

# 黑加仑果浆微波辅助泡沫干燥特性

郑先哲, 刘成海, 周 贺

(东北农业大学工程学院, 哈尔滨 150030)

**摘 要:** 为了研究微波辅助泡沫干燥方法对黑加仑果浆脱水的适用性, 该文选择了合适黑加仑果浆起泡添加剂, 并研究了起泡黑加仑果浆的微波干燥特性。选择食品级单甘酯和大豆分离蛋白作为起泡剂, 发现其添加量对黑加仑果浆起泡特性有显著的影响, 添加 6.0% 单甘酯和 3.0% 大豆分离蛋白作为起泡剂, 以 0.5% 的羧甲基纤维素 10 mL 作为稳定剂, 结果表明, 加入这组添加剂的果浆在搅拌 6 min 时, 得到的泡沫果浆具有较高膨胀性和稳定性。采用微波辅助泡沫干燥方法对起泡黑加仑果浆进行干燥, 试验发现, 随着初始微波强度的增大和料层厚度减小, 物料的干燥强度显著增加。对比试验的结果表明, 微波泡沫干燥速度及干品的色泽品质均优于热风泡沫干燥的。在连续带式微波干燥设备中, 起泡黑加仑果浆推荐工艺参数为: 初始微波强度 14.0 W/g, 料层厚度 5 mm。因此, 微波辅助泡沫干燥技术适用于黑加仑果浆脱水加工。

**关键词:** 干燥, 稳定剂, 微波设备, 黑加仑果浆, 起泡特性, 色泽评价

doi: 10.3969/j.issn.1002-6819.2009.08.051

中图分类号: TS255.3, S226

文献标识码: A

文章编号: 1002-6819(2009)-8-0288-06

郑先哲, 刘成海, 周 贺. 黑加仑果浆微波辅助泡沫干燥特性[J]. 农业工程学报, 2009, 25(8): 288—293.

Zheng Xianzhe, Liu Chenghai, Zhou He. Drying characteristics of blackcurrant pulp by microwave-assisted foam mat drying[J].

Transactions of the CSAE, 2009, 25(8): 288—293. (in Chinese with English abstract)

## 0 引言

黑加仑 (*Ribes nigrum* L.), 又名黑穗醋栗 (blackcurrant)、黑豆果, 属虎耳草科茶藨子属, 是多年生小灌木, 黑加仑的野生种分布在欧洲和亚洲。中国黑加仑的主产区分布在新疆维吾尔自治区和黑龙江省等地<sup>[1]</sup>。黑加仑果实富含多种氨基酸、矿物质、维生素和抗氧化物质等, 具有非常好的保健作用<sup>[2]</sup>。但是黑加仑的盛果期为每年 7~8 月份, 鲜果易腐烂难以长期贮藏。干制是延长水果保存期的有效方法之一, 干制后的水果风味独特、食用方便、耐贮藏、便于运输, 深受消费者的喜爱。目前黑加仑主要被加工成果汁饮料、罐头、果酒等<sup>[3]</sup>, 有关脱水黑加仑果实制品的报道较少。

泡沫干燥 (foam mat drying) 技术适用于热敏性强、黏性大和含糖量高的食品物料干燥加工<sup>[4-5]</sup>。常规的泡沫干燥是以高温热风作为干燥介质, 但是高温容易破坏物料原有品质<sup>[6]</sup>, 且泡沫内空气阻碍了热量向料层内部传递, 限制干燥速度<sup>[7]</sup>。微波干燥是以热量由里及表传递的体加热方式进行的, 具有热效率高、干燥温度低 (与相同干燥速度的热风干燥方式比较) 等特点, 已经在果蔬脱水加工方面得到广泛应用<sup>[8-9]</sup>。本研究以微波加热代替热空气干燥介质进行泡沫干燥, 对黑加仑果浆进行脱水加工, 拟提高物料的干燥速度, 并保证脱水制品的品质, 保持鲜果的原味、色泽和营养成分。本研究结果有望缓解黑加仑果实贮藏难的境况, 开发新制品, 提高附加值。

本文对黑加仑果浆的起泡特性以及微波泡沫干燥特

性进行研究; 并对比分析微波辅助泡沫干燥与常规热风泡沫干燥对黑加仑果粉的色泽品质指标的影响, 为确定合适的黑加仑果浆微波辅助泡沫干燥工艺参数提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

