

# 三种干燥方式下苹果脆片干燥特性及品质的比较

黄妍<sup>1</sup>, 林俊锦<sup>2</sup>

(1. 福建省闽北职业技术学院食品系, 福建南平 353000)

(2. 福建中鹭金草生物技术有限公司, 福建南平 353000)

**摘要:** 探究不同干燥技术对苹果脆片干燥特性和品质的影响。分别使用热风干燥、中短波红外干燥、脉动压差闪蒸干燥的方法对苹果脆片进行干燥, 并对各种干燥技术对苹果脆片内部温度、体积、水分活度进行检测, 对各种干燥技术苹果脆片色泽参数、品质的影响进行检测对比。结果显示: 热风干燥技术的  $L^*$  值为 85.69, 要低于中短波红外干燥技术的 93.58、高于脉动压差闪蒸的 81.45 ( $p < 0.05$ ); 热风干燥、中短波红外干燥、脉动压差闪蒸干燥的色差综合评分分别为 20.35、4.52、17.53, 三者相比 ( $p < 0.05$ ); 中短波红外干燥的 Vc 含量、复水比、脆度值分别为 2.98、44.31、9.05, 要高于热风干燥的 2.71、4.05、8.64, 低于脉动压差闪蒸干燥的 3.26、4.98、10.59 ( $p < 0.05$ )。对比三种干燥方式发现, 对苹果脆片品质影响最大的是脉动压差闪蒸方式, 对苹果脆片色泽影响最大的是中短波红外干燥方式, 对苹果脆片干燥特性影响最大的为中短波红外干燥方式。

**关键词:** 热风干燥技术; 中短波红外干燥; 脉动压差闪蒸干燥; 苹果脆片

文章篇号: 1673-9078(2021)03-227-232

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2021.3.0816

## Comparison of Drying Characteristics and Quality of Apple Crisps under Three Drying Methods

HUANG Yan<sup>1</sup>, LIN Jun-jin<sup>2</sup>

(1. Food Department of Minbei Vocational and Technical College, Nanping 353000, China)

(2. Fujian Zhonglu Jincao Bitotechnology Co. Ltd., Nanping 353000, China)

**Abstract:** The effects of different drying techniques on the drying characteristics and quality of apple crisps were investigated. Hot air drying, mid-short wave infrared drying and pulsatile pressure differential flash drying were used to dry apple crisp slices, and the internal temperature, volume and water activity of apple crisp slices were tested by various drying techniques, and the effects of various drying techniques on color parameters and quality of apple crisp slices were tested and compared. The results showed that the  $L^*$  value of hot air drying technology was 85.69, lower than 93.58 of medium-short wave infrared drying technology, higher than 81.45 of pulsatile differential pressure flash drying ( $p < 0.05$ ); the color difference comprehensive scores of hot air drying, medium-short wave infrared drying and pulsatile differential pressure flash drying were 20.35, 4.52 and 17.53, respectively ( $p < 0.05$ ); the vitamin C mass fraction, rehydration ratio and brittleness values of medium-short wave infrared drying were 2.98, 44.31, 9.05, respectively, higher than 2.71, 4.05 and 8.64 of hot air drying, lower than 3.26, 4.98 and 10.59 of pulsatile differential pressure flash drying ( $p < 0.05$ ). Comparing the three drying methods, it was found that the pulse pressure differential flash drying method had the greatest impact on the quality of apple crisp slices, the medium-short infrared drying method had the greatest impact on the color of apple crisp slices, and the medium-short wave infrared drying method had the greatest impact on the drying characteristics of apple crisp slices.

