

# 第一章 绪 论

人口剧增、资源贫乏、能源短缺、粮食供需失调、环境污染、经济危机 是围绕世界各国发展的六大难题。特别在第三世界，这些问题表现得更加明显和突出。合理解决此类矛盾的有效途径之一 就是强化大农业的发展 建立人工生态系统 充分利用光、热、水、肥、土等资源，防治各种自然及人为灾害，提高单位面积的土地生产力。农林复合正是为实现此目的而被提出，并得到不断完善和发展的一门新兴学科。

## 第一节 农林复合概述

### 一、农林复合的概念

从本质上讲 农林复合就是依据不同自然条件 在不同区域实现农、林、牧、副、渔各业的有机结合，并发挥其“正向”作用。在我国与其相类似的名词概念较多，如农地林业、农用林业、立体林业、混农林业、混林农业、复合农业和农林复合生态系统等。这主要是众多学者对源于同一英语单词“**Agroforestry**”的不同理解所致。

#### （一）农地林业

顾名思义，农地林业就是专指“农地上的林业”。它是林业科学的重要分支之一。**Lundgren B. (1984)** 认为：“农地林业是一个说明土地利用制度及利用方法的综合术语，在这种土地上 多年生木本植物（乔木、灌木、竹类）如同农作物（或牲畜）一样 以不同的空间排列和时间顺序，在同一块土地培育，各个组成部分之间具有生态的及经济的联系”<sup>[1]</sup>。

#### （二）农用林业

农用林业，着重强调林业是作为农业生产的主要保护体系及作用，如保护农业生产部分与农业相似的产品（油料、饲养、粮食、纤维和木材等）<sup>[2]</sup>

目前，有关“农用林业”涵义的理解有两种观点：一种是 **Reid R. 和 Wilson G. (1985)** 的狭义概念，即“农用林业是在同一土地上农业与林业的综合，也就是在同一时候或按次序把畜牧、农作物置于稀植的树木之下”。另一种观点则是国际树木作物研究所（**ITCI**）和美国作物研究所的广义概念，即“农用林业是为农业、环境保护和乡村发展栽植生产粮食、饲料、薪炭和防护林等多种用途的乔木和灌木。目的在于增加边际土地的生产力以及保持水土和能源。”

可见，前者主要是针对某一种方式的农林经营而言，如林农间作、林牧间作等；后者的理解过于广泛，有混同于社会林业的涵义。

#### （三）立体林业

立体林业也是一个综合性很强的词语，它强调了农业生产综合发展中的三个层次（或阶段）：①土地利用中的一地多用，也就是将乔木树种（林）同其他灌木和草本植物（果、油、茶、粮、棉、菜、药等）进行间作、混种 在空间上实行上、中、下结合 在时间上实行长、中、短结合；

在前述基础上，在林间建立养殖场，进行放牧、喂养，使林、农、牧结合；③运用生态经济学原理和系统工程学方法，把林业和种植业、养殖业、加工业等结合在一起，走商品性现代林业的路子<sup>[3]</sup>。

#### （四）混农林业

混农林业，简单地说就是农、林、牧、副、渔各业相结合的林业，即在同一地块上，同时或先后进行农林间作或林牧、林副、林渔结合生产。这是从传统的单项生产走向综合经营<sup>[4,5]</sup>。

#### （五）复合农业

复合农业，将农业作为一种生态—经济—技术的复合系统来看待。是指农业生产各部分（种植业、养殖业、农副产品加工业）在各种类型的自然和社会经济条件下的各种形式的结合，以及对其调控机制与方法措施的探讨和实施，以达到最大的整体效益。也就是，人类有意识地将相邻空间或时间上衔接的具有不同生产对象的几个农业生产系统紧密地、有序地联系在一起，使之相互作用、相互促进、相互制约而构成复合结构的系统<sup>[6]</sup>。

#### （六）农林复合

从上述的几个较有代表性的定义中，我们不难看出它们强调的共同点为：①有目的的土地利用方式或制度，这一目的主要体现在发展经济、促进社会发展和保护生态环境诸方面，最终实现提高对土地、空间、光、温度、水分和肥料的利用率，增加边际土地的生产力，保持水土和能源，使土地单位面积上获得最大的经济效益、生态效益与社会效益；②现代的农业生产应为农、林、牧、副、渔有机结合的复合经营体系，这种体系是利用农林之间以及它们与环境之间的竞争与适应的关系，利用系统各因子之间相互协调可以创造出更高生产力的原理，进行复合经营；③利用现代科学技术（含高新技术）因地制宜进行技术组装与配套，实现集约化经营管理。

因此，国际农林复合研究委员会（ICRAF）给出的权威性定义是：“农林复合是一种土地利用技术和系统制度的复合名称，是有目的地把多年生木本植物（乔木、灌木、棕榈和竹子等等）与农业或牧业用于同一土地经营单位，并采取时间排列法或者短期相同的经营方式，使农林复合在不同组合之间存在着生态学 and 经济学一体化的相互作用”<sup>[7]</sup>。简言之，农林复合是“平面式”农业向“立体式”农业的发展，它利用各种农作物（含林、草）在生育过程中的“时间差”和“空间差”进行合理组装、精细配套，组成各种类型的多功能、多层次、多途径的高优生产系统，是未来农业发展的趋势之一。

因这一体系纯属人工有目的地建立的“人工生态系统”，故也可称为“农林复合生态系统”<sup>[7]</sup>。在系统的建造过程中，也常常会用到许多工程技术，因此，又可称为“农林复合生态系统工程”<sup>[8]</sup>。无论如何理解，农林复合仅是一个新词汇，而不是新做法<sup>[9]</sup>。

## 二、农林复合的结构

农林复合系统的结构，指的是系统的组分和组分间的相互关系（组分配置）。它主要由土地、环境、农业（作物与畜牧）、林业和经营管理战略五部分组成。从我国农林复合的基本特点出发，它含有物种结构、空间结构、时间结构和食物链结构<sup>[10]</sup>。

### （一）物种结构

物种结构，是指农林复合系统中生物物种的组成、数量及彼此之间的关系。物种的多样

性是农林复合系统的重要特征。在物种结构上，一般包括乔木（含经济林木）、灌木和农作物、牧草、食用菌、禽畜等。理想的物种结构是对环境资源最大的利用和适应，可借助于系统内部物种的共生互补生产出最多的物质和多样的产品。它可以在同等物质和能量输入的情况下，借助结构内部的协调力达到增益的效果。

