

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

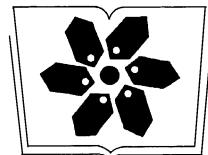
生态学报

Acta Ecologica Sinica



第34卷 第2期 Vol.34 No.2 2014

中国生态学学会
中国科学院生态环境研究中心
科学出版社 主办
出版



中国科学院科学出版基金资助出版

生态学报

(SHENTAI XUEBAO)

第34卷 第2期 2014年1月 (半月刊)

目 次

前沿理论与学科综述

- 连续免耕对不同质地稻田土壤理化性质的影响 龚冬琴, 吕军 (239)
下辽河平原景观格局脆弱性及空间关联格局 孙才志, 闫晓露, 钟敬秋 (247)
完全水淹环境中光照和溶氧对喜旱莲子草表型可塑性的影响 许建平, 张小萍, 曾波, 等 (258)
赤潮过程中“藻-菌”关系研究进展 周进, 陈国福, 朱小山, 等 (269)
盐湖微微型浮游植物多样性研究进展 王家利, 王芳 (282)
臭氧胁迫对植物主要生理功能的影响 列淦文, 叶龙华, 薛立 (294)
啮齿动物分子系统地理学研究进展 刘铸, 徐艳春, 戎可, 等 (307)
生态系统服务制图研究进展 张立伟, 傅伯杰 (316)

个体与基础生态

- NaCl 胁迫下沙枣幼苗生长和阳离子吸收、运输与分配特性 刘正祥, 张华新, 杨秀艳, 等 (326)
不同生境吉首蒲儿根叶片形态和叶绿素荧光特征的比较 向芬, 周强, 田向荣, 等 (337)
小麦 LAI-2000 观测值对辐亮度变化的响应 王冀, 田庆久, 孙绍杰, 等 (345)
 K^+ 、 Cr^{6+} 对网纹藤壶幼虫发育和存活的影响 胡煜峰, 严涛, 曹文浩, 等 (353)
马铃薯甲虫成虫田间扩散规律 李超, 彭赫, 程登发, 等 (359)

种群、群落和生态系统

- 莱州湾及黄河口水域鱼类群落结构的季节变化 孙鹏飞, 单秀娟, 吴强, 等 (367)
黄海中南部不同断面鱼类群落结构及其多样性 单秀娟, 陈云龙, 戴芳群, 等 (377)
苏南地区湖泊群的富营养化状态比较及指标阈值判定分析 陈小华, 李小平, 王菲菲, 等 (390)
盐城淤泥质潮滩湿地潮沟发育及其对米草扩张的影响 侯明行, 刘红玉, 张华兵 (400)
江苏省农作物最大光能利用率时空特征及影响因子 康婷婷, 高苹, 居为民, 等 (410)
1961—2010年潜在干旱对我国夏玉米产量影响的模拟分析 曹阳, 杨婕, 熊伟, 等 (421)
黑龙江省 20 世纪森林变化及对氧气释放量的影响 张丽娟, 姜春艳, 马骏, 等 (430)
松嫩草原不同演替阶段大型土壤动物功能类群特征 李晓强, 殷秀琴, 孙立娜 (442)
小兴安岭 6 种森林类型土壤微生物量的季节变化特征 刘纯, 刘延坤, 金光泽 (451)

景观、区域和全球生态

- 黄淮海地区干旱变化特征及其对气候变化的响应 徐建文, 居辉, 刘勤, 等 (460)

- 我国西南地区风速变化及其影响因素 张志斌, 杨 莹, 张小平, 等 (471)
青海湖流域矮嵩草草甸土壤有机碳密度分布特征 曹生奎, 陈克龙, 曹广超, 等 (482)
基于生命周期评价的上海市水稻生产的碳足迹 曹黎明, 李茂柏, 王新其, 等 (491)

研究简报

- 荒漠草原区柠条固沙人工林地表草本植被季节变化特征 刘任涛, 柴永青, 徐 坤, 等 (500)
跨地带土壤置换实验研究 靳英华, 许嘉巍, 秦丽杰 (509)
SWAT 模型对景观格局变化的敏感性分析——以丹江口库区老灌河流域为例
魏 冲, 宋 轩, 陈 杰 (517)

期刊基本参数: CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 288 * zh * P * ¥90.00 * 1510 * 29 * 2014-01



封面图说: 高原盐湖——中国是世界上盐湖分布比较稠密的国家, 主要分布在高寒的青藏高原以及干旱半干旱地区的新疆、内蒙古一带。尽管盐湖生态环境极端恶劣, 但它们依然是陆地特别是高原生态系统中十分重要的组成部分。微微型浮游植物通常是指粒径在 0.2—3 μm 之间的光合自养型浮游生物。微微型浮游植物不仅是海洋生态系统中生物量和生产力的最重要贡献者, 也是盐湖生态系统最重要的组成部分。研究显示, 水体矿化度是影响微微型浮游植物平面分布及群落结构组成的重要因子, 光照、营养成分和温度等也会影响盐湖水体中微微型浮游植物平面分布及群落结构组成(详见 P282)。

彩图提供: 陈建伟教授 北京林业大学 E-mail: cites.chenjw@163.com

DOI: 10.5846/stxb201304220777

侯明行, 刘红玉, 张华兵. 盐城淤泥质潮滩湿地潮沟发育及其对米草扩张的影响. 生态学报, 2014, 34(2): 400-409.

Hou M H, Liu H Y, Zhang H B. Effect of tidal creek system on the expansion of the invasive *Spartina* in the coastal wetland of Yancheng. Acta Ecologica Sinica, 2014, 34(2): 400-409.

盐城淤泥质潮滩湿地潮沟发育及其对米草扩张的影响

侯明行, 刘红玉*, 张华兵

(南京师范大学地理科学学院/江苏省环境演变与生态建设重点实验室, 南京 210023)

摘要: 潮沟是潮滩上发育典型的地貌因子, 是潮滩演变的重要标志。米草植被的发育与扩张, 改变了潮流的动力特征和滩面物质组成, 从而形成了特殊的米草潮沟系统。采用实地调查与遥感影像相结合的方法, 分析了湿地潮沟的整体形态特征, 并重点对米草潮沟系统的形态特征及成因进行了系统分析。结果表明: ①受潮流和地形作用的控制, 本区并无大型潮沟分布, 潮沟规模从北至南依次增大, 发育高程为0—1.8 m。盐沼和光滩上潮沟形态截然不同。②米草潮沟系统具有独特特征: 潮沟多窄而深、密度大、分级多、侧向迁移小于纵向迁移、宽深比较小; 潮沟两侧发育高度不等的不对称性的沿岸堤; 盐沼边缘发育有陡坎和冲沟, 并贯穿整个米草带。③潮沟的发育是影响米草向内陆碱蓬区扩张的因素之一, 起着非常重要的引领作用, 而米草陆向扩张的宽度和幅度取决于所在区域潮沟的发育程度。同时, 随米草扩张速度的降低, 光滩上潮沟的活动性有所放缓。

关键词: 潮沟发育; 米草扩张; 响应机制; 盐城

Effect of tidal creek system on the expansion of the invasive *Spartina* in the coastal wetland of Yancheng

