

张忠杰研究员主持“粮食储运国家工程研究中心绿色储粮科技新视野”特约专栏文章之二

DOI: 10.16210/j.cnki.1007-7561.2024.05.002

赵思远, 朱文学, 陈鹏泉, 等. 基于卧式箱笼堆垛的花生荚果常温通风干燥实验研究[J]. 粮油食品科技, 2024, 32(5): 11-18.

ZHAO S Y, ZHU W X, CHEN P X, et al. Experimental study on the drying of stacked peanut pods based on horizontal box cage with room temperature ventilation[J]. Science and Technology of Cereals, Oils and Foods, 2024, 32(5): 11-18.

基于卧式箱笼堆垛的花生荚果 常温通风干燥实验研究

赵思远¹, 朱文学¹✉, 陈鹏泉¹✉, 王延坤¹, 王殿轩¹, 渠琛玲¹, 陈亮², 张德榜³

(1. 河南工业大学 粮食和物资储备学院, 河南 郑州 450001;

2. 河南工业大学 生物工程学院, 河南 郑州 450001;

3. 郑州万谷机械股份有限公司, 河南 郑州 450001)

摘要:为探究实验室自主研发设备——卧式箱笼堆垛花生荚果常温通风干燥设备使用效果, 本研究使用该设备对新收获花生荚果进行干燥实验, 测试干燥过程中花生荚果干燥速率、堆垛内温湿度变化及能耗情况, 分别与自然晾晒干燥和同类型干燥设备对比分析。研究发现, 同类天气条件下(阴雨天气为主), 使用卧式箱笼堆垛花生荚果常温通风干燥设备将初始含水率为 43.77% 的花生荚果干燥至 10% 以下共需 9 d, 干燥速率较自然晾晒干燥提升 43%, 花生荚果的干燥单位效率为 2.64×10^6 J/kg, 且堆垛内外层花生荚果水分含量下降均匀。本研究证明了卧式箱笼堆垛花生荚果干燥设备可用于新收获花生荚果的应急干燥。

关键词:花生荚果; 卧式箱笼; 常温通风; 水分; 干燥

中图分类号: TS205 **文献标识码:** A **文章编号:** 1007-7561(2024)05-0011-08

网络首发时间: 2024-08-28 13:51:26

网络首发地址: <https://link.cnki.net/urlid/11.3863.TS.20240827.1708.042>

Experimental Study on the Drying of Stacked Peanut Pods Based on Horizontal Box Cage with Room Temperature Ventilation

ZHAO Si-yuan¹, ZHU Wen-xue¹✉, CHEN Peng-xiao¹✉, WANG Yan-kun¹, WANG Dian-xuan¹,
QU Chen-ling¹, CHEN Liang², ZHANG De-bang³

(1. School of Food and Strategic Reserves, Henan University of Technology, Zhengzhou, Henan 450001, China; 2. College of Biological Engineering, Henan University of Technology, Zhengzhou, Henan 450001,

收稿日期: 2024-05-11

基金项目: 谷物资源转化与利用省级重点实验室开放课题(24400017); 农业农村部农产品产地初加工重点实验室开放课题(KLAPPP-2023-02); 财政部和农业农村部: 国家现代农业产业技术体系(CARS-13)

Supported by: Open Project of Provincial Key Laboratory for Grain Resource Transformation and Utilization (No. 24400017); Open Project of the Key Laboratory for Primary Processing of Agricultural Products in the Production Areas of the Ministry of Agriculture and Rural Affairs (No. KLAPPP-2023-02); Ministry of Finance and Ministry of Agriculture and Rural Affairs: National Modern Agricultural Industry Technology System (No. CARS-13)

作者简介: 赵思远, 男, 1995 年出生, 在读硕士生, 研究方向为粮食干燥, E-mail: zhaosiyuan1124@126.com

通信作者: 朱文学, 男, 1967 年出生, 博士, 教授, 研究方向为农产品加工与贮藏, E-mail: zhuwenxue67@126.com。本专栏背景及作者简介详见 PC7-9

陈鹏泉, 男, 1992 年出生, 博士, 讲师, 研究方向为农产品加工与贮藏, E-mail: cpx2020@haut.edu.cn

China; 3. Zhengzhou Wangu Machinery Co., Ltd., Zhengzhou, Henan 450001, China)

Abstract: In order to explore the effectiveness of the laboratory's self-developed equipment - horizontal box cage stacked peanut pods room temperature ventilation drying equipment, this study used this equipment to conduct drying experiments on newly harvested peanut pods. The research focused on analyzing the drying rate of peanuts, changes in temperature and humidity within the pile, and energy consumption, and the results were then compared with natural sun drying and similar drying equipment. The research has found that under the same weather conditions (mainly cloudy and rainy weather), the moisture content of peanuts reduced from an initial 43.77% to below 10% within 9 days with a horizontal box cage stacked peanut pods room temperature ventilation drying equipment. The drying rate was 43% higher than that of natural drying. The drying energy efficiency of peanut pods was 2.64×10^6 J/kg, and the moisture content of the inner and outer layers of the stacked peanut pods decreased uniformly. This study has demonstrated that the horizontal box cage stacked peanut pods drying equipment can be used for the emergency drying of newly harvested peanut pods.

