河北省南大港滨海湿地退化评价

赵志楠[1]，张月明[1]，梁晓林[1]，韩晓庆[2]，高伟明[1]

(1. 河北师范大学 资源与环境科学学院 河北省环境演变与生态建设实验室，河北 石家庄 050024；2. 河北省国土资源利用规划院，河北 石家庄 050051)

摘　要：以河北省南大港滨海湿地为研究对象，选取 1989，1999，2009，2012 年 4 期遥感影像及 1969 和 1979 年两幅分幅地形图为资料，获取南大港滨海湿地利用类型的面积数据。运用 RS，GIS 技术提取南大港湿地的动态变化信息，分析了影响南大港湿地演变的自然因素和人为因素。利用综合矩阵分析法和基于景观生态学的人为干扰强度模型评判法，定量评估了该湿地的退化程度，探讨了导致湿地退化的主导因素。结果显示：(1) 受自然和人为因素的影响，43 a 间南大港天然湿地面积减少了 37.22%，人工湿地面积增加了 98.13%，特别是海水养殖场、水库坑塘和盐田等人工湿地的面积显著增加。(2) 1969 年湿地基本处于自然状态，湿地退化影响因子综合指数较低，1979 年以来综合指数显著增加。(3) 1969 年人类对湿地的干扰程度甚微，1969—1979 年人类对南大港滨海湿地的干扰强度为强干扰；1979—2012 年人类对湿地的干扰程度尽管增幅不明显，但湿地仍在不断退化。

关键词：湿地退化；环境保护；影响因子；评价方法

文献标识码：A　　**文章编号**：1000-288X(2014)04-0339-06　　**中图分类号**：X171.1，P941.78

DOI:10.13961/j.cnki.stbctb.2014.04.079

Evolution on Degradation of Nandagang Coastal Wetland in Hebei Province

ZHAO Zhi-nan[1], ZHANG Yue-ming[1], LIANG Xiao-lin[1], HAN Xiao-qing[2], GAO Wei-ming[1]

(1. *College of Resources and Environmental Sciences, Hebei Normal University/Hebei Key Laboratory of Environmental Change and Ecological Construction, Shijiazhuang, Hebei* 050024, *China*; 2. *Land and Resource Using and Planning Institute of Hebei Province, Shijiazhuang, Hebei* 050051, *China*)

Abstract: Nandagang wetland in Hebei Province was took as the research area. In order to obtain the area data of Nandagang coastal wetland, four remote-sensing images of 1989, 1999, 2009, 2012 and two classified topographic maps of 1969 and 1979 as auxiliary information. Based on the dynamic change information of Nandagang wetland which extracted by using the RS and GIS technical, the natural factors and human factors influencing the evolution of Nandagang wetland were analyzed. By using the synthesis matrix analytic method and the intensity of human disturbance model, wetland degradation degree was evaluated quantitatively, and the main factors causing the degradation of wetlands were discussed. The result shows that: (1) Affected by natural and human factors, the natural wetland of Nandagang decreased by 37.22%, the artificial wetland increased by 98.13% in 43 years. Among all the artificial wetland, the marine park, reservoirs and ponds and the saltern have growth most obviously. (2) The wetland is almost in the natural state in 1969 and the comprehensive index factor of degradation is low, while the comprehensive index factor increased significantly since 1979. (3) The intensity of human disturbance is faint in 1969, the intensity of human interference on Nandagang costal wetland is strong in 1969—1979. The wetland disturbance degree was not obvious in 1979—2012, and wetland continues to degenerate.

