

重要生态功能区典型生态服务及其评估指标体系的构建

韩永伟^{1,2}, 高馨婷¹, 高吉喜¹, 徐永明³, 刘成程^{1,2}

1. 中国环境科学研究院生态所, 北京 100012; 2. 国家环境保护区域生态过程与功能评估重点实验室, 北京 100012;
3. 内蒙古环境监测中心站, 内蒙古 呼和浩特 010000

摘要: 科学评估重要生态功能区的生态服务是管理者制定相关政策的基础, 对促进重要生态功能区维护区域生态安全、支撑经济社会可持续发展具有重要意义。依据生态服务的空间转移特性, 探索提出了重要生态功能区典型生态服务的概念与内涵, 并在此基础上综合运用频度分析法、专家咨询法和层次分析法, 构建了重要生态功能区水源涵养、土壤保持、防风固沙、生物多样性保护和洪水调蓄等典型生态服务的评估指标体系。结果表明: 在指标体系中, 影响水源涵养服务的主要是土壤质地和降水量; 影响土壤保持服务的主要是植被覆盖度和丰富度指数; 影响防风固沙服务的主要是植被覆盖度和大风时速; 影响生物多样性服务的主要是植被景观多样性指数; 影响洪水调蓄服务的主要是湿地容积和降水量。土壤、植被、地形和气候等生态因子是重要生态功能区典型生态服务产生与发挥的重要基础。

关键词: 重要生态功能区; 生态服务; 评估; 指标体系

中图分类号: S512.062; S512.071

文献标志码: A

文章编号: 1674-5906 (2010) 12-2986-07

生态系统服务是人们从生态系统中获得的收益^[1-3]。近 30 年来, 生态系统服务评估的方法与实践应用研究取得了一系列成果^[4], 国内外学者在全球或区域生态系统^[5-9]、流域生态系统^[10-12]、草地生态系统^[13-14]、森林生态系统^[15-17]、农田生态系统^[18-19]和自然保护区^[20]等不同类型和不同尺度生态系统服务评估方面做了大量的工作。

但所开展的研究多数是普查性的, 即对一个区域内的生态系统服务进行概述式研究^[21], 且大部分只是利用 Costanza 等^[1]的成果将目标区域作为均一整体来进行估算, 评估所得的结果往往引起较大争议。这主要是由于生态系统结构的空间异质性是普遍存在的, 生态系统结构的空间异质性会导致功能或生态学特性上的空间异质性, 进而会使生态系统服务出现空间异质性, 而现有的研究在具体计算时, 因实验基础和数据积累不足没有能够考虑这一情况。因此, 生态系统服务评估研究目前仍属于探讨、摸索阶段, 在基础理论、评估方法与技术手段上需要加快整合推进^[4]。

精确定性、定量和定位研究, 对提高生态系统服务评价结果的可信性具有积极作用, 是生态系统服务深入研究的重要方向之一^[21]。构建生态系统服务评估指标体系, 是开展生态系统服务精确定性、定量和定位研究的基础。现有的生态系统服务评估研究中所用的指标, 基本停留在 Costanza^[1]提出的水源涵养、保育土壤、固碳吐氧等功能层面, 尚没有形成一套针对水源涵养等单项生态服务的评估

指标体系。

重要生态功能区是指在保持流域、区域生态平衡、防止和减轻自然灾害, 确保国家和地区生态安全方面具有重要作用的区域。改革开放以来, 随着经济的快速发展, 不合理资源开发和自然资本的过度利用, 致使我国重要生态功能区生态破坏严重, 部分区域生态功能整体退化甚至丧失, 严重威胁国家和地区生态安全^[22]。这一现象引起了党和国家的高度关注。《中华人民共和国国民经济和社会发展第十一个五年规划纲要》将重要生态功能区的建设作为推进构建资源节约型、环境友好型社会的重要任务之一, 党中央十七届五中全会提出要在“十二五”期间继续加强重要生态功能区的保护与管理。这与国际上为了应对日益严重生态环境危机而提出的“生态系统”管理的思想相一致, 其目的也就是要进一步强化对区域、流域生态系统结构与功能的保护^[23]。

重要生态功能区的概念提出不久, 关于其生态服务的研究的文章尚不多见。因此, 开展重要生态功能区生态服务的探索研究, 对于丰富重要生态功能区的理论体系, 支撑重要生态功能区的管理决策具有重要意义。

本文在就重要生态功能区典型生态服务的概念与内涵进行探索, 并在此基础上构建重要生态功能区典型生态服务的评估指标体系, 以期重要生态功能区典型生态服务的精确定量、定位研究及其保护与管理工作提供一定的理论参考。

基金项目: 科技部环保公益性行业科研专项 (200709007); 国家“十一五”科技支撑计划课题 (2009BAD2B03)

