

文章编号:1673-1689(2007)06-0006-03

# 蔬菜热风干燥过程的节能技术

张 慤, 成 刚

(江南大学 食品学院, 江苏 无锡 214122)

**摘 要:** 开放式热风干燥(AD)工艺以其设备成本低,操作和维修简单等特点在国内大批量脱水蔬菜生产中仍占据较高的比例。但开放式 AD 蔬菜的能耗高,故对其进行节能技术研究是项急需而有意义的任务。可以从 AD 工艺前处理、AD 和其它干燥方法的联合、干燥系统改进、余热回收以及工艺参数再优化等方面来降低 AD 蔬菜生产中的能耗。

**关键词:** AD 蔬菜;节能;热泵;余热回收

**中图分类号:** TS.205

**文献标识码:** A

## Research Progress on the Energy Reduce of Air Drying Process for Dehydrated Vegetables

ZHANG Min, CHENG Gang

(School of Food Science and Technology, Jiangnan University, Wuxi 214122, China)

**Abstract:** Air Drying (AD) process was widely applied in the drying vegetable because the cheap equipment and easy operation. However, the main disadvantage of this process is the high energy consumption. Therefore, in order to further extend the application, it must be reduce the cost of energy. It is conceived that drying method, optimization of the process, dryer's improving, waste-air recycling and application of regenerative energy could further decrease the cost of energy, and discussed in this review.

**Key words:** air-drying vegetable; energy conservation; heat pump; waste-air recycling

干燥技术应用广泛,而在干燥中的能耗也是十分惊人的。国家“十一五”规划要求资源利用效率要显著提高,单位 GDP 能耗比“十五”期末降低 20%。降低干燥的能耗,是一项十分重要的工作。

目前,国内干燥技术运用中传统的干燥技术和设备仍占据很大比例,干燥新技术由于诸多因素使大规模运用受到限制。造成这种局面的主要原因有:传统的干燥技术简单,设备容易操作,规模化生产的经验丰富,而干燥新技术还有不成熟的地方,新技术应用的稳定性和规模化存在一些问题;新技

术设备购置、维修的成本高,生产厂家不愿意淘汰现有的整套设备。针对当前状况,作者在加大干燥新技术开发和规模化研究的同时,进行传统干燥方法节能降耗的研究。对传统工艺进行干燥后,有时会取得意想不到的效果。

### 1 保藏原理

热风干燥蔬菜就是使干燥气的热量向蔬菜转移,同时促进蔬菜中水分向干燥气中传递的过程。干燥气带走了水分,蔬菜达到了脱水的目的。AD

收稿日期:2007-03-18.

基金项目:国家自然科学基金项目(20776062).

作者简介:张 慤(1962-),男,浙江平湖人,工学博士,教授,博导,主要从事农产品加工与贮藏研究.

Email: min@jiangnan. edu. cn

蔬菜使蔬菜重量减轻,体积减少,节省包装、贮藏和运输费用,增加蔬菜食用的方便性;AD处理温度往往较高,降低了水分活度,这样可以抑制蔬菜中微生物生长和繁殖以及其中酶的活性,从而达到延长蔬菜保藏期的目的。部分AD处理还可以增加蔬菜的风味。

## 2 节能途径

### 2.1 预处理

在AD蔬菜前对物料进行适当的预处理可以减轻后期AD工艺的负荷,节约干燥时间,降低AD阶段的能耗。预处理方法不是固定的,依干燥对象而定。对于后期易结块的,预处理可以采取使物料在AD过程中尽可能保持疏松,这样可以促进水分传递。蔬菜在漂烫预处理后,表面往往富集较多的水分,可以考虑在AD前进行机械脱水,如挤压,离心等。另外,对于初始含水率高,组织盐浓度低的蔬菜可以考虑在AD前进行渗透脱水处理。经渗透脱水的果蔬再进行AD干燥,产品的干燥时间可缩短10%~15%,同时由于体积和质量的减少,使干燥的有效荷载增加了两三倍。渗透脱水可以在较短的时间内除去果蔬的水分而不损坏果蔬的组织结构,经过渗透脱水的果蔬产品仍具有果蔬应有的风味、色泽、质构、营养品质。Fabiano A. N. Fernandes等人<sup>[1]</sup>研究了热风干燥香蕉片前用渗透脱水进行预处理的试验工艺,通过建立渗透脱水模型预测了最佳的渗透脱水参数,大大降低了热风干燥阶段的脱水负荷,整个工艺时间大大缩短了,同时也降低了能耗。