新鲜的黑加仑采自东北农业大学园艺学院实验站, 原始平均干基含水率为 6.00 kg/kg。采后的黑加仑鲜果在冷藏、保湿条件下储运。

### 1.2 试验流程

微波辅助泡沫干燥黑加仑果浆的试验流程是: 原料→去杂、拣选→清洗→沥水→破碎、打浆→添加起泡剂、稳定剂→搅拌起泡→微波干燥→磨粉→成品贮存。

### 1.3 试验设备

WD700 型 LG 微波炉 (乐金电子 (天津) 电器有限公司); HR1727 型飞利浦搅拌机 (珠海经济特区飞利浦家庭电器有限公司); JJ-1 型增力电动搅拌机 (江苏省金坛市医疗仪器厂); 自制热风薄层干燥试验台; DC-P3 型全自动测色色差计 (北京市兴光测色仪器公司); DK-98-IIA 型数显恒温水浴锅 (天津市泰斯特仪器有限公司); Arrw60 型电子精密天平 (上海奥豪斯公司); 游标卡尺 (量程为 0~150 mm, 哈尔滨量具刃具厂); DHG-9053A 型鼓风干燥箱 (上海益恒实验仪器有限公司); Testo435 型热敏风速计 (德国 Testo 公司); HS-30W 型秒表 (深圳依商信电子科贸有限公司); FZ102 型微型植物粉碎机 (北京中西远大科技有限公司)。

### 1.4 黑加仑果浆起泡试验

选择颜色和成熟度一致的黑加仑鲜果, 放入食物搅拌机中, 搅拌 3 min 成匀浆备用, 然后取 50 g 用于试验。依据食品添加剂有关使用要求<sup>[10]</sup>和预起泡试验的结果,

收稿日期: 2008-09-24 修订日期: 2009-06-14

作者简介: 郑先哲 (1968—), 男, 吉林德惠人, 教授, 博士生导师, 中国农业工程学会高级会员 (E041200150S), 主要从事农产品干燥贮藏与品质控制方面的研究。哈尔滨 东北农业大学工程学院, 150030。

Email: zhengxz2006@yahoo.com.cn

确定本研究所用食品级的起泡剂和稳定剂的种类和使用方法。选择单甘酯(GMS)和大豆分离蛋白(SPI)作为起泡剂<sup>[6,11-12]</sup>;以浓度为0.5%的羧甲基纤维素(CMC)为稳定剂。按不同的单甘酯和大豆分离蛋白添加量,把两者组合的配方分为以下6组:①1 g GMS与1 g SPI组;②2 g GMS与2 g SPI组;③3 g GMS与3 g SPI组;④1 g GMS与0.5 g SPI组;⑤2 g GMS与1 g SPI组;⑥3 g GMS与1.5 g SPI组。把上述各组配方分别放入烧杯内,用50 mL蒸馏水溶解,在70℃下水浴加热30 min,并不断搅拌;试验时,向每组加热后配方中加入10 mL浓度为0.5%的羧甲基纤维素(CMC)作为稳定剂。把6组混合液对应添加到6份黑加仑果浆中(每份果浆质量是50 g,且只可添加1组添加剂混合液),搅拌1.5-2 min至均匀。为了获得添加剂均匀分布的果浆,减少误差,上述每组操作重复4次,混合5次制备的果浆样品,供进一步试验使用。

### 1.5 黑加仑果浆起泡特性试验

果浆的起泡特性包括泡沫膨胀性、泡沫稳定性和泡沫密度等指标。起泡剂的浓度影响果浆的起泡特性、干燥速度和品质,因而需要测定起泡特性指标<sup>[13]</sup>,确定合适起泡剂。

#### 1.5.1 泡沫膨胀性的测定

取添加起泡剂的黑加仑果浆100 g,用搅拌器匀速搅拌15 min,每隔3 min测量体积变化,用公式(1)计算膨胀率

$$\text{膨胀率} = \frac{V_1 - V_0}{V_0} \times 100\% \quad (1)$$

式中: $V_1$ ——起泡果浆的体积,  $\text{m}^3$ ;  $V_0$ ——未起泡果浆的体积,  $\text{m}^3$ 。全部试验重复3次,取平均值。

#### 1.5.2 泡沫稳定性的测定

用100 mL量筒量取起泡黑加仑果浆100 mL,在移送过程中应足够小心,尽量避免泡沫的破损。在室温下放置3 h,每隔30 min测定体积减少量,用公式(2)计算泡沫稳定性<sup>[13]</sup>

$$\text{稳定性} = \frac{V_2 - \Delta V}{V_2} \times 100\% \quad (2)$$

式中: $\Delta V$ ——在时间间隔30 min时,泡沫体积的减少量;  $V_2$ ——起泡果浆的初始体积。全部试验重复3次,取平均值。

#### 1.5.3 起泡果浆密度的测定

根据黑加仑果浆起泡处理前后体积比,用公式(3)计算起泡果浆密度

$$\text{泡沫密度}(\text{kg}/\text{m}^3) = \rho \cdot \frac{V_0}{V_1} \quad (3)$$

式中 $\rho$ ——鲜果浆密度,  $\text{kg}/\text{m}^3$ ;全部试验重复3次,取平均值。

### 1.6 干燥曲线的测定

取30 g经起泡预处理的黑加仑果浆,均匀地平铺在食品级的微波盒中,盛料盒尺寸为112.0 mm×80.6 mm,料层厚度为5 mm。将盛有起泡果浆的料盒放在微波炉的中心位置,分别在140、280、420、560和700 W的微波

