

●“985”优势学科创新平台项目 —『脆弱生态系统退化机制与恢复重建』●

【水土保持与荒漠化防治系列专著】



晋西黄土区 农林复合系统种间关系研究

毕华兴 云 雷 朱清科 等/著



科学出版社

“985”优势学科创新平台项目——“脆弱生态系统退化机制与恢复重建”

水土保持与荒漠化防治系列专著

晋西黄土区农林复合系统 种间关系研究

毕华兴 云 雷 朱清科 等 著

科学出版社

北 京

《晋西黄土区农林复合系统种间关系研究》

编写委员会

主 任：毕华兴

副 主 任：云 雷 朱清科

委 员：（以姓氏拼音为序）

 鲍 彪 毕华兴 崔哲伟 代 巍 高路博

 郭小平 靳刚雷 马雯静 史晓丽 田晓玲

 王 亮 许华森 云 雷 周晖子 朱清科

学术秘书：云 雷

主 审：余新晓

丛书序

水土流失与荒漠化直接关系到国家生态安全。严重的水土流失与荒漠化,是生态恶化的集中反映,已成为我国生态环境最突出的问题之一。水土流失与荒漠化不仅导致土地退化、毁坏耕地,制约山区社会经济发展,使人们失去赖以生存的基础,而且加剧江河湖库淤积和洪涝灾害,加剧贫困,威胁国家粮食安全和生态安全;这不仅影响当代发展,而且影响子孙后代的生存。因此,加强水土保持与荒漠化防治基础理论研究,找出科学合理的防治方法与措施,开展生态环境建设、资源与社会可持续发展的理论研究与实践,已成为关系国家生态安全和社会可持续发展的当务之急。

《水土保持与荒漠化防治》系列专著是在北京林业大学“985”优势学科创新平台“脆弱生态系统退化机制与恢复重建”和“211”工程(三期)的资助下编写出版的,分册相对独立,以水土保持与荒漠化防治基础理论与水土流失和荒漠化综合防治实践为基础,从不同角度、综合反映了研究团队新的科研成果。该系列专著以土壤侵蚀动力学过程及其机制、生态水文过程与调控、植被力学过程与调控、土壤风蚀过程与防控、水土流失区林草植被快速恢复与生态修复关键技术、开发与建设城市化损毁土地生态系统快速恢复与重建技术等为主要研究内容,系统反映了在长期水土保持荒漠化防治实践中积累的丰富防治经验,有针对性地提出了我国水土保持荒漠化防治生态建设面临的主要问题的防治对策,为今后进一步加强水土保持荒漠化防治研究奠定了坚实的基础。

该系列著作的内容均为水土保持与荒漠化防治研究领域的热点问题,引领了该学科的发展方向,在理论框架、新方法和新技术方面做了很多开创性的工作,在推动水土流失与荒漠化防治综合防治关键技术研究方面进行了有益的探索,对我国进行水土保持与荒漠化防治综合管理研究起到了积极的推动作用。

该系列著作不仅为地学、生态学、环境学、土壤学等学科的科研和教学工作提供有益的参考,也是我国水土保持与荒漠化防治生态建设相关技术人员、行政管理人员的一部好的参考书。该系列著作的出版,无疑将对我国水土保持与荒漠化防治生态建设的深入开展起到积极的推动作用。

中国工程院院士 李文华

2011年5月

序

自 20 世纪 70 年代以来,人口剧增、粮食短缺、资源危机、环境恶化等全球性问题的出现,促使人们越来越深刻地意识到森林与 21 世纪可持续发展休戚相关的重大意义以及拯救森林的紧迫性。但由于林木生长周期较长、效益滞后,以及农林争地矛盾等现实问题,因此在短时期内完全恢复森林原状,特别是在农区,既不可能也无必要。因此,国内外农林界学者大力提倡发展以防护林为主体,辅以各类林粮、林果、林草、林药间作模式的农林复合系统,以增加森林覆盖率,改善环境。目前,农林复合系统的理论及技术已受到世界上众多国家和地区的普遍关注和日益重视,已成为一门新兴的边缘学科,出现在农业科学和林业科学的交叉领域,为农业农村可持续发展提供了一种新的思维和理论。