Key words: peanut pods; horizontal box cage; room temperature ventilation; moisture content; drying

花生是我国重要的油料作物之一，具有较高的营养价值和经济价值。但新收获的花生荚果水分含量约为 50%，较高的水分含量会导致花生荚果贮藏过程中产生发热、发芽、发霉、生虫等问题，严重威胁花生的食用安全^[1-3]。通风干燥是指利用风机将外界自然空气直接送入粮堆进行干燥作业，具有设备成本和保养费用低、无污染、操作简单安全等优点，应用前景广阔^[4]。目前，自然晾晒是花生荚果使用较为普遍的干燥方式，具有成本低廉、技术操作简单的优点^[5]，但是它受天气条件影响严重、耗费人工且干燥速率较慢^[6]。在实际生产上，已有不少农户将自然晾晒与通风干燥结合起来用于粮食特别是玉米的干燥，但鲜少用于花生干燥。

现阶段，国内外学者对花生荚果通风干燥进行研究。渠琛玲等^[7]使用定制的常温通风干燥设备对比分析了花生荚果在自然晾晒、热风干燥、常温通风干燥 3 种方式的干燥效果，发现常温通风干燥虽然耗时较热风干燥稍长，但能在阴雨天气有效降低湿花生荚果的水分含量。郭相毅等^[8]使用不同功率离心风机与不同容量圆筒仓体组合的径向常温通风仓囤对花生荚果进行干燥，研究发现使用 2.2 kW 离心风机与 3 个容量为 2.25 m^3 圆筒仓体组成的径向常温通风仓囤单位能耗最低。Hürdoğan 等^[9]设计了一种新型太阳能干燥箱，在干燥温度的分布上较传统干燥箱更加均匀，花生品质更好。Yan 等^[10]在研究花生固定床通风干

燥中发现，使用换向通风干燥后的花生荚果品质更佳。

本实验以花生荚果为研究对象，测试了实验室自主研发设备——卧式箱笼堆垛花生荚果常温通风干燥设备在其干燥过程中的干燥速率、堆垛内温湿度变化及能耗情况，分别与自然晾晒干燥和同类型干燥设备对比分析。通过实验探究卧式箱笼堆垛花生荚果常温通风干燥设备的使用效果，以期花生荚果应急干燥设备的研发提供理论参考。

1 材料与方法

1.1 实验材料

2023 年 10 月新收获花生荚果，品种为开农 308（中型果），产地为河南省开封市尉氏县。经 GB5009.3—2016《食品安全国家标准 食品中水分的测定》得花生荚果的初始水分含量为 $(43.77 \pm 0.3) \%$ 。

1.2 仪器与设备

实验室自主研发设备——卧式箱笼堆垛花生荚果常温通风干燥设备如图 1 所示。它由离心风机和卧式可组合箱笼两部分组成，风机的出风口可以和箱笼的一端连接。该设备可以承受花生荚果的压力且不易发生形变，单个箱笼长 1.2 m，宽 0.5 m，高 0.6 m。

4 kW 离心风机：新乡市风机总厂有限公司；温湿度电缆、传感器：杭州联测自动化技术有限公司；HGZF-101-2 型电热鼓风干燥箱：上海跃进医疗器械有限公司。

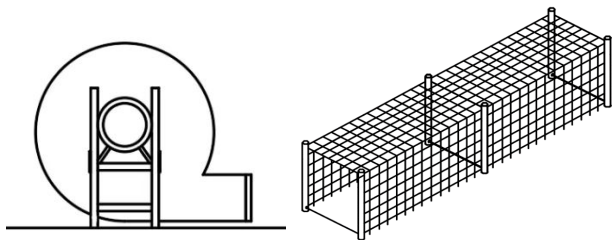


图 1 卧式箱笼堆垛花生荚果干燥设备

Fig.1 Horizontal box cage stacked peanut pods drying equipment

1.3 实验方法

1.3.1 自然晾晒干燥

将新鲜花生荚果均匀平铺于晒场，干燥期间如遇雨天，则将花生荚果移至遮雨棚内，期间不进行人为通风，每日固定时间翻动 2 次。使用温度计测量外部环境温度并记录天气情况。

1.3.2 卧式箱笼堆垛常温通风干燥

将花生荚果装入长 0.85 m、宽 0.52 m 的网袋中，共 157 袋。如图 2 所示，搭建卧式箱笼堆垛花生荚果常温通风干燥设备，并在设备四周和顶部堆叠装袋的花生荚果，堆叠方式如图 3 和图 4 所示。按照 1.3.3 中设计的取样点位置，在堆垛内布置温湿度电缆并连接传感器。实验期间，每 24 h 用扦样器取样一次，测定取样点处花生荚果的含水率，同时记录温湿度传感器数值；期间无太阳辐射，当全部取样点花生荚果水分含量均降至 10% 以下时，结束实验。

