

微生物转化在瘦身降脂茶研发中的应用及营养成分分析

马 莎, 龚 蕾, 李桂香, 姜国银, 杨本寿*
(曲靖医学高等专科学校 微生物研究所, 云南 曲靖 655000)

摘要: 利用菌株蝙蝠蛾拟青霉菌 JY6-6 对研发的瘦身降脂茶样品进行转化, 并检测转化前后的蛋白质、矿物质元素、氨基酸、重金属等物质的含量. 结果表明, 转化后样品中蛋白质、粗脂肪、水分、灰分、矿物质元素 (钠除外) 的质量分数、重金属含量、17 种氨基酸的含量均高于转化前, 其中氨基酸总量增高了 43%, 而粗纤维降低了 2.2%, 这说明该微生物转化可提高研发样品中的营养成分.

关键词: 微生物转化; 蝙蝠蛾拟青霉菌 JY6-6; 瘦身降脂茶; 产品研发; 营养成分; 重金属

中图分类号: Q939.99 **文献标识码:** A **文章编号:** 1674 - 5639 (2021) 03 - 0083 - 05

DOI: 10.14091/j.cnki.kmxyxb.2021.03.017

Application of Microbial Transformation in Slimming and Fat-reducing Tea and Analysis of Nutritional Components

MA Sha, GONG Lei, LI Guixiang, JIANG Guoyin, YANG Benshou*
(Institute of Microbiology, Qujing Medical College, Qujing, Yunnan, China 655000)

Abstract: The sample of slimming and fat-reducing tea was transformed by *Paecilomyces hepiali* JY6-6, and the contents of protein, mineral elements, amino acids, heavy metals and other substances were detected before and after transformation. The results showed that the contents of protein, crude fat, moisture, ash, mineral elements (except sodium), heavy metals and 17 kinds of amino acids in the transformed samples were all higher than those before the transformation, among which the total amino acids were increased by 43%, while the crude fiber was decreased by 2.2%. This indicates that the microbial transformation can improve the nutritional components of the samples.

Key words: microbial transformation; *Paecilomyces hepiali* JY6-6; slimming and fat-reducing tea; product research; nutrient composition; heavy metals

由于中药研发的快速发展, 造成了天然野生药用资源数量不断减少. 此外, 中药成分复杂, 有效活性成分含量低, 甚至有些成分有毒, 因此“增效减毒”一直以来是中药炮制技术中的关键问题^[1-2]. 目前, 传统中药的研究技术和手段已不能满足人们的用药需求. 而中药经过微生物转化能改变其生物碱、皂苷等中药成分, 产生含量较高的活性物质, 同时还能够降低毒性, 提高药效^[3-6], 微

生物转化技术为新药、保健品、食品等研究与开发提供了新的研究途径.

微生物转化是指通过微生物生命活动中产生的酶对外源性化合物进行催化反应, 将某特定物质转化为另一种特定物质的过程^[7]. 微生物转化反应具有对环境污染小、成本低、周期短、条件温和、易操作控制, 以及转化反应具有立体结构特异性和反应区域选择性等特点^[8]. 微生物转化的菌种有

收稿日期: 2021 - 03 - 05

基金项目: 云南省教育厅科学研究基金资助项目 (2017ZDX150).

作者简介: 马莎 (1984—), 女, 云南蒙自人, 讲师, 硕士研究生, 主要从事中药学研究.

*通讯作者: 杨本寿 (1971—), 男, 河南获嘉人, 教授, 博士, 主要从事微生物资源与利用研究, E-mail: yang-benshou@163.com.

真菌、细菌和酵母菌等^[9]。目前,微生物转化反应的类型主要有羟基化反应^[10-11]、糖基化反应^[12]、脱氢反应^[13-14]等。

蝙蝠蛾拟青霉菌(*Paecilomyces hepiali*)是中国医学科学院药物研究所首次从野生冬虫夏草中分离获得的一种天然虫草寄生菌^[15],其具有同天然冬虫夏草相似的化学组成及营养成分^[16-17]。蝙蝠蛾拟青霉菌 JY6-6(*P. Hepiali* JY6-6)是从云南省德钦县白马雪山天然冬虫夏草(*Cordyceps sinensis*)上分离获得的真菌^[18]。蝙蝠蛾拟青霉菌在 2001 年卫生部发布的《可用于保健食品的真菌菌种名单》中被批准为保健食品真菌^[19],目前上市的金水宝胶囊就是以蝙蝠蛾拟青霉菌 Cs-4 发酵菌丝体为主要原料的一种药物制剂。利用分离自冬虫夏草中的菌进行微生物转化已有报道,如许文迪等^[20]利用冬虫夏草菌生物转化使人参皂苷 Rb₁ 转化为稀有皂苷 F₂,且转化效率高,过程稳定。而利用蝙蝠蛾拟青霉菌 JY6-6 对中药进行微生物转化尚未见有关报道。