作者简介: 韩永伟 (1973 年生), 男, 副研究员, 博士, 主要从事农村生态保护与可持续发展研究。E-mail: hanyw@craes.org.cn

收稿日期: 2010-12-01

1 重要生态功能区典型生态服务及其内涵

1.1 生态系统服务

在 Ehrlich 等首次提出生态系统服务的概念后,生态学文献中出现了不少关于生态系统服务的定义,其中 Costanza^[1]和联合国千年生态系统评估^[7]的观点,即认为生态系统服务是人们从生态系统获得的收益,已被国内学者普遍接受^[2]。生态系统服务的分类有功能分类、组织分类和描述分类等,目前由千年生态系统评估从功能角度提出分类较有影响,它将生态系统服务分为了供给、调节、文化和支持服务 4 大类。这一分类对于各类生态系统具有普遍的适用性,同时人们也认识到:由于生态系统内部各种复杂的关系与化学反应的总和是生态系统服务的基础,所以生态系统服务具有复杂性和多样性,有许多生态系统服务价值还没有被认识到或揭示出来^[24]。

1.2 重要生态功能区的典型生态服务

1.2.1 典型生态服务的概念

生态系统服务具有多重性。比如,森林生态系统有调节气候、涵养水源、保持水土、防风固沙、净化空气、美化环境等服务;湿地生态系统有涵养水源、调节径流、防洪抗旱、降解污染物、生物多样性保护等服务。这些服务相互作用、相互影响,同时,从不同的空间尺度上分析,生态系统服务的重要性也会有较明显的差异,因此如何对生态系统服务及其价值给出科学的评估,需要今后深入研究。重要生态功能区与普通区域的生态系统一样,其生态服务及价值仍需要人们去不断探索和挖掘,但具有明显的空间转移特征应该是它的重要属性之一。即重要生态功能区生态系统所产生的服务及其价值可以通过水、空气等流通介质流动到区域外其它地方,并在具备适当外部条件时对这些地方的经济社会发展产生效用。现实中,决策和管理者对重要生态功能区与普通区域生态服务的关注点也有所不同,除了重视其内部生态系统服务外,更加注重它对周边其它区域提供的服务。基于此,我们把具有明显空间转移现实性与可能性,在保障自身区域生态服务的基础上,对于维护周边区域生态安全,促进周边区域社会经济持续发展方面具有典型作用的生态服务称为重要生态功能区的典型生态服务。其主要类型包括水源涵养、土壤保持、防风固沙、生物多样性保护和洪水调蓄等。

1.2.2 典型生态服务的空间转移

重要生态功能区主要典型生态服务空间转移的具体内涵阐述如下:

(1)水源涵养服务空间转移:处于上游的水源涵养重要生态功能区的典型生态服务,主要指我国重

要河流上游和重要水源补给区中植被与土壤所涵养的水分,通过河流水系等输水通道转移到中下游地区并在那里产生生态服务。

(2)土壤保持服务空间转移:植被发育良好的重要生态功能区,由于植被和枯落物的保护,减少雨水对土壤的侵蚀,其生态系统的土壤保持服务可以体现在下游区域,即避免下游区域因上游土壤流失传输而导致湖泊、河流和水库的泥沙淤积。

(3)防风固沙服务空间转移:风沙防护区的典型生态服务类型,是指在风沙源区,由于重要生态功能区植被的作用减少大风对本区土壤表层颗粒吹扬,这一生态服务可以体现为减缓或避免下风向区域沙尘灾害的发生。

(4)生物多样性保护服务空间转移。生物多样性是人类赖以生存的物质基础,不合理的人类活动是造成生物多样性减少的根本原因^[25]。在生物多样性丰富的重要生态功能区,由于人为保护生物多样性所产生的生态服务,可以通过流动介质转移到区域外其它地方并在那里表现出来。

(5)洪水调蓄服务空间转移:重要生态功能区中森林、湿地等生态系统所产生的调节洪峰、储蓄洪水等生态服务,可以体现在减少或避免该区域外其它地方的洪灾损失。

2 指标体系构建方法

2.1 指标体系建立原则

指标体系的建立原则的确定,是保证指标体系构建客观性、公正性和可操作性的前提。本文在参考有关指标建立研究成果^[26-27]的基础上,依据重要生态功能区的特性,对已有的研究成果做了适当的整理、归纳后,形成 3 项原则:(1)实用性原则。评价指标体系要明确、简洁、方便、有效,具有实际价值和推广价值。(2)系统性原则。评价指标能反映重要生态功能区生态系统的完整性,并体现重要生态功能区的主要特征和状况。(3)独立性原则。指标具有综合性和代表性,主要指标与辅助指标相结合,尽可能避免信息重叠太多。

