

doi:10.11751/ISSN.1002-1280.2021.3.11

# 生物酶法提取中草药活性成分研究进展

张艳<sup>1</sup>, 黄宝银<sup>1</sup>, 刘雪松<sup>1</sup>, 尹琚伊<sup>1</sup>, 唐伟<sup>2</sup>, 郝敬友<sup>2</sup>, 史同瑞<sup>1\*</sup>

(1. 黑龙江省农业科学院畜牧兽医分院, 黑龙江齐齐哈尔 161005; 2. 哈尔滨绿达生物药业有限公司, 哈尔滨 150039)

[收稿日期] 2020-08-05 [文献标识码] A [文章编号] 1002-1280 (2021) 03-0069-06 [中图分类号] S853.71

**[摘要]** 对酶提方法的原理、酶类选择依据、酶提工艺, 以及酶提法应用现状进行了综述, 旨在为同类研究提供技术参考。中草药具有广泛的应用前景和开发潜力, 为提高中药疗效, 方便临床用药, 生产中常需要对中草药进行提取, 然而传统的提取方法较为繁杂。随着科技进步, 一些现代中药提取方法不断涌现。酶提方法是一种应用酶工程技术提取中药的现代中药提取方法, 该方法具有高效、无毒、反应条件温和等优点, 是一种发展潜力较大的中药提取方法。

**[关键词]** 中药; 提取; 酶提方法

## Research Progress on Extraction of Active Components from Chinese Herbal Medicine by Biological Enzyme

ZHANG Yan<sup>1</sup>, HUANG Bao-yin<sup>1</sup>, LIU Xue-song<sup>1</sup>, YIN Jun-yi<sup>1</sup>,  
TANG Wei<sup>2</sup>, HAO Jing-you<sup>2</sup>, SHI Tong-rui<sup>1\*</sup>

(1. Branch of Animal Husbandry and Veterinary, Heilongjiang Academy of Agricultural Sciences, Qiqihaer, Heilongjiang 161005, China;

2. Harbin Ludasheng Animal Pharmaceutical Co. Ltd., Harbin 150030, China)

Corresponding author: SHI Tong-rui, E-mail: systr@sina.com

**Abstract:** The principles of enzyme extraction methods, the selection basis of enzymes, enzyme extraction technology, and the application status of enzyme extraction methods were reviewed aiming to provide references for similar research. Chinese herbal medicine has broad application prospects and development potential. In order to improve the efficacy of traditional Chinese medicine and facilitate clinical use, it is often necessary to extract Chinese herbal medicines during production, but the traditional extraction methods are more complicated. With the advancement of science and technology, some modern methods of extracting traditional Chinese medicine are emerging. The enzyme extraction method is a modern Chinese medicine extraction method that uses enzyme engineering technology to extract Chinese medicine. This method has the advantages of high efficiency, non-toxicity, and mild reaction conditions. Chinese medicine extraction method with great development potential.

**Key words:** Chinese medicine; extraction; enzyme extraction method

基金项目: 黑龙江科研机构创新能力提升专项(YC2016D004)

作者简介: 张艳, 硕士, 助理研究员, 从事动物疾病防治与兽药研究。

通讯作者: 史同瑞, E-mail: systr@sina.com

中草药不仅具有良好的药效作用,而且还具有毒副作用小,毒害物质残留低等优点,在饲料“禁抗”的大背景下中草药应用前景尤为广阔。中草药的有效活性成分较为复杂,而且大多包裹在中草药植物细胞内,为了提高疗效,减小使用剂量,便于临床的应用,常需要对中草药的活性成分进行提取纯化。中药活性成分提取有着悠久的历史,传统的提取方法包括冷浸渍法、煎煮法、溶剂分离法、沉淀法、盐析法、溶剂萃取法、透析法及结晶法等<sup>[1]</sup>。然而这些提取方法不同程度地存在着中药提取时间长,溶剂消耗大,提取效率低,工艺流程繁杂,提取成本高等缺点,为此,人们一直在探求更为理想的中药提取方法。随着科学技术的发展,一些新兴的现代中药提取方法不断涌现,并逐步克服了传统提取方法的缺点。新兴的现代中药提取方法包括:半仿生提取法、酶提取法、超临界流体萃取法、微波萃取法、超声波提取法、常温超高压提取法、组织破碎提取法及超声波提取法等<sup>[2]</sup>。酶提取法是相伴酶工程技术的发展应运而生的,也是一项中草药有效成分提取的生物工程技术。酶提取法起始于 20 世纪 90 年代中期,经过多年发展现已取得了较好的试验效果<sup>[3-4]</sup>。酶提取法是根据提取中药的类别、药用部位及提取成分,选用适宜的生物酶,通过温和的酶解反应,将中草药细胞壁破裂降解,从而促进有效成分的游离释放的方法<sup>[5]</sup>。该方法提取率高,工艺简便易行,是一种较有发展潜力的中药提取方法。

