

粉葛水煎液相态拆分及不同相态中主要成分的含量测定

杨勋玥, 黄优生, 谢留明, 简龄龙, 董欢欢*, 朱卫丰

江西中医药大学药学院, 江西 南昌 330004

摘要: 目的 对生粉葛 *Puerariae Thomsonii Radix*、清炒粉葛、煨粉葛的水煎液进行相态拆分, 并对各粉葛煎液不同相态中的主要成分进行表征, 为解析中药汤剂的起效机制提供科学性参考。方法 采用高速离心和透析技术对不同种粉葛水煎液进行相态拆分, 建立相态拆分工艺; 用透射电子显微镜 (transmission electron microscope, TEM) 观察其不同相态的粒子形态; 马尔文粒径仪观察其粒径、多分散系数 (polydispersity index, PDI)、 ζ 电位等; 结合紫外光谱图和傅立叶变换红外光谱图 (Fourier transform infrared spectroscopy, FTIR) 比较不同炮制方法及各相态的差异; 采用 HPLC 等方法测定不同相态中多糖、总黄酮、总淀粉及抗性淀粉含量以及葛根素、3-甲氧基葛根素、大豆苷、染料木苷及大豆苷元 5 个指标成分的含量, 评估生粉葛、清炒粉葛、煨粉葛水煎液中沉淀相、胶体相、真溶液相的载药量。结果 3 种粉葛水煎液的沉淀相和真溶液相形态差异显著, 胶体相粒子形态均呈现圆球形, 胶体相中丁达尔效应明显。水煎液中的多糖、总淀粉、总异黄酮及异黄酮类指标成分均集中在胶体相中。生粉葛、清炒粉葛、煨粉葛中胶体相的多糖质量分数分别为水煎液的 159.53%、333.48%、236.72%; 生粉葛、清炒粉葛、煨粉葛中胶体相的总淀粉质量分数分别为水煎液的 462.70%、395.15%、351.70%; 生粉葛、清炒粉葛、煨粉葛中胶体相的总黄酮质量分数分别为水煎液的 570.00%、432.87%、659.93%; 异黄酮各指标成分含量胶体相在全溶液中的占比依次为煨粉葛 > 清炒粉葛 > 生粉葛。结论 粉葛水煎液中存在沉淀相、胶体相和真溶液相 3 个相态, 并可用高速离心机及超滤管法进行有效拆分。粉葛水煎液的 3 个不同相态中胶体相态的主要成分含量明显高于其他相态, 不同炮制方法中煨粉葛胶体相有效成分含量较高。上述结果可为中药汤剂起效的多维性研究提供一定参考。

关键词: 粉葛; 水煎液; 相态; 表征; 胶体相; 含量测定; 有效相态

中图分类号: R283.6

文献标志码: A

文章编号: 0253-2670(2025)10-3487-12

DOI: 10.7501/j.issn.0253-2670.2025.10.008

Resolution of liquid phase and determination of main components in different phases of *Puerariae Thomsonii Radix* by different processing methods

YANG Xunyue, HUANG Yousheng, XIE Liuming, JIAN Linglong, DONG Huanhuan, ZHU Weifeng

School of Pharmacy, Jiangxi University of Chinese Medicine, Nanchang 330004, China

Abstract: Objective Phase separation of the decoction of raw Fenge (*Puerariae Thomsonii Radix*, PTR), stir-fried PTR and simmered PTR was carried out, and the main components in the different phases of each decoction of PTR were characterized, so as to provide scientific references for the analysis of the mechanism of the effect of traditional Chinese medicine decoction. **Methods** High-speed centrifugation and dialysis techniques were used to separate the phases of the decoction of different species of PTR and establish a phase separation process. The particle morphology of the different phases of the decoction was observed by transmission electron microscopy (TEM); the particle size, polydispersity index (PDI), and potential were observed by Malvern particle sizing instrument; the UV and Fourier transform infrared spectroscopy (FTIR) were combined to characterize the different processing methods and the main components in the different phases of the decoction. HPLC was used to determine the content of polysaccharides, total flavonoids, total amylose, resistant starch, as well as the content of puerarin, 3-methoxypuerarin, soybean glycosides, genistein, and soybean glycosides, etc., and to evaluate the content of the five index components. The drug loading capacity of the precipitation phase, colloidal phase and real solution phase in the decoction of raw PTR, stir-fried PTR and simmered PTR were evaluated. **Results** The morphology of the precipitation phase and the real solution phase of the three decoctions differed significantly, and the particle morphology of the

收稿日期: 2025-01-04

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (82260765); 江西中医药大学科技创新团队发展计划 (CXTD-22004)

作者简介: 杨勋玥 (1999—), 女, 硕士研究生, 研究方向为中药药剂学。E-mail: 806647713@qq.com

*通信作者: 董欢欢 (1984—), 男, 博士, 副教授, 研究方向为中药药剂学。E-mail: donghh@jxutcm.edu.cn

colloidal phase was spherical, and the Tyndall effect was obvious in the colloidal phase. The polysaccharides, total starch, total isoflavones and isoflavones in the decoction were concentrated in the colloidal phase. The polysaccharide content of the colloidal phase in raw PTR, stir-fried PTR, and simmered PTR accounted for 159.53%, 333.48%, and 236.72% of the whole solution, respectively; the total starch content of the colloidal phase in raw PTR, stir-fried PTR, and simmered PTR accounted for 462.70%, 395.15%, and 351.70% of the whole solution, respectively. The total flavonoids content in the colloidal phase of PTR, stir-fried PTR and simmered PTR accounted for 570.00%, 432.87% and 659.93% of the whole solution, respectively; and the ratio of the colloidal phase of isoflavonoids content to the whole solution was as follows: simmered PTR > stir-fried PTR > raw PTR. **Conclusion** The decoction of PTR was characterized by the presence of three phases: precipitation phase, colloid phase and real solution phase, and could be effectively separated by high-speed centrifuge and ultrafiltration tube method. Among the three different phases of the decoction, the content of the colloidal phase was significantly higher than that of the other phases, and the content of the active ingredients in the colloidal phase of simmered PTR was higher in different concoctions. The above results may provide some references for the multidimensional study of the potency of Chinese herbal decoctions.

Key words: *Puerariae Thomsonii Radix*; decoction; phase state; characterizatio; colloidal phase; content determination; effective phase state

汤剂是中药复方最常见的剂型之一,具有随证加减、灵活运用、精准给药等特点。目前对汤剂的传统研究主要侧重于化学组成与药效活性评价方面,而中药汤剂起效具有多维性,其为沉淀相、胶体相、真溶液相等组成的多相态体系,汤剂体系中的物相结构和化学成分会影响药效的发挥,仅从中药化学组成及其药效活性这种传统单一的视角来阐释汤剂的药物物质基础存在局限性,还应考虑有效成分所处汤液相态性质的影响^[1-2]。

研究表明,相态可能是中药汤剂药效物质的重要传递形式,其维持与变化过程中伴随着药效物质的装载、释放和效应发挥^[3-4]。如甘草与马钱子配伍产生的沉淀相可实现减毒增效作用^[5],麻杏石甘汤中发挥抗病毒作用的主要物质为自组装产生的胶体相^[6],当归补血汤中发现真溶液相为均相状态,多以小分子物质为分子或离子形式分散在介质中形成^[7]。从相态角度研究中药复方汤剂的质量及药效,探寻中药复方汤剂起效的有效相态,有利于提升中药制剂的安全性、稳定性与有效性,具有重要的应用价值。

随着结构中药学概念的兴起,炮制辅料参与下,中药汤剂中物相结构的变化引起的“减毒增效”作用逐渐被重视。因此,系统梳理各相态的形成及其机制,并从相态结构的视角探究炮制机制,可能是阐明炮制内涵的有效途径之一^[8]。粉葛(*Puerariae Thomsonii Radix*, PTR)具有解肌退热、生津透疹、厚肠止泻等功效,临床上可用于治疗泄泻等^[9]。关于不同方法炮制粉葛止泻机制的研究多关注异黄酮等特异性指标成分含量变化^[10],同时结合止泻药理实验推测其物质基础和作用机制,对粉葛中的非

