

高压静电场对杏子热风干燥特性及色泽影响

Studies on the effects of high-voltage electric field on hot-air drying characteristics and color changing of apricot

王庆惠 闫圣坤 李忠新 阿布力孜·巴斯提

WANG Qing-hui YAN Sheng-kun LI Zhong-xin ABULIZI Ba-siti

(新疆农业科学院农业机械化研究所, 新疆 乌鲁木齐 830091)

(Agricultural Mechanization Institute, Xinjiang Academy of Agricultural Sciences, Urumqi, Xinjiang 830091, China)

摘要:研究干燥温度、风速以及高压静电场对杏子干燥特性及色泽变化的影响。结果表明:① 提高干燥温度或风速均能缩短干燥时间;② Weibull 函数可以用于模拟杏子的干燥,尺度参数 α 与干燥温度和风速有关,并随干燥温度或风速的增加而减小,形状参数 β 与干燥方式有关;③ 杏子热风干燥的水分有效扩散系数在 $1.88 \times 10^{-10} \sim 3.18 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$ 范围内变化,而干燥活化能为 35.90 kJ/mol ;④ 干燥温度对干燥后杏子的色泽变化有重要影响,增加高压静电场可获得较好的色泽。

关键词:干燥;热风;杏子;高压静电场;色泽

Abstract: The drying characteristics and color changing experiments of apricot were investigated under different drying temperatures, air velocities and high-voltage electric field respectively. The results were as following. ① The drying time was shortened by increasing air temperatures or velocities. ② Weibull function could simulate the drying curves of apricot. The scale parameter (α) related with the temperature and air velocity and decreased with the increasing of either drying temperature or velocity. The shape parameter (β) was depended on the drying method. ③ The moisture effective diffusivity coefficient was $1.88 \times 10^{-10} \sim 3.18 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$, and the activation energy was 35.90 kJ/mol by hot-air drying. ④ Drying temperature had a marked impact on the color changing, and a nice color could gain by using high-voltage electric field.

Keywords: drying; hot-air; apricot; high-voltage electric field; color

杏原产于中国,在中国已有 3 000 多年的栽培史^[1]。中国是杏的生产大国,据统计^[2],2014 年仅新疆省杏树的种植面积 13.24 万 hm^2 ,产量 128.16 万 t,分别占全疆水果种植总

面积和总产量的 14.93% 及 13.93%。杏是维生素 B_{17} 含量最丰富的果品,也是药食同源常见的果品之一,深受人们喜爱。但杏果皮娇嫩极易损伤,常温下一般只能存放 7 d 左右^[3],杏子成熟期在 6 月下旬至 7 月中旬,大批量鲜杏集中上市给销售带来极大困难。目前杏子主要采用干制后销售的方式^[4]。

传统自然晾晒的方法具有成本低、干燥时间长、卫生条件差等特点。但由于杏子自身特性的差异,加上粗放的干燥工艺,使得干燥后杏干产品品质难以保证。因此,在新疆近年来逐渐被果蔬热风烘干房所取代^[5]。

王宁等^[6]采用较低的温度对杏子进行了薄层干燥试验,发现杏子的整个干燥过程基本处于降速干燥阶段;对干燥速率而言,温度的影响要比风速的影响大;干燥过程可用 Wang-Singh 模型描述。孟伊娜等^[7]利用自制的太阳能干燥装置将杏子含水率下降到 15% 以下需要 10 d 左右,干燥后杏子的 L^* 值为 51.1, b^* 值为 37.2, a^* 值为 20.1,色泽优于温室型干燥装置的。肖红伟等^[8]利用气体射流冲击技术对鲜杏进行干燥试验后得出,在干燥温度为 $60 \text{ }^\circ\text{C}$,干燥风速为 12 m/s 的条件下,将杏子湿基含水率降到 15% 需要 13 h,杏子的有效水分扩散系数为 $8.346 \times 10^{-10} \sim 13.846 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$,干燥活化能为 30.62 kJ/mol 。杜志龙等^[9]进行了促干剂和促干烫漂处理的杏子干燥对比试验后得出,促干烫漂处理后杏子的干燥速度最快,不同预处理方式对色泽中 b^* 值的影响最显著,烫漂是 b^* 减少的主要原因。

前人虽然对杏子的干燥特性及色泽变化进行了一些研究,但主要是围绕热风干燥技术进行的,而高压静电场技术是一种新型的干燥技术,它利用离子束与物料中水分子间的相互作用,使物料内水分子由无规则的运动变成顺着电场强度增加的方向做定向运动,从而达到干燥过程中物料温度不升高,物料内营养成分有效保留的目的^[10]。目前该技术已在西洋参^[11]、胡萝卜条^[12]、甘蓝^[13]等物料干燥方面得以成

