

目 录

第一章 防护林体系综合效益研究发展与评述	1
第一节 防护林体系的综合效益	1
一、关于防护林体系的综合效益	1
二、林业经营综合效益的理论依据	3
三、林业经营综合效益的基本含义	3
第二节 国内外关于森林综合效益的研究现状	4
一、森林综合效益与国家发展的理论认识	4
二、国外有关国家关于森林综合效益的研究	5
三、评价方法与研究水平	7
四、国内研究现状	8
第三节 国内外关于森林水文生态效益的研究现状	10
一、国内	10
二、国外	10
第二章 黄土高原地区概况	14
第一节 自然概况	14
一、气候	14
二、土壤	15
三、地形地貌	17
四、地质	20
五、水资源	21
六、森林植被	22
第二节 农村社会经济概况	24
第三章 研究方法	25
第一节 研究技术路线	25
一、水土保持林体系综合效益监测网的建立	25
二、总体研究方案与研究方法	26
第二节 水土保持林体系生态效益研究方法	28
一、水土保持林的生长与生物产量研究方法	28
二、水土保持林体系气候效益研究方法	34
三、水土保持林体系改良土壤研究方法	35
四、水土保持林体系水文生态效益研究方法	45
五、水土保持林树种“三料”价值研究方法	61
第四章 水土保持林的生长与生物产量	64
第一节 主要树种的生长与生物产量	64
一、人工刺槐林的生长与生物产量	64
二、人工油松林的生长与生物产量	78
第二节 林分密度与材积和生物产量	81
一、人工刺槐林林分密度与材积和生物产量	81
二、人工油松林林分密度与材积和生物产量	92
第三节 灌木群落的生物产量	102

一、晋西黄土残塬沟壑区沙棘分布及生物产量	102
二、晋西黄土残塬沟壑区虎榛子灌丛生物产量	104
三、晋西黄土残塬沟壑区次生林植被	106
四、黄土高原主要灌木生物产量调查结果	111
第四节 封禁流域植被自然恢复	113
一、调查研究方法	113
二、封禁流域植被自然恢复	114
三、小结	118
第五节 水土保持林的水分生产力	119
一、人工刺槐林的水分生产力	119
二、5种灌木的蒸腾和水分利用率	128
第六节 水土保持林体系树种的“三料”价值	137
一、水土保持林主要树种热值及其影响因素的研究	137
二、水土保持林树种饲料和肥料价值分析	158
第五章 水土保持林体系的气候效益	160
第一节 水土保持林的气候效益	160
一、概述	160
二、水土保持林的小气候效益	160
三、水土保持林体系的区域气候效益	170
第二节 水土保持林的能量平衡	176
一、森林的能量平衡方程	176
二、能量平衡方程中各分量的表达式及其确定方法	176
三、黄土高原地区森林能量平衡各分量特征	178
第三节 水土保持林的蒸散	182
一、黄土高原水土保持林蒸散的一般特征	183
二、小结	185
第四节 灌木林小气候效益	186
一、柠条林对光能的影响	186
二、柠条林对温度的影响	187
三、柠条林对空气相对湿度的影响	191
四、几个重要关系的探讨	192
五、小结	193
第六章 水土保持林体系改良土壤效益	195
第一节 水土保持林对土壤理化性质的改良作用	195
一、乔木林对土壤的改良作用	195
二、灌丛植被对土壤的改良作用	200
第二节 水土保持林地土壤的抗蚀性	206
一、宜川、安塞试验区	206
二、吉县试验区	212
三、淳化试验区	214
第三节 水土保持林地土壤抗冲性	220
一、宜川试验区	220
二、淳化试验区	232
第四节 水土保持林地土壤的抗剪作用	235

一、不同林地实测剪切强度	235
二、小结	243
第五节 水土保持林根系固土作用	245
一、灌木树种根系的固土作用及其预测	245
二、人工刺槐林和人工油松林根系的固土作用	254
三、人工刺槐林采伐后根系固土作用的衰退状况	257
四、林木根系的抗拉力	260
第七章 水土保持林体系水文生态效益	262
第一节 水土保持林植被冠层的水文作用	262
一、黄土残积沟壑区	262
二、黄土丘陵沟壑区	265
第二节 枯枝落叶层的水文生态功能	276
一、枯枝落叶层的蓄积及其动态变化	276
二、持水能力和截留降水	279
三、阻滞径流速度	282
四、削减地表径流量和冲刷量	284
第三节 林地土壤入渗性能	284
一、土壤水分入渗的计算与分析	284
二、水土保持林地入渗性能分析	287
三、入渗的空间分布	288
四、人工降雨条件下土壤入渗规律的研究	289
五、人工降雨条件下不同地类土壤入渗性能的对比分析	291
第四节 水土保持林地土壤水分	293
一、水土保持林地土壤水分动态	293
二、黄土丘陵区油松人工林地土壤水分特征	301
第五节 水土保持林地土壤水分物理性质	306
一、标准地布设	307
二、结果分析与讨论	307
第六节 坡面地表径流与泥沙	316
一、水土保持林坡面地表径流与泥沙	316
二、人工降雨条件下林地坡面地表径流和泥沙规律	321
第七节 小流域径流与泥沙	341
一、小流域水土保持林拦洪减沙作用	341
二、较大流域(吉县清水河流域)防护林动态变化对径流泥沙的影响	350
第八节 水土保持林体系根际区土壤水分平衡	354
一、水量平衡方程与动力平衡模型	354
二、模型中分量的计算与确定	356
三、根际区土壤水分平衡的分析	359
第九节 水土保持林体系水源涵养作用	362
一、森林水源涵养作用的机理	362
二、不同条件下森林水源涵养作用的分析	364
三、森林水源涵养作用层次和影响因素的分析	366
四、晋西黄土区森林水源涵养作用的实验研究	372
五、小结	377

