

猪胴体预冷过程中雾化增湿 与喷淋对干耗的影响差异性研究

张楠^{1,2} 杜世伟¹ 陈玉仑¹ 李春保¹ 李毅念¹ 周光宏^{1,*}

(1.南京农业大学,江苏南京 210095;

2.江苏省苏食肉品有限公司,江苏南京 210031)

摘要:本研究对比了雾化增湿与雾化喷淋两种方式对猪胴体预冷干耗的影响。采用超声雾化加湿器来增加预冷环境湿度方式以及气液两相流间歇雾化喷淋的方式分别对猪胴体样品进行预冷处理,以直接冷却猪胴体样品为对照组。实验结果表明:雾化增湿组样品最终平均干耗为 1.442%,经 14 h 雾化喷淋处理的各样品继续冷却至 24 h 后测得最终平均干耗为 1.066%,对照组实验样品最终平均干耗为 2.914%。雾化喷淋冷却处理与雾化增湿冷却处理均可使猪胴体冷却速度加快($p < 0.05$)。雾化喷淋冷却处理与雾化增湿冷却处理均可有效缩短样品干耗达到峰值的时间($p < 0.05$),其达到峰值时间关系为:雾化喷淋组 < 雾化增湿组 < 对照组。雾化喷淋冷却处理与雾化增湿冷却处理均可显著降低猪胴体预冷干耗($p < 0.05$);雾化喷淋冷却处理比雾化增湿冷却处理降低干耗效果更为理想($p < 0.05$)。

关键词:猪胴体;干耗;雾化增湿;雾化喷淋

Difference of effects of environmental humidifier and spray-chilling on weight-loss of pig carcasses in cooling process

ZHANG Nan^{1,2} DU Shi-wei¹ CHEN Yu-lun¹ LI Chun-bao¹ LI Yi-nian¹ ZHOU Guang-hong^{1,*}

(1.Nanjing Agricultural University,Nanjing 210095,China;

2.Jiangsu Food Group,Nanjing 210031,China)

Abstract: In this study, effects of cooling process on the weight-loss of pig carcasses under environmental humidifier condition and spray-chilling condition were compared. Cooling process of pig carcasses were conducted under the environmental humidifier condition by ultrasonic atomization humidifier increasing environment humidity and under spray-chilling condition by gas-liquid two-phase flow intermittently spraying, and experiment sample without humidification and spray treatment was regarded as control group. The experiment results indicated that the final average weight-loss of samples under environmental humidifier condition (humidity 100%) was 1.442%, and the final average weight-loss of samples under spray-chilling condition for 14 h and then cooling to 24 h was 1.066%, and the final average weight-loss of samples for control group was 2.914%. Spray-chilling and environmental humidifier cooling treatment can increase the cooling velocity of pig carcass ($p < 0.05$). The spray-chilling treatment and environmental humidifier treatment can reduce effectively the weight-loss peak time ($p < 0.05$). Relationship of the weight loss peak time for three groups is spray-chilling < environmental humidifier < control group. Spray-chilling and environmental humidifier cooling treatment can reduce the weight-loss of pig carcasses in cooling process ($p < 0.05$) significantly. Reducing weight-loss effect for spray-chilling is better than that for environmental humidifier ($p < 0.05$).

Key words: pig carcass; weight-loss; environmental humidifier; spray-chilling

中图分类号: TS251.1

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2017)03-0322-05

doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2017.03.054

猪胴体在预冷过程中,由于胴体表面水蒸汽压力大于冷却空气中的水蒸汽分压力,在蒸汽压力差的推动下,胴体表面蒸发出来的水蒸汽不断向冷却空气中扩散,从而导致猪胴体内水分散失,使胴体预

冷过程产生干耗^[1]。

预冷与胴体干耗的关系一直深受冷鲜肉业内的关注,欧美屠宰行业很早就注意到,畜禽胴体在预冷过程中存在较大的水分蒸发损耗^[2]。在中国,猪胴体

收稿日期: 2016-07-28

作者简介: 张楠(1981-),男,博士研究生,研究方向为畜产品加工与质量控制,E-mail: zhangyulun@163.com。

* 通讯作者: 周光宏(1960-),男,博士,教授,研究方向: 畜产品加工与质量控制,E-mail: ghzhou@njau.edu.cn。

基金项目 “十二五”国家科技支撑计划(2014BAD19B01)。

预冷通常采用常规风冷,在冷却过程中干耗较大(1.85%~3.5%)^[3-4],给企业造成很大的经济损失,同时由于风干带走水分^[5-6],严重影响冷却肉的品质和外观。

