

森林生态系统生态服务功能研究进展

郭朝霞¹, 邓玉林*, 王玉宽², 李春艳¹

(1. 四川农业大学 林学院园艺学院, 四川 雅安 625014; 2. 中国科学院 水利部 成都山地灾害与环境研究所, 成都 610041)

摘要:森林生态系统是地球生命系统的重要结构和功能单元,其生态服务功能体现于生态系统和生态过程所形成的有利于人类生存与发展的生态环境条件与效用。评价森林生态系统的生态服务功能,多运用实际市场法、替代市场法和假想市场法对其空气净化、固碳释氧、水土保持、维持生物多样性等功能指标进行价值计量。通过对生态服务功能实现机理、干扰机制的研究证实了要稳定发挥生态服务功能就必须首先保证系统结构的完整和稳定;系统服务功能评价、动态管理及补偿机制的研究则为系统的经营和管理提供了技术支撑和决策参考。然而,现有的评估体系和评估方法尚不统一、功能机理研究缺乏系统而深入的理论成果。因此,今后的研究需进一步统一评估体系与方法,拓展研究的时空尺度,揭示系统的功能机理,建立评价模型,从而服务于森林生态系统服务功能的持续管理。

关键词:森林生态系统;生态服务功能;进展

中图分类号:S718.56, SX176 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-7461(2007)01-0173-05

Progress on Ecological Service Function of Forest Ecosystems

万方数据 GUO Zhao-xia¹, DENG Yu-lin, WANG Yu-kuan², LI Chun-yan¹

(1. College of Forestry and Horticulture, Sichuan Agricultural University, Ya'an, Sichuan 625014, China;

2. Chengdu Institute of Mountain Hazards and Environment, CAS, Chengdu, Sichuan 610041, China)

Abstract: The forest ecosystem is the important structure and function unit of the earth-life system. Its ecological service function embodies the ecological environmental conditions and effectiveness formed by ecosystem and ecological processes, on which human life relies for existence and development. Actual market method is often used to assess the ecological service function, such as air purification, C fixation, O₂ release, soil and water conservation, and maintenance of biodiversity, instead of market method and hypothetical market method. Studies on realization mechanisms, disturbance mechanisms of ecological service function confirmed that if humankind want to benefit from ecosystem, firstly they must insure the integrity and the stability of the system. Meanwhile, function assessment, dynamic management and compensation mechanisms provide technical support and strategic reference for the ecosystem management. However, the existing assessment system and methods are not unified, and the research on function mechanisms lacks of systematic and in-depth theoretic achievements. Therefore, attentions should be paid on the topics, such as unification of estimation system and methods, extension of spatial-temporal scaling, disclosure of function mechanisms and establishment the estimation models, All of these will serve the sustaining management of the service function.

Key words: forest ecosystem; ecological service function; progress

长期以来,人们所认识的森林生态系统服务功能仅限于可直接货币化的林产品、生物资源及旅游资源。实际上,森林生态系统更多的生态服务功能

却难以商品化、货币化。森林的现实商品功能只是森林价值的一部分,其水源涵养、土壤保持、生物多样性保育以及生态安全保障等生态服务功能对于人

收稿日期:2006-04-12 修回日期:2006-06-28

基金项目:国家“973”重点攻关项目(2003CB415205)

作者简介:郭朝霞(1981-),女,四川自贡人,在读硕士,研究方向:林业生态工程。

* 通讯作者:邓玉林,四川仪陇人,教授,研究方向:林业生态与水土保持。

类生存和发展的贡献远大于此。随着社会经济的飞速发展,环境问题日益突出,系统研究森林的生态服务功能显得尤为重要。本文在充分总结前人研究成果的基础上,提出生态服务功能研究的方向和重点,并对该领域的研究前景进行分析评价。

