

# 中药生态农业——中药材 GAP 的未来

郭兰萍, 周良云, 莫歌, 王升, 黄璐琦\*

(道地药材国家重点实验室培育基地 中国中医科学院 中药资源中心, 北京 100700)

**摘要** 该文针对中药材 GAP 实施过程中面临的生态及经济学问题,在介绍生态农业的起源、概念、特点及实用技术,总结我国生态农业的起源和常用技术和特点,着重介绍我国在景观、生态系统、群落、种群、个体和基因等不同生物层次上的生态农业模式的基础上,分析了中药生态农业的背景及现状,提出了中药生态农业的发展思路及重点任务,包括:①全国中药材生产格局分析及规划;②区域中药农业典型特征提取;③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;④中药材生态种植技术研究;⑤中药生态种植模式提取及固化;⑥中药生态农业理论研究。文章指出中药材 GAP 与中药生态农业既有区别,又有联系,二者各有特点,但并不矛盾。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。

**关键词** 生态农业; GAP; 中药材; 种植; 生态经济学

## Ecological agriculture: future of Good Agriculture Practice of Chinese materia medica

GUO Lan-ping, ZHOU Liang-yun, MO Ge, WANG Sheng, HUANG Lu-qi\*

(State Key Laboratory of Dao-di Herbs, National Resource Center for Chinese Materia Medica, China Academy of Chinese Medical Sciences, Beijing 100700, China)

**[Abstract]** Based on the ecological and economic problems in Good Agriculture Practice (GAP) of Chinese material medica, we introduced the origin, concept, features and operative technology of eco-agriculture worldwide, emphasizing its modes on different biological levels of landscape, ecosystem, community, population, individual and gene in China. And on this basis, we analyzed the background and current situation of eco-agriculture of Chinese materia medica, and proposed its development ideas and key tasks, including: ① Analysis and planning of the production pattern of Chinese material medica national wide. ② Typical features extraction of regional agriculture of Chinese materia medica. ③ Investigation of the interaction and its mechanism between typical Chinese materia medica in each region and the micro-ecology of rhizosphere soil. ④ Study on technology of eco-agriculture of Chinese materia medica. ⑤ Extraction and solidification of eco-agriculture modes of Chinese materia medica. ⑥ Study on the theory of eco-agriculture of Chinese materia medica. Also we pointed out that GAP and eco-agriculture of Chinese material medica are both different and relative, but they are not contradictory with their own features. It is an irresistible trend to promote eco-agriculture in the GAP of Chinese material medica and coordinate ecological and economic development.

**[Key words]** ecological agriculture (eco-agriculture); GAP; Chinese materia medica; cultivation; ecological economics

doi: 10.4268/cjcm20151707

现代农业生产中大量使用化肥与农药,不但造成农产品质量及安全性下降,也造成土壤和水源污染,导致农田蚯蚓

等有益生物及微生物数量急剧下降,大规模的单一机械化种植,加剧了土壤恶化的程度,使资源与环境问题不断凸显。

收稿日期 2015-05-22

基金项目 国家自然科学基金项目(81130070, 81473307); 国家科技支撑计划项目(2012BAI29B02, 2012BAI28B002); 国家重点基础研究发展计划(973)项目(2015CB554506)

通信作者 \* 黄璐琦, 研究员, 主要从事中药资源与分子生物学研究, E-mail: huangluqi01@126.com

作者简介 郭兰萍, 研究员, 主要从事中药资源学研究, Tel: (010) 64011944

• 3360 •

全球环境恶化、食品安全隐患成为当今最严重的问题,引发人们对建立在化肥与农药基础上高投资、高能耗的化学农业的反思,并由此产生了生态农业(ecological agriculture)的思潮,继而在农学、生态学、资源学、环境毒理学等相关学科中迅速发展。

2015 年,国务院《关于加大改革创新力度加快农业现代化建设的若干意见》指出,“我国农业资源短缺,开发过度、污染加重,如何在资源环境硬约束下保障农产品有效供给和粮食安全、提升农业可持续发展能力,是必须应对的一个重大挑战”,要求“做强农业,必须尽快从主要追求产量和依赖资源消耗的粗放经营转到数量质量效益并重、注重提高竞争力、注重农业科技创新、注重可持续的集约发展上来,走产出高效、产品安全、资源节约、环境友好的现代农业发展道路”。而资源与环境并重的可持续发展的农业,就是当代最先进的生态农业。

中药材规范化种植(good agriculture practice,简称 GAP)推行 10 多年来取得了巨大的成就,但也存在基地布局不合理、基地产出中药材占市场份额极小、盲目引种造成道地性消失、地缘经济和小农经济耕作与规范化和规模化不协调、栽培技术不成熟导致一些品种的生产风险较大及比较效益偏低等限制 GAP 发展的问题。其中土壤微生态恶化及连作障碍是不少 GAP 基地建设的瓶颈,严重影响了中药材的可持续生产<sup>[1]</sup>。分析可知,以上中药材 GAP 中的问题,或与资源经济相关,或与生态环境相关,均是生态学或经济学中的热点问题。那么,中药材 GAP 的出路在哪里,如何攻克中药材 GAP 面临的困难呢?本文围绕生态农业的形成背景、概念及特点等关键问题,探讨生态农业在中药材 GAP 生产中的应用前景及策略。