**Key words:** Hot air drying technology; mid-short wave infrared drying; pulsatile differential pressure flash drying; apple crisps

引文格式:

黄妍, 林俊锦. 三种干燥方式下苹果脆片干燥特性及品质的比较[J]. 现代食品科技, 2021, 37(3): 227-232

HUANG Yan, LIN Jun-jin. Comparison of drying characteristics and quality of apple crisps under three drying methods [J]. Modern Food Science and Technology, 2021, 37(3): 227-232

收稿日期: 2020-08-31

基金项目: 福建省教育厅中青年骨干教师教育科研项目(职业院校专项)(JZ181043)

作者简介: 黄妍(1985-), 女, 讲师, 研究方向: 食品加工、食品微生物检验

苹果是蔷薇科苹果亚科苹果属植物,其树木为落叶乔木<sup>[1]</sup>。苹果的营养价值极高,富含矿物质和维生素,含钙量丰富。苹果酸还可以代谢热量,防止下半身的肥胖<sup>[2]</sup>。苹果作为一种低热量的食物,其营养成分可溶性较大,易被人体所吸收,因此被称之为“活水”<sup>[3]</sup>。其有利于溶解硫元素,使得皮肤润滑柔嫩。我国作为苹果大国,产量约占苹果总产量的65%,其主要品种有陕西洛川富士、陕西延川富士、山东红星等等。苹果的品种很多,可分为酒用品种、烹调品种、鲜食品种3大类,其3类品种的大小、颜色、香味、脆性等特点均有所差别<sup>[4,5]</sup>。

苹果脆片是在真空状态或者负压状态下,通过油炸或者其他的方法,随后将苹果内的水分蒸发掉,外形以及颜色不发生变化的情况下得到含水量大约5%左右的制品,其不含色素,也无防腐剂,是一种纯天然的休闲食品<sup>[6,7]</sup>。近年来,苹果脆片迅速的挤入膨化产品的行列之中,其具有酥脆、香气浓郁等特点,深得现代年轻人的喜爱<sup>[8,9]</sup>。

随着社会的进步发展,消费者对产品的质量越来越高,需要的产品样式多样化。因此,生产者在提供新鲜的食品的同时还要维持产品的质量和营养价值。对此,在对食品加工中的结构等组成物质的检测和控制、提高产品的质量至关重要。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料

苹果:富士苹果,产自陕西延川,购买至北京市锦绣大地,直径大约80 mm左右,水分含量86%以上。将所购买苹果放置在0.5 °C的冷库或者冰柜进行保存代用。

主要仪器设备:切片机(型号:RY-311-1),广州市祥九瑞盈机械设备有限公司;热电偶,上海自动化仪表集团有限公司;食品体积测定仪,山东竞道电光科技有限公司;物性分析仪,湘潭湘仪仪器有限公司;电热鼓风干燥箱、电热恒温鼓风干燥箱,上海丙林电子科技有限公司;中短波红外干燥箱,苏州德沃斯制造有限公司;闪蒸干燥机,江苏宇通干燥工程有限公司;水分活度仪,华科仪器仪表有限公司。

### 1.2 方法

#### 1.2.1 不同干燥技术苹果样品制备

热风干燥苹果片样品制备:将购买代用的苹果取出放置常温下,随后进行去皮、去核、切片,切片的厚度为5 mm,切片后在进行切块,取得大小一致的

扇形,使用电子秤称取300 g苹果片均匀平铺与托盘之上,使用电热鼓风干燥箱对其进行干燥处理,调整热风干燥温度为50 °C、70 °C、90 °C,根据不同湿度条件下的速率转换点和水分比变化情况,在120 min时取样进行指标测定。

中短波红外干燥苹果片样品制备:将购买代用的苹果取出放置到常温下,随后对其进行剥皮、去核、切片,切片厚度为5 mm,切片后在进行切块,取得大小一致的扇形,使用电子秤称取300 g苹果均匀的平铺在托盘之上,放置于中短波红外干燥箱对其进行干燥处理,其辐射功率为1350 W,辐射距离为12 cm,根据不同的湿度条件下,速率转换点和水分比变化情况,在120 min时取样对其进行指标的测定。

脉动压差闪蒸苹果片样品制备:将购买代用的苹果取出直接去皮、去核、切片,切片的厚度为5 mm,切片后在进行切块,取得大小一致的扇形。将苹果片平铺在钢丝网盘之上,放置于电热恒温鼓风干燥箱内进行加工,在70 °C的条件下进行预干燥处理,取出后放置到85 °C、95 °C、105 °C果蔬脉动压差闪蒸干燥机进行闪蒸,闪蒸室的压力设置为0.2 MPa,多次脉动压差闪蒸,脉动压差闪蒸后进行抽空干燥,在闪蒸10次后对其产品进行指标检测。

