

# 蒙古黄芪的化学成分研究

田华, 邓雁如\*, 周坤, 丛慧源

(天津中医药大学, 天津市中药化学与分析重点实验室, 天津 300193)

**[摘要]** 目的:研究豆科植物蒙古黄芪的醇提取物的化学成分。方法:采用各种色谱技术对蒙古黄芪化学成分进行分离纯化,并通过理化性质和各种现代波谱技术来确定其结构。结果:从蒙古黄芪醇提取物中分离得到了 12 个化合物,分别鉴定为  $\beta$ -谷甾醇(1),胡萝卜苷(2),芒柄花素(3),千层纸素-A(4),汉黄芩素(5),毛蕊异黄酮(6),腺嘌呤核糖核苷(7),毛蕊异黄酮-7-O- $\beta$ -D-葡萄糖苷(8), (6aR, 11aR)-9, 10-二甲氧基紫檀烷-3-O- $\beta$ -D-葡萄糖苷(9), 黄芪皂苷 II (10), 异黄芪皂苷 II (11), D-3-甲氧基-手-肌醇(12)。结论:化合物 3 和 4 为首次从蒙古黄芪中分离获得。

**[关键词]** 蒙古黄芪; 化学成分; 千层纸素-A; 汉黄芩素

**[中图分类号]** R284.1 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1005-9903(2016)07-0070-04

**[doi]** 10.13422/j.cnki.syfjx.2016070070

## Chemical Constituents of *Astragalus membranaceus* var. *mongholicus*

TIAN Hua, DENG Yan-ru\*, ZHOU Kun, CONG Hui-yuan

(Tianjin University of Traditional Chinese Medicine, Key Laboratory of

Traditional Chinese Medicinal Chemistry and Analytical Chemistry of Tianjin, Tianjin 300193, China)

**[Abstract]** **Objective:** To study the chemical constituents of ethanol extract of *Astragalus membranaceus* var. *mongholicus*. **Method:** The chemical constituents were isolated and purified by various chromatographic techniques and the structures were determined by physico-chemical properties and modern spectroscopic techniques. **Result:** Twelve compounds were isolated from the ethanol extract of *A. membranaceus* var. *mongholicus*, including  $\beta$ -sitosterol (1), daucosterol (2), formononetin (3), oroxylin-A (4), wogonin (5), calycosin (6), adenosine (7), calycosin-7-O- $\beta$ -D-glycoside (8), (6 $\alpha$ R, 11 $\alpha$ R)-9, 10-dimethoxy-pterocarpan-3-O- $\beta$ -D-glycoside (9), astragaloside II (10), isoastragaloside II (11), D-3-methoxy-chiro-inositol (12). **Conclusion:** Compounds 3 and 4 were isolated from *Astragalus membranaceus* var. *mongholicus* for the first time.

**[Key words]** *Astragalus membranaceus* var. *mongholicus*; chemical constituents; oroxylin-A; wogonin

蒙古黄芪为豆科黄芪属植物,具有增强免疫系统功能、抗肿瘤、抗心肌缺血、双向调节血糖、抗菌、抗衰老等活性<sup>[1-2]</sup>。为丰富蒙古黄芪的化学成分,阐明其药效物质基础,作者采用各种色谱和现代波谱技术在蒙古黄芪中共鉴定出 2 个甾醇,4 个黄酮苷元,2 个黄酮苷,2 个三萜皂苷和 2 个其他类化合物,分别为  $\beta$ -谷甾醇(1),胡萝卜苷(2),芒柄花素(3),千层纸素-A(4),汉黄芩素(5),毛蕊异黄酮(6),毛蕊异黄酮-7-O- $\beta$ -D-葡萄糖苷(7), (6aR,

11aR)-9, 10-二甲氧基紫檀烷-3-O- $\beta$ -D-葡萄糖苷(8),腺嘌呤核糖核苷(9),黄芪皂苷 II (10),异黄芪皂苷 II (11),D-3-甲氧基-手-肌醇(12)。其中化合物 4 和 5 为首次从该植物中分离获得。

