

杨秀东,张娉妹,王亚红,等. 鬼针草不同溶剂萃取物的总黄酮含量及抗氧化、酶抑制活性[J]. 江苏农业科学,2018,46(21):221-224.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2018.21.056

鬼针草不同溶剂萃取物的总黄酮含量 及抗氧化、酶抑制活性

杨秀东¹, 张娉妹², 王亚红¹, 崔浩¹, 周鸿立¹

(1. 吉林化工学院化学与制药工程学院, 吉林吉林 132022; 2. 吉林化工学院图书馆, 吉林吉林 132022)

摘要:测定鬼针草不同溶剂萃取物总黄酮类含量,研究其体外抗氧化活性及 α -葡萄糖苷酶、 α -淀粉酶抑制作用。鬼针草水提醇沉后用不同极性溶剂进行萃取,测定各提取物的总黄酮含量,采用 DPPH 和超氧阴离子法测定各提取物的抗氧化活性及对 α -淀粉酶和 α -葡萄糖苷酶的抑制作用,并利用液相质谱联用法对乙酸乙酯提取物中的黄酮类化合物进行分析。分析结果,鬼针草乙酸乙酯和正丁醇提取物的总黄酮含量明显高于其他提取物,氯仿、乙酸乙酯和正丁醇萃取物具有较强的抗氧化活性。乙酸乙酯和正丁醇萃取物对 α -淀粉酶和 α -葡萄糖苷酶均具有较强的抑制作用。其中乙酸乙酯萃取物中含有芹菜素、柚皮素-7-O- β -D-葡萄糖苷、芹菜素-7-O- β -D-葡萄糖苷、木犀草苷和木犀草素等黄酮类成分。结果表明,鬼针草有机溶剂萃取物具有明显的抗氧化活性和 α -淀粉酶及 α -葡萄糖苷酶抑制作用,其中黄酮类化合物可能是其生物活性的主要物质基础。

关键词:鬼针草;总黄酮;液质联用;抗氧化; α -淀粉酶; α -葡萄糖苷酶

中图分类号: R285.5; R284.1 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2018)21-0221-04

糖尿病是一种慢性高血糖和脂代谢、蛋白质代谢紊乱为主要特点的内分泌疾病,其发病原因主要为胰岛素分泌不足和胰岛素抵抗,目前,糖尿病已经成为威胁人类健康的第三大疾病。研究表明,氧化应激会导致胰岛 β 细胞功能的损伤和外周胰岛素抵抗,从而诱发糖尿病的形成,继而引发多种并发症。 α -淀粉酶和 α -葡萄糖苷酶是人体中影响饮食淀粉和糖类等主要碳水化合物消化和吸收的关键酶,其抑制剂能够竞争性地抑制酶的活性,延缓肠道碳水化合物的吸收,从而有效抑制餐后血糖升高,常用于二型糖尿病的治疗。常用的此类药物有阿卡波糖、米格列醇、伏格列波糖等,这些药物都存在胃肠不适等副作用,因此,从天然产物中寻找高效、安全的 α -淀粉酶和 α -葡萄糖苷酶抑制剂成为开发糖尿病治疗药物的研究热点。黄酮类化合物是广泛存在于自然界的一种天然多酚类化合物,具有高药理活性的特点。研究表明,黄酮类化合物对糖尿病及其并发症具有明显的治疗作用,其作用机制呈现多途径多靶点的特点,抗糖尿病的主要作用机制包括抗氧化、胰岛 β 细胞保护及功能调节、抑制糖苷酶活性、促进外周组织对糖的利用、抗炎及增强免疫功能等。研究黄酮类化合物对糖尿病的防治具有非常重要的意义。

鬼针草(*Bidens Pilosa* L.)始载于《本草拾遗》,属于菊科(Asteraceae)鬼针草属(*Bidens*)植物。鬼针草味苦无毒,具有清热解毒、活血散瘀、消炎消肿的功效,也可用于治疗痢疾、感冒、腹泻、炎症等^[1-2]。鬼针草的主要化学成分包括黄酮类、

