

合子草化学成分的研究 (II)

李 伟^{1,2}, 时圣明³, 唐 云^{1,2}, 曹家庆², 赵余庆^{2,4*}

1. 宜春学院 江西省天然活性成分重点实验室, 江西 宜春 336000

2. 沈阳药科大学中药学院, 辽宁 沈阳 110016

3. 天津药物研究院, 天津 300193

4. 沈阳药科大学 基于靶点的药物设计与研究教育部重点实验室, 辽宁 沈阳 110016

摘要: 目的 研究合子草 *Actinostemma lobatum* 全草的化学成分。方法 综合应用正、反相硅胶, Sephadex LH-20 以及 HPLC 等现代色谱技术进行分离纯化, 根据化合物的理化性质和波谱学性质鉴定化合物的结构。结果 从合子草全草的 75% 乙醇提取物中分离得到 12 个化合物, 分别鉴定为 lobatoside B (1)、土贝母皂苷乙 (2)、土贝母皂苷戊 (3)、没食子酸 (4)、没食子酸甲酯 (5)、原儿茶酸 (6)、原儿茶酸甲酯 (7)、对羟基苯乙酮 (8)、对羟基苯甲酸 (9)、对羟基苯甲醛 (10)、5-羟甲基-2-呋喃甲醛 (11)、5-羟甲基-2-呋喃乙酮 (12)。结论 化合物 2、5~12 为首次从该属植物中分离得到。

关键词: 合子草; lobatoside B; 土贝母皂苷乙; 原儿茶酸; 5-羟甲基-2-呋喃乙酮

中图分类号: R284.1 **文献标志码:** A **文章编号:** 0253-2670(2016)02-0209-05

DOI: 10.7501/j.issn.0253-2670.2016.02.005

Chemical constituents from *Actinostemma lobatum* (II)

LI Wei^{1,2}, SHI Sheng-ming³, TANG Yun^{1,2}, CAO Jia-qing², ZHAO Yu-qing^{2,4}

1. Key Laboratory of Jiangxi Province Natural Active Pharmaceutical Ingredients, Yichun University, Yichun 336000, China

2. College of Traditional Chinese Materia Medica, Shenyang Pharmaceutical University, Shenyang 110016, China

3. Tianjin Institute of Pharmaceutical Research, Tianjin 300193, China

4. Key Laboratory of Structure-Based Drug Design and Discovery, Ministry of Education, Shenyang Pharmaceutical University, Shenyang 110016, China

Abstract: Objective To investigate the chemical constituents from the whole plant of *Actinostemma lobatum*. **Methods** The chemical constituents were isolated from the 75% alcohol extract of *A. lobatum* by silica column chromatography, C₁₈, Sephadex LH-20 columns, and RP-HPLC. Their chemical structures were elucidated on the basis of physicochemical and spectral properties, ¹H-NMR, and ¹³C-NMR. **Results** Twelve compounds were isolated and identified as lobatoside B (1), tubeimoside II (2), tubeimoside V (3), gallic acid (4), methyl gallate (5), protocatechuic acid (6), protocatechuic acid methyl ester (7), 4-hydroxyacetophenone (8), *p*-hydroxybenzoic acid (9), *p*-hydroxybenzaldehyde (10), 5-(hydroxymethyl)-2-furaldehyde (11), and 1-[5-(hydroxymethyl) furan-2-yl] ethanone (12). **Conclusion** Compounds 2 and 5—12 are isolated from the plants in *Actinostemma* Griff. for the first time.

