

黄花菜叶总酚抗氧化质量标志物筛选

王燕萍^{1,2}, 张泽宇^{1,2}, 周钧仪¹, 贾彦军^{1,2}, 邵亚洲^{1,2}, 孙科³, 胡芳弟^{1,2*}

(1. 兰州大学药学院, 甘肃兰州 730000; 2. 甘肃省党参产业工程研究中心, 甘肃兰州 730000; 3. 兰州佛慈制药股份有限公司, 甘肃兰州 730300)

摘要: 目的 筛选黄花菜叶总酚的抗氧化质量标志物。方法 采用静态吸附-洗脱实验筛选大孔吸附树脂种类, 以吸附率、总酚含量为评价指标, 考察洗脱参数。建立 UPLC 指纹图谱, 考察对 DPPH 自由基的清除作用。采用偏最小二乘回归分析法和灰色关联度法筛选质量标志物, UPLC-Q-TOF-MS 法鉴定其结构。结果 最佳制备工艺为 80% 乙醇回流提取, 正丁醇萃取 2 次后在 DM-21 柱上样 35 mL 3 mg/mL 初提取液, 135 mL 60% 乙醇以 2 mL/min 体积流量洗脱, 总酚含量为 61.46%, 较初提取液中提升 6.2 倍, 抗氧化活性提升 6.0 倍。10 批样品指纹图谱中有 29 个共有峰, 相似度均 > 0.90。10 个共有峰 (P1、P4、P5、P7、P9、P10、P19、P22、P24、P26) 对抗氧化活性有显著贡献, 其中 10 个分别鉴定为绿原酸 (P1)、1-O-咖啡酰奎宁酸 (P4)、4-O-咖啡酰奎宁酸 (P5)、5-O-咖啡酰莽草酸 (P7)、槲皮素-3-O- α -L-鼠李糖基-(1 \rightarrow 6) - [α -L-鼠李糖基-(1 \rightarrow 2)] - β -D-葡萄糖苷 (P9)、槲皮素-3-O- α -L-鼠李糖基-(1 \rightarrow 6) - β -D-葡萄糖苷-(1 \rightarrow 2) - α -L-鼠李糖苷 (P10)、槲皮素-3-O- α -L-鼠李糖-(1 \rightarrow 2) - α -L-吡喃阿拉伯糖苷 (P19)、槲皮素 3-O- α -L-鼠李糖苷 (P22)、槲皮素-3, 7-O-L-二鼠李糖苷 (P24)、槲皮素 (P26)。结论 该方法稳定可靠, 可有效提升黄花菜叶总酚含量及抗氧化活性, 能为其质量控制奠定基础。

关键词: 黄花菜; 叶; 总酚; 抗氧化活性; 质量标志物; 谱效关联

中图分类号: R284.1

文献标志码: A

文章编号: 1001-1528(2026)05-1764-05

doi: 10.3969/j.issn.1001-1528.2026.05.050

黄花菜有解郁、凉血功效,《本草纲目》记载它有着健脑、益智、抗衰老等活性,可用于食疗^[1-2],具有抗氧化、镇静、改善睡眠等作用^[3],但其叶常被废弃,导致资源浪费。课题组近期发现,黄花菜叶醇提取物中总酚含量是花的 1.8 倍,含槲皮素、芦丁等 32 种成分。另外,咖啡酰基、阿魏酰基类酚酸在体外实验中证实有神经保护作用,存在潜在抗抑郁功效^[4];总酚可改善抑郁症大鼠抑郁样行为^[5],在药物、功能食品领域中的应用潜力较大。

黄花菜叶开发利用需制备功效物质明确、含量高的提取物,该过程含提取和纯化 2 个步骤。由于粗提物中的多糖、蛋白质等非目标成分会影响生物活性,故需进一步纯化以提升纯度^[6],常用纯化方法有大孔吸附树脂、葡聚糖凝胶柱色谱、膜分离法等,其中大孔吸附树脂因其稳定性高、吸附选择性好、易回收再生而常用于总酚纯化^[7]。

医学界公认,氧化应激可引发失眠、抑郁症等健康问题^[8]。中草药是天然抗氧化剂研究的重要

方向,酚类为其核心活性成分^[9-10]。虽然黄花菜花中的酚类成分已被证实具有抗氧化、抗衰老、抗抑郁等作用^[11-13],但对其叶的研究较少。因此,本实验拟优化黄花菜叶总酚提取、纯化工艺,通过 DPPH 法来评价其抗氧化活性,并结合谱效关联分析筛选其抗氧化质量标志物。