### 2.2 联合干燥

根据干燥对象和干燥不同阶段的特点,选择相应的联合干燥技术,可以缩短时间,降低能源消耗。联合干燥是指根据物料的特性,将2种或2种以上的干燥方式依照优势互补的原则,分阶段进行的复合干燥技术。与AD有关的联合干燥方法有热风-微波联合干燥、热风-冷冻联合干燥、热风-微波真空联合干燥、热风-微波冷冻联合干燥、热风-压力-膨化联合干燥等<sup>[9]</sup>。通过试验研究比较,在产品品质得到保证的情况下,考虑选择能耗最低的AD联合干燥方法。A. Heredia等人<sup>[2]</sup>研究了西红柿脱水,他们运用不同方法研究,并对各种方法下干燥效果和能耗作了比较,最终选择了先渗透脱水再用微波-热风联合干燥,这种方法既获得了好的品质,也降低了能耗。Ilknur Alibas<sup>[3]</sup>研究了南瓜片的微波干燥、风干以及微波-风干联合干燥的工艺条件和能

耗。得出结论:微波、风干和微波-风干联合干燥的时间分别为125~195、45~90、31~51 min时,它们消耗的能量分别为:0.23~0.34、0.61~0.78和0.29~0.42 kWh。

### 2.3 干燥系统改进

系统节能是指对干燥系统进行总能系统分析,以实现系统中各单元设备的优化配置,同时进行热效率分析和热经济分析,以实现能源的温度对口合理梯级利用。R. Gabbrielli等人<sup>[4]</sup>的研究对AD蔬菜车间中的干燥系统优化节能有很大启发。

在做好整个系统优化的同时,也对单元设备升级,提高单元设备的能源利用效率,如传热效率、隔热保温、采用最经济热源加热干燥气等。AD蔬菜大批量生产中,废热气的流量相当大,风速和温度的波动,对能耗影响是不可忽略的。目前,计算机模拟控制技术在各领域应用已相当广泛,通过对干燥过程模拟,建立相关能耗模型,利用外围仪器测定干燥过程的各项实时参数并反馈,在已有的模型下及时算出当前的能耗。Yoshifumi Murakami等人<sup>[5]</sup>研究利用PC终端控制办公楼的中央供暖系统,他们的经验和计算机控制技术完全可以应用到食品干燥过程中的能耗测定和研究。

### 2.4 余热回收再利用

以蒸汽加热的开式热风干燥(工艺如图1所示)为例介绍利用余热回收利用来降低AD蔬菜能耗的方法。该工艺采用生蒸汽对干燥气进行预热,后期废气直接排至车间内。虽然设备成本低,操作维修方便,但设备能耗利用率低,干燥大部分能耗被冷凝水和后期干燥废气所带走。剔除热交换等热量损耗,后期干燥气带走了近50%~60%的热量。AD湿废气直接排在车间,影响了干燥速率。故后期热废气和冷凝水的余热回收意义重大。下面分别进行介绍。

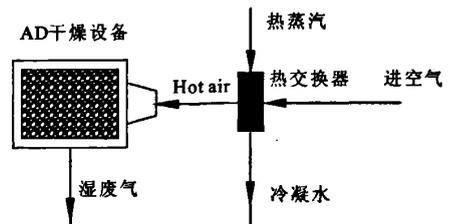


图1 蒸汽供热的AD蔬菜示意图

Fig. 1 The simple chart of vapor-heated AD vegetables

2.4.1 废热气余热回收 对上述AD蔬菜干燥来说,可以采用部分废气循环和除湿后再利用两种方法。当然,也可以结合生产实际,采取相应的对策,如办公楼、生活区的供暖。

部分废气循环可将废气中的余热重新利用,并降低空气加热器的热负荷,能耗将下降10%。废气的循环加大了干燥室的空气流量,有利于提高对流传热系数。但是由于干燥介质的湿度增加,干燥速率下降,时间延长,设备投资增加,需做进一步优化。目前,一般的废气循环量控制在20%左右。废热气也可以用来预热新鲜空气,由于气气交换的总传热系数小,要求配置高效换热设备。超导传热设备的出现,如热管技术和热泵技术,为解决此类问题提供了新的手段。特别是利用热管技术预热新鲜空气,可以使新鲜空气预热到比废气温度还高的温度。

