

基于质构特性、内在指标和生物活性评价不同蒸晒次数的多花黄精炮制品质量

王 倩^{1,2}, 冀乐园^{1,2,3}, 常芝妮^{2,3}, 凌 娜^{2,3}, 刘 东^{1,2,4*}, 廖茂梁^{2,3,4*}

1. 安徽中医药大学 药学院, 安徽 合肥 230012

2. 皖西学院 生物与制药工程学院, 安徽 六安 237012

3. 安徽省中药资源保护与利用工程研究中心, 安徽 六安 237012

4. 安徽省现代中药产业共性技术研究中心, 安徽 六安 237012

摘 要: **目的** 比较多花黄精不同炮制品的质量差异, 为多花黄精炮制工艺参数优选提供依据。**方法** 分别使用质构仪、色差仪测定多花黄精炮制品的物性值和颜色值, 对不同炮制品中内在指标多糖、还原糖、皂苷、黄酮、蛋白质、脂肪、纤维素进行测定, 然后采用 ABTS、DPPH、 α -葡萄糖苷酶和胰脂肪酶体外模型评价不同炮制品的生物活性, 通过线性回归、相关性分析、熵权法和灰色关联度分析, 探究炮制次数-化学成分-质构特性-生物活性的相关性, 评价不同炮制次数对多花黄精质量的影响。**结果** 随着炮制次数的增加, 多糖、还原糖、皂苷、黄酮、蛋白质、脂肪、纤维素质量分数发生显著变化, 质构特性和活性也变化明显; 内在指标质量分数变化与色度值呈线性相关; 皮尔森相关性分析发现内在指标质量分数变化与质构特性呈一定相关性; 熵权法分析发现多糖所占权重最高, 达 22.53%。灰色关联分析得出多花黄精炮制 4~6 次灰色关联度相对最高, 其中炮制 4 次品质最好。**结论** 多花黄精炮制前后内在指标成分质量分数变化与色度值、质构特性、生物活性存在相关性, 综合优选出多花黄精炮制 4 次最佳。

关键词: 多花黄精; 蒸晒; 多糖; 皂苷; 黄酮; 线性回归; 皮尔森相关性分析; 熵权法; 灰色关联法

中图分类号: R285.5; R286.02 **文献标志码:** A **文章编号:** 1674-5515(2025)05-1151-10

DOI: 10.7501/j.issn.1674-5515.2025.05.008

Quality of *Polygonatum cyrtoneura* Hua processed products with different number of evaporation times based on textural properties-intrinsic indexes-biological activity

WANG Qian^{1,2}, JI Leyuan^{1,2,3}, CHANG Zhini^{2,3}, LING Na^{2,3}, LIU Dong^{1,2,4}, LIAO Maoliang^{2,3,4}

1. School of Pharmacy, Anhui University of Chinese Medicine, Hefei 230012, China

2. School of Biological and Pharmaceutical Engineering, West Anhui University, Lu'an 237012, China

3. Anhui Engineering Laboratory for Conservation and Sustainable Utilization of Traditional Chinese Medicine Resources, Lu'an 237012, China

4. Anhui Modern Chinese Medicine Industry Common Technology Research Center, Lu'an 237012, China

Abstracts: Objective To compare the quality differences of *Polygonatum cyrtoneura* Hua processed products and provide a basis for optimizing the processing parameters of *P. cyrtoneura* Hua. **Methods** The physical properties and color values of *P. cyrtoneura* Hua processed products were determined by texture meter and colorimeter, respectively. The content of intrinsic indexes such as polysaccharides, reducing sugars, saponins, flavonoids, proteins, fats, cellulose in different processed products were determined. Then ABTS, DPPH, α -glucosidase and pancreatic lipase *in vitro* models were used to evaluate the bioactivity of different processed products. Linear regression, correlation analysis, entropy weight method and gray correlation analysis were used to explore the correlation between the numbers of concoctions-chemical composition- textural properties-biological activity. The effect of different processing

收稿日期: 2025-01-02

基金项目: 安徽省自然科学基金面上项目 (2308085MH301); 安徽省中药资源保护与持续利用工程实验室开放课题 (TCMRPSU-2022-01); 皖西学院高层次人才基金项目 (WGKQ2022074)

作者简介: 王 倩 (1999—), 女, 硕士研究生, 研究方向为中药资源开发与利用。E-mail: wq260919@163.com

*通信作者: 刘 东, 男, 教授, 从事中药和天然产物及其纳米药物的制备及质量控制研究。E-mail: liudong3000@126.com

廖茂梁, 男, 安徽省特聘教授, 研究员, 从事中药炮制与中药质量控制研究。E-mail: liaomaoliang@163.com

times on the quality of *P. cyrtonema* Hua processed products were evaluated. **Results** With the increase in the processing times, the contents of polysaccharides, reducing sugars, saponins, flavonoids, proteins, fats, cellulose changed significantly. The textural properties and activities also varied significantly. Changes in the content of intrinsic indexes were linearly correlated with colorimetric values. Pearson's correlation analysis revealed that changes in the content of intrinsic indexes were correlated with textural properties. The entropy weight method analysis revealed that polysaccharides had the highest weight of 22.53%. Gray correlation analysis yielded the relatively highest gray correlation for *P. cyrtonema* Hua concocted 4 — 6 times, of which concocted 4 times had the best quality. **Conclusion** Changes in the content of intrinsic index components in *P. cyrtonema* Hua before and after processing are correlated with the chromaticity value, textural and structural properties, and biological activity. The optimal four processing times for *P. cyrtonema* Hua are comprehensively selected.