#### 1.2.2 内部温度检测

使用热点偶对苹果脆片内部温度进行检测并记录:使用量尺检测出样品的中心位置进行标记,随后使用热电偶插入其中,插入后放置于热风干燥箱内,开启热风干燥箱后,随时观测在不同温度下苹果脆片内部温度的变化。

#### 1.2.3 体积检测

使用食品体积测定仪对进行样品体积的测定,食品体积测定仪在使用前需要提前开机30 min进行预热,随后启动软件程序,对苹果片样品的体积进行检测,进测时采取多次检测法,多次检测后随机选取3次检测记录,计算其平均值并记录。

#### 1.2.4 水分比检测

使用电阻率成像法检测样品的水分比:通过一次性布极、自动变换电极距离,来实现多尺度的断面数据采集,其能够通过核心表面制成的电阻测量惠州内部的电阻率图,以便于观测产品中的水异动情况。水分比计算公式如下:

$$MR = \frac{M_t - M_e}{M_0 - M_e} \times 100\%$$

式中,MR为式样t时刻水分比;M<sub>t</sub>为t时刻干基水分含量,g/g;M<sub>0</sub>为初始干基水分含量,g/g;M<sub>e</sub>为平衡干基水分含量,g/g。

### 1.2.5 苹果脆片色泽检测

将干燥过后的苹果脆片磨成粉之后,使用色差仪对其色泽进行检测,用 $L^*$ 、 $a^*$ 、 $b^*$ 值进行统计处理。 $L^*$ 表示颜色黑白,即亮暗。当 $L^*$ 值=0时为黑色; $L^*$ 值=100时为白色。 $L^*$ 值越大说明产品的颜色越好。 $a^*$ 值表示红绿色, $b^*$ 值代表黄蓝色。色差综合评定分计算公式如下:

$$\text{色差综合评定}=[(\Delta L^*)^2+(\Delta a^*)^2+(\Delta b^*)^2]^{1/2}$$

### 1.2.6 苹果脆片品质和复水比检测

使用物性分析仪对苹果脆片的脆度、硬度进行检测。样品选择形状大小一致,进行压缩试验,每组样品多次重复,重复次数不得少于10次,取其平均值进行分析。参数条件:选择P/0.25 s探头、测定前速度设定为2.0 mm/s,测定后速度设定为2.0 mm/s,测试速度设定为1.0 mm/s,破裂测试距离为5.0 mm;100 g为测试力度。应力变化曲线,通过仪器自带软件分析得出脆度及硬度数值。复水比计算公式如下:

$$RR = \frac{W_w}{W_b}$$

式中, $RR$ 为复水比; $W_w$ 为复水后苹果脆片的质量,g; $W_b$ 为复水前苹果脆片的质量,g。

### 1.2.7 Vc含量的测定

采用2,6-二氯酚酚滴定法对Vc含量进行测定<sup>[10]</sup>。

## 1.3 统计学处理

采用SPSS 21.0统计软件进行分析,计量资料采用 $(\bar{x} \pm s)$ 进行描述,多组间比较采用 $F$ 值检验,两组间比较采用实施独立样本 $t$ 检验, $p < 0.05$ 则说明差异具有统计学意义。

## 2 结果

### 2.1 不同干燥技术在不同的温度下对苹果脆片内部温度检测对比

表1 不同干燥技术在不同温度下对苹果脆片内部温度检测对比  
Table 1 Comparison of internal temperature detection of apple chips by different drying technologies at different temperatures

干燥技术	$(\bar{x} \pm s, ^\circ\text{C})$		
	50 °C	70 °C	90 °C
热风干燥	39.59±4.59 <sup>a</sup>	50.34±6.01 <sup>a</sup>	81.26±8.56 <sup>a</sup>
中短波红外干燥	30.28±3.87 <sup>b</sup>	40.26±5.13 <sup>b</sup>	76.65±7.21 <sup>b</sup>
脉动压差闪蒸	35.26±4.01 <sup>c</sup>	45.36±5.26 <sup>c</sup>	71.61±7.00 <sup>c</sup>

