

基于水文地貌分类的滨海湿地生态功能评价 ——以盐城滨海湿地为例

李玉凤¹, 刘红玉^{1,*}, 孙贤斌^{1,2}, 朱丽娟¹

(1. 江苏省环境演变与生态建设重点实验室, 南京师范大学地理科学学院, 南京 210046; 2. 皖西学院 城市建设与环境系, 六安 237012)

摘要: 盐城滨海湿地生态功能的空间差异对该区的保护/开发具有重要的指导意义, 水文地貌分类为生态功能的评价提供了良好的前提条件。根据盐城滨海湿地 2006—2007 年 Alos 遥感影像数据制作湿地景观图, 同时通过 DEM 和水文水动力条件图, 借助 Arcgis9.2 的空间分析功能确定水文地貌单元(HGMU)。在此基础上, 利用实地调查数据和湿地景观数据对不同水文地貌单元的湿地生态功能进行评价。结果表明: (1) 盐城滨海湿地包括 7 类水文地貌单元(HGMU), 不同 HGMU 生态系统类型差异较大; (2) 同种 HGMU 生态功能基本处于同一等级, 不同 HGMU 的生态功能差异明显; (3) 盐城滨海湿地不同 HGMU 单元生态功能由大到小排序为: 淡水双向-冲积区(河口)、海水天双向-泥粉砂带、海水月双向-泥滩带、海水年双向-草滩带、淡水单向-冲积区、淡水单向-海积区和淡水单向-冲积海积区。其中, 河口湿地、淤泥质滩涂和草滩带湿地在维护盐城滨海湿地生态功能中具有重要地位。

关键词: 水文地貌单元; 生态功能评价; 滨海湿地; 盐城

Assessment of ecological functions for coastal wetlands based on hydrogeomorphic units: a case study on coastal wetland of Yancheng, Jiangsu Province, China

LI Yufeng¹, LIU Hongyu^{1,*}, SUN Xianbin^{1,2}, ZHU Lijuan¹

1 Jiangsu Key Laboratory of Environmental Change and Ecological Construction, College of Geographical Science, Nanjing Normal University, Nanjing 210046, China

2 Department of Urban Development and Environmental Sciences, Wanxi University, Lu'an 237012, China

Abstract: Understanding the spatial differences of ecological functions of the coastal wetlands in the Yancheng is of great importance for wetlands protection and exploitation. Hydrogeomorphic unit (HGMU) is a base condition for ecological function assessment. Based on the distribution of wetland types abstracted from Alos imagery in 2006—2007 and field surveying on hydrological condition and DEM (1:25000), the hydrogeomorphic units were determined for evaluation of wetland ecological functions in the study area. The results showed that the coastal wetlands of Yancheng can be classified 7 HGMUs. Each HGMU has similar ecological functions, and different HGMU has clear different ecological functions. Among these HGMUs, the double direction of freshwater-flooding area (estuary area), daily tide-mud and sand flat area and monthly tide-mudflat, as well as annual tide-grass flat area had better ecological functions than other areas in the coastal wetlands of Yancheng. Therefore, to conservation these HGMU wetlands are of significant importance for maintaining regional ecological functions in the coastal area.

Key Words: hydrogeomorphic unit; ecological function assessment; coastal wetland; Yancheng

滨海湿地是发育在海岸带附近并且受海陆交互作用的湿地, 广泛分布于沿海海陆交界带, 同时也是咸淡

基金项目: 高等学校博士学科点专项科研基金资助项目(20070319001); 国家海洋局 908 专项基金资助项目(JS-908-02-07); 国家自然科学基金资助项目(40871084)

收稿日期: 2008-12-11; **修订日期:** 2009-07-30

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: liuhongyu@njnu.edu.cn

水交汇区域,是一个高度动态和复杂的生态系统,因而受到广泛关注,成为国际地圈-生物圈计划的第 6 个核心计划(海岸带陆海相互作用(LOICZ))^[1]。作为海陆两大系统生态交错带的滨海湿地具有强大的生态功能,包括涵养水源、减缓洪水、控制侵蚀、提供后备土地资源、容纳营养盐和分解污染物,以及作为水生和沼生生物的栖息地、繁殖区和候鸟迁徙越冬地等,在区域生态环境维持,协调社会-经济-环境发展中发挥巨大作用。因而近年来滨海湿地生态功能评价研究成为湿地研究的热点领域^[2]。

