

# 苹果片热风薄层干燥过程中 颜色变化的动力学模型

张倩钰<sup>1</sup>, 孙杰<sup>1</sup>, 郑炯<sup>1,2,\*</sup>

(1. 西南大学食品科学学院, 重庆 400715;

2. 重庆市特色食品工程技术研究中心, 重庆 400715)

**摘要:**为了研究苹果片在热风薄层干燥过程中的颜色变化规律,分别在60、70、80、90、100℃下对苹果片进行热风薄层干燥处理,以亮度值( $L^*$ )、红绿值( $a^*$ )、黄蓝值( $b^*$ )、总色差( $\Delta E$ )、饱和度、褐变指数(BI)等为指标描述苹果片的颜色变化,并分别应用零级和一级反应动力学方程进行数学模型的拟合分析。结果表明,热风薄层干燥过程中,苹果片的 $L^*$ 值随着干燥时间的延长而逐渐降低,而 $a^*$ 值、 $b^*$ 值、 $\Delta E$ 、饱和度、BI值则逐渐升高,且反应速率常数 $k$ 随着干燥温度的升高而呈现出一定的规律性变化。根据拟合决定系数 $R^2$ 的比较结果,零级反应动力学模型能更好的描述和预测苹果片在热风薄层干燥过程中的 $L^*$ 、 $a^*$ 、 $b^*$ 、 $\Delta E$ 值变化,而饱和度和BI值的变化则更符合一级反应动力学模型。该模型可以对苹果片在热风薄层干燥中的颜色变化进行预测,为优化干燥工艺提供参考。

**关键词:**苹果片,热风薄层干燥,颜色,动力学模型

## Color change kinetics model of apple slices during hot-air thin drying

ZHANG Qian-yu<sup>1</sup>, SUN Jie<sup>1</sup>, ZHENG Jiong<sup>1,2,\*</sup>

(1. College of Food Science, Southwest University, Chongqing 400715, China;

2. Chongqing Research Center of Special Food Engineering and Technology, Chongqing 400715, China)

**Abstract:** This study revealed the color degradation of apple slices in a hot air drying process. The indicators containing brightness values ( $L^*$ ), red and green values ( $a^*$ ), yellow and blue values ( $b^*$ ), total color changes ( $\Delta E$ ), chroma, browning index (BI) had been investigated during the hot air drying process of apple slices at 60, 70, 80, 90, 100 °C, respectively. Zero-order and first-order kinetics equation had been applied to fit mathematical model. The results showed that the  $L^*$  of the apple slices with the extension of the drying time gradually reduced, while  $a^*$ ,  $b^*$ ,  $\Delta E$ , chroma, BI value was gradually increased, and the reaction rate constants ( $k$ ) values of these parameters as the color of drying temperature rose showed a certain regularity changes. According to the results compared with regression coefficient  $R^2$  fit, zero-order kinetics model could better describe and predict the  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ ,  $\Delta E$  change of apple slices in the hot air drying process, while the changes of chroma and BI value were more consistent with first-order kinetics model. This model could be for predicting the color change of apple slices during hot-air thin drying, and providing reference for optimization of drying process.

**Key words:** apple slices; hot-air thin drying; color; kinetic model

中图分类号: TS255.1

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2015)24-0137-05

doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2015.24.021

苹果作为世界四大水果之一,是世界温带地区栽培的最重要的果树品种和我国北方主要的水果品种之一,在世界和我国果品市场中占有重要的位置。相关资料显示,自2001年以来,我国的苹果产量已连续多年位居世界第一位,但是我国苹果大部分用于鲜销,只有少部分被加工成苹果汁、苹果罐头、苹果

脯等产品,苹果加工转化率不到6%,远低于世界平均水平(24%左右)<sup>[1]</sup>。目前,国内苹果浓缩汁加工技术的研究较多<sup>[2-7]</sup>,但苹果干燥加工技术起步较晚,苹果干燥产业化还有许多问题尚待解决,因此,需要对苹果干燥产品的加工进行系统和深入的研究。

