



## 包装方式对日本鳀鱼干品质特性的影响

顾赛麒<sup>1,2,3</sup>, 邹琳<sup>1,2,3</sup>, 周振毅<sup>1,2,3</sup>, 黎君鸿<sup>1,3</sup>, 鲍嵘斌<sup>1,3</sup>,  
巫丽君<sup>1,3</sup>, 陈玉峰<sup>1,3</sup>, 周绪霞<sup>1,2,3</sup>, 丁玉庭<sup>1,2,3\*</sup>

(1. 浙江工业大学食品科学与工程学院, 浙江 杭州 310014;  
2. 浙江工业大学宁海科学技术研究院, 浙江 宁海 315600;  
3. 国家远洋水产品加工技术研发分中心, 浙江 杭州 310014)

**摘要:** 为探究不同包装对日本鳀鱼干常温贮藏期间的品质特性影响, 以空气包装为对照, 与真空包装、气调包装和 CO<sub>2</sub> 包装做比较, 测定贮藏过程中菌落总数、TVB-N、POV、TBA、色差、挥发性风味成分及感官评分的变化。结果显示, 真空、气调、CO<sub>2</sub> 3 种包装均能有效抑制日本鳀鱼干微生物生长, 常温 25 °C 贮藏 8 d 后, 真空包装组样品 TVB-N、POV 和 TBA 值分别较空气包装组降低 47.08%、4.13% 和 25.49%, 并且真空包装组样品在减缓样品色泽变化、保护肌纤维结构完整性、保留挥发性风味成分和保持感官特性方面均具有较佳效果, 确定了真空包装为日本鳀鱼干的最佳包装方式。基于 Arrhenius 方程建立了日本鳀鱼干货架期预测模型, 25 和 35 °C 下真空包装日本鳀鱼干的货架期分别为 6.07 和 3.23 d。本研究成果可为日本鳀鱼干常温物流过程中的品质控制提供理论依据。

**关键词:** 日本鳀(丁香鱼); 包装方式; 品质特性; 挥发性风味; 货架期

中图分类号: S 988

文献标志码: A

尚未长出骨骼的日本鳀(*Engraulis japonicus*) 幼鱼又称丁香鱼、离水烂, 其属温水性中上层鱼类, 广泛分布于西太平洋和西印度洋<sup>[1]</sup>, 浙江、福建两省的近海水域为我国日本鳀的主要产地。日本鳀虽然个体较小, 但其营养价值极高, 富含多种氨基酸、不饱和脂肪酸与微量元素, 同时鱼体中内源酶活性高, 因此捕捞后一般直接加工成鱼干(海蜒), 再经储运流通后进行销售<sup>[2]</sup>。

日本鳀鱼干在储运过程中较易发生品质劣变。目前, 除了加入食品添加剂(如抗菌剂、抗氧化剂)等手段提高鱼干的贮藏稳定性外, 还可采用适宜的包装方式进一步延长其货架期。日本鳀鱼干等水产制品经包装处理后, 能够避免

二次污染、减少水分蒸发、控制脂质氧化和抑制微生物增殖等<sup>[3]</sup>, 减缓产品品质劣化速率。根据充入气体介质的不同, 常用包装方式有真空包装、空气包装、二氧化碳包装和气调包装等。因包装对象差异以及作用机理的不同, 不同包装方式所起效果各不相同。目前, 已有多位国内外研究者比较了不同包装方式对生鲜畜肉、冷鲜水产、肉制品和水产制品在贮藏过程中品质变化的影响<sup>[4-8]</sup>。然而, 尚未发现有关包装方式对日本鳀鱼干贮藏品质的研究报道。

本研究采用不同方式(空气包装、真空包装、气调包装、CO<sub>2</sub> 包装)对经品质改良后的日本鳀鱼干进行包装处理, 分析带包装的样品在常温

收稿日期: 2021-04-30 修回日期: 2021-06-21

资助项目: 宁波市自然科学基金(2017A610283); 国家自然科学基金(31601500); 浙江省公益性技术项目(2016C32056)

第一作者: 顾赛麒(照片), 从事水产品加工与贮藏研究, E-mail: gusaiqi@126.com

通信作者: 丁玉庭, E-mail: dingyt@zjut.edu.cn



贮藏过程中各项指标(菌落总数、挥发性盐基氮、脂肪氧化、色泽、肌纤维结构、挥发性风味物质、感官评分)的变化规律,确定了最优的包装方式,基于 Arrhenius 方程预测了日本鳀鱼干常温贮藏货架期,旨在为日本鳀鱼干加工企业提供理论参考。

## 1 材料与方 法

### 1.1 材料与试剂

新鲜日本鳀鱼干:体长(3.9±0.8)cm,质量(0.3±0.1)g,产自浙江东海域,于2018年4月下旬分3批次从温州市瑞安华盛水产公司采购,每批1000g,总计3000g。

聚丙烯塑料包装袋(14cm×20cm,厚度0.2mm)购自云南红华包装有限责任公司;石油醚、三氯甲烷、硫代硫酸钠、碘化钾(均为化学纯)购自国药集团化学试剂有限公司;茶多酚(≥99%,食品级)购自上海仟爵生物技术有限公司;2,4,6-三甲基吡啶(色谱纯)购自上海阿拉丁生物科技股份有限公司。

### 1.2 仪器与设备

UV762紫外可见分光光度计,上海仪电分析仪器有限公司;UltraScan色差仪,美国Hunter Lab公司;S4700场发射扫描电子显微镜,日本Hitachi公司;SY-M10臭氧发生器,徐州市声压臭氧设备公司;MAP-H360气调包装机,苏州森瑞保鲜设备公司;7890A-5975C气相色谱-质谱联用仪,美国Aglient公司。

### 1.3 样品制备

新鲜日本鳀鱼干以0.03%的茶多酚溶液喷涂均匀后,25℃下热风干燥至原重,装入食品级保鲜袋中。调节臭氧发生器生成的臭氧质量浓度至500mg/m<sup>3</sup>,以0.16m<sup>3</sup>/h流速向保鲜袋中充气30min,进行品质改良处理。日本鳀鱼干随机分为4组进行包装,以空气包装(air packaging, AP)为对照,与真空包装(vacuum packing, VP)、气调包装(modified atmosphere packaging, MAP, 40%CO<sub>2</sub>+60%N<sub>2</sub>)和CO<sub>2</sub>包装(CO<sub>2</sub> packaging, CP)相比较。样品在常温25℃下贮藏,每2天取1次样检测。

### 1.4 实验方法

菌落总数的测定 参考GB 4789.2—2016

《食品微生物学检验菌落总数测定》<sup>[9]</sup>的方法。

挥发性盐基氮(TVB-N)的测定 参考GB 5009.228—2016《食品中挥发性盐基氮的测定》<sup>[10]</sup>中的自动凯氏定氮仪法测定。

硫代巴比妥酸值(TBA)的测定 参考GB 5009.181—2016《食品中丙二醛的测定》<sup>[11]</sup>中的分光光度法测定。

过氧化值(POV)的测定 参考GB 5009.227.2016《食品中过氧化值测定》<sup>[12]</sup>中的滴定法测定。

色差的测定 取10g日本鳀鱼干打碎,随机选择5个点以上,采用色差仪直接测定样品的L\*、a\*和b\*值,并计算其与贮藏0d样品的总色差值:ΔE\*=[(ΔL\*)<sup>2</sup>+(Δa\*)<sup>2</sup>+(Δb\*)<sup>2</sup>]<sup>1/2</sup>。

扫描电镜观察表面结构 日本鳀鱼干样品采用冷冻干燥去除水分,在鱼干表面进行喷金镀膜,用扫描电镜(SEM)观察日本鳀鱼干表面图像。具体步骤参考顾赛麒等<sup>[13]</sup>的方法。

