

## 新疆无核白葡萄干精加工干燥工艺

刘清<sup>1</sup>, 胡小松<sup>2</sup>, 谢奇珍<sup>1</sup>, 陈计峦<sup>3</sup>, 黄持都<sup>2</sup>, 张静<sup>4</sup>, 吴继红<sup>2\*</sup>

(1. 农业部规划设计研究院农副产品加工所, 北京 100125; 2. 中国农业大学教育部果蔬加工工程研究中心, 北京 100083;  
3. 石河子大学食品学院, 石河子 832003; 4. 新疆哈密农十三师火箭农场, 哈密 839129)

**摘要:** 为了使新疆无核白葡萄干经精加工而增值, 进一步优化其清洗后的干燥工艺以保证葡萄干绿色感官品质。利用薄层干燥试验台模拟流化床干燥和网带干燥, 在保证干燥后葡萄干品质的前提下, 确定清洗后除去无核白葡萄干表面水分的干燥条件。结果表明: 流化床干燥的较佳条件为: 风温 30~40℃, 风速 3.5~4.5 m/s, 料层厚度 4 层 (约 22 mm), 干燥时间为 4 min; 网带干燥的较佳条件为: 风温 (40±2)℃, 风速 1.5 m/s, 料层厚度 2.5 层 (约 15 mm), 干燥时间约为 9 min。

**关键词:** 干燥, 流化床工艺, 带传动, 食品加工, 工艺, 葡萄干

**中图分类号:** TS255.42

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1002-6819(2008)-12-0221-05

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 Chinese with English abstract)

## 0 引言

无核白葡萄干是新疆著名特产之一, 是新疆葡萄产业的重要组成部分。它在专用“晾房”中风干, 以碧绿诱人的色泽和独特的风味驰名中外。随着人们回归自然、追求健康和绿色消费潮流的兴起, 国内外市场对无核白葡萄干需求的扩大, 对无核白葡萄干的生产和加工工艺的深入研究也越来越受到重视。调查数据显示, 对葡萄干进行精加工后有巨大的利润增值空间<sup>[1-3]</sup>。因此建立和完善葡萄干精加工工艺, 对改变中国葡萄干以原料或半成品出口的状况, 提高商品利润, 增加外汇收入, 具有重要的意义。国外葡萄干生产常用 SO<sub>2</sub> 进行处理, 不适合无核白葡萄干的精加工<sup>[4-6]</sup>。中国虽然早有关于葡萄干精加工工艺和设备的研究报道<sup>[7-10]</sup>, 但其中仍存在一些问题和不足之处, 缺乏对清洗、干燥等重要生产环节中工艺参数的系统研究, 也极少关注葡萄干在精加工过程中的感官品质。葡萄干精加工中若干燥温度过高, 葡萄干容易发软并褐变; 降低温度, 干燥时间过长, 清洗后残留在葡萄干表面的水分容易渗入表皮, 产品在货架期容易出现变质, 非酶褐变现象也非常严重, 目前已成为葡萄干制精加工的制约因素。因此, 确定适合葡萄干清洗后的干燥条件, 是目前葡萄干精加工中亟需解决的

问题。薄层干燥试验台是研究农产品干燥特性的常用装置<sup>[11-15]</sup>, 因此本文利用薄层干燥试验台, 分别模拟目前广泛用于实际生产中的流化床干燥机和网带干燥机的干燥状态, 通过考察干燥中所用风温、风速和料层厚度 3 个参数, 完成对葡萄干干燥条件的优化, 为葡萄干制精加工生产线中干燥设备选型及干燥工艺的确定提供一定参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料与仪器

无核白葡萄干样品: 新疆哈密农十三师火箭农场提供, 产品含水率 11%~12%, 符合无核葡萄干行业标准和干果食品国家标准对含水率的要求;

JY2002 型电子天平 (上海精密科学仪器有限公司); AVM-01 型风速仪 (泰仪电子股份有限公司); 便携式温湿度露点测量仪 (国家农业信息化工程技术研究中心);

薄层干燥试验台: 北京西达农业工程科技发展中心研制, 试验可使用的干燥面积为 0.038 m<sup>2</sup>, 气流自下而上均匀穿过物料, 可控硅控制电炉加热和风机调速控制的范围是风温从室温至 150℃, 风速 0.5~10 m/s, 采用热电偶传感器测风温。

