

# 不同预处理和干燥方式的天麻片品质变化比较

王楠楠<sup>1</sup>, 赵彤<sup>1</sup>, 靳欣迪<sup>2</sup>, 李永香<sup>1</sup>, 赵旭博<sup>1\*</sup>

(1. 西北农林科技大学食品科学与工程学院, 陕西杨陵 712100)

(2. 陕西省粮油科学研究设计院, 陕西西安 710000)

**摘要:** 为探究不同干燥方式对新鲜天麻干燥加工后的品质影响, 该研究比较了自然风干、热风、真空冷冻及真空微波四种干燥方法和未炮制、蒸法炮制两种前处理方式下新鲜天麻的微观结构, 天麻素、对羟基苯甲醇等 8 种功能成分含量以及体外抗氧化和降血压水平的变化。研究表明, 炮制与未炮制两种前处理方式及不同的干燥方法对天麻的形态和功能成分含量有显著的影响。其中, 蒸法炮制-真空冷冻干燥处理组中功能成分含量最高, 总含量达到 42.71 mg/g; 其次为天麻未炮制-真空微波干燥处理组, 总含量为 30.98 mg/g。抗氧化能力最优加工工艺为未炮制-真空冷冻干燥处理组, 总抗氧化能力、清除 DPPH 自由基和 ABTS<sup>+</sup> 自由基能力分别达到了 68.54%、50.86% 和 41.05%, 而对 ACE 酶抑制率最高的为蒸法炮制-真空冷冻干燥处理组, 高达 82.50%。综上, 未炮制-真空冷冻干燥为天麻片的最优干燥方式。该研究结果可为新鲜天麻的进一步精准加工提供可供借鉴的方法和基础数据。

**关键词:** 天麻; 干燥方法; 天麻素; 功能成分; 抗氧化

文章编号: 1673-9078(2025)03-251-261

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2025.3.0156

## Comparison of the Quality of *Gastrodia elata* Blume Slices Processed and Dried using Different Methods

WANG Nannan<sup>1</sup>, ZHAO Tong<sup>1</sup>, JIN Xindi<sup>2</sup>, LI Yongxiang<sup>1</sup>, ZHAO Xubo<sup>1\*</sup>

(1. College of Food Science and Engineering, Northwest A&F University, Yangling 712100, China)

(2. Shaanxi Province Grain and Oil Science Research Design Institute, Xi'an 710000, China)

**Abstract:** The quality of fresh *Gastrodia elata* Blume (*G. elata*) processed and dried by using different methods was compared to clarify the effects of different drying methods on the quality of dried *G. elata*. Specifically, the *G. elata* samples were unprocessed (NGB) or steam-processed (PGB) before undergoing natural air drying, hot air drying, vacuum freeze drying (CFD), or vacuum microwave drying (VMD). The quality of the dried samples was then evaluated in terms of microstructure, contents of eight functional components (such as gastrodin and p-hydroxybenzyl alcohol), and *in vitro* antioxidant and antihypertensive activity. The results showed that the processing and drying methods significantly impacted the morphology and functional component contents of dried *G. elata*. The PGB-CFD group had the highest total functional component content of 42.71 mg/g, followed by the NGB-VMD group, at 30.98 mg/g. The NGB-CFD group exhibited the highest antioxidant capacity, with the total antioxidant capacity, DPPH free radical-

引文格式:  
王楠楠, 赵彤, 靳欣迪, 等. 不同预处理和干燥方式的天麻片品质变化比较[J]. 现代食品科技, 2025, 41(3): 251-261.

WANG Nannan, ZHAO Tong, JIN Xindi, et al. Comparison of the quality of *Gastrodia elata* blume slices processed and dried using different methods [J]. Modern Food Science and Technology, 2025, 41(3): 251-261.

收稿日期: 2024-02-02

基金项目: 国家自然科学基金面上项目(31671780); 农业农村部农产品质量安全风险评估重大项目(GJFP2020002; GJFP2020003)

作者简介: 王楠楠(1998-), 女, 硕士研究生, 研究方向: 食品安全危害识别控制, E-mail: 455669226@qq.com

通讯作者: 赵旭博(1979-), 男, 博士, 副教授, 研究方向: 食品安全因子识别控制与风险评估, E-mail: zhuxubo@nwsuaf.edu.cn

scavenging capacity, and ABTS<sup>+</sup> free radical-scavenging capacity reaching 68.54%, 50.86%, and 41.05%, respectively. The PGB-CFD group showed the highest ACE inhibition rate of 82.50%. In conclusion, the NGB-CFD method is the optimal drying method for *G. elata* slices. This study provides reference methods and basic data for further precise processing of fresh *G. elata*.

**Key words:** *Gastrodia elata*; drying methods; gasterodin; functional components; antioxidation

天麻 (*Gastrodia elata* Bl.) 是兰科草本植物的块茎, 是我国名贵的中药材, 被广泛应用于中药领域。研究表明, 天麻含有丰富的天麻素、对羟基苯甲醇、巴利森苷类等活性成分, 有助于降血压、抗氧化和改善心脑血管疾病<sup>[1,2]</sup>。随着人们对营养保健食品和功能性食品的需求日益增加, 2019 年中华人民共和国国家卫生健康委员会首次将天麻纳入药食同源试点目录中, 经过 4 年的试点工作后, 2023 年 11 月, 中国卫生健康委员会和市场监督管理总局正式发文, 将天麻列入了“按传统既是食品又是中药材的物质目录”, 代表其已属于食品范畴。天麻作为加工食品原料的未来需求量将急剧增加, 未来基于天麻原料, 将会积极推动一系列创新食品的研发。这不仅将为消费者提供更多种类、更高品质的天麻食品选择, 同时相关产业的兴起也将带动相关农民的增收致富, 推动当地经济的快速发展。然而新鲜天麻的科学贮藏成为进一步应用的瓶颈, 因此以天麻原料为研究对象, 研究其不同干燥方式下其各种理化特性的基本性质情况, 具有重要的科学意义与社会应用价值。

天麻主要生长在东亚的山区, 如日本、韩国、印度和中国等<sup>[1]</sup>。在中国, 天麻主要种植在贵州、云南、四川、陕西等地<sup>[3]</sup>。天麻的采收期相对集中, 加之采收后的新鲜天麻仅能保存 30~60 d, 因此需要进行干制以延长其保质期<sup>[4]</sup>。中医上通常采用自然风干的方式进行干制, 干制前需先经过炮制处理, 以促进天麻中柠檬酸酯系列物质向天麻素转化, 同时可达到“杀酶保苷”<sup>[5]</sup>的效果, 从而减少有效功能性成分的流失。相关研究表明, 炮制和加工方式是关乎天麻质量与功效成分的关键因素<sup>[6]</sup>, 但目前尚未报道针对不同加工用途新鲜天麻的最优干燥加工方法。在中国药典 (2020 版) 中, 关于天麻的品质评价标准集中在 6 种功能成分的含量测定, 目前鲜有学者关注香草醇和香草醛在天麻治疗眩晕、失眠和改善记忆方面的重要辅助作用及其在天麻原料中的含量水平情况。故本研究在参考中国药典 (2020

