

基于熵权灰色关联分析的湿地补水项目综合效益评价

孙伊云, 袁汝华

(河海大学 商学院, 江苏 南京 211100)

摘要: 为了对湿地补水项目带来的效益进行综合评价,通过对我国湿地生态现状的调研和分析,构建了包含3个一级指标、12个二级指标的湿地补水项目综合效益评价指标体系,并将熵权法与灰色关联分析相结合的模式应用于湿地补水项目评价。为了从实践角度说明评价方法的可行性,选取3个典型的湿地补水项目,采用专家打分的方法获得原始数据并进行实证分析。结果表明:所构建的指标体系合理,熵权与灰色关联分析相结合的模式也能够对已实施的湿地补水项目的效果进行科学的评价。

关键词: 湿地补水项目; 熵权法; 灰色关联分析; 效益评价; 指标体系

中图分类号: TV213

文献标识码: A

文章编号: 1672-643X(2016)05-0102-05

Comprehensive benefit assessment of wetland replenishment project based on entropy method and grey correlation analysis

SUN Yiyun, YUAN Ruhua

(Business School, Hohai University, Nanjing 211100, China)

Abstract: To assess the benefits of wetland replenishment project comprehensively, based on the research and analysis of ecological status of wetlands, the paper established the index system of comprehensive benefit evaluation for wetland replenishment project which included three primary indicators and twelve secondary indicators. Furthermore, the paper applied the model combining entropy and grey correlation analysis to the assessment of wetland replenishment project. In order to verify the feasibility of the assessment method, this paper selected three typical wetland replenishment projects, and used expert scoring method to obtain the original data. the results show that the constructed indicator system is reasonable, and the combined model of entropy method and grey correlation analysis can scientifically assess the effects of implemented wetland replenishment project.

Key words: wetland replenishment project; entropy method; grey correlation analysis; benefit assessment; indicator system

1 研究背景

人类活动强度与范围的日渐扩大和气候变化等因素影响着湿地生态系统的稳定发展,包括白洋淀、洞庭湖区、黄河三角洲等重要湿地都出现过自然植被衰退、土地沙化、水体富营养化这些严重的生态问题^[1]。为恢复和保护湿地资源,近年来水利部和各地政府纷纷启动了多项湿地补水工程,湿地补水作为湿地保护和湿地恢复的重要手段,是通过采取一系列措施,向无法满足最小生态需水量的湿地调配

水资源,从而补充其湿地用水量,改善缺水湿地生态环境和遏制湿地功能退化,逐渐恢复湿地自我调节能力的一项活动。全面的湿地补水项目评价就是通过系统的调查和对数据的客观对比分析,对湿地补水项目决策和运行等阶段的工作进程、相应变化和实施效益进行综合评价。

其中对已经实施的湿地补水项目的效果进行科学、客观、准确的评价,不仅是湿地生态恢复工程的重要组成部分,而且也为湿地生态恢复工程的进一步实施提供重要指导。张树军等^[2](2008)基于黑

收稿日期:2016-01-27; 修回日期:2016-05-12

基金项目:水利部公益性行业科研专项(201301055)

