

人工堤坝影响下的黄河三角洲海岸带生态特征分析

傅新^{1,2}, 刘高焕¹, 黄翀¹, 刘庆生¹

(1. 中国科学院地理科学与资源研究所, 资源与环境信息系统国家重点实验室, 北京 100101;

2. 中国科学院研究生院, 北京 100049)

摘要: 在滨海地区, 堤坝干扰对自然植被景观及土壤属性的梯度变化规律有重要的影响。本文采用统计分析和梯度分析的方法, 在 RS 信息提取和 GIS 空间分析技术的支持下, 从植被群落的变化入手, 从样地尺度上研究堤坝对黄河三角洲海岸带土壤环境的影响并揭示堤坝干扰下, 土壤属性的梯度变化规律。研究表明: (1) 堤坝影响海岸带地区自然植被的盖度, 并且堤坝干扰在一定程度上加速了黄河三角洲海岸带地区自然植被群落的正向演替。(2) 有堤区的全氮、速效钾和全盐在距海远近梯度上的变化趋势受堤坝干扰的影响较大, 并且堤坝所在区域的位置和建堤时间都将对土壤属性的影响程度造成差异。(3) 堤坝干扰下全氮呈线性递增, 速效钾和全盐均呈线性递减, 且北部的变化率高于南部。随着堤坝建成时间的增长, 三者的梯度变化趋势趋于缓慢, 变化率降低, 堤坝建成约 25 年后, 全氮的线性递增率为 0.003, 其变化趋势几乎达到稳定。这进一步解释了有堤区在距海远近梯度上自然植被景观异质的原因, 也对黄河三角洲大开发背景下, 湿地景观的恢复和保护具有一定的指导意义。

关键词: 黄河三角洲海岸带; 堤坝干扰; 自然植被; 土壤属性; 梯度分析

DOI: 10.3724/SP.J.1047.2011.00797

1 引言

黄河三角洲位于渤海湾与莱州湾的湾口, 是黄河泥沙淤积、当地降水和径流以及潮流作用下形成的扇形冲积平原, 自然资源丰富。地处海陆过渡地带, 海岸侵蚀, 景观演替, 土壤发育等自然演变过程具有典型性和独特性。该地区还具有我国最年轻的滨海湿地生态系统, 具有原生性、脆弱性和稀有性等特征^[1]。由于地理位置和环境特征的独特性, 该地区成为景观环境问题研究的热点地区^[2]。

国内外学者针对黄河三角洲的景观格局变化^[3-5]、人为活动对景观格局破碎化的影响^[6-8]等做了大量研究。另对黄河三角洲的人为干扰对景观生态的影响也有一些相关研究, 如水质污染和地下水超采等人类活动对该地区环境影响的定性分析^[9], 不同人工干扰程度下的植被群落组成结构的对比分析^[10], 但是人工堤坝干扰等具体人为干扰对生态环境影响的深入研究不足。

通常, 道路建设的干扰会改变生态系统的结构

和功能特征, 进而促成景观类型的更替和景观演替方向的偏转, 但是道路干扰的生态效应机理研究较少^[11]。并且, 土壤属性特征也会影响植被生长, 关系到环境的形成与景观演替, 特别是湿地生态系统^[12]。很多学者意识到土壤空间异质性对植被景观异质的重要影响, 就植被群落景观与土壤属性的关系做了不少研究, 如植被群落景观与土壤养分的关系特征^[13-14], 盐生植被与土壤盐分的相关性^[15]等, 但是不同景观位置下土壤属性的差异程度并没有很好的解释^[16]。然而, 不同的景观区位会通过土壤稳定性、水分条件、土壤盐分, 以及养分供给的差异影响初级生产力和植被类型^[17]。据统计, 现代黄河三角洲的堤坝总长约为 658.6 km, 主要分布在滨海地区。堤坝分布区内, 堤坝两侧景观差异较大, 很可能是堤坝的阻隔作用影响了土壤属性特征及其梯度变化规律进而造成的。该地区不同景观区域土壤属性差异性的相关研究较少, 且尚未发现有关人为修建堤坝等干扰与海岸带景观生态特征的相关性等方面的研究。因此, 本文在垂直于堤坝的

收稿日期: 2011-07-27; 修回日期: 2011-10-12.

