

# 黄土高原湿地生态系统服务功能价值评估

## ——以陕西省千湖国家湿地公园为例

陈 炜<sup>1</sup>, 张雨珂<sup>1</sup>, 炊雯<sup>1</sup>, 李红兵<sup>2</sup>

(1. 陕西省灾害监测与机理模拟重点实验室/地理与环境学院 宝鸡文理学院, 陕西 宝鸡 721013;

2. 西北农林科技大学 水土保持研究所 黄土高原土壤侵蚀与旱地农业国家重点实验室, 陕西 杨陵 712100)

**摘 要:** [目的] 对黄土高原湿地生态系统服务价值进行科学估算, 以保障该区域湿地的生态服务功能, 为制定区域生态保护和生态补偿政策提供科学支撑。[方法] 以陕西省千湖国家湿地公园为研究对象, 结合千湖湿地基本数据和其他相关资料, 将千湖国家湿地公园生态系统服务功能价值分为直接使用价值和间接使用价值, 包括物质生产, 气体调节和水源涵养等 7 项具体的生态系统服务价值; 采用市场价值法、影子工程法和碳税法等方法, 对各项生态系统服务价值进行估算。[结果] 在千湖湿地各项生态功能服务价值中, 气体调节服务价值最高, 为  $2.90 \times 10^8$  元/a, 占总价值的 87.5%, 其次为科研文化服务价值为  $1.90 \times 10^7$  元/a, 占总价值的 5.73%, 而水质净化价值最低为  $3.00 \times 10^5$  元/a, 占总价值的 0.09%, 单位面积生态服务价值约为  $7.90 \times 10^5$  元/hm<sup>2</sup>, 小于同样位于陕西省的洽川湿地单位面积生态服务价值量。[结论] 陕西省千湖国家湿地公园生态系统服务功能总价值约为  $3.30 \times 10^8$  元, 间接服务价值约为总价值的 90.5%, 直接服务价值约为总价值的 9.5%。

**关键词:** 价值评估; 生态系统服务; 千湖国家湿地公园

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1000-288X(2019)04-0270-05

**中图分类号:** X171, X820

**文献参数:** 陈炜, 张雨珂, 炊雯, 等. 黄土高原湿地生态系统服务功能价值评估[J]. 水土保持通报, 2019, 39(4): 270-274. DOI: 10.13961/j.cnki.stbctb.2019.04.042; Chen Wei, Zhang Yuke, Chui Wen, et al. Evaluation on ecosystem service values of wetland in Loess Plateau[J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2019, 39(4): 270-274.

## Evaluation on Ecosystem Service Values of Wetland in Loess Plateau

### —A Case Study at Qianhu National Wetland Park, Shaanxi Province

Chen Wei<sup>1</sup>, Zhang Yuke<sup>1</sup>, Chui Wen<sup>1</sup>, Li Hongbing<sup>2</sup>

(1. Shaanxi Key Laboratory of Disaster Monitoring and Mechanism Simulation/School of Geography and Environment, Baoji University of Arts and Sciences, Baoji, Shaanxi 721013,

China; 2. State Key Laboratory of Soil Erosion and Dryland Farming on the Loess Plateau,

Institute of Soil and Water Conservation, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

**Abstract:** [Objective] The ecological system service value of wetlands in Loess Plateau was evaluated scientifically in order to preserve the wetland ecological service, and to formulate a complete ecological conservation and compensation policy in Loess Plateau. [Methods] Based on fundamental data and other relevant data in Qianhu National Wetland Park, Shaanxi Province, direct and indirect usage values, including air regulation, water storage and retention and others 7 items of ecosystem service values were divided into estimated by methods of market-price, shadow-price and carbon tax, and so on. [Results] Among all the ecological system service values, air regulation service had the highest value which accounted for 87.5% of total ecological system service value; followed by cultural use, which accounted for 5.73% of total service value. The water purification service had the lowest value, which only counted for 0.09%. The system service value went up

收稿日期: 2018-12-05

修回日期: 2019-03-07

资助项目: 陕西省教育厅重点科学研究计划项目“旱涝灾害背景下湿地种子库特征及其对生态功能维持的作用: 以宝鸡千湖湿地为例” (18JS006); 宝鸡文理学院重点基金项目(ZK16066); 国家自然科学基金青年项目(41801069); 西北农林科技大学博士科研启动项目(Z111021311)