基金项目:国家自然科学基金项目(编号:31460397)
作者简介:王庆惠(1980—),女,新疆农业科学院副研究员。
E-mail: wangqh1201@126.com

收稿日期:2016—08—01

功的应用,取得了十分显著的效果。

本研究拟将高压静电场技术应用于杏子的热风干燥过程(结合目前新疆大面积推广使用的果蔬热风烘干设备),研究不同干燥条件及状态下的杏子干燥特性,以 Weibull 函数分析干燥过程,并测定不同干燥条件下杏子的色泽变化值。旨在揭示不同干燥条件对杏子干燥特性和色泽变化影响规律,为干燥工艺的优化调控提供理论依据。

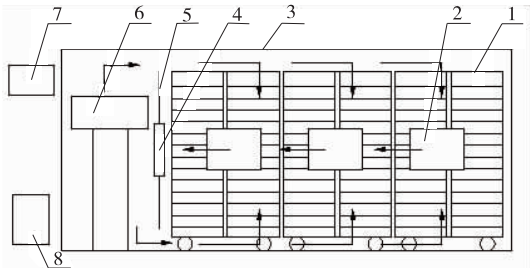
1 材料与方法

1.1 试验材料

鲜杏子:品种色买提,购于新疆北园春农贸批发市场,平均长轴直径 37.48 mm,短轴直径 33.28 mm,单粒重 23.90 g,去核后的湿基含水率为(80.62±0.4)% (真空干燥箱内 70 ℃干燥 24 h)(AOAC)^[14]。试验前将购买回的杏子放于(5±1) ℃的冷库内保存。

1.2 主要试验装置

本研究中用于杏子干燥的试验装置(新疆农业科学院农业机械化研究所)如图 1 所示。主要由加热系统、高压静电系统、控制系统、料车和房体等组成。其中干燥室尺寸为 6 300 mm×3 000 mm×2 500 mm,每个高压静电板的面积为 300 mm×400 mm,每组静电板的间距为 2 900 mm,3 组静电板沿轴线方向等间距排列在干燥室墙壁的中间。高压静电场电压为 30 kV。



1. 料车 2. 高压静电板 3. 房体 4. 循环风机 5. 分隔壁 6. 热风炉 7. 控制系统 8. 高压装置

图 1 干燥试验装置简图

Figure 1 Schematic diagram of air-drying equipment

电子称:YP 型,上海精科仪器有限公司;
真空干燥箱:DZF-6020 型,河南兄弟仪器设备有限公司;

半自动式杏子核肉分离机:6QX-350 型,新疆农业科学院农业机械化研究所;

果蔬保鲜库:BXG-11/300 型,新疆农业科学院农业机械化研究所;

色差计:SMY-2 000 型,北京盛名扬科技开发责任有限公司。

1.3 试验方法

将杏子从冷库内取出,挑选(外形尺寸、色泽、成熟度等基本一致,且表面无伤痕、无虫害)、清洗,利用半自动式杏子核肉分离机将杏子沿脐缝线切成大小几乎相等的两瓣,去除杏核后,将杏子切分面向上,均匀地依次单层摆放在料车托

盘上(料盘外形尺寸 675 mm×380 mm×50 mm,每盘杏子 2 kg 左右,共 560 盘),相邻杏子无重叠。开启热风干燥试验装置,当干燥室内温度达到设定温度时,将料车推入干燥室内。根据前期预试验以及文献[7~8],杏子的干燥方式有 3 种:第 1 种,采用热风干燥方式,干燥风速恒定为 3 m/s,干燥温度分别为 45,50,55,60 ℃;第 2 种,也采用热风干燥方式,干燥温度恒定为 50 ℃,风速分别为 2,3,4 m/s;第 3 种,在干燥室内加入高压静电场,干燥温度恒定为 50 ℃,风速恒定为 3 m/s。干燥过程中排湿口始终打开,并从干燥开始每隔 2 h 测定物料重量变化,直至杏子湿基含水率降到 15% 时停止试验^[8],每组试验重复 3 次。试验时,环境湿度 41%~46%,温度 22~35 ℃。

1.4 试验参数的计算方法

1.4.1 水分比、干燥速率及干基含水率的测定 杏子干燥过程中水分比(MR)按式(1)计算^[15-16]:

$$MR = \frac{M_t - M_e}{M_0 - M_e}, \tag{1}$$

式中:

MR——杏子干燥水分比;

