

· 专论 ·

2014—2015 年我国中药及天然药物资源 研究进展与学科建设[△]

段金廛*, 宿树兰, 郭盛, 严辉, 唐于平, 吴启南

(南京中医药大学 江苏省中药资源产业化过程协同创新中心 中药资源产业化与方剂创新药物国家地方联合工程研究中心 国家中医药管理局中药资源循环利用重点实验室, 江苏 南京 210023)

[摘要] 本文对 2014—2015 年我国中药及天然药物资源研究进展进行归纳分析, 涉及中药及天然药物资源研究思路与方法、中药资源调查研究、药材生产现状与 GAP 基地建设、中药资源化学与资源循环利用研究、中药资源保护与生态修复、中药资源产业发展, 以及中药资源学科建设及创新发展等方面。基本反映了本领域广大科技工作者、企业家和管理者的学术成就与标志性贡献, 以期对中药与天然药物资源领域的科学研究、学科建设、人才培养及中药大健康产业发展起到引导和推动作用。

[关键词] 中药资源; 中药及天然药物资源; 中药资源调查研究; 中药资源产业; 中药资源循环利用; 中药资源学科建设

Research Progress and Discipline Construction of Chinese Medicinal Material and Natural Medicinal Resources from 2014 to 2015

DUAN Jin'ao*, SU Shulan, GUO Sheng, YAN Hui, TANG Yuping, WU Qinan

(1. Jiangsu Collaborative Innovation Center of Chinese Medicinal Resources Industrialization, and National and Local Collaborative Engineering Center of Chinese Medicinal Resources Industrialization and Formulae Innovative Medicine, and Key Laboratory of Chinese Medicinal Resources Recycling Utilization, State Administration of Traditional Chinese Medicine, Nanjing University of Chinese Medicine, Nanjing 210023, China)

[Abstract] This paper summarized the progress of Chinese medicinal material and natural medicinal resources research of 2014-2015 years in China, which mainly included the research ideas and methods, resources survey and research, production status and GAP base construction, research progress of resources chemistry, resource conservation and recycling utilization, development of the discipline, etc. Through reflecting the academic achievement and the contribution of science and technology in the field of scientific and technical workers, the paper would guide and push the scientific research, discipline construction, talent cultivation and industrial development for the Chinese medicinal material and natural medicinal resources.

[Keywords] Chinese medicinal material resources; natural medicinal resources; resources survey and research; industrial of CMM; development of resource recycling economy; discipline construction

doi:10.13313/j.issn.1673-4890.2016.10.002

中药资源是国家战略性资源, 为中华民族的健康繁衍、生生不息提供了重要的物质保障。然而, 随着人口剧增和人们崇尚自然、回归自然理念的日益提升, 国内外市场对中药资源性产品的需求量激

增, 开发利用资源与节约资源、保护资源之间的矛盾日益突出。为了实现中药资源的有效利用与可持续发展, 必然要求人们对赖以生存的资源性物质的生产与利用等科学问题开展深入系统研究, 以寻求

[△] **[基金项目]** 江苏高校中药资源产业化过程协同创新中心建设专项(2013); 江苏省“333 高层次人才工程”第一层次培养对象资助项目(2013)

* **[通信作者]** 段金廛, 教授, 博士生导师, 中国自然资源学会中药及天然药物资源研究专业委员会主任委员; 国家“973 计划”项目首席科学家, 研究方向: 中药资源化学与资源循环利用; E-mail: dja@njucm.edu.cn

可持续发展的策略与方法。

本文对 2014—2015 年我国中药及天然药物资源研究进展进行归纳分析,涉及中药及天然药物资源研究思路与方法、中药资源调查研究、中药材生产现状与 GAP 基地建设、中药资源化学与资源循环利用研究、中药资源保护与生态修复、中药资源产业发展以及中药资源学科建设及创新发展等方面,基本反映了本领域广大科技工作者、企业家和管理者的学术成就与标志性贡献,以期对中药与天然药物资源领域的科学研究、学科建设、人才培养及中药大健康产业发展起到引导和推动作用。

1 中药及天然药物资源研究思路、方法与策略

近年来,随着各级政府对中医药事业的高度重视,中药资源领域的科学研究和产业化水平也得到了快速发展,涌现出了一批新思路、新方法,并得到逐步的推广应用。利用合成生物学策略改造天然生产宿主,或者异源宿主,大规模生产药用活性成分,为中药资源可持续利用及中药发展提供了一个崭新的有效策略和发展机遇;以现代分子和细胞生物学为基础,分子生药学学科和研究体系不断创新、DNA 条形码生物鉴定技术不断完善等,均在药用生物资源种质和药材鉴定方面得到了有效转化和应用;中药材“从生产到消费”的全程质量追踪与监管体系建立,必将有效促进药材的规范化生产与品质保证,以及标准化体系的建立和提升;不断推进中药资源化学学科建设,积极倡导中药资源产业化过程的循环利用和价值链延伸策略,以社会需求为导向探索中药资源循环经济产业发展的路径和适宜模式;在“一带一路”发展战略的指引下,大力推进中药和民族药资源产业的交融发展;在“精准扶贫”使命的感召下,广大专家学者和企业家进行着不懈努力和实践,致力于产—学—研结合,服务于中药农业、中药工业、中药服务业等中药大健康产业不同环节和产业化阶段,为改善和提振区域经济发展作出了突出的贡献。

张伯礼等^[1]分析了中医药现代化战略实施 20 年来在科研平台、科研成果、产业规模、临床研究、国际化和人才培养等方面取得的令人瞩目的成绩。中医药现代化成果的取得,大大提高了中医药服务能力和水平,拓宽了服务范围,成为大健康产业的重要基础,在服务医改、惠及民生、促进产业结构调整、培育战略性新兴产业等方面发挥了不可替代

的作用,有力推动了中医药事业的发展。同时展望了今后 20 年中医药研究的方向和重点任务,应着重围绕养生保健治未病研究、重大疾病防治及临床疗效的评价、中医药理论科学内涵的诠释、中药资源可持续利用研究、中药新药研发和大品种培育、中药制药技术升级以及中医药标准和国际化几个方面开展。

王国强、黄璐琦等^[2]通过对吉尔吉斯斯坦具有独特分布的药用植物使用情况、境内植物药的研究与开发、应用情况进行调查,指出吉尔吉斯斯坦部分药用植物资源广泛,如甘草、麻黄、乌头等,可通过开展植物药贸易引进该国资源丰富的药用植物以解决不断扩大的中药材需求。同时,我国在中医药理论现代研究和植物药研究、开发与应用等方面优势明显,可通过开展广泛合作研究开发新的植物药,深入发掘植物药的宝库,推动传统药物、民族药物以及民间药物的现代化。

黄璐琦等^[3]对中药分子鉴定使用原则、研究领域中的热点问题以及技术创新发展进行了深入探讨,提出中药分子鉴别技术应建立在科学、客观的基础上,遵循一定系统学研究背景,采取个案分析原则建立分层次的鉴定体系。在此基础上研发满足实际需要的分子鉴定技术,以达到快速、现场、高通量、低成本的中药鉴定目的,将实验室成果进一步转化,服务于中药产业。随着合成生物学技术在紫杉醇、青蒿素和丹参酮等研究及生产中的成功应用,合成生物学用于中药资源可持续利用研究逐渐受到广泛关注^[4]。同时,提出了基于 DNA 分子标记和代谢标识物相结合的双分子标记法(bimolecular marking methods, BIMM),能满足现阶段在分子水平研究中药的种类和质量差异^[5]。

刘昌孝^[6]探讨了近年来在中药现代化及中药国际化发展之路上遇到的问题,指出中药现代化及中药国际化的发展,除需要继承和发扬中医药学传统理论外,还需要运用现代科学理论和先进技术,加强多方合作,加强对大数据的重视与利用。在中医药产业结构和产品的结构调整中,只有建立国际认可的药物标准规范体系,创制具有自主知识产权的中药并以治疗药物身份进入国际医药市场,才能振兴我国民族医药工业。

刘昌孝、陈士林等^[7]在研究现有质量评价与控制方法及存在问题的基础上,提出中药质量标志物的新概念。从影响中药质量的因素和次生代谢物的

因素、中药产品的质量和质量标准与监管存在的问题、中药质量的物质基础的确定、中药质量标志物的定义、研究方法及其在质量评价中的应用等方面进行深入探讨,指出中药质量综合标志物(Q-Holistic marker)是将与中药内在质量关联的多种指标综合并量化加权形成的质量评价指标,如道地品质指数、效应成分指数、效应当量等。由于中药的多成分、多功效的质量特点,单一某种类型的指标有时很难从整体上评价中药质量,中药质量综合标志物具有整体性、系统性和可量化的优势,在中药质量综合评价方面具有优势。

肖小河等^[8]认为中药品质评价与控制是制约中药现代化发展的重要瓶颈问题。现有中药质量控制标准多为单一、定性的指标,缺少定量化和系统化评判,并且与临床安全性和有效性、用量和用法等关联不密切。为此,提出并构建了中药品质综合量化评控方法体系——标准评控力金字塔,为提升中药品质及临床疗效提供前瞻性的管控策略与技术。生物评价因具有药效相关、整体可控等技术优势,符合中医药特点的质量标准控制模式及方法,已成为中药质量标准化的重要发展方向之一^[9]。

果德安等^[10]基于中药标准“以我为主,引领国际”的研究目标,提出科学与实用为基本原则、“深入研究,浅出标准”为指导思想、符合中医理论的中药整体质量控制标准体系构建理念。中药标准体系构建主要包括基础研究与标准建立两部分工作,其中深入的基础研究是需要溯本求源,需要全面的药效物质基础及作用机制的深入探讨;同时也对如何浅出科学实用的质量标准,提出了关于对照物质、对照图谱以及新的定量分析方法的应用等。

钱忠直等^[11]论证了中草药 DNA 条形码生物鉴定体系的可靠性,从基因层面解决了中草药与其常见混伪品的品种识别问题,研究物种具有代表性,样品材料丰富,既有原植物也有药材,样本量大,分析结论稳定并具有可重复性,为中药鉴定与标准研究提供科学参考。

中药材产地加工是中药材生产过程的重要组成部分,赵润怀等^[12]在对我国目前中药材产地加工现状深入调查研究的基础上,结合相关领域现代干燥技术进行分析和评价,提出中药材产地加工科学的评价方法和适宜技术体系,为推进我国中药材产地加工过程的规范化和标准化作出应有的贡献。通过介绍追溯、可追溯性和追溯体系的概念和产生背景,

