

整体式果品蔬菜太阳能干燥装置设计与试验*

肉孜·阿木提¹ 毛志怀² 李 峰¹ 高泽斌¹ 海力力·沙比提³ 张学军¹

(1. 新疆农业大学机械交通学院, 乌鲁木齐 830052; 2. 中国农业大学工学院, 北京 100083;
3. 新疆克孜勒苏柯尔克孜自治州农机推广站, 阿图什 845350)

【摘要】 设计了一种以太阳能为主要能源、电能为辅助能源,集热器的方位角和仰角随太阳辐射方位变化而可调的太阳能空气集热器与干燥箱为一体的干燥装置。试验结果表明,该装置集热量达 11 964 kJ/h,可满足干燥箱所需热量消耗,但是在干燥箱内部前后端温度有 1.5~4.0℃ 温差。整粒库车小白杏的干燥时间为 79 h,杏干优等品率达 85%,与传统干燥方法相比,干燥时间缩短 52%。

关键词: 农产品加工 干燥 太阳能 设计 试验

中图分类号: TS255.42 文献标识码: A 文章编号: 1000-1298(2011)01-0134-06

Design and Experiment of Integrative Fruit-vegetable Solar-air Drier

Rouzi·Amuti¹ Mao Zhihuai² Li Feng¹ Gao Zebin² Hailili·Shabiti³ Zhang Xuejun¹

(1. College of Mechanical Engineering & Communication, Xinjiang Agricultural University, Urumqi 830052, China

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

3. Agricultural Machinery Technology Promotion Station of Xinjiang Kizilsu Kirgiz Autonomous Prefecture, Artux 845350, China)

Abstract

A solar-air drier which was applied to dry many kinds of agro-products was studied in order to take advantage of ample solar energy in Xinjiang and improve productivity of solar drying equipment and improve quality of dried fruits and vegetables. Solar energy was the main energy sources and electricity was auxiliary. Azimuth angle and elevation of solar collector could be adjusted manually when sun light changed. The experiment result showed that solar collector could provide 11 964 kJ/h heat energy which was sufficient for the drier, but there was 1.5~4.0℃ difference in fore and back parts of the drier. The time of drying entire apricot was 79 h which was 52% shorter than convention, the percentage of first-class dried apricot was 85%.

Key words Agro-product processing, Drying, Solar energy, Design, Experiment

引言

杏、葡萄、红枣、核桃、无花果以及枸杞等果品是新疆的特色产品,除少量用于鲜食和加工原料外,大部分用于干制。长期以来,新疆的果品干制大多采用自然晾晒的方法,这种传统的方法干燥效率低、周期长,不仅易受天气和风沙的影响,也易受灰尘和虫的侵害,严重影响干果的质量和品级,致使商品率

低、经济效益差^[1~4]。近年来,为提高杏干的品质,一些果农制作了一种简易的防污染干果晾制架,采用木材制作框架,内置 4~5 层干燥盘,四周用细铁丝网围住,这种装置在一定程度上阻止了虫蚁尘土对干果的污染,晾制出的干果品质有所提高,但还是满足不了商品化要求。

新疆太阳能资源丰富,太阳能干燥的研究在一定程度上提高了干燥速度、改善了卫生条件^[5~6]。

收稿日期: 2010-04-29 修回日期: 2010-07-11

* 国家自然科学基金资助项目(50866003)、新疆维吾尔自治区科技支疆项目(200840102)、新疆维吾尔自治区微小型农机具研制开发项目(XNJKY2010-08)和新疆农业大学校内前期课题资助项目

作者简介: 肉孜·阿木提,副教授,主要从事农业机械装备研究,E-mail: roziamut@163.com

但是,太阳能空气集热器与干燥箱为一体、方位角和仰角能够随太阳辐射方位变化可调的太阳能干燥装置的研究少见报道。本文设计一种以太阳能为主要能源,电能为辅助能源的可调整移动的整体式果蔬太阳能干燥装置,以充分利用太阳能,改造传统工艺,提高干果产品质量,增加农民收入。