1.3.3 取样点位置

自然晾晒干燥花生荚果选取晾晒平面中心点作为取样点，标记为取样点 0。

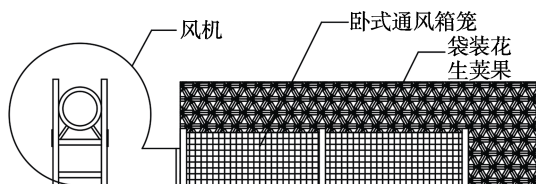


图 2 卧式箱笼堆垛花生荚果常温通风干燥设备

Fig.2 Horizontal box cage stacked peanut pods room temperature ventilation drying equipment

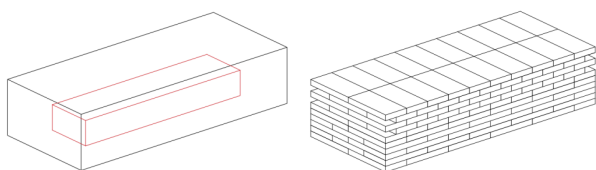


图 3 花生荚果袋堆叠方式

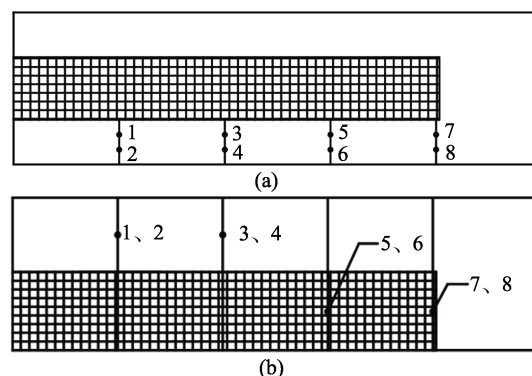
Fig.3 Stacking method of peanut pods bags



图 4 卧式箱笼堆垛花生荚果干燥设备实物图

Fig.4 Physical picture of horizontal box cage stacked peanut pods drying equipment

如图 5 所示为卧式箱笼堆垛常温通风干燥花生荚果取样点位置。取样点 1、2、3、4 的高度为堆垛高度的 3/4，取样点 5、6、7、8 的高度为堆垛高度的 1/4；将堆垛外缘面与通风箱笼侧面之间的距离定义为 1，取样点 1、3、5、7 距离通风箱笼侧面的距离为 1/3，取样点 2、4、6、8 距离通风箱笼侧边的距离为 2/3；取样点 1、2、3、4、5、6、7、8 分为位于堆垛侧边的五分位点上。



注：(a)：俯视图；(b)：侧视图。

Note: (a) top view; (b) side view.

图 5 卧式箱笼堆垛常温通风干燥花生荚果取样点

Fig.5 Sampling points for horizontal box cage stacked peanut pods room temperature ventilated drying equipment

1.3.4 测定方法

1.3.4.1 干燥速率 花生荚果含水率测定方法参照 GB5009.3—2016。

干燥速率计算公式：

$$F = \frac{m_t - m_{t+\Delta t}}{\Delta t} \quad \text{式 (1)}$$

式中， F 为 t 时刻的干燥速率，%/d； m_t 为干燥至 t 时刻花生荚果的水分含量，%； $m_{t+\Delta t}$ 为干燥至 $t+\Delta t$ 时刻花生荚果的水分含量，%； Δt 为两次取样间隔时间，d。

1.3.4.2 单位能耗 单位能耗是评价花生荚果干燥设备的重要测量指标之一，其中总能耗公式：

$$E = p \cdot t \quad \text{式 (2)}$$

式中， E 为总能耗， $\text{kW} \cdot \text{h}$ ； p 为离心风机额定功率， kW ； t 为时间， h 。

单位能耗计算公式：

$$e = \frac{E}{W} \times 3.6 \times 10^6 \quad \text{式 (3)}$$

式中， e 为干燥单位质量花生荚果的能耗， J/kg ； E 为干燥花生荚果的总能耗， $\text{kW} \cdot \text{h}$ ； W 为花生荚果总质量， kg 。

1.4 数据处理

实验数据使用 SPSSv26.0 软件进行统计和差异显著性分析，使用 Origin2021 软件作图。

2 结果与分析

2.1 自然晾晒花生荚果干燥

如图 6 为自然晾晒干燥花生荚果水分含量变化情况。从图中可知，自然晾晒 9 d 后花生荚果的水分含量从 43.77% 下降至 20.22%，该阶段花生荚果的平均干燥速率为 2.62%/d。于日照^[11]在对花生荚果进行自然晾晒干燥时发现，花生荚果水分含量从 40% 降至 20% 期间，在光照充足的室外干燥速率为 4.10%/d，而在阴凉室内的干燥速率为 1.52%/d。本实验期间部分天气有太阳光照，所以平均干燥速率介于其之间（见表 1）。在干燥开始后的第 2 天，花生荚果水分含量不降反升，较第 1 天提高了 0.54%。这是由于实验期间气温较低且有降雨存在，环境湿度增大导致的。如图 7