了解国内外食品、农产品质量安全追溯体系的建设进展状况,掌握国内外农产品、食品在法规、监管制度建设以及追溯系统设计规范、追溯系统应用效果等方面的成效,为探索建设中药材“从生产者到消费者”质量安全追溯体系提供思路和借鉴^[13]。

齐耀东、张本刚等^[14]建立中药材质量可追溯体系,通过信息记录、查询以及问题产品的溯源,实现中药材“从生产到消费”的全程质量追踪与监管,并分析了中药材质量可追溯体系与 GAP、GMP、GSP 的关系,对于推动我国中药现代化与国际化进程具有重要的作用。

魏建和、屠鹏飞等^[15]探讨了中药农业的范畴,分析了中药农业的现状、面临的问题及其产生原因,并提出中药农业发展的若干趋势,充分引进、吸收、借鉴现代农业、生物领域的新技术、新方法,通过消化、再创新,实现快速发展。

冉懋雄等^[16]结合中药资源、道地药材、中药区划、中药材 GAP 基地建设与区域经济的发展,以道地药材与中药区划、贵州中药材产业与区域经济发展为重点,对发展区域经济与中药材生产基地建设及其产业化的相关性、重要性等问题加以讨论,以供发展区域资源经济与中药材产业化领域参考。

段金廛等^[17-18]在分析我国中药资源经济产业发展模式及生产方式的基础上,基于循环经济理论探索性提出了中药资源循环利用策略与产业发展模式等,以期为推进中药资源经济产业发展模式和生产方式的变革,从根本上转变中药农业和中药工业的经济增长方式,为实现生态系统和经济系统相互促进、相互协调以及健康理性的循环经济发展作出应有的贡献。并针对中药材生产过程产生的非药用部位及资源深加工产业化过程产生的固液废弃物和副产物等造成的资源浪费和环境污染问题,提出开展中药资源循环利用和产业化的系统思路和方法,从 5 个方面开展研究:围绕立足于资源稀缺性原则,寻找发现或人工生产可替代性资源,保护珍稀濒危物种及自然资源;围绕立足于资源多宜性原则,通过系统性和精细化开发利用,实现资源价值增值和价值补偿,提升资源利用效率;围绕立足于资源节约和环境友好原则,减少资源消耗,促进循环利用,降低资源成本,提升资源利用效益;基于化害为利的资源化策略,研究揭示外来入侵生物资源的药用及多途径利用价值并加以有效利用,转化和丰富我

国药物资源体系;基于化学成分结构修饰策略,发掘和提升中药资源性化学物质的利用价值、潜在利用价值。

钟国跃等^[19]针对目前正在开展的第四次全国中药资源普查试点工作中存在的问题,结合笔者参与普查工作管理和实践的体会,就如何保证中药资源普查质量问题,从野外调查、内业整理、组织管理角度进行分析,提出保障中药资源普查野外工作质量的技术问题与对策、统筹中药资源普查内业整理以及组织管理等。

2 中药及天然药物资源调查与资源保护

近年来,由中国中医科学院中药资源中心牵头并组织实施的第四次全国中药资源普查(试点)工作,围绕常用中药品种的资源背景、中药材的生产布局和基地建设、中药材规范化生产现状、中药材种子种苗基地建设、珍稀濒危中药资源的保护、民族民间医药经验的挖掘整理等专项工作展开,有效推动了各试点省份资源调查研究工作的布局与实施,其研究成果必将进一步推动我国中药资源事业的健康可持续发展。

2.1 中药资源调查方法和技术

针对野生药用植物资源,探索利用空间抽样技术建立野外调查的方法^[20],为科学的布设样地和样方,以及准确地获取野生药用植物资源的种类、分布范围和蕴藏量等信息提供技术支持,通过对调查数据的汇总分析,可以得到县、省、国家三级野生药用植物的种类、分布和蕴藏量等信息。以阿勒泰阿拉哈克乡野生罗布麻自然保护区为研究对象,采用中低分辨率的卫星资源三号影像和高分辨率影像 Worldview-2 分别对罗布麻进行遥感识别提取,对 2 种数据源采用了同种分类体系,在传统分类方法中加入 PCA(第一主分量)和纹理特征作为辅助数据来提高分类精度。结果表明^[21],对于生长状况较复杂的野生药用植物罗布麻,高分辨率影像 Worldview-2 更适合对其进行遥感识别,而中低分辨率卫星资源只适合识别分布密集的罗布麻等。

以红花 *Carthamus tinctorius* L. 为种植型药用植物实验样本品种,分别基于分形理论和灰度共生矩阵(GLCM)两种方法提取不同的纹理特征,结合光谱信息对资源三号卫星(ZY-3)影像进行最大似然方法的监督分类,对比分析分类效果和精度评价。结果

显示,对于红花分类精度,引入分形纹理特征的分类精度提高到了 100%,识别的红花样地效果最完整,破碎程度最小,与其他类别区分度最高;而引入 GLCM 的分类精度却降低了 0.55%~1.28%,可见采用分形理论比采用 GLCM 提取纹理特征能够更加有效地辅助 ZY-3 影像识别种植型药用植物^[22]。

以伊犁贝母为研究对象,通过实地调查其物候特性、生长状况及分布特点,基于 Worldview-2 影像采用多种方法提取伊犁贝母信息,探讨遥感技术在伊犁贝母调查中的可行性。调查显示,伊犁贝母多在 4 月中下旬开花且花期短,5 月地面部分停止生长并陆续倒苗;不同年份的贝母形态各异,与其他作物无规则穿插种植,分布零散,大部分区块呈细长条状分布,面积不大,部分贝母植株低矮,种植稀疏且不均匀,也存在不同年份贝母混生现象^[23]。

基于江苏省中药资源分布区域的实际现状,从调查背景地域的生态变化情况、区域中药资源的分布特点、县域普查方案的调整制定以及普查技术规范补充完善等方面进行了分析和总结,探索性地提出了适宜于水生、盐渍化区域的中药资源调查方法技术,为进一步修订完善相关技术规范提供参考和借鉴^[24]。

提出了中药传统知识调查的关键技术方法和程序步骤^[25]。在调查准备阶段,应该注重中药传统知识的概念界定;在外业调查环节,应有效找到传统知识持有方,并在事先知情同意的基础上,进行传统知识的记录;在内业整理阶段,应该尽量满足知识产权的要求,以期最终的调查结果能够为建设中医药传统知识数据库作为本底。信息的标准化是关键的技术性方法,尤其是在区域一级进行有针对性的传统知识普查时,采用滚雪球法可以有效地寻找到特定调查区域的医药传统知识持有方。

影像资料的拍摄与存储是中药资源普查工作的重要内容^[26],作为记录中药资源普查成果和过程的重要资料和佐证,收集包括中药材产地生境、基原植物(或动物)、药材产地加工、商品药材形态、调查过程中相关环节和工作场景照片资料是中药资源普查的重要信息资料,是编写出版系列科学论著、建立中国中药资源数字化分布图、中国药用植物数字化标本馆、拍摄中药资源普查纪录片等的第一手素材。此外,通过全国中药资源普查建立中药基本药物供应预警方法^[27]。

2.2 区域中药资源普查

结合中药资源普查工作实际,经统计全国中药资源普查中需要统计资源量的中药材 563 种,需要进行资源变化情况监测的中药材 457 种,需要进行濒危情况评价的中药材 280 种。对历次重要资源调查结果分析显示^[28],由于各类文献编著的目的不同,在收载中药材名录方面,《中华人民共和国药典》(《中国药典》)的一致性比较高,珍稀濒危的一致性比较低。85% 以上的道地药材和常用中药材被《中国药典》收载过,80% 以上的常用中药材为道地药材,《中国药典》和道地药材中有 10% ~ 20% 的需要保护。

通过对川甘交界处的四川九寨沟县以及甘肃文县地区的白马藏族野生药用及食用植物资源种类、利用现状进行调查,采用实地野外调查、关键人物访问、标本采集、室内分类鉴定、文献查阅结合层次分析法等方法^[29],共记录野生药用植物 107 种,隶属 57 科 99 属,根据药物指导理论体系的不同分为中药、民族药、民间药 3 种类型;野生食用植物 45 种,隶属 28 科 34 属,根据当地民间食用用途可分为野生果实、蔬菜两种主要类型。

对北京市平谷区的中药材种植情况进行调研,发现平谷区现有德双睿山庄和天润露公司 2 个中药材种植基地,主要种植品种包括菰蓝、丹参、桔梗、射干等,种植面积达 26.7 hm²,并提出平谷区中药材种植基地建设存在的问题与发展规划^[30]。

通过野外实地调查、标本采集及查阅相关文献资料,以野生药用植物资源调查记录为根据,记述了该区域中的野生药用植物,对该区域中的野生药用植物进行归纳分析。结果显示^[31],河北青崖寨自然保护区内的 36、47、49、52 号样地总面积 13 160 hm² 范围内分布的药用植物有 115 科 416 属 791 种。其中,与前 3 次中药资源普查有关文献或资料核实,发现新记录物种 209 种。其中,马鞭草科植物菰、石竹科植物荷兰豆草等 12 科 14 属 16 种填补了河北省药用植物新记录;兰科植物手参、山茱萸科植物车梁子等 43 科 88 属 116 种填补了邯郸市药用植物新记录;蔷薇科植物毛叶稠李、龙胆科植物扁蕾等 52 科 142 属 209 种填补了武安市药用植物新记录。

通过对相关文献进行考证以及野外样方调查、

室内标本和照片的鉴定、资料查阅等方法^[32],对华亭县柳叶菜科进行了系统物种资源特别是药用植物资源的调查,初步整理出华亭县所分布的柳叶菜科植物有 4 属 10 种 3 亚种,其中具有药用价值的有 6 种。

采用第四次全国中药资源普查中野生重点中药资源调查方法——样方调查法,记录品种种类、数量,采集标本及药材,重点品种测量单株重,统计不同代表区域、植被类型、海拔的样方数,重庆市城口区普查共记录药用植物品种 703 种,重点品种 143 种,占重庆市重点品种的 74.5%,隶属于 71 科 132 属,野生重点品种 128 种,栽培重点品种 30 种^[33]。重庆市大足区发现药用植物 369 种,隶属 113 科,其中野生药材 53 种,栽培药材 15 种^[34]。

