

## 附子化学成分研究

李小红, 何成军, 周勤梅, 刘娟, 郭力, 彭成\*

(成都中医药大学中药资源系统研究与开发利用省部共建国家重点实验室培育基地, 成都 611137)

**[摘要]** 目的: 研究附子 *Aconitum carmichaelii* Debx. 的子根的化学成分。方法: 采用硅胶、MCI 以及 Sephadex LH-20 柱色谱等分离, 运用波谱数据鉴定化合物的结构。结果: 从附子中分离得到 12 个化合物, 分别鉴定为烟酰胺(1)、尿嘧啶(2)、次黄嘌呤(3)、腺苷(4)、尿苷(5)、5-羟甲基-吡咯-2-甲醛(6)、马齿苋酰胺 E(7)、顺-对香豆酸-4-O-β-D-葡萄糖苷(8)、顺-阿魏酸-4-β-葡萄糖苷(9)、反-阿魏酸-4-β-葡萄糖苷(10)、异麦芽酚-葡萄糖苷(11)、2,4,6-三苯基-1-己烯(12)。结论: 除化合物 2 以外, 其他化合物均为首次从该属植物中分离得到。

**[关键词]** 附子; 子根; 化学成分; 生物碱; 苯丙素苷

**[中图分类号]** R284.1 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1005-9903(2013)19-0086-04

**[doi]** 10.11653/syfy2013190086

## Chemical Constituents from Lateral Roots of *Aconitum carmichaelii*

LI Xiao-hong, HE Cheng-jun, ZHOU Qin-mei, LIU Juan, GUO Li, PENG Cheng\*

(Research on Chinese Medicine Resources System of Chengdu University of Traditional Chinese Medicine (TCM), Development and Utilization of Sichuan Province Work Together for a Base of Cultivation of State Key Laboratory, Chengdu 611137, China)

**[Abstract]** **Objective:** To investigate the chemical constituents from the lateral roots of *Aconitum carmichaelii*. **Method:** A combination of various chromatographic techniques including column chromatography over silica gel, MCI, and Sephadex LH-20 were used to isolate the chemical constituents and their structures were elucidated by spectroscopic data analysis. **Result:** Twelve compounds were isolated and identified as nicotinamide (1), uracil (2), hypoxanthine (3), adenosine (4), uridine (5), 5-hydroxymethyl-pyrrole-2-carbaldehyde (6), oleracein E (7), *cis-p*-coumaric acid 4-O-β-D-glucoside (8), *cis*-feruloyl-4-β-glucoside (9), *trans*-feruloyl-4-β-glucoside (10), isomaltol-glucoside (11) and 2, 4, 6-triphenylhex-1-ene (12). **Conclusion:** All the compounds were obtained from the genus *Aconitum* for the first time except compound 2.

**[Key words]** *Aconitum carmichaelii*; lateral roots; chemical constituents; alkaloids; phenylpropanoid glucosides

附子为毛茛科乌头属植物乌头子根的加工品, 收载于 2010 年版《中国药典》, 其性大热, 味辛、甘,

有毒, 入心、脾、肾, 通行十二经络, 具有回阳救逆、温里助阳、祛寒止痛的功效, 用于亡阳虚脱、肢冷脉微、阳痿、宫冷、心腹冷痛等症<sup>[1]</sup>。现代研究表明附子有强心、升压、抗休克、抗血栓形成、抗缺氧、抗心肌缺血、抗缓慢性心律失常以及镇痛、抗炎、抗溃疡、抗腹泻和糖皮质激素样等多种作用<sup>[2]</sup>。在化学成分的研究方面, 已发现数百种化合物, 包括具有生物活性的二萜生物碱类、黄酮类、甾体皂苷类等<sup>[3-5]</sup>。为了进一步阐明附子的物质基础, 寻找生物活性成分, 本实验对其 95% 乙醇提取物的不同提取部位进行分离纯化, 得到 12 个化合物, 除化合物 2 以外, 其他

