

DOI: 10.5846/stxb201901090078

永智丞, 刘吉平, 司薇. 向海退化盐沼湿地修复效果评估. 生态学报, 2020, 40(20): 7401-7409.

Yong Z C, Liu J P, Si W. Assessment of rehabilitation effect of the degraded salt marsh wetlands in Xianghai. Acta Ecologica Sinica, 2020, 40(20): 7401-7409.

向海退化盐沼湿地修复效果评估

永智丞^{1,2}, 刘吉平^{1,2,*}, 司 薇^{1,2}

¹ 吉林师范大学旅游与地理科学学院, 四平 136000

² 吉林师范大学资源保护与利用研究所, 四平 136000

摘要:向海自然保护区位于中国东北地区西部的半湿润半干旱气候区,是盐碱沼泽湿地集中分布区。近年来,受到气候变化和人类活动的影响,湿地退化严重,生物多样性下降。基于“压力—状态—响应”理论,利用层次分析方法构建湿地修复效果评估模型,构建了 3 个综合指标和 19 个评价因子在内的湿地评价指标体系,对退化湿地修复效果进行评估。结果表明,与 2015 年相比,2017 年仙鹤岛修复示范区湿地植被盖度在原有基础上提高 45.83%,水禽数量和种类分别提高 40.41% 和 61.54%,水质综合污染指数下降了 8.70%,土壤盐度指数下降了 8.82%。与 2015 年的湿地评价价值 0.4481 相比,2017 年湿地评价价值为 0.5537,修复效果值提高了 23.57%,向海湿地的退化状况得到明显改善,达到了湿地的修复效果,该研究对于湿地的恢复与管理具有一定意义。

关键词:修复效果评估;盐沼湿地;层次分析法;向海

Assessment of rehabilitation effect of the degraded salt marsh wetlands in Xianghai

YONG Zhicheng^{1,2}, LIU Jiping^{1,2,*}, SI Wei^{1,2}

¹ School of Tourism and Geographical Sciences, Jilin Normal University, Siping 136000, China

² Institute of Resource Conservation and Utilization, Jilin Normal University, Siping 136000, China

Abstract: Xianghai Nature Reserve is located in the semi-humid and semi-arid climate area in the west of Northeast China. It is a concentrated distribution area of saline-alkali marsh wetlands. In recent years, wetlands have been seriously degraded and biodiversity has declined under the influence of climate change and human activities. Based on the theory of Pressure-State-Response, this paper constructs an evaluation model of wetland restoration effect by using analytic hierarchy process, and develops an evaluation index system of wetland including three comprehensive indicators and 19 evaluation factors, to evaluate the restoration effect of the degraded wetland. The results showed that the vegetation coverage of Xianhe Island restoration demonstration area wetland increased by 45.83%, while the number and species of waterfowl increased by 40.41% and 61.54%, respectively. The comprehensive pollution index of water quality decreased by 8.70% and the salinity index of soil decreased by 8.82% in 2017 compared with that in 2015. Compared with the wetland evaluation value of 0.4481 in 2015, the wetland evaluation value of 2017 was 0.5537, and the restoration effect value increased by 23.57%. The marshes degradation situation in Xianghai has been significantly improved to achieve an ideal wetland restoration effect, which has certain significance for wetland restoration and management.

Key Words: repair effect evaluation; saline-alkali marshes; analytic hierarchy process; Xianghai

基金项目:中央财政林业科技推广示范资金项目(吉推[2014]16号);吉林省科技发展计划项目(20180101085JC);吉林师范大学研究生科研创新计划项目(研创新 201924)