## 1 生态农业

### 1.1 生态农业的起源

绿色革命在带来增长奇迹的同时,也带来了前所未有的社会和环境问题,水土流失、气候变暖、环境污染为现代农业带来的巨大的挑战,生态农业正是在这种背景下产生的<sup>[2]</sup>。1935 年,冈田茂吉提到的“自然农法”<sup>[3]</sup>;20 世纪 40 年代 J I Rodale 出版的《堆肥农业与园艺》<sup>[4]</sup>,以及 1962 年 Rachel Carson 的《Silent Spring》<sup>[5]</sup>等均表达了生态农业的思想。1974 年,日本成立 IEOAM(国际有机农业运动联盟);1975 年,英国成立国际生物农业研究中心;同年,美国建立了 Rodale 有机农业实验场;1982 年,出现了地区性协作研究机构“东南亚大学农业生态系统研究网(SUAN)”。1987 年世界环境和发展委员会提交“我们共同的未来”的报告。1992 年里约地球问题首脑会议上通过了《21 世纪议程》,提出人类社会可持续发展的行动准则<sup>[6]</sup>。21 世纪以来,生态农业的实践在全球范围内,尤其在德国、美国、英国、日本、以色列等很多国家得到飞速发展,如在美国已有 2 万多个生态农场。

### 1.2 生态农业的概念

生态农业是目前国际社会最先进的环境友好型种植模

式。作为一个古老而崭新的概念,生态农业的内涵和外延尚不完全清晰,不同国家的不同学者对生态农业进行了描述,并提出了自然农法(natural farming)、有机农业(organic agriculture)、可持续农业(sustainable agriculture)、生物农业(biological agriculture)等类似概念。以生态学家马世俊为首的科学家认为,“生态农业是生态工程的简称,以生态学和生态经济学为原理为基础,现代科学技术与传统农业技术相结合,以社会、经济、生态效益为指标,应用生态系统的整体、协调、循环、再生原理,结合系统工程方法设计,通过生态与经济的良性循环农业生产,实现能量的多级利用和物质的循环再生,达到生态和经济发展的循环及经济、生态和社会效益的统一,使农业资源得合理用的新型农业生产技术体系。即从系统的思想出发,按照生态经济学的基本原理,运用系统方法能力起来的综合农业发展模式”<sup>[7]</sup>。而卢永根等认为,“凡是把生态效益列入发展目标,并且自觉地把生态学原理运用于生产中的农业,都可以称生态农业”<sup>[8]</sup>。这 2 个概念代表了对生态农业理解中的 2 种极端,前者强调系统、循环、再生的工程,后者则强调关心生态效益和生态学的理念和立意,2 种概念相辅相成,可为不同尺度、不同生产水平的生态农业发展提供指导。

### 1.3 生态农业的特点

作为把农业生产、农村经济发展和生态环境治理与保护、及资源的培育与高效利用融为一体的具有生态合理性、功能良性循环的新型综合农业生产模式,生态农业具有以下基本特征:①追求生态平衡,合理利用自然资源,减少对生态环境负面影响;②注重农、林、牧、副、渔全面发展,重视综合经济学;③不用或少用化肥、农药、生长调节剂,减少能源消耗,以较少的投入获得较多产出;④内部组成与结构复杂,形成良性循环,有较强的抵抗外界干扰的缓冲能力和较高的自我调节能力,有稳定和持续发展能力;⑤提倡使用固氮植物、作物轮作以及正确处理和利用农家肥料等技术,副产品循环可再利用,尽量减少废弃物输出,能自我维持。总体来看,生态农业在生态上低输入、能自我维持,在经济上有活力,在环境、伦理道德、审美、人文社会方面不引起大的或长远不可接受的变化<sup>[9]</sup>。

### 1.4 生态农业遵循的原理

生态农业的理论主要涉及生态学和经济学的核心理论。此外,由于生态农业通常体现为生态工程的设计管理,因此,系统学和工程学的相关理论也是生态农业理论的重要组成部分。生态农业的理论研究一直很活跃,主要包括对生态农业概念、内涵的界定,生态农业特点的分析,生态农业发展中生态策略的研究,生态农业原理的分析,生态农业类型的划分,生态农业技术的提炼及整合,生态农业模式的构建和推广,生态农业系统结构、功能和能量流动的研究,生态农业评价指标体系的研究及生态农业效益的评价等<sup>[10]</sup>。生态农业原理是指导生态农业发展的核心理论,主要如下。

