

# 东海小黄鱼(*Pseudosciaena polyactis*)热泵-热风联合干燥技术优化及品质分析\*

孙媛 谢超 何韩炼

(浙江海洋学院食品与医药学院 舟山 316000)

**提要** 为了改善东海小黄鱼(*Pseudosciaena polyactis*)干制品的质量,采用热泵等各种干燥技术,对干制品复水比、色差值、T-VBN值、细菌总数以及能耗值等指标进行分析测定。结果表明,热泵联合干燥技术明显优于传统热风干燥技术。进一步对联合干燥过程中影响干燥速率和干制品品质的因素进行分析(包括装填物料量、循环风速、干燥室温度和相对湿度等)。研究得出:对重量为150g左右的小黄鱼,干燥室温度为50℃、循环风速为2.0m/s、装填物料量为10kg、干燥室相对湿度控制在30%时干燥效果最佳,并且节能明显,降低能耗达到34.6%。该成果的推广应用将大大降低水产品干燥过程中的能耗问题。

**关键词** 小黄鱼;热泵;联合干燥;品质分析  
**中图分类号** TS254.1

浙江东部沿海小黄鱼资源丰富(徐兆礼等, 2009)。小黄鱼(*Pseudosciaena polyactis*)肉质鲜嫩,美味可口,而且含有很多人体必需的营养素(Eastone, 1957),深受人们喜爱。目前,除了新鲜食用和各种口味的小黄鱼罐头制品外(钟文珠等, 2007),还有大量小黄鱼干制品生产。干燥是水产品加工的重要过程之一,但现有的水产品干燥方式都存在着较多问题。

采用传统的晾晒方法来干燥小黄鱼,周期长,表面硬化严重,复水困难,营养成分流失严重,而且还会受到各种污染,导致品质和产量的显著下降。此外,干燥过程中需要经常翻动,劳动强度大。传统热风干燥中会排放出很多废气,废气中的水蒸汽可以释放大量的潜热,热泵技术能将这些潜热转化为显热(Soylez, 2006; Filiz *et al.*, 2010; Hepbasli *et al.*, 2010)。热泵技术能将干燥过程中排放的潜热充分利用,是近年来发展起来的一种新型、有效的方法(Braun *et al.*, 2002)。热泵与其它技术相结合,已广泛应用于木材干燥、蔬菜脱水以及生物制品干燥等领域(陈依水, 1992; Prasertsant *et al.*, 1998)。将热泵与热风

技术在不同的干燥阶段组合使用,弥补了单一干燥技术的不足(Chua *et al.*, 1998)。这种组合干燥技术相对较节能,同时还可以提高产品的质量,适用于水产品干燥。由于该组合干燥前期温度低,可以缓解鱼干表面发生结壳,这样小黄鱼内部的水分转移到表面就会比较容易,因此产品含水量低、质量好(Carrington *et al.*, 1996; Chou *et al.*, 2001)。

目前,鱼干的加工多为小作坊式生产,干制品品质没有严格的标准,流程不规范。并且有些商家可能在产品里面加入甲醛等有害物质以延长其保质期(倪梅林等, 2006)。所有这些因素都将导致干制品质量参差不齐。本文利用热泵联合干燥技术对东海小黄鱼进行干燥研究,并对干燥条件进行了优化,以期获得耗能低、品质高的小黄鱼干品。

## 1 材料与amp;方法

### 1.1 实验材料

舟山新鲜小黄鱼,每尾体重150g左右,购于舟山农贸市场,经预处理后备用。营养琼脂、甲基红(分

\* 浙江省公益项目, 2012C21068号; 浙江省重大科技项目, 2012C11015-2号; 浙江省自然科学基金项目, LY13C200006号; 浙江省水产品加工及贮藏工程重点学科基金, 2011—2015年; 舟山市科技项目, 2012C21018号。孙媛, 硕士研究生, E-mail: 18368086276@139.com