HOU Minghang, LIU Hongyu*, ZHANG Huabing

College of Geography, Nanjing Normal University, Nanjing 210023, China

Abstract: Wetland ecosystems are landscapes of the highest biodiversity in nature and one of the most important environmental resources for human welfares. Their important ecosystem functions sometimes are regarded as “the earth’s filtration system”. Yancheng coastal wetland now remains a typical mudflat by frequent tidal reaction. A more complex, changing creek system is formed by the mudflat development with a process of tidal movement. The creek system as a typical geomorphologic factor has formed at mudflat and become a pivotal pathway to continuously exchange matter, energy and information within and outside of the system. It is also important for distribution of the tidal water and sediment supply. And creek system development has a direct impact on the wetland ecologically environmental change and spatial distribution of vegetation. Therefore it has become an important indicator for the evolution of the mudflat. *Spartina* is a salt, flooded tolerant and perennial plant growing in a vast intertidal zone. It is growing at low tide with well-developed root system, and it could strongly intercept sediment. Accompanied with the formation of *Spartina*, hydrodynamic force and sediment transport conditions change in its mudflat surface, caused by changes of tidal flat sedimentary characteristics and topography, thereby affecting the development of trenches. And *Spartina* tidal trenches are specially established. Yancheng coastal wetland was chosen as the study area. Based on the remote sensing images of 1996—2012, using GIS techniques and field survey, we extract tidal creek system in this study. And a 16-year trend was analyzed on the mutual relations of *Spartina* expansion and tidal creek system development between 1996 and 2012 of Yancheng coastal wetland. Research results show that: Under the

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(41071119); 江苏省高校自然科学研究重大资助项目(10KJA170029); 江苏省省属高校自然科学研究资助项目(12KJB170006)

收稿日期: 2013-04-22; **修订日期:** 2013-10-09

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

control of the tidal and terrain, no large-scale distribution of trenches present in this study area. The size of the trenches gradually increased from north to south. Their elevation is 0—1.8m. Distinct morphology exists in salt marsh and bare mudflat. Trenches covered by *Spartina* indicate a unique feature, which present narrow and deep; Trenches are very dense with covering of $1539\text{m}/\text{km}^2$; They reach up to 4—5 grades; And lateral movement is less than longitudinal. The trenches are wide and deep, the main trenches are generally about 17m and branches between 3—9m. The trenches are becoming deep at low grade; both sides of the edges of the trenches often development in asymmetry coastal embankment with ranging different height. The edges of the salt marsh have developed scarps and gullies with stretches throughout the *Spartina* zone. Inside the salt marsh, tidal creek development leads to *Spartina* inland expansion, expansion of the width and amplitude largely depends on the density and size of the tidal creek areas; Outside of the salt marsh, creeks activity in bare tidal will slow down with the reduction of the rate of expansion of *Spartina*. The wetlands microrelief variation has been further understand with this study. The baseline information greatly supports the Yancheng coastal wetlands and management, and benefits regional social and economic development in an effective manner.

Key Words: tidal creek development; *Spartina* expansion; response mechanism; coastal wetlands

淤泥质潮滩湿地受潮汐作用显著,并且在潮流动力作用下,其上多发育着复杂多变的潮沟系统。潮沟作为潮滩上发育典型的地貌因子,是潮滩及潮沟系统本身与外界不断进行物质、能量和信息交换的重要通道^[1],对潮水的分配以及泥沙的供应都起着至关重要的作用。同时,潮沟分布形态也直接影响着湿地生态环境变化和植被的空间分布规律^[2],是潮滩演变的重要标志。近年来,国内外有关学者在潮沟成因^[3-5]、发育演化^[6-9]、分布形态^[10-11]、水文水动力^[12-14]以及沉积地貌^[15-16]等方面进行了较多的研究,取得了丰硕的成果。但是,针对盐城淤泥质潮滩湿地潮沟系统特征及其发育规律方面的研究成果较少。尤其是从宏观尺度,开展潮沟系统发育与外来物种米草植被扩张之间的关系研究还尚未见报道。而该方面研究对深入理解与认识淤泥质潮滩湿地景观演变与保护具有重要理论与现实意义。

盐城自然保护区核心区是我国目前残留的典型淤泥质潮滩湿地^[17],米草作为一种在广阔潮间带生长的耐盐、耐淹多年生禾本科植物^[1],具有根系发达,植株密度大^[18]等生物学特征,其对潮流动力产生重要影响。在较低潮滩的米草盐沼内,潮沟系统往往比较发育,尤其是伴随着米草南北带状特征的形成,滩面水动力和泥沙搬运条件发生改变,引起潮滩沉积特征和地貌形态的变化,从而进一步影响潮沟系统的发育,而潮沟系统发育带来的输水输沙功能的改变,又直接影响着米草植被的分布与扩张。因此,开展该区域潮沟研究,揭示潮沟形态特征及其

与米草植被扩张的相互关系,已显得尤为必要。

1 研究区特征

盐城保护区,地处江苏省中部沿海,是典型的淤泥质潮滩湿地。地理位置处于 $32^{\circ}20'—34^{\circ}37' \text{N}$, $119^{\circ}29'—121^{\circ}16' \text{E}$ 之间,面积约为 $45.33 \times 10^4 \text{ hm}^2$,是我国最大的海岸带保护区。该区属正规半日潮,主要受南黄海旋转潮波的控制,潮汐作用频繁,平均潮差为2.42 m,潮流作用强,沉积物供应丰富,潮滩异常发育。季风气候显著,夏秋季节多台风风暴潮等大风天气。地貌类型主要为海积平原。

本研究区域为保护区的核心区,其北至新洋港,南至斗龙港,西至海堤,总面积为 $1.90 \times 10^4 \text{ hm}^2$ 。核心区原始植被保存完整,植被类型丰富多样。目前,保护区以中路港为界分为南北两部分。北部主要为人工管理区,受人类活动干扰强烈,景观组分单一,主要为养殖塘、道路等人为景观。南部则主要为自然湿地区,受人类活动干扰较弱,基本保持了原始湿地面貌。为反映自然条件下潮沟发育对米草植被扩张的影响,选择南部自然湿地区为本文的研究区域。其中,该区米草自20世纪80年代引种以来扩展迅速,目前已形成南北长15 km,东西宽约2.8 km,面积达 38.25 km^2 以上的米草盐沼滩地。该区米草盐沼具有植物群落结构单一(主要由互花米草群落构成)、植被密集、植株粗壮高大等特征,其平均株高1.6 m,平均茎粗0.75 cm左右,根系在0—40 cm的土层中横向发育,并分布着复杂的潮沟系统。研究

区位置与范围如图 1 所示。

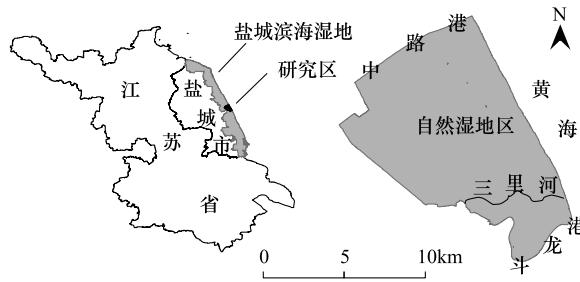


图 1 研究区位和范围

Fig.1 Location and scope of the study area

2 研究方法

研究使用的高程数据来源于 2012 年 4、9 月利用全站仪测高模式所进行的两次野外地形测量(采用 1985 年国家高程基准面(大地水准面));潮沟的宽度利用皮尺测量;潮沟密度是在划定一定面积的区域内采用 GPS 跟踪定位并结合皮尺测量;在米草滩内进行典型潮沟样方调查,并在光滩和碱蓬滩内的潮沟上取样方与米草滩内潮沟作对比;在测量过程中观察潮沟发育的地貌特征、心滩以及陡坎发育情况;利用非监督分类与目视解译相结合的方法从遥感影像中提取潮沟信息,绘制潮沟空间分布图,对潮沟的形态和密度等特征进行室内分析,并利用两次实地调查过程中对潮沟实际情况的认识来验证潮沟解译的结果;依据研究区高程数据,对潮沟发育的高程范围进行定量统计。1996、2006、2012 年 3 期的