预冷干耗受多种因素相互作用的影响^[7],因而预冷方式也多种多样。研究人员对宰后新鲜猪胴体预冷降耗方面进行了大量实验研究,主要包括两段式冷却^[8-10]、增湿^[11]、喷淋^[12-14]、套袋^[15]和涂膜^[16-17]等方法。研究发现,二段式冷却比一段式冷却水分损耗低0.1%~0.2%^[9];雾化增湿方式增加冷却环境相对湿度可在冷却24 h后降低猪白条冷却干耗0.237%^[11];雾化喷淋冷却方式可使胴体干耗明显降低至1%以下^[12];套袋可以有效降低预冷损耗,并且利用套袋方式冷却猪胴体,冷却时间为4 h更适宜^[13]。

目前,在猪胴体预冷研究领域,张向前^[3,13]、李红民^[5]等分别对刚屠宰后的新鲜猪胴体进行预冷库大环境雾化喷淋处理,得出雾化喷淋预冷方法的确可以有效降低猪胴体干耗,已经被业内研究人员广泛认可;而余忠、肖华党等^[11]人利用对猪胴体预冷环境雾化增湿的方法同样得出可以有效降低猪胴体预冷干耗。由于不同研究人员所采用的预冷环境场所不同、猪胴体品种差异、实验条件差异等原因,而不能比较上述两种预冷方式在猪胴体降耗效果方面的优劣。

本文主要研究了在实验室人工气候箱恒定预冷温度条件下,通过增加气候箱内湿度到设定值,来进行雾化增湿实验;通过气液两相流雾化喷淋猪胴体表面来完成雾化喷淋实验;并将在同样条件下不做任何加湿与喷淋处理的猪胴体样品作为对照组。目的是将两种预冷方式放在同样的实验环境下进行对比实验,并与对照组相比较,来确定相同条件下降低猪胴体干耗的最佳预冷方式,以期对实际应用起到指导意义。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

猪胴体样品 取自江苏省南京六合六城生猪定点屠宰场经常规工艺屠宰后45 min内的猪胴体(“杜长大”型)取脊背部位的两块(各1000 g左右)作为实验样品(长×宽×厚:150 mm×120 mm×60 mm),并分别标号为样品1、样品2,置于人工气候箱内进行冷却实验。

RGQ-360N型人工气候箱 上海森信实验仪器有限公司;YC-D209E型超声波加湿器 北京亚都环保科技有限公司;AG-8010-4型水泵 广州雨沃机电设备有限公司;550-2411524型无油空气压缩机 浙江盛源空压机制造有限公司;JJ1000型电子称(精确度0.01 g) 常熟市双杰测试仪器厂。

1.2 实验方法

1.2.1 冷却方法 实验猪肉样品悬挂于人工气候箱内。雾化增湿实验^[12]使用超声波加湿器喷雾来增加人工气候箱内湿度到100%并保持,通过缩小猪肉样品表面与箱内环境水蒸汽压差来实现降低干耗目的,雾化增湿处理14 h。雾化喷淋实验^[13]使用喷嘴

气液两相流雾化喷淋样品表面,喷淋间隔30 min,喷淋要均匀,以样品下部没有水滴落下为标准,喷淋处理14 h后继续在气候箱中冷却至24 h,测得其最终质量。对照组实验猪肉样品不做任何增湿、喷淋处理。每组实验重复3次。人工气候箱内温度控制在0~4℃。