通讯作者: 谢超, 副教授, E-mail: xc750205@163.com

收稿日期: 2012-12-28, 收修改稿日期: 2013-03-21

析纯)、亚甲基蓝、氢氧化钠等均由国药集团化学试剂有限公司提供。

## 1.2 仪器与设备

热泵-热风干燥一体机(杭州易德有限公司); 电热恒温鼓风干燥箱(宁波奥博有限公司); WSC-S 色差计(宁波奥博有限公司); DSC-7 型量热扫描仪(美国 Perkin Elmer 公司)。

## 1.3 工艺流程

东海小黄鱼 清洗 解剖 洗净 热泵联合干燥 成品 产品品质分析 贮藏。

## 1.4 热泵联合干燥优化

**1.4.1 干燥室温度设定** 随机采样 4 份经过预处理后的 150g 左右的小黄鱼各 5kg, 设定干燥室温度为 30℃、40℃、50℃、60℃。其它参数为相对湿度 30%, 循环风速 2.0m/s。在干燥箱内的托盘上平铺(注意在平铺时小黄鱼不要重叠, 以免影响干燥)。干燥完之后冷却一段时间, 取出进行感官品质鉴定。为了确保实验的准确性, 每组做 3 个重复。

**1.4.2 装填物料量** 设定干燥室温度为 40℃, 相对湿度为 30%, 循环风速为 2.0m/s, 加入小黄鱼量分别为 5kg、10kg、15kg, 标上标签 1、2、3。在干燥箱内的托盘上平铺。干燥完之后冷却一段时间, 取出进行感官品质鉴定。

**1.4.3 循环风速** 设定干燥室温度为 40℃, 相对湿度为 30%, 风速分别为 1.0m/s、2.0m/s、3.0m/s。在干燥箱内的托盘上平铺。干燥完之后冷却一段时间, 取出进行感官品质鉴定。

**1.4.4 干燥室相对湿度** 设定干燥室温度为 40℃, 循环风速为 2.0m/s, 小黄鱼量 5kg。相对湿度分别设定为 20%、30%、40%。将原料在干燥箱内的托盘上平铺。干燥完之后冷却一段时间, 取出进行感官品质鉴定。

## 1.5 干制品含水率确定

干燥期间, 先每隔 1h 测定小黄鱼的含水率, 在小黄鱼干含水率接近 20% 的时候每隔 6min 测定一次, 最终获得 20% 左右含水率的小黄鱼干产品。绘制不同干燥条件下的干燥曲线。

## 1.6 干制品单位能耗除湿量(Specific Moisture Extraction Rate, SMER)的测定

单位能耗除湿量(SMER)的计算方法采用如下公式:

$$SMER = M / W_n \text{ [kgH}_2\text{O/(kW}\cdot\text{h)]}$$

式中,  $M$  为水分蒸发量,  $W_n$  为干燥阶段所消耗的总

能量。

## 1.7 干制品色差值的测定

采用全自动测色色差计(WSC-S 型)来测定小黄鱼干的颜色。每样都从不同的角度测数据, 平行测 3 次, 取平均值。

## 1.8 细菌总数的测定

按 GAD/T4789.2-2003 食品卫生微生物学检验菌落总数(赵洪根等, 1987)。

## 1.9 复水比(RR)的测定

干制品浸入水中后, 在一定时间内, 复水后的重量与复水前重量之比就是所说的复水比, 公式如下:

$$RR = W_r / W_d$$

式中,  $W_r$  为复水后的重量,  $W_d$  为复水前的重量。

试验步骤为: 将样品放入 25℃ 蒸馏水中, 浸泡 12h, 取出用真空泵去除样品表面水分, 然后取出称重。抽真空 30s, 整个过程需控制在 1min 内。测 3 次, 取平均值。

## 1.10 干制品感官评定

由 10 位专家组成评定小组, 让小组成员仔细观察从市场收购的优质小黄鱼干样品, 按 10 分制计。然后对样品进行评分, 每个样品的评分都取 10 人分数的平均值, 并取整。

## 1.11 总挥发性盐基氮测定

挥发性盐基氮(T-VBN)是衡量产品新鲜或腐败程度的重要指标(骆和东等, 2003)。本文采用微量扩散法检测(宁正祥, 1998)。每组样品做 3 个平行, 同时做空白试验。

