

高 等 院 校 研 究 生 教 材

热带农林复合生态工程

胡耀华 陈秋波 周兆德 等编著



中国林业出版社

高等院校研究生教材

热带农林复合 生态工程

胡耀华 陈秋波 周兆德 等编著

中国林业出版社

图书在版编目(CIP)数据

热带农林复合生态工程/胡耀华等编著. —北京:中国林业出版社,2006

ISBN 978-7-5038-4696-0

I. 热… II. 胡… III. 热带—林粮间作—生态系统—研究 IV. S344.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 005596 号

中国林业出版社·教材建设与出版管理中心

责任编辑:肖基洪

电话:66170109 66188720 传真:66170109

出版发行 中国林业出版社(100009 北京市西城区德内大街刘海胡同7号)

E-mail:cfphz@public.bta.net.cn 电话:(010)66184477

网 址:http://www.cfph.com.cn

经 销	新华书店
印 刷	北京市昌平百善印刷厂
版 次	2006 年 12 月第 1 版
印 次	2006 年 12 月第 1 次印刷
开 本	850mm × 1168mm 1/16
印 张	18
字 数	438 千字
定 价	32.00 元

凡本书出现缺页、倒页、脱页等质量问题,请向出版社图书营销中心调换。

版权所有 侵权必究

从20世纪六七十年代以来,人类开始面临人口剧增、粮食不足、能源短缺、资源破坏和环境污染五大危机。如何解决这些危机?既是各国政府面临的重大任务,又是摆在各国科学家面前需要研究解决的重大课题。

农林复合生态工程,是在同一土地管理单元上,人为地将农、林、牧、副、渔各业,全部或部分地有机结合在一起,实行一地多用、立体生产的一种复合工程。由于它的组分结构配置合理、类型复杂、生产功能多样、生态防护效能稳定以及土地利用率高等特点,因而能很好地把发展经济和改善环境结合起来,是当今世界有效地解决粮食、资源和环境危急的一项有效措施。因此从20世纪70年代起,现代农林复合生态工程便在全世界迅速兴起,引起了许多发达和发展中国家政府部门的重视,并成为各国农林和生态学家们研究的课题。1977年,在肯尼亚首都内罗毕,由发达和发展中国家共同发起组成的国际农林复合生态系统研究协会的成立,就是这一发展趋势的重要标志。从此,农林复合生态工程的研究和实践,便进入到了一个新的阶段,即从传统的农林复合生态工程阶段进入到了现代农林复合生态工程阶段。

近30余年来,我国的农林复合生态工程建设取得了巨大成就。特别在我国南方地区,由于其生物种类多,光、热、水资源丰富,加之人多地少,更是把发展农林复合生态工程当作实现农村社会经济可持续发展的一项重要措施来抓,各地从自身的自然和社会经济条件出发,构建出了形式多种多样的有着良好经济、生态和社会效益的农林复合生态工程。及时地和系统地总结这些新的成果和经验,无论是对进一步推动我国农林复合生态工程的建设还是对深入开展这方面的研究工作均十分必要。本书正是出于这样一个动机而编写的。目的在于让读者通过对本书的学习,能够进一步地开展对农林复合生态工程的研究和实践,并创造出更加辉煌的科研和生产成果。

本书共11章。第1章绪论,主要讨论了农林复合生态工程的意义、作用、发展简史、研究内容与方法以及同其他学科的关系。第2章是农林复合生态系统的发展现状及其作用。主要介绍了农林复合生态系统的概念、国内外发展近况以及农林复合生态系统在农村可持续发展中的地位和作用。第3章是农林复合生态系统的结构、功能和类型。特别指出了热带地区与非热带地区的农林复合生态系统在结构、功能方面所存在的差异。第4章是农林复合生态系统的种群互作。除介绍了种群互作的分类外,还重点讨论了植物的种间竞争、邻体干扰、密度效应和化感作用。第5章是农林复合生态系统的基本性质。重点讨论了农林复合生态系统的生产力、稳定性和经济效率。第6章是农林复合生态系统的数学模型。主要介绍了数学模型的一般知识,以及最优规划模型、时间序列模型、动态系统模型和分室模型的构建方法 and 应用实例。第7章是农林复合生态工程建设常用农业生态技术。主要介绍了协调生态位技术、生物物质和能量的多级利用技术、有机废弃物的生物利用技术、病虫害的生物防治技术、种植多用途树种技术以及能

