



主 编 段金廛
Edited by Jin-ao Duan

中药资源化学

——理论基础 与资源循环利用

RESOURCES CHEMISTRY OF
CHINESE MEDICINAL MATERIALS:

Theoretical basis and
resource recycling utilization



科学出版社

国家科学技术学术著作出版基金资助出版



中药资源化学

——理论基础与资源循环利用

Resources Chemistry of Chinese Medicinal Materials:
Theoretical basis and resource recycling utilization

主编 段金廛

Edited by Jin-ao Duan

科学出版社



段金廛(1956年10月—),中国药科大学天然药物化学博士。现任南京中医药大学副校长、教授、博士研究生导师,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主任、江苏省中药资源产业化过程协同创新中心主任等。兼任国务院学科评议组成员、中华人民共和国药典委员会委员、中国自然资源学会中药及天然药物资源专业委员会主任委员等职。

长期以来致力于中药资源化学的学科建立和科学研究、注重于中药资源产业化过程提质增效及资源循环利用、中药材规范化生产与品质评价、中药及方剂功效物质基础及创新药物研究等。作为国家“973”计划项目首席科学家,先后承担国家重大基础研究项目、国家科技支撑计划专项、国家自然科学基金及省部级重大基础研究与产业化项目等20余项;在国内外发表学术论文480余篇,其中SCI收录160余篇;主编或副主编专著5部;申请或授权国家发明专利70余件;研制中药新药、新药材原料及功能型产品8项;研究制(修)定国家、行业和企业产品和生产技术标准36项。培养硕、博士研究生60余名。获得国家科技进步奖2项,教育部自然科学一等奖、科技进步一等奖各1项,其他省级科技进步奖5项。

荣获全国优秀科技工作者,江苏省优秀科技工作者荣誉称号,江苏省有突出贡献的中青年专家,江苏省“中药资源化学与方剂效应物质基础研究优秀人才集体”带头人,江苏省“五一”劳动奖章获得者,江苏省十佳中药人物金奖等。江苏省“333 高层次人才培养工程”第一层次培养对象及首批中青年科技领军人才,江苏省高校“青蓝工程”科技创新团队带头人,江苏省“六大人才高峰”A类培养对象,享受国务院政府特殊津贴等。

《中药资源化学——理论基础与资源循环利用》

编辑委员会



主 编
段金廛

副主编
(按姓氏拼音排序)

陈道峰	陈纪军	陈士林	郭 盛	黄璐琦	江 曙	刘 培	钱大玮	宿树兰
唐于平	唐志书	屠鹏飞	吴启南	萧 伟	余伯阳	赵步长	赵润怀	钟国跃

编 委 (按姓氏拼音排序)

白吉庆	蔡少青	曹 园	巢建国	陈道峰	陈纪军	陈建伟	陈 京	陈菁瑛
陈士林	陈随清	俞桂新	崔秀明	丁安伟	董婷霞	段金廛	樊文玲	方成武
冯卫生	冯 煦	富 力	谷 巍	桂双英	郭宝林	郭建明	郭兰萍	郭立玮
郭 玫	郭 盛	何 兰	黄必胜	黄林芳	黄璐琦	江 曙	晋 玲	李锋涛
李会军	李念光	李绍平	李文林	李 祥	李晓瑾	李友宾	梁侨丽	林 励
刘 培	刘 睿	刘圣金	鲁学军	路金才	吕洁丽	罗光明	马宏跃	马新飞
欧阳臻	彭国平	彭蕴茹	钱大玮	钱士辉	秦民坚	秦 勇	尚尔鑫	邵江娟
沈志斌	宿树兰	唐于平	唐志书	陶伟伟	田义新	屠鹏飞	王汉卿	王康才
王喜军	王小平	王振中	吴德玲	吴 皓	吴启南	吴薛明	萧 伟	肖小河
熊耀康	严 辉	严铸云	杨美华	杨念云	于 光	余伯阳	张朝晖	张 辉
张俊清	张 丽	张小波	张 森	张永清	张 瑜	赵步长	赵 明	赵润怀
钟国跃	周 卫	朱华旭	朱 悦	朱振华				