本研究采用荷叶、决明子、山楂、三七花药食同源的中药材按一定配比制作成瘦身降脂茶,并利用蝙蝠蛾拟青霉菌 JY6-6 对该瘦身降脂茶进行转化,转化完成后对其转化前后的营养等成分含量进行对比分析,以期衡量转化成效,为进一步研发提供指导和帮助。

1 材料与方法

1.1 材料和仪器

菌种:蝙蝠蛾拟青霉菌 JY6-6 由曲靖医学高等专科学校微生物研究所提供。培养基和培养条件:培养采用 PDA 固体培养基,液体扩大培养用 PDB 培养基;培养温度为 28 ℃。

本研发的瘦身降脂茶由 $m(\text{荷叶}):m(\text{决明子}):m(\text{山楂}):m(\text{三七花})=0.5:1.0:1.0:0.7$ 的配比组成。中药材均购自相关药店。

仪器:S-433(D)全自动氨基酸分析仪(德国 Sykam 公司);PerkinElmer Optima 8000 电感耦合等离子体发射光谱仪(美国 PerkinElmer);凯氏定氮仪(瑞士 BUCHI);电感耦合等离子体质谱仪(德国耶拿分析仪器股份公司 ZEENIT650);CEM MARS 6240/50 微波消解仪(美国培安公司);DHG-9070A 电热恒温鼓风干燥箱(上海精宏实验

设备有限公司);Sartorius BSA224S 分析天平(赛多利斯科学仪器(北京)有限公司);SX2-4-10 电阻炉(中国上海实焰电炉厂);SYG-2 数显恒温水浴锅(常州朗越仪器有限公司)。

1.2 方法

1.2.1 样品处理

本研发瘦身降脂茶转化前处理方法:称取荷叶 750 g、决明子 1 500 g、山楂 1 500 g、三七花 1 050 g,分别粉碎成粗粉,搅拌混匀。并按比例添加水分,湿度 50%,食用菌袋规格 12 cm×24 cm,压实扎紧,每袋装 150 g,在蒸汽压为 103.4 kPa,温度 121.3 ℃下,维持 120 min,对原材料进行灭菌。

将蝙蝠蛾拟青霉菌 JY6-6 接种到 50 mL PDB 培养液中,28 ℃,200 r/min 摇床培养 5~7 d,得到菌种液。接种 5 mL 蝙蝠蛾拟青霉菌 JY6-6 菌种液到灭菌后的瘦身降脂茶药袋中,放入培养箱 28 ℃培养 50~60 d,至蝙蝠蛾拟青霉菌菌丝体长满袋子。将接种和未接种的瘦身降脂茶分别干燥后打粉备用。

1.2.2 检测项目与方法

检测项目和检测方法列于表 1 之中。

表 1 检测项目及方法

| 检测项目 | 检测方法 | 检测项目 | 检测方法 |
|------|-------------------|------|------------------|
| 蛋白质 | GB 5009.5—2016 | 氨基酸 | GB 5009.124—2016 |
| 水分 | GB 5009.3—2016 | 铅 | GB 5009.12—2017 |
| 灰分 | GB 5009.4—2016 | 镉 | GB 5009.15—2014 |
| 粗纤维 | GB/T 5009.10—2003 | 铬 | GB 5009.123—2014 |
| 粗脂肪 | GB 5009.6—2016 | 砷 | GB 5009.11—2014 |
| 矿质元素 | GB 5009.268—2016 | 汞 | GB 5009.17—2014 |