指标性成分如多糖、淀粉等缺少必要的关注,同时也鲜见对多组分共作用和/或组分间协同作用的探究。本实验将生粉葛水煎液、清炒粉葛水煎液、煨粉葛水煎液进行拆分相态,并采用马尔文粒径仪及 TEM 对其不同相态进行表征,以证明汤剂中存在不同相态;并对生粉葛、清炒粉葛及煨粉葛水煎液中的多糖、总淀粉、抗性淀粉、总黄酮成分进行含量测定,采用 HPLC 法对异黄酮中葛根素、3-甲氧基葛根素、大豆苷、染料木苷及大豆苷元 5 种成分进行了含量测定,尝试从结构中药学的角度进一步阐明粉葛炮制的科学内涵,也为中药汤剂起效的多维性研究提供新的思路。

1 仪器与材料

1.1 仪器与设备

Sorvall Lynx 4000 型超高速低温离心机,美国 Thermo Fisher 公司;3kD 超滤离心管,截留相对分子质量 3 000,美国 Millipore 公司;DL552008 型激光笔,浙江得力集团有限公司;ZQWY-218V 型水浴恒温振荡器,上海知楚仪器有限公司;VM-E01 型快速卤素水分测定仪,江苏维科特仪器仪表有限公司;Zetasizer Nano-S 型马尔文纳米粒度仪,英国马尔文公司;EL204 型十万分之一分析天平,上海梅特勒-托利多仪器有限公司;UV-9000S 型紫外分光光度计,上海元析仪器有限公司;Spectrum Two 型傅里叶红外光谱仪,美国 Perkin Elmer 公司;Milli-Q 型超纯水系统,美国 Millipore 公司;BN-200 型高精度电子天平,台湾巨林樱花企业监制;BA210 Digital 型生物显微镜,麦克奥迪实业集团有限公司;JEM-1400FLASH 型透射电子显微镜(TEM),日本电子株式会社(JEOL);FD-1A-80 型冷冻干燥机,

上海豫明仪器有限公司；KQ-500DB 型数控超声波清洗器，昆山市超声仪器有限公司；TS-200 型振荡摇床，海门市其林贝尔仪器制造有限公司；安捷伦 1260 型高效液相色谱仪，美国安捷伦公司。

1.2 药物与试剂

生粉葛购于江西江中中药饮片有限公司，经江西中医药大学葛菲教授鉴定，为豆科葛属植物甘葛藤 *Pueraria thomsonii* Benth. 的干燥根，符合《中国药典》2020 年版一部标准。

2%磷酸，北京锐欣实验技术有限公司；D-(+)-无水葡萄糖，北京索莱宝科技有限公司；苯酚、浓硫酸均购于成都市科隆化学有限公司；乙醇，西陇科学股份有限公司；九水合硝酸铝、氢氧化钠、亚硝酸钠均购于上海麦克林生化科技有限公司；乙醚，成都市科隆化学有限公司；甲醇，默克 Sigma-Aldrich 西格玛奥德里奇贸易有限公司；淀粉总量检测试剂盒，批号 KB061，伊势久江苏连云港生物科技有限公司。对照品 3-甲氧基葛根素（CAS 117047-07-1，批号 J12HB173942）、芦丁（CAS 153-18-4，批号 J23HB189211）、染料木苷（CAS 529-59-9，批号 A09IB212043）、葛根素（CAS 3681-99-0，批号 D03HB202955）、大豆苷（CAS 552-66-9，批号 J14IB217445）及大豆苷元（CAS 486-66-8，批号 M30IB216167）均购于上海源叶生物科技有限公司，质量分数均 $\geq 98.0\%$ 。

2 方法与结果

2.1 炮制样品的制备

2.1.1 清炒粉葛 取 100 g 葛根放置在方盘中，165 °C 下烘制 40 min（间断翻炒）后，取出放凉，备用。样品见图 1。

2.1.2 煨粉葛 取 100 g 葛根放置在方盘中，并在方盘上下各铺上一层麦麸（用量为每 100 克葛根使用 30 g 麦麸）。165 °C 下煨制 40 min 后，取出放凉，备用。样品见图 1。

2.1.3 水分测定 并采用快速卤素水分测定仪测定

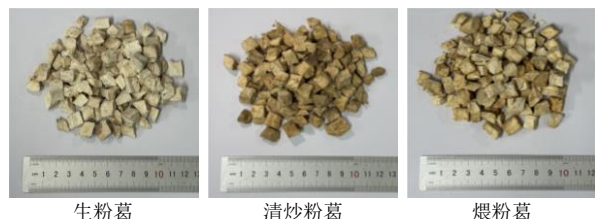


图 1 不同炮制方法的粉葛样品图

Fig. 1 Sample diagram of PTR with different processing methods

各样品中水分含量。结果生粉葛水分含量为 8.92%，清炒粉葛水分含量为 1.07%，煨粉葛水分含量为 1.76%。

2.2 中药汤剂的制备

取生粉葛、清炒粉葛和煨粉葛样品各 200 g，参照《医疗机构中药煎药室管理规范》进行煎煮后用 120 目滤网滤过^[11]，分别得生粉葛水煎液、清炒粉葛水煎液、煨粉葛水煎液。

2.3 相态拆分工艺的建立

本实验尝试以超滤管高速离心法拆分水煎液各相态，操作方便快捷，无需额外加入溶剂，样品浓度不会发生改变，重现性强，相态拆分流程示意图如图 2 所示。

将水煎液置于离心管中，6 000 r/min 离心（离心半径 13.7 cm）30 min，移出上清液备用，取下层沉淀物即为沉淀相态。上清液用 0.45、0.22 μm 微孔滤膜滤过，取滤过的液体于 3kD 超滤管中，8 000 r/min 离心（离心半径 13.7 cm）20 min，分离，外管溶液为真溶液相态，内管溶液为胶体相态^[12]。

基于微粒粒径汤剂相态可分为真溶液（ $< 1 \text{ nm}$ ）、胶体相（ $1 \sim 100 \text{ nm}$ ）、混悬相（ $0.5 \sim 10 \mu\text{m}$ ）、沉淀相（ $> 10 \mu\text{m}$ ）^[13]。如表 1 所示，不同方法炮制粉葛水煎液的沉淀相、胶体相都在粒径范围内，表明超滤管能拆分出符合粒径范围的胶体相。

2.4 粉葛水煎液不同相态的初步表征及成分测定

2.4.1 粉葛水煎液各相态的光学现象 将粉葛生品和炮制品的沉淀相溶液、胶体相溶液、真溶液相溶液进行外观形态观察，并利用激光笔产生的丁达尔效应区分胶体相态及其他相态溶液。

结果如图 3 所示，粉葛水煎液生品及其炮制品均较混浊，丁达尔效应较弱，粉葛水煎液生品沉淀相呈乳白色浑浊体系，炮制品沉淀相均为棕红色浑浊体系，煨粉葛较清炒粉葛颜色稍浅。沉淀相态液体浑浊，静置后有大量沉淀产生，3 组混悬体系激光光束均难以通过。生粉葛胶体相呈棕黄色，炮制品胶体相均为棕红色浑浊体系，煨粉葛较清炒粉葛颜色稍浅。3 组胶体相激光光束下均出现明显的丁达尔效应。生粉葛水煎液真溶液相呈棕黄色，炮制品真溶液相均为棕红色，真溶液色泽变浅淡，煨粉葛较清炒粉葛颜色稍浅。3 组真溶液相均出现微弱的丁达尔效应。

2.4.2 不同相态的 ζ 电位、PDI 及电导率表征 通过马尔文激光粒径仪对粉葛炮制前后煎煮全溶液及

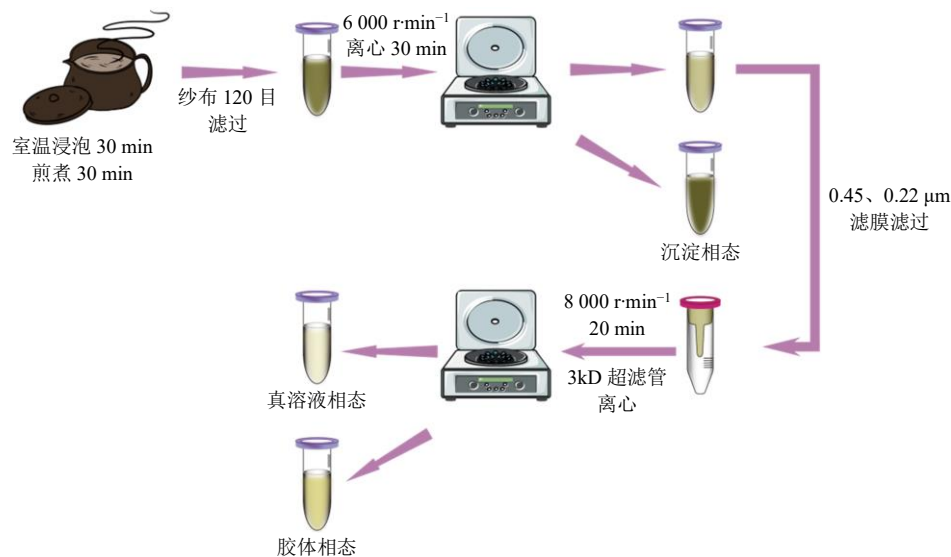


图 2 不同相态拆分流程示意图

Fig. 2 Schematic diagram of splitting process for different phases

表 1 不同相态的粒径、PDI、ζ 电位和电导率 ($\bar{x} \pm s, n = 3$)

