

不同真空压力对冰温干燥罗非鱼片品质的影响

庞文燕, 万金庆*, 姚志勇, 王国强, 厉建国

(上海海洋大学食品学院, 上海水产品加工及贮藏工程技术研究中心, 上海 201306)

摘要: 以罗非鱼为材料, 分别在700~800、1300~1400Pa和1900~2000Pa的真空压力条件下进行冰温干燥的实验研究, 通过干燥速率、复水率、色泽、鲜度指标 K 值、游离氨基酸等指标的变化情况分析冰温干燥不同真空压力对罗非鱼品质的影响。结果表明: 700~800Pa真空压力下干燥的罗非鱼片干燥速率最快, 干燥24h后的残余含水率仅为20.8%, 其复水率(43.27%)也最高; 1900~2000Pa真空压力下的游离氨基酸总量最高, 1300~1400、700~800Pa条件下依次递减; 此外, 3种不同真空压力测得的罗非鱼干制品 K 值较为接近, 均处于一级鲜度以内, 对其影响较小。

关键词: 罗非鱼片; 冰温干燥; 真空压力; K 值; 游离氨基酸; 复水率; 色泽

Effect of Vacuum Pressure on Quality of Tilapia Fillets during Freeze Drying

PANG Wen-yan, WAN Jin-qing*, YAO Zhi-yong, WANG Guo-qiang, LI Jian-guo

(Shanghai Aquatic Products Processing and Storage Engineering Technology Research Center, College of Food Science and Technology, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China)

Abstract: In this study, tilapia fillets were freeze-dried under three different vacuum pressures, 700—800, 1300—1400 Pa and 1900—2000 Pa and the drying rate, rehydration rate, color, K value as an index of freshness and free amino acid of dried samples were measured to evaluate the effect of vacuum pressure on the quality of freeze-dried tilapia fillets. The results showed that the drying rate of fillets at 700—800 Pa was the fastest with 20.8% water content after drying for 24 h, and the rehydration rate also was the highest with a value of 43.27%. The total content of free amino acids at 1900—2000 Pa was the highest, followed by 1300—1400 Pa, and 700—800 Pa. In addition, the K values at three different vacuum pressures were close, within freshness grade 1, indicating little impact of vacuum pressure on the freshness of dried tilapia fillets.

Key words: tilapia fillets; ice-temperature drying; vacuum pressure; K value; free amino acid; the rehydration rate; color
中图分类号: TS205.1 文献标志码: A 文章编号: 1002-6630(2013)21-0005-05
doi:10.7506/spkx1002-6630-201321002

罗非鱼(Tilapia)不仅具有丰富的营养价值, 还有令人愉悦的风味, 深受消费者喜爱。干燥被认为是发展中国家鱼类保藏常用的技术, 由于水产干制品不需冷藏, 从运输、贮藏到消费的过程中不需低温链, 使得食用更为方便, 同时还可避免低温链过长引起的污染和品质降低。因此, 水产品的干燥生产是水产品加工的重要方法之一^[1]。20世纪70年代, 日本学者山根昭美博士提出冰温贮藏技术, 继而又率先提出了冰温干燥这一概念。冰温是处在冷却与冻结中间的温度带, 是指零度至冻结点以上的未冻结温度区域^[2]。冰温技术不仅能延长食品保鲜期, 还能加速其成熟、增加美味, 应用潜力巨大^[3-4]。日本的山根昭美博士对冰温干燥和冷风干燥的沙丁鱼鲜度(K 值)进行了实验研究, 结果表明: 在干燥到第3天时,

冰温干燥鱼片鲜度(K 值)在20%左右, 冷风干燥鱼片鲜度(K 值)在60%左右, 前者优势明显, 但也显示出冰温干燥时间过长的不足^[5]。目前, 冰温干燥技术在国内少有研究, 关于罗非鱼片冰温干燥的研究更少。上海理工大学李保国等^[6-7]以胡萝卜为原料进行冰温真空干燥实验, 结果表明, 冰温真空干燥可获得高品质的胡萝卜, 其营养成分损失少, 品质优良, 复水性强。

本实验以罗非鱼为研究对象, 为探索不同真空压力对冰温干燥品质的影响, 利用实验室自行研制的冰温真空干燥装置, 通过设定不同真空压力(700~800、1300~1400、1900~2000Pa)分别对罗非鱼片的干燥速率、复水率、色泽、 K 值、游离氨基酸等指标进行实验研究, 旨在为罗非鱼的加工贮藏提供技术支持。