1 装置结构及工作原理

1.1 结构、参数及设计指标

整体式果蔬太阳能干燥装置如图 1 所示,该装置由太阳能空气集热器(侧面和顶部)、干燥箱、温度控制器、风机和底盘等主要部分组成。

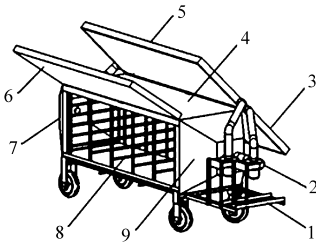


图 1 整体式果蔬太阳能干燥装置图
Fig. 1 Diagram of integrative fruit-vegetable solar-air drier

1. 底盘 2. 风机 3. 侧面集热器 4. 干燥箱 5. 顶部集热器 6. 门
7. 锥形出风管 8. 干燥盘架 9. 锥形进风管

干燥装置的外形尺寸为 4 500 mm × 1 200 mm × 1 500 mm(长 × 宽 × 高);机重 450 kg;干燥箱净容积 4.62 m³;集热器采光面积为 6 m²;干燥盘面积为 15.2 m²;250DF-3 型多翼式离心鼓风机(2 台);1.5 kW 电热棒(2 支)。

该装置的热能来自太阳能及电能,干燥室装载量 200 ~ 300 kg;集热器温度 30 ~ 90℃;集热板仰角 0° ~ 90°,方位角 0° ~ 210°;干燥箱内工作温度 30 ~ 80℃;干燥箱内工作湿度 45% 以内;鲜物料干燥周期 10 ~ 120 h;适用电源 AC(220 ± 10) V,(50 ± 1) Hz;成品含水率 19% 以内;优质品率 60% 以上。

1.2 工作原理

在风机驱动下,外界冷空气经侧面集热器加热后送入干燥箱,物料温度升高,同时物料表面水分气化,物料含水率降低。当热空气到达干燥箱的末端时,一部分湿热的空气从出风口排入大气,同时带走从物料蒸发出的水蒸气^[7-9];剩余的热空气从干燥箱的另一个气流通道循环进入箱顶集热器,被箱顶集热器加热后再送回干燥箱,实现干燥余热的再利用,提高太阳能的利用率^[10-11]。

干燥过程中,当太阳能不足,干燥箱内温度降低至设定温度时,温度控制器自动打开电加热装置,补充干燥所需热能,保持干燥连续进行;当干燥箱内温

度高于设定温度时,温度控制器自动断开电加热装置。太阳能空气集热器与干燥箱集成为一体,根据安装位置不同,集热器可分为顶置集热器和侧面集热器两种,分别用合页固定在干燥箱的顶部和侧面。当不进行干燥作业时,分别平放在干燥箱的顶部和垂直挂在干燥箱的侧面。当进行干燥作业时,可用支撑杆撑起,手动调节使集热器的仰角随太阳辐射角度的变化而变化,尽可能使太阳能集热器与太阳高度角成直角,从而最有效地吸收太阳能。装置的底盘安装有转向轮,整套装置可跟随太阳转动,因此,集热器方位角也可以随太阳方位角的变化而调整,使之能够最长时间地吸收太阳能,以达到最大程度地吸收太阳能热量。

2 干燥箱的设计

2.1 干燥箱的基本结构

干燥箱由锥形进风管、锥形出风管、干燥室、干燥架和干燥盘组成,如图 2 所示。干燥箱外壳由高密度彩钢板制作;锥形进风管和锥形出风管的锥角为 74°,锥形进风管内装有导风板;箱体内部并排设置 5 列干燥架,每列放置 6 个干燥盘,干燥盘与水平方向成 15°夹角;干燥箱门可向上掀起,方便取放干燥盘。干燥箱固定在底盘上,底盘的前部装有 2 个转向轮、后部装有 2 个定向轮,使整套装置能灵活转动。干燥箱内 A₁ ~ C₃ 等处布置 RC-DT618A 型双温度记录仪,ZDR-20 型温湿度记录仪布置在 B₂ 处。每隔 30 min 自动记录一次箱内温湿度变化数据。每隔 1 h 测量一次干燥箱进出风口风速,并适当调整集热器的方位角。

