

N

ONGYE SHENGTAIXUE

农业生态学

徐少君 王 梓 主编



电子科技大学出版社

农业生态学

N

ONGYE SHENGTAIXUE

徐少君 王 梓 主编

常州大学图书馆
藏书章



电子科技大学出版社

图书在版编目 (C I P) 数据

农业生态学 / 徐少君, 王梓主编. -- 成都 : 电子

科技大学出版社, 2016.9

ISBN 978-7-5647-2725-3

I. ①农… II. ①徐… ②王… III. ①农业生态学

IV. ①S181

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 190495 号

农业生态学

徐少君, 王梓 主编

出 版: 电子科技大学出版社 (成都市一环路东一段 159 号电子信息产业大厦 邮编: 610051)

策划编辑: 罗 雅

责任编辑: 李燕琴

主 页: www.uestcp.com.cn

电子邮箱: uestcp@uestcp.com.cn

发 行: 新华书店经销

印 刷: 四川永先数码印刷有限公司

成品尺寸: 185mm×260mm 印张 12.5 字数 312 千字

版 次: 2016 年 9 月第一版

印 次: 2016 年 9 月第一次印刷

书 号: ISBN 978-7-5647-2725-3

定 价: 48.00 元

■ 版权所有 侵权必究 ■

◆ 本社发行部电话: 028-83202463; 本社邮购电话: 028-83201495。

◆ 本书如有缺页、破损、装订错误, 请寄回印刷厂调换。

前 言

进入 21 世纪,气候变暖、粮食安全、资源生态安全等再次成为全球关注的热点问题,农业生态学的研究领域得到不断拓展和深入,农业生态学课程建设与学科发展也得到相应重视。各农业院校及部分综合性大学纷纷开设农业生态学课程,多数院校已建立了农业生态学硕士点及生态学博士点,使农业生态学发展进入了一个新的发展阶段。

在课程体系建设上,农业生态学逐步成为植物生产、资源环境、农业区域发展等多类专业的专业基础课,已有 10 多个院校的农业生态学被批准为国家和省级精品课程;

在课程内容上,农业生产对全球气候变化的适应策略、农业面源污染防治、农业清洁生产与循环农业等,开始成为农业生态学新的领域;

在理论与方法上,农业生态学不断吸纳现代生物学科、现代信息学科、现代工程学科的先进理论和技术;

在研究层次上,农业生态学研究在宏观与微观尺度上将不断延伸,将从传统区域农业生态系统和农田生态系统的结构和功能分析等研究不断向农业碳汇碳源平衡与肥、水、药投入效率及其环境效应、农田污染途径与机制等领域深入。

本教材可供农业生态学研究领域相关专业本科生和研究生使用,也可供从事以上相关专业的普通高等农业院校师生、农业科研和农村技术人员参考。本教材在编写过程中,吸收了国内外有关方面著作和教材的研究成果,引用了大量的参考文献,对此,我们表示衷心感谢。由于本教材内容涉及面广,编者水平有限,在教材体系及内容上难免存在错误和不足之处,敬请同行专家不吝赐教,也欢迎广大读者批评指正。

编 著

目 录

第一章 生态系统概述	(1)
第一节 系统的概念与基本特征	(1)
第二节 生态系统的概念	(2)
第三节 生态系统的组成	(3)
第四节 生态系统的结构	(5)
第五节 生态系统的功能	(6)
第六节 生态系统的主要类型	(7)
第二章 农业生态系统	(9)
第一节 系统及其特性	(9)
第二节 农业生态系统的组成	(11)
第三节 农业生态系统的主要类型	(14)
第四节 农业生态系统与自然生态系统的比较	(16)
第三章 农业生态系统的种群与群落	(21)
第一节 农业生态系统的种群	(21)
第二节 农业生态系统的群落	(31)
第三节 农业生态系统的生物多样性	(35)
第四章 农业生态系统的结构	(40)
第一节 农业生态系统的水平结构	(40)
第二节 农业生态系统的垂直结构	(44)
第三节 农业生态系统的营养结构	(46)
第四节 农业生态系统的时间结构	(53)
第五章 农业生态系统的能量流	(58)
第一节 能量流的基本概念	(58)
第二节 农业生态系统的能量关系	(63)
第三节 农业生态系统的能量生产	(76)
第四节 农业生态系统的辅助能	(81)

