

圣女果分段式变温变湿热风干燥特性

王庆惠^{1,2}, 李忠新², 杨劲松¹, 谢龙¹, 张世湘¹, 高振江^{1*}

(1. 中国农业大学工学院, 北京 100083; 2. 新疆农业科学院农业机械化研究所, 乌鲁木齐 830091)

摘要: 为提高圣女果制干品质、缩短干燥时间, 和降低能耗, 该文采用分段式内循环热风干燥技术, 利用4种干燥工艺, 对圣女果在不同温湿度以及切分方式下的干燥特性进行研究。试验结果表明: 圣女果在干燥过程中存在着预热阶段和降速阶段。采用分段式内循环热风干燥圣女果在干燥室内的温度分别为50、60、65和70℃, 对应的相对湿度分别为70%、50%、30%和10%, 时间分别为0.5、2.5、2h和直至结束时, 沿轴向切分, 干燥后圣女果的感官评分为8.5分, 圣女果达到终了含水率的时间为10h, 此时干燥速率最快, 达到了较理想的试验结果。在同等干燥条件下, 干燥速率快慢依次为轴向切分>斜切>径向切分。该研究为热风干燥技术应用于圣女果的干燥理论提供了技术依据。

关键词: 干燥; 农产品; 热风; 圣女果; 变温变湿; 切分; 分段式内循环热风

doi: 10.3969/j.issn.1002-6819.2014.03.036

中图分类号: TS255

文献标志码: A

文章编号: 1002-6819(2014)-03-271-06

王庆惠, 李忠新, 杨劲松, 等. 圣女果分段式变温变湿热风干燥特性[J]. 农业工程学报, 2014, 30(3): 271—276.
Wang Qinghui, Li Zhongxin, Yang Jinsong, et al. Dried characteristics of cherry tomatoes using temperature and humidity by stages changed hot-air drying method[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2014, 30(3): 271—276. (in Chinese with English abstract)

0 引言

圣女果, 属于茄科, 其果实以色泽鲜艳、果肉多汁、风味甜美、酸甜适口为特色, 深受人们的喜爱。圣女果除了含有番茄的所有营养成分之外, 其维生素含量也比普通番茄高, 被联合国粮农组织列为优先推广的“四大水果”之一^[1]。圣女果不耐储存, 常温常压下一般只能保存5~7d^[2], 且圣女果具有产量高、成熟集中的特点, 如若成熟的果实销售和加工不及时, 将给果农带来巨大的经济损失。因此, 把圣女果脱水干燥做成圣女果干(脯)是其产业发展的一种重要加工方法。

目前, 中国圣女果干燥普遍采用自然晾晒的方法。这种方法优点是成本低、场所简单。但也存在着干燥时间长、受气候条件影响大、卫生条件差、产品质量难以保障等问题。为了缩短干燥时间, 防止干燥时发生霉烂, 一般都会在干燥前采用碱性溶液浸泡或喷淋, 大量食用, 必将危害身体健康^[3]。因此, 为了提高圣女果干制品的品质, 缩短干燥时

间, 运用科学的现代干燥技术势在必行。

Heredia A等^[4]采用微波干燥技术, 将圣女果切分后放入糖、盐和水(质量分数分别为27.5%, 10%和62.5%)组成的混合溶液中, 再加入2%的乳酸钙浸泡3h后, 进行微波干燥, 干燥后的圣女果干制品与传统方法相比不仅缩短了加工时间, 而且干燥品质也较好。Cernisev^[5]在不同温度下对番茄进行干燥, 试验表明, 低温条件下番茄干的感官比高温条件下的好, 但当含水率下降至55%(湿基)之前, 温度对番茄干制样品的感官品质无显著差异。王丽红等^[1]利用脉动式气体射流冲击干燥技术, 将圣女果沿轴向切分后, 在温度为70℃、风速为14 m/s的条件下, 把圣女果湿基含水率降到15%以下仅需要8h。

