



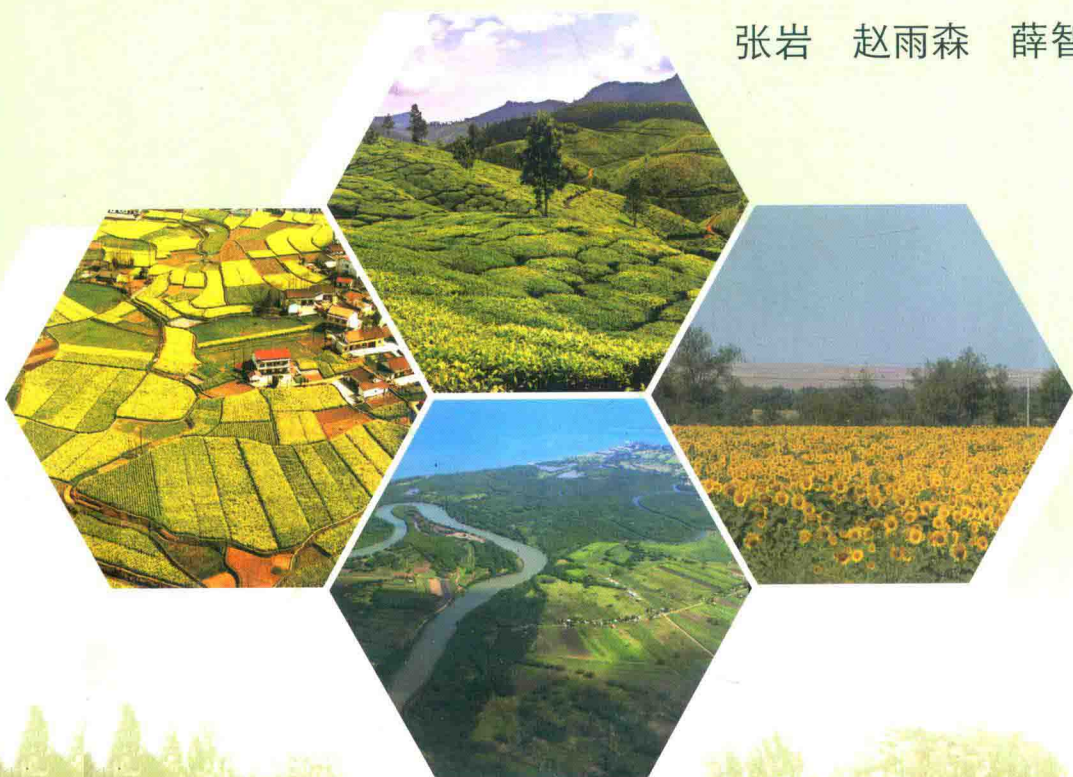
国家林业局普通高等教育“十三五”规划教材
高等院校水土保持与荒漠化防治专业教材

A G R O F O R E S T R Y S C I E N C E

复合农林学

朱清科 ■ 主 编

张岩 赵雨森 薛智德 ■ 副主编



中国林业出版社

国家林业局普通高等教育“十三五”规划教材
高等院校水土保持与荒漠化防治专业教材

复合农林学

主 编 朱清科

副主编 张 岩 赵雨森 薛智德

中国林业出版社

内容提要

本书作为高等院校农林类专业及相关学科使用的专业课教材,力求向学生全面介绍复合农林学基本知识、基本理论以及复合农林经营和管理的基本方法。第1章系统介绍了复合农林系统的基本概念、历史沿革及其在国民经济中的作用和地位;第2章全面介绍了作为复合农林系统研究和经营在生态学、系统工程学、生态经济学以及可持续发展等方面的理论基础;第3章介绍了国内外农林复合系统的分类与分区;第4章介绍了我国主要的农林复合模式;第5章介绍了农林复合系统规划设计的原则、方法以及新技术应用;第6章介绍了调控与管理的机理和技术;第7章介绍了农林复合系统监测与效益评价的方法和典型案例。

本书在系统归纳总结国内外复合农林学研究成果的基础上,引用典型案例分析,突出了理论与实践紧密结合的特色。本书适用于农学、林学、水土保持与荒漠化防治、农业资源与环境、土地资源管理等专业本科生、专科生,也可作为研究生教学参考书,或作为从事相关领域科学研究、教学、管理及生产实践人员的参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

