

# 不同添加剂渗透预处理对热泵干燥罗非鱼片品质的影响\*

吴阳阳<sup>1</sup>,李敏<sup>2</sup>,关志强<sup>2</sup>,张珂<sup>1</sup>,杜慧<sup>3</sup>

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

2(广东海洋大学 工程学院,广东 湛江,524088) 3(广东海洋大学 测试中心,广东 湛江,524088)

**摘要** 为了获得不同渗透预处理试剂对罗非鱼热泵干燥综合品质的影响,以罗非鱼为实验材料,以干燥时间、 $\text{Ca}^{2+}$ -ATPase 活性、复水率、白度、硬度及其综合评分作为指标,进行了罗非鱼经不同浓度的海藻糖、聚葡萄糖、茶多酚、甘露醇和谷氨酸钠浸渍预处理后的热泵干燥实验,获得不同浓度试剂预处理的热泵干燥曲线和品质变化规律。结果表明:5种添加剂的浸渍均能减少干燥时间,提升干燥品质。实验中最短的干燥时间比对照组减少了31%。品质综合评分较优的浓度分别为50 g/L海藻糖、20 g/L聚葡萄糖、6 g/L茶多酚、2 g/L甘露醇和2 g/L谷氨酸钠,且各自对应的综合评分与对照组相比分别提高了60.35%、60.25%、32.23%、41.63%和42.00%。

**关键词** 添加剂;热泵干燥;罗非鱼片;品质;综合得分

热泵干燥是从低温热源吸收热量,将其在较高温度下释放从而对物料进行加热的一种干燥方法。通过合理调控装置的运行,可以实现低温干燥。对于热敏性物料,低温虽然有利于保持产品品质,但同时也延长了干燥时间,从而影响产品的品质。尤其是对于富含蛋白质的水产品来说,干燥会导致部分蛋白质变性和组织结构及质构异变,从而使产品营养下降,所以在干燥物料前通常会加入一些干燥保护剂。常见的干燥保护剂主要有糖类海藻糖<sup>[1-3]</sup>、聚合物类聚葡萄糖<sup>[4-5]</sup>、多羟基化合物类甘露醇<sup>[6-7]</sup>、氨基酸类谷氨酸钠<sup>[6]</sup>以及茶多酚<sup>[8]</sup>等。

不同种类干燥保护剂均能对物料有一定的保护作用,但目前干燥保护剂大多作用于水果蔬菜及菌种细胞保护,用于水产品干燥加工中的报道较少,本实验室一直致力于罗非鱼热泵干燥品质及其改善的研究,为了更系统全面地探讨预处理试剂对罗非鱼片品质及干燥速率的综合影响,本文选用几种代表性的干燥添加剂,通过其应用效果的试验研究,以期找到适合罗非鱼片干燥加工预处理的添加剂,提高产品品质及干燥速率。

## 1 材料与amp;方法

### 1.1 试验材料

第一作者:硕士研究生(李敏副教授为通讯作者,E-mail:limin2080@163.com)。

\*广东省科技厅资助项目(2013B020312007)

收稿日期:2015-03-12,改回日期:2015-05-07

新鲜罗非鱼,购于湛江市霞山区农贸市场,质量约750 g/条;海藻糖,佳诺食品添加剂有限公司;茶多酚,广州利源食品添加剂有限公司;聚葡萄糖、甘露醇、谷氨酸钠,河南正兴食品添加剂有限公司,以上试剂均为食品级;三磷酸腺苷酶活性测试盒与考马斯亮蓝蛋白测定试剂盒,南京建成生物工程研究所。

### 1.2 试验设备

自建功率2.2 kW、温度-20~80℃、相对湿度20%~80%可调的热泵干燥装置<sup>[9]</sup>;HH.S21-6型电热恒温水浴锅,上海博讯实业有限公司;GTR22-1型高速冷冻离心机,北京时代北利离心机有限公司;UV-8000A型双光束紫外可见分光光度计,上海元析仪器有限公司。CR-10型手持色度仪,日本柯尼卡美能达控股有限公司;TMS-PRO型质构仪,美国FTC公司;DZF-6050型真空干燥箱,上海精宏试验设备有限公司;JJ600型电子天平,常熟市双杰测试仪器厂。

### 1.3 实验方法

#### 1.3.1 热泵干燥罗非鱼片的制备

将罗非鱼切成100 mm×50 mm×5 mm规格的片状,在4℃温度条件下浸渍预处理1 h,然后在45℃、2.5 m/s的风速条件下进行热泵干燥<sup>[10]</sup>。所选浸渍液分别为不同质量浓度的海藻糖(10、50、100 g/L)、聚葡萄糖(20、40、60、80 g/L)、茶多酚(2、4、6、8 g/L)、甘露醇(2、4、6、8 g/L)、谷氨酸钠(2、4、6、8 g/L),未经浸渍预处理的样品作为对照组。