版) 关于天麻的品质评价指标基础上, 新增加了香草醇和香草醛的评价指标, 建立了 8 种功能成分含量同时测定的高效液相色谱方法, 并在此基础上对新鲜天麻先进行未炮制 (Unprocessed *Gastrodia elata* Blume, NGB) 和蒸法炮制 (Steam Processed *Gastrodia elata* Blume, PGB) 2 种前处理, 再经自然风干 (Natural Air Drying, NAD)、热风干燥 (Hot Air Drying, HAD)、真空冷冻干燥 (Vacuum Freeze Drying, CFD) 及真空微波干燥 (Vacuum Microwave Drying, VMD), 以期明确新鲜天麻经不同前处理方式和不同干燥方法下微观结构和 8 种功能成分的变化规律, 从而根据不同加工需求选择适宜的新鲜天麻原料干燥方法。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料与试剂

天麻, 采自陕西省主产区宁陕县, 选取成熟、完整、表面无机械伤的果实, 采收后低温装箱带回实验室, 0~4 °C 气调冷藏; 天麻素、对羟基苯甲醇、香草醛、香草醇、巴利森苷 A、巴利森苷 B、巴利森苷 C、巴利森苷 E 标准品: 色谱纯 (纯度 > 99.8%), 上海源叶生物科技有限公司; ACE 酶 (纯度 > 99.8%)、总抗氧化力 (T-AOC) 检测试剂盒, 南京建成生物工程研究所。

### 1.2 仪器与设备

LC-20AD 高效液相色谱仪, 日本岛津公司; VYS-4ZH1/2V 真空微波干燥设备, 上海万木春生物工程有限公司; LGJ-25C 冷冻干燥机, 北京四环仪器厂; DHG-9000A 恒温鼓风箱, 江苏天翎仪器有限公司; HH35000922 酶标仪, 奥地利 Tecan Austria GmbH; MA160-1CN 红外水分测定仪, 赛多利斯科学仪器 (北京) 有限公司; TA.XT PLUS/50 物性测定仪, 英国 STABLEMICVO 公司; Nano SEM-450 场发射扫描电子显微镜, 美国 FEI 公司。

### 1.3 试验条件

#### 1.3.1 样品前处理

取大小均匀的新鲜天麻，洗净搓去鳞状粗皮，切成2 mm左右薄片，等分备用。取其中一部分在蒸锅上蒸至中心透白，即得到蒸法炮制天麻薄片。

#### 1.3.2 样品干制

取未炮制和蒸法炮制前处理后的天麻，按照以下四种干燥方法加工，使其满足2020版中国药典的要求，即含水量低于12%。

自然干燥：样品均匀放置于空气流通的环境进行自然干燥。

热风干燥：将样品均匀铺散在60℃的干燥箱搁板上。

真空冷冻干燥：将样品在-80℃下预冷12 h后，均匀放置于冷冻干燥箱搁板内，冷阱温度90℃。

真空微波干燥：将样品均匀放置在真空微波干燥机腔体内进行分段干燥，第一段功率1 000 W，10 min；第二段功率600 W，5 min。设置温度60±5℃。

#### 1.3.3 水分含量测定

采用红外水分测定仪，设置标准模式，设定温度105℃，每个样平行测定三次。

#### 1.3.4 硬度测定

采用物性测定仪，探头，P5；直径，6 mm；下行速度，1 mm/s；测试速度，1 mm/s；回收速度，10 mm/s；触发启动值，5 g。

#### 1.3.5 微观结构

将天麻粉末均匀洒在粘贴有导电膜的样本座上，用洗耳球轻吹走未附着的粉末，镀上导电膜后采用扫描电子显微镜观察。

#### 1.3.6 八种功能成分的测定

##### 1.3.6.1 待测液制备

参照中国药典方法并进行了微调。首先，精密称定2 g粉碎后的天麻干片，置于具塞锥形瓶中，加入50 mL稀乙醇，称重，超声处理（功率120 W，频率40 kHz）30 min，冷却后再称重，用稀乙醇补足缺失的质量，滤过后量取滤液10 mL，氮吹后溶解于乙腈-水（体积比3:97）混合溶液中，转移至25 mL量瓶中，用乙腈-水（体积比3:97）混合溶液稀释至刻度，摇匀，滤过并收集续滤液。

##### 1.3.6.2 混合对照品溶液制备

天麻素、对羟基苯甲醇、香草醇、香草醛、巴

利森昔 A、巴利森昔 B、巴利森昔 C、巴利森昔 E 标准品各精密称取5 mg，加入超纯水定容，得到质量浓度分别为2、2、2、1、0.5、0.5、0.5、0.5 mg/mL的标准储备液，再分别吸取200 μL进行混合，则得质量浓度分别为0.25、0.25、0.25、0.125、0.062 5、0.062 5、0.062 5、0.062 5 mg/mL的混合对照品溶液。

##### 1.3.6.3 色谱条件

色谱柱：agilent C18柱（250 mm×4.6 mm，4.5 μm）；流动相：（A）乙腈，（B）0.05%（V/V）磷酸溶液，进行梯度洗脱（0~10 min，10% A；10~30 min，30% A）；流量：1 mL/min；检测波长：220 nm；柱温：35℃；进样量：10 μL。

##### 1.3.6.4 液相方法学考察

吸取0.5 mL混合对照品溶液，加入0.5 mL超纯水，再依次等倍稀释4个梯度，分别上机检测，进样10 μL。以进样质量浓度（mg/mL）为横坐标，峰面积为纵坐标，绘制标准曲线。吸取混合对照品溶液，连续上机进样6次，记录峰面积，计算精密密度。取同一批样品粉末6份，按照上述方法制备上机测定，记录峰面积，测定重复性。取样品按上述方法制备，分别在0、6、12、24、36 h进样分析，记录峰面积，测定稳定性。取已知含量的样品6份，各加入100 μL混合对照品，按上述方法制备上机，记录峰面积，计算加标回收率。

#### 1.3.7 天麻多糖测定

参照DB22/T 1685-2012方法，取2.00 g天麻粉末置于100 mL容量瓶，加水超声30 min后，沸水浴4 h。提取液按1:2比例加入稀乙醇，12 000×g离心10 min，除上清。残渣用水定容。取2 mL待测液于50 mL具塞刻度试管中，加入5%（m/V）苯酚溶液1.0 mL混匀，快速加入硫酸5 mL，振摇5 min，静置10 min，置沸水浴中加热20 min，冷却后于486 nm测定吸光度。

#### 1.3.8 总酚、总黄酮测定

##### 1.3.8.1 样品前处理

将3.00 g粉末加入20 mL 80%（V/V）乙醇中，超声提取30 min，静置2 h，10 000×g条件下离心20 min，重复2次，得提取液<sup>[7]</sup>。

##### 1.3.8.2 总酚含量测定（Folin-酚法）

向1 mL提取液中加入5 mL超纯水、0.5 mL福林酚显色剂和1 mL 7%（m/V）Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>，混匀反应30 min，于765 nm下测定吸光度，结果以mg没食子酸当量/g干重（mg GAE/g DW）表示。

