黄河兰州段湿地植物多样性研究

张起鹏[1]，王 倩[1]，张 丽[2]，张春花[1]

(1. 甘肃民族师范学院，甘肃 合作 747000；2. 西北师范大学 地理与环境科学学院，甘肃 兰州 730070)

摘　要：兰州段黄河湿地在其城市生态系统中占有重要地位。采用样带和典型样方相结合的方法对黄河湿地 3 种生境系统进行实地调查，研究了兰州城市湿地的植物多样性。结果表明：(1) 不同生境系统湿地植物群落以草本为主，乔木多以杨柳科的垂柳为主，灌木只调查到 1 科 1 种。过渡带湿地植物种类几乎涵盖了其他生境系统的所有物种。(2) 近裸露湿地赖草、稗草、虎尾草的重要值分别达到 16.336，14.112，11.723；过渡带湿地中芦苇的地位得到加强，近自然湿地中芦苇的重要值已达 13.153，其常见伴生种如水芹、香蒲、罔草也具有一定的地位。(3) 3 种生境湿地丰富度指数，Simpson 指数及 Shannon—Wiener 多样性指数大小依次为：过渡带＞近裸露湿地＞近自然湿地，均匀度指数与之变化趋势不一致。近裸露湿地与过渡带 β 多样性小于近自然湿地与过渡带，不同生境间的相异性也表现为近裸露湿地与过渡带小于近自然湿地与过渡带。

关键词：黄河湿地；兰州城市湿地；湿地生境；植物多样性

文献标识码：A　　**文章编号**：1000-288X(2012)03-0240-05　　**中图分类号**：Q145^{+}.2

An Analyses of Plant Diversities for Yellow River Wetland in Lanzhou City

ZHANG Qi-peng[1], WANG Qian[1], ZHANG Li[2], ZHANG Chun-hua[1]

(1. *Gansu Normal University for Nationalities*, *Hezuo*, *Gansu* 747000, *China*;
2. *School of Geography and Environmental Science*, *Northwest Normal University*, *Lanzhou*, *Gansu* 730070, *China*)

Abstract: The Yellow River wetland plays an important role in the ecosystem of Lanzhou City. The plant diversities of Lanzhou urban wetland was studied by the field investigation of three habitats in the Yellow River wetland using belt transects and quadrats. Results show that: (1) Herb, particularly *Salix babvlonica* that belongs to *Salicaceae*, is the dominant species in various wetland plant communities, while only one species of one family shrub is found. Wetland plant species in transition zone nearly cover all the species in other habitat systems. (2) The importance values for *Leymus secalinus*, *Echinochloa crusgalli* and *Chloris virgata* are 16.336, 14.112 and 11.723, respectively. *Phragmites communis* has been strengthened in transition zone and its importance value in nearly natural wetland is 13.153. Common companions, such as *Oenanthe clecumbens*, *Typha angustifolia* and *Beckmannia syzigachne*, also have certain positions in wet environment. (3) Simpson and Shannon—Wiener indexes of wetlands' habitat follow the order of transition zone＞ nearly bare wetlands＞ nearly natural wetland, and however, evenness index does not have such a trend. β diversity for nearly bare wetland and transition zone is lower than that of nearly natural wetland and transition zone, which is consistent with the sequence of species dissimilarity among different habitats.

Keywords: **Yellow River wetland; Lanzhou urban wetland; wetland habitat; plant diversity**

湿地是人类最重要的环境资源之一，是最富生物多样性的独特的生态系统。据《湿地公约》的定义："湿地系指不论其为天然或人工、常久或暂时之沼泽地、湿原、泥炭地或水域地带，带有或静止或流动、或为淡水、半咸水或咸水水体者，包括低潮时水深不超过 6 m 的海域"[1]，是位于水、路过渡地带的生态系统，受深水系统和陆地系统的共同影响，是地表长期或季节性积水的景观类型[2]，具有巨大的环境调节功能和生态效益。

植物物种多样性对维持湿地生态系统结构的稳定性、生态系统功能的完整性和生态过程的连续性有重要意义。随着经济的快速发展以及人类生产生活

收稿日期：2011-05-21　　**修回日期**：2011-09-21
资助项目：甘肃民族师范学院校长基金项目"基于 ArcGIS 的虚拟校园设计与实现"(GNUN2010-09)
作者简介：张起鹏(1980—)，男(汉族)，山东省烟台市人，讲师，主要研究方向为恢复生态学。E-mail：qp0720aaa@163.com。