变温变湿干燥是利用物料自身干燥特性, 在干燥过程中, 分段控制干燥室内的温度和湿度, 以达到加快干燥速度, 提高干燥品质, 降低能耗的目的。该技术在农业加工领域已被广泛应用于杏、枸杞、葡萄等物料的干燥, 取得了十分显著的效果。为此, 本文将内循环热风干燥技术应用于圣女果的干燥, 研究不同温湿度、不同干燥阶段及切分方式对圣女果干燥特性和外观品质的影响, 确定较优的工艺参数, 为其工业化应用提供技术依据。

1 材料与方法

1.1 试验装置及工作原理

本研究中用于内循环热风干燥的试验装置(中

收稿日期: 2013-06-17 修订日期: 2014-01-06

基金项目: 青年教师项目(2013QJ022); 国家自然科学基金项目(31360400)

作者简介: 王庆惠(1980—), 女, 汉族, 山东, 博士生, 研究方向为农业装备工程。乌鲁木齐 新疆农业科学院农业机械化研究所, 830091。

Email: wangqh1201@126.com。

*通信作者: 高振江(1958—), 男, 蒙古族, 内蒙古, 教授, 博士生导师, 主要从事农产品的加工技术与装备研究。北京 中国农业大学工学院, 100083。Email: zjgao@cau.edu.cn。

国农业大学工学院农产品加工技术与装备实验室)如图1所示。其主要由干燥部分(电加热丝、干燥室、排湿风机、内循环风扇(4个,呈长方形对称排列,其中距门内侧与外侧的2组风扇旋向相反,作业时可形成内循环风)、托盘、机架等)和温湿度控制与采集部分组成。工作时,电加热丝对干燥室内进行加热,当温度达到设定初始温度时,放入圣女果,启动整个控制程序,当干燥室内的温度超过预设值时,电加热丝停止加热,而当温度低于预设值时,电加热丝继续加热,如此反复直至干燥结束。湿度控制与温度控制相同,主要通过控制排湿风机强行打开和关闭确保干燥室内的湿度达到设定湿度。

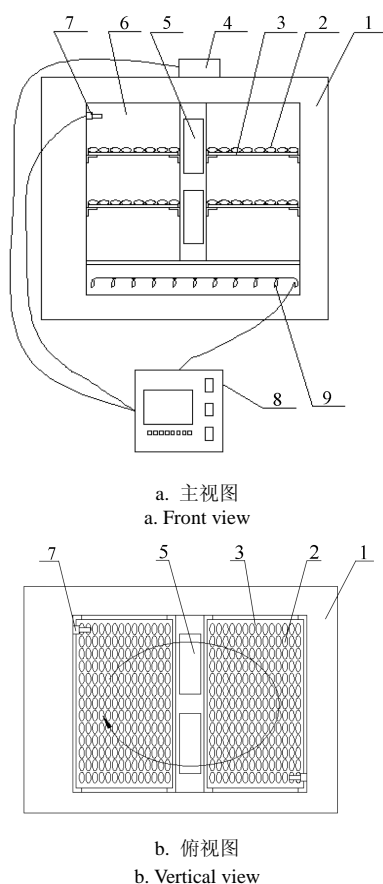


图1 内循环热风干燥试验装置简图

Fig.1 Schematic diagram of internal recycling air-drying equipment

其他仪器设备: YP 型电子称(上海精科天平, 0.1 g), FZQ-400/2D 型真空包装机(北京市天月缘包装机械有限公司), DHG-9140A 型电热恒温鼓风干燥箱(上海一恒科技有限公司)。

1.2 试验材料

试验所用原料是新鲜的圣女果(品种千禧), 购于北京金五星菜市场, 平均长轴直径 35.5 mm,

短轴直径 27.8 mm, 平均质量 17.6 g/个, 平均湿基含水率 $92.27\% \pm 0.4\%$ (105°C , 烘 24 h^[6])。试验前将购买回的圣女果立即放于纸箱中并将其置于 $(5 \pm 1)^{\circ}\text{C}$ 的冰箱内保存。

1.3 试验方法

1.3.1 试验准备

将圣女果从冰箱内取出, 挑选(外形尺寸、成熟度与色泽等基本一致)、去蒂、清洗、擦去表面水分、放入塑料袋中、密封、室温下保持 12~14 h, 开启试验干燥机, 当干燥室内的温度达到预设初始温度时, 将圣女果切分、称质量并迅速放入干燥室内, 开始试验。