苹果片的主要干燥方式有真空低温油炸<sup>[8]</sup>、真空

收稿日期: 2015-04-02

作者简介: 张倩钰(1995-),女,大学本科,研究方向:果蔬加工与质量控制, E-mail: 1105063469@qq.com。

\* 通讯作者: 郑炯(1982-),男,博士,讲师,研究方向:果蔬加工与质量控制, E-mail: zhengjiong\_swu@126.com。

基金项目: 重庆市特色食品工程技术研究中心能力提升项目(cstc2014pt-gc8001)。

冷冻干燥<sup>[9]</sup>、微波真空干燥<sup>[10]</sup>、变温压差膨化干燥<sup>[11]</sup>、热风薄层干燥<sup>[12]</sup>等。其中,热风薄层干燥具有投资少、成本低、操作简单、维修方便、经济效益好等优点,在苹果片干燥加工中仍然有广泛的应用。但热风薄层干燥过程中苹果果肉直接与空气接触,很快发生褐变,导致干燥苹果片的外观、风味和营养价值劣变,造成其食用品质的降低,严重影响其商品价值<sup>[13]</sup>。因此,研究苹果片在热风薄层干燥过程中的颜色变化将对苹果片工业化生产过程中的工艺优化和产品品质控制有重要的指导意义。

通过研究和建立颜色变化的动力学模型,可预测果蔬干燥过程中的色泽变化,从而为果蔬产品的加工与贮藏过程提供相应的参考和依据。近年来,已经有许多学者对柠檬<sup>[14]</sup>、芒果<sup>[15]</sup>、菠萝蜜<sup>[16]</sup>、无花果和草莓<sup>[17]</sup>等水果在干燥过程中的颜色变化动力学进行了研究,但关于苹果片在干燥过程中的颜色变化动力学模型研究还未见报道。因此,本实验拟研究苹果片在热风薄层干燥过程中不同温度对颜色变化的影响及颜色变化规律,建立热风薄层干燥过程中的苹果片颜色变化动力学模型,旨在为苹果片的热风薄层干燥工艺优化和产品品质控制提供参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料与仪器

秦冠苹果 产地甘肃,购买于重庆市北碚区永辉超市。

BC-2型薄层干燥实验台 长春吉大科学仪器设备有限公司;UltraScan PRO测色仪 美国HunterLab公司。

### 1.2 实验方法

**1.2.1 苹果片的热风薄层干燥处理** 在同一批次的原料里挑选无破损、新鲜、色泽和大小相对一致的苹果,洗净,去皮;然后将2.0 kg苹果切成0.5 cm厚度的苹果片,浸泡于1.5 L护色液(5% L-半胱氨酸+0.5%抗坏血酸+0.5%抗坏血酸+0.2%草酸+0.3% NaCl)中处理10 min<sup>[18]</sup>。取出均匀平铺在薄层干燥实验台的干燥盘上,分别在60、70、80、90、100 °C的温度下干燥4 h,干燥风速为2.0 m/s,干燥过程中每隔30 min取一次样进行颜色测定。

**1.2.2 颜色的测定** 将鲜样和干燥后的苹果片在室温下用测色仪在去除镜面反射模式进行颜色测定,每个样品平行测定6次。测定颜色参数分别为亮度值 $L^*$ 、红绿值 $a^*$ 、黄蓝值 $b^*$ ,并以此为依据,根据式(1)计算总色差 $\Delta E$ 、式(2)计算饱和度值、式(3)计算褐变指数(BI)。

$$\Delta E = [(L_1^* - L_0^*)^2 + (a_1^* - a_0^*)^2 + (b_1^* - b_0^*)^2]^{1/2} \quad \text{式(1)}$$

$$\text{饱和度} = (a_1^{*2} + b_1^{*2})^{1/2} \quad \text{式(2)}$$

$$\text{BI} = \frac{100(x-0.31)}{0.17}, x = \frac{a_1^* + 1.75L_1^*}{5.645L_1^* + a_1^* - 3.012b_1^*} \quad \text{式(3)}$$