湿地功能评价就是对某一目标湿地内的物理、化学和生物学过程进行研究,评估其功能和价值。由于湿地生态功能的复杂性和抽象性,使得其评价工作主要围绕在评价方法上进行。目前,对湿地功能进行评价的方法很多,主要包括 3 种类型:(1)用湿地的市场价值评价湿地;(2)把湿地功能划分成不同的层次,如个体、系统、全球等,不同的层次,湿地有不同的功能特点,依据评价者的偏好选择评价的着眼层次,并相应考虑其它层次的功能特点;(3)定性标准、定量打分的方法,对湿地的功能及特征的各个要素和因子进行打分,然后评定湿地功能的等级^[3]。但是目前研究的大多数方法由于评价的结果主观性偏强而不能得到公众广泛接受与认可,使得湿地生态功能评价陷入严重的困境。1993 年 Brinson 提出了用于湿地功能评价的水文地貌方法^[4],并在美国阿肯色州得到了充分的发展和利用。1996 年之后,美国联邦机构致力于加快发展水文地貌功能评价法,使得这种快速评价湿地功能的方法得以迅速推广^[4]。

江苏滨海湿地属于淤泥质潮滩湿地类型,其独特的水文条件和水动力因素(潮汐作用),不但塑造了潮滩湿地地形、地貌基本格局,而且不同的水文地貌条件与空间格局既是形成类型多样的湿地的基础条件,也是决定滨海湿地生态功能区域异质性特征的重要条件^[1,5]。本文以该区湿地为研究对象,选择水文和地貌因子作为评价单元,开展海滨湿地生态功能评价研究,为合理保护与利用湿地提供科学依据,同时也探讨一种基于水文、地貌的海滨湿地功能评价新思路和新方法。

1 研究区域概况

江苏盐城滨海湿地位于中国海岸带的中部,是典型的粉砂淤泥质海岸,分属响水、滨海、射阳、大丰和东台 5 个县市,介于 32°34′—34°28′N,119°27′—121°16′E 之间,地跨暖温带和北亚热带 2 个生物气候带,水热条件优越。沿海区域入海河流有灌河、扁担河、射阳河、新洋港、王港河、川东河等。

盐城滨海自然湿地的景观格局是其特定的水文、地貌和生物等因素综合作用的结果,其显著特征是动态变迁的带状景观空间异质性^[6]。典型剖面生态系统的空间结构与水文动力条件和地貌沉积带基本对应,自海堤向海方向可划分 3 个群落类型,即草滩带、盐蒿带、米草带。

