

# 高压电场与热风组合干燥海米

白亚乡<sup>1</sup>, 胡玉才<sup>1</sup>, 曲敏<sup>2</sup>, 迟建卫<sup>1</sup>

(1. 大连水产学院理学院, 大连 116023; 2. 大连水产学院食品工程学院, 大连 116023)

**摘要:** 为了提高海米的干燥质量, 利用高压电场和热风组合方式对海米进行了干燥试验研究, 并与单纯高压电场及单纯热风干燥进行比较, 研究表明, 利用 35 kV 的高压电场加 45℃ 热风的组合干燥方式进行海米的干燥, 所需干燥时间比同温度下单纯热风干燥缩短 50%, 干燥能耗降低 51.9%, 其干燥速度与 80℃ 下的单纯热风干燥速度相近, 但干燥海米的收缩率和复水率比 80℃ 时单纯热风干燥均有不同程度的改善。利用组合干燥方法所得干燥海米的 10 min 和 20 min 复水率分别比 80℃ 时热风干燥高 2.3 个百分点和 1.33 个百分点, 收缩率小 5.5 个百分点, 干燥海米具有良好的感官品质和适中疏密程度的组织结构。较之单纯热风干燥, 组合干燥具有优势, 是一种良好的替代方法。

**关键词:** 高压电场干燥; 海米; 热风干燥; 组合干燥; 干燥速度; 收缩率; 复水率

**中图分类号:** S375; O441.4

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1002-6819(2008)-8-0258-04

白亚乡, 胡玉才, 曲敏, 等. 高压电场与热风组合干燥海米[J]. 农业工程学报, 2008, 24(8): 258-261.

Bai Yaxiang, Hu Yucan, Qu Min, et al. Combined drying of shimp with voltage electric field and hot air[J]. Transactions of the CSAE, 2008, 24(8): 258-261.(in Chinese with English abstract)

## 0 引言

海米是深受消费者喜爱的海产珍品。目前, 传统的海米干燥技术主要为日光干燥和热风干燥, 由于日光干燥完全依赖自然环境条件, 尤其是在阴雨潮湿天气下不能进行正常干燥, 因此生产的连续性差、不可预测性大; 而热风干燥速度主要取决于干燥温度, 虽然在较高温度(70~85℃)下干燥能够获得较高的干燥速度, 但温度过高, 容易引起其中的热敏性成分和生理活性成分的破坏, 从而使产品品质降低(维生素和芳香物质损失、表面硬化开裂、过度收缩、低复水性和明显的颜色改变等)<sup>[1,2]</sup>。另外, 在较长的热风干燥过程中还会导致细菌滋生。因此, 传统的干燥加工技术远远不能满足国内外市场对其产量和质量的要求, 由于海米的干燥质量在很大程度上取决于干燥温度, 在较低温度下对其进行干燥能够保持其原有的色、香、味及营养成分, 干燥质量好。近年来, 海米的低温干燥研究受到了越来越多的关注。

高压电场干燥技术是 20 世纪 80 年代兴起的一种干燥技术<sup>[3-11]</sup>, 其最大特点是被干燥物不升温, 因此, 能够实现被干燥物在较低温度范围内(20~45℃)的干燥, 在此温度范围内进行干燥, 干燥产品的色香味和生物活性成分的保留率得到很大程度的提高<sup>[12,13]</sup>, 几乎接近冷冻干燥, 而干燥能耗和设备成本要比真空冷冻干燥低得多。另外, 在干燥的同时还可杀灭存在被干产品中的细菌<sup>[14]</sup>, 但其缺点是干燥速度相对较慢。

组合干燥是综合了两种不同的干燥方法各自优点的

一项新技术, 近年来组合干燥技术受到了越来越多的应用<sup>[15-17]</sup>。目前, 将高压电场与热风组合干燥技术应用于海米加工中的研究在国内外尚未见报。因此, 我们进行了高压电场与热风组合干燥海米的尝试试验, 意在为海米干燥加工领域探索新途径。

## 1 材料与方 法

### 1.1 试验装置

DHG-9146A 型电热恒温鼓风干燥箱(上海精宏实验设备有限公司); SL2002N 型电子天平(上海民桥精密科学仪器有限公司); 高压电场热风组合干燥仪: 内蒙古大学研制的高压电场热风组合干燥机, 示意图如图 1 所示。