挥发油类、酚酸类、有机酸类及甾体类环合物等^[3-7]。现代药理作用研究表明,鬼针草提取物具有抗氧化、抗炎、抗菌、肝保护作用及降血糖作用^[8-11];鬼针草乙醇提取物的乙酸乙酯和正丁醇萃取物能够降低正常小鼠的血糖,其中乙酸乙酯提取物具有降低四氧嘧啶高血糖小鼠血糖的作用^[12]。同时有研究发现,鬼针草总黄酮对糖尿病小鼠具有降血糖作用,其作用机制为通过调控 PI3K/AKT/GLUT4 信号通路中转录因子的基因和蛋白的表达,从而改善细胞胰岛素抵抗^[13]。本研究对鬼针草不同提取物进行总黄酮含量测定,通过液质联用法初步鉴定其中的黄酮类成分,研究各提取物的体外抗氧化能力,并对其 α -淀粉酶和 α -葡萄糖苷酶的抑制作用进行评价,为鬼针草的开发和利用提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 材料

鬼针草购于吉林大药房,经长春中医药大学李勇教授鉴定为菊科植物鬼针草的干燥地上部分。

芸香苷、PNPG,上海金穗生物科技有限公司;1,1-二苯基-2-苦肟基自由基(DPPH)、ABTS、 α -淀粉酶和 α -葡萄糖苷酶,上海晶纯生化科技股份有限公司;鬼针草购于吉林大药房;其他试剂均为分析纯。

芸香苷对照品,成都曼思特生物科技有限公司,批号: MUST-10060,纯度>98.5%; α -葡萄糖苷酶,美国 Sigma 公司,(批号: G5003);4-硝基苯- α -D-吡喃葡萄糖苷(PNPG),美国 Sigma 公司,(批号: N100371);阿卡波糖(50 mg/片),德国 Bayer 公司;1,1-二苯基-2-三硝基苯肼(DPPH),上海晶纯生化科技股份有限公司; α -淀粉酶,美国 BR 公司,(批号: 9000-90-20);其他试剂均为分析纯。

TU-1810 型紫外可见分光光度计,北京普析通用仪器有

收稿日期:2017-12-21

基金项目:吉林化工学院科学技术研究项目(编号:2016-28);吉林省科技发展计划(编号:20170520039JH)。

作者简介:杨秀东(1981—),男,吉林长春人,博士,讲师,主要从事天然产物及其生物活性研究。E-mail: yangwt_1981@163.com。

限责任公司;SpectraMax Plus384 型酶标仪,美国 Molecular Devices 公司;RE-3000 型旋转蒸发器,上海亚荣生化仪器厂;HH-S 型恒温水浴锅,江苏省金坛市正基仪器有限公司;SHB-Ⅲ A 型循环水式多用真空泵,郑州长城科工贸有限公司;FA2004N 型分析天平,上海精密科学股份有限公司;LQT 型离子阱质谱仪,美国 Thermo Fisher 公司;Eppendorf centrifuge 5810R 台式高速大容量离心机,德国 Eppendorf 公司。

1.2 试验方法

1.2.1 总黄酮提取及制备 干燥的鬼针草 200 g 粗粉,加 10 倍量水,浸泡过夜,回流提取 2 次,每次 2 h,过滤,合并滤液水浴浓缩得水提液 1 000 mL,加入 95% 乙醇至含醇量为 80%,室温放置过夜,抽滤,减压浓缩。然后依次用氯仿、乙酸乙酯、水饱和正丁醇萃取 2 次,各萃取层减压浓缩后分别得萃取物 875.0、348.9、684.5、9 930.0 mg。

1.2.2 总黄酮含量测定 精密配制 0.2 mg/mL 对照品芸香苷的标准液,精密吸取芸香苷对照品溶液 0.5、1.0、2.0、2.5、3.0、4.0 mL 分别置于 10 mL 容量瓶中,然后加入 5 % NaNO₂ 溶液 0.3 mL,摇匀,放置 6 min,加入 10 % Al(NO₃)₃ 溶液 0.3 mL,摇匀,放置 6 min,加入 4 % NaOH 溶液 4.0 mL,最后加入 80 % 乙醇溶液定容至刻度,摇匀,放置 15 min。以 80 % 乙醇溶液为空白对照,用紫外分光光度法于 515 nm 波长处测定上述标准溶液吸光度,制作标准曲线,计算总黄酮含量。鬼针草不同提取物按上述方法提取,于 515 nm 波长处测定吸光度,计算总黄酮含量。

