

# 气调包装结合电子束辐照对蚌肉的保鲜效果

蒋慧亮<sup>1</sup>, 王正云<sup>1</sup>, 杨絮<sup>2</sup>, 展跃平<sup>1</sup>, 邢超<sup>1</sup>, 杨紫<sup>1</sup>, 段佳伟<sup>1</sup>

(1. 江苏农牧科技职业学院食品科技学院, 江苏泰州 225300)

(2. 中国水产科学研究院东海水产研究所, 上海 200090)

**摘要:** 为探究气调包装结合电子束辐照对蚌肉的保鲜效果, 分别设置气调比例为 A 组: 100% CO<sub>2</sub>、B 组: 70% CO<sub>2</sub>+30% N<sub>2</sub>、C 组: 50% CO<sub>2</sub>+50% N<sub>2</sub>、D 组: 30% CO<sub>2</sub>+70% N<sub>2</sub> 和 E 组: 50% CO<sub>2</sub>+30% N<sub>2</sub>+20% O<sub>2</sub>, 气调包装后使用 5 kGy 电子束辐照处理, 同时设置 2 个对照组, 处理后蚌肉进行冰藏实验。研究表明: 气调包装结合电子束辐照能较大程度抑制蚌肉冰藏中微生物的增长, 减少挥发性盐基氮 (TVBN) 的产生, 同时气调包装能有效减缓由于电子束辐照引起的脂肪氧化, 降低蚌肉中 TBA 值。各气调包装组结合电子束辐照比对照 1 组分别延长了冰藏蚌肉货架期 17、17、15、13 和 16 d。在 CO<sub>2</sub> 含量高于 50% 时, 对蚌肉的保鲜效果相差不多 ( $p>0.05$ ), 且 20% O<sub>2</sub> 的存在, 可提高蚌肉的颜色度, 改善感官品质。综合考虑, 50% CO<sub>2</sub>+30% N<sub>2</sub>+20% O<sub>2</sub> 气调包装结合电子束对蚌肉的保鲜效果较优。

**关键词:** 气调包装; 电子束辐照; 蚌肉; 保鲜效果; 货架期

文章编号: 1673-9078(2021)03-147-153

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2021.3.0780

## Effects of Modified Atmosphere Packaging Combined with Electron Beam Irradiation on Preservation of Mussel Meat

JIANG Hui-liang<sup>1</sup>, WANG Zheng-yun<sup>1</sup>, YANG Xu<sup>2</sup>, ZHAN Yue-ping<sup>1</sup>, XING Chao<sup>1</sup>, YANG Qing<sup>1</sup>, DUAN Jia-wei<sup>1</sup>

(1. College of Food Science and Technology, Jiangsu Agri-animal Husbandry Vocational College, Taizhou 225300, China)

(2. East China Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Shanghai 200090, China)

**Abstract:** In order to study the effects of modified atmosphere packaging combined with electron beam irradiation on preservation and quality of mussel meat, the air-modified atmosphere ratios were set as 100% CO<sub>2</sub> in Group A, 70% CO<sub>2</sub> + 30% N<sub>2</sub> in group B, 50% CO<sub>2</sub> + 50% N<sub>2</sub> in group C, 30% CO<sub>2</sub> + 70% N<sub>2</sub> in group D, and 50% CO<sub>2</sub> + 30% N<sub>2</sub> + 20% O<sub>2</sub> in group E, two control groups were set at the same time. Electron beam irradiation at 5 kGy dose was carried out after modified atmosphere packaging, after the treatment, the mussel meats were ice storage experiment. The results showed that modified atmosphere packaging combined with electron beam irradiation can greatly inhibit the growth of microorganisms of mussel meat during ice storage, reduce the production of total volatile base nitrogen, and at the same time, effectively slow down the fat oxidation caused by electron beam irradiation, reduce the TBA value of mussel meat. Compared with the control group 1, the shelf life of mussel meat during ice storage was prolonged by 17, 17, 15, 13 days and 16 days by each modified atmosphere packaging groups, respectively. When the CO<sub>2</sub> content is higher than 50%, the preservation effect of mussel meat has little difference ( $p>0.05$ ), and 20% O<sub>2</sub> can improve the color degree of mussel meat and improve the sensory quality. In general, the preservation effect of 50% CO<sub>2</sub> + 30% N<sub>2</sub> + 20% O<sub>2</sub> modified atmosphere packaging combined with electron beam is better for mussel meat.

