中药资源化学学科的创新发展丰富了我国中药资源学理论和学科体系,为中药及天然药物资源的健康可持续发展作出了应有贡献。日前,南京中医药大学中药资源化学学科入选国家高水平中医药重点学科建设项目——

交叉创新释放中药资源产业新动能

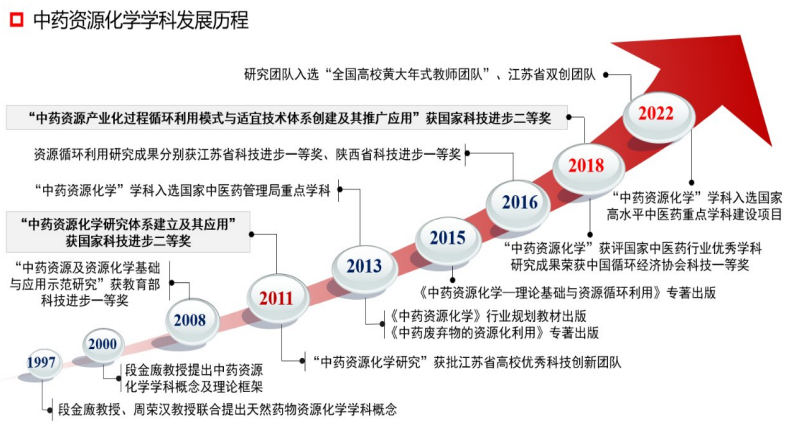
随着社会需求的提升与生产力水平的不断提高,人们期望获得品质更高、产量更大、价格更为低廉的生产资料。这一社会动力驱使人们在中药资源的生产、加工、开发利用及其产业化过程中不断创新生产方式和发展模式,以不断提升产品的品质,提高资源利用效率,实现物尽其用的目的。

为了实现中药资源的科学生产与有效利用,必然要求人们对赖以生存的有限资源中可利用物质的生产与利用问题开展深入系统研究,以寻求可持续发展的策略与方法。这便是中药资源化学学科形成的社会和行业发展背景。

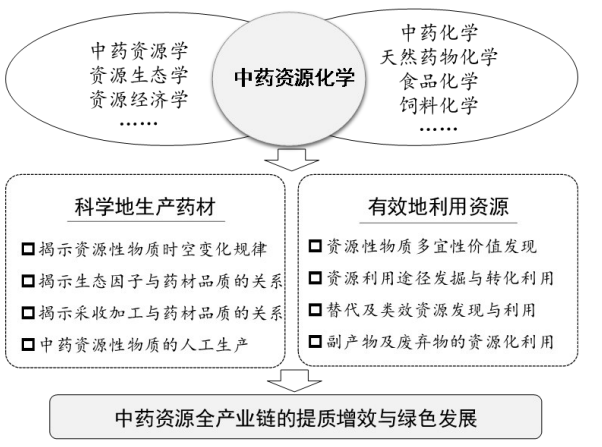
南京中医药大学中药资源化学学科团队(以下简称"学科团队"),面向中药资源全产业链资源浪费严重、效率效益低下、生态环境压力加剧等制约行业发展的重大社会问题,长期围绕中药资源产业化过程产生的非药用部位、中药工业生产废弃物及副产物等开展科学研究。

学科团队创新中药资源循环利用生物转化技术、物理转化技术、化学转化技术,构建副产物、废弃物利用的"医药原料化、食用化、饲用化、肥料化、能源化"五种资源化模式,推动中药资源利用由粗放低效向精细高值化转变,推动中药资源产业由线性经济模式向循环经济模式转变,相关成果两次获得国家科技进步奖。

据中药资源化学科学研究与教学领域的拓荒人与推动者、南京中医药大学教授段金廒介绍,团队始终坚持以服务国家战略、人民需要为导向,科学与人文并重、创新与责任共举,推动中药资源循环利用成为全社会实施生态文明战略、践行"绿水青山就是金山银山"理念的重要组成部分。



中药资源化学学科发展历程。



中药资源全产业链的提质增效与绿色发展。

新时代新发展催生新学科,对接社会需求创立中药资源化学学科

中药资源是国家战略资源,是人民健康用药需求和中医药事业发展的物质基础与根本保障。随着以消耗中药资源性原料为特征的资源产业不断扩张,原料需求激增,庞大的经济规模加速了自然资源的耗竭和人工替代与补偿资源的大量生产,同时产生巨量的废弃物和环境承载压力。

正是基于这样的历史背景和社会经济发展需求,段金廒、周荣汉早在1997年率先提出了天然药物资源化学学科概念。在此基础上,段金廒于2000年进一步阐述了中药资源化学学科概念和理论框架。学科带头人段金廒先后领衔出版第一部《中药资源化学》本科行业规划教材、《中药资源化学——理论基础与资源循环利用》学术专著,标志着中药资源化学学科体系进一步完善,学科内涵进一步丰富。

