

浙川县生态服务价值估算及动态变化分析

温晓玲^{a,b}, 李天宏^{a,b}

(北京大学 a. 深圳研究生院 环境与能源学院 城市人居环境科学与技术重点实验室, 广州 深圳 518055;
b. 环境工程系 水沙科学教育部重点实验室, 北京 100871)

摘要: 浙川县是南水北调中线工程渠首所在地, 其区域经济发展和生态环境变化受到调水工程的影响, 同时也对中线调水的水质有影响。基于 1995 年、2000 年、2005 年和 2008 年的土地利用/覆盖变化数据, 估算了浙川县 4 个时期的生态系统服务价值并分析了其动态变化特征。结果表明: 近 20 年来, 浙川县生态服务价值最高为 1995 年的 $338\ 251 \times 10^4$ 元, 由于受人类活动的影响, 从 1995 年-2008 年浙川县生态服务价值整体来讲减少了 $34\ 837 \times 10^4$ 元, 其中农田和水域面积的减少是主要原因。林地、农田和水域产生的生态服务价值之和超过总价值的 90%, 并且水源涵养、废物处理和生物多样性保护分列生态服务功能的前三位, 其价值之和接近总价值的 50%。以调水工程未实施的 2000 年为界, 浙川县生态服务价值 1995 年-2000 年减少了 $73\ 650 \times 10^4$ 元。随着南水北调中线工程水源地生态环境建设的逐渐开展, 2000 年-2008 年服务价值开始增加, 2008 年达到了 $303\ 413 \times 10^4$ 元, 生态环境得到改善。2000 年以来, 浙川县生态服务价值与 GDP 的比值不断减小, 也说明浙川县在生态环境保护的同时经济仍在不断发展。

关键词: 生态服务价值; 土地利用; 南水北调中线工程; 浙川县

中图分类号: F062.2; X171.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672-1683(2013)04-0140-05

Estimation and Dynamic Variation Analysis of Ecosystem Service Values in Xichuan County

WEN Xiaoling^{a,b}, LI Tianhong^{a,b}

(Peking University a. Key Laboratory for Environmental and Urban Sciences, School of

Environment and Energy, Shenzhen Graduate School, Shenzhen 518055, China; b. Department of Environmental Engineering, Key Laboratory of Water and Sediment Sciences, Ministry of Education, Beijing 100871, China)

Abstract: Xichuan County is located at the headwork of the Middle Route of South to North Water Diversion Project, thus its regional economic development and ecological environmental change are affected by the project, and it can also affect the water quality of the project. In this paper, based on the land use/cover maps of year 1995, 2000, 2005, and 2008, the ecosystem service values and their dynamic variation characteristics of Xichuan County were calculated and analyzed for the four years. The results indicated that the highest ecosystem service value of Xichuan County was 3382.51 million RMB in 1995. Due to the effects of human activities, the ecosystem service value of Xichuan County had lost 348.37 million RMB from 1995 to 2008, and the decreasing of cultivated land and water body was the main reason. The ecosystem service values of woodland, cultivated land, and water body accounted for 90% of the total value. The water conservation, waste treatment, and biodiversity protection were the top three ecological functions and their ecosystem service values accounted for 50% of the total value. The ecosystem service value of Xichuan County lost 736.50 million RMB from 1995 to 2000. With the gradual implementation of the ecological environment construction of the Middle Route of South to North Water Diversion Project, the ecosystem service value of Xichuan County began to increase from 2000 and 2008 and reached 3034.13 million RMB in 2008. Moreover, the ratio of ecosystem service value to GDP has decreased since 2000, which indicated the existence of ecological environment protection and economic development in Xichuan County.

