

基于景观格局的现代黄河三角洲滨海湿地 土壤有机碳储量估算

于君宝¹, 王永丽², 董洪芳^{1,3}, 王雪宏^{1,3}, 栗云召^{1,3}, 周迪^{1,3}, 高永军⁴

(1. 中国科学院烟台海岸带滨海湿地生态实验室, 中国科学院山东省海岸带环境过程重点实验室, 山东烟台 264003;
2. 南阳师范学院环境科学与旅游学院, 河南南阳 473061; 3. 中国科学院大学, 北京 100049; 4. Department of
Oceanography and Coastal Sciences, Louisiana State University, Baton Rouge, LA 70803, USA)

摘要: 利用2000年和2009年的TM影像数据, 对现代黄河三角洲滨海湿地的景观进行分类, 将其划分为9种景观类型。利用ArcGIS9.3软件, 依据2009年黄河三角洲滨海湿地GPS土壤定点采样点的理化分析数据, 计算出土壤有机碳密度, 并进行空间插值, 结合各景观类型分布面积, 估算表层(0~30 cm深度)土壤有机碳密度和储量。研究表明, 2000~2009年, 研究区的总面积增加, 土壤有机碳密度为0.73~4.25 kg/m²; 2000年和2009年的土壤总有机碳储量分别为3.43×10⁶ t和3.17×10⁶ t。各景观类型的土壤有机碳储量随着其面积的变化而变化, 面积变化最明显的景观类型是滩涂、灌草地、农田和盐田养殖池, 导致这种变化的原因是自然因素和人为因素共同作用的结果。减少和限制人类活动、保护表层土壤对黄河三角洲滨海湿地土壤碳库的持续稳定发展非常重要。

关键词: 景观类型; 土壤有机碳密度; 土壤有机碳储量; 滨海湿地; 现代黄河三角洲

中图分类号: X142; X171.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672-5948(2013)01-001-06

随着大气中CO₂浓度的迅速增加, 温室效应所引起的全球气候变暖越来越多的受到各国政府和学术界的关注^[1-4], 国内外科学家在森林、草原、农田和湿地等生态系统相继开展了关于温室气体排放的研究^[5,6]。湿地是一种独特且多功能的生态系统, 具有很高的初级生产力。研究表明, 湿地生态系统尤其是泥炭沼泽具有很高的固碳价值^[7,8]。尽管全球湿地面积仅占陆地面积的4%~6%, 但其碳储量占陆地生态系统碳储存总量的20%~25%^[9,10]。但是随着越来越多的湿地被疏干, 湿地土壤有机碳的分解速率加快, 导致土壤温室气体的排放量增加^[11]。因此, 保护和加强湿地的碳储功能, 对于维持湿地生态系统及减少温室气体排放具有非常重要的作用^[12]。

黄河三角洲位于黄河入海口处, 是中国三大河口三角洲之一, 也是中国暖温带地区最完整、最

广阔、最年轻的新生湿地生态系统^[13]。这里资源丰富, 生境独特, 景观类型多样, 主要以滨海湿地、河流和河漫滩为主。由于黄河的频繁改道, 快速演化性成为黄河三角洲的典型特征, 同时由于受海水盐分作用, 该区域生态环境及其脆弱。近年来, 黄河三角洲开发已经上升为国家战略, 其所面临的快速开发势必给生态环境造成更大的压力, 尤其会在很大程度上影响滨海湿地生态系统养分循环过程。到目前为止, 国内在区域尺度上对土壤有机碳储量的估算已有不少研究^[11,14-20], 但有关黄河三角洲滨海湿地碳储量的具体资料未见报道。为此, 本文选取黄河三角洲滨海湿地作为研究对象, 发挥景观生态学可以在较大空间和时间尺度上研究生态系统的空间格局和生态过程的优势^[21-23], 在区域尺度上开展黄河三角洲滨海湿地景观变化研究。利用2000年和2009年两期TM影

收稿日期: 2012-04-26; 修订日期: 2012-09-23

基金项目: 中国科学院战略性先导科技专项项目(XDA05020503)、中国科学院知识创新工程重要方向项目(KZCX2-YW-223; KZCX2-YW-359)、中国科学院—国家外国专家局创新团队国际合作伙伴计划项目(Y02A071041)、山东省自然科学基金项目(JQ201114)、中国科学院百人计划项目和“十二五”国家科技支撑计划项目(2011BAC02B01)资助。

