

臭氧杀菌联合壳聚糖涂膜对冷鲜黄牛肉的保鲜效果

Effects of ozone sterilization edible combined with coatings chitosan on the preservation of chilled yellow cattle

宣 伟¹ 李 铁¹ 薛锡佳² 仪淑敏³

XUAN Wei¹ LI Tie¹ XUE Xijia² YI Shumin³

(1. 阜阳市食品药品检验检测中心, 安徽 阜阳 236000; 2. 安徽金种子酒业股份有限公司, 安徽 阜阳 236000; 3. 渤海大学食品科学与工程学院, 辽宁 锦州 121013)

(1. *Fu Yang Institutes for Food and Drug Control, Fuyang, Anhui 236000, China*; 2. *Jinzhongzi Distillery Co., Ltd., Fuyang, Anhui 236000, China*; 3. *College of Food Science and Technology, Bohai University, Jinzhou, Liaoning 121013, China*)

摘要:目的:探究臭氧杀菌联合壳聚糖涂膜对冷鲜黄牛肉的保鲜效果。方法:分别设置对照 A 组(纯水处理)、试验 B 组(用 2% 的壳聚糖溶液涂膜冷鲜黄牛肉)和试验 C 组(采用臭氧杀菌联合 2% 壳聚糖溶液涂膜冷鲜黄牛肉),以感官评分、色度值(L^* 和 a^* 值)、吊挂损失率、挥发性盐基氮(TVB-N 值)以及菌落总数等为评价指标,分析臭氧杀菌联合壳聚糖涂膜在冷鲜黄牛肉中的保鲜效果。结果:当臭氧水质量浓度为 1.0 mg/L,冲洗时间为 20 s 时,同一贮藏期,试验 C 组的冷鲜黄牛肉的感官、 L^* 值显著高于对照 A 组和试验 B 组($P < 0.05$),吊挂损失率、TVB-N 值及菌落总数均显著低于对照 A 组和试验 B 组($P < 0.05$);试验 C 组黄牛肉的 a^* 值在贮藏前期显著低于对照 A 组和试验 B 组($P < 0.05$),但在贮藏后期的下降幅度显著低于对照 A 组和试验 B 组($P < 0.05$)。相比对照 A 组和试验 B 组,试验 C 组冷鲜黄牛肉货架期分别延长了 12, 4 d。结论:臭氧杀菌与壳聚糖涂膜技术在冷鲜黄牛肉保鲜上发挥了很好的协同作用,可有效延长黄牛肉的贮藏期。

关键词:黄牛肉;臭氧;壳聚糖;保鲜;品质控制;冷鲜

Abstract: Objective: This study aimed to study the preservation effect of ozone water sterilization combined with chitosan coating on cold fresh yellow cattle. **Methods:** Three groups were set up as follows: control group A (pure water treatment), experimental group B used 2% chitosan coating on cold fresh yellow cattle, and experimental group C used ozone water sterilization combined

with 2% chitosan coating on cold fresh yellow cattle. The effect of ozone sterilization combined with chitosan coating on the preservation of cold fresh yellow cattle was examined using sensory score, chromaticity (L^* and a^* values), hanging loss rate, TVB-N and total bacterial count. **Results:** The concentration of ozone water for sterilization was 1.0 mg/L, and the flushing time was 20s. During the same storage period, the sensory and L^* values of cold fresh yellow cattle in Group C were significantly higher than those in Group A and Group B ($P < 0.05$), the hanging loss rate, TVB-N and total viable count were significantly lower than those in Group A and Group B ($P < 0.05$). The a^* value of Group C yellow cattle was significantly lower than those in Group A and Group B ($P < 0.05$) in the early storage period, but the decline rate in the late storage period was significantly lower than that in Group A and Group B ($P < 0.05$). Compared with the control group A and experimental group B, the shelf life of group C was extended by 12 days and 4 days, respectively. **Conclusion:** Ozone sterilization and chitosan coating technology played a synergistic role in the preservation of cold fresh yellow cattle, which can effectively extend its preservation and storage period.

