

doi:10.3969/j.issn.2095-6002.2017.02.006

文章编号:2095-6002(2017)02-0036-09

引用格式:李学鹏,邹朝阳,仪淑敏,等.气调包装对秘鲁鱿鱼丝储藏过程中甲醛及相关品质指标的影响[J].食品科学技术学报,2017,35(2):36-44.



LI Xuepeng, ZOU Zhaoyang, YI Shumin, et al. Effect of modified atmosphere packaging on changes of formaldehyde and quality of *Dosidicus gigas* dried squid thread during storage[J]. Journal of Food Science and Technology, 2017,35(2): 36-44.

## 气调包装对秘鲁鱿鱼丝储藏过程中甲醛及相关品质指标的影响

李学鹏<sup>1</sup>, 邹朝阳<sup>1</sup>, 仪淑敏<sup>1</sup>, 励建荣<sup>1,\*</sup>, 方旭波<sup>2</sup>,  
牟伟丽<sup>3</sup>, 马永钧<sup>4</sup>, 劳敏军<sup>4</sup>, 沈琳<sup>5</sup>

(1.渤海大学食品科学与工程学院/生鲜农产品贮藏加工及安全控制技术国家地方联合工程研究中心, 辽宁锦州 121013; 2.浙江海洋大学食品与医学学院, 浙江舟山 316022;  
3.蓬莱京鲁渔业有限公司, 山东烟台 265600; 4.浙江兴业集团有限公司, 浙江舟山 316101;  
5.大连东霖食品股份有限公司, 辽宁大连 116007)

**摘要:**将秘鲁鱿鱼丝分别进行普通空气包装、真空包装、气调包装(40% CO<sub>2</sub> + 60% N<sub>2</sub>)和0.5%柠檬酸处理-气调包装(40% CO<sub>2</sub> + 60% N<sub>2</sub>),考察鱿鱼丝在常温储藏过程中甲醛、二甲胺、三甲胺、氧化三甲胺、色差值、TBA值、菌落总数、还原糖、氨基酸及总蛋白的变化,以探究不同包装方式对鱿鱼丝储藏过程中甲醛及相关品质指标的影响。结果显示:储藏过程中秘鲁鱿鱼丝甲醛、二甲胺、三甲胺含量,以及a\*值、b\*值、TBA值、菌落总数都随储藏时间的延长呈现增加的趋势;而L\*值、还原糖、氨基酸(除组氨酸)和肌球蛋白重链含量逐渐降低。研究表明:储藏过程中秘鲁鱿鱼丝中氧化三甲胺逐渐分解生成了甲醛、二甲胺和三甲胺,还原糖与氨基酸发生了美拉德反应,鱿鱼丝色泽逐渐变为微褐色;与空气包装、真空包装相比,气调包装能延缓氧化三甲胺的分解,降低甲醛的生成量,同时对细菌生长、脂肪氧化以及美拉德褐变均有较好的抑制效果,而0.5%柠檬酸处理结合气调包装对甲醛产生及其他品质劣变的抑制更加有效。

**关键词:**鱿鱼丝;气调包装;柠檬酸;甲醛;品质指标

**中图分类号:** TS254.4

**文献标志码:** A

鱿鱼丝作为一种海洋休闲食品,因其高蛋白、低脂肪、低胆固醇,且富含多种必需氨基酸及矿物质,营养丰富且味道鲜美,深受消费者喜爱。传统的鱿鱼丝加工原料主要是北太平洋鱿鱼和阿根廷鱿鱼等。由于北太平洋鱿鱼的捕获量下降、价格上升,使得资源丰富、捕获量大、价格低廉、营养丰富的秘鲁鱿鱼逐渐成为生产鱿鱼丝的主要替代原料<sup>[1]</sup>。近

年来,鱿鱼丝等鱿鱼制品中甲醛含量超标屡屡遭到曝光,导致国内大量鱿鱼制品下架,给企业和产业造成严重损失<sup>[2]</sup>。

国内外学者对鱿鱼制品中甲醛的产生机制进行了深入研究。现有研究主要集中在鱿鱼制品中甲醛产生机制和加工过程的控制等方面,对鱿鱼制品储藏过程中甲醛的控制关注较少,尤其是气调包装对

收稿日期:2017-02-20

基金项目:国家科技支撑计划项目(2015BAD17B03;2012BAD29B06);高等学校博士学科点专项科研基金课题(优先发展领域)(20113326130001);山东省泰山学者蓝色产业领军人才团队支撑计划项目(鲁政办字(2015)19号)。

作者简介:李学鹏,男,副教授,博士,主要从事水产品贮藏加工方面的研究;

\* 励建荣,教授,博士,博士生导师,主要从事水产品贮藏加工与食品安全方面的研究,通信作者。

鱿鱼制品中甲醛含量影响方面的研究鲜有报道。

气调包装(modified atmosphere packaging, MAP)是用一种或几种混合气体代替食品包装袋内的空气,抑制导致食品腐败变质的生理生化过程及微生物活动,进而抑制食品腐败、延长食品货架期的包装方法。气调包装作为一种食品包装技术,广泛用于各类食品的保鲜,提升食品价值。实验室前期研究发现,鱿鱼丝储藏过程中甲醛的产生除氧化三甲胺降解外,还可能与微生物生长有关<sup>[3]</sup>。气调包装能否通过控制细菌生长进而影响甲醛的产生,值得进一步研究。鉴于此,本研究将秘鲁鱿鱼丝分别进行了不同包装和抗氧化处理,考察在常温储藏过程中甲醛、二甲胺、三甲胺、氧化三甲胺、色差、TBA、菌落总数、还原糖、氨基酸及总蛋白的变化,以探究气调包装及结合柠檬酸处理对鱿鱼丝品质和安全性的影响,以期在储藏过程中鱿鱼丝中甲醛的产生和控制技术研究提供参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料与仪器

冷冻秘鲁鱿鱼胴体(约75 cm×40 cm×5 cm),购自锦州林西水产市场。购买后冰藏条件下立即运往实验室,-20℃冷冻备用。平板计数琼脂,北京奥博星生物技术有限责任公司;三氯乙酸、2,4-二硝基苯胍、对甲苯磺酰氯、甲苯、硫代硫酸钠、氢氧化钾、苦味酸、三氯化钛、甲醛、无水硫酸钠、硫代巴比妥酸、铁氰化钾、氰化钾,以上试剂均为分析纯。

KYSJ-2B型烤鱼疏松机,大连九鼎机械制造有限公司;DZ-500/2S型真空包装机,诸城市舜康包装机械有限公司;MAP-QT200型扎口气调包装机,苏州森瑞保鲜设备有限公司;HP1260型高效液相色谱仪,GC7890A型高效气相色谱仪,美国安捷伦公司;AL-104型精密电子天平,上海梅特勒-托利多仪器设备有限公司;CR-400型色彩色差计,杭州祥盛科技有限公司;THERMO型冷冻高速离心机,美国Thermo公司;LDZX-50FBS型立式压力蒸汽灭菌器,上海申安医疗器械厂;UV2550型紫外可见分光光度计,杭州惠尔仪器设备有限公司;L-8900型氨基酸自动分析仪,日本Hitachi公司。

