

与杂草竞争力强,能正常生长、开花、结籽,在室外未发现病虫害。经过 4 年的观察,阿拉善白益母草适宜露地栽培,并可进一步推广试种培育,并向景观观赏方向发展,是经济实用的新品种。

5 结语

我国白益母草资源丰富,是在内蒙古广泛应用的药用植物,其疗效确切,甚至好于益母草。目前关于白益母草的研究主要集中在其性状和显微鉴别,植物分类研究等方面,这些研究生动地阐明了白益母草由外及内的特点。但对于白益母草的研究还不是非常完善,有待在以下几方面进行补充或进行深入研究:(1)在植物分类学上还存在诸多分歧,因此在这方面还需深入研究;(2)白益母草在民间用药的基础上应进行系统的活性成分和生物活性研究,加强与化学成分相配合的药理筛选,在进一步提取分离一些新的天然活性成分、研究已知化合物新的药理作用的基础上,探索活性成分的作用机制和构效关系;(3)确立白益母草的质量评价方法,尽快找到确切药效物质基础,真正实现该药材和制剂的有效评价。这些问题的解决可以更好地了解白益母草的生长规律、内部特点,随之可能对发现其新的药理作用并且更充分的应用于临床具有指导意义。

References:

[1] Zhu Y M. Inner Mongolia Flora (内蒙古植物志) [M]. Vol 1. Huhhot: Inner Mongolia People's Publishing House, 1993.

[2] China Pharmaceutical University. *Thesaurus of Chinese Materia Medica* (中药辞海) [M]. Beijing, China Medicopharmaceutical Science and Technology Publishing House, 1999.
[3] Zhao Y Z, Li S Y, Cao R. The analysis of morphological characters and a taxonomic revision on *Panzerina lanata* (L.) Sojak Complex (Labiatae) [J]. *Acta Phytotax Sin* (植物分类学报), 1998, 36(3): 193-205.
[4] Zhao Y Z, Liu Y B. Floristic analysis of panzerina [J]. *Acta Univ Inner Mongol: Nat Sci* (内蒙古大学学报), 1997, 28(6): 823-824.
[5] Zhao Y Z, Liu Y B. Floristic analysis of panzerina [J]. *Acta Univ Inner Mongol: Nat Sci* (内蒙古大学学报:自然科学版), 1997, 28(6): 823-824.
[6] Li S Y, Cao R, Zhao Y Z. Studies on Chromosome Karyotype of *Panzerina lanata* J. Soiak Complex [J]. *Acta Univ Inner Mongol: Nat Sci* (内蒙古大学学报:自然科学版), 1999, 30(2): 200-205.
[7] Li S Y, Zhao Y Z. Study on biological feature of *Panzerina lanata* J. Soiak complex [J]. *Acta Bot Boreal-Occident Sin* (西北植物学报), 2000, 20(2): 268-274.
[8] Zhou S X, Yang W B, Yao J X, et al. Study of composition in Natural Plant *Panzerina* [J]. *Acta Univ Inner Mongol: Nat Sci* (内蒙古大学学报:自然科学版), 1998, 29(2): 288-290.
[9] Zhou S X, Bao L R. Studies on extracting and Separating of Flavonoids Effective Constituents in Natural Plant *Panzerina* [J]. *Acta Univ Inner Mongol: Nat Sci* (内蒙古大学学报:自然科学版), 2001, 32(1): 50-53.
[10] Qiao J C, Yang Q. Determination of inorganic elements in *Panzeria alaschanica* Kupr. [J]. *Inner Mongol J Tradit Chin Med* (内蒙古中医药), 2000, 19(1): 44.
[11] Wang J T, Guo X L. A preliminary report introduction and cultivation of *Panzeria alaschanica* Kupr. in Alashan League [J]. *Anim Husband Feed Sci* (畜牧与饲料科学), 2004, 25(2): 64.