第一作者: 陈炜(1983—), 男(汉族), 陕西省西安人, 博士, 讲师, 主要从事生态学教学等方面的研究。E-mail: vacant\_chen@sina.com。

通讯作者: 李红兵(1978—), 男(汉族), 陕西省宝鸡市人, 副研究员, 硕士生导师, 主要从事植物抗逆生理和分子机理及作物高产高效栽培方面的研究。E-mail: lhb\_7381@nwsuaf.edu.cn。

about  $7.90 \times 10^5$  yuan per hectare, which was smaller than that of Hechuan Wetland, another wetland located in Shaanxi Province. [Conclusion] The total value of the ecosystem service functions were about  $3.30 \times 10^8$  yuan. The indirect use value of ecosystem service accounted for 90.5%, which was markedly higher than that of the direct use value (9.5%).

**Keywords:** value evaluation; ecosystem services; Qianhu National Wetland Park

自 Costanza<sup>[1]</sup>提出生态系统服务价值体系以来,不同类型生态系统服务价值的评估受到越来越多的关注<sup>[2-4]</sup>。作为自然界最富生物多样性的生态景观和人类最重要的生存环境之一,湿地与人类的生存、繁衍和发展息息相关。我国学者对不同地区湿地的生态服务功能价值进行了评估<sup>[5-6]</sup>。然而关于湿地生态系统服务价值评估的研究多集中在我国东中部地区<sup>[7-10]</sup>,关于黄土高原湿地生态系统服务价值评估的研究较少<sup>[11-12]</sup>。湿地作为黄土高原地区重要的生态系统类型,对维持该地区生态系统安全有十分重要的作用。陕西省湿地总面积为  $3.09 \times 10^5$  hm<sup>2</sup>,占其总面积的 1.50%<sup>[11]</sup>。有研究表明,宝鸡市生态价值总量显著高于关中地区其他市区,是关中最重要的生态价值产益区,这与宝鸡市湿地生态系统较多有密切的关系,宝鸡市湿地面积约为  $3.60 \times 10^5$  hm<sup>2</sup><sup>[13]</sup>。其中,千湖国家湿地公园作为陕西省第一个挂牌的国家级湿地公园,对于维持区域生态平衡和保障社会经济可持续发展具有重要意义。

陕西省千湖国家湿地公园是西北首个国家级湿地公园,该湿地公园属于典型的黄土地貌湿地,主要是集河流湿地、库塘湿地、沼泽湿地于一体。黄土高原地区属于典型的生态系统脆弱区,而陕西千湖国家湿地公园健康的发展,对维持该地区生态健康发展和恢复环境服务功能,提高环境承载力等方面发挥着巨大的作用。因此研究千湖湿地的生态系统服务功能价值,对评估黄土高原地貌类型湿地的生态服务价值和维持黄土高原湿地生态系统的健康发展有重要的作用。本研究通过市场价值法、碳税法、造林成本法、影子工程法、替代费用法等相关方法,对该湿地生态系统服务价值进行全面的科学的估算,同时比较该湿地与其他类型湿地在服务价值上的异同,寻找黄土地貌湿地在生态服务价值上的特征,为黄土地貌湿地生态系统服务价值评估提供基础数据,同时也为该湿地公园科学综合的管理提供理论依据。

## 1 材料与方 法

### 1.1 研究区概况

陕西省千湖国家湿地公园(34°37'54"—34°41'59"N, 107°3'55"—107°8'13"E)位于陕西省宝鸡市千阳县千

河谷地中游,总面积 573.2 hm<sup>2</sup>,其中湿地面积 417.9 hm<sup>2</sup>,占该公园面积的 72.9%,是以河流湿地为主,集河流湿地、库塘湿地、沼泽湿地特征于一体,具有我国西北地区典型特征的黄土高原湿地<sup>[14]</sup>。千湖国家湿地公园属黄土高原渭北台塬丘陵沟壑区,中间系千河谷底,谷底两侧系黄土台塬,海拔高程约为 710~1 100 m,谷地冲积层较厚,地势平坦,土壤主要有黄绵土、淤土、湿土等<sup>[15]</sup>。湿地公园地处渭河一级支流千河流域,千河发源于陕甘宁交界的关山山脉,经陇县,流入千阳,后汇入冯家山水库。境内流长 36 km,流域面积 835.86 km<sup>2</sup>,平均流量 12.9 m<sup>3</sup>/s,年径流量  $4.08 \times 10^8$  m<sup>3</sup>,常年不断流,为宝鸡市重要的水源。该区气候属温带大陆性季风区半湿润气候。年平均气温 10.9℃,多年平均降水量 653 mm,降雨多集中在 7—9 月。2011 年,千湖被国家林业局命名为国家湿地公园,成为陕西省第一个国家湿地公园。湿地公园生物资源丰富,有陆生脊椎动物 178 种,隶属 27 目 64 科 130 属,占陕西省脊椎动物总数(739 种)的 24.09%。其中,鱼类 5 目 9 科 27 属 29 种,鸟类 12 目 35 科 70 属 107 种。其中,国家 I 级重点保护物种有朱鹮、黑鹳 2 种,国家 II 级重点保护物种有细鳞鲑、水獭、青鼬、大天鹅、灰鹤、鸳鸯、长耳鸮等 12 种<sup>[16]</sup>。