## 1 酶提取方法概述

**1.1 酶提取法的基本原理** 中草药的有效活性成分大多存在于中草药植物细胞的胞质中,如若提取分离中草药的有效成分,就要将有效成分从细胞内的原生质中释放到提取的溶剂中,这就要求应将中草药细胞壁破裂降解,去除活性成分释放阻碍。由于中草药的细胞壁多是由纤维素、半纤维素、果胶质、木质素等物质构成的致密结构,在提取中草药的有效成分过程中,有效成分扩散至提取介质中就必须克服细胞壁及细胞间质的双重阻力。一些生物酶,如纤维素酶、半纤维素酶、果胶酶等,具有相

应的生物降解作用,能够作用于中草药的细胞壁,使细胞壁及细胞间质中的纤维素、半纤维素、果胶质等物质降解,从而破坏细胞壁的致密结构,增强细胞壁、细胞间质等屏障的通透性,促进有效成分从胞内向提取介质中扩散,从而实现最大限度地从中草药中提取有效活性成分。

**1.2 酶类选择依据** 生物酶的反应具有高度的专一性,不同酶类只能降解相应的物质成分,因此,酶类选择直接影响着中草药的提取效果。不同类别的中草药其药用部位也有较大差异,根据有效成分的含量,可选用中草药的根、茎、叶、花或果实等部位,中草药药用部位的不同,其构成、细胞结构和有效成分也存在较大差异,因此,酶类选择要依据中草药种类、药用部位,以及药用成分进行综合考量。

由于多数中草药一般选用其根、茎部分,而根茎细胞主要是由纤维素、半纤维素、果胶质等物质构成,因此,在酶提方法中现在采用的酶类主要是纤维素酶和果胶酶,其次是蛋白酶。纤维素酶、果胶酶,以及各种蛋白酶可以选择性地破坏植物细胞壁,有利于多糖、生物碱、皂苷、黄酮、萜类、挥发油、蛋白质及有机酸等多种生物活性成分的提取<sup>[6]</sup>。为最大限度的提取中草药有效成分,降低生产成本,依据药用部位的构成,可选用复合酶进行提取<sup>[7]</sup>。如用纤维素酶提取侧柏叶中的总黄酮;用葡萄糖苷酶或转糖苷酶提取银杏叶总黄酮;用纤维素酶、果胶酶复合酶提取姜黄中的姜黄素;用纤维素酶、果胶酶、中性蛋白酶组成的复合酶提取药用菌多糖<sup>[8]</sup>。

**1.3 酶提法的优缺点** 与中草药其他提取方法比较,酶提法具有其独特的优点。应用酶提法可以降解包裹中草药活性成分的纤维素、胶质等物质,破坏细胞壁的致密结构,使有效成分充分暴露,有利于有效成分的释放,最大限度提取有效成分,所以该方法具有提取率高的优点<sup>[9]</sup>;由于酶反应具有专一性高、作用条件温和、催化活性强等特点<sup>[10]</sup>,因此,应用生物酶法提取中药其提取条件较为温和,工艺简便,无毒物残留等特点,这些优势造就了该方法的应用潜力。