收稿日期: 2013-07-18

基金项目: 国家自然科学基金项目(31171764); 上海市科委工程中心建设项目(11DZ2280300)

作者简介: 庞文燕(1989—), 女, 硕士研究生, 主要从事水产品保鲜研究。E-mail: 117704896@163.com

*通信作者: 万金庆(1964—), 男, 教授, 博士, 主要从事食品保鲜技术研究。E-mail: jqwan@shou.edu.cn

1 材料与方法

1.1 材料、试剂与仪器

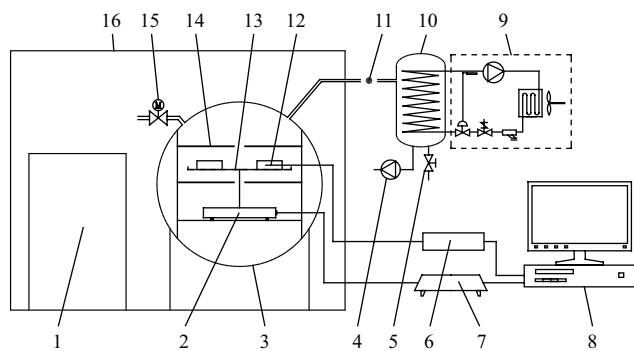
罗非鱼, 购于上海市临港新城古棕路菜市场, 600~700g/条, 初始含水率80%左右(湿基)。

三磷酸腺苷(ATP)、二磷酸腺苷(ADP)、肌苷酸(IMP)、次黄嘌呤(Hx) 美国Sigma公司; 一磷酸腺苷(AMP) 日本TCI公司; 肌苷(HxR) 德国Dr.Ehrenstorfer公司; 磷酸氢二钾、磷酸二氢钾(色谱纯) 上海安谱科学仪器公司; 高氯酸(PCA)、氢氧化钾、氢氧化钠、三氯乙酸(分析纯)、甲醇(色谱纯) 国药集团化学试剂有限公司; 氨基酸混合标准品(5mL AA-S-18 Sigma) 上海宝曼生物科技有限公司。

LC-2010CHT高效液相色谱仪、AUW320电子天平 日本岛津公司; Agilent-34972A 温度采集仪 美国安捷伦公司; L-8800氨基酸全自动分析仪 日本Hitachi公司; IMS-50全自动雪花制冰机 常熟雪科有限公司; SB25-12DT超声机 宁波新芝生物科技; H2050R冷冻离心机 长沙湘仪有限公司; GM-0.33A隔膜真空泵及溶剂过滤器 天津市津腾实验设备有限公司; CR-10色差计 柯尼卡美能达有限公司; 实验用的器材均采用超声机清洗20min, 并用超纯水润洗2~3遍, 烘干机烘干备用。

1.2 实验设备及工作原理

冰温真空干燥实验装置自行研制, 如图1所示。能够实现物料在不同低温下的真空干燥。主要由真空系统、制冷系统、干燥箱、加热系统、冷阱、称量系统以及数据采集系统组成。其中真空箱布置在恒温库内, 其他布置在恒温库外。其中, 恒温库温度设定为-1℃; 干燥箱压力分别设为700~800、1300~1400、1900~2000Pa, 连续干燥24h后停止, 样品待检测指标。



1.冷库门; 2.重要传感器; 3.真空箱; 4.真空泵; 5.排水阀; 6.数据采集器; 7.电子天平; 8.计算机; 9.制冷系统; 10.冷阱; 11.蝶阀; 12.温度传感器; 13.钢丝网托盘; 14.电加热板; 15.进气阀; 16.冷库。

图1 冰温真空干燥装置示意图

Fig.1 Schematic diagram of the freeze vacuum drying system

1.3 方法

1.3.1 样品预处理

将活鱼敲击头部致死, 去头、去内脏、去皮, 取鱼片时从脊背处下刀, 片成大小为(10mm×15mm×30mm), 清水洗净, 用滤纸吸去表面水分, 尽量取完整, 使其保持较好的外观形态, 称量后装盘放入干燥箱。

1.3.2 测冰点

沿脊椎把鱼剖为两片, 将热电偶插入鱼体表下约0.5cm处并固定, 放入-18℃的速冻室, 温度采集间隔为10s采集1次数据, 实验结束后绘制冻结曲线并得出罗非鱼片的冰点, 从而确定冰温带范围。