收稿日期:2019-01-09; 网络出版日期:2020-08-27

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: ljpl@jlnu.edu.cn

湿地是地球上水陆间相互作用的独特生态系统,是地球上生产力最高的生态系统之一^[1]。它具有重要而独特的生态环境与经济功能,可以改变小气候、防止洪水和为各种动物、植物提供栖息地,对人类具有重大意义^[2]。世界湿地面积仅占地球表面积的 6%,却为世界上 20% 的生物提供生境^[3]。现今越来越多的湿地遭到破坏,退化湿地的保护与修复引起广大学者和社会的关注^[4]。针对退化湿地,国内外开展了大量湿地修复工程,但对于修复效果评估缺乏统一的方法,对于退化湿地修复效果评价较少^[5-7]。我国对退化湿地的生态修复效果的研究主要集中于富营养化湖泊及城市湿地的生态修复效果评估方面^[8-9],而在国际上,继《国际湿地公约》颁布以来,美国开展了大量相关工作,并取得一定的成效,例如采用基底恢复技术,同时对湿地恢复效果进行评估^[10]。美国的水利科技部、农业部也对此展开大量研究^[11-12]。国内现有的针对退化湿地修复效果评估体系中,大部分存在评价指标过于单一,主要针对某个或某几个指标进行评价,缺乏综合评价,同时缺乏系统而完善的评价指标体系^[13-14]。近年来,在湿地修复与重建技术多采用见效快、作用期短的工程措施,而对于作用期长、效果稳定的生物修复措施的研究多集中于定性研究,量化数据缺乏^[15-17]。本文以向海自然保护区中的仙鹤岛作为研究区域,以遥感与地理信息系统为技术支撑,以 2015 和 2017 年野外植物样方、生态环境调查数据为基础,利用层次分析法构建湿地修复效果评估模型,构建 3 个综合指标和 19 个评价因子在内的湿地评价指标体系,为湿地恢复与管理提供支持。

1 研究区与方法

1.1 研究区概况

向海位于松嫩平原西部,科尔沁草原中部(图 1),地理坐标为:122°05′—122°31′E,44°85′N—45°19′N。北邻洮南市,西接内蒙古自治区科尔沁右翼中旗,东距通榆县城 67km,北距白城市 95km,包括向海乡全部、同发牧场、兴隆山、四井子以及乌兰花香的一部分,地貌类型主要以平原为主。该地气候主要为温带季风气候,雨热同期,降水量较少,多年平均降水量为 370—450mm,多年平均蒸发量为 900—1100mm。全年的蒸发量大于降水量,水分的亏损量较大。向海保护区在 20 世纪 70 年代末期,湿地的面积为 32359hm²,而目前湿地面积减少了近 1/3^[18],造成了生物多样性减少,土地盐碱化等问题。

本文选择仙鹤岛作为研究示范区(122°20′12″—122°20′25″E,45°1′24″—45°1′32″N),选取 5.61hm²的湿地作为湿地修复示范区,对向海退化湿地修复效果进行评估。仙鹤岛位于向海自然保护区中部的实验区且为旅游景区,人为破坏程度较强,水文连通性差,土地盐碱化较为严重,多围栏放牧,湿地破坏严重,对湿地生物生境造成威胁。本文 2015 年通过生物、工程措施对向海自然保护区的仙鹤岛进行改造,通过香蒲、芦苇、睡莲等植物移栽方式进行植物修复,对向海退化湿地修复效果进行评估。

1.2 研究方法

1.2.1 指标选取

基于压力-状态-响应机制,选取反映湿地修复效果的评价指标。“压力-状态-响应”机制(Pressure-State-Response,简称为 P-S-R)是由联合国经济合作和开发组织(OECD)联合国环境规划署(UNEP)共同提出的环境

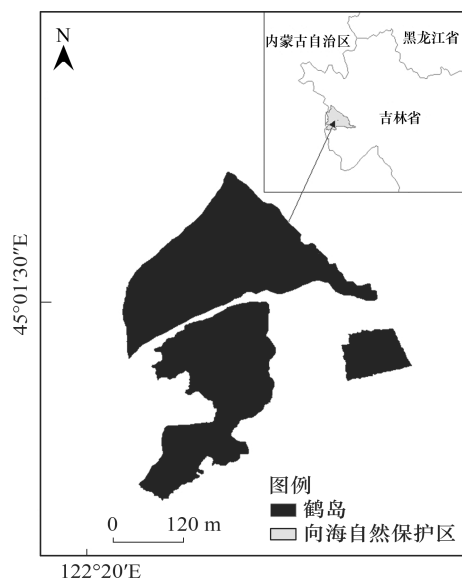


图 1 向海自然保护区以及仙鹤岛位置图

Fig. 1 Location Map of Xianghai Nature Reserve and Xianhe Island

概念模型^[19]。在“压力-状态-响应”机制中,“压力”指人类农业生产、生活和发展畜牧业对湿地环境造成的负担,“状态”指人类过度的农业生产以及发展畜牧业对湿地状态造成的变化,这种变化又影响着湿地生态修复,“响应”指人类通过各种管理策略对这些变化和压力做出反应,使湿地沿着健康的方向发展。