### 1.2 实验方法

#### 1.2.1 鱿鱼丝的制作

工艺流程:原料→流水解冻→剖片→熟化(100

℃,4 min)→冷却(4~10℃)→漂洗→调味→渗透(10℃,12 h)→干燥(40℃,10 h,水分含量40%~45%)→低温回潮(-18℃,2周)→烘烤(115℃,4 min)→压延、拉丝→二次调味→渗透(10℃,10 h)→烘干(45℃,水分含量25%左右)→鱿鱼丝成品。

将实验材料分为4组,第1组进行空气包装,第2组进行真空包装,第3组进行气调包装(40% CO<sub>2</sub>+60% N<sub>2</sub>,简称气调包装1),第4组进行气调包装(40% CO<sub>2</sub>+60% N<sub>2</sub>,二次调味时添加0.5%柠檬酸,简称气调包装2),室温储藏。

#### 1.2.2 甲醛和胺类含量的测定

参考文献[4],采用HPLC方法进行甲醛含量测定;参考文献[5],采用GC-FID方法进行二甲胺含量测定;参考文献[6]的方法进行三甲胺含量测定;参考文献[7]的方法,将氧化三甲胺用TiCl<sub>3</sub>还原为三甲胺后,再按照三甲胺的测定方法测定。

#### 1.2.3 菌落总数的测定

按照GB 4789.2—2010《食品微生物学检验 菌落总数测定》<sup>[8]</sup>进行稀释平板计数法测定。

#### 1.2.4 TBA值的测定

参考文献[9]方法进行测定。

#### 1.2.5 色差值的测定

采用色差计读取样品的L\*值、a\*值和b\*值。

#### 1.2.6 还原糖的测定

参考文献[10]的方法测定还原糖含量。

#### 1.2.7 氨基酸含量的测定

在10.00 mg粉碎的鱿鱼丝中加入10 mL 6 mol/L盐酸后,110℃真空水解24 h。60℃旋转蒸干,加超纯水,重复3次。用0.02 mol/L盐酸定容至10 mL,用0.22 μm滤膜过滤后,通过氨基酸分析仪测定氨基酸含量。

#### 1.2.8 SDS-PAGE电泳测定

参考文献[11]的方法进行测定。

### 1.3 数据分析

用EXCEL 2003、SPSS软件和ORIGIN 8.0软件进行数据处理、绘图及分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同包装方式鱿鱼丝储藏过程中甲醛含量的变化

图1为4种包装方式的秘鲁鱿鱼丝储藏中甲醛

含量的变化。从图中可以看出,4组样品中甲醛含量均随储藏时间的延长呈现增加的趋势( $p < 0.05$ ),其中,气调包装2的甲醛增长速度最慢且含量最低,60 d内由初始值11.56 mg/kg增加到27.07 mg/kg;其次为气调包装1,储藏60 d时甲醛含量达到28.89 mg/kg;空气包装和真空包装,储藏60 d时甲醛含量分别达到33.09,36.39 mg/kg。结果表明,气调包装对鱿鱼丝中甲醛的产生有抑制作用,而柠檬酸处理对抑制甲醛产生具有一定的协同效应。这一结果可能是因为气调包装能够抑制微生物的生长,进而抑制了微生物对甲醛生成的促进作用,同时柠檬酸对甲醛的产生也有一定的抑制作用<sup>[12]</sup>。真空包装的鱿鱼丝中甲醛含量高可能是因为氧化三甲胺的非酶降解途径中 $\text{Fe}^{2+}$ 是必要催化剂,除氧后 $\text{Fe}^{2+}$ 难以被氧化为 $\text{Fe}^{3+}$ ,从而更好地促使氧化三甲胺分解产生甲醛。

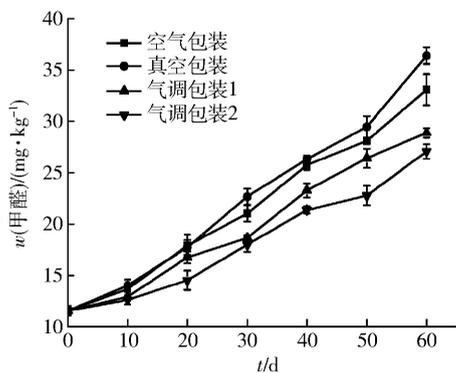


图1 不同包装方式对鱿鱼丝储藏过程中甲醛含量的影响

Fig. 1 Changes of formaldehyde content in four kinds package of dried squid thread during storage

## 2.2 不同包装方式鱿鱼丝储藏过程中二甲胺含量的变化

图2为4种包装方式鱿鱼丝储藏过程中二甲胺含量的变化。由图可见,在60 d的储藏期内,4组样品鱿鱼丝中二甲胺含量都呈现增加的趋势( $p < 0.05$ ),其中,真空包装增加最为迅速,由初始值11.27 mg/kg,到第60天时增加到51.98 mg/kg;其次为空气包装,第60天时增加到47.92 mg/kg;气调包装1中二甲胺增加较为缓慢,第60天时二甲胺含量达到44.37 mg/kg,而气调包装2中二甲胺增长速度最慢,第60天时二甲胺含量仅为39.88 mg/kg,比初始值增加了28.61 mg/kg。很多研究表明,鱿鱼丝中氧化三甲胺在非酶促作用下分解同时产生甲醛和二甲胺<sup>[13]</sup>,二甲胺的变化与甲醛具有较好的一致性。

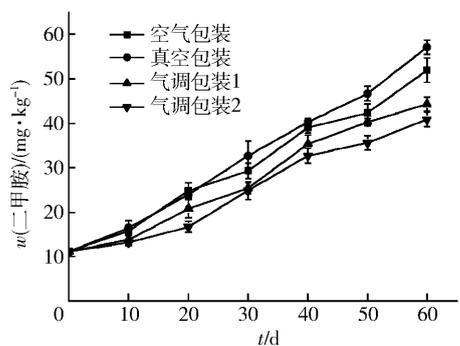


图2 不同包装方式对鱿鱼丝储藏过程中二甲胺含量的影响

Fig. 2 Changes of dimethylamine content in four kinds package of dried squid thread during storage

## 2.3 不同包装方式鱿鱼丝储藏过程中三甲胺含量的变化

图3为4种包装方式鱿鱼丝储藏过程中三甲胺含量的变化。由图可见,4种包装鱿鱼丝三甲胺含量随储藏时间的延长而逐渐增大( $p < 0.05$ ),其中真空包装鱿鱼丝三甲胺含量增长最快,从初始的5.56 mg/kg,到第60天时已增加到20.63 mg/kg,为初始值的3.71倍;空气包装、气调包装1、气调包装2三甲胺含量依次降低;储藏到第60天时三甲胺含量分别为18.83,14.67,13.59 mg/kg,分别为初始值的3.39,2.64,2.45倍。三甲胺含量的变化表明,氧气的存在可减弱氧化三甲胺还原为三甲胺,而气调包装中 $\text{CO}_2$ 可以抑制微生物的生长,进而抑制氧化三甲胺的分解。将气调包装和抑菌剂柠檬酸结合使用,能够协同抑制微生物的生长,显著抑制氧化三甲胺分解产生三甲胺。