1.2.3 抗氧化活性的测定

1.2.3.1 清除 DPPH 自由基活性 鬼针草各提取物 DPPH 清除作用参考相关文献试验方法^[14]并加以改良,DPPH 用甲醇溶解配制成 0.16 mmol/L 的甲醇溶液。取不同浓度的样品甲醇溶液和维生素 C 甲醇溶液 100 μL 分别加入 96 孔板,并加入 100 μL 的 DPPH 溶液,空白用甲醇代替样品溶液。混合均匀后室温避光反应 30 min,于波长 517 nm 下测定其吸光度(D)。每份样品平行操作 3 次。

清除率 = $[D_{\text{空白}} - D_{\text{样品}}] / D_{\text{空白}} \times 100\%$ 。

提取物的半数抑制率用 IC₅₀ 值表示。

1.2.3.2 超氧阴离子清除 鬼针草各提取物超氧阴离子清除作用参考相关文献试验方法^[15]并加以改良。超氧阴离子清除试验反应体系包括:200 μL 的 50 mmol/L Tris-HCl 缓冲溶液,20 μL 不同浓度的鬼针草样品溶液或维生素 C 溶液,20 μL 的 25 mmol/L 邻苯三酚溶液,混合后立即放入酶标仪中,连续测定 4 min,以吸光度变化率计算样品对超氧阴离子的清除率。

1.2.4 体外酶活性测试

1.2.4.1 鬼针草黄酮化合物对 α-淀粉酶活性的抑制 分别取 20 μL 不同浓度样品溶液,加入 20 μL 淀粉酶溶液,37 ℃ 水浴摇床中孵化 10 min,加 40 μL 淀粉溶液,37 ℃ 水浴摇床中反应 15 min,加 20 μL 盐酸终止反应,加 100 μL 稀碘液,显色,用酶标仪于 595 nm 处测其吸光度(D)。对照组用 PBS 代替淀粉酶溶液,空白用 PBS 代替样品。

α-淀粉酶活性抑制率计算公式:

抑制率 = $D_{\text{样品}} / (D_{\text{对照}} - D_{\text{空白}}) \times 100\%$ 。

1.2.4.2 鬼针草黄酮化合物对 α-葡萄糖苷酶活性的抑制

鬼针草各提取物对 α-葡萄糖苷酶抑制试验参照相关文献试验方法^[16],分别移取 10 mg/mL 各提取液 500 μL 至 1.5 mL 离心管中,分别配成不同浓度梯度的样品溶液。取 50 μL 磷酸缓冲溶液于 96 微孔板中,后分别取不同浓度样品 60 μL,酶溶液 60 μL,50 ℃ 水浴 20 min,再加底物 PNPG 30 μL,50 ℃ 水浴 40 min,加 100 μL 的 Na₂CO₃ 终止反应,用酶标仪在 405 nm 处测定其吸光度(D)。对照组用 PBS 代替酶溶液,空白用 PBS 代替样品。

α-葡萄糖苷酶活性抑制率计算公式:

抑制率 = $[1 - D_{\text{样品}} / (D_{\text{对照}} - D_{\text{空白}})] \times 100\%$ 。

1.2.5 液相-质谱连用鬼针草中化合物的鉴定

1.2.5.1 样品的制备 取上述制备的水提物、氯仿萃取物、乙酸乙酯萃取物、正丁醇萃取物和水萃取物适量,用氮气吹干,用相同体积的水溶解,过 0.22 μm 微孔滤膜过滤,用于鬼针草提取物中黄酮类化学成分的研究。

1.2.5.2 UPLC-MS 条件 Finnigan LQT 质谱仪;电喷雾离子源,毛细管温度 270 ℃;喷雾电压 4.0 KV,透镜电压-250 V;毛细管电压-41 V;质量检测范围 *m/z*:200~1 500;注射流速 5 μL/min;鞘气为氮气,流速 40 mL/min;串联质谱碰撞能量为 30~35 V。