挥发性风味物质 精确称取3.00g切碎的样品,装入15mL顶空进样瓶中。将活化过的75μm CAR/PDMS萃取头置于顶空瓶中样品正上方,于60℃恒温水浴锅中萃取1h。萃取完毕后手动取出萃取头,插入GC-MS进样口热解析进样。仪器参数、线性保留指数(linear retention index, LRI)、挥发物含量和气味活性值(odor activity value, OAV)计算均参照顾赛麒等<sup>[14]</sup>的方法。

感官评定 评定小组由8位有感官评定经验的人员组成,对日本鳀鱼干的色泽、气味、滋味和组织质地进行综合评分,并对其敏感程度进行加权计算,色泽、气味、滋味和组织质地的权重分别为0.3、0.2、0.2和0.3,满分为10分(表1)。

### 1.5 日本鳀鱼干常温贮藏货架期预测

日本鳀鱼干常温贮藏过程中,自身品质易发生劣化,其速率一般符合零级[式(1)]或者一级[式(2)]反应动力学方程。Arrhenius方程[式(3)]则描述了反应速率与温度之间的关系,可用于预测日本鳀鱼干的贮藏货架期。

$$\text{零级反应: } A = A_0 + kt \quad (1)$$

$$\text{一级反应: } A = A_0 e^{kt} \quad (2)$$

$$\text{Arrhenius方程: } k = k_0 e^{-\frac{E_a}{RT}} \quad (3)$$

式中,A为贮藏t时间后日本鳀鱼干品质指标水

表 1 感官评分标准

Tab. 1 Sensory evaluation criteria

评价指标 evaluation	分值 score				
	9~10(优)	7~8(良)	5~6(中)	3~4(差)	0~2(劣)
色泽(0.3) color	透亮白绿色, 有光泽	透亮微带黄色, 有光泽	微黄色, 无光泽	黄色, 无光泽	暗黄色, 暗淡
气味(0.2) smell	日本鳀特有的鲜香味	鲜香味稍弱, 无氨臭味	鲜香味不明显, 氨臭味稍弱	无鲜香味, 氨臭味较重	恶臭味
滋味(0.2) taste	细嚼有咸鲜味	略有鲜味	无异味	略有异味	无法下咽
质地(0.3) texture	结实, 紧致, 韧性强	结实, 韧性较好	微松散, 韧性一般	松散或硬, 韧性较差	松散或坚硬, 韧性差, 糠多

平;  $A_0$  为品质指标初始水平;  $t$  为贮藏时间 (d);  $k$  为反应速率常数;  $k_0$  为指数前因子;  $Ea$  为活化能 (J/mol);  $R$  为气体常数, 8.314 J/(mol·K);  $T$  为热力学温度 (K)。

选择菌落总数和 TVB-N 值分别作为日本鳀鱼干货架期的关键指示因子, 以真空包装和空气包装鱼干作为最优组 and 对照组, 分别于 25 和 35 °C 下贮藏 2 周, 每天取样进行检测。对菌落总数、TVB-N 值分别进行线性和非线性拟合, 根据决定系数  $R^2$  确定反应级数 (零级或一级), 进而求得反应速率常数  $k$ , 再结合 Arrhenius 模型可以计算日本鳀鱼干常温贮藏货架期 [式 (4) 和 (5)]<sup>[15]</sup>。

$$\text{零级货架期: } SL_0 = \frac{A - A_0}{k_0 e^{-\frac{Ea}{RT}}} \quad (4)$$

$$\text{一级货架期: } SL_1 = \frac{Ln \frac{A}{A_0}}{k_0 e^{-\frac{Ea}{RT}}} \quad (5)$$

### 1.6 数据分析

采用 Origin 9.0 软件进行作图, 采用 SPSS 25.0 软件进行数据分析。

## 2 结果

### 2.1 菌落总数与 TVB-N 值的变化

在贮藏过程中, 菌落总数和 TVB-N 值不断增加 (图 1)。空气包装组的增幅最高, 样品菌落总数从 2.56 lg (CFU/g) 增长到 4.33 lg (CFU/g), TVB-N 值从 9.15 增加至 28.57 mg/100 g。真空包装、气调包装、CO<sub>2</sub> 包装 3 组的菌落总数与 TVB-

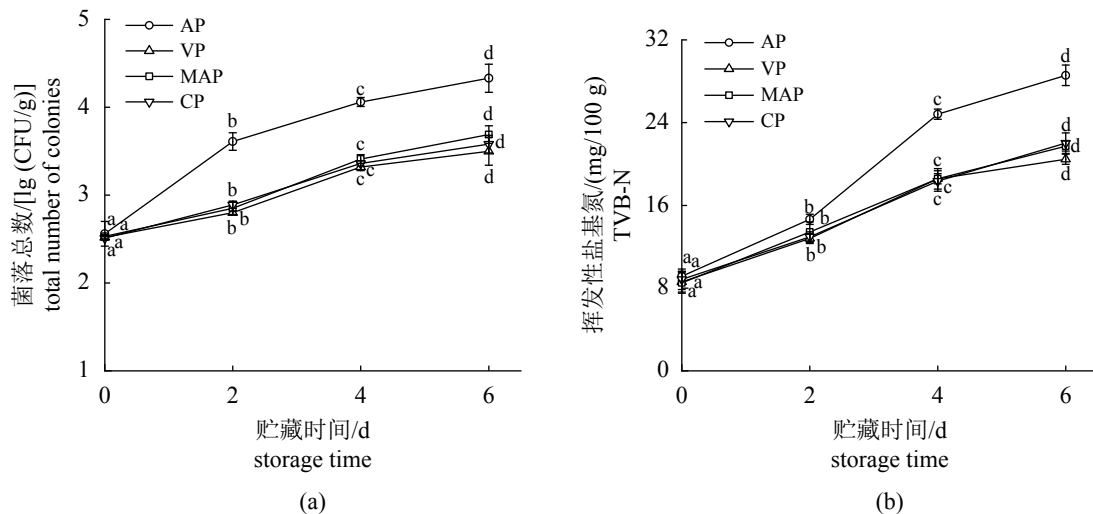


图 1 不同包装处理日本鳀鱼干常温贮藏过程中菌落总数 (a) 与 TVB-N 值 (b) 的变化

AP. 空气包装, VP. 真空包装, MAP. 气调包装, CP. CO<sub>2</sub> 包装; 图中不同字母表示差异显著; 下同

Fig. 1 Changes of total bacterial count (a) and TVB-N (b) of dried *E. japonicus* during normal temperature storage with different packaging treatments

AP. air packaging, VP. vacuum packing, MAP. modified atmosphere packaging, CP. CO<sub>2</sub> packaging; different letters indicate significant differences; the same below

N的增长趋势明显低于空气包装组。在贮藏6 d后, 真空包装下的日本鳀鱼干菌落总数和TVB-N值最低分别为3.5 lg(CFU/g)和15.12 mg/100 g。

## 2.2 包装方式对日本鳀鱼干脂肪氧化的影响

在常温贮藏过程中, 随着贮藏时间增加, 日本鳀鱼干氧化程度不断加深, TBA和POV值逐渐升高。贮藏6 d后空气包装组样品氧化程度最深, TBA和POV值分别达到6.06和3.57 mg/kg。真空包装、气调包装、CO<sub>2</sub>包装3组样品较为接近, 均显著低于空气包装组。真空包装样品的脂肪氧化程度最低, TBA和POV值分别为5.81和2.66 mg/kg, 产生的丙二醛与过氧化物含量较少(图2)。

