

# 第一章 绪论

## 第一节 生态工程的概念和意义

### 一、生态工程的概念及由来

生态工程是近年来发展起来的重要的应用生态学分支学科，是把生态学理论应用于生产实际，把生态科学技术转化为现实生产力的枢纽和桥梁。尤其是近年来蓬勃发展起来的生态农业研究，实际上就是农业生态工程科学的研究，即把农业生态学理论，通过各种生产工艺系统和技术在具体农业生产过程中加以实现，达到高产、优质、高效之目的。

生态是指生物与其生存环境之间的相互关系，研究这种关系的学问就是生态学。工程是指人类设计的、具有一定结构和功能（即达到一定目的）的工艺系统。

生态工程则是遵循生态学的基本原理，应用生态系统中物种共生和物质循环再生的原理，结合系统工程的最优化方法，设计的分层多级利用物质和能量的生产工艺系统（马世骏，1987），是实现把科学技术转化为现实生产力的一种手段和方法。生态工程的目标就是在维护和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、资源利用和环境保护协调一致。它既可以是纵向的层次结构，也可以发展为由几个纵向工艺链横连而成的网状工程系统。

农业生态工程是将生态工程原理应用于农业生产和建设，是有效运用农业生态系统各生物物种，充分利用空间和资源的生物群落共生原理、多种成分（产业）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原理，运用最优化的方法设计和建立，能够合理利用自然资源、保持生态稳定和持续高效功能的一种农业生产工艺体系和技术。

生态工程原理还可以应用于国民经济建设和生产建设的许多领域和部门，进而形成各种特定领域或部门的生态工程。因此，与生态学和工程学一样，生态工程也是一门综合性较强的多分支的综合性学科。

生态工程作为应用生态学的分支学科之一，是最近才发展起来的，其历史不过 40 多年，是一个正在形成中的学科。

首先使用生态工程 (ecological engineering) 一词的是美国的 H. T. Odum。他在 1962 年把生态工程定义为：“人类运用少量辅助能而对那种以自然能为主的系统进行的环境控制。”1971 年他又指出：“人对自然的管理即生态工程。”显然这个定义是很不确切的概念。1983 年他对此定义进行了进一步修正后提出，设计和实施经济与自然的工艺技术称之为生态工程。

1988、1989 年美国 Mitsch, W. J. 提出的生态工程概念是：“为了人类社会和自然环境两方面利益而对人类社会和自然环境的设计，”此外，Uhlmann, D. (1983), Straskraba, M. (1984, 1985)、Straskraba 和 Cnanek, A. H. (1985) 又提出了生态工艺一词，并定义为：“在深入了解生态学基础上，在措施上花最小代价，对环境以最少的损伤，……是对生态系统管理技术的运用。”从这些描述可见，尽管早在 60 年代初就有人提出了生态工程这个名词，但始终没有确切的概念，直至 1984 年我国著名动物学家和生态学家马世骏教授才提出了完整的令人信服的如前所述的生态工程定义。

早在 1954 年，马世骏在研究防治蝗虫灾害时，即从生态学理论出发，提出调整生态系统结构、控制水位及苇子面积等措施，以改变蝗虫的滋生地，改善生态系统结构和功能的生态工程设想、规划与措施。实践结果表明生态效益和经济效益十分显著。1979 年，马世骏在中国环境科学学会上作了《环境理论的发展和意义》的学术报告，在总结了自己几十年生态学研究的基础上，进一步形成了生态工程思想。他说：由于工业发展过程中出现环境受到干扰而迫切需要采取保护政策，促使人们不得不在社会-经济-生态-资源物质系统之间，考虑多方面依赖的特点，从而近来在社会科学和自然科学之间产生了新的杂交科学前沿，即社会-经济-自然生态系统的结合，它是处理当前国际上五大社会问题的重要理论依据。又说：工业城市生态学是近年开展研究的典型的社会-经济-自然生态系统，在此复合系统中，包括复杂的物质能量代谢系统及地球化学循环系统。此研究密切联系废物管理、营养物质循环和区域性食物供应系统这三个系统的循环关系，可以及时而有效地把人类和动物的废物还回土壤，把工业废物分别加以分解或再生，这对持续地维护现代化都市的优良环境和支持郊区现代化农业是至关重要的。它依据的机理就是模拟自然生态系统长期持续链环结构的功能过程，可称为生态系统工程。继而又提出生态工程的原理是生态系统的“整体、协调、再生、循环”。他强调生态工程是生态学的原理在资源管理、环境保护和工农业生产中的应用。

马世骏关于生态工程的研究和理论为引导国内外生态工程研究打开了思路、奠定了坚实的理论和实践基础。1987 他主编的《中国的农业生态工程》一书在我

国出版。1989年，马世骏等和国外学者合作编著出版了世界上第一本生态工程专著《Ecological Engineering》，标志着生态工程在国内外成为一门新兴的学科而正式问世。

## 二、生态工程产生的时代背景

生态工程是在20世纪60年代以来全球生态危机的爆发和人们寻求解决对策以及资源环境保护的宏观形势条件下应运而生的，是科学发展和社会需求的必然结果，有着丰富的历史背景和坚实的理论和方法基础。

60年代以来，由于人口剧增、资源破坏、能源短缺、污染和食物供应不足等因素造成了全球性的生态危机，是人类所面临的共同问题。但在不同的国家和地区表现不尽相同，在发达国家中主要面临的是由于高度的工业化和强烈集约型的农业经营带来的环境污染问题。为解决这一问题，60年代末、70年代初人们认真讨论过：“无废物”（zerodischarge）目标，并对其完全消除污染，防止进入环境，当时人们对改善环境的技术充满信心。后来的实践使人们逐渐认识到，由于种种原因，运用常规方法不可能实现所谓的“无污染”目标。主要是因为治污需要大量的人力、物力和财力，发达国家难以满足，发展中国家更是如此。同时，当采用某种净化技术时，有可能将污染物由一种介质转移到另一种介质中去，导致再度污染。为了降低污染、保护资源，人们试图运用生态系统的某些自净功能如生物净化功能来实现其目标，于是在发达国家便产生了生态工程研究。