生物酶提取中药方法也存在一定的局限性。酶的主要成分是蛋白质,对热、酸碱值等因素较为敏感,易变性失去活性。此外,酶促反应与反应温度、介质 pH 值、底物成分等因素密切相关,且最适范围条件苛刻,因此,在应用酶提法提取中药成分时,筛选优化酶解提取工艺尤为重要,并且需要严控提取条件,只有这样才能充分发挥酶的活性。酶解法提取中药过程中,有可能改变中药的某些活性成分,并产生新的化学物质,因此,应对提取成分进行分析,研判对中药成分的影响,以确保提取效果。有报道证实,在利用纤维素酶提取中药黄芩时发现,经纤维素酶酶解后,黄芩苷提取率下降,究其原因可能是纤维素酶在提取过程中水解了黄芩苷,致使黄芩苷提取率降低<sup>[11]</sup>。

## 2 酶法提取中药工艺

酶活性的发挥与酸碱度、反应介质温度、酶的浓度及酶解作用时间等因素有关。在应用酶法提取中药成分时,应根据中草药药用部位、提取的中药成分、酶类等条件,筛选反应介质的 pH 值、反应温度、酶浓度及酶解作用时间,优化制定中草药酶提取工艺。

依据研究报道,在一般条件下纤维素酶水解纤维素的适宜反应条件为:温度 50 ℃、pH 值 4.5;果胶酶反应的最适温度为 45 ~ 50 ℃,最适酸碱度为 3.5 ~ 5.5。在应用复合酶提取中药时,因酶的性质存在差异,其提取工艺就更为复杂。如用纤维素酶和果胶酶复合酶提取姜黄中姜黄素时,最佳酶提工艺为:纤维素酶与果胶酶等量配比,酶的浓度为 0.35 mg/mL,反应温度 50 ℃,pH 值 4.5,作用时间 2 h,此条件下姜黄素收率提高了 8.1%;应用复合酶提取山楂叶总黄酮时,纤维素酶与果胶酶的最佳酶配比为 2:1,最适酶解温度为 50 ℃,pH 值 4.5,酶解时间 90 min;应用纤维素酶和果胶酶复合酶提取金银花时,纤维素酶和果胶酶最佳配比为 2:1,最适反应温度为 40 ~ 50 ℃,最适作用时间为 3.5 h<sup>[12]</sup>。

## 3 酶提法应用进展

### 3.1 纤维素酶的应用

中草药细胞壁的主要成分

多是由纤维素、半纤维素等组成的,利用纤维素酶水解中草药细胞壁,有利于胞内成分的溶出,提升活性成分收率。在利用酶提法提取中草药,尤其是中草药的根、茎药用部分时,一般均使用纤维素酶进行降解提取。

#### 3.1.1 纤维素酶对不同类别活性成分提取的应用研究进展

郑立颖等将黄芪分别用 0.3%、0.4% 和 0.5% 的纤维素酶预处理后,再用常规水提法提取活性成分。结果表明,在黄芪有效成分的提取过程中加入不同浓度的纤维素酶,能够显著提高黄芪甲苷和黄芪多糖的收率,其中,黄芪多糖的收率较对照组分别增加了 314.8%、392.6%、342.6%,黄芪甲苷的收率分别增加了 83.4%、61.8%、56.8%<sup>[13]</sup>。薛天乐等优选了纤维素酶法提取响铃草总黄酮的最佳工艺,应用此方法响铃草总黄酮提取率可达 2.18%,比水煎法和乙醇回流法分别提高了 87.9% 和 33.7%<sup>[14]</sup>。

#### 3.1.2 纤维素酶对中药复方制剂提取应用研究的进展

纪学慧等应用纤维素酶提取法和超声提取法提取补气升血方药中有效成分,利用小鼠酚红排泄实验、炭粒廓清法实验计算炭粒廓清指数  $K$  值、吞噬指数  $\alpha$  值,二甲苯致小鼠耳肿胀实验比较试验小鼠的耳肿胀度,从而比较两种方法提取中药的药效学差异。结果表明,应用纤维素酶提取法提取的补气升血方药药效优于超声提取法<sup>[15]</sup>。谭婷等研究紫叶小檗果小檗碱的提取条件影响的抑菌环境,研究表明纤维素酶提取工艺提取的小檗碱具有较强的抑菌活性,可用于食品防腐、农业生物防治等领域<sup>[16]</sup>。涂明锋<sup>[17]</sup>等的研究也说明纤维素酶提取法的提取效果更为理想。

