

# 挤压蒸煮改性黄精粉的制备及品质评价

## Preparation and quality evaluation of *Polygonati rhizoma* modified powder by extrusion cooking

曹雨欣 郑淘 罗堃 郑慧 杨勇

CAO Yuxin ZHENG Tao LUO Kun ZHENG Hui YANG Yong

(湖南中医药大学药学院食品药品工程系, 湖南长沙 410000)

(School of Pharmacy, Hunan University of Chinese Medicine, Changsha, Hunan 410000, China)

**摘要:**目的:提高黄精食用及功能品质。方法:以冻干鲜黄精粉为原料对照品,九蒸九晒黄精粉为工艺对照品,分析比较挤压蒸煮黄精粉的人体感官、电子感官、色度、流动性、冲调性、浸出物、总多糖和总皂苷含量等质量特性。结果:挤压蒸煮可有效消除鲜黄精的不良口感,改善黄精粉的色泽和流动性。与九蒸九晒黄精粉相比,挤压蒸煮黄精粉的总多糖和总皂苷含量显著增加,增幅分别为49.27%,69.10%。结论:挤压蒸煮能有效改善黄精的食用品质和功能特性,提高工艺的可控性和稳定性。

**关键词:**黄精;挤压蒸煮;物性质量;化学成分;电子感官分析

**Abstract: Objective:** This study aimed to improve the functional characteristics of *Polygonati rhizoma* (PR). **Methods:** Using the freeze-dried fresh PR and nine-steam-nine-bask processing PR as control products, the study comprehensively compared and analyzed human sensory, electronic sensory, color, fluidity, dissolving ability, extract content, total polysaccharide content and total saponin content in PR powder modified by extrusion cooking. **Results:** Extrusion cooking effectively eliminated the bad taste and improved the color and fluidity of PR powder. Compared with the nine-steam-nine-bask processing, extrusion cooking significantly increased the total polysaccharide content and total saponin content, with increase rates of 49.27% and 69.10%, respectively. **Conclusion:** Extrusion cooking can effectively improve the functional characteristics of PR, and enhance the controllability and stability of processing quality.

**基金项目:**湖南省现代农业产业技术体系建设专项(编号:2022-67)

**作者简介:**曹雨欣,女,湖南中医药大学在读硕士研究生。

**通信作者:**杨勇(1972—),男,湖南中医药大学教授,博士。

E-mail: yangyong@hnu.cm.edu.cn

郑慧(1982—),女,湖南中医药大学讲师,在读博士。

E-mail: huizheng0104@163.com

**收稿日期:**2023-10-12 **改回日期:**2024-02-11

**Keywords:** *Polygonati rhizoma*; extrusion cooking; physical quality; chemical composition; electronic sensory analysis

黄精为百合科黄精属植物滇黄精(*Polygonatum kingianum* Coll. et Hemsl)、多花黄精和黄精的干燥根茎,其性平味甘,具有补气养阴和健脾润肺等功效,为传统补益类中药材。黄精所含的多糖、皂苷和黄酮类成分被认为是其抗衰老<sup>[1]</sup>、降血糖<sup>[2]</sup>、抗抑郁<sup>[3]</sup>和增强免疫力<sup>[4]</sup>等保健功能的物质基础。鲜黄精有麻口舌和戟咽喉等食用不适感,传统炮制常采用反复蒸晒(烘)加工来消除麻味和增加甜味并提高黄精功效的目的<sup>[5-6]</sup>,其中九蒸九晒被视为黄精的经典加工工艺。

挤压蒸煮为现代农产品及食品加工领域的成熟工艺技术,该技术可通过单元操作短时间内快速实现物料的熟化、混合、成型和杀菌等多重工艺效果,被广泛应用于粗粮细作<sup>[7]</sup>、营养复合休闲食品<sup>[8]</sup>及动物饲料加工等领域。中药材加工领域已有西洋参<sup>[9]</sup>和山药<sup>[10]</sup>等采用挤压蒸煮技术加工的研究报道,目前尚未见单一黄精原料的挤压蒸煮研究。热加工是改善黄精食用品质的最为重要的工艺环节,而挤压蒸煮技术能实现连续高压高热熟化加工,符合黄精的加工特性,且挤压蒸煮技术的应用还可实现工艺简化、产品多样化和成本合理化的生产要求。研究拟以鲜黄精冻干粉为原料对照,九蒸九晒黄精为传统工艺对照,分别对挤压蒸煮黄精粉的感官特性、物理特性和化学质量特性等进行分析,综合评价黄精的挤压蒸煮加工特性,为挤压蒸煮技术在黄精深加工领域的应用提供依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料与试剂

鲜黄精:由湖南中医药大学周日宝教授鉴定为百合科植物多花黄精(*Polygonatum cyrtoneuma* Hua)的根茎;

乙腈:色谱纯,美国 TEDIA 公司;

其他试剂均为国产分析纯。

## 1.2 仪器与设备

小型胶体磨:JM-LB100型,浙江昊星机械设备有限公司;

真空微波干燥机:WB-5型,福州法莫优科机械科技有限公司;

冷冻干燥机:SCIENTZ-10N型,宁波新芝生物科技股份有限公司;

双螺杆挤压膨化机:MT-实验型,山东铭本机械有限公司;

液质联用仪:XEVO G2-XS Q-TOF-MS型,美国Waters公司;

电子舌:SA402B型,日本INSENT公司;

电子鼻:PEN3型,德国AIRSENSE公司;

固液两用分光测色仪:CS-820N型,杭州彩谱科技有限公司。

## 1.3 试验方法

### 1.3.1 黄精粉制备

(1) 鲜黄精冻干粉(LD):鲜黄精切小块,添加10%的水,胶体磨湿法粉碎,制得黄精鲜浆,−80℃预冻2h,−55℃真空冷冻干燥(70 Pa)至样品含水量≤10%,粉碎,得鲜黄精冻干粉。