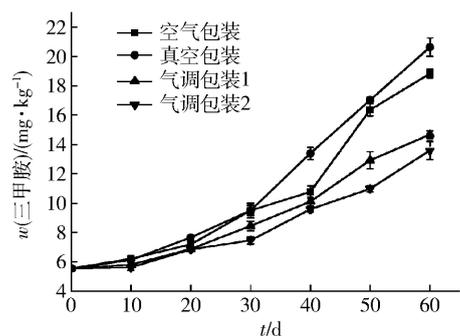


图3 不同包装方式对鱿鱼丝储藏过程中三甲胺含量的影响

Fig. 3 Changes of trimethylamine content in four kinds package of dried squid thread during storage

## 2.4 不同包装方式鱿鱼丝储藏过程中氧化三甲胺含量的变化

图4为4种包装方式鱿鱼丝储藏过程中氧化三甲胺含量的变化。从图中可以看出,随着储藏时间

的延长,4种包装鱿鱼丝氧化三甲胺含量逐渐降低( $p < 0.05$ ),其中真空包装鱿鱼丝中氧化三甲胺降解速度最快,由初始值 5 691.79 mg/kg 降低到第 60 天的 3 763.64 mg/kg;其次为空气包装;气调包装 1 中氧化三甲胺降解速度较低,储藏到第 60 天时含量为 3 962.07 mg/kg,表明气调包装能够抑制氧化三甲胺分解;气调包装 2 中氧化三甲胺降解速度最慢,储藏到第 60 天时氧化三甲胺含量为 4 124.42 mg/kg,仅分解了 27.54%。表明柠檬酸处理结合气调包装可有效抑制氧化三甲胺分解。

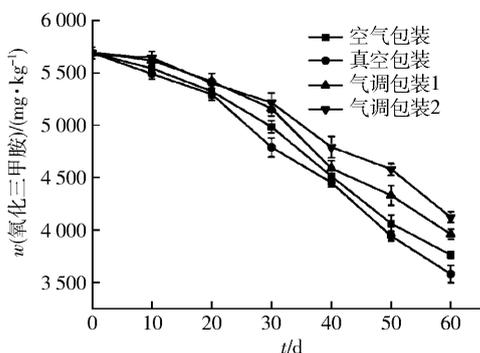


图4 不同包装方式对鱿鱼丝储藏过程中氧化三甲胺含量的影响

Fig. 4 Changes of trimethylamine oxide content in four kinds package of dried squid thread during storage

## 2.5 不同包装方式鱿鱼丝储藏过程中菌落总数的变化

微生物活动是导致储藏期间水产品腐败的最主要原因,水产品中的细菌数量是表示其腐败程度的一个重要指标<sup>[14-15]</sup>。图5为4种包装方式秘鲁鱿鱼丝储藏过程中菌落总数的变化情况,由图可以看出,4组样品菌落总数随储藏时间的延长而逐渐增大( $p < 0.05$ )。空气包装鱿鱼丝的菌落总数增长最快,显著高于真空包装、气调包装1及气调包装2中鱿鱼丝的菌落总数( $p < 0.05$ )。储藏到第40天时已增加到 4.49 log CFU/g,超出 GB 10144—2005《动物性水产干制品卫生标准》<sup>[16]</sup>中菌落总数  $\leq 30\ 000$  CFU/g 的规定。空气包装鱿鱼丝货架期较短的原因是空气包装适宜于鱿鱼丝中好氧菌及兼性厌氧菌的生长。真空包装、气调包装1及气调包装2中鱿鱼丝的菌落总数依次降低,表明这3种包装对鱿鱼丝中微生物的生长繁殖都有一定的抑制作用。真空包装鱿鱼丝菌落总数储藏到第60天时达到 4.49 log(CFU·g<sup>-1</sup>),而两种气调包装鱿鱼丝储藏到第60天时菌落总数分别为 4.40, 4.24 log(CFU·g<sup>-1</sup>),仍

未超出安全范围。Ordóñez 等<sup>[17]</sup>研究表明,革兰氏阴性菌如假单胞菌和希瓦氏菌等是导致腐败的主要微生物,对 CO<sub>2</sub> 相当敏感,因此 CO<sub>2</sub> 可通过抑制其生长繁殖来延长水产品的货架期。柠檬酸是一种重要有机酸,不仅具有无毒、无害、无残留的优点,而且具有良好的杀菌、抑菌作用<sup>[18]</sup>。从图中可以看出,气调包装和柠檬酸具有良好的协同抑菌效果,可以有效地防止鱿鱼丝腐败变质。

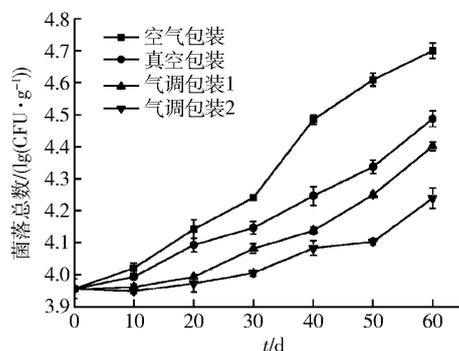


图5 不同包装方式对鱿鱼丝储藏过程中菌落总数的影响  
Fig. 5 Changes of total number of colonies in four kinds package of dried squid thread during storage

## 2.6 不同包装方式鱿鱼丝储藏过程中 TBA 值的变化

水产品的脂类物质如不饱和脂肪酸在储藏过程中易发生氧化降解产生丙二醛。丙二醛可与硫代巴比妥酸成色,生成相对稳定的红色化合物。氧化程度与红色化合物成一定正相关,因此硫代巴比妥酸(2-thiobarbituric acid, TBA)已被广泛应用于测定鱼肉中脂肪氧化酸败程度,是判断鱼肌肉中脂肪氧化程度的重要指标之一<sup>[19]</sup>。图6是4种包装方式鱿鱼丝 TBA 含量的变化,可以看出, TBA 值都随储藏时间的延长呈现逐渐增大的趋势。空气包装鱿鱼丝脂肪氧化速度最快,储藏到第60天时从初始的 1.07 mg/kg 增长到 1.66 mg/kg。气调包装和真空包装对鱿鱼丝在储藏过程中的脂肪氧化都有抑制作用,其中气调包装抑制效果更显著,同时柠檬酸也具有一定的抗氧化作用,因此气调包装2鱿鱼丝的脂肪氧化程度最小,在第60天时仅为 1.31 mg/kg,比初始值增加了 0.24 mg/kg。真空包装和气调包装的鱿鱼丝在无氧条件下,仍可发生脂肪氧化,可能是因为丙二醛的产生除氧气作用外,还受到其他因素影响,如样品中的微生物种类及 CO<sub>2</sub> 溶解量等<sup>[20]</sup>。