水禽数量是反映湿地修复效果的重要指标,水禽数量的多少直接反映当地湿地生态环境的好坏^[20];湿地斑块数量等指标直接反映湿地现状,鱼类对湿地水环境要求较敏感^[21];植物生物量和植物盖度等指标是反映湿地修复效果的重要因素;水质综合污染指数是评价水环境质量的一种重要指标,是反映湿地环境好坏的风向标^[22-23]。本文在湿地修复效果评价中主要运用水禽数量、水质综合污染指数、植物生物量等指标形成“压力-状态-响应”模型进行分析,综合评价湿地生态系统。结合向海地区的仙鹤岛实际情况及可获取情况,根据各指标的量化特征,明确所包含因素、各因素之间的相互关系,将农田率、盐碱率、放牧牛羊数作为压力指标;将斑块类型面积、分形维数、斑块数量、斑块密度、斑块聚集度、土壤盐度指数、水质综合污染指数为状态指标;将植物盖度、植物生物量、植物物种丰富度、水禽种类、水禽数量、鱼类重量、NDVI 指数、Simpson 多样性指数、Shannon-wiener 多样性指数作为响应指标。

1.2.2 模型的构建

本文基于压力-状态-响应机制^[24],选取反映湿地修复效果的指标进行监测,所监测的指标包括压力指标、状态指标以及响应指标。在此基础上利用层次分析方法,构建湿地修复效果评估模型,对退化湿地修复效果进行评估。以遥感与地理信息系统为技术支撑,以 2015 和 2017 年野外植物样方和生态环境调查数据为基础,利用层次分析法构建湿地修复效果评估模型,对湿地修复效果评估技术进行评价。根据上述压力-状态-响应指标,结合公式对其进行数据标准化,使得数值处于 0—1 之间。

标准化:

$$X'_i = \frac{X_i}{\sum_{i=1}^m X_i}$$

式中, i 为样本数, m 为年份

1.3 数据获取与处理

首先对 2015 年和 2017 年遥感影像进行解译,获得土地利用图,分为林地、草地、水域、农田、盐碱地等类型土地。盐碱率、农田率等指标,根据土地利用图计算得出;分形维数、湿地斑块数量等湿地景观指标,通过 Fragstats 等软件计算得出;NDVI 等指数通过 ENVI 软件计算得出;植物生物量、植物盖度等指标,利用植物样方调查手段得出,具体见表 1。通过对 2015 年与 2017 年各评价监测指标进行数据标准化处理,得到 2015 年与 2017 年仙鹤岛典型植物群落的评价指标值,并结合公式对其进行标准化,其中负向指标需要取其数值的倒数再进行标准化,计算出修复示范区典型植物群落的面积与修复示范区面积之比,然后与其指标权重相乘并累加,从而得到修复示范区的湿地修复效果值。

2 结果与分析

2.1 湿地修复效果评估模型的构建

将所有要素按照最高层(目标层)—若干中间层(准则层)—最底层(措施层)的原则排列起来,绘制层次结构图(图 2)。

本文将 PSR 模型引入到湿地修复效果评估中来,结合湿地修复效果评估的需要,根据该模型层次结构(图 2),通过构造判断矩阵、层次单排序、层次总排序以及一致性检验等步骤,采用层次分析法分别计算各评价指标对湿地修复效果评估的权重,通过一致性检验,得到以下计算结果(表 2—表 5),并最终得出每个评价指标的最终权重值(表 6)。