作者简介:孙伊云(1993-),女,江苏南京人,在读硕士研究生,研究方向:水利经济研究。

通讯作者:袁汝华(1962-),男,江苏兴化人,硕士,研究员,研究方向:自然资源管理。

河流域补水工程的实践经验,构建了包括生态环境、社会效益、经济效益、资源效益和长效机制五大指标的生态补水综合效益评价指标。韩会玲等^[3](2010)认为多次跨流域补水工程缓解了白洋淀区的缺水危机,并从生态效益、社会效益和经济效益等角度选取评价指标,建立了白洋淀生态补水效益评价体系。王瑞玲等^[4](2011)采用生态经济学的核算方法,对不同补水方案下的黄河三角洲湿地生态价值进行了评价,结果表明进行生态补水后,湿地生态环境得到了良好的保护。王宪恩等^[5](2012)认为在实施补水的过程中保护者与受益者之间存在相关效益分配不均匀的问题,因此通过建立合适的生态补偿机制有利于湿地补水项目更好地得到实践。于森等^[6](2013)探索性地构建了人工补水条件下的河流生态修复指标体系,提出了反映层次关系的综合权重系数,以永定河生态修复工程为例说明所提评价方法的实用价值。吴金鸿等^[7](2014)构建了额尔齐斯河流域湿地生态系统健康评价指标体系,并采用层次分析和模糊数学相结合的方法,基于统计监测数据对额尔齐斯河流域的湿地进行综合评价,得出湿地目前处于健康状态的结论。李晓文等^[8](2014)在对湿地恢复的若干问题探讨中,指出湿地生态需水难以保障的问题需要通过实施生态引水补水工程来解决。卿晓霞等^[9](2015)针对目前城市河流生态系统严重退化的问题,从生态补水的角度提出河流自动调度的补水方案。从已有的生态补水评价研究来看,文献或集中于补水项目的介绍、现存问题的提出,或仅仅构建指标评价体系,或只针对流域补水的实施情况进行实证分析,而单独针对湿地补水项目的评价和实证分析不多。

侯保灯等^[10](2008)利用改进熵权的灰色关联模型,以黑龙江省扎龙国家级自然保护区湿地调查采样数据为例,对湿地的水质进行综合评价。余海霞等^[11](2013)基于模糊综合评价方法对西溪湿地的水质状况进行评价。上述文献仅就湿地水质单方面进行评价,没有涉及整个湿地补水项目的综合效益评价,基于此为了补充对湿地补水项目综合效益方面的研究,本文借鉴前人的研究成果,通过向相关领域的专家进行咨询,选取生态效益、社会效益以及经济效益3个方面的指标构建湿地补水项目综合效益评价体系。有关效益评价的方法有很多种,包括AHP、模糊综合评价法、BP神经网络算法等,但是所提方法均存在一定的局限性,由于受到诸多因素影响,湿地补水项目评价需要构建多指标决策体系,而

各单项指标存在信息遗漏、不相容等问题,从而造成了一定程度上的信息失真,因此本文将熵权法和灰色关联分析模型结合应用于湿地补水项目案例,一方面运用信息熵计算权重来避免各指标赋权的主观性,另一方面结合灰色关联分析以减少不完全信息指标给评价造成的影响,从而克服其他评价方法的不足,为湿地补水工程综合效益评价提供有效支持。

2 湿地补水项目评价体系的构建

湿地补水项目综合效益评价就是通过研究人工补水对湿地生态环境的影响以及补水项目的社会和经济等方面效益,分析各影响因素、确定各指标权重,从而构建评价指标体系,以期更好地指导湿地生态环境的保护和改善工作,实现人与自然的和谐相处。本文基于指标的科学性、完备性、独立性以及与评价目标一致性等原则,同时根据项目实践的具体情况,征询湿地补水项目领域专家的意见,筛选出生态效益、社会效益、经济效益3个一级指标和12个二级指标,从而建立湿地补水项目综合效益评价体系,如表1所示。

表1 湿地补水项目综合效益评价指标

目标层	准则层	指标层
湿地补水项目综合效益评价指标A	生态效益 B_1	调节大气 C_1
		涵养水源,净化水质 C_2
		改良土壤,增强土地肥力 C_3
		保护物种多样性 C_4
	社会效益 B_2	移民迁建 C_5
		提供就业机会,增强居民幸福感 C_6
		饮水安全,保证水质水量 C_7
		完善涉水基础设施建设 C_8
	经济效益 B_3	旅游效益 C_9
		航运效益 C_{10}
		水力发电效益 C_{11}
		灌溉效益 C_{12}

2.1 生态效益

生态效益指人们在活动时依据生态平衡规律,维持生态系统的良性、高效循环,使生态系统处于和谐发展的最佳状态,从而为人类的生产活动提供良好的外部环境,生态效益与人类生存进步的根本利益和长久利益紧密相关。湿地补水项目的基本目的是为了对湿地的生态环境进行恢复和改善,因此补水项目的实施将会对湿地的生态系统产生一定影

