

- pellets comprising xanthan gum as a sustained release agent [J]. *International Journal of Pharmaceutics*, 2005, 295(1-2): 15.
- [2] Zhu YF, Shi JL, Li Y S *et al.* Storage and release of ibuprofen drug molecules in hollow mesoporous silica spheres with modified pore surface[J]. *Microporous and Mesoporous Materials*, 2005, 85(1-2): 75.
- [3] Sundy E, Danckwerts MP. A novel compression-coated doughnut-shaped tablet design for zero-order sustained release[J]. *European Journal of Pharmaceutical Sciences*, 2004, 22(5): 477.
- [4] Lamprecht A, Saumet JL, Roux J *et al.* Lipid nanocarriers as drug delivery system for ibuprofen in pain treatment [J]. *International Journal of Pharmaceutics*, 2004, 278(2): 407.
- [5] Cheng H, Rogers JD, Demetriades JL, *et al.* Pharmacokinetics and bioinversion of ibuprofen enantiomers in humans [J]. *Pharm. Res*, 1994, 11, 824.
- [6] Philip J, Karrar A, Dale L, *et al.* Development and evaluation of a multiple-unit oral sustained release dosage form for S(+) -ibuprofen: preparation and release kinetics[J]. *International Journal of Pharmaceutics*, 1999, 193: 73.
- [7] Brabander CD, Vervaeke C, Remon JP. Development and evaluation of sustained release mini-matrices prepared via hot melt extrusion [J]. *International Journal of Pharmaceutics*, 2003, 89: 235.
- [8] Brabander C, Vervaeke C, Fiermans L, *et al.* Matrix min-tablets based on starch/microcrystalline wax mixtures [J]. *International Journal of Pharmaceutics* [J]. 2000, 199: 195.
- [9] Natakuliyayao JD, Demuynek C, Remon JP. Microcrystalline cellulose-sucrose esters as tablet matrix forming agents [J]. *International Journal of Pharmaceutics*, 1995, 121: 205.
- [10] 许鲁宁, 黄芳, 吴锡添. 布洛芬 HMPc 骨架片药物释放因素研究 [J]. *海峡药学*, 2002, 14(6): 34.
- [11] 牟晓红, 张汝华, 李迎春. 布洛芬缓释片的制备和工艺研究 [J]. *沈阳药科大学学报*, 1996, 13(66): 5.
- [12] 陈晓燕, 黄坚伟, 汪茂先, 等. 布洛芬缓释片的研究 [J]. *广东药学*, 2002, 12(3): 19.
- [13] Leslie ST, Malkowska ST, Miller AJ, *et al.* Use of a combination of ibuprofen and codeine for the treatment of pain [P]. *European Patent*: 0535841, 1993-04-07.
- [14] 蒋曙光, 屠锡德, 谭力, 等. 复方布洛芬缓释片研究 [J]. *中国药科大学学报*, 1998, 29(6): 422.
- [15] 赵甘霖, 王鸿辰. 布洛芬包衣颗粒释药动力学及体内相关性研究 [J]. *药理学学报*, 1995, 30(4): 291.
- [16] 王雅珍, 陈秋潮, 侯惠民. 布洛芬缓释胶囊的研制及体内评价 [J]. *中国医药工业杂志*, 1997, 28(5): 212.
- [17] 卢丹, 尤孝庆, 许美蓉. 布洛芬缓释胶囊的制备 [J]. *中国医药工业杂志*, 1998, 29(10): 452.
- [18] 丁燕飞, 姚瑶, 陶立斐. 乳化-溶剂扩散法制备布洛芬乙基纤维素微球 [J]. *中南药学*, 2003, 1(2): 91.
- [19] 金方, 吴志明. 布洛芬缓释混悬剂的研究 I. 缓释微球的研究 [J]. *中国医药工业杂志*, 2003, 34(5): 223.
- [20] 邹立家, 姜维苓等. 水中干燥法制备乙基纤维素-布洛芬微型胶囊及其释放度的研究 [J]. *山东医药工业*, 1994, 13(1): 1.
- [21] 赵焰, 朱崇辉, 于飞. 布洛芬微型胶囊的制备及其缓释性研究 [J]. *山东医药工业*, 1996, 15(4): 1.
- [22] 季国春, 陈斌艳, 杜勇等. 布洛芬缓释混悬剂的人体相对生物利用度研究 [J]. *中国临床药理学杂志*, 1999, 15(4): 277.
- [23] 刘雷, 李可欣, 张贵军等. 布洛芬缓释胶囊生物利用度研究 [J]. *中国药房*, 1998, 9(3): 121.
- [24] Najib N, Suleiman MS. The kinetics of drug release from ethylcellulose solid dispersions [J]. *Drug Dev Ind Pharm*, 1985, 11(12): 135.