表 1 评价指标的获取与处理

Table 1 Acquisition and Processing of Evaluation Indicators

	指标 Index	获取与处理方式 Acquisition and processing mode
压力指标 Pressure index	盐碱率	研究区向外缓冲 5000m 的盐碱地面积比上缓冲区的面积
	农田率	研究区向外缓冲 5000m 的农田面积比上缓冲区的面积
	放牧牛羊栏数	每年 5—8 月, 每月 3 次, 每次 3d 对仙鹤岛修复示范区的放牧牛羊数进行统计。
状态指标 Status index	斑块类型面积	$CA = \sum_{j=1}^n a_{ij}$ CA 为某一种湿地类型的面积; a_{ij} 表示湿地斑块 ij 的面积; i 为某种湿地类型; j 为某个斑块
	分形维数	$FRAC = 2\ln(P/4)/\ln(A)$ P 为斑块周长, A 为斑块面积
	湿地斑块数量	$NP = N_i$ N_i 为景观中 i 类型斑块数
	湿地斑块密度	$PD = N/A \times 10000 \times 100$ N 为第 i 类景观要素的总面积; A 为所有景观的总面积
	湿地斑块聚集度	g_{ii} 为相应景观类型的相似邻接斑块数量
	土壤盐度指数	每年 5—8 月进行土壤样品采集并通过土壤盐分测定仪获得 每年 5—8 月实地测量计算
	水质综合污染指数	$P_i = C_i/S_i$ 式中 P_i 为 i 污染物的污染指数; C_i 为 i 污染物实测浓度平均值 (mg/L 或个/L); S_i 为 i 污染物评价标准值 (mg/L 或个/L)。
	响应指标 Response index	植物盖度 利用植物样方调查手段计算植被在地面的面积占统计区总面积的百分比
	植物生物量	利用植物样方调查手段计算单位面积的湿地范围内存在的湿地植物的总质量
	植物物种丰富度	利用植物样方调查手段计算 $R = S$ 式中, R 为物种丰富多样性, S 为每个样地出现的物种数
	水禽种类	每年 5—8 月在示范区定期进行观测并记录, 得出水禽种类
	水禽数量	每年 5—8 月在示范区进行实地测量并记录, $R = S$ 式中, R 为物种丰富多样性, S 为每个样地出现的物种数
	鱼类重量	每年 5—8 月对仙鹤岛修复示范区及周围湖泊内鱼类重量进行测定, 捕捞采用 60cm×60cm 的地笼, 傍晚布设地笼, 待第 2d 清晨收笼, 将所收集的鱼类装入盛有 95% 酒精的自封袋中, 带回实验室统一称重
	NDVI 指数	$NDVI = (NIR - R)/(NIR + R)$ ($-1 \leq NDVI \leq 1$) 进行总和和标准化, NIR 代表近红外波段的反射率信息, R 代表红波段反射率信息。
	Simpson 多样性指数	$D = 1 - \sum_{i=1}^S P_i^2$ D 为 Simpson 多样性指数, S 为物种数目, P_i 为个体数占群落中总个体数的比例
	Shannon-wiener 多样性指数	$H' = - \sum_{i=1}^S P_i \ln P_i$ H' 为 Shannon-wiener 多样性指数, S 为物种数目, P_i 为第 i 种植物的重要值

表 2 目标层—准则层判断矩阵及排序

Table 2 Target Layer-Criterion Layer Judgment Matrix and Ranking

	压力指标 Pressure index	状态指标 Status index	响应指标 Response index	W_i
压力指标 Pressure index	1.00	0.33	0.25	0.12
状态指标 Status index	3.00	1.00	0.50	0.32
响应指标 Response index	4.00	2.00	1.00	0.56

CR=0.0176<0.1

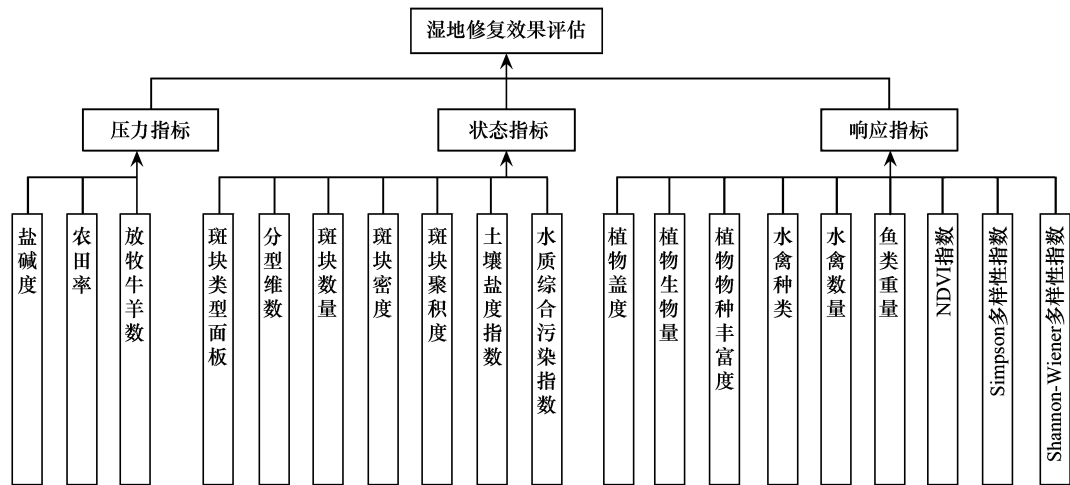


图 2 层次分析法结构示意图

Fig.2 The schematic diagram of the analytic hierarchy process

表 3 准则层—对象层 压力指标判断矩阵及排序

压力指标 Pressure index	盐碱率 Salinization rate	农田率 Farmland rate	放牧牛羊数量 Number of cattle and sheep	W_i
盐碱率 Salinization rate	1.00	0.33	0.50	0.16
农田率 Farmland rate	3.00	1.00	2.00	0.54
放牧牛羊数量 Number of cattle and sheep	2.00	0.50	1.00	0.30