其中, $L_0^*$ 、 $a_0^*$ 、 $b_0^*$ 分别代表鲜样测得的颜色指标, $L_1^*$ 、 $a_1^*$ 、 $b_1^*$ 代表在干燥时间 $t$ 测得的颜色指标。

### 1.3 热风薄层干燥过程中颜色变化动力学模型

国内外对果蔬产品在贮藏加工过程中的品质变化研究大多采用动力学模型的方法,其品质因子 $C$

(如颜色、硬度及氨基酸等)的变化速率(损失率)可以近似用下式表示:

$$\frac{dC}{dt} = -kC^n \quad \text{式(4)}$$

式中, $C$ 为 $t$ 时的品质因子; $n$ 为反应级数; $k$ 为反应速率常数, $\text{min}^{-1}$ ,其单位由反应级数 $n$ 决定; $t$ 为干燥时间, $\text{min}$ 。

已有的研究报道中,大多数果蔬干燥过程中颜色变化与时间关系表现出零级反应( $n=0$ )<sup>[15-16]</sup>或一级反应( $n=1$ )<sup>[17-19]</sup>。动力学方程分别为:

$$\text{零级反应: } kt = C_0 - C \quad \text{式(5)}$$

$$\text{一级反应: } kt = \ln(C_0) - \ln(C) \quad \text{式(6)}$$

式中: $C_0$ 为初始的颜色品质因子。

## 1.4 数据处理

实验数据采用统计软件Microcal origin 8.0、Excel 2007和1stOpt 6.0进行相关图表的绘制和动力学及回归分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 苹果片 $L^*$ 、 $a^*$ 、 $b^*$ 、 $\Delta E$ 变化规律及动力学分析

由图1可知, $L^*$ 值随着热风薄层干燥时间的增加而呈现降低的变化趋势,而且干燥温度越高, $L^*$ 值下降得越多。在干燥温度分别为60 °C和100 °C干燥240 min后,苹果片的 $L^*$ 值从初始的84.59分别降低到77.04和54.57,这说明热风薄层干燥后苹果片的亮度会降低,尤其是在高温干燥的情况下颜色变暗更加明显,这可能是由于苹果片干燥过程中发生了褐变反应,而且高温具有明显的促进褐变作用<sup>[20]</sup>。

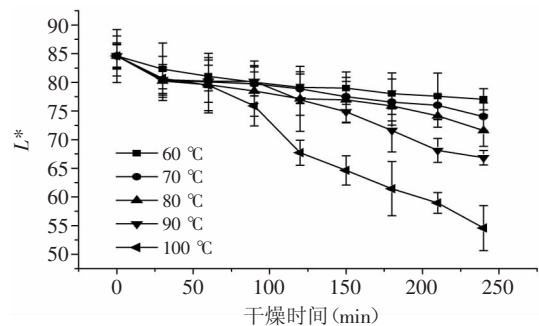


图1 不同热风薄层干燥温度下苹果片的 $L^*$ 值随干燥时间的变化  
Fig.1 Change of  $L^*$  value of apple slices as a function of drying time under different temperatures

由图2可见,苹果片的 $a^*$ 值随着干燥时间的延长而呈现出增大的趋势,且干燥温度越高, $a^*$ 值增大越多。苹果片的初始 $a^*$ 值为0.16,经过60 °C和100 °C的热风薄层干燥后其 $a^*$ 值分别达到2.35和12.86,说明苹果片在干燥过程中颜色会逐渐变成偏红,其变化值受到温度的影响较大。这一结果与Saxena等<sup>[16]</sup>对热风薄层干燥过程中菠萝蜜片的颜色变化研究结果一致。

图3中,热风薄层干燥过程中苹果片的 $b^*$ 值逐渐升高,且干燥温度越高, $b^*$ 值增幅越大。表明热风薄层干燥后苹果片的颜色将变得偏黄,这种颜色的变化可能与干燥过程中苹果片发生了褐变反应有关。