**[收稿日期]** 20130430(001)

**[基金项目]** “十二五”国家科技支撑计划项目(2010BAE00406); 国家重点基础研究发展计划(973 计划)项目(2006CB5604705)

**[第一作者]** 李小红, 在读硕士, 从事天然药物化学研究, Tel: 15828523498, E-mail: lixiaohong136@126.com

**[通讯作者]** \* 彭成, 博士, 教授, 从事中药药理和毒理研究, Tel: 13708001778, E-mail: pengchengchengdu@126.com

化合物均为首次从乌头属植物中分离得到。

### 1 材料

Bruker-400, SYS-600 型核磁共振仪, Waters Synapt G2 型质谱仪, 柱色谱硅胶(200~300目)、薄层色谱用硅胶 GF<sub>254</sub> 及硅胶制备薄层板均为烟台江友硅胶开发有限公司生产; Sephadex LH-20 为瑞典 Amersham Pharmacia 公司生产; MCI gel CHP 20P (75~150 μm) 为日本 Mitsubishi Chemical 公司生产。

附子于2010年7月采自四川省江油市附子基地, 经成都中医药大学李敏教授鉴定为 *Aconitum carmichaelii* Debx. 的子根。

### 2 提取与分离

将干燥的附子(5 kg)粉碎, 用95%的乙醇回流提取3次, 每次2 h, 合并提取液, 减压回收乙醇得半固体状总浸膏620 g。用水混悬后, 依次用石油醚、乙酸乙酯和正丁醇萃取, 分别得到石油醚部分、乙酸乙酯部分和正丁醇部分。乙酸乙酯部分190 g, 经硅胶柱色谱, 三氯甲烷-甲醇系统(50:1~1:1)梯度洗脱, 合并得到11个部分, 5和9部分经硅胶柱色谱和 Sephadex LH-20 柱色谱分离, 得到化合物 **1**(20 mg), **2**(500 mg), **12**(7 mg); 10部分经 MCI 处理分段, 用 Sephadex LH-20 柱分离, 得到化合物 **3**(50 mg), **5**(20 mg)。正丁醇部分85 g, 用硅胶柱色谱(200~300目), 三氯甲烷-甲醇系统(50:1~1:1)梯度洗脱, 合并得到11个部分, 2部分经 Sephadex LH-20 柱色谱分离, 得到化合物 **6**(7 mg), **7**(21 mg); 8部分经重结晶得到化合物 **4**(250 mg); 9部分经 MCI, Sephadex LH-20 柱色谱分离, 得到化合物 **8**(8 mg), **9**(7 mg), **10**(100 mg), **11**(20 mg)。

### 3 结构鉴定

化合物 **1** 白色无定形粉末; ESI-MS  $m/z$  123  $[M + H]^+$ ;  $^1H$ -NMR (400 MHz,  $CDCl_3$ )  $\delta$ : 9.03 (1H, brs, H-2), 8.76 (1H, dd,  $J=4.8, 1.2$  Hz, H-6), 8.17 (1H, dd,  $J=7.6, 1.2$  Hz, H-4), 7.42 (1H, dd,  $J=7.6, 4.8$  Hz, H-5), 6.25 (1H, brs, N-H), 6.02 (1H, brs, N-H);  $^{13}C$ -NMR (100 MHz,  $CDCl_3$ )  $\delta$ : 152.9 (C-2), 129.2 (C-3), 135.7 (C-4), 123.8 (C-5), 148.4 (C-6), 167.5 (C-7)。以上数据与文献[6]报道一致, 故鉴定化合物 **1** 为烟酰胺(nicotinamide)。

化合物 **2** 白色无定形粉末; ESI-MS  $m/z$  111  $[M - H]^-$ ;  $^1H$ -NMR (600 MHz,  $DMSO-d_6$ )  $\delta$ : 10.89 (brs, N-H), 7.37 (1H, d,  $J=7.8$  Hz, H-5), 5.43

(1H, d,  $J=7.8$  Hz, H-6)。以上数据与文献[7]报道一致, 故鉴定化合物 **2** 为尿嘧啶(uracil)。

化合物 **3** 白色无定形粉末; ESI-MS  $m/z$  135  $[M - H]^-$ ;  $^1H$ -NMR (600 MHz,  $DMSO-d_6$ )  $\delta$ : 13.30 (1H, brs, N-H), 12.20 (1H, brs, N-H), 8.11 (1H, s, H-2), 7.97 (1H, s, H-8);  $^{13}C$ -NMR (100 MHz,  $DMSO-d_6$ )  $\delta$ : 155.5 (C-4), 152.6 (C-6), 151.4 (C-8), 144.6 (C-2), 140.3 (C-5)。以上数据与文献[8]报道一致, 故鉴定化合物 **3** 为次黄嘌呤(hypoxanthine)。