张伯礼院士序



地球是我们唯一的家园。近百年来这个家园的资源被过度的消耗,破坏了大自然修复平衡能力,温室效应日益严重,生态环境逐渐恶化,反常恶劣天气增加。美国灾难电影《明天》展现的恐怖情景,仿佛离我们并不遥远。最近世界著名物理学家史蒂芬·霍金预言:人类无法再在地球生活一千年。这是杞人忧天吗?每个地球村的人都应反思。当前,转变经济社会发展方式,节约能源、绿色发展,已成为人类社会的共识。

中药资源是国家战略资源,是中医药产业和健康服务业发展的物质基础。为了克服无序开采挖掘带来的资源破坏、粗放生产造成的资源浪费,实现中药资源的循环利用与可持续发展,从根本上转变传统中药产业“高投入、高消耗、高排放、低产出”的陈旧发展模式和生产方式。这需要集成相关学科理论及其技术的最新成果,围绕中药资源经济产业链的全过程进行深入系统的研究,通过创新驱动,推进资源节约型和环境友好型发展,构建中药资源循环经济体系,保障和推进中医药事业可持续发展。

段金廪教授及其团队长期从事中药资源领域的科研、教学和资源循环利用转化工作,逐渐形成和发展了中药资源化学这一新学科。中药资源化学的学科定位及目标任务是通过融合多学科知识、集成相关适宜技术,降低中药资源在产业化过程各个环节的资源消耗,提高资源的有效利用,通过推进中药资源的合理使用和循环发展,实现资源产业化过程经济效益和生态效益的双赢,实现绿色产业可持续发展。

《中药资源化学——理论基础与资源循环利用》一书是由段金廛教授领衔，组织我国中药资源领域的专家学者和资源产业生产一线的企业家及技术人员共同编著的这个新领域第一部学术专著。该书围绕中药资源化学的概念与性质、学科的形成与发展、社会功能、方向与任务，中药资源化学与资源循环利用研究思路与方法等方面展开了论述；探讨了中药资源化学成分类型及其生物合成途径；中药资源生产与加工过程中资源化学研究；多元技术集成提升中药资源产业化过程中的利用效率；中药资源产业化过程中资源循环利用研究等内容，并有对代表性植物类群的资源化学研究与资源循环利用实例的论述。这本专著思路新颖，富有时代特色，内容丰富，既有理论和方法技术体系的创新，又有实践性的专论可供借鉴，是一部理论价值和应用价值均较高的鼎新力作。

在我国经济社会发展进入新常态的关键时期，该专著符合国家经济转型升级的时代特色，又具有重要经济、社会和生态意义，得到了国家科学技术出版基金的资助。相信该书的出版将为中药资源领域的产业化发展、科学研究、学科建设和人才培养发挥重要的作用。

心系生态，关注资源，赞赏创新，学习先进，故不揣浅拙，素然为序！

中国工程院院士
中国中医科学院院长
天津中医药大学校长

张伯礼

2015年初夏 于梅江·溪园

孙汉董院士序



随着我国中医药事业的快速发展,以消耗中药及天然药物资源为特征的资源经济产业链不断延伸,产业集群快速扩张,已成为我国生物医药独具特色的产业力量,为民众的健康和相关产业的发展作出了重要贡献。然而,由于该行业受制于传统生产方式、传统应用习惯和传统产业现代化程度诸因素,目前大多尚处于资源利用效率较低,资源浪费严重和生产力水平不高的状态。因此,中药资源的生产、加工、开发利用及其产业化过程中需要更加科学、合理、有效地提高资源利用效率,拓展和延伸资源经济产业链,实现中药资源的循环利用和再生产业发展,实现物尽其用的目的。

段金廛教授及其团队在中药资源领域长期的科研和教学实践中,逐渐建立和发展了中药资源化学学科,并联合全国同道,历时数年,编著而成国内外第一部《中药资源化学——理论基础与资源循环利用》学术专著。该学科是在中药资源学理论的指导和循环经济理念的引导下,致力于中药资源的规范化生产、中药资源的循环利用和资源再生经济发展,以实现中药及天然药物资源的合理生产及有效利用,推进中药资源产业及其相关领域向着资源节约型、环境友好型经济社会的目标发展。