#### 1.3.2 初始含水率的测定

称取一定量的新鲜鱼肉,放入真空干燥箱里干燥

至绝干,称取质量。初始含水率按照式(1)计算:

$$w_0 = \frac{m_0 - m_1}{m_0} \quad (1)$$

式中:  $w_0$  为鲜鱼的初始含水率(g/g);  $m_0$  为新鲜鱼肉质量(g);  $m_1$  为新鲜鱼肉绝干质量(g)。

### 1.3.3 热泵干燥过程中鱼片干基含水率的测定

在热泵干燥过程中每1 h称取鱼片质量一次,直至干基含水率达到(0.3 ± 0.02) g/g 结束干燥,其干基含水率按照式(2)计算:

$$w_t = \frac{m_t - m_0(1 - w_0)}{m_0(1 - w_0)} \quad (2)$$

式中:  $w_t$  为热泵干燥 t 时刻鱼片干基含水率(g/g);  $m_t$  为 t 时刻鱼片质量(g);  $m_0$  为鲜鱼片质量(g);  $w_0$  为鲜鱼的初始含水率(g/g)。

### 1.3.4 干燥曲线的绘制

绘制鱼片干基含水率随热泵干燥时间的变化曲线,即得干燥曲线图。

### 1.3.5 白度的测定

热泵干燥后罗非鱼片的白度采用 CR-10 型色度计测定,在室温下测定样品的  $L^*$ 、 $a^*$ 、 $b^*$  值,其中  $L^*$  表示黑暗色(0)到明亮色(100),  $a^*$  表示红色(+)到绿色(-),  $b^*$  表示黄色(+)到蓝色(-)。参照钱炳俊<sup>[11]</sup>等方法,白度(W)按照式(3)计算:

$$W = 100 - [(100 - L^*)^2 + a^{*2} + b^{*2}]^{\frac{1}{2}} \quad (3)$$

### 1.3.6 $Ca^{2+}$ -ATPase 活性的测定

$Ca^{2+}$ -ATPase 活性采用三磷酸腺苷酶活性试剂盒与考马斯亮蓝蛋白测定试剂盒进行测定,其值表示每小时每毫克组织蛋白的组织中 ATP 酶分解 ATP 产生 1  $\mu\text{mol}$  无机磷的量,其单位为  $\mu\text{molPi}/(\text{mg 蛋白} \cdot \text{h})$ <sup>[12]</sup>。

### 1.3.7 复水率的测定

称取一定重量热泵干燥后的样品( $m_b$ ) 在 40 °C 恒温水浴锅中复水 1 h,擦干表面水分,称取其质量( $m_a$ )。复水率  $w_f$  按照式(4)计算:

$$w_f = \frac{m_b - m_a}{m_b} \quad (4)$$

### 1.3.8 质构的测定

质构分析是通过利用圆柱形探头两次下压热泵干燥后样品来模拟人咀嚼情形的一种分析测试方法<sup>[13]</sup>。质构测定采用平底柱形探头 P/5,测试条件为:测试速率为 1 mm/s,样品形变量为 50%,探头 2 次测定间隔时间 5 s。

### 1.3.9 综合加权评分的确定

参照吴宝川<sup>[14]</sup>的方法,并稍作修改。采用综合加权评分法处理  $Ca^{2+}$ -ATPase 活性、复水率、白度和硬度四个指标,其所得总分作为最终判断指标。以满分 100 分计,上述指标分别定为 35、30、20、15 分,加权评分按照式(5)计算:

对于测定值越大品质越佳的  $Ca^{2+}$ -ATPase 活性、复水率和白度,计算公式如下:

$$y_i = a \frac{w_i}{w_0} \quad (5)$$

对于测定值越小品质越佳的硬度,计算公式如下:

$$y_i = a \frac{w_0}{w_i} \quad (6)$$

式中:  $y_i$  为该指标加权得分;  $a$  为该指标权重分值;  $w_i$  为该指标各试验测定值;  $w_0$  为该指标本次试验最佳值。

### 1.3.10 数据分析

所有试验平行 3 次,采用 JMP7.0 处理数据,origin8 作图,结果以“平均值 ± 标准偏差”表示。

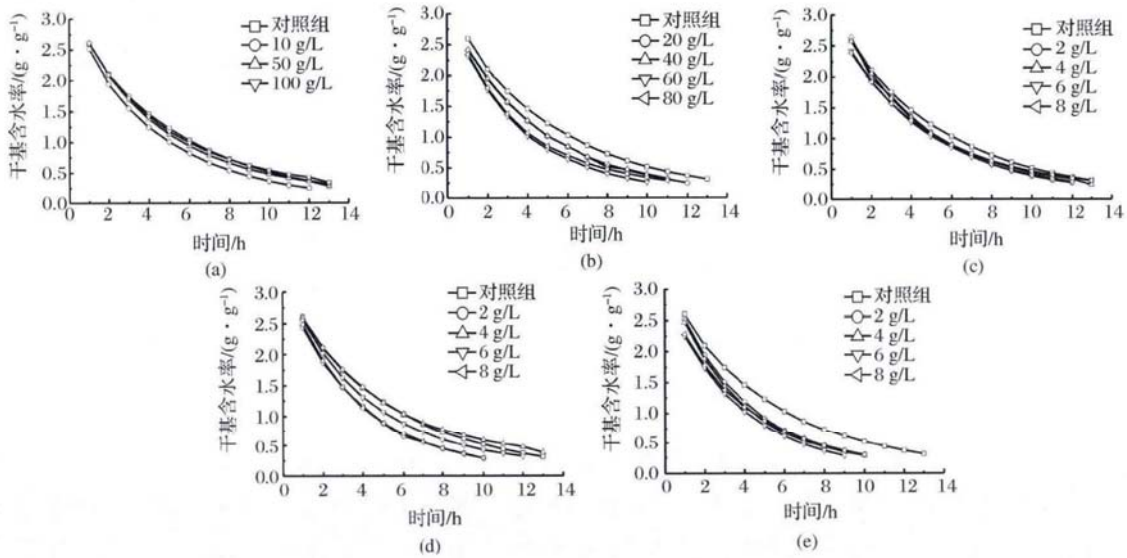
## 2 结果与分析

### 2.1 添加剂对热泵干燥罗非鱼片干燥曲线的影响

从图 1 可以看出,不同种类添加剂对罗非鱼片热泵干燥曲线影响不同,同一种添加剂的不同浓度对干燥曲线影响也不同。对于海藻糖(图 1-a),低浓度明显提高干燥速率,而过高浓度导致干燥速率的下降。图 1-b 中,聚葡萄糖在 60 g/L 条件下,干燥曲线斜率最大,干燥速度最快,干燥时间为 10 h。其原因可能是鱼片在低浓度溶液中浸渍时,失水率较小,干燥时间较长,而聚葡萄糖为大分子物质,高浓度时也不利于其渗透到组织中,可能会在鱼片表面形成一层膜,不利于鱼片的干燥脱水。从图 1-c 中同样可以看出,茶多酚的浸渍处理可以加快干燥速度,但不同浓度的茶多酚差别不明显,但以 6 g/L 浓度时干燥速度最慢。在热泵干燥 1 h 时,6 g/L 和 8 g/L 的茶多酚显著降低鱼片的干基含水率,在之后的干燥阶段中表现不明显。可能与茶多酚渗入鱼片的量有关,当茶多酚渗入的量过多时,其分子可能阻碍水分子扩散出来的效率也越大。在图 1-d 中,甘露醇在 2 g/L 和 8 g/L 2 个浓度条件下,表现出相当的干燥速率,干燥时间均为 10 h,而 4 g/L 浓度预处理时比无处理的对照组的干燥速度还低,说明甘露醇的渗透脱水性在高浓度和低浓度时都有显著效果,浓度在 4 g/L 时出现低点,其原因有待进一步研究。对于谷氨酸钠

(图1-e), 6 g/L 的浓度条件下, 干燥时间最短, 只有 9 h。可能因为谷氨酸钠的渗入会使鱼片表面黏度增

大, 而对于较高浓度的谷氨酸钠, 渗透所形成的保护膜在干燥阶段会阻止水分的有效扩散。



a - 海藻糖; b - 聚葡萄糖; c - 茶多酚; d - 甘露醇; e - 谷氨酸钠 (图 3 ~ 图 6 同)

图 1 不同添加剂对热泵干燥罗非鱼片干燥曲线的影响

Fig. 1 Effect of different additives on the drying curves of tilapia fillets in the processes of heat pump drying