Key words: *Polygonatum cyrtonema* Hua; evaporation; polysaccharide; saponin; flavonoid; linear regression; Pearson correlation analysis; entropy weighting; grey relational degree analysis

多花黄精 *Polygonatum cyrtonema* Hua 为百合科黄精属多年生草本植物, 首次收载于《名医别录》, 生黄精有一定的毒性,《本草纲目》记载“如此九蒸九曝, 若生则刺人咽喉”^[1]。黄精多经炮制后入药或食用。因地方用药习惯和市场需求不同, 涌现出了不同的炮制方法, 如酒炖、蜜蒸、黑豆熬制等^[2]。黄精九蒸九晒的炮制标准缺乏详细的工艺参数, 炮制品质量多以性状外观“色黑如漆, 口尝无麻味”进行主观评价, 传统炮制中以“形、色、气、味”的方式“辨状论质”来判断炮制品和药材的品质优劣, 缺乏参照标准, 导致工业化生产中产品质量难以保证均一稳定, 影响临床作用发挥^[3]。“凡药制造, 贵在适中”强调了炮制工艺参数对药材品质的影响具有重要作用,“九蒸九晒”过程中化学成分、颜色的时空特异性对黄精炮制品质的影响规律仍不清楚^[4]。《中国药典》2020 年版一部仅收载了生黄精、酒黄精饮片规格, 以多糖为质控指标, 对黄精炮制品缺乏客观的外观评价和针对性的含量控制。随着蒸晒次数的增加, 黄精炮制品的颜色加深, 多糖含量下降, 黄酮和总酚含量上升^[5]。古人所说“九蒸九晒”中的“九”并不是指 9 次, 而是多次的意思, 具体的蒸晒次数要以药物的颜色、形态、功效来判断, 如果真的蒸 9 次晒 9 次, 不仅耗费人力物力, 还十分耗费时间。为节约时间、成本和简化工艺过程, 本研究以黄精“九蒸九晒”炮制品质构特性、内在指标、生物活性为评价指标, 进一步采用线性回归分析、相关性分析、熵权法和灰色关联度法分析多花黄精炮制品质构特性、内在指标、生物活性之间的相关性, 探索最佳炮制次数, 为多花黄精炮制工艺控制提供依据。

1 仪器与试剂

FA224 电子天平、UV2400 紫外可见光光度计,

上海舜宇恒平科学仪器有限公司; DK-98-IIA 电热恒温水浴锅, 天津市泰斯特仪器有限公司; PHSJ-4A 型质构仪, 上海盛磁仪器有限公司; KDN-812 定氮仪、膳食纤维测定仪, 上海纤检仪器有限公司; DS-220 色差仪, 彩谱科技有限公司。

多花黄精购自金寨润元生物科技有限公司, 批号 20230411, 经皖西学院廖茂梁研究员鉴定为百合科植物多花黄精 *Polygonatum cyrtonema* Hua 的根茎; DPPH、ABTS 购自酷来博生物科技有限公司; α -葡萄糖苷酶、胰脂肪酶、谷胱甘肽购自 Sigma 公司; 浓盐酸、乙酸、亚硝酸钠、硝酸铝等均购自西陇科学生物有限公司; 柠檬酸钠、对硝基苯基- β -D-吡喃葡萄糖苷购自上海源叶生物科技有限公司; 3,5-二硝基水杨酸、酒石酸钾钠、亚硫酸氢钠、吗啉乙磺酸-水合物、三(羟甲基)氨基甲烷 (Tris) 购自麦克林生化科技股份有限公司; 高温 α -淀粉酶、淀粉葡萄糖苷酶、蛋白酶、硅藻土以及薯蓣皂苷元 (质量分数 $\geq 98\%$, 批号 C10J9Q52616)、芦丁 (质量分数 $\geq 98\%$, 批号 JB241985)、4-甲基伞形酮油酸酯 (质量分数 $\geq 95\%$, 批号 A11IS212243) 对照品购自上海源叶生物科技有限公司; 葡萄糖对照品 (质量分数 $\geq 98\%$, 批号 230010-202211) 购自上海鸿永生物科技有限公司; 高氯酸购自天津市鑫源化工有限公司; 冰乙酸购自天津市大茂化学试剂厂。

2 方法与结果

2.1 炮制品的制备

将新鲜多花黄精晒干留样, 作为黄精生品 (FD), 其余按《中国药典》2020 年版一部黄精项下“酒黄精”项下炮制方法重复 9 次, 得 9 种不同蒸晒次数的样品, 记为 SD1~SD9。

2.2 不同炮制品的质构特性测定

参考黄莉等^[6]测量样品色差的方法, 以光源

D65, 标准观察角度 10°, 照明口径 32 mm, 记录色度值 L (明暗度)、a (红绿色值)、b (黄蓝色值), 每个样品平行测定 3 次。参考轩瑞瑞等^[7]方法, 使用质构仪以 P2 圆柱探头, 采用压缩模式测定, 测

试速度为 0.5 mm/s, 触发点负载为 7 g, 压缩距离为 3 mm, 循环 2 次, 测定各样品。由质地特征曲线测得多花黄精不同炮制样品的硬度、黏合性、弹性、内聚力、胶着力、咀嚼力、恢复力。结果见表 1。

表 1 多花黄精炮制品的质构参数 ($\bar{x} \pm s, n = 10$)
Table 1 Textural parameters of *Polygonatum cyrtoneuma* Hua processed products ($\bar{x} \pm s, n = 10$)

