

臭氧杀菌结合气调包装对缢蛏的保鲜效果

张超¹, 励建荣^{1*}, 李学鹏¹, 朱军莉¹, 刘永吉¹, 李钰金²

(1. 浙江工商大学食品与生物工程学院, 浙江省食品安全重点实验室, 浙江 杭州 310035;

2. 泰祥集团, 山东省海洋食品营养研究院, 山东 荣成 234309)

摘要:以缢蛏为研究对象,通过臭氧杀菌及不同气调包装处理,测定其在(0±0.5)℃冷藏过程中的菌落总数、理化和感官等指标的变化,评价臭氧杀菌结合气调包装的保鲜效果。臭氧处理浓度为1 mg/L,包装条件分别为低氧气调包装(60% CO₂+30% N₂+10% O₂)、无氧气调包装(60% CO₂+40% N₂)、空气包装(对照)、低氧气调包装(60% CO₂+30% N₂+10% O₂)与臭氧处理复合、无氧气调包装(60% CO₂+40% N₂)与臭氧处理复合、臭氧处理包装。结果显示:0℃下缢蛏在空气包装下贮藏4 d和臭氧处理包装下贮藏8 d后菌落总数分别达到1.76×10⁷ cfu/g和1.14×10⁷ cfu/g,在有氧气调包装条件下和无氧气调包装调节下贮藏10 d后菌落总数分别达到1.87×10⁷ cfu/g和1.03×10⁷ cfu/g,超过规定的卫生标准;而有氧气调包装结合臭氧处理可使缢蛏的货架期达到12 d(9.33×10⁶ cfu/g),无氧气调包装结合臭氧处理可使缢蛏货架期延长至14 d(8.74×10⁶ cfu/g)以上。各处理组的TVB-N、K值、感官评分、pH变化也均与贮藏时间相关(P<0.05),并且气调包装结合臭氧处理组样品在冷藏期间的TVB-N、pH、K值和感官等指标均优于单独的气调包装或臭氧处理。相对于其它实验组,臭氧处理结合无氧气调包装组保鲜效果最好,样品在货架期末(14 d)TVB-N达到14.952 mgN/100 g,K值达到55%,感官评分达到5分,仍处于中等新鲜水平或可接受程度。总体结果表明,臭氧处理结合气调包装能有效延长冷藏缢蛏的货架期。

关键词:缢蛏;臭氧;气调包装;货架期

中图分类号:TS 254.4

文献标志码:A

缢蛏(*Sinonovaeula constricta* Lamark)隶属软体动物门(Mollusca)、瓣鳃纲(Lamellibranchia)、异齿亚纲(Heterodonta)、帘蛤目(Veneroida)、竹蛏科(Solenidae),又名蛏子,江苏称其为海蛏、浙江称蛏等,为我国四大养殖贝类之一,广泛分布于中国、日本和朝鲜等国的沿海地区,在我国北自辽宁、山东,南至广东、福建都有分布,其中以福建、浙江近年养殖业发展最快,并迅速发展至江苏、山东等地。缢蛏肉丰腴脆嫩,鲜美清甜,药物功效显著,深受人们的喜爱。而缢蛏壳薄易碎,加之容易腐败变质,造成重大经济损失,其保鲜问题亟待解决。

臭氧是一种通过空气放电产生的具有强氧化

作用的物质,对细菌、霉菌、病毒都有杀灭作用,故臭氧被用来提高食品货架寿命和安全性,被开发作为新的食品消毒剂^[1]。在食品工业中,臭氧与化学合成品不同,其处理食品后分解为氧气,不残留任何有害物质,也不影响人体健康,即使在安全性要求很高的美国也被批准符合通用安全标准(GRAS)^[2-3],EPRI(美国电力研究)专家委员会在1997就得出科学结论:明确公告臭氧应用于食品加工符合GRAS^[4],臭氧在食品杀菌方面的应用有原料的清洗杀菌处理,制造过程中制品和支撑品的杀菌,蔬菜类清洗等^[5]。通过臭氧水的杀菌化处理来减少原料的初始菌,以此提高缢蛏的微生物控制效果,为延长产品保质期和质量控制

收稿日期:2011-01-06 修回日期:2011-03-02

资助项目:国家“八六三”高技术研究发展计划海洋技术领域重点项目(2007AA091806)

