

高压蒸汽热加工对滇黄精抗氧化及抗炎活性的影响

牛世蓉, 李敏敏, 崔伟业, 杨建斌, 白小佳, 范 蓓

Effects of High Pressure Steam Processing on Antioxidant and Anti-inflammatory Activities of *Polygonatum Kingianum*

NIU Shirong, LI Minmin, CUI Weiye, YANG Jianbin, BAI Xiaojia, and FAN Bei

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2024050440>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in



关注微信公众号, 获得更多资讯信息

牛世蓉, 李敏敏, 崔伟业, 等. 高压蒸汽热加工对滇黄精抗氧化及抗炎活性的影响 [J]. 食品工业科技, 2025, 46(10): 351–359. doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2024050440

NIU Shirong, LI Minmin, CUI Weiye, et al. Effects of High Pressure Steam Processing on Antioxidant and Anti-inflammatory Activities of *Polygonatum kingianum* [J]. Science and Technology of Food Industry, 2025, 46(10): 351–359. (in Chinese with English abstract). doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2024050440

· 营养与保健 ·

高压蒸汽热加工对滇黄精抗氧化及 抗炎活性的影响

牛世蓉^{1,2}, 李敏敏², 崔伟业², 杨建斌², 白小佳^{1,*}, 范蓓^{2,*}

(1. 天津科技大学食品科学与工程学院, 天津 300457;

2. 中国农业科学院农产品加工研究所, 北京 100193)

摘要:目的: 本研究应用高压蒸汽加热方式研究不同温度对滇黄精活性成分的影响。方法: 以未加工滇黄精、高压蒸汽热加工滇黄精 (105、120、135 °C) 和传统九蒸九晒滇黄精 (9-9) 5 个不同处理组滇黄精为原料, 测定热加工后各组总糖、总皂苷、总酚及类黄酮含量变化, 对不同处理组滇黄精的抗氧化及抗炎活性进行比较, 并对不同处理组间滇黄精抗氧化活性相关化合物质量浓度进行检测。结果: 随温度升高, 总皂苷、总酚及类黄酮含量呈温度依赖性上升, 与 9-9 组相比, 135 °C 总皂苷含量提升 62%, 总酚含量提升 3.5 倍, 类黄酮含量提升 2.7 倍, 与对照组相比, 135 °C 总糖含量降低 42.2%; 经热加工处理后, 滇黄精抗氧化及抗炎活性均显著增强; 高效液相色谱-三重四级杆质谱 (high performance liquid chromatography-triple quadrupole mass spectrometer, HPLC-TQXS) 仪检测结果显示, 尼克酸、奎宁酸及丹参素的质量浓度随温度升高有所提升, 135 °C 组比 9-9 组分别增加 3.4 倍、9.2% 及 1.2 倍, 135 °C 组异甘草素、异槲皮素、芦丁质量浓度相比 9-9 组分别减少 13%、70.90%、40.30%, 9-9 组柚皮素质量浓度是 135 °C 组的 24.4 倍。结论: 高压蒸汽热加工提升了滇黄精活性成分含量, 增强了抗氧化及抗炎活性, 可替代传统九蒸九晒方法, 通过高温精准化加工, 为后续标准化入药及工厂化生产滇黄精提供有效参考。

关键词: 药食同源, 滇黄精, 高压蒸汽热加工, 高效液相色谱质谱联用, 抗氧化活性, 抗炎活性

中图分类号: R151.3

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2025)10-0351-09

DOI: 10.13386/j.issn1002-0306.2024050440

本文网刊:



Effects of High Pressure Steam Processing on Antioxidant and Anti-inflammatory Activities of *Polygonatum kingianum*

NIU Shirong^{1,2}, LI Minmin², CUI Weiye², YANG Jianbin², BAI Xiaojia^{1,*}, FAN Bei^{2,*}

(1. College of Food Science and Engineering, Tianjin University of Science & Technology, Tianjin 300457, China;

2. Institute of Food Science and Technology, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100193, China)

Abstract: Objective: To investigate the effects of high-pressure steam heating at different temperatures on the active components of *Polygonatum kingianum*. Methods: The levels of total sugars, total saponins, total phenols, and flavonoids in five different treatment groups of *Polygonatum kingianum* (raw *Polygonatum kingianum*, high-pressure steam-treated *Polygonatum kingianum* at 105, 120, and 135 °C, as well as traditionally processed nine steaming nine drying *Polygonatum kingianum*, which also called 9-9) were determined post-heat processing. Furthermore, the antioxidant and anti-inflammatory activities of *Polygonatum kingianum* in various treatment groups were compared. Additionally, the mass concentration of antioxidant activity-related compounds in *Polygonatum kingianum* was measured across different treatment groups. Results: The content levels of total saponins, total phenols, and flavonoids exhibited a temperature-

收稿日期: 2024-06-06

基金项目: 国家重点研发计划项目 (2021YFD1000205)。

作者简介: 牛世蓉 (1999-), 女, 硕士研究生, 研究方向: 食品加工与安全, E-mail: Nsrong0402@163.com。

* 通信作者: 白小佳 (1975-), 女, 博士, 副教授, 研究方向: 食品微生物及其代谢产物, E-mail: baixj@tust.edu.cn。

范蓓 (1981-), 女, 博士, 研究员, 研究方向: 功能因子挖掘与利用, E-mail: fanbei517@163.com。

dependent increase with rising temperature. At 135 °C, compared to group 9-9, a 62% increase in total saponin content was observed, along with a 3.5-fold increase in total phenol content and a 2.7-fold increase in flavonoid content. Compared with the control group, the total sugar content decreased by 42.2% at 135 °C. Subsequent high-pressure steam hot processing significantly enhanced the antioxidant and anti-inflammatory activities of *Polygonatum kingianum*. The results of the high performance liquid chromatography-triple quadrupole mass spectrometer (HPLC-TQXS) indicated that the mass concentrations of niacin, quinic acid, and tanshinol in 135 °C group were increased by 3.4 fold, 9.2%, and 1.2 fold compared those in the 9-9 group. Meanwhile, the mass concentrations of isogluquiritin, isoquercitrin, and rutin in the 135 °C group were decreased by 13%, 70.90%, and 40.30% respectively compared to those in the 9-9 group. The mass concentration of naringin in the 9-9 group was 24.4 times that of the 135 °C group. Conclusion: The active ingredient content of *Polygonatum kingianum* was enhanced by high-pressure steam hot processing, along with its antioxidant and anti-inflammatory activities. This method was identified as a potential replacement for traditional nine-steaming-and-nine-drying methods through high-temperature precision processing for standardized pharmaceutical applications and industrial-scale production of *Polygonatum kingianum*.