1 生态服务功能概念与系统分类

1.1 概念的提出与发展

有关生态服务功能的研究是近数年才发展起来的生态学研究领域。然而早在 1864 年,美国学者 Marsh 就在其著作中记述了地中海地区人类活动对生态系统服务功能的破坏,首次抨击“资源无限”观,认为空气、水、土壤和动植物都是人类的宝贵财富^[1];A. G. Tasley (1935) 提出生态系统的概念后,生态学研究重点从系统结构的研究向功能的研究方向发展^[2];Aldo Leopold (1949) 提出生态服务功能的不可替代性^[3]。进入 20 世纪 60 年代,自然资源日益耗竭和生物多样性不断丧失,John Krutilla 发表了《自然保护的再认识》,为自然资源服务功能的价值评估奠定了基础^[4-6]。SCEP (1970) 在《人类对全球环境的影响报告》中首次提出生态系统服务功能的概念并列举了生态系统对人类的环境服务功能^[7-9]。Gordon. Irene (1992) 论述了自然对人类的一些服务^[10]。继此之后,Daily (1997)^[11]和 Costanza 等(1997)^[12]都提出生态服务功能是自然生态系统形成的与人类生存发展相关的条件和过程。

我国在该方面的研究始于上世纪 90 年代。欧阳志云等(1999)认为,生态系统服务功能是指生态系统与生态过程所形成及所维持的人类赖以生存的自然环境条件与效用^[13]。可见生态系统服务功能是人类生存与发展的基础。目前研究最多的是森林生态系统^[14,15]。森林在发挥其产品生产功能外,更重要的还在于支撑和维护着地球的生命支持系统,即发挥其生态服务功能。森林生态系统生态服务功能是指森林生态系统与生态过程所形成及维持的人类赖以生存的自然环境条件和效用^[11,15-18]。至此,森林生态系统的生态服务功能具有共识基础的概念表述为:森林生态系统生态服务功能是指森林生态系统及其生态过程所形成的有利于人类生存与发展的自然环境条件与效用,诸如涵养水源、调节气候和保持水土等功能。

1.2 功能分类研究

Daily (1997) 列出了 13 项生命支持系统必需的功能;Costanza 等(1997) 将全球生态系统服务功能分为 17 类^[12]。目前,国际广泛承认的分类系统是由联合国千年生态系统评估工作组(MA)(2002)根

据系统提供服务的机制、类型和效用提出的分类法,将主要服务功能归纳为提供产品、调节、文化和支持四大功能组。

与国外相比,我国生态服务功能的研究起步晚,功能分类上还不完善。欧阳志云等将生态系统服务功能分为有机质的生产与生态系统产品、生物多样性的产生与维持、调节气候等八类并做了具体阐述^[13]。赵同谦等对中国森林服务功能评价,参照 MA 的分类法分为四大类 13 项功能指标^[19]。从研究层面分析,目前对生态服务功能的价值评价主要集中在水源涵养、土壤保持、营养元素循环,净化大气、生物多样性保育等方面^[20-24]。

综上所述,森林生态系统服务功能主要包括三大类,即:生态服务功能、产品生产功能和社会服务功能。生态服务功能为产品生产和社会服务提供生态保障并调节生态环境。但是,各学者采用的分类指标并不统一,缺乏可比性。功能的分类研究还有待进一步深入。

2 生态服务功能机理与评价

2.1 生态服务功能机理研究

2.1.1 实现机理 生态服务功能的实现必须以系统结构稳定为基础。森林生态系统通过输入和输出相对平衡的物质和能量来维持生物种类、数量的相对稳定和营养结构的完整,并发挥其自我调节能力。系统只有通过生物与生物、生物与环境以及环境各因子间结构与功能的调和,才能发挥生态服务功能^[25]。如:鲍文等通过对森林生态系统中乔、灌、草、枯落物和土壤对降水的截留、分配与拦截过程与机理的研究,阐明了森林生态系统各组分对降水的分配效应及水源涵养功能的形成,也为功能的价值评价奠定了基础^[26]。

2.1.2 干扰机制 干扰是影响森林生态系统服务功能正常发挥的主导因素。其中以人为干扰尤为突出^[27-29],它表现在对林木和林地的直接干扰和以改变生态因子引发的间接干扰。如:乱砍滥伐,不合理放牧、工业污染等;其次是自然干扰,如气候变化、森林病虫害、森林火灾^[30];最后是自然演替干扰,包括森林系统自身的形成、发展、衰退和更替。如当森林群落进入衰老期,大量病虫害侵染,林木开始心腐、枯死、风倒,整个林分呈现枯梢死亡、残破等衰退现象^[31]。可见,干扰性破坏一旦超过系统自我调节的阈值,必然影响森林生态系统平衡,造成系统结构的破损。由于功能以结构为载体并在系统诸要素的功能耦合中突现出来,因而势必削弱或损害生态服务功能的正常发挥。