化合物 **4** 白色无定形粉末; ESI-MS  $m/z$  266  $[M - H]^-$ ;  $^1H$ -NMR (600 MHz,  $DMSO-d_6$ )  $\delta$ : 8.34 (1H, s, H-2), 8.14 (1H, s, H-8), 7.32 (2H, s, 4-NH<sub>2</sub>), 5.87 (1H, d,  $J=6.0$  Hz, H-1'), 4.61 (1H, m, H-5'a), 4.14 (1H, m, H-5'b), 3.96 (1H, m, H-4'), 3.66 (1H, m, H-2'), 3.54 (1H, m, H-3');  $^{13}C$ -NMR (150 MHz,  $DMSO-d_6$ )  $\delta$ : 156.1 (C-6), 152.3 (C-2), 149.1 (C-4), 139.9 (C-8), 119.5 (C-5), 87.9 (C-1'), 85.9 (C-4'), 73.4 (C-2'), 70.5 (C-3'), 61.6 (C-5')。以上数据与文献[9]报道一致, 故鉴定化合物 **4** 为腺苷(adenosine)。

化合物 **5** 白色无定形粉末; ESI-MS  $m/z$  245  $[M + H]^+$ ;  $^1H$ -NMR (400 MHz,  $CD_3OD$ )  $\delta$ : 8.03 (1H, d,  $J=8.0$  Hz, H-6), 5.91 (1H, d,  $J=4.4$  Hz, H-1'), 5.71 (1H, d,  $J=8.0$  Hz, H-5), 4.20 (1H, t,  $J=4.8$  Hz, H-5'a), 4.17 (1H, t,  $J=4.8$  Hz, H-5'b), 4.02 (1H, m, H-4'), 3.84 (1H, dd,  $J=12.0, 2.4$  Hz, H-2'), 3.75 (1H, dd,  $J=12.4, 3.2$  Hz, H-3');  $^{13}C$ -NMR (100 MHz,  $CD_3OD$ )  $\delta$ : 152.5 (C-2), 166.2 (C-4), 102.6 (C-5), 142.7 (C-6), 90.7 (C-1'), 75.7 (C-2'), 71.3 (C-3'), 86.3 (C-4'), 62.3 (C-5')。以上数据与文献[10]报道一致, 故鉴定化合物 **5** 为尿苷(uridine)。

化合物 **6** 无色胶状物; ESI-MS  $m/z$  124  $[M - H]^-$ ;  $^1H$ -NMR (400 MHz,  $CD_3COCD_3$ )  $\delta$ : 10.88 (1H, brs, N-H), 9.36 (1H, s, H-5'), 6.91 (1H, d,  $J=4.0$  Hz, H-4), 6.22 (1H, d,  $J=4.0$  Hz, H-3), 4.65 (1H, s, H-2');  $^{13}C$ -NMR (100 MHz,  $CD_3COCD_3$ )  $\delta$ : 132.1 (C-2), 108.5 (C-3), 120.9 (C-4), 142.4 (C-5), 178.1 (C-2'), 178.6 (C-5')。以上数据与文献[11]报道一致, 故鉴定化合物 **6** 为5-羟甲基-吡咯-2-甲醛(5-hydroxymethylpyrrole-2-carbaldehyde)。

化合物 **7** 无色胶状物; ESI-MS  $m/z$  220  $[M +$

H] <sup>+</sup>; <sup>1</sup>H-NMR (400 MHz, CDCl<sub>3</sub>) δ: 6.56 (1H, s, H-10), 6.54 (1H, s, H-7), 4.65 (1H, t, *J* = 8.0 Hz, H-10b), 4.09 (1H, m, H-5a), 3.00 (1H, m, H-5b), 2.75 (2H, m, H-6), 2.56 (1H, m, H-1a), 2.51 (1H, m, H-2a), 2.14 (1H, m, H-2b), 1.77 (1H, m, H-1b); <sup>13</sup>C-NMR (100 MHz, CDCl<sub>3</sub>) δ: 27.4 (C-1), 31.7 (C-2), 174.1 (C-3), 37.4 (C-5), 27.7 (C-6), 124.8 (C-6a), 115.1 (C-7), 143.5 (C-8), 144.5 (C-9), 111.2 (C-10), 128.5 (C-11a), 56.8 (C-11b)。以上数据与文献[12]报道一致,故鉴定化合物 7 为马齿苋酰胺 E(oleracein E)。