Key words: ecosystem service value; land use; Middle Route of South to North Water Diversion Project; Xichuan County

收稿日期: 2013-04-12 修回日期: 2013-06-14 网络出版时间: 2013-07-28

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/13.1334.TV.20130728.1310.035.html>

基金项目: 国家自然科学基金项目“基于 NDVI 的流域产流产沙对 LUCC 响应的快速预测及尺度效应”(50979003)

作者简介: 温晓玲(1988), 女, 山西山阴人, 硕士研究生, 主要从事水资源与环境安全保障反面研究。E-mail: wen.xiaoling126@163.com

通讯作者: 李天宏(1970), 男, 陕西富平人, 副教授, 博士, 主要从事水沙资源与环境方面研究。E-mail: litianhong@iee.pku.edu.cn

生态系统服务功能是生态系统与生态过程所形成的、维持人类赖以生存的自然环境条件与效用^[1]。生态服务功能的评价和保育、恢复问题已成为当今生态学和经济学界研究的热点之一。生态系统服务价值评价是一种对生态服务功能强弱进行定量评价的方法^[2],评价结果有助于直观地认识经济发展和生态环境变化的关系。20世纪90年代以来,国内外对生态系统服务概念、价值理论及评价方法开展了大量研究^[3-6],其中最具有代表性包括 Costanza^[3]和谢高地^[7-10]等人的研究。土地利用变化正是生态服务功能变化的重要驱动因素之一,土地利用方式的变化将直接影响生态系统所提供服务的类型和多少。国内外学者在基于土地利用变化来进行生态系统服务价值评价的方法方面取得了进展,其案例应用也越来越多^[11-15]。

南水北调中线工程是我国一项规模宏大的跨流域水资源配置工程,对于缓解我国京津华北平原的水资源短缺具有重大意义。从生态环境角度来看,它也是一项规模宏大的环境工程,因此它对区域生态和环境潜在影响颇受关注。河南省淅川县是南水北调中线工程渠首所在地和主要水源区之一,随着《丹江口库区及上游水污染防治和水土保持规划》等一系列规划的实施,水源区的生态环境得到了显著改善。从生态服务价值的角度,分析淅川县中线调水工程实施前后近30年来的生态环境变化,有助于掌握和定量评价调水工程对区域经济和生态环境的影响。

1 研究区概况

淅川县位于南阳市西部,河南省西南边陲,河南、湖北、陕西三省交界地带,地理坐标为 32° 55' - 33° 23' N, 110° 58' - 111° 53' E, 见图 1。全境西北—东南长约 106 km,南北宽约 26.7 km,面积 2 798 km² 占全省总面积 1.67%。淅川县由低山、丘陵和河流谷地相间分布组成,地势自西北向东南逐渐降低,县境山地属秦岭余脉,发源于陕西省秦岭的丹江在淅川西南部与湖北省的汉江交汇,形成亚洲第一大淡水湖丹江口水库,使淅川县成为南水北调中线工程主要水源地、淹没区和渠首所在地。县内沿丹江口水库环库区周边的浅山丘陵区 and 项目开发建设集中区易发水土流失。

县域内气候属北亚热带向暖温带过渡的季风性气候,年平均气温介于 15.1℃~18.6℃,气候湿润,降水适中,热量比较丰富。

南水北调中线工程实施以来,全县服从大局以生态经济为理念,积极开展生态农业、生态旅游、环保工业等,经济实力不断提高。



图 1 淅川县地理位置图

Fig. 1 Location of Xichuan County

2 研究方法

本文的研究思路及方法见图 2。

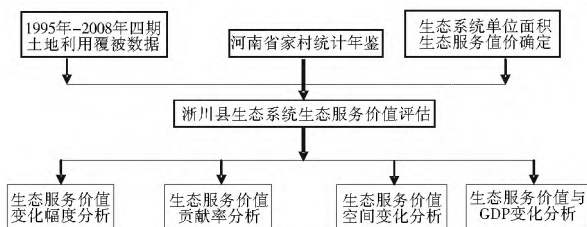


图 2 技术路线图

Fig. 2 Technical route map

2.1 数据来源和预处理方法

本研究使用的数据包括淅川县 1995 年、2000 年、2005 年和 2008 年土地利用矢量地图,其中前 3 年数据是地理信息共享中心提供的 1:25 万土地利用矢量图,2008 年数据是由 Landsat TM 影像解译得到的分类图。将这些数据在 ARCGIS 中进行了投影变换、属性编码、数据计算与统计等预处理工作。其他资料^[11]来自统计年鉴等^[12]。

在信息提取过程中,参照全国土地利用现状分类方法,将全区景观按生态系统类型分为耕地、林地、草地、水域、城镇建设用地和未利用土地等 6 个一级类型。GDP、人口等社会经济数据来自研究区统计年鉴。