基金项目: 中国科学院地理科学与资源研究所野外台站开放基金和国家自然科学基金项目(41023010, 40901223)资助。

作者简介: 傅新(1984-), 女, 博士研究生, 主要研究方向: 生态遥感与景观模拟。E-mail: fux@lreis.ac.cn

样线梯度上,以野外采样和植被调查数据为基础,在 RS 信息提取和 GIS 空间分析技术的支持下,从植被群落的变化入手,从样地尺度上探讨堤坝干扰对土壤环境的影响,分析堤坝干扰下的土壤属性时空变化规律,进一步解译样地尺度上堤坝分布区自然植被景观异质的内在原因,以期为黄河三角洲大开发背景下湿地景观的恢复和保护等提供参考。

2 研究区地理背景与分析方法

2.1 地理背景

现代黄河三角洲(37°30'N~38°13'N,118°32'E~119°18'E),地处渤海湾南岸和莱州湾西岸,位于山东省东营市境内,是 1934 年以来形成的以渔洼为顶点的扇面,西起挑河,南到宋春荣沟。该地区属于暖温带半湿润大陆性季风气候。总体地势平缓,地形比降约为 1/8 000-1/12 000。成土年龄较短,土壤母质多为粉砂质,主要土壤类型为盐渍土。成陆过程中受到海水强烈的浸渍侧渗,地下水矿化度较高(平均矿化度为 30.1g/L),地下水埋深一般为 1.6~2.4m。黄河三角洲国家级自然保护区于 1992 年成立,包括北部的刁口河自然保护区和南部的黄河口自然保护区。现代黄河三角洲滨海地区地下油气资源丰富,除了胜利油田外,保护区内还包括几个大的油田工业区,如孤岛油田区、孤东油田区和桩西油田区。滨海地区的风暴潮等自然灾害频繁,防洪防潮堤坝密集。本研究选择人类活动相对较少,堤坝分布密集的黄河三角洲海岸带地区作为研究区,其中,包括三部分:Ⅰ刁口河自然保护区、Ⅱ黄河口自然保护区、Ⅲ 位于两个保护区之间的油田区(包括北部的桩西油田和南部的孤岛圈),如图 1 所示。该研究区的海岸线类型包括淤泥质岸线和以人工防潮堤坝为海岸线的人工岸线。受土壤盐分含量等的影响该区景观格局异质性较大,堤坝两侧植被分布及长势差异较大,植被以草甸为主,林木较少,主要的自然植被包括翅碱蓬、怪柳、芦苇、白茅等。

2.2 分析方法

(1)野外调查与样点选取

野外采样设计遵循以下 5 项原则:即由海向陆、垂直堤坝、景观类型和植被长势出现差异,以及样地可达性。根据是否有人工堤坝作为人工海岸

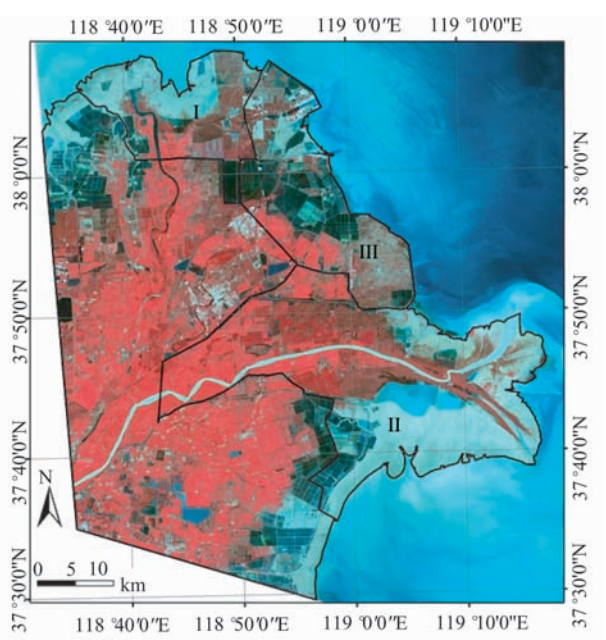


图 1 研究区示意图

Fig. 1 Location of the study area

线和堤坝的分布密度将区域划分为有堤区和无堤区。参考房用等^[18]对现代黄河三角洲的植被群落及演替阶段的研究结果,综合考虑研究区自然景观的整体特征,本文共布设了 6 条样线(图 2),其中,无堤区样线包括 2 条 L1 和 L6,有堤区样线 4 条包括 L2,L3,L4 和 L5。在典型样地内随机布设样方,草本采用 1m×1m,灌丛采用 10m×10m,调查植被