2 结果与分析

2.1 转化前后的营养成分分析

由表 2 可知,微生物转化前后供试样品均含有蛋白质、粗纤维、粗脂肪等一般营养成分,且营养成分的质量分数高低顺序均为: $w(\text{蛋白质})>w(\text{粗纤维})>w(\text{灰分})>w(\text{粗脂肪})>w(\text{水分})$ 。微生物转化后的样品中蛋白质、粗脂肪、水分以及灰分质量分数比转化前样品分别提高了 2.1%、1.61%、1.62%、1.39%,而粗纤维降低了 2.20%。由此可见,转化后营养成分得到了提高,营养品质得到改善。而粗纤维成分的降低,增加了产品的适口性,但降低了胃肠的蠕动功能。

表2 研发瘦身降脂茶样品转化前后一般营养成分比较 %

| 样品名称 | 蛋白质 | 粗纤维 | 粗脂肪 | 水分 | 灰分 |
|------|-------|-------|------|------|------|
| 转化前 | 17.20 | 12.60 | 4.85 | 4.20 | 5.93 |
| 转化后 | 19.30 | 10.40 | 6.46 | 5.82 | 7.32 |

2.2 转化前后的矿质元素分析

矿质元素是维持人体生命和正常代谢的重要物质, 在人体内不能合成, 需要从食物中获取. 从表3可以看出, 蝙蝠蛾拟青霉菌 JY6-6 转化前后的产物中均含有丰富的9种矿质元素, 且二者常量元素质量分数的高低顺序均为: $w(\text{钾}) > w(\text{钙}) > w(\text{磷}) > w(\text{镁}) > w(\text{钠})$; 各微量元素含量的高低顺序均为: $w(\text{铁}) > w(\text{锰}) > w(\text{锌}) > w(\text{铜})$. 此外, 钙在维持人体神经、肌肉、骨骼系统尤其是免疫系统功能方面具有重要作用^[21]; 钾在维持神经、细胞膜通透性以及细胞正常功能等方面具有重要作用; 磷对于人体体液渗透压和酸碱平衡起到重要作用^[22]; 人体内缺镁, 会使人产生疲乏、易激动、心跳加快. 在微量元素中, 铁、锰含量最高, 铁是血红蛋白的重要组成部分

分, 锰是多种酶的激活剂, 有助于骨骼的生长发育^[23].

比较本研发瘦身降脂茶样品转化后和转化前的矿质元素发现: 转化后的钠的质量分数比转化前降低了, 其余常量元素磷、钾、钙、镁的质量分数分别是转化前的1.14、1.09、1.21、1.14倍; 而微量元素铁、锌、铜、锰转化后的含量分别是转化前的1.36、1.34、1.31、1.36倍.

综上, 微生物转化本研发的瘦身降脂茶有利于矿质元素的增加. 在转化后的产物中, 钠的质量分数降低了, 钾的质量分数上升. 由于钠盐有升血压的作用, 而钾盐有降血压的作用, 高钾低钠产品的摄入有利于降低高血压患者的血压, 改善患者血管内皮功能, 降低动脉僵硬度, 有效预防高血压等心血管疾病^[24-25].

表3 研发瘦身降脂茶样品转化前后矿质元素比较

| 样品名称 | P/% | Zn/(mg·kg ⁻¹) | Fe/(mg·kg ⁻¹) | Mn/(mg·kg ⁻¹) | Mg/% | Ca/% | Cu/(mg·kg ⁻¹) | Na/% | K/% |
|------|-------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|-------|-------|---------------------------|-------|-------|
| 转化前 | 0.446 | 32.400 | 217.000 | 204.000 | 0.218 | 1.120 | 6.530 | 0.014 | 1.380 |
| 转化后 | 0.509 | 43.400 | 296.000 | 278.000 | 0.249 | 1.360 | 8.560 | 0.012 | 1.510 |

2.3 转化前后的氨基酸分析

氨基酸含量是评价食品及其原材料营养性状的一项重要指标. 由表4可见, 蝙蝠蛾拟青霉菌 JY6-6 转化研发样品前后的两种产物中均检测出包括人体必需氨基酸7种, 半必需氨基酸4种, 非必需氨基酸6种, 共检测出17种氨基酸. 转化前产物的氨基酸总量为12.81%, 转化后产物的氨基酸总量为18.33%, 转化后是转化前的1.43倍. 转化后样品的17种游离氨基酸比转化前全部得到提高, 因此营养价值也相应提高. 微生物转化后的异亮氨酸 (ILE)、苏氨酸 (THR)、赖氨酸 (LYS)、苯丙氨酸 (PHE)、蛋氨酸 (MET)、亮氨酸 (LEU) 和缬氨酸 (VAL) 7种必需氨基酸总量是转化前的1.53倍; 组氨酸 (HIS)、胱氨酸 (CYS)、酪氨酸 (TYR) 和精氨酸 (ARG) 4种半必需氨基酸总量是转化前的1.67倍; 谷氨酸 (GLU)、天门冬氨酸 (ASP)、甘氨酸 (GLY)、丝氨酸 (SER)、丙氨酸 (ALA) 和脯氨酸 (PRO)