### 1.2 指标体系构成

参考以往湿地生态系统服务价值分类方法,如物质生产,旅游休闲,科研文化和涵养水源等<sup>[10-11,16]</sup>,并结合陕西千湖国家湿地公园生态系统特征及其所在区域社会经济建设需求等特性,将陕西千湖国家湿地公园生态系统服务价值划分为直接和间接使用价值 2 大类,并建立了陕西省千湖国家湿地公园生态系统服务价值评估指标体系(表 1)。

表 1 陕西省千湖国家湿地公园生态系统服务价值构成和评估方法

评估项目	生态系统服务	指标	评估方法
直接使用价值	物质生产价值	食物	市场价值法
	旅游休闲价值	旅游休闲	旅行费用法
	科研文化价值	文教科研	成果参照法
间接使用价值	涵养水源价值	调蓄水量	影子工程法
	气体调节价值	固碳释氧	碳税法 and 造林成本法
	栖息地价值	生物多样性	影子工程法和成果参照法
	水质净化价值	水质净化	替代成本法

### 1.3 主要研究方法

通过地理空间数据云 (<http://www.gscloud.cn/>) 获得 dem 影像/陕西省 2015 年土地利用分类图, 通过 erdas 进行拼接, 之后通过 ArcGIS 10.2 用千阳行政区划边界对拼接后的影像进行裁剪, 得到该地区高程渲染图/2015 年土地覆盖分布图。根据收集到的基础数据以及相关文献资料, 通过以下 6 种方法对陕西省千湖国家湿地公园生态系统服务价值进行评估。

(1) 市场价值法。针对具有市场价格的生态系统产品和生态服务功能进行价值估算的一种方法<sup>[18]</sup>。本文通过公式(1)估算陕西千湖国家湿地公园物质生产功能价值。

$$V_{\text{物质生产}} = \sum m_i v_i \quad (1)$$

式中:  $V_{\text{物质生产}}$ ——千湖国家湿地公园在物质生产方面价值;  $m_i$ ——第  $i$  类物质的单产;  $v_i$ ——第  $i$  类物质的市场价格。

(2) 旅行费用法。常用于评估自然生态系统的旅游休闲价值, 为旅游者费用支出的总和。包括游客在自然生态系统游览过程中所产生的交通、饮食、门票、住宿等费用和旅行时间价值等<sup>[19]</sup>。本文通过该方法估算陕西千湖国家湿地公园在旅游休闲方面的价值。

(3) 成果参照法。指在计算自然生态系统某些生态服务功能的经济价值时, 参照与该类生态系统相同的生态服务功能价值评估的研究成果, 估算研究对象在该项生态服务功能的价值<sup>[20]</sup>。本文在估算陕西千湖国家湿地公园在科研文化和栖息地方面的价值时采用该方法。

(4) 影子工程法。指假设当环境破坏后, 以人工建造一个新工程来替代原来生态系统的功能或原来被破坏的生态功能的费用, 多用于估算环境破坏造成损失的一种方法<sup>[21]</sup>。本文在估算陕西千湖国家湿地公园在涵养水源方面的价值时采用上述方法。

(5) 碳税法 and 造林成本法。碳税法是根据光合作用方程式, 以干物质生产量来换算湿地植物固定  $\text{CO}_2$  和释放  $\text{O}_2$  的量, 再根据国际和我国对  $\text{CO}_2$  排放收费标准, 将生态指标换算成经济指标, 得出固定  $\text{CO}_2$  的经济价值<sup>[22]</sup>。造林成本法属于替代成本法, 是指由湿地光合作用所产生的  $\text{O}_2$  换算成工业制氧所需的费用。通过公式(2)进行计算:

$$V_{\text{固碳释氧}} = V_{\text{固碳}} + V_{\text{释氧}} = A_1 W_1 + A_2 W_2 \quad (2)$$

