

## 不同干燥工艺对莲子品质的影响

曾绍校, 梁 静, 郑宝东<sup>\*</sup>, 赵扬帆, 林驾缘

(福建农林大学食品科学技术研究所, 福州 350002)

**摘 要:** 为深入了解不同干燥工艺对莲子干燥后品质的影响, 该文以干燥后莲子的收缩率、复水率、抗性淀粉(RS)含量、色泽和组织结构为考察对象, 研究了自然干燥、热风干燥、真空干燥、冷冻干燥、微波干燥和微波—热风联合干燥等 6 种不同干燥工艺对莲子品质的影响。结果表明: 微波—热风联合干燥莲子的收缩率小, 复水率高, RS 含量低, 色泽与莲子原始指标较接近, 且能够较好地保持莲子的原始组织结构; 微波干燥莲子的品质仅次于微波—热风联合干燥莲子; 冷冻干燥莲子的收缩率和复水率均最佳, 但 RS 含量高, 色泽较莲子原始指标差, 且组织结构发生了明显的变形和皱缩; 自然干燥、热风干燥、真空干燥莲子的品质均较差。综合考虑, 微波—热风联合干燥后的莲子除 RS 含量较低外, 其他品质均较优, 可作为最佳干燥方法应用于生产。

**关键词:** 莲子; 干燥工艺; 收缩率; 复水率; 抗性淀粉; 色泽; 组织结构

**中图分类号:** TS205.1

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1002-6819(2007)5-0227-05

曾绍校, 梁 静, 郑宝东. 不同干燥工艺对莲子品质的影响[J]. 农业工程学报, 2007, 23(5): 227-231.

Zeng Shaoxiao, Liang Jing, Zheng Baodong, et al. Effects of different drying technology on the quality of lotus-seed[J]. Transactions of the CSAE, 2007, 23(5): 227-231. (in Chinese with English abstract)

## 0 引 言

干燥过程中物料的物理、化学变化会直接影响到终产品品质, 有关干燥产品品质的研究成为近年来的热点。品质是指干燥后产品的质量特性, 主要包括: 结构特性(容积密度、孔隙率、孔隙尺寸、真密度), 视觉特性(颜色、外观), 感官特性(风味、滋味、香气), 营养特性(维生素、蛋白质等), 复水特性(复水速率、复水能力)等<sup>[1]</sup>。目前, 不同干燥方法对苹果、胡萝卜等农产品品质的影响有较多的研究, 但对于莲子的相关研究仍处于空白阶段。传统的莲子干燥方法是利用太阳晒或炭火烘烤, 只适宜分散小批量烘烤, 且火候难控制, 耗时长, 费工多, 易烤焦; 而近年来采用的烘干房虽克服了传统烘烤的缺点, 但占地面积大, 建造要求高, 在莲子采收旺季, 其加工量远远满足不了市场的需求。因此, 本研究采用莲子为原料, 以干燥后莲子收缩率、复水率、抗性淀粉(RS)含量、色泽和组织结构为对象, 探讨了自然干燥、热风干燥、真空干燥、冷冻干燥、微波干燥和微波—热风联合干燥等 6 种不同干燥工艺对莲子品质的影响, 以期明确不

同干燥工艺的加工特性, 为莲子的进一步加工利用提供参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料

#### 1.1.1 试验材料

莲子: 花排莲, 采于福建建宁, 带莲蓬采集, 当天运抵福州, 置于 20℃ 室温以下并保持室内湿度, 用时剥壳、去膜、去芯。

#### 1.1.2 主要试剂

酸性蛋白酶(50000 U/g, 固体酶, 天津利华酶制剂技术有限公司); 耐高温  $\alpha$ -淀粉酶(2000 U/g, 固体酶, 杰能科公司); 葡萄糖淀粉酶(50000 U/g, 固体酶, 天津利华酶制剂技术有限公司); 其他试剂均为化学纯或分析纯。

### 1.2 主要仪器与设备

M700 微波炉(广东美的微波炉制造有限公司); TDL-5 型低速台式大容量离心机(上海安亭科学仪器厂); UV-2000 型紫外可见分光光度计(尤尼柯仪器上海有限公司); RT-02 型二两装高速中药粉碎机(永康市屹立工具厂); SHA-C 型恒温振荡器(常州国华电器有限公司); HQ-60 型漩涡分离器(上海武定电器厂); WSC-S 型测色色差计(上海精密科学仪器有限公司); JSM-5310LV 型扫描电镜(日本电子)。