2 研究方法

2.1 数据来源及处理

研究区域的数据来源于 2006 年 11 月—2007 年 3 月日本地球观测卫星 ALOS 的影像数据,其分辨率为

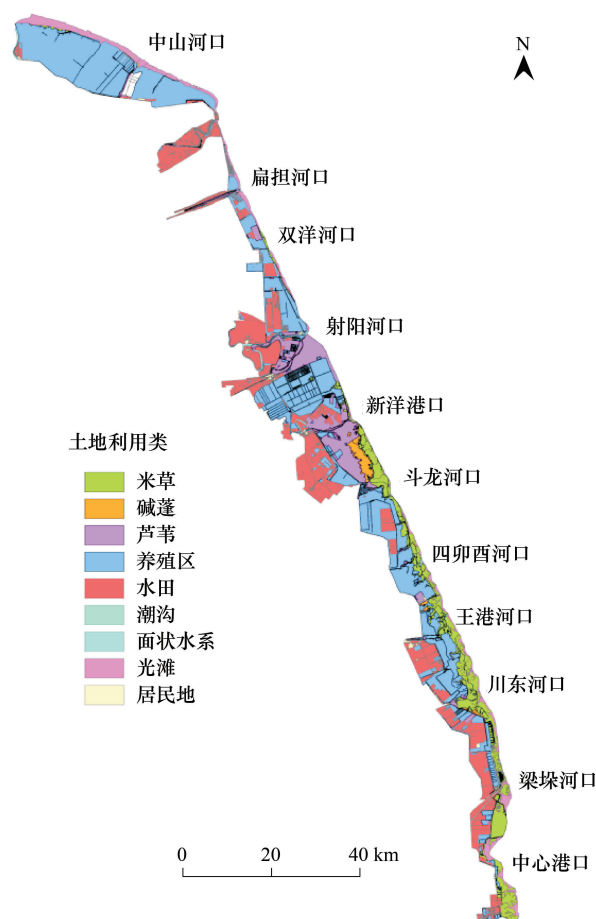


图 1 研究区域土地利用类型

Fig. 1 The land use types in the study site

10m。利用 2001 年盐城沿海 1:5 万地形图作为底图,在 ERDAS8.5 和 ARCGIS9.2 软件中对遥感数据进行校正、解译和生态系统类型图的制作,经过两次野外检验,遥感影像解译的判读精度在 90% 以上。

实地生物群落数据是在 2006 年 5 月和 2007 年 8 月对各个岸段的不同地貌和各个河口的不同位置进行详细采样调查中得到。采样方法是利用 1m×1m 的样方,统计优势植物株高、植物鲜重、个体数量、土壤微生物种类和数量,并取表土 5cm 带回实验室分析土壤含盐量、含水量以及有机物含量。

2.2 水文地貌单元(HGMU)的确定

由于受海洋动力和泥沙供给影响,盐城海岸湿地景观具有明显的水文、地貌特征。盐城海岸独特的水文、水动力与地貌条件控制着海岸湿地土壤的性状和发育方向,并进而影响植被的生长和更替^[5],因而水文地貌单元是控制湿地土壤和植物覆被类型的基础,也是决定湿地生态系统功能的基本单元。水文地貌单元的确定是建立在区域地貌条件,水文、水动力条件基础上。地貌条件的确定是根据 2001 年 1:5 万地形图和 2007 年野外实际地形测量数据形成的 1:2.5 万地形图数据为基础,构建 DEM,形成地貌图。地貌类型包括冲积平原、海积平原、冲积海积平原、草滩沉积带、泥滩沉积带和泥-粉砂沉积带。海滨湿地水文特征的确定主要依据湿地水源补给类型,将湿地分为淡水补给湿地和海水补给湿地两种类型;水动力条件是指湿地中水流动的方向和强度。海滨湿地水动力是由地形梯度等引起的单向水平流和双向水平流确定^[7],同时参考天、月、年潮位影响判断。结合野外湿地植物、水源补给条件和水动力条件综合调查成果,制作水文、水动力条件图。在 ARCGIS9.2 的 spatial analysis 模块中叠加地貌图和水文、水动力条件图,生成水文地貌单元图。

2.3 评价指标体系的确定和评价模型的建立

滨海湿地生态功能是指滨海湿地实际支持或潜在支持和保护自然生态系统与生态过程、支持和保护人类活动与财产的能力^[8]。针对盐城滨海湿地生态功能的具体特征,将盐城海滨湿地主要功能归结为生产力功能、土壤保持功能、水文调节功能、海岸保护功能和生物保护功能等几个方面^[9-14],同时选择 11 个具有代表性的功能评价变量,对湿地主要生态功能通过建立单项功能的评价模型^[15](表 1),和综合功能的评价模型: $EFI = (F_1 + F_2 + F_3 + F_4 + F_5)/5$ 开展评价研究。其中各变量经标准化之后,再用于评价指标的计算,使评价结果的范围都在 0—1 之间,具有可比性。

