

不同产地浮萍中 5 种黄酮成分量及抗氧化活性的化学模式识别研究

蒋祥亮^{1,2}, 刘聪燕², 陈彦^{2*}, 黄萌萌², 王理想², 李萍^{1,2}

1. 安徽中医药大学, 安徽 合肥 230012

2. 江苏省中医药研究院, 中药组分与微生态研究中心, 江苏 南京 210028

摘要:目的 测定不同产地浮萍 *Spirodela polyrriza* 中 5 个黄酮类成分的量, 并对其抗氧化活性进行评价。方法 采用 HPLC 法, 以乙腈-0.1% 甲酸为流动相测定 8 个产地 17 批浮萍药材中荭草素、牡荆素、木犀草苷、大波斯菊苷、木犀草素的量; 采用 DPPH 清除率法比较不同产地浮萍的抗氧化活性, 并结合聚类分析和主成分分析等化学模式识别技术对浮萍质量进行评价。结果 不同产地浮萍中 5 个黄酮类成分量存在一定差异, 聚类分析和主成分分析均可将不同产地浮萍分为 3 类, 且分类结果一致。其中陕西和山西产地的浮萍中荭草素、牡荆素、木犀草苷的量均较其他产地明显偏高; 相关性分析表明, 氧化清除率与黄酮类成分量呈显著正相关。结论 陕西和山西产地的浮萍黄酮类成分量高, 抗氧化能力较强。所建立的分析方法稳定可靠, 可为浮萍药材的产地识别和质量控制提供参考。

关键词: 浮萍; 黄酮类; 荭草素; 牡荆素; 木犀草苷; 大波斯菊苷; 木犀草素; 聚类分析; 主成分分析; 抗氧化活性

中图分类号: R286.6 **文献标志码:** A **文章编号:** 0253-2670(2017)05-0985-06

DOI: 10.7501/j.issn.0253-2670.2017.05.024

Chemical pattern recognition on contents of five flavonoids and anti-oxidant activity of *Spirodela Herba* from different growing areas

JIANG Xiang-liang^{1,2}, LIU Cong-yan², CHEN Yan², HUANG Meng-meng², WANG Li-xiang², LI Ping^{1,2}

1. Anhui University of Chinese Medicine, Hefei 210028, China

2. Jiangsu Provincial Academy of Traditional Chinese Medicine, Multi-component of Traditional Chinese Medicine and Microecology Research Center, Nanjing 210028, China

Abstract: Objective To determine the contents of five flavonoids in *Spirodela Herba* from different growing areas, and evaluate its anti-oxidant activity. **Methods** Contents of orientin, vitexin, cynaroside, apigenin-7-glucoside, and luteolin in 17 batches of *Spirodela Herba* from eight origins were determined by HPLC with acetonitrile and 0.1% formic acid as mobile phase, and DPPH method was used to compare their anti-oxidant activities, together with cluster analysis and principal component analysis, the quality of *Spirodela Herba* was evaluated. **Results** The contents of five flavonoids in *Spirodela Herba* from different growing areas exist certain differences, which can be divided into three different categories by cluster analysis and principal component analysis. The contents of orientin, vitexin, and cynaroside were significantly higher in samples from Shaanxi and Shanxi provinces than those from other origins, as well as their oxidation clearance rates were relatively high. The correlation analysis showed there was a significant positive correlation between the rate of oxidative elimination and flavonoid content. **Conclusion** *Spirodela Herba* from Shaanxi and Shanxi provinces has higher contents of flavonoids with strong antioxidant capacity. The analytical method is stable and reliable, which can provide the reference for enhancing the quality control of *Spirodela Herba*.