在发展中国家，所面临的不是单纯的污染问题，而是人口增长、资源破坏、生产不足和环境污染等共同组成的“综合症”。这些国家不但要保护资源和环境，更迫切地要以有限的资源生产出足够的产品，达到高产、优质、低耗、高效以供养日益增长的人口。它们不应当再走发达国家所走的“先污染、后治理”的发展模式，必须立足于本地资源和条件去寻求适合于自己的发展途径和技术。生态工程恰恰提供了这样一种发展战略和实现低耗、高效、无（或少）废物生产的适用技术。因此，受到了广泛的重视。

作为一个新的学科研究领域，生态工程的产生除社会需求外，还必然要有其科学理论基础和方法论基础。

首先，上世纪三四十年代以来，生态学研究的各个领域都取得了重大进展，生态学的多数重要理论在这一时期中得以形成。特别是生态系统概念的提出、生态系统生态学和全球生态系统观的建立，使生态学的研究提高到了一个崭新的水平。而且这一时期整个科学技术与生产力进入了一个突飞猛进的新时代，它不仅直接来源于自然科学及技术手段的纵深突破，更主要的是各分支学科的横向渗透与突破。即由单一学科的微观研究，逐步向多学科综合的宏观研究方向发展。生态工程学导源于生态学，虽然是应用生态学的一个分支学科，但其重要概念、理

论、方法已经并正在为系统论、控制论、信息论、协同论、耗散结构理论、突变论及混沌现象、自组织理论等所渗透，正从过去传统的以自然科学分析为主，对自然界分门别类的研究，且越分越细的倾向，转变为以系统论的整体观、综合观为指导，在分析的基础上加以综合，将物理学、化学、生理学、毒理学、数学等自然科学的不同分支学科的基础理论、方法、成就以及在农学、土壤学、水产学、畜牧学、林学、环保工程学、运筹学、计算科学等多种技术科学，还有社会学、经济学等人文科学成就吸收渗透进来，形成应用生态学中一门多学科交叉渗透的新兴分支边缘学科。与此同时，应用生态学的其它分支学科，如农田生态学、农业生态学、城市生态学、区域生态学等也得到了迅速发展，为生态工程概念的完善和生态工程学的建立奠定了科学基础。

其次，系统科学的发展特别是系统工程学在各领域中的广泛应用为生态工程的研究也提供了理论方法论基础，发挥了重要作用。正如马世骏先生 1979 年所预料的那样：我们现在的生活状态已在相当长的时间内逾越了某种确定的概念水平，现代生态学阐明，在网状连接的结构内，一个新水平的复杂系统正从以前的非系统概念中上升出来，许多科学家预料此种相互作用的新结构及其理论，即将在今后数年中有所创造和突破。

第三，近年来迅速发展起来的系统分析方法和计算机技术，以及生态学、生物学、农学、土壤学等学科领域新技术、新方法的发展，为生态工程学的研究和实践提供了方法论和技术基础。

综上所述，生态工程的产生有着历史的背景与实际的需要，在理论上、方法上和技术上都已有了一定的基础。

### 三、生态工程的意义

当前，影响工农业发展的因素是自然资源和环境问题，这是国际上公认的。但是自 20 世纪 50 年代后期以来，大量可再生资源遭到破坏，工业“三废”以及农药、化肥等人工合成的化学物质侵入了自然环境和人类社会，加速了自然生态平衡的破坏和人类生存环境的恶化。自然环境是由多种因素共同构成的空间，其中包括生物因素和光、热、水、气等人类赖以生存的基本成分。生物资源的大量破坏和毁灭不仅必然要影响工业原料来源，也直接损伤环境对有害物质的自净能力。所以从大环境概念出发，合理利用自然资源和保护环境就成为一个问题的两个侧面。因而，一些国际组织认为当前世界上影响经济发展的核心问题是工业与环境的的关系。如何处理好二者的关系，使工业生产与环境保护同步发展，已成为各国科学家和政府共同关心的重要课题。

工业原料，包括能源，主要来自生物与矿物。过去，由于科学技术不发达，只考虑原料的单项功能，忽视了副产物。这样不仅浪费了资源，而且“废物”还

会成为环境污染源。所谓废物不外乎三个方面：未全部转化为产品的少量原料，未能回收的微量产品和加工过程中产生的其它代谢产物。在这些废物中，可能包含着许多可利用的东西，在科学技术发达的今天，我们有能力把某些“废物”变为有用材料，也就是“变废为宝”。根据生态系统的原理而设计的无污染工艺和无废物工艺，将成为我们实现经济建设与环境保护同步发展的有力武器。

我国是一个发展中国家，我国的工农业生产正经历着巨大的变革。尤其是农业生产，正在由自给半自给经济向商品经济转化，由传统农业向现代农业转变，资源合理利用和环境保护的矛盾更加突出，因而生态工程的研究和应用意义就更大，而且越来越明显地表现出来，主要表现在以下几个方面。

### （一）生态工程与我国的农业持续发展

我国是一个农业大国，农业是整个国民经济的重要组成部分，是基础，农业能否持续发展直接关系到整个国民经济的发展。长期以来，农业发展的道路和模式选择是科研人员与政府部门最关注的问题。我国人口众多、资源相对短缺，中低产田面积较大，经济基础薄弱，全民文化水平不高，农民科技素质较差，这些基本因素在一定程度上制约着我国农业发展道路和现代技术体系的选择。实践证明，通过资源合理开发及物质循环利用，发展资源节约型农业是适合我国国情而且行之有效的，通过提高资源的利用率和转化效率，是能够在有限的资源上生产出尽可能多的产品来。例如黄土高原的混农林业、黄淮海平原的节水农业是对水土资源的高效利用，水的利用率可上升至 90%。又如各地以绿肥和有机肥培肥土壤，土壤肥力呈上升趋势。实践又证明，我国的农业现代化不可能也不一定走西方的依靠高投入的农业发展道路。充分利用我国传统农业之精华和我国劳动力充分之优势，遵循生态学原理与生态工程技术，发展劳动密集型与技术密集型相结合的农业是可以实现农业生产合理、低投入而高效地持续发展的。所有这些战略、技术和生态工程的思想与技术正相吻合，因此，可以认为农业生态工程建设是适于我国农业持续发展的战略方向与技术路线的。

### （二）生态工程与我国生态环境的保护与治理

1979年马世骏提出了关于环境的确切概念。他说：“环境”是在一定空间与时间内，多种成分相互作用的多维结构，虽然通常只有一两个成分在当时起着显著作用，但成分之间的相互作用关系则依然存在。因此，任何一个成分所产生的作用，都不同程度地带有其它成分的影响，有些成分的作用，可能是两种成分的合力或相互激发与加强的结果，从而有可能导致事物发生质的突破。又说：只有依靠多方面的有效的环境管理，方能营造比较健康的环境和科学地利用自然资源。