2.2 指标体系筛选

建立科学、合理的指标体系,关系到评估结果的可信性。目前筛选指标的方法主要有频度分析法、专家咨询法和层次分析法^[26]等。由于重要生态功能区生态服务的研究刚刚起步,单独采用某一种方法,都存在较大的局限性。为了更好地反映重要生态功能区生态服务,本研究综合运用上述 3 种方法。首先采用频度分析法从有关文献中,筛选那些使用频度较高的指标,然后就指标重要性征询有关专家意见,经 3 次调整-返回-调整后得到重要生态功能区每类典型生态服务的指标体系框架。在此基

基础上,采用层次分析法,首先对每一类典型生态服务建立递阶层次结构模型,即把典型生态服务作为目标层,并进一步分解为准则层和指标层,同一层次的要素对下一层次的要素起支配作用,同时它受上一级元素的支配;然后采取普遍认可的1~9评判标度,通过25位相关专家的咨询,自上而下对各层次因素进行两两重要程度判断比较,得出层次结构模型各层次的判断矩阵;根据判断矩阵,运用excel软件,采取和积法进行层次单排序计算^[28],利用层次单排序计算结果得出层次总排序,并最终求得评估指标各自的权重及排序。

3 结果与分析

3.1 水源涵养服务指标体系

水源涵养是重要生态功能区典型生态服务之一。重要生态功能区生态系统,通过植被、土壤和气候等生态因子的共同作用,可以截留降水、抑制蒸发、缓和地表径流、增加土壤下渗,涵养水分,从而为区域本身及下游其它地区的经济社会发展提供服务。从水源涵养服务评估指标体系及权重来看(表1),土壤因子对重要生态功能区水源涵养服务的发挥影响最大,这主要是由于生态系统中土壤是水源涵养的主要物理空间。气候条件是生态系统水源涵养服务能够实现的必要条件,因此重要性仅次于土壤因子。由各指标权重排序可知,各指标对水源涵养服务的贡献依次为:土壤质地>降水量>非毛管孔隙度>物种多样性>坡长>土壤根系层深度>植被截留率>蒸发量>枯落物存量>枯落物饱和持水量>坡度。

表1 水源涵养服务评估指标体系及权重
Table 1 Weight of indicators in the Index system of water holding services

目标层	准则层	指标层	指标层组合权重	总排序
水源涵养服务	植被状况 (0.168 1)	物种多样性(0.577 9)	0.097 1	4
		植被截留率(0.243 5)	0.040 9	7
		枯落物存量(0.121 9)	0.020 5	9
	土壤因子 (0.490 5)	枯落物饱和持水量(0.056 7)	0.009 5	10
		土壤质地(0.671 1)	0.329 2	1
	气候条件 (0.288 5)	非毛管孔隙度(0.243 5)	0.119 4	3
		土壤根系层深度(0.085 4)	0.041 9	6
	地形因子 (0.052 9)	降水量(0.875 0)	0.252 4	2
		蒸发量(0.125 0)	0.036 1	8
		坡长(0.833 3)	0.044 1	5
		坡度(0.166 7)	0.008 8	11

3.2 土壤保持服务指标体系

重要生态功能区的土壤保持这一典型生态服务在黄土高原等水土保持区显得尤为重要,在这类区域,植被是重要生态功能区土壤的保护层,一方面

可以通过截留、阻挡降水,削弱降水动能,减轻对土壤的冲击;另一方面,其根系可以对土壤起到很好的稳固作用。在这类重要生态功能区的土壤保持服务评估指标准则层中,植被状况所占权重最大(表2),其次是气候条件,二者权重之和在所有影响因素中所占比例达82%以上,说明植被状况的好坏和气候条件对生态系统土壤保持服务的发挥意义较大。各评估指标组合权重排名中,前3位的分别是植被覆盖度、丰富度指数和降水强度;表土渗透速度、土壤侵蚀模数、坡长数位于后3位,对重要生态功能区生态系统土壤保持服务的作用依次排列。

表2 土壤保持服务评估指标体系及权重
Table 2 Weight of indicators in the index system of soil conservation services

目标层	准则层	指标层	指标层组合权重	总排序
土壤保持服务	植被状况(0.577 9)	植被覆盖度(0.600 0)	0.346 7	1
		丰富度指数(0.400 0)	0.231 2	2
	土壤性质(0.085 4)	>0.25 mm 水稳性	0.035 4	7
		团聚体含量(0.414)	0.026 7	8
		表土渗透速度(0.313)	0.023 3	9
	气候条件(0.243 5)	土壤侵蚀模数(0.273)	0.105 9	3
		降水强度(0.434 8)	0.087 2	4
		降水量(0.358 1)	0.050 4	6
	地形因子(0.093 2)	径流模数(0.207 1)	0.077 7	5
		坡度(0.833 3)	0.015 5	10
		坡长(0.166 7)		