Key words: homology of medicine and food; *Polygonatum kingianum*; high pressure steam hot working; high performance liquid chromatography-mass spectrometry; antioxidant activity; anti-inflammatory activity

黄精为单子叶百合科黄精属的多年生草本植物,包括滇黄精(*Polygonatum kingianum* Coll. et Hemsl)、黄精和多花黄精,主要分布在东亚地区,数千年来一直被用作食药同源产品广泛使用^[1-2],具有免疫调节^[3]、降血糖^[4]、抗炎、抗氧化^[5]、抗肿瘤^[6]及抗骨质疏松^[7]等活性。生黄精通常具有咽喉刺激性,并伴有舌头麻木感,口感较差,不利于直接服用,因此黄精常通过炮制加工后入药,口感更佳^[8]。

黄精传统炮制方法主要为“九蒸九晒”,又称为九制黄精。有研究表明黄精经炮制后的化学成分和药理作用均会发生较大变化^[9],YAO等^[10]在九蒸九晒黄精加工过程中发现,黄精的1,1-二苯基-2-三硝基苯肼(1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl, DPPH)、2,2'-联氮-双(3-乙基苯并噻唑啉-6-磺酸)二铵盐(2,2'-azino-bis(3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid) ammonium salt, ABTS⁺)及铁离子还原/抗氧化能力法(ferric ion reducing antioxidant power, FRAP)清除活性,随加工周期的增加呈上升趋势,这表明九蒸九晒处理显著提高了黄精的抗氧化活性。然而九蒸九晒加工过程耗时费力,过程繁琐,遇到阴雨天气等会延长制作周期,可能存在变质风险,同时九蒸九晒方法多是依靠个人经验,且不同工厂生产品质差异不统一,造成黄精品质难一致,活性成分不稳定,导致黄精难以标准入药^[11]。高压蒸汽灭菌工艺作为食品巴氏杀菌技术,操作方便,可在高温下抑制细菌真菌的产生,相对九蒸九晒传统方法,避免了环境中有害微生物及其他化合物的污染,延长了食品的保质期,同时杀死了食品病原体、清除了残留的重金属铅、镉等,提高了食药同源产品的安全性^[12-13]。而高压蒸汽热加工作为一种非典型的炮制方法,通常用于肉制品的处理,可延长其保质期,其在天然产物活性成分中的应用甚少。

鉴于此,本研究采用高温蒸汽灭菌方式对滇黄精进行热加工炮制,与传统九蒸九晒炮制方法进行对比,分析总皂苷、总糖、总酚及类黄酮含量差异及其

抗氧化、抗炎活性,并通过高效液相色谱-三重四极杆质谱仪(high performance liquid chromatography-triple quadrupole mass spectrometer, HPLC-TQXS)检测不同组间相关化合物质量浓度,为滇黄精标准化入药提供参考。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

滇黄精 云南保山红花滇黄精(批次:CAAS-20220220 滇黄精);无水乙醇 分析纯,国药集团化学试剂有限公司;过硫酸钾、铁氰化钾、三氯乙酸、氯化铁、磷酸盐缓冲液、青霉素-链霉素 上海麦克林生化科技股份有限公司;巨噬细胞 RAW 264.7 细胞 中国医学科学院国家实验细胞资源共享平台;胎牛血清(fetal bovine serum, FBS) 优级纯,美国 Gibco 公司;总糖、总皂苷、类黄酮及总酚含量测定试剂盒 苏州梦犀生物医药科技有限公司;CCK-8 试剂盒 上海碧云天生物技术有限公司;一氧化氮(nitric oxide, NO)含量检测试剂盒、脂多糖(lipopolysaccharide, LPS)、地塞米松(dexamethasone, DEX) 北京索莱宝科技有限公司。

YQ205-20 台式超纯水机 香港力康生物医疗科技控股集团;KQ-500DE 数控超声波清洗器 昆山市超声仪器有限公司;MGL-16MT 台式超大容量冷冻离心机 上海美瑞克仪器有限公司;GR60DR 立式自动压力蒸汽灭菌器 致微厦门仪器有限公司;UV-8000S 紫外可见分光光度计 上海元析仪器有限公司;JJ1000 型电子天平 精度 0.001 g,常熟市双杰测试仪器厂;371 水控湿度恒温二氧化碳细胞培养箱 美国 Thermo Fisher 公司;Xevo TQ-XS 高效液相色谱-三重四极杆质谱联用 美国 Waters 公司。

1.2 实验方法

1.2.1 样品制备及提取

1.2.1.1 不同高温处理组滇黄精样品前处理 将新鲜滇黄精洗去泥土,除去须根切块,每份样品准确称

取 50 g, 每组 3 个重复样品, 设置 3 组, 分别为 105 ℃ 处理组、120 ℃ 处理组、135 ℃ 处理组; 将滇黄精按上述设置温度, 利用高压蒸汽灭菌锅分别加热 2 h, 得到 9 组高温处理滇黄精鲜样。

1.2.1.2 九蒸九制滇黄精样品前处理 参考 ZHOU 等^[14] 处理方法, 将新鲜滇黄精洗去泥土, 除去须根后于蒸锅中蒸制 6 h, 在室外通风晾晒 1 d 后, 重复上述蒸制方法 9 次, 直至内心出现黑色, 重量不再增加, 得到九蒸九晒滇黄精样品(9-9 组滇黄精)。

1.2.1.3 样品制备 将空白未加热滇黄精块茎, 105、120、135 ℃ 与 9-9 组滇黄精块茎同时进行低温冷冻干燥 72 h, 中药粉碎机将干燥块茎磨碎打粉, 过 40 目筛, 得到各处理组滇黄精粉末。

1.2.1.4 滇黄精化合物提取 不同处理组分别称取 2 g, 每组称取 3 份, 每份滇黄精粉末中加入 60 mL 80% 乙醇, 浸泡 2 h, 超声 2 h, 重复 3 次, 富集上清液。旋转蒸发至微粘稠状后, 低温冷冻干燥 72 h, 样品于干燥器内储存备用。

1.2.2 滇黄精提取物活性成分含量测定

1.2.2.1 类黄酮含量测定 将样本烘干至恒重, 粉碎后过 40 目筛, 称取 0.05 g, 加 1 mL 60% 乙醇, 60 ℃ 振荡提取 2 h, 于 25 ℃, 10000 r/min 离心 10 min, 取上清待测。测定管加入 80 μL 上清液, 试剂一 20 μL, 混匀, 25 ℃ 静置 6 min 后, 加入试剂二 20 μL, 混匀, 25 ℃ 静置 6 min, 加入试剂三 80 μL, 混匀, 25 ℃ 静置 15 min, 空白管用 80 μL 60% 乙醇代替上清液, 其余操作同测定管, 在 510 nm 处测定吸光值分别为 $A_{\text{测定}}$ 和 $A_{\text{空白}}$ 。类黄酮含量计算见式(1):

$$\text{类黄酮含量}(\text{mg/g干重}) = (\Delta A + 0.0101) \div 2.4623 \div (W \div V_{\text{样总}}) \quad \text{式(1)}$$

式中: $\Delta A = A_{\text{测定}} - A_{\text{空白}}$, $V_{\text{样总}}$ 为加入提取液体积 (mL), W 为样品质量 (g)。

1.2.2.2 总皂苷含量测定 将样本烘干至恒重, 称取 0.05 g, 加入 1 mL 提取液, 超声提取 1 h, 于 25 ℃, 10000 r/min 离心 10 min, 取上清待测。测定管中加入 500 μL 上清液后于 70 ℃ 挥发至干, 加入试剂一 200 μL, 高氯酸 800 μL, 55 ℃ 水浴 20 min, 取反应液 40 μL 于 96 孔板后, 加入乙酸 200 μL, 空白管不加入上清液, 其余操作同测定管, 分别充分混匀后, 在 550 nm 测定吸光值分别为 $A_{\text{测定}}$ 和 $A_{\text{空白}}$ 。总皂苷含量计算见式(2):

$$\text{总皂苷含量}(\text{mg/g干重}) = (\Delta A + 0.0003) \div 3.4538 \times (V_{\text{样总}} \div V_{\text{样}}) \div W \quad \text{式(2)}$$

式中: $\Delta A = A_{\text{测定}} - A_{\text{空白}}$, $V_{\text{样总}}$ 为加入提取液体积 (mL), $V_{\text{样}}$ 为加入样本体积 (mL), W 为样品质量 (g)。

1.2.2.3 总酚含量测定 将样本烘干至恒重, 粉碎后过 40 目筛, 称取 0.05 g, 加入 1 mL 提取液, 60 ℃ 震荡提取 2 h, 于 25 ℃, 10000 r/min 离心 10 min, 取上

