第6卷 第1期　　生 态 农 业 研 究　　Vol. 6 No. 1
1998年3月　　ECO-AGRICULTURE RESEARCH　　March, 1998

论农业生态工程*

张壬午　计文瑛　韩玉珍
（农业部环境保护科研监测研究所　天津　300191）

摘　要　依据我国多年生态农业及农业生态工程建设的实践，论述了生态工程、农业生态工程的产生与发展；生态工程与农业生态工程的概念、我国农业生态工程的有关理论、技术特征；在与西方生态工程比较的同时，指出了我国当前农业生态工程存在的问题。

关键词　生态工程　农业生态工程　概念　理论　问题

An approach to agricultural eco-engineering. Zhang Renwu, Ji Wenying, Han Yuzhen (Institute of Environmental Monitoring and Protection, Ministry of Agriculture of P. R. C., Tianjin 300191). *EAR*, 1998, 6(1): 14～19.

Abstract　On the basis of analysis on many year's experience in construction of eco-agriculture and agricultural eco-engineering in China, the concept of eco-agriculture and agricultural eco-engineering, its occurrence and development, some related theories are discussed. The features of the Chinese agricultural eco-engineering and the difference between the Chinese eco-engineering and that of the western world are summarized.

Key words　Eco-engineering, Agricultural eco-engineering, Concept, Theory, Problems

农业生态工程(Agro-ecological engineering)是有效地运用生态系统中各生物种充分利用空间和资源的"生物群落共生原理"、系统内多种组分相互协调和促进的功能原理以及地球化学循环的规律实现物质和能量多层次多途径利用与转化的原则，从而设计与建设合理利用自然资源，保持生态系统多样性、稳定性和高效、高生产力功能的农业生态经济系统所涉及的工程理论、工程技术及工程管理。目前我国广泛开展的生态农业建设，就是通过农业生态工程建设，克服当地限制农业与农村经济可持续发展的生态障碍因子，恢复农业生产的生态合理性，达到经济、生态和社会效益的全面发展。

1　农业生态工程的产生与发展

农业生态工程是当前国内外正在迅速发展的"生态工程"(Ecological engineering)的重要组成部分，也是目前国内外生态工程研究的基础领域。生态工程是在本世纪60年代全球生态危机激化和人们寻求解决对策的宏观背景下应运而生。在欧美发达国家和地区，生态危机主要表现为由高度工业化、城市化及强烈集约型的农业经营造成的环境污染和破坏日趋严重。为此，许多环境保护科技工作者、决策者和实施者不懈努力地探索治理与

* 国家自然科学基金资助项目部分内容
收稿日期：1997-09-03

保护环境的各种途径及方法，试图达到污染物零排放。然而实践表明常规的环境工程途径和方法，虽在局部环境治理与保护方面已有一些成效，但受人财物所限而难以全面地实现零排放目标。此外，常规方法与途径治理污染常需化石燃料或电能，为生产供应所需的能源，往往又增加另一类污染。为此，自60年代起国外一些科技工作者试图运用某些生态工程原理与生态系统功能达到治理、保护生态环境和持续发展的目的，从而产生了一门新兴的多学科渗透的生态工程学科。几年来，有关专著[3,10]、学术期刊如J. Ecological Engineering等相继出版，1993年国际生态工程学会(IEES)成立，国际学术活动频繁，理论与方法研究广泛，生态工程应用出现许多成功实例。由于生态工程可使其区域内经济发展均处在优良的生态环境基础上，故其已成为实现可持续发展的重要工程技术措施。我国的国情决定了与西方生态工程产生和发展的侧重点不同。西方国家生态工程首先是治理与保护生态环境，实现清洁生产，而我国则首先在农业的可持续发展领域兴起，并形成了具有特色的生态工程分枝——农业生态工程。多年来，我国传统农业已积累了丰富的精湛技术和成功的经验，特别是轮作、套种、间作制度，因地合理搭配种群，农渔、农畜、桑渔、林牧等综合生产与经营，有机肥还田，物质多层分级利用，地力再生循环维持等，这些都符合生态学原理，且很多至今仍被广泛应用，在与现代农业科技结合的过程中，保证了我国以仅占世界耕地7%的土地供养占全球22%的人口，并长期维持地力不衰。这些成功的传统农业精华本身就是中国现代生态工程发展的重要基础[7]。

