

冰温结合气调包装对牛肉品质的影响

孙天利¹, 岳喜庆¹, 张平², 李江阔², 张鹏²

(1. 沈阳农业大学食品学院, 辽宁沈阳 110866) (2. 国家农产品保鲜工程技术研究中心(天津), 天津 300384)

摘要: 本文以牛肉为研究对象, 以冰温技术结合 O₂/CO₂ 气调包装技术对其进行贮藏保鲜试验, 并对贮藏过程中牛肉的菌落总数、挥发性盐基氮 (TVB-N) 含量、色差值 (L*值、a*) 以及汁液流失率进行定期测定, 同时从色泽和气味方面做以感官评价。结果表明: 50%O₂+50%CO₂ 组和 30%O₂+70%CO₂ 组在货架期上要高于对照组和 80%O₂+20%CO₂ 组至少 4 d; 但是各组的 TVB-N 值之间无显著性差异; 高浓度的氧气使得汁液流失率增大, 不利于牛肉水分的保持; 同时, 高浓度的 O₂ 使牛肉在贮藏早期有很好的颜色, 但是贮藏后期在色泽上劣变较快, 并加速了牛肉的腐败变质, 从而加速了不良气味的产生。高浓度的 CO₂ 不利于良好色泽的保持, 但是能够很好地控制牛肉的腐败。综合几种冰温结合气调的保鲜技术来看, 50%O₂ 结合 50%CO₂ 组对牛肉有更好地贮藏保鲜效果。

关键词: 牛肉; 冰温技术; 气体包装技术

文章编号: 1673-9078(2014)5-239-244

Effect of Super Chilling Combined with Modified Atmosphere Package on Beef Quality

SUN Tian-li¹, YUE Xi-qing¹, ZHANG Ping², LI Jiang-kuo², ZHANG Peng²

(1.College of Food, Shenyang Agricultural University, Shenyang 110866, China) (2.National Engineering and Technology Research Center for Preservation of Agricultural Products (Tianjin), Tianjin 300384, China)

Abstract: Beef was stored in freezing point temperature combining with modified atmosphere package. The characters including total counts, total volatile basic nitrogen (TVB-N), color difference (L* value and a* value), drip loss and sensory evaluation (red color and off-odor) were analyzed regularly during storage. The results indicated that shelf life of the 50% O₂+50% CO₂ group and the 30% O₂+70% CO₂ group were at least 4 days longer than the control group and 80% O₂+20% CO₂ group. There was no difference between TVB-N values in different groups. High concentration oxygen increased drip loss during storage; it kept good color in the initial period, but became worse in later period; meanwhile, it accelerated the spoilage of beef and the appearance of off-odor. High concentration carbon dioxide deteriorated color but delayed beef spoilage. In summary, the combination of super chilling technique and 50% O₂+50% CO₂ package was useful for beef storage.

Key words: beef; super chilling technique; modified atmosphere package

传统的贮藏保鲜技术主要为冷冻和冷藏两种方式。其中, 单纯的冷藏技术能够短时间内保持食品的新鲜度, 但是不利于食品的长期存放; 而冷冻技术虽然能够长时间的保藏食品, 但是经过冻结、解冻等过程, 食品的质地、风味等都会受到不良的影响。冰温技术的诞生是食品的贮藏保鲜方面的一个突破。食品中含有的糖、蛋白质、盐类、酸、醇类等物质, 使其冻结点下降至 0 °C 以下^[1], 所以即使温度低于 0 °C, 他们仍可以保持其细胞的活体状态。冰温技术是将食品保藏在 0 °C 到食品冻结点以上的温度范围内, 这样

收稿日期: 2013-11-10

作者简介: 孙天利 (1983-), 女, 博士研究生, 研究方向: 动物性食品科学利用技术

通讯作者: 岳喜庆 (1966-), 男, 博士, 教授, 研究方向: 动物性食品科学利用技术

既保证了食品不被冻结, 有最低限度地维持了食品的生理活性, 最终使达到食品的长期保鲜的目的。不同物质因组成成分的不同而具有不同的冰点温度。

为了更长时间地保存食品, 人们往往在贮藏的过程中, 将控制温度与气调包装相结合。通常所采用的气调包装气体有 O₂、CO₂、N₂ 以及 CO。其中 CO₂ 主要是起抑菌作用, 其对微生物的总体效应是延长微生物延迟期的生长并减慢其对数生长期的生长速度^[2]。高浓度的 CO₂ 能够抑制好氧微生物的生长繁殖, 并且 CO₂ 溶于水后, 能降低 pH 值, 这样便能对不耐酸的微生物起到抑制作用^[3]。O₂ 和 CO 在冷鲜肉的贮藏过程中主要起到的是护色作用, 同时氧气也能抑制厌氧微生物的生长繁殖, 但是存在的风险也较大。N₂ 的作用主要是作为填充气体, 配合其他几种气体进行气调。

