

河南平原 复合农林业研究

樊 巍 李芳东 孟 平 主编



黄河水利出版社

河南平原复合农林业研究

樊 巍 李芳东 孟 平 主编

黄河水利出版社

图书在版编目(CIP)数据

河南平原复合农林业研究/樊巍等主编. —郑州: 黄河水利出版社, 2000. 8
ISBN 7-80621-395-3

I. 河… II. 樊… III. 农业部门-经济结构-研究-河南 IV. F327.61

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2000)第 39144 号

责任编辑:杜亚娟 邵志峰

封面设计:谢 萍

责任校对:周 宏

责任印制:温红建

出版发行:黄河水利出版社

地址:河南省郑州市金水路 11 号 邮编:450003

发行部电话:(0371)6302620 传真:6302219

E-mail:yrp@public2.zz.ha.cn

印 刷:河南第二新华印刷厂

开 本:787mm×1092mm 1/16

印 张:19.25

版 次:2000 年 8 月 第 1 版

印 数:1-800

印 次:2000 年 8 月 郑州第 1 次印刷

字 数:445 千字

定 价:42.00 元

前 言

近一个世纪以来,在人口、资源、环境和经济发展之间产生了一系列尖锐的矛盾,主要表现在人口爆炸、资源枯竭、食物短缺、生物多样性萎缩、臭氧层破坏、气候变暖、环境退化等方面,已严重影响世界经济的发展。现实迫使人们在全世界范围内探索实现可持续发展的道路。复合农林业正是在这种社会背景下发展起来的一种土地利用方式。由于它在提高生物生产力、改善生态环境和充分利用自然资源、实现可持续发展方面的巨大潜力,而得到人们愈来愈多的重视。我国的复合农林业有着悠久的历史、多种类型和丰富的生产管理经验。特别是新中国成立以来,全国各地在不同空间尺度上开展了规模宏大的生产和科研活动,产生了巨大的经济、社会和生态效益。林木进入农田,打破了单一的种植业格局,形成了农、林、牧紧密结合的耕作制度和立体种植结构,在多年传统经营单一农作物的辽阔平原出现了农林结合的新景观。特别是在河南省平原农区,以农田林网、农桐间作为主体的复合农林业体系,已成为平原地区农业生产的生态屏障和农村的支柱性产业,成了中原林业一颗璀璨的明珠。

河南省复合农林业的科研工作起步于 50 年代。我的老师张企增教授、蒋建平教授、王广钦教授从豫东防护林研究开始,先后进行了农田林网、农桐间作、条农间作、枣农间作的研究,创造出了修武县小文案,博爱县张茹集、苏家作等一个又一个国内外闻名的复合农林业典型,为河南省平原绿化和复合农林业的发展及豫东沙区治理作出了重要贡献。

在继承前人工作的基础上,河南省林业科学研究所和中国林业科学研究院林业研究所、泡桐研究开发中心、河南农业大学、河南省林业勘察设计院等单位协作,在“七五”、“八五”、“九五”期间承担了多项国家、部、省、林业厅关于平原绿化和复合农林业的科研、推广、开发项目,对河南省平原农区复合农林业系统的类型、模式、结构、功能、营建和管理技术等进行了深入的研究,取得了一大批有价值的成果,先后获省部级科技进步奖 10 余项,对河南乃至全国平原绿化和复合农林业的发展作出了突出贡献。

为了全面总结河南省平原绿化和复合农林业的研究工作,促进平原绿化和复合农林业再上一个新台阶,我们特组织协作组成员编写了本书。全书共分 12 章,系统介绍了复合农林业的概念、原理、国内外发展动态、河南平原复合农林业的发展历史;介绍了河南平原复合农林业系统的主要类型、模式、结构、配置、功能和效益;论述了复合农林业系统的增产作用及其机制;介绍了复合农林业系统的评价与优化方法;总结了复合农林业系统的营造与经营技术及迈向 21 世纪平原绿化和复合农林业的发展战略。我们希望本书能对今后平原绿化和复合农林业的发展有所帮助。

在本书即将出版之际,请允许我代表协作组及本书编写人员,向一贯支持我们工作的国家林业局科技司、河南省科委、河南省林业厅及各协作、参加单位表示衷心的感谢。河南省林科所王广钦研究员,中国林业科学研究院宋兆民研究员、卢琦研究员,河南省林勘院赵体顺高级工程师对项目的研究工作和本书的出版给予了无私的帮助,在此表示感谢。本书还引用了兄弟单位大量的研究成果,限于篇幅,在参考文献中未全部列出,特表示感谢。

本书编著者分工如下:樊巍编写了第一章、第三章、第五章及第十二章;孟平编写了第六章;辛学兵编写了第七章;李芳东编写了第八章和第九章;高喜荣编写了第二章和第四章;赵勇编写了第十章;马小琦编写了第十一章。全书由樊巍、李芳东、孟平负责统稿、定稿。