(2) 九蒸九晒黄精粉(CT):取洗净黄精,于锅中隔水蒸制1h,暴晒至手挤无液,再次蒸制,反复操作9次,切片,60℃热风干燥至含水量≤10%,粉碎,得九蒸九晒黄精粉。

(3) 挤压蒸煮黄精粉(JY):鲜黄精切小块,添加10%的水,胶体磨湿法粉碎,制得黄精鲜浆,于挤压膨化机进行连续蒸煮,挤压蒸煮参数:喂料速度10 Hz,一区温度60℃,二区温度120℃,三区温度180℃。60℃真空微波干燥至含水量≤10%,粉碎,得挤压蒸煮黄精粉。

1.3.2 色度测定 参照文献[11]的方法,按式(1)计算色差值( $\Delta E$ )。

$$\Delta E = \sqrt{(L^* - L_0)^2 + (a^* - a_0)^2 + (b^* - b_0)^2} \quad (1)$$

1.3.3 流动性测定 参照文献[12]的方法,按式(2)计算休止角。

$$\tan\theta = \frac{H}{r} \quad (2)$$

式中:

$\theta$ ——休止角,°;

$H$ ——粉末堆叠高度,cm;

$r$ ——粉末堆叠半径,cm。

1.3.4 冲调性测定 参照文献[13]的方法。

1.3.5 水浸出物和醇浸出物含量测定 采用2020版《中国药典》中的热浸法。

1.3.6 总多糖含量测定 根据2020版《中国药典》。

1.3.7 总黄酮含量测定 参照文献[14]的方法,按式(3)计算总黄酮含量。

$$X = \frac{0.025c \times V}{m} \times 100\% \quad (3)$$

式中:

$X$ ——总黄酮含量,%;

$c$ ——待测液质量浓度,mg/mL;

$V$ ——待测液体积,mL;

$m$ ——黄精粉干基质量,g。

1.3.8 总皂苷含量测定 参照文献[15]的方法并修改。精密称取薯蓣皂苷标准品10.0 mg于10 mL容量瓶,加甲醇溶解并稀释至刻度,得薯蓣皂苷标准溶液(1 mg/mL)。准确吸取40,80,120,160,200,250  $\mu$ L标准溶液置于具塞比色管中,氮吹仪挥尽溶剂,加入5%香草醛—冰醋酸溶液0.2 mL,冰浴,加入0.8 mL高氯酸,摇匀,60℃水浴15 min,冰浴2 min,加入5 mL冰醋酸,摇匀,静置5 min,测定550 nm处吸光值并绘制标准曲线为 $y = 0.135x - 0.1509$ , $R^2 = 0.9991$ 。按式(4)计算总皂苷含量。

$$x = \frac{0.1c \times V}{m} \times 100\% \quad (4)$$

式中:

$x$ ——总皂苷含量,%;

$c$ ——待测液皂苷质量浓度,mg/mL;

$V$ ——待测液体积倍数,mL;

$m$ ——黄精粉干基质量,g。

1.3.9 人体感官评价 将黄精粉压成片状,组织10名经过训练的食品感官评定人员按表1从外观、组织、香气和风味等方面对黄精粉进行评价。

1.3.10 电子舌分析 参照文献[16]的方法并适当修改。精密称取3 g样品于250 mL锥形瓶,加入100 mL水浸

表1 黄精粉的感官评分标准

Table 1 Sensory scoring standard of *Polygonati rhizoma* powder

项目	评分标准	得分
外观	色泽均匀,粉体光泽,颜色较浅	20~30
	色泽较为均匀,粉体较有光泽,颜色较深	10~19
	色泽欠均一,粉体暗淡,颜色深黑	1~9
组织形态	粉质细腻,干燥,不粘手	20~30
	粉质较为细腻,干燥,轻微粘手	10~19
	粉质粗糙,有结块,粘手	1~9
香气	黄精特有香气浓郁,无不良气味	15~20
	有黄精特有香气,略带土腥味	8~14
	黄精特有香气寡淡,有明显土腥味	1~7
风味	冲泡后甜味明显,无苦麻回味	15~20
	冲泡后甜味一般,有轻微苦麻回味	8~14
	冲泡后甜味轻微,苦麻回味明显	1~7

泡 30 min, 常温超声 45 min, 4 000 r/min 离心 10 min, 取上清液, 沉淀加 50 mL 水重复提取 1 次, 合并两次滤液, 定容至 100 mL, 4 °C 冷藏备用。电子舌分析条件: 电子舌校准后将样品采集与清洗交替进行, 样品测定 90 s, 采集周期 1 s, 采集延迟 0 s, 清洗时间 360 s。每份样品平行测定 4 次, 取后 3 次数据的平均值。甜味测定 5 次, 取后 3 次数据的平均值。

1.3.11 电子鼻分析 参照文献[17]的方法并略加修改。精密称取 2 g 黄精粉末于顶空进样瓶中, 室温密封平衡过夜, 流速 300 mL/min, 取 57~59 s 的数据作为测试结果。

1.3.12 液质联用分析 参照文献[18]的方法。色谱条件: 流动相 A 为水, 流动相 B 为乙腈, 0~2.0 min, 2.0%~8.0% B; 2.0~2.5 min, 8.0%~9.5% B; 2.5~7.0 min, 9.5%~20.0% B; 7.0~8.0 min, 20.0%~22.0% B; 8.0~10.0 min, 22.0%~23.0% B; 10.0~15.5 min, 23.0%~32.0% B; 15.5~19.5 min, 32.0%~50.0% B; 19.5~22.0 min, 50.0%~95.0% B; 22.0~27.0 min, 95.0% B; 27.0~27.5 min, 95.0%~2.0% B; 27.5~30.0 min, 2.0% B。质谱条件: 脱溶剂气体流速 593 L/h; 扫描范围 100~1 200 Da; 离子源温度 100 °C; 锥孔电压 40 V; 锥孔气流量 50 L/h; 毛细管电压 2.4 kV; 去溶剂化温度 250 °C; 碰撞能量 20~40 V。

