

茶多酚对罗非鱼微冻保鲜的影响

张珂,关志强*,李敏,吴阳阳

(广东海洋大学食品科技学院,广东省水产品加工与安全重点实验室,水产品深加工广东普通高等学校重点实验室,广东湛江 524088)

摘要:以罗非鱼为实验对象,研究茶多酚对罗非鱼片在微冻保鲜过程中品质变化的影响。通过罗非鱼片冻结曲线的绘制,确定其冻结点。同时,结合感官评定、菌落总数、硫代巴比妥酸值(TBA值)、挥发性盐基氮(TVB-N值)等指标测定,综合评价茶多酚结合微冻处理对罗非鱼片品质的影响。结果表明:罗非鱼的冻结点为 -2.5°C 左右。经0.1%茶多酚处理后的罗非鱼片的菌落总数、pH、TBA值、TVB-N值与对照组相比降低显著($p<0.05$),其感官评分值显著提高($p<0.05$),且使其货架期由19d延长至28d。

关键词:罗非鱼,微冻,茶多酚,货架期

Effect of tea polyphenols on the quality of tilapia during superchilled storage

ZHANG Ke, GUAN Zhi-qiang*, LI Min, WU Yang-yang

(College of Food Science and Technology, Guangdong Ocean University, Guangdong Provincial Key Laboratory of Aquatic Product Processing and Safety, Key Laboratory of Advanced Processing of Aquatic Products of Guangdong Higher Education Institution, Zhanjiang 524088, China)

Abstract: The effect of preserving the fresh tilapia fillet by tea polyphenols was studied during superchilled storage in this assay. The initial freezing point was confirmed based on frozen temperature curve of tilapia. Meanwhile, the experiment was also monitored by the total aerobic counts, pH value, the 2-thiobarbituric acid (TBA), total volatile basic nitrogen (TVB-N) and sensory evaluation three days intervals, which could efficiently evaluate the influence of tea polyphenols combined with superchilling technology on tilapia quality. The result showed that the freezing point of tilapia was -2.5°C . Tea polyphenols was effective to inhibit the change of the total aerobic counts, pH, TBA and TVB-N ($p<0.05$), and improved the sensory quality ($p<0.05$) of tilapia compared with the blank control group, thus it prolonged the shelf-life of tilapia fillet from 19d to 28d during superchilled storage.

Key words: tilapia; superchilling; tea polyphenols; shelf-life

中图分类号: TS254.4

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2015)14-0350-05

doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2015.14.063

水产品由于其蛋白质含量丰富,极易受到微生物与酶的作用而发生腐烂变质。相关报道显示,我国每年有30%的渔获物因腐败而无法消费,这一损失占农业总耗损的25%^[1]。因此,采取适当的处理方式进行水产品的保鲜加工显得尤为重要。

罗非鱼(Tilapia)又名非洲鲫鱼、福寿鱼、吴郭鱼等,为鲈形目丽鱼科淡水养殖鱼类,是世界上仅次于鲤科和鲑科的第三大养殖品种,其粗蛋白与粗脂肪含量分别为17.21%与1.3%,是高蛋白、低脂肪的经济鱼类之一^[2]。鲜美的肉质加上合理的营养,使罗非鱼获得“21世纪之鱼”称号,享有“未来动物性蛋白质”

重要来源的美誉。

微冻(superchilling)又称轻度冷却(light freezing)^[3],是将水产品的温度降低至冰点及以下 $1\sim 2^{\circ}\text{C}$ 间进行保藏^[4]。其不仅可减少能耗,容易解冻,延长货架期,且20%~50%的冰晶对原料组织结构影响较小^[5]。因此,微冻保鲜势必成为富有潜力的保鲜方法之一。然而,由于鱼肉含有丰富的蛋白质和多种不饱和脂肪酸,水分含量高,即使在微冻条件下仍能发生脂肪氧化和微生物滋生。因此,采取适当措施减缓微冻鱼品质下降的速度、延长其贮藏期具有十分重要的意义^[6]。茶多酚是茶叶中多酚类化合物的总称。茶多酚具有