通讯作者:励建荣,0571-88056656, E-mail:lijianrong@zjgsu.edu.cn

打下基础。

气调包装(modified atmosphere packing, MAP)是选用密封性能良好的材料包装食品,并将其贮藏在与一般大气成分不同的气体环境下,以抑制或延缓微生物的繁殖及食品品质恶化的速度,从而延长食物的贮藏寿命。气调包装是以不同于空气组成的保护性混合气体置换包装内的空气,使食品处在保护性气体环境中,能抑制引起食品腐败的大多数微生物的生长繁殖,延长贮藏期。已经广泛应用于果蔬、肉类^[6]和部分水产品^[7]的保鲜。常以CO₂配合N₂及O₂来代替空气成分。对于不同的食物需要不同的气体组成^[8]。气调包装作为一种新兴的食品保鲜技术,使细菌及霉菌的生长得以控制并能阻止酶促反应,使产品品质的损失尽可能减少,以达到延长食品货架期及食品防腐保鲜的目的,因此MAP技术越来越受到世界各国的重视^[9-10]。

本文研究了经臭氧水处理后MAP贮藏条件下缢蛏的微生物变化及相关质量指标的变化规律,旨在为缢蛏保鲜技术开发提供参考和依据。

1 材料与方法

1.1 原料

鲜活缢蛏(购买于杭州市西湖区文二街农贸市场),1 mg/L 臭氧水溶液。

1.2 包装材料

本试验所用包装材料(PET/PP)的渗透参数为透CO₂, 0~1 mL/(m²·24 h·1 atm), 20℃, 65% RH;透氧率81.3 mL/(m²·24 h·1 atm), 23℃, 0% RH;透水蒸汽率:4.7 g/(m²·24 h), 38℃, 90% RH。

1.3 试验设备

H360 气调包装机(苏州森瑞保鲜设备有限公司);KJELTEC2300 全自动定氮仪(瑞典福斯特卡托公司);DELTA 320 pH 计(梅特勒-托利

多国际股份有限公司);高效液相色谱仪(安捷伦科技有限公司);0℃冰箱(东莞昊昕仪器设备有限公司)。

1.4 实验方法

工艺 新鲜缢蛏→预处理(浸泡、洗净)→冰块冻死(20 min)→沥干5 min→臭氧水溶液(1 mg/L)浸泡一部分缢蛏10 min→沥干5 min→气调包装(每袋装200 g左右)→低温(0℃)贮藏→定期(2 d)开封检验。

预处理用3%人工海水浸泡,每6小时换水一次,浸泡24 h后,用水洗刷缢蛏表面5 min洗净。

制备1 mg/L 臭氧水溶液,挑选一半冻死后沥干的缢蛏放入臭氧水溶液中,浸泡10 min。

气调包装条件为A:60% CO₂/30% N₂/10% O₂;B:60% CO₂/40% N₂;C:空气包装(ck1);D:O₃+60% CO₂/30% N₂/10% O₂;E:O₃+60% CO₂/40% N₂;F:O₃+空气包装(ck2)。

将气调包装后的各组样品于0℃下贮藏,定期(0、2、4、6、8、10、12、14 d)随机取样测定感官、菌落总数和挥发性盐基氮(TVB-N)等理化指标,以评定各组样品的品质变化。

细菌总数 细菌总数的测定按文献[11]规定的方法进行平板计数。

挥发性盐基氮 使用FOSS KJELTEC2300全自动定氮仪,参考文献[12]测定贝肉的TVB-N值。用无氮称量纸称量10.0 g捣碎样品到750 mL的蒸馏管中。加入50 mL蒸馏水到蒸馏管中,摇匀。然后加入1 g MgO₂和3滴消泡剂,连接到蒸馏器上。设定仪器条件为1%硼酸接收液30 mL,蒸馏时间5 min,0.1 mol/mL盐酸标准滴定液。每批样品做空白试验,TVB-N值,单位为mg/100 g。