Key words: *Actinostemma lobatum* Maxim.; lobatoside B; tubeimoside II; protocatechuic acid; 1-[5-(hydroxymethyl) furan-2-yl] ethanone

合子草 *Actinostemma lobatum* Maxim. 为葫芦科 (Cucurbitaceae) 盒子草属 *Actinostemma* Griff. 植物, 始载于《本草拾遗》, 具有利尿消肿、清热解毒之功效^[1]。前期研究表明, 其主要化学成分有皂苷类、黄酮类、氨基酸类化合物等; 药理学研究结果表明, 合子草中的化学成分具有抗肿瘤、抗氧

化、抑菌等多种生物活性^[2]。本课题组对合子草进行了系统的化学成分研究, 前期报道了从中分离得到的环形三萜皂苷^[3-5]、合子草皂苷与黄酮类化合物^[6], 并对分离得到的皂苷类化合物进行初步细胞毒活性筛选, 结果显示环形三萜皂苷类化合物具有较强的细胞毒活性^[3-4]。本实验继续对合子草全草

收稿日期: 2015-08-29

基金项目: 江西省科技厅青年科学基金 (20142BAB215023)

作者简介: 李 伟, 男, 博士, 副教授, 硕士生导师, 主要从事中药和天然药物活性成分研究。

*通信作者 赵余庆, 男, 博士生导师。Tel: (024)23986521 E-mail: zyzq4885@126.com

75%乙醇提取物进行分离,得到 12 个化合物,分别鉴定为 lobatoside B(1)、土贝母皂苷乙(tubeimoside II, 2)、土贝母皂苷戊(tubeimoside V, 3)、没食子酸(gallic acid, 4)、没食子酸甲酯(methyl gallate, 5)、原儿茶酸(protocatechuic acid, 6)、原儿茶酸甲酯(protocatechuic acid methyl ester, 7)、对羟基苯乙酮(4-hydroxyacetophenone, 8)、对羟基苯甲酸(*p*-hydroxybenzoic acid, 9)、对羟基苯甲醛(*p*-hydroxybenzaldehyde, 10)、5-羟甲基-2-呋喃甲醛[5-(hydroxymethyl)-2-furaldehyde, 11]、5-羟甲基-2-呋喃乙酮(1-[5-(hydroxymethyl) furan-2-yl] ethanone, 12)。其中,化合物 2、5~12 为首次从该属植物中分离得到。

1 仪器与材料

Bruker ARX 300 型和 Bruker ARX 600 型核磁共振仪(Bruker 公司), Bruker-IFS-55 红外分光光度计(Bruker 公司), Agilent MSD Trap 液相质谱仪(美国 Agilent 公司), 分析型高效液相色谱(德国 KNAUER 公司), CXTH 3000 型半制备高效液相色谱仪(北京创新通恒公司)。半制备色谱柱为 YMC-C₁₈ 柱(250 mm×10 mm, 5 μm)。EYELA OSB-2000 旋转蒸发仪、EYELA A-1000S 水流抽气泵(上海爱朗仪器有限公司), HW-SY 型电热恒温水浴锅(北京市长风仪器仪表公司), D2F-6050 型真空干燥箱(上海博讯实业有限公司医疗仪器厂), KO.3200DB 型数控超声波清洗器(昆山市超声仪器有限公司), BT125D 型电子天平(Sartorius 公司)。薄层色谱 GF₂₅₄ 硅胶(青岛海洋化工厂), Sephadex LH-20 填料(Pharmacia, 瑞士), D-101 大孔吸附树脂填料(沧州宝恩化工有限公司)。HPLC 用色谱甲醇(天津康科德科技有限公司), 其他提取、分离所用甲醇、乙醇、氯仿等均为分析纯(天津大茂化学试剂厂)。

合子草采自江西省井冈山市,由沈阳药科大学中药学院药用植物教研室孙启时教授鉴定为葫芦科盒子草属植物合子草 *Actinostemma lobatum* Maxim., 标本(2009090)保存于沈阳药科大学食品教研室。

2 提取与分离

合子草全草 8 kg, 75%乙醇加热回流提取 3 次, 每次 2 h, 滤过, 合并提取液, 减压回收乙醇得浸膏。加 5 倍量的水混悬, 分别再用等体积石油醚、醋酸乙酯、正丁醇各萃取 3 次, 回收萃取溶剂, 得到石

