

# 热风干燥温度对青椒品质的影响

## Effects of hot-air drying temperatures on quality of green peppers

郑清云<sup>1,2,3,4,5</sup> 王丹<sup>1,2,3,4</sup> 马越<sup>1,2,3,4</sup>

ZHENG Qing-yun<sup>1,2,3,4,5</sup> WANG Dan<sup>1,2,3,4</sup> MA Yue<sup>1,2,3,4</sup>

童军茂<sup>5</sup> 赵晓燕<sup>1,2,3,4</sup>

TONG Jun-mao<sup>5</sup> ZHAO Xiao-yan<sup>1,2,3,4</sup>

(1. 北京市农林科学院蔬菜研究中心,北京 100097;2. 果蔬农产品保鲜与加工北京市重点实验室,北京 100097;  
3. 农业部华北地区园艺作物生物学与种质创制重点实验室,北京 100097;  
4. 农业部都市农业(北方)重点实验室,北京 100097;5. 石河子大学食品学院,新疆 石河子 832000)

(1. Beijing Vegetable Research Center, Beijing Academy of Agriculture and Forestry Science, Beijing 100097, China;  
2. Beijing Key Laboratory of fruits and vegetables preservation and processing, Key Laboratory of Biology and Genetic Improvement of Horticultural Crops(North China), Beijing 100097, China; 3. Key Laboratory of Fruit and Vegetable Processing and Preservation of Agricultural Products(Beijing), Ministry of Agriculture, Beijing 100097, China;  
4. Key Laboratory of Urban Agricultural Grops(North), Ministry of Agriculture, Beijing 100097, China;  
5. College of Science, Shihezi University, Shihezi, Xinjiang 832000, China)

**摘要:**对青椒进行热风干燥试验,研究 55,60,65,70 °C 干燥温度下青椒的干燥特性,对所得制品外观和品质进行比较分析。结果表明,热风干燥温度越高干燥速度越快,水分活度( $a_w$ )下降越快。70 °C 条件下的样品与其他 3 个温度相比,虽叶绿素残留率、Vc 残留率、复水比都较高,但其硬度和韧性较大。而 55 °C 干燥时,干燥时间过长,增加了干燥成本。因此,从制品外观和营养品质综合考虑,60 °C 较适于干燥青椒产品。

**关键词:**青椒;干燥温度;营养品质

**Abstract:** The characteristics of green peppers were investigated after treated with hot-air drying at temperatures of 55, 60, 65 and 70 °C. Then the qualities of dried peppers were analyzed and compared. The results showed that the drying rate and decline of water activity ( $a_w$ ) were faster as the hot-air drying at higher temperature. Compared with other dried peppers, the treatment dried at 70 °C displayed higher the preservation of chlorophyll, Vc, rehydration ratio, the hardness and toughness. However, the drying time was too long

when peppers dried at 55 °C, which could cause high production costs. Considered the qualities of dried peppers, the temperature of 60 °C was suitable for drying pepper products.

**Keywords:** green pepper; drying temperature; quality properties

青椒湿基含水率高达 94%,收获季节正直雨季,极易腐烂变质,储藏期极短<sup>[1]</sup>。将其制成脱水青椒既可使具有独特的色、香、味、质,又可延长其货架期。在国内外脱水蔬菜市场上青椒需求量也逐年增加<sup>[2]</sup>。目前常用的干燥方法有热风干燥、真空冷冻干燥和微波干燥。J. M. F. Faustino 等<sup>[3]</sup>对青椒不同干燥温度下的干燥动力学进行研究,结果表明,Page 模型能较好地描述脱水青椒的干燥动力学。张文成等<sup>[4]</sup>对青椒进行真空冷冻干燥工艺研究,结果表明,青椒经-20 °C 速冻后,真空冷冻干燥(压力为 30 Pa)可得到品质较佳的脱水产品。经真空干燥和微波干燥的产品虽品质较高,但成本也较高<sup>[5,6]</sup>,而热风干燥法不仅应用广泛,而且成本低、操作简单,可广泛应用于脱水蔬菜的干燥<sup>[7-9]</sup>,但应用于青椒的较少。徐俐等<sup>[10]</sup>对脱水青椒热风干燥工艺进行研究,结果表明干燥过程中温度应控制在 32~42 °C,干燥时间约 18 h。干燥时间过长不仅会降低产品品质,还会增加干燥成本。因此,适当提高干燥温度,不仅大大缩短干燥时间,还能有效提高产品品质。对于脱水产品感官品质研究,大部分采用感官评价分析,该法受人为因素影响较大。与其相比,

