

# 微波真空干燥扇贝柱的物理和感观特性研究

张国琛<sup>1,2</sup>, 毛志怀<sup>2</sup>, 牟晨晓<sup>1</sup>, 潘澜澜<sup>1</sup>

(1. 大连水产学院机械工程学院, 大连 116023; 2. 中国农业大学工学院, 北京 100083)

**摘要:** 微波真空干燥是一项新兴食品干燥技术。进行了扇贝柱的微波真空干燥试验, 研究了微波真空干燥参数对扇贝柱物理和感观特性的影响规律, 并与传统的自然干燥和热风干燥进行了对比分析。结果表明, 不同微波功率和真空度组合对扇贝柱的物理和感观特性有明显影响, 在微波功率和真空度为 3 W/g 和 0.090 MPa 时, 干燥扇贝柱具有良好的色泽及表面质量, 仅需 30 min 即可达到 20% 湿基含水率, 收缩率和复水率与自然干燥扇贝柱相近; 减小微波功率和降低真空度至 2 W/g 和 0.074 MPa 时, 干燥扇贝柱的收缩率会增加, 色泽和表面质量会变差。试验结果还表明, 各种参数组合条件下的微波真空干燥扇贝柱, 其干燥速度和抗破碎能力均明显优于自然干燥及热风干燥。利用微波真空干燥扇贝柱, 对提高干燥速度和改善产品品质具有明显优势。

**关键词:** 扇贝柱; 微波真空干燥; 收缩率; 复水率

**中图分类号:** O532<sup>+</sup> 23; TS254.4

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1002-6819(2004)03-0141-04

## 0 引言

扇贝是中国海水养殖的重要品种之一, 特别是从 20 世纪 80 年代以来, 扇贝养殖发展迅速, 目前在贝类养殖中占据主导地位, 近几年年总产量已达到 100 万 t<sup>[1,2]</sup>。扇贝柱是扇贝的闭壳肌, 其呈味成分含量很高, 滋味甘美, 经煮熟、干燥后得到的干贝是深受消费者喜爱的重要海产珍品之一。传统的扇贝柱干燥方法主要是日光晾晒干燥或日光与热风联合干燥<sup>[3]</sup>。虽然日光干燥不需特殊设备和技术, 干燥成本比较低, 但由于干燥时间长, 干燥条件不能人为控制, 产品的品质和卫生难以保证<sup>[4,5]</sup>。另外, 尽管热风干燥设备投资比较少, 操作、控制相对容易, 但因热风干燥温度高、时间比较长, 而且与氧长时间接触, 在干燥过程中容易造成热损伤和过度氧化, 降低了产品品质<sup>[6,7]</sup>。

微波真空干燥利用微波快速均匀加热, 并在真空条件下使水分蒸发, 是综合了微波干燥和真空干燥各自优点的一项新技术<sup>[8-10]</sup>。目前, 利用微波真空干燥技术进行果蔬干燥方面的研究和应用比较多。Lin 等利用微波真空干燥胡萝卜, 发现与热风干燥相比, 微波真空干燥的时间大大缩短, 而且因氧气含量低, 胡萝卜素的损失较少<sup>[11]</sup>。Drouzas 与 Schubert 曾利用微波真空干燥香蕉薄片, 研究结果表明, 在干燥过程中没有出现加热不均现象, 而且产品的口感、风味和复水率等指标明显优于其它干燥方法<sup>[12]</sup>。由于微波真空干燥速度快, 干燥温度低, 因此用于水产品干燥具有明显优势, Tein 等曾利用微波真空干技术干燥小虾, 发现利用微波真空干燥的小虾比热风干燥收缩小、复水性和水分保持能力增强, 而且在色泽、组织和风味等方面与复水冷冻虾接近<sup>[9]</sup>。目前有关扇贝柱微波真空干燥技术的研究和应用未见报道。本文拟对微波真空干燥扇贝柱的物理和感观特性