Keywords: yellow cattle; chitosan; ozone; preservation; quality control; chilled

基金项目:阜阳市科技局科研项目(编号:FK202081163)

作者简介:宣伟(1986—),男,阜阳市食品药品检验检测中心工程师,硕士。E-mail: 348447872@qq.com

收稿日期:2023-03-13 **改回日期:**2023-08-01

牛肉因含有优质的蛋白质、脂肪酸、矿物质及维生素等多种营养物质深受消费者喜爱^[1-2]。安徽阜阳盛产黄牛,享有“中国黄牛第一区”的美誉,但其黄牛肉产业发展较为落后。将黄牛屠宰分割后直接销售的传统模式无法提升产品附加值,而开发具备保持原有结构组织、营养价

值丰富、品质优良,有利于人体消化吸收等优势^[3]的冷鲜黄牛肉成为突破这一瓶颈的重要方向,其中,解决冷鲜黄牛肉易腐败问题成为重中之重。目前,基于合成化学添加剂在公众健康方面存在的负面影响^[4],开发低成本、高效、安全的冷鲜牛肉保鲜技术是学术界关注的重点。

壳聚糖作为甲壳素脱乙酰后的天然产物,是仅次于纤维素的第二丰富的多糖^[5],具有杀菌、抗氧化等功效^[6]。Gedarawatte 等^[7]研究发现,用 1%壳聚糖喷涂冷鲜牛肉可以显著减少 30%~36%的脂肪氧化,减少乳酸菌数 1~2 数量级。壳聚糖联合 ϵ -聚赖氨酸^[8]、鲁普兰多糖^[9]以及黑木耳多糖^[10]均能够有效延缓冷鲜牛肉的品质下降,提升冷鲜牛肉的货架期。此外,臭氧作为一种有效的消毒剂和强氧化剂^[11],通过氧原子的氧化反应破坏微生物的生物膜结构,可以达到杀菌目的^[12]。目前,相关保鲜研究中存在单一生物保鲜技术抑菌谱窄、部分生物保鲜剂产量低以及价格昂贵^[13]等缺陷。因此,复合生物保鲜技术成为发展趋势^[14-15]。Cao 等^[16]研究发现,臭氧水与壳聚糖涂膜可以有效抑制太平洋牡蛎在冷藏过程中的细菌生长、延缓品质下降,延长货架期。但是,臭氧杀菌技术联合壳聚糖涂膜在冷鲜黄牛肉中的应用尚未见报道。

研究拟采用臭氧杀菌联合壳聚糖涂膜技术,旨在通过臭氧杀菌前处理最大限度降低冷鲜黄牛肉的初始菌落数,再协同壳聚糖涂膜的抗氧化及抗菌作用。结合感官、色度、吊挂损失率、TVB-N 值及菌落总数考察该复合技术对 4℃冷藏的冷鲜黄牛肉的品质控制及货架期影响,为满足阜阳黄牛肉产业转型升级的迫切现实要求提供依据。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

黄牛肉(牛后腿肉):黄牛经屠宰后,胴体置于-20~-25℃冷冻间冷却 90 min,然后置于 4℃冷库中冷却排酸 24 h,使得黄牛后腿肉的中心温度达到 4℃左右,重复 3 次,将黄牛后腿肉剔骨分割,并于 30 min 内运送至实验室,阜阳市回民街惠民牛肉有限公司;

壳聚糖:食品级,脱乙酰度 90%,山东卫康生物医药科技有限公司;

平板计数琼脂:海博生物技术有限公司;

氯化钠、氧化镁、盐酸等:分析纯,国药集团化学试剂有限公司。

1.2 仪器与设备

臭氧制水机:OZ-CYS-1T 型,青岛中科三氧净化设备有限公司;

陈列式冷藏柜:SC-298 型,青岛海尔特种电冰柜有限公司;

真空包装机:DZD-400/2S 型,江苏腾通包装机械有限公司;

色差仪:SR-64 型,深圳三恩时科技有限公司;

电子天平:AL204 型,梅特勒—托利多仪器(上海)有限公司;

恒温水浴锅:HH-S 型,江苏金坛市金城固胜实验仪器有限公司;

超纯水机:UPT-II-20T 型,四川优普超纯科技有限公司;

拍击式均质器:400vw 型,法国英特塞恩斯公司;

自动凯氏定氮仪:K9840 型,海能未来技术集团股份有限公司。

1.3 方法

1.3.1 臭氧水杀菌浓度和时间的确定 参照崔福顺等^[17]的方法,分别吸取 0.50,0.75,1.00,1.25,1.50,1.75,2.00 mg/L 一系列质量浓度的臭氧水各 1 mL 加入到无菌培养皿中,再向无菌培养皿中加入 0.2 mL 的 1×10^5 CFU/L 的菌悬液,测定牛肉中菌落总数,以不长菌的最低臭氧水质量浓度作为其抑菌的最低浓度。

利用臭氧水浸泡牛肉的方式可能会导致牛肉出现交叉污染问题,还会进一步稀释臭氧水浓度,不利于杀菌。因此,参照刘恒阁等^[18]的方法并略作修改,以冲洗替换浸泡,将 1.00 mg/L 臭氧水冲洗无菌条件下经搅碎机均质后的黄牛肉 10,15,20,25,30 s,并以不长菌的最低冲洗时间作为此次试验的最低时间。