Table 1 Particle size, PDI, ζ potential and conductivity for different phases ($\bar{x} \pm s, n = 3$)

相态	粒径/nm			PDI			ζ 电位/mV			电导率/mS		
	生粉葛	清炒粉葛	煨粉葛	生粉葛	清炒粉葛	煨粉葛	生粉葛	清炒粉葛	煨粉葛	生粉葛	清炒粉葛	煨粉葛
沉淀相	677.97±27.23	1 176.33±176.25	1 409.33±76.39	0.96±0.03	0.95±0.07	0.86±0.04	-3.33±0.31	-3.27±0.81	-2.48±0.03	2.14±0.14	2.42±0.14	2.48±0.18
胶体相	88.67±2.66	82.08±1.42	53.73±0.74	0.51±0.08	0.50±0.02	0.39±0.01	-3.92±0.44	-4.03±0.33	-3.08±0.57	4.86±0.65	5.17±0.17	5.31±0.77
真溶液相	—	—	—	0.57±0.05	1.00±0.00	0.78±0.07	-6.98±0.52	-5.85±0.66	-7.00±0.87	3.61±0.27	4.57±0.46	2.48±0.18
水煎液	559.57±15.54	787.27±67.55	1 228.00±95.71	0.56±0.08	0.77±0.05	0.84±0.02	-3.19±0.13	-4.82±0.57	-4.29±0.20	4.46±0.45	4.97±0.57	2.09±0.14

“—” 为在粒径仪测量范围内未检测到数据。
“—” for data detected without the measuring range of the particle sizer.

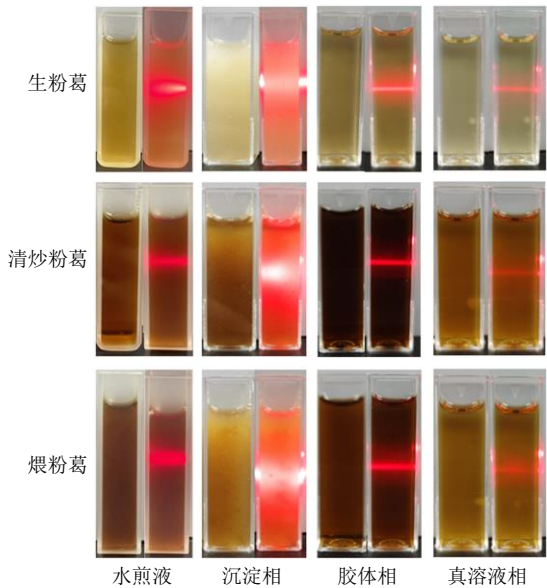


图 3 不同炮制方法所得粉葛水煎液各相态外观及丁达尔效应图

Fig. 3 Appearance and Tidal effect of phases of decoction of PTR obtained by different processing methods

拆分后的相态溶液进行 PDI、ζ 电位、电导率测定。相态的稳定性与粒径、ζ 电位及其 PDI 值息息相关，相态体系内部粒子分散越均匀，ζ 电位绝对值越大，相态中粒子间斥力越大，相态体系则越稳定，PDI 值越小，表明粒径越均匀^[14]。结果见表 1，汤剂各相态中胶体相稳定性较沉淀相及真溶液相更强，且粒子分布更均匀。电导率与溶液的组分浓度有关^[15]，3 个相态中胶体相电导率最高，提示胶体相或为不同相态中组分浓度最高的相态。

2.5 粉葛水煎液不同相态溶液的形貌观察

分别精密吸取 20 μL 样品滴于样品板上，将铜网正面扣于液滴表面，3 min 后取下室温晾干，待晾干后扣置于 2% 磷钨酸染液上染色 1~2 min，取下铜网，用滤纸吸干多余染液，自然干燥后置于 TEM 下观察形态，结果如图 4 所示。生品和炮制组沉淀相溶液均出现点状球形团聚物；生粉葛胶体相呈现有序排列的球形粒子且大小均一，清炒粉葛和煨粉葛胶体相均呈现不同形貌大小的纳米结构；生粉葛

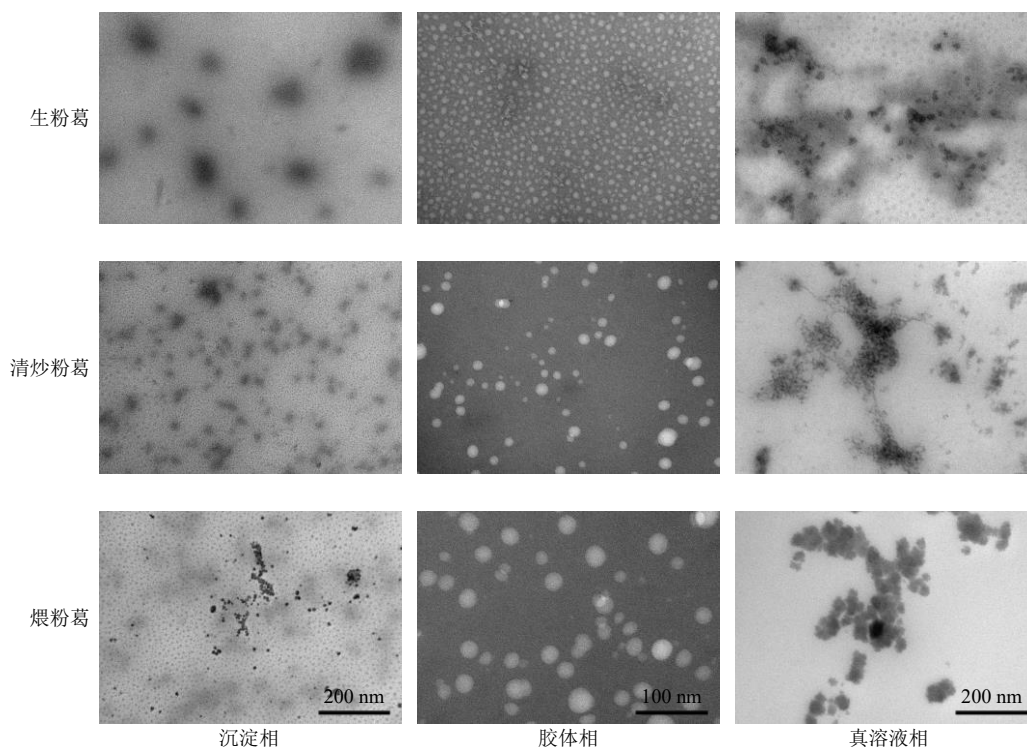


图 4 不同相态粒子的 TEM 图

Fig. 4 TEM of particles in different phases

真溶液相呈现出星点状团聚物结构，清炒粉葛真溶液相呈现丝状连结体结构，煨粉葛真溶液相呈现不规则的球形团聚物。

3 组胶体相的 TEM 图像均显示为边缘清晰的球状粒子，而 3 组沉淀相及真溶液相中粒子边缘均不清晰且出现不同程度的团聚，该结果提示胶体相或为 3 种相态中最为稳定的体系^[6,16]。

2.6 粉葛水煎液不同相态的光谱特性

紫外吸收光谱可反映样品分子中共轭基团的特征^[17]。分别取 3 种粉葛汤剂的沉淀相、胶体相、真溶液相，加适量超纯水稀释，在 180~450 nm 进行全波长扫描，得出紫外光谱图。其紫外光谱图如图 5 所示，各相态样品的紫外谱图基本类似，表明其组分构成相近。各相态样品在约 250、330 nm 处均出现不同幅度的吸收峰，与黄酮类、生物碱类成分的紫外吸收相近，提示不同炮制方法及相态样品均包含上述成分。未炮制前粉葛沉淀相吸收峰高于炮制后样品，煨粉葛沉淀相次之，而炮制过后的粉葛胶体相吸收峰明显高于生粉葛胶体相，表明炮制过后黄酮及生物碱类成分在粉葛胶体相态中的浓度有明显提高。根据上述结果，推测不同相态及炮制方法对上述成分含量有一定影响，炮制过后的粉葛水煎液可能发生了自组装导致黄酮类、生物碱类成