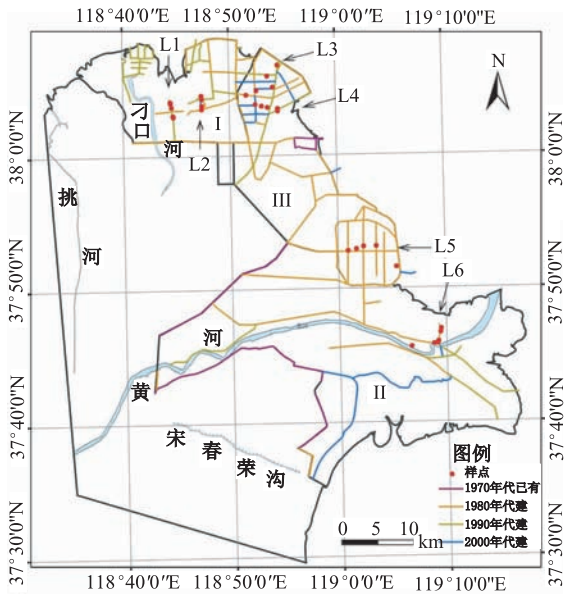


图 2 研究区堤坝和样点分布图

Fig. 2 Distribution of the dams and samples in the study area

种类、高度和盖度,描述景观类型等。2010 年 6 月,完成野外调查采样,共 30 个样地。样线上每个样地随机选择 3 个采样点,每个采样点采集表层土壤。将每个样地 3 个土样点分层均匀混合,风干过筛,用于土壤养分和土壤盐分的测定。

(2)土壤属性测定方法

土壤属性测定项目包括全氮、土壤有机质、速效磷、速效钾,全盐含量。土壤属性的测定方法^[19]:全氮用凯氏定氮法测定,土壤有机质采用重铬酸钾一外加热法测定,速效磷采用 0.5mol/L 碳酸氢钠浸提一钼锑抗比色法,速效钾采用醋酸铵浸提火焰光度法,全盐含量采用残渣烘干一质量法。

3 人工堤坝对生态特征影响的遥感监测与分析

3.1 堤坝影响植被特征的遥感分析

基于 2005 年 9 月的 SPOT 影像数据和 1976 年以来至 2010 年 9 月的系列 Landsat TM/ETM 影像数据,经校正和增强处理提取不同时间修建的堤坝(图 2),并进行分析可知,现代黄河三角洲范围内现有堤坝总长约为 658.6km,其中研究区内堤坝总长为 589.0km,占 89.4%,堤坝主要分布在沿海地区。研究区内 4 个时间段的堤坝分析可知,建成堤坝逐渐增多,20 世纪 80 年代,堤坝的增加量最多,为 323.2km,如图 3 所示。2000 年后北部地区的新修堤坝较多,且封闭路堤多。

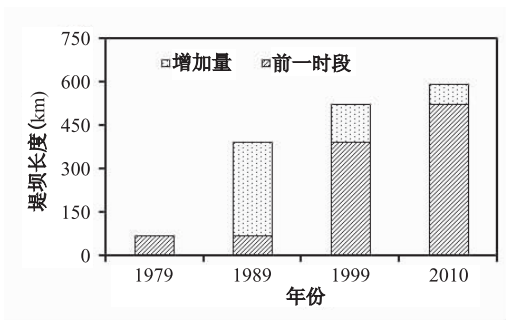


图 3 研究区内不同时期的堤坝长度

Fig. 3 Dam lengths during different periods in the study area

遥感技术为多尺度的景观格局和过程研究提供了大量的数据基础,标准归一化植被指数 NDVI 就是常用的指标之一,该指标可以反映植被变化与农耕活动、火灾、旱灾等人为干扰之间的相关性^[20],NDVI 的变化还可以揭示植被的生长状态和覆被变化^[21]。首先,本节选取 NDVI 作为判别指标,选择

北部保护区内的无堤区(L1 所在区域)和有堤区(L2 所在区域),以及南部保护区的无堤区(L6 所在区域)和南部孤东圈内的有堤区(L5 所在区域),来对比判别堤坝干扰对植被景观是否产生影响。选取 2009 年 6 月 20 日轨道号为 121/34 的 Landsat TM 遥感影像,,经几何校正、辐射校正后,根据 NDVI 的计算公式: $NDVI = (\rho_{NIR} - \rho_R) / (\rho_{NIR} + \rho_R)$ (式中 ρ_{NIR} 和 ρ_R 为 TM 近红外波段和红波段的反射率),求算 NDVI 值。然后,把海洋潮流发生一般高潮时所淹没的平均界线作为海岸线,采用一般高潮线法^[22]提取 2010 年黄河三角洲地区的海岸线。进而采用能较好地反映堤坝影响下植被特征的 6×6 移动窗口算法,在各区域内分别随机选取两条垂直海岸线或堤坝方向的样带并求得距海远近梯度上各区域内两条随机样带的 NDVI 均值,得到变化曲线图(图 4)。通过对图 4 的分析可以得到:(1)无堤区的 NDVI 在距海远近梯度上的变化趋势均呈线性递增,而有堤坝区的 NDVI 呈非线性趋势。(2)曲线 NDVI_L2 在 6 和 13 窗口处出现两个明显的拐点,两个拐点两侧的 NDVI 值分属不同的阈值范围。L6 位于孤东油田区,在孤东圈围堤的干扰下,NDVI 变化趋势也呈现出明显的非线性,该样线在第 24 和 25 个移动窗口处由于处于孤东圈中心区第二条封闭路堤附近,是待施工的开发用地,存有积水,NDVI 出现负值。有堤和无堤区 NDVI 梯度的差异,表明堤坝的存在显著影响了植被的生长状况和覆盖变化。