油醚相约 110 g、醋酸乙酯相约 150 g、正丁醇相约 140 g 和水萃取相约 250 g。

醋酸乙酯相采用硅胶柱色谱, 用石油醚-醋酸乙酯(20:0→0:1)梯度洗脱, 得到 7 个组分 Fr. 1~7。Fr. 2 (10 g) 经硅胶柱色谱分离, 以二氯甲烷-甲醇(100:0→0:100)梯度洗脱, 通过重结晶、Sephadex LH-20 凝胶柱色谱等分离纯化手段得到化合物 6 (80 mg)、化合物 7 (60 mg)、化合物 10 (20 mg)。Fr. 3 (12 g) 分别经硅胶柱色谱分离, 以石油醚-丙酮(100:1→0:100)梯度洗脱, 通过重结晶、Sephadex LH-20 凝胶柱色谱、制备型 HPLC 等分离纯化手段得到化合物 9 (20 mg)、11 (17 mg)、12 (13 mg)。Fr. 6 (35 g) 分别经硅胶柱色谱分离, 以石油醚-醋酸乙酯(10:1→0:1)梯度洗脱, 再通过重结晶、Sephadex LH-20 凝胶柱色谱、反相 HPLC 半制备色谱(C₁₈, 250 mm×10 mm, 5 μm)等分离纯化手段得到化合物 4 (30 mg)、5 (25 mg)、8 (20 mg)。

正丁醇相采用硅胶柱色谱, 用二氯甲烷-甲醇-水(下层)(7:3:1→7:6:1)梯度洗脱, 分为 7 个组分 Fr. 1~7。Fr. 2 (13 g) 分别经硅胶柱色谱分离, 以二氯甲烷-甲醇(10:1→0:1)梯度洗脱, 然后通过 ODS 柱色谱、重结晶等分离纯化手段得到化合物 1 (200 mg)。Fr. 4 (10 g) 分别经硅胶柱色谱分离, 以二氯甲烷-甲醇(20:1→0:1)梯度洗脱, 通过 Sephadex LH-20 凝胶柱色谱、ODS 柱色谱等分离纯化手段得到化合物 3 (1.0 g)。Fr. 5 (10 g) 分别经硅胶柱色谱分离, 以二氯甲烷-甲醇(20:1→0:1)梯度洗脱, 再经 ODS 柱色谱、重结晶等分离纯化手段得到化合物 2 (300 mg)。

3 结构鉴定

化合物 1: 白色粉末(甲醇), mp 275~278 °C, 10%硫酸乙醇溶液显蓝色, Liebermann-Burchard 和 Molish 反应均呈阳性。¹H-NMR (600 MHz, C₅D₅N) δ: 0.89 (3H, s, H-29), 0.93 (3H, s, H-30), 1.15 (3H, s, H-26), 1.31 (3H, s, H-27), 1.35 (3H, s, H-24), 1.54 (3H, s, H-25), 1.55 (3H, d, *J* = 6.0 Hz, Rha-H-6), 1.74 (3H, s, H-6'), 5.47 (1H, brs, H-12), 5.04 (1H, d, *J* = 7.2 Hz, Glc-H-1), 5.36 (1H, d, *J* = 7.8 Hz, Gal-H-1), 5.92 (1H, d, *J* = 8.4 Hz, Ara-H-1), 6.49 (1H, brs, Rha-H-1); ¹³C-NMR (150 MHz, C₅D₅N) 数据见表 1。以上数据与文献报道基本一致^[7], 故鉴定化合物 1 为 lobatoside B。

表 1 化合物 1~3 的 ^{13}C -NMR 数据 (150 MHz, $\text{C}_5\text{D}_5\text{N}$)
Table 1 ^{13}C -NMR data for compounds 1—3 (150 MHz, $\text{C}_5\text{D}_5\text{N}$)