第六章 农业生态系统的物质流	(94)
第一节 物质循环的基本规律	(94)
第二节 几种主要物质的生物地球化学循环	(97)
第三节 农业生态系统中的养分循环和平衡	(106)
第四节 物质循环中的环境问题	(109)
第七章 农业生态系统的信息流	(117)
第一节 农业生态系统信息流的特征	(117)
第二节 农业生态系统组分间的信息流	(121)
第八章 作物及其环境	(126)
第一节 辐射与能量	(126)
第二节 水	(132)
第三节 土壤	(135)
第九章 农业资源与区域环境	(147)
第一节 农业资源的概念与分类	(147)
第二节 中国农业资源的状况	(149)
第三节 全球生态环境问题与农业节能减排	(156)
第四节 农业生态系统的诊断与评价	(160)
第十章 不受欢迎生物的防治	(168)
第一节 杂草防治	(168)
第二节 害虫防治	(170)
第三节 病原体的防治	(179)
第十一章 全球变化的农业生态学问题	(181)
第一节 世界人口的增长	(181)
第二节 农业生产的发展	(182)
第三节 气候变化	(186)
第四节 展望	(193)
参考文献	(194)

第一章 生态系统概述

第一节 系统的概念与基本特征

一、系统的概念

系统（system）是指由相互依赖的若干组分结合在一起，仍能完成特定功能，并朝特定目标发展的有机整体。一个系统的组成，必须满足如下 3 个条件：

第一，系统必须具备 2 个以上的构成要素。

第二，各要素之间必须具有某种联系。

第三，各要素必须以整体的形式完成特定的功能。

系统是客观世界事物存在的普遍形式，可以说万事万物皆系统。例如，一台计算机是一个系统，一个生物是一个系统，一个企业是一个系统，一个部门、一个经济协作区、一个社会组织也都是一个系统。系统有大有小，大到一个国家甚至于整个地球和宇宙，小到一个细胞或分子、原子。

二、系统的基本特征

（一）系统结构的有序性

凡是系统都是有序的，杂乱无章的要素组合在一起构不成系统。系统结构的有序性具体表现在系统的边界和系统的层次 2 个方面。

1. 系统的边界

系统无论大小均有边界。边界是区分系统及其环境的依据。系统边界有的比较明确，而有些比较含糊。系统的边界可能是自然形成的，也可能是人为划分的。例如，一只动物的皮毛构成了这一动物个体系统的自然边界，而对于土体系统而言，明确地划分它的边界，则显得有些困难，其上界是与大气的交接面，其下界则往往是根据研究目的而人为地确定为犁底层、根系下界或母岩表面等。明确系统的边界是为了便于研究边界内的事物。系统边界确定的原则是把研究分析问题的重要部分和对研究问题有重大影响的部分作为系统组成部分，非重要部分中与研究问题有关但又无重大影响的部分划为系统环境。

2. 系统的层次

系统无论繁简均具有分层现象，即任何系统既是由某些要素（或子系统）组成的，同时又是组成更大系统的一个要素（或子系统）。系统在宏观方向上可以逐层综合，在微观方向可以逐层分解，从而表现出鲜明的层次关系。这可用农业系统的层次结构图来说明

(图 1-1)。

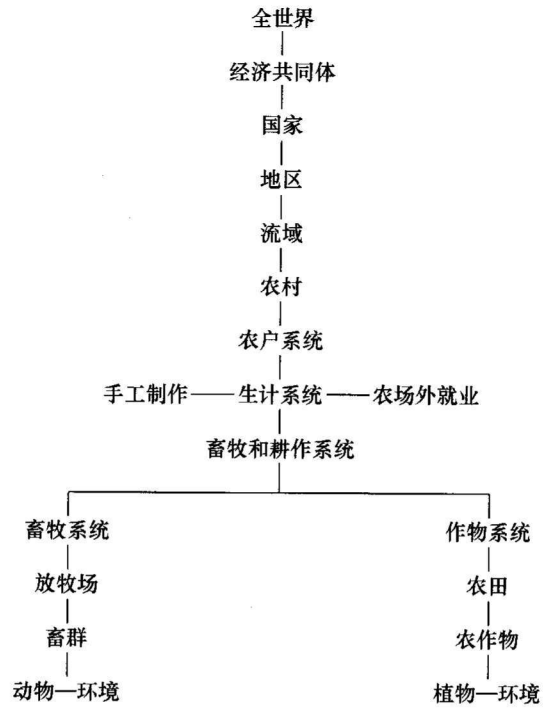


图 1-1 农业生态系统的层次结构划分

(二) 系统的整体性

系统的整体性主要表现在组成系统的各要素之间要有一定的数量比例关系和空间位置排列关系；为了完成系统某一特定功能，各要素必须分工协作，相互耦联。这是系统实现能量、物质、信息和价值等转化与循环功能的“目的性”要求。