## （二）空间结构

空间结构，是农林复合系统各物种之间搭配的层次和密度。层次是物种间的垂直距离，包括地上和地下两部分；密度是物种内的水平距离。层次和密度构成物种在空间上的位置，层次愈厚，空间容量愈大，资源利用率就愈高。在一般情况下，层次愈多，密度就小。农林复合系统多采用宽行（带距）窄带，带间采用乔、灌、草高矮搭配，行间间作其他物种，一般至少有2-3个层次，在热带和亚热带地区可有4个以上层次。总之，农林复合系统的空间结构是动态结构，随着时序的变化，物种的消长具有“空间互补”、“时间互补”、“交替嵌合”的特点。

## （三）时间结构

任何生态因子都有年循环、季循环和日循环，任何生物都有特定的生长发育周期，时间结构就是利用资源因子的周期性和生物生长发育周期性的关系，充分利用自然资源，使得农林复合系统的物质生产持续、稳定、有序高效地运行。根据系统中生物共处时间的长短可分以下两种类型：

（1）短期复合型。一般以林为主的农林组合，在林木幼年期，未郁闭前，林下可种植农作物，但3-5年林冠郁闭后，林下光照减弱，即不能继续种植作物。这是短期间作的一种模式。

（2）长期复合型。以农为主的农林复合系统，在物种配置时，充分考虑各物种的生物学特性，达到农、林、牧长期共存的目的。一般都采用疏林结构模式，充分发挥各物种的正作用，达到物种之间“共生互补”的目的。可见，时间结构的特点是“以短养长”，这是取得长期（林木）中期（经济林）短期（经济作物、禽畜等）经济效益的重要条件和保证。

## （四）食物链结构

食物链是生态系统内物质生产和物质转化的链环，一般由绿色植物生产者（光合作用）、动物消费者及微生物还原和分解者组成。在农林复合系统中，通过增加生产环（或称加环），把初级产品的有机质充分转化为经济价值更高的产品。如疏林牧场、林下种草放牧，将初级产品的树叶或牧草转化为肉食等，从而提高系统内物质的经济价值。因此，物质循环多级利用，是农林复合区别于传统农业的重要标志。

# 三、农林复合的功能

农林复合的功能指的是农林复合的目的和价值，代表系统的输出和各组分作用。它主要表现为生产功能和保护作用两个方面。

## （一）生产功能

农林复合系统能直接提供的产品通常有：①间作的农产品。农林混生有利于耐阴光生态特性作物或食用菌的高产、优质，如可可、茶树、蘑菇、木耳、人参等。②林、果的可食用产品。随着科技的发展与生活水平的提高，人们对天然食品与饮料的兴趣日愈浓厚，林果的实用产品可满足这种需求。③饲料。作为饲料生产者，树木较牧草有两个优点，它能提供高蛋白的饲料（如银合欢），并且能在草本因受旱而枯黄干死期向牲畜提供丰富的绿色鲜饲料（在

干旱季节，山羊等在相思树丛中能愉快地生活)。薪炭燃料。南亚国家绝大多数农村及东南亚半数以上的人口以木材和木炭为主要燃料，泰国北部的富裕农户宁愿烧柴也不愿用电和天然气。作为建筑、造纸、化工、编制品等原料的林产品<sup>[11]</sup>。

## (二) 保护作用

农林复合系统的保护作用主要表现在有利于生态环境的良性循环<sup>[11,12]</sup>。

### 1. 降低风速 提高产量

林木植被具有减轻风速和增加大气湿度等稳定近地面大气环境不可替代的功能，能减轻农作物的风、干旱、寒流与炎热等自然灾害的危害。据国内外大量研究表明，农田防护林可减少风速 30%~40% 提高空气湿度 10%~20%，减少地表蒸发 30%，增加土壤含水量 20%~30%。极大地改善了农田小气候，减缓了自然灾害，从而保证了农业高产稳产和持续发展。

从 1978 年起我国陆续开始实施的“三北”防护林等 7 大林业生态建设工程，成效显著，举世瞩目，极大改善了相当部分地区的生态环境，使平原地区 3 333 万  $\text{hm}^2$  农田和“三北”地区 1 100 万  $\text{hm}^2$  农田得到了林网保护，平均增产粮食 20%~30% 增加产草量 20% 以上。

### 2. 增加地面覆盖，遏制水土流失与沙漠化

森林作为陆地生态系统的主体，具有涵养水源、减少水灾、防止水土流失的功效。森林通过林冠截留，枯枝落叶层持水，土壤吸水和增加下渗，减弱了降雨对林地土壤的打击和地表径流的形成，改变了天然降雨的分配比率，起到了削减洪水的作用。据国内外资料分析，在森林覆盖率为 100% 条件下，森林可削减洪峰值达 50%；在黄土高原有林地与无林地相比，有林地可削减洪水流量 70%~90%，滞后洪水 2~6h。

“三北”防护林工程营造水土保持林 245 万  $\text{hm}^2$  使 30% 的水土流失面积得到初步治理。宁夏西吉县造林种草 10.4 万  $\text{hm}^2$ ，占全县土地面积的 33.1% 使坡面和沟头侵蚀量由 1977 年的 1 487.6 万 t 降低到 565.1 万 t 减少了 62.4%。四川林业科学院采用封、育、补植等措施在长江上游的川江、乌江流域建立了 1 400  $\text{hm}^2$  水土保持林，使地表径流减少了 40%~70% 土壤侵蚀模数减少 90%；中国林业科学院等单位在水土流失严重的太行山区选择 5 种不同类型地块营造水土保持林 3 100  $\text{hm}^2$  减少暴雨径流 70%~80% 减少水土流失量 73%，特别在日降雨量 186mm 的特大暴雨情况下未见明显的水土流失。

陕西榆林地区，采用引水拉沙造田、搭沙障造林等技术，营造大型防风固沙林 11.8 万  $\text{hm}^2$  人工种草 29.9 万  $\text{hm}^2$  使 57.4 万  $\text{hm}^2$  流沙有 50% 得到固定 6.9 万  $\text{hm}^2$  天然草场和 9.3 万  $\text{hm}^2$  农田得到了保护。中国林业科学院以地处乌兰布和沙漠的内蒙古磴口为基地经过 15 年的努力建成了 4 000  $\text{hm}^2$  防风固沙和沙地综合利用的人工绿洲。经长期观测表明，大范围绿化工程对环境质量有明显的改善作用，绿洲内可降低大气蒸发量 30% 降低风速 28% 林网内减少沙尘输移 80% 减少降尘量 48% 降低大气浑浊度 35% 种植业比建设前的荒漠牧场产出效益提高 300 倍。