环境保护是我国国策的重要内容之一，也是国土整治的一项根本性战略。对历史上人类有意识或无意识地不适当经营所造成的生态环境恶化和现状，生态工程原理和技术为缓解与恢复恶化的生态环境提供了有效的途径。例如我国“三

北”防护林生态工程建设所取得的成就已为这些提供了有力的证明。而“运用生态系统的再生原理，以闭路循环的形式，在生产过程中实现资源的合理和充分的利用，使整个生产过程保持高的生态效率并使环境高度洁净”更是目前及今后要普遍推行的环境自净工程。

### （三）生态工程与我国工业与城市发展

目前我国正处在一个城市化迅速发展的阶段，不但原有大城市人口和空间规模的膨胀，而且中小城市规模也在不断扩大，尤其是蜂拥而起的小城镇建设使我国的城市化增添了新的特点。城市的发展带来了许多矛盾，城市人口与商品需求的矛盾、人口与环境的矛盾、人口与能源的矛盾等等。因此根据社会-经济-自然三系统的循环关系，“模拟自然生态系统长期维持链环结构的功能过程”的生态工程机理研究可望在缓解这些矛盾中积极发挥“有效管理”及“化害为利，化废为宝”的重要作用。例如城市污水处理生态工程，工业废水余热利用的温室农业生态工程，农牧产品加工业的副产品及废弃物的利用等等。此外生态工程技术可用于城市的总体规划 and 生态经济小区规划中，如城市绿地、公园、林木的规划等。

此外，生态工程对基础科学研究也有着重要意义。从复杂系统的观点来看，世界上最复杂的系统有三种：生物体、人脑和自然生态系统，围绕对这三类系统的研究形成了当代科学的几个重要的前沿学科和领域。生命科学同时涉及了对生物体和人脑的研究，人工智能研究试图在揭示人脑奥秘的基础上进行大脑结构功能模拟设计。生态系统研究虽远不像前两学科那样在基础研究中占有重要地位，但它的确已引起越来越多的基础科学工作者的重视。例如，风靡世界的“混沌现象”与“非平衡态”研究，许多问题就是基于对生态系统的研究而提出的。如果说仿生学是对生命体的模拟研究，人工智能是对人脑的模拟研究，那么，生态工程发展正如 H. T Odoum 所说是使人类生存与竞争中与其环境变为伙伴的设计，亦即对精巧微妙的、人类赖以生存的生态环境及生态系统的模拟和创造。从这个意义上说，生态工程学就像仿生学、人工智能那样应被看作重要基础学科之一，而对它的研究可视为提供人类生存条件及提高生存质量做出重要贡献的战略思想。历史将证明，加强生态工程研究将使未来整个生物学科与农业产生重大突破。

## 第二节 生态工程的主要类型和特征

### 一、生态工程的主要类型

运用生态系统的基本原理（主要是生物共生、物质循环再生、食物链、生物与环境相互适应等原理），根据当地的自然条件、生产技术和需要，可以设

计出多种多样相互结合的工艺体系。马世骏等提出了下面具有一定代表性的五个类型。

### (一) 物质能量的多层分级利用系统

根据森林生态系统多层分级利用光能的结构特点，可以模拟不同种类生物群落的共生功能，包含分级利用和各取所需的生物结构系统。这类系统可以进行多类型、多途径模拟，并可在短期内获得显著的经济效益。图 1-1 是利用秸秆生产食用菌和蚯蚓等的生产设计。秸秆还田是保持土壤有机质的有效措施。但是，秸秆直接返回土壤，不仅

需经过长时间的发酵分解，才能发挥肥效，而且有时还容易造成 C/N 比失调影响土壤有效养分的提高。但在一定条件下，如果利用氨化、糖化和微生物发酵等过程先把秸秆变成家畜喜食的饲料，而后用家畜的排泄物及秸秆残渣来培养食用菌，生产食用菌的残余料又用于繁殖

蚯蚓，最后才把利用后剩下的残物返回农田，收效就会较好。虽然最终还田的秸秆有机质的肥效有所降低，但增加了生产沼气、食用菌和蚯蚓等的直接经济效益。

### (二) 水陆交换的物质循环系统

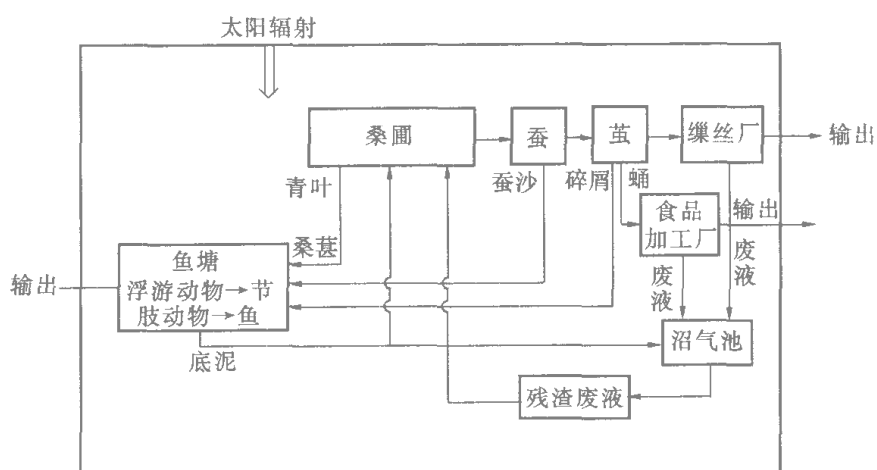


图 1-2 生态工程原理应用之二：  
水陆交换生产系统（引自马世骏，1987）

食物链是生态系统的基本结构，通过初级生产、次级生产、加工、分解等完全代谢过程，完成物质在生态系统中的循环。水陆交换系统就是通过食物链关系把陆生生态系统和水生生态系统有机结合起来，组成水陆复合生态系统。桑基鱼塘是比较典型的水陆交换生产系统（图 1-2）。在这个体系里，桑树通过光合作用生成有机物质（桑叶）；桑叶喂蚕生产蚕丝及蚕茧（生物工艺的物质转化）；桑树的凋落物、桑葚和蚕沙施撒到鱼塘中，经过鱼塘内另一食物链过程，转化为鱼；鱼的排泄物及其它未被利用的有机物和底泥，经过底栖生物的消化、分解，取出后可作为混合肥料，返回桑基，培养桑树。这样的生产体系无论从经济上或农业环境上都能收到很好的效益。