1.4.1 生态农业遵循的生态学原理 ①生态位原理。作为半人工或人工的生态系统,人为的干扰控制使农业生态系统物种单一,从而产生了较多的空白生态位。因此,在生态农业工程设计及技术应用中,应合理运用生态位原理,把适宜而有经济价值的物种引入生态系统以填充空白的生态位,以此实现各层次空间生态位光、气、热、肥资源的充分利用,最大限度地减少资源的浪费,增加生物量与产量;同时可以提高生态系统的多样化物和稳定性,阻止一些有害的杂草、病虫害等的侵袭。②限制因子原理。只有与生境条件高度相适应时,生物才能最大限度地利用环境资源,表现出最大的增产潜力。因此,在生态农业生产时,必须高度重视生态因子的限制作用。③食物链原理。生态农业系统中缩减的食物链降低了生态系统的稳定性,不利于能量的有效转化和物质利用,加重环境污染。因此,生态农业生产中,通常会通过利用因食物选择而废弃的生物物质和作为粪便排泄的生物物质,延长食物链的长度,提高生物能的利用率。如林下养鸡,鸡粪喂猪等。④整体效益原理。整体效益的取得要取决于系统的结构和功能。因此,生态农业强调不同层次上自然资源和社会经济条件的有机组装和调节,以达到高产、高效、持续发展的目的。⑤互惠共生原理。模仿自然生态系统中多种生物共生的现象,在农业生态系统中,人工诱导多种共生互利关系,加强物质能量的循环,以提高生态和经济效益。⑥生物与环境的适应与协同进化原理。生物不只是被动地受环境作用和限制,也通过排泄物、死体、残体等释放能量和物质作用于环境,使环境得到物质补偿,从而保证生物的延续。封山育林,植树种草,退耕还林,合理间套轮作等措施都可改善农业生态环境,促进资源再生和循环利用。⑦效益协调一致原理。农业生态系统是一个社会-经济-自然复合生态系统,具有多种功能与效益,只有生态与经济效益相互协调,形成良好的自然再生产和经济再生产交织的复合生产过程,才能发挥系统的整体综合效益。因此,要将经济与生态保护有机结合,促进资源的利用与增殖。⑧自适应原理。当遇到外界压力受损后,生态系统通过自适应或自组织在一定范围内可逐步回复。因此,调动和提高农业生态系统的自组织能力是生态农业的重要目标之一。⑨区域性原理。生态系统类型与当地气候和土壤因子密不可分。因此,生态农业模式的选择应充分考虑当地的气候土壤类型,因地制宜,切忌盲目照搬。⑩结构稳定原理。生物与环境协调进化的结果是生态系统内各组分及结构具有稳定性。生态农业要求物质投入和物质输出的平衡,避免由于投入过大造成某种物质在生态系统中的滞留而带来结构的非稳态,甚至造成生态系统的崩溃和解体<sup>[9-11]</sup>。

1.4.2 生态农业遵循的经济学原理 ①农业资源价值理论。自然资源是有价值的资产,其开发利用具有经济效应及环境效应,资源开发会付出环境消耗及生态代价。因此,生态农业要寻求经济与生态两者之间的平衡,在获取最大收益的同

时,应尽可能减少在资源利用和生产过程中产生的环境负效应。生态农业特别注重循环经济的理论“资源-产品-废物-再生资源-产品”是生态农业常见模式。②生态经济理论。生态农业是由生态系统、经济系统和技术系统有机组合形成的复合系统。生态系统是生态经济系统的基础,技术系统作为生态系统和经济系统的桥梁,使两者融合为一体。生态农业要求生态循环及经济循环过程的良性发展与耦合。③可持续发展理论。生态农业强调可持续发展的战略思想,要求在维持农业高效生产力的基础上,强化对生态环境的保护和建设<sup>[1]</sup>。

1.4.3 生态农业遵循的工程学原理 作为系统设计与工程建设的结合体,生态农业必须遵循系统工程的整体协调优化原理,生态工程的层次结构理论,生态农业工程的系统调控原理(即生态农业工程的自然调控原理和生态农业工程的人工调控原理)等<sup>[8]</sup>。

## 1.5 生态农业的常用技术

由于自然环境不同,各国在实践中采取的生态技术不完全相同,国际上主要的生态农业技术有:①立体种植(养殖、种养)技术;②农作物病虫害生物防治技术(以虫治虫、以菌治虫、以菌治病、菌根真菌技术、轮作和保护天敌以控制病虫害);③测土配方施肥技术;④设施农业技术(地膜覆盖栽培、日光温室栽培、塑料大棚栽培);⑤有机肥料与农作物秸秆的循环高值利用技术(生物固氮、牲畜粪便、作物秸秆提供氮素营养、秸秆沼气高效生产、秸秆在食用菌栽培中的循环利用、秸秆青贮及氨化技术、秸秆气化及压缩成型技术);⑥现代机械技术(多用圆盘形或凿形装置浅耕,不用或少用有壁犁耕作,不翻转土壤);⑦水土保持技术(采用梯田、带状或等高作业,防止土壤侵蚀);⑧田间管理(采用豆科绿肥和覆盖物作为基础的轮作技术,主要通过轮作、耕作、中耕除草来控制农田杂草);⑨抗性品种选育技术(应用作物新品种抗病虫害、抗干旱等);⑩合理性畜管理技术等<sup>[11]</sup>。

