

- [13] Howesa M elanie-Jayne R, Houghton P J. Plants used in Chinese and Indian traditional medicine for improvement of memory and cognitive function [J]. *Pharmacol Biochem Behavior*, 2003, 75: 513-527.
- [14] Jeffs P W, Archie W C, Hawks R L, et al. Biosynthesis of mesembrine and related alkaloids. The amino acid precursors [J]. *J Am Chem Soc*, 1971, 93: 15.
- [15] Eichhorn J, Takada T, Kita Y, et al. Biosynthesis of the Amaryllidaceae alkaloid galanthamine [J]. *Phytochemistry*, 1998, 49(4): 1037-1047.
- [16] Wang X Y, Huang M R, Han Z M. Separation of galanthamine from Amaryllidaceae family and the application in medicine [J]. *J Nanjing Forest Univ: Nat Sci* (南京林业大学学报: 自然科学版), 2004, 28(4): 79-83.
- [17] Fan H J, Luan W, Li G K. Determination of alkaloids in *Lycoris radiata* with microwave-assisted extraction coupled with high performance liquid chromatography [J]. *J Instr Anal* (分析测试学报), 2006, 25(3): 27-30.
- [18] Wang X Y, Huang M R, Han Z M. Microwave assisted extraction of galanthamine in *Lycoris radiata* [J]. *J Nanjing Tradit Chin Med Univ* (南京中医药大学学报), 2005, 21(6): 374-375.
- [19] Xiao G X. Study on supercritical fluid extraction techniques of galanthamine in *Lycoris* [A]. *Dissertation of Master Degree of Tianjin University* (天津大学硕士论文) [D]. Tianjin: Tianjin University Publishing House, 2005.
- [20] Marco L, Carreiras M C. Galanthamine, a natural product for the treatment of Alzheimer's Disease [J]. *Recent Pat CNS Drug Dis*, 2006, 1: 105-111.
- [21] Zhong J. Amaryllidaceae and Scelctium alkaloids [J]. *Nat Prod Rep*, 2005, 22: 111-126.
- [22] Liu T. Study on the techniques of synthesis of galanthamine [A]. *Dissertation of Doctor Degree of Zhejiang University* (浙江大学博士论文) [D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2006.
- [23] He S L, Shu X C, Yao Q J, et al. Tissue culture of *Lycoris radiata* (L Her.) Herb. [J]. *J Jiangsu Forest Sci Technol* (江苏林业科技), 2003, 30(4): 18-20.
- [24] Wang Q, Peng F, Xiao Y. Tissue culture and plantlet regeneration of *Lycoris aurea* Herb. [J]. *Plant Physiol Commun* (植物生理学通讯), 2006, 42(2): 259.
- [25] Liu Z G, Tong Z K, Chu J M, et al. Tissue culture *in vitro* of *Lycoris albiflora* [J]. *J Zhejiang Forest Coll* (浙江林学院学报), 2006, 23(3): 347-350.
- [26] Xiao Y, Peng F, Wang Q, et al. Study on tissue culture of *Lycoris aurea* Herb. [J]. *J Hunan Coll Tradit Chin Med* (湖南中医学院学报), 2006, 26(1): 27-28.
- [27] Lü Y H, Tong J, Gong Z D, et al. Vegetative propagation of two ornamental *Lycoris in vitro* [J]. *J Sichuan Univ: Nat Sci* (四川大学学报: 自然科学版), 2005, 42(6): 1233-1237.
- [28] Yao Q J, Xia B, Peng F. Study on cutting breeding of garlic of *Lycoris* [J]. *J Jiangsu Agric Sci* (江苏农业科学), 2004, 6: 108-110.
- [29] Li A R, Zhou J. Study of the growth cycle and development of *Lycoris chinensis* leaves [J]. *Chin Bull Bot* (植物学通报), 2005, 22(6): 680-686.
- [30] Li Y P, Yu F, Tang G T. Effects of planting density and shading level on the growth and the quality of cut flowers of *Lycoris radiata* [J]. *J Nanjing Forest Univ: Nat Sci* (南京林业大学学报: 自然科学版), 2004, 28(3): 93-95.

