

# 糙米的厚层微波干燥

董铁有<sup>1</sup>, 朱文学<sup>1</sup>, 木村俊范<sup>2</sup>, 吉崎繁<sup>2</sup>

(1. 河南科技大学; 2 日本筑波大学, 筑波市 305-8572)

**摘要:** 研究了顺流通风状态下厚层糙米的微波干燥问题, 实验结果表明: 随着微波功率的增加, 糙米的温度和干燥速度随之增加。如果微波的功率被控制在 0.05~0.09 kW/kg 范围内, 风速被控制在 0.12~0.20 m/s 范围内, 则可以保证不出现爆腰和发芽率降低等质量问题。且糙米的有效干燥厚度大约为 0.130 m, 此值大于同等条件下稻谷的有效干燥厚度。在微波加热的条件下干燥糙米的效率要高于稻谷干燥的效率。

**关键词:** 糙米; 厚层; 微波; 干燥; 通风; 顺流

**中图分类号:** TQ 028.677

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1002-6819(2003)02-0160-03

## 1 引言

糙米干燥与传统的稻谷干燥相比有许多优点。首先, 因为没有稻壳的存在, 所以不需要干燥稻壳部分的水分。其次, 水分的蒸发不受稻谷外壳和稻壳与颗粒之间缝隙的阻碍<sup>[1]</sup>, 可以提高干燥速度并有利于节约能源, 而且还可以提高干燥和贮藏设备的容积效率。同时干燥设备的生产效率也可以提高大约 60%, 干燥成本可以大大降低<sup>[1,2]</sup>。达到同样的湿基含水率 14% 的最终含水率, 稻谷干燥需要 11 h, 而糙米干燥只需要 5 h<sup>[3]</sup>。因此干燥效率可以大大提高。在日本, 稻谷都是首先加工成糙米再进行其它加工处理和储存的<sup>[3]</sup>。由于糙米没有象稻谷那样的外壳保护, 所以在干燥过程中很容易出现爆腰等问题<sup>[2]</sup>。微波干燥是近几十年发展起来的新型干燥技术。虽然我国在近几十年来在稻谷的干燥工艺和设备的研究和开发方面有了长足的发展<sup>[4]</sup>, 但在糙米干燥、加工和贮藏流通方面的研究和应用还处于探索起步阶段<sup>[5]</sup>。此外, 随着科技水平的不断提高和设备价格的降低, 微波干燥的应用越来越广, 因此研究合理的糙米微波干燥工艺及设备是非常必要的。但是到目前为止还没有这方面的研究报告。本研究的目的是考察和探讨糙米的微波干燥工艺。

## 2 实验材料和方法

### 2.1 实验材料和设备

实验所用的糙米为产于日本, 品种为“コシヒカリ”(黏光)的新鲜糙米。其初始干基(下同)含水率为 17.8%~20.6%, 容重为 725.6 kg/m<sup>3</sup>。实验室的温度控制在(20±2) 的范围内, 相对湿度控制在 40%~60% RH

的范围内。微波干燥实验是在静岗制机生产的 SUK-12N 型微波干燥实验台上进行的。微波干燥实验台的工作频率为(2.45±0.03)GHz, 输出功率可在 0~1.2 kW 范围内连续调节。实验装置如图 1 所示。

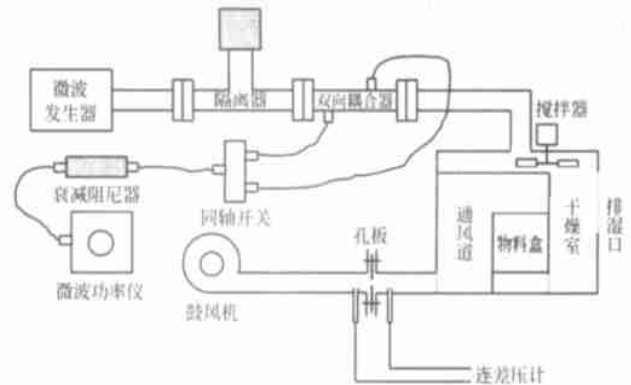


图 1 实验装置示意图

Fig 1 Schematic diagram of the experimental apparatus

### 2.2 实验方法

实验步骤为: 将糙米装进一个 0.200 m 高的立方体开口金属盒里(底部为金属网格, 以屏蔽从底部辐射的微波)。装填时用 9 个塑料网将糙米隔成十个薄层, 每层厚度为 0.020 m。为获得厚层内的干燥数据, 分别从每个薄层中采取试样供各种测量用。根据有关的研究<sup>[6-9]</sup>, 为了提高厚层微波干燥的均匀性并保证产品的质量, 采用“顺流通风”是合理的。“顺流通风”在这里是指通风的方向和微波在糙米厚层中传输的方向一致。因此本研究中糙米的厚层微波干燥均采用顺流通风工艺。