注:同列数据右肩字母不同表示差异性显著, $p < 0.05$ ,下同。

热风干燥又被称为“瞬间干燥”,是一种在烘箱或者在烘干室内吹入热风使得空气流动加快的现代干燥方法之一。热风干燥是以热空气作为干燥介质,自然或者强制的对流循环的方式和食品进行交换。中短波红外干燥技术是一种高效节能、低污染的干燥技术,其是通过红外辐射对物料进行撞击,从而渗透后再将辐射能量转化为热量的一种干燥技术。脉动压差闪蒸是一种是目前果蔬加工的新技术<sup>[11]</sup>。如表1所示,热风干燥技术、中短波红外干燥、脉动压差闪蒸技术的温度为50 °C时,苹果脆片的内部温度为39.59、30.28、35.26 °C ( $p < 0.05$ );当热风干燥技术、中短波红外干燥、脉动压差闪蒸技术的温度为70 °C时,苹果脆片的内部温度为50.34、40.26、45.36 °C ( $p < 0.05$ );当热风干燥技术、中短波红外干燥、脉动压差闪蒸技术的温度为90 °C时,苹果脆片的温度为81.26、76.65、71.61 °C ( $p < 0.05$ );由此可见,热风干燥技术在不同温度下干燥,苹果脆片的内部温度要高于中短波红外干燥、脉动压差闪蒸技术。

### 2.2 不同干燥技术在不同温度下对苹果脆片体积变化比较

如表2所示,在不同的温度下,不同干燥技术对苹果脆片进行干燥,其体积会随之变化。热风干燥技术、中短波红外干燥、脉动压差闪蒸技术的温度为50 °C时,苹果脆片的体积为5.36、3.02、3.17 ( $p < 0.05$ );当热风干燥技术、中短波红外干燥、脉动压差闪蒸技术的温度为70 °C时,苹果脆片的体积为3.24、1.95、2.59 ( $p < 0.05$ );当热风干燥技术、中短波红外干燥、脉动压差闪蒸技术的温度为90 °C时,苹果脆片的体积为1.26、1.24、1.26 ( $p > 0.05$ )。表明当温度在50 °C时,三种干燥技术对苹果脆片进行干燥,热风干燥的体积最大,其次是中短波红外干燥、最后为脉动压差闪蒸,说明当温度在50 °C时,使用中短波红外干燥技术最为适宜,当70 °C时,体积最小的为中短波红外干燥,其次是脉动压差闪蒸,最后是热风干燥,说明当温度为70 °C,中短波红外干燥技术最为适宜。

表2 不同干燥技术在不同温度下对苹果脆片体积变化比较  
Table 2 Comparison of volume changes of apple chips with different drying techniques at different temperatures ( $\bar{x} \pm s, \text{cm}^3$ )

干燥技术	$(\bar{x} \pm s, \text{cm}^3)$		
	50 °C	70 °C	90 °C
热风干燥	5.36±1.21 <sup>a</sup>	3.24±0.95 <sup>a</sup>	1.26±0.41 <sup>a</sup>
中短波红外干燥	3.02±0.18 <sup>b</sup>	1.95±0.08 <sup>b</sup>	1.24±0.04 <sup>a</sup>
脉动压差闪蒸	3.17±0.19 <sup>b</sup>	2.59±0.11 <sup>c</sup>	1.26±0.08 <sup>a</sup>

### 2.3 不同干燥技术在不同温度下苹果脆片的水分比变化比较

大量研究显示,水分比变化在苹果脆片的干燥中有着密切的联系。毕金峰<sup>[12]</sup>等在研究中表示,不同干燥方式对苹果脆片水分比有着一定的影响,其中脉动压差干燥方式对苹果脆片的水分比变化有一定影响,对苹果脆片进行脉动压差闪蒸,苹果脆片内的水分比散失较快,脉动压差的次数增多,苹果脆片内的水分比逐渐下降,其最终的苹果脆片水分比为0.19%以下。

表3 不同干燥技术在不同温度下苹果脆片水分比变化

Table 3 Changes of moisture ratio of apple chips with different drying techniques at different temperatures ( $\bar{x}\pm s$ , %)