3.3 防风固沙服务指标体系

植被作为重要生态功能区一种重要的自然资源,具有明显的防风固沙功能。它可以通过根系固定表层土壤,改善土壤结构,减少土壤裸露的面积,提高土壤抗风蚀的能力;同时,还可以通过阻截等方式降低风速,从而削弱大风携带沙子的能力,减少风沙危害。有研究表明植被覆盖度与土壤风蚀量为负相关关系^[29],植被覆盖程度越差,表层土壤为强风提供沙尘的可能性与危险性就越高。由表3可知,在防风固沙服务评估指标体系准则层中,植被状况所占权重比例最大,是影响重要生态功能区防风固沙服务的主要因子,其次是气候、土壤和地形因子。从评估指标层组合权重排名来看,大风时数的权重仅次于植被覆盖度,这主要是由于大风是土壤风蚀的起因和外动力,持续时间越长,对土壤造成的侵蚀越强,对沙尘的搬运距离也越远。

3.4 生物多样性保护服务指标体系

生物多样性评价指标主要涉及的多是与物种、景观相关的测度^[30]。由于丰富度和均匀度是物种多样性最基本的特征指标,同时生物多样性的丧失是生物对外部事件的因果反应,因而生物多样性保护

表 3 防风固沙服务指标体系及权重

Table 3 Weight of indicators in the index system for sand-fixing services

目标层	准则层	指标层	指标层 组合权重	总排序
防风固沙服务	植被状况(0.627 6)	植被覆盖度(1.000 0)	0.627 6	1
	土壤性质(0.111 7)	土壤质地(0.633 3)	0.070 7	3
		土壤含水量(0.106 2)	0.011 9	7
		土壤紧实度(0.260 5)	0.029 1	6
	气候条件(0.206 6)	风速(0.166 7)	0.034 4	5
		大风时数(0.833 3)	0.172 2	2
	地形因子(0.054 1)	地表粗糙度(1.000 0)	0.054 1	4

服务的评价指标体系应该是综合性、多指标的。在分析前人^[30-31]研究成果的基础上,运用专家咨询和层次分析法,得到生物多样性保护服务指标体系(表 4)。从指标权重排名来看,5 项指标对生物多样性保护服务的影响顺序为:植被景观多样性指数>生态系统类型多样性指数>国家保护植物多样性指数>国家保护动物多样性指数>外来物种入侵度。其中,植被景观多样性指数在指标层中所占权重最大,这主要是由于植被是自然生态系统的重要组成部分,同时也是敏感性要素,在较大的时空尺度上表现出的景观多样性构成了其他层次生物多样性的背景,并制约着这些层次生物多样性的时空格局及其变化过程^[32]。

表 4 生物多样性保护服务指标体系及权重

Table 4 Weight of indicators in the index system of biodiversity conservation services

目标层	准则层	指标层	指标层 组合权重	总排序
生物多样性保护	景观层次和生态系统层次的多样性(0.522)	植被景观多样性指数(0.548 7)	0.286 4	1
		生态系统类型多样性指数(0.451 3)	0.235 6	2
	物种多样性(0.378)	国家保护动物多样性指数(0.470 2)	0.177 7	4
		国家保护植物多样性指数(0.529 8)	0.200 3	3
	外来物种干扰度(0.100 0)	外来物种入侵度(1.000 0)	0.100 0	5

3.5 洪水调蓄服务指标体系

洪水调蓄服务的实现与重要生态功能区植被、土壤、气候和地形等因素密切相关。洪水调蓄服务准则层指标中地形地貌和气候条件的权重较高,其次是植被状况(表 5)。洪水调蓄能力主要与湿地的容积有关,容积越大,能力越强。在湿地容积确定的情况下,降水量和承雨面积越大,洪水调蓄服务表现和发挥的可能性越大。同时,植被可起到缓滞水流和保护地面的作用,可以在一定的范围内减少洪

表 5 洪水调蓄服务指标体系及权重

Table 5 Weight of indicators in the index system of floodwater adjustment and storage services

目标层	准则层	指标层	指标层 组合权重	总排序
洪水调蓄服务	植被状况(0.128 3)	植被覆盖度(0.833 3)	0.106 9	4
		植被截留率(0.166 7)	0.021 4	6
	土壤因子(0.035 8)	土壤质地(1.000 0)	0.035 8	5
		气候条件(0.266 1)	降水量(1.000 0)	0.266 1
	地形地貌(0.569 8)	湿地容积(0.723 2)	0.412 1	1
		承雨面积(0.276 8)	0.157 7	3