化合物 8 白色无定形粉末;ESI-MS *m/z* 349 [M + Na] <sup>+</sup>; <sup>1</sup>H-NMR (400 MHz, CD<sub>3</sub>OD) δ: 7.55 (2H, d, *J* = 8.8 Hz, H-2, 6), 7.01 (2H, d, *J* = 8.8 Hz, H-3, 5), 6.43 (1H, d, *J* = 12.8 Hz, H-8), 5.95 (1H, d, *J* = 12.8 Hz, H-7), 4.89 (1H, d, *J* = 7.2 Hz, H-1'), 3.85 (1H, dd, *J* = 12.0, 4.8 Hz, H-6'a), 3.69 (1H, dd, *J* = 12.0, 4.8 Hz, H-6'b), 3.60 (1H, m, H-2'), 3.48-3.40 (3H, m, H-3', 4', 5'); <sup>13</sup>C-NMR (100 MHz, CD<sub>3</sub>OD) δ: 133.1 (C-1), 131.6 (C-2), 117.5 (C-3), 158.8 (C-4), 131.6 (C-5), 117.5 (C-6), 125.9 (C-7), 131.8 (C-8), 177.1 (C-9), 102.0 (C-1'), 74.8 (C-2'), 77.8 (C-3'), 71.3 (C-4'), 78.0 (C-5'), 62.5 (C-6')。以上数据与文献[13]报道一致,故鉴定化合物 8 为顺-对香豆酸-4-*O*-β-*D*-葡萄糖苷(*cis-p*-coumaric acid 4-*O*-β-*D*-glucoside)。

化合物 9 白色无定形粉末;HR-ESI-MS *m/z* 379.1014 [M + Na] <sup>+</sup>, (calcd for C<sub>16</sub>H<sub>20</sub>O<sub>9</sub>Na, 379.1005); <sup>1</sup>H-NMR (400 MHz, CD<sub>3</sub>OD) δ: 7.54 (1H, d, *J* = 2.0 Hz, H-2), 7.15 (1H, dd, *J* = 8.0 Hz, H-5), 7.12 (1H, dd, *J* = 8.0, 2.0 Hz, H-6), 6.45 (1H, d, *J* = 12.4 Hz, H-8), 6.10 (1H, d, *J* = 12.4 Hz, H-7), 4.96 (1H, d, *J* = 7.2 Hz, H-1'), 3.91 (3H, s, OMe), 3.87 (1H, overlapped, H-6'a), 3.69 (1H, dd, *J* = 12.0, 4.8 Hz, H-6'b), 3.51 (1H, dd, *J* = 11.2, 7.2 Hz, H-2'), 3.46-3.34 (3H, m, H-3', 4', 5'); <sup>13</sup>C-NMR (100 MHz, CD<sub>3</sub>OD) δ: 130.8 (C-1), 114.1 (C-2), 150.1 (C-3), 147.8 (C-4), 116.5 (C-5), 124.0 (C-6), 143.1 (C-7), 117.1 (C-8), 171.0 (C-9), 102.6 (C-1'), 74.8 (C-2'), 77.8 (C-3'), 71.3 (C-4'), 78.2 (C-5'), 62.4 (C-6'), 56.7 (OMe)。以上数据与文献[14]报道一致,故鉴定化合物 9 为顺-阿魏