Keywords: wetland degradation; environmental protection; impact factor; evaluation methods

滨海湿地是沿海岸线分布的低潮时水深不超过 6 m 的滨海浅水区域到陆域受海洋影响的过饱和低地的一片区域，是湿地的重要组成部分，是介于陆地和海洋生态系统间复杂的自然综合体[1]，在滨海资源

收稿日期：2013-12-06　　修回日期：2013-12-26

资助项目：河北省应用基础研究计划重点基础研究项目“河北省滨海湿地时空演变过程及驱动力研究”(09966719D)；河北省高校重点学科建设项目

作者简介：赵志楠(1990—)，女(汉族)，河北省广宗县人，硕士研究生，主要从事资源评价与可持续利用研究。E-mail:zhaozhinan1990@163.com。

通信作者：高伟明(1962—)，男(汉族)，河北省滦县人，教授，硕士生导师，主要从事资源评价与可持续利用研究。E-mail:gaowmd@263.net。

与环境中占有重要的地位。中国近20 a来社会经济发生了一系列变化，对湿地生态系统的影响也非常显著，特别是湿地的面积持续减少[2]，人们逐渐认识到保护滨海湿地的重要性。众多学者就湿地演变过程及其退化评价和修复工程进行了研究并取得了一系列成果。国外尤其是欧美发达国家环境保护意识较强对滨海湿地研究开展的较早。国内滨海湿地研究虽然起步晚，研究水平较低，但20世纪90年代以来中国滨海湿地研究发展较快，目前在湿地退化的各个领域均有所涉猎，取得了一些成果。迄今我国已有较多的有关湿地退化的综合研究[3]。谷东起等人[4]对盐城滨海湿地的退化程度进行了分区评估。张晓龙、李萍等[5]对黄河三角洲滨海湿地生物多样性进行了研究。随着科技的发展，3S技术已经广泛用于滨海湿地的研究中，湿地研究已逐步从定性研究过渡到定性与定量相结合的研究方法上来。众多的研究成果为滨海湿地系统研究打下了坚实基础。本研究采用谷东起等人的综合矩阵分析法对南大港滨海湿地退化程度进行分析和评价，希望能为湿地的恢复以及合理开发利用提供理论依据。

1 研究区概况

南大港滨海湿地位于黄骅市东北部，东临渤海，西临沧州市区，研究区的地理坐标为北纬38°23′—38°33′，东经117°18′—117°39′总面积为44 937.42 hm^2。南大港湿地地处暖温带半湿润大陆性季风气候区域，四季分明，雨热同期，光照充足，年平均气温12.1 ℃，比内陆同纬度地区偏低0.3～0.9 ℃。该区域多年平均降水量为642.5mm，降水的年际变化较大，年内分配也不均匀，75%以上的降水都集中在7—8月份，年蒸发量2 000mm。南大港滨海湿地分布有沼泽土、潮土、盐土3种土壤类型，其中以沼泽土为主。

南大港湿地由历史时期的洼地演变而成。从1956—2012年南大港湿地经历了面积由大变小、水量由多变少、由湖及泽、由泽及陆、由自然洼地转变为人工洼池的过程[6]。近些年来由于受到人类开发活动的影响，湿地不断退化，尤其是天然湿地面积不断缩小，因此，明晰南大港演变退化现状及原因，对整治恢复退化的滨海湿地生态系统，延缓滨海湿地退化进程，以及区域经济、环境的可持续发展具有重要意义。

2 研究方法

2.1 资料收集与处理

2.1.1 *遥感影像数据* 选取1989年Landsat-5 TM（地面分辨率30 m×30 m），1999年Landsat-7 ETM（地面分辨率15 m×15 m），2009年SPOT-5（地面分辨率2.5 m×2.5 m），2012年天绘遥感卫星（地面分辨率11 m×11 m）4期遥感影像作为主要数据源，用以获取南大港滨海湿地不同年份的时空演变信息及面积数据。

2.1.2 *非遥感影像数据* 为反映长时间系列的湿地景观格局的动态演变进程，选取29幅1969年和37幅1979年2个年份的比例尺1∶5万的分幅地形图为辅助资料，用以提取湿地动态及分布等信息。

