

预处理对线辣椒气体射流冲击干燥特性和色泽的影响

张茜^{1,2}, 肖红伟¹, 杨旭海², 白峻文¹, 娄正¹, 高振江^{1*}

(1. 中国农业大学工学院, 北京 100083; 2. 石河子大学机械电气工程学院, 石河子 832001)

摘要: 该文利用气体射流冲击干燥技术干燥线辣椒, 主要探讨不同的预处理方式对线辣椒干燥特性和色泽的影响。研究表明: 预处理对线辣椒的干燥特性和色泽有重要的影响。采用扎洞预处理可以缩短干燥时间, 提高干燥速率, 能够减少红色素的损失, 并能减少褐变; 90℃热水烫漂 3 min 预处理能起到护色的作用; 但热风温度较高时, 会延长干燥时间; 110℃过热蒸汽烫漂 3 min 预处理能起到防止褐变的作用。经过预处理后的线辣椒在气体射流冲击干燥过程中始终处于降速干燥阶段。

关键词: 农产品, 干燥, 色泽, 线辣椒, 气体射流冲击干燥, 预处理

doi: 10.3969/j.issn.1002-6819.2012.01.049

中图分类号: S375

文献标志码: A

文章编号: 1002-6819(2012)-01-0276-06

张茜, 肖红伟, 杨旭海, 等. 预处理对线辣椒气体射流冲击干燥特性和色泽的影响[J]. 农业工程学报, 2012, 28(1): 276—281.

Zhang Qian, Xiao Hongwei, Yang Xuhai, et al. Effects of pretreatment on air impingement drying characteristics and product color for line pepper[J]. Transactions of the CSAE, 2012, 28(1): 276—281. (in Chinese with English abstract)

0 引言

辣椒营养价值很高, 具有多种显著的医疗保健功效^[1-2]。鲜椒在采收后 2~3 d 内如不及时加工就会腐烂变质, 累积损失高达 12%~15%^[3], 把辣椒脱水干燥是延长其货架期的一种重要加工方法。线辣椒的干制主要有阴干、晒干和烘房烘干 3 种方式^[4]。这些方法的缺点是卫生条件差, 干燥时间长, 营养流失严重, 能耗大等。

为了提高辣椒干制品品质、缩短干制时间, 国内外学者在干燥技术方面进行了大量的研究。采用的干燥方法主要有热风干燥^[5-7]、太阳能干燥^[8-10]和介电干燥^[11-14]等, 其中热风干燥是目前辣椒干燥中最常用的方法。各种研究表明辣椒热风干燥过程中干燥特性和干燥品质不仅受干燥参数(如干燥温度、风速等)的影响, 而且受到干燥前预处理方式的影响。国内外学者也对辣椒干燥前预处理方式做了相关的研究。Ramesh 等^[15]的研究表明红辣椒最佳干燥预处理工艺是先切段, 再烫漂 3 min, 干椒品质最好。Yong 等^[16]的研究表明烫漂能够破坏辣椒表面的蜡质层, 提高干燥速率, 同时可以很好的保持辣椒的颜色和营养风味; 增加孔的直径和密度会使干燥速率增加, 打孔对辣椒颜色和收缩比的影响不大; 烫漂和冷冻结合

会使辣椒的品质下降。Arora 等^[6]对辣椒先进行化学浸泡预处理后, 一部分打孔, 一部分不打孔, 在风速为 1.5 m/s, 风温为 45、50、55、60、65℃条件下干燥, 结果表明: 不打孔的辣椒干燥时间更长, 打孔对辣椒品质的影响很小; 55℃经过打孔的辣椒干后品质最好。Gupta 等^[17]将辣椒在 90℃的沸水中烫漂 3 min 和在 0.2%的阿拉伯胶中浸泡两种预处理方式进行对比, 结果显示经过 90℃沸水烫漂 3 min 的干椒品质较好。Ade-Omowaye 等^[18]研究了脉冲电场和局部渗透脱水联合预处理对红辣椒热风干燥的影响。研究表明, 细胞膜的渗透性随着脉冲电场的强度的增大而增加, 随着脉冲个数的增加而增加。