碳位	1	2	3	碳位	1	2	3
1	44.1	44.2	44.1	3-O-Glc-1	102.4	103.5	102.9
2	69.5	69.6	70.1	Glc-2	85.3	83.0	84.2
3	83.1	83.9	83.1	Glc-3	78.6	78.3	78.3
4	42.2	42.7	42.4	Glc-4	70.0	71.0	71.0
5	48.7	47.8	48.8	Glc-5	78.4	78.2	78.3
6	18.1	18.8	18.4	Glc-6	62.5	62.5	62.5
7	33.7	33.8	33.8	Glc'-1	105.8		105.6
8	40.1	40.4	40.2	Glc'-2	76.9		77.1
9	47.7	47.8	47.8	Glc'-3	77.7		78.0
10	37.0	37.1	37.0	Glc'-4	70.5		70.8
11	24.0	24.1	24.1	Glc'-5	75.6		76.0
12	123.0	122.9	123.1	Glc'-6	64.2		64.5
13	144.3	144.3	144.2	Ara'-1		105.6	
14	42.3	42.2	42.4	Ara'-2		73.6	
15	29.4	36.9	29.3	Ara'-3		73.5	
16	22.7	74.9	22.7	Ara'-4		72.6	
17	47.3	49.4	46.7	Ara'-5		64.3	
18	41.5	41.0	41.5	28-O-Ara-1	94.9	94.9	94.6
19	46.2	46.6	46.3	Ara-2	75.8	77.2	77.4
20	30.8	30.9	30.8	Ara-3	76.0	75.0	74.9
21	34.1	36.1	34.1	Ara-4	70.6	69.6	69.7
22	32.3	32.5	32.4	Ara-5	68.0	68.1	67.9
23	64.2	64.9	64.2	Rha-1	102.5	102.6	102.4
24	15.1	15.4	15.2	Rha-2	72.4	72.6	72.6
25	17.4	17.6	17.5	Rha-3	76.6	77.9	78.3
26	17.6	17.9	17.8	Rha-4	76.0	73.6	73.6
27	26.3	27.4	26.4	Rha-5	67.4	67.4	67.5
28	176.4	175.8	176.5	Rha-6	18.3	18.4	18.5
29	33.2	33.2	33.1	Xyl-1		106.4	106.6
30	23.6	24.4	23.6	Xyl-2		75.8	75.7
1'	172.1	171.4	171.4	Xyl-3		77.4	78.0
2'	46.3	47.1	47.3	Xyl-4		71.0	70.8
3'	70.1	70.2	69.7	Xyl-5		67.1	67.1
4'	46.5	47.3	47.4				
5'	171.8	171.6	171.9				
6'	26.6	26.0	26.3				

化合物 2: 白色粉末 (甲醇), mp 262~264 °C, 10%硫酸乙醇溶液显蓝色, Liebermann-Burchard 和 Molish 反应均呈阳性。 ^1H -NMR (600 MHz, $\text{C}_5\text{D}_5\text{N}$) δ : 0.98 (3H, s, H-29), 1.02 (3H, s, H-30), 1.37 (3H, s, H-26), 1.45 (3H, d, $J = 6.0$ Hz, Rha-H-6), 1.49 (3H, s, H-24), 1.69 (3H, s, H-25), 1.87 (3H, s, H-6'), 1.95 (3H, s, H-27), 5.64 (1H, brs, H-12), 5.15 (1H, d, $J =$

7.2 Hz, Glc-H-1), 5.30 (1H, d, $J = 7.8$ Hz, Ara'-H-1), 5.93 (1H, d, $J = 7.8$ Hz, Ara-H-1), 6.31 (1H, brs, Rha-H-1), 5.10 (1H, d, $J = 7.2$ Hz, Xyl-H-1); ^{13}C -NMR (150 MHz, $\text{C}_5\text{D}_5\text{N}$) 数据见表 1。以上数据与文献报道基本一致^[8], 故鉴定化合物 2 为土贝母皂苷乙。