本书涉及学科多,综合性强,限于水平,难免有片面及错漏之外,敬请读者批评指正。

樊 巍

2000年5月

目 录

第一章 绪论	(1)
第一节 复合农林业的概念和特征	(1)
第二节 复合农林业原理	(5)
第三节 国内外复合农林业研究与发展现状	(18)
第四节 复合农林业的意义和作用	(23)
第二章 河南平原地区概况	(24)
第一节 地理位置和行政区划	(24)
第二节 自然特点	(25)
第三节 社会基本情况	(31)
第三章 河南平原复合农林业的历史与发展	(32)
第一节 发展历史	(32)
第二节 发展现状	(37)
第三节 科学研究工作	(38)
第四章 河南平原复合农林业系统的分类	(44)
第一节 河南平原复合农林业系统清查	(44)
第二节 河南平原复合农林业系统类型区划分	(45)
第三节 河南平原复合农林业系统的分类	(49)
第四节 河南平原复合农林业系统数据管理信息系统	(57)
第五章 复合农林业系统的结构与配置	(63)
第一节 复合农林业系统的种间关系	(63)
第二节 复合农林业系统的结构特征	(76)
第三节 河南平原复合农林业系统的配置	(80)
第六章 复合农林业系统的能量流动与物质循环	(85)
第一节 生态系统的能量流动与物质循环规律	(85)
第二节 农田防护林系统的物质循环与能量流动	(87)
第三节 农桐间作系统的物质循环与能量流动	(92)
第四节 果农复合系统的物质循环与能量流动	(101)
第五节 条农复合系统的物质生产与养分循环研究	(102)
第七章 复合农林业系统的效应	(106)
第一节 复合农林业系统的气象效应	(106)
第二节 复合农林业系统的改土效应	(120)
第三节 复合农林业系统的环境效益	(122)
第四节 复合农林业系统的生物效应	(124)

第五节	复合农林业系统的经济效益·····	(126)
第六节	复合农林业系统的社会效益·····	(130)
第八章	复合农林业系统的增产作用及其机制·····	(131)
第一节	农田林网对小麦的增产作用及其机制·····	(131)
第二节	桐麦间作系统对小麦生长、产量的影响及其机制·····	(141)
第三节	农田林网对棉花产量和品质的影响·····	(152)
第九章	复合农林业系统的评价与优化·····	(154)
第一节	复合农林业系统的评价指标体系·····	(154)
第二节	复合农林业系统的评价·····	(158)
第三节	复合农林业系统的优化·····	(182)
第四节	复合农林业系统的动态调控·····	(189)
第十章	河南平原复合农林业系统的主要类型·····	(197)
第一节	农田防护林·····	(197)
第二节	农桐间作·····	(201)
第三节	条农田作·····	(206)
第四节	庭院复合经营·····	(209)
第五节	枣农田作·····	(212)
第六节	柿农田作·····	(215)
第七节	果农田作·····	(217)
第八节	柳农田作·····	(219)
第九节	林(果)+草+鱼系统·····	(222)
第十节	防风固沙林·····	(224)
第十一章	复合农林业系统的营造与经营技术·····	(228)
第一节	复合农林业系统的规划设计·····	(228)
第二节	复合农林业系统的营造技术·····	(245)
第三节	复合农林业系统的经营管理·····	(277)
第十二章	迈向 21 世纪的河南平原绿化和复合农林业的发展战略·····	(290)
第一节	复合农林业研究的未来态势·····	(290)
第二节	平原绿化和复合农林业发展的新契机·····	(292)
第三节	平原绿化和复合农林业的发展取向·····	(293)
第四节	建立稳定、高效、持续的平原绿化和复合农林业体系的途径·····	(295)
参考文献	·····	(297)

第一章 绪 论

第一节 复合农林业的概念和特征

近一个世纪以来,在人口、资源、环境和经济发展之间产生了一系列尖锐的矛盾,突出表现在人口爆炸、资源枯竭、食物(淡水)短缺、耕地减少、森林破坏、生物多样性萎缩、气候变暖、生态失调、环境退化等方面,其规模和速度均是前所未有的,其后果尚难预测。因此,在全世界范围内掀起了探索实现可持续发展道路的热潮,复合农林业* (agroforestry)正是在这种社会背景下,总结和继承历史经验,并在当代科学技术条件下发展起来的一种有效的土地利用和生产技术。由于它在提高土地生产力、改善生态环境和充分利用自然资源方面的巨大潜力,而得到人们愈来愈多的关注。

一、复合农林业的概念

尽管复合农林业是世界各地农业实践中一种传统的土地利用方式,有着悠久的历史,但是,从科学的角度把这一方式进行总结和推广却仅有半个多世纪的历史,而其概念的系统提出尚不足 20 年,到目前为止仍在不断提炼和升华之中,尚无定论。最初的定义是由国际复合农林业研究中心(ICRAF)第一任主席 King 及其同事在 1978 年给出的:“复合农林业是一种采用适于当地栽培实践的一些经营方式,在同一土地单元内将农作物生产和(或)家畜生产同时或交替地结合起来,使土地的全部生产力得以提高的持续性土地经营系统”(King and Chandler, 1978)。在此后一段时间内,又有众多学者对复合农林业的概念进行了探讨,但一直未形成统一的定义。

