

黄河三角洲典型地区春季土壤水盐空间分异特征研究——以垦利县为例

王卓然, 赵庚星*, 高明秀, 姜曙千, 常春艳, 贾吉超

(山东农业大学资源与环境学院, 土壤资源高效利用国家工程实验室, 山东 泰安 271018)

摘要:黄河三角洲作为我国重要的后备土地资源区,土壤盐渍化问题突出,切实掌握土壤水盐状况及其空间规律是该区土壤盐渍化防控和土地资源高效利用的重要基础。本研究选择黄河三角洲垦利县,通过野外调查实测与室内化验分析获取土壤水盐含量数据,利用统计分析、GIS插值、缓冲区分析等方法,分析了研究区土壤水盐状况及其空间变异规律。结果显示:研究区总体盐分含量以中度为主,含盐量由表层至底层呈上升趋势,且各层土壤含盐量呈显著正相关性;含盐量较高的地区主要分布在县域东部滨海区,含盐量较低的地区主要分布在县域的西南部;土壤含盐量随着距离渤海渐远呈下降的趋势,含水量总体呈先下降后上升趋势;从黄河向两岸延伸,土壤含盐量均随距离黄河渐远呈上升的趋势,含水量呈先下降后上升趋势;土壤含盐量从大到小的不同植被类型依次为光板地>碱蓬>柽柳>马绊草>芦苇>茅草>水稻>棉花>小麦>玉米;土壤含盐量从大到小的不同地貌类型依次为洼地>微斜平地>缓岗>河滩高地。该研究基本摸清了研究区春季时相的土壤水盐状况及空间变异规律,为黄河三角洲土壤资源可持续利用提供了科学依据。

关键词:垦利县;春季;土壤含盐量;土壤含水量;空间变异

中图分类号:S153.6

文献标志码:A

文章编号:2095-6819(2015)02-0154-08

doi: 10.13254/j.jare.2014.0293

Characteristics of Soil Water and Salt Spatial Variations in the Spring Season in Typical Yellow River Delta Areas of Kenli County, China

WANG Zhuo-ran, ZHAO Geng-xing*, GAO Ming-xiu, JIANG Shu-qian, CHANG Chun-yan, JIA Ji-chao

(College of Resources and Environment, Shandong Agricultural University, National Engineering Laboratory for Efficient Utilization of Soil and Fertilizer Resources, Tai'an 271018, China)

Abstract: The Yellow River Delta as an important area of reserved land resources, is faced with the problem of soil salinization. Grasping the status of soil water and salt as well as their spatial variation rules is an important foundation of prevention, control and use of soil salinization. This study selected Kenli County of the Yellow River Delta, obtained soil water and salt content data through field survey and lab experiments, and analyzed the status of soil water and salt as well as their spatial variation rules using statistics, GIS interpolation and buffer analysis methods. The results showed that the general salt content in the study area was mainly moderate. Salt content increased from soil surface-layer to underlayer and salt content in each layer was significantly correlated. The areas with high saltiness in surfacelayer, middlelayer and underlayer soil mainly distributed in the east near the Bohai Sea in Kenli County, while the areas with lower saltiness mainly distributed in the southwest. Soil salt contents showed the trends of decrease, and soil water contents showed the trends of decrease first and then increase with the increase in distance to Bohai Sea. Stretching from the Yellow River, soil salt content showed increase tendency with the increase in distance to the Yellow River, and water content decreased first and then increased. The order from high saltiness to low of different vegetation types was naked land>suaeda glauca>tamarix>vervain>reed>couch grass>paddy>cotton>winter wheat>maize, the order of different geomorphic types was depression>slightly sloping ground>slow hillock>beach heights. This study preliminary delineates soil water and salt status as well as their spatial variation rules in the spring season of the study area, and provides scientific basis for soil resource sustainable utilization in the Yellow River Delta.

Keywords: Kenli County; spring season; soil salt content; soil water content; spatial variation

收稿日期:2014-10-27

基金项目:“十二五”国家科技支撑计划项目课题(2013BAD05B06);国家自然科学基金(41271235);山东省自主创新专项(2012CX90202)

作者简介:王卓然(1989—),男,山东嘉祥人,博士研究生,主要研究方向为土地资源与遥感、土壤资源信息技术。E-mail: wzr543@126.com

*通信作者:赵庚星 E-mail: zhaogx@sdaa.edu.cn

当前,人类面临严峻的人口、资源、环境危机,赖以生存和发展的土壤及土地资源的盐碱退化问题仍十分严重。根据全国第 2 次土壤普查资料统计,我国盐碱土面积为 0.347 亿 hm^2 (不包括滨海滩涂),主要分布在地势低平,地下水位较高,半湿润、半干旱和干旱的内陆及滨海地区。土壤的盐碱化不仅会引起土壤板结、肥力下降,还造成农业生产损失,威胁区域生态环境,因此,开展盐渍化土壤的研究将对盐碱土地资源的改良利用意义重大。

黄河三角洲是我国乃至世界造陆速度最快的河口三角洲之一,具有丰富的自然资源,是我国重要的后备土地资源区,然而受河流、陆地、海洋等多种动力系统的作用,盐碱土面积大、分布广,土地利用状况变化频繁,生态环境脆弱,制约该区经济社会的可持续发展。在人口膨胀、土地资源短缺的今天,如何合理利用和保护黄河三角洲土壤资源,已是一项十分紧迫的任务。