2.2 数据处理

在ERDAS Imagine 9.2软件遥感影像处理平台上完成影像的几何精校正、配准、裁剪和增强处理。利用与湿地类型有密切关系的间接解译标志，结合当地地形图和野外验证工作，从已识别的间接解译标志推断出湿地类型的属性位置及其分布范围，建立合适的解译标志。最后，利用ArcGIS 10.0地理信息系统处理软件参考研究区1∶5万地形图进行人机交互式判读，目视解释得到研究区湿地面积和景观空间分布数据。通过解译信息将研究区的湿地类型分为天然湿地（浅海水域、岩石海岸、沙石海滩、淤泥质海滩、海岸潟湖、天然河流、天然湖沼）和人工湿地（水库和坑塘、海水养殖场、人工沟渠、盐田、稻田）。对于研究中用到的地形图，利用Scan功能对所用地形图进行扫描，运用MAPGIS 6.7遥感影像处理软件生成格式为.tif的标准图框影像图，作为图像校正的参照图。利用ERDAS Imagine 9.2软件对扫描所成的地形图进行遥感影像几何校正，最后在ERDAS Imagine 9.2上对遥感影像进行叠置、组合、匹配等诸参数设置即可输出格式为.img的完整图幅的不同历史时期的南大港滨海湿地地形图。

2.3 研究方法

滨海湿地的退化受诸多因素的综合影响，运用综合矩阵分析法和基于景观生态学的人为干扰强度模型评判法，对湿地退化影响因子的作用程度及南大港滨海湿地的退化程度进行评价。综合矩阵分析法是由谷东起等人加以发展的一种多变量统计方法。1998年岳天祥等[7]提出了人类活动对土地利用类型的人类影响强度模型，本研究采用该模型，并将该模型修改为基于景观类型的人为干扰强度模型。本研究利用这两种方法，建立相应的数学模型并量化了各影响因子的作用。

3 结果分析

3.1 南大港滨海湿地时空演变分析

3.1.1 *南大港滨海湿地面积变化研究* 根据相关资料，自1969—2012年南大港滨海湿地的演变经历

了面积由大到小,水量由多变少,由湖及泽,由泽及陆,由自然洼地变为人工控制洼池的过程。43 a 间,南大港滨海湿地总面积不断增加,至 2012 年已增加到4.49×10^4 hm²,但天然湿地的面积由 1969 年的4.34×10^4 hm² 减少到了 2012 年的2.73×10^4 hm²,减少了 37.22%(表 1)。

表 1　南大港滨海湿地面积统计　　hm²

湿地类型		1969 年	1979 年	1989 年	1999 年	2009 年	2012 年
天然湿地	浅海水域	2.33×10^4	2.31×10^4	1.94×10^4	1.94×10^4	1.94×10^4	1.94×10^4
	岩石海岸	0	0	0	0	0	0
	沙石海滩	0	0	0	0	0	0
	淤泥质海滩	5 615	5 348	8 949	7 846	7 175	6 612
	海岸潟湖	0	0	0	0	0	0
	天然河流	91	87	791	751	57	75
	天然湖沼	1.44×10^4	707	990	922	1 030	1 162
	小计	4.34×10^4	2.92×10^4	2.94×10^4	2.82×10^4	2.77×10^4	2.73×10^4
人工湿地	水库和坑塘	0	8 686	8 479	8 110	8 110	8 110
	海水养殖场	0	0	2 491	4 150	4 910	5 474
	人工沟渠	331	410	461	673	454	454
	盐田	0	0	544	3 742	3 652	3 652
	稻田	0	0	0	0	0	0
	小计	331	9 096	1.20×10^4	1.67×10^4	1.712×10^4	1.77×10^4
合计		4.37×10^4	3.83×10^4	4.14×10^4	4.49×10^4	4.48×10^4	4.49×10^4

面积可以作为湿地退化的重要标准之一[8-9],但面积作为湿地退化的标准,应根据实际情况具体分析[10]。从表 1 中可以发现,在面积变化的天然湿地类型中,天然湖沼和浅海海域面积的减少最为显著,天然湖沼由 1969 年的1.44×10^4 hm² 减少到 2012 年的 1 162 hm²,减少 91.94%,浅海水域由 1969 年的2.33×10^4 hm² 减少到 2012 年的1.94×10^4 hm²,减少了 16.69%;43 a 间,人工湿地面积由 331 hm² 增加到1.77×10^4 hm²,增加1.74×10^4 hm²,年均变化 404 hm²。其中,海水养殖场面积增加量最为显著,1969 年尚无此种类型,直到 1989 年才出现,到 2012 年已围垦到 5 474 hm²,增加了 2 982 hm²。水库和坑塘湿地面积增加到 8 110 hm²,增长了 93.37%。