色谱柱为 Kromasil C₁₈ 柱 (250 mm × 4.6 mm,5.0 μm);进样体积为 10 μL;流动相流速为 0.5 mL/min;柱温为 20 ℃,流动相 A:乙腈,流动相 B:0.1% 甲酸水;负离子模式下梯度洗脱 (0~5 min,7%~20% A; >5~15 min,20%~30% A; >15~25 min,30%~40% A; >25~45 min,40%~60% A; >45~55 min,60%~100% A; >55~60 min,100% A; >60~70 min,100%~7% A)。

2 结果与分析

2.1 鬼针草各提取物总黄酮含量

鬼针草的水提物、氯仿萃取物、乙酸乙酯萃取物、正丁醇萃取物、水萃取物的总黄酮含量分别为生药材的 0.71%、1.01%、4.23%、3.57% 和 1.86%。结果表明,鬼针草乙酸乙酯萃取物及正丁醇萃取物的总黄酮含量最高。

表 1 鬼针草不同溶剂提取物总黄酮含量

提取物	总黄酮含量 (%)
水提物	0.71 ± 0.05
氯仿萃取物	1.01 ± 0.15
乙酸乙酯萃取物	4.23 ± 0.21
正丁醇萃取物	3.57 ± 0.17
水萃取物	1.86 ± 0.08

2.2 鬼针草不同提取物抗氧化活性

2.2.1 鬼针草不同提取物对 DPPH 清除能力 鬼针草不同提取物对 DPPH 清除能力见图 1。不同有机相萃取物均具有较强的 DPPH 清除能力,且清除率呈现浓度依赖关系,其中,乙酸乙酯萃取物的清除率明显高于其他提取物,当浓度为 0.2 mg/mL 时,其清除率达到 87.2%。氯仿萃取物的清除作用仅次于乙酸乙酯萃取物。水提物和水萃取物的清除率明显低于其他提取物。从表 2 可以看出,其 IC₅₀ 值为:维生素 C < 乙酸乙酯萃取物 < 氯仿萃取物 < 正丁醇萃取物 < 水萃取物和水提物,表明鬼针草不同提取物对 DPPH 的清除能力均弱于维生素 C。

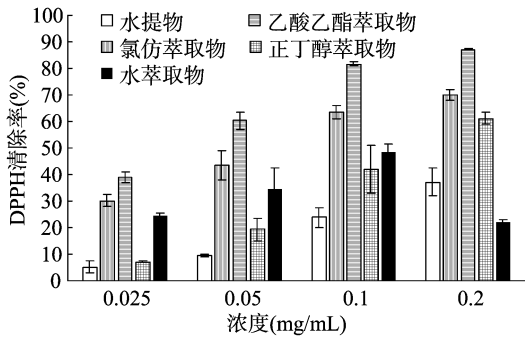


图1 鬼针草不同提取物 DPPH 清除率

表 2 鬼针草不同提取物对 DPPH 清除能力的 IC₅₀ 值

提取物	IC ₅₀ (mg/mL)
维生素 C	0.010 1
水提取物	>0.2
氯仿萃取物	0.085 4
乙酸乙酯萃取物	0.025 1
正丁醇萃取物	0.151 9
水萃取物	>0.2

2.2.2 超氧阴离子清除率 鬼针草不同提取物对超氧阴离子清除率结果见图 2。不同提取物在试验浓度范围内均显示了一定的超氧阴离子清除能力,其中,有机溶剂萃取物的清除能力明显高于水相提取物,乙酸乙酯萃取物在试验浓度范围内显示了较高的清除能力,在 0.8、1.6 mg/mL 时,其清除能力分别为 80.8%、90.5%。在此浓度下,氯仿萃取物和正丁醇萃取物对超氧阴离子的清除率相当。不同提取物及阳性对照维生素 C 的超氧阴离子清除作用 IC₅₀ 值见表 3,乙酸乙酯萃取物的超氧阴离子清除作用的 IC₅₀ 值小于维生素 C 的 IC₅₀ 值,说明其清除超氧阴离子的能力强于维生素 C。