样品	L	a	b	硬度	黏合性	弹力	内聚力	胶着力	咀嚼力	恢复力
FD	85.41±1.63	1.04±0.30	12.62±1.53	2418.26±170.42	-19.31±0.88	0.31±0.2	0.022±0.005	54.11±15.52	18.09±7.13	0.005±0.003
SD1	57.62±0.84	13.99±0.87	37.36±1.53	1494.38±102.54	-31.50±17.51	0.40±0.18	0.063±0.016	94.71±25.53	37.18±14.83	0.008±0.002
SD2	24.55±0.56	12.38±0.52	16.93±1.53	904.44±41.22	-22.75±2.49	0.32±0.09	0.029±0.0095	26.64±9.89	8.14±2.82	0.004±0.001
SD3	23.36±0.31	15.30±0.50	18.31±0.50	608.61±19.64	-25.48±9.05	0.45±0.15	0.150±0.049	91.70±28.08	42.56±20.94	0.024±0.012
SD4	22.31±1.01	12.45±0.50	14.72±0.59	553.58±34.23	-25.05±10.85	0.27±0.10	0.044±0.014	24.24±6.71	7.03±4.05	0.004±0.001
SD5	19.43±0.77	9.27±0.60	8.68±0.09	473.69±54.52	-32.91±5.71	0.35±0.09	0.057±0.023	26.04±7.78	9.72±5.62	0.007±0.003
SD6	18.19±0.79	8.40±0.37	7.96±0.58	419.39±9.18	-28.33±26.37	0.40±0.31	0.055±0.016	23.04±6.85	7.91±3.75	0.006±0.002
SD7	18.57±0.49	11.32±0.29	9.16±0.14	375.84±18.85	-30.40±15.34	0.29±0.13	0.063±0.032	23.30±10.99	7.47±5.19	0.009±0.005
SD8	17.41±0.30	11.64±0.40	11.10±0.37	283.19±10.98	-18.28±6.81	0.26±0.02	0.035±0.010	10.05±3.00	2.59±0.74	0.003±0.000
SD9	17.06±0.12	11.06±0.87	12.12±0.18	297.33±45.04	-15.56±3.62	0.40±0.18	0.071±0.058	19.42±12.78	9.11±9.58	0.004±0.002

可以看出, 随着多花黄精炮制次数的增加, 样品粉末的明亮度 L 呈下降趋势, 色度值 a、b 整体呈现先上升后下降的趋势, 表明样品亮度由明变暗, 颜色由浅黄色逐渐加深过渡为黄棕色, 然后黄色、棕色逐渐消退, 最后呈现黑褐色至漆黑色^[8]。

多花黄精炮制品常作为食品深受大众喜欢, 硬度、黏合性、弹力、内聚力、胶着力、咀嚼力、恢复力等物性参数是食品品质评价的重要指标。硬度是影响多花黄精炮制品适口性的重要因子之一。不同样品中生品的硬度值最高, 为 2418.26 g, 显著高于炮制品。10 个样品的弹性、恢复力无显著变化。内聚力可反映多花黄精炮制前后各样品内部黏结的强度, 内聚力最大的是 SD9, 最小的是 SD3; 胶着性和咀嚼性整体呈现先增大后减小的趋势; 咀嚼性数值由小到大, 反映咀嚼程度由易到难。

可见多花黄精不同炮制品的各指标均存在不同程度的差异, 这也说明采用物性参数可以有效表征多花黄精不同炮制品的时空差异性。

2.3 不同炮制品的内在指标测定

2.3.1 多糖测定 参考郑娜等^[9]方法测定多花黄精生品和各炮制品中多糖。制备 0.33 mg/mL 葡萄糖对照品溶液, 采用蒽酮-硫酸法于 582 nm 测定各样品吸光度。葡萄糖对照品质量浓度在 3.3~19.8 μg/mL 线性关系良好, 线性方程为 $Y=33.853 X+0.0547$, $R^2=0.9989$ 。按照多糖= cv/m (c : 根据标

准曲线计算出的供试品溶液中葡萄糖质量浓度; v : 样品溶液的体积; m : 样品质量) 计算。

2.3.2 还原糖测定 参考张志君等^[10]采用 DNS 法测定还原糖。取多花黄精生品和各炮制品, 使用 80%乙醇超声处理 30 min, 制得供试品溶液; 以葡萄糖作为对照品, 葡萄糖在 5.6~28.0 μg/mL 线性关系良好, 线性方程 $Y=30.7260 X-0.0853$, $R^2=0.9965$ 。按照还原多糖= cv/m (c : 根据标准曲线计算出的供试品溶液中葡萄糖质量浓度; v : 样品溶液的体积; m : 样品质量) 计算。

2.3.3 皂苷测定 参照徐雅静等^[11]采用香草醛冰醋酸-高氯酸法测定皂苷。80%乙醇超声处理多花黄精生品和各炮制品, 制备供试品溶液。配制 0.5 mg/mL 薯蓣皂苷元对照品溶液, 薯蓣皂苷元在 0.05~0.30 mg 线性关系良好, 线性方程 $Y=1.7234 X+0.0684$, $R^2=0.9977$ 。按照皂苷= mv/M (m : 根据标准曲线计算出的供试液中薯蓣皂苷元质量; v : 样品溶液的体积; M : 样品质量) 计算。

2.3.4 黄酮测定 参考曹冠华等^[12]采用硝酸铝-亚硝酸钠显色法测定黄酮。70%乙醇超声处理多花黄精生品和各炮制品, 制得各供试品溶液。制得 0.2 mg/mL 芦丁对照品溶液, 芦丁在 0.004~0.064 mg/mL 线性关系良好, 线性方程为 $Y=11.893 X-0.0074$, $R^2=0.9977$ 。按照黄酮= cv/m (c : 根据标准曲线计算出的供试品溶液中芦丁质量浓度; v : 样

品溶液的体积； m ：样品质量）计算。

2.3.5 蛋白测定 参考国标 GB/T 5009.5-2016《食品中蛋白质的测定》中的凯氏定氮法并稍加改动，测定多花黄精各炮制品中蛋白。按照蛋白 = $(V_2 - V_1) \times c \times 14 \times 6.25 / 1000m$ (V_1 、 V_2 ：空白管和样品管所消耗盐酸标准滴定溶液体积； c ：盐酸标准滴定液质量浓度； m ：样品质量；14：氮的物质的量质量；6.25：一氮换算成粗蛋白的平均系数）计算。