收稿日期 2005-08-31

大豆异黄酮提取与纯化方法研究进展

曲丽萍, 宓鹤鸣, 范国荣(第二军医大学药学院药物分析教研室, 上海 200433)

摘要 介绍大豆异黄酮的提取纯化技术最近进展。查阅国内外大量相关文献, 对大豆异黄酮的提取、分离及纯化工艺研究进行归纳和综述。为合理地采用新技术、新方法分离纯化大豆异黄酮提供了理论依据。

关键词 大豆异黄酮; 提取; 纯化

中图分类号: R937.71

文献标识码: A

文章编号: 1006-0111(2006)02-0069-04

大豆异黄酮(soybean isoflavones, 简称 ISO) 是黄酮类混合物, 其母核结构为 3-苯并吡喃酮, 是存在于大豆等豆科植物中的一类重要的生物活性物质。目前已经从大豆中分离出的单体化合物主要有: 大豆苷(daidzin)、染料木苷(genistin)、黄豆苷

(glycitin); 大豆素(daidzein)、染料木素(genistein) 和黄豆素(glycitein) 等。现代药理研究表明 ISO 及其单体化合物具有较强的抗氧化和抗真菌活性^[1, 2], 具有防治心血管疾病、预防癌症、治疗骨质疏松症和减缓妇女更年期综合症等多种功效^[3-5]。但自然界中大豆异黄酮的资源十分有限, 在大豆中的含量也仅有 0.1%~0.5%^[6], 作为一种具有广阔开发前景的药用植物活性成分, 如何高效率地提取

基金项目: 上海市科技发展基金(02DZ19111)

作者简介: 曲丽萍(1976-), 女, 硕士研究生. Tel: (021)25074436

大豆异黄酮、确定最佳的提取纯化方法显得尤为重要。近年来国内外学者对 ISO 的提取及分离纯化工艺进行了大量的研究,现将其主要研究进展做一综述,为 ISO 进一步研究开发提供资料。

1 大豆异黄酮的提取方法

目前从豆制品等天然产物中提取大豆异黄酮一般是采用甲醇或乙醇浸提,然后用石油醚或正己烷脱脂,丙酮、无水乙醚萃取获得粗提物^[7-9]。采用这些传统方法提取 ISO,虽然可操作性较强,但存在的问题很多,如实验步骤较为繁琐、溶剂提取率低、结合型 ISO 不稳定、不利于 ISO 的定量分析、ISO 得率较低等,因此有必要对传统方法加以改进,主要从增加得率、提高产物纯度、简化操作步骤等方面对 ISO 的提取技术做一些研究。

1.1 水解法提取 采用水解法是将结合型 ISO 水解为游离型 ISO,这样既有利于分离纯化,也有利于 ISO 的检测。汪海波等^[10]以脱脂大豆粕为原料,采用酸水解后用无水乙醚萃取的方法提取游离型 ISO 成分。实验结果表明,酸水解 ISO 的提取率和产品纯度均高于常规有机溶剂浸提法;张炳文等^[11]通过正交实验确立了糖苷型 ISO 转化为游离型 ISO 的最佳酸水解工艺条件:盐酸甲醇溶液的浓度为 2 mol/L,水解温度为 80℃,水解时间为 60 min,水解前后大豆素的含量由 0.22% 增加至 14.01%,染料木素的含量由 0.02% 增加至 23.45%。Liggins 等^[12]利用曲霉中产生的水解酶将大豆粉中的结合型 ISO 水解为游离型 ISO,再用乙酸乙酯萃取后,经衍生化反应后,气相色谱质谱联用进行定量,该法不仅效率高,也有利于 ISO 的定量。

