

引用:宋成,李子俏,吴夏丽,等.中药发酵法的古今演变及现代研究进展[J].陕西中医药大学学报,2024,47(6):150-154.

## 中药发酵法的古今演变及现代研究进展\*

宋成<sup>1,2</sup> 李子俏<sup>1,2</sup> 吴夏丽<sup>2,3</sup> 郭雨欣<sup>1,2</sup> 史辑<sup>1\*\*</sup>

(1.辽宁中医药大学,辽宁 大连 116600;2.紫苏子生物科技有限公司,贵州 安顺 561000;

3.广东医科大学,广东 东莞 523000)

**摘要:**中药发酵法是重要的炮制方法之一。现对发酵法古今研究概况进行梳理,并从发酵工艺、发酵作用等方面比较传统发酵法与现代生物发酵技术的差异,以期寻找现代发酵技术存在的不足之处,为中药发酵炮制的发展提供一定的思路。

**关键词:**中药炮制;发酵法;发酵技术;古今演变;研究现状;综述

**中图分类号:**R283.3

**文献标识码:**A

**文章编号:**2096-1340(2024)06-0150-05

**DOI:**10.13424/j.cnki.jsctcm.2024.06.026

发酵,该词最早源自于拉丁语“发泡”。发酵是指在特定的温度和湿度等条件下,将处理过的中药材或中药饮片拌加其他提取物或辅料,利用微生物、细胞等有机体以及其相关酶系的分解代谢作用,进行生物转化,对有机物进行分解或合成,使药物发泡、生衣的方法<sup>[1]</sup>。发酵最早可追溯到两千多年前,当时华夏民族在生产生活当中就已有应用,比如古人为了制备酒、酱、醋等食品,将大豆、大米等食物进行发酵。在早期,酒不仅可以作为食物,还作为麻醉剂、消毒剂用于治疗疾病。随着发酵法的不断发展,人们又将部分中药添加在酒曲上进行发酵,制备为疗效更好的曲剂<sup>[2-3]</sup>。一千多年前,人们开始尝试使用发酵方法,将净制后的药材放置在一定的环境下进行发酵,从而得到发酵药物<sup>[4]</sup>。发酵中药也得到医家的使用,张仲景在《伤寒论》中所记载的“栀子豉汤方”等多个方剂中都含有豆豉<sup>[5]</sup>。随后,经过历朝历代医家的发展,迄今为止,经中药发酵而制成的发酵中药就有多种,例如百药煎、片仔癀、半夏曲、采云曲、淡豆豉、神曲和建神曲等<sup>[2]</sup>。然而,由于古代人们受到技术水平和环境条件等因素的制约,对传统中药发酵技术的运用受到了极大地限制。随着生物学、现代微生物学以及酶工程等新兴学科的发展,为中药发酵技术提供了新的研究思路<sup>[6]</sup>。

本文对发酵法古今研究概况进行梳理,并从发酵工艺、发酵作用等方面比较传统发酵法与生物发酵技术的差异,探索中药发酵炮制发展的趋势,以期对中药发酵炮制的发展提供一定的借鉴。

### 1 发酵法的历史沿革

我国人民运用发酵法最早始于四千多年前利用天然发酵生产臭豆腐、醋、豆豉、酱和酒等食品。人们最早用发酵技术酿酒,后来在制作酒曲的基础上加入药物,制成药曲。东汉时期,张仲景在《金匮要略》薯蓣丸方中记载了“曲”,对发酵中药神曲进行了描述。《伤寒论》中记载有“栀子豉汤方”等含有豆豉的方剂,豆豉的出现标志着发酵技术初步应用于方剂。北魏时期《齐民要术》对酿醋、酿酒、制曲等工艺进行了详细的描述。此外,发酵技术的发展催生了“酒”的出现。因此,唐代《黄帝内经》中也开始有关于药酒的记载。宋代《太平惠民和剂局方》中首次出现了半夏曲,以达到消除或缓和半夏的毒性的作用,说明自宋代开始,人们已经认识并利用发酵法来降低中药毒副作用。明代《本草纲目》的半夏曲采用的发酵工艺为生姜矾汤半夏曲:“半夏研末,以姜汁、白矾汤和作饼,楮叶包置篮中,待生黄衣,晒干用,谓之半夏曲”,与今天的半夏曲制法非常相似。同时期,《韩氏医通》韩懋记录了半夏曲的