## 2.2 添加剂对热泵干燥罗非鱼片 $\text{Ca}^{2+}$ -ATPase 活性的影响

$\text{Ca}^{2+}$ -ATPase 活性表示肌球蛋白头部性质的变化, 被广泛应用于评价肌球蛋白的完整性<sup>[15]</sup>, 鱼片在干燥过程中, 蛋白中的氢键、疏水键、二硫键和离子键的改变会导致蛋白固有结构的变化, 从而使酶活降低。从图 2-a 可以看出, 50 g/L 海藻糖显著保护蛋白质的活性 ( $P < 0.05$ )。已有研究表明, 对于蛋白质含量多的物料来说, 添加海藻糖能够有效地保护蛋白质分子结构, 同时海藻糖对稳定细胞膜和蛋白质结构等有一定的作用<sup>[2]</sup>。对于结构中含有羟基的聚葡萄糖 (图 2-b) 和甘露醇 (图 2-e) 来说, 在“水替代”假说的理论下, 两者在干燥过程中通过与蛋白质形成氢键, 进而保护蛋白质的活性。但总体来说, 含羟基较多的聚葡萄糖保护效果较好, 尤以 20 g/L 最佳, 酶活为  $1.156 \mu\text{molPi}/(\text{mg 蛋白} \cdot \text{h})$ 。在图 2-c 中, 茶多酚也表现出一定的保护作用, 这是因为茶多酚的抑菌及抗氧化作用减少了脂肪氧化及产生氧化产物, 从而可以使蛋白质变性减慢, 但浓度过高, 则会促进蛋白质的交联, 从而促进聚集变性<sup>[16]</sup>。本次试验所得 6 g/L 茶多酚能有效抑制蛋白质的变性 ( $P < 0.05$ ), 与吴圣彬<sup>[17]</sup> 所得结果一致。图 2-e 表示的是谷氨酸

钠对热泵干燥罗非鱼片酶活的影响, 谷氨酸钠主要通过阻止蛋白质聚集来抑制变性。试验结果说明, 5 种保护剂均能提高鱼片的酶活, 其中, 50 g/L 海藻糖和 20 g/L 聚葡萄糖处理的样品差异不显著 ( $P > 0.05$ )。

## 2.3 添加剂对热泵干燥罗非鱼片复水率的影响

在干燥过程中, 物料由于水分蒸发和组织受热等作用而不同程度的收缩, 从而影响产品的复水率。从图 3-a 中可知, 50 g/L 海藻糖处理的罗非鱼片有较好的复水能力, 且明显优于空白组和其他浓度 ( $P < 0.05$ )。这可能是由于其他浓度的海藻糖未能较好的保护蛋白质, 使其再吸水和与水结合的能力减弱。同理, 对于聚葡萄糖 (图 3-b)、茶多酚 (图 3-c)、甘露醇 (图 3-d) 和谷氨酸钠 (图 3-e), 分别在 60、2、2 和 4 g/L 时复水率最佳, 相比于对照组, 其值提高了 60.3%、29.6%、60.4% 和 13.4%。总体来看, 当渗透液为 2 g/L 甘露醇和 60 g/L 聚葡萄糖时, 复水率差异不显著 ( $P > 0.05$ ), 且能较好的提高产品的复水率。其原因可能是在此条件下, 物料组织结构破坏相对较小, 组织具有一定的再吸水能力。可见, 保护剂均能提高热泵干燥罗非鱼片的复水率, 但尤以 2 g/L 甘露醇和 60 g/L 聚葡萄糖为最佳。

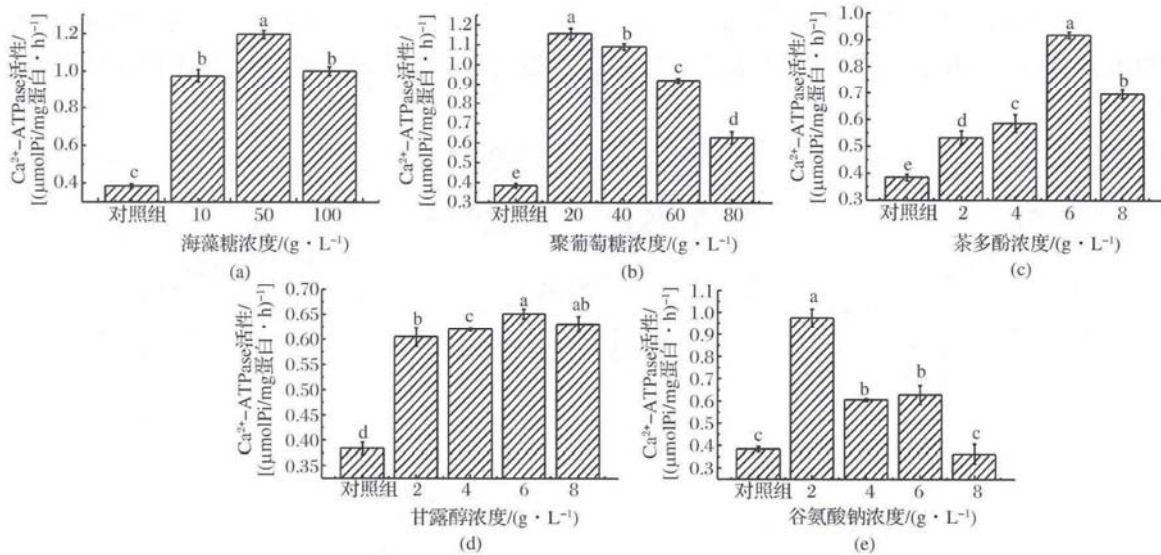


图2 不同添加剂对热泵干燥罗非鱼片 Ca<sup>2+</sup>-ATPase 活性的影响

Fig. 2 Effect of different additives on the Ca<sup>2+</sup>-ATPase activity of tilapia fillets in the processes of heat pump drying