化合物 3: 白色粉末 (甲醇), mp 320~322 °C,

10%硫酸乙醇溶液显蓝色, Liebermann-Burchard 和 Molish 反应均呈阳性。¹H-NMR (600 MHz, C₅D₅N) δ : 0.89 (3H, s, H-29), 0.92 (3H, s, H-30), 1.34 (3H, s, H-26), 1.38 (3H, s, H-27), 1.45 (3H, s, H-24), 1.52 (3H, d, J = 6.0 Hz, RhaH-6), 1.64 (3H, s, H-25), 1.86 (3H, s, H-6'), 5.48 (1H, brs, H-12), 5.14 (1H, d, J = 7.2 Hz, Glc-H-1), 5.32 (1H, d, J = 7.2 Hz, Glc'-H-1), 5.91 (1H, d, J = 6.6 Hz, Ara-H-1), 6.44 (1H, brs, Rha-H-1), 5.08 (1H, d, J = 7.2 Hz, Xyl-H-1); ¹³C-NMR (150 MHz, C₅D₅N) 数据见表 1。以上数据与文献报道基本一致^[9], 故鉴定化合物 **3** 为土贝母皂苷戊。

化合物 **4**: 无色针晶 (甲醇), 三氯化铁反应呈阳性, 溴甲酚绿反应呈阳性。¹H-NMR (300 MHz, DMSO-*d*₆) δ : 6.92 (2H, s, H-2, 6), 12.23 (1H, s, -COOH), 9.18 (2H, s, 3, 5-OH), 8.82 (1H, s, 4-OH); ¹³C-NMR (75 MHz, DMSO-*d*₆) δ : 167.5 (C-7), 145.4 (C-3, 5), 138.0 (C-4), 120.5 (C-1), 108.8 (C-2, 6)。以上数据与文献报道基本一致^[10], 故鉴定化合物 **4** 为没食子酸。

化合物 **5**: 白色粉末, mp 205~208 °C。三氯化铁反应呈阳性。¹H-NMR (300 MHz, DMSO-*d*₆) δ : 3.89 (3H, s, -OCH₃), 6.95 (2H, s, H-2, 6), 9.22 (2H, s, 3, 5-OH), 8.86 (1H, s, 4-OH); ¹³C-NMR (75 MHz, DMSO-*d*₆) δ : 121.2 (C-1), 110.1 (C-2, 6), 146.2 (C-3, 5), 139.2 (C-4), 169.1 (C-7), 52.3 (-OCH₃)。以上数据与文献报道基本一致^[11], 故鉴定化合物 **5** 为没食子酸甲酯。

化合物 **6**: 白色针状结晶 (甲醇), 三氯化铁反应呈阳性, 溴甲酚绿反应呈阳性。¹H-NMR (300 MHz, DMSO-*d*₆) δ : 9.56 (2H, brs, 3, 4-OH), 7.35 (1H, d, J = 1.8 Hz, H-2), 7.30 (1H, dd, J = 8.1, 1.8 Hz, H-6), 6.80 (1H, d, J = 8.1 Hz, H-5); ¹³C-NMR (75 MHz, DMSO-*d*₆) δ : 167.6 (C-7), 150.3 (C-4), 145.1 (C-3), 122.2 (C-6), 121.9 (C-1), 116.8 (C-2), 115.5 (C-5)。以上数据与文献报道基本一致^[12], 故鉴定化合物 **6** 为原儿茶酸。

化合物 **7**: 无色片状结晶 (甲醇), mp 183~185 °C。三氯化铁反应呈阳性。¹H-NMR (300 MHz, DMSO-*d*₆) δ : 9.39 (1H, s, 4-OH), 9.81 (1H, s, 3-OH), 7.34 (1H, d, J = 1.8 Hz, H-2), 7.30 (1H, dd, J = 8.1, 1.8 Hz, H-6), 6.80 (1H, d, J = 8.1 Hz, H-5), 3.75 (3H, s, OCH₃); ¹³C-NMR (75 MHz, DMSO-*d*₆) δ : 120.6