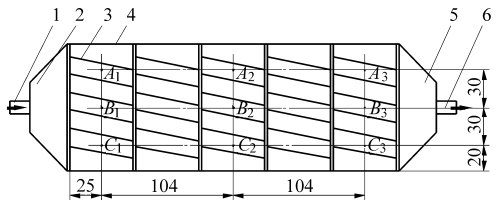


图 2 干燥箱结构示意图

Fig. 2 Diagram of solar-air drier structure

1. 干燥箱进风口 2. 锥形进风管 3. 干燥盘 4. 干燥室 5. 锥形出风管 6. 干燥箱出风口

2.2 干燥箱的耗热量

输入干燥箱的热能一部分用于干燥物料,一部分散失到周围环境中,形成系统热损失,包括干燥箱壁的热损失和排气口排出的干燥余热^[12-17]。干燥箱总耗热量 Q₂包括水分的气化潜热 Q₁、干燥箱壁的热损失 Q₂和干燥箱出风口的排湿能耗 Q₃。

2.2.1 相关计算参数

整体式太阳能干燥装置的装载量 G = 240 kg,干

干燥物料的时间 $t = 79\text{ h}$, 物料的初始含水率 $\omega_1 = 79\%$, 物料的最终含水率 $\omega_2 = 19\%$, 干燥过程每小时的排水量计算公式为^[16-17]

$$W_z = G \frac{\omega_1 - \omega_2}{(1 - \omega_2)t} \tag{1}$$

计算得每小时排水量为 2.25 kg 。

2.2.2 水的气化潜热 Q_1

每小时蒸发的水分所需要的热能(气化潜热)为

$$Q_1 = W_z \gamma \tag{2}$$

式中, γ 为 60°C 温度下单位质量水的气化潜热, 取 2414 kJ/kg 。经计算, 本文中水的每小时气化潜热为 5432.35 kJ 。

2.2.3 干燥箱壁的热损失 Q_2

干燥箱壁的热损失计算公式为

$$Q_2 = \frac{K_x A (T_1 - T_0)t}{1\,000} \tag{3}$$

式中 K_x ——彩钢板传热系数, $0.3872\text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$
 A ——干燥箱表面积, 取 15.2 m^2
 T_0 ——环境温度
 T_1 ——干燥箱内温度, 取 60°C

经计算, 干燥箱壁每小时热损失为 741.57 kJ 。

2.2.4 排湿能耗 Q_3

排湿能耗是指从干燥箱出风口排出的干燥余热。干燥箱排出的湿空气温度 $T_2 = 37^\circ\text{C}$, 相对湿度 $\varphi_1 = 35\%$, 查焓湿图^[18]得干燥箱出风口空气的含湿量 $d_1 = 13.7965\text{ g/kg}$ 、干燥箱出风口空气的焓值 $h_1 = 72.8193\text{ kJ/kg}$ 。

环境温度 $T_0 = 25^\circ\text{C}$, 环境相对湿度 $\varphi_0 = 20\%$, 查图得环境空气的含湿量 $d_0 = 3.9177\text{ g/kg}$, 焓值 $h_0 = 35.2293\text{ kJ/kg}$ 。