### 1.3 试验方法

取相同质量的莲子, 分别采用 6 种不同干燥工艺将

收稿日期: 2006-04-03 修订日期: 2006-07-19

基金项目: 福建省自然科学基金计划资助项目(T0650021)

作者简介: 曾绍校(1980-), 男, 博士生, 研究方向为农产品加工与贮藏。福州市西门坑里 18 号 福建农林大学食品科学技术研究所, 350002

<sup>\*</sup>通讯作者: 郑宝东, 博士, 教授, 主要从事农产品加工与贮藏方面的研究。福州市西门坑里 18 号 福建农林大学食品科学技术研究所, 350002. Email: zbdst@163.com

其干燥至安全含水率(< 13% (以干基计))后,测定其收缩率、复水率、抗性淀粉(RS)含量、色泽和组织结构变化。具体的试验条件如下:

自然干燥:阳光直射,室外温度为 35~40℃,干燥时间 3~5 d;

热风干燥:温度 60℃,干燥时间约 24 h;

真空干燥:温度 60℃,真空度 0.095 MPa,干燥时间约 18 h;

冷冻干燥:温度-40℃,真空度 12 kPa,干燥时间为 48 h;

微波干燥:微波功率 385 W,干燥时间约 30 min;

微波-热风联合干燥:采用两段式干燥方法,即在装载量 200 g 的条件下,采用 539 W 微波功率将莲子干燥至含水率 30% (转换水分),时间约为 12 min,再用温度 70℃的热风干燥至安全含水率。

### 1.3.1 收缩率的测定

取 100 g 新鲜莲子,用石英砂排除法分别测定干燥前后莲子的体积,直接以下列公式计算<sup>[2]</sup>。

$$V = V_2 - V_1$$

式中  $V$ ——干燥后莲子的体积, mL;  $V_1$ ——石英砂的体积, mL;  $V_2$ ——石英砂和莲子的总体积, mL。

### 1.3.2 复水率的测定

取干燥后莲子样品  $m_g$ , 加入 60℃ 水 200 mL, 恒温浸泡 30 min, 取出沥水 5 min 后, 称重, 记为  $m_f$ 。复水率( $R$ ) 计算公式如下<sup>[3,4]</sup>

$$R = m_f / m_g \times 100\%$$

式中  $R$ ——复水率;  $m_f$ ——复水后的物料质量, g;  $m_g$ ——复水前的干物料质量, g。

### 1.3.3 RS 含量的测定

将莲子样品碾磨后, 采用淀粉酶法测定莲子中的 RS 含量。计算公式如下<sup>[5]</sup>

$$RS(g) = \frac{F \times 0.9 \times 100}{V \times 1000}$$

式中  $RS$ ——抗性淀粉, g;  $F$ ——10 mL 碱性酒石酸铜溶液(甲、乙各 5 mL) 相当于葡萄糖的质量, mg;  $V$ ——测定时平均消耗的样品溶液体积, mL; 100——样品溶液总体积, mL。

### 1.3.4 色泽的测定

色泽参数:  $L$  值 (Lightness, 亮度), 在 0~100 之间, 0 表示黑色, 100 表示白色;  $a$  值 (Redness, 红色度), 表示红绿之间的色泽, 100 为红色, -80 为绿色;  $b$  值 (Yellowness, 黄色度), 表示黄蓝之间的色泽, 100 为黄色, -80 为蓝色。根据基本色泽参数  $L$ 、 $a$ 、 $b$  值, 还可以衍生出许多反映颜色的模型参数如:  $H$  (Hue, 色调)、 $La/b$  和  $C$  (Chroma, 饱和度) 等。色调是颜色的基

本特征, 一般以色泽角  $H^\circ$  或色泽比  $a/b$  表示, 在 0°~360°之间连续变化; 饱和度, 又称纯度, 表示含色的多少, 其数值在 0°~60°之间变化, 低饱和度意味着色泽稀疏暗淡, 而高饱和度则表示饱满、强烈的颜色。