芥子碱的研究概况

柯木根, 吴国欣*, 林燕妮, 陈密玉

(福建师范大学生命科学院, 福建福州 350007)

摘要: 芥子碱是一种非常有价值的天然抗氧化剂, 在抗衰老药物的研究中具有重要意义。综述近年来有关芥子碱的研究概况, 包括芥子碱的理化性质、制备方法、测定方法、生物活性及毒性等, 以期对芥子碱的进一步开发应用寻找新的信息和思路。

关键词: 芥子碱; 制备方法; 毒性

中图分类号: R284.1 文献标识码: A 文章编号: 0253-2670(2007)09-1436-04

Survey of studies on sinapine

KE Mu-gen, WU Guo-xin, LIN Yan-ni, CHEN Mi-yu

(College of Life Sciences, Fujian Normal University, Fuzhou 350007, China)

Key words: sinapine; preparation method; toxicity

芥子碱(sinapine)广泛存在于十字花科植物中, 在十字花科植物的生理代谢调控、提高植物抗病性和改善营养品质等

方面起着非常重要的作用^[1-5]。近年来的研究揭示了芥子碱不仅是一种非常有价值的天然抗氧化剂, 在抗衰老药物的研

收稿日期: 2007-01-25

基金项目: 福建省自然科学基金资助项目(C0410010)

作者简介: 柯木根(1983—), 男, 福建泉州人, 硕士研究生, 研究方向为天然产物与药物的开发与应用。

E-mail: kmg.05@163.com

* 通讯作者 吴国欣 Tel: (0591)83431462 E-mail: gxwu@fjnu.edu.cn

究中具有重要意义^[3],还具有显著的降血压、抗炎、抗腹泻和抗雄激素活性等功效^[7-9]。本文将对近年来芥子碱的研究概况作一简要概述,以期对芥子碱的进一步开发应用提供资料。

1 理化性质

芥子碱为季铵盐生物碱,其结晶体为棕色针状,易溶于水、甲醇和乙醇,热稳定(100℃),熔点为 179℃,在 326 nm 处有一紫外吸收峰,在弱酸性溶液中稳定,但在碱性溶液中不稳定,易分解为芥子酸和胆碱。芥子碱在自然界中只有极少一部分是以单体的形式存在,常与有机酸结合成盐而存在,或以糖苷、有机酸酯和酰胺的形式存在,而在常用十字花科药用植物中以芥子碱硫氰酸盐(图 1)的形式存在最为广泛^[10]。芥子碱水溶液加数滴 1 mol/L NaOH 后,溶液呈黄色,紫外灯下有绿色荧光;加数滴 1 mol/L HCl,溶液呈淡红色,紫外灯下有蓝色荧光;加数滴浓 HNO₃,溶液呈深红棕色。

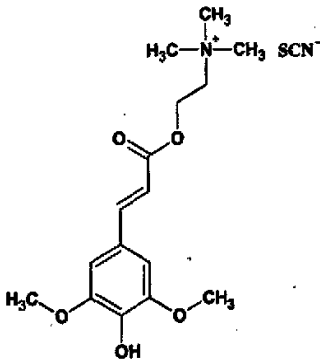


图 1 芥子碱硫氰酸盐结构

Fig. 1 Structure of sinapine thiocyanate

2 制备方法

2.1 柱色谱法:活性氧化铝是最常用的一种吸附剂,特别适用于亲脂性成分的分离,且氧化铝价廉、再生容易,而且分离效果好、处理量较大,因而成为天然产物提取有效成分的常用手段。王维兰等在莱菔子硫酸芥子碱的提取中,通过醇提、盐沉,配合氧化铝柱色谱,精制得无色透明的板状结晶。

2.2 大孔吸附树脂法:大孔吸附树脂是一类有机高聚物吸附剂,具有大孔网状结构和较大的比表面积,可通过物理吸附从水溶液中选择性的吸附有机物。近年来,大孔吸附树脂在中药成分精制纯化等领域中的应用逐渐增加。谢朝晖等^[11]在大孔吸附树脂对白芥子生物碱提取分离的应用研究中,以芥子碱为指标成分,探讨树脂吸附纯化的影响因素,结果发现白芥子水提液在不同树脂上具有不同的吸附洗脱效果,其中在 AB-8 型树脂上最好,其次为 D-101 型、NKA-9 型,其最佳工艺条件为 1.5:1(生药量:树脂量)的上柱药液量,25℃的 药液温度,1.5:1(生药量:药液体积)的上柱药液浓度。

2.3 微波和超声波辅助提取法:随着现代高新技术的不断发展,一些新技术和新设备被广泛地应用于天然药物成分的提取分离。其中微波和超声波辅助提取应用最广,与传统提

取方法相比,微波具有穿透力强、选择性高、加热效率高、加热均匀等特点;超声波辅助提取是一个细胞破碎过程,可极大地提高提取效率,且在提取过程中无化学反应,不会影响被浸提物质的生物活性。林燕妮等^[12]在芥子碱提取的工艺研究中,建立芥子碱热醇提取的最佳提取条件,并在此基础上,探讨微波、超声波辅助提取对芥子碱提取效率的影响,结果表明与热醇提取相比,微波和超声波辅助提取的提取效率分别提高了 89% 和 85%。因此,利用微波、超声波辅助提取芥子碱不失为一种方便简单、高效率、低耗能的新方法。