pH pH按文献[11]规定的方法进行测定。感官评定评分标准采用5人组成的感官评定小组进行感官描述检验,评分标准见表1。

表1 感官评分标准
Tab.1 Criteria of sensory evaluation

感官得分 sensory score	感官特性 sensory characteristics
9~10	肉色白净,组织紧密,两壳微微张开,具有新鲜缢蛏的气味,无渗出液
7~8	肉色白,组织稍与壳脱离,两壳稍张(幅度小),气味正常,无明显异味,有少量渗出液
5~6	肉色微黄,组织与壳脱离程度稍大,两壳张开(幅度一般),气味略有变化(轻微异味),有部分渗出液,水色稍浑浊
3~4	肉色泛黄,组织与壳脱离多,两壳明显张开,有明显异味,有较多渗出液,水色较浑浊
1~2	肉色发白,组织大部分与壳脱离,两壳张开幅度大,有强烈异味,有很多渗出液,水色很浑浊
0	肉色惨白,组织绝大部分壳脱离,呈腐败状,两壳张开幅度最大,有强烈的腐败臭味,有大量渗出液,水色非常浑浊且暗黑

K 值的测定按照 SAITO 等^[13]的方法进行。前处理:搅碎缢蛭肉(5 g)→冰浴,加入 25 mL HClO_4 →搅拌 5 min,静置 10 min→冷冻离心(1 940 g,10 min)→上清液用 1mol/L KOH 溶液中和,调 pH 至 6.5~6.8→静置 10 min→冷冻离心(1 940 g,10 min)→取上清液 -20 °C 冻藏→HPLC 测定。

HPLC 条件:色谱柱 ODS C18(250 mm×4.6 mm),用 0.04 mol/L 磷酸二氢钾、0.06 mol/L 磷酸氢二钾混和液平衡、洗脱。上样量 1 μL ,流速 1 mL/min,柱温 37 °C,260 nm 检测。

$$K\% = 100 \times (\text{HxR} + \text{Hx}) / (\text{ATP} + \text{ADP} + \text{AMP} + \text{IMP} + \text{HxR} + \text{Hx})$$

1.5 数据分析

采用 ORIGIN 8.0 绘图,SPSS 17.0 进行相关性分析,显著性水平设置为 $P < 0.05$ 。

2 结果与讨论

2.1 缢蛭菌落总数(TVC)

细菌总数的多少可以直接反映食品的变质程度。由图 1 可以看出,细菌总数可以很好地反映各实验组不同变化情况,新鲜缢蛭的细菌总数初始值为 5.1 Log(cfu/g),空气包装组菌落数变化与时间无显著性相关($r = 0.695$),0~4 d 内空气包装组菌落总数随贮藏时间的延长持续增加,且增长速度高于其他实验组,贮藏 4 d 后达到 1.76×10^7 cfu/g,超过国标规定的 1.0×10^7 cfu/g,其后生长趋于平缓。其他实验组菌落数变化均与贮藏时间相关($P < 0.05$),且都有一个先上升后下降,其后继续上升的过程。经过臭氧杀菌的实验组 F 效果优于空气对照组,贮藏期可以长达 6 d 以上,到第 8 天时菌落数值为 1.14×10^7 cfu/g;无氧气调包装 B 效果稍好于有氧气调包装 A,此包装下的缢蛭可以贮藏 8 d 以上,无氧气调包装在第 10 天时菌落数达到 1.03×10^7 cfu/g,而此时有氧气调包装已达到 1.87×10^7 cfu/g,结果表明:臭氧杀菌包装效果好于空气对照组,无氧气调包装的效果优于有氧包装。从图 1 中看出,经过臭氧处理的无氧包装组 E 效果最好,贮藏到 14 d 时,此包装的缢蛭菌落数为 8.74×10^6 cfu/g,未超过国标规定的 1.0×10^7 cfu/g。因此,低浓度的臭氧处理具有很好的杀菌能力,结合无氧气调包装可以在各自原来基础上进一步延长货架期。

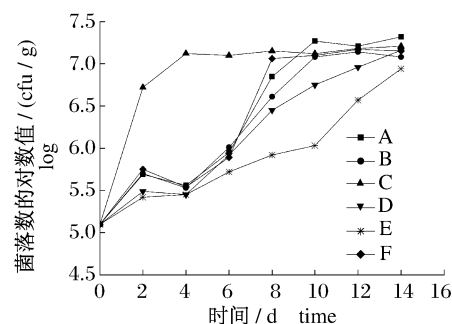


图 1 缢蛭贮藏过程中菌落总数的变化
Fig.1 Changes of TVC in *S. constricta* during the storage

2.2 挥发性盐基氮(TVB-N)

