

吉林省森林涵养水源经济价值核算

石小亮, 陈珂

(沈阳农业大学 经济管理学院, 辽宁 沈阳 110866)

摘要: [目的] 分析吉林省各植被类型的森林涵养水源能力及森林生态系统总的涵养水源价值量, 为森林可持续经营和管理提供依据。[方法] 以吉林省森林生态系统降水截留率和降水量的测定数据为基础, 应用降水截留率与森林林冠、降水量的关系得到森林涵养水源实物量, 利用影子工程法得到森林生态系统涵养水源的经济价值。[结果] (1) 吉林省年均降水量为 1 179.9 mm, 各植被类型的森林涵养水源能力为: 天然林 > 人工林 > 乔木林 > 经济林; (2) 每年森林涵养水源总量为 $7.24 \times 10^{10} \text{ m}^3$, 森林涵养水源的价值量为 1.81×10^{11} 元。[结论] (1) 吉林省水资源流出量大于流入量, 属于人口与生态双重缺水的省份; (2) 森林植被类型虽然丰富, 但森林资源存在区域分布不均, 人工林树种单一且有着过伐林的资源结构特征等问题。

关键词: 吉林省; 森林涵养水源; 价值核算

文献标识码: B

文章编号: 1000-288X(2015)05-0169-04

中图分类号: S715, S718

DOI:10.13961/j.cnki.stbctb.2015.05.097

Accounting Economic Value of Forest Water Conservation in Jilin Province

SHI Xiaoliang, CHEN Ke

(College of Economics and Management, Shenyang Agricultural University, Shenyang, Liaoning 110866, China)

Abstract: [Objective] This study analyzed the vegetation types of forest water conservation capacity and total water conservation value of forest ecosystem in Jilin Province in order to provide the basis for forest sustainable operating and management. [Methods] Based on the measurements of rainfall interception rate and rainfall of forest ecosystems, we obtained forest water conservation converting by analyzing the relationship between rainfall interception rate and forest canopy and precipitation. By reusing the shadow engineering method, we got the economic value of forest water conservation. [Results] (1) The average annual rainfall was 1179.9 mm in Jilin. The order of water holding capacity was: natural forest > plantation > arbor > economic forest. (2) The amount of forest water conservation was $7.24 \times 10^{10} \text{ m}^3$. The value of forest water conservation was 1.81×10^{11} yuan per year. [Conclusion] (1) As the water outflow was greater than inflows, Jilin Province belonged to water-deficient area in both population and ecology. (2) The forest vegetation type in Jilin Province is rich, but spatial distribution of vegetation is uneven.

Keywords: Jilin Province; forest water conservation; value accounting

水资源对于人类的身体健康及其所依赖的生态环境都有着十分重要的意义, 与当前中国的社会经济建设和发展息息相关。但如今水资源总体状况在不断恶化, 且随着人口的增多对其需求也在持续增长, 使水资源的作用更加凸显。森林生态系统具有净化水质, 持水及调节径流, 削洪补枯等作用^[1], 即森林生态系统具有涵养水源的能力。涵养水源服务可很好地平衡森林生态系统的水资源, 具体主要是通过森林的林冠层截留大气降水、枯落物层持水以及土壤层渗透水来进行分配的^[2-3]。森林生态系统的 3 个作用层

削弱了降水对土壤的冲击力, 减少了地表径流的发生率, 在一定程度上改良了土壤结构^[4]。但即使在同一区域内, 森林生态系统涵养水源的能力也不同, 这主要和各植被树种特性及林分结构有关^[5]。本文对吉林省森林涵养水源价值进行评估, 旨在提高人们重视保护水资源的意识, 更为吉林省政府及相关林业部门在森林可持续发展经营与管理上提供依据。

1 吉林省水资源概况

吉林省多年的水资源总量平均为 $3.99 \times 10^{10} \text{ m}^3$,

收稿日期: 2014-08-25

修回日期: 2014-09-15

资助项目: 国家自然科学基金项目“基于生态彩票视角的生态产品自愿供给方式的创新”(71103123)