作者简介: 于君宝(1968-), 吉林省长春人, 博士, 研究员, 主要研究方向为元素生物地球化学与生态修复。E-mail: junbaoyu@gmail.com; jbyu@yic.ac.cn

像,在对其进行景观分类的基础上,利用 ArcGIS 软件研究土壤有机碳密度的空间分布,并根据 2009 年实测的土壤有机碳含量、土壤容重和土层厚度等数据,估算 2000 年和 2009 年黄河三角洲滨海湿地土壤碳储量,并对 2000~2009 年期间的景观和土壤有机碳含量变化进行了系统分析。

1 数据和方法

1.1 研究区选取

黄河三角洲北临渤海湾,东靠莱州湾,主要分布于山东省东营市和滨州市境内。该区域气候为温带大陆季风性气候,年平均气温为 12.1 °C,年降水量 551.6 mm。该区独特的地理位置和气候特征,使该地区蕴藏着丰厚的湿地资源^[24]。鉴于景观格局的全面性、可具代表性以及资料的可获得性和完整性,本文选取的研究区处在 37°26'N~38°09'N 和 118°33'E~119°18'E 之间,是位于东营的现代黄河三角洲,研究区湿地总面积约 2 200 km²,研究区地理位置详见图 1。

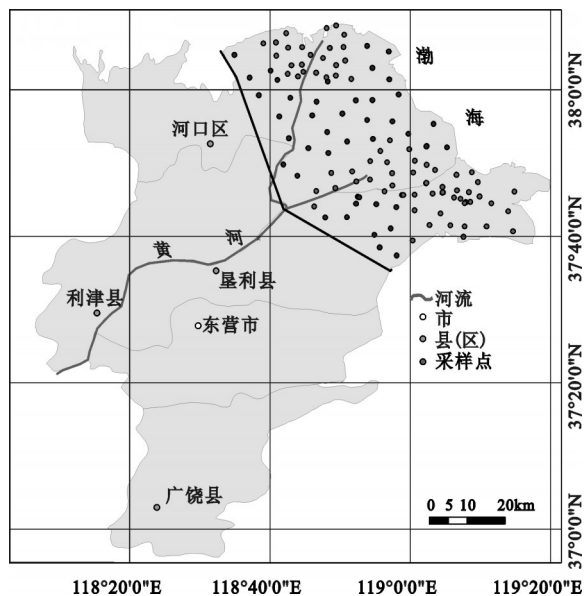


图1 现代黄河三角洲滨海湿地地理位置

Fig.1 The geographic position of coastal wetlands in the modern Yellow River Delta

1.2 数据来源与预处理

选取分辨率为 30 m 的 2000 年和 2009 年的 TM 影像作为数据源。

首先,利用 ERDAS 9.2 软件对 TM 影像进行彩色合成、信息增强和几何校正等处理;然后,根据黄河三角洲滨海湿地景观类型的影像光谱和几何特征,结合 2009 年 6 月的野外 GPS 定位调查记

录,对 TM 影像进行解译分类;最后,利用 ArcGIS 软件建立数据库,对初步分类结果进行统计、计算和分析。研究中将研究区景观分为如下 9 种类型:滩涂、河库沟渠、苇草地、林草地、灌草地、农田(旱田和水田)、建筑用地、盐田养殖池和盐渍化湿地。

1.3 土壤有机碳储量估算

土壤有机碳密度指单位面积上一定土层厚度(通常是 1 m)内土壤有机碳储量。然而,并非所有的土壤厚度都能达到 1 m 或以上,因此,在计算土壤有机碳密度时,土层厚度应该按照实际情况给定^[25]。鉴于黄河三角洲滨海湿地的土壤新生性特征,设定土层厚度为 30 cm,来估算区域土壤有机碳储量。土壤有机碳储量的计算公式如下:

$$M=A \times D_{\text{soc}}, D_{\text{soc}}=c \times d \times r \times (1-D) \quad (1)$$

公式(1)中, $M(\text{kg})$ 为土壤有机碳储量; $A(\text{m}^2)$ 为不同景观类型面积; $D_{\text{soc}}(\text{kg}/\text{m}^2)$ 为土壤有机碳密度; $c(\%)$ 为土壤有机碳含量; $d(\text{m})$ 为土层厚度; $r(\text{kg}/\text{m}^3)$ 为土壤容重; D 为直径>2 mm 的砾石含量,单位为体积比。