1.3.3 含水率

采用直接干燥法, 按照GB/T 5009.3—2003《食品中水分的测定》进行。

1.3.4 复水率

称取一定质量的干制鱼片, 置于40℃恒温水浴锅中进行浸泡, 每隔5min取出用滤纸吸去表面多余的水分后称质量^[8]。鱼片的复水性能以复水率表示。

$$\text{复水率}/\% = \frac{m_2 - m_1}{m_2} \times 100$$

式中: m_1 为干制鱼片的质量/g; m_2 为充分复水后鱼片的质量/g。

1.3.5 色差测定

采用CR-10色差计, 测定新鲜鱼片和干燥后鱼片的色差变化。

1.3.6 ATP及其关联化合物的测定

参考Yokoyama等^[9]的方法, 略有改动: 鱼片ATP及关联化合物的提取: 取5g样品, 加入预冷的10mL 10g/100mL的高氯酸(PCA)溶液打浆2min, 用10000r/min冷冻离心15min, 取上清液。沉淀用预冷的5% PCA洗涤, 离心取上清液, 重复操作1次, 合并上清液, 用10mol/L的KOH溶液和1mol/L的KOH溶液调pH值至6.5, 静置30min, 取上清液定容至50mL, 0.22μm微孔过滤膜过滤, 整个过程均在0~4℃条件下操作。

高效液相色谱(HPLC)检测色谱条件: C_{18} 液相色谱柱; 流动相A: 0.05mol/L磷酸二氢钾和磷酸氢二钾溶液, 用磷酸调至pH6.5, 流动相B: 甲醇溶液; 等度洗脱; 流速: 1mL/min; 柱温: 28℃; 进样量: 10μL; 检测波长: 254nm。

1.3.7 游离氨基酸的测定

游离氨基酸的提取: 分别称取鱼肉2g, 加入15mL 15g/100mL三氯乙酸, 充分均质, 沉淀2h, 用10000r/min冷冻离心机离心15min, 取5mL上清液, 用一定量NaOH溶液调节pH值至2.0左右, 定容至10mL, 稀释两倍, 用0.22μm微孔过滤后装至样品盘中上机测定。

分析条件：L-8800型氨基酸自动分析仪，样品分析周期53min。色谱柱(4.6mm×150mm, 7μm)；柱温：50℃；通道1流速：0.4mL/min，通道2流速：0.35mL/min。流动相：pH值分别为3.3、3.2、4.0、4.9的柠檬酸和柠檬酸钠混合缓冲液和质量浓度为4g/100mL茚三酮的缓冲液。

1.4 数据处理

运用SPSS18.0统计软件及Excel对实验数据进行处理，结果用 $\bar{x} \pm s$ 表示，差异显著性水平为 $P < 0.05$ 。

2 结果与分析

2.1 罗非鱼冰点的测定

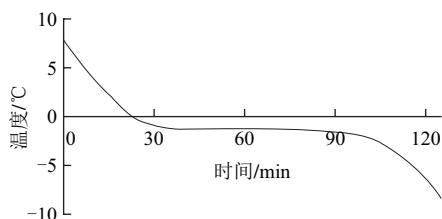


图2 罗非鱼片冻结曲线

Fig.2 Freezing curve of tilapia fillets

由图2可知，罗非鱼的冰点在-1.0℃左右，由此可以认为当罗非鱼片的贮藏温度持续下降时，细胞内开始结冰，出现冰晶，破坏细胞组织。根据测得的罗非鱼冰点温度，可知在对罗非鱼进行冰温真空干燥时，应将其温度严格控制在0~-0.8℃。

2.2 不同真空压力罗非鱼的干燥曲线

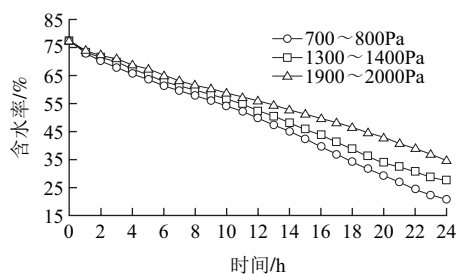


图3 不同真空压力罗非鱼的干燥曲线

Fig.3 Drying rate curve of different vacuum pressures

由图3可知，不同真空压力条件下的干燥曲线变化趋势一致，随着干燥时间的延长，鱼片中残余的水分逐渐减少。干燥24h后，700~800Pa条件下，物料的残余含水率仅为20.8%，1300~1400Pa条件下的物料含水率为27.6%，1900~2000Pa条件下物料含水率高达34.8%。真空压力越低，越有利于水分的迁移，干燥产品的残余水分含量越少，说明鱼片进行冰温真空干燥时的干燥曲线及残余含水率均受真空压力影响。