(三) 系统功能的整合性

系统的整合性又叫系统的整合效应，是指系统的整体功能大于各组成部分功能之和的特性。一般而言，系统的整体功能不等于各组成要素功能的简单相加和堆积，而是一种集合效应，既有各要素的具体功能，又有各要素间交互作用产生的新功能。

第二节 生态系统的概念

生态系统 (ecosystem) 是指在一定的时间和空间范围内，生物与生物之间、生物与非生物环境之间密切联系、相互作用并具有一定结构及完成一定功能的统合体，或者说是由生物群落与非生物环境相互依存所组成的一个生态学功能单位。

1935 年，英国生态学家 A. G. Tansley 在长期研究植物群落的基础上，首次提出了生态系统的概念：生态系统的基本概念是物理学上使用的系统整体，这个系统不仅包括有机复合体，而且还包括构成环境的各种自然因素的复合体。后来，他又指出：我们不能将生物与它们所处的特定环境分开，生物与环境形成一个自然体系，这一体系是地球表面上的基

本单位，它们有多种多样的规模。20 世纪 40 年代，美国生态学家 R. L. Lindeman 通过对生态营养结构的研究，提出了食物链概念，进一步奠定了生态系统的理论基础。1953 年，美国生态学家 E. P. Odum 围绕生态系统结构和功能，提出了生态系统的完整定义：“生物有机体和非生物环境紧密地相互联系、相互作用，包括在某一特定区域内与物理环境相互作用的所有生物（即生物群落）的任一单元称作生态系统。其中，能量的流动导致明显的营养结构、生物多样性和物质循环（亦即生命部分和非生命部分的物质交流）。”

生态系统的研究被生态学家称为生态系统生态学，它以生态系统为研究对象，通过系统内植物、动物、微生物等生物要素和大气、水分、碳、氮等非生物要素及其相互作用进行不同层次的系统研究，揭示生态系统格局与过程、发展与演替、结构与功能以及人为影响下的变化与调控机制，目标是指导人们应用生态系统原理保护、恢复、改善、重建和管理各类生态系统，促进生态系统的良性循环和可持续发展。

生态系统研究仅有 70 年左右的发展历史。1940—1950 年，生态系统研究的重点是把生物和环境作为一个有机整体，研究小范围、局部的生态系统内部物质和能量动态关系。1964 年，国际科学联合会（ICSU）筹划组织了有 54 个国家参与的国际生物学计划（International Biological Program, IBP），研究自然生态系统结构、功能及管理。1972 年，联合国教科文组织发起了人与生物圈计划（Man and the Biosphere Program, MAB），研究自然生态系统对人类活动压力的响应和阈值，实施人为干预下自然生态系统的调控与保护以及退化生态系统的恢复与重建。1986 年，国际科学联合会开始实施国际地圈—生物圈计划（International Geosphere – Biosphere Program, IGBP），研究控制整个地球系统物理、化学和生物学的作用过程，研究人类活动对上述基本过程、变化的影响，特别是研究对全球变化最敏感的陆地生态系统的结构、功能和过程的响应及其发展趋势。1992 年，联合国粮农组织（FAO）和国际科学联合会筹建了有 80 多个国家参与的全球陆地观测系统（Global Terrestrial Observation System, GTOS），观测、辨识、分析和模拟陆地生态系统主要生态学过程，为实现陆地生态系统可持续发展提供管理和决策依据。在 20 世纪 90 年代，生态系统研究重点集中于全球变化、生物多样性和可持续生态系统，在继续执行 MAB 和 IGBP 全球计划的同时，增加了生态系统健康评价和生态系统价值评价等 2 个研究计划，评价在不同程度的人类干扰下生态系统的状态变化，揭示健康生态系统的本质特征，为受损生态系统的恢复和重建等提供理论依据，同时分析和评价全球农田、海洋、森林、淡水和草原等五类生态系统的态势，以提高对全球生态系统的可持续管理能力。2001 年，世界卫生组织、联合国环境规划署和世界银行等机构联合开展了“千年生态系统评估（Millennium Ecosystem Assessment, MA）”国际合作项目，首次对全球生态系统进行多层次综合评估，分析和评价在人类活动驱动下自然生态系统的服务价值及其变化对人类福利及生存的影响，为政府有关资源环境决策提供科学依据。