复合农林学/朱清科 主编. —北京:中国林业出版社, 2015. 12

国家林业局普通高等教育“十三五”规划教材 高等院校水土保持与荒漠化防治专业教材

ISBN 978-7-5038-8359-0

I. ①复… II. ①朱… III. ①农学—高等学校—教材②林学—高等学校—教材 IV. ①S3②S7

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 311519 号

国家林业局生态文明教材及林业高校教材建设项目

中国林业出版社·教育出版分社

策划编辑:肖基汧

责任编辑:张 佳 肖基汧

电 话:83143555 83143561

传 真:83143516

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:jiaocaipublic@163.com 电话:(010)83143500

<http://lycb.forestry.gov.cn>

经 销 新华书店

印 刷 北京市昌平百善印刷厂

版 次 2016年1月第1版

印 次 2016年1月第1次

开 本 850mm×1168mm 1/16

印 张 17.5

字 数 415千字

定 价 38.00元

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有 侵权必究

《复合农林学》编写人员

主 编：朱清科

副 主 编：张 岩 赵雨森 薛智德

编写人员：（按姓氏笔画为序）

王进鑫（西北农林科技大学）

王树力（东北林业大学）

云 蕾（北京林业大学）

毕华兴（北京林业大学）

许 丽（内蒙古农业大学）

张宇清（北京林业大学）

辛 颖（东北林业大学）

高 鹏（山东农业大学）

魏天兴（北京林业大学）

20 世纪 70 年代以来,随着经济发展和人口剧增,世界面临着人口、资源、环境和发展的一系列重大问题,粮食生产与生态环境保护已成为国际社会普遍关注的问题,为缓解环境与发展及人地矛盾,解决农、林、牧用地问题,农林复合系统这一古老的土地利用与经营方式受到人们的重视,并被明确提出,赋予更新、更深刻的涵义,很快得到广泛使用,一门新型交叉学科复合农林学诞生了。1978 年成立了国际农林复合系统研究会(ICRAF),1982 年在内罗毕创办了 *Agroforestry systems* 杂志。嗣后,国际林联(IVFRO)、联合国粮农组织(FAO)等分别设立农林复合研究专题和机构,交流和协调有关研究内容和方法。几十年来,复合农林学领域的科学理论与技术研究及生产实践在世界各地快速发展,并取得了一系列成果,发表了大量的研究论文,出版了许多研究专著,促进了复合农林学科学理论发展与技术创新,特别是发展中国家的应用推广,取得了良好的范例。

我国人口众多,自然条件复杂多样,水土流失及荒漠化严重,洪涝及山地灾害频繁,人均可耕地资源较少,人地矛盾突出,农林复合经营对于解决这些问题具有重要意义。并且,我国是一个具有悠久发展历史和古代文明的农业大国,农林复合经营具有非常悠久的历史渊源,积累了丰富的复合经营经验。在 20 世纪世界兴起复合农林学之际,我国许多科技工作者和生产实践者积极开展了农林复合经营方面的科学理论与技术开发研究及生产实践活动,总结集成形成了适宜于我国不同类型区的一系列农林复合经营模式及其高效栽培技术体系。与此同时,为适应我国复合农林学的科学研究与生产实践活动的人才需求,许多农林院校在相关专业开设了复合农林学课程,开展了农林复合学学科的研究生教育培养工作。然而,我国目前尚未出版复合农林学教材。因此,为满足教学活动及人才培养的教材需要,我们联合相关院校有志从事复合农林学教学与科研的教师,共同编写了我国第一部复合农林学教材,以促进复合农林学的发展。

复合农林学是高等院校农林类专业及相关学科的专业课。本书全面介绍了复合农林学基本知识、基本理论以及复合农林经营和管理的基本方法,系统总结了我国及世界农林复合系统经营和研究的成果。全书共分 7 章:第 1 章系统介绍了复合农林系统的基本概念、历史沿革及其在国民经济中的作用和地位;第 2 章全面介绍了作为复合农林系统研究和经营在生态学、系统工程学、生态经济学以及可持续发展等方面的理论基础;第

3 章介绍了国内外农林复合系统分类与分区；第 4 章介绍了我国主要的农林复合模式；第 5 章介绍了农林复合系统规划设计的原则、方法以及新技术应用；第 6 章介绍了调控与管理的机理和技术；第 7 章介绍了农林复合系统监测与效益评价的方法和典型案例。

本教材由北京林业大学朱清科教授主编，长期在一线从事复合农林学科研和教学工作；副主编和编委来自国内七所高等院校。教材大纲经过多次反复讨论确定，集合了各位教师多年教学成果和经验。具体分工如下：第 1 章由朱清科和薛智德执笔；第 2 章由许丽和王树力执笔；第 3 章由薛智德和张宇清执笔；第 4 章由赵雨森和辛颖执笔；第 5 章由毕华兴和云雷执笔；第 6 章由魏天兴和张宇清执笔；第 7 章由王进鑫和高鹏执笔。全书最后由张岩统稿，并参与了部分章节内容的补充。