1.2.2 测定指标

1.2.2.1 样品干耗 样品放入人工气候箱前称重一次,之后每隔0.5 h测一次样品质量,根据公式(1)计算出样品干耗^[9]。

$$L(\%) = \frac{W_0 - W_{\text{测}}}{W_0} \times 100 \quad \text{式(1)}$$

式中: L 为样品干耗(%); W_0 为初始质量(g); $W_{\text{测}}$ 为不同时刻测得质量(g)。

1.2.2.2 冷却速度 参考文献[13]的方法,样品放入人工气候箱前测量其中间内部4 cm处初始温度,之后每隔0.5 h测一次温度,记录温度变化情况。

1.3 数据统计分析

利用SPSS 19.0中的单因素ANOVA和LSD多重比较对数据进行统计分析,以 $p < 0.05$ 为差异显著。

2 结果与分析

2.1 雾化增湿对猪肉样品干耗的影响

雾化增湿组与对照组样品平均干耗变化曲线如图1所示,对照组实验所有样品最终平均干耗为2.914%,雾化增湿组所有样品最终平均干耗为1.442%。对照组实验样品自预冷开始至13 h内干耗曲线一直保持上升趋势,但曲线斜率在逐渐减小,预冷最后1 h干耗曲线趋于稳定。雾化增湿组实验样品在放入气候箱内前2 h干耗增加显著,之后变化趋势较平稳;样品在冷却至7.5 h时干耗出现峰值,之后干耗值呈现缓慢下降趋势,但最终在冷却至12.5 h后达到稳定值。

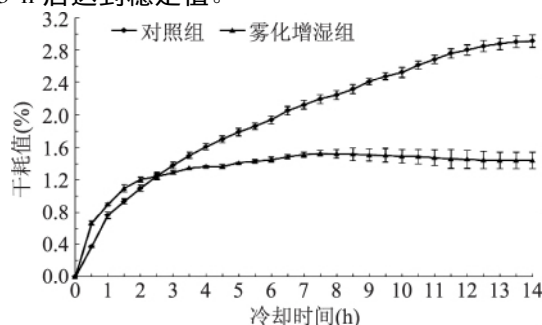


图1 雾化增湿组与对照组样品平均干耗曲线

Fig.1 Average weight-loss curve of environmental humidifier and control group

余忠等^[11]在湿度值为89%~94%的环境下测得猪胴体冷却24 h干耗值为1.586%,而本次实验两样品冷却14 h干耗值为1.442%,比对照组样品最终平均干耗降低1.472%($p < 0.05$)。这说明增加预冷环境湿度值,即缩小样品表面与预冷环境间水蒸汽压力差,可明显降低预冷干耗。雾化增湿处理的样品在预冷过程中的前2 h,由于样品表面与预冷环境温度差较大,导致预冷前期干耗增加显著,随着温差逐渐缩小,水蒸汽压力差减小,样品干耗值增加缓慢;实

验样品干耗值在达到峰值后呈现缓慢下降趋势,主要是因为箱内湿度过饱和^[18],雾气在箱内壁凝结产生水珠,滴至样品表面,使样品质量增加,干耗下降,在对箱内壁水珠进行人工清除后,发现样品干耗最终达到稳定值。而对照组实验样品干耗值在趋于稳定之前,由于样品表面与预冷环境温差减小缓慢,使水蒸汽压力差减小亦缓慢,导致干耗值不断升高,直到温差为零,干耗值才趋于稳定。

2.2 雾化喷淋对猪肉样品干耗的影响

雾化喷淋组与对照组样品平均干耗变化曲线如图2所示,在进行雾化喷淋1.5 h左右时,实验样品平均干耗值达峰值;之后随时间逐渐降低,冷却至7.5 h时降至零干耗;继续对样品进行雾化喷淋,干耗为负。经14 h雾化喷淋处理的各样品继续冷却至24 h后测得最终平均干耗为1.066%,比对照组实验样品最终干耗平均值降低了1.848% ($p < 0.05$)。

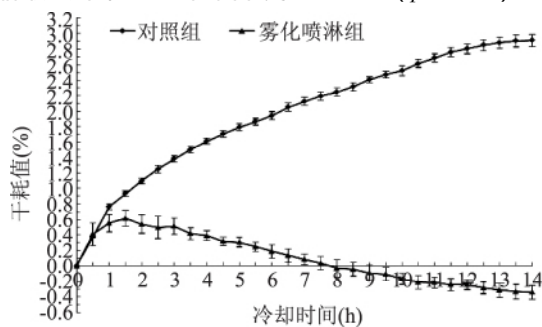


图2 雾化喷淋组与对照组样品平均干耗曲线

Fig.2 Average weight-loss curve of spray-chilling and control group

在开始冷却的1.5 h内,由于样品表面与箱内环境温差较大,蒸汽压差大,导致间隔雾化喷淋量不足以抵消样品质量损失量,干耗值增加显著;随着温差缩小,水蒸汽压差减小,样品质量散失量小于雾化喷淋附着量,样品质量增加,干耗逐渐降低;随着雾化喷淋时间增加,样品干耗降为零,甚至达到负值,样品质量超过其初始质量。