对华阴市 3 个不同区域药用植物资源的调查经统计分析^[35],95 种药用植物分属 50 个科 86 个属。河滩、丘陵地区的药材种类相对较少,华山生态区域自然资源的药用植物种类较多,海拔高度在 1 000 ~ 1 400 m 区域内的种类较为丰富。所调查的中药材中,功效以清热解毒类居多,占所调查种类的 73%。

湘西北石门县中药资源调查结果发现^[36],湘西北土家药“龙胆”的基原植物有 4 种,即龙胆科獐牙菜属獐牙菜、西南獐牙菜、显脉獐牙菜和紫红獐牙菜。在全国 13 个样地采集样品,调查雷公藤与昆明山海棠的野生资源现状、种植信息、民间混淆种及不同市售药材的商品特征,结果发现^[37],雷公藤和昆明山海棠主要采集于林下或林地边缘,光照和水分对雷公藤属植物的分布有一定的影响,野生资源量正在萎缩。调查尚表明,当地雷公藤药材的采收加工缺乏规范,市售药材将雷公藤属植物的根、根茎、茎均作商品药材销售。

对江苏省矿物药资源的生产应用历史及现状进行了调查分析,并提出了药用矿产资源的开发和利用建议^[38]。调查结果表明,特色鲜明的矿物药呈现出“名存实亡”的现象及“鱼龙混杂”的品质,令人堪忧。这在一定程度上反映了我国目前的矿物药资源及其生产和应用的“危象”,应引起行业的关注和重视。

2.3 新资源品种发现

近期报道,第四次全国中药资源普查(试点)工

作中发现了若干新物种、新分布记录种。福建省发现十字花科 (Brassicaceae) 阴山荠属 (*Yinshania*) 一新分布种——卵叶阴山荠 *Yinshania paradoxa*, 特征可区别于同属其他植物^[39]; 在建宁县调查中发现 4 个福建省地理新分布记录种^[40]: 日本金腰 *Chrysosplenium japonicum* (Maxim.) Makino、赶山鞭 *Hypericum attenuatum* Choisy、异萼叶碎米荠(变种) *Cardamine violifolia* O. E. Schulz var. *diversifolia* O. E. Schulz 和杜鹃兰 *Cremastra appendiculata* (D. Don) Makino。安徽省发现毛茛科铁线莲属一新种巢湖铁线莲 *Clematis chaohuensis*, 并给出其与近缘种的区别特征^[41]。

3 中药及天然药物资源生产现状及分析

3.1 中药材规范化生产与 GAP 基地建设

自 2003 年 11 月, 由原国家食品药品监督管理局(SFDA)批准, 国家药品认证管理中心组织专家开始对企业申请的中药材生产基地进行《中药材生产质量管理规范》(GAP)检查认证^[42]。截至 2015 年 12 月 31 日, SFDA 已先后分 24 批审查并公告了 196 个 GAP 基地, 涉及企业 143 家, 中药材品种 80 种, 基地分布在 25 个省、市、自治区, 见表 1。其中仍在有效期内的基地还有 123 个, 涉及 65 个品种, 有效期之内的企业 103 家, 认证 GAP 基地较多的企业有北京同仁堂(8 个)、新荷花(5 个)、雅安三九(4 个)、宛西制药(4 个)、白云山(3 个)、宁夏隆德县六盘山(3 个)、华润三九(3 个)、甘肃九州天润(3 个)。尚在有效期内, 同一药材认证基地较多的品种有: 丹参(8 家)、人参(8 家)、金银花(7 家)、三七(6 家)、麦冬(6 家)、黄芪(6 家)、红花(5 家)、附子(4 家)、板蓝根(4 家)。一些企业已开展了复认证工作, 其中陕西天士力植物药业有限责任公司的丹参基地已经率先完成了第二次复认证工作。

截至 2015 年 12 月, 中药材 GAP 基地生产的种类有草本(包含 1 至多年生)、木本、菌类、藻类和动物(昆虫类)等多种类型, 已公告的 82 种认证药材分类如表 2 所示, 其中 2009 年认证通过了首个动物药 GAP 基地(美洲大蠊), 2014 年分别认证通过了藻类(螺旋藻)基地和菌类(茯苓)GAP 基地。

表 1 各省份认证的中药材 GAP 基地数量

省市区名称	认证基地数量/个	有效期内基地数量/个	复认证基地数量/个
四川	30	20	8
云南	20	14	7
河南	16	10	4
吉林	14	8	2
山东	11	9	2
甘肃	10	7	4
陕西	9	4	2
浙江	9	5	1
湖北	9	8	1
河北	8	5	2
新疆	7	7	2
贵州	6	2	0
重庆	6	3	0
广东	6	3	1
黑龙江	5	2	0
辽宁	5	3	1
福建	4	2	1
山西	4	1	0
宁夏	4	4	1
安徽	3	1	1
江苏	3	2	1
江西	2	0	0
上海	2	1	0
内蒙古	2	1	0
湖南	1	1	1
合计	196	123	42

表 2 已通过 GAP 认证药材分类表

类别	数量/种
1~2 年生草本	38
植物药材 多年生草本	28
多年生木本	13
藻类及菌物类	2
动物药材(美洲大蠊)	1
合计	82

以 2015 年版《中国药典》(一部)收录的药材为统计依据, 目前认证的 82 种药材中收录在《中国药典》的有 78 种, 《中国药典》未收录的有 4 种(绞股蓝、头花蓼、螺旋藻、美洲大蠊)。以卫生部

公布的《既是食品又是药品的物品名单》和《可用于保健食品的物品名单》为统计依据,公告的 82 种药材中属药食同源的有 14 种;可用于保健食品的 31 种,可作为新资源食品原料的有 22 种。以中药注射剂原料药材为统计依据,39 种药材可用于中药注射液原料,占公告的 82 种药材总数的 47%。如表 3 所示。

表 3 已通过 GAP 认证的药材特点分类

分类	数量种	药材名称
《中国药典》未收载	4	绞股蓝、头花蓼、螺旋藻、美洲大蠊
药食同源(卫法监发[2002] 51 号)	14	白芷、广藿香、金银花、桔梗、菊花、山药、薏苡仁、鱼腥草、栀子、决明子、枸杞子、黄精、甘草、茯苓
可用于保健食品(卫法监发[2002] 51 号)	31	川芎、丹参、当归、党参、地黄、红花、黄芪、绞股蓝、菊花、麦冬、牡丹皮、平贝母、人参、三七、山茱萸、太子参、天麻、铁皮石斛、五味子、西洋参、银杏叶、淫羊藿、云木香、泽泻、野菊花、白芍、川贝母、厚朴、苦丁茶、何首乌、石斛
可用于中药注射液原料	39	白芷、板蓝根、川芎、穿心莲、丹参、当归、党参、灯盏花、地黄、附子、广藿香、红花、黄芪、黄芩、金银花、菊花、苦参、龙胆、麦冬、牡丹皮、青蒿、人参、山七、铁皮石斛、温莪术、五味子、玄参、延胡索、薏苡仁、银杏叶、淫羊藿、鱼腥草、栀子、滇重楼、温郁金、石斛、金钗石斛、益母草、西洋参
新资源食品原料	22	螺旋藻、人参、夏枯草、党参、西洋参、黄芪、何首乌、菊花、五味子、薏苡仁、茯苓、广木香、银杏、白芷、枸杞子、山药、鱼腥草、绞股蓝、山茱萸、地黄、白芍、金银花

3.2 药材生产区划与中药资源生态

郭兰萍等^[42-43]针对中药材 GAP 实施过程中面临的生态及经济学问题,在分析我国中药生态农业的背景及现状的基础上,提出了中药生态农业的发展思路及重点任务,包括:全国中药材生产格局分析及规划,区域中药农业典型特征提取,各区域典型中药材与根际土壤微生物互作规律及机制研究,中药材生态种植技术研究,中药生态种植模式提取及固化,中药生态农业理论研究。指出在中药材 GAP 生产中,大力推广生态种植,促进生态与经济两者之间的协调和统一,是中药材 GAP 发展的必然趋势。

梁宗锁等^[44]认为,中药材 GAP 认证准备过程存在很多盲点和问题。通过对 GAP 基地建设中的质量管理体系进行系统梳理,并对各项具体工作进行概括和分类,提出将认证准备工作分为生产技术、

质量管控、试验研究、基地管理、人员培训、文件档案等六大体系,并对每个体系内部所涉及的部门、人员、工作内容和流程、相应的软硬件进行探讨,以供同行借鉴和讨论。提出鉴于目前中药材栽培中存在的连作障碍等问题,中药材的倒茬、间套作等配套技术需要逐渐探索和推广应用,要更加重视生产过程中对生态环境的保护。

基于 CLIMEX 生态软件,进行数据汇编处理,以地理、气候等因素为指标预测适生区。结果显示^[45],金铁锁除现有分布区外,甘肃玉门、兰州为金铁锁新适生区。为其资源持续利用提供了科学依据。

在对全国 5 省份 40 个产地白术实地采样的基础上,应用统计分析方法,全面分析了不同地形因子条件下白术内酯类成分含量的变异,海拔、坡度、坡向对白术内酯类成分含量的影响。并应用空间技术,依据白术内酯类成分与地形因子之间的关系,进行基于地形因子的白术生态适宜性区划^[46]。

对 43 个样点的厚朴资源进行调查,利用最大信息熵模型计算影响厚朴生长的各种生态因子;应用地理信息系统(GIS)提取各样点的生境适宜度值,并进行厚朴生长适宜性等级划分。结果发现,10 月降水量、海拔、9 月降水量、7 月降水量等 4 个生态因子是影响厚朴生长的主要生态因子;湖北西南部及重庆东部等地区厚朴的生长适宜性等级最高^[47]。

新疆天山山脉是新疆野生药材主要分布区,基于 ArcGIS 平台将年均温、年降水量等 10 个气象因子数据进行空间分类,得到气候因子数值在新疆地区的空间分布。新疆地区气候特征是以天山为分界线的南疆年平均温度和活动积温明显高于北疆,原因是天山山脉的屏障作用;降水与我国内陆格局不同,新疆降水量空间分布呈现东少西多格局;新疆最具特色的两个地区:一是伊犁塔城地区气候温和,雨量充沛,药材种类繁多;二是新疆南疆的喀什地区,1 月份较高的最低温保证了植物的越冬需要,是植物栽培的必要条件^[48]。