Key words: *Spirodela Herba*; flavonoids; orientin; vitexin; cynaroside; apigenin-7-glucoside; luteolin cluster analysis; principal component analysis; anti-oxidant activity

浮萍为水面浮生植物, 在全国各地分布广泛, 资源丰富, 为浮萍科植物紫萍 *Spirodela polyrriza* (L.) Schleid. 的干燥全草, 作为传统中药收载于《中国药典》2015 年版一部。浮萍性辛, 寒, 归肺经,

有宣散风热、透疹、利尿的功效。临床上主要用于治疗风湿麻痹、水肿、风热隐疹、吐血和口舌生疮^[1-2]等。近年来, 对浮萍的研究主要集中在其对污染水质中氮、磷的吸收净化能力^[3], 所含化学成分的分

收稿日期: 2016-11-21

作者简介: 蒋祥亮 (1990—), 男, 硕士在读, 药剂学。Tel: 18351895657 E-mail: JXLiang6812@163.com

*通信作者 陈彦, 女, 研究员, 博士生导师, 主要从事生物药剂学及中药新型给药系统研究。Tel: 13805157904 E-mail: ychen202@hotmail.com

离鉴定^[4], 及其多糖的提取、分离^[5]等方面, 而关于浮萍化学成分测定的研究报道较少, 且《中国药典》2015 年版对浮萍的质量控制也没有规定定量指标。文献报道浮萍中含有荭草素、牡荆素、木犀草苷、大波斯菊苷、木犀草素等黄酮类成分^[6], 这些黄酮类化合物具有抗氧化、抗炎、抗肿瘤、治疗心脑血管疾病等广泛的生物活性^[7-8]。为更好地控制浮萍的质量, 本实验建立了 HPLC 测定浮萍中 5 种黄酮类成分的方法, 并对浮萍的抗氧化活性进行测定; 采用聚类分析和主成分分析对不同产地不同批次的浮萍药材进行了分析, 为浮萍的质量控制与进一步研究和开发利用提供了参考。

1 仪器与材料

Agilent 1260 高效液相色谱仪 (美国安捷伦公司); UV 1800 PC 紫外可见分光光度计 (上海凤凰光学仪器有限公司); FA2104 万分之一分析电子天平 (上海良平仪器仪表有限公司); AT201 十万分之一电子天平 (METTLER TOLEDO); TG16W 台式高速离心机 (长沙湘智离心机仪器有限公司)。

浮萍药材均购于安徽亳州药材有限公司, 经江苏省中医药研究院钱士辉教授鉴定为浮萍科植物紫萍 *Spirodela polyrriza* (L.) Schleid. 的干燥全草, 产地河南 3 个批次分别命名为河南 1 (批号 20160529)、河南 2 (批号 20160707)、河南 3 (批号 160401); 产地江苏 3 个批次分别命名为江苏 1 (批号 20160529)、江苏 2 (批号 20160707)、江苏 3 (批号 160320); 产地陕西、山西、河北、山东和安徽各两个批次分别命名为陕西 1 (批号 20160529) 和陕西 2 (批号 20160707)、山西 1 (批号 20160529) 和山西 2 (批号 20160707)、河北 1 (批号 20160529) 和河北 2 (批号 20160707)、山东 1 (批号 20160529) 和山东 2 (批号 20160707)、安徽 1 (批号 20160201) 和安徽 2 (批号 160521); 产地湖北命名为湖北 (批号 160420); 对照品荭草素 (质量分数 $\geq 98\%$, 批号 28608-75-5)、牡荆素 (质量分数 $\geq 98\%$, 批号 3681-93-4)、木犀草苷 (质量分数 $\geq 98\%$, 批号 5373-11-5)、大波斯菊苷 (质量分数 $\geq 98\%$, 批号 578-74-5)、木犀草素 (质量分数 $\geq 98\%$, 批号 491-70-3) 均购自中国科学院成都生物研究所 (供测定用), 1,1-二苯基-2-苦基肼 (DPPH, 源叶生物), 乙腈为色谱纯, 水为超纯水, 其他试剂均为分析纯。