功率下进行干燥。为了说明微波能对物料的作用情况,使得所得结论不是单方面依赖于微波功率或者物料质量,具有广泛意义和推广价值,本文中引入“初始微波强度<sup>[14-15]</sup>”概念,是微波功率与干燥开始时的物料质量比值,表征单位质量的物料所承受微波辐射的能量。因此,本试验中初始微波强度值为4.7、9.3、14.0、18.7、23.3 W/g。

试验过程中,每隔30 s测定物料质量1次,直至干基含水率为0.18 kg/kg时为止<sup>[16]</sup>,每组试验重复3次,取平均值,做出含水率随干燥时间变化的干燥曲线,并计算物料的干燥强度。

### 1.7 干燥方法的对比试验

采用微波和热风2种干燥方式,将起泡的黑加仑果浆干燥至干基含水率0.18 kg/kg左右,进行色泽品质评价。具体试验条件如下:

微波干燥:微波功率420 W,每隔30 s称质量1次。取起泡黑加仑果浆30 g,均匀平铺在微波容器中(即初始微波强度为14.0 W/g),料层厚度5 mm。

热风干燥:物料温度60℃(与上述微波干燥条件下的果浆最高温度相当),风速为0.3 m/s。取起泡处理后的黑加仑果浆30 g,平铺于热风薄层干燥试验台的干燥筛上,料层厚度为5 mm,每隔10 min取下干燥筛称质量1次,计算其干基含水率<sup>[8]</sup>。

### 1.8 色泽测定

色泽品质是评价干燥产品品质的重要指标之一。根据CIE(国际发光照明委员会)提出的均匀色空间理论,确定样品的 $L^*$ (Lightness, 明度),  $a^*$ (redness, 红色度),  $b^*$ (yellowness, 黄色度)。本研究以干燥前起泡的黑加仑果浆色泽指标为参比,分析微波和热风干燥过程对黑加仑果浆干品颜色的影响。

### 1.9 统计方法

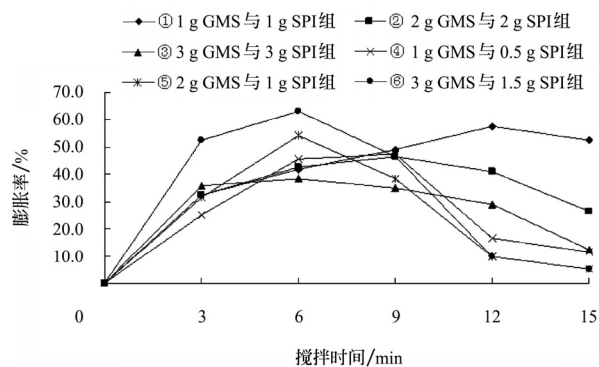
应用统计软件SAS(ver9.1)分析数据。

## 2 结果与分析

### 2.1 黑加仑果浆的起泡特性试验

#### 2.1.1 泡沫膨胀性的测定

图1为在搅拌过程中添加①~⑥组起泡剂配方对黑加仑果浆泡沫膨胀性的影响曲线。



注: GMS—单甘酯, SPI—大豆分离蛋白

图1 搅拌时间对泡沫膨胀性的影响曲线

Fig.1 Effects of stirring duration on foam expansion

由图 1 可知,随起泡剂添加量的增加,黑加仑果浆的膨胀率呈现出增加趋势。添加第⑥组配方后,在搅拌至 6 min 时,膨胀率为 63.3%;其次是第①组配方也具有较好的起泡性,搅拌至 12 min 时,膨胀率达到 57.5%,但较配方⑥的膨胀率略低,且搅拌时间增加。因此,选择第⑥组配方作为黑加仑果浆的起泡剂,可使膨胀率达到最高。