第十节 水土保持林体系的水质效应	377
一、泥沙含量及级配	378
二、主要水质指标的测验成果及其讨论	379
三、小结	383
第十一节 水土保持林造林整地工程的蓄水保土效益	383
一、整地工程试验设计	383
二、整地工程对土壤物理性质的影响	386
三、不同造林整地工程入渗、产流、产沙分析	390
四、整地工程土壤水分动态规律	393
五、小结	400
第八章 人工水土保持林经济效益分析	402
第一节 水土保持林体系经济效益分析中若干问题的探讨	403
一、水土保持林再生产费用中的土地机会成本	403
二、资金的时间价值分析	404
三、水土保持林的效能与效益	404
四、林分评价年限的确定	405
五、水土保持林经济效益统计分析	405
第二节 黄土高原不同地区水土保持林主要树种直接经济效益	407
一、典型分析(以山西省吉县为例)	407
二、其它地区分析成果(均以典型立地刺槐林为例)	412
第三节 综合评述	413
第九章 水土保持林体系综合效益评价与预测	416
第一节 水土保持林体系综合效益评价的理论基础	416
一、水土保持林体系经济效益研究的客观必要性	417
二、水土保持林体系综合效益的特征	420
三、水土保持林生态效益的经济基础	425
四、水土保持林综合效益评价方法	428
第二节 综合效益评价指标体系	430
一、原则	430
二、综合效益评价指标体系	431
第三节 综合效益评价指标体系建立方法	431
一、指标权重确定方法	432
二、群组决策方法	434
三、判断数据的获取与识别	436
四、内部依存的递阶层次结构	435
五、地类单项指标的确定	438
六、ABC 模糊分类法	438
第四节 综合效益评价与预测系统(CBEPS)	438
一、CBEPS 结构	438
二、CBEPS 运行	438
三、CBEPS 系统运行环境	439
四、CBEPS 的应用	440

参考文献

第一章 防护林体系综合效益研究发展与评述

第一节 防护林体系的综合效益

关于森林,我国学者从理论与实践两方面经过多年的论证,提出森林是以木本植物为主体的生物群体和环境的统一体。而防护林则作为一个重要的林种,不管是人工防护林,还是天然防护林,在其生长发育过程中,不同程度地反映了森林所具有的各种功能。

到目前为止,专门研究防护林体系综合效益的文献尚不多见,而关于森林综合效益的研究成果很多,因此在回顾防护林体系综合效益研究进展的时候,我们不得不暂时引用关于森林综合效益研究的一些概念和结论。但是,我们认为,不论冠之为森林综合效益,或者为防护林体系综合效益,在理论上和实践上,两者并无实质上的差别。

一、关于防护林体系的综合效益

我国多数学者认为,防护林体系(森林)的综合效益,主要表现在防护林体系的生态效益、经济效益和社会效益上。下面我们主要通过介绍福建林学院张建国教授对森林(防护林)的研究结论(1990),来阐述防护林(森林)的综合效益及其主要特征。

森林的生态效益,是指在森林生态系统及其影响所及范围内,森林对人类社会有益的全部效用。它包括在森林生态系统之中,以木本植物为主体的生物系统,即生命系统所提供的效益,和与生命系统相适应的环境系统所提供的效益,生命系统和与其相适应的环境系统在进行各种生态生理作用过程中所形成的高于或大于其组成部分之和的整体效益。研究森林生态效益的宗旨,在于探索森林生态效益的客观运动规律,以便得出在森林生态效益范围内的最高整体化水平。

森林的经济效益,主要是指在森林生态系统及其影响所及范围之内,被人们开发利用已变为经济形态的那部分效益。森林经济效益又泛指被人们认识且可能变为经济形态的森林效益。由此可见,前者特指森林现实的经济效益,后者特指森林潜在的经济效益。

森林的社会效益,是指森林生态系统及其影响所及范围内,被人们认识,且已为社会服务的那部分效益。

森林的这些效益,不仅存在于各种森林之中,而且存在于森林的各种生态生理过程之中。张建国教授等通过对林业经营综合效益的研究,从环境—社会大系统的角度提出了对森林综合效益的新认识。即客观事物间相互联系、相互作用构成具有一定结构和执行特定功能的有机统一体,即系统。这些系统又很少是孤立存在的,大多数与环境(即更大系统)发生物质能量和信息的交换关系,而且系统内部各组成要素间具有平行关系,层次间具有统辖关系,进而构成十分复杂的体系。对此,只有从整体与环境、整体与单元、单元与单元等相互联系和相互作用方面进行系统分析,以整体效益为目标,以寻求解决特定问题的最佳策略为重点,以定量分析方法和决策者价值判断为手段,才能达到系统整体最优的理想途径。

吴斌(1990)把防护林体系在山区生态经济系统中的地位,概化为图 1.1.1。

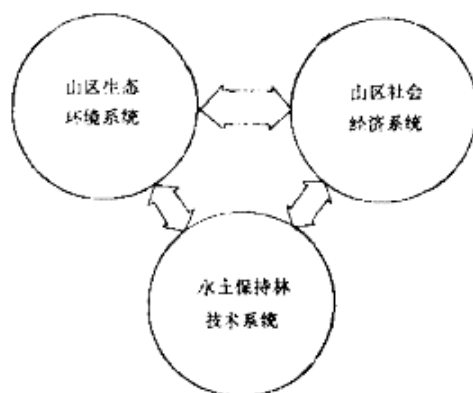


图 1.1.1 防护林体系在山区生态经济系统中的地位

图中的环境系统,是相对于人这一主体的自然环境系统。它指围绕人群的充满各种有生命和无生命的物质空间,是人类赖以生存、直接或间接影响人类生产和生活的各种因素的总和。环境系统具有两个最显著的特征:第一,环境系统是一个有序的巨系统。由于外来能量的输入(这部分能量主要来自太阳能),系统内各组成要素不断按一定规律进行物质交换和能量运动,从而形成有序结构表现出结构的统一性和功能的协调性,成为一个远离平衡态的具有耗散结构特点的开放系统。第二,环境系统又是一个动态平衡系统。它在长期演化过程中形成具有一定调节功能的自我调节系统,能够在一定阈值内对于外来冲击进行补偿和缓和,从而维持它的相对稳定性。

森林系统是环境系统的重要组成部分。现代研究资料表明,作为陆地最大生态系统的森林系统,具有时间、空间、种群等优势,保持着陆地生态系中最强大的第一性生产力。它在保持环境系统有序结构中起关键作用,而且是环境系统中最大的调节系统,森林系统在维持环境系统动态平衡中起中心作用,在环境系统中具有不可缺少和无法替代的作用。随着现代科技发展和人类社会对环境需求的增加,人们已经对森林在环境系统中诸如保存物种、涵养水源、保持水土、防风固沙、净化大气等方面的功能,有了较为清晰的认识。