LandsatTM/ETM+遥感影像并利用监督分类方法制作 1996—2012 年 3 期核心区景观类型图^[19](经过野外调查检验,遥感影像解译精度均在 90% 以上)。以上数据统一采用高斯-克吕格投影的 3 度分带西安 1980 坐标系。

在东西走向主潮沟的上中下段分别设立垂直于潮沟的南北向断面 6 条($A_1—B_3$),从东向西依次穿过光滩、米草滩和碱蓬滩,用以分析米草滩内潮沟的宽深比与其他盐沼滩内的差异;在米草滩内分别于主潮沟、一级支潮沟、二级及以上支潮沟上设立垂直于潮沟的断面 6 条($C_1—E_2$),用于分析米草滩内不同级别潮沟的宽深比特征;并在垂直于东西走向的主潮沟和南北走向的支潮沟上各设一条断面,用于分析米草滩内潮沟的沿岸堤现象($M—N$)。通过对米草在两个时段内的分布面积与扩张速度,分析米草带状特征形成前后光滩上潮沟形态的变化规律;并以基准区域为起点度量有大型主潮沟经过的地方米草向内陆碱蓬区扩张的宽度和面积,以此揭示潮沟发育对米草陆向扩张的引领作用。

3 研究结果

3.1 区域总体潮沟系统发育及时空演变特征

图 2、图 3 为 1996—2012 年 3 期潮沟系统空间分布图以及叠加效果图。表 1、表 2 为对 3 期潮沟的数量、长度和密度以及 16a 来光滩上潮沟的迁移情况的统计结果。

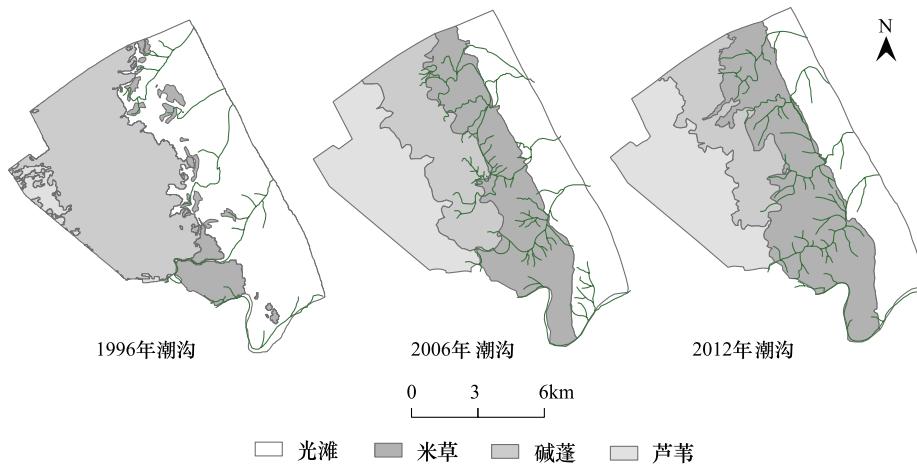


图 2 1996—2012 年潮沟系统空间分布图

Fig.2 Effect diagram of the tidal creek system

从图 2 可以得知,总体来看研究区并无大型潮沟的分布,从北至南潮沟长度和规模依次增大。盐

沼内潮沟的密度要远远大于光滩,且多为垂直于堤岸的东西走向潮沟。区域内最长的一条潮沟(2006年)

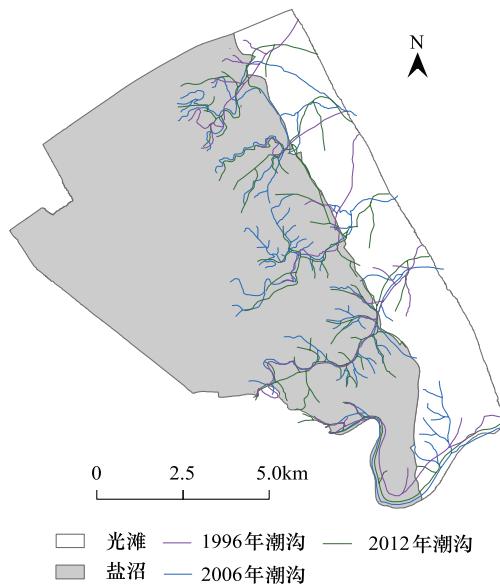


图 3 潮沟系统叠加效果图

Fig.3 Effect diagram of the tidal creek superimposition

尚不足 6 km,稍具规模的潮沟仅有 5 条,且长度大都不超过 3.5 km,平均每隔 3 km 才分布一条。由于区域地形较为平坦,潮沟发育的高程仅局限于 0—1.8 m 的范围内。

在潮沟形态方面,1996 年时的潮沟多短小且分叉较少(1—2 级),形态多为单一的微弯型,曲流不发育。汇水面积和长度仅为 60.66 km^2 和 54.24 km,密度也只有 0.89 km/km^2 ;2006 年时则达到时段内最大规模,潮沟长度骤增至 93.03 km,密度则达到 1.09 km/km^2 ,潮沟相对于 1996 年时已发生显著变化。潮沟分叉增多(4—5 级),形态复杂,多呈树枝状分布,横跨光滩盐沼区,溯源侵蚀尤为明显,曲流特别发育。2012 年时潮沟相对于 2006 年各项指标都有不同程度的下降。潮沟密度降为 1.02 km/km^2 ,长度也大大减小,分叉级数降低(3—4 级),潮沟有向海方向萎缩的趋势。

表 1 3 期潮沟长度和密度分布变化表

Table 1 Length and density of the tidal creek

年份 Years	潮沟数量 Number of tidal creek		潮沟长度 Tidal creek length/km		潮沟密度 (km/km^2) Tidal creek density	
	主潮沟 Main creek	支潮沟 Branch creek	主潮沟 Main creek	支潮沟 Branch creek		
1996	5	21	30.84	23.40	0.89	
2006	5	59	37.24	55.79	1.09	
2012	5	43	34.17	46.44	1.02	

在潮沟运动方面,盐沼滩内的潮沟横向迁移较小纵向迁移较大。1996—2006 年盐沼滩内潮沟在南北方向上迁移较小,仅为 12 m/a,而东西方向上则上升为 140 m/a 上下;2006—2012 年潮沟在南北方向上仅表现为蠕动,在东西方向上则向海方向萎缩,速度为 40 m/a 左右,相对于前期变化较为微弱。光滩上潮沟则纵向迁移较小而横向迁移较大。1996—

2006 年在口门处表现为向南迁移,最大值为 3047 m,4 条潮沟平均向南迁移 1428 m,年均迁移速度为 142.8 m/a,该时段内潮沟活动性较强,移动幅度相对较大;2006—2012 年则表现为向北迁移,平均迁移 679 m,年均迁移速度下降为 113.2 m/a,潮沟变化趋于和缓。

表 2 两个时段内光滩上潮沟迁移变化统计表

Table 2 Statistical table of the tidal creek changes in beach

年份 Years	向南 Southward/m			向北 Northward/m			年均值/m The annual average
	最大值 Maximum value	最小值 Minimum value	平均值 Average value	最大值 Maximum value	最小值 Minimum value	平均值 Average value	
1996—2006	3047	281	1428	—	—	—	142.8
2006—2012	—	—	—	1392	318	679	113.2