1.3.2 样品处理 去除牛肉筋膜、脂肪,切成大小均匀、约 200 g 的肉块,对照 A 组为超纯水处理,试验 B 组采用 2%壳聚糖溶液涂膜处理,试验 C 组采用臭氧水杀菌+2%壳聚糖溶液涂膜处理。沥干后真空包装,3 组均放置于 4℃冰箱贮藏,分别于贮藏第 0,2,4,6,8,12,14,16,18,20,22,24,26 天测定牛肉中的感官、色度、菌落总数、TVB-N 及吊挂损失率。

1.3.3 感官评定 参照 GB/T 22210—2008 和孟庆等^[19]的方法,按表 1 进行感官评定。

1.3.4 色度测定 利用色差仪进行测定,记录亮度值(L^*)、红度值(a^*)并取平均值。

1.3.5 吊挂损失率测定 参照付丽等^[20]的方法,并按式(1)计算吊挂损失率。

$$A = \frac{m_1 - m_2}{m_1} \times 100\%, \quad (1)$$

式中:

A——吊挂损失率,%;

m_1 ——吊挂前质量,g;

m_2 ——吊挂后质量,g。

1.3.6 TVB-N 测定 参照 GB 5009.228—2016 中第二法。

1.3.7 菌落总数测定 参照 GB 4789.2—2022。

1.3.8 数据分析 所有试验重复 3 次,结果表示为平均值±标准差,采用 Origin 8.0 软件绘图,SPSS 20.0 软件进行显著性分析, $P < 0.05$ 表示差异显著。

表 1 感官评分标准

Table 1 Sensory evaluation criteria

指标	评分标准
色泽(25 分)	牛肉表面色泽均匀、有光芒,脂肪颜色为白色或乳白色(15~25 分)
	牛肉表面色泽稍暗淡、有光芒,脂肪无光泽(10~14 分)
	牛肉表面色泽暗淡,呈暗红色、无光芒,脂肪泛绿(1~9 分)
气味(25 分)	具有新鲜牛肉的正常气味(15~25 分)
	有一点酸味或氨味(10~14 分)
	有恶臭味(1~9 分)
黏性(25 分)	表面微干、不粘手(15~25 分)
	表面干燥,切面湿润,有一点粘手(10~14 分)
	表面非常干燥,粘手问题严重(1~9 分)
弹性(25 分)	指压后,肌肉表面凹陷部分能快速恢复(15~25 分)
	指压后,肌肉表面不能完全恢复,凹陷恢复的速度较慢(10~14 分)
	指压后,肌肉表面塌陷,且凹陷无法恢复(1~9 分)

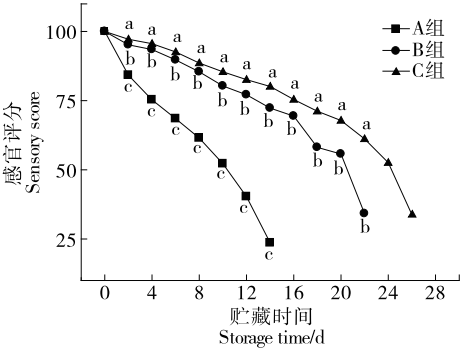
2 结果与分析

2.1 臭氧水杀菌浓度及时间

试验优化了臭氧水杀菌的最佳浓度与时间,通过最小抑菌试验确定了臭氧水杀菌的最低杀灭牛肉中微生物质量浓度为 1.00 mg/L。利用 1.00 mg/L 臭氧水对牛肉进行不同时间的冲洗,最终确认冲洗 20 s 后即可杀灭牛肉中所有的微生物,与 Goncalves 等^[21]的臭氧水杀菌工艺存在时间差异,与刘恒阁等^[18]的 5.160 mg/L 臭氧水浸泡罗非鱼 10 min 有较大出入,这可能与黄牛肉和水产品的初始菌落数和(或)清洗方式不同有关。实际生产作业中,高浓度的臭氧水不但会影响产品品质,还会对作业人员身体产生伤害。人体对臭氧嗅觉的临界值为 0.15 mg/L,中毒限值为 10 mg/L。此外,长时间的臭氧水浸泡处理不但会出现交叉污染等问题,也不符合生产企业降本提效的现实需求。因此,采用 1.00 mg/L 臭氧水冲洗 20 s 的方式可以实现冷鲜黄牛肉减菌化目标,具有操作简单、实用性强、成本低以及无污染等优势,应用前景良好。