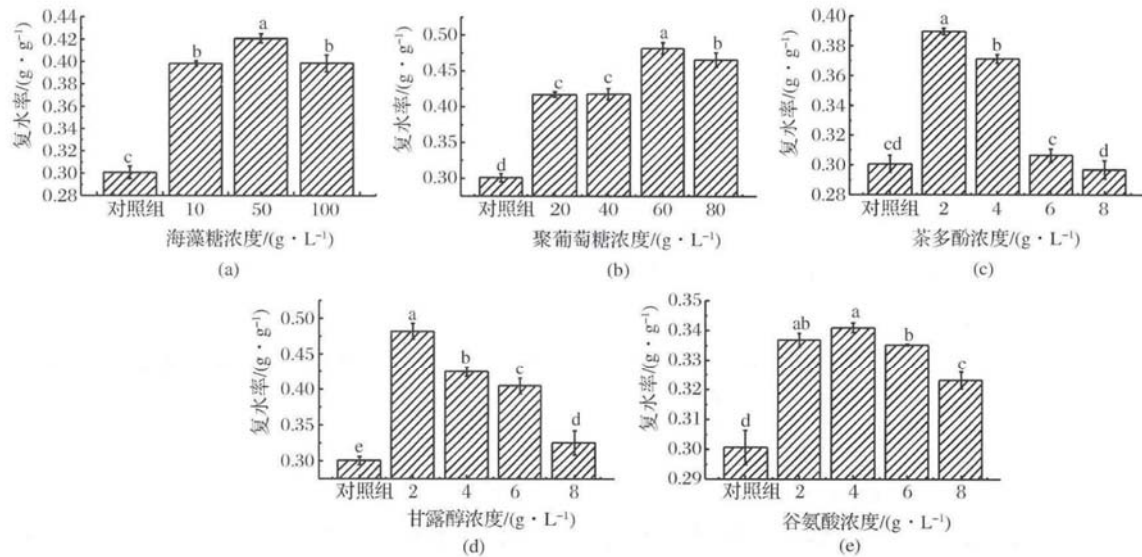


图3 不同添加剂对热泵干燥罗非鱼片复水率的影响

Fig. 3 Effect of different additives on the rehydration rate of tilapia fillets in the processes of heat pump drying

### 2.4 添加剂对热泵干燥罗非鱼片白度的影响

白度值是评价水产品的一个重要指标,其变化对产品的营养品质及风味并没有较大的影响,它的重要意义在于它是物料肌肉组织结构生物化学、微生物学及生理学变化所体现的外在直接表征现象<sup>[18]</sup>,给消费者以直观的感官品质,直接影响消费者的喜好。干燥过程中,由于羰氨反应及干燥时间的影响,水产品的色泽发生变化,直接影响到产品的感官品质。从图4可以看出,整体上,海藻糖、聚葡萄糖、茶多酚、甘露醇和谷氨酸钠所作用样品的白度值分别提高了2.9%、13.7%、4.7%、14.8%和13.6%,与空白组相比,各种添加剂均能显著提高热泵干燥罗非鱼片的白

度值( $P < 0.05$ )。其中,6 g/L甘露醇对鱼片色泽保护最好,其白度值为46.41。聚葡萄糖和谷氨酸钠样品之间差异不显著( $P > 0.05$ )。由试验结果可见,加入保护剂均能保护热泵干燥罗非鱼片的色泽,甘露醇保护效果最佳,聚葡萄糖和谷氨酸钠相当,海藻糖和茶多酚也能显著地提高产品的白度值,但效果没有其他3种保护剂好。

### 2.5 添加剂对热泵干燥罗非鱼片硬度的影响

热泵干燥罗非鱼片是加热脱水的过程,其中一方面,肌膜胶原蛋白热收缩变性及其降解,使得肌节间彼此分开来,质构变软;另一方面,肌原纤维蛋白热变性,肌浆蛋白渗出并热凝聚,质构变硬,两方面共同主