3.2 米草潮沟系统基本形态特征

图 4 为从光滩-米草滩-碱蓬滩以及米草滩内主

潮沟、支潮沟上不同位置的断面分布图(以 2012 年潮沟为例)。从宽深比、沿岸堤和边缘地貌等方面揭

示米草潮沟系统的独特特征。

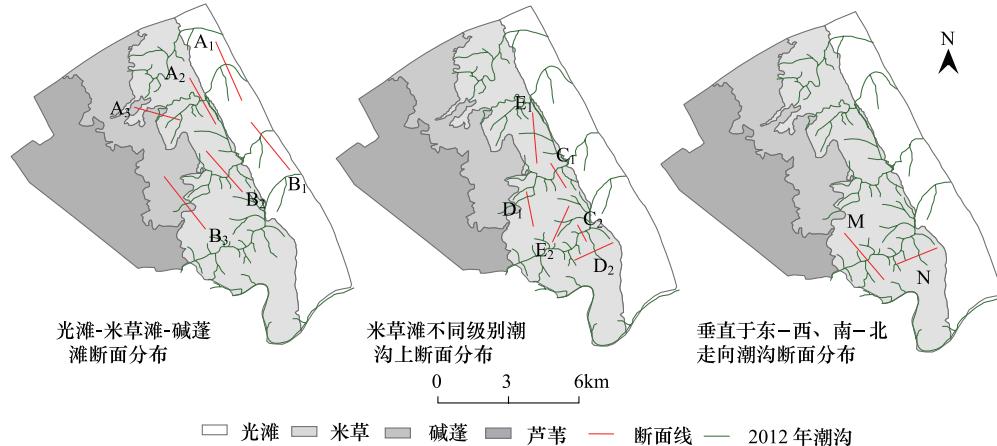


图 4 断面分布图

Fig.4 The distribution of the cross-sectional

3.2.1 形态特征

查看图 2 并结合野外实地调查资料,发现米草滩内的潮沟系统非常发达。在米草还处于点状分布的 1996 年遥感图上,潮沟形态较为简单,呈单一弯曲型,分支较少,一般为 1—2 级,曲流不发育,且主潮沟多分布在米草点上,潮沟向西最长延伸到米草带的边缘即停止生长。2006 年随着米草南北连接成带,潮沟系统得到进一步发育,数目众多,纵横交错。大潮沟开始形成,分级达到 4—5 级,呈树枝状贯穿于整个米草带,曲流特别发育。在米草滩内平均每 1 km^2 范围内就有大小潮沟长度约 1539 m,而在相同动力条件的光滩上仅为 898 m 左右。2012 年伴随着米草扩张速度的下降,潮沟的规模也相应的呈下降趋势,从图 3 中可以清晰的看出,相较于 2006 年,潮沟的分支在减少,级别较高的小潮沟已经逐渐淤死,溯源侵蚀已大幅度减弱,并向海方向萎缩。

3.2.2 宽深比特征

潮沟宽深比指潮沟宽度与深度之比,是潮沟形态的一个重要特征,也是反映潮流等水动力条件和

滩面相互作用的重要指标^[20]。基于图 4 的宽深比统计结果见表 3、表 4 所示。

由表 3 可知,不同滩面内潮沟宽深比表现出显著的不同,光滩上宽深比最大,碱蓬滩次之,米草滩最小。光滩上潮沟宽度较大,泥沙淤积深度较浅,宽深比平均值达到了 107.29;米草滩粘结力强,潮沟窄而深,平均值仅为 18.48;碱蓬滩相较于米草滩而言,平均值略有上升,为 22.37。A 断面为位于湿地中间的一条潮沟,B 断面为位于湿地南部靠近三里河处的一条潮沟,可以看出 B 断面的宽深比,在各个滩内都要高于 A 断面。

由表 4 可知,米草滩内不同级别的潮沟宽深比也存在明显的差别,主潮沟宽深比较大,支潮沟宽深比较小,潮沟级别越高其宽深比越小。主潮沟宽度较大,沟坡平缓,宽深比在 17 左右;支潮沟冲刷严重,深度较大,宽深比较小,一级支潮沟在 9 左右,二级及以上支潮沟宽深比多在 3 左右。同时,该项统计也反映了湿地南部潮沟(C2、D2、E2)的宽深比要略大于北部(C1、D1、E1)。

表 3 不同滩面潮沟宽深比统计表

Table 3 The width and depth ratio in the different regions

指标 Index	光滩 Beach		米草 Spartina		碱蓬 Suaeda	
	A ₁	B ₁	A ₂	B ₂	A ₃	B ₃
宽度 Width	76.00	151.91	25.20	29.80	24.70	31.40
深度 Depth	0.84	1.22	1.41	1.60	1.07	1.45
宽深比 Width/depth	91.07	124.51	17.87	19.10	23.08	21.66
平均值 Mean	107.29		18.48		22.37	

A₁—B₃ 为在东西走向主潮沟的上中下段分别设立的垂直于潮沟的南北向断面

表 4 不同级别潮沟宽深比统计表

Table 4 The width and depth ratio in the different tidal creek

指标 Index	主潮沟 The main creek		一级支潮沟 Secondary creek		二级及以上支潮沟 Lower-level creek	
	C ₁	C ₂	D ₁	D ₂	E ₁	E ₂
宽度	29.70	31.40	10.50	12.2	2.50	3.50
深度	1.68	1.73	1.12	1.17	0.97	1.05
宽深比	17.68	18.15	9.37	10.43	2.58	3.33
平均值	17.87		9.90		2.96	

C₁—E₃为在米草滩内分别垂直于主潮沟、一级支潮沟、二级及以上支潮沟的断面

3.2.3 沿岸堤特征

在野外调查以及高程数据处理中发现,在米草滩内主潮沟和一级支潮沟等较大的潮沟两侧,往往形成规模较大的沿岸堤。基于图 4 的典型断面高程统计结果如图 5 所示。

观察断面形态能够发现,在潮沟的两侧边缘往往发育有高度不等的不对称性的沿岸堤,主潮沟南侧沿岸堤高差大,而支潮沟西侧沿岸堤高差大,主潮沟附近高程明显高于支潮沟。在主潮沟上,沿岸堤一般比滩面高 0.25 m 左右,且潮沟南部边缘高出北部 0.15 m;在支潮沟上,沿岸堤一般比滩面高出 0.2 m 左右,潮沟西部边缘则高出东部 0.19 m。而这一现象在笆斗垦区和东川垦区的米草滩内同样存在^[1,20]。

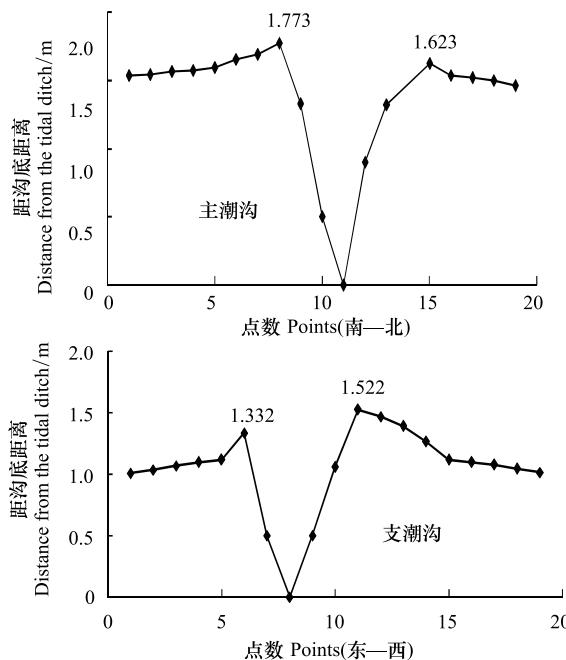


图 5 潮沟断面高程图

Fig.5 Elevation map of the tidal creek cross-section

3.2.4 边缘地貌特征

在对研究区的实地调查中发现,在米草靠近光滩方向的边缘处,发育着明显的陡坎和冲沟,并连成一线,沿着米草边缘贯穿整个米草带。陡坎宽度不一,深度一般在 0.3—1 m 左右,且靠近米草一侧要明显高于靠近光滩一侧。如图 6 所示为沿着东西方向在米草与光滩交界处设置的一条断面,通过断面形态可以清晰的发现这种陡坎和冲沟的存在。