收稿日期:2014-10-28

作者简介:张珂(1991-),女,硕士研究生,研究方向:水产品加工及贮藏工程。

*通讯作者:关志强(1956-),男,硕士,教授,研究方向:食品冷冻冷藏工程。

基金项目:广东省科技厅资助项目(2012B020312006)。

抗氧化、抗癌、抗衰老、预防心血管疾病等多种生理活性。因其在抑制油脂氧化与食源性致病菌的活性具有良好的作用,现已得到广泛应用^[7]。Li Tingting等^[8]研究了茶多酚对鲫鱼4℃条件下品质变化的影响,结果发现茶多酚可延长货架期5~7d;Zhao Jin等^[9]将大黄鱼置于-2℃下冷藏,研究发现茶多酚可有效维持大黄鱼肌原纤维蛋白的功能特性。目前,国内外还未开展茶多酚结合微冻技术应用于罗非鱼的保鲜。本文主要研究了茶多酚对罗非鱼微冻贮藏过程中综合品质的影响,以期对罗非鱼的保鲜提供技术支持和参考数据。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

罗非鱼 购于湛江市工农市场,质量均为750g左右的健康鲜活原料;茶多酚 广州利源化工有限公司;平板计数琼脂 北京路桥技术有限责任公司;三氯乙酸(≥99%) 上海凌峰化学试剂有限公司;2-硫代巴比妥酸(≥98.5%) 国药集团化学试剂有限公司;高氯酸(70%~72%)、氯化钠(≥96.0%) 硼酸(≥99.5%)、氢氧化钠(≥96.0%) 广东光华科技股份有限公司;盐酸(36%~38%) 廉江市爱康化试剂有限公司;指示剂 甲基红-溴甲酚绿。

PB-10 pH计 德国sartorius集团;CR-10色差计 日本KONICA MINOLTA公司;TMS-PRO质构 美国FTC;JK-24U多路温度测试仪 常州市金艾联电子科技有限公司;GTR22-1型高速冷冻离心机 北京时代北利离心机有限公司;125型均质机 上海依背机械设备有限公司;UV-8000A紫外分光光度计 上海元析仪器有限公司;HHS型恒温水浴锅 上海博迅实业有限公司;SW-CJ-IF型单人双面净化工作台 苏州净化;SPX-250B-Z型生化培养箱 上海博迅实业有限公司医疗设备厂;A-1000S抽滤机 EYEL4;BCD-225SDCW冰箱 青岛海尔股份有限公司。

1.2 原料预处理

将购买的鲜鱼随机分为两组,一组在宰杀切片后,装入聚乙烯袋中置于-4℃环境中贮藏,此组作为空白对照组(control check;CK);另一组罗非鱼取肉切片后,在4℃条件下在0.1%茶多酚溶液中浸渍1.5h^[10],然后再置于-4℃条件下贮藏,此组作为茶多酚组(tea

polyphenols;TP)。每隔3d(即1、4、7d……)分别测定对照组和实验组鱼片的菌落总数、pH、硫代巴比妥酸值(2-thiobarbituric acid;TBA)、挥发性盐基氮值(total volatile basic nitrogen;TVB-N),并就鱼片色泽、气味与组织形态等方面进行感官评定。

1.3 测定方法

1.3.1 冻结曲线 本文是采用多路温度测定仪测得罗非鱼片的冻结曲线^[11],将多路温度测定仪的多个探头插入到鱼片中心部位,将鱼片置于-20℃冰箱中,仪器每隔20s记录一个温度值,通过显示屏可观察鱼片中心温度的变化,将数据传至电脑,分析即可得到罗非鱼片的冻结点。

1.3.2 感官评价 以罗非鱼的色泽、气味和组织形态等指标进行感官评定^[12],评定人员由经过专门训练的5名人员组成,具体评分标准见表1。参考葛云山等^[13]的方法制定此评分标准:各项目满分为10分,以生熟鱼片7个项目评分的平均值为最终感官评定结果,平均值为7~9分的为新鲜,5~7分为感官一级(较新鲜),3~5分为感官二级(基本新鲜),3分为不可接受产品。