前人冰温技术的研究多限于果品蔬菜或是水产

品,对冰温贮藏牛肉的研究较少。而在对气调包装技术的研究中,也多限于普通冷藏条件相结合,对冰温与气调包装技术的结合研究很少。所以,本文将 O₂ 和 CO₂ 进行不同比例的组合,然后在冰温下对牛肉进行贮藏,研究冰温结合气调包装技术对低温贮藏牛肉货架期及品质的影响,为牛肉的低温贮藏保鲜的提供一点参考。

1 材料与方法

1.1 原料

牛胴体上位于十二和十三脊椎之间的背最长肌(公黄花牛,平均年龄2岁,平均体重450 kg,天津武清屠宰场)。

1.2 主要仪器设备

BW-120 冰温保鲜库,国家农产品保鲜工程技术研究中心(天津);普通冷库,国家农产品保鲜工程技术研究中心(天津);DC-P3 型全自动测色色差计,上海华岩仪器设备有限公司;TDA-8002 电子恒温水浴锅,天津中环实验电炉有限公司;PHS-3C 型 pH 计,上海雷磁仪器厂;LP1200S 千分之一天平,德国赛多利斯科学仪器有限公司;303-3 型数显恒温培养箱,上海树立仪器仪表有限公司;便携式数显温度计,武强县立诚仪器仪表厂

1.3 试验方法

1.3.1 样品的处理及试验设计

表1 试验设计表

Table 1 Design for experimentation

编号	处理
A	冰温贮藏(对照)
B	冰温贮藏, 80%O ₂ +20%CO ₂
C	冰温贮藏, 50%O ₂ +50%CO ₂
D	冰温贮藏, 30%O ₂ +70%CO ₂

将案板和刀具经体积分数为75%酒精棉球擦拭,去掉肉样上的筋膜及多余脂肪,分割成约200 g大小的每份。随机分成4组后称重记录,然后放入包装袋中,并分别进行气调包装。然后将4种处理的牛肉放入冰温库中冰温(-1.9℃)贮藏,每4 d一测,测定24 d内各组的微生物、挥发性盐基氮(TVBN)、色差值、失水率以及进行感官评定。试验设计组如表1所示。

1.3.2 冰点的测定

将样品切割成5×5×5 cm³大小,将便携式数显温

度计的探杆将牛肉块的体积中心,于-18℃冰箱中冷冻,记录0℃以后的数据,并作牛肉温度随时间变化的曲线。当温度下降至0℃以下的某温度点后出现轻微的温度回升现象,然后温度又缓慢下降,则将此拐点的温度值作为牛肉的冰点温度^[4]。

1.3.3 菌落总数的测定

按照 GB 4789.2-2010 中方法进行测定。

1.3.4 TVB-N 的测定

按照 GB/T5009-44-2003 中半微量定氮法进行测定。

1.3.5 色差值的测定

将肉样切开露出新鲜的切面后用色差计测定 L* 值(亮度)、a* 值(红度),每个样测3个点,取平均值。

1.3.6 汁液流失率的测定

汁液流失率的测定参照 Zakrys-Waliwander 等^[5]的方法。样品在包装之前均称重并对应记录,重量记为 W₀。每4 d 取样一次,打开包装后用滤纸轻轻将样品表面的汁液吸干并称重,记为 W_n,计算汁液流失率。

$$\text{汁液流失率} = (W_0 - W_n) / W_0 \times 100\%$$

1.3.7 感官评价

参照宋宏新等^[6]的方法并做相应的改动,由5名评判小组成员对牛肉色泽和气味给出评判,评判标准是:4=颜色鲜红、有光泽或有牛肉的清香;3=颜色浅褐红、紫红,光泽稍暗或气味良好,不如新鲜牛肉;2=颜色为褐红色,无光泽或气味微酸;1=颜色褐红发灰白或气味酸臭。