## 2 结果与讨论

### 2.1 干制品的品质和能耗结果

**2.1.1 干制品的 T-VBN 值** 各种干燥方式下东海小黄鱼干制品挥发性盐基氮(T-VBN)含量情况如图 1 所示, 从图 1 中可看出单一热泵干燥(HPD)产品和联合干燥产品的 T-VBN 值并没有显著性差异。联合干燥(HPD+AD)产品的 T-VBN 值最低, 传统热风干燥(AD)效果最差, 且差异较显著。热泵技术之所以可以较好地保持小黄鱼干制品的品质, 是因为其干燥温度低的缘故。

**2.1.2 干制品的细菌总数** 如图 2 所示, 不同干燥方式下小黄鱼干制品的细菌总数含量有明显较明显的差别。经传统热风干燥(AD)干燥处理的小黄鱼产品细菌总数含量三者中最高, 其次为热泵-热风联合干燥(HPD+AD), 细菌总数含量最低为单一热泵干燥

(HPD)的干燥产品。由于热泵-热风联合干燥在后期采用的是开放式热风干燥,所以微生物比纯热泵干燥多;但是联合干燥进行到后期物料一直保持低水分的状态,微生物生长较困难,因此数量要低于传统热风干燥。

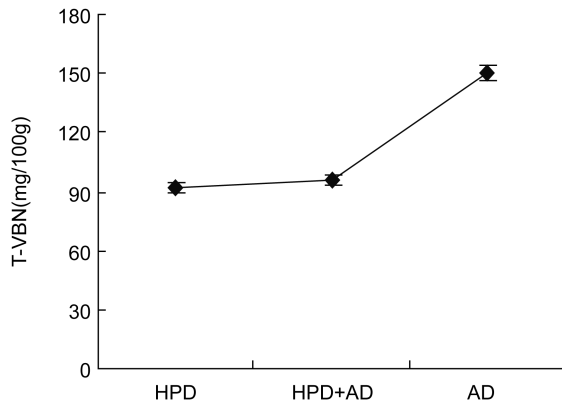


图 1 干燥方式对小黄鱼 T-VBN 值的影响

Fig.1 T-VBN value of *P. polyactis* under different dehydration methods

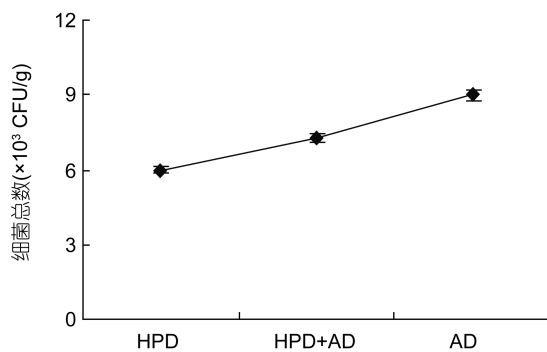


图 2 干燥方式对小黄鱼细菌总数的影响

Fig.2 Effects of total colony number of *P. polyactis* under different dehydration methods

**2.1.3 干制品的 SEMR 值** 根据图 3 可以看出,干燥方式对小黄鱼干的 SMER 值具有极显著的影响 ( $P < 0.05$ ),其大小情况为:联合干燥技术(HPD+AD)单位能耗除湿值高于单一热泵技术(HPD),传统热风干燥(AD)单位能耗除湿值最低。热泵-热风联合干燥小黄鱼干的 SEMR 值是传统热风干燥样品的 153%,是热泵干燥技术处理样品的 112%。由此推断,联合干燥可以比单纯热风干燥节能 34.6%。

**2.1.4 干制品的复水比** 复水性是衡量水产干制品的重要指标之一。由图 4 所示,热泵技术(HPD)和热泵-热风联合(HPD+AD)干燥产品的复水比无显著差异,但干燥效果都明显比传统热风干燥技术(AD)好。细胞组织结构是影响复水效果的直接原因,在干

