

# 乌红天麻干燥工艺研究

卢琪<sup>1</sup>,薛淑静<sup>1</sup>,杨德<sup>1</sup>,王少华<sup>1</sup>,张杭<sup>2</sup>,李露<sup>1,\*</sup>

(1.湖北省农业科学院农产品加工与核农技术研究所,湖北武汉 430064;

2.长江大学生命科学学院,湖北荆州 434023)

**摘要:**为探究干燥工艺对乌红天麻干燥品质的影响。采用45~70℃分别干燥天麻茎块和天麻片,对比研究不同温度下两种加工方法的干燥速率以及对天麻干品色泽、成分、抗氧化效果及多糖含量等品质指标的影响。结果表明天麻切片干燥效率要远高于天麻整干,天麻块和天麻片的 $a^*$ 、 $b^*$ 值及天麻素的含量均随着干燥温度的升高而增加。相同干燥条件下,天麻切片更有利于天麻素、羟基苯甲醇和多糖的释放,提升天麻片提取液的抗氧化功能(DPPH自由基清除能力、FRAP值和ABTS自由基清除能力)。天麻切片2~3 mm,70℃条件下烘干4 h为本文研究的最佳干燥工艺。

**关键词:**乌红天麻,干燥,品质指标,抗氧化活性

## Drying Process of Wuhong *Gastrodia*

LU Qi<sup>1</sup>, XUE Shujing<sup>1</sup>, YANG De<sup>1</sup>, WANG Shaohua<sup>1</sup>, ZHANG Hang<sup>2</sup>, LI Lu<sup>1,\*</sup>

(1. Institute of Agro-Products Processing and Nuclear-Agricultural Technology,

Hubei Academy of Agricultural Science, Wuhan 430064, China;

2. College of Life Science, Yangtze University, Jingzhou 434023, China)

**Abstract:** To explore the effect of drying process on the quality of Wuhong *Gastrodia elata*, *Gastrodia* stem and *Gastrodia* slice were respectively dried at 45~70℃. The drying rates of the two processing methods at different temperatures were compared, and the quality indexes of color, chemical composition, antioxidant effect and polysaccharide content of dried samples were also studied. The  $a^*$ ,  $b^*$  values and gastrodin contents increased with the increasing drying temperature in both *Gastrodia* stems and *Gastrodia* slices. Compared with *Gastrodia* stems, slice processing was more benefic to the release of gastrodin, hydroxybenzyl alcohol and polysaccharides, and the antioxidant function (DPPH free radical scavenging ability, FRAP value and ABTS free radical scavenging ability) of *Gastrodia* slice extract was enhanced in accordance. The drying efficiency of *Gastrodia* slices was much higher than that of *Gastrodia* stem. Therefore, slice processing is more suitable for the drying of *Gastrodia elata*, and *Gastrodia elata* sliced to 2~3 mm and drying for 4 h under 70℃ is the best drying process in this study.

**Key words:** Wuhong *Gastrodia elata*; drying; quality indexes; antioxidant activity

中图分类号: TS255.1

文献标识码: B

文章编号: 1002-0306(2021)05-0166-05

doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2020040119

引文格式: 卢琪, 薛淑静, 杨德, 等. 乌红天麻干燥工艺研究[J]. 食品工业科技, 2021, 42(5): 166-169, 176.

LU Qi, XUE Shujing, YANG De, et al. Drying Process of Wuhong *Gastrodia* [J]. Science and Technology of Food Industry, 2021, 42(5): 166-169, 176. (in Chinese with English abstract) <http://www.spgykj.com>

2020年1月7日,国家卫健委食品安全标准与检测评估司发布了解读《关于对党参等9种物质开展按照传统既是食品又是中药材的物质管理试点工作的通知》。经系统研究、综合论证确定,认为“天麻在贵州省和云南省等地有作为食品原料食用历史,主要方法为炖肉、入菜、火锅等”,明确了天麻的药食两用属性。天麻是多年生异养寄生植物,须与密环菌和紫萁小菇共生,富含多糖、酚类、甾醇、有机酸等活性成分,具有降血压、镇痛、明目、增智、健脑、延缓衰老等功能<sup>[1-3]</sup>。相比其它品种,乌红天麻具有种植简单、产量高、生产周期短等优势。湖北省罗田县九

资河镇充分利用大别山得天独厚的特产资源,以乌红天麻为特色产业,助力精准扶贫,有着“天麻第一镇”之称。鲜天麻采收期集中,易腐烂,发霉,因此天麻干燥对于天麻保存尤为重要<sup>[4-6]</sup>。