\* 基金项目:2020年辽宁省大学生创新创业项目(X202010162001)

\*\* 通讯作者:史辑,副教授。E-mail:lnshiji@163.com

功效。明代《本草蒙筌》对百药煎采用的发酵工艺进行了详细介绍:“取新鲜五倍子十斤,舂捣烂细,磁缸盛,稻草盖和,七昼夜,取出复捣……”,后经人们证实,采用该方法所制备的“百药煎”中,主要活性成分是没食子酸,没食子酸是人类历史上最早发现并提取到的有机酸,200 多年后,瑞典药学家舍勒氏才提出的没食子酸制备方法<sup>[7]</sup>。可见,在明代发酵技术得到了较大的发展。在清代时期,制曲工艺得到了一定发展,首次出现皂角曲、麻油曲、开郁曲等数 10 种药曲。清代《本草纲目拾遗》(1765 年)中有提到建曲,“向造百草神曲,即今建曲”。

2 中药发酵技术的研究进展

2.1 传统中药发酵技术 传统发酵方法大部分是在有氧的条件下进行的,大多数采用自然发酵,又称为固体发酵。即药材在特定的环境条件下,通过微生物和酶的生物转化,使药物产生霉衣,或使其发酵<sup>[8-9]</sup>。传统发酵方法又可以分为两大类,一种是

直接发酵法,直接发酵药物有淡豆豉、红曲等;一种是混合发酵法,将药材和辅料混合后进行发酵,混合发酵药物有半夏曲、神曲等<sup>[2]</sup>。两种传统发酵方法均为固态发酵,对中药材进行发酵的菌种往往来自自然界中的微生物,因此人们对温度、湿度等与发酵相关的条件很难进行控制,尤其对微生物的种类、数量无法把握,药物的质量也受到操作人员、发酵时间、发酵过程与发酵地点的影响,导致对药物质量的判断具有主观性,无相应的评价标准,不利于对药物进行质量和稳定性的控制<sup>[10-11]</sup>。

目前临床常使用发酵药物有 20 余种,其中大部分为曲剂,有半夏曲、建神曲、六神曲(炒)、百药煎和淡豆豉等,大部分发酵中药没有统一的处方组成和发酵工艺,各地颁布的工艺和炮制方法差别较大<sup>[12]</sup>,下表列出了最佳处方组成、最佳发酵工艺(见表 1),但此 5 种中药并未被《中国药典》(2020 年版)收录或已收录却未给出工艺参数。

表 1 常见发酵药物工艺的处方组成及发酵工艺

药物	处方组成	发酵工艺
六神曲(神曲)	辣蓼、麦麸、面粉、赤小豆、苦杏仁、青蒿、苍耳草 <sup>[13]</sup>	混合粉碎苦杏仁、赤小豆,加入辅料面粉和麦麸。另取青蒿、辣蓼、苍耳加水煎煮后,过滤,将滤液进行浓缩,制成清膏趁热加入上述药粉,混匀后进行发酵 <sup>[13-14]</sup> 。
半夏曲	法半夏、清半夏、生姜汁、白矾、六神曲原料、面粉 <sup>[15]</sup> (最佳处方)	取法赤小豆、苦杏仁、半夏混合粉碎,与面粉混合,加入鲜苍耳草、鲜辣蓼、鲜青蒿的煎出液,搅拌均匀后发酵 <sup>[16]</sup> 。
淡豆豉	黑大豆、桑葚、青蒿	取黑大豆作为原料。取青蒿、桑叶,用水浸泡后煎煮 3 次,合并煎煮液,加入黑大豆中,高温灭菌。接菌后进行发酵 <sup>[17]</sup> 。
百药煎	五倍子、茶叶、酵母	取五倍子,净制后研粉,再加入茶叶水、酒曲末。切成小块,在一定条件下,放温暖处发酵,使表面覆盖白霜后,取出晒干 <sup>[18]</sup> 。
建神曲(百草曲、范志曲、泉州神曲)	广藿香、陈皮、山楂、麦芽、苍术、木香、青蒿、青茶、厚朴、甘草、苏叶、神曲	取苍术、苏叶、甘草、广藿香、木香、青茶、青蒿、厚朴,神曲、山楂、陈皮、麦芽研成粉末,加入米汤混匀,放入模具凝结成块后,进行发酵 <sup>[19]</sup> 。