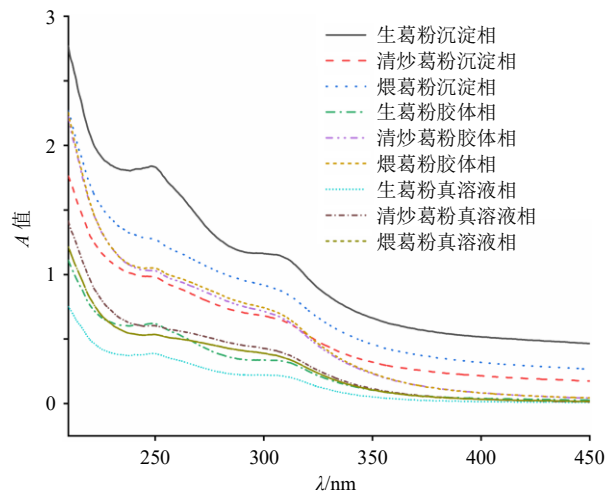
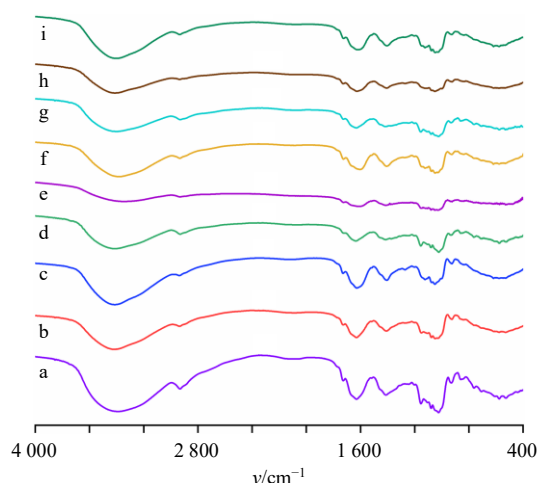


图 5 粉葛不同相态紫外光谱图

Fig. 5 UV spectra of different phases of PTR

分聚集在胶体相。

FTIR 用于推测分子间的相互作用特点^[18]。将各样品冻干粉末与 KBr 混合，于玛瑙钵体中研磨均匀后压片，于 4 000~400 cm^{-1} 进行红外光谱扫描，得供试品 FTIR 图。其 FTIR 图见图 6，各样品均有在 3 404 cm^{-1} 左右处产生强而宽的 O-H 的伸缩振动峰，这主要来自与粉葛中含多羟基结构的成分，如碳水化合物、异黄酮、葛根素、三萜皂苷等^[19]；在 2 933 cm^{-1} 左右处的 C-H 伸缩振动峰，来自烷烃-CH₂



a-生粉葛沉淀相态; b-生粉葛胶体相态; c-生粉葛真溶液相态; d-清炒粉葛沉淀相态; e-清炒粉葛胶体相态; f-清炒粉葛真溶液相态; g-煨粉葛沉淀相态; h-煨粉葛胶体相态; i-煨粉葛真溶液相态; 图 7 同。

a-precipitate phase of PTR; b-colloidal phase of PTR; c-real solution phase state of PTR; d-precipitate phase of stir-fried PTR; e-colloidal phase of stir-fried PTR; f-real solution phase state of stir-fried PTR; g-precipitate phase of simmered PTR; h-colloidal phase of simmered PTR; i- real solution phase state of simmered PTR; same as figure 7.

图 6 粉葛不同相态 FTIR 图

Fig. 6 FTIR spectra of different phases of PTR

的振动, 主要为脂质、部分蛋白质和碳水化合物; $1\,727\text{ cm}^{-1}$ 左右的吸收峰来源于葛酚苷类化合物的芳香内置结构的 $\text{C}=\text{O}$ 键^[20]; $1\,624$ 、 $1\,404\text{ cm}^{-1}$ 附近的吸收峰来自非共轭烯烃 $\text{C}=\text{C}$ 的伸缩振动, 为葛根素的特征峰; 在 $1\,200\sim 900\text{ cm}^{-1}$ 为淀粉的特征峰, 各相态中上述特征峰均较为明显, 而炮制过后的粉葛在此范围内峰强变弱, 推测粉葛经炮制之后可能会降低其淀粉的含量^[21-22]。不同炮制品各特征峰吸收频率无明显差异, 炮制品特征峰的相对强度较生品存在一定差异, 表明不同炮制方法的水煎液及其不同相态均含有类似的成分而成分含量存在一定差异^[23]。

2.7 粉葛水煎液不同相态组成成分分析

粉葛水煎液中多糖、黄酮类物质含量丰富且为主要药效物质, 粉葛中淀粉含量达到 $20\%\sim 30\%$, 糖类、黄酮类物质在汤剂相态形成中发挥着重要作用^[24]。对不同炮制品水煎液各相态中的多糖、黄酮类成分进行定量分析, 分别将 200 g 生粉葛、清炒粉葛、煨粉葛制备水煎液按“2.3”项下进行相态拆分并制备 200 g 各炮制品水煎液。将各相态溶液及水煎液预冻 48 h 后真空冷冻干燥 48 h , 得相应冻干粉备用。生粉葛水煎液冻干粉总质量为 24.01 g , 其

中沉淀相为 6.54 g , 胶体相为 15.08 g , 真溶液相为 2.39 g ; 清炒粉葛水煎液冻干总质量为 19.80 g , 其中沉淀相质量为 2.15 g , 胶体相为 13.27 g , 真溶液相为 4.38 g ; 煨粉葛水煎液冻干总质量为 20.74 g , 其中沉淀相为 5.84 g 、胶体相为 11.95 g 、真溶液相为 2.96 g ; 生粉葛水煎液冻干总质量为 25.41 g , 清炒粉葛水煎液冻干总质量为 20.14 g , 煨粉葛水煎液冻干总质量为 19.58 g 。

2.7.1 不同相态样品中的多糖含量 称取粉葛各相态冻干粉 0.1 g , 用超纯水按料液比 $1:25$ 溶解于量瓶中, $80\text{ }^{\circ}\text{C}$ 超声提取 90 min , 冷却后加入 4 倍体积石油醚 $75\text{ }^{\circ}\text{C}$ 脱脂, 萃取液加入 $1/3$ 体积 Seavage 试剂 (氯仿-正丁醇 $4:1$) 涡旋后 $4\,000\text{ r/min}$ 离心分去水相与有机相交界面处的变性蛋白质, 萃取 3 次, 透析 48 h ^[25]。按 $1:3$ 加无水乙醇, $4\text{ }^{\circ}\text{C}$ 静置 24 h , $4\,000\text{ r/min}$ 离心 (离心半径 13.7 cm) 10 min , 沉淀复溶后定容到 50 mL , 再吸取 0.5 mL 定容到 50 mL 量瓶中, 吸取 2.0 mL 置于 25 mL 具塞试管中。以 2 mL 蒸馏水为空白对照, 每支具塞试管中精密吸取 0.5 mL 5% 苯酚溶液, 并缓慢加入 5 mL 98% 浓硫酸, 迅速摇匀, 在室温条件下静置 5 min , 于沸水浴中显色 15 min , 取出迅速置于冰水浴中冷却 5 min , 取出后在室温条件下静置 10 min , 在 510 nm 波长的紫外分光光度计下测定其吸光度 (A) 值。再根据紫外分光光度计所测得的 A 值带入标准曲线回归方程 ($Y=25.518X+0.0513$, $r^2=0.9991$, 线性范围 $0.004\sim 0.014\text{ mg/mL}$) 求得其质量浓度, 按照公式计算其多糖总含量。

$$\text{多糖质量分数} = C \times V$$

$$\text{多糖总含量} = C \times V \times m$$

C 为吸光度带入回归方程所算的值, V 为所稀释的体积, m 为粉葛不同相态冻干粉的质量

不同相态中的多糖质量分数的结果如表 2 所示, 生粉葛水煎液中的多糖类成分主要分布在沉淀相中, 其中生粉葛沉淀相的多糖质量分数为 867.64 mg/g , 远高于胶体相及真溶液相。炒制后, 清炒粉葛胶体相及真溶液相较生粉葛多糖质量分数有上升趋势, 胶体相由 416.33 mg/g 升高到 622.28 mg/g , 上升了 49.47% , 真溶液相上升了 27.02% 。而煨制过后各相态的多糖质量浓度均出现下降趋势, 沉淀相下降趋势尤为明显, 与生粉葛相比下降了 62.52% , 但相较于沉淀相及真溶液相, 胶体相的多糖质量分数更高, 为 349.66 mg/g 。