顶部集热器和侧面集热器均用 0.25 kW 风机驱动, 干燥箱出风口风速 $v = 7\text{ m/s}$, 从干燥箱出风口流出的湿空气体积计算公式为

$$V = \pi r^2 vt \tag{4}$$

式中 r ——风口的半径, m

计算得 $V = 197.82\text{ m}^3$ 。

42°C 湿空气气体常数^[18] R_g 为 $431.12\text{ J}/(\text{kg} \cdot \text{K})$, 出风口流出的干空气质量计算公式为

$$m_1 = \frac{p_a V}{R_g T} \tag{5}$$

式中 p_a —— 42°C 时干空气分压力, $97\,550\text{ Pa}$

T ——开氏温度, 310 K

计算得 $m_1 = 144.39\text{ kg}$ 。

湿空气在一定温度条件下热量计算公式为

$$Q = m_1 (h_1 - h_0) \tag{6}$$

计算得, 干燥箱出风口每小时的排湿能耗 $Q_3 = 3\,581.73\text{ kJ}$ 。

干燥箱每小时的总耗热量: $Q_z = Q_1 + Q_2 + Q_3 = 5\,432.35 + 741.57 + 3\,581.73 = 9\,755.65\text{ kJ}$ 。

3 太阳能空气集热器的设计与分析

3.1 集热器的结构与工作原理

太阳能空气集热器如图 3 所示, 主要由透明盖板、隔板、吸热板、隔热层和框架等组成。吸热板和隔板的材料为铝板, 尺寸为 $3\,000\text{ mm} \times 1\,000\text{ mm} \times 1\text{ mm}$ (长 $\times$ 宽 $\times$ 厚) 及 $750\text{ mm} \times 38\text{ mm} \times 1\text{ mm}$ (长 $\times$ 宽 $\times$ 厚); 隔板间距 250 mm ; 框架为木质, 厚 30 mm ; 集热器透明盖板为 PC 阳光板, 尺寸为 $3\,020\text{ mm} \times 1\,020\text{ mm} \times 10\text{ mm}$ (长 $\times$ 宽 $\times$ 厚)。

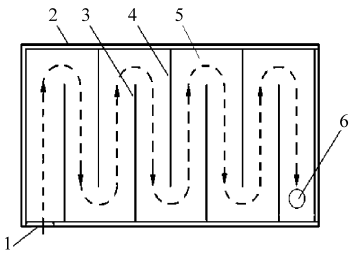


图 3 太阳能空气集热器

Fig. 3 Solar air collector

1. 进风口 2. 框架 3. 左隔板 4. 右隔板 5. 吸热板 6. 出风口

在集热器透明盖板与吸热板之间设置了交错排列的隔板, 形成迷宫式空气通道, 空气从集热器的进风口进入, 经过迷宫式空气通道被吸热板加热后, 在风机的作用下进入干燥箱。由于进入的空气在迷宫式空气通道内曲折前行, 能够充分吸收集热板的热量, 具有较高的热效率^[19]。

3.2 集热器输出的热能

3.2.1 侧面集热器输出的热能

环境空气进入侧面集热器后, 被加热到干燥所需的温度过程是一个等湿升温的过程, 即空气的含湿量不变^[19], 即 $d_0 = d_1$ 。空气的初态参数: 温度 $T_0 = 25^\circ\text{C}$ 、湿度 $\varphi_0 = 22\%$; 终态参数: $T_1 = 65^\circ\text{C}$ 。 25°C 饱和空气的含湿量 $d_0 = 4.3108\text{ g/kg}$, 焓值 $h_0 = 36.2306\text{ kJ/kg}$, 集热器输出的热空气的焓值 $h_1 = 76.9496\text{ kJ/kg}$ 。