2.2 现代中药发酵技术 现代中药发酵技术借鉴制药工程技术、生物工程技术等现代技术对传统发酵法进行了拓展,将益生菌运用于传统中药发酵中,实现微生物对中药的生物转化。现代中药发酵对单味药进行研究的同时,也加大了对复方的研究力度,2022 年 7 月 1 日通过读秀(<https://book.duxiu.com>)以“发酵 and 复方”为专利名称检索出专利 69 篇。目前主要根据中药的发酵形式和发酵技术的不同,将发酵法分为固体发酵、液体发酵以及药用真菌双向发酵三类。其中,固体发酵源自于传统的制曲技术。液体发酵源自于抗生素的生产,又称为深层发酵。药用真菌双向固体发酵<sup>[20]</sup>利用中药作为营养物质提供给真菌,同时,与细胞因子和真菌生长代谢

产物相互作用,进而影响中药自身的结构和成分,产生新的功效。

2.2.1 液体发酵技术 液体发酵方法是采用富含营养的液体培养基来培养菌种,通过控制温度、时间、起始 pH 等条件,培养得到既定目标的发酵产物。液体发酵技术不仅可以实现大规模生产、条件容易控制的优点,而且能够有效提高生产效率和产量,因此适合将其进行工业化、自动化的生产<sup>[21-22]</sup>。黄承斌等<sup>[23]</sup>对灵芝运用液体深层发酵,对发酵工艺进行了优化后,明显提高了灵芝液体培养的菌液浓度,发酵时间所需减少,有利于未来对其进行大规模生产。唐思煜等<sup>[24]</sup>对桑黄进行液体发酵,对培养液配方进行了改良,得到了较高产量的菌丝体,该工艺

适用于桑黄的大规模生产。

**2.2.2 固体发酵技术** 传统发酵技术采用的就是固体发酵,因此固态发酵运用历史悠久,技术成熟,是将药物废料或中药材作为基质,采用单一菌种或复合菌种进行发酵,得到目的发酵产物。相较于液态发酵技术,其采用天然菌种进行发酵,具有成本低、污染小、发酵条件要求低等优点<sup>[25]</sup>,但也具有反应条件不易控制、发酵速度慢、自动化程度低、难以大规模生产等局限性<sup>[26]</sup>。研究表明,运用固体发酵技术对中药进行发酵后,药物质量差异较大,易残留有毒的代谢物和致病菌,严重影响发酵药物疗效<sup>[27-28]</sup>。因此,未来应当对固体发酵技术进行改进,解决技术难题,严格控制生产质量,从而扩大生产规模。

**2.2.3 双向固体发酵技术** 双向固体发酵技术优势明显,对中药具有减毒增效的作用。双向性固体发酵技术是将中药材作为药性基质,与微生物组成发酵体系。药性基质与微生物相互作用,基质提供营养影响着微生物的生长与代谢。同时,微生物代谢作用可以改变基质的成分,使之产生新的性味与功效,因此将这种相互作用称为双向性<sup>[29]</sup>。朱舟等<sup>[30]</sup>采用该技术,将白僵菌与天南星组合发酵,获得的产物活性升高,同时毒性下降。周黎等<sup>[31]</sup>将槐耳与大黄组合发酵,双向发酵后的大黄,结合型蒽醌减少,大黄酚含量增加。

### 3 发酵法的目的

微生物在中药发酵过程中起着至关重要的作用,基于微生物具备代谢能力,同时还含有大量的活性酶,作用于中药活性成分<sup>[32]</sup>,一系列酶促反应能够使中药中部分活性成分含量和种类发生改变,从而达到通过发酵改变药性、减毒增效以及产生新的活性成分的目的。发酵过程能够使植物细胞的致密细胞被降解,增加有效成分的提取率<sup>[33]</sup>,从而达到节约药材的目的。

**3.1 有效提高中药活性成分的含量** 发酵法主要通过提高活性成分浓度和使活性成分相互作用两种方式来提高药物疗效。植物类中药的活性成分大部分存储于细胞内,传统水煎法提取率较低<sup>[34-36]</sup>。微生物在发酵过程中,其自身酶系可以对细胞壁进行有效的分解,使植物细胞破裂,有效物质较易溶出,