导产品的质构<sup>[19]</sup>。硬度作为质构中的一个指标,表示物料变形所需要的力,对于干燥罗非鱼片来说,其值越小越好。图5中,海藻糖、聚葡萄糖、茶多酚、甘露醇和谷氨酸钠均能在干燥过程中显著减小鱼片的硬度( $P < 0.05$ ),且在各自的最佳浓度条件下,分别

使硬度减小了 28.8%、53.5%、20.6%、42.2% 和 37.5%。聚葡萄糖样品硬度减小幅度最大,可能跟其结构有关,聚葡萄糖是由葡萄糖、少量山梨醇和柠檬酸组成的多糖,其分子式中含有大量的羟基,可以保护肌原纤维蛋白的热变性,从而减小组织硬度。

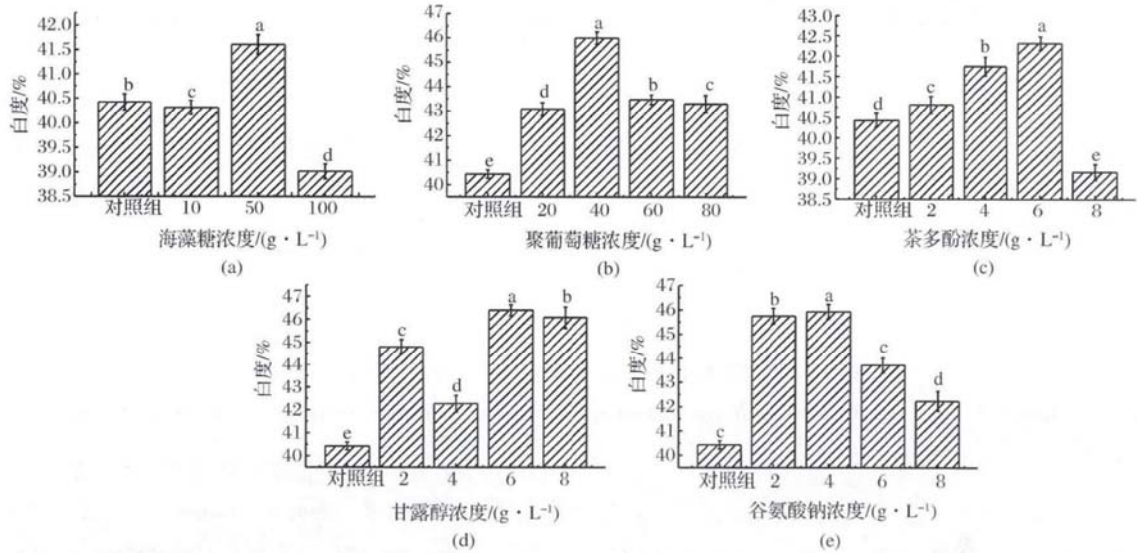


图4 不同添加剂对热泵干燥罗非鱼片白度的影响

Fig. 4 Effect of different additives on the whiteness of tilapia fillets in the processes of heat pump drying

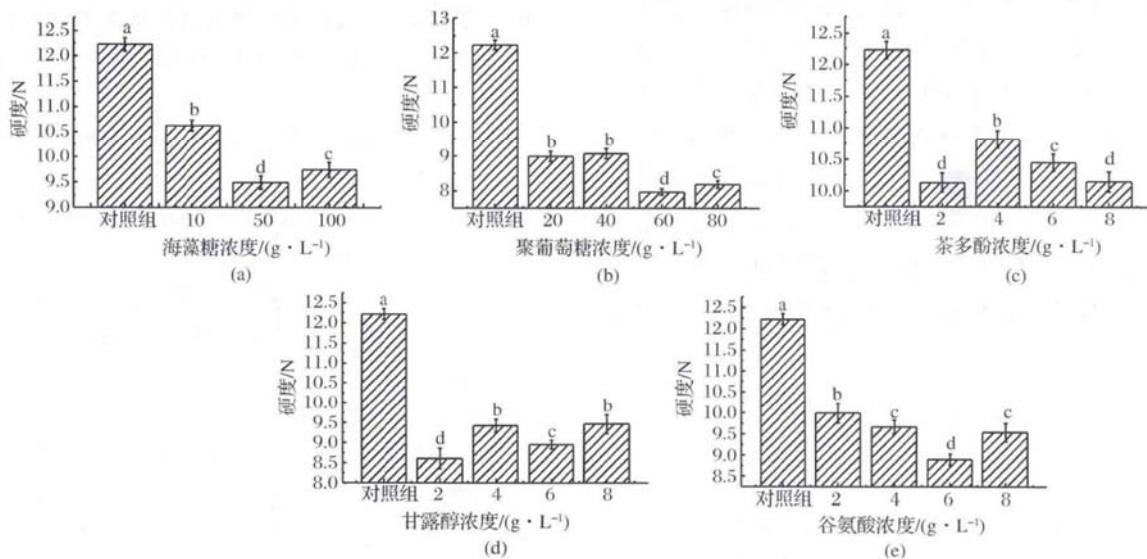


图5 不同添加剂对热泵干燥罗非鱼片硬度的影响

Fig. 5 Effect of different additives on the hardness of tilapia fillets in the processes of heat pump drying