1.2 微波萃取 微波萃取(ME)技术^[13]是根据物质在微波场中吸收能力差异,使基体物质的某些区域被选择性加热,从而使被萃取物从基体体系中分离,进入微波吸收能力相对差的萃取剂中。张永忠等^[14]采用微波处理脱脂豆粕,微波处理 4 min 时,大豆异黄酮的溶出率显著增加,提取物的纯度也有所提高。Guo 等^[15]使用微波辅助萃取葛根中大豆苷与大豆素等异黄酮成分,并考察了影响微波萃取的各种因素。结果表明,微波辅助萃取葛根中异黄酮成分仅需要 1 min,方法简便易行,提取效率高。

1.3 超声提取 超声提取(SE)技术的原理^[16]是根据超声具有空化、粉碎、搅拌等特殊作用,对植物药材的细胞有破坏现象,使其有效成分快速溶于溶媒之中,以利于提取。谢明杰等^[17]利用超声提取 ISO,并与加热回流的提取方法进行了比较。结果表明:超声提取 30 min 所得 ISO 的提取率比加热回流

提取 120 min 的提取率高约 46%,这说明超声提取具有省时、节能、提取率高的优点。潘廖明等^[18]比较了醇提法与超声及超声加搅拌辅助提取 ISO 的效果。正交试验结果显示:当超声频率为 25 kHz、超声功率为 160 W、60℃ 超声处理 60 min 时,大豆异黄酮的得率和含量分别可达 4.23 mg/g 和 2.74%,与醇提法相比分别提高了 3.93% 和 7.87%;采用相同条件下的超声加搅拌(300 r/min)处理,大豆异黄酮得率可达 4.36 mg/g,与单纯超声辅助提取法相比提高了 3.07%。Allaoua 等^[19]采用溶剂提取法、连续提取和超声提取测定两种大豆产品中 ISO 的含量,结果显示:连续提取可以使 ISO 的含量提高,采用超声提取 15 min 比溶剂连续提取 5 次可得到更多的 ISO。Mauricio 等^[20]比较了混合搅拌与超声提取大豆异黄酮的效能。在提取溶剂、温度、时间相同的条件下,超声提取糖苷型大豆异黄酮时均比混合搅拌提取具有更高的提取率。以上都说明了超声提取 ISO 具有快速、高效、操作方便等优点。

1.4 超临界流体萃取 超临界流体萃取(SFE)技术^[21]是利用溶剂在超临界点附近某区域内,与待分离混合物中的溶质具有异常相平衡行为和传递性能,且对溶质的溶解能力随压力和温度的改变而在某范围内变动,而从多种液态或固态混合物中萃取出待分离组分的提取分离技术。应用 CO₂-SFE 技术提取分离天然产物具有萃取速度快、效率高等特点,并且产品中无有机溶剂残留,是一种环保、安全的新型技术。袁其朋等^[22]采用 SFE-CO₂ 法纯化 ISO,结果产物纯度达到 90% 以上,总回收率高于 74%,远远优于传统的溶剂萃取法,且具有操作简单、不污染环境等优点,展现了较好的工业应用前景。Mauricio 等^[23]用 SFE 对 ISO 进行了提取,在 50℃、压力为 360 bar 和甲醇作改性剂的条件下,提取率最佳;与索氏提取和超声提取进行了比较,实验结果表明用 SFE 法将会得到更高纯度的目标产物,且操作更为简便。但 SFE 设备投资大,运行成本高,给应用带来了一定的难度。

2 大豆异黄酮的纯化技术

为了使 ISO 与其它非异黄酮成分分开,以期得到高纯度的 ISO 和 ISO 中的相关单体化合物,有必要对 ISO 的粗提物进一步分离纯化。目前 ISO 的纯化方法主要有传统柱色谱法、大孔吸附树脂法、高速逆流色谱法、固相萃取、膜分离技术等。