各景观类型面积数据来源于遥感影像的解译结果。2009 年 6 月,在研究区内按网格法共设了 84 个采样点,每个采样点剖面按 10 cm 间隔采集土壤样品,采样深度为 30 cm,共采集土壤样品 252 个。土壤有机碳含量和土壤容重数据来源于采集的 252 个土壤样品的实测结果。

2 结果与分析

2.1 滨海湿地景观变化

由表 1 可知,2000 年和 2009 年现代黄河三角洲滨海湿地总面积为 2 112.46 km² 和 2 123.2 km²。2000~2009 年期间,研究区滨海湿地面积增长率为 0.51%,平均每年增长 1.07 km²。2000~2009 年期间,除滩涂、苇草地和灌草地的面积在减少外,其他景观类型的面积都在增加(表 2,图 2)。2009 年,在各景观类型中,旱田的面积最大,占总面积的 26.47%;其次为滩涂,面积占总面积的 17.95%;灌草地、盐渍化湿地和盐田养殖池的面积较大,分别占到总面积的 10% 以上;其中,盐田养殖池面积增加幅度最大,其面积的年平均增长率高达 30.8%。

利用 ArcGIS9.3 软件空间分析模块的交叉列表统计功能^[26],得到对 2000 年和 2009 年研究区景观类型转移矩阵,分析两个时期现代黄河三角洲滨海湿地景观类型之间的相互转化关系。

表1 2000年和2009年现代黄河三角洲滨海湿地景观特征指标

Table 1 Indexes of landscape characteristics of coastal wetlands in the modern Yellow River Delta in 2000 and 2009

年份	斑块数(块)	总面积(km ²)	平均斑块面积(km ²)	总周长(km)	平均斑块周长(m)
2000年	71 116	2 112.46	0.029 7	48 030.9	675.39
2009年	44 333	2 123.20	0.047 9	37 967.4	856.41

表2 2000年和2009年现代黄河三角洲滨海湿地各景观类型面积

Table 2 Areas of various landscape types of coastal wetlands in the modern Yellow River Delta in 2000 and 2009

景观类型	面积(km ²)	
	2000年	2009年
滩涂	477.56	381.17
旱田	503.66	561.96
水田	4.04	28.52
苇草地	208.72	162.07
林草地	61.28	78.15
灌草地	493.31	269.85
河库沟渠	24.35	37.95
建筑用地	126.24	141.79
盐渍化湿地	161.11	248.83
盐田养殖池	52.19	212.91
总计	2 112.46	2 123.20

由表3可知,2000~2009年期间,现代黄河三角洲滨海湿地盐田养殖池面积增幅很大,盐田养

殖池增加的面积主要是由灌草地、滩涂和盐渍化湿地转化而来的。新增盐田养殖池面积中,有43.7%由灌草地转化而来,有29.8%由滩涂转化而来,还有16.4%由盐渍化湿地转化而来。在此期间,黄河三角洲滨海湿地的旱地面积的增长率超过10%,其新增面积主要转化自灌草地、林草地和苇草地;水田面积的增长比例高达600%以上,多由旱田转化而来。研究区土壤盐渍化严重,旱田多种植棉花和玉米等作物,而水田比旱田收益好,因此,人们将部分旱田改为水田,以提高种植收入。同时,河库沟渠面积随着水田面积的增加,也在增加,其中用于水田和旱田的水利设施如水渠、水库等主要由滩涂、苇草地和林草地转化而来。

2.2 滨海湿地土壤有机碳密度及其空间分布

根据2009年6月采集的土壤样品的测试结果,得到土壤有机质含量和土壤容重等数据,取土层厚度为30 cm,应用公式(1)计算出研究区的土壤有机碳密度。由于得到的土壤有机碳密度数据为点源数据,而不同的采样点对应着不同的景观类型,在尽量保证采样点分布均匀的情况下,根据计算需要,在ArcGIS软件中用克里格(Kriging)法进行空间内插,得到计算土壤有机碳密度及储量的各决定因素栅格图层,然后,在ArcGIS软件支持下,将各决定因素栅格图层进行栅格叠合分析,得到现代黄河三角洲滨海湿地土壤有机碳密度的空间分布。