### 1.2 试验方法

#### 1.2.1 葡萄干清洗后干燥试验

将用于试验的原料葡萄干进行称重, 按固定方法 (使清洗后表面带水量基本一致) 清洗 1 min 后倒入编织网状干燥盘中, 对清洗后含有一定表面水分的物料进行称重, 将干燥盘放入薄层干燥试验台进行干燥, 每隔 1 min 称重一次至葡萄干质量与清洗前相比, 差值在 0.5% 以内, 认为干燥完成, 结束试验。

#### 1.2.2 干燥曲线

试验通过测定干燥过程中物料质量, 计算表面含水率变化, 以干燥时间为横坐标、表面含水率为纵坐标绘

收稿日期: 2008-01-11 修订日期: 2008-07-25

基金项目: “十一五”科技部支撑计划 (2006BAD05A04); 兵团科技支撑计划: GG48; 石河子大学农产品加工与贮藏重点实验室开放课题资助 (spxy200701)

作者简介: 刘清 (1979—), 女, 湖南长沙人, 工程师, 博士, 主要从事粮油深加工研究。北京 农业部规划设计研究院农副产品研究所, 100125。Email: jgslq@yahoo.com.cn

\*通讯作者: 吴继红 (1964—), 女, 副教授, 主要从事现代果蔬加工技术研究及产品开发。北京 中国农业大学教育部果蔬加工工程研究中心, 100083。Email: wjhcau@yahoo.com.cn

制干燥曲线。表面含水率的计算公式如下：

$$M_i = (m_i - m_s) / m_s \times 100\%$$

式中  $M_i$ ——表面含水率，%； $m_i$ ——不同干燥时间下的原料质量，g； $m_s$ ——清洗前原料重量，g。

### 1.2.3 干燥强度曲线

干燥强度是用来衡量干燥设备去除被干燥物料中水分能力的技术指标，从而反映干燥设备的干燥性能。通过计算干燥强度，绘制不同干燥条件下的干燥强度曲线。计算在相同干燥时间内的干燥强度，公式如下：

$$P = (m_m - m_e) / ST$$

式中  $P$ ——干燥强度， $\text{g}/(\text{m}^2 \cdot \text{min})$ ； $m_m$ ——清洗后原料质量，g； $m_e$ ——完成干燥时原料质量，g； $S$ ——干燥机工作面积， $\text{m}^2$ ； $T$ ——干燥所用时间，min。

### 1.3 试验环境条件

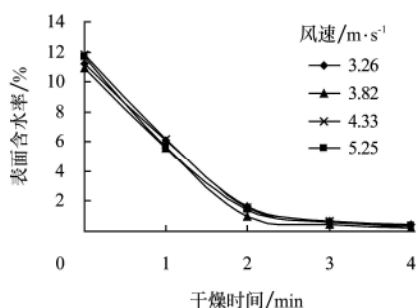
进行试验时的环境条件为：室温为  $17 \sim 18^\circ\text{C}$ ，相对湿度为  $62.5\% \sim 64.9\%$ 。

## 2 结果与分析

### 2.1 模拟流化床干燥设备

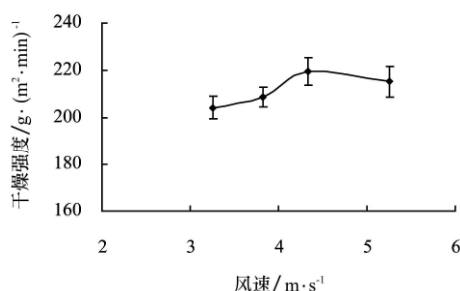
#### 2.1.1 风速对干燥的影响

采用流化床干燥机时，物料应呈悬浮的流化状态，因此首先对风速进行试验，得到干燥盘中装有葡萄干时能接近流化状态的风速，然后在料层厚度为 2 层（约  $10 \sim 12 \text{ mm}$ ）、风温为  $40^\circ\text{C}$  时，考察一定范围内风速对葡萄干干燥的影响。根据结果绘制的干燥曲线和干燥强度曲线分别见图 1 和图 2。