此外, 为确保干燥室内的相对湿度始终能达到预设值, 需预先在干燥室内放置一些盛有蒸馏水的培养皿。

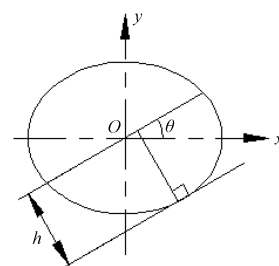
1.3.2 切分方式

试验中圣女果分别按表1所示的方式进行对称切分, 其中 θ 为切分面与水平面的夹角(如图2所示)。测算切分面的面积 s 及其距圣女果边缘的距离 h (每组重复 10 次, 取平均值)后, 将圣女果沿剖面向上, 均匀地单层依次摆放在 $130\text{mm} \times 350\text{mm}$ 的网状托盘上(每盘 320 g 左右, 每组 4 盘), 并且相邻的圣女果之间无重叠。

表1 圣女果切分方式及计算

Table 1 Slicing forms and calculation of cherry tomatoes

	切分方式 (切分角 θ)		
	Slicing forms (slit angle/ $^{\circ}$)		
	轴向切分 Axial slicing (0°)	斜切 Oblique (45°)	径向切分 Radial slicing (90°)
距离 h Distance/mm	13.92	16.40	17.75
面积 s Area/ mm^2	3103.5	2709.0	2432.7



注: θ 为切分面与水平面的夹角, ($^{\circ}$); h 为切分面距圣女果边缘的距离, mm。
Note: θ is the angle of slice plane and horizontal plane, ($^{\circ}$); h is the distance from the slice plane to cherry tomatoes edge, h.

图2 圣女果切分方式简图

Fig.2 Schematic diagram of slicing forms of cherry tomatoes

1.3.3 分段式干燥参数的设定

根据前期探索性试验以及文献[1]试验参数的设定, 结合热风干燥装置自身特点, 将干燥温度分别选取 50、60 和 70°C ; 再根据圣女果初始含水率及干制品最终含水率要求, 将干燥室内的相对湿度

等间距划分为 70%、50%、30% 和 10%，4 个干燥阶段，其具体干燥参数设定如表 2 所示。从表 2 可以看出，工艺 I、II 和 III 是保持干燥室内的温度不变，改变干燥室内的相对湿度。在温度不变的条件下，增加干燥室内的相对湿度，能增加干燥介质中的焓值，使圣女果迅速升温^[7]，所以在干燥初期，选用较大的相对湿度，达到降低能耗的目的，但较大的相对湿度会影响干燥速率，物料温度过高，进而影响干燥品质，为此，此段时间不宜太长，试验中最长时间选用 2 h。随着干燥的进行，逐渐降低干燥室内的相对湿度，由于圣女果与干燥介质间存在湿度梯度，有利于圣女果内部的水分蒸发，加快干燥进程，同时圣女果内部水分逐渐蒸发，也可减少圣女果内干物质损失，减少色泽变化。

1.3.4 试验方法

试验中，按照设定时间，迅速取出称质量（前 3 次按照表 2 设定的时间称质量，从第 4 次开始，每隔 2 h 称质量 1 次），依次记录圣女果的质量变化情况，直至圣女果湿基含水率降到 11% 以下，停止试验。取出冷却后放入保鲜袋中贮存，然后进行下一组试验。每组试验重复 3 次。

表 2 分段式干燥参数的设定

Table 2 Setting parameters of stage-changed drying

工艺 Process	阶段 Stage	温度 T Temperature/°C	相对湿度 H Relative humidity/%	分段时间 t Stage time/h
I	1	50	70	2
	2		50	2
	3		30	2
	4		10	直至结束 End
II	1	60	70	2
	2		50	2
	3		30	2
	4		10	直至结束 End
III	1	70	70	2
	2		50	2
	3		30	2
	4		10	直至结束 End
IV	1	50	70	0.5
	2	60	50	2.5
	3	65	30	2
	4	70	10	直至结束 End

注：“直至结束”指圣女果干燥到湿基含水率降到 11% 以下所用的总时间减去前 3 段干燥时间。

Note: End is the time that cherry tomatoes moisture content on wet basis below 11% minus three stages.