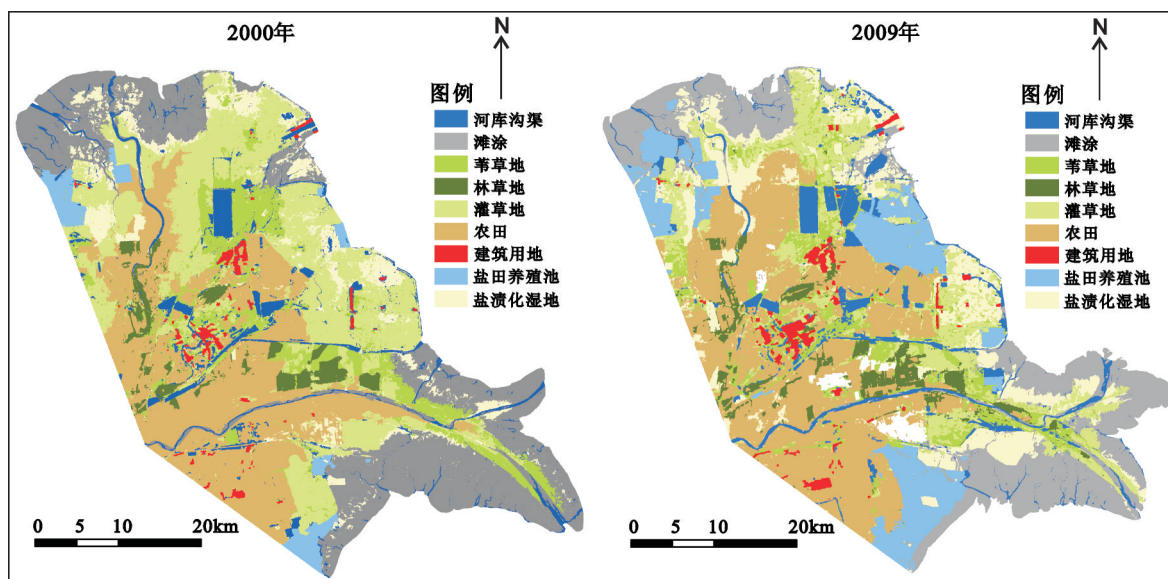


图2 2000年和2009年黄河三角洲滨海湿地的景观分布

Fig.2 Landscape distribution of coastal wetlands in the modern Yellow River Delta in 2000 and 2009

表3 2000年与2009年现代黄河三角洲滨海湿地景观类型面积(km²)转移矩阵Table 3 Area (km²) conversion matrix of landscape types between year of 2000 and that of 2009 in coastal wetlands in the modern Yellow River Delta

	滩涂	河库沟渠	苇草地	林草地	灌草地	建筑用地	盐田 养殖池	盐渍化 湿地	旱田	水田	总计
滩涂	257.96	25.63	4.85	1.45	17.81	0.13	47.88	69.90	3.01	0.07	428.70
河库沟渠	20.44	43.17	14.33	1.92	8.43	2.08	8.46	9.28	12.97	0.03	121.11
苇草地	5.11	21.76	48.41	9.57	56.48	4.62	10.42	12.34	37.60	1.98	208.30
林草地	0.02	1.06	3.96	34.16	2.46	0.07	0.10	2.17	16.42	0.36	60.79
灌草地	9.10	19.67	55.52	7.25	130.90	3.68	70.18	67.54	124.69	4.62	493.14
建筑用地	0.07	0.38	2.11	0.30	1.60	15.22	0.00	0.62	3.94	0.08	24.32
盐田养殖池	2.07	0.16	0.35	0.00	0.39	0.19	46.58	1.55	0.81	0.00	52.10
盐渍化湿地	23.67	12.41	5.72	0.41	27.01	0.83	26.32	47.85	12.41	3.79	160.42
旱田	1.65	13.58	27.38	23.40	23.59	11.02	2.79	34.90	348.11	15.95	502.36
水田	0.04	0.00	0.16	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03	2.10	1.69	4.03
总计	320.13	137.81	162.79	78.48	268.67	37.84	212.73	246.19	562.06	28.56	2 055.27