该著作围绕中药资源化学的概念与性质、学科的形成与发展、研究目标与任务,中药资源化学研究思路与方法;探讨了中药资源化学成分类型及其生物合成途径;中药资源生产与加工过程中资源化学研究;多元技术集成提升中药资源产业化过程的利用效率;中药资源生产与利用过程废弃物的资源化利用研究;以及

各类型资源性成分的资源分布与利用价值,并对代表性植物类群的资源化学研究与资源化利用示例进行了系统的论述。既有理论和方法技术体系的创新,又有内容丰富、实践性强的专论。我相信,该专著的出版必将为我国中药资源循环经济发展模式的建立和生产方式的转变起到推动作用,为中药资源循环利用和再生产业发展提供示范,为中药资源学理论和科学内涵的进一步丰富和完善作出应有的贡献。

该专著的出版受到了国家科学技术出版基金的资助,必将为该领域的科学研究、学科建设和人才培养等方面发挥积极的推动作用和产生深远的影响。循环利用,生态经济,绿色发展。开卷有益,欣然为序!

中国科学院昆明植物研究所
中国科学院院士

孙汉董

2014年11月 于昆明

欧阳平凯院士序



中药资源为中华民族的生存与繁衍提供了重要的保障。然而,随着人口剧增与环境恶化,导致人类开发和利用资源与保护和节约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,以寻求可持续发展的策略与方法。

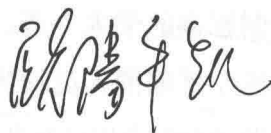
由段金廛教授主编的《中药资源化学——理论基础与资源循环利用》就是适应这一社会重大需求,适时编辑出版的。该书是一部在理论和实践上都具有良好创新性的学术专著,尤其是对中药资源科学内涵的深刻理解,让人耳目一新。该专著编撰人员均为我国长期从事中药及天然药物资源生产与利用的专家学者,所编写内容大多为编撰者多年研究成果之积累,学术观点鲜明,学术造诣深厚。围绕中药及天然药物资源领域资源性产品的合理生产与循环利用、资源经济产业链的延伸与发展等社会需求构建学科体系,进行积极探索和实践,通过引入酶工程、细胞工程等生物工程技术构建生物转化体系,运用化学生物合成、化学成分修饰等策略和技术,建立了化学转化体系等,这将有效提升中药资源产业化过程的经济效益、社会效益与生态效益,为我国中药资源的健康可持续发展提供有力支撑。有效提升中药资源产业化过程的经济效益、社会效益与生态效益,为我国中药资源的健康可持续发展提供有力支撑。

该著作分为十四章,围绕中药资源化学的概念与性质、学科的形成与发展、研究目标与任务,中药资源化学研究思路与方法;中药资源化学成分及其生物合

成途径;各类中药资源性化学成分的资源分布、利用价值以及代表性类群研究与开发实例等进行论述。该著作的出版必将为我国中药资源生产与利用诸环节提供理论指导,进一步丰富中药资源学理论和方法学,必将为该领域的科学研究、学科建设和人才培养作出应有的贡献,为从事中药资源及其相关领域的同道提供学习和借鉴。

是为序!

江苏省科学技术协会主席
南京工业大学原校长
中国工程院院士



2014年12月 于金陵

前言



资源化学(science of resources chemistry)是人类赖以生存和生产的物质基础。化学物质是资源构成的基础。材料化学、资源化学、环境化学、地球化学等交叉性多元融合学科的建立无一不是人们为追求和满足对资源性化学物质的欲求而产生,并致力于资源的合理、高效、节约利用和推动循环经济发展,这是科技社会进步和现代产业发展的动力使然。