酸-4-β-葡萄糖苷(*cis*-Feruloyl-4-β-glucoside)。

化合物 10 无色针状结晶;ESI-MS *m/z* 379 [M + Na] <sup>+</sup>, 395 [M + K] <sup>+</sup>; <sup>1</sup>H-NMR (600 MHz, CD<sub>3</sub>OD) δ: 7.59 (1H, d, *J* = 16.2 Hz, H-7), 7.24 (1H, brs, H-2), 7.17 (1H, d, *J* = 8.4 Hz, H-5), 7.15 (1H, d, *J* = 8.4 Hz, H-6), 6.39 (1H, d, *J* = 16.2 Hz, H-8), 4.96 (1H, d, *J* = 7.2 Hz, H-1'), 3.89 (3H, s, OMe), 3.87 (1H, overlapped, H-6'a), 3.69 (1H, dd, *J* = 12.0, 5.4 Hz, H-6'b), 3.51 (1H, dd, *J* = 11.2, 9.0 Hz, H-2'), 3.47 ~ 3.40 (3H, m, H-3', 4', 5'); <sup>13</sup>C-NMR (150 MHz, CD<sub>3</sub>OD) δ: 130.8 (C-1), 112.5 (C-2), 151.1 (C-3), 150.0 (C-4), 117.5 (C-5), 123.3 (C-6), 145.8 (C-7), 118.3 (C-8), 170.9 (C-9), 102.3 (C-1'), 74.9 (C-2'), 77.9 (C-3'), 71.3 (C-4'), 78.3 (C-5'), 62.5 (C-6'), 56.8 (OMe)。以上数据与文献[15]报道一致,故鉴定化合物 10 为反-阿魏酸-4-β-葡萄糖苷(*trans*-feruloyl-4-β-glucoside)。

化合物 11 无色针状结晶;ESI-MS *m/z* 311 [M + Na] <sup>+</sup>; <sup>1</sup>H-NMR (400 MHz, CD<sub>3</sub>OD) δ: 7.65 (1H, brs, H-5), 6.76 (1H, brs, H-4), 5.56 (1H, d, *J* = 2.8 Hz), 3.83 (1H, overlapped, H-6'a), 3.73 (1H, m, H-1'), 3.67 (1H, dd, *J* = 12.0, 4.8 Hz, H-6'b), 3.59 (1H, dd, *J* = 9.6, 4.0 Hz, H-2'), 3.46 ~ 3.34 (3H, m, H-3', 4', 5'), 2.47 (3H, s, COCH<sub>3</sub>); <sup>13</sup>C-NMR (100 MHz, CD<sub>3</sub>OD) δ: 154.3 (C-1), 148.6 (C-2), 105.9 (C-3), 139.2 (C-4), 187.5 (C-2'), 101.3 (C-1''), 72.9 (C-2''), 74.7 (C-3''), 71.1 (C-4''), 75.4 (C-5''), 62.2 (C-6''), 27.2 (COCH<sub>3</sub>)。以上数据与文献[16]报道一致,故鉴定化合物 11 为异麦芽酚-葡萄糖苷(isomaltol-glucoside)。

化合物 12 无色胶状物;EIMS *m/z* 312 [M] <sup>+</sup>; <sup>1</sup>H-NMR (400 MHz, CDCl<sub>3</sub>) δ: 7.32 ~ 7.02 (15H, m, H-phenyl), 5.15 (1H, d, *J* = 1.6 Hz, H-1a), 4.89 (1H, d, *J* = 1.6 Hz, H-1b), 2.83 (2H, m, H-3), 2.67 (1H, m, H-4), 2.39 ~ 2.33 (2H, m, H-6), 2.05 ~ 1.86 (2H, m, H-5); <sup>13</sup>C-NMR (100 MHz, CDCl<sub>3</sub>) δ: 114.4 (C-1), 141.1 (C-2), 43.4 (C-3), 43.6 (C-4), 37.3 (C-5), 33.7 (C-6), 146.8, 144.9, 142.4 (phenyl C), 128.3 (4), 128.3 (2), 128.3 (2), 128.3, 127.7, 127.3, 126.3 (2), 126.2, 125.5 (phenyl CH)。以上数据与文献[17]报道一致,故鉴定化合物 12 为 2,4,6-

三苯基-1-己烯(2,4,6-triphenylhex-1-ene)。

#### 4 结果与讨论

本研究从附子中分离得到12个单体化合物,包括7个生物碱(化合物1~7),3个苯丙素苷(化合物8~10),异麦芽酚-葡萄糖苷(11)和2,4,6-三苯基-1-己烯(12)。现有研究结果表明,化合物1具有抗炎、抗氧化、代谢调控等作用<sup>[18]</sup>,化合物2具有强心等作用<sup>[7]</sup>,化合物3具有平喘、降压、舒张支气管等作用<sup>[19]</sup>,化合物4具有镇静、抗癫痫等作用<sup>[20]</sup>,化合物7具有抗氧化、抗菌、抗病毒等作用<sup>[21]</sup>,这进一步揭示了生物碱类化合物为附子的重要组成部分,与其强心、抗炎、镇静等作用密切相关;同时苯丙素苷类化合物已被证明具有抗菌、抗肿瘤、抗病毒、护肝等作用<sup>[22]</sup>,暗示附子中的非生物碱类化合物也可能与其生物活性有关,可作为继续寻找附子活性物质的出发点。

#### [参考文献]

[1] 国家药典委员会. 中华人民共和国药典. 一部 [S]. 北京:中国医药科技出版社, 2010:177.

