热风与远红外干燥温度对苦瓜全粉品质的影响

朱香燕，张珺，何义雁，邓放明

（湖南农业大学食品科学技术学院，食品科学与生物技术湖南省重点实验室，湖南长沙 410128）

摘要：本研究以新鲜苦瓜为原料，分别采用热风与远红外两种干燥方法在不同温度条件下（40 ℃、50 ℃、60 ℃、70 ℃、80 ℃）制备苦瓜全粉，比较了两种不同干燥方法对苦瓜的干燥特性、色泽、Vc 含量及保留率、皂苷含量等品质指标的影响。结果表明：热风干燥与远红外干燥的苦瓜全粉品质随温度的改变而呈规律性变化，随温度的升高，干基含水量下降速度加快，干燥时长缩短；与新鲜苦瓜相比，制得的苦瓜全粉色泽随温度升高 L 值(明度)与 b 值（+黄，－蓝)变小，a 值(+红，－绿)变大；Vc 含量及保留率也随温度的升高而呈现先升后降的趋势，并在 60 ℃达到峰值；皂苷含量随温度升高而降低。同一温度条件下，热风干燥效果明显优于远红外干燥。综合比较，热风干燥 60 ℃条件下，干燥时间短，能耗损失低，苦瓜全粉色泽呈现好；Vc 含量为 63.42 mg/100 g，且保留率高达 69.31%，皂苷含量为 1.74%。

关键词：苦瓜粉；热风干燥；远红外干燥；品质

文章篇号：1673-9078(2015)7-265-269 DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2015.7.042

Effects of Hot Air and Far-infrared Drying Temperatures on Quality of Bitter Gourd (*Momordica charantia* L.) Powder

ZHU Xiang-yan, ZHANG Jun, HE Yi-yan, DENG Fang-ming

(Hunan Provincial Key Laboratory of Food Science and Biotechnology, College of Food Science and Technology, Hunan Agricultural University, Changsha 410128, China)

Abstract: Fresh bitter gourds were powdered using hot air and far-infrared (FIF) drying methods at different temperatures (40 ℃, 50 ℃, 60 ℃, 70 ℃, and 80 ℃). Quality indicators such as drying characteristics, color parameters, content and retention rate of Vc, and momordicoside content, were compared. The results showed that all indicators exhibited regular changes with variations in temperature. As temperature increased, the moisture content decreased faster and drying time was shortened. Compared with fresh bitter gourd, values L (lightness) and b (+ yellow, - blue) of the color parameters of the powder reduced, while value a (+ red, - green) increased as the temperature increased. Vc content and retention rate increased at first and then decreased with increasing temperature, reaching a peak at 60 ℃. Additionally, momordicoside content decreased as temperature increased. Hot air drying was found to be more effective as compared to FIF drying at the same temperature. In summary, when hot air drying at 60 ℃ was used, drying time was shorter, energy loss was low, and the bitter gourd showed satisfactory color. Additionally, the retention rate of Vc reached as high as 69.31% with a content of 63.42 mg/100 g and 1.74% momordicoside.

Key words: bitter gourd powder; hot air drying; far-infrared drying; quality

苦瓜（*Momordica charantia* L.）是药食两用资源，也是唯一以“苦”为特色的瓜果菜。苦瓜在南方种植广泛，春秋两季均有栽种，品种多样，资源丰富，营养价值高[1]。苦瓜中 Vc 含量高达 56~120 (mg/100 g)，居瓜类蔬菜之首，且富含苦瓜多糖、黄酮、皂苷等多种活性成分，具有减肥、降血糖、抗氧化、抗炎症、抗病毒、抗肿瘤及 HIV 等功能作用[2~7]，近年来引起了人们的广泛关注。新鲜苦瓜水分含量高，不耐冷藏，易腐烂，货架期短。目前苦瓜多为鲜销，食用也以蒸炒为主，因其独特的苦味往往不被人们所接受，且市面上的苦瓜深加工产品不多，因此容易造成资源的浪费，使苦瓜的保健价值不能被人们充分的利用，将苦瓜脱水干制对平衡淡旺季需求、缩减存储空间、丰富产品结构具有实际意义。