2 方法与结果

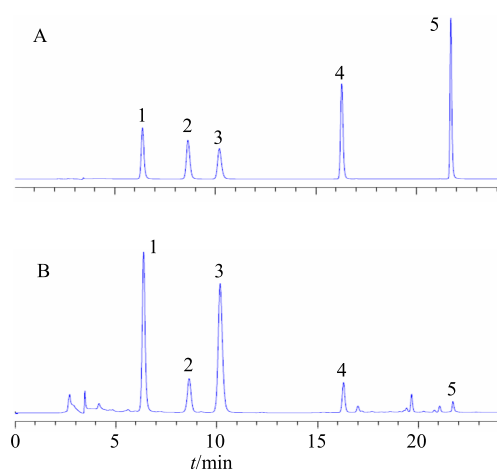
2.1 HPLC 测定方法的建立

2.1.1 色谱条件 Zorbax SB-C₁₈ 色谱柱 (250 mm $\times$ 4.6 mm, 5 μ m); 流动相为乙腈-0.1%甲酸水系统, 梯度洗脱: 0~10 min, 18%乙腈; 10~16 min, 18%~30%乙腈; 16~24 min, 30%~44%乙腈; 检测波长 340 nm; 体积流量 1.0 mL/min; 柱温 30 $^{\circ}$ C, 进样量 10 μ L。

2.1.2 对照品溶液的配制 精密称取 105 $^{\circ}$ C 条件下干燥至恒定质量的对照品荭草素 3.96 mg、牡荆素 3.30 mg、木犀草苷 3.22 mg、大波斯菊苷 1.60 mg、木犀草素 2.04 mg, 精密称定。荭草素、牡荆素、木犀草苷和大波斯菊苷对照品直接加入 10 mL 量瓶; 木犀草素对照品置于 4 mL 容量瓶, 用甲醇完全溶解并定容, 摇匀, 取 0.5 mL 加入上述 10 mL 量瓶中, 用甲醇完全溶解并定容, 摇匀即得含荭草素、牡荆素、木犀草苷、大波斯菊苷、木犀草素质量浓度分别为 0.396、0.330、0.322、0.160、0.026 mg/mL 的混合对照品溶液。

2.1.3 供试品溶液的配制 取浮萍 (干燥、粉碎、过 60 目筛) 0.2 g, 精密称定, 置于锥形瓶中, 加入 50 mL 甲醇, 摇匀, 称定质量, 超声 (功率 250 W, 频率 45 kHz) 30 min, 放冷后, 用甲醇补足损失的质量; 滤过, 备用。

2.1.4 测定方法 分别精密吸取上述对照品溶液与供试品溶液, 按“2.1.1”项下的 HPLC 色谱方法进行测定。HPLC 色谱图见图 1。



1-荭草素 2-牡荆素 3-木犀草苷 4-大波斯菊苷 5-木犀草素
1-orientin 2-vitexin 3-cynaroside 4-apigenin-7-glucoside 5-luteolin

图 1 混合对照品 (A) 和供试品 (B) 溶液的 HPLC 色谱图
Fig. 1 HPLC of mixed reference (A) and test (B) solution

2.2 方法学考察

2.2.1 线性关系考察 精密量取“2.1.2”项下混合对照品溶液，用甲醇等倍稀释成不同质量浓度的混合对照品溶液，其中荇草素质量浓度分别为 6.19、12.38、24.75、49.50、99.00、198.00、396.00 $\mu\text{g/mL}$ ；牡荆素质量浓度分别为 5.16、10.31、20.63、41.25、82.50、165.00、330.00 $\mu\text{g/mL}$ ；木犀草苷质量浓度分别为 5.03、10.06、20.13、40.25、80.50、161.00、

322.00 $\mu\text{g/mL}$ ；大波斯菊苷质量浓度分别为 2.50、5.00、10.00、20.00、40.00、80.00、160.00 $\mu\text{g/mL}$ ；木犀草素质量浓度分别为 0.40、0.80、1.59、3.19、6.38、12.75、25.50 $\mu\text{g/mL}$ ，按上述 HPLC 色谱方法进行测定，以质量浓度为横坐标 (X)，峰面积为纵坐标 (Y) 进行线性回归分析，绘制标准曲线，结果见表 1，实验结果表明峰面积与质量浓度呈良好的线性关系。