TVB-N 值是评价水产品鲜度的常用指标,它反映水产品蛋白质因内源性酶或微生物的作用分解而产生的挥发性的氨和胺类等碱性化合物的情况^[14],这些化合物含量愈低则 TVB-N 值越低,水产品的新鲜度愈高。图 2 显示:各实验组 TVB-N 含量变化均与时间相关($P < 0.05$),对照组空气包装 TVB-N 含量 0~2 d 时迅速上升,到第 6 天时 TVB-N 含量为 16.699 8 mg N/100 g,超过国标规定的 15 mg N/100 g。除空气包装组外,其他实验组 TVB-N 含量都有先上升后下降随即又上升的过程,前期 TVB-N 上升可能是由于微生物在此阶段的生长分解产生胺类物质,造成 TVB-N 值升高;下降可能是由于气调包装抑制了微生物的代谢,减少了 TVB-N 的生成,并且气调包装中的 CO_2 溶于缢蛭肉中形成酸性物质(碳酸类),这些酸性物可能与代表 TVB-N 值的挥发性的氨和胺类碱性化合物发生反应,同时这些碱性化合物也可能部分溶于物料流失的汁液中,使检测到的 TVB-N 值下降^[15];后期继续上升可能是腐败微生物开始增加并产生胺类物质,使得 TVB-N 含量随贮藏期延长而增加。经过臭氧处理的空气包装组 TVB-N 含量少于空气对照组,表明经臭氧杀菌后可以有效抑制产胺类微生物的生长,降低贮藏期内 TVB-N 含量。图 2 显示经过气调包装的实验组效果优于臭氧包装,无氧包装优于有氧包装,而经过臭氧处理结合无氧包装的缢蛭效果最好,到 14 d 时,该组 TVB-N 含量为 14.952 mg N/100 g,未超过国标规定 15 mg N/100 g。

2.3 pH 变化

由图 3 可知贮藏过程中缢蛭的 pH 变化情况。各实验组 pH 变化均与时间显著相关($P <$

0.01), 缢蛏初始 pH 约为 6.98, 接近于中性, 随时间推移, 不同包装条件下的缢蛏 pH 都开始下降, 0~4 d 内, 空气包装组 C 的 pH 随时间缓慢下降, 且 pH 稍高于其它气调包装实验组, 可能由于气调包装中含有高浓度的 CO_2 , 一定程度上降低了 pH^[16-17], 以致气调包装组的 pH 低于空气包装组。随着贮藏时间延长, 空气包装实验组 pH 开始快速下降 ($r = -0.984$), 可能由于产酸微生物随着贮藏期延长而发酵产生大量酸性物质, 致使 pH 迅速下降。从第 6 天开始, 经过臭氧处理的气调包装组 pH 高于臭氧包装和单独的气调包装组, 且经过臭氧处理的无氧包装组 E 的效果优于臭氧处理的有氧包装组 D, 表明臭氧处理结合气调包装可以在各自原来基础上进一步抑制产酸微生物的生长, 减缓 pH 的下降。