M_0 ——杏子的初始干基含水率,g/g;

M_e ——杏子干燥到平衡时的干基含水率,g/g;

M_t ——杏子干燥到 t 时刻的干基含水率,g/g。

干燥速率(drying rate,DR)按式(2)计算^[17]:

$$DR = \frac{M_{t1} - M_{t2}}{t_2 - t_1}, \tag{2}$$

式中:

DR——干燥过程中时间在 t_1 和 t_2 之间的杏子干燥速率,g/(g·h);

M_{t1}, M_{t2} ——干燥过程中时间为 t_1, t_2 时杏子的干基含水率,g/g。

干基含水率 M_t (moisture content on dry basis)按式(3)计算^[18]:

$$M_t = \frac{W_t - G}{G} \times 100\%, \tag{3}$$

式中:

M_t ——干基含水率,g/g;

W_t ——杏子在任意干燥 t 时刻的总质量,g;

G ——杏子干物质质量,g。

1.4.2 Weibull 函数拟合干燥曲线 Weibull 函数在计算物料的水分有效扩散系数和干燥活化能时,并不要求物料在整个干燥过程中始终处于降速阶段,并且 Weibull 函数中尺度参数 α 和形状参数 β 与干燥方式、干燥工艺、物料特性,以及传热传质等影响物料干燥特性的因素有效结合起来^[19],有利于对干燥过程进行深入研究。

Weibull 函数可以表示见式(4)^[19]:

$$MR = \exp\left[-\left(\frac{t}{\alpha}\right)^\beta\right], \tag{4}$$

式中:

α ——尺度参数,是速率常数,其值约为物料内去除 63% 水分时所对应的时间,min;

β ——形状参数, β 与物料的干燥速率和水分迁移机理有关, $0.3<\beta<1$ 表示干燥处于降速干燥阶段, $\beta>1$ 表示干燥前期存在延滞阶段;

t ——干燥时间,min。

数学模型的拟合程度可由决定系数 R^2 、均方根误差 $RMSE$ 和卡方检验值 χ^2 来评价。其中, R^2 越大、 $RMSE$ 和 χ^2 值越小,则拟合越好。 R^2 、 $RMSE$ 和 χ^2 值的计算公式见式(5)~(7)^[20]。

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N (MR_{pre,i} - MR_{exp,i})^2}{\sum_{i=1}^N (MR_{pre} - MR_{exp,i})^2}, \tag{5}$$

$$\chi^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (MR_{exp,i} - MR_{pre,i})^2}{N - n}, \tag{6}$$

$$RMSE = \left[\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (MR_{pre,i} - MR_{exp,i})^2 \right]^{\frac{1}{2}}, \tag{7}$$

式中:

$MR_{exp,i}$ ——实测水分比;

$MR_{pre,i}$ ——计算水分比;

N ——水分比的总个数;

n ——常数的个数。

1.4.3 水分有效扩散系数及干燥活化能 费克第二定律可以计算处于降速干燥过程中物料的水分有效扩散系数^[21]。水分有效扩散系数按式(8)计算:

$$MR = \frac{M_t}{M_0} \approx \frac{8}{\pi^2} \exp\left(-\frac{\pi^2 D_{eff}}{L^2} t\right), \tag{8}$$

式中:

D_{eff} ——物料的水分有效扩散系数,m²/s;

L ——杏子果肉的厚度,m;

t ——干燥时间,s。

干燥活化能是表征物料干燥难易程度的重要指标。活化能越大,干燥需要的能量越多,干燥难度相应也越大。目前,干燥活化能主要利用阿伦尼乌斯方程进行计算^[22]:

$$D_{eff} = D_0 \exp\left[-\frac{E_a}{R(T + 273.15)}\right], \tag{9}$$

式中:

D_0 ——物料的扩散基数,m²/s;

E_a ——物料的干燥活化能,kJ/mol;

R ——摩尔气体常数,其值为 8.314 J/(mol·K);

T ——物料的干燥温度,℃。

1.4.4 色泽的测定 色泽是判定杏干品质优劣的重要外观指标,对商品价值有重要影响^[23]。杏子干燥过程中色泽的变化在一定程度上直观地反映了杏子干燥过程中干燥工艺与营养成分变化的规律性^[24],可为杏子干燥过程的科学调控提供依据。

采用 CIELAB 表色系统(亦称 $L^* a^* b^*$ 表色系)测量物料的 L^* 、 a^* 和 b^* 值。其中 L^* 、 a^* 和 b^* 分别表示明亮度、绿红值和蓝黄值,变化范围分别为 0(黑色)~100(白色),-60(纯绿色)~+60(纯红色)和-60(纯蓝色)~+60(纯黄色)。而 L^* 值越大,物料干燥后的颜色越好^[25]。