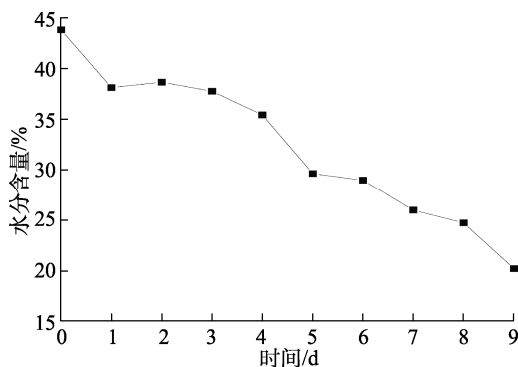


图 6 自然晾晒干燥花生荚果水分含量变化
Fig.6 Changes in moisture content of natural drying peanut pods

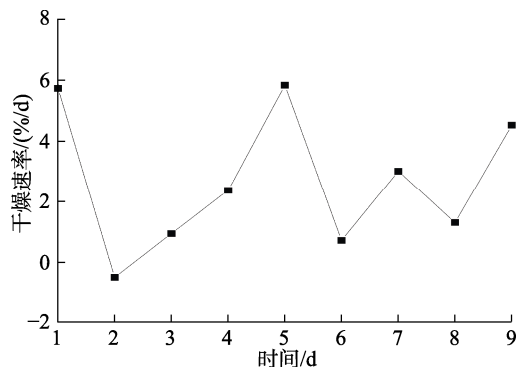


图 7 自然晾晒干燥花生荚果干燥速率变化
Fig.7 Changes in drying rate of natural drying peanut pods

表 1 实验期间天气情况

Table 1 Weather conditions during the experimental period

日期	天气	平均气温/℃
2023/10/5	阴转小雨	18.0
2023/10/6	小雨转阴	14.5
2023/10/7	阴转晴	16.0
2023/10/8	阴	18.5
2023/10/9	多云转阴	18.5
2023/10/10	多云转晴	17.5
2023/10/11	多云转阴	18.0
2023/10/12	阴转多云	15.5
2023/10/13	多云转晴	19.5
2023/10/14	晴	19.5

为自然晾晒干燥花生荚果干燥速率变化情况。从图中可知，自然晾晒干燥与常温通风干燥、热风干燥等干燥方式的水分下降趋势有明显的区别，并没有明显的降速干燥过程^[12-13]。在自然晾晒中，花生荚果的干燥速率在 3%/d 上下波动，这也与天气和环境的变化有关^[14]。

2.2 卧式箱笼堆垛花生荚果常温通风干燥

2.2.1 卧式箱笼堆垛花生荚果常温通风干燥水分含量变化

如图 8 为卧式箱笼堆垛常温通风干燥花生荚果水分含量变化情况。从图中可知，初始水分含量为 43.77% 的花生荚果，在经过 9 d 的干燥后全部取样点水分含量均低于 10%。其中，在干燥的第 8 天，取样点 1 水分含量率先低于 10%。这是由于取样点 1 距离通风笼风机入口最近，且位于堆垛的内层造成的。对比使用自然晾晒干燥的花生荚果，在干燥第 9 天，两种干燥方式花生荚果的水分含量的差值约为 10%。

通过成对样品 T 检验, 对比同一时间堆垛内层(取样点 1、3、5、7)和外层(取样点 2、4、6、8)的花生荚果水分含量发现, 干燥过程中, 同一时刻堆垛的内层和外层花生荚果的水分含量之间没有显著性差异 ($P>0.05$)。颜建春等^[15]使用仓囤通风方式进行花生荚果干燥, 仓内外层水分含量不均匀, 极易出现“湿环”, 严重影响花生的干燥效果。卧式箱笼堆垛常温通风干燥设备对花生荚果的干燥均匀, 由此减少了花生荚果结露和发霉等现象发生。

如图 9 和图 10 为卧式箱笼堆垛常温通风干燥堆垛内层和外层花生荚果水分含量变化情况。从图中可知, 对比堆垛内层和外层花生荚果的水分含量变化趋势发现, 内层水分含量波动幅度明显小于外层, 这与陈鹏泉等^[16]研究一致。堆垛外层取样点花生荚果的水分含量曲线呈波浪形下降趋, 这是由于堆垛内层花生荚果比外层距离通风

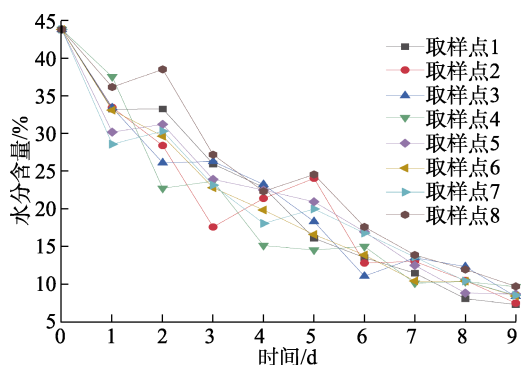


图 8 卧式箱笼堆垛常温通风干燥花生荚果水分含量变化

Fig.8 Changes in moisture content of peanut pods with room temperature ventilation and drying in horizontal box cage stacking

