. 北京: 中国标准出版社, 2016: 1–5.
- State Health and Family Planning Commission of the People's Republic of China, State Food and Drug Administration. National food safety standard of Food microbiological testing determination of total viable counts: GB 4789.2–2016[S]. Beijing: China Standards Press, 2016: 1–5.
- [13] HUANG X W, ZOU X B, SHI J Y, et al. Determination of pork spoilage by colorimetric gas sensor array based on natural pigments[J]. *Food Chemistry*. 2014, 145(15): 549–554.
- [14] SINNHUBER R O, YU T C. The 2–thiobarbituric acid reaction, an objective measure of the oxidative deterioration occurring in fats and oils[J]. *Journal of Japan Oil Chemists' Society*, 1977, 26(5): 259–267.
- [15] 刘婷婷, 岳琪琪, 张毅, 等. 不同环境温度对冷鲜猪肉品质及菌群多样性影响[J]. *食品科技*, 2021, 46(9): 116–123.
- LIU T T, YUE Q Q, ZHANG Y, et al. Effects of different environmental temperatures on quality and microbial diversity of chilled pork[J]. *Food Science and Technology*, 2021, 46(9): 116–123.
- [16] 李昊阳. 不同包装、包装条件对牛肉在贮藏期间品质的影响[D]. 大连: 大连工业大学, 2017.
- LI H Y. Effects of different packaging materials and packaging conditions on the quality of beef storage [D]. Dalian: Dalian Polytechnic University, 2017.
- [17] OLAOYE O. Changes in physicochemical properties and volatiles of pork balangu as possible indicators of spoilage during ambient temperature storage [J]. *Journal of Food Processing and Preservation*, 2016, 40(3): 473–482.
- [18] SUJIWO J, KIM H J, SONG S O, et al. Relationship between quality and freshness traits and torrymeter value of beef loin during cold storage [J]. *Meat Science*, 2019, 149(5): 120–125.
- [19] YE K, DING D, ZHU X, et al. Modified atmosphere packaging with a small change in gas ratio could maintain pork quality during 3 °C storage [J]. *Food Control*, 2020, 109(3): 106943.
- [20] BASSEY A P, CHEN Y F, ZHU Z S, et al. Assessment of quality characteristics and bacterial community of modified atmosphere packaged chilled pork loins using 16S rRNA amplicon sequencing analysis[J]. *Food Research International*, 2021, 145(1): 110412.
- [21] 杜曼婷, 李培迪, 李欣, 等. 冰温贮藏结合不同包装方式对羊肉品质的影响[J]. *食品工业科技*, 2016, 37(14): 324–328, 343.
- DU M T, LI P D, LI X, et al. Effects of controlled freezing point combined with package on mutton quality during storage[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2016, 37(14): 324–328, 343.
- [22] TRINDERUP C H, KIM Y H. Fresh meat color evaluation using a structured light imaging system[J]. *Food Research International* 2015, 71(5): 100–107.
- [23] MARTINEZ L, DJENANE D, CILIA I, et al. Effect of varying oxygen concentrations on the shelf-life of fresh pork sausages packaged in modified atmosphere[J]. *Food Chemistry*, 2006, 94(2): 219–225.
- [24] ZHANG X, GAO T, SONG L, et al. Effects of different thawing methods on the quality of chicken breast[J]. *International Journal of Food Science & Technology*, 2017, 52(9): 2097–2105.
- [25] XIA X, KONG B, QIAN L, et al. Physicochemical change and protein oxidation in porcine longissimus dorsi as influenced by different freeze–thaw cycles[J]. *Meat Science*, 2009, 83(2): 239–245.
- [26] MCMILLIN K W. Where is MAP Going? A review and future potential of modified atmosphere packag-