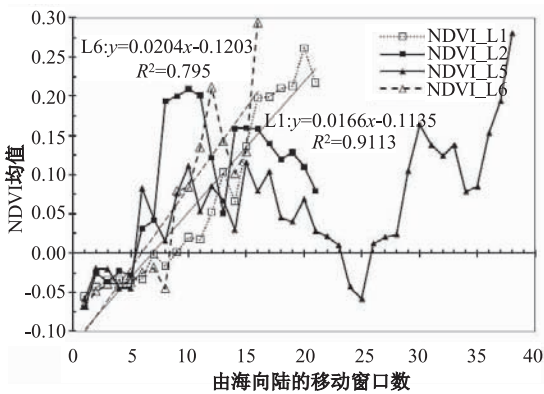


图 4 无堤区和有堤区 NDVI 的梯度变化

Fig. 4 Changes in gradient of NDVI in different regions

根据野外植被群落的梯度调查资料,进一步对比分析位于北部保护区内完全排除其他人为干扰的的两条野外调查样线 1 和 2 上的景观类型(样线

1 无堤坝阻隔,样线 2 有两条堤坝的阻隔),如图 5 所示。由图 5 可知,在距海约 2 500m 的范围内,样线 1 出现的景观类型依次为裸滩涂-翅碱蓬群落,受堤坝干扰的样线 2 出现的植被群落类型依次为裸滩涂-翅碱蓬群落-翅碱蓬-柽柳群落-柽柳群落-芦苇-柽柳群落。根据植被景观演替的时空替代法^[23],防潮堤坝的阻隔作用明显的加速了植被群落景观的正向演替。

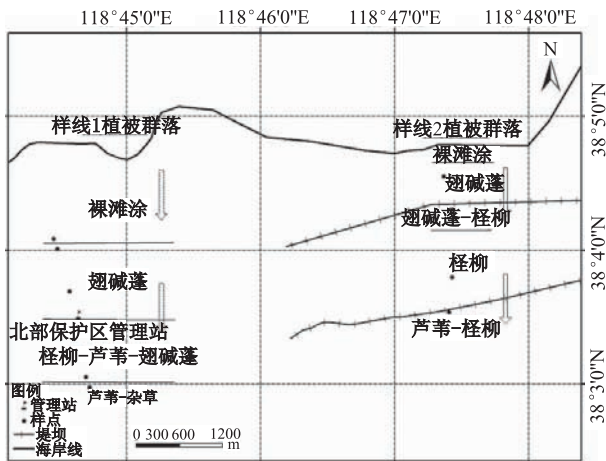


图 5 两类样线上的样点位置及植被群落类型

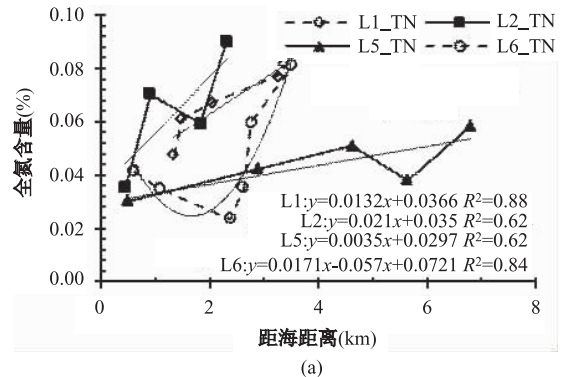
Fig. 5 Location of the samples and types of vegetation communities in two different sample lines