量利用技术等。第8章是农林复合生态工程设计,除讨论了农林复合生态工程设计的原理原则、目标任务、设计内容与步骤外,还重点讨论了结构设计意义与内容。第9章和第10章分别是农林复合生态工程的管理与综合效益评价,前者主要讨论农林复合生态工程的项目及信息管理方法、可行性研究报告的编写以及工程的优化调控等内容,后者即结合实例,重点介绍了农林复合生态工程的能流、物流分析以及综合效益的评价方法。第11章是中国热带、南亚热带地区的主要农林复合生态工程。重点介绍了林农复合、林牧复合、农林牧(渔)复合、特种农林复合以及农户庭院农林复合生态工程等多种生态工程类型。

本书的编写人员分工如下:陈秋波负责编写第1章、第2章,并参与编写了第4章部分内容;谢贵水、胡耀华负责编写第3章;吴志祥参与编写第4章部分内容;戚春林负责编写第5章,并参与编写了第9章部分内容;龙广宇负责编写第6章;胡耀华负责编写前言、第7章、第8章、第10章以及第3章、第11章的部分内容,第4章和第9章的大部分内容;何春生负责编写第11章。全书由胡耀华、陈秋波、周兆德统稿并定稿。

在编写本书前,部分作者参加了海南省人民政府在屯昌、琼中、五指山、保亭和陵水等5县(市)开展的以建立农林复合生态工程为主要内容的“生态扶贫”工作,本书的部分内容,就是对这方面的生产和科研成果的总结。

本书编写是个尝试,内容和体系还在不断完善中,书中肯定存在一些错误,恳请专家、读者批评指正。

本书由南京林业大学周芳纯教授审阅,并提出了不少宝贵意见,在此谨表示衷心的感谢。

编著者

2006年9月

前 言

第1章 绪论	(1)
1.1 热带农林复合生态工程的意义和作用	(1)
1.2 农林复合生态工程发展简史	(3)
1.3 热带农林复合生态工程的研究内容与方法	(5)
1.3.1 研究尺度	(5)
1.3.2 研究内容	(5)
1.3.3 研究手段和研究方法	(6)
1.3.4 研究方式	(6)
1.4 农林复合生态工程与其他学科的关系	(6)
1.4.1 农林复合工程与生态工程的关系	(6)
1.4.2 农林复合生态工程与农业生态工程和种植业生态工程的关系	(7)
1.4.3 农林复合生态工程与林业生态工程的关系	(7)
1.4.4 农林复合生态工程与生态工程、环境工程及生物工程的差异	(8)
本章参考文献	(8)
第2章 农林复合生态系统的发展现状及其作用	(10)
2.1 农林复合生态系统的概念	(10)
2.2 农林复合生态系统的产生和国内外发展近况	(11)
2.2.1 农林复合生态系统崛起的历史背景	(11)
2.2.2 世界各地农林复合生态系统的发展状况	(12)
2.2.3 我国农林复合生态系统的发展状况	(14)
2.3 农林复合生态系统在农村可持续发展中的地位 and 作用	(19)
2.3.1 促进农业的持续发展	(20)
2.3.2 推动林业的持续发展	(20)
2.3.3 促进畜牧业的持续发展	(21)
本章参考文献	(21)
第3章 农林复合生态系统的结构、功能和类型	(23)
3.1 农林复合生态系统的结构	(23)
3.1.1 农林复合生态系统的基本特点	(23)
3.1.2 农林复合生态系统的结构	(25)

3.1.3 热带地区与非热带地区农林复合生态系统结构的异同	(26)
3.2 农林复合生态系统的功能	(28)
3.2.1 农林复合生态系统的自然功能	(28)
3.2.2 农林复合生态系统的保护功能	(29)
3.2.3 农林复合生态系统的生产功能	(37)
3.2.4 农林复合生态系统的文化功能	(42)
3.3 农林复合生态系统的分类	(44)
3.3.1 分类的原则和依据	(44)
3.3.2 农林复合生态系统的分类方法及类型	(44)
本章参考文献	(52)
第4章 农林复合生态系统的种群互作	(56)
4.1 种群互作的分类	(56)
4.1.1 生物与非生物的互作	(56)
4.1.2 生物型互作	(57)
4.2 农林复合生态系统中的植物竞争	(58)
4.2.1 竞争的形式	(59)
4.2.2 植物对环境资源的竞争	(59)
4.2.3 竞争的影响因素	(61)
4.3 植物的邻体干扰	(64)
4.3.1 邻体干扰的一般概念	(64)
4.3.2 植物邻体干扰强度的度量	(64)
4.3.3 邻体干扰与群落动态	(65)
4.4 植物的密度效应	(66)
4.4.1 最终产量恒定法则	(67)
4.4.2 $-3/2$ 自疏法则	(67)
4.4.3 描述林分密度效应的其他数学模型	(68)
4.5 植物的化感作用	(69)
4.5.1 植物对植物的化感作用	(69)
4.5.2 植物与微生物的化感作用	(72)
4.5.3 植物与草食动物间的化学相互作用	(74)
本章参考文献	(76)
第5章 农林复合生态系统的基本性质	(79)
5.1 农林复合生态系统的生产力	(79)
5.1.1 生产力的基本概念	(79)
5.1.2 农林复合生态系统生产力的特点	(81)
5.1.3 农林复合生态系统生产力的潜力和现状	(81)
5.1.4 提高农林复合生态系统生产力的途径	(85)
5.2 农林复合生态系统的稳定性	(87)