2.3.6 脂肪测定 参考国标 GB/T 5009.6-2016《食品中脂肪的测定》中的索氏提取法，测定多花黄精各炮制品中脂肪。按照脂肪 = $(m_1 - m_2) / m_0$ (m_1 ：提取前样品和滤纸筒的质量； m_2 ：提取后样品和滤纸筒的质量； m_0 ：样品质量）计算。

2.3.7 纤维测定 参考国标 GB/T 5009.88-2014《食品中膳食纤维的测定》中总膳食纤维的测定并稍加改动，测定多花黄精各炮制品中纤维素。按照纤维素 = $[(m_{R1} + m_{R2}) / 2 - m_P - m_A - m_B] / (m_1 + m_2) / 2$ (m_{R1} 、 m_{R2} ：双份试样残渣的质量； m_P ：试样残渣中蛋白质质量； m_A ：试样残渣中灰分质量； m_B ：试剂空白质量； m_1 、 m_2 ：测定时双份试样取样质量）计算。

由表 2 可知随着炮制次数的增加，多糖质量分数显著降低，从 FD 的多糖 (9.42 ± 0.31)%，骤降到 SD4 的 (1.51 ± 0.13)%，后面多糖质量分数基本趋于稳定，SD9 的多糖质量分数为 (1.79 ± 0.12)%。

多糖质量分数这一变化过程可能是多花黄精在蒸制过程中处于高温高湿条件下，使多糖水解成单糖和低聚糖^[13]；还原糖的质量分数显著升高，由 FD (2.6 ± 0.1)%，上升到 SD7 的 (37.72 ± 0.58)%，到 SD9 的 (34.91 ± 0.56)%。总皂苷质量分数呈现先上升后下降的趋势，由 FD 的 (0.63 ± 0.09)%逐渐上升到 (7.28 ± 0.10)%，再逐步下降到 SD9 的 (2.81 ± 0.04)%，研究也发现炮制过程中，甾体皂苷类成分存在相互转换，薯蓣皂苷在长时间的高温条件下可脱去 2~3 个糖生成次级产物延龄草苷和薯蓣皂苷元^[14]；总黄酮质量分数呈逐渐上升的趋势，由 FD 的 (0.12 ± 0.00)%到 SD9 的 (0.85 ± 0.01)%，这一现象可能是由于植物组织的细胞壁在加热的条件下被软化破坏，使植物细胞中黄酮类物质被释放出来。蛋白、脂肪、纤维质量分数都呈现下降趋势，蛋白质质量分数由 FD 的 (14.56 ± 0.66)%到 SD9 的 (9.18 ± 2.09)%；脂肪的质量分数由 FD (11.1 ± 0.80)%降低到 SD9 的 (6.83 ± 0.17)%；纤维质量分数从 FD 的 (3.14 ± 0.12)%降至 SD9 的 (1.45 ± 0.07)%。研究发现黄精中的膳食纤维具有清除自由基、结合胆碱酸盐的能力，能够调节糖脂代谢，而炮制后膳食纤维清除自由基、结合胆碱酸盐的能力增强，与炮制后的多花黄精体外抗氧化能力、降血糖能力提升具有相关性^[15]。

表 2 多花黄精炮制品的内在指标 ($\bar{x} \pm s$, $n = 10$)

Table 2 Intrinsic indexes of *P. cyrtonema* Hua in processed products ($\bar{x} \pm s$, $n = 10$)

样品	多糖/%	还原糖/%	皂苷/%	黄酮/%	蛋白/%	脂肪/%	纤维/%
FD	9.42 ± 0.31	2.60 ± 0.10	0.63 ± 0.09	0.12 ± 0.00	14.56 ± 9.57	11.10 ± 0.80	3.14 ± 0.12
SD1	3.53 ± 0.34	20.89 ± 0.72	2.91 ± 0.17	0.20 ± 0.01	13.44 ± 7.94	10.09 ± 0.67	2.37 ± 0.10
SD2	1.52 ± 0.18	22.61 ± 0.58	4.28 ± 0.15	0.48 ± 0.01	12.44 ± 3.31	9.51 ± 0.18	2.31 ± 0.20
SD3	1.51 ± 0.13	27.84 ± 0.89	7.28 ± 0.10	0.46 ± 0.01	12.10 ± 1.45	8.57 ± 0.6	2.09 ± 0.05
SD4	2.38 ± 0.31	32.06 ± 0.58	6.08 ± 0.12	0.69 ± 0.01	11.86 ± 4.72	8.15 ± 0.39	1.96 ± 0.04
SD5	1.84 ± 0.30	34.83 ± 0.82	3.50 ± 0.08	0.73 ± 0.01	10.65 ± 2.24	7.74 ± 0.13	1.92 ± 0.03
SD6	1.86 ± 0.23	35.93 ± 0.56	3.51 ± 0.06	0.78 ± 0.01	10.90 ± 7.16	7.43 ± 0.14	1.80 ± 0.04
SD7	2.38 ± 0.24	37.72 ± 0.58	2.87 ± 0.04	0.84 ± 0.01	10.36 ± 3.32	7.22 ± 0.16	1.74 ± 0.11
SD8	2.31 ± 0.34	34.95 ± 0.57	2.77 ± 0.03	0.86 ± 0.01	9.89 ± 5.99	6.79 ± 0.16	1.55 ± 0.16
SD9	1.79 ± 0.12	34.91 ± 0.56	2.81 ± 0.04	0.85 ± 0.01	9.18 ± 2.09	6.83 ± 0.17	1.45 ± 0.07