气体射流冲击干燥技术与热风干燥相比具有较高的对流换热系数和干燥速度^[19], 在农产品加工领域, 该技术已经被用于胡萝卜^[20]、葡萄^[21]、板栗^[22]等物料的干燥, 取得了十分显著的效果。本文将气体射流冲击干燥技术应用于线辣椒的干燥, 主要探讨不同的预处理方式对线辣椒干燥特性和色泽的影响, 为气体射流冲击干燥技术应用于线辣椒加工提供参考。

1 材料与方 法

1.1 试验装置

过热蒸汽烫漂及气体射流冲击干燥一体机(中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^[23]。

其它仪器设备: 电子秤(YP 型, 上海精科天平), 电热恒温鼓风干燥箱(DHG-9140A 型, 上海一恒科技有限公司), 恒温水浴锅(DK-S22 型, 上海精密实验设备有限公司), 搅拌器(MJ-250BP02A 型, 广东美的生活电器制造有限公司), 色差计(SMY-2000SF 型, 北京盛名

收稿日期: 2011-05-22 修订日期: 2011-09-05

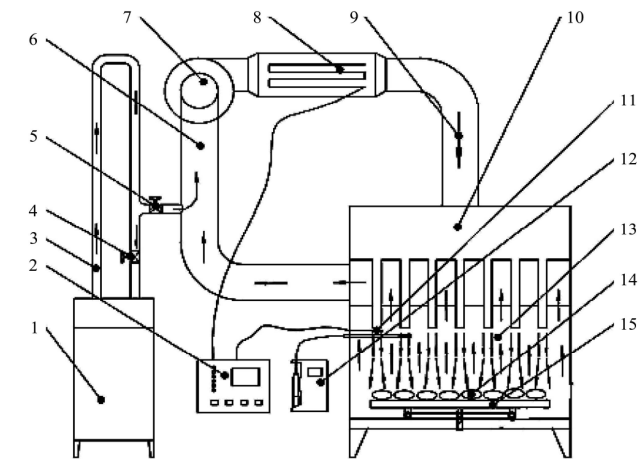
基金项目: 新疆生产建设兵团青年科技创新资金专项资助项目(2010JC23)

作者简介: 张茜(1980—), 女, 新疆石河子人, 博士生, 研究方向: 农产品干燥装备和技术。北京 中国农业大学工学院 194 信箱, 100083。

Email: zqq80@163.com.cn

*通信作者: 高振江(1958—), 男, 教授, 博士, 博士生导师, 主要从事农产品(食品)的加工技术与装备研究。北京 中国农业大学工学院 194 信箱, 100083。Email: zjgao@cau.edu.cn

扬技术开发有限公司)。



1. 过热蒸汽发生器 2. 温度风速控制器 3. 蒸汽导管 4. 常开阀 5. 常闭阀
6. 射流冲击回风管道 7. 离心风机 8. 电加热管 9. 进风管道 10. 气流分配室 11. 温度传感器 12. 湿度传感器 13. 干燥室 14. 物料 15. 物料托盘

图 1 过热蒸汽漂烫及气体射流冲击干燥试验装置

Fig.1 Schematic diagram of equipment used for superheated steam blanching and impingement drying

1.2 试验原料

线辣椒购自北京新发地农产品批发市场(产地河北),挑选新鲜、色红、无虫害、表面完整无机械伤的作为试验材料。线辣椒的平均长度 6.75 cm,平均质量为 9.84 g,湿基含水率为 (83.19±0.50)%(105℃烘 24 h 得到)。试验前将线辣椒放于纸箱中并将其置于 (5±1℃)的冰箱中保存。

1.3 试验方法

1.3.1 工艺流程

原料挑选、整理→清洗→沥干→预处理→装盘→干燥→回潮→包装

1.3.2 干燥试验设计

取出线辣椒,等待其达到室温时清洗和沥干。将线辣椒先进行预处理,然后在 30 cm×20 cm 的网状盘上平铺一层,在风速为 5 m/s、风温分别为 60、65、70、75、80℃条件下干燥,每隔 1 h 测定样品的质量变化,直到干基含水率降到 0.11 g/g 以下时停止试验。每组试验重复 3 次,直至试验全部完成。预处理方式选择 4 种,第一组为不处理对照组,第二和第三组参照相关研究中的预处理条件,选择 90℃热水烫漂 3 min 和表面扎洞方式,第四组为 110℃过热蒸汽烫漂 3 min。预处理试验安排见表 1。

表 1 预处理试验设计

Table 1 Design for the pretreatment experiments

组号	预处理方式(简称)
①	不处理(NP)
②	90℃热水烫漂 3 min(HWB)
③	表面扎洞(直径 1 mm,密度为 1 个/cm ²)(DH)
④	110℃过热蒸汽烫漂 3 min(SSB)

注: NP: no pretreatment; HWB: hot water blanching; DH: drilled holes; SSB: superheated steam blanching.