现代黄河三角洲滨海湿地表层(0~30 cm)土壤有机碳密度为0.73~4.25 kg/m²,研究区平均土壤有机碳密度为1.17~2.41 kg/m²(图3)。

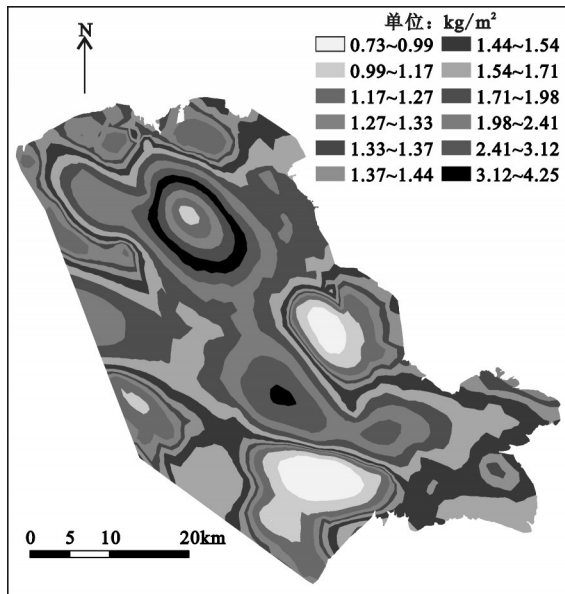


图3 现代黄河三角洲滨海湿地土壤有机碳密度分布图
Fig.3 Distribution map of organic carbon densities in soils of coastal wetlands in the modern Yellow River Delta

从图3可以看出,现代黄河三角洲滨海湿地土壤有机碳密度分布比较有规律,同黄河流路以及所对应的景观类型密切相关。统计结果显示,有机碳密度为1.44~2.41 kg/m²的土壤分布面积最大,约为1190.82 km²,占研究区总面积的57.2%,其主要分布在黄河曾经和现在的河道与河口一带,呈连续性,地面景观大部分为旱田,还有部分

滩涂和盐渍化湿地;其有机碳密度为0.99~1.44 kg/m²的土壤分布面积为690.15 km²,占研究区总面积的32.3%,其分布相对分散,主要在沿海滩涂、盐田养殖池和黄河故道出口处,这些地区土地利用方式变动频繁,表层土壤多为沙质土壤,植被稀疏,有机质矿化速度慢;有机碳密度为2.41~3.12 kg/m²和3.12~4.25 kg/m²的土壤分布面积较小,分别为115.37 km²和42.90 km²,占研究区总面积的5.4%和2.0%,主要分布在目前黄河流路北面的林草地、孤北水库周围的水域、旱田和灌草地;有机碳密度为0.73~0.99 kg/m²的土壤分布面积最小,为66.31 km²,占研究区总面积的3.1%,只在南部盐渍化湿地和孤东油田区分布。

2.3 滨海湿地土壤有机碳储量

在ArcGIS软件支持下,将土壤有机碳密度图层分别与2009年和2000年现代黄河三角洲滨海湿地景观类型图层进行叠加,然后根据公式(1)对2009年和2000年现代黄河三角洲滨海湿地土壤有机碳储量进行估算。

现代黄河三角洲滨海湿地2000年和2009年的表层土壤(0~30 cm)的有机碳储量分别为342.63×10⁴ t和316.99×10⁴ t(表4)。

2009年黄河三角洲滨海湿地的土壤有机碳储量比2000年减少了25.64×10⁴ t。由于2000年研究区的土壤有机碳储量是根据2009年的土壤有机碳密度数据估算的,而2000~2009年期间,研究区有些景观类型的面积发生明显变化,例如,大部分灌草地被开垦成旱田,而灌草地的土壤有机碳密度

表4 2000年和2009年现代黄河三角洲滨海湿地各景观类型表层土壤有机碳储量

Table 4 Organic carbon reserves in surface soils of various landscape types of coastal wetlands in the modern Yellow River Delta in 2000 and 2009

景观类型	土壤有机碳储量($\times 10^4$ t)	
	2000年	2009年
滩涂	71.31	56.15
旱田	90.06	94.85
水田	0.84	5.53
苇草地	39.96	31.40
林草地	11.82	15.80
灌草地	82.31	46.52
河库沟渠	20.86	25.66
建筑用地	-	-
盐渍化湿地	25.46	41.09
盐田养殖池	-	-
总计	342.63	316.99

高于旱田,这使得研究区土壤储碳层的有机碳密度发生变异,这是导致研究区土壤碳储量估算具有不确定性的原因之一;另外,建筑用地和盐田养殖池并无土壤采样数据,其相关数据是由内插得到的,而且2009年盐田养殖池和建筑用地所占面积远大于2000年,这也是使研究区土壤碳储量估算值具有不确定性一个原因。