土壤水盐状况及其空间变异性研究是土壤科学研究的热点之一,是土壤盐渍化防控和盐碱土资源利用的重要基础。国外从 20 世纪 60 年代开始就开展了有关土壤水盐状况、pH 值等理化性状及其空间变异的研究^[1-8]。我国对盐碱地进行大规模的研究和开发始于 20 世纪 50 年代,80 年代以来取得显著成效,黄淮海区域内陆盐碱土面积显著减少。但其重点侧重于盐碱土的改良利用措施研究,而对空间层面的土壤水盐规律研究相对不足^[9-14]。随着统计学和 GIS 技术的发展,该方面研究逐渐得到了越来越多专家学者的关注。如余世鹏等^[15]分析了长江河口地区土壤盐分的分布状况及季节性动态变化;吕国红等^[16]探索了辽河三角洲不同植被类型的土壤水盐状况;熊亚兰等^[17]研究了我国西南丘陵坡面土壤水分特性的空间变异;姚荣江等^[18]研究了黄河三角洲典型地块不同深度土层盐分含量的空间变异特征及盐分分布规律等。但总体看,对于黄河三角洲滨海盐碱土水盐状况及其分异规律的研究仍然较少,难以满足当前黄河三角洲高效生态经济发展及“渤海粮仓”建设的需求。

本文以黄河三角洲典型地区为例,采用 2013 年春季野外调查数据,进行春季土壤水盐状况及空间变异性的分析研究,旨在揭示春季土壤水盐特征及空间变异规律,为黄河三角洲地区盐渍化土壤改良利用提供理论和实践依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

本研究区域选择黄河三角洲垦利县(不包括沿海滩涂),该县位于三角洲最下游入海口处,黄河自该县西南至东北贯穿入海,地理位置为北纬 $37^{\circ}24' \sim 38^{\circ}10'$,东经 $118^{\circ}15' \sim 119^{\circ}19'$,地处暖温带季风气候区,冬季干冷,夏季湿热,降水量时空分布不均,降水主要集中在 7—8 月份,蒸降比年内差异大,春季高达 7.6。县域呈西南、东北走向,南北纵距 55.5 km,东西横距 96.2 km。由于历史上黄河尾间段常左右摆动,多次溃决、漫溢、泛滥等冲积、淤垫,造成了典型的三角洲地貌,地貌类型主要有海滩地、微斜平地 and 河滩高地,地势自西南至东北呈扇形微倾斜。该县地下水埋深浅且矿化度高,多数地区为微咸水和咸水,不能用于农业灌溉和生活饮用。由于地势低平,排水不畅,再加上黄河水侧渗和海水浸润顶托,土壤盐渍化现象较为普遍,土壤类型以盐化潮土和盐土为主,盐碱地面积大,给农业生产带来严重影响。

1.2 样品采集

在研究区内根据研究区土地利用、土壤、地貌和植被类型等因素布设采样点,共测量 81 个样点,得到 187 组土壤含水量和含盐量数据,样点分布状况见图 1。野外调查采用 EC110 便携式盐分计测定土壤表层(0~15 cm)、中层(15~30 cm)、底层(30~45 cm)电导率(仪器已对电导率进行了温度校正),采用 T 系列土壤水分温度速测仪测定 0~15 cm 土壤表层的水分含量。采用五点取样法采集 0~15 cm 的土壤表层样品,各采样点的实地坐标采用手持 GPS 定位仪测定。采样日期为 2013 年 4 月 27 日—5 月 1 日。

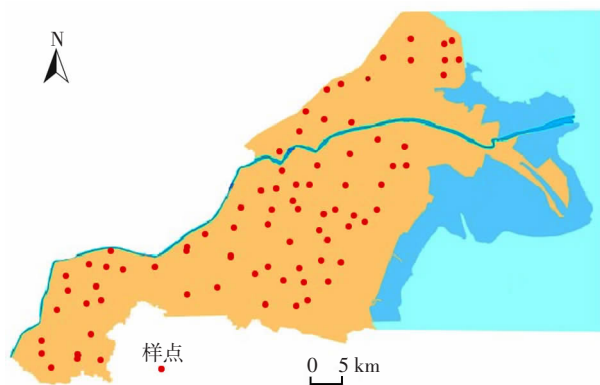


图 1 样点分布图

Figure 1 Distribution of soil samples

1.3 样品化验分析

1.3.1 土壤表层含水量

采用烘干法测定土壤表层含水量:将装有土壤样品的铝盒置于 (105 ± 2) ℃的恒温箱内烘至恒重,称重并计算出各土样的质量含水量;采用环刀法测定土样的容重,进而计算其容积含水量。将室内化验与野外实测得到的两组土壤表层含水量数据进行相关分析,其模型为: $W_o=0.911\ 2W_i+0.241\ 8$, $n=81$, $R^2=0.989\ 4^{**}$,其中 W_o 为室内化验土壤表层含水量(%), W_i 为野外实测土壤表层含水量(%),并以此对野外含水量数据进行校正。