1.4 干燥参数的计算方法

线辣椒干基含水率 M_t 按式 (1) 计算

$$M_t = \frac{W_t - G}{G} \quad (1)$$

式中, W_t 为在任意干燥 t 时刻的总质量, g; G 为干物质质量, g。

线辣椒气体射流冲击干燥过程中的干燥曲线采用水分比(Moisture ratio)随干燥时间变化的曲线。不同干燥时间线辣椒的水分比 MR 按式 (2) 计算

$$MR = \frac{M_t - M_e}{M_o - M_e} \quad (2)$$

式中, M_o 为初始干基含水率, g/g; M_e 为干燥到平衡时的干基含水率, g/g; M_t 为任意干燥 t 时刻的干基含水率, g/g。

由于线辣椒的平衡干基含水率 M_e 远小于 M_o 和 M_t , 公式 (2) 可以简化为公式 (3) [24]。

$$MR = \frac{M_t}{M_o} \quad (3)$$

干燥速率 DR (Drying rate) 按式 (4) 计算

$$DR = \frac{M_{t_1} - M_{t_2}}{t_2 - t_1} \quad (4)$$

式中, DR 为干燥速率, 单位为 g/(g h), M_{t_1} 为 t_1 时刻的干基含水率, g/g; M_{t_2} 为 t_2 时刻的干基含水率, g/g。

1.5 色泽测定方法

线辣椒干燥后去蒂去籽磨成粉, 采用 SMY-2000SF 型色差仪, 以仪器白板色泽为标准, 依 CIELAB 表色系系统测量线辣椒粉的明度值 L^* 和红绿值 a^* 。仪器的标准白板 $L^*=97.51$, $a^*=0.06$, $b^*=4.81$ 。 (L^* 为明亮度, $L^*=0$ 表示黑色, $L^*=100$ 表示白色; a^* 表示绿/红值, 范围是 -60(纯绿色)~+60(纯红色), $+a^*$ 越大表示颜色越红, $-a^*$ 越小表示颜色越绿; b^* 表示蓝/黄值, 范围是 -60(纯蓝色)~+60(纯黄色), $+b^*$ 越大表示颜色越黄, $-b^*$ 越小表示颜色越蓝)。

2 结果与分析

2.1 不同预处理方式对线辣椒干燥时间的影响

不同预处理方式下线辣椒气体射流冲击干燥到规定干基含水率的总时间如表 2 所示。

表 2 不同预处理方式下线辣椒的干燥时间

Table 2 Total drying time of line pepper for different pretreatment experiments

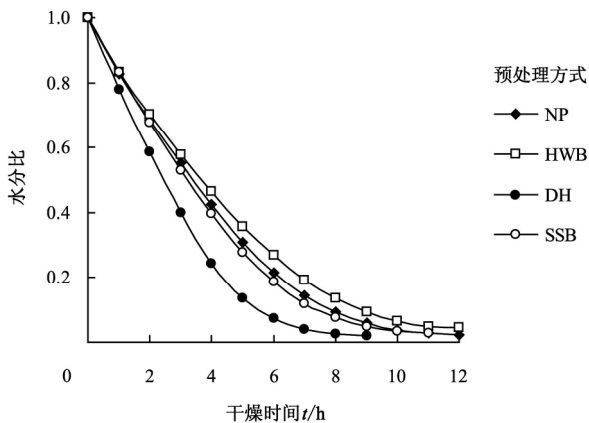
预处理	干燥时间/h				
	60℃	65℃	70℃	75℃	80℃
NP	13	12	7	7	6
HWB	12	12	9	8	7
DH	9	9	6	6	6
SSB	12	11	7	7	7