目前天麻干燥加工多采用天麻整干或切片干燥的方式,两种操作方式各有优缺点,天麻整干存在操作方便但干燥效率低、能耗大等缺点<sup>[7]</sup>,而切片干燥效率高但加工较为繁琐。前人的研究曾对比过整干或切片干燥对天麻品质的影响,着重于干燥工艺的优化或加工方式的选择<sup>[8-9]</sup>,但同一干燥条件下两种处理方式对天麻品质影响的对比尚不完善。因此,

收稿日期: 2020-04-12

作者简介: 卢琪(1986-),女,博士,助理研究员,研究方向:农产品加工与贮藏,E-mail: luqihzau@126.com。

\* 通信作者: 李露(1962-),女,本科,研究员,研究方向:功能食品,E-mail: Lululu2662@163.com。

本研究在相同干燥条件下,对比乌红天麻茎块和天麻片干燥效率及干燥品质,以期为湖北省乌红天麻的干燥加工工艺提供参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料与仪器

乌红天麻(*Gastrodia elata*) 于2019年11月收获于湖北罗田,选取90~110 g的天麻为研究对象;天麻素(>98%)、对羟基苯甲醇(>98%)、葡萄糖(>98%) 液相标品,源叶生物科技有限公司;ABTS<sup>+</sup>·试剂盒 上海碧云天生物技术有限公司;Folin-Ciocalteu 试剂、抗坏血酸、2,2-二苯基-1-苦基肼基(DPPH)、1,3,5-三(2-吡啶基)-2,4,6-三嗪(TPTZ) 源叶生物科技有限公司。

Multiskan GO 酶标仪 美国 Thermo Fisher 公司;DHG-9140 热风干燥机 上海一恒科学仪器有限公司;KQ5200DE 超声波清洗仪 昆山市超声仪器有限公司;LC-20AT 高效液相色谱仪 日本岛津公司;AQ-C<sub>18</sub>液相色谱柱(4.6 mm×250 mm,5 μm) 日本岛津公司;CR-400 色差仪 日本 Minolta Camera 公司。

### 1.2 实验方法

1.2.1 天麻干燥工艺 鲜天麻,重量90~110 g,长8~12 cm,直径3~5 cm,蒸制透心(断面呈均匀暗白色),约5 min,再进行干燥:a.直接干燥,将整个鲜天麻在45、50、55、60、65、70℃,烘箱干燥,干燥终了含水量为9.56%~10.21%;b.切片干燥,将天麻块切成2~3 mm薄片,置于烘箱,在45~70℃,干燥到含水量为9.88%~10.37%。

1.2.2 色度分析 将干片燥后的天麻块和片,粉碎,过80目筛。采用色差仪对天麻粉进行分析<sup>[10]</sup>,将天麻粉置于透明器皿内,铺平,用标准白板校准L\*、a\*、b\*读数后进行测量。L\*表示样品亮度,范围从0~100(黑色~白色);a\*值代表红绿色,正值为红色,负值为绿色;b\*值代表黄蓝色,正值为红色,负值为蓝色。

1.2.3 水分干燥速率 天麻水分含量采用烘箱干燥法检测,即天麻样品置于105℃烘箱,干燥至恒重。天麻干燥水分变化速率按照不同干燥时间段天麻重量的变化计算<sup>[11-12]</sup>:

$$MR = \frac{X_t - X_e}{X_0 - X_e}$$

式中:X<sub>0</sub>,天麻初始重量;X<sub>t</sub>,干燥一定时间天麻重量;X<sub>e</sub>,天麻干燥绝对重量。

1.2.4 成分检测 参考2015版中国药典,检测干燥天麻中的天麻素和对羟基苯甲醇。取2 g天麻粉中加入50%乙醇50 mL,50℃超声(120 W,40 kHz)提取1 h。提取液离心,过膜,进行液相分析。流动相:乙腈-0.05%磷酸(5:95);检测波长220 nm;进样量5 μL;流速0.8 mL/min。结果用每g干天麻中天麻素和对羟基苯甲醇含量表示(mg/g)。

1.2.5 多糖含量检测 参照苯酚-硫酸法检测天麻干品多糖含量<sup>[13]</sup>,结果用每克天麻粉中葡萄糖当量表示(mg GLU/g)。

1.2.6 抗氧化能力 DPPH 自由基清除能力<sup>[14-15]</sup>: DPPH 乙醇溶液(65 μmol/L)280 μL 与 20 μL 抗坏血酸(100~500 μmol/L)或天麻粉乙醇提取液(如1.2.4所述)混合至于96孔板中,室温避光30 min,置于酶标仪读数(517 nm)。抗氧化结果以每克天麻粉中毫摩尔抗坏血酸当量表示(mmol AAE/g)。