由于研究人员所在国家、地区的自然和社会条件不同,学科背景及研究目标的不同,导致了对复合农林业概念和内涵认识上的分歧。总的来看,主要有两种观点。一种是比较狭义的,如澳大利亚的 R. Reid 和 G. Wilson(1985)所认为的那样:“复合农林业系统是在同一土地上农业和林业的综合,即在同一时期内或按次序把畜牧、农作物置于稀植的林木之下。”很明显,他们所理解的复合农林业,与我国所理解的农林间作、林牧间作体系相似。他们不主张把防护林放在复合农林业范围内。而国际树作物研究所(ITCI)和美国树作物研究所则认为:“复合农林业是为了农业、环境保护和乡村发展栽植生产粮食、饲料、薪炭和防护林等多用途的乔木和灌木,目的在于增加边际土地的生产力及保持水土和能源。”显然,他们把防护林、薪炭林和经济林都包括在复合农林业的范围,而且着重点在

* 我国对“Agroforestry”一词的提法很多,如混农林业(江爱良,1985),农用林业(竺肇华,1988),农林业(闻大中,1988),林农复合生态系统(熊文愈,1988),复合农林业(徐礼煜,1993),农林复合经营(李文华,1994),等等。本书统一采用“复合农林业”的名称。

于提高边际土地的生产力和保护水土资源。

ICRAF 第二任主席 B. Lundgren (1982) 认为: 一个严格的复合农林业的科学定义强调的应该是所有复合农林业形式中区别于其他土地利用方式的两个最普遍的特征: ①在同一土地单元内多年生木本植物与农作物或家畜形成空间序列或时间序列的生长组合; ②在复合农林业系统的不同组分(木本与非木本植物)之间存在着生态学和经济方面的相互作用。随后由 Lundgren 和 Raintree (1982) 共同形成了被 ICRAF 及国际上多数学者广为认可的复合农林业的定义: 复合农林业是一种土地利用技术和制度的复合名称, 是有目的地把多年生木本植物(乔木、灌木、棕榈和竹子等)与农业和牧业用于同一土地经营单位, 并采取同一或短期相同的经营方式, 在复合农林业系统中, 不同组分之间存在着生态学和经济方面的相互作用。Frenandes 和 Nair (1986) 曾对上述定义作了更详尽的解释: ①复合农林业系统中通常包括两种以上的植物(或植物和动物), 其中至少一种植物是多年生木本植物(乔木、灌木、棕榈、竹子等); ②一个复合农林业系统总是有两种以上的产品输出; ③一个复合农林业系统的循环周期总是在一年以上; ④从生态(系统的结构和功能)和经济方面来看, 即使最简单的复合农林业系统, 也要比单一种植的作物系统复杂。

国内学者竺肇华(1988)、熊文愈(1988、1991)、陈炳浩(1988)、闻大中(1988)、蒋建平(1990)、宋兆民(1991)、黄宝龙(1991)、李文华(1994)等也对复合农林业的概念进行了不同的概括和描述, 但和上述概念的本质基本一致。

1990 年, ICRAF 出版了一本名为《ICRAF... 跨入 90 年代》的小册子, 对复合农林业的诠释又有了新的内涵和外延: 复合农林业作为一种新型的土地利用方式, 在综合考虑社会、生态和经济因素的前提下, 把乔木和灌木有机地结合于农牧业生产系统中, 并具有为社会提供粮食、饲料、燃料和其他林副产品的功能优势; 同时借助其提高土地肥力、控制土壤侵蚀、改善农田和牧场小气候的潜在势能, 来保障自然资源根本性的持续生产力, 并逐渐形成了农、林业研究的新领域和新思维(卢琦, 1999)。

根据我们对复合农林业定义的初浅理解, 对复合农林业归纳以下几点涵义:

(1) 复合农林业是一种土地利用的特殊技术和土地利用制度, 根据立地条件不同采取不同的技术措施和生物组合。

(2) 复合农林业的土地利用制度实质上就是把农林牧有机地结合在同一块土地上综合经营, 而不是指某一种作物、树木、牧草或饲养动物的单一经营方式。

(3) 推行复合农林业制度中, 林与农、林与牧、农与牧的结合应是有机的结合, 相互促进。这种结合既有长期的, 也有短期的。

(4) 不同形式的复合农林业系统包括环境因素和生物物种(绿色植物、动物、微生物)等的相互制约、相互影响, 形成了一个人工生态经济系统。显然它与单一作物、单纯林、牧业等经营方式在生态效益、经济效果方面是互不相同的。

(5) 经营复合农林业系统的成效取决于物种或各成分间的生态学上的相互关系。这种关系有如下 3 种方式: ①一种生物物种对另一种物种有利, 即共生互利; ②互为补充而互不影响, 即在同一块地上轮作、间作、混交, 或一年内种两茬作物时, 充分利用空间的生态位, 在时间上可以错开, 不互争劳力; ③生物物种或各成分之间互相竞争, 这是在土地得

到充分利用和经营强度较高时最常见的情况。

(6) 复合农林业谋求的目标是发展粮食、饲料、薪材生产和营造多种用途的乔木和灌木。其目的在于使产品多样化,从单位面积增加收益的同时又保护农业生产赖以生存的生态环境不致恶化。在这种系统中,树木不仅要保护环境,而且还要提供各种林副产品。