2012年,"中药资源化学"获批国家中医药管理局重点学科,并连续获评优秀。随着科学研究不断深入,中药资源化学研究成果先后获得国家科技进步奖二等奖2项。学科发展的同时伴随着人才团队的优化,"中药资源化学研究"团队入选2011年江苏省高校优秀科技创新团队,"中药资源循环利用"团队入选2021年江苏省"双创"团队,段金廒领衔的教师团队2022年入选第二批"全国高校黄大年式教师团队"。

中药资源化学学科的创立与发展与中医药事业的发展密切相关,得益于自然资源学学科体系的建立和不断完善,尤其是资源生态学、资源地理学、植物资源学、动物资源学、资源经济学等多学科的有力支撑。其科学研究服务于药材原料生产资源产业化过程,服务于中药资源性产品深加工产业化过程,服务于中药资源循环经济产业的构建与发展。

段金廒带领学科团队率先建立了基于药用部位形成特性-规范化生产关键要素-资源化学成分动态转化-药材品质形成相关联的中药资源化学研究技术体系,构建了具有技术壁垒的中药资源生产技术和品质保障标准,推动了药用生物资源学与天然产物化学及其相关分支学科的有机交叉融合,创立了新兴交叉学科——中药资源化学。

我国每年丹参药材种植过程产生的50余万吨茎叶,菊花药材采收过程产生约65万吨废弃茎叶及根等非药用部位,中药资源深加工产业化过程每年产生固体废弃物及副产物高达6500余万吨、液态废弃物达数亿吨。与资源和药材打交道几十年来,段金廒深知药农谋生的不易以及工业生产中资源浪费的触目惊心,因此下定决心要用实际行动改变药材资源大量生产、大量消耗、大量废弃的现状。

中药资源化学学科的目的是有效推进和更加科学合理、有效地生产质优量足的中药材原料资源;进一步提高中药资源利用效率,有效延伸资源经济产业链,通过资源性化学物质的精细化高值化利用,不断提升其资源经济价值和挖掘潜在利用价值,实现有限资源的物尽其用、循环利用和绿色发展。

中药资源化学学科的创新发展丰富了我国中药资源学理论和学科体系,为中药及天然药物资源领域的健康可持续发展作出了应有贡献,为中医药行业和中药资源经济产业的健康可持续发展提供了不竭的新动能。

把论文写在祖国大地上,学科建设助力田间地头开出"创新花"

从实验室到田间地头,在段金廒的带动下,学科团队着力推进中药资源化学领域关键核心技术攻关,让交叉创新的"科技力"助力产业发展开出"创新花"、为老百姓增收致富结出"幸福果"。

一是创建中药资源化学研究技术体系,推动中药材规范化生产与药材品质提升。段金廒带领团队针对中药材生产过程规范化程度低、品质良莠不齐等制约行业发展的重大问题,通过建立中药资源化学研究技术体系,突破了一批制约中药材规范化生产的瓶颈,提升了岷当归、银杏叶、苏薄荷、枸杞子等20余种大宗药材品质与产量,并推广应用药材生产基地逾百万亩,实现经济效益15.8亿元。研究成果"中药资源化学研究体系建立及其应用"获2011年度国家科技进步二等奖,获部省级科技进步一等奖2项。

二是创建中药非药用部位的多途径资源化利用模式,推动中药资源产业的提质增效和精细高值化利用。针对中药材生产过程中非药用部位及加工下脚料资源化利用程度低等制约行业发展的重大问题,构建了中药资源副产物医药化、食品化、饲料化、肥料化等多途径资源化利用研究技术体系,创新性地发现了一批具有人、畜疾病防治以及生物农药开发利用价值的再生资源。以菊花药材采收过程产生的废弃茎叶及根等非药用部位资源化利用为研究示范,系统揭示了其资源性化学成分组成及多途径利用价值,获得菊茎叶精油、黄酮类及倍半萜类、多糖类物质研制开发功能性日化、饲用等资源性再生产品,其残草经热解炭化、产酶发酵复合生产纤维素酶和生物炭,形成含纤维素酶炭基复合肥产品,还田施用有效改善土壤物化特性和连作障碍,形成"源于农田,归于农田"的资源循环利用模式,使菊资源利用率提升50%~70%,经济效益增长约两倍。推广应用于丹参茎叶、枸杞枝叶、黄芪茎叶等30余种药材非药用部位的资源价值发现,开发新资源药材、功能性食品、饲用产品、原料板材等90余个再生产品,有效提升了其资源利用效率和效益,有力促进了药农脱贫增收和地方经济发展。研究成果以"中药创新,变废为宝"为主题获央视财经频道(CCTV-2)专访报道。