进行试验研究, 并与传统的自然日光干燥和热风干燥进行对比分析, 探讨微波真空干燥主要工艺参数对扇贝柱的影响规律, 以为这项新技术在扇贝加工生产中的应用提供设计依据, 并为其它水产干品的生产提供一定的参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料及仪器设备

#### 1.1.1 试验材料及预处理方法

试验所用扇贝为鲜活的海湾扇贝, 壳长 8~10 cm。将鲜活扇贝洗净后投入沸水中, 待贝壳张开后立即取出使之冷却, 然后割下扇贝柱, 去膜、漂洗。将漂洗干净的扇贝柱再放入 80~90 的 8% 盐水中煮 10 min, 捞出、沥干。所得扇贝柱的初始含水率为 73% ± 0.5%、规格为每 500 g 50~60 粒。

#### 1.1.2 试验仪器设备

微波真空干燥试验装置由 Galanz W P750L 23-6 型微波炉、2XZ 型旋片式真空泵、玻璃容器等构成, 见图 1。

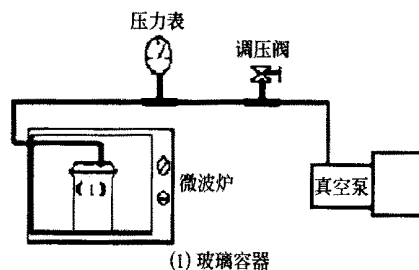


图 1 微波真空试验装置图

Fig. 1 Schematic diagram of the vacuum microwave drying system

其它仪器设备主要有: JA MP1100B 型精密电子天平、101A 电热鼓风干燥箱、SW P-C801 数字显示温度控制仪、JW SL-3AT 温湿度变送器、EDK-1A 手持风速仪、螺旋加力及测量装置(自制)等。

### 1.2 试验方法

收稿日期: 2003-11-19 修订日期: 2004-04-15

作者简介: 张国琛(1965-), 男, 副教授, 中国农业大学博士研究生, 大连市黑石礁街 52 号 大连水产学院机械工程学院, 116023. Email: zhangguochen@dlfu.edu.cn

1.2.1 干燥曲线的测定

在进行干燥试验前,检测经预处理的扇贝柱的初始含水率;在试验中,每隔一定时间(微波真空干燥 5 min,热风干燥 30 min,室内日光干燥 12 h)检测扇贝柱质量变化,得出扇贝柱湿基含水率随干燥时间变化的干燥曲线,干燥终止含水率为 20% ± 1% (湿基)。

1.2.2 扇贝柱物理及感观特性的检测及评定

1) 收缩率:

$$r\% = [(V - V_0) / V] \times 100\%$$

式中  $V$  —— 热风干燥前扇贝柱的体积,  $\text{cm}^3$ 。本试验中采用浮力法进行测试,  $V_0$  —— 干燥终止后扇贝柱的体积,  $\text{cm}^3$ 。由于干贝的复水速度很快,所以不能用浮力法进行体积测定,本试验中参考 Toringa 等测定干燥草莓体积的方法<sup>[13]</sup>,采用置换法进行干贝体积的测定,置换介质为小米,粒度大小经筛分后控制在  $\Phi 0.9 \sim 1.1$  mm 范围内。

2) 复水率:

将扇贝柱放入 100 的恒温水中进行复水率的测定,每隔 2 min 将扇贝柱捞出,用滤纸擦干表面水分后

检测质量变化,试验持续 20 min,由下式求出复水率。

$$R_f = (m_f - m_g) / m_g$$

式中  $m_f$  —— 样品复水后沥干质量, g;  $m_g$  —— 干贝样质量, g。

3) 抗破碎力

扇贝柱周向受力,在螺旋加力器的作用下,破碎时的压力值。

4) 感观特性

主要根据色泽、表面缝隙及原有形状保持情况进行评定。色泽呈嫩黄的为优,呈褐色的为差;表面致密、无开裂的为优,表面疏松、有较多缝隙的为差;基本保持原有形状的为优,严重畸变的为差。