**基金项目:**现代农业产业技术体系建设专项资金(编号:CARS-25);北京市农林科学院科技创新能力建设专项(编号:KJXC20140204);果蔬农产品保鲜与加工北京市重点实验室项目(编号:KJXCPT11)

**作者简介:**郑清云(1989-),女,石河子大学在读硕士研究生。  
E-mail: 18511169773@163.com

**通讯作者:**赵晓燕

**收稿日期:**2015-03-01

利用质构仪研究脱水产品复水后硬度和咀嚼性对综合评价产品品质有重要意义。青椒本身对温度敏感,因此研究热风温度对其品质的影响尤为重要。目前关于热风干燥对青椒品质的研究较少。于丽萍等<sup>[11]</sup>曾对脱水青椒加工技术进行过研究,但未对脱水制品品质进行分析。本研究拟在55,60,65,70℃热风温度下对青椒进行干燥,使其湿基含水率为8%左右,研究干燥温度对其色泽及营养品质的影响,试图确定满足青椒干燥品质要求的最佳干燥温度,为企业化生产提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料与试剂

厚皮柿子椒:北京市海淀区果香四溢蔬菜超市,处理前放入4℃冰箱保存;

无水乙醇、石油醚:分析纯,北京化工厂。

### 1.2 主要仪器

均质机:B-400型,瑞士步琪有限公司;

质构仪:TA-XTplus型,英国 Stable Micro Systems 公司;

色差仪:CM3700d型,日本柯尼卡—美能达公司;

水分活度仪:S40001388型,美国 AQUA LAB 公司;

温度湿度仪:U14-001型,北京华益瑞科技有限公司;

高速冷冻离心机:3-18型,德国赛多利斯公司;

紫外分光光度计:UV-1800型,日本岛津公司;

电热恒温鼓风干燥箱:DHG-9240A型,中国北京雅士林试验设备有限公司。

### 1.3 样品制备

新鲜青椒厚约5mm,湿基含水量约为94.0%,清洗、切片(15mm×15mm)后,90℃漂烫70s,铺料密度为0.1946g/cm<sup>2</sup>,分别于55,60,65,70℃条件下进行干燥,测定干燥前和干燥后(湿基含水率约为8%)各指标。

### 1.4 测定方法

1.4.1 颜色的测定 色差计测量,可得参数L\*、a\*、b\*、c\*、h\*。L表示明度值;a表示红/绿值;b表示黄/蓝值;c表示饱和度差异;h表示色调差异;DE表示容差,指各样品色度与标准品色度的差值<sup>[12,13]</sup>。DE\*代表总色差,DE\*值越小代表色差越少,反之越大。