$A_1$  和  $A_2$  的确定, 其中  $A_1$  指碳税率在本文中取 770 元/t, 是国际上通用的碳税率 150 美元/t<sup>[23]</sup> 和我国造林成本 250 元/t<sup>[24]</sup> 的平均值,  $A_2$  为工业制氧的价格取 1 000 元/t(中华人民共和国卫生部网站(<http://wsb.moh.gov.cn>))

的氧气价格);  $W_1$  和  $W_2$  分别为湿地固定  $\text{CO}_2$  的量和释放  $\text{O}_2$  的量。

(6) 替代成本法。指根据现有可用替代品的成本评价生态资本的经济价值<sup>[25]</sup>。本文在估算陕西千湖国家湿地公园在水质净化方面的价值采用上述方法。

## 2 价值具体核算

### 2.1 直接使用价值

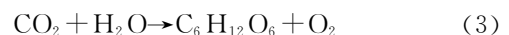
2.1.1 物质生产价值 在估算陕西千湖国家湿地公园物质生产方面的价值时, 主要涉及以下两个方面。一是水产品的生产, 二是由于灌溉对粮食增产的作用。水产品价值的评估根据宝鸡市年鉴(2010 年), 宝鸡市 2010 全市投入水产养殖的水域面积为 2 936  $\text{hm}^2$ , 全市渔业总收入 1.37 $\times 10^8$  元。估算出宝鸡市单位面积渔业收入 4 666 元/ $\text{hm}^2$ , 千湖湿地水域面积为 417.9  $\text{hm}^2$ , 按 1% 进行渔业养殖, 估算出千湖湿地渔业收入为 1.90 $\times 10^6$  元/a; 灌溉对粮食增产价值的评估: 湿地公园地处宝鸡市冯家山水库上游。据统计, 水库运行 30 a 来, 宝鸡、凤翔、岐山、扶风、眉县、永寿、乾县等 7 县, 旱原灌区增产粮食 4.00 $\times 10^{10}$   $\text{kg}$ <sup>[14]</sup>, 其中按照 1% 的灌溉水来自千湖湿地, 粮食以 2.0 元/kg 计算, 从而估算出近 30 a 由于千湖湿地灌溉提高粮食增产年均收入为 2.70 $\times 10^6$  元/a。最终计算该湿地公园在物质生产方面的价值( $V_{\text{物质生产}}$ )为 4.60 $\times 10^6$  元/a。

2.1.2 旅游休闲价值 在估算陕西千湖国家湿地公园在旅游休闲方面的价值时, 只考虑景区门票和旅行时间的花费。以陕西千湖国家湿地公园门票售价为 60 元/张和游客工资以人均 100 元/d 来计算, 自公园建立至 2011 年 12 月, 千湖湿地公园已接待游客 2.3 万人次 (<http://travel.163.com/11/1207/12/7KM13E3H00063JSA.html>), 估算该湿地公园全年接待量为 5.00 万人次, 最终估算出该湿地公园在旅游休闲方面的价值( $V_{\text{旅游休闲}}$ )为 8.00 $\times 10^6$  元/a。

2.1.3 科教文化价值 鉴于目前对陕西千湖国家湿地公园在科研文化价值方面没有具体的统计数据, 因此在估算陕西千湖国家湿地公园在科教文化方面的价值时, 根据我国内陆 71 个湿地的平均单位面积科研文化价值<sup>[10]</sup>, 估算该湿地公园在科教文化方面的价值( $V_{\text{科研文化}}$ )为 1.90 $\times 10^7$  元。

### 2.2 间接使用价值

2.2.1 气体调节价值 本文在估算陕西千湖国家湿地公园在气体调节方面的价值时, 通过植物光合作用的方程式(3), 估算其在固定二氧化碳和释放氧气方面的价值。



根据各物质的分子量,计算植物在进行光合作用时,每生产1 t干物质可固定二氧化碳1.6 t/a,同时释放氧气1.2 t/a。千湖国家湿地公园分别种植芦苇和蒲草,生长面积为37 hm<sup>2</sup><sup>[14]</sup>,鉴于此水生植物的生物量目前无法直接获得,因此以黄河滩地芦苇和蒲草平均生物量3 270.45 kg/(hm<sup>2</sup>·a)<sup>[26]</sup>进行估算。根据上述计算方法和数据,估算出千湖国家湿地公园芦苇和蒲草每年固定二氧化碳的价值为1.50×10<sup>8</sup>元/a;同样每年释放氧气量的价值为1.40×10<sup>8</sup>元/a。因此,该湿地公园在固定二氧化碳和释放方面的价值( $V_{\text{固碳释氧}}$ )为2.9亿元/a。