(C-1), 116.4 (C-2), 145.2 (C-3), 150.6 (C-4), 115.5 (C-5), 121.9 (C-6), 166.3 (C-7), 51.8 (OCH₃)。以上数据与文献报道基本一致^[13], 故鉴定化合物 **7** 为原儿茶酸甲酯。

化合物 **8**: 白色粉末。三氯化铁反应呈阳性。¹H-NMR (600 MHz, DMSO-*d*₆) δ : 7.81 (2H, d, J = 9.0 Hz, H-2, 6), 6.82 (2H, d, J = 9.0 Hz, H-3, 5), 2.45 (3H, s, H-8); ¹³C-NMR (150 MHz, DMSO-*d*₆) δ : 128.4 (C-1), 130.7 (C-2, 6), 115.2 (C-3, 5), 162.3 (C-4), 196.0 (C-7), 26.2 (C-8)。以上数据与文献报道基本一致^[14], 故鉴定化合物 **8** 为对羟基苯乙酮。

化合物 **9**: 无色片状结晶 (甲醇), mp 214~215 °C。三氯化铁反应呈阳性, 溴甲酚绿反应呈阳性。¹H-NMR (600 MHz, DMSO-*d*₆) δ : 6.81 (2H, d, J = 9.0 Hz, H-3, 5), 7.78 (2H, d, J = 9.0 Hz, H-2, 6), 10.21 (1H, s, -OH), 12.39 (1H, s, COOH); ¹³C-NMR (150 MHz, DMSO-*d*₆) δ : 121.4 (C-1), 131.6 (C-2, 6), 115.2 (C-3, 5), 161.7 (C-4), 167.2 (COOH)。以上数据与文献报道基本一致^[15], 故鉴定化合物 **9** 为对羟基苯甲酸。

化合物 **10**: 无色片状结晶 (甲醇)。三氯化铁反应呈阳性。¹H-NMR (600 MHz, DMSO-*d*₆) δ : 6.89 (2H, d, J = 8.6 Hz, H-3, 5), 7.82 (2H, d, J = 8.6 Hz, H-2, 6), 9.77 (1H, s, 1-CHO), 10.59 (1H, s, -OH); ¹³C-NMR (150 MHz, DMSO-*d*₆) δ : 128.5 (C-1), 132.1 (C-2, 6), 115.9 (C-3, 5), 163.4 (C-4), 190.9 (CHO)。以上理化性质和波谱数据与文献报道基本一致^[16], 故鉴定化合物 **10** 为对羟基苯甲醛。

化合物 **11**: 黄色油状物。¹H-NMR (600 MHz, DMSO-*d*₆) δ : 7.48 (1H, d, J = 4.2 Hz, H-3), 6.59 (1H, d, J = 4.2 Hz, H-4), 9.53 (1H, s, CHO), 5.55 (1H, brs, OH), 4.49 (2H, s, CH₂OH); ¹³C-NMR (150 MHz, DMSO-*d*₆) δ : 162.2 (C-5), 151.7 (C-2), 124.4 (C-3), 109.7 (C-4), 178.0 (CHO), 55.9 (CH₂OH)。以上数据与文献报道基本一致^[17], 故鉴定化合物 **11** 为 5-羟甲基-2-呋喃甲醛。

化合物 **12**: 黄色油状物。¹H-NMR (600 MHz, DMSO-*d*₆) δ : 7.37 (1H, d, J = 3.6 Hz, H-3), 6.49 (1H, d, J = 3.6 Hz, H-4), 2.37 (1H, s, CHO), 5.50 (1H, brs, OH), 4.45 (2H, s, CH₂OH); ¹³C-NMR (150 MHz, DMSO-*d*₆) δ : 160.5 (C-5), 151.2 (C-2), 119.8 (C-3), 109.3 (C-4), 185.6 (CHO), 55.9 (CH₂OH), 25.8 (CH₃)。以上数据与文献报道基本一致^[18], 故鉴定化合物 **12** 为 5-羟甲基-2-呋喃乙酮。