表 1 不同炮制方式和干燥方法后天麻的综合得分分布

Table 1 Comprehensive score distribution of *G. elata* with different processing and drying methods

外观 (Y <sub>1</sub> )	破损严重, 完整性非常差, 表皮脱落, 变形	表面纹路有较大差异, 卷曲, 侧面褶皱不均匀	表面纹路基本一致, 轻微卷曲, 厚薄较均匀, 微变形	表面无缺陷, 厚度均匀, 轻微变形
8 种功能成分含量/(mg/g) (Y <sub>2</sub> )	0<Y <sub>2</sub> ≤8	8<Y <sub>2</sub> ≤18	18<Y <sub>2</sub> ≤28	Y <sub>2</sub> >28
天麻多糖/(%) (Y <sub>3</sub> )	0<Y <sub>3</sub> ≤0.1	0.1<Y <sub>3</sub> ≤1.1	1.1<Y <sub>3</sub> ≤2.1	Y <sub>3</sub> >2.1
总酚/(mg GAE/g DW) (Y <sub>4</sub> )	0<Y <sub>4</sub> ≤6	6<Y <sub>4</sub> ≤9	9<Y <sub>4</sub> ≤12	Y <sub>4</sub> >12
总黄酮/(mg RE/g DW) (Y <sub>5</sub> )	0<Y <sub>5</sub> ≤4	4<Y <sub>5</sub> ≤4.9	4.9<Y <sub>5</sub> ≤5.9	Y <sub>5</sub> >5.9
DPPH·/(%) (Y <sub>6</sub> )	0<Y <sub>6</sub> ≤13	13<Y <sub>6</sub> ≤23	23<Y <sub>6</sub> ≤33	33<Y <sub>6</sub> ≤43
ABTS <sup>+</sup> ·/(%) (Y <sub>7</sub> )	0<Y <sub>7</sub> ≤17	17<Y <sub>7</sub> ≤21	21<Y <sub>7</sub> ≤25	Y <sub>7</sub> >25
T-AOC/(%) (Y <sub>8</sub> )	0<Y <sub>8</sub> ≤35	35<Y <sub>8</sub> ≤45	45<Y <sub>8</sub> ≤55	Y <sub>8</sub> >55
ACE 酶抑制率/(%) (Y <sub>9</sub> )	0<Y <sub>9</sub> ≤28	28<Y <sub>9</sub> ≤51.5	51.5<Y <sub>9</sub> ≤75	Y <sub>9</sub> >75
得分 (Y)	0<Y≤2	2<Y≤4	4<Y≤6	6<Y≤8

### 1.3.8.3 总黄酮含量测定 (三氯化铝比色法)

向 1 mL 提取液中加入 5 mL 超纯水、0.3 mL 5% (m/V) NaNO<sub>2</sub>, 和 0.3 mL 10% (m/V) AlCl<sub>3</sub>, 混匀, 反应 5 min, 再加入 2 mL 0.5 mol/L NaOH, 充分反应, 于 510 nm 下测定吸光值。结果以 mg 儿茶素当量/g 干重 (mg CE/g DW) 表示。

### 1.3.9 抗氧化活性

样品前处理同 1.3.8。

总抗氧化能力: 采用总抗氧化力 (T-AOC) 检测试剂盒进行测定。

清除 DPPH 自由基能力: 取 1 mL 提取液, 加入 0.5 mL DPPH 溶液, 混匀避光反应 30 min, 于 517 nm 下测定吸光度, 样品平行测定三次。

清除 ABTS<sup>+</sup> 自由基能力: 常温下采用蒸馏水对 ABTS<sup>+</sup> 自由基引发液进行稀释, 直至其在 734 nm 处吸光度为 0.7±0.02 时。取 0.1 mL 样品与 1.9 mL 稀释后的 ABTS<sup>+</sup> 自由基引发液混合避光反应 10 min 后, 于 734 nm 处测定吸光度, 样品平行测定三次。

### 1.3.10 降血压活性

#### 1.3.10.1 ACE 酶抑制率

参照王柯诺等<sup>[8]</sup>建立的方法, 吸取 50 μL 样品, 加入 30 μL 马尿酸-组氨酸-亮氨酸 (HHL) 后在 37 °C 下水浴 5 min, 随后加入 10 μL ACE 酶液于 37 °C 下水浴 30 min, 最后加入 100 μL 盐酸 (1 mol/L) 终止反应, 采用 0.45 μm 滤膜过滤, 滤液备用。

#### 1.3.10.2 色谱条件

色谱柱: Agilent C18 柱 (250 mm×4.6 mm, 4.5 μm); 流动相: (A) 甲醇, (B) 0.1% (m/V)

三氟乙酸溶液, 进行等度洗脱; 流量: 1.0 mL/min; 检测波长: 228 nm; 柱温: 30 °C; 进样量: 10 μL。

### 1.3.11 品质评价评分

参考张艳杰等<sup>[9]</sup>的方法并稍作修改, 在品质评价中按照各物质含量从高到低和外观形态接受度进行评分, 满分为 8 分, 最后进行综合评分。具体的评分标准见表 1, 综合评分为各指标得分之和<sup>[10]</sup>。

## 1.4 数据统计

使用 SPSS 18.0 和 Origin 2018 进行数据分析和作图; 对于总抗氧化力 (T-AOC) 结果采用阈值法直线型无量纲化方法, 其中阈值被设置为 1 μmol/mL。

## 2 结果与讨论

### 2.1 天麻形态及微观结构

图 1 结果可见, 在炮制前处理方式中, 所有组别天麻表面形态均较平整, 没有明显皱缩, 这是因为炮制处理过程中使天麻片形成了较多的空气孔, 空气孔和多糖等组成的固体间架多, 从而水分流失较均匀, 导致干燥速率也较快。除 PGB-CFD 处理外, 其余都呈现天麻本身的微黄色, 推测这可能是由于在天麻的蒸制过程中, 其表面附着的多糖会溶于水, 导致了表面多糖含量的减少而形成。Wu 等<sup>[11]</sup>的研究支持了这一结论, 其结果表明蒸煮后可以显著降低黄精多糖含量, Ai 等<sup>[12]</sup>发现脉冲真空蒸煮同样使肉苁蓉的多糖降低。PGB-NAD 和 PGB-HAD 处理组的天麻表面组织形态与微观结构均无显著差异,

外观略微透明，脉络清晰可见，微观结构比较致密。而 PGB-CFD 处理组外观呈现白色，其微观结构最紧密。PGB-VMD 处理组中天麻表面组织形态则呈多孔疏松的海绵状结构，出现凸起有气孔，微观结构表现出破坏状态，零乱无规则，呈现真空干燥后特有的气泡和收缩的形态<sup>[13]</sup>，Yue 等<sup>[14]</sup>对党参旋转微波真空干燥后也呈现出类似的结果。

在未炮制前处理方式组别中，NGB-NAD 和 NGB-HAD 处理组中的天麻表面形态出现了不同程度的皱缩和弯曲现象。推测这是由于天麻在干燥过程中其表面发生了非均匀性失水，从而导致了非均匀性干缩变化，然而缓慢干燥方法较快速干燥方法