3 测定方法

3.1 高效液相色谱(HPLC)法:目前,芥子碱的测定多采用高效液相色谱法^[13,14]。其中,刘丽芳等针对国内外有些方法存在柱效要求高,流动相中需含缓冲盐类,与相邻杂质峰的分离度不够理想,所需分析时间较长等缺点,对该方法进行改进,采用反相高效液相色谱法测定了白芥子中芥子碱的量。实验表明,该法快速、简便、分离效率高,具有很好的重现性和稳定性,为控制药材质量提供新的依据,但仪器价格昂贵,不适用于基层实验室的广泛应用。

3.2 电化学(electrochemistry, EC)法:Zhou 等^[15]采用循环伏安(cyclic voltammetry, CV)法研究芥子碱的电化学特性,并结合高效液相色谱校准其检测的准确性。结果发现芥子碱在一定浓度范围内(1.9×10⁻⁶~2.5×10⁻⁴ mol/L),在循环伏安图上的吸收峰与其浓度呈线性关系,且最小检测量可达到 9.9×10⁻⁷ mol/L;HSO₄⁻、SCN⁻等阴离子对芥子碱的电化学特性不产生影响,与 HPLC 相比,电化学法检出限更低,具有高度选择性,灵敏度和精密度不相上下,且克服了其他大部分测定方法需要芥子碱分离成芥子酸和胆碱的缺点,极大地保持了芥子碱的生物活性。但电化学法与高效液相色谱法一样,一般多与其他方法联用,如 EC-ESR、HPLC-ECD 等。随着光电检测技术的蓬勃发展,电化学与其他方法联用,如与 ESR、高效液相色谱联用,可能成为未来检测芥子碱的一种可靠、准确的现代测试技术。

3.3 光谱法

3.3.1 可见分光光度法:根据芥子碱可与四氯化钛(TiCl₄)形成有色复合物的原理,Feriall 等^[16]采用比色法(可见光区域)测定油菜籽中的芥子碱,结果表明比雷氏盐沉淀法更可靠,但该方法因反应液的吸光度容易受光和热的影响,一定程度上限制了其准确度和精密度,且结果重复性差,回收率较低。根据芥子碱在 pH>10 时转变为黄色,最大吸收波长为 388 nm 的特征,用分光光度计测定芥子碱在碱性条件下的吸光度^[17],该法可消除双相滴定法因终点观察困难所带来的误差。

3.3.2 紫外分光光度法(UV):鉴于芥子碱结构中较长的共轭体系,在紫外区(326 nm)有一吸收峰,可用 UV 直接测定。UV 快速、精确,无需贵重仪器,与分光光度法相比,其稳定性和重复性较好,且与离子交换相结合,已证明是一种较理想的质量分析方法。因此,UV 是一般实验室测定芥子碱的较佳选择。

3.4 荧光扫描法:芥子碱在紫外光激发下可产生较强的荧光,其强度在一定范围内与量呈线性关系。朱进等^[18]采用荧光扫描法测定了莱菔子中芥子碱的量。该方法简便、专属性强、重现性好、回收率高,然而设备和试剂要求较高。

3.5 双相滴定法:利用酸性染料溴麝香草酚蓝测定 pH 6.8 缓冲液中的芥子碱,滴定过程中芥子碱与酸性染料结合并被提取到氯仿层中,再滴入的染料即使水相呈色而指示终点,从而测得芥子酸的量。该法快速简便,无须特殊仪器设备,耗样及试剂较少,便于基层检验药品质量,但操作复杂,且受水相 pH 值的影响较大,滴定终点较难掌握。