清待测。测定管中加入 10 μL 上清液, 试剂一 50 μL, 混匀, 25 ℃ 静置 2 min, 加入试剂二 50 μL, 蒸馏水 90 μL; 对照管加入 10 μL 上清液, 试剂二 50 μL, 蒸馏水 140 μL, 混匀静置 10 min, 在 765 nm 测定吸光值分别为 $A_{\text{测定}}$ 和 $A_{\text{对照}}$ 。总酚含量计算公式如下:

$$\text{总酚含量}(\text{mg/g干重}) = (\Delta A - 0.0012) \div 2.808 \times V_{\text{样}} \div (V_{\text{样}} \div V_{\text{样总}} \times W) \quad \text{式(3)}$$

式中: $\Delta A = A_{\text{测定}} - A_{\text{对照}}$, $V_{\text{样}}$ 为加入样本体积 (mL), $V_{\text{样总}}$ 为加入提取液体积 (mL), W 为样品质量 (g)。

1.2.2.4 总糖含量测定 将样本烘干粉碎, 称取约 0.02 g, 加入 2 mL 提取液, 充分匀浆, 转移至离心管中, 放置 90 ℃ 烘箱(盖紧, 防止水分散失), 水解 3 h, 冷却后 10000 r/min 离心 10 min, 将上清液稀释 10 倍后测定。测定管中加入 200 μL 上清液, 试剂一 100 μL, 浓硫酸 500 μL, 空白管中用 200 μL 蒸馏水代替上清液, 其余操作同测定管。混匀后 90 ℃ 水浴 20 min, 流水冷却, 取 200 μL 加入 96 孔板中, 于 490 nm 测定吸光值分别为 $A_{\text{测定}}$ 和 $A_{\text{空白}}$ 。总糖含量计算公式如下:

$$\text{总糖含量}(\text{mg/g}) = (\Delta A - 0.0099) \div 8.4038 \times V_{\text{提}} \times \text{稀释倍数} \div W \quad \text{式(4)}$$

式中: $\Delta A = A_{\text{测定}} - A_{\text{空白}}$, $V_{\text{提}}$ 为加入提取液体积 (mL), 稀释倍数: 10 倍, W 为样品质量 (g)。

1.2.3 体外抗氧化活性检测

1.2.3.1 DPPH 自由基清除试验 按照 CHU 等^[15] 报道的方法稍作修改, 取不同处理组滇黄精样品各 50 mL, 分别加入 100 μL 蒸馏水和 25 μL 无水乙醇 DPPH 溶液(0.4 mmol), 漩涡振荡混匀后, 于室温下避光静置 30 min 后, 515 nm 处测定吸光值为 $A_{\text{测定}}$, 用 50 mL 无水乙醇代替 DPPH 溶液, 测定其吸光值为 $A_{\text{对照}}$, 用 50 mL 蒸馏水代替样液, 测得吸光值为 $A_{\text{空白}}$ 。DPPH 自由基清除率按照式(5)计算:

$$\text{DPPH自由基清除率}(\%) = \frac{A_{\text{空白}} - (A_{\text{测定}} - A_{\text{对照}})}{A_{\text{空白}}} \times 100 \quad \text{式(5)}$$

式中: $A_{\text{测定}}$ 为样品吸光值, $A_{\text{对照}}$ 为对照组吸光值, $A_{\text{空白}}$ 为空白组的吸光值。

1.2.3.2 ABTS⁺自由基清除试验 参考 CHEN 等^[16] 方法, 配置 ABTS 工作液, 将 ABTS 溶液(7.4 mmol/L)与过硫酸钾溶液(2.6 mmol/L)等体积混合, 室温避光放置 12 h。用 pH 为 7.4 的磷酸盐缓冲液(0.2 mol/L)稀释 ABTS 工作液, 直至 ABTS 工作液吸光度值为 (0.70±0.02)。将 2.0 mL 的 ABTS 工作液与 0.2 mL 样品(0.5 mg/mL)混合均匀, 于室温静置反应 6 min 后, 在 734 nm 处测量吸光值为 $A_{\text{测定}}$, 用 0.2 mL 蒸馏水代替 ABTS 工作液, 测其吸光值为 $A_{\text{对照}}$, 用 0.2 mL 蒸馏水代替样品溶液, 测其吸光值为 $A_{\text{空白}}$, ABTS⁺自由基清除率计算公式如式(6):

$$\text{ABTS}^+ \text{ 自由基清除率}(\%) = \frac{A_{\text{空白}} - (A_{\text{测定}} - A_{\text{对照}})}{A_{\text{空白}}} \times 100$$

式(6)

式中: $A_{\text{测定}}$ 为样品吸光值, $A_{\text{对照}}$ 为对照组吸光值, $A_{\text{空白}}$ 为空白组的吸光值。

1.2.3.3 FRAP 铁离子还原能力检测试验 参考 FEJÉR 等^[17] 方法, 取不同处理组滇黄精提取物样品溶液, 分别加入 1% 铁氰化钾和 pH 为 6.6 的磷酸缓冲液(0.2 mol/L)各 2.5 mL, 混匀后在 50 ℃ 恒温水浴锅中加热 20 min, 随后加入 2.5 mL 10% 三氯乙酸溶液, 3000 r/min 离心 10 min 后, 取 2.5 mL 上清液, 与 2.5 mL 蒸馏水和 0.5 mL 0.1% 氯化铁混合均匀, 静置 10 min 后, 在 700 nm 处测量吸光值为 A_1 , 以蒸馏水为空白组, 重复上述实验步骤, 测其吸光值为 A_0 , 计算公式见式(7):

$$\text{铁离子还原能力} = A_1 - A_0 \quad \text{式(7)}$$

式中: A_1 为样品组吸光值, A_0 为空白组吸光值。

1.2.4 体外抗炎活性测定

1.2.4.1 细胞培养 将 RAW 264.7 细胞在补充有 10% FBS、青霉素(100 U/mL)和链霉素(10 mg/mL)的基础培养基(dulbecco's modified eagle medium, DMEM)中培养, 并在含 5% CO_2 的 37 ℃ 恒温培养箱中生长。

1.2.4.2 细胞活力测定 参考沈圆圆等^[18] 方法, 使用基于细胞计数 CCK-8 试剂盒评估 RAW 264.7 细胞活力, 将 RAW 264.7 细胞悬液(1×10^5 个/孔)接种到 96 孔板中, 每个孔 100 μL , 培养过夜后, 向细胞中加入不同浓度(20、40、80、160、320 $\mu\text{g/mL}$)的滇黄精提取液, DMEM 基础培养基、LPS 1 $\mu\text{g/mL}$ 、DEX 10 $\mu\text{g/mL}$ 分别作为对照组、模型组和阳性对照组, 孵育处理 24 h, 取出培养基用磷酸盐缓冲液洗涤一次后加入 100 μL 含有 CCK-8 的新鲜培养基, 37 ℃ 培养箱孵育 3 h, 在 450 nm 处检测吸光度, 细胞存活率按照式(8)计算:

$$\text{细胞存活率}(\%) = \frac{A_s - A_b}{A_c - A_b} \times 100 \quad \text{式(8)}$$

式中: A_s 为实验组(含有细胞培养基、CCK-8、待测样品); A_c 为对照组(含有细胞培养基、CCK-8、无待测样品); A_b 为空白组(不含细胞和待测样品培养基、CCK-8)。