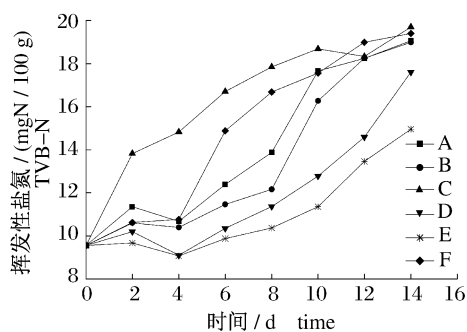


图 2 缢蛏贮藏过程中 TVB-N 的变化

Fig. 2 Changes of TVB-N values in *S. constricta* during the storage

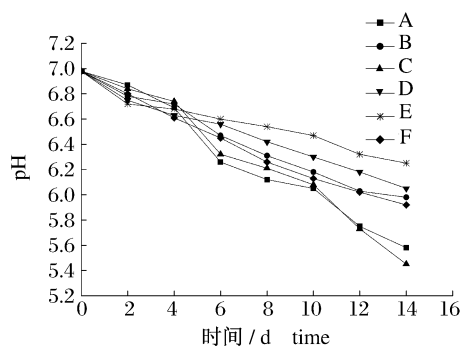


图 3 缢蛏贮藏过程中 pH 的变化

Fig. 3 Changes of pH values in *S. constricta* during the storage

2.4 感官品质

图 4 显示 0~14 d 内各实验组的感官品质变化。整个过程中, 各实验组中缢蛏品质变化与贮

藏时间显著相关 ($P < 0.01$), 随贮藏时间延长各实验组 TVB-N、菌落总数升高的同时感官评分而逐渐降低, 相对于其他实验组, 空气对照组的感官评分随贮藏时间下降最快 ($r = -0.889$), 而此时空气包装组的菌落总数、TVB-N 含量迅速上升, 其余实验组也都基本都符合菌落数、TVB-N 上升感官评分下降这一规律。在 0~4 d 时, 气调包装组和 1 mg/L 臭氧水溶液处理组评分差距并不明显, 这种情况也发生在经过臭氧处理的气调包装组 D 和 E, 可能是初期时各自的处理都一定程度上抑制了微生物的生长。随着贮藏期的延长, 包装盒内的各种微生物开始生长, 各实验组的感官评分也开始发生变化。图中显示: 无氧气调包装的感官评分下降比有氧气调包装和臭氧处理包装慢, 这一规律与菌落数、TVB-N 上升变化极为相似; 经过臭氧处理的无氧包装评分下降最慢, 到第 14 d 时, 仍能达到 5 分, 表明此包装条件下缢蛏保鲜效果最好。

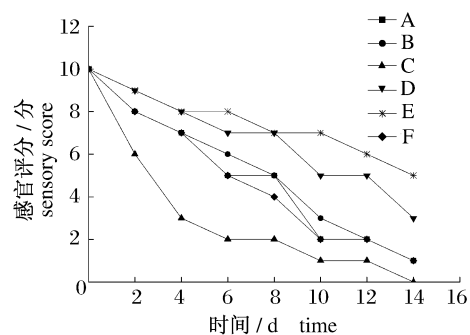


图 4 缢蛏贮藏过程中感官评分变化

Fig. 4 Sensory attributes of *S. constricta* during the storage

2.5 K 值

ATP 分解过程中, 以 $\text{HxR} + \text{Hx}$ 的量对 ATP 关联物总量的比值, 即为 K 值^[13,18]。K 值越小表示鲜度越好, K 值越大则鲜度越差。实验过程中 K 值变化没有 TVB-N、感官评分变化显著, 但总体也能够反应各个实验组的保鲜效果。通过计算, 缢蛏贮藏过程中的 K 值的变化如图 4。图 4 表明, 各实验组随着贮藏天数的增加都呈显著上升趋势 ($P < 0.01$)。较于其它实验组, 空气包装组 C 上升幅度最快, 到 14 d 时已达到 80.12%。无氧气调包装、有氧气调包装、臭氧处理包装前 8 d 各自的 K 值差别并不明显, 在第 10~14 天开始出现明显差别, 三者中无氧气调包装的 K 值

最小,有氧气调包装次之,臭氧处理包装 K 值最高。经过臭氧处理的气调包装较之于上述三者单独处理的效果要好,在贮藏后期,较于臭氧处理的有氧气调包装,臭氧处理的无氧气调包装的 K 值要小,表明整个实验组中经臭氧处理的无氧气调包装效果最好,可以使缙蛭保持较高的鲜度。

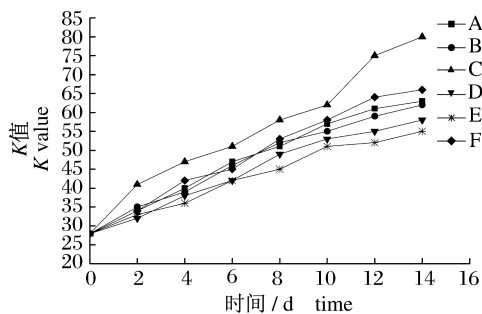


图5 缙蛭贮藏过程中 K 值的变化

Fig. 5 Changes of K values in *S. constricta* during the storage

3 结论

60% CO_2 + 40% N_2 的无氧气调包装可在 0 °C 冷藏的缙蛭货架期达到 8 d, 其保鲜效果优于 60% CO_2 + 30% N_2 + 10% O_2 的低氧气调包装。60% CO_2 + 40% N_2 的无氧气调包装的缙蛭在冷藏期间其菌落总数、TVB-N 值、 K 值、pH、感官评价等指标都优于 60% CO_2 + 30% N_2 + 10% O_2 的低氧气调包装。