4 生物活性

4.1 抗辐射和抗氧化作用:顾瑞琦通过几种十字花科植物幼芽提取液对元麦和小麦萌发种子和辐射保护作用实验已经证明芥子碱或其衍生物是十字花科植物具有较强的抗辐射性能的物质基础,在体外芥子碱能有效清除活性氧自由基,对动植物有较强的辐射保护作用。Thiyam 等^[21]提出在芥子碱的辐射保护作用中,芥子碱的酚基起主要作用,而不是它的芳香基团。与 DMSO(强有力的·OH 清除剂)不同的是,芥子碱不仅能显著减少 DNA 链的断裂,而且有一定的抗碱基损伤作用,其机制大概有两种:①对于 DNA 链的断裂,是通过清除·OH,从而减少了攻击脱氧核糖的可能性;②对于碱基损伤,是通过转移碱基上的电子而起作用。从生物学效果来看, DNA 链断裂的后果比碱基损伤更严重,芥子碱在辐射和活性氧攻击中不仅可以防止碱基损伤,而且能更有效地减少 DNA 链的断裂,因此它是一种非常有价值的辐射保护物质。

4.2 抗衰老作用:衰老是一个极为复杂的过程,自由基学说只能解释其部分现象,不能解释衰老过程的全部表现,但自由基促使衰老过程加快的作用是确切的。外界不良环境刺激可使衰老过程加速,而在生物体自身的衰老过程中活性氧自由基也是一个不可忽视的因素。李群等^[6]通过十字花科植物中的芥子碱对果蝇的抗衰老作用实验发现,其作为超氧阴离子自由基和羟自由基的清除剂,在适当浓度下,不仅能延长果蝇的平均寿命和半数寿命,而且也能延长果蝇的最高寿命,显示出具有一定的抗衰老作用。但由于抗衰老药物具有不同于一般药物的特殊性,其服用时间较长,总的吸收剂量较大,而且作用过程比较缓和,芥子碱对果蝇的延寿作用并不随服用剂量的增加而提高,其抗衰老作用只有在适当剂量下,才能表现出一定的效果。

4.3 抗放射作用:通过芥子碱对辐照后小鼠外周血象变化的影响实验^[22]发现芥子碱能够显著缓解辐照后小鼠外周血中血小板和白细胞的减少,而对血红蛋白的变化无显著影响;并且能够显著促进外周血中血小板水平的恢复。在已有的抗放射药物中,动物口服代价低,且毒性反应明显。小鼠毒性实验表明,芥子碱实际为无毒物质^[23],这成为芥子碱有别于人工合成抗放射药物的一个最显著的特点。

4.4 抗炎和抗腹泻作用:芥子碱可抑制二甲苯引起的小鼠耳壳肿胀和组织胺引起大鼠皮肤毛细血管通透性增高,可减

少蓖麻油和番泻叶引起小鼠腹泻次数和发生频率,具有抗炎和抑制胃肠推进运动的作用,两者都是其抗腹泻机制。但芥子碱抑制胃肠推进运动的作用弱且无量效关系,所以推测抗炎是其抗腹泻的主要机制^[7]。咖啡酸(3,4-二羟基苯丙烯酸)和阿魏酸(3-甲氧基-4-羟基苯丙烯酸)具有抗腹泻作用,抗炎是它们抗腹泻的主要机制^[22]。芥子碱灌胃后在肠道被分解或经肝脏被迅速水解成无毒的胆碱和芥子酸,而芥子酸的化学结构与咖啡酸、阿魏酸类似,都为 4-羟基苯丙烯酸类化合物,推测芥子酸可能是芥子碱的抗炎抗腹泻的活性代谢物。

4.5 降压作用:李晶^[8]等采用自发性高血压大鼠动物模型,探讨芥子碱的降压作用。结果表明,芥子碱具有确切的慢性降压作用,且对心率无影响,起效时间短。同时芥子碱对麻醉闭胸犬平均动脉压、收缩压及舒张压均有明显的降低作用,对心率同样无影响,提示芥子碱降压作用可能是通过松弛血管平滑肌实现的。

4.6 抗雄激素活性:吴国欣等^[9]通过丙酸睾酮诱导的去势小鼠前列腺增生动物模型进行芥子碱的药效实验,结果表明:芥子碱能显著抑制丙酸睾酮诱发的去势小鼠前列腺增生,降低小鼠包皮腺、精囊腺湿重,降低血清酸性磷酸酶活力,具有显著的抗雄激素活性作用。理论上,抑制雄激素与受体结合和 5 α -还原酶活性,或直接的细胞毒作用等都可能使丙酸睾酮诱发的去势小鼠前列腺增生受到抑制。而芥子碱是一种季胺盐物质,其抗雄激素的分子机制有待进一步研究。