### 1 仪器与材料

AV-400 核磁共振波谱仪(北京恒奥德仪器仪表有限公司),RE-52A 型旋转蒸发器(上海亚荣生化仪器厂),ZF8 型三用紫外线分析仪(北京恒奥德仪器仪表有限公司),色谱柱硅胶(100~200 目,200~

**[收稿日期]** 20150825(007)

**[基金项目]** 国家自然科学基金项目(81073033);国家重点基础研究发展计划(973 计划)项目(2009CB523003)

**[第一作者]** 田华,硕士,从事中药化学研究,Tel:18322097086,E-mail:th10234029@126.com

**[通讯作者]** \*邓雁如,博士,教授,博士生导师,从事中药化学研究,Tel:022-59596221,E-mail:dyanru@sina.com

300 目)和薄层色谱硅胶(G,GF254)购于青岛海洋化工厂,羧甲基纤维素钠和大孔吸附树脂 D101 型购于南开大学化工厂。

蒙古黄芪药材购于中新药业,经天津中医药大学李天祥老师鉴定为蒙古黄芪的根,凭证标本现存于天津中医药大学标本馆。

## 2 提取与分离

取干燥蒙古黄芪粗粉(20 kg)粉碎,乙醇加热回流提取 2 次,每次 2 h。合并提取液,减压浓缩至浸膏状,得总浸膏。总浸膏用适量水混悬,依次用乙酸乙酯、水饱和正丁醇萃取,将各萃取液回收溶剂分别得到乙酸乙酯浸膏 160.3 g,正丁醇浸膏 584.6 g。取乙酸乙酯层浸膏(150 g)以硅胶柱色谱(2 000 g, 100 ~ 200 目)分离,PE-EtOAc 溶剂系统(50:1, 20:1,10:1,5:1,1:1,0:1)梯度洗脱,根据 TLC 合并类似组分,取各组分经过反复硅胶柱色谱、重结晶等方法纯化,分别得到化合物 1(120 mg),化合物 2(52 mg),化合物 3(10 mg),化合物 4(25 mg),化合物 5(12 mg),化合物 6(10 mg)。取正丁醇浸膏取(500 g),经大孔树脂进行分离,分别用 30%,70%,95%的乙醇溶液梯度洗脱,得到各个梯度洗脱浸膏。取 70%醇部分,进一步用硅胶柱色谱,乙酸乙酯-乙醇溶剂系统(25:1,15:1,5:1,1:1,0:1)梯度洗脱,根据 TLC 合并类似组分,重结晶等分离纯化,得到化合物 7(50 mg),化合物 8(16 mg),化合物 9(25 mg),化合物 10(15 mg),化合物 11(13 mg),化合物 12(40 mg)。

## 3 结构鉴定

化合物 1 无色针状结晶(乙醇),mp 133 ~ 134 °C, Liebermann-Burchard 反应阳性,10% 硫酸-乙醇显紫红色。与  $\beta$ -谷甾醇对照品混合熔点不下降,且薄层色谱经 3 种不同系统展开剂展开,Rf 值一致并呈 1 个斑点。因此确定该化合物为  $\beta$ -谷甾醇。

化合物 2 白色无定形粉末,mp 298 ~ 300 °C, Liebermann-Burchard 反应阳性,10% 硫酸-乙醇薄层显红色,Molish 反应呈阳性,薄层展开与标准化合物胡萝卜苷的 Rf 值一致,与标准化合物胡萝卜苷的混合熔点不下降,故确定该化合物为胡萝卜苷。