响。从已有的湿地补水实践经验可知,补水项目能够确保引进优质的水源,排出咸水,维持湿地合理水位,从而恢复和扩大湿地资源,提高湿地质量。湿地水环境的改善进而能够促使主要植物恢复,提高植物覆盖率,防止土壤盐碱化,调节空气质量和气候温度,增加濒危物种数量,最终达到湿地生态系统健康协调发展的目的,基于此本文从调节大气、涵养水源净化水质、改良土壤以及保护物种多样性4个方面建立生态效益下的二级指标。

2.2 社会效益

社会效益主要以人为中心,评价的是湿地补水项目为湿地所在区域的社会及生活在其中的人民带来的直接或间接的效益。尤其在经济发达、人口密集的地区,实施湿地补水和恢复工程需要牺牲许多其他代价,补水项目是社会公共产品,具有社会公益性,湿地所在区域的群众通过牺牲自身利益来承担保护湿地的责任,因此在评估湿地补水项目的社会效益时,应考虑到该项目给人民生活生活和基础设施建设带来的效益,从而弥补湿地人民为补水工程所做的牺牲。为了从社会效益方面反映出湿地补水项目带来的综合收益,本文从社会效益角度设置了4个二级指标,分别是移民迁建,即进行补水工程时需要对周边居民的生活住所进行迁移而带来的效益;提供就业机会,湿地补水项目作为大型的工程建设能够为有一技之长的群众提供工作岗位;饮水安全,保证水质水量,对湿地补水从而保证水源的可取性和安全用水;完善涉水基础设施建设,为附近居民提供生活便利。

2.3 经济效益

经济效益是指在维持湿地生态系统良性循环的前提下而进行社会再生产活动所取得的收益。在湿地农业生产用水高峰期,通过适时的补水工程为农业提供大量的灌溉用水,满足农业发展的需求,在退水期农田一般具有比较充足的水量,合理有效地将农业退水资源加以利用,也可以反过来缓解湿地生态用水需求,达到互惠效益;湿地补水项目的建设能够推进湿地周边特色农业、水果等产业与旅游业有机互动,加快实现“产业特色”向“旅游特色”转化以及“旅游景观特色”的创新,打造湿地周边旅游经济带,带动生态产业的发展,为湿地周边带来丰厚的旅游效益。通过对湿地进行补水能够减少淤积、稳定水深和均化洪水,从而使得航运交通更为安全便捷;而湿地补水修建的补水涵闸等工程设施,如果合理地利用起来,也能带来良好的水力发电效益。

为此本文设置灌溉效益、旅游效益、航运效益和水力发电效益4个子指标来反映湿地补水项目的经济效益。

3 研究方法

3.1 熵权法

熵^[12]出自于热力学,是一个从热工转换的极限效率导出的热力学函数。熵值大,对应于能量可有效利用的程度低;熵值小,对应于能量可有效利用的程度高。如今熵在信息论中应用广泛,信息熵借鉴了热力学里熵的含义,用来衡量信息的有用性,信息熵的值越大,系统的无序度就越高,提供的信息有用性就越低,指标的权重也就越小。熵权法的基本思路如下:

用 x_j 表示第 j 个指标下评价向量($j = 1, 2, \dots, p$);设 n 个评价方案 p 项指标形成的决策矩阵为:

$$X_{n \times p} = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \cdots & x_{1p} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ x_{n1} & x_{n2} & \cdots & x_{np} \end{bmatrix} \quad (1)$$