看过毕华兴等十多位科研人员及研究生们共同完成的《晋西黄土区农林复合系统种间关系研究》初稿,我感受到了现代“水保人”的气息。让我欣慰的是:他们将长期科学研究中积淀的经验和技术汇集于该专著,以晋西黄土区的主要地貌类型为单元,在黄土塬面对多种果农间作模式以及在黄土坡面对林草复合模式种间的水、肥、光和生物多样性等种间关系进行了透彻的分析,特别是种间水肥的竞争与互补。并以此为基础,结合生物量和产量的测定结果提出了黄土区适宜农林复合模式及其可持续经营技术。该专著理论基础扎实、研究方法科学、技术路线合理可行,内容全面、针对性强,适合农林复合、林业生态工程建设、经济林等领域的科研人员、工程技术人员以及高等院校相关专业师生阅读参考。

北京林业大学水土保持学院院长

北京林业大学教授

余新晓

2011 年 3 月 18 日

前 言

黄土高原是中华民族的发祥地,但是由于对森林的破坏,失去林木保护的黄土地成为当今世界上水土流失最为严重的地区之一,生态脆弱和环境恶化严重影响着该区域经济的发展和人民的生活,严重制约该区域可持续发展,它们与贫穷、落后等社会经济问题互为因果,恶性循环。黄土高原的植被建设不仅关系到该地区的持续发展,同时还关系到整个黄河中下游地区的可持续发展。由于农林复合经营对解决黄土高原的水土流失、恢复生态平衡和提高土地利用率都有重要的作用,因此农林复合经营作为治理黄土高原的一项主要措施和解决这种恶性循环的有效途径之一被推广应用。

实现农林复合系统的可持续发展以及农林复合系统功能的发挥,直接对黄土高原生态环境和社会经济的发展产生深远的影响。农林复合系统种间关系调控技术是农林复合研究的重点内容,是农林复合系统可持续发展、功能更好实现的主要关键技术,而该技术的获取关键来源于对农林复合种间关系问题的研究,农林复合系统种间关系研究已成为现代农林复合系统研究的核心内容之一,也是设计农林复合经营模式时考虑的中心问题。对农林复合系统种间关系的研究有助于更深层次地理解生态系统结构和功能的稳定性,探索资源合理和高效的利用方式,为经营种间关系协调的高产、高效和稳定的农林复合系统提供理论依据,并且为农林复合系统树种的选择和配置提供理论指导,科学了解复合系统种间竞争与互补关系及其影响机制,对农林复合系统可持续发展具有非常重要的理论和现实意义。

本书是“十一五”国家科技支撑专题“黄土区农林复合系统可持续经营技术研究”(2006BAD03A0503)以及“十二五”国家科技支撑专题“晋西黄土区抗旱节水型农林复合种间关系及调控技术”(2011BAD38B02)研究成果的重要内容之一。全书以晋西黄土区农林复合系统可持续经营的关键技术——种间关系为切入点,研究不同种间配置模式下的光照、水分、养分等的竞争与互补关系。全书共分14章。主要编写人员如下:

第1章由毕华兴、朱清科、云雷、高路博、鲍彪、许华森执笔;第2章由云雷、马雯静、周晖子执笔;第3章由崔哲伟、云雷执笔;第4章由毕华兴、云雷、朱清科执笔;第5,6章由毕华兴、云雷执笔;第7章由云雷、马雯静执笔;第8章由朱清科、云雷、郭小平、史晓丽、代巍执笔;第9章由云雷、靳刚雷、王亮执笔;第10章由毕华兴、云雷执笔;第11章由云雷执笔;第12章由云雷、马雯静执笔;第13章由云雷、田晓玲执笔;第14章由毕华兴、云雷、朱清科执笔。全书由毕华兴、云雷、朱清科审定统稿。