3.2 人工堤坝对土壤属性的影响

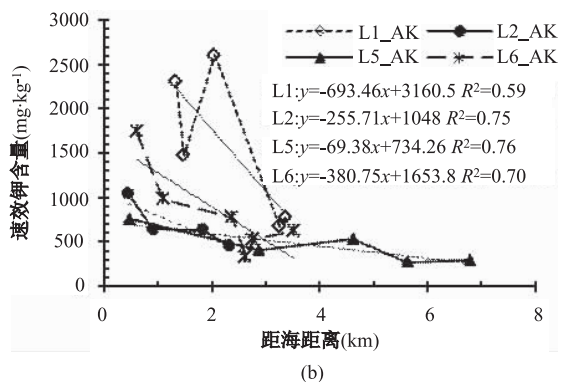
在相似的气候和地形条件下,土壤属性的空间差异决定了植被分布的空间差异^[24]。堤坝干扰对植被景观产生的影响是土壤属性特征的变化。相关研究表明,黄河三角洲地区影响植被分布格局的土壤属性,主要包括全盐含量和土壤养分^[25]。由于研究区内全氮和有机质呈显著正相关(相关系数为 0.78, $p < 0.01$),文中选择全氮、速效钾和全盐来探讨堤坝对土壤属性是否产生影响。

从土壤养分的角度看,对比分析有无堤坝干扰下土壤养分在距海远近梯度上的变化。图 6(a)表明,全氮的变化趋势在无堤区表现为北部的 L1 呈线性递增,南部的 L6 呈非线性变化,先减后增,这主要是南部无堤区使得海水中的营养物质富集于潮水能到达的区域,致使全氮含量起初较高;在有堤区均表现为线性递增,但是,北部 L2 的递增率大于 L1,南部 L5 的递增率比 L6 小。图 6(b)表明,速效钾的变化趋势均呈线性递减,无堤区的速效钾含量较高,递减率较高,而有堤区的速效钾含量相对偏低,递减趋势较缓。堤坝干扰下全氮和速效钾的

梯度变化表现出的趋势和变化率的差异表明,堤坝对土壤养分的梯度变化规律有一定的影响,并且堤坝干扰下北部和南部的变化趋势和变化率存在明显的差异。



(a)



(b)

图 6 无堤区和有堤区土壤养分梯度变化的对比 ((a)全氮(TN);(b)速效钾(AK))

Fig. 6 Comparison of changes in gradient of soil nutrient in different regions((a) total nitrogen (TN); (b) available potassium (AK))

全盐含量是影响盐生植被的主要环境因子。图 7 中可以看出,有无堤坝干扰,表层全盐含量的梯度变化规律均呈线性递减,北部无堤和有堤的两条样线 L1 和 L2 对比,L1 的表层盐分高于 L2,递减率是 L2 的 2 倍多;南部的有堤和无堤的两条样线 L5 和 L6 对比,有堤的样线 L5 的土壤盐分高于无堤的样线 L6,这是由于 L6 处于黄河口附近,黄河淡水的补给导致土壤盐分偏低,但是无堤区的样线 L6 的递减率依然是 L5 的 2 倍多。与无堤区相比,堤坝干扰下土壤盐分的梯度变化趋势并未改变,而递减率是无堤区的 2 倍多。

3.3 堤坝影响土壤属性的时空特征分析

为了研究人为修建堤坝对当地植被景观及土壤环境产生影响的内在机制,我们分析了堤坝干扰

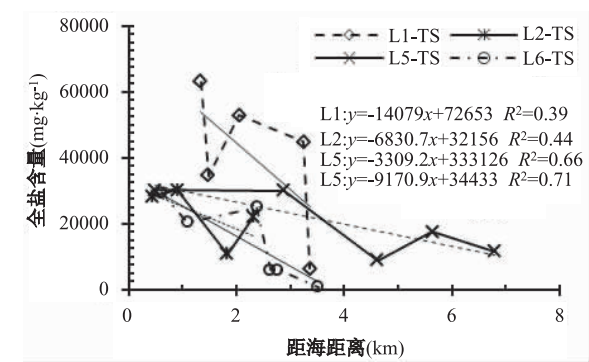


图7 无堤区和有堤区土壤全盐含量的梯度变化对比
Fig.7 Comparison of changes in gradient of soil total salt in different regions