按评价模型公式计算即可以得出湿地生态功能评价结果,参照国内外的各种综合指数的分组方法^[16],对综合评价价值进行评判标准的确定(表 2)。

表 1 各生态功能评价指标模型

Table 1 Model of every index of ecological assessment

缩写 Ab.	功能评价变量 Variable function assessment	各生态功能评价指标模型 Model of every ecological function index
V_{ld}	景观多样性	F_1 : 生产力功能
V_{fn}	景观破碎度	$F_1 = (V_{fp} + V_{pp} + V_{prp})/3$
V_{lsi}	景观形状指数	F_2 : 土壤保持功能
V_{dd}	水网密度	$F_2 = (V_{ssnc} + V_{prp} + V_{sb})/3$
V_{ta}	储水面积比	F_3 : 水文调节功能
V_{fp}	养殖产量	$F_3 = (V_{dd} + V_{ta} + V_{sue})/3$
V_{pp}	植物地上生物量	F_4 : 海岸保护功能
V_{prp}	植物根系生物量	$F_4 = (V_{prp} + V_{pp})/2$
V_{sb}	土壤生物数量	F_5 : 生物保护功能
V_{ssnc}	表层土壤有机物含量	$F_5 = (V_{ld} + V_{fn} + V_{lsi} + V_{sb})/4$
V_{sue}	土壤含水量	

表 2 湿地生态功能等级划分

Table 2 The ranks of functional evaluation of wetland

等级 Ranks	较差 Worse (V)	差 Bad (IV)	一般 Ordinary (III)	好 Good (II)	较好 Better (I)
生态功能指数 Ecological function index	0—0.2	0.2—0.4	0.4—0.6	0.6—0.8	0.8—1

3 结果分析

3.1 水文地貌单元的划分

叠加水文、水动力条件图和地貌类型图得到水文地貌单元图(图 2)。盐城滨海湿地水文地貌单元可以分为 3 大类 7 个子类,分别为淡水单向-冲积区、淡水单向-海积区、淡水单向-冲积海积区、海水年双向-草滩带、海水月双向-泥滩带、海水天双向-泥粉砂带和淡水双向-冲积区(表 3)。各个 HGMU 在空间上的分布格局见

图 4,淡水单向-冲积区是以 3 条主要河流为中心,分别为废黄河、射阳河和新洋港;淡水单向-海积区主要分布在射阳河与斗龙港之间;淡水单向-冲积海积区分布在废黄河的两侧,该区域在发育过程中不断受到河流和海洋的相互影响;HGMU 中 d—f(表 3)沿海岸分布,其中只有核心区和川东-梁刳段有海水月双向-泥滩带的分布,因为人类为保护海岸在各个岸段都建有海堤,且不断有新海堤的修建,海水对陆地影响因为受到海堤的阻隔而减弱;淡水双向-冲积区分布在河流与海洋交汇处,受到河流和海洋的双重影响,主要有中山河口、扁担河口、射阳河口、新洋港口、斗龙港口、四卯酉河口、王港口、川东港口和梁垛河口等。各 HGMU 内的湿地生态系统类型见表 3,除了淡水单向-冲积区、淡水单向-海积区和淡水单向-冲积海积区大部分是以土地利用为主,其他区域有芦苇、盐蒿、大米草和互花米草的分布。

3.2 水文地貌单元间各个生态功能的差异

生态功能的发挥依赖自然条件的变化,自然条件的差异决定了生态功能的大小,而水文和地貌是自然条件的重要组成。因此,水文地貌条件在某种程度上决定生态功能的发挥,同种 HGMU 生态功能的发挥应有一定的规律。表 4 是各个功能评价变量在不同 HGMU 中变化范围, n 表示水文地貌单元数, V_{ld} 、 V_{fn} 、 V_{lsi} 、 V_{dd} 和 V_{ta} 是利用景观生态学计算方法得到, V_{fp} 是参考 2001 年薛大元关于该区的报告中得到^[18], V_{pp} 、 V_{prp} 、 V_{sb} 、 V_{ssnc} 和 V_{su} 都是通过采样调查和试验得到。

