

用生态学思维重构传统农学学科：以农业生态系统管理作为核心应用科目*

王松良¹ Claude D. Caldwell²

(1. 福建农林大学作物科学学院 福州 350002;

2. 加拿大戴尔豪斯大学农学院 Truro NS, B2N 5E3 Canada)

摘要 传统农学体系源于近代实验科学浪潮，并在工业革命巨大成就的推动下不断细分，失去对农业生态系统的整体把握。导致人类重新面临粮食安全(农业生态系统破坏引发的生产力衰退)和食品安全(农业环境破坏导致食物污染物残留)的双重危机。在我国，传统农学不论作为学科还是专业都属于生态系统以下的生物组织层次，是现代化农业带来的生产和环境问题的根源。因此，农学学科及其专业教育体系的再构极为紧迫。作者提出以农业生态学为核心理论科目，以农业生态系统管理为核心应用科目而重构传统农学学科和教育体系。本文重点探讨了农业生态系统管理的基本框架和技术选择，并深入讨论了农业生态系统管理科目的内涵、外延及其发展前景。

关键词 传统农学 生态学 农业生态学 农业生态系统管理 全球食品系统

中图分类号: S-1 **文献标识码**: A **文章编号**: 1671-3990(2013)01-0039-08

Application of ecological thinking in reconstructing traditional agronomy: a case study of agro-ecosystem management as core applied subject

WANG Song-Liang¹, Claude D. CALDWELL²

(1. College of Crop Sciences, Fujian Agriculture and Forestry University, Fuzhou 350002, China;

2. Faculty of Agriculture, Dalhousie University, Truro, NS, B2N 5E3, Canada)

Abstract The traditional agronomy was initiated at the tide of experimental science in modern agricultural academia. Because of the apparent achievements of Industrial Revolution, the comprehensive grasp of agro-ecosystem in understanding and developing agronomic science has subsequently not been recognized. As a consequence, humanity has to be confronted the double crises of food security resulting from the degradation of agro-ecosystems and productivity decline, and the food safety resulting from the deterioration of agro-environment and food contamination. Traditional agronomy has positioned bio-organizational levels under ecosystem scale both as a discipline and as a specialty in China. This has been the root of production and environmental problems in modern fossil agricultural practices. In this paper, we proposed reframing traditional agronomy by putting agro-ecology to core of theoretical system and agro-ecosystem management to core applied subject. The basic framework and technological choices of agro-ecosystem management were addressed in detail. Also the connotation, extension and development perspectives of agro-ecosystem management were discussed in detail.

Key words Traditional agronomy, Ecology, Agro-ecology, Agro-ecosystem management, Global food system

(Received Aug. 16, 2012; accepted Sep. 26, 2012)

传统农学学科导源于 18 世纪欧洲的工业革命所引发的农业实验科学浪潮^[1-3]。作为学科的“农学(agronomy)”被定义为“研究提高动植物生产最为合

理有利的方法并构建的农业基础科学”^[4]。对应地，农林院校的农学专业就是以产量为优先目标而构建的教育体系^[5-8]。按照我国教育部 2002 年的学科分

* 本文为 2010 年教育部教育质量工程项目“农学特色专业”研究、2009 年“国家双语教学示范课程”项目、2007 年福建省“精品课程”项目和福建农林大学教改研究重点课题的一部分

王松良(1967—)，男，博士，教授，主要研究方向为农业生态学、农业生物技术。E-mail: wsoloedu07@126.com

收稿日期: 2012-08-16 接受日期: 2012-09-26

类,作为学科门类的“农学”下设作物学、园艺学、农业资源利用、植物保护、畜牧学、兽医学、林学和水产等 8 个一级学科,每个一级学科又各含若干个二级学科,内容涵盖农林牧副渔等大农业范畴。然而,作为本科专业的“农学”则长期以来定位在植物性生产科学,对应作为学科的“农学”旗下的一级学科“作物学”,涵盖作物栽培学与耕作学、作物遗传育种等 2 个二级学科及其基本同名的专业核心课程。

毫无疑问,在传统农学理论指导下的现代农业在产量方面取得长足的进步,但也直接导致“现代化化石农业(modern fossil agriculture)”的流行,后者因过度依赖外来化石能源而被指应是目前诸多的社会和环境问题负责^[5]。因此,从 20 世纪 30 年代开始,陆续有科学家主张整合现代生态学理论到传统农学体系中,创立一门称为“农业生态学(agroecology)”的学科作为“永久农业(permanent agriculture)”、“生态农业(ecological agriculture)”和“可持续农业(sustainable agriculture)”等现代化化石农业之“替代农业(alternative agriculture)”的理论基础^[9-14]。

生态学是研究生命有机与其生存环境相互关系的学科^[15]。原先,生态学家更多关注自然界的生物和环境的关系。生态学对现代科学的贡献莫过于“生态系统”概念的提出^[16-17]。从生态系统理论看,物质世界可以从原子—分子—细胞—组织—器官—个体—种群—群落—单位生态系统到全球生态系统乃至宇宙生态系统的生物组织层次(bio-organizational levels)。以此可以洞察作为学科和专业的我国传统农学体系存在严重的缺陷:

首先,作为学科门类的“农学”,下设作物学、园艺学等 8 个一级学科,我国农林高校的院系专业也据此设立。这种学科体系研制出来的技术对农业的整体性而言即是“头痛医头,脚痛医脚(therapeutic intervention)”,其结果类似于“盲人摸象”,失去对农业生物与资源环境关系即农业生态系统的整体把握^[1-2,18]。现代农业随处可见的农药、化肥的过量应用、资源衰竭(森林破坏、水土流失等)、环境破坏(土壤、水体、大气污染等)、农作物品种退化与品质下降、农业物种多样性减少和食品污染物残留等诸多弊端都源于此^[5]。

其次,作为我国农林院校“专业”的农学实际停留在“作物学”层次,旗下作物栽培学与耕作学、作物遗传育种学等 2 个二级学科也仅仅处于生态学的生物组织层次的某一个尺度,其中,作物栽培学与耕作学属于生物个体到群落的组织层次;而作物遗传育种学基本属于生物个体及其以下的组织层次^[1-2]。近 50 年来,作物育种项目的成功恰恰伴随着作物栽

培上使用大量耐肥、耗水的作物品种而取得的^[19]。实际上,现代农业生产出现上述问题不仅仅发生在生物个体、种群或群落等组织间层次,而大多是发生在生态系统水平之上的^[20]。

尽管 1967 年法国农学家 Henin 重新定义“农学”为“应用生态学原理于植物生产和农地管理”的科学^[21],但至今,传统农学与生态学的联系是表面和机械的^[1-2]。以至为著名的“绿色革命”为例:首先,它以追求作物单产为核心,忽略消费者和生产者的生计,导致水、肥、农药外部能源投入过多造成食品营养失衡^[14,22]和食品毒物残留问题^[5];其次,它依赖几个所谓高产的作物品种,造成农田生态系统的生物多样性锐减和作物遗传多样性的丧失,加剧了农业生态系统脆弱性。这些问题都反过来危及作物生产力的稳定性和农业系统的可持续性^[8,23-24],使当前世界各国普遍面临粮食安全和食品安全的双重危机^[25]。

因此,从根本看,需要把传统农学和现代生态学真正融合起来指导整体的农业活动。为此,作者提出从理论到应用等 3 个层面重构我国的传统农学体系:

一是以能融合“现代生态学和传统农学”的“农业生态学(agroecology)”作为新农学的核心理论科目(具体见文献 2);

二是以“生产生态学”抹平作物栽培学与耕作学和作物遗传育种学的鸿沟(具体见文献 1)。

三是以融合生态系统管理思维的“农业生态学管理(agroecosystem management)”作为新农学的核心应用科目。这是本文的重点,将在下文深入阐述。

1 农业生态系统管理的基本框架——6 个梯级结构

农业生态系统管理是指应用基于生态系统的方法探讨农业景观碎片及其生物多样性的管理策略。农业生产本质上是生物与环境互作的生态学过程,因此农业产业化的目标就是实现对农业生态系统的管理;高产、优质、低耗、少污染的农业只有实现对农业生态系统可持续管理的条件下才能达到^[26-27]。由于农业生态系统是农业生态学惟一的研究对象,农业生态系统管理必然成为农业生态学的技术目标或应用科目。综合生态系统的生物组织层次和农业生态系统的等级层次理论(图 1),构建含 6 个梯级结构的农业生态系统管理的基本框架(图 2)。

农业生态系统是人参与下的自然与社会系统的共同部分,涵盖了农业过程的所有要素。农业生态系统管理就是实现对农业过程要素的科学管理,只有具备“系统视野”而不是停留在被拆卸的农业组分

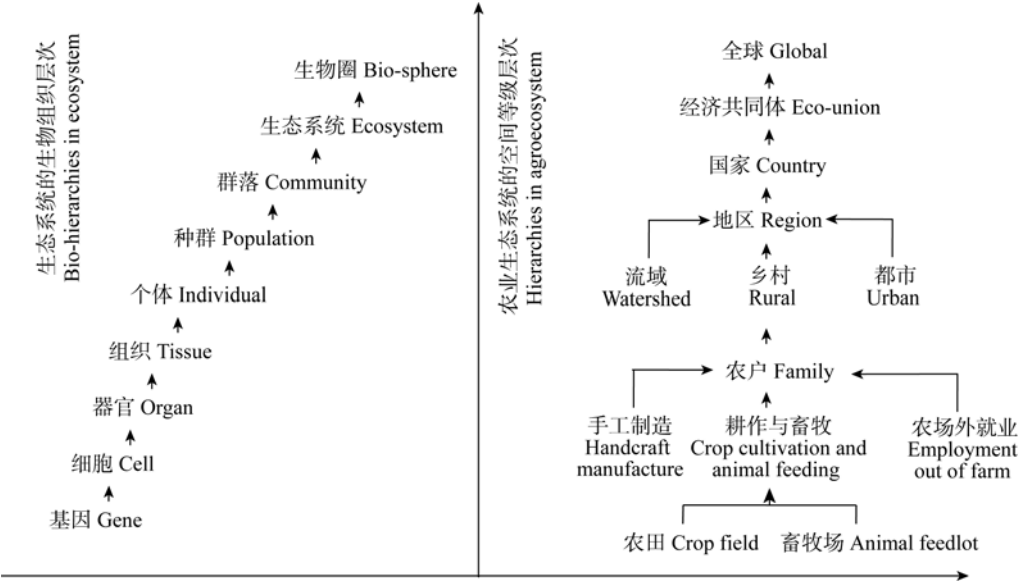


图 1 生态系统的生物组织层次与农业生态系统的空间等级层次(图形左侧反映生态系统从基因到生物圈的生物组织层次^[15]，图形右侧则示意农业生态系统从全球到农户的空间等级层次^[28])