**Key words:** modified atmosphere packaging; electron beam irradiation; mussel meat; preservation; shelf life

引文格式:

蒋慧亮,王正云,杨絮,等.气调包装结合电子束辐照对蚌肉的保鲜效果[J].现代食品科技,2021,37(3):147-153

JIANG Hui-liang, WANG Zheng-yun, YANG Xu, et al. Effects of modified atmosphere packaging combined with electron beam irradiation on preservation of mussel meat [J]. Modern Food Science and Technology, 2021, 37(3): 147-153

收稿日期: 2020-08-19

基金项目: 江苏农牧科技职业学院科研项目 (NSF201705); 国家自然科学基金基金项目 (31371867); 江苏省高等学校大学生创新创业项目 (202012806023Y)

作者简介: 蒋慧亮 (1987-), 女, 讲师, 研究方向: 食品微生物学

通讯作者: 杨絮 (1984-), 女, 助理研究员, 研究方向: 水产品贮藏与加工

河蚌是一种常见的淡水贝类, 味道鲜美, 新鲜蚌肉中氨基酸含量丰富, 呈味氨基酸含量达 44.33%, 与象拔蚌接近<sup>[1]</sup>。一般蚌壳较大, 取肉后的蚌壳造成一定的环境污染, 若能集中取肉, 制成蚌肉净菜销售, 既解决了蚌壳污染问题, 又方便了消费者的购买, 但

新鲜蚌肉含水量高,易腐败变质,不利于保存。因此研究安全有效的保鲜方式保证蚌肉的新鲜品质,可拓展蚌肉的销售途径,提高经济产值。

气调包装是采用特定的包装材料,改变包装内的气体比例,从而可以保持食品新鲜度,提高安全性,延长货架期。同时具有操作方便、成本低、效果好等优势,是食品保鲜领域的研究热点,广泛用于果蔬、肉类、水产等食品的物理保鲜<sup>[2]</sup>。气调包装若与其他保鲜方式相结合,则可以得到更好的保鲜效果。气调包装结合紫外线杀菌有效抑制罗非鱼冷藏中微生物的繁殖和脂肪氧化,延长了贮藏期<sup>[3]</sup>。微波结合气调包装保持黄皮果实原有的风味品质,延长贮藏时间<sup>[4]</sup>。真空预冷结合气调包装能进一步维持鸡肉的新鲜品质<sup>[5]</sup>。气调包装结合赤霉素能降低青椒呼吸速率,延长货架期<sup>[6]</sup>。生物保鲜剂结合气调包装应用于苹果、西红柿以及烤鸡的保鲜研究中,并得到较好的效果<sup>[7-9]</sup>。气调包装结合低温贮藏、冰温贮藏、微冻等能更好得保证食品的新鲜品质<sup>[10,11]</sup>。电子束是利用电离辐射与物质相互作用所产生的效应以达到延长保质期的目的的新兴物理保藏技术,对于水产品贮藏中微生物的繁殖等有很好的抑制作用<sup>[12,13]</sup>。电子束辐照已应用于蟹肉、泥蚶、三文鱼等水产品的保鲜研究中,并得到较好的效果<sup>[14-16]</sup>。但目前国内外使用气调包装结合电子束辐照进行保鲜研究的较少。

前期已研究了电子束辐照对蚌肉冰藏过程中品质的影响,实验表明5 kGy电子束辐照对蚌肉的品质无不良影响,能延长蚌肉冰藏的货架期<sup>[1]</sup>,本文使用气调包装结合电子束辐照对蚌肉进行保鲜处理,采用不同气调比例对蚌肉进行气调包装,并使用5 kGy电子束辐照,分析冰藏过程中蚌肉感官品质、菌落总数、挥发性盐基总氮(TVBN)和硫代巴比妥酸值(TBA)的变化,综合评价气调包装结合电子束辐照对蚌肉的保鲜效果,以探究更佳的物理保鲜方式。

## 1 材料与方 法

### 1.1 材料与仪器

鲜活河蚌(产于泰州水域,夏季,选用活力强、个体带壳重400~500 g)购于泰州市海陵区大润发超市;平板计数琼脂,北京陆桥技术股份有限公司;三氯乙酸、硼酸、乙二胺四乙酸二钠、盐酸、氧化镁、硫代巴比妥酸,分析纯,国药集团化学试剂有限公司;盐酸、氢氧化钠、柠檬酸钠,优级纯,国药集团化学

试剂有限公司。

SPX-25085H-II生化培养箱,上海新苗医疗器械制造有限公司;KDN-04B定氮仪,上海新嘉电子有限公司;紫外可见分光光度计,北京普析通用仪器有限责任公司;IS1020直线电子加速器辐照加工系统,扬州扬福科技有限公司。

### 1.2 实验方法

#### 1.2.1 蚌肉气调包装处理

新鲜河蚌去壳、去腮、去消化腺,保留可食用部分,每份蚌肉约50 g,使用PET包装,样品随机分为7组。按照以下气调比例(见表1),使用MAP-QT200扎口气调包装机进行标准充气包装。