第三节 生态系统的组成

生态系统种类多样，其组成成分也很繁杂，但从这些组分的性质可以分为两类，即生物组分和非生物组分。其中，生物组分是指生态系统中的动物、植物、微生物等；非生物

组分是指生命以外的环境部分，包括大气、水、土壤及一些有机物质（图 1-2）。

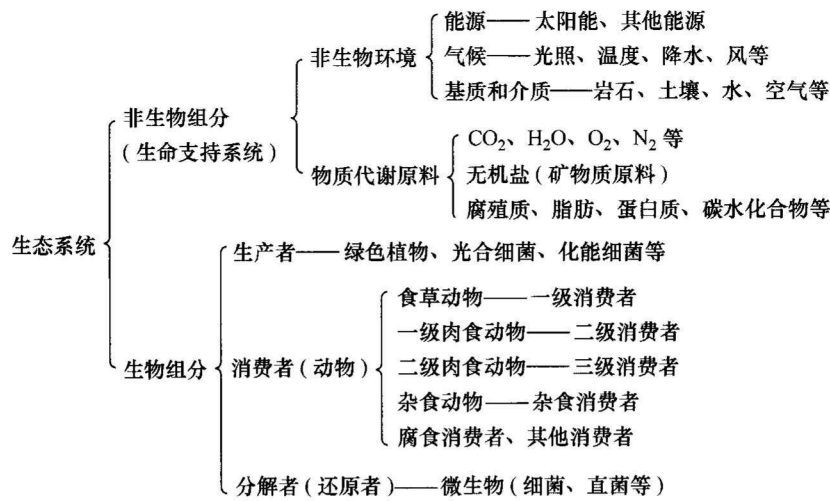


图 1-2 生态系统的一般组成

一、生物组分

根据各生物组分在生态系统中对物质循环和能量转化所起的作用以及它们取得营养方式的不同，又将其细分为生产者、消费者和分解者三大功能类群。

1. 生产者

生产者 (producer) 主要是绿色植物和化能合成菌等。它们具有固定太阳能进行光合作用的功能，能把从环境中摄取的无机物质合成为有机物质即碳水化合物、脂肪、蛋白质等，同时将吸收的太阳能转化为生物化学能，储藏在有机物中。这种首次将能量和物质输入生态系统的同化过程被称为初级生产 (primary production)。这类以简单无机物为原料制造有机物的自养者被称为初级生产者 (primary producers)。初级生产者在生态系统的构成中起主导作用，直接影响到生态系统的存在与发展。

2. 消费者

消费者 (consumer) 是指除了微生物以外的异养生物，主要指依赖初级生产者或其他生物为生的各种动物。根据食性的不同，将这些动物分为草食性动物、肉食性动物、寄生动物、腐生动物和杂食动物 5 种类型。

3. 分解者

分解者 (decomposer) 主要是指以动物残体为生的异养微生物，包括真菌、细菌、放线菌，也包括一些原生动物和腐食性动物，如甲虫、蠕虫、白蚂蚁和某些软体动物。分解者又被称为还原者，能使构成有机成分的元素和储备的能量通过分解作用又释放归还到周围环境中去，在物质循环、废物消除和土壤肥力形成中发挥巨大的作用。

二、非生物组分 (环境组分)

1. 太阳辐射

太阳辐射 (solar radiation) 是指来自太阳的直射辐射和散射辐射，是生态系统的主要能源。太阳辐射能通过自养生物的光合作用被转化为有机物中的化学潜能。同时，太阳辐

射也为生态系统中的生物提供生存所需的温热条件。

2. 无机物质

生态系统环境中的无机物质 (inorganic substance)，一部分来自大气的氧、二氧化碳、氮、水及其他物质；另一部分来自土壤中的氮、磷、钾、钙、硫、镁、水、氧和二氧化碳等。

3. 有机物质

生态系统环境中的有机物质 (organic substance) 主要是来源于动物残体、排泄物及植物根系分泌物。它们是连接生物与非生物部分的物质，如蛋白质、糖类、脂类和腐殖质等。

4. 土壤

土壤 (soil) 作为一个生态系统的特殊环境组分，不仅是无机物和有机物的储藏库，同时也是支持陆生植物最重要的基质和众多微生物、动物的栖息场所。

生态系统中的环境、生产者、消费者和分解者构成了生态系统的四大组成要素。它们之间通过能量转化和物质循环相联系，构成了一个具有复杂关系和执行一定功能的系统。生态系统中各组分间的关系如图 1-3 所示。