5.2.1	生态系统稳定性的概念、内涵和外延	(87)
5.2.2	人工生态系统稳定性的评价方法	(88)
5.2.3	农林复合生态系统稳定性的影响因子	(93)
5.2.4	提高农林复合生态系统稳定性的途径	(95)
5.3	农林复合生态系统的经济效率	(96)
5.3.1	生态系统经济效率的概念及内涵	(96)
5.3.2	农林复合生态系统的经济效率	(96)
	本章参考文献	(97)

第6章 农林复合生态系统的数学模型 (99)

6.1	数学模型的一般知识	(99)
6.1.1	模型的基本概念	(99)
6.1.2	模型的特征	(100)
6.1.3	数学模型的类型与用途	(101)
6.1.4	数学模型的建立步骤	(102)
6.2	最优规划模型	(103)
6.2.1	线性规划 (LP) 模型	(103)
6.2.2	整数规划 (IP) 模型	(106)
6.3	时间序列模型	(119)
6.3.1	灰色模型 (GM)	(119)
6.3.2	灰色关联度分析	(124)
6.4	动态系统模型	(127)
6.4.1	动力学模型的描述	(127)
6.4.2	建模步骤	(129)
6.4.3	应用实例	(130)
6.5	分室模型	(134)
6.5.1	确定系统的边界和分室	(135)
6.5.2	构建系统模型	(135)
6.5.3	进行模拟实验	(136)
6.5.4	敏感性分析	(136)
6.5.5	应用实例	(136)
	本章参考文献	(143)

第7章 农林复合生态工程建设常用农业生态技术 (144)

7.1	中国农业生态技术的特点	(144)
7.1.1	继承了中国传统农业的精华	(144)
7.1.2	较充分的利用和合理保护自然资源	(144)
7.1.3	可以有效地连接不同的农业组分	(145)
7.2	几种常用农业生态技术	(145)
7.2.1	协调生态位技术	(145)

7.2.2	生物物质和能量的多级利用技术	(146)
7.2.3	生产自净技术	(147)
7.2.4	有机废弃物的生物利用技术	(147)
7.2.5	病虫害的生物防治技术	(150)
7.2.6	种植多用途树种技术	(151)
7.2.7	能量利用技术	(154)
7.3	现代农业技术的生态化改造	(157)
7.3.1	控效肥料	(157)
7.3.2	生物肥料	(158)
7.3.3	新型农药	(158)
7.3.4	降解膜	(158)
	本章参考文献	(159)
第8章	农林复合生态工程设计	(160)
8.1	设计的原理和原则	(160)
8.1.1	设计原理	(160)
8.1.2	设计原则	(162)
8.2	工程设计的目标任务、内容与步骤	(163)
8.2.1	工程设计的目标和任务	(163)
8.2.2	设计的内容与层次	(164)
8.2.3	设计的具体步骤	(166)
8.3	农林复合生态工程的结构设计	(168)
8.3.1	结构设计意义与内容	(168)
8.3.2	平面结构设计	(169)
8.3.3	垂直(立面)结构设计	(171)
8.3.4	时间设计	(182)
8.3.5	食物链结构设计	(183)
8.4	农林复合生态工程设计的选优	(186)
8.4.1	经验判断法	(186)
8.4.2	层次分析法	(186)
8.4.3	灰色系统方法	(188)
8.5	农林复合生态工程建设方案的组织实施	(191)
	本章参考文献	(194)
第9章	农林复合生态工程的管理	(196)
9.1	农林复合生态工程管理的基本内容	(196)
9.1.1	农林复合生态工程管理的目标、任务与特点	(196)
9.1.2	农林复合生态工程管理的基本过程	(198)
9.1.3	农林复合生态工程管理的基本原则	(199)
9.1.4	农林复合生态工程管理与方法	(199)