苦瓜干制是苦瓜保藏的重要手段之一，苦瓜粉的制备与再利用也成为目前的研究重点之一。苦瓜干制采用的方法主要有热风干燥、微波干燥、真空冷冻干

收稿日期：2014-10-28

基金项目：农业部公益性行业科研专项（201303079）

作者简介：朱香燕（1990-），女，硕士研究生，研究方向为食品资源开发与利用

通讯作者：邓放明（1962-），男，博士，教授，研究方向为食品科学

燥、喷雾干燥以及联合干燥等。据文献报道，热干燥过程可显著提高苦瓜提取物清除自由基的能力[8]，同时经干燥制得苦瓜粉也具有降血糖、促进伤口愈合等功能作用[9-10]。微波干燥速度快，但加热不均匀，不适宜干制水分含量高的果蔬；真空冷冻干燥能较好的保留苦瓜营养成分及产品色泽，但设备成本高，干燥时间长，能耗损失大；热风干燥应用最为广泛，虽然干燥时间相对较长，但干制果蔬品质较好，设备投资低，操作简单；远红外干燥是一种辐射干燥，其发出的远红外线具有很强的穿透力，能被高分子和水等物质吸收，引起分子共振而达到快速干燥的目的，且远红外干燥加热温度稳定，物料受热均匀，对含水量高的食品及果蔬等农副产品的干燥尤为适宜。

目前，对苦瓜干制的研究仅停留在粉质色泽、显微结构等感官评价等方面，而对不同干燥温度下苦瓜的干燥特性，干燥前后的色值、功能成分等品质指标没有综合详细的报道。本实验以新鲜苦瓜为原料，采用热风干燥与远红外干燥在不同温度条件下制备苦瓜全粉，比较两种干燥方式对苦瓜全粉主要品质指标的影响，确定了高品质苦瓜全粉的制备工艺，为苦瓜新产品的开发利用提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

苦瓜（品种为绿白突瘤）购于湖南农业大学滨湖生鲜市场。人参皂苷 Rg1 标准品（≥98%），购于中国药品生物制品检定所；抗坏血酸标准品（≥99.9%），德国 Dr.Ehrenstorfer 有限公司；2,6-二氯酚靛酚（≥97%），上海楷洋生物技术有限公司；乙醇、石油醚、正丁醇、香草醛、冰乙酸、高氯酸等化学试剂均为分析纯。

WGL-230B 型电热鼓风干燥箱 天津市泰斯特仪器有限公司；YHG-50*55BS 型远红外快速恒温干燥箱 上海跃进医疗器械厂；CR-400 色差计 日本柯尼卡美能达公司；KQ-250DE 型数控超声波清洗器 昆山市超声仪器有限公司；RE52-3 旋转蒸发器 上海沪西分析仪器厂有限公司；SHB-Ⅲ T 循环水式多用真空泵 郑州长城科工贸有限公司；WFJ-7200 可见分光光度计 上海尤尼柯仪器有限公司；DZKW-S-4 电热恒温水浴锅 北京市永光明医疗仪器厂。

1.2 试验设计

预处理：挑选无虫害、无破损，大小、色泽约一致的 7-8 成熟苦瓜，流水冲洗干净，切分去籽，切成约 0.2 cm 的薄片，平铺于托盘中，每盘 200 g。

干燥：将托盘分别置于热风干燥箱和远红外干燥箱内，分别在 40 ℃、50 ℃、60 ℃、70 ℃、80 ℃下干燥至恒重，碾碎得苦瓜粉（过 60 目筛），密封装袋，放入干燥器中待测。

苦瓜皂苷的提取纯化：

苦瓜全粉（5 g）→超声提取（料液比 1:14，80%乙醇，超声功率 250 W，40 ℃，1 h）→重复两次→合并提取液→旋转蒸发浓缩（约 20 mL）→石油醚脱脂（30 mL，2 次）→水饱和正丁醇萃取（30 mL，3 次）→正丁醇饱和水洗涤（30 mL，2 次）→旋转蒸发浓缩至干→甲醇定容（50 mL）→待测