### 3. 土壤营养循环量提高

天然森林系统土壤的可溶性营养损失不足土壤-植物营养循环量的 10% 而农田中土壤营养的损失占营养再循环的 40% 或更大。农林复合系统土壤的营养再循环量之所以能

高于纯作物农田，其原因在于树木有庞大的、分布深的根系，其吸收作用就像一张能从土壤中吸附养分的保护网。

#### 4. 增加土壤氮素含量

具有固氮能力的树种在农林复合中意义更大，如相思属、木麻黄、刺桐、牧豆等，一般可每年固氮 50-200kg/hm<sup>2</sup>，某些银合欢树种甚至可每年增氮 500kg/hm<sup>2</sup>。据研究<sup>[13]</sup> 黄土高原沟壑区 0-50cm 土层的 N 含量刺槐林地与草地相近，均较农地为高，而速效 N 的含量则以林地最高，草地和农地相近。因此，在农林复合系统中，树种选择适当时还可培肥土壤。

## 第二节 农林复合的分类

农林复合是一种土地利用方式。世界各地自然因素和社会条件的千差万别，构成了农林复合系统的复杂性，有必要对其进行分类认识。目前，有关农林复合类型划分的方案众多，但都有一定的局限性，尚未形成一个统一的适用于全球的单一分类标准。这里仅就几个重要方案作一介绍。

### 一、国际农林复合研究委员会的分类方案

国际农林复合研究委员会 (ICRAF) 在收集大量资料、建立数据库 (AFIS) 的基础上提出了以系统结构、功能、生态环境和社会经济规模 4 个分类标准而进行的分类方案<sup>[14]</sup>，见表 1-1。

表 1-1 按不同标准进行的农林复合系统划分

分类标准	解 释	分类结果
系统结构	系统的组分和组分间相互关系 (即组分配置)	农林业、林草业、农林草业
系统功能	农林复合的目的和价值，代表系统的 输出和组分作用	生产功能(满足基本需要的生产)、保护作用(土壤保护、促进土壤肥力)
生态环境	系统环境基础	按生态带(湿润低地热带、干旱半干旱热带、高地热带)、热量带(热带、亚热带、温带等)和土壤性质(沙地、盐碱地)
社会经济规模	农林复合生态系统的规模管理水平、 经济收入等	商业性的、中等的或持久的

就系统结构而言，还可进一步划分农林结合型、林牧结合型、农林牧结合型和其他类型<sup>[15]</sup>(见表 1-2)。

表 1-2

按系统结构划分的农林复合分类系统

主 类	亚 类
农林结合型	轮荒农业区改进的休闲系统 汤加系统 树木园田系统 树篱(树木)和农作物间作系统 长有多用途乔灌树种的农田系统 人工林与农作物相结合系统 生产薪柴的农林系统 防护林带
林牧结合型	蛋白质库(专为采购饲料用的林牧结构系统) 饲料树组成的树篱系统 长有乔木或灌木的草地系统
农林牧结合型	多用途木本绿篱系统 包括大量草本植物和木本植物,有时还包括饲养动物的家庭田园
其他类型	农、林、渔(副)结合系统 各种轮荒耕作制度 长有树木的养蜂系统

## 二、宋兆民、孟平方案

宋兆民、孟平对我国热带、亚热带地区和暖温带地区农林复合模式进行了总结,提出如下方案。

### (一) 热带、亚热带地区

#### 1. 林、胶、茶模式

以面积 3~6hm<sup>2</sup> 防护林网为单元,网内以橡胶和茶叶间作,一般在橡胶行内种植茶叶 3~6行,种植两年后开始采收茶叶,可连续收 12~15年,平均每年每公顷采茶 1500~2200kg。

#### 2. 林胶、咖啡模式

橡胶行内间种 3~5行小粒咖啡 株行距 1.5m×2.0m 种植 1~2年内,行间间种菠萝或花生等经济作物 当年可收菠萝或花生 第 3年收获咖啡 连续收获 4~5年后改种砂仁盖等中药材,此时橡胶开始产胶。

### (二) 暖温带地区

#### 1. 枣粮间作模式

在河北、山东等地历来的种植模式为枣树与小麦、玉米、大豆、棉花、蔬菜等间作 枣树以农为主,采用密株距、宽行距,在枣树行间种农作物。近年来又在株间试验栽种早期能够有收益的植物。比较成功的种植模式有:枣树+香椿+黄花菜与小麦-玉米间作,枣树株距 3m 株间种 1~2株香椿,又在枣树、香椿间每 30cm 栽一墩黄花菜,行距为 15m;若为圆铃等

品种的枣树 株距为 4m 株间种 2-3 株香椿 黄花菜仍为 30cm 栽一墩。

## 2. 桐粮间作模式

在豫东、鲁西北、苏北和黄泛区为泡桐 + 葡萄与花生 + 玉米间作模式。此模式一般为泡桐两侧 8-10m 之间为矮杆花生，此外为葡萄，葡萄之间有的仍种花生，有的则种玉米，泡桐间距 15-20m。

泡桐 + 中草药 + 大豆模式，一般泡桐两侧 4-5m 之内为耐阴性的中草药，中草药之间 20-25m 为大豆 或花生 等农作物。

## 3. 香料间作模式

一般两行香椿之间种植农作物 如小麦、玉米、棉花、瓜、菜等 香椿单独采芽 或进行高低香椿两种形式作业，并在株间种黄花菜，或为上中下 3 层结构，即香椿（乔型）+ 香椿（灌型）+ 黄花菜 + 农作物。乔型香椿株距 3m，灌型香椿株距 1.5-2m 黄花菜 30cm 一墩。

## 4. 条基藕塘 或鱼塘 模式

在黄淮海地区 特别是盐碱涝洼地区 废坑塘较多 常采用紫穗槐 + 垂柳 + 藕或鱼 用挖塘的泥土抬高地基，做成台田，在台面上种植耐盐碱的紫穗槐，四周用垂柳镶边。

## 5. 复层防护林带模式

在平原农区 农田防护林多为路、渠、林相结合 而林带本身进行乔、灌、草搭配 成为多层的立体结构。主要有两种形式：①杨树 + 侧柏 + 紫穗槐 + 白芍 + 农作物，形成一路两沟六行树，上乔下灌三层楼 ②杨树 + 刺槐 + 侧柏 + 柳树 + 泡桐 + 香椿 + 紫穗槐 + 农作物，形成路杨、沟柳 桐、香镶边 槐、柏混交 灌草结构。