(7) 复合农林业系统着眼于从短期收益和长期收益之间取得平衡,也着眼于从经济效益、生态效益和社会效益之间取得平衡。其通过增加资金和劳力的投入来在同一块土地上增加产出;通过产品的多样化达到经济收入的稳定;通过生态系统生物物种多样性来达到生态环境的稳定和改善。因此,复合农林业系统成功与否,不能只从农、林、牧单方面观点进行评价,而要根据上述原则进行综合评价。

从上述可知,虽然复合农林业模式在世界各地早已存在,但复合农林业概念则是在现代生态系统理论的基础上经考察与总结了人类和森林关系史之后提出来的。其目的在于解决当代因人口增长和农林业分家等不合理经营方式而造成森林破坏、农业生态环境恶化等问题。在复合农林业系统中,树木、农作物、经济作物、牧草、牲畜、家禽等是不可缺少的组成部分。这些生物物种应存在于同一块土地上,由同一经营单位来统一经营。这种复合农林业系统建设成功与否,要靠人(管理者)运用生态系统原则对各物种间的关系进行合理调节。

二、复合农林业的特征

复合农林业系统的重点是木本植物和其他组分之间相互协调的复合结构,与其他土地利用系统相比,具有以下几个方面的突出特征(黄宝龙,1991;李文华,1994;袁玉欣,1994;樊巍,1995;卢琦,1999)。

(一)整体性

复合农林业系统是一个完整的人工生态系统,有其整体的结构和功能,在其组分之间有物质与能量的交流。这种整体的结构、功能、效益是各组分之间整体协调共生的结果。人们经营复合农林业系统,不仅要注意其组分的某一成分的变化,而且要注意组分间的动态联系,要把取得系统的整体效益作为系统管理的重要目的。因此,整体性是复合农林业的最重要特征。

(二)多样性

复合农林业的多样性特征有两方面的含义:一是复合农林业是建立在特定的自然、社会、经济条件下的,而各地的自然、社会、经济条件千差万别,因而复合农林业的模式很多,人们在建立和经营复合农林业系统时,应根据不同地区的特点,采取不同的模式、措施和方法,切实做到因地、因时制宜,扬长避短,发挥优势;二是复合农林业的组成、经营目标的多样性,也决定了它和其他土地利用方式的不同。

(三)稳定性

复合农林业系统是以生态学和生态经济学原理为基础的,注重各组分生物学、生态学特性的统一,结构复杂,功能完善,具有很强的系统稳定性。

(四)持续性

复合农林业系统是多年生木本植物与农作物、牲畜的有机结合,而且这种结合可随着

组分之间变化而改变,具有很强的持续性。

(五)集约性

集约性是复合农林业的又一特征。复合农林业系统在管理上要充分考虑系统内各要素之间在功能上和数量上相互依存和相互制约的关系,要求比单一组分的人工生态系统有更高的技术,更多的物质、能量、投入。

(六)高效性

复合农林业的目的是为了提高土地生产力,提高资源利用率,因此,复合农林业系统的经营,不是追求某一组分或某一时间生产力的高效,而是追求整个系统效益的高效。

三、复合农林业和其他几个概念的区别与联系

(一)生态农业

生态农业也是持续农业的重要形式,生态农业的原理和追求的目标与复合农林业有相似之处。如生态农业是以生态学、经济学为原理,把农业经营范围视为一个农业生态经济系统,以系统工程手段加以优化,建成一个能发挥最大的自然生产力,从而具有投入少而效益高的,并具有良性循环的、稳定性高等特点的农业生产系统。但它可以是农牧渔的模式,不包括林业在内,也可以包括林业内容,但并不以林木为主体、为主要生物组分;而复合农林业是以林木为主体、为主要经济产品和发挥主要功能的系统,它是其他组分(其他生物产品)的基础,复合农林业的整体效益主要取决于林木种群的效能。复合农林业可以看作生态农业的一种模式。

(二)生态林业

生态林业是把林业的经营对象作为一个完整的生态系统,从实际的自然与社会经济条件出发,以生态学、生态经济学和系统工程的原理和手段,调控和创建这个系统,使其以优化的结构和协调、高效的功能,持续稳定地提供一定的高生物生产力和发挥良好的生态环境效益和社会效益(樊巍,1995)。从这一概念可以看出,复合农林业是生态林业的主要模式。

(三)立体林业

立体林业是指人工生态系统的空间结构,强调时空上多层次利用环境资源,以林木为主体的多层次复合生态系统。它是复合农林业的重要内容,是复合农林业基本生产单元的结构形式的表现,而复合农林业比立体林业的含义更为广泛。立体林业由于也强调结构功能的优化设计,所以也不同于一般林业上的多种经营。如果把多种经营优化组合于一个系统之中,这就是立体林业。

(四)乡村林业

乡村林业(Community Forestry),也译作社会林业,是以乡村群众为参与主体,通过采用农林复合经营等主要技术手段,并参与森林经营管理各方面活动,旨在使乡村群众直接受益,并改善农村生态环境,促进农村社会的综合协调与持续发展(徐国祯,1998)。显而易见,复合农林业是乡村林业的主要技术手段。