2.2 感官分析

由图 1 可知,对照 A 组和试验 B、C 组分别在第 14, 22, 26 天腐败变质。同一贮藏期,3 组冷鲜黄牛肉在贮藏过程中的感官评分差异显著($P < 0.05$)。相对于对照 A 组,试验 B 组的感官评分下降较为缓慢,表明壳聚糖能够抑制微生物的生长繁殖,阻碍冷鲜牛肉色泽的下降,延缓蛋白质的变性速度,使冷鲜黄牛肉保持一定的弹性,肌肉的持水能力下降速度变慢,减少了氨类等不可接受气



小写字母不同表示差异显著($P < 0.05$)

图 1 不同处理对 4 °C 冷鲜黄牛肉感官评分的影响

Figure 1 Effects of sensory score in chilled fresh yellow beef with different treatments at 4 °C

体的产生。同时,壳聚糖膜能够阻碍冷鲜黄牛肉的汁液流失与水分蒸发,一定程度上保持了黄牛肉表面微干状态,也延缓了低氧分压条件下氧化反应所导致的色泽下降。此外,试验 C 组的感官评分下降在 3 组中最为缓慢,进一步说明通过臭氧杀菌前处理大幅降低了牛肉的初始菌落数,可以抑制由微生物作用引发的肉质褐变、蛋白质水解、变性等,再协同壳聚糖抗菌和抗氧化作用,进一步延缓了冷鲜黄牛肉各感官参数的下降。

2.3 色度

由图 2 可知,亮度 L^* 值在贮藏前期有一个快速上升的过程,且对照 A 组的增速大于试验 B 组和 C 组,说明在冷鲜黄牛肉贮藏过程中,因为肉的不腐腐,肌肉组织的持水能力持续减弱,溢出肌肉表面的水分反光,导致肉表面的亮度 L^* 值有一个增加的过程^[22]。与此同时,微生物的不断生长繁殖,加之低氧分压条件,黄牛肉开始褐变^[23],导致亮度 L^* 值下降。因此,在冷鲜黄牛肉贮藏过程中,亮度 L^* 值均有一个先上升再下降的过程,与 Huang 等^[2]的结果较为相似。相比于对照 A 组,试验 B 组的 L^* 值上升与下降较为缓慢,是因为壳聚糖涂膜能够有效延缓黄牛肉肌肉内水溶物的溢出,避免了黄牛肉 L^* 值的快速上升。在后续贮藏过程中,壳聚糖膜能够减缓黄牛肉表面水分的流失,降低黄牛肉表面的干燥速度,同时也抑制了肉的氧化褐变反应,使得 L^* 值下降速度较慢。而试验 C 组在贮藏前期,牛肉的 L^* 值上升最为缓慢,说明初始菌落的大幅降低会在一定程度上减少微生物作用对 L^* 值的影响;在贮藏后期的下降过程中,幅度也是最小的,表明臭氧杀菌与壳聚糖可以延缓冷鲜黄牛肉 L^* 值的变化。

相比较 L^* 值, a^* 值更加能够反映肉色质量^[24],因为 a^* 值越大,牛肉表面颜色越鲜红,感官越好。牛肉中的肌红蛋白形态与浓度决定了 a^* 值^[25]。当脱氧肌红蛋白(DeoMb-Fe^{2+})与 O_2 发生氧化反应生成氧合肌红蛋白(OxyMb-Fe^{2+}),此时蛋白结构中心 Fe^{2+} 的第 6 个配位键

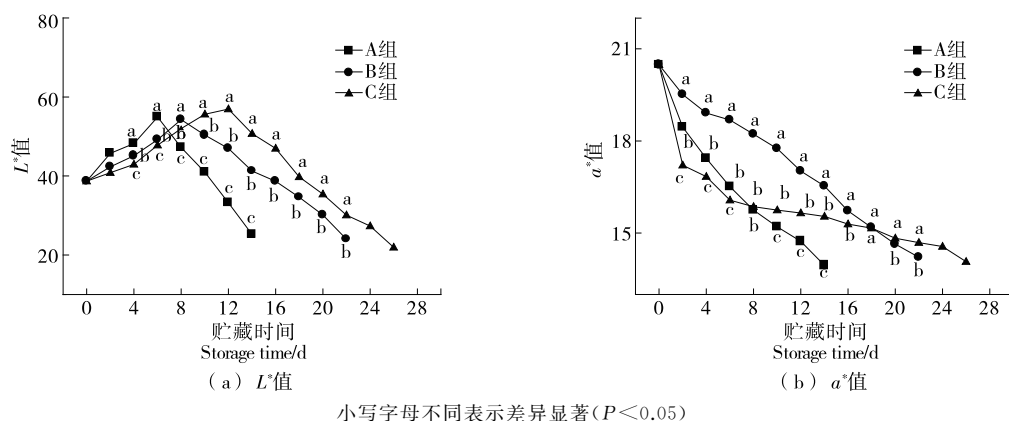


图 2 不同处理对 4 °C 冷鲜黄牛肉色度的影响

Figure 2 Effects of color in chilled fresh yellow beef with different treatments at 4 °C