# 三、干旱与半干旱地区农林复合的主要模式

这里的干旱与半干旱地区 主要指的是黄土高原。

## （一）林 - 农模式

### 1. 杨 - 粮间作

山西省从 1981 年起，在平原高产农区营造杨 - 麦间作的速生丰产林，临汾地区，1985 年已达 1.33 万  $\text{hm}^2$ 。株行距 6m × 6m 的 4 年生沙兰杨间作林，沙兰杨长势良好，间作的小麦连年丰收，林内外小麦产量无显著差异。

### 2. 林 - 经济作物间作

宁夏青铜峡市大坝乡充分利用杨树造林初期的林中隙地，套种西瓜、黄豆等经济作物，不仅提高了土地利用率，还促进了林木的生长。

### 3. 经济林 - 粮间作

山西省孟县北部滹沱河流域梁家寨、北峪口、庄里和下乡 人多地少 历史上就有耕地上栽经济林、树下种田，农作物间作套种，立体利用土地的习惯。其形式主要有核桃 - 花椒 - 农作物 三层楼 型。花椒 - 农作物和核桃 - 农作物 二层楼 型 形成 大三层 中还有 小三层 的多层次立体种植。

## （二）林 - 草模式

安塞县茶坊村为防止水土流失，在山坡地上利用柠条分别与草木樨、紫花苜蓿、沙打旺和红豆草带状间种。这种间作，既能有效地防止水土流失，又可得饲料、薪柴等，草衰败之后，还要在原草带间作农作物等。

### (三) 林 - 农 - 草镶嵌模式

巨仁等根据多年土地利用配置规划工作经验,应用生态与系统学的原理及方法,提出宁夏南部丘陵区农、林、牧三者的用地在地面空间上合理布局的镶嵌模式。如某一 崙的顶部都种草,下部造林,中部种农作物,寓防护于生产,即上部草地除产草外,又能保护中部农地不受冲刷,下部林地除产柴外,又能固沙护岸,保护上部农、草地不被蚕食。

### (四) 林 - 牧模式

林牧结构一是圈养式,即利用林地资源,收获下牧草及树叶作饲料,舍饲养畜;二是林地放养,即利用林间草场或林下落叶放牧。

## 四、森田学分类方案

国际上一般认为,农林复合生态系统起源于热带地区,而热带地区农林业的主要矛盾是地力不足。据此,日本京都大学森田学教授将农林复合生态系统划分为以下类型。

### (一) 烧耕游动式耕作 (Shifting Cultivation)

这是地多人少的地区采用的一种比较原始的农林结合方式。一般以 20 - 25 年为一个周期。森林采伐后,放火烧掉剩余物。利用它们形成的养分种植农作物。这种方式三年后杂草丛生、地力下降、停止耕作,即为休耕期。此时,开始更新造林又形成新的林地。新林成熟后又采伐,又火烧耕种,这样循环往复。从时间与空间角度看,间续为农用地、林用地交替进行。

### (二) 回路系统 (Fallon System)

这个方式由前者发展而来。是随着人口增加、土地减少、地力下降而采用的耕作制度。主要在南美洲一些国家采用,一般以 15 年为一个回路。森林采伐后,头两年每年种两季作物,第三年种一季,第四年改种长期作物。这是根据土壤肥力的变化,改变农林作物类型的耕作方式。

### (三) 塔翁雅 '型 (The Tanugya System)

“塔翁雅 '型是缅甸语,“Tanugya”一词的谐音。这种生产方式早在 1860 - 1900 年就在缅甸采用,但它在泰国发展是较为完善的。这种方式是随着人口不断增加,为充分利用土地而采用的人工林早期与粮食作物实行间作。在更新造林地中,间种粮食和其他农作物,直到森林郁闭不能间作为止。这一方式从开始时农林业就结合进行,随时间推移农林业结合的方式也发生变化。

### (四) 树间栽培 (Garden System)

利用各种植物不同的耐阴性,实行乔、灌、草结合,这是一种空间式的农林立体结合。一些热带国家和中国的海南岛、西双版纳种植热带经济作物时常采用这种方式。它的上层是高大的乔木,下面依次为用材林、经济林、药用草本植物等。这种类型的特点一是充分利用空间,二是农林业始终相结合。

### (五) 自然迁移模式

森林采伐后,按照森林天然更新时先出现草木、灌木,而后出现乔木的自然演替过程,确定农林业的种植。

### (六) 散状、列状的农林结合方式

这是类似回路系统而又胜于它的农林结合方式。典型的是印度尼西亚的“Ma Ma”林

业。回路系统考虑的是单个生产过程中农林业的结合，而散状、列状的方式是从森林的轮伐期出发，把同一林地按散状分布或列状分布划分成不同的单个耕作单元，以保证农林业永续结合和森林永续利用。这是从整个生产过程实行农林业结合的。采用这种方式的树种都是速生树种。

## 五、熊文愈分类方案

我国南京林业大学熊文愈先生将农林复合生态系统的类型归纳为五类。<sup>[7]</sup>

### (一) 林 - 农复合型

#### 1. 以农为主

树木成宽行距种植，行间间作农作物。主要发挥林木的小气候效应，保证农业的高产稳产。如我国的桐粮间作，稻、麦与池杉间作。这是适合我国情况的好形式。

#### 2. 以林为主

造林后头 3 - 5 年与农作物间作，林分郁闭后停止。类似“塔翁雅”型。在意大利的波河流域所实行的杨树和稻子、玉米、小麦和三叶草等传统作物栽植在一起。

### (二) 林 - 牧复合型

林下种植牧草或原有草地栽植树木。目的是保持水土及改善牲畜生境。此类型在西欧、东欧较为普遍。澳大利亚、新西兰也十分注重林牧结合。

### (三) 林 - 渔复合型

鱼池边种植树木和鱼饲草，池中养鱼，林木有固堤作用，鱼草可喂鱼。如广东的桑基鱼塘。

### (四) 林 - 农 - 渔复合型

林、渔结合的同时，林下间作农作物。

### (五) 林 - 副复合型

林下种植木本经济作物，用来发展副业，类似树间栽培。

由上述可见，农林复合生态系统的类型多种多样，但都以谋求整个复合生态系统的最大功能和综合效益为原则。

## 第三节 农林复合的历史与现状

### 一、农林复合的发展阶段

农林复合在我国已有几千年的历史。综观农林复合的起源、发展与研究，可大致分为原始农林复合、传统农林复合和现代农林复合 3 个阶段<sup>[4,5]</sup>。

#### (一) 原始农林复合

原始农林复合的典型形式为“刀耕火种”，即将大量的林地转化为农田。它随着历代人口的增加而变本加厉，广泛存在于湿润的热带地区。这种经营方式在国外延续至 19 世纪末，少数地区直至 20 世纪 20 年代仍在施行。