1.3.8 数据分析

采用 SPSS 12.0.1 对数据进行统计分析。

2 结果与讨论

2.1 冰点温度的测定

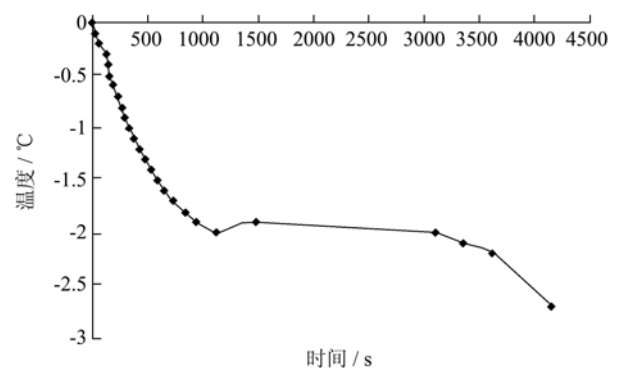


图1 牛背最长肌冻结曲线

Fig.1 Freezing curve of beef longissimus

图1是牛肉样品的冻结曲线。在冻结过程中,温度在达到-2.0℃时出现微小回升,波动至-1.9℃,并在此温度下停留1628s后开始持续下降。由此推断样品冰点温度为-1.9℃。实际试验中,牛肉放入-1.9℃冰温库中未发生冻结,所以测定结果可靠。

2.2 菌落总数的测定

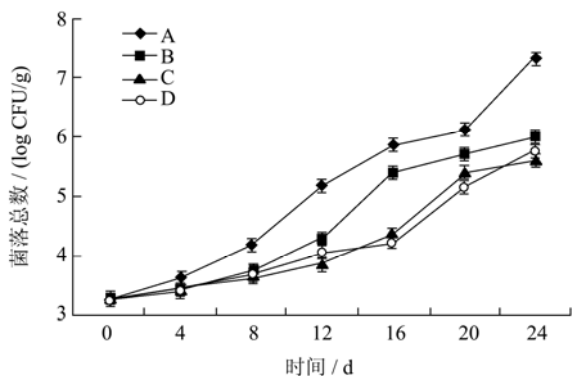


图2 不同贮藏条件下菌落总数的变化

Fig.2 Changes of total bacterial count in different conditions

从图2可见,随着贮藏时间的延长,各处理组的菌落总数呈逐渐增大的趋势,且增长速度A组最大,C组和D组较慢。各组的初始菌落总数为3.26 log CFU/g,到第20d时,冰温对照A组的菌落总数已经达到6.12 log CFU/g,超过国家标准规定的6.0 log CFU/g。B组在第24d超过标准规定范围,而C组和D组的菌落总数仍在在标准范围内。分析认为,氧气的存在能够抑制厌氧微生物的生长繁殖,贮藏后期需氧微生物大量的繁殖使菌落总数增加;而C组虽然氧气含量较低,但是大量的CO₂的存在,也起到了抑制微生物生长繁殖的作用,这与Lorenzo和Gomez^[7]的研究结果相一致。Bingol和Ergun^[8]认为,高浓度的CO₂可以组织需氧微生物的生长繁殖。Farber^[2]认为CO₂对微生物的总体效应就是延长其延迟期的生长并减慢其对数生长期的生长速度。高浓度的CO₂使得包装中CO₂的分压高,增加了CO₂在肉表面的溶解度,从而降低了肉表面的pH值,达到抑菌的效果^[9]。显著性分析发现,对照组与其他各组的菌落总数之间均存在显著性差异(p<0.01),C组和D组之间无显著性差异。所以,与单纯的冰温贮藏相比,气调包装可以更有效地抑制微生物的生长繁殖,抑菌效果C组和D组最好。比单纯冰温条件相比,50%O₂+50%CO₂条件和30%O₂+70%CO₂气调包装可以使货架期延长4d以上。