CR= 0.0088<0.1

表 4 准则层—对象层 状态指标判断矩阵及排序

状态指标 Status index	斑块类型面积 Patch type area	分形维数 Fractal dimension	斑块数量 Number of plaques	斑块密度 Patch density	斑块聚集度 Plaque aggregation	植物生物量 Plant biomass	植物盖度 Plant coverage	水质综合污染指数 Comprehensive pollution index of water quality	土壤盐度指数 Soil salinity index	W_i
斑块类型面积 Patch type area	1.00	2.00	2.00	2.00	2.00	0.50	0.50	0.50	0.50	0.0938
分形维数 Fractal dimension	0.50	1.00	2.00	2.00	0.50	0.33	0.33	0.33	0.33	0.0576
斑块数量 Number of plaques	0.50	0.50	1.00	2.00	0.50	0.33	0.25	0.25	0.25	0.0448
斑块密度 Patch density	0.50	0.50	0.50	1.00	0.50	0.33	0.25	0.33	0.17	0.0379
斑块聚集度 Plaque aggregation	0.50	2.00	2.00	2.00	1.00	0.50	0.50	0.50	0.33	0.0769
植物生物量 Plant biomass	2.00	3.00	3.00	3.00	2.00	1.00	0.50	0.50	0.50	0.1253
植物盖度 Plant coverage	2.00	3.00	4.00	4.00	2.00	2.00	1.00	0.50	0.50	0.1558
水质综合污染指数 Comprehensive pollution index of water quality	2.00	3.00	4.00	3.00	2.00	2.00	2.00	1.00	0.50	0.1760
土壤盐度指数 Soil salinity index	2.00	3.00	4.00	6.00	3.00	2.00	2.00	2.00	1.00	0.2320

CR=0.0272<0.1

表 5 准则层—对象层 响应指标判断矩阵及排序

响应指标 Response index	水禽种类 Waterfowl species	水禽数量 Number of waterfowl	鱼类重量 Fish weight	植物生物量 Plant biomass	植物盖度 Plant coverage	植物物种丰富度 Plant species richness	NDVI 指数 NDVI index	Simpson 多样性指数 Simpson's diversity index	Shannon-Wiener 多样性指数 Shannon-Wiener diversity index	W_i
水禽种类 Waterfowl species	1.00	0.50	0.25	0.50	0.25	0.50	0.33	0.33	0.33	0.0388
水禽数量 Number of waterfowl	2.00	1.00	0.25	0.50	0.33	0.50	0.50	0.50	0.33	0.0512

续表

响应指标 Response index	水禽 种类	水禽 数量	鱼类 重量	植物 生物量	植物 盖度	植物物种 丰富度	NDVI 指数	Simpson 多样性 指数	Shannon- wiener 多样性指数	W_i
鱼类重量 Fish weight	4.00	4.00	1.00	3.00	2.00	3.00	2.00	2.00	2.00	0.2269
植物生物量 Plant biomass	2.00	2.00	0.33	1.00	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.0674
植物盖度 Plant coverage	4.00	3.00	0.50	2.00	1.00	3.00	2.00	2.00	2.00	0.1801
植物物种丰富度 Plant species richness	2.00	2.00	0.33	2.00	0.33	1.00	0.50	0.50	0.50	0.0752
NDVI 指数 NDVI index	3.00	2.00	0.50	2.00	0.50	2.00	1.00	0.50	0.50	0.1004
Simpson 多样性指数 Simpson diversity index	3.00	2.00	0.50	2.00	0.50	2.00	2.00	1.00	0.50	0.1171
Shannon-wiener 多样性指数 Shannon-wiener diversity index	3.00	3.00	0.50	2.00	0.50	2.00	2.00	2.00	1.00	0.1429