化合物 3 白色粉末,三氯化铁反应阳性,提示可能为异黄酮。ESI-MS  $m/z$  267 [M - H]<sup>-</sup>,  $m/z$  291 [M + Na]<sup>+</sup>。<sup>1</sup>H-NMR(400 MHz, C<sub>5</sub>D<sub>5</sub>N)  $\delta$ : 7.24(1H, dd,  $J$  = 8.8, 2.0 Hz, H-6), 7.12(1H, d,  $J$  = 2.0 Hz, H-8), 8.71(1H, s, H-2), 8.44(1H, d,  $J$  = 8.8 Hz, H-5), 7.78(2H, d,  $J$  = 8.4 Hz, H-2', H-6'), 7.07

(2H, d,  $J$  = 8.4 Hz, H-3', H-5'), 3.69(3H, s, OCH<sub>3</sub>); <sup>13</sup>C-NMR(100 MHz, C<sub>5</sub>D<sub>5</sub>N)  $\delta$ : 152.8(C-2), 124.7(C-3), 175.7(C-4), 125.4(C-5), 116.0(C-6), 164.2(C-7), 103.2(C-8), 158.6(C-9), 118.0(C-10), 123.3(C-1'), 130.2(C-2'), 113.7(C-3'), 159.1(C-4'), 113.7(C-5'), 130.2(C-6'), 55.3(OCH<sub>3</sub>)。根据以上数据,并与文献[3]对照,鉴定该化合物为 7-羟基-4-甲氧基异黄酮,即芒柄花素。

化合物 4 浅黄色粉末(石油醚-乙酸乙酯),三氯化铁反应阳性,盐酸-镁粉反应阳性,提示可能为黄酮或黄酮醇类化合物。ESI-MS  $m/z$  283 [M - H]<sup>-</sup>。<sup>1</sup>H-NMR(400 MHz, DMSO-*d*<sub>6</sub>)  $\delta$ : 12.94(1H, s, C<sub>5</sub>-OH), 10.82(1H, s, C<sub>7</sub>-OH), 8.09(2H, d,  $J$  = 7.2 Hz, H-2', 6'), 7.60(3H, m, H-3', 4', 5'), 6.98(1H, s, H-3), 6.65(1H, s, H-8), 3.77(3H, s, OCH<sub>3</sub>); <sup>13</sup>C-NMR(100 MHz, DMSO-*d*<sub>6</sub>)  $\delta$ : 163.7(C-2), 105.2(C-3), 182.7(C-4), 153.2(C-5), 132.5(C-6), 158.1(C-7), 94.9(C-8), 153.0(C-9), 104.8(C-10), 131.2(C-1'), 126.9(C-2', 6'), 129.6(C-3', 5'), 132.0(C-4'), 60.4(OCH<sub>3</sub>)。据以上数据,并与文献[4]对照,鉴定该化合物为千层纸素-A。

化合物 5 黄色粉末(三氯甲烷-甲醇),三氯化铁反应阳性,盐酸-镁粉反应阳性,提示可能为黄酮或黄酮醇类化合物。ESI-MS  $m/z$  283 [M - H]<sup>-</sup>。<sup>1</sup>H-NMR(400 MHz, DMSO-*d*<sub>6</sub>)  $\delta$ : 12.51(1H, s, C<sub>5</sub>-OH), 10.82(1H, s, C<sub>7</sub>-OH), 8.08(2H, m, H-2', 6'), 7.63(3H, m, H-3', 4', 5'), 7.00(1H, s, H-3), 6.32(1H, s, H-8), 3.87(3H, s, OCH<sub>3</sub>); <sup>13</sup>C-NMR(100 MHz, DMSO-*d*<sub>6</sub>)  $\delta$ : 163.5(C-2), 105.6(C-3), 182.5(C-4), 156.7(C-5), 99.6(C-6), 157.9(C-7), 128.3(C-8), 150.1(C-9), 104.3(C-10), 131.3(C-1'), 126.5(C-2'), 129.3(C-3'), 132.6(C-4'), 129.7(C-5'), 126.8(C-6'), 61.5(OCH<sub>3</sub>)。该化合物的理化性质和 NMR 数据与文献[4]报道的基本一致,故鉴定该化合物为 5,7-二羟基-8-甲氧基黄酮,即汉黄芩素。