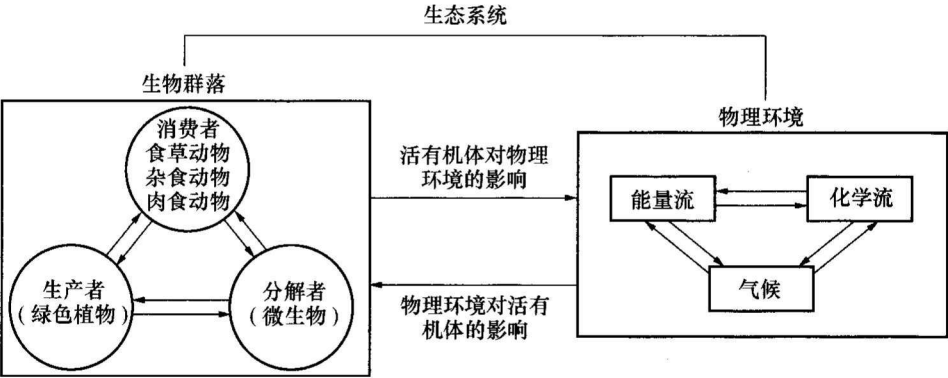


图 1-3 典型陆地生态系统中生物组分与非生物组分之间相互关系图解

第四节 生态系统的结构

生态系统是由生物组分与环境组分组合而成的结构有序系统。所谓生态系统的结构是指生态系统中组成成分及其在时间、空间上的分布和各组分间的能量、物质、信息流动的方式。具体来说，生态系统的结构包括 3 个方面，即物种结构 (species structure)、时空结构 (space-time structure) 和营养结构 (trophic structure)。这 3 方面是相互联系、相互渗透和不可分割的。

一、物种结构

物种结构又称组分结构，是指生态系统中生物组分有哪些生物种群所组成以及它们之间的量比关系。生物种群是构成生态系统的基本单位，不同的物种 (或类群) 以及它们之间不同的量比关系构成了生态系统的基本特征。

二、时空结构

生态系统中各生物种群在空间上的配置和在时间上的分布,构成了生态系统形态结构上的特征。大多数自然生态系统的形态结构都具有水平空间上的镶嵌性、垂直空间上的成层性和时间分布上的发展演替特征。

三、营养结构

生态系统中由生产者、消费者、分解者三大功能类群以食物营养关系所组成的食物链、食物网是生态系统的营养结构。它是生态系统中能量流动、物质循环和信息传递的主要路径。

系统结构是系统功能的基础。只有组建合理的生态系统结构,才能获得较高的系统整体功能。反过来,生态系统功能的高低可以作为检验系统结构合理与否的尺度。

第五节 生态系统的功能

生态系统具有能量流动 (energy flow)、物质循环 (nutrient cycle) 和信息传递 (information transfer) 三大功能。能量流动和物质循环是生态系统的基本功能,信息传递在能量流动和物质循环中起调节作用,能量和信息依附于一定的物质形态,推动或调节物质运动,三者不可分割,成为生态系统的核心。

一、能量流动

能量是生命活动的动力。生态系统的能量来自于太阳辐射,能量沿着生产者—消费者—分解者单向流动,是驱动一切生命活动的齿轮。

二、物质循环

物质是生命活动的基础。生态系统中的物质主要是指生物为维持生命所需的各种营养元素。它们沿着食物链在不同营养级生物之间传递,最终归还环境,并可被多次重复利用,构成物质循环。

三、信息传递

在生态系统中,生物与环境产生的物理信息(声、光、色、电等)、化学信息(酶、维生素、生长素、抗生素等)、营养信息(食物和养分)和信息行为(生物的行为和动作)在生物之间、生物与环境之间的传递,把生态系统的各组分联系成为一个整体,具有调节稳定性的功能。

第六节 生态系统的主要类型

地球上全部生物及其生活区域称为生物圈。生物圈一般指从大气圈到水圈约 20km 的厚度范围，其中包含了边界大小不同、种类各式各样的生态系统。为了认识和研究上的方便，人们常将生态系统划分为不同的类型（图 1-4）。