集热器出风口风速 $v = 7\text{ m/s}$, 65°C 时的空气密度 $\rho = 0.93\text{ kg/m}^3$, $t = 1\text{ h}$ 以内集热器输出的空气质量计算公式为

$$m_2 = \pi r^2 v t \rho \tag{7}$$

计算得 $m_2 = 183.97\text{ kg}$ 。

侧面集热器 1 h 以内输出的热量按式(6)计算, 计算得 $5\,879.60\text{ kJ}$ 。

3.2.2 顶部集热器输出的热能

顶部集热器吸入干燥箱内空气,加热后再送回干燥箱内,空气在集热器内被加热的过程是一个等湿过程。空气的初态参数 $T_0 = 37^{\circ}\text{C}$ 、 $\varphi_0 = 35\%$; 空气的终态参数 $T_1 = 70^{\circ}\text{C}$, 查图得 $d_1 = 13.8369\text{ g/kg}$, $h_0 = 72.9231\text{ kJ/kg}$, $h_1 = 107.0979\text{ kJ/kg}$, 集热器出风口风速 $v = 7\text{ m/s}$, 查图得 70°C 时的空气密度 $\rho_2 = 0.9\text{ kg/m}^3$, 由式(7)计算得 1 h 以内集热器输出的空气质量为 178.04 kg。

由式(6)计算得 1 h 以内顶部集热器输出的热量为 6 084.48 kJ。

3.2.3 集热器输出的总热能

顶部集热器和侧面集热器每小时输出的总热量为 11 964 kJ, 该热量值大于干燥箱的最大能耗量值 9 756 kJ。集热面积大于理论设计值, 因为在日出后和日落前一段时间内, 太阳的辐射量不足, 适当增加集热面积可以使干燥箱内温度尽快升高。中午时段, 集热器输出的温度超过工作温度范围时, 根据物料干燥特性, 可适当调整集热器的方位角。

4 电热棒

夜间或阴雨天, 为保证连续干燥, 用电热装置补充干燥所需的热量^[20~22]。如图 4 所示, 本装置选用 M 型电热棒 2 支, 平行安装在干燥箱内部锥型进风管离箱体内部 250 mm 处, 温度传感器安装在 750 mm 处。电热棒每小时提供的电能应满足干燥箱的最大耗热量 9 756 kJ, 因此电热棒的功率不能低于 2.7 kW。装置中选用 2 支 1.5 kW 的电热棒符合设计要求。

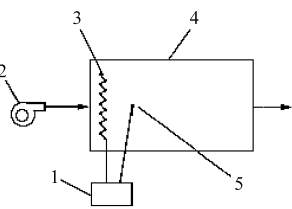


图 4 温度控制结构示意图

Fig. 4 Diagram of temperature controller

1. 温度控制器 2. 风机 3. 电热棒 4. 干燥箱 5. 温度传感器

5 试验结果与分析

5.1 试验条件

以库车小白杏为试验原料, 于 2009 年 6 月 26~29 日在乌鲁木齐新疆农业大学校内进行干燥试验。试验用杏装盘前要清除未成熟的青杏、过熟的烂杏, 用水清洗处理。选用鲜杏 240 kg, 初始含水率 79%, 含糖量 24%。在试验过程中, 为了防止杏在干燥箱内腐烂、发霉, 日夜通风干燥。日出后每隔 1 h 调整一次集热器的方位角和仰角, 并且测量一次干燥箱进出口风速。每晚 20:00 打开干燥箱称物料重量, 计

算物料含水率变化, 倒换干燥盘继续干燥。

5.2 试验结果

干燥箱内温度变化曲线如图 5 所示, 试验于 26 日 13:00 开始进行, 26 日是多云天气, 27 日 12:00 起天气转晴, 为试验提供了有利条件。试验初始箱内温度在电热棒的协助下有所上升, 从 20:00 起随着环境温度的下降而降到 35°C 左右, 并完全靠电热棒的热量保持此温度到第 2 天的 8:00 点, 夜间加热方式单一, 箱内温度变化不大。日出后, 太阳能辐射由弱变强, 箱内平均温度呈逐渐上升趋势。当箱内温度超过温度控制器的设定值时, 温度控制器迅速切断电源, 由太阳能集热器提供热能。当太阳辐射量不足, 干燥箱内温度低于设定值时, 电能协助太阳能提供热能。当集热器提供的热能为零时, 完全靠电能提供热量。随着太阳辐射能的增大, 箱内温度逐渐平稳上升并达到峰值, 温度曲线此时出现一个波峰, 然后慢慢降低。随着物料体积变小, 箱内气流流动更为顺畅, 试验过程中干燥箱内的工作温度在 $33\sim76^{\circ}\text{C}$, 湿度在 18.6%~43% 之间变化。