### 3.2 果胶酶的应用

果胶酶是一类能够分解果胶物质的多种酶的总称。果胶质广泛存在于中草药的初生壁和细胞中,当果胶质降解时会导致中草药细胞的分离破解。在中草药成分提取过程中,加入果胶酶能够降解果胶成分,破除中草药细胞壁结构完整性,使细胞内的活性物质充分释放,有效地提高有效成分的提取率<sup>[18]</sup>。

#### 3.2.1 果胶酶对不同类别活性成分提取的应用研

究进展 蓝峻峰等以蒸馏水为提取溶媒,以黄酮提取率为考核指标,采用正交试验考察提取温度、反应介质 pH 值、料液比、果胶酶浓度和提取时间对叶下珠黄酮提取率的影响,结果最佳提取工艺为:以 pH 值 5 的蒸馏水为提取溶媒,料液比 1:30 (W/V),果胶酶浓度为 2.0 g/L,酶解温度 55 ℃,酶解时间 150 min 的提取工艺条件下,黄酮提取率较高,达到 1.469%<sup>[19]</sup>。郑虎哲等研究发现,果胶酶释放总多酚类物质的最佳反应条件是温度为 37 ℃。pH 3.6,酶/基质比例为 12%,反应时间为 11 h。在此条件下,总多酚类物质和总黄酮类物质含量分别达到 9.08 g/kg 和 1.38 g/kg,比对照组分别提高 1.3 倍和 1.5 倍。

3.2.2 果胶酶对中药复方制剂提取应用研究的进展 Fu 等采用果胶酶等酶制剂水解木豆叶的细胞壁促使木犀草素和芹菜苷配基从中释放出来,结果发现果胶酶提取木犀草素和芹菜苷配基的产率明显高于纤维素和  $\beta$ -葡萄糖苷<sup>[20]</sup>。

3.3 复合酶的应用 中草药细胞壁多由纤维素、半纤维素和果胶质等不同成分构成,为充分提取中药有效成分,可使用不同类别的酶类分别降解相应的中草药细胞成分。使用纤维素酶可降解纤维素、半纤维素,促使中草药细胞破裂,果胶酶可将果胶质进行有效水解,两种酶相互作用,能够有效提高中草药有效成分的提取率。目前,应用复合酶提取中草药一般采用分步降解或一步降解方式进行提取。

3.3.1 复合酶对不同类别活性成分提取的应用研究进展 蓝峻峰等以水为提取溶剂,以总黄酮提取率为考察指标,采用一步法提取中药成分。最终优化的最佳提取工艺为:提取时间 2 h,料液比 1:25 (g:mL),提取温度 40 ℃,复合酶浓度分别为纤维素酶 1.4 g/L,果胶酶 2.0 g/L,在此提取工艺条件下黄酮的提取率为 1.589%<sup>[21]</sup>。香菇细胞壁由蛋白质、几丁质和纤维素等构成。使用纤维素酶和蛋白酶水解,能够提高了香菇多糖等有效成分的提取率,同时使大部分蛋白质转变成更易吸收的肽。王志民等采用二次酶解方法,应用 0.15% 纤维素酶在

45 ℃、pH 4.4 条件下处理香菇 4 h,可溶性固形物和多糖的提取率分别为水煮法的 3.61 倍和 2.37 倍。应用蛋白酶水解最适条件:温度 50 ℃,pH 值 7.0,酶浓度 0.25%,水解时间 5 h,香菇蛋白质转变成可溶性肽,蛋白质回收率达 89.6%<sup>[22]</sup>。丁霄霄等采用复合酶法提取灵芝多糖,最佳工艺提取条件下灵芝多糖的提取率可达 3.73%<sup>[23]</sup>。王小艳等采用复合酶法提取余甘子多酚类化合物,总多酚提取率为 13.68%,可以看出酶法提取操作简单可行,优于传统溶剂提取法<sup>[24]</sup>。段红梅等研究纤维素酶-果胶酶复合酶法提取长白椴木根中总黄酮的最佳工艺,此方法下提取出的总黄酮提取率高,并且所提取的总黄酮具有较强的体外抗氧化能力<sup>[25]</sup>。