2 结果与分析

2.1 干燥温度对杏子干燥特性的影响

不同干燥温度条件下杏子的干燥特性曲线见图 2。由图 2(a)可知,干燥温度为 60℃ 的干燥时间比其在 45℃ 的减少了 38.9%,说明提高干燥温度能有效缩短干燥时间,但干燥温度不宜过高,因为杏子属于含水率较高的果品,在干燥过程中,较高的干燥温度会使杏子组织中蒸气压力变大,物料较软部分的组织往往会被压破,造成内容物流失^[26]。由图 2(b)可知,干燥温度越高,杏子的干燥速度越快,且在整个干燥过程中均处于降速阶段。这一结论与肖红伟等^[8]采用气体射流冲击技术干燥杏子时的结论一致。

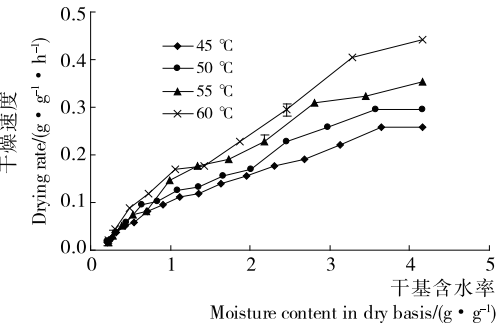
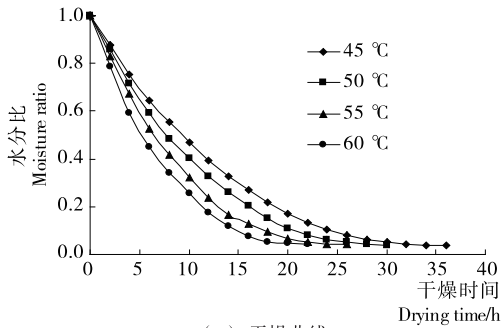


图 2 不同温度条件下杏子的干燥曲线和干燥速率曲线
Figure 2 Drying curves and drying rate curves of apricot under different air temperatures

2.2 干燥风速对杏子干燥特性的影响

不同干燥风速条件下杏子的干燥特性曲线见图 3。由图 3(a)可知,干燥风速为 4 m/s 的干燥时间比其在 2 m/s 的干燥时间减少了 17.6%,这由于提高风速,加快了将聚集在杏子表面附近的湿热空气带走的速度,也增加了杏子表面接触干热空气的数量,加快了杏子干燥的进程^[27]。由图 3(b)可知,与干燥温度影响相同,风速越高,杏子的干燥速度越快,杏子在整个干燥过程中也处于降速阶段。

2.3 高压静电场对杏子干燥特性的影响

当干燥温度为 50℃,风速为 3 m/s,在热风干燥室内加入高压静电场,其干燥特性曲线见图 4。由图 4(a)可知,相同的干燥条件下,热风 and 热风加入高压静电场的干燥时间分别为 30,28 h,增加高压静电场比仅用热风干燥缩短干燥时间 6.7%,这可能是电场离子进入杏子后,逐渐将动能传递给杏子内的水分子,使其动能增加,加快了水分子脱离杏子进

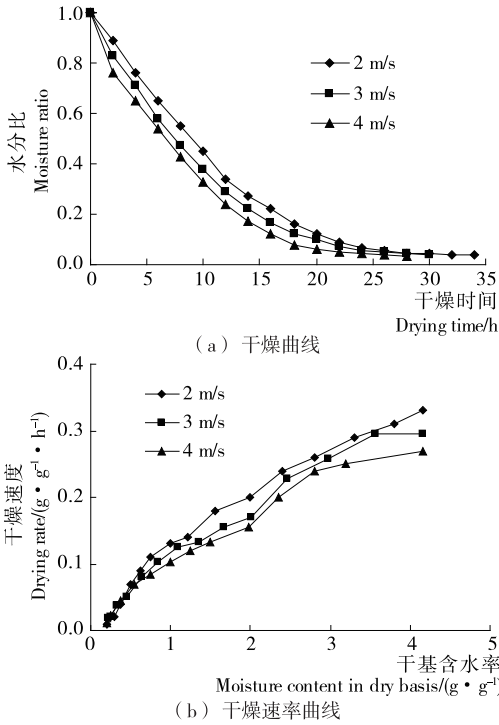


图3 风速对杏子的干燥曲线和干燥速率的影响

Figure 3 Drying curves and drying rate curves of apricot under different air velocities