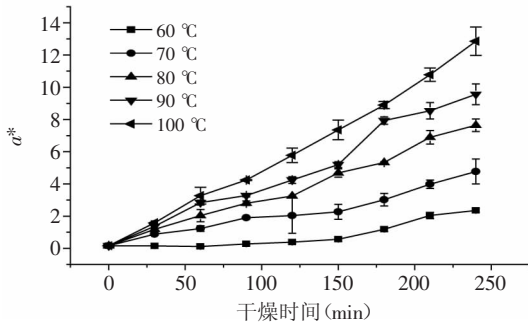


图2 不同热风薄层干燥温度下苹果片的 $a^*$ 值随干燥时间的变化

Fig.2 Change of  $a^*$  value of apple slices as a function of drying time under different temperatures

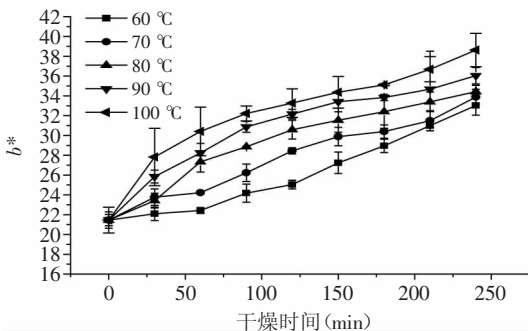


图3 不同热风薄层干燥温度下苹果片的 $b^*$ 值随干燥时间的变化

Fig.3 Change of  $b^*$  value of apple slices as a function of drying time under different temperatures

一方面,热风薄层干燥时苹果中的多酚氧化酶(PPO)仍具有很高的活性,在干燥过程中和氧气、水共同作

用发生酶促褐变<sup>[21-22]</sup>。另一方面,在温度不断升高的过程中,苹果中的糖类物质开始逐渐分解,发生美拉德反应,生成了棕褐色的物质<sup>[23]</sup>。

由图4可知,在干燥温度60~80 °C时, $\Delta E$ 呈现出匀速上升的趋势,而当干燥温度大于90 °C时, $\Delta E$ 呈现出快速上升的趋势。 $\Delta E$ 值作为一个色度参数广泛用来描述食品的颜色在加工过程中的变化<sup>[24]</sup>, $\Delta E$ 值越大表示颜色差异越大,当 $\Delta E > 2$ 时视觉就可发现明显的颜色变化。因此,苹果片经过5种不同温度的热风薄层干燥,在视觉上都可以察觉到其颜色发生了明显变化。

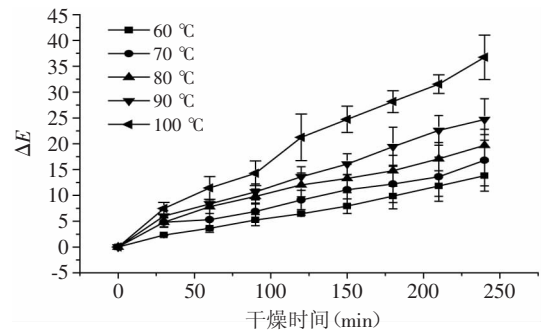


图4 不同热风薄层干燥温度下苹果片的 $\Delta E$ 值随干燥时间的变化

Fig.4 Change of  $\Delta E$  value of apple slices as a function of drying time under different temperatures

由表1可知,按照零级反应动力学模型拟合 $L^*$ 、 $a^*$ 、 $b^*$ 、 $\Delta E$ 的反应速率常数 $k$ 值均呈现了较好的规律性变化。随着热风薄层干燥温度的升高, $L^*$ 的 $k$ 值

表1 热风薄层干燥过程中苹果片的 $L^*$ 、 $a^*$ 、 $b^*$ 、 $\Delta E$ 变化动力学模型的相关系数

Table 1 Kinetic model parameters for  $L^*$ 、 $a^*$ 、 $b^*$ 、 $\Delta E$  change of apple slices