9.2 农林复合生态工程的项目管理	(201)
9.2.1 项目管理的一般知识	(201)
9.2.2 农林复合生态工程规划	(202)
9.2.3 农林复合生态工程项目的可行性研究	(206)
9.2.4 农林复合生态工程的施工管理、竣工验收及后评价	(206)
9.3 农林复合生态工程的信息管理	(207)
9.3.1 信息的管理过程	(207)
9.3.2 农林复合生态工程信息管理的基本要求	(209)
9.3.3 现代管理信息系统	(210)
9.4 农林复合生态工程可行性研究	(212)
9.4.1 可行性研究的概念和作用	(212)
9.4.2 可行性研究的程序和内容	(213)
9.4.3 农林复合生态工程项目的财务分析与经济评价	(214)
9.4.4 可行性研究报告的编写和报审	(218)
9.5 农林复合生态工程的优化调控	(219)
本章参考文献	(223)
第10章 农林复合生态工程的分析与综合效益评价	(224)
10.1 农林复合生态工程的能流和物流分析	(224)
10.1.1 模型图解法能流分析	(224)
10.1.2 能值分析	(225)
10.1.3 物质循环分析	(231)
10.2 农林复合生态工程的综合评价	(232)
10.2.1 评价的基本原则	(232)
10.2.2 农林复合生态工程的评价方法	(233)
10.3 农林复合生态工程综合评价的若干实例	(240)
本章参考文献	(245)
第11章 中国热带、亚热带地区的主要农林复合生态工程	(247)
11.1 林(果)农复合生态工程	(247)
11.1.1 林(果)农间作型	(247)
11.1.2 林农轮作型	(251)
11.1.3 绿篱型	(253)
11.1.4 农田林网型	(253)
11.2 林牧复合生态工程	(253)
11.2.1 林草结合型	(253)
11.2.2 林牧结合型	(254)
11.3 农林牧(渔)复合生态工程	(257)
11.3.1 基塘系统	(257)
11.3.2 猪—沼—果复合生态工程	(259)

11.3.3	多层次利用山地, 林、农、牧、渔立体开发生态工程	(260)
11.4	特种农林复合生态工程	(261)
11.4.1	林林间作型	(261)
11.4.2	林—藤混交型	(264)
11.4.3	林药间作型	(265)
11.4.4	林—切叶花卉间作型	(269)
11.4.5	林—菌结合型	(270)
11.4.6	林(果)—经济昆虫结合型	(271)
11.5	农户庭院农林复合生态工程	(272)
	本章参考文献	(274)

农林复合生态工程 (agroforestry ecological engineering), 又称农林复合经营、农林复合系统、农林业系统、复合农林业、农用林业、农地林业或混农林业, 是一门研究如何将生态工程原理与技术应用于农林复合生态系统建设的学科, 出现在应用生态学、农业科学和林业科学的交叉领域, 是一门新兴的边缘性应用学科。它的出现, 既为农、林业的可持续发展提供了一新的思维和新的领域, 也为恢复生态学提供了一条途径。热带农林复合生态工程则是农林复合生态工程学的理论与技术在热带与南亚热带地区的具体应用, 其基本任务就是研究和如何构建优良的热带农林复合生态系统。

1.1 热带农林复合生态工程的意义和作用

热带农林复合生态工程, 研究的是如何通过人工设计, 构建或修复一个具有优质、高效、稳定和可持续的热带农林复合生态系统。以协调人与自然的的关系, 从而使人类对环境、资源的管理更加有效, 对农业自然资源的利用更加合理, 有利于实现农业与农村的可持续发展。具体来说, 热带农林复合生态工程具有如下意义和作用。