图中的社会经济系统,是一个以人类为主体的复杂系统,是从自然环境系统中分化发展出来的。人类通过劳动(经济活动),一方面获得社会因素,从自然状态向社会状态发展,从自然因素起决定作用向社会历史因素起决定作用的系统发展,形成比自然系统更高级更有组织的系统。这一系统表现为社会制度以及与之相适应的上层建筑,其经济制度是社会的基础,是人们生产关系的总和。另一方面,人类通过经济活动对环境系统进行积极、有意识的干预。一部社会发展史,实际上也是一部人类开发和利用环境资源史。可见,在社会经济系统中,经济学系统处于独特地位,既是社会系统运行的基础,又是环境与社会系统联系的纽带。正是鉴于此,人们认识到经济增长并不完全等同于社会发展。后者不仅包括前者的内容(以总产值、净产值或国民收入等货币化增长为标志),而且还涉及到社会经济结构和制度的变更问题,人的素质提高和全面的综合发展是社会进步的主要标志。

作为一个复合系统,在森林生态经济系统中,以自然环境系统提供的森林生态系统为劳动对象,以社会系统提供一定比例的劳力、信息、资金和技术。

张建国教授在对森林系统作了深入分析后指出:第一,林业经营系统在环境—社会大系统中处于一种特殊地位。一方面,它是社会—环境协调发展的基础力量,对大系统输出林业经营成果——综合效益,综合效益是大系统良性循环不可缺少和取代的基本因素。另一方面,它又是大系统运行状况的“晴雨表”。由于它依赖于大系统的输入来维持自身运行,若大系统能协调发展,因此可从大系统中得到净负熵流,从而逐步进入良性循环状态,走向有序化,反之,则走向无序化,反映大系统的紊乱状态。第二,林业经营的输出成果与投入生产要素之比较,便

称之为林业经营综合效益。由于这种效益中包括林业的货币化的直接收益,又包括非货币化的间接收益,因此较为客观地反映了林业经营成果的大小,故冠之以“综合效益”。由于“效益”是投入与产出的对比关系,因而森林综合效益实质上反映的是林业输出成果中被不同客体接受的收益值,即经济系统从林业经营系统输出中获取的经济收益、社会系统获取社会收益和环境系统获得的生态收益。第三,森林的多种功能属性是林业综合效益的形成基础,人类的劳动参与是林业综合效益的形成中介,社会需求程度是林业综合效益的形成条件,而林业系统的良性循环则是林业综合效益长期稳定发挥作用的根本保证。只有林业经营系统在具有高效的系统功能、合理的系统结构、稳定的运转效率的总体优化条件下,森林生态系统才能得以正常演替,其多种功能才能发挥作用。

二、林业经营综合效益的理论依据

经济活动是人类社会的主要活动,经济成果(以物质和劳务产品为主要特征)是社会发展的主要基础,经济增长是社会进步的主要动力,因而,经济子系统在社会系统中占据独特地位,在社会实践中形成了一整套严密的效益评价体系。当把传统的经济效益评价体系用于森林综合效益评价时,可以发现,它存在着很大的局限性。传统的评价体系中,收益仅仅被视为在市场中可以进行交换的货币效益,忽视了货币收益外的间接收益,即生态效益和社会效益部分。以货币收益作为收益的总体,事实上掩盖了不同产业活动的间接收益的差别性,造成产业个别收益与社会收益不一致。另外,在评价体系中,成本部分包括对环境质量的消耗(表现为环境污染、生态系统破坏等),使产业的个别成本低于社会成本。在那些个别收益小于社会收益,个别成本大于社会成本的行业,其为社会的贡献成果,为他人无偿享用;在那些个别收益入于社会收益,个别成本高于社会成本的行业,其对社会损害后果,也由他人无偿负担。

这种传统的效益评价理论,在实践中已造成了严重后果。一方面,由于生态效益不作为收益,环境质量消耗不计入成本,企业在经济利益驱动下,必然只着眼于物质财富的生产,忘记了人类健康繁衍所依赖生态环境和环境自然力的更广泛生产,忘却了环境为人类所提供的必需的精神财富——休养生息的环境效益,从而使生态破坏和环境污染日益加重。另一方面,社会效益不进入收益,社会成本不计入企业费用,企业必然对那些经济效益低而社会效益高的领域,对经济活动可能带来的社会负效益问题,无意顾及,使国民生产总值增长伴随着一系列社会问题的出现,导致了社会—环境系统的不协调运转。

显然,传统的货币市场中心观、价值观、效益观,是无法也不可能作为林业经营综合效益研究的理论依据。因此,只有从观念上突破这种评价体系的狭隘性和落后性,树立现代效益观,即以社会—环境系统协调发展为目标,以完全成本取代传统成本,以综合收益取代传统的货币收益,才能真正使产业个别收益、个别成本与社会效益、社会成本相一致,从而客观准确地反映各产业的真实效益。只有这样,才能是在此基础上制定的国家产业政策、财政货币政策有效地调节产业经济活动,弥补市场缺陷,保证全社会资源配置的合理化。

三、林业经营综合效益的基本含义

林业综合效益,实质上是林业经营者(主体)在生产过程中,于森林生态系统综合功能基础上实现的,是为客体(以人类社会为中心的环境—社会系统)所需求和接受的生态效益、社会效

益和经济效益的综合和统一。

林业经营的生态效益是指在人类干预和控制下的森林生态系统,对人工化的环境系统在有序结构维持和动态平衡保持方面的输出效益之和。生态效益包括调节气候、涵养水源、改良土壤、减少灾害、保存物种等。事实证明,它在综合效益中处于基础地位。因为林业经营系统内,森林生态分支系统结构是整体结构的中心,自然再生产过程是经济社会再生产过程的前提,所以由生态效益体现出来的生态系统物质循环和能量转化的有效益流转,是经济系统价值运转的基础。

林业经营的经济效益,是指人类对森林生态系统进行经营活动时所取得,已纳入现行货币计量体系,可在市场上交换而获利的一切收益,也称直接效益。直接效益包括以森林资源为原料的一切产品生产收入,以赢利为目的的利用森林非原料功能的收益,如森林公园、森林旅馆、疗养院、森林旅游业中相关的收益。它是林业经营综合效益中最活跃、与人类社会利益最直接关联的因素,也是林业综合效益中已被人们真正重视,在开发利用中已表现为经济形式的那部分效益。经济效益是林业广义社会效益中的重要组成部分。

林业的社会效益,是林业经营系统为社会系统提供除去经济效益外的一切社会收益,它体现在对人类身心健康的促进作用方面,体现在对人类社会结构改进方面,体现在对人类社会精神文明状态改善方面。它是综合效益的最终归宿,是林业经营的最终目的。