干燥技术	50 °C	70 °C	90 °C
热风干燥	0.84±0.21 <sup>a</sup>	0.41±0.09 <sup>a</sup>	0.28±0.04 <sup>a</sup>
中短波红外干燥	0.46±0.05 <sup>b</sup>	0.25±0.04 <sup>b</sup>	0.08±0.04 <sup>b</sup>
脉动压差闪蒸	0.56±0.05 <sup>c</sup>	0.34±0.02 <sup>c</sup>	0.17±0.01 <sup>c</sup>

如表3所示,随着干燥过程的进行,苹果脆片的水分比逐步下降,内部温度上升,体积下降,与上述一致。当热风干燥技术、中短波红外干燥、脉动压差

闪蒸技术的温度为50 °C时,苹果脆片的水分比为0.84%、0.46%、0.56% ( $p<0.05$ );当热风干燥技术、中短波红外干燥、脉动压差闪蒸技术的温度为70 °C时,苹果脆片的水分比为0.41%、0.25%、0.34% ( $p<0.05$ );当压差闪蒸技术的温度为90 °C时,苹果脆片的水分比为0.28%、0.08%、0.17% ( $p<0.05$ )。本文研究中和王雪媛等研究结果相差无几。大量临床研究表明,当干燥的温度过低时,苹果脆片的颜色会变得暗淡,水分抽空不足,不利于苹果脆片的保存,当温度过高时,会严重导致苹果脆片的褐变,其脆度变高,硬度也会随之增高,不仅在运输上不方便,还会影响消费者的口感。

### 2.4 三种干燥技术对苹果脆片色泽的影响对比

大量研究显示,不同干燥技术对苹果色泽具有一定的关联。巨浩羽<sup>[13]</sup>等在研究中表示,使用中短红外干燥技术对苹果脆片进行干燥,对苹果脆片的色泽具有一定的影响。本文研究中不仅使用中短红外干燥技术对苹果干燥技术进行干燥,且还用热风干燥和脉动压差闪蒸对苹果脆片进行干燥,探究其对苹果脆片色泽的影响是否与上述一致。

表4 不同干燥技术对苹果脆片色泽参数对比

Table 4 Comparison of color parameters of apple chips by different drying techniques ( $\bar{x}\pm s$ )

干燥技术	$L^*$	$a^*$	$b^*$	色差综合评定
未干燥	70.75±0.07 <sup>a</sup>	9.04±1.05 <sup>a</sup>	23.17±0.05 <sup>a</sup>	0.00±0.00 <sup>a</sup>
热风干燥	85.69±0.15 <sup>b</sup>	10.12±1.14 <sup>b</sup>	14.59±0.01 <sup>b</sup>	20.35±0.14 <sup>b</sup>
中短红外干燥	93.58±0.08 <sup>c</sup>	12.00±2.14 <sup>c</sup>	14.38±0.07 <sup>b</sup>	24.52±0.13 <sup>c</sup>
脉动压差闪蒸	81.45±0.05 <sup>b</sup>	13.98±2.15 <sup>d</sup>	18.59±0.04 <sup>c</sup>	17.53±0.32 <sup>d</sup>

注:  $L^*$ 表示亮度;  $a^*$ 表示红色至绿色的范围;  $b^*$ 表示蓝色至黄色的范围。

如表4所示,本文研究热风干燥、中短红外干燥、脉动压差闪蒸干燥三种不同的干燥技术对苹果脆片色泽的影响。表4中显示,热风干燥、中短红外干燥、脉动压差闪蒸的 $L^*$ 值为85.69、93.58、81.45,未干燥时的苹果脆片 $L^*$ 值为70.75,相对比较下,干燥后的 $L^*$ 值有所上升,说明此3种干燥技术对苹果脆片的亮度均有所影响,增加苹果脆片的亮度。 $a^*$ 值有所上升, $b^*$ 值有所下降,说明此三种干燥技术能够降解苹果脆片中的叶绿素和美拉德,从而增加 $a^*$ 值、减少 $b^*$ 值。由表4可得,热风干燥和中短红外干燥技术的 $a^*$ 、 $b^*$ 值无差异 ( $p>0.05$ ),而脉动压差闪蒸干燥技术的 $a^*$ 、 $b^*$ 值与热风干燥和中短红外干燥技术相比 ( $p<0.05$ ),说明脉动压差闪蒸能够较好的隔绝氧气,抵制氧化等不良反应的产生<sup>[14-16]</sup>。由表4的色差综合评分可知,各种的干燥处理方式均具有一定的差异 ( $p<0.05$ ),说明此3种方式对苹果脆片干燥后色差均有所效果。此