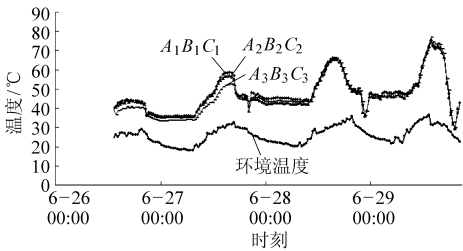


图 5 干燥箱内温度变化曲线

Fig. 5 Temperature curves in the drier

从图 5 可知, 干燥箱前端的平均温度值大于干燥箱中部和后端平均温度值, 即: A_1 、 B_1 、 C_1 的相应值大于 A_2 、 B_2 、 C_2 和 A_3 、 B_3 、 C_3 , 说明干燥箱内的部分热能用于气化物料表面水分而消耗, 温度分布出现 $1.52\sim4.01^{\circ}\text{C}$ 的温差, 基本满足装置的设计要求。

干燥箱内湿度变化曲线如图 6 所示, 由于新疆干旱少雨, 晴天时, 环境相对湿度通常不超过 40%, 经过集热器加热后, 送入干燥箱的热空气相对湿度约为 20%; 在夜间或阴雨天气时, 环境相对湿度通常高于 40%, 但经过电热棒加热后, 热空气的相对湿度仍然可以降低至 20%, 干燥箱内湿度与风速和物料干燥程度成反比。因此, 在整个干燥周期内干燥箱内部可以保持相对干燥的环境, 这不仅加快干燥速度, 还避免了物料发生霉变、褐变。

试验结果表明, 整粒库车小白杏的干燥时间为 79 h, 优等品率 85%, 而传统干燥杏的时间至少需要 168 h^[20~24]。用水洗后制出的干果经生物检验, 细菌群落总数小于等于 9, 大肠杆菌为阳性, MPN 小于 30。

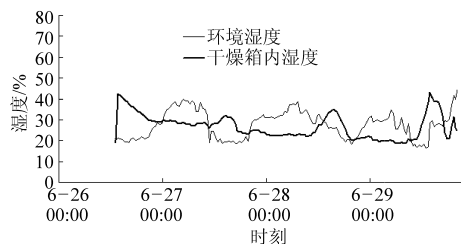


图 6 干燥箱内湿度变化曲线

Fig. 6 Moisture curves in the drier

6 结论

(1) 集太阳能集热器与干燥箱为一体的干燥装

置结构紧凑,且集热器方位角和仰角可自由调整,保持阳光直射,提高了太阳能利用率。

(2) 干燥箱内温度变化曲线表明,干燥箱内前端与后端有 $1.5 \sim 4.0^{\circ}\text{C}$ 的温差,为保证物料干燥均匀,使用时需要倒换干燥盘。

(3) 集热器输出总热量 $11\,964\text{ kJ/h}$, 3 kW 电热棒输出总热量 $10\,800\text{ kJ/h}$,均大于干燥箱总耗热量 $9\,756\text{ kJ/h}$,所以利用本装置干燥果蔬是可行的。