## 2 中国的生态农业

### 2.1 中国生态农业的起源

在我国,自古以来劳动人民积累了大量生态农业的经验,如间作、套作、轮歇地及农业措施等自然的生态农业的经验。1908年F H King主编的《四千年农夫》<sup>[12]</sup>和20世纪30年代A Howard主编的《农业圣典》<sup>[2]</sup>本书均提到了中国有机肥保持地力的经验<sup>[13]</sup>。如稻田养殖可以追溯到公元前400年。《吕氏春秋·审时》载“夫稼,为之者人也,生之者地也,养之者天也”<sup>[14]</sup>。《齐民要术》载“顺天时,量地力,则用少力而成功多。任情返道,劳而无获。入泉伐木,登山求鱼,手必虚;迎风散水,逆坂走丸,其势难”<sup>[15]</sup>。其核心是因地制宜、因时制宜、因物制宜的“三宜”原则。20世纪80年代初,国内学者对生态农业进行理论探讨,并在此基础上组织技术力量开展试验研究。1984年初,我国召开了第二次全国环境保护会议,5月出版了《国务院关于环境保护工作的决定》,11月召开了全国农业生态环境保护经验交流会。1985年国家



颁布了《关于发展生态农业,加强农业生态环境保护工作的意见》,是我国生态农业发展的里程碑。1991 年国家环保部编著的《中国的生态农业》中指出,中国的生态农业是在总结和吸收各种农业生产实践的成功经验的基础上,根据生态学和经济学原理,应用现代科学技术方法所建立和发展起来的一种多层次、多结构、多功能的集约经验管理的综合农业生产体系,表明我生态农业的理论框架已初步建成<sup>[4]</sup>。Chen Xinping 等<sup>[5]</sup>在覆盖我国大米、小麦和玉米主产区的 153 样地开展了基于土壤-作物系统综合管理的田间试验,证明生态种植在实现了氮素高效利用和作物高产的同时,还降低了氮盈余,从而降低了单位产量的活性氮排放和碳足迹。据报道,在改善生态环境,增强农业后劲的同时,我国开展生态农业试点地区的粮食总产平均增幅 15% 以上,单产较试点前增加 10% 以上,分别为全国平均增长水平的 4.5, 9.2 倍<sup>[6]</sup>,表明生态农业在我国具有广阔的前景。

## 2.2 中国生态农业主要措施

30 年来,我国农业生产遵循生态规律,结合我国传统农业的优点,保护农业生态环境,取得了一定成绩。我国生态农业的主要措施有:①加速太阳能向生物能转化,充分利用太阳能、风能和地热等;②在大力提高种植业第一级生产的基础上,积极发展畜牧、水产养殖和其他养殖业,大力发展饲料和农畜产品加工业,加强各种剩余物的综合利用;③因地制宜地发展沼气、节柴灶,积极开发小水电;④积极推进林下种植、立体种植;⑤促进有机质还田;⑥大力推行作物病虫害综合防治,科学施用农药和化肥,防止农药、化肥对土壤和农产品的污染,提高农畜产品的品质;⑦积极推进多种经营和综合利用的农业结构等。以上做法都有较为显著的经济效益,使自然资源得到合理开发,植被得到有效保护,生态环境得到显著改善<sup>[8]</sup>。

## 2.3 中国生态农业特点及常见模式

2.3.1 中国生态农业特点 作为生态强烈干预下的开发系统,农业生态系统具有明显地域性,受自然生态规律和社会经济规律的双重制约<sup>[9]</sup>。生态农业应根据当地的自然和社会条件及历史,在因地制宜的基础上发展和推广适宜的栽培模式及技术。我国地域广阔,自然条件复杂,民族众多,文化习俗多样,即使在现代农业得到大规模发展的今天,传统生态农业在我国很多地方仍然是主流的农业生产方式。人口众多,水资源缺乏和生态环境脆弱,决定了我国既不能全面推行美国、加拿大等国的大规模机械化现代农业模式,也不能模仿日韩等国依靠高补贴维护农户高收入的做法。因此,中国生态农业在强调系统整体功能的发挥和多元化发展,体现社会、经济、生态三大效益高效循环统一,重视传统农业技术和现代科技成果相结合的同时,表现出丰富的区域特色<sup>[9]</sup>。

2.3.2 中国生态农业常见模式 生态农业模式可被看作是用于发展农业生产的各种要素,包括自然、社会因素等的最佳组合,是具有一定结构和功能、效益的实体,是资源永续利

用的具体方式<sup>[9]</sup>,是生态学和经济学原理在开展农业生态建设中的具体运用<sup>[9]</sup>,是一定尺度上农业可持续发展的农业生态过程的动态模型,该模型可作为样板进行借鉴和推广<sup>[9]</sup>。我国大多数生态农业模式是在长期生产实践中总结提升的,成功的生态农业模式,可以为相似地区生态农业发展提供成功经验<sup>[9]</sup>。不同的专家针对不同区域从不同的角度因地制宜提出了不同的生态农业模式。中国生态农业的常见模式有:①立体种养模式,指充分利用气候和地形地貌条件,使不同高度的光、温、水、气、热得到充分利用,如海南文昌的“胶-茶-鸡”复合模式、广东鹤山“林-果-草-鱼”复合模式;②物能(实物/功能)的多层次利用模式,包括以沼气、农副产品加工或生态旅游为纽带的不同形式;③“贸-工-农-加”综合经营模式,可以充分利用闲时劳动力,大大提高资源的利用率和生产效率,增加农产品的附加值,提高经济效益,较好地解决长期效益和短期效益的矛盾;④水陆交换的物质循环生态系统,典型的如“桑基鱼塘”,即池中养鱼、池埂种桑养蚕的综合养鱼方式;⑤多功能的污水自净工程系统等<sup>[7,18-23]</sup>。