1.3.3 菌落总数 根据GB/T 4789.2-2010的《食品微生物学检验,菌落总数测定》^[14],稍加改动进行测定。根据GB/T 21290-2007冻罗非鱼片^[15]标准规定菌落总数≤5×10⁶CFU/g。

1.3.4 pH 取绞碎的肉10.00g于烧杯中,加入100mL蒸馏水,均质1min,静置30min后过滤,用酸度计进行测定^[16]。

1.3.5 硫代巴比妥酸(TBA) 取10.00g绞碎的肉样于烧杯中^[17],加入40mL预冷的5%的三氯乙酸(TCA),13800r/min均质1min,过滤,往滤液中加入5%TCA定容至50mL。用移液管取5mL滤液于反应管中,加5mL,0.02mol/L TBA,用塞子封口,振荡混匀,置于沸水浴中35min,取出冷却至室温。以5mL蒸馏水作对照,于538nm处测定吸光度(A)。计算公式:

$$TBA=A \times 7.8 \text{ mg}/100 \text{ g}$$

1.3.6 挥发性盐基氮(TVB-N) 参考水产行业标准SC/T 3032-2007^[18]的《水产品中挥发性盐基氮的测定》。其中,TVB-N值≤13mg/100g为一级鲜度,13mg/100g≤TVB-N≤20mg/100g为二级鲜度,TVB-N值>20mg/100g为变质肉^[19]。

表1 冷藏罗非鱼片感官评定表

Table 1 Criteria for the sensory evaluation of chilled tilapia fillet

分值	生鱼片				水煮鱼片		
	色泽	气味	组织形态	肌肉弹性	气味	滋味	汤汁形态
5	色泽正常,肌肉内切面富有光泽	生鱼片固有的香味,清新	肌肉组织致密完整,纹理很清晰	坚实有弹性,手压后凹陷立刻消失	生鱼片固有的香味,清新	固有的鲜味浓郁,肉质弹性较好	很清晰,汤内无碎肉
4	色泽正常,肌肉内切面有光泽	生鱼片固有的香味,较清新	肌肉组织致密,纹理较清晰	坚实有弹性,手压后凹陷较快消失	生鱼片固有的香味,较清新	固有的鲜味较浓郁,肉质有弹性	清晰,汤内无碎肉
3	色泽稍暗淡,肌肉内切面稍有光泽	固有的香味清淡,略带异味	肌肉组织不致密,但不松散	较有弹性,手压后凹陷消失缓慢	固有的香味清淡,略带异味	固有的鲜味平淡,肉质弹性一般	较清晰,汤内有些许碎肉
2	色泽较暗淡,肌肉内切面无光泽	固有香味消失,有腥臭味或氨臭味	肌肉组织不致密,部分松散	稍有弹性,手压后凹陷消失很慢	固有香味消失,有腥臭味或氨臭味	无鲜味,无异味,肉质弹性差	肉质悬浮于汤内,汤汁较混浊
1	色泽暗淡,肌肉内切面无光泽	有强烈的腥臭味或氨臭味	肌肉组织不致密,松散	无弹性,手压后凹陷不消失	有强烈的腥臭味或氨臭味	无鲜味,肉质发粘,有氨臭味	肉质腐败悬浮于汤内,汤汁混浊

1.4 数据处理

实验数据均为3次平行实验的平均值,用Origin 8软件进行作图,利用JMP 7软件对数据进行单样本的*t*检验和双样本的配对检验,检验平均值间的差异显著性($p < 0.05$ 为差异显著)。