1 材料

1.1 试剂与药材 DPPH 自由基 (上海阿拉丁生化科技股份有限公司)。没食子酸、福林酚试剂乙 (北京索莱宝科技有限公司)。AB-8、D101、DM-28、DM-21、XAD-16 大孔吸附树脂和聚酰胺 (上海源叶生物科技有限公司)。甲醇、乙腈 (北京百灵威科技有限公司) 分别为色谱纯、质谱纯;其他试剂均为分析纯。黄花菜叶经甘肃省中医药大学附属医院杨锡仓主任药师鉴定为阿福花科植物黄花菜 *Hemerocallis citrina* Baroni. 的叶,具体见表 1。

1.2 仪器 Waters H-Class 超高效液相色谱系统 (美国 Waters 公司); Agilent 6560 Q-TOF 质谱系统、Agilent 1260 II 型高效液相色谱仪 (美国

收稿日期: 2025-11-12

基金项目: 甘肃省科技重大专项项目 (25ZDFA001); 甘肃省中医药管理局项目 (GZKZ-2024-30); 兰州市科技计划项目 (2024-8-12)

作者简介: 王燕萍 (1994—), 女, 博士, 从事中药成分分离分析及活性研究

* 通信作者: 胡芳弟 (1971—), 女, 博士, 教授, 从事中药成分分离分析及新药开发研究

表 1 黄花菜叶信息

编号	来源	采集时间	编号	来源	采集时间
S1	湖南祁东	2019年11月13日	S6	湖南祁东	2020年8月16日
S2	甘肃庆阳	2020年6月30日	S7	甘肃庆阳	2020年5月29日
S3	甘肃庆阳	2020年7月14日	S8	甘肃庆阳	2020年7月30日
S4	甘肃庆阳	2020年6月17日	S9	湖南祁东	2019年11月25日
S5	甘肃庆阳	2020年5月18日	S10	湖南祁东	2020年8月29日

Agilent 公司); CPA225D 电子分析天平、UV-1700 紫外-可见分光光度计 (日本 Shimadzu 公司)。

2 方法与结果

2.1 提取工艺优化 精密称取黄花菜叶粉末 5.0 g (过 40 目筛, 含水量 6.32%), 分别加入不同体积分数乙醇、乙腈、丙酮, 回流提取 2 次, 每次 1 h, 抽滤, 合并滤液, 减压浓缩, 加蒸馏水制成 0.15 g/mL 供试品溶液 (相当于原生药量), 置于蒸发皿中, 蒸干, 得浸膏, 精密称取 1.0 g, 加入 20 mL 蒸馏水分散, 再分别用 20 mL 正丁醇、乙酸乙酯各萃取 2、3、4 次, 合并萃取液, 减压浓缩至干, 甲醇定容至 5 mL, 离心, 取上清液, 过 0.22 μm 微孔滤膜, 得供试品溶液。采用单因素试验, 以得膏率、总酚含量、单位峰面积为评价指标, 考察不同体积分数乙醇的提取效果; 以色谱峰峰数、峰形、峰面积为评价指标, 筛选萃取溶剂和萃取次数, 最终确定提取溶剂为 80% 乙醇, 萃取溶剂为正丁醇, 萃取次数为 2 次。

2.2 纯化工艺优化

2.2.1 总酚含量测定 参照文献 [14] 报道。

2.2.2 填料筛选

2.2.2.1 静态吸附实验 称取预处理后的填料 (AB-8、D101、DM-28、DM-21、XAD-16 型树脂和聚酰胺) 各 2.0 g, 置于 100 mL 具塞磨口三角瓶中, 加入 20 mL 一定质量浓度总酚提取液, 在摇床上振荡吸附 24 h, 抽滤, 测定吸附后滤液吸光度, 计算吸附量、吸附率, 公式^[15]分别为吸附量 = $(C_0 - C_1) \times V / W$ 、吸附率 = $[(C_0 - C_1) / C_0] \times 100\%$, 其中 C_0 为起始质量浓度, C_1 为滤液质量浓度, V 为溶液体积, W 为填料质量。