3.3.2 复合酶对中药复方制剂提取应用研究的进展 张谦等以可产生木聚糖酶、纤维素酶、甘露聚糖酶、果胶酶、淀粉酶及脂肪酶的益生枯草芽孢杆菌为发酵菌种,对加味白头翁散进行发酵,并检测其发酵前后有效成分的差异,检测发酵产物的体外抑菌效果,结果显示,发酵后加味白头翁散原有成分及含量发生了变化,一些原有成分消失,同时也产生了新的分子物质并且对大肠杆菌有明显的体外抑制效果<sup>[26]</sup>。张彩云等研究了纤维素酶对催乳复方中药有效成分总黄酮和总皂苷提取率的影响,结果表明,纤维素酶可显著提高总黄酮和总皂苷的提取量<sup>[27]</sup>。

## 4 展望

纵观中草药提取方法,酶解提取方法具有酶用量少,无毒无害,无污染等优点,是一种绿色提取生产工艺。然而,作为中药提取的一种新途径,在一些技术方面,诸如提取药液中残留酶的分离去除方法以及酶具有不稳定性,在提取过程中某些物质能够使酶的活性降低,成为酶的抑制剂,阻碍酶的催化作用,影响中药提取。未来,生物酶提取技术广泛应用于中药以及复方制剂还需要加强其基础和应用研究,筛选更多的产酶微生物品种,建立中药提取过程中酶功能的快速评价体系,制订针对适合不同中药的专属酶类依据,建立中药提取液中药物残留酶检测标准等。随着酶提中药研究的深入与