2 结果与讨论

2.1 罗非鱼冻结点的测定

罗非鱼的冻结曲线如图1所示,实验期间,罗非鱼鱼片的中心温度逐渐降低,呈现先快后慢与最后变快的下降趋势。样品约在16min时开始结冰,冻结点温度为 -2.5°C 左右,此点为罗非鱼初始结冰点,这与张强等^[20]研究结果相似。而微冻保鲜的温度一般设定在冻结点以下 $1\sim 2^{\circ}\text{C}$,因此选定罗非鱼的微冻保鲜温度为 -4°C 。

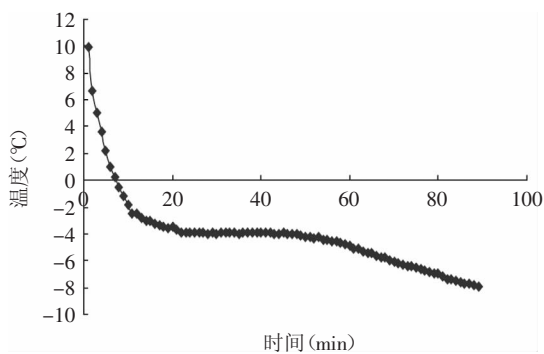


图1 罗非鱼的冻结曲线

Fig.1 Frozen temperature curve of tilapia

2.2 感官评分的变化

罗非鱼在 -4°C 条件下微冻保鲜的感官评分变化如图2所示。从图2可以看出,罗非鱼在微冻贮藏期间的感官评分值逐渐降低。对照组在冷藏10d时就下降至7分,在较新鲜(感官一级)范围内;在冷藏19d后就下降到5分以下,为基本新鲜(感官二级),这与李婷婷等^[21]得出的结果相似。而0.1%茶多酚实验组在储存28d时还能保持在5分以上,属于一级鲜度值;31d内属于二级鲜度值范围。结果表明,加入0.1%茶多酚可显著提高罗非鱼在微冻贮藏期间的感官分值($p < 0.05$),更利于消费者接受,以二级鲜度为标准,与对照组相比,TP组可延长货架期9d。

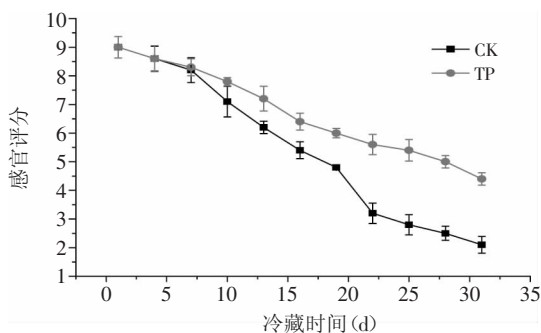


图2 罗非鱼在微冻冷藏期间感官评分的变化

Fig.2 Changes in sensory evaluation of tilapia during superchilled storage

2.3 菌落总数

罗非鱼在 -4°C 条件下微冻保鲜的菌落总数变化如图3所示。由图3可见,两组样品的菌落总数呈现先降后升的趋势。冷藏初期菌落总数的下降可能是因为茶多酚具有广谱抑菌作用,或是温度骤降导致鱼体表面的嗜温菌大量死亡。后期由于鱼体腐败,大量微生物生长繁殖,而导致菌落总数上升。这与马海霞等^[22-23]的观点类似,他们认为,在微冻保鲜期间,鱼类的细菌总数变化主要有三种趋势:增长趋势、下降趋势和先下降后增长趋势三种。微生物数量的变化与水产品种类、附着的细菌种类和数量、微冻方式、水分冻结率等因素有关。

其中,对照组在16d时菌落总数达到 $5.98\log\text{CFU/g}$,19d时超出鲜度标准,这与Liu Qian等^[24]研究结果相似。货架期终点时的菌落总数达 $7.23\log\text{CFU/g}$;而TP组鱼片在28d前菌落总数都小于 $6.00\log\text{CFU/g}$ 。与对照组相比,茶多酚处理能显著抑制罗非鱼片中微生物的生长繁殖($p < 0.05$),使货架期延长了9d左右。