入到干燥介质中的速度,进而加快干燥的进程。但与丁昌江等^[12]研究干燥胡萝卜时增加高压静电场比仅用热风干燥其干燥时间缩短 43.3%相比差距很大,这可能是本试验中高压静电板间距离较大,在相当的高压静电场下,电场强度相对较小,在整个干燥过程中,电场对杏子内部水分子运动或水分子团间的作用力相对也较弱,因而高压静电场对干燥时间缩短的幅度较小。由图 4(b)可知,干燥前期,增加电场可加快干燥速度,而后期电场对干燥速度的影响不明显,这可能是干燥前期杏子内部水分含量较高,吸收的电场能量相对较多,干燥速度较快,随着干燥的进行,杏子内部水分不断减少,杏子内部水分吸收电场能量的能力也不断下降,电场强度对干燥速度的影响也随之减弱。

2.4 基于 Weibull 函数模拟杏子干燥过程

利用 Weibull 函数对不同干燥条件下杏子的干燥过程进行模拟,结果见表 1。由表 1 可知,决定系数 R^2 、均方根误差 RMSE 和卡方检验值 χ^2 分别为 0.993 9~0.999 6、0.002 4~0.009 5 和 $5.64 \times 10^{-5} \sim 5.18 \times 10^{-4}$, 方程拟合度较高,利用 Weibull 函数模拟杏子的热风干燥过程是切实可行的。

不同干燥条件下 Weibull 函数中尺度参数 α 值也存在差异。由表 1 可知,在热风干燥条件下,保持恒定的干燥风速,干燥温度由 45 ℃增加到 60 ℃,尺度参数 α 由 745 min 减小到 433 min;而保持恒定的干燥温度,干燥风速由 2 m/s 增加到 4 m/s,尺度参数 α 由 689 min 减小到 518 min;提高干燥温度或风速,尺度参数值均减小,这是因为提高温度或风速加快了干燥的进程,进而缩短了去除 63%水分所需要的时间^[28]。这与图 2(a)和图 3(a)的表述一致。而在相同的干燥

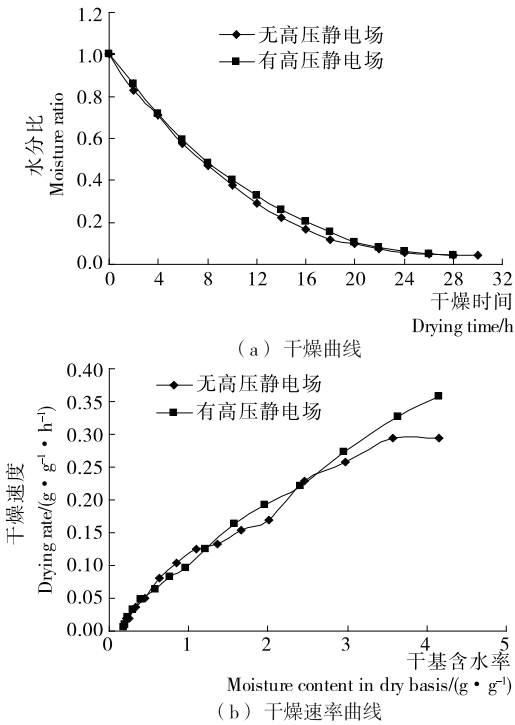


图4 高压静电场对杏子的干燥曲线和干燥速率的影响

Figure 4 The effect of drying curves and drying rate curves of apricot under high-voltage electric field

条件下,热风干燥和热风加入高压静电场干燥的尺度参数 α 分别为 607 min 和 589 min,为此,这两种干燥方式下杏子的干燥时间差异不大。

由表 1 还可以看出,形状参数 β 值为 0.713 3~0.844 3,介于 0.3 和 1.0 之间,为此,杏子在整个干燥过程中均属于降速干燥,与图 2(b)和图 3(b)的结论是一致的。而当干燥温度为 50 ℃,风速为 3 m/s 时,热风干燥和热风加入高压静电场干燥的形状参数 β 分别为 0.745 6 和 0.763 2,因此,形状参数 β 与干燥方式有关,并且干燥温度或风速与 β 值无线性变化关系。