燥过程产品含水量越高,细胞组织结构破坏程度越大,会影响干制品的复水效果。相比热风干燥而言,热泵干燥产品复水比相对高( $P < 0.05$ ),因为热泵干燥能够减少对小黄鱼细胞结构的破坏,更能保持样品的多孔性(Mujumdar, 2006)。小黄鱼热泵联合干燥后期含水量很低,此时进行热风干燥,细胞结构破坏较少,所以联合干燥产品复水也比高于热风干燥。

**2.1.5 干制品的色差** 各种食品原料在干燥过程中均不可避免的产生颜色变化,影响干品颜色变化的主要因素包括干燥温度、物料种类、干燥方式及含水量变化等(Hawladar *et al.*, 2006)。同时产品色泽又是衡量干制品品质的一个重要指标。不同干燥方式下小黄鱼干的色差值如下表 1 所示,热泵联合干燥技术(HPD+AD)和单一热泵干燥技术(HPD)干燥的产品差别不明显,色泽都优于传统热风干燥技术(AD)干燥的产品。

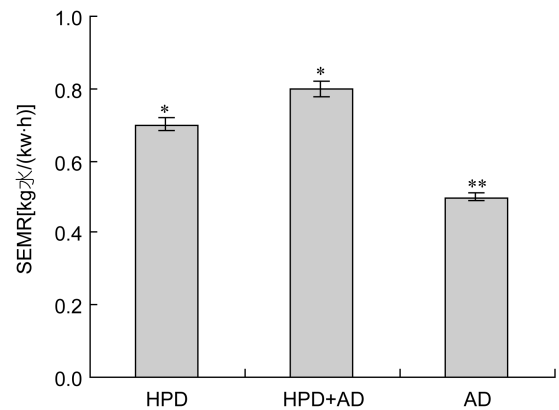


图 3 干燥方式对小黄鱼 SEMR 的影响

Fig.3 The SEMR value of *P. polyactis* with different dehydration methods

注:图中\*不同表示有显著性差异( $P < 0.05$ )

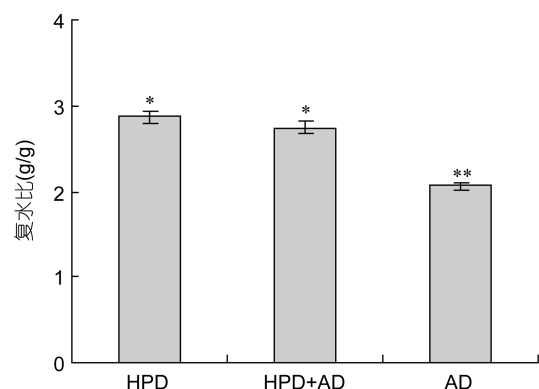


图 4 干燥方式对小黄鱼复水比的影响

Fig.4 Effects of rehydration rate of *P. polyactis* under different dehydration methods

注:图中\*不同表示有显著性差异( $P < 0.05$ )

表 1 不同干燥方式下样品的色差值  
Tab.1 Color difference value of samples under different dehydration methods

样品	项目			
	$a^*$	$b^*$	$L^*$	$E^*$
AD	2.19±0.03 <sup>c</sup>	1.07±0.04 <sup>c</sup>	24.15±0.02 <sup>c</sup>	47.73±0.02 <sup>a</sup>
HPD+AD	8.61±0.02 <sup>b</sup>	9.69±0.02 <sup>b</sup>	33.85±0.06 <sup>b</sup>	42.35±0.02 <sup>b</sup>
HPD	9.45±0.02 <sup>a</sup>	10.13±0.03 <sup>a</sup>	36.25±0.02 <sup>a</sup>	39.46±0.03 <sup>c</sup>

注: 不同上标字母表示有显著性差异( $P < 0.05$ )。  $a^*$ 值(Redness, 红色度),  $b^*$ 值(Yellowness, 黄色度),  $L^*$ 值(Lightness, 亮度),  $E^*$ (色差值)