表1 样品分组及气调比例

Table 1 Sample grouping and air-regulated ratio		
组别	气调比例	是否电子束辐照
A	100% CO <sub>2</sub>	是
B	70% CO <sub>2</sub> +30% N <sub>2</sub>	是
C	50% CO <sub>2</sub> +50% N <sub>2</sub>	是
D	30% CO <sub>2</sub> +70% N <sub>2</sub>	是
E	50% CO <sub>2</sub> +30% N <sub>2</sub> +20% O <sub>2</sub>	是
对照1	空气	否
对照2	空气	是

#### 1.2.2 蚌肉电子束辐照处理

按照层冰层样品放入底部有漏水孔的泡沫箱中,封箱。将A、B、C、D、E组及对照2组样品冷链运至扬州扬福科技有限公司进行电子束辐照处理,剂量为5 kGy,辐照能量为10 MeV,扫描宽度为710 cm,剂量平均束流强度为1650 μA,传输速度为68.7 mm/s,每组剂量设3个平行样。蚌肉单包排列,不重叠,辐照均匀。

#### 1.2.3 贮藏试验与样品处理

带冰蚌肉均置于生化培养箱(3±0.5)℃贮藏,适时加冰,贮藏前期每隔2 d取样,对照1组贮藏10 d、对照2组贮藏16 d、气调组贮藏24 d后每隔1 d取样,每次随机取样3份,分别进行感官评价、菌落总数测定、TVBN测定和TBA测定。

#### 1.2.4 感官评价

参照GB/T 37062-2018水产品感官评价指南<sup>[17]</sup>,由10名(5男5女)食品专业人员组成评价小组,按照表2,从蚌肉的体表、气味、肌肉等进行感官评定。分为高品质期、较好品质期、货架期、腐败期4等级。

表 2 蚌肉感官评价标准

Table 2 Criteria for sensory evaluation

指标	高品质期	较好品质期	货架期	腐败期
体表	粘液透明, 体色鲜艳	粘液乳白, 体色轻微消失	粘液稍暗, 体表无光泽	粘液不透明, 体色消失
气味	新鲜	轻微的腥味	轻微的酸败和腐臭味	较重的酸败和腐臭味
肌肉	僵硬期或部分消失	有弹性, 压痕迅速消失	弹性减弱, 有机械压痕	外力影响有较重形变

表 3 不同比例气调包装结合电子束辐照处理蚌肉冰藏中感官品质的变化

Table 3 Changes in sensory quality of mussel meat treated by different proportion of modified atmosphere packaging combined with electron beam irradiation during ice storage

贮藏天数/d	组别						
	对照 1	对照 2	A	B	C	D	E
0	高品质期	高品质期	高品质期	高品质期	高品质期	高品质期	高品质期
2	高品质期	高品质期	高品质期	高品质期	高品质期	高品质期	高品质期
4	高品质期	高品质期	高品质期	高品质期	高品质期	高品质期	高品质期
6	较好品质期	高品质期	高品质期	高品质期	高品质期	高品质期	高品质期
8	较好品质期	高品质期	高品质期	高品质期	高品质期	高品质期	高品质期
10	货架期	高品质期	高品质期	高品质期	高品质期	较好品质期	高品质期
11	货架期	-	-	-	-	-	-
12	货架期	较好品质期	高品质期	高品质期	高品质期	较好品质期	高品质期
13	腐败期	-	-	-	-	-	-
14	腐败期	较好品质期	高品质期	高品质期	高品质期	较好品质期	较好品质期
16	-	较好品质期	高品质期	高品质期	较好品质期	较好品质期	较好品质期
17	-	较好品质期	-	-	-	-	-
18	-	货架期	较好品质期	较好品质期	较好品质期	较好品质期	较好品质期
19	-	货架期	-	-	-	-	-
20	-	货架期	较好品质期	较好品质期	较好品质期	货架期	较好品质期
21	-	货架期	-	-	-	-	-
22	-	货架期	较好品质期	较好品质期	货架期	货架期	较好品质期
23	-	货架期	-	-	-	-	-
24	-	货架期	货架期	货架期	货架期	货架期	货架期
25	-	腐败期	货架期	货架期	货架期	货架期	货架期
26	-	腐败期	货架期	货架期	货架期	腐败期	货架期
27	-	-	货架期	货架期	货架期	腐败期	货架期
28	-	-	货架期	货架期	腐败期	腐败期	货架期
29	-	-	货架期	货架期	腐败期	-	腐败期
30	-	-	腐败期	腐败期	腐败期	-	腐败期