(4) 整粒库车小白杏的干燥时间为 79 h ,杏干优等品率达 85% ,与传统干燥方法相比,干燥时间缩短 52% 。

参 考 文 献

- 付立思,孙晓杰,吴秀华,等. 模糊自适应 PID 控制器在太阳能干燥温度控制中的应用[J]. 农业工程学报, 2006, 22(7): 217 ~ 219.
Fu Lisi, Sun Xiaojie, Wu Xiuhua, et al. Application of fuzzy adaptive PID controller in solar drying temperature control[J]. Transactions of the CSAE, 2006, 22(7): 217 ~ 219. (in Chinese)
- 钱珊珠,王春光,刘贵林,等. 牧草固定深层太阳能干燥的试验[J]. 农业机械学报, 2008, 39(12): 97 ~ 101.
Qian Shanzhu, Wang Chunguang, Liu Guilin, et al. Experiment on temperature and moisture content of forage in deep bed solar drying process[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2008, 39(12): 97 ~ 101. (in Chinese)
- 欧阳思洁,陈建平. 农副产品太阳能干燥装置的结构设计[J]. 贵州大学学报, 2009, 26(1): 85 ~ 88.
Ouyang Sijie, Chen Jianping. Structure design of agricultural byproduct solar drying equipment[J]. Journal of Guizhou University, 2009, 26(1): 85 ~ 88. (in Chinese)
- 陈建平,张会章,欧阳思洁,等. 智能化太阳能农副产品干燥系统的设计与实现[J]. 计算机工程与设计, 2009, 30(10): 2 593 ~ 2 596.
Chen Jianping, Zhang Huizhang, Ouyang Sijie, et al. Design and implementation of solar agricultural byproduct intelligent drying system[J]. Computer Engineering and Design, 2009, 30(10): 2 593 ~ 2 596. (in Chinese)
- 沈卫强,杨军,马月虹,等. GTG-6 型果品太阳能干燥器研制与试验[J]. 农机化研究, 2009, 31(8): 153 ~ 155.
Shen Weiqiang, Yang Jun, Ma Yuehong, et al. Design and experimental studies of the GTG-6 type solar dryer for fruit[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2009, 31(8): 153 ~ 155. (in Chinese)
- 唐章虎,徐林,樊国全,等. 部分新疆杏品种水不溶性固形物含量的测定[J]. 新疆农业科学, 2005, 42(增刊): 52 ~ 54.
Tang Zhanghu, Xu Lin, Fan Guoquan, et al. Detection of water insoluble solid in apricot fruit native to Xinjiang[J]. Xinjiang Agricultural Sciences, 2005, 42(Supp.): 52 ~ 54. (in Chinese)
- El-Sebaei A A, Aboul-Enein S, Ramadan M R I, et al. Empirical correlations for drying kinetics of some fruits and vegetables[J]. Energy, 2002, 27(9): 845 ~ 859.
- Pangarhane D R, Sawhney R L. Review of research and development work on solar dryers for grape drying[J]. Energy Conversion and Management, 2002, 43(1): 45 ~ 61.
- 肉孜·阿木提. ソーラーウォールと豆殻燃焼装置の集熱特性と農産残さ物の乾燥に関する研究[D]. 帯広: 帯広畜産大学, 2006.
Rouzi·Amuti. Studies on drying of farm product residues using solar energy and combustion heat of bean husks[D]. Obihiro: Obihiro University of Agriculture and Veterinary Medicine, 2006. (in Japanese)
- 赵锋. 澳大利亚的杏生产与杏干加工[J]. 北方果树, 2006(3): 49 ~ 51.
- 刘一健,杨洋,王海,等. 混联式太阳能果蔬干燥设备干燥无核白葡萄的试验[J]. 农业工程学报, 2009, 25(5): 287 ~ 291.
Liu Yijian, Yang Yang, Wang Hai, et al. Experiment for drying Thomson seedless grape with a multifunctional equipment composed of series-parallel solar energy collectors for drying fruits and vegetables[J]. Transactions of the CSAE, 2009, 25(5): 287 ~ 291. (in Chinese)
- 樊军庆,张宝珍. 太阳能在农产品干燥中的利用[J]. 世界农业, 2008(7): 68 ~ 69.
- 刘清,胡小松,谢奇珍,等. 新疆无核白葡萄干精加工干燥工艺[J]. 农业工程学报, 2008, 24(12): 221 ~ 225.