在研究过程中,课题组全体成员密切配合,相互支持,圆满地完成了专题的各项任务,在此,对他们的辛勤劳动表示诚挚的感谢。

限于我们的知识水平和实践经验,加之时间仓促,书中难免有遗漏等不妥之处,敬请各位读者批评指正。

著 者

2011 年 3 月于北京

目 录

丛书序

序

前言

第 1 章 农林复合概述	1
1.1 农林复合系统的定义和基本内涵	1
1.2 农林复合系统与其他几个概念的联系与区别	2
1.3 农林复合原理	4
1.4 农林复合系统的发展历史及现状.....	20
1.5 农林复合系统的类型划分.....	22
1.6 农林复合系统的结构功能及效益.....	26
1.7 中国农林复合系统发展机遇与研究展望.....	27
主要参考文献	31
第 2 章 农林复合种间关系研究进展	34
2.1 地上部分相互作用研究.....	34
2.2 地下部分相互作用研究.....	36
2.3 化感作用.....	42
主要参考文献	43
第 3 章 研究区概况	50
3.1 黄土区概况.....	50
3.2 山西吉县研究区概况.....	56
主要参考文献	60
第 4 章 研究对象、内容与方法	61
4.1 研究对象.....	61
4.2 研究的主要内容.....	62
4.3 研究方法.....	63
主要参考文献	74
第 5 章 不同果农间作模式土壤水分分布特征	76
5.1 降水量分析.....	76
5.2 作物种植前土壤水分含量状况.....	77
5.3 不同间作模式土壤水分时间变化.....	79
5.4 不同间作模式土壤水分空间分布.....	84
5.5 不同果农间作模式作物土壤水分效应.....	90
5.6 果树对农作物土壤水分影响域的确定.....	92

5.7 本章小结·····	94
主要参考文献·····	96
第6章 不同果农间作模式土壤养分分布特征 ·····	97
6.1 不同果农间作模式土壤养分空间分布·····	97
6.2 不同果农间作模式土壤养分效应·····	105
6.3 本章小结·····	109
主要参考文献·····	110
第7章 果农间作模式果树根系空间分布特征 ·····	112
7.1 核桃间作模式中核桃根系空间分布特征·····	112
7.2 苹果间作模式中苹果根系空间分布特征·····	116
7.3 根系垂直分布特征参数·····	119
7.4 本章小结·····	119
主要参考文献·····	120
第8章 果农间作模式光照分布特征 ·····	122
8.1 太阳视运动轨迹·····	122
8.2 太阳辐射的时空分布·····	123
8.3 不同间作模式农作物光合有效辐射日变化·····	125
8.4 不同间作模式农作物净光合速率日变化·····	126
8.5 不同间作模式农作物的光效应·····	128
8.6 本章小结·····	128
主要参考文献·····	129
第9章 果农间作模式可持续经营技术 ·····	131
9.1 水肥调控·····	131
9.2 不同树龄苹果群体冠层结构群体特征研究·····	136
9.3 基于种间关系及土地生产力的果农间作模式筛选·····	139
9.4 本章小结·····	141
主要参考文献·····	142
第10章 林草复合系统土壤水分分布特征 ·····	143
10.1 林草复合系统土壤水分的时空分布研究·····	143
10.2 林草复合系统雨后土壤水分空间变异规律·····	153
10.3 本章小结·····	158
主要参考文献·····	159
第11章 林草复合系统土壤养分分布特征 ·····	162
11.1 刺槐×天然草复合土壤养分分布特征·····	162
11.2 刺槐×苜蓿复合土壤养分分布特征·····	165
11.3 不同类型林草复合土壤养分对比·····	167
11.4 林草复合系统土壤养分边界影响域·····	168
11.5 本章小结·····	170

主要参考文献·····	171
第 12 章 林草复合系统中树木根系分布特征 ·····	172
12.1 刺槐根生物量密度分布特征·····	172
12.2 刺槐根长密度、根表面积密度分布特征 ·····	174
12.3 刺槐根系垂直分布函数和特征参数·····	176
12.4 本章小结·····	177
主要参考文献·····	178
第 13 章 林草复合系统草本植物多样性特征 ·····	179
13.1 刺槐林×天然草复合系统草本植物分布·····	179
13.2 草本植物边界影响域·····	180
13.3 多样性分析·····	181
13.4 本章小结·····	183
主要参考文献·····	184
第 14 章 结语 ·····	185
14.1 主要结论·····	185
14.2 展望·····	188