2.4 不同炮制品的生物活性测定

取多花黄精不同炮制品，用 70%乙醇超声提取 30 min，制成 50、25、20、15、10、5 mg/mL 溶液，参考文献方法并改进^[16-17]，对各样品进行 DPPH、ABTS 自由基清除率测定，参考文献报道方法并改

进^[18]，对各样品进行 α -葡萄糖苷酶、胰脂肪酶抑制率的测定，分别计算各样品对自由基的清除率、酶的抑制率和 IC_{50} 值，各多花黄精炮制品样品 DPPH、ABTS 自由基清除率和 α -葡萄糖苷酶、胰脂肪酶抑制率的结果见表 3，各活性指标的 IC_{50} 值见表 4。

表 3 多花黄精炮制品各活性指标清除率和抑制率变化 ($\bar{x} \pm s, n = 10$)

Table 3 Scavenging and inhibition rates of activity index of *P. cyrtanema* Hua processed products ($\bar{x} \pm s, n = 10$)

样品	质量浓度/(mg·mL ⁻¹)	DPPH 清除率/%	ABTS 清除率/%	质量浓度/(mg·mL ⁻¹)	α-葡萄糖苷酶抑制率/%	胰脂肪酶抑制率/%
FD	25	35.16±8.30	44.50±4.91	50	49.00±2.95	38.48±1.10
	20	32.37±7.46	34.38±1.07	25	43.06±0.65	26.58±0.57
	15	27.65±5.81	31.57±2.29	20	36.17±1.54	22.96±3.11
	10	21.86±11.67	30.12±2.88	10	28.07±3.93	15.38±2.57
	5	15.22±11.64	24.90±3.91	5	21.40±3.57	4.14±3.76
SD1	25	39.34±2.06	45.22±0.81	50	61.21±0.76	35.86±3.99
	20	36.55±5.30	42.33±0.87	25	48.91±3.98	11.91±5.64
	15	32.69±3.00	38.96±1.43	20	35.67±6.72	8.47±5.65
	10	27.12±6.95	36.31±1.38	10	20.25±11.84	6.59±3.36
	5	20.79±5.85	33.49±1.90	5	12.92±6.78	0.94±14.96
SD2	25	43.41±0.74	52.01±1.22	50	62.46±2.63	51.10±0.68
	20	40.62±1.65	51.29±0.73	25	44.55±3.03	30.97±0.70
	15	32.80±5.88	48.89±0.74	20	40.34±2.67	26.57±1.72
	10	30.55±3.80	47.99±0.38	10	32.87±3.58	16.96±2.31
	5	27.33±6.55	44.99±1.22	5	18.20±5.19	7.87±4.64
SD3	25	46.20±5.92	58.73±0.71	50	63.71±1.12	45.19±0.73
	20	39.55±2.93	55.49±0.68	25	48.75±1.46	23.07±1.96
	15	36.55±0.51	52.31±0.60	20	36.60±3.21	20.17±3.77
	10	33.65±7.23	51.17±1.13	10	30.06±5.88	7.24±3.84
	5	29.15±6.74	49.73±1.16	5	17.40±8.06	3.54±1.21
SD4	25	51.88±1.99	67.25±1.75	50	71.96±1.72	60.71±0.32
	20	46.30±2.78	63.83±1.29	25	53.58±3.93	39.10±1.11
	15	43.62±1.70	58.67±1.61	20	43.46±5.99	36.50±2.50
	10	39.12±3.11	55.19±4.87	10	31.31±12.22	20.93±2.48
	5	30.76±2.63	51.29±2.84	5	16.64±6.71	10.76±4.79
SD5	25	48.02±2.71	61.02±1.13	50	66.98±3.84	58.86±0.72
	20	44.48±2.74	58.30±1.18	25	57.63±0.94	20.39±1.61
	15	42.34±2.67	55.91±1.15	20	45.33±7.22	18.60±1.89
	10	38.05±3.71	52.90±2.92	10	31.78±5.88	17.47±4.67
	5	31.83±5.62	49.77±1.30	5	19.66±4.52	15.13±5.47
SD6	25	51.77±3.46	57.44±1.69	50	63.24±5.19	55.51±1.20
	20	47.59±3.38	55.34±0.81	25	52.18±1.37	34.50±0.34
	15	43.09±3.42	52.05±1.05	20	41.28±6.92	26.70±2.04
	10	40.73±0.91	50.45±1.41	10	37.23±5.93	10.78±2.94
	5	32.05±4.05	48.24±1.74	5	24.89±6.18	5.09±4.17
SD7	25	48.02±2.15	59.26±0.50	50	58.24±2.95	45.09±1.88
	20	41.91±1.17	56.48±1.49	25	40.15±0.93	33.70±2.99
	15	37.41±2.16	53.75±1.63	20	34.32±1.25	29.95±0.37
	10	34.73±2.45	51.70±1.56	10	23.92±5.46	20.66±4.35
	5	33.65±0.55	0.74±1.51	5	12.92±2.74	13.77±9.04
SD8	25	46.52±0.80	59.03±0.55	50	56.88±5.10	47.91±0.33
	20	43.52±1.71	57.02±1.01	25	41.14±6.90	27.05±3.99
	15	38.05±1.76	54.62±0.52	20	36.18±2.59	23.19±2.27
	10	34.94±2.13	52.07±2.96	10	26.52±4.92	19.72±2.22
	5	33.23±4.36	45.76±1.44	5	14.85±9.73	8.52±1.77
SD9	25	48.23±2.40	55.28±1.56	50	65.55±3.12	51.01±0.52
	20	45.02±1.24	52.67±0.82	25	41.26±4.50	31.77±0.21
	15	35.16±1.90	47.77±1.81	20	36.93±0.58	27.48±3.59
	10	33.44±3.47	44.56±1.18	10	29.00±4.62	24.99±1.52
	5	30.33±3.72	41.08±0.00	5	13.99±1.92	11.66±8.18