其中,骆世明等<sup>[24]</sup>按照生物层次所提出的生态农业模式最具有代表性(图 1,表 1)。处于上一层次的生态农业模式基本类型可以与向下各层次的模式套叠,形成复合模式,包括:景观层次上以农业土地利用布局为核心的景观模式;生态系统层次上以组分能量流为核心的循环模式;群落层次上以生物种群结构安排为核心的立体模式;种群层次上以食物链关系设计为核心的食物链模式;个体与基因层次上以品种选择为核心的物种与品种搭配模式。

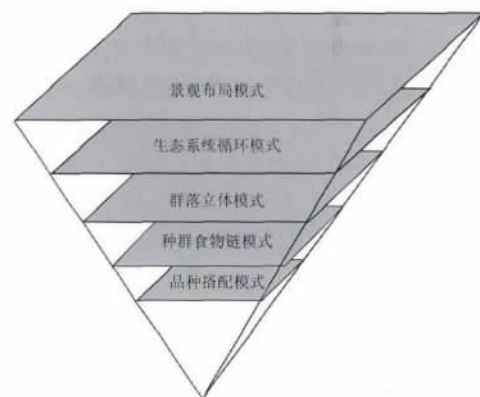


图 1 生态农业模式的基本类型及其层级和套叠关系<sup>[24]</sup>

Fig. 1 Fundamental classification of eco-agricultural models and its hierarchical structure

2002 年,农业部向全国征集到了 370 种生态农业模式或技术体系,通过反复讨论,遴选了具有代表性的十大类型生态模式,并正式将这十大类型生态模式列为后期推广的重点。这十大典型模式和配套技术是:①北方“四位一体”生态模式及配套技术;②南方“猪-沼-果”生态模式及配套技术;

表 1 生态农业模式的基本类型<sup>[6]</sup>

Table 1 Fundamental classification of eco-agricultura models

| 生物层次 | 模式基本类型 | 分类型                                            | 举例                                                                                             |
|------|--------|------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 生态景观 | 景观模式   | 生态安全模式<br>资源安全模式<br>环境安全模式<br>产业优化模式<br>环境美化模式 | 农田防护林模式、水土流失防治模式<br>集水农业模式、自然保护区设置模式<br>污染土地修复模式、污染源隔离模式<br>流域布局模式、农田作物布局模式<br>乡村绿化模式、道路景观设置模式 |
| 生态系统 | 循环模式   | 农田循环模式<br>农牧循环模式<br>农村循环模式<br>城乡循环模式<br>全球循环模式 | 秸秆堆肥回田模式<br>“猪-沼-果”模式<br>卫生厕所和农家肥堆沤回田模式<br>加工副产物利用模式、城市有机垃圾利用模式<br>碳汇林营建模式                     |
| 生物群落 | 立体模式   | 山地丘陵立体模式<br>农田平原立体模式<br>水体立体模式<br>草原立体模式       | 果草间作模式、橡茶间作模式<br>桐农间作模式、作物轮间套作模式<br>鱼塘立体放养模式<br>饲料植物混合种植模式、家畜混养与轮牧模式                           |
| 生物种群 | 食物链模式  | 食物链延伸模式<br>食物链阻断模式                             | 腐生食物链模式(沼气、食用菌、蚯蚓)<br>污染土地的植物生产模式(仅种植花卉、树木等)                                                   |
| 个体基因 | 品种搭配模式 | 抗逆性搭配模式<br>资源效率搭配模式                            | 耐低磷大豆、抗稻瘟病水稻的利用<br>高光合效率、高水分利用效率品种的利用                                                          |

③平原农林牧复合生态模式及配套技术; ④草地生态恢复与持续利用生态模式及配套技术; ⑤生态种植模式及配套技术; ⑥生态畜牧业生产模式及配套技术; ⑦生态渔业模式及配套技术; ⑧丘陵山区小流域综合治理模式及配套技术; ⑨设施生态农业模式及配套技术; ⑩观光生态农业模式及配套技术<sup>[6]</sup>。

3 中药生态农业

3.1 中药生态农业的背景及现状

中药农业是我国现代农业的重要组成部分,更是整个中药产业的源头。历史上,中药材栽培一直处于小农经济的种植模式,多数品种种植历史短、规模小,产区局限,栽培技术落后。近年来,伴随着大健康产业的快速发展,中药材需求量剧增,为了满足不断增长的医疗需求,历史上很多以野生或少量栽培为主的中药材开始大面积种植。据估计,全国中药材栽培面积达 3 000 万亩,常见栽培品种达到 200 多种<sup>[1]</sup>。目前已实现人工栽培的药用植物中,95% 以上具有连作障碍。中药材的连作障碍不仅表现为重茬,还表现为多年生同种药用植物随栽培年限增加自毒作用显著加剧,如栽培 4~5 年后的人参随栽培年限增加发病率显著上升。连作障碍导致中药材产量和质量下降,病虫害高发甚至绝收。为克服连作障碍,中药材生产中大量使用化肥农药,但事实证明,这种做法不但不能有效改善中药材生长状况,还造成土壤和药材中农残及重金属超标,既危害人民的用药安全,又污染环境<sup>[6-9]</sup>。最近十几年来,GAP 的推行,特别是固定产地和单品种机械化的规范种植,导致中药材可持续种植与环境(尤其是连作土壤环境)的矛盾异常突出<sup>[1]</sup>。