表 1 回归方程、相关系数、线性范围

Table 1 Linear regression equations, correlation coefficients, and linear ranges

组分	回归方程	r	线性范围/ $(\mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1})$
荇草素	$Y=25.645 X+22.741$	0.999 9	6.19~396.00
牡荆素	$Y=28.318 X+52.673$	0.999 5	5.16~330.00
木犀草苷	$Y=27.292 X+60.506$	0.999 5	5.03~322.00
大波斯菊苷	$Y=31.161 X+44.609$	0.999 9	2.50~160.00
木犀草素	$Y=42.635 X+16.128$	0.999 9	0.40~25.50

2.2.2 精密度试验 按“2.1.1”项下的方法重复进样 6 次“2.1.2”项下制备的混合对照品溶液，测定和记录峰面积，计算荇草素、牡荆素、木犀草苷、大波斯菊苷、木犀草素峰面积的 RSD 值分别为 0.97%、0.89%、1.19%、0.50%、1.28%，表明仪器精密度良好。

2.2.3 稳定性试验 取同一份安徽 1 浮萍供试品溶液，室温放置，分别测定其在 0、2、4、8、12、24 h 内峰面积，计算 24 h 内荇草素、牡荆素、木犀草苷、大波斯菊苷、木犀草素峰面积的 RSD 值分别为 1.85%、1.92%、1.93%、1.43%、1.54%，表明供试样品溶液在室温下 24 h 内稳定性良好。

2.2.4 重复性试验 取安徽 1 样品共 6 份，精密称定，按“2.1.3”项下方法制备供试品溶液，按“2.1.1”项下色谱条件测定其荇草素、牡荆素、木犀草苷、大波斯菊苷、木犀草素的峰面积，计算各成分的质量分数分别为 0.63%、0.14%、0.65%、0.07%、0.012%，RSD 值分别为 1.93%、1.85%、1.65%、1.96%、1.99%，实验结果表明该方法重复性良好。

2.2.5 加样回收率试验 取已测定的安徽 1 浮萍药材粉末约 0.1 g，精密称定，共 6 份，精密加入混合对照品溶液适量，按“2.1.3”项下制备供试品溶液，分别进样 10 μL ，测定，计算回收率及 RSD 值，荇草素、牡荆素、木犀草苷、大波斯菊苷、木犀草素回收率分别为 100.6%、96.1%、99.1%、103.0%、102.1%，RSD 值分别为 2.54%、

2.18%、1.99%、1.98%、3.25%。符合《中国药典》2015 年版要求^[9]。

2.3 不同产地浮萍黄酮成分的测定

取不同产地的浮萍，按“2.1.3”项下方法制备供试品溶液，按“2.1.1”项下方法测定 5 种黄酮类分量，结果见表 2。结果表明荇草素和木犀草苷的量比较高，大波斯菊苷和木犀草素的量相对较低；其中山西、陕西产地及河北 2、安徽 1 和湖北产浮萍中 5 种黄酮总量值在 1.5%~2.2%，质量分数较高；河南、江苏、山东产地及河北 1、安徽 2 产浮萍中的 5 种黄酮总量值在 1.0%~1.5%。

2.4 DPPH 清除率的测定

取不同产地浮萍粉末 0.2 g，精密称定，置 50 mL 锥形瓶中，加入 50 mL 甲醇，摇匀，称定质量，超声（功率 250 W，频率 45 kHz）30 min，放冷后，用甲醇补足缺失的质量，滤过，取滤液，分别用甲醇稀释至适当倍数为供试品溶液；取 DPPH 15 mg，精密称定，于 250 mL 棕色量瓶中，用甲醇超声溶解，定容摇匀放 4 $^{\circ}\text{C}$ 冰箱备用。

设置空白对照组、对照组和 3 个样品组，样品组加入上述制备的 DPPH 溶液 3.5 mL 和不同体积（分别为 0.9、0.8、0.7、0.6、0.5、0.4、0.2 mL）的供试品溶液，DPPH 空白对照组加入相应体积的甲醇，供试品空白对照组加入 3.5 mL 的甲醇，30 min 后在 517 nm 下测定各组吸光度值 (A)^[10-11]。计算不同产地浮萍对 DPPH 自由基的清除率。

表 2 不同产地浮萍中黄酮类成分的质量分数及其 IC_{50} Table 2 Contents of flavonoids in *Spirodela Herba* from different growing areas and their IC_{50} values