2 结果与分析

2.1 干燥速度试验研究

分别利用自然干燥、热风干燥和不同参数组合的微波真空干燥对扇贝柱进行干燥试验,得到图 2 所示干燥速度曲线。

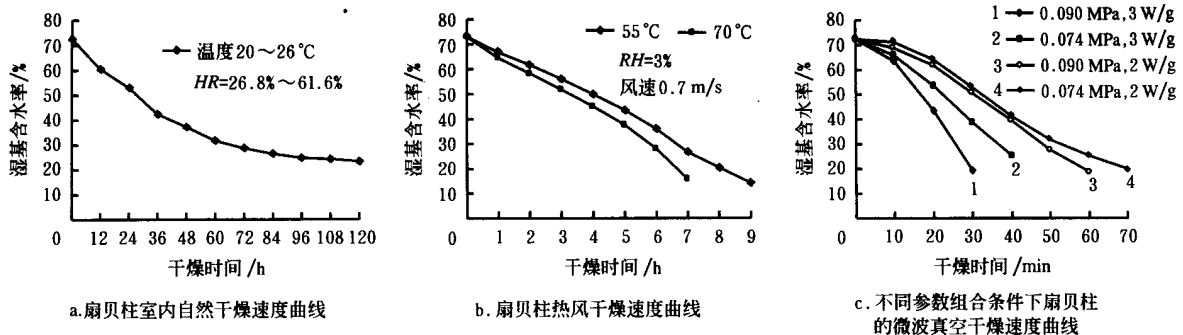


图 2 扇贝柱的干燥曲线

Fig 2 Dehydration curves for (a) sun dried, (b) air dried, and (c) vacuum microwave dried scallop

由图 2 可见,扇贝柱的微波真空干燥速度远大于热风干燥速度和自然干燥速度,在微波平均功率为 3 W/g、真空度为 0.090 MPa 时,仅需 30 min 就达到了 20% 的湿基含水率,而同样的扇贝柱在 55~70 的热风下需 6.5 到 7.5 h,在室内自然干燥条件下则需 5 d 时间。这主要是因为微波对扇贝柱内外同时加热,加热速度快且在扇贝柱内部产生较高的蒸汽压力,并且由于外部是真空状态,所以形成了大的压力梯度,在此压力梯度推动下,水分得以快速去除;另外,由于表面水分的蒸发,表面温度会低于内部温度,所以热量也从内向外传递,与水分转移方向一致,因此传热和传质方向相同,极大地提高了干燥速度;而热风干燥热量是由外向内传递,热量的传递和水分的转移方向相反,所以干燥速度比较低;由于自然干燥时的干燥强度很低,因此扇贝柱的自然干燥需较长时间。在微波真空条件下,不同的微波功率和真空度组合对干燥速度也有明显影响,在 0.090 MPa 真空度下微波功率由 3 W/g 减小到 2 W/g 时,干燥到 20% 湿基含水率分别需 30 和 60 min;当微

波功率保持 3 W/g,真空度由 0.090 MPa 降低到 0.074 MPa 时,干燥到 20% 湿基含水率所需时间由 30 min 增加到 45 min。由此可见,就微波功率和真空度而言,微波功率对扇贝柱干燥速度的影响更为显著。