第一, 是一项以生物措施为手段的资源管理系统。通过充分发挥林木的生理、生态功能, 可以为资源利用率的提高创造有利的外部条件。例如, 在农田上构建防护林网, 就可减轻台风对海南省和广东雷州半岛地区的橡胶、果园和农作物的危害。在干热风严重的黄淮海平原, 便会很好地减免干热风的危害, 提高农作物产量。如果在林带中再间作作物, 则增产的效果会更为明显。据张祥明 (2000) 在淮北平原蒙城农业综合试验区的多年观测表明: 以黑杨为主体的东西向主林带和南北向副林带, 配合侧柏、紫穗槐及牧草地面覆盖, 综合防风效能达 35% ~ 40%, 黄淮海平原地区的银杏—杨树混交生态经济复合林带, 4 ~ 6 月期间可使防护地区的农田风速降低 18.9% (张劲松, 2002)。此外, 林带在调节空气温度、湿度、降低作物蒸腾或牧草蒸腾、减少耗水强度以及改善土壤物理属性、改良盐碱地、提高土壤肥力等方面也有很大作用。例如, 河北景县董庄村实现林网化后, 地下水位由 2.4m 降至 4.2m, 土壤含盐量由 0.4% ~ 0.5% 降至 0.08%。另据高椿翔 (2000) 报道: 株行距 3m × 15m 的枣粮间作系统、4m × 25m 的桐粮间作系统、3m × 20m 的杨粮间作系统, 在小麦灌浆的 5 ~ 6 月期间, 对比空旷地区的麦田, 可分别降低气温 1.2 ~ 5℃、0.4 ~ 2.3℃ 和 1 ~ 2℃, 相对湿度分别提高 5% ~ 10%、7% ~ 10% 和 6% ~ 11%, 有效地减轻了干热风对小麦的危害。张劲松等 (2000) 也研究证实: 太行山低山丘陵区苹果园栽培平菇可使 0 ~ 50cm 土层土壤有机质含量提高 45.8%, 速效氮含量及速效钾含量分别提高 31.0%、39.3%。

第二, 是一种多产业的有机组合。即在同一地块上, 将“一维”的农业生态系统转为“多维”的农林复合生态系统, 增加了系统在空间上和时间上的多样性, 充分地

挖掘生物资源潜力,并通过生态环境的改善,最大限度地提高了气候和土地等资源的利用率。

据骆林川等(1993)研究:在5年生的橡胶园中间作咖啡、胡椒,其光能利用率可高达1.07%。李德意等(1999)研究表明:在38年生的海南石梓林中间种益智,其光能利用率平均达1.71%,比石梓纯林高4.9%;在34年生的母生林中间种咖啡,其光能利用率比母生纯林平均提高44%,如间种益智,则平均提高1.05倍。非热带地区的情况也是如此。如据王忠林等(1998)报道:渭北旱塬淳化县的农林复合系统体系,可使作物光能利用率和能量转换效率分别提高52.64%和42.89%,而且早年的作物光能利用效率的提高幅度高于丰水年;张劲松等(2001)指出:太行山低山丘陵区苹果—生姜间作系统土地当量值可达1.64,总体土地利用率比单作果园高64%。

第三,将高投入、高产出的农业系统转变为主要依靠系统自给、生物自肥的自然或半自然的自我控制系统,从而可加快系统的物质循环和能量流动,提高农业生产率和系统稳定性。

周再知等(1997)的研究表明:广东省雷州半岛地区橡胶与砂仁复合系统可明显增加林分植物库中营养元素的含量,复合系统中营养元素总积存量达 $3\,447.07\text{kg}/\text{hm}^2$,是纯胶林的2.53倍;营养元素总归还量每年每公顷为 363.26kg ,是纯胶林的1.44倍;复合系统中营养元素的年吸收总量为 $1\,083.43\text{kg}/\text{hm}^2$,是纯胶林的2.1倍。吴刚等(1994)指出,黄淮海平原果粮间作系统年净固定能量是单作麦田的1.56倍,系统能量现存量是单作麦田的2.47倍,光能转化率比单作作物提高56.1%。向成华等(1996)对川中浅丘农区坡地农林复合生态系统价值流的研究结果表明:复合系统与相应的对照系统相比,具有明显的价值积累效应和较高的价值积累速率,其纯收益、劳动力产值分别增加了24.46%~37.11%和21.08%~29.60%。

第四,在体现生态、社会效益的同时,强调系统的经济效益。它不仅能增加作物产量,而且可多目标、多层次、多方位地利用林木、农作物、饲养业的副产品,有利于农民增加收入,实现经济和环境的协调发展。

据统计,截至1998年,三北地区已营造 $240 \times 10^4\text{hm}^2$ 农田防护林,有65%的农田得到了防护林的保护,粮食年增产逾 $1\,000 \times 10^4\text{t}$ 。宋兆民等(1990)对黄淮海平原农区营造5年的3个逾 667km^2 的综合防护林体系所作的经济效益进行分析表明:综合防护林体系可获得219.6万~331.9万元的总产值,其中直接效益平均为187.4万元,间接效益为88.104万元。产投比值达到1/10,投资回收期仅为3年,对当地农业经济的发展起到了巨大的推动作用。