2.5 杏子水分有效扩散系数的计算

水分有效扩散系数可以表征物料干燥过程中水分迁移速度快慢程度。不同干燥条件下杏子水分有效扩散系数的计算结果见表 1。由表 1 可知,杏子干燥过程中其水分有效扩散系数在 $1.88 \times 10^{-10} \sim 3.18 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$ 范围内变化。采用热风干燥方式,当风速一定时,干燥温度为 60 ℃时的水分有效扩散系数是 45 ℃的 1.69 倍,干燥温度与水分有效扩散系数呈正相关,此结论与赵珂等^[29]的研究结果一致;而当干燥温度一定时,风速为 4 m/s 时的水分有效扩散系数是 2 m/s 的 1.14 倍,风速与水分扩散系数也呈正相关,此结论也与曾目成等^[30]和巨浩羽等^[31]的研究结果一致。温度对杏子水分有效扩散系数的影响比风速更明显。

2.6 干燥活化能

物料干燥需要的单位能耗越大,表现出其活化能值也就越大。由表 1 可知,当干燥风速一定时,热风干燥的活化能为 35.90 kJ/mol,也就是说当干燥介质的温度在 45~60 ℃

表 1 不同干燥条件下杏子热风干燥模拟结果

Table 1 Weibull model simulation result at different drying conditions of apricot

干燥方式	干燥条件	尺度参数 α/min	形状参数 β	决定系数 R^2	均方根误差 $RMSE$	卡方检验值 χ^2	水分有效扩散系 数/ $(\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1})$	活化能/ ($\text{kJ} \cdot \text{mol}$)
热风干燥	45 $^{\circ}\text{C}$, 3 m/s	745	0.727 9	0.993 9	0.007 4	6.15×10^{-5}	1.88×10^{-10}	35.90
	50 $^{\circ}\text{C}$, 3 m/s	607	0.745 6	0.999 6	0.007 0	5.64×10^{-5}	2.30×10^{-10}	
	55 $^{\circ}\text{C}$, 3 m/s	522	0.741 2	0.999 2	0.008 5	8.38×10^{-5}	2.62×10^{-10}	
	60 $^{\circ}\text{C}$, 3 m/s	433	0.844 3	0.999 1	0.009 5	1.01×10^{-4}	3.18×10^{-10}	
	50 $^{\circ}\text{C}$, 2 m/s	689	0.713 3	0.999 2	0.009 1	9.31×10^{-5}	2.25×10^{-10}	
	50 $^{\circ}\text{C}$, 4 m/s	518	0.754 7	0.994 3	0.002 4	5.18×10^{-4}	2.57×10^{-10}	
热风加入高 压静电场	50 $^{\circ}\text{C}$, 3 m/s	589	0.763 2	0.999 0	0.009 4	1.02×10^{-4}	2.54×10^{-10}	—

时,从杏子中每减少 1 mol 的水分至少需要 35.90 kJ 的能量。肖红伟等^[8]采用气体射流冲击技术计算杏子的干燥活化能为 30.62 kJ/mol,这可能是活化能虽然与物料的品种、内部成分和组织状态等有关,但也受干燥方式的影响,白俊文等^[28]在进行葡萄干燥时也得出了相同的结论。

2.7 干燥条件对杏子色泽的影响

干燥条件对杏子色泽变化的影响结果见图 5。由图 5 可知,干燥温度对杏子干燥后色泽变化的影响很明显, L^* 值随干燥温度的增加而逐渐减小。而不同风速条件下杏子干燥后的色泽值基本保持不变。这主要是因为杏子中含有多酚氧化酶^[32],干燥过程中,在氧气和水的共同作用下发生酶促褐变,使干燥后的杏干颜色变暗, L^* 值降低^[33];此外,随着干燥温度的不断升高,也加剧了杏子中糖类物质的分解,

发生了 Maillard 反应,也使得杏子 L^* 值降低。因此,为了得到较好的杏干色泽,干燥温度不宜过高。由图 5 还可以看出,在相同的干燥条件下,增加高压静电场干燥后杏子的 L^* 值明显增加,获得较好的色泽。这可能是杏子在高压静电场的作用下,当杏子表层水分在逸出的过程中,水分子会直接被电场力拉出,减少了汽化潜热需要的能量,干燥物料温度不会升高,较好地保留了物料内营养成分^[12],因而,获得较好地色泽值。

3 结论

(1) 高压静电场对干燥时间的影响主要体现在干燥前期,与热风干燥技术相比,增加高压静电场可使干燥后杏子的 L^* 值明显增加,获得较好的色泽。

(2) 利用 Weibull 函数中的尺度参数 α 和形状参数 β 可以快速判断不同干燥方式下杏子的干燥特性,形状参数 β 值为 0.713 3~0.844 3,表明杏子在整个干燥过程中均处于降速阶段。杏子水分有效扩散系数为 $1.88 \times 10^{-10} \sim 3.18 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$,干燥活化能为 35.90 kJ/mol。

(3) 本试验探讨了高压静电场技术对杏子的干燥特性和色泽的影响,但对干燥后杏子的营养成分、质构等指标变化并未做相关研究,通过这些指标的测定及研究不仅对杏子干燥技术而且对高压静电技术在其他果蔬中的应用都具有重要意义。

参考文献

[1] 任宝生. 我国杏树的栽培历史及生产现状与发展方向[J]. 科技情报开发与经济, 2007, 17(32): 148-150.