干燥温度 (°C)	参数	零级反应模型			一级反应模型		
		$k$ (min <sup>-1</sup> )	$C_0$	$R^2$	$k$ (min <sup>-1</sup> )	$C_0$	$R^2$
60	$L^*$	-0.0240	82.504	0.9655	-0.0003	82.544	0.9685
	$a^*$	-0.1317	-0.6687	0.8747	0.0187	0.0361	0.9732
	$b^*$	0.0539	19.453	0.9781	0.0020	20.190	0.9877
	$\Delta E$	0.0544	0.2895	0.9923	0.0082	2.1947	0.9676
70	$L^*$	-0.0300	81.935	0.9539	-0.0004	82.032	0.9502
	$a^*$	0.0177	0.1218	0.9476	0.0076	0.7854	0.9725
	$b^*$	0.0481	22.047	0.9776	0.0017	22.522	0.9731
	$\Delta E$	0.0570	2.279	0.9811	0.0061	4.0096	0.9794
80	$L^*$	-0.038	81.876	0.9475	-0.0005	82.038	0.9401
	$a^*$	0.0312	0.0175	0.9853	0.0086	1.1411	0.9616
	$b^*$	0.0472	23.869	0.9267	0.0016	24.146	0.8930
	$\Delta E$	0.0662	3.4738	0.9899	0.0060	5.0838	0.9262
90	$L^*$	-0.0728	84.722	0.9428	-0.0010	85.330	0.9376
	$a^*$	0.0400	-0.0298	0.9706	0.0087	1.3990	0.9406
	$b^*$	0.0451	25.784	0.9373	0.0015	26.048	0.9147
	$\Delta E$	0.0916	2.8181	0.9971	0.0067	5.5742	0.9737
100	$L^*$	-0.1317	85.696	0.9761	-0.0019	87.557	0.9802
	$a^*$	0.0524	-0.2296	0.9928	0.0092	1.6593	0.9419
	$b^*$	0.0443	27.699	0.9561	0.0013	28.009	0.9407
	$\Delta E$	0.1392	3.157	0.9931	0.0073	7.2611	0.9454

从 $-0.024 \text{ min}^{-1}$ 逐渐降低到 $-0.1317 \text{ min}^{-1}$ ,  $a^*$ 的 $k$ 值从 $-0.1317 \text{ min}^{-1}$ 逐渐上升到 $0.0524 \text{ min}^{-1}$ ,  $b^*$ 的 $k$ 值从 $0.0539 \text{ min}^{-1}$ 逐渐降低到 $0.0443 \text{ min}^{-1}$ ,  $\Delta E$ 的 $k$ 值从 $0.0544 \text{ min}^{-1}$ 增加到 $0.1392 \text{ min}^{-1}$ 。这说明苹果片在干燥过程中,随着干燥温度的增加其颜色变化的速率会加快,本实验结果与Corzo等<sup>[15]</sup>和Saxena等<sup>[16]</sup>报道的其他水果干燥过程中颜色变化动力学拟合结果基本一致。

按照一级反应动力学模型进行拟合 $L^*$ 、 $a^*$ 、 $b^*$ 、 $\Delta E$ 的 $k$ 值,呈现出一定的规律性变化,随着干燥温度的增加, $L^*$ 的 $k$ 值呈现降低的变化趋势, $a^*$ 的 $k$ 值则从 $0.0187 \text{ min}^{-1}$ 降低到 $0.0076$ ,再逐渐上升到 $0.0092 \text{ min}^{-1}$ , $b^*$ 的 $k$ 值从 $0.0020 \text{ min}^{-1}$ 逐渐降低到 $0.0013 \text{ min}^{-1}$ , $\Delta E$ 的 $k$ 值从 $0.0082 \text{ min}^{-1}$ 降低到 $0.0060 \text{ min}^{-1}$ ,然后再升高到 $0.0073 \text{ min}^{-1}$ 。由表1分析可知,苹果片热风薄层干燥过程中颜色参数的反应速率常数 $k$ 值受温度的影响较大。同时,从拟合度 $R^2$ 比较得出,零级动力学模型的拟合程度要优于一级动力学模型,用零级动力学模型能更好的描述和预测苹果片在热风薄层干燥过程中的颜色变化。