对湿地资源依赖程度的提高，直接导致了湿地及其生物多样性的破坏。受城市化的影响，城市湿地周围景观格局不断发生改变，湿地面积减小、植被类型改变，斑块之间的连接度下降，内部生境破碎化程度高，生态功能下降，城市湿地生态系统面临着严重的威胁。

在国外，关于城市湿地保护、恢复、重建、规划等方面的研究相继出现，并取得了一些研究成果[3-5]。近几年，我国城市湿地研究也出现了良好开端，研究主要集中在其生态服务功能、景观格局、开发保护等方面[6-10]，对城市湿地的植物多样性研究亦取得了重要成果[11]。兰州是西北干旱区狭长河谷型城市，在黄河流经兰州城区的河道内，以滩涂地、河心岛、季节性河床以及沿岸河滩为主要类型的湿地分布广泛。目前普遍存在对湿地盲目开发和非法占有现象，污染也相当严重，使湿地的动植物资源、景观资源和地貌特征都遭受了不同程度的破坏。对黄河兰州段城市河流湿地植物多样性的深入研究能够更好地反映整个城市湿地系统的状况，了解城市湿地的功能和特点。为此以兰州段黄河湿地为研究对象，运用 α 和 β 多样性测度指标对其物种多样性进行分析，通过对比研究不同生境湿地的植物多样性，探索其物种多样性随环境因子变化的规律，为该地区城市湿地的合理利用、保护、恢复以及管理等方面提供理论基础。

1　研究区概况

兰州段黄河位于兰州盆地，地理坐标为 35°34′—37°07′N，102°36′—104°34′E。河道里共有 28 块湿地，总面积 5.53×10^6 m^2[12]，主要由河床湿地、河岸湿地和汇入黄河的洪道湿地组成，河床基本上由卵石组成，河段平均比降约为 0.93‰，多年平均流量为 1 022 m^3/s。此区湿地属中温带大陆性气候，年降水量 316 mm，全年日照时数平均 2 446 h，无霜期 180 d，年平均温度 9.3 ℃，月平均温度的年较差 28.2 ℃，平均风速 0.8 m/s，平均相对湿度为 48%[13]。土壤以灰钙土为主，成土母质为黄土。湿地植物主要以芦苇（*Phragmites communis*）、香蒲（*Typha angustifolia*）、灰绿藜（*Chenopodium album*）、地肤（*Kochia scoparia*）、假苇拂子茅（*Calamagrostis pseudophragmites*）、曼陀罗（*Datura stramonium*）等为主。动物以越冬鸟类居多，主要有野鸭（*Mallard*）、苍鹭（*Ardea cinerea*）、大白鹭（*Egretta alba*）等。

近些年来，湿地上普遍存在着乱倒垃圾、乱排污水、乱挖滥采、强修强占等破坏现象。湿地植被的自然生存条件被破坏，部分湿地因缺水而长期处于裸露状态，功能退化严重。

2　研究方法

2.1　野外调查方法

因黄河河岸环境变化较大，考虑到人类活动对湿地干扰程度不同，在黄河兰州市段选取有代表性的湿地进行调查，根据植被类型、植被分布特征、生境特征等将研究区分为近裸露湿地带、过渡带、近自然湿地带。

采用样带和典型样方相结合的方法对黄河湿地进行实地调查，在不同地段选择不同生境条件的区域，每隔 20 m 设定一条样带，在样带内设置典型样方 10 m×10 m 对乔木进行调查，每个样方内随机设定 5 m×5 m 和 1 m×1 m 的小样方若干分别对灌木和草本进行调查。调查指标包括植物种类、数量、盖度、多度、高度、频度等，以外还记录描述样地的自然生境状况等特征。

该项调查工作于 2010 年 5 月初开始到 2010 年 6 月底完成。调查中不能识别的植物采集标本编号带回，根据鉴定结果，将编号用物种名称代替，无法鉴定到种的植物鉴定到属。

2.2　数据分析

2.2.1　重要值计算　计算乔木、灌木和草本植物重要值 I_V 公式为：

$$I_V=\frac{\text{相对高度}+\text{相对多度}+\text{相对盖度}}{3}$$

其中，相对高度＝某个种的平均高度/所有种的平均高度之和×100%；相对盖度＝某个种的盖度/所有种盖度之和×100%（灌木盖度＝东西冠幅×南北冠幅/样地面积）；相对多度＝某个种的多度/所有种的多度之和×100%。