3 结论

2000~2009年,黄河三角洲滨海湿地的盐田养殖池、盐渍化湿地和水田面积在增加,其年平均增长率分别为30.8%、5.45%和60.65%。盐田养殖池、盐渍化湿地和水田增加的面积主要由灌草地、滩涂和苇草地转化而来。

黄河三角洲滨海湿地0~30 cm厚度的土层的土壤有机碳密度集中在1.44~2.41 kg/m²范围内。土壤有机碳密度的大值主要分布在含水量和植物丰富的河流、水库、沟渠及其附近的苇草地、灌草地等。

根据估算,2000年和2009年黄河三角洲滨海湿地的总土壤有机碳储量分别为 3.43×10^6 t和 3.17×10^6 t。

随着经济的发展,人类活动对黄河三角洲滨海湿地的干扰程度越来越大,结果导致灌草地被开垦为农田和盐田养殖池,天然湿地退化为盐渍化湿地。黄河三角洲滨海湿地0~10 cm土层的土

壤有机质含量相对较高,因此,保护表层土壤对黄河三角洲滨海湿地土壤碳库的持续稳定发展非常重要。

致谢:本研究得到“中国科学院黄河三角洲滨海湿地生态试验站”和山东省黄河三角洲生态环境重点实验室的大力支持,在此表示衷心感谢!

参考文献

- [1] Hansen J, Sato M, Ruedy R, *et al.* Global warming in the twenty-first century: An alternative scenario[J]. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 2000, **97**(18): 9 875-9 880.
- [2] Schimel D, Melillo J, Tian H Q, *et al.* Contribution of increasing CO₂ and climate to carbon storage by ecosystems in the United States[J]. Science, 2000, **287**(5460): 2 004-2 006.
- [3] Levitus S, Antonov J I, Wang J L, *et al.* Anthropogenic warming of Earth's climate system[J]. Science, 2001, **292**(5515): 267-270.
- [4] Su Z, Xiong Y, Zhu J, *et al.* Soil Organic Carbon Content and Distribution in a Small Landscape of Dongguan, South China[J]. Pedosphere, 2006, **16**(1): 10-17.
- [5] 栾军伟, 崔丽娟, 宋洪涛, 等. 国外湿地生态系统碳循环研究进展[J]. 湿地科学, 2012, **10**(3): 235~242.
- [6] 王德宣. 若尔盖高原泥炭沼泽二氧化碳、甲烷和氧化亚氮排放通量研究[J]. 湿地科学, 2010, **8**(3): 220~224.
- [7] Clark J M, Lane S N, Chapman P J, *et al.* Export of dissolved organic carbon from an upland peatland during storm events: Implications for flux estimates[J]. Journal of Hydrology, 2007, **347** (3-4): 438-447.
- [8] Lamentowicz M, Obremska M, Mitchell E A D. Autogenic succession, land-use change, and climatic influences on the Holocene development of a kettle-hole mire in Northern Poland[J]. Review of Palaeobotany and Palynology, 2008, **151**(1-2): 21-40.
- [9] 段晓男, 王效科, 尹 毅, 等. 湿地生态系统固碳潜力研究进展[J]. 生态环境, 2006, **15**(5): 1 091~1 095.
- [10] 马安娜, 陆健健. 湿地生态系统碳通量研究进展[J]. 湿地科学, 2008, **6**(2): 116~123.
- [11] 贾瑞霞, 全 川, 王维奇, 等. 闽江河口盐沼湿地沉积物有机碳含量及储量特征[J]. 湿地科学, 2008, **6**(4): 492~499.
- [12] 刘子刚. 湿地生态系统碳储存和温室气体排放研究[J]. 地理科学, 2004, **24**(5): 634~639.
- [13] 韩 美, 张晓惠, 刘丽云. 黄河三角洲湿地研究进展[J]. 生态环境, 2006, **15**(4): 872~875.
- [14] 陈 芳, 盖艾鸿, 李纯斌. 甘肃省土壤有机碳储量及空间分布[J]. 干旱区资源与环境, 2009, **23**(11): 176~181.
- [15] 袁 芳, 赵小敏, 乐丽红, 等. 江西省表层土壤有机碳库储量估算与空间分布特征[J]. 生态环境, 2008, **17**(1): 268~272.
- [16] 高俊琴, 雷光春, 李 丽, 等. 若尔盖高原三种湿地土壤有机碳