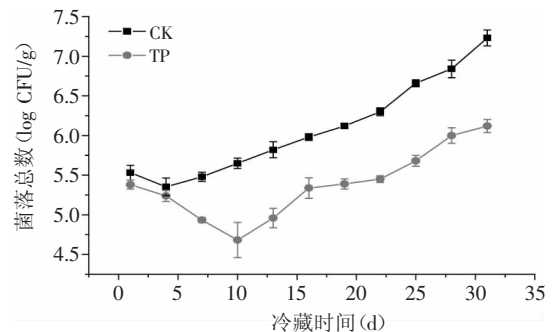


图3 罗非鱼在微冻冷藏期间菌落总数的变化

Fig.3 Changes in total aerobic counts of tilapia during superchilled storage

2.4 pH的变化

由图4可知,新鲜罗非鱼的pH为6.6左右,与张方乐等^[25]结果类似。其中,对照组样品在10d内的pH先降至6.21,随后急剧上升。实验结束时对照组罗非鱼的pH,与鲜鱼相比上升显著($p < 0.05$)。茶多酚处理组样品的pH也存在相似的变化规律,在货架期终点时的pH升至7.04,与鲜鱼相比变化显著($p < 0.05$)。这是由于罗非鱼在捕捞后鱼体内相继经历僵硬、自溶腐败两个过程,pH在僵硬期内持续下降,在腐败过程持

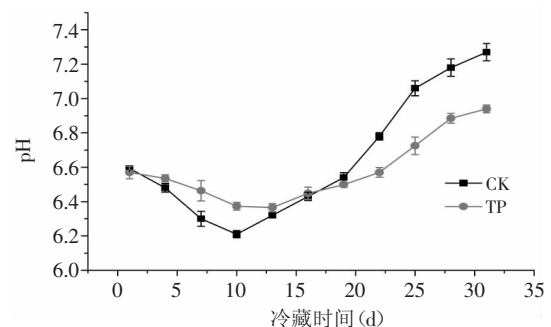


图4 罗非鱼在微冻冷藏期间pH的变化

Fig.4 Changes in pH value of tilapia during superchilled storage

续上升^[26]。贮藏初期由于糖元酵解反应生成的乳酸、ATP和磷酸肌酸等物质分解为磷酸等酸性物质,降低了样品的pH;贮藏后期,由于氨基酸等碱性物质分解,产生的挥发性碱性含氮物,使鱼肉pH逐渐升高。经配对t检验之后,得出TP组pH显著低于CK组($p < 0.05$)。该结论与茅林春等^[27]的结果类似。

2.5 TBA值

鱼肉中含有许多不饱和脂肪酸,贮藏过程中脂肪氧化降解产物——丙二醛可与TBA反应生成稳定的红色化合物^[28]。因此,可根据反应物的颜色深浅测定其吸光度值,并加以换算,以此推测鱼体的脂肪氧化酸败程度。

由图5可以看出,对照组罗非鱼的TBA值上升较快,经过31d贮藏,由初始的0.21mg/100g升至0.69mg/100g,而茶多酚处理组的TBA值则仅上升至0.52mg/100g。可见,茶多酚可明显抑制鱼肉的脂肪氧化速度,与陈晓眠等^[29]有一致的结论。

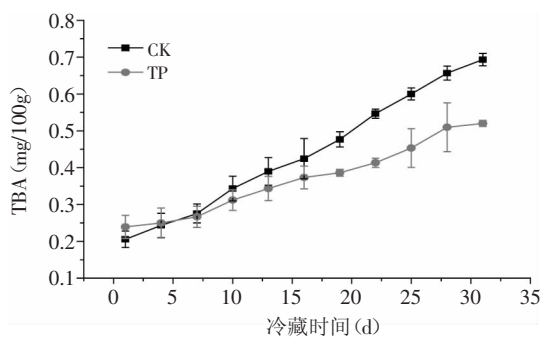


图5 罗非鱼在微冻冷藏期间TBA值的变化

Fig.5 Changes in the 2-thiobarbituric acid of tilapia during superchilled storage