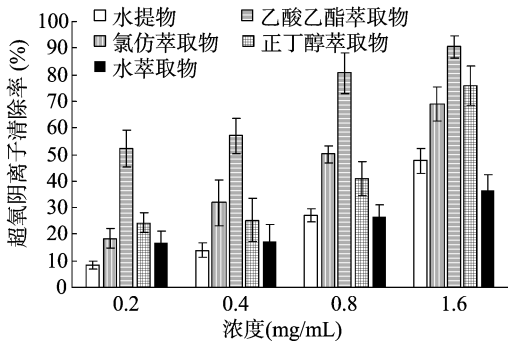


图2 鬼针草不同提取物超氧阴离子清除率

表 3 鬼针草不同提取物对超氧阴离子清除能力的 IC₅₀ 值

提取物	IC ₅₀ (mg/mL)
维生素 C	0.57
水提取物	>1.60
氯仿萃取物	0.71
乙酸乙酯萃取物	0.36
正丁醇萃取物	0.97
水萃取物	>1.60

2.3 鬼针草不同提取物对 α -淀粉酶和 α -葡萄糖苷酶的抑制作用

不同浓度鬼针草提取物对 α -淀粉酶的抑制作用见图 3,

其中,氯仿萃取物及乙酸乙酯萃取物对 α -淀粉酶具有较强的抑制作用。在浓度为 1.0 mg/mL 时,乙酸乙酯萃取物的抑制率最高,达到 60.27%,而氯仿萃取物稍低,为 47.39%。水提取物、正丁醇萃取物和水萃取物的抑制作用均不明显。作为阳性对照药物,阿卡波糖对 α -淀粉酶抑制作用的 IC₅₀ 值为 0.10 mg/mL。乙酸乙酯萃取物的 IC₅₀ 值为 0.81 mg/mL,其他不同提取物的 IC₅₀ 值均大于 1.0 mg/mL,表明鬼针草乙酸乙酯萃取物和氯仿萃取物具有较好的 α -淀粉酶抑制作用,但抑制作用弱于阿卡波糖。

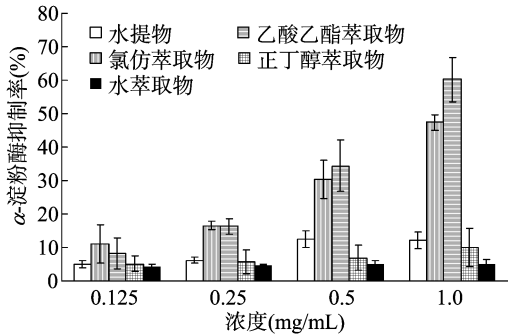


图3 鬼针草不同提取物对 α -淀粉酶的抑制作用

从图 4 可以看出,鬼针草不同提取物对 α -葡萄糖苷酶活性有一定的抑制作用,其抑制作用与浓度呈依赖关系,其中,乙酸乙酯萃取物和正丁醇萃取物对 α -葡萄糖苷酶抑制作用稍高于其他提取物,当浓度为 2.0 mg/mL,乙酸乙酯萃取物和正丁醇萃取物对 α -葡萄糖苷酶抑制作用分别为 41.2%、45.6%。阳性对照药物阿卡波糖对 α -葡萄糖苷酶的抑制作用明显高于鬼针草不同提取物,其抑制作用的 IC₅₀ 为 0.10 mg/mL,而不同提取物的 IC₅₀ 均大于 2.0 mg/mL。表明鬼针草不同提取物对 α -葡萄糖苷酶具有抑制作用,但抑制作用低于阿卡波糖。

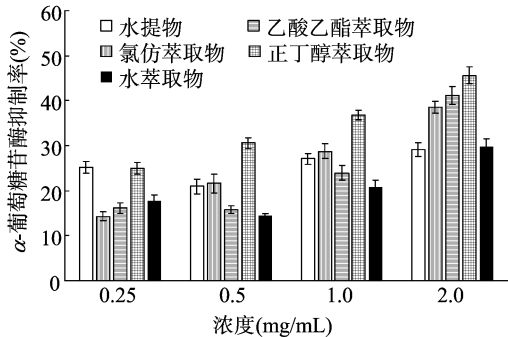


图4 鬼针草不同提取物对 α -葡萄糖苷酶的抑制作用

2.4 鬼针草乙酸乙酯萃取物中化学成分分析

鬼针草乙酸乙酯萃取物总离子流见图 5。鬼针草中含有黄酮类、酚酸类及皂苷类成分,为了有效地提高分离效果,首先对流动相进行选择,结果表明乙腈-甲酸水流动相分离效果优于甲醇-水系统,由于乙酸乙酯萃取物中含有化学成分较多,因此,采用柱长为 250 mm 的色谱柱,得到的分离效果较好。