## 2.2 苹果片饱和度和BI值的变化规律及动力学分析

由图5可知,热风薄层干燥过程中苹果片的饱和度和BI值随着处理时间的延长而呈现增加的趋势,且干燥温度越高,其增幅越大。说明经过热风薄层干燥后苹果片的颜色变得饱满强烈,饱和度随着时间变化的

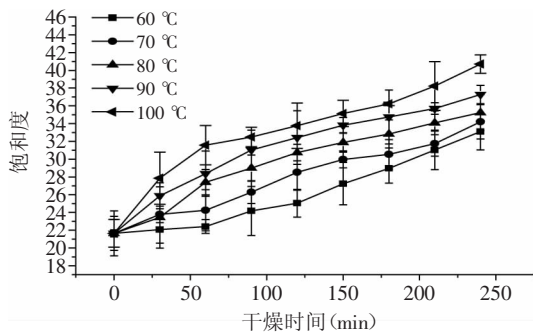


图5 不同干燥温度下苹果片的饱和度随干燥时间的变化  
Fig.5 Change of chroma value of apple slices as a function of drying time under different temperatures

趋势与 $b^*$ 值相似。

由图6可见,苹果片的BI值在干燥过程中也在逐渐增加,在 $60 \text{ }^\circ\text{C}$ 和 $100 \text{ }^\circ\text{C}$ 的干燥温度下,BI值从初始的28.99分别增加到干燥后的56.52和129.22,说明不同的干燥温度对BI值的影响较大,且温度越高,BI值的变化越大,这一结果与前面的 $\Delta E$ 的变化较一致。

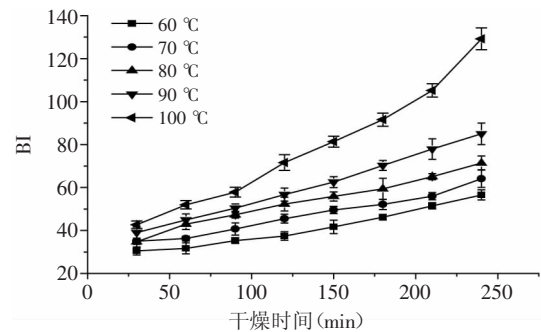


图6 不同干燥温度下苹果片的褐变指数随干燥时间的变化  
Fig.6 Change of browning index of apple slices as a function of drying time under different temperatures

由表2可知,按照零级反应动力学模型拟合饱和度和BI值的反应速率常数 $k$ 值呈现了一定的规律性变化。随着热风薄层干燥温度的升高,饱和度的 $k$ 值从 $0.0543 \text{ min}^{-1}$ 降低到 $0.0495 \text{ min}^{-1}$ ,再逐渐上升到 $0.0538 \text{ min}^{-1}$ ,而褐变指数BI的 $k$ 值则呈现升高的趋势。按照一级反应动力学模型拟合饱和度和BI值的反应速率常数 $k$ 值呈现了较好的规律性变化。饱和度的 $k$ 值随着热风薄层干燥温度的升高,从 $0.0020 \text{ min}^{-1}$ 逐渐降低到 $0.0016 \text{ min}^{-1}$ ,而褐变指数BI的 $k$ 值则从 $0.028 \text{ min}^{-1}$ 逐渐升高到 $0.0051 \text{ min}^{-1}$ 。同时,比较两种模型的 $R^2$ ,表明一级反应动力学模型比零级反应动力学模型更加符合描述苹果片热风薄层干燥过程中饱和度和BI值的变化趋势。