本教材是普通高等教育“十三五”规划教材，得到了北京林业大学和中国林业出版社的大力支持，编写过程中参考了大量国内外相关著作和研究成果，在此表示衷心感谢。

复合农林学的研究对象是农林复合系统，而农林复合系统是通过空间布局或时间安排，将多年生木本植物（乔木、灌木、棕榈和竹类等）精心地用于农作物和（或）家禽所利用的土地经营单元内，使其形成各组分间在生态上和经济上具有相互作用的土地利用系统和技术系统的集合。因此，复合农林学是一门跨学科门类的交叉型学科，涉及学科众多，内容广泛，发展迅速，但尚处发展阶段，体系还不成熟。加之编者水平有限，书中不妥甚至错误之处恐难避免，敬请读者批评指正。

编 者

2015 年 12 月于北京

前 言

第1章 绪 论	1
1.1 农林复合系统的概念	1
1.1.1 农林复合系统的定义	1
1.1.2 农林复合系统的基本结构	2
1.1.3 农林复合系统的基本特征	3
1.1.4 农林复合系统与社会林业的联系与区别	4
1.2 农林复合系统研究历史与现状	5
1.2.1 国外农林复合系统起源与发展	5
1.2.2 国内农林复合经营的发展	8
1.3 农林复合系统研究内容	12
1.3.1 农林复合经营系统的理论基础	12
1.3.2 农林复合经营类型及其系统分类	12
1.3.3 农林复合系统分区及其经营模式	13
1.3.4 农林复合配置与栽培技术	13
1.3.5 农林复合经营管理技术	13
1.3.6 农林复合经营系统规划设计	13
1.3.7 农林复合经营系统监测与效益评价	14
1.4 农林复合系统在国民经济中的作用与地位	14
1.4.1 保护自然资源与环境	15
1.4.2 促进农林牧副渔持续发展	15
1.4.3 促进农村经济繁荣	16
1.4.4 保障粮食、生活能源、木材等的供应	16
第2章 农林复合理论基础	17
2.1 生态学理论	17
2.1.1 生态系统理论	17

2.1.2 生物多样性	18
2.1.3 种间关系	20
2.1.4 生态位理论	22
2.1.5 景观生态学理论	24
2.1.6 生态系统恢复与重建理论	26
2.2 系统工程学理论	29
2.2.1 系统的基本概念	29
2.2.2 系统工程的基本概念	36
2.3 生态经济学理论	42
2.3.1 生态经济学的基本原理	42
2.3.2 生态经济系统的组成、结构和功能	43
2.3.3 生态经济系统经营原则	44
2.4 可持续发展理论	47
2.4.1 可持续发展的内涵和特征	47
2.4.2 可持续发展的原则和要求	48
2.4.3 环境承载力	51
第3章 农林复合系统分类与分区	57
3.1 农林复合系统分类	57
3.1.1 农林复合系统分类原则与依据	58
3.1.2 农林复合系统分类体系	60
3.2 农林复合系统分区	70
3.2.1 国际农林复合系统分区	70
3.2.2 中国农林复合系统分区	83
第4章 农林复合模式	92
4.1 农林复合模式	92
4.1.1 农田林网	92
4.1.2 农林间作	98
4.1.3 等高植物篱	114
4.2 林牧复合模式	117
4.2.1 林草复合	117
4.2.2 林禽复合	118
4.3 林渔复合模式	122

4.3.1 桑基鱼塘	122
4.3.2 林渔复合	125
4.3.3 林蛙复合	128
4.4 林副复合模式	130
4.4.1 林药复合	130
4.4.2 林菌复合	132
4.4.3 林虫复合	133
4.5 庭院复合经营	135
第5章 农林复合系统规划设计	139
5.1 农林复合系统规划设计原则与方法	140
5.1.1 农林复合系统规划设计原则	140
5.1.2 农林复合系统规划设计程序与方法	143
5.2 农林复合系统结构设计	170
5.2.1 组分结构设计	171
5.2.2 空间结构设计	172
5.2.3 时间结构设计	173
5.2.4 营养结构设计	174
5.2.5 农林复合系统结构设计实例：枣粮间作优化模式	176
5.3 农林复合系统规划设计新技术应用	179
5.3.1 “3S”技术应用	179
5.3.2 仿真动态模拟技术	186
第6章 农林复合系统经营管理	192
6.1 农林复合系统调控机理	192
6.1.1 系统工程技术	192
6.1.2 系统工程方法	194
6.1.3 农林复合系统调控机理	197
6.2 农林复合系统调控技术	201
6.2.1 水肥调控技术	201
6.2.2 光温调控技术	208
6.3 农林复合系统管理技术	210
6.3.1 抚育管理	210
6.3.2 健康管理	212