化合物 6 白色粉末,三氯化铁反应阳性,提示可能为异黄酮。ESI-MS  $m/z$  283 [M - H]<sup>-</sup>。<sup>1</sup>H-NMR(400 MHz, DMSO-*d*<sub>6</sub>)  $\delta$ : 10.77(1H, s, C<sub>7</sub>-OH), 8.99(3H, s, C3'-OH), 8.26(1H, s, H-2), 7.96(1H, d,  $J$  = 8.8 Hz, H-5), 6.85(1H, d,  $J$  = 2.0 Hz, H-8), 6.91(1H, d,  $J$  = 2.0 Hz, H-6), 7.04(1H, s, H-2'),

6. 94 (2H, br s, H-5', 6'), 3. 78 (3H, s, C4'-OCH<sub>3</sub>); <sup>13</sup>C-NMR (100 MHz, DMSO-*d*<sub>6</sub>) δ: 153. 0 (C-2), 123. 4 (C-3), 174. 6 (C-4), 127. 3 (C-5), 115. 1 (C-6), 162. 5 (C-7), 102. 1 (C-8), 157. 4 (C-9), 116. 7 (C-10), 124. 7 (C-1'), 116. 4 (C-2'), 146. 0 (C-3'), 147. 5 (C-4'), 112. 0 (C-5'), 120. 0 (C-6'), 55. 7 (OCH<sub>3</sub>)。根据以上数据, 并与文献[5]对照, 鉴定该化合物为毛蕊异黄酮。

化合物 7 白色粉末(甲醇)。ESI-MS *m/z* 825 [M - H]<sup>-</sup>。 <sup>1</sup>H-NMR (C<sub>5</sub>D<sub>5</sub>N, 400 MHz) δ: 8. 63 (1H, s, H-2), 8. 39 (2H, s, NH<sub>2</sub>), 6. 74 (2H, d, *J* = 4. 5 Hz, H-1'), 5. 52 (1H, t, *J* = 5. 1 Hz, H-2'), 5. 08 (1H, s, H-3'), 4. 78 (1H, s, H-4'), 4. 33 (1H, d, *J* = 12. 3 Hz, H-5'a), 4. 16 (1H, d, *J* = 12. 2 Hz, H-5'b); <sup>13</sup>C-NMR (C<sub>5</sub>D<sub>5</sub>N, 100 MHz) δ: 153. 7 (C-2), 121. 8 (C-5), 158. 0 (C-6), 140. 9 (C-8), 150. 4 (C-4), 91. 2 (C-1'), 75. 9 (C-2'), 72. 8 (C-3'), 88. 2 (C-4'), 63. 4 (C-5')。以上数据与文献[6]对照基本一致, 鉴定该化合物为腺嘌呤核糖核苷。

化合物 8 白色粉末, 在 UV 254 nm 下显棕黑色暗斑, 在 UV 365 nm 下显黄色荧光, 遇 5% 硫酸乙醇溶液显黄色。ESI-MS *m/z* 461 [M - H]<sup>-</sup>。 <sup>1</sup>H-NMR (C<sub>5</sub>D<sub>5</sub>N, 400 MHz) δ: 8. 34 (1H, d, *J* = 8. 8 Hz, H-5), 8. 14 (1H, d, *J* = 2. 4 Hz, H-2), 7. 76 (1H, d, *J* = 2. 0 Hz, H-2'), 7. 28 (2H, m, H-6, 8), 7. 04 (1H, d, *J* = 8. 4 Hz, H-5'), 7. 41 (1H, dd, *J* = 2. 4 Hz, H-6'), 5. 79 (1H, d, *J* = 7. 6 Hz, H-1''), 3. 77 (3H, s, C4'-OCH<sub>3</sub>); <sup>13</sup>C-NMR (C<sub>5</sub>D<sub>5</sub>N, 100 MHz) δ: 153. 2 (C-2), 125. 1 (C-3), 175. 6 (C-4), 127. 9 (C-5), 117. 8 (C-6), 162. 4 (C-7), 104. 3 (C-8), 157. 9 (C-9), 120. 5 (C-10), 126. 1 (C-1'), 116. 0 (C-2'), 148. 1 (C-3'), 148. 9 (C-4'), 112. 5 (C-5'), 119. 8 (C-6'), 101. 9 (C-1''), 74. 8 (C-2''), 78. 5 (C-3''), 71. 2 (C-4''), 79. 3 (C-5''), 62. 4 (C-6''), 56. 0 (OMe)。根据 <sup>1</sup>H-NMR 和 <sup>13</sup>C-NMR 数据, 并与文献[7]对照, 确定该化合物为毛蕊异黄酮-7-*O*-β-*D*-葡萄糖苷。