## 3 结论

热风薄层干燥过程中,苹果片在 $60\sim 100 \text{ }^\circ\text{C}$ 的温度下都发生了比较明显的颜色变化,其中 $L^*$ 值逐渐降低,而 $a^*$ 值、 $b^*$ 值、 $\Delta E$ 、饱和度、BI值则逐渐升高。苹果片热风薄层干燥过程中的颜色变化遵循零级反应

表2 干燥过程中苹果片饱和度和褐变指数变化动力学模型的相关系数

Table 2 Kinetic model parameters for chroma and browning index change of apple slices

干燥温度 ( $^\circ\text{C}$ )	参数	零级反应模型			一级反应模型		
		$k$ ( $\text{min}^{-1}$ )	$C_0$	$R^2$	$k$ ( $\text{min}^{-1}$ )	$C_0$	$R^2$
60	饱和度	0.0543	19.423	0.9775	0.0020	20.171	0.9874
	BI	0.1262	24.311	0.9721	0.0028	26.83	0.9906
70	饱和度	0.0495	21.982	0.9795	0.0017	22.488	0.9758
	BI	0.1350	29.183	0.9783	0.0029	31.571	0.9879
80	饱和度	0.0511	23.670	0.910	0.0017	24.034	0.9117
	BI	0.1615	31.829	0.9588	0.0031	34.392	0.9668
90	饱和度	0.0512	25.494	0.9626	0.0016	25.867	0.9413
	BI	0.2192	31.271	0.9860	0.0037	35.835	0.9969
100	饱和度	0.0538	27.229	0.9607	0.0016	27.715	0.9612
	BI	0.3900	26.288	0.970	0.0051	37.469	0.9948

动力学和一级反应动力学,两种模型的反应速率常数( $k$ )受温度的影响较大,温度越高, $k$ 值变得越快。比较两种动力学模型的决定系数 $R^2$ ,表明零级反应动力学模型能更好的描述和预测苹果片在热风薄层干燥过程中的 $L^*$ 、 $a^*$ 、 $b^*$ 、 $\Delta E$ 值的变化,而饱和度和BI值的变化则更符合一级反应动力学模型。本研究结果将为苹果片的热风薄层干燥工艺优化和产品品质控制提供理论指导。