与氧气结合, 肉色由紫红色变成亮红色。然而, 氧合肌红蛋白(OxyMb-Fe^{2+})不稳定, 会进一步被氧化成高铁肌红蛋白(MetMb-Fe^{3+}), 肉色变成褐色, 这是 a^* 值下降的主要原因^[2]。贮藏前期, 试验 C 组黄牛肉 a^* 值下降较快, 可能是由于臭氧的氧化作用, 加速了脱氧肌红蛋白、氧合肌红蛋白朝着高铁肌红蛋白转变, 促进了牛肉的褐变^[11]。贮藏后期, 对照 A 组和试验 B 组的 a^* 值下降幅度显著超过试验 C 组($P < 0.05$), 且分别在第 14, 22 天低于可接受阈值 14.50^[26], 而试验 C 组牛肉的 a^* 值在第 26 天才低于这一限值。这是由于臭氧不断降解, 因臭氧氧化作用引起红度 a^* 值暂时性快速下降的影响消失。整个贮藏过程中, 与对照 A 组相比, 试验 B 组的 a^* 值下降较慢, 表明壳聚糖膜具有一定的抗氧化功效。但在贮藏后期, 试验 C 组的 a^* 值下降最为缓慢, 表明在低氧分压状态下, a^* 值不仅与氧化反应有关, 还与微生物有关^[27]。因此, 臭氧杀菌协同壳聚糖涂膜可以延缓因微生物作用与氧化反应共同导致的 a^* 值下降。

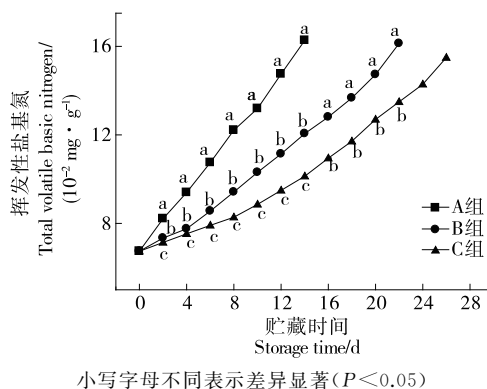
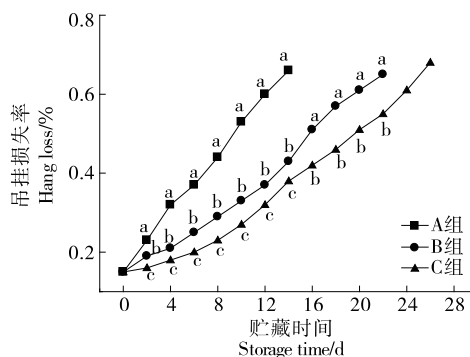
2.4 TVB-N 值

由图 3 可知, 冷鲜黄牛肉 TVB-N 值的初始值为 6.74 mg/100 g, 表明黄牛肉的新鲜度好。随着贮藏时间的延长, 3 组的 TVB-N 值也开始增加。其中, 对照 A 组牛肉中的 TVB-N 值在第 14 天达到了 16.27 mg/100 g, 超过 GB 2707—2016 中的限量值(15 mg/100 g), 此时牛肉已腐败。而试验 B 组和 C 组的牛肉 TVB-N 值分别在第 22, 26 天才超过限量值。综上, 试验 B 组黄牛肉在冷藏期间的 TVB-N 值显著低于对照 A 组($P < 0.05$), 表明壳聚糖能够延缓 TVB-N 值的增加。这与壳聚糖良好的抗菌特性相关, 因为肉质中 TVB-N 值的增加, 主要源于微生物作用^[28]。相对试验 B 组和对照 A 组, 试验 C 组黄牛肉在冷藏期间的 TVB-N 值增速最低($P < 0.05$), 充分说明经过臭氧的前处理杀菌, 降低了因微生物作用引发的 TVB-N 值的增加速度, 再协同壳聚糖涂膜, 进一步抑制了冷鲜黄牛肉表面的微生物生长活动, 延缓了冷鲜黄牛肉

肉蛋白质以及非蛋白质含氮化合物的分解。

2.5 吊挂损失率

由图 4 可知, 3 组黄牛肉的吊挂损失率均随贮藏时间的延长而不断上升, 表明在冷鲜黄牛肉贮藏过程中, 细胞骨架蛋白持续水解、变性, 致使牛肉的肌肉持水能力不断


 图 3 不同处理对 4 °C 冷鲜黄牛肉 TVB-N 值的影响
Figure 3 Effects of TVB-N in chilled fresh yellow beef with different treatments at 4 °C