6种非必需氨基酸总量是转化前的1.28倍. 转化前后的必需氨基酸分别占氨基酸总量的29.51%和31.53%, 半必需氨基酸分别占氨基酸总量的19.98%和23.30%, 非必需氨基酸分别占氨基酸总量的50.51%和45.17%. 转化前后两种产物含量较高的氨基酸均是谷氨酸、天门冬氨酸和精氨酸. 而谷氨酸和天门冬氨酸是呈味氨基酸, 是食物中的重要鲜味物质. 谷氨酸能在人体内参与脑组织代谢过程, 使脑机能活跃^[26]. 天门冬氨酸能调节脑和神经的代谢功能.

在利用蝙蝠蛾拟青霉菌 JY6-6 对研发样品进行微生物转化前后的氨基酸含量比较中发现, 转化后样品中游离氨基酸总量比转化前提高了, 17种游离氨基酸比转化前都不同程度地增加. 由此可见, 蝙蝠蛾拟青霉菌 JY6-6 转化研发样品的转化效率较高, 其营养成分更高, 且随着谷氨酸和天门冬氨酸两种呈味氨基酸的增多, 使转化后样品的鲜味得到提高.

表 4 研发瘦身降脂茶样品转化前后氨基酸含量比较 %

| 氨基酸名称 | 转化前 | 转化后 | 氨基酸名称 | 转化前 | 转化后 |
|-------|------|------|-------|-------|-------|
| 天门冬氨酸 | 1.32 | 1.76 | 异亮氨酸 | 0.47 | 0.67 |
| 苏氨酸 | 0.76 | 1.01 | 亮氨酸 | 0.89 | 1.18 |
| 丝氨酸 | 0.88 | 1.02 | 酪氨酸 | 0.34 | 0.52 |
| 谷氨酸 | 1.96 | 2.12 | 苯丙氨酸 | 0.34 | 0.46 |
| 甘氨酸 | 0.80 | 1.19 | 组氨酸 | 0.69 | 1.13 |
| 丙氨酸 | 0.89 | 1.27 | 赖氨酸 | 0.30 | 1.02 |
| 胱氨酸 | 0.58 | 0.81 | 精氨酸 | 0.95 | 1.81 |
| 缬氨酸 | 0.79 | 1.07 | 脯氨酸 | 0.62 | 0.92 |
| 蛋氨酸 | 0.23 | 0.37 | 氨基酸总量 | 12.81 | 18.33 |

2.4 转化前后的重金属分析

由表 5 可以看出,蝙蝠蛾拟青霉 JY6-6 菌转化本研发瘦身降脂茶样品后重金属含量均高于转化前重金属的含量.转化前采购的原料样品中总铬含量到达了 2.74 mg/kg,已超过《食品安全国家标准》

规定的最低限量,说明所购买的中药材存在质量安全风险.转化后样品中总铅、镉、铬、砷、汞比转化前分别提高了 0.268%、0.008%、0.620%、0.456%、0.038%.其中总铬、总砷的含量均超过了国标规定的最低限量.因此,在利用蝙蝠蛾拟青霉菌 JY6-6 转化研发样品过程中,必须对购买的原材料进行重金属的检测,挑选出安全质量好、重金属污染少的中药材,且在中药材粉碎加工和处理过程中要避免外源重金属的污染.同时,在微生物转化过程中菌种培养、接种过程,以及添加水分等操作过程中应有效避免重金属的污染,这样才能在蝙蝠蛾拟青霉菌 JY6-6 进行微生物转化样品过程中,在避免不了富集作用的情况下,把重金属的含量控制在国标规定的最低限量,使研发样品达到国家安全标准.