通过比较不同干燥方式对能耗、T-VBN 值、色差、复水比等指标的影响, 可以看出热泵-热风联合干燥方式优于热泵干燥和传统热风干燥方式。热泵、热风两种干燥方式都是由空气对流干燥演化来, 本质上是一样的。但是热泵干燥是一个封闭的系统, 它不仅节能, 而且更环保、卫生。热泵在干燥的后期由于物料蒸发出来的水分较少, 可供热泵重新利用的水蒸汽变少, 可供热泵重新利用的能量变少, 热泵工况的运行状态变差, 需要电加热辅助干燥, 这样能耗除了电加热外还有压缩机消耗的能耗, 热泵的优势不能充分的显示和利用。因此采用前期热泵, 后期热风的联合干燥技术。

## 2.2 东海小黄鱼热泵-热风联合干燥单因素试验分析

### 2.2.1 干燥温度对小黄鱼干燥效果的影响

传统干燥技术体现在伴随干燥温度升高干燥效果越发明显, 热泵-热风联合干燥和传统热风干燥技术一样, 温度高, 速率快。研究结果如图 5 所示, 为小黄鱼在进行干燥时, 不同干燥温度下的含水率随干燥时间变化曲线, 从热力曲线可以看出干燥温度对小黄鱼干燥速率有较大的影响。无论干燥温度高或低都对热泵-热风干燥有影响, 温度过高, 产品表面失水太快, 中间水分向内部移动, 并且表面易形成结痂现象, 不利于内部水分的流出, 也不利于产品的节能。但当温度过低时, 干燥速率变慢(Chua *et al*, 2002), 水分梯度虽然由内向外, 但水分流出的速度变慢, 干燥的时间延长, 不利于满足产品的质量要求。因此, 应选择合适的温度, 以使热泵干燥达到最好的效果。

对不同干燥温度下小黄鱼干的感官品质进行比较, 结果如图 6 所示, 总体趋势是干燥温度越低, 小黄鱼的品质就越好, 反之就差( $P < 0.05$ )。分析图 6 可得出, 当温度低于 50℃, 小黄鱼干品质都比较好, 但当温度升高至 60℃时, 产品品质就会大大降低。小黄鱼蛋白质含量较高, 温度过高可能会引起蛋白质变性, 温度过低, 水分溢出较慢, 不利于产品的干燥。

小黄鱼肌肉具有三个热变性温度, 肌球蛋白和副肌球蛋白在 40℃就会变性; 50℃就能导致结缔组织变性; 当温度达到 65℃时, 肌动蛋白会发生变性(杜杰等, 2007)。当纵向肌肉的结缔组织发生变性时, 会直接影响小黄鱼品质, 因此 50℃以下是较适宜温度。热泵干燥过程中, 小黄鱼内部的水分转移到表面和水分从表面扩散到介质中的速率都会影响干燥效果, 应尽量使两者相等或相近, 否则干燥会受内部水分扩散的限制, 从而使干燥品质降低。

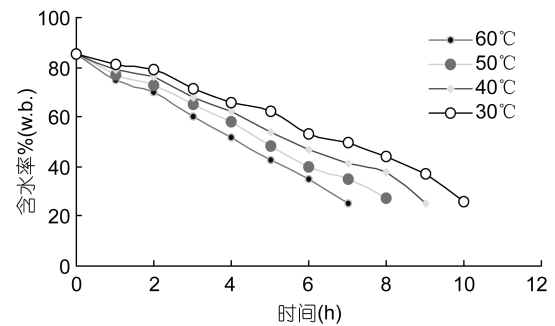


图 5 不同温度下的小黄鱼热泵-热风干燥曲线

Fig.5 Curve of *P. polyactis* dried under different temperature by heat-pump blowing

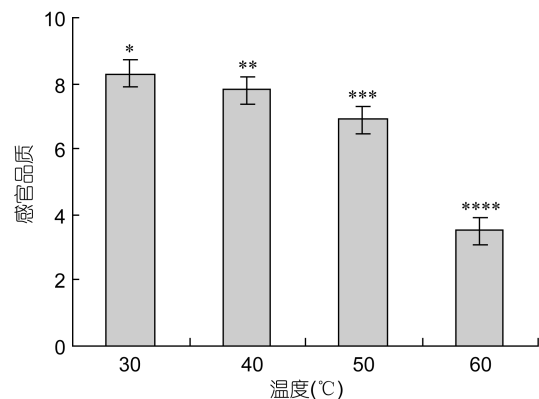


图 6 不同温度下干燥小黄鱼的感官品质

Fig.6 The quality of *P. polyactis* dried at different temperatures scored by tasting panel