2.1 传统柱色谱法 硅胶柱、聚酰胺柱及葡聚糖凝胶柱色谱在分离纯化中药有效成分中广泛应用,它们同样也可用于大豆异黄酮的分离纯化。姚开

等^[24]比较了这三种不同柱层析法对 ISO 主要单体的分离效果,采用 300~400 目硅胶,用氯仿和甲醇以 5:1 的混合溶液洗脱可使染料木苷、大豆苷、染料木素和大豆素 4 种单体组分分离;采用聚酰胺柱层析时,用不同浓度的甲醇洗脱,可得到极性较大的结合型 ISO,含量分别为 85.3% 的大豆苷和 87.0% 的染料木苷;采用 LH-20 葡聚糖凝胶柱,用 90% 甲醇作洗脱剂,可得到含量高达 95% 以上的大豆苷和染料木苷。徐德平等^[25]分别对 ISO 进行乙酸乙酯和正丁醇萃取后,将乙酸乙酯部分进行硅胶柱层析,用氯仿、乙醇梯度洗脱,可得到大豆素和染料木素;将正丁醇部分进行 Sephadex LH-20 柱层析,用甲醇、水洗脱,可得到大豆苷和染料木苷。但实验中都需要反复上柱,操作较为烦琐。在 ISO 的体内代谢研究中,也可应用传统柱色谱法富集后检测, Satu-Maarit 等^[26]应用 Sephadex LH-20 对 ISO 的体内代谢产物进行纯化,检测到原形大豆异黄酮和其新的代谢产物。

2.2 大孔吸附树脂法 由于采用硅胶柱层析和葡聚糖凝胶柱层析时,多使用有毒性的有机溶剂且操作过程较为复杂,因此目前大多选择大孔吸附树脂柱层析来分离纯化 ISO,它具有选择性好、解吸容易、无毒、无污染等优点。潘廖明等^[27]比较了 9 种不同型号的弱极性大孔吸附树脂对 ISO 的吸附性能。研究表明 LSA-8 型树脂对 ISO 具有较好的选择性和解吸能力,该树脂在 35℃ 时,对 ISO 有较好的吸附效果,其动态最大吸附量为 204.6 mg/g 干树脂,采用 70% 乙醇溶液解吸 5 h,ISO 的含量达到 57.0%,比原来提高了 4.8 倍。郭文勇等^[28]研究了采用大孔吸附树脂分离、纯化淡豆豉中 ISO 的工艺,比较了 7 种大孔树脂对大豆素的吸附性能,结果表明,905 型大孔吸附树脂对大豆素的吸附性能优于其它,在 pH = 5.0,温度为室温时,大豆素得率大于 8%。

2.3 高速逆流色谱法 高速逆流色谱法(HSCCC)是一种不需固态载体的液液分配色谱技术,该技术与传统方法比较具有分离效率高、操作简便、可避免因不可逆吸附而引起的样品损失等无可比拟的优点,因此已被广泛应用于天然产物有效成分的分离制备当中^[29]。目前在 HSCCC 中用来对 ISO 中各成分进行分离的溶剂体系有氯仿-甲醇-水(4:3:2, v/v),主要用于分离制备极性较小的异黄酮,如 glycitein、daidzein、acetylgenistin、acetyldaidzin;氯仿-甲醇-正丁醇-水(4:3:0.5:2, v/v)主要用于分离制备极性稍大的异黄酮,如 genistin、glycitin、daidzin;而 genistin 和 glycitin,则可使用甲基叔丁基

醚-四氢呋喃-0.5%三氯醋酸-水(2:2:0.15:4, v/v)的溶剂体系分离得到^[30]。也有报道,使用正己烷-乙酸乙酯-正丁醇-甲醇-醋酸-水(1:2:1:1:5:1, v/v)的溶剂体系,可从 3 g ISO 粗提物中一次分离得到 203mg daidzin, 241mg genistin, 158mg 6"-O-malonyldaidzin, 135mg 6"-O-malonylgenistin^[31],纯度均在 90% 以上,以上表明 HSCCC 适合于 ISO 中各单体成分大规模的生产制备。

2.4 固相萃取 固相萃取(SPE)技术是由液固萃取和柱液相色谱技术相结合发展而来的预处理技术,用 SPE 可以有效地将分析物与干扰组分分离, Mauricio 等^[32]对大豆样品进行了固相萃取,并将样品在 8 种不同 SPE 填料中进行了回收率比较,结果显示,使用 Strata X 填料,ISO 中各成分回收率最高,平均回收率为 99.37%,并且具有污染小、可处理小体积试样等优点,可用于大豆产品中异黄酮的分离纯化。但 SPE 具有多步操作、样品前处理时间较长等缺点。固相微萃取(SPME)是集采样、萃取和富集于一体的新的样品前处理方法^[33],该方法样品用量少,灵敏度高。Mary 等^[34]采用固相微萃取与高效液相色谱联用技术对生物样品中的大豆素和染料木素进行了检测,并讨论了测定模式、萃取头、萃取时间、解吸时间等对萃取效率的影响。结果发现:使用 CW-TPR 的效果最好,萃取 5 min、解吸 6 min 时即达到检测要求,大豆素和染料木素的最低检测限分别为 25.4 pg/mL 和 2.70 pg/mL,均低于使用其它方法测得的检测限浓度。可见,SPME 可用于生物样品中微量 ISO 成分的分离纯化。