结论与巨浩羽等<sup>[13]</sup>的研究结果一致。

### 2.5 不同干燥技术对苹果脆片品质的影响

表5 不同干燥技术对苹果脆片品质的影响

Table 5 Effects of different drying techniques on the quality of apple chips ( $\bar{x}\pm s$ )

干燥技术	Vc含量/%	复水比/%	脆度/N
未干燥	5.91±0.32 <sup>a</sup>	-	-
热风干燥	2.71±0.10 <sup>b</sup>	4.05±0.10 <sup>a</sup>	8.64±0.32 <sup>a</sup>
中短红外干燥	2.98±0.14 <sup>c</sup>	4.31±0.07 <sup>b</sup>	9.05±0.24 <sup>b</sup>
脉动压差闪蒸	3.26±0.14 <sup>d</sup>	4.98±0.20 <sup>c</sup>	10.59±0.51 <sup>c</sup>

Vc是体内多种酶反应途径的重要辅助因子,其主要的膳食来源是新鲜的蔬菜和水果,其中苹果内就含有大量的Vc。Vc及其不稳定,容易受到水分的含量、氧气和温度等因素的影响而降解,因此Vc的保存情况常常被作为一种营养评分的评价指标<sup>[17-19]</sup>。如表5

所示,使用不同的干燥技术对苹果脆片进行干燥,与未干燥的苹果脆片相比,Vc含量均有所下降( $p<0.05$ ),脉动压差闪蒸技术对Vc的保存较高,其原因是脉动干燥时,大部分时间在真空低氧的情况下进行,从而减少了产品的氧化程度,对Vc的保存具有较好的效果。脆度是消费者选择产品的一种重要的因素,脆度越好,其口感度越好,消费者便会更加容易接受<sup>[20-22]</sup>。如表5所示,脉动压差闪蒸的脆度值最高,说明脉动压差闪蒸方式干燥可能是因为脉动压差闪蒸在产生膨化作用,使孔道进行扩充,质地更加的酥脆。

## 2.6 各种干燥技术对苹果脆片微观结构的影响

使用50倍放大电镜扫描对各种干燥技术后苹果脆片微观结构进行检测发现,未干燥苹果脆片苹果薄壁组织细胞大小均匀,薄壁组织细胞以网状的模式松散排列在苹果结构中。热风干燥后苹果脆片薄壁组织分散变形,且有空洞的出现。中短红外干燥技术对苹果脆片进行干燥后苹果薄壁组织出现收缩现象,开始出现大小不同的空腔。脉动压差闪蒸之后苹果脆片薄壁组织收缩,有空腔的出现,且呈蜂窝状呈现,部分的区域形成响度紧密的结构。

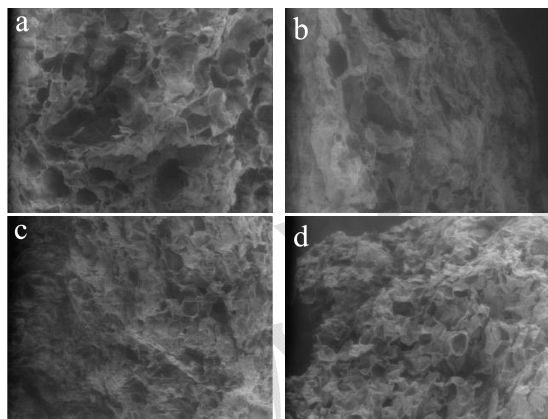


图1 各种干燥技术后电镜下苹果脆片微观结构比较(电镜×200)

Fig.1 Comparison of microstructure of apple chips under electron microscope after various drying techniques

注: a: 未干燥; b: 热风干燥; c: 中短红外干燥; d: 脉动压差闪蒸。

## 3 结论

3.1 热风干燥技术在90℃时,对苹果脆片的色泽、体积、水分比和苹果脆片品质的影响最大,所以热风干燥技术最适合的温度为90℃;中短红外干燥技术在70℃时,苹果脆片的色泽、体积和品质影响最大,所以中短红外干燥技术最适合的温度为70℃;脉动压差

