

# 预处理对干燥罗非鱼片蛋白质变性的影响及优化

郑曼, 关志强\*, 李敏, 吴宝川, 康彦

(广东省水产品加工与安全重点实验室, 广东普通高等学校水产品深加工重点实验室, 广东海洋大学食品科技学院, 广东湛江 524088)

**摘要:**以  $\text{Ca}^{2+}$ -ATPase 活性为指标, 采用响应面优化分析, 研究了预处理试剂丙二醇、丙三醇和 NaCl 的添加量对干燥罗非鱼片蛋白质变性的影响, 得到较优预处理配方为丙二醇 2% + 丙三醇 3% + NaCl 1%。采用优化后的预处理配方对罗非鱼片进行预处理, 分析干燥罗非鱼片蛋白质变性和组织结构的变化情况, 结果表明, 经过预处理的干燥罗非鱼片  $\text{Ca}^{2+}$ -ATPase 活性和盐溶性蛋白溶解度有了明显提高, 干制样品的组织结构得到明显的改善, 并且干燥温度对干燥罗非鱼片的蛋白质变性有显著影响, 温度越高, 变性程度越严重, 组织结构破坏也越严重。

**关键词:** 预处理, 干燥罗非鱼片, 蛋白质变性

## Effect of pretreatment on the protein denaturation of dried tilapia fillets

ZHENG Man, GUAN Zhi-qiang\*, LI Min, WU Bao-chuan, KANG Yan

(Guangdong Provincial Key Laboratory of Aquatic Product Processing and Safety, Key Laboratory of Advanced Processing of Aquatic Products of Guangdong Higher Education Institution, College of Food Science and Technology, Guangdong Ocean University, Zhanjiang 524088, China)

**Abstract:**  $\text{Ca}^{2+}$ -ATPase activity as the indicator to reflect the relativity among propylene glycol, glycerol and sodium chloride. Response surface methodology was used to optimize the pretreatment conditions with the result: propylene glycol 2% + glycerol 3% + NaCl 1%. The results showed that pretreatment improved the remains of  $\text{Ca}^{2+}$ -ATPase activity and salt-solubility of myofibrillar protein obviously. And the tissue structure was improved obviously. Drying temperature could influence protein denaturation obviously. The degeneration was more serious and the organization structure was damaged more seriously under the higher temperature.

**Key words:** pretreatment; dried tilapia fillets; protein denaturation

中图分类号: TS254.1

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2013)09-0103-06

罗非鱼是我国当前重要的淡水养殖品种之一, 也是我国最具国际竞争实力、最具产业化发展前景的品种。因其肉质鲜美、细嫩, 含有丰富的蛋白质和多种不饱和脂肪酸, 日益受到人们的广泛青睐。2009年, 我国罗非鱼产量为 125.7 万 t, 占全球产量的三分之一以上<sup>[1-3]</sup>。罗非鱼等水产原料大多含有较高的水分, 生产季节性强, 原料易于腐败, 必须采取有效手段对原料进行及时保鲜和加工处理。干燥是鱼类保藏的常用技术, 是许多食品加工中不可缺少的环节, 也是一个复杂的工艺过程<sup>[4-5]</sup>。由于罗非鱼肉含有丰富的蛋白质、脂肪等营养成分, 这些成分经不同温度的加热处理后的变化情况不同, 肌肉蛋白质的结构和化学性质发生变化, 严重影响了消费者的口感和对营养成分的需求<sup>[6-7]</sup>。关于水产品冷

冻引起蛋白质变性以及抗冻剂的研究, 国内外专家学者已做了不少值得借鉴的工作<sup>[8-10]</sup>, 关于食品干燥前预处理方面的研究主要集中在果蔬类<sup>[11-14]</sup>, 而鱼类干燥过程蛋白质的热变性及其品质改良的研究却鲜有报道。本文以大宗罗非鱼为原料, 采用热泵干燥, 以  $\text{Ca}^{2+}$ -ATP 酶活性、盐溶性蛋白溶解度和组织切片为指标, 研究了干燥预处理对干制罗非鱼片蛋白质变性作用的影响, 为高品质干燥罗非鱼的工业化生产提供参考依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料与仪器

罗非鱼 购于湛江市霞山海鲜市场。试剂 丙二醇, 丙三醇, NaCl 均为食品级。

热泵干燥装置(自建)<sup>[15]</sup>; 岛津 UV-1800 紫外分光光度计; DZF-6050 型真空干燥器; 上海精宏实验仪器有限公司; JA 2003A 型电子分析天平; 上海精密科学仪器有限公司; YD2202 切片机, 浙江省金华市益迪医疗设备厂; 摄像显微镜, 日本奥林巴斯出厂。