80年代初，"生态农业"作为新农业发展模式在我国开始提出并进行了广泛的实践。目前，各种生态农业试点已超过2000多个，且规模从村、乡向县域发展，特别是1994年12月农业部、国家计委、国家科委、财政部、水利部和国家环境保护局等7部、委局组织全国50个生态农业试点县建设，涉及面积12.3万km^2，占全国总土地面积的1.28%，试点县占全国总县数的2.11%，试点县乡村人口2392万人，耕地327.33万hm^2。建设试点前(以1992年统计为准)农业总产值267亿元，粮食总产量1630万t。根据十几年来我国生态农业(Chinese ecological agriculture)建设实践，我国生态农业强调对农业生态系统的合理投入和高产投比；在重视农田生态系统建设、实现稳产高产的同时，拓宽到全部土地资源的开发与建设；在整体规划与设计的基础上，针对当地的生态环境障碍因子，合理开发自然资源，促进经济发展的需要。已实施的较成功的农业生态工程有农林牧复合系统生态工程、种养加系列产品开发生态工程、水体立体养殖生态工程、农业多种群立体种植及综合节水农业生态工程、污水处理与农田利用复合生态工程、保护地蔬菜及养殖与能源综合建设生态工程、污染区土壤处理系统生态工程、农业废弃物资源化再生循环利用生态工程、以水面及湿地资源开发为主的种养结合的基塘系统生态工程、大中型畜牧场粪便处理能源环境综合建设生态工程及水土流失区小流域治理与开发生态工程等[6]。主要依据当地资源的潜力与优势，以资源永续利用为前提进行的农业生态工程模式分为：空间资源利用型、生物共生互补型、边际效应利用型及物质循环多链型[4]。实践表明，具有中国特色的生态农业建设是我国农业可持续发展的有效途径，所实施的农业生态工程，其侧重点一方面重视生态环境的保护和自然资源的永续利用，另一方面还重视产品的产量和质量，并要求与农民脱贫致富目标相一致，达到发展经济、适宜社会需求与保护生态环境并重。这与美国的Mitsch W. J.[10]和我国著名生态学家马世骏先生所提出的生态工程定义相一致。

因此，1989年马世骏先生即明确指出"'生态农业'一词系农业生态工程的简称"。

2 生态工程与农业生态工程的定义

美国的Mitsch及丹麦的Jorgensen等[10]将生态工程定义为"为了人类社会及其自然环境两者利益而对人类社会及其自然环境进行的设计"，"提供了保护自然环境，同时又解决难以处理的环境污染问题的途径"。之后又修改为"为了人类社会及其自然环境的利益，而对人类社会及其自然环境加以综合的且能持续的生态系统的设计"。包括开发、设计、建立和维持新的生态系统，用于诸如污水处理、地面矿渣及废弃物的回收、海岸带保护等。由于西方国家科研力量、水平、方法和仪器设备较发展中国家强，因此他们的生态工程理论除基于生态学原理外，还吸收综合了物理学、化学和数学，特别是系统科学、控制论、信息论和自组织论等自然基础学科的成就。早在1979年马世骏先生将生态工程定义为"生态工程是应用生态系统中物种共生与物质循环再生原理、结构与功能协调原则，结合系统最优化方法设计的分层多级利用物质的生产工艺系统。生态工程的目标就是在促进自然界良性循环的前提下，充分发挥物质的生产潜力，防止环境污染，达到经济效益与生态效益同步发展。即可以是纵向的层次结构，也可以发展为几个纵向工程链索横向联系而成的网状工程系统"[1]。在此基础上，1987年又进一步阐述农业生态工程定义为"将生态工程原理应用于农业建设，即形成农业生态工程，也就是实现农业生态化的生态农业。可以认为，农业生态工程就是有效地运用生态系统中各生物种充分利用空间和资源的生物群落共生原理、多种成分相互协调和促进的功能原理，以及物质和能量多层次多途径利用和转化的原理，从而建立能合理利用自然资源、保持生态稳定和持续高效功能的农业生态系统"[3]。并进一步指出"农业生态工程是以社会、经济、生态三效益为指标，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的综合农业生产体系，在性质上属于社会-经济-自然复合生态系统的一个类型"[4]。总之，我国的农业生态工程是在探索农业可持续发展的进程中，广大农民与科技人员汲取传统农业精华，引进国内外先进科学技术，不断探索与实践，逐渐形成的新学科领域。