- 分布特征[J]. 湿地科学, 2010, 8(4): 327~330.
- [17]王维奇, 王纯, 全川, 等. 闽江河口区盐—淡水梯度下芦苇沼泽土壤有机碳特征[J]. 湿地科学, 2012, 10(2): 164~169.
- [18]李忠, 孙波, 赵其国. 我国东部土壤有机碳的密度和储量[J]. 农业环境保护, 2001, 20(6): 385~389.
- [19]解宪丽, 孙波, 周慧珍, 等. 中国土壤有机碳密度和储量的估算与空间分布分析[J]. 土壤学报, 2004, 41(1): 35~43.
- [20]王铭, 刘子刚, 马学慧, 等. 中国泥炭地有机碳储量分区[J]. 湿地科学, 2012, 10(2): 156~163.
- [21]Wang Y, Hong W, Wu C, *et al.* Application of landscape ecology to the research on wetlands[J]. Journal of Forestry Research, 2008, 19(2): 164~170.
- [22]林孟龙, 曹宇, 王鑫. 基于景观指数的景观格局分析方法的局限性:以台湾宜兰利泽简湿地为例[J]. 应用生态学报, 2008, 19(1): 139~143.
- [23]胡巍巍, 王根绪. 湿地景观格局与生态过程研究进展[J]. 地球科学进展, 2007, 22(9): 969~975.
- [24]宗秀影, 刘高焕, 乔玉良, 等. 黄河三角洲湿地景观格局动态变化分析[J]. 地球信息科学学报, 2009, 11(1): 91~97.
- [25]Yang Y, Chen Y, Li W, *et al.* Distribution of soil organic carbon under different vegetation zones in the Ili River Valley, Xinjiang [J]. Journal of Geographical Sciences, 2010, 20(5): 729~740.
- [26]汤国安, 杨玮莹, 秦鸿儒, 等. GIS技术在黄土高原退耕还林草工程中的应用[J]. 水土保持通报, 2002, 22(5): 46~50.

Estimation of Soil Organic Carbon Storage in Coastal Wetlands of Modern Yellow River Delta based on Landscape Pattern

YU Jun-bao¹, WANG Yong-li², DONG Hong-fang^{1,3}, WANG Xue-hong^{1,3},
LI Yun-zhao^{1,3}, ZHOU Di^{1,3}, GAO Yong-jun⁴

(1. Key Laboratory of Coastal Zone Environmental Processes, Laboratory of Coastal Wetland Ecology, Yantai Institute of Coastal Zone Research, Chinese Academy of Sciences, Yantai 264003, Shandong, P.R.China; 2. School of Environmental Science and Tourism, Nanyang Normal University, Nanyang 473061, Henan, P.R.China; 3. Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, P.R.China; 4. Department of Oceanography and Coastal Sciences, Louisiana State University, Baton Rouge, LA 70803, USA)

Abstract: Applying Landsat TM digital images of 2000 and 2009 for the modern Yellow River Delta, the landscape of the modern Yellow River Delta was divided into nine different landscape types. The soil organic carbon density was calculated based on the laboratory data of soil samples from field investigations in 2009. The soil organic carbon density was spatially interpolated by Kriging interpolation method of ArcGIS. Combined with areas of landscape types, the soil organic carbon stocks (0-30 cm) of the modern Yellow River Delta in 2000 and 2009 were estimated. The results showed that the soil organic carbon densities varied in the range from 0.73 kg/m² to 4.25 kg/m² and the soil organic carbon storages were estimated about 3.43×10⁶ t in 2000 and 3.17×10⁶ t in 2009. Although the total areas of the modern Yellow River Delta increased a lot from 2000 to 2009 because functions of silt deposit in the estuary, the difference of soil organic carbon storage was little. Because of the dramatic changes of landscape areas, the changes of soil organic carbon storages at landscapes of beaches, bush-grassland, and farm land and saline aquaculture pond increased from 2000 to 2009. Through the driving force analysis, we found that the results was caused by both natural and anthropogenic factors. Therefore, reducing and limiting human activities on destructing wetlands is an effective way to ensure the stable development of soil carbon pool of coastal wetlands in the modern Yellow River Delta.

Keywords: landscape types; soil organic carbon density; soil organic carbon storage; coastal wetlands; modern Yellow River Delta