1.4 干燥曲线的数学计算方法

圣女果热风干燥过程中的干燥曲线采用水分比（moisture ratio, MR）随干燥时间的变化曲线。不同干燥时间圣女果的水分比（MR）计算方式如公式（1）所示：

$$MR = \frac{M_t - M_e}{M_0 - M_e} \quad (1)$$

式中： M_0 为圣女果的初始干基含水率，g/g； M_e 为圣女果干燥到平衡时的干基含水率，g/g； M_t 为圣女果在所测干燥 t 时刻的干基含水率，g/g。

干燥速率（drying rate, DR）的计算采用如下公式：

$$DR = \frac{M_{t1} - M_{t2}}{t_2 - t_1} \quad (2)$$

式中：DR 为干燥过程中时间在 t_1 和 t_2 之间的圣女果干燥速率，%/h； M_{t1} 和 M_{t2} 为分别为干燥过程中时间为 t_1 和 t_2 时圣女果的干基含水率，g/g。

干基含水率 M_t （moisture content on dry basis）计算采用下式：

$$M_t = \frac{W_t - G}{G} \times 100\% \quad (3)$$

式中： W_t 为圣女果在任意干燥 t 时刻的总质量，g； G 为圣女果干物质质量，g。

1.5 感官评价

试验结束后将干燥的圣女果干由具有一定干制品品尝经验的 8 人组成评价小组评价，取平均分^[8]。具体评分细则如表 3 所示。

表 3 感官评分标准表

Table 3 Sensory grading standard

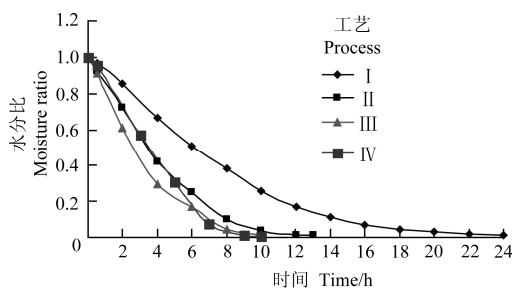
指标 Index	评价标准 Evaluation standard	满分 Full marks
口感 Taste	具有一定弹性及咀嚼度 Elasticity and chewing	2
气味 Smell	具有圣女果特有香味 Special fragrance of cherry tomatoes	2
组织形态 Organization form	无裂缝破损，收缩均匀 Complete, uniform shrinkage	3
色泽 Colour	圣女果干呈红色，有光泽，无褐变 Red, shiny, no browning	3

2 结果与分析

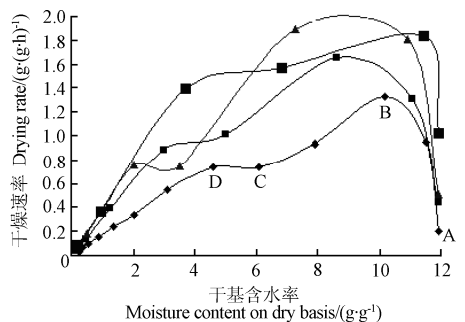
2.1 轴向切分下温度和湿度对圣女果干燥速率的影响

由图 3a 可以看出圣女果的水分比随干燥时间的延长而呈现降低的趋势，图 3b 可以看出圣女果在干燥过程中存在预热阶段和降速阶段，这与前人研究的圣女果干燥均为降速阶段存在着一定的差异^[1, 9-10]。而由曲线 I、II 和 III（分别与其加工工艺相对应）可以看出，其中以曲线 I 为例，干燥初期，圣女果被加热升温，干燥速率加快，随着干燥的进行，由于改变了干燥工艺参数，圣女果出现了降速阶段 BC，但到 CD 段时，水分从圣女果表面扩散到空气中的速率基本等于水分从内部转移到表面的速率，干燥速度变化很小，跨过临界点 D 时，再