表 5 研发瘦身降脂茶样品转化前后重金属含量比较

| 监测项目 | 检测方法 | 实测数据/(mg·kg ⁻¹) | | 限量值/(mg·kg ⁻¹) |
|-----------|------------------|-----------------------------|-------|----------------------------|
| | | 转化前 | 转化后 | |
| 铅(以 Pb 计) | GB 5009.12—2017 | 0.596 | 0.864 | 1.0 |
| 镉(以 Cd 计) | GB 5009.15—2014 | 0.095 | 0.103 | 0.5 |
| 铬(以 Cr 计) | GB 5009.123—2014 | 2.740 | 3.360 | 0.5 |
| 砷(以 As 计) | GB 5009.11—2014 | 0.236 | 0.692 | 0.5 |
| 汞(以 Hg 计) | GB 5009.17—2014 | 0.005 | 0.043 | 0.1 |

3 结论与讨论

用蝙蝠蛾拟青霉菌 JY6-6 对本研发的瘦身降脂茶进行微生物转化,转化后的样品中蛋白质、粗脂肪、水分、灰分、矿质元素(钠除外)及 17 种氨基酸含量均比转化前有所提高,说明经过微生物转化使样品的营养品质比转化前得到了提升,同时粗纤维质量分数下降,增加了产品适口性.

在本研究中,未转化前样品中的总铬含量已经超过国标规定的最低限量,说明所购买的中药材原料存在质量安全风险.转化后的样品重金属含量均高于转化前,原因可能是蝙蝠蛾拟青霉菌 JY6-6 对重金属具有一定的富集作用.因此,在利用蝙蝠蛾拟青霉菌 JY6-6 进行微生物转化过程中,首先要确保原药材重金属含量符合规定的前提下再进行转化,方可为微生物转化提供有力的安全保障.

近年来,微生物转化技术在中药方面的研发和应用越来越多.微生物转化中药既能提高药效,还能产生新的药物成分^[27-30]和新的化合物^[1,31].因

此,探讨蝙蝠蛾拟青霉菌 JY6-6 在研发瘦身降脂茶中的应用时,不仅对目标物转化前后营养等成分进行对比分析是重要的,而且进一步研究转化能否产生新的化合物也将是十分必要的.

[参考文献]

- [1] 关松磊,吴雅馨,孙赫,等.微生物转化技术在中药开发中的应用进展[J].微生物学通报,2018,45(4):900-906.
- [2] 王珊珊,胡萍,余少文.天然产物微生物转化的研究进展[J].中国新药杂志,2016,25(1):71-75.
- [3] 阳飞,闵勇,刘晓艳,等.甾类化合物微生物转化与分解代谢机制研究进展[J].微生物学通报,2019,46(10):2743-2762.
- [4] 贺峦,高学鹏,彭杨.微生物转化技术在中药资源开发中的应用研究[J].云南化工,2019,46(10):35-36.
- [5] 黄新蕾,王晓政,吴迎春,等.一株蟾毒灵转化菌株的筛选鉴定与转化条件优化[J].微生物学通报,2019,46(9):2326-2336.
- [6] 赵晓佳,李易聪,王秀伶.大豆异黄酮微生物转化研