从图 1 中还可以看出,在搅拌时间的前 6 min 内,泡沫的膨胀率随着时间的增加而增加;但随着搅拌时间继续增加,④、⑤、⑥组配方的泡沫膨胀率明显下降,而①、②、③组配方的泡沫膨胀率还在继续增加,直到 12 min 时开始下降。虽然 6 组配方达到最大膨胀率的搅拌时间不同,但是从起泡效果和节约能耗的角度考虑,在能达到相同膨胀率的条件下,选择较短的搅拌时间。因此确定合适的搅拌时间为 6 min,经测定此时泡沫密度为  $600 \text{ kg/m}^3$  (黑加仑鲜果浆密度为  $1030 \text{ kg/m}^3$ )。泡沫果浆的密度在  $200 \sim 600 \text{ kg/m}^3$  范围内时适合进行泡沫干燥<sup>[17]</sup>。

### 2.1.2 泡沫稳定性的测定

图 2 为添加了不同起泡剂配方的黑加仑果浆泡沫在室温下放置 3 h 的稳定性测定结果。在一定的放置时间内,泡沫稳定性变化越小,表明配方的泡沫稳定性越高。由图 2 可以明显看出添加配方③时得到的果浆泡沫稳定性最好,配方⑥次之,但是前者得到的最大泡沫膨胀率仅为 38.3%,只能达到后者的 60%,差距较大,因此,在这些配方组合中,选择第⑥组配方用做黑加仑果浆的起泡剂是最合适的,即添加 6.0% 单甘酯和 3.0% 大豆分离蛋白,用于微波辅助泡沫干燥试验研究。

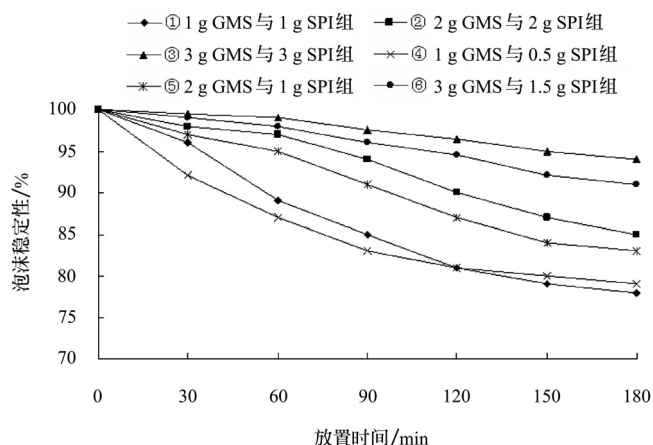


图 2 经起泡剂处理的黑加仑果浆的泡沫稳定性曲线

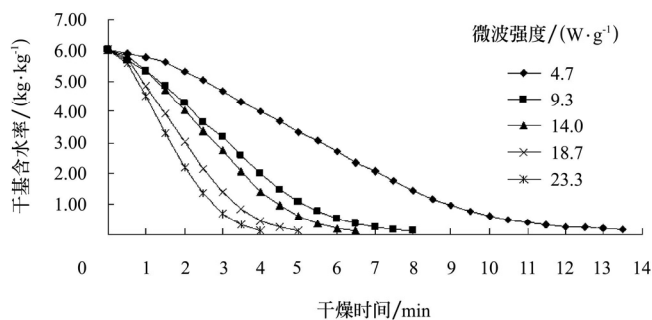
Fig.2 Foam stability of blackcurrant pulp treated with foaming agents (glyceryl monostearate and soy protein isolated) and stabilizing agent (carboxylic methyl cellulose)

## 2.2 初始微波强度对起泡黑加仑果浆干燥特性的影响

在不同初始微波强度下,起泡黑加仑果浆的干燥曲线如图 3 所示。

在图 3 所示的黑加仑果浆的泡沫干燥曲线中(相同的物料初始含水率),随着初始微波强度的增加,干燥曲线的斜率增大,形状越来越陡峭,在本试验条件下,当初始微波强度为  $23.3 \text{ W/g}$  时,仅需 4 min 就达到了

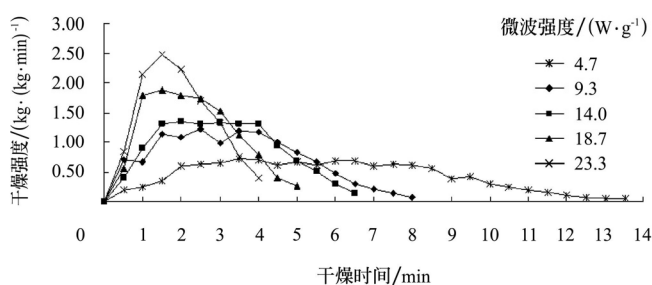
$0.18 \text{ kg/kg}$  的干基含水率,而当初始微波强度降为  $4.7 \text{ W/g}$  时,干燥到相同含水率则需要 13.5 min。