3.1.2　南大港滨海湿地开发利用类型　通过 ArcGIS 10.0 软件提取了南大港滨海湿地 1989,1999,2009 和 2012 年遥感影像解译信息,对各时相的南大港滨海湿地岸线及湿地利用类型演变信息进行提取制成专题图件。将相关信息经过 GIS 叠加分析,即可得到南大港滨海湿地不同时期的利用类型。1979—2012 年南大港滨海湿地的结构和总面积发生了很多变化。水库蓄水面积逐渐萎缩,海水养殖场和盐田等人工湿地面积逐渐增多。在此期间,南大港滨海湿地总体面积由 1979 年的3.83×10^4 hm²,增至 2012 年的4.49×10^4 hm²,增长 17.23%。主要来自人工湿地面积的增加。

20 世纪 80 年代以来,随着上游地区地表水截留设施的增加,水源补给量不断减少。加上气候持续干旱,入境河流几乎断流,作为南大港湿地补给水源的两条主要河流捷地减河、南排河除汛期有部分径流外,大部分时间干枯断流,湿地处于缺水状态,进一步加重了湿地的萎缩退化。1990 年后,南大港湿地是在人为干预下发展的,南大港农场对湿地采取一些有效的保护措施——建设各种水利设施,加强湿地拦蓄工程建设,又跨流域引黄河水等水源入南大港湿地,努力保存南大港湿地,南大港湿地逐渐变为人工控制湿地。

3.2　南大港滨海湿地退化因子评价

湿地的评价研究,退化湿地的恢复和重建是当前国际湿地研究中心的热点,也是目前我国湿地研究中的核心问题[11-13]。湿地面积损失导致湿地容量的减小,可能会使得生境条件发生变化,景观结构的变化也使生境状态发生改变[14]。本研究采用综合矩阵分析法对南大港滨海湿地的退化程度进行分析和评价(图 1)。

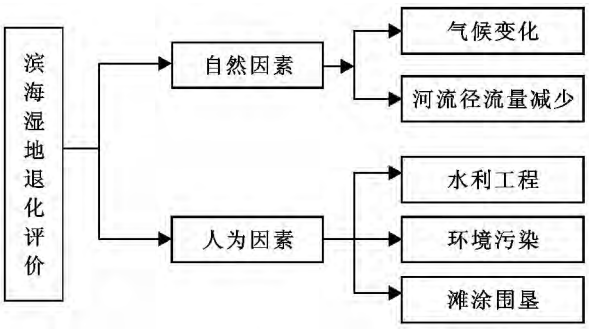


图 1　南大港滨海湿地退化评价指标体系

综合矩阵分析法的参评因子为围垦、污染、水利工程、气候变化和河流径流量减少等 5 种主要的环境压力因素。主要评判参数包括因子损失量(V_i)和因子权重(W_i)。损失量是根据参评因子对湿地环境的实际破坏程度,采用专家打分法确定其损失量等级,最大取值为 5,最小取值为 1,2,3,4 为过渡值。损失权重反映各参评因子对不同类型湿地退化的相对作用大小,突出各湿地类型中主要环境压力因素对评价结果的影响,赋值方法和因子损失量相同,最大值为 5,最小值为 1。湿地退化程度用退化度 R 表示,它是所有参评因子损失量的加权之和,其公式表达为:

$$R=\sum_{i}^{6}V_iW_i \qquad (1)$$

R 值越大表示湿地受到的环境压力的影响越强,湿地退化较严重;反之则受到的影响弱,湿地退化程度小。表 2 中综合矩阵左侧分别为 V_i 和 W_i,右侧为人为因素指数、自然因素指数和综合指数值。环境因子指数值为 V_i 和 W_i 的乘积,指数大者表示该湿地类型所受到的环境因子的影响较强,反之则受到的影响弱[15-16]。人为因素指数是滩涂围垦、环境污染、水利工程等人为环境因子损失量加权之和,表示人为因素对湿地的影响;自然因素指数是由气候变化和河流径流量减少两环境因子损失量加权之和,表示自然因素对湿地的影响。用人为和自然因素指数来比较人为因素和自然因素对湿地影响的不同损失度(表 2)。