2.2 生态系统服务价值评价方法

Costanza 等于 1997 年^[3]对生态服务价值的内涵和估算方法进行了科学的阐述,将生态系统的服务功能划分为气体调节、气候调节、干扰调节和水分调节等 17 项,并引入生态服务价值当量法逐项对生态系统服务功能予以定量研究。我国学者谢高地等^[8]在 Costanza 等研究的基础上,结合中国生态环境实际情况对相应的因子进行了改进,制定了中国生态系统生态服务价值当量因子表。本研究采用谢高地等提出的当量因子表计算生态服务价值,将生态系统服务功能划分为气体调节、气候调节、水源涵养、食物生产、原材料生产、土壤形成与保护、废物处理、生物多样性维持、休闲娱乐等 9 项功能,从生态系统服务功能的内涵出发将其分类归纳为环境调节服务、资源供给服务、对维持生态系统其它功能具有重要作用的支持服务及文化服务 4 个一级类型。根据淅川县 1995 年-2008 年平均实际粮食产量(3 759.12 kg/hm²)和稻谷的市场平均收购价(1.15 元/kg),计算得到淅川县每个当量的生态服务价值为 617.57 元,进而获得淅川县不同生态系统单位面积的生态服务价值,见表 1。

确定了每种土地利用类型单位面积的生态服务价值后,根据公式(1)~(3)^[3]计算各种土地类型的生态服务价值、各项服务功能的价值和生态系统总服务价值。

$$ESV_k = \sum_f A_k \times VC_{kf} \quad (1)$$

$$ESV_f = \sum_k A_k \times VC_{kf} \quad (2)$$

$$ESV = \sum_k \sum_f A_k \times VC_{kf} \quad (3)$$

其中 ESV_k 、 ESV_f 、 ESV (Ecosystem Service Value) 分别代表第 k 类型的服务价值、第 f 项服务功能的价值和总服务价值, A_k 代表第 k 类型的土地面积, VC_{kf} (Value Coefficient, 价值系数) 代表第 k 类型第 f 项服务功能单位面积的服务价值。

表 1 浙川县不同土地利用类型单位面积生态服务价值

Table 1 Ecosystem service values per unit area of different land use types in Xichuan County 元/(hm²·a)

一级类型	二级类型	森林	草地	农田	水域	城镇用地	未利用地
环境调节服务	气体调节	2 667.95	926.37	444.66	314.97	0	37.05
	气候调节	2 513.55	963.43	599.05	1 272.22	0	80.29
	水源涵养	2 525.90	938.72	475.54	11 591.98	0	43.23
支持服务	土壤形成与保护	2 482.67	1 383.38	907.84	253.21	0	104.99
	废物处理	1 062.24	815.21	858.44	9 171.07	0	160.57
	生物多样性保护	2 785.29	1 154.88	629.93	2 118.30	0	247.03
资源供给服务	食物生产	203.80	265.56	617.58	327.32	0	12.35
	原材料生产	1 840.39	222.33	240.86	216.15	0	24.70
文化服务	美学景观	1 284.57	537.29	104.99	2 742.06	0	148.22

3 结果和分析

分别计算出浙川县从 1980 年-2008 年各种土地利用类型的生态服务价值、各项生态服务功能的价值、生态系统总服务价值和变化率,计算结果见表 2 和表 3。

根据表 1 的数据和公式(1)-式(3),在 ARCGIS 软件中

表 2 浙川县 1995 年-2008 年各土地利用类型生态服务价值及变化

Table 2 Variations of ecosystem service values of different land use types in Xichuan County from 1995 to 2008