2.3 冷却速度差异

3组实验所有样品冷却速度曲线如图3所示,预冷过程中样品内部温度关系为:对照组>雾化增湿组>雾化喷淋组,并且雾化增湿组和雾化喷淋组样品均先于对照组达到稳定值($p < 0.05$)。这主要因为雾化喷淋组直接将水汽喷淋于样品表面,形成一层致密均匀的水膜覆盖于样品表面,水膜在气流场的作用下开始气化形成水蒸气,带走大量热量^[19-20],使雾化喷淋组样品冷却速度加快,雾化增湿组样品冷却速度次之,对照组冷却速度最慢。由此说明雾化喷淋冷却处理与雾化增湿冷却处理均可使胴体内部温度冷却速度加快。

2.4 两种预冷方式降耗效果差异显著性分析

由表1可见,对照组分别与雾化喷淋组、雾化增湿组平均干耗值差异显著($p < 0.05$),大小关系为:对照组>雾化增湿组>雾化喷淋组。雾化喷淋组与雾化增湿组对猪肉样品平均干耗值影响亦具有显著差异($p < 0.05$)。实验结果表明:雾化喷淋冷却处理

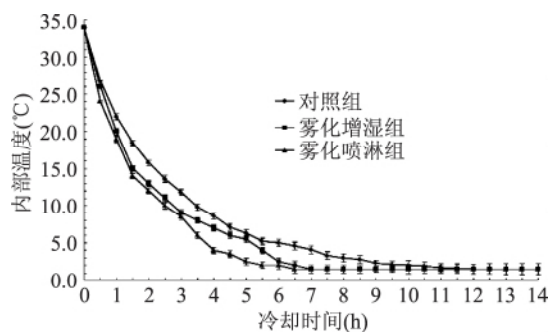


图3 冷却速度对比曲线

Fig.3 The contrast curve of cooling rate

与雾化增湿冷却处理均可显著降低猪肉胴体预冷干耗($p < 0.05$);雾化喷淋冷却处理比雾化增湿冷却处理降低干耗效果更为理想($p < 0.05$)。

表1 不同预冷方式对猪肉样品干耗的影响

Table 1 Effect of different cooling methods on the weight-loss of pig carcasses samples

预冷方式	对照组	雾化增湿组	雾化喷淋组
平均干耗值 (%)	2.914 ± 0.026^a	1.442 ± 0.055^b	1.066 ± 0.047^c

注:同一列内不同字母表示差异显著($p < 0.05$)。

2.5 两种冷却方式干耗值与温度的关系曲线

根据雾化增湿组中一样品、雾化喷淋组中一样品及对照组一样品所测干耗数据与内部中心温度的关系曲线分别如图4a~图4c所示。

根据图4a可见,在对照组实验中,预冷开始第1 h内样品内部温度下降幅度最大为10.5℃,同时样品干耗值接近线性增加,达到0.76%,占最终总干耗的26.17%;之后干耗曲线一直保持上升趋势,但曲线斜率在逐渐减小,预冷最后1 h干耗曲线趋于稳定,同时,样品内部温度达到稳定值1.5℃。

根据图4b可以看出,在雾化增湿实验中,预冷开始第1 h内样品内部温度下降幅度最大为14℃,同时样品干耗值接近线性增加,达到0.89%,占最终总干耗的66.42%;第2 h内样品内部温度下降幅度为7℃,同时样品干耗值达到1.18%,占最终总干耗的88.06%;第3 h内样品内部温度下降幅度为4℃,同时样品干耗值达到1.31%,占最终总干耗的97.76%;之后干耗曲线增长较为缓慢,在预冷第7 h时,样品内部温度达到稳定值1.5℃,样品干耗值达到最大值1.49%,比对照组样品提前6 h达到最大干耗值。随后干耗曲线呈现缓慢下降趋势,但最终趋于稳定。

根据图4c可以看出,在雾化喷淋实验中,预冷开始第1 h内样品内部温度下降幅度最大为14.5℃,与雾化增湿组样品温度降相差不大,经总体样本统计分析后可知此两种预冷方式在预冷初期1 h内对温度下降影响不显著($p < 0.05$),但样品干耗值为0.55%,比雾化增湿组样品干耗低0.34%;在预冷开始第1.5 h时样品干耗即达到最大值0.67%,比雾化增湿组样品提前5.5 h达到最大干耗值,之后开始逐渐降低。