第一作者: 石小亮(1984—), 男(蒙古族), 内蒙古自治区赤峰市人, 博士, 讲师, 研究方向为森林资源与环境经济。E-mail: sxl422127@163.com。

通信作者: 陈珂(1972—), 女(汉族), 山西省临汾市人, 博士, 教授, 博士生导师, 主要从事林业经济理论与政策的研究。E-mail: chenkeyaya@163.com。

其中地表水与地下水资源量分别为 $3.44 \times 10^{10} \text{ m}^3$, $1.24 \times 10^{10} \text{ m}^3$, 人均水资源占有量仅为 $1\ 500 \text{ m}^3$, 约为中国人均水资源占有量 $2\ 100 \text{ m}^3$ 的 70%。按照国际公认的缺水标准一般分为四等, 人均水资源低于 $2\ 000 \text{ m}^3$ 为中度缺水, 低于 $1\ 000 \text{ m}^3$ 为重度缺水, 吉林省处于中度缺水与重度缺水之间, 属于中国中度缺水地区。另外吉林省虽然属于中国河源省份, 但水资源流出量大于流入量, 水量年均流出省内为 $3.38 \times 10^{10} \text{ m}^3$, 流入省境仅为 $3 \times 10^9 \text{ m}^3$, 差值为 $3.08 \times 10^{10} \text{ m}^3$, 属于人口与生态双重缺水的省份。

吉林省水资源在时空分布上差别也很大。在时间上表现为降水量主要集中于夏、秋两季, 占全年降水量的 65%~85%, 而春、冬两季降水量较少不足 20%, 这决定了当地的水资源多以洪水形式出现; 在空间分布上, 东南部地区如吉林、延边及通化等地年平均降水天数为 100~130 d, 年均地表水资源总量为 $3.10 \times 10^{10} \text{ m}^3$, 中西北部如长春、白城、辽源、四平及松原等地年平均降水天数为 70~90 d, 年均地表水资源总量为 $3.44 \times 10^9 \text{ m}^3$ 。可见吉林省的供水和用水矛盾十分突出, 水资源短缺已成为制约吉林省当地经济发展的重要因素之一^[6]。对吉林省森林生态系统涵养水源的价值进行评估, 有利于提高人们保护水资源的意识, 同时对政府等相关部门在制定水资源使用计划和调整时, 有着一定的现实衡量依据。

2 研究方法

森林涵养水源的经济价值核算主要包括实物量与价值量计算两部分。实物量核算主要是通过森林水文学及流域水文学的方法计算求得, 它是估算森林涵养水源经济价值的基础。对此, 国内外学者从森林生态系统水循环过程的不同角度出发, 采用了不同的方法进行计算, 其中以蓄水估算法、水量平衡法与径流系数法等较为常见^[7]。但各种方法均有利弊, 本文主要应用降水截留率与森林林冠、降水量的关系来评估吉林省森林生态系统涵养水源实物量公式如下:

$$FWC_i = \sum p s_i (1 - I_i) \cdot 10 \quad (1)$$

式中: FWC_i ——森林生态系统涵养水源总量 (m^3); P ——地区年均降水量 (mm); s_i ——第 i 类森林面积 (hm^2); I_i ——第 i 类森林的林冠截留率 (%)。

对于森林涵养水源价值量的衡量, 确定森林涵养水源价格是关键。学术界一般采用森林涵养水源价格乘以实物量的形式以确定价值量。针对此研究, 国内最早始于 19 世纪 80 年代, 如孔繁文和何乃蕙^[8]、侯元兆^[9]等对国内外有关森林生态系统价值论和方法进行了评价总结, 使单一形式的物质资产估算转向

系统科学的生态价值统计研究, 使森林资源核算更加严谨和系统化。针对森林涵养水源价值量的研究, 国内学者一般采用替代工程法(影子工程法), 即首先假设存在一个工程且该工程价值是能够测算的, 利用该工程造价来替代森林涵养水源的价值^[10-11]。除替代工程法外, 还包括水资源的其它定价理论, 如生产函数法、收益还原法、需求定价法及成本定价法等来计算森林涵养水源的价格。