第二节 国内外关于森林综合效益的研究现状

一、森林综合效益与国家发展的理论认识

70年代初以来,国外许多研究部门和学者对发展中国家森林效益评价方法和技术进行了研究。发表的文献包括:《农业项目的经济学分析》(世界银行报告,Gittinger,1972);《发展国家的项目评价和规划》(Little和Mirless,1974);《发展国家的项目评价——经济学家指南》(ODA,1988)等。《流域管理项目的经济评价指南》则是林业项目评价的众多文献之一(Gregersen等,1987)。

Behan(1990)在题为《森林资源综合管理:对传统林业的现实挑战》一文中,展望了森林管理政策的根本变化,即从森林持续生产、综合利用的传统观点向森林资源综合管理的方向发展。其差异在于复合性这一特点。从综合管理或复合经营管理的观点出发,可以通过紧接的而不是同时发生的过程发挥森林的多种效能。因此,综合管理方法不仅允许在流域内采伐森林,同时也建立森林保护区,因而管理的范围涉及几个亚系统,可提供特殊的独立的原料和服务。

在森林资源综合管理体制中,森林被作为一个生物物化系统,具有系统的特征和功能。人们可以利用系统中的各个成分,使其发挥效益。组成系统的植物、动物、土壤、水分、地形和气候等各成分之间相互联系、相互制约。Behan进一步指出,持续生产、综合利用的管理方法强调市场经济的供需关系,是积累和消费的产物。相反,森林资源综合管理方法是按照产量生态学原理保持系统生产力,并提供多种相互依赖的物质产品和服务。

随着森林资源观点的改变,森林资源管理方法的变化,对森林资源效益的评价和利用也在改变,即从单纯追求木材产量转向非木材利用的保护效益。

这种观念的转变起源于工业化国家的社会发展。他们在经历了温带森林资源过度利用的

历史后告诫热带发展中国家不能重蹈覆辙。Behan(1990)指出,新旧森林资源管理体制的区别在于,持续生产、综合利用体制与18世纪中欧国家商业政策经济体制相适应,而资源综合管理体制则与20世纪末美国的经济发时期相适应。

这一比较反映了工业化国家和发展中国家评价森林效益所处的时期有差别。随着国家社会经济发展水平的提高,对森林资源利用的社会观点随之改变。事实证明,发展中国家在取得社会、经济进步的同时,对森林效益和服务的主要需求,正从单纯取得木材和食物转向利用森林的无形产品和发挥森林保护环境的效益。

这确实是一个国家发展阶段的理论问题。一个国家的主要产品总是得到优先发展。Jack C. Westoby(1963)发表的《森林工业在摆脱不发达经济状况中的地位》一文,曾经代表了许多森林资源丰富的发展中国家的发展趋势。该文甚至认为,如果其他经济部门借用的资金能返回用于森林的更新和保护,就可以采用森林皆伐的方式作为社会发展初期的社会资金积累。

联合国粮农组织(1974)曾出版了《林业发展规划引论》一书,作为森林资源开发、利用的指南。该书提出了评价森林在满足整个社会或国家目标中所发挥的效益的准则,并把森林资源的功能、效益区分为:资金的来源;森林是土地资源的组成部分;提高产量和收益;社会工业化的基础;赚取并节约外汇;为农村地区提供就业机会和技能,增加收入;创造就业机会;保护农业的发展;提供优质水资源;提供野生动物栖息场所;保护和改善环境质量。上述所列森林各项效益的次序与经济发时期的不同阶段相适应。例如,印度尼西亚制定了70年代第一、第二个五年发时期计划所追求的目标,80年代第三、第四个五年发时期计划的目标和目前第五个五年发时期计划奋斗的目标。

森林一直是陆地上最大、最复杂的生态系统,在整个自然界中具有不可缺少和无法替代的作用。从生态系统的观点来看,它又是一个多功能多效益的系统。它能提供木材,具有涵养水源、调节气候、保持水土、防风治沙、保护农田、净化大气和作为物种生存地的多种作用。有鉴于此,近年来森林在自然生态平衡和环境保护方面的作用,已引起国外科学界,特别是林业界科学家的广泛关注。关注的焦点是如何科学地经营各类森林,最大限度地发挥森林的多种效益,建立优化模式,使森林的生产力充分释放出来。目前提出要发挥森林多种效益的国家有苏联、美国、德国、法国、日本和捷克斯洛伐克等国家。它们先后就这个问题发表了有关的政策,颁布了法令条文。日本更进一步在全国范围内对森林的公益效能进行调查,并作出了评价。但是,由于森林生态系统的复杂性,至今还没有一个国家能在森林综合效益的研究工作中有重要突破。现在的研究重点还是放在对森林某个效能的计量和效益的评价上。下面将就检索到的国外有关森林效益的文献进行综述。

二、国外有关国家关于森林综合效益的研究

对森林效益的理解和侧重点随时间的推移而变化,即从单纯开发利用森林资源转向强调保护效益。这与发展中国家所处的经济发时期阶段有关。美国国会于1960年就通过了森林多效益法案,以指导私有林主合理地经营其森林。近年来,在美国南方的阿拉巴马州开展了一种叫作示范林(或叫标准林场,英文名叫Treasure-forest)的运动。示范林的英文代表森林、娱乐、环境、美学、永续经营、开发和资源利用,实际上的含义即指发挥综合效益的示范森林。目前该州示范林已有300多处。

美国明确规定国有林的经营目的不仅是提供木材,而且还要发挥森林的保持水源、净化

空气以及为人们提供良好的休息环境等多种效益。

原联邦德国是世界上森林经营水平较高的国家之一,最近 10 年又强调了森林的综合效益。1976 年颁布的“联邦自然保护法”规定森林的功能是:第一,保证自然和景观的永续利用,使之成为人们生活的基础和休养的条件;第二,保护自然生产力,保证自然物质的利用率;第三,保护动物世界;第四,保护自然和景观的多样性、特性和美性。原联邦德国每年平均每公顷为森林添置和修建休养设施投资 40 马克,为生态保护投资 5 马克,但林业的生产性投资只有 6 马克,由此可知,这个国家把森林的生态效益放在多么重要的地位。另外,从 60 年代后期起,不仅林业部门进行森林清查工作,地质、水利部门也参加了森林效益的调查工作,而且各州还组织了森林效益调查工作组。工作组根据每片森林的地理、环境、立地、交通等条件,确定其应该承担一种或几种效益,并把它们绘入森林效益图作为林业总体规划的基础。现在,德国的林业经营已基本实现了森林生态效益、经济效益、社会效益的一体化。