表 2 不同相态中的多糖质量分数
Table 2 Polysaccharide mass fraction in different phases

样品	多糖/(mg·g ⁻¹)		
	生粉葛	清炒粉葛	煨粉葛
沉淀相	867.64	713.29	325.11
胶体相	416.33	622.28	349.06
真溶液相	300.51	381.71	189.97
水煎液	260.97	186.60	147.46

比较不同相态中多糖总含量,结果如表 3 所示,生粉葛水煎液中的多糖类成分主要分布在沉淀相及胶体相中,其胶体相的多糖含量为 6.34 g 略高于沉淀相的 5.72 g。真溶液相中的多糖含量较低,仅为 0.71 g。粉葛炒制后,总多糖含量未发生显著变化,但多糖在各相态中的分布发生显著变化。清炒粉葛沉淀相多糖含量较生粉葛沉淀相降低了 73.43%,为 1.52 g,真溶液相中的多糖含量有一定程度的增加 1.68 g,其胶体相中多糖含量显著上升,达到 8.17 g,粉葛在炮制的过程中可能存在淀粉类物质向多糖类成分转化^[26],多糖含有羧基和氨基,在中性条件下能够形成弱凝胶结构的多糖水溶液^[27],这可能是清炒后多糖主要集中在胶体相的原因。粉葛煨制后总多糖含量显著降低,煨粉葛沉淀相多糖含量为 1.89 g,较生粉葛沉淀相含量下降了 66.95%,胶体相中多糖含量为 4.33 g,较生粉葛胶体相含量下降了 30.94%,真溶液相中多糖含量变化不明显。团队前期研究表明粉葛多糖是粉葛发挥生津止渴、升阳止泻等作用的主要功效成分之一,多糖类成分在 3 种粉葛制品中均集中胶体相中,推测胶体相可能为粉葛水煎液中的有效相态。

2.7.2 不同相态中总淀粉含量的测定 采用淀粉总量检测试剂盒测量各相态中的总淀粉含量。总含量结果如表 4 所示,比较不同炮制品中不同相态的总淀粉质量分数发现,总淀粉主要聚集在沉淀相和胶体相中,粉葛总淀粉质量分数清炒后沉淀相较于生粉葛的 133.88 mg/g 出现上升趋势,上升了 11.77%,

表 3 不同相态中的多糖总含量
Table 3 Polysaccharide content in different phases

样品	多糖/g		
	生粉葛	清炒粉葛	煨粉葛
沉淀相	5.72	1.52	1.89
胶体相	6.34	8.17	4.33
真溶液相	0.71	1.68	0.62
水煎液	6.63	3.76	2.89

表 4 不同相态中的总淀粉质量分数
Table 4 Total starch mass fraction in different phases

样品	总淀粉/(mg·g ⁻¹)		
	生粉葛	清炒粉葛	煨粉葛
沉淀相	133.88	149.64	77.09
胶体相	164.86	108.31	125.17
真溶液相	12.06	10.21	17.21
水煎液	35.63	27.41	35.59

而煨制后下降趋势,下降了 42.41%。而与生粉葛胶体相的 164.86 mg/g 相比,清炒粉葛与煨粉葛胶体相均出现不同程度的下降趋势,分别为 34.30%和 24.07%。

比较不同方法炮制粉葛水煎液中不同相态的淀粉总含量发现,尽管沉淀相中总淀粉质量分数较高,但其在水煎液不同相态中占比较小即冻干粉质量相对其他相态低,最高不超过 28%,计算结果(表 5)发现,淀粉类成分仍主要分布在胶体相中,沉淀相中含有少量的淀粉。未炮制前的生粉葛胶体相的总淀粉含量为 2.49 g,明显高于沉淀相的 0.88 g 和真溶液相的 0.03 g。粉葛炒制后,其水煎液中的总淀粉含量显著下降,其胶体相总淀粉含量为 1.44 g,沉淀相总淀粉含量为 0.32 g。煨粉葛水煎液胶体相与沉淀相中淀粉含量与清炒粉葛接近,其胶体相总淀粉含量为 1.50 g,沉淀相总淀粉含量为 0.45 g。有研究表明,随着炮制程度的加强粉葛中淀粉含量逐渐减少^[26],而淀粉可以与蛋白通过氢键和疏水键相互作用于蛋白形成具有核壳结构的胶体复合物^[28],这可能是粉葛炮制后总淀粉含量减少而主要集中在胶体相的原因。

2.7.3 不同相态中淀粉的消化性能 参照 Englyst 的体外模拟消化法稍作改进^[29],精密称取 0.2 g 不同相态样品分散于 0.1 mol/L 乙酸钠溶液中,每组 2 个离心管分别标记为 20 min 和 120 min,分散混匀后置于 37 ℃恒温振荡培养箱中,加入 2.5 mL α-淀粉酶(580 U/mL)和 2.5 mL 糖化酶(30 U/mL)。

表 5 不同相态中的总淀粉含量
Table 5 Total starch content in different phases

样品	总淀粉/g		
	生粉葛	清炒粉葛	煨粉葛
沉淀相	0.88	0.32	0.45
胶体相	2.49	1.44	1.50
真溶液相	0.03	0.04	0.05
水煎液	0.91	0.55	0.78

置于 37 ℃ 恒温振荡培养箱 100 r/min 振荡 20 min 和 120 min。分别在对应时间取出对应标签离心管，加入无水乙醇灭酶，5 000 r/min 离心 10 min，取上清液 0.2 mL 于 25 mL 量瓶中，用超纯水补加至 2 mL，加入 1.5 mL 的 DNS 溶液，沸水浴 15 min，冷却至室温，用超纯水定容至 25 mL。以超纯水为对照，于 540 nm 处测定 A 值，计算还原糖含量 ($Y=0.7129X-0.0357$, $R^2=0.9980$, 线性范围 0.2~1.0 mg)，代入下式计算淀粉的消化性能。

快速消化淀粉: $RDS=G20 \times 0.9/TG$

缓慢消化淀粉: $SDS=(G120-G20) \times 0.9/TG$

抗性淀粉: $RS=(100-RDS-SDS)$

$G20$ 、 $G120$ 分别为淀粉酶解 20、120 min 后产生的还原糖质量 (mg)， TG 为干燥淀粉样品总质量 (mg)

快速消化淀粉 (RDS) 进入口腔后即迅速酶解成小分子糖，机体吸收后产生高血糖应答；慢速消化淀粉 (SDS) 是淀粉缓慢消化部位，长时间匀速释放葡萄糖，从而维持机体血糖在稳定区域；抗性淀粉 (RS) 则是不被小肠吸收的一部分淀粉，不易酶解，只能在大肠沉积被肠道菌群利用发酵，产生有益于肠道的代谢物，维持肠道的酸碱度平衡^[30]。结果如表 6 所示，抗性淀粉主要分布于胶体相及沉淀相中。生粉葛沉淀相、胶体相中抗性淀粉质量浓度分别为 (92.13 ± 12.06) 、 (136.47 ± 6.83) mg/g，粉葛煨制后其水煎液沉淀相及胶体相中抗性淀粉的含量显著降低，分别为 (49.07 ± 2.86) 、 (107.42 ± 6.14) mg/g，而清炒粉葛胶体相中抗性淀粉含量降低更为明显。前期研究表明，抗性淀粉可能是粉葛发挥生津止渴和抗炎作用的主要物质基础之一^[31]，而其主要分布在胶体相中，表明胶体相可能为粉葛水煎液中的有效相态。