2.6 TVB-N值的变化

水产品细菌和酶的作用下,易分解产生的氨及低级胺类。因此,通常将TVB-N值作为肉类的鲜度指标^[30]。由图6可知,CK组罗非鱼在13d内TVB-N值超过13mg/100g,22d内超出二级淡水鱼鲜度值标准,变化显著。其中,TVB-N值的上升趋势也符合“pH与TVB-N值的上升时间点是一致的”的观点^[31],即在实验的第1d开始大幅上升;而茶多酚处理组样品的TVB-N值在31d冷藏期仍未超出20mg/100g的二级鲜

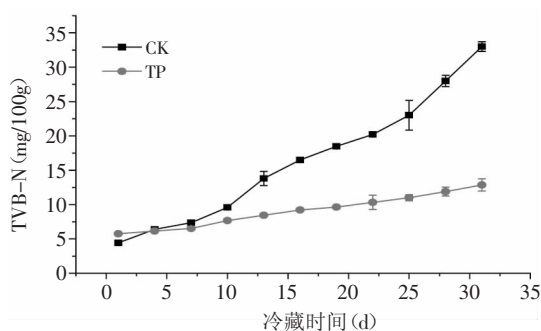


图6 罗非鱼在微冻冷藏期间TVB-N值的变化

Fig.6 Changes in total volatile basic nitrogen of tilapia during superchilled storage

度范围,货架期延长了9d左右。

3 结论

经0.1%茶多酚处理并在-4℃微冻条件下保存的罗非鱼片的菌落总数、pH、TBA值、TVB-N值指标与未经处理的微冻样品相比有了显著降低,其感官分值显著提高;且以二级鲜度为标准来综合考虑菌落总数、感官评分和TVB-N值三项指标,确定对照组鱼片货架期为19d,茶多酚组为28d,货架期延长了9d左右。因此,0.1%茶多酚处理过的罗非鱼在微冻保鲜时可有效抑制微生物的生长繁殖,减缓脂肪的氧化酸败,从而提高罗非鱼的冻藏品质,延长其贮藏货架期。

参考文献

- [1] Ghaly A E, Dave D, Budge S, et al. Fish spoilage mechanisms and preservation techniques: Review[J]. American Journal of Applied Science, 2010, 7(7): 859-877.
- [2] 唐小丹, 周春霞, 洪鹏志, 等. 罗非鱼肉蛋白的分离及其性质研究[J]. 食品科技, 2011, 36(6): 156-166.
- [3] 沈月新. 水产食品学[M]. 北京: 中国农业出版社, 2001: 87-88.
- [4] Claussen I C. Superchilling concepts enabling safe, high quality and long term storage of foods[J]. Procedia Food Science, 2011, 1: 1907-1909.
- [5] Gallart-Jornet L, Rustad T, Barat J M, et al. Effect of superchilled storage on the freshness and salting behavior of Atlantic salmon (*Salmo salar*) fillets[J]. Food Chemistry, 2007, 103(4): 1268-1281.
- [6] 茅林春, 段道富, 许勇泉, 等. 茶多酚对微冻鲫鱼的保鲜作用[J]. 中国食品学报, 2006, 6(4): 106-110.
- [7] Perumalla A V S, Navam S H. Green tea and grape seed extracts—Potential applications in food safety and quality [J]. Food Research International, 2011, 44(4): 827-839.
- [8] LI Tingting, LI Jianrong, HU Wenzhong, et al. Shelf-life extension of crucian carp (*Carassius auratus*) using natural preservatives during chilled storage[J]. Food Chemistry, 2012, 135(1): 140-145.
- [9] ZHAO Jin, LV Weijin, WANG Jinlin, et al. Effects of tea polyphenols on the post-mortem integrity of large yellow croaker (*Pseudosciaena crocea*) fillet proteins[J]. 2013, 141(3): 2666-2674.
- [10] 范文教, 孙俊秀, 陈云川, 等. 茶多酚对鲢鱼微冻冷藏保鲜的影响[J]. 农业工程学报, 2009, 25(2): 294-297.
- [11] 冯志哲. 水产品冷冻工艺学[M]. 北京, 中国农业出版社, 1997: 42-43.
- [12] 黄晓春, 侯温甫, 杨文鸽, 等. 冰藏过程中美国红鱼生化特性的变化. 食品科学, 2007, 28(1): 337-340.
- [13] 葛云山, 乌依乌达 A D, 肖SJ. 水产品质量评定方法[M]. 东海: 中国水产科学研究院东海水产研究所, 1985.
- [14] GB 4789.2-2010 食品安全国家标准, 食品微生物学检验, 菌落总数测定[S].
- [15] GB/T 21290-2007 冻罗非鱼片[S].
- [16] 厦玉宇. 食品卫生质量检验与监督[M]. 北京: 北京工业出