$$L^* = L^*_{\text{样品}} - L^*_{\text{标准}} \quad (\text{明度差异}) \quad (1)$$

$$a^* = a^*_{\text{样品}} - a^*_{\text{标准}} \quad (\text{红/绿差异}) \quad (2)$$

$$b^* = b^*_{\text{样品}} - b^*_{\text{标准}} \quad (\text{黄/蓝差异}) \quad (3)$$

$$c^* = c^*_{\text{样品}} - c^*_{\text{标准}} \quad (\text{饱和度差异}) \quad (4)$$

$$h^* = [(DE)^2 - (L^*)^2 - (c^*)^2]^{1/2} \quad (\text{色调差异}) \quad (5)$$

$$DE^* = [(L^*)^2 + (a^*)^2 + (b^*)^2]^{1/2} \quad (6)$$

1.4.2 叶绿素含量的测定 按GB/T 22182—2008《油菜籽叶绿素含量测定》执行。

1.4.3 褐变度的测定 参考文献<sup>[14]</sup>。

1.4.4 Vc的测定 采用钼蓝比色法<sup>[15]</sup>。

1.4.5 复水比的测定 参考文献<sup>[16]</sup>。

1.4.6 水分活度测定方法 参考文献<sup>[17]</sup>。

1.4.7 质构参数测定 用质构仪测定青椒的硬度和韧性,参数设置:形变为50%,P/5探头(直径5mm),测前速度:1mm/s,测量速度:2mm/s,测后速度:8mm/s,重复3次。

### 1.5 数据分析

采用Origin 8.5软件绘制图像,本研究共设计了3个平行试验,采用DPS软件Duncan新负极差法得到平均值和标准差。

## 2 结果与分析

### 2.1 对青椒干燥特性的影响

2.1.1 不同温度下青椒干燥速度的变化 由图1可知,铺料密度恒定条件下,干燥初期水分散失较快,可能是新鲜青椒含大量水分,随干燥的进行,青椒中水分散失减慢,而对应的湿基含水率下降加快<sup>[18]</sup>。青椒肉质厚,水分不易散失,从整体上看,4个温度下青椒中水分迁移速度变化较小,这与文献<sup>[19]</sup>结果一致。由图1还可得出,温度越高,干燥至目标产品(湿基含水率约为8%)所需时间越短,55,60,65,70℃所需干燥时间分别为16,14,12,10h。

2.1.2 干燥温度和时间对青椒水分活度的影响 由图2可

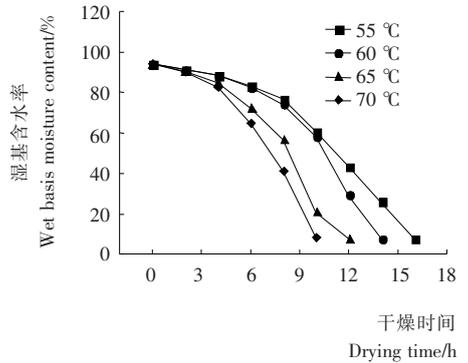


图1 各温度下青椒干燥速度的变化

Figure 1 Hot-air drying velocity curves of green pepper at different temperatures

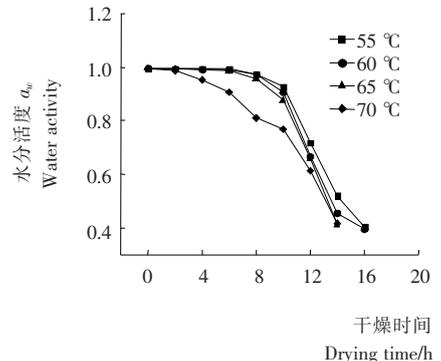


图2 各温度下青椒aw的变化

Figure 2 aw value curves of green pepper at different temperatures

知,不同热风温度下的  $a_w$  都随干燥时间的增加而降低,较高温度下  $a_w$  达到控制范围(湿基含水率为 8%)内的时间比较低温度下缩短至少 6 h。干燥初期(0~6 h)  $a_w$  变化较小,原因可能是此阶段样品中的游离水虽大量散失<sup>[20]</sup>,但对  $a_w$  影响很小。随干燥进行,样品内结合水向外蒸发,此时  $a_w$  下降很明显。温度越高,缔合能力较弱的结合水扩散越快,导致  $a_w$  下降越快。结果表明热风干燥温度对青椒干燥中水分活度变化有一定影响,干燥温度越高,水分活度下降越快。