4 中药及天然药物资源化学研究进展

4.1 生态因子与药材品质的形成

结合道地药材空间分析数据库中的环境数据,开展生态因子对黄芩次生代谢产物积累的影响及综合效应分析。结果发现,黄芩中多数化学组分与纬

度呈负相关,而与温度呈正相关,21 个化学组分总体呈现低纬度地区含量高于高纬度地区的趋势。通过逐步回归分析,得到黄芩中黄芩苷与纬度的负相关关系。发现土壤中无机元素含量过高(除 Mg 和 Ca 外),总体上不利于黄芩中化学成分的积累;基于 21 个组分的聚类分析,将不同产地的黄芩分为 2 组,指出黄芩的道地性并不局限在某个特定的小区域,在从内蒙古赤峰到陕西太白一线均适宜黄芩次生代谢产物的积累,为黄芩的适生区和潜在的道地产区^[49]。

通过对全国范围内 16 个不同产地的 92 个聚群的野生黄芩 *Scutellaria baicalensis* 样本及其相应的根际土壤中 10 种无机元素含量检测分析表明,不同产地黄芩及其根际土壤无机元素都有统计学差异,且不同产地黄芩根际土壤中无机元素的差异远大于药材,提示黄芩对无机元素的吸收与各产地根际土壤无机元素有一定关联性^[50]。

磷脂脂肪酸法(PLFA)分析结果表明,不同处理情况下地黄根际土壤微生物群落结构存在明显差异,与头茬地黄根际土壤相比,重茬地黄土壤微生物总量显著下降,并且细菌/真菌比例失调。末端限制性片段长度多态性(T-RFLP)分析结果表明,不同连作年限地黄根际土壤细菌群落结构存在一定差异,野生状态地黄土壤和头茬土壤菌群较为相似,变形菌门和厚壁菌门占据优势地位。野生状态地黄和头茬地黄根际富含 *Bacillus*、*Pseudomonas* 等有益生防菌,而重茬地黄根际土壤滋生大量病原菌如 *Clostridium* sp、*Flexibacter polymorphus* 和 *Clostridium ghoni*,有益菌群和纤维素降解菌群减少,qRT-PCR 定量分析也显示,野生状态地黄和头茬地黄土壤中假单胞菌数量都显著高于重茬地黄土壤^[51]。

采用 HPLC 同时测定五味子药材中 6 种木脂素类资源性化学成分的含量,同时收集不同批次五味子的百粒重,颜色,五味子果肉含量以及经纬度等参数,分别使用 SIMCA-P 软件和 SPSS 软件对 24 批五味子药材进行 PLS-DA 分析以及相关参数的相关性分析。实验发现,根据这 13 个参数指标能够将 3 个不同产地的五味子有效区分,五味子的化学成分含量随着经度、纬度的增加呈现出先增加后降低的趋势^[52]。

采用 UPLC-TQ-MS 技术对不同产地南五味子药材中的 7 种木脂素类成分进行分析评价,结果显示^[53],秦岭以南,东侧的商洛市柞水县、山阳县所

产南五味子中主要含五味子酯甲、五味子甲素;宝鸡市眉县,安康市石泉县、宁陕县,汉中市略阳县所产的南五味子主要含有安五酯素,其中宁陕县样品中五味子甲素含量也较高;而位于秦巴山区腹地的汉中市南郑县所产的南五味子主要含五味子酚、五味子甲素。可见,不同产地的南五味子所含木脂素种类和含量差别较大,在实际应用中应结合现代药理实验和临床研究,根据所治疗疾病相关的主要功效成分对不同产地南五味子药材加以区别入药,以达到药物的最佳疗效。

对白芷药材中的资源性化学成分分析表明^[54],氧化前胡素、欧前胡素、异欧前胡素和总香豆素含量以吉林通化野生最高;佛手苷内酯以浙江磐安最高;中性多糖、酸性多糖和总多糖含量以河北安国最高,浙江磐安和吉林通化野生白芷次之。

以峨眉黄连规范化生产基地为观测对象,采集不同海拔高度、遮荫方式及种植密度的 4 年生黄连样品,结果发现,在海拔 1200 ~ 1800 m 峨眉地区,黄连个体营养器官总生物量无统计学差异,7 种生物碱类成分含量符合《中国药典》规定;采用遮阳网方式与传统搭棚遮荫无统计学差异;采用株行距 10 cm × 10 cm 正方形栽植较株行距 12 cm × 12 cm 正方形栽植每公顷可增产 32%^[55]。

对不同产地海藻含有 19 ~ 26 种无机元素的分析表明,其平均含量按由高到低的顺序依次为 K > Ca > Na > Mg。25 批海藻样品中,元素 Cu 平均含量为 7.83 mg·kg⁻¹,Hg 为 1.54 mg·kg⁻¹,Pb 为 3.07 mg·kg⁻¹,Cd 为 3.02 mg·kg⁻¹,As 为 109.35 mg·kg⁻¹,Al 为 1 434.26 mg·kg⁻¹。海蒿子、羊栖菜中大部分元素含量无统计学差异。主成分综合评分法显示,山东烟台海蒿子样品 H4、H3 和浙江温州羊栖菜样品 Y5、Y6 综合排序较高^[56]。

4.2 药材适宜采收期资源性化学成分动态变化

对不同品种、不同生长期的 11 个品种 88 个桑叶样品中生物碱类、黄酮类资源性化学成分积累动态进行分析评价,采用 UPLC-TQ/MS 联用技术对桑叶中的生物碱类、黄酮类成分进行分析。结果表明,不同品种、不同生长期桑叶中的生物碱类、黄酮类成分含量差异较大,随着物候期的顺延,生物碱类成分的含量呈总体下降趋势,10 月份后大幅下降;黄酮类成分的含量变化较小,10 月份之后亦呈下降趋势。广东桑中黄酮类成分远高于生物碱类成

分,而鸡桑则相反;华桑和蒙桑中生物碱类成分在 7—8 月间迅速下降;白桑中的生物碱类、黄酮类成分含量均处于中等水平。综合分析,药用桑叶的适宜采收期在 9 月底 10 月初^[57]。

不同采收期何首乌中多元功效物质的含量呈现动态变化,二苯乙烯苷的含量 11 月份最高;结合葱醌的总量 11—12 月份最高;儿茶素的含量在 9 月份相对较高;主成分分析综合评价显示,11 月份采收的何首乌药材综合评价指数明显高于其他采收期样品。11 月份为何首乌药材的适宜采收期,与当地传统采收期基本一致^[58]。

对广东遂溪、福建漳浦及引种栽培地区江苏南京、淮安 4 个产地的穿心莲样品中主要化学成分变化趋势分析表明,穿心莲内酯量均在始花期达到最高,脱水穿心莲内酯量变化较平缓;穿心莲 CPS 基因的相对表达量在蕾期至始花期相对较高,与穿心莲内酯量呈显著正相关。4 个产地穿心莲的穿心莲内酯与脱水穿心莲内酯之和均达到《中国药典》标准。因此,穿心莲最佳采收期应为其始花期^[59]。

研究表明^[60],无机元素在苦豆子植物中的分布具有一定规律:Ca、Cu、Mn 主要分布在叶中,Na 主要分布在茎中,Zn、P、K 主要分布在种子中;各元素在不同物候期中呈现一定的动态积累规律:Ca 含量在果荚中伴随物候期有升高的趋势,Zn 含量在叶中伴随物候期有下降的趋势。

对黄芩适宜栽培年限和主要资源性化学成分评价结果表明,无论是 2 年生还是 3 年生黄芩,其黄芩苷和汉黄芩苷含量最高均出现在春季(5 月中旬至 6 月中旬),而黄芩素、汉黄芩素和千层纸素 A 含量最高峰出现稍晚(6 月中旬至 7 月中旬)。黄芩苷、汉黄芩苷、黄芩素、汉黄芩素、千层纸素 A 5 种成分含量最高均出现在 5—7 月,而且 2 年生和 3 年生黄芩中成分含量变化规律相近^[61]。

对姜黄适宜采收期评价结果表明,姜黄素类化合物相对含量随姜黄植物生育期的推进呈降低趋势,但单位面积根茎内姜黄素类成分的积累量随生育进程而增加,至生育后期地上部枯萎时根茎总姜黄素积累量较根茎形成前期增加了 2.8 倍。因此,应将单位面积姜黄素类成分的积累量作为姜黄适宜采收期的评价指标,姜黄宜在 12 月植株枯萎后姜黄素类化合物积累量达到最高时采收^[62]。

以采自江苏东部沿海的文蛤、青蛤、四角蛤蜊及菲律宾蛤仔 4 种低值贝类为样本,研究其软体中

牛磺酸的动态变化规律,探讨这 4 种贝类的最适采收期。结果发现,贝类的生长具有明显季节性,一般春夏季较秋冬季生长较快,尤其夏季水温为 25 ~ 28 ℃ 时为快速生长期,此时,贝类软体中牛磺酸含量达到最高。菲律宾蛤仔牛磺酸含量最高在 7 月,约为 42.79 mg·g⁻¹;而文蛤、青蛤、四角蛤蜊软体中牛磺酸含量最高在 6 月,分别约为 27.48、16.59、15.00 mg·g⁻¹。若从产量和有效成分牛磺酸的含量变化上综合考虑,建议菲律宾蛤仔最佳采收期为 7 月,文蛤、青蛤、四角蛤蜊最佳采收期为 6 月^[63]。

此外,草珊瑚药材采收期为每年的 2—7 月较为适宜,分析表明此时的异嗪皮啶在根中含量最高,其次是茎,叶中含量最低;迷迭香酸的含量则在叶中含量最高,根及茎中含量较低^[64]。黄皮树中小檗碱和黄柏碱的累积高低顺序均为根皮 > 茎皮 > 根,2 种生物碱的积累量前 3 年变化趋势明显,第 3 年后 2 种生物碱积累量变化趋势减缓;同一树龄 10 月份采收的黄柏,其黄柏碱和小檗碱较高^[65]。不同播种时间、不同采收时间,祁白芷指标成分含量有明显差异。秋天播种,次年秋天采收祁白芷欧前胡素含量为最高;春天播种,当年秋天采收祁白芷欧前胡素含量最低。秋天播种,次年秋天打籽之前采收,祁白芷药材欧前胡素含量最高,为最佳采收期^[66]。