由表 2 可知,对于 NP 和 HWB,干燥时间随着干燥温度的升高而减少,适当的提高风温可以缩短干燥时间。对于 DH 和 SSB,温度较低时(如 60、65 和 70℃),干燥时间随着干燥温度的升高而减少,但是温度较高时(如 70、75 和 80℃),干燥时间并没有随着干燥温度的升高而改变,提高干燥温度并不能减少干燥时间。

综上所述,采用扎洞预处理可以缩短线辣椒的干燥时间,显著的提高干燥速率。这一结论与 Arora^[6]的研究结果一致,其原因可能是扎洞可使线辣椒的内空腔与外界连通,果皮内表面水分蒸发后可以直接由小孔逸出,缩短干燥时间。线辣椒表面的蜡质层热阻大、传热效果差,烫漂可以破坏果皮的蜡质层,增加细胞膜透性,改善传热;但是当热风温度较高时(如 70、75 和 80℃),使用热水和过热蒸汽烫漂并不能缩短干燥时间,其原因可能是表面的水分迁移速度大于内部的水分迁移速度,会使辣椒表面形成硬壳,使干燥后期的速率下降。特别是用热水烫漂,可能会使辣椒组织软烂,内部的水分迁移通道塌陷,阻碍内部水分向外迁移;同时,由于把辣椒整个浸入热水中,会增加茎秆和辣椒籽的自由水含量,因此,采用 90℃热水烫漂 3 min 反而会延长干燥时间,这一结论与 Ramesh^[15]的研究结果一致。

2.2 不同预处理方式对线辣椒水分比的影响

线辣椒在不同预处理条件下水分比随干燥时间变化的典型干燥曲线如图 2 所示。



注:干燥风速 5 m/s,干燥温度为 65℃

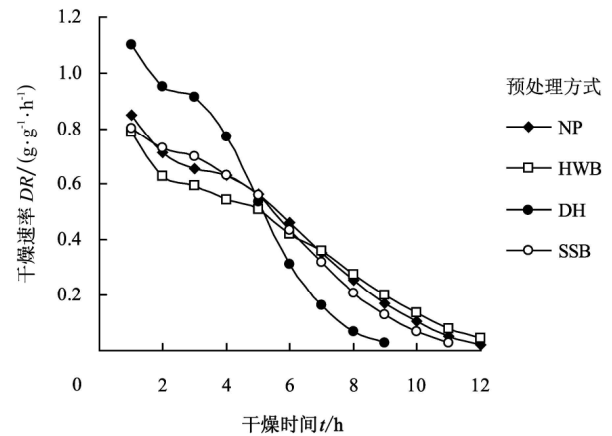
图 2 不同预处理线辣椒的水分比随干燥时间变化曲线
Fig.2 Curves of MR vs drying time for line pepper after pre-drying treatments

由图 2 可知,不同预处理方式下线辣椒的干燥水分比 MR 随干燥时间 t 均呈指数下降趋势,说明经过不同预处理的线辣椒在气体射流冲击干燥过程中,水分含量随着干燥过程的进行均呈指数规律不断下降。扎洞预处理方式下线辣椒的水分比与其他 3 组的水分比差异较大,进一步说明,扎洞预处理更有利于内部水分逸出,90℃热水烫漂 3 min 会阻碍线辣椒内部水分向外迁移。

2.3 不同预处理方式对线辣椒干燥速率的影响

线辣椒在不同预处理条件下干燥速率随干燥时间变

化的典型干燥曲线如图 3 所示。



注:干燥风速 5 m/s,干燥温度为 65℃

图 3 不同预处理线辣椒的干燥速率随干燥时间变化曲线
Fig.3 Curves of drying rate vs drying time for line pepper after pre-drying treatments

由图 3 可知,经过不同预处理的线辣椒在气体射流冲击干燥过程中,干燥速率都呈不断下降的趋势,没有恒速干燥阶段,始终处于降速干燥阶段。这个结论与 Arora^[6]和 Vega^[25]的研究结果一致。这说明线辣椒干燥过程中,水分由干燥表面迁移到干燥介质中的阻力远远小于水分由物料内部迁移至表面的阻力,干燥速度取决于水分由内部向表面迁移的速度,内部水分扩散控制着整个线辣椒干燥过程。由图 3 还可以看出,不同预处理的线辣椒干燥速率差别十分明显,其中的原因可能是:1) 预处理后各组样品表面的蜡质层不同,在干燥过程中的传质传热阻力不同;2) 样品中水分由内而外传递的同时,将大量的油脂带到了辣椒的表面,不利于样品水分由表面到外部空间的蒸发。扎洞预处理样品组的干燥速率最大,但是随着干燥时间增加,干燥速率下降更快,这是由于前期干燥速率相对高,水分蒸发多,到后期线辣椒中的总含水量较低,干燥速率开始低于其他预处理组的干燥速率。