土地利用类型	ESV/(10 ⁴ 元·a ⁻¹)				1995年-2000年变化		2000年-2005年变化		2005年-2008年变化		1995年-2008年变化	
	1995	2000	2005	2008	10 ⁴ 元	年变化率(%)	10 ⁴ 元	年变化率(%)	10 ⁴ 元	年变化率(%)	10 ⁴ 元	年变化率(%)
森林	192 766	119 116	121 344	130 651	- 73 650	- 38.2	2 228	1.9	9 307	7.7	- 62 116	- 47.5
草地	15 465	39 810	40 731	54 868	24 345	157.4	921	2.3	14 136	34.7	39 402	71.8
农田	55 307	62 151	61 920	48 239	6 844	12.4	- 231	- 0.4	- 13 680	- 22.1	- 7 068	- 14.7
水域	74 710	63 374	73 131	69 654	- 11 335	- 15.2	9 757	15.4	- 3 478	- 4.8	- 5 056	- 7.3
城镇用地	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
未利用地	2.2	2.0	2.0	2.5	- 0.24	- 11.0	0.01	0.4	0.01	0.4	0.32	12.8
合计	338 251	284 453	297 128	303 413	- 53 797	- 15.9	12 675	4.5	6 285	2.1	- 34 837	- 10.3
单位面积 ESV	1.20	1.01	1.05	1.08	- 0.19	- 15.8	0.04	4.0	0.03	2.9	- 0.12	- 10

表 3 浙川县 1995 年-2008 年各项服务功能产生的生态服务价值

Table 3 Ecosystem service values of all service functions in Xichuan County from 1995 to 2008

生态服务功能类型	1995			2000			2005			2008			总排趋势
	ESV _f /(10 ⁴ 元·a ⁻¹)	比重(%)	排序	ESV _f /(10 ⁴ 元·a ⁻¹)	比重(%)	排序	ESV _f /(10 ⁴ 元·a ⁻¹)	比重(%)	排序	ESV _f /(10 ⁴ 元·a ⁻¹)	比重(%)	排序	
环境调节服务	小计	143 999	42.6	117 664	41.4	123 534	41.6	127 316	42.0				
	气体调节	37 483	11.1	29 794	10.5	30 343	10.2	32 304	10.7	6	6	6	↓
	气候调节	40 152	11.9	33 072	11.6	33 933	11.4	35 332	11.6	5	5	5	↓
	水源涵养	66 364	20.0	54 798	19.3	59 258	19.9	59 680	20.0	1	1	1	-
支持服务	小计	135 416	40.0	118 587	41.7	123 735	41.6	125 553	41.4				{
	土壤形成与保护	39 390	12.3	36 808	12.9	37 348	12.6	38 815	12.8	4	4	4	↑
	废物处理	52 148	14.1	43 477	15.3	46 872	15.8	45 494	15.0	2	2	2	↑
资源供给服务	生物多样性保护	32 189	13.7	38 302	13.5	39 515	13.3	41 244	13.6	3	3	3	↓
	小计	34 919	10.3	28 881	10.2	29 355	9.9	28 933	9.5				
文化服务	食物生产	8 363	3.2	11 473	4.0	11 617	3.9	10 475	3.4	9	9	9	↑
	原材料	17 825	7.2	17 409	6.1	17 737	6.0	18 457	6.1	8	8	8	↑
合计	小计	23 917	7.1	19 321	6.8	20 505	6.9	21 612	7.1				-
	娱乐文化	23 917	7.1	19 321	6.8	20 505	6.9	21 612	7.1	7	7	7	-
合计	338 251	100.0	-	284 453	100.0	-	297 128	100.0	-	303 413	100.0	-	-

3.1 不同生态系统生态服务价值变化

根据表 2,在 1995 年-2008 年间,浙川县生态系统总服务价值大致呈先下降又缓慢上升趋势。从生态服务价值的

变化量来看,以 2000 年即南水北调中线工程水源地段将要计划实施的年份为转折点,未受工程影响的 2000 年以前,主要由于水域和林地面积减少导致其产生的生态服务价值也

相应减少了 $84\,985 \times 10^4$ 元,尤其是林地在 2000 年以前的 20 年间面积减少,使得其产生的服务价值减少了 $73\,650 \times 10^4$ 元,草地和农田的服务价值增加 $31\,188 \times 10^4$ 元也难以弥补这一损失。2000 年以后,浙川县生态服务价值呈缓慢上升趋势,8 年间增加了 $18\,960 \times 10^4$ 元,主要得益于水域、草地和森林生态服务价值的增加,故 2008 年服务总价值反而比 2000 年增加了 $18\,960 \times 10^4$ 元。总体来看,从 1995 年-2008 年浙川县生态服务价值共减少了 $34\,837 \times 10^4$ 元,其中林地面积减少和建设用增加是主要原因。从生态服务价值变化率来看,浙川县生态服务总价值变化率由 1995 年-2000 年的减少 15.9%^[1] 到 2000 年-2005 年和 2005 年-2008 年略有增加,增加比例小于 5%。