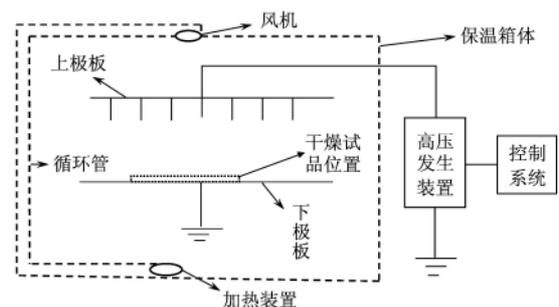


图 1 高压电场热风组合干燥装置示意图

Fig.1 Schematic diagram of device for combined drying of high voltage electric field and hot-air

该装置根据高压电场干燥原理设计, 每层之间均设置电晕电场, 内设可控温加热装置和风机及热风循环管, 既可实现单纯的高压电场干燥和单纯的热风干燥, 又可实现不同温度、不同电压下的高压电场与热风组合干燥。

### 1.2 试验方法

#### 1.2.1 预处理

试验选用渤海新鲜海虾, 体长 4~5 cm。将新鲜海虾

收稿日期: 2007-09-28 修订日期: 2008-07-07

基金项目: 辽宁省教育厅科学研究计划资助(20060188); 大连水产学院科研项目(SY2007044)

作者简介: 白亚乡(1971-), 男, 博士生, 副教授, 研究方向: 电场干燥。大连市黑石礁街 52 号 大连水产学院理学院, 116023。

Email: byx0671@163.com

洗净, 然后放入 95~99℃ 的 8% 盐水中煮 10 min 后捞出, 经冷却去皮, 预处理后海米的初始含水率为 64%~66%, 规格为每 500 g 120~130 粒。然后, 置于 0℃ 冰箱中存储待用。

### 1.2.2 不同方式下的干燥试验

在同一批海米中称量出相同质量为 35 g 的 3 份, 放于 3 个物料盘中, 分别采用单纯高压电场、单纯热风和高压电场与热风组合方法进行干燥。单纯电场条件为: 干燥温度为 23~28℃, 干燥电压 35 kV; 单纯热风干燥条件为干燥温度为(45±1)℃。风速 0.5 m/s。组合干燥条件为: 干燥温度为(45±1)℃, 干燥电压 35 kV; 风速 0.5 m/s。在试验中, 每隔一定时间(60 min)检测海米质量变化, 得出海米含水率随干燥时间变化情况, 当其含水率接近 2% 时停止干燥。

### 1.2.3 组合干燥与 80℃ 热风干燥对比试验

#### 1) 干燥速度对比

在同一批海米中称量出与组合干燥质量相同海米一份, 放入恒温鼓风干燥箱中干燥(热风干燥温度为(80±1)℃, 风速为 0.5 m/s)。每隔一定时间(60 min)检测海米质量变化, 得出海米质量随干燥时间变化的情况, 计算出干燥速度, 并与组合干燥进行比较。

#### 2) 干燥能耗对比

分别用三相电表测量单位时间内 45℃ 组合干燥与 80℃ 热风干燥所消耗的电能, 并进行比较。

#### 3) 收缩率对比

在进行干燥试验前采用浮力法测定海米体积。由于干海米的复水速度较快, 所以不能用浮力法进行干海米体积测定, 本试验中参考 Torringa 等测定干燥草莓体积的方法<sup>[18]</sup>, 采用置换法进行干海米体积的测定, 置换介质为小米, 粒度大小经筛分后控制在 0.9~1.1 mm 范围内。然后采用下式计算海米收缩率:

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

式中  $r$ ——海米收缩率, %;  $V$ ——干燥终止时刻海米的体积,  $\text{cm}^3$ ;  $V_0$ ——干燥前海米的体积,  $\text{cm}^3$ 。

#### 4) 复水率对比

将干燥后的海米放入 100℃ 的恒温水中进行复水率的测定, 分别在 10 min 和 20 min 时将海米捞出, 用滤纸擦干表面水分后检测质量变化, 由下式求出复水率<sup>[19,20]</sup>。

$$R_f = (m_f - m_g) / m_g \times 100$$

式中  $R_f$ ——复水率, %;  $m_f$ ——样品复水后沥干质量, g;  $m_g$ ——干海米质量, g。

#### 5) 感官特性对比

主要根据色泽、表面缝隙及原有形状保持情况进行评定。色泽呈橘红的为优, 呈深红色的为差; 表面致密、无开裂的为优, 表面疏松、有较大缝隙的为差; 基本保持原有形状的为优, 严重畸变的为差。