“刀耕火种”在我国有几千年的历史。先秦古籍中曾记述有：“有虞之王，桔泽童山”（《管子·国难》）；“柞氏，掌政草木及林麓，夏日至，令刊阳木而头之，冬日至，令剥阴木而水

之，……凡攻木者掌其政令（《周礼·秋官·柞氏》）等等。这种传统，在汉代之后也是史不绝书。如汉代史书所载：“山东被河淄，人民相食，……天子怜之，诏曰：‘江南火耕水，令饥民得就食江间’”（《史记·平准书》）；唐代火耕的记述更多，不仅反映在史书中，也反映在诗歌中，如《新唐书·亚震传》：“梁、汉间刀耕火种，民采稻为食。”唐诗中有：“吏征鱼户税，人纳火田租”；“烈火烧山坡，疾风吹猛焰”。宋代许观著之《东斋记事》中称：“沅、湘间多山，农家惟植粟，且多在冈阜，每欲布种时，则先伐其林木，纵火焚之，俟其成灰，即播种于其间，如是则所牧必俭，盖史所言刀耕火种也”……新中国成立后，在经济落后的西南边远山区和海南岛等地区还在延用。

刀耕火种的原始农林复合，开创了古代农业文明，但这种文明是以森林消失为代价的。原始农林复合对土地、空间的利用率极低，经济效益差，对自然环境破坏严重。而且，由于反复破坏，水土大量流失，次生植被日趋单纯，环境质量迅速变劣，既不利于森林经营，又不能获得良好的农业种植收益，陷于毁林—垦种、再毁林—再垦种的恶性循环之中。

## （二）传统农林复合

传统农林复合，就是把林业和农业或牧业简单地组合起来。

传统农林复合在中世纪盛行于欧洲，现在南美洲、非洲及东南亚一些发展中国家仍广泛推行，并作为主要的农林业作业制度。

传统农林复合在我国已有 1 000 多年的历史。北魏贾思勰所著《齐民要术》中记载：“种桑拓，其下常掘，种绿豆小豆，二豆良美，润泽益桑”。反映了当时的劳动人民已有了在桑园间作绿豆和小豆等农作物的经验。又如《种桂》（1573—1620 年）中提到：“桂树初种一、二年，树身矮小，萌芽甚嫩，每行空地，宜种杂物，如木番橘、山芋、山姜等”。明代徐光启所著《农政全书》（1639 年）则有更多的叙述，例如在杉木林内“则夏种粟，冬种麦，当可锄耕”等。庭院林业在林木下种瓜、菜及其他作物，在我国也有着悠久的历史。

新中国成立后，开始大搞农田防护林建设。先在冀西营造防护林，接着在永定河下游、豫东、陕北以及内蒙古、宁夏、青海、甘肃、辽宁、吉林、黑龙江等地相继开展营造防护林活动。新疆军垦区和内地部分国营农场，在建场、开荒、造田的同时，进行农、林、牧、水等统一规划，营造了大量农田林网。20 世纪 60 年代，不少社队和国营林场，开始结合农田基本建设，搞农林间作。黄土高原的韩城种植地埂花椒，晋陕甘实施枣粮间作、柿粮间作，庆阳塬面的桐粮间作等都是典型的例子。

传统农林复合，在不破坏林木经营的前提下，有选择地进行种植、放牧，这是农、林业生产的一大进步，提高了土地利用率和光能的利用率。

## （三）现代农林复合

传统的农林复合在发挥林业的保持水土、增加土壤肥力、涵养水源等方面起了积极的作用，使农、林、牧业的发展具有持续稳定的生态环境，并提高了复合系统的总体经济效益。但是，由于当时认识水平和技术水平的限制，还没有真正认识到农林复合的意义和作用，只是盲目地、无计划地开展这项工作，没有将其纳入科学研究项目。特别是 20 世纪 50 年代“造林学”，有些方面没有注意把苏联的林业科学技术和先进经验同中国的实际情况相结合，结果出现了不少问题。

随着人口、粮食、能源危机等一系列问题的出现，生态环境的破坏阻碍了农林业的进一步发展。农业的发展开始由传统农业转向持续农业，土地利用方式由单一、低效型转向复

合、高效型，人们才真正认识到农林复合的意义，并将其作为一个系统进行科学研究。现代农林复合的主要标志，在于把生态系统和系统工程的理论与方法应用于混农林业系统的设计、建造、管理和调控中，使农林复合系统的结构和功能达到整体最优，从而提高了系统的稳定性和综合效益。

现代农林复合，是根据各地的自然条件和社会经济文化背景，按照空间位置和时间（季节）序列将各种生物（林木、农作物、经济作物、禽畜、水生生物等）合理组合安排，使之成为相互促进、连锁反应、循环利用、多级生产、稳定高效的人工复合系统。现代农林复合具有5个特点：①以生态学原理为指导，因地制宜地发挥区位优势，形成农、林、牧、副、渔综合性生产；②可进行人工调控，以达到获取最大生物量（食物、药材、木材、燃料、饲料、工业原材料……）和有效保护农林业自然生态环境（护岸、护坡、防风固沙、保持水土……）之双重目的；③在结构上，具有多种生物种群和多层次的立体结构，自然资源被多层次多途径利用，形成多种行业配套经营；④通过植树造林，建立多类型防护林体系，可以逐步恢复已破坏了了的生态环境；⑤促使大农业产业化的形成，以达到可持续发展。

尽管现代农林复合是新近才发展起来的一门新兴学科，还远远没有完善，但由于它既能极大地提高土地、光能、生物资源的利用率，生产丰富多样的产品，又有改善环境的功能，对于我们这个人多地少、森林资源匮乏的国家来说，具有很重要的现实意义。

## 二、农林复合的发展现状

许多发展中国家十分重视农林复合的研究与实践，并取得了明显的成效。例如，中美洲推行的香蕉、可可与破布木间作，除收获可可、香蕉之外，还可生产木材  $200\text{m}^3/\text{hm}^2$ ；在墨西哥用桃木与破布木、玉米间作，使营造人工林的费用减少 27%；印度尼西亚大面积采用人工林早期与粮食作物间作，获得很好的经济效益；菲律宾在丘陵坡面每隔一定距离栽植固氮及多用途树种，在保护农田、保持水土并生产饲料和绿肥方面效果显著；在非洲撒哈拉沙漠热带地区，为防止沙化、保护农作物，采用筛屏法造林；尼日利亚实行间作的土地每年有  $2\text{万}\text{hm}^2$  不仅有利于幼林管理，而且生产大量的农产品。