### 1.2 实验方法

收稿日期: 2012-11-20 \* 通讯联系人

作者简介: 郑曼(1986-), 女, 硕士, 主要从事食品冷冻与干燥工程技术研究。

基金项目: 广东省海洋渔业科技推广专项(A201001C05)。

1.2.1 工艺流程 原料鱼→制取鱼片→预处理→热泵干燥→指标检测

1.2.2 操作要点 制取鱼片:将新鲜的罗非鱼去头尾、去内脏、去鱼鳞后,清洗干净,从鱼脊骨上方开始取肉,两侧各取一片,去骨,然后对鱼片进行去皮整形,控制鱼片大小为 50mm×40mm×4mm(±1mm),约重 15g。

预处理:根据国家标准 GB 2760-2011 食品添加剂使用标准确定丙二醇、丙三醇的添加量为 1%~5%。因此单因素实验中在鱼片表面分别添加丙二醇、丙三醇、NaCl 进行浸渍,添加量为 1%,2%,3%,4%,5%,每小时搅拌 1 次,浸渍 3h。对照组不添加。在单因素实验的基础上,分别以丙二醇,丙三醇,NaCl 的添加量为自变量,以  $\text{Ca}^{2+}$ -ATPase 活性为响应值,进行响应面实验设计与分析。表 1 为实验设计水平编码表。

表 1 响应面实验因素和水平编码表

Table 1 Factors and the levels coding of experiment of response surface analysis

| 水平 | $x_1$ 丙二醇 (%) | $x_2$ 丙三醇 (%) | $x_3$ NaCl (%) |
|----|---------------|---------------|----------------|
| -1 | 2             | 2             | 0              |
| 0  | 3             | 3             | 1              |
| 1  | 4             | 4             | 2              |

热泵干燥:用吸水纸吸取鱼片表面水分,整齐地摆放在不锈钢网上。在温度分别为 30、45、60℃,风速 2.5m/s,湿度 28%~34% 的条件下将鱼片干燥至含水量为 28%~30%。每个实验重复 3 次。

### 1.2.3 检测方法

1.2.3.1  $\text{Ca}^{2+}$ -ATPase 活性的测定 采用 ATP 酶检测试剂盒测定。ATP 酶检测试剂盒由南京建成生物工程研究所提供。 $\text{Ca}^{2+}$ -ATPase 活性以在 25℃ 时每毫克蛋白质在每小时内所产生的无机磷的微摩尔数表示,单位为  $\mu\text{mol Pi}/\text{mg prot}/\text{h}$ 。

$$\text{Ca}^{2+}\text{-ATPase 活性的变化率} = \frac{A_1}{A_2}$$

式中: $A_1$ -干燥样品鱼肉的  $\text{Ca}^{2+}$ -ATPase 活性; $A_2$ -新鲜鱼肉的  $\text{Ca}^{2+}$ -ATPase 活性。

1.2.3.2 盐溶性蛋白的测定 准确称取 3g 鱼肉充分研碎,用 10 倍体积磷酸盐缓冲液( $I=0.05$ ,  $\text{pH}7.5$ )提取 1h,在 4000r/min 下离心 10min,去除上清液,重复两次,沉淀肉用 10 倍体积的 Weber-Edsall 溶液(0.6mol/L KCl - 0.01mol/L  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  - 0.04mol/L  $\text{NaHCO}_3$ ) 在 4℃ 的环境中提取 20h,不断搅拌,在 6000r/min 下离心 10min,取上清液,采用考马斯亮蓝法进行蛋白质定量。

1.2.3.3 组织切片的观察 采用 Bouin 氏液对组织样品进行固定,经过梯度乙醇脱水,二甲苯透明,石蜡包埋,石蜡切片机切片,采用 H.E 染色方法对组织切片进行染色,然后显微影像 10×10 倍放大摄影观察。

## 2 结果与分析

### 2.1 预处理对干燥罗非鱼片 $\text{Ca}^{2+}$ -ATPase 活性影响的单因素实验

干燥过程中,由于蛋白质分子与结合水的结合

状态被破坏,导致蛋白质变性,使鱼肌原纤维蛋白  $\text{Ca}^{2+}$ -ATPase 活性下降, $\text{Ca}^{2+}$ -ATPase 活性大小能够直接反映出肌球蛋白的变性程度,广泛用来作为反映鱼肉蛋白变性的指标。由图 1 可知,在添加量小于 4% 的情况下,分别经丙二醇、丙三醇和 NaCl 浸渍得到的干制罗非鱼片的  $\text{Ca}^{2+}$ -ATPase 活性均高于对照组(添加量为零),即能够有效抑制鱼肉蛋白在干燥过程中的热变性。随着预处理试剂添加量的增加,干燥罗非鱼片  $\text{Ca}^{2+}$ -ATPase 活性呈现先升高后降低的趋势。丙二醇、丙三醇和 NaCl 的添加量分别为 3%、3%、1% 时,干制罗非鱼片的  $\text{Ca}^{2+}$ -ATPase 活性达到最大值。因此在响应面优化实验中预处理添加量的选取范围取丙二醇 2%~4%,丙三醇 2%~4%,NaCl 0~1%。

