

# 干燥方式和温度对草莓果粉性质及多酚含量的影响

程安玮,解红霞,齐岩,王月明,孙金月\*,郭淑,刘超

(山东省农业科学院农产品研究所/山东省农产品精深加工技术重点实验室,山东济南 250100)

**摘要:**本文主要研究了冷冻干燥、热风干燥、真空干燥方式及干燥温度对草莓果粉性质及多酚含量的影响。用50%甲醇和70%丙酮两步法提取可萃取多酚(EPP);甲醇/ $H_2SO_4$ 水解残渣获得不可萃取多酚(NEPP)。Folin-phenol试剂法测定多酚的含量;用色差计测定草莓果粉的 $L^*$ 、 $a^*$ 、 $b^*$ 值;在665 nm处测定其上清液的透光率。结果表明冷冻干燥草莓果粉的EPP和原花青素含量最高,随着干燥温度的升高,草莓果粉中EPP的含量降低,而干燥温度对NEPP的含量影响与EPP相反,各处理中TPP的含量变化不显著。干燥方式和温度对草莓果粉的溶解指数影响不明显。干燥温度升高,果粉上清液的透光率以及草莓果粉的 $L^*$ 、 $a^*$ 和 $b^*$ 值明显降低。总之,冷冻干燥方式可很好地保留草莓中EPP和原花青素含量以及原料本身的色泽。

**关键词:**草莓,干燥方式,多酚,特性

## Effect of drying method and temperature on powder characteristics and polyphenol content of Strawberries

CHENG An-wei, XIE Hong-xia, QI Yan, WANG Yue-ming, SUN Jin-yue\*, GUO Xu, LIU Chao

(Institute of Agro-Food Science and Technology, Shandong Academy of Agricultural Science;  
Key Laboratory of Agro-Products Processing Technology of Shandong, Jinan 250100, China)

**Abstract:** The effect of the freeze-drying, blast-drying, vacuum-drying and drying temperature on powder characteristics and polyphenol content of strawberries was studied in this paper. Extractable polyphenols (EPP) were obtained with 50% methanol and 70% acetone, and non-extractable polyphenols (NEPP) were hydrolyzed by methanol/ $H_2SO_4$ . Polyphenol content was determined by the Folin-phenol reagent method. The values of  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$  of the strawberry powder were measured by using a color meter. And the transmittance of the supernatant was observed at 665 nm. The results showed that the highest yields of EPP and proanthocyanins were obtained in the freeze-dried strawberry, and EPP in the strawberry powder was significantly decreased with the increasing of drying temperature and the NEPP showed the opposite trend. But there was no significant effect of the drying treatment on the TPP yield. There was no obvious change of index of the strawberry powder among different drying method and temperature. But the transmittance of the supernatant, the values of  $L^*$ ,  $a^*$  and  $b^*$  of strawberry powder decreased with the increasing of the drying temperature. In all, freeze-dried retained the EPP and original color in strawberries.

**Key words:** Strawberry; drying method; polyphenols; characteristics

中图分类号: TS255

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2016)19-0132-05

doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2016.19.017

草莓属多年生草本植物,是世界七大水果之一<sup>[1]</sup>。我国草莓种植面积较大,但是草莓加工产业发展较慢,产品主要以速冻果的形式出口海外市场,从长远发展来看,应该增加草莓加工产品,延长产业链条,提升其附加值<sup>[2]</sup>。草莓由于含水量高,外皮脆弱易挤压,非常容易腐烂。将新鲜的果蔬干燥成粉,使

其含水量降到6%以下可达到长期保存的目的。王伟对草莓粉的冷冻干燥工艺以及储藏过程中的稳定性进行了研究<sup>[3]</sup>。干燥的草莓果粉可作为固体饮料,保留了新鲜草莓多粉风味,或作为食品调配料用于方便、休闲食品等,可改善制品的营养结构,并使色、香、味于一体。在婴幼儿等人群食物中添加草莓粉,