本研究中糙米的含水率的测定是将约 5 g 的糙米样品用专用的粉碎装置磨碎, 在 105 的条件下干燥 5 h, 采用质量法测出<sup>[6]</sup>。糙米厚层内的风速根据糙米厚层的横截面积和通风空气的流量计算得出<sup>[6]</sup>。通风空气的流量由图 1 所示的一套孔板测风仪测定。在此微波功率是指单位质量的糙米所吸收的微波放热能量, 是根据微波输出功率和微波干燥室的功率反射系数计算得出。微波输出功率根据微波发生器的输出功率特征曲线确定。如图 1 所示, 微波干燥器的功率反射系数是由日本 SPC 电子公司生产的 WDC-20H-42SP 型耦合器和美国

收稿日期: 2002-05-16

基金项目: 河南省教育厅自然科学研究项目(20015500005)

作者简介: 董铁有(1960-), 男, 河南洛阳人, 博士, 河南科技大学食品与生物工程系副教授, 1996 年赴日本筑波大学任研究员, 1998 年赴日本筑波大学攻读博士学位, 从事微波能利用研究。河南省洛阳市 河南科技大学食品与生物工程系, 471003, Email: tydong@mail.haust.edu.cn

Boonto 电子公司生产的 Microwave watt 型微波功率仪表测定的。

### 3 实验结果与分析

#### 3.1 糙米厚层中的温度和含水率分布

在顺流通风状态下微波干燥 90 min 后糙米厚层中的温度和含水率的分布情况如图 2 所示。该图显示出了在顺流通风状态下用微波干燥厚层糙米的典型特征。因糙米和稻谷有相似的特征, 因此糙米厚层中的温度和含水率的分布曲线与稻谷厚层中的温度和含水率的分布曲线非常相似<sup>[6-8]</sup>。从糙米层的最高处到深度为 0.05 m 处, 随着深度的增加, 温度会随之增加, 但含水率却随之减少。虽然理论上微波能的强度在最高处是最强的, 但此处的温度却是相对最低的。在深度为 0.05~0.07 m 的区间内, 温度达到最高值, 含水率也达到最低值。温度的最大增加幅度和含水率的最大减少幅度是在深度为 0.05~0.07 m 的区间内。通风空气和糙米之间的热传递在这个区间内也达到了平衡。随着深度的继续增加, 温度会降低, 这是因为深度超过 0.07 m 之后, 微波的放热能量会变得越来越小。因而, 在深度大于 0.130 m 之后, 干燥能力会变得越来越弱。在厚层稻谷的微波干燥中也存在类似的情况<sup>[8]</sup>。在厚层糙米的微波干燥过程中存在有一个有效干燥厚度, 即厚层中含水率的减少达到厚层内含水率减少最大值的一半时的深度。在此的有效干燥厚度约为 0.130 m。顺流通风在厚层微波干燥中有两个作用<sup>[6,8]</sup>: 一个是把谷层中被蒸发出来的水分带

到干燥机外, 另一个作用就是热传递。在顺流通风状态下, 通风把热能从微波能量强度最高的物料层顶部带到厚层的深处, 使干燥所需的热量分布均匀。根据微波传输理论, 糙米厚层内的微波能量强度分布应呈负指数曲线状。稻谷微波干燥的实验结果表明<sup>[6-8]</sup>, 在无通风的条件下稻谷厚层内的温度分布为呈负指数曲线状, 即厚层顶部的温度最高。当在顺流通风条件下, 顶部的微波能量被顺流通风的空气传递到了糙米层的深处, 因此顶部的温度并不是最高, 而且厚层内的相对高温区向厚层深处延伸。顺流通风在厚层糙米的微波干燥中对温度和含水率的分布均匀性起着十分重要的作用。在顺流通风状态下厚层糙米微波干燥的有效干燥厚度将增大, 且稍大于同条件下的稻谷微波干燥的有效干燥厚度<sup>[8]</sup>。亦即, 对相同的干燥设备, 用微波干燥糙米的容积效率比干燥稻谷的容积效率大将近一倍。