2.2.2　多样性测定

（1）α 多样性指数测度公式为：

Margalef 丰富度指数

$$R=(S-1)/\ln N \tag{1}$$

Simpson 多样性指数

$$D=1-\sum_{i=1}^{s}p_i^2 \tag{2}$$

Shannon—Wiener 多样性指数

$$H=-\sum_{i=1}^{s}p_i\ln p_i \tag{3}$$

Pielow 均匀度指数

$$E=H/\ln S \tag{4}$$

式中：S——每一样方中的物种总数；N——物种 i 所在样地的各物种重要值之和；p_i——物种 i 的相对重要值。

（2）β 多样性测度公式为：

Cody 指数

$$\beta_c=(G+L)/2 \tag{5}$$

Sorenson 指数

$$C_s=2j/(a+b) \quad (6)$$

式中：G——沿生态梯度增加的物种数目；L——沿生态梯度减少的物种数目；j——2 个样地共有的物种数；a，b——为样地 A 和样地 B 的物种数[14-15]。

3 结果与分析

3.1 黄河兰州段不同生境湿地物种状况

3.1.1 主要植物组成及其变化 黄河兰州段不同生境湿地的植物组成和重要值变化具有以下特点：乔木以杨柳科的垂柳（*Salix pendulina*）为主，部分地段出现旱柳（*Salix matsudana*）、臭椿（*Ailanthus altissima*）、榆钱（*Ulmus pumila*）、柽柳（*Tamarix austromongolica*）、刺槐（*Robinia pseudoacacia*）等；灌木只调查到 1 科 1 种，即杨柳科的杞柳（*Salix purpurea*），属耐水湿的物种；通过 20 个样方的植被调查，发现样地上分布的草本植物比较丰富，有 17 科、42 种。在所发现的植物中，禾本科有 11 个种，分别是稗草（*Echinochloa crusgalli*）、芦苇、燕麦草（*Arrhenatherum elatius*）、冰草（*Agropyron cristatum*）、罔草（*Beckmannia syzigachne*）、猪毛菜（*Salsola collina*）、狗尾草（*Setaria viridis*）、虎尾草（*Chloris virgata*）、赖草（*Leymus secalinus*）、假苇拂子茅、鹅观草（*Roegneria kamoji*）。菊科有 10 种，分别是冷蒿（*Artemisia frigida*）、刺儿菜（*Cirsium setosum*）、茵陈蒿（*Artemisia capillaris*）、艾蒿（*Artemisia argyi*）、苦苣菜（*Sonchus oleraceus*）、阿尔泰狗娃花（*Heteropappus altaicus*）、白酒草（*Conyza japonica*）、苦荬菜（*Ixeris sonchifolia*）、蒲公英（*Taraxacum*）、鹤虱（*Carpesium abrotanoides*）。从科属来看，还有 11 种单科植物，这些植物的特点是耐水湿，耐盐碱，蔓延力强，有防沙固堤的功能。

调查表明，黄河兰州段湿地不同生境区其景观、土壤、水分、植被等特征均有所不同（表 1）。

表 1 植物群落的外貌和结构

特征指标	近裸露湿地	过渡带	近自然湿地
景观特征	地表裸露，砾石，植被稀少	由裸地向湿地过渡	湿地景观
物种数/个	25	31	19
土壤、水分状况	沙土，砾石，有机质贫乏，水分状况差	细沙土，水分条件较好	土层较厚，土壤为沙壤，黏壤土，土壤潮湿
植被状况	植被低矮稀疏且分布不均，平均盖度 18%	植物种多样化，平均盖度 50%	植物繁茂高大，生长好，分布较为均匀，平均盖度 76%

近裸露湿地地势较高，多不平坦，砾石较多，地表裸露度大，植被较为矮小，多杂草，平均盖度为 18%，优势种多为禾本科植物，如稗草、赖草、虎尾草等。其中多伴生冷蒿、节节草（*Equisetum hiemale*）、白酒草等物种。

过渡带湿地土壤、水分状况较为好转，地势多平坦，植被覆盖度较高，物种种类最为丰富，优势种主要有芦苇、芨芨草（*Achnatherum splendens*）、虎尾草等物种。其中伴生种多以菊科、藜科物种为主。

近自然湿地主要分布在河岸及低洼地带，积水时间长，植物生长极为茂盛，草本总盖度可达 100%，物种丰富度很低，部分地段出现单一物种，优势种多为芦苇、稗草等。其中多伴生水芹菜（*Oenanthe clecumbens*）、香蒲等物种。