下土壤属性的时空变化规律。本文选择堤坝所在区的4条样线L2,L3,L4和L5,探讨堤坝干扰下土壤属性的时空特征,揭示堤坝干扰下土壤属性的梯度变化规律。

图8(a)可知,堤坝干扰下,全氮随距海远近梯度的变化趋势均呈线性递增。从空间上看,北部保护区内有堤区的样线L2全氮含量高于南部孤东圈的样线L5,且随距海远近梯度的递增率也高于南部的L5。L2和L5样点的全氮含量平均值分别为0.064和0.044,且L2和L5的递增率分别为0.021和0.003,L2的递增率是L5的7倍。从堤坝的建成时间来看,对比分析典型样线L4(所在区的防潮堤坝建成于1995年),以及L3和L5(所在区的防潮堤坝建成于1986年)探讨堤坝的建成时间对土壤属性梯度变化的影响。堤坝建成25年后,全氮的线性递增趋于缓慢,且变化趋于稳定,递增率仅为0.003。堤坝建成约15年的有堤区的样线L4的线性递增率为0.006,是前者的2倍,且L4样线上样点的全氮含量平均值为0.053,也高于前者。可见,随着堤坝建成时间的增长,虽然全氮的梯度变化依然是线性递增,但是全氮含量会降低,线性递增趋缓。堤坝建成25年左右,全氮含量的梯度变化几乎达到稳定。

图8(b)显示了速效钾的变化规律。除L3趋于平稳外,有堤区内其他样线均呈线性递减。北部的L2线性递减率最高,为-255.7,南部孤东圈最低,为-69.38,北部的变化率是南部的3.69倍。从时间上对比分析典型样线L4和L5,L4和L5样点的速效钾含量的均值分别为642.75mg/kg和450.89mg/kg,随距海远近梯度的变化率分别为:-

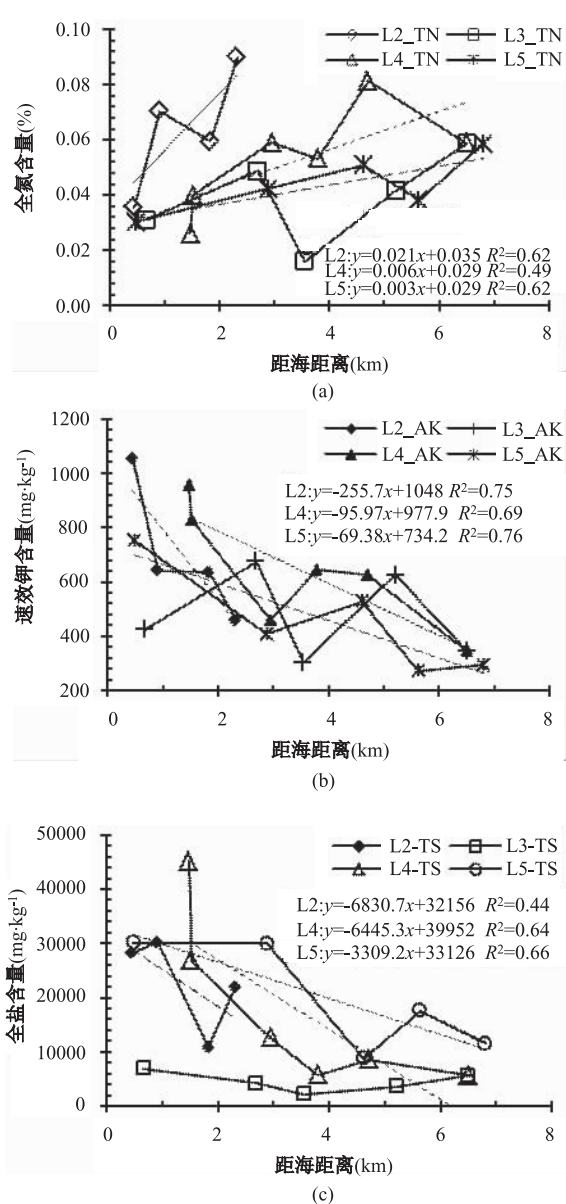


图8 堤坝干扰下土壤属性随距海远近的梯度变化
((a)全氮(TN);(b)速效钾(Ak);(c)全盐(TS))
Fig.8 Changes in gradient of soil properties with dam disturbance((a) total nitrogen (TN);
(b)available potassium (AK);(c)total salt (TS))

95.97和-69.38,速效钾含量及线性递减率均是L4>L5,这说明了随着堤坝建成时间的增长,速效钾含量降低,随梯度的线性递减趋缓。L3由于受到多条封闭堤坝的影响,速效钾的梯度变化不存在线性规律。

图8(c)表明,在堤坝干扰下全盐含量随距海远近梯度的变化规律。除L3受多条封闭堤坝的影响,变化规律趋于平稳外,有堤区内其他三条样线的全盐含量随距海远近梯度的变化趋势均是线性