1.2.5 菌落总数测定

参照 GB 4789.2-2016<sup>[18]</sup>中平板倾注法测定。

1.2.6 TVBN 测定

参照 GB 5009.228-2016<sup>[19]</sup>中半微量凯氏定氮法进行测定。

1.2.7 TBA 测定

参照 GB 5009.181-2016<sup>[20]</sup>中分光光度法测定。

1.3 数据处理

采用 SPSS 进行数据统计分析, 各指标测定设 3 次平行, 数据以“平均值±标准偏差”表示。

2 结果与讨论

2.1 不同比例气调包装结合电子束辐照对蚌肉冰藏中感官品质的影响

由表 3 可知, 对照 1 组和对照 2 组蚌肉分别于贮藏

藏 12 d 和 24 d 达到感官拒绝接受值, 可见电子束辐照能较好得保持蚌肉的新鲜品质。在电子束辐照的基础上结合气调包装, 蚌肉的新鲜品质期有效延长, 较对照 2 组, 气调包装组蚌肉分别再延缓了 5、5、3、1 和 4 d 达到感官拒绝接受值。但高浓度的 CO<sub>2</sub> 会影响蚌肉的色泽, 造成产品包装塌陷等问题, 而少量 O<sub>2</sub> 的融入可以促进氧和肌红蛋白的生成, 保持蚌肉新鲜的色泽<sup>[21]</sup>, 因此 E 组较 C 组, 虽 CO<sub>2</sub> 含量相同, 但由于 E 组中含有 O<sub>2</sub>, 其感官品质优于 C 组。孙路<sup>[22]</sup>等同样研究发现高氧气调包装能更好得保证鸡肉的新鲜品质。

## 2.2 不同比例气调包装结合电子束辐照对蚌肉冰贮藏中菌落总数的影响

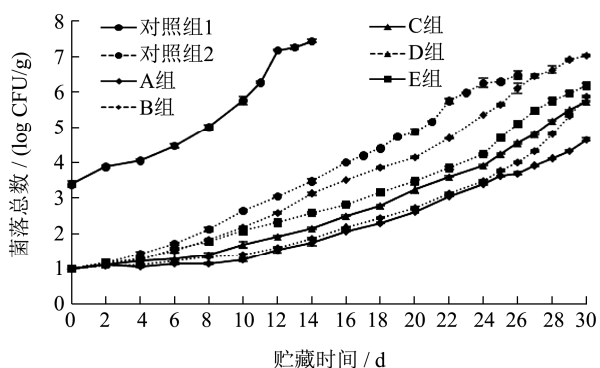


图 1 不同比例气调包装结合电子束辐照处理蚌肉冰贮藏中菌落总数的变化

Fig.1 Changes in total number of colonies of mussel meat treated by different proportion of modified atmosphere packaging combined with electron beam irradiation during ice storage

不同比例的气调包装结合电子束辐照对蚌肉冰贮藏中菌落总数的影响结果如图 1 所示。经 5 kGy 的电子束辐照后各组蚌肉中初始菌落总数降至 $\leq 10$  CFU/g, 电子束辐照有效杀灭了蚌肉中的部分微生物。由图 1 可知, 贮藏过程中各气调包装组蚌肉的菌落总数一直小于对照 2 组, 更远小于对照 1 组, 在达到感官拒绝接受时, 各气调包装组蚌肉的菌落总数分别为 4.32、5.31、5.18、6.09 和 5.74 log(CFU/g), 均小于各对照组, 及水产品微生物限量标准 7 log(CFU/g)<sup>[23]</sup>。气调包装在电子束辐照的基础上进一步抑制了微生物的生长, 吴燕燕<sup>[24]</sup>等研究发现 CO<sub>2</sub> 减小了鲈鱼片中的腐败菌丰度, 延缓腐败菌的生长, 延长产品货架期。Var Isil<sup>[25]</sup>研究发现 40%以上含量的 CO<sub>2</sub> 即可有效控制食品中微生物的生长。本论文中各气调包装中 CO<sub>2</sub> 的含量越高, 对微生物增长的抑制效果越好 ( $p < 0.05$ )。张建友<sup>[26]</sup>等同样发现气调包装中 CO<sub>2</sub> 的含量越高, 毛虾贮藏的

稳定性越高。这可能是因为引起蚌肉腐败的微生物主要为需氧菌, CO<sub>2</sub> 造成无氧环境, 抑制了大多数腐败菌的生长, 同时 CO<sub>2</sub> 改变细胞膜的结构, 加快氧化磷酸化的反应速率, 抑制微生物的生长<sup>[27]</sup>。但当 CO<sub>2</sub> 含量超过 50%时, 其对微生物的抑制效果相差不显著 ( $p > 0.05$ )。