注: 图中\*不同表示有显著性差异( $P < 0.05$ )

**2.2.2 装填物料量对干燥效果的影响** 物料量越大,干燥速率越慢,干燥所需的时间越长,主要原因是同样的空间和时间消耗的能耗一定,排水能力一定。图 7 为小黄鱼物料量对热泵-热风干燥效果的影响。从图 7 中可以看出,物料量对干燥速率有较大影响,当物料失水量超过热泵最大除湿量时,系统不能及时除去干燥介质中的水分,从而导致干燥速率降低。随着速率的下降,物料总失水量会在某一时刻与系统除湿能力达到平衡。物料量对到达这个平衡的时间有一定影响,物料量越大,所需时间越长。因此,当物料量较大时,前期干燥的速率较低。

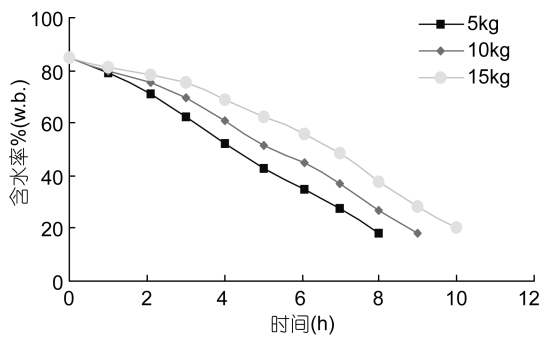


图 7 不同物料量小黄鱼热泵-热风干燥曲线

Fig.7 Changes of *P. polyactis* dehydration in different volumes

图 8 显示的是物料量对小黄鱼干品质影响。从图 8 中可以看出,物料量对小黄鱼干燥品质的影响并不是很明显( $P<0.05$ )。物料量对小黄鱼干品质能造成一定影响的原因,主要是由于物料量越大会导致热泵干燥小黄鱼失水量越大,所以干燥介质的相对湿度相对较大,致使小黄鱼表面的水分扩散变慢,因此小黄鱼表面就不容易发硬,有利于提高小黄鱼干的品质。

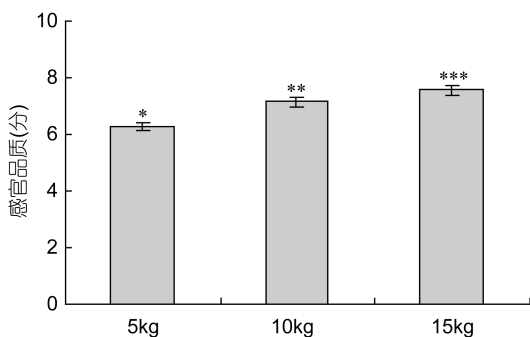


图 8 不同物料量干燥小黄鱼的感官品质

Fig.8 Quality of *P. polyactis* dried at different volumes scored by tasting panel

注: 图中\*不同表示有显著性差异( $P<0.05$ )

图 9 是物料量对小黄热泵-热风干燥 SMER 值影响的试验结果。由图 9 可知,SMER 值随着物料量的增大而增大( $P<0.05$ ),但是当物料量增大到一定程度后,SMER 值增大得越来越慢,这主要是受设备最大除湿能力的限制。因此,适当增加物料量才有利于提高除湿效率,降低热泵干燥能耗。

**2.2.3 循环风速对干燥效果的影响** 理论上,风速越大,干燥速率就越快,但从图 10 来看结果却相反。图 10 是风速对小黄鱼热泵-热风干燥速率的影响。在热泵这个封闭式循环除湿系统中,风速过大,湿介质与蒸发器不容易进行热交换,而且温度较高的冷凝水也会因此而重新蒸发回到干燥介质中,降低热泵的除湿效率,使小黄鱼的干燥速率变慢。