中药生态农业的理念及生产实践正是在这种背景下产生的。由于中药栽培具有明显的地域性,其种植和研究主要集中在国内。国家“十一五”科技支撑计划“有效恢复中药

材生产立地条件与土壤微生态环境修复技术”首次支持中药生态农业相关的研究。该课题针对当前中药材栽培中普遍存在的土壤退化,连作障碍严重及土壤农残重金属超标的现象,选择栽培生产立地条件要求高、适宜用地紧张、土壤退化严重、连作障碍突出的大宗常用中药材,开展中药生态种植研究及土壤立地条件综合治理。相关研究初步形成了中药生态种植的技术体系,包括:病原微生物防治技术、自毒作用克服技术、农残重金属污染防治技术、土壤理化性质改良及土壤综合修复等关键共性技术<sup>[40-58]</sup>。

“有效恢复中药材生产立地条件与土壤微生态环境修复技术”是首次在国家层面立项探索栽培中药材立地条件恢复及土壤微生态环境修复的项目,其对中药生态农业的研究和实践起到的作用是重大而深远的。应当看到,相对于大宗农作物生产,当前中药生态农业刚刚起步,中药生态农业的相关理论研究还相当薄弱,成熟有效、推广价值高的生态种植模式尚未形成,高效实用的生态种植技术还有待大量开发。当前,大力宣传和普及中药生态农业的理念,形成中药生态农业和可持续发展的共识,是中药生态农业发展面临的首要任务。

3.2 中药生态农业的发展思路及重点任务

生态农业实践的基本做法是:在对自然条件、资源状况和社会经济条件等进行调查研究的基础上,分析区域特征,确定对农业生产和社会发展的有利条件和限制因子,借鉴国内外生态种植的经验和教训,将现代先进的科学技术与实用有效的传统农业技术相结合,合理开发、综合利用农业资源,因地制宜地选择生态农业模式及配套技术,并进行推广应用<sup>[2]</sup>。中药生态农业的思路也大体如是。

据此,从科研的角度提出当前中药生态农业的重点任务,包括:①全国中药材生产格局分析及规划。在全国中药

资源普查获得大量环境数据的基础上,完成中药材分布区划、产量区划、质量区划;参照大农业规划,分析中药材分布格局,制定我国现代中药农业规划,完成中药材种植分区。②区域中药农业典型特征提取。明确各区域优势特色中药材品种及其生产特点和规律,确认该优势与当地自然生态和社会生态的相关性,分析优势特色中药材品种中药农业生产和社会发展的有利条件和限制因子。③各区域典型中药材与根际土壤微生物生态互作规律及机制研究。在各类农业区划内选择代表中药材,开展典型中药材与根际土壤微生物生态互作规律研究;并运用土壤宏基因组、代谢组等现代技术研究中药材与根际土壤互作机制。④中药材生态种植技术研究。依据各区域中药农业特征及各类典型中药材的生理生态学特性,综合研究品种筛选、栽培物候期、播种密度、养分平衡、测土配方、立体栽培、间作套作、轮作、中药材与其他农林牧副产业的综合生产等各种实用技术。⑤中药生态种植模式的提取及固化。综合考虑土地利用布局、生态系统组分能量

流、生物种群结构安排、食物链关系设计、品种选择等因素,在景观、生态系统、群落、种群、个体和基因等不同尺度不同生物层次总结、提炼并固化经济适用、高效低毒的中药生态农业模式,开展大田推广应用(图1,表1)。⑥中药生态农业理论研究。利用 TEEB (The Economics of Ecosystems and Biodiversity) 原理<sup>[6]</sup>,分析各种生态农业模式及配套技术对提高中药材产量和质量、减少病虫害发生率、减少中药材生产中化肥和农药用量和保护生物多样性及生态系统服务功能的贡献,提出和完善中药生态农业的理论,并指导中药生态农业实践。

3.3 中药材 GAP 与中药生态农业

中药材 GAP 与中药生态农业既有区别,又有联系(表2),二者各有特点,但并不矛盾。当前,制约中药材 GAP 生产的关键问题一个是经济学问题(比较效益偏低),另一个是生态学问题(土壤微生物生态恶化,连作障碍严重),而这两个问题正是生态农业研究和实践的核心。

表2 药材 GAP 与中药生态农业的比较

Table 2 comparison of Good Agriculture Practice and ecological agriculture of Chinese materia medica

| 项目                     | 目的                                         | 手段                                                                                         | 缺点                             |
|------------------------|--------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------|
| 中药材 GAP <sup>[1]</sup> | 保证中药材的质量和安 全。高度关注中药材本身                     | 制定制度、规范、SOP 及标准,严格记录,保证可追溯。较大规模的中药材规范化种植                                                   | 记录过程繁杂,比较效益偏低;土壤微生物生态恶化,连作障碍严重 |
| 生态农业                   | 保证中药材的质量和安 全、保证生态环境的持续利用,关注中药材、环境,及二者的相关关系 | 借鉴合理的农业生态模式,开展农业生态设计,配合各种使用的农业生态技术,利用循环经济等手段,提高生态系统的多样性和生态系统稳定性,实现持续优质高效生产。各种尺度、各种方式的中药材生产 | 早期技术要求高,需要生态学经济学方面的专业人士进行设计和指导 |