Fig.1 Hierarchical layers of ecosystem and agroecosystem [Left of diagram shows the biological organizational levels within ecosystem (adapted from Odum, 1983)^[15]. Right of diagram depicts the space hierarchies of agroecosystems (adapted from Conway,1985)^[28]]

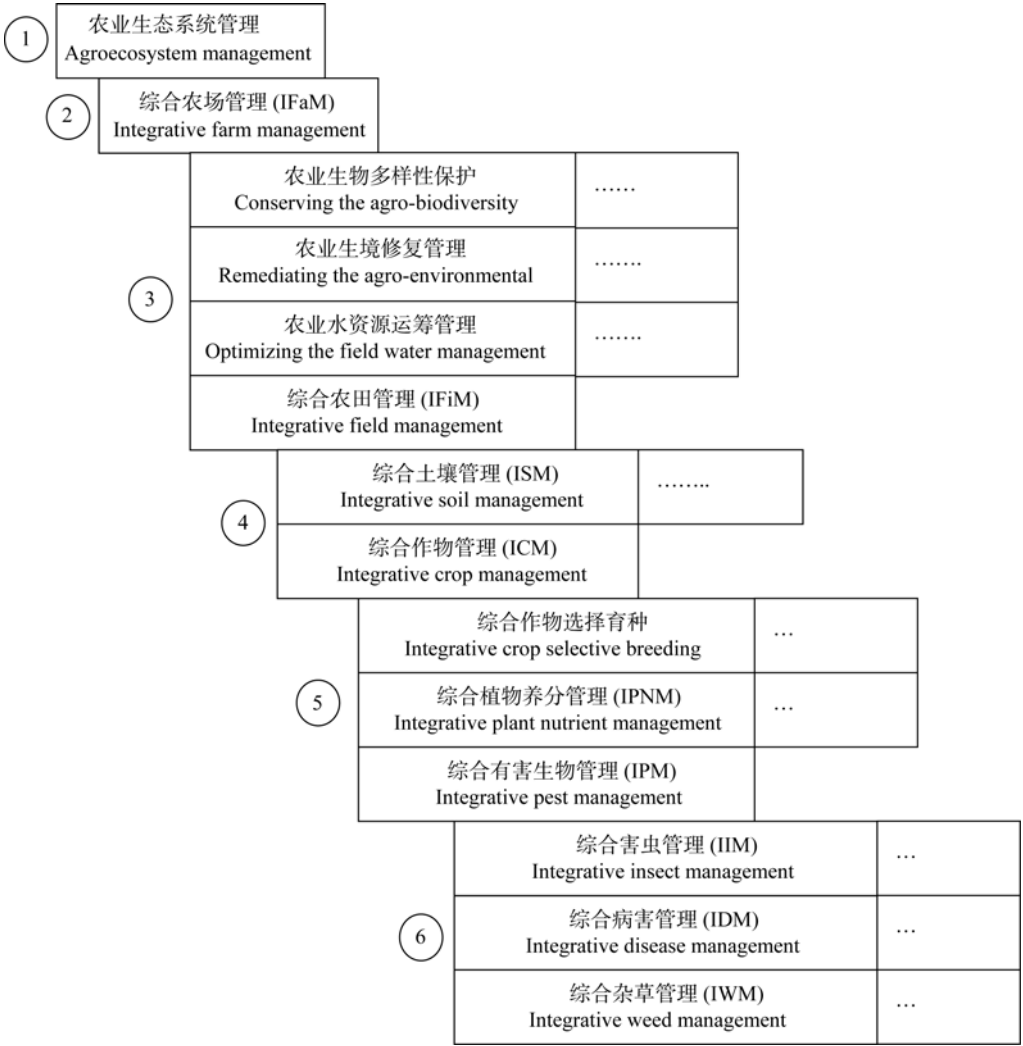


图 2 农业生态系统管理基本框架(含 6 个梯级结构，每个梯级结构环节后以省略号标示则说明需要选择恰当的技术来实现该环节的目标)

Fig. 2 Basic framework of agoecosystem management (Consisting of six step structures. After the step structure the ellipsis implies that it needs the appropriate technology to realize the step goal)

上,从生态系统水平预见可能产生的问题,才能尽可能少甚至杜绝诸如农业过程伴随的温室气体排放、食品污染物残留等与人类生存与发展至关重要问题的产生。图 2 显示了农业生态系统管理作为新农学的核心应用科目的 6 个梯级结构框架,其核心线索依次是:综合农场管理(Integrated Farm Management, IFaM)—综合农田管理(Integrated Field Management, IFiM)—综合作物管理(Integrated Crop Management, ICP)。