FRAP 铁离子还原能力<sup>[14-15]</sup>:将20 μL天麻粉乙醇提取液或抗坏血酸(100~600 μmol/L)与280 μL Ferric-TPTZ 试剂混合,室温避光30 min,置于酶标仪读数(593 nm)。FRAP 值表示为每克天麻粉中抗坏血酸当量(mmol AAE/g)。

ABTS 自由基清除能力<sup>[14-15]</sup>:按照试剂盒说明制备 ABTS<sup>+</sup>·工作溶液。将10 μL天麻粉乙醇提取液或 Trolox(100~800 μmol/L)与200 μL的 ABTS<sup>+</sup>·工作液混合,室温下放置6 min,置于酶标仪读数(734 nm)。天麻清除 ABTS 自由基能力以每克天麻粉中 Trolox 当量表示(μmol TE/g)。

### 1.3 数据处理

实验数据取3次实验的平均值,用平均值±SD 值表示。采用 Duncan 分析进行样本差异性分析(IBM SPSS Statistics 20.0),P<0.05 为显著性差异。

## 2 结果与分析

### 2.1 干燥工艺对天麻色泽影响

不同干燥温度对天麻茎块和天麻片色泽的影响如表1所示。随着干燥温度的升高,天麻茎块L\*值逐渐下降,a\*、b\*值逐渐上升。表明天麻茎块色泽随着干燥温度升高白度下降,红黄度增加。尤其在70℃干燥条件下,a\*值大幅升高,推测高温干燥导致天麻茎块显著褐变。由此,将70℃设置为天麻的干燥温度上限。不同温度干燥对天麻片色泽的影响显示,L\*值小幅波动,a\*、b\*值缓慢上升,表明随着干燥温度升高,天麻片的红度和黄度缓慢增加。60~70℃下干燥

表1 干燥工艺对天麻块和天麻片色泽的影响

Table 1 Effect of drying process on the color of *Gastrodia* stem and *Gastrodia* slice

样品	指标	45℃	50℃	55℃	60℃	65℃	70℃
天麻块	L*	87.16±1.33 <sup>a</sup>	86.97±1.40 <sup>a</sup>	86.30±0.35 <sup>a</sup>	84.63±0.53 <sup>ab</sup>	81.82±0.15 <sup>bc</sup>	81.18±0.55 <sup>c</sup>
	a*	0.24±0.04 <sup>c</sup>	0.23±0.07 <sup>c</sup>	0.35±0.07 <sup>bc</sup>	0.67±0.03 <sup>bc</sup>	0.86±0.03 <sup>b</sup>	2.24±0.33 <sup>a</sup>
	b*	12.36±0.10 <sup>c</sup>	13.53±0.79 <sup>bc</sup>	14.26±0.11 <sup>b</sup>	14.55±0.42 <sup>b</sup>	16.17±0.19 <sup>a</sup>	17.23±0.23 <sup>a</sup>
天麻片	L*	84.04±0.75 <sup>abc</sup>	85.07±0.45 <sup>ab</sup>	85.24±0.44 <sup>a</sup>	83.15±0.39 <sup>abc</sup>	82.82±0.34 <sup>c</sup>	83.05±0.88 <sup>bc</sup>
	a*	0.31±0.07 <sup>b</sup>	0.33±0.04 <sup>b</sup>	0.41±0.05 <sup>b</sup>	0.76±0.02 <sup>a</sup>	0.78±0.03 <sup>a</sup>	0.89±0.02 <sup>a</sup>
	b*	10.22±0.19 <sup>c</sup>	10.85±0.19 <sup>b</sup>	10.93±0.16 <sup>b</sup>	11.60±0.22 <sup>a</sup>	11.72±0.09 <sup>a</sup>	11.93±0.11 <sup>a</sup>

注:不同小写字母表示同行差异显著(P<0.05),表2~表3同。

天麻片的  $a^*$ 、 $b^*$  值均比天麻茎块小,推测较高温度干燥天麻片的褐变较天麻块缓慢,这与天麻片干燥时间大幅缩短有关。

## 2.2 天麻干燥过程中水分变化速率

图1和图2分别显示了不同温度(45~70℃)干燥过程中天麻茎块和天麻片的水分变化速率。将天麻的含水量干燥至15%以下,天麻块在45、50、55、60、65、70℃下分别需要干燥130、120、110、100、100、80h;天麻片分别需要干燥8、7、7、6、5、4h。葛进等<sup>[7]</sup>对昭通天麻茎块进行变温干燥,优化得到二级天麻最佳干燥时长为144h,干燥时间长于本文研究,推测和天麻茎块重量及温度控制有关。高温干燥能够促进水分散失,提高干燥效率。天麻茎块干燥过程中,干燥初期阶段(0~20h),失水速率几乎呈直线下降,在随后的干燥过程中逐渐趋于平缓。天麻片干燥过程中失水更快,显著缩短了干燥时间。