### （三）废物”再生利用和环境调节工程系统

工农业生产和农副产品加工过程中，会产生大量的“废物”，这些“废物”长期以来未能得到很好地利用，不但浪费了大量的可利用资源，而且成为污染城乡环境的污染源。因此，回收和消除此类污染物质是城乡建设和工矿区环境保护工作中必须考虑的重要问题。例如利用工厂余热（包括汽热和水热）作为邻近住房冬季取暖热源的方法在许多城市采用。如能根据散热及导热原理，在工厂附近建造不同温度梯度温室和利用余热养殖水生植物，收效就会更好。所收获的植物的一部分可制成饲料，喂养畜禽；畜禽的排泄物用于肥田和培育防护林；农田和防护林又可调节工厂燃料所产生的二氧化碳。这种兼顾生产和环境保护的工艺可称为利用废物再生功能的环境调节工程，若干工艺流程所构成的工程体系即废物再生的调节工程系统，图 1-3 就是此类工程的模式之一。工厂余热也可以用来加热温室或棚窖，生产蔬菜、花卉、畜禽渔产品等。

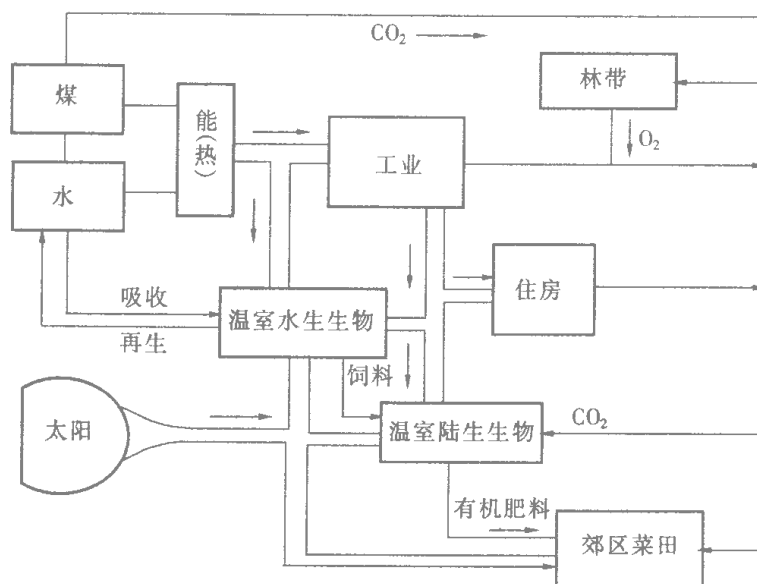


图 1-3 生态工程原理应用之三：工业城市水热再利用系统模式（引自马世骏，1987）

近年来大量科技研究工作证明，许多种植物（如水葫芦）会吸收和富集某些微量重金属物质，因此可将此类植物用作回收某些微量元素的活介质。经回收和浸出或稀释后的植物无毒部分亦可作为家畜的饲料。

#### （四）多功能污水自净工程系统

在一般情况下，自然生态系统内部不易出现由于某种物质的过多积累而造成系统崩溃或主要生物成分的大量死亡，这是由于系统本身就拥有自行解毒的“医生”（微生物）和解毒的工艺（物理的、化学的）过程。即使由于某种物质过分积累，破坏了系统的原来结构，亦会出现适应新情况的生物更新，通常把自然生态系统的这种功能叫自净功能。模拟此种复杂功能的工艺体系，应是今后解决工业废水污染的重要途径。图 1-4 是这类原理的应用模式之一，包括相互交错的食物链和三个方向的物流与能源，以及不同性质的输入与输出。

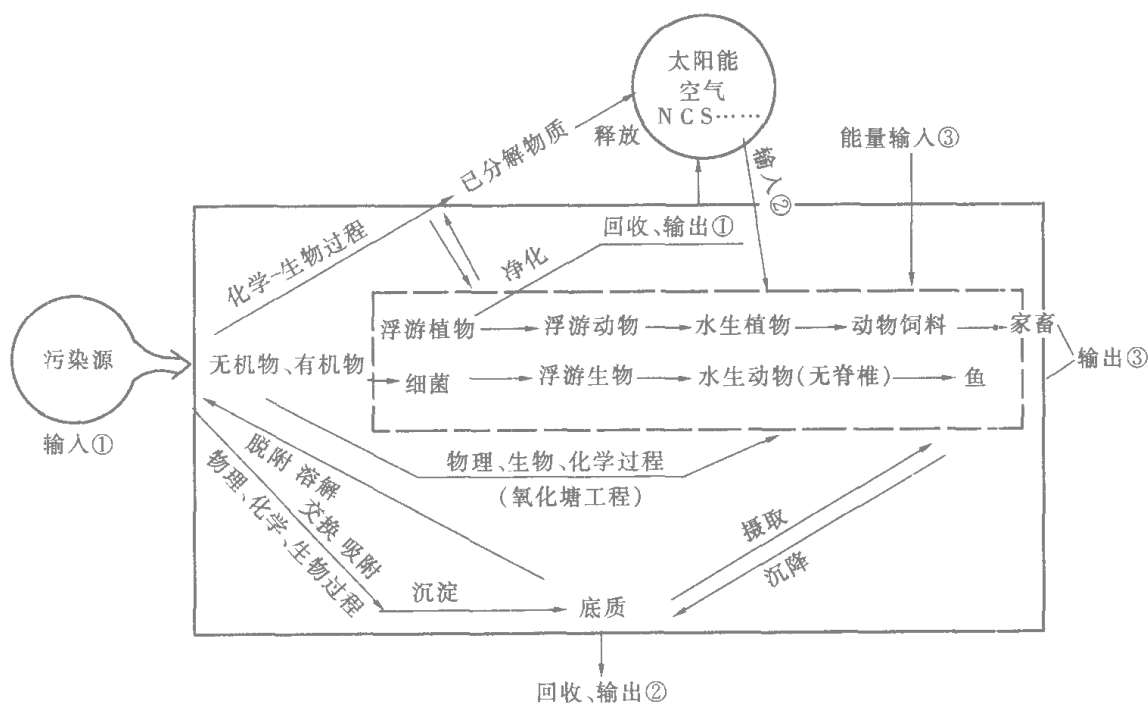


图 1-4 生态工程原理应用之四：污水自净系统（引自马世骏，1987）

#### （五）多功能农工联合生产系统

生态系统通过完全的代谢过程——同化和异化，使物质流在系统内循环不息，这不仅保持了生物的再生不已，并通过一定的生物群落与无机环境的结构调节，使各种成分互相协调，达到良性循环的稳定状态。这就是生态系统的内稳态机制。这种结构与功能统一的原理可应用于农村工农业生产布局、城市规划和国土区域治理。图 1-5 是农、林、牧、渔生态系统的初级生产模式。这个模式中的防护林带为农田创造良好的小气候条件，同时招引益鸟栖居，捕食农田害虫。作物籽粒及秸秆为禽畜提供精、粗饲料，而禽畜的粪便又为农田提供有机肥料，或