2.2.2 涵养水源价值 根据公式(4)估算千湖湿地涵养水源的价值:

$$\text{涵养水源价值} = \text{涵养水源量} \times \text{水库库容价格} \quad (4)$$

以水体容积来表示涵养水源的量,但未能获得千湖湿地水体容积具体数据,经过推算可得出千湖湿地的水体容量,其中湿地面积417.9 hm<sup>2</sup>,湿地安全蓄洪深度一般为3.5~4.0 m。而该地区降雨较少,因此以3.5 m作为千湖湿地公园平均深度,估算其涵养水源量为1.46×10<sup>8</sup> m<sup>3</sup>,单位蓄水量库容成本以我国水库建设投资计算,每建设1 m<sup>3</sup>库容需年投入成本0.67元<sup>[27]</sup>,而估算出,该湿地公园在涵养水源方面的价值( $V_{\text{涵养水源}}$ )为9.80×10<sup>6</sup>元/a。

2.2.3 水质净化价值 通过文献查阅获得宝鸡千河公路桥处和冯家山引水口处氨、氮和总磷在2007—2009年平均值分别为0.62,0.09,0.15和0.01 mg/L<sup>[28]</sup>,表明经过千湖湿地总氮和总磷的浓度分别下降了0.47,0.08 mg/L;按照净化总氮单价为1.5元/kg,总磷为2.5元/kg<sup>[29]</sup>,冯家山水库从1974年下闸蓄水到2009年底,累计出库水量1.23×10<sup>10</sup> m<sup>3</sup><sup>[30]</sup>,年均出库水量为3.40×10<sup>8</sup> m<sup>3</sup>,从而估算出该湿地公园在水质净化方面的价值( $V_{\text{水质净化}}$ )为3.00×10<sup>5</sup>元。

2.2.4 栖息地价值 根据谢高地<sup>[31]</sup>等关于中国单位面积湿地生物多样性维持服务价值的研究成果显示,湿地栖息地的价值为每年2 212.2元/hm<sup>2</sup>以及张翼然等<sup>[10]</sup>对我国内陆湿地生态系统服务价值关于栖息地价值统计的结果表明,我国单位面积(km<sup>2</sup>)栖息地价值为1,30×10<sup>6</sup>元。本研究取二者的平均值为7 626元/hm<sup>2</sup>,千湖湿地的水域面积为3.09×10<sup>5</sup> hm<sup>2</sup>,以此推算出该湿地公园在栖息地方面的价值为( $V_{\text{栖息地}}$ )3.20×10<sup>6</sup>元。

## 3 结果与分析

### 3.1 生态系统服务价值构成

千湖国家湿地公园生态系统服务价值总量为

3.30×10<sup>8</sup>元,单位面积价值量约为7.90×10<sup>5</sup>元/hm<sup>2</sup>。其中,间接使用价值所占比重较大,为总价值的90.5%,直接价值所占比重为9.5%(表2)。这与其他湿地生态系统服务价值表现出相同的规律,即间接使用价值显著高于直接使用价值<sup>[12,32-33]</sup>。表明陕西千湖国家湿地公园与其他湿地生态系统在生态服务功能中间接使用价值巨大。在对千湖国家湿地公园所评估的所有生态功能服务价值中,以气体调节的价值最大,为2.90×10<sup>8</sup>元/a,占总服务价值的87.5%,而水质净化的服务价值最小,仅为3.00×10<sup>5</sup>元/a。通过比较不同生态功能服务价值及其所占比例,得到不同生态功能服务价值量的大小依次为:气体调节>科研文化>涵养水源>旅游休闲>物质生产>提供生物栖息地>水质净化。这说明千湖湿地生态系统在气体调节和科研文化方面发挥着巨大作用,是千湖湿地生态系统的核心和主导服务功能。同时也说明千湖湿地具有湿地公园的重要功能,表现在旅游休闲方面具有较高的价值量,另一方面,湿地公园作为城市绿肾,体现了城市湿地与天然湿地的差别,表现在气体调节方面具有较高的价值量。随着我国退耕还林、还湿政策的实施,表明我国越来越重视低碳减排措施的开展,千湖湿地生态服务功能中,气体调节具有最高的服务价值,表明湿地在减排措施中有非常重要的作用。千湖湿地公园面积仅占千阳县面积(996.64 km<sup>2</sup>)的0.42%,却提供了高达3.30×10<sup>8</sup>元的生态系统服务价值,千湖湿地单位面积服务价值是2017年全县单位面积生产总值的1.4倍,说明千湖湿地为当地带来了巨大的效应,揭示了千湖湿地在提供生态系统服务价值方面具有重要的作用。虽然千湖湿地单位面积最终服务价值是2017年全县单位面积生产总值的1.4倍,但是显著低于博斯腾湖单位面积服务价值与全州生产总值的关系<sup>[33]</sup>,表明通过对千湖湿地生态系统科学的管理,提高其生态服务价值仍有巨大的潜力。