采用熵权法计算指标权重时需要进行数据的标准化处理,要求矩阵中的元素 $x_{ij} \geq 0 (i = 1, \dots, n; j = 1, \dots, p)$ 。具体可作如下变换:计算第 j 个指标值的比重为:

$$f_{ij} = x_{ij} / \sum_{i=1}^n x_{ij} \quad (2)$$

第 j 个指标的熵值和差异性系数分别定义为:

$$\text{熵值 } e_j = -k \sum_{i=1}^n f_{ij} \ln f_{ij}, (k > 0) \quad (3)$$

$$\text{差异性系数 } g_j = 1 - e_j, (j = 1, 2, \dots, p) \quad (4)$$

k 值根据第 j 个指标下的 x_{ij} 的变异程度而定,其变异程度越低, e_j 的值则越大,因此如果 x_{ij} 都为0,将有 $e_j = 0$ 。依据熵值计算公式 $k = 1/\ln n$ 确定权重,则第 j 个指标的权重为:

$$w_j = g_j / \sum_{j=1}^p g_j \quad (5)$$

3.2 灰色关联分析

在对湿地补水项目进行综合评价的过程中,经常会遇到搜集的信息不全面的情况,此时可以将湿地补水项目评价称为“灰色系统”,灰色系统研究的是信息不完全明确且规律性不强的灰度小样本事件组成的系统。这其中,灰色关联度^[12]是灰色理论的重要组成部分,它是用来量度两个因子间关联性大小的,描述了系统中因子在发展时的相似或相异程度,即发展变化的相对大小、速度与方向等。假若在

发展过程中两个因子的变化趋势相似性高, 那么两因子的灰色关联度就大; 反之, 灰色关联度就小。因此灰色关联分析就是系统的因子分析对某个系统发展变化趋势的量化比较和表达, 灰色关联分析的基本实施步骤如下:

(1) 数据的无量纲化处理。未经处理过的原始数据由于量纲不同, 很难直接比较它们的大小, 因此需要对待评价的因素集数据消除量纲, 本文采用归一化的方式进行处理, 指标可分为效益型和成本型两种, 当指标为效益型时

$$z_{ij} = \frac{x_{ij} - \min(x_{ij})}{\max(x_{ij}) - \min(x_{ij})} \quad (6)$$

指标为成本型时

$$z_{ij} = \frac{\min(x_{ij}) - x_{ij}}{\max(x_{ij}) - \min(x_{ij})} \quad (7)$$

(2) 指定标准列, 计算差序列。其他列 i 与标准列 0 之间对应数据之差的绝对值形成差序列 Δ_{ij} , 即

$$\Delta_{ij} = |x_{ij} - x_{0j}| \quad (8)$$

(3) 求最大差 Δ_{\max} 和最小差 Δ_{\min}

$$\Delta_{\max} = \max \max(\Delta_{ij}) \quad (9)$$

$(i = 1, 2, \dots, n; j = 1, 2, \dots, p)$

$$\Delta_{\min} = \min \min(\Delta_{ij}) \quad (10)$$

$(i = 1, 2, \dots, n; j = 1, 2, \dots, p)$

(4) 计算灰色关联系数 γ_{0i}

$$\gamma_{0i} = \frac{\Delta_{\min} + \xi \Delta_{\max}}{\Delta_{0i} + \xi \Delta_{\max}} \quad (11)$$

式中: ξ 是调整系数, 这里取 $\xi = 0.5$ 代入最大差及最小差, 然后得到所有元素的灰色关联系数。

(5) 计算灰色关联度 E_{0i} , 再根据灰色关联相对贴适度大小进行排序。

$$E_{0i} = \sum_{j=1}^n w_j \gamma_{0i} \quad (i = 1, 2, \dots, n) \quad (12)$$

4 实例分析

4.1 数据统计和指标权重

为了更好地说明所构建的湿地补水项目综合效益评价指标体系的科学性与评价步骤的实用性, 本文选取我国 3 个典型区域的湿地补水项目进行实证分析, 湿地 V_1 位于我国的西北地区, 湿地 V_2 和湿地 V_3 则分别位于我国的西南地区和东北地区。由于

调研资料所限, 课题组所获数据不能全面反映湿地补水项目现状, 因此本文采用问卷调查和专家百分制打分的方法对各区域湿地补水项目的 12 个指标进行打分, 具体打分数据如表 2 所示。