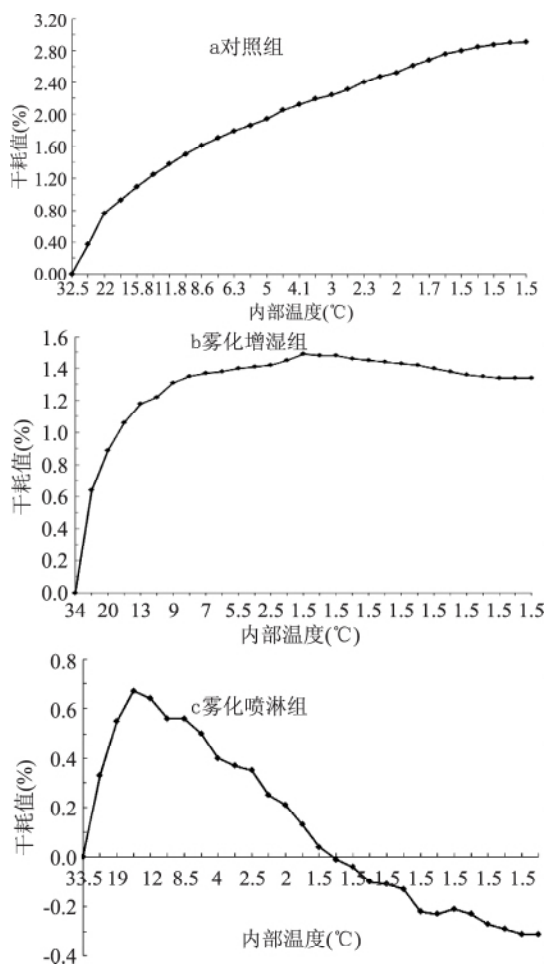


图4 3组实验某一样品干耗值
与内部中心温度关系曲线

Fig.4 The relative curve between the weight-loss of
pig carcasses and internal temperature in three group

预冷前期温度差较大,由胴体内部向外传递热量较大,产生的温度降也较大,该过程中热量传递的同时伴随着质量的传递,结果使胴体干耗显著增加。随着冷却时间延长,温度差逐渐缩小,推动作用减弱,干耗值增加缓慢。当样品内部温度达到1.5℃,即内部温度与外界预冷环境温度达到平衡时干耗值达到最大值。

通过对3组实验结果进行总体样本统计分析可知,雾化喷淋冷却处理与雾化增湿冷却处理均可有效缩短样品干耗达到峰值的时间,其达到峰值时间关系为:雾化喷淋组<雾化增湿组<对照组,提前使样品内部所含水分不再散失,从而使降低干耗效果显著($p < 0.05$)。

3 结论与讨论

通过以上实验分析可知,雾化喷淋处理与雾化增湿处理与对照组相比均可有效降低猪胴体预冷干耗,并且雾化喷淋与雾化增湿两种预冷方式降耗效果差异显著($p < 0.05$)。雾化喷淋冷却处理降耗效果要优于雾化增湿冷却处理,同时可以加速胴体内部温度冷却,提前达到样品干耗峰值。因此在猪胴体雾化喷淋冷却技术的实际应用中,应优先采用雾化喷淋方式对猪胴体进行冷却,且采用间歇式喷淋方

法。由于预冷初期的2~3 h内胴体内部温度与预冷环境之间温度差较大,冷却速率较快,向外散热量大,带走的水分比较多^[21],应该适当缩短对猪胴体的雾化喷淋间隔,以补充胴体对外散失的水分,喷淋后期逐渐扩大雾化喷淋间隔。

雾化喷淋冷却处理与雾化增湿冷却处理均可显著降低猪胴体预冷干耗($p < 0.05$);雾化喷淋冷却处理比雾化增湿冷却处理降低干耗效果更为理想($p < 0.05$)。雾化喷淋预冷方式可将猪胴体24 h干耗控制在1.066%左右,比雾化增湿方式平均干耗值低0.376%,比对照组平均干耗值低1.848%($p < 0.05$)。雾化喷淋冷却处理与雾化增湿冷却处理均可加速猪胴体冷却,使胴体内部温度提前达到稳定值($p < 0.05$)。雾化喷淋冷却处理与雾化增湿冷却处理均可有效缩短样品干耗达到峰值的时间,其达到峰值时间关系为:雾化喷淋组<雾化增湿组<对照组,提前使样品内部所含水分不再散失,从而使降低干耗效果显著($p < 0.05$)。