为鱼池提供肥水，鱼池底泥上田作肥料。物质和能量得到了较充分的利用。生态农业县、乡、村的设计和建设就是这种模式的具体的应用。

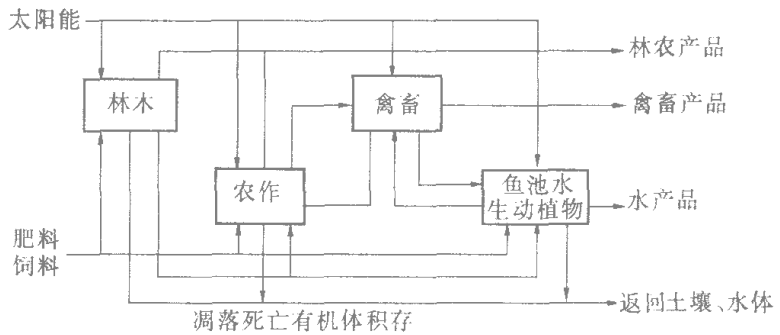


图 1-5 生态工程原理应用之五：

林、农、牧、渔生态工程初级模型（引自马世骏，1987）

图 1-6 是一个多功能的城郊规划示意图，它由四个亚系统，即农业生产亚系统、加工工业生产亚系统、居民生活区亚系统及植物群落调节亚系统组成，箭头表示四个亚系统之间的物质和能量输入、输出与交换的复杂关系。

上面列举了生态工程的几种类型，它们能把生产效益、经济效益与生态效益协调地结合起来，把生物量增加、转化和维护与改善生态环境结合起来，比较适用于我国的国情。不过，它们仅仅是具有代表性的几个模式，随着生态工程的广泛宣传和发展，特别是广大

人民群众为提高农业生产的经济效益和解决乡镇企业发展与维护良好生态环境的矛盾，将会因地制宜地创造出许多更好的生态工程类型。从目前情况看，今后的发展趋势可能主要表现在对空间和时间的利用、集约（陆地和水体），物质的多层次多途径转化，以及水陆环境的交互补偿等的进一步探索。

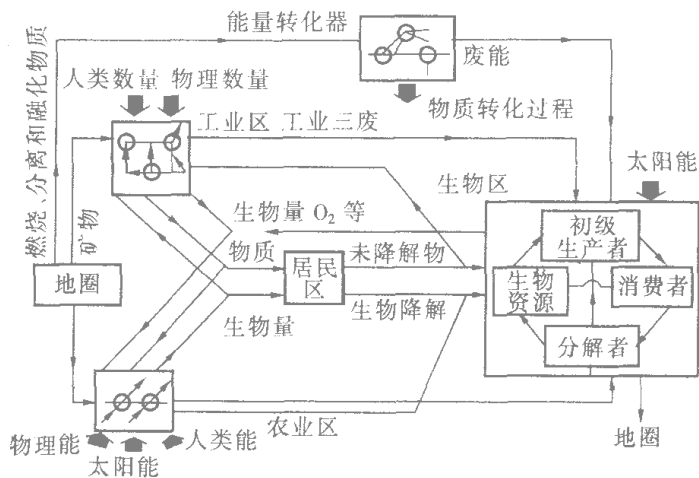


图 1-6 生态工程原理应用之六：

城乡工农业复合生产系统模型（引自马世骏，1987）

邓宏海认为实现农业生态系统综合化的农业生态工程可按生物群类分为以下几个步骤或类型：①实现农业植物群落综合化的生态工程；②实现农业动物群落综合化的生态工程；③实现腐食生物群落综合化的生态工程；④实现土壤生态系统综合化的生态工程；⑤实现水体农业生态系统综合化的生态工程；⑥实现农业生态系统总体综合化的生态工程。

## 二、生态工程的特点

作为一种生产工艺系统，生态工程除具有一般工程的共性外，还有自身的特

点。主要表现在如下几个方面。

(一) 以生态学理论为指导, 以活的生物为主体, 强调利用生物与生物的共生功能、生物物质的循环再生功能、食物链以及生物与环境之间的相互适应原理, 来进行多层次、多方向的生产工艺设计。使生物与生物、生物与环境间相互协调、和谐统一, 共同进化与发展, 投资少、耗能低, 生产、经济效益显著。

(二) 利用生态系统的反馈控制和稳态机制等稳定性特点, 生态工程重视培育和利用生态系统自我修复、自我调节功能。利用生物群落结构合理调整和搭配, 实现系统的自我净化和自身平衡。在促进自然界良性循环的前提下, 充分发挥物质生产潜力的同时, 防止环境污染, 达到资源利用和环境保护协调一致。

(三) 生态工程强调经济效益和生态效益的高度统一。既要考虑眼前生产和生活的需要, 使生产者和消费者在经济上和精神上都满意; 也要考虑到长远的生态效益, 保护资源、保护环境, 让子孙后代有个舒适的安身立命场所。

(四) 生态工程尤其是农业生态工程是在石化农业逐渐走入死胡同的形势下提出来的, 目的是为了克服石化农业的种种弊端。因此, 农业生态工程既要努力挖掘和利用我国传统农业生产中那些生产上可行、生态上合理的技术和方法, 更要尽可能地研究和利用现代化的农业技术和方法。在现代科学的指导下, 充分发挥传统技术的作用, 使传统技术和现代科学很好地结合起来。既要生产出足够的产品来满足不断增长的人口需要, 又要不破坏资源和环境, 生产绿色(无公害)食品以保证人类健康的需要。

