

金线莲多糖提取及功能研究进展

Advances on extraction and function of *Anoectochilus roxburghii* polysaccharide

陈程莉 董全 周宇 晏敏

CHEN Cheng-li DONG Quan ZHOU Yu YAN Min

(西南大学食品科学学院, 重庆 400715)

(College of Food Science, Southwest University, Chongqing 400715, China)

摘要:文章就金线莲多糖(*Anoectochilus roxburghii* polysaccharide, ARP)的提取方法和生物活性作用机理进行了综述,分析 ARP 的结构特点,并对不同基源 ARP 的含量差异和在食品中的应用进行归纳和总结。

关键词:金线莲多糖;提取;活性;结构;含量;应用

Abstract: *Anoectochilus roxburghii* polysaccharide (ARP) is a kind of bioactive substance, consisting of monosaccharides polymerized by glycoside bonds. It is extracted from *Anoectochilus roxburghii* and has effective functions to decrease blood sugar and blood fat, and to protect liver and kidney. It also has excellent effects on sleep promotion, anti-tumor, and immunity enhancement. Based on the research of ARP in recent years, this article reviews the extraction methods of ARP and mechanism of its biological activity, briefly analyzes the characteristic of its structure, and summarizes the differences in the content of different sources of ARP and the application of ARP in foods.

Keywords: *Anoectochilus roxburghii* polysaccharide; extraction; activity; structure; content; application

金线莲又名开唇兰、银线兰、乌人参、金草等^[1],为兰科花叶开唇兰属的一种名贵植物。在中国福建、台湾、浙江、广西、江西、海南、四川、云南等地都有种植^[2-3]。具有解毒凉血、除湿气、利心通尿、润泽肝肾、降血糖、抑制癌细胞等功效^[4-5]。作为一种药食两用植物,金线莲在民间食用历史悠久,如居民常用来煲汤以增强免疫力,制作药膳辅助病后康复,与其他食材调配制作成降“三高”的保健食品^[6],尤其是在中国台湾和东南亚地区,当地居民把它当作神草,可以用来防病强身,是主要节日必备的食材^[7]。

金线莲全草含有丰富的多糖、生物碱、甙体和其衍生物、

黄酮类化合物、强心苷、挥发油、氨基酸、有机酸等成分^[2]。金线莲多糖(*Anoectochilus roxburghii* polysaccharide, ARP)具有多种生物活性,是一种高价值的食疗原料,对人体健康起着重要作用。目前已有 ARP 产品如金线莲多糖口服液^[8]、金线莲红茶饮料^[9]、金线莲多糖桃胶果冻^[10]、金线莲复方解酒保肝胶囊^[11]、金线莲泡腾片^[12]²¹⁻²⁹等。ARP 是金线莲的重要活性成分^[13],但鲜有前人对 ARP 的研究进展进行总结,本文对 ARP 的提取方法、结构及其生物活性进行概括并对 ARP 未来的研究趋势进行展望,以期能够对 ARP 的研究与应用提供参考。

1 ARP 的提取与含量

1.1 ARP 的提取

得率与纯度是选取 ARP 提取技术的重要指标。以往研究者们会借助热水来提取 ARP,而随着多糖提取技术的不断发展以及仪器设备的迅速更新,微波、超声波、超高压、高压脉冲电场^[14]、酶解^[15]、超临界流体^[16]等新型提取方法的研究也不断增加,以下是金线莲多糖的提取技术,其常用提取技术的优缺点见表 1。

1.1.1 水浸提 ARP 含有大量的极性基团,容易与水发生相互作用,不易溶于乙醇和其他有机溶剂,所以 ARP 一般可以用水来提取^[17]。Jin 等^[18]在最优试验条件下用水提取 ARP 并用乙醇(浓度 80%)进行沉淀,取得了很好的效果。曾碧玉等^[19]在 70 °C 的热水浴中萃取 ARP,得率为 26.68%。