注：料层厚度为 2 层（约  $10 \sim 12 \text{ mm}$ ），风温  $40^\circ\text{C}$

图 1 模拟流化床干燥中不同风速下的干燥曲线  
Fig.1 Drying curves at different air speeds of simulating fluidized bed drying



注：料层厚度为 2 层（约  $10 \sim 12 \text{ mm}$ ），风温  $40^\circ\text{C}$

图 2 模拟流化床干燥中风速与干燥强度的关系  
Fig.2 Relationship between air speed and drying intensity of simulating fluidized bed drying

由图 1 可知，试验中每批葡萄干清洗后的表面带水量虽然有所差别，但相差不大，一般在  $12\%$  左右，进行生产时，可以通过规范操作使每批清洗后的葡萄干表面带水量基本一致；在试验采用风速范围内所得干燥曲线趋势相同，均由等速和降速干燥阶段组成。按照干燥理论，除去物体的表面水分，干燥速度受表面气化条件控制，不应有明显降速干燥阶段，但试验结果显示模拟流化床和网带干燥葡萄干的过程中都存在降速干燥阶段。对此现象进行分析，发现降速干燥阶段的出现主要有两方面原因：一是与葡萄干表面的众多皱褶有关，用水清洗后，有部分水残存在这些皱褶中，较难气化；二是在清洗后，虽然大部分水附着在葡萄干表面，但是不可避免有极少量水会通过表皮渗入到葡萄干内部。在干燥后期，主要是除去残存在表面皱褶中的水分和渗入表皮的水分，因此产生了降速干燥阶段。

在相同干燥时间下，表面含水率十分接近，说明葡萄干基本处于流化状态时，风速对干燥去除葡萄干清洗后的表面水影响不大，达到试验要求时所用干燥时间几乎一致。由图 2 可知，风速从  $3.26 \text{ m/s}$  提高至  $5.25 \text{ m/s}$ ，干燥强度有一定的变化。试验数据显示风速为  $4.33 \text{ m/s}$  时，干燥强度达到最高值  $219.56 \text{ g}/(\text{m}^2 \cdot \text{min})$ ，说明此时风速所形成的物料状态最佳。若继续增大风速，干燥强度反而下降，这是因为采用薄层实验干燥台模拟流化床干燥时，物料处于悬浮状态，风速过高，会引起物料状态不稳定，在干燥盘局部出现物料被吹开，干燥气流不经过物料直接通过薄层实验台的“短路”现象，造成气流对物料的干燥效率降低，从而使干燥强度下降。因此对于一定厚度的葡萄干料层来说，过高的风速反而不利于干燥。综合考虑干燥的效率及能耗，建议在对葡萄干进行流化床干燥时采用  $3.5 \sim 4.5 \text{ m/s}$  的风速。

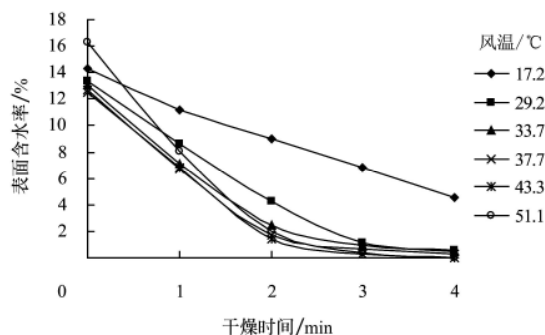
#### 2.1.2 风温对干燥的影响

干燥过程中，风温是非常重要的技术参数，尤其是对绿葡萄干这类对温度十分敏感的原料。温度过低，干燥时间长，不仅影响生产效率，而且水分更易渗入表皮，引起产品含水率升高；温度过高，容易使葡萄干软化，且高温会导致葡萄干内部成分的变化，造成褐变，影响产品绿色感官品质。本试验在风速为  $4.33 \text{ m/s}$ ，料层厚度为 2（约  $10 \sim 12 \text{ mm}$ ）的条件下，对不同风温下的干燥情况进行试验。试验结果见图 3 和图 4。