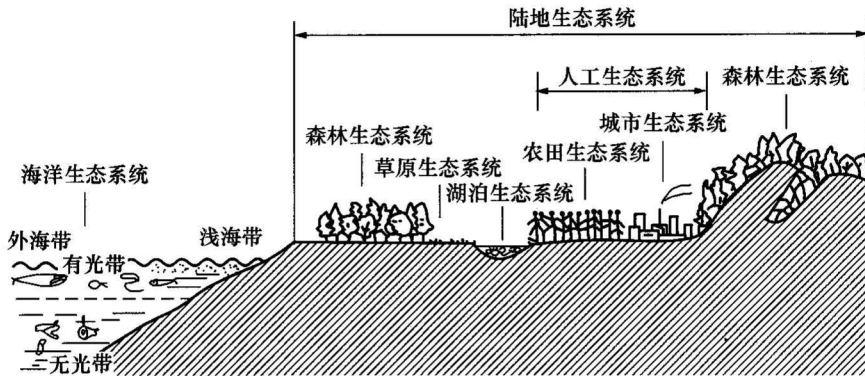


图 1-4 地球上生态系统示意图

一、根据环境特性划分的生态系统

1. 海洋生态系统

海洋生态系统（marine ecosystem）是生物圈内最大、层次最厚的生态系统。全球海洋面积 3.6 亿 km^2 ，占地球表面的 70%，平均深度为 3750m。浮游植物与藻类是海洋生态系统中的生产者，各种鱼类为消费者，微生物作为分解者既存在于水中也存在于海岸沉积物中。

海洋生态系统又可分为海岸生态系统（coastal ecosystem）、浅海生态系统（shallow sea ecosystem）和远洋生态系统（ocean ecosystem）。

2. 森林生态系统

森林生态系统属于陆地生态系统（terrestrial ecosystem）中最大的亚系统。其现存生物量最大，为 $100 \sim 400 \text{ t/hm}^2$ 。据统计，全球森林生态系统固定的能量占陆地上固定能量的 68% 左右。森林中有着极其丰富的物种资源。

3. 草原生态系统

草原生态系统（steppe ecosystem）是陆地生态系统中的又一亚系统。世界上草原面积约 30 亿 hm^2 ，占陆地面积的 1/4。草原生态系统多分布在降水量 250 ~ 450mm 的干旱、半干旱地区。该系统中的主要生产者是各种草类，消费者以草食动物为主，土壤中有大量微生物作为分解者。

4. 淡水生态系统

淡水生态系统（fresh water ecosystem）主要包括河流、溪流、水渠等流动水体亚系统和湖泊、池塘、沼泽、水库等静止水体亚系统。淡水生态系统的主要生产者包括藻类和水生高等植物，消费者为鱼类、浮游动物和昆虫类。

二、根据人类干预程度划分的生态系统

1. 自然生态系统

在自然生态系统 (natural ecosystem) 中无人类的干预, 系统的边界不很明显, 但生物种群丰富, 结构多样; 系统的稳定性靠自然调控机制进行维持, 系统的生产力较低。

2. 人工生态系统

人工生态系统 (artificial ecosystem) 是指人类为了达到某一目的而人为建造的生态系统, 包括城镇生态系统、宇宙飞船生态系统、高级设施农业生态系统等。在该系统中, 人类不断对其施加影响, 通过增加系统输入, 期望得到越来越多的系统输出。

3. 半自然生态系统

半自然生态系统 (semi-natural ecosystem) 介于人工生态系统和自然生态系统之间, 既有人类的干预, 同时又受自然规律的支配, 是人工驯化的生态系统。其典型代表是农业生态系统。它有明显的边界, 有大量的辅助能的投入, 属于开放性系统, 并具有较高的净生产力。

三、根据分类单位划分的生态系统

在孙鸿烈等编著的《中国生态系统》中, 仿照《中国植被》的植物群落分类系统, 提出了生态系统 5 级分类单位, 并以此划分了中国的生态系统类型。

1. 生态系统型

生态系统型为生态系统最高级单位。凡是着生基质条件相同的生态系统联合为生态系统型。全球生态系统可分为陆地生态系统和水域生态系统。

2. 生态系统纲

生态系统纲为生态系统高级单位。在生态系统型内, 按照群种生活型相近而且群落外貌形态相似和水热生态条件相当, 可将陆地生态系统分为森林生态系统、草地生态系统、农田生态系统等。按照着生基质的盐分浓度, 将水域生态系统分为淡水生态系统和海洋生态系统。

3. 生态系统目

生态系统目为生态系统的中级单位。在各生态系统纲内, 根据水热大气候带划分, 森林生态系统可分为寒温带针叶林生态系统、温带针阔叶林生态系统、温带落叶阔叶林生态系统、亚热带落叶阔叶林生态系统、热带雨林和季雨林生态系统等; 草地生态系统可分为草原生态系统、稀树草原生态系统、落叶阔叶灌丛、常绿阔叶灌丛等; 农田生态系统可分为温带农田生态系统、亚热带农田生态系统、热带农田生态系统等。

4. 生态系统属

生态系统属是生态系统的低级单位。主要根据各生态系统目内部已有的并被广泛接受的分类标准, 如根据土壤类型和地貌特征, 将温带农田生态系统分为温带黑土平原农田生态系统、温带黑土丘陵农田生态系统、温带棕壤台地农田生态系统等。