第二节 复合农林业原理

复合农林业的建设离不开有关的理论指导,这些理论涉及多学科、多领域,范围较广、内容繁多,但主要是生态学原理、经济学原理,以及可持续发展的理论。这些原理、理论是进行复合农林业的设计、管理和制定措施的科学依据,特别是我国各地区自然条件和社会经济条件的差异较大,其经济条件、科技发展水平、气候和环境特征不同,复合农林业建设不可能存在一个统一的通用的模式,因此,不同地区就要根据自身特点,采取不同措施和方法进行复合农林业的建设。但是这些措施和方法是以复合农林业的原理为基础而制定的。所以,掌握和理解与复合农林业有关的原理对指导复合农林业建设具有重要意义。

一、生态系统原理

(一)系统与生态系统

系统,是指由构成系统的各个要素组成的,通过各个组成要素之间的相互作用而形成的具有统一功能的综合体。作为系统,必须具备3个条件:①具有组成系统的多种要素;②各要素之间相互作用,形成一个有机的整体;③组成要素的有机整体各具特定功能。

生态系统,是指一定时间、某一空间内所有生物(包括动、植物和微生物)及其环境(包括光、热、水、土、气候、地貌等),通过各组成要素间的物质循环和能量流动以及信息传递而形成的、具有统一功能的综合体。由此可知,生态系统的含义是生命系统和环境在一定空间的有机复合体,它是一个相对稳定的开放系统,是地球生物圈的基本功能单元。森林就是一个典型的生态系统,在森林中,有乔木、灌木、草本等植物,还有昆虫、鸟、兽等动物,以及各种细菌、真菌等微生物,再加上阳光、空气、温度等各种非生物环境条件。如果从生态学的观点出发,研究和揭示这些生物之间,以及它们和非生物环境之间的相互关系、相互作用,这样,由许多物种(生物群落)和环境组成的森林就成了一个实在的生态系统。草原、湖泊、农田等也是如此。总之,凡是具有生物群落加上环境的生命组织层次,都可叫做生态系统。生态系统的范围可大可小,浩瀚的海洋、无边的草原、大片的森林、微小的水滴……都是典型的生态系统,甚至地球上全部生物和所有适于生物生存的环境合在一起(即生物圈),也可以看作是一个全球生态系统。而一个生活有藻类、孑孓和蝌蚪的临时的小水坑,同样可视为一个生态系统。

(二)生态系统的基本组成

生态系统是由生命部分和无生命部分组成的。生命部分包括生产者、消费者和分解者三类。无生命部分主要是组成生态系统的环境,例如日光、温度、空气、水分、土壤等。

森林中有许多植物,其中决定森林外貌的植物主要是乔木,乔木下有灌木,地面上还有羊齿植物和某些草本植物,阴湿处还有苔藓……上述植物都具有叶绿素,能在阳光下进行光合作用,把环境中的无机物合成自身的有机物,因此,绿色植物被称为“生产者”,是生态系统的基础。森林中许多动物的共同特点,就是靠吃现成的有机物来维持生命,是生态系统的“消费者”。森林里的细菌和真菌,能把动植物遗体逐步分解成植物能利用的无机养料。众所周知,死亡是生物界不可抗拒的规律,倘若没有这些细菌和真菌的分解作用,

自然界就会被动植物的遗体所充斥。因此,这些具有分解功能的小生物是生态系统中不可缺少的成员,可将其称为“分解者”。倘若没有分解者,地球上的氮、磷、钾等营养物质的循环就会中止,而当可利用养分被消耗殆尽之后,生态系统中的生产者就无法生存了。过去我们“造林、绿化”一般只考虑一个或两个树种,这种人工建造的生物群体并不是一个完整的生态系统,而只能算一个人工群体。因此,其中的大多数稳定性很差,效益也不太高。近年来南方马尾松毛虫发生的根本原因就在于此。

建造一个高效的人工生态系统也必须遵循生物与环境统一的原则。也就是说,不但要考虑生物之间的和谐有序,而且要考虑环境与生物的相互关系。因为生物只能在适宜的环境条件下才可以体现其最高生物产量,同时,生物对环境质量也相应有最佳的改善与提高。

(三)生态系统的结构

结构,是指生态系统的组织层次的建筑表现形式。它决定着整个生态系统的作用或执行机能。生态系统的结构可以划分为以下3种。

(1)空间结构。森林生态系统的地上部分有明显的分层现象,乔木、灌木、草本高低有致。植物的分层有利于充分利用阳光、水分、养料和空间;动物的分层有利于觅食、隐蔽和生存。研究分层现象,对指导生产实践很有价值。如作物的间作、套种,淡水鱼的混合放养等,就是以这个原理为基础的。鲢鱼和鳙鱼生活在水中的中上层,前者主要吃浮游植物,后者主要吃浮游动物;草鱼生活于水的中层,吃水草和底栖生物,又吃其他鱼类吃剩的残渣。由此可见,各种生物都有各自的生活空间范围,既相互联系又相互独立。