### 参考文献

- [1] 毕金峰,方芳,公丽艳,等. 苹果干燥技术研究进展[J]. 农产品加工(创新版),2010(3):4-7.
- [2] WU Rina,DANG Yali,NIU Le,et al. Application of matrix solid-phase dispersion-HPLC method to determine patulin in apple and applejuice concentrate[J]. Journal of Food Composition and Analysis,2008,21(7): 582-586.
- [3] 郭善广,仇农学. 苹果浓缩汁非酶褐变动力学及影响因素[J]. 食品科学,2010,31(23):79-83.
- [4] 慕菁华,蔡同一,王芳,等. 贮藏和包装条件对苹果浓缩汁二次混浊形成的影响[J]. 中国食品学报,2011,11(6):129-133.
- [5] 夏秋敏,王小宏,孟永宏,等. 高色值脱农残浓缩苹果汁的生产工艺[J]. 食品与发酵工业,2013,39(8):157-160.
- [6] GUO Yaodong,ZHOU Zhengkun,YUAN Yahong,et al. Survey of patulin in apple juice concentrates in Shaanxi(China) and its dietary intake[J]. Food Control,2013,34(2):570-573.
- [7] LI Jianke,HUANG Ruirui,XIA Kai,et al. Double antibodies sandwich enzyme-linked immunosorbent assay for the detection of Alicyclobacillus acidoterrestris in apple juice concentrate[J]. Food Control,2014,40(6):172-176.
- [8] MARISCAL M,BOUCHON P. Comparison between atmospheric and vacuum frying of apple slices[J]. Food Chemistry,2008,107(4):1561-1569.
- [9] 白杰,晓虹,罗瑞明,等. 苹果冷冻干燥工艺优化[J]. 食品科学,2005,26(3):169-172.
- [10] 韩清华,李树君,毛志怀,等. 微波真空干燥条件对苹果脆片感官质量的影响[J]. 农业机械学报,2009,40(3):130-134.
- [11] 毕金峰. 苹果变温压差膨化干燥工艺优化研究[J]. 食品科学,2008,29(11):213-218.
- [12] VEGA-GALVEZ A,AH-HE K,CHACANA M,et al. Effect of temperature and air velocity on drying kinetics,antioxidant capacity,total phenolic content,colour,texture and microstructure of apple(var. Granny Smith) slices[J]. Food Chemistry,2012,132(1):51-59.
- [13] STURM B, VEGA A M N, HOFACKER W C. Influence of process control strategies on drying kinetics,colour and shrinkage of air dried apples[J]. Applied Thermal Engineering,2014,62(2):455-460.
- [14] DARVISHI H, KHOSHTAGHAZA M H, MINAE S. Drying kinetics and colour change of lemon slices[J]. International Agrophysics,2014,28(1):1-6.
- [15] CORZO O,ALVAREZ C. Color change kinetics of mango at different maturity stages during air drying[J]. Journal of Food Processing and Preservation,2014,38(1):508-517.
- [16] SAXENA A,MAITY T,RAJU PS,et al. Degradation Kinetics of Colour and Total Carotenoids in Jackfruit (Artocarpus heterophyllus) Bulb Slices During Hot Air Drying[J]. Food and Bioprocess Technology,2012,5(2):672-679.
- [17] TSAMI E,KATSIOTI M. Drying kinetics for some fruits: Predicting of porosity and color during dehydration[J]. Drying Technology,2000,18(7):1559-1581.
- [18] 卢影,郑建仙. 复合护色液对鲜切苹果的防褐变研究[J]. 现代食品科技,2009,25(9):1024-1028.
- [19] KROKIDA M K, TSAMI E, MAROULIS ZB. Kinetics on color changes during drying of some fruits and vegetables [J]. Drying Technology,1998,16(3-5):667-685.
- [20] 段江莲,王向东. 苹果脆片的防褐变研究[J]. 食品研究与开发,2007,28(7):102-105.
- [21] SENADEERA W, BHANDARI B R, YOUNG G, et al. Influence of shapes of selected vegetable materials on drying kinetics during fluidized bed drying[J]. Journal of Food Engineering,2003,58(3):277-283.
- [22] OSZMIANSKI J,LEE C Y. Enzymatic oxidation of phloretin glucoside in model system[J]. Journal of Agriculture Food Chemistry,1991,39(6):1050-1052.
- [23] 巨浩羽,肖红伟,白竣文,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(增刊2):186-191.
- [24] GUINE R P F, BARROCA M J. Effect of drying treatments on texture and color of vegetables(pumpkin and green pepper) [J]. Food and Bioproducts Processing,2012,90(C1):58-63.

(上接第136页)

- [22] 张微,李汀生. 超高压处理对菠萝汁品质的影响[J]. 食品与发酵工业,2009(10):181-185.
- [23] 张微. 超高压和热处理对热带果汁品质影响的比较研究[D]. 广州:华南理工大学,2010.
- [24] Palma H C,MacFeeters R F,Fleming H P. Fresh cucumber flavor in refrigerated pickles:comparison of sensory and instrumental analysis[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry,2002,50(17):4857-4877.
- [25] Spanos G A,Wrolstad R E. Influence of processing and storage on the phenolic composition of thompson seedless grape juice[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry,1990,38(7):1565-1571.
- [26] 赵光远,纵伟,姚二民. 混浊苹果汁储藏过程中色泽稳定性的研究[J]. 食品科学,2006,27(8):93-97.
- [27] Buggenhout S V,Message I,Plancken I V D,et al. Influence of high-pressure-low-temperature treatments on fruit and vegetable quality related enzymes[J]. European Food Research and Technology,2006,223(4):475-485.