2.4 不同预处理方式对线辣椒水分有效扩散系数的影响

对于 4 种不同的预处理方式,线辣椒气体射流冲击干燥过程中的水分扩散可以用费克第二定律描述,公式可简化为公式(5)

$$\ln MR = \ln \frac{8}{\pi^2} - \frac{\pi^2 D_{eff}}{L^2} t \quad (5)$$

式中, D_{eff} 为水分有效扩散系数,表征干燥过程中水分迁移速度的快慢,单位为 m^2/s ; L 为线辣椒果肉的厚度,其值是 $4.2 \times 10^{-3} m$; t 为干燥时间, s

通过线性回归计算出线辣椒的线性回归拟合公式、 R^2 及水分有效扩散系数如表 3 所示。由表 3 可知不同预处理方式下线辣椒水分有效扩散系数随着干燥温度的升高而升高。

表 3 不同预处理和干燥温度下线辣椒 $\ln MR$ 线性回归拟合公式和水分有效扩散系数

Table 3 $\ln MR$ linear regression formulas and effective moisture diffusion coefficients of line pepper under different pre-drying treatments and drying temperatures

预处理	温度/°C	线性回归拟合公式	R^2	水分有效扩散系数 $D_{eff}/10^{-10} \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$
NP	60	$\ln MR = -7.420 \times 10^{-5}t + 0.3010$	0.9772	1.328
	65	$\ln MR = -9.390 \times 10^{-5}t + 0.3015$	0.9839	1.680
	70	$\ln MR = -1.568 \times 10^{-4}t + 0.2764$	0.9857	2.805
	75	$\ln MR = -1.582 \times 10^{-4}t + 0.2764$	0.9740	2.830
	80	$\ln MR = -1.942 \times 10^{-4}t + 0.3407$	0.9439	3.474
HWB	60	$\ln MR = -7.390 \times 10^{-5}t + 0.2575$	0.9780	1.322
	65	$\ln MR = -7.790 \times 10^{-5}t + 0.2119$	0.9858	1.394
	70	$\ln MR = -1.325 \times 10^{-4}t + 0.2037$	0.9881	2.371
	75	$\ln MR = -1.531 \times 10^{-4}t + 0.3499$	0.9795	2.739
	80	$\ln MR = -1.769 \times 10^{-4}t + 0.3673$	0.9748	3.165
DH	60	$\ln MR = -1.141 \times 10^{-4}t + 0.2584$	0.9866	2.041
	65	$\ln MR = -1.307 \times 10^{-4}t + 0.2724$	0.9856	2.338
	70	$\ln MR = -1.927 \times 10^{-4}t + 0.2944$	0.9790	3.448
	75	$\ln MR = -1.974 \times 10^{-4}t + 0.3311$	0.9780	3.532
	80	$\ln MR = -2.093 \times 10^{-4}t + 0.2480$	0.9880	3.745
SSB	60	$\ln MR = -8.450 \times 10^{-5}t + 0.3018$	0.9812	1.512
	65	$\ln MR = -9.630 \times 10^{-5}t + 0.2696$	0.9858	1.723
	70	$\ln MR = -1.560 \times 10^{-4}t + 0.2907$	0.9823	2.791
	75	$\ln MR = -1.695 \times 10^{-4}t + 0.3277$	0.9661	3.033
	80	$\ln MR = -1.794 \times 10^{-4}t + 0.3648$	0.9751	3.210