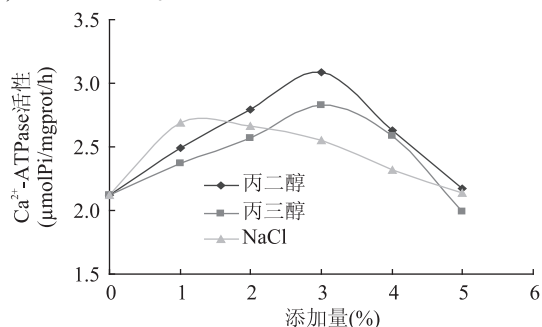


图 1 45℃ 干燥条件下不同预处理对干燥罗非鱼片  $\text{Ca}^{2+}$ -ATPase 活性的影响

Fig.1 Effect of different pretreatments on  $\text{Ca}^{2+}$ -ATPase activity of tilapia fillets under 45℃

### 2.2 预处理工艺模型建立及响应面分析

按照 Box-Behnken 实验方案进行三因素三水平实验,结果见表 2。将所得的数据用 Design Expert 软件最小二乘法拟合,得到预处理添加剂丙二醇( $x_1$ )、丙三醇( $x_2$ )和 NaCl( $x_3$ )的二次多项回归方程为:

$$Y = 1.20155 - 0.10978x_1 + 1.46922x_2 + 0.17745x_3 - 2.50000E - 003x_1x_2 - 0.014750x_1x_3 + 0.022750x_2x_3 - 6.10000E - 003x_1^2 - 0.24660x_2^2 - 0.11435x_3^2, R^2 = 0.9981.$$

由表 3 方差分析可知,回归方程的  $p < 0.0001$  (极显著),由表 3 可知失拟合  $p = 0.1817$  (不显著),表明方程对实验拟合良好,实验误差小。模型的总决定系数  $R^2 = 0.9981$ ,即有 99.81% 的正确性来表明响应值的变化。利用此模型可以对预处理工艺对干燥罗非鱼  $\text{Ca}^{2+}$ -ATPase 活性的影响进行分析和预测。

该模型能较好地反映出丙二醇、丙三醇和 NaCl 的添加量与干燥罗非鱼  $\text{Ca}^{2+}$ -ATPase 活性的关系。由表 3 可以看出,二次项  $x_2^2$ 、 $x_3^2$ ,交互项  $x_1x_3$ 、 $x_2x_3$ ,一次项  $x_1$ 、 $x_3$  对干燥罗非鱼  $\text{Ca}^{2+}$ -ATPase 活性的影响显著。图 4~图 6 分别显示了  $x_1x_2$ 、 $x_1x_3$ 、 $x_2x_3$  的并互影响作用,图形越陡等高线越密集,则交互作用越显著,交互作用的排序为  $x_2x_3 > x_1x_3 > x_1x_2$ ,这与方差分析中的结果一致。由响应面模型得出最优预处理工艺为:丙二醇 2% + 丙三醇 3.01% + NaCl 0.95%,在该条件下干燥罗非鱼  $\text{Ca}^{2+}$ -ATPase 活性为

3.2331  $\mu\text{mol Pi}/\text{mg prot}/\text{h}$ 。选取最佳条件: 丙二醇 2% + 丙三醇 3% + NaCl 1%, 进行验证性实验, 得到干燥罗非鱼片的  $\text{Ca}^{2+}$ -ATPase 活性为 3.23  $\mu\text{mol Pi}/\text{mg prot}/\text{h}$ 。

表2 罗非鱼干燥预处理工艺响应面实验设计及结果

Table 2 Arrangement and result of response surface analysis about pretreatment condition

| 实验号 | $x_1$ | $x_2$ | $x_3$ | Y $\text{Ca}^{2+}$ -ATPase 活性 ( $\mu\text{mol Pi}/\text{mg prot}/\text{h}$ ) |
|-----|-------|-------|-------|--|
| 1   | 0     | 1     | -1    | 2.723  |
| 2   | 0     | -1    | -1    | 2.754  |
| 3   | 1     | 1     | 0     | 2.64   |
| 4   | 1     | -1    | 0     | 2.64   |
| 5   | -1    | 0     | -1    | 3.12   |
| 6   | -1    | 1     | 0     | 3  |
| 7   | -1    | -1    | 0     | 2.99   |
| 8   | 1     | 0     | -1    | 2.83   |
| 9   | 0     | -1    | 1     | 2.65   |
| 10  | 0     | 0     | 0     | 3.077  |
| 11  | 0     | 0     | 0     | 3.064  |
| 12  | 0     | 0     | 0     | 3.058  |
| 13  | 0     | 1     | 1     | 2.71   |
| 14  | 1     | 0     | 1     | 2.75   |
| 15  | -1    | 0     | 1     | 3.099  |
| 16  | 0     | 0     | 0     | 3.081  |
| 17  | 0     | 0     | 0     | 3.071  |