4.3 药材加工过程中资源性化学成分动态变化

分析评价不同干燥方法对薄荷药材中 2 种单萜类、4 种酚酸类、5 种黄酮类化学成分的组成及含量变化的影响,研究结果显示^[67],干燥方法对薄荷醇、咖啡酸、迷迭香酸含量影响最大,其次为绿原酸、香叶木素-7-O-葡萄糖苷;同温度下,热风干燥对化学成分的保留作用优于微波干燥与红外干燥;低温(40 ~ 45 ℃)干燥对成分总量的保留显著高于较高温(60 ~ 70 ℃)干燥;微波杀青处理样品酚酸类化学成分总量显著高于未杀青样品,表现出一定的杀酶作用;TOPSIS 评价结果显示,薄荷药材产地加工最适干燥方法为热风变温 45 ~ 60 ℃ 干燥。

采用控温控湿干燥、真空干燥、微波真空干燥、中短红外干燥等不同的干燥方式和设备,设置与干燥密切相关的条件因子进行干燥加工,得到分析用玄参样品;测定玄参中与中医功效密切相关的环烯醚萜类、苯丙素类、多糖类成分的含量。结果表明,控温控湿干燥、中短红外干燥方法得到的药材性状符合《中国药典》标准规定,微波真空干燥及真空

干燥方法所得药材性状与《中国药典》玄参性状项下描述有一定的差异;与新鲜玄参相比,干燥加工品中环烯醚萜苷类成分含量均有降低,苯丙素类安格洛苷-C的含量无明显变化,毛蕊花糖苷的含量呈现增加趋势。优化干燥主要因子为控温(70℃)、控湿(15%~10%),干燥耗时较短,环烯醚萜苷类、苯丙素类和多糖类资源性化学成分含量稳定在较高水平区间^[68]。

研究表明^[69],不同加工方法所得山银花中绿原酸、灰毡毛忍冬皂苷乙的质量分数及外观颜色、油润度有明显变化;川续断皂苷乙的质量分数差别不大。其中真空干燥和烘烤干法山银花中绿原酸、灰毡毛忍冬皂苷乙、川续断皂苷乙的质量分数较高;真空干燥的山银花外观颜色和油润度均比其他7种方法好。

采用UHPLC-PAD同时分析测定不同干燥加工处理的白芷药材中的香豆素类化学成分及其含量,结果表明,将24个不同干燥加工方法处理样品的分析结果标准化处理,经主成分分析,不同干燥方法处理的杭白芷药材中香豆素和挥发油类成分含量综合评分依次为:带皮石灰掩埋干燥>带皮热风(100℃)干燥>带皮(40℃)干燥>去皮红外干燥>去皮热风(60℃)干燥>去皮热风(40℃)干燥>去皮晒干>带皮热风(60℃)干燥>去皮热风(100℃)干燥>去皮微波干燥>去皮热风(80℃)干燥>带皮晒干>带皮硫熏干燥>去皮硫熏干燥>带皮热风(120℃)干燥>带皮冷冻干燥>带皮红外干燥>去皮热风(120℃)干燥>去皮冷冻干燥>去皮石灰掩埋干燥>带皮热风(80℃)干燥>去皮阴干>带皮阴干>带皮微波干燥。不同干燥加工方法对杭白芷药材中香豆素和挥发油类化学成分有一定影响,杭白芷产地加工方法以传统带皮石灰掩埋干燥处理为宜,次之为带皮热风(100℃)干燥方法^[70]。

分析评价了晾晒、蒸制、水煮、恒温烘干(40、50、60℃)等不同干燥方法和条件对光慈姑外观性状、折干率、硬度、复水率、浸出物和多糖含量等指标的影响。结果表明,普通晾晒及40℃恒温干燥的光慈姑复水率最佳,但所需时间长、折干率小、硬度大、色泽差,且组织结构发生了明显的变形和皱缩;60℃恒温干燥的光慈姑干燥时间短、含水量低、多糖含量高,但其他各项指标均较差。烫制处理(蒸制和水煮)后的光慈姑虽干燥时间缩短、外观品质较佳,但浸出物及多糖含量降低。50℃恒温干

燥光慈姑外观品质与市售光慈姑较接近,硬度最小,折干率最大,复水率较高,浸出物及多糖含量较高,且水分、灰分含量适中。综合评价,建议选择50℃恒温干燥的方法^[71]。

筛选适合人参 *Panax ginseng* 花和西洋参 *Panax quinquefolius* 花采收后的加工方法,以14种人参皂苷的质量分数为考察指标。结果表明,西洋参花中人参皂苷在40℃烘干的条件下质量分数要比红外干燥、微波干燥和冷冻干燥的高,人参花中人参皂苷在40℃烘干的条件下质量分数要比冷冻干燥的高,并且随着烘干温度的升高质量分数都有不同程度降低,丙二酰基人参皂苷 m-Re、m-Rg1、m-Rb1、m-Rc、m-Rb2、m-Rb3、m-Rd 的质量分数在高温(>100℃)时明显下降,且丙二酰基人参皂苷的减少量与相应的人参皂苷的变化量并没有明显的对等关系,这14种皂苷的总量也都有下降的趋势^[72]。

建立不同烟熏条件加工当归的层次分析(AHP)和反向传播人工神经网络(BPNN)结合模型,优化当归烟熏加工工艺。测定烟熏当归药材中5种指标性化学成分(阿魏酸、Z-藁本内酯、正丁基苯酚、正丁烯基苯酚、亚油酸)以及醇溶性浸出物含量。结果表明,AHP模型优化工艺为50℃烟熏8h,AHP与BPNN合模型优化工艺为46.5℃烟熏8.8h,后者工艺优于前者^[73]。

以不同干燥方法对鲜桑叶样品进行处理,并分析评价了桑叶中的黄酮类、生物碱类资源性化学成分。结果表明^[74],桑叶中黄酮类成分由高到低的烘干方法依次为:冷冻干燥>阴干>烘干>晒干>微波干燥>红外干燥;生物碱类成分由高到低的烘干方法依次为:冷冻干燥>阴干>烘干>晒干>红外干燥>微波干燥。随着烘干温度的升高,桑叶中黄酮类化合物的含量先升高后降低,以75~85℃烘干桑叶中黄酮类化合物含量为最高,55~65℃烘干为最低;DNJ含量以85~95℃烘干为最高,55~65℃烘干为最低;芥麦碱含量以95~105℃烘干为最高,45℃烘干为最低。两种生物碱类化合物含量随含水量不同表现出不同的变化趋势,DNJ和Fagomine的含量随样品含水量的减少逐渐升高,且55~65℃烘干样品明显高于95~105℃。

采用HPLC-PDA法同时测定不同加工方法白芍药材中单萜苷类化合物(芍药苷、芍药内酯苷、氧化芍药苷、苯甲酰芍药苷)、多羟基化合物(儿茶素、没食子酸)及苯甲酸含量,进行主成分分析。结果表

明^[75]，鲜白芍带皮处理比去皮处理综合得分高；鲜白芍经蒸制或水煮后切片干燥处理，单萜苷类及多羟基化合物含量增加，苯甲酸含量降低；鲜白芍经蒸制和水煮高温处理后，其后的干燥温度变化对其成分变化影响不大。可见，采用水煮处理后切片干燥再去皮的加工方法可得到较好品质的白芍加工品，但考虑到干燥后去皮的不易操作性，建议采用去皮切片后再干燥的方法。

4.4 中药资源循环利用研究与产业链延伸

中药资源的可持续利用是社会经济可持续发展的基础和前提，20 世纪 90 年代后期，我国引入循环利用的经济发展理念，一批经济学家、资源学家、管理专家和企业家结合本领域和行业实际进行了卓有成就的理论和具体实践，积累了经验，取得了良好成效。但从整体性和系统性角度来看，各行业循环利用及其循环经济发展模式的推进和转型尚不平衡，中药资源循环利用的程度和水平以及中药资源循环经济产业模式的构建和生产方式的转型发展尚处于起步阶段。

4.4.1 中药资源循环利用研究技术探讨 随着中医药产业化和现代化的发展，中药资源的需求量不断上升，造成中药资源短缺，废弃物污染严重等社会问题，形成了制约中药产业健康、可持续发展的瓶颈问题。在我国经济新常态背景下，中药产业必须转型升级，成为一个现代性、集约化、循环型的可持续发展的绿色生态产业，充分挖掘利用中药废弃物的科学价值。运用经济学的外部性理论，探讨中药废弃物资源化的治理机制^[76]。从外部性理论和循环经济理论角度，探讨中药废弃物资源化的三大循环模式及其对生态环境产生的效应^[77]。

在分析中药废弃物来源与主要化学组成的基础上，针对膜科学技术应用于制药工业的技术优势，特别是近年来膜分离技术已作为应用于中药制药行业传统提取、分离工艺改良的技术储备，提出膜科学技术是中药废弃物资源化过程工艺设计的重要选择之一^[78]。中药废弃物为组成与性质十分复杂的物质体系，有效分离富集是其再利用领域的技术关键，而过程集成有助于提高目标产物的收率或提高分离过程产品的纯度。鉴于集成分离技术具有简化流程、降低消耗等优点，符合现代制药工业的发展趋势，膜分离及其集成技术在实现中药废弃物的资源化和产业化过程中有着广阔的应用前景。

江曙等^[79]提出应用中药学、化学、微生物学等多学科知识与方法，通过微生物转化促进中药废弃物中功能性物质、生物质能源、营养基质等资源性物质的转化与转移，以提升资源利用效率，延伸资源经济产业链，实现物尽其用、节约资源、保护环境、发展生态型循环经济产业的目的。

针对中药废弃物的转化增效资源化模式，提出中药废弃物的非水相生物转化利用途径，探讨适用于中药废弃物中潜在资源性物质的非水相生物转化体系、耐有机溶剂极端微生物及酶类的筛选与应用，并指出融合非水相生物转化技术是中药废弃物资源化利用的一个重要突破点，为中药废弃物资源化的高效利用提供借鉴和引导^[80]。