1.1.2 酸提法 低浓度的酸会减弱 ARP 与其他成分的结合能力,同时氢离子会阻碍酸性杂质的溶出,增大 ARP 的得率和纯度。崔仕超^[12]³⁴⁻³⁵利用稀酸法浸提 ARP,并与碱提法和传统的热热水提取法相比,虽然稀酸法提取 ARP 可以得到很高的纯度,但会造成多糖降解成单糖和侵蚀设备,所以此方法存在一定的缺陷。

1.1.3 碱提法 碱性环境会破坏金线莲细胞壁,形成裂纹,细胞质外流,加速 ARP 的溶解。碱提法适合含有酸性基团的多糖提取,但碱液提取过程中会使 ARP 的连接键发生断

基金项目:重庆市特色食品工程技术研究中心能力提升项目(编号: cstc2014pt-gc8001)

作者简介:陈程莉,女,西南大学在读硕士研究生。

通信作者:董全(1962—),男,西南大学教授,博士。

E-mail: dongquan@swu.edu.cn

收稿日期:2018-05-28

裂,可通入 N_2 和加入 $NaBH_4$ 或 KBH_4 避免 ARP 分解成单糖。游侃等^[20]利用碳酸钠溶液提取 ARP 并采用 DNS 法测定含量,经鉴定多糖产率和纯度均能达到较理想的状态。

1.1.4 微波辅助提取法 微波具有强大的能量可穿透金线莲细胞,使胞内温度升高并形成孔隙,溶剂能较好地溶解胞内多糖,增加多糖产率。李仲达^{[21]20-24}利用 300~300 GHz 的电波使 ARP 加速溶出,提高 ARP 得率。梅少莘等^[22]提取 ARP 时,将半仿生技术和微波技术结合起来,此技术比用回流提取和单独用微波提取法的提取效率高,所得多糖提取率为 21.29%。

1.1.5 超声波辅助提取法 在 ARP 的超声萃取过程中细胞内部形成高温高压的环境,细胞壁的破坏和传质的增强导致多糖从金线莲细胞中被释放出来,提高了 ARP 的提取速度和提取量^[23-24]。张晓辉^{[25]16-18}在 200 W 的超声功率下浸提

ARP 并经过后期的除蛋白和脱色处理测得 ARP 有较理想的纯度。潘晓丽等^[26]通过单因素和正交等优化试验,获得了超声提取最优条件,ARP 得率为 25.68%。

1.1.6 超声-微波协同提取法 超声-微波协同提取法通过微波的能量穿透和超声的空化作用使 ARP 分子与其他物质的结合变得疏松,能够将多糖最大程度提取出来。李仲达^{[21]25-32}用 4 种方法提取 ARP,按多糖提取效果的顺序排列:超声-微波协同提取>微波提取>超声波提取>热水浸提。

1.1.7 超高压辅助提取 在超高压作用下,金线莲细胞结构遭到破坏,细胞质外流,溶剂与多糖能充分接触,提取率增高。常双艳^[27]在 300 MPa 的压力下提取 ARP,发现提取压力和温度的微小变化会显著影响 ARP 的提取率,超高压法提取的 ARP 含量大约比热水浸提法高 5%。

表 1 金线莲多糖提取方法比较

Table 1 The comparison of extraction methods of ARP

方法	优点	缺点	参考文献
水浸提法	节约成本,操作简单,安全可靠,适合工业化生产	其他水溶性成分易浸出,提取物易腐败,分离困难,提取效率低,耗时长	[28~29]
酸提取法	高效,无酸性杂质,纯度高	易损坏设备,多糖降解,操作要求严格	[12] ²¹⁻²²
碱提取法	酸性多糖适合用碱提取法,得率高,时间短	含有其他杂质,易水解,黏度较大,不易过滤,具有一定的适用范围	[20]
微波辅助提取法	节约溶剂,溶剂选择范围广,安全,时间短,无污染,质量好,效率高	只适用于对热稳定的多糖,不适用于富含淀粉或树胶的天然植物	[21] ⁸⁻⁹ [22]
超声辅助提取法	节约溶剂,温度低、省时、产率高、节能	超声时间不宜过长,否则糖键断裂,提取量下降,结构改变	[23,26,29]
超声-微波协同提取法	提取效率高,省时	设备复杂、成本高	[21] ⁹⁻¹⁰
超高压辅助提取法	省时、减少能耗、降低杂质,避免高温,无溶剂的挥发	压力较高时糖链易断裂、多糖结构受到破坏	[27]