1.2.4.3 NO 含量测定 将 RAW 264.7 细胞接种到 96 孔板(6×10^5 个/孔)中培养 24 h, 加入不同处理组的滇黄精提取液各 320 $\mu\text{g/mL}$ 处理 LPS(1 $\mu\text{g/mL}$)刺激的 RAW 264.7 巨噬细胞, 培养细胞 48 h 后, 分别收集上清液, 根据试剂盒说明书步骤进行操作, 测定 NO 含量。

1.2.5 UPLC-TQXS 质谱检测抗氧化活性相关化合物

1.2.5.1 供试品溶液的制备 分别精密称取未处理

滇黄精、105、120、135 ℃ 及 9-9 组滇黄精样品粉末 0.1 g, 分别溶解, 用甲醇溶液定容至 10 mL, 涡旋混匀后, 过 0.22 μm 微孔滤膜, 取续滤液, 得到各处理组滇黄精供试品溶液。

1.2.5.2 对照品溶液的制备 精密称取尼克酸、奎宁酸、丹参素、异甘草素、芦丁、异槲皮素及柚皮素对照品适量分别用 50% 甲醇溶液定容至 10 mL 容量瓶中, 混合摇匀, 得到 1 mg/mL 对照品母液。

1.2.5.3 色谱和质谱条件 色谱条件: 色谱柱 ACQUITY UPLC HSS T3 C_{18} (100 $\text{m} \times 2.1 \text{ mm}$, 1.8 μm); 测定黄酮类化合物流动相: A 为 0.1% 甲酸水, B 为乙腈; 梯度洗脱: 0~1 min, 99% A; 1~10 min, 99%~70%; 10~12 min, 70%~5% A; 12~12.1 min, 5%~99% A; 12.1~15 min, 99% A; 流速为 0.3 mL/min; 进样量为 4 μL ; 柱温 35 ℃。

质谱条件: 离子源采用电喷雾离子源(正负离子模式), 多反应检测模式方式进行离子扫描; 脱溶剂温度为 500 ℃, 脱溶剂气流速为 900 L/Hr, 离子源温度为 150 ℃, 锥孔器流量为 150 L/h, 雾化气和碰撞气分别为高纯氩气和高纯氮气。7 个对照品化合物的质谱参数见表 1。

表 1 7 个滇黄精对照品化合物的质谱参数
Table 1 Mass spectrum parameters of 7 reference compounds of *Polygonatum kingianum*

成分	保留时间 (min)	母离子 (m/z)	子离子 (m/z)	碎裂电压 (V)	碰撞能量 (eV)
尼克酸	1.73	124.13	78.06	20	12
			80.11	20	12
奎尼酸	1.15	190.90	85.00	24	20
			93.10	24	18
异甘草素	13.08	255.25	119.20	10	15
			135.15	10	15
异槲皮素	10.70	462.90	271.00	58	38
			300.20	58	27
丹参素	6.86	197.02	73.02	20	12
			135.11	20	15
芦丁	10.49	609.10	270.90	60	58
			300.00	60	36
柚皮素	12.87	270.90	119.10	8	26
			151.00	8	18

1.2.5.4 线性关系考察 精密称取混合对照品母液, 用甲醇将 1 mg/mL 的对照品母液按不同比例稀释后

表 2 线性关系考察结果

Table 2 Results of linear relationship investigation

成分	回归方程	线性范围(mg/mL)	相关系数r
尼克酸	$Y=5413.43X+12833.2$	0.004~0.128	0.9976
奎宁酸	$Y=622.196X+1816.62$	0.004~0.128	0.9977
异甘草素	$Y=11706X+92590.2$	0.004~0.128	0.9989
异槲皮素	$Y=15881.8X-35891.1$	0.004~0.128	0.9962
丹参素	$Y=387.473X-516.539$	0.004~0.128	0.9960
芦丁	$Y=4034.92X+5746.59$	0.004~0.128	0.9967
柚皮素	$Y=18346.7X+50462$	0.004~0.128	0.9964

进样测定,以对照品浓度(X)为横坐标,峰面积(Y)为纵坐标,绘制标准曲线,得到回归方程,相关系数及线性范围,见表 2。

1.3 数据处理

所有实验重复 3 次,结果表示为平均值 \pm 标准差。采用 SPSS 20.1 统计软件进行数据处理,通过单因素方差分析进行各组样本平均数的比较,以 $P<0.05$ 为差异显著,表示有统计学意义,采用 Origin 2022 软件绘图。

2 结果与分析

2.1 不同高温处理组外观变化

按照 1.2.1.1、1.2.1.2 处理不同组滇黄精及 1.2.1.4 方法提取滇黄精后,不同处理组外观及提取液变化如图 1 所示,随着加热温度的上升,滇黄精样品颜色发生明显变化,由最初的浅黄色逐渐变成棕色,在 135 ℃ 时呈黑色,与 9-9 组滇黄精颜色相近,分析原因可能是与美拉德反应有关,在加热过程中,黄精的还原糖与氨基化合物反应生成棕色甚至黑色的的大分子物质,从而导致加工后的滇黄精颜色变深^[19-20]。

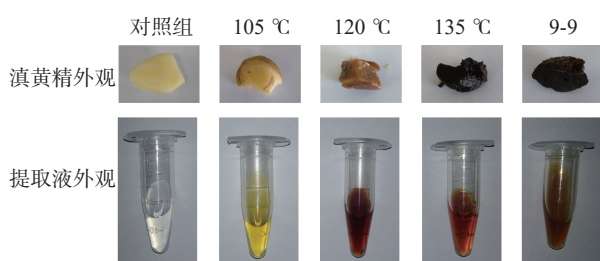


图 1 不同处理组滇黄精样品及提取液外观变化

Fig.1 Appearance changes of *Polygonatum kingianum* samples and extracts in different treatment groups

2.2 不同处理组滇黄精提取物活性成分含量比较

如图 2 所示,高温加工滇黄精后,各组滇黄精总糖含量与对照组相比,105 ℃ 组(83.96 \pm 6.25)mg/g 含量最高,随温度升高,总糖含量显著下降($P<0.05$),并具有温度依赖性下降,与 105 ℃ 组相比,135 ℃ 组

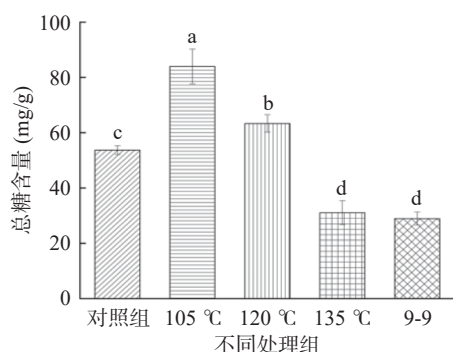


图 2 不同处理组滇黄精总糖含量比较

Fig.2 Comparison of *Polygonatum kingianum* total sugar content in different treatment groups

注:不同字母表示不同组之间差异显著($P<0.05$),图 3~图 5、图 7、图 9~图 10 同。

(31.05 \pm 4.35)mg/g 降低了 63.02%,总糖含量与 9-9 组(28.89 \pm 2.34)mg/g 含量相当,这与 YAO 等^[10]的研究结果一致,九蒸九晒黄精总糖含量随加工周期的增加而降低,这可能是由于高温状态下多糖和部分碳水化合物水解形成了低聚糖和单糖,单糖又与氨基酸发生了美拉德反应所致^[21]。