(1) 1 号化合物的鉴定:其保留时间为 15.32 min,准分子离子峰 $[M + HCOOH]^-$ 为 315,其相对分子质量为 270,其保留时间与标准品芹菜素一致,因此化合物鉴定为芹菜素。
(2) 2 号化合物的鉴定:其准分子离子峰为 $[M - H]^-$ 为 433,

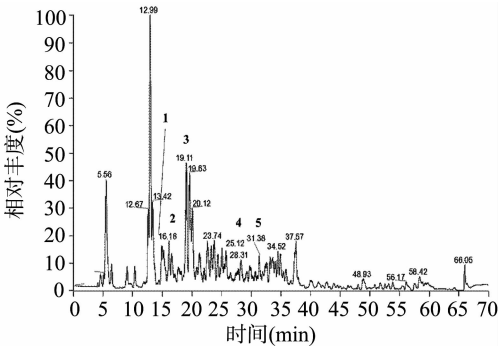


图5 鬼针草乙酸乙酯萃取物的总离子流

所以其相对分子质量为 434, 二级质谱显示, 产生碎片离子 $[M - H - 162]^- (m/z) 271$, 即失去 1 个 m/z 162 的中性片段, 为其失去葡萄糖中性片段(3), 结合文献[17]可以确定为柚皮素-7-O- β -D-葡萄糖苷。(3)3 号化合物的鉴定: 其准分子离子峰 $[M + HCOOH]^-$ 为 477, 所以其相对分子质量为 432, 二级质谱显示, 产生碎片离子 $[M - H - 162]^- (m/z) 269$, 即失去 1 个 m/z 162 的中性片段, 为其失去葡萄糖中性片段, 结合文献[18], 确定为芹菜素-7-O- β -D-葡萄糖苷。(4)4 号化合物的鉴定: 其准分子离子峰 $[M - H]^-$ 为 447, 所以其相对分子质量为 448, 二级质谱显示, 产生碎片离子 $[M - H - 162]^- (m/z) 285$, 即失去 1 个 m/z 162 的中性片段, 为其失去葡萄糖中性片段, 结合文献[19]可以确定为木犀草苷。(5)5 号化合物的鉴定: 其准分子离子峰 $[M - H]^-$ 为 285, 所以其相对分子质量为 286, 二级质谱显示, 产生碎片离子 $[M - H - 44]^- (m/z) 241$, 即失去 1 个 m/z 44 的中性片段, 为其失去 $-CO_2$, 结合文献[18]可以确定为木犀草素(表 4)。

表 4 鬼针草乙酸乙酯萃取物的质谱分析结果

序号	保留时间 (min)	分子离子峰 (m/z)	MS^2 主要 离子碎片 (m/z)	化合物名称
1	15.32	315	269	芹菜素
2	16.24	433	271	柚皮素-7-O- β -D-葡萄糖苷
3	19.11	477	433, 269	芹菜素-7-O- β -D-葡萄糖苷
4	28.31	447	285	木犀草苷
5	31.38	285	241	木犀草素

3 结论

本试验采用了水提醇沉法对鬼针草总黄酮进行提取, 并进一步用溶剂萃取法对水提液进行萃取, 结果表明, 各有机相中总黄酮含量较高, 其中乙酸乙酯萃取物总黄酮含量最高。抗氧化活性试验结果表明, 在试验浓度范围内, 各有机相萃取物对 DPPH 和超氧阴离子清除率高于水相萃取物及水提物, 推测其抗氧化能力与总黄酮含量相关。酶活性抑制试验表明, 乙酸乙酯萃取物和正丁醇萃取物对 α -淀粉酶和 α -葡萄糖苷酶均具有较强的抑制作用。采用液质联用法对乙酸乙酯萃取物中的黄酮类成分进行了初步鉴定, 分析其中各峰的碎片离子, 并结合文献, 其中几种黄酮类化合物分别鉴定为芹菜素、柚皮素-7-O- β -D-葡萄糖苷、芹菜素-7-O- β -D-葡萄糖苷、木犀草苷和木犀草素。鬼针草提取物中的黄酮类成分可能是其抗氧化和酶抑制活性的物质基础, 这为

鬼针草的进一步开发和利用提供了理论基础和科学依据。

参考文献:

[1] 江苏新医学院. 中药大辞典(上册)[M]. 上海: 上海人民出版社, 1997: 1354.