2.1.3 干燥时间和时间对空气相对湿度的影响 由图 3 可知,在干燥初期(0~3 h),不同干燥温度下的空气相对湿度都有所增加,但 3 h 后,各温度下的相对湿度都降低,干燥温度越高,相对湿度下降越快。相对湿度是指一定压力下空气的水蒸气分压与同温度下纯水的饱和蒸气压的比值,其值越小,对应的吸水能力越大。当干燥温度较低(55 °C)时,烘箱除湿能力差,从而抑制水分蒸发,对干燥造成不利影响。一般相对湿度控制在 20% 以下时,得到的产品质量较佳。因此,脱水青椒的干燥温度不宜选择过低,干燥过程中也应注意排湿。

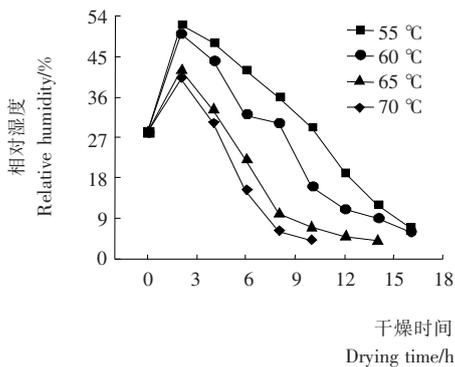


图 3 各温度下相对湿度的变化

Figure 3 Relative humidity value curves of green pepper at different temperatures

## 2.2 对青椒制品营养品质的影响

热风干燥温度(55,60,65,75 °C 对应的干燥时间分别为 16,14,12,10 h)对青椒叶绿素保留率、Vc 保留率、褐变度及复水比的影响见表 1。在产品质量方面,与 60 °C 相比,55,

表 1 干燥温度对青椒品质的影响<sup>†</sup>

Table 1 Effects of eifferent hot-air drying temperature on quality of peppers ( $n=3$ )

| 温度/<br>°C | 叶绿素<br>残留率/%            | Vc 残留率/<br>%            | 褐变度                    | 复水比                    |
|-----------|-------------------------|-------------------------|------------------------|------------------------|
| 55        | 15.04±1.57 <sup>b</sup> | 17.43±0.05 <sup>d</sup> | 1.47±0.01 <sup>a</sup> | 3.45±0.13 <sup>b</sup> |
| 60        | 33.56±2.13 <sup>a</sup> | 43.68±0.25 <sup>a</sup> | 1.18±0.02 <sup>d</sup> | 4.00±0.22 <sup>a</sup> |
| 65        | 18.64±1.17 <sup>b</sup> | 28.06±0.18 <sup>b</sup> | 1.28±0.01 <sup>b</sup> | 3.18±0.15 <sup>b</sup> |
| 70        | 19.13±3.35 <sup>b</sup> | 26.32±0.05 <sup>c</sup> | 1.23±0.01 <sup>c</sup> | 3.40±0.30 <sup>b</sup> |

<sup>†</sup> 同一列数据不同上标字母代表显著性差异( $P<0.05$ )。

65,70 °C 干燥样品的叶绿素、Vc 残留率及复水比都有显著性差异( $P<0.05$ )。原因可能是漂烫导致组织受损,加热时间过长或干燥温度过高,导致组织破坏加剧,发生一系列化学反应,导致叶绿体-蛋白质复合体的释放,加速叶绿素的降解<sup>[17]</sup>,同时也加速了 Vc 的氧化、褐变加深和样品复水性下降<sup>[21]</sup>。褐变度表示褐色物质的生成量。由表 1 可知,60 °C 干燥时的褐变值最小,说明该温度下干燥能较好地抑制褐色物质的生成。

由表 1 还可知:60 °C 干燥时,干燥终点制品的褐变度值较小,叶绿素、Vc 的残留率及复水比较大。与 60 °C 干燥相比,65 和 70 °C 干燥时间短,但是样品的 Vc 残留率、叶绿素残留率及复水比显著降低( $P<0.05$ ),且样品褐变度值较大。与 60 °C 干燥相比,55 °C 的复水比较高,但干燥时间长,耗能大,叶绿素残留率和 Vc 残留率显著下降( $P<0.05$ )。