产地	荭草素/%	牡荆素/%	木犀草苷/%	大波斯菊苷/%	木犀草素/%	总量/%	$IC_{50}/(mg \cdot mL^{-1})$
河南 1	0.49	0.12	0.54	0.06	0.040	1.250	0.285
河南 2	0.34	0.09	0.54	0.03	0.050	1.050	0.467
河南 3	0.49	0.11	0.47	0.04	0.024	1.134	0.316
江苏 1	0.52	0.13	0.56	0.06	0.040	1.310	0.335
江苏 2	0.50	0.13	0.56	0.05	0.066	1.306	0.454
江苏 3	0.56	0.14	0.61	0.07	0.024	1.404	0.403
陕西 1	0.78	0.19	0.93	0.10	0.005	2.005	0.132
陕西 2	0.88	0.21	0.93	0.09	0.005	2.115	0.161
山西 1	0.74	0.21	0.85	0.09	0.004	1.894	0.128
山西 2	0.82	0.20	0.85	0.04	0.023	1.933	0.202
河北 1	0.51	0.13	0.57	0.07	0.020	1.300	0.187
河北 2	0.72	0.14	0.57	0.07	0.012	1.512	0.140
山东 1	0.46	0.12	0.50	0.06	0.020	1.160	0.300
山东 2	0.64	0.15	0.50	0.06	0.030	1.380	0.333
安徽 1	0.65	0.15	0.63	0.06	0.012	1.502	0.185
安徽 2	0.58	0.13	0.63	0.07	0.010	1.420	0.179
湖北	0.60	0.17	0.64	0.07	0.025	1.505	0.175

$$DPPH \text{ 清除率} = 1 - (A_{\text{样品组}} - A_{\text{对照}}) / A_{\text{空白对照}}$$

以清除率为 50% 时供试品质量浓度 (IC_{50}) 为评价指标, IC_{50} 越小, 表明该产地的浮萍对 DPPH 自由基的清除能力越强。由 SPSS 21.0 统计软件计算 IC_{50} 值并分析其与 5 种黄酮类成分的相关性, 各黄酮成分的量及 IC_{50} 值结果见表 2。其中陕西、河北、安徽、湖北产和山西 1 产地浮萍 IC_{50} 值在 0.1~0.2 mg/mL, IC_{50} 值较低, 抗氧化能力较强; 河南、江苏、山东产及山西 2 产地浮萍 IC_{50} 值在 0.2~0.5 mg/mL, IC_{50} 值相对较高, 抗氧化能力相对较弱。由相关性分析表明, DPPH 清除率与黄酮类成分量具有显著相关性 ($P < 0.05, 0.01$), 浮萍中黄酮类成分量高其氧化清除率也较高, 抗氧化能力较强。

2.5 聚类分析

将不同产地浮萍中荭草素、牡荆素、木犀草苷、大波斯菊苷、木犀草素的量输入 SPSS 21.0 统计软件, 采用组间均连法, 以欧氏距离为指标进行聚类分析, 结果如图 2 所示。

对 17 批浮萍样品 5 种黄酮类成分量进行聚类分析, 结果显示上述样品可分为 3 类: I 类包含山西和陕西两个产地, 共计 4 个批次, 其荭草素、牡荆素、木犀草苷的量均较其他产地明显偏高; II 类包含湖北、安徽、江苏 3、河北 2、山东 2 共计 6 个批次, 荭草素、牡荆素、木犀草苷的量较 I 类次之; III 类包含河

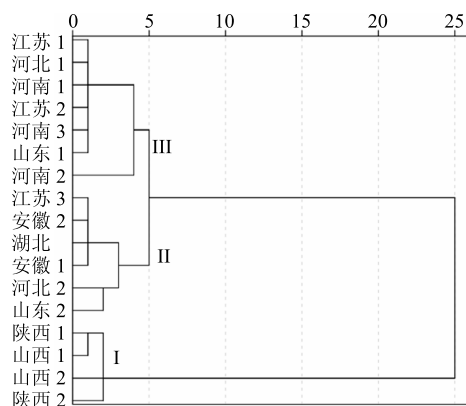


图 2 17 批浮萍中黄酮类成分的聚类分析结果

Fig. 2 Cluster analysis of flavonoids in 17 batches of *Spirodela Herba*

南、江苏、河北 1、山东 1 共计 7 个批次, 荭草素、牡荆素、木犀草苷的量均较其他产地偏低, 即各产地浮萍 5 种黄酮类成分量: I 类 > II 类 > III 类。