2.2.2.2 静态解吸实验 将“2.2.2.1”项下填料抽滤后, 置于 100 mL 具塞磨口三角瓶中, 加入 20 mL 60% 乙醇, 在摇床上振荡解吸 24 h, 抽滤, 测定解吸后滤液吸光度, 计算解吸率, 公式^[15]为解吸率 = $[(20 \times C_2) / (W \times Q)] \times 100\%$, 其中 Q 为吸附量, C_2 为解吸后总酚质量浓度, W 为填料干重。另外, 回收率计算公式为回收率 = $[(C_2 \times 20) / (C_0 \times V)] \times 100\%$ 。

2.2.2.3 结果分析 6 种填料吸附率、解吸率分别在 63.73% ~ 82.38%、82.21% ~ 94.18% 范围内, 其中 DM-21 树脂两者最高, 分别达 $(82.38 \pm 3.50)\%$ 、 $(94.18 \pm 4.90)\%$, 回收率达 $(77.58 \pm 2.50)\%$, 故选择 DM-21 树脂纯化总酚。

2.2.3 静态考察 绘制静态吸附曲线^[16], 发现吸附率在 0~4 h 内快速增长, 4~10 h 减缓, 10 h 后达到平衡, 而解吸率在 0~8 h 内迅速增加并达到平衡。因此, 确定最佳静态吸附、解吸时间分别为 10、8 h。

2.2.4 动态考察

2.2.4.1 上样液质量浓度 当上样液质量浓度超过 3 mg/mL 时, 流出液中总酚质量浓度显著升高, 吸附率显著降低, 故确定为 3 mg/mL。

2.2.4.2 最大上柱体积 动态吸附曲线显示, 3.0 mg/mL 供试品溶液流过 DM-21 树脂柱时, 前 7 管 (每管 5 mL) 中均未检出总酚, 第 8 管中首次检出, 表明此时已出现泄露, 表明前 7 管处理量已使树脂达到吸附饱和状态, 故确定为 35 mL (7 管 × 5 mL/管)。

2.2.4.3 洗脱剂种类 以 10% ~ 60% 乙醇洗脱时检测出酚类成分, 而 70% 以上乙醇洗脱后未发现该类成分, 故确定为 60% 乙醇。

2.2.4.4 洗脱体积流量 以 60% 乙醇分别在 0.5、1、2、3 mL/min 体积流量下对吸附供试品溶液达饱和的 DM-21 树脂柱进行洗脱, 发现 2 mL/min 时解吸率最高, 故确定为 2 mL/min。

2.2.4.5 洗脱剂量 在 2 mL/min 体积流量下洗脱, 并分段收集洗脱液。结果显示, 总酚浓度在第 4 管达到峰值, 第 9 管后基本洗脱完全 (15 mL/管), 故确定最佳洗脱剂用量为 135 mL, 可在保证洗脱效果的同时节约溶剂。

2.2.5 验证试验 按优化纯化工艺进行 6 批试验, 将 3 份供试品溶液、纯化液置于恒重蒸发皿中, 在 105 °C 下恒重, 测定纯化前后浸膏量; 测定另外 3 份供试品溶液、纯化液中总酚含量及 DPPH 自由基清除活性, 计算总酚回收率及半数抑制浓度 (IC_{50})。再进行 6 批试验, 采用 UV 法测定纯化前

后总酚含量, 结果见表2, 可知纯化液中总酚含量为61.46%, 与供试品溶液中相比提升了6.2倍,

回收率为80.23%, 并且其 IC_{50} 为0.077 mg/mL, 与供试品溶液中相比提升了6.0倍。

表2 总酚含量、抗氧化活性测定结果 ($n=3$)

试验号	供试品溶液中总酚含量/%	纯化液中总酚含量/%	总酚回收率/%	供试品溶液 $IC_{50}/(mg \cdot mL^{-1})$	纯化液 $IC_{50}/(mg \cdot mL^{-1})$
1	9.46	59.79	79.71	0.456	0.076
2	9.81	64.47	82.46	0.466	0.076
3	10.34	60.08	78.49	0.473	0.078
平均值	9.86	61.46	80.23	0.465	0.077
RSD/%	4.48	4.27	2.54	1.88	1.18