## 2.3 不同比例气调包装结合电子束辐照对蚌肉冰藏中 TVBN 值的影响

挥发性盐基氮 (TVBN) 是衡量鲜冻动物性水产品鲜度的重要指标。不同比例气调包装结合电子束辐照后各组蚌肉在冰藏中的 TVBN 值变化趋势如图 2 所示, 经 5 kGy 电子束辐照后, 蚌肉中产生 TVBN 的速率降低, 而不同比例的气调包装对 TVBN 的影响不一样, D 组蚌肉中 TVBN 值的的增长与对照 2 组相差不大 ( $p > 0.05$ ), B、C 组和 E 组对 TVBN 的影响效果相差不大 ( $p > 0.05$ ), 而 A 组蚌肉中的 TVBN 增长相对较缓慢。这可能是因为 CO<sub>2</sub> 对微生物生长的抑制, 导致蚌肉贮藏中产生的 TVBN 减少。各气调组蚌肉在达到感官拒绝接受时, 蚌肉中的 TVBN 值分别为 13.77、14.62、15.21、15.53、14.46 mg/100 g, 达到冷冻贝类中 TVBN 限值 15 mg/100 g 左右<sup>[28]</sup>。结合感官评价以及菌落总数测定结果, 对照 1 组、对照 2 组以及各气调包装组蚌肉的冰藏货架期分别为 12、24、29、29、27、25 和 28 d, 气调包装结合电子束辐照有效延长了冰藏蚌肉货架期 13~17 d。

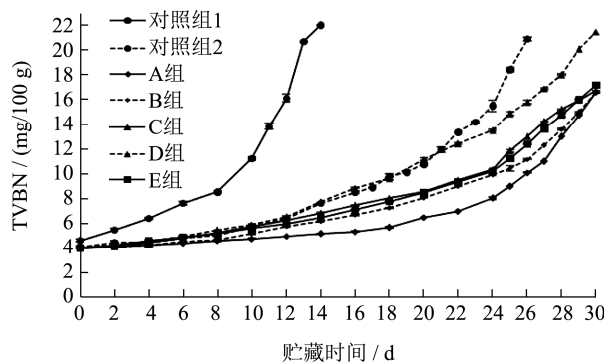


图 2 不同比例气调包装结合电子束辐照对蚌肉冰藏中 TVBN 值的影响

Fig.2 Changes in TVBN of mussel meat treated by different proportion of modified atmosphere packaging combined with electron beam irradiation during ice storage

## 2.4 不同比例气调包装结合电子束辐照对蚌肉冰藏中 TBA 值的影响

脂肪氧化是引起水产品腐败变质的重要原因,因此 TBA 值也可以反映水产品贮藏中的鲜度。不同比例气调包装结合电子束辐照后各组蚌肉在冰藏中的 TBA 值变化趋势如图 3 所示,电子束辐照诱导加速脂质的氧化,导致蚌肉中 TBA 值上升<sup>[29]</sup>,因此对照 2 组蚌肉在冰藏中产生的 TBA 远高于对照 1 组。而气调包装组中由于 CO<sub>2</sub> 和 N<sub>2</sub> 的加入,造成了厌氧或者低氧的环境,在一定程度上减缓了由于电子束辐照产生的脂肪氧化。M Milijasevic<sup>[30]</sup>的研究表明气调包装可以通过抑制产品中的脂肪氧化、腐败菌的生长等以达到延长货架期的目的。由图 3 可见,各气调包装组蚌肉的 TBA 值变化较缓和,其最大值远小于对照 1 组和对照 2 组。且 CO<sub>2</sub> 含量越高,对 TBA 值的降低效果越明显 ( $p < 0.05$ )。在冰藏前期,蚌肉中脂类物质氧化,引起 TBA 值上升,随着贮藏的进行,挥发性氧化产物逐渐减少,因此各组蚌肉中的 TBA 值在达到最大值后呈下降趋势。由于 E 组中含有 20% 的 O<sub>2</sub> 含量,因此对 TBA 值的抑制效果弱于其他气调包装组,但是整个贮藏期间的 TBA 值远低于对照 2 组,且各组蚌肉至货架期终点时其 TBA 值均未超过水产品一级鲜品 TBA 限值 5 mg/g<sup>[29]</sup>。

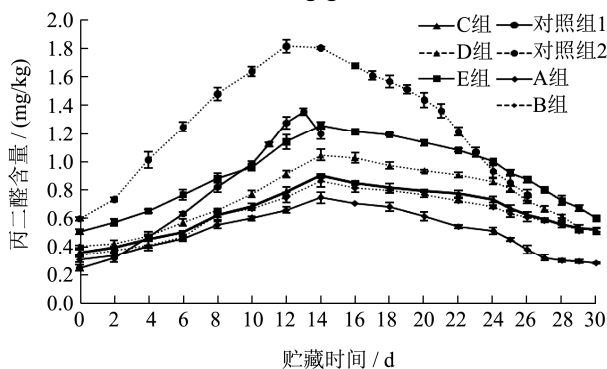


图3 不同比例气调包装结合电子束辐照处理蚌肉冰藏中 TBA 值的变化

Fig.3 Changes in TBA of mussel meat treated by different proportion of modified atmosphere packaging combined with electron beam irradiation during ice storage