第7章 农林复合系统监测与效益评价	215
7.1 农林复合系统的监测	215
7.1.1 农林复合系统监测的目的、分类与特点	215
7.1.2 农林复合系统监测的指标体系	219
7.1.3 农林复合系统监测的方法	222
7.1.4 监测数据的处理与结果表达	231
7.1.5 农林复合系统监测的管理	234
7.2 农林复合系统的效益评价	236
7.2.1 农林复合系统的生态效益评价	236
7.2.2 农林复合系统的经济效益评价	242
7.2.3 农林复合系统的社会效益评价	244
7.2.4 农林复合系统的综合效益评价	246
7.2.5 农林复合系统效益评价的案例分析	249
参考文献	261

20 世纪以来,随着世界人口的急剧增加,粮食和能源短缺、环境污染、水土流失加剧、土地荒漠化增加、水旱灾害频繁等生态危机已成为当今世界面临的主要问题。20 世纪 70 年代,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,农林复合系统这一古老的经营方式受到人们的重新重视,并被明确提出,赋予更新、更深刻的涵义,很快得到广泛使用。1978 年,国际农林复合系统研究会(ICRAF)成立;1982 年, *Agroforestry systems* 杂志在内罗毕创办。嗣后,国际林联(IVFRO)、联合国粮农组织(FAO)等分别设立农林复合研究专题和机构,交流和协调有关研究内容和方法。几十年来,农林复合系统生产实践及其理论研究在世界各地快速发展,并取得了大量的研究成果。

1.1 农林复合系统的概念

1.1.1 农林复合系统的定义

复合农林学研究的对象是农林复合系统(Agroforestry systems)。在我国农林复合系统这一术语包括混农林、农用房、农林业、农用房、农用房系统、复合农林业、农林复合经营、农林复合经营系统、农林复合生态系统、农林复合生态经济系统等。从基本内涵上看,这些术语可以视为同义词。

1966 年,前联合国粮农组织总干事、林农组织林业部主任和研究会第一任主席 K. King 博士发表了一篇题为 *Agrisilviculture in tropics* 的论文,对以后农林复合生态系统的研究和发展起到了巨大的推动作用。农林复合(Agroforestry)一词最早出现在 20 世纪 70 年代中期,是由 Agro-Silviculture 演绎而来的,并在加拿大国际发展研究中心(IDRC)一个项目“树林、粮食和人类”的文件中首次采用(King, 1968, 1978; 蔡满堂, 1996)。ICRAF 在全世界征集这一术语的定义时曾收到了十几种定义。1982 年, *Agroforestry Systems* 在创刊号中列举了 12 种不同的定义。ICRAF 第一任主席 King(1978)的定义是:农林复合系统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与林木和(或)家畜生产同时或交错结合起来,使土地生产力得以全面提高的持续土地经营系统。1982 年,ICRAF 将农林复合系统概括为: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,是农业、林业和牧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, 1988; 姜安如, 1994)。

随着资源不合理开发并导致多种环境问题, 全球注重可持续发展的理论和实践在农林复合经营方面不断渗透。1990年, Lundgren从可持续发展的角度对复合农林业作了更详细的解释: 农林复合(Agroforestry)是一种新型的土地利用方式, 在综合考虑社会、经济、生态因素的前提下, 将乔木和灌木有机地结合于农牧生产系统中, 具有为社会提供粮食、饲料和其他林副产品的功能优势; 同时借助于提高土壤肥力、控制土壤侵蚀、改善农田和牧场小气候的潜在势能, 来保障自然资源的可持续生产力, 并逐步形成农业和林业研究的新领域和新思维(Lundgren, 1990; 卢琦, 1996)。1996年, ICRAF的Leahey对农林复合经营解释为: 动态的、以生态学为基础的自然资源管理系统, 通过在农地及牧地上种植树林达到生产多样性和持续发展, 从而使不同层次的土地利用者获得更高的社会、经济和环境方面的效益(Leahey, 1997; 熊国炎, 1997)。

目前, 较全面且为大多数学者所接受和公认的是ICRAF的定义。农林复合系统是通过空间布局或时间安排, 将多年生木本植物(乔木、灌木、棕榈和竹类等)精心地用于农作物和(或)家禽所利用的土地经营单元内, 使其形成各组分间在生态上和经济上具有相互作用的土地利用系统和技术系统的集合。其内涵可以概括为: 复合农林经营是以生态学、经济学和系统工程为理论基础, 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、多产业的人工复合经营系统。