1.3.13 数据处理 所有数据测试 3 次, 取平均值, 以“平均值±标准差”表示, 以上数据通过 Origin2021 作图, Masslyn 进行质谱数据处理, SPSS 21 进行显著性分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 物性质量

2.1.1 产品色度 由表 2 可知, 以白色为对照, LD 未经过热加工, 其  $L^*$  值最大,  $a^*$  值最小, 颜色最浅,  $\Delta E$  值最小; JY 经过挤压蒸煮热加工, 颜色呈米黄色与淡黄色之间,  $\Delta E$  值较 LD 的增大; CT 样品因热加工时间长, 非酶促褐变严重, 颜色最深, 样品整体呈棕黄色。

2.1.2 产品冲调性 由图 1 可知, JY 的冲调性最好, 其次为 CT 和 LD, 说明挤压蒸煮可有效改善黄精粉的分散性, 提高产品的混合应用性能。

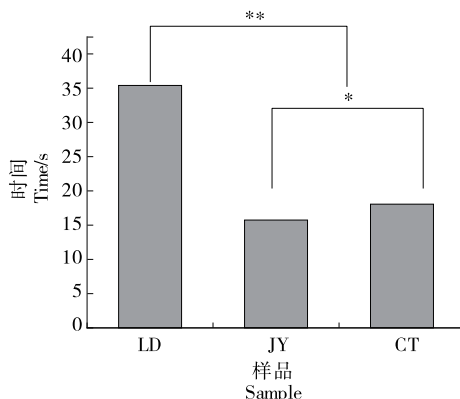
2.1.3 产品流动性 粉体产品的流动性与贮藏、运输、混合和添加等操作便利性密切相关。休止角越小, 流动性

表 2 3 种黄精粉的色度<sup>†</sup>

Table 2 Chromaticity analysis results of three kinds of *Polygonati rhizoma*

样品	$L^*$	$a^*$	$b^*$	$\Delta E$
LD	88.37±0.03 <sup>a</sup>	1.23±0.06 <sup>b</sup>	10.37±0.24 <sup>b</sup>	15.27±0.62 <sup>c</sup>
CT	44.24±1.32 <sup>b</sup>	6.94±0.59 <sup>a</sup>	7.73±0.96 <sup>c</sup>	55.29±2.62 <sup>a</sup>
JY	80.75±1.59 <sup>a</sup>	1.51±0.33 <sup>b</sup>	14.31±1.22 <sup>a</sup>	24.03±2.02 <sup>b</sup>

<sup>†</sup> 字母不同表示差异显著 ( $P < 0.05$ )。



\* 具有显著性差异 ( $P < 0.05$ ); \*\* 表示具有极显著差异 ( $P < 0.01$ )

图 1 3 种黄精粉的分散时间测定结果

Figure 1 Results of dispersibility analyses of *Polygonati rhizoma* powders

越大, 结果显示, JY [(11.4±0.96)°] 和 LD [(9.7±0.35)°] 的休止角有显著性差异, JY 和 CT [(10.9±1.03)°] 的休止角无显著性差异, 热加工产品的流动性均有不同程度的下降, 可能是黄精多糖降解和皂苷水解等使黄精粉的低聚糖和单糖增加有关。

### 2.2 化学质量

由表 3 可知, 3 种黄精粉的水浸出物含量变化为 LD>CT>JY, LD 的醇浸出物含量最高, JY 和 CT 的无显著性差异。蒸晒加工和挤压蒸煮加工均导致黄精粉水溶性、醇溶性成分和总多糖含量减少, 可能与热敏物质的降解或聚合转化有关。CT 的总多糖含量急剧减少, 降至 LD 的 21.5%, JY 的总多糖含量下降至 LD 的 71.3%, 这与其热加工导致的分解和焦糖化反应有关, 总多糖含量降低也是水浸出物含量降低的原因之一。

表 3 3 种黄精粉的主要化学成分含量<sup>†</sup>

Table 3 Determination of chemical composition of three *Polygonati rhizoma* powders

样品	水浸出物/%	醇浸出物/%	总多糖含量/%	总黄酮含量/(mg·g <sup>-1</sup> )	总皂苷含量/%
LD	80.63±0.42 <sup>a</sup>	79.77±0.45 <sup>a</sup>	37.15±0.67 <sup>a</sup>	1.39±0.01 <sup>a</sup>	3.58±0.60 <sup>b</sup>
CT	79.36±0.62 <sup>b</sup>	76.44±0.77 <sup>b</sup>	8.01±1.56 <sup>c</sup>	1.37±0.03 <sup>a</sup>	3.98±0.97 <sup>b</sup>
JY	77.00±1.00 <sup>c</sup>	76.69±0.97 <sup>b</sup>	26.48±0.49 <sup>b</sup>	1.31±0.01 <sup>b</sup>	6.37±0.67 <sup>a</sup>

<sup>†</sup> 字母不同表示差异显著 ( $P < 0.05$ )。

3种黄精粉中JY的总黄酮含量略低于CT和LD的,可能是热加工导致的氧化损失。JY的总皂苷含量远高于其他两种样品,其总皂苷含量较LD的增加了77.9%,这可能与挤压蒸煮加工产生的破壁效应导致皂苷类物质的大量溶出有关,高压与高热的联合作用极大地增加了破壁效应,从而成倍提高了总皂苷提取率。挤压蒸煮可有效提高黄精粉的总皂苷溶出率进而提高黄精粉产品的皂苷类活性成分的生物利用度,从而有利于增强产品中黄精皂苷相关的药理保健功能。