表 2 湿地补水项目综合效益指标调查统计结果

效益指标	V_1	V_2	V_3
调节大气 C_1	72	84	60
涵养水源, 净化水质 C_2	53	74	61
改良土壤, 增强土地肥力 C_3	50	47	68
保护物种多样性 C_4	72	64	55
移民迁建 C_5	65	82	70
提供就业机会, 增强居民幸福感 C_6	71	75	63
饮水安全, 保证水质水量 C_7	64	73	50
完善涉水基础设施建设 C_8	62	78	65
旅游效益 C_9	72	80	67
航运效益 C_{10}	76	70	57
水力发电效益 C_{11}	73	61	60
灌溉效益 C_{12}	70	69	58

依据上述指标调查统计得来的数据, 采用熵权法, 利用式(2) ~ (5) 计算得到各指标的权重, 结果如下:

$$W_j = (0.1163, 0.1182, 0.1723, 0.0748, 0.0600, 0.0324, 0.1468, 0.0634, 0.0334, 0.0875, 0.0511, 0.0437)$$

由指标权重的计算结果可知, 生态效益在整个湿地补水项目的效益指标体系中所占权重较大, 对项目实施后的效益影响也较大, 说明湿地补水项目的实施能够湿地周边的生态环境带来举足轻重的影响, 反过来看, 生态环境的改善和物种多样性的增加也是湿地补水项目评价中重要且积极的影响因素。与此同时, 社会效益和经济效益在评价体系中所占的权重虽然没有生态效益那么大, 但也是不可忽略的积极影响因素, 湿地补水项目综合效益评价应在把握主要效益的同时考虑到各方面带来的影响, 从而达到全面、客观地评价项目效益的目的。

4.2 计算灰色关联度

(1) 在计算灰色关联度之前, 首先要对调研数据做规范化处理, 根据公式(6)求得无量纲化判断矩阵:

$$B = \begin{bmatrix} 0.5000 & 0.0000 & 0.1429 & 1.0000 & 0.0000 & 0.6667 & 0.6087 & 0.0000 & 0.3846 & 1.0000 & 1.0000 & 1.0000 \\ 1.0000 & 1.0000 & 0.0000 & 0.5294 & 1.0000 & 1.0000 & 1.0000 & 1.0000 & 1.0000 & 0.6842 & 0.0769 & 0.9167 \\ 0.0000 & 0.3810 & 1.0000 & 0.0000 & 0.2941 & 0.0000 & 0.0000 & 0.1875 & 0.0000 & 0.0000 & 0.0000 & 0.0000 \end{bmatrix}$$

(2)其次计算各个方案的灰色关联系数,由式(8)~(11)可得:

$$R = \begin{bmatrix} 0.8286 & 0.6060 & 0.5850 & 0.7114 & 0.6345 & 0.5800 & 0.7290 & 0.58859 & 0.6190 & 0.8020 & 0.6315 & 0.5686 \\ 1.0000 & 0.8088 & 0.5655 & 0.6248 & 0.8604 & 0.6304 & 0.8265 & 0.7733 & 0.7349 & 0.7260 & 0.5088 & 0.5577 \\ 0.7073 & 0.6700 & 0.7382 & 0.5496 & 0.6876 & 0.5000 & 0.6159 & 0.6138 & 0.5635 & 0.6022 & 0.5007 & 0.4603 \end{bmatrix}$$

(3)最后结合熵权法,计算各区域的湿地补水项目灰色关联相对贴程度,根据式(12)计算的结果如表3所示。

表3 各项目灰色关联相对贴程度

湿地补水项目	灰色关联贴程度	排序
V_1	0.6711	2
V_2	0.7370	1
V_3	0.6338	3

将基于熵权灰色关联分析的湿地补水项目综合效益评价模型应用于我国3个典型的湿地补水项目效益评价中,其中灰色关联相对贴程度越大则表示该项目所带来的综合效益越大,而灰色关联相对贴程度越小则表示该项目所带来的综合效益偏小,由表3可知,灰色关联相对贴程度的排序为: $V_2 > V_1 > V_3$ 。