2.3 不同真空压力对罗非鱼复水率的影响

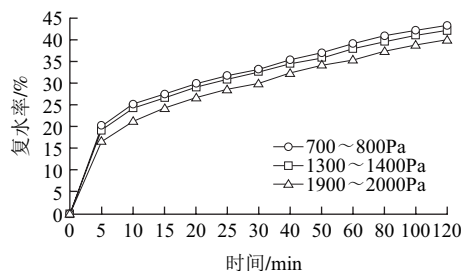


图4 不同真空压力对罗非鱼复水率的影响

Fig.4 Effect of vacuum pressure on the rehydration rate of tilapia fillets

干燥制品复水程度的好坏及复水快慢，是衡量干制品品质的重要指标，复水率越大，产品品质越好。由图4可知，不同真空压力的罗非鱼片干品复水率曲线的变化趋势一致。由于700~800Pa干燥后的鱼片含水率最低，因此复水速率最快，复水率达43.27%。1300~1400、1900~2000Pa的复水率依次递减，分别为42.12%和39.96%，3种不同真空压力的复水率均较为接近，变化不明显。因此，从罗非鱼片干品复水率的角度来看，真空压力对冰温真空干燥的影响较小。

2.4 不同真空压力对罗非鱼色泽的影响

鱼片的色泽直接反映了产品的外观品质。本实验比较了3种不同真空压力条件下干燥后鱼片的色差，由表1可知，3种不同真空压力所得干制品的色泽参数存在显著性差异($P < 0.05$)。其中， L^* 值在干燥后均比新鲜鱼片高，说明干燥过程中水分的去除能提高鱼片的明亮度。且真空压力越低，物料的水分流失速率越快，物料表面的白度(L^* 值)越大，反之，真空压力越高， L^* 值越小。说明真空压力在干燥过程中对物料的外观有一定影响。

表1 不同真空压力对罗非鱼片色差的影响($\bar{x} \pm s$, $n=3$)

Table 1 Effect of vacuum pressure on the color of tilapia fillets ($\bar{x} \pm s$, $n=3$)

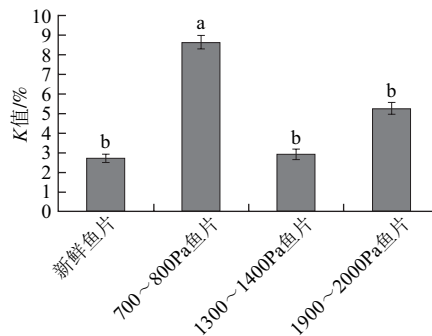
类别	L^*	a^*	b^*
新鲜鱼片	49.2±0.7 ^c	-2.9±0.8 ^c	-0.4±1.0 ^c
700~800Pa鱼片	71.9±2.2 ^a	1.1±1.0 ^b	11.0±0.4 ^a
1300~1400Pa鱼片	68.4±2.3 ^a	2.1±0.5 ^a	12.8±1.0 ^a
1900~2000Pa鱼片	53.2±5.0 ^b	2.2±0.6 ^a	8.5±1.2 ^b

注：同列字母不同表示差异显著($P < 0.05$)。下同。

2.5 不同真空压力对罗非鱼片鲜度(K值)的影响

鲜度指标K值是反映水产品初期鲜度变化以及风味有关的生化指标。一般认为鱼死后鱼肉内ATP依次降解为ADP、AMP、IMP、Hx和HxR，其中HxR、Hx量之和与ATP关联化合物总量的比值即为K值^[10-11]。国内外学者对冰

藏期间竹荚鱼(*Trachurus japonicus*)^[12]、大黄鱼^[13]、海鳗^[14]等研究表明了K值与鲜度之间的关系,如今K值作为一个重要的鲜度指标已经被广泛应用于鱼类品质评价^[15]。研究表明K值作为评价鱼种早期的鲜度指标,新鲜鱼刚杀时的K值在10%以下,K值在20%以下为一级鲜度标准,可作为生鱼片。20%~40%为二级鲜度,60%以下为可供一般食用与加工,60%~80%为初期腐败。水产品K值越小表示鲜度越好,反之则鲜度越差。