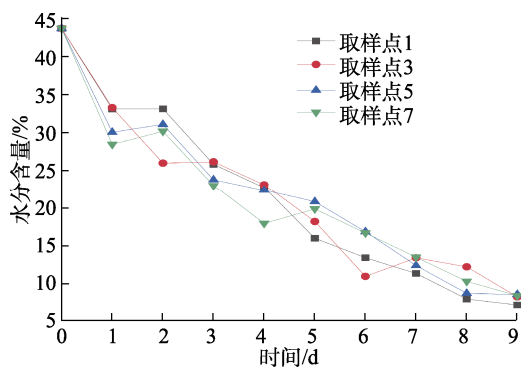


图 9 卧式箱笼堆垛常温通风干燥堆垛内层花生荚果水分含量变化

Fig.9 Changes in moisture content of inner layer peanut pods in horizontal box cage with room temperature ventilation

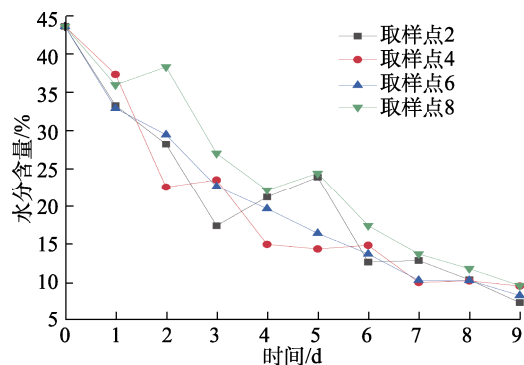


图 10 卧式箱笼堆垛常温通风干燥堆垛外层花生荚果水分含量变化

Fig.10 Changes in moisture content of outer layer peanut pods in horizontal box cage with room temperature ventilation

箱笼更近, 水分含量的变化主要受通风箱笼内部环境的影响。

2.2.2 卧式箱笼堆垛常温通风干燥花生荚果干燥速率变化

如图 11 为卧式箱笼堆垛常温通风干燥不同取样点花生荚果干燥速率变化情况。从图中可知, 该过程花生荚果处于明显的降速干燥过程^[17], 这与林子木^[18]等研究一致。花生荚果在通风干燥过程中, 随着干燥的进行, 花生荚果水分含量降低, 其表面水分蒸发减缓, 花生荚果内部水分迁移距离增加, 且干燥过程中富含纤维素的花生壳硬度增加, 透水性减少, 导致水分传递速度减慢, 干燥速率降低。在干燥初期, 干燥速率可以达到 15%/d; 而在干燥的末期, 干燥速率下降至 3%/d 以下, 平均干燥速率为 3.75%/d。花生荚果中的水分分为三部分: 自由水、弱结合水、结合水^[17, 19]。在干燥过程中, 大部分自由水和弱结合水可以在较短时间内顺利被脱除^[20]; 而大部分的结合水由于与非水成分结合紧密, 或者直接是非水成分的一部分, 所以在干燥中后期花生荚果干燥速率降低^[21], 这也是花生荚果降速干燥的原因之一。

环境湿度的变化也会影响到花生荚果的干燥速率。如图 12 和图 13 为卧式箱笼堆垛常温通风干燥内层和外层花生荚果干燥速率变化曲线, 从图中内外取样点水分含量波动曲线不难看出, 堆垛内层的花生荚果水分下降较外层趋势更加平缓, 这也是由于堆垛内层距离外部较远, 受外界环境影响较小造成的。

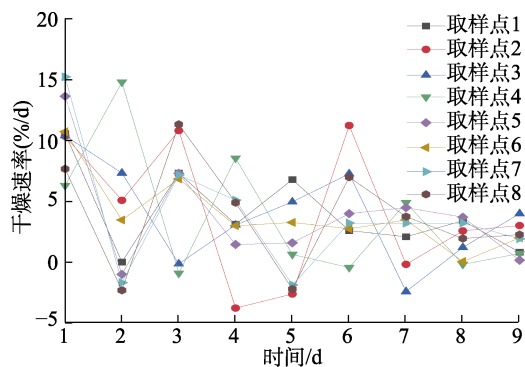


图 11 卧式箱笼堆垛常温通风干燥花生荚果干燥速率变化

Fig.11 Changes in drying rate of stacked peanut pods in horizontal box cage with room temperature ventilation

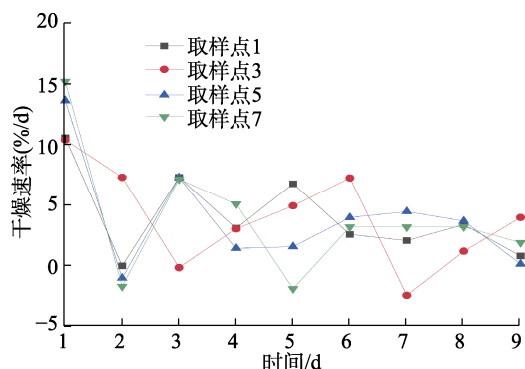


图 12 卧式箱笼堆垛常温通风干燥内层花生荚果干燥速率变化

Fig.12 Changes in drying rate of inner layer stacked peanut pods in horizontal box cage with room temperature ventilation