由此可见, 农林复合生态系统是指在同一土地经营单元上, 根据生态学及生态经济学原理, 将各种农作物或家畜与多年生木本植物在空间或时间上进行各种各样的组合, 形成平面镶嵌或立体组合的结构, 成为一个多种经营, 全面发展, 达到良性循环的土地利用及生产体系。也就是在同一土地上既可以生产木材, 又可以生产粮食、乳、肉、蛋或鱼等产品, 同时使生态环境得到有效保护, 达到充分合理地利用资源、农林牧各业生产和农村经济可持续发展。因此, Anowymous(1982)提出农林复合系统是由土地、环境、农业(作物或畜牧)、林业和经营管理等五部分组成, 并具备两个特点: ①在同一土地经营单元上有目的地按空间混交或时间序列种植多年生木本植物和农作物(或有动物参与); ②系统中木本与非木本组分之间存在明显的生态经济上的相互作用。

1.1.2 农林复合系统的基本结构

生态系统的结构是其构成要素在空间和时间上的配置, 农林复合生态系统的生物环境包括多种生物种类, 种间时间关系、空间关系、营养关系都直接影响复合经营体系的稳定性和持续性, 理清农林复合经营系统的基本结构, 对于正确认识农林复合经营的概念至关重要。从农林复合经营的定义不难看出, 农林复合经营的基本结构大致可分为: 物种结构、空间结构、时间结构和营养结构。系统的结构决定系统的功能, 所以, 这4种结构的合理性和协调性, 是优化农林复合模式、提高系统生态、经济和社会效益的关键。

(1) 物种结构

指农林复合经营系统中生物物种的组成、数量及其彼此之间的关系。理想的物种结

构能对资源与环境最大限度地利用与适应,可以借助系统内部物种的共生互利,生产出更多的物质和多样的产品。进行物种的选择与搭配,必须弄清物种间的生态学关系,充分利用物种间互惠互利的关系,避免产生不良的它感作用,最大地发挥整个生态系统的功能。

(2) 空间结构

指系统内各物种之间或同一物种不同个体在空间上的分布。可以分为垂直结构和水平结构。垂直结构是系统的立体层次结构,一般可分为单层结构、复层结构和多层结构。一般情况下,垂直高度越大、层次越复杂,资源利用效率越高,但会受到生物因子、环境因子和社会因子的制约;水平结构是系统中各物种的平面布局。在种植型系统中由株行距表达,在养殖型系统中由放养动物或微生物的数量决定。空间结构的配置与调整是根据不同物种的生长发育习性、自然和社会条件以及复合经营的目的等因子确定的。

(3) 时间结构

指系统中各种物种的生长发育和生物量的积累与资源环境协调吻合的状况。根据系统中物种所共处的时间长短可以分为:农林轮作型、短期间作型、长期间作型、替代间作型和间套复合型。

(4) 营养结构

指生物间通过营养关系连接起来的多种链状或网状结构。营养结构是生态系统物质循环与能量流动的基础,复合农林经营系统通过建立良好的食物链或食物网,营造科学合理的营养结构,协调物种间关系,减少营养损耗,提高物质和能量的转化率,从而提高系统的生产力、稳定性、经济性和持续性。

1.1.3 农林复合系统的基本特征

农林复合系统与其他土地利用系统相比,具有以下几个方面的基本特征:

(1) 复杂性

农林复合系统改变了常规农业经营对象单一的特点,它至少包括两个以上的成分:这里的“农”不仅包括第一性生物产品,如粮食、经济作物、蔬菜、药用植物、栽培食用菌等,也包括第二性产品如饲养家畜、家禽、水生生物和其他养殖业;所谓的“林”包括各种乔木、灌木和竹类组成的用材林、薪炭林、防护林、经济林和果树。农林复合系统把这些成分从空间和时间上结合起来,使系统的结构更加向多组分、多层次、多时序发展。农林复合系统利用不同生物间共生互补和相辅相成的作用提高系统的稳定性和持续性,并取得较高的生物产量和转化效率。同时,农林复合系统在管理上要打破部门间和学科间的界限,要求跨部门、跨学科的研究和合作。

(2) 系统性

农林复合系统是一种人工生态系统,有其整体的结构和功能,在其组成成分之间有物质与能量的交换和流动及经济效益上的联系。人们经营的目标不仅要注意某组成成分的变化,更要注意成分之间的动态联系。农林复合系统不同于单一对象的农业生产,而是把取得系统整体效益作为系统管理的重要目的。