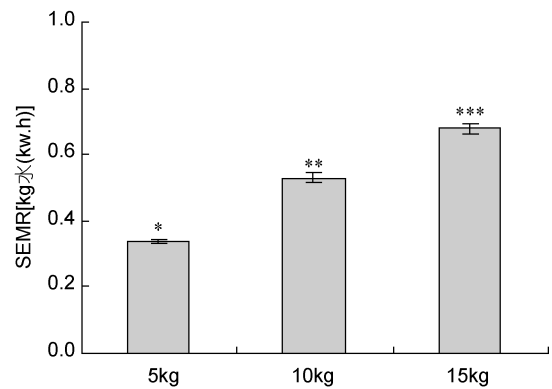


图 9 不同物料量小黄鱼热泵-热风干燥 SMER 值

Fig.9 The SMER value of different *P. polyactis* volumes

注: 图中\*不同表示有显著性差异( $P<0.05$ )

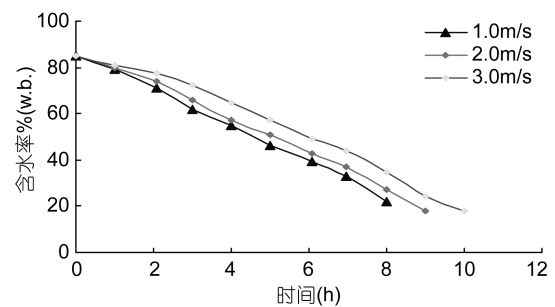


图 10 不同循环风速小黄鱼热泵干燥曲线

Fig.10 Curve of *P. polyactis* in different speeds of heat-pump blowing

**2.2.4 干燥室相对湿度对干燥效果的影响** 图 11 是干燥介质相对湿度对小黄鱼热泵-热风联合干燥速率的影响曲线图。干燥介质相对湿度越高,对物料的干燥越不利。但是相对湿度也不是越低越好,因为热泵干燥的干燥速率始终受热泵最大除湿能力的限制。从图 11 可看出,在联合干燥的初期,相对湿度对干

燥速率的影响并不明显,在干燥一段时间后,这种影响才体现出来。湿球控制在干燥的中前期不起作用,原因是物料水分高,一般出水速率大于热泵除湿速率。当两个速率在某个相对湿度条件下达到平衡后,干湿球控制相对湿度才发挥作用,使干燥介质的相对湿度为预设值,此时热泵-热风干燥干燥速率受相对湿度的影响才变得明显。

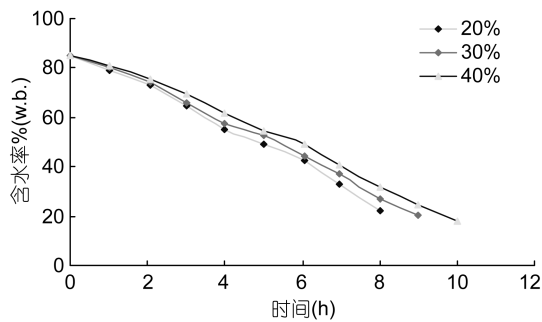


图 11 不同相对湿度的小黄鱼热泵干燥曲线

Fig.11 Dessication of *P. polyactis* at different humidity ratios

### 3 结论

本文研究了东海小黄鱼热泵-热风联合干燥技术,并对干制品的品质进行了分析。研究表明:对重量为 150g 左右的小黄鱼,干燥室温度为 50℃、循环风速为 2.0m/s、装填的物料量为 10kg、干燥室相对湿度控制在 30%时,干燥效果最佳。经该技术处理后的小黄鱼干品在复水比、色差值、T-VBN 值及细菌总数等指标方面都具有明显的改善和提高,并且节能效果明显,相比传统热风干燥技术,单位能耗降低 34.6%以上。

### 参 考 文 献

宁正祥, 1998. 食品成分分析手册. 北京: 中国轻工业出版社, 120—124  
 杜 杰, 李洪军, 翁航萍, 2007. 小黄鱼肌肉结构及其嫩化研究进展. 肉类研究, (12): 20—23  
 陈依水, 1992. 热泵在水产品干燥中的应用. 渔业机械仪器, 19(3): 5—37  
 赵洪根, 黄慕让, 1987. 水产品检验. 天津: 天津科学技术出版社, 78—84