4.4.2 中药资源循环利用研究实践

4.4.2.1 药材生产过程非药用部位及副产物的循环利用 对丹参地上茎叶、花序中 7 种丹酚酸类化学成分进行分析与评价，并探讨其在丹参植物生长过程中的动态积累规律。结果表明^[81]，丹参茎叶中含有丰富的水溶性丹酚酸类化学成分，但未检测到脂溶性的丹参酮类成分；不同生长期丹参茎叶中酚酸类化学成分的量差异较大，除丹酚酸 A 外，各酚酸类成分量均在 7—8 月积累量达到最高值，以后逐渐降低。丹参花序中的丹酚酸类成分总量在花盛期达到峰值，其在达到花盛期前动态变化趋势不明显，但当花冠进入凋萎期时，丹酚酸类成分急剧下降。可见，丹参传统非药用部位茎叶及花序中含有丰富的水溶性丹酚酸类资源性化学成分，尤其是迷迭香酸和丹酚酸 B 含量较高，生长茂盛期其酚酸类成分的总量明显高于丹参根及根茎中的量。因此，可作为获取丹酚酸类化学物质的重要原料资源，并研究制定丹参茎叶新药材的质量标准^[82]。

对菊科药用植物菊 *Chrysanthemum morifolium* 非药用部位化学成分分布和动态积累进行分析评价。结果表明，菊的根、茎、叶中检测到 13 种氨基酸，总氨基酸的含量分布顺序为：根 > 叶 > 茎；菊叶中检测到 4 种核苷，总核苷的含量分布顺序为：叶 > 根 > 茎；总黄酮类成分的含量分布顺序为：叶 > 根 > 茎，其中叶片中质量分数为 9.94% ~ 18.66%，根中质量分数为 5.88% ~ 8.02%，茎中质量分数为 3.98% ~ 5.41%；总有机酸的含量分布顺序为：叶 > 根 > 茎，叶中质量分数为 2.44% ~ 4.94%，根中质量分数为 1.89% ~ 2.64%，茎中质量分数为 1.20% ~ 1.48%。不同生长期菊根、茎、叶中黄酮

类和有机酸类成分发生动态变化,在菊花采摘后达到高峰^[83]。

采用 UPLC-TQ-MS 的方法对银杏花粉中 24 种资源性化学成分进行定性定量分析。结果显示^[84],芦丁和槲皮素-3-*O*- β -D-吡喃葡萄糖-(4 $\rightarrow$ 1)- β -L-吡喃鼠李糖苷达到 120.9 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ 和 114.0 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$,山柰酚为 222.1 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ 。

不同产地的三七茎叶和花样品中 GABA 含量差异较小,但三七花中 GABA 平均含量高于茎叶,分别为 0.49%,0.53%^[85]。三七茎叶和花含有丰富的营养元素和矿质元素,可以作为食品新资源进行开发^[86]。

4.4.2.2 中药制药等深加工产业化过程固体废弃物及副产物的循环利用 分析评价丹红注射液生产过程中产生的丹参固体废弃物丹参酮类及残留丹酚酸类资源性化学成分,发现丹参固体废弃物中丹参酮类成分与丹参药材相比,几乎未被利用而残留于固体药渣中;尚残留一定量的丹酚酸类成分;水提后丹参药渣中丹酚酸 A、原儿茶醛的量高于丹参药材^[87]。

对生脉注射液生产过程五味子药渣中多种类型可利用资源性化学成分进行分析与评价,研究表明,五味子药渣中五味子甲素、五味子乙素、五味子丙素、五味子醇甲、五味子醇乙和五味子酯甲的质量分数依次为 1.442 4、3.788 0、1.350 9、4.399 3、3.231 3、0.505 3 $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$;与原药材相比,在生脉注射液生产过程中五味子醇甲的提取利用率为 20.84%;而五味子醇乙几乎未被利用而残留于药渣中;五味子甲素、五味子乙素、五味子丙素和五味子酯甲在药渣中的质量分数略高于原药材。五味子药渣中可利用生物大分子类物质分别为:总蛋白质质量分数为 14.69%;中性多糖质量分数为 3.82%,酸性多糖质量分数为 1.31%;粗纤维素类成分质量分数为 43.80%^[88]。

此外,甘草药渣中仍含有多种具抗氧化活性的黄酮类化合物,应进一步开发利用^[89]。

4.4.2.3 中药及天然产物资源的循环利用与开发

江苏省贝类药用动物资源丰富,然而贝类资源的开发利用仍较落后,未形成系统的产业化链,存在资源利用率低、加工水平落后、高附加值产品少等问题。为促进江苏丰富低值贝类资源的综合开发,应开展贝类生物资源品质评价与种质资源优化、贝类资源生物效应研究、贝类资源高值化利用研究等,分析江苏贝类生物资源研究开发的现状,推动低值

贝类资源的综合利用与规模化开发,形成上、中、下游的产业化发展,带动江苏海洋贝类集约化开发,促进海洋经济发展^[90]。

我国蚕桑资源丰富,在其资源生物种植/养殖过程中产生大量废弃的桑枝条、落叶、幼果、蚕沙等废弃物;在其资源性产品深加工制造过程中产生大量桑枝、桑叶、桑白皮的废渣等;在缫丝生产过程中产生大量废水、蚕蛹等废弃物,从而造成蚕桑资源的浪费和环境的污染。对蚕桑资源及其利用现状、蚕桑资源产业化过程中产生的废弃物及其可利用物质、废弃物的利用途径及其产业化等方面进行归纳与分析,以期为蚕桑资源的高效综合利用及其利用价值的提升、蚕桑废弃物的资源化及其产业链延伸提供科学依据和参考^[91]。

随着雷公藤资源产业链快速发展并不断拓展延伸,在其药材资源生产过程中产生非药用部位,以及在其制剂产品制造过程中产生大量废渣、废水、废气等废弃物,由此导致的资源利用效率低下和巨大浪费,日益引起社会各界人士的广泛关注和重视。通过对雷公藤资源利用现状及其产业化过程废弃物的产生、可利用物质及其利用途径等进行归纳分析,为该资源的效率提升及废弃物的资源化利用提供参考和依据^[92]。

麋鹿为我国珍贵的药用生物资源,其茸、角、骨、肉、血等入药已逾千年,均为我国传统名贵中药。由于麋鹿在我国的灭绝而无药可用。随着麋鹿种群重引入并快速扩大,围绕麋鹿生物资源的保护与利用开展了广泛的现代研究。系统分析了麋鹿药用资源的保护现状,提出了应明确麋鹿作为我国特种经济动物的战略地位,积极开展麋鹿野化驯养与人工规范化养殖相结合的资源发展模式,通过开展以麋鹿药用资源科学合理利用为目的的应用性基础研究,开发独具特色的麋鹿系列产品,促进麋鹿生物资源在中药农业、工业、商业、保健品业、食品业、化妆品业以及加工设备技术等产业化的构想,引导和推动麋鹿生物资源综合利用与保护的健康可持续发展^[93]。研究发现,麋鹿角能明显改善氢化可的松肾阳虚模型大鼠症状,其补阳功效与调节机体内分泌、免疫功能等密切相关^[94];麋鹿角可通过提高机体抗氧化酶系活性,抑制脑组织 MAO 活性,提高免疫功能,延缓皮肤衰老而发挥抗衰老作用^[95];麋鹿角对化学损伤性血虚模型小鼠有一定的保护作用^[96]。上述研究为麋鹿角资源的利用提供了科学

依据。

5 植物化学分类学及亲缘学研究

郝大程、肖培根等^[97]从药用亲缘学到药用基因组亲缘学(分子系统发育、进化与药物)发现近年随着高通量测序技术的迅猛发展,生物系统发育研究中开始采用基因组数据,因此出现一些新术语,如系统发育基因组学(phylogenomics,基因组系统学/基因组亲缘学)、药用基因组亲缘学(pharmacophylogenomics)、转录组亲缘学(phylotranscriptomics)等。

毛茛科毛茛属有多种传统药用植物,其根茎叶和果实入药。该属植物含有黄酮类、内酯类、生物碱类、萜类、皂苷类和脂类成分,生物活性表现为抗菌、抗炎止痛和抗癌等。构建国产毛茛属的分子系统发育树,揭示其与形态学分组的异同,为该属药用资源类群的可持续发展提供了重要参考^[98]。

我国薯蓣属植物约有17种植物富含甾体皂苷,均属于根状茎组 Sect. *Stenophora* Uline,其他植物均为块茎,富含多糖、鞣质等不同化学成分,也表现出不同的药效作用。根据薯蓣属植物已知的化学成分和药效作用,结合经典形态分类学,对将薯蓣属植物归属于甾体皂苷组、多糖组、多酚组、黄独素组、薯蓣碱组、其他组^[99]。

采用高效液相色谱技术对24种山茶科柃属(*Eurya* Thunb.)植物进行化学分类学研究,对1变种柃属植物28份样品的化学成分进行检测,并以各样品中色谱峰的相对保留时间对柃属植物的特征化学成分进行标记,最终统计到23个特征色谱峰用于化学分类研究。结果显示,柃属植物色谱峰在种内稳定出现,在种间则呈现多样性,可用于物种的鉴别,为柃属进一步的资源利用研究提供重要的参考^[100]。

6 中药及天然药物资源学科建设情况

中药资源学是一门理论性、实践性和应用性都很强的综合性学科,针对中药资源学宏观层面的重要性和学生发展的微观层面需求不完全一致的问题,提出在保证学生掌握中药资源学基础内容的前提下,强调以资源开发应用为导向,以学生实际就业需要为中心进行课程教学的改革;针对中药资源学科的综合性和交叉性与课堂讲授内容的单一性的问题,适当增加交叉学科内容的讲授,鼓励学生进行学科

外延内容的自学;并以实用为目标,进行涵盖学科基础知识、资源开发、市场分析等内容的课程综合实践^[101]。此外,尚有学者提出形成性评价在中药资源学教学中的应用^[102];在中药资源学教学中应用多媒体视频库和与多学科相结合两种创新教学模式,取得了良好的效果^[103]。

陈蔚文等^[104]结合广州中医药大学中药资源与开发专业的情况,对本专业的建设方向提出建议和改革措施。指出本专业的建设方向是要抓住“保证中药材质量、保障中药资源可持续利用”这一中心任务,从单纯重视药学课程向兼顾生物课程、进一步重视实验课程进行改革。