表 2 南大港滨海湿地退化演变影响因子综合评价矩阵

年份	人为因素						自然因素				人为因素指数	自然因素指数	综合指数
	围垦		环境污染		水利工程		河流径流量减少		气候变化				
	损失量	权重	损失量	权重	损失量	权重	损失量	权重	损失量	权重			
1969	1	1	1	1	2	1	1	1	2	1	4	3	7
1979	4	3	2	1	4	3	5	4	2	1	26	22	48
1989	5	5	3	2	4	3	4	3	2	1	43	14	57
1999	5	5	4	2	4	3	4	3	3	2	45	18	63
2009	5	5	4	3	4	3	4	3	3	2	49	18	67
2012	5	5	4	3	4	3	4	4	3	2	49	22	71

从表 2 中可以看出,在各环境影响因子中,围垦,环境污染,水利工程,河流径流量减少对湿地的退化影响最为显著;其中围垦是造成南大港滨海湿地退化的主要因素;气候变化因素对湿地的影响是比较缓慢且长期的。在人为因素与自然因素影响中,人为因素对湿地的退化影响最大,1969 年的南大港湿地基本没有受到人为与自然因素的影响,湿地尚处于未开发利用状态,但 20 世纪 70 年代以来,人为因素与自然因素对南大港滨海湿地的影响不断加强,湿地退化逐渐严重。

3.3 基于景观生态学的湿地退化度量评价

景观生态学作为一门新兴的多学科之间交叉的学科,以整个景观为研究对象[16]。它强调景观结构和功能对生态过程的影响,重视景观中生物群落与主要环境条件之间错综复杂的因果反馈关系。景观格局分析一直是景观生态学研究的一个热点[17-18]。目前,在较大空间尺度上,以数量方法评价分析景观空间格局特征成为景观生态学的研究热点之一[19-21]。根据景观生态学理论,景观的稳定性可以看作是干扰在时间和空间相对尺度上的函数。近年来关于湿地景观格局的研究有很多,赵锐锋等[22]从自然和人为因子两个方面采用灰色关联法和主成分分析法相结合的方法对导致黑河中游湿地景观破碎化的驱动因子进行了分析。侯明行等[23]根据地形因子对盐城滨海湿地景观分布与演变进行了分析。本研究利用基于景观生态学的人为干扰强度模型评判法对南大港滨海湿地的退化现状进行分析。

从影响因子矩阵分析结果可知,导致南大港滨海湿地退化的主要原因是人为因素干扰,因此可以用各典型滨海湿地受到的人为干扰强度来近似表示各典型滨海湿地的退化程度。

人类活动对滨海湿地的影响强度,数学模型为:

$$H_u(t)=\sum_{i=1}^{m(t)}p_i(t)\cdot h_i(t) \qquad (2)$$

式中:$H_u(t)$——人类干扰强度;t——时间变量;$P_i(t)$——景观类型所占总面积的比例;$h_i(t)$——人类活动对景观类型 i 的干扰强度;$m(t)$——景观类型总数。在运用上述公式进行计算时,首先必须要对所要评价的湿地进行景观类型划分。景观类型的划分根据人为干扰程度可以划分为自然湿地景观、半自然湿地景观和人工湿地景观 3 大类。

人类对景观的干扰主要集中在对土地的利用和改造上,所以可以用人类对土地利用程度的大小衡量其对景观的干扰程度。因此可参照庄大方、刘纪远[24]对土地利用程度的量化分级(表 3),对不同景观类型的人为干扰强度进行量化。