并且可以有效降解分子量较大的活性物质,提高了活性成分的浓度<sup>[37]</sup>。例如,王立娜等<sup>[38]</sup>研究发现,土鳖虫经过发酵炮制后,活性成分水溶性蛋白含量增加。徐翠等<sup>[39]</sup>利用五加内生菌发酵,刺五加中活性成分异嗪皮啶的含量显著升高。杨金梅等<sup>[40]</sup>嗜酸乳杆菌为发酵菌种对粉葛进行发酵,发酵后粉葛中葛根素、大豆苷、总异黄酮等活性成分含量与发酵前相比均显著增加。

发酵法不仅可以提高药物的生物利用度<sup>[41]</sup>,同时,发酵过程中产生的代谢产物可与药物的活性成分相互作用,往往具有增强药效的作用<sup>[42]</sup>。陈俊荣等<sup>[43]</sup>研究表明,黄芪发酵粉对不同剂量的环磷酰胺具有减毒增效的作用。

**3.2 产生新的活性成分** 在部分中药发酵的过程中,中药中的化学成分可以通过微生物代谢被进一步转化或修饰,得到新的活性成分,为新药开发提供了新的途径。微生物产酶丰富,具备超强的合成转化功能且能生成大量的初级、次级代谢产物,并且大部分产物具备很好的药理作用。发酵菌可以与中药中某些成分相互作用,影响自身生长代谢途径,产生新的药物成分,进而发挥新的药理活性<sup>[44]</sup>。现代研究发现,发酵对中药所含苷类化合物的影响更为突出<sup>[45]</sup>。赵佳琪等<sup>[46]</sup>采用 HPLC 对原料和不同发酵阶段样品中 9 个大豆异黄酮类成分进行定量测定,发现发酵产物苷元含量整体呈上升趋势,最高苷元含量是马料豆的 92 倍。陆承云等<sup>[47]</sup>人用曲霉属真菌 GL625 对金银花进行固体发酵后,出现了两种未知物质 a、b,研究表明 a、b 成分的含量增加提高了 GL625 的抑菌活性。

**3.3 降低中药毒性成分含量** 中药发酵技术利用了微生物的生物转化作用,尤其对中药毒性成分进行有效转化,进而降低某些中药的毒性和偏性,有利于保证中药的使用安全<sup>[48]</sup>。《神农本草经》记载“多毒,不可久服”,将多毒且不宜久服类的中药列为下品;明代李时珍《本草纲目》共记载 47 种毒性药,作为毒草专列;《中国药典》2020 年版收载毒性中药 82 个,其中大毒品种为马钱子、川乌等 10 个,有毒品种为三颗针、干漆等 41 个,小毒品种为丁公藤、九里香等 31 个,近三版《中国药典》毒性药物收载种类及数量均无变化。



发酵炮制主要有对有毒中药中的毒性成分进行结构修饰,达到成分转化的目的,从而降低其偏性,进而扩大毒性中药的用药范围<sup>[6]</sup>。例如有毒中药川乌、雷公藤等,具有多种药理活性,但因毒性较强,应用受到限制。江南等<sup>[49]</sup>用药用真菌双向固体发酵技术对川乌进行发酵,结果表明发酵川乌比普通川乌的毒性更低。何栾樱等<sup>[50]</sup>以灵芝为药用真菌发酵雷公藤,结果表明发酵后的灵雷菌质具有长效减毒的药理作用。同时,发现灵雷菌质的持效减毒作用与雷公藤发酵前后主要成分的含量变化有关,说明灵芝双向固体发酵能够通过影响成分的含量变化,进而影响雷公藤的毒性与活性,从而促进了雷公藤的减毒作用。潘扬等<sup>[10]</sup>将中药巴豆进行传统炮制和固体发酵,比较两种方法对巴豆毒性的影响,研究表明两者均使巴豆毒性下降,但固体发酵法更优。

#### 4 讨论

我国运用发酵法的历史悠久,然而最新版《中国药典》(2020 年版)中仅有 2 种中药胆南星、淡豆豉使用发酵法。中药发酵法与其他炮制方法相比,具有其特殊性,例如能够有效扩大中药用药范围。因此,发展中药发酵法具有重要意义。中药发酵法其特殊性还体现在微生物在炮制环节占有重要地位,因此现代发酵技术对菌种质量标准、发酵工艺和发酵制剂的质量控制要求更加严格。目前,对炮制方法的研究仍然集中在对传统发酵技术的改进上,从发酵方式、发酵菌种、发酵条件等多个方面对发酵技术进行优化,寻找最佳发酵工艺参数。未来,随着对发酵法技术改进的工作逐步深入,定会使传统发酵炮制向现代发酵炮制进行转变,逐步体现出发酵炮制方法独有的优势。