5 毒性研究

5.1 抗营养效应:芥子碱在自然界中不稳定,易被酯酶、 β -葡萄糖苷酶、阿魏酸酶(FAE)等酶解成芥子酸和胆碱,而芥子酸能导致精子不成熟,引起生殖功能障碍。在用油菜、芥菜等其他十字花科植物饲喂家畜时应做处理或限制用量在 5% 以内。芥子碱具有苦辛味,影响饲料的适口性和动物的采食量,但对蛋白的吸收和利用没有影响。但重要的是,一些体内缺乏三甲胺(trimethylamine)氧化酶的褐壳系蛋鸡,采食芥子碱后产腥味蛋,这是因为芥子碱在鸡胃肠道内转变为三甲胺后,不能被氧化而导致的三甲胺累积直接进入蛋中而产生腥味。而蛋鸡日粮中芥子碱的量低于 0.1% 时,则不会产腥味。通过育种降低双低油菜中介子碱的量,可进一步提高鸡蛋的营养价值。因此,逐步降低芥子碱在油菜籽中的量成为一个必须攻克的课题。以前工作主要集中在抑制芥子碱在成熟种子的合成, Husken 等^[24]采用基因克隆的新技术,通过 dsRNAi 构建设计编码芥子碱葡萄糖转移酶的基因片断 BnSGT1,特异性地沉默芥子碱在十字花科植物中的生物合成代谢,结果发现芥子碱在 T2 和 T3 种子中的量分别降低了 61% 和 76%,而它们的含油量、蛋白质、脂肪、多糖等物质没有变化。可见,通过转基因技术降低芥子碱葡萄糖转移酶的生物合成从而大幅度地降低芥子碱在油菜籽等十字花科植物中的量,可能是当前解决芥子碱抗营养效应的一个新思路。

5.2 急性毒性:郭房庆等^[21]通过毒性实验发现,当芥子碱累积饲喂量达到每只小鼠每千克体重 9.6 g 的水平时,芥子碱

组和对照组小鼠的活动能力和纳食能力没有明显差别,两组小鼠存活率都为 100%,表明芥子碱对小鼠为实际天然无毒物质。上海市化学品毒性检测所的测试报告表明,发现在饲喂芥子碱后连续 7 d 的观察时间里,受试小鼠无不良症状出现,无死亡发生,小鼠经口急性服药的毒性 $MLD > 10 \text{ g/kg}$ 。

6 结语

芥子碱具有显著的抗氧化、抗辐射、抗衰老、降血压、抗炎、抗腹泻和抗雄激素等多种生物活性,且芥子碱主要存在于十字花科植物中,价格低廉,来源相当广泛,提取制备方法简便,对其开发成新型药物有着广阔的应用前景。但从安全性和有效性的角度考虑,应从临床应用较多的《中国药典》收录的品种中提取分离该物质更为合理。刘丽芳等^[7]通过对几种主要含芥子碱的药材进行考察中,发现芥子碱在白芥子药材中不仅量最高,而且干扰杂质少,因而最适合成为提取芥子碱的原料药材。