从图 3 干燥曲线可以看出，当风温从  $17.2^\circ\text{C}$  提高到  $33.7^\circ\text{C}$ ，等速干燥阶段明显缩短，从超过  $4 \text{ min}$  缩短到约  $2 \text{ min}$ ；而当风温从  $33.7^\circ\text{C}$  升高到  $51.1^\circ\text{C}$ ，等速干燥阶段的时间变化不大。由图 4 可知，干燥强度随着风温的升高而增加，在试验温度范围内，干燥强度从  $86 \text{ g}/(\text{m}^2 \cdot \text{min})$  升高到  $293 \text{ g}/(\text{m}^2 \cdot \text{min})$ 。

试验结果还显示，当温度升高时，干燥过程中葡萄干的状态有明显变化，温度越高，葡萄干越容易发软，采用  $50^\circ\text{C}$  干燥  $4 \text{ min}$  左右时，葡萄干已经明显发软，因此建议在保证一定干燥强度的条件下，尽可能采用较低的风温。通过对干燥时间、干燥强度和能耗的综合考虑， $30 \sim 40^\circ\text{C}$  的温度比较适合葡萄干的烘干。如果环境温度

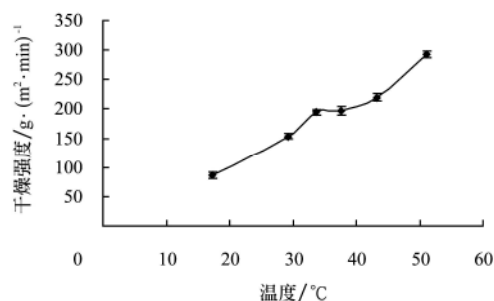
达到 30℃ 以上, 可以直接在室温下采用一定风力进行干燥。



注: 风速为 4.33 m/s, 料层厚度为 2 层 (约 10~12 mm)

图 3 模拟流化床干燥中不同风温下的干燥曲线

Fig.3 Drying curves at different air temperatures of simulating fluidized bed drying



注: 风速为 4.33 m/s, 料层厚度为 2 层 (约 10~12 mm)

图 4 模拟流化床干燥中风温与干燥强度的关系

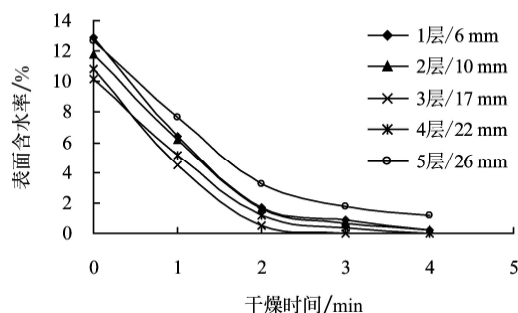
Fig.4 Relationship between air temperature and drying intensity of simulating fluidized bed drying

### 2.1.3 料层厚度对干燥的影响

使用流化床干燥机进行生产时, 还需要考虑物料层的厚度。使过厚的料层达到流化效果需要增加风速, 延长干燥时间, 会造成能耗的增加和干燥效率的降低; 而料层太薄不仅会严重制约生产量, 还会造成资源浪费。因此在干燥中要考虑物料层的厚度, 在保证干燥效果的前提下尽可能提高生产效率, 使气流和物料之间进行充分有效的热交换。为了方便试验操作, 先确定铺满干燥盘一层时葡萄干原料的质量及相应厚度, 根据葡萄干质量测算物料层数。试验确定风速为 4.33 m/s, 干燥所用风温为 40℃, 采用不同厚度的葡萄干料层进行试验, 结果见图 5 及图 6。

由结果可知, 随着料层厚度从 1 层增加至 4 层, 干燥强度呈现先增加后下降的趋势, 但干燥曲线结果显示, 在 4 层厚度以内, 达到试验要求时所用干燥时间相差不大。料层厚度增加到 5 层时, 去除表面水分所用干燥时间延长, 干燥强度也有所下降, 说明物料层太厚不利于干燥。料层厚度为 3 时, 烘干 3 min 就能得到较好的干燥效果, 而且在此厚度下干燥强度最大, 可达 407 g/(m²·min), 说明原料葡萄干的厚度为 3 层时, 颗粒间的紧密程度最好, 能使通过的气流在自下而上通过葡萄干层时, 最大程度带走水分, 达到最佳降水效果。葡萄干