(1)综合农场管理(IFaM):农场是农业生态系统最基本的管理单位。一个成功的农场管理必须整合所有因素,不仅要考虑农场地形空间和生产种类及其市场特性,同时需要综合考虑土壤生态系统的维护和生产力的稳定性、可持续性与农业各要素组合方式以及系统外能量的输入之间的宏观关系^[29]。

(2)综合农田管理(IFiM):即整合影响农田生态系统的生物和非生物因素以设计农田生态系统的物种结构及其随时空变化的时间、空间和营养(食物链)结构。

(3)综合作物管理(ICP):ICP 是综合农场管理的核心环节,它是指通过作物轮作、中耕和适宜辅助能种类的选择使用等组合措施,平衡生产与经济和环境的耕作方法。ICP 有机融合现代农业高新技术和我国传统的有机耕作制度,以构建农田生态系统的生物多样性为基础,实施以农业、生物、化学、物理的防治措施控制病虫草鼠危害,维护土壤生态系统的生物多样性和保护农作物安全生产^[30]。ICP 的核心是综合作物选择育种、综合植物营养管理、综合有害生物管理等 3 个方面^[29]。

2 农业生态系统管理的技术选择——3 大工程技术

在农业生态系统管理的基本梯级结构框架确立后,选择应用什么样的技术就是实现每个管理环节的关键,其方向是合理利用生物、生态、信息工程等现代高新技术,以实现特定农业生态系统的可持续管理。

生物学已成为 21 世纪的科学前沿,以其 2 个分支——生态学、分子生物学的理论与工程技术发展最为迅猛。在个体以上层次,现代生态学已从探索生物与环境的关系,走向处理生物(包括人类)与环境的和谐关系,产生生态工程技术,为实现农业生态系统管理提供技术选择;在个体以下层次,分子生物学已从理论走向应用基因工程实现了对生命本原的了解以及新物种的创造,在作物育种、有害生物防治和农业环境保护等多方面具有广泛的应用前

景。在二者之间,现代信息科学及其工程技术则扮演了“催化剂”的角色,快速推动生态、生物工程技术走向应用。

2.1 生态工程技术

生态工程技术能综合区域开发和国土整治,应用生态学的生物与环境协同进化原理、食物链和生态金字塔、物质循环利用原理,实现农业生态系统的多元组分的有效“接口”;还原和重建农业生态系统的生物多样性;通过“阻隔”作物(smother crop)、覆盖性作物(cover crop)、绿肥植物(green manure)的有效利用,修复土壤的保水、保肥功能,维护农田生产环境;利用生物种间关系实现对有害生物的综合管理等^[30]。

2.2 生物工程技术

现代生物工程技术提供了快捷、有效的育种方法,具有抗性、高产、营养丰富的优异品种的选育和应用成为构建良好农业生态系统结构的主要手段。例如充分应用自然界植物的“绿色基因”^[25],培育高效利用水肥、抗逆、抗污染作物品种,可减少农药和化肥用量、开发生物性农药;利用微生物分解有机废物变废为宝等生物技术,可促进农业生态系统能循环利用等,在综合作物管理中起关键作用。

2.3 信息工程技术

信息工程技术借助现代微电子技术对生态系统各层次信息的挖掘和应用,为处理农业生物与环境、资源的关系提供“通晓的(informed)”和“精确的(precise)”信息,不断推动农业生态系统走向可持续管理,是农业真正做到“环境友好的(environmentally friendly)”和“生态相容的(ecologically compatible)”前提^[5,21,26]。在个体以上层次,可利用信息工程准确、动态、多维地捕捉、处理和分析错综复杂的生物与环境(自然的、社会的)之间的宏观信息(消息),并使之数字化、可视化、知识化,以供生产者和管理者的决策参考;在个体以下层次,可利用信息工程准确、高速处理、阅读庞大的来自生物 DNA、蛋白质等分子的微观信息,促进管理者对高效、抗逆、营养、抗污染作物品种的选择(即综合作物选择育种)^[26]。

3 讨论

作为学科的农学自创立以来都把植物生产作为其核心内容,可称为“食品农学(food agronomy)”。在我国的农林院校,作为专业的农学却长期定位于粮食生产,实际上是“谷物农学(cereal agronomy)”。1980 年,“agronomy (农学)”学术期刊在法国正式创刊,该刊物的收稿范围定位在作物生产和土壤肥力领域^[3]。此后,农学学术界开始研究农业环境和资

源对作物产量和质量的影响,理论上呼吁生态学思维与传统农学的融合,以构建可持续的植物生产研究和教育体系;技术上强调重新回归到传统农业的种植制度和有机耕作,以协调生产和环境的关系^[8]。为顺应这样的形势,1990 年,该刊刊名附加了农业和环境的副标题,即更名为“*Agronomy: Agriculture and environment*”^[3]。进入新世纪以来,由于环境问题的突出和消费结构的调整,赋予作物生产新问题、观念和研究内核:一是作物生产的生态观,从保护环境的角度出发,通过提高养分效率控制肥料的投放量,最大限度地减少肥料给环境带来的污染,并致力于利用植物尤其是某些独特的生物资源来净化环境;二是作物生产的品质观,深刻理解“食品安全是世界永恒主题”和“21 世纪农业的竞争是农产品质量的竞争”的观点,应用生物、生态和信息技术手段深入探索作物产量、质量形成的机制,同时发掘作物次生代谢物,达到提高农产品品质,并增强农产品的保健功能;三是作物生产的分子观,利用分子生物技术,阐明作物营养特性和通过调节植物营养性状的增强作物抗逆(包括抗病、抗虫、抗现代工业污染等)的分子机制,提高作物对矿物营养元素的利用效率和抗逆性状,可持续利用有限农业资源。