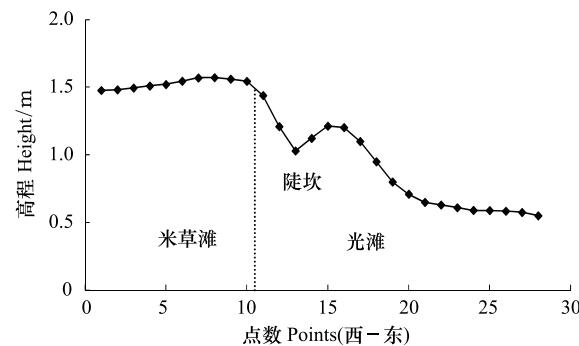


图 6 典型冲沟断面图

Fig.6 Effect diagram of the typical gully

3.3 潮沟发育对米草扩张的影响

3.3.1 米草滩与潮沟变化

表 5 为湿地 1996—2012 年米草植被的面积和年均增长率变化情况统计表,重点揭示潮沟系统变化对米草的扩张影响。

通过观察图 3 和表 5 可知,在米草形成前后,光滩上的潮沟形态和活动性都表现出不同的特点。1996—2006 年是米草从立地生根到快速扩张的时期,年均增长率达到了 $2.35 \text{ km}^2/\text{a}$,而该时段光滩上潮沟的活动性较强,潮沟极不稳定。随着米草带状特征的形成,滩面归槽水量剧增而导致落潮动力增加,使光滩上潮沟的横向摆动尤为明显,分支增多,密度、宽度都大幅度增加;2006—2012 年米草的扩张速度逐步放缓,年均增长率下降为 $1.53 \text{ km}^2/\text{a}$,处于

一种相对稳定时期,而该时段内光滩上潮沟的活动性减弱。潮沟横向摆动不大,分支减少。

表 5 16年来米草变化情况统计表

Table 5 Statistical table of the *Spartina* area changes

年份 Years	面积/km ² Areas	年均增长率/(km ² /a) Average annual growth rate
1996	6.36	—
2006	29.94	2.35
2012	39.11	1.53

3.3.2 陆侧潮沟发育对米草扩张的影响

图 7 为相对于米草未发生明显变化的基准区域,有大型东西向主潮沟经过的地方,米草相对于基准区域超出的宽度和面积,及 2006—2012 年期间米草扩张在主潮沟上的表现方式。

由图 7、表 6、表 7 可知,在有大型东西向主潮沟经过的地方,米草沿着潮沟发育的方向有明显向内陆碱蓬区突起的趋势,且潮沟发育越完善、密度越大,则米草的突起越显著(图 7 线画区域)。其中潮

沟 2 的规模最小,相应的其向碱蓬区延伸的宽度和面积也最小,只有 1134 m 和 1.49 km²;而潮沟 4 的规模最大,潮沟向西伸展的距离也最长,相应的在其影响下的米草植被向碱蓬区的延伸宽度和面积也最大,达到 2587 m 和 8.22 km²。2006—2012 年期间米草沿潮沟发育方向向内陆扩张,基准区域在期间内的面积并未发生明显变化,仅仅增加了 0.24 km²,宽度增加了 98 m,这相对于有潮沟经过的地方米草的扩张速度来说可以忽略不计;区域内最大的一条潮沟 6 年间米草向碱蓬方向扩张了 1692 m,直接扩张面积达 2.51 km²;而其它 3 条主潮沟经过的区域,米草向碱蓬区扩张的趋势同样相当明显。平均扩张宽度为 760 m,扩张面积为 1.28 km²。这相对于没有东西走向潮沟经过的基准区域来说,显得尤为明显。因此,基于以上统计分析认为:潮沟的发育是影响米草向内陆碱蓬区扩张的因素之一,起着非常重要的引领作用,而米草陆向扩张的宽度和幅度取决于所在区域潮沟的发育程度。

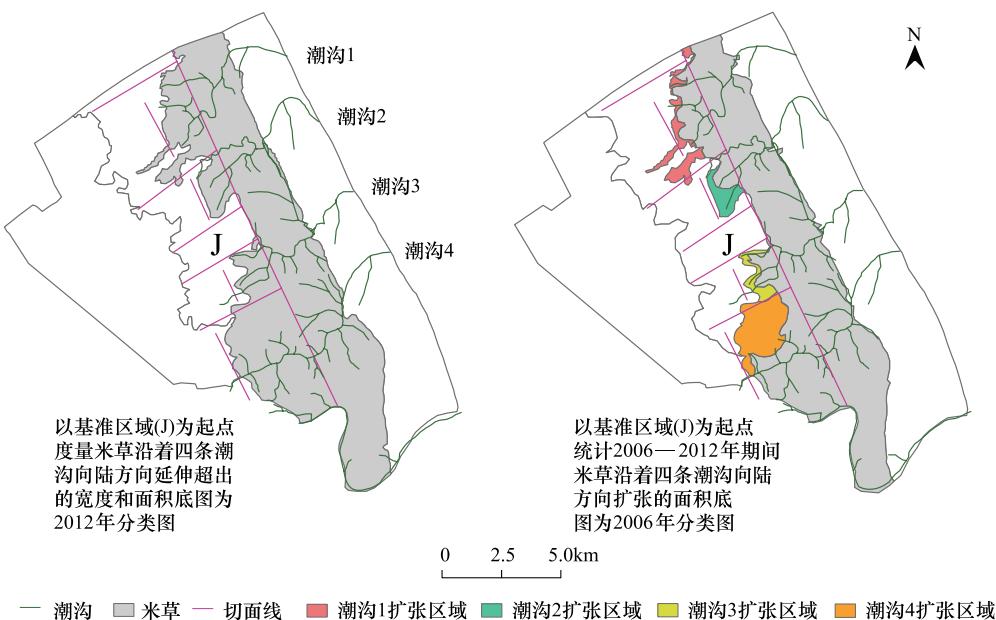


图 7 断面线和米草扩张分布图

Fig.7 The distribution of the cross-sectional and *Spartina* expansion

表 6 4条潮沟区米草分布相对于基准面超出的宽度和面积

Table 6 Statistical table of the length and area in different creek systems

指标 Index	潮沟 1 Tidal creek 1	潮沟 2 Tidal creek 2	潮沟 3 Tidal creek 3	潮沟 4 Tidal creek 4	平均值 Average value
宽度 Width/m	1345	1134	1317	2587	1596
面积 Area/km ²	2.71	1.49	1.65	8.22	3.52