次进入到降速阶段, 圣女果内部迁移到表面水分不断减少, 干燥速率下降。而曲线 I、II 和 III 中, III 的干燥速率明显快于 I 和 II, 这主要是因为干燥前期, 圣女果首先经历预热阶段, 但这一阶段时间很短, 圣女果的含水率变化很小。而干燥室内的湿度与圣女果内部湿度差越小, 传质推动力越小^[11-13], 干燥速率越慢。干燥后期, 在保持湿度不变的情况下, 增加温度能加快干燥速率, 缩短干燥时间。然而在干燥过程中发现, II 和 III 在干燥 2 h 取出称质量时, 圣女果切分面边缘处有皮肉分离的现象, 而 III 中还有部分分离的果皮破裂, 圣女果明显变软并有烫煮的迹象, 这主要是由于干燥初期, 圣女果内部水分含量高, 蒸气压强大, 原料较软部分的组织往往会被压破, 发生开裂现象和烫煮的迹象; 干燥 4 h 取出称质量时, 发现在培养皿底部有棕红色可溶物(干物质); 干燥完毕后的圣女果颜色不仅明显变浅, 部分表皮还有气泡产生, 这主要是因为干燥初期圣女果内部含有较多的空气和大量的游离水, 随着圣女果内部温度的增加, 致使空气和水蒸气膨胀, 原料内部压力增大, 而内部水分移动到表面没能即时蒸发所致。



a. 水分比随时间变化曲线
a. Curve of moisture ratio with time



b. 干燥速率随干基含水率变化曲线
b. Curve of drying rate with moisture content on dry basis
图 3 4 种干燥方案下圣女果的干燥曲线

Fig.3 Drying curves of cherry tomatoes under four different drying ways

对工艺 I、II 和 III 组分别进行感官评价, 测试结果如表 4 所示。从结果中可以看出, 工艺 II 和 III 的感官评价价值均比 I 低, 这与实际试验中出现的现

象也正好相符, 这主要是因为干燥初期干燥介质的温度和相对湿度过高导致^[14-16], 但对于培养皿底部棕红色可溶物成分有待进一步确定。

表 4 分段式干燥工艺的感官结果

人数 Number	工艺 Process			
	I	II	III	IV
1	8.0	6.5	5.5	9.0
2	8.0	7.3	6.5	8.0
3	7.0	7.5	6.7	8.5
4	7.2	7.5	5.8	8.5
5	7.4	7.2	5.7	8.7
6	7.5	6.5	6.0	8.3
7	7.0	6.8	6.2	8.2
8	7.9	6.7	5.6	8.8
平均值 Average	7.5	7.0	6.0	8.5

改变原有加工工艺, 采用变温变湿分段式干燥的工艺方法(如图 3 中的工艺 IV), 即前期在较短的时间内采用低温高湿, 提高干燥介质的焓值, 使圣女果迅速升温; 再缓慢升高干燥介质的温度, 降低其相对湿度, 有利于圣女果内水分缓慢蒸发, 减少干物质损失及气泡的产生; 在干燥后期, 采用高温低湿, 以加快干燥速率, 缩短干燥时间。虽然工艺 III 与 IV 的干燥总时间均为 10 h, 但是工艺 IV 中培养皿内并无棕红色可溶物, 且感官评价价值也最高, 这说明工艺 IV 的干燥品质最好。此外, 对不同物料变温变湿的干燥方式是否有效以及最优工艺参数还有待进一步研究。

2.2 采用工艺路线 IV, 探讨不同切分方式对圣女果干燥速率的影响

前人采用烫漂、扎孔、去皮、切片、化学试剂浸泡等预处理方式提高干燥速率^[17-24]。将干燥品质、速率、色泽、感官评价和便于产业化推广等因素综合考虑后, 在上述工艺路线 IV 的条件下, 分别按照表 1 的 3 种切分方式进行干燥。干燥后圣女果的干燥曲线如图 4 所示。

由图 4 可以看出在相同的温湿度条件下, 沿轴向切分、斜切和径向切分圣女果干燥到终了含水率的时间分别是 10、13 和 14 h。其中轴向切分比径向切分干燥时间缩短了 28.6%。这主要是由于轴向切分的圣女果切分剖面 s 与干燥介质接触面积最大, 切分面距圣女果边缘的距离 h 最短, 圣女果由于其自身特性, 在相同干燥条件下, 水分穿透果皮的扩散阻力比穿透外果肉的扩散阻力大, 水分迁移距离越短, 越有利于干燥, 因此轴向切分干燥时间最短。然而斜切能破坏中果皮与胎座形成的封闭空间, 增加果肉与干燥介质接触面积, 便于干燥介质流动, 加快干燥速率, 但斜切使得圣女果两边厚度