色泽参数测定: 采用 WSC-S 型测色色差计测定, 测量口直径为 20 mm, 以陶瓷标准板 ( $X = 73.06$ ,  $Y = 77.12$ ,  $Z = 80.10$ ) 作为工作标准, 由 CIE 三刺激值  $X$ 、 $Y$ 、 $Z$  自动计算出相应的  $L$ 、 $a$ 、 $b$  值。

### 1.3.5 组织结构的测定

采用扫描电镜进行观察, 操作方法参照文献[6]。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同干燥工艺对莲子收缩率的影响

不同干燥工艺对莲子收缩率的影响见图 1, 按莲子体积的收缩程度可排列为: 冷冻干燥 < 微波干燥 < 微波-热风联合干燥 < 热风干燥 < 自然干燥 < 真空干燥。在干燥过程中, 由于水分的蒸发会导致物料收缩。真空干燥的莲子收缩率最大, 这是由于组织细胞间充满了空气, 真空状态会对莲子形成负压, 加大细胞组织的收缩。微波干燥时水分蒸发速度较快, 且水气由内往外扩散, 产生一定的膨化效应, 因此其收缩率相对较小。冷冻干燥莲子的收缩率最小, 基本与新鲜莲子的体积大小保持一致, 这是由于冷冻干燥下莲子中的水分从冰晶状态下直接升华, 所占空间仍然保留, 可基本保持其原有形状。但其表面结构发生部分塌陷, 严重影响其外观品质, 这可能是由于莲子水分含量较高, 降低了无定形基质的粘弹性, 当水分升华后, 由于重力的作用, 细胞结构无法保持原状, 便产生了塌陷<sup>[1]</sup>。

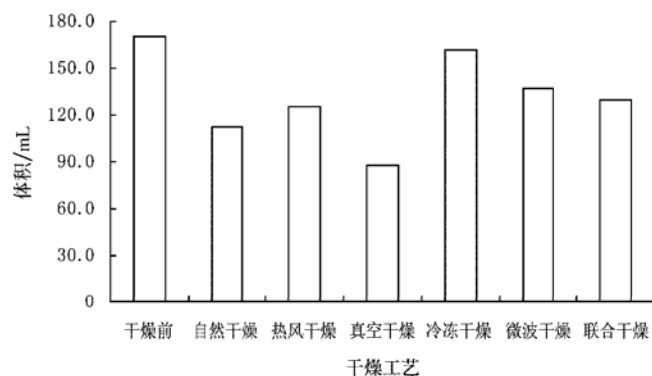


图 1 不同干燥工艺对莲子收缩率的影响

Fig. 1 Effects of different drying technology on the shrinkage

### 2.2 不同干燥工艺对莲子复水率的影响

从表 1 可知, 冷冻干燥莲子的复水率最高, 复水性最好, 复水率为 275.10%, 其次为微波-热风联合干

干燥, 其复水率为 265.20%, 表明莲子细胞的受破坏程度较低; 自然干燥、热风干燥、真空干燥和微波干燥莲子的复水率较低。产品的复水性主要取决于物料细胞和结构的破坏程度。在干燥过程中, 物料内部发生了不可逆转的细胞破坏和错位, 导致细胞完整性丧失, 毛细管收缩, 组织结构塌陷, 从而降低亲水性能<sup>[1]</sup>。一般情况下, 冷冻干燥的产品具有较好的复水性能, 热风干燥、真空干燥、微波干燥等的产品复水性能相对较差, 微波干燥对某些物料细胞壁具有破坏作用, 可以增加产品复水初期的复水速率, 但会降低产品的复水能力。

表 1 不同干燥工艺对复水率的影响  
Table 1 Effects of different drying technology  
on the rehydration ratio

干燥工艺	复水率/%
自然干燥	231.30
热风干燥	238.39
真空干燥	226.72
冷冻干燥	275.10
微波干燥	247.05
微波—热风联合干燥	265.20

### 2.3 不同干燥工艺对莲子 RS 含量的影响

抗性淀粉(resistant starch, RS)是指“不能在健康正常人小肠中消化吸收的淀粉及其降解物”<sup>[7,8]</sup>, 由于其具有降低血脂<sup>[9]</sup>等诸多生理功效, 近年来成为营养学界的研究热点。食品中 RS 的形成与加工条件密切相关<sup>[10,11]</sup>, 从表 2 可知, 自然干燥、热风干燥、真空干燥和冷冻干燥莲子的 RS 含量较高, 占莲子质量的比例均达 30% 以上, 微波—热风联合干燥和微波干燥莲子的 RS 含量较低, 仅占莲子质量的 3% 左右。表明莲子经微波加热后, 淀粉性质可能发生改变, 微波加热能显著降低莲子中的 RS 含量。