利用替代工程法来确定森林涵养水源价格, 比较常见的方法主要有 6 种: 根据水库的蓄水成本、城市供用的自来水价格、区域水资源的运费、电能的生产成本、海水淡化费以及利用级差地租来予以确定^[10]。在这 6 种方法中, 前两种使用更多。如刘晓清等^[11]利用替代工程法和市场价值法, 选取蓄水工程费用按库容造价 $5.714 \text{ 元}/\text{m}^3$ 估算了 2010 年秦岭地区森林涵养水源的经济价值, 结果显示秦岭生态功能区森林涵养水源总价值为 $3.17 \times 10^{10} \text{ 元}$, 相当于安康市 2010 年国内生产总值; 薛立等^[12]利用替代工程法, 采用 $0.8 \text{ 元}/\text{m}^3$ 为森林涵养水源价格对广东省生态公益林水土保持和涵养水源效益进行了估算, 结果表明生态公益林涵养水源总效益价值为 $9.24 \times 10^9 \text{ 元}/\text{a}$; 董茹茹^[13]利用影子工程法, 采用阿拉善盟城市供用的自来水价格 $2.75 \text{ 元}/\text{t}$ 来估算贺兰山西坡退牧还林封育工程的涵养水源效益, 结果显示在退牧还林封育工程实施的第一年, 整个贺兰山西坡森林涵养水源经济价值约为 $4.72 \times 10^8 \text{ 元}$ 。4 a 后, 贺兰山西坡森林涵养水源经济价值已经达到 $6.38 \times 10^8 \text{ 元}$ 。

本文主要是通过上述公式(1)计算得到森林涵养水源实物量后, 再利用影子工程法将实物量乘以吉林省当地城市供用水的平均价格(森林涵养水源价格), 得到吉林省森林生态系统涵养水源的价值。

3 结果与分析

3.1 吉林省当地的森林植被类型

吉林省森林资源十分丰富, 是全国重点林区之一, 也是中国十分重要的木材生产基地。包含主要树种 408 种, 分布有 63 科 137 属, 其中以长白山林区为最多, 仅木本植物就有 30 科 250 多种。整个吉林省林区有耐寒的植被如云杉、臭冷杉及落叶松, 耐干旱的植被如黑桦和蒙古栎, 喜湿的植被如胡桃楸、红松、春榆、橡树、沙冷杉及椴树等, 喜湿的植被如水曲柳、钻天柳等。其中乔木林分植被按面积大小来排序, 前 5 位的是阔叶混交林、柞树、针阔混交林、落叶松和杨树, 5 种植物的总林分面积约为 $7.49 \times 10^6 \text{ hm}^2$, 占吉林省林分总面积的 90.47%, 其它林分植被类型总面积仅

占9.53%^[14]。另外,在林区中栖息着各种珍禽异兽,还包含多种名贵的中草药材,构成了吉林省资源丰富的天然宝藏。

3.2 吉林省森林植被状况评价

吉林省森林资源经过长期开发利用,以及受整个自然森林生态系统功能不断退化等影响,林木资源与林分类型都发生了显著的变化。

(1) 森林资源丰富,树种植被类型繁多,林地生产力也较高。主要体现在临近海洋的长白山林区,该区域降雨充沛,气候温和,森林土壤也比较肥沃,使该区域的树木物种类型十分丰富。长白山林区的原生林属复层异龄的混交林较多,树种能够充分吸收光热和利用地力,每 hm^2 蓄积最低为 300 m^3 ,最高可达 600 m^3 ,是吉林省木材生产的重要来源之一^[15]。

(2) 森林资源区域分布不均。吉林省森林覆盖率在我国一直排前10位,但大多都集中于东部、东南部和中部等偏远山区中,森林覆盖率由东向西呈递减趋势。即便是在东部山区,森林资源分布也并不均匀,一般在偏远山区和森工林区的森林较多,而在城镇与交通沿线附近的森林资源较少。其中偏远山区多是植被类型较单一的森林,随着林地生产力的不断下降,在缺乏人工管护等保护措施下,造成该地区大量林分的生态功能出现了总体退化现象。