## 超高压技术在中药有效成分提取中的应用

陈瑞战<sup>1,2</sup>, 张守勤<sup>3</sup>, 刘志强<sup>2\*</sup>

(1. 长春师范学院化学学院, 吉林 长春 130032; 2. 中国科学院 长春应用化学新药研究室, 吉林 长春 130022;  
3. 吉林大学生物与农业工程学院, 吉林 长春 130025)

**摘要:** 超高压技术是近年来发展较快的一种新型的加工技术, 具有快速、高效、耗能小、提取温度低、操作简单以及绿色环保等特点, 是一种新型的提取技术, 广泛地应用于热敏和易焦糊食品的低温灭菌, 病毒灭活, 疫苗制取, 淀粉和蛋白质改性, 食品加工, 制药等诸多领域, 为生物、医药和食品工程的科学研究、产品开发、工艺改革提供了新的平台。近几年超高压技术开始应用于中药有效成分的提取。本文试对超高压提取的基本原理、方法、设备、工艺流程、主要特点以及在中药有效成分提取中的应用进行综述。

**关键词:** 超高压技术; 中药; 提取

**中图分类号:** R284.2      **文献标识码:** A      **文章编号:** 0253-2670(2007)12-1905-04

## Application of ultrahigh pressure technology in extracting active component from Chinese materia medica

CHEN Rui-zhan<sup>1,2</sup>, ZHANG Shou-qin<sup>3</sup>, LIU Zhi-qiang<sup>2</sup>

(1. College of Chemistry, Changchun Normal University, Changchun 130032, China; 2. Laboratory of New Drug Research, Changchun Institute of Applied Chemistry, Chinese Academy of Sciences, Changchun 130022, China;  
3. Biological and Agricultural Engineering College, Jilin University, Changchun 130025, China)

**Key words:** ultrahigh pressure technique; Chinese materia medica (CMM); extraction

\* 收稿日期: 2007-03-23

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(30472135)

作者简介: 陈瑞战(1967—), 男, 山东青岛人, 副教授, 博士, 主要从事中药有效成分的提取、分析研究。E-mail: ruizhanchen@163.com

中药所含的成分十分复杂,既有有效成分,又有无效成分,而有效成分多为细胞内物质。有效成分的提取实际上是目标成分从细胞内释放,经多孔细胞膜壁扩散到溶剂中的过程,无论是那种提取方式,目的都是强化目标成分从基质向提取溶剂的扩散,同时保持目标成分的活性。为了提高中药的治疗效果,降低不良反应,选择合理的提取工艺是非常重要的。目前,中药常用的提取方法有煎煮法、浸渍法、回流提取法、索氏提取法等<sup>[1]</sup>,这些方法存在能耗高、溶剂消耗大、周期长、工序多、提取率不高等问题,制约了中药现代化的发展。为了克服这些不足,寻求一种新的高效、快速、方便、自动化的提取方法显得极为重要。超高压提取技术(ultrahigh pressure extraction technology, U PET)的出现顺应了这一发展趋势的要求<sup>[2]</sup>。超高压技术应用领域非常广泛,为生物、医药和食品工程的科学研究、产品开发、工艺革新提供了新的平台。超高压技术最初应用于食品保鲜、食品品质改良、食品安全控制、食品乳化和成型等方面,并由此推动了相关生物技术的应用基础研究。这些研究已经由食品领域扩展到医药领域,并渗透到了生物化学、分子生物学、细胞生物学和物理化学等学科的基础性研究<sup>[3,4]</sup>。随着应用范围的逐渐增加和技术发展的日趋成熟,超高压技术开始应用于中药有效成分的提取。本文对其超高压提取的基本原理、方法、设备、工艺流程、主要特点以及在中药有效成分提取中的应用进行综述。