表 2 不同干燥工艺对莲子 RS 含量的影响  
Table 2 Effects of different drying technology  
on the mass of resistant starch

干燥工艺	RS 占淀粉比例/%	RS 占莲子比例/%
干燥前	86.514	38.192
自然干燥	82.020	33.694
热风干燥	83.038	30.170
真空干燥	86.279	34.277
冷冻干燥	83.967	34.240
微波干燥	7.564	3.309
微波—热风联合干燥	8.748	3.798

### 2.4 不同干燥工艺对莲子色泽的影响

从表 3 可以看出, 6 种干燥工艺加工的莲子色泽以

微波—热风联合干燥最佳, 最接近于莲子的原始色泽参数值, 其次为微波干燥和真空干燥, 自然干燥、热风干燥、冷冻干燥莲子的色泽均较差。从单一的色泽参数来看, 冷冻干燥莲子的亮度  $L$ 、红色度  $a$ 、黄色度  $b$ 、 $L a/b$  值和饱和度  $C$  均低于其它干燥工艺, 表明冷冻干燥对莲子色泽的影响最大, 亮度、红色度和黄色度下降最明显。

表 3 不同干燥工艺对莲子色泽参数的影响  
Table 3 Effects of different drying technology  
on indexes of colour

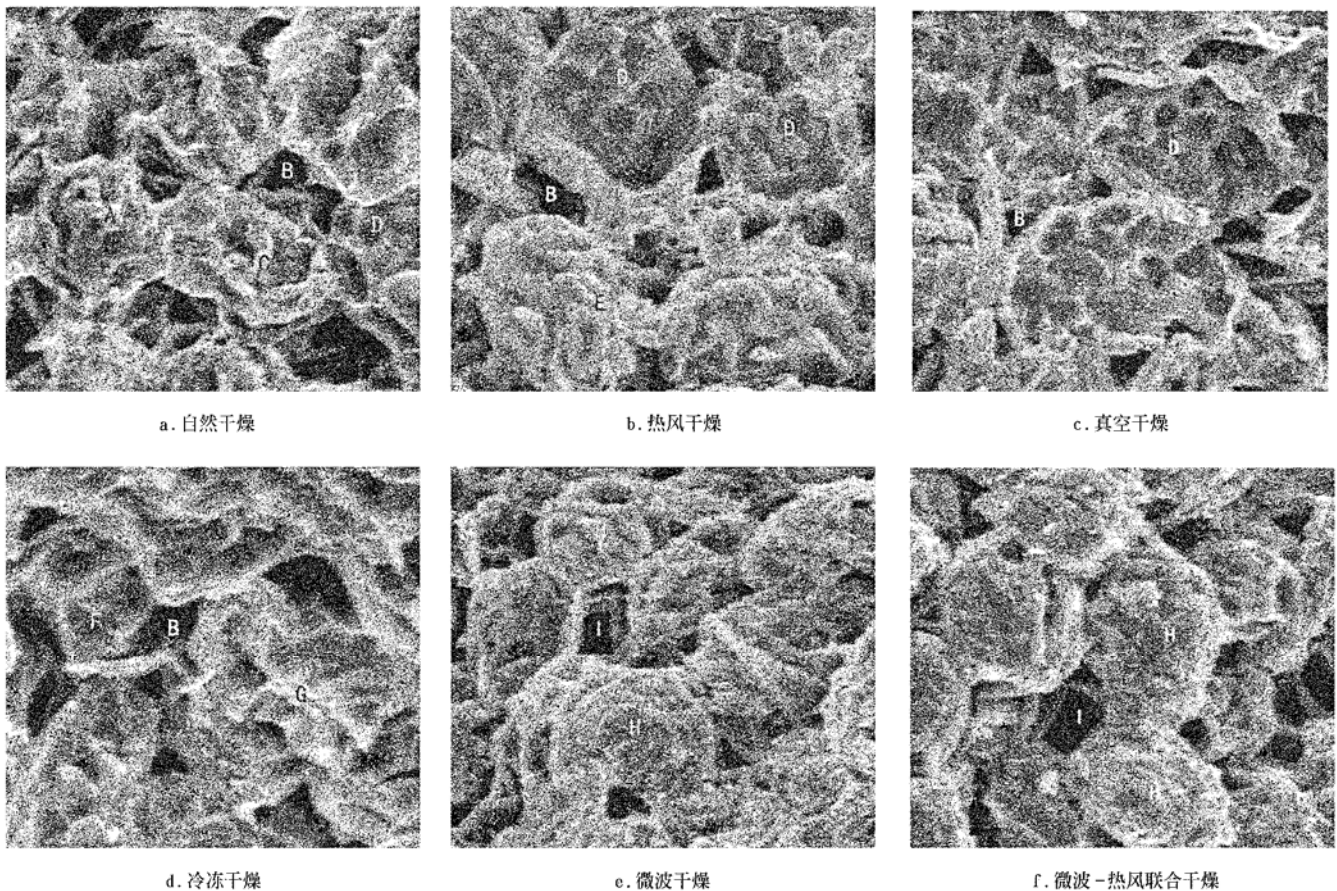
干燥工艺	$L$	$a$	$b$	$H^\circ$	$L a/b$	$C$
干燥前	72.87	7.10	24.03	1.28	21.53	25.06
自然干燥	74.97	9.12	21.94	1.18	31.16	23.76
热风干燥	76.52	5.92	25.38	1.34	17.84	26.06
真空干燥	72.10	8.39	25.88	1.26	23.38	27.20
冷冻干燥	69.62	2.23	21.38	1.47	7.26	21.50
微波干燥	70.98	8.60	25.06	1.24	24.36	26.50
微波—热风联合干燥	73.02	8.35	24.54	1.24	24.85	25.92