CR=0.0271<0.1

表 6 各评价指标的权重

Table 6 Weights of each evaluation index

目标层 Target layer	准则层 Criteria layer	对象层 Object layer	权重 Weight
湿地修复效果评估 Assessment of wetland restoration effect	压力指标	盐碱率	0.0199
		农田率	0.0658
		放牧牛羊数量	0.0362
	状态指标	斑块类型面积	0.0300
		分形维数	0.0184
		斑块数量	0.0143
		斑块密度	0.0121
		斑块聚集度	0.0246
		土壤盐度指数	0.0741
		水质综合污染指数	0.0563
		植物盖度	0.1503
		植物生物量	0.0777
		植物物种丰富度	0.0420
	响应指标	水禽种类	0.0217
		水禽数量	0.0286
		鱼类重量	0.1267
		NDVI 指数	0.0561
		Simpson 多样性指数	0.0654
		Shannon-wiener 多样性指数	0.0798

通过计算可知,压力指标权重为 0.1219,状态指标权重为 0.2298,响应指标权重为 0.6483。由此说明,在湿地修复效果评估体系中,响应指标对其影响较大。在压力指标中,农田率和放牧牛羊数所占比重均超过 0.03,这说明农田率和放牧牛羊数这两个指标在压力指标中影响较大,表明人类过度的农业生产活动和放牧牲畜对湿地环境产成了一定的压力。在状态指标中,土壤盐度指数和水质综合污染指数所占比重均超过 0.05,这说明土壤盐度指数和水质综合污染这两个指标在状态指标中影响较大,表明由于人类的过度农业活动和过度放牧对土壤质量和水体质量造成了不良的变化。在响应指标中,植物盖度在评价指标中权重较大,超过了 0.15,这说明了植物盖度这个指标在湿地修复效果评估中影响较大,表明在湿地修复过程中,通过香蒲、芦苇等植物移栽方式进行植物修复,进而恢复湿地生境的植被覆盖率和植被多样性。而盐碱率、分形维数、斑块数量和斑块密度在评价指标中权重较小,均不超过 0.02,这说明了盐碱率、分形维数等这四个指标在湿地修复效果评估中影响较小。

2.2 评价指标监测结果

通过 1.3 数据获取与处理方法得出仙鹤岛典型植物样方等评价指标的监测结果,如表 7。

表 7 仙鹤岛修复示范区平均值
Table 7 Average value of restoration demonstration area of Xianhe Island

指标 index	2015 年	2017 年	变化率 Change rate /%
盐碱率 Salinization rate/%	0.6198	0.3198	-48.40
农田率 Farmland rate/%	13.1257	6.4335	-50.99
放牧牛羊数 Number of cattle and sheep/头	196	174	-11.22
斑块类型面积 Patch type area/hm ²	1.882	1.9446	3.33
分形维数 Fractal dimension	1.3277	1.3113	-1.24
斑块数量 Number of plaques	18	18	0
斑块密度 Patch density/(个/km ²)	176.3686	176.3686	0
斑块聚集度 Plaque aggregation	94.7197	94.7764	0.06
土壤盐度指数 Soil salinity index	1384	1262	8.82
水质综合污染指数 Comprehensive pollution index of water quality	1.15	1.05	-8.70
植物盖度 Plant coverage/%	21.17	30.87	45.83
植物生物量 Plant biomass/g	74.17	93.07	25.48
植物物种丰富度 Plant species richness	2.00	2.33	16.67
水禽种类 Waterfowl species/种	13	21	61.54
水禽数量 Number of waterfowl/(只/次)	146	205	40.41
鱼类重量 Fish weight/(g/次)	645.4	758.2	17.48
NDVI 指数 NDVI index	0.2757	0.3362	21.94
Simpson 多样性指数 Simpson diversity index	0.4469	0.4952	10.81
Shannon-wiener 多样性指数 Shannon-wiener diversity index	0.6377	0.7389	15.87

由表 7 可知,与 2015 年相比,仙鹤岛修复样方 2017 年植被盖度由 2015 年的 21.17%增长到 30.87%,增长了 9.7%,增长率为 45.83%。仙鹤岛植物群落指标均呈现增长趋势,为较好的变化特征,说明该区湿地植物长势较好,植被覆盖率提高,植物多样性有所恢复。与 2015 年相比,仙鹤岛 2017 年水禽种类由 2015 年的 13 种增长到 21 种,增长了 8 种,增长率为 61.54%,说明该区湿地生态环境得到明显改善。与 2015 年相比,2017 年仙鹤岛修复示范区农田率、盐碱率均呈现下降趋势,说明退耕还湿对退化湿地的修复有较好的效果,退化湿地修复效果较为明显。