 图 4 不同处理对 4 °C 冷鲜黄牛肉吊挂损失率的影响
Figure 4 Effects of hang loss in chilled fresh yellow beef with different treatments at 4 °C

下降,汁液持续流出。其中,对照 A 组在第 14 天腐败时的吊挂损失率达到了 0.66%,而试验 B 组和 C 组在第 22、26 天腐败时的吊挂损失率分别为 0.65%、0.68%。对照 A 组的吊挂损失率增加幅度最大,汁液流失较为严重,影响了牛肉的感官可接受性;试验 B 组的吊挂损失率增加幅度次之,说明一方面壳聚糖膜能够均匀地覆盖在冷鲜黄牛肉表面,延缓汁液的流失。另一方面,壳聚糖通过抑制微生物作用,继而减缓细胞骨架蛋白的水解、变性;试验 C 组的吊挂损失率最小,且 3 组之间差异显著 ($P < 0.05$),进一步说明臭氧在杀菌方面的优势,可以协同壳聚糖阻止因微生物代谢活动导致的蛋白质水解与变性,延缓冷鲜黄牛肉吊挂损失率的增加。

2.6 菌落总数

由图 5 可知,经臭氧杀菌前处理后,黄牛肉的初始菌落总数由 3.50 lg(CFU/g)大幅下降至 1.54 lg(CFU/g),表明臭氧具有良好的冷杀菌作用。贮藏过程中,3 组牛肉中的微生物均开始不断生长繁殖,且差异显著 ($P < 0.05$)。其中,对照 A 组黄牛肉中的菌落总数增长速度最快,在第 14 天达到了 7.38 lg(CFU/g),超过了可接受阈值 7.00 lg(CFU/g)^[2,29-30]。试验 B 组黄牛肉中的菌落总数增长速度次之,在第 22 天达到了 7.12 lg(CFU/g)。相比对照 A 组,试验 B 组延长了 8 d 才达到微生物不可接受值,说明壳聚糖对微生物的生长活动抑制效果明显,这与壳聚糖的抑菌功能有关,也与壳聚糖成膜阻止了牛肉与外界发生物质交换有关^[31]。试验 C 组黄牛肉的菌落总数增长速度最慢,在第 26 天才达到 7.25 lg(CFU/g),表明初始菌落的大幅度降低在一定程度上能够减缓牛肉中微生物的生长繁殖速度,加之壳聚糖协同抑菌作用,有效抑制了冷鲜黄牛肉在贮藏过程中的细菌生长繁殖活动。

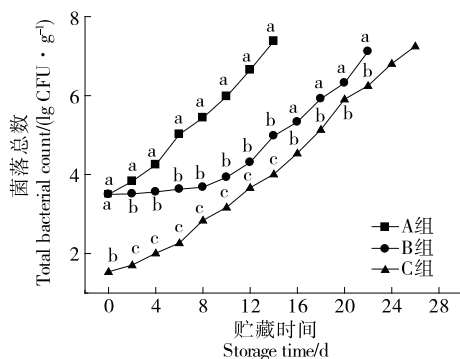
3 结论

试验表明,臭氧水前处理杀菌的最佳质量浓度为 1.00 mg/L,冲洗时间为 20 s。臭氧冷杀菌技术很好地实

现了冷鲜黄牛肉的减菌化目标,再联合壳聚糖的协同增效作用,有效延缓了冷鲜黄牛肉感官评分和色度 (L^* 和 a^* 值) 的下降,延缓了肉类腐败关键指标 TVB-N 值、菌落总数及品质指标吊挂损失率的增加。相比对照 A 组,试验 C 组黄牛肉的货架期延长了 12 d,说明臭氧杀菌联合壳聚糖涂膜在冷鲜黄牛肉中的应用保鲜效果良好。相比于试验 B 组,试验 C 组黄牛肉的货架期延长了 4 d,说明臭氧作为减菌前处理方法,通过降低黄牛肉初始菌落总数而延长货架期的方法是行之有效的,充分发挥了两者之间的协同作用。综上,臭氧杀菌联合壳聚糖涂膜具有操作简单、方便、保鲜效果好、成本低、实际应用可行性高等优势,值得进一步研究和推广应用。后续可从蛋白组学研究筛选新鲜度指示蛋白,以及从分子生物学角度分析优势腐败菌,进一步揭示臭氧杀菌联合壳聚糖涂膜冷鲜黄牛肉的保鲜机理。