## 1 超高压提取的基本原理

一般中药提取可分两个过程:一是药材浸润和溶质溶解过程;二是溶质的扩散过程。药材浸润和溶质溶解过程就是溶剂通过药材颗粒表面进入细胞内,使细胞内部充满溶剂,从而使其中的可溶物逐步溶解于溶剂中,形成溶液。药材颗粒表面有宏观毛细孔(一般半径 $> 10^{-5}$  cm),也有微观毛细孔(一般半径 $< 10^{-5}$  cm),还有封闭的毛细孔。药材浸润过程中溶剂首先充满宏观毛细孔、微观毛细孔和封闭毛细孔,同时还有通过细胞壁的渗透和扩散。药材浸润和溶质溶解过程的速度与溶剂性质,固体药材内毛细孔状况、大小、分布,细胞壁的结构和性质,以及药材的表面状态、比表面积、提取温度、压力等因素有关,一般说温度越高,压力越大,浸润速度越快。

超高压提取过程压力对提取效率的影响可以从以下不同阶段加以说明。升压阶段:压力在几分钟内(一般小于5 min)迅速由常压升为几百兆帕,固体组织细胞内外形成了超高压的压力差,提取溶剂在超高压推动下迅速渗透到植物内部维管束和腺细胞内。随着压力迅速升高,细胞体积被压缩,如果超过其形变极限,会导致细胞破裂,细胞内的物质与溶剂接触被溶解;如果没有超过细胞的形变极限,提取溶剂在高压作用下,进入植物细胞内,有效成分溶解在提取溶剂中。保压阶段:超高压引起体系的体积变化,推动了化学平衡的移动,溶剂的渗透、溶质的溶解快速达到平衡。因此保压阶段时间很短,一般几分钟之内即可完成。卸压阶段:卸压一般在几秒钟之内即可完成(一般卸压时间 $< 2$  s),组织细胞的压力从几百兆帕的超高压迅速减小为常压,在反方向压力作用下,发生流体以及药物基质体积的爆破膨胀,对细胞壁、细

胞膜、质膜、核膜、液泡、微管等形成强烈的冲击致使发生变形。如果变形超过了其变形极限,导致细胞结构出现松散、孔洞、破裂等结构变化,有效成分和溶剂充分接触,溶解了有效成分的溶液会向细胞外迅速扩散;如果在反方向压力作用下细胞壁的变形没有超过其变形极限(在高压作用下通透性增大),细胞内部已经溶解了有效成分的溶剂在高渗透压差下快速转移到细胞外,达到提取的目的。在流体吸收外界施加的压缩能一定(压力一定)的情况下,卸压时间越短,细胞内流体在向外扩散的同时产生的冲击力越强,引起的湍动效应越强烈,形成的孔洞、碎片越多,一定质量的药物基质的有效比表面会越大,有效成分扩散的传质阻力就会越小,与溶剂接触也就会更充分,提取效率会更高。

## 2 方法及设备

### 2.1 提取方法

2.1.1 样品的预处理:预处理是超高压提取工艺的第一步,大多数样品都需要在提取前进行预处理。预处理步骤包括干燥、粉碎、脱脂、浸泡等。

干燥:对一些含水的样品,水分的存在会阻碍非极性有机溶剂与被提取物的接触,常用的干燥方法是烘干,对于热不稳定成分的干燥常采用减压烘干。或者使用干燥剂进行预处理,常用的干燥剂主要有硅藻土、无水硫酸钠和纤维等。

粉碎:一般来讲样品的比表面积越大,与溶剂的接触面积越大,提取越充分。因此对于粒径较大、质地比较坚硬的样品在提取前一般需要适当的粉碎,粉碎后的粒径应小于0.5 mm,超高压提取虽然溶剂的渗透、溶质的扩散主要由压力差提供传质动力,对颗粒度的要求不太严格,但粉碎同样利于提高提取效率。