2.6 主成分分析

通过 SPSS 21.0 统计软件中的因子分析对不同产地浮萍中 5 个黄酮类成分量进行处理, 主成分分析解释的总方差见表 3。软件默认特征值大于 1 的成分作为主成分, 由表 3 知, 只有第 1 个成分的初始特征值大于 1, 即 3.824, 但第 1 个成分对总方差的累积贡献率只有 76.477%, 偏小, 若提取前 2

个成分, 累积贡献率可达到 89.022% > 85%, 表明前两个主成分已基本包含了浮萍黄酮类成分的全部信息, 可用前 2 个主成分对其进行综合评价。主成分 1 的特征值为 3.824, 方差贡献率为 76.477%,

主成分 2 的特征值为 0.627, 方差贡献率为 12.545%, 2 个主成分的累积方差贡献率为 89.022%, 满足主成分分析要求。因子得分、主成分得分、综合得分及排名如表 4 所示。

表 3 主成分分析解释的总方差

Table 3 Principal component analysis of total variance explained

成分	初始特征值			提取平方和载入		
	合计	方差贡献率/%	累积贡献率%	合计	方差贡献率/%	累积贡献率%
1	3.824	76.477	76.477	3.824	76.477	76.477
2	0.627	12.545	89.022	0.627	12.545	89.022
3	0.342	6.842	95.863			
4	0.150	2.994	98.857			
5	0.057	1.143	100.000			

表 4 2 个主成分的因子得分、主成分得分、综合得分及排名

Table 4 Factor scores, principal component scores, total scores, and ranking of two principal components

类别	产地	因子 1 得分	因子 2 得分	主成分 1 得分	主成分 2 得分	综合得分	排名
I 类	陕西 2	1.838 08	0.560 35	3.582 135	0.448 980	3.129 097	1
	陕西 1	1.697 09	-0.505 01	3.307 367	-0.404 640	2.770 631	2
	山西 1	1.535 41	-0.211 77	2.992 277	-0.169 680	2.535 075	3
	山西 2	0.778 15	2.714 11	1.516 494	2.174 678	1.611 664	4
II 类	湖北	0.200 02	0.063 01	0.389 808	0.050 487	0.340 744	5
	河北 2	0.244 68	-0.785 64	0.476 844	-0.629 490	0.316 873	6
	安徽 1	0.171 58	-0.246 13	0.334 383	-0.197 210	0.257 517	7
	安徽 2	0.058 38	-1.161 53	0.113 774	-0.930 670	-0.037 250	8
	江苏 3	-0.109 09	-0.540 67	-0.212 600	-0.433 210	-0.244 500	9
	山东 2	-0.269 87	0.128 33	-0.525 940	0.102 824	-0.435 020	10
III 类	河北 1	-0.276 41	-1.073 13	-0.538 680	-0.859 840	-0.585 120	11
	江苏 1	-0.637 94	0.188 49	-1.243 250	0.151 027	-1.041 640	12
	山东 1	-0.658 06	-1.111 08	-1.282 460	-0.890 250	-1.225 750	13
	河南 1	-0.788 92	-0.067 15	-1.537 480	-0.053 800	-1.322 950	14
	江苏 2	-1.107 70	1.663 94	-2.158 740	1.333 230	-1.653 820	15
	河南 3	-1.008 88	-0.261 63	-1.966 150	-0.209 630	-1.712 170	16
	河南 2	-1.666 52	0.645 51	-3.247 790	0.517 214	-2.703 390	17