参考文献

- [1] LYU F, SHEN K J, DING Y T, et al. Effect of pretreatment with carbon monoxide and ozone on the quality of vacuum packaged beef meats[J]. Meat Science, 2016, 117: 137-146.
- [2] HUANG Y F, WANG Y F, LI Y Q, et al. Covalent immobilization of polypeptides on polylactic acid films (PLA) and their application to fresh beef preservation[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2020, 68(39): 10 532-10 541.
- [3] ZHANG Y, WANG X, SHEN Y, et al. Preparation and characterization of bio-nanocomposites film of chitosan and montmorillonite incorporated with ginger essential oil and its application in chilled beef preservation[J]. Antibiotics, 2021, 10 (7): 796.
- [4] ZHANG H Y, LIANG Y, LI X L, et al. Effect of chitosan-gelatin coating containing nano-encapsulated tarragon essential oil on the preservation of pork slices[J]. Meat Science, 2020, 166: 108137.
- [5] PERINI M, NARDIN T, VENTURELLI M, et al. Stable isotope ratio analysis as a fast and simple method for identifying the origin of chitosan[J]. Food Hydrocolloids, 2020, 101: 105516.
- [6] LI J H, ZHUANG S L. Antibacterial activity of chitosan and its derivatives and their interaction mechanism with bacteria: Current state and perspectives [J]. European Polymer Journal, 2020, 138: 109984.
- [7] GEDARAWATTE S T G, RAVENSDALE J T, JOHNS M L, et al. Effectiveness of gelatine and chitosan spray coating for extending shelf life of vacuum-packaged beef[J]. International Journal of Food Science and Technology, 2021, 56(8): 4 026-4 037.
- [8] ALIREZALU K, PIROUZI S, YAGHOUBI M, et al. Packaging of beef fillet with active chitosan film incorporated with ϵ -polylysine: An assessment of quality indices and shelf life[J]. Meat Science, 2021, 176: 108475.
- [9] 张盼, 王俊平. 壳聚糖—普鲁兰多糖复合抗菌保鲜膜对冷鲜牛肉的保鲜效果[J]. 中国食品学报, 2020, 20(6): 194-201.



小写字母不同表示差异显著 ($P < 0.05$)

图 5 不同处理对 4 °C 冷鲜黄牛肉菌落总数的影响

Figure 5 Effects of total bacterial count in chilled fresh yellow beef with different treatments at 4 °C