不均,干燥速率不均,达到要求的湿基含水率时间较长,仅比径向切分快1 h,并且干燥后圣女果的品质也不均匀。

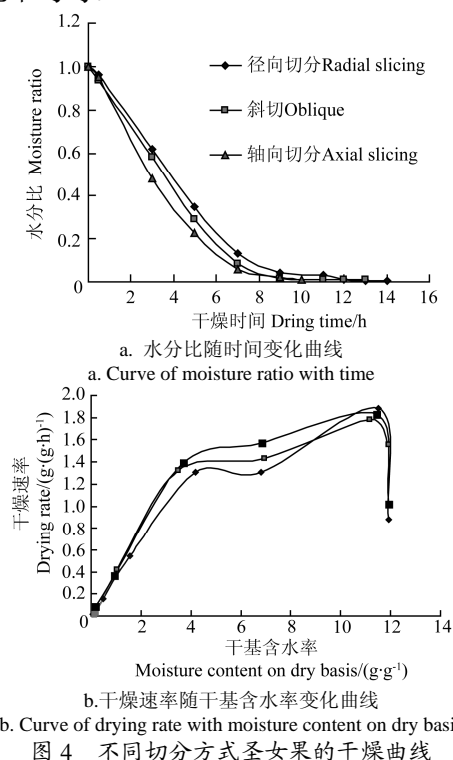


图4 不同切分方式圣女果的干燥曲线

Fig.4 Drying curves of cherry tomatoes of different slicing forms

3 结 论

1) 圣女果在干燥过程中存在预热阶段、和降速阶段,这与前人研究的均为降速阶段有一定的差异。采用分段式变温变湿干燥工艺,即干燥前期采用低温高湿,缓慢增温并降低湿度,能有效减少圣女果营养成分的损失和色泽变化,并缩短干燥时间。

2) 在温度分别为 50、60、65 和 70℃,干燥室内的相对湿度分别为 70%、50%、30%和 10%,时间分别为 0.5、2.5、2 h 和直至结束时,沿轴向切分,干燥后圣女果的感官评分为 8.5 分,圣女果达到终了含水率的时间为 10 h,得到较为理想的试验结果。

3) 切分方式对圣女果的干燥速率也有明显的影响,在同等干燥条件下,干燥速率快慢依次为轴向切分>斜切>径向切分,其中沿轴向切分的干燥时间为 10 h,比径向切分干燥时间缩短了 28.6%。

[参 考 文 献]

[1] 王丽红,高振江,肖红伟,等.圣女果的气体射流冲击干燥动力学[J].江苏大学学报:自然科学版,2011,33(5):540-544.
Wang Lihong, Gao Zhenjiang, Xiao Hongwei, et al. Air impingement drying kinetics of cherry tomato[J]. Journal of Jiangsu University: Natural Science Edition, 2011, 33(5): 540-544. (in Chinese with English abstract)

[2] 魏岩梅,陈晓燕.圣女果气调保鲜包装技术研究[J].中国包装工业,2005(12):58-60.

Wei Yanmei, Chen Xiaoyan. Packaging technology research[J]. China Packaging Industry, 2005(12): 58-60. (in Chinese with English abstract)

[3] 王丽红.加工番茄脉动式气体射流冲击干燥装置的设计及干燥特性研究[D].北京:中国农业大学,2011.
Wang Lihong. The Design of Pulsed Air-impingement Drying Equipment and Drying Characteristics of Tomato[D]. Beijing: China Agricultural University, 2011. (in Chinese with English abstract)

[4] Heredia A, Barrera C, Andrés A. Drying of cherry tomato by a combination of different dehydration techniques. Comparison of kinetics and other related properties[J]. Journal of Food Engineering, 2007, 80: 111-118.

[5] Cernisev S. Effects of conventional and multistage drying processing on non-enzymatic browning in tomato[J]. Journal of Food Engineering, 2010, 96: 114-118.

[6] GB 5009.3-2010, 食品中水分的测定[S].