#### 3.2 干燥速度

根据厚层糙米中每个薄层的干燥数据的分析<sup>[6]</sup>, 虽然初始含水率为 18.1% 或更低, 但某些薄层的干燥速度仍可达 4.61%/h。在微波功率为 0.05~0.09 kW/kg, 风速为 0.12~0.20 m/s 的条件下, 平均干燥速度可达 2.0~2.5%/h。该值比有关研究报告中<sup>[8]</sup>相同初始水分的稻谷的平均干燥速度大将近一倍。糙米微波干燥的效率在本实验结果中得到了很好的证实。

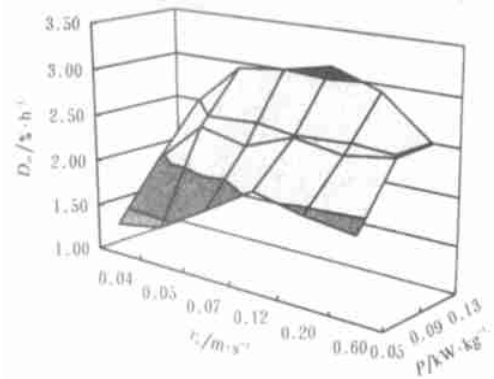


图 3 微波功率和风速对厚层内的平均干燥速率的影响  
Fig 3 Effect of microwave power and superficial air velocity on mean drying rate in thick brown rice layer

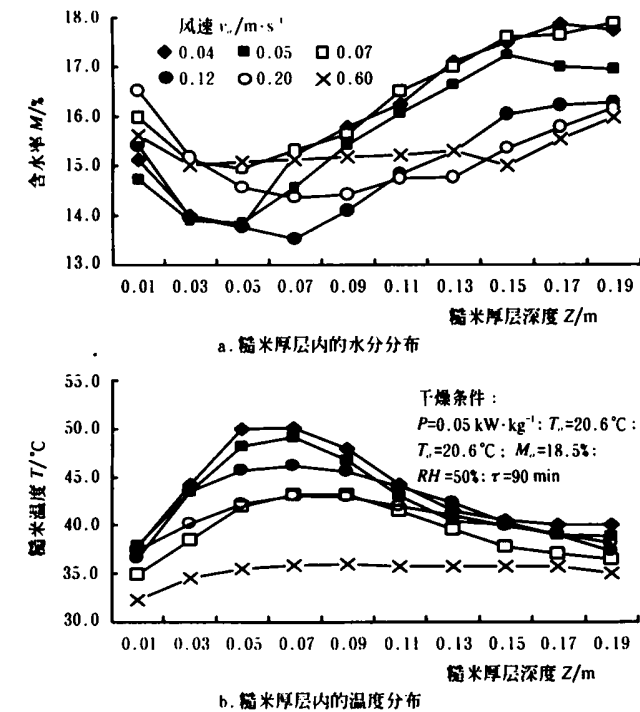


图 2 糙米微波干燥实验结果

Fig 2 Results of microwave drying of brown rice

$D_m$ : 糙米厚层内的平均干燥速度, %/h;  $M$ : 含水率, (% d.b.);  $M_0$ : 初始干基含水率, %;  $P$ : 微波功率, kW/kg;  $RH$ : 相对湿度, %;  $T$ : 温度, °C;  $T_a$ : 环境空气温度, °C;  $T_0$ : 初始温度, °C;  $v_a$ : 风速, m/s;  $\tau$ : 干燥时间, min;  $Z$ : 糙米厚层的深度坐标, m。

风速和微波功率在干燥过程中对平均干燥速度的影响如图 3 所示。当微波功率增大, 风速减小时, 糙米层内的温度和平均干燥速度就会增加。随着风速的增加, 平均干燥速度会随之降低。如果风速太大, 蒸发糙米中的水分所需的能量就会被通风的空气吹走。事实上, 虽然微波放热能量的强度理论上在最高处是最强的, 但是干燥速度在此处却并不高。这亦是因为此处的微波能量被传递到了糙米层的深处。此外, 因为糙米颗粒没有稻壳的保护, 从理论上讲其发生爆腰的可能性要比相同干燥条件下的稻谷发生爆腰的可能性要大。根据有关研究结果<sup>[6]</sup>, 当风速高于 0.07 m/s, 微波功率低于 0.09 kW/kg 时, 糙米胚芽的平均活性可以保持在 85% 以上, 爆腰率可以控制在 5% 以下。因此, 在顺流通风条件下对厚层糙米的微波干燥, 如果微波功率控制在 0.09 kW/kg 以下, 风速控制在 0.12~0.20 m/s 之间, 糙米