相反,总皂苷、总酚和类黄酮含量均随温度升高而呈上升趋势,这可能是加工过程中各含量的富集作用所致^[22]。图 3A 所示,随温度上升,总皂苷含量有所提升,135 ℃ 组相比 105 ℃ 组,由(0.56 \pm 0.004)mg/g 提升至(0.99 \pm 0.007)mg/g,总皂苷含量提升了 75.58%。105 ℃ 组与 9-9 组(0.61 \pm 0.005)mg/g 含量相当,120 ℃ 组(0.69 \pm 0.004)mg/g 和 135 ℃ 组与 9-9 组相比均有所提升,分别提升 14.6% 和 62%。滇黄精经热加工后总皂苷含量有所提升,原因可能是高温伴随着甾体皂苷的转化,加热处理后薯蓣皂苷元被转化为苷元和次生糖苷^[23-24]。

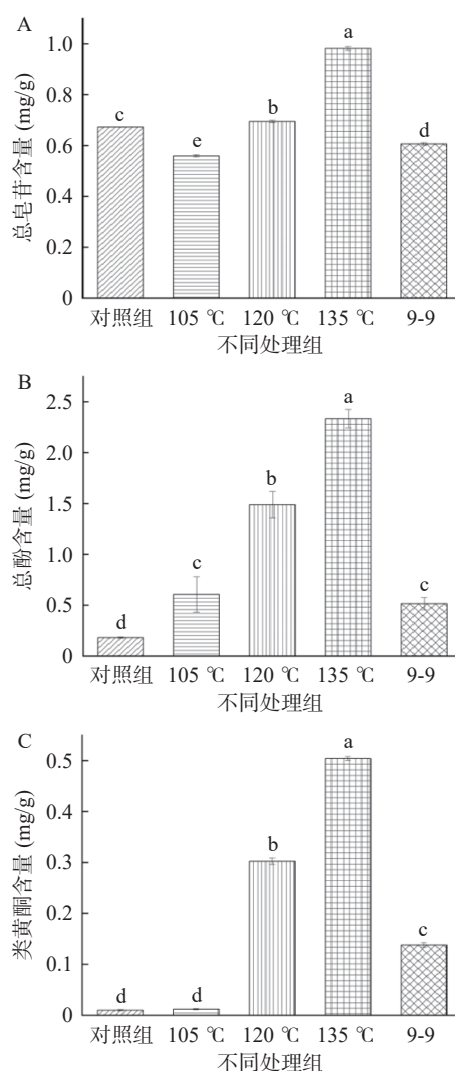


图 3 不同处理组滇黄精总皂苷、总酚、类黄酮含量比较
Fig.3 Comparison of total saponins, total phenols and flavonoids of *Polygonatum kingianum* in different treatment groups

图 3B 显示了各温度处理组对滇黄精总酚含量的影响,结果表明,滇黄精经高温加热处理后,总酚含

量均显著高于对照组($P<0.05$),且呈温度依赖性上升趋势,这可能是由于在高温条件下,某些细胞元素和细胞壁成分发生降解,进一步促进了游离态多酚的快速释放^[25],因此含量有所上升。135℃组(2.33 ± 0.09)mg/g 相比对照组总酚含量(0.18 ± 0.01)mg/g,提升了 11.9 倍,与 9-9 组(0.51 ± 0.06)mg/g 相比,提升了 3.5 倍。

如图 3C,高温加工滇黄精后,类黄酮含量随温度升高呈极显著上升($P<0.01$),与对照组(0.009 ± 0.001)mg/g 相比,105℃组(0.01 ± 0.001)mg/g 提升了 19.6%,120℃组(0.30 ± 0.01)mg/g 提升 29.2 倍,135℃组(0.50 ± 0.003)mg/g 提升 49.4 倍,120℃组和 135℃组分别是 9-9 组的 1.2 倍和 2.7 倍,135℃组具有最高类黄酮含量。随温度升高,黄酮含量的增加可能归因于内源性氧化酶的降解失活,另一方面由于热处理引起的细胞破裂而释放出更多的黄酮类化合物,两者综合作用导致黄酮含量增加^[26]。

2.3 体外抗氧化活性结果分析

如图 4A 所示,不同高温处理组滇黄精对 DPPH

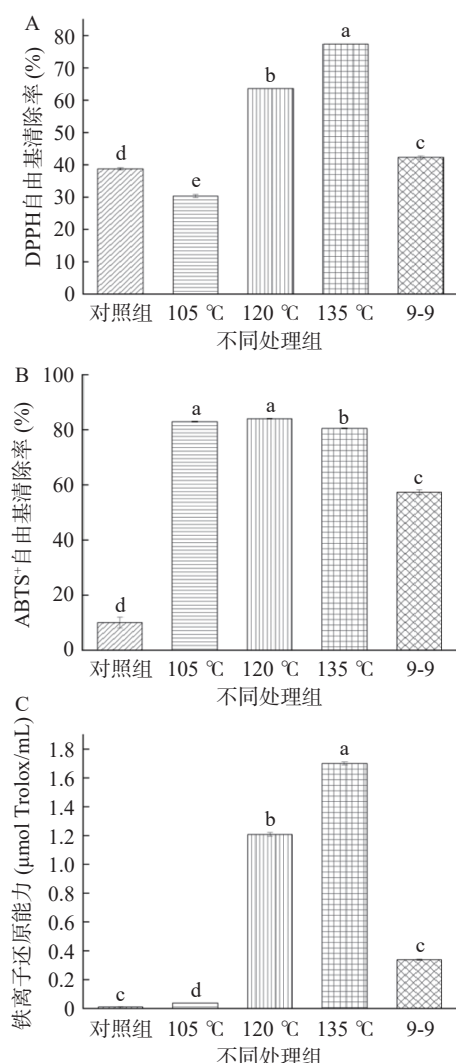


图 4 不同处理组滇黄精抗氧化能力检测结果

Fig.4 Results of *Polygonatum kingianum* antioxidant ability detection in different treatment groups

自由基清除能力随温度升高而增强,120℃和 135℃组 DPPH 自由基清除率分别达到了 63.58% 和 77.36%,是对照组的 1.64 和 2.04 倍,是 9-9 组的 1.50 倍和 1.83 倍,样品的自由基清除能力提高,一方面可能是由于热处理会释放并促进酚酸类化合物的增加^[27],另一方面分子内部的功能基团在高温下被充分暴露出来,与 DPPH 自由基发生反应,从而增加了抗氧化能力^[28]。

图 4B 显示,与对照组相比,经热处理的滇黄精抗氧化能力得到了极显著提升($P<0.01$),105、120、135℃组对 ABTS+自由基清除率均显著高于 9-9 组($P<0.05$),在 120℃升至 135℃时,ABTS+自由基清除能力呈下降趋势,表明在适当的热处理温度下抗氧化能力有所提升,但温度过高会使部分游离酚和黄酮被破坏,从而抗氧化能力下降。

图 4C 表明,120℃和 135℃铁离子还原能力与对照组相比显著上升($P<0.05$),通过高压蒸汽热加工,细胞内结合酚得以释放,部分木质素和半纤维素降解为低分子的酚类化合物和水溶性糖,进一步增强了滇黄精的抗氧化能力^[29]。经 135℃处理的滇黄精是未处理滇黄精铁还原能力的 157.07 倍,120℃和 135℃对铁离子还原能力分别达 1.21 和 1.70 μmol Trolox/mL,分别是 9-9 组的 3.56 和 5.00 倍。

综上,滇黄精经高温处理后,DPPH、ABTS+及 FRAP 抗氧化能力均有所升高,120℃和 135℃组的抗氧化能力均优于 9-9 组。

2.4 体外抗炎活性结果分析

2.4.1 建立 LPS 诱导 RAW 264.7 细胞损伤模型

通常认为加入样品后,细胞活力大于 90%,说明对细胞没有毒性,可进行后续实验^[30]。如图 5 所示,LPS 质量浓度在 1~80 μg/mL 范围内,细胞活力随 LPS 质量浓度的增加而逐渐降低,说明不同质量浓度 LPS 对细胞活力有良好的抑制作用。当 LPS 浓度达到 40 μg/mL 时,细胞仅有 60% 的存活率。在 1~5 μg/mL 质量浓度范围内,细胞存活率均在 95% 以上,最终选择具有较高细胞存活率的 1 μg/mL ($97.67\%\pm 0.73\%$)LPS 处理 RAW 264.7 细胞 24 h 来构建细胞氧化损伤模型用于后续实验。