1.3 测定指标与方法

1.3.1 水分含量测定

GB 5009.3-2010《食品中水分的测定》，计算干基含水量。

$$\text{干基含水量}=\frac{\text{湿物料中的水分的含量}/g}{\text{湿物料中绝对干料质量}/g}$$

1.3.2 失水速率

$$v=\Delta m/\Delta t$$

式中 Δm 为相邻两次称量的质量差，Δt 为相邻两次称量的时间差。

1.3.3 色差测定

取适量苦瓜全粉平铺于白色底纸上，色差仪白板校正后，测量其 L、a、b 值，分别代表苦瓜粉的明度、红绿度（+a 偏红、-a 偏绿）、黄蓝度（+b 偏黄、-b 偏蓝）。每个样品测量三次取平均值。

1.3.4 Vc 含量测定[11]

利用 2,6-二氯酚靛酚滴定法测定苦瓜干燥前后的 Vc 含量，平行测定三次取其平均值，并计算苦瓜的 Vc 保留率。

$$m=VT/m_0\times 100$$

式中：m: 100g 样品中含 Vc 的质量(mg)；V: 滴定时所用去染料体积(mL)；T: 每毫升染料能氧化 Vc 质量数(mg/mL) m0: 10mL 样液含样品之质量数(g)。

$$Vc\text{保留率}/\%=\frac{\text{样品中Vc含量}}{\text{鲜样中Vc含量}}\times 100\%$$

1.3.5 苦瓜皂苷含量测定[12]

利用香草醛一高氯酸法测定苦瓜全粉中的皂苷含量。

配制人参皂苷标准溶液，准确称取人参皂苷 Rg1 标准品 5 mg，甲醇定容至 5 mL 的容量瓶中，即得 1 mg/mL 的人参皂苷标液。准确吸取标准皂苷溶液 0、20、40、60、80、100、120、140 μL 于 10 mL 具塞试管中，抽真空减压挥干溶剂，依次加入 5%的香草醛

一冰乙酸溶液（现配现用）0.2 mL 和 0.8 mL 高氯酸，摇匀，60 ℃水浴加热 15 min，取出后立即用流水冲淋至均匀冷却，加入 5 mL 冰乙酸稀释，摇匀后静置 15 min，于 548 nm 处测定吸光度，以不加标样的空白做对照。以人参皂甙质量(mg)为横坐标，吸光值为纵坐标，绘制标准曲线。所得标准曲线方程为：

$Y=4.8089x+0.026$，$R^2=0.9961$。

取 50 μL 纯化样品于具塞试管中，同上测定苦瓜皂苷含量。

$$样品中皂苷的含量/\%=\frac{皂苷的质量}{苦瓜全粉的质量}\times 100\%$$

1.3.6 数据分析

实验数据采用 Excel 2013 和 SPSS 19.0 软件进行作图及数据统计分析。

2 结果与分析

2.1 干燥方式对苦瓜失水特性的影响

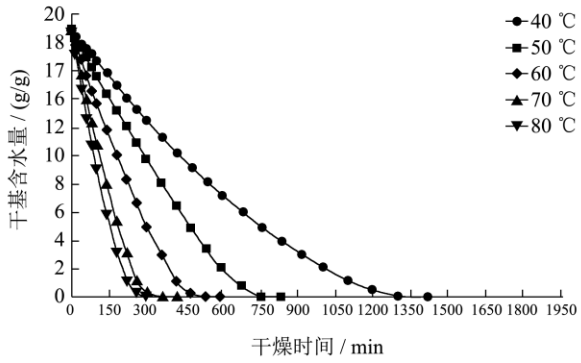


图 1 苦瓜的热风干燥曲线

Fig.1 Variation in water content of bitter gourd during hot air drying at different temperatures

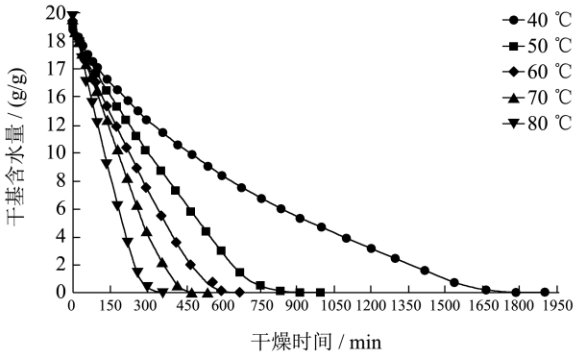


图 2 苦瓜的远红外干燥曲线

Fig.2 Variation in water content of bitter gourd during FIF drying at different temperatures