5. 生态系统丛

生态系统丛是生态系统的基本单位。在各生态系统属内, 依据优势种、结构、动态和生境进行划分。对于农田生态系统, 主要依据同一熟制下的耕作制度及其在一个轮作周期内的作物群落进行划分。

第二章 农业生态系统

第一节 系统及其特性

一、系统的定义

系统论的创始人，奥地利理论生物学家贝塔朗非（L. V. Bertalanffy）将系统定义为：“相互联系的诸要素的联合体。”《牛津辞典》中对系统的解释为：“有一组物件或组件按一定关系一起工作的整体。”日本 JIS 工业标准将系统定义为：“许多组成要素保持有机的秩序，向同一目的行动的东西。”英国的农业系统学家斯佩玢（C. R. W. Spedding）定义：“系统是由一组相互作用的组分所构成，为了一个共同的目标运作，能对外来刺激做出整体反应，主要的反馈都包括在内，因而不直接受到自身输出影响的整体。”我国著名科学家钱学森将系统（system）定义为：“由相互作用和相互依赖的若干组成部分结合而成的、具有特定功能的有机整体。”

综上所述，构成一个系统必须具备以下 3 个条件：①有两个以上的组分；②组分之间有密切联系；③能以整体方式共同完成一定的功能。

二、系统的结构

1. 系统的边界

系统边界是区分系统内外的标志。系统边界有自然形成的（如一个有机体系统、一个天体系统），也有人为确定的（如二个农场系统，一个学校系统）。人为确定边界时，系统应尽量不直接受到自身输出影响，重要反馈都应包含在边界以内。

2. 系统的层次

系统不但由多个组分构成，而且常常由不同的层次构成。例如，一所农业大学是一个系统。大学内各个系分别也成为系统，系内各学生班级也各自成为系统。这种由系统内各组分自身构成的系统叫做子系统（subsystem）。系统它本身又可能是一个更大系统的子系统。系统的这类层次结构是普遍存在的。从生物大分子到细胞器、细胞、组织、器官、个体、种群、群落、生态系统就是一种典型的自然生态系统的层次。从每个公民家庭到基层组织、地方组织直到国家组织和世界组织则是一种典型的社会系统的层次。在不同层次中，组分间关系的强度不同。通常层次越低，组分间的关系强度越大。例如，维持蛋白质大分子三级结构的氢键强度是 $0.5 \times 10^6 \text{ eV}$ ，而维持蛋白质分子一级结构的共价键强度是 $5 \times 10^6 \text{ eV}$ （连接原子中质子和中子的介子场强度达 $140 \times 10^6 \text{ eV}$ ）。不同层次的系统行为频

率也不一样，例如群落的演变要数百年，种群发展和个体发育常以年月为单位，细胞更新以天和小时计算，生物分子的新陈代谢过程则要用分和秒来测度。

3. 系统组分的量比关系

构成系统的多个组分在数量上有一定的比例关系。例如，水分子是由两个氢原子和一个氧原子构成的系统，若数量比不同，增加一个氧原子，构成的系统就不是水分子而是过氧化氢分子了。随着系统层次的上升，组分间作用强度的减弱，组分间的量比关系有一定的弹性，然而组分间量比变动的制约范围仍然是构成一个系统的特征。在动物中，每个种都有特定的繁殖系数。通常不能给予代以足够的保护和抚育的物种，都有较高的繁殖系数。由被捕食动物（如老鼠）和捕食动物（如猫）所构成的系统中，一般被捕食者平均量总是高于捕食者，因为这样才能使两者长期共存。

4. 系统组分的空间关系

构成系统的多个组分在空间上有一定的位置排列关系。生物的遗传基因都是由 4 种基本的脱氧核糖核酸（DNA）构成的系统，然而由于 DNA 的排列顺序不同即形成不同种的遗传基因型。

丙酮 $\text{CH}_3-\overset{\text{O}}{\underset{\parallel}{\text{C}}}-\text{CH}_3$ 和丙醛 $\text{CH}_3-\text{CH}_2-\overset{\text{O}}{\underset{\parallel}{\text{C}}}-\text{H}$ 是对氧化剂敏感性和沸点都不同的化合物，前者较不敏感，沸点 56°C ；后者较敏感，沸点 48.3°C 。这两个系统结构上的差异仅在于原子的空间排列。随着系统层次的上升和组分间作用强度的减弱，组分间的空间关系也有所松动。然而组分在空间位置的格局仍然是一个系统在结构上的特征。一个国家的大都市一般都坐落在自然条件相对优越、交通相对方便的位置上，大都市之间都有一片广阔的农村作为依托，这是社会系统的格局之一。动物的视觉器官一般都着生在其行进方向的前方，这是生物系统的格局之一。