表 6 不同相态中淀粉质量分数

Table 6 Starch mass fraction in different phases

样品	质量分数/(mg·g ⁻¹)		
	快消化淀粉	慢消化淀粉	抗性淀粉
生粉葛沉淀相	29.96±3.92	11.78±1.54	92.13±12.06
清炒粉葛沉淀相	53.05±2.71	11.62±0.59	84.97±4.34
煨粉葛沉淀相	19.69±1.15	6.71±0.39	49.07±2.86
生粉葛胶体相	24.96±1.25	3.43±0.17	136.47±6.83
清炒粉葛胶体相	22.79±1.40	3.86±0.24	81.65±5.01
煨粉葛胶体相	13.09±0.75	4.66±0.27	107.42±6.14
生粉葛真溶液相	1.11±0.22	0.19±0.04	10.76±2.10
清炒粉葛真溶液相	1.89±0.36	0.11±0.02	8.22±1.57
煨粉葛真溶液相	0.77±0.06	0.20±0.02	16.23±1.33

2.7.4 不同相态中的总黄酮含量 取 9 个不同相态供试样品粉末，准确称取 0.1 g，用滤纸包好后放入乙醚中浸泡 30 min 后取出，加入体积分数为 70% 的甲醇溶液 (按料液比 1:25)，超声 (80 kHz、50 ℃) 提取 120 min。冷却至室温 (25 ℃) 后补足质量，摇匀，即得总黄酮供试品溶液。将 500 μL 样品溶液和 50 μL 5% NaNO₂ 溶液充分混合，静置反应 6 min。加入 50 μL 10% Al(NO₃)₃ 溶液，静置反应 6 min。最后加入 50 μL 70% 甲醇和 400 μL 的 1 mol/L NaOH 溶液，静置反应 15 min。在 510 nm 波长的紫外分光光度计下测定其 A 值^[32]。再根据紫外分光光度计所测得的 A 值带入标准曲线回归方程 ($Y=3.6343X+0.0485$, $R^2=0.9996$)，将所求的质量浓度带入下列公式算出其总黄酮的总含量。

总黄酮质量分数 = $C \times V$

总黄酮含量 = $C \times V \times m$

C 为 A 值带入回归方程所算的值， V 为所稀释的体积， m 为粉葛不同相态冻干粉的质量

黄酮类成分是粉葛中主要的功效成分，表 7 为各样品不同相态中的总黄酮质量浓度。未炮制前的生粉葛胶体相总黄酮质量分数为 36.48 mg/g，炮制过后的胶体相中总黄酮含量均较生粉葛显著增加，而清炒粉葛胶体相总黄酮质量分数 (96.01 mg/g) 高于煨粉葛胶体相 (88.76 mg/g)。尽管在水煎液相态中，真溶液相总黄酮质量分数较高，与胶体相当，但由于其在水煎液相态中占比较低，即冻干粉质量相对其他相态低，最高不超过 23%，因此粉葛总黄酮仍主要分布在各水煎液的胶体相中 (表 8)，即粉葛不同相态总黄酮的总含量，不同粉葛炮制品胶体相总黄酮含量远高于其他相态，亦表明胶体相为水煎液 3 种相态中的有效相态。有研究表明不同方法炮制葛根，总异黄酮的含量为清炒法 > 麦麸煨 > 生品^[33]，与本研究结果相一致。

2.7.5 粉葛不同相态中不同异黄酮含量的测定 精密称量葛根素、3-甲氧基葛根素、大豆苷、染料木苷

表 7 不同相态中的总黄酮质量分数

Table 7 Mass fraction of total flavonoids in different phases

样品	总黄酮/(mg·g ⁻¹)		
	生粉葛	清炒粉葛	煨粉葛
沉淀相	17.08	35.38	18.32
胶体相	36.48	96.01	88.76
真溶液相	38.87	73.54	46.30
水煎液	6.40	22.18	13.45

表 8 不同相态中的总黄酮含量
Table 8 Total flavonoids content in different phases

样品	总黄酮/mg		
	生粉葛	清炒粉葛	煨粉葛
沉淀相	111.74	76.17	106.92
胶体相	550.10	1 273.62	1 060.43
真溶液相	92.81	322.01	136.99
水煎液	162.73	446.73	263.40

和大豆苷元对照品适量，使用甲醇稀释制成含上述成分质量浓度分别为 0.10、0.10、0.05、0.10、0.10 mg/mL 的混合对照品溶液。

精密称取不同相态生粉葛、清炒粉葛及煨粉葛的沉淀相、胶体相及真溶液相冻干粉 0.1 g 于量瓶中，用 35%乙醇，按料液比 1:25，温度 50℃，超声（功率 250 W、频率 40 Hz）处理 60 min，放冷，使用 35%乙醇补足减失质量，摇匀，过 0.22 μm 滤膜，即得供试品溶液。

利用 Agilent Eclipse Plus C₁₈ 色谱柱（250 mm×4.6 mm，5 μm），按流动相乙腈-0.1%磷酸盐水溶液，色谱条件为梯度洗脱：0~15 min，8%~18%乙腈；15~20 min，18%~30%乙腈；20~25 min，30%~40%乙腈；25~28 min，40%~50%乙腈；28~30 min，50%~8%乙腈；进样量 10 μL；波长 250 nm；柱温 30℃；体积流量 1 mL/min；进行进样并记录色谱图如图 7 所示。3 种粉葛水煎液各相态中异黄酮的指标成分按照以下公式计算含量。

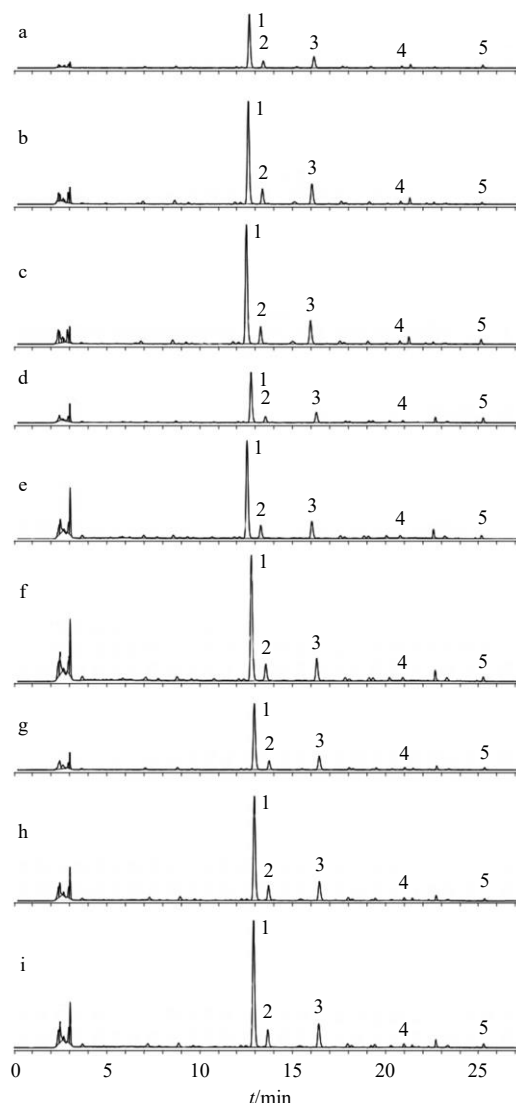
$$\text{异黄酮各指标成分质量分数} = C \times V$$

$$\text{异黄酮各指标成分总含量} = C \times V \times m$$

C 为峰面积带入线性回归方程所算的值， V 为制备液相小瓶所溶解的体积， m 为粉葛不同相态冻干粉的质量

异黄酮类化合物为粉葛发挥药效的主要小分子活性成分^[34]，例如葛根素、大豆苷等是止泻作用的主要物质基础^[35]。粉葛水煎液中异黄酮类成分均主要分布在胶体相中。生粉葛、煨粉葛沉淀相及真溶液相中的各异黄酮类成分含量相近，没有显著差异。清炒粉葛沉淀相中各异黄酮类成分显著低于煨粉葛及生粉葛沉淀相中的异黄酮类成分含量，而清炒粉葛真溶液相中异黄酮类成分含量则显著高于生粉葛及煨粉葛真溶液相。

粉葛及其炮制品水煎液中各相态异黄酮各成分质量分数见表 9，总含量见表 10，该结果与各相态中总黄酮含量相一致。粉葛清炒后，其水煎液胶体相中葛根素、3-甲氧基葛根素、大豆苷等成分显



1-葛根素；2-3-甲氧基葛根素；3-大豆苷；4-染料木苷；5-大豆苷元。
1-puerarin; 2-3-methoxypuerari; 3-soybean glycosides; 4-genistin; 5-soybean sapogenins.