由图 1、图 2 所示，干燥温度越高，干基含水量下降速度越快，所需干燥时间也越短。同一温度条件下，干燥至相同水分含量，热风干燥相较于远红外干燥耗时更短；40 ℃时，热风与远红外干燥所需时间分别为 23.6 h 和 31.6 h，这是由于热风干燥的鼓风加热循环使得物料表面的汽化速率大于远红外干燥的恒温密闭加热,从而使得热风干燥的时长大大缩短。物料的最大干基含水量，随着温度的升高而变大，且同一温度条件下，远红外干燥的最大干基含水量高于热风干燥，分别为 19.35±0.55 g/g、18.86±0.20 g/g。这可能是由于远红外干燥是一种辐射传热干燥，虽然热风干燥速率大于远红外干燥，但远红外线即能穿透到这些被加热干燥物体的内部，使物料的内部发生激烈摩擦产生热而达到干燥的目的，并且容易被物料内部的高分子、水等物质所吸收，从而使物料干燥的越彻底。

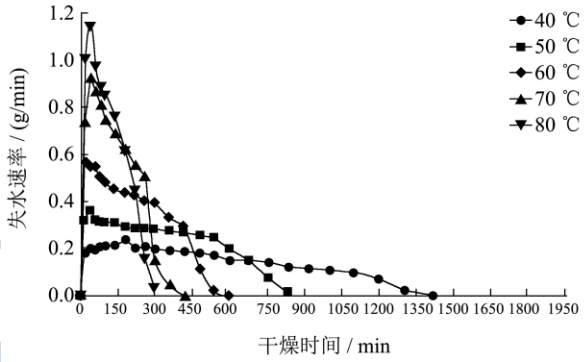


图 3 苦瓜热风干燥失水速率曲线

Fig.3 Variation in dehydration velocity of bitter gourd during hot air drying at different temperatures

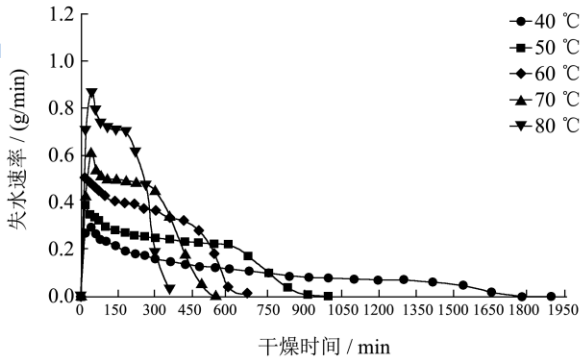


图 4 苦瓜远红外干燥失水速率曲线

Fig.4 Variation in dehydration velocity of bitter gourd during FIF drying at different temperatures

从图 3、图 4 可以看出，苦瓜的热风与远红外干燥失水速率在不同温度下随时间的变化规律。当干燥温度在 40、50 ℃时，失水速率较小，且速率曲线也较为平缓；60 ℃开始，温度越高，失水速率变化越大，峰值也越大。热风干燥与远红外干燥的最大失水速率分别由 0.24 g/min、0.29 g/min 上升为 1.15 g/min、0.87 g/min。图 3 中，热风干燥的初期干燥速率受表面汽化速率控制，失水速率迅速上升到峰值，温度越高，汽化速率也快，失水速率越大。随后，物料的干燥速率

保持稳定，但物料湿含量高，温度越高，吸热更多导致失水速率的变化更快，物料维持恒速干燥阶段的时间也越短，80 ℃时基本消失。当物料湿含量降低到某一程度，干燥速率即主要由内部扩散速率决定，进入降速干燥阶段，随物料湿含量的降低而不断降低。本实验结果与王顺民等[13]在菠菜的研究结果一致。

图 4 中，干燥初期，由于远红外干燥的温度维持稳定且物料受热均匀，物料的失水速率比热风干燥更快达到峰值。干燥进行过程中，干燥的外部条件不变，与热风干燥相比，远红外干燥有明显的恒速干燥阶段，随温度的升高，恒速阶段的维持时间也越短，最后进入降速阶段。