收稿日期: 2015-12-10

作者简介:程安玮(1975-),女,博士,副研究员,研究方向:活性物质的提取及功能性研究, E-mail: anweich@126.com。

\*通讯作者:孙金月(1967-),男,博士,研究员,研究方向:活性物质及功能食品, E-mail: moon\_s731@hotmail.com。

基金项目:公益性行业(农业)科研专项经费(201303073-2);山东省农业科学院青年英才培养计划专项资金联合资助。

可以提高食欲,均衡膳食。多酚是指分子结构中有若干个酚性羟基植物成分的总称,根据其结合和萃取方法的不同,可分为可萃取多酚(EPP)和不可萃取多酚(NEPP)。可萃取多酚(EPP)主要是指通过有机溶剂萃取的游离状态多酚,而不可萃取多酚(NEPP)主要是指结合于细胞壁上的一些水合单宁酸和原花青素<sup>[4-5]</sup>。总多酚(TPP)是指EPP和NEPP的加和<sup>[4]</sup>。Arranz等研究证明NEPP可用酸加热法,将其从细胞壁分离出来<sup>[4]</sup>。Madhujith等采用碱水解的方法研究了大麦中的EPP和NEPP<sup>[6]</sup>。本文主要采用真空冷冻,不同温度的热风干燥和真空热干燥方式,研究干燥方式对草莓中EPP、NEPP、TPP以及原花青素含量的影响,并结合草莓果粉体色差以及溶解指数、清液透光率几个指标选出合适的干燥方式,延长其贮藏期,以期对草莓加工业的发展提供理论基础。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料与仪器

供试草莓品种 为4月份从市场购买的新鲜天宝,产地为山东省济南市章丘。

JM-80型胶体磨 北京廊坊通用机械厂;组织匀浆机 飞利浦公司;FD-1C-50型冷冻干燥机 北京博医康实验仪器有限公司;RF-5301PC型可见分光光度计 日本岛津公司;DHG-92435-III型电热恒温热风干燥箱 上海新苗医疗器械制造有限公司;SHZ-D(III)型循环水式真空泵 河南省予华仪器有限公司;D2F-6050型真空干燥箱 精宏实验设备有限公司;SB25-12DTD型超声波清洗机 宁波新芝生物科技有限公司;DK-S24型点电热恒温水浴锅 上海精宏实验设备有限公司;SC-80C型全自动色差计 北京康光光学仪器有限公司。

2N福林试剂(Folin reagent)和标准品没食子酸(gallic acid) 来自Sigma公司;Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>、HCl、甲醇、丙酮、丁醇、H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>均为分析纯 来自上海国药集团化学试剂公司。

### 1.2 实验方法

1.2.1 草莓果粉的制备 将草莓切小块均质打浆,分别采用60、90、120℃热风干燥,60、90、120℃真空干燥及冷冻干燥的不同方法对草莓浆进行干燥成粉,使含水量为5%(湿基比),即得到不同干燥方式的草莓果粉。

1.2.2 草莓可萃取多酚(EPP)的制备 称取500 mg干燥的草莓果粉放于50 mL的离心管中,向离心管中加入40 mL的甲醇/水(50/50, v/v)溶液,常温400 W下超声提取1 h,然后3000 r/min离心15 min,取出上清液,剩余的残渣继续加40 mL的丙酮/水(70/30, v/v)溶液,常温400 W下超声提取1 h,然后3000 r/min离心15 min,收集上清液,分别测定两上清液中可萃取多酚的含量,两者相加即为总可萃取多酚的含量<sup>[7]</sup>。

1.2.3 原花青素的制备与测定 可萃取多酚提取后的草莓残渣,并向离心管中加入40 mL盐酸/丁醇(5/95, v/v)溶剂,于100℃沸水中水浴3 h,然后2500 r/min离心15 min,取出全部上清液于50 mL容

量瓶中,定容到50 mL,测定555 nm处的吸光度值<sup>[7]</sup>。

1.2.4 不可萃取多酚(NEPP)的制备 可萃取多酚提取后的剩余残渣,加入10 mL甲醇/H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>(90/10, v/v),于85℃水浴锅中水浴20 h,然后2500 r/min离心15 min,测定上清液中NEPP的含量<sup>[4]</sup>。

1.2.5 溶解指数的测定 称取400 mg的草莓果粉于离心管中,加入40 mL的蒸馏水,高速搅拌5 min后,再超声10 min,然后3000 r/min离心5 min,分离上清液和残渣,然后将残渣于105℃烘干,称重,计算溶解指数。上清液用于色差和透光率的测定。

1.2.6 草莓果粉及其上清液的色差测定 用色差计分别测定干燥的草莓果粉的L\*、a\*、b\*值。

1.2.7 透光度的测定 运用1.4.5中的上清液,用分光光度计在665 nm处测定其透光率。

1.2.8 多酚含量的测定 采用福林-酚法测定多酚含量<sup>[8]</sup>。取100 μL草莓多酚提取液,加2 mL蒸馏水和200 μL福林-酚试剂混匀,放置3 min,后加900 μL 20%的Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>,混匀,在暗处放2 h,测定765 nm处的吸光度值。以没食子酸为标准物,根据标准曲线( $y = 0.003x + 0.029, R^2 = 0.9992$ )计算多酚含量。