1.3.2 土壤含盐量

将采集的土壤带回实验室内自然风干,磨碎、过 2 mm 筛后用于测定含盐量。所有的土样均配制成水土比为 5:1 的浸提液,振荡 5 min,静置 30 min,采用烘干法测定土壤含盐量。同时,采用 EC110 便携式盐分计测定土壤浸提液的电导率,建立土壤浸提液电导率和含盐量(%)(S_t)之间的关系方程 $S_t=0.000\ 4\times EC_t+0.023\ 7$, $n=81$, $R^2=0.973\ 9^{**}$ 。在此基础上,以土壤浸提液电导率对野外电导率数据进行校正,进而得到野外实测土壤电导率(EC_o)与含盐量(%)(S_t)之间的关系方程 $S_t=0.000\ 22\times EC_o+0.072\ 7$, $n=81$, $R^2=0.938\ 7^{**}$ 。

1.4 研究方法

采用 SPSS 和 Excel 软件进行数据的统计分析,利用 GIS 软件进行图形插值处理和空间分布图的制作。采用统计学方法分析土壤水盐含量、不同深度土壤含盐量的描述性统计特征,各层土壤含盐量之间的相关性,以及不同植被类型和地貌类型的土壤水盐状况。利用 ArcGIS 对各样点的土壤含水量和各层含盐量数据进行反距离加权(IDW Inverse Distance Weighted)插值处理,利用 MapGIS 软件绘制垦利县土壤水盐含量空间分布图,分析土壤水盐含量空间分布状况。借助 GIS 缓冲区分析模块,分别以实际距离 15 km 和 5 km 构建渤海和黄河的缓冲区,并分析离渤海和黄河远近的土壤含盐量和含水量的空间变异规律。

2 结果与分析

2.1 土壤水盐状况的统计分析

根据相关的土壤盐碱化分级标准^[9],将垦利县土壤含盐量分为 5 级: $<0.1\%$,属于非盐渍化土; $0.1\%\sim 0.2\%$,属于轻度盐渍化土; $0.2\%\sim 0.4\%$,属于中度盐渍化土; $0.4\%\sim 0.6\%$,属于重度盐渍化土; $>0.6\%$,则属于盐土。

2.1.1 土壤含盐量和含水量描述性统计分析

表 1 为土壤表层含盐量和含水量统计特征描述,从表 1 可以看出,土壤含盐量的平均值为 0.68%,中位数为 0.34%,有较大差异。平均值大于中位数,说明含盐量呈左偏态分布,因此,采用中位数说明垦利县的总体含盐量水平较为适宜,县域土壤盐渍化程度属于中度盐渍化。从变异程度来看,含盐量的最大值是最小值的 44.72 倍,变异系数为 1.28,根据变异系数的划分等级($CV<0.1$ 为弱变异性, $0.1<CV<1$ 为中等变异性, $CV>1$ 为强变异性,则土壤含盐量属于强变异性),在水平方向上具有很强的变异程度。

土壤含水量平均值为 39.12%,中位数为 41.79%,二者差距不明显,且 85%的土壤样品的含水量达到 30%及以上。从变异程度来看,含水量的最大值是最小值的 4.97 倍,变异系数为 0.23,属于中等变异性。

表 1 土壤水盐描述性统计特征

Table 1 Descriptive statistics characteristics of soil salinity and moisture

项目	土壤属性	
	含盐量	含水量
样本数	187	187
平均值 /%	0.68	39.12
中位数 /%	0.34	41.79
标准差 /%	0.88	8.96
最小值 /%	0.11	10.08
最大值 /%	4.92	50.08
变异系数	1.28	0.23

2.1.2 不同深度土壤含盐量描述性统计分析

表 2 为不同深度土层土壤含盐量状况,从表 2 可以看出,0~15、15~30 cm 和 30~45 cm 土层深度土壤含盐量的平均值分别为 0.68%、0.72%、0.77%,中位数

表 2 不同深度土层土壤含盐量描述性统计特征

Table 2 Descriptive statistics characteristics of soil salinity at different depths

项目	土层深度 /cm		
	0~15	15~30	30~45
样本数	187	187	187
平均值 /%	0.68	0.72	0.77
中位数 /%	0.34	0.47	0.54
标准差 /%	0.88	0.71	0.73
最小值 /%	0.11	0.15	0.14
最大值 /%	4.92	4.08	3.86
变异系数	1.28	0.99	0.95

分别为 0.34%、0.47%、0.54%,由表层至底层均呈现升高的趋势。从变异系数看,土壤表层、中层及底层的含盐量分别为 1.28、0.99、0.95,均达到或者接近强变异性,随着土壤深度的增加,变异系数则不断减小,说明土壤各层含盐量在水平方向上有较强的变异性,且随土层深度的增加逐渐趋弱。

2.1.3 不同深度土壤含盐量相关性分析

表 3 为不同深度土层土壤含盐量的相关系数,从表 3 可以看出,不同土层两两之间相关系数均大于 0.84,呈显著的正相关。其中 30~45 cm 土层与 15~30 cm 土层土壤含盐量的相关系数(0.913 1)大于 15~30

cm 与 0~15 cm 土层土壤含盐量的相关系数(0.895 4),说明随着土层深度的增加,相邻土层的相关性逐渐增强,且相邻土层之间相互影响程度大于对隔层土层的影响程度。