近年来,我国以消耗中药及天然药物资源为特征的资源经济产业得到了快速发展,社会贡献率强劲增长。据2014年我国医药行业GDP统计,中药资源产业的贡献率已占全国医药产业总额的1/3份额。同时也造就了一大批年产值超过10亿、50亿,乃至百亿元人民币的标志性中药资源深加工制造企业,其企业规模、装备水平和GMP硬软件条件,以及生产能力处于国内外一流水平。然而,分析其经济生产方式和发展模式,大多仍属于大量生产、大量消耗和大量废弃的传统落后生产方式,并由此导致药材原料的需求不断扩大,依赖于自然生态提供的天然药物资源濒于枯竭,环境和生态受到不同程度的破坏。即使通过人工生产以进行资源的替代和补偿,但由于我国人口大国对粮食等生活物资生产需求的现实而与种植药材争夺土地空间和水资源的矛盾不断加剧;加之中药农业生产过程及中小型中药制造企业和大中药健康产品生产企业所涉及的药材/饮片生产加工、资源性产品深加工、中药资源产业化过程的利用效率、技术水平、生产方式等尚滞后于现代经济产业发展的范式要求,因此普遍存在着资源浪费、产品附加值低、消纳量有限、再生利用薄弱、创新性缺乏等问题。导致中药农业环节占有大量的生产力要素生产的药材作为中药工业深加工制造产业的原料,经水提、醇提或其他方式进行富集、纯化等工艺环节,进入口服制剂或标准提取物等各类型资源性产品生产阶段,药材原料的利用率平均低于30%,约70%的剩余物被作为废物排放或简单转化为低附加值产品利用。中药注射剂在中药资源产业体系中占有独特

而重要的地位,然而其终端产品中资源性化学物质的含量仅是药材原料质量数的1%~10%,也就是说用于中药注射剂生产的药材资源利用率不足10%,其90%的物质质量被废弃,造成了中药资源的大量浪费和废渣、废水的排放对生态环境带来的巨大压力。因此,不难看出中药资源产业的GDP越大,中药资源经济活动中的实物流量和资源消耗量就越大,生产过程产生的废渣、废水、废气等中药废弃物的排放量和环境压力就越大。这种传统工业的“高投入、高消耗、高排放、低产出”的落后经济发展方式和经济形态将日益受到更多的社会与环境制约而难以健康发展。

为了实现中药资源的有效利用与可持续发展,必然要求人们围绕资源经济产业链全过程,集成相关学科及其科学技术领域的最新成果,对其蕴含的资源性物质进行深入系统的生产与利用研究。通过资源循环利用策略的引导和推行,从根本上转变中药农业和中药工业的经济增长方式,推进中药资源经济产业发展模式和生产方式的变革,改变长期以来依赖自然资源和资源耗竭式发展方式及其层次结构相对较低的发展模式,解决和缓解我国经济发展对资源的需求量大、资源相对短缺,以及庞大的经济规模和经济总量所带来的巨量废弃物和环境承载压力。以中药资源循环经济产业体系的构建和可持续发展为总目标,集成多学科知识与技术交叉融合形成的中药资源化学学科依靠科技进步与创新必将有所作为。中药资源化学(resources chemistry of chinese medicinal materials)的产生及其历史使命也就在于此。

中药资源化学学科的建立及其科学研究最突出的特征和最重要的目标就是通过多学科交融、适宜技术集成以降低中药资源产业化过程各环节的资源消耗,通过提高资源利用效率以实现节约中药资源的目的。通过全社会的关注,形成政府支持、企业主体、产学研结合的技术研究和开发体系。通过加大对资源节约和循环利用关键技术的攻关力度,努力突破中药资源产业体系长期以来形成的技术瓶颈。通过经济建设与生态建设同步推进,才能真正解决传统发展模式重经济发展、轻环境保护的矛盾,才能向着经济发展与环境保护两者协调发展模式的转变。通过对适宜技术的集成和综合创新,推进中药资源产业领域走科技先导型、资源节约型、环境友好型的发展之路。