2.2 干燥方式对苦瓜全粉色泽的影响

表 1 热风与远红外干燥对苦瓜全粉色泽的影响

Table 1 Effects of hot air drying and FIF drying on color parameters of bitter gourd powder

方法		L	a	b
新鲜苦瓜	-	55.46 ± 2.21^{a}	-12.45 ± 1.17^{a}	21.30 ± 1.85^{c}
热风干燥	40℃	67.32 ± 0.44^{cd}	-6.88 ± 0.04^{b}	21.22 ± 0.11^{c}
	50℃	65.36 ± 0.59^{c}	-6.84 ± 0.04^{b}	20.15 ± 0.13^{abc}
	60℃	65.76 ± 0.18^{cd}	0.08 ± 0.04^{d}	19.10 ± 0.09^{ab}
	70℃	63.21 ± 0.06^{b}	0.67 ± 0.05^{de}	18.77 ± 0.07^{ab}
	80℃	62.55 ± 0.11^{b}	2.14 ± 0.06^{fg}	18.39 ± 0.14^{ab}
远红外干燥	40℃	67.76 ± 0.20^{d}	-6.44 ± 0.03^{b}	20.28 ± 0.05^{cd}
	50℃	65.80 ± 0.09^{cd}	-4.88 ± 0.03^{c}	19.63 ± 0.18^{abc}
	60℃	65.64 ± 0.08^{cd}	1.37 ± 0.05^{ef}	19.02 ± 0.04^{ab}
	70℃	62.91 ± 0.20^{b}	1.02 ± 0.02^{de}	18.88 ± 0.05^{ab}
	80℃	61.70 ± 0.17^{b}	2.61 ± 0.01^{g}	18.33 ± 0.04^{a}

注：肩标不同字母表示在 0.05 水平上差异显著。

不同干燥方式对苦瓜全粉的色泽影响较为明显。由表 1 数据可知，与新鲜苦瓜相比 L、a 值显著增大，b 值变小；且 L、b 值随干燥温度的升高而减小，a 值变化相反。40 ℃时，苦瓜全粉的 a 值与新鲜苦瓜差异最小，热风与远红外干燥分别为-6.88 和-6.44，随着干燥温度的升高，差异越显著。同一温度不同干燥方式之间，热风干燥对苦瓜全粉的色泽影响稍小于远红外干燥。这可能是由于苦瓜的色泽主要受叶绿素的影响，叶绿素受热易氧化分解，温度越高，叶绿素破坏越多，且远红外线穿透力强，被植物组织内大分子所吸收，加快了叶绿素的氧化速度；同一温度条件下，干燥时间越长，叶绿素在受热情况下氧化程度也越大。同时，干燥过程中，随着温度的升高，酶促褐变和非酶褐变加剧，使得苦瓜粉色泽由淡绿色变为了黄褐色。

2.3 干燥方式对苦瓜全粉中 Vc 含量的影响

Vc 含量及保留率是评价果蔬干燥后品质的重要指标之一。图 5 中，苦瓜粉中 Vc 的含量随温度的升高，先升高后降低。40 ℃时 Vc 含量最低，在 60 ℃时达到最高值，热风与远红外干燥分别为 63.42 和 30.58 (mg/100 g)。同一温度下，热风干燥的 Vc 保留率高于远红外干燥，最大保留率分别为 69.31%和 33.42%。这可能是由于 Vc 是热敏性物质，受热易氧化分解，温度越高，氧化速率加快；干燥时间越长，氧化程度也会越严重；在温度与干燥时长的双重影响下，Vc 含量呈现出先升高后降低的趋势。这一趋势与袁江兰等[14]在热风干制工艺对山楂 Vc 稳定性的影响中的研究结果一致。同一温度条件下，远红外干燥的干燥时间长于热风干燥，同时远红外线对 Vc 的热辐射引起 Vc 氧化速度加快，这可能是导致其 Vc 保留率低于热风干燥的原因。从表 2 可以看出，不同温度处理间的 P=1.49E-17(P＜0.05)，不同干燥方式间 P=7.59E-10(P＜0.05)，说明不同温度和干燥方式对 Vc 含量及保留率存在极显著性影响。