近年来，欧洲一些发达国家也开始推行农林复合制度。英国在核桃 ( $10\text{m} \times 10\text{m}$ ) 下间种大麦、油菜，结果间作物产量比单一种植农作物高 20%；西班牙采用栓皮栎与牧草、油橄榄与牧草、柑橘与葡萄和农作物间作，收到良好的经济效益；意大利在波河流域采用杨树与稻、玉米、小麦和三叶草等传统作物间作，均收到较好效益。

随着我国人口的不断增长，人均耕地面积不断减少，对木材、粮食和其他农副产品的需求日益增多，混农林业引起了广大农林业科学工作者的重视，开展了农林间作、农田防护林的小气候效应和经济效益等方面的研究，取得了显著的成效。我国正在建设的“三北”防护林工程，华北地区的农田林网，包括各种农林间作，如农桐间作、枣农间作、果农间作、桑农间作等形式在内的复合农田防护林体系，江淮地区茶农间作、桑农间作，以及水网地区的杉粮渔相结合的混农林业制度，南方大面积的桐油桐粮间作、两油一粮、油茶、油菜和粮食、荆等；西双版纳热带作物所配置的橡胶、茶叶和砂仁相结合的人工群落系统等，都收到了良好的生态效益和经济效益。

为推动各国农林复合事业的发展，1978年在加拿大国际发展研究中心（IDRC）的资助下，成立了国际农林复合研究理事会（ICRAF），总部设在肯尼亚的首都内罗毕。1977年到

1985年的9年间,已有几十个国际会议专门讨论农林复合问题。1982年12月,国际农林复合研究理事会(ICRAF)为加强混农林业专业知识的宣传和培训,在内罗毕召开了农林复合教育学术会议,会后,美国及非洲、亚洲、拉丁美洲的一些国家的林业院校相继开展了这项工作。同年,ICRAF创办了《Agroforestry System》杂志。自1984年以来在《Agroforestry System》杂志上发表了一系列关于世界农林复合研究与发展的报告,以及一些国际会议论文集和专著介绍。国际林业联合会(IUFRO)第十八届世界林业大会和联合国第九届世界林业大会都把发展农林复合作为一项重要的议题。1986年国际林业联合会第十八届林业大会决定,在该组织中专门成立农林复合学会,并于1987年3月在印度专门召开了有30多个国家350多名代表参加的国际农林复合学术讨论会,收到论文250篇。1988年12月在美国佛罗里达州州立大学林学系再次举行国际农林复合专业教育学术讲座,总结和交换了近年来农林复合方面的教学经验,推广科研成果。国际农林复合研究理事会自成立以来,主要进行了以下几个方面的工作:

(1)发展多学科协作,研究评估土地利用限制因素的方法,探讨农林复合克服土地利用限制因素的可能性。

(2)系统地收集与评价现有的农林复合技术理论,制定统一的农林复合研究方法,搜集、评价、分类和传播有关农林复合信息。

(3)编制培训计划,向发展中国家的水土保持、土地利用规划方面的人员及基层农林科技人员传播农林复合知识。

1991年5月,亚洲太平洋地区在联合国粮农组织(FAO)主持下,成立了农林复合研究与开发项目秘书处,总部设在印度尼西亚的BOGOR的林业研究和开发中心(FQDC)。目的是协调孟加拉国、印度、印度尼西亚、老挝、尼泊尔、巴基斯坦、菲律宾、斯里兰卡、泰国和越南等几十个国家的项目活动。

目前,比较重要的农林复合研究的国际机构有:国际农林复合研究理事会(ICRAF)总部设在肯尼亚的首都内罗华),国际树木作物研究所(ITCI,总部设在英国的布伦特里),另外在澳大利亚的墨尔本、美国的肯塔基州和加利福尼亚州以及印度、中国都设有ICRAF的办事处。

1988年,我国在南京召开了第一届“全国农林复合学术讨论会”,对混农林业的经营类型、混农林业的理论作了交流和探讨,1992年在南京又召开了第二届“全国混农林复合生态系统学术研讨会”。会议对我国混农林业的发展起了积极的推动作用。

### 三、农林复合研究与发展趋势

近几十年来,农林复合和生态科学工作者在总结农林复合所取得的成就基础上,对农林复合的生物学、生态学基础,农林复合的结构特点,组建农林复合的原则和方法、综合效益等方面进行了较为系统的科学理论与实践应用研究,已成为现代生态学、农林业科学的重要研究内容。

国际农林复合研究理事会(ICRAF)自成立以来,就把试验研究作为一项重要工作,目的在于弄清现有的农林复合系统中树木和农作物的相互作用过程,选育适合混农林系统的树木和农作物的品种,为混农林系统的设计和规划提供理论依据。目前,ICRAF从事的试验研究主要有:消除试验(小块实验地的短期大量筛选)、活力/物候学试验、研究植物行为、以评

价采用某种技术后的输出潜力)功能/管理试验(单株树或由小到大地块的试验),隔离的间作试验(树木/作物界面试验),管理间作试验(全范围的间作试验)。20世纪80年代,ICRAF提出的景观规划法是农林复合研究的一个新进展,它把景观生态学的理论用于农林复合的设计规划,与传统农林复合系统分析相比较,其应用层次更多、目的性更强。

英国的农林复合系统研究始于20世纪80年代中期,近年来进行的主要试验研究是:农林牧各种不同农林复合类型小气候试验比较;林下间种固N作物以代替化肥试验;植物地下部分营养与生长的关系研究,爱丁堡大学林业资源系建立了一种林下牧草生长计算机模拟模型。

我国在这方面的试验研究开展得较早,特别是在林粮间作、农田防护林的小气候效应、混农林的结构特征、混农林的结构与效益的关系等研究方面获得了大量的数据,取得了可喜的成绩。

农林复合模式尽管延续了上千年,但作为一门学科,进行深入系统的研究还是近十几年来的事。在农林复合理论与实践研究方面,还存在许多空白,特别是以下几方面的工作亟待研究:

(1)农林复合系统生态关系与模式研究;

(2)农林复合系统集约栽培技术与经营管理,生物量、生产力的研究;

(3)收集有关农林复合系统的信息,建立完备的农林复合系统信息数据库和有利于应用的分类系统;