Liu Qing, Hu Xiaosong, Xie Qizhen, et al. Technology for drying Thompson seedless raisins after cleaning process[J]. Transactions of the CSAE, 2008, 24(12): 221 ~ 225. (in Japanese)

14 李贤章, 操焰节. 农村太阳能实用技术[J]. 农技服务, 2007, 24(5): 43 ~ 46.

15 肉孜·阿木提, 松田清明, 佐藤贞稔, 等. 豆殻燃焼熱を利用した農産残さ物の低コスト乾燥[J]. 北海道の農業機械, 2006, 46: 37 ~ 42.

Rouzi·Amuti, Kiyooki Masuda, Tadatashi Satow, et al. Drying of farm product residues using dried beanstalks and husks as fuel[J]. Journal of Hokkaido Branch of the Japanese Society of Agricultural Machinery, 2006, 46: 37 ~ 42. (in Japanese)

16 马洪江, 王海磁, 王颀. 混联式太阳能果蔬烘干机的研制[J]. 农业工程学报, 2009, 25(3): 50 ~ 54.

Ma Hongjiang, Wang Haici, Wang Jie. Design of hybrid type mixed-mode solar dryer for fruits and vegetables[J]. Transactions of the CSAE, 2009, 25(3): 50 ~ 54. (in Chinese)

17 李志民, 钟浩, 张跃. 水泡梅太阳能干燥的试验研究[J]. 云南师范大学学报, 2006, 26(3): 20 ~ 23.

Li Zhimin, Zhong Hao, Zhang Yue. Experimental studies on a solar dryer for the drying of salted greengages of the feasibility of solar dryer for drying plums[J]. Journal of Yunnan Normal University, 2006, 26(3): 20 ~ 23. (in Chinese)

18 沈维道, 蒋智敏, 童钧耕. 工程势力学[M]. 北京: 高等教育出版社, 2001: 353.

19 毕金峰, 魏益民, 王枋, 等. 哈密瓜变温压差膨化干燥工艺优化研究[J]. 农业工程学报, 2008, 24(2): 232 ~ 237.

Bi Jinfeng, Wei Yimin, Wang Di, et al. Optimization of explosion puffing drying technology for Hami melon at variable temperature and pressure difference[J]. Transactions of the CSAE, 2008, 24(2): 232 ~ 237. (in Chinese)

20 王晓燕. 水泡梅的太阳能干燥装置研制与实验研究[D]. 昆明: 云南师范大学, 2004.

Wang Xiaoyan. Design and experimental studies of a solar dryer for salted plum[D]. Kunming: Yunnan Normal University, 2004. (in Chinese)

21 Bala B K, Mondol M R A, Biswas B K, et al. Solar drying of pineapple using solar tunnel drier[J]. Renewable Energy, 2003, 28(2): 183 ~ 190.

22 张建军, 王海霞, 马永昌, 等. 辣椒热风干燥特性的研究[J]. 农业工程学报, 2008, 24(3): 298 ~ 301.

Zhang Jianjun, Wang Haixia, Ma Yongchang, et al. Experimental research on hot-air drying properties of capsicum[J]. Transactions of the CSAE, 2008, 24(3): 298 ~ 301. (in Chinese)

23 李峰, 肉孜·阿木提, 高泽斌, 等. 利用导风板使干燥箱内风量均匀分布的研究[J]. 新疆农业大学学报, 2009, 32(6): 76 ~ 79.

Li Feng, Rouzi·Amuti, Gao Zebin, et al. Study on air flux distributing uniformity in the desiccator using the guided wind panel[J]. Journal of Xinjiang Agricultural University, 2009, 32(6): 76 ~ 79. (in Chinese)

24 杜志龙. 气体射流冲击果蔬烫漂及干燥试验研究[D]. 北京: 中国农业大学, 2007.

Du Zhilong. Experimental study of blanching and drying in fruits and vegetables on the air-jet impingement oven[J]. Beijing: China Agricultural University, 2007. (in Chinese)