2.2 空间分布分析

2.2.1 土壤水盐空间分布状况

图 2(a)为垦利县土壤含水量空间分布图,从图中可以看出,土壤含水量超过 40%的区域分布在垦利县南部和东部,含水量在 30%~40%的区域主要分布在中北部,少量成片分布于南部,土壤含水量小于 30%的区域集中分布在中北部黄河沿岸。虽然采样期正值旱季,垦利县土壤含水量总体较高,含水量高于 30%的土壤面积占总面积 90%以上,其原因与低地势及浅地下水埋深条件有关。

图 2b、图 2c 和图 2d 分别为垦利县 0~15、15~30 cm 和 30~45 cm 土层土壤含盐量空间分布图,从图中可以看出,土壤含盐量自西向东与距离渤海的远近有明显规律,呈现由西至东加重的趋势。各层含盐量较

表 3 不同深度土壤含盐量相关系数

Table 3 Correlation coefficient of soil salinity at different depths

土层深度 /cm	0~15	15~30	30~45
0~15	1.000 0		
15~30	0.895 4**	1.000 0	
30~45	0.846 6**	0.913 1**	1.000 0

注:“**”表示显著性水平在 $P<0.01$ 。

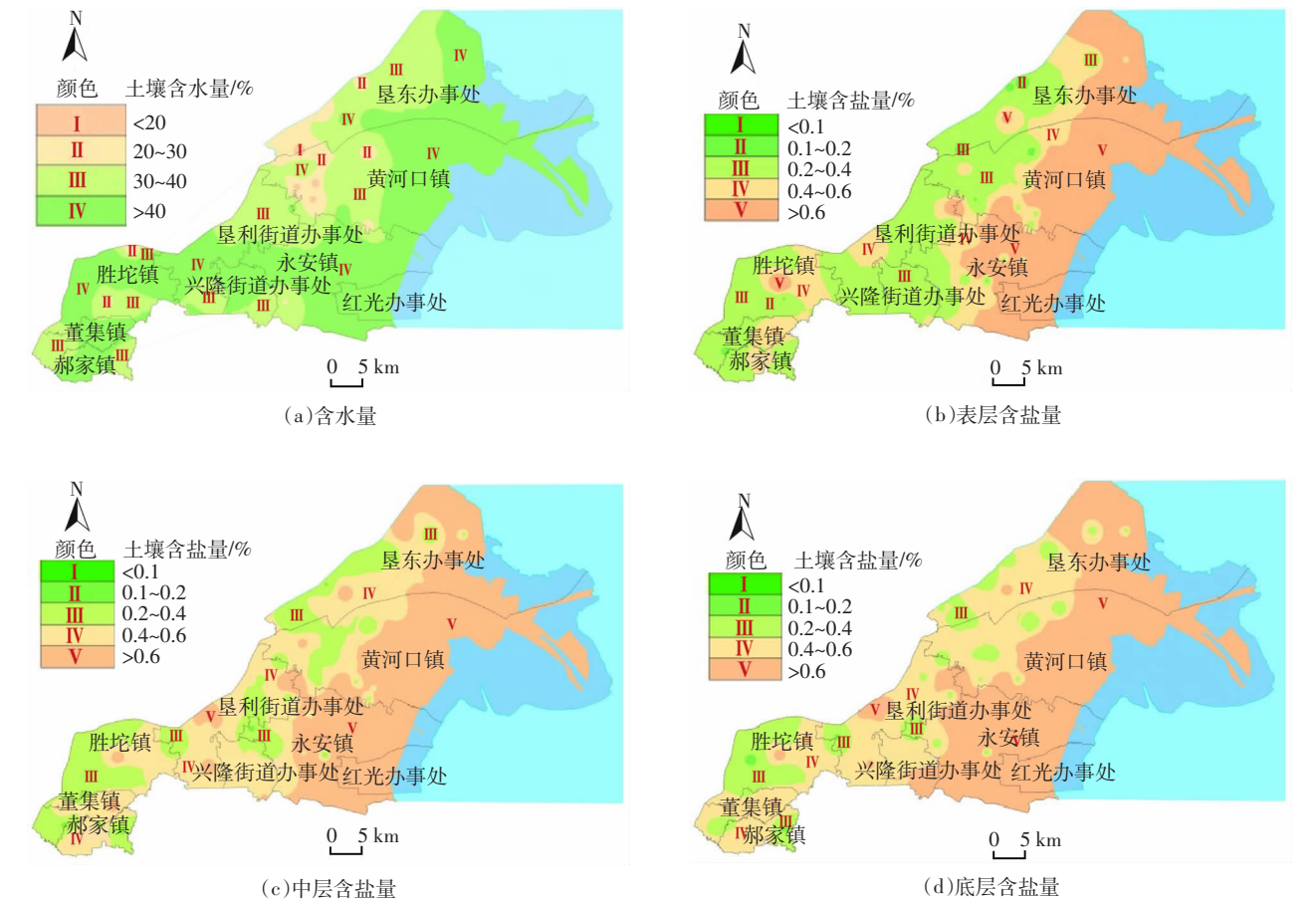


图 2 垦利县土壤含水量(a)和不同土层土壤含盐量(b、c、d)空间分布图

Figure 2 Spatial distribution of soil moisture (a) and soil salinity (b、c、d) at different depths in Kenli County