2.2 生态服务功能评价

2.2.1 评价指标体系选择 评价指标体系建立是生态服务功能研究的关键。日本林野厅对其境内森林公益机能价值评价时,选取了水源涵养、保持水土等6类服务功能^[32];芬兰的森林资源评估体系主要包括立木蓄积、固碳数量、生态数据等;法国森林资源评估大致包括保育土壤、涵养水源、净化环境、固碳、生物多样性维持及森林健康等^[15];瑞典森林资源核算内容既考虑木材蓄积的变化,也包括非商品材、非木材商品和重要的环境资源,如土壤养分、生物多样性和碳沉淀等的损耗和改进^[33]。

我国森林生态系统服务功能评价源于20世纪80年代初的森林资源价值核算。1983年,中国林学会开展了森林综合效益评价研究;邓宏海用级差地租理论建立了森林生态经济系统价值评价指标体系;李金昌等出版的《生态价值论》,以森林生态系统服务功能为例,全面总结了森林生态价值计量的理论和方法^[34],中国的森林资源核算开始由物质资产核算转向生态价值核算,核算方法逐渐细化。赵同谦等把森林生态系统的服务功能划分为提供产品、调节功能、文化功能和生命支持功能四大类,建立了由林木产品、林副产品、气候调节、光合固碳、涵养水源、土壤保持、净化环境、养分循环、防风固沙、文化多样性、休闲旅游、释放氧气、维持生物多样性13项功能指标体系^[19]。

2.2.2 评价方法 森林生态系统生态服务功能表现出外部经济性、空间异质性、价值不可移动性和地域局限性等特点^[35]。同时,生态服务功能具有动态性,其影响在时空上难以界定,造成其价值估算相对困难^[19,35-36]。尽管如此,在长期的研究过程中,仍形成了一些有效的评价方法。主要有两类:物质量和价值量评价法^[37]。根据价值量的体现形式,将生态服务功能的价值分为直接使用价值、间接使用价值、选择价值、遗产价值和存在价值^[38-40]。主要价值评估方法有3类^[19,22]:实际市场评价法、替代市场评价法和假想市场评价法。实际市场评价法有市场价值法和费用支出法。市场价值法适用于有市场价格的生态服务功能的价值评估。此法简单、常用,当然,必须考虑价格变动、消费水平等多个因子。因此,常受资料的限制。但对于无市场价格的服务,如气候调节、净化环境等功能只能间接求得;费用支出法是以人们对某种生态服务功能的支出费用来表示其经济价值。这种方法常用于旅游文化娱乐功能的估算。受文化层次、个人收入等诸因素影响,此法并不能真正反映游客的支付意愿。替代市场评价法适用于有替代市场价格的服务功能的评价。可分为机

会成本法、影子工程法、旅行费用法、恢复费用法、保护费用法及生产成本法。在进行评估时,需针对服务功能的差异选择合适的评价方法。如涵养水源功能,根据水量平衡法求得涵养水源量,再运用替代工程法以建造相同库容水库的投入成本进行价值评估。但水源涵养功能不能独立发挥,同时还承载着比水库更多的功能,如:营造森林景观。故此法并不能真正估算其价值。假想市场评价法主要有条件价值评估法,此法应用最广,属模拟市场技术方法。它主要是直接调查询问人们对服务功能的支付意愿,以支付意愿和净支付意愿来表达森林生态服务功能的经济价值。但此法受不确定因素影响太多,如:被调查者的知识水平、环保意识、生活水平等,而且在支付意愿与接受赔偿意愿之间存在着极大的不对称性,只能得到一定的趋势和价值范围^[41]。

2.2.3 生态服务功能量化价值研究进展 随着生态学、生态经济学、环境和自然资源经济学的发展,生态学家和经济学家在70年代便开始了对生态系统服务功能及其价值的研究。1997年,Costanza等运用旅行价值法和意愿调查法对全球生态系统17类服务功能进行价值评价,其中将森林生态系统划分为热带和温带/北方针叶林两类。研究得出全球生态系统服务功能价值每年平均为33万亿美元,拉开了生态服务功能价值研究的序幕^[42,43]。同年,Daily等编著的《生态系统服务功能》一书,评估了不同地区森林、湿地、海岸等近20例系统服务功能的价值。