所有试验进行 2 次重复。

## 2 结果与分析

### 2.1 干燥方式对干燥速度的影响

将不同干燥方式下所测得海米含水率随干燥时间变

化情况绘制成干燥曲线, 见图 2。

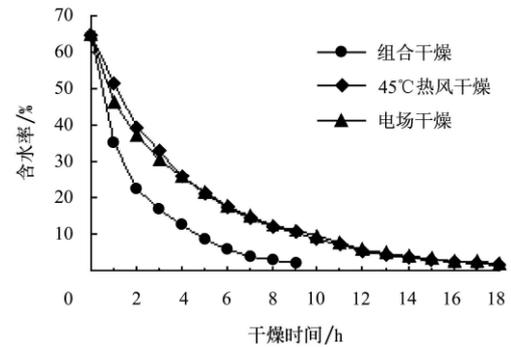


图 2 含水率与干燥时间的关系

Fig.2 Relationship between moisture content and drying time

从图 2 中可看出, 采用组合干燥方式能显著提高海米的干燥速度, 其干燥速度比同温度(45±1℃)下单纯热风干燥和室温(23~28℃)下的单纯电场干燥速度提高 50% 左右。

### 2.2 组合干燥与 80℃ 热风干燥对比试验

#### 2.2.1 干燥速度测定结果

将 45℃, 35 kV 电压下干燥所测得海米的干燥速度与 80℃ 热风干燥所测得海米干燥速度列于表 1。

表 1 不同干燥方式下海米的干燥速度  
Table 1 Drying rate of dried shrimp by using different drying methods

干燥时间/ min	干燥速度/ $\text{mg} \cdot \text{min}^{-1}$	
	组合干燥	80℃ 热风干燥
60	169.83	159.50
120	77.67	82.33
180	38.50	39.33
240	24.50	28.00
300	17.50	18.83
360	13.33	15.33
420	9.83	11.67
480	6.67	8.50

由表 1 可知采用 35 kV 的电场加 45℃ 热风组合干燥的速度与 80℃ 热风干燥比较, 初期(第 1 h 内)组合干燥速度稍大而在后期稍小, 其前 5 h 的平均干燥速度均为 65.6  $\text{mg}/\text{min}$ , 前 8 h 的平均干燥速度相近。

#### 2.2.2 干燥能耗测定结果

将 45℃ 组合干燥与 80℃ 热风干燥所消耗的电能进行比较结果显示组合干燥每平米有效干燥面积耗电 3.8  $\text{kW} \cdot \text{h}$ , 而 80℃ 热风干燥每平米有效干燥面积耗电 7.9  $\text{kW} \cdot \text{h}$ , 45℃ 组合干燥所消耗的能耗仅是 80℃ 热风干燥能耗的 48.1%。

#### 2.2.3 收缩率与复水率测定结果

将经组合干燥后海米的收缩率、复水率与 80℃ 热风干燥海米的收缩率、复水率列于表 2。

从表 2 可看出, 用组合干燥方式干燥的海米收缩率较热风干燥要小 5.5 百分点, 其 10 min 和 20 min 复水率

分别比热风干燥的高 2.3 和 1.33 个百分点。

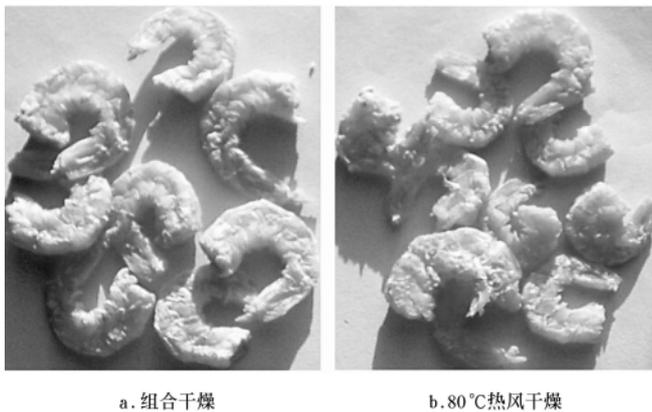
表 2 干燥方式对海米收缩率、复水率的影响

Table 2 Effect of drying methods on rehydrating and shrinkage rate of dried shrimp