第 1 章 农林复合概述

近年来,人口剧增、粮食不足、能源短缺、资源衰竭、环境污染等世界面临的严重危机,以及发生在我国的水土流失、江河淤积、灾害频繁、生态失调等严重威胁,促使人们愈来愈深刻地意识到森林与 21 世纪可持续发展休戚相关的重大意义以及拯救森林的紧迫性。但林木生长周期较长、效益滞后以及农林争地矛盾等现实问题,促使我们寻找一种先进的林业生产技术从根本上解决问题。农林复合系统理论的提出无异于为缓解环境与发展间的矛盾,解决农林争地,改变传统农业中存在的肥料和能源的高成本投入等问题的解决提供一支“强心剂”,为农业和林业的可持续发展提供了一种新的思路 and 理念。目前,农林复合系统的理论及技术已受到世界上众多的国家和地区的普遍关注和日益重视,已成为农业、林业、水土保持学、土壤学、地貌学、自然地理学、生态与环境、社会经济学、生物统计学及其他应用学科等多学科交叉研究的一门新型的边缘学科,它是集农业科学、林业科学所长的一种可持续发展实践,为世界各国,特别是发展中国家农业农村可持续发展提供了一种新的思维和理论。

1.1 农林复合系统的定义和基本内涵

农林复合是一种古老的土地利用方式,早在农林复合成为一门独立的学科之前,世界各地就有许多悠久的农林复合生产实践历史。1977 年 ICRAF(国际农林复合经营研究中心)成立,1978 年第一任主席 K. F. S. King 及其同事第一次正式提出了“agroforestry”这一概念,即 agroforestry 是一种采用适于当地栽培实践的一些经营方法,在同一土地单元内将农作物生产与林业活家畜生产同时或交替结合起来,使土地全面生产力得以提高的持续性土地经营系统。其后,世界各国从事农林业复合生态系统研究的学者根据本国各自具体的特点,提出了许多 agroforestry 的定义。到 1982 年《农林复合系统》(agroforestry systems)刊登的关于其定义的解释就有 10 多种,此后国际农林业研究委员会提出了一个被普遍接受的概念,即 agroforestry 是一种土地利用系统和工程应用技术的复合名称,是有目的地将多年生木本植物与农业或牧业用于同一土地经营单位,并采取时空排列法或短期相间的经营方式,使农业、林业在不同的组合之间存在着生态学与经济学一体化的相互作用(Lundgren,1982;Nair,1985;谢京湘等,1988;姜安如,1994)。20 世纪 90 年代,ICRAF 第二任主席 Lundgren 于 1990 年和主任 Leakey 于 1996 年分别从可持续发展的角度对农林复合内涵作了进一步的完善(Lundgren,1990;卢琦和慈龙骏,1996)。2004 年奥兰多宣言指出,农林复合系统是一种动态的、以生态学为基础的自然资源管理系统,通过林农复合、林牧复合及与其他土地利用类型的复合,为土地使用者增加了产品的多样化和产量,增进了社会、经济和环境效益。

不同的历史时期的各地区自然经济环境条件和社会历史状况的差异,使得农林复合

系统概念的表述具有明显的地域性的特色,但其本质上是基本一致的,其内涵可以概括为:复合农林业系统是以生态学、经济学和系统工程为基本理论,并根据生物学特性进行物种的时空合理搭配,形成多物种、多层次、多时序和多产业的人工复合经营系统(孟平等,2003)。随着复合农林系统理论的不断深入,其内涵将会得到进一步发展和完善。

1.2 农林复合系统与其他几个概念的联系与区别

1.2.1 生态农业

我国著名生态学家马世骏先生于1981年首次提出了生态农业的概念,并在一系列的著作中对其进行了系统的阐述(马世骏,1987)。生态农业是指在保护和改善农业生态环境的前提下,借鉴传统农业的有效经验,以生态学、生态经济学理论为指导,运用系统工程方法、现代科学技术和手段,集约化经营的农业发展模式,能获得较高的经济效益、生态效益和社会效益的现代化农业。生态农业的核心和指导思想是应用生态系统的整体、协调、循环、再生原理,充分利用经济杠杆、市场和价值规律,使我国农业步入良性循环的轨道(李文华和赖世登,1994)。

生态农业是相对于石油农业提出的概念,是一个原则性的模式而不是严格的标准。生态农业是一个农业生态经济复合系统,将农业生态系统同农业经济系统综合统一起来,以取得最大的生态经济整体效益。它是农、林、牧、副、渔各业综合起来的大农业,又是将农业生产、加工、销售综合起来,适应市场经济发展的现代农业。生态农业要求把发展粮食与多种经济作物生产,发展大田种植与林、牧、副、渔业,发展大农业与第二、第三产业结合起来,利用传统农业精华和现代科技成果,通过人工设计生态工程,协调发展与环境之间、资源利用与保护之间的矛盾,形成生态上与经济上两个良性循环,实现经济、生态、社会三大效益的统一。