2.3 湿地修复效果

与 2015 年相比,2017 年修复示范区湿地修复效果值由 0.4481 最终增长到 0.5537,增长率达到了 23.5662%(见表 8)。

通过向海自然保护区生态移民、禁牧政策以及控制游客数量等保护区的其他管理条例,2017 年修复示范区湿地的放牧牛羊数、农田率等指标有所下降;通过湿地恢复工程,与 2015 年相比,2017 年修复示范区湿地的植物盖度、鱼类重量等指标有所增加。修复示范区修复效果值的增加,主要是由于压力和响应指标这两个综合指标起着重要作用。

表 8 2015—2017 年仙鹤岛修复示范区湿地修复效果值
Table 8 Value of wetland restoration effect in Xianhe Island restoration demonstration area from 2015 to 2017

年份 Year	郊果值 Effect value
2015	0.4481
2017	0.5537
变化率 Change rate /%	+23.5662

3 结论与讨论

3.1 结论

(1) 本文构建了内陆盐沼湿地修复效果评估模型,该模型基于压力-状态-响应机制,采取层次分析方法,将农田率、盐碱率、放牧牛羊数作为压力指标;将斑块类型面积、分形维数、斑块数量、斑块密度、斑块聚集度、

植物盖度、植物生物量、土壤盐度指数、水质综合污染指数为状态指标;将 NDVI 指数、水禽数量、水禽种类、鱼类重量、植物生物量、植物盖度、植物物种丰富度、Simpson 多样性指数、Shannon-wiener 多样性指数作为响应指标,其评价方法可以有效地评价退化湿地修复效果。

(2)与 2015 年相比,2017 年修复示范区湿地修复效果值最终增长达到了 23.5662%,表明该湿地修复效果明显。湿地修复效果值的增加,主要是由于受到农田率、盐碱率等指标的负作用影响以及植物盖度、鱼类重量等指标因素所起到的正作用影响。

3.2 讨论

本文利用层次分析法构建湿地修复效果评估模型,构建了 3 个综合指标和 19 个评价因子在内的湿地评价指标体系,综合评价湿地生态系统,在选取指标方面,每一层的指标都可以在一定程度上客观的反映退化湿地生态修复效果,例如压力指标中的农田率与盐碱率在恢复后对湿地恢复的压力减少,恢复效果值明显增加等。

李伟等^[25]在对北京翠湖湿地的生境恢复及效果评估过程中就采用了综合的指标进行评估。研究区内湿地水环境质量提升,湿地基质质量提升,湿地植被种类和盖度明显增加,湿地水禽种类和数量增加,这些综合评价指标都可以反映湿地生境的恢复程度。而层次分析法是基于综合湿地指标并根据恢复指标赋予权重进行计算最后得出恢复效果值,更具有可信度。满卫东等^[26]在 1990—2015 年三江平原生态功能区水禽栖息地恢复评价研究中,综合遥感和地理信息系统技术、熵值法与水禽栖息地适宜性评价方法来确定指标的权重,能够对水禽栖息地适宜性进行快速、有效的评估,并可以客观、科学地掌握三江平原生态功能区不同时期水禽栖息地适宜性级别的时空演变特征。刘奕彤等^[27]在对基于鸟类栖息地的江口鸟洲湿地适宜性评价中以保护鸟类栖息地为基础选取 9 个影响指标,构建湿地适宜性评价体系,更具客观性和真实性。而本文构建了 3 个综合指标和 19 个评价因子在内的湿地评价指标体系,选取指标全面,综合评价湿地生态系统。

由于受到经费和时间等方面的限制,本文构建的内陆盐沼湿地修复效果评估模型还不够完善,一些监测指标的选取还有欠缺,例如水文—土壤养分等指标还很缺乏。在将来的退化湿地修复效果评价方面,需要进一步监测水文指标和土壤养分等指标,并借鉴国外现有的湿地修复理论与评估方法,进一步连续跟踪监测生态修复示范区内各种生物生境特征的季节变化和年际变化,积累更多的实际监测数据,采用更加系统的评价指标体系,在后续工作需加强跟踪监测,针对不同时期不同样地进行对比,更为全面地对生态修复效果进行科学评估。

参考文献 (References):