(2)时间结构。生态系统的结构和外观会随时间而发生巨大的变化,其中温带落叶林的变化是最明显的。每年夏季,那里的林木茂盛,动物种类和数量也多,但一到冬季,由于树叶脱落,花草枯萎,于是一些鸟类迁飞,动物也进入冬眠状态,昔日充满生机的森林,变得萧条冷落起来,和夏季相比,判若两个世界。

(3)物种多样性结构。热带雨林生态系统的生物种类异常丰富,往往在几千平方米面积的热带雨林中,其植物和昆虫的种类可能比整个欧洲的种类还多。但是,在热带雨林中却没有任何一种动物或植物称得上优势种。而在北方针叶林生态系统中,冷杉和云杉等高大乔木明显占有优势,林下几乎没有灌木和草本植物。正因为那里植物种类单调,所以其动物种类也相对较贫乏。和热带雨林相比,北方针叶林的物种多样性程度就低得多。

一个稳定高效的系统必然是一个和谐的整体,各组分之间必须具有适当的比例关系和明显的功能上的分工与协调,只有这样才能使系统顺利完成能量、物质、信息、价值的转换功能。我们常讲的“结构决定功能”就是这个道理。因此,当系统中某一个组分发生量的变化以后必然影响到其他组分的功能,最终影响到整个系统。复合农林业设计建造过程中一个重要的任务就是如何通过整体结构的建筑而实现人工生态系统的高功能。

作为一个完整的系统,总体功能是衡量系统效益的关键,人工建造生态系统的目标也是要求整体功能最高。也就是说,要使系统的整体功能大于组成系统各组分的功能之和。由公式表示就是

$$S > \sum P_i \quad (i = 1, 2, 3, \dots, n)$$

式中: S 表示系统的总体功能; P_i 代表组成系统的各组分之功能。即是说系统的功能实际是由两个部分组成的, 一部分是各组分的功能, 另一部分是由于各组分结合在一起形成的综合功能。综合功能可以是正值, 也可以是负值或者等于零。由此可见, 上述公式还有两种情况:

$$a. \quad S = \sum_{i=1}^n P_i = 0 \quad (i = 1, 2, 3, \dots, n)$$

说明综合功能等于零。这种系统的综合功能由于结构不合理而没有体现出来。

$$b. \quad S < \sum_{i=1}^n P_i \quad (i = 1, 2, 3, \dots, n)$$

这种现象说明系统结构各组分不合理而产生拮抗作用, 也就是通常所说的“内耗”。当然, 人工建造的生态系统应当如第一个公式那样, 而不希望出现后两种情况。比如, 乔灌结合的防护林工程的防护功能, 应当是除了具有单纯乔木或单纯灌木所具有的防护功能以外, 还应当体现出由乔灌结合以后而产生的新防护功能, 这种功能越大, 说明新系统越合理。

二、生态位原理

生态位, 也可译成“生态龛”或“小生境”。Grinnell(1917)是最早将其应用于生态学中的。他把生态位定义为“恰好被一个种或一个亚种占据的最后分布单位”, 在这个分布单位中, 某个种因自身的结构及本能上的界限而得以保持, 即 Grinnell 的生态位概念指的是空间生态位(space niche)。另外一个较有影响的关于生态位的概念是 Elton(1927)生态位, 主要指的是营养生态位(trophic niche), 强调一种生物与其他种的营养关系。1957 年 Hutchinson 对生态位概念以数学的抽象, 提出生态位是位于 n 维资源空间的超体积, 把生态位看作是多维或超体积的, 既指空间, 又包括功能, 使生态位的概念更接近于现实。

在生物群落中, 能为某物种所栖息的理论最大空间, 即无任何竞争和捕食者存在时, 该物种所能占据的全部空间的最大值, 称基础生态位(fundamental niche)。实际上, 很少有一个物种能占据其基础生态位。当有竞争者和捕食者存在时, 必然使该物种只占据其基础生态位的一部分, 这部分实际占有的生态位称为实际生态位(realized niche)。竞争种类越多, 物种占有的实际生态位可能越少。

应用生态位理论来解释生态学中的实际问题, 促使了生态位理论的飞速发展。近 30 年中, 全世界有关生态位的文章多达 2 800 篇(刘建国等, 1990 年), 研究涉及生物、社会、经济等许多领域。概括各学者对生态位的定义内涵, 不外乎包括两个方面: 一是有机体和所处环境之间的关系, 二是生物群落中的种间关系。因此, 如果把群落中一个种与其他种之间的动态关系也看成一种广义的种与环境因子之间的关系, 则可给生态位一个广义的定义:

设一个群落中有种 y (被研究的对象) 及与之有关的 n 个因子, 此 n 个生态因子便组成 y 的环境, 向量 $x = \begin{cases} x_1 \\ x_2 \\ \vdots \\ x_n \end{cases}$ 表示环境的某一状态, 即一特定的环境(其中 x_i 为表征第 i 个