值得一提的是,2008 年 12 月 3 日出版的《自然》科学杂志刊登了题为“农学:可能改变世界的 5 位作物科学研究者”,具体辨析了在全球粮食、能源和环境三重危机下的植物生产科学的研究范畴:一是应用生物工程技术选育提高作物抗病、虫害和逆境环境的作物品种;二是结合常规和遗传工程育种技术把传统的一年生作物改造为多年生作物。借此减少土壤耕作、保护土壤生物多样性,以维护土壤的持续生产力,也可减少外源无机能的投入,保护农业生态环境;三是应用植物生理学和分子生物学技术提高作物的抗旱和节水能力,稳定农田生产力;四是应用生物工程来培育生物能源作物;五是致力于把水稻等重要的粮食作物改造为 C4 作物,提高光能利用率^[31-32]。

上述趋势都表明,融合生态学和农学的理论内核指导作物生产的科学研究和实践迫在眉睫。因为在传统农学指导下,使现代农业深深陷入高度依赖矿物能源(煤、气和油)等工业产品武装的现代农业体系而不能自拔,虽勉强提供了全球 65 亿人的粮食(实际上 2010 年全球 10 亿人无法接触到足够的粮食)^[33]。从学科及其教育体系构建和执行的角度看,现代农业的难题源于近代的实验科学的归纳论思维对农业整体(即农业生态系统)无限拆解,并推动传统农学学科分支科学的越分越细,不断丧失对农业

各组分之间的天然联系的认识。必须重新还原对农业整体的认识,需要“生态学”与“农学”之间有机关系的回归,以农业生态学为核心理论科目再构新型农学。

幸运的是,农业生态学作为融合生态学与农学理论内核的学科和科学已被正式承认,并全面参与整体(系统)农业的理论指导,从而给农业真正走向可持续发展带来曙光^[33-41]。2004 年法国“*Agronomy*”期刊正式更名为“*Agronomy for Sustainable Development*”^[3]。无独有偶,2010 年 10 月由联合国下属的粮食权利委员会特别报告员 De Schutter^[42]撰写的题为“农业生态学与食物权利”报告强调,只有依赖“生态学”与“农学”的携手才能满足不断增长的人口需求,令人类重新审视食物天赋权利,解除未来粮食安全的威胁,同时减缓气候变化、应对石油、水和表土等资源的短缺。这份 21 页的报告进一步指出:“农业生态学把生态学和农学进行跨领域结合,致力通过模拟自然生态系统的稳态机制,建立可持续、多样性和高产出的农业生态系统”。

至此,可以把“农业生态学”定义为“应用生态学原理研究、设计和管理可持续的农业生态系统”的科学和实践^[21,43-45]。这正是本文提出构建的农业生态系统管理的真正内涵。其中:

(1)研究农业生态系统:农业生态系统作为被人工从事农业生产活动改变的生态系统,是农业生态学最基本的分析单位^[46],也是再构中的新型农学的基本研究单位。具体而言,研究农业生态系统就是研究农业生态系统的结构、功能及其变化规律。和“生态系统”一样,农业生态系统存在等级分化^[26]。在农业生态学作为核心理论科目的新农学,其研究尺度纵向从群落到个体向下拓展到分子尺度,从群落到生态系统向上拓展到全球生态系统领域;横向则整合了自然的(生态的)、经济的和社会的过程^[3,28,47],具体而言,从传统的田间作物生产(field farming)的一维尺度,依次向下列 3 个多维尺度演化^[1,21,43-54]:一是研究点(plot)、面(field)结合的二维农田生态系统;二是研究以农场为单位,综合时间、空间和社会经济(市场)的三维农业生态系统;三是研究从生态、经济、社会、政治视野综合地方、区域到全球食品系统的多维全球农业生态系统。从以上 3 个尺度出发,农业生态系统管理的目标是保护良好的全球农业生态系统的前提下,生产足够营养的食物以维护每个人的天赋食物权利^[36,42,55]。

(2)设计农业生态系统:农业生态系统的可持续管理植根于良好的环境条件所维持的农业生物多样性基础之上,后者与“在地化的知识体系(indigenous

knowledge system)”紧密相关^[35,56-57]。因为对农业生态系统的生态、社会和经济的组分及其相关关系的洞悉,是设计一个自给自足的可持续的食品体系的关键因素^[8,46,58],让农业和食物生产的利益相关者(stakeholders)特别农民参与到农业生态系统的研究、设计和管理,也是目前农业生态学作为一个科学、实践和运动的趋势^[21,44,47-51,59]。