单独用臭氧水溶液 (1 mg/L) 处理的保鲜效果略低于单独的无氧或有氧气调包装, 但是两者复合后的实验效果相对于独自处理时的效果要好很多, 货架期在原来基础上延长到了 12 ~ 14 d 以上。结合 1 mg/L 臭氧水溶液处理的气调包装可延长冷藏缙蛭的货架期优于单纯的臭氧处理包装和气调包装; 臭氧处理结合无氧气调包装的缙蛭保鲜效果优于臭氧处理结合有氧气调包装, 后者货架期为 12 d, 而前者则达到了 14 d 以上。经臭氧处理结合无氧气调包装的缙蛭, 各项指标较之于其他实验组都是最优的。

本试验条件下, 各实验组的保鲜效果好坏依次为 60% CO_2 + 40% N_2 + O_3 > 60% CO_2 + 30% N_2 + 10% O_2 + O_3 > 60% CO_2 + 40% N_2 > 60% CO_2 + 30% N_2 + 10% O_2 > 臭氧包装 > 空气包装。

实验过程中, 菌落总数、TVB-N、 K 值、感官评

分变化总体均与贮藏时间相关 ($P < 0.05$), 各实验组菌落总数上升的同时 TVB-N 总体上升、感官评分明显下降, 较好地反应了缙蛭贮藏过程中的品质变化规律; 而 K 值的变化虽不如 TVB-N、感官评分变化明显, 但总体一定程度上也能够反应各实验组不同腐败程度; pH 在各个实验组中都是随贮藏时间延长逐渐降低的, 但在大部分的贮藏时间内各实验组的变化差别并不是很明显, 且目前下降机理并不明确, 仍需进一步研究。

参考文献:

- [1] KIM J G, YOUSEF A E, KHADRE M A. Ozone and its current and future application in the food industry [J]. *Advanced in Food and Nutrition Research*, 2003, 45(1): 167-218.
- [2] GUZEL-SEYDİM Z, Bever Jr P I, GREENE AK. Efficacy of ozone to reduce bacterial populations in presence of food components [J]. *Food Microbiology*, 2004, 21(1): 475-479.
- [3] FELIX W. Ozone food treatment process [P]. USA Patent: 5403602, 1995-04-04.
- [4] 刘骞, 骆承庠, 孔保华, 等. 臭氧杀菌在食品工业中的广阔前景 [J]. *肉类工业*, 2006(1): 26-28.
- [5] 李汉忠. 臭氧, 食品加工业新兴消毒剂 [J]. *山东食品科技*, 1999(1): 19.
- [6] 徐文达, 严伯奋. 新鲜食品气调保鲜技术的研究 [J]. *食品工业*, 1997(3): 43-45.
- [7] CARDON A, PHILLIP S. Review: Modified atmosphere packaging and its effects on the microbiological quality and safety of produce [J]. *International Journal of Food Science and Technology*, 1996, 31: 463-479.
- [8] 张春荣, 黄光荣. MAP 技术在鱼类保鲜中的应用 [J]. *食品研究与开发*, 2000, 21(4): 23-26.
- [9] SZOGUL F, TAYLOR, K D A, QUANTICK P, et al. Chemical, microbiological and sensory evaluation of Atlantic herring (*Clupea harengus*) stored in ice, modified atmosphere and vacuum pack [J]. *Food Chemistry*, 2000, 71(2): 267-273.
- [10] REGENSTEIN J M. Shelf-life extension of haddock in carbon dioxide-oxygen atmospheres with and without potassium sorbate [J]. *Journal of Food Quality*, 1992(5): 285-300.
- [11] 中华人民共和国卫生部, 中国国家标准化管理委员会. GB/T 4789.2-2008 食品卫生微生物学检验菌落总数测定 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2008.
- [12] Foss 公司. ASN 3140 鲜鱼和冻鱼中挥发性盐基氮