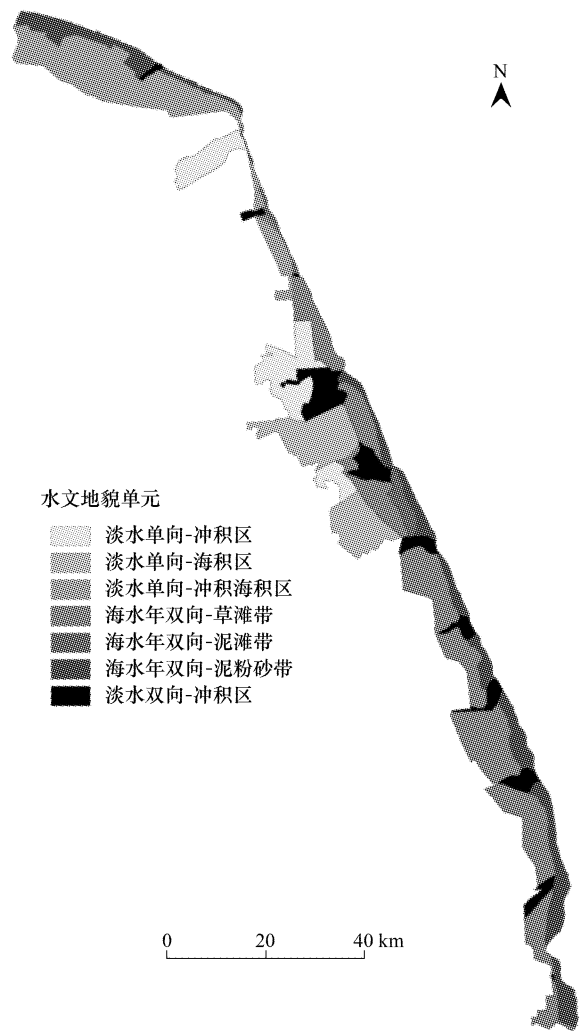


图 2 不同水文地貌单元分布图

Fig. 2 The distribution of different hydrogeomorphic unit

表 3 盐城滨海自然湿地各种 HGMU 特征

Table 3 The hydrogeomorphic unit characteristic of yancheng coastal wetland

HGMU		水文条件 Hydrology	地貌沉积条件 Topography	湿地生态系统类型 Wetland ecosystem
内陆区	a 淡水单向-冲积区	淡水单向水平流补给	冲积平原	水田、养殖区
Inland	b 淡水单向-海积区	淡水单向水平流补给	海积平原	养殖区、水田
	c 淡水单向-冲积海积区	淡水单向水平流补给	冲积海积平原	养殖区
海滨带	d 海水年双向-草滩带	海水年双向水平流补给	草滩沉积带	芦苇、茅草、养殖区
Coastal zone	e 海水月双向-泥滩带	海水月双向水平流补给	泥滩沉积带	盐蒿、养殖区
	f 海水天双向-泥粉砂带	海水天双向水平流补给	泥-粉砂沉积带	互花米草、大米草
河口 Estuary	g 淡水双向-冲积区	淡水双向水平流补给	冲积平原	芦苇、米草、

经过标准化及模型计算后得到各个生态功能指标值和生态功能综合评价结果(表 5)。表 5 可见,各个不同 HGMU 的综合生态功能指数由大到小依次是:淡水双向-冲积区(河口)、海水天双向-泥粉砂带、海水月双向-泥滩带、海水年双向-草滩带、淡水单向-冲积区、淡水单向-海积区和淡水单向-冲积海积区。其中各个生态功能指标在不同 HGMU 中也存在较大差异。以生物保护功能为例,淡水双向-冲积区表现在该方面的功能最强;其次是海水年双向-草滩带,该带主要以芦苇、茅草等生态系统为主,能够为丹顶鹤提供良好的越冬生境;

次于以上两个 HGMU 的生物保护功能的是海水月双向-泥滩带,而该区的盐蒿生态系统能够为黑嘴鸥提供繁殖生境;虽然海水天双向-泥粉砂带的综合生态功能高于海水年双向-草滩带和海水月双向-泥滩带,但是由于该区生长茂盛的米草,米草占有大部分生态位,所以其生物保护功能较以上两个 HGMU 差;生物保护功能最差的 HGMU 是淡水单向-冲积区、淡水单向-海积区和淡水单向-冲积海积区,因为该区受到强烈人类活动的影响。