我国学者薛达元等(1999)运用市场价值法、影子工程法、机会成本法和替代花费法对长白山自然保护区森林的涵养水源、保护土壤、固碳、降解SO₂和防治病虫害等功能的价值进行了核算^[44],并应用条件价值法,通过支付意愿调查评估了保护区生物多样性的非使用价值,即:存在价值、遗产价值和选择价值^[45];赵同谦等采用替代工程法、机会成本法等对针叶林、针阔混交林、竹林等近10种森林类型的10项功能以2000年为基准年进行价值评价,得出其间接价值是直接价值的4.6倍^[19]。而余晓新等根据第五次资源清查资料及Costanza等人的计算方法,采用费用支出法、市场价值法及条件价值法等估算了针叶林、针阔混交林等九类森林类型的8项服务功能,求得其间接经济价值是直接经济价值的14.94倍^[18]。此外,还有相当一部分学者运用不同的评估方法对不同区域森林的部分生态服务功能进行了价值评估^[46-51]。

由上可见,目前尚未形成一个被普遍认同的生态服务功能评价指标体系与评估方法。同时,对于

同一森林生态系统由于采用的评估体系、评价方法不同,结果可能差异很大,缺乏可比性。一些生态服务功能,如:水源涵养、水土保持等无法获得相应的市场价格,即使找到一些变通方法,如替代市场法、条件价值法^[51],但这些方法受各种环境因子的影响,将带来相当大的误差,总体上体现在评价得出的经济价值远低于其实际价值^[13,50]。

3 生态服务功能管理

3.1 动态管理

由于森林的生态服务功能处于动态变化之中,故必须对森林生态系统实行动态监测,实现动态管理。我国已建立了森林资源清查体系(一类调查)和森林资源规划调查体系(二类调查),但从数据清查、整理到制定方案需较长时间,使得制定的方案与现实不符,势必出现经营管理的滞后现象。以3S技术体系为主,结合网络技术、多媒体技术、数据库技术等,建立生态环境动态监测体系,实现森林的即时、合理规划和有效管理。早在上世纪90年代初,青海省林业调查规划院率先用TM卫星影像图开展重点林区的二类调查,在历次全省森林资源连续清查复查工作中均应用TM、ETM和3S^[51]。

3.2 补偿机制

生态安全既包含生态系统自身结构的稳定也包括系统所提供的服务是否满足人类生存发展的需要。即,是否正常发挥其生态服务功能。森林生态系统作为陆地上最大的自然生态系统,其生态服务功能是否正常发挥,发挥的强度如何,在很大程度上影响着国家的生态安全和森林健康。要保障生态服务功能正常发挥,就需要建立生态补偿机制。

生态补偿政策是保证生态服务功能正常发挥的有效经济手段。1979年, Cook E F 提出自然资源的使用必须以一定的经济代价为补偿。Landell-Mills 回顾了全球森林生态服务市场,认为森林生态服务市场主要体现在森林生态旅游、碳汇、流域保护和生物多样性服务4个方面,迄今有287个实际存在或计划对森林的4种生态服务功能进行补偿的案例。Gouyon 认为市场机制是实现环境成本或效益内部化的最有效手段。日本早在19世纪后期就开始实行保安林制度。二战后,又以财政补贴、信贷支持、税制优惠等政策对私有林进行经济扶持。近年来,又开始尝试征收水源税对森林进行补偿^[52]。

我国的森林生态补偿开始于20世纪80年代的四川青城山,主要方法是将门票收入的30%用于森林生态补偿。1989年10月,四川乐山召开有关森林生态补偿的研讨会,开始了中国森林生态补偿的

历史进程;《中华人民共和国森林法》第八条第二款规定,“国家设立森林生态效益补偿基金,用于提供生态效益的防护林和特种用途林的森林资源、林木的营造、抚育、保护和管理。森林生态效益补偿基金必须专款专用,不得挪作它用”;2000年5月,《基金分成的方案》被财政预算方案所替代,森林生态补偿基金有了正式的资金渠道;2004年,国家林业局召开全面启动森林生态效益补偿制度电视电话会议,宣布我国正式确立并在全中国范围内全面实施中央森林生态服务补偿基金制度,标志着我国长期无偿使用森林生态系统服务功能的历史已经结束。1998年广东省颁布的《生态效益林建设管理和效益补偿办法》,使345万hm²生态公益林仅在同化二氧化碳、释放氧气、涵养调节水量、保土、生态旅游5项指标中,五年内新增的生态效益就达670亿元,投入产出比高达1:36^[53]。《中央森林生态效益补偿基金管理办法》规定,对不同权属的重点公益林,补偿性支出分别由上级财政部门、林业主管部门、自然保护区管理单位,村集体等负责。可见,生态补偿需要全民的共同努力和协作。