(3)管理农业生态系统:前已述及,围绕农业生态系统可持续管理的“经济可行、资源永续利用和环境持续保护”总体战略目标,生物工程技术、生态工程技术和信息工程技术则是实现上述目标的现实选择^[60-61]。我国是人口大国,粮食安全、食品安全、农村经济和农业生态环境等方面都面临严峻的挑战,其解决也离不开上述环境友好、生态相容型的技术,对传统农业技术的全面改造和对有限农业资源的合理开发利用与保护。把基于农业生态学的生产方式与满足食物作为至高无上的权利相关联,在地化知识体系的唤回和非政府组织的协作是农业生态系统管理创新的灵魂。从巴西、墨西哥、古巴等拉美地区的乡村农业生态学运动看,创建科学家-农民-非政府组织(non-governmental organization, NGO)的联合农业生态学实践和运动统一体,尤其适合于我国的小农体制,对赋权农民参与农业经营,解决“三农”难题定有启示作用^[14,47-51,62-63]。

上述可持续的农业生态系统研究、设计和管理范畴正是农业生态学作为生态学与传统农学的桥梁以及农业生态系统管理作为新农学的核心应用科目视野指导农业实践的最佳途径,也是未来世界农业实践的根本范式。鉴于目前发展中国家尤其是我国农林院校农学学科、专业及其教育体系的落后性,其以农业生态学和农业生态系统管理作为新的核心理论和应用科目构建新型农学的迫切性远远超过单项生态、生物和信息工程技术研制、教学、组装和推广应用,培养具备系统和全球视野的农业生态学人才正是历史赋予新型农学学科及其专业教育体系的一个艰巨任务^[6,8,45,58,63-75]。

参考文献

- [1] 王松良. 用生态学思维重构传统农学学科: 生产生态学的角色[J]. 应用生态学报, 2012, 23(8): 2031-2035
Wang S L. Using ecology thinking reconstructing traditional agronomy: Role of production ecology[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2012, 23(8): 2031-2035
- [2] 王松良. 作为学科与专业的“农学”之历史反思与体系再构: 以农业生态学作为新农学的核心理论科目[J]. 中国生态农业学报, 2011, 19(6): 455-460
Wang S L. Historical review of Agronomy both as a discipline and a specialty and its reframing: Taking Agroecology as its core theoretical subject[J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2011, 19(6): 455-460
- [3] Lichtfouse E, Habib R, Meynard J M, et al. Agronomy for sustainable development[J]. Agronomie, 2004, 24(8): 445
- [4] 刘翼浩. 农作学[M]. 北京: 中国农业大学出版社, 2005: 10-18
Liu X H. Science of farming system[M]. Beijing: China Agricultural University Press, 2005: 10-18
- [5] Piper J K. Ecology and agricultural sciences[M]//Goodman R. Encyclopedia of plant and crop science. New York: Taylor and Francis, 2007: 401-403
- [6] Francis C A. Education in agroecology and integrated systems[J]. Journal of Crop Improvement, 2000, 11(1/2): 21-43
- [7] Enshayan K. Rethinking agricultural education[J]. American Journal of Alternative Agriculture, 1992, 7(4): 146-147
- [8] Lichtfouse É, Hamelin M, Navarrete M, et al. Emerging agrosience[J]. Agronomy for Sustainable Development, 2010, 30(1): 1-10
- [9] Hanson H C. Ecology in agriculture[J]. Ecology, 1939, 20(2): 111-117
- [10] Jackson W, Piper J K. The necessary marriage between ecology and agriculture[J]. Ecology, 1989, 70(6): 1591-1593
- [11] Paul E A, Robertson G P. Ecology and the agricultural sciences: A false dichotomy?[J]. Ecology, 1989, 70(6): 1594-1597
- [12] Soule J D, Piper J K. Farming in nature's image: An ecological approach to agriculture[M]. Washington, DC: Island Press, 1992: 1-286
- [13] Beeman R S, Pritchard J A. A green and permanent land: Ecology and agriculture in the twentieth century[M]. Lawrence, KS: University Press of Kansas, 2001: 1-219
- [14] Amekawa Y. Agroecology and sustainable livelihoods: Towards an integrated approach to rural development[J]. Journal of Sustainable Agriculture, 2011, 35(2): 118-162
- [15] Odum E P. Basic ecology[M]. New York: CBS College Publishing, 1983
- [16] Tansley A G. The use and abuse of vegetational concepts and terms[J]. Ecology, 1935, 16(3): 284-307
- [17] Godwin H. Sir Arthur Tansley: The man and the subject, the Tansley lecture, 1976[J]. Journal of Ecology, 1977, 65(1): 1-26
- [18] 王松良. 农业生态学: 学科的角色[J]. 中国生态农业学报, 2011, 19(2): 484
Wang S L. Agroecology: Role of discipline[J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2011, 19(2): 484
- [19] Mifflin B. Crop improvement in the 21st century[J]. Journal of Experimental Botany, 2000, 51(342): 1-8
- [20] Weiner J. Ecology: The science of agriculture in the 21st century[J]. Journal of Agricultural Science, 2003, 141(3/4): 371-377
- [21] Wezel A, Bellon S, Doré T, et al. Agroecology as a science, a movement and a practice: A review[J]. Agronomy for Sustainable Development, 2009, 29(4): 503-515