湿地过渡带无论是植物物种种类组成还是数量都高于近裸露湿地带和近自然湿地带，植物物种种类几乎涵盖了近裸露湿地和近自然湿地带的所有物种，这充分体现了湿地过渡带维系区域生物多样性等边缘效应的特征。

3.1.2 植物物种的重要值 对黄河兰州段湿地植物以重要值为测度计算表明，在近裸露区赖草、稗草、虎尾草的重要值分别达到 16.336，14.112，11.723。此区主要为对土壤要求不严，耐旱、耐贫瘠但不耐水性的物种。芦苇是具有代表性的湿地植物之一，在过渡带中芦苇的地位得到加强，重要值为 8.344，其他一些喜湿的物种出现并占有一定地位，如芨芨草、鹅观草的重要值分别为 12.116，5.588。在近自然湿地中，一些水生耐湿的物种占据主导地位，如芦苇的重要值达到 13.153，水湿环境的常见伴生种如水芹、香蒲、罔草也具有一定的地位，重要值分别为 7.273，5.771，5.248。

3.2 不同生境系统植物 α 多样性

通过对比分析不同植被生境内植物多样性的情况，可以看出，3 种生境丰富度指数、Simpson 指数及 Shannon—Wiener 多样性指数大小依次：为过渡带＞近裸露湿地＞近自然湿地，而均匀度指数与之变化趋势不一致。3 种湿地植物结构与生长环境有密切联系。过渡带生境环境较为复杂，土壤、水分条件变化多样，使植物群落的结构复杂化，结构复杂的群落较其他生境群落的生物多样性要高（图 1）[16]。

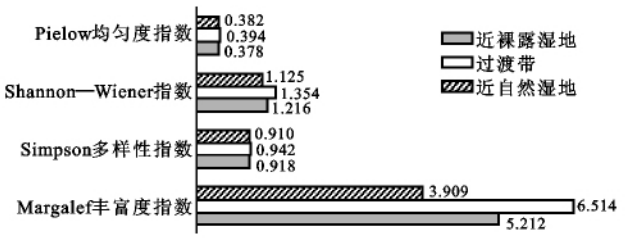

图 1　不同生境系统植物的 α 多样性

近自然湿地物种的荫蔽作用使地面光照不如过渡带生境,削弱了部分喜光草本植物的生长,生境内物种组成较为单一,使其优势种明显,如芦苇等湿生植物在生境中占主导地位,其他物种很难与之竞争,导致生境内植物群落的丰富度指数和多样性指数都较低。

3.3　不同生境系统植物 β 多样性

Cody 指数主要是通过对新增加和失去的物种数目进行比较,从而获得有关物种替代的信息[17]。β 多样性越大,物种替代速率越大。相反,β 多样性减小,物种替代速率也减小。β 多样性反映了群落结构和功能的真实信息。3 种生境间 Cody 指数变化如表 2 所示,从近裸露湿地到过渡带物种增加明显,为 14 种,失去的物种为 8 种;从过渡带到近自然湿地物种增加数目较低为 6 种,而失去的物种数达 18 种,从近裸露湿地到近自然湿地,生境间 Cody 指数变大。

表 2　黄河兰州段湿地不同生境系统的 Cody 指数变化

样 地	增加物种数/种	减少物种数/种	Cody 指数
近裸露湿地	0	0	0
过渡带	14	8	11
近自然湿地	6	18	12

近裸露湿地、近自然湿地与过渡带的相似性系数分别为 0.607 和 0.52(表 3),相异性指数分别为 0.393和 0.48。这表明,近裸露湿地与过渡带之间相似性较大,大于近自然湿地和过渡带。过渡带是近裸露湿地和近自然湿地分布变化的界限地带,其资源异质性明显,物种替代速率达到了最大。

表 3　黄河兰州段湿地不同生境系统的 Sorenson 指数变化

样 地	近裸露湿地	过渡带	近自然湿地
近裸露湿地	1.000	0.393	0.500
过渡带	0.607	1.000	0.480
近自然湿地	0.500	0.520	1.000

4　结 论

城市湿地是城市生态环境结构中十分重要的组成部分,也是城市地表生态系统的主体,因此健康的湿地环境是支持生态城市建设的重要因素。兰州段黄河湿地是兰州城市生态系统的重要组成部分,其不仅具备自然湿地的生态功能,还具备了社会文化功能。