字母不同表示差异显著($P < 0.05$)。

图5 不同真空压力对罗非鱼片K值的影响

Fig.5 Effect of vacuum pressure on K value of tilapia fillets

由图5可知,新鲜鱼片的K值为2.72%,700~800、1300~1400、1900~2000Pa不同真空压力条件下的K值分别为8.63%、2.93%和5.26%,均在10%以下,这说明不同真空压力下对罗非鱼片进行冰温干燥,其干燥后的K值均处于一级鲜度的标准内。

2.6 不同真空压力对罗非鱼片中滋味游离氨基酸含量的影响

表2 不同真空压力对罗非鱼片中滋味游离氨基酸含量的影响

Table 2 Effect of vacuum pressure on the contents of free amino acids in tilapia fillets

类别	含量/(mg/100g)				呈味特性
	新鲜鱼片	700~800Pa鱼片	1300~1400Pa鱼片	1900~2000Pa鱼片	
苏氨酸(Thr)	12.24±1.50 ^a	9.59±0.97 ^a	12.12±1.15 ^a	12.23±0.55 ^a	甜味
谷氨酸(Glu)	4.82±0.80 ^{ab}	6.57±0.03 ^a	4.94±0.84 ^a	5.57±0.48 ^a	鲜甜味
甘氨酸(Gly)	140.25±2.30 ^a	75.19±4.21 ^d	100.90±0.25 ^c	114.38±5.67 ^b	鲜甜味
亮氨酸(Ile)	2.14±0.34 ^b	4.73±0.54 ^a	2.78±0.48 ^b	2.06±0.04 ^b	苦味
异亮氨酸(Leu)	2.56±0.24 ^c	6.45±0.21 ^a	4.85±0.91 ^b	2.97±0.06 ^c	苦味
组氨酸(His)	16.25±0.73 ^a	10.42±0.25 ^c	13.44±0.55 ^b	13.85±0.55 ^b	苦味(肉香特质)
呈味游离氨基酸总量	178.26±3.08 ^a	112.95±4.32 ^d	139.03±3.79 ^c	151.06±4.56 ^b	
游离氨基酸总量	241.89±3.55 ^a	173.23±6.27 ^d	194.76±6.59 ^c	211.05±6.69 ^b	

注:游离氨基酸总量中共包括17种氨基酸:天冬氨酸、苏氨酸、丝氨酸、谷氨酸、甘氨酸、丙氨酸、胱氨酸、缬氨酸、蛋氨酸、异亮氨酸、亮氨酸、酪氨酸、苯丙氨酸、赖氨酸、组氨酸、精氨酸、脯氨酸;实验主要列出了6种呈味游离氨基酸及游离氨基酸总量的变化情况。

由表2可知,3种不同真空压力干燥后的鱼片大多数游离氨基酸含量存在显著性差异($P < 0.05$),干燥后的罗非鱼片游离氨基酸总量均呈下降趋势,这可能是干燥过

程中鱼片水分的蒸发导致游离氨基酸含量的减少^[16],且下降幅度与真空压力有直接的关系。700~800Pa真空压力的下降幅度最大,高达28.4%,这可能是由于该条件下获得的干制品鱼片含水率最低,仅为20.8%,也可能是压力低,水分蒸发快,1300~1400Pa真空压力下的降幅次之,为19.5%,1900~2000Pa的降幅最小(12.7%)。鱼肉的鲜美味主要是由甘氨酸、谷氨酸、苏氨酸、亮氨酸、异亮氨酸、组氨酸等氨基酸决定。甘氨酸是最主要呈鲜甜味的游离氨基酸,1900~2000Pa真空压力下进行冰温真空干燥后鱼片的甘氨酸(Gly)含量显著($P < 0.05$)高于另外两种干燥条件,说明与其他两种干燥方式相比,真空压力越高,残余含水率越高,甘氨酸含量则越高。组氨酸(His)本身呈苦味^[17],但可以增强风味效果,形成某些海产品中的“肉香”特征^[18],经3种不同真空压力干燥后鱼片的组氨酸含量均较高,因此可以看出组氨酸对罗非鱼片的肉香味有较大贡献。综上所述,通过比较3种不同真空压力条件下冰温真空干燥的6种滋味游离氨基酸含量及游离氨基酸总含量,说明冰温真空干燥过程中,真空压力的设定对游离氨基酸含量有较大的影响。