第五,有助于减轻农林争地的矛盾。鉴于我国人口不断增长、资源和环境不断恶化的状况,以牺牲林业用地来满足粮食需求,或依靠减少耕地面积大幅度地提高林木覆盖率、改善环境都是不可取的,也是不现实的。而农林复合生态系统作为一种土地利用制度,在粮食不减产的同时,实现了林木覆盖率的提高,解决了长期以来未能很好解决的“农林争地”的矛盾,为协调粮食增产、经济发展和环境建设之间的矛盾提供了重要保证。

第六,可促进山区粮食与商品生产同步发展。在山区进行农林复合经营既可获得粮食又可发展商品经济。山区因山高坡陡,粮食生产十分困难,加之商品经济不发达,难以摆脱贫困。其根本出路是打破封闭的自然经济,改传统林业的单一生产结构为多产业

结构,因地制宜地利用林地、灌丛地套种间作,生产更多的粮、油、瓜果、茶、菜、药等大量产品,甚至生产一些出口创汇的产品,以增加经济收入。这样也就有了发展加工业的基础。我国山区现在已建立了大量的经济林,农林牧果副综合发展,使农民得以脱贫致富,就是进行农林复合生态系统建设的结果。

第七,在平原地区可增加农林产值。有些平原区,如云、贵、川等省的一些坝子,人多地少,仅种粮食很难脱贫。如能进行农林复合生态系统建设,则可以在立体种植情况下,对空间多层利用。又如西双版纳的林—胶—菠萝—粮(豆)的复合经营系统,北方的林—粮—食用菌等,在同一块地上于不同层次的空间生产多种产品,大大提高了单位面积的产值。在一个小小的庭院,种上果树、瓜类与葡萄(爬架),树间种菜,棚下种药材,菜叶和杂草还可养兔,不但可以不断吃到鲜菜、鲜果,而且还有一笔不少的收入。

第八,是以短养长,解决育林资金,扩大林业生产的重要途径。在幼林地上间种农作物与经济作物,能够以耕代抚,在提高粮食产量的同时,可以加快林木生长,既可减少营林支出,又可在短期内得到一些收益,较好地解决育林资金。我国南方山地杉粮间作就是这样一类普遍应用的经营方式。

第九,是改善生态环境、维持生态平衡的有效措施。建立农林复合生态系统,可以改变因树种、作物单一,而过分消耗地力的状况。该系统中的树木之枯枝落叶所含养分可以归还土壤。在林地上间作的农作物,由于林木保护可以有更好的生育环境,而且林木的水土保持作用,还会使土壤不会退化。由农林多物种构成的系统,食物链更为复杂,这样可以减少病虫害的发生,也就能提高生态系统的稳定性。

第十,能充分利用农村的剩余劳力。农林复合生态系统建设需要集约化经营管理。由于该系统既有种植业,又有养殖业,还需利用复合系统中的原料开展就地加工,这样就需要较多的劳力,可以使较多的农村劳力就地“消化”,使乡村繁荣。三北地区已有林业多种经营项目2 600多个,安排从业人员63万人,收入6亿多元,仅利税就达1亿多元。

但是,人们在设计和实施农林复合生态系统工程时,若物种选择不当、配置不合理、管理不科学,也会导致农林减产、病虫滋生等不良后果。

总之,农林复合生态工程所建立的农林复合生态系统是一个多种群、多功能、低投入、高产出、持续稳定的复合生态系统,具有很好的经济效益、社会效益、生态效益与环境效益。它在解决农林争地矛盾、挖掘生物资源潜力、协调资源合理利用、改善与保护生态环境、促进粮食增产及经济的持续发展以及增加劳动力就业等方面均具有重要的理论和实践意义。农林复合生态工程学在中国农业的可持续发展中具有重要地位。随着我国农业产业结构的进一步调整和优化以及农业可持续发展战略的推进,农林复合生态工程学必将会有更为广阔的发展空间和更加美好的前景。

1.2 农林复合生态工程发展简史

农林复合生态工程虽然早在1000多年前就已存在,但人们对它的认真总结并将其建筑在科学基础上则是开始于20世纪的中期。1950年Smith著的《树木作物:永久的农业》(*Tree crops: A Permanent Agriculture*)一书,被认为是第一部关于农林复合经营