2.3 TVB-N值的测定

随着贮藏时间的延长,TVB-N值逐渐升高(图3)。

其中,冰温对照组A组的变化最为明显,到第24d时,TVB-N值已达到0.26 mg/g,超出冷鲜肉的可食用范围;而B组、C组和D组的TVB-N值分别为0.17 mg/g、0.16 mg/g、0.16 mg/g。显著性分析发现,A组与其他各组之间存在极显著的差异性(p<0.01),B组、C组和D组的TVB-N值之间无显著性差异(p>0.05)。王志琴等对气调包装下的牛肉的研究得出,贮藏末期,虽然牛肉的菌落总数已经超出标准规定范围,但是其TVB-N值均在0.12 mg/g~0.17 mg/g之间,未超出可食用标准。本试验结果与谢晶和李建雄等的研究结果也有相似之处,其对冰温条件下猪肉的TVB-N指标研究发现,冰温或是冰温与气调的结合都对TVB-N值无显著性影响,TVB-N值始终维持在0.10 mg/g以下,原因可能是因为冷鲜肉受微生物污染的程度,在贮藏过程中微生物的生长繁殖程度以及微生物的种类存在差异造成的,也可能是因为挥发性胺类物质与气调包装中的气体发生反应或者是溶解于包装袋中的液体汁液中,但是具体的原因还需要做进一步的研究。

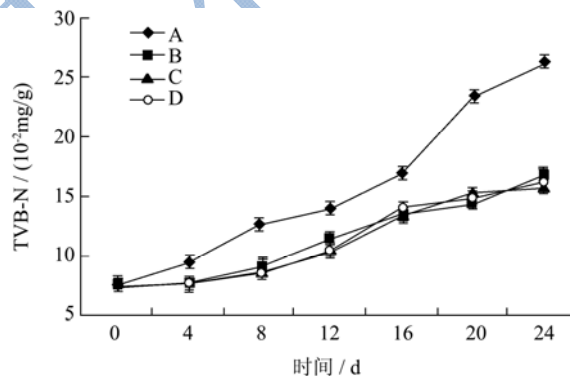


图3 不同贮藏条件下TVB-N的变化

Fig.3 Changes of TVB-N in different conditions

2.4 色差值的测定

表2 不同贮藏条件下L*值的变化

Table 2 Changes of L* values in different conditions

时间/d	处理			
	A	B	C	D
0	36.44±0.46	36.44±0.46	36.44±0.46	36.44±0.46
4	40.30±0.51	39.57±0.46	39.52±0.56	39.39±0.14
8	41.53±0.85	43.81±0.66	45.10±0.14	43.98±1.07
12	42.46±0.57	47.93±0.13	43.49±0.12	41.59±0.06
16	41.33±0.20	43.19±0.12	42.07±0.84	40.65±0.12
20	40.17±0.22	41.66±0.39	39.65±0.09	38.73±0.23
24	39.84±0.23	40.18±0.20	39.72±0.18	35.70±0.51

不同包装处理下牛肉的L*值变化情况如表2所示。从表中可见,几组处理下牛肉的L*值均呈现先增大再减小的趋势,氧气含量越大亮度升高得越多。贮藏初

期, 牛肉的色泽比较鲜亮, 随着贮藏时间的增加牛肉的蛋白质发生变性且变性程度逐渐增大, 肌肉的组织结构松散, 导致其保水性下降, 肌肉内部水分渗出, 使肉样表面自由水增多, 结构的变化和外渗水导致肉样对光的反射能力增强^[10]。随着成熟时间延长, 由于肌红蛋白周围失水, 与氧气接触后, 被氧化生成高铁肌红蛋白, 反而使亮度下降。氧气含量高会增大牛肉的失水, 这是由于氧气含量大会加大蛋白质的耦合所致^[11]。D组亮度降低较大, 这可能是由于其含有较高的二氧化碳, 对亮度产生了不好的影响。显著性分析发现, 几组之间存在极显著的差异性 ($p<0.01$)。

表3 不同贮藏条件下 a*值的变化

Table 3 Changes of a* values in different conditions

时间 /d	处理			
	A	B	C	D
0	15.39±0.13	15.39±0.13	15.39±0.13	15.39±0.13
4	18.34±0.14	24.05±0.60	23.69±0.12	21.78±0.19
8	20.85±0.64	24.57±0.17	23.72±0.18	20.52±0.38
12	20.52±0.47	23.37±0.14	22.36±0.10	19.84±0.41
16	20.42±0.79	21.91±0.38	21.85±0.46	19.55±0.25
20	19.67±0.28	19.94±0.28	20.33±0.44	19.75±0.08
24	15.94±0.07	17.96±0.26	18.87±0.38	17.61±0.09