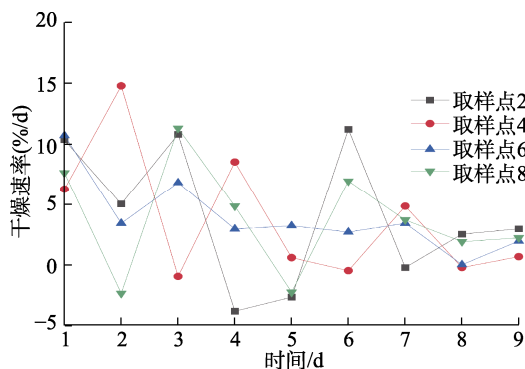


图 13 卧式箱笼堆垛常温通风干燥外层花生荚果干燥速率变化

Fig.13 Changes in drying rate of outer layer stacked peanut pods in horizontal box cage with room temperature ventilation

2.2.3 卧式箱笼堆垛常温通风干燥花生荚果堆垛内温湿度变化

如图 14 为卧式箱笼堆垛常温通风干燥花生荚果温度变化情况。从图中可知，堆垛内各取样点温度的变化趋势基本相同，在干燥的前 3 天堆垛内温度从 17 °C 上升至 25 °C，之后维持在 25 °C 左右，并在第 8~9 天下降。花生荚果在呼吸作用中

会释放出大量的水分和热量^[22]。从第 4 天开始，各取样点的温度保持在 25 °C 左右，这是由于花生荚果呼吸作用和干燥过程中水分散失所产生的热量与环境温度达到了动态平衡状态。但这种平衡不是稳定的，随着干燥进入末期，花生荚果中自由水含量减少，导致呼吸作用减弱，体系的温度开始下降。

如图 15 为卧式箱笼堆垛常温通风干燥花生荚果湿度变化情况。从图中可知，堆垛内各取样点的湿度变化基本相同。花生荚果中的水分被转移到周围环境中，提高了干燥体系内各取样点的湿度。干燥初期，由于新鲜收获的花生荚果水分含量很高，各取样点的湿度普遍大于 80%。随着干燥的进行，环境湿度逐渐下降，并在第 5 天后在 45% 波动。

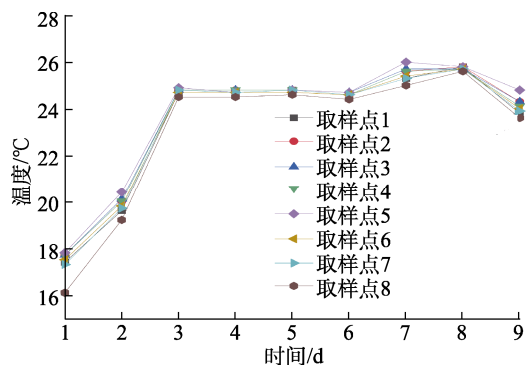


图 14 卧式箱笼堆垛常温通风干燥花生荚果温度变化

Fig.14 Changes in temperature of stacked peanut pods in horizontal box cage with room temperature ventilation

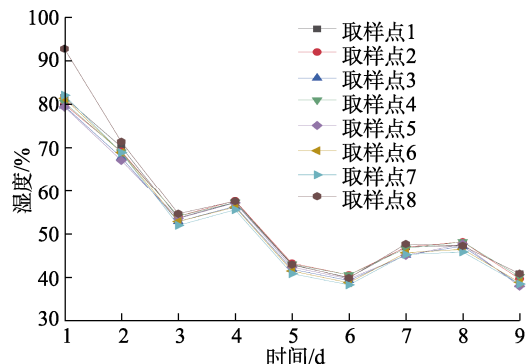


图 15 卧式箱笼堆垛常温通风干燥花生荚果湿度变化

Fig.15 Changes in humidity of stacked peanut pods in horizontal box cage with room temperature ventilation

2.2.4 花生荚果不同常温通风干燥设备干燥效果对比

本实验中，常温通风堆垛使用花生荚果 157 袋，每袋 7.5 kg，共计 1 177.5 kg。实验用风机功率为

4 kW, 实验用时合计 216 h。

$$E = p \cdot t = 4 \times 216 = 864 \text{ kW} \cdot \text{h}$$

$$e = \frac{E}{W} \times 3.6 \times 10^6 = \frac{864}{1177.5} \times 3.6 \times 10^6 = 2.64 \times 10^6 \text{ J/kg}$$

卧式箱笼堆垛的花生荚果常温通风干燥设备干燥单位能耗为 $2.64 \times 10^6 \text{ J/kg}$ 。

在花生荚果常温通风干燥研究中, 团队成员郭相毅^[8]等和陈鹏泉^[16]等分别设计了径向常温通风仓囤干燥设备和固定床网袋堆垛常温通风干燥设备对新收获花生荚果进行干燥, 设备示意图如图 16、18 所示, 设备实物图如图 17、19 所示, 三种设备实验情况对比表如表 2 所示。实验期间均有下雨, 且均于双向通透大棚内进行。在单位耗能方面, 使用卧式箱笼堆垛常温通风干燥设备的能耗为 $2.64 \times 10^6 \text{ J/kg}$, 较径向常温通风仓囤干燥设备升高了 46%, 较固定床网袋堆垛常温通风干燥设备降低了 62%。在干燥时间方面, 固定床网袋堆垛常温通风干燥设备的干燥时间最短, 为 160 h。实验证明, 以上三种花生荚果常温通风干燥设备都可以用于花生荚果的应急干燥。