3.2 生态系统不同生态服务价值构成分析

从各生态系统类型对浙川县生态系统总价值的贡献率来看(表 2), 价值大小大致表现为:林地> 水域> 农田> 草地> 未利用地> 城镇建设用地,其中林地产生的生态服务价值最大,约占总价值的 40% 左右;其次是水域、农田和草地,三者总价值接近总价值 59%。浙川县作为丹江口水库水源区的渠首所在,丰富的水资源储量不仅是中下游需水地区的重要保障,其产生的生态服务价值对水源区及调水沿线也是十分重要的资源。

从各项生态服务功能对生态系统总价值的贡献率来看

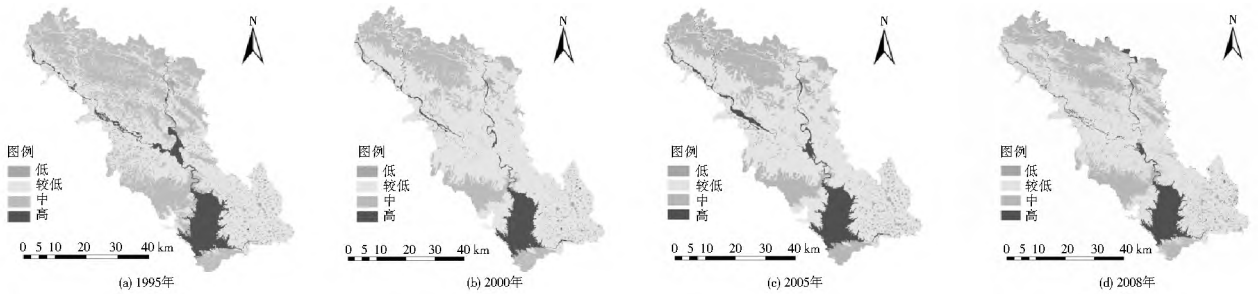


图 3 浙川县 1995 年-2008 年生态服务强度空间分布图

Fig. 3 Spatial distribution of ecosystem service value degrees in Xichuan County from 1995 to 2008

从图 3 中可以看出,生态服务价值高的区域即为高于 2×10^4 元/hm² 的水域区,集中分布在浙川县西南部的丹江口库区,另外,在河流、湿地等水域地区也有零星分布。介于 1×10^4 元/hm²~ 2×10^4 元/hm² 之间的区域被划分为中等,主要是集中在北部和丹江口水库附近的林地。草地和农田与水体、湿地和森林相比较而言,服务价值相对较低为 0.5×10^4 元/hm² 左右,从西北到东南分布较为广泛。最低的土地利用类型是城镇建设用地和未利用土地,分布较为零散,总体沿着河流分布。

近 20 年来生态服务强度空间变化趋势表明,较低生态服务价值的草地和农田分布广泛,从北到南贯穿整个区,但面积逐渐下降;生态服务强度最高的水域面积波动减少,湿地的面积则明显增加,但是由于水体基数较大,生态服务价值较高的区域仍在减少;林地的面积先减少后增加,增加的幅度不大导致中等价值的区域也在减少;由于城镇化发展加快和逐步推行土地集约节约利用,退耕还林还草保护水源地的政策,导致较低服务价值的区域先大幅度增加后缓慢减少。

(表 3),支持功能、环境调节功能、资源供给功能和文化娱乐功能四类一级功能贡献率依次减小,前两类分别均占总价值的 40% 以上。具体服务功能平均价值大小依次为:水源涵养> 废物处理> 生物多样性保护> 土壤形成与保护气候调节> 气体调节> 原材料> 娱乐文化> 食物生产。其中水源涵养所占比例最大,平均水平超过了总价值的 20%,废物处理次之,这与水域强大的水源涵养和废物处理能力有很大关系。表 3“排序”一栏是根据各项服务功能产生的价值对当年总价值贡献的大小进行排序,“总排序”一栏是按照 1995 年-2008 年的平均价值进行排序,“趋势”表示从 1995 到 2008 年各项服务功能产生价值在各年份中所占比例的整体变化趋势,即贡献率的变化“↑”意味着该项功能产生的价值贡献率增加,“↓”则相反,“-”表示基本不变。