(3) 集约性

农林复合系统是一种复杂的人工系统,在管理上要求采取与单一组分的人工系统不同的技术。同时为了取得较多的品种和较高的产量,在投入上也有较高的要求。

(4) 等级性

农林复合系统可以具有不同的等级和层次。它可以以庭院为一个结构单元,到田间生态系统、小流域或地区为单元,直到覆盖大面积的农田防护林体系。

(5) 经济特征

随着人类耕作业的产生,这种农林复合的形式也随之产生了,到了今天,只是形式和规模大小不同而已。也就是说,找不到任何一片不需要树木保护的农田。当然这种森林对农业的屏障作用,只是表面直观现象。比如,在气温、物流、能量转换、生物链的作用等方面,无论农作物,还是森林中的动植物都是生命(生物)系统,它们都是不可分割的。之所以分为林业和农业,是人类从经济的角度,采取不同的经营方式而已。实践证明,这种根据不同经济目的而采取的不同经营方式,是对生态系统的破坏,这种破坏在某种程度上是不可避免的,问题是如何以不形成灾害为限度。这个限度,至今还没有完全得到解决。比如,大片的农田,就是违背了生物多样性的原则,生物链受到破坏;更有甚者,连年播种同一种作物。这既不是农林复合,更不符合生态原则,农业可持续发展受到制约。

农林复合系统概念中的同一土地经营单元小可以到庭院,大到一个小流域或地区,甚至一个广大地区的农田防护林体系。其实这里存在一个广义和狭义概念的问题:狭义的农林复合系统是指一个地块上或坡面上“农”与“林”的复合时空结构配置所形成的生态系统;而广义的农林复合系统是指一个小流域或地区的具有合理时空结构配置的防护林体系,甚至广大地区的农田防护林体系。然而,对于广义的农林复合系统而言,总是在一定的生产力和生产资料所有制形式下建立和经营的,这就表明农林复合系统不可能成为一个脱离社会经济系统的纯自然生态系统,而必然成为一个社会—经济—自然复合系统,构成农林复合生态经济系统。虽然由农林复合系统构成的生态系统和与其相适应的社会经济系统是具有不同性质的系统,但其各自的生存和发展都受另一系统结构和功能的制约,必须将这两个系统当成一个复合系统进行研究。因此,广义的农林复合系统实际上是一种区域性的农林复合生态经济系统。

1.1.4 农林复合系统与社会林业的联系与区别

社会林业与群众林业可视为同义语,其核心内容为:①当地群众自愿的活动;②群众是活动的受益者,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其影响与效果波及面广,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,防风林营造等。因此,社会林业主要着眼点在人,有当地群众的参与,也非常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,它是在一定面积的土地单元上人工配置林、农或牧等复合经营的生态经济系统。当然,一定面积土地单元是一个极其模糊的概念,

究竟在多大的面积土地单元上复合配置才是复合农林业，目前国际上并无明确限定，有待研究。

1.2 农林复合系统研究历史与现状

1.2.1 国外农林复合系统起源与发展

1.2.1.1 国际农林复合经营委员会(ICRAF)成立

在农林复合经营成为一门独立的学科以前，世界各地都有过多种农林复合经营的生产实践。有的方式已历经了上千年的历史，这个可从人类农业发展史得以验证，原始的农业实际上是从林业中分离出来的，先人们从依赖森林和其他植被，到有意识地开发利用植被、利用农作物，农业也逐渐从林业中分离出来。在这个过程中，农林业其实仍然没有完全隔离开来，林木作为人类居住环境的一部分、作为农作物的庇护“神”，一直以不同的方式被复合经营。随着技术进步和人口增多，人类不断开垦土地，林分因子在农田系统中成分逐渐减少，甚至在有的商品粮基地，为了提高农田土地的利用率，把林分因子完全从农田生态系统退出。缺少了林木的保护，纯粹的农田系统经受不了气象灾害的考验。