脱脂:对于水溶性成分的提取,在提取前常需要选择一种对目标成分溶解性较小,而对脂溶性杂质成分溶解性较大的有机溶剂进行脱脂处理,处理后杂质的量降低有利于目标成分的分离纯化,同时由于脂溶性杂质成分溶出后,固体组织孔隙率增大,更利于提取溶剂与目标成分的接触,提取率会有所提高。

浸泡:超高压提取前一般需要用提取溶剂浸泡一定时间,药物固体基质经过浸泡后体积增大,升压过程被快速压缩,固体基质体积的变化率增大,更利于药物组织的破碎、提取率的提高。

2.1.2 工艺参数优化:超高压提取可以从溶剂、温度、压力、保压时间、循环次数以及升压和卸压时间几个方面对提取工艺进行优化。

溶剂:首先应该根据相似相溶的原理来选择合适的提取溶剂。当被提取的混合组分有一个较大的极性范围,可以使用混合溶剂。超高压提取是在一个完全封闭的接近常温条件下进行,不仅是靠提高溶剂分子的运动速率,增加组织内外的浓度梯度,来提高有效成分的扩散速率,而且通过压力差的变化,影响组织结构,提高有效成分扩散过程的传质动力。这样对提取溶剂的限制条件大大降低,没有溶剂沸点、密度、介电常数等的限制要求,可以根据目标成分的性质,自由选择

提取溶剂,从而使超高压提取的应用范围更加广泛,可以选择沸点较低、易挥发、甚至强酸和强碱性溶剂。

**温度:**是超高压提取中重要的影响因素之一。一般情况下,温度升高溶剂的溶解性能增加,在一定范围内,温度越高,目标成分在溶剂中的溶解度越大。另一方面,温度升高可以加快分子扩散的速率,从而加快整个提取过程的传质速率,温度的改变还可以影响表面平衡,提取过程所提供的热能可以提供解吸附过程所需要的活化能,破坏目标成分与基质间的交互作用,如范德华力、氢键、偶极矩等。同时,溶剂的黏度和表面张力会因温度的升高而降低,溶剂黏度和表面张力越低,其渗透性越好,润湿基质的能力就越强。超高压条件下,溶剂的沸点升高,可以根据目标成分的性质选择更高的提取温度。

**压力:**提高压力有利于加快溶剂浸润过程以及有效成分的传质速率,同时超高压对流体密度、活度、药材基块结构都会有不同程度的影响,从而有利于以后溶质的扩散。

**循环次数:**一般条件下循环的作用是在提取过程中置换新鲜的溶剂维持提取的平衡,这对于目标成分浓度很高以及溶剂较难渗透的样品尤其重要。但超高压提取溶剂的渗透、溶质的扩散,不仅是靠浓度梯度提供传质动力,而是靠压力差提供传质动力,因此,超高压提取的循环次数较小,一般小于3次即可提取完全。

**升压、卸压时间:**从理论上分析,升压和卸压时间越短,压力的变化率越大,对基质的影响也越大,越有利于目标成分的提取。但由于超高压提取的时间已经很短,进一步考察该因素对提取率的影响较为困难,因此需要进一步完善设备升压、卸压时间的控制,并对该因素做进一步考察。

**2.1.3 高压提取工艺流程:**超高压提取过程主要有以下几个步骤组成:预处理、升压、保压、卸压、分离纯化等,其工艺流程见图1。



图1 高压提取工艺流程图

Fig 1 Technological process of ultrahigh-pressure extraction (UPE)

**2.2 超高压提取设备:**将药物原料按照一定的料液比混合,浸泡一定时间,装在耐压、无毒、柔韧的软包装内密封,然后放入高压容器内;启动高压泵,将容器内的空气排出,然后迅速升高到所需的压力,并在此压力下保持一定的时间;快速打开控制高压回路的阀门,卸除压力;取出高压处理后的料液,进行分离、纯化、测试。超高压提取设备见图2。