2.3 感官评价

2.3.1 人体感官评价 由图2可知,3种黄精粉的人体感官评价综合得分排序为CT> JY> LD。LD有轻度土腥味,甜味弱,有明显苦麻味,评分值最低;CT和JY的感官评分值相近且明显高于LD的,与LD相比,二者皆有颜色变深,甜味提升的特点,无明显苦麻味,其中CT的焦糖香非常明显,但口尝也有焦糖的苦味。JY的甜味比LD和CT的明显,说明热加工可有效消除鲜黄精的麻味并改善黄精感官性状。

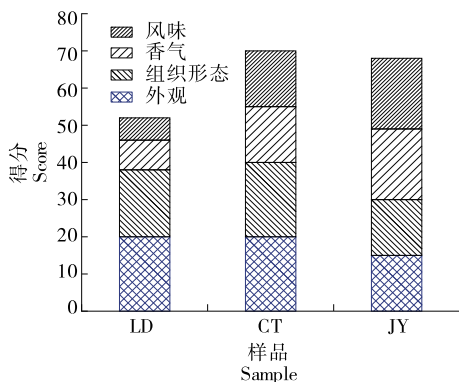


图2 3种黄精粉的感官评价结果

Figure 2 Results of sensory evaluation of three Polygonati rhizoma powders

2.3.2 电子鼻分析 由图3可知,第一主成分贡献率为94.2%,第二主成分贡献率为4.0%,累计贡献率为98.2%。由图4可知,电子鼻对LD和JY的整体响应值弱于CT的,其气味更清淡,说明CT的风味辨识度更高,推测与反复蒸晒加工导致挥发性褐变反应产物增多有关。由表4可知,CT主要在W1W、W2W和W1S上具有较强响应,而JY和LD在W1W、W2W和W1S上的响应值较弱,推断CT的风味物质主要为无机硫化物、芳香成分、有机硫化物和短链烷烃,可能是长时间反复热加工会促进硫化物的释放,CT的特有焦香味应与硫化物的增加有关。JY的挤压蒸煮工艺则属于高温短时加工,故焦糖化等热反应程度相对较低,有利于兼顾商品的色泽和功能物质的保留,从商业角度看,挤压蒸煮产品的气味特点更温和,更适合产业应用。

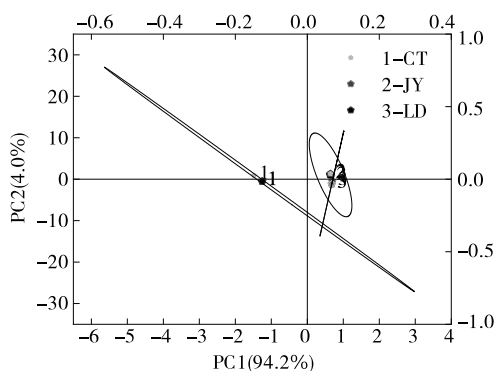


图3 电子鼻分析PCA图

Figure 3 PCA of electronic nose

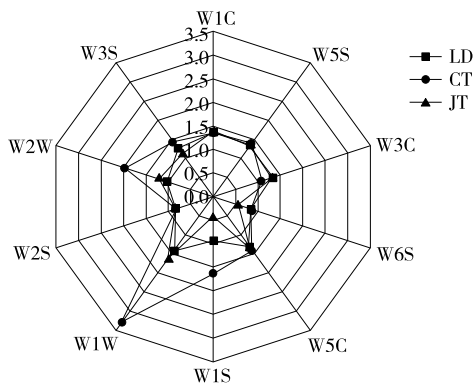


图4 电子鼻分析雷达图

Figure 4 Radar chart of electronic nose

表4 电子鼻传感器的响应特点

Table 4 Response characteristics of electronic nose sensors

传感器名称	响应特点
W1C	芳香成分,苯类
W5S	灵敏度大,对氮氧化合物灵敏
W3C	芳香成分灵敏,氨类
W6S	对氢化物有选择性
W5C	烷烃方向成分
W1S	甲烷等短链烷烃灵敏
W1W	无机硫化物灵敏
W2S	醇类、醛酮类灵敏
W2W	芳香成分,有机硫化物灵敏
W3S	长链烷烃灵敏

2.3.3 电子舌分析 由图5可知,第一主成分贡献率为99.1%,第二主成分贡献率为0.8%,总贡献率为99.9%。3种黄精粉置信区间未相互交叠,说明电子舌可有效区分3种黄精粉,即味道存在明显差异。由图6可知,3种黄精粉味觉区别在甜味和酸味方面;与LD相比,JY的甜味增加,酸味降低,而CT的甜味降低,酸味增加,推测JY中所含单糖或低聚糖等甜味物质更多,CT的次之,LD的最

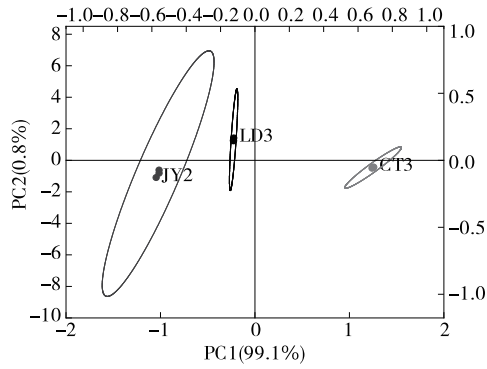


图 5 电子舌分析 PCA 图

Figure 5 PCA of electronic tongue

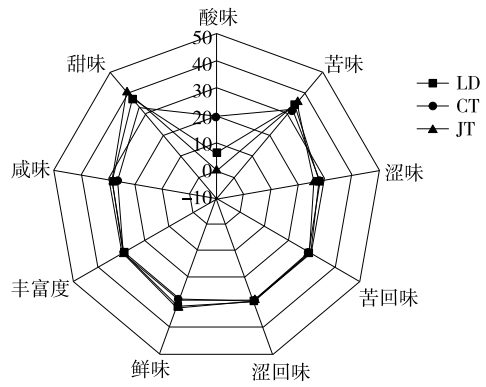


图 6 电子舌分析雷达图

Figure 6 Radar chart of electronic tongue

少。挤压蒸煮和传统的反复蒸晒加工的热解效应导致多糖被水解为低聚糖或单糖,从而导致加工后的甜度增加,传统的反复蒸晒热加工由于长时间热加工又会导致低聚糖或单糖反应损失,故 CT 的甜味较低。