(1)总体来说,3个湿地补水项目的灰色关联贴程度都达到了平均水平,这说明湿地补水项目发挥了其自身应有的作用,其中 V_2 是地处我国西南部的一处近海及海岸湿地型湿地,通过建立长效的生态补水机制,湿地区域内的生态环境得到了稳定和改善,各种植物恢复速度以及栖息地鸟类和其他濒危动物的繁殖能力均有不同程度的提升^[13],湿地补水项目的实施也不同程度地增加了湿地周边的社会效益和经济效益。社会效益主要表现为周边居民的饮水质量和生活设施有了积极的改善,就业机会得到不同程度地增加,居民的幸福感和湿地补水项目实施前有了进一步的提升,这有利于维护湿地周边和谐发展;与此同时,湿地的区域经济也得到了可持续发展,由补水工程带来的旅游效益、航运效益等都积极地影响着周边居民的经济生活。根据评价模型得出的结论, V_2 的灰色关联贴程度也最高。

(2)而位于东北地区的湿地 V_3 是内陆型湿地,该湿地一直受到外来物种入侵、围垦和改造现象频发、人类活动干扰严重等问题的困扰,在生态补水活动开展后以上问题得到了一定程度的缓解,但是水开发项目也给湿地生态系统以及周边居民生活带来了一些负面的影响,主要表现为湿地的生物承载力一般,鸟类的繁殖量未能达到历史峰值,由于居民生态意识薄弱,水资源被不同程度地浪费,农作物灌溉

时依旧大量缺水。社会效益方面,湿地补水项目的实施者只着重追求自身的利益,缺乏对综合效益的考虑,因此补水基础设施的建设没有跟上,社会就业率也有待进一步的提升;经济效益方面,灌溉效益和水利发电效益表现不佳,因此 V_3 湿地补水项目的综合效益表现相对较弱。

(3)在灰色关联贴程度的比较中, V_2 的排序适中,地处西北的 V_2 也属于内陆型湿地,湿地在实施补水工程之前受到气候变化等因素的影响,导致地表径流减小,湿地面积明显缩减,通过对湿地进行补水后,湿地的生态环境得到了改善,社会效益和经济效益也逐渐显现。

5 结论

湿地恢复是一种动态的过程,通过构建湿地补水项目综合效益评价模型能够更好地在综合评价中发现补水项目带来的积极和负面的影响,从而适时地调整湿地的恢复进度,科学地管理湿地补水工作的进程。

本文主要通过实地调研考察,征询相关领域专家的意见建立湿地补水项目综合效益评价指标体系,将生态效益、社会效益、经济效益作为评价体系的一级指标,并在二级指标层下设置了12个具体的评价指标。本文创新点在于采用熵权法确定各指标权重,通过实证分析得出生态效益是评价湿地补水项目的重要影响因素的结论,将熵权法与灰色关联分析结合的模式引入评价体系,并运用于3个典型的湿地补水项目评价,通过计算灰色关联相对贴程度,对各项目综合效益进行排序,得出相应结果。

结果表明,基于熵权灰色关联分析模型的湿地补水综合效益评价指标体系较为切实、可行,因此可将此模型应用于湿地补水项目评价领域。但是本文的研究也存在诸多不足,一方面文章所用评价指标都是正面指标,具有片面性,另一方面本文的数据来源较为局限;因此未来的研究中可引入负面指标来完善对湿地补水项目的效益评价体系,并采用实地调研的客观数据对湿地补水项目的各项效益指标进行评价,避免专家打分的主观性对评价结果的影响。

(下转第112页)