1.2 ARP 含量

金线莲干草多糖含量为 9.36%~28.69%^[19-20,26]。金线莲的产地、品种、干燥方式、生长时间和培养方式的不同对 ARP 含量有较大的影响。不同产地 ARP 含量有一定的差异:桂林>昆明>漳州>明溪>南靖>武平>永安>台湾^[29-30];经热泵干燥制得的多糖含量高于热风干燥法和传统自然晒干法的^[31];金线莲在育苗第 5 个月和移栽第 3 个月多糖含量均达到极大值,呈“M”型^[32];不同品种的多糖含量也有较大差异,其中 FJ2 号>FJ3 号>TW1 号>FJ1 号^[33-34];金线莲根茎中的多糖含量比叶中的高^[35]。

2 ARP 结构分析

ARP 是一类结构复杂的链状大分子聚合物,由于即具有一级结构又具有高级结构,所以对其结构的分析是一项繁琐的过程。ARP 的结构分析一般包括多糖分子量的测定、核酸和蛋白质的鉴定、红外特征吸收峰的分析、多糖的组成分析和多糖连接方式的鉴定。但是目前对 ARP 结构的研究较少且大多数研究者只研究了 ARP 的初级结构,

没有对结构进行深入、系统的研究。不同的 ARP 具有不同的分子结构,ARP 的分子质量、结构以及分析方法等见表 2。

3 ARP 生物活性

ARP 是由许多单糖通过糖苷键连接构成的、具有较高的食补性和生物活性、有益于人体健康且具有重要保健作用的杂多糖。随着提取技术的发展和活性作用分析的深入,ARP 被越来越多的研究者所开发并且得到广大消费者认可。ARP 具有保肝护肾、降低血糖和血脂浓度、抗氧化、镇静催眠、加强免疫和抗肿瘤等活性,是当今保健食品开发的重要方向之一。

3.1 保肝护肾

ARP 可通过减少脂质氧化来促进肝脏的正常代谢活动^[39]并且具有损伤修复功能^[40]。其机理可能是通过强还原能力、抑制肝丙二醛的形成、增加抗氧化酶活性来抑制氧化性肝损伤^[41]。同时 ARP 提取物可缓解炎症反应和修补肾损伤具有较好的疗效^[42]。