(3) 存在过伐林的资源结构特征。吉林省自建国以来一直是中国重要的木材生产基地,建国初期为国家提供了超过 $1.00\times 10^8\text{ m}^3$ 的商品木材,为中国的经济建设做出了突出贡献。但林区经过长期开采开发后,原始森林林地面积逐渐减少,仅就长白山林区而言,原生林地面积已不足吉林省森林面积的10%,有的林区森林甚至经过了2次择伐,形成大量的过伐林和次生林。原以红松为主的针阔叶混交林已演替为阔叶林、柞树林及杨桦林等树种。另外在交通沿线以及村镇附近的森林,由于人为等活动的干扰,破坏了以往森林原生态环境如蒙古栎大面积的蔓延生长^[16]。

(4) 单一的人工林树种。到目前为止,吉林省的人工林面积约为 $7.06\times 10^5\text{ hm}^2$,其中落叶松林面积约占整个人工林面积的51.3%,杨树面积约占37.4%,树种类型单一且均为纯林。如以针叶树纯林而言,它能过度吸收林地土壤有机质,使林地土壤肥力急剧降低。原有植被退化范围也在逐渐扩大,造成该地区生态功能的不断退化。

3.3 吉林省森林涵养水源能力估算

本文主要采用大气降水量与林冠截留率二者之间的关系来估算吉林省森林涵养水源能力。根据

2011年吉林省森林资源二类调查数据及第七次全国森林资源清查数据显示,吉林省林业用地面积约 $9.29\times 10^6\text{ hm}^2$,占全省土地面积的49%。其中有林业用地面积约为 $8.49\times 10^6\text{ hm}^2$,活立木总蓄积约为 $9.42\times 10^8\text{ m}^3$,森林覆盖率从2008年的38.93%上升到2011年的43.70%。其中经济林面积为 $8\times 10^4\text{ hm}^2$,天然林(基本都为针叶林)面积为 $5.87\times 10^6\text{ hm}^2$,人工林面积(大部分为阔叶林)为 $1.49\times 10^6\text{ hm}^2$,乔木林(针阔混交林)面积为 $1.16\times 10^6\text{ hm}^2$ 。

根据吉林省近40a的气象资料数据显示,当地年最大降水量约为1825.8mm,最小降水量约为534.0mm,地区年均降水量为1179.9mm。根据相关学者的研究结果显示,不同森林植被类型的林冠降水截留率也不同,经济林的林冠降水截留率约为26.1%,针叶林约为27.8%,阔叶林为31.2%^[17]。针阔混交林的降水截留率取针叶林和阔叶林降水截留率的平均值29.5%。

由森林涵养水源实物量公式计算得到吉林省各植被类型的森林涵养水源量:经济林涵养水源量为 $6.98\times 10^8\text{ m}^3$,天然林涵养水源量为 $5.00\times 10^{10}\text{ m}^3$,人工林涵养水源量为 $1.21\times 10^{10}\text{ m}^3$,乔木林涵养水源量为 $9.66\times 10^9\text{ m}^3$ 。故吉林省每年森林涵养水源量约为 $7.24\times 10^{10}\text{ m}^3$ 。根据目前吉林省城镇居民生活用水价格为2.50元/t,以此估算吉林省每年森林涵养水源的价值量为 1.81×10^{11} 元。

4 结论

吉林省属于中国河源省份,但水资源流出量大于流入量,水资源十分欠缺属于中度缺水地区。此外水资源在时空分布上差别也很大,供水和用水矛盾十分突出,很大程度上制约了吉林省的经济发展。吉林省属于中国重点林区之一,森林资源十分丰富,以临近海洋的长白山林区最为显著。但就整个森林资源而言,区域分布并不均匀,森林覆盖率由东向西呈递减趋势,且存有过伐林资源结构特征,一些人工林也常为单一树种,以落叶松和杨树等种植林居多。原始植被退化规模也在不断加大,造成该地区生态功能的不断弱化。