表3 为不同包装处理下牛肉的 a*值变化情况。各处理组牛肉的 a*值基本上呈现出先上升后缓慢下降的趋势。原因可能是贮藏初期、肌红蛋白与氧气结合生成氧合肌红蛋白, 氧合肌红蛋白为鲜红色, 所以 a*值升高; 贮藏后期 pH 值不断升高, 不利于氧合肌红蛋白的形成, 使肉色暗淡, 另外由于细菌的大量繁殖促进了高铁肌红蛋白的形成, 高铁肌红蛋白的积累使肉的颜色变暗, a*值下降。从表中可见, 与对照组相比, 气调处理组的 a*值在贮藏初期迅速升高, 而且氧气含量越高, a*值升高越快, 说明氧气的含量对 a*有较大的影响。整个贮藏过程中, C 组的 a*值在达到最高点后下降较为平缓, 说明 C 组气调包装较好地维护了肉的红度。显著性分析发现, B 组与 C 组之间无显著性差异, 其他各组间均存在极显著的差异性 ($p<0.01$)。

目前, 在对肉的 L*值和 a*值的研究过程中存在很多不同的看法, 有些研究^[8, 12, 13]认为贮藏过程中, L*值或 a*呈缓慢下降的趋势, 而有的研究则认为低氧和真空包装中 a*值随着贮藏时间的延长而逐渐降低, 同时高氧气调包装的 a*值会先上升再降低^[7]。所以, 针对不同品种不同处理的样品, 仍需进一步研究 L*值和 a*值的变化。

2.5 失水率的测定

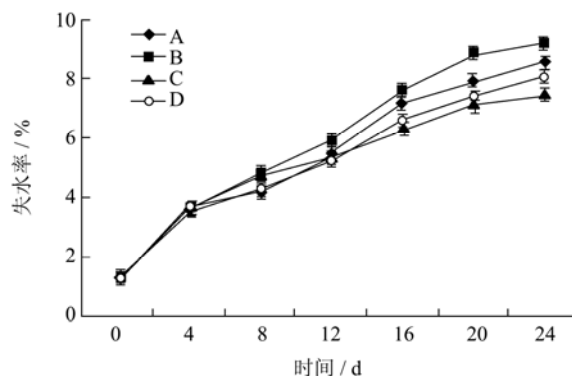


图4 不同贮藏条件下失水率的变化

Fig.4 Changes of drip loss in different conditions

随着贮藏时间的延长, 各组的失水率逐渐增大(图4)。贮藏前期, 几组之间的失水率相差较小。从第12天开始, 高氧B组的失水率加大, 并在以后的贮藏时间内一直高于其他各组。他人^[5,11]对真空包装和高氧气调包装下的牛肉、猪肉的失水率研究也有类似的结论, Zakrys-Waliwander等^[5]认为高氧气调包装加大失水率是因为气调包装中的氧气增加了二硫键的形成, 促进了蛋白质的氧化, 从而增加了汁液流失率。李建雄等^[14]认为气调包装中较低的二氧化碳浓度(20%)使得微生物繁殖加快, 从而产生更多水解蛋白的酶类, 这可能是汁液流失率较高的原因。从第16 d开始, 各组之间失水率之间存在显著性差异 ($p<0.01$)。C组失水率最低, 其次是D组。这可能是由于较高浓度的二氧化碳抑制了一些微生物的生长繁殖, 因此能更好地保护肌肉的组织结构, 即稳定了维系水的能力, 所以失水率较低。

2.6 感官评价

表4 为感官色泽评分随时间的变化图。从表中可见, 各组的感官色泽评分均随着贮藏时间的延长而降低。贮藏初期, 高氧组 B 组的感官色泽最好, 其次是 C 组和 D 组, 但是在 8 d 后高氧组颜色开始劣变。各组感官色泽评分值之间无显著性差异 ($p>0.05$), 这与 Bingol 和 Ergun^[8]的研究结论比较接近。研究认为包装中氧气的存在利于氧合肌红蛋白的形成, 从而使肉保持令人满意的鲜红色。而 Camo 等^[15]却指出贮藏后期高氧气调包装 (70:20:10 O₂/CO₂/N₂) 肉的色泽不如低氧气调包装 (50:30:20 O₂/CO₂/N₂) 肉。在本研究中, 氧气含量最高的 B 组, 除在贮藏初期有较高的感官评分值外, 随着贮藏时间的延长, 感官色泽劣变较为严重, 观察发现 B 组样品表面出现褐变现象, 这可能是因为高氧分压导致了高铁肌红蛋白的形成。Gill 和