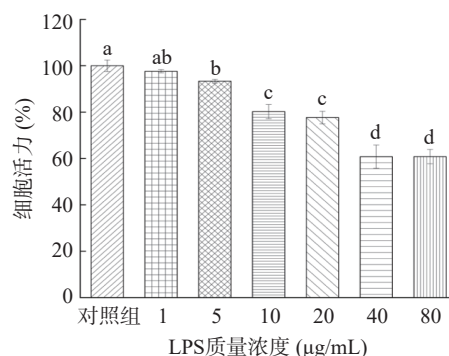


图 5 LPS 对 RAW 264.7 细胞活力的影响

Fig.5 Effects of LPS on cell viability of RAW 264.7

2.4.2 不同处理组对 RAW 264.7 细胞活力的影响

不同处理组的 RAW 264.7 细胞活力如图 6 所示, 3 组高温处理组和 9-9 组的滇黄精提取物质量浓度在 0~320 $\mu\text{g/mL}$ 范围内, RAW 细胞存活率均可达到 90% 以上, 证明该质量浓度范围内的滇黄精提取物对 RAW 细胞无明显的毒性作用, 因此, 可用于后续实验。

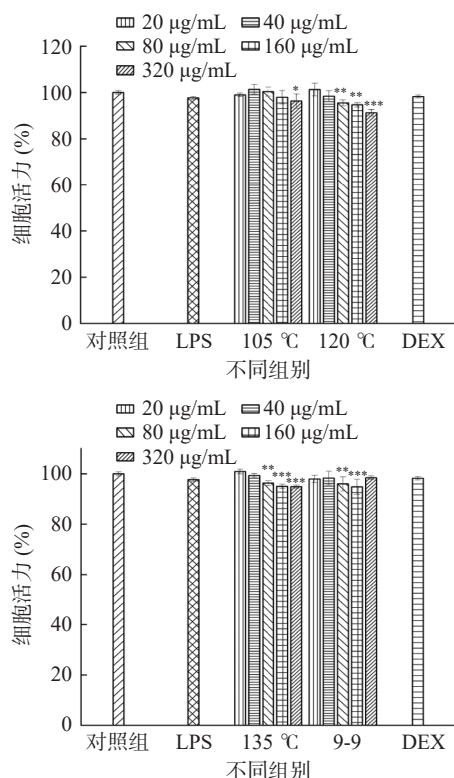


图 6 不同处理组滇黄精对 RAW 264.7 细胞活力的影响
Fig.6 Effects of *Polygonatum kingianum* in different treatment groups on cell viability of RAW 264.7
注: 与对照组相比, *表示 $P<0.05$, **表示 $P<0.01$, ***表示 $P<0.001$ 。

2.4.3 NO 的释放 研究表明, LPS 处理 RAW 264.7 细胞后, 大量的 NO 被释放, 从而导致炎症^[31]。NO 产生量的抑制代表药物对细胞抗炎活性强弱, NO 产生量越低, 则抗炎活性越强^[32]。如图 7 结果显示, 相

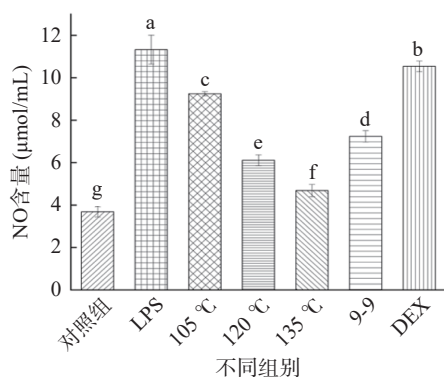


图 7 不同处理组滇黄精对 NO 的抑制作用
Fig.7 Inhibition effects of *Polygonatum kingianum* on NO in different treatment groups

对模型组, 不同处理组都具有一定的抗炎活性。105 °C 处理组的抗炎活性相对对照组与 9-9 组有所降低, 随处理温度升高, 120 °C 处理组与 135 °C 处理组相对对照组与 9-9 组, 抗炎活性都显著增加 ($P<0.05$), 与 9-9 组相比, 120 °C 处理组提升 15.6%, 135 °C 处理组提升 35.3%。总体而言, 滇黄精经高压蒸汽处理后, 135 °C 处理组检测结果显示具有最好抑制 NO 释放能力 (4.6 ± 0.29) $\mu\text{mol/mL}$, 抗炎活性优于 9-9 组滇黄精, 抗炎活性可能与随温度升高甾体皂苷类化合物的增加有关^[24]。

2.5 高效液相色谱-三重四极杆质谱滇黄精化合物质量浓度测定

本研究选用 ACQUITY UPLC HSS T3 C_{18} 色谱柱, 以 0.1% 甲酸水溶液和乙腈溶液作为梯度洗脱流动相, 7 种目标物在 15 min 内达到基本分离, 提取离子色谱图见图 8。

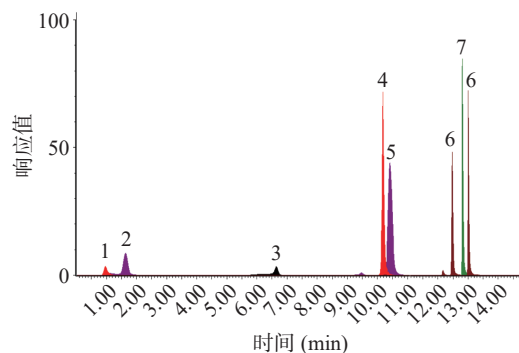


图 8 7 个滇黄精对照品化合物提取离子流图
Fig.8 Ion flow diagram extracted from 7 kinds of *Polygonatum kingianum* reference compounds
注: 1.奎宁酸; 2.尼克酸; 3.丹参素; 4.芦丁; 5.异槲皮素; 6.异甘草素; 7.柚皮素。

通过质谱检测结果比较了不同高温处理组滇黄精化合物质量浓度变化。如图 9A 所示, 尼克酸质量浓度随加热温度升高而显著上升, 且各高温处理组均高于 9-9 组, 135 °C 组相比 9-9 组尼克酸质量浓度增加了 3.4 倍; 奎宁酸作为高等植物特有的脂环有机酸, 具有一定的抗氧化活性^[33], 图 9B 显示, 奎宁酸在 105~120 °C 时, 浓度显著上升, 在 135 °C 组显著下降 ($P<0.05$), 含量下降可能是由于高温下脂环族有机酸受热分解所致^[34]。135 °C 组比对照组与 9-9 组分别增加 13.3 倍, 9.2%。图 9C 检测结果显示, 随着加热温度的升高, 丹参素质量浓度呈显著上升趋势 ($P<0.05$), 在 135 °C 组达到最高 (300.63 ± 20.46) $\mu\text{g/L}$, 其中 120 °C 组与 9-9 组质量浓度相当, 135 °C 组比对照组与 9-9 组分别增加 18.6 倍, 1.2 倍。

此外, 还检测了异槲皮素、异甘草素、芦丁和柚皮素四种化合物质量浓度 (图 10A~图 10D), 结果显示 4 种化合物质量浓度相比未处理组, 含量均显著降低 ($P<0.05$), 可能是由于这些抗氧化相关化合物随温度升高, 降解速度加快, IOANNOU 等^[35]也曾发现