2.4 UPLC-MS 分析

2.4.1 化学成分种类 由表 5 可知,3 种黄精粉中共鉴定出 61 种化学成分,其中 LD 样品 39 种, JY 样品 41 种, CT

表 5 3 种黄精粉的化学成分种类

Table 5 Preliminary identification of the constituents of *Polygonati rhizoma* powders

化合物	保留时间/min	LD	CT	JY	鉴别种类	化合物	保留时间/min	LD	CT	JY	鉴别种类
呱丁胺	0.67	-	+	+	呱类	4'-甲氧基芹菜素	18.51	+	-	+	黄酮
马泰树脂醇	0.75	-	+	+	木脂素	甘草酸	18.59	+	+	+	三萜皂苷
5-羟甲基糠醛	0.80	+	-	+	黄酮	反式咖啡酸	19.66	-	+	-	有机酸
葫芦巴碱	0.81	+	-	-	生物碱	5,7-二羟基-4',6,8-三	19.73	+	+	-	异黄酮醇
2-羟基蒽醌	0.81	+	-	-	蒽醌	甲氧基黄酮					
琥珀酸	0.83	-	+	+	有机酸	恩贝灵	19.93	+	+	+	苯醌
麦芽六糖	0.83	-	+	+	低聚糖	2-辛烯酸	20.15	+	+	+	脂肪酸
蔗糖	0.85	-	+	-	低聚糖	庚酸	20.15	+	-	-	脂肪酸
蔗果三糖	0.86	-	-	+	低聚糖	5-羟基阿魏酸	20.50	+	-	+	有机酸
木糖	0.89	+	+	+	单糖	蒲公英苷 A	20.50	+	+	+	黄酮
麦芽四糖	0.90	+	+	+	低聚糖	麦芽糖醇	20.64	-	+	-	糖苷
D-阿拉伯糖	0.90	-	+	+	单糖	麦芽三糖	20.91	+	-	-	低聚糖
棉子糖	0.92	+	-	-	低聚糖	茉莉酸	20.91	-	-	+	有机酸
N-果糖基焦谷氨酸	0.95	-	+	-	氨基酸	γ-亚麻酸	22.03	+	-	+	脂肪酸
2H-1-苯并吡喃-2-酮	1.61	+	-	+	香豆素	桑橙酮	22.19	+	-	+	萜酮
7-羟基 3-甲基黄酮	1.78	-	+	-	黄酮	油酸	22.37	+	+	+	脂肪酸
香草酸	2.82	-	+	-	有机酸	水杨酸	22.42	+	-	+	有机酸
苯甲酸+2O,O-Hex	2.87	-	+	+	糖苷	东莨菪素	22.43	+	+	+	香豆素
对香豆酸	6.40	-	-	+	有机酸	月桂酸	22.62	+	-	+	脂肪酸
S(8-8)S 己糖苷	6.64	+	+	-	木脂素	大茴呋喃酸	22.70	+	+	+	萜类
芦丁	7.19	+	-	+	黄酮	水芥素	23.35	+	+	+	木脂素
茶碱	8.21	+	-	-	生物碱	棕榈油酸	23.40	+	-	+	脂肪酸
叶藻酸	8.49	-	+	+	木脂素	花生四烯酸	23.86	+	+	+	脂肪酸
曲二糖	12.43	-	-	+	糖苷	人参皂苷 F1	24.10	+	+	+	三萜皂苷
麦芽糖	12.43	-	-	+	低聚糖	羟基积雪草酸	24.15	+	-	+	三萜
薯蓣皂苷元	12.43	+	+	+	甾体皂苷	4-甲基伞形酮	24.61	-	+	+	香豆素
苯丙酸	17.31	+	-	+	倍半萜	人参皂苷 Rg2	25.05	+	-	-	三萜皂苷
洋地黄皂苷	17.31	-	+	-	甾体皂苷	葡萄糖脑苷	27.77	+	-	+	脑苷
香芹酮	17.65	+	-	-	单萜	L-(+)-吡喃糖	27.95	+	+	-	单糖
异樱花素	17.86	+	-	+	类黄酮	果聚糖	27.96	-	+	+	低聚糖
杜鹃素	18.35	-	+	-	类黄酮	α-L-鼠李糖	27.99	+	+	+	单糖



样品 32 种。

2.4.2 化学成分聚类分析 由图 7 可知,LD 和 JY 聚为一组,CT 单独一组。由图 8 可知,3 种黄精粉样品共有成分 13 种,JY 与 LD 共有成分 26 种,JY 和 CT 共有成分 22 种,LD 和 CT 共有成分 16 种,JY 与 LD 物质种类的重合度高于 JY 与 CT 的,即 JY 与 LD 的组成更相似,说明