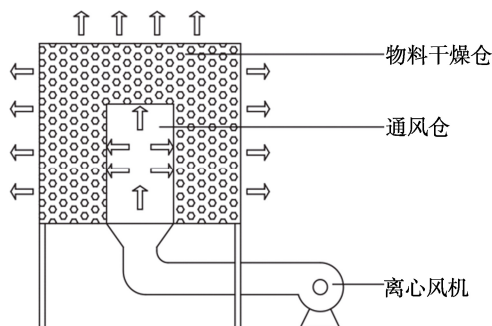


图 16 径向常温通风仓囤干燥设备示意图^[8]

Fig.16 Schematic diagram of radial room temperature ventilation silo drying equipment^[8]



图 17 径向常温通风仓囤干燥设备实物图

Fig.17 Physical picture of radial room temperature ventilation silo drying equipment

表 2 不同干燥设备实验情况对比

Table 2 Comparison of test conditions of different drying equipments

干燥设备	卧式箱笼堆垛 常温通风干燥	径向常温通 风仓囤干燥 ^[8]	固定床网袋堆垛 常温通风干燥 ^[16]
总能耗/kW·h	864	1 008	640
物料重量/kg	1 177.5	2 560	538
单位耗能/(J/kg)	2.64×10^6	1.42×10^6	4.28×10^6
干燥时间/h	216	252	160
初始水分含量/%	43.77%	51.11%	37.85%
最终水分含量/%	<10%	<10%	<10%
试验环境	双向通透大棚	双向通透大棚	双向通透大棚
实际天气	多云和雨天为 主, 部分晴天	连续阴雨天 气	多云和晴天为 主, 部分雨天

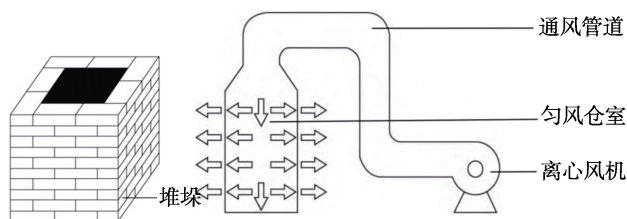


图 18 固定床网袋堆垛常温通风干燥设备示意图^[16]

Fig.18 Schematic diagram of fixed-bed mesh bag stacking room temperature for ventilation drying equipment^[16]



图 19 固定床网袋堆垛常温通风干燥设备实物图

Fig.19 Physical picture of fixed-bed mesh bag stacking room temperature for ventilation drying equipment

3 结论

实验研究发现, 同类天气条件下 (阴雨天气为主), 使用卧式箱笼堆垛花生荚果常温通风干燥设备将初始含水率为 43.77% 的花生荚果干燥至 10% 以下共需 9 d, 且堆垛内外层花生荚果干燥均匀。使用卧式箱笼堆垛花生荚果常温通风干燥设备干燥的平均速率为 3.75%/d, 自然晾晒干燥的花生荚果的平均干燥速率为 2.62%/d, 本实验干燥设备较自然晾晒相比, 可将干燥速率提升 43%。卧式箱笼堆垛花生荚果常温通风干燥设备的干燥单位能耗为 $2.64 \times 10^6 \text{ J/kg}$ 。研究说明, 卧式箱笼堆

垛花生荚果常温通风干燥设备可用于花生荚果应急干燥, 为花生荚果干燥设备的研发和设计提供技术支持。

参考文献:

- [1] LI Z, TANG X, SHEN Z, et al. Comprehensive comparison of multiple quantitative near-infrared spectroscopy models for *Aspergillus flavus* contamination detection in peanut[J]. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 2019, 99(13): 5671-5679.
- [2] QU C, LI Z, YANG Q, et al. Effect of drying methods on peanut quality during storage[J]. *Journal of Oleo Science*, 2022, 71(1): 57-66.
- [3] 张明振, 张京良, 丛晓飞, 等. 花生精深加工研究进展[J]. *农产品加工*, 2023(15): 69-73+77.
ZHANG M Z, ZHANG J L, CONG X F, et al. Research progress of peanut deep processing[J]. *Farm Products Processing*, 2023(15): 69-73+77.
- [4] XIE Y, LIN Y, LI X, et al. Peanut drying: Effects of various drying methods on drying kinetic models, physicochemical properties, germination characteristics, and microstructure[J]. *Information Processing in Agriculture*, 2023, 10(4): 447-458.
- [5] PRAJAPATI C, SHEOREY T. Experimental study of solar drying of multi-layer peanuts and development of drying model[J]. *Journal of Food Processing and Preservation*, 2022, 46(8).
- [6] 陈鹏泉, 郭相毅, 陈楠, 等. 花生荚果干燥技术及设备的研究现状与发展[J]. *粮油食品科技*, 2022, 30(2): 221-230.
CHEN P X, GUO X Y, CHEN N, et al. Research status and development of peanut fruit drying technology and equipment[J]. *Science and Technology of Cereals, Oils and Foods*, 2022, 30(2): 221-230.
- [7] 渠琛玲, 王雪珂, 汪紫薇, 等. 花生果常温通风干燥实验研究[J]. *中国粮油学报*, 2020, 35(1): 121-125.
QU C L, WANG X K, WANG Z W, et al. Experimental study on peanut drying by ventilation at room temperature[J]. *Journal of the Chinese Cereals and Oils Association*, 2020, 35(1): 121-125.
- [8] 郭相毅, 王殿轩, 陈鹏泉, 等. 基于径向常温通风仓围的花生荚果干燥试验研究[J]. *食品安全质量检测学报*, 2022, 13(15): 5017-5025.
GUO X Y, WANG D X, CHEN P X, et al. Experimental study on the drying of peanut pods based on radial ambient ventilated warehouse hoard[J]. *Journal of Food Safety and Quality*, 2022, 13(15): 5017-5025.
- [9] HÜRDOĞAN E, ÇERÇİ K N, SAYDAM D B, et al. Experimental and modeling study of peanut drying in a solar dryer with a novel type of a drying chamber[J]. *Energy sources. Part A, Recovery, utilization, and environmental effects*, 2022, 44(2): 5586-5609.
- [10] YAN J, XIE H, WEI H, et al. Optimizing the drying parameters of a fixed bed with reversing ventilation for peanut using computer simulation[J]. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*, 2021, 14(5): 255-266.
- [11] 于日照. 自然干燥法光照对花生果中黄曲霉毒素和酸价的影响[J]. *农业开发与装备*, 2023(1): 163-165.
YU R Z. The effect of natural drying method and light on aflatoxin and acid value in peanut pods[J]. *Agricultural Development & Equipments*, 2023(1): 163-165.
- [12] 李玉, 朱文学, 陈鹏泉, 等. 不同品种高油酸花生热风干燥特性及热力学性质研究[J]. *食品工业科技*, 2023: 1-16.
LI Y, ZHU W X, CHEN P X, et al. Study on hot air drying characteristics and thermodynamic properties of different varieties of high oleic peanuts[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2023: 1-16.
- [13] QU C, WANG X, WANG Z, et al. Effect of drying temperatures on the peanut quality during hot air drying[J]. *Journal of Oleo Science*, 2020, 69(5): 403-412.
- [14] 李玉, 陈鹏泉, 王殿轩, 等. 花生干燥过程湿热传递机理研究现状与展望[J]. *中国粮油学报*, 2023, 38(5): 166-174.
LI Y, CHEN P X, WANG D X, et al. Research status and prospect of moisture and heat transfer mechanism in peanut drying process[J]. *Journal of the Chinese Cereals and Oils Association*, 2023, 38(5): 166-174.
- [15] 颜建春, 魏海, 谢焕雄, 等. 筒状固定床花生通风干燥性能指标模拟与分析[J]. *农业工程学报*, 2020, 36(1): 292-302.
YAN J C, WEI H, XIE H X, et al. Performance index simulation and analysis of peanut ventilation drying in barrel-shaped fixed bed[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2020, 36(1): 292-302.
- [16] 陈鹏泉, 郭相毅, 王殿轩, 等. 花生荚果固定床网袋堆垛通风干燥实验研究[J]. *中国粮油学报*, 2024, 39(1): 167-173.
CHEN P X, GUO X Y, WANG D X, et al. Experimental study of peanut pods fixed-bed mesh bag stacking for ventilation drying[J]. *Journal of the Chinese Cereals and Oils Association*, 2024, 39(1): 167-173.
- [17] ZENG S, DU Z, LV W, et al. Experimental study on the hygrothermal dynamics of peanut (*Arachis hypogaea* Linn.) in the process of superposition and variable temperature drying[J]. *Drying technology*, 2022, 40(7): 1463-1477.
- [18] 林子木, 赵卉, 李玉, 等. 花生热风干燥特性及动力学模型的研究[J]. *农业科技与装备*, 2020(2): 31-33.
LIN Z M, ZHAO H, LI Y, et al. Study on hot air drying characteristics and kinetic model of peanut[J]. *Agricultural Technology & Equipment*, 2020(2): 31-33.
- [19] 卫志娇. 花生荚果干燥过程传热传质机理研究[D]. 洛阳: 河南科技大学, 2022.
WEI Z J. Study on heat and mass transfer mechanism of peanut pod drying process[D]. Luoyang: Henan University of Science and Technology, 2022.
- [20] CHEN P X, LI Y, JIANG M, et al. Use of low - field nuclear magnetic resonance for moisture variation analysis of fresh in - shell peanut during different drying methods[J]. *Journal of Food Process Engineering*, 2023, 46(12): 14486.
- [21] CHEN P X, CHEN N, ZHU W, et al. A heat and mass transfer model of peanut convective drying based on a two-component structure[J]. *Foods*, 2023, 12(9): 1823.
- [22] 凌铮铮, 任广跃, 段续, 等. 间歇微波—热风耦合干燥花生工艺优化及品质研究[J]. *食品与机械*, 2020, 36(10): 183-189.
LING Z Z, REN G Y, DUAN X, et al. Research on process optimization and quality of intermittent microwave-hot air coupling drying peanut[J]. *Food & Machinery* 2020,36(10): 183-189. ☞

备注: 本文的彩色图表可从本刊官网 (<http://lspkj.ijournal.cn>)、中国知网、万方、维普、超星等数据库下载获取。