[7] 堵劲松,王宏生,王兵,等.温湿度对自肋烟处理质量的影响[J].中国烟草学报,2001,7(3):1-5.
Du Jinsong, Wang Hongsheng, Wang Bing, et al. Effects of air temperature and humidity on quality of toasted burley tobacco[J]. Acta Tabacaria Sinica, 2001, 7(3): 1-5. (in Chinese with English abstract)

[8] 姜正,高振江,肖红伟,等.板栗气体射流冲击干燥特性和工艺优化[J].农业工程学报,2010,26(11):368-373.
Lou Zheng, Gao Zhenjiang, Xiao Hongwei, et al. Air impingement drying characteristics and process optimization of chestnut[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2010, 26(11): 368-373. (in Chinese with English abstract)

[9] 陈芳,杨文侠,王丽红,等.新疆加工番茄脉动式气体射流加工工艺及研究[J].食品工业,2010(6):58-60.
Chen fang, Yang Wenxia, Wang Lihong, et al. Pulse of tomato drying process gas jet and research[J]. Food Industry, 2010(6): 58-60. (in Chinese with English abstract)

[10] 陈萃仁,沈振华,蔡健,等.番茄薄片热风干燥特性和工艺的研究[J].浙江农业大学学报,1994,20(2):133-137.
Chen Cuiren, Shen Zhenhua, Cai Jian, et al. Research on the air-drying performance and technology for tomato slices[J]. Journal of Zhejiang Agricultural University, 1994, 20(2): 133-137. (in Chinese with English abstract)

[11] Cernisev S. Effects of conventional and multistage drying processing on non-enzymatic browning in tomato[J]. Journal of Food Engineering, 2010, 96: 114-118.

[12] 诸爱士,陈震宇,成忠.茭白薄片热风干燥特性与动力学研究[J].浙江科技学院学报,2011,23(3):193-198.
Zhu Aishi, Chen Zhenyu, Cheng Zhong. Study on characteristics and dynamics of thin-layer hot air drying of water-oat[J]. Journal of Zhejiang University of Science and Technology, 2011, 23(3): 193-198. (in Chinese with English abstract)

[13] 朱文学.食品干燥原理与技术[M].北京:科学出版社,2009,9.

[14] Mayor L, Sereno A M. Modeling shrinkage during convective drying of food materials: A review[J]. Journal of Food Engineering, 2004, 61: 373-386.

[15] 郑硕,李明滨,慕松.枸杞热风对流干燥动力学特性的研究与试验[J].食品工业,2012,33(9):143-146.
Zheng Shuo, Li Mingbing, Mu Song. Study and experiment on Chinese Wolfberry drying dynamic characteristics in the condition of hot air convection[J]. Food Industry, 2012, 33(9): 143-146. (in Chinese with English abstract)

[16] 肖红伟.西洋参片的气体射流冲击干燥特性和色泽变化动力学[D].北京:中国农业大学,2011.

- Xiao Hongwei. The Drying Characteristics and Colour Change Kinetics of American Ginseng Slices undergoing Air Impingement Drying[D]. Beijing: China Agricultural University, 2011. (in Chinese with English abstract)
- [17] 薛文通, 王浩. 新疆番茄热风干燥工艺实验研究[J]. 食品工业科技, 2004(10): 88—92.
- Xue Wentong, Wang Hao. Experiment of air drying process tomato[J]. Science and Technology of Food Industry, 2004(10): 88—92. (in Chinese with English abstract)
- [18] 徐将, 安凤平, 赖彩如, 等. 过热蒸汽膨化干燥番茄及其理化品质[J]. 福建农林大学学报: 自然科学版, 2013, 42(1): 93—99.
- Xu Jiang, An Fengping, Lai Cairu, et al. Physicochemical characteristics of superheated steam puffing dried tomato[J]. Journal of Fujian Agriculture and Forestry University: Natural Science Edition, 2013, 42(1): 93—99. (in Chinese with English abstract)
- [19] Shi J, Le Maguer M, Kakuda, Y, et al. Lycopene degradation and isomerization in tomato dehydration[J]. Food Research International, 1999, 32(1): 15—21.
- [20] 徐将. 番茄过热蒸汽膨化干燥加工工艺及其理化品质的研究[D]. 福建: 福建农林大学, 2012.
- Xu Jiang. Study on the Technic of Super Heated Steam Puffing Dried Tomato and Its Physicochemical Qualities[D]. Fujian: Fujian Agriculture and Forestry University, 2012. (in Chinese with English abstract)
- [21] Hossain M A, Amer B M A, Gottschal K. Hybrid solar dryer for quality dried tomato[J]. Drying Technology, 2008, 26(12): 1591—1601.
- [22] Esehaghbeygi M, Basiry. Electrohydrodynamic (EHD) drying of tomato slices (*Lycopersicon esculentum*)[J]. Journal of Food Engineering, 2011, 104(4): 628—631.
- [23] Tsamo V P, Bilame A F, Ndjouenkeu R, et al. Study of material transfer during osmotic dehydration of onion slices (*Allium cepa*) and tomato fruits (*Lycopersicon esculentum*)[J]. LWT, 2005, 38: 495—500.
- [24] Pani P, Leva A A, Riva M, et al. Influence of an osmotic pre-treatment on structure-property relationships of air-dehydrated tomato slices[J]. Journal of Food Engineering, 2008, 86(1): 105—112.