3 讨论

药材质量的优劣直接影响其疗效的发挥, 因此建立与疗效相关的质量控制标准与方法对药材质量的控制及疗效的发挥意义重大。

黄酮类成分是浮萍中含有的主要化学成分, 有文献虽对浮萍中的黄酮类成分进行了测定, 但未与其活性进行相关性研究^[8-9]。本实验建立了 HPLC 测定浮萍中 5 个黄酮类成分量的方法并对不同产地的浮萍药材进行考察, 发现不同产地、不同批次浮萍

中 5 个黄酮类成分总量有一定差异, 但差异波动范围不是很大, 初步说明不同产地浮萍药材的质量还是比较均衡的。此外, 本实验还采用 DPPH 自由基清除率法对不同产地不同批次浮萍的抗氧化活性及其与黄酮类成分量的相关性进行了研究, 发现浮萍的抗氧化活性与 5 个黄酮类成分量均呈显著正相关, 表明这 5 个黄酮类成分均可作为浮萍药材质量控制的指标, 但综合考虑不同产地浮萍黄酮类成分测定结果, 荭草素、牡荆素、木犀草苷的量相对较

高, 易于检测, 可能更适于作为浮萍药材测定的指标性成分。聚类分析结合主成分分析结果显示, 陕西和山西共计 4 个批次的浮萍药材统一聚为 I 类, 主成分综合得分排名位居前 4, 表明陕西和山西的浮萍药材质量较好, 其不仅荭草素、牡荆素、木犀草苷的量均较其他产地明显偏高, 而且抗氧化活性也较好, 因此本研究建立的与活性相关的以荭草素、牡荆素等黄酮类成分为考察指标的浮萍药材的质量控制方法是可行的, 建议《中国药典》可以增加荭草素、牡荆素和木犀草苷的测定指标, 以更好地控制浮萍药材的质量。

参考文献

- [1] 中国药典 [S]. 一部. 2015.
- [2] 樊修和, 吴启南, 蒋 征, 等. UPLC-MS/MS 法测定不同产地浮萍中 9 种核苷类成分的量 [J]. 中草药, 2015, 46(21): 3253-3257.
- [3] Alvarado S, Guédez M, Lué-Merú M P, *et al.* Arsenic removal from waters by bioremediation with the aquatic plants water hyacinth (*Eichhornia crassipes*) and lesser duckweed (*Lemna minor*) [J]. *Bioresource Technol*, 2008, 99(17): 8436-40.
- [4] 凌云, 何板作, 鲍燕燕, 等. 浮萍的化学成分研究 [J]. 中草药, 1999, 30(2): 88-90.
- [5] Zhao X, Moates G K, Wellner N, *et al.* Chemical characterisation and analysis of the cell wall polysaccharides of duckweed (*Lemna minor*) [J]. *Carbohydrate Polymers*, 2014, 111(1): 410-418.
- [6] 罗铁成, 侯恩太, 路 锋, 等. 浮萍药用研究概况 [J]. 安徽农业科学, 2010, 16: 8423-8424.
- [7] Wang B, Liang P, Zhu L, *et al.* Protective effect of total flavonoids from *Spirodela polyrrhiza* (L.) Schleid, on human umbilical vein endothelial cell damage induced by hydrogen peroxide [J]. *Colloids Surfaces B Biointerfaces*, 2007, 60(1): 36-40.
- [8] 苏春英, 苏本华, 孙 静. HPLC 法测定浮萍中芹菜素的含量 [J]. 中医药信息, 2013(3): 32-34.
- [9] 王 红, 蒋 征, 刘 杰, 等. HPLC 法同时测定 15 个产地浮萍中 4 种黄酮类成分 [J]. 中成药, 2016, (7): 1569-1573.
- [10] Sun Y, Yuan H, Hao L, *et al.* Enrichment and antioxidant properties of flavone C-glycosides from trollflowers using macroporous resin [J]. *Food Chem*, 2013, 141(1): 533-541.
- [11] Fan S, Zhang Y, Sun Q, *et al.* Extract of okra lowers blood glucose and serum lipids in high-fat diet-induced obese C57BL/6 mice [J]. *J Nutr Biochem*, 2014, 25(7): 702-709.