表3 罗非鱼干燥预处理工艺响应面实验结果方差分析表

Table 3 ANOVA for the pretreatment condition response surface mode

| 来源       | 自由度 | 平方和      | F        | p       |
|----------|-----|----------|----------|---------|
| 模型       | 9   | 0.56397  | 414.5773 | <0.0001 |
| $x_1$    | 1   | 0.227475 | 1504.963 | <0.0001 |
| $x_2$    | 1   | 0.00019  | 1.257856 | 0.2991  |
| $x_3$    | 1   | 0.005941 | 39.30202 | 0.0004  |
| $x_1x_2$ | 1   | 2.5E-05  | 0.165399 | 0.6964  |
| $x_1x_3$ | 1   | 0.00087  | 5.757526 | 0.0475  |
| $x_2x_3$ | 1   | 0.00207  | 13.69666 | 0.0076  |
| $x_1^2$  | 1   | 0.000157 | 1.036544 | 0.3425  |
| $x_2^2$  | 1   | 0.256049 | 1694.004 | <0.0001 |
| $x_3^2$  | 1   | 0.055057 | 364.250  | <0.0001 |
| 失拟合      | 3   | 0.000707 | 2.688141 | 0.1817  |
| 纯误差      | 4   | 0.000351 |          |         |
| 总和       | 16  | 0.5797   |          |         |

### 2.3 预处理对干制罗非鱼片蛋白质变性及其组织结构的影 响

选取上述优化后的预处理配方(丙二醇 2% + 丙三醇 3% + NaCl 1%), 对罗非鱼片进行干燥预处理, 并与未经预处理的对照组比较, 分析预处理对干制罗非鱼片蛋白质变性及其组织结构的影响。

2.3.1 预处理对干制罗非鱼片  $\text{Ca}^{2+}$ -ATPase 活性的影响 由图 5 可知, 三种干燥温度下得到的罗非鱼片  $\text{Ca}^{2+}$ -ATPase 活性的变化率都在 50% 以上。干燥

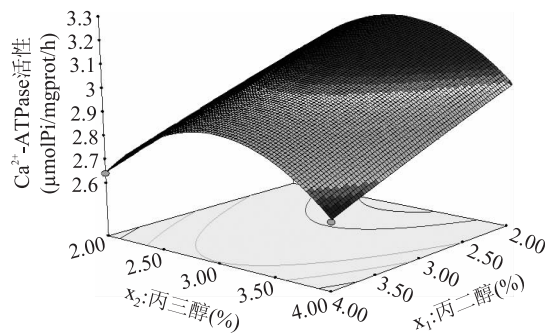


图2 丙二醇和丙三醇响应面立体分析  $Y = f(x_1, x_2)$

Fig.2 The response surface graph,  $Y = f(x_1, x_2)$

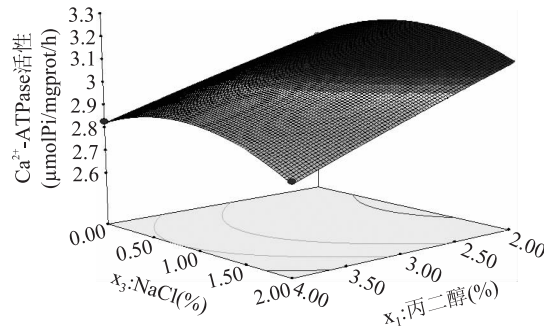


图3 丙二醇和 NaCl 响应面立体分析  $Y = f(x_1, x_3)$

Fig.3 The response surface graph,  $Y = f(x_1, x_3)$

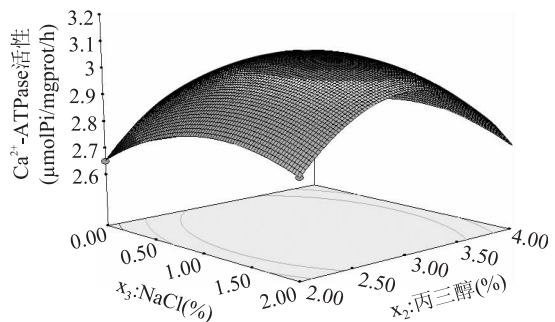


图4 丙三醇和 NaCl 响应面立体分析图,  $Y = f(x_2, x_3)$

Fig.4 The response surface graph,  $Y = f(x_2, x_3)$

温度对罗非鱼片  $\text{Ca}^{2+}$ -ATPase 活性有显著影响, 干燥温度越高, 干燥罗非鱼的  $\text{Ca}^{2+}$ -ATPase 活性越小。同一干燥温度下, 经过预处理的罗非鱼片  $\text{Ca}^{2+}$ -ATPase 活性的下降受到很大程度的抑制, 明显高于空白对照组, 干燥温度为 30、45、60 $^{\circ}\text{C}$  时分别提高 8.3%、13.5% 和 6.3%。