(五) 生态工程包括生态工程系统(体系)和生态工程技术两个方面。前者可以是纵向的层次结构, 也可以发展为由几个纵向工艺链索横连而成的网状工程系统; 后者则是这个系统中的某个环节即某个具体的工艺技术。例如农业生态工程系统即生态农业系统, 是指对一个特定区域(县、乡、村、户)整体的农业生态工程设计和建设而言; 而生态农业技术则是对某个具体的工艺设计而言, 如间套作技术等。

### 第三节 生态工程的发展历史及现状

#### 一、国外生态工程的发展

生态工程概念是在人类面临着难以解决的资源与环境等严重问题的背景下提出的, 并在为解决这些问题的过程中得到发展, 主要表现在农业和环境两个方面。

为了解决石化农业所带来的资源、能源及环境问题, 自 20 世纪 70 年代初以

来在西方发达国家中发展了多种形式的替代农业。其中主要包括综合农业、再生农业、有机农业、持久农业、生物农业、生物动力农业和自然农业等类型。虽然各种替代农业模式各异，各有侧重，但其出发点都是为了保护生态环境，合理利用自然资源，实现农业生态系统生产力的持续发展。为了实现这一系列目标，各种替代农业都强调要充分发挥农业生态系统中的生物学过程，利用生物种群间的相生相克关系，调动共生互利关系和自我调节能力；强调运用生态系统中的能量转化和物质循环关系对维持与优化系统功能的作用，提倡最大限度地依靠作物轮作，以及加强对秸秆、家畜粪便、豆科作物、绿肥及其它有机废弃物培肥土壤的作用，保持土壤肥力，持续地供给作物养分；提倡以生物防治措施来防治病虫害等，最终达到尽量避免大量使用无机化肥、农药、生长调节剂和家畜饲料添加剂等来维持农业生产的目的。其采用的主要技术措施包括：将豆科牧草和豆科作物引入作物轮作体系，利用覆盖植物（黑麦草等）保持休闲期的地面覆盖和注意等高种植，进行浅耕或免耕等耕作制度和配方施肥等施肥方式方面的改革；利用作物分泌化学物质来控制杂草等；对农田病、虫、草害进行综合防治；选育新的潜力大的作物品种和家畜品种，实行农牧综合经营；开发生物能源，发展节能技术；以及充实与扩大某些生物学作用等。总之，替代农业试图将常规的石化农业和现代农业的生态技术结合起来，建立自身的技术体系。

在美国，替代农业研究主要为有机农业。自 J. I. Rodale 于 1942 年创办第一家有机农场以来，至今从事于有机农业的人已超过 24 万，占全美总农户的 1% 以上。美国农业部曾于 1979 年成立了一个 10 人小组对全美有机农业进行了广泛调查，肯定了有机农业的作用，但也有许多人认为有机农业的提法过于狭窄，易引起误解，因此在其基础上提出了再生农业和持久性农业，但这两者与有机农业之间没有严格的界限。

西欧各国的替代农业研究，着重于生物农业和生物动力农业。大约有 1% 的农民参与了这项实验。其中畜牧业占很大比重。根据 Vine 和 Batemen (1982) 对英格兰和威尔士的 31 个有机农场的调查，这些农场规模为 50 ~ 300hm<sup>2</sup>，农场类型有专业奶牛场、畜牧场、综合农场和种植场等。联邦德国在 76 万户中约有 5000 户从事有机生物农业，占总耕地面积的 0.3%，农场中草地及豆科作物播种面积占地地的 2/3 左右，农场规模较小。荷兰国家实验农场对替代农业系统的比较研究开始于 1979 年，研究针对生物动力农业、综合农业和常规农业三个农业系统。研究内容是：“土壤肥力、牧畜和作物的健康产量、农场经营、能源和其它资源的利用对自然和环境的影响”。

亚洲国家也开展了生态农场的研究和建设，其中最著名的是菲律宾的马雅农场、泰国的蜀农场，这些都是实行立体种养与资源循环利用的典型。日本的学者则致力于自然农业的研究。自然农业强调土壤微生物在适宜条件下正常发展，使

土壤肥沃，生产力提高。

总之，国外与农业生态工程有关的研究目前为止是以具体农场或工厂的实践为主，农业生态工程方面的科学研究多以调查研究为主，还比较薄弱。

与此同时，环境保护和污染物处理与利用生态工程，在国外生态工程研究和应用中是较多的。例如在前述 1989 年于美国纽约出版全世界发行的英文版“生态工程”专著中，12 项研究与应用案例内有 9 项与环境保护及污染物处理与利用有关，特别是污水处理与湖泊、海湾的富营养化防治更为突出。而传统的环境保护工程虽可防治局部环境污染，但它往往容易造成污染转移或再污染。而采用环境保护生态工程，能源主要取自太阳能，设备多利用自然界存在的生物体，包括自然的或人工的生物种群、群落。这样投资较少，运转费用低，同时不仅有环境保护效益，且可生产一些商品，还有一定的经济效益。因此，在国外，无论发达国家或发展中国家，环保生态工程的研究和应用正在迅速发展。

综上所述，国际生态工程的研究在环境保护和污染物处理与利用工程上发展较快，而农业生态工程研究方面则比较薄弱，因此出现了国外专家着重对我国这方面成就的肯定与效仿。

## 二、我国农业生态工程的发展历史及现状

我国是一个具有几千年历史的农业古国，勤劳勇敢的中华民族在农业科学发展的历史上作出了不朽的贡献。

可以这样认为，运用原始农业生态学最成功的、历史最长的是我们的祖先。我们祖先创造的许多光辉的生态农业雏形，不论在过去、现在和将来都具有重要的科学价值。近年来，国外有不少学者，已经认识到“石油农业”引起的一系列不良后果之后也把目光转向我国古老的农业遗产。有的生态学工作者已着手用现代化研究手段来探索我国传统农业的奥秘。

在广泛学习吸收国外先进经验和技术的同时，系统地总结我国古代农业中的精华，对加速“中国式”的农业现代化的发展具有十分重要的意义。

### （一）我国古代农业生态工程雏形

我们的祖先运用原始的生态学思想，阐述了因时因地采取一系列综合措施来维持农业生态系统平衡的道理。其中运用最早最多的生态学原理为三个方面。其一是因地制宜的原理：早在春秋战国时期的《管子·牧民》篇中就谈到，农业生产要“不央天时，勿圯地力”，因为“不务天时，则财不生；不务地利，则仓廩不盈”。在《齐民要术》（后魏·贾思勰）这本伟大农书的《种谷》篇中明确地提出了“顺天时，量地利，用力少而成功多，任情返道，劳而无获”，以及《知本提纲》（清·杨岫）所述的“参天地，和水火，有余则损，不足则益”，都是我国原始农业生态学观点的精华。在这些基本思想指导下，我国古代农业采取了因地