系统的专著。King 于 1968 年从复合经营的角度对农林复合生态系统进行了研究,并使用了术语“Agri-silviculture”。20 世纪 70 年代,针对发展中国家食品、环境和能源等问题的日趋严重,Mcnamara (1973) 对世界银行的农业和林业发展策略与实现途径进行了重新评价,联合国粮农组织 (1974) 也重新审定了其林业发展策略,从而使后来的林业援助项目向农区林业的发展倾斜。

1977 年,加拿大人 John Bene 在加拿大国际发展研究中心 (IDRC) 的委派下完成了一份关于贫困的热带国家农业与林业状况的报告《树木、粮食与人》(*Trees, Food and People*)。他在报告中指出:“有限考虑的应该是使土地最优化利用的综合林业、农业和(或)畜牧业的联合生产系统。”他把这一土地利用方式称为“agroforestry”(一般译为“农林复合经营”,本书称为“农林复合生态工程”),并建议组建一个国际研究机构专门从事这方面的研究。实际上“agroforestry”这一用语在 20 世纪 60 年代后期就已经出现了。

因此 1977 年,国际农林复合经营研究中心 (ICRAF) 在 IDRC 的促进下成立。从此,农林复合生态工程学被正式确立为一个特殊的分支学科领域,登上了农林业研究的舞台。1979 年 ICRAF 举办了农林复合生态工程土壤研究和农林复合生态工程国际合作两个国际会议,吸引了全世界有关的知名专家,使农林复合生态工程的研究开始进入热潮阶段。

20 世纪 80 年代前半期许多学者对农林复合生态系统 (agroforestry ecosystem) 的优点及潜力进行了广泛探讨,并提出发展设想,这一时期理论与应用研究都有相当进展,包括农林复合生态系统的理论基础、系统分类和设计,以及建立农林复合生态系统数据库等。

ICRAF 从 1982 年开始在发展中国家进行农林复合生态工程实践的普查并取得巨大成果。这项研究第一次在世界范围内系统地收集了关于农林复合生态系统的类型、分布、结构和功能方面的信息。当时了解到,世界上有 2 000 多种农林复合生态系统,在热带与亚热带地区有一半农村在 2/3 的土地上进行着农林复合生态工程活动。

到了 20 世纪 90 年代初,大量的多用途树种已被筛选出来,并发表了许多定位试验结果,不同组分间界面的研究更加深入,树木的作用机理逐渐被证实。1991 年发表了以“农林复合经营理论与实践”为题的专论,它标志着农林复合生态工程学科学研究体系的基本形式。

近几年来,国际上农林复合生态工程的量化研究和整体水平研究进一步加强,有些研究借助模型手段已经可以为实际工作提供指导。同时,有许多地区推广培训也已形成制度。特别是农林复合生态工程不仅只对发展中国家,而且对一些经济发达国家也已产生良好的影响。

如今,很多国际机构都将农林复合生态工程作为一个重要的研究领域。许多国家和地区设立了与农林复合经营有关的机构、网络和试验站。

当前,国际上吸取了“绿色革命”的教训,并已把注意力转向了探索农业可持续发展的途径上,农林复合生态工程顺应了这一形势从而得到了更快的发展,经营模式越来越复杂,设计与评价也越来越合理,并且今后会有更广阔的前途。在我国,农林复合生态工程已成为生态农林业的主要内容。

1.3 热带农林复合生态工程的研究内容与方法

1.3.1 研究尺度

热带农林复合生态工程研究的空间尺度有微观的,也有宏观的,今后应加强微观与宏观的结合。微观方面,一是要加强农林复合生态系统间竞争机制及时空配置的定量研究,为复合系统的物种选择及模式优化提供必要的理论依据;二是要深入揭示农林复合系统的生物多样性、结构多样性和功能多样性的原理,为高效、稳产、高产的发展模式提供理论依据。宏观上,要加强农林复合生态系统景观特征和地域差异的研究,深入研究农林复合生态系统区域性生态、经济和社会效应及其影响机制。

时间尺度注重长期性和动态性。由于林木生长周期长,而各类农作物、树木及牧草等均存在物候期,并有一定的差异性,其生长过程不仅受气候因素的影响而且还具有地域性,因此,长期性与动态性研究工作对全面揭示农林复合生态系统功能特征及其影响机制十分必要,建立长期性农林复合生态系统试验研究基地是最有效的途径之一。

1.3.2 研究内容

热带农林复合生态工程的研究内容是随着社会、经济与科学技术的进步而不断发展的。当前和今后一段时间,其主要研究内容大致如下:

- ① 适合热带地区农林复合生态工程的优良树种(特别是多用途树科)的选用;
- ② 最合理的农林复合生态系统的组合;
- ③ 区域性高效农林复合生态系统的景观配置、时空结构及食物链结构的优化技术研究;
- ④ 热带生态脆弱区(干旱、半干旱地区及石漠化地区)农林复合生态系统的时空模式配置与优化技术研究;
- ⑤ 热带生态脆弱区(干旱、半干旱地区及石漠化地区)农林复合生态系统的时空及食物链结构的调控及可持续经营管理技术研究;
- ⑥ 生物技术在农林复合生态系统物种选择中的应用研究;
- ⑦ 热带农林复合生态系统水热传输及其耦合过程的试验与模拟;
- ⑧ 热带农林复合生态系统养分循环的试验与模拟;
- ⑨ 热带农林复合生态系统冠层结构的动态模拟;
- ⑩ 热带农林复合生态系统的生态学过程及其演替规律研究;
- ⑪ 水源地农林复合生态系统种间水分关系的研究;
- ⑫ 城郊结合带农林复合生态系统净化空气效应及其影响机制的研究;
- ⑬ 热带农林复合生态系统减轻温室气体效应的研究;
- ⑭ 热带农林复合生态系统保护生物多样性效应的研究;
- ⑮ 次生天然林、灌木林农林复合生态工程的途径、方法与效益;
- ⑯ 热带农林复合生态系统与循环经济研究;
- ⑰ 热带农林复合生态系统生态产业化研究;
- ⑱ 农林复合生态工程资源调查和信息管理系统的研究;

①9 农林复合生态工程区域性生态、经济及社会效益的计量与评估。

1.3.3 研究手段和研究方法

农林复合生态工程的研究方法与手段主要是生态学、农学和林学研究方法与手段的适当配合。总的趋势是理论与试验研究、模拟研究相结合。在理论分析的基础上,需注重试验研究和模拟研究相结合。试验研究具有数据的真实性等优点,模拟研究则克服了田间试验难以长期、连续、多点采集数据的局限性。我国农林复合工程以往的研究手段总体而言仍停留在田间试验水平上,许多试验观测结果受地域和气候条件的局限,影响了试验数据的时空连续性,降低了研究成果的推广应用价值。因此,在开展试(实)验工作的同时,要加强模拟研究和定量分析,如种间水分关系和养分关系的模拟研究、系统资源动态管理及系统内植物生长的仿真动态模拟等。

随着科学技术的进步,特别是电子技术、信息技术和网络技术等农业和林业、土壤、气象等学科领域内广泛应用,发达国家农林复合生态系统试验观测及数据的采集大都采用自动化手段。我国因经济条件限制,农林复合生态系统的试验手段无论从技术方面,还是区域和范围来看,均较发达国家落后。但随着农业可持续发展战略的进一步推进,林业跨越式发展战略的实施以及我国综合国力的增强,我国农林复合生态工程理论与技术的研究必将进一步加强,现代化的各种观测研究手段也必将越来越广泛地得到应用。

1.3.4 研究方式

农林复合生态工程学是一门边缘性交叉学科,因此其研究方式应注重多专业、多学科、多部门的联合和渗透,以积极发挥整体研究优势,实现研究、教育、推广、生产一体化,将研究成果更好更快地应用于农林复合生态工程的生产实践。

1.4 农林复合生态工程与其他学科的关系

1.4.1 农林复合工程与生态工程的关系

生态工程是指应用自然生态系统原理,通过同自然环境合作,进行的对人类社会和自然环境双方都有利的复合生态系统设计的科学;生态工程是建立在少花费、低能耗而更有效地利用自然资源的基础上,增加社会财富的同时,又能使人类社会与自然环境都可持续发展的生态设计、生态保育、生态恢复、生态更新和生态管理等技术综合。生态工程(ecological engineering)包括农业生态工程,工业生态工程,环境生态工程,湿地生态工程,景观生态工程,城市园林生态工程,区域生态工程,等等。

农林复合生态工程是指在同一土地管理单元,人为地把多年生木本植物(乔木、灌木)与其他栽培植物(农作物、药用植物、经济植物以及真菌等)和动物,在空间上或按一定时序安排在一起而进行管理的土地利用和经营系统。在农林复合生态系统中,不同的组分应具有生态学和经济学上的联系。

由此可见,生态工程和农林复合生态工程应用的都是自然的生态原理,都是对人类作用的对象进行系统设计,使其按照人类的意愿方向发展。生态工程是整体,是上一级