## 2.7 不同包装方式鱿鱼丝储藏过程中色泽的变化

图7为4种包装方式鱿鱼丝在储藏过程中色差

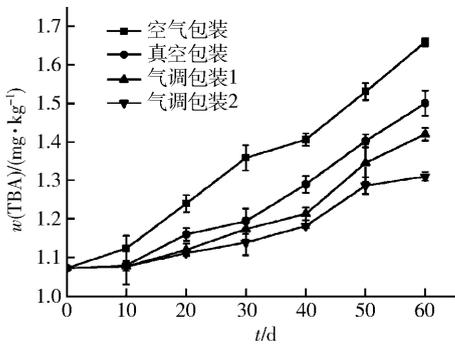


图6 不同包装方式鱿鱼丝储藏过程中TBA值的变化  
Fig. 6 Change of TBA in four kinds package of dried squid thread during storage

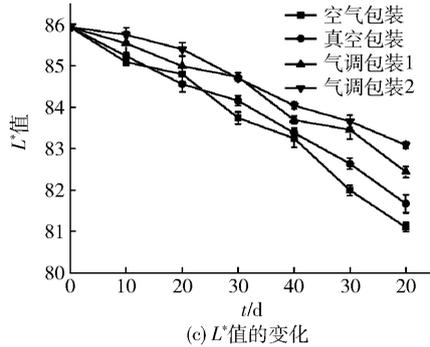
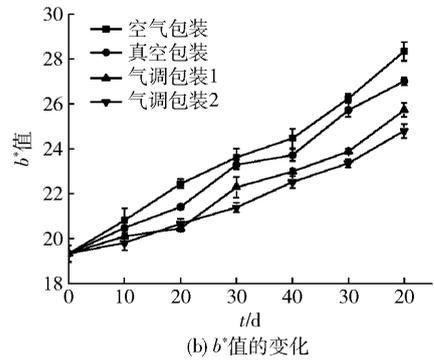
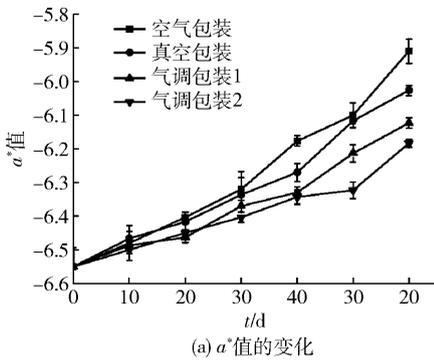


图7 不同包装方式鱿鱼丝储藏过程中色差值的变化

Fig. 7 Changes of color difference value in four kinds package of dried squid thread during storage

2.8 不同包装方式鱿鱼丝储藏过程中还原糖含量的变化

美拉德反应是还原糖与含氮物质如氨基酸、肽及蛋白质发生的一种非酶棕色化学反应,包含一系列复杂的反应并产生大量的香味物质及色素成分。汤丹剑等<sup>[22]</sup>研究表明,鱿鱼丝在储藏过程中的褐变主要是由美拉德反应引起的。图8为4种包装方式鱿鱼丝在储藏过程中还原糖含量的变化。从图中可以看出,4组样品还原糖含量都呈现降低的趋势,但降低速度有所不同。空气包装组降低速度最快,第60天时已由最初的28.12 g/kg降低到23.76 g/kg;

值 $a^*$ 、 $b^*$ 、 $L^*$ 值的变化。从图7(a)中可以看出, $a^*$ 值为负值,且随储藏时间的延长负值越来越大。空气包装、真空包装、气调包装1、气调包装2的 $a^*$ 值依次增大。从图7(b)中可以看出,空气包装、真空包装、气调包装1、气调包装2的 $b^*$ 值也依次增大且都为正值。从图7(c)中可以看出,4种包装鱿鱼丝 $L^*$ 值都随储藏时间呈现减小的趋势,表明鱿鱼丝在储藏过程中色泽发生了褐变。气调包装较真空包装与空气包装颜色变暗、变深的趋势较缓,尤其是气调包装2效果更加显著。可以看出,柠檬酸处理结合气调包装能够抑制鱿鱼丝储藏过程中发生的非酶褐变,保持鱿鱼丝的感官色泽<sup>[21]</sup>。

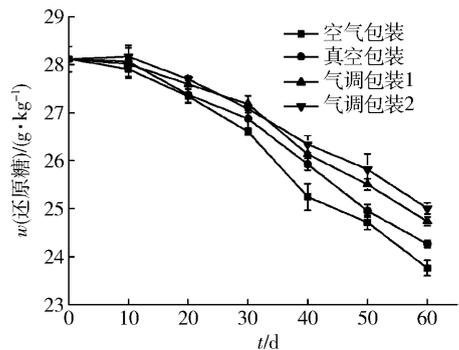


图8 4种包装鱿鱼丝还原糖含量的变化  
Fig. 8 Change of reducing sugar content in four kinds of *Dosidicus gigas* dried squid thread packings

其次为真空包装,第60天时降低到24.26 g/kg;两种气调包装的鱿鱼丝还原糖降低速度较慢,尤其是气调包装2,还原糖含量降低速度最低,第60天时含量仍保持在25.01 g/kg,较初始值仅降低了11.06%,说明柠檬酸处理结合气调包装能有效抑制还原糖含量的降低,即抑制鱿鱼丝在储藏过程中的褐变反应,保持鱿鱼丝的口感品质,这与色泽变化所

得结论相吻合。

## 2.9 不同包装方式鱿鱼丝储藏过程中氨基酸含量的变化

表1为4种包装方式鱿鱼丝储藏过程中氨基酸的组成与含量变化。从表中可以看出,秘鲁鱿鱼丝中所含的17种常见氨基酸总量为36362 mg/100g。其中,谷氨酸(Glu)所占比重最大,占总氨基酸的

表1 不同包装鱿鱼丝储藏过程中氨基酸含量的变化

Tab.1 Change of amino acids contents in four kinds package of dried squid thread during storage