图 7 不同相态中异黄酮各指标成分的色谱图
Fig. 7 Chromatograms of indicator components of isoflavones in different phases

著低于生粉葛水煎液胶体相，但其染料木苷及大豆苷元 2 种异黄酮的含量显著升高，分别为 (17.85 ± 0.11) mg 及 (5.48 ± 0.04) mg。而粉葛经煨制后，其水煎液胶体相中葛根素、3-甲氧基葛根素、大豆苷、染料木苷等成分显著低于生粉葛水煎液胶体相，但其胶体相中大豆苷元含量 $[(5.97 \pm 0.03)$ mg] 显著高于生粉葛 $[(3.27 \pm 0.00)$ mg] 及清炒粉葛 $[(5.48 \pm 0.04)$ mg]。

3 讨论

中药汤剂为多相态体系，中药汤剂中多糖、黄

表 9 不同相态中异黄酮各指标成分质量分数
Table 9 Mass fraction of each index component of isoflavones in different phases

成分样品	质量分数/(mg·g ⁻¹)				
	葛根素	3-甲氧基葛根素	大豆苷	染料木苷	大豆苷元
生粉葛沉淀相	9.65±0.01	4.52±0.00	1.64±0.00	0.50±0.00	0.35±0.00
生粉葛胶体相	18.98±0.02	9.90±0.01	2.93±0.00	0.92±0.00	0.22±0.00
生粉葛真溶液相	22.42±0.02	11.08±0.00	3.42±0.00	1.05±0.00	0.57±0.00
清炒粉葛沉淀相	9.12±0.03	3.97±0.05	1.48±0.00	0.79±0.00	0.59±0.00
清炒粉葛胶体相	17.68±0.05	8.83±0.02	2.46±0.01	1.35±0.01	0.41±0.00
清炒粉葛真溶液相	23.73±0.20	11.76±0.06	3.23±0.04	1.63±0.02	0.55±0.01
煨粉葛沉淀相	12.56±0.02	5.86±0.04	2.03±0.00	0.62±0.00	0.27±0.00
煨粉葛胶体相	18.96±0.02	9.88±0.11	2.76±0.00	0.79±0.00	0.50±0.00
煨粉葛真溶液相	23.82±0.04	11.61±0.16	3.37±0.01	1.16±0.00	0.45±0.00

表 10 不同相态中各异黄酮成分含量
Table 10 Contents of isoflavones in different phases

成分样品	含量/mg				
	葛根素	3-甲氧基葛根素	大豆苷	染料木苷	大豆苷元
生粉葛沉淀相	63.11±0.05	29.54±0.03	10.71±0.01	3.26±0.01	2.28±0.00
生粉葛胶体相	286.23±0.36	149.22±0.08	44.11±0.01	13.87±0.02	3.27±0.00
生粉葛真溶液相	53.53±0.04	26.47±0.00	8.16±0.00	2.50±0.00	1.36±0.00
清炒粉葛沉淀相	19.63±0.06	8.55±0.11	3.18±0.01	1.70±0.00	1.28±0.00
清炒粉葛胶体相	234.55±0.63	117.13±0.28	32.58±0.14	17.85±0.11	5.48±0.04
清炒粉葛真溶液相	103.91±0.87	51.49±0.25	14.15±0.16	7.14±0.09	2.39±0.03
煨粉葛沉淀相	73.32±0.09	34.19±0.24	11.84±0.03	3.59±0.01	1.58±0.00
煨粉葛胶体相	226.49±0.29	118.00±1.28	32.94±0.02	9.47±0.05	5.97±0.03
煨粉葛真溶液相	70.47±0.10	34.36±0.48	9.99±0.02	3.44±0.00	1.34±0.01

酮、生物碱类、萜类、皂苷类等活性成分具有自组装功能，可以通过非共价键形成稳定的结构，这些结构与单一的中药化学成分相比，其物理、化学及生物学性质都发生了变化，从而产生新的作用^[36-37]。现有研究多以相态系统中微粒的粒径大小为指标进行相态拆分，目前仍无通用的汤剂相态拆分流程，常用的分离方法有离心法、透析法、超滤法、排阻色谱法等^[38-41]。超滤离心法操作无需额外添加溶剂，操作简便重现性强，本实验以超滤离心作为粉葛水煎液中相态的拆分工艺。有研究报道，中药汤剂中存在纳米聚集体，尽管纳米相的形成机制并不明确，但提示中药汤剂可能通过自组装纳米粒子来实现增溶，纳米相或为中药汤剂中的有效相态。

粉葛中多糖是益生元，为主要的水溶性成分之一，具有降血糖、调脂、免疫调节和抗炎等药理作用，可以调节肠道菌群，从而保证身体健康^[42]。粉葛中抗性淀粉具有降血糖、减轻胰岛素抗性、调节肠道菌群等作用^[43]。黄酮类化合物是粉葛中主要的

活性成分之一，具有调血脂、降血压、解热、抗炎、解酒护肝等作用^[44]。粉葛及其炮制品水煎液中的总黄酮及异黄酮类有效成分大多数都存在于胶体相中。尤其需要注意的是，粉葛及其炮制品胶体相中含有大量的多糖及抗性淀粉类成分，目前国内外研究对粉葛的有效成分主要集中在异黄酮类成分及其部分提取物上，忽视了多糖、淀粉等化学成分。多糖和淀粉类成分能在特定的环境下通过疏水相互作用与其他组分形成包合物，从而改善有效成分溶出度而提高生物利用度^[45]。

从粉葛水煎液各相态中主要成分含量测定结果分析中发现，生粉葛胶体相中多糖、总淀粉、抗性淀粉、总黄酮、葛根素等成分分别占水煎液的 49.62%、73.35%、76.61%、72.90%、71.05%，而生粉葛沉淀相的总黄酮含量占水煎液的 14.81%，生粉葛真溶液相的总淀粉占水煎液的 0.88%；清炒粉葛胶体相中多糖、总淀粉、抗性淀粉、总黄酮、葛根素等成分分别占水煎液的 71.79%、79.63%、

83.19%、76.05%、65.50%，均超过总体含量的 60%，而清炒粉葛沉淀相的总黄酮含量占水煎液的 4.72%，清炒粉葛真溶液相的总淀粉占水煎液的 2.22%；煨粉葛胶体相中多糖、总淀粉、抗性淀粉、总黄酮、葛根素等成分分别占水煎液的 63.35%、75.19%、79.03%、81.30%、61.17%，均超过总体含量的 60%，而煨粉葛沉淀相的总黄酮含量占水煎液的 8.20%，煨粉葛真溶液相的总淀粉占水煎液的 2.57%。这提示，在粉葛水煎液中发挥生理活性的物质基础原因可能是多糖、淀粉等与黄酮类成分结合成纳米颗粒，得到了大小均一的核壳结构，使胶体相与沉淀相相比具有更稳定的结构，从而使主要成分聚集在胶体相并成为“有效相态”，这些胶体相聚集体除了含有药效成分特异性活性外，也发挥着非特异性增效^[2,46]。