高的地区主要分布在县域东部和东南部滨海地区,而含盐量较低的地区主要分布在西南部、中部和黄河两岸,离渤海相对较远。

2.2.2 各层土壤含盐量空间分布统计

表 4 为不同深度土壤含盐量空间分布面积比例,从表 4 可以看出,垦利县各层土壤轻度盐渍化程度所占的面积比例均很小,不足 1%,而盐土等级面积比例最大,均超过 40%。由 0~15 cm 土层至 30~45 cm 土层,中度盐渍化土壤所占的面积比例由 38.86%逐步减少至 12.58%,重度盐渍化土壤面积比例则由 19.70%逐渐增加至 35.54%,同时,盐土面积比例由 40.59%增加至 51.68%。说明随着土层深度的增加,土壤中度盐渍化程度的面积比例逐渐减少,重度盐渍化及盐土的面积比例逐渐增加,土壤总体盐渍化程度逐渐加重。

2.3 土壤水盐状况的空间分异特征

2.3.1 离渤海远近的土壤水盐空间分异特征

图 3 为渤海缓冲区及样点分布图,表 5 为缓冲区各组样点土壤水盐含量统计,从表 5 可以看出,随离与渤海距离的增加,土壤含盐量由 2.31%减少至 0.30%,中间虽有所上升(0.43%),但总体呈下降趋势,土壤盐化程度由盐土逐步减轻为重度和中度盐化。土壤含水

表 5 渤海缓冲区样点土壤水盐含量统计

Table 5 Statistics characteristics of soil salinity and moisture of soil samples in Bohai Sea buffer

组号	距离/km	样本数	含盐量/%	含水量/%
1	0~15	17	2.31	43.03
2	15~30	58	0.73	40.09
3	30~45	52	0.36	33.84
4	45~60	13	0.35	41.97
5	60~75	32	0.43	41.15
6	75~90	15	0.30	41.09

量先由 43.03%下降至 33.84%,而后再升高至 41.09%。说明在缓冲区内,随着距离渤海渐远土壤含盐量下降,土壤含水量则呈先下降后上升的趋势。

2.3.2 离黄河远近的土壤水盐空间分异特征

图 4 为黄河缓冲区及样点分布图,其中黄河以北有缓冲区 4 个,黄河以南 6 个,表 6 为缓冲区样点土壤水盐含量统计。从表 6 可以看出,黄河北部缓冲区随离黄河距离的增加土壤含盐量由 0.29%缓降至 0.22%,之后猛增至 3.09%,含盐量上升趋势明显;土壤含水量由 33.01%下降为 23.48%,而后上升至 41.51%,亦呈先下降后上升的趋势。黄河南部缓冲区土壤含盐量由 0.35%逐渐升高至 0.65%,6 号缓冲区(即距离黄河超过 25 km 的濒海区域)则猛增至 1.35%;土壤含水量由 40.37%下降为 38.21%,而后上升至 45.33%,呈先降后升的趋势。

总体看,从黄河向两岸延伸,随着距离黄河渐远土壤含盐量呈现逐渐上升的趋势,土壤含水量呈先下降后上升趋势,反映了黄河淡水对其周围土壤水盐的显著影响。

2.4 不同植被类型的土壤水盐状况

表 7 为不同植被类型土壤水盐含量统计,从表 7

表 4 不同深度土壤含盐量空间分布面积比例

Table 4 Area ratio of spatial distribution of soil salinity at different depths

土壤含盐量 /%	盐渍化程度	面积比例 /%		
		0~15 cm	15~30 cm	30~45 cm
<0.1	非盐化	0	0	0
0.1~0.2	轻度盐渍化	0.75	0.14	0.20
0.2~0.4	中度盐渍化	38.86	20.21	12.58
0.4~0.6	重度盐渍化	19.70	33.42	35.54
>0.6	盐土	40.69	46.23	51.68