参考文献

- [1] 唐·陈藏器. 本草拾遗 [M]. 芜湖: 皖南医学院科研科, 1983.
- [2] 岳唯唯, 李 伟, 赵余庆. 合子草的化学成分与药理活性研究进展 [J]. 沈阳药科大学学报, 2013, 30(6): 484-488.
- [3] Li W, Cao J Q, Tang Y, *et al.* Cyclic bisdesmosides from *Actinostemma lobatum* Maxim. (Cucurbitaceae) and their *in vitro* cytotoxicity [J]. *Fitoterapia*, 2012, 83(1): 147-152.
- [4] Cao J Q, Li W, Tang Y, *et al.* A new cyclic bisdesmoside from *Actinostemma lobatum* Maxim. [J]. *Pharmazie*, 2015, 70(5): 347-350.
- [5] Cao J Q, Li W, Tang Y, *et al.* Three new triterpene saponins from *Actinostemma lobatum* Maxim. and their cytotoxicity *in vitro* [J]. *Phytochem Lett*, 2015, 11: 301-305.
- [6] 李 伟, 时圣明, 唐 云, 等. 合子草化学成分的研究(I) [J]. 中草药, 2014, 45(15): 2143-2147.
- [7] Fujioka T, Iwamoto M, Iwase Y, *et al.* Studies on the constituents of *Actinostemma lobatum* Maxim. V. Structures of lobatosides B, E, F and G, the dicrotalic acid esters of bayogenin bisdesmosides isolated from the herb [J]. *Chem Pharm Bull*, 1989, 37(9): 2355-2360.
- [8] Kasai R, Miyakoshi M, Nie R L, *et al.* Saponins from *Bolbostemma Paniculatum*: Cyclic bisdesmosides, tubeimosides II and III [J]. *Phytochemistry*, 1988, 27(5): 1439-1446.
- [9] Tang H F, Yi Y H, Zhang S Y, *et al.* New cyclic bisdesmoside from tubers of *Bolbostemma paniculatum* [J]. *Chin Chem Lett*, 2005, 16(4): 479-482.
- [10] 杨素珍, 蒋建勤. 新疆芍药的化学成分研究 [J]. 中草药, 2014, 45(6): 760-764.
- [11] 梁 琼, 杨胜祥, 况 焱, 等. 苦竹嫩茎化学成分的研究 [J]. 中草药, 2015, 46(8): 1125-1128.
- [12] Yun X J, Shu H M, Chen G Y, *et al.* Chemical constituents from barks of *Lannea coromandelica* [J]. *Chin Herb Med*, 2014, 6(1): 65-69.
- [13] 张 翠, 刘占云, 於洪建, 等. 黑豆种皮的酚酸类成分研究 [J]. 中草药, 2013, 44(24): 3440-3443.
- [14] 肖海涛, 李 铎. 半枝莲的化学成分 [J]. 沈阳药科大学学报, 2006, 23(10): 637-640.
- [15] 郑俊霞, 王乃利, 陈海峰, 等. 翠云草中酚性成分的分离与鉴定 [J]. 中国药物化学杂志, 2007, 17(5): 302-305.
- [16] 杜文鹏, 徐 彭, 刘 波, 等. 毛竹笋化学成分研究(I) [J]. 中草药, 2015, 46(3): 334-338.
- [17] 艾凤伟, 张 嵩, 李艳凤, 等. 白附子的化学成分研究 [J]. 中草药, 2010, 41(2): 201-203.
- [18] Nikolov P Y, Yaylayan V A. Thermal decomposition of 5-(hydroxymethyl)-2-furaldehyde (HMF) and its further transformations in the presence of glycine [J]. *J Agric Food Chem*, 2011, 59(8): 10104-10113.