论述了中药资源与开发专业的实践教学体系研究与建立的整体思路、管理监督体系建立以及具体措施。并通过实践教学体系的研究与建立达到提高实践教学质量与效果、促进本科实践教学工作的目的,进而培养以适应经济和社会发展需要的厚基础、宽口径、高素质、强能力的创造、创新、创业型应用型人才^[105]。

结合实践教学,将网络教学平台用于药用植物学教学,能弥补传统教学方式的不足,促进课堂教学模式由传统向现代化转变,从而改善教学效果,提高教学质量^[106]。采取多种教学方法和教学手段的多元化、灵活机动的理论教学课堂等方法^[107]。此外,尚有从课程定位、教学目标、教学内容、教学手段、考核评价等方面对本科《分子生药学》课程进行了初步的教学设计,以期梳理授课思路,把握教学内容^[108]。

参考文献

- [1] 张伯礼,张俊华. 中医药现代化研究20年回顾与展望[J]. 中国中药杂志,2015,40(17):3331-3334.
- [2] 王国强,黄璐琦,谢冬梅. 吉尔吉斯斯坦传统药用植物概况[J]. 中国中药杂志,2014,39(2):391-396.
- [3] 黄璐琦,袁媛,袁庆军,等. 中药分子鉴定发展中的若干问题探讨[J]. 中国中药杂志,2014,39(19):3663-3667.
- [4] 黄璐琦,高伟,周雅进. 合成生物学在中药资源可持续利用研究中的应用[J]. 药学报,2014,49(1):37-43.
- [5] 黄璐琦,钱丹,邓超. 双分子标记法的构建及在中药研究中的应用[J]. 中国中药杂志,2015,40(2):165-168.
- [6] 刘昌孝. 对中药现代化及中药国际化发展的思考[J]. 中国药房,2016,27(11):1441-1444.
- [7] 刘昌孝,陈士林,肖小河,等. 中药质量标志物(Q-

- Marker): 中药产品质量控制的新概念[J]. 中草药, 2016, 47(9): 1443-1457.
- [8] 肖小河, 张定堃, 王伽伯, 等. 中药品质综合量化评控体系—标准评控力金字塔[J]. 中国中药杂志, 2015, 40(1): 7-12.
- [9] 肖小河, 王伽伯, 鄢丹. 生物评价在中药质量标准化中的研究与应用[J]. 世界科学技术—中医药现代化, 2014, 16(3): 514-518.
- [10] 吴婉莹, 果德安. 中药整体质量控制标准体系构建的思路与方法[J]. 中国中药杂志, 2014, 39(3): 351-356.
- [11] 钱忠直, 林瑞超, 肖培根. 中药鉴定与标准研究[J]. 中国中药杂志, 2014, 39(12): 2153-2154.
- [12] 赵润怀, 段金廛, 高振江, 等. 中药材产地加工过程传统与现代干燥技术方法的分析评价[J]. 中国现代中药, 2013, 15(12): 1026-1035.
- [13] 曹海禄, 焦炜, 黄璟, 等. 国内外农产品质量安全追溯体系建设概述[J]. 中国现代中药, 2013, 15(3): 233-237.
- [14] 齐耀东, 高石曼, 刘海涛, 等. 中药材质量可追溯体系的建立[J]. 中国中药杂志, 2015, 40(23): 4711-4714.
- [15] 魏建和, 屠鹏飞, 李刚, 等. 我国中药农业现状分析与发展趋势思考[J]. 中国现代中药, 2015, 17(2): 94-99.
- [16] 冉懋雄, 周厚琼. 中药区划与中药材 GAP 和区域经济发展[J]. 中药材, 2015, 38(4): 655-658.
- [17] 段金廛, 张伯礼, 宿树兰, 等. 基于循环经济理论的中药资源循环利用策略与模式探讨[J]. 中草药, 2015, 46(12): 1715-1722.
- [18] 段金廛, 宿树兰, 郭盛, 等. 中药资源化学研究与中药资源循环利用途径及目标任务[J]. 中国中药杂志, 2015, 40(13): 69-75.
- [19] 钟国跃, 刘翔, 秦松云, 等. 简析中药资源普查的质量管理[J]. 中国现代中药, 2014, 16(8): 609-612.
- [20] 马卫峰, 王哲, 郭兰萍, 等. 3S 技术支持下的野生药用植物资源调查方案设计[J]. 中国现代中药, 2014, 16(6): 433-438.
- [21] 娜仁花, 郑江华, 郭宝林, 等. 高分辨率影像在野生药用植物宏观监测中的应用评价—以罗布麻为例[J]. 中国中药杂志, 2014, 39(10): 1777-1781.
- [22] 郑淑丹, 郑江华, 石明辉, 等. 基于分形和灰度共生矩阵纹理特征的种植型药用植物遥感分类[J]. 遥感学报, 2014, 18(4): 868-886.
- [23] 孙志群, 郑江华, 郭宝林, 等. 遥感技术在伊犁贝母调查中的应用[J]. 中国现代中药, 2014, 16(2): 113-118.
- [24] 严辉, 郭盛, 段金廛, 等. 适宜于我国东部沿海地区水生、耐盐药用生物资源调查方法技术的探讨与实践[J]. 中国现代中药, 2015, 17(7): 637-645.
- [25] 成功, 黄璐琦, 薛达元, 等. 中药资源传统知识调查基本程序与关键技术方法[J]. 中国中药杂志, 2014, 39(24): 4728-4731.
- [26] 李莉, 魏胜利, 王文全, 等. 中药资源普查中影像资料的采集与储存技术方法[J]. 2014, 39(7): 1326-1328.
- [27] 杨光, 王永炎, 陆建伟, 等. 基于全国中药资源普查的中药基本药物供应预警方法探讨[J]. 中草药, 2015, 46(1): 7-10.
- [28] 张小波, 郭兰萍, 张燕, 等. 关于全国中药资源普查重点调查中药材名录的探讨[J]. 中国中药杂志, 2014, 39(8): 1345-1359.
- [29] 阙晓, 杨艳明, 赵彩云, 等. 白马藏族野生药用及食用植物资源的调查研究[J]. 中药与临床, 2015, 6(5): 10-14.
- [30] 赵文文, 赵香妍, 薛文峰, 等. 北京市平谷区中药材种植基地调研报告[J]. 北京中医药, 2015, 34(12): 986-989.
- [31] 孔增科, 贺伟丽, 王亮, 等. 河北青崖寨自然保护区中药资源普查情况报告[J]. 中药材, 2015, 38(12): 2497-2501.
- [32] 黄付强, 姚树冉, 郝小玲, 等. 甘肃省华亭县柳叶菜科药用植物资源调查[J]. 甘肃中医学院学报, 2015, 32(6): 30-32.
- [33] 刘翔, 喻本霞, 银福军, 等. 重庆市城口县药用植物资源调查研究[J]. 世界科学技术—中医药现代化, 2014, 16(4): 839-844.
- [34] 王昌华, 张植玮, 伍淳操, 等. 重庆市大足区中药资源现状调查研究[J]. 中国现代中药, 2015, 17(10): 1057-1062.
- [35] 张小波, 程虎印, 白吉庆, 等. 华阴市药用植物资源种类和分布概况[J]. 中国现代中药, 2014, 16(11): 911-915.
- [36] 熊鹏辉, 沈美英, 董森珍, 等. 湘西土家药“龙胆”基源植物调查[J]. 中国民族民间医药, 2014, 23(17): 5.
- [37] 刘超, 格小光, 郝庆秀, 等. 雷公藤与昆明山海棠采样调查报告[J]. 中药材, 2015, 38(2): 249-253.
- [38] 刘圣金, 吴啟南, 段金廛, 等. 江苏省矿物药资源的生产应用历史及现状调查分析与发展建议[J]. 中国现代中药, 2015, 17(9): 878-884.
- [39] 黄泽豪, 刘小芬, 范世明, 等. 卵叶阴山荠—福建省十字花科植物一新分布种[J]. 中国现代中药, 2014, 16(8): 612-613.
- [40] 郭娜, 李恒, 郭生挺, 等. 福建省新分布植物记录[J]. 安徽农业科学, 2015, 43(36): 23-24, 65.
- [41] 王文采, 黄璐琦. 巢湖铁线莲, 安徽毛茛科一新种[J]. 植物研究, 2014, 34(3): 289-291.
- [42] 郭兰萍, 张燕, 朱寿东, 等. 中药材规范化生产(GAP) 10年: 成果、问题与建议[J]. 中国中药杂志, 2014, 39(7): 1143-1151.
- [43] 郭兰萍, 周良云, 莫歌, 等. 中药生态农业—中药材 GAP