研究区湿地气候条件相对一致,因而湿地生境类型是决定群落物种分布的关键因素,不同的物种对不同的生境有选择倾向。群落生境的差异可能是形成多样性的原因,如水分、土壤、郁闭度等。环境因子对群落的物种组成具有决定性的影响,而物种组成的改变又导致群落性质、结构和功能的改变。

黄河湿地的过度开发及污染物的大量排放致使近裸露湿地类型面积扩大,水质恶化,植物消失,这些变化直接影响了湿地的功能。兰州段湿地以草本植物群落为主要类型,部分地段乔木和灌木生长状况良好。过渡带湿地对周边植物生长具有边缘效应[18],因此过渡带物种多样性比其他生境大。过渡带湿地保持了较高的物种种类和数量。

物种多样性指数的大小与群落中物种丰富度和均匀度有关,主要体现群落的结构类型、组织水平、发展阶段、稳定程度和生境差异[19]。植物多样性是植被结构因子之一,同时又显著影响着植物群落盖度、高度和个体密度等群落结构的形成[20]。物种的丰富度能直观有效地反映群落的多样性。由于物种组成的明显差异,黄河兰州段湿地不同生境环境群落的丰富度指数变化的幅度相对较大。结构复杂的生境群落较其他的多样性指数高,物种丰富度指数也高。β 多样性可用来比较不同地段上生境的多样性,不同群落或生境梯度上的共有种越少,β 多样性越大。研究区近裸露湿地与过渡带 Cody 指数小于近自然湿地与过渡带,不同生境间的相异性也表现为近裸露湿地与过渡带小于近自然湿地与过渡带。

城市湿地消失和退化引发的环境恶化与经济发展的瓶颈效应是世界各地城市化过程中的通病之一,修复城市湿地,增强湿地功能是整个城市可持续发展的关键。黄河湿地对兰州生态城市的建设作用巨大,营造适宜植物多样性发展的湿地环境空间,增强城市湿地功能是夯实现代城市发展基础的必然选择。

[参 考 文 献]

[1]　林业部野生动物和森林植物保护司. 湿地保护与合理利用指南[M]. 北京:中国林业出版社,1994:258-302.

[2]　吕宪国,卜兆君,王升忠,等. 湿地生态系统观测方法[M]. 北京:中国环境科学出版社,2004:2-3.

[3]　Grayson J E, Chapman M G, Underwood A J. The assessment of restoration of habitat in urban wetlands[J]. Landscape and Urban Planning, 1999,43(4):227-236.

[4]　Florian V, Jeroen C J M, van den Bergh, et al. Model-

ling biodiversity and land use: Urban growth, agriculture and nature in a wetland area[J]. Ecological Economics, 2004,51(3/4):201-216.

[5] Byoung-Hwa Lee, Miklas Scholz. What is the role of *Phragmites australis* in experimental constructed wetland filters treating urban run off[J]. Ecological Engineering, 2007,29(1):87-95.

[6] 王建华,吕宪国. 城市湿地概念和功能及中国城市湿地保护[J]. 生态学杂志,2007,26(4):555-560.

[7] 潮洛蒙,李小凌,俞孔坚. 城市湿地的生态功能[J]. 城市问题,2003(3):9-12.

[8] 王晓文,曾从盛. 城市湿地景观生态建设的价值取向[J]. 福建师范大学学报:哲学社会科学版,2006(5):162-166.

[9] 曹新向,瞿秋敏,郭志永. 城市湿地生态系统服务功能及其保护[J]. 水土保持研究, 2005,12(1):145-148.

[10] 王亚男,冯长春. 银川城市湿地的保护与合理开发利用探讨[J]. 地域研究与开发,2007,26(1):99-103.

[11] 崔丽娟,张曼胤. 人类干扰对安庆沿江湿地植物多样性的影响[J]. 林业科学研究,2005,18(4):441-445.

[12] 王世新,许正强,杨永花,等. 黄河兰州(市区)段河道湿地资源概况及保护建议[J]. 甘肃科技纵横,2007,36(1):52-53.

[13] 杨民,王锡稳,李文莉,等. 兰州市气象与污染环境背景综述[J]. 甘肃气象,2001,19(4):11-15.

[14] Whittaker R H. Evolution and measurement of species diversity[J]. Taxon, 1972,21:213-251.

[15] 马克平,刘灿然,刘玉明. 生物群落多样性的测度方法Ⅱ:β多样性的测度方法[J]. 生物多样性,1995,3(1):38-43.