表 4 不同 HGMU 各个功能评价变量变化范围
Table 4 The range of functional variables of different hydrogeomorphic units

功能评价变量 Functional variables	a(n=3)	b(n=2)	c(n=3)	d(n=9)	e(n=2)	f(n=10)	g(n=11)
V_{ld}	0.59—1.54	0.92—1.15	1.23—1.57	0.98—1.70	0.78—1.26	0.64—1.64	0.73—1.79
V_{fn}	0.95—0.98	0.96—0.99	0.30—0.6	0.01—0.96	0.14—0.95	0.03—0.85	0.001—0.975
V_{isi}	3.91—25.43	19.14—60.08	27.33—60.08	10.79—76.58	7.65—8.13	7.46—30.36	3.91—25.43
$V_{dd}/(km/km^2)$	2.6—4.5	3.1—4.6	2.1—2.9	5.6—6.3	1.4—3.1	1.2—3.3	3.2—5.6
$V_{ua}/\%$	10.93—15.50	23.37—68.11	42.42—84.62	15.23—84.29	0.12—16.67	4.52—13.99	14.14—72.98
$V_{fp}/(kg/m^2)$	0.15—0.22	0.15—0.22	0.15—0.22	0.75—0.90	0.75—0.90	1.20—1.50	0.24—0.30
$V_{pp}/(g/m^2)$	0—309.35	0—239.59	35.36—95.36	138.47—555.20	51.88—70.87	148.28—350.82	95.36—359.32
$V_{prp}/(g/m^2)$	0—171.30	0—119.37	13.59—55.36	155.13—728.64	12.97—17.70	97.50—327.52	85.63—379.50
$V_{sb}/(个/m^2)$	20—78	17—59	25—68	98—921	113—1611	72—395	623—1398
$V_{snc}/(g/kg)$	3.12—4.56	3.59—5.01	3.05—4.98	4.23—6.22	4.69—5.13	5.13—7.63	6.12—7.53
$V_{sic}/\%$	18.4—23.8	20.7—24.8	19.6—25.3	26.7—32.5	25.3—28.0	31.4—54.5	44.6—81.6

表 5 不同 HGMU 生态功能的差异
Table 5 The different ecological functions between different hydrogeomorphic units

生态功能指标 Index of ecological function	a	b	c	d	e	f	g
生产力维持 Productivity maintance	0.346	0.316	0.235	0.356	0.328	0.689	0.983
土壤保持 Soil preserve	0.358	0.259	0.134	0.378	0.493	0.532	0.956
水文调节 Hydrology regulation	0.198	0.178	0.093	0.256	0.345	0.541	0.962
海岸保护 Coastal protection	0.086	0.095	0.010	0.256	0.423	0.925	0.967
生物保护 Species protection	0.277	0.227	0.048	0.466	0.456	0.428	0.972
综合功能指数 Ecological function index	0.253	0.215	0.104	0.342	0.409	0.623	0.968

3.3 各个水文地貌单元中生态功能的差异

水文地貌条件在某种程度上决定了生态功能的大小,同种 HGMU 应具有类似的生态功能。但是由于各种不同程度的人为和自然因素,同种 HGMU 之间也会存在一定的差别。由图 3 可知,淡水单向-冲积区和淡水单向-海积区的大部分面积的生态功能集中在差(Ⅳ)的等级,部分区域生态功能较差,而淡水单向-冲积海积区的大部分面积的生态功能处于较差的状态。从海水年双向-草滩带到海水天双向-泥粉砂带,生态功能等级也随之变化,从在Ⅳ级上升到Ⅱ级;淡水双向-冲积区生态功能最强,80%以上的区域生态功能都处于Ⅰ级。