引起的皱缩程度更大，因此自然风干组处理后天麻片的皱缩和弯曲程度均高于热风干燥组。然而，在对姜黄的干燥研究中，结果却与本研究相反，热风干燥比晒干造成了更大的结构破坏<sup>[15]</sup>，这可能归因于实验设备参数的不同。除 NGB-NAD 处理组外，NGB 处理方式中各组天麻外观均显白色，原因在于相较于蒸制处理方式，未炮制处理方式减少了天麻多糖的损失，故呈现出天麻多糖的白色。而 NGB-NAD 处理组其干燥过程很缓慢，未经过杀酶处理，故天麻多糖可能在较长时间内逐步减少。研究表明自然风干能够促进姜黄素的降解，对生姜的颜色也带来了不利影响<sup>[16]</sup>。



图 1 不同炮制方式和干燥方法后天麻的形态及微观结构

Fig.1 Morphology and microstructure of *G. elata* with different processing and drying methods

注：NGB-NAD：未炮制-自然风干组；NGB-HAD：未炮制-热风干燥组；NGB-CFD：未炮制-真空冷冻干燥组；NGB-VMD：未炮制-真空微波干燥组；PGB-NAD：蒸法炮制-自然风干组；PGB-HAD：蒸法炮制-热风干燥组；PGB-CFD：蒸法炮制-真空冷冻干燥组；PGB-VMD：蒸法炮制-真空微波干燥组。下同。

由此可以得出,未炮制天麻采用自然干燥和热风干燥方式干制的天麻片皱缩严重,外观形态较差;炮制后天麻采用四种干制方法得到的天麻片都较为平整,外观形态较好。

## 2.2 硬度和含水量

由图2可知,不同干燥方法处理后天麻的含水量为0.39%~4.01%,均符合中药材干燥需满足的含水量(2020版《中国药典》中规定不得超过15%)。其中,蒸法炮制-热风干燥组含水量最低。天麻经真空冷冻干燥后含水量最高,与热风干燥和真空微波干燥有显著性差异( $P<0.05$ )。在真空冷冻干燥和真空微波干燥处理组中,无论对天麻原料炮制处理与否,其干燥后天麻含水量均无显著性差异,但对于自然风干和热风干燥处理组却有显著差异( $P<0.05$ )。推测这可能是因为天麻片炮制过程中形成了较多空气孔,空气孔与天麻多糖能够组成较多的固体间架,有利于天麻内部水分向表面转移,加速了干燥过程。

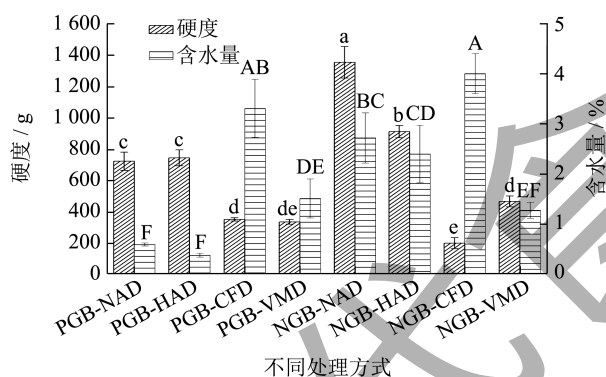


图2 不同炮制方式和干燥方法后天麻片的硬度和含水量

Fig.2 Hardness and moisture content of *G. elata* slices with different processing and drying methods

注:不同大写字母表示天麻片的含水量在不同处理后存在显著差异,不同小写字母表示天麻片的硬度在不同处理后存在显著差异( $P<0.05$ )。

在干燥过程中,硬度反映了天麻脱水的剧烈程度,硬度越高,越容易形成较硬的组织。真空冷冻干燥后天麻的硬度最低,干燥效果最好。未炮制处理方式组中不同干燥方法间差异显著( $P<0.05$ ),硬度从高到低分别为:自然风干>热风干燥>真空微波干燥>真空冷冻干燥。Zeng等<sup>[17]</sup>的研究发现双孢菇热风干燥后的硬度是冷冻干燥的5.4倍。自然风干和热风干燥过程中天麻片表面会发生表面硬化

现象,导致硬度上升,同时天麻表面形态也会随其硬度不同而表现出差异,如图1所示,NGB-NAD处理组相较于NGB-HAD处理组天麻表面皱缩更强烈。对于采用真空微波干燥后的天麻片,由于内外压力原因,其表面形态呈现不规则凸起和气孔。而真空冷冻干燥天麻片由于其在升华脱水前,经过了冷冻预处理,因此形成了稳定的骨架<sup>[18]</sup>,干燥过程对天麻片的结构基本无影响,其硬度最低。

炮制处理方式组的硬度从高到低分别为:自然风干和热风干燥>真空冷冻干燥和真空微波干燥。蒸法炮制后天麻片原有的结构被破坏,变得多孔疏松,降低了自然风干和热风干燥后的表面硬化差异,故两种方法处理后硬度基本趋于一致;天麻片炮制处理后置于真空环境中干燥,由于其完整的结构已被破坏,因此真空冷冻干燥和真空微波干燥后的硬度无显著差异,同时天麻切片受真空环境内外压力影响,硬度减小<sup>[19]</sup>。

整体来看,未炮制处理组别经自然风干和热风干燥后硬度远远高于炮制处理组,这是由于蒸法炮制后表面硬化减弱,硬度下降。然而天麻片无论是否经过炮制处理,经真空微波干燥后其硬度无显著差异,原因在于真空微波干燥方法的加热方式是从天麻物料中心向表面进行,其与水扩散方向一致,因此热分布均匀,在同样的真空度条件下,天麻炮制处理与否对其干燥后的硬度无差异性影响。综上所述,在实际生产中应当综合考量用时和成本问题,选用合适的加工方式。