Tan^[16]认为当 CO₂ 浓度超过 20% 时,将对肉色产生不良的影响,这也可能是造成 C 组和 D 组贮藏后期感官色泽变差的一个原因。

表 4 不同贮藏条件下感官颜色的变化

Table 4 Changes of red color evaluation in different conditions

时间 /d	处理			
	A	B	C	D
0	4.00±0.00	4.00±0.00	4.00±0.00	4.00±0.00
4	4.00±0.00	4.00±0.00	4.00±0.00	4.00±0.00
8	3.60±0.55	4.00±0.00	3.80±0.45	3.80±0.45
12	3.20±0.45	3.40±0.55	3.40±0.55	3.20±0.45
16	2.40±0.55	2.20±0.45	2.60±0.55	2.20±0.45
20	1.40±0.55	1.40±0.55	1.80±0.45	1.60±0.55
24	1.00±0.00	1.20±0.45	1.40±0.55	1.40±0.55

从表5中可见,各组的感官气味随着贮藏时间的延长而逐渐降低。贮藏初期,四组牛肉都保持了较好的感官气味。到第16 d,高氧B组的感官评分值下降到了2.0以下,品质劣变严重,到第24 d时,对照A组得到最低分。由菌落总数的测定结果可知,对照组的到第20天时已经腐败变质,所以对照组因微生物的分解等产生令人不愉快的酸臭味。虽然显著性分析发现,A组、B组、C组以及D组的感官气味评分值之间无显著性差异($p>0.05$),但是感官评价小组还是认为C组比其他几组更好。而D组可能是因为有高浓度的CO₂存在,延缓了蛋白质、脂肪等的氧化腐败,也有较好的感官分值。B组氧气浓度最大,虽然对厌氧微生物有抑制作用,但是高氧加速需氧微生物的生长繁殖,因而导致了肉腐败的加速。综合几种气调条件,50%CO₂和50%O₂能更好地保护牛肉的感官品质。

表 5 不同贮藏条件下感官气味的变化

Table 5 Changes of off-odor evaluation in different conditions

时间 /d	处理			
	A	B	C	D
0	4.00±0.00	4.00±0.00	4.00±0.00	4.00±0.00
4	4.00±0.00	4.00±0.00	4.00±0.00	4.00±0.00
8	3.40±0.55	3.40±0.55	3.00±0.00	3.00±0.00
12	3.00±0.00	2.80±0.45	3.00±0.00	2.80±0.45
16	2.20±0.45	1.80±0.45	2.40±0.55	2.40±0.55
20	1.40±0.55	1.60±0.55	2.00±0.00	1.80±0.45
24	1.20±0.45	1.40±0.55	1.60±0.55	1.40±0.55

3 结论

3.1 综合菌落总数和挥发性盐基氮(TVB-N)的测定结果发现,与单纯冰温贮藏相比,冰温与气调结合可

以将牛肉的货架期延长 4 d 以上。其中 50%O₂+50%CO₂ 组和 30%O₂+70%CO₂ 组要优于 80%O₂+20%CO₂ 组。

3.2 随着贮藏时间的延长,冰温下牛肉的TVB-N值逐渐增大,贮藏末期超出食用范围,但是冰温与气调相结合,牛肉的TVB-N值变化较小,几组气调包装间无显著性差异。所以,几种气调贮藏的TVB-N值都牛肉品质的指示作用不强。

3.3 对贮藏期间失水率的研究发现,80%O₂+20%CO₂ 组的失水率最大,高于对照组,50%O₂+50%CO₂ 组和 30%O₂+70%CO₂ 的失水率低,以50%O₂+50%CO₂ 组最优。高氧低二氧化碳气调包装不利于水分的保持。