表 2 金线莲多糖的结构分析
Table 2 The structure analysis of ARP

多糖名称	来源	分子质量/Da	单糖组成及比例	键型及结构	分析方法	参考文献
PSA-1	云南	14 208	半乳糖、葡萄糖、鼠李糖、阿拉伯糖、木糖、甘露糖 15.48 : 14.47 : 4.22 : 2.75 : 1.93 : 1.03	含 α -和 β -吡喃环, 有 1 \rightarrow 2、1 \rightarrow 2,6、1 \rightarrow 4、1 \rightarrow 4,6 等键型, 无多股螺旋	红外光谱、气相色谱、高碘酸氧化、刚果红试验、 β -消去反应	[25] ²³⁻³¹
PSA-2	云南	17 787	半乳糖和葡萄糖 14.88 : 7.74	1 \rightarrow 2、1 \rightarrow 2,6、1 \rightarrow 4、1 \rightarrow 4,6 等键型	红外光谱、气相色谱、高碘酸氧化、刚果红试验、 β -消去反应	[25] ²³⁻³¹
福建金线莲多糖	福建	—	半乳糖、甘露糖、阿拉伯糖、葡萄糖、半乳糖醛酸 5.07 : 2.52 : 1.58 : 1.00 : 0.53	无三股螺旋	高效液相色谱	[36]
台湾金线莲多糖	台湾	—	半乳糖、葡萄糖、甘露糖、半乳糖醛酸 1.92 : 1.10 : 1.00 : 0.50	无多股螺旋、无三股螺旋	高效液相色谱	[36]
滇越金线莲多糖	广西	—	半乳糖、阿拉伯糖、甘露糖、葡萄糖、半乳糖醛酸、葡萄糖 9.30 : 2.26 : 2.95 : 0.28 : 0.53 : 1.00	无三股螺旋	高效液相色谱	[36]
PSA	广东	—	葡萄糖、木糖、阿拉伯糖、甘露糖、半乳糖、鼠李糖	含有 α -和 β -吡喃环	红外光谱分析、气象色谱分析	[37]
ARPS	福建	18 197	甘露糖、岩藻糖、鼠李糖、半乳糖、阿拉伯糖	含有 α -吡喃环	红外光谱、质子核磁共振谱、凝胶柱层析、苯酚-硫酸法、柱前衍生化高效液相色谱	[38]

3.2 降血糖

ARP 具有降血糖的作用^[43]和抗糖尿病活性^[44]。Liu 等^[45]用不同剂量的 ARP 溶液对小鼠进行灌胃,发现 ARP 可影响胰岛素后糖代谢、阻止葡萄糖在小鼠肠道内吸收、抑制高血糖引发的氧化应激、刺激胰岛素的分泌来减小血液中的糖浓度。邓燕群等^[46]发现 ARP 可通过降低 α -葡萄糖苷酶的酶切作用来减少血糖浓度。

3.3 降血脂

张赛男等^[47]对 ARP 的降血脂效果进行了研究,研究结果表明当饲喂剂量为 200 mg/kg 时对大鼠总胆固醇以及血清甘油三酯具有显著降低作用,其机理可能是 ARP 可促进胆固醇酯化进入肝脏并分解成胆汁酸,从而降低血脂浓度,防止血脂黏稠对人体造成伤害。

3.4 抗氧化

Zeng 等^[48]从金线莲中分离出了 ARPP30、ARPP60 和 ARPP80 3 种分子结构不同的多糖,其中 ARPP80 可以显著恢复超氧化物歧化酶、过氧化氢酶和谷胱甘肽过氧化物酶的活性。刘青等^[49]通过对小鼠的体外分析研究了 ARP 可结合部分活性氧且含量越高抑制小鼠组织氧化的能力越强。

3.5 镇静催眠

ARP 可以促进安睡、改善失眠,其机理可能是抑制中枢神经活动。王秋新等^[50]将 ARP 提取物连续 30 d 灌胃到小

鼠体内,与对照组相比小鼠自主活动频率减缓,入睡小鼠的个数增加,睡眠质量升高,睡眠时间延长。

3.6 调节免疫

ARP 是可对抗小鼠结肠癌的一种免疫调节剂^[51-52],并且具有免疫刺激作用^[53]。Tseng 等^[54]发现 ARP 可促进自然杀伤细胞和 T 细胞分泌细胞因子起到免疫监视的作用。张赛男等^[8]发现 ARP 对小鼠免疫系统以及溶血素水平具有显著的影响,小鼠的免疫功能可通过 ARP 得到改善,可明显提高小鼠的免疫能力。

3.7 抗肿瘤

ARP 可抑制癌细胞的生长,对肿瘤有良好的抵抗作用。Yu 等^[28]从金线莲中分离到分子质量为 25 681 Da 的均质多糖,发现其对肺癌 A549 细胞、骨肉瘤 143B 细胞和体外神经胶质瘤 U251 细胞均有抑制作用。王常青等^[55]从台湾金线莲中分离得到 2 种结构不同的多糖(AFP-1、AFP-2),2 种多糖组分均可抑制肝癌、宫颈癌以及肺腺癌细胞,其中 AFP-1 对人乳腺癌细胞作用极显著。