化合物 9 白色粉末, 对 Molish 试剂呈阳性反应, 盐酸镁粉反应阴性, 酸水解后检出葡萄糖。ESI-MS *m/z* 461 [M - H]<sup>-</sup>。 <sup>1</sup>H-NMR (C<sub>5</sub>D<sub>5</sub>N, 400 MHz) δ: 7. 51 (1H, d, *J* = 6. 4 Hz, H-1), 7. 06 (2H, m, H-2, 4), 4. 10 (H, br s, H-6), 3. 74 (2H, m, H-6, 6a), 5. 59 (1H, d, *J* = 7. 2 Hz, 11a), 6. 98 (1H, d, *J* = 8. 4 Hz, H-7), 6. 56 (1H, d, *J* = 8. 4 Hz, H-8), 5. 63 (1H, d, *J* = 7. 6 Hz, H-1'), 4. 26 ~ 4. 50 (6H, m), 3. 75 (3H, s, 9-

OCH<sub>3</sub>), 3. 96 (3H, s, 10-OCH<sub>3</sub>); <sup>13</sup>C-NMR (C<sub>5</sub>D<sub>5</sub>N, 100 MHz) 苷元部分 δ: 132. 7 (C-1), 111. 3 (C-2), 159. 96 (C-3), 105. 25 (C-4), 157. 22 (C-4a), 66. 72 (C-6), 40. 36 (C-6a), 122. 38 (C-6b), 119. 07 (C-7), 105. 88 (C-8), 153. 95 (C-9), 132. 7 (C-10), 152. 19 (C-10a), 79. 35 (C-11a), 114. 64 (C-11b), 56. 47 (9-OMe), 60. 53 (10-OMe); 苷部分 δ: 102. 14 (C-1'), 74. 95 (C-2'), 78. 5 (C-3'), 71. 21 (C-4'), 78. 96 (C-5'), 62. 3 (C-6')。根据 <sup>1</sup>H-NMR 和 <sup>13</sup>C-NMR 数据, 并与文献[8]对照, 确定该化合物为(6*aR*, 11*aR*)-9, 10-二甲氧基紫檀烷-3-*O*-β-*D*-葡萄糖苷。