mg·100 g<sup>-1</sup>

| 氨基酸<br>种类 | t(空气包装)/d               |                          |                         |                         | t(真空包装)/d               |                          |                           |                         | t(气调包装1)/d              |                          |                          |                         | t(气调包装2)/d              |                          |                          |                         |
|-----------|-------------------------|--------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|--------------------------|---------------------------|-------------------------|-------------------------|--------------------------|--------------------------|-------------------------|-------------------------|--------------------------|--------------------------|-------------------------|
|           | 0                       | 20                       | 40                      | 60                      | 0                       | 20                       | 40                        | 60                      | 0                       | 20                       | 40                       | 60                      | 0                       | 20                       | 40                       | 60                      |
| Asp       | 3 060 ± 32 <sup>a</sup> | 2 915 ± 70 <sup>a</sup>  | 2 749 ± 4 <sup>b</sup>  | 2 679 ± 26 <sup>b</sup> | 3 060 ± 32 <sup>a</sup> | 3 007 ± 22 <sup>a</sup>  | 2 901 ± 14 <sup>b</sup>   | 2 732 ± 27 <sup>c</sup> | 3 060 ± 32 <sup>a</sup> | 3 024 ± 39 <sup>a</sup>  | 2 927 ± 40 <sup>a</sup>  | 2 754 ± 49 <sup>b</sup> | 3 060 ± 32 <sup>a</sup> | 3 082 ± 19 <sup>a</sup>  | 2 940 ± 53 <sup>ab</sup> | 2 809 ± 44 <sup>b</sup> |
| Thr *     | 1 405 ± 25 <sup>a</sup> | 1 410 ± 20 <sup>a</sup>  | 1 306 ± 72 <sup>a</sup> | 1 307 ± 23 <sup>a</sup> | 1 405 ± 25 <sup>a</sup> | 1 412 ± 15 <sup>a</sup>  | 1 324 ± 9 <sup>b</sup>    | 1 310 ± 12 <sup>b</sup> | 1 405 ± 25 <sup>a</sup> | 1 407 ± 10 <sup>a</sup>  | 1 359 ± 25 <sup>a</sup>  | 1 330 ± 32 <sup>a</sup> | 1 405 ± 25 <sup>a</sup> | 1 388 ± 8 <sup>a</sup>   | 1 361 ± 27 <sup>a</sup>  | 1 316 ± 18 <sup>a</sup> |
| Ser       | 1 313 ± 13 <sup>a</sup> | 1 296 ± 4 <sup>a</sup>   | 1 266 ± 26 <sup>a</sup> | 1 245 ± 5 <sup>a</sup>  | 1 313 ± 13 <sup>a</sup> | 1 294 ± 16 <sup>a</sup>  | 1 245 ± 14 <sup>a</sup>   | 1 269 ± 19 <sup>a</sup> | 1 313 ± 13 <sup>a</sup> | 1 307 ± 9 <sup>a</sup>   | 1 262 ± 11 <sup>a</sup>  | 1 269 ± 18 <sup>a</sup> | 1 313 ± 13 <sup>a</sup> | 1 314 ± 16 <sup>a</sup>  | 1 304 ± 6 <sup>a</sup>   | 1 293 ± 5 <sup>a</sup>  |
| Glu       | 7 740 ± 84 <sup>a</sup> | 7 505 ± 51 <sup>b</sup>  | 6 988 ± 47 <sup>c</sup> | 6 883 ± 18 <sup>c</sup> | 7 740 ± 84 <sup>a</sup> | 7 390 ± 10 <sup>b</sup>  | 7 064 ± 45 <sup>c</sup>   | 7 012 ± 38 <sup>c</sup> | 7 740 ± 84 <sup>a</sup> | 7 394 ± 44 <sup>b</sup>  | 7 276 ± 74 <sup>b</sup>  | 7 101 ± 51 <sup>b</sup> | 7 740 ± 84 <sup>a</sup> | 7 526 ± 88 <sup>ab</sup> | 7 358 ± 20 <sup>b</sup>  | 7 271 ± 42 <sup>b</sup> |
| Gly       | 1 278 ± 45 <sup>a</sup> | 1 160 ± 28 <sup>ab</sup> | 1 077 ± 25 <sup>b</sup> | 918 ± 13 <sup>c</sup>   | 1 278 ± 45 <sup>a</sup> | 1 207 ± 5 <sup>a</sup>   | 1 116 ± 42 <sup>a</sup>   | 974 ± 29 <sup>b</sup>   | 1 278 ± 45 <sup>a</sup> | 1 222 ± 10 <sup>a</sup>  | 1 202 ± 9 <sup>a</sup>   | 1 025 ± 16 <sup>b</sup> | 1 278 ± 45 <sup>a</sup> | 1 171 ± 32 <sup>ab</sup> | 1 124 ± 15 <sup>b</sup>  | 1 095 ± 13 <sup>b</sup> |
| Ala       | 1 655 ± 31 <sup>a</sup> | 1 603 ± 21 <sup>a</sup>  | 1 608 ± 26 <sup>a</sup> | 1 568 ± 12 <sup>a</sup> | 1 655 ± 31 <sup>a</sup> | 1 638 ± 14 <sup>a</sup>  | 1 659 ± 7 <sup>a</sup>    | 1 551 ± 29 <sup>a</sup> | 1 655 ± 31 <sup>a</sup> | 1 696 ± 10 <sup>a</sup>  | 1 644 ± 20 <sup>a</sup>  | 1 602 ± 22 <sup>a</sup> | 1 655 ± 31 <sup>a</sup> | 1 639 ± 15 <sup>a</sup>  | 1 610 ± 14 <sup>a</sup>  | 1 603 ± 20 <sup>a</sup> |
| Cys       | 478 ± 16 <sup>a</sup>   | 462 ± 26 <sup>a</sup>    | 457 ± 17 <sup>a</sup>   | 429 ± 2 <sup>a</sup>    | 478 ± 16 <sup>a</sup>   | 476 ± 12 <sup>a</sup>    | 452 ± 14 <sup>a</sup>     | 437 ± 10 <sup>a</sup>   | 478 ± 16 <sup>a</sup>   | 458 ± 4 <sup>a</sup>     | 454 ± 12 <sup>a</sup>    | 447 ± 15 <sup>a</sup>   | 478 ± 16 <sup>a</sup>   | 468 ± 6 <sup>a</sup>     | 457 ± 4 <sup>a</sup>     | 454 ± 7 <sup>a</sup>    |