2.3 UPLC 指纹图谱建立 精密称取10批黄花菜叶粉末, 每批5.0 g, 按“2.1”项下方法制备供试品溶液, 稀释至合适质量浓度。色谱条件为流动相0.1%甲酸(A)-乙腈(B), 梯度洗脱(0~4 min, 5% B; 4~9 min, 5%~10% B; 9~24 min, 10%~20% B; 24~26 min, 20%~25% B; 26~28 min, 25%~40% B; 28~34 min, 40%~90% B; 34~37 min, 90% B; 37~40 min, 90%~5% B); 体积流量0.4 mL/min; 柱温40℃; 0~16、16~32、32~40 min 检测波长分别为258、300、370 nm。以9号峰为参照, 测得精密性、重复性、稳定性试验中共有峰保留时间、峰面积RSD均小于3%。

采用“中药色谱指纹图谱相似度评价软件”(2004A版), 以S1为参照, 通过平均数法进行自动匹配与多点校正, 生成指纹图谱, 见图1A。再测定相似度, 结果分别为0.909、0.915、0.926、0.930、0.927、0.910、0.928、0.917、0.908、0.911, 均大于0.90。然后, 选择稳定性和重复性良好、特征明显的色谱峰作为共有峰, 共标定出29个。

2.4 抗氧化活性研究 精密称取DPPH自由基40 mg, 无水乙醇溶解并定容至500 mL, 制成0.08 mg/mL溶液。分别取0.60 mg/mL总酚溶液400、600、700、800、900、1 000 μ L, 置于10 mL具塞试管中, 甲醇补足至1 mL, 加入1 mL DPPH溶液, 摇匀后避光静置30 min, 在517 nm波长处测定吸光度 $A_{\text{样品}}$, 同法测定空白样品吸光度 $A_{\text{空白}}$ 、对照品吸光度 $A_{\text{对照}}$, 计算清除率, 公式为清除率= $[1 - (A_{\text{样品}} - A_{\text{空白}}) / (A_{\text{对照}} - A_{\text{空白}})] \times 100\%$, 并计算 IC_{50} 值^[17], 结果见表3。由此可知, S5、S7抗氧化活性较强, S2、S4、S8较弱。

2.5 谱效关联分析 指纹图谱包含大量信息, 能完整表达中药化学特征^[18], 而化学计量学可将指纹图谱与药效相关联, 从而科学有效地筛选有效成分^[19]。其中, 偏最小二乘回归法是一种多元回归模型, 具有计算量小、准确性高、易于解释的特

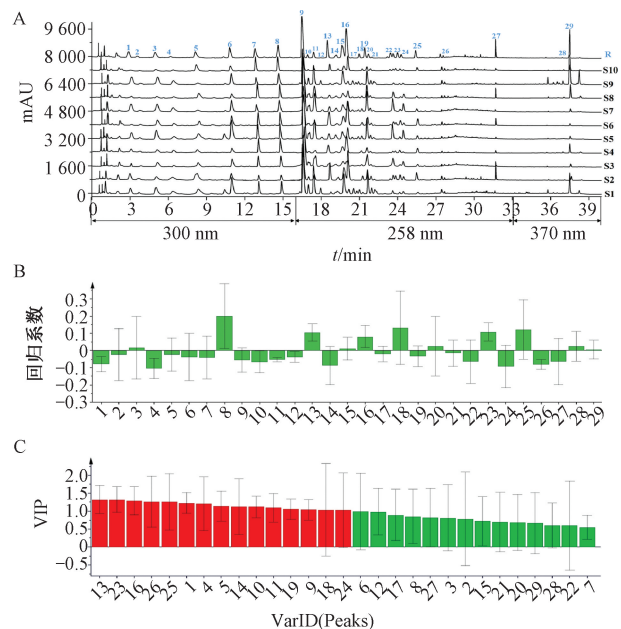


图1 10批黄花菜叶UPLC指纹图谱及其回归分析、VIP值

表3 DPPH自由基清除活性 IC_{50} 测定结果

编号	$IC_{50}/(mg \cdot mL^{-1})$	编号	$IC_{50}/(mg \cdot mL^{-1})$
S1	0.335	S6	0.419
S2	0.537	S7	0.247
S3	0.470	S8	0.581
S4	0.530	S9	0.289
S5	0.272	S10	0.414

点^[20]; 灰色关联分析原理简单, 对数据要求较低, 可分析小样本^[21]。

本实验首先采用偏最小二乘回归, 以共有峰峰面积为自变量(X), DPPH自由基清除活性 IC_{50} 值为因变量(Y)。再将共有峰峰面积通过Z-SCORE模型归一化后进行灰色关联分析, 将其定义为子序列, 并将DPPH自由基清除活性 IC_{50} 值定义为母序列, 设定分辨系数为0.5, 计算两者之间的距离。然后, 采用DPS7.05软件分析其相关性。