完善,酶提方法必将成为具有广阔应用前景的中药提取方法。

## 参考文献:

- [1] 高懿萌,徐恩坚,杜洪飞,等. 中药提取新技术的研究进展[J]. 世界科学技术-中医药现代化,2014,16(4):102-104.  
Gao Y M, Xu Y J, Du H F, *et al.* Research Progress of New Technology of Chinese Medicine Extraction[J]. Modernization of Traditional Chinese Medicine and Materia Medica - World Science and Technology, 2014, 16(4):102-104.
- [2] Sharrel R, Mohandas A, Embalil M A, *et al.* Recent advancements in the production and application of microbial pectinases: an overview[J]. Reviews in Environmental Science and Bio/Technology, 2017, 16(3):381-394.
- [3] 李慧婷,伍振峰,万娜,等. 浸提辅助剂在中药提取中的应用及研究进展[J]. 中国实验方剂学杂志, 2017, 23(23):212-219.  
Li H T, Wu Z F, Wan N, *et al.* Application and Research Progress of Extraction Auxiliary Agents in Extraction of Traditional Chinese Medicine[J]. Chinese Journal of Experimental Traditional Medical Formulae, 2017, 23(23):212-219.
- [4] 乔婧,高建德,陈正君,等. 酶及酶联用技术在中药有效成分提取中的研究进展[J]. 甘肃中医药大学学报, 2019, 36(1):79-82.  
Qiao J, Gao J D, Chen Z J, *et al.* Research Progress of Enzyme and Enzyme Combined Technology in the Extraction of Effective Components of Traditional Chinese Medicine[J]. Journal of Gansu University of Chinese Medicine, 2019, 36(1):79-82.
- [5] 张淑香,王术平,田伟,等. 中药有效成分现代提取技术研究进展[J]. 吉林中医药, 2016, 36(2):191-194.  
Zhang S X, Wang S P, Tian W, *et al.* Research Progress of Modern Extraction Technology of Effective Ingredients in Traditional Chinese Medicine[J]. Jilin Journal of Traditional Chinese Medicine, 2016, 36(2):191-194.
- [6] 王云洁,闫治攀,白福祖. 酶法在中药提取中的应用进展[J]. 中国中医药信息杂志, 2013, 20(9):110-113.  
Wang Y J, Yan Z P, Bai F Z. Application Progress of Enzymatic Method in Extraction of Chinese Medicine[J]. Chinese Journal of Information on Traditional Chinese Medicine, 2013, 20(9):110-113.
- [7] 段红梅,王丹丹,洪豆,等. 复合酶法提取长白槲木根总黄酮工艺优化及抗氧化活性研究[J]. 食品工业科技, 2020, 41(12):174-206.  
Duan H M, Wang D D, Hong D, *et al.* Optimization of Enzyme Extraction Method for Total Flavonoids from Root of *Aralia continentalis* Kitagawa and Its Antioxidant Activity[J]. Science and Technology of Food Industry, 2020, 41(12):174-206.
- [8] 余洪波,张晓昱. 酶法在中药提取中的研究进展[J]. 中成药, 2005, 27(7):591-593.  
Yu H B, Zhang X Y. Research Progress of Enzymatic Method in Extraction of Chinese Medicine[J]. Chinese Traditional Patent Medicine, 2005, 27(7):591-593.
- [9] 陈晓娜,王丽娟,杨淑华,等. 冬虫夏草的抗衰活性[J]. 菌物研究, 2020, 18(2):100-104.  
Chen X N, Wang L J, Yang S H, *et al.* Anti-aging activity of *Cordyceps sinensis*[J]. Journal of Fungal Research, 2020, 18(2):100-104.
- [10] 王敏,高锦明,王军,等. 苦荞茎叶粉中总黄酮酶法提取工艺研究[J]. 中草药, 2006, 37(11):1645-1648.  
Wang M, Gao J M, Wang J, *et al.* Study on Enzymatic Extraction Technology of Total Flavonoids from Tartary Buckwheat Stem and Leaf Powder[J]. Chinese Traditional and Herbal Drugs, 2006, 37(11):1645-1648.
- [11] 张新国,陆颖,李晓茹,等. 复合酶法提取黄芩素的工艺研究[J]. 中国中医药科技, 2016, 23(3):291-293.  
Zhang X G, Lu Y, Li X R, *et al.* The Extraction Technology of Baicalin by Compound Enzyme[J]. Chinese Medicine Technology, 2016, 23(3):291-293.
- [12] 王伟伟,王宝维. 中药有效成分提取中酶的作用与选择[J]. 兽医导刊, 2009, (12):35-39.  
Wang W W, Wang B W. The Function and Selection of Enzymes in the Extraction of Effective Ingredients of Chinese Medicine[J]. Veterinary Orientation, 2009, (12):35-39.
- [13] 郑立颖,魏彦明,陈龙. 纤维素酶在黄芪有效成分提取中的应用[J]. 甘肃农业大学学报, 2005, 40(1):94-96.  
Zheng L Y, Wei Y M, Chen L. Extraction of effective component from *Radix astragali* with cellulase[J]. Journal of Gansu Agricultural University, 2005, 40(1):94-96.
- [14] 薛天乐,王庆,丁锐. 纤维素酶法提取响铃草总黄酮的工艺研究[J]. 甘肃中医药大学学报, 2017, 34(3):28-32.  
Xue TL, Wang Q, Ding R. Study on the technology of extracting total flavonoids from bellflower by cellulase[J]. Journal of Gansu University of Chinese Medicine, 2017, 34(3):28-32.
- [15] 纪学慧,张华第. 补气升血方药纤维素酶提取法和超声提取法的药效学比较[J]. 辽宁中医药大学学报, 2013, 15(7):73-74.  
Ji X H, Zhang H D. Comparison of Pharmacodynamics of Cellulase