- (TVBN) 的测定 [R]. FOSS 应用子报, 2002, 08-16.
- [13] SAITO T, ARAI K, MATSUYOSHI M. A new method for estimating the freshness of fish [J]. *Scientific Fisheries*, 1959, 24: 749.
- [14] FAN W J, SUN J X, CHEN Y H, *et al.* Effects of chitosan coating on quality and shelf life of silver carp during frozen storage [J]. *Food Chemistry*, 2009, 115(1): 66-70.
- [15] DEBEVERE J, BOSKOU G. Effect of modified atmosphere packaging on the TVB/TMA-producing microflora of cod fillets [J]. *International Journal of Food Microbiology*, 1996, 31(1-3): 221-229.
- [16] SIVERTSVIK M, ROSNES J T, JEKSRUD W K. Solubility and absorption rate of carbon dioxide into non-respiring foods. Part 2: Raw fish fillets [J]. *Journal of Food Engineering*, 2004(63): 451-458.
- [17] SIVERTSVIK M, WILLY K, JEKSRUD W K, *et al.* A review of modified atmosphere packaging of fish and fishery products-significance of microbial growth, activities and safety [J]. *International Journal of Food Science and Technology*, 2002, 37(2): 107-127.
- [18] 董彩文. 鱼肉鲜度测定方法研究进展 [J]. *食品与发酵工业*, 2004, 30(4): 99-103.

Combined effects of ozone sterilization and modified atmosphere packaging on the qualities of *Sinonovacula constricta* Lamark

ZHANG Chao¹, LI Jian-rong^{1*}, LI Xue-peng¹, ZHU Jun-li¹, LIU Yong-ji¹, LI Yu-jin²

(1. Food Safety Key Lab of Zhejiang Province, College of Food Science and Biotechnology,

Zhejiang Gongshang University, Hangzhou 310035, China;

2. Marine Food and Nutrition Research Institute of Shandong Province, Group of Taixiang, Rongcheng 234309, China)

Abstract: In the present study the combined effects of ozone (O_3) sterilization and modified atmosphere packaging on the quality of *Sinonovacula constricta* Lamark were assessed by physicochemical and microbiological methods. *S. constricta* Lamark were sterilized by ozone (1 mg/L) and packaged by modified atmosphere, then stored at $(0 \pm 0.5) ^\circ\text{C}$. There are six groups in the experiment: low oxygen MAP (60% CO_2 + 10% O_2 + 30% N_2), non-oxygen MAP (60% CO_2 + 40% N_2), air packaging, low oxygen MAP (60% CO_2 + 10% O_2 + 30% N_2) + O_3 , non oxygen MAP (60% CO_2 + 40% N_2) + O_3 , and air packaging + O_3 . The microbiological analysis showed that the total viable counts (TVC) for air packaging group and air packaging + O_3 group reached 1.76×10^7 cfu/g and 1.14×10^7 cfu/g on day 4 and 8 respectively, while the TVC for low oxygen MAP group and non oxygen MAP group reached 1.87×10^7 cfu/g and 1.03×10^7 cfu/g respectively on day 10, exceeding the microbiological acceptability limit. The results indicated that the combination of low oxygen MAP and O_3 could extend the shelf-life of *S. constricta* Lamark up to 12 days, while the combination of non-oxygen MAP and O_3 could extend the shelf-life up to 14 days. TVB-N, *K* value, sensory evaluation, pH changes for each group were also associated with the storage time ($P < 0.05$), TVB-N, *K* value, sensory score and pH value for MAP + O_3 group showed better effects than single MAP or ozone group. The preservation effects of non-oxygen MAP (60% CO_2 + 40% N_2) + O_3 group were better than other groups. TVB-N, *K* value, and sensory score reached 14.952 mg N/100 g, 55% and 5, respectively, at the end of shelf-life (14 days), which indicated a moderately fresh or acceptable status of samples. Thus, it was suggested that the combination of ozone sterilization and modified atmosphere packaging could effectively extend the shelf-life of *S. constricta* Lamark during refrigerated storage.

Key words: *Sinonovacula constricta* Lamark; ozone; modified atmosphere packaging; shelf-life

Corresponding author: LI Jian-rong. E-mail: lijianrong@zjgsu.edu.cn