- 的未来[J]. 中国中药杂志, 2015, 40(14): 3360-3366.
- [44] 张燕, 梁宗锁, 黄璐琦, 等. 中药材 GAP 认证准备过程中的生产质量管理体系建设[J]. 中国实验方剂学杂志, 2015, 21(19): 185-188.
- [45] 尹子丽, 张洁, 钱子刚. 金铁锁全国适生区的预测分析研究[J]. 中国现代应用药学, 2014, 31(12): 1471-1474.
- [46] 谭喆天, 黄璐琦, 李国川, 等. 基于地形因子的白术生态适宜性区划研究[J]. 中国中药杂志, 39(23): 4566-4570.
- [47] 杨红兵, 明孟碟, 张承程, 等. 基于生境适宜度的厚朴生长适宜性研究[J]. 南京中医药大学学报, 2015, 31(5): 457-461.
- [48] 李慧, 王欢, 宋经元, 等. 新疆地区药用植物地理分布模式和气候特征研究[J]. 干旱地理, 2015, 38(1): 36-42.
- [49] 郭兰萍, 王升, 张霖, 等. 生态因子对黄芩次生代谢产物及无机元素的影响及黄芩道地性分析[J]. 中国科学: 生命科学, 2014, 44(1): 66-74.
- [50] 王升, 赵曼茜, 郭兰萍, 等. 不同产地黄芩中无机元素含量及其与根际土壤无机元素的关系[J]. 生态学报, 2014, 34(16): 4734-4746.
- [51] 吴林坤, 黄伟民, 王娟英, 等. 不同连作年限野生地黄根际土壤微生物群落多样性分析[J]. 作物学报, 2015, 41(2): 308-317.
- [52] 周永峰, 王伽伯, 张定堃, 等. 不同产地五味子药材的质量特征比较研究[J]. 中国中药杂志, 2015, 40(16): 3152-3157.
- [53] 杨洁, 段金廛, 李国龙, 等. 不同产地南五味子中木脂素分析研究[J]. 中国中药杂志, 2014, 39(23): 4647-4652.
- [54] 周冰, 刘培, 陈京, 等. 不同产地白芷药材中香豆素类及多糖类化学成分的分析评价[J]. 南京中医药大学学报, 2015, 31(1): 68-73.
- [55] 刘芳, 张浩, 青琳森, 等. 不同生长条件下峨眉产黄连个体生物量及生物碱类成分含量的比较[J]. 中国实验方剂学杂志, 2015, 21(18): 21-25.
- [56] 曹琰, 段金廛, 郭建明, 等. 不同产地海蒿子、羊栖菜中无机元素的含量分析与评价[J]. 科技导报, 2014, 32(15): 15-24.
- [57] 张丽丽, 白永亮, 宿树兰, 等. 不同品种不同生长期桑叶中生物碱类与黄酮类化学成分的积累动态分析评价[J]. 中国中药杂志, 2014, 39(24): 4822-4828.
- [58] 罗益远, 刘娟秀, 刘训红, 等. 不同采收期何首乌中多元功效物质的动态积累分析[J]. 中国中药杂志, 2015, 40(13): 2565-2570.
- [59] 陈娟, 谷巍, 段金廛, 等. 不同生长期穿心莲活性成分及关键酶基因差异表达研究[J]. 中草药, 2014, 45(21): 3149-3152.
- [60] 王汉卿, 段金廛, 汪晓东, 等. 不同物候期苦豆子中无机元素的分布及动态积累分析[J]. 中国现代中药, 2014, 16(3): 213-217.
- [61] 缪晓素, 宋国虎, 刘容秀, 等. 不同栽培年限及采收期对黄芩药材有效成分含量的影响研究[J]. 中国现代中药, 2015, 17(8): 836-839.
- [62] 李青苗, 杨文钰, 唐雪梅, 等. 姜黄素类化合物在不同品系姜黄根茎内积累规律研究[J]. 中国中药杂志, 2014, 39(11): 2000-2005.
- [63] 李娜, 王欣之, 吴皓, 等. 江苏东部沿海四种低值贝类软体中牛磺酸动态积累规律与适宜采收期研究[J]. 食品工业科技, 2015, 30(3): 54-59.
- [64] 包侠萍. 草珊瑚不同部位及不同采收期有效成分含量的考察[J]. 海峡药学, 2014, 26(12): 42-44.
- [65] 季可可, 谢红旗, 蔡松, 等. 黄皮树不同部位生长过程中主要生物碱成分的累积研究[J]. 中草药, 2014, 45(23): 3462-3466.
- [66] 宋军娜, 牛立云, 侯芳洁, 等. 安国道地药材祁白芷不同播种时间和不同采收时间指标成分含量变化[J]. 时珍国医国药, 2015, 26(5): 1245-1246.
- [67] 朱邵晴, 朱振华, 郭盛, 等. 不同干燥方法对薄荷药材中多元功效成分的影响与评价[J]. 中国中药杂志, 2015, 40(24): 4860-4867.
- [68] 李会伟, 刘培, 钱大玮, 等. 不同干燥方法及其影响因子对玄参药材初加工过程品质形成的影响[J]. 中国中药杂志, 2015, 40(22): 4417-4423.
- [69] 王芳, 王小平, 黎丹, 等. 不同加工方法对山银花中主要成分含量的影响[J]. 广东药学院学报, 2015, 31(4): 465-469.
- [70] 刘培, 陈京, 周冰, 等. 不同干燥加工方法及其条件对杭白芷中香豆素及挥发油类化学成分的影响[J]. 中国中药杂志, 2014, 39(14): 2653-2659.
- [71] 杨小花, 郭巧生, 朱再标, 等. 不同干燥方法对光慈姑加工性能和品质影响研究[J]. 中国中药杂志, 2015, 40(20): 3974-3980.
- [72] 李芳, 李乔, 宋丹, 等. 不同干燥方法对人参花和西洋参花皂苷类成分的影响[J]. 中草药, 2015, 46(19): 2937-2942.
- [73] 顾志荣, 潘新波, 王亚丽, 等. 基于 AHP 和 BPNN 结合模型优化当归烟熏加工工艺[J]. 中国新药杂志, 2014, 23(22): 2664-2670.
- [74] 白永亮, 段金廛, 宿树兰, 等. 桑叶干燥过程中黄酮类和生物碱类成分动态变化分析[J]. 中药材, 2014, 37(7): 1158-1163.
- [75] 许源, 刘培, 严辉, 等. 白芍初加工过程中单萜苷类及多羟基化合物的变化分析[J]. 中药材, 2014, 37(5): 775-780.

- [76] 王锐,申远.基于外部性理论的中药废弃物资源化治理机制研究[J].中国卫生事业管理,2016(1):45-47.
- [77] 袁盼,申俊龙,申远.基于生态效应的中药废弃物资源化的模式与技术选择[J].中草药,2015,46(19):2829-2933.
- [78] 朱华旭,段金廛,郭立玮,等.基于膜科学技术的中药废弃物资源化原理及其应用实践[J].中国中药杂志,2014,39(9):1728-1732.
- [79] 江曙,刘培,段金廛,等.基于微生物转化的中药废弃物利用价值提升策略探讨[J].世界科学技术—中医药现代化,2014,16(6):1210-1216.
- [80] 吴薛明,许婷婷,何冰芳,等.非水相生物转化体系的建立及其在中药废弃物资源化中的应用[J].中草药,2015,46(3):313-319.
- [81] 沙秀秀,宿树兰,沈飞,等.不同生长期丹参茎叶及花序中丹酚酸类化学成分分布与积累动态分析评价[J].中草药,2015,46(22):3414-3419.
- [82] 沙秀秀,戴新新,宿树兰,等.丹参茎叶药材的质量标准研究[J].药物分析杂志,2016,36(6):1094-1100.
- [83] 朱琳,郭建明,杨念云,等.菊非药用部位化学成分分布及其动态积累研究[J].中草药,2014,45(3):425-431.
- [84] 徐澄梅,任浩,钱大玮,等.采用UPLC-TQ-MS同时测定银杏花粉24种资源性化学成分[J].中国中药杂志,2015,40(11):2157-2162.
- [85] 杨晶晶,刘英,崔秀明,等.高效液相色谱法测定三七地上部分 γ -氨基丁酸的含量[J].中国中药杂志,2014,39(4):606-609.
- [86] 曲媛,刘英,黄璐琦,等.三七地上部分营养成分分析与评价[J].中国中药杂志,2014,39(4):601-605.
- [87] 沈飞,宿树兰,江曙,等.丹红注射液生产过程中丹参固体废弃物的资源性成分分析及其转化机制研究[J].中草药,2015,46(16):2471-2476.
- [88] 陶小芳,沈飞,宿树兰,等.生脉注射液生产过程五味子药渣中资源性物质的分析与循环利用途径探讨[J].中草药,2015,46(18):2712-2719.
- [89] 方诗琦,冷康,段金廛,等.甘草药渣中黄酮类成分及其抗氧化活性的研究[J].中成药,2015,37(11):243-248.
- [90] 刘睿,吴皓,程建明,等.江苏沿海低值贝类资源综合利用现状与展望[J].南京中医药大学学报,2015,31(1):93-96.
- [91] 宿树兰,郭盛,白永亮,等.桑蚕废弃物的资源化利用现状与分析[J].中国资源综合利用,2014,32(7):38-43.
- [92] 沙秀秀,宿树兰,段金廛,等.我国雷公藤属植物资源产业化过程废弃物的转化利用与资源化途径[J].中国现代中药,2014,16(7):517-523.
- [93] 李锋涛,段金廛,钱大玮,等.我国麋鹿药用资源的发展与研究现状及其资源产业化的思考[J].中草药,2015,46(8):1237-1242.
- [94] 蒋倩,李锋涛,钱大玮,等.麋鹿角不同部位对肾虚证大鼠的作用[J].中药药理与临床,2014,30(6):84-86.
- [95] 李锋涛,段金廛,钱大玮,等.麋鹿角对D-半乳糖诱导小鼠衰老模型抗衰老作用[J].南京中医药大学学报,2014,30(3):235-239.
- [96] 李锋涛,段金廛,钱大玮,等.麋鹿角对环磷酰胺并乙酰苯肼诱导血虚模型的作用[J].中药药理与临床,2014,31(3):100-103.
- [97] 郝大程,肖培根,刘明,等.从药用亲缘学到药用基因组亲缘学:分子系统发育、进化与药物发现[J].药学学报,2014,49(10):1387-1394.
- [98] 郝大程,顾晓洁,肖培根.毛茛属药物资源的化学和生物学研究进展及亲缘关系分析[J].时珍国医国药,2015,26(8):1990-1993.
- [99] 黄含含,李霞,高文远,等.薯蓣属药用植物的亲缘关系研究[J].中国中药杂志,2015,40(17):3470-3480.
- [100] 石祥刚,李成仁,李凯凯,等.应用HPLC色谱技术进行枌属植物化学分类学研究[J].中山大学学报(自然科学版),2014,53(2):101-107.
- [101] 滕建北,蔡毅,朱意麟,等.中药资源学教学改革初探[J].广西中医药大学学报,2014,17(2):137-139.
- [102] 孙志蓉,王运丽.形成性评价在中药资源学教学中的应用初探[J].中国中医药现代远程教育,2014,12(18):138-140.
- [103] 刘刚,刘育辰,张文龙,等.多媒体视频库和多学科相结合的中药资源学教学模式改革与探索[J].安徽农业科学,2015,43(16):379-380.
- [104] 何国振,汤丽,陈蔚文.对中药资源与开发专业建设的思考[J].大学教育,2014(13):72-74.
- [105] 陈惠杰,刁磊.中药资源与开发专业实践教学体系的构建[J].河南农业,2014(22):33.
- [106] 齐伟辰,蔡广知,王哲.网络教学平台在药用植物学教学中的应用[J].长春中医药大学学报,2015,31(5):1082-1083.
- [107] 李骁.药用植物学教学中的几点思考[J].内蒙古师范大学学报(教育科学版),2015,28(7):138-140.
- [108] 严玉平,吴兰芳,韩晓伟,等.《分子生药学》本科教学设计思路探讨[J].广东化工,2015,42(21):207.

(收稿日期 2016-08-10)