- ZHANG P, WANG J P. Effect of chitosan-pullulan composite antibacterial-films on fresh-keeping of chilled beef[J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2020, 20(6): 194-201.
- [10] 秦丹丹, 吴琼, 白洋, 等. 黑木耳多糖/壳聚糖可食性复合膜的制备及对鲜牛肉的保鲜效果[J]. 食品科学, 2021, 42(5): 246-251.
- QIN D D, WU Q, BAI Y, et al. Preparation of auricularia auricular polysaccharide/chitosan edible composite film and its preservative effect on fresh beef[J]. Food Science, 2021, 42(5): 246-251.
- [11] GIMENEZ B, GRAIVER N, GIANNUZZI L, et al. Treatment of beef with gaseous ozone: Physicochemical aspects and antimicrobial effects on heterotrophic microflora and listeria monocytogenes[J]. Food Control, 2021, 121: 107602.
- [12] MILLER F A, SILVA C L M, BRANDAO T R S. A review on ozone based treatments for fruit and vegetables preservation[J]. Food Engineering Reviews, 2013, 5(2): 77-106.
- [13] WANG L, ZHANG C Y, ZHANG J H, et al. Epsilon-poly-L-lysine: Recent advances in biomanufacturing and applications[J]. Front Bioeng Biotechnol, 2021, 9: 748976.
- [14] 欧阳锐, 王志辉, 李立鹏, 等. 生物保鲜液结合真空包装对鲭鱼保鲜的影响[J]. 食品与机械, 2019, 35(11): 141-144, 170.
- OUYANG R, WANG Z H, LI L P, et al. Effects of bio-preservation liquid combined with vacuum packaging on the preservation of mackerel[J]. Food & Machinery, 2019, 35(11): 141-144, 170.
- [15] 齐懿涵, 周季欣, 范媛媛, 等. 壳聚糖复合涂膜对冷藏虾保鲜效果的影响[J]. 食品与机械, 2020, 36(10): 116-119.
- QI Y H, ZHOU J X, FAN Y Y, et al. Effects of chitosan composite coating on the quality of mantis shrimp during refrigerated storage[J]. Food & Machinery, 2020, 36(10): 116-119.
- [16] CAO R, LIU Q, YIN B Z, et al. Combined effect of ozonated water and chitosan on the shelf-life of Pacific oyster (*Crassostrea gigas*) [J]. Innovative Food Science & Emerging Technologies, 2011, 11: 108-112.
- [17] 崔福顺, 李官浩, 林石哲. 美味牛菌肝提取物对延边黄牛肉保鲜作用的研究[J]. 食品与机械, 2014, 30(6): 120-123.
- CUI F S, LI G H, LIN S Z. Preservative effect of boletus edulis extracts on Yanbian cattle beef[J]. Food & Machinery, 2014, 30(6): 120-123.
- [18] 刘恒阁, 王海燕, 吴文锦, 等. 罗非鱼臭氧水杀菌技术的工艺优化及其对鱼肉品质的影响[J]. 食品研究与开发, 2022, 43(9): 40-47.
- LIU H G, WANG H Y, WU W J, et al. Optimization of ozone water sterilization for tilapia and its effect on fish quality[J]. Food Research and Development, 2022, 43(9): 40-47.
- [19] 孟庆, 孙亚楠. 生姜提取物/虾青素复配液对冷鲜牛肉保鲜效果的影响[J]. 中国食品添加剂, 2022, 33(6): 115-121.
- MENG Q, SUN Y N. Effects of ginger extract/astaxanthin compound solution on the preservation effect of chilled beef[J]. China Food Additives, 2022, 33(6): 115-121.
- [20] 付丽, 胡晓波, 吴丽, 等. 天然保鲜剂的配比优化及其对牛肉保鲜效果的影响[J]. 现代食品科技, 2018, 34(6): 204-211, 187.
- FU L, HU X B, WU L, et al. Optimization of ratio of natural preservative agents and its effect on the beef preservation effect[J]. Modern Food Science and Technology, 2018, 34(6): 204-211, 187.
- [21] GONCALVES A A, SANTOS T C L. Improving quality and shelf-life of whole chilled Pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*) by ozone technology combined with modified atmosphere packaging [J]. LWT-Food Science and Technology, 2019, 99: 568-575.
- [22] 李亚萍. 山苍子精油微胶囊的制备及其在牛肉保鲜中的应用[D]. 长沙: 中南林业科技大学, 2021: 45.
- LI Y P. Fabrication of Litseacubeba essential oil microcapsules and its application in beef preservation[D]. Changsha: Central South University of Forestry and Technology, 2021: 45.
- [23] BEVILACQUA A E, ZARITZKY N E. Rate of pigment modifications in packaged refrigerated beef using reflectance spectrophotometry [J]. Journal of Food Processing and Preservation, 1986, 10(1): 1-18.
- [24] 陈雪, 罗欣, 梁荣蓉, 等. 不同冰温条件对长期贮藏牛肉品质和货架期的影响[J]. 农业工程学报, 2019, 35(23): 305-311.
- CHEN X, LUO X, LIANG R R, et al. Effects of super-chilled conditions on quality and shelf life of beef during long term storage[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2019, 35(23): 305-311.
- [25] MANCINI R A, HUNT M C. Current research in meat color[J]. Meat Science, 2005, 71(1): 100-121.
- [26] HQLMAN B W B, VAN DE VEN R J, MAO Y W, et al. Using instrumental(CIE and reflectance) measures to predict consumers' acceptance of beef colour[J]. Meat Science, 2017, 127: 57-62.
- [27] LI S, ZAMARATSKAIA G, ROOS S, et al. Inter-relationships between the metrics of instrumental meat color and microbial growth during aerobic storage of beef at 4 °C [J]. Acta Agriculturae Scandinavica, 2015, 65(2): 97-106.
- [28] FENG L F, JIANG T J, WANG Y B, et al. Effects of tea polyphenol coating combined with ozone water washing on the storage quality of black sea bream (*Sparus macrocephalus*) [J]. Food Chemistry, 2012, 135(4): 2 915-2 921.
- [29] ZHANG H Y, LIANG Y, LI X L, et al. Effect of chitosan-gelatin coating containing nano-encapsulated tarragon essential oil on the preservation of pork slices[J]. Meat Science, 2020, 166: 108137.
- [30] XIONG Y, CHEN M, WARNER R D, et al. Incorporating nisin and grape seed extract in chitosan-gelatin edible coating and its effect on cold storage of fresh pork[J]. Food Control, 2020, 110: 107018.
- [31] 沈秋霞, 李明元, 朱克永, 等. 3 种保鲜剂及其复配对虹鳟鱼片冷藏品质的影响[J]. 食品与机械, 2019, 35(11): 145-151.
- SHEN Q X, LI M Y, ZHU K Y, et al. Effects of three kinds of preservatives and their complexation on the refrigerated quality of rainbow trout[J]. Food & Machinery, 2019, 35(11): 145-151.