4 生态服务功能研究的发展趋势

4.1 完善生态服务功能理论体系

目前提出了一些生态系统服务功能的概念、分类体系、评价指标体系和方法,但未达成共识。因此,首要任务是完善生态服务功能的概念、研究范围和内容等,并制定出统一的标准,建成完整的理论体系,对进一步的研究具有重大意义。

4.2 加强生态服务功能机制的研究

当前,需进一步加强生态服务功能机理研究,尤其是干扰因子对森林生态服务功能的影响机制。比较分析各干扰方式与干扰程度影响下,生态服务功能的响应机制和变化趋势,建立相应的预测模型,为森林生态系统的管理提供依据。

4.3 改进生态服务功能研究方法

随着现代信息技术的快速发展,“3S”技术以及现代信息技术在林业上应用日益普遍。结合实地调查建立森林资源动态监测体系,加速调查数据的更新,有利于对森林生态系统进行更合理的规划,综合评价和科学管理。

4.4 转换研究的空间和尺度

当前,生态服务功能研究主要集中在某一区域、某一类型森林服务功能价值的静态分析。事实上,同一类型森林不同时空要素,不同类型同一时空要素的生态服务功能有着很大差异。因此,从不同空间、时间尺度上分析、比较和评价生态服务功能,也

是生态服务功能的研究重点。

全球生态环境的恶化,可持续发展观的提出以及生态建设的开展,使森林生态系统生态服务功能受到前所未有的重视。随着社会经济的持续发展以及人类生活水平的不断提高,人类对森林生态服务功能的需求将更加广泛。

参考文献:

- [1] Marsh G P. Man and Nature [M]. New York: Charles Scribner, 1864.
- [2] 辛毗,肖笃宁. 生态系统服务功能研究简述[J]. 中国人口资源与环境, 2000, 10(3): 20-22.
- [3] Leopold A. A Sandy County Almanac and Sketches from Here and There [M]. New York: Cambridge University Press, 1949.
- [4] Loomis J B. Assessing wildlife and environmental values in cost benefit analysis: state of art [J]. Journal of Environmental Management, 1986, (2): 32-38.
- [5] Pearce D W, Moran D. The economic value of biodiversity [M]. Cambridge, 1994.
- [6] Gowdy J M. The value of the biodiversity: Markets society and ecosystems [J]. Land Economics, 1997, (4): 37-41.
- [7] Pearce D, Turner K. Economics of Natural Resources and the Environment [M]. New York: Harvester Wheatsheaf, 1990.
- [8] Peters C M, Gentry A H, Mendelsohn R O. Valuation of an Amazonian rain forest [J]. Nature, 1989, 339: 655-656.
- [9] Pimentel D. Economic benefits of natural biota [J]. Ecological Economics, 1998, (25): 45-47.
- [10] Gordon Irene M. Nature function [M]. New York: Springer-verlag, 1992.
- [11] Daily G C. Natures Services: Societal Dependence on Natural Ecosystems [M]. Washington D C: Island Press, 1997.
- [12] Costanza R. The value of the world's ecosystem services and nature capital [J]. Nature, 1997, 387: 253-260.
- [13] 欧阳志云, 王如松, 赵景柱. 生态系统服务功能及其生态经济价值评价[J]. 应用生态学报, 1999, 10(5): 635-640.
- [14] 薛建辉, 苏继中. 森林的生态功能分析与可持续利用保护[J]. 中国可持续发展, 2001, (3): 3-5.
- [15] 李少宁, 王兵, 赵广东, 等. 森林生态系统服务功能研究进展—理论与方法[J]. 世界林业研究, 2004, 17(4): 14-18.
- [16] 吴钢, 高寒, 赵景柱, 等. 长白山森林生态系统服务功能[J]. 中国科学 C 辑, 2001, 31(5): 471-480.
- [17] Harold A M, Paul R E. Ecosystem services: A fragmentary history [A]. In: Daily G. ed. Natures Services: Societal Dependence on Natural Ecosystem [C]. Washington: Island Press, 1997: 11-28.
- [18] 余新晓, 秦永胜, 陈丽华, 等. 北京山地森林生态系统服务功能及其价值初步研究[J]. 生态学报, 2002, 22(5): 783-786.
- [19] 赵同谦, 欧阳志云, 郑华, 等. 中国森林生态系统服务功能及其价值评价[J]. 自然资源学报, 2004, 19(4): 480-491.
- [20] 黄平, 张弛. 广东省森林生态系统服务功能[J]. 生态科学, 2002, 21(2): 160-163.
- [21] 闫俊华, 周国逸, 张德强, 等. 鼎湖山顶级森林生态系统水文要素时空规律[J]. 生态学报, 2003, 23(11): 2359-2366.
- [22] 申登峰, 张培栋. 森林生态系统服务功能主要价值评估方法[J]. 中国林业, 2004(12B): 25-26.
- [23] 饶良懿, 朱金兆. 重庆四面山森林生态系统服务功能价值的初步评估[J]. 水土保持学报, 2003, 17(5): 5-7.
- [24] 李金昌, 孔繁文. 资源统计与可持续发展 [M]. 北京: 中国环境出版社, 1991.
- [25] 刘跃进. 森林环境 [M]. 北京: 高等教育出版社, 2001. 169-183.
- [26] 鲍文, 包维楷, 何丙辉, 等. 森林生态系统对降水的分配与拦截效应[J]. 山地学报, 2004, 22(4): 483-491.
- [27] 温庆忠. 人为干扰对珠江源自然保护区森林植被的影响[J]. 林业调查规划, 2002, (1): 31-35.
- [28] 庄雪影, 雷海珠. 广东天井山森林与植物多样性的研究[J]. 华南农业大学学报, 1997, 18(4): 69-75.
- [29] 陈秋波. 桉树人工林生物多样性标准与指标体系研究[J]. 热带作物学报, 2002, 23(1): 95-111.
- [30] 舒立福, 田晓瑞, 姚树人. 2000 年全球森林火灾评述[J]. 世界林业研究, 2001, 14(5): 21-25.
- [31] 杜晓明, 周志强, 张悦, 等. 大兴安岭北部植被演替规律探讨[J]. 国土与自然资源研究, 2002, (2): 67-68.
- [32] 和爱军. 浅析日本的森林公益机能经济价值评价 [A]. CAF&ITTO. 森林环境价值核算国际研讨会论文集 [C]. 北京: 中国林业出版社, 2001.
- [33] 孔繁文, 戴广翠. 瑞典、芬兰森林资源与环境核算考察报告 [J]. 林业经济, 1995, (1): 76-80.
- [34] 侯元兆主编. 中国森林资源核算研究 [M]. 北京: 中国林业出版社, 1996.
- [35] 侯元兆, 吴水荣. 森林生态服务价值评价与补偿研究综述 [J]. 世界林业研究, 2005, 18(3): 1-5.
- [36] 郑景明, 姜凤岐, 曾德慧, 等. 长白山阔叶红松林的生态价值 [J]. 生态学报, 2004, 24(1): 48-55.
- [37] 赵景柱, 肖寒, 吴刚. 生态系统服务的物质质量与价值量评价方法的比较分析[J]. 应用生态学报, 2000, 4(2): 290-292.
- [38] Simpson A D Ecosystem Function and Human Activities [M]. Washington: Chapman&hall, 1997.
- [39] Adgerwn, Brownk, Cervignir, et al. Total Economic Value of forests in Mexico [J]. Ambio, 1995, 24(5): 286-296.
- [40] 薛达元. 生物多样性的经济评价——长白山自然保护区实例研究 [M]. 北京: 中国环境出版社, 1997.
- [41] 荆克品, 鞠美庭. 对生态系统服务功能价值评估中相关问题的探讨 [J]. 环境科学与技术, 2004, 27(增): 129-133.
- [42] Pearce D W, Markandya A. The Benefits of Environmental Policy: Monetary Valuation [M]. Paris: OECD, 1989.
- [43] 李金昌. 资源核算论 [M]. 北京: 海洋出版社, 1991.
- [44] 薛达元, 包浩生. 长白山自然保护区森林生态系统间接经济价值评估 [J]. 中国环境科学, 1999, 19(3): 247-252.
- [45] 薛达元. 长白山自然保护区生物多样性非使用价值评估 [J]. 中国环境科学, 2000, 20(2): 141-145.
- [46] 关文彬, 王自力, 陈建成, 等. 贡嘎山地区森林生态系统服务功能及其效益评估 [J]. 北京林业大学学报, 2002, 24(4): 80-84.
- [47] 艾夕辉, 许建初, 高富, 等. 西庄河流域森林生态系统涵养水源的价值 [J]. 山地学报, 2005, 23(1): 21-26.
- [48] 潘勇军, 康文星, 田大仑. 武陵源森林生态系统服务功能及其效益评估 [J]. 湖南林业科技, 2005, 32(1): 29-32.