4 展望

ARP 的应用价值已受到人们的关注,目前对 ARP 的研究已经取得了一定的成果,但缺乏系统性的研究:① ARP 的结构研究较少且停留在初步分析阶段,不同来源的 ARP 结构也不相同,导致对 ARP 的结构分析造成了一定的困难;

② ARP的生物活性已被逐渐挖掘,但研究不够深入,没有研究ARP结构与生物活性的构效关系,也没有完全理清ARP生物活性的作用机制;③目前的提取工艺,如酶提取法、超滤法、闪式提取法、超临界流体萃取技术、反复冻融法和高压电脉冲电场提取法等已成功用于提取其他植物多糖并且具有无可比拟的优势,但ARP提取技术较为老旧且存在一定的缺陷,另外在提取和分析方法是否适用ARP的提取方面缺乏相应的参考;④ARP种类繁多复杂,分子修饰已经成为国内外的研究热点,此技术可以运用到ARP分子上。目前对ARP的研究与开发还比较少,对ARP的研究及应用还需进行深入探讨及研发。

参考文献

- [1] 周云. 金线莲的化学成分、药理活性及临床应用研究进展[J]. 继续医学教育, 2017, 31(8): 154-155.
- [2] QI Chang-xin, ZHOU Qun, ZHOU Yuan, et al. Kinsenoside: A Promising Bioactive Compound from *Anoectochilus* Species [J]. *Current Medical Science*, 2018, 38(1): 11-18.
- [3] 福建省中医药研究院. 福建药物志: 第二卷[M]. 福州: 福建科学技术出版社, 1994: 26-27.
- [4] 钱丽萍, 杨盼, 阙慧卿. 等. 金线莲的品种及成分研究进展[J]. 海峡药学, 2017, 29(5): 32-35.
- [5] YE Shen-yi, SHAO Qing-song, ZHANG Ai-lian. *Anoectochilus roxburghii*: A review of its phytochemistry, pharmacology, and clinical applications[J]. *Journal of Ethnopharmacology*, 2017, 209: 184-202.
- [6] 肖小华, 林彩霞, 吴序栋, 等. 金线莲的化学成分及生物活性研究进展[J]. 现代食品科技, 2018(5): 1-7.
- [7] 鲁成巍, 冉景丞. 金线莲研究进展及保护利用研究[J]. 农技服务, 2010, 27(8): 1 040-1 042.
- [8] 张赛男. 金线莲多糖口服液调节免疫功能实验研究[J]. 实用中医药杂志, 2014, 30(11): 987-988.
- [9] 王文成, 林衍生, 陈建福. 金线莲红茶功能饮料的开发工艺研究[J]. 食品工业, 2013(10): 148-151.
- [10] 林明传. 一种金线莲多糖桃胶果冻: 中国, 106107749A[P]. 2016-11-16.
- [11] 郭振荣, 陈国平, 刘海木, 等. 金线莲复方解酒保肝胶囊及其制备方法: 中国, 102552692 B[P]. 2013-07-11.
- [12] 崔仕超. 金线莲活性物质的提取及生理活性的研究[D]. 汕头: 汕头大学, 2010.
- [13] CUI Shi-chao, YU Jie, ZHANG Xiao-hui, et al. Antihyperglycemic and antioxidant activity of water extract from *Anoectochilus roxburghii*, in experimental diabetes[J]. *Experimental & Toxicologic Pathology*, 2013, 65(5): 485-488.
- [14] LI Chang-tian, MAO Xin-xin, XU Bao-jun. Pulsed electric field extraction enhanced anti-coagulant effect of fungal polysaccharide from jew's ear (*Auricularia auricula*) [J]. *Phytochemical Analysis*, 2013, 24(1): 36-40.
- [15] 王占一, 张立华, 王玉海, 等. 复合酶法提取石榴籽多糖的工艺优化[J]. 食品科学, 2016, 37(18): 19-25.
- [16] ZOU Xiao-lin, LIU Yong-xiao, TAO Cui, et al. CO₂ supercritical fluid extraction and characterization of polysaccharide from bamboo (*Phyllostachys heterocycla*) leaves[J]. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 2018, 12(1): 35-44.