Dried characteristics of cherry tomatoes using temperature and humidity by stages changed hot-air drying method

Wang Qinghui^{1,2}, Li Zhongxin², Yang Jinsong¹, Xie Long¹, Zhang Shixiang¹, Gao Zhenjiang^{1*}

(1. College of Engineering, China Agricultural University, Beijing 100083, China; 2. Agricultural Mechanization Institute, Xinjiang Academy of Agricultural Sciences, Urumqi 830091, China)

Abstract: Cherry tomato decays easily. Generally, it can be preserved only for 5-7 days under normal pressure and temperature. The dehydration of cherry tomatoes into dried or preserved fruits can prolong their shelf life and enrich the market of the fruit. Currently, cherry tomatoes are dehydrated through natural drying. The advantage of this method is simple, and low cost. But the drying time is long and is affected by the climate and sanitary conditions. The product quality is difficult to control. In order to shorten the drying time and prevent mildew, cherry tomatoes are often soaked or sprayed with the alkaline solution. These chemicals are bad for our health. Multi-stage temperature-and-humidity drying is conducted through the material drying characteristics. This method can speed up the drying rate, improve drying quality, and reduce energy consumption. It has been successfully applied for apricot, *lyceum barbarum*, grapes and other materials. In this study, internal recycling hot-air drying technology was employed for the drying of cherry tomatoes. The effects of drying temperatures, humidity, drying stages and slicing forms on the drying characteristics and the appearance quality of the cherry tomatoes were investigated. Each experiment was composed of four drying stages. The drying temperatures were fixed, the humidity of the environment was changed in process I, II and III. The drying temperature was low, the humidity was high at the beginning of process IV. Gradually, the temperature was raised, the humidity was reduced. At the end of the process, the drying temperature was higher, the humidity was lower compared with their values at the beginning. The experimental results indicated that pre-heated and falling rate periods exist during the drying of cherry tomato. Previous studies only shown falling rate period. The increase in temperature and humidity has bad effects on the nutrition, color and the appearance quality of cherry tomato. Even though cherry tomato can be heated quickly by increasing the enthalpy. This paper presents a multi-stage temperature-and-humidity drying process as process IV. This process included four drying stages, each lasted 0.5, 2.5, 2 h. The end temperatures were 50, 60, 65 and 70°C, the humidity were 70%, 50%, 30% and 10%, respectively. This method not only effectively reduces losses of the nutrition in cherry tomato and changes its color, but also shorten the drying time. However, further researches on multi-stage temperature-and-humidity drying methods and optimistic process parameters for different drying materials are necessary. In this study, some of the cherry tomatoes were cut along their axes, some were obliquely cut, and others were radically cut. Under the same drying conditions, the drying rates of the above ranked in descending order as follows: the axes-directionally, obliquely and radically cut cherry tomatoes. It is expected that this research will add knowledge for the cherry tomato drying theory of hot-air drying technology and support for the industrial development of cherry tomato.

Key words: drying; agricultural products; hot air heating; cherry tomatoes; temperature-and-humidity changed; slicing; stages internal recycling hot-air drying

(责任编辑: 刘丽英)