## 2.3 天麻素等八种功能性成分含量

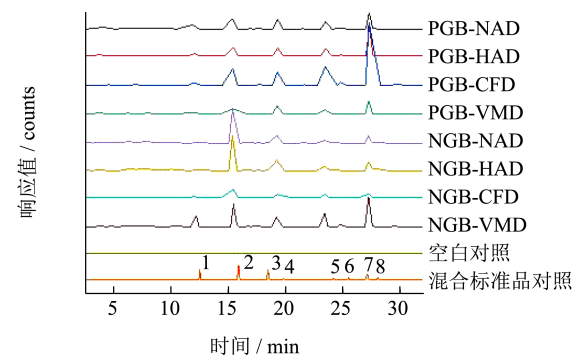


图3 不同样品的高效液相色谱图

Fig.3 High performance liquid chromatography of different samples

注:1-天麻素;2-对羟基苯甲醇;3-香兰醇;4-巴利森苷E;5-巴利森苷B;6-巴利森苷C;7-香兰素;8-巴利森苷A。

表 2 标准品的标准曲线和 $R^2$ Table 2 The standard curve and  $R^2$  of the standard

标准品	标准曲线	$R^2$	精密度 RSD/%	重复性 RSD/%	稳定性 RSD/%	平均加标回收率/%	加标回收率 RSD/%
天麻素	$y=2\times 10^7x-22\ 878$	0.999 5	0.11	1.38	2.26	91.30	2.78
对羟基苯甲醇	$y=3\times 10^7x-45\ 394$	0.999 3	0.59	2.41	3.64	108.74	2.46
香草醛	$y=4\times 10^7x-3\ 325.1$	1	0.37	1.42	4.42	81.06	4.33
香草醇	$y=2\times 10^7x-4\ 076.5$	0.999 9	0.89	2.32	2.96	104.87	1.69
巴利森苷 A	$y=2\times 10^7x-9\ 266.2$	0.999 8	0.95	2.54	0.34	86.00	1.79
巴利森苷 B	$y=2\times 10^7x-11\ 542$	0.999 9	0.177	2	3.13	96.85	1.03
巴利森苷 C	$y=1\times 10^7x-4\ 309.4$	0.999 9	0.57	2.3	2.28	91.54	2.80
巴利森苷 E	$y=1\times 10^7x-1\ 884.2$	1	1.67	1.52	0.94	108.74	3.82

天麻素、对羟基苯甲醇、香草醛、香草醇、巴利森苷 A、巴利森苷 B、巴利森苷 C、巴利森苷 E 色谱峰分离度良好，分离度均大于 1.2，相关色谱图如图 3 所示。

由表 2 可知，8 种成分的  $R^2$  分别为 0.999 5、0.999 3、1、0.999 9、0.999 8、0.999 9、0.999 9 和 1，均在 0.999 0 以上，表明该方法的灵敏度较高。8 种成分精密度、重复性和稳定性的 RSD 值分别为 0.11%~1.67%，1.38%~2.54%，0.94%~4.42%，表明仪器精密度、重复性和稳定性均良好。天麻中 8 种功能成分的加标回收率均在 80%~110%，且 RSD 值  $< 4.5\%$ ，满足分析要求。

图 4 可见，PGB-CFD 处理组中天麻片的 8 种功能成分总含量最高，其中巴利森苷 A 含量最高 (22.4 mg/g)，陈衍男等<sup>[4]</sup>的研究也发现天麻冻干样品中巴利森苷 A 的含量最高。这是因为真空冷冻干燥方法的干燥温度低，可减少由于高温引起的天麻片组分和结构劣变，并降低了天麻物料内部的生化反应速率，同时蒸法炮制处理能够极大减少微生物和酶的活性<sup>[20]</sup>，因此极大程度保留了物料原有的功能成分。其次为 NGB-VMD 处理组 (30.19 mg/g)，真空微波干燥方法中干燥速率快，15 min 左右就可将水分含量降低至满足相关标准 (中国药典) 要求，减少了物料内部劣变时长和微生物活性。总含量最低的是 NGB-NAD 处理组 (7.89 mg/g)，推测这可能是由于自然风干干燥时间较长，同时天麻未经过炮制处理，其有效成分会被微生物和酶不断分解，从而降低干品品质，功能性成分总含量最低。在冷冻干燥黑莓研究中，其功能成分含量均高于自然风干和热风干燥<sup>[21]</sup>，与本研究结果吻合。

在自然风干、热风干燥和真空冷冻干燥方法中，8 种功能性成分总含量炮制处理组都显著高于未炮制处理组，推测这可能是由于蒸法炮制能够起到良好的杀酶保苷作用，使天麻片中分解酶 (尤其是  $\beta$ -葡萄糖苷酶) 和微生物失活，进而保护天麻片中的功能性成分。杨成翠等<sup>[22]</sup>发现蒸制后巴利森苷类物质的总含量均提高。Xie 等<sup>[23]</sup>发现蒸煮后可以降低天麻中  $\beta$ -葡萄糖苷酶的活性，抑制酶解反应，从而增加天麻素含量。Wu 等<sup>[24]</sup>发现蒸煮使天麻素、对羟基苯甲醇、对羟基苯甲醛、巴利森苷 A、B 和 E 的含量增加了 1.1~6 倍，热风 and 冷冻干燥进一步增加了这些水平。采用真空微波干燥组却呈现相反的结果，推测一方面是由于未经炮制可以减少水溶性功能成分的流失，如天麻素、对羟基苯甲醇等，另一方面是因为真空微波干燥能够快速降低天麻片的水分，酶和微生物活性降低，同样起到保苷的作用。

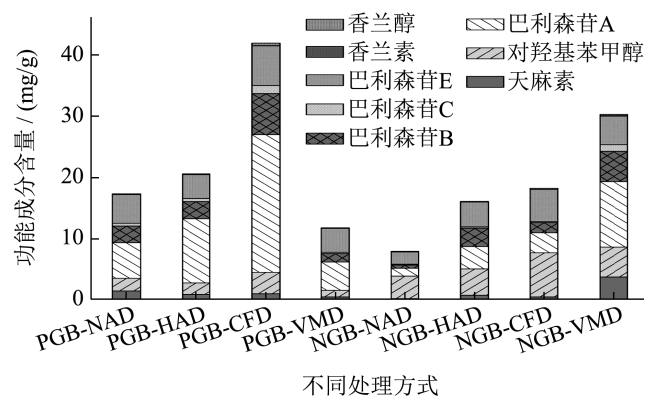


图 4 不同炮制方式和干燥方法后天麻中八种成分的含量

Fig.4 The contents of eight components in *G. elata* with different processing and drying methods

综上所述，炮制处理和不同干制方式会对天麻中 8 种功能成分产生较大影响，天麻采用冷冻干燥

方式处理后 8 种功能成分总含量最高，但投资和成本相应较大；自然风干成本较低，但 8 种功能成分总含量同样较低。考虑到天麻本身价值和成本效益，推荐采用真空微波干燥，结合本实验结果中炮制组采用真空微波干燥方式的总含量高于未炮制组，故最优的加工方式为将天麻不经炮制，直接切片后采用真空微波干燥方式干制。

#### 2.4 天麻多糖、总酚、总黄酮含量

如图 5 所示，天麻原料中多糖含量较高，本研究中不同干燥方式下其含量范围为 6%~20%，略大于方伟等<sup>[25]</sup>研究结果 (12%~17%)。多糖含量从高到低分别为：NGB-CFD > PGB-CFD > NGB-VMD > PGB-NAD > NGB-HAD > PGB-HAD > PGB-VMD > NGB-NAD。其中 PGB-NAD 和 NGB-HAD 处理组中天麻片的多糖含量无显著性差异，其余组别中具有显著差异 ( $P < 0.05$ )。未炮制和炮制处理方式中，经真空冷冻干燥后的多糖含量均较高，分别为 2.59%、2.27%，推测这可能是因为真空冷冻干燥是通过真空升华减少物料中的水分，因此在低温和真空条件下能够抑制酶和微生物对多糖的分解，最大程度保留了多糖含量；其次为 NGB-VMD 组。相较于 PGB-VMD 处理组，NGB-VMD 处理组避免了蒸制过程中多糖的流失，尽管没有灭活天麻片上的微生物和酶，但真空微波干燥能够快速降低物料水分活度，极大缩短了微生物和酶的作用时间，减少了多糖的损失。含量最低的是 NGB-NAD 处理组，推测可能是由于其未经过蒸法炮制处理，在较长时间的干燥过程中，微生物和包括  $\beta$ -葡萄糖苷酶在内的酶利用和分解了天麻多糖<sup>[26]</sup>，因此其含量最低。