农林复合系统与生态农业之间有许多共同之处:

(1) 农林复合系统与生态农业追求的目标相似,都是依据传统农业耕作中的经验,结合当前农业发展中存在的问题,以可持续发展思想为指导,结合生态学和经济学理论,以生态效益、经济效益和社会效益的综合发展为目的的复合经营体系。

(2) 农林复合系统与生态农业的核心问题均是提高土地的生产力、发展经济、提高人民生活水平。而这一目标的实现主要是通过进行规划、调整和优化农业结构,根据生物与环境相协调适应、物种优化组合等原理,加强系统的自组织和自维持的能力,同时提高管理技术、经营水平和及时了解市场的动向。它并不反对必要的投入,而是以尽可能少的投入,求得尽可能多的产出,并获得生产发展、能源再利用、生态环境保护、经济效益等相统一的综合性效果,使农业生产处于良性循环中,尽可能不污染环境,实现生态上和经济上的两个良性循环。

(3) 农林复合系统与生态农业都力图通过多种产品来满足农民家庭及社区的多方面的经济要求,通过物质循环和能量多层次综合利用和系列化深加工,实现经济增值、废弃物资源化利用,降低农业成本,提高效益,并且使劳动力能在全年得到合理的分配,增加就

业机会,提高收入水平(李文华和赖世登,1994)。

(4) 农林复合系统与生态农业的推广应用都需要政府的扶持,而政府的扶持,最重要的就是建立有效的政策激励机制、服务体系和保障体系,发挥农业生态系统的整体功能,以大农业为出发点,按“整体、协调、循环、再生”的原则,全面规划,调整和优化农业结构,提高综合生产能力。

但农林复合系统与生态农业之间也有着明显的区别。生态农业的范围相对于农林复合经营系统要广泛得多。农林复合经营是以林木为主体、为主要经济产品,发挥主要功能的系统,其整体效益主要取决于林木种群的效能,同时其组合相对简单。而生态农业可以是农牧渔的模式,不包括林业在内;或者也可以包括林业,但并不以林木为主体。广义的生态农业不仅包括农业生产系统及其自然环境和自然资源,同时也涉及工业、交通、能源等各个环节,甚至包括人口、文化、培训、教育等内容,这远远超越了农林复合经营系统所包括的范围。从某种意义上说,复合农林经营系统可以看做是生态农业的一种模式。

1.2.2 生态林业

生态林业是指遵循生态经济学和生态规律发展林业,是充分利用适当地自然资源和促进林业发展,并为人类生存和发展创造最佳状态环境的林业生产体系。它是多目标、多功能、多成分、多层次,也是组合合理、结构有序、开放循环、内外交流、能协调发展、具有动态平衡功能的巨大森林生态经济系统。与生态农业一样,生态林业综合应用生态学、生态经济学及系统工程学等学科的原理,培育、管理与调控人工林或天然林,实现最少化的废弃物输出以及尽可能大的生产输出和生态输出,保护、合理利用和开发森林资源,实现森林的多效益的永续利用。

生态林业的主要功能是涵养水源、保持水土、防风固沙、调节气候、净化空气等,对水利工程蓄水、保水、防止泥沙淤积、延长水利工程使用寿命有巨大作用,对农牧业高产稳产起屏障作用。生态林业是现代林业的基本经营模式,其目的是发展现代生态经济生产力。生态林业的本质涵义是生态与经济协调发展的林业,其本质特征是自然和人工森林生态系统的生态平衡。生态林业把林业的经营对象作为一个完整的生态系统,从实际出发,综合运用多学科的原理和手段来调控该系统,优化其结构和功能,从而持续稳定地提供一定的高生物生产力以及发挥良好的生态环境效益和社会效益。它首先强调的是林分生态效益的发挥,其次才是经济效益的实现,从这点可以看出生态林业和农林复合系统之间存在着一定的差别。也有学者认为农林复合系统是生态林业的主要模式之一(樊巍等,2000)。