2.3.2 预处理对干制罗非鱼片盐溶性蛋白溶解度的影响 由图 6 可知, 干燥温度对罗非鱼片的盐溶性蛋白溶解度有显著影响, 干燥温度越高, 干燥罗非鱼的盐溶性蛋白溶解度越小。同一干燥温度下, 经过预处理的罗非鱼片盐溶性蛋白溶解度明显高于空白对照组, 干燥温度为 30、45、60 $^{\circ}\text{C}$  时分别提高 19.4%、11.5% 和 10.6%。表明预处理可提高盐溶性蛋白的溶解度, 有效改善鱼片的干制品质。

2.3.3 预处理对干制罗非鱼片组织结构的影响 将新鲜罗非鱼片样品和经过预处理试剂预处理后并在不同干燥温度条件下干制的样品进行组织切片分



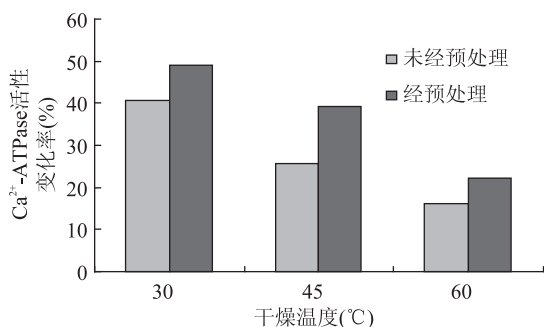


图5 预处理对罗非鱼片  $\text{Ca}^{2+}$ -ATPase 活性的影响

Fig.5 Effect of pretreatment

on  $\text{Ca}^{2+}$ -ATPase activity of tilapia fillets

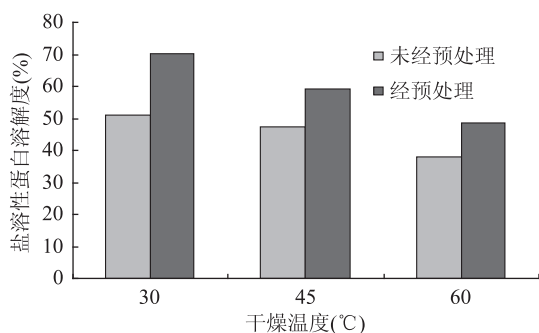
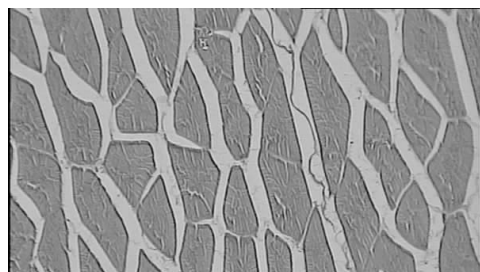


图6 预处理对罗非鱼片盐溶性蛋白溶解度的影响

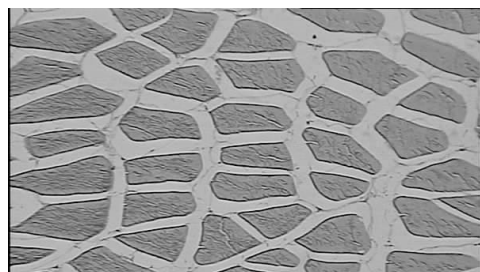
Fig.6 Effect of pretreatment on salt-solubility

of myofibrillar protein of tilapia fillets

析,其结果如图7~图10所示。



A横切

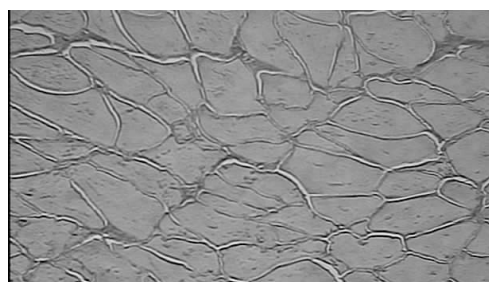


B纵切

图7 新鲜罗非鱼纵、横切片

Fig.7 The vertical and across cutting film of fresh tilapia

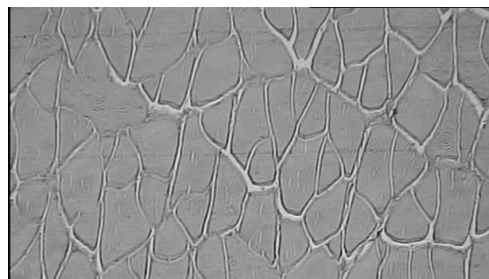
由图7可以看出,新鲜鱼片由于含水率较高,肌肉组织结构清晰,排列有序,肌肉细胞完整性保持良好。图8、图9和图10与图7对比可以看出,干制后其组织结构发生了很大的变化,且与无添加相比,添加预处理试剂后鱼片的组织结构能得到有效的改善。