制宜、因时制宜和合理搭配种群、多层次利用资源的措施。他们的这些思路和作法，可看成是原始生态学观点的萌芽。

其二是生物多样性原理。古代农业生产力低、抗灾能力差，为了满足人们生活的基本需求，我们的祖先经常采用混作方式，以防止灾害发生时颗粒无收。在《汉书·食货志》里写道：“种谷必杂五种，以备灾害。”方法虽然不怎么高明，但确实不致像单一种植那样，一遇灾害“全盘皆输”，是生物多样性在农业生产上应用的最早范例。清朝杨岫在他的《修齐直指》一书中还记录着二年收获十三“料”的典型。从以上可以看到，我们的祖先早就根据“天时”、“地利”和“物性之宜”进行着“种无虚日，收无虚月”（《陈敷农书·六种之宜》篇）的实践，基本上是在通过充分利用空间和时间而达到有效地利用自然资源的目的；同时，根据植物地上部分的分布和地下部分的深浅，以及需光量的多少，把不同种群合理搭配，形成复合群体，实现自然资源的多层次利用，提高收获，也是我国古代农业的成功作法。南宋《陈敷农书》中说：“……若桑圃近家，即可作墙篱，仍更疏植桑，令畦差阔，其下偏栽苕。因粪苕，即桑亦获肥益矣，是两得之也。桑根植深，苕根植浅，并不相防，而利倍差……诚用力少而见功多也。”桑树下种上浅根的苕，根系深浅配合，给苕施用的肥料渗入深层正好为桑根截获促进了桑树的生长，取得了两个种群的最大效益。《齐民要术·桑柘》篇中记载了桑树下种上豆科作物，既产了豆又肥了桑。元朝畅师文、苗好谦等撰写的《农桑辑要》（1273年）中写道：“桑田可种田禾，与桑有宜与禾不宜。如种谷必揭得地脉亢干，生蠹根吮皮等虫；若种蜀黍，其枝叶与桑等，如此丛杂，桑亦不茂；如种绿豆、黑豆、芝麻、瓜芋，其桑郁茂，明年叶增三分；种黍亦可，农家有云‘桑发黍，黍发桑’此大概也。”明朝王象晋撰《群芳谱》（1021年）中也有：“蚕豆……两浙桑树下，遍环种之”。“此豆与豌豆，树叶茂时彼已结荚成实矣。”这些都是根据根的深浅、茎的高低、生态习性、物候差异和虫害情况，所作的关于种群共生的深刻论述，今天看来还是有重要的实用价值和理论意义。

其三是食物链原理。研究食物链，运用食物链的原理为农业生产服务。在我国已有很长的历史，人们对它的认识也比较深刻。我国民谚中的“大鱼吃小鱼，小鱼吃虾米，虾米吃淤泥（水中微小生物）”就是一条完整的捕食性食物链。早在春秋战国时期，就有人用“螳螂捕蝉，黄雀在后……”这条食物链为例来教育那些贪小利而忘却危险的人。唐朝末年（889~904）刘旬编的《岭表录异》中有两条食物链的记载：其一是，两广及云、贵一带人们已知道养枭（猫头鹰）捉害鼠，认为比养猫还好；其二是，新陇等州在荒地新开垦为水田后先养草鱼，既能消灭杂草又养肥鱼。这些都是很理想的措施。明朝霍韬（1487~1540）在《渭崖文集·五山志林的辨物》篇中也有“顺德产螾蜊（一种小螃蟹），能食谷芽，唯鸭能啖之，故鸭以广南为盛，以其螾蜊能养鸭，亦有鸭能啖螾蜊两相济也。”的叙

述。这些记载都说明了我们的祖先不但早就认识了食物链，同时，也在生产实践中很好地运用了食物链知识。

综上所述，我们可以自豪地说，中华古国是古农业生态学发祥地之一，我们的祖先很早就开创出一条独有的发展农业生产的途径，自觉不自觉地采用了某些生态工程原理和技术，产生了古代农业生态工程最早的雏形。

## （二）我国生态工程研究及发展

我国的生态工程研究始自 20 世纪 70 年代末。时间虽不长，但发展之迅速，范围之广泛，效益之明显，皆使世界注目。目前，我国的生态工程研究已在资源管理，环境保护，工农业生产，城市建设和重大工程建设中得到广泛应用，并发挥着越来越重要的作用。研究的内容主要有：

1. 我国农业生态工程的研究 在生态工程研究中，开展得最为普遍。将生态工程的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工程。目前我国开展的生态农业建设就是以农业生态工程建设为主体的，也就是说生态农业是方向，农业生态工程是实现生态农业的技术手段。

我国素有精耕细作的优良传统。在长期的农业生产实践中，在资源利用保护、耕作制度及土壤培肥等方面积累了丰富而宝贵的经验和技能。进入 80 年代以来，由于农村体制改革与商品经济的推动，使这些经验和技能得以与当代的科学技术相结合，从而产生出许多既符合生态学原理和生态经济学原则，又适合我国国情的新的生产模式。我国的农业生态工程和生态农业建设就是在这样的背景下发展起来的。

（1）我国的农业生态工程研究具有以下几个特点：

1) 研究对象以农业生态系统为主，内容更广泛，综合性更强，与西方国家生产专业化特点不同。由于我国农业无论是农户还是农场都普遍实行综合经营，从而使农业生态工程的研究对象往往是各种产业的综合体，所以在我国生态农业建设和研究中，除一般种植业、畜牧业外，还包括水产养殖、有机废弃物资源化养殖（包括食用菌类）、果林与作物的间作和某些手工业和加工业在内。多数生态工程试点都以农户或农村为单位进行农田与庭院相结合的生态农业建设。

2) 我国的农业生态工程研究目标注重生产效益、经济效益和生态效益的结合。强调提高生产和经济效益是建立在提高生态效益的基础上，强调农业生产与环境保护同步发展。农业生态工程试点中的绝大多数都在一定程度上实现三个效益同步提高的目标。