偏最小二乘回归法的交叉检验结果显示, R^2 为99.6%, Q^2 为99.1%, 表明模型拟合程度良好。置换检验结果显示, R^2 、 Q^2 回归线斜率均为正值, 并且后者截距为负值(-1.37), 表明模型未出现

过度拟合, 预测能力良好^[22]。再分析共有峰与抗氧化活性的相关性, 发现 20 个共有峰与抗氧化活性呈正相关, 相关性由大到小依次为 P24、P4、P1、P10、P9、P14、P22、P11、P26、P27、P12、P2、P6、P7、P19、P17、P28、P21、P5、P29, 见图 1B。最后, 测定共有峰 VIP 值, 发现 P13、P23、P16、P26、P25、P1、P4、P5、P14、P10、P11、P19、P18、P9、P24 均大于 1 (由大到小), 表明它们对抗氧化活性的贡献较高, 见图 1C。综上所述, P1、P4、P5、P9、P10、P11、P14、P19、P24、P26 与抗氧化活性均呈正相关, 并且 VIP 值大于 1。

灰色关联分析结果见表 4, 可知关联度均大于 0.60, 表明共有峰所代表的化学成分与 DPPH 自由基清除活性具有一定关联; 排名前 10 位的共有峰关联度由大到小依次为 P25、P16、P23、P18、P13、P7、P8、P22、P20、P14, 其中 P14、P22、P7 与偏最小二乘回归筛选出与抗氧化活性呈正相关的成分重合。

2.6 成分鉴定 采用 UPLC-Q-TOF-MS 法 (负离子模式, 总离子流图见图 2), 结合质谱裂解规律

表 4 灰色关联分析结果

峰号	关联系数	峰号	关联系数	峰号	关联系数	峰号	关联系数
P25	0.946 6	P20	0.847 3	P24	0.810 0	P10	0.748 2
P16	0.924 8	P14	0.833 4	P6	0.802 8	P4	0.723 4
P23	0.924 1	P15	0.829 1	P28	0.798 6	P17	0.696 9
P18	0.923 7	P2	0.828 3	P5	0.786 2	P11	0.696 8
P13	0.914 9	P3	0.822 4	P26	0.785 1	P29	0.691 1
P7	0.906 6	P21	0.816 1	P19	0.782 7	P1	0.673 4
P8	0.865 5	P9	0.812 0	P27	0.776 5	P12	0.671 2
P22	0.855 3						

和相关文献共鉴定出 32 种成分, 包括 12 种酚酸类、20 种黄酮类, 其中 10 个对抗氧化活性具有显著贡献的共有峰被鉴定出, 分别为 P1、P4、P5、P7、P9、P10、P19、P22、P24、P26, 即为抗氧化质量标志物, 具体见表 5。