注:料层厚度 5 mm

图 3 不同初始微波强度下的干燥曲线

Fig.3 Drying curves under different initial microwave intensities



注:料层厚度 5 mm

图 4 初始微波强度对干燥强度的影响

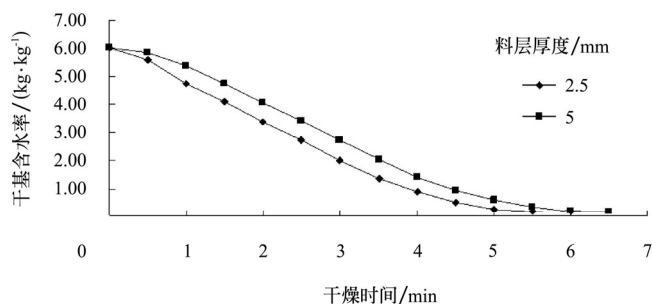
Fig.4 Effect of initial microwave intensity on drying intensity

在图 4 中可以看出,当初始微波强度  $\leq 14.0 \text{ W/g}$  时,黑加仑果浆泡沫的微波干燥过程均明显由预热、恒速和降速 3 个阶段构成,在本试验中的 5 种初始微波强度下,预热阶段在  $0 \sim 2 \text{ min}$  内,并且随着初始微波强度的增加,干燥强度增大,恒速和降速干燥过程均显著缩短。当初始微波强度分别为  $4.7$ 、 $9.3$  和  $14.0 \text{ W/g}$  时,最大干燥强度分别为  $0.722$ 、 $1.235$  和  $1.348 \text{ kg/(kg} \cdot \text{min)}$ ,恒速干燥期在  $4.7 \text{ W/g}$  时为  $2 \sim 8 \text{ min}$ ,在  $9.3$  和  $14.0 \text{ W/g}$  时为  $1.5 \sim 4 \text{ min}$ ,总干燥时间分别为  $13.5$ 、 $8$  和  $6.5 \text{ min}$ 。当初始微波强度高于  $14.0 \text{ W/g}$  时,起泡黑加仑果浆的恒速干燥期非常短,当初始微波强度分别为  $18.7$  和  $23.3 \text{ W/g}$  时,在干燥的前  $1.5 \text{ min}$  干燥强度一直保持增加,在第  $1.5 \text{ min}$  时干燥强度达到最高,分别为  $1.872$  和  $2.476 \text{ kg/(kg} \cdot \text{min)}$ 。干燥时间超过  $1.5 \text{ min}$  以后,干燥强度迅速下降,没有明显的恒速干燥阶段,只有降速干燥阶段。在微波加热过程中,微波能直接作用到物料的内部,属于体加热方式。在试验中观察到的现象表明,随着初始微波强度增加,微波能激发的黑加仑果浆产生更多泡沫,明显加剧沸腾状态,从而扩大果浆表面积,促进水分大量蒸发,凸显出泡沫干燥的优势。因此,在较高的初始微波强度情况下,对起泡黑加仑果浆进行干燥时,因干燥强度较大,使得恒速干燥阶段基本不存在;而在较低初始微波强度情况下,因样品干燥强度相对较低,干燥曲线表现出明显的恒速和减速阶段。初始微波强度每增加  $4.7 \text{ W/g}$ ,干

干燥强度平均提高  $0.439 \text{ kg}/(\text{kg} \cdot \text{min})$ ，但当初始微波强度增大到  $18.7 \text{ W/g}$  以上时，样品边缘出现焦糊，水分分布不均匀，严重影响干品品质。

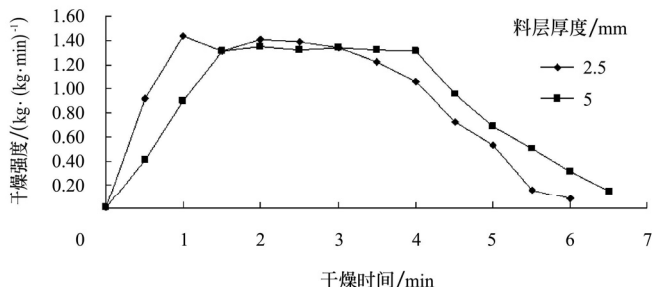
### 2.3 料层厚度对起泡黑加仑果浆干燥特性的影响

本试验为间歇干燥模式，当初始微波强度在  $4.7$  或  $9.3 \text{ W/g}$  时，物料干燥强度很低，干燥时间长，而在初始微波强度为  $14.0 \text{ W/g}$  时，与较高微波强度（如  $18.7$  和  $23.3 \text{ W/g}$ ）相比，焦化程度不严重，且不影响其他指标的比较，因此选择在微波强度为  $14.0 \text{ W/g}$  的干燥条件下，对 2 种料层厚度（ $2.5$  和  $5 \text{ mm}$ ）的黑加仑果浆进行微波干燥试验，每隔  $30 \text{ s}$  测定质量 1 次。测得的干燥曲线和干燥强度随时间的变化曲线分别如图 5 和 6 所示。