原捷克斯洛伐克林业从 80 年代开始进入了现代经营阶段,其主要标志是确立了综合经营森林的思想。在这种经营思想指导下,而且每一类森林都应具有多种功能,发挥多种效益,但同时又要根据林场的主要经营项目有所侧重,而且所采取的经营措施应以保证充分发挥森林的综合效益为原则。

日本从明治时代以来,通过广泛的调查和典型流域试验研究,在森林综合效益的研究方面作了大量的工作,积累了大量的数据和研究成果。本世纪 60 年代初期以来,伴随着日本经济的高速增长,城市化进程的加快,森林的综合效能被越来越多的各阶层人士所认识,而且由于民众环境意识的觉醒,保护森林和调整森林经营政策的呼声越来越高。这也使得关于森林各种功能的研究进入了一个新的阶段,特别是本世纪 70 年代开展的森林公益效能的计量评价研究,更使这方面的研究系统化。

从约 1500 篇文献的研究范围来看,日本在森林公益效能的研究主要集中在如下几个方面:

1. 森林的水土保持机能(在流域管理中的作用)

①森林与水源涵养、洪水、河流流态。

②森林与土壤侵蚀。

2. 森林的防灾机能

①森林防止落石的机能。

②森林防止水旱灾害的机能。

③森林防风、防潮、防雾、防雪机能。

3. 森林的环境保护机能

①森林调节气候功能。

②森林防止噪音功能。

③森林净化大气功能。

4. 森林改良土壤机能

①森林改良土壤物理性质功能。

②森林改善土地肥力的功能。

③森林根系固土功能。

5. 森林保护野生动植物效能

6. 森林的景观与游息功能

在本世纪 70 年代开展的森林公益效能计量评价研究,全面研究了上述森林的各种公益效能,并测算了全日本森林公益效能的货币价值,提出了为持续发挥森林公益效能的森林经营管理对策。同时,从林业经营资本的转换方面,揭示了森林公益效能的货币价值的内在机制。

原苏联自 50 年代末期以来,先后提出了一系列森林效益评价方法。他们认为,采用消耗与再生产方法评价某些公益效能的具体结果首先取决于这些公益效能的作用程度。当森林自然形成的公益效能达最大作用程度时,经济评价数字约与木材生产(年生生长量)费用相等。如森林公益效能的作用程度发生变化,评价数字的变化与公益效能作用程度变化成正比。

森林公益效能的经济评价可采用某种公益效能的作用系数($K_{\text{еп}}$)。该系数实际为该种公益效能作用程度与自然形成公益效能最大作用程度之比。采用该指标时,自然形成的公益效能系数 $K_{\text{еп}}$ 采用小数表示,等于评价对象最大作用值。

在森林的整个生命周期中,各阶段的公益效能作用程度各有差异,因此年作用值的评价必须考虑森林生命周期内公益效能的最佳作用阶段。例如,在林区和森林草原地区,铁路防护林在 8~10 年生时效果最佳,而游憩效能仅从老龄林时期才开始发挥作用。为便于将森林综合生产力中不同产品的年产量(木材生长量、林副产品及公益效能)进行比较,各种产品的产量应采用统一的计量单位。为此,森林公益效能计量可采用最佳作用系数 $K_{\text{еп}}$ 。该值采用林分轮伐期与公益效能最佳作用期之比表示。此外,某种森林公益效能(游憩)的利用受其作用对象位置的制约,因此经济评价还应包括因作用对象位置差异而形成的差额收入。

三、评价方法与研究水平

森林生态系统是复杂的,所以对它的综合效益的计量和评价也是林业科技界最复杂的问题之一。如上所述,到目前为止,一些国家只是提出一些保护森林综合效益的政策,而理论和实践上还处于研究阶段。

森林综合效益计量问题的复杂性是由于多方面的原因造成的。首先,森林综合效益的作用范围超出了林业部门,因此很少有人对它的作用结果进行统计,这也是至今尚未积累充足经济评价数据的主要原因之一。此外,同一林分在立地位置不同的条件下可发挥不同的效益,而每种效益又需采用特殊的方法计量。这就是说,制定一种可评价不同森林综合效益的通用方法是根本不可能的,即森林的每种效能应采用专门方法单独评价。

从评价方法上来看,基本上可分为两类,即效果评价法和消耗评价法。前者评价森林公益效能的利用效果,如农作物产量的提高及河川水文状况和水质的改善等;后者评价利用、保持及加强森林公益效能的直接和间接消耗,如恢复土壤肥力消耗,游客游憩消耗及设立人工游憩设施消耗等。

原捷克斯洛伐克(朱金兆等,1989)提出的对森林社会效益的经济评价方法是:实物法、估计法、比较替换法、成本法和收入法。他们认为森林社会效益同林木的价值是不可分割的;只有在木材生产不是目的而只是一种确保森林社会效能的手段(如防护林带)时,才能确定森林社会效能的价值;森林的效能是不能转移、不能代替的;价值与使用价值的形成,不是同时进行的。

由此可见,这些国家仍都采用一般计量和评价法,基本上还没有用系统论去进行研究。

计量和评价森林单项或多项效能基本以某个地区、某片森林进行,没有在全国范围内开

表。日本是个例外。

目前为止的各类森林效能计量和评价的方法只是试验性的,许多仍没有作定论。林业界许多科学家对此还有许多疑问,甚至提出批评。如法国认为 Clawson 法缺少科学基础,传入法国时曾导致了一些不良影响。其基本观点是对于那些不能再生或难以再生的财产,如森林,难以用货币价值计量方法进行测定。这也说明要想将自然资源效用的计量和评价引入经济科学中的定量分析是一件多么不容易的事情。

虽然国外对森林综合效益的研究工作还处于起步阶段,还在探索理论上的正确性和实践的可行性,但是这是林业发展的必然。

四、国内研究现状

国内在森林(防护林体系)综合效益的研究方面,也作了大量的工作,尤其是近 10 年来,林学家、生态学家、经济学家等学科的学者分别从生态环境、林业经营等多方面,研究了森林(防护林体系)的综合效益,从理论分析和生产实践上提出了许多独到的见解,在这些研究中,以张建国教授为首的研究小组的研究成果和北京林业大学吴斌的研究具有典型的代表性。