## 2.3 包装方式对日本鳀鱼干色泽的影响

随着常温贮藏天数的增加, 不同包装的日本鳀鱼干其明度L\*值下降, 红度a\*值和黄度b\*值均不断升高, 其中b\*值增幅更为显著, 空气包装组样品b\*值增加了0.53, 而真空包装样品b\*值增幅最小, 仅为0.34。对常温贮藏6 d后日本鳀鱼干总色差 $\Delta E$ 进行排序: 真空(0.64)<气调(0.66)<CO<sub>2</sub>(0.85)<空气(0.96)(表2), 表明真空包装样品色泽变化最小, 能够有效延缓日本鳀鱼干色泽劣化。

## 2.4 包装方式对日本鳀鱼干肌纤维结构的影响

25 °C贮藏1周后, 不同包装条件下日本鳀鱼干的肌纤维结构开始改变, SEM结果显示, 其破坏程度: 真空<CO<sub>2</sub><气调<空气。空气包装

条件下鱼体表面出现褶皱, 肌纤维干瘪、粗糙, 纹理变得不清晰, 破坏程度最大。真空包装条件下鱼体肌纤维纹理清晰、排列整齐, 结构最为完整(图版)。

## 2.5 包装方式对日本鳀鱼干挥发性风味的影响

采用GC-MS对不同包装处理的日本鳀鱼干常温贮藏过程中挥发性风味物质进行检测, 以保留时间进行标准化处理得到的线性保留指数(linear Retention Index, LRI)为依据进行定性分析确认化合物。本研究共计从4种包装处理日本鳀鱼干中检测到26种挥发物, 主要以醛酮类为主, 计算各挥发物气味活性值(OVA值)后, 进一步筛选得到7种气味活性物质(OVA值>1), 具体包括己醛、3-甲基丁醛、庚醛、辛醛、壬醛、癸醛和1-辛烯-3-醇(表3)。常温贮藏过程中, 日本鳀鱼干因发生脂质、蛋白质氧化降解等反应造成各类挥发物含量不断增加, 对比发现, 空气包装组样品挥发物总浓度与气味活性总值显著高于其他3组( $P < 0.05$ ), 表明真空包装、气调包装、CO<sub>2</sub>包装均可以维持日本鳀鱼干的风味品质, 其中真空包装组的气味活性总值最低, 最有利于延长日本鳀鱼干的货架期。

## 2.6 包装方式对日本鳀鱼干感官评分的影响

随着贮藏时间的延长, 日本鳀鱼干的肉质松散, 色泽逐渐暗淡, 且特征香味消失, 有腐败味产生, 感官评分呈现出下降的趋势(表4)。

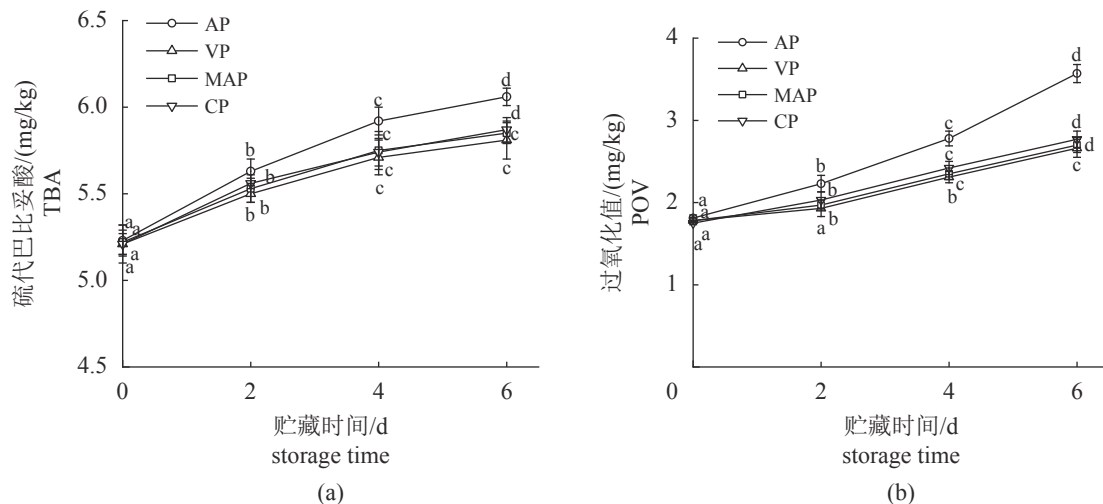


图2 不同包装处理日本鳀鱼干常温贮藏过程中TBA值(a)和POV值(b)的变化

Fig. 2 Changes of TBA (a) and POV (b) values of dried *E. japonicus* during normal temperature storage with different packaging treatments

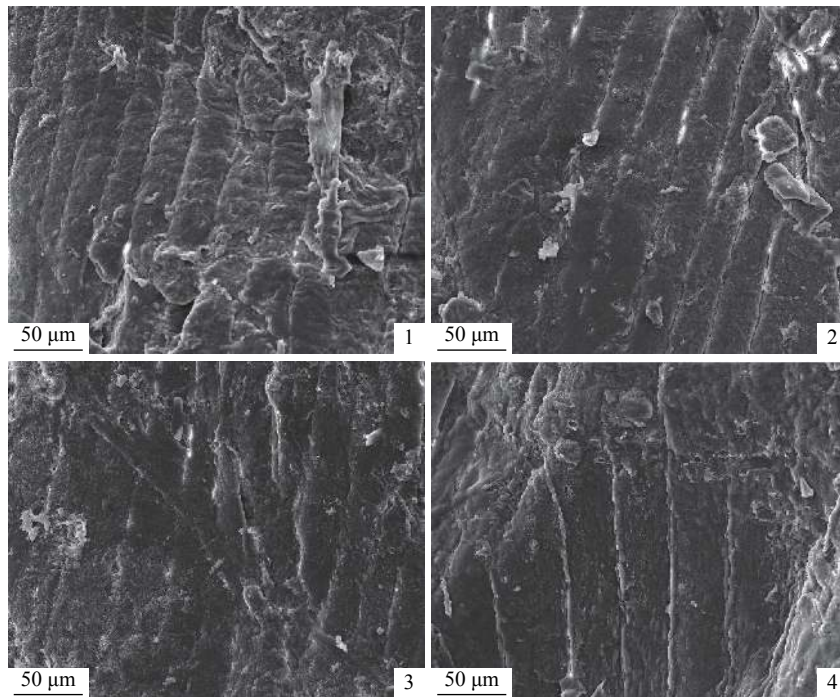
表 2 不同包装处理日本鳀鱼干常温贮藏过程中色差的变化

Tab. 2 Changes of color difference of dried *E. japonicus* during normal temperature storage with different packaging treatments