- (1):A4014002.
- [20] Halverson M, Fleming S. Complex networks, streamflow and hydrometric monitoring system design[J]. Hydrology and Earth System Sciences Discussions, 2014,11(12):1-48.
- [21] Mishra A K, Paulin C. Developments in hydrometric network design; A review[J]. Reviews of Geophysics, 2009, 47(47):2415-2440.
- [22] 孙丽,唐晓青,韩雪,等. 关于建立区域水环境质量监测网络定期优化机制的思考[J]. 中国环境监测, 2015,31(3):27-31.
- [23] Li Chao, Singh V P, Mishra A K. Entropy theory-based criterion for hydrometric network evaluation and design: Maximum information minimum redundancy [J]. Water Resources Research, 2012,48(5):311-314.
- [24] 秦李,杨子龙,黄曙光. 复杂网络的节点重要性综合评价[J]. 计算机科学, 2015,42(2):60-64.
- [25] 刘建国,任卓明,郭强,等. 复杂网络中节点重要性排序的研究进展[J]. 物理学报, 2013,62(17):178901-178901.
- [26] 喻依. 复杂网络节点重要性研究[D]. 广州:暨南大学, 2015.
- [27] Sivapalan M. Prediction in ungauged basins: a grand challenge for theoretical hydrology [J]. Hydrological Processes, 2003,17(15):3163-3170.
- [28] Murugesu S, Blöschl G, Zhang Lu, et al. Downward approach to hydrological prediction [J]. Hydrological processes, 2003,17(11):2101-2111.
- [29] Archfield S A, Vogel R M. Map correlation method: selection of a reference streamgage to estimate daily streamflow at ungauged catchments. [J]. Water Resources Research, 2010,46(10):5613-5618.
- [30] 刘苏峡,刘昌明,赵卫民. 无测站流域水文预测(PUB)的研究方法[J]. 地理科学进展, 2010,29(11):1333-1339.
- [31] 郭其一,路向阳,李维刚,等. 基于小波分析和模糊神经网络的 水文预测[J]. 同济大学学报(自然科学版), 2005,33(1):130-133.
- [32] 刘国东,丁晶. BP 网络用于水文预测的几个问题探讨[J]. 水利学报, 1999,30(1):65-70.
- [33] Prinzi M D, Castellarin A, Toth E. Data-driven catchment classification; application to the pub problem [J]. Hydrology and Earth System Sciences, 2011,15(6):1921-1935.

(上接第 106 页)

参考文献:

- [1] 王逸群. 新疆伊犁湿地资源现状与生态环境评价[J]. 水土保持研究, 2006,13(6):314-318.
- [2] 张树军,赵峰,罗陶露,等. 生态补水综合效益评价指标体系建立[J]. 吉林大学学报(地球科学版), 2008,38(5):813-819.
- [3] 韩会玲,徐丽娟. 白洋淀生态补水效益评价指标体系建立[J]. 水科学与工程技术, 2010(5):46-49.
- [4] 王瑞玲,连煜,黄锦辉,等. 黄河三角洲湿地补水生态效益评价[J]. 人民黄河, 2011,33(2):78-81+83+147.
- [5] 王宪恩,闫旭,周佳龙. 我国湿地补水生态补偿机制探析[J]. 环境保护, 2012(4):48-49.
- [6] 于森,王明玉,刘佳,等. 人工补水条件下的缺水河流生态修复综合评价方法[J]. 环境科学学报, 2013,33(2):626-634.
- [7] 吴金鸿,杨涵,杨方社,等. 额尔齐斯河流域湿地生态系统健康评价[J]. 干旱区资源与环境, 2014(6):149-154.
- [8] 李晓文,李梦迪,梁晨,等. 湿地恢复若干问题探讨[J]. 自然资源学报, 2014,29(7):1257-1269.
- [9] 卿晓霞,郭庆辉,周健,等. 小型季节性河流生态补水需水量及调度方案研究[J]. 长江流域资源与环境, 2015, 24(5):876-881.
- [10] 侯保灯,李佳蕾,潘妮,等. 基于改进熵权的灰色关联模型在湿地水质综合评价中的应用[J]. 安全与环境学报, 2008,8(6):80-83.
- [11] 余海霞,廖新峰,周侣艳,等. 基于模糊数学的西溪湿地水质评价[J]. 水资源与水工程学报, 2013,24(4):54-57.
- [12] 戚湧,李千目. 科学研究绩效评价的理论与方法[M]. 北京:科学出版社, 2009.
- [13] 华生. 保护“地球之肾”共建美丽家园[J]. 绿色中国(综合版), 2013(20):18-27.