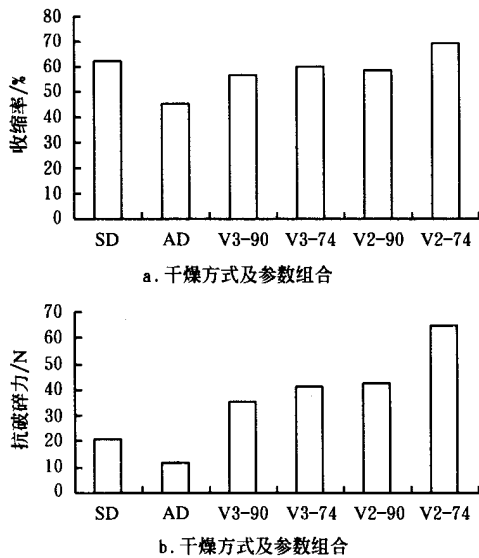
2.2 物理特性的试验研究

2.2.1 对收缩率及抗破碎力的影响

扇贝柱在不同干燥方式及干燥参数下脱水后的收缩率及抗破碎力检测结果见图 3。

由图 3 可见,热风干燥的扇贝柱收缩率最小(45%),自然干燥的收缩率较大(62%),在较高真空度和较大功率时可得到与自然干燥接近的收缩率,降低真空度和减小功率后的收缩率明显加大,如 3 W/g、0.090 MPa 和 3 W/g、0.074 MPa 及 2 W/g、0.090 MPa 时的收缩率分别为 56%、60% 和 58%,而 2 W/g、0.074 MPa 时的收缩率则高达 69%。分析原因,一方面是经预处理后的扇贝柱含水率较大(73% 左右),另一方面是扇贝柱的组织结构基本全部由横纹肌组成,当微波真空干燥时,内部水分以较快速度传至表面,表面肌纤维与内

部肌纤维能够一起逐渐收缩, 肌纤维间始终保持较紧密连接, 因而收缩率较大。另外, 由于微波真空能使扇贝柱形成一定的内外压差, 而微波功率愈高及真空度愈大则该压差愈大, “膨胀”作用会更显著, 所以较高真空度和较大功率下的收缩率比较小; 在进行热风干燥时, 由于热量是由外部传到内部, 外部干燥强度大, 表面肌纤维束干燥速度很快, 与内层纤维束之间形成较大的水分梯度, 因而会出现较大的内部应力而产生裂纹, 干燥结束后干贝的视在体积(即干贝的实际体积加上缝隙体积)较大, 因而收缩率较小; 在自然干燥时, 由于自然环境的温度较低, 相对湿度较高, 所以干燥强度很低, 内部水分有足够时间传至表面, 表面肌纤维与内部肌纤维也能够一起逐渐收缩, 因此自然干燥干贝的收缩率也较大。



SD—室内自然干燥; AD—热风干燥; V3-90、V3-74、V2-90、V2-74—分别为 3 W/g—0.090 MPa、3 W/g—0.074 MPa、2 W/g—0.090 MPa、2 W/g—0.074 MPa 微波真空干燥

图 3 不同干燥方式扇贝柱的收缩率及抗破碎力  
Fig 3 Shrinkage (a) and durability (b) of dried scallop with different drying methods

传统方法加工的干贝在储运和销售过程中, 存在着碎粒率较高的现象, 严重地影响了干贝的价格和利润。由图 3 可见, 几种参数组合下的微波真空干燥扇贝柱的抗破碎力均较高, 如在 V3-90 条件下的抗破碎力为 35.5 N, 远大于热风干燥(11.5 N)和自然干燥(21.0 N)。分析影响扇贝柱抗破碎力大小的原因, 主要是在整个干燥过程中表面肌纤维与内部肌纤维的紧密连接程度。由于在微波真空条件下, 内部水分以较快速度传至表面, 肌纤维间始终保持紧密连接, 因此抗破碎力大; 而热风干燥时由内部应力引起的裂纹不断产生, 大大地降低了扇贝柱的抗破碎力; 自然干燥过程中, 扇贝柱仍会产生少许裂纹(见表 1), 肌纤维间的连接不如微波真空干燥时紧密, 因此抗破碎力低于微波真空干燥扇贝柱。