干燥方法	收缩率/%	10 min 复水率/%	20 min 复水率/%
组合干燥	47.8	51.86	67.29
80℃热风干燥	53.3	49.56	65.96

#### 2.2.4 感官特性比较结果

将组合干燥的海米与 80℃热风干燥的海米的表面情况拍照比较, 见图 3。



a. 组合干燥

b. 80℃热风干燥

图 3 干燥方式对海米表面质量的影响

Fig.3 Effect of drying methods on surface quality of dried shrimp

图 3a 为组合干燥海米, 3b 为热风干燥海米, 由图 3 可见, 热风干燥的海米色泽较深、表面有裂纹, 变形较大, 所以表面质量综合评价较差; 而电场干燥的海米色泽较浅, 表面较平整, 变形较小, 无裂纹, 表面质量综合评价良好。

### 3 讨论

高压电场干燥技术是 20 世纪 80 年代兴起的一种新兴的干燥技术, 其干燥特性属一种新的干燥机制, 被干燥物及其中所含水分是处于高压电场之中, 而不是与电极直接接触。这与通常的加热干燥的“传热传质”的干燥机制截然不同。所以被干燥物不升温, 因此, 能够实现海米在较低温度范围内 (20~45℃) 的干燥, 在此温度范围内进行干燥, 就可减少海米中蛋白质受热变性、变形、变色和呈味类物质的损失。但由于常温下单独使用高压电场干燥速度较慢, 如果在电场干燥过程中结合一定热风 (45℃以下), 就可在保证干燥质量的同时, 提高干燥速度。

从本试验结果看, 组合干燥的速度明显高于同等温度的热风干燥, 经组合干燥的海米收缩率、复水率和表面质量均优于 80℃热风干燥, 这主要是因为热风干燥是从外向内加热, 外部干燥强度大, 这样就使得海米外部的水分子的散失速度较快, 使得海米表面失去的水分子不能及时从内部得到补偿, 从而引起表面硬化开裂。而在组合干燥中, 由于高压电场干燥是通过电场力和电晕

风作用于海米中的水分子, 本试验我们所采用的高压电场为 50 Hz 的交流高压电场, 场强的大小和方向是周期性变化的, 由于水分子是极性分子, 在交变电场作用下, 会产生和外电场频率相同的振动, 在惯性力的作用下, 不断有水分子被从海米内部转移到海米表面, 甚至被甩出海米体外, 使海米体内的水分减少。这样就使得水分子的散失速度加快, 同时, 使得海米表面因热风而失去的水分子可以从内部得到补偿, 从而避免表面硬化开裂。

### 4 结论

1) 高压电场与热风组合干燥海米, 能够在较低的温度下得到较高的干燥速度, 35 kV 的高压电场加 45℃热风的组合干燥方式进行海米的干燥, 所需干燥时间比同温度下单纯热风干燥缩短 50%左右, 其干燥能耗为 80℃下的单纯热风干燥能耗的 48.1%, 而干燥速度与 80℃下的单纯热风干燥速度相近。

2) 高压电场与热风组合干燥海米的收缩率、复水率均优于 80℃热风干燥, 10 min 和 20 min 复水率分别比 80℃时热风干燥高 2.3 和 1.33 个百分点, 收缩率小 5.5 个百分点, 干燥海米具有良好的感官品质和适中疏密程度的组织结构。