**3 超高压提取的特点**

超高压提取与其他提取技术相比较,具有许多独特的优势,具体表现在如下几个方面。

**3.1 提取时间短:**超高压提取的升压和保压阶段,超高的压力差使提取溶剂迅速渗透到固体药物组织内部,有效成分快速溶解在提取溶剂中;卸压阶段,超高的反向压力差为溶解在提取溶剂中的有效成分由固体组织内部向外的扩散提供

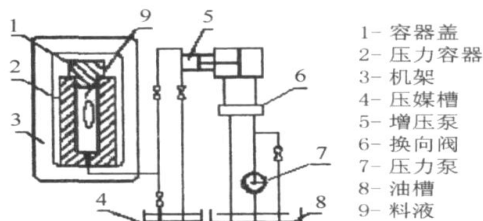


图2 超高压提取原理示意图

Fig 2 Schematic diagram of UPE principle

了超高的传质动力,有效成分能够快速扩散到固体组织外,因此超高压提取能显著地缩短提取时间。以人参皂苷提取为例,超高压提取时间为5 min,而回流法、索氏提取法、超声法、超临界CO<sub>2</sub>萃取法、微波法提取时间依次为180、360、40、180、15 min。在上述6种提取方法中超高压提取时间最短,微波提取时间与超高压提取时间最接近,但存在微波不均匀、工业化难等不足。

**3.2 溶剂消耗少:**超高压提取是在一个完全封闭的条件下进行的,没有溶剂的挥发消耗,而且目标成分由固体组织向周围溶剂的扩散,不是单纯的靠浓度梯度提供传质动力,而是主要靠由压力差提供,因此超高压提取选择的固体原料与提取溶剂的比例较其他方法都要小,能明显地降低溶剂的消耗。

**3.3 提取效率高:**超高压提取压力最高可达700 MPa,在这样高的压力下,可以显著地提高提取效率。以人参总皂苷的提取为例,回流、超声、超临界CO<sub>2</sub>萃取、超高压的提取得率分别是5.75%、5.89%、2.32%、7.33%。

**3.4 节能:**高压提取在保压、卸压阶段,能量的转化和热量的对外交换相对来讲很小,因此这两个阶段消耗能量也很小;在升压阶段消耗的能量主要体现在抵抗流体形变的应力上(液体内部质点摩擦产生小部分热量,引起较小温升,消耗小部分能量),对流体机械做功更体现在流体的压缩能量上。以溶剂水为例,从理论上分析,100 L水加热到90℃需要热量 $293 \times 10^5$  J,100 L水加压到400 MPa耗能仅为 $18.84 \times 10^5$  J,在回流提取过程中,溶剂还需要不断地吸收能量,使提取溶剂维持在沸腾状态,大量能量消耗于液体的汽化,而且由电能转化为热能的效率要远低于转化为压缩能,因此高压提取消耗的能量相对较低,仅占热回流提取的1/15左右,实际运行时扣除各种因素的影响,至少节能80%以上。

**3.5 提取温度低:**在绝热条件下,压力每提高100 MPa,水的温度升高3℃左右。实际提取时,由于高压容器壁与周围环境有热交换,温度升高的程度远小于上述数值。因此可以说高压提取可以维持在接近常温的条件下进行。这对于天然产物中的热敏性成分、易挥发性成分的提取是极为有利的;同时由于高压提取使用的是流体静压力,压力传递是在瞬间完成的,容器内任何方向和位置的压强相等,因此超高压提取对物料的作用是均匀一致的,这就避免了像微波提取、热回流提取过程中的局部受热不均,造成目标成分的结构变化和损失,从而保证了有效成分具有更高的生物活性。