化合物 10 白色粉末(甲醇), 对 5% 硫酸乙醇溶液显紫红色, 磷钼酸显蓝色, 对 Molish 试剂呈阳性反应, Liebermann-Burchard 反应呈阳性。ESI-MS *m/z* 825 [M - H]<sup>-</sup>。 <sup>1</sup>H-NMR (C<sub>5</sub>D<sub>5</sub>N, 400 MHz) δ: 0. 22 (1H, d, H-19), 0. 57 (1H, d, H-19β), 0. 95 (3H, s, 30-CH<sub>3</sub>), 1. 30 (3H, s, 29-CH<sub>3</sub>), 1. 32 (6H, s, 21-CH<sub>3</sub>, 27-CH<sub>3</sub>), 1. 42 (3H, s, 18-CH<sub>3</sub>), 1. 59 (3H, s, 26-CH<sub>3</sub>), 1. 82 (3H, s, 28-CH<sub>3</sub>), 1. 83 (3H, s, 3'-OCH<sub>3</sub>); <sup>13</sup>C-NMR (C<sub>5</sub>D<sub>5</sub>N, 100 MHz) δ: 33. 5 (C-1), 31. 4 (C-2), 90. 1 (C-3), 43. 9 (C-4), 53. 8 (C-5), 80. 5 (C-6), 36. 0 (C-7), 47. 0 (C-8), 22. 4 (C-9), 30. 1 (C-10), 27. 4 (C-11), 34. 7 (C-12), 46. 3 (C-13), 47. 5 (C-14), 47. 4 (C-15), 74. 6 (C-16), 59. 5 (C-17), 22. 5 (C-18), 31. 4 (C-19), 88. 5 (C-20), 28. 4 (C-21), 36. 2 (C-22), 27. 8 (C-23), 82. 9 (C-24), 72. 5 (C-25), 29. 5 (C-26), 29. 9 (C-27), 29. 8 (C-28), 17. 9 (C-29), 21. 2 (C-30); 3-*O*-β-*D*-Xyl: 108. 6 (C-1'), 74. 4 (C-2'), 80. 5 (C-3'), 70. 5 (C-4'), 68. 0 (C-5'), 172. 1 (C = O), 22. 5 (OMe); 6-*O*-β-*D*-Glc: 106. 6 (C-1'), 76. 9 (C-2'), 80. 6 (C-3'), 73. 1 (C-4'), 79. 4 (C-5'), 64. 4 (C-6')。通过对比 <sup>1</sup>H-NMR 及 <sup>13</sup>C-NMR 谱数据, 与文献[9]报道的黄芪皂苷 II 数据基本一致, 因此可确定化合物为黄芪皂苷 II。

化合物 11 白色粉末(甲醇), 对 5% 硫酸乙醇溶液显紫红色, 磷钼酸显蓝色, 对 Molish 试剂呈阳性反应, Liebermann-Burchard 反应阳性。ESI-MS *m/z* 825 [M - H]<sup>-</sup>。 <sup>1</sup>H-NMR (C<sub>5</sub>D<sub>5</sub>N, 400 MHz) δ: 0. 22 (1H, d, H-19), 0. 57 (1H, d, H-19β), 0. 95 (3H, s, 30-CH<sub>3</sub>), 1. 30 (3H, s, 29-CH<sub>3</sub>), 1. 32 (6H, s, 21-CH<sub>3</sub>, 27-CH<sub>3</sub>), 1. 42 (3H, s, 18-CH<sub>3</sub>), 1. 59 (3H, s, 26-CH<sub>3</sub>), 1. 82 (3H, s, 28-CH<sub>3</sub>), 1. 83 (3H, s, 3'-

OCH<sub>3</sub>) ; <sup>13</sup>C-NMR (C<sub>5</sub>D<sub>5</sub>N, 100 MHz) δ: 33.5 (C-1), 31.4 (C-2), 90.1 (C-3), 43.9 (C-4), 53.8 (C-5), 80.5 (C-6), 36.0 (C-7), 47.0 (C-8), 22.4 (C-9), 30.1 (C-10), 27.4 (C-11), 34.7 (C-12), 46.3 (C-13), 47.4 (C-14), 47.5 (C-15), 74.6 (C-16), 59.5 (C-17), 22.5 (C-18), 31.4 (C-19), 88.5 (C-20), 28.4 (C-21), 36.2 (C-22), 27.8 (C-23), 82.9 (C-24), 72.5 (C-25), 29.5 (C-26), 29.9 (C-27), 29.9 (C-28), 17.9 (C-29), 21.2 (C-30); 3-*O*-β-*D*-Xyl: 108.6 (C-1'), 74.4 (C-2'), 80.5 (C-3'), 70.5 (C-4'), 68.0 (C-5'), 172.1 (C=O), 22.5 (OMe); 6-*O*-β-*D*-Glc: 106.6 (C-1'), 76.9 (C-2'), 80.6 (C-3'), 73.1 (C-4'), 79.4 (C-5'), 64.4 (C-6')。通过对比<sup>1</sup>H-NMR及<sup>13</sup>C-NMR谱数据,与文献[10]报道的异黄芪皂苷II数据基本一致,因此可确定该化合物为异黄芪皂苷II。