| Val *     | 1 343 ± 28 <sup>a</sup> | 1 273 ± 19 <sup>a</sup>  | 1 255 ± 37 <sup>a</sup> | 1 200 ± 19 <sup>a</sup> | 1 343 ± 28 <sup>a</sup> | 1 284 ± 31 <sup>a</sup>  | 1 244 ± 38 <sup>a</sup>   | 1 193 ± 12 <sup>a</sup> | 1 343 ± 28 <sup>a</sup> | 1 277 ± 38 <sup>a</sup>  | 1 304 ± 10 <sup>a</sup>  | 1 266 ± 27 <sup>a</sup> | 1 343 ± 28 <sup>a</sup> | 1 272 ± 42 <sup>a</sup>  | 1 278 ± 12 <sup>a</sup>  | 1 273 ± 16 <sup>a</sup> |
| Met *     | 877 ± 10 <sup>a</sup>   | 844 ± 17 <sup>a</sup>    | 840 ± 13 <sup>a</sup>   | 821 ± 13 <sup>a</sup>   | 877 ± 10 <sup>a</sup>   | 871 ± 15 <sup>a</sup>    | 870 ± 16 <sup>a</sup>     | 835 ± 18 <sup>a</sup>   | 877 ± 10 <sup>a</sup>   | 868 ± 1 <sup>a</sup>     | 856 ± 11 <sup>a</sup>    | 852 ± 15 <sup>a</sup>   | 877 ± 10 <sup>a</sup>   | 873 ± 6 <sup>a</sup>     | 870 ± 8 <sup>a</sup>     | 845 ± 17 <sup>a</sup>   |
| Ile *     | 1 355 ± 24 <sup>a</sup> | 1 325 ± 8 <sup>a</sup>   | 1 312 ± 21 <sup>a</sup> | 1 280 ± 10 <sup>a</sup> | 1 355 ± 24 <sup>a</sup> | 1 349 ± 29 <sup>a</sup>  | 1 304 ± 16 <sup>a</sup>   | 1 271 ± 17 <sup>a</sup> | 1 355 ± 24 <sup>a</sup> | 1 330 ± 1 <sup>a</sup>   | 1 307 ± 24 <sup>a</sup>  | 1 284 ± 17 <sup>a</sup> | 1 355 ± 24 <sup>a</sup> | 1 359 ± 20 <sup>a</sup>  | 1 332 ± 6 <sup>a</sup>   | 1 318 ± 21 <sup>a</sup> |
| Leu *     | 2 614 ± 41 <sup>a</sup> | 2 654 ± 21 <sup>a</sup>  | 2 589 ± 43 <sup>a</sup> | 2 512 ± 34 <sup>a</sup> | 2 614 ± 41 <sup>a</sup> | 2 607 ± 37 <sup>a</sup>  | 2 571 ± 15 <sup>a</sup>   | 2 527 ± 39 <sup>a</sup> | 2 614 ± 41 <sup>a</sup> | 2 622 ± 52 <sup>a</sup>  | 2 586 ± 30 <sup>a</sup>  | 2 570 ± 14 <sup>a</sup> | 2 614 ± 41 <sup>a</sup> | 2 589 ± 16 <sup>a</sup>  | 2 612 ± 39 <sup>a</sup>  | 2 583 ± 10 <sup>a</sup> |
| Tyr       | 1 224 ± 23 <sup>a</sup> | 1 155 ± 17 <sup>a</sup>  | 1 127 ± 42 <sup>a</sup> | 1 101 ± 24 <sup>a</sup> | 1 224 ± 23 <sup>a</sup> | 1 169 ± 1 <sup>a</sup>   | 1 151 ± 19 <sup>a</sup>   | 1 134 ± 36 <sup>a</sup> | 1 224 ± 23 <sup>a</sup> | 1 185 ± 15 <sup>a</sup>  | 1 151 ± 49 <sup>a</sup>  | 1 162 ± 39 <sup>a</sup> | 1 224 ± 23 <sup>a</sup> | 1 211 ± 10 <sup>a</sup>  | 1 138 ± 62 <sup>a</sup>  | 1 147 ± 46 <sup>a</sup> |
| Phe *     | 1 454 ± 24 <sup>a</sup> | 1 416 ± 8 <sup>a</sup>   | 1 429 ± 21 <sup>a</sup> | 1 375 ± 33 <sup>a</sup> | 1 454 ± 24 <sup>a</sup> | 1 386 ± 21 <sup>a</sup>  | 1 448 ± 30 <sup>a</sup>   | 1 391 ± 26 <sup>a</sup> | 1 454 ± 24 <sup>a</sup> | 1 417 ± 12 <sup>a</sup>  | 1 406 ± 24 <sup>a</sup>  | 1 402 ± 27 <sup>a</sup> | 1 454 ± 24 <sup>a</sup> | 1 442 ± 12 <sup>a</sup>  | 1 418 ± 11 <sup>a</sup>  | 1 428 ± 21 <sup>a</sup> |
| Lys *     | 2 558 ± 34 <sup>a</sup> | 2 392 ± 66 <sup>ab</sup> | 2 300 ± 25 <sup>b</sup> | 1 967 ± 37 <sup>b</sup> | 2 558 ± 34 <sup>a</sup> | 2 397 ± 71 <sup>ab</sup> | 2 232 ± 43 <sup>bc</sup>  | 2 057 ± 51 <sup>c</sup> | 2 558 ± 34 <sup>a</sup> | 2 518 ± 5 <sup>a</sup>   | 2 275 ± 51 <sup>b</sup>  | 2 147 ± 41 <sup>b</sup> | 2 558 ± 34 <sup>a</sup> | 2 511 ± 13 <sup>a</sup>  | 2 361 ± 36 <sup>b</sup>  | 2 219 ± 19 <sup>c</sup> |
| His       | 694 ± 11 <sup>a</sup>   | 724 ± 16 <sup>a</sup>    | 795 ± 14 <sup>b</sup>   | 871 ± 11 <sup>b</sup>   | 694 ± 11 <sup>a</sup>   | 701 ± 18 <sup>a</sup>    | 751 ± 19 <sup>a</sup>     | 802 ± 32 <sup>a</sup>   | 694 ± 11 <sup>a</sup>   | 708 ± 2 <sup>a</sup>     | 727 ± 16 <sup>a</sup>    | 781 ± 11 <sup>b</sup>   | 694 ± 11 <sup>a</sup>   | 689 ± 6 <sup>a</sup>     | 709 ± 13 <sup>a</sup>    | 747 ± 24 <sup>a</sup>   |
| Arg       | 2 400 ± 29 <sup>a</sup> | 2 242 ± 5 <sup>b</sup>   | 2 102 ± 44 <sup>c</sup> | 1 997 ± 31 <sup>b</sup> | 2 400 ± 29 <sup>a</sup> | 2 304 ± 17 <sup>a</sup>  | 2 172 ± 114 <sup>a</sup>  | 2 084 ± 88 <sup>a</sup> | 2 400 ± 29 <sup>a</sup> | 2 294 ± 23 <sup>a</sup>  | 2 190 ± 73 <sup>ab</sup> | 2 034 ± 38 <sup>b</sup> | 2 400 ± 29 <sup>a</sup> | 2 341 ± 30 <sup>a</sup>  | 2 163 ± 52 <sup>b</sup>  | 2 096 ± 15 <sup>b</sup> |
| Pro       | 4 910 ± 79 <sup>a</sup> | 4 737 ± 59 <sup>a</sup>  | 4 510 ± 3 <sup>b</sup>  | 4 340 ± 40 <sup>b</sup> | 4 910 ± 79 <sup>a</sup> | 4 767 ± 56 <sup>ab</sup> | 4 546 ± 132 <sup>ab</sup> | 4 357 ± 57 <sup>b</sup> | 4 910 ± 79 <sup>a</sup> | 4 727 ± 16 <sup>ab</sup> | 4 548 ± 62 <sup>b</sup>  | 4 461 ± 55 <sup>b</sup> | 4 910 ± 79 <sup>a</sup> | 4 725 ± 114 <sup>a</sup> | 4 661 ± 50 <sup>a</sup>  | 4 561 ± 49 <sup>a</sup> |