总酚含量由高到低分别为：NGB-CFD > NGB-VMD 和 NGB-NAD > PGB-CFD > NGB-HAD > PGB-HAD > PGB-NAD 和 PGB-VMD。除了真空冷冻干燥处理组，未炮制处理方式组别中的总酚含量高于炮制处理组。白芨花茶经不同干燥处理后总酚含量的变化规律与本研究一致<sup>[27]</sup>。然而，Buyile 等<sup>[28]</sup>研究表明蒸煮可以提高山茱萸叶片中的总酚，这种差异可能与酚种类有关。天麻中酚类由天麻素、表儿茶素、肉桂酸、对羟基苯甲酸、没食子酸和咖啡酸等组成，不同产地天麻中的游离酚含量普遍高于结合酚<sup>[26]</sup>。游离酚容易在蒸法炮制处理过程中流失，使天麻中总酚含量降低。

总黄酮含量从高到低分别为：NGB-CFD > NGB-HAD > PGB-VMD > PGB-CFD > PGB-NAD 和 NGB-

NAD > PGB-HAD 和 NGB-VMD。天麻中黄酮类物质主要由芦丁、表儿茶酸、甘草素、杂黄酮 C 和格列酮等构成。NGB-CFD 组总黄酮和总酚含量均最高，分别为 10.33 mg 芦丁/gDW、21.07 mg 没食子酸/gDW。未炮制处理方式避免了蒸法炮制中对黄酮类物质的流失，且真空冷冻干燥能够最大程度保留有效成分，Guo 等<sup>[29]</sup>的结果也表明，相比于热风干燥和真空干燥，冷冻干燥后的槐花具有更高的总黄酮成分。相关研究表明，新鲜姜黄中总酚和总黄酮的含量在热处理后均降低<sup>[15]</sup>。

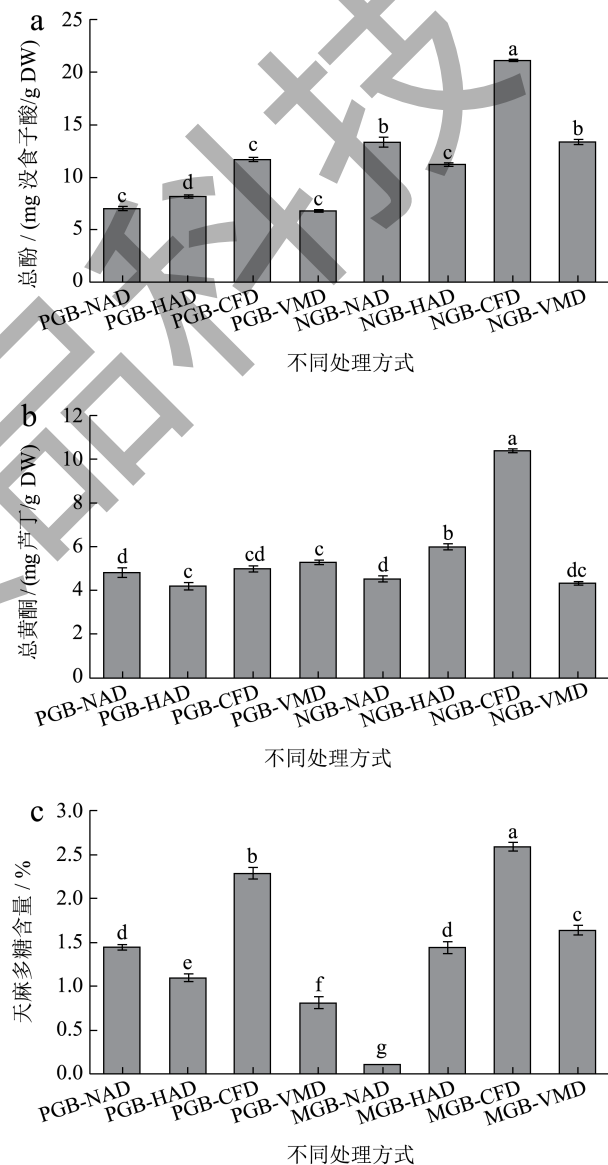


图 5 不同炮制方式和干燥方法后天麻多糖、总酚和总黄酮含量

Fig.5 Contents of polysaccharide, total phenol and total flavonoids in *G. elata* with different processing and drying methods

注：不同小写字母表示存在显著差异 ( $P < 0.05$ )。图 7 同。



综上所述, NGB-CFD 组, 即鲜天麻采用真空冷冻干燥方法处理后天麻多糖、总酚和总黄酮含量及三者含量之和(总含量)均最高, 品质较优。其次总含量较高的分别为 PGB-CFD 组和 NGB-VMD 组。

### 2.5 抗氧化评价

天麻抗眩晕、抗癫痫和抗衰老等很多功效与天麻抗氧化性能有着密不可分的关系。本研究中通过 T-AOC、ABTS<sup>+</sup> 和 DPPH 三个指标评价了不同处理方式和不同干燥方法加工后的天麻片抗氧化能力大小。图 6 表明, 总抗氧化能力、清除 DPPH 自由基和 ABTS<sup>+</sup> 自由基能力最好的均为 NGB-CFD 组, 分别达到了 68.54%、50.86% 和 41.05%; 其次分别为 NGB-NAD (44.83%)、NGB-VMD (33.47%)、NGB-HAD (46.43%); 最弱的分别是 PGB-HAD (29.38%)、PGB-HAD (28.87%)、PGB-NAD (17.06%)。咖啡果<sup>[30]</sup>、青豆<sup>[31]</sup>经冷冻干燥后清除 DPPH 自由基能力均优于热风干燥和自然风干。冷冻干燥黑莓提取物的 DPPH、ABTS<sup>+</sup> 自由基清除力和总还原力最高<sup>[21]</sup>, 与本结论吻合。整体来看, 未炮制组的抗氧化能力高于炮制组。结合图 5 可知未炮制天麻中总酚和总黄酮含量比炮制组高, 这与其抗氧化能力有关。

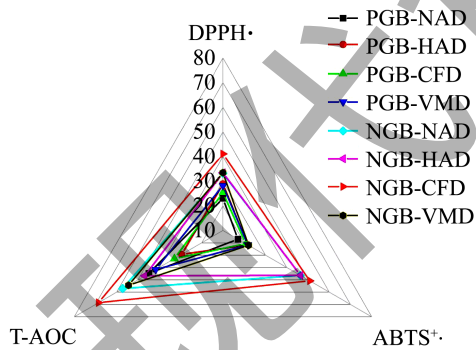


图 6 不同炮制方式和干燥方法后天麻的抗氧化活性

Fig.6 Antioxidant activity of *G. elata* with different processing and drying methods