目前,由于学术界对森林涵养水源价值内涵的理解未达成一致,致使学者采用了不同方法来研究森林涵养水源价值。选用方法不同造成估算的最终结果迥然不同,只能根据不同实际情况来予以选择。如司今等^[18]选取了5种方法对黄土高原区域的小流域森林涵养水源价值进行核算,结果显示由于采用方法的不同结果差异显著。以纸坊沟为例,综合蓄水能力

法、水量平衡法Ⅰ及降水储存量法Ⅰ所得的涵养水源价值最高相差 1.5×10^6 元,南方女儿寨小流域同比最高相差约为 2×10^5 元,且几个流域在利用水量平衡法Ⅱ估算时结果出现了反常现象。但无论选择何种核算方法,目的都是为了更加客观合理地估算森林生态系统价值,提高人们注重环境保护意识,同时对制定水资源使用计划有一定的现实衡量依据,为更好地管护、经营森林和补偿等做好准备。

本文以吉林省森林生态系统降水截留率和降水量的测定数据为基础,应用降水截留率与森林林冠、降水量的关系得到森林涵养水源实物量,并利用影子工程法得到森林生态系统涵养水源的经济价值,结论如下:(1)吉林省当地的森林植被类型十分丰富,按乔木林分植被面积大小排前 5 位的是阔叶混交林、柞树、针阔混交林、落叶松和杨树,总林分面积约为 $7.49 \times 10^6 \text{ hm}^2$,占吉林省林分总面积的 90.47%。但森林资源区域分布不均、人工林树种单一且存在过伐林的资源结构特征;(2)地区年均降水量约为 1 179.9 mm,各植被类型的森林涵养水源能力为天然林($5 \times 10^{10} \text{ m}^3$)>人工林($1.21 \times 10^{10} \text{ m}^3$)>乔木林($9.66 \times 10^9 \text{ m}^3$)>经济林($6.98 \times 10^8 \text{ m}^3$)。每年森林涵养水源量为 $7.24 \times 10^{10} \text{ m}^3$,森林涵养水源价值量为 1.81×10^{11} 元。

在本研究的基础上,提出以下建议:

(1) 加强对森林资源的保护力度。森林生态系统作为陆地生态系统的主体部分,是提供生态系统服务的重要来源。不但可为人类提供各种生产与生活资料,像木材及林下经济等副产品,还可以调节与优化地球的生态平衡,是自然界中功能最完善的基因库与资源库^[19]。森林生态系统具有涵养水源、净化空气、固碳制氧、调节气候、保护生物多样性、保育土壤、防风固沙、维持区域生态平衡以及森林游憩等多种直接或间接的生态服务功能^[20]。而涵养水源是森林生态系统的重要生态服务功能之一,森林涵养水源的能力及其变化能够直接反映某个森林生态系统功能的强弱及其变化趋势。随着吉林省工业化、城镇化的快速发展,以及人口与其消费水平的大幅度增长,森林资源保护和当地经济发展的矛盾日益突出。如当地政府环境保护与危机意识不强,过度追求短期的经济增长,忽视长期对森林资源及生态系统的保护。为了避免森林资源的进一步消耗,改善当地环境状况。可以利用教育甚至立法等形式,及时加强森林资源的保护和林业生态系统的建设力度。正确处理生态保护和经济发展、短期经济利益与长远综合效益之间的关系,以最终实现森林资源的可持续发展,使吉林省能够继续发挥在全省乃至全国范围内的生态屏障功能。

(2) 调整林产工业布局。林业可持续发展的基本要求是用材消耗量不能大于森林资源的生长量,这也是林业建设的一项重要原则。因此,吉林省当地政府应根据实际用材林状况调整林产工业布局,积极编制森林资源利用总体规划书。对现有一些污染严重、技术落后的企业实行全面清理整顿,对于新上的林产工业项目,必须符合森林资源利用总体规划书的要求,并按有关规定进行严格审批。要建立与当地生产规模相适应的林产工业原料林基地,除了能够实现木材等产品的自给外,还要加快实现“林—纸”、“林—板”等产业形式的一体化经营体系。对企业采伐林木后,要严格控制它必须对采伐迹地进行及时更新。