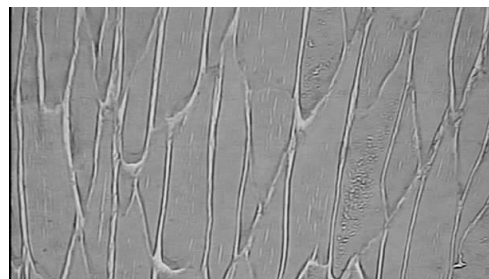
A横切(对照)



B纵切(对照)



A横切(经预处理)

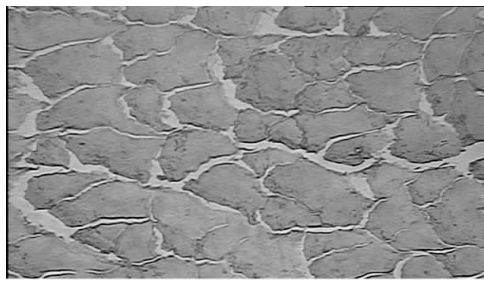


B纵切(经预处理)

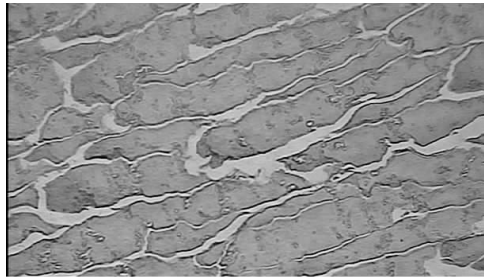
图8 30°C干燥罗非鱼纵、横切片

Fig.8 The vertical and across cutting film of tilapia dried under 30°C

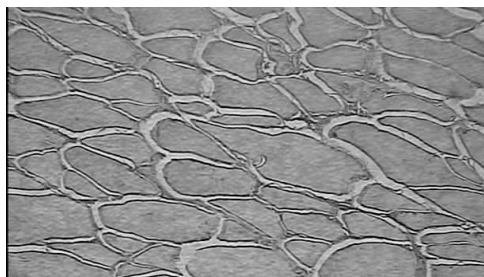
根据细胞生物学的概念,细胞结构的破坏会导致细胞液的大量流失,使维持细胞内部结构稳定的因素被破坏,这就极易导致酶活性的下降和肌球蛋白的变性。由图7~图10比较可以看出,干燥鱼片 and 新鲜鱼片的组织结构有明显的差异。不论是否经过预处理,干燥温度高低,罗非鱼的肌肉组织结构都遭到了破坏。表现为:肌细胞的间隙减小,细胞受到机械损伤发生破裂,肌纤维挤压在一起,使纤维结构排列无序化;肌纤维发生局部断裂,呈现收缩致密的结构特征<sup>[16]</sup>。干燥温度越高,鱼片细胞和纤维组织破坏程度越严重。30°C得到的干制鱼片组织结构纹理清晰,排列整齐,变形程度小。而60°C得到的干制鱼片组织结构破坏严重,细胞间隙已连成块甚至连成片,说明部分细胞已破坏,肌细胞基本上没有完整的



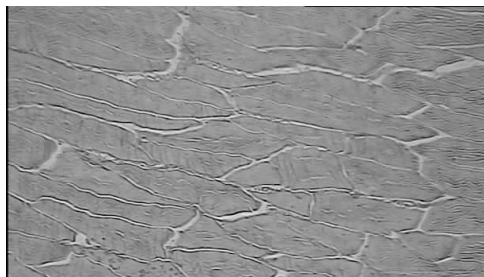
A横切(对照)



B纵切(对照)



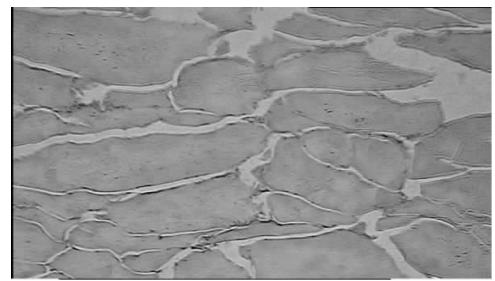
A横切(经预处理)