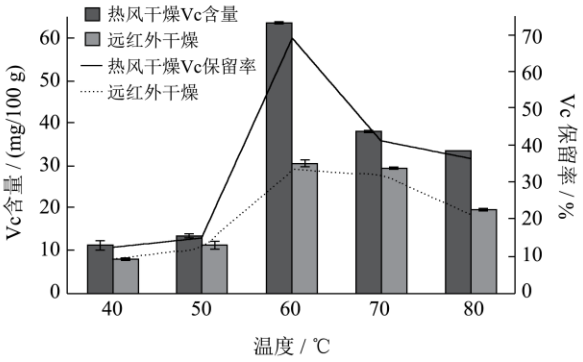


图 5 热风与远红外干燥对苦瓜 Vc 含量及其保留率的影响

Fig.5 Effects of hot air drying and FIF drying on Vc content and retention of bitter gourd powder

表 2 不同干燥方式对 Vc 含量的方差分析表

Table 2 Analysis of variance for Vc content of bitter gourd powder by different methods

变异来源	平方和	df	均方	F	Sig.
交互(I*J)	26843.78	6	4473.96	113.41	2.09E-16
温度(I)	1089.02	4	1089.02	27.61	1.49E-17
干燥方式(J)	5721.01	1	1430.25	36.26	7.59E-10
误差	946.78	24	39.45		
总计	27790.56	30			

2.4 干燥方式对苦瓜全粉中皂苷含量的影响

皂苷是苦瓜的主要功能成分之一，其稳定性易受

温度的影响。苦瓜总皂苷（纯品）在 50 ℃以下，pH6.0~9.0 的干燥密闭条件下比较稳定，高于 50 ℃，性质易发生改变。如图 6 所示，在苦瓜果肉组织的保护下，热风干燥 40~60 ℃皂苷含量下降不明显，随着温度进一步升高，皂苷含量显著下降。这一趋势与李健等[15]研究结果相同。而在远红外干燥条件下，皂苷含量随温度升高呈现持续下降趋势，且同一温度条件下，热风干燥的皂苷含量均高于远红外干燥。这可能是由于远红外线的发射频率与皂苷的分子固有频率相匹配，引起分子激烈共振，长时高温下导致皂苷性质发生改变从而使其含量持续下降。

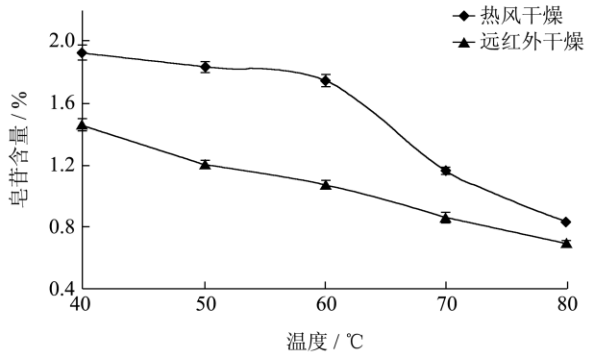


图 6 热风与远红外干燥对苦瓜皂苷含量的影响

Fig.6 Effects of hot air drying and FIF drying on momordicoside content of bitter gourd powder

3 结论

通过对热风和远红外两种干燥方式对苦瓜全粉品质的影响比较，发现同一温度条件下，热风干燥效果均明显好于远红外干燥，且热风干燥能耗损失比远红外干燥节省 5.6%~20%。热风干燥与远红外干燥的最优干燥温度均为 60 ℃，在此温度条件下，干燥时长分别为 10 h 和 11.3 h，能耗损失为 31.8 (kw·h)和 33.6 (kw·h)，热风干燥的 Vc 含量为 63.42 (mg/100 g)，且保留率达 69.31%，远红外干燥的 Vc 含量和保留率为 30.58 (mg/100 g)和 33.42%，皂苷含量分别为 1.74%和 1.07%。通过能耗和品质的综合比较得，热风干燥 60 ℃条件下，干燥时间短，能耗损失低，苦瓜全粉色泽呈现好，营养成分含量高，在此条件下干燥的苦瓜全粉品质最佳。