- [17] 林丽清, 黄丽英, 钟添华, 等. 金线莲多糖的分离纯化与含量测定[J]. 中国医院药学杂志, 2007, 27(8): 1 037-1 039.
- [18] JIN Mei-yu, HAN Lu, LI He, et al. Kinsenoside and polysaccharide production by rhizome culture of *Anoectochilus roxburghii* in continuous immersion bioreactor systems[J]. *Plant Cell Tissue and Organ Culture*, 2017, 131(3): 527-535.
- [19] 曾碧玉, 苏明华, 陈清西, 等. 金线莲多糖的提取工艺优化[J]. 热带作物学报, 2016, 37(3): 615-621.
- [20] 游侃. 稀碱法提取金线莲多糖的研究[J]. 海峡药学, 2014(5): 48-50.
- [21] 李仲达. 金线莲多糖的提取及其性质研究[D]. 广州: 仲恺农业工程学院, 2014.
- [22] 梅少苹, 吕鉴泉, 张恒铭, 等. 半仿生-微波组合技术提取金线莲多糖的研究[J]. 嘉应学院学报, 2017, 35(8): 56-60.
- [23] 沈丽萍, 张佳佳, 李小明, 等. 超声波辅助提取金线莲多糖工艺优化[J]. 云南民族大学学报: 自然科学版, 2017, 26(2): 108-111.
- [24] ZHANG Ai-lian, WANG Hong-zhen, SHAO Qing-song, et al. Large scale in vitro propagation of *Anoectochilus roxburghii* for commercial application: Pharmaceutically important and ornamental plant [J]. *Industrial Crops and Products*, 2015, 70, 158-162.
- [25] 张晓辉. 金线莲多糖结构分析及抗糖尿病活性研究[D]. 汕头: 汕头大学, 2011.
- [26] 潘晓丽, 李萍, 郑小香, 等. 超声波法提取金线莲多糖的工艺研究[J]. 黑龙江畜牧兽医, 2015(23): 201-203.
- [27] 常双艳. 金线莲多糖提取、初步纯化及其口服液制备[D]. 福州: 福建农林大学, 2013: 3-4.
- [28] YU Xiao-ling, LIN Shou-er, ZHANG Jin-que, et al. Purification of polysaccharide from artificially cultivated *Anoectochilus roxburghii* (wall.) Lindl. by high-speed counter current chromatography and its antitumor activity[J]. *J Sep Sci*, 2017, 40(22): 4 338-4 346.
- [29] 张赛男. 不同地区金线莲多糖含量对比研究[J]. 北京农业大学, 2014(33): 125-126.
- [30] JIN Mei-yu, ZHANG Li-qi, PIAO Xuan-chun, et al. Optimization of culture conditions for the production of polysaccharides and kinsenoside from the rhizome cultures of *Anoectochilus roxburghii* (Wall.) Lindl [J]. *In Vitro Cellular & Developmental Biology-Plant*, 2018, 54(1): 25-35.
- [31] 张赛男. 不同干燥方法对金线莲多糖含量的影响[J]. 中药与临床, 2015, 6(2): 1-3.
- [32] 蒋元斌, 李健, 马玉芳, 等. 福建金线莲和台湾金线莲不同采收期多糖的变化[J]. 福建农林大学学报: 自然版, 2014, 43(2): 124-127.
- [33] 吴水华, 程伟青. 不同栽培方式对金线莲中多糖含量的影响[J]. 现代中药研究与实践, 2016, 30(6): 8-11.
- [34] 魏翠华, 谢宇, 秦建彬, 等. 不同品种金线莲氨基酸和多糖含量的比较研究[J]. 福建林业科技, 2016, 43(1): 43-45.
- [35] 陈晓兰, 黄丽英, 黄丽萍, 等. 不同产地金线莲根茎和叶中多糖含量对比[J]. 分析测试技术与仪器, 2012, 18(3): 135-139.