第一次世界大战后，美国开始大规模移民南部大草原。为追求利润最大化，在开垦土壤地力耗尽后马上撂荒，转而开垦新的土地。但是，草地的严重扰动诱发了大规模的沙尘暴：1932年爆发14次；1933年高达38次；1934年春季的沙尘暴，扫荡了中西部大平原，使全国小麦减产1/3；1934年5月，起源于堪萨斯、俄克拉荷马、科罗拉多三州的黑风暴，裹挟着大量耕地表层黑土，形成了东西长2400km、南北宽1440km、高约3km的“黑龙”，3天中横扫2/3个美国， 3×10^8 t肥沃表土被吹进大西洋，当年小麦损失 51×10^8 kg，16万农民受灾。后来，据美国土壤保持局统计，1935—1975年的40年间，大平原地区被沙尘暴破坏的面积高达 $40 \times 10^4 \sim 60 \times 10^4 \text{ hm}^2/\text{a}$ 。为控制土地荒漠化和沙尘暴，美国在1935年以后进行了一场旷日持久的生态保卫战——罗斯福工程。1937年，罗斯福给各州长写信要求开展水土保持工作：“毁坏自己土壤的国家，最终必然要毁掉自己。”其主要的做法是，推行“农场法案”，鼓励弃耕，政府采取补偿制度，建立自然保护区，恢复天然草原，休牧返林还草。在不到5年的时间内，返林返草面积达 $15 \times 10^6 \text{ hm}^2$ ，约占全国耕地总数的10%，在此基础上建立自然保护区144个。实施罗斯福工程：退耕还林(草)；保持水土的科学耕作，1美元/亩*补贴；通过“水土保持法”；减少过剩粮食补贴。由此看来，美国主要是利用了人退的办法成功遏制了困惑其几十年的“黑风暴”问题。

苏联自1954年起在哈萨克、西伯利亚、乌拉尔、伏尔加河沿岸和高加索部分地区大量开垦草地，至1963年累计垦荒 $6 \times 10^7 \text{ hm}^2$ 。由于缺乏防护措施，加之气候干旱，造成新垦荒地风蚀严重，春季疏松的表土被大风刮起，形成沙尘暴。1960年3月和4月的沙

* 1亩 $\approx 0.067 \text{ hm}^2$ 。

尘暴席卷了前苏联南部广大平原,使春季作物受灾面积达 $4 \times 10^6 \text{ hm}^2$ 以上。1963 年沙尘暴受灾面积高达 $2 \times 10^7 \text{ hm}^2$, 新垦区农耕系统几乎瘫痪。沙尘暴同时殃及罗马尼亚、匈牙利和前南斯拉夫等国。比黑风暴危害更大、持续更长的是,同时发生并绵延至今的白风暴:前苏联在土库曼斯坦卡拉库姆沙漠中修建卡拉库姆运河,每年可从亚洲第三大湖咸海的主要水源——阿姆河调水灌溉 $10 \times 10^4 \text{ hm}^2$ 的农田和草场。这种“创造性地再造自然”带来的生态灾难是异常沉重的:阿姆河被截断使下游咸海水位急剧下降,30 年间湖岸线后退了 $10 \sim 20 \text{ km}$, 咸海湖底盐碱裸露,“白风暴”(含盐尘的风暴)接踵而至,毁灭了 60% 的新垦区,并使其成为生命禁区。

亚洲是农林复合经营的主要发源地之一,著名的汤雅(Taungya)耕作制度就起源于缅甸。Taungya 缅甸语原意是“山坡农业系统”,此系统是将作物与幼龄林木间作。20 世纪 50 年代,马来西亚、泰国、印度尼西亚引进了 Taungya 耕作制,建立了柚木与水稻、烟草的间作系统。目前在这些国家柚木与水稻间作模式比较普遍。20 世纪 70 年代,世界各地对农林复合经营系统开展了广泛的实践。例如,在亚洲,印度尼西亚的树木园田及“同佳”系统。树木园田是个体经营方式,在房子周围种粮、菜、水果、香料、薪材、建材及青饲料等产品。在非洲,坦桑尼亚的“查卡”系统是由个体农民经营的面积在 1 hm^2 左右的园田式系统,实施农、林、牧复合经营。在美洲,南美洲的农林复合系统在 $10 \sim 20 \text{ hm}^2$ 专营地中,以杨树、桉树、合欢、柳树作周边及间隔防护林,地块上种植梨、樱桃、苹果、杏、橄榄、无花果、葡萄等,果树行间种植粮食、豆类。

人们对农林复合经营的认识和总结并建立起科学的体系始于 20 世纪中期。1950 年,Smith 所著的《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,但当时并没有受到重视。1968 年,King 从复合农林经营的角度对农林复合经营系统进行研究,提出农林复合经营概念的原始含义,使用了术语“Agri-silviculture”。1973 年,针对发展中国家食品、环境和能源问题的日益严重,McNamara 对世界银行的农业和林业发展策略及其实现途径进行了重新评价。1974 年,联合国粮农组织重新审定了林业发展战略,从而使后来的林业援助项目向农区林业的发展倾斜。