色差指标 color difference	包装方式 packaging treatments	贮藏天数/d storage days			
		0	2	4	6
<i>L*</i>	空气 AP	40.00±0.12 <sup>aC</sup>	39.81±0.23 <sup>aBC</sup>	39.64±0.13 <sup>bb</sup>	39.26±0.1 <sup>aA</sup>
	真空 VP	39.84±0.20 <sup>aB</sup>	39.76±0.13 <sup>aAB</sup>	39.58±0.23 <sup>baB</sup>	39.35±0.12 <sup>aA</sup>
	气调 MAP	39.80±0.15 <sup>aB</sup>	39.58±0.11 <sup>aAB</sup>	39.45±0.12 <sup>aA</sup>	39.31±0.12 <sup>aA</sup>
	CO <sub>2</sub> CP	39.86±0.11 <sup>aC</sup>	39.53±0.17 <sup>aB</sup>	39.22±0.10 <sup>aA</sup>	39.13±0.20 <sup>aA</sup>
<i>a*</i>	空气 AP	-0.07±0.01 <sup>ba</sup>	0.05±0.02 <sup>aA</sup>	0.08±0.01 <sup>aA</sup>	0.23±0.03 <sup>bb</sup>
	真空 VP	0.02±0.01 <sup>ca</sup>	0.10±0.02 <sup>aA</sup>	0.21±0.01 <sup>ca</sup>	0.25±0.02 <sup>ba</sup>
	气调 MAP	-0.12±0.01 <sup>aA</sup>	0.01±0.01 <sup>aB</sup>	0.13±0.02 <sup>bc</sup>	0.17±0.01 <sup>ad</sup>
	CO <sub>2</sub> CP	-0.08±0.02 <sup>ba</sup>	0.05±0.01 <sup>aB</sup>	0.12±0.02 <sup>bc</sup>	0.15±0.03 <sup>ac</sup>
<i>b*</i>	空气 AP	0.67±0.02 <sup>aA</sup>	0.86±0.02 <sup>aB</sup>	1.01±0.02 <sup>bc</sup>	1.20±0.03 <sup>cd</sup>
	真空 VP	0.70±0.04 <sup>aA</sup>	0.82±0.02 <sup>aB</sup>	0.93±0.02 <sup>ac</sup>	1.04±0.01 <sup>ad</sup>
	气调 MAP	0.71±0.06 <sup>aA</sup>	0.83±0.03 <sup>aB</sup>	0.92±0.02 <sup>ac</sup>	1.05±0.01 <sup>ad</sup>
	CO <sub>2</sub> CP	0.73±0.02 <sup>aA</sup>	0.82±0.03 <sup>aB</sup>	0.93±0.01 <sup>ac</sup>	1.09±0.02 <sup>bd</sup>
$\Delta E$	空气 AP	—	0.29±0.01 <sup>ba</sup>	0.52±0.02 <sup>bb</sup>	0.96±0.03 <sup>cC</sup>
	真空 VP	—	0.16±0.03 <sup>aA</sup>	0.40±0.03 <sup>aB</sup>	0.64±0.05 <sup>ac</sup>
	气调 MAP	—	0.28±0.05 <sup>ba</sup>	0.48±0.02 <sup>bb</sup>	0.66±0.01 <sup>ac</sup>
	CO <sub>2</sub> CP	—	0.36±0.06 <sup>ba</sup>	0.70±0.07 <sup>bb</sup>	0.85±0.02 <sup>bc</sup>

注：不同小写字母代表同一列数据间具有显著性差异，不同大写字母代表同一行数据间具有显著性差异( $P<0.05$ )；“—”表示相关数值未获取，下同

Notes: different lowercase letters indicate significant differences between means in the same column, and different capital letters indicate significant differences between means in the same row ( $P<0.05$ ); “—” means the relevant value is not obtained, the same below



图版 不同包装处理日本鳀鱼干常温贮藏后肌纤维扫描电镜照片

1. 空气包装, 2. 真空包装, 3. 气调包装, 4. CO<sub>2</sub> 包装

Plate Scanning electron microscopic images of dried *E. japonicus* during different normal temperature storage days with different packaging treatments

1. air packaging, 2. vacuum packaging, 3. modified atmosphere packaging, 4. CO<sub>2</sub> packaging

表 3 不同包装处理日本鳀鱼干常温贮藏过程中挥发性风味物质的变化

Tab. 3 Changes of volatile flavor compounds of dried *E. japonicus* during normal temperature storage with different packaging treatments

线性保留 指数 LRI	化合物名称 compound name	气味阈值/ (ng/g) odor threshold	挥发物浓度/(ng/g) concentrations of volatile compounds				挥发物气味活性值 OAVs of volatile compounds			
			空气 包装 AP	真空 包装 VP	气调 包装 MAP	CO <sub>2</sub> 包装 CP	空气 包装 AP	真空 包装 VP	气调 包装 MAP	CO <sub>2</sub> 包装 CP
<b>醛类(9种) aldehydes</b>										
660	3-甲基丁醛 <sup>▲</sup> butanal, 3-methyl-	1.1	3.19±0.10 <sup>a</sup>	2.98±0.13 <sup>a</sup>	3.97±0.15 <sup>b</sup>	3.01±0.40 <sup>a</sup>	2.90	2.71	3.61	2.74
804	己醛 <sup>▲</sup> hexanal	5.0	7.46±0.45 <sup>c</sup>	3.84±0.15 <sup>a</sup>	5.91±0.23 <sup>b</sup>	6.21±0.31 <sup>b</sup>	1.49	0.77	1.18	1.24
901	4-庚烯醛 4-heptenal	4.2	1.15±0.11 <sup>a</sup>	2.35±0.16 <sup>b</sup>	4.05±0.13 <sup>a</sup>	3.26±0.40 <sup>c</sup>	0.27	0.56	0.96	0.78
907	庚醛 <sup>▲</sup> heptanal	2.8	8.30±0.27 <sup>c</sup>	5.93±0.43 <sup>b</sup>	N.D. <sup>a</sup>	N.D. <sup>a</sup>	2.96	2.12	0.00	0.00
972	苯甲醛 benzaldehyde	41.7	9.91±0.39 <sup>a</sup>	11.57±0.77 <sup>b</sup>	13.42±0.70 <sup>c</sup>	12.23±0.87 <sup>bc</sup>	0.24	0.28	0.32	0.29
1 005	辛醛 <sup>▲</sup> octanal	0.6	5.14±0.23 <sup>b</sup>	4.38±0.06 <sup>a</sup>	4.23±0.18 <sup>a</sup>	4.85±0.09 <sup>b</sup>	8.76	7.46	7.21	8.26
1 110	壬醛 <sup>▲</sup> nonanal	1.1	6.76±0.25 <sup>c</sup>	3.12±0.13 <sup>a</sup>	5.05±0.33 <sup>b</sup>	5.34±0.24 <sup>b</sup>	6.15	2.84	4.59	4.85
1 211	癸醛 <sup>▲</sup> decanal	0.2	0.83±0.06 <sup>b</sup>	N.D. <sup>a</sup>	N.D. <sup>a</sup>	N.D. <sup>a</sup>	3.39	0.00	0.00	0.00
1 264	肉桂醛 cinnamaldehyde	750.0	1.84±0.13 <sup>c</sup>	0.97±0.04 <sup>a</sup>	1.29±0.07 <sup>b</sup>	1.32±0.03 <sup>b</sup>	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
小计	subtotal		44.58±1.99 <sup>b</sup>	35.14±1.87 <sup>a</sup>	37.92±1.79 <sup>a</sup>	36.22±2.34 <sup>a</sup>	26.16	16.73	17.88	18.17
<b>醇类(3种) alcohols</b>										
689	1-戊烯-3-醇 1-penten-3-ol	358.1	30.76±1.98 <sup>a</sup>	27.75±1.36 <sup>a</sup>	29.12±1.30 <sup>a</sup>	31.29±2.20 <sup>a</sup>	0.09	0.08	0.08	0.09
984	1-辛烯-3-醇 <sup>▲</sup> 1-octen-3-ol	1.5	4.05±0.25 <sup>a</sup>	4.02±0.26 <sup>a</sup>	4.08±0.32 <sup>a</sup>	4.14±0.23 <sup>a</sup>	2.7	2.68	2.72	2.76
1 070	辛醇 octanol	125.8	7.35±0.16 <sup>b</sup>	N.D. <sup>a</sup>	N.D. <sup>a</sup>	N.D. <sup>a</sup>	0.06	N.D.	N.D.	N.D.
小计	subtotal		42.16±2.39 <sup>b</sup>	31.77±1.62 <sup>a</sup>	33.20±1.62 <sup>a</sup>	35.43±2.43 <sup>a</sup>	2.84	2.76	2.8	2.85
<b>酮类(5种) ketones</b>										
791	3-己酮 3-hexanone	41.0	0.90±0.02 <sup>c</sup>	0.97±0.01 <sup>b</sup>	0.87±0.01 <sup>b</sup>	0.67±0.02 <sup>a</sup>	0.02	0.02	0.02	0.02
989	甲基庚烯酮 6-methyl-5-hepten-2-one	68.0	2.44±0.11 <sup>b</sup>	1.98±0.22 <sup>a</sup>	2.32±0.13 <sup>b</sup>	2.56±0.23 <sup>b</sup>	0.04	0.03	0.03	0.04
992	3-辛酮 3-octanone	21.4	3.45±0.21 <sup>a</sup>	3.57±0.13 <sup>a</sup>	3.43±0.21 <sup>a</sup>	3.67±0.22 <sup>a</sup>	0.16	0.17	0.16	0.17
1 079	苯乙酮 acetophenone	65.0	2.07±0.05 <sup>d</sup>	1.02±0.02 <sup>a</sup>	1.99±0.02 <sup>c</sup>	1.56±0.02 <sup>b</sup>	0.03	0.02	0.03	0.02
1 089	2-壬酮 2-nonanone	41.0	9.48±0.25 <sup>a</sup>	8.57±0.23 <sup>a</sup>	9.01±0.36 <sup>a</sup>	8.67±0.49 <sup>a</sup>	0.23	0.21	0.22	0.21
小计	subtotal		18.34±0.64 <sup>b</sup>	16.11±0.61 <sup>a</sup>	17.62±0.73 <sup>ab</sup>	17.13±0.98 <sup>ab</sup>	0.48	0.44	0.47	0.46
<b>芳香类(3种) aromatic</b>										
670	苯 benzen	3 630.0	7.30±0.34 <sup>a</sup>	7.82±0.46 <sup>a</sup>	8.35±0.52 <sup>a</sup>	8.06±0.46 <sup>a</sup>	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
776	甲苯 toluene	1 550.0	11.45±1.06 <sup>c</sup>	2.86±0.15 <sup>a</sup>	7.97±0.57 <sup>b</sup>	6.66±0.69 <sup>b</sup>	0.01	<0.01	<0.01	<0.01
875	乙苯 ethylbenzene	2 205.3	1.05±0.12 <sup>a</sup>	1.00±0.05 <sup>a</sup>	1.80±0.03 <sup>b</sup>	1.83±0.05 <sup>b</sup>	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
小计	subtotal		19.80±1.52 <sup>bc</sup>	11.68±0.66 <sup>a</sup>	18.12±1.12 <sup>bc</sup>	16.55±1.20 <sup>b</sup>	0.01	<0.01	<0.01	<0.01
<b>烃类(4种) hydrocarbons</b>										
1 200	十二烷 dodecane	10 000.0	0.98±0.10 <sup>a</sup>	2.60±0.05 <sup>d</sup>	1.79±0.02 <sup>b</sup>	2.25±0.11 <sup>c</sup>	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
1 400	十四烷 n-tetradecane	5 000.0	0.85±0.12 <sup>b</sup>	1.51±0.07 <sup>c</sup>	0.67±0.02 <sup>a</sup>	0.67±0.02 <sup>a</sup>	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
1 500	十五烷 n-pentadecane	—	1.18±0.12 <sup>c</sup>	0.78±0.05 <sup>b</sup>	0.47±0.09 <sup>a</sup>	0.37±0.02 <sup>a</sup>	—	—	—	—
1 700	十七烷 heptadecane	—	4.31±0.03 <sup>ab</sup>	4.71±0.23 <sup>c</sup>	4.57±0.13 <sup>bc</sup>	4.15±0.08 <sup>a</sup>	—	—	—	—
小计	subtotal		7.32±0.37 <sup>a</sup>	9.60±0.40 <sup>bc</sup>	7.50±0.26 <sup>a</sup>	7.44±0.23 <sup>a</sup>	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
<b>其他(2种) others</b>										
572	三甲胺 methylamine, N,N-dimethyl-	8.0	3.44±0.27 <sup>d</sup>	1.56±0.03 <sup>a</sup>	2.08±0.26 <sup>b</sup>	2.69±0.13 <sup>c</sup>	0.43	0.2	0.26	0.34
609	乙酸乙酯 ethyl acetate	5.0	2.57±0.23 <sup>d</sup>	N.D. <sup>a</sup>	0.80±0.06 <sup>b</sup>	1.14±0.11 <sup>c</sup>	0.51	N.D.	0.16	0.23
小计	subtotal		6.01±0.50 <sup>b</sup>	1.56±0.03 <sup>a</sup>	2.88±0.32 <sup>a</sup>	3.83±0.24 <sup>a</sup>	0.94	0.2	0.42	0.57
总计	total		138.19±7.41 <sup>b</sup>	105.86±5.02 <sup>a</sup>	117.24±5.84 <sup>a</sup>	116.6±7.42 <sup>a</sup>	30.43	20.13	21.57	22.05