注：初始微波强度为  $14.0 \text{ W/g}$

图 5 在干燥过程中料层厚度对样品含水率的影响  
Fig.5 Effect of thickness on moisture content of sample during drying



注：初始微波强度为  $14.0 \text{ W/g}$

图 6 2 种料层厚度下物料的干燥强度随时间变化曲线  
Fig.6 Effect of thickness of material layer on the drying intensities of foamed materials

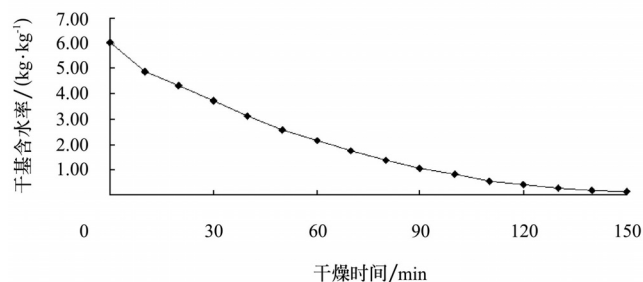
由图 5 可见，在料厚为  $2.5$  和  $5 \text{ mm}$  时，干燥到干基含水率为  $0.18 \text{ kg/kg}$  所需要的时间分别为  $6$  和  $6.5 \text{ min}$ 。因此，随着平铺料层厚度的增加，干燥速度下降。由图 6 可知，减小料层厚度可使得最大干燥强度增加，在本试验条件下，料厚为  $2.5$  和  $5 \text{ mm}$  时的最高干燥强度分别为  $1.440$  和  $1.348 \text{ kg}/(\text{kg} \cdot \text{min})$ 。料层厚度越薄，恒速段越短， $2.5 \text{ mm}$  料厚时的恒速阶段在  $1 \sim 2.5 \text{ min}$  范围内； $5 \text{ mm}$  料厚时的恒速阶段在  $1.5 \sim 4 \text{ min}$  之间。

本试验是在微波炉内进行的，属于批量式生产模式，减少料层厚度可以提高黑加仑果浆泡沫的干燥速度，但是降低了生产效率。为了保证黑加仑果浆泡沫的干燥速度和生产效率，同时兼顾黑加仑果粉的品质，在工业化生产时，宜采用连续带式微波设备干燥黑加仑果浆泡沫。

根据图 5 和图 6 的结果，在连续带式微波干燥时，选用的合理参数为：选用的微波功率与黑加仑果浆泡沫输入量的比率为  $14.0$ （初始微波强度为  $14.0 \text{ W/g}$ ）；物料厚度为  $5 \text{ mm}$ ；控制输送带的运行速度，保证物料经过微波干燥室的时间为  $6.5 \text{ min}$ 。这样可保证连续带式微波干燥设备生产率和黑加仑干燥产品质量。

### 2.4 黑加仑果浆泡沫热风干燥过程

起泡黑加仑果浆的热风干燥曲线如图 7 所示，可以看出，在本试验条件下，将料厚为  $5 \text{ mm}$  的黑加仑果浆泡沫干燥至干基含水率  $0.18 \text{ kg/kg}$  需要  $150 \text{ min}$ ，平均干燥强度为  $0.039 \text{ kg}/(\text{kg} \cdot \text{min})$ ，干燥强度明显低于微波干燥方法的值，这是由于黑加仑果浆泡沫在热风干燥过程中，热风不能激发泡产生，还会吹破表层的部分气泡；气泡内的空气不利于外部热量向内传递；样品内部的水分以毛细管液流和蒸汽混合形式向表层扩散<sup>[5]</sup>，不及微波体加热方式引起的样品内部水分扩散速度快，这些原因造成热风干燥黑加仑果浆泡沫的速率相对较慢。另外，在热风干燥过程中。黑加仑果浆泡沫样品暴露在空气中的时间较长，热风干燥后的果浆褐变现象明显，产品为暗红色，薄层边缘有轻微的收缩现象，多孔结构保持较好，但风味香气较淡。



注：料层厚度  $5 \text{ mm}$

图 7 热风干燥起泡黑加仑果浆的干燥曲线  
Fig.7 Drying curve of foamed blackcurrant pulp dried with hot air