1.2.3 立体林业

立体林业是一种区别于传统林业,兼顾经济、生态和社会效益的集约化经营方式,是在对森林资源全面认识和正确评价的基础上,依据林区的资源优势和其他优势实现对林区的生物和非生物资源的综合开发,在林区建立以森林培育和木材生产为中心的多产业复合体系,并在不断实验和调整基础上,运用系统生态学、生态经济学、运筹学等科学原理,寻求建立林区最佳的产业结构和相对稳定的生产系统,以期实现最佳的经济效益、社会效益和生态效益。立体林业强调时空上多层次利用环境资源,是农林复合系统的重要

内容,是农林复合系统基本生产单元的结构形式的表现,但农林复合系统的含义要更加广泛。但同时应看到,由于立体林业也强调结构功能的优化设计,所以也不同于一般林业上所说的多种经营。

1.2.4 社会林业

社会林业也称为乡村林业(community forestry),可分为广义的社会林业和狭义的社会林业。

广义社会林业是指以保存生物基因,协调全国、大区域的生态环境为目标的社会林业。主要类型包括:①保存生物的基因的社会林业,如自然保护区。②协调大区域人类生存、生产环境的社会林业,如防护林体系、面积广袤的大林区即天然林区。

狭义的社会林业是指森林的社会功能在特定的社区发挥作用,由社区组织林业活动,社区和参与者直接受益。主要类型包括:①乡村社会林业。包括平原、山区、林区林业,以改善乡村生态环境,为村民提供薪材、饲料、食物和经济收入为宗旨。②城市林业。包括城区和郊区林业,以美化、绿化城市环境,净化空气,为居民创造优良的生活、生产、工作环境为宗旨。③特殊社区的社会林业。包括工厂、矿区、军营等特殊社区的林业,以改善本社区生活、生产、健身环境为宗旨。

社会林业的核心内容是:①当地群众自愿参与;②群众是活动的主体和受益者,而且这种活动有助于提高种植生产力,提高当地人民的生活水平,并满足人民对林产品的需求;③其影响与效果波涉面广,有利于水土保持,有利于保护森林资源;④技术手段多样,含农林复合系统、水土保持技术(梯田等)、改进柴灶,小型林产品加工,复合种植技术,防风林营造、集体林营造等。因此,社会林业主要着眼点在人、在当地群众的参与,也关心树木所提供的直接或间接的效益。

农林复合系统不同于社会林业的概念,它是指在一定面积的土地单元上通过人工对林、农或牧等进行配置的一种复合经营的生态经济系统。但是,一定面积土地单元是一个极其模糊的概念,究竟在多大的土地单元面积上复合配置才是农林复合系统,目前国际上并无明确限定,还有待研究。

1.3 农林复合原理

农林复合系统作为农业科学和林业科学的交叉领域,它主要以生态学、经济学和可持续发展思想为基本理论,而这些理论又是进行复合农林业的规划、管理和制定措施的必要科学前提。因此,理解和掌握与复合农林业相关的原理并在经营管理中主动地运用这些原理和规律,科学合理地调控农林复合系统,对指导复合农林业的建设具有重要意义。由于我国各地区自然条件和社会经济条件(自然环境特征等)存在差异性,复合农林业的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,因地制宜,采取不同的措施和方法进行复合农林业的建设(樊巍等,2000)。

1.3.1 生态系统原理

1.3.1.1 生态系统的基本概念

钱学森认为,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。一般认为,作为系统必须具备3个条件:①系统是由许多要素组成的;②各要素间是彼此互相联系、互相作用的,从而形成一个有机整体;③作为整体的系统具有独立的、特定的功能。

生态系统最初是由英国生态学家 Tansley A. G. 在 1935 年提出:“更基本的概念是……完整的系统(物理学上所谓的系统),它不仅包括生物复合体,而且还包括人们称为环境的全部物理因素的复合体……我们不能把生物从其特定的、形成物理系统的环境中分隔开来……这种系统是地球表面生自然界的基本单位……这些生态系统有各种各样的大小和种类。”可以看出,Tansley 主要强调生态系统是一定地域中各种生物相互之间以及它们与环境之间功能上的统一性。生态系统的概念后来得到了美国林德曼(Lindeman R. L.)和奥德姆(Odum E. P.)的继承和发展。现在一般认为,生态系统是指在一定的空间内,生物有机体与其生存的环境通过物质循环、能量流动和信息传递而形成的相互作用、相互依存的生态功能单元。由此可知,生态系统主要是功能上的单位,而不是生物学中分类学的单位。例如,海洋就是一个典型的生态系统,在海洋中,有海藻等植物,还有鱼、蟹等动物和各种细菌、真菌等微生物,以及阳光、空气、温度等各种非生物环境条件。生态系统概念对其范围和大小并没有严格的界限,可以是蚯蚓体内消化系统中的微生物系统,也可以是南美洲的热带雨林等生物群落型,甚至整个地球上的生物圈或生态圈,其范围和边界是随研究问题的特征而定(李博等,2000)。例如,江河的水流、大气降尘、土壤中的真菌、酸雨等,其空间尺度的变化很大,相差若干数量级。不同的研究相对应的时间尺度同样也不一致。