表2 陕西省千湖国家湿地公园生态系统服务价值

评估项目	生态系统服务	服务价值 (10 <sup>5</sup> 元/a)	所占 比例/%	合计/ %
直接使用 价值	物质生产价值	46.1	1.39	9.5
	旅游休闲价值	80.3	2.41	
	科研文化价值	190.5	5.73	
间接使用 价值	气体调节价值	2 900.3	87.5	90.5
	涵养水源价值	98.4	2.96	
	栖息地价值	32.1	0.97	
	水质净化价值	3	0.09	

### 3.2 与其他湿地生态系统单位面积生态服务价值量的比较

由于不同湿地所处的地理位置不同以及当地对湿地各项服务的需求强度有所区别,从而引起不同湿地其生态服务价值存在差异。千湖湿地生态系统单位面积生态服务价值量( $7.90 \times 10^5$  元/hm<sup>2</sup>)与陕西省湿地生态系统单位面积生态服务价值量相当( $9.30 \times 10^5$  元/hm<sup>2</sup>)<sup>[11]</sup>,而小于同处于黄土高原地区,洽川湿地生态系统单位面积生态服务价值量( $4.60 \times 10^6$  元/hm<sup>2</sup>)<sup>[26]</sup>,主要原因是由于洽川湿地生态系统服务价值中物质生产所提供的价值为  $2.01 \times 10^8$  元,显著高于千湖湿地生态系统服务价值中物质生产所提供的价值,而大于同处于西北地区的博斯腾湖生态系统单位面积生态服务价值量( $9.20 \times 10^4$  元/hm<sup>2</sup>)<sup>[33]</sup>。显著低于全国 71 个湿地单位面积生态服务价值量( $4.60 \times 10^6$  元/hm<sup>2</sup>)的均值,可能的原因是由于在估算千湖湿地单位面积生态服务价值量是由于数据的不足,而忽略了其在气候调节,调蓄洪水等方面的价值。

## 4 结论

(1) 陕西千湖国家湿地公园的生态系统服务总价值为  $3.30 \times 10^8$  元,单位面积价值量约为  $7.90 \times 10^5$  元/hm<sup>2</sup>。其中,直接使用价值为  $3.20 \times 10^7$  元,直接价值为  $3.00 \times 10^8$  元。在直接使用价值中,以科研文化价值最高,其次为旅游休闲价值,而物质生产价值最低;在间接使用价值中,以气体调节价值最高,而水质净化价值最低。

(2) 由于基础数据的缺乏,本研究对千湖湿地生态系统服务功能评估还不够全面,如未考虑气候调节服务,在估算物质生产的数据相对较早。缺乏对千湖湿地生态系统服务价值随时间变化规律方面的分析。