表 6 多花黄精炮制品色度值与指标含量变化回归分析结果

Table 6 Results of regression analysis of the chromaticity value of *P. cyrtonema* Hua processed products with contents changes

色度值	项目	平方和	自由度	均方	F	P
L	回归	13 774.238	7	1 967.748	479.616	0.000**
	残差	90.261	22	4.103		
	总计	13 864.499	29			
a	回归	368.193	7	52.599	22.998	0.000**
	残差	50.317	22	2.287		
	总计	418.510	29			
b	回归	1 518.788	7	216.970	16.331	0.000**
	残差	292.290	22	13.286		
	总计	1 811.079	29			

*表示在 $P<0.05$ 水平显著相关，**表示在 $P<0.01$ 水平显著相关。
*indicates a significant correlation at the $P<0.05$ level, and ** indicates a significant correlation at the $P<0.01$ level.

表 7 多花黄精炮制品色度值与指标含量变化回归分析
Table 7 Results of regression analysis of the chromaticity value of *P. cyrtonema* Hua processed products with the changes of seven contents

色度值	R^2	校正 R^2	估算标准错误
L	0.993	0.991	2.025 53
a	0.880	0.842	1.512 33
b	0.839	0.787	3.644 99

影响 a ($P<0.01$)， X_2 、 X_3 、 X_6 可正向影响 a ($P<0.01$)； X_1 、 X_3 、 X_4 、 X_7 可负向影响 b ($P<0.05$)，且 X_4 、 X_7 显著负向影响 b ($P<0.01$)， X_2 、 X_5 、 X_6 可正向影响 b ($P<0.01$)，以上结果说明内在指标变化可影响色度的变化并且色度变化和内在指标呈一定的线性相关性。

2.6 相关性分析

对多花黄精不同炮制品的内在指标和质构指标进行皮尔森相关性分析可揭示两者的关联程度，为筛选核心指标提供依据。如表 8 所示，内在指标中多糖与还原糖、皂苷、黄酮均呈现显著负相关性 ($P<0.01$)，与粗蛋白、粗脂肪、粗纤维均呈显著正相关 ($P<0.01$)；不同炮制品的物性参数具有较好的相关性，L、a、b、硬度、黏合性、弹力、内聚力、胶着力和咀嚼力均呈现两两显著性相关 ($P<0.01$)；物性参数和内在指标也具有较好的相关性，如 L、a、b、硬度、胶着力与多糖、还原糖、皂苷、黄酮、粗蛋白、粗脂肪、粗纤维两两之间都存在一定的相

关性；质构指标之间也存在一定相关性，如硬度与色度值 L、b 呈显著正相关性 ($P<0.01$)、与 a 呈显著负相关 ($P<0.01$)，胶着力与色度 b、硬度、内聚力呈显著正相关 ($P<0.01$)，咀嚼力和色度 b、弹力、内聚力、胶着力呈显著正相关 ($P<0.01$)；这在一定程度上说明多花黄精炮制品内在指标与内在指标、内在指标与质构指标、质构指标与质构指标之间都呈一定相关性，说明内在指标与质构指标是相互关联的。

2.7 熵权法和灰色关联法分析

用 SPSSPro、metlab 等软件将多糖、还原糖、皂苷、黄酮、蛋白质、脂肪、纤维质量分数和体外活性指标（胰脂肪酶、 α -葡萄糖苷酶、DPPH、ABTS 的 IC_{50} 值）用灰色关联度和熵权法进行评价，质量分数指标属于正向指标，活性指标的 IC_{50} 值属于负向指标。

表 9 是利用熵权法对多花黄精炮制品中的成分质量分数变化、质构变化进行权重排序，其中成分质量分数指标中多糖的熵值最低，为 0.8，所占权重最高为 22.53%，其次是脂肪。评价指标中多糖的总权重最高，说明多糖是黄精中主要活性成分。物性参数中所占权重最高的为黏合性，熵值为 0.91，权重为 9.93%。信息熵 e 反映指标数据的混乱程度，熵值越大表明该指标的信息不确定性越高，反之熵值越小，不确定性越小。从表 9 可看出内在指标比质构指标所占权重高，表明多花黄精炮制品品质评价中内在指标变化对评价结果影响最大。

表 8 多花黄精炮制品内在指标与质构指标的皮尔森相关系数

Table 8 Pearson's correlation coefficients between intrinsic and qualitative indices of *P. cyrtonema* Hua processed products

指标	多糖	还原糖	皂苷	黄酮	粗蛋白	脂肪	粗纤维	L	a	b	硬度	黏合性	弹力	内聚力	胶着力	咀嚼力
多糖	1															
还原糖	-0.846**	1														
皂苷	-0.627**	0.366*	1													
黄酮	-0.667**	0.915**	0.144	1												
粗蛋白	0.683**	-0.889**	-0.092	-0.950**	1											
粗脂肪	0.678**	-0.911**	-0.187	-0.948**	0.936**	1										
粗纤维	0.787**	-0.940**	-0.262	-0.910**	0.931**	0.942**	1									
L	0.922**	-0.934**	-0.529**	-0.879**	0.843**	0.848**	0.882**	1								
a	-0.808**	0.579**	0.742**	0.299	-0.355	-0.382*	-0.555**	-0.629**	1							
b	0.116	-0.414*	0.104	-0.679**	0.560***	0.566**	0.387*	0.459*	0.346	1						
硬度	0.886**	-0.968**	-0.465**	-0.914**	0.891**	0.913**	0.939**	0.981**	-0.620**	0.455*	1					
黏合性	0.161	-0.105	-0.105	0.036	-0.051	-0.015	-0.021	0.05	-0.089	-0.098	0.043	1				
弹力	-0.099	0.012	0.124	-0.088	0.027	0.087	-0.011	-0.009	0.150	0.138	-0.031	-0.515**	1			
内聚力	-0.346	0.205	0.543**	0.007	-0.118	-0.139	-0.196	-0.232	0.498**	0.163	-0.258	-0.224	0.416*	1		
胶着力	0.214	-0.467**	0.216	-0.716**	0.588**	0.589**	0.486**	0.488**	0.177	0.741**	0.485**	-0.267	0.31	0.607**	1	
咀嚼力	0.11	-0.331	0.275	-0.567**	0.442*	0.492**	0.351	0.342	0.249	0.615**	0.324	-0.317	0.600**	0.671**	0.908**	1