注: “▲”表示该化合物被确定为气味活性物质(OAV>1); “N.D.”表示物质未检出; 同行标注字母不同表示差异显著, P<0.05; 下同

Notes: “▲” indicates that the compound is identified as an odor active substance (OAV > 1); “N.D.” means the compound is not detected; different letters in the same row indicate significant differences, P<0.05; the same below

表 4 不同包装处理日本鳀鱼干贮藏过程中感官评分的变化

Tab. 4 Changes of sensory score of dried *E. japonicus* with different packaging treatments

包装方式 packaging treatments	色泽 color	气味 smell	滋味 taste	质地 texture	总分 total score
空气包装 AP	1.7±0.1 <sup>a</sup>	1.9±0.1 <sup>a</sup>	1.8±0.1 <sup>a</sup>	1.9±0.2 <sup>a</sup>	7.3±0.5 <sup>a</sup>
真空包装 VP	2.1±0.2 <sup>b</sup>	2.1±0.2 <sup>a</sup>	2.0±0.1 <sup>ab</sup>	2.2±0.1 <sup>b</sup>	8.4±0.6 <sup>c</sup>
气调包装 MAP	2.0±0.1 <sup>ab</sup>	2.1±0.1 <sup>a</sup>	2.0±0.1 <sup>ab</sup>	2.1±0.1 <sup>ab</sup>	8.1±0.4 <sup>b</sup>
CO <sub>2</sub> 包装 CP	2.0±0.1 <sup>ab</sup>	2.1±0.1 <sup>a</sup>	2.1±0.2 <sup>b</sup>	2.0±0.1 <sup>ab</sup>	8.2±0.5 <sup>b</sup>

空气包装中样品的色泽、气味、滋味、质地以及总分均为最低，真空包装、气调包装、CO<sub>2</sub>包装 3 组的单项评分基本相同。真空包装组在色泽和质地 2 项上得分略高，总评分为 8.4 分(最高)，维持感官特征效果最佳。

### 2.7 最优包装方式处理日本鳀鱼干的货架期预测

水产品的化学反应符合零级、一级反应动力学方程，再结合 Arrhenius 方程，可更好地描述不同温度条件下水产品化学反应的变化规律<sup>[15]</sup>。综合上述各项理化指标对不同包装的日本鳀鱼干影响，同时结合考虑运输空间、运输成本、包装工艺及包装成本等经济因素，认为真空包装对日本鳀鱼干贮藏稳定性的保持上更具优势。因此，以真空包装为最优组，空气包装为对照，根据图 3 中日本鳀鱼干在 25 与 35 °C 下贮藏过程中菌落总数和 TVB-N 的变化情况，可以预测日本鳀鱼干的货架期。

将实验结果进行线性和非线性拟合，在不同温度条件下得到菌落总数和 TVB-N 值对应的

变化速率  $k$  和决定系数  $R^2$  (表 5)。零级动力学反应的决定系数  $R^2$  的平均值都大于一级，可见其拟合度优于一级，决定采用零级动力学模型。以  $1/T$  为横坐标， $\ln k$  为纵坐标作图，由此可得 Arrhenius 曲线、指前因子  $k_0$  和活化能  $E_a$  等模型参数，具体数值如表 6 所示，以菌落总数值达到 5 lg (CFU/g)、TVB-N 值达到 30 mg/100 g 的时间作为临界值，从而得到日本鳀鱼干的货架期预测值。