3.4 高浓度O₂会增加贮藏早期肉的亮度和红度,感官上更易于让人接受,但是在贮藏后期色泽劣变严重;高浓度CO₂会对颜色产生不利的影响,但是可以延缓肉的腐败变质。

3.5 综合上述,冰温结合50%O₂+50%CO₂可以更好地稳定牛肉性质,从而保证牛肉的品质。

参考文献

- [1] 应月,李保国,董梅,等.冰温技术在食品贮藏中的研究进展[J].制冷技术,2009,2:12-15
YING Yue, LI Bao-guo, DONG Mei, et al. Advances in ice-temperature technique for food storage [J]. Refrigeration Technology, 2009, 2: 12-15
- [2] Farber J M. Microbiological aspects of modified-atmosphere packaging technology: a review. Des Moines, IA, ETATS-UNIS: International Association for Food Protection, 1991
- [3] 赵素芬.气调包装(MAP)在冷却肉保鲜中的应用[J].包装与食品机械,2007,5:53-55,58
ZHAO Su-fen. Application of modified atmosphere packing on chilled fresh pork [J]. Packaging and Food Machinery, 2007, 5: 53-55, 58
- [4] 李建雄,谢晶,潘迎捷.冰温对猪肉的新鲜度和品质的影响[J].食品工业科技,2009,30(6):67-70
LI Jiang-xiong, XIE Jing, PAN Ying-jie. Effect of superchilling on freshness and quality of pork [J]. Science and Technology of Food Industry, 2009, 30(6): 67-70
- [5] Zakrys-Waliwander P I, O'Sullivan M G, O'Neill E E, et al. The effects of high oxygen modified atmosphere packaging on protein oxidation of bovine M. longissimus dorsi muscle during chilled storage [J]. Food Chemistry, 2012, 131(2): 527-532
- [6] 宋宏新,孙斌,薛海燕,等.气调包装对冷鲜羊肉保鲜效果的

- 影响研究[J].食品科技,2012,5:98-102
- SONG Hong-xin, SUN Bin, XUE Hai-yan, et al. Effect of modified atmosphere packaging of fresh chilled lamb [J]. Food Science and Technology, 2012, 5: 98-102
- [7] Lorenzo J M, Gomez M. Shelf life of fresh foal meat under MAP, overwrap and vacuum packaging conditions [J]. Meat Sci., 2012, 92(4): 610-618
- [8] Bingol E B, Ergun O. Effects of modified atmosphere packaging (MAP) on the microbiological quality and shelf life of ostrich meat [J]. Meat Sci., 2011, 88(4): 774-785
- [9] Martinez L, Djenane D, Cilla I, et al. Effect of different concentrations of carbon dioxide and low concentration of carbon monoxide on the shelf-life of fresh pork sausages packaged in modified atmosphere [J]. Meat Sci., 2005, 71(3): 563-570
- [10] Wulf D M W J. Measuring muscle color on beef carcasses using the lab color space [J]. J. Anim. Sci., 1999, 77: 2418-2427
- [11] 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 Sci., 2007, 77(3): 295-303
- [12] Esmer O K, Irkin R, Degirmencioglu N, et al. The effects of modified atmosphere gas composition on microbiological criteria, color and oxidation values of minced beef meat [J]. Meat Sci., 2011, 88(2): 221-226
- [13] Lagerstedt A, Lundstrom K, Lindahl G. Influence of vacuum or high-oxygen modified atmosphere packaging on quality of beef *M. longissimus dorsi* steaks after different ageing times [J]. Meat Sci., 2011, 87(2): 101-106
- [14] 李建雄,谢晶,潘迎捷,等.冰温结合不同比例二氧化碳气调对冷却肉保鲜的影响[J].山西农业科学,2009,10:66-71
- LI Jian-xiong, XIE Jing, PAN Ying-jie, et al. Effect of modified atmosphere package with varying carbon dioxide concentrations combined with controlled freezing-point storage to fresh keeping of chilling pork [J]. Journal of Shanxi Agricultural Sciences, 2009, 10: 66-71
- [15] Camo J, Beltran J A, Roncales P. Extension of the display life of lamb with an antioxidant active packaging [J]. Meat Sci., 2008, 80(4): 1086-1091
- [16] Gill C O, Tan K H. Effect of carbon dioxide on growth of meat spoilage bacteria [J]. Appl. Environ. Microbiol., 1980, 39(2): 317-319