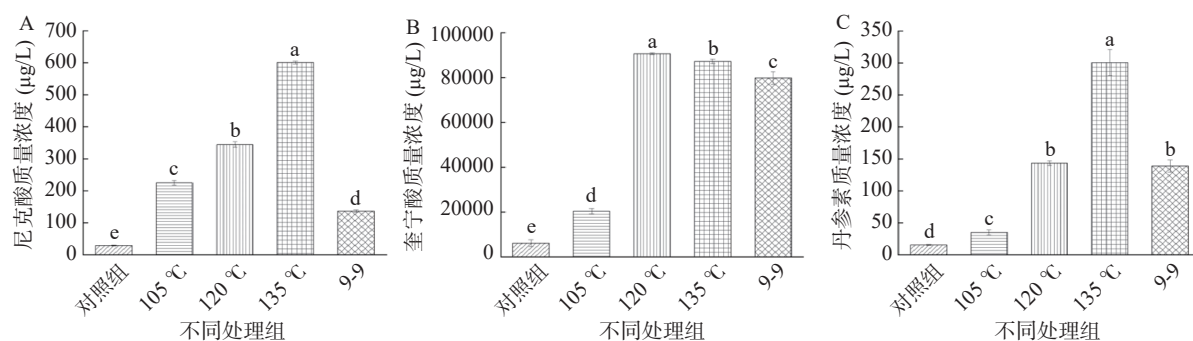


图9 不同处理组滇黄精尼克酸、奎宁酸、丹参素质量浓度检测结果

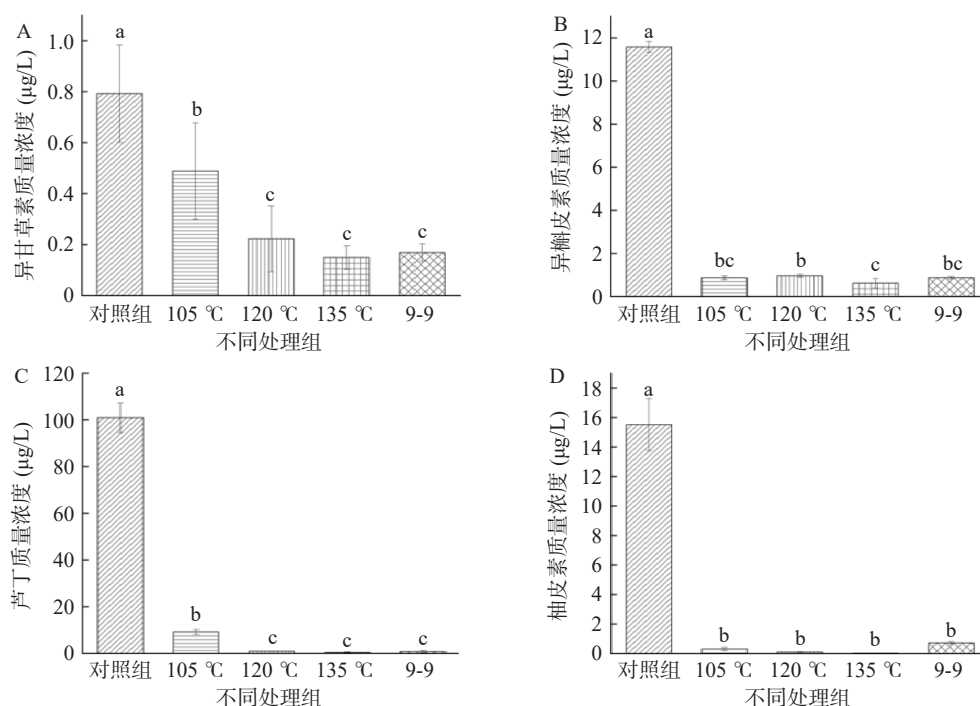
Fig.9 Results of mass concentration determination of *Polygonatum kingianum* nicic acid, quinic acid and salviatic acid A in different treatment groups

图10 不同处理组滇黄精异甘草素、异槲皮素、芦丁及柚皮素质量浓度检测结果

Fig.10 Results of mass concentration determination of *Polygonatum kingianum* isoliquiritigenin, isoquercitrin, rutin and naringenin in different treatment groups

芦丁在 100 °C 下加热 6 h, 其含量降低 22%。135 °C 处理组的异甘草素、异槲皮素、芦丁质量浓度相比 9-9 组分别减少 13%、70.90%、40.30%, 9-9 组柚皮素质量浓度是 135 °C 组的 24.4 倍。

3 结论

高压蒸汽热加工滇黄精过程中, 除总糖外, 类黄酮、总皂苷及总酚含量在适宜的热处理温度下含量均有所提升, 120 °C 和 135 °C 组显现出优于 9-9 组的抗氧化及抗炎活性, 经高压蒸汽处理后, 尼克酸、奎宁酸及丹参素质量浓度有所提高。高压蒸汽热处理相比传统九蒸九晒方法, 温度、时间等因素可控, 操作方便, 环境卫生, 能够实现工业化标准生产加工黄精, 提高药食同源产品的稳定性、一致性。目前, 有关热处理加工后黄精的研究甚少, 其热加工前后有效成分变化与药理活性之间的关系尚未系统阐述, 后续可进一步研究其内在机制, 明确物质变化规律。

© The Author(s) 2025. This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

参考文献

- [1] CHENG Y, HUANG X Y, LI L X, et al. Effects of solid fermentation on *Polygonatum cyrtoneura* polysaccharides: Isolation, characterization and bioactivities[J]. *Molecules*, 2023, 28(14): 5498.
- [2] ZHAO L X, XU C Y, ZHOU W L, et al. *Polygonati Rhizoma* with the homology of medicine and food: A review of ethnopharmacology, botany, phytochemistry, pharmacology and applications[J]. *J Ethnopharmacol*, 2023, 309: 116296.
- [3] WANG J, WANG F R, YUAN L X, et al. Blood-enriching effects and immune-regulation mechanism of steam-processed *Polygonatum sibiricum* polysaccharide in blood deficiency syndrome mice[J]. *Front Immunol*, 2022, 13: 813676.
- [4] CHAI Y Y, LUO J Y, BAO Y H, et al. Effects of *Polygonatum sibiricum* saponin on hyperglycemia, gut microbiota composition and metabolic profiles in type 2 diabetes mice[J]. *Biomed Phar-*