表 3　土地利用程度分级赋值

类 型	未利用土地	林、草、水用地	农业用地	城镇聚落用地
土地利用类型	未利用土地或难利用土地	林地、草地、水域	耕地、园地、人工草地	城镇、居民点、工矿用地、交通用地
分级指数	1	2	3	4

根据表 3 的分类标准,分别给南大港滨海湿地的不同景观类型分级赋值,半自然湿地取人工湿地和自然湿地的平均值(表 4)。

由表 4 可知,湿地的人为干扰强度越接近 3,湿地所受人为干扰程度就越大,湿地退化程度也就越高。通过表 5—6 可以得到南大港湿地 1969,1979,1989,1999,2009 和 2012 年湿地景观类型的面积数据及其所占比例。本研究选取浅海水域、淤泥质海滩、天然河流、天然湖沼、水库和坑塘、海水养殖场、人工沟渠、盐田等 8 种比较典型的景观类型对南大港滨海湿地的人为干扰强度进行了计算。根据公式(1)和表 4 的分级标准,通过计算,得到评价结果(表 7)。

表 4　南大港滨海湿地景观人为干扰强度分级

景观类型	自然湿地	人工湿地	半自然湿地
分级指数	2	3	2.5

表 5　南大港滨海湿地类型面积统计　　hm^2

景观类型	1969 年	1979 年	1989 年	1999 年	2009 年	2012 年
浅海水域	2.33×10^4	2.31×10^4	1.94×10^4	1.94×10^4	1.94×10^4	1.94×10^4
淤泥质海滩	5 615	5 348	8 949	7 846	7 175	6 612
天然河流	91	87	79	75	57	75
天然湖沼	1.44×10^4	707	990	922	1 031	1 162
水库和坑塘	0	8 686	8 479	8 110	8 110	8 110
海水养殖场	0	0	2 491	4 150	4 910	5 474
人工沟渠	331	410	461	673	454	454
盐田	0	0	544	3 742	3 652	3 652

表 6　南大港滨海湿地类型所占比例统计　　%

景观类型	1969 年	1979 年	1989 年	1999 年	2009 年	2012 年
浅海水域	53.24	60.25	46.87	43.19	43.31	43.17
淤泥质海滩	12.84	13.95	21.62	17.47	16.02	14.71
天然河流	0.21	0.23	0.19	0.17	0.13	0.17
天然湖沼	32.96	1.84	2.39	2.05	2.30	2.59
水库和坑塘	0.00	22.66	20.49	18.06	18.11	18.05
海水养殖场	0.00	0.00	6.02	9.24	10.96	12.18
人工沟渠	0.76	1.07	1.11	1.50	1.01	1.01
盐田	0.00	0.00	1.32	8.33	8.15	8.13

表 7　南大港滨海湿地人为干扰强度指数

年 份	1969 年	1979 年	1989 年	1999 年	2009 年	2012 年
干扰强度	2.01	2.24	2.29	2.37	2.38	2.39

由表 7 可知,南大港滨海湿地的人为干扰强度不断增大,尤其是自 1979 年以来干扰强度明显加大,表明南大港湿地的退化程度也在不断加深。2000 年以来,由于人们不断认识到环境的重要性,在人类的干预下,南大港滨海湿地的退化速度逐渐变缓,但湿地整体仍处于不断退化的状态,该评价结果与上文中的综合矩阵分析评价结果是一致的。

4　结 论

(1) 在自然和人为因素的共同作用下,20 世纪 60 年代以来,南大港滨海湿地天然湿地的面积不断缩减,相反,人工湿地面积明显增加,其中水库和坑塘、海水养殖场和盐田这 3 种人工湿地在近 50 a 均出现了明显增幅。

(2) 在造成湿地退化的自然和人为因子中围垦，环境污染，水利工程建设和河流径流量减少对湿地的退化影响最为明显，气候变化等自然因子虽对湿地退化也起到了一定作用，但整体上对湿地的退化影响程度较低。

(3) 由于人类的开发利用活动，南大港滨海湿地被改造为复合人工湿地，湿地景观类型日益单一化，湿地的人为干扰强度不断增大，湿地逐渐由天然湿地向人工湿地演化。

[参 考 文 献]

[1] 赵焕庭，王丽荣. 中国海岸湿地的类型[J]. 海洋通报，2000，19(6)：72-82.