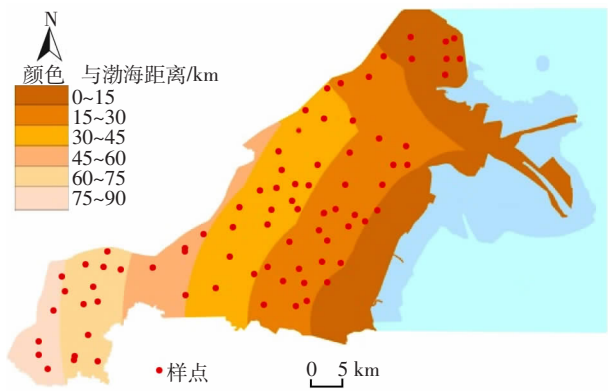


图 3 渤海缓冲区分布图

Figure 3 Bohai Sea buffer distribution

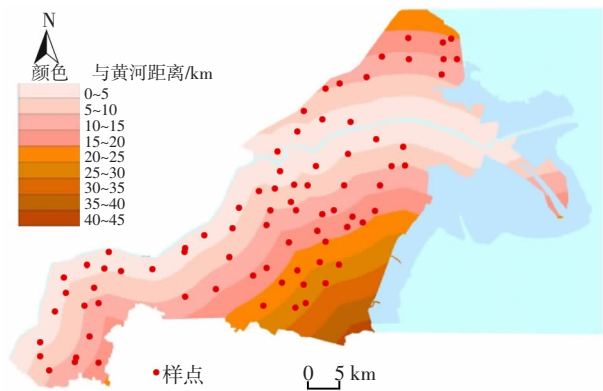


图 4 黄河缓冲区分布图

Figure 4 Yellow River buffer distribution

表 6 黄河缓冲区样点土壤水盐含量统计					
Table 6 Statistics characteristics of soil salinity and moisture of soil samples in Yellow River buffer					
区域	组号	距离/km	样本数	含盐量/%	含水量/%
黄河北部	1	0~5	13	0.29	33.01
	2	5~10	3	0.22	23.48
	3	10~15	11	0.32	37.34
	4	15~20	7	3.09	41.51
黄河南部	1	0~5	50	0.35	40.37
	2	5~10	38	0.48	35.93
	3	10~15	26	0.61	39.76
	4	15~20	18	0.63	38.21
	5	20~25	12	0.65	42.01
	6	25~30	8	1.35	45.33

表 7 不同植被类型土壤水盐含量统计					
Table 7 Statistics characteristics of soil salinity and moisture of different vegetation types					
植被类型	样本数	含盐量 /%			含水量 /%
		平均值	最小值	最大值	
玉米	8	0.24	0.13	0.34	31.92
小麦	14	0.29	0.18	0.42	30.71
棉花	91	0.32	0.11	0.93	37.00
水稻	14	0.35	0.23	0.49	46.77
茅草	9	0.46	0.19	0.79	42.98
芦苇	19	0.63	0.19	1.56	43.53
马绊草	6	0.64	0.55	0.73	46.17
柽柳	6	1.55	1.20	2.32	42.28
碱蓬	12	2.38	1.13	4.92	44.51
光板地	8	3.23	1.49	4.68	44.62

可以看出,不同植被类型的土壤含盐量和含水量差异明显。土壤含盐量从大到小的植被类型依次为光板地>碱蓬>柽柳>马绊草>芦苇>茅草>水稻>棉花>小麦>玉米。光板地的土壤含盐量最大,表面积盐现象严重,有植被覆盖的土壤则含盐量显著下降。在荒地中,生长碱蓬和柽柳的土壤含盐量明显高于马绊草、芦苇和茅草,显示其作为盐土指示植物的可能性。在农作物中,水稻田的土壤含盐量最高,平均值为 0.35%,含盐量范围为 0.23%~0.49%,说明稻田一般选择含盐量较高不宜旱作的地块。棉田土壤含盐量平均值为 0.32%,其范围为 0.11%~0.93%,其中有 27 个棉田样本的含盐量小于 0.2%,属于轻度盐渍化,这也说明将棉田调整为粮食作物种植模式的可行性。麦田的土壤含盐量平均为 0.29%,范围为 0.18%~0.42%,玉米地的土壤含盐量最小,范围为 0.13%~0.34%,平均值为

0.24%。

实地调查发现,土壤盐分含量是垦利县植被空间分布的主要限制因素,在距离渤海较近、地势较低等土壤含盐量较高的地区,主要分布碱蓬、柽柳等高度耐盐植物,随着远离渤海、地势抬升以及靠近黄河,土壤含盐量逐渐降低,则主要分布有一定耐盐性的马绊草、芦苇和茅草等自然植被,在距离渤海较远和沿黄等土壤含盐量较低的区域,多集中连片种植小麦或玉米,其中土壤盐分含量较高的农田则大多种植相对耐盐的棉花,有水源条件的则零星种植水稻。因此,根据土壤的水盐状况合理调整作物种植结构,可获得更好的经济效益。

2.5 不同地貌类型的土壤水盐状况

表 8 为不同地貌类型面积比例与土壤水盐含量统计。从表 8 可以看出,不同地貌类型的土壤水盐含量差异明显。洼地集中分布于垦利县中部,因地势低,地下水埋深浅,土壤水、盐含量均较高,平均值分别为 42.83%和 0.71%,土壤盐渍化程度较高。微斜平地是县域最主要的地貌类型,土壤含盐量平均为 0.62%,土壤含水量平均为40.08%,因其分布广泛,受自然及人为多重因素影响,土壤盐渍化程度分布不均。缓岗分布较少,主要分布县域西南部,土壤水、盐含量分别为 37.60%和 0.38%,土壤盐渍化程度相对较低。河滩高地主要分布于新旧黄河河道沿岸,因邻近黄河河道,地势高,土壤含水量和含盐量较低,分别为 36.48%和 0.33%。

表 8 不同地貌类型面积比例与土壤水盐含量统计					
Table 8 Area ratio and statistics characteristics of soil salinity and moisture of different geomorphic types					
地貌类型	样本数	含盐量 /%			含水量/%
		平均值	最小值	最大值	
洼地	24	0.71	0.14	2.32	42.83
微斜平地	107	0.62	0.13	4.92	40.08
缓岗	7	0.38	0.26	0.62	37.60
河滩高地	49	0.33	0.11	0.93	36.48

3 讨论

本研究结果显示,研究区春季各层土壤含盐量以中度盐渍化为主,且由表层至底层逐渐升高,体现了滨海盐渍土含盐高、通体重的特点,该结果与相关研究相同^[18,20]。同时,研究还发现个别光板地样点存在土壤含盐量由表层至底层逐渐降低的情况,其各层含盐量均大于 1%,这也说明了盐渍土水盐状况的复杂性,