### 1.3 统计分析

所有测定指标做3份平行处理,数据结果用均值±标准差表示,用SPSS 17.0对数据进行多重比较。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同干燥方式和温度对草莓中EPP和NEPP含量的影响

将天宝草莓打浆后采用不同的干燥方式干燥成粉,研究不同干燥方式对草莓果粉中EPP、NEPP及TPP的影响。由表1可知,在冷冻干燥、热风干燥和真空干燥三种方式下草莓果粉中EPP含量都存在显著性差异( $p < 0.05$ )。热风干燥实验组中,随着干燥温度的升高,EPP的含量呈明显降低( $p < 0.05$ ),真空干燥组也表现出降低的趋势,但真空各组之间没有明显的差异( $p > 0.05$ )。从降低幅度来看,热风干燥处理组EPP含量随着温度的升高降低趋势更加明

表1 不同干燥方式和温度对草莓中EPP和NEPP含量的影响

Table 1 Effect of drying method and temperature on the EPP and NEPP contents in strawberries

干燥方式	EPP (mg/g DW)	NEPP (mg/g DW)	TPP (mg/g DW)
冷冻干燥	20.11 ± 0.35 <sup>a</sup>	4.98 ± 0.19 <sup>ab</sup>	25.09 ± 0.41 <sup>a</sup>
热风干燥			
60℃	18.80 ± 1.02 <sup>ab</sup>	5.49 ± 0.37 <sup>b</sup>	24.29 ± 0.93 <sup>a</sup>
90℃	15.33 ± 0.65 <sup>bc</sup>	7.94 ± 0.49 <sup>d</sup>	23.19 ± 0.56 <sup>a</sup>
120℃	13.54 ± 0.72 <sup>c</sup>	8.90 ± 0.70 <sup>c</sup>	22.44 ± 0.71 <sup>a</sup>
真空干燥			
60℃	19.28 ± 1.06 <sup>a</sup>	4.32 ± 0.42 <sup>a</sup>	23.60 ± 0.98 <sup>a</sup>
90℃	17.66 ± 0.86 <sup>abc</sup>	5.53 ± 0.15 <sup>b</sup>	23.19 ± 0.68 <sup>a</sup>
120℃	16.03 ± 1.93 <sup>abc</sup>	6.79 ± 0.29 <sup>c</sup>	22.82 ± 1.12 <sup>a</sup>

注:同个指标相同字母表示无显著差异性( $p > 0.05$ ),字母完全不同表示差异性显著( $p < 0.05$ ),表2~表4同。

显。说明相同的加热温度,与空气长时间接触更容易降低 EPP 的含量。从数值上看,冷冻干燥处理组中 EPP 的含量最高为(20.11 ± 0.35) mg/g DW。

草莓提取 EPP 后的残渣,用甲醇/H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 加热水解得到 NEPP,并测定其含量,见表 1。结果表明,在冷冻干燥、热风干燥和真空干燥三种方式下,草莓中 NEPP 含量存在显著性差异( $p < 0.05$ ),处理组中 NEPP 的变化趋势与 EPP 的变化趋势相反,热风和真空干燥处理组中,随着干燥温度的升高,EPP 呈降低趋势,而 NEPP 呈上升趋势。草莓中 NEPP 的含量远低于 EPP 的含量,最高含量只有(8.90 ± 0.70) mg/g DW。

将 EPP 和 NEPP 相加,得到 TPP 的含量。从得到的数据看,冷冻干燥、热风干燥、真空干燥三种方式及不同的干燥温度对 TPP 的含量没有显著性影响( $p > 0.05$ ),数值在 22.44~25.09 mg/g DW 范围内,这说明了不同的干燥方式及温度对总多酚的含量影响不大,但会影响其中 EPP 或 NEPP 的含量。从草莓果粉中 EPP 和 TPP 的含量来看,冷冻干燥方式最好。原因是高温加热过程中,物质分子结构处于活跃状态,分子间发生剧烈的碰撞变化,再水分干燥过程中,成分含量发生变化。而真空冷冻干燥过程中,真空度和升华温度在在零水平附近,对原料的结构特性不会发生剧烈的变化,因此有效成分的含量影响相对较小<sup>[9]</sup>。