综上,100% CO<sub>2</sub> 气调包装、70% CO<sub>2</sub>+30% N<sub>2</sub> 气调包装、50% CO<sub>2</sub>+50% N<sub>2</sub> 气调包装、30% CO<sub>2</sub>+70% N<sub>2</sub> 气调包装和 50% CO<sub>2</sub>+30% N<sub>2</sub>+20% O<sub>2</sub> 气调包装结合电子束辐照相较于对照 2 组,在电子束辐照保鲜的基础上冰藏蚌肉货架期分别再延长了 5、5、3、1 和 4 d,各气调包装组冰藏蚌肉货架期分别为 29、29、27、25 和 28 d。当 CO<sub>2</sub> 含量高于 50% 时,对冰藏蚌肉货架期的影响差距不明显 ( $p > 0.05$ ),同样新鲜鳕鱼等在 40%~50% CO<sub>2</sub> 环境下得到的保鲜效果最佳<sup>[31]</sup>。20% O<sub>2</sub> 的存在,可缓和由于高 CO<sub>2</sub> 造成的蚌肉色泽暗沉、

外形凹陷问题,提高蚌肉的色泽度,E 组蚌肉在贮藏过程中的色泽、形态方面优于其他气调包装组。有报道高氧含量的气调包装能有效保持火鸡香肠及猪肉香肠的新鲜品质<sup>[32]</sup>。因此综合各项指标,50% CO<sub>2</sub>+30% N<sub>2</sub>+20% O<sub>2</sub> 气调包装结合电子束对蚌肉的保鲜效果较优,蚌肉冰藏货架期为 28 d。奉琳娜<sup>[11]</sup>研究也发现 50% CO<sub>2</sub>+10% N<sub>2</sub>+40% O<sub>2</sub> 气调包装的罗非鱼片在微冻环境下,保鲜期可达 30 d,与本文研究结论类似。

### 3 结论

电子束辐照能杀灭蚌肉中的微生物,气调包装可有效延缓微生物的增长,气调包装结合电子束辐照能更好地抑制蚌肉中的微生物的增长,减少蚌肉中挥发性盐基氮的产生,同时气调包装能有效减缓由于电子束辐照引起的脂肪氧化,降低蚌肉中 TBA 值。本研究初步探索了气调包装结合电子束对蚌肉的保鲜效果,50% CO<sub>2</sub>+30% N<sub>2</sub>+20% O<sub>2</sub> 气调包装结合电子束处理后蚌肉的冰藏货架期达 28 d,延长了 16 d,为蚌肉的物理保鲜奠定了理论基础。

### 参考文献

- [1] 蒋慧亮,顾玉,杨絮,等.电子束辐照对蚌肉的保鲜效果[J].食品工业科技,2020,41(24):272-276,285  
JIANG Hui-liang, GU Yu, YANG Xu, et al. Effects of electron beam irradiation on preservation of mussel meat [J]. Food Industry Science and Technology, 2020, 41(24): 272-276, 285
- [2] 张晨,杨诗奇,李超,等.气调包装与其他技术结合在食品保鲜中的研究进展[J].食品工业,2020,41(5):287-290  
ZHANG Chen, YANG Shi-qi, LI Chao, et al. Research progress of modified atmosphere packaging technology in food preservation [J]. Food Industry, 2020, 41(5): 287-290
- [3] Lázaro César A, Monteiro Maria Lúcia G, Conte-Junior Carlos A. Combined effect of modified atmosphere packaging and UV-C radiation on pathogens reduction, biogenic amines, and shelf life of refrigerated tilapia (*Oreochromis niloticus*) fillets [J]. Molecules (Basel, Switzerland), 2020, 25(14): E3222
- [4] 张福平,郑丽平,丘春秀,等.微波结合气调包装对黄皮采后耐藏性的影响[J].南方农业学报,2018,49(3):543-548  
ZHANG Fu-ping, ZHENG Li-ping, QIU Chun-xiu, et al. Effects of microwave combined with modified atmosphere package on storability of *Clausena lansium* (Lour.) Skeels fruit during postharvest storage [J]. Journal of Southern Agriculture, 2018, 49(3): 543-548