三是创建中药工业固废物循环利用及减排增效多元模式,推动中药资源产业由线性经济模式向循环经济模式变革。段金廒带领学科团队针对中药材深加工过程资源利用效率低、环境污染严重等重大问题,基于中药资源化学与循环经济理论融合创新形成中药资源循环利用新理论,集成创建了切合中药资源产业经济特点的生物转化、化学转化、物理转化三套工程技术群,系统构建了适宜于不同资源类型的五类产业化模式。研究成果为中药废弃物资源化利用与无害化处置提供有效解决方案,转化应用于十余省30余家药材生产及深加工企业,有力推动了中药资源全产业链循环利用与绿色发展。主持完成的"中药资源产业化过程循环利用模式与适宜技术体系创建及其推广应用"获2018年度国家科技进步奖二等奖、省级科技进步奖一等奖2项。

其中,创建高抗性菌株高效生物转化技术,形成中药单味药渣多级联产资源循环利用新模式。突破中药工业固废物中含有抗性物质难于酶解转化的技术难题,创建了基于抗性微生物筛选-工程菌构建-产酶发酵-酶解糖化技术相互耦联的生物转化技术;建成甘草、丹参等药渣低成本湿法在线分离半纤维素和木质素的预处理生产线,实现了联产高品质纤维素酶、低聚糖等再生产品,残渣热解炭化复配形成生物炭-土壤有益菌复合肥等并实现产业化。转化应用实现了20余种中药固废物有效转化为多类型高附加值产品,提升了资源利用效率达50%~70%。创建热解炭化炭-液-气联产化学转化技术,形成中药复合药渣零排放循环利用模式。突破了中药工业复合药渣含水率高、化学组成复杂的资源化利用难题,与企业合作攻关创建了耦合分级脱水-资源性化学物质回收-热解碳化-余热回收技术体系,自主设计两套不同模式的热解炭化成套机组,应用于10余种复合中药渣的有效处置与再生利用,实现企业药渣零排放、热解气回收利用减少标准燃煤消耗1万吨/年的产业化示范,为我国中药工业固废物的资源化利用及减排增效提供了解决方案。创建资源性物质高效富集绿色制备技术,形成中药固废物精细化利用新模式。突破中药废弃物及副产物物质组成复杂、理化性质各异、难以解离释放等技术难题,创建了基于纤维素酶等酶解技术与陶瓷膜、有机膜超滤、微滤—超滤串联等分离单元复合构成的资源性化学物质富集制备技术,成功应用于丹参药渣、甘草药渣等10余种废弃物的资源性化学物质富集制备,并进一步研制开发丹参酮原料、日化产品等8大类30余种资源性产品,产生显著的经济、社会和生态效益。

段金廒带领学科团队研究制定了全国首个涉及中药固废物再生利用的标准通则与技术规范,填补了相关标准空白。联合建成"中药渣无害化处理-专用有机肥生产-药材基地土壤改良及生态种植"为一体的中药工业清洁生产、中药农业生态种植的循环经济产业示范基地,为中药资源全产业链生态绿色产业链构建提供了可复制易推广的模板。开拓中药资源产业化过程副产物饲用化途径,建立新资源饲料品种团体标准,为我国经济动物产业替抗减抗绿色发展及饲粮节约提供有效途径。

在人才培养与团队建设方面,段金廒多年来致力于中药资源化学学科建设和人才培养,培养了一大批创新型人才。创建科教"四融合"人才培养体系,创立科研成果转化为教学资源"三创"模式,构建基本技能-综合应用-基地实践-创新创业的"四位一体"实践教学体系,领衔创编国内首套中药资源与开发专业系列规划教材,培养了众多优秀硕士、博士,为该学科在我国的发展培养了重要学术力量。段金廒领衔的中药资源学教师团队入选"全国高校黄大年式教师团队";获评江苏省"青蓝工程"科技创新团队1个、江苏省高校优秀科技创新团队3个、江苏省"双创"团队1个;所在的党支部入选"全国党建工作样板支部","段金廒劳模创新工作室"入选第四批江苏省教科系统示范性劳模和工匠人才创新工作室。段金廒获国际欧亚科学院院士、首届"岐黄学者"国家中医药领军人才、全国中医药杰出贡献奖、全国优秀科技工作者等荣誉称号。

在产学研合作与科技服务方面,段金廒带领学科团队一起把论文写在祖国大地上。学科团队秉承"源于农田,归于农田"的循环经济理念,创建了我国中药资源全产业链循环利用与绿色发展新型模式,为产业提质增效和转型升级提供了可复制易推广的适宜技术群和示范样板。显著提升了资源利用效率和药材生产效益,为西部经济欠发达地区脱贫富民、乡村振兴作出突出贡献。