- Extraction Method and Ultrasonic Extraction Method in the Recipe for Buqi Shengxue [J]. Journal of Liaoning University of Traditional Chinese Medicine, 2013, 15(7): 73 - 74.
- [16] 谭婷, 朱斌, 杨倩, 等. 紫叶小檗果小檗碱的提取及抑菌活性研究[J/OL]. 食品工业科技; 1 - 12 [2020 - 08 - 04].  
Tan T, Zhu B, Yang Q, et al. Extraction and Antibacterial Activity of Berberine from the Fruit of *Berberis thunbergii* var *atropurpurea* [J/OL]. Science and Technology of Food Industry; 1 - 12 [2020 - 08 - 04].
- [17] 涂明锋. 黄精多糖分离纯化、生物活性研究及颗粒剂的制备[D]. 宜春学院, 2020.  
Tu M F. Separation, purification, study on Biological activity of Polygonatum Polysaccharide and preparation of granules [D]. Yichun University, 2020.
- [18] Laura Mejias, Alejandra Cerda, Raquel Barrena, et al. Microbial Strategies for Cellulase and Xylanase Production through Solid - State Fermentation of Digestate from Biowaste [J]. Sustainability, 2018, 10(7): 282 - 297.
- [19] 蓝峻峰, 谢济运. 果胶酶法提取叶下珠黄酮的工艺优化[J]. 安徽农业科学, 2010, 38(21): 1128 - 1129.  
Lan J F, Xie J Y. Extraction Process of Flavonein Phyllanthusurinaria L. Based on Pectinase Method [J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2010, 38(21): 1128 - 1129.
- [20] Fu Y J, Liu W, Zu Y G, et al. Enzyme assisted extraction of luteolin and apigenin from pigeonpea [*Cajanus cajan* (L.) Millsp.] leaves [J]. Food Chemistry, 2008, 111: 508 - 512.
- [21] 蓝峻峰, 廖政达, 谢济运, 等. 复合酶在叶下珠有效成分提取中的应用[J]. 安徽农业科学, 2011, 39(25): 1254 - 1259.  
Lan J F, Liao Z D, Xie J Y, et al. Complex Enzyme - Assisted Extraction of Effective Components from Phyllanthusurinaria L. [J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2011, 39(25): 1254 - 1259.
- [22] 王志民, 陈祥贵, 黄元松. 香菇营养成分的酶法提取及利用[J]. 四川工业学院学报, 1998, 17(1): 46 - 49.  
Wang Z M, Chen X G, Huang Y S. Enzymatic Extraction and Utilization of Nutritional Components of *Lentinus edodes* [J]. Journal of Sichuan University of Technology, 1998, 17(1): 46 - 49.
- [23] 丁霄霄, 李凤伟, 商曰玲, 等. 灵芝多糖的复合酶法提取工艺优化[J]. 食品研究与开发, 2020, 41(5): 34 - 53.  
Ding X X, Li F W, Shang R L, et al. Optimization of Extraction Technology of *Ganoderma lucidum* Polysaccharide by Enzyme Complex [J]. Food Research And Development, 2020, 41(5): 34 - 53.
- [24] 王小艳, 向宇楠, 冯慧, 等. 酶法提取余甘子总多酚的研究[J]. 中国民族民间医药, 2020, 29(3): 36 - 40.  
Wang X Y, Xiang Y N, Feng H, et al. Study on extraction of total polyphenols from *Phyllanthus emblica* by enzymatic method [J]. Chinese Journal of Ethnomedicine and Ethnopharmacy, 2020, 29(3): 36 - 40.
- [25] 段红梅, 王丹丹, 洪豆, 等. 复合酶法提取长白槲木根总黄酮工艺优化及抗氧化活性研究[J]. 食品工业科技, 2020, 41(12): 174 - 206.  
Duan H M, Wang D D, Hong D, et al. Optimization of Enzyme Extraction Method for Total Flavonoids from Root of *Aralia continentalis* Kitagwa and Its Antioxidant Activity [J]. Science and Technology of Food Industry, 2020, 41(12): 174 - 206.
- [26] 张谦. 加味白头翁散益生菌发酵产物的制备及其对肉仔鸡大肠杆菌病的防治[D]. 吉林大学, 2019.  
Zhang Q. Preparation of Fermented Products of Modified Baitou-weng San by Probiotics and Its Prevention and Treatment of Colibacillosis in Broilers [D]. Jilin University, 2019.
- [27] 张彩云, 李忠建, 龚立东. 酶解催乳复方中药工艺参数的研究[J]. 兽药与饲料添加剂, 2006, (6): 1 - 2.  
Zhang C Y, Li J Z, Gong L D. Technological parameters of enzymatic hydrolysis of traditional Chinese Medicine [J]. Veterinary Pharmaceuticals & Feed Additives, 2006, (6): 1 - 2.

(编辑: 侯向辉)