3 我国农业生态工程设计的技术路线与基本原则

3.1 我国农业生态工程设计的技术路线

我国农业生态工程设计的技术路线是着重调控系统内部结构和功能，进行优化组合，提高系统本身的迁移、转化和再生物质能量的能力以及对太阳能的利用率、自净作用与环境容量，充分发挥物质生产潜力，尽量利用时间、空间和营养生态位，提高整体综合效益。

3.2 我国农业生态工程设计的基本原则

3.2.1 建设高效复合生态系统原则

农业生态系统是半人工生态系统。该系统中经济系统起主导作用。农业生产直接与自然进行交换，其主要生产对象首先是可再生的自然资源，因此，生态系统作用是基础。人们为了自身发展，通过社会系统组织经济系统的运动，影响、强化生态系统的运行，经过反馈，最终保证了社会经济系统自身的发展，满足人类不同利益阶层的要求。这一特点要求在设计和组织与环境保护相协调的农业生产时，要经济规律和自然规律作用并重，而单纯依赖各种单项自然科学技术则难以实现农业可持续发展，只有制定正确的决策并与社会

科学交叉组合才有可能实现。农业生态工程既重视自然科学技术的研究与应用，也重视社会科学对复合生态系统的宏观调控作用。

3.2.2 充分合理利用自然资源与结构合理性原则

与工业生产相区别，农业生产首先通过动物、植物和微生物等生命体与周围环境（光、热、水、土等）进行物质及能量交换，依靠其自身生长和发育机能来完成，因此，农业生产首先是一个生态过程，即生物生命活动与外界环境之间的物质、能量变换过程，即开发自然资源的过程。提高农业生态经济系统功能，促进农业持续发展，要"针对资源特点选择模型，要不断调整、优化系统的结构，以提高其效率（功能），使资源转化出更多、更好的产品"[5]。恢复与实现农业生产的生态合理性，才能建设好最佳生态经济系统，即经济系统是高度开放的、生态系统是高度闭合的，通过物质循环及能量多级利用，提高投入、产出效率，实现资源永续利用。

3.2.3 整体协调再生循环原则

整体协调再生循环反映了系统生态学的方法论、认识论、技术体系和动力学机制[2]。只有从整体上把握系统动态，才能实现系统的合理调控；协调的实质是综合，是协调生物与环境或个体与整体之间的关系；再生是实现系统内的自组织、自调节，只有这样才有可能实现农业生态系统的自净，无废弃物生产，以实现可持续发展；循环是该原理的核心，体现了大自然得以生生不息、延续不止的生态动力学机理，体现了物质的循环、再生和信息的反馈、耦合。实践证明，只有通过人工调控与组装手段，实现系统内良性循环，才能使农业生态系统中各子系统、各组分构成协调再生的整体，通过改善生产环境与生态环境，获得高效与清洁生产的功能。