张建国教授为首的研究小组(1990)通过大量调查研究后就森林综合效益提出了效益的整体性、发展的阶段性、计量的复杂性和人类的主体性等特征。

森林综合效益的整体性,是由于林业经营的综合效益,是从社会经济发展的整体利益出发来衡量林业经营活动的效果。它表现在,第一,在衡量林业经营的利弊得失时,不仅要注意这项活动的局部效果,而且更要注意其对整个社会—环境系统的效果;不仅要重视个别收益、单独利益,更要重视社会—环境系统的整体利益。它是环境—社会系统整体最优配置下的整体利益而非局部利益,长远利益而非眼前利益。第二,由于三大效益(收益)同存在于林业经营系统的输出之中,是林业经营成果中互相联系但又具有各自特点的组成部分,因此无论是以生产林产品为主的商品林业类型,还是以间接效益为目标的生态林业类型,抑或是两者兼融的多功能林业(山地林业)类型,其系统输出的都必然是这三方面效益(收益)组成的成果系列,只是在不同林业类型的综合效益中,三者的比重有所差别而已。人们可以通过一定技术措施,在特定区域内追求某种收益为主要目标,而在评价时侧重于某一目的,对其他收益加以略计,但不等于其他收益在这种经营方式中不存在。人们在用某一尺度(如货币)进行林业经营效果衡量时,有些效益(如生态效益与社会效益)可能难以在这种尺度中加以计量,但并不说明这些收益是虚无的。

森林综合效益发展的阶段性,则由于以森林生态系统的多种功能为基础的林业经营效益,是随着人类社会产生和变化的。远古时代,森林的多种功能虽然存在,但无效益可言。以后,在人类社会发展的相当长时期,森林以木材利用为特征纳入社会经济发展轨道,经济收益便充当了林业经营的主体效益,而林业经营的生态效益和社会效益,却由于供给不大于需求的历史条件下难以实现。随着时代变迁,人口增加,环境资源特别是森林资源的短缺,社会发展所必需的生态、社会需求的激增,森林的其他间接功能才逐步地为社会承认并在观念上转化为社会生态效益。由于区域间森林资源的分布不均衡,更由于区域间社会经济发展水平的差异性,因而在当前世界上森林的多种功能转化程度在不同区域空间里大相径庭。

森林综合效益计量的复杂性,是一个非常明显的事实。由于林业经营产出的多样性和投入产出循环的特殊性,使得综合效益产出量十分复杂,成为森林生态经济理论中世界性的难题

之一,其表现为:第一,三大效益横跨自然科学和社会科学领域,纵越市场与社会体系,前者有各自不同的计量尺度,后者有独特的价值标准,而综合效益又必须以一种尺度、一个价值标准进行计量;第二,社会效益和生态效益是间接效益,难有一种为社会各界普遍接受的外延边界加以计量;第三,随着社会科技水平的提高和林业经营系统的发展,森林系统影响波及范围和作用程度加大,从总体看,综合效益的水平和内部比例关系都在变化;从不同区域看,又各有差异,难以用一套完整的计量模式加以概括。第四,人们长期以来习惯以林业经营的经济成果代替综合效益。它一方面形成一种思维定势,使综合效益的概念和计量结果难以为社会,特别是决策者真正接受并在行为方式和政策制定中体现出来;另一方面,以传统认识为指导思想而形成的现行经济政策、法律规则,使林业经营的部分成果在社会相当大的范围内被无偿享用,这涉及相当广泛的很难接受关于森林综合效益观念和理论的群体。

森林综合效益的人类主体性特征,是因为森林综合效益研究的出发点在于以人为中心的社会长远利益和整体利益。这种利益离开了人类社会这个中心来研究只能是一种抽象的讨论,没有人类主体的存在和活动,森林多种功能就无法转化为效益,综合效益也就无从谈起。因此,林业经营的综合效益,是从满足人类自身发展对自然环境、经济增长和社会进步的需求角度加以评价的结果。

对森林综合效益的研究其重要目的之一是为国家关于森林经营的宏观决策提供理论和实践依据,因此综合效益研究的一个重要方面是对森林综合效益的计量。国内学者从多方面提出了关于森林综合效益计量的思路,如邓宏海先生(1985)提出了以级差地租理论为基础的计量原则,张建国先生(1991)进一步从劳动价值论、时空统一原则、效益一体化原则、社会认可原则等几个方面提出了关于森林综合效益计量的思想。

北京林业大学吴斌(1991)认为,防护林体系生态效益具有以下特征:

1. 系统内外特征 防护林体系水文生态效益必须分流域内外来分别描述才能说明实施防护措施的利益受益者和各自的受益程度。

系统内表现为:生物产量的增加;系统内生态环境的改善;地位级的提高;直接效益的提高;系统内生态经济系统的稳定性增加,系统承载力增加。

系统外表现为:环境因子的调节和改善;生态环境系统抗逆性能增加;社会经济效益增加。

2. 多样性特征 是指水文生态效益的形态是多种多样的。

3. 时空分布特征 防护林体系生态效益随着时间和空间的变化在不断的变化。如树木的不同生长期或不同的立地类型,防护林体系的生态效益就有着不同情况的发挥,所以从时间和空间上把握和分析防护林的效益显得十分重要。

4. 迟效性特征 指防护林体系各种措施是一些改造自然的过程。这一过程使生态系统各种要素的反应在时间上必然较长,而且一些效益的发挥也需要有足够的时间,如水土保持生物措施,效益的发挥就需要足够的时间和适当的自然环境条件。所以,必须要有超前的预见性才能使防护林体系效益得到尽早的和充分的发挥。

5. 负效性特征 防护林体系的任何一项措施所产生的效益都不可能对整个社会来说全部都是正效益。不论是从措施自身的特征来说,还是从社会各产业系统的角度来说,在一定的程度上都带有负效益的特征。

第三节 国内外关于森林水文生态效益的研究现状

研究防护林体系的综合效益,很重要的是着眼于其生态效益。关于防护林(森林)的生态效益,国内外均将其水文生态效益作为主要研究方向和主要研究内容,并取得了大量的研究成果。

一、国内

防护林体系水文生态效益是指森林、牧草等植被因素在截持降水、减少和调节地表径流、防止土壤侵蚀和减少水土流失、调节和减少洪峰流量的作用。在任何土壤侵蚀研究中,用植被对地面的有效覆盖,是理解各种侵蚀过程的关键。朱金兆等(1989)指出,在非耕种条件下,从荒漠到森林的过渡过程中,随着年降雨量的逐渐增加,降雨对土壤侵蚀和产沙具有两种不同的影响。较大的降雨量使地表径流量和地下径流量增加,同时也促使植被大量生长。在荒漠的末端,由于植被太少,以至径流的增加引起土壤侵蚀量和产沙量的增加。在我国广大的荒漠草原地区,情况就是如此。一旦降雨量能够充分满足半干旱地区植被生长的需求,植被对水蚀的限制作用则大于径流对侵蚀的作用。所以,当降雨量增加时,实际的净侵蚀量将可能出现降低的趋势。这种反向的规律直到森林植被完全恢复为止。