仍然需要大量研究以全面掌握盐渍土盐分特征。土壤含盐量和含水量与离黄河或渤海远近有明显的关系,距黄河(渤海)渐远(近),均逐渐升高,说明研究区土壤水盐状况的空间格局受黄河和渤海因素的较大影响,是黄河淡水与高矿化咸水相互作用的结果,不过,目前黄河、渤海对盐渍土土壤盐分含量的影响机理及其量化研究较为缺乏,还需要大量的后续研究。本研究还表明不同土壤含盐环境能够对应不同的适生植物,显示了土壤-植被系统的相互作用,此与已有的相关研究结果相同^[21-23],另一方面,也为通过土地利用和植被类型间接判断土壤盐渍化状况提供了可能。研究发现盐渍土具有复杂的水盐特性,不同的植被类型、土壤类型、地貌类型、乃至同一地块不同地理方位的土壤含盐量均可能存在差异性,这也对后续野外调查样点的选取和数据的采集提出了要求,野外调查需要全面考虑这些因素,同时,需要对土壤含盐量的微域特征开展深入研究。

黄河三角洲地区独特的地表水与地下水、地形地貌、土壤类型等条件,决定了该区土壤水盐运动的活跃性。在不同的气候、区位、耕作管理等因素的影响下,土壤水盐状况不仅具有空间的变异性,同时具有较大的时间变异性,本文仅研究了春季时相的土壤水盐状况,后续将对该区夏季、秋季、冬季等不同季节的水盐运动状况,以及季节间的时空变异开展进一步的研究。通过研究盐渍土土壤含盐量的空间分异特征,摸清其变化规律,能够为盐渍土改良和防控及作物种植结构调整提供理论依据,以促进黄河三角洲土壤资源的可持续利用。

4 结论

(1)研究区土壤含盐量和含水量总体较高,含盐量以中度盐渍化为主,绝大部分土壤含水量高于 30%,且土壤含盐量属于强变异性,含水量属于中等变异。土壤各层含盐量呈显著的正相关,且随着土层深度的增加含盐量呈升高趋势。

(2)土壤各层含盐量较高的地区主要分布该区东部和东南部滨海地区,而含盐量较低的地区主要分布在县域西南部、中部和黄河两岸。

(3)土壤含盐量随着距离渤海渐远呈下降的趋势,含水量总体呈先下降后上升的趋势;从黄河向两岸延伸,土壤含盐量均随着距离黄河渐远呈上升的趋势,土壤含水量呈先下降后上升的趋势。

(4)不同植被类型和地貌类型与土壤水盐状况关

系明显,土壤含盐量从大到小的不同植被类型依次为光板地>碱蓬>柽柳>马绊草>芦苇>茅草>水稻>棉花>小麦>玉米,不同地貌类型依次为洼地>微斜平地>缓岗>河滩高地。

参考文献:

- [1] Burgess T M, Webster R. Optimal interpolation and isarithmic mapping of soil properties[J]. *Soil Science*, 1980, 31: 315-341.
- [2] Webster R. Quantitative spatial analysis of soil in the field[J]. *Advance in Soil Science*, 1985(3): 25-66.
- [3] Cambardella C A, Moorman A T, Novak J M. Field-scale variability of soil properties in central Iowa soils[J]. *Soil Sci*, 1994, 58: 1501-1511.
- [4] Dirk Mallants', Binayak P. Spatial variability of hydraulic properties in a multi-layered soil profile[J]. *Soil Science*, 1996, 161(3): 167-181.
- [5] Tanji K K. A conceptual hydrosalinity model for predicting salt local in irrigation return flow[J]. *Managing Saline Water for Irrigation*, 1997, 14: 49-65.
- [6] Tsegaye T, Hill R L. Intensive tillage effects on spatial variability of soil physical properties[J]. *Soil Science*, 1998, 163(2): 143-154.
- [7] Yemefack M, Rossiter D G, Njomgang R. Multi-scale characterization of soil variability within an agricultural landscape mosaic system in southern Cameroon[J]. *Geoderma*, 2005, 125: 117-143.
- [8] Navarro-Pedreno J, Jordan M M, Melendez-Pastor I, et al. Estimation of soil salinity in semi-arid land using a geostatistical model[J]. *Land Degradation & Rehabilitation*, 2007, 18: 1-15.
- [9] 张建锋, 张旭东, 周金星, 等. 世界盐碱地资源及其改良利用的基本措施[J]. 水土保持研究, 2005, 12(6): 28-30.
ZHANG Jian-feng, ZHANG Xu-dong, ZHOU Jin-xing, et al. World resources of saline soil and main amelioration measures[J]. *Research of Soil and Water Conservation*, 2005, 12(6): 28-30. (in Chinese)
- [10] 张璐, 孙向阳, 尚成海, 等. 天津滨海地区盐碱地改良现状及展望[J]. 中国农学通报, 2010, 26(18): 180-185.
ZHANG Lu, SUN Xiang-yang, SHANG Cheng-hai, et al. Review and prospect of improvement present situation on coastal saline-alkali area in Tianjin[J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2010, 26(18): 180-185. (in Chinese)
- [11] 李志杰, 孙文彦, 马卫萍, 等. 盐碱土改良技术回顾与展望[J]. 山东农业科学, 2010(2): 73-77.
LI Zhi-jie, SUN Wen-yan, MA Wei-ping, et al. Review and prospects of improvement technology for saline-alkali soil[J]. *Shandong Agricultural Sciences*, 2010(2): 73-77. (in Chinese)
- [12] 牛东玲, 王启基. 盐碱地治理研究进展[J]. 土壤通报, 2002, 33(6): 449-455.
NIU Dong-ling, WANG Qi-ji. Research progress on saline-alkali field control[J]. *Chinese Journal of Soil Science*, 2002, 33(6): 449-455. (in Chinese)
- [13] 关元秀, 刘高焕, 王劲锋. 基于 GIS 的黄河三角洲盐碱地改良分区[J]. 地理学报, 2001, 56(2): 198-205.
GUAN Yuan-xiu, LIU Gao-huan, WANG Jin-feng. Regionalization of salt-affected land for amelioration in the Yellow River Delta based on