**3.6 工艺操作简单、安全:**高压提取技术使用的是液体传

质,因此液体受压时体积变化较小。如20℃的水,在压力为800 MPa时体积减少17%,压力为400 MPa时体积减少12%。由此可知,只要提取溶剂泄漏5%,超高压容器的压力就会从800 MPa下降为400 MPa,如果继续泄漏5%,系统的压力将下降到100 MPa左右,也就是说系统的少量泄漏将引起压力的大幅下降,因此超高压提取不存在爆炸的危险,可见高压提取设备的安全性和操作方便性远高于超临界CO<sub>2</sub>萃取设备;高压提取时升压、保压、卸压、加料这些单元的操作,都可以借助机械完成,整个提取操作非常简单,适于现代化大生产。

3.7 提取液稳定性好:由于高压提取的同时生物体大分子立体结构中的氢键结合、疏水结合、离子结合等非共有结合发生变化,使蛋白质变性、酶失活、细胞膜破裂、菌体内成分泄漏生命活动停止、微生物菌体破坏而死亡。一般情况下200~300 MPa病毒灭活;300~400 MPa霉菌、酵母菌灭活;300~600 MPa细菌、致病菌灭活;800~1000 MPa芽孢灭活<sup>[5]</sup>。由于溶液中的菌体绝大部分已经灭活,提取液稳定性较常规的提取方法明显提高,且澄清度好,保持期延长,一般水煮提取液4 d后出现浑浊、沉淀,而高压提取液40 d后无明显变化。这为提取液的保存、后续的分离纯化,甚至提取液的直接使用提供了极为有利的条件。

#### 4 在中药提取中的应用

中医药作为中华民族的传统瑰宝,是中华民族传统文化的结晶,为中华民族的繁荣昌盛和世界人民的医疗保健事业做出了巨大贡献,然而由于中药成分复杂多样,生产工艺落后,现代化程度低,缺乏科学严格的工艺操作参数以及质量监控指标,从而导致中药产品质量不稳定,难以形成以“现代化”和“高技术”为特征的具有国际竞争力的中药产品。因此,只有在继承和发扬我国中医药优势和特色的基础上,借助现代高新技术手段,改革传统的提取工艺,才能研究、开发、管理和生产出以“现代化”和“高技术”为特征的“安全、高效、稳定、可控”的现代中药产品。应用高压技术提取中药有效成分,就是为适应中药现代化的发展而产生的一种新型提取技术,它既丰富了传统的提取工艺,又能为中药的生产和应用带来了新的活力,将会为中药行业的发展带来新的生长点。

近年来,超高压提取技术越来越引起人们的关注,人们逐渐将超高压技术应用于中药有效成分的提取。刘春明等<sup>[6]</sup>用70%乙醇水溶液作溶剂,采用超高压技术从朝鲜淫羊藿中提取淫羊藿总黄酮,提取率为9.67%,提取时间5 min,而70%乙醇回流提取率为6.14%,提取时间为4 h。Zhang等<sup>[7]</sup>利用乙醇水溶液从蜂胶中提取黄酮,超高压提取1 min的得率高于浸提7 d、热回流提取4 h。李宏传等<sup>[8]</sup>用50%乙醇水溶液,400 MPa压力,1:45料液比,60℃温度,3 min提取时间的工艺条件,从山楂叶中提取黄酮类化合物,证明该超高压提取工艺具有提取效率高、时间短、杂质少等优点。张格等<sup>[9]</sup>用60%乙醇,200 MPa压力,浸泡0.5 h,保压时间为3 min的工艺条件,从茶叶中超高压提取茶多酚,得率28.92%,较回流提取高出25.3%;Zhang等<sup>[10,11]</sup>利用超高压技术从人参中

提取人参皂苷,并与回流、超声、超临界CO<sub>2</sub>萃取等方法进行了比较,结果超高压提取具有提取率高、时间短、能耗低等优点。刘春娟<sup>[12]</sup>进行了常温高压提取黄芪多糖的研究,发现高压提取技术有许多独特的优势。朱俊杰等<sup>[13]</sup>利用超高压技术进行了破壁提取灵芝孢子多糖的研究,发现该方法在降低提取费用的同时提高了灵芝孢子多糖提取得率。陈瑞哉等<sup>[14]</sup>研究了常温下超高压提取西洋参根中皂苷,并将超高压提取法与热回流提取、微波提取、超声提取、超临界CO<sub>2</sub>萃取等提取法进行了比较。