- [1] 吕宪国,刘晓辉.中国湿地研究进展——献给中国科学院东北地理与农业生态研究所建所 50 周年.地理科学,2008,28(3):301-308.
- [2] Ramachandra T V, Rajinikanth R, Ranjini V G. Economic Valuation of Wetlands. Journal of Environmental Biology, 2005, 26(S 2): 439-447.
- [3] 牛振国,张海英,王显威,姚文博,周德民,赵魁义,赵惠,李娜娜,黄华兵,李丛丛,杨军,柳彩霞,刘爽,王琳,李展,杨镇钟,乔飞,郑姚闽,陈炎磊,盛永伟,高小红,朱卫红,王文卿,王红,翁永玲,庄大方,刘纪远,罗志才,程晓,郭子琪,宫鹏.1978—2008 年中国湿地类型变化.科学通报,2012,57(16):1400-1411.
- [4] 刘吉平,马长迪.1985—2015 年向海沼泽湿地斑块稳定性的空间变化.生态学报,2017,37(4):1261-1269.
- [5] 杨薇,裴俊,李晓晓,孙涛,王文燕.黄河三角洲退化湿地生态修复效果的系统评估及对策.北京师范大学学报:自然科学版,2018,54(1):98-103.
- [6] 关蕾,刘平,雷光春.国际重要湿地生态特征描述及其监测指标研究.中南林业调查规划,2011,30(2):1-9.
- [7] 张丹,张国君,冯昊.中国扎龙湿地水资源监测及评估.黑龙江水利科技,2012,40(8):4-8.
- [8] 李紫芳.西溪湿地(西区)生态环境状况调查及生态修复对策研究[D].杭州:浙江大学,2007.
- [9] 李荫玺,胡耀辉,王云华,祁云宽,唐芳,刘俊,杨林.云南星云湖大街河口湖滨湿地修复及净化效果.湖泊科学,2007,19(3):283-288.
- [10] Ford M A, Cahoon D R, Lynch J C. Restoring marsh elevation in a rapidly subsiding salt marsh by thin-layer deposition of dredged material. Ecological Engineering, 1999, 12(3-4):189-205.
- [11] 王建华,吕宪国.城市湿地概念和功能及中国城市湿地保护.生态学杂志,2007,26(4):555-560.
- [12] 金相灿,稻森悠平,朴俊大.湖泊和湿地水环境生态修复技术与管理指南.北京:科学出版社,2007:25-50.

- [13] 刘延斌,张典业,张永超,石明明,尚振艳,贺磊,宗文杰,傅华,牛得草.不同管理措施下高寒退化草地恢复效果评估.农业工程学报,2016,32(24):268-275.
- [14] 郝媛媛.基于 GIS/RS 的西北内陆河流域生态恢复效果评价研究[D].兰州:兰州大学,2017.
- [15] 安树青.湿地生态工程-湿地资源利用与保护的优化模式.北京:化学工业出版社,2003:2-10.
- [16] 李春晖,郑小康,牛少凤,蔡宴朋,沈楠,庞爱萍.城市湿地保护与修复研究进展.地理科学进展,2009,28(2):271-279.
- [17] 岳峰.上海大莲湖湿地修复中的鸟类多样性保育和栖息地优化[D].上海:华东师范大学,2011.
- [18] 佟守正,吕宪国.松嫩平原重要湿地恢复研究进展.地理科学,2007,27(1):127-128.
- [19] 杨志敏.基于压力-状态-响应模型的三峡库区重庆段农业面源污染研究[D].重庆:西南大学,2009.
- [20] 王治良,王国祥.洪泽湖湿地生态系统健康评价指标体系探讨.中国生态农业学报,2007,15(6):152-155.
- [21] 王潜,李海涛,梁涛,顾晨洁,王佰梅.湖滨带退化生态系统健康评价指标体系研究.安徽农业科学,2009,37(5):2226-2228,2288.
- [22] 毛义伟.长江口沿海湿地生态系统健康评价[D].上海:华东师范大学,2008.
- [23] 吴迪.上海大莲湖湖滨带湿地修复效果评价及关键因子分析[D].上海:华东师范大学,2011.
- [24] 李文艳.天津滨海湿地生态系统退化指标体系的构建与评价研究[D].济南:山东师范大学,2011.
- [25] 李伟,崔丽娟,赵欣胜,张曼胤,王义飞,商晓静.北京翠湖湿地生境恢复及效果评估.湿地科学与管理,2013,9(3):17-21.
- [26] 满卫东,刘明月,王宗明,毛德华,田艳林,贾明明,李想,任春颖,欧阳玲.1990—2015 年三江平原生态功能区水禽栖息地适宜性动态.应用生态学报,2017,28(12):4083-4091.
- [27] 刘奕彤,齐增湘,刘慧.基于鸟类栖息地的江口鸟洲湿地适宜性评价.安徽农学通报,2019,25(4):83-88.