### 2.5 色泽评价

用植物粉碎机把片状黑加仑脱水制品碾磨成粉状，得到粒度为  $30 \sim 45$  目的果粉。用色差计测定微波和热风两种干燥方式干燥后黑加仑果粉的色泽，结果如表 1 所示。

表 1 鲜黑加仑果浆和果粉的颜色值

Table 1 Values of  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$  of foamed fresh blackcurrant pulp and blackcurrant powder

干燥方法	$L^*$	$a^*$	$b^*$
起泡鲜果浆	20.83	7.09	3.15
微波泡沫干燥	18.34	5.51	2.90
热风泡沫干燥	15.35	3.56	2.25

分析表 1 中数据可知，两种干燥方式干燥后的黑加仑果粉颜色与鲜果浆都有极显著差异（ $p < 0.01$ ），表观色泽品质都有不同程度的下降。我们所期望得到的是较高的  $L^*$  值和  $a^*$  值，而两种方式都使果粉的  $L^*$  和  $a^*$  变小了，可见干燥过程对物料的颜色有显著影响。这可能由于在微波干燥过程中，物料剧烈受热，果浆的温度升高引起

部分褐变;而热风干燥样品时,果浆长时间暴露在空气中也发生褐变反应,样品颜色变暗,这样就使 $L^*$ 和 $a^*$ 值明显下降<sup>[18]</sup>。比较经2种干燥方式脱水后的果粉颜色,微波泡沫干燥的变化更小些,这表明微波泡沫干燥得到的黑加仑果粉色泽品质要好于热风干燥得到的产品。

### 3 结 论

1) 单甘酯(GMS)和大豆分离蛋白(SPI)是适用于黑加仑微波辅助泡沫干燥的起泡剂,合理用量分别为6.0%和3.0%,再以0.5%的羧甲基纤维素作为稳定剂,搅拌时间为6 min,可获得起泡率高,泡沫稳定性强的黑加仑果浆。

2) 当初始微波强度 $\leq 14.0$  W/g时(按初始样品的质量计),经起泡预处理的黑加仑果浆的微波干燥过程可大致分为预热、恒速和降速干燥3个阶段。当初始微波强度高于14.0 W/g时,起泡黑加仑果浆的恒速干燥阶段基本不存在。

3) 初始微波强度和料层厚度是影响黑加仑果浆微波辅助泡沫干燥强度的两个主要因素。为了获得高品质的黑加仑果浆脱水产品,在连续带式微波干燥设备中,推荐的初始微波强度在14.0 W/g,料层厚度为5 mm。

因此,微波辅助泡沫干燥方法可高效优质地加工出黑加仑果浆脱水制品。在规模化生产中,宜用微波带式干燥机连续干燥黑加仑果浆,本文的研究结论为确定其合理的工艺流程和参数提供了技术依据。