有关加工工艺对草莓果粉的品质及有效成分含量的影响研究较少,大多是关于加工工艺对草莓汁或者果浆品质及有效成分的影响<sup>[10-13]</sup>。范雯雯等研究证明低于 60 °C 的热风干燥对山草莓果粉中多酚类物质的含量没有明显的影响<sup>[14]</sup>。本实验中的干燥温度范围较大(60~120 °C),而前人实验中研究的干燥温度范围较窄(50~60 °C),并且也没有对不可萃取多酚和总多酚进行测定,因此变化趋势无法对照参考。

## 2.2 不同干燥方式和温度对草莓中原花青素含量的影响

将提取 EPP 后的残渣烘干,用 HCl/丁醇加热水解得到原花青素,并测定其含量。由表 2 可知,在冷冻干燥、热风干燥、和真空干燥三种方式下草莓果粉中原花青素含量存在显著性差异,冷冻干燥方式草莓果粉中原花青素含量最高为(1.09 ± 0.08) mg/g DW。在热风干燥组中,随着干燥温度的升高,原花青素的含量呈降低趋势。在真空干燥组中,干燥温度对原花青素含量没有显著性影响( $p > 0.05$ )。但真空干燥组原花青素的含量明显高于热风干燥组,而且二者存在显著性差异( $p < 0.05$ )。从草莓果粉中原花青素的含量来看,冷冻干燥方式的保持率最好,原因同对多酚的影响。

## 2.3 不同干燥方式和温度对草莓果粉溶解指数和透光率的影响

由表 3 可知,在冷冻干燥、热风干燥、和真空干

燥三种干燥方式下草莓果粉溶解指数不存在显著性差异( $p > 0.05$ )。在热风干燥组中,干燥温度对草莓果粉溶解指数没有明显的影响,但有下降的趋势。在真空干燥组中,干燥温度对草莓果粉溶解指数影响不显著,但也有下降的趋势。120 °C 的热风高温处理组相比冷冻干燥组,其溶解指数明显降低。

表 3 不同干燥方式和温度

对草莓果粉溶解指数和透光率的影响

Table 3 Effect of drying method and temperature on the solubility index and transmittance in strawberries

干燥方式	溶解指数	T(透光率)
冷冻干燥	0.83 ± 0.01 <sup>a</sup>	0.74 ± 0.03 <sup>e</sup>
热风干燥		
60 °C	0.78 ± 0.25 <sup>ab</sup>	0.85 ± 0.01 <sup>b</sup>
90 °C	0.77 ± 0.03 <sup>ab</sup>	0.74 ± 0.03 <sup>e</sup>
120 °C	0.63 ± 0.04 <sup>b</sup>	0.59 ± 0.02 <sup>e</sup>
真空干燥		
60 °C	0.89 ± 0.03 <sup>a</sup>	0.97 ± 0 <sup>a</sup>
90 °C	0.82 ± 0.02 <sup>ab</sup>	0.69 ± 0.02 <sup>d</sup>
120 °C	0.74 ± 0.02 <sup>ab</sup>	0.51 ± 0.02 <sup>f</sup>

草莓溶解后的上清液,在 665 nm 测定其透光率。结果表明,在冷冻干燥、热风干燥、和真空干燥三种方式下草莓果粉透光度有显著性差异( $p < 0.05$ )。在热风干燥组中,升高干燥温度,草莓果粉上清液的透光率呈下降趋势,真空干燥组也呈现同样的趋势。冷冻干燥方式草莓果粉上清液的透光率与热风干燥组和真空干燥组相比没有明显的优势,三组的透光率介于 0.51~0.97 之间,其中真空 60 °C 干燥的草莓果粉清液透光率最大,达到 0.97。分析来看,溶解指数和透光率随着温度的升高基本上呈现相同的变化趋势。

## 2.4 不同干燥方式和温度对草莓果粉色差的影响

$L^*$  值表示测定样品的亮暗,值越大表示越亮,值越小表示越暗。 $a^*$  值表示测定样品的红绿值,值越大颜色越红,值越小颜色偏向绿色。 $b^*$  值表示测定样品的黄蓝值,值越大颜色越黄,值越小偏向于蓝色。不同干燥方法、干燥温度、干燥时间、贮藏方式、贮藏温度和时间等对草莓果粉的色泽及其溶液液的色度值都有一定的影响,相对来说红色度( $a^*$  值)对热和氧的破坏耐受性更强<sup>[15]</sup>。