### [ 参 考 文 献 ]

- [1] Costanza Robert, d'Agre Ralph, de Groot Rudolf, et al. The value of the world's ecosystem services and natural capital[J]. Nature, 1997, 387(6630):253-260.
- [2] 刘永杰,王世畅,彭皓,等.神农架自然保护区森林生态系统服务价值评估[J].应用生态学报,2014,25(5):1431-1438.
- [3] 陈春阳,陶泽兴,王焕炯,等.三江源地区草地生态系统服务价值评估[J].地理科学进展,2012,31(7):978-984.
- [4] 石惠春,师晓娟,刘鹿,等.兰州城市生态系统服务价值评估方法与结果比较[J].中国人口·资源与环境,2013,23(2):30-35.
- [5] Liu S, Costanza R, Troy A, et al. Valuing New Jersey's ecosystem services and natural capital: A spatially explicit benefit transfer approach[J]. Environmental Management, 2010,45(6):1271-1285.
- [6] 李文华.生态系统服务功能价值评估的理论、方法与应用[M].北京:中国人民大学出版社,2008.
- [7] 毛德华,吴峰,李景保.洞庭湖湿地生态系统服务价值评估与生态恢复对策[J].湿地科学,2007,5(1):39-44.
- [8] 崔丽娟.鄱阳湖湿地生态系统服务功能价值评估研究[J].生态学杂志,2004,23(4):47-51.
- [9] 王磊,何冬梅,江浩,等.江苏滨海湿地生态系统服务功能价值评估[J].生态科学,2016,35(5):169-175.
- [10] 张翼然,周德民,刘苗.中国内陆湿地生态系统服务价值评估:以 71 个湿地案例点为数据源[J].生态学报,2015,35(13):4279-4286.
- [11] 宫晓琳,赵冰,弓弼,等.陕西省湿地生态系统服务价值初步评估[J].湿地科学 2017,15(6):871-874.
- [12] Fang Lan, Wang Hao, Yuan Yuan, et al. The use and non-use values of ecosystem services for Hechuan Wetland[J]. Journal of Resources and Ecology, 2015, 6(5):302-309.
- [13] 刘钊,常庆瑞,赵业婷,等.关中地区生态系统服务价值动态探析[J].西北农林科技大学学报:自然科学版,2013,41(10):205-213.
- [14] 张新兵,王荣,何婧,等.河流性湿地公园植物景观设计初探:以陕西千湖国家湿地公园为例[J].湿地科学与管理.2016,12(1):8-11.
- [15] 张新兵.黄土高原河流湿地生态恢复设计研究:以陕西千湖国家湿地公园为例[D].北京:中国林业科学研究院,2015.
- [16] 吕江鱼,张新兵,卜书海,等.陕西千湖湿地综合考察与研究[M].陕西 西安:陕西科学技术出版社,2014.
- [17] 田润炜,蔡新斌,买尔燕古丽·阿不都热合曼,等.新疆阿勒泰科克苏湿地自然保护区生态服务价值评价[J].湿地科学.2013,13(4):491-494.
- [18] 庄大昌,丁登山,董明辉.洞庭湖湿地资源退化的生态经济损益评估[J].地理科学,2003,23(6):680-685.
- [19] 许晓峰,李富强,孟斌.资源资产化管理与可持续发展[M].北京:社会科学文献出版社,1999.
- [20] 彭建,王仰麟,陈燕飞,等.城市生态系统服务功能价值评估初探:以深圳市为例[J].北京大学学报:自然科学版,2005,41(4):594-604.
- [21] 张素珍,李晓粤,李贵宝.湿地生态系统服务功能及价值评估[J].水土保持研究,2005,12(6):125-128.
- [22] 刘红玉,吕宪国,刘振乾,等.辽河三角洲湿地资源与区域持续发展[J].地理科学,2000,20(6):545-551.
- [23] Woodward R T, Wui Y S. The economic value of wetland services: A meta-analysis [J]. Ecological Economics, 2001,37(2):257-270.
- [24] 辛琨,肖笃宁.盘锦地区湿地生态系统服务功能价值估算[J].生态学报,2002,22(8):1345-1349.

### 3 结论

(1) 采用数量化理论 II, 选取了滑坡发生的高程、坡度、岩体结构、斜坡结构、剖面曲率、距水系距离、汇流面积、土地利用、外营力作用及年平均降雨量等指标, 对各指标进行了量化处理, 建立了大巴山区基岩顺层类岩质滑坡易发性预测方法。

(2) 对大巴山区区域顺层岩质类滑坡发育影响因素的贡献率分析, 得出斜坡坡度  $10^{\circ} \sim 20^{\circ}$ , 顺向坡斜坡结构、砂质硬岩夹软岩的岩体结构、汇流面积, 水流冲蚀等因素对滑坡形成贡献率较高; 高程 500~1 000 m 和剖面曲率、距水系距离、开挖路堑等因素对滑坡形成贡献率中等; 土地利用类型等因素对滑坡形成贡献率低。

(3) 通过研究区易发性评价图可以看到, 位于大巴山区的南江县南部、巴州区北部、苍溪县南东部、宣汉县南西侧地等区域为顺层岩质滑坡的高易发区, 这也与调查结果相符。