3.2.4 人工合理调控与技术集成原则

农业生态系统是多种成分相互联系、相互制约、互为因果而综合形成的一个统一有机整体，每一成分的表现、行为、功能及其大小均或多或少受其他成分的影响，往往是多种成分的合力，是其他成分与它的因果效应，而它并非是各组分行为、功能的简单加和或机械集合。人工合理调控的目的是使各组分间结构协调、比量合适，整体功能将大于各组分行为、功能的简单加和。农业生态系统各组分的"套接"是实现良性循环与协调发展的关键，只有在定量化的基础上才能实现。总之，生态系统内部结构和功能是系统变化的依据，物质能量输入与输出等是系统变化的条件，这一切都需要人工合理调控，通过采用适当的技术，调整生态系统内部结构并改善其功能，才能使系统发生变化。

农业生态工程是在一个区域范围内，以第一性生产为主要内容的工程设计，其目的是在优化大系统的基础上，建立生态与经济良性循环的生态经济系统，形成环状结构，通过农业生态系统内部结构的进一步完善和有效调控来实现，其中包括耕作方式与种植制度的调控，选择相应的育种及其他生物技术，以适应自然环境变化趋势；利用生态位共享原理，设计高效可行的间作、套种、混播，多层种植、立体养殖生物群落；利用共生相克的生物补偿原理，调整益害生物种群结构及比例，发展生物防治技术，减轻环境污染；利用物质与能量在农业系统中多层次转化、多途径利用，重建优化的食物链网。在技术集成中特别要注意汲取我国传统农业技术精华并通过与现代农业技术有机结合，实现资源可持续利用的高效生产；依靠现代农业技术及系统工程方法，因地制宜地引进并优化组装。当前在注

重其先进性的同时，更要重视其适用性、技术间的协调性和总效果（即经济、生态、社会效益）的协同性；开发资源再生、高效利用及无（少）废弃物生产的接口技术，用以促进农业生态经济系统的良性循环，这是当前农业生态工程研究的重点。通过这些接口技术，将系统内各组分衔接成良性循环的整体，加快系统内物质循环流动和能量多级传递，在提高生态系统的自我调节与自组织能力的同时，形成一个高产投比的开放经济系统。因此，农业生态工程具有"软"、"硬"技术结合，系统性、效益综合性与工程性的特征，在理论上和技术上的深入研究与实践应用，将对我国面向21世纪可持续发展战略的实施与推进起着极为重要的作用。

4 我国农业生态工程与国外生态工程比较

我国农业生态工程的兴起与发展尚处于初级阶段，但已为世人所瞩目。在农业可持续发展战略的行动化方面已处于国际先列。正如Mitsch W. J. 所言"从综述的中国生态工程的理论，以及看到像中国那样人口众多且密集的国家，如何在保证保护资源和环境的同时，最大限度地利用自然景观的生态工程的途径和方法，使西方科学家获益匪浅。对中国生态工艺技术的了解也大有收益，尤其是西方如在面临能源不足阶段而要发展持续经济时，中国这些生态工艺和生态工程经验是极其有用的"[11]。我国农业生态工程所处理的对象比国外更为复杂，所涉及的不仅仅是自然生态系统或简单的农田生态系统、畜牧业子系统，而是一个包括农林牧渔等多产业的农业生态复合系统，并作为一种社会-经济-自然复合系统，区域规模更大；设计原则不仅像国外生态工程那样重视系统的自我调节和自我组织，更重视人为的多方面干预与调控，通过系统的结构、技术、输入输出与信息调控及优化，按预期目标，因时因地制宜地调整复合生态系统结构和功能，包括食物（或生产）链环中加环；联结原本无直接联系的不同生态系统形成互利共生网络；分层多级利用物质（含废物）与能量，充分利用空间、时间及营养生态位，重建或改造原有系统；系统内具有更高的生物多样性及食物网链的复杂性；其目标追求上并不是像西方生态工程那样以环境保护为主，还强调商品及可用原料的产出，价值目标更重视经济的可行性[7]。我国的农业生态工程还应向国外生态工程那样向定量化方向发展。正如马世骏先生曾指出"就要达到模型化和定量化，能够按设计的模式进行施工，……我们国家南北之间差别很大，如何针对区域性的自然条件、经济基础和管理方式，通过定量化的过程进行优化组合，才能使我们的生态农业建设真正立足于科学化的基础上"。