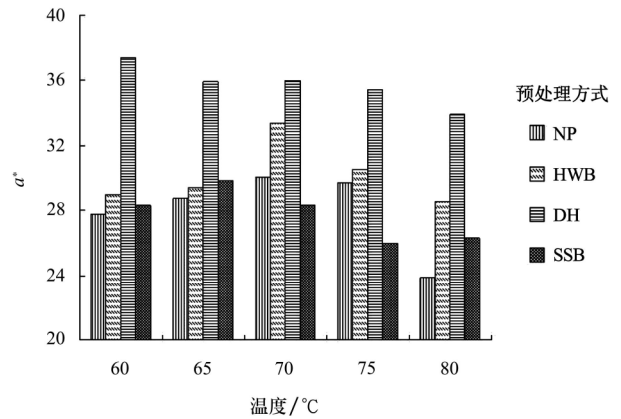
注： R^2 相关系数

2.5 不同预处理方式对线辣椒色泽的影响

图 4 显示了在不同预处理方式下线辣椒干燥后的色泽参数 a^* 的值。由图可以看出，NP 和 HWB 的 a^* 值都随着温度的升高先逐渐增大再逐渐减小，70°C 时达到最大值，80°C 时到最小值，原因可能是温度升高后，干燥时间显著缩短，红色素的损失减少，当温度高于 75°C 时，红色素开始不稳定发生分解，当到达 80°C 时，红色素极不稳定大量分解。HWB 的 a^* 值显著高于 NP，说明 90°C 热水烫漂 3 min 能起到护色的作用，该结论与 Yong 等^[16]的研究结论一致。SSB 在低温（60、65°C）时能起到一定的护色作用，高温（70、75、80°C）时不能起到护色的作用。DH 的 a^* 值随着温度的升高逐渐减小，说明红色素随着温度的升高稳定性逐渐降低。DH 的 a^* 值最大，原因可能是 DH 干燥时间最短，说明红色素的稳定性除了与干燥温度有关，还与干燥时间的长短有关，即使使用各种预处理方式进行护色，如果干燥时间太长，也会导致红色素大量损失，护色的效果大大减弱。这一结论与 Ergüneş 和 Tarhan^[26]的研究结论一致。

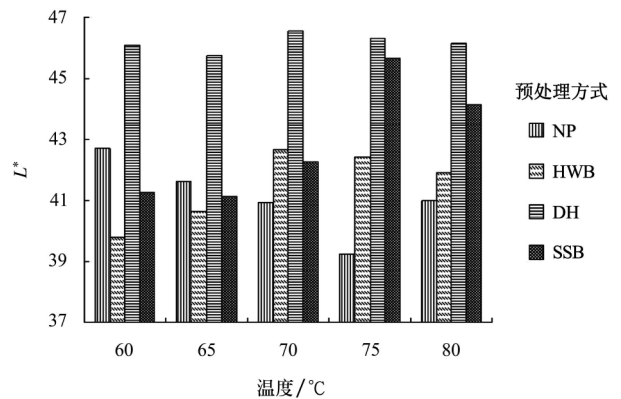
图 5 显示了在不同预处理方式下线辣椒干燥后的色泽参数 L^* 的值。由图可以看出，NP 的 L^* 值随着温度的升高先逐渐减小再增大，75°C 时达到最小值，原因可能是因为温度升高后，酶促褐变增加，非酶促褐变也增加，使样品色泽变暗， L^* 值减小，80°C 时略有升高，可能是因为干燥时间缩短。HWB 和 SSB 的 L^* 值都显著高于 NP，

说明烫漂能起到降低酶活性或使酶失活、防止酶褐变的作用。DH 的 L^* 值显著高于其他 3 组样品，而且随温度变化不明显，可能是因为干燥时间短，酶促褐变和非酶促褐变都减少。



注：干燥风速 5 m/s, a^* 表示绿/红值

图 4 不同预处理条件下线辣椒干燥后色泽参数 a^*
Fig.4 Color parameter a^* of line pepper after pre-drying treatments



注：干燥风速 5 m/s, L^* 为明亮度

图 5 不同预处理条件下线辣椒干燥后色泽参数 L^*
Fig.5 Color parameter L^* of line pepper after pre-drying treatments

综上所述，采用扎洞预处理可使线辣椒在短时间内完成干燥，能够最大程度的减少红色素的损失，并能减少褐变。90°C 热水烫漂 3 min 能起到护色的作用，110°C 过热蒸汽烫漂 3 min 能起到降低酶活性或使酶失活、防止褐变的作用。