水总量和洪水流速,消减洪峰流量,在生态系统提供洪水调蓄服务的过程中,也具有重要作用。从指标权重排名来看,6 项指标对洪水调蓄服务的影响顺序为:湿地容积>降水量>承雨面积>植被覆盖度>土壤质地>植被截留率。

4 结论

(1)重要生态功能区水源涵养服务评估的指标体系共有 11 项指标构成,按照指标权重由大到小依次为土壤质地、降水量、非毛管孔隙度、物种多样性、坡长、根系层深度、植被截留率、蒸发量、枯落物存量、枯落物饱和持水量、坡度。

(2)植被覆盖度、丰富度指数、>0.25 mm 水稳性团聚体含量、表土渗吸速度、土壤侵蚀模数、降水强度、降水量、径流模数、坡度和坡长等 10 项指标构成重要生态功能区土壤保持服务评估的指标体系,其中植被覆盖度、丰富度指数和降水强度的权重较大,三者之和占到了指标层组合权重的 68.4%。

(3)重要生态功能区防风固沙服务的指标体系由 7 项指标构成,指标层组合权重顺序为:植被覆盖度>大风时数>土壤质地>地表粗糙度>风速>土壤紧实度>土壤含水量。

(4)重要生态功能区生物多样性保护服务的指标体系由景观和生态系统、物种多样性和外来物种干扰 3 个层次的 5 项指标组成,指标权重最大的是植被景观多样性指数,其次是生态系统类型多样性指数,国家保护植物多样性指数和国家保护动物多样性指数的权重处于第 3 和第 4 位,外来物种入侵度的权重最小。

(5)植被覆盖度、植被截留率、土壤质地、降水量、湿地容积和承雨面积 6 项指标共同构成了重要生态功能区洪水调蓄服务的指标体系,其中湿地容积和降水量 2 项指标的组合权重占比达 67.8%,是影响洪水调蓄服务的主要指标。

5 讨论

(1)国内外学者已经开展了近 30 年的生态系统

服务评估研究。但由于存在物理量、价值量评估的不确定性、生态系统服务的复杂性和多样性等研究局限,绝大多数研究都难以得出让学术界和管理者普遍接受的结果^[24]。随着人们对生态系统服务认识的不断深入,以管理需求为目标,开展精确地定性、定量和定位研究,深入认识生态系统,了解“系统结构-系统功能-系统服务”关系,揭示生态服务的生态学机制,是生态系统服务深入研究的必然趋势^[21,33]。本文以管理和决策者关注的重要生态功能区生态服务通过空间转移对区外其它地方产生的服务为线索,探索提出了重要生态功能区典型生态服务的概念。由于受研究基础和认识局限的影响,这一初步概念的内涵与外延需在今后的研究中不断完善。

(2)建立重要生态功能区生态服务评估指标体系,是深入开展生态服务精确定量和定位研究,科学评估生态服务,为决策者提供有效信息的基础。本研究在频度分析和专家咨询的基础上,尝试应用层次分析法(AHP)构建了重要生态功能区水源涵养、土壤保持、防风固沙、生物多样性保护和洪水调蓄等典型生态服务的评估指标体系。由于层次分析法是把人的思维过程层次化、数量化,并用数学方法为分析、决策提供定量依据,事实上是一种定性定量相结合的方法,尽管在指标体系构建的研究中被广泛采用,但存在主观性较强的问题,所以本研究构建的重要生态功能区典型生态服务指标体系的客观性、科学性仍需进一步研究提高。

(3)事实上,评价指标的筛选,是一项复杂的系统工程,要求评估者对指标系统有充分的认识及多方面的知识积累^[26]。目前,生态系统服务评估还没有一套完备的理论和体系,对于重要生态功能区生态服务开展研究的报道也很少,可供参考的信息相对较少。本研究是一项探索性的工作,仅仅从理论的层面展开,缺乏长期、深入的实地研究,构建的指标体系不一定适合所有的重要生态功能区。要想形成一套完全适合我国重要生态功能区实际情况的指标体系,用以精确评估生态服务,真正为管理者提供决策依据,还需要不断探索研究,并经过理论与实践的多次结合,反复验证、修正。尽管如此,这样初步的一个指标体系还是可以促进生态服务的深入研究,为重要生态功能区的研究、保护和管理提供一定的参考。

(4)生态系统服务评估研究是一个多学科综合研究领域,也是个世界性难题,加强与经济、社会学学科在评估工作中的交流与合作是深化生态服务评估研究的努力方向之一^[3-4]。本文限于研究基础与资料的局限性,建立的指标体系只是针对重要生态