[2] 四川医学院. 中草药学[M]. 北京: 人民卫生出版社, 1978: 80 - 104.

[3] 李 帅, 匡海学, 冈田嘉仁, 等. 鬼针草有效成分的研究(II) [J]. 中草药, 2004, 35(9): 972 - 975.

[4] 黄敏珠, 陈海生, 刘建国, 等. 中药鬼针草化学成分的研究[J]. 第二军医大学学报, 2006, 27(8): 888 - 891.

[5] 姜 涛, 秦路平, 郑汉臣, 等. 鬼针草黄酮类化学成分及其抗脂质过氧化作用的研究[J]. 天然产物研究与开发, 2006, 18(5): 765 - 767.

[6] 张延昌, 张永明. 鬼针草的研究现状与应用前景[J]. 齐鲁师范学院学报, 2004, 19(4): 79 - 83.

[7] Zahara K, Bibi Y, Tabassum S, et al. A review on pharmacological properties of *Bidens biternata*: a potential nutraceutical [J]. Asian Pacific Journal of Tropical Disease, 2015, 5(8): 595 - 599.

[8] Zhong M M, Chen F H, Yuan L P, et al. Protective effect of total flavonoids from *Bidens bipinnata* L. against carbon tetrachloride - induced liver injury in mice [J]. Journal of Pharmacy and Pharmacology, 2007, 59(7): 1017 - 1025.

[9] 陈飞虎, 袁丽萍, 钟明媚, 等. 鬼针草总黄酮抗大鼠肝纤维化的实验研究[J]. 中国临床药理学与治疗学, 2006, 11(12): 1369 - 1374.

[10] 闫 波, 陈飞虎, 吴繁荣, 等. 鬼针草总黄酮对肝纤维化大鼠治疗作用及机制探讨[J]. 中国药理学通报, 2008, 24(12): 1640 - 1645.

[11] 吴繁荣, 陈飞虎, 胡 伟, 等. 鬼针草总黄酮抗大鼠免疫性肝纤维化作用及部分机制研究[J]. 中国药理学通报, 2008, 24(6): 753 - 756.

[12] 李 帅, 匡海学, 毕明刚, 等. 鬼针草提取物对 II 型糖尿病小鼠降血糖作用的研究[J]. 中医药学报, 2003, 31(5): 37 - 38.

[13] 黄桂红, 刘天旭, 朱钊铭, 等. 鬼针草黄酮对 HepG2 胰岛素抵抗细胞 P13K/AKT1/GLUT4 信号通路的调控作用[J]. 实用医学杂志, 2016, 32(24): 3994 - 3998.

[14] 杜 娟, 罗秋水, 杜华英, 等. 香水百合中总黄酮提取及抗氧化性[J]. 江苏农业科学, 2016, 44(12): 320 - 322.

[15] 王 鹏, 郭 丽, 周凤超, 等. 玉米皮类黄酮超声波提取工艺优化及其抗氧化活性研究[J]. 江苏农业科学, 2016, 44(11): 337 - 340.

[16] 刘 颖, 郑 彧, 郭忠成, 等. 葫芦巴生品、酒制品抑制 α -葡萄糖苷酶和 α -淀粉酶活性的有效部位筛选及其酶动力学分析 [J]. 中国实验方剂学杂志, 2017, 23(4): 25 - 28.

[17] 李 晨, 姜子涛, 李 荣. 高效液相色谱-串联质谱联用技术鉴定樱桃桃叶中的黄酮成分[J]. 食品科学, 2013, 34(16): 226 - 230.

[18] 李 勇, 林 茜, 逢 涛, 等. 超高效液相色谱-串联质谱法定量分析烟叶中的 12 种类黄酮物质[J]. 色谱, 2015, 33(7): 746 - 752.

[19] 张维冰, 王智聪, 张凌怡. 超高效液相色谱-光电二极管阵列检测-串联四级杆质谱法测定红洋葱中黄酮醇及其糖苷类化合物 [J]. 分析化学, 2014, 42(3): 415 - 422.