- [36] 吴岩斌, 张秀才, 易骏, 等. 柱前衍生化 HPLC 法测定不同来源金线莲多糖的单糖组成[J]. 中国药房, 2015, 26(15): 2 116-2 119.
- [37] 杨振国, 张晓辉, 余杰. 金线莲多糖结构的初步分析[J]. 中国药物经济学, 2015(1): 36-37.
- [38] 张锦雀. 金线莲多糖的分离纯化、结构表征及其抗肿瘤活性[D]. 福州: 福建医科大学, 2010: 19-33.
- [39] 马娟. 金线莲(*Anoetochilus roxburghii*)提取物保肝护肝作用及其物质基础研究[D]. 武汉: 华中科技大学, 2014: 11-43.
- [40] YANG Zheng-guo, ZHANG Xiao-hui, YANG La-wei, et al. Protective effect of *Anoetochilus roxburghii* polysaccharide against CCl₄-induced oxidative liver damage in mice[J]. Int J Biol Macromol, 2017, 96(5): 442-450.
- [41] ZENG Bing, SU Ming-hua, CHEN Qing-xi, et al. Protective effect of a polysaccharide from *Anoetochilus roxburghii* against carbon tetrachloride-induced acute liver injury in mice[J]. Journal of Ethnopharmacology, 2017, 200: 124-135.
- [42] LI Le, LI Yu-meng, LIU Zhen-ling, et al. The renal protective effects of *Anoetochilus roxburghii* polysaccharose on diabetic mice induced by high-fat diet and streptozotocin[J]. Journal of Ethnopharmacology, 2016, 178: 58-65.
- [43] ZHANG Jian-gang, LIU Qing, LIU Zhen-ling, et al. Antihyperglycemic activity of *Anoetochilus roxburghii* polysaccharose in diabetic mice induced by high-fat diet and streptozotocin[J]. Journal of Ethnopharmacology, 2015, 164: 180-185.
- [44] TANG Ting-ting, DUAN Xiao-yu, KE Yu, et al. Antidiabetic activities of polysaccharides from *Anoetochilus roxburghii* and *Anoetochilus formosanus* in STZ-induced diabetic mice[J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2018, 112: 882-888.
- [45] LIU Zhen-ling, ZHANG Jian-gang, LIU Qing, et al. The vascular protective effects of *Anoetochilus roxburghii* polysaccharose under high glucose conditions[J]. Journal of Ethnopharmacology, 2017, 202: 192-199.
- [46] 邓燕群, 李伟, 张晓辉, 等. 金线莲多糖对 α -葡萄糖苷酶活性及糖尿病小鼠血糖的影响[J]. 汕头大学学报: 自然科学版, 2014, 29(3): 41-45.
- [47] 张赛男. 金线莲多糖降血脂功能的实验研究[J]. 云南中医中药杂志, 2014, 35(12): 64-66.
- [48] ZENG Bi-yu, SU Ming-hua, CHEN Qing-xi, et al. Antioxidant and hepatoprotective activities of polysaccharides from *Anoetochilus roxburghii*[J]. Carbohydrate Polymers, 2016, 153: 391-398.
- [49] 刘青, 刘珍伶, 周娟. 金线莲多糖的体外抗氧化活性[J]. 华侨大学学报: 自然科学版, 2010, 31(6): 718-720.
- [50] 王秋新, 刘家媛, 陈强威, 等. 金线莲多糖提取物镇静催眠作用的研究[J]. 广东药学院学报, 2017, 33(1): 68-71.
- [51] YANG Li-chan, HSIEH Chang-chi, LU Ting-jiang, et al. Structurally characterized arabinogalactan from *Anoetochilus formosanus* as an immuno-modulator against CT26 colon cancer in BALB/c mice[J]. Phytomedicine, 2014, 21(5): 647-655.
- [52] 马玉芳, 郑小香, 衣伟萌, 等. 金线莲多糖对免疫抑制小鼠脾淋巴细胞体外增殖、分泌 NO 及细胞因子的影响[J]. 天然产物研究与开发, 2017, 37(2): 287-290.
- [53] YANG Li-chan, LU Ting-jiang, LIN Wen-chuan. A type II arabinogalactan from *anoetochilus formosanus* for G-CSF production in macrophages and leukopenia improvement in CT26-bearing mice treated with 5-fluorouracil[J]. Evid Based Complement Alternat Med, 2013, 2 013(3): 458-475.
- [54] TSENG Cheng-chyang, SHANG Huey-fang, WANG Lin-fu, et al. Antitumor and immunostimulating effects of *Anoetochilus formosanus* Hayata[J]. Phytomedicine, 2006, 13(5): 366-370.
- [55] 王常青, 严成其, 王勇, 等. 台湾金线莲多糖的分离纯化及其体外抑瘤活性研究[J]. 中国生化药物杂志, 2008, 29(2): 93-96.