参考文献

- [1]冯亦步,李晓燕,郭运.冷冻加工过程中食品干耗的数值计算[J].黑龙江商学院学报,1999,15(1):1-7.
- [2]冯志成,肖华党,余忠,等.猪胴体在预冷过程中的干耗研究[J].肉类工业,2013,6(6):31-33.
- [3]张向前,徐幸莲,周光宏,等.季节和雾化喷淋冷却对猪半胴体干耗及品质的影响[J].南京农业大学学报,2006,30(3):124-128.
- [4] Greer G G, Jones S D. Quality and bacteriological consequences of beef carcass spray-chilling: Effects of spray duration and boxed beef storage temperature. [J]. Meat Science, 1997, 45(1): 61-73.
- [5]李红民,肖华党,甘泉.雾化喷淋对猪胴体损耗和表面颜色的影响[J].肉类研究,2010,8(8):43-44.
- [6]Long V P, Tarrant P V. The effect of pre-slaughter showering and post-slaughter rapid chilling on meat quality in intact pork sides [J]. Meat science, 1990, 27(3): 181-195.
- [7]石志忠,陈阳楼,樊成艳.浅谈白条肉在冷却和冻结过程中的干耗[J].肉类工业,2011,6(6):52-53.
- [8]高淑娟,毛衍伟,王秀江,等.两段式冷却对牛肉食用品质的影响[J].农业工程学报,2009,10(10):312-317.
- [9]胡文锦,瞿圣,符绍辉.不同预冷条件下白条损耗及菌落总数变化[J].肉类工业,2014,1(1):19-21.
- [10]徐春仲,李志方,王正云,等.二段冷却与一段冷却对冷却肉损耗的影响[J].农产品加工(学刊),2007,10(10):55-57.
- [11]余忠,肖华党,徐宝才.猪白条冷却环节环境增湿对干耗的影响[J].肉类工业,2014,2(2):28-30.
- [12]张向前,李虹敏,徐幸莲,等.雾化喷淋冷却对猪半胴体干耗及品质的影响[J].食品科学,2007,28(7):100-104.
- [13]余忠,王志同,肖华党,等.乳酸喷淋对猪胴体品质的影响[J].肉类工业,2013,11(11):52-53.
- [14] Berry E D, Cutter C N. Effects of acid adaptation of *Escherichia coli* O157: H7 on efficacy of acetic acid spray washes

(下转第330页)

耗了较多的营养物质,贮藏时间不及真空预冷;冰水预冷虽然迅速去除田间热,但是对澳芒组织的破坏较大,严重影响其后续贮藏。因而,真空预冷可作为澳芒保鲜一个较好的前处理工艺。

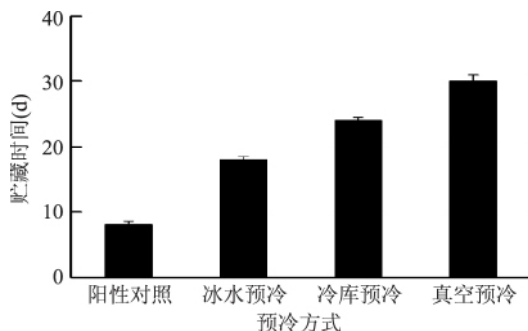


图10 不同预冷方式对澳芒贮藏期的影响

Fig.10 Effect of different cooling treatments on Storage period of Australia Mango

3 结论

在单因素基础上,通过正交实验,优化出真空预冷澳芒的工艺为:预冷终温 6°C ,补水率 5% (m/m),装料密度 $40\text{ kg}/\text{m}^3$ 。真空预冷对澳芒后续贮藏过程中品质保持具有积极作用,能够有效抑制感官品质下降,减缓还原糖、蛋白质、 V_c 降低,抑制失重率、损耗率增加,延长贮藏期。澳芒经真空预冷,结合冷库贮藏($T=6^{\circ}\text{C}$, $\text{RH}=65\%$)贮藏期延长至30 d以上(相较 25°C 贮藏),真空预冷可作为澳芒保鲜一个较好的前处理工艺。

参考文献

- [1] Itoh T, Kita N, Kurokawa Y, et al. Suppressive effect of a hot water extract of adzuki beans (*Vigna angularis*) on hyperglycemia after sucrose loading in mice and diabetic rats [J]. *Bioscience, Biotechnology and Biochemistry* 2004, 68(12): 2421-2426.
- [2] 李健,姜微波.预冷技术在果蔬采后保鲜中的应用研究[J].北京工商大学学报:自然科学版 2012, 30(3): 65-68.
- [3] Hori Y, Sato S, Hatai A. Antibacterial activity of plant extracts

from azuki beans (*Vigna angularis*) *in vitro* [J]. *Phytotherapy Research* 2006, 20(2): 162-164.