同种水文地貌单元的生态功能有明显的主导等级,同时,同种水文地貌单元中功能也存在着差异,如图 3,在研究区域内淡水单向-冲积区中Ⅳ级生态功能区域占 70%,Ⅴ级生态功能占 30%;淡水单向-海积区内Ⅳ级区域占 60%左右,Ⅴ级区域占 40%左右;淡水单向-冲积海积区生态功能较差的面积为 90%左右,等级为Ⅳ级的区域只占 10%左右;海水年双向-草滩带中Ⅳ级区域占 80%,Ⅱ级和Ⅲ级区域占 20%;海水月双向-泥滩带内Ⅲ级区域占 70%左右,Ⅳ级区域只占 30%左右;海水天双向-泥粉砂带中Ⅱ级占 60%左右,Ⅲ、Ⅳ级区域占 40%左右;海水天双向-泥粉砂带中 90%属于Ⅰ级,10%属于Ⅲ、Ⅳ级。同种水文地貌单元之间生态功能存在差异的原因在于人类高强度开发对生态功能的影响。由陆向海方向,生态功能呈增强趋势,这和人类干扰减弱密切相关。

4 结论与讨论

不同 HGMU 中生态系统存在较大差异。水文地貌条件决定生态功能的发挥。研究表明,同种 HUMU 生态功能基本处于同一等级,不同 HGMU 生态功能等级差别明显。其中淡水双向-冲积区(河口)生态功能最强,基本处于 I 级水平,而淡水单向-冲积海积区的生态功能较差。

在充分了解前人对盐城滨海湿地生态功能研究的基础上,从空间差异的角度对之进行研究。相对于传统的纯数值评价方法,生态功能的空间化研究更能够直观、方便地揭示功能的空间异质性。本文利用小尺度实验的评价成果,结合景观生态学的理论知识和 RS/GIS 的技术手段,从水文地貌单元提取的角度实现该区生态功能空间评价。

该研究仅从空间上分析了生态功能的差异,在以后的工作中还需要从时间上来反应生态功能的变化情况,只有让时间和空间相结合,才能让盐城滨海湿地生态功能的研究更加完善和合理。

References:

- [1] Qin P, Zuo P, He Z X. Seashore Systems Ecology. Beijing: Chemical Industry Press, 2004: 7-9.
- [2] Crutzen P J. Geology of mankind. Nature, 2002, 415(6867):23.
- [3] Lu X G ed. Observational method in wetland ecosystem. Beijing: Chinese Environmental & Scientific Press, 2005: 90-91.
- [4] Brinson M M. Assessing wetland functions using HGM. National Wetlands Newsletter, 1996, 18(1): 10-16.
- [5] Yang G S, Shi Y F, Zhang C. The Ecological Response of Typical Mud Flat to Sea Level Change in Jiangsu Coastal Plain. Acta Geographica Sinica, 2002, 57(3): 325-332.
- [6] Li J L, Zhang R S, Wang Y H, Zeng Z P. Research on Landscape Pattern and Construction of Landscape Ecology of Muddy Coastal Wetlands in Jiangsu Province. Geography and Geo-Information Science, 2003, 19(5): 86-90.
- [7] Smith R D. Hydrogeomorphic approach to assessing wetland functions; Guidelines for developing regional guidebooks; Chapter 3, Developing a reference wetland system. Vicksburg: Engineer Research and Development Center, U. S. Army Corps of Engineers, 2001: 1-10.
- [8] Liu Q S, Li Y F, Zhu X D. Characteristics of Coastal Wetland Ecosystem and Their Healthy Design: A Case Study from Yancheng Natural Reserve Jiangsu Province, China. Acta Oceanologica Sinica, 2003, 25(3): 143-148.
- [9] Chen C J. Effects of Increasing Deposition and Defending Seashore by Planting Spartina Anglica on Beach in Jiangsu Province. Marine Science Bulletin, 1994, 13(2): 55-61.
- [10] Gao J H, Yang G S, Ou W X. Influence of Tidal Flat Plant on Contents of Nitrogen and Phosphorus in North Jiangsu Province. Scientia of Geographica Sinica, 2006, 26(2): 224-230.
- [11] Gao J H, Yang G S, Ou W X. Analyzing and Quantitatively Evaluating the Organic Matter Sources at Different Ecologic Zones of Tidal Salt Marsh, North Jiangsu Province. Environmental Science, 2005, 26(6): 51-56.
- [12] Ou W X, Gao J H, Yang G S. Primary Valuation on the Purification Function of Reed Wetland for N,P — A Case Study in the Coastal Yancheng. Marine Science Bulletin, 2006, 25(5): 90-96.
- [13] Ou W X, Yang G S, Gao J H. Retention Effect of Wetland for Nitrogen and Phosphorus Nutrients in the Coastal Zone of the Yancheng. Wetland Science, 2006, 4(3): 179-186.
- [14] Song L Q. Spartina Alterniflora and its Defend Function to Bank. DongHai Marine Science, 1997, 15(1): 11-18.
- [15] Hoeltje S M, Cole C A. Losing Function through Wetland Mitigation in Central Pennsylvania, USA. Environmental Management, 2007, 39(3): 385-402.
- [16] Xie H L. Preliminary researches on the functional evaluation of rural landscape. Acta Ecologica Sinica, 2004, 24(9): 1988-1993.
- [17] Xue D Y. Guidelines for biodiversity-friendly sustainable development in and around Yancheng coastal marshes, Jiangsu Province, China. 2001,