废热气部分循环后,湿度很大,需除湿后才能循环利用。冷凝和干燥剂都是可选的除湿方法。仅除湿是不行的,还要保证除湿后的废热气热量得到保持。在损耗一定电能的情况下,热泵可以对湿热废气冷凝除湿,而且处理后的废气温度较高,甚至可以超过它的初始温度。Arun S. Mujumdar<sup>[6]</sup>介绍了几种热泵应用技术,热泵技术除了防止氨、氟等工作介质泄漏外,完全可以降低干燥过程的能耗。热泵处理湿废气的过程如图2所示。

**2.4.2 冷凝水余热回收** 废热气回收的方法和思路同样适合冷凝水余热回收。水传热系数要远远高于气体,故换热就更为容易。一般而言,蒸汽供热后得到的冷凝水温度在130℃左右,可以考虑用于加热多阶段AD蔬菜最后一阶段的新鲜干燥气。大批量蔬菜脱水生产中,冷凝水量不可忽略,回收热量的同时也要注意水资源的回收再利用。经过过滤等工艺处理后,冷凝水可用于AD蔬菜中漂烫阶段用水、锅炉用水等其它生产用水。此外,处理后的高温冷凝

水也可以用于职工生活区的生活用水。

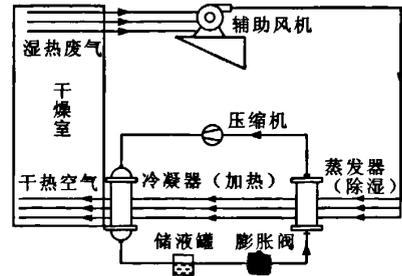


图2 热泵除湿示意图

Fig. 2 The simple chart of removing humidity by heat-pump

## 2.5 其它节能途径

我国有丰富的太阳能资源,我国在利用太阳能干燥方面已有多年历史,为广泛利用太阳能创造了有利条件。Donka Ivanova等<sup>[7]</sup>利用太阳能和地热水作为热源加热空气,对果蔬进行干燥研究,建立了干燥模型,模型预测结果与试验值很接近。

## 3 工艺优化

AD蔬菜工艺在节能降耗工艺改进后,对于AD工艺条件发生改变的,还需对整个新工艺做进一步优化。工艺再优化仍要注意尽可能提高进气温度,降低出气和干燥介质的温度等。此外,空气除湿后,干燥速率增加,干燥时间要缩短,风速也可以做相应的调整。新增降耗工艺的各项参数要寻优,如风机、水泵的选型和工作条件优化。余热回收中废气和冷凝水的最佳循环量还需确定。AD工艺再优化只要与脱水蔬菜生产实际结合起来,必定会大大降低AD蔬菜生产的总能耗。

## 参考文献(References):

- [1] Fabiano A N, Fernandes, Sueli Rodrigues, et al. Optimization of osmotic dehydration of bananas followed by air-drying [J]. *Journal of Food Engineering*, 2006 (77): 188-193.
- [2] Heredia A, Barrera C, Andre's A. Drying of cherry tomato by a combination of different dehydration techniques [J]. *Food Engineering*, 2007(80): 111-118.
- [3] Ilknur Alibas. Microwave, air and combined microwave-air-drying parameters of pumpkin slices [J]. *LWT*, 2006 (1): 1-7.
- [4] Yoshifumi Murakami, Masaaki Teranoa, Kana Mizutani, et al. Field experiments on energy consumption and thermal comfort in the office environment controlled by occupants' requirements from PC terminal [J]. *Building and Environment*, 2006, (1): 1-6.
- [5] Gabbrielli R, Medeot C, Miconi D. Energy saving in the tissue industry. technical and economic aspects of a case study [J]. *Cleaner Production*, 2006, 14: 185-193.
- [6] Mujumdar A S. Some recent developments in drying technologies appropriate for postharvest processing [J]. *Postharvest Technology and Innovation*, 2006, 1(1): 82-85.
- [7] Donka Ivanova, Kondju Andonov. Analytical and experimental study of combined fruit and vegetable dryer [J]. *Energy conversion and Management*, 2001, 42: 975-983.

(责任编辑:朱明)