#### [参 考 文 献]

- [1] 张国琛, 毛志怀. 水产品干燥技术的研究进展[J]. 农业工程学报, 2004, 20(4): 297-300.
- [2] Barbara G. Dehydrated goods[J]. Food Manufacture, 1998, 73(6): 30-31.
- [3] Asakawa Y. Promotion and retardation of heat transfer by electric fields[J]. Nature, 1976, 261(5): 220-221.
- [4] Bajgai T R, Hashinaga F. Drying of spinach with a high electric field[J]. Drying Technology, 2001, 19(9): 2331-2341.
- [5] Hashinaga F, Bajgai T R, Isobe S. Electrohydrodynamic drying of apple slices[J]. Drying Technology, 1999, 17(3): 479-495.
- [6] Lai F C, Wong D S. EHD-enhanced drying with needle electrode[J]. Drying Technology, 2003, 21(7): 1291-1306.
- [7] Lai F C, Sharma R K. EHD-enhanced drying with multiple-needle electrode[J]. Journal of Electrostatics, 2005, 63(5): 223-237.
- [8] Li Fade, Li Lite, Sun J F, et al. Effect of electrohydrodynamic (EHD) technique on drying process and appearance of okara cake[J]. Journal of Food Engineering, 2006, 77(2): 275-280.
- [9] 翁明, 耿艳霞. 植物静电干燥的实验研究[J]. 西安交通大学学报, 2001, 35(3): 316-318.
- [10] 李里特, 刘志会, 李发德. 高压静电场对琼脂凝胶干燥规律的试验研究[J]. 食品与机械, 2000, (2): 14-15.
- [11] Cao W, Nishiyama Y, Koide S. Electrohydrodynamic drying characteristics of wheat using high voltage electrostatic field[J]. Journal of Food Engineering, 2004, 62(3): 209-213.
- [12] 丁昌江, 梁运章. 高压电场干燥胡萝卜的试验研究[J]. 农业工程学报, 2004, 20(4): 220-222.
- [13] 丁昌江, 梁运章. 高压电场干燥技术在中药材干燥中的应用

- 用[J]. 北京理工大学学报, 2005, 25(增刊): 126—128.
- [14] Baigai T R, Vijaya Raghavan G S, Fumio H. Electrohydrodynamic drying—a concise overview[J]. *Drying Technology*, 2006, 24(7): 905—910.
- [15] 张国琛, 毛志怀, 牟晨晓, 等. 微波真空与热风组合干燥扇贝柱的研究[J]. *农业工程学报*, 2005, 21(6): 144—147.
- [16] 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.
- [17] 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.
- [18] Topping H M, Erle U, Bartels P V, et al. Microwave vacuum drying of osmotically pre-treated fruit[A]. *Drying '98—Proceedings of the 11<sup>th</sup> International Drying Symposium (IDS'98)*[C]. Greece, 1998: 922—929.
- [19] 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.
- [20] Yuvaranee Namsangan, Warunee Tie, Sakamon Devahastin, et al. Drying kinetics and quality of shrimp under going different twostage drying processes[J]. *Drying Technology*, 2004, 22(4): 759—778.

## Combined drying of shimp with voltage electric field and hot air

Bai Yaxiang<sup>1</sup>, Hu Yucui<sup>1</sup>, Qu Min<sup>2</sup>, Chi Jianwei<sup>1</sup>

(1. School of Science, Dalian Fisheries University, Dalian 116023, China;

2. College of Food Engineering, Dalian Fisheries University, Dalian 116023, China)

**Abstract:** In order to improve the drying qualities of shrimp, a combined drying process of high voltage electric field and hot-air was studied. It was compared with single-stage high voltage electric field drying as well as single-stage hot-air drying on the basis of drying time, energy consumption, shrinkage rate, rehydration rate and sensory qualities. The results show that, with the high voltage electric field at 35kV combined with hot-air at 45°C, the drying time can be reduced by 50% compared with those by single-stage hot-air drying at 45°C. The drying rate is close to that of single-stage hot-air drying at 80°C, however, the energy consumption was 51.9% lower than single-stage hot-air drying at 80°C, and the dried shrimp has lower shrinkage rate and higher rehydration rate. When the voltage and temperature of hot air were controlled at 35 kV and 45°C, the rehydration rates after 10 minutes and 20 minutes of the shrimp dried by the combined drying process were 51.86% and 67.29%, which were 2.3% and 1.33% more than that of hot-air drying shrimp respectively. The shrinkage rates of the dried shrimp under the combined drying process was 47.8%, which was 5.5% less than that of hot-air drying shrimp. Furthermore, the dried shrimp under the combined drying process had better sensory qualities such as better color, better texture and lower distortion. Compared with hot-air drying the combined drying has advantages and can be used as a substitute method for traditional drying method.

**Key words:** high voltage electric field drying; shrimp; hot-air drying; combined drying; drying rate; shrinkage rate; rehydration rate