*表示在 $P < 0.05$ 水平显著相关, **表示在 $P < 0.01$ 水平显著相关。

*indicates a significant correlation at the $P < 0.05$ level, and * * indicates a significant correlation at the $P < 0.01$ level.

表 9 熵权法结果

Table 9 Results of entropy weighting method

指标	熵值	差异系数	权重/%	指标	熵值	差异系数	权重/%
多糖	0.80	0.20	22.53	a	0.97	0.03	3.56
还原糖	0.97	0.03	3.96	b	0.97	0.03	3.07
皂苷	0.95	0.05	5.72	硬度	0.97	0.03	3.32
黄酮	0.94	0.06	6.48	黏合性	0.91	0.09	9.93
蛋白质	0.94	0.06	6.85	弹力	0.98	0.02	2.75
脂肪	0.90	0.10	11.31	内聚力	0.98	0.02	2.03
纤维素	0.93	0.07	8.31	胶着力	0.97	0.03	3.23
L	0.97	0.03	3.74	咀嚼力	0.97	0.03	3.19

由表 10、11 通过对各样品内在指标(多糖、还原糖、皂苷等)、质构(硬度、黏合性等)和活性变化进行灰色关联分析得灰色关联系数、灰色关联度,关联系数值为 0~1,数值越高表明其关联程度越大,关联度数值越高说明样品品质越好。从表 11 可看出质量分数、质构、活性变化的关联度系数都在 0.33~0.98;随着炮制次数的增加,各指标的关联系数值随着各指标的变化而波动,这也说明了不同炮制阶段各指标对样品的品质影响是不一样的。表 10 可看出对炮制品进行综合评测,SD4~SD6 的

灰色关联度值相对最低,SD4 的灰色关联度数值最大,为 0.64,因此综合看 SD4 品质最佳。

3 讨论

黄精在古代有“米铺”“仙人余粮”之美称,具有使人身强体壮,预防疾病、补充能量的功效,古时缺粮也被当作食物充饥,这与黄精富含多糖、蛋白质、脂肪、纤维素等营养成分密不可分^[19]。研究表明,黄精具有抗氧化、降血糖、抗肿瘤等药理作用,虽然其确切物质基础仍不清楚,但多认为与其主要活性成分多糖、还原糖、皂苷、黄酮等相关^[20],

表 10 灰色关联系数
Table 10 Gray correlation coefficients

指标	灰色关联系数									
	FD	SD1	SD2	SD3	SD4	SD5	SD6	SD7	SD8	SD9
多糖	0.93	0.76	0.61	0.40	0.38	0.35	0.34	0.34	0.34	0.34
还原糖	0.33	0.39	0.44	0.51	0.52	0.52	0.53	0.56	0.60	0.63
皂苷	0.34	0.36	0.40	0.43	0.47	0.50	0.53	0.68	0.82	0.98
黄酮	0.33	0.34	0.35	0.36	0.40	0.45	0.49	0.48	0.48	0.47
蛋白质	0.98	0.88	0.79	0.70	0.66	0.59	0.57	0.54	0.55	0.53
脂肪	0.85	0.82	0.75	0.63	0.63	0.58	0.54	0.51	0.46	0.45
纤维素	0.93	0.82	0.68	0.52	0.54	0.53	0.51	0.47	0.45	0.45
L	0.34	0.38	0.42	0.47	0.59	0.71	0.82	0.83	0.84	0.85
a	0.34	0.48	0.63	0.75	0.71	0.65	0.64	0.71	0.83	0.94
b	0.71	0.57	0.45	0.34	0.44	0.52	0.63	0.62	0.61	0.58
硬度	0.35	0.38	0.43	0.48	0.54	0.58	0.64	0.68	0.73	0.76
黏合性	0.38	0.38	0.39	0.52	0.52	0.52	0.40	0.43	0.41	0.43
弹力	0.73	0.72	0.54	0.58	0.58	0.66	0.65	0.57	0.57	0.52
内聚力	0.95	0.85	0.77	0.67	0.73	0.76	0.89	0.70	0.61	0.42
胶着力	0.56	0.48	0.46	0.41	0.52	0.59	0.76	0.62	0.57	0.42
咀嚼力	0.68	0.61	0.48	0.46	0.55	0.66	0.81	0.64	0.60	0.44
DPPH	0.33	0.35	0.36	0.37	0.38	0.39	0.39	0.41	0.42	0.44
ABTS	0.33	0.34	0.34	0.34	0.45	0.57	0.69	0.76	0.84	0.92
α-葡萄糖酶	0.33	0.42	0.52	0.61	0.62	0.64	0.65	0.66	0.67	0.67
脂肪酶	0.33	0.36	0.38	0.40	0.47	0.53	0.60	0.57	0.54	0.50

表 11 灰色关联度
Table 11 Gray correlation

样品	灰色关联度	样品	灰色关联度
FD	0.61	SD5	0.60
SD1	0.48	SD6	0.62
SD2	0.53	SD7	0.56
SD3	0.54	SD8	0.55
SD4	0.64	SD9	0.54