3.3 生态服务强度空间分布及变化

根据计算,森林、草地、农田、水体和未利用土地单位面积上承载的生态服务价值分别为 1.74×10^4 元/hm²、 0.72×10^4 元/hm²、 0.49×10^4 元/hm²、 2.80×10^4 元/hm² 和 0.09×10^4 元/hm²,可见不同生态系统生态服务价值差异较大。为了更加直观地评价浙川县生态服务价值的空间分布特点及变化趋势,本文运用 ARCGIS 软件,将不同土地利用类型单位面积的服务价值的计算结果由低到高划分为 4 个等级,得到浙川县 4 个时期的生态服务强度等级空间分布图,见图 3。

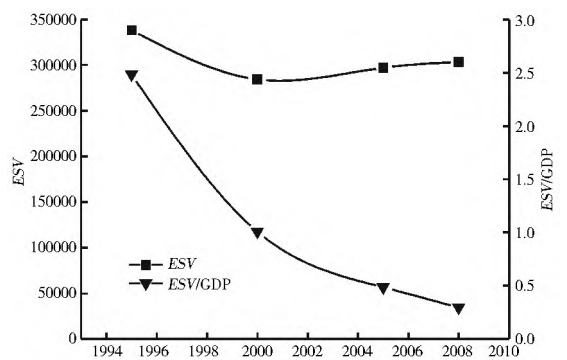


图 4 浙川县 1995 年-2008 年生态服务价值与 GDP 的比值变化趋势

Fig. 4 Variations of the ratio between ecological service value and GDP in Xichuan County from 1995 to 2008

3.4 生态服务价值与 GDP 的变化

总体来讲,1995 年-2008 年间生态服务价值与区域 GDP 的比值呈持续下降趋势但 2000 年以后下降速度逐渐减缓。1995 年-2000 年间,浙川县 GDP 的增长速度为 15.7%,

而生态服务价值却以每年 15.9% 的速率下降; 2000 年—2008 年间, GDP 和生态服务价值均呈增长趋势, 增长率分别为 17.8%、6.7%。可见, 生态服务价值的增加速率远低于 GDP 的增长速度。

从生态服务价值与同期 GDP 的比值来看, 浙川县 1995 年从生态系统中获得的服务总价值为同期浙川县 GDP 值的 2.5 倍, 到 2008 年该比重下降到 30%。说明调水工程在保障水源地生态环境不断改善的同时, 经济发展也不落后。

4 结论

基于浙川县 1995 年、2000 年、2005 年和 2008 年的土地利用变化对该县的生态服务价值进行了估算并分析了其变化特点, 得出如下结论。

(1) 浙川县生态服务价值从 1995 年—2008 年整体减少了 $62\,226 \times 10^4$ 元, 其变化趋势是 2000 年和 1995 年相比先降低, 此后缓慢增加。

(2) 浙川县林地产生的服务价值最大, 占总价值的 40% 以上, 其次是水域和农田。1995 年—2008 年主要由于林地、农田和水域面积减少而导致生态服务价值相应损失了 $74\,240 \times 10^4$ 元。

(3) 在各项服务功能中, 水源涵养产生的价值最大, 其次是废物处理, 两者之和约占总价值的 40%。从 1995 年—2008 年, 各项服务功能的价值比例变化不大, 组成结构较稳定。按照服务价值大小依次为: 水源涵养 > 废物处理 > 生物多样性保护 > 土壤形成与保护 > 气候调节 > 气体调节 > 原材料 > 娱乐文化 > 食物生产。

(4) 从空间分布来看, 生态服务价值高的地区主要分布于丹江口水库及其支流的湿地, 较高的主要分布在北部和丹江口水库附近的林地, 低值的区域分布较为破碎, 以地势较低的东南部河谷地带居多。

(5) 生态系统服务价值与 GDP 比值均逐年降低, 说明生态环境逐渐改善同时, 经济发展稳步提高。

参考文献(References):