面对中药资源家底不清、信息不对称等突出问题,自2014年起,段金廒作为技术负责人指导江苏省中药资源普查工作,历时7年完成江苏省96个县(区、市)中药资源普查工作全覆盖,出版专著21本,牵头创建了适宜于我国沿海地区水生、耐盐药用生物资源调查的方法与技术体系,成果获得中国中医科学院中药资源普查科学技术奖一等奖。

学科团队积极响应东西部科技合作号召,服务地方特色资源发展及产业升级,创造性提出基于循环经济发展的中药材产业精准扶贫模式,聚焦西部特色优势资源枸杞子滋补肝肾、益精明目等传统功效科学内涵,从枸杞子种质资源保护、生态种植、采收、加工炮制、制剂生产、质量检验等方面实施整体智能化升级,以特色资源枸杞子为主研制开发功能性产品、日化保健用品、功能性饲料及添加剂三大系列的多品类资源性产品。围绕宁夏政府和企业重大需求,通过联合攻关与优势互补,形成了一批服务地方特色经济发展、推动富民产业升级的科研成果。因在脱贫攻坚工作中贡献突出,段金廒参与的中药材产业技术扶贫团队获农业农村部"产业技术扶贫优秀团队"表彰。

段金廒(左一)在宁夏枸杞基地调研指导。

由线性经济到循环经济,在服务国家战略中实现中药资源产业高质量发展

实现"双碳"目标(2030年"碳达峰"与2060年"碳中和"目标)是国家重大战略决策,具有长期战略性导向,引领我国产业绿色发展模式的深刻变革。发展循环经济,推进资源节约集约利用,构建资源循环型产业体系和废旧物资循环利用体系,对保障国家资源安全,推动实现碳达峰、碳中和,促进生态文明建设具有重大意义。

《"十四五"循环经济发展规划》提出,到2025年,循环型生产方式全面推行,绿色设计和清洁生产普遍推广,资源综合利用能力显著提升,资源循环型产业体系基本建立。

段金廒提出,循环经济是中药产业高质量发展的必由之路,中药行业应为国家实现"双碳"目标作出自身贡献。中药资源化学学科是中医药交叉创新类学科,坚持需求导向和问题导向,倡导并致力于中药资源产业循环经济体系建设,契合国家发展战略,推动中医药现代化。作为高水平中医药重点学科的中药资源化学学科团队将全力推动中药资源产业循环经济体系建立,服务"双碳"减排增效目标的倡议。

段金廒表示,学科团队在后续的工作中,将强化"双碳"目标的政策导向和战略引领作用。按照国家规划部署,围绕中药农业、中药工业绿色低碳转型的新形势和新要求,推动循环经济理论融入中药材生产、中药工业制造、中药商业流通等产业各环节中去,强化顶层设计,突出"双碳"目标的引领作用。以减碳为导向,加强绿色低碳技术创新和市场化推广应用,以较低成本提升能源资源利用效率。在中药大健康产品制造过程中加强产品生态设计,引进绿色工艺、绿色材料、可再生资源、清洁能源、可再生能源等关键技术,减少资源消耗、能源消耗和碳排放;同时,提升资源利用效率和资源再利用效率,增加碳汇,实现资源物质循环利用,构建面向"双碳"目标的循环经济产业体系。推动在低碳价值链框架下重塑中药资源绿色产业链,从而构建中药资源产业低碳循环经济产业发展模式。

学科团队将助力打造中药资源循环利用的产业示范园区。目前,大部分中药材生产种植基地和中药制药企业相距较远,产业集群程度较低,无疑提高了中药废弃物及副产物资源循环利用的成本。因此,应引导和鼓励龙头企业发挥集群效应与示范效应,把握资源循环利用产业规范化、规模化、高值化、系统化发展方向,助力打造若干中药资源循环利用的产业示范园区,逐步实现企业层面的小循环、区域层面的中循环和社会层面的大循环。

学科团队还将着力推进中药资源全产业链循环经济体系的建立。绿色发展是中药产业高质量发展的本色。目前,中药产业大多仍以大量需求带来资源的大量生产和大量消耗为主,呈现出产业化过程大量废弃和大量排放、粗放低效线性经济发展方式,在"双碳"目标的引领下,中药资源产业循环经济体系的建立和推进成为必然发展趋势。在中药农业生产环节加强中药材产业绿色标准体系建设、中药材绿色种植(养殖)基地建设、中药材生产全过程质量控制与管理等,使中药材产业向绿色化、产地加工化、精深化、数字化方向发展。在中药制造过程中,学科团队将助力节约资源、提升资源利用效率、绿色低碳技术与工艺集成、减少资源利用量及废物排放量、物料循环利用、废弃物再利用、绿色流通,推动实现"资源-生产-消费-再生资源-再生产业"的闭环循环利用模式。 (黄 西)