综上所述,干燥时间过长和干燥温度过高都会严重影响脱水青椒的品质,缩短干燥时间并选择适当的干燥温度能显著提高产品品质;青椒经 60 °C 干燥 12 h 得到的产品(湿基含水率约 8%)感官和品质较佳。

## 2.3 对青椒色泽的影响

以新鲜青椒的颜色作为标准,干燥至湿基含水率约为 8% 时的颜色与标准之间的差值作为判断各色度的偏向,结果见图 4。

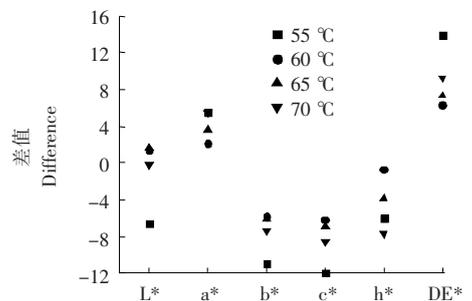


图 4 各温度样品与标准样品的色度差值

Figure 4 Chroma difference of samples and standards at different temperatures

由图 4 可知,以新鲜青椒的色度作为标准,60,65,70 °C 下的  $L^*$ ,  $a^*$  偏向于正值,即脱水青椒相对标准偏浅, $b^*$ ,  $c^*$ ,  $h^*$  偏向于负值,即果肉相对标准偏蓝,偏暗。55 °C 时的总色差  $DE^*$  最大,原因可能是 55 °C 时干燥时间过长,导致距离新鲜青椒颜色差异较大。图 4 中还可看出,与 55,70 °C 相比,60,65 °C 干燥时的  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ ,  $c^*$ ,  $h^*$  和  $DE^*$  都相对较小,说明该温度下青椒的色泽变化最小,能较好地保存青椒的颜色。若要判断其品质优劣,还需结合感官评定与其它指标,进行综合分析。

## 2.4 对青椒韧性和硬度的影响

韧性是样品在塑性变形过程中吸收能量的能力,韧性越低,产品的口感越好。由图 5 可知,韧性随干燥温度的增加

而增加。硬度是样品局部抵抗硬物压入其表面的能力。青椒复水后其硬度越小,对应产品口感越好。由图6可知,硬度也随干燥温度的增加而增加。因此,高温虽能提高青椒干燥速度,但对产品口感造成不利影响。由图5、6还可知,4个温度下青椒复水后的韧性没有显著性差异,但其较高温度(65,70℃)与较低温度(55,60℃)的硬度存在显著性差异( $P<0.05$ )。

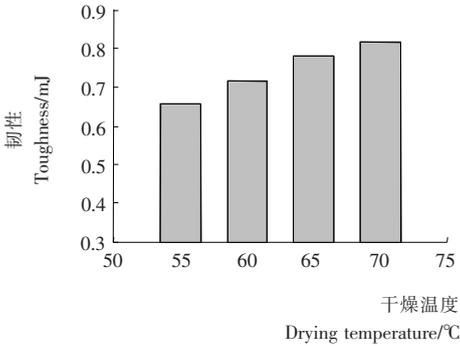


图5 干燥温度对青椒复水后咀嚼性的影响

Figure 5 Effects of temperature on chewiness of the rehydrated peppers

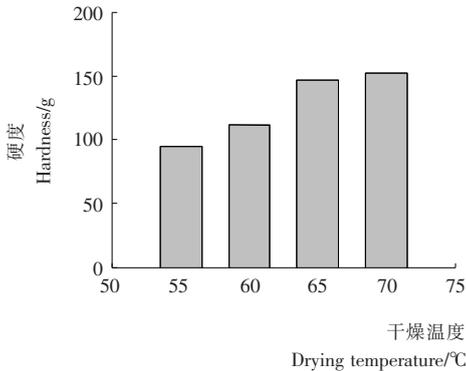


图6 干燥温度对青椒复水后硬度的影响

Figure 6 Effects of temperature on hardness of the rehydrated peppers

### 3 结论

与55,65,70℃相比,青椒在60℃干燥条件下的产品外观品质和营养品质最佳。与前人研究<sup>[10]</sup>的42℃相比,本研究相对提高了最佳干燥温度。但青椒热风干燥中除受干燥温度影响外,还受风速和物料厚度的影响。在今后的研究中,可综合考虑3个因素对脱水青椒品质的影响,为优化青椒热风干燥工艺提供理论依据。