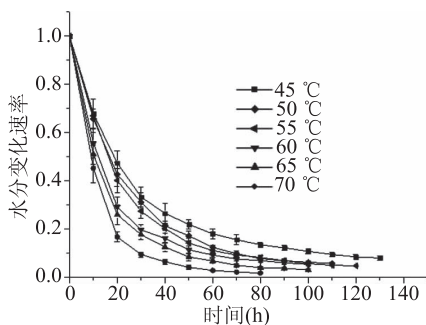


图1 不同温度干燥过程中天麻茎块水分变化速率

Fig.1 The changes of moisture rate in *Gastrodia* stem during drying at different temperatures

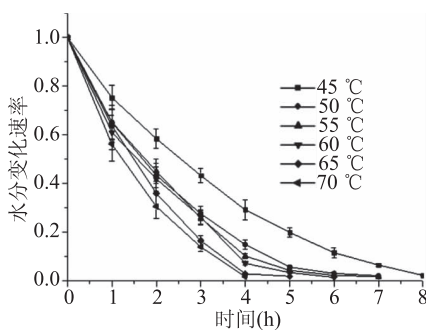


图2 不同温度干燥过程中天麻片水分变化速率

Fig.2 The changes of moisture rate in *Gastrodia* slice during drying at different temperatures

## 2.3 干燥过程对天麻素与对羟基苯甲醇的影响

干燥温度对天麻块和天麻片中的天麻素与对羟基苯甲醇含量的影响如表2所示。乌红天麻中天麻素的含量远高于对羟基苯甲醇的含量,与前人的研

表2 干燥工艺对天麻块和天麻片中天麻素和对羟基苯甲醇含量的影响

Table 3 Effect of drying process on the content of gastrodin and p-hydroxybenzyltoluene in *Gastrodia* stem and *Gastrodia* slice

样品	成分(mg/g)	45℃	50℃	55℃	60℃	65℃	70℃
天麻块	天麻素	1.05 ± 0.14 <sup>b</sup>	0.93 ± 0.02 <sup>b</sup>	0.87 ± 0.01 <sup>b</sup>	1.09 ± 0.04 <sup>b</sup>	0.91 ± 0.01 <sup>b</sup>	2.11 ± 0.04 <sup>a</sup>
	对羟基苯甲醇	0.12 ± 0.01 <sup>d</sup>	0.15 ± 0.01 <sup>cd</sup>	0.21 ± 0.01 <sup>b</sup>	0.25 ± 0.01 <sup>a</sup>	0.20 ± 0.01 <sup>b</sup>	0.18 ± 0.01 <sup>bc</sup>
天麻片	天麻素	1.99 ± 0.11 <sup>b</sup>	0.96 ± 0.03 <sup>d</sup>	1.55 ± 0.04 <sup>c</sup>	1.40 ± 0.04 <sup>c</sup>	1.34 ± 0.05 <sup>c</sup>	2.64 ± 0.16 <sup>a</sup>
	对羟基苯甲醇	0.41 ± 0.01 <sup>ab</sup>	0.27 ± 0.01 <sup>c</sup>	0.45 ± 0.02 <sup>a</sup>	0.47 ± 0.03 <sup>a</sup>	0.40 ± 0.03 <sup>ab</sup>	0.35 ± 0.01 <sup>b</sup>

究结果相一致<sup>[16]</sup>。70℃条件下干燥,显著增加了天麻块和天麻片中天麻素的含量( $P < 0.05$ ),可能的原因是<sup>[17]</sup>:a.高温干燥破坏了植物组织,天麻素在提取过程中更容易释放;b.高温会使天麻素降解酶快速失活,防止天麻素在后续干燥过程中因酶催化降解。同样干燥温度条件下,天麻片中的天麻素和对羟基苯甲醇的含量均高于天麻茎块,切片加工更利于乌红天麻活性成分的释放,可能是由于天麻切片干燥易破坏天麻组织,促进成分在提取过程中的释放,同时切片使干燥时间缩短,减少了活性成分的热降解。对羟基苯甲醇的含量随着干燥温度的增加出现先增加后减少的趋势,且在60℃时达到峰值,推测这类成分对高温比较敏感。