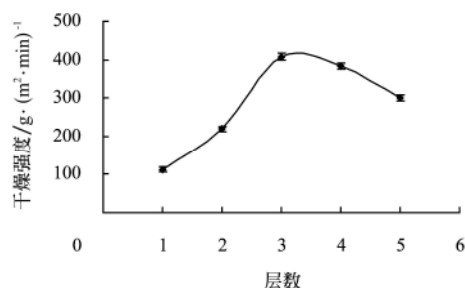
为 4 层时干燥时间无明显延长, 干燥强度也无明显下降, 一定程度上也提高了生产效率, 在生产中也具可行性。



注: 风速为 4.33 m/s, 风温 40℃

图 5 模拟流化床干燥中不同料层厚度下的干燥曲线

Fig.5 Drying curves at different material thickness of simulating fluidized bed drying



注: 风速为 4.33 m/s, 风温 40℃

图 6 模拟流化床干燥中料层厚度与干燥强度的关系

Fig.6 Relationship between material thickness and drying intensity of simulating fluidized bed drying

通过上述试验, 确定用流化床设备进行葡萄干干燥生产时, 采用的技术参数为: 风速 3.5~4.5 m/s, 风温 30~40℃, 料层厚度 4 层 (约 22 mm), 此时干燥时间约为 4 min。干燥后的葡萄干不仅充分去除清洗后葡萄干表面所带水分, 而且与原料相比, 在颜色、手感和味道上都没有变化, 保证了葡萄干的品质。

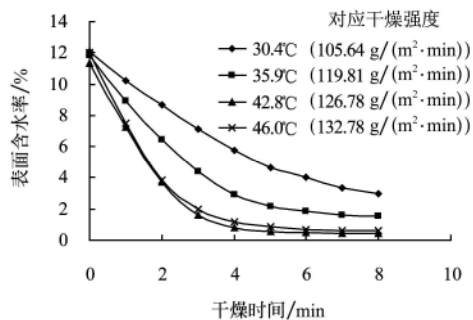
## 2.2 模拟网带干燥设备

### 2.2.1 风温对干燥的影响

从流化床试验可知, 葡萄干烘干的合适温度在 30~40℃, 因此在模拟网带干燥机的试验中, 确定风速为 1.4 m/s, 料层厚度为 2 层 (约 12 mm) 的情况下, 对 30~45℃ 风温下的干燥情况进行试验。干燥曲线及相同时间内 (8 min) 的干燥强度见图 7。

由图 7 可知, 当干燥温度从 30.4℃ 升高到 42.8℃, 等速干燥阶段时间明显缩短, 从 8 min 缩短到 4 min 以内, 在 8 min 内的干燥强度提高了 26%; 而 42.8℃ 和 46.0℃ 的干燥曲线十分接近, 8 min 内的干燥强度分别为 126.78 g/(m²·min) 和 132.78 g/(m²·min), 差别不大, 达到干燥要求所需时间均为 8~9 min。采用较低的温度将延长干燥时间, 不仅降低生产效率, 而且长时间湿润状态对葡萄干的品质也不利; 选用更高的温度, 葡萄干会发软发黏, 容易褐变, 不利于干燥后的保存。因此为了保证生产效率及干燥后葡萄干的品质, 建议在使用网带干燥机

时采用 40℃左右的温度。



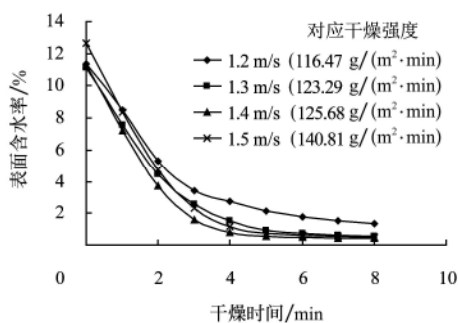
注: 风速为 1.4 m/s, 料层厚度为 2 层 (约 12 mm)

图 7 模拟网带干燥中不同风温下的干燥情况

Fig.7 Drying curves at different air temperatures of simulating belt drying

### 2.2.2 风速对干燥的影响

网带干燥机通常使用的风速为 1~1.5 m/s, 在确定风温为 $(40 \pm 2)^\circ\text{C}$ , 料层厚度为 2 层 (约 12 mm) 的情况下, 采用不同风速进行试验, 结果见图 8。