(3) 改变以往森林资源结构。要进一步加大人们对于森林资源保护的宣传教育力度,利用电视、报纸杂志和网络等手段向人们普及林业和生态环境等知识,提高全社会的生态文明建设意识。具体要依法坚持和完善义务植树制度。当地教育部门要加强对学生生态知识与文明素质的培养;各级工会、共青团等社会团体要积极动员社会力量参与到植树造林活动中,以改变森林资源区域分布不均和过伐林的资源结构等状况,在全社会形成保护森林资源就是保护全人类的良好社会风尚;旅游、新闻媒体、出版社等部门要结合自身职能,加大对森林资源保护和建设的宣传力度,利用多形式宣传植树造林、保护森林资源的意义及先进事迹等。除了舆论宣传外,还要严格限制种植的树种并予以规划,要积极种植多类型树种以改善林地生产力,完善森林生态系统服务。

[参 考 文 献]

- [1] JIN Fang, LU Shaowei, YU Xinxiao, et al. Forest ecosystem service and its evaluation in China[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2005, 16(8): 1531-1536.
- [2] Pearee A J, Stewart M K, Sklash M G. Storm runoff generation in humid headwater catchments(I): Where does the water come from? [J]. Water Resources Research, 1986, 22(8): 1263-1272.
- [3] 张洪江,杜士才. 重庆四面山森林植物群落及其土壤保持与水文生态功能[M]. 北京:科学出版社,2010.
- [4] 石小亮,张颖. 森林涵养水源研究综述[J]. 资源开发与市场, 2015, 31(3): 332-336.
- [5] Li Yang, Wang Baitian, Rao Liangyi, et al. Research on water conservation function of typical forests in Jinyun Mountain[J]. Agricultural Science & Technology, 2012, 13(1): 181-188.
- [6] 吴鹏飞,朱波. 不同林龄段桧柏混交林生态系统的水源涵养功能[J]. 中国水土保持科学, 2008, 6(3): 94-101.

(下转第 179 页)

(2) 骆驼刺带状平茬后的第一个观测阶段,平茬样带地表整体以风蚀为主,且风蚀量表现出最大。在第二个观测阶段,骆驼刺平茬样带地表整体风蚀量大于风积量,且风蚀程度有所减弱。随着平带骆驼刺植被盖度的恢复,平茬带沿主风向在夏秋季地表主要表现为风积,且风蚀量大大减少。

(3) 春季骆驼刺带状平茬 4 m 保留 3 m 宽度利用方式并不能有效地抵御春季的地表风蚀危害,植被恢复后在夏秋季具有较好的防风固沙效益。

[参 考 文 献]