在黄土高原地区,由于降雨量少,所以一般说来侵蚀量和产沙量随降雨量增加而增加,随植被覆盖度增加而减少。天然植被覆盖度紧紧依赖于降雨,而植被永远是防止水土流失的积极因素。但就水文效果来说,在某些情况下,例如降雨量和降雨强度均比较小的情况下,其对于河川水文状况来说,由于减少了供给河川的径流量则形成某种负效应。

防护林体系的水文泥沙效益,应该从拦截降雨、保护地表不直接遭受雨滴的打击、调节地表径流、增加土壤入渗、增加地表粗糙度、消减地表径流、增加土壤抗蚀性、拦蓄地表径流和泥沙等方面来考虑。总之,从植被对改变降雨和径流的时间及空间分布来考虑其水文泥沙效果。

在没有植被的情况下,土壤极易遭受水蚀。裸露的土壤,特别是黄土高原典型的黄土,在遭受雨滴的打击时,抗蚀性较差的黄土物质,常被击碎,形成雨滴击溅侵蚀。被雨滴击溅的土粒,一方面成为地表径流的搬运物质,另一方面,又可堵塞土壤孔隙,形成一层结皮,致使土壤渗透性大为降低。这就必然会促使土壤发生侵蚀,地表径流量和产沙量增加。相反,在良好的植被条件下,土壤的侵蚀量和径流量都较小(通常情况下侵蚀量和径流量分别不到裸地的1%和5%)。其主要原因是植被对降水的再分配作用降低了降水的动能和动量,从而防止雨滴对土壤的直接打击和径流泥沙的产生,进而防止了土壤侵蚀的发生。其效果相当明显。

二、国外

关于森林水文生态效益的研究,国外开展得较早,并取得大量的试验数据和研究成果。

(一)中欧阿尔卑斯山各国

100多年以前,中欧各国林学界已普遍认识到山地流域的径流量及其年内分布与流域森林植被之间关系密切,并把森林与水联系在一起,以森林的水文学作用作为治理山洪及泥石流的理论基础。一些林学家明确指出,在一些地区的流域中森林的径流调节价值能够超过其

他任何林产品或服务性收入的价值。奥地利和巴伐利亚(1852年)、法国(1860年、1864年、1882年)、普鲁士(1875年)、瑞士(1872年)、意大利(1877年)、匈牙利(1877年)等先后按照这个十分先进的观念制定了相当严厉的森林保护法,防止进一步破坏森林。森林水文研究工作者则以大量的科学根据说明在流域管理中约束私有林主采伐山地防护林的重要意义。在瑞士,Engler 于 1902 年开始从事典型对比小流域的水文观测。1915 年,Engler 在 Emmental 对比流域设立了水文过程自记装置,观测成果由 Burger(1934,1945,1954 年)发表。瑞士联邦林业研究所还于 1934 年在 Mclera 小流域设站观测人工造林对流域产流量的影响。第二次世界大战后,原联邦德国于 1948 年在著名的 Harz 山区流域开始了森林水文学作用的定位观测,并于近年在流域水文观测中,增加了对酸雨影响的观测以及森林对流域地表水、地下水水质影响的观测。原联邦德国对森林水文学的研究十分重视,除在慕尼黑、哥庭根和福来堡 3 所大学有专门科技人员研究森林水文作用外,在黑森州的明登(Munden)还设立有森林水文研究所。

(二) 原苏联

原苏联对水量平衡进行定位观测的单位有气象水文总局、苏联科学院、各加盟共和国科学院、农业部、地质部、水利部和苏联林业委员会等。其中气象水文总站设有 17 个径流量平衡站,集水区面积为 $20\sim 50\text{km}^2$ 。关于森林对于河川流量的影响问题,自上世纪中期以来始终存在着争议。原苏联的一些学者提出了与欧美截然不同的观点。如 B. N. Moiseev 根据对苏联西北部和上伏尔加流域 $100\sim 1,900\text{km}^2$ 和 $2,000\sim 20,000\text{km}^2$ 集水区的观测,提出森林对小流域年产流量无明显影响,而中流域的森林覆盖率对年产流量影响显著,森林覆盖率每增加 10%,河川流量约递增 19mm/年的结论。

(三) 美国

美国森林水文研究工作主要由农业部林务局所属的各林业院校进行。林务局研究的重点集中在植被的保护和更新方面,而森林流域水文规律方面的研究大约占 30%。在本世纪 50 年代以前,美国的林学界曾有相当一部分人认为:森林能增加局部降水,减弱林冠下雨滴的溅击作用,防止洪灾,在旱季维持河水流量;森林采伐可能会导致总降水量减少,并引起泉水和河流干涸。经过大量的水文观测和研究,人们进而发现,有林地的流域产流量总是低于其他植被类型和空旷地;森林被采伐后,河水流量不是减少而是增加。有的学者认为,森林地区所以具有较高的降水,一方面是因为林区的地理位置海拔较高,降水较多,另一方面也因为林内雨量器的承雨量不受风的影响所致。

(四) 加拿大

加拿大的森林水文研究开展得较晚。1957 年阿尔伯塔、萨斯喀彻温、曼尼托巴等省才开始森林水文研究。曼尼托巴省的研究集中在威尔逊河流域,流域面积 22.5km^2 ,主要开展气象、水文、地质方面的观测。阿尔伯塔省的试验场在萨斯喀彻温河上游,流域面积 4000km^2 ,除进行水量平衡观测外,还对亚高山云冷杉林、杨树山地林和草原牧场 3 种植被类型进行人工更新试验。目前加拿大拥有 40 多个试验小流域,主要用来研究各种自然因素(包括森林覆盖率)对融雪径流、降雨径流的影响。

(五) 英国

英国开展森林水文研究的有英国森林水文研究所、威尔士大学科技学院生物系、土壤研究所、阿伯丁大学林学系,以及其他一些院校。研究区域集中在怀河和塞文河上游的流域、怀河上游的流域为牧场、塞文河上游为森林流域,森林覆盖率为 70%。对照研究结果表明,林地的蒸腾、蒸发量较大(大约是农田和牧场的 2~3 倍),而产水量则少于无林地。