## 2.4 干燥工艺对天麻多糖含量的影响

干燥温度对天麻多糖含量的影响如图3所示,乌红天麻多糖含量为0.32~0.88 mg GLU/g,接近之前的报道<sup>[18]</sup>。有报道显示采用试剂盒测得天麻多糖含量要远高于本文研究<sup>[19]</sup>,推测试剂盒检测与传统紫外检测法获得结果具有较大差异。本研究中,天麻茎块中的多糖含量随着干燥温度的增加呈现逐渐下降的趋势,而天麻片的多糖含量则随干燥温度的升高而上升,说明温度的升高可能不利于天麻块多糖的释放,但有利于天麻片多糖的溶出,可能与二者组织结构有关。相同干燥温度下,天麻片多糖含量要明显高于天麻块,证明切片加工能够更充分地释放天麻活性成分。

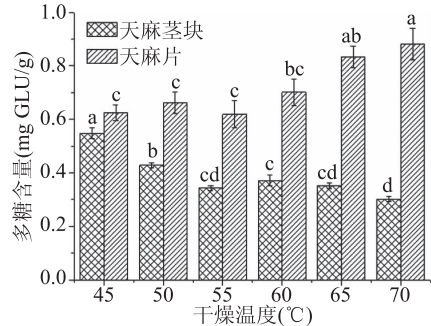


图3 不同温度干燥条件下天麻块与天麻片的多糖含量对比

Fig.3 Comparison of polysaccharide content in *Gastrodia* stem and *Gastrodia* slice under different drying temperatures

注:图中不同小写字母表示差异显著, $P < 0.05$ 。

## 2.5 干燥工艺对天麻抗氧化能力的影响

干燥温度对天麻块和天麻片抗氧化能力的影响如表3所示。其中,DPPH代表天麻提取物对DPPH自由基清除能力,FRAP代表天麻提取物对 $Fe^{3+}$ 的还原能力,ABTS代表天麻提取物对ABTS自由基清除能力,通常用于总抗氧化能力的检测。干燥温度对

表3 干燥工艺对天麻块和天麻片抗氧化能力的影响  
Table 3 Effect of drying process on the antioxidant ability of *Gastrodia* stem and *Gastrodia* slice

样品	抗氧化	45 °C	50 °C	55 °C	60 °C	65 °C	70 °C
天麻块	DPPH (mmol AAE/g)	0.81 ± 0.07 <sup>ab</sup>	0.75 ± 0.04 <sup>b</sup>	0.76 ± 0.05 <sup>b</sup>	0.63 ± 0.04 <sup>b</sup>	0.62 ± 0.05 <sup>b</sup>	0.98 ± 0.08 <sup>a</sup>
	FRAP (mmol AAE/g)	1.05 ± 0.07 <sup>a</sup>	0.39 ± 0.04 <sup>b</sup>	0.42 ± 0.05 <sup>b</sup>	0.49 ± 0.03 <sup>b</sup>	0.92 ± 0.09 <sup>a</sup>	0.93 ± 0.08 <sup>a</sup>
	ABTS (μmol TE/g)	14.54 ± 0.98 <sup>a</sup>	14.84 ± 0.88 <sup>a</sup>	14.36 ± 0.86 <sup>a</sup>	14.99 ± 0.76 <sup>a</sup>	15.22 ± 0.68 <sup>a</sup>	15.17 ± 0.73 <sup>a</sup>
天麻片	DPPH (mmol AAE/g)	1.56 ± 0.12 <sup>c</sup>	2.72 ± 0.16 <sup>a</sup>	2.09 ± 0.11 <sup>b</sup>	1.67 ± 0.09 <sup>c</sup>	1.31 ± 0.08 <sup>cd</sup>	1.05 ± 0.09 <sup>d</sup>
	FRAP (mmol AAE/g)	1.03 ± 0.08 <sup>b</sup>	1.26 ± 0.09 <sup>b</sup>	1.25 ± 0.05 <sup>b</sup>	1.74 ± 0.04 <sup>a</sup>	1.16 ± 0.08 <sup>b</sup>	1.57 ± 0.09 <sup>a</sup>
	ABTS (μmol TE/g)	15.14 ± 1.43 <sup>a</sup>	15.98 ± 1.09 <sup>a</sup>	15.79 ± 1.65 <sup>a</sup>	16.98 ± 1.08 <sup>a</sup>	16.69 ± 1.01 <sup>a</sup>	17.12 ± 1.04 <sup>a</sup>