中药资源化学学科作为中药资源学的分支学科,其人才培养—学科建设—科学研究贯

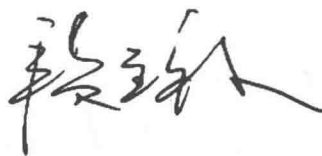
穿于中药资源生产与利用全过程,也是中药资源学科体系进一步完善和发展的重要内容。20世纪80年代中国药科大学周荣汉教授率先提出中药资源学的理论和学科体系框架,编撰出版了我国第一部《中药资源学》。20世纪90年代,中药资源与开发专业正式纳入国家本科专业体系,通过10余年的人才培养和教学实践,逐步完善了课程体系和教学大纲,逐步形成了特色鲜明的人才培养体系。由挂靠南京中医药大学的中国自然资源学会中药及天然药物资源专业委员会联合全国中医药院校成立了“中药资源与开发专业教学理事会”,讨论确定了学科课程体系,主要包括:中药资源学、药用植物学、药用植物生理生态学、药用植物栽培学、中药材加工与养护学、中药资源化学、中药分析学、植物化学分类学、中药生物技术、中药商品学、中药资源开发与综合利用、本草学概论等,并组织全国38所中医药、农林、师范、综合性院校280余位中药及天然药物资源领域学者编写出版我国第1套中药资源与开发专业本科系列规划教材。

本专著的编写出版,特别要感谢我国著名的中药资源学家周荣汉先生、著名的天然药物化学家赵守训先生等前辈给予的殷切关怀和指导教诲,我们所从事的这份事业是在老师们开拓创新的基础上继承延续、进取发展的结果。衷心感谢张伯礼院士、孙汉董院士、欧阳平凯院士等学术大家给予的热情鼓励和帮助支持。同时,也非常感谢各位编委同舟共济、辛苦努力,保证了专著质量及编写进度。本书的编委们均是长期从事中药资源学、中药及天然药物资源化学和中药资源开发利用及其产业化等相关领域的专家学者,他们将自己的所学和具体的实践成果,结合资源科学、循环经济学和中医药学等理论基础,以及天然产物化学资源、农林生物资源、海洋生物资源等相关学科门类快速发展的研究成果,加以吸收,为我所用,为独具特色的中药资源化学理论体系和中药资源循环经济发展模式的构建提供了有力的支撑,也将为中药及天然药物资源领域资源性产品的生产与利用、资源循环利用及其再生经济产业链的形成与发展、中药资源化学学科体系建设及人才培养和科学研究作出积极贡献。

本专著系统地阐述了中药资源化学学科概念与性质、内涵与外延、科学研究方向、目标与任务等,以及编者长期从事中药资源化学研究所取得的科学研究成果。全书共计十四章,第一章为绪论,第二章为中药资源化学及资源循环利用的研究思路与方法,第三章为中

药资源性化学成分生物合成途径与生物转化利用,第四章为生物碱类资源化学,第五章为苯丙素类、香豆素类及木脂素类资源化学,第六章为醌类资源化学,第七章为黄酮类资源化学,第八章为鞣质类资源化学,第九章为萜类资源化学,第十章为甾体类资源化学,第十一章为氨基酸、肽及蛋白质类资源化学,第十二章为糖类资源化学,第十三章为脂类资源化学,第十四章为矿物类中药资源化学。

限于我们的知识水平、工作经验和创新能力,本书中错、谬、浅、漏在所难免。恳请从事中药及天然药物资源科学研究、资源管理的专家学者,以及致力于资源产业化方面的企业家及广大读者批评指正并提出宝贵意见,以便再版时补正。



2015年初春 于金陵

目 录



张伯礼院士序

孙汉董院士序

欧阳平凯院士序

前言

第一章

绪论 / 1

第一节 资源科学与中药资源化学 / 2

- 一、资源科学的发展是人类文明与进步的象征 / 2
- 二、资源化学的使命是推进资源系统可持续发展 / 5

第二节 中药资源化学的概念与范畴 / 9

- 一、中药资源化学的概念与性质 / 10
- 二、中药资源化学的内涵与外延 / 11

第三节 中药资源化学的社会功能与目标任务 / 13

- 一、中药资源化学的社会功能 / 13
- 二、中药资源化学研究的目标任务 / 16

第四节 中药资源化学研究与资源循环利用 / 19

- 一、服务于药材原料生产资源产业化过程 / 19
- 二、服务于中药资源性产品深加工产业化过程 / 22
- 三、服务于中药资源循环经济产业链的构建与发展 / 27