三、系统的功能特点

系统能产生其组分或子系统所没有的功能，这种特性，通常称为系统的整合特性（emergent property）。例如，蛋白质是由氨基酸脱水缩合而成的系统，蛋白质在生物体内由于特殊的三维结构而可能成为催化生物化学反应的酶。这在氨基酸水平是不可能具有的。按照可靠性理论，一个可靠程度只有 30% 的电器元件，比如是一个 10 次合闸平均才有 3 次通电的开关，把 20 个这种低可靠元件并联成系统之后，系统可靠程度 $R = 1 - (1 - 0.3)^{20} = 99.2\%$ 。系统的高可靠性质是低可靠元件所没有的。表 2-1 是一个施肥实验结果，单增磷肥的增产效果为 12.6%，单增钾肥的增产效果为 4.0%，然而磷钾肥同施的增产效果却是 26.0%，而不是 16.6%。古希腊哲学家亚里士多德曾经说过“整体大于部分之和”，实际上指的正是这类整合特性。系统的整体功能是一种整体效应，不但反映各组分的独立功能，而且反映出各组分之间相互作用产生的新效应。这种新效应可能加强各组分原有的独立功能，例如，一群狼比一只狼在捕获猎物时有高得多的成功率。系统的新效应也可能减弱各组分原有的独立功能，例如，在一窝蜂之中，由于蜂王的存在，很多具备发育成蜂王潜力的幼虫再也不会被抚育成蜂王。在水稻群体中，水稻个体的分蘖数小于其分蘖潜力。系统的新效应也可能是各组分原来没有的，例如，蛋白质的酶功能是其组分氨

基酸所没有的。因此，组分功能与系统功能的关系通常被形象地表达为一加一大于二。

表 2-1 磷钾肥对 5 个旱季水稻产量的影响 (IRRI, 1968—1972 定位试验)

P ₂ O ₅	处理 (kg/hm ²) K ₂ O	N	5 年平均产量 (kg/hm ²)	产量指数 (%)
140.3	0	0	5280	100
140.3	60	0	5948	112.6
140.3	0	60	5490	104.0
140.3	60	60	6653	126.0

第二节 农业生态系统的组成

和自然生态系统一样，农业生态系统的组成成分也主要包括生命系统和无机环境系统两大部分。所不同的是农业生态系统是在人类的积极参与下并按人类的需要而建造的，是一种被人类驯化和培育起来的生态系统，其组成成分不仅包括人工选育和控制下的生物种群及其生长的自然环境，而且还包括人工环境和社会投入。

一、人工生物系统

农业生态系统的人工生物系统包括人类驯化栽培的一切作物、蔬菜、果树、绿肥、牧草、林木等生产者生物和人工喂养的一切家禽、家畜、鱼类、食用菌等消费者生物。

(一) 生产者生物

农业生态系统中一切人工栽培的绿色植物，如作物、果树、蔬菜、绿肥、牧草和人工林木等，都是农业生态系统中第一性生产的主体。其作用是利用太阳辐射能和人工投入的辅助能，把水、土、气、热等资源的潜在生产力转化为粮、棉、油、瓜、果、菜等农产品，为人类生存和其他各业的发展提供物质基础和保障，也是农业经济收入的主要来源。因此，要根据当地的自然资源条件和社会经济能力，因地制宜地合理安排好生产者系统各组份间的比例关系，同时合理地安排好生产者和消费者之间的比例关系，开展多种经营，实现综合发展。

我国地域辽阔，农业生产历史悠久，农田栽培的作物（植物）种类繁多，主要有以下几方面。

(1) 作物。包括粮食作物、经济作物、蔬菜作物以及草本药材和花卉。

(2) 林木。包括干鲜果品、经济林木以及木本药材、木本绿肥和木本油料等。

(3) 绿肥牧草。我国对绿肥的重视是个传统，尤其是豆科绿肥的利用有着较长的历史。

(二) 消费者生物

农业生态系统中的消费者生物是指一切依靠其他生物产品，主要是第一性生物产品为其营养和能量来源的人工生物。消费者生物以草食性动物为主，兼有少量杂食性的动物。它们是农业生态系统食物链的重要组成部分，对系统中的物质循环和能量转换起着非常重要的作用，是人类所需要的肉、奶、蛋、皮、毛、骨、蜜、丝等的主要来源，同时还为农