注: 风温  $(40 \pm 2)^\circ\text{C}$ , 料层厚度为 2 层 (约 12 mm)

图 8 模拟网带干燥中不同风速下的干燥情况

Fig.8 Drying curves at different air speeds of simulating belt drying

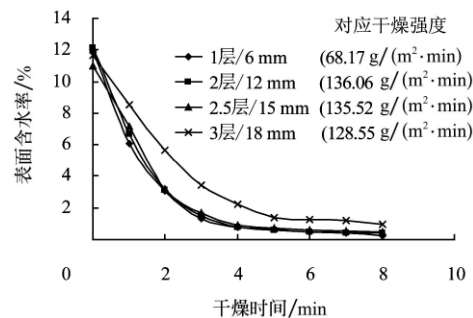
通过图 8 可以看出, 随着风速从 1.2 m/s 上升到 1.5 m/s, 等速干燥阶段的干燥速率有所提高, 8 min 内的干燥强度从  $116.47 \text{ g}/(\text{m}^2 \cdot \text{min})$  上升到  $140.81 \text{ g}/(\text{m}^2 \cdot \text{min})$ , 增加了约 21%, 达到干燥要求所需时间从 12 min 缩短至 8 min。因此对网带干燥机而言, 提高风速可以提高干燥效率。如果用网带干燥机进行葡萄干的烘干, 建议采用 1.4~1.5 m/s 的风速。

### 2.2.3 料层厚度对干燥的影响

从上述试验可以看出, 相同料层厚度下网带干燥的时间约为流化床干燥的两倍, 为了控制干燥时间, 在风速为 1.5 m/s, 风温为  $(40 \pm 2)^\circ\text{C}$  的情况下, 对几个料层厚度下的干燥情况进行比较, 结果见图 9。

由图 9 可知, 料层厚度从 1 层增加到 2 层, 相同时间内的干燥强度增加了一倍多, 而料层厚度继续增加至 3 层时, 8 min 内的干燥强度下降幅度虽然不大, 但干燥时间明显延长。物料厚度从 2 层增加到 2.5 层时, 达到干燥要求所需时间从 8 min 延长至 10 min, 如果继续增加物料厚度会导致干燥时间过长, 不利于葡萄干品质。采用网

带干燥机进行葡萄干烘干时, 建议料层厚度为 2.5 层 (约 15 mm), 此时烘干的时间虽然稍有延长, 但能在一定程度上提高生产效率。



注: 风速为 1.5 m/s, 风温  $(40 \pm 2)^\circ\text{C}$

图 9 模拟网带干燥中不同料层厚度下的干燥情况

Fig.9 Drying curves at different material thickness of simulating belt drying

通过上述试验, 得到对葡萄干进行干燥时, 网带干燥机的合适条件为: 风温为  $40^\circ\text{C}$  左右, 风速为 1.5 m/s, 料层厚度为 2.5 层 (约 15 mm), 此时的干燥时间约为 9~10 min。经过干燥后的葡萄干在颜色和味道上与原料相比都没有变化, 只是手感有一些发软, 放置几分钟后便可恢复, 对绿色葡萄干的品质没有太大影响。

## 3 结 论

针对葡萄干原料的特殊性, 利用薄层干燥试验台分别模拟流化床干燥机和网带干燥机的干燥状态, 通过试验分别探索两种条件下葡萄干燥的合适条件。结果表明, 流化床干燥机的干燥条件为: 风温  $30 \sim 40^\circ\text{C}$ , 风速 3.5~4.5 m/s, 料层厚度 4 层, 此时干燥时间约为 4 min; 网带干燥机的干燥条件为: 风温  $(40 \pm 2)^\circ\text{C}$ , 风速 1.5 m/s, 料层厚度 2.5 层, 此时干燥时间约为 9 min。用两种试验方法干燥所得的葡萄干与清洗干燥前的原料相比, 在颜色、手感和味道等感官品质上均无变化, 能够充分保证无核白葡萄干的品质。