### 2.6 降血压

如图 7 所示, PGB-CFD、PGB-VMD、NGB-CFD 组对 ACE 酶抑制率最高, 均达到 80.00%,

且无显著性差异 ( $P < 0.05$ )。PGB-NAD 组对 ACE 酶抑制率最低, 仅为 28.70%。Sergey 等<sup>[32]</sup>也得出冻干蘑菇对 ACE 酶抑制率最高。天麻多糖对 ACE 酶活性有抑制作用, 其 IC<sub>50</sub> 为 0.66 mg/mL<sup>[33]</sup>, PGB-CFD、NGB-CFD 组的多糖含量较高, 故对 ACE 酶抑制率高。而 PGB-VMD 组中天麻素、对羟基苯甲醇和巴利森苷系列物质含量较高, 能够显著通过抑制血管炎症因子来起到降血压效果<sup>[34]</sup>。PGB-NAD 处理组中多糖、天麻素、对羟基苯甲醇和巴利森苷系列物质含量均较少, 故对于 ACE 酶抑制率最低。对 ACE 酶的抑制率高低能够反映物质潜在的降血压活性, 可见 PGB-CFD、PGB-VMD、NGB-CFD 处理组具有良好的潜在降血压活性。

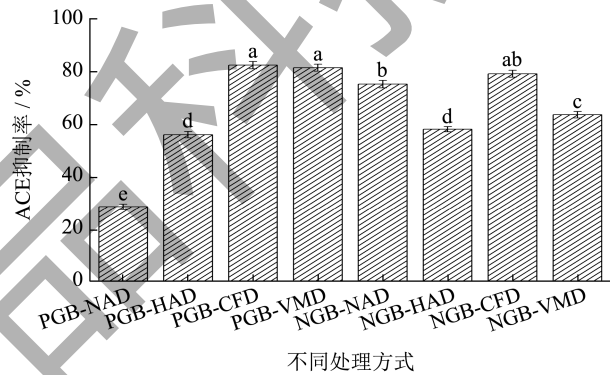


图 7 不同炮制方式和干燥方法后天麻对 ACE 酶的抑制率

Fig.7 Inhibition rate of ACE enzyme in *G. elata* with different processing and drying methods

### 2.7 品质评价评分

由表 3 可知, 综合评价分数最高的为 NGB-CFD 处理组, 即天麻未经炮制处理, 直接切片后真空冷冻干燥, 得分为 69.00 分; 其次为 NGB-VMD 处理组, 即天麻不经炮制, 直接切片后真空微波干燥, 得分为 58.00 分。与之类似的研究是对木薯淀粉的综合评价中, 评分结果表明经真空冷冻干燥制备后其性能最佳<sup>[35]</sup>。由于不同加工方式下天麻片品质差异较大, 因此应根据具体目标需求选择最佳加工工艺。NGB-CFD 组虽然综合评分最高, 但真空冷冻干燥成本较高, 考虑到成本和效益, NGB-VMD 组则更为适宜, 即天麻不经炮制, 直接切片后真空微波干燥。

表 3 不同炮制方式和干燥方法后天麻的质量评价得分

Table 3 Quality evaluation score of *G. elata* with different processing and drying methods

评分指标	NGB-NAD	NGB-HAD	NGB-CFD	NGB-VMD	PGB-NAD	PGB-HAD	PGB-CFD	PGB-VMD
外观	5.91 ± 0.25	6.99 ± 0.26	8.00 ± 0.01	8.01 ± 0.03	7.99 ± 0.03	7.98 ± 0.06	7.98 ± 0.06	8.01 ± 0.03
8 种功能成分含量	2.01 ± 0.23	3.99 ± 0.21	5.01 ± 0.31	7.01 ± 0.30	4.01 ± 0.34	6.00 ± 0.16	7.99 ± 0.18	3.00 ± 0.19
天麻多糖	2.99 ± 0.20	5.00 ± 0.24	7.99 ± 0.01	6.00 ± 0.25	5.01 ± 0.15	3.99 ± 0.23	7.01 ± 0.15	4.02 ± 0.36
总酚	7.03 ± 0.27	4.98 ± 0.27	8.00 ± 0.01	6.99 ± 0.17	3.01 ± 0.17	4.02 ± 0.21	6.01 ± 0.18	2.99 ± 0.19
总黄酮	4.00 ± 0.45	6.98 ± 0.20	7.99 ± 0.02	2.99 ± 0.20	4.02 ± 0.28	3.00 ± 0.25	5.00 ± 0.20	6.01 ± 0.14
DPPH·	6.99 ± 0.37	7.00 ± 0.27	7.99 ± 0.03	7.00 ± 0.25	4.00 ± 0.34	5.99 ± 0.15	4.99 ± 0.25	6.02 ± 0.25
ABTS <sup>+</sup> ·	7.00 ± 0.17	7.00 ± 0.26	8.00 ± 0.01	6.00 ± 0.33	3.01 ± 0.26	5.03 ± 0.21	4.02 ± 0.15	5.00 ± 0.13
T-AOC	6.99 ± 0.14	5.02 ± 0.22	8.02 ± 0.06	6.01 ± 0.21	3.02 ± 0.22	1.00 ± 0.22	2.00 ± 0.17	4.01 ± 0.21
ACE 酶抑制率	4.00 ± 0.17	5.02 ± 0.26	7.99 ± 0.03	7.99 ± 0.03	7.00 ± 0.12	6.01 ± 0.19	8.01 ± 0.15	5.99 ± 0.15
总分	47.01 ± 0.21	52.00 ± 0.26	69.00 ± 0.03	58.00 ± 0.30	41.01 ± 0.25	42.98 ± 0.19	52.98 ± 0.10	45.01 ± 0.22

### 3 结论

本研究通过未炮制、蒸法炮制两种前处理方式和四种不同干燥方法加工了新鲜天麻，对所制备的天麻干品分析了其功能成分、理化指标、抗氧化能力及降血压活性情况。结果表明，不同干燥方式和炮制处理对天麻的结构和主要功能成分有较大影响，因此应根据不同天麻产品原料的需求标准选择最适合的干燥加工工艺。在四种不同的干燥方法中，真空冷冻干燥方法处理后的天麻片含水量和 8 种功能性成分含量均高于其它 3 种干燥方式。在未炮制和蒸法炮制处理方式中，天麻未炮制前处理的产品中天麻多糖、总酚、总黄酮及抗氧化能力均优于蒸法炮制处理组，且由综合评分可知，评分最高的为 NGB-CFD 处理组。然而，真空冷冻干燥方法成本较高，考虑到成本和经济效益，真空微波干燥也可作为新鲜天麻干燥的较优方法。