功能区自然生态系统,没有从自然-经济-社会复合生态系统的角度考虑。而实际上,重要生态功能区生态服务的实现,与该区经济社会发展状况也密切相关,取决于当地的自然地理条件、社会经济状况以及宗教信仰等多种因素^[24]。同时,生态系统服务通过空间转移,除了给周边地区提供直接的自然生态服务(如水资源)外,可以很好的促进生态服务转移区域的经济社会持续发展,并由此带来更为广泛而深刻的服务,如防风固沙服务可以使下风向地区因沙尘入侵的减少,大幅减少群众呼吸道等疾病,避免损失农业生产,减轻交通影响,维持良好的空气质量,提升经济社会发展的竞争力等等。如何综合考虑自然、经济和社会各方因素,全面评估重要生态功能区的典型生态服务,是下一步指标体系深入探讨应该关注的问题。

(5)生态系统服务管理对人类生存至关重要^[34],加强重要生态功能区生态系统服务的管理、保育和恢复是保障区域生态安全和可持续发展的重要内容。生态系统服务评估,是生态系统服务管理的基础。几乎所有的科学家都认为,生态系统服务评估的最终目的是为决策者提供政策制定的依据,促进生态系统服务的可持续发挥^[24]。但由于生态系统通过十分复杂自然过程和人类活动共同作用为人类生存和发展提供生态服务,同时人类活动对生态系统服务的生产和供给也有重要影响^[35],而对于这样复杂的生态系统服务缺乏深入的生态学机制研究,所以几十年来,生态系统服务价值评估研究的成果能够为决策提供依据的生态学信息仍然非常少^[33]。重要生态功能区典型生态服务评估指标体系的研究还有很长的路要走,需要以生态系统服务管理需求为目标,深入探讨相关的生态学机制。

参考文献:

- [1] COSTANZA R, D'ARCE R, GROOT R, et al. The value of the world's ecosystem services and natural capital[J]. *Nature*, 1997, 387(6630): 253-260.
- [2] 冯剑丰, 李宇, 朱琳. 生态系统功能与生态系统服务的概念辨析[J]. *生态环境学报*, 2009, 18(4): 1599-1603.
FENG Jianfeng, LI Yu, ZHU Lin. Discrimination of concepts of ecosystem functions and ecosystem services[J]. *Ecology and Environment Sciences*, 2009, 18(4): 1599-1603.
- [3] 虞依娜, 彭少麟. 生态系统服务价值评估的研究进展[J]. *生态环境学报*, 2010, 19(9): 2246-2252.
YU Yina, PENG Shaolin. Review on evaluation of ecosystem services[J]. *Ecology and Environment Sciences*, 2010, 19(9): 2246-2252.
- [4] 陈能汪, 李焕承, 王莉红. 生态系统服务内涵, 价值评估与GIS表达[J]. 2009, 18(5): 1987-1994.
CHEN Nengwang, LI Huancheng, WANG Lihong. Reviews on