(4)建立完备的农林复合系统指标体系,测量和反映混农林系统的环境特征和能量、物质输入、输出状况。

农林复合在解决耕地减少、资源短缺,充分利用光、热和地力、空间方面;发挥生物之间共生互利和边际增产作用等方面,展示了新的希望,这一学科日益受到一批研究者和发展专家的重视,它与具有严格学科界限,单一作物种植的现行大多数农业研究不同,农林复合研究是多学科的,涉及到许多物种之间的关系,需由园艺学家、农学家、林学家、水土保持学家、土壤学家、动植物学家、人类学家、地理学家、经济学家、设计专家、生态学家和环境科学家共同协调工作。

目前,越来越多的发展计划正在寻求把当地农业与具有系统化农林复合相结合的途径,以获得经济效益、生态效益和社会效益同步发展。实践表明,农林复合正向着多学科综合协调、科学管理和集约经营的方向发展。

本书论述的农林复合基本理论、发展与研究,为黄土高原小流域建立农林复合系统提供了可能与有益的借鉴,提出的方向正是在建立该系统中要解决的重大问题。

该书以水土流失极为严重的黄土高原为背景,以陕西省淳化县泥河沟小流域为试验示范区,在15年定位、半定位试验研究、调查和室内分析、模拟的基础上,探讨了流域农林复合建立的条件及主要制约因素,农林复合规划与设计,农林复合系统中粮、果、林、牧各业的发展,塬面混农林业的配置原理及农林复合系统的特征、功能等几个主要问题。

#### 参 考 文 献

- 1 王礼先农地林业与水土保持战略,世界林业研究,1989(1):77~81

- 2 竺肇华. 一门新兴学科——农用林业. 世界林业研究, 1988(1):77-83
- 3 周长瑞. 关于“立体林业”之浅见. 山东林业科技, 1988(1):5-8
- 4 陈炳浩. 混农林业生产生态系统. 山东林业科技, 1987(1):7-13
- 5 俞白楠 叶功富 叶昌荣. 混农林业历史发展概述. 福建林业科技, 1994, 21(2):46-49
- 6 黄文丁 章熙谷 唐荣南. 中国复合农业. 南京: 江苏科学技术出版社, 1993
- 7 谢京湘 于汝元 胡涌. 农林复合生态系统研究概述. 北京林业大学学报, 1988(1):104-108
- 8 蒋建平. 农林业系统工程与农桐间作的结构模式. 世界林业研究, 1990(1):32-38
- 9 谢系湘. 农林复合生态系统研究综述. 北京林业大学学报, 1988, 12(1):11-14
- 10 宋兆民 孟平. 中国农林业的结构与模式. 世界林业研究, 1993(5):77-81
- 11 刘乃兆. 农用林业的类型与功能. 世界林业研究, 1994(3):20-24
- 12 郭志伟 洪菊生. 林业在发展农业生产中的作用与对策. 世界林业研究, 1995(2):56-61
- 13 王佑民 刘秉正. 黄土高原防护林生态特征. 北京: 中国林业出版社, 1994
- 14 王效科 冯宗炜 吴刚. 国际农林业研究委员会研究工作评价. 世界林业研究, 1992(2):92-94
- 15 卢琦 赵体顺. 农用林业的分类和调查设计. 中南林业调查规划, 1992(4):67-70
- 16 王晗生 周泽生 李立. 试论黄土高原农林复合经营问题. 水土保持通报, 1994(1):43-48
- 17 宋兆民 游有林. 农林业的概念、发展与研究. 中国农业气象, 1990(3):4-7
- 18 黄文丁 王汉杰. 林农复合经营技术. 北京: 中国林业出版社, 1992
- 19 闻大中. 农林业系统: 古老的实践, 新兴的研究领域. 生态学进展, 1988(2):85-91
- 20 傅军. 英国农用林研究进展. 世界林业研究, 1992(1):49

## 第二章 流域农林复合建设的 自然条件与社会经济条件

泥河沟流域农林复合试验示范区（以下简称泥河沟试区），位于淳化县中部黄土残塬沟壑区距淳化县城 7km 流域面积 9.48km<sup>2</sup>。自 1986 年以来，经过 15 年连续科技攻关，使流域林草覆被率由 35% 上升到 61.7%，水土流失治理度达 86.5%，土壤侵蚀模数由 4 000 t/(km<sup>2</sup>·a) 降至 500t/(km<sup>2</sup>·a) 以下。土地利用率达 88.0%，粮食单产由 1 800.0kg/hm<sup>2</sup> 提高到 3 826.5kg/hm<sup>2</sup> 人均产粮由 383.5kg 上升到 709.3kg 人均纯收入由 210.0 元提高到 3 040.7 元。实现了环境治理与经济快速发展同步，建立了初级农林复合生态经济系统，研究形成的单项及系列技术在同类型区进行了大面积推广，效益显著，累计增粮 4.11 亿 kg 增收近 7 亿元人民币。本章阐述流域农林复合建立的自然与社会经济条件。

### 第一节 气候与水资源

按聂树入陕西省气候分区，淳化县属关中平原暖温带半湿润气候区。泥河沟试区距淳化县气象站 10km，以下用该站资料分析流域气候特征。

#### 一、热量

##### （一）温度的一般特征

泥河沟流域年平均气温 9.8℃，1 月为全年最冷月，平均气温 -4.3℃，7 月为全年最热月，平均气温 23.1℃ 气温年较差 27.4℃，年内月平均气温变化见表 2-1。年平均最高气温 15.6℃ 年极端最高气温 39.4℃（1974 年 8 月 4 日）年平均最低气温 4.8℃ 年极端最低气温 -21.3℃（1967 年 1 月 16 日）。

表 2-1 泥河沟流域月平均气温（单位：℃）

月份	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	全年
平均气温	-4.3	-1.5	4.5	10.9	16.1	21.1	23.1	22.1	15.9	10.4	3.0	-3.0	9.8

初霜日平均出现在 10 月 18 日 最早为 9 月 29 日 最晚为 11 月 5 日。终霜日平均出现在 4 月 16 日 最早为 3 月 11 日 最晚为 5 月 22 日。多年平均无霜期 183 天 最长无霜期 219 天 最短无霜期 127 天。

##### （二）各种界限温度出现的日期、持续日数和积温

日平均气温  $\geq 0$  的初日平均出现在 3 月 1 日，终止于 11 月 24 日 持续 269 天 积温 3 899.2℃； $\geq 10$  的开始日期为 4 月 19 日 结束日期为 10 月 10 日 作物活跃生长期 173 天 积温平均 3 281.0℃； $\geq 15$  的开始日期为 5 月 19 日，结束日期为 9 月 15 日， $\geq 15$  起讫日期的喜温作物活跃生长期平均为 120 天 积温 2 518.20℃； $> 20$  的开始日期为 6 月 21 日 结