五”期间新建水窖 50.9 万眼,平均每户修 6 眼窖,户均蓄水量达到 210 m^3 ,牧区每户修建蓄水池 2 座,户均蓄水量达到 60 m^3 。

因此,在陕北黄土高原丘陵沟壑区充分利用雨水,发展集水农业,具有一定的潜力。

3.3 根据水资源特点,调整作物结构

根据陕西省水资源的区域分布特点,进行种植结构的调整,将原来耗水型作物结构调整节水型的结构,这是适应水资源特点的一种主动方式。同时,结合国家退耕还林(草)工程,借助先进的农艺技术,提高土地生产能力,在确保粮食安全的前提下,将退耕下来的土地种植适应区域特点的牧草,通过农牧结合,发展养殖业,增加农民的现金收入,从而使区域农民尽快实现脱贫致富,反过来进行农业可持续发展建设,尽快实现适应水资源特点的农业可持续发展的良性循环。

3.4 加强污染治理,减少工业废水污染源

陕西省年均工业用水量为 13.22 亿 m^3 ,占总用水量的 16.44%,而且工业用水量呈递增的趋势。目前工业用水的回用率在 35% 以下,大量的工业废水排入河道,造成河流的严重污染,影响河流水体使用功能。如黄河的第一大支流——渭河,如今上游水源枯竭,中游水体污染,下游淤积堵塞,河流功能丧失殆尽,已严重制约整个流域的经济发展。因此必须加强水污染治理,减少工业废水污染源,才是解决水资源危机的根本措施。

3.5 提倡中水回用,减少城市生态用洁净水量

目前,城镇区域的生活用水量不断增加,特别是生态用水,即城市绿地灌溉用水、景观用水以及道路、车量冲洗用水等。基于城市生态用水的水质标准要求较低,因此,可以充分利用城市污水处理后产生的中水,进一步节约城市生态用洁净水量。

4 结语

陕西省是严重缺水且经济欠发达地区,要实现经济的可持续发展,只有强化节水意识、提高水资源利用效率、加强水污染治理、建立水资源统一管理体制,才能实现水资源可持续利用。

参考文献:

- [1] 李周,宋宗水,包晓斌,等. 化解西北地区水资源短缺的对策研究[J]. 中国农村观察,2003,(3):2-13.
- [2] 陕西省地方志编纂委员会编. 陕西省志——水利志[M]. 西安:陕西人民出版社,1999.
- [3] 彭谦,邹鸿远. 陕西省农业供水运行分析及价格研究[M]. 西安:西北大学出版社,2000.
- [4] 郝树声. 西部地区概况[M]. 兰州:甘肃人民出版社,2001.
- [5] 张宝通. 中国西部概览——陕西[M]. 北京:民族出版社,2000.
- [6] 于法稳,尚杰. 黄土高原半干旱区雨水利用与可持续农业发展研究[J]. 中国人口、资源与环境,2002,12(2):87-90.
- [7] 刘平贵等. 陕西省缺水成因分析与对策[J]. 水利发展研究,2002(2):3-5.
- [51] 董得红. 森林资源二类调查是三江源林业生态建设的基础[J]. 林业建设,2004,(5):26-28.
- [52] 王登科. 日本的森林生态效益补偿制度及最新实践[J]. 世界林业研究,2005,18(5):65-70.
- [53] 唐秀萍. 生态效益开始“买单”[J]. 中国林业,2004,(12B):1.
- [49] 赵传燕,冯兆东,刘勇. 祁连山区森林生态系统生态服务功能分析——以张掖地区为例[J]. 干旱区资源与环境,2002,16(1):66-70.
- [50] 张向辉,王清春,李瀚,等. 青海东峡林区森林生态系统服务功能及经济价值评估[J]. 北京林业大学学报,2002,24(4):85-87.

(上接第 177 页)