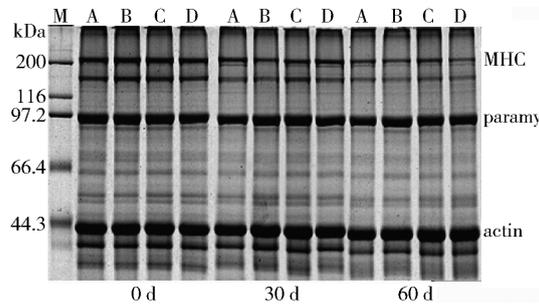
\* 表示必需氨基酸,数字肩标不同字母表示具有显著性差异。

21.29%,其次为脯氨酸(Pro)、天冬氨酸(Asp)、亮氨酸(Leu)、赖氨酸(Lys)、精氨酸(Arg),这6种氨基酸占总氨基酸的64.03%。秘鲁鱿鱼丝中必需氨基酸占氨基酸总量的31.92%,所含比例较高,表明秘鲁鱿鱼丝是优质的氨基酸来源。此外,4组样品中氨基酸除组氨酸(His)外,其余氨基酸均呈现降低趋势,且降低速度略有不同。天冬氨酸(Asp)、谷氨酸(Glu)、甘氨酸(Gly)、赖氨酸(Lys)、精氨酸(Arg)和脯氨酸(Pro)降低比较显著( $p < 0.05$ ),且赖氨酸(Lys)降低最为显著,可能是因为赖氨酸含有两个氨基,在美拉德反应中有很强的反应活性<sup>[23]</sup>。组氨酸在储藏过程中增加的原因可能是因为腐败微生物降解鱿鱼丝中的蛋白质,产生中间代谢产物包括组氨酸的缘故。4组样品60 d时氨基酸总量分别下降了初始值的10.63%,9.42%,7.89%,6.32%,氨基酸下降的原因可能为其中的还原糖与氨基酸发生美拉德褐变反应,使其含量减低。Haard等<sup>[24]</sup>研究发现,大西洋短翅片鱿鱼中Tau、Met和Lys是美拉德褐变的前体物质;Tsai等<sup>[25]</sup>研究发现,Lys是鱿鱼模拟体系中褐变率最高的氨基酸种类之一;还有研究表明,Gly、Arg和Lys能够促进秘鲁鱿鱼丝中的褐变反应<sup>[21]</sup>。储藏过程中,空气包装、真空包装、气调包装1、气调包装2鱿鱼丝氨基酸含量降低速度依次减小,其中气调包装2降低速度最慢,到第60天时天冬氨酸(Asp)、谷氨酸(Glu)、甘氨酸(Gly)、赖氨酸(Lys)、精氨酸(Arg)和脯氨酸(Pro)含量较初始值分别降低了8.20%,6.05%,14.32%,15.30%,12.67%,7.11%。研究表明,柠檬酸处理结合气调包装能有效地抑制鱿鱼丝在储藏过程中的氨基酸降解,即抑制其美拉德褐变反应,这与上述所得结论相吻合。

## 2.10 不同包装方式鱿鱼丝储藏过程中蛋白质种类的变化

4种处理方式的鱿鱼丝储藏0,30,60 d时总可溶蛋白种类变化情况如图9。由图可以看出,秘鲁鱿鱼丝的总可溶蛋白的条带众多,其中肌球蛋白重链(MHC)、副肌球蛋白(paramyosin)、肌动蛋白(actin)是主要的蛋白。在储藏过程中,肌球蛋白重链(MHC)光密度逐渐减弱,说明MHC含量逐渐降低。这可能是因为鱿鱼丝储藏过程中甲醛含量逐渐增加,促使MHC交联形成大分子<sup>[26]</sup>,而大分子蛋白不能溶解在SDS中,所以不能进入胶条;还可能因为

鱿鱼丝中的腐败微生物将MHC降解成小分子肽,而小分子在胶条中分离速度较快而溢出,没有在胶条中体现出来。副肌球蛋白和肌动蛋白均无明显的变化。从图中还可看出,与其他3种包装方式相比,气调包装2鱿鱼丝储藏过程中MHC含量相对较高,可能是因为柠檬酸处理结合气调包装能够有效抑制甲醛的生成及腐败微生物的生长繁殖,减少了MHC交联和降解。



A:空气包装,B:真空包装,C:气调包装2,D:气调包装1

图9 不同包装方式对鱿鱼丝储藏过程中总可溶蛋白的影响  
Fig.9 Changes in protein patterns of total soluble protein extracted from four kinds of package of dried squid thread

## 3 结论

储藏过程中,秘鲁鱿鱼丝中氧化三甲胺逐渐分解生成了甲醛、二甲胺和三甲胺,菌落总数和TBA值逐渐增加,还原糖、氨基酸(除组氨酸外)和MHC含量逐渐降低。鱿鱼丝储藏过程中发生了美拉德反应,色泽逐渐变暗,由微黄色逐渐变为微褐色。与空气包装、真空包装相比,气调包装能延缓氧化三甲胺的分解,降低甲醛、二甲胺和三甲胺的生成量,同时对细菌生长、脂肪氧化以及美拉德褐变均有较好的抑制效果,而柠檬酸处理结合气调包装对甲醛产生及其他品质劣变的抑制更加有效。

## 参考文献:

- [1] 杨宪时,王丽丽,李学英,等. 秘鲁鱿鱼和日本海鱿鱼营养成分分析与评价[J]. 现代食品科技, 2013, 29(9): 2247-2251, 2293.  
YANG X S, WANG L L, LI X Y, et al. Analysis and evaluation of nutritional compositions of *Dosidicus gigas* and *Onychoteuthis borealijaponicus* Okada [J]. Modern Food Science and Technology, 2013, 29(9): 2247-2251, 2293.