(上接第 125 页)

- [3] 郭英祺, 刘孟夫, 曾庆东, 等. 农村家庭厨余垃圾处理发酵罐的改进设计及试验[J]. 现代农业装备, 2017(3): 29-33.
- [4] 王丹阳, 弓爱君, 张振星, 等. 北京市餐厨垃圾的处理现状及发展趋势[J]. 环境卫生工程, 2010, 18(1): 24-26.
- [5] 王兴宇, 曹华, 孙大禹. 国内外厨余垃圾处理现状及技术综述[J]. 科技创新导报, 2012(8): 227-229.
- [6] ZITTEL R, PINTO D C, DOMINGUES C E, et al. Treatment of smuggled cigarette tobacco by composting process in facultative reactors[J]. Waste Management, 2018(71): 115-121.
- [7] GUO Xiang-zheng, JIE Yang, ZHENG Jun-guan, et al. Design of mechanical agitation biological reactor used in municipal solid-waste composting[J]. Advanced Materials Research, 2015, 3 848(1 092): 1 056-1 059.
- [8] BRIŠKI F, VUKOVIC M, PAPA K, et al. Modelling of composting of food waste in a column reactor[J]. Chemical Papers, 2007, 61(1): 24-29.
- [9] PRZEMYSŁAW T, FABIOLA B. Food industry waste composting in a rotational reactor[J]. Polish Journal of Chemical Technology, 2008, 10(2): 37-42.
- [10] 李来庆, 张继琳. 餐厨垃圾资源化技术及设备[M]. 北京: 化学工业出版社, 2013: 12-14.
- [11] 刘旭辉. 实验室小型好氧堆肥反应器污染物去除研究[D]. 西安: 西安建筑科技大学, 2008: 13-19.
- [12] 张锐. 小型实验室好氧堆肥反应器系统研究[D]. 北京: 中国农业大学, 2006: 11-12.
- [13] 杨文卿, 邓旋, 许兢, 等. 一种新型可控堆肥反应器系统的快速好氧堆肥实验[J]. 环境工程学报, 2010, 4(12): 2 883-2 887.
- [14] 杨国清. 固体废物处理工程[M]. 北京: 科学出版社, 2000: 30-45.
- [15] 李秀金. 固体废物工程[M]. 北京: 中国环境科学出版, 2001: 12-55.
- [16] 戴芳, 曾光明, 袁兴中, 等. 新型堆肥装置设计及应用研究[J]. 环境污染治理技术与设备, 2005, 6(2): 24-28.
- [17] 席北斗, 刘鸿亮, 孟伟, 等. 翻转式堆肥反应装置设计研究[J]. 环境污染治理技术与设备, 2003, 4(9): 85-88.