作为一个生态经济复合系统,生态农业将种植生态系统与种植经济系统综合统一起来,可取得最大的生态经济整体效益。作为一种环境友好型农业模式,生态农业既体现了中药农业生产的科学配置,又体现了多学科多部门交叉合作的现代产业模式。为此,在 GAP 生产过程中,引入生态农业的理念和方法,按照遵循生态与经济整体统一的原理,在中药材 GAP 生产中建立生态与经济两者之间的协调和统一,不仅是有效控制中药材栽培土壤污染及连作障碍,确保中药材产量和质量,保障人民用药安全及促进农业的可持续发展的关键,也是保护中药农业立地条件及土壤微生物,减少农残重金属污染,解决农业生态环境恶化,实现经济、社会和环境的和谐发展,促进生态文明建设的重要组成部分。依托中药材 GAP,发展中药生态农业对落实国家中药农业发展部署,转变中药农业发展方式、加强农业生态治理意义深远。

参考文献

[1] 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.  
[2] 薛达元, 戴蓉, 郭烁, 等. 中国生态农业模式与案例 [M]. 北

京: 中国环境科学出版社, 2012.  
[3] Kristiansen P, Merfield C. Overview of organic agriculture [M] // P Kristiansen, A Taji, J Reganold. Organic agriculture: a global perspective. Colingwood Australia: CSIRO Publishing, 2006.  
[4] J I Rodale, Pay Dirt. Farming and gardening with composts [M]. Montana USA: Kessinger Publishing, 2007.  
[5] Rachel Carson. Silent Spring (40th) [M]. Boston USA: Mariner Books, 2002.  
[6] 金鉴明, 卞有生, 田兴敏. 生态农业——21 世纪的阳光产业 [M]. 北京: 清华大学出版社, 2012.  
[7] 马世骏. 生态工程——生态系统原理的应用 [J]. 农业经济问题, 1983(9): 46.  
[8] 卢永根, 骆世明. 中国农业发展的生态合理化方向 [J]. 世界科技研究与发展, 1999, 21(2): 1.  
[9] 杨京平. 生态农业工程 [M]. 北京: 中国环境科学出版社, 2009: 14.  
[10] 孙治旭. 生态农业的基本知识 [J]. 云南农业, 1994(5): 38.  
[11] 刘德江. 生态农业技术 [M]. 北京: 中国农业大学出版社, 2014: 116.  
[12] 富兰克林·H·金. 四千年农夫 [M]. 北京: 东方出版社, 2011: 6.