## 3 讨论

### 3.1 不同包装方式对日本鳀鱼干菌落总数与 TVB-N 值的影响

随着贮藏时间延长，菌落总数增加，日本鳀鱼干被细菌污染，在细菌和酶的作用下分解产生氨以及胺类等碱性含氮物质，导致 TVB-N 值升高。真空包装、气调包装、CO<sub>2</sub> 包装 3 组的菌落总数与 TVB-N 的增长趋势明显低于空气包装组，是由于 3 种包装均不含氧，大量好氧菌生长受到抑制，而仅存在的少量厌氧菌以及兼性

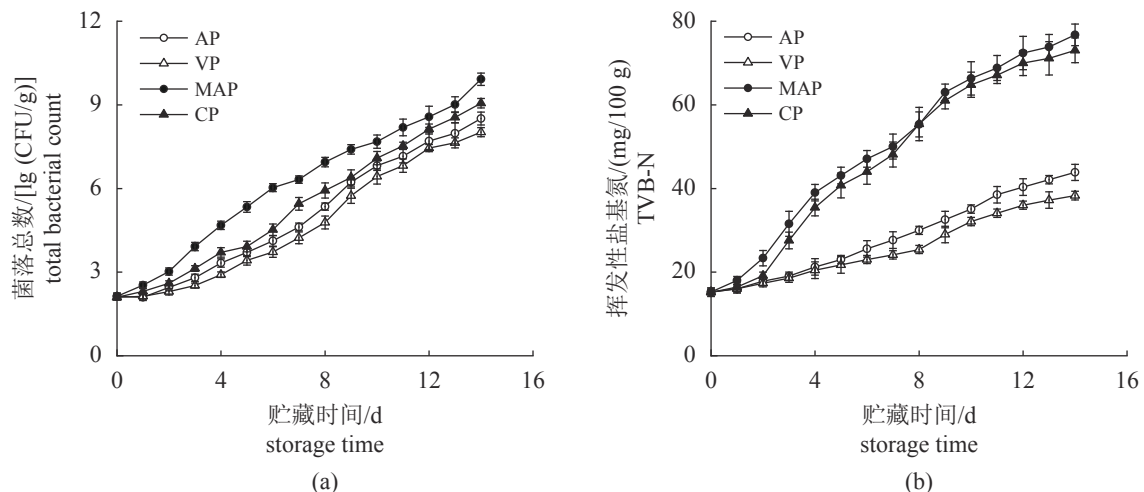


图 3 日本鳀鱼干在不同温度贮藏过程中菌落总数 (a) 和 TVB-N 值 (b) 的变化

Fig. 3 Changes of total bacterial count (a) and TVB-N (b) of dried *E. japonicus* stored at different temperatures

表 5 日本鳀鱼干在不同温度贮藏过程中品质变化的动力学模型参数

Tab. 5 Chemical kinetics parameters of dried *E. japonicus* quality change stored at different temperatures

包装 packaging	指标 index	温度/°C temperature	零级 zero-order			一级 first-order		
			$k$	$R^2$	$R^2$ 的平均值	$k$	$R^2$	$R^2$ 的平均值
空气 AP	菌落总数	25	0.501 3	0.984 7	0.986 4	0.109 4	0.980 6	0.949 8
		35	0.543 9	0.988 0		0.103 0	0.918 9	
	TVB-N	25	2.188 7	0.991 7	0.986 1	0.080 3	0.992 2	0.944 7
		35	4.604 5	0.980 4		0.110 9	0.897 2	
真空 VP	菌落总数	25	0.477 5	0.971 9	0.982 6	0.109 2	0.983 7	0.980 1
		35	0.528 3	0.993 2		0.108 9	0.976 5	
	TVB-N	25	1.771 1	0.979 9	0.977 1	0.070 0	0.991 7	0.946 7
		35	4.592 1	0.974 2		0.116 7	0.901 6	

表 6 基于零级反应动力学的货架期预测模型参数

Tab. 6 Parameters of shelf life prediction model based on zero-order reactions

包装 packaging	指标 index	Arrhenius曲线方程 Arrhenius curve	指前因子 $k_0$ preexponential factor	活化能 $Ea/(J/mol)$ activation energy	货架期预测值/d shelf-life	
					25 °C	35 °C
空气包装 AP	菌落总数 TVB-N	$Y=-749.34X+1.82$	6.19	$6.2 \times 10^3$	5.72	5.27
		$Y=-6\ 833.00X+23.70$	$2.0 \times 10^{10}$	$5.7 \times 10^4$	6.75	3.19
真空包装 VP	菌落总数 TVB-N	$Y=-928.86X+2.38$	10.76	$7.7 \times 10^3$	6.07	5.49
		$Y=-8\ 753.30X+29.93$	$1.0 \times 10^{13}$	$7.3 \times 10^4$	8.31	3.23

厌氧菌缓慢生长<sup>[16]</sup>。在贮藏 6 d 后真空包装下的日本鳀鱼干菌落总数和 TVB-N 值最低, 表明真空贮藏环境可以抑制微生物生长繁殖, 减缓氨基酸等含氮物质的分解反应, 增加日本鳀鱼干的贮藏稳定性。

### 3.2 不同包装方式对日本鳀鱼干脂肪氧化的影响

脂肪氧化水解产生大量的醛类或酮类物质导致日本鳀鱼干品质迅速恶化, 以空气包装做为对照, 3 种包装方式均可减缓脂质的氧化。Arashisar 等<sup>[17]</sup>发现 CO<sub>2</sub> 包装和真空包装的虹鳟 (*Oncorhynchus mykiss*) 鱼片 TBA 值最小, 表明隔绝氧气的包装方式具有较好的抗氧化效果。真空包装样品的脂肪氧化程度最低, 这与 Ansorena 等<sup>[18]</sup>的研究结果一致, 说明真空条件可以有效抑制日本鳀鱼干的脂肪氧化酸败, 保持日本鳀鱼干的货架稳定性。

### 3.3 不同包装方式对日本鳀鱼干色泽的影响

日本鳀鱼干色泽变化主要由贮藏期间鱼体

脂质氧化、蛋白质分解和微生物繁殖等反应引起<sup>[19]</sup>, 非酶褐变反应也会导致黄度  $b^*$  值增加<sup>[20]</sup>。真空包装的色差变化最小, 可以改善日本鳀鱼干贮藏过程中色泽劣变的现象, 减缓鱼体各种反应的发生。

### 3.4 不同包装方式对日本鳀鱼干肌纤维结构的影响

日本鳀含有丰富的内源自溶酶, 贮藏过程中肌原纤维蛋白容易降解, 导致鱼肉品质下降。真空包装样品整体结构最为完整, 推测真空包装可以减缓鱼体肌纤维的氧化, 同时抑制微生物的生长来降低其破坏分解作用, 从而保护日本鳀鱼干表面的肌原纤维, 有利于维持鱼肉的贮藏品质。

### 3.5 不同包装方式对日本鳀鱼干挥发性风味的影响

醛类主要来源于油酸、亚油酸、亚麻酸和花生四烯酸等不饱和脂肪酸的氧化分解, 其阈



值较低<sup>[21]</sup>。醛类的 OAV 值远超其他类化合物, 对日本鳀鱼干整体气味贡献较大, 共有的 6 种气味活性醛类, 包括己醛(青草味)、3-甲基丁醛(麦芽味)、庚醛(鱼腥味)、辛醛(油脂味)、壬醛(花香味)和癸醛(甜香、柑橘香)(表 3)。真空包装的日本鳀鱼干主要腥味物质己醛、3-甲基丁醛等含量低, 且醛类总浓度与气味活性总值最低。其中 OAV 值较高的辛醛和壬醛是油酸氧化产生的哈喇味物质, 在真空包装组中二者含量最低, 是因为隔绝氧气的真空包装能够减缓脂质氧化酸败。