- [1] 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. (OU YANG Zhiyun, WANG Rurong, ZHAO Jingzhu. Ecosystem Services and Their Economic Valuation[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 1999, 10(5): 635-640. (in Chinese))
- [2] 张彩霞, 谢高地, 杨勤科, 等. 人类活动对生态系统服务价值的影响—以纸坊沟流域为例[J]. 资源科学, 2008, 30(12): 1910-1915. (ZHANG Caixia, XIE Gaodi, YANG Qinke, et al. Influence of Human Activities on the Ecosystem Services: Case Study of Zhifangou Watershed[J]. Resource Science, 2008, 30(12): 1910-1915. (in Chinese))
- [3] Costanza R, d'Arge R, De Groot R, et al. The Value of the World's Ecosystem Services and Natural Capital[J]. Nature, 1997, 387: 253-260.
- [4] Toman M. Why Not to Calculate the Value of the World's Ecosystem Services and Natural Capital[J]. Ecological Economics, 1998, 25: 57-60.
- [5] Wilson M A, Carpenter, S R. Economic Valuation of Freshwater Ecosystem Services in the United States 1971-1997[J]. Ecological Applications, 1999, 9(3): 772-783.
- [6] Farber S C, et al. Economic and Ecological Concepts for Valuing Ecosystem Services. Ecological Economics, 2002, 41: 375-392.
- [7] 谢高地, 鲁春霞, 冷允发, 等. 青藏高原生态资产的价值评估[J]. 自然资源学报, 2003, 18(2): 189-196. (XIE Gaodi, LU Chunxia, LENG Runfa, et al. Ecological Assets Valuation of Tibetan Plateau[J]. Journal of Natural Resources, 2003, 18(2): 189-196. (in Chinese))
- [8] 谢高地, 甄霖, 鲁春霞, 等. 一个基于专家知识的生态系统服务价值化方法[J]. 自然资源学报, 2008, 23(5): 911-919. (XIE Gaodi, ZHEN Lin, LU Chunxia, et al. Expert Knowledge Based on Valuation Method of Ecosystem Services in China[J]. Journal of Natural Resources, 2008, 23(5): 911-919. (in Chinese))
- [9] 陈仲新, 张新时. 中国生态系统效益的价值[J]. 科学通报, 2000, 45(1): 17-22. (CHEN Zhongxin, ZHANG Xinshi. Benefits of Chinese Ecosystem Values[J]. Science Bulletin, 2000, 45(1): 17-22. (in Chinese))
- [10] 赵同谦, 欧阳志云, 贾良青, 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): 1102-1110. (ZHAO Tongqian, OUYANG Zhiyun, JIA Liangqing, et al. Ecosystem Services and Their Valuation of China Grassland[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2004, 24(6): 1102-1110. (in Chinese))
- [11] Kreuter U P, Harris H G, Matlock M D, et al. Change in Ecosystem Service Values in the San Antonio Area, Texas[J]. Ecological Economics, 2001, 39: 333-346.
- [12] Bolund P, Hunhammar S. Ecosystem Services in Urban Areas[J]. Ecological Economics, 1999, 29(2): 293-301.
- [13] 王宗明, 张树清, 张柏. 土地利用变化对三江平原生态系统服务价值的影响[J]. 中国环境科学, 2004, 24(1): 125-128. (WANG Zongming, ZHANG Shuqing, ZHANG Bo. Effects of Land Use on Values of Ecosystem Services of Sangjiang Plain, China[J]. China Environmental Science, 2004, 24(1): 125-128. (in Chinese))
- [14] Li TH, Li WK, Qian ZH. Variations in Ecosystem Service Value in Response to Land use Changes in Shenzhen[J]. Ecological Economy, 2010, 69(7): 1427-1435.
- [15] 冉圣宏, 吕晶河, 贾克敬, 等. 基于生态服务价值的全国土地利用变化环境影响评价[J]. 环境科学, 2006, 27(10): 2139-2144. (RAN Shenghong, LV Jinghe, JIA Keping, et al. Environmental Impact Assessment of the Land Use Change in China Based on Ecosystem Service Value[J]. Environmental Science, 2006, 27(10): 2139-2144. (in Chinese))
- [16] 杨光梅, 李文华, 闵庆文. 生态系统服务价值评估研究进展—国外学者观点[J]. 生态学报, 2006, 26(1): 206-212. (YANG Guangmei, LI Wenhua, MIN Qingwen. Review of Foreign Opinions on Evaluation of Ecosystem Services[J]. Journal of Ecology, 2006, 26(1): 206-212. (in Chinese))
- [17] 封光寅. 南水北调中线工程对水源地水沙及生态环境影响研究[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2007. (FENG Guangyin. Effects of Middle Route Project for South to North Water Diversion on Water, Sediment and Ecological Environment [M]. Beijing: China Water Power Press, 2007. (in Chinese))