参考文献

[1] X Changping, W Changyin, W Liping. Analysis and utilization of nutrient composition in bitter gourd (Momordica charantia). [J]. Journal of Huazhong Agricultural University, 2000, 19(4): 388-390

[2] Q Chen, LL Y Chan, ETS Li. Bitter melon (Momordica charantia) reduces adiposity, lowers serum insulin and normalizes glucose tolerance in rats fed a high fat diet [J]. The Journal of Nutrition, 2003, 133(4): 1088-1093

[3] L Leung, R Birtwhistle, J Kotecha, et al. Anti-diabetic and hypoglycaemic effects of Momordica charantia (bitter melon): a mini review [J]. British Journal of Nutrition, 2009, 102(12): 1703-1708

[4] M Manabe, R Takenaka, T Nakasa, et al. Induction of anti-inflammatory responses by dietary Momordica charantia L. (bitter gourd) [J]. Bioscience, Biotechnology, and Biochemistry, 2003, 67(12): 2512-2517

[5] M Puri, I Kaur, RK Kanwar, et al. Ribosome inactivating proteins (RIPs) from Momordica charantia for anti viral therapy [J]. Current Molecular Medicine, 2009, 9(9): 1080-1094

[6] EF Fang, TB Ng. Bitter gourd (*Momordica charantia*) is a cornucopia of health: a review of its credited antidiabetic, anti-HIV, and antitumor properties [J]. Current Molecular Medicine, 2011, 11(5): 417-436

[7] 刘苇芬,文良娟.苦瓜抗氧化活性成分的研究[J].现代食品科技,2006,22(2):95-97
LIU Wei-fen, WEN Liang-juan. Study on antioxidant activity of *Momordica charantia* L.[J]. Modern Food Science and Technology, 2006, 22(2): 95-97

[8] L Wei, W Shaoyun, L Shutao, et al. Increase in the free radical scavenging capability of bitter gourd by a heat-drying process [J]. Food & Function, 2013, 4(12): 1850-1855

[9] C Wambui. Assessment of antidiabetic properties of momordica charantia powder [D]. Kenya: University of Nairobi, 2012

[10] V Prasad, V Jain, D Girish, et al. Wound-healing property of momordica charantia L. fruit powder [J]. Journal of Herbal Pharmacotherapy, 2006, 6(3-4): 105-115

[11] 赵晓梅,江英,吴玉鹏,等.果蔬中 Vc 含量测定方法的研究[J].食品科学, 2006, 27(3): 197-199
ZHAO Xiao-mei, JIANG Ying, WU Yu-peng, et al. Assay research on VC in fruit and vegetable [J]. Food Science, 2006, 27(3): 197-199

[12] 田力东,张名位,郭祀远,等.苦瓜皂甙的提取工艺优化研究[J].现代食品科技,2008,23(1):40-44
TIAN Li-dong, ZHANG Ming-wei, GUO Si-yuan, et al. Study on optimization of extraction technology of saponin from momordica charantia L. [J]. Modern Food Science and Technology, 2008, 23(1): 40-44

[13] 王顺民,谭玉霞,韩永斌,等.热风与微波及其联合干燥对菠

菜干制效果的影响[J].食品科学,2012,33(20):80-84
WANG Shun-min, TAN Yu-xia, HAN Yong-bin, et al. Separate and joint effects of hot air drying and microwave drying on properties of spinach [J]. Food Science, 2012, 33(20): 80-84

[14] 袁江兰,康旭,陈锦屏.热风干制工艺对山楂 VC 稳定性的影响及相关工艺的优化研究[J].食品工业科技,2003,24(2):48-50
YUAN Jiang-lan, KANG Xu, CHEN Jin-ping. Optimization of hot air drying process affect the stability of VC and related processes of hawthorn [J]. Science and Technology of Food Industry, 2003, 24(2): 48-50

[15] 李健,黄艳,刘宁,等.苦瓜总皂苷稳定性研究[J].食品科学,2008,29(10):109-111
LI Jian, HUANG Yan, LIU Ning, et al. Study on stability of momordicosides [J]. Food Science, 2008, 29(10): 109-111

现代食品科技