- ing for meat[J]. *Meat Science*, 2008, 80(1): 43–65.
- [27] JAKOBSEN M, BERTELSEN G. The use of CO₂ in packaging of fresh red meats and its effect on chemical quality changes in the meat: A review[J]. *Journal of Muscle Foods*, 2010, 13(2): 143–168.
- [28] 王政纲, 赵丽华, 苏琳, 等. 冰温贮藏羊肉电阻抗特性及肉品质相关性分析[J]. *食品科学*, 2019, 40(1): 249–255.
- WANG Z G, ZHAO L H, SU L, et al. Correlation analysis between electrical impedance and quality of mutton during controlled freezing-point storage [J]. *Food Science*, 2019, 40(1): 249–255.
- [29] HU Y J, QIAO J L, ZHANG X, et al. Antimicrobial activity of magnolia officinalis extracts *in vitro* and its effects on the preservation of chilled mutton [J]. *Journal of Food Biochemistry*, 2011, 35(2): 425–441.
- [30] 孙天利, 张秀梅, 张平, 等. 冰温结合真空包装处理对牛肉组织结构变化的影响[J]. *食品科学*, 2013, 34(22): 327–331.
- SUN T L, ZHANG X M, ZHANG P, et al. Effect of controlled freezing point storage combined with vacuum packaging on texture and histological structure of beef[J]. *Food Science*, 2013, 34(22): 327–331.
- [31] RAHMAN M S, AL-FARSI S A. Instrumental texture profile analysis (TPA) of date flesh as a function of moisture content[J]. *Journal of Food Engineering*, 2005, 66(4): 505–511.
- [32] PELLISSERY A J, VINAYAMOHAN P G, AMALARADIOU M A, et al. Spoilage bacteria and meat quality[M]. Biswas A K, Mandal P K. *Meat Quality Analysis*. Academic Press. 2020: 307–334.
- [33] 中华人民共和国农业部. 冷却猪肉: NY/T 632–2002 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2002: 1–5.
- Ministry of Agriculture of the People's Republic of China. Chilled pork: NY/T 632–2002 [S]. Beijing: China Standards Press, 2002: 1–5.
- [34] BASSEY A, CHEN Y, ZHU Z, et al. Evaluation of spoilage indexes and bacterial community dynamics of modified atmosphere packaged super-chilled pork loins[J]. *Food Control*, 2021, 130: 108383.
- [35] ZHAO F, ZHOU G H, YE K, et al. Microbial changes in vacuum-packed chilled pork during storage[J]. *Meat Science*, 2015, 100: 145–149.
- [36] 吕永平, 徐幸莲, 徐鑫. 不同包装方式对二段冷却法冷鲜猪肉品质及货架期影响的研究[J]. *通化师范学院学报*, 2014, 35(6): 46–48.
- LÜ Y P, XU X L, XU X. Effects of different packaging methods on the quality and shelf life of cold pork by two-step cooling method[J]. *Journal of Tonghua Normal University*, 2014, 35(6): 46–48.
- [37] WANG Z, SHI Y, ZHOU K, et al. Effects of different thermal temperatures on the shelf life and microbial diversity of Dezhou-braised chicken [J]. *Food Research International*, 2020, 136(1): 109471.
- [38] XIAO Y, JIAO J, GUO H H, et al. Determination of the freshness of beef strip loins (*M. longissimus lumborum*) using electronic nose[J]. *Fungal Diversity*, 2014, 7(8): 1612–1618.
- [39] HONG X, WANG J, ZHENG H J, et al. Discrimination and prediction of multiple beef freshness indexes based on electronic nose[J]. *Sensors and Actuators B: Chemical*, 2012, 161(1): 381–389.
- [40] KYE-HUN CHUNG, MYOUNG SU PARK, HAE-YEONG KIM, et al. Growth prediction and time-temperature criteria model of *Vibrio parahaemolyticus* on traditional Korean raw crab marinated in soy sauce (*ganjang-gejang*) at different storage temperatures[J]. *Food Control*, 2019, 98: 187–193.
- [41] MANSUR A R, EUN-JI S, YONG-SUN C, et al. Comparative evaluation of spoilage-related bacterial diversity and metabolite profiles in chilled beef stored under air and vacuum packaging[J]. *Food Microbiology*, 2019, 77(2): 166–172.
- [42] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会, 国家食品药品监督管理总局. 食品安全国家标准 鲜(冻)畜、禽产品: GB 2707–2016[S]. 北京: 中国标准出版社, 2016: 1–4.
- State Health and Family Planning Commission of the People's Republic of China, State Food and Drug Administration. National food safety standard of Fresh (frozen) Livestock and poultry product: GB 2707–2016 [S]. Beijing: China Standards Press, 2016: 1–4.
- [43] FAUSTMAN C, SUN Q, MANCINI R, et al. Myoglobin and lipid oxidation interactions: Mechanistic bases and control[J]. *Meat Science*, 2010, 86(1): 86–94.
- [44] HANSEN E, JUNCKER D, HENCKEL P, et al. Oxidative stability of chilled pork chops following long term freeze storage[J]. *Meat Science*, 2004, 68

- (3): 479–484.
- [45] 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.
- [46] TARLADGIS B G, WATTS B M, YOUNATHAN M T, et al. A distillation method for the quantitative determination of malonaldehyde in rancid foods [J]. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 1960, 37(1): 44–48.

Effects of Very Fast Chilling Combined with Different Packaging on the Quality of Fresh Pork

Wang Su^{1,2}, Zhang Dequan¹, Wang Wei², Yan Tongjing¹, Li Haibin³, Hou Chengli^{*}

¹*Institute of Food Science and Technology, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Key Laboratory of Agro-products Quality and Safety Control in Storage and Transport Process, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Beijing 100193*

²*Meat Processing Key Laboratory of Sichuan Province, Chengdu University, Chengdu 610106*

³*Beijing Shunxin Agricultural Co., Ltd., Pengcheng Food Branch, Beijing 101316*

Abstract This study aimed to investigate the effect of very fast chilling (chilling rate 14.43 °C/h) combined with different packaging methods on the quality of pork during storage. Pork, *M. longissimus thoracis et lumborum* muscles treated with very fast chilling was packaged by aerobic packaging (AP), 50% O₂ + 50% CO₂ modified atmosphere packaging (MAP), vacuum packaging (VP), and vacuum shrink packaging (VSP). Changes in pH, meat color, cooking loss, texture profile (hardness, springiness, chewiness, resilience and cohesiveness), total viable count (TVC), total volatile base nitrogen (TVB-N) and lipid oxidation during storage at (-1.0 ± 0.5) °C were measured in this work. The results showed that the redness value a^* (3.62) of very fast chilling combined with MAP was higher than that of very fast chilling combined with AP (3.35), VP (3.20) and VSP (1.66) at 30 days of storage. The cooking loss of pork treated by very fast chilling combined with VP and VSP was 20.82% and 21.83%, respectively, which was significantly lower than that of pork packaged by AP and MAP ($P < 0.05$). The TVC, TVB-N and lipid oxidation degree of VSP pork were 4.92 lg (CFU/g), 9.69 mg/100 g and 0.77 mg MDA/kg, respectively, which were significantly lower than those of the other three kinds of packaged pork ($P < 0.05$). Compared with AP, other packaging methods were more favorable to improve the water holding capacity and color of pork during storage; very fast chilling combined with VSP was more suitable for long-term storage of chilled pork than the others, and the shelf-life was close to 50 d.

Keywords very fast chilling; packaging method; storage; meat quality; shelf-life