- [5] 刘永吉,冯小燕,钟瑞敏.真空预冷结合气调包装对冷鲜鸡肉冷藏品质的影响[J].湖北农业科学,2018,57(2):105-108,133  
LIU Yong-ji, FENG Xiao-yan, ZHONG Rui-min. Effects of preservation qualities of chickens treated by vacuum cooling and modified atmosphere packing [J]. Hubei Agricultural Science, 2018, 57(2): 105-108, 133
- [6] Vaibhav Kumar Maurya, Vijay Ranjan, Kodiveri Muthukaliannan Gothandam, et al. Exogenous gibberellic acid treatment extends green chili shelf life and maintain quality under modified atmosphere packaging [J]. Scientia Horticulturae, 2020, 269: 108934
- [7] Babich O A B, Dyshlyuk L C, Sukhikh S B, et al. Effects of biopreservatives combined with modified atmosphere packaging on the quality of apples and tomatoes [J]. Polish Journal of Food and Nutrition Sciences, 2019, 69(3): 289-296
- [8] M Z Islam, Y T Lee M A Mele, L L Choi, et al. Effect of modified atmosphere packaging on quality and shelf life of baby leaf lettuce [J]. Quality Assurance and Safety of Crops & Foods, 2019, 11(8): 749-756
- [9] Yuchen Guo, lichao Huang, Yuru Chen, et al. Effect of grape seed extract combined with modified atmosphere packaging on the quality of roast chicken [J]. Poultry Science, 2020, 99(3): 1598-1605
- [10] 孟婷婷,田建文,王振宇.冰温气调贮藏对牛羊肉品质影响的研究进展[J].食品工业科技,2017,38(7):395-399  
MENG Ting-ting, TIAN Jian-wen, WANG Zheng-yu. Research advance on influence of controlled freezing-point storage and modified atmosphere packaging on beef and mutton quality [J]. Food Industry Science and Technology, 2017, 38(7): 395-399
- [11] 奉琳娜.基于微冻与气调结合的罗非鱼片保鲜技术研究[D].海口:海南大学,2016  
FENG Lin-na. Research on keep fresh technology of tilapia fillets by partial freezing combined with modified atmosphere [D]. Haikou: Hainan University, 2016
- [12] Farkas J. Irradiation for better food [J]. Trend in Food Science & Technology, 2006, 17: 1-5
- [13] Myung-Woo, Byun Ju-Woon, Lee Hong-Sun Yook, et al. Application of gamma irradiation for inhibition of food allergy [J]. Radiation Physics and Chemistry, 2002, 63(3): 369-370
- [14] 梅卡琳,宣仕芬,谭贝贝,等.电子束辐照对细点圆趾蟹肉营养及滋味成分的影响[J].食品科学,2019,40(8):169-174  
MEI Ka-ling, XUAN Shi-fen, TAN Bei-bei, et al. Effects of electron beam irradiation on nutritional and taste components of *Ovalipes punctatus* meat [J]. Food Science, 2019, 40(8): 169-174
- [15] 李超,杨文鸽,徐大伦,等.电子束辐照对泥蚶肉营养成分的影响[J].核农学报,2011,25(5):959-964  
LI Chao, YANG Wen-ge, XU Da-lun, et al. Effect of electron beam irradiation on nutritional ingredient of *Tegilarca granosa* meat [J]. Journal of Nuclear Agricultural Sciences, 2011, 25(5): 959-964
- [16] 傅丽丽,林敏,高原,等.电子束辐照对三文鱼品质的影响研究[J].核农学报,2017,31(8):1521-1527  
FU Li-li, LIN Min, GAO Yuan, et al. Effect of electron beam irradiation on quality of salmon [J]. Journal of Nuclear Agricultural Sciences, 2017, 31(8): 1521-1527
- [17] GB/T 37062-2018,国家市场监督管理总局 中国国家标准化管理委员会,水产品感官评价指南[S]  
GB/T 37062-2018, State Administration for Market Regulation, Standardization Administration of China, Guidelines for Sensory Evaluation of Aquatic Products [S]
- [18] GB 4789.2-2016,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,食品微生物学检验菌落总数测定[S]  
GB 4789.2-2016, National Health and Family Planning Commission, PRC, State Administration for Market Regulation, Determination of Total Bacterial Colonies in Food Microbiology [S]
- [19] GB/T 5009.228-2016,中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会.食品中挥发性盐基氮的测定[S]  
GB/T 5009.228-2016, National Health and Family Planning Commission, PRC. Determination of Volatile Salt - Based Nitrogen in Foods [S]
- [20] GB 5009.181-2016,中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会.食品安全国家标准 食品中丙二醛的测定[S]  
GB 5009.181-2016, National Health and Family Planning Commission, PRC. National Food Safety Standard Determination of Malondialdehyde in Food [S]
- [21] 岑剑伟.冰温气调结合高压静电场对罗非鱼片保鲜及其机理研究[D].广州:华南农业大学,2016  
CEN Jian-wei. Effect of high voltage electrostatic field combined with modified atmosphere packaging and controlled freezing-point storage on the quality of tilapia fillet and its mechanism research [D]. Guangzhou: South China Agricultural University, 2016
- [22] 孙路,唐道邦,黄群.高氧气调包装鲜鸡肉的品质变化及相关性分析[J].食品工业,2020,41(3):77-80