### 参考文献

- [1] 柳威, 邓林华, 祁泰利, 等. 天麻及其有效成分的药理作用概述[J]. 中药药理与临床, 2021, 37(4): 240-244, 12.
- [2] DENG C J, CHEN H Z, MENG Z Y, et al. Gastrodin and vascular dementia: advances and current perspectives [J]. Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine, 2022, 12: 2563934.
- [3] 王玉悦, 陈维佳, 包海鹰. 天麻资源及其开发利用的研究进展[J]. 人参研究, 2019, 31(4): 52-62.
- [4] 陈衍男, 卢恒, 郑秀花, 等. 不同干燥方式对天麻多糖指标成分含量的影响[J]. 山东科学, 2019, 32(1): 14-20.
- [5] LI Y, LIU X Q, LIU S S, et al. Transformation mechanisms of chemical ingredients in steaming process of *Gastrodia elata* Blume [J]. Molecules, 2019, 24(17): 3159.
- [6] XIE Y K, LI X Y, ZHANG Y, et al. Effects of high-humidity hot air impingement steaming on *Gastrodia elata*: steaming degree, weight loss, texture, drying kinetics, microstructure and active components [J]. Food and Bioproducts Processing, 2021, 127: 255-265.
- [7] ROJAS-BRAVO M, ROJAS-ZENTENO E G, HERNÁNDEZ-CARRANZA P, et al. A potential application of mango (*Mangifera indica* L. cv Manila) peel powder to increase the total phenolic compounds and antioxidant capacity of edible films and coatings [J]. Food and Bioprocess Technology, 2019, 12(9): 1584-1592.
- [8] 王柯诺, 从俊峰, 顾双, 等. 加工食品对 ACE 活性的影响[J]. 中国食品学报, 2021, 21(5): 90-95.
- [9] 张艳杰, 王金慧, 申佳晋, 等. 红枣咖啡复合固体饮料加工工艺研究[J]. 农产品加工, 2022, 13: 56-61.
- [10] 杜利月, 郭留城, 王飞. 山楂风味奶片的制备及体外抗氧化活性的研究[J]. 食品科技, 2023, 48(4): 119-126.
- [11] WU W J, HUANG N W, HUANG J P, et al. Effects of the steaming process on the structural properties and immunological activities of polysaccharides from *Polygonatum cyrtoneuma* [J]. Journal of Functional Foods, 2022, 88: 104866.
- [12] AI Z P, XIE Y K, LI X Y, et al. Revealing color change and drying mechanisms of pulsed vacuum steamed *Cistanche deserticola* through bioactive components, microstructural and starch gelatinization properties [J]. Food Research International, 2022, 162: 112079.
- [13] 张欣, 张记, 彭桂兰, 等. 山药切片真空干燥特性及模型研究[J]. 食品工业科技, 2022, 43(4): 82-89.
- [14] YUE Y M, ZHANG Q, WAN F X, et al. Effects of different drying methods on the drying characteristics and quality of *Codonopsis pilosulae* slices [J]. Foods, 2023, 12(6): 1323.
- [15] CHUMROENPHAT T, SOMBOONWATTHANAKU I, SAENSOUK S, et al. Changes in curcuminoids and chemical

- components of turmeric (*Curcuma longa* L.) under freeze-drying and low-temperature drying methods [J]. Food Chemistry, 2021, 339: 128121.
- [16] MAHAYOTHEE B, THAMSALA T, KHUWIJITJARU P, et al. Effect of drying temperature and drying method on drying rate and bioactive compounds in cassumunar ginger (*Zingiber montanum*) [J]. Journal of Applied Research on Medicinal and Aromatic Plants, 2020, 18: 100262.
- [17] ZENG Z, WANG J Q, Wen X F, et al. Metabolomic analysis provides insights into the mechanism of color and taste changes in *Dictyophora indusiata* fruiting bodies under different drying processes [J]. Food Research International, 2022, 162: 112090.
- [18] 夏文水.食品工艺学[M].中国轻工业出版社,2013.
- [19] NAHAR N, HAZRA S, RAYCHAUDHURI U, et al. Effect of different drying methods on drying kinetics, modeling, energy-economic, texture profile, color, and antioxidant of lotus rhizomes (*Nelumbo nucifera*) [J]. Journal of Food Processing and Preservation, 2022, 46(10): e16842.
- [20] 李仲艺.真空冷冻干燥技术在生物制药方面的应用分析[J].中国新技术新产品,2018,1:76-77.
- [21] THI N D, HWANG E S. Effects of drying methods on contents of bioactive compounds and antioxidant activities of black chokeberries (*Aronia melanocarpa*) [J]. Food Science and Biotechnology, 2016, 25(1): 55-61.
- [22] 杨成翠,包刘媛,李春燕,等.不同加工工艺对昭通天麻主要成分含量的影响[J].湖南农业科学,2023,12:51-56.
- [23] XIE Y K, LI X Y, CHEN C, et al. Effects of steam and water blanching on drying characteristics, water distribution, microstructure, and bioactive components of *Gastrodia elata* [J]. Plants-Basel, 2023, 12(6): 1372.
- [24] WU Z, GAO R, LI H, et al. How steaming and drying processes affect the active compounds and antioxidant types of *Gastrodia elata* Bl. f. *glauca* S. chow [J]. Food Research International, 2022, 157: 111277.
- [25] 方伟,胡慧,刘慧芹,等.不同干燥温度对天麻主要成分含量的影响[J].怀化学院学报,2019,38(11):1-5.
- [26] 吴国真,贾传青,王晓,等.天麻多糖的提取、纯化及药理活性研究进展[J].中华中医药学刊,2022,40(7):135-139.
- [27] HAN X, SONG Z Q, LIU J W, et al. Effects of different drying methods on the quality of *Bletilla striata* scented tea [J]. Molecules, 2023, 28(6): 2438.
- [28] NCUBE B, DLAMINI B, BESWA D. Effect of common cooking and drying methods on phytochemical and antioxidant properties of *Corchorus olitorius* identified using Liquid Chromatography-Mass Spectrometry (LC-MS) [J]. Molecules, 2022, 27(24): 9052.
- [29] GUO X L, ZHANG F, LIU Y, et al. Steaming and vacuum drying preserve active components, sensory and antioxidant properties [J]. Food Science and Technology, 2023, 43: e100722.
- [30] JIANGJARIYATAM R, SAMOSORN S, DOLSOPHON K, et al. Effects of drying processes on the quality of coffee pulp [J]. Journal of Food Processing and Preservation, 2022, 46(10): e16876.
- [31] KAVEH M, ABBASPOUR-GILANDEH Y, FATEMI H, et al. Impact of different drying methods on the drying time, energy, and quality of green peas [J]. Journal of Food Processing and Preservation, 2021, 45(6): e15503.
- [32] PISKOV S, TIMCHENKO L, GRIMM W D, et al. Effects of various drying methods on some physico-chemical properties and the antioxidant profile and ACE inhibition activity of oyster mushrooms (*Pleurotus Ostreatus*) [J]. Foods, 2020, 9(2): 160.
- [33] ZHU Z Y, CHEN C J, SUN H Q, et al. Structural characterisation and ACE-inhibitory activities of polysaccharide from *Gastrodia elata* Blume [J]. Natural Product Research, 2019, 33(12): 1721-1726.
- [34] 王焕军,杨雯晴,于瑞雪,等.基于代谢组学技术的天麻降血压作用研究[J].中国中西医结合杂志,2020,40(3):324-330.
- [35] 李明娟,王颖,张雅媛,等.5种干燥方式对木薯淀粉性能的影响[J].食品工业科技,2024,45(8):134-142.