由表 4 可知,采用冷冻干燥、热风干燥和真空干燥三种方式对草莓果粉色差具有明显的影响( $p < 0.05$ ),改变干燥温度可以明显改变草莓果粉的  $L^*$ 、 $a^*$  和  $b^*$ 。热风干燥和真空干燥组中,随着干燥温度的升高,草莓果粉  $L^*$  值明显降低,表明低温更容易保持粉体的色泽明亮。冷冻干燥草莓果粉的  $a^*$  值最高,随着干燥温度的升高, $a^*$  值呈降低的趋势,说明

表 2 不同干燥方式和温度对草莓中原花青素含量的影响

Table 2 Effect of drying method and temperature on the proanthocyanidin contents in strawberries

干燥方式	冷冻干燥	热风干燥			真空干燥		
		60 °C	90 °C	120 °C	60 °C	90 °C	120 °C
原花青素(mg/g DW)	1.09 ± 0.08 <sup>a</sup>	0.71 ± 0.02 <sup>bc</sup>	0.60 ± 0.04 <sup>cd</sup>	0.52 ± 0.14 <sup>d</sup>	0.92 ± 0.10 <sup>a</sup>	0.84 ± 0.15 <sup>ab</sup>	0.81 ± 0.06 <sup>ab</sup>

较低的干燥温度有利于花青素成分的保持,较大程度上保留了原料本身的红色,干燥温度升高,草莓果粉中红色素耐受性下降,色泽由红色也逐渐变淡。随着干燥温度的升高,草莓果粉的  $b^*$  值有降低的趋势。在各处理组中冷冻干燥果粉的  $b^*$  值最低。综合表 4,冷冻干燥方式可以保持草莓原有的色泽。范雯雯等也研究证明低于 60 °C 的热风干燥,随着温度的升高,  $a^*$  值逐渐降低,  $b^*$  值呈上升趋势<sup>[14]</sup>,与本实验的结果在  $a^*$  值变化趋势上是一致的。冷冻干燥方式由于温度低,对产品中有效成分及风味化合物产生的影响较小。实验结果中冷冻干燥草莓果粉的色泽保持较好,原因是水分子直接通过升华过程逐渐由表面向外移出,不破坏组织结构,较好保持了色泽和营养成分<sup>[16]</sup>;同时,由于低温、真空条件下,干燥过程中酶褐变和非酶褐变的程度都很低,所以冷冻干燥产品几乎保持了原来的色泽<sup>[17]</sup>。热风干燥过程中则由于水分和酶的作用、氧化和较高温度引起的酶褐变、氧化性褐变、热对色素的分解等导致样品色泽变化较大,发生典型的美拉德反应<sup>[18]</sup>。

表 4 不同干燥方式和温度对草莓果粉色差的影响

Table 4 Effect of drying method and temperature on the color of strawberry powder

干燥方式	$L^*$	$a^*$	$b^*$
冷冻干燥	48.16 ± 0.14 <sup>b</sup>	31.27 ± 0.49 <sup>a</sup>	10.83 ± 0.66 <sup>d</sup>
热风干燥			
60 °C	57.19 ± 0.29 <sup>a</sup>	20.94 ± 1.06 <sup>b</sup>	24.75 ± 0.31 <sup>ab</sup>
90 °C	47.86 ± 0.04 <sup>b</sup>	13.49 ± 0.72 <sup>c</sup>	24.19 ± 0.32 <sup>b</sup>
120 °C	42.91 ± 0.16 <sup>d</sup>	12.38 ± 0.65 <sup>c</sup>	22.04 ± 1.33 <sup>c</sup>
真空干燥			
60 °C	48.84 ± 0.27 <sup>b</sup>	13.16 ± 0.99 <sup>c</sup>	25.82 ± 1.05 <sup>a</sup>
90 °C	46.39 ± 0.13 <sup>c</sup>	12.64 ± 0.83 <sup>c</sup>	22.24 ± 0.36 <sup>c</sup>
120 °C	43.12 ± 0.27 <sup>d</sup>	11.71 ± 1.62 <sup>c</sup>	20.75 ± 1.46 <sup>c</sup>