(下转第358页)

- Stress[J]. *Physiology and Molecular Biology of Plants*, 2012, 18 (2):133-139.
- [3] John D Everard, Riccardo Cucci, Susan C Kann, et al. Gas Exchange and Carbon Partitioning in the Leaves of Celery at Various Levels of Root Zone Salinity [J]. *Plant Physiology*, 1994, 106:281-292.
- [4] 张明明, 徐恒政. 果蔬保鲜实用知识[M]. 北京: 中国商业出版社, 1994:31.
- [5] 曹剑超, 夏天兰, 吴希茜. 鲜切芹菜加工关键技术的研究[J]. *江西食品工业*, 2008, (1):31-32.
- [6] 马岩松. 瓜果与瓜菜类蔬菜贮藏保鲜实用技术[M]. 北京: 中国农业科学技术出版社, 2004:103.
- [7] Julio G Loaiza-Velarde, Mary E Mangrich, Reinaldo Campos-Vargas, et al. Heat shock reduces browning of fresh-cut celery petioles[J]. *Postharvest Biology and Technology*, 2003, 27(3):305-311.
- [8] Lijuan Zhan, Jinqiang Hu, Loong-TAK Lim, et al. Light exposure inhibiting tissue browning and improving antioxidant capacity of fresh-cut celery (*Apium graveolens* var. dulce)[J]. *Food Chemistry*, 2013, 141(3):2473-2478.
- [9] Masoud Shafafi Zenoozian. Effect of Modified Atmosphere Packaging on Quality Changes of Fresh Parsley, Spinach and Dill [J]. 2011 2nd International Conference on Environment Science and Technology, 2011, (6):76-79.
- [10] 潘磊庆, 屠康, 贾明敏, 等. 臭氧水处理对芹菜保鲜效果的研究[J]. *安徽农业大学学报*, 2004, 31(3):348-352.
- [11] Etan Pressman, Moshe Negbi. Interaction of Daylength and Applied Gibberellins on Stem Growth and Leaf Production in Three Varieties of Celery[J]. *Journal of Experimental Botany*, 1987, 38:968-971.
- [12] 阮少宁, 林思祖, 翁素林. 低温胁迫对黑木相思叶状柄解剖结构与质膜透性的影响[J]. *四川农业大学学报*, 2011, 29 (2):173-178.
- [13] 郑京平. 水果、蔬菜中维生素C含量的测定—紫外分光光度快速测定方法探讨[J]. *光谱实验室*, 2006, 23(4):731-735.
- [14] 潘静娴, 戴凤. 瓶插水pH对非洲菊切花保鲜效果的研究[J]. *安徽农业科学*, 2012, 40(33):16359-16361, 16474.
- [15] 潘静娴, 戴锡玲, 宋莲花. Cd对萹蒿生理生化及叶片超微结构的影响[J]. *广西植物*, 2008, 28(6):837-841.
- [16] 任云霞, 孙勇. 芹菜保鲜研究[J]. *保鲜与加工*, 2001, 1(2):11-12.
- [17] 叶月, 徐文娟, 伍超. 不同浓度丙二酸对芹菜保鲜效果的研究[J]. *长江蔬菜*, 2012(16):125-127.
- [18] Likui Zhang, Zhaoxin Lu, Zhifang Yu, et al. Preservation of fresh-cut celery by treatment of ozonated water[J]. *Food Control*, 2005, 16(3):279-283.