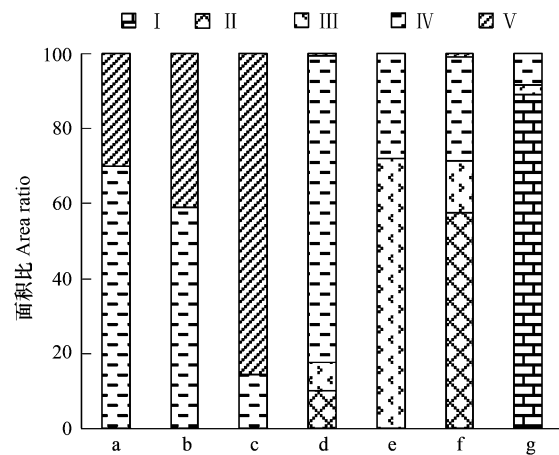


图3 不同等级的生态功能在不同 HGMU 的面积比

Fig. 3 The area percentage in different HGMUs of different functional ranks

19-20.

参考文献:

- [1] 钦佩, 左平, 何祯祥. 海滨系统生态学. 北京: 化学工业出版社, 2004: 7-9.
- [3] 吕宪国. 湿地生态系统观测方法. 北京: 中国环境科学出版社, 2005: 90-91.
- [5] 杨桂山, 施雅风, 张琛. 江苏滨海潮滩湿地对潮位变化的生态响应. 地理学报, 2002, 57(3): 326-332.
- [6] 李加林, 张忍顺, 王艳红, 曾昭鹏. 江苏淤泥质海岸湿地景观格局与景观生态建设. 地理与地理信息科学, 2003, 19(5): 86-90.
- [8] 刘青松, 李杨帆, 朱晓东. 江苏盐城自然保护区滨海湿地生态系统的特征与健康设计. 海洋学报, 2003, 25(3): 143-148.
- [9] 陈才俊. 江苏滩涂大米草促淤护岸效果. 海洋通报, 1994, 13(2): 55-61.
- [10] 高建华, 杨桂山, 欧维新. 苏北潮滩湿地植被对沉积物 N、P 含量的影响. 地理科学, 2006, 26(2): 224-230.
- [11] 高建华, 杨桂山, 欧维新. 苏北潮滩湿地不同生态带有机质来源辨析与定量估算. 环境科学, 2005, 26(6): 51-56.
- [12] 欧维新, 高建华, 杨桂山. 芦苇湿地对氮磷污染物质的净化效应及其价值初步估算——以苏北盐城海岸带芦苇湿地为例. 海洋通报, 2006, 25(5): 90-96.
- [13] 欧维新, 杨桂山, 高建华. 盐城潮滩湿地对 N、P 营养物质的截留效应研究. 湿地科学, 2006, 4(3): 179-186.
- [14] 宋连清. 互花米草及其对海岸的防护作用. 东海海洋, 1997, 15(1): 11-18.
- [16] 谢花林. 乡村景观功能评价. 生态学报, 2004, 24(9): 1988-1993.
- [17] 薛大元. 中国江苏省盐城海岸湿地周边生物多样性友好可持续发展导则, 2001.