天麻茎块和天麻片的 ABTS<sup>+</sup>·清除能力没有显著影响 ( $P > 0.05$ )。70 °C 干燥的天麻茎块对 DPPH 自由基清除效果最好,可能与高温对天麻素的高效释放有关。植物提取物的抗氧化能力与多种成分的协同作用有关<sup>[20-21]</sup>,天麻块的 DPPH 自由基清除能力与 FRAP 值随着干燥温度的增加呈现先减少后增加的趋势,而天麻片的 DPPH 自由基清除能力与 FRAP 值随着干燥温度的增加呈现先增加后减少的趋势,这一现象可能是加工方式导致天麻茎块和天麻片中提取成分组成存在差异。总之,低温(45 °C)和高温(70 °C)干燥的天麻茎块,三种抗氧化值之间无显著差异 ( $P > 0.05$ ),且高于其它温度下的抗氧化值,有利于发挥其抗氧化潜能;中等温度(50~60 °C)干燥则有利于天麻片抗氧化能力发挥。相同干燥温度下,天麻片的抗氧化能力(DPPH、FRAP、ABTS)均要高于天麻块。因此,天麻切片后干燥更有利于天麻抗氧化因子的释放。

### 3 结论

茎块直接干燥和切片干燥是天麻常采用的加工手段。相比乌红天麻茎块直接干燥,切片干燥极大地提高了干燥效率,即 45~70 °C 条件下干燥,茎块干燥需要 80~130 h,而切片干燥仅需 4~8 h。本研究中乌红天麻中天麻素的含量远高于对羟基苯甲醇的含量,70 °C 高温干燥条件下天麻素的含量明显升高,可能干燥温度进一步升高更有利于天麻素的释放,但 70 °C 干燥已使天麻发生严重褐变,所以本文未进行更高温度的干燥研究。相同干燥温度下,对比天麻茎块整干,天麻切片干燥更有利于天麻素、羟基苯甲醇和多糖的释放,与此同时,天麻片提取液的 DPPH、FRAP 和 ABTS 值较天麻块高。因此,切片工艺可能更适合乌红天麻的产地加工,即天麻切片 2~3 mm,70 °C 烘干 4 h 为本文研究的最佳干燥工艺。但本文所涉及对比指标尚不全面,干燥方式对天麻氨基酸、有机酸含量等指标的影响,需要进一步研究、完善。

### 参考文献

[1] 曹森,王瑞,李莹,等.不同保鲜剂处理对鲜天麻贮藏品质的影响[J].食品研究与开发,2019,40(23):71-76.  
[2] 杨式华,刘祥义,徐济仓,等.GC-MS 法同时测定天麻 6 种非挥发性有机酸[J].贵州农业科学,2019,47(11):125-128.  
[3] 赵湘蓉,方伟,刘胜贵,等.湖南雪峰山天麻多糖提取工艺优化研究[J].农产品加工,2020(2):46-50.  
[4] 陈娜,李永强,李瑞平,等.不同包装条件下冷藏天麻的保

鲜效果[J].食品与发酵工业,2020,46(1):251-255.  
[5] 曹森,雷霖卿,吉宁,等.鲜天麻采收后生理品质变化规律及病原菌鉴定的研究[J].食品工业科技,2019,40(17):285-293.  
[6] 陈琛,蔺蓓蓓,吴伟,等.6 种保鲜剂对天麻保鲜效果的影响[J].西北农林科技大学学报(自然科学版),2019,47(9):112-119.  
[7] 葛进,张磊,刘大会,等.产地、商品级别和干燥工艺对天麻品质影响研究[J].中药材,2017,40(3):637-640.  
[8] 桑正林,杨顺强,武婷,等.不同加工方法对昭通天麻成分的影响[J].园艺与种苗,2018(6):9-11,26.  
[9] 刘金美,胡德分,丁培超,等.加工温度对昭通天麻和天麻片品质影响的探索[J].生物化工,2019,5(4):114-118.  
[10] Lu Q, Huang X, Lv S, et al. Carotenoid profiling of red navel orange "Cara Cara" harvested from five regions in China [J]. Food Chem, 2017, 232: 788-798.  
[11] Deng L, Mujumdar A, Yang X, et al. High humidity hot air impingement blanching (hhaib) enhances drying rate and softens texture of apricot via cell wall pectin polysaccharides degradation and ultrastructure modification [J]. Food Chem, 2018, 261: 292-300.  
[12] Zhang L, Liao L, Qiao Y, et al. Effects of ultrahigh pressure and ultrasound pretreatments on properties of strawberry chips prepared by vacuum - freeze drying [J]. Food Chem, 2020, 303: 125386.  
[13] 李平,许金国,季德,等.天麻饮片传统性状与内在品质相关性研究[J].中国中药志,2019,44(20):4460-4466.  
[14] Lu Q, Lv S, Peng Y, et al. Characterization of phenolics and antioxidant abilities of red navel orange "Cara Cara" harvested from five regions of China [J]. Int J Food Prop, 2018, 21(1): 1107-1116.  
[15] Wang Q, Rehman M, Peng D, et al. Antioxidant capacity and α-glucosidase inhibitory activity of leaf extracts from ten ramie cultivars [J]. Industrial Crops and Products, 2018, 122: 430-437.  
[16] 李云,王志伟,耿岩玲,等.基于 HPLC-ESI-TOF/MS 法分析测定乌天麻和红天麻中化学成分的研究[J].天然产物研究与开发,2016,28(11):1758-1763.  
[17] Hossain M, Barry-Ryan C, Martin-Diana A, et al. Effect of drying method on the antioxidant capacity of six *Lamiaceae* herbs [J]. Food Chem, 2010, 123: 85-91  
[18] 祝洪艳,蒋然,何忠梅,等.不同乌天麻炮制品中天麻素、天麻苷元和天麻多糖的含量分析[J].中国药学杂志,2017,52(23):2062-2065.