- macother, 2021, 143: 112155.
- [5] WANG Y T, NIU H M, MA Y, et al. Isolation, purification, fractionation, and hepatoprotective activity of *Polygonatum* polysaccharides[J]. *Molecules*, 2024, 29(5): 1038.
- [6] HUANG Z Z, DU X, MA C D, et al. Identification of antitumor active constituents in *Polygonatum sibiricum* flower by UPLC-Q-TOF-MS^E and network pharmacology[J]. *ACS Omega*, 2020, 5(46): 29755–29764.
- [7] ZHAO J L, LIN F Z, LIANG G H, et al. Exploration of the molecular mechanism of *Polygonati rhizoma* in the treatment of osteoporosis based on network pharmacology and molecular docking[J]. *Front Endocrinol*, 2022, 12: 815891.
- [8] SUN Y, ZHOU L, SHAN X, et al. Untargeted components and *in vivo* metabolites analyses of *Polygonatum* under different processing times[J]. *LWT*, 2023, 173: 114334.
- [9] 张莹, 钟凌云. 炮制对黄精化学成分和药理作用影响研究[J]. 江西中医学院学报, 2010, 22(4): 77–79. [ZAHNG Y, ZHONG L Y. Study on chemical constituents and pharmacological effects in pre-and post-processed of *Polygonatum*[J]. *J Jiangxi Univ Tradit Chin Med*, 2010, 22(4): 77–79.]
- [10] YAO X J, DENG Z Y, LI H Y, et al. Effect of processing cycles on the composition of *Polygonatum cyrtoneuma* Hua during nine-steam-nine-bask processing[J]. *Food Biosci*, 2022, 50: 102081.
- [11] LIAO X Y, WANG S S, LI Y Q, et al. Effects of “nine steaming nine sun-drying” on proximate composition, protein structure and volatile compounds of black soybeans[J]. *Food Res Int*, 2022, 155: 111070.
- [12] ZHAO C Q, DAI J P, CHEN F F, et al. The effect of different sterilization methods on the shelf life and physicochemical indicators of fermented pork jerky[J]. *Front Nutr*, 2023, 10: 1240749.
- [13] JIN J, LAO J, ZHOU R R, et al. Simultaneous identification and dynamic analysis of saccharides during steam processing of rhizomes of *Polygonatum cyrtoneuma* by HPLC-QTOF-MS/MS[J]. *Molecules*, 2018, 23(11): 2855.
- [14] ZHOU L Q, LIU T Q, YAN T, et al. ‘Nine steaming nine sun-drying’ processing enhanced properties of *Polygonatum kingianum* against inflammation, oxidative stress and hyperglycemia[J]. *J Sci Food Agric*, 2024, 104(5): 3123–3138.
- [15] CHU C, DU Y M, YU X T, et al. Dynamics of antioxidant activities, metabolites, phenolic acids, flavonoids, and phenolic biosynthetic genes in germinating Chinese wild rice (*Zizania latifolia*) [J]. *Food Chem*, 2020, 318: 126483.
- [16] CHEN W W, CHENG H, XIA W S. Construction of *Polygonatum sibiricum* polysaccharide functionalized selenium nanoparticles for the enhancement of stability and antioxidant activity[J]. *Antioxidants*, 2022, 11(2): 240.
- [17] FEJÉR J, GRULOVA D, ELIASOVA A, et al. Seasonal variability of *Juniperus communis* L. Berry ethanol extracts; 2. *In vitro* ferric reducing ability of plasma (FRAP) assay[J]. *Molecules*, 2022, 27(24): 9027.
- [18] 沈國圓, 于福田, 秦雅莉, 等. 纳豆菌液态发酵制备蚕蛹肽的工艺优化及其抗炎活性研究[J]. 食品工业科技, 2022, 43(3): 162–171. [SEHN Y Y, YU F T, QIN Y L, et al. Optimization of liquid fermentation process for preparation of silkworm pupa peptide by *Bacillus natto* and its anti-inflammatory activity[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2022, 43(3): 162–171.]
- [19] GANJE M, JAFARI S M, FARZANEH V, et al. Kinetics modelling of color deterioration during thermal processing of tomato paste with the use of response surface methodology[J]. *Heat Mass Transfer*, 2018, 54(12): 3663–3671.
- [20] JIANG T, WU T, GAO P Y, et al. Research on processing-induced chemical variations in *Polygonatum cyrtoneuma* rhizome by integrating metabolomics and glycomics[J]. *Molecules*, 2022, 27(18): 5869.
- [21] HUANG J, ZHANG J P, BAI J Q, et al. Chemical profiles and metabolite study of raw and processed *Polygoni multiflori radix* in rats by UPLC-LTQ-Orbitrap MSⁿ spectrometry[J]. *Chin J Nat Medicines*, 2018, 16(5): 375–400.
- [22] KANG M W, CHANG J P, DOH E S, et al. Antioxidant activities of water extracts from steamed *Polygonati rhizoma*[J]. *Korea J Herbology*, 2017, 32(1): 33–40.
- [23] 王倩, 刘星, 许敏, 等. 黄精炮制过程中甾体皂苷的变化研究[J]. 云南中医中药杂志, 2017, 38(5): 72–75. [WANG Q, LIU X, XU M, et al. Study on the change of steroidal saponins in the processing of *Polygonatum*[J]. *Yunnan J Tradit Chin Med Mater Med*, 2017, 38(5): 72–75.]
- [24] GUAN Y H, LIANG Z W, LI R Y, et al. Chemical composition and antioxidant activity of *Polygonatum kingianum* processed by the traditional method of “Nine Cycles of Steaming and Sun-Drying”[J]. *Food Chem: X*, 2024, 22: 101292.
- [25] 王俊楠, 卢琪, 薛淑静, 等. 九蒸九制对鸡头黄精理化性质及抗氧化性的影响[J]. 现代食品科技, 2024, 40(2): 231–245. [WANG J N, LU Q, XUE S J, et al. Effects of nine steaming-nine drying on the physicochemical properties and antioxidant activity of *Polygonatum sibiricum* Red[J]. *Modern Food Science and Technology*, 2024, 40(2): 231–245.]
- [26] AHMED M, EUN J B. Flavonoids in fruits and vegetables after thermal and nonthermal processing: A review[J]. *Crit Rev Food Sci*, 2018, 58(18): 3159–3188.
- [27] KOWALCZEWSKI P Ł, PAUTER P, SMARZYŃSKI K, et al. Thermal processing of pasta enriched with black locust flowers affect quality, phenolics, and antioxidant activity[J]. *J Food Process Pres*, 2019, 11: 14106.
- [28] 陈怡静, 李萍, 康雨薇, 等. 干热处理对杏鲍菇蛋白抗氧化活性的影响[J]. 食品安全质量检测学报, 2022, 13(13): 4390–4396. [CEHN Y J, LI P, KANG Y W, et al. Effects of dry heat treatment on the antioxidation activities of *Pleurotus eryngii* protein[J]. *J Food Saf Qual*, 2022, 13(13): 4390–4396.]
- [29] 夏智慧, 崔文玉, 丰程凤, 等. 蒸汽爆破对从植物中提取的多酚含量及抗氧化活性影响的研究进展[J]. 江苏农业学报, 2021, 37(5): 1352–1360. [XIA Z H, CUI W Y, FENG C F, et al. Research progress on the effects of steam explosion on the content and antioxidant activity of polyphenols extracted from plants[J]. *Jiangsu Agricultural Sciences*, 2021, 37(5): 1352–1360.]
- [30] LIU F, LIU Y, FENG X, et al. Structure characterization and *in vitro* immunomodulatory activities of carboxymethyl pachymaran[J]. *Int J Biol Macromol*, 2021, 178: 94–103.
- [31] BOULAABA M, KALAI F Z, DAKHLAUI S, et al. Antioxidant, antiproliferative and anti-inflammatory effects of *Glaucium flavum* fractions enriched in phenolic compounds[J]. *Med Chem Res*, 2019, 28: 1995–2001.
- [32] YOUN U J, PARK E J, KONDRATYUK T P, et al. Anti-inflammatory triterpenes from the apical bud of *Gardenia sootepensis*[J]. *Fitoterapia*, 2016, 114: 92–97.
- [33] GRITSUNOV A, PEEK J, CABALLERO J D, et al. Structural and biochemical approaches uncover multiple evolutionary trajectories of plant quinate dehydrogenases[J]. *Plant J*, 2018, 95: 812–822.
- [34] ZABALZA A, ZULET-GONZALEZ A, BARCO-ANTO-NANZAS M, et al. Physiological approach to the use of the natural compound quinate in the control of sensitive and resistant *Papaver rhoeas*[J]. *Plants*, 2020, 9(9): 1215.
- [35] IOANNOU I, CHEKIR L, GHOUL M. Effect of heat treatment and light exposure on the antioxidant activity of flavonoids[J]. *Processes*, 2020, 8(9): 1078.