(4) 量化理论计算方法对学习样本进行学习, 确定各因子类目得分, 然后全范围进行判别计算, 并合计判定分类的易发性预测方法能较好地适用于大巴山区基岩顺层类岩质滑坡的易发性预测。

#### [ 参 考 文 献 ]

- [1] 董文泉, 周光亚, 夏立显, 等. 数量化理论及其应用[M]. 吉林 长春: 吉林人民出版社, 1979.
- [2] 汪茜, 李广杰. 数量化理论在泥石流灾害预测预报中的应用: 以吉林和龙市泥石流为例[J]. 中国地质灾害与防治学报, 2006, 18(2): 85-88.
- (上接第 274 页)
- [25] 崔保山, 杨志峰. 吉林省典型湿地资源效益评价研究[J]. 资源科学, 2001, 23(3): 55-61.
- [26] 王浩. 洽川湿地生态系统服务价值评估[D]. 陕西 西安: 陕西师范大学, 2016.
- [27] 欧阳志云, 赵同谦, 王效科, 等. 水生态服务功能分析及其间接价值评价[J]. 生态学报, 2004, 24(10): 2091-2099.
- [28] 易文利. 宝鸡千和流域水质分析与评价[J]. 河南科学, 2010, 28(10): 1327-1330.
- [29] 张修峰, 刘正文, 谢贻发, 等. 城市湖泊退化过程中水生

- [3] 周国云, 陈光齐. 基于 GIS 和数量化理论 II 的滑坡危险性预测[J]. 岩石力学与工程学报, 2008, 27(12): 2494-2500.
- [4] 王卫红, 张文君. 基于遥感与数量化 II 类的滑坡危险度划分[J]. 水土保持学报, 2009, 29(2): 165-167.
- [5] 李军霞, 王常明, 王钢城, 等. 基于数量化理论 III 的滑坡发育影响因素及耦合作用强度分析[J]. 岩石力学与工程学报, 2010, 29(6): 1206-1212.
- [6] 程英建, 石豫川, 石胜伟, 刘富开. 数量化理论在泥石流易发性预测中的应用[J]. 水文地质工程地质, 2015, 42(1): 140-145.
- [7] 唐亚明, 张茂省, 李林. 滑坡易发性危险性风险评价例析[J]. 水文地质工程地质, 2011, 38(2): 125-129.
- [8] 范林峰, 胡瑞林, 曾逢春, 等. 加权信息量模型在滑坡易发性评价中的应用: 以湖北省恩施市为例[J]. 工程地质学报, 2012, 20(4): 508-513.
- [9] 牛瑞卿, 彭令, 叶润青. 基于粗糙集的支持向量机滑坡易发性评价[J]. 吉林大学学报: 地球科学版, 2012, 42(2): 430-439.
- [10] 张俊, 殷坤龙, 王佳佳, 等. 三峡库区万州区滑坡灾害易发性评价研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2016, 35(2): 284-296.
- [11] 王森, 许强, 罗博宇, 等. 基于分形理论的南江县滑坡敏感性分析与易发性评价[J]. 水文地质工程地质, 2017, 44(3): 119-126.
- [12] 张许良, 张子戌, 袁崇孚, 等. 利用数量化理论预测瓦斯含量时反应度的取值方法[J]. 焦作工学院学报: 自然科学版, 2001, 20(1): 8-13.
- [13] 周光亚, 董文泉, 夏立显. 关于数量化理论 I, II 的数学模型[J]. 吉林大学自然科学报, 1979, 33(1): 11-18.
- [14] 王峰. 四川省南江县地质灾害易发性区划研究[D]. 四川 成都: 成都理工大学, 2015.

态系统服务功能价值演变评估: 以肇庆仙女湖为例[J]. 生态学报, 2007, 27(6): 2349-2354.

- [30] 郭华, 陈勇, 李高民, 等. 冯家山水库水质变化及其成因分析[J]. 水利与建筑工程学报, 2011, 9(5): 31-35.
- [31] 谢高地, 鲁春霞, 冷允法, 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.
- [32] 陈翠, 刘贤安, 闫丽丽, 等. 四川南河国家湿地公园生态系统服务价值评估[J]. 湿地科学, 2018, 16(2): 238-243.
- [33] 江波, 陈媛媛, 饶恩明, 等. 博斯腾湖生态系统最终服务价值评估[J]. 生态学报, 2015, 34(4): 1113-1120.