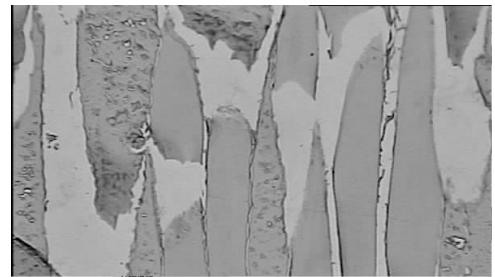
B纵切(经预处理)

图9 45℃干燥罗非鱼纵、横切片

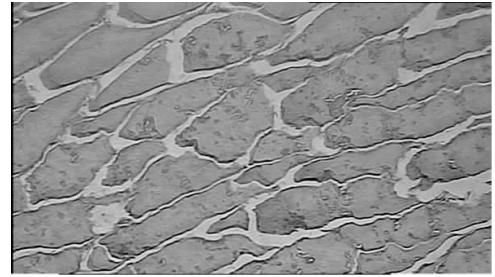
Fig.9 The vertical and across cutting film of tilapia dried under 45℃



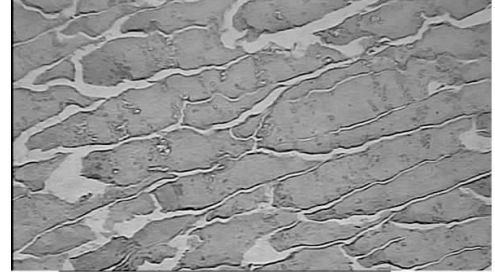
A横切(对照)



B纵切(对照)



A横切(经预处理)



B纵切(经预处理)

图10 60℃干燥罗非鱼纵、横切片

Fig.10 The vertical and across cutting film of tilapia dried under 60℃

形态。同一干燥温度下,经预处理的鱼片组织结构相对清晰,排列整齐,变形程度小。说明预处理能有效减少鱼片组织结构的变形,改善干品品质。

### 3 结论

3.1 以  $Ca^{2+}$ -ATPase 活性为指标,利用响应面优化分析得到最佳预处理工艺:丙二醇 2% + 丙三醇 3% + NaCl 1%,此预处理条件下得到的干燥罗非鱼片  $Ca^{2+}$ -ATPase 活性为  $3.23 \mu\text{mol Pi}/\text{mgprot}/\text{hour}$ 。

3.2 干燥温度对罗非鱼片的  $Ca^{2+}$ -ATPase 活性、盐溶性蛋白溶解度及组织结构有显著影响,干燥温度越高,鱼片  $Ca^{2+}$ -ATPase 活性和盐溶性蛋白溶解度越小,组织结构破坏程度越严重。

3.3 预处理能有效防止鱼片干燥过程的蛋白质变性,

明显减少肌肉组织的机械损伤,有效保护细胞的完整性和肌纤维排列的有序性。使用预处理剂处理鱼片,能防止鱼片蛋白质变性,有效改善干鱼片品质。

### 参考文献

- [1]雷光英,曹俊明,万忠,等.2010年广东罗非鱼产业发展现状分析[J].广东农业科学,2011(8):12-14.
- [2]李思发.我国罗非鱼产业的发展前景和瓶颈问题[J].农技服务,2004(4):4-6.
- [3]叶盛权,郭祀远,吴晖,等.罗非鱼片干燥技术的研究[J].食品工业科技,2008,29(9):205-311.
- [4]Pengpad S,Rakwichian W.Drying fish and meat by using solar dryer for the cottage industrial scale[J].Journal of the National

(下转第 111 页)



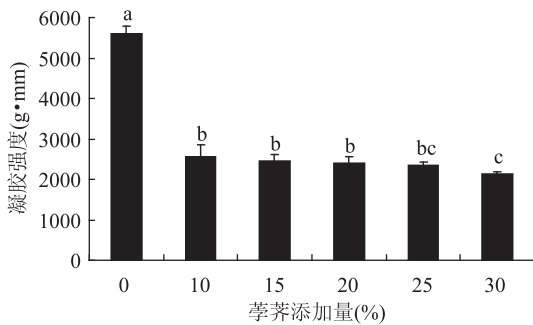


图3 荸荠对鱼丸凝胶强度的影响

Fig.3 Effect of water-chestnuts on gel strength of fish ball

加量为20%时所制得的鱼丸感官品质最佳,其中鱼丸的气味、滋味和口感达到最优,且对鱼丸的色泽和外观影响较小;当荸荠的添加量为15%~20%时混馅鱼丸的气味、滋味和外观均得到改善,但是鱼丸的色泽变差。添加藕、香菇、荸荠后的鱼丸的凝胶强度均随着添加量的增加而降低且荸荠的影响最大,藕次之,香菇的影响相对最小。