4) 在微波干燥条件下,起泡黑加仑果浆的干燥强度和干品颜色值高于热风干燥,而片状干品的多孔性低于热风干燥的,但片状的黑加仑干品需粉碎成粉末供进一步应用。

### [参 考 文 献]

- [1] 白超,祖洪元,黄玉敏.中国黑加仑浆果资源开发[J].酿酒,2008,35(2):10—12.  
Bai Chao, Zu Hongyuan, Huang Yumin. Development of Chinese blackcurrant berries resource[J]. Liquor Making, 2008, 35(2): 10—12. (in Chinese with English abstract)
- [2] Zhao Yangyun. Berry Fruit: Value-added Products for Health Promotion[M]. New York: CRC Press, 2007: 51—72.
- [3] 刘洪章,文连奎,郝瑞,等.黑穗醋栗果实营养成分研究[J].吉林农业大学学报,1998,20(3):1—4.  
Liu Hongzhang, Wen Liankui, Hao Rui, et al. Study on the nutrient constituents in blackcurrant berries[J]. Journal of Jilin Agricultural University, 1998, 20(3): 1—4. (in Chinese with English abstract)
- [4] Rajkumar P, Kailappan R, Vishwanathan R, et al. Drying characteristics of foamed alphonso mango pulp in a continuous type foam mat dryer[J]. Journal of Food Engineering, 2007, 79(4): 1452—1459.
- [5] Thuwapanichayanan R, Prachayawarakorn S, Soponronnarit S. Drying characteristics and quality of banana foam mat[J]. Journal of Food Engineering, 2008, 86(4): 573—583.
- [6] Virachnee L. Effects of Drying on Anthocyanins in Blueberries [D]. Sydney, Australia: New South Wales University, 2007.
- [7] Ratti C, Kudra T. Drying of foamed biological materials: opportunities and challenges[J]. Drying Technology, 2006, 24(9): 1101—1108.
- [8] 邓宇,郑先哲.蕨菜微波真空干燥特性和品质试验研究[J].农业工程学报,2008,24(5):253—257.  
Deng Yu, Zheng Xianzhe. Experiment and research on the techniques for microwave vacuum drying of *Pteridium aquilinum*[J]. Transactions of the CSAE, 2008, 24(5): 253—257. (in Chinese with English abstract)
- [9] 熊永森,王俊,王金双.微波干燥胡萝卜片工艺试验研究[J].农业工程学报,2008,24(6):291—294.  
Xiong Yongsan, Wang Jun, Wang Jinshuang. Experimental study on the technology for microwave drying of carrot slice[J]. Transactions of the CSAE, 2008, 24(6): 291—294. (in Chinese with English abstract)
- [10] Victoria E, Eugenia C. Essential Guide to Food Additives[M]. UK: Royal Society of Chemistry, 2008: 11—12.
- [11] Sankat C K, Castaigne F. Foaming and drying behaviour of ripe bananas [J]. LWT-Food Science and Technology, 2004, 37(5): 517—525.
- [12] Falade K O, Adeyanju K I, Uzo-Peters P I. Foam-mat drying of cowpea (*Vigna unguiculata*) using glyceryl monostearate and egg albumin as foaming agents[J]. Europe Food Research Technology, 2003, 217(6): 486—491.
- [13] Rajkumar P, Kailappan R, Vishwanathan R, et al. Thin layer drying study on foamed mango pulp[J]. Agricultural Engineering International: The CIGR Ejournal Manuscript, 2007, 9: 1—14.
- [14] Yurtesever S. Mathematical modeling and evaluation of microwave drying kinetics of mint (*Mentha spicata* L.)[J]. Journal of applied science, 2005, 5(7): 1266—1274.
- [15] Orsat V, Yang W, Changrue V, et al. Microwave assisted drying of biomaterials[J]. Food and Bioproducts Processing, 2007, 85(3): 255—263.
- [16] Mujumdar A S. Handbook of industrial drying (3rd)[M]. USA: CRC Press Publisher, 2007: 605—634.
- [17] Muthukumar A, Ratti C, Raghavan V G S. Foam-mat freeze drying of egg white—mathematical modeling part II: freeze drying and modeling[J]. Drying Technology, 2008, 26(4): 513—518.
- [18] 杨薇,欧又成,张付杰,等.蘑菇热风、微波对流和微波真空干燥的对比试验[J].农业机械学报,2008,39(6): 102—104, 112.  
Yang Wei, Ou Youcheng, Zhang Fujie, et al. Comparative experiment on hot-air, microwave-convective and microwave-vacuum drying of mushroom[J]. Transactions of CSAM, 2008, 39(6): 102—104, 112. (in Chinese with English abstract)

## Drying characteristics of blackcurrant pulp by microwave-assisted foam mat drying

Zheng Xianzhe, Liu Chenghai, Zhou He

(College of Engineering, Northeast Agricultural University, Harbin 150030, China)

**Abstract:** In order to study the feasibility of microwave-assisted foam mat drying method for the dehydration blackcurrant pulp, a reasonable foaming additive formula was determined and the microwave-assisted foam mat drying characteristics of blackcurrant pulp were analyzed. The concentration of glyceryl monostearate (GMS) and soy protein isolated (SPI) with food grade, selected as the foaming additive, had obvious effects on the foaming properties of blackcurrant pulp. A reasonable foaming additive formula for the blackcurrant pulp with optimum expansion and high stability was developed that the 6% GMS and 3% g SPI as foam inducers and the 10 mL carboxylic methyl cellulose (CMC) with concentration of 0.5% as foam stabilizer, accompanying with the stirring time of 6 min. The experimental results of microwave assisted foam mat drying method showed that the drying intensity of foamed blackcurrant pulp increase with the increase of initial microwave intensity and the decrease of thickness of material layer. Contrasting the microwave with conventional hot air as the heat source for the foam mat drying of blackcurrant pulp, the qualities of dried blackcurrant product in terms of drying rate, color and appearance dried by microwave method are superior to that dried by the hot air. The parameters including the initial microwave intensity of 14.0 W/g and thickness of material layer of 5 mm are recommended for the continuous microwave belt dryer to dry the foamed blackcurrant pulp. Therefore, microwave assisted foam mat drying is suitable for the dehydration processing of blackcurrant pulp.

**Key words:** drying, stabilizers, microwave devices, blackcurrant pulp, foaming properties, color evaluation