1976 年,在加拿大国际发展研究中心(IDRC)的委派下,Bene 等完成了一份关于贫困的热带国家农业和林业状况的报告,这份题为《树木、粮食与人》(*Trees, Food and People*)的报告,使用了 20 世纪 60 年代后期出现的农林复合经营(Agroforestry)这一术语,提出应优先促进复合型农业生产体系的发展。同年,在国际发展研究中心(IDRC)促进下,国际农林复合经营委员会(ICRAF)正式成立,并创刊 *Agroforestry*,从此,农林复合经营被正式确定为一个特殊的分支学科领域。1978 年,国际农林复合经营委员会(ICRAF)总部设立在肯尼亚首都内罗毕。

1.2.1.2 农林复合经营研究兴起与进展

1979 年,国际农林复合经营委员会(ICRAF)举办了农林复合经营土壤研究和农林复合经营国际合作两个国际会议,吸引了全世界有关的专家,使农林复合经营研究开始在世界范围内兴起热潮。研究初期,人们对其内涵进行了多方讨论。1982 年,在总结各种

有关概念的基础上, Lundgren 提出了一个被大家普遍接受的农林复合经营定义, 并发表在《农林系统》(*Agroforestry Systems*)的创刊号上。20 世纪 80 年代, 许多学者对农林复合经营的优点及其潜力进行了广泛的探讨, 理论研究和生产实践有了相当进展。主要包括农林复合经营系统的理论基础、系统分类、系统诊断、系统设计以及建立农林复合系统数据库等。

1982 年, ICRAF 开始在发展中国家进行农林复合经营实践的普查, 在世界范围内系统地收集了大量关于农林复合经营类型、分布、结构、功能等方面的信息。Vergara (1982) 首先根据系统组成成分的配置方法把农林复合系统划分为轮作系统和间作系统; 其次, 以时间顺序和空间排列进行进一步划分; 然后, 再以系统组成成分所占比例分出第三级。Torres (1983) 根据系统中各生物种群的混种方式、树木的作用、系统各组成成分间的关系及其配置结构进行分类, 将农林复合系统划分为农林结合系统、林牧结合系统和农林牧结合系统, 在每个系统中又分为几个亚系统。

1985 年, Nair 根据农林复合经营系统的组成成分和经营方式, 将农林复合经营实践划分为三大类 18 个小类。为了增进对农林复合系统的了解, ICRAF 于 1982—1987 年在发展中国家对已存在的农林复合系统类型和模式进行了广泛的调查, Nair 在此资料基础上, 提出了农林复合系统的分类体系。Nair (1985, 1989, 1991) 认为农林复合系统可分为多年生木本植物、一年生农作物(或经济作物)和禽畜这 3 个组分, 并以系统组分的产业组合、系统组分的时空结构、功能(作用和/或输出)、社会—经济经营规模以及生态适宜区这五个方面的分类指标建立农林复合系统的分类体系。

1987 年(ICRAF 成立 10 周年), Stepler 和 Nair 共同编著了《农林复合经营: 发展的十年》(*Agroforestry: A Decade of Development*), 对十年间的研究作了系统总结。

20 世纪 90 年代, 大量多用途树种已经被筛选出来, 林分与农作物不同组分间界面(Interface)的研究更加深入, 树木的作用机制逐渐被证实, 研究还发现有的树木和作物的地下竞争要比地上竞争更加激烈, 从而使人们对以往关于树木和作物间主要竞争因子的认识有所改变, 林木与作物地下生态位、根系及其两者关系的研究更加深入, 特别是干旱半干旱地区林农争水争肥问题得到系统研究。1991 年, “农林复合经营理论与实践”专题讨论, 标志着农林复合经营科学研究体系的基本形成。同时, 世界各地推广已经研究的成果, 培训推广人员, 农林复合经营已不仅仅在发展中国家推广, 一些发达国家也陆续开展这方面研究和实践, 并从中取得效益。

目前, 亚洲农林复合系统的研究已成网络, 1991 年成立的亚太地区农林复合系统网络(APAN), 为亚洲和太平洋地区农林复合系统研究水平的提高起到了促进作用。非洲是 ICRAF 开展农林复合系统研究与推广的重点试验区, Machskos 设有定位试验站, 开展多种农林复合系统试验研究, 非洲已有农用林业系统研究网络(SFRENA)、热带非洲农林间作网络(AFNETA)等国际合作研究机构, 对非洲农林复合经营起到积极的示范与推广作用。欧洲农林复合经营的类型规模虽然不及亚洲和非洲, 但是英国是农林复合系统研究水平较高的国家之一, 现有 7 个国家级农林复合系统研究站, 1986 年成立了农林复合经营研讨会(AFRUKDF), 出版了 *Agroforestry Forum* 刊物, 英国目前在农林复合系统模拟模型研究领域居世界前列水平。在大洋洲, 澳大利亚和新西兰的畜牧业比较发达, 这