- ecosystem services: Connotation, valuation and GIS-based mapping[J]. Ecology and Environment Sciences, 2009, 18(5): 1987-1994.
- [5] PIMENTAL D, WILSON C, MCCULUM A. Economic and Environmental benefits of biodiversity[J]. Bioscience, 1997, 47(11): 747-757.
- [6] SUTTON P C, COSTANZA R. Global estimates of market and non-market values derived from nighttime satellite imagery, land cover, and ecosystem service valuation[J]. Ecological Economics, 2002, 41: 509-527.
- [7] Millennium Ecosystem Assessment Board. Millennium Ecosystem Assessment: Frameworks[M]. Washington D C: Word Resources Institute, 2005.
- [8] 欧阳志云, 王效科, 苗鸿. 中国陆地生态系统服务功能及其生态经济价值的初步研究[J]. 生态学报, 1999, 19(5): 607-613.
OUYANG Zhiyun, WANG Xiaoke, MIAO Hong. A primary study on Chinese terrestrial ecosystem services and their ecological-economic values[J]. Acta Ecologica Sinica, 1999, 19(5): 607-613.
- [9] 何浩, 潘耀忠, 朱文泉, 等. 中国陆地生态系统服务价值测量[J]. 应用生态学报, 2005, 16(6): 1122-1127.
HE Hao, PAN Yaozhong, ZHU Wenquan, et al. Measurement of terrestrial ecosystem service value in China[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2005, 16(6) : 1122-1127.
- [10] GREN I M, GROTH K H, SYLVÉN M. Economic values of Danube Floodplains[J]. Journal of Environmental Management, 1995, 45: 333-345.
- [11] DIXON J. Analysis and management of watersheds. In: Dasgupta P, Goran-Mäter K. The Environment and Emerging Development Issues[M]. Oxford: Clarendrom Press, 1997.
- [12] PAUTANAYAK S K. Valuing watershed services: concepts and empirics from Southeast Asia[J]. Agriculture Ecosystem & Environment, 2004, 104: 171-184.
- [13] 谢高地, 张钰铨, 鲁春霞, 等. 中国自然草地生态系统服务价值[J]. 自然资源学报, 2001, 16(1): 47-53.
XIE Gaodi, ZHANG Yili, LU Chunxia, et al. Study on valuation of rangeland ecosystem services of China[J]. Journal of Natural Resources, 2001, 16(1): 47-53.
- [14] 赵同谦, 欧阳志云, 贾良清, 等. 中国草地生态系统服务功能间接价值评价[J]. 生态学报, 2004, 24(6): 1101-1110.
ZHAO Tongqian, OUYANG Zhiyun, JIA Liangqing, et al. Ecosystem services and theirs valuation of China grassland[J]. Acta Ecologica Sinica, 2004, 24(6): 1101-1110.
- [15] 陶宝先, 张金池, 俞元春. 苏南丘陵区典型森林生态系统服务价值估算[J]. 生态环境学报, 2010, 19(9): 2054-2060.
TAO Baoxian, ZHANG Jinchi, YU Yuanchun. Ecosystem value evaluation for typical forest ecosystem in hilly region of southern Jiangsu province[J]. Ecology and Environmental Sciences, 2010, 19(9): 2054-2060.
- [16] 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.
ZHAO Tongqian, OUYANG Zhiyun, ZHENG Hua, et al. Forest ecosystem services and theirs valuation in China[J]. Journal of Natural Resources, 2004, 19(4): 480-491.
- [17] 中国森林资源价值核算及纳入绿色GDP项目考察团. 日本森林生态服务价值核算考察报告[J]. 林业经济, 2008, 1: 77-80.
Group for China's Forest Resources Value Accounting and Green GDP. Value Accounting of Forest Ecosystem Service in Japan[J]. Forestry Economics, 2008, 1: 77-80.
- [18] 尹飞, 毛任钊, 傅伯杰, 等. 农田生态系统服务功能及其形成机制[J]. 应用生态学报, 2006, 17(5): 929-934.
YIN Fei, MAO Renzhao, FU Bojie, et al. Farmland ecosystem service and its formation mechanism[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2006, 17(5): 929-934.
- [19] 王勇, 骆世明. 农业生态服务功能评估的研究进展和实施原则[J]. 中国生态农业学报, 2008, 16(1): 212-216.
WANG Yong, LUO Shiming. Principles and advances in agro-ecological service assessment[J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2008, 16(1): 212-216.
- [20] 王玉涛, 郭卫华, 刘建, 等. 崑崙山自然保护区生态系统服务功能价值评估[J]. 生态学报, 2009, 29(1): 523-531.
WANG Yutao, GUO Weihua, LIU Jian, et al. Value of ecosystem services of Kunyu Mountain Natural Reserve[J]. Acta Ecologica Sinica, 2009, 29(1): 523-531.
- [21] 郭中伟, 甘雅玲. 关于生态系统服务功能的几个科学问题[J]. 生物多样性, 2003, 11(1): 63-69.
GUO Zhongwei, GAN Yaling. Some scientific questions for ecosystem services[J]. Biodiversity Science, 2003, 11(1): 63-69.
- [22] 国家重点生态功能区保护规划纲要[R]. 国家环保总局, 2007: 1-12.
The state outline of the important eco-function protection areas plan[R]. State Environment Protection Bureau, 2007: 1-12.
- [23] 李文华. 生态系统服务研究是生态系统评估的核心[J]. 资源科学, 2006, 28(4): 3.
LI Wenhua. The study of ecosystem services is the core of ecosystem valuation[J]. Resources Science, 2006, 28(4): 3.
- [24] 谢高地, 肖玉, 鲁春霞. 生态系统服务研究: 进展, 局限和基本范式[J]. 植物生态学报, 2006, 30(2): 191-199.
XIE Gaodi, XIAO Yu, LU Chunxia. Study on ecosystem services: Progress, limitation and basic paradigm[J]. Journal of Plant Ecology, 2006, 30(2): 191-199.
- [25] HECTOR A, BAGCHI R. Biodiversity and ecosystem multi-functionality[J]. Nature, 2007, 448(7): 188-190.
- [26] 尹剑慧, 卢欣石. 中国草原生态功能评价指标体系[J]. 生态学报, 2009, 29(5): 2622-2630.
YIN Jianhui, LU Xinshi. Construction of evaluation indicator system of China grassland ecological function[J]. Acta Ecologica Sinica, 2009, 29(5): 2622-2630.
- [27] 王振祥, 朱晓东, 石磊, 等. 安徽省沿淮地区生态安全评价模型和指标体系[J]. 应用生态学报, 2006, 17(12): 2431-2435.
WANG Zhenxiang, ZHU Xiaodong, SHI Lei, et al. Ecological security assessment model and corresponding indicator system of the regions along Huaihe River in Anhui Province[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2006, 17(12): 2431-2435.
- [28] 用Excel求解层次分析法(AHP)问题[EB/OL]. <http://free.6to23.com/jhgk1983,2005-05-04>.
Solving problems about Analytical Hierarchy Process using the software of Excel[EB/OL]. <http://free.6to23.com/jhgk1983,2005-05-04>.
- [29] 王翔宇, 原鹏飞, 丁国栋, 等. 不同植被覆盖防治土壤风蚀对比研究. 水土保持研究[J]. 2008, 15(5): 38-41.