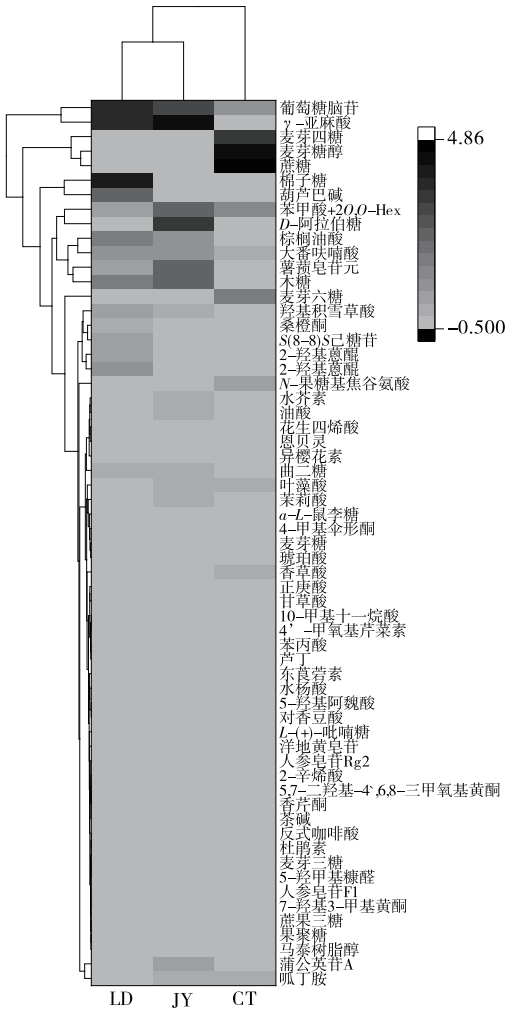


图 7 3 种黄精粉化学成分的聚类热图

Figure 7 Clustering heat map of three *Polygonati rhizoma* powders

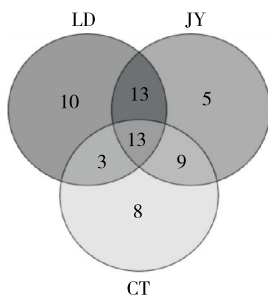


图 8 3 种黄精粉化学成分的韦恩图

Figure 8 Venn of three *Polygonati rhizoma* powders

在有效消除麻味的情况下,挤压蒸煮对黄精成分加工损耗明显低于九蒸九晒。

2.4.3 化学成分离散分析 由图 9~图 11 可知,3 种黄精粉的共有物质中 LD 和 JY 优于 CT;而 JY 和 CT 共有物质中 JY 略优于 CT;JY 和 LD 共有物质中 JY 低于 LD。综合认为,箱体分布为 LD> JY> CT,说明反复蒸晒工艺的加工强度高于挤压蒸煮工艺,挤压蒸煮加工对化学成分的保留率优于九蒸九晒,但挤压蒸煮和反复蒸晒工艺之间的药理保健功能差异需进一步深入研究。

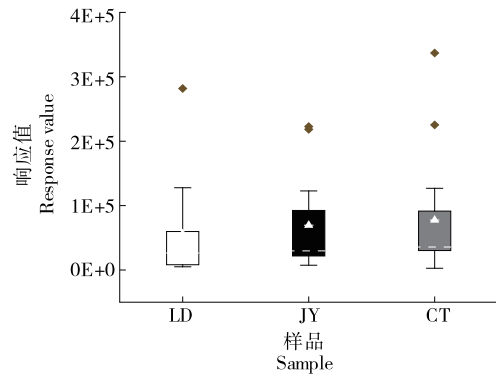


图 9 共有物质箱图

Figure 9 BOX-plot of shared substances

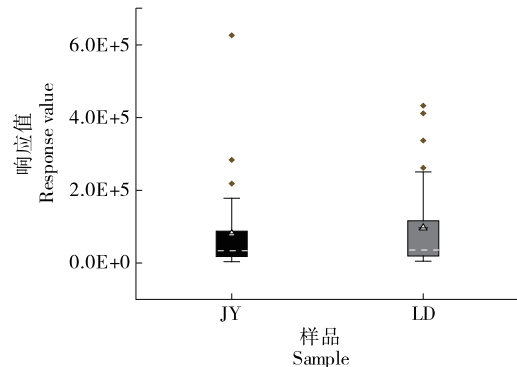


图 10 JY-LD 箱图

Figure 10 BOX-plot of JY-LD

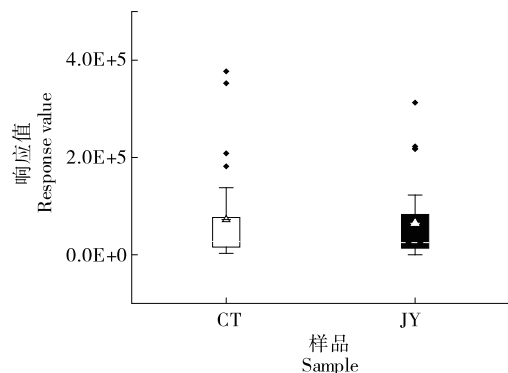


图 11 JY-CT 箱图

Figure 11 BOX-plot of JY-CT

由图 12 可知,与 LD 相比,JY 和 CT 样品除蒲公英苷 A 外,其芦丁、4-甲氧基芹菜素和 5-羟甲基糠醛等黄酮类成分含量均下降。由于 3 种黄精粉之间的总黄酮含量差异较小,推测两种加工导致的游离黄酮降解和结合黄酮释放量基本持平。与 LD 相比,JY 和 CT 的皂苷类成分如甘草酸和人参皂苷 Rg2 相对含量均下降,JY 的薯蓣皂苷元则大幅增加,CT 的洋地黄皂苷和人参皂苷 F1 大幅增加。依据 JY 的总皂苷含量远高于 LD 和 CT,推测 JY 的总皂苷增加主要与薯蓣皂苷元有关。由图 13 可知,JY 的单糖和低聚糖的种类最多,可能与其电子舌测定结果中甜味最高具有一定相关性。

### 3 结论

试验表明,挤压蒸煮可有效消除鲜黄精的不良口感,

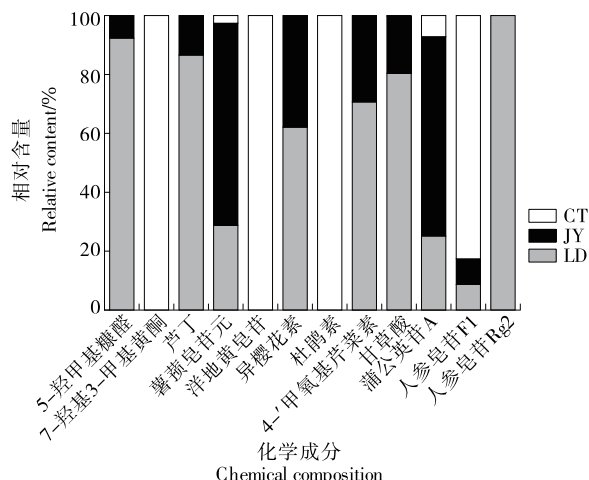


图 12 3 种黄精粉主要皂苷和黄酮类成分相对含量

Figure 12 Relative contents of main saponins and flavonoids in *Polygonati rhizoma* powders