递减, L2 和 L5 的递减率分别为 -6830.7 和 -3309.2, 北部 L2 的线性递减率大于南部的 L5, 是南部的 2.06 倍。从有堤区内的 4 条样线看, 北部的全盐含量低于南部, 其中, 东北部 L3 的盐分含量最低, 样点的盐分含量均值为 4548mg/kg, 南部 L5 的盐分含量最高, 样点的盐分含量均值为 19610.00mg/kg。从时间上对比典型样线 L4 和 L5, 两者全盐含量的递减率分别为 -6445.3 和 -3309.2, 堤坝建成 25 年后的表层全盐含量随梯度的递减率远低于堤坝建成 15 年后的, 约为 15 年后全盐随梯度变化的递减率的 1/2。

4 结语

通过本文的研究发现, 堤坝干扰加速了植被景观的正向演替, 且通过对土壤养分和土壤盐分等土壤属性的改变影响植被景观的演替。全氮、速效钾等土壤养分和土壤盐分的随距海远近梯度的变化趋势及植被群落的演替方向可知, 翅碱蓬群落主要决定因子是全盐和速效钾含量; 怪柳群落的主要决定因子是全盐、全氮和速效钾; 芦苇群落的主要决定因子是全盐和全氮。

全氮、速效钾和全盐的梯度变化受堤坝干扰的影响较大, 且堤坝所在区域的位置和建堤时间的不同使其对土壤属性的影响程度产生差异。就土壤养分而言, 堤坝干扰下, 全氮含量随距海远近梯度上的变化趋势均呈线性递增, 速效钾含量均呈线性递减。两者的变化率均是北部高于南部, 且全氮变化率的南北差异大于速效钾。随堤坝建成时间的增长, 有堤区的全氮含量和速效钾含量均降低, 线性变化趋势趋缓, 堤坝建成 25 年左右, 全氮含量的变化趋势几乎达到稳定, 变化率仅为 0.003。就土壤盐分而言, 有堤区内土壤表层全盐含量随距海远近梯度的变化趋势呈线性递减, 北部的递减率是南部的 2.06 倍, 且北部的表层全盐含量低于南部。从时间上来看, 堤坝建成 25 年后的表层全盐含量随梯度的递减率是堤坝建成 15 年后的 1/2。

文中分析了堤坝干扰下全氮、速效钾和土壤盐分在距海远近梯度上的时空变化规律, 但尚存在一些不足。文中仅考虑有无堤坝, 并没有考虑堤坝质地, 堤底宽度及堤坝高度等的影响, 有待进一步分析不同属性条件的堤坝对土壤属性的影响。由于研究区内主要是自然植被景观, 其他干扰较少, 文中忽略了变化规律的时间效应, 其变化规律有待在

时间序列上进一步验证。

参考文献:

- [1] 张晓龙, 李培英. 黄河三角洲滨海湿地的区域自然灾害风险[J]. 自然灾害学报, 2006, 15(1): 159 - 164.
- [2] 赵广明, 李广雪, 曹克伟, 等. 基于 RS 和 GIS 的黄河三角洲北部湿地保护区的生态环境变化[J]. 海洋地质前沿, 2011, 27(2): 29 - 33.
- [3] Yue T X, Liu J Y, Jørgensen S E, *et al.* Landscape Change Detection of the Newly Created Wetland in Yellow River Delta[J]. *Ecological Modelling*, 2003, (164): 21 - 31.
- [4] 杨敏, 刘世梁, 孙涛, 等. 基于边界特征的黄河三角洲景观变化及空间异质性[J]. 生态学杂志, 2008, 27(7): 1149 - 1155.
- [5] 刘艳芬, 张杰, 马毅, 等. 1995 - 1999 年黄河三角洲东部自然保护区湿地景观格局变化[J]. 应用生态学报, 2010, 21(11): 2904 - 2911.
- [6] 陈菁, 傅新, 刘高焕. 黄河三角洲景观变化中人为影响力的时空分异[J]. 水土保持学报, 2010, 24(1): 134 - 144.
- [7] Bi X L, Wang B, Lu Q S. Fragmentation Effects of Oil Wells and Roads on the Yellow River Delta, North China[J]. *Ocean & Coastal Management*, 2011, 54: 256 - 264.
- [8] Li S N, Wang G X, Deng W, *et al.* Influence of Hydrology Process on Wetland Landscape Pattern: A Case Study in the Yellow River Delta[J]. *Ecological Engineering*, 2009, 35: 1719 - 1726.
- [9] 李彬, 王鹏涛, 赵静雅, 等. 人类活动对黄河三角洲环境的影响及对策[J]. 人民黄河, 2010, 32(4): 70 - 72.
- [10] 房用, 王淑军, 刘磊, 等. 黄河三角洲不同人工干扰下的湿地群落种类组成及其成因[J]. 东北林业大学学报, 2009, 37(7): 67 - 70.
- [11] 刘杰, 崔宝山, 杨志峰, 等. 纵向岭谷区高速公路建设对沿线植物生物量的影响[J]. 生态学报, 2006, 26(1): 83 - 89.
- [12] 闫培锋, 周华荣, 刘宏霞. 白杨河-艾里克湖湿地土壤理化性质的空间分布特征[J]. 干旱区研究, 2008, 25(3): 406 - 412.
- [13] 侯本栋, 马风云, 邢尚军, 等. 黄河三角洲不同演替阶段湿地群落的土壤和植被特征[J]. 浙江林学院学报, 2007, 24(3): 313 - 318.
- [14] 丁秋祎, 白军红, 等. 黄河三角洲湿地不同植被群落下土壤养分含量特征[J]. 农业环境科学学报, 2009, 28(10): 2092 - 2097.
- [15] 吴志芬, 赵善伦, 张学雷, 等. 黄河三角洲盐生植被与土壤盐分的相关性研究[J]. 植物生态学报, 1994, 18(2): 184 - 193.