### 3 结论

冷冻干燥、热风干燥、真空干燥方式及干燥温度对草莓中 EPP、NEPP 及原花青素的含量具有明显的影响。冷冻干燥方式中 EPP 和原花青素的含量最高,随着干燥温度的升高, EPP 的含量明显降低。NEPP 的变化趋势与 EPP 的相反。各处理组中 TPP 的含量变化不明显。冷冻干燥和 60 °C 低温干燥方式中果粉的溶解指数较高,随着干燥温度的升高,溶解指数降低,干燥温度越低透光率越高。随着干燥温度的升高,草莓果粉的  $L^*$  值呈下降趋势。冷冻干燥草莓果粉的  $a^*$  值最大,  $a^*$  值随着干燥温度的升高而降低。冷冻干燥果粉  $b^*$  值最小,经过热风和真空干燥,果粉  $b^*$  明显升高,说明冷冻干燥方式可以保持草莓原有的色泽。总之,冷冻干燥方式可以较好的保持草莓果粉中的多酚、原花青素含量,并且果粉的色泽和亮度也保持的较好。

### 参考文献

[1] Kalt W, Forney C F, Martin A, et al. Antioxidant capacity, vitamin C, phenolics, and anthocyanins after fresh storage of small

fruits[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 1999, 47 (11): 4638-4644.

[2] 刘文旭. 草莓酚类物质分离纯化、生物活性和结构的研究[D]. 南京: 南京农业大学, 2012.

[3] 王伟. 真空冷冻干燥草莓粉工艺研究[D]. 保定: 河北农业大学, 2007.

[4] Saura-Calixto F, Serrano J, Goñi I. Intake and bioaccessibility of total polyphenols in a whole diet[J]. Food Chemistry, 2007, 101: 492-501.

[5] Arranz S, Saura-Calixto F, Shaha S, et al. High content of nonextractable polyphenols in fruits suggest that polyphenol content of plant foods have been underestimated[J]. Journal of Agricultural Food and Chemistry, 2009, 57: 7298-7303.

[6] Madhujith T, Shahidi F. Antioxidant potential of barley as affected by alkaline hydrolysis and release of insoluble-bound phenolics[J]. Food Chemistry, 2009, 117: 615-620.

[7] Jose A. Larrauri, Ruperez P, Saura-Calixto F. Effect of drying temperature on the stability of polyphenols and antioxidant activity of red grape pomace peels[J]. Food Chemistry, 1997, 45: 1390-1393.

[8] Slimkard K, Singleton VL. Total phenol analysis and comparison with manual method[J]. American Journal of Enology and Viticulture, 1977, 28: 49-55.

[9] Lahasni S, Kouhila M, Jaouhari JT. Drying kinetics of prickly fruit[J]. Journal of Food Engineering, 2004, 61: 173-179.

[10] Melanie Holzwarth, Sabine Korhummel, Therese Siekmann, et al. Influence of different pectins, process and storage conditions on anthocyanin and colour retention in strawberry jams and spreads[J]. LWT-Food Science and Technology, 2013, 52(2): 131-138.

[11] Ana Oliveira, Elisabete M.C. Alexandre, et al. Effect of modified atmosphere on polyphenols during storage of pasteurised strawberry purees. LWT-Food Science and Technology, 2015, 60(1): 377-384.

[12] Krystian Marszałek, Marta Mitek, Sylwia Skąpska. The effect of thermal pasteurization and high pressure processing at cold and mild temperatures on the chemical composition, microbial and enzyme activity in strawberry purée[J]. Food Science & Emerging Technologies, 2015, 27: 48-56.

[13] M. Antonia Álvarez-Fernández, Ruth Hornedo-Ortega, Ana B. Cerezo, et al. Effects of the strawberry (Fragaria ananassa) purée elaboration process on non-anthocyanin phenolic composition and antioxidant activity[J]. Food Chemistry, 2014, 164: 104-112.

[14] 范雯雯, 李影, 韩立杰, 等. 干燥方法对山草莓生食的物理和感官特性的影响[J]. 食品科技, 2012, 37(11): 62-66.

[15] 宋宏新, 刘晓阳. 4 种干燥方法生产番茄粉的品质特性研究[J]. 食品科技, 2006, 31(8): 101-104.

[16] Litchfield RJ, Liapis AI. Cyclical pressure drying[J]. Chemical Engineering Science, 1981, 36(7): 1233-1238.

[17] 马荣朝, 秦文, 李素清. 三种干燥方法对蔬菜干制品品质的影响研究[J]. 食品科学, 2008, 29(8): 219-223.

[18] 汤慧民, 熊华, 熊小青, 等. 干燥工艺对苦瓜粉品质的影响[J]. 食品与发酵工业, 2005, 31(4): 90-92.