化合物12 白色晶体(甲醇),易溶于水,不易溶于甲醇。5%硫酸乙醇液不显色。ESI-MS *m/z* 193 [M-H]<sup>-</sup>。<sup>1</sup>H-NMR (C<sub>5</sub>D<sub>5</sub>N, 400 MHz) δ: 3.96 (3H, s, OCH<sub>3</sub>), 4.19 (1H, t, *J* = 9.2 Hz, H-2), 4.67 (1H, t, *J* = 9.3 Hz, H-3), 4.79 (2H, m, H-4, 5), 4.84 (2H, m, H-1, 6); <sup>13</sup>C-NMR (C<sub>5</sub>D<sub>5</sub>N, 100 MHz) δ: 75.5 (C-1), 73.6 (C-2), 87.1 (C-3), 76.0 (C-4), 74.4 (C-5), 75.1 (C-6), 62.0 (OCH<sub>3</sub>)。通过对比<sup>1</sup>H-NMR及<sup>13</sup>C-NMR谱数据,与文献[11]报道的*D*-3-甲氧基-手-肌醇数据基本一致,因此可确定化合物为*D*-3-甲氧基-手-肌醇。

[参考文献]

[1] 刘德丽,包华音,刘杨. 近5年黄芪化学成分及药理作用研究进展[J]. 食品与药品, 2014, 16(1): 68-70.  
[2] 陈国辉,黄文凤. 黄芪的化学成分及药理作用研究进展[J]. 中国新药杂志, 2008, 17(17): 1482-1485.  
[3] 马晓丰,田晓明,陈英杰,等. 蒙古黄芪中黄酮类成分的研究[J]. 中草药, 2005, 36(9): 1293-1296.  
[4] 肖丽和,王红燕,宋少江. 滇黄芩化学成分的分离与鉴定[J]. 沈阳药科大学学报, 2003, 20(3): 181-184.  
[5] Chun Q S, Zhi R Z, Di L, et al. Isoflavones from *Astragalus membranaceus* [J]. Acta Bot Sin, 1997, 39(12): 764-768.  
[6] 张帆,罗水忠,高宝莼,等. 蕨菜的化学成分研究[J]. 天然产物研究与开发, 2004, 16(2): 121-123.  
[7] 宋纯清,盛宛云. 膜荚黄芪中的异黄酮化合物[J]. 植物学报:英文版, 1997, 39(8): 764-768.  
[8] Song C Q, Zheng Z R, Liu D, et al. Pterocarpan and isoflavones from *Astragalus membranaceus* (Fisch.) Bunge [J]. Acta Bot Sin, 1997, 39(12): 1169-1171.  
[9] 王伟,海力茜,赵玉英,等. 红花岩黄芪皂苷的分离鉴定[J]. 中国中药杂志, 2007, 32(4): 315-317.  
[10] Kitagawa I, Wang H U I K, Takagi A, et al. Saponin and sapogenol. XXXIV: chemical constituents of *Astragali Radix*, the root of *Astragalus membranaceus* Bunge. (1): cycloastragenol, the 9,19-cycloanostane-type aglycone of astragalosides, and the artifact aglycone astragenol [J]. Chem Pharma Bull, 1983, 31(2): 689-697.  
[11] Breitmaier E, Voelter W. Carbon-13 NMR spectroscopy [M]. New York: VCH publishers, 1987: 3721.

[责任编辑 邹晓翠]