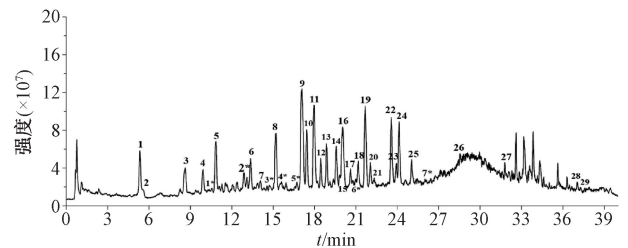


图 2 黄花菜叶总酚 UPLC-Q-TOF-MS 总离子流图

表 5 抗氧化质量标志物信息

峰号	t_R /min	母离子 m/z	加合物	MS^2 m/z	分子式	名称	误差 ($\times 10^{-6}$)
1	5.239	353.088 9	-H	191, 179, 173, 135	$C_{16}H_{18}O_9$	绿原酸	3.09
4	9.822	353.088 7	-H	191, 179, 173, 135	$C_{16}H_{18}O_9$	1-O-咖啡酰奎宁酸	2.52
5	10.742	353.089 0	-H	191, 179, 173, 135	$C_{16}H_{18}O_9$	4-O-咖啡酰奎宁酸	3.37
7	13.969	335.077 0	-H	179, 161, 135	$C_{16}H_{16}O_8$	5-O-咖啡酰莽草酸	-0.72
9	16.954	755.204 2	-H +H	301, 300, 271, 255, 243 611, 465, 303, 239, 129	$C_{33}H_{40}O_{20}$	槲皮素-3-O- α -L-鼠李糖基-(1 \rightarrow 6)-[α -L-鼠李糖基-(1 \rightarrow 2)]- β -D-葡萄糖苷	0.24
10	17.330	755.205 4	-H	755, 609, 447, 301, 271, 255, 243	$C_{33}H_{40}O_{20}$	槲皮素-3-O- α -L-鼠李糖基-(1 \rightarrow 6)- β -D-葡萄糖基-(1 \rightarrow 2)- α -L-鼠李糖苷	1.83
19	21.574	579.136 7	-H +H	579, 301, 271, 255 581, 435, 417, 303, 243	$C_{26}H_{28}O_{15}$	槲皮素-3-O- α -L-鼠李糖-(1 \rightarrow 2)- α -L-吡喃阿拉伯糖苷	2.00
22	23.464	447.094 2	-H	273, 257, 245, 229, 179	$C_{21}H_{20}O_{11}$	槲皮素 3-O- α -L-鼠李糖苷	2.04
24	24.033	593.152 0	-H +Na	301, 300, 271, 255, 243, 179, 151 595, 449, 303, 163	$C_{27}H_{30}O_{15}$	槲皮素-3,7-O-L-二鼠李糖苷	1.37
26	28.460	301.036 5	-H	301, 273, 245, 229, 179, 151	$C_{15}H_{10}O_7$	槲皮素	3.72

3 讨论与结论

为了提升黄花菜叶总酚抗氧化活性, 本实验筛选出 DM-21 大孔吸附树脂纯化总酚, 通过静态、动态吸附试验确定最优工艺为静态吸附时间 10 h, 解吸时间 8 h, 上样液质量浓度 3 mg/mL, 最大上柱体积 35 mL, 洗脱剂 (60% 乙醇) 体积流量 2 mL/min, 洗脱剂用量 135 mL。结果显示, 上述工艺使总酚含量提升 6.2 倍, DPPH 自由基清除活性提升 6.0 倍, 兼具节约试剂、提高效率的优势, 适

用于纯化该类成分。

黄花菜叶成分复杂, 其最大紫外吸收波长不同, 导致单一波长检测信息不全, 故本实验基于最大吸收波长原则, 在 258、300、370 nm 波长下建立分时段切换模型以获取最大化信息。偏最小二乘回归分析显示, 10 个共有峰对抗氧化活性的贡献度较高, 结合灰色关联度分析筛选关联度大于 0.70 者, 发现 11 种主要成分, 分别为 P1、P4、P5、P7、P9、P10、P14、P19、P22、P24、P26,

进一步采用 UPLC-Q-TOF-MS 法鉴定出其中 10 种, 分别为绿原酸 (P1)、1-O-咖啡酰奎宁酸 (P4)、4-O-咖啡酰奎宁酸 (P5)、5-O-咖啡酰莽草酸 (P7)、槲皮素-3-O- α -L-鼠李糖基-(1 \rightarrow 6) - [α -L-鼠李糖基-(1 \rightarrow 2)] - β -D-葡萄糖苷 (P9)、槲皮素-3-O- α -L-鼠李糖基-(1 \rightarrow 6) - β -D-葡萄糖基-(1 \rightarrow 2) - α -L-鼠李糖苷 (P10)、槲皮素-3-O- α -L-鼠李糖-(1 \rightarrow 2) - α -L-吡喃阿拉伯糖苷 (P19)、槲皮素-3-O- α -L-鼠李糖苷 (P22)、槲皮素-3, 7-O-L-二鼠李糖苷 (P24)、槲皮素 (P26), 为黄花菜叶总酚制备、质量控制、抗氧化物质挖掘提供了科学依据。

参考文献:

[1] Zhang Y, Cichewicz R H, Nair M G. Lipid peroxidation inhibitory compounds from daylily (*Hemerocallis fulva*) leaves[J]. *Life Sci*, 2004, 75(6): 753-763.

[2] 骆昌芹. 药食兼用黄花菜[J]. *保健医苑*, 2008(10): 51-52.

[3] 杜秉健. 黄花菜水醇提取物的抗抑郁和促睡眠活性及综合利用研究[D]. 北京: 中国农业大学, 2014.

[4] Jia Y J, Wang Y P, Wang Z X, et al. Neuroprotective effects of total phenolics from *Hemerocallis citrina* Baroni leaves through the PI3K/AKT pathway[J]. *Front Pharmacol*, 2024, 15: 1370619.