- [19] Jaime González-Buesa, Natalie Page, Chelsea Kaminski, et al. Effect of non-conventional atmospheres and bio-based packaging on the quality and safety of *Listeria monocytogenes*-inoculated fresh-cut celery (*Apium graveolens* L.) during storage[J]. *Postharvest Biology and Technology*, 2014, 93:29-37.
- [20] 朱军伟, 谢晶. 叶菜类蔬菜保鲜技术研究进展[J]. *湖南农业科学*, 2011(21):90-93.
- [21] 班兆军, 徐新明, 季向阳. 切根处理对香菇采后耐藏性及商品性的影响[J]. *中国食用菌*, 2010, 29(5):50-51, 65.
- [17] Witte V C, Krause G F, Bailey M E. A new extraction method for determining 2-thiobarbituric acid values of pork and beef during storage[J]. *Food Science*, 1970, 35:582-585.
- [18] 中华人民共和国水产行业标准. SC/T3032-2007水产品中挥发性盐基氮的测定[S].
- [19] 苗建银, 曾祥震, 陈艳辉, 等. 牡蛎壳源丙酸钙对罗非鱼肉防腐保鲜作用研究[J]. *食品工业科技*, 2013, 34(18):311-314.
- [20] 张强, 李媛媛, 林向东. 罗非鱼片真空微冻保鲜研究[J]. *食品科学*, 2011, 32(04):232-236.
- [21] 李婷婷, 刘剑侠, 徐永霞, 等. 大菱鲆微冻贮藏过程中的品质变化规律[J]. *中国食品学报*, 2014, 14(7):95-102.
- [22] 马海霞, 李来好, 杨贤庆, 等. 水产品微冻保鲜技术的研究进展[J]. *食品工业科技*, 2009, 30(4):340-344.
- [23] 曹荣, 薛长湖, 刘淇, 等. 太平洋牡蛎在-3℃微冻贮藏过程中的品质和细菌菌相变化[J]. *南方水产*, 2010, 6(1):49-53.
- [24] LIU qian, KONG Baohua, HAN Jianchun, et al. Effects of superchilling and cryoprotectants on the quality of common carp (*Cyprinus carpio*) surimi: Microbial growth, oxidation, and physiochemical properties[J]. *LWT-Food Science and Technology*, 2014, 57(1):165-171.
- [25] 张方乐, 朱志伟, 曾庆孝. 不同烟熏液处理罗非鱼片冷藏品质的影响[J]. *食品工业科技*, 2011, 32(07):135-138.
- [26] 沈月新. 水产食品学[M]. 北京: 中国农业出版社, 2001:71-76.
- [27] 茅林春, 段道富, 许勇泉, 等. 茶多酚对微冻鲫鱼的保鲜作用[J]. *中国食品学报*, 2006, 6(4):106-110.
- [28] YANAR Y, FENERCIOGLU H. The utilization of carp (*Cyprinus carpio*) flesh as fish ball[J]. *Turkish Journal of Veterinary and Animal Science*, 1999, 23(4):361-366.
- [29] 陈晓眠, 吴晓萍, 邓楚津, 等. 壳聚糖和茶多酚对罗非鱼冷藏保鲜效果的比较[J]. *现代食品科技*, 2011, 27(3):279-282.
- [30] 王秀娟, 张坤生, 任云霞. 壳聚糖涂膜保鲜虾的研究[J]. *食品科学*, 2007, 28(7):519-522.
- [31] YANG Z, WANG H Y, WANG W, et al. Effect of 10 MeV E-beam irradiation combined with vacuum-packaging on the shelf life of Atlantic salmon fillets during storage at 4℃[J]. *Food Chemistry*, 2014, 145:535-541.

(上接第353页)

出版社, 1993:370-372.