3 结论

3.1 研究了罗非鱼在700~800、1300~1400、1900~2000Pa不同真空压力条件下进行冰温干燥的干燥速率曲线,结果表明,真空压力越低,干燥速率越快,物料的残余含水率越低;反之,真空压力越高,干燥速率越慢,残余含水率越高。需要注意的是,真空压力低,真空泵的能耗也大。

3.2 在冰温真空干燥过程中,不同真空压力对K值与复水率的影响较小。

3.3 不同真空压力对游离氨基酸含量有显著性影响,这可能是由于干燥过程中水分的流失导致了游离氨基酸含量的减少。因此,不同真空压力获得的物料残余含水率的大小和干燥速率直接影响了游离氨基酸的含量。1900~2000Pa真空压力下的游离氨基酸总量最高,最有利于维持罗非鱼片的滋味;1300~1400Pa次之,700~800Pa条件下含量最低。

参考文献:

- [1] 李敏,关志强,蒋小强.罗非鱼片热泵干燥及干冷互换工艺的实验研究[J].农机化研究,2011,11(11):165-169.
- [2] 山根昭美.冰温贮藏食品[J].日本食品工业学会志,1982,29(12):736-743.
- [3] 梁琼,万金庆,成轩,等.日本水产品冰温技术研究概况[J].水产科技情报,2010,37(5):246-249.

- [4] MIZUNO A, MATSUI M, SASAKI T, et al. Effect of controlled freezing-point storage of hearts-combined effect of controlled freezing-point storage and verapamil[J]. Nippon Kyobu Geka Gakkai Zasshi, 1990, 38: 1145-1151.
- [5] 山根昭美, 郭海元. 冰温干燥食品[J]. 制冷学报, 1987(4): 64-67.
- [6] 李保国, 应月, 董梅, 等. 食品和生物药品的冰温干燥系统开发研究[C]//2009年上海市制冷学会学术年会论文集. 上海, 2009: 168-170.
- [7] 王丰, 李保国, 申江, 等. 胡萝卜冰温干燥实验研究[J]. 食品与发酵工业, 2012, 38(1): 101-104.
- [8] 刘书成, 张常松, 吉宏武, 等. 不同干燥方法对罗非鱼片品质和微观结构的影响[J]. 农业工程学报, 2012, 28(15): 221-227.
- [9] YOKOYAMA Y, SAKAGUCHI M, KAWAI F, et al. Changes in concentration of ATP-related compounds in various tissues of oyster during ice storage[J]. Nippon Suisan Gakkaishi, 1992, 58(11): 2125-2136.
- [10] 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.
- [11] SAITO T, ARAI K, MATSUGOSHI M. A new method for estimating the freshness of fish[J]. Bulletin of the Japanese Society of Scientific Fisheries, 1959, 24: 749-750.
- [12] LOSADA V, PINEIRO C, BARROS-VELAZQUEZ J, et al. Inhibition of chemical changes related to freshness loss during storage of horse mackerel(*Trachurus trachurus*) in slurry ice[J]. Food Chemistry, 2005, 93(4): 629-625.
- [13] 杨文鸽, 薛长湖, 徐大伦. 大黄鱼冰藏期间ATP关联物含量变化及其鲜度评价[J]. 农业工程学报, 2007(6): 217-222.
- [14] ÖZOGUL Y, ÖZOGUL F, GÖKBULUT C. Quality assessment of wild European eel stored in ice[J]. Food Chemistry, 2006, 95(3): 458-465.
- [15] TAKASHI K, MAYA F, HIDEYUKI G, et al. Effects of freshness on ATP-related compounds in retorted chub mackerel *Scomber japonicas*[J]. Food Science and Technology, 2007, 40(7): 1186-1190.
- [16] 石建高, 钟文珠. 太平洋柔鱼中呈味物质的抽提方法比较[J]. 大连水产学院学报, 2007, 17(4): 291-296.
- [17] SCHULTZ H W, DAY E A, LIBBEY L M. Fish flavor[M]. Westport, CN: Avi Publishing Co., 1967: 267-295.
- [18] 张常松. 罗非鱼片的超临界CO₂干燥特性研究[D]. 湛江: 广东海洋大学, 2011: 56-57.