1.3.1.2 生态系统的组成

生态系统的组成可以分为生命部分和无生命部分两大类。无生命部分包括参加物质循环的无机元素和化合物(如 C、N、CO₂、O₂、Ca、P、K)、联系生物和非生物成分的有机物质(如蛋白质、糖类、脂类和腐殖质等)和气候或其他物理条件(如阳光、温度、压力)。生命部分根据各自在生态系统中不同的作用划分为三大功能类群:①生产者(producer),又叫自养生物(autotroph)。主要是绿色植物,也包括一些光合细菌,这些生物通过光合作用,利用简单的无机物质制造成有机物,并将太阳能转化为化学能储存在所制造的有机物中。它们在生态系统中的主要功能是进行初级生产,即光合作用。太阳辐射只有通过生产者才能源源不断地输入到生态系统,成为消费者和分解者唯一的能源。②消费者(consumer),属于异养生物(heterotroph),是指那些以其他生物或有机质为食物的动物。它们不能利用太阳能制造食物,只能直接或间接以植物为食。消费者根据其食性可分为草食动物和肉食动物。③还原者(decomposer),也属于异养生物,主要是细菌和真菌,也包括一些原生动物和腐食性动物(如甲虫、白蚁以及某些软体动物等)。它们把动植物的排泄物

和死亡有机残体等复杂的有机物逐渐分解为简单的无机物释放到环境中,被生产者重新吸收利用。分解者广泛分布于生态系统中,时刻不停地促使自然界的物质循环。

1.3.1.3 生态系统的结构

结构是指生态系统的组织层次的构建表现形式。任何一个生态系统都必须凭借着一定的结构来实现其功能,结构影响功能的效果,所以农林复合生态系统的“三效”(经济效益、社会效益、生态效益)功能,必然要求优化的系统结构。生态系统具有特定的物种结构、空间结构、时间结构和营养结构。

(1) 物种多样性结构。例如,喜马拉雅山山麓天然林生态系统的生物种类非常丰富,物种密度远远大于山体内其他生态系统。在高山区,物种种类和物种密度明显有随海拔上升而减少的趋势,并且乔木层、灌木层和草本层的 Shannon-Wiener 指数随海拔梯度的变化趋势与物种丰富度基本一致。喜马拉雅山随着海拔逐渐升高,森林群落中常见的灌木种先后被高山灌丛带的优势种替代,再往高处高山灌丛又被高山草甸地带代替,伴随优势植被的变化,地带上物种种类和密度也相应减少。

(2) 空间结构,即生态系统的立体层次结构。大多数黄土区温带森林生态系统有 3 个层次,最上层是高大树种构成的乔木层,其下依次是灌木层、草本层。同时,与植物分层现象类似,动物也因生态位不同而出现在不同的层次中。生态系统中的分层结构是生态系统在形成、成长过程中各个生物物种通过竞争、自然选择和相互适应的结果,是系统从无序走向有序的一种表现。系统分层的出现使生态系统在一定空间范围内可以容纳更多的生物种类和个体数量,最充分地利用环境空间和资源,制造更多的有机物质。复合农林间作等模式就是依据天然生态系统的分层性,根据不同的茎秆高度、根系深浅,合理搭配而形成的多层人工生态系统,从而充分利用土地资源、光能和养分,提高农业生产量。

(3) 时间结构。任何生态因子都有不同时期的循环节律,任何生物都有特定的生长发育周期,因此生态系统的结构和外观会随时间变化而发生巨大的变化,尤其是季节变化最为常见和显著。热带雨林地区由于终年炎热多雨,环境比较稳定,所以其结构和外观变化不是很明显。温带地区四季分明,使得温带阔叶林的变化较为突出,尤以草原的变化更替最为频繁。生态系统四季的变化不止表现在结构和外观上,同时生态系统的生产力、生物量、生物体内营养成分以及系统环境都会发生周期性变化。