- SUN Lu, TANG Dao-bang, HUANG Qun. Quality change and relevance analysis of fresh chicken in high oxygen modified atmosphere packaging [J]. Food Industry, 2020, 41(3): 77-80
- [23] 江艳华,姚琳,朱文嘉,等.国内外水产品微生物限量标准的比对分析[J].中国渔业质量与标准,2015,5(4):6-16  
JIANG Yan-hua, YAO Lin, ZHU Wen-jia, et al. Comparative analysis of microbial limit standard of aquatic products at home and abroad [J]. China Fisheries Quality and Standards, 2015, 5(4): 6-16
- [24] 吴燕燕,钱茜茜,朱小静,等.气调包装的调理啤酒鲈鱼片在微冻贮藏过程中的微生物群落多样性分析[J].食品科学, 2019,40(3): 224-230  
WU Yan-yan, QIAN Xi-xi, ZHU Xiao-jing, et al. Microbial community diversity analysis of prepared sea bass fillet (*Lateolabrax japonicus*) with beer during partially frozen storage under modified atmosphere packaging [J]. Food Science, 2019, 40(3): 224-230
- [25] Var Isil, Uzunlu Sinan. Effect of modified atmosphere packaging on microbiological quality of Manti [J]. Food Science and Technology Research. 2016, 22(6): 727-732
- [26] 张建友,陈立帆,周广成,等.气调包装对中国毛虾贮藏稳定性的影响研究[J].食品与发酵工业,2020,46(17):212-219  
ZHANG Jian-you, CHEN Li-fan, ZHOU Guang-cheng, et al. Effects of modified atmosphere packaging on storage stability of Chinese shrimp [J]. Food and Fermentation Industries, 2020, 46(17): 212-219
- [27] Sivertsvik M, Jeksrud W K, Rosnes J T. 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: 107-127
- [28] GB 2733-2015,中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会,食品安全国家标准鲜、冻动物性水产品[S]  
GB 2733-2015, National Health and Family Planning Commission, PRC. National Food Safety Standard Fresh and Frozen Animal Aquatic Products [S]
- [29] 张晗,吕鸣春,梅卡琳,等.电子束辐照对鲈鱼肉杀菌保鲜效果及品质的影响[J].食品科学,2018,39(21):66-71  
ZHANG Han, LYU Ming-chun, MEI Ka-lin, et al. Effects of electron beam irradiation on the preservation and quality of sea bass (*Lateolabrax japonicus*) meat [J]. Food Science, 2018, 39(21): 66-71
- [30] M Milijasevic, J Babic Milijasevic, B Lakicevic, et al. Food packaging and modified atmosphere-roles, materials and benefits [J]. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2019, 333: 1-6
- [31] J Babic Milijasevic, M Milijasevic, V Djordjevic. Modified atmosphere packaging of fish - an impact on shelf life [J] IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2019, 333: 12-28
- [32] Ngoc-Du Martin Luong, Sabine Jeuge, Louis Coroller, et al. Spoilage of fresh turkey and pork sausages: influence of potassium lactate and modified atmosphere packaging [J]. Food Research International, 2020, 137: 109501

(上接第 31 页)

- [27] Huynh T, Cheng A, Chi C, et al. A synbiotic improves the immunity of white shrimp, *Litopenaeus vannamei*: metabolomic analysis reveal compelling evidence [J]. Fish & Shellfish Immunology, 2018, 79(8): 284-293
- [28] Daruosh A A, Elahe S, Hojatollah J, et al. RETRACTED: Efficacy of two commercial and indigenous probiotics, *Bacillus subtilis* and *Bacillus licheniformis* on growth performance, immuno-physiology and resistance response of juvenile white shrimp (*Litopenaeus vannamei*) [J]. Aquaculture, 2018, 496(11): 43-49
- [29] Ye J, K W, Li F D, et al. Single or combined effects of fructo-and mannan oligosaccharide supplements and *Bacillus clausii* on the growth, feed utilization, body composition, digestive enzyme activity, innate immune response and lipid metabolism of the Japanese flounder *Paralichthys olivaceus* [J]. Aquaculture Nutrition, 2011, 17(4): 902-911
- [30] 刘淑兰,陈娟,李杰,等.复合益生菌制剂对大西洋鲑(*Salmo salar*)生长、消化酶和非特异性免疫指标的影响[J].渔业科学进展,2017,38(5):100-106  
LIU Shu-lan, CHEN Juan, LI Jie, et al. Effects of compound probiotics on the growth, digestive enzymes and non-specific immune indexes of *Salmo salar* [J]. Advances in Fisheries Science, 2017, 38(5): 100-106
- [31] 岳晓敬,扶雄锋,胡栾莎,等.复合益生菌发酵豆粕对断奶仔猪肠道形态和消化酶活性的影响[J].中国畜牧杂志,2016, 52(11):49-54  
YUE Xiao-jing, FU Xiong-feng, HU Luan-sha, et al. Effect of compound probiotic fermented soybean meal on intestinal morphology and digestive enzyme activity of weaned piglets [J]. China Journal of Animal Husbandry, 2016, 52(11): 49-54