[2] 新疆维吾尔自治区统计局. 新疆统计年鉴[Z]. 北京: 中国统计出版社, 2015: 383-384.

[3] 于希志. 我国杏产业发展中的几个障碍因素和解决途径[J]. 落叶果树, 2009(5): 7-11.

[4] 王庆惠, 李忠新, 买合木江, 等. 新疆杏制干设备现状与发展建议[J]. 农产品加工: 学刊, 2014(3): 77-79.

[5] 王玉召. 2016 年果蔬热风烘干房项目扩展至全新疆[EB/OL]. [2016-02-04]. http://news.ts.cn/content/2016-02/04/content_11998601.htm.

[6] 王宁, 刘文秀, 李凤城, 等. 杏低温薄层干燥试验与建模[J]. 农业机械学报, 2011, 42(1): 140-143.

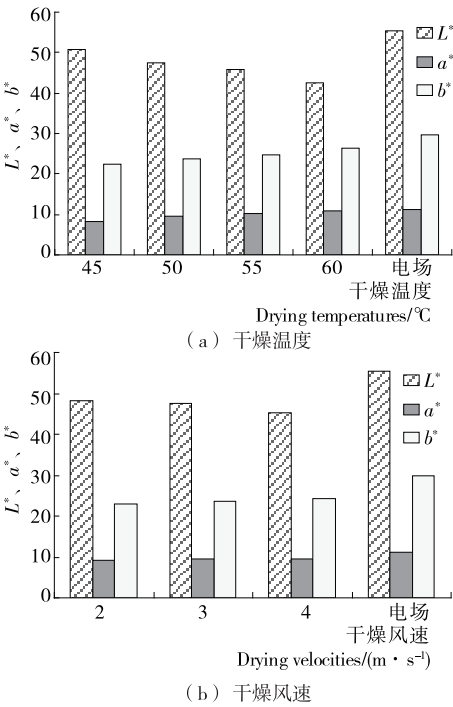


图 5 干燥条件对杏子色泽的影响

Figure 5 Apricot color value under different drying conditions

[7] 孟伊娜, 马燕, 邹淑萍, 等. 新疆轮台小白杏的太阳能制干工艺研究[J]. 食品工业科技, 2013, 34(13): 193-196.

[8] 肖红伟, 张世湘, 白峻文, 等. 杏子的气体射流冲击干燥特性[J]. 农业工程学报, 2010, 26(7): 318-323.

[9] 杜志龙, 高振江, 张春敏, 等. 杏的自然风干试验研究[J]. 食品科技, 2006(8): 97-101.

[10] 梁运章, 丁昌江. 高压电场干燥技术原理的电流体运动学分析[J]. 北京理工大学学报, 2005, 25(增 1): 16-19.

[11] 那日, 杨体强, 梁运章, 等. 静电干燥特性的研究[J]. 内蒙古大学学报: 自然科学版, 1999, 30(6): 699-705.

[12] 丁昌江, 梁运章. 高压电场干燥胡萝卜的试验研究[J]. 农业工程学报, 2004, 20(4): 220-222.

[13] 邢茹, 梁运章, 丁昌江, 等. 高压电场干燥蔬菜的实验研究[J]. 食品工业科技, 2004, 25(6): 69-70.

[14] 王庆惠. 核桃热风干燥装置的设计及试验[D]. 北京: 中国农业大学, 2015: 29-30.

[15] 高鹤, 易建勇, 刘璇, 等. 番木瓜热风干燥特性分析[J]. 食品与机械, 2014, 30(4): 38-42.

[16] BAI Jun-wen, SUN Da-wen, XIAO Hong-wei, et al. Novel high-humidity hot air impingement blanching (HHAIB) pre-treatment enhances drying kinetics and color attributes of seedless grapes[J]. Innovative Food Science and Emerging Technologies, 2013, 20(4): 230-237.

[17] 唐璐璐, 易建勇, 毕金峰, 等. 丰水梨中短波红外干燥特性和品质变化规律[J]. 食品与机械, 2015, 31(6): 64-69.