### [参 考 文 献]

- [1] 张江泓, 杨绪金. 吐鲁番地区葡萄干加工的现状与对策[J]. 农业经济问题, 1995, (8): 57—58.
- [2] 晁无疾, 管仲新, 路 苹, 等. 我国葡萄干质量分析[J]. 中外葡萄与葡萄酒, 2005, (6): 49—52.
- [3] 卢凤君, 刘 莉, 杨兆敏, 等. 吐鲁番葡萄干产业品牌价值提升问题与对策[J]. 新疆农垦经济, 2007, (2): 45—47.
- [4] Kostaropoulos A E, Mandala J, Spiess W E L, et al. Factors influencing the friction of raisins during processing and handling[J]. Journal of Food Engineering, 1997, 33(3-4): 385—393.
- [5] Lydakis D, Fysarakis I, Papadimitriou M, et al. Optimization study of sulfur dioxide application in processing of sultana raisins[J]. International Journal of Food Properties, 2003, 6(3): 393—403.
- [6] Clary C D, Schmidtgall-McMillan D, Petrucci V E. A method for reducing the amount of sulfur used to produce golden

- raisins[J]. *Applied Engineering in Agriculture*, 2005, 21(3): 473—477.
- [7] 杨 军. 6PGX-700 葡萄干精加工工艺设计及成套设备[J]. *农牧与食品机械*, 1992, (5): 24—27.
- [8] 杨 军, 齐太柱. 6PQZ-70 葡萄干真空去杂机的研究[J]. *农机与食品机械*, 1996, (5): 16—17.
- [9] 伊明 买买提, 沈卫强, 李忠新. 6GX-800 型滚筒式干果清洗机[J]. *新疆农机化*, 2006, (1): 38.
- [10] 梁 唯, 郭 峰, 郭红梅. 吐鲁番无核绿色葡萄干生物溶剂精加工工艺[J]. *农产品加工·学刊*, 2007, (3): 95—96.
- [11] 袁月明, 陈丽梅, 王鸿斌, 等. 玉米丸粒化种子的薄层干燥试验及其干燥模型[J]. *农业工程学报*, 2003, 19(3): 169—173.
- [12] 郑先哲, 蒋亦元. 苜蓿干燥特性试验研究[J]. *农业工程学报*, 2005, 21(1): 159—162.
- [13] 朱德泉, 朱 林, 夏 萍, 等. 小麦薄层变温干燥工艺试验研究[J]. *粮油食品科技*, 2008, 16(2): 1—4.
- [14] 段振华, 冯爱国, 向 东, 等. 罗非鱼片的热风干燥模型及能耗研究[J]. *食品科学*, 2007, 28(7): 201—205.
- [15] 胡万里, 李长友, 徐凤英. 稻谷薄层快速干燥工艺的试验[J]. *农业机械学报*, 2007, 38(4): 103—106.

## Technology for drying Thompson Seedless raisins after cleaning process

Liu Qing<sup>1</sup>, Hu Xiaosong<sup>2</sup>, Xie Qizhen<sup>1</sup>, Chen Jiluan<sup>3</sup>, Huang Chidu<sup>2</sup>, Zhang Jing<sup>4</sup>, Wu Jihong<sup>2\*</sup>

(1. *Institute of Agricultural Product and Byproducts Processing, Chinese Academy of Agricultural Engineering, Beijing 100125, China*; 2. *Engineering Research Center of Fruit and Vegetable Processing, Ministry of Education, China Agricultural University, Beijing 100083, China*; 3. *Food College, Shi Hezi University, Shihezi 832003, China*; 4. *Rockets Farm of Agriculture Thirteen Division at Xinjiang Hami, Hami 839129, China*)

**Abstract:** The value of Thompson Seedless raisins would increase greatly after refined process. Drying is the very important process to affect the sensory quality of raisin products. To remove the redundant moisture of Thompson Seedless raisins after cleaning process, thin-layer drying equipment was used to simulate fluidized bed drying and belt drying, respectively. The results showed that the appropriate conditions of fluidized bed drying were as follows: air temperature 30-40℃, air speed 3.5-4.5 m/s, thickness of raisins four layers (about 22 mm), drying time four minutes. The appropriate conditions of belt drying were air temperature (40±2)℃, air speed 1.5 m/s, thickness of raisins 2.5 layers (about 15 mm), drying time nine minutes.

**Key words:** drying, fluidized bed process, belt drives, food processing, technology, raisin