### 2.6 添加剂对热泵干燥罗非鱼片综合得分的影响

图6为综合几个指标所得的评分,评分越高,说明该添加剂对热泵干燥罗非鱼片的品质影响越有利。从图6中可见,海藻糖、聚葡萄糖、茶多酚、甘露醇和谷氨酸钠最佳浓度分别为50、20、6、2和2 g/L,其各

自对应的综合评分比空白组提高了60.35%、60.25%、32.23%、41.63%和42.00%。结果表明,对于热泵干燥罗非鱼片,海藻糖及聚葡萄糖保护样品品质较佳。

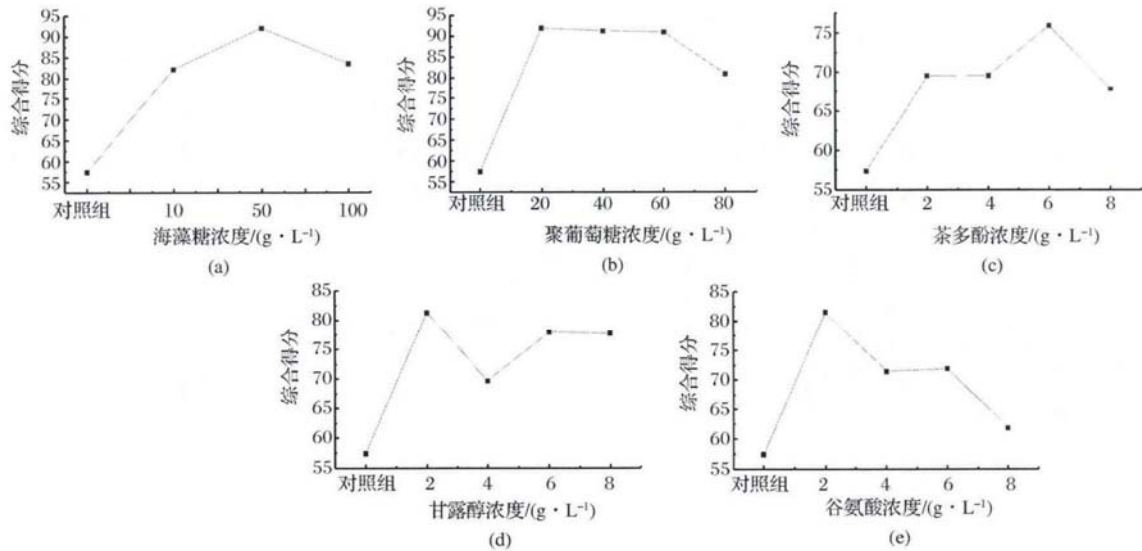


图6 不同添加剂对热泵干燥罗非鱼片综合得分的影响

Fig. 6 Effect of different additives on the comprehensive score of tilapia fillets in the processes of heat pump drying

## 2 结论

海藻糖、聚葡萄糖、茶多酚、甘露醇和谷氨酸钠 5 种添加剂渗透预处理均能在一定程度上保护罗非鱼片热泵干燥的品质,加快干燥速度。若以品质优先的综合得分为最终指标,获得各自的最佳浓度分别为 50、20、6、2 和 2 g/L,在此浓度条件下,其综合得分与对照组相比分别提高了 60.35%、60.25%、32.23%、41.63% 和 42.00%,且以海藻糖提高的幅度最高。可见,海藻糖在保护罗非鱼片的干燥品质过程中具有一定的优势。其次为聚葡萄糖,其结构中具有大量的羟基,有利于保护蛋白质的活性。若以对于干燥速度的提升角度来考虑的,浓度为 6 g/L 谷氨酸钠的效果最好。