钟文珠, 沈伟征, 王 强等, 2007. HACCP 在小黄鱼罐头生产中的应用. 四川食品与发酵, 43(6): 19—23  
 骆和东, 冷建荣, 王文伟, 2003. 自动凯氏定氮仪快速测定小黄鱼干的挥发性盐基氮实验研究. 海峡预防医学杂志, 9(3): 48—49  
 倪梅林, 房科腾, 曹苏仙, 2006. DAD 检测干鱿鱼制品中苯甲酸、山梨酸的含量. 光谱实验室, 23(5): 1039—1041  
 徐兆礼, 陈佳杰, 2009. 小黄鱼洄游路线分析. 中国水产科学, 16(6): 931—940  
 Braun J E, Bansa P K, Groll E A, 2002. Energy efficiency analysis of air cycle heat pump dryers. International Journal of Refrigeration, 25(7): 954—965  
 Carrington C G, Barneveld N J, Bannister P, 1996. Development of the ECNZ electric heat-pump dehumidifier drierilot plant. Institution of Professional Engineers, 2(1): 68—72  
 Chou S K, Chua K J, 2001. New hybrid drying technologies for heat sensitive foodstuffs. Trends in Food Science & Technology, 12: 359—369  
 Chua K J, Chou S K, Hawlader, 1998. A two-stage heat pump dryer for better heat recovery and product quality. Journal of the Institute of Engineers, 38(6): 9—13  
 Chua K J, Hawlader M N A, Chou S K *et al*, 2002. On the study of time-varying temperature drying kinetics and product quality. Drying Technology, 20(8): 1559—1577  
 Eastone J E, 1957. The amino acid composition of fish collagen and gelatin. Biochem J, 65(2): 363—368  
 Filiz I, Neslihan C, Zafer E, 2010. A comparative study on exergetic performance assessment for drying of broccoli florets in three different drying systems. Drying Technology, 28(1/3): 193—204  
 Hawlader M N A, Conrad O Perera, Min Tian, 2006. Properties of modified atmosphere heat pump dried foods. Journal of Food Engineering, 74: 392—401  
 Hepbasli A, Erbay Z, Golak N *et al*, 2010. An exergetic performance assessment of three different food driers. Journal of Power and Energ, 224(1): 1—12  
 Mujumdar A S, 2006. Drying of Fish and Seafood. Handbook of Industrial Drying, third edition. Boca Raton: CRC Press, 552—554  
 Prasertsant S, Saen-saby P, 1998. Heat pump drying of agricultural materials. Drying Technology, 16(1—2): 235—250  
 Soylemez M S, 2006. Optimum heat pump in drying systems with waste heat recovery. Journal of Food Engineering, 74(3): 292—298

## QUALITY ASSESSMENT OF DRIED SEAFOOD *PSEUDOSCIAENA POLYACTIS* IN DIFFERENT DESSICATION STRATEGIES

SUN Ai, XIE Chao, HE Han-Lian

(School of Food Science and Pharmacy, Zhejiang Ocean University, Zhoushan, 316000)

**Abstract** In order to improve the quality of *Pseudosciaena polyactis* dried products, rehydration ratio, chromatic aberration, T-VBN (Total Volatile Base-Nitrogen) value, total bacterial count, SMER (Specific Moisture Extraction Rate) and other evaluation indexes were detected, using heat pump drying (HPD) and other technologies to dry the seafood. The results show that combining heat pump and with hot air drying (HPD+AD) was superior to conventional hot air drying technology. Furthermore, single factors (the amount of material, wind velocity, temperature, and relative humidity) affecting drying rate and quality were studied. As a result, for drying about 150g *P. polyactis*, the optimum conditions were: temperature 50 °C, wind speed 2.0m/s, volume 10kg, and relative humidity 30%. The seafood quality dried in HPD+AD could also save energy for 34.6%.

**Key words** *Pseudosciaena polyactis*; heat pump; combined drying; quality assessment