因此对多花黄精不同炮制品进行评价时选择多糖、还原糖、皂苷、黄酮、蛋白质、脂肪、纤维素质量分数作为品质评价指标。

本研究基于“辩状论质”研究思路，采用色差法、质构检测等现代可视化方式探究多花黄精炮制过程中色度、物性参数的变化规律，同时结合已报道的黄精中主要活性成分多糖、还原糖、皂苷、黄酮和营养成分蛋白质、脂肪、纤维素的变化趋势，采用皮尔森分析、熵权法和灰色关联法等数据挖

方法探究炮制次数 - 内在指标 - 质构特性 - 生物活性之间的相关性，为筛选最佳炮制品提供了科学依据。

本研究表明多花黄精炮制过程中成分质量分数、质构参数、活性大小变化明显，颜色逐渐黑如漆，质地逐渐柔软，体外抗氧化和降血糖活性呈现先升高后降低的趋势。对化学成分和色度进行线性相关分析发现，两者呈现一定的线性相关性，这也为古人以“色”辨“质”提供了试验数据。通过对多糖等成分质量分数与质构参数的皮尔森相关性分析发现，成分质量分数变化在一定程度上影响质构参数的变化，这也为传统口尝评价药材质量，以“味”辨“质”提供了参考。

综上，本研究根据颜色、物性等物性参数和蛋白质、纤维素、多糖、黄酮、皂苷质量分数等内在指标，抗氧化和糖脂代谢的体内生物活性，对多花黄精不同炮制品质量进行了客观评价，明确了炮制次数对多花黄精饮片的影响具有显著性，提示炮制

4 次作为最佳炮制次数具有合理性, 为拓展黄精“九蒸九制”工艺提供了实验依据, 并可进一步简化炮制工艺过程。

利益冲突 所有作者均声明不存在利益冲突

参考文献

- [1] 李时珍. 《本草纲目》释名风药 [J]. 广西地方志, 2024(S1): 20.
- [2] 李得天, 封亮, 贾晓斌, 等. 黄精炮制原理解析及工艺优化策略 [J]. 中草药, 2024, 55(20): 7110-7121.
- [3] 王皓南, 田滢琦, 刘大会, 等. 中药“辨状论质”的历史、发展与应用 [J]. 中药材, 2021, 44(3): 513-519.
- [4] 贾延莎, 张雪佳, 谭宁华. 中药材中化学成分时空特异性的研究进展 [J]. 中草药, 2024, 55(24): 8580-8588.
- [5] Guan Y, Liang Z, Li R, *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.
- [6] 黄莉, 杨磊, 金凯, 等. AHP-CRITIC 综合加权联用响应面法的蜜百合炮制工艺优选及颜色相关性分析 [J]. 中草药, 2024, 55(18): 6174-85.
- [7] 轩瑞瑞, 陈艳萍, 刘春菊, 等. 基于熵权法和灰色关联度法的鲜食糯玉米品质评价 [J]. 食品工业科技, 2021, 42(14): 241-248.
- [8] 郑晓倩, 徐超, 金传山, 等. 基于颜色变化的“九蒸九晒”黄精炮制火候及内外在质量的相关性研究 [J]. 中草药, 2022, 53(6): 1719-1729.
- [9] 郑娜, 李晔, 刘军锋, 等. 黄精蜜炙工艺优化及体内外活性评价 [J]. 中草药, 2025, 56(4): 1171-1183.
- [10] 张志君, 孙伟, 李永亮, 等. 3,5-二硝基水杨酸法联合苯酚-浓硫酸法测定不同产地黄精中多糖含量 [J]. 中国实验方剂学杂志, 2012, 18(6): 106-109.
- [11] 徐雅静, 左祥铎, 崔鹏, 等. 滇黄精显微特征指数与化学成分相关性研究 [J]. 时珍国医国药, 2023, 34(4): 825-827.
- [12] 曹冠华, 张雪, 顾雯, 等. 不同产地滇黄精丛枝菌根真菌、深色有隔内生真菌定殖调查及与主要功效成分含量相关性分析 [J]. 中草药, 2019, 50(16): 3930-3936.
- [13] 王天梅, 王华磊, 李丹丹, 等. 不同炮制处理对多花黄精有效成分含量的影响 [J]. 时珍国医国药, 2022, 33(4): 866-869.
- [14] 王倩. 黄精炮制过程中甾体皂苷的变化研究 [D]. 昆明: 昆明理工大学, 2017.
- [15] 胡舒婷. 黄精的营养成分研究与产品试制 [D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2022.
- [16] Fu L, Chen H, Dong P, *et al.* Effects of ultrasonic treatment on the physicochemical properties and DPPH radical scavenging activity of polysaccharides from mushroom *Inonotus obliquus* [J]. *J Food Sci*, 2010, 75(4): C322-C327.
- [17] Li Q, Zeng J, Gong P, *et al.* Effect of steaming process on the structural characteristics and antioxidant activities of polysaccharides from *Polygonatum sibiricum* rhizomes [J]. *Glycoconj J*, 2021, 38(5): 561-572.
- [18] Hamdan, I I, Kasabri V N, Al-Hiari Y M, *et al.* Pancreatic lipase inhibitory activity of selected pharmaceutical agents [J]. *Acta Pharm (Zagreb, Croatia)*, 2019, 69(1): 1-16.
- [19] 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): 4732-4739.
- [20] Lin H, Wang W, Peng M, *et al.* Pharmacological properties of *Polygonatum* and its active ingredients for the prevention and treatment of cardiovascular diseases [J]. *Chin Med*, 2024, 19(1): 1.

[责任编辑 解学星]