闪蒸技术在70℃时,对苹果脆片的色泽、体积和品质影响最大,所以脉动压差闪蒸技术最合适的温度为70℃。

3.2 热风干燥技术能够通过热空气在广泛区域内的流动来实现物料表面水分的去除,该设备操作简单,能够进行连续的加工。中短红外干燥技术是一种高效节能、低污染的干燥技术,红外能量能够极大的缩短时间,能源效率较高。脉动压差干燥技术虽然时间较长,但其对脆片膨化的效果最好。热风干燥技术、中短红外干燥技术、脉动压差闪蒸技术相比较,其脆度评分分别为8.64、9.05、10.59,由此可见,脉动压差闪蒸技术对苹果脆度的膨化效果最好。但是脉动压差闪蒸方式的时间较长,干燥技术仍需进一步的改善。

3.3 三种干燥方式对苹果脆片色泽均有所影响,对色泽影响最大的为中短红外干燥方式,虽然中短红外干燥技术能源效率较高,但该方式有着操作复杂的短板,其干燥技术仍需进一步改善。

## 参考文献

- [1] Shen X, Zhang M, Bhandari B, et al. Effect of ultrasound dielectric pretreatment on the oxidation resistance of vacuum-fried apple chips [J]. *J Sci Food Agric*, 2018, 98(12): 4436-4444
- [2] Tenore G C, Caruso D, Buonomo G, et al. Lactofermented annurca apple puree as a functional food indicated for the control of plasma lipid and oxidative amine levels: results from a randomised clinical trial [J]. *Nutrients*, 2019, 11(1): 122
- [3] Sansone K, Kern M, Hong M Y, et al. Acute effects of dried apple consumption on metabolic and cognitive responses in healthy individuals [J]. *J Med Food*, 2018, 21(11): 1158-1164
- [4] Qin Z, Petersen M A, Bredie W L P. Flavor profiling of apple ciders from the UK and Scandinavian region [J]. *Food Res Int*, 2018, 105: 713-723
- [5] Riaz A, Lei S, Akhtar HMS, et al. Preparation and characterization of chitosan-based antimicrobial active food packaging film incorporated with apple peel polyphenols [J]. *Int J Biol Macromol*, 2018, 114: 547-555
- [6] Cedermarck G, Selenius M, Tullus K. Glycaemic effect and satiating capacity of potato chips and milk chocolate bar as snacks in teenagers with diabetes [J]. *Eur J Pediatr*, 1993, 152(8): 635-639
- [7] Jentsch W, Hoffmann L, Schiemann R, et al. Untersuchungen zur energetischen verwertung von zucker-rüben, trockenschnitzeln, rohrzucker und apfelpektin durch