(下转第 176 页)

- [14] 谭静,姜子涛,李荣,等.微波萃取和超声波提取法提取柚皮中黄酮类化合物的对比[J].食品研究与开发,2010,31(2):42-45.
- [15] 李静,邓青云,刘爱璐,等.响应面优化微波辅助酶法提取柚皮多糖工艺[J].食品工业科技,2016,37(24):283-287.
- [16] 张岩,吴继军,刘学铭,等.响应面法优化金柚皮渣中果胶的提取工艺[J].热带作物学报,2016,37(8):1595-1600.
- [17] 闫荣玲,廖阳,毛龙毅,等.柚皮膳食纤维微波辅助碱法提取工艺优化及其功能特性研究[J].食品与机械,2017,33(12):143-147.
- [18] 普红梅,杨万林,李燕山,等.两种干燥方式对马铃薯全粉营养品质和加工特性的影响[J].食品工业科技,2019,40(19):41-48.
- [19] 闫巧珍.马铃薯全粉理化性质和消化特性的研究[D].杨凌:西北农林科技大学,2017.
- [20] Kammerdetch C, Weiss M, Kasper C, et al. An improvement of potato pulp protein hydrolyzation process by the combination of protease enzyme systems[J]. Enzyme Microb Tech, 2007, 40(4): 508-514.
- [21] 杨喆茗.柚皮多糖与黄酮提取工艺及其生物活性研究[D].长春:吉林农业大学,2013.
- [22] Liu Z, Pan Y, Li X, et al. Chemical composition, antimicrobial and anti-quorum sensing activities of pomelo peel flavonoid extract[J]. Industrial Crops and Products, 2017, 109: 862-868.
- [23] 李敏,陈金丹,陈美宁.柚子皮内外果皮中黄酮类物质的提取及抗氧化性研究[J].化学工程师,2018,32(1):68-70,46.
- [24] 王玉芳.柚子皮多糖抗肿瘤活性研究[D].天津:天津科技大学,2016.
- [25] 刘千根.水溶性柚皮多糖的提取及其性能研究[D].广州:华南理工大学,2011.
- [26] 曾小峰,曾顺德,尹旭敏,等.柚子皮有效成分提取方法研究进展[J].南方农业,2016,10(34):67-70.
- [27] Liew S Q, Ngoh G C, Yusoff R, et al. Sequential ultrasound-microwave assisted acid extraction (UMAE) of pectin from pomelo peels [J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2016, 93: 426-435.
- [28] Wang W, Ma X, Jiang P, et al. Characterization of pectin from grapefruit peel: A comparison of ultrasound-assisted and conventional heating extractions [J]. Food Hydrocolloids, 2016, 61: 730-739.
- [29] 贾冬英,朗黄英,姚开,等.柚中果皮水不溶性膳食纤维对胆固醇的吸附研究[J].四川大学学报(工程科学版),2008(3):86-90.
- [30] Gorinstein S, Caspi A, Libman I, et al. Preventive effects of diets supplemented with sweetie fruits in hypercholesterolemic patients suffering from coronary artery disease [J]. Preventive Medicine, 2004, 38(6): 841-847.
- [31] 唐海珊,陈佩瑶,丁晴,等.超声辅助酶法提取柚子皮水溶性膳食纤维及其抗氧化活性研究[J].保鲜与加工,2016,16(6):103-106.
- [32] 谢婧.响应面优化复合植物水解酶提取梅州金柚皮可溶性膳食纤维[J].食品科技,2015,40(4):296-301,308.
- [33] 徐坤范,乔凤霞,王家栋.柚子皮中膳食纤维的提取条件研究[J].现代农业科技,2018(22):254-258.
- [34] 程明明,周鹤,严玮桐,等.不同干燥方式对西番莲果皮中湿法改性膳食纤维品质的影响[J].食品工业科技,2020,41(5):77-82.
- [35] 张明慧.马铃薯全粉理化性质及其主食全粉面条的制作[D].长春:吉林农业大学,2019.
- [36] 代春华,刘晓叶,屈彦君,等.不同产地马铃薯全粉的营养及理化性质分析[J].食品工业科技,2019,40(19):29-33.
- [37] Lorenz K, Hinze G. Functional characteristics of starches from proso and foxtail millets[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 1976, 24(5): 911-914.