### 2.5 不同干燥工艺对莲子组织结构的影响

6 种不同干燥工艺对干燥后莲子组织结构的扫描电镜图见图 2。从图中可以看出, 莲子内部细胞呈现出有规则的层叠排列结构, 这种结构具有较强的机械性能和保护性能, 使得干燥过程中物料始终保持较好的刚性, 不易发生严重变形。同时, 细胞与细胞之间均有孔隙, 大小不一, 在同一平面上类似中空筛网结构, 这种结构为物料内部水分的流动与排除提供了通道。

自然干燥、热风干燥和真空干燥的莲子中淀粉颗粒清晰可见, 镶嵌于细胞内。这是由于自然干燥、热风干燥、真空干燥这 3 种干燥方式的温度都未达到莲子淀粉的糊化温度, 因此淀粉颗粒保持完整。而真空冷冻干燥的莲子切片却未见淀粉颗粒, 这可能是由于低温干燥使得淀粉颗粒脱水后较为独立, 无法附着在细胞壁上, 在切片时脱落。但这 4 种干燥方法均使莲子的细胞组织结构发生了明显的变形和皱缩, 细胞壁结构受到不同程度破坏, 其原因可能是: 这 4 种干燥工艺的热传导过程都是由表及里, 干燥时样品表面存在着 2 种不同相态的水, 形成了较大的表面张力, 从而引发了强烈的扭曲变形及塌陷和皱缩, 其中真空冷冻干燥最为强烈。干燥过程中的皱缩使得淀粉颗粒被包埋得更紧密些, 不易被酶所水解, 因此这 4 种干燥方法大大提高了莲子的 RS 含量。

而莲子经过微波处理后, 淀粉颗粒在微波热效应的作用下, 在细胞内糊化而聚合成一团, 充满整个细胞, 并与细胞壁融合在一起。但细胞间的中空筛网结构却保持良好, 以便水分的流动及排出。



注: A—细胞, B—孔隙, C—细胞皱缩, D—淀粉颗粒, E—结构变形, F—结构塌陷, G—结构扭曲, H—淀粉颗粒“融合”, I—中空筛网结构

图2 莲子的组织结构(SEM,  $\times 1500$  倍)

Fig. 2 Micro-structure of lotus-seed(SEM,  $\times 1500$ )

### 3 结 论

1) 不同干燥工艺对莲子收缩率的影响不同, 按体积的收缩程度可排列为: 冷冻干燥< 微波干燥< 微波—热风联合干燥< 热风干燥< 自然干燥< 真空干燥。

2) 在 6 种不同干燥工艺中, 冷冻干燥莲子的复水率最高, 复水性能最好, 其次为微波—热风联合干燥, 自然干燥、热风干燥、真空干燥和微波干燥莲子的复水率较低。