### 2.2.2 对复水率的影响

扇贝柱在不同干燥方式及干燥参数下脱水后的复水率曲线见图 4。

由于热风干燥扇贝柱的收缩率较小, 表面有较多缝

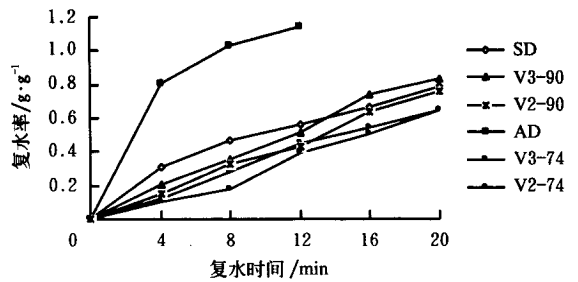


图 4 不同干燥方式的扇贝柱复水率曲线  
Fig 4 Rehydration curves of dried scallop with different drying methods

隙(见表 1), 所以在复水初期的复水速度很快(见图 4), 复水能力很强, 12 m in 复水率可达到 1.24; 几种微波真空干燥扇贝柱在复水初期的复水速度均较慢, 在 8 m in 以后复水速度加快, 当复水时间足够时也能达到较高的复水率, 如 3 W/g、0.090 MPa 时经 20 m in 复水率达到 0.83; 自然干燥由于表面有少许缝隙存在, 所以在复水初期的复水速度快于微波真空干燥, 但在足够复水时间与微波真空干燥接近。另外, 自然干燥和微波真空干燥扇贝柱的耐煮性好, 20 m in 复水后仍能保持完整形状, 而热风干燥扇贝柱经 12 m in 复水后即已溃散。

### 2.3 对感观特性的影响研究

不同干燥方式及干燥参数下脱水扇贝柱的表面情况见表 1。

由表 1 可见, 热风干燥扇贝柱色泽发暗, 表面有较多较大裂纹, 中心发生塌陷使形状改变, 所以表面质量综合评价最差; 在适宜干燥的良好自然条件下, 自然干燥扇贝柱具有最好的综合表面质量, 但在不同天气条件下干燥的扇贝柱表面质量相差很大; 较大微波功率和较高真空度组合下(V3-90)的微波真空干燥扇贝柱也具有较好的表面质量, 但当微波功率和真空度均较低时(V2-74)表面质量变差。

表 1 干燥方式对扇贝柱表面质量的影响

Table 1 Surface quality of dried scallop with different drying methods

| 表面情况 | 干燥方式及干燥参数 |      |       |       |       |       |
|------|-----------|------|-------|-------|-------|-------|
|      | SD        | AD   | V3-90 | V3-74 | V2-90 | V2-74 |
| 色泽   | 嫩黄        | 黄褐   | 淡黄    | 淡黄    | 淡黄    | 黄白    |
| 缝隙   | 少量细缝      | 较多较大 | 无     | 无     | 无     | 无     |
| 形状   | 整齐        | 中心塌陷 | 整齐    | 整齐    | 整齐    | 塌腰    |

注: 不同天气条件下 SD(自然干燥)的色泽相差很大, 表中所列为最好状态。

### 3 结 论

综合各种干燥方式和干燥参数组合对扇贝柱的物理特性和感观特性的影响, 可得出初步结论如下:

- 1) 扇贝柱在微波真空条件下具有非常快的干燥速度, 抗破碎能力显著好于自然干燥及热风干燥。
- 2) 不同微波功率和真空度组合对扇贝柱的物理和感观特性有明显影响, 较大微波功率和较高真空度组合

时能得到很好的干燥效果,如在微波功率和真空度为  $3\text{ W/g}$  和  $0.090\text{ MPa}$  时,干燥扇贝柱具有良好的色泽及表面质量,且干燥速度快,仅需  $30\text{ min}$  即可达到  $20\%$  湿基含水率,收缩率和复水率与自然干燥扇贝柱相近。当减小微波功率和降低真空时,干燥扇贝柱的收缩率会增加,色泽和表面质量会变差。