生态因子的数值, x 为 E 上的一个点)。表示某一梯度范围环境的所有 x 点形成一个集合, 记为 A ; 由于种 y 的密度(或生物量、重要值等相应的单位, 下同)随环境变化而变化, 对一特定的向量度也形成一个集合, 记为 B , 这是一种映射关系, 以 f 表征这种关系, 则有 $A \subset B \rightarrow B \subset E'$ 定义集合 A 到 B 上的映射 f 是 y 种的生态位。由此可见, 种的生态位是表征环境属性特征的向量集到表征种的属性特征的数集上的映射关系(王刚等, 1984)。当 f 为连续映射时, f 便为一多元函数。换言之, 种的生态位是该种在生态学上的特殊性, 即该种与群落中其他种生境之间的特殊联系。

在生态位应用方面, 定量进行生态位测度多是用生态位宽度(niche breadth)、生态位体积(niche volume)、生态位重叠(niche overlap)等来表示。

(一)生态位宽度和生态位“广度”及生态位“大小”是常用的同义词

若种 y 的生态位可用 $f(x_1, x_2, \dots, x_n)$ 来表示, 则点集 $A_i = \{x | P_{yij} f(x_1, x_2, \dots, x_n)$

$> 0\}$ 的测度 $m(A_i)$ 被定义为种 y 在 X 轴上的生态位宽度, 而 $w = \begin{cases} m(A_1) \\ \vdots \\ m(A_i) \\ \vdots \\ m(A_n) \end{cases}$ 是种 y 在 n

维生态因子空间上的生态位宽度, 它是一个 n 维向量。所谓生态位宽度, 也就是种 y 对 n 个生态因子的适应(或利用)范围。简单地讲, 生态位宽度就是被一个有机体单位所利用的各种资源的总和。在没有任何竞争和敌害的情况下, 任何有机体单位也不可能完全利用它的全部基础生态位, 因它的活动往往被其竞争者和捕食者所削弱, 而实际的或后竞争的(post competitive)生态位, 通常是原始生态位(即基础生态位)的一个子集合, 原始的生态位和实际的生态位之差值, 是其竞争或捕食者作用的结果。

常用的计算公式有:

$$B = \frac{1}{\sum_{i=1}^S P_i^2(S)} \quad (\text{Levin, 1968})$$

式中: B 表示生态位宽度; P_i 表示一物种在一资源序列“ i ”单位中所占的比例; S 表示每个资源序列的总单位数。

如某物种占据某资源序列的全部梯度单位, 且在每个梯度单位上物种的数量相等, 则该物种占据的生态位最大, $B_{\max} = 1.0$; 若某物种仅占据某资源序列的一个梯度单位, 则该物种的生态宽度最小, $B_{\min} = 1/S$ 。由此可见, 知道了某物种在某资源序列上的生态位宽度, 就很容易确定该物种在该资源序列中的地位和作用。

(二)生态位体积

生态位体积, 表示某物种对其相关生态因子的利用或适应能力。若用数学的定义, 则为: 生态位体积是函数 f 在其定义区域上的 n 重积分, 其公式如下:

$$N.V = \int D \cdots \int f(x_1, x_2, \dots, x_n) dx_1, dx_2, \dots, dx_n$$

域 D 即为 f 之定义域, $D = L_1 x L_2 x \cdots L_i x \cdots L_n x$, L_i 为 f 在 X_i 轴上的定义区间。

$$L_i = \begin{cases} 1 & (0, \infty) \\ 0 \text{ 或 } & [-\infty, \infty] \end{cases}$$

(三)生态位重叠

Abrams(1980)、Colwell(1971)认为,生态位重叠是两个种对一定资源位的共同利用程度。Hurlbort 认为生态位重叠是两个种在同一资源位上的机遇频率。Pielu 把生态位重叠定义为资源位上种的多样性。因此,生态位的重叠可以认为是资源紧张而造成种群相互竞争的结果。其计测公式用种间相似性计算公式。

具体计算中,生态位重叠通常是基于资源的划分,大多数是 $\frac{a=n}{a=i} \left| P_{ia} \right|$ 的函数,第 i 种利用第 a 种资源的比例式,或相对地说,第 i 种利用资源 a 的个体数。常用公式如下:

$$O_{ij} = 1 - 1/2 \sum_{a=1}^n |P_{ia} - P_{ja}| \quad (\text{Schoener, 1968})$$

$$O_{ij} = \frac{\sum_{a=1}^n P_{ia} P_{ja}}{(\sum_{a=1}^n P_{ia})^2 \cdot (\sum_{a=1}^n P_{ja})^2} \quad (\text{Pianka, 1973})$$

$$O_{ij} = \frac{\sum_{a=1}^n P_{ia} \cdot P_{ja}}{\sum_{a=1}^n P_{ia}^2} \quad (\text{Levins, 1968})$$

(四)生态距离(ecological distance)

植物群落随着其生态因子数值的梯度变化而呈现有规律的变化,所以形成的群落序列称为群落梯度,而生态距离则是这种沿其环境变化的群落结构变化所表征的群落分离度(degree of community apartion)。群落间的生态距离与群落间的相似性是两个互补的测度,即群落愈相似,则其生态距离愈小,反之则生态距离愈大。我们可以用计测群落相似性的方法来计测生态距离。计测群落相似性的方法及公式较多,常用的有相似百分数公式。