- [38] 龚平,阚建全.美拉德反应产物性质的研究进展[J].食品与发酵工业,2009,35(4):141-146.
- [39] 王娅,姚利利,王颖,等.不同干燥方式对香菇品质影响的研究[J].食品研究与开发,2019,40(19):38-41,58.
- [40] 许年历,耿明,齐璐璐,等.4种干燥方式制备蓝莓果粉的品质研究[J].园艺与种苗,2018,38(12):23-28.
- [41] Tobaruela E D C, Santos A D O, Almeida-Muradian L B D, et al. Application of dietary fiber method AOAC 2011.25 in fruit and comparison with AOAC 991.43 method [J]. Food Chemistry, 2018, 238: 87-93.
- [42] Sui W, Mu T, Sun H, et al. Effects of different drying methods on nutritional composition, physicochemical and functional properties of sweet potato leaves [J]. Journal of Food Processing and Preservation, 2019, 43(3): e13884.
- [43] 马翠亚,杨开敏,王远成.热泵技术在农产品干燥中的应用[J].区域供热,2019(4):13-20.
- [44] Chua K, Mujumdar A, Hawlader M, et al. Batch drying of banana pieces-effect of stepwise change in drying air temperature on drying kinetics and product colour [J]. Food Res Int, 2001, 34(8): 721-731.
- [45] 高蔓,刘欣悦,刘静静,等.青萝卜护绿与热泵干燥动力学研究[J].农产品加工,2019(3):25-29.
- [46] 刘军,吴耀森,李浩权,等.黑茶热泵发花干燥技术研究及应用[J].现代农业装备,2019,40(3):71-75.
- [47] 吴佰林,薛勇,李兆杰,等.温度模式对鲢鱼热泵干燥品质及动力学特性的影响[J].食品工业科技,2019,40(4):86-92,99.
- [48] 李旭,李成义,强正泽,等.不同干燥方法的当归药材中指标成分含量测定[J].中国现代中药,2019,21(8):1110-1113.
- [49] Mustafa A, Ataollah K, Burak A, et al. Analysis of a new drying chamber for heat pump mint leaves dryer [J]. International Journal of Hydrogen Energy, 2017, 42(28): 18034-18044.
- [50] 李旭,李成义,强正泽,等.不同干燥方法的当归药材中指标成分含量测定[J].中国现代中药,2019,21(8):1110-1113.
- [51] Park Y, Cvikrová M, Martincová O, et al. In vitro antioxidative and binding properties of phenolics in traditional, citrus and exotic fruits [J]. Food Res Int, 2015, 74: 37-47.
- [52] Park Y, Cvikrová M, Martincová O, et al. In vitro antioxidative and binding properties of phenolics in traditional, citrus and exotic fruits [J]. Int J Food Sci Tech, 2019, 56(10): 4492-4502.
- [21] Park Y, Cvikrová M, Martincová O, et al. In vitro antioxidative and binding properties of phenolics in traditional, citrus and exotic fruits [J]. Food Res Int, 2015, 74: 37-47.

(上接第169页)

- [19] 周碧乾,齐路明,马云桐,等.天麻初加工方法对主要成分含量的影响及加工方法的化学模式识别[J].天然产物研究与开发,2018,30(5):736-743,869.
- [20] Lu Q, Huang N, Peng Y, et al. Peel oils from three *Citrus* species: Volatile constituents, antioxidant activities and related