#### 参考文献

[1] 葛喜珍. 发酵在中药研究中的应用[J]. 时珍国医国药, 2008, 19(2): 386-387.  
[2] 李羿, 万德光. 中药发酵炮制的本草考证及作用机理探讨[J]. 成都中医药大学学报, 2010, 33(1): 69-71.  
[3] 李羿, 万德光. 试论传统中药的发酵炮制[J]. 成都医学院学报, 2006, 1(2): 99-101.  
[4] 刘亮镜, 潘扬. 中药的发酵炮制初探[J]. 现代中药研究与实践, 2009, 23(1): 72-76.  
[5] 庞安时. 伤寒总病论: 附札记[M]. 上海: 商务印书馆, 1956: 139.  
[6] 王鹏飞. 黄芪发酵工艺及发酵制品质量评价研究[D]. 太原: 山西中医药大学, 2020.

[7] 王延年, 董雪, 乔延江, 等. 中药发酵研究进展[J]. 世界科学技术(中医药现代化), 2010, 12(3): 437-441.  
[8] 叶定江, 原思通. 中药炮制学辞典[Z]. 上海: 上海科学技术出版社, 2005.  
[9] 蔡宝昌, 冀千锋. 中药炮制学专论[M]. 北京: 人民卫生出版社, 2009.  
[10] 潘扬, 吴晓峰, 涂霞, 等. 中药巴豆经炮制与发酵后毒性效应的比较[J]. 食品与生物技术学报, 2011, 30(5): 788-792.  
[11] 刘春美, 吴晓峰, 潘扬, 等. 巴豆发酵品与生巴豆、巴豆霜中毒性成分的含量比较[J]. 中国药房, 2011, 22(43): 4071-4074.  
[12] 王孝涛. 历代中药炮制法汇典-现代部分[M]. 南昌: 江西科学技术出版社, 1998: 65.  
[13] 中华人民共和国卫生部. 药品标准中药成方制剂第十九册 WS3-B-3524-98[S]. 1998: 80.  
[14] DB52/YC001~420-2003, 贵州省中药材民族药材质量标准 2003 年版[S]. 贵州: 贵州科技出版社, 2003: 104.  
[15] 王世宇, 任振丽, 傅超美, 等. 半夏曲发酵处方的筛选[J]. 华西药学杂志, 2009, 24(4): 367-369.  
[16] 卫生部药典委员会. 中华人民共和国卫生部药品标准中药成方制剂(第十册)[S]. 北京: 中华人民共和国卫生部药典委员会, 1995: 49.  
[17] 杨翠萍, 徐彬人, 黄林艳, 等. 纯种发酵淡豆豉制备工艺的优化研究[J]. 贵阳中医学院学报, 2019, 41(3): 54-57.  
[18] 叶定江, 张世臣. 中药炮制学[M]. 北京: 人民卫生出版社, 1999: 743-744.  
[19] 刘振启, 刘杰. 建神曲的制法与鉴别[J]. 首都食品与医药, 2015, 22(19): 57.  
[20] 庄毅. 药用菌新型固体发酵与中药生物工程[J]. 南京中医学院学报, 1994, 10(4): 1-2.  
[21] 刘亚明. 发酵技术在中医药中的应用[M]. 北京: 中国中医药出版社, 2010: 45-48.  
[22] 梁红娟, 李新燕, 李津, 等. 液体发酵技术在中药研究方面的应用[J]. 山西中医学院学报, 2012, 13(4): 75-78.  
[23] 高承斌, 韩静, 李晓宇, 等. 灵芝多糖液体发酵培养多尺度工艺优化[J]. 生物化工, 2018, 4(2): 86-93.  
[24] 唐思煜, 赵优萍, 吴迪, 等. 桑黄液体深层发酵培养基优化研究[J]. 浙江科技学院学报, 2018, 30(3): 193-198.  
[25] 尹晓楠. 细说“固态发酵技术”[J]. 国外畜牧学(猪与禽), 2018, 38(9): 78-80.  
[26] 迟晓丽, 许超, 张潇, 等. 固态发酵在中药炮制中的研究进展[J]. 生物产业技术, 2018(3): 31-35.  
[27] 秦晓瑜, 李冠华. 固态发酵炮制中药材研究进展[J]. 中药材, 2016, 39(3): 691-695.  
[28] 刘双, 杨静, 江振作, 等. 中药“神曲”发酵工艺及质量标准研究进展[J]. 天津中医药, 2015, 32(5): 318-320.  
[29] 庄毅, 谢小梅. 药用真菌新型(双向性)固体发酵工程对雷公藤解毒持效的初步研究[J]. 中国中药杂志, 2009, 34(16): 2083-