在汤剂相态的研究过程中，多糖和淀粉对相态的影响仍属未知，因此有必要加强此类研究，以便系统深入地阐明汤剂的起效机制，为中药汤剂中有效相态的探究奠定基础。

利益冲突 所有作者均声明不存在利益冲突

参考文献

- [1] 乔宏志, 狄留庆, 平其能, 等. 结构中药学: 中药药效物质基础研究的新领域 [J]. 中国中药杂志, 2021, 46(10): 2443-2448.
- [2] 付佳宁, 赵氏淳, 郝凌烽, 等. 金银花-蒲公英提取液纳米相态凝胶剂制备及对大鼠痤疮模型的药效评价 [J]. 中草药, 2024, 55(24): 8416-8424.
- [3] 管庆霞, 周小影, 吕邵娃, 等. 中药复方汤剂多成分自组装纳米相态的形成原理及现状探析 [J]. 海南医学院学报, 2023, 29(11): 872-880.
- [4] Zhao Q, Luan X, Zheng M, *et al.* Synergistic mechanisms of constituents in herbal extracts during intestinal absorption: Focus on natural occurring nanoparticles [J]. *Pharmaceutics*, 2020, 12(2): 128.
- [5] 郭玉岩, 高滔, 李春城, 等. 酸碱药对甘草-马钱子配伍汤液沉积相态释放特性研究 [J]. 中草药, 2022, 53(10): 3000-3005.
- [6] 李会竹, 宋丹丹, 常辰琦, 等. 麻杏石甘汤胶体相态的拆分、表征及抗病毒研究 [J]. 中国中药杂志, 2023, 48(16): 4394-4401.
- [7] 李霞, 马家骅, 李楠, 等. 当归补血汤相状态的研究 [J]. 中国实验方剂学杂志, 2011, 17(2): 1-5.
- [8] 魏吉昌, 林晓钰, 张景怡, 等. 基于相态变化探讨煎煮方式对黄芩-黄连超分子物质基础及配伍“和合”机制的影响 [J]. 中草药, 2024, 55(24): 8366-8378.
- [9] 中国药典 [S]. 一部. 2020: 302.
- [10] 钟凌云, 马冰洁, 叶喜德, 等. 葛根主要药效成分止泻作用研究 [J]. 世界科学技术—中医药现代化, 2015, 17(1): 109-113.
- [11] 赵氏淳, 陶颖, 卢艺, 等. 金银花-蒲公英提取液不同相态主要成分含量测定及其对痤疮丙酸杆菌抑制作用的有效相态筛选 [J]. 中草药, 2024, 55(18): 6167-6173.
- [12] 陶春晓, 叶泰玮, 李敏, 等. 基于物相形态差异探究煎煮过程对红花-桃仁药对药效物质的传递作用 [J]. 中草药, 2023, 54(17): 5550-5559.
- [13] 何朝, 浦益琼. 中药复方汤液的相态差异分析研究进展 [J]. 中国实验方剂学杂志, 2022, 28(15): 259-266.
- [14] 王琴, 袁成业, 江勇, 等. 基于“汤剂相态-纳米组装”的气血双补方抗慢性心衰炮制增效机理研究 [J]. 中国医院药学杂志, 2023, 43(11): 1185-1190.
- [15] 单东杰, 罗秀明, 常艳丽, 等. 基于化学计量学研究莪术-三棱药对水煎液物理参数与化学成分的相关性 [J]. 中草药, 2022, 53(17): 5363-5378.
- [16] 武印奇, 吕邵娃, 李英鹏, 等. 白虎汤中纳米相态的分离与表征 [J]. 中华中医药学刊, 2021, 39(12): 121-124.
- [17] 韩春雨, 李雅静. 紫外分光光度法与维生素 B 和维生素 C 含量测量 [J]. 轻工科技, 2013, 29(8): 5-6.
- [18] 陈亚, 江滨, 曾元儿. 红外光谱在中药鉴别中的应用 [J]. 广州中医药大学学报, 2004, 21(3): 237-240.
- [19] Bruun S W, Kohler A, Adt I, *et al.* Correcting attenuated total reflection-Fourier transform infrared spectra for water vapor and carbon dioxide [J]. *Appl Spectrosc*, 2006, 60(9): 1029-1039.
- [20] Garip S, Gozen A C, Severcan F. Use of Fourier transform infrared spectroscopy for rapid comparative analysis of *Bacillus* and *Micrococcus* isolates [J]. *Food Chem*, 2009, 113(4): 1301-1307.
- [21] 韩明霞, 周群, 李全宏, 等. 不同产地葛根红外光谱的三级鉴定 [J]. 光谱学与光谱分析, 2009, 29(7): 1851.
- [22] 徐蓓蕾, 孙素琴, 张贵君, 等. 处方应用三种葛根水煎液的二维相关红外光谱分析 [J]. 光谱学与光谱分析, 2018, 38(3): 800.
- [23] 庞晓晨, 柴仲秋, 李玥, 等. 中药纳米载药系统用于肿瘤治疗的研究进展 [J]. 中华中医药杂志, 2019, 34(11): 5321-5323.
- [24] 朱盼, 谢娟平. 不同产地粉葛不同部位中 7 种化学成分的含量测定与比较 [J]. 化学与生物工程, 2019, 36(7): 59-64.
- [25] 王蕊霞, 刘晓宇. 不同提取工艺下葛根多糖的比较研究 [J]. 食品工业科技, 2008, 29(4): 191-193.
- [26] 赵璇, 李瑞颖, 马彦江, 等. 清炒法炮制粉葛过程中主要化学成分与工艺、物性及颜色变化的相关性分析 [J]. 中国医院药学杂志, 2020, 40(23): 2414-2418.

- [27] Ma X, Yang M, He Y, *et al.* A review on the production, structure, bioactivities and applications of *Tremella polysaccharides* [J]. *Int J Immunopathol Pharmacol*, 2021, 35: 20587384211000541.
- [28] Song J, Li H L, Shang W B, *et al.* Fabrication and characterization of Pickering emulsion gels stabilized by gliadin/starch complex for the delivery of astaxanthin [J]. *Food Hydrocoll*, 2023, 137: 108388.
- [29] Englyst H N, Kingman S M, Cummings J H. Classification and measurement of nutritionally important starch fractions [J]. *Eur J Clin Nutr*, 1992, 46(Suppl 2): S33-S50.
- [30] Jiali L, Wu Z, Liu L, *et al.* The research advance of resistant starch: Structural characteristics, modification method, immunomodulatory function, and its delivery systems application [J]. *Crit Rev Food Sci Nutr*, 2024, 64(29): 10885-10902.
- [31] Yang Y F, Li M X, Liu Q S, *et al.* Starch from *Pueraria lobata* and the amylose fraction alleviates dextran sodium sulfate induced colitis in mice [J]. *Carbohydr Polym*, 2023, 302: 120329.
- [32] 段磊. 不同炮制方法对葛根中总异黄酮含量带来的影响分析 [J]. 现代医用影像学, 2018, 27(5): 1758-1759.
- [33] 钟凌云, 马冰洁, 龚千锋. 葛根不同炮制品止泻作用研究 [J]. 江西中医药大学学报, 2015, 27(2): 75-76.
- [34] 裘维瀚, 戴辉, 胡泓, 等. 葛根煨制前后成分的比较研究 [J]. 中成药, 2013, 35(10): 2213-2217.
- [35] 鄢海丽, 雷霓, 陆敏. 分光光度法测定葛根中总黄酮含量 [J]. 理化检验: 化学分册, 2014, 50(1): 80-82.
- [36] 王蕾, 曹雪晓, 栗焕焕, 等. 中药化学成分分子识别与自组装在中药研究中的应用 [J]. 中草药, 2020, 51(2): 516-521.
- [37] 冯星星, 谢琪, 杨丛莲, 等. 基于中药活性成分自组装的无载体纳米制剂 [J]. 药学报, 2021, 56(12): 3203-3211.
- [38] 尚尔雨, 马晓乾, 于新, 等. 六君子汤相态拆分及表征研究 [J]. 药学研究, 2021, 40(4): 216-220.
- [39] 窦金金, 张喜武, 王璐璇, 等. 以有效相态为视角的生脉饮有效迭代相态研究及药效学验证 [J]. 中草药, 2021, 52(4): 993-999.
- [40] 张丽蓉, 王文苹, 杨月蕊, 等. 葛根芩连汤制法对相态基本特征的影响研究 [J]. 时珍国医国药, 2023, 34(5): 1117-1121.
- [41] 刘吉成, 吴张静, 梁爽. 分子排阻色谱法技术在药品质量控制及其他方面的应用 [J]. 中国药品标准, 2023, 24(3): 275-280.
- [42] Li Q, Liu W J, Zhang H, *et al.* α -D-1,3-glucan from *Radix Puerariae Thomsonii* improves NAFLD by regulating the intestinal flora and metabolites [J]. *Carbohydr Polym*, 2023, 299: 120197.
- [43] Yang Y F, Li M X, Wang Q, *et al.* *Pueraria lobata* starch regulates gut microbiota and alleviates high-fat high-cholesterol diet induced non-alcoholic fatty liver disease in mice [J/OL]. *Food Res Int*, 2022, 157: 111401.
- [44] 曹升, 马崇坚, 尚小红, 等. 粉葛主要营养物质、异黄酮成分的积累规律及其相关性分析 [J]. 广西植物, 2023, 43(12): 2319-2327.
- [45] 黄茂胜. 基于量子力学及分子动力学的葛根芩连汤中小檗碱溶解机制研究 [D]. 广州: 广东药科大学, 2019.
- [46] Zhuang Y, Yan J J, Zhu W, *et al.* Can the aggregation be a new approach for understanding the mechanism of traditional Chinese medicine? [J]. *J Ethnopharmacol*, 2008, 117(2): 378-384.

[责任编辑 郑礼胜]