束日期为 8 月 22 日 持续 63 天, 积温平均 1 436.6℃。

## 二、光照

### (一) 太阳辐射

太阳年总辐射量 504.4kJ/cm<sup>2</sup>, 各月辐射量差异大。月总辐射最大值出现在 6 月, 为 60.5kJ/cm<sup>2</sup> 最低值出现在 12 月, 为 27.4kJ/cm<sup>2</sup>。5~7 月因空气干燥, 大气透明度好, 云量少 日照时数多 太阳总辐射强 月辐射总量均在 55.2kJ/cm<sup>2</sup> 以上。

光照资源对小麦高产稳产有利, 而对玉米产量有一定影响。

### (二) 生理辐射

年平均生理辐射值 252 kJ/cm<sup>2</sup>, 在气温低于 0 期间不能被作物利用的生理辐射为 47.07kJ/cm<sup>2</sup>, 占年总量的 18.7%; ≥10 期间的生理辐射 147.8kJ/cm<sup>2</sup> 占全年的 58.7%; ≥20 期间的生理辐射 57.9kJ/cm<sup>2</sup> 占全年的 23.0%。春季 0~20 界温期间生理辐射比较丰富 总量为 91.1kJ/cm<sup>2</sup> 占全年的 36.1% 秋季 20~0 界温期间生理辐射为 55.9kJ/cm<sup>2</sup>, 仅占全年的 22.2%。

### (三) 光合生产潜力

利用  $V_t = 1.255 \times 10^3 \cdot t \cdot f \cdot QP$  ( $V_t$ ——光合潜力,  $f$ ——光能利用率,  $QP$ ——光合有效辐射) 计算的 2%、5% 和 10% 三个利用率水平的理论产量值, 见表 2-2。

表 2-2 各月不同光能利用率的理论产量 (单位: kg/hm<sup>2</sup>)

利用率	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	全年
2%	0	0	135	383	705	968	1 020	900	458	270	60	0	4 898
5%	0	0	338	953	1 763	2 415	2 558	2 250	1 140	675	158	0	12 248
10%	0	0	675	1 898	3 525	4 830	5 108	4 493	2 273	1 350	308	0	2 458

由表中可知, 光能利用潜力很大。

### (四) 日照

流域全年日照 2 372.7h 日照百分率 54%。各月变化见表 2-3。

表 2-3 各月日照数和日照百分率

项目	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	全年
日照时数 (h)	192.9	158.7	182.8	191.9	229.8	249.1	241.9	242.3	163.4	170.8	167.1	182.1	2 372.7
日照百分率 (%)	62	52	49	49	53	58	55	50	44	49	54	60	54

## 三、降水

流域多年平均降水量 600.6mm。降水变化具有以下特征。

### (一) 降水量年内分配不均

降水主要集中在 7~9 月, 为 316.5mm, 占全年降水量的 53% 春季降水 130.5mm 占全年降水量 22% 冬季降水 21.2mm 只占全年降水量的 4%。

一般汛期平均开始日期(第一次日降水量 $\geq 30\text{mm}$ 之后)为6月25日,最早在3月29日(1979年),最晚在8月21日(1976年);汛期结束日期(最后一次日降水量 $\geq 30\text{mm}$ 之后)平均为8月28日,最早在7月5日(1960年),最晚在11月7日(1971年)。汛期平均为61.6天,最长为143天(1964年),最短只有1天。汛期平均降水222.2mm,最高为631.4mm(1964年),最少为36.7mm(1976年)。

#### (二) 降水量年际变化大

最多降水年1964年降水量为822.6mm,最少降水年1977年降水量409.5mm,相差1倍。冬季降水变率38%,降水量为四季中最少,而降水变率在全年最大,故常常有冬旱发生。秋季降水率为33%,仅低于冬季,对秋收、秋播有不同程度的影响。夏季降水量259.4mm,占全年降水量的43%,但降水变率最小,为15%。因此,雨量集中,雨季短促,强度大,伏旱突出。

#### (三) 暴雨集中强度大

据资料统计,1960—1979年间共出现30mm大雨37次,50mm暴雨14次,年平均出现1.85次和0.7次。大雨和暴雨集中在7、8、9三个月,占总数的90.1%左右,尤以8月最集中,要占总数50%以上。

由于缺少自记降水资料,无法进行降水强度计算,我们摘抄出最大一日降雨量来反映降雨强度变化。20年中平均最大一日降雨量为56.3mm,最大值为107.0mm(1978年),最小值为48.4mm(1962年)。嗣后观测表明,暴雨10分钟最大强度在1.2mm/min以上。暴雨产生强烈的水土流失,还诱发了旱、涝灾害。分析结果表明,该地区大旱平均20年发生一次,小旱5年一次,季节干旱年年发生,尤其春旱和伏旱较严重。洪涝灾害虽比干旱灾害较轻,但也常常导致沟谷强烈冲刷,毁坏良田,给下游输送大量泥沙,甚至造成更大灾害。

#### (四) 水资源

泥河沟主沟道自北而南流入冶峪河,上游段已切入基岩,并有龙潭沟(西支沟)和九庄沟(东支沟)汇入,主沟道与两支流均有层间水和裂隙水出露,形成涓涓细流。经1987—1990年实测,常流量一般变化在 $0.015\text{m}^3/\text{s} \sim 0.020\text{m}^3/\text{s}$ 之间,5—10月平均产洪水13.895万 $\text{m}^3$ ,年径流总量约为67.80万 $\text{m}^3$ 。

地下水未做专门研究,但从关中水资源分区知,属地下水贫水区,多为黄土层间潜水。

在主沟道中下游,1960年建设小型水库一座,总库容78.0万 $\text{m}^3$ ,其中兴利库容60.0万 $\text{m}^3$ ,并配套建设抽水站一座,设计灌溉面积200万 $\text{hm}^2$ 。由于管理不善,长期失修,灌溉效益难以发挥,仅在极干旱情况下“抢修抽水”,本流域受益面积不足30—40 $\text{hm}^2$ ,绝大部分农地仍为旱作。

## 第二节 地质与地貌

### 一、地质基础与地貌发展简史

泥河沟流域属鄂尔多斯地台南缘,它的发展变化与鄂尔多斯地台变化基本相同。在经历了古生代以后的多期构造运动之后,中生代沉积了三叠纪、侏罗纪的砂岩、页岩和泥灰