[4] 王璐,李保国,董庆利,等.不同真空预冷处理条件对鸡毛菜品质的影响[J].制冷学报 2011, 32(2): 35-57.

[5] Sato S, Hori Y, Yamate J, et al. Protective effect of dietary azuki bean (*Vigna angularis*) seed coats against renal interstitial fibrosis of rats induced by cisplatin [J]. *Nutrition* 2005, 21(4): 504-511.

[6] 王强,董德发,张从菊.差压通风预冷技术在农产品物流中的应用[J].当代农机 2007, 1(12): 55-56.

[7] 金昕祥,张海川,成剑,等.真空冷却技术的应用与研究进展[J].农业工程学报 2008, 24(1): 234-238.

[8] 陈颖,刘宝林,宋晓燕.荷兰豆真空预冷及其对贮藏品质的影响[J].食品科学 2013, 34(6): 276-279.

[9] 陶菲,郝海燕,葛林梅.真空预冷减缓双孢菇细胞壁物质的降解[J].农业工程学报 2013, 29(16): 264-268.

[10] 林永艳,谢晶,朱军伟,等.真空预冷对青菜贮藏品质的影响[J].食品工业科技 2012, 33(21): 314-317.

[11] 刘芬.青花菜真空预冷工艺及保鲜效果的研究[D].杭州:浙江大学 2011.

[12] 陈羽白,林海英,赵华海,等.菜心真空预冷效果的实验研究[J].农业工程学报 2003, 19(5): 161-165.

[13] 闫静文,王雪芹,刘宝林,等.真空预冷及贮藏方式对生菜品质的影响[J].食品工业科技 2011, 32(1): 261-263.

[14] 黄晓钰,刘邻渭.食品化学综合实验[M].北京:中国农业大学出版社 2002: 174-176.

[15] 韩志,谢晶,潘迎捷,等.在不同真空度下的卷心菜真空冷却实验对比研究[J].真空科学与技术学报 2007, 27(2): 142-145.

[16] 胡小荣,陶梅,卢新雄,等.不同含水量大葱种子贮藏过程中的糖代谢研究[J].植物遗传资源学报 2006, 7(1): 85-88.

[17] 孔凡春,沈群,刘月,等.臭氧处理对果蔬中L-抗坏血酸和还原糖的影响[J].食品科技 2003, 28(10): 88-90.

[18] 刘敏,谢晶.真空预冷和贮藏温度对菠菜品质的影响[J].江苏农业学报 2010, 26(5): 1060-1063.

(上接第325页)

to decontaminate beef carcass tissue. [J]. *Applied and Environmental Microbiology* 2000, 66(4): 1493-1498.

[15] 时美英,彭宏刚,徐泽权,等.套袋对猪胴体预冷损耗、温度及部分肉品质性状影响[J].猪业科学 2015, 32(4): 119-121.

[16] 夏秀芳,孔保华.香辛料保鲜液与壳聚糖淀粉复合膜在冷却肉保鲜中的应用[J].食品科学 2008, 28(11): 590-595.

[17] 李雪姣,马悦培,湛徽,等.无磷酸盐制剂对牛肉嫩度和保水性的影响[J].食品工业科技 2010(3): 109-111.

[18] Jones S D, Robertson W M. The effects of spray-chilling

carcasses on the shrinkage and quality of beef [J]. *Meat Science*, 1988, 24(3): 177-188.

[19] 宋晓燕.食品真空冷却的传热传质机理研究[D].上海:上海理工大学 2014.

[20] Hippe C L, Field R A, Ray B, Russell W C. Effect of spray-chilling on quality of beef from lean and fatter carcasses [J]. *Journal of animal science*, 1991, 69(1): 178-183.

[21] 陆昌华,何振峰,甘泉,等.猪肉生产过程中质量损耗分析与预冷过程优化[J].江苏农业学报 2015, 31(2): 468-470.