3 结论

干燥前的预处理方式对线辣椒气体射流冲击干燥特性和色泽都有重要的影响。

1) 采用扎洞预处理可以缩短线辣椒干燥时间，有效提高干燥速率。热水和过热蒸汽烫漂都会破坏蜡质层，改善果皮的传热；但是在热风温度较高时，90°C 热水烫漂 3 min 预处理反而会延长干燥时间。

2) 线辣椒在气体射流冲击干燥过程中没有恒速干燥阶段，始终处于降速干燥阶段，内部水分扩散控制着整

个干燥过程。

3) 扎洞预处理能够减少红色素的损失,并能减少褐变。90℃热水烫漂 3 min 能起到护色的作用,110℃过热蒸汽烫漂 3 min 能起到降低酶活性或使酶失活、防止褐变的作用。

[参 考 文 献]

- [1] 丁利君. 食品营养及食疗保健学[M]. 北京: 中国农业科学技术出版社, 2005.
- [2] 赵海燕, 赵尊练, 巩振辉, 等. 线辣椒果实中几种营养物质和 CAT、POD 活性的变化规律[J]. 中国农业大学学报, 2008, 13(4): 35—40.
Zhao Haiyan, Zhao Zunlian, Gong Zhenhui, et al. Changes in nutritional quality and anti-oxidant enzyme activity in line pepper fruit[J]. Journal of China Agricultural University, 2008, 13(4): 35—40. (in Chinese with English abstract)
- [3] Kaleemullah S, Kailappan R. Modeling of thin-layer drying kinetics of red chillies[J]. Journal of Food Engineering, 2006, 76(10): 531—537.
- [4] 阎玉让, 杨叶, 孙西会, 等. 宝鸡市线辣椒加工现状、问题和发展对策[J]. 辣椒杂志(季刊), 2006, 4(3): 43—44.
- [5] Kaleemullah S, Kailappan R. Drying kinetics of red chillies in a rotary dryer[J]. Biosystems Engineering, 2005, 92(1): 15—23.
- [6] Arora S, Bharti S, Sehgal V K. Convective drying kinetics of red chillies[J]. Drying Technology, 2006, 24(2): 189—193.
- [7] 张建军, 马永昌, 王海霞, 等. 辣椒热风干燥的工艺优化试验[J]. 农业机械学报, 2007, 38(12): 223—224.
Zhang Jianjun, Ma Yongchang, Wang Haixia, et al. Experimental research of optimizing process on hot-air drying properties of capsicum[J]. Transactions of the CSAM, 2007, 38(12): 223—224. (in Chinese with English abstract)
- [8] Hossain M A, Woods J L, Bala B K. Optimisation of solar tunnel drier for drying of chilli without color loss[J]. Renewable Energy, 2005, 30: 729—742.
- [9] Hossain M A, Bala B K. Drying of hot chilli using solar tunnel drier[J]. Solar Energy, 2007, 81(1): 85—92.
- [10] 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: 自然科学版, 2009, 26(1): 85—88.
Ouyang Sijie, Chen Jianping. Structure design of agricultural byproduct solar drying equipment[J]. Journal of Guizhou University: Natural Sciences, 2009, 26(1): 85—88. (in Chinese with English abstract)
- [11] Weerachai K, Surachate C, Somchai W. Experimental study on drying of chilli in a combined microwave-vacuum-rotary drum dryer[J]. Drying Technology, 2002, 20(10): 2067—2079.
- [12] Soysal Y, Ayhan Z, Exsturk O, et al. Intermittent microwave-convective drying of red pepper: drying kinetics, physical (colour and texture) and sensory quality[J]. Biosystems Engineering, 2009, 103(5): 455—463.
- [13] 金昌福. 辣椒干燥速度的研究[J]. 延边大学农学学报, 2009, 31(4): 280—283.
Jin Changfu. Study on drying speed of red pepper[J]. Journal of Agricultural Science Yanbian University, 2009, 31(4): 280—283. (in Chinese with English abstract)
- [14] 杨咏鹃, 丁筑红. 微波干燥辣椒色泽模型的研究[J]. 食品科技, 2008, 3(12): 86—90.
Yang Yongjuan, Ding Zhuhong. Study on color model from capsicum of microwave drying[J]. Food Science and Technology, 2008, 33(12): 86—90. (in Chinese with English abstract)
- [15] Ramesh M N, Wolf W, Tevini D, et al. Influence of processing parameters on the drying of spice paprika[J]. Journal of Food Engineering, 2001, 49: 63—72.
- [16] Yong C K, Islam Md R, Mujumdar A S. Mechanical means of enhancing drying rates: effect on drying kinetics and quality[J]. Drying Technology, 2006, 24(3): 397—404.
- [17] Gupta P, Ahmed J, Shivhare U S, et al. Drying characteristics of red chilli[J]. Drying Technology, 2002, 20(10): 1975—1987.