- [1] McTainsh G H, Lynch A W, Tews E K. Climate controls upon dust storm occurrence in eastern Australia[J]. *Journal of Arid Environments*, 1998,39(3):457-466.
- [2] Wolfe S A, Nickling W G. The protective role of sparse vegetation in wind erosion[J]. *Progress on Physical Geography*, 1993,17(1):50-68.
- [3] 曾凡江,张希明,李小明. 骆驼刺植被及其资源保护与开发的意义[J]. *干旱区地理*, 2002,25(3):286-288.
- [4] 董志国. 干旱荒漠区骆驼刺的经济价值及其利用[J]. *塔里木农垦大学学报*, 2000,12(3):58-60.
- [5] 董志国,张苏江. 干旱荒漠区骆驼刺资源及利用[J]. *中国草地*, 2000(4):73-75.
- [6] 热合木都拉. 吐鲁番地区骆驼刺群落资源及其开发利用[J]. *干旱区研究*, 1994,11(1):62-66.
- [7] 李瑞年. 巴音郭楞蒙古自治州的骆驼刺及其开发利用[J]. *干旱区研究*, 1993,10(3):48-50.
- [8] 黄彩变,曾凡江,雷加强. 留茬高度对骆驼刺生长发育和产草量的影响[J]. *草地学报*, 2011,19(6):948-953.
- [9] 李海峰,曾凡江,桂东伟,等. 不同干扰方式对疏叶骆驼刺形态特征及地上生物量的影响[J]. *应用生态学报*, 2012,23(1):23-28.
- [10] 王雪芹,胡永峰,杨东亮,等. 绿洲—沙漠过渡带骆驼刺群落的防风阻沙作用[J]. *干旱区地理*, 2011,34(6):919-925.
- [11] 李振武,夏阳. 绿洲外围植被防护效益的研究[J]. *干旱区研究*, 1995,12(4):20-24.
- [12] 李小明,张希明. 策勒绿洲边缘自然植被恢复重建的盖度指标[J]. *干旱区研究*, 2002,19(2):12-16.
- [13] 赵彩霞,郑大玮,何文清. 植被覆盖度的时间变化及其防风蚀效应[J]. *植物生态学报*, 2005,29(1):68-73.
- [14] 张鹤年. 塔克拉玛干沙漠南缘:绿洲过渡带生态环境区综合治理技术与试验示范研究[J]. *干旱区研究*, 1995,12(04):1-9.
- [15] 杨佐涛. 戈壁与绿洲内的风向风速关系:以新疆策勒县为例[J]. *中国沙漠*, 1990,10(3):33-39.
- [16] 钱亦兵,张希明,李晓明. 塔克拉玛干沙漠南缘绿洲沙物质粒度特征[J]. *中国沙漠*, 1995,15(3):132-134.
- [17] 陈渭南,董治宝,杨佐涛,等. 塔克拉玛干沙漠的起沙风速[J]. *地理学报*, 1995,50(4):360-367.
- [18] 李振山,陈广庭. 塔克拉玛干沙漠起沙风况[J]. *中国沙漠*, 1999,19(1):43-45.
- [19] 杨兴华,何清,霍文,等. 塔克拉玛干沙漠南缘风沙跃移运动研究:以策勒县为例[J]. *中国沙漠*, 2012,32(4):910-913.
- [7] 刘勇,王玉杰,王红霞,等. 长江三峡库区 6 种退耕还林模式涵养水源与保育土壤效益及其价值估算[J]. *中国水土保持科学*, 2014,12(6):50-58.
- [8] 孔繁文,何乃蕙. 森林资源核算与国民经济核算体系[M]. 北京:人民中国出版社,1993:21-22.
- [9] 侯元兆. 中国森林资源核算研究[M]. 北京:中国林业出版社,1995.
- [10] 姜文来. 森林涵养水源的价值核算研究[J]. *水土保持学报*, 2003,17(2):34-36.
- [11] 刘晓清,张振文,沈炳岗,等. 秦岭生态功能区森林水源涵养功能的经济价值估算[J]. *水土保持通报*, 2012,32(1):177-180.
- [12] 薛立,彭耀强,王汉忠,等. 广东省生态公益林水土保持和水源涵养效益估算[J]. *水土保持通报*, 2011,31(6):165-167.
- [13] 董茹茹. 贺兰山西坡退牧还林封育工程水源涵养效益分析研究[D]. 呼和浩特:内蒙古农业大学,2010.
- [14] 石小亮,张颖. 基于时空变域的森林生态系统管理研究概述[J]. *林业科技开发*, 2014,28(6):10-14.
- [15] 牛香,宋庆丰,王兵,等. 吉林省森林生态系统服务功能[J]. *东北林业大学学报*, 2013,41(8):36-41.
- [16] 李文华,张彪,谢高地. 中国生态系统服务功能研究的回顾与展望[J]. *自然资源学报*, 2009,24(1):1-10.
- [17] 邓坤枚,石培礼,谢高地. 长江上游森林生态系统水源涵养量与价值的研究[J]. *资源科学*, 2002,24(6):68-73.
- [18] 司今,韩鹏,赵春龙. 森林水源涵养价值核算方法评述与实例研究[J]. *自然资源学报*, 2011,26(12):2100-2109.
- [19] 周芸芸,冯金朝,冯亚磊. 神山森林涵养水源的生态学解读[J]. *中央民族大学学报:自然科学版*, 2013,22(2):92-96.
- [20] 刘璐璐,邵全琴,刘纪远,等. 琼江河流域森林生态系统水源涵养能力估算[J]. *生态环境学报*, 2013,22(3):451-457.

(上接第 172 页)