层的深度不超过 0.130 m。

#### 4 结 论

1) 随着微波功率的增加和风速的减小, 糙米的温度和干燥速度会随之增加, 但爆腰率也会随着增加, 而且会对糙米温度和含水率的分布均匀性产生也不利。因此, 除非干燥速度受到严重的影响, 微波功率和风速都应尽可能的低。

2) 在顺流通风状态下, 厚层糙米微波干燥的有效深度比同条件下稻谷的有效深度稍大。因此在使用相同的干燥设备的前提下, 糙米干燥的容积效率大约是稻谷干燥的一倍。在相同初始含水率及微波干燥条件下, 糙米的干燥速度是稻谷的近一倍。这是因为在糙米的干燥过程中没有稻壳对热质传递的阻挡。因此糙米干燥的效率是稻谷干燥效率的一倍以上。

3) 在顺流通风条件下对厚层糙米的微波干燥, 如果微波功率控制在 0.09 kW/kg 以下, 风速控制在 0.12~0.20 m/s 之间, 糙米层的深度不超过 0.130 m, 则在干燥过程中糙米的质量将不会受到影响。

#### [参 考 文 献]

[1] 丰田净彦, 前川孝昭, 山沢新吾等. 谷类的水分移动特性に関する基础的研究(第 1 报)[J]. 农业机械学会志, 1983,

45(1): 95~ 102

- [2] 後藤清和, 三轮精博, 刘建伟等. 玄米乾燥の实用化に関する研究(第 1 报)[J]. 农业机械学会志, 1994, 54(6): 21~ 26
- [3] 孝治, 伊藤信孝. 玄米用回 型通风干燥装置について[J]. 农业机械学会志, 1998, 60(2): 19~ 26
- [4] 曹崇文. 中国稻谷干燥现状和稻谷干燥设备的开发[J]. 农业工程学报, 2001, 17(1): 5~ 9
- [5] 周庆军, 谢 健. 糙米流通系统工程的关键技术探讨[J]. 粮食科技与经济, 2001, 3: 38~ 39
- [6] Dong Tieyou. Studies on the application of microwave energy to rice drying[D]. Ph. D. Thesis, University of Tsukuba, Japan, 2000, 46~ 73
- [7] 董铁有, 木村俊范, 吉崎繁等. マイクロ波と并流通風による厚层玄米の干燥に関する研究[C]. 第 58 回农业机械学会年次大会讲演要旨, 1999, 163~ 164
- [8] Dong T, Kimura T, Kawakami T, et al. Microwave drying of thick layer rough rice with concurrent, counter and cross flow ventilation[J]. Journal of the Japanese Society of Agricultural Machinery, 2000, 62(4): 89~ 101.
- [9] Dong Tieyou, Kimura T, Yoshizaki S, et al. Energy efficiency in microwave drying of rough and brown rice[J]. Transactions of the CSAE (农业工程学报), 2002, 18(5): 43~ 47.

## M icrowave drying of thick layer brown rice

Dong Tieyou<sup>1</sup>, Zhu Wenxue<sup>1</sup>, Toshinori Kimura<sup>2</sup>, Shigeru Yoshizaki<sup>2</sup>

(1. Food and Bioengineering Department, Henan University of Science and Technology, Luoyang, 471003, China; 2. University of Tsukuba, Tsukuba, 305-8572, Japan)

**Abstract** Experimental study on microwave drying of thick layer brown rice with concurrent flow ventilation was carried out. The results showed that with the increase of microwave radiation power level, the grain temperature and drying rate increased. If microwave power is controlled at 0.05~0.09 kW/kg, and superficial air velocity at 0.12~0.20 m/s, the quality of the products is not seriously affected. The most effective drying thickness of brown rice layer is about 0.130 m under this drying condition. It is slightly larger than that of microwave drying of thick layer rough rice. Because of this, the efficiency of microwave drying of brown rice could be higher than that of rough rice.

**Key words:** brown rice; thick layer; microwave; drying; ventilation; concurrent flow