[5] Wang Y P, Jia Y J, Zhao W N, et al. *Hemerocallis citrina* Baroni leaf total phenol alleviates depressive-like behaviors via modulating "microbiota-gut-brain" axis in chronic unpredictable mild stress-induced rats[J]. *Front Pharmacol*, 2025, 16: 1642515.

[6] Akowuah G A, Ismail Z, Norhayati I, et al. The effects of different extraction solvents of varying polarities on polyphenols of *Orthosiphon stamineus* and evaluation of the free radical-scavenging activity[J]. *Food Chem*, 2005, 93(2): 311-317.

[7] Fu R M, Wang Y Y, Yu F, et al. Optimization of the macroporous resin-based adsorption of apple polyphenol through response surface methodology[J]. *Toxic Environ Chem*, 2016, 98(3/4): 479-491.

[8] Vaváková M, Ďuračková Z, Trebatická J. Markers of oxidative stress and neuroprogression in depression disorder[J]. *Oxid Med Cell Longev*, 2015, 2015: 898393.

[9] Tlili N, Meji F, Anouer F, et al. Phenolic profile and antioxidant activity of *Capparis spinosa* seeds harvested from different wild habitats[J]. *Ind Crops Prod*, 2015, 76: 930-935.

[10] Wang X X, Fan G M, Wei F M, et al. Hyperoside protects rat ovarian granulosa cells against hydrogen peroxide-induced injury by sonic hedgehog signaling pathway[J]. *Chem-Biol Interact*, 2019, 310: 108759.

[11] Fu M R, Mao L C. *In vitro* antioxidant activities of five cultivars of daylily flowers from China[J]. *Nat Prod Res*, 2008, 22(7): 584-591.

[12] Que F, Mao L C, Zheng X J. *In vitro* and *vivo* antioxidant activities of daylily flowers and the involvement of phenolic compounds[J]. *Asia Pac J Clin Nutr*, 2007, 16(S1): 196-203.

[13] Sun J H, Liu W, Zhang M L, et al. The analysis of phenolic compounds in daylily using UHPLC-HRMSⁿ and evaluation of drying processing method by fingerprinting and metabolomic approaches[J]. *J Food Process Pres*, 2018, 42(1): e13325.

[14] 张瑾, 罗婕, 张桂荣, 等. Folin-Ciocalteu 比色法测定四川主栽品种桑枝的总多酚含量[J]. *中药与临床*, 2024, 15(4): 11-16.

[15] Park J J, Lee W Y. Adsorption and desorption characteristics of a phenolic compound from *Ecklonia cava* on macroporous resin[J]. *Food Chem*, 2021, 338: 128150.

[16] 库咏峰, 黄品鲜, 刘雄民, 等. 大孔吸附树脂法分离纯化肉桂总黄酮的工艺优化[J]. *食品科学*, 2013, 34(24): 19-24.

[17] 周新宇, 吕重宁, 秦汝兰. 刺梨果中花色苷提取工艺优化及抗氧化性分析[J]. *食品工业科技*, 2022, 43(4): 178-186.

[18] Cuadros-Rodríguez L, Ruiz-Samblás C, Valverde-Som L, et al. Chromatographic fingerprinting: An innovative approach for food 'identification' and food authentication-A tutorial[J]. *Anal Chim Acta*, 2016, 909: 9-23.

[19] Zhang K X, Shen X, Yang L, et al. Exploring the Q-markers of *Angelica sinensis* (Oliv.) Diels of anti-platelet aggregation activity based on spectrum-effect relationships[J]. *Biomed Chromatogr*, 2022, 36(9): e5422.

[20] Mahmud M M C, Keast R, Mohebbi M, et al. Identifying aroma-active compounds in coffee-flavored dairy beverages[J]. *J Food Sci*, 2022, 87(3): 982-997.

[21] Wu D F, Wang N L, Yang Z P, et al. Comprehensive evaluation of coal-fired power units using grey relational analysis and a hybrid entropy-based weighting method[J]. *Entropy (Basel)*, 2018, 20(4): 215.

[22] 雷蓉, 杨建玲, 周亚楠, 等. 基于麦冬多指标成分定量结合偏最小二乘法-判别分析、熵权-TOPSIS 法评价参麦颗粒质量[J]. *中草药*, 2025, 56(2): 467-475.