3) 自然干燥、热风干燥、真空干燥和冷冻干燥莲子的 RS 含量较高, 微波—热风联合干燥和微波干燥的 RS 含量较低, 提示微波加热会大大降低莲子中 RS 的含量。

4) 6 种干燥工艺加工的莲子色泽以微波—热风联合干燥最佳, 最接近于莲子的原始色泽参数值, 其次为微波干燥和真空干燥, 自然干燥、热风干燥、冷冻干燥莲子的色泽均较差。

5) 自然干燥、热风干燥和真空干燥莲子的组织结构均发生了明显的变形和皱缩, 细胞壁结构受到不同程

度破坏, 部分淀粉颗粒裸露在细胞壁外; 而微波干燥和微波—热风干燥则能够较好地保持莲子的原始组织结构。

综合考虑, 微波—热风联合干燥后的莲子除 RS 含量较低外, 其他品质均较优, 可作为最佳干燥方法应用于生产。

### [参 考 文 献]

- [1] 宋洪波, 毛志怀. 干燥方法对植物产品物理特性影响的研究进展[J]. 农业机械学报, 2005, 36(6): 117– 121.
- [2] 郑素霞, 李远志, 罗树灿, 等. 微波对苹果脆片干燥特性的影响[J]. 华南农业大学学报, 2004, 25(3): 109– 111.
- [3] 赵晋府. 食品工艺学[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 1999: 388.
- [4] 佟月英, 孙永海, 石晶. 干燥方法对营养强化方便米饭复水性的影响[J]. 农业机械学报, 2003, 34(2): 54– 57.
- [5] Goni I, Garcia-Diz L, Manas E, et al. Analysis of resistant starch: a method for foods and food products[J]. Food Chemistry, 1996, 56(4): 445– 449.
- [6] 郭素枝. 扫描电镜技术及其应用[M]. 厦门: 厦门大学出版

- 社, 2006: 1– 12.
- [7] Englyst H N, Kingman S M, Cummings J H. Classification and measurement of nutritionally important starch fractions [J]. *European Journal of Clinical Nutrition*, 1992, 46(Suppl. 2): 30– 50.
- [8] Croghan M. Novelose, resistant starch: a novelty in the functional fibre sector[J]. *Alimentaria*, 1995, 261: 37– 41.
- [9] Ranhotra G S, Gelroth J A, Glaser B K. Effect of resistant starch on blood and liver lipids in hamsters[J]. *Cereal Chem*, 1996, 73(2): 176– 178.
- [10] 余焕玲, 阚建全, 陈宗道. 影响抗性淀粉形成因素[J]. *粮食与油脂*, 2001, (4): 29– 31.
- [11] 赵国华, 阚建全, 李洪军, 等. 食品中抗性淀粉的研究进展[J]. *中国粮油学报*, 1999, 14(4): 37– 41.

## Effects of different drying technology on the quality of lotus-seed

Zeng Shaoxiao, Liang Jing, Zheng Baodong<sup>\*</sup>, Zhao Yangfan, Lin Yuanyuan

(*Institution of Food science and technology, Fujian Agriculture and Forestry University. Fuzhou 350002, China*)

**Abstract:** Effects of different drying technology (sun drying, hot-air drying, vacuum drying, freezing drying, microwave drying and combined microwave and hot-air drying) on the shrinkage, rehydration ratio, resistant starch (RS) content, color and organization structure of lotus-seed were studied. The results show that lotus-seeds obtain less shrinkage, higher rehydration ratio, lower RS content, less distortion and better color by combined microwave and hot-air drying. Its color and organization structure is close to the fresh lotus-seed. The quality of lotus-seed by microwave drying is next to those by combined microwave and hot-air drying. Freezing drying makes lotus-seeds the least shrinkage and the highest rehydration ratio, but higher RS content, worse color and obvious distortion and shrinkage. The quality of lotus-seeds by sun drying, hot-air drying and vacuum drying are inferior to the others. So combined microwave and hot-air drying is the optimal technology.

**Key words:** lotus-seed; drying technologies; shrinkage; rehydration ratio; resistant starch; color; organization structure