醇类主要由脂肪酸氢过氧化物降解产生, 或来自醛酮类羰基化合物的还原作用<sup>[22]</sup>。1-辛烯-3-醇是唯一共有的气味活性醇类, 由亚油酸的氢过氧化物降解产生, 普遍存在于淡水和海水鱼中, 挥发性气味重, 具有蘑菇味和土腥味, 是典型的水产腥味物质<sup>[23]</sup>。1-辛烯-3-醇在真空包装样品中的含量最低, 说明真空包装有效抑制脂肪酸酸败, 减少了脂肪酸氢过氧化物的产生从而减少腥味物质。

三甲胺一般来源于氧化三甲胺的还原反应, 是水产品腐败的标志性产物, 具有腥臭味。真空、气调、CO<sub>2</sub> 包装的样品三甲胺明显少于空气包装组, 真空包装样品三甲胺的 OAV 值最低, 为 0.2, 表明真空包装有利于减缓由微生物引起的日本鳀鱼干腐败变质, 与菌落总数、TVB-N 的变化趋势一致。

酮类化合物在所有挥发性物质中所占的比例较小, 对鱼肉的阈值远高于醛类, 对样品整体风味贡献不大<sup>[24]</sup>。芳香类化合物主要来自于含苯环氨基酸的氧化降解或者由外部环境中导入<sup>[25]</sup>。烃类一般阈值较高, 对整体气味贡献不显著。本研究中检出的 5 种酮类、3 种芳香类和 4 种烃类物质, 其 OAV 值均小于 1, 不具有气味活性。

### 3.6 不同包装方式对日本鳀鱼干感官评分的影响

真空包装隔绝了空气, 有效抑制品质劣化的反应, 可以保持日本鳀鱼干的感官评分。张晓丽等<sup>[26]</sup>研究发现, 食品添加剂结合真空包装能够减缓感官品质的下降速率, 延长冰藏罗非鱼片保鲜期至 18 d。这与本研究结果可以相互印证, 综合脂氧化、色差、微观结构等理化指标, 真空包装能够抑制微生物的生长和繁殖, 防止食品氧化, 延长日本鳀鱼干的货架期。

<https://www.china-fishery.cn>

### 3.7 日本鳀鱼干的货架期预测

综合比较菌落总数与 TVB-N 等 2 个指标的货架期预测值, 取其最小值作为该温度下日本鳀鱼干的货架期, 25 °C 下真空包装和空气包装样品的货架期分别为 6.07 和 5.72 d; 35 °C 下二者货架期分别为 3.23 和 3.19 d。对比发现, 真空包装组样品货架期高于后者, 表明真空包装处理可以适当延长日本鳀鱼干常温贮藏过程中的货架期。

## 4 结论

与空气包装相比, 3 种包装方式中真空包装效果最佳, 能够有效降低微生物增殖速率, 减少挥发性盐基氮生成量, 减缓脂质氧化反应速率, 控制色泽变化程度, 保持肌纤维结构完整性, 保留鱼肉原有挥发性风味, 维持产品感官得分。通过分析日本鳀鱼干在不同温度贮藏过程中的菌落总数与 TVB-N 变化规律, 发现其符合零级化学反应动力学模型。结合 Arrhenius 方程建立模型, 得到 25 和 35 °C 下真空包装日本鳀鱼干的货架期分别为 6.07 和 3.23 d, 可为日本鳀鱼干生产企业在常温物流链中控制自身产品质量提供理论依据。

### 参考文献 (References):

- [1] 薛利建, 刘子藩. 东海日本鳀数量分布和生物学特性的研究[J]. 浙江海洋学院学报(自然科学版), 2005, 24(04): 312-317.  
Xue L J, Liu Z F. Study on the biomass distribution & biological characteristics of *Engraulis japonicus* in the East China Sea[J]. Journal of Zhejiang Ocean University(Natural Science Edition), 2005, 24(04): 312-317(in Chinese).
- [2] 吴燕燕, 李来好, 杨贤庆, 等. 丁香鱼干的营养成分分析及评价[J]. 食品科学, 2010, 31(19): 355-358.  
Wu Y Y, Li L H, Yang X Q, et al. Analysis and evaluation of nutrient composition of dried *Engraulis japonicus*[J]. Food Science, 2010, 31(19): 355-358(in Chinese).
- [3] 席丽琴, 杨君娜, 许随根, 等. 肉及肉制品气调包装技术研究进展[J]. 肉类研究, 2019, 33(9): 64-68.  
Xi L Q, Yang J N, Xu S G, et al. Progress in the development of modified atmosphere packaging technologies

中国水产学会主办 sponsored by China Society of Fisheries

- for meat and meat products[J]. *Meat Research*, 2019, 33(9): 64-68(in Chinese).
- [4] 王燕荣. 冷却肉保鲜包装技术的研究 [D]. 重庆: 西南大学, 2007.
- Wang Y R. Research on preservative packaging technologies for chilled meat[D]. Chongqing: Southwest University, 2007 (in Chinese).
- [5] 沈艳奇, 李学鹏, 王金厢, 等. 低温真空油炸小黄鱼加工工艺优化及包装方式对其贮藏品质的影响[J]. *食品工业科技*, 2019, 40(24): 110-119.
- Shen Y Q, Li X P, Wang J X, *et al.* Optimization of low-temperature vacuum fried small yellow croaker processing technology and the effect of packaging method on its quality during storage[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2019, 40(24): 110-119(in Chinese).
- [6] 励建荣, 刘永吉, 朱军莉, 等. 真空、空气和气调包装对冷藏鱼糜制品品质的影响[J]. *水产学报*, 2011, 35(3): 446-455.
- Li J R, Liu Y J, Zhu J L, *et al.* Influence of vacuum packaging, air packaging and modified atmosphere packaging on the quality of refrigerated surimi-based product[J]. *Journal of Fisheries of China*, 2011, 35(3): 446-455(in Chinese).
- [7] 林婉玲, 丁莫, 王锦旭, 等. 包装方式和材料对调理脆肉鲩鱼片冷藏过程品质的影响[J]. *农业工程学报*, 2018, 34(2): 284-291.
- Lin W L, Ding M, Wang J X, *et al.* Effects of packaging methods and materials on quality of prepared crisp grass carp (*Ctenopharyngodon idellus* C. *et* V) fillets during cold storage[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2018, 34(2): 284-291(in Chinese).
- [8] 郑海波, 王秋菊. 包装方式对常温贮藏干银鱼品质的影响[J]. *食品工业科技*, 2013, 34(8): 322-325.
- Zheng H B, Wang Q J. Effect of packaging on the quality of dried whitebait stored at room temperature[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2013, 34(8): 322-325(in Chinese).
- [9] 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 食品安全国家标准 食品微生物学检验 菌落总数测定 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2017.
- National Health and Family Planning Commission of the People's Republic of China, China Food and Drug Administration. National food safety standard food microbiological examination aerobic plate count: GB 4789.2-2016[S]. Beijing: Standards Press of China, 2017 (in Chinese).
- [10] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会. GB 5009.228-2016 食品安全国家标准 食品中挥发性盐基氮的测定 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2017.
- National Health and Family Planning Commission of the People's Republic of China, China Food and Drug Administration. National food safety standard determination of total volatile base nitrogen in food: GB 5009.228-2016[S]. Beijing: Standards Press of China, 2017 (in Chinese).
- [11] 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: GB 5009.181—2016[S]. 北京: 中国标准出版社, 2017.
- National Health and Family Planning Commission of the People's Republic of China, China Food and Drug Administration. National food safety standard determination of malondialdehyde in food: GB 5009.181—2016[S]. Beijing: Standards Press of China, 2017 (in Chinese).
- [12] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会. GB 5009.227-2016 食品安全国家标准 食品中过氧化值的测定 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2017.
- National Health and Family Planning Commission of the People's Republic of China, China Food and Drug Administration. National food safety standard determination of peroxide value in food: GB 5009.227-2016[S]. Beijing: Standards Press of China, 2017 (in Chinese).
- [13] 顾赛麒, 戴王力, 鲍嵘斌, 等. 煮制工艺对中国对虾品质的影响[J]. *食品科学*, 2020, 41(2): 276-283.
- Gu S Q, Dai W L, Bao R B, *et al.* Effect of cooking on the quality of *Fenneropenaeus chinensis*[J]. *Food Science*, 2020, 41(2): 276-283(in Chinese).
- [14] 顾赛麒, 王苏宁, 鲍嵘斌, 等. 食品改良剂对丁香鱼干品质特性的影响[J]. *浙江农业学报*, 2020, 32(7): 1263-1273.
- Gu S Q, Wang S N, Bao R B, *et al.* Effect of food improvers on quality characteristics of dried *Engraulis japonicas*[J]. *Acta Agriculturae Zhejiangensis*, 2020, 32(7): 1263-1273(in Chinese).
- [15] 史策, 钱建平, 韩帅, 等. 水产品货架期预测模型的研究