- GIS[J]. *Acta Geographica Sinica*, 2001, 56(2): 198–205. (in Chinese)
- [14] 秦元伟, 赵庚星, 王 静. 黄河三角洲滨海盐碱退化地恢复与再利用评价[J]. *农业工程学报*, 2009, 25(11): 306–311.
- QIN Yuan-wei, ZHAO Geng-xing, WANG Jing, et al. Restoration and reutilization evaluation of coastal saline-alkaline degraded lands in Yellow River Delta[J]. *Transactions of the CSAE*, 2009, 25(11): 306–311. (in Chinese)
- [15] 余世鹏, 杨劲松, 刘光明, 等. 长江河口地区土壤水盐动态特点与区域土壤水盐调控研究[J]. *土壤通报*, 2008, 39(5): 1110–1114.
- YU Shi-peng, YANG Jin-song, LIU Guang-ming, et al. Soil water-salt dynamics and regional soil water-salt control in the Yangtze River Estuary[J]. *Chinese Journal of Soil Science*, 2008, 39(5): 1110–1114. (in Chinese)
- [16] 吕国红, 周 莉, 贾庆宇, 等. 辽河三角洲主要植被类型土壤水盐含量研究[J]. *气象与环境学报*, 2010, 26(6): 65–70.
- LÜ Guo-hong, ZHOU Li, JIA Qing-yu, et al. Study on soil water and salt contents for main vegetation communities in the Liaohe Delta[J]. *Journal of Meteorology and Environment*, 2010, 26(6): 65–70. (in Chinese)
- [17] 熊亚兰, 魏朝富. 坡面土壤水分特性的空间变异及其水库贮量[J]. *水土保持学报*, 2005, 19(1): 136–140.
- XIONG Ya-lan, WEI Chao-fu. Spatial variability of soil water properties and its volumetric capacity in hill slope[J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2005, 19(1): 136–140. (in Chinese)
- [18] 姚荣江, 杨劲松, 刘广明, 等. 黄河三角洲地区典型地块土壤盐分空间变异特征研究[J]. *农业工程学报*, 2006, 22(6): 61–66.
- YAO Rong-jiang, YANG Jin-song, LIU Guang-ming, et al. Spatial variability of soil salinity in characteristic field of the Yellow River Delta[J]. *Transactions of the CSAE*, 2006, 22(6): 61–66. (in Chinese)
- [19] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 北京: 中国农业出版社, 2000.
- BAO Shi-dan. Soil and agricultural chemistry analysis[M]. Beijing: China Agricultural Press, 2000. (in Chinese)
- [20] 范晓梅, 刘高焕, 唐志鹏, 等. 黄河三角洲土壤盐渍化影响因素分析[J]. *水土保持学报*, 2010, 24(1): 139–144.
- FAN Xiao-mei, LIU Gao-huan, TANG Zhi-peng, et al. Analysis on main contributors influencing soil salinization of Yellow River Delta[J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2010, 24(1): 139–144. (in Chinese)
- [21] 王海梅, 李政海, 宋国宝, 等. 黄河三角洲植被分布、土地利用类型与土壤理化性状关系的初步研究[J]. *内蒙古大学学报*, 2006, 37(1): 69–75.
- WANG Hai-mei, LI Zheng-hai, SONG Guo-bao, et al. The correlation among vegetation distribution, land use type and soil character in Yellow River Delta[J]. *Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Nei Mongol*, 2006, 37(1): 69–75. (in Chinese)
- [22] 马玉蕾, 王 德, 刘俊民, 等. 黄河三角洲典型植被与地下水埋深和土壤盐分的关系[J]. *应用生态学报*, 2013, 24(9): 2423–2430.
- MA Yu-lei, WANG De, LIU Jun-min, et al. Relationships between typical vegetations, soil salinity, and groundwater depth in the Yellow River Delta of China[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2013, 24(9): 2423–2430. (in Chinese)
- [23] 吴志芬, 赵善伦, 张学雷. 黄河三角洲盐生植物与土壤盐分的相关性研究[J]. *植物生态学报*, 1994, 18(2): 184–193.
- WU Zhi-fen, ZHAO Shan-lun, ZHANG Xue-lei. Studies on interrelation between salt vegetation and soil salinity in the Yellow River Delta[J]. *Acta Phytocologica Sinica*, 1994, 18(2): 184–193. (in Chinese)