- [18] Ade-Omowaye BIO, Rastogi N K, Angersbach A, et al. Combined effects of pulsed electric field pre-treatment and partial osmotic dehydration on air drying behaviour of red bell pepper[J]. Journal of Food Engineering, 2003, 60: 89—98.
- [19] 高振江. 气体射流冲击颗粒物料干燥机理与参数试验研究[D]. 北京: 中国农业大学, 2000.
Gao Zhenjiang. Experimental Research on Mechanism and Parameters of Air-Impingement Jet Drying of Particulate Materials[D]. Beijing: China Agricultural University, 2000. (in Chinese with English abstract)
- [20] Xiao Hongwei, Gao Zhenjiang, Lin Hai, et al. Air impingement drying characteristics and quality of carrot cubes[J]. Journal of Food Process Engineering, 2010, 33(5): 899—918.
- [21] 杨文侠, 高振江, 谭红梅, 等. 气体射流冲击干燥无核紫葡萄及品质分析[J]. 农业工程学报, 2009, 25(4): 237—242.
Yang Wenxia, Gao Zhenjiang, Tan Hongmei, et al. Drying Monukka grapes with air-impingement jet technique and quality analysis[J]. Transactions of the CSAE, 2009, 25(4): 237—242. (in Chinese with English abstract)
- [22] 娄正, 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, Xiao Hongwei, Wang Xiaotuo, et al. Air impingement drying characteristics and processing of chestnut[J]. Transactions of the CSAE, 2010, 26(11): 368—373. (in Chinese with English abstract)
- [23] 肖红伟, 张世湘, 白竣文, 等. 杏子的气体射流冲击干燥特性研究[J]. 农业工程学报, 2010, 26(7): 318—323.
Xiao Hongwei, Zhang Shixiang, Bai Junwen, et al. Air impingement drying characteristics of apricot[J]. Transactions of the CSAE, 2010, 26(7): 318—323. (in Chinese with English abstract)
- [24] Doymaz İ. Effect of pre-treatments using potassium metabisulphide and alkaline ethyl oleate on the drying kinetics of apricots[J]. Biosystems Engineering, 2004, 89(3): 281—287.
- [25] Vega A, Fito P, Andre s A, et al. Mathematical modeling of hot-air drying kinetic of red bell pepper(var.Lamuyo)[J]. Journal of Food Engineering, 2007, 79(4): 1460—1466.
- [26] Ergüneş G, Tarhan B. Color retention of red peppers by chemical pretreatments during greenhouse and open sun drying[J]. Journal of Food Engineering, 2006, 76(3): 446—452.

Effects of pretreatment on air impingement drying characteristics and product color for line pepper

Zhang Qian^{1,2}, Xiao Hongwei¹, Yang Xuhai², Bai Junwen¹, Lou Zheng¹, Gao Zhenjiang^{1*}

(1. College of Engineering, China Agricultural University, Beijing 100083, China;

2. College of Mechanical and Electric Engineering, Shihezi University, Shihezi 832000, China)

Abstract: The purpose of this paper was to investigate the effects of different pre-treatments on air impingement drying characteristics and product color of line pepper. The experimental results demonstrated that pre-treatments had important effects on drying characteristics and color. It was found that the drilling hole pre-treatment could significantly decrease the drying time, improve drying rate and reduce red pigment loss as well as browning. Color protection was achieved by blanching line peppers at 90°C for 3 min in hot water. It was discovered that hot water blanching pre-treatment could extend drying time. Application of 110°C superheated steam blanching for 3 min could prevent browning. For all pre-drying treatments, the total drying occurred in the deceleration period.

Key words: agricultural products, drying, color, line pepper, air impingement drying, pre-drying treatments