[16] 周国英,陈桂琛,赵以莲,等. 海湖地区芨芨草群落特征及其物种多样性研究[J]. 西北植物学报,2003,23(11):1956-1962.

[17] 郭正刚,刘慧霞,王根绪,等. 人类工程对青藏高原北部草地群落β多样性的影响[J]. 生态学报,2004,24(2):384-388.

[18] 傅伯杰,陈利顶,马克明,等. 景观生态学原理及应用[M]. 北京:科学出版社,2001.

[19] 彭少麟,周厚诚,陈天杏,等. 广东森林群落的组成结构数量特征[J]. 植物生态学与地植物学学报,1989,13(1):10-17.

[20] 蒋有绪,王作荪,藏润国,等,海南热带林生物多样性及其形成机制[M]. 北京:科学出版社,2002:217-233.

(上接第 191 页)

[14] 师长兴,章典. 中国洪涝灾害与泥沙关系[J]. 地理学报,2000,55(5):627-636.

[15] 叶笃正,黄荣辉. 长江黄河流域旱涝规律和成因分析[M]. 济南:山东科学技术出版社,1996:15-16.

[16] 闫娜,延军平,杜继稳,等. 黄河下游凌汛变化趋势与气候变化关系分析:以济南天桥河段为例[J]. 干旱区资源与环境,2008,22(8):45-48.

[17] 查小春,延军平. 全球变化下秦岭南北河流径流泥沙比较分析[J]. 地理科学,2002,22(4):403-407.

[18] 赵文林,张红武,潘贤娣,等. 黄河泥沙[M]. 郑州:黄河水利出版社,1996:267-268,237-244,595-615.

[19] 国家防汛抗旱总指挥办公室,水利部南京水文水资源研究所. 中国水旱灾害[M]. 北京:中国水利水电出版社,1997:55-275.

[20] 施成熙,汪宪臣,窦鸿身,等. 中国湖泊概论[M]. 北京:科学出版社,1989:1-12.

[21] Philips J M, Walling D E. The particle size characteristics of fine-grained channel deposits in the River Exe Basin, Devon, UK[J]. Hydrol Process, 1999,13(1):1-19.

[22] 钱宁,王可钦,阎林德,等. 黄河中游粗泥沙来源区对黄河下游冲淤的影响[C]//第一次河流泥沙国际学术会议论文集. 北京:光华出版社,1980:2-10.

[23] 许炯心. 黄河上中游产水产沙系统与下游河道沉积系统的耦合关系[J]. 地理学报,1997,52(5):421-429.

[24] 颜明,张守红,许炯心,等. 风水两相变化对黄河中游支流粗泥沙的影响[J]. 水土保持学报,2010,24(2):25-29.

(上接第 202 页)

[参 考 文 献]

[1] 麻泽龙,程根伟. 河流梯级开发对生态环境影响的研究进展[J]. 水科学进展,2006,17(5):748-753.

[2] 虞晓芬,傅玳. 多指标综合评价方法综述[J]. 统计与决策,2004,8(11):119-121.

[3] 钟华平,刘恒,耿雷华. 澜沧江流域梯级开发的生态环境累积效应[J]. 水利学报,2007(S):577-581.

[4] 陈凯麒,王东胜,刘兰芬,等. 流域梯级规划环境影响评价的特征及研究方向[J]. 中国水利水电科学研究院学报,2005,3(2):79-84.

[5] 王波,黄薇,杨丽虎. 梯级水电开发对水生境累积影响的方法研究[J]. 中国农村水利水电,2007(4):127-130.

[6] 陈长兵,李惠强,郑砚国. 核电项目管理成熟度模型初探[J]. 中国核电,2009,2(1):77-84.

[7] 李海生,王辉民,杜蕴慧,等. 将 ISO14000 纳入建设项目环境保护管理程序[J]. 环境科学,2000,21(2):110-112.

[8] 张鹏,党延忠. 企业知识管理成熟度模型研究[J]. 科学学与科学技术管理,2010,30(8):102-106.

[9] 张骏,张伟. 基于决策者理性行为下的群体决策评判方法[J]. 武汉理工大学学报,2008,30(9):147-150.

[10] 蒋洪强,马向春,杨玲玲. 基于 GIOWA 算子的大型水利水电工程项目环境管理成熟度评价研究[J]. 长江流域资源与环境,2010,19(S1):172-177.