·六· 澳大利亚

澳大利亚对森林水文研究工作比较重视,研究单位有联邦科学与工业研究院的植物所、地下水研究所、林地保护所、林业研究所、农林院校及综合性大学的有关单位,研究领域涉及森林水文的各个方面。

·七· 日本

日本是一个多山的国家,国土面积有 2/3 是山地,加之人口密度很大,各级政府和大学以及各种防灾研究机构都很重视森林的防护机能,因此日本的森林水文研究,在很大程度上是研究森林的水源涵养作用和森林保持水土的作用。

在明治时代(1868~1911),日本受到西欧文化的影响,迅速引进国外技术,在治山、治水方面也不例外。1872 年开始雇佣荷兰工程师到日本指导工作,以后陆续有荷兰治水专家到日本,他们一开始就提出治水必先治山的主张,并去各地考察治水方法,致力于砂防工程的修建,他们非常重视森林的水源涵养功能,并于 1891 年向日本政府提出了《紧急施行水源涵养法的建议》。

从 19 世纪末期到 20 世纪初期,许多日本人到西欧考察或留学,学习了治山治水的先进思想和技术。参考国外的经验,日本于 1896 年制定《河川法》,1897 年制定《森林法》、《砂防法》,并逐步开展河道治理、固沙保土、荒废林地更新等事业,也就是今日的治山事业。陆续到西欧留学的林学家、林业技术人员的增多,西欧的砂防技术与有关森林功效的理论也随之引进。1899 年,东京帝国大学举办了森林理水与砂防工程学讲座。当时的“理水”含义主要是“治水”及“缓洪增枯功能”。1911~1920 年,日本设立了 39 个森林测候所(即森林气象站),由林业试验场森林气象室(后来的气象部)负责主持进行调查工作。在初期,有 23 个森林测候所进行山地气象观测,为反映山地的气象情况提供了不少贵重的测定资料。除了一般的常规观测外,还把林内外气象特别是林内外雨量的比较测定为观测的重点。此外,还进行了树木径流量、树冠截留量和落叶保水量的调查。这些都是在日本有组织地开展森林水文研究工作的开端。在森林测候所建立后的中期,开展了森林的治水和水源涵养功能的研究,进行了林内外的地表蒸发、林地的雨水下渗和地表径流量、树冠的降叶截留、林木的蒸腾、林内外的积雪、融雪等项研究。关于这些森林个别理水功能的研究成果,至今仍然可供利用。开始的小溪流的流量测定,其目的是研究在不同森林面积率的条件下,随着幼树的生长而出现的径流量变化,以及由于积雪而引起的径流量变化。

1923 年,在茨城县太田试验流域集中地进行了阔叶树皆伐对径流量影响的试验。试验资料经整理后形成了报告,这是日本最早提出的通过流域试验进行森林水文研究的成果报告。日本林业试验场气象部和森林测候所的各项工作的,是日本森林水文研究的良好开端,也为后来的研究指出了方向。与此同时,从奥地利留学返日担任东京帝国大学森林理水与砂防工程讲座的诸户北郎教授编著的《森林理水及砂防工程》(共 5 篇)于 1912 年出版。诸户北郎于 1924 年在爱知县实验林设置 4 个流域试验地,开始进行流域径流量随林相而变化的比较试验,和与这项试验有关的不同树种的林木蒸腾量的比较试验。

到 1925 年,日本已有 4 所大学和 7 所专科学校开设《森林理水与砂防工程》课程,并开展研究工作。1937 年,日本开始了第二期森林治水计划,森林测候所撤销,但其中的 14 个所改为森林治水试验地,应用森林测候所时期的经验和成果,开展了以下各项森林治水试验。

① 山地防冲与砂防林的经营试验(防冲林经营试验、砂防林经营试验);

② 水源涵养林的功能促进试验(水源涵养的基础研究、水源涵养防护林的经营试验);

- ③ 荒漠林地的恢复和改造试验(砂防工程的研究、固沙造林的研究);
- ④ 湿地林及防止水害防护林的试验;
- ⑤ 雪崩防止的研究;
- ⑥ 河流调查(河流水位、流量与水灾、流域气象的关系调查、洪水通报、河流水量的长期预报)。

自从1947年所谓林政统一之后,日本国立林业试验场建立总、分场(1989年改为森林综合研究所和支所)和研究室体制。森林环境研究部负责森林水文研究。经过管理体制的调整,森林水文观测得到发展。1944~1957年,日本进行了森林采伐试验。这些试验的目的是为了查明采伐对径流的影响,并逐步查明了采伐后的径流变化和变化的一般倾向。

1974年,日本有23所国立和公立大学、两所私立大学,开展砂防工学和森林水文学的教学和科研活动。

目前,日本的森林水文研究与世界其他国家一样,也是从两个方面进行:通过流域试验,进行采伐或造林对河流流况的变化进行综合的研究;对降雨截留、蒸发散、下渗容量、地层中的重力水动态、地表径流等个别水文现象进行单项的研究。但重点是流域试验,而流域试验又以采伐试验为中心。

综上所述,随着社会经济的发展,人们环境意识的增强,关于森林综合效益的研究越来越受到重视。人们从生态的、经济的、社会的等多角度研究了森林的各种功能,使新的林业经营观点得到了普遍的承认和接受。前人的大量研究成果给了非常有益的启示,但是由于研究的角度不同,研究地区、社会经济、自然条件、文化传统等方面的差别,研究手法、测试技术、分析手段的不一致,也使研究结论出现分歧。这些虽属研究过程中的正常现象,但也不可避免地造成某些认识上的混乱。从研究范围来看,单项研究较多,综合研究较少;单因素分析较多,而系统分析较少,研究也或者只侧重于生态效益的研究,或者只侧重于森林经济效益的分析。森林对环境的多种改善功能所发挥的生态环境效益计量的计价研究能够被社会经济领域所承认,进而以某种社会经济政策或法规使森林生态效益的经济价值得以实现,还需做出大量的努力,就将来一段时期关于森林综合效益研究发展的总趋势来看,可以概括为以下几方面。

- ① 森林综合效益作用机理的研究。
- ② 区域性森林综合效益定位监测系统建立的研究。
- ③ 区域性森林综合效益评价计量指标与指标体系的研究。
- ④ 区域性森林综合效益分析、评价、预测、系统方法的研究。
- ⑤ 区域性森林综合效益计价标准以及有关实施政策法规的研究。
- ⑥ 遥感、遥测和计算机等高新技术在森林综合效益分析评价中应用技术的研究。