- [22] Welch R M, Graham R D. A new paradigm for world agriculture: Meeting human needs: Productive, sustainable, nutritious[J]. *Field Crops Research*, 1999, 60(1/2): 1–10
- [23] Alkorta I, Albizu I, Garbisu C. Biodiversity and agroecosystems[J]. *Biodiversity and Conservation*, 2003, 12(12): 2521–2522
- [24] Altieri M A. The ecological role of biodiversity in agroecosystems[J]. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 1999, 74(1/3): 19–31
- [25] 王松良. 植物资源、绿色基因与发展中国家的食物安全[J]. *中国农业科技导报*, 2003, 5(6): 34–39
Wang S L. Plant resource, green gene and food security & safety in developing countries[J]. *Review of China Agricultural Science and Technology*, 2003, 5(6): 34–39
- [26] 王松良. 信息技术: 走向农业生态系统的可持续管理[J]. *农业网络信息*, 2005(8): 4–7, 12
Wang S L. Information technology: Toward the way to the sustainable management of agroecosystem[J]. *Agriculture Network Information*, 2005(8): 4–7, 12
- [27] Pretty J. Agroecology in developing countries: The promise of a sustainable harvest[J]. *Environment: Science and Policy for Sustainable Development*, 2003, 45(9): 8–20
- [28] Conway G R. Agroecosystem analysis[J]. *Agricultural Administration*, 1985, 20(1): 31–55
- [29] Wang S L, Caldwell C D, Kilyanek S, et al. *Agroecology*[M]. Beijing: China's Science Press, 2012
- [30] 王松良, Caldwell C D, 祝文烽. 低碳农业: 来源、原理和策略[J]. *农业现代化研究*, 2010, 31(5): 604–607
Wang S L, Caldwell C D, Zhu W F. Low carbon agriculture: Origins, principles and strategies[J]. *Research of Agricultural Modernization*, 2010, 31(5): 604–607
- [31] Marris E. Agronomy: Five crop researchers who could change the world[J]. *Nature*, 2008, 456(7222): 563–568
- [32] 陈启锋. 绿谷论[M]. 北京: 中国农业出版社, 2010
Chen Q F. Green valley theory[M]. Beijing: China Agriculture Press, 2010
- [33] Pretty J, Sutherland W J, Ashby J, et al. The top 100 questions of importance to the future of global agriculture[J]. *International Journal of Agriculture Sustainability*, 2010, 8(4): 219–235
- [34] Tittonell P, Scopel E, Andrieu N, et al. Agroecology-based aggradation-conservation agriculture (ABACO): Targeting innovations to combat soil degradation and food insecurity in semi-arid Africa[J]. *Field Crops Research*, 2012, 132: 168–174
- [35] Warner K D. Agroecology in action: Extending alternative agriculture through social networks[M]. Cambridge: The MIT Press, 2007: 291
- [36] Gliessman S R. Agroecology in the tropics: Achieving a balance between land use and preservation[J]. *Environmental Management*, 2002, 16(6): 681–689
- [37] Piper J K. Natural systems agriculture[M]//Collins W W, Qualset C O. *Biodiversity in agroecosystems*. Boca Raton: CRC Press, 1999: 167–196
- [38] Gliessman S R. *Agroecology: Ecological processes in sustainable agriculture*[M]. Ann Arbor, MI: Ann Arbor Press, 1998: 1–357
- [39] Thomas V G, Kevan P G. Basic principles of agroecology and sustainable agriculture[J]. *J Agric Environ Ethics*, 1993, 6(1): 1–19
- [40] Bland W L, Bell M M. A holon approach to agroecology[J]. *International Journal of Agricultural Sustainability*, 2007, 5(4): 280–294
- [41] Gliessman S. Agroecology and shifting paradigms[J]. *Journal of Sustainable Agriculture*, 2012, 36(5): 499
- [42] De Schutter O. Report submitted by the Special Rapporteur on the right to food[R]. UN General Assembly. Human Rights Council Sixteenth Session, Agenda item 3 A/HRC/16/49, 2010
- [43] Sinclair T R, Gardner F P. *Principles of ecology in plant production*[M]. Wallingford, Oxon, UK; New York, NY: CAB International, 1998
- [44] Wezel A, Soldat V. A quantitative and qualitative historical analysis of the scientific discipline of agroecology[J]. *International Journal of Agricultural Sustainability*, 2009, 7(1): 3–18
- [45] Gliessman S. Community-based participatory action research with agroecology[J]. *Journal of Sustainable Agriculture*, 2009, 33(8): 799–800
- [46] Reardon J A S, Pérez R A. Agroecology and the development of indicators of food sovereignty in Cuban food systems[J]. *Journal of Sustainable Agriculture*, 2010, 34(8): 907–922
- [47] Altieri M A, Toledo V M. The agroecological revolution in Latin America: Rescuing nature, ensuring food sovereignty and empowering peasants[J]. *The Journal of Peasant Studies*, 2011, 38(3): 587–612
- [48] Kunze L, Lippe M, Padmanabhan M. A review of: “Lockie, Stewart, and David Carpenter, eds. *Agriculture, biodiversity and markets: Livelihoods and agroecology in comparative perspective*.”[J]. *Society & Natural Resources: An International Journal*, 2012, 25(3): 317–319
- [49] Rosset P M, Sosa B M, Jaime A M R, et al. The *Campeño-to-Campeño* agroecology movement of ANAP in Cuba: Social process methodology in the construction of sustainable peasant agriculture and food sovereignty[J]. *Journal of Peasant Studies*, 2011, 38(1): 161–191
- [50] Altieri M A. Agroecology, small farms, and food sovereignty[J]. *Monthly Review*, 2009, 61(3): 102–111
- [51] Altieri M A, Nicholls C I. Scaling up agroecological approaches for food sovereignty in Latin America[J]. *Development*, 2008, 51(4): 472–480
- [52] Francis C, Lieblein G, Gliessman S, et al. Agroecology: The ecology of food systems[J]. *Journal of Sustainable Agriculture*, 2003, 22(3): 99–118
- [53] Gliessman S R. *Agroecology: The ecology of sustainable food systems*[M]. New York, USA: CRC Press, 2007: 384