References

- [1] Lacki K, Duvnjak Z. Enzymatic transformation of sinapine using polyphenol oxidase from *Trametes versicolor*. Effect of pH and temperature and model development [J]. *Chem Eng J*, 1997, 65(1): 27-36.
- [2] Wang S X, Ellis B E. Enzymology of udp-glucose: sinapic acid glucosyltransferase from *Brassica napus* [J]. *Phytochemistry*, 1998, 49(2): 307-318.
- [3] Baumert A, Milkowski C, Schmidt J, et al. Formation of a complex pattern of sinapate esters in *Brassica napus* seeds, catalyzed by enzymes of a serine carboxypeptidase-like acyltransferase family? [J]. *Phytochemistry*, 2005, 66(11): 1334-1345.
- [4] Wittstock U, Halkier B A. Glucosinolate research in the *Arabidopsis* era [J]. *Trends Plant Sci*, 2002, 7: 263.
- [5] Li J, Zhu Z J. Molecular mechanisms of biological metabolism of glucosinolates in plant [J]. *Chin J Cell Bio* (细胞生物学杂志), 2005, 27(5): 519-524.
- [6] Li Qun, Gu R Q. The effects of sinapine from cruciferous plants on the life-span of drosophil a melanogaster [J]. *Chin J Appl Environ Biol* (应用与环境生物学报), 1999, 5(1): 32-35.
- [7] Zhang M F, Shen Y Q. Antidiarrheal and anti-inflammatory effects of sinapine [J]. *Pharmacol Clin Chin Mater Med* (中药药理与临床), 1996(1): 29-31.
- [8] Li J, Shi Z, Zhao L J, et al. Effect of sinapine hydrogen sulfate on blood pressure and heart rate of spontaneous hypertension rat [J]. *Jilin J Tradit Chin Med* (吉林中医药), 2002, 22(6): 55-56.
- [9] Wu G X, Lin Y X, Ou M R. Anti-androgenic effect of sinapine [J]. *China J Tradit Chin Med Pharm* (中国医药学报), 2003, 18(3): 142-144.
- [10] Shahidi F. *Canola and Rapeseed. Production, Chemistry, Nutrition and Processing Technology* [M]. New York, Van Nostrand Reinhold, 1990.
- [11] Xie C H, Zhang M, Jiang L D. Application research on separation of sinapine by macroporous adsorbent resin [J]. *Hunan J Tradit Chin Med* (湖南中医杂志), 2002, 18(3): 69-70.
- [12] Lin Y N, Chen M Y, Wu G X, et al. The study of technology for extraction of sinapine [J]. *Strait Pharm J* (海峡药学报), 2006, 18(6): 15-18.
- [13] Cai R, Arntfield S D. A rapid high-performance liquid chromatographic method for the determination of sinapine and sinapic acid in canola seed and meal [J]. *JAOCs*, 2001, 78: 903-910.
- [14] Liu L F, Wang Y X, Liu X F, et al. Determination of sinapine thiocyanate in *Semen Sinapis alba* (Bai Jiezi) by HPLC [J]. *Chinese Wild Plant Resour* (中国野生植物资源), 2001, 20(5): 49-51.
- [15] Zhou H, Huang Y X, Hoshi T, et al. Electrochemistry of sinapine and its detection in medicinal plants [J]. *Anal Bioanal Chem*, 2005, 382: 1196-1201.
- [16] Ferial I, Michael Eskin N A. A new quantitative procedure for determination of sinapine [J]. *Agric Food Chem*, 1979, 27(42): 917-918.
- [17] Huang X L, Li Y H, Fu J R. Seed determination in several *Brassica* vegetative species and their fluorescent leakage I. Identification of the fluorescent leakage by paper chromatography and the seed vigor test by sinapine leakage determination [J]. *Acta Univ Sunyatseni: Nat Sci* (中山大学学报: 自然科学版), 1995, 34(1): 126-128.
- [18] Zhu J, Dai S L. Determination of sinapine of *Semen Raphani* by synchronous scanning fluorometric method [J]. *Chin Tradit Herb Drugs* (中草药), 1990, 21(2): 13-14.
- [19] Thiyam U, Kuhlmann A, Stockmann H, et al. Prospects of rapeseed oil by-products with respect to antioxidative potential [J]. *Comp Rend Chim*, 2004, 7: 611-616.
- [20] Li W Y, Li Q, Guo F Q, et al. DNA Damage induced by X-irradiation and reactive oxygen species and the protection against it by sinapine [J]. *Acta Phytophysiol Sin* (植物生理学报), 1997, 23(4): 319-323.
- [21] Thiyam U, Stockmann H, Schwarz K. Antioxidant activity of rapeseed phenolics and their interactions with tocopherols during lipid oxidation [J]. *Am Oil Chem Soc*, 2006, 83: 523-528.
- [22] Guo F Q, Li Q, Gu R Q. Effects of sinapine on X-ray induced changes of peripheral blood picture in mice [J]. *J Red Res Rad Pro* (辐射研究与辐射工艺学报), 1995, 13(3): 177-180.
- [23] Zhang M F, Shen Y Q, Liu X P. Antidiarrheal effect and mechanism of caffeic acid and ferulic acid [J]. *Nat Prod Res Dev* (天然产物研究与开发), 1991, 3(2): 40.
- [24] Hu A, Baumert A, Strack D, et al. Reduction of sinapate ester content in transgenic oilseed rape (*Brassica napus*) by dsRNAi-based suppression of BnSGT1 gene expression [J]. *Molecular Breed*, 2005, 16: 127-138.
- [25] Liu L F, Wang Y X, Li H Y, et al. Study of distribution of sinapine in commonly used crude drugs from cruciferous plants [J]. *Chin J Chromatogr* (色谱), 2006, 24(1): 49-51.