2.5 膜分离技术 膜分离技术(MS)是近年来迅速崛起的一项新技术,它作为一种新的分离纯化和浓缩方法,具有耗能低、分离效率高、无二次污染、工艺简单等优点^[35]。Lei 等^[36]采用超滤和渗滤相结合的方法从豆制品加工废液中回收 ISO,超滤技术将蛋白质等大分子物质截留,使 ISO 等低分子物质和盐类随水分子一起透过膜孔,结合渗滤技术后,使 ISO 的纯度和收率提高,再通过反渗透技术将 ISO 浓缩,最终 ISO 的回收率可以达到 50% 以上。本方法也可以用于从脱脂大豆产品中回收 ISO。

3 结语

天然产物的提取方法正向着操作简便、高效率、无污染的方向发展。ME、SE、SFE、HSCCC、MS、SPE 等技术为 ISO 的提取、分离及纯化提供了有力的手段。随着现代新型技术的涌现,天然产物中的 ISO 成分将更进一步的被人们所认知并加以开发利用。我国是大豆之乡,豆制品多种多样,运用新技术、新

方法,合理地从大豆产品中分离得到大豆异黄酮,为进一步开发大豆类保健食品提供技术支持,并将推动其低成本、高效率的产业化进程,这必将取得良好的社会效益和经济效益。

参考文献:

- [1] Lee YB, Lee HJ, Sohn HS. Soy isoflavones and cognitive function [J]. *J Nutr Biochem*, 2005, 16(11): 641.
- [2] Lee CH, Lin Y. Relative antioxidant activity of soybean isoflavones and their glycosides [J]. *Food Chem*, 2005, 90 (4): 735.
- [3] Guo JM, Xiao BX, Liu DH, *et al.* Biphasic effect of daidzein on cell growth of human colon cancer cells [J]. *Food Chem Toxicol*, 2004, 42 (10): 1641.
- [4] Arjmandi BH, Smith BJ. Soy isoflavones' osteoprotective role in postmenopausal women: mechanism of action [J]. *J Nutr Biochem*, 2002, 13 (3): 130.
- [5] Dixon RA, Ferreira D. Genistein [J]. *Phytochemistry*, 2002, 60 (3): 205.
- [6] Watanabe S, Yamaguchi M, Sobue T, *et al.* Pharmacokinetics of soybean isoflavones in plasma, urine and feces of men after ingestion of 60 g baked soybean powder (kinako) [J]. *J Nutr*, 1998, 128 (10): 1710.
- [7] 姜爱莉,孙丽芹. 大豆异黄酮的提取及其性质研究 [J]. *中国食品添加剂*, 2004, 1: 93.
- [8] 关海君,朱冬梅,于殿宇,等. 大豆异黄酮提取工艺的研究 [J]. *中国油脂*, 2003, 28 (8): 75.
- [9] 金义翠,唐兆成. 大豆异黄酮提取及纯化分离的新方法 [J]. *山西化工*, 2004, 24 (1): 22.
- [10] 汪海波,刘大川. 酸水解法提取大豆异黄酮甙元工艺研究 [J]. *食品科学*, 2003, 24 (4): 98.
- [11] 张炳文,宋永生,郝征红,等. 大豆异黄酮酸水解工艺的研究探讨 [J]. *中国粮油学报*, 2003, 18 (3): 44.
- [12] Liggins J, Blunk LJ, Coward WA, *et al.* Extraction and quantification of daidzein and genistein in food [J]. *Anal Biochem*, 1998, 264 (1): 1.
- [13] 王艳,张铁军. 微波萃取技术在中药有效成分提取中的应用 [J]. *中草药*, 2005, 36 (3): 470.
- [14] 张永忠,石冬冬. 微波法预处理提取大豆异黄酮的研究 [J]. *粮油食品*, 2003, 11 (3): 8.
- [15] Guo ZK, Jin QH, Fan CQ, *et al.* Microwave-assisted extraction of effective constituents from a Chinese herbal medicine *Radix puerariae* [J]. *Analytica Chimica Acta*, 2001, 436 (1): 41.
- [16] 郭孝武. 一种提取中草药化学成分的方法——超声提取法 [J]. *天然产物研究与开发*, 1998, 11 (3): 37.
- [17] 谢明杰,宋明,邹翠霞,等. 超声波提取大豆异黄酮 [J]. *大豆科学*, 2004, 23 (1): 75.
- [18] 潘廖明,姚开,贾冬英,等. 超声辅助提取大豆异黄酮的研究 [J]. *中国油脂*, 2003, 28 (1): 85.
- [19] Achouri A, Boye JJ, Belanger D. Soybean isoflavones: Efficacy of extraction conditions and effect of food type on extractability [J]. *Food Res Inter*, 2005, 38 (10): 1199.
- [20] Mauricio A, Rostagno, Miguel P, *et al.* Ultrasound-assisted extraction of soy isoflavones [J]. *J Chromatogr A*, 2003, 1012 (2): 119.
- [21] 项昭保,霍丹群,任绍光. 一种提取中草药化学成分的新方法——超临界流体萃取技术 [J]. *自然杂志*, 2002, 24 (2): 103.
- [22] 袁其朋,张怀,钱忠明. 超临界 CO₂ 抗溶剂法纯化大豆异黄酮的研究 [J]. *大豆科学*, 2002, 21 (3): 177.
- [23] Mauricio A. Rostagno, Julio MA, *et al.* Supercritical fluid extraction of isoflavones from soybean flour [J]. *Food Chem*, 2002, 78 (1): 111.
- [24] 姚开,贾冬英,何强,等. 大豆异黄酮主要单体组分的分离方法 [J]. *四川大学学报(工程科学版)*, 2004, 36 (3): 77.
- [25] 徐德平,江汉湖,肖凯,等. 大豆异黄酮的分离鉴定与抗氧化作用的研究 [J]. *南京农业大学学报*, 2001, 24 (3): 89.
- [26] Satu-Maarit H, Antti H, Kristiina W, *et al.* Metabolism of the soy isoflavones daidzein, genistein and glycitein in human subjects: Identification of new metabolites having an intact isoflavonoid skeleton [J]. *J Steroid Biochem Mol Biol*, 2003, 87 (4~5): 285.
- [27] 潘廖明,姚开,贾冬英,等. 大孔树脂吸附大豆异黄酮特性的研究 [J]. *食品与发酵工业*, 2003, 29 (5): 15.
- [28] 郭文勇,刘彬果,钟蕾,等. 大孔树脂吸附层析法提取淡豆豉中总异黄酮的研究 [J]. *第二军医大学学报*, 2004, 25 (9): 1033.
- [29] Ito Y, Conway WP. *Chemical Analysis* (132th, Vol) [M]. New York: Wiley, 1996:3. Chapter 1.
- [30] Yang FQ, Ma Y, Ito Y. Separation and purification of isoflavones from a crude soybean extract by high-speed counter-current chromatography [J]. *J Chromatogr A*, 2001, 928 (2): 163.
- [31] Du QZ, Li ZH, Ito Y. Preparative separation of isoflavone components in soybeans using high-speed counter-current chromatography [J]. *J Chromatogr A*, 2001, 923 (1~2): 271.
- [32] Mauricio A. Rostagno, Miguel P, *et al.* Solid-phase extraction of soy isoflavones [J]. *J Chromatogr A*, 2005, 1076 (1~2): 110.
- [33] 邓琳,张维昊,封享华,等. 固相微萃取-高效液相色谱法测定垃圾渗滤液中的双酚 A [J]. *分析科学学报*, 2004, 20 (5): 461.
- [34] Satterfield M, David MB, Jennifer SB. Detection of the isoflavone aglycones genistein and daidzein in urine using solid-phase microextraction-high-performance liquid chromatography-electrospray ionization mass spectrometry [J]. *J Chromatogr B*, 2001, 759 (1): 33.
- [35] 苏金坡,尹连庆,张亚琴. 膜分离技术在环境工程中的应用 [J]. *环境科学与技术*, 2004, 27 (增刊): 166.
- [36] Xu L, Lamb K, Layton L, *et al.* A membrane-based process for recovering isoflavones from a waste stream of soy processing [J]. *Food Res Inter*, 2004, 37 (9): 867.

收稿日期:2005-11-28