(五)生态位的应用

从上述各位学者对生态位的定义可以得出,生态位是指一种生物种群所要求的全部生活条件(包括生物的、非生物的)。因此,一定的种群要求一定的生态位。反过来,一个生态位只能容纳一个特定规模的生物种群,否则将导致剧烈的种内和种间斗争。所以生态位和种群是一一对应的。在自然生态系统中,随着生态系统向顶极群落的不断演替,其生态位数目渐增,物种多样性增加,“空白”生态位逐渐被填充,从而构成复杂稳定的网络系统。在人工生态系统中如林业生态系统中,由于人为使物种单一化,从而产生了较多的“空白”生态位,使杂草、病虫、有害鸟兽等易于侵入为害。此时,若按生态位原理,把有经济价值而又适生的物种列入,以填充“空白”生态位,模拟顶极群落状态,使系统处于生态位“饱和”状态,则不仅可减少和抑制病虫害和农药污染,而且也可增加新的产品,提高经济效益,这样能使生态效益和经济效益较好地统一起来。如橘园的野生植物或其他覆盖作物,由于野生植物与橘树竞争光、水、肥,因此传统的观点认为野生植物是有害的,在农事操作中主张全部铲除野生植物。但随着生态位理论研究的深入,逐步认识到野生植物能引起生境的异质性,使资源的质与量产生相应的改变,增加了环境的多样性,并且使各种生物的生态位作相应的调整,整个群落的结构状态得以改观。野生植物的明显作用是

填补橘园的“空白”生态位,调节小气候,作为天敌栖息地,补充或提供“中间寄主”,增强橘园生态系统对农药的耐受度,增大生态容量。因此,适当地保留人工栽培野生植物或其他覆盖作物,能够促进橘园生态系统稳定性和效益的提高。

复合农林业系统是多物种组成的复合群体,各物种都要占据一定的生态空间,同时又要吸收利用一定量的营养元素。利用生态位理论充分开拓潜在的生态位,尽管会造成各物种在空间和营养吸收上的竞争或重叠,但是,一般来说没有两物种会具有完全一样的生态位关系。只是生态位关系比较相似的物种共存时,才会出现较大的矛盾。然而,生态位重叠不一定导致竞争,除非资源供应不足。在复合农林业系统中,各物种对光资源的利用往往处于重叠中,但每一种植物都有其自身的光饱和点,超过饱和点的光实际上是无意义的。因此,在设计复合农林业工程中,要增加生态位重叠,尽量充分利用光能,避免不必要的光能浪费。但是重叠超过一定程度时,就必然产生竞争,最终导致一物种对另一物种的抑制和排斥。在定植乔木树种以后,树冠中荫蔽的条件及食叶昆虫等给鸟类提供了一个适宜的生态位,林冠下的弱光照、高湿给喜荫生物创造了适宜的生态位,枯落物归还又给小动物(像蚯蚓、蠕虫等)提供了适宜的生态位。我们在复合农林业工程设计、调控过程中合理利用生态位原理,可以构成一个具有种群多样性的稳定而高效的生态系统。如何通过生物种群匹配,利用其生物对环境的影响,使有限的资源合理利用,增加转化的效率,减少资源浪费,是提高人工生态系统效益的关键。当前常说“乔、灌、草”结合,实际就是将不同植物种群在地上地下部分分层布局,充分利用多层空间生态位,使有限的光、气、热、水、肥等资源得以合理利用,最大限度地避免资源浪费,增加生物产量和发挥防护效益的有效措施。在复合农林业工程中,还应当从结构方面更深入一些考虑。我们应当全面考虑由于植物的多层布局同时又可产生众多的适宜动物(包括鸟、兽、昆虫……)、低等生物(真菌、地衣等……)生存的生态位,从而形成一个完整稳定的复合生态系统。比如,沙棘是“三北”地区一个适生树种,沙棘为主的林分形成后,它产生的果实和繁茂多刺的树冠给雉(野鸡)类构成一适宜生态位,雉粪的积累又提高了土壤肥力,给植物增加了适宜的生态位,从而形成了高效的群落;而同类地区的杨树纯林却因树下枯落物很少,结构简单,从而形成了大面积的“小老树”群体。再如“果树—食用菌”工程,就是利用果园中地面弱光照、高湿度、低风速的生态位,接种适宜的“食物链”——食用菌而建造的。像林—渔—农、林—农、胶—茶、林—食用菌等及稻田养鱼都较好地利用了潜在生态位,增加了环境资源利用率,提高了生态位能。

在新植的用材林幼林行间隙地,在次生林里的林中空地,在果园稀植的林地上,都大量存在着不饱和生态位(光能、空间和地力远未达到充分利用),可以有意识地引进与生态位相对应的植物。如农作物、经济作物、绿肥和牧草,因地制宜地间作套种或伴生混交。有时也可以在林内实行季节性放养牲畜等,即使上层林冠郁闭、林内光线较小,也可以引进耐荫植物,如黄连、砂仁、人参、绞股蓝、魔芋、金鸡纳等,这种做法就是充分利用重叠生态位的潜在优势。只要正确选择物种,生态位重叠并不一定导致竞争。

三、食物链原理

在生态系统中,物质生产和能量转化,均是从绿色植物开始,在动物、微生物的参与