[18] CORZO O, BRACHO N, ALVAREZ C. Weibull model for thin-layer drying of mango slices at different maturity stages [J]. Journal of Food Processing and Preservation, 2010, 34(6): 993-1 008.

[19] 张卫鹏, 高振江, 肖红伟, 等. 基于 Weibull 函数不同干燥方式下的茯苓干燥特性[J]. 农业工程学报, 2015, 31(5): 317-324.

[20] HASHEMI G, MOWLA D, KAZEMEINI M. Moisture diffusivity and shrinkage of broad beans during bulk drying in an inert medium fluidized bed dryer assisted by dielectric heating[J]. Jorunal of Food Engineering, 2009, 92: 331-338.

[21] CRANK J. The mathematics of diffusion[M]. 2nd ed. London: Oxford University Press, 1975: 274-278.

[22] DOYMAZ I, KOCAYIGIT F. Drying and rehydration behaviors of convection drying of green peas[J]. Drying Technology, 2011, 29(11): 1 273-1 282.

[23] 陆明华, 周横. 果品“六看”定收期[J]. 农家顾问, 2005(10): 43.

[24] 巨浩羽, 肖红伟, 白峻文, 等. 苹果片的中短波红外干燥特性和色泽变化研究[J]. 农业机械学报, 2013, 44(增 2): 186-191.

[25] 邱杰. 制干专用杏品种优选及制干工艺技术研究[D]. 乌鲁木齐: 新疆农业大学, 2010: 31-32.

[26] 朱文学. 食品干燥原理与技术[M]. 北京: 科学出版社, 2009: 361-370.

[27] 王庆惠, 闫圣坤, 李忠新, 等. 核桃深层热风干燥特性研究[J]. 食品与机械, 2015, 31(6): 60-63.

[28] 白峻文, 王吉亮, 肖红伟, 等. 基于 Weibull 分布函数的葡萄干燥过程模拟及应用[J]. 农业工程学报, 2013, 29(16): 278-285.

[29] 赵珂, 肖旭霖. 核桃气体射流冲击干燥特性及干燥模型[J]. 中国农业科学, 2015, 48(13): 2 612-2 621.

[30] 曾目成, 毕金峰, 陈芹芹, 等. 基于 Weibull 函数对猕猴桃切片中短波红外干燥过程模拟及应用[J]. 现代食品科技, 2014, 30(6): 146-151.

[31] 巨浩羽, 肖红伟, 郑霞, 等. 干燥介质相对湿度对胡萝卜片热风干燥特性的影响[J]. 农业工程学报, 2015, 31(16): 296-304.

[32] 孟伊娜, 马燕, 邹淑萍, 等. 新疆轮台小白杏的太阳能制干工艺研究[J]. 食品工业科技, 2013, 34(13): 193-196.

[33] 易建华, 董新玲, 朱振宝, 等. 不同褐变抑制剂对苹果多酚氧化酶抑制机理研究[J]. 食品与机械, 2015, 31(4): 122-125.

信息窗

复旦大学发现机体能量代谢和肥胖调控新机制

复旦大学吴晓晖课题组利用 piggyBac 转座子插入突变小鼠资源, 发现了 G 蛋白偶联受体 GPR45 在肥胖发展中的重要作用, 并阐明了 GPR45 调控阿黑皮素原 (POMC)表达及机体能量代谢的分子机制。相关成果日前发表于《临床研究杂志》。

研究人员利用 piggyBac 转座子插入诱变小鼠资源筛选体重和体脂含量异常的基因突变, 从 408 个基因突变品系中新发现了 5 个肥胖品系。相应基因与肥胖的关联未见报道。

吴晓晖课题组对新发现的 G 蛋白偶联受体 Gpr45 基因进行了深入研究, 发现神经系统特异表达的 Gpr45 基因失活导致小鼠代谢减缓, 自离乳起肥胖, 进而出现脂肪肝、胰岛素抵抗、血糖增高等代谢异常。GPR45 在下丘脑通过 JAK/STAT 信号通路调控能量代谢信号分子 POMC 的表达, 而 Gpr45 突变导致 POMC 表达量和 POMC 神经元活性降低, 脑室注射 POMC 产物类似物 MTII 则可抑制 Gpr45 突变小鼠的肥胖。

“G 蛋白偶联受体是种类众多的膜蛋白受体家族和重要的候选药物靶标。”吴晓晖表示, 此项研究不仅表明 GPR45 是能量代谢的重要调控分子, 同时为进一步研究肥胖分子机制提供了新视角, 为探索有效肥胖干预方法提供了有吸引力的新候选靶点。

(来源: www.foodmate.net)