[2] 王昌海，崔丽娟，毛旭峰. 湿地退化的人为影响因素分析：基于时间序列数据和截面数据的实证分析[J]. 自然资源学报，2012，27(10)：1677-1687.

[3] 韩大勇，杨永兴，杨杨，等. 湿地退化研究进展[J]. 生态学报，2012，32(4)：1293-1307.

[4] 谷东起，付东，闫文文，等. 盐城滨海湿地退化评估及分区诊断[J]. 湿地科学，2013，10(1)：1-7.

[5] 张晓龙，李萍，刘乐军，等. 黄河三角洲湿地生物多样性及其保护[J]. 海岸工程，2009，28(3)：33-39.

[6] 张义文. 南大港湿地保护研究[M]. 陕西 西安：西安地图出版社，2005：37-46.

[7] Yue Tianxiang, Haber W, Grossmann W D, et al. Discussion on models for species diversity and suggestion on comprehensive model [C]. Ekologia: Ecomod, 1998: 1-15.

[8] 刘章勇，刘百韬，谢磊，等. 江汉平原涝渍地域农业生态环境特征与评价指标体系[J]. 长江流域资源与环境，2003，12(1)：83-87.

[9] 林凯. 湿地生态资源整治保护、合理利用初探[J]. 福建水土保持，2003，15(3)：5-9.

[10] 张晓龙，李培英. 湿地退化标准的探讨[J]. 湿地科学，2004，2(1)：36-41.

[11] 崔保山，杨志峰. 湿地生态系统健康研究进展[J]. 生态学杂志，2001，20(3)：31-36.

[12] 舒俭民，刘晓春. 恢复生态学的理论基础、关键技术与应用前景[J]. 中国环境科学，1998，18(6)：540-543.

[13] Gregory D S, Daniel W L. Coastal wetlands planning, protection, and restoration act[J]. Ecological Engineering, 2000, 15(1): 385-395.

[14] 张晓龙. 现代黄河三角洲滨海湿地环境演变及退化研究[D]. 山东 青岛：中国海洋大学，2005.

[15] 谷东起，赵晓涛，夏东兴. 中国海岸湿地退化压力因素的综合分析[J]. 海洋学报，2003，25(1)：78-85.

[16] 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，2001：4-5.

[17] Berit A, Hans B W. Modelling nitrogen removal in potential wetlands at the catchment scale[J]. Ecological Engineering, 2002, 19(1): 63-80.

[18] Burrough P A. Principles of Geographical Information Systems for Land Resources Assessment[M]. Oxfoxd: Clarenden Press, 1986.

[19] Li Jie, Hu Jiaming, Dong Yunxia, et al. Study on the Landscape Change from 1994 to 2006 of Napahm Catchment and the wetlands, Northwest Yunnan Mountainous Region[J]. Journal of Mountain Science, 2010, 28(2): 247-256.

[20] Deng Maolin, Tian Kun, Duan Zongliang, et al. The changes of landscape at Zoige Plateau Wetland Reserve in Sichuan, China [J]. Journal of Mountain Science, 2010, 28(2): 240-246.

[21] Ding Jingjing, Wang Lei, Ji Yonghua, et al. Landscape pattern change of Yancheng Coastal Wetland in Jiangsu [J]. Wetland Science, 2009, 7(3): 202-207.

[22] 赵锐锋，姜朋辉，赵海莉，等. 黑河中游湿地景观破碎化过程及其驱动力分析[J]. 生态学报，2013，33(14)：4436-4449.

[23] 侯明行，刘红玉，张华兵，等. 地形因子对盐城滨海湿地景观分布与演变的影响[J]. 生态学报，2013，33(12)：3765-3773.

[24] 庄大方，刘纪远. 中国土地利用程度的区域分异模型研究[J]. 自然资源学报，1997，12(2)：105-111.