3) 注重传统农业技术和现代技术的结合。我国传统农业中的许多精湛技术，凡是符合生态学原理的，在今天的农业实践中仍被证明是行之有效的。耕作措施、操作工艺将在不断改进的基础上广泛加以采用，并与当代的生物技术、生态技术、化学技术、机械技术，以及软科学技术紧密结合，这样不但易于被农民接

受，而且更适合我国农业生产条件复杂与劳力资源丰富的特点。我国出现许多农业生态工程模式实质上是劳力密集与技术密集相结合的产物，是多项硬技术与管理软技术相结合的产物。

4) 政府重视、政策导向、广泛开展。在我国，农业生态工程建设较早地受到党和政府的重视，从事于此项工作的部门众多，人员也越来越广泛，农业部和国家环保总局两个主要部门来组织、协调我国生态工程的研究和建设。根据 1990 年统计，全国生态农业试点达 700 多个，较好的试点村场达 227 个，除西藏外，在全国有 28 个省、市、自治区正在进行的生态农业建设，覆盖面积 28.7 万 km<sup>2</sup>。其中农田面积 3138.5 万亩，林地面积 129.2 万亩，草场面积 1638 万亩，人口约 2581.1 万。1991 年统计全国试点已达 2000 个。目前，几乎在各省、市、自治区中都形成了生态工程研究的专门队伍，不少县、地区成立了生态农业建设办公室，全国国家级生态农业试点县已有 100 多个。

5) 存在的主要问题是理论研究和实践发展结合还不紧密，还存在一定的距离。一方面，我国农业生态工程模式在全国范围内种类繁多，形式多样，且随着时间的推移，不断推陈出新地出现生产力水平更高的各种生态工程模式有的模式甚至建造好后就束之高阁，很难用于指导生产实际，更难进行全面的总结和进一步的高度理论概括。造成这个问题的主要原因是：① 理论脱离实际，只注意模式的形式和方法的选择，缺乏深入细致的研究，尤其是对参数的研究不够。因此，往往出现这样的情况，本来需要多年辛苦研究才能建造的模型（式），而我们几个月就能“完成”；许多参数靠统计报表，而主要统计报表数据的不准确以及报表内容简单，粗线条，常反映不出实际情况。另一方面要注意宏观研究和微观研究相结合，既根据资源和经济状况搞好区域发展的宏观规划，又要确实解决实现这些规划的生态工艺和方法措施；在生态农业建设方面还应该注意研究如何采用省工、省时、经济有效的方法来使我国传统农业中那些符合生态工程原理的耕作措施和方法发扬光大。生态农业不能简单地理解为：化肥 + 有机肥。

(2) 目前我国农业生态工程研究发展趋势：

1) 农业生态工程建设的范围和研究广度、深度更加扩大与加深。目前研究所涉及的类型和模式，只是我国众多农业生态工程类型和模式中的小部分，其中综合养殖生态工程、节水农业生态工程、污水灌溉生态工程、设施农业生态工程、混林农业生态工程、土壤管理生态工程、农业废弃物资源化再生循环利用生态工程、农村能源生态工程、大型畜牧场粪便处理环境治理工程以及水土流失地区小流域治理工程等尚方兴未艾。今后，随着研究机构和队伍的建立、健全和研究能力的加强，研究范围将更广泛与加深，成果推广的面积将更大。这也是我国农业发展的现实对生态工程研究提出的客观要求。

2) 研究内容将向着规范化和可操作性的方向发展。迄今我国的农业生态工

程研究主要着重在两个方面：第一，对农民自发建立的生态工程类型、模式和效益的调查与分析；第二，村、乡、县三级农业生态工程的设计与规划。两方面的工作都只是研究的开始，规划工作也欠具体，并缺乏配套技术，可操作性差。此外，农业生态工程组分不够充实，各组分之间接口不力，整体效应与功能发挥不够，因此，需要更加深入、细致地研究一个个具体的农业生态工程模式的结构、机理与技术规范，针对其特征设计出更具更大生产潜力的与现实可行性的方案来。要使生产者与实践者既要知道为什么做，也要知道怎样做。

3) 要由国家有关部门组织更多的专业研究单位和机构，以及进行不同部门、机构的大协作，来进行多学科综合研究。尽量避免过去机构间孤军作战，低水平重复，所造成的人力、物力和财力的浪费。

4) 农业生态工程所涉及的不仅是农村的大农业部分，而且要与非农业生产的第二、三产业密切结合，要在农业生态工程基础上发展成农村生态工程。就是说我国的农业生态工程研究涉及的不只是农业本身，而几乎应是农村生态系统的各个方面，其发展趋势，一是农业生态工程研究的边界扩大，使更具有战略意义，过去以乡、村为单位，今后更多的是以县级为单位；二是研究内容更加综合化，特别是与管理系统密切结合，使生态工程更具有活力。

2. 我国环境保护生态工程的研究 是在我国生态工程研究中发展较快的另一领域，由于它的许多特点，在实践中越来越为人们认识与欢迎，进而推动其发展。

(1) 环境保护生态工程特点。首先，它是以整体观为指导，其研究和处理对象是生态系统或复合生态系统，全面规划一个区域，而并非某些局部环境，或生态系统中某一部分，其目的是多目标，即同步取得生态环境、经济和社会效益。其次是以调控生态系统内部结构与功能为主，来提高生态系统的自净能力与环境容量。一方面要求工厂、生活区以太阳为主要能源，采用物理的和生物的工程措施和方法，尽可能减少排污量；另一方面采用综合措施等，提高系统的自净能力。第三，将生产与净化结合起来，不仅处理“三废”，使其无害化、资源化、变废为宝，同时促进生产、节约开支。而其能源主要是太阳能，尽量不用或少用化石燃料或电力作为辅助能，设备一般比较简单、价格及运转费用低廉，且因处理污水、废物结果还生产商品，有直接利润，经济效益显著，特别适合环保投资及运转费用不足的地区和单位应用。第四，其技术措施主要为层次优化组合，因地制宜联结包括该地原有的，但过去未与环保相联的生产项目与技术；引进外地或国外已应用过的、但过去在本地尚未应用的生产项目或工艺；以及少量创新生产项目与工艺。这种因地制宜建立于大量已有的、成熟的生产项目及工艺上的组合，虽实际上是一创新，但技术措施相对较简单。这些特点正是这类生态工程受到欢迎、易为人们接受的原因。