- [13] 艾尔伯特·霍华德. 农业圣典 [M]. 李季译. 北京: 中国农业大学出版社, 2013: 7.
- [14] 吕氏春秋 [M]. 陆玖译注. 北京: 中华书局, 2011.
- [15] 贾思勰. 齐民要术 [M]. 上海: 上海古籍出版社, 2009.
- [16] 金鉴明, 金冬霞. 中国的生态农业 [J]. 世界科技研究与发展, 1999, 21(2): 10.
- [17] Chen Xinping, Cui Zhenling, Fan Mingsheng, et al. Producing more grain with lower environmental costs [J]. Nature, 2014, 514: 486.
- [18] 骆世明. 生态农业的模式与技术 [M]. 北京: 化学工业出版社, 2009.
- [19] 张壬午, 计文瑛, 徐静. 论生态农业模式设计 [J]. 中国生态农业学报, 1997, 5(3): 1.
- [20] 吕富保, 王绍仁. 一个资源节约型生态农业模式的配置结构 [J]. 中国生态农业学报, 1993(2): 58.
- [21] 刘彦随, 吴传钧. 国内外可持续农业发展的典型模式与途径 [J]. 南京师范大学学报, 2001, 24(2): 119.
- [22] 李新平. 中国生态农业的理论基础和研究动态 [J]. 农业现代化研究, 2000, 21(6): 341.
- [23] 张壬午. 国内外生态农业研究概况 [J]. 农业环境与发展, 1994(4): 6.
- [24] 王兆骞. 生态农业的发展与生态农业县建设 [J]. 新农村, 1994(9): 6.
- [25] 全国生态农业示范县建设专家组. 发展中的中国生态农业 [M]. 北京: 中国农业科技出版社, 2001.
- [26] 王东阳, 程广燕, 张永霞, 等. 中国生态农业发展前景展望 [J]. 农业展望, 2006, 2(1): 4.
- [27] 闵庆文. 全球重要农业文化遗产——一种新的世界遗产类型 [J]. 资源科学, 2006, 28(4): 206.
- [28] 李文华, 刘某承, 闵庆文. 中国生态农业的发展与展望 [J]. 资源科学, 2010, 32(6): 1015.
- [29] 骆世明. 区域环境与生态农业模式 [M]. 北京: 团结出版社, 1992.
- [30] 卢永根, 骆世明. 中国农业发展的生态合理化方向 [J]. 世界科技研究与发展, 1999, 21(2): 1.
- [31] 骆世明. 论生态农业模式的基本类型 [J]. 中国生态农业学报, 2009(17): 405.
- [32] 孙鸿良. 我国生态农业主要种植模式及其可持续发展的生态学原理 [J]. 中国生态农业学报, 1996, 4(1): 15.
- [33] 李金才, 张士功, 邱建军, 等. 我国生态农业模式分类研究 [J]. 中国生态农业学报, 2008, 16(5): 1275.
- [34] 王洪涛, 张玉芳, 刘东斌. 黄河三角洲高效生态农业模式与效益分析 [J]. 农业环境与发展, 2001, 18(3): 19.
- [35] 汪慧玲, 张茂忠. 西北干旱地区高效生态农业建设的模式选择 [J]. 水利经济, 2004, 22(4): 48.
- [36] 张国强. 中国十大生态农业模式和技术 [J]. 农家参谋, 2004(8): 37.
- [37] 郭兰萍, 黄璐琦, 蒋有绪, 等. 药用植物栽培种植中的土壤环境恶化及防治策略 [J]. 中国中药杂志, 2006, 31(9): 714.
- [38] 郭兰萍, 黄璐琦, 蒋有绪, 等. 不同化学型苍术根茎及根际土提取物生物活性及化感物质的比较 [J]. 中国药理学杂志, 2006, 41(10): 734.
- [39] 郭兰萍, 黄璐琦, 蒋有绪, 等. 苍术根茎及根际土水提物生物活性研究及化感物质的鉴定 [J]. 生态学报, 2006, 26(2): 528.
- [40] 刘大会, 黄璐琦, 郭兰萍, 等. 中药材仿生栽培的理论与实践 [J]. 中国中药杂志, 2009, 34(5): 524.
- [41] 杨光, 郭兰萍, 黄璐琦, 等. 药用植物的丛枝菌根接种方法研究 [J]. 资源科学, 2008, 30(5): 778.
- [42] 张重义, 牛苗苗, 陈婷, 等. 药用植物化感自毒作用研究对栽培技术创新的启示 [J]. 中国现代中药, 2011, 13(1): 4.
- [43] 张重义, 林文雄. 药用植物的化感自毒作用与连作障碍 [J]. 中国生态农业学报, 2009(1): 189.
- [44] 张子龙, 王文全. 植物连作障碍的形成机制及其调控技术研究进展 [J]. 生物学报, 2010, 27(5): 69.
- [45] 周洁, 郭兰萍, 黄璐琦, 等. 植物化感作用及其在中药材栽培中的应用 [J]. 世界科学技术——中医药现代化, 2007, 9(5): 34.
- [46] 张子龙, 王文全. 药用植物连作障碍的形成机制及其防治 [J]. 中国农业科技导报, 2009, 11(6): 19.
- [47] 张丽洁, 张瑜, 刘德辉. 土壤重金属复合污染的化学固定修复研究 [J]. 土壤, 2009, 41(3): 420.
- [48] 孙浩, 黄璐琦, 黄璐琦, 等. 基于生态位理论的药用植物化感作用与连作障碍的探讨 [J]. 中国中药杂志, 2008, 33(17): 2197.
- [49] 刘大会, 郭兰萍, 朱端卫, 等. 施肥和覆盖地膜对福田河菊花产量与品质的影响 [J]. 中草药, 2009, 40(5): 788.
- [50] 王勇, 马承铸, 陈昱君, 等. 土壤处理对三七根腐病控制作用研究 [J]. 中国中药杂志, 2008, 33(10): 1213.
- [51] 孙玉新, 李永明, 刘德辉. 锰对栽培丹参的生长和丹参酮类物质累积的影响 [J]. 土壤, 2011, 43(1): 95.
- [52] 陈昱君, 王勇, 刘云芝, 等. 三七根腐病防治技术研究 I 复配剂拌种(苗)与土壤熏蒸配套技术应用研究 [J]. 中国中药杂志, 2008, 33(11): 1329.
- [53] 张雪松, 侯顺利, 高微微, 等. 土壤处理对连作西洋参生长及根病发生的影响 [J]. 中国农学通报, 2008, 24(11): 416.
- [54] 杨光, 郭兰萍, 郭晓恒, 等. 药用植物与丛枝菌根真菌的选择性感染研究 [J]. 中国中医药信息杂志, 2012, 19(1): 53.
- [55] 李娟, 黄剑, 张重义, 等. 地黄化感自毒作用消减技术研究 [J]. 中国中药杂志, 2011, 36(4): 405.
- [56] 吴慧贞, 刘德辉, 王培燕, 等. 铜锌不同施用方式对栽培丹参生长和丹参酮类物质积累的影响 [J]. 土壤, 2011, 43(5): 781.
- [57] 杨立, 陈美兰, 邵爱娟, 等. 生防菌对药用植物土传病害的抗病机制及应用探讨 [J]. 中国中药杂志, 2012, 37(21): 3188.
- [58] 陈昱君, 王勇, 李世东, 等. 生防制剂与土壤熏蒸配套技术应用研究 [J]. 中国中药杂志, 2008, 33(12): 1482.
- [59] 赵军, 杨凯. 生态系统服务价值评估研究进展 [J]. 生态学报, 2007, 27(1): 346.

责任编辑 吕冬梅