## 参 考 文 献

- [1] Aktas T, Fujii S, Kawano Y, et al. Effects of pretreatments of sliced vegetables with trehalose on drying characteristics and quality of dried products [J]. *Food and Bioprocess Processing*, 2007, 85(C3): 178-183.
- [2] Haque M A, Chen J, Aldred P, et al. Drying and denaturation characteristics of whey protein isolate in the presence of lactose and trehalose [J]. *Food Chemistry*, 2015, 177(15): 8-16.
- [3] 李敏,吴宝川,关志强,等. 适宜添加剂预处理提高罗非鱼片冻融-热泵干燥品质[J]. *农业工程学报*, 2014, 30(17): 295-304.
- [4] 程珍珠. 超高压和膳食纤维对复合鱼糜凝胶品质的影响[D]. 无锡:江南大学,2012: 23-27.
- [5] Nopianti R, Huda N, Ismail N, et al. Effect of polydextrose on physicochemical properties of threadfin bream (*Nemipterus spp*) surimi during frozen storage [J]. *Journal of Food Science and Technology*, 2013, 50(4): 739-746.
- [6] 李宝磊. 真空冷冻干燥对乳酸菌损伤机制及关键保护技术研究[D]. 哈尔滨:哈尔滨工业大学,2011: 37-38.
- [7] Efiuvwevwere B J O, Gorris L C M, Smid E J, et al. Mannitol-enhanced survival of *Lactococcus lactis* subjected to drying [J]. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 1999(51): 100-104.
- [8] 刘焱,姜爱华,丁玉珍,等. 茶多酚对淡水鱼糜脂类及蛋白质的影响[J]. *食品工业科技*, 2009, 30(7): 291-293.
- [9] 刘兰,关志强,王秀芝. 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.
- [10] 李敏,关志强,王秀芝. 利用热泵装置干燥罗非鱼片试验研究[J]. *渔业现代化*, 2012, 39(4): 37-41.
- [11] 钱炳俊,程美蓉,邓云. 青鱼片真空冷冻干燥工艺研究[J]. *现代农业科技*, 2010(3): 360-362.
- [12] 蒙健宗,秦小明,赵文报,等. 海藻糖对冷冻罗非鱼片蛋白质变性作用的影响[J]. *食品工业科技*, 2007(2): 214-216.
- [13] 曾恩辉. 冷冻凡纳滨对虾虾仁无磷保水剂的研究[D]. 湛江:广东海洋大学,2012: 10.
- [14] 吴宝川. 冻融处理对热泵干燥加工罗非鱼品质影响的研究[D]. 湛江:广东海洋大学,2014: 11.

- [15] 胡亚芹, 胡庆兰, 杨水兵, 等. 不同冻结方式对带鱼品质影响的研究[J]. 现代食品科技, 2014, 30(2): 23 - 30.
- [16] 刘焱, 娄爱华, 丁玉珍, 等. 茶多酚对淡水鱼糜脂类及蛋白质的影响[J]. 食品工业科技, 2009, 30(7): 291 - 293.
- [17] 吴圣彬, 谢晶, 苏辉, 等. 茶多酚对冻藏带鱼品质变化的影响[J/OL]. 食品工业科技, [2014 - 06 - 13]. <http://www.cnki.net/kcms/detail/11.1759.TS.20140613.1446.020.html>.
- [18] Santos F, Rojas M, Lockhorn G, et al. Effect of carbon monoxide in modified atmosphere packaging, storage time and endpoint cooking temperature on the internal color of enhanced pork [J]. Meat Science, 2007, 77 (4): 520 - 528.
- [19] 吕梦莎, 梅灿辉, 李汴生, 等. 预烘干对即食梅香黄鱼热杀菌前后色泽和质构特性的影响[J]. 食品发酵与工业, 2011, 37(11): 33 - 38.

## Effect of different additives in penetrating pretreatment on the quality of dry tilapia fillets by heat pump

WU Yang-yang<sup>1</sup>, LI Min<sup>2</sup>, GUAN Zhi-qiang<sup>2</sup>, ZHANG Ke<sup>1</sup>, DU Hui<sup>3</sup>

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

2 (Guangdong Ocean University School of Engineering, Zhanjiang 524088, China)

3 (Analytical and Testing Center of Guangdong Ocean University, Zhanjiang 524088, China)

**ABSTRACT** In order to obtain the effects of penetration reagents to the quality of heat pump drying tilapia fillets, different concentrations of trehalose, polydextrose, polyphenols, mannitol, sodium glutamate were studied and compared using the comprehensive scores of the  $Ca^{2+}$ -ATPase activity, rehydration ratio, whiteness and hardness as indicators. The curves of heat pump drying and the quality variation indicated that five additives all could reduce the drying time and improve the quality. The shortest drying time was reduced by 31% compared with the control group. The optimum concentration of trehalose, polydextrose, polyphenols, mannitol and sodium glutamate were 50 g/L, 20 g/L, 6 g/L, 2 g/L and 2 g/L. Furthermore, their corresponding comprehensive score improved 60.35%, 60.25%, 32.23%, 41.63% and 42.00% than that of the control group, respectively. The results could provide guidance in selecting penetration reagents for similar aquatic products drying.

**Key words** additives; heat pump drying; tilapia fillets; quality; comprehensive score