(4) 营养结构,是指生态系统中生产者、各级消费者和分解者之间,通过营养或食物传递形成的一种组织形式,它是生态系统最本质的结构特征。生态系统中的营养结构主要是通过食物链和食物网将整个生态系统的各种生物成分连接起来,来实现物质循环和能量转化,最终维持生态系统的稳定和平衡。因此,农林复合系统要通过建立合理的营养结构,减少营养的损耗,提高物质和能量的转化效率,达到提高系统的生产力和经济效益的目的(孟平等,2004)。

从系统论上讲,系统功能有两部分组成,一是各组分的功能,二是各组分组合在一起形成的整体功能。整体功能可能是正值,也可能是负值或等于零。整体功能大于零时,说明各组分形成的整体系统结构合理,能发挥整体的正面效应;综合功能等于零时,也就是说系统的综合功能由于结构不合理而没有体现出来;综合功能小于零时,说明系统各组分

结构不合理而产生拮抗作用,即“内耗”(樊巍等,2000)。人工生态系统只有当整体功能大于零时,才代表其高效地利用了自然资源环境,并且正值越大,说明对自然资源环境的利用率越高。比如,黄土丘陵区刺槐和牧草结合的刺槐-苜蓿复合系统经济、生态功能,不但应具有刺槐的经济效益,牧草的经济效益和培肥土壤的效益,还应当体现出有林草结合以后新产生的经济、生态功能,这种功能与单纯刺槐或苜蓿所具有的经济、生态功能的差值越大,越能体现复合系统的合理性。

农林复合系统作为人工生态系统,必然要受到生态系统基本规律的制约,因而农林复合规划、管理和制定措施必须以生态系统原理为指导根据。这就要求:农林复合系统的生物成分必须与环境条件相适应,保证生物成分和环境之间能进行良好的物质循环和能量转换;要明确生物成分之间的相互关系、相互作用,避免各成分在组成生态系统整体时出现“内耗”。总体而言,就是必须保证物质循环和能量流通过程的通畅,保证农林复合系统作为有机整体的统一性,能充分发挥系统的整体功能,同时,还应采取措施加速或强化这两个过程,提高系统的生产能力(李文华和赖世登,1994)。

1.3.2 生态平衡及调节

1.3.2.1 生态平衡的概念

生态平衡(ecological balance)是指在一定时间内生态系统中的生物和环境之间、生物各个种群之间,通过能量流动、物质循环和信息传递,相互之间达到高度适应、协调和统一的状态。也就是说当生态系统处于平衡状态时,系统内各组成成分之间保持一定的比例关系,能量、物质的输入与输出在较长时间内趋于相等,结构和功能处于相对稳定状态,在受到外来干扰时,能通过自我调节恢复到初始的稳定状态。在自然条件下,生态系统的演替总是自动地向着生物种类多样化、结构复杂化和功能完善化的方向发展。只要有足够的时间和相对稳定的环境条件,生态系统迟早会进入生态平衡阶段。那时它的生物种类最多,种群比例适宜,总生物量最大,生态系统的内稳性最强。同时,生态平衡是一种动态的平衡,在人为有益的影响下,可以建立新的平衡,达到更合理的结构、更高效的功能和更好的生态效益。

1.3.2.2 生态平衡的失调与调节

通过反馈机制,尤其是负反馈具有的自我调节能力,生态系统在受到一定干扰后能恢复原初的稳定状态,保持自身的生态平衡。但是生态系统的自我调节功能是有一定限度的,只能在一定条件下、一定范围内起作用,如果干扰过大超出了生态系统本身的调节能力,就会导致生态平衡的破坏,这个临界限度叫生态阈限。生态阈限取决于环境的质量和生物的数量。在阈限内,生态系统能承受一定程度的外界压力和冲击,具有一定程度的自我调节能力。超过阈限,自我调节不再起作用,系统也就很难回到原初的生态平衡状态。生态阈限的大小取决于生态系统的成熟程度,生态系统越成熟,它的种类组成越多,营养结构越复杂,稳定性越大,对外界的压力或冲击的抵抗能力也越大,即阈值高;相反一个简单的人工的生态系统,则阈值低(Chapman and Reiss, 2001)。生态平衡阈值可以将自然