- WANG Xiangyu, YUAN Pengfei, DING Guodong, et al. Study on mechanism between natural shrub-grass and soil wind erosion[J]. Research of Soil and Water Conservation, 2008, 15(5): 38-41.
- [30] 赵海军, 纪力强. 大尺度生物多样性评价[J]. 生物多样性, 2003, 11(1): 78-85.
- ZHAO Haijun, JI Liqiang. Biodiversity assessment at broad scale[J]. Biodiversity Science, 2003, 11(1): 78-85.
- [31] 朱万泽, 范建容, 王玉宽, 等. 长江上游生物多样性保护重要性评价——以县域为评价单元[J]. 生态学报, 2009, 29(5): 2603-2611.
- ZHU Wanze, FAN Jianrong, WANG Yukuan, et al. Assessment of biodiversity conservation importance in the upper reaches of the Yangtze River: by taking county area as the basic assessment unit[J]. Acta Ecologica Sinica, 2009, 29(5) 2603-2611.
- [32] 李晓文, 胡远满, 肖笃宁. 景观生态学与生物多样性保护[J]. 生态学报, 1999, 19(3): 399-407.
- LI Xiaowen, HU Yuanman, XIAO Duning. Landscape ecology and biodiversity conservation[J]. Acta Ecologica Sinica, 1999, 19(3): 399-407.
- [33] 欧阳志云, 郑华. 生态系统服务的生态学机制研究进展[J]. 生态学报, 2009, 29(11): 6183-6188.
- OUYANG Zhiyun, Zhenghua. Ecological mechanisms of ecosystem services[J]. Acta Ecologica Sinica, 2009, 29(11): 6183-6188.
- [34] KREMEN C, WILLIAMS N M, BUGG R L. The area requirements of an ecosystem service: crop pollination by native bee communities in California[J]. Ecology Letters, 2004, 7: 1109-1119.
- [35] 谢高地, 甄霖, 鲁春霞, 等. 生态系统服务的供给、消费和价值化[J]. 资源科学, 2008, 30(1): 93-99.
- XIE Gaodi, ZHEN Lin, LU Chunxia, et al. Supply, consumption and valuation of ecosystem services in China[J]. Resource Science, 2008, 30(1): 93-99.

Typical ecosystem services and evaluation indicator system of significant eco-function areas

HAN Yongwei^{1,2}, GAO Xinting¹, GAO Jixi¹, XU Yongmin³, LIU Chengcheng^{1,2}

1. Chinese Research Academy of Environmental Sciences, Beijing 100012, China;

2. National Environment Protection Library of Regional Ecosystem Structure and Services Evaluation, Beijing 100012, China;

3. Inner Mongolia environment monitoring station, Hohhot 010000, China

Abstract: Ecosystem services of significant eco-function areas play more and more important role in protecting national and regional ecological security, developing regional economy and society. Evaluating the ecosystem service of significant eco-function areas is the base for decision-makers to design relevant protecting policies.

In order to enhance the protection and management level of significant eco-function areas, this paper advances a set of evaluation indicator system for typical ecosystem services of significant eco-function areas. The concept and connotation of typical ecosystem services of significant eco-function areas is put forward and the evaluation indicator system is set up using Frequency Analysis, Expert Advice Method and Analytical Hierarchy together based on the spatial transfer characteristics of ecosystem services. The study indicated that water holding, soil conservation, sand-fixing, biodiversity conservation and floodwater adjustment and storage are the main five typical ecosystem services of significant eco-function areas. Vegetation, soil, topography and climate are the major natural factors, which play together to help producing ecosystem services. In the indicator system, main factors affecting the water holding, soil conservation, sand-fixing, biodiversity conservation, floodwater adjustment and storage services are soil character and precipitation, vegetation coverage and species richness, vegetation coverage and gale hours, vegetation landscape diversity index, wetland cubage and rainfall respectively. There are some limitations in this research because of data and method restriction. So the more in-depth studies should be carried out in the future such as the ecosystem services mechanism, composing of the evaluation indicator system, and the consideration of social benefits of ecosystem services.

Key words: significant eco-function areas; ecosystem services; evaluation; indicator system