[2] 王晓芬, 朱英. 附子化学成分分析及药理作用的研究进展 [J]. 海峡药学, 2010, 22(11):39.

[3] Csupor D, Wenzig E M, Zupkó I, et al. Qualitative and quantitative analysis of aconitine-type and lipo-alkaloids of *Aconitum carmichaelii* roots [J]. J Chromatogr A, 2009, 1216(11):2079.

[4] Desai H K, Hart B P, Caldwell R W, et al. Certain norditerpenoid alkaloids and their cardiovascular action [J]. J Nat Prod, 1998, 61(6):743.

[5] Jiang B, Lin S, Zhu C, et al. Diterpenoid alkaloids from the lateral root of *Aconitum carmichaelii* [J]. J Nat Prod, 2012, 75(6):1145.

[6] 滕宪存, 庄以彬, 王义, 等. 花刺柳珊瑚共生真菌 *Penicillium* sp. gx wz406 的次生代谢产物研究 [J]. 中国海洋药物杂志, 2010, 29(4):14.

[7] 韩公羽, 梁华清, 廖耀中, 等. 四川江油附子新的强心成分 [J]. 第二军医大学学报, 1991, 12(1):11.

[8] Zhou X, Xu T, Wen K, et al. New *N*-acyl taurine from the sea urchin *Glyptocidaris crenularis* [J]. Biosci Biotechnol Biochem, 2010, 74(5):1090.

[9] 乔莉, 王宗权, 孟作环, 等. 芪苈强心胶囊的化学成分研究(II) [J]. 中国实验方剂学杂志, 2012, 18

(21):81.

[10] Sang S, Kikuzaki H, Lapsley K, et al. Sphingolipid and other constituents from Almond Nuts (*Prunus amygdalus* Batsch) [J]. J Agric Food Chem, 2002, 50(16):4710.

[11] Hiermann A, Kedwani S, Schramm H W, et al. A new pyrrole alkaloid from seeds of *Castanea sativa* [J]. Fitoterapia, 2002, 73(1):24.

[12] 吴海峰, 宋志军, 朱华结, 等. 藏药红花绿绒蒿的化学成分 [J]. 天然产物研究与开发, 2011, 23(2):205.

[13] Iorizzi M, Lanzotti V, Marino S D, et al. New glycosides from *Capsicum annuum* L. Var. *acuminatum*. isolation, structure determination, and biological activity [J]. J Agric Food Chem, 2001, 49(4):2024.

[14] Baderschneider B, Winterhalter P. Isolation and characterization of novel benzoates, cinnamates, flavonoids, and lignans from riesling wine and screening for antioxidant activity [J]. J Agric Food Chem, 2001, 49(6):2790.

[15] Park B J, Tomohiko M. Feruloyl, caffeoyl, and flavonol glucosides from *Equisetum hyemale* [J]. Chem Nat Compd, 2011, 47(3):364.

[16] Ota M, Kohmura M, Kawaguchi H. Characterization of a new maillard type reaction product generated by heating 1-deoxymaltulosyl-glycine in the presence of cysteine [J]. J Agric Food Chem, 2006, 54(14):5129.

[17] Ayer W A, Muir D J, Chakravarty P. Phenolic and other metabolites of *Phellinus pini*, a fungus pathogenic to pine [J]. Phytochemistry, 1996, 42(5):1323.

[18] 杨驰, 郑咏秋, 戴敏. 烟酰胺药理作用研究进展 [J]. 临床肺科杂志, 2011, 16(12):1914.

[19] 崔小兵, 李伟, 张科卫, 等. HPLC测定海龙中次黄嘌呤及黄嘌呤含量 [J]. 中国海洋药物杂志, 2006, 25(2):58.

[20] 贾力. 腺苷受体和腺苷的药理作用 [J]. 中国药理学通报, 1989, 5(3):129.

[21] Yang Z J, Liu C J, Xiang L, et al. Phenolic alkaloids as a new class of antioxidants in *Portulaca oleracea* [J]. Phytother Res, 2009, 23(7):1032.

[责任编辑 邹晓翠]