总之，我国农业生态工程的研究尚赶不上实践发展的需要。一方面我国农业生态工程种类繁多，形式多样，经验丰富，但尚缺乏理论上的总结与概括；另一方面我国农业生态工程目前尚难像其他工程那样依据可靠的参数，标准化地设计出令人满意的生态工程样板。虽然有些农业生态工程如太阳能温室大棚、养猪、沼气池、蔬菜种植四位一体的能源生态工程等，已有了地方性的技术规范（或标准），但总体尚处于经验摸索阶段；良性循环的生态接口技术多数缺少高科技含量，这也是我们今后从事农业生态工程研究亟需解决的重要课题。

参 考 文 献

1 马世骏. 生态工程. 北京农业科学，1984 (4)：1～2.

2 马世骏，王如松. 社会-经济-自然复合生态系统. 生态学报，1984，4(1)：1～9.
3 马世骏，李松华. 中国的农业生态工程. 北京：科学出版社，1987.
4 马世骏. 高技术新技术农业应用研究. 北京：中国科学技术出版社，1991. 735.
5 沈亨理等. 中国农业现代化与发展阶段的生态经济分析. 生态农业研究，1993，1(2)：15～26.
6 孙鸿良，张壬午等. 生态农业的理论与应用. 济南：山东科学技术出版社，1993. 1～2.
7 颜京松，Mitsch W. J. 中国与西方国家的生态工程比较. 农村生态环境，1994，10(1)：45～52.
8 Mitsch W. J. Ecological engineering and ecotechnology with wetlands：Application of systems approaches. In：Marani，A(Ed). Advances in environmental modeling. Elsevier，Amsterdam，1988. 565～580.
9 Application of systems approaches. In：Marani，A(Ed) Advances in Environmental Modeling，Elsevier，Amsterdam，1988. 565～580.
10 Mitsch W. J.，Jorgensen S F(Eds.). Ecological engineering：An introduction to ecotechnology. New York：J. Welly，Sons，1989. 472.
11 Mitsch W J. Ecological engineering：approaches to sustainability and biodiversity. In：Costanza，R. (Ed)，economic；The science and management of sustainability. New York：Columbia Univ. Press，1991. 428～448.
12 Zhang Renwu *et al*. Technological study for sustainable development of Chinese. Agricuture，Journal of environmental sciences(China)，1994，6(4)：471～477.

·书　讯·

欢迎订阅《生态研究与探索》

《生态研究与探索》由严力蛟、鲍毅新、钱建东主编，浙江省生态学会理事长、浙江农业大学农业生态研究所所长王兆骞教授任学术指导委员会主任，中国生态学会秘书长、中国科学院生态环境研究中心王如松研究员作序，中国环境科学出版社出版发行。全书70万字(87篇论文)，定价：70.00元。内容涉及基础、农业、环境和医学等生态学领域的理论研究与实践应用，包括气候变化对我国农业生态系统的影响、生态农业、休闲观光农业、EM技术、绿色食品、地理信息系统、作物生产模拟模型、生态位、生物多样性等；植物的基础生态研究、红黄壤开发、数学模型、农药在土壤中的行为、地面水致癌性预测试验、氟污染、微生物生态、鼠类研究、西湖水质污染生态、水生生物生态、杂草群落和种群生态研究等；生态建筑(含生态住宅、生态公厕、生态庭院等)、环境卫生、生态镇建设、雨水资源利用、小流域开发、山区资源开发和利用、农业产业化、农村和农业可持续发展等内容。现尚有少量余书，拟以每册工本费40.00元(含邮资)优惠售出。需购者请直接汇款至(310029)杭州市华家池浙江农业大学农业生态研究所浙江省生态学会徐佩君女士。电话：(0571)6971154。银行汇款请寄：浙江省生态学会；开户银行：农行杭州市城东支行；帐号：39298010106416。款到即寄书，需正式发票者请在汇款单或来函注明。