(下转第 210 页)

- 科学, 2011, 29(1): 73-75. (WANG Jur jie, CHEN Jir lu. Stability Analysis of Ladder Type Homogeneous Soil Slope[J]. Water Resources and Power, 2011, 29(1): 73-75. (in Chinese))
- [9] 陈锦璐, 王俊杰, 唐胜传. 有限元网格和边界条件对土坡稳定性计算的影响[J]. 水电能源科学, 2011, 29(11): 135-138. (CHEN Jir lu, WANG Jur jie, TANG Sheng chuan. Influence of Mesh Density and Boundary Condition of Finite Element Model on Soil Slope Stability[J]. Water Resources and Power, 2011, 29(11): 135-138. (in Chinese))
- [10] 费康, 张建伟. Abaqus 在岩土工程中的应用[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2010. (FEI Kang, ZHANG Jian wei. Abaqus Application in Geotechnical Engineering[M]. Beijing: China Water Power Press, 2010. (in Chinese))
- [11] 吕庆, 孙红月, 尚岳全. 有限元强度折减法中边坡失稳判据的研究[J]. 浙江大学学报(工学版), 2009, 42(1): 83-87. (LV Qing, SUN Hong yue, SHANG Yue quan. Slope Failure Criteria of Shear Strength Reduction Finite Element Method[J]. Journal of Zhejiang University(Engineering Science), 2009, 42(1): 83-87. (in Chinese))
- [12] 栾茂田, 武亚军, 年延凯. 有限元强度折减法中边坡失稳的塑性区判据及应用[J]. 防灾减灾工程学报, 2003, 1(3): 1-8. (LUAN Mao tian, WU Ya jun, NIAN Ting kai. A Criterion for Evaluating Slope Stability Based on Development of Plastic Zone by Shear Strength Reduction FEM[J]. Journal of Disaster Prevention and Mitigation Engineering, 2003, 1(3): 1-8. (in Chinese))
- [13] SL 274 2001, 碾压式土石坝设计规范[S]. (SL 274 2001, Rolling Type Earth rockfill Dam Design Specification[S]. (in Chinese))

(上接第 144 页)

- [18] 丹江口库区及上游水污染防治和水土保持规划编制组. 丹江口库区及上游水污染防治和水土保持规划[Z]. 2005. (The Danjiangkou Reservoir and Upstream Water Pollution Control and Soil Conservation Planning Group. The Danjiangkou Reservoir and Upstream Water Pollution Control and Soil Conservation Planning[Z]. 2005. (in Chinese))
- [19] 韩德梁. 丹江口库区生态系统服务价值化研究[D]. 北京: 北京林业大学, 2010. (HAN De liang. Research on Value of Ecosystem Services at Danjiangkou Reservoir Area[D]. Beijing: Beijing Forestry University, 2010. (in Chinese))
- [20] 常秋玲. 南水北调中线区(南阳市)生态环境综合研究[D]. 北京: 中国地质大学. 2007. (CHANG Qiu ling. Comprehensive Research on Ecological Environment in Water Source Region (NanYang City) of the Middle Route Project for South to North Water Diversion[D]. Beijing: China University of Geosciences, 2007. (in Chinese))
- [21] 屈少科. 河南省土地生态系统服务价值研究[D]. 开封: 河南大学, 2008. (QU Shao ke. Study on the Land Ecosystem Services Value in Henan Province[D]. Kaifeng: Henan University, 2008. (in Chinese))
- [22] Jing, L, Zhiyuan, R. Variations in Ecosystem Service Value in Response to Land use Changes in the Loess Plateau in Northern Shaanxi Province, China[J]. International Journal of Environmental Research, 2011, 5(1): 109-118.