- [54] Gliessman S. Agroecology and food system change[J]. *Journal of Sustainable Agriculture*, 2011, 35(4): 347–349
- [55] Gliessman S. Agroecology and the growing food crisis[J]. *Journal of Sustainable Agriculture*, 2011, 35(7): 697–698
- [56] Clements D R, Shrestha A. New dimensions in agroecology for developing a biological approach to crop production[J]. *Journal of Crop Improvement*, 2004, 11(1/2): 1–20
- [57] Bell M M, Stassart P M. Towards pagan agroecology[J]. *Journal of Rural Studies*, 2011, 27(4): 348–349
- [58] Gliessman S. Transforming food systems to sustainability with agroecology[J]. *Journal of Sustainable Agriculture*, 2011, 35(8): 823–825
- [59] Gliessman S. Cultural memory and agroecology in Chiapas, Mexico[J]. *Journal of Sustainable Agriculture*, 2010, 34(8): 819–820
- [60] 祝文峰, 王松良, Caldwell C D. 农业生态系统服务及其管理学要义[J]. *中国生态农业学报*, 2010, 18(4): 889–896
Zhu W F, Wang S L, Caldwell C D. Agro-ecosystem service and its managerial essence[J]. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2010, 18(4): 889–896
- [61] Zhu W F, Wang S L, Caldwell C D. Pathways of assessing agroecosystem health and agroecosystem management[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2012, 32(1): 9–17
- [62] Boillat S, Gerber J F, Funes-Monzote F R. What economic democracy for degrowth? Some comments on the contribution of socialist models and Cuban agroecology[J]. *Futures*, 2012, 44(6): 600–607
- [63] Gliessman S. Agroecology and interculturality[J]. *Journal of Sustainable Agriculture*, 2012, 36(2): 151–152
- [64] Altieri M A, Francis C A. Incorporating agroecology into the conventional agricultural curriculum[J]. *American Journal of Alternative Agriculture*, 1992, 7(1/2): 89–93
- [65] Lieblein G, Breland T A, Salomonsson L, et al. Educating tomorrow's agents of change for sustainable food systems: Nordic agroecology MSc program[J]. *Journal of Hunger & Environmental Nutrition*, 2008, 3(2/3): 309–327
- [66] Wiedenhoef M, Simmons S, Salvador R, et al. Agroecosystems analysis from the grass roots: A multidimensional experiential learning course[J]. *J Nat Res Life Sci Educ*, 2003, 32: 73–79
- [67] Jordan N, Andow D, Mercer K. Ecology of agricultural systems: A service-learning course in agroecology[J]. *J Nat Res Life Sci Educ*, 2005, 34: 83–89
- [68] Lieblein G, Francis C A, Salomonsson L, et al. Ecological agriculture research: Increasing competence through PhD courses[J]. *J Agric Educ Exten*, 1999, 6(1): 31–46
- [69] Lieblein G, Breland T A, Østergaard E, et al. Educational perspectives in agroecology: Steps on dual learning ladder toward responsible action[J]. *NACTA J*, 2007, 51(1): 37–44
- [70] Lieblein G, Francis C, King J. Conceptual framework for structuring future agricultural colleges and universities in industrial countries[J]. *J Agric Educ Ext*, 2000, 6(4): 213–222
- [71] Francis C A, Lieblein G, Helenius J, et al. Challenges in designing ecological agriculture education: A Nordic perspective on change[J]. *Am J Altern Agric*, 2001, 16(2): 89–95
- [72] Francis C, King J, Lieblein G, et al. Open-ended cases in agroecology: Farming and food systems in the Nordic Region and the US Midwest[J]. *The Journal of Agricultural Education and Extension*, 2009, 15(4): 385–400
- [73] Østergaard E, Lieblein G, Breland T A, et al. Students learning agroecology: Phenomenon-based education for responsible action[J]. *The Journal of Agricultural Education and Extension*, 2010, 16(1): 23–37
- [74] Lieblein G, Breland T A, Francis C, et al. Agroecology education: Action-oriented learning and research[J]. *The Journal of Agricultural Education and Extension*, 2012, 18(1): 27–40
- [75] Francis C A, Jordan N, Porter P, et al. Innovative education in agroecology: Experiential learning for a sustainable agriculture [J]. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 2011, 30(1/2): 226–237