第二章

中药资源化学及资源循环利用的研究思路与方法 / 37**第一节 中药资源化学及资源循环利用的研究思路** / 38

- 一、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 / 38
- 二、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 / 39
- 三、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 / 40
- 四、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 / 41
- 五、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和潜在利用价值 / 42

第二节 中药资源化学及资源循环利用的研究方法 / 46

- 一、确定药材适宜采收期的评价方法与技术体系 / 46
- 二、优化药材产地干燥加工的适宜方法与技术体系 / 58
- 三、提升资源性化学物质利用效率的适宜方法与技术体系 / 64
- 四、适宜于中药资源循环利用的方法与技术体系 / 83

第三章

中药资源性化学成分生物合成途径与生物转化利用 / 93**第一节 中药资源性化学成分类型及其生物合成途径** / 94

- 一、药用植物资源性化学成分类型及其生物合成途径 / 94
- 二、药用动物资源化学成分类型与生物代谢途径 / 134

第二节 中药资源性化学成分的生物转化利用 / 143

- 一、生物/化学转化的主要反应类型及效应酶系 / 143
- 二、药用植物内生微生物的多样性及其对资源性化学成分的转化利用 / 159
- 三、生物技术在中药资源性化学成分转化利用中的应用 / 173

第四章

生物碱类资源化学 / 201**第一节 生物碱类资源性化学成分的分布、结构特点与利用价值** / 202

- 一、源于鸟氨酸途径的生物碱类资源性化学成分 / 203
- 二、源于赖氨酸途径的生物碱类资源性化学成分 / 206
- 三、源于苯丙氨酸和酪氨酸途径的生物碱类资源性化学成分 / 212

- 四、源于色氨酸途径的生物碱类资源性化学成分 / 218
- 五、源于邻氨基苯甲酸途径的生物碱类资源性化学成分 / 222
- 六、源于组氨酸途径的生物碱类资源性化学成分 / 223
- 七、由烟酸衍生的生物碱类资源性化学成分 / 223
- 八、萜类生物碱资源性化学成分 / 224
- 九、甾体类生物碱资源性化学成分 / 226
- 十、由嘌呤类衍生的生物碱资源性化学成分 / 228
- 十一、甜菜拉因类资源性化学成分 / 231

第二节 富含生物碱类物质的代表性药用生物资源类群及其资源化利用研究 / 236

- 石杉类药用生物资源及其资源化利用研究 / 236
- 桑类药用生物资源及其资源化利用研究 / 244
- 莲类药用生物资源及其资源化利用研究 / 263
- 黄连类药用生物资源及其资源化利用研究 / 275
- 菰蓝类药用生物资源及其资源化利用研究 / 283
- 苦豆子药用生物资源及其资源化利用研究 / 291
- 骆驼蓬类药用生物资源及其资源化利用研究 / 302
- 贝母类药用生物资源及其资源化利用研究 / 309

第五章

苯丙素类、香豆素类及木脂素类资源化学 / 319

第一节 苯丙素类、香豆素类及木脂素类资源性化学成分分布、结构类型与利用价值 / 320

- 一、苯丙(烯)酸类资源性化学成分 / 320
- 二、香豆素类资源性化学成分 / 327
- 三、木脂素类资源性化学成分 / 331

第二节 富含苯丙素类、香豆素类及木脂素类物质的代表性药用生物资源类群及其资源化利用研究 / 345

- 五味子类药用生物资源及其资源化利用研究 / 345
- 杜仲药用生物资源及其资源化利用研究 / 356
- 白芷类药用生物资源及其资源化利用研究 / 367
- 蛇床子类药用生物资源及其资源化利用研究 / 376
- 连翘药用生物资源及其资源化利用研究 / 381
- 忍冬类药用生物资源及其资源化利用研究 / 389
- 姜黄类药用生物资源及其资源化利用研究 / 400
- 当归药用资源及其资源化利用研究 / 408