- [16] Gallardo A. Spatial Variability of Soil Properties in a Floodplain in Northwest Spain[J]. *Ecosystems*, 2003, (6):564-576.
- [17] Silveira M L, Comerford N B, Reddy K R, *et al.* Soil Properties as Indicators of Disturbance in Forest Ecosystems of Georgia, USA[J]. *Ecological Indicators*, 2009, 9:740-747.
- [18] 房用,刘月良.黄河三角洲湿地植被恢复研究[M].北京:中国环境科学出版社,2010,38-42.
- [19] 鲍士旦.土壤农化分析[M].北京:中国农业出版社,2005.
- [20] 王俊,孙晶,杨新军,等.基于 NDVI 的社会-生态系统多尺度干扰分析——以甘肃省榆中县为例[J]. *生态学报*, 2009, 29(3):1622-1628.
- [21] 赵英时,等.遥感应用分析原理与方法[M].北京:科学出版社,2003.
- [22] 常军,刘高焕,刘庆生,等.黄河三角洲海岸线遥感动态监测[J]. *地球信息科学*, 2004, 6(1):94-98.
- [23] 李昌龙,肖斌,王多泽,等.石羊河下游盐渍化弃耕地植被演替与土壤养分相关性分析[J]. *生态学杂志*, 2011, 30(2):241-247.
- [24] 张江英,周华荣,高梅.艾里克湖湿地植物群落特征指数与土壤因子的关系[J]. *生态学杂志*, 2007, 26(7):983-988.
- [25] 宋创业.黄河三角洲植被格局分析及其动态模拟[D].中国科学院地理科学与资源研究所,2009.

Analysis of Ecological Characteristics of Coastal Zone in Yellow River Delta under Dam Disturbance

FU Xin^{1,2}, LIU Gaohuan¹, HUANG Chong¹, LIU Qingsheng¹

(1. *State Key Laboratory of Resources and Environmental Information System, Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, CAS, Beijing 100101, China;*

2. Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract: In the coastal zone of Yellow River Delta, artificial dams, which were built as a protection against the sea, have important influence on the natural vegetation landscape and the gradient changes of soil properties. In this paper, we aim to research the influence of artificial dams on ecological characteristics of the study area with the support of remote sensing and GIS technology. First, we designed the field investigation program, then extracted coastline and artificial dams from remote sensing images, and finally researched changes of vegetation communities with distance from coastline, the influence of artificial dams on soil environment and the gradient patterns of soil properties under dam disturbance by statistical analysis and gradient analysis. We found that: (i) dam disturbance affected natural vegetation cover and accelerated the forward succession of natural vegetation communities in the coastal zone of Yellow River Delta; (ii) In the area with dams, the trends of the total nitrogen, available phosphorus and total salt in the distance gradient from the coastline were more influenced by dam disturbance. The dams built in different regions and at different times have different influences on soil properties; And (iii) total nitrogen was a linear increasing, but available phosphorus and total salt all showed a linear decrease. The change rates of these three factors in the north were higher than those in the south. After the dam built, the longer the time, the slower the trends of the gradient of this three factors. And the rates of change were lower with the growth over time. About 25 years after the dam built, the change rate was 0.003, and the trend of total nitrogen was almost stable. The results further explained the reasons of natural vegetation landscape heterogeneity on the distance gradient from the coastline. It also has some instructive significance for the restoration and protection of wetland landscape under the context of the development of Yellow River Delta.

Key words: coastal zone of Yellow River Delta; dam disturbance; natural vegetation; soil property; gradient analysis