- 究进展[J]. *食品科学*, 2017, 38(15): 294-301.
- Shi C, Qian J P, Han S, *et al.* Progress in shelf life prediction models for aquatic products[J]. *Food Science*, 2017, 38(15): 294-301(in Chinese).
- [16] 李冰. 鲈鱼腌制工艺与货架期预测模型研究 [D]. 大连: 大连海洋大学, 2016.
- Li B. Study on the technology and shelf-life forecast model of salted bass[D]. Dalian: Dalian Ocean University, 2016 (in Chinese).
- [17] Arashisar Ş, Hisar O, Kaya M, *et al.* Effects of modified atmosphere and vacuum packaging on microbiological and chemical properties of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) fillets[J]. *International Journal of Food Microbiology*, 2004, 97(2): 209-214.
- [18] Ansorena D, Astiasarán I. Effect of storage and packaging on fatty acid composition and oxidation in dry fermented sausages made with added olive oil and antioxidants[J]. *Meat Science*, 2004, 67(2): 237-244.
- [19] 胡逸茗. 丁香鱼干制脱水数学模型构建及其贮藏品质变化的研究 [D]. 杭州: 浙江工业大学, 2011.
- Hu Y M. Mathematical models establishment of hot-air drying and storage quality change study for *Engraulis japonicas*[D]. Hangzhou: Zhejiang University of Technology, 2011 (in Chinese).
- [20] Pongsetkul J, Benjakul S. Development of modified atmosphere packaging (MAP) on shelf-life extension of *pla-duk-ra* (dried fermented catfish) stored at room temperature[J]. *Food Control*, 2021, 124: 107882.
- [21] Varlet V, Prost C, Serot T. Volatile aldehydes in smoked fish: analysis methods, occurrence and mechanisms of formation[J]. *Food Chemistry*, 2007, 105(4): 1536-1556.
- [22] 刘红, 杨荣华, 戴志远, 等. 利用鲢鱼制备肉味香精及其香气成分的分析[J]. *中国食品学报*, 2010, 10(2): 149-153.
- Liu H, Yang R H, Dai Z Y, *et al.* The Preparation of meat flavor essence from silver carp and the analysis of flavor components[J]. *Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology*, 2010, 10(2): 149-153(in Chinese).
- [23] Josephson D B, Lindsay R C, Stuibler D A. Identification of compounds characterizing the aroma of fresh whitefish (*Coregonus clupeaformis*)[J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 1983, 31(2): 326-330.
- [24] 陈丽丽, 张树峰, 袁美兰, 等. 不同烹饪方法对脆肉鲩挥发性风味物质的影响[J]. *中国调味品*, 2019, 44(12): 78-84.
- Chen L L, Zhang S F, Yuan M L, *et al.* Effects of different cooking methods on volatile flavor compounds in *Ctenopharyngodon idellus*[J]. *China Condiment*, 2019, 44(12): 78-84(in Chinese).
- [25] 密更, 李婷婷, 仪淑敏, 等. 人工接种乳酸菌发酵鱼糜的研究进展[J]. *中国食品学报*, 2019, 19(5): 302-312.
- Mi G, Li T T, Yi S M, *et al.* The research advance of fermented surimi inoculated with lactic acid bacteria[J]. *Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology*, 2019, 19(5): 302-312(in Chinese).
- [26] 张晓丽, 马海霞, 杨贤庆. 竹叶抗氧化物结合不同包装方式对鲜罗非鱼片保鲜效果的影响[J]. *食品科学*, 2017, 38(11): 256-261.
- Zhang X L, Ma H X, Yang X Q. Effect of antioxidant of bamboo leaves (AOB) combined with different packaging methods on the preservation of fresh tilapia fillets[J]. *Food Science*, 2017, 38(11): 256-261(in Chinese).

## Effect of different packaging methods on the quality characteristics of dried *Engraulis japonicus*

GU Saiqi<sup>1,2,3</sup>, ZOU Lin<sup>1,2,3</sup>, ZHOU Zhenyi<sup>1,2,3</sup>, LI Junhong<sup>1,3</sup>, BAO Rongbin<sup>1,3</sup>,  
WU Lijun<sup>1,3</sup>, CHEN Yufeng<sup>1,3</sup>, ZHOU Xuxia<sup>1,2,3</sup>, DING Yuting<sup>1,2,3\*</sup>

(1. College of Food Science and Technology, Zhejiang University of Technology, Hangzhou 310014, China;

2. Ninghai ZJUT Academy of Science & Technology, Ninghai 315600, China;

3. National R & D Branch Center for Pelagic Aquatic Products Processing, Hangzhou 310014, China)

**Abstract:** *Engraulis japonicus* is a small-sized economic fish with high nutritional value, which is widely distributed in Western Pacific and Western Indian Ocean. Fresh *E. japonicus* is highly perishable products due to their high activity of endogenous enzymes. Therefore, dried *E. japonicus* is processed directly after fishing and then sold after transportation and circulation. The storage stability of dried *E. japonicus* can be improved by selecting appropriate packaging methods, such as air packaging, vacuum packaging, CO<sub>2</sub> packaging, and modified atmosphere packaging. After packaging, dried *E. japonicus* and other aquatic products can avoid secondary pollution, and slow down the degradation rate of product quality. In order to investigate the effects of different packaging on the quality characteristics of dried *E. japonicus* during storage at normal temperature, air packaging was compared with vacuum packaging, modified atmosphere packaging and CO<sub>2</sub> packaging, the total bacterial count, TVB-N, POV, TBA, color difference, volatile flavor components and sensory score were determined and analyzed. The results showed that VP, MAP, and CP can effectively inhibit microbial growth. After 8 days storage at 25 °C, TVB-N, POV and TBA values of VP group were 47.08%, 4.13% and 25.49% lower than those of AP group. The VP group had better effects in slowing down the color change of samples, protecting the structural integrity of muscle fiber, retaining volatile flavor components, and maintaining sensory properties, which confirmed that vacuum packaging is the best choice. The shelf life prediction model of dried *E. japonicus* was established based on the Arrhenius equation, and the shelf-life of vacuum-packed dried *E. japonicus* was 6.07 d and 3.23 d at 25 and 35 °C. The study can provide a theoretical basis for the quality control of dried *E. japonicus* in the process of normal temperature transportation.

**Key words:** *Engraulis japonicus*; packaging method; quality characteristics; volatile flavor; shelf life

**Corresponding author:** DING Yuting. E-mail: dingyt@zjut.edu.cn

**Funding projects:** Natural Science Foundation of Ningbo City (2017A610283); National Natural Science Foundation of China (31601500); Public Welfare Technology Projects in Zhejiang Province (2016C32056)