3) 单独使用热风干燥扇贝柱,总体效果远不如微波真空干燥。但由于热风干燥扇贝柱具有最小的收缩率,而微波真空干燥扇贝柱收缩率较大,所以如将微波真空干燥技术与热风干燥技术组合用于扇贝柱的干燥,可能会获得更好的效果。最佳工艺还待进一步试验研究。

#### [参 考 文 献]

- [1] 魏利平. 山东省扇贝养殖现状及持续发展的技术措施[J]. 齐鲁渔业, 2000, 17(2): 21- 22
- [2] 中华人民共和国农业部渔业局. 中国渔业统计资料[EB/OL]. <http://www.cnfm.gov.cn/tongji/analysis.asp/>, 2003-7-02
- [3] 纪家笙, 黄志斌, 杨运华, 等. 水产品工业手册[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 1999: 167- 168
- [4] Wall R, Howard J J, Bindu J. The seasonal abundance of blow flies infesting drying fish in south west India [J]. Journal of Applied Ecology, 2001, (38): 339- 348
- [5] Wulandari D I, Dyah A. Design and experimental testing of a solar dryer combined with kerosene stoves to dry fish [Z]. ASA E 028024
- [6] Barbara G. Dehydrated Goods [J]. Food Manufacture, 1998, 73(6): 30- 31
- [7] 陈仲仁. 微波干燥在食品干燥制程之应用[J]. 食品工业, 2002, 34(7): 31- 45
- [8] 汤大卫, 张天使. 微波真空干燥技术的运用与前景[J]. 2000, 21(196): 27- 35
- [9] Lin T M, Durance T D, Scaman C H. Physical and sensory properties of vacuum microwave dehydrated shrimp [J]. Journal of Aquatic Food Product Technology, 1999, 8(4): 41- 53
- [10] 张 静, 袁惠新. 几种食品干燥技术的进展与应用[J]. 包装与食品机械, 2003, 21(1): 29- 32
- [11] Lin T M, Durance T D, Scaman C H. Characterization of vacuum microwave, air and freeze dried carrot slices [J]. Food Research International, 1998, 31(2): 111- 117
- [12] Drouzas A E, Schubert H. Microwave application in vacuum drying of fruits [J]. J Food Engineering, 1996, 28: 203- 209
- [13] Torringa H M, Erle, U, Bartels P V, et al. Microwave-vacuum drying of osmotically pre-treated fruit [A]. Drying '98-Proceedings of the 11th International Drying Symposium (DS'98) [C]. Greece: 1998, 922- 929

## Physical and sensory properties of vacuum microwave dried scallop

Zhang Guochen<sup>1,2</sup>, Mao Zhihua<sup>2</sup>, Mu Chenxiao<sup>1</sup>, Pan Lanlan<sup>1</sup>

(1. College of Mechanical Engineering, Dalian Fisheries University, Dalian 116023, China;

2. Engineering College, China Agricultural University, Beijing 100083, China)

**Abstract** Vacuum microwave (VM) drying is a newly developed method in food processing. Vacuum microwave drying of scallop was investigated on the basis of physical and sensory properties, and compared with those of sun dried and air dried products as well. The qualities of VM dried scallop were affected by the vacuum pressure and microwave power. The scallop dried by VM at  $3\text{ W/g}$  and  $0.090\text{ MPa}$  had much better color and appearance than either of the other methods, and the shrinkage and rehydration were similar to sun dried product. It took only  $30\text{ min}$  for the moisture content of the scallop to drop to  $20\%$  (wet basis) under this condition. Lowering microwave power and vacuum pressure to  $2\text{ W/g}$  and  $0.074\text{ MPa}$ , respectively, resulted in damage in color and appearance and higher shrinkage of VM dried scallop. All the scallops dried by VM had much higher dehydration rate and durability than sun dried and air dried scallops. VM drying has a promising potential in scallop dehydration on minimizing drying time and improving the quality of the scallop.

**Key words:** scallop; vacuum microwave drying; shrinkage; rehydration rate