- 究进展 [J]. 微生物学通报, 2020, 60 (2): 211–226.
- [7] 王云鹏. 微生物转化在中药活性成分研究中的应用 [J]. 科技经济导刊, 2018, 26 (5): 64.
- [8] HEGAZY M E F, MOHAMED T A, ELSHAMY A I, et al. Microbial biotransformation as a tool for drug development based on natural products from mevalonic acid pathway: A review [J]. Journal of Advanced Research, 2015, 6 (1): 17–33.
- [9] 张萌. 埃博霉素 A、B 的微生物转化及产物抑瘤效果研究 [D]. 济南: 齐鲁工业大学, 2017.
- [10] WANG W W, XU S H, ZHAO Y Z, et al. Microbial hydroxylation and glycosylation of pentacyclic triterpenes as inhibitors on tissue factor procoagulant activity [J]. Bioorganic & Medicinal Chemistry Letters, 2017, 27 (4): 1026–1030.
- [11] MAREESWARI P, BRIJITTA J, ETTI S H, et al. Rhizopus stolonifer mediated biosynthesis of biocompatible cadmium chalcogenide quantum dots [J]. Enzyme and Microbial Technology, 2016, 95: 225–229.
- [12] LIANG C N, ZHANG Y, JIA Y, et al. Engineering a carbohydrate-processing transglycosidase into glycosyltransferase for natural product glycodiversification [J]. Scientific Reports, 2016, 6: 21051–21051.
- [13] MANOSROI J, SRIPALAKIT P, MANOSROI A. Bio-transformation of chlormadinone acetate to delmadinone acetate by free and immobilized arthrobacter simplex ATCC 6946 and bacillus sphaericus ATCC 13805 [J]. Enzyme and Microbial Technology, 2003, 33 (2): 320–325.
- [14] COLLINS D O, RUDDOCK P L D, CHIVERTON DE G J, et al. Microbial transformation of cadina-4, 10 (15)-dien-3-one, aromadendr-1 (10)-en-9-one and methyl ursolate by Mucor plumbeus ATCC 4740 [J]. Phytochemistry, 2002, 59 (5): 479–488.
- [15] 戴如琴, 沈崇尧, 李晓明, 等. 蝙蝠蛾拟青霉模式菌相关问题的探讨 [J]. 中国中药杂志, 2017, 42 (19): 3843–3846.
- [16] WU Z W, LU J W, WANG X Q, et al. Optimization for production of exopolysaccharides with antitumor activity in vitro from *Paecilomyces hepiali* [J]. Carbohydrate Polymers, 2013, 99: 226–234.
- [17] XIANG M, TANG J, ZOU X L, et al. Beta cell protecting and immunomodulatory activities of *Paecilomyces hepiali* Chen mycelium in STZ Induced T1DM mice [J]. American journal of Chinese Medicine, 2009, 37 (2): 361–372.
- [18] 杨本寿, 杨瑾屏, 姜国银, 等. 一株冬虫夏草内生真菌的鉴定 [J]. 微量元素与健康研究, 2017, 34 (3): 36–38.
- [19] 王娟. 蝙蝠蛾拟青霉液体发酵菌丝体多糖对实验性糖尿病保护作用探讨 [D]. 长春: 吉林大学, 2017.
- [20] 许文迪, 闫炳雄, 邱智东, 等. 冬虫夏草菌生物转化人参皂苷 Rb1 的研究 [J]. 科学技术与工程, 2015, 35 (31): 12–17.
- [21] 赵艳红, 黄其椿, 赵洪涛, 等. 桂麻菜 1 号和桂麻菜 2 号的营养成分分析 [J]. 南方农业学报, 2017, 48 (1): 127–131.
- [22] 陈师师, 薛静, 何中央, 等. 2 种不同品系中华鳖的营养成分分析与比较 [J]. 食品科学, 2015, 36 (18): 114–119.
- [23] 黄丽华, 李芸瑛, 李充璧. 不同产地的薏米营养成分分析 [J]. 食品研究与开发, 2016, 37 (22): 24–26.
- [24] 尹婷婷, 文功雄, 张宏玉. 低钠高钾盐对高血压的影响研究进展 [J]. 实用临床护理学杂志, 2017 (21): 189.
- [25] 田国祥, 魏万林, 尤洪帅, 等. 低钠高钾平衡盐对高血压患者内皮功能及动脉僵硬度的影响 [J]. 河北医学, 2014, 20 (6): 881–884.
- [26] 张慧颖, 杨本寿, 孙赞, 等. 滇东特色野菜面蒿的营养成分分析 [J]. 食品工业, 2014, 35 (6): 257–258.
- [27] 王志平, 赵艳敏, 隋玉辉, 等. 百两金皂苷 A 的微生物转化及其产物的细胞毒活性研究 [J]. 中草药, 2019, 50 (15): 3581–3614.
- [28] 董建伟. 七种云南产中药的化学成分分析及微生物发酵改性研究 [D]. 昆明: 云南大学, 2017.
- [29] XING Y, CAI L, YIN T P, et al. Improving the antioxidant activity and enriching salvianolic acids by the fermentation of *Salvia miltiorrhiza* with *Geomyces luteus* [J]. Journal of Zhejiang University Science B, 2016, 17 (5): 391–398.
- [30] 尤文雅, 张亚昆, 赵逍遥, 等. 中药牛蒡子主要活性成分微生物转化研究进展 [J]. 药学进展, 2020, 44 (2): 112–118.
- [31] 李艳, 周剑, 何东贤, 等. 微生物转化在现代中药研发中的应用 [J]. 中国抗生素杂志, 2020, 45 (5): 418–422.