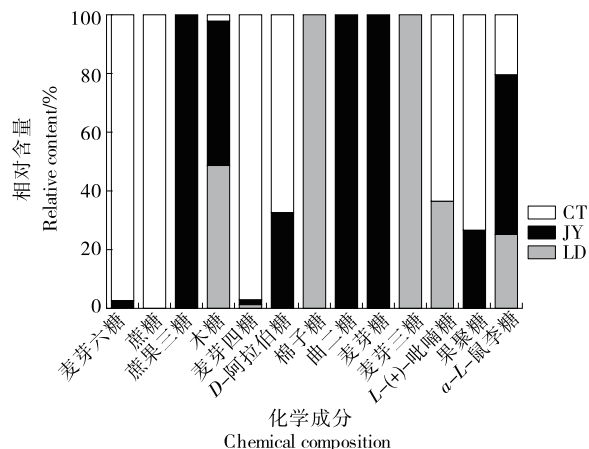


图 13 3 种黄精粉的单糖和低聚糖类成分相对含量

Figure 13 Relative contents of monosaccharides and oligosaccharides in *Polygonati rhizoma* powders

改善其色泽和流动性。挤压蒸煮黄精粉的总多糖和总皂苷含量显著高于九蒸九晒黄精粉,其增幅分别为 49.27%, 69.1%,而总黄酮和总皂苷均为黄精的主要功效物质,说明挤压蒸煮能有效改善黄精的食用品质和功能特性。现行黄精加工采用的反复蒸晒工艺冗长繁琐,品质可控性差且生产效率极其低下,严重制约了黄精的产业价值提升和健康应用场景,而挤压蒸煮的应用可有效简化黄精加工工艺流程,降低加工损耗并实现连续化加工生产,通过工艺参数的精准控制进而实现质量可控,使黄精产品加工质量稳定。

### 参考文献

- [1] 陆佳岑, 薛畅, 姜程曦. 黄精及有效成分抗衰老作用机制的研究进展[J]. 中草药, 2023, 54(14): 4 732-4 739.
- [2] LU J C, XUE C, JIANG C X. Research progress of anti-aging mechanism of extracts and its active ingredients of *Polygonati rhizoma*[J]. Chinese Traditional and Herbal Drugs, 2023, 54(14): 4 732-4 739.
- [3] CHEN Z F, LUO J Y, JIA M J, et al. *Polygonatum sibiricum* saponin exerts beneficial hypoglycemic effects in type 2 diabetes mice by improving hepatic insulin resistance and glycogen synthesis-related proteins[J]. Nutrients, 2022, 14(24): 5 222.
- [4] 魏婷, 何先元, 朱潇宏, 等. 九制黄精及其配伍对 CUMS 抑郁模型小鼠物质能量代谢的影响[J]. 食品与机械, 2022, 38(7): 180-185, 207.
- [5] WEI T, HE X Y, ZHU X H, et al. Comparative study of processed *Polygonatum cyrtoneuma* and its compatibility affecting on material and energy metabolism in CUMS depressed model mice[J]. Food & Machinery, 2012, 38(7): 180-185, 207.
- [6] 魏婷, 朱潇宏, 樊静娴, 等. 黄精炮制前后及配伍对雌性大鼠内分泌神经递质和免疫功能的影响[J]. 食品安全质量检测学报, 2022, 13(11): 3 518-3 524.
- [7] WEI T, ZHU X H, FAN J X, et al. Effects of preparation and compatibility of *Polygonum flavescens* on endocrine neurotransmitter and immune function in female rats[J]. Journal of Food Safety & Quality, 2022, 13(11): 3 518-3 524.
- [8] 唐美玲. 生黄精的刺激性成分及其炮制减毒增效作用研究[D]. 昆明: 昆明理工大学, 2022: 11-18.
- [9] TANG M L. Study on the irritant components of raw *Polygonati rhizoma* and its detoxification and synergistic effect of processed *Polygonati rhizoma*[D]. Kunming: Kunming University of Science and Technology, 2025: 11-18.
- [10] 张帆. 九蒸九制过程中黄精感官品质形成规律及主要活性物质变化研究[D]. 南宁: 广西大学, 2022: 15-32.
- [11] ZHANG F. Study on the formation rule of sensory quality and changes of main active substances in the process of nine steaming and nine preparation[D]. Nanning: Guangxi University, 2025: 15-32.
- [12] 闫美姣, 李云龙, 李红梅, 等. 真空挤压对杂粮面条品质与功能