- [2] 励建荣, 孙群. 水产品中甲醛本底值、产生机理及检测方法研究进展(一)[J]. 中国水产, 2005(8): 64-65.  
LI J R, SUN Q. Advance in the formaldehyde content, its forming mechanism and inspection methods in the aquatic products[J]. Chinese Fishery, 2005(8): 64-65.
- [3] 邹朝阳, 李学鹏, 蒋圆圆, 等. 秘鲁鱿鱼丝贮藏过程中甲醛及相关品质指标的变化[J]. 食品工业科技, 2015, 36(5): 315-320.  
ZOU C Y, LI X P, JIANG Y Y, et al. Changes in formaldehyde and quality indices of dried *Dosidicus gigas* thread during storage[J]. Science and Technology of Food Industry, 2015, 36(5): 315-320.
- [4] 董靓靓, 朱军莉, 励建荣. 水产品中甲醛 HPLC 测定的前处理方法探讨[J]. 食品工业科技, 2012, 33(12): 64-67, 74.  
DONG L L, ZHU J L, LI J R. Study on pre-treatment methods for determination of formaldehyde in aquatic products by HPLC[J]. Science and Technology of Food Industry, 2012, 33(12): 64-67, 74.
- [5] 贾佳, 朱军莉, 励建荣. 气相色谱-氢火焰离子检测器检测海产品中的二甲胺[J]. 食品科学, 2009, 30(6): 167-170.  
JIA J, ZHU J L, LI J R. Determination of dimethylamine in sea food by gas chromatography using FID detector[J]. Food Science, 2009, 30(6): 167-170.
- [6] DYER W J. Amines in fish muscle: I. colorimetric determination of trimethylamine as the picrate salt[J]. Journal of the Fisheries Board of Canada, 1945, 6(5): 351-358.
- [7] YAMAGATA M, HORIMOTO K, NAGAOKA C. Assessment of green tuna: determining trimethylamine oxide and its distribution in tuna muscles[J]. Journal of Food Science, 1969, 34(2): 156-159.
- [8] 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. GB 4789.2—2016 食品微生物学检验 菌落总数测定[S/OL]. [2016-12-23]. <http://www.csres.com/detail/293949.html>.
- [9] SIU G M, DRAPER H. A survey of the malonaldehyde content of retail meats and fish[J]. Journal of Food Science, 1978, 43(4): 1147-1149.
- [10] PARK J T, JOHNSON M J. A submicro determination of glucose[J]. Journal of Biological Chemistry, 1949, 181: 149-151.
- [11] 陆海霞, 张蕾, 李学鹏, 等. 超高压对秘鲁鱿鱼肌原纤维蛋白凝胶特性的影响[J]. 中国水产科学, 2010, 17(5): 1107-1114.  
LU H X, ZHANG L, LI X P, et al. Effect of ultra-high pressure on gel properties of myofibril of jumbo squid, *Dosidicus gigas*[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2010, 17(5): 1107-1114.
- [12] 朱军莉, 励建荣, 苗林林, 等. 基于高温非酶途径的秘鲁鱿鱼内源性甲醛控制研究[J]. 水产学报, 2010, 34(3): 375-381.  
ZHU J L, LI J R, MIAO L L, et al. Control on the intrinsic formaldehyde content in jumbo squid based on the no-enzymatic thermal pathway[J]. Journal of Fisheries of China, 2010, 34(3): 375-381.
- [13] 靳肖, 周德庆, 孙永. 鱿鱼丝氧化三甲胺热分解模拟体系的研究[J]. 食品工业科技, 2011(3): 106-108.  
JIN X, ZHOU D Q, SUN Y. Study on thermal decomposition of trimethylamine-N-oxide model systems of shredded squid[J]. Science and Technology of Food Industry, 2011(3): 106-108.
- [14] LI J, LI T, JIANG Y. Chemical aspects of the preservation and safety control of sea foods[J]. RSC Advances, 2015, 5(39): 31010-31017.
- [15] GHALY A E, DAVE D, BUDGE S. Fish spoilage mechanisms and preservation techniques: review[J]. American Journal of Applied Sciences, 2010, 7(7): 859-877.
- [16] 中华人民共和国卫生部. GB 10144—2005 动物性水产干制品卫生标准[S]. 北京: 中国标准出版社, 2005.
- [17] ORDÓÑEZ J A, LÓPEZ-GÁLVEZ D E, FERNÁNDEZ M, et al. Microbial and physicochemical modifications of hake (*Merluccius merluccius*) steaks stored under carbon dioxide enriched atmospheres[J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2000, 80(13): 1831-1840.
- [18] 陈效兰, 雷钢铁. 柠檬酸在食品工业中的应用[J]. 食品研究与开发, 2000, 21(3): 6-7.  
CHEN X L, LEI G T. The application of citric acid in food industry[J]. Food Research and Development, 2000, 21(3): 6-7.
- [19] JO C, AHN D U. Volatiles and oxidative changes in irradiated pork sausage with different fatty acid composition and tocopherol content[J]. Journal of Food Science, 2000, 65(2): 270-275.
- [20] RUIZ-CAPILLAS C, MORAL A. Chilled bulk storage of gutted hake (*Merluccius merluccius* L.) in CO<sub>2</sub> and O<sub>2</sub> enriched controlled atmospheres[J]. Food Chemistry, 2001, 74(3): 317-325.
- [21] 林丹, 薛勇, 崔宏博, 等. 秘鲁鱿鱼丝褐变抑制剂的筛选[J]. 食品工业科技, 2012, 33(3): 292-296.

- LIN D, XUE Y, CUI H B, et al. Selection of anti-browning agents for *Dosidicus gigas* slice[J]. Science and Technology of Food Industry, 2012, 33(3): 292–296.
- [22] 汤丹剑, 吴汉民. 美拉德反应对鱿鱼丝色泽的影响[J]. 食品与机械, 1998(2): 19–20.
- TANG D J, WU H M. Effect of maillard reaction on browning of squid slice[J]. Food and Machinery, 1998(2): 19–20.
- [23] YILMAZ Y, TOLEDO R. Antioxidant activity of water-soluble Maillard reaction products[J]. Food Chemistry, 2005, 93(2): 273–278.
- [24] HAARD N F, ARCILLA R. Precursors of Maillard browning in Atlantic short finned squid[J]. Canadian Institute of Food Science and Technology Journal, 1985, 18(4): 326–331.
- [25] TSAI C H, KONG M S, PAN B S. Water activity and temperature effects on nonenzymic browning of amino acids in dried squid and simulated model system[J]. Journal of Food Science, 1991, 56(3): 665–670.
- [26] NIELSEN M K, JØRGENSEN B M. Quantitative relationship between trimethylamine oxide aldolase activity and formaldehyde accumulation in white muscle from gadiform fish during frozen storage[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2004, 52(12): 3814–3822.

## Effect of Modified Atmosphere Packaging on Changes of Formaldehyde and Quality of *Dosidicus gigas* Dried Squid Thread During Storage

LI Xuepeng<sup>1</sup>, ZOU Zhaoyang<sup>1</sup>, YI Shumin<sup>1</sup>, LI Jianrong<sup>1,\*</sup>, FANG Xubo<sup>2</sup>, MOU Weili<sup>3</sup>,  
MA Yongjun<sup>4</sup>, LAO Minjun<sup>4</sup>, SHEN Lin<sup>5</sup>

(1. College of Food Science and Technology, Bohai University/National and Local Joint Engineering Research Center of Storage, Processing and Safety Control Technology for Fresh Agricultural and Aquatic Products, Jinzhou 121013, China; 2. School of Food and Medicine, Zhejiang Ocean University, Zhoushan 316022, China; 3. Penglai Jinglu Fishery Co., Ltd., Yantai 265600, China; 4. Zhejiang Xingye Group, Zhoushan 316101, China; 5. Dalian Donglin Food Co., Ltd., Dalian 116007, China)

**Abstract:** Jumbo squid (*Dosidicus gigas*) dried squid thread were packaged in air, vacuum, modified atmosphere (40% CO<sub>2</sub> + 60% N<sub>2</sub>), and modified atmosphere (40% CO<sub>2</sub> + 60% N<sub>2</sub>) after treating with 0.5% citric acid, respectively. The changes in contents of formaldehyde, dimethylamine, trimethylamine, trimethylamine oxide, color difference values, thiobarbituric acid (TBA), total number of colonies, reducing sugar, amino acids and total protein were measured during room temperature storage, to investigate the effects of different packaging on changes of formaldehyde and quality indices of dried squid thread. The results showed that the contents of formaldehyde, dimethylamine, trimethylamine, and the value of  $a^*$ ,  $b^*$ , TBA, total number of colonies increased during storage, while  $L^*$  value and the contents of trimethylamine oxide, reducing sugar, amino acids (except for histidine), and myosin heavy chain (MHC), gradually decrease. The results indicated that trimethylamine oxide decomposed into formaldehyde, dimethylamine, and trimethylamine during storage. Meanwhile the browning occurred due to the Maillard reaction of reducing sugar and amino acids. Compared with air and vacuum packaging, modified atmosphere packaging could significantly inhibit the increase of formaldehyde and the bacteria growth, lipid oxidation and browning reaction in dried squid thread, and the modified atmosphere packaging after treating with 0.5% citric acid had the better effects.

**Keywords:** dried squid thread; modified atmosphere packaging; citric acid; formaldehyde; quality indices  
(责任编辑:叶红波)