参考文献

[1] 刘茹,汪丽,熊善柏.三种添加剂在鱼肉猪肉复合凝胶中的作用[J].食品工业科技,2011,32(9):350-353.  
 [2] 辛美丽,王笑丹,朱志伟,等.几种配料对鲤鱼鱼丸品质的影响及贮藏过程品质变化[J].现代食品科技,2010,28(8):810-814.  
 [3] 叶红,龙玉平,黄琴,等.斑点叉尾鮰鱼丸弹性的研究[J].  
 Research Council of Thailand,1996(1):1-15.  
 [5] Zakhia N, Bohuon P, Collignan A. Modelling of fish drying kinetics using a combination of surface methodology and diffusional models [ J ].Drying Technology, 1995, 13 ( 8 ): 2083-2096.  
 [6] 段振华,易美华,王志国,等.罗非鱼的加工技术[J].水产科技情报,2005,32(6):250-251.  
 [7] 刘珊,刘晓艳.热变性对蛋白质理化性质的影响[J].中国食品添加剂,2006(6):108-112.  
 [8] Katherine A Pikal - Cleland. Protein Denaturation during Freezing and Thawing in Phosphate Buffer Systems: Monomeric and Tetrameric Galactosidase [ J ].Archives of Biochemistry and Biophysics,2000,384(2):398-406.  
 [9] Md Anwar Hossain. Effect of proteolytic squid protein hydrolysate on the state of water and denaturation of lizardfish (Saurida wanieso) myofibrillar protein during freeing [ J ]. Innovative Food Science and Emerging Technologies,2004(5):73-79.  
 [10] Soottaw at Benjakul. Comparative study on physicochemical changes of muscle proteins from some tropical fish during frozen

肉类工业,2012(1):36-39.  
 [4] 欧丽兰,霍健聪.白鲢银杏鱼丸的试制[J].水产品加工,2005(1):73-74.  
 [5] 陈长毅.山药鱼丸工艺配方的研究[J].食品科技,2011,36(3):126-128.  
 [6] 孟秀梅,张绵松,袁文鹏,等.蔬菜鱼糜制品的研制[J].农产品加工,2009(8):39-41.  
 [7] 高翔,王蕊,刘后祥.山药添加量对鲢鱼鱼糜制品品质的影响[J].食品科学,2009,30(23):143-146.  
 [8] 张长贵,董加宝,王赧旭,等.莲藕的营养保健功能及其开发利用[J].中国食物与营养,2006(1):22-24.  
 [9] 李雄辉,陈全庚,过新胜.香菇酒酿造工艺及稳定性的研究[J].酿酒科技,1991(1):46-47.  
 [10] 郭少惠,许圆.新型马蹄果冻(马蹄糕)的研制[J].食品安全质量检测学报,2011,2(2):67-71.  
 [11] 孔进喜,韩文芳,吕广英,等.荸荠食品加工研究进展[J].保鲜与加工,2011,11(1):43-46.  
 [12] 刘茹,钱曼,雷跃磊,等.漂洗方式对鲢鱼鱼糜凝胶劣化性能的影响[J].食品科学,2010,31(21):89-93.  
 [13] Liu R, Zhao S M, Xie B J, et al.. Contribution of protein conformation and intermolecular bonds to fish and pork gelation properties [ J ].Food Hydrocolloids,2011,25(5):898-906.  
 [14] 潘永贵,陈维信.鲜切莲藕组织中多酚氧化酶的分离纯化[J].食品与生物技术学报,2008,27(2):55-60.  
 [15] Vaughn K C, Lax A R, Duke S O. Polyphenol oxidase: the chloroplast oxidase with no established function [ J ].Physiologia Plantarum,1988,72(3):659-665.

(上接第107页)

storage [ J ].Food Research International,2003,36(8):787-795.  
 [11] Bahadur Singh, PS Panesar. Optimisation of osmotic dehydration of carrot cubes in sucrose - salt solutions using response surface methodology [ J ].Eur Food Res Technol,2007,225(2):157-165.  
 [12] Naikwadi PM, Chavan UD, Pawar VD, et al. Studies on dehydration of figs using different sugar syrup treatments [ J ]. Food Sci Technol,2010,47(4):442-445.  
 [13] Ibrahim Doymaz. Drying kinetics of black grapes treated with different solutions [ J ].Journal of Food Engineering,2006,76(2):212-217.  
 [14] Contreras C, Martin - Esparza ME. Influence of osmotic pre-treatment and microwave application on properties of air dried strawberry related to structural changes [ J ]. Eur Food Res Technol,2007,224(4):499-504.  
 [15] 刘兰,关志强,李敏.罗非鱼片热泵干燥时间及品质影响因素的初步研究[J].食品科学,2008,29(9):307-310.  
 [16] 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):221-226.