- 2087.
- [30] 朱舟,伍朝君,陈玲.天南星双向发酵炮制工艺研究[J].中国药业,2017,26(10):7-10.
- [31] 周黎,戚岑聪,高鹏飞,等.槐耳大黄双向发酵体系研究[J].世界科学技术-中医药现代化,2014,16(11):2500-2505.
- [32] 董建伟,蔡乐,李雪娇,等.中药材的微生物发酵改性研究进展[J].云南大学学报(自然科学版),2018,40(6):1207-1212.
- [33] 王耀新,陈丽娜,韩国庆,等.中药发酵技术研究概况[J].中医药信息,2018,35(6):120-124.
- [34] 陆欣媛,刘松梅,郑春英,等.中药发酵研究概况[J].黑龙江医药,2006,19(6):469-470.
- [35] 卢君蓉,王世宇,盛菲亚,等.中药发酵研究概况[J].中药与临床,2012,3(4):47-49.
- [36] 贾冰.浅谈中药发酵技术[J].畜牧兽医科技信息,2013(5):26-27.
- [37] 薛协超,史洪涛,乔宏兴,等.发酵中药炮制研究进展[J].现代牧业,2017,1(2):26-29.
- [38] 王立娜,马明珠,王颖,等.中药土鳖虫发酵前后活性成分的含量对比[J].湖南中医杂志,2016,32(8):200-202.
- [39] 徐翠.内生真菌 AJ14 发酵刺五加对其活性成分的影响[D].哈尔滨:黑龙江大学,2013.
- [40] 杨金梅,李冠文,王辉敏,等.微生物发酵技术对粉葛化学成分的影响[J/OL].食品工业科技:1-14[2022-07-12].
- [41] 董凡,李浩然,王少平,等.中药发酵的现代研究进展与展望[J].中华中医药杂志,2021,36(2):628-633.
- [42] 李华伟,黎智华,祝倩,等.饲料添加中药渣和发酵中药渣对母猪繁殖性能与子代发育的影响[J].动物营养学报,2017,29(1):257-263.
- [43] 陈俊荣,张永健,王梅.黄芩发酵粉对环磷酰胺的增效和减毒作用研究[J].中国药房,2008,19(12):897-899.
- [44] FARZANEH M, SHI ZQ, GHASSEMPOUR A, et al. Aflatoxin B1 degradation by *Bacillus subtilis* UTBSP1 isolated from pistachio nuts of Iran[J]. Food Control, 2012, 23(1):100-106.
- [45] 王延年,乔延江.发酵炮制影响中药化学成分机理的探讨[C]//中华中医药学会中药炮制分会2009年学术研讨会,2009:34-37.
- [46] 赵佳琪,王满元,陈红,等.淡豆豉发酵制备过程异黄酮变化规律研究[J].中国现代中药,2021,23(10):1788-1795.
- [47] 陆承云,张传博.1株曲霉属真菌(*Aspergillus* sp.)固体发酵对金银花及叶的活性成分影响[J].微生物学杂志,2018,38(4):48-55.
- [48] 杨光明,涂霞,潘扬.发酵对中药减毒增效的研究进展[J].食品与生物技术学报,2013,32(8):785-792.
- [49] 江南,魏巍,许晓燕,等.中药川乌的固体发酵炮制新技术的建立[J].四川大学学报(自然科学版),2013,50(5):1104-1108.
- [50] 何栗樱,林子淳,卢建东,等.基于灵芝双向固体发酵雷公藤减毒持效的研究[J].北京化工大学学报(自然科学版),2021,48(4):48-56.

(修回日期:2022-07-28 编辑:崔春利)