#### 参考文献

1 鄢金山,张学军,史增录,等. 不同热风温度对板椒连续式干燥特性的实验研究[J]. 农机化研究,2013(11):197~201.

2 黄劲松,周裔彬,杜先锋,等. 脱水蔬菜的研究进展[J]. 食品工业科技,2006,27(4):203~208.

3 Faustino J M F, Barroca M J, Guiné R P F. Study of the drying kinetics of green bell pepper and chemical characterization[J]. Food and Bioproducts Processing,2007,85(3):163~170.

4 张文成,王瑞侠,崔艳芳. 绿甜椒真空冷冻干燥工艺研究[J]. 食品科学,2012,33(14):11~15.

5 杨靖东,姜雯翔,史晓媛,等. 不同热风干燥温度对发芽糙米品质的影响[J]. 粮食储藏,2013,42(3):30~34.

6 吕丽爽. 微波干燥技术在食品中的应用[J]. 食品与机械,2006,22(5):119~122.

7 刘征,王颖,张政. 不同热风干燥温度对扇贝柱干燥特性及品质的影响[J]. 食品工业,2012,33(8):37~40.

8 沈晓萍,王蒙蒙,卢晓黎. 熟化甘薯热风干燥特性及数学模型研究[J]食品与机械,2007,23(3):119~121.

9 李远志,蔡颖荷. 哈密瓜片干燥特性的研究[J]. 食品与机械,2005,22(4):32~34.

10 徐俐. 脱水青辣椒的加工[J]. 农技服务加工贮藏,2004(7):50~51.

11 于丽萍. 脱水青椒加工技术[J]. 乡镇企业科技,2002(1):5~6.

12 周波,黄瑞华,曲亮,等. 色差仪和肉色板在猪肉肉色评定中的应用[J]. 江苏农业科学,2007(2):121~124.

13 蒋晓玲,赵晓枫,郭晓令,等. 色差仪光源参数对猪肉肉色测定结果的影响[J]. 浙江农业科学,2008(4):489~492.

14 Garaz S, Ibarz A, Paga, et al. Non-enzymatic browning in peach puree during heating[J]. Food Research International, 1999,32(5):335~343.

15 湛智鑫,赵尊练,周倩,等. 不同贮藏条件对干辣椒品质的影响[D]. 杨凌:西北农林科技大学,2011.

16 赵肖肖,王丹,马越,等. 不同包装材料及技术对脱水番茄贮藏期品质的影响[J]. 食品科技,2013,38(11):30~33.

17 王冬梅. 甘蓝护色工艺优化及风味物质的研究[D]. 沈阳:沈阳农业大学,2012.

18 陈娇娇,蒋爱民,杜斯欣,等. 温度对风干罗非鱼块品质的影响[J]. 食品工业科技,2013,34(14):85~90.

19 Kolawole F, Olaniyi O. Effect of osmotic pretreatment on air drying characteristics and colour of pepper (*Capsicum spp*) cultivars[J]. Journal of Food Science and Technology, 2010, 47(5):488~495.

20 周洁,孔晓玲,章华. 甘薯粉丝热风干燥温度和品质的关系研究[C]//国际农业工程学会. 中国机械工程学会包装与食品工程分会2010年学术年会论文集. 合肥:安徽农业大学出版社,2010:102~106.

21 Karina Di Scala, Guillermo Crapiste. Drying kinetics and quality changes during drying of red pepper[J]. Food Science and Technology, 2008,41(5):789~795.