表 7 2006—2012 年米草在潮沟发育方向上的扩张宽度和面积

Table 7 The length and area of *Spartina* expansion from 2006 to 2012

指标 Index	潮沟 1 Tidal creek 1	潮沟 2 Tidal creek 2	潮沟 3 Tidal creek 3	潮沟 4 Tidal creek 4	平均值 Average value	基准面区域 Standard area
宽度/m	366	818	163	1692	760	98
面积/km ²	1.32	0.72	0.57	2.51	1.28	0.24

4 讨论

潮沟是潮滩上发育典型的地貌因子,对潮水的分配以及泥沙的供应都起着重要作用。在淤长型潮滩,随着滩面淤涨加宽,潮沟系统通过自身调节来适应潮滩的淤涨,以完成输干滩面滞留水的功能要求^[3]。

本区为落潮水流冲刷型潮沟,而潮差是潮汐作用强度的重要指标,与江苏弶港一带,4 m 以上的平均潮差相比^[21],该区的潮差仅为 2.42 m,在此潮差下形成的潮流作用远不及弶港一带。因此,潮流对潮沟的改造作用有限,从而造成了该区并无大型潮沟的分布,潮沟密度较小,南北间距较大。

滩面沉积物也是塑造潮沟的重要因素,根据研究发现从光滩-米草滩-碱蓬滩沉积物粒度由粗变细^[22]。在光滩上主要为砂质粉砂和细砂,落潮归槽水对滩面的改造作用强,潮沟发育一般较宽且多顺直;而该区一直处于不断的淤积状态,大量的泥沙沉积使光滩上的潮沟深度较浅。因此,相对于盐沼区的潮沟而言,光滩上的潮沟多具有较大的宽深比;同时,光滩上泥的含量较低,粘结力较差,容易受潮水的冲蚀,一般表现为大冲大淤,使很多潮沟一开始形成即被淤死^[23];另外,光滩靠海较近,受风浪和风暴潮的影响更加强烈,往往一次风暴潮就能对光滩的潮沟形态进行重塑^[24],进而使光滩上的潮沟表现为较强的活动性,具有较高的横向摆动速度和幅度。盐沼滩内的沉积物主要以粉砂为主,泥的含量较高,沉积物的粘结力较强,同时滩内生长着茂密的植被,受植被的阻挡和消浪作用,使潮水到达盐沼滩内时能量已大大降低,潮沟的横向迁移比较微弱。而为了完成疏干滩面归槽水的任务,这就需要刷深沟底或形成新的潮沟以增加潮沟密度或是形成分叉以增加过水断面^[9]。正是由于这种动力的存在,才造成了盐沼滩内潮沟的宽度较小而深度较大,分支较多,密度较高,溯源侵蚀更为明显的特征。

米草作为一种外来种,其发达的茎叶和强大的扩张能力,已大大改变了潮流的动力特征和滩面物质组成,随着米草的形成和扩展,其强大的滞流和消浪作用,使落潮中后期滩面的水流速度明显小于滩外的光滩。借助于米草的淤高使其与碱蓬滩的坡差减小,碱蓬滩内大量的潮水下泄时并没有较好的坡降,从而瞬间使米草滩内的水量增加,产生更多的滩面滞留水。同时,人为挖掘桑蚕,在米草滩内形成的小土堆或蟹穴也会在一定程度上增加地面粗糙度,进一步降低流速。而要疏干滩内的潮水,就需要不断的增加潮沟数量,产生更多的分支,以增加过水面积,这也就是米草滩内潮沟密度较高的原因。再者,大量细颗粒沉积物在此沉积,经过大潮到小潮的半月循环,泥沙不断淤积压实,从而固定了滩面。因此,潮水的侧向侵蚀较难,而要宣泄大量的归槽水,只能通过加大潮沟深度来实现,从而使米草滩内形成了窄而深的潮沟。

在涨潮初期涌流的作用下,使主潮沟具有较大的宽度,并不断向上游扩张,以溯源侵蚀的方式来宣泄更多的潮水。主潮沟和较低级别的支潮沟承担着疏干滩内滞留水的作用,为了适应这个要求,其努力向两侧岸滩侵蚀。因此才会造成米草滩内潮沟级别越低,宽深比越大。至于米草滩内出现的沿岸堤现象,主要是因为在潮水漫滩时,流路突然变宽,加上米草的滞留作用,流速突然减小,泥沙在岸边沉积所致。之所以会出现两岸不对称现象,主要是因为区域地形大致为西高东低、北高南低的趋势,因此在高差的作用下使东部和南部先漫滩,泥沙率先沉积,随着时间的延长,就会出现不对称现象。米草的根茎具有强烈的固滩作用,使其不易被潮水冲刷而发生崩塌现象,随着潮水的持续冲刷,其不断的向粘结力弱的底部侵蚀,从而掏蚀泥沙,形成陡坎和冲沟,并顺着米草的边缘从北至南贯穿整个米草带。南部潮沟规模要普遍大于北部,分析认为除了潮汐潮差因素外,还与该区的高程较低有关。本区潮沟沟口处

高程较低,水源充足,溯源侵蚀较强,更容易发育大潮沟。

5 结论

本文采用实地调查与遥感影像相结合的方法,通过提取湿地3期潮沟数据,分析了湿地潮沟的整体形态特征,并重点对米草潮沟系统的形态特征及成因以及米草潮沟发育对米草扩张的影响进行了系统分析。通过对上述问题的研究,得出了以下基本结论:

(1)受潮流和地形作用的控制,本区并无大型潮沟的分布,潮沟规模从北至南依次增大。发育高程为0—1.8 m。盐沼内潮沟的密度要远大于光滩,且多为垂直于岸堤的东西走向潮沟。光滩上潮沟形态简单,活动性较强,侧向迁移明显;而盐沼内潮沟形态复杂,前期溯源侵蚀明显,后期则有向海萎缩的趋势。

(2)米草潮沟系统具有独特特征,多发育窄而深的潮沟;潮沟密度较大,达到1539 m/km²;潮沟分级多,可达4—5级;潮沟侧向迁移小于纵向迁移;宽深比较小,一般主潮沟在17左右,支潮沟在3—9之间,潮沟级别越低,宽深比越大;潮沟两侧边缘往往发育有高度不等的不对称性的沿岸堤;盐沼边缘发育有陡坎和冲沟,并贯穿整个米草带。

(3)潮沟的发育是影响米草向内陆碱蓬区扩张的因素之一,起着非常重要的引领作用,而米草陆向扩张的宽度和幅度取决于所在区域潮沟的发育程度,在有东西向主潮沟经过的地方米草平均向陆扩张宽度为760 m,扩张面积为1.28 km²。同时,近年来随着米草扩张速度的降低,光滩上潮沟的活动性有所放缓。

References:

- [1] Shen Y M, Zhang R S, Wang Y H. The tidal creek character in salt marsh of *Spartina alterniflora* Loisel on strong tide coast. *Geographical Research*, 2003, 22(4):520-527.
- [2] Zhao X S, Cui B S, Sun T, He Q. The relationship between the spatial distribution of vegetation and soil environmental factors in the tidal creek areas of the Yellow River Delta. *Ecology and Environmental Sciences*, 2010, 19(8):1855-1861.
- [3] Zhang R S, Wang X Y. Tidal creek system on tidal mud flat of Jiangsu province. *Acta Geographica Sinica*, 1991, 46 (2): 195-206.
- [4] Shao X S. Genetic classification of tidal creek and factors affecting its development. *Acta Geographica Sinica*, 1998, 43(1):35-43.
- [5] Zhang G D, Wang Y Y, Zhu J C, Dong R X, Wu P. Modern tidal flat sedimentation in Jianggang, North Jiangsu. *Acta Sedimentologica Sinica*, 1984, 2(2):39-51.
- [6] Sun X G, Zhao H H, Cui C Q. The fractal characteristics of tidal flat and tidal creek system in the Huanghe river delta. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 2001, 32(1):74-80.
- [7] Huang H J, Fan H. Change detection of tidal flats and tidal creeks in the Yellow river delta using Landsat TM/ETM+ images. *Acta Geographica Sinica*, 2004, 59(5):723-730.
- [8] Hood W G. Tidal channel meander formation by depositional rather than erosional processes: examples from the prograding Skagit River Delta (Washington, USA)-Earth Surface Processes and Landforms, 2010, 35(3): 319-330.
- [9] Vandenbruwaene W, Meire P, Temmerman S. Formation and evolution of a tidal channel network within a constructed tidal marsh. *Geomorphology*, 2012, 151-152: 114-125.
- [10] Li Z H, Gao S, Ke X K, Wang Y P. Sediment dynamic processes of salt marsh creek and adjacent tidal-flats on the Dafeng coast, Jiangsu Province, China. *Acta Oceanologica Sinica*, 2005, 27(6): 75-82.
- [11] Wu X D, Gao S. A morphological analysis of tidal creek network patterns on the Jiuduansha Shoal in the Changjiang Estuary. *Acta Oceanologica Sinica*, 2012, 34(6): 126-132.
- [12] Postma H. Transport and accumulation of suspended matter in the Dutch Wadden Sea. *Netherlands Journal of Sea Research*, 1961, 1 (1/2): 148-190.
- [13] Temmerman S, Bouma T J, Govers G, Wang Z B, Vries M B, Herman P M J. Impact of vegetation on flow routing and sedimentation patterns: three dimensional modeling for a tidal marsh. *Journal of Geophysical Research*, 2005, 110(F4), doi: 10.1029/2005JF000301.
- [14] Elgar S. Currents in a small channel on a sandy tidal flat. *Continental Shelf Research*, 2011, 31(1): 9-14.
- [15] Bridges P H, Leeder M R. Sedimentary model for intertidal mudflat channels with examples from the Solway Firth. *Sedimentology*, 1976, 23(4): 533-552.
- [16] Fruergaard M, Andersen T J, Nielsen L H, Madsen A T, Johannessen P N, Murray A S, Kirkegaard L, Pejrup M. Punctuated sediment record resulting from channel migration in a shallow sand-dominated micro-tidal lagoon, Northern Wadden Sea, Denmark. *Marine Geology*, 2011, 280(1/4): 91-104.
- [17] Zhang H B, Liu H Y, Hao J F, Li Y F. Spatiotemporal characteristics of landscape change in the coastal wetlands of Yancheng caused by natural processes and human activities. *Acta Ecologica Sinica*, 2012, 32(1): 101-110.
- [18] Li J L, Yang X P, Tong Y Q, Zhang D F, Shen Y M, Zhang R S. Influences of *Spartina alterniflora* invasion on ecosystem services

- of coastal wetland and its countermeasures. *Marine Science Bulletin*, 2005, 24(5): 33-38.
- [19] Liu Y X, Zhang R S, Li M C. Study of the remote sensing extraction method of ground object information on the Jiangsu tidal flat. *Advances in Marine Science*, 2004, 22(2): 210-214.
- [20] Zhang Z L. The Tidal Creek Development of the Inner Edge of the Area in the Radiation Sandbar Response to Human Activities [D]. Nanjing: Nanjing Normal University, 2004.
- [21] Yan S G. The Growth and Evolution of Tidal Creeks on the Prograding Mud Flat in Jiangsu Province [D]. Nanjing: Nanjing Normal University, 2002.
- [22] 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.
- [23] Chen Y, He Z F, Li B, Zhao B C. Spatial distribution of tidal creeks and quantitative analysis of its driving factors in Chongming Dongtan, Shanghai. *Journal of Jilin University: Earth Science Edition*, 2013, 43(1): 212-219.
- [24] Chen J, Feng W B, Zhang R S. Stability of tidal creek system of Tiaozini sand shoals in the north of Jiangsu coast. *Scientia Geographica Sinica*, 2004, 24(1): 94-100.
- [5] 张国栋, 王益友, 朱静昌, 董荣鑫, 吴萍. 苏北弶港现代潮坪沉积. *沉积学报*, 1984, 2(2): 39-51.
- [6] 孙效功, 赵海虹, 崔承琦. 黄河三角洲潮滩潮沟体系的分维特征. *海洋与湖沼*, 2001, 32(1): 74-80.
- [7] 黄海军, 樊辉. 黄河三角洲潮滩潮沟近期变化遥感监测. *地理学报*, 2004, 59(5): 723-730.
- [10] 李占海, 高抒, 柯贤坤, 汪亚平. 江苏大丰海岸碱蓬滩潮沟及滩面的沉积动力特征. *海洋学报*, 2005, 27(6): 75-82.
- [11] 吴晓东, 高抒. 长江口潮间带九段沙浅滩潮水沟形态分析. *海洋学报*, 2012, 34(6): 126-132.
- [17] 张华兵, 刘红玉, 郝敬峰, 李玉凤. 自然和人工管理驱动下盐城海滨湿地景观格局演变特征与空间差异. *生态学报*, 2012, 32(1): 101-110.
- [18] 李加林, 杨晓平, 童亿勤, 张殿发, 沈永明, 张忍顺. 互花米草入侵对潮滩生态系统服务功能的影响及其管理. *海洋通报*, 2005, 24(5): 33-38.
- [19] 刘永学, 张忍顺, 李满春. 江苏淤泥质潮滩地物信息遥感提取方法研究. *海洋科学进展*, 2004, 22(2): 210-214.
- [20] 张正龙. 辐射沙洲内缘区潮沟发育对人类活动的响应 [D]. 南京: 南京师范大学, 2004.
- [21] 燕守广. 江苏淤长型淤泥质潮滩上潮沟的发育与演变 [D]. 南京: 南京师范大学, 2002.
- [22] 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): 325-332.
- [23] 陈勇, 何中发, 黎兵, 赵宝成. 崇明东滩潮沟发育特征及其影响因素定量分析. *吉林大学学报: 地球科学版*, 2013, 43(1): 212-219.
- [24] 陈君, 冯卫兵, 张忍顺. 苏北岸外条子泥沙洲潮沟系统的稳定性研究. *地理科学*, 2004, 24(1): 94-100.