- wachsende schweine [J]. Arch Tierernahr, 1991, 41(1): 49-62
- [8] 王辉,刘敏,董楠,等.真空油炸苹果脆片预处理工艺优化[J].食品工业科技,2019,40(17):184-190  
WANG Hui, LIU Min, DONG Nan, et al. Optimization of pretreatment process for vacuum fried Apple crisps [J]. Food Industry Science and Technology, 2019, 40(17): 184-190
- [9] 王炜,刘春菊,宋江峰,等.HACCP体系在苹果脆片生产中的应用[J].食品研究与开发,2017,38(19):187-190  
WANG Wei, LIU Chun-ju, SONG Jiang-feng, et al. Application of HACCP system in apple crisp chip production [J]. Food Research and Development, 2017, 38(19): 187-190
- [10] GB 6195-1986,中华人民共和国国家标准 UDC 634 水果、蔬菜维生素C含量测定法[S]  
GB 6195-1986, National Standard of the People's Republic of China UDC 634 Determination of Vitamin C in Fruits and Vegetables [S]
- [11] 管晓,饶立,刘静,等.结合数据融合技术与近红外光谱的休闲苹果脆片综合品质评价[J].食品与机械,2016,32(12):45-49  
GUAN Xiao, RAO Li, LIU Jing, et al. Comprehensive quality evaluation of leisure apple crisps using data fusion technology and near infrared spectroscopy [J]. Food and Machinery, 2016, 32(12): 45-49
- [12] 毕金峰,王雪媛,周林燕,等.脉动压差闪蒸处理对苹果片水分散失特性及品质影响[J].农业工程学报,2016,32(z2): 376-382  
BI Jin-feng, WANG Xue-yuan, ZHOU Lin-yan, et al. Effects of pulsating differential pressure flash treatment on water loss characteristics and quality of apple slices [J]. Chinese Journal of Agricultural Engineering, 2016, 32(z2): 376-382
- [13] 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(z2):186-191  
JU Hao-yu, XIAO Hong-wei, BAI Jun-wen, et al. Study on the drying characteristics and color change of apple slices by medium and short wave infrared spectroscopy [J]. Acta Agriculturae Sinica, 2013, 44(z2): 186-191
- [14] 王璐,陈海峰,袁越锦,等.CO<sub>2</sub>高压低温气流膨化干燥苹果片的工艺优化[J].食品工业,2020,41(1):70-74  
WANG Lu, CHEN Hai-feng, YUAN Yue-jin, et al. Process optimization of CO<sub>2</sub> high-pressure low-temperature airflow puffing for drying apple slices [J]. Food Industry, 2020, 41(1): 70-74
- [15] 穆金屏,周家春,蒋丽华,等.苹果片红外热风联合干燥特性研究[J].食品工业科技,2016,37(7):92-96,169  
MU Jin-ping, ZHOU Jia-chun, JIANG Li-hua, et al. Study on infrared hot air combined drying characteristics of apple slices [J]. Food Industry Science and Technology, 2016, 37(7): 92-96, 169
- [16] 肖敏,易建勇,毕金峰,等.水苏糖渗透对压差闪蒸联合干燥苹果片品质的影响[J].中国食品学报,2019,19(8):138-146  
XIAO Min, YI Jian-yong, BI Jin-feng, et al. Effects of stachyose osmosis on the quality of apple slices dried by pressure differential flash combined drying [J]. Chinese Journal of Food Science, 2019, 19(8): 138-146
- [17] 吕伟桥,李星磊,李国华,等.中国农业大学.一种热风与脉冲喷动微波真空两阶段干燥苹果片的方法:CN202010095704.7 [P].2020-06-16  
LV Wei-qiao, LI Xing-lei, LI Guo-hua, et al. China Agricultural University. A two-stage drying method of apple slices by hot air and pulsed microwave vacuum: CN202010095704.7 [P]. 2020-06-16
- [18] 甘肃省科学院生物研究所.一种通过微波真空干燥制作苹果脆片的方法:CN202010096009.2 [P].2020-06-19  
Institute of Biology, Gansu Academy of Sciences. A method of making apple crisps by microwave vacuum drying: CN202010096009.2 [P]. 2020-06-19
- [19] Velickova E, Winkelhausen E, Kuzmanova S. Physical and sensory properties of ready to eat apple chips produced by osmo-convective drying [J]. J Food Sci Technol, 2014, 51(12): 3691-3701
- [20] 阮琼珠,李称,刘静文,等.大豆蛋白、苹果果胶及维生素C排铅效果的探究[J].工业微生物,2019,49(4):16-20  
RUAN Qiong-zhu, LI Said, LIU Jing-wen, et al. Exploration of lead removal effect of soybean protein, apple pectin and vitamin C [J]. Industrial Microorganisms, 2019, 49(4): 16-20
- [21] 李德智.橘子、苹果中维生素C含量的探究报告[J].科学咨询,2019,17:7-8  
LI De-zhi. Exploratory report on vitamin C content in oranges and apples [J]. Scientific Consultation, 2019, 17: 7-8
- [22] 张婷婷,蒲云峰,王雷,等.曲酸、抗坏血酸及柠檬酸对鲜切苹果褐变的影响[J].中国食品学报,2020,20(3):188-194  
ZHANG Ting-ting, PU Yun-feng, WANG Lei, et al. Effects of kojic acid, ascorbic acid and citric acid on browning of fresh-cut apples [J]. Chinese Journal of Food, 2020, 20(3): 188-194