- 的影响[J]. 食品与机械, 2020, 36(5): 187-193.
- YAN M J, LI Y L, LI H M, et al. Effect of vacuum extrusion on the quality and function of coarse cereal noodles[J]. Food & Machinery, 2019, 36(5): 187-193.
- [8] 张新振, 杨涛, 蒋依婷, 等. 蓝莓渣复合粳米膨化工艺优化及抗氧化活性研究[J]. 食品与机械, 2022, 38(10): 194-200.
- ZHANG X Z, YANG T, JIANG Y T, et al. Optimization of puffing process of blueberry residue composite indica rice and its antioxidant activity[J]. Food & Machinery, 2022, 38(10): 194-200.
- [9] 赵洋. 西洋参膨化产品开发[D]. 长春: 吉林农业大学, 2022: 71-74.
- ZHAO Y. Development of *Panax quinquefolium* L. puffed products [D]. Changchun: Jilin Agricultural University, 2022: 71-74.
- [10] 宋欢, 张瑞, 逢世峰, 等. 人参山药挤压膨化工艺优化及其理化性质研究[J]. 食品工业科技, 2020, 41(21): 193-198, 207.
- SONG H, ZHANG R, PANG S F, et al. Optimization of extruding technology and physicochemical of ginseng Yam blend[J]. Science and Technology of Food Industry, 2020, 41(21): 193-198, 207.
- [11] 李蒙恩, 马彦江, 姚超, 等. 基于九蒸九制黄精中 5-HMF 和多糖含量分析的黄精炮制品质量评价模型的建立[J]. 时珍国医国药, 2021, 32(8): 1 897-1 900.
- LI M E, MA Y J, YAO C, et al. Establishment of a quality evaluation model of *Radix Polygonatum Radix* based on the content analysis of 5-HMF and polysaccharide in *Polygonatum Radix*[J]. Shi Zhen Chinese Medicine, 2021, 32(8): 1 897-1 900.
- [12] 王亮, 潘静, 袁颖, 等. 医药粉体流动性评价方法研究进展[J]. 中国粉体技术, 2016, 22(5): 28-34.
- WANG L, PAN J, YUAN Y, et al. Research progress of fluidity evaluation methods for pharmaceutical powders[J]. China Powder Science and Technology, 2016, 22(5): 28-34.
- [13] 王乙田, 黄瑰茹, 雷君, 等. 紫薯代餐粉的研制及其冲调性研究[J]. 现代食品, 2017(22): 103-107, 115.
- WANG M T, HUANG W R, LEI J, et al. Study on the preparation of purple sweet potato meal and its tonality[J]. Modern Food, 2017 (22): 103-107, 115.
- [14] 刘清华, 高汉云, 陈桂芬, 等. 多花黄精中总黄酮提取工艺优化及可视化分析[J]. 中国中医药信息杂志, 2019, 26(8): 89-93.
- LIU Q H, GAO H Y, CHEN G F, et al. Optimization of flavonoids extraction process from *Polygonatum cytonema* Hua. and visualization analysis[J]. China Information Journal of Traditional Chinese Medicine, 2019, 26(8): 89-93.
- [15] 尤新军, 郭蕊, 王琳, 等. 黄精总皂苷超声提取工艺研究[J]. 西北林学院学报, 2010, 25(3): 163-166.
- YOU X J, GUO R, WANG L, et al. Ultrasonic extraction process of saponins from *Polygonum sibiricum* [J]. Journal of Northwest Forestry University, 2010, 25(3): 163-166.
- [16] 赵丽蓉, 张虹, 方文韬, 等. 应用电子舌技术对多花黄精药材“味”的测定与分析[J]. 现代中药研究与实践, 2019, 33(6): 5-9.
- ZHAO L R, ZHANG H, FANG W T, et al. Determination and analysis of "taste" of *Polygonatum cytonema* Hua by electronic tongue technology [J]. Modern Chinese Medicine Research and Practice, 2019, 33(6): 5-9.
- [17] CHEN L L, NING F G, ZHAO L, et al. Quality assessment of royal jelly based on physicochemical properties and flavor profiles using HS-SPME-GC/MS combined with electronic nose and electronic tongue analyses[J]. Food Chemistry, 2023, 403: 134392.
- [18] 张凯. 黄精属植物化学成分的比较研究[D]. 北京: 北京协和医学院, 2022: 40-41.
- ZHANG K. Comparative study on chemical components of plant from *Polygonatum* [D]. Beijing: Peking Union Medical College, 2022: 40-41.
- 
- (上接第 145 页)
- [23] 李克强, 陈江. 非安全水分稻谷缓苏过程的水分扩散特性与品质特性研究[J]. 粮食储藏, 2017, 46(5): 46-51.
- LI K Q, CHEN J. Study on water diffusion characteristics and quality characteristics of non-safe moisture rice grains during slow sowing[J]. Grain Storage, 2017, 46(5): 46-51.
- [24] AHMET P, ONUR T, NAZMI I. Intermittent and continuous infrared drying of sweet potatoes[J]. Heat and Mass Transfer, 2022, 58(10): 1 709-1 721.
- [25] 卞华伟, 郑波, 陈玲, 等. 干热处理对青稞淀粉多尺度结构和理化性质的影响[J]. 食品科学, 2020, 41(7): 93-101.
- BIAN H W, ZHENG B, CHEN L, et al. Multi-scale structure and physicochemical properties of highland barley starch following dry heat treatment[J]. Food Science, 2020, 41(7): 93-101.
- [26] ONWUDE D I, NORHASHILA H, KHALINA A, et al. Modelling the mid-infrared drying of sweet potato: Kinetics, mass and heat transfer parameters, and energy consumption[J]. Heat and Mass Transfer, 2018, 54(10): 2 917-2 933.
- [27] MANN J, SCHIEDT B, BAUMANN A, et al. Effect of heat treatment on wheat dough rheology and wheat protein solubility[J]. Food Science and Technology International, 2014, 20(5): 341-351.
- [28] ZHEN W, SEN M, BINGHUA S, et al. Effects of thermal properties and behavior of wheat starch and gluten on their interaction: A review [J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2021, 177: 474-484.
- [29] 宋玉, 刘超, 邵子晗, 等. 高水分小麦通风干燥过程中加工品质变化规律研究[J]. 粮油食品科技, 2023, 31(2): 131-136.
- SONG Y, LIU C, SHAO Z H, et al. Study on the variation of processing quality of high moisture wheat during ventilation drying[J]. Science and Technology of Cereals, Oils and Foods, 2023, 31(2): 131-136.
- [30] RAVINDER K, NAVEEN K, KUMAR S M, et al. Isolation, characterization of wheat gluten and its regeneration properties[J]. Journal of Food Science and Technology, 2015, 52(9): 5 930-5 937.