参考文献:

- [1] 沈永明, 张忍顺, 王艳红. 互花米草盐沼潮沟地貌特征. *地理研究*, 2003, 22(4): 520-527.
- [2] 赵欣胜, 崔保山, 孙涛, 贺强. 黄河三角洲潮沟湿地植被空间分布对土壤环境的响应. *生态环境学报*, 2010, 19(8): 1855-1861.
- [3] 张忍顺, 王雪瑜. 江苏省淤泥质海岸潮沟系统. *地理学报*, 1991, 46(2): 195-206.
- [4] 邵虚生. 潮沟成因类型及其影响因素的探讨. *地理学报*,

CONTENTS

Frontiers and Comprehensive Review

- Effects of soil texture on variations of paddy soil physical and chemical properties under continuous no tillage GONG Dongqin, LÜ Jun (239)

- Evaluation of the landscape patterns vulnerability and analysis of spatial correlation patterns in the lower reaches of Liaohe River Plain SUN Caizhi, YAN Xiaolu, ZHONG Jingqiu (247)

- Effects of light and dissolved oxygen on the phenotypic plasticity of *Alternanthera philoxeroides* in submergence conditions XU Jianping, ZHANG Xiaoping, ZENG Bo, et al (258)

- A review of the relationship between algae and bacteria in harmful algal blooms ZHOU Jin, CHEN Guofu, ZHU Xiaoshan, et al (269)

- Biodiversity and research progress on picophytoplankton in saline lakes WANG Jiali, WANG Fang (282)

- Effects of ozone stress on major plant physiological functions LIE Ganwen, YE Longhua, XUE Li (294)

- The current progress in rodents molecular phylogeography LIU Zhu, XU Yanchun, RONG Ke, et al (307)

- The progress in ecosystem services mapping: a review ZHANG Liwei, FU Bojie (316)

Autecology & Fundamentals

- Growth, and cationic absorption, transportation and allocation of *Elaeagnus angustifolia* seedlings under NaCl stress LIU Zhengxiang, ZHANG Huixin, YANG Xiuyan, et al (326)

- Leaf morphology and PS II chlorophyll fluorescence parameters in leaves of *Sinosenecio jishouensis* in Different Habitats XIANG Fen, ZHOU Qiang, TIAN Xiangrong, et al (337)

- Response of change of wheat LAI measured with LAI-2000 to the radiance WANG Yan, TIAN Qingjiu, SUN Shaojie, et al (345)

- Effects of K⁺ and Cr⁶⁺ on larval development and survival rate of the acorn barnacle *Balanus reticulatus* HU Yufeng, YAN Tao, CAO Wenhao, et al (353)

- Diffusion of colorado potato beetle, *Leptinotarsa decemlineata*, adults in field LI Chao, PENG He, CHENG Dengfa, et al (359)

Population, Community and Ecosystem

- Seasonal variations in fish community structure in the Laizhou Bay and the Yellow River Estuary SUN Pengfei, SHAN Xiujuan, WU Qiang, et al (367)

- Variations in fish community structure and diversity in the sections of the central and southern Yellow Sea SHAN Xiujuan, CHEN Yunlong, DAI Fangqun, et al (377)

- Research on the difference in eutrophication state and indicator threshold value determination among lakes in the Southern Jiangsu Province, China CHEN Xiaohua, LI Xiaoping, WANG Feifei, et al (390)

- Effecton of tidal creek system on the expansion of the invasive *Spartina* in the coastal wetland of Yancheng HOU Minghang, LIU Hongyu, ZHANG Huabing (400)

- The spatial and temporal variations of maximum light use efficiency and possible driving factors of Croplands in Jiangsu Province KANG Tingting, GAO Ping, JU Weimin, et al (410)

- Simulation of summer maize yield influenced by potential drought in China during 1961—2010 CAO Yang, YANG Jie, XIONG Wei, et al (421)

- Forest change and its impact on the quantity of oxygen release in Heilongjiang Province during the Past Century ZHANG Lijuan, JIANG Chunyan, MA Jun, et al (430)

Soil macro-faunal guild characteristics at different successional stages in the Songnen grassland of China	LI Xiaoqiang, YIN Xiuqin, SUN Lina (442)
Seasonal dynamics of soil microbial biomass in six forest types in Xiaoxing'an Mountains, China	LIU Chun, LIU Yankun, JIN Guangze (451)
Landscape, Regional and Global Ecology	
Variation of drought and regional response to climate change in Huang-Huai-Hai Plain ...	XU Jianwen, JU Hui, LIU Qin, et al (460)
Wind speed changes and its influencing factors in Southwestern China	ZHANG Zhibin, YANG Ying, ZHANG Xiaoping, et al (471)
Characteristics of soil carbon density distribution of the <i>Kobresia humilis</i> meadow in the Qinghai Lake basin	CAO Shengkui, CHEN Kelong, CAO Guangchao, et al (482)
Life cycle assessment of carbon footprint for rice production in Shanghai	CAO Liming, LI Maobai, WANG Xinqi, et al (491)
Research Notes	
Seasonal changes of ground vegetation characteristics under artificial <i>Caragana intermedia</i> plantations with age in desert steppe	LIU Rentao, CHAI Yongqing, XU Kun, et al (500)
The experimental study on trans-regional soil replacement	JIN Yinghua, XU Jiawei, QIN Lijie (509)
Sensitivity analysis of swat model on changes of landscape pattern: a case study from Lao Guanhe Watershed in Danjiangkou Reservoir Area	WEI Chong, SONG Xuan, CHEN Jie (517)

《生态学报》2014年征订启事

《生态学报》是由中国科学技术协会主管,中国生态学学会、中国科学院生态环境研究中心主办的生态学高级专业学术期刊,创刊于1981年,报道生态学领域前沿理论和原始创新性研究成果。坚持“百花齐放,百家争鸣”的方针,依靠和团结广大生态学科研工作者,探索生态学奥秘,为生态学基础理论研究搭建交流平台,促进生态学研究深入发展,为我国培养和造就生态学科研人才和知识创新服务、为国民经济建设和发展服务。

《生态学报》主要报道生态学及各分支学科的重要基础理论和应用研究的原始创新性科研成果。特别欢迎能反映现代生态学发展方向的优秀综述性文章;研究简报;生态学新理论、新方法、新技术介绍;新书评价和学术、科研动态及开放实验室介绍等。

《生态学报》为半月刊,大16开本,280页,国内定价90元/册,全年定价2160元。

国内邮发代号:82-7,国外邮发代号:M670

标准刊号:ISSN 1000-0933 CN 11-2031/Q

全国各地邮局均可订阅,也可直接与编辑部联系购买。欢迎广大科技工作者、科研单位、高等院校、图书馆等订阅。

通讯地址:100085 北京海淀区双清路18号 电 话:(010)62941099; 62843362

E-mail: shengtaixuebao@rcees.ac.cn 网 址: www.ecologica.cn

编辑部主任 孔红梅 执行编辑 刘天星 段 靖

生 态 学 报

(SHENTAI XUEBAO)

(半月刊 1981年3月创刊)

第34卷 第2期 (2014年1月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 34 No. 2 (January, 2014)

编 辑	《生态学报》编辑部 地址:北京海淀区双清路18号 邮政编码:100085 电话:(010)62941099 www.ecologica.cn shengtaixuebao@rcees.ac.cn
主 编	王如松
主 管	中国科学技术协会
主 办	中国生态学学会 中国科学院生态环境研究中心 地址:北京海淀区双清路18号 邮政编码:100085
出 版	科 学 出 版 社 地址:北京东黄城根北街16号 邮政编码:100717
印 刷	北京北林印刷厂
发 行	科 学 出 版 社 地址:东黄城根北街16号 邮政编码:100717 电话:(010)64034563 E-mail:journal@cspg.net
订 购	全国各地邮局
国 外 发 行	中国国际图书贸易总公司 地址:北京399信箱 邮政编码:100044
广 告 经 营	京海工商广字第8013号
许 可 证	

Edited by	Editorial board of ACTA ECOLOGICA SINICA Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China Tel:(010)62941099 www.ecologica.cn shengtaixuebao@rcees.ac.cn
Editor-in-chief	WANG Rusong
Supervised by	China Association for Science and Technology
Sponsored by	Ecological Society of China Research Center for Eco-environmental Sciences, CAS Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China
Published by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China
Printed by	Beijing Bei Lin Printing House, Beijing 100083, China
Distributed by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China Tel:(010)64034563 E-mail:journal@cspg.net
Domestic	All Local Post Offices in China
Foreign	China International Book Trading Corporation Add:P. O. Box 399 Beijing 100044, China