#### 5 结语

超高压提取是近几年来发展起来的一个较为理想的提取方法,具有快速、高效、能耗低、绿色环保等优点,已广泛地应用于食品、材料、生物、医药等诸多领域。在中药有效成分提取中的应用是超高压技术发展的一个新的领域,其适用范围的选择、工艺条件的优化、机制的探讨以及超高压提取设备的研制等都有待深入研究。随着中药热在全球的兴起,以及超高压提取技术研究的深入,相信这项技术将在中药有效成分提取中有着广阔的应用前景。

#### References

- [1] Lü Y C, Luo G S, Dai Y Y. Development of extraction technology in Chinese medicine [J]. *Chin J Pharm* (中国医药工业杂志), 2001, 32(5): 232-235.
- [2] Zhang S Q, Zhu J J, Wang C Z. Novel high pressure extraction technology [J]. *Int J Pharm*, 2004, 278: 471-474.
- [3] Rikimaru H. High pressure in bioscience and biotechnology pure science in pursuit of value [J]. *Biochim Biophys Acta*, 2002, 1595(16): 397-399.
- [4] Boonyaratanakornkit B B, Park C B, Clark D S. Pressure effects on intra- and intermolecular interactions within proteins [J]. *Biochim Biophys Acta (BBA) - Protein Structure Molecular Enzymol*, 2002, 1595(1): 235-249.
- [5] Ritz M, Freulet M, Orange N, et al. Effects of high hydrostatic pressure on membrane proteins of *Salmonella typhimurium* [J]. *Int J Food Microbiol*, 2000, 55: 115-119.
- [6] Liu C M, Zhu J J, Zhang S Q, et al. Study on extraction total flavonoids in *Epimedium koreanum* using high pressure technology [J]. *China J Chin Mater Med* (中国中药杂志), 2005, 30(19): 1511-1513.
- [7] Zhang S Q, Xi J, Wang C Z. High hydraulic pressure to extract flavonoids from propolis [J]. *J Chem Technol Biotechnol*, 2005, 80(5): 50-54.
- [8] Li H W, Zhang S Q, Dou J P, et al. High hydrostatic pressure extraction of flavonoids from *Hawthorn* leaves [J]. *J Jilin Univ: Eng Technol Ed* (吉林大学学报:工学版), 2006, 36(3): 438-442.
- [9] Zhang G, Zhang L L, Wu H, et al. Extraction of tea polyphenols from tea leaves by ultrahigh pressure technique [J]. *J Tea Sci* (茶叶科学), 2006, 26(4): 291-294.
- [10] Zhang S Q, Chen R Z, Wang C Z. Experiment study on ultrahigh pressure extraction of ginsenoside [J]. *J Food Eng*, 2007, 79: 1-5.
- [11] Zhang S Q, Chen R Z, Wu H, et al. Ginsenoside extraction from *Panax quinquefolium* L. (American ginseng) root by using ultrahigh pressure [J]. *J Pharm Biomed Anal*, 2006, 41: 57-63.
- [12] Liu C J. A study on high pressure extraction polysaccharides from *Radix Astragalus* under room temperature [A]. *Dissertation of Master Degree of Jilin University* (吉林大学硕士学位论文) [D]. Changchun: Jilin University, 2005.
- [13] Zhu J J, Zhang S Q, Wang C Z. Extracted polysaccharide of *Ganoderma lucidum* spores by broken-extracting method [J]. *Transact Chin Soc Agric Machin* (农业机械学报), 2004, 35(3): 184-185.
- [14] Chen R Z, Zhang S Q, Wang C Z, et al. Technological process of ultrahigh-pressure extraction of saponins from *Panax quinquefolium* [J]. *Transact Chin Soc Agric Eng* (农业工程学报), 2005, 21(5): 160-164.