

沧州沿海地区土壤盐渍化分布及工程地质特征研究

丁玉蓉, 刘有才 (河北省水文工程地质勘察院, 河北石家庄 050021)

摘要 应用地统分析与 GIS 相结合的方法, 从水平、垂直 2 个方向开展土体盐渍化空间分布特征研究。结合历史数据分析, 研究影响土壤盐渍化分布特征的主要因素, 并对混凝土腐蚀性进行评价。结果表明, 土层含盐量的变化特征与土壤盐分中离子的变化特征基本相同, 钠离子和氯离子在土体盐分中占主导地位, 盐分含量自海岸线向内陆方向有逐步弱化的趋势, 在垂向上土壤盐分剖面特征表现出波状振动类型。土壤盐渍化受气候、河流水文、地形地貌、水文地质条件及海侵等条件的影响。

关键词 沧州沿海地区; 土壤盐渍化; 工程地质; 分布特征

中图分类号 S29 **文献标识码** A

文章编号 0517-6611(2022)14-0064-03

doi: 10.3969/j.issn.0517-6611.2022.14.015

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Study on the Distribution and Engineering Geological Characteristics of Soil Salinization in Cangzhou Coastal area

DING Yu-rong, LIU You-cai (Hebei Hydrological Engineering Geological Exploration Institute, Shijiazhuang, Hebei 050021)

Abstract The method of combining geostatistical analysis and GIS was used to study the spatial distribution characteristics of soil salinization from two directions, horizontal and vertical. Combined with historical data analysis, the main factors affecting the distribution characteristics of soil salinization were studied, and concrete corrosion was evaluated. The results showed that the variation characteristics of soil salinity were basically the same as the variation characteristics of ions in soil salinity. Sodium ion and chloride ion dominated the soil salinity, and the salinity content gradually weakened from the coastline to the inland direction. The soil salinity profile in the vertical direction showed a wave-like vibration type. Soil salinization was affected by climate, river hydrology, topography, hydrogeological conditions and transgression.

Key words Cangzhou coastal area; Soil salinization; Engineering geology; Distribution characteristics

盐渍化是指在海潮的浸渍或含盐地下水的影响下, 土壤含盐量增加(超过 0.3%)的过程; 一般用 100 g 土中所含可溶性盐类的总量(或称全盐量)来衡量土壤的盐碱化程度。由于盐渍土特殊的物化性质及工程地质特征, 对植物生长及工程建设带来巨大的危害。研究沿海地区土壤盐分的时空分布规律及变异特征, 对于查明盐渍化成因、土体质量改良及盐渍土区工程施工具有重要意义。

目前国内外研究资料显示, 关于土体盐渍化程度的研究注重水平方向的研究^[1-7], 且主要集中在浅表土层中, 侧重于盐渍土分布特征改良技术, 使土壤实现农业或生态利用。对以工程建设为目的的深部土层土壤盐渍化地基盐分空间动态变化规律等方面的研究较少^[8-10]。笔者在搜集整理区域大量勘查资料的基础上, 应用地统分析及 GIS 空间数据处理相结合的方式, 从水平、垂直 2 个维度在滨海地区开展盐渍土地基盐分动态变化特征及腐蚀性特征研究, 对沧州沿海地区工程地基建设及环境工程地质灾害防控具有重要意义。

1 资料与方法

1.1 研究区概况 研究区地处华北平原东部的黑龙港流域, 包括河北省沧州市黄骅市、海兴县 2 个县级行政单元, 地势平坦、多洼淀, 自西南向东北略倾斜, 坡降 1/8 000~1/1 500, 地面标高以 1.0~4.0 m 为主。根据区域地形特征与成因类型, 将研究区划分为 2 个地貌类型区, 即冲积平原区、冲海积海积平原区。冲积平原区位于研究区西部, 地势低洼, 海拔多小于 6 m, 局部形成季节性积水洼淀, 故河道微高地、泛滥坡平地、泛滥洼地呈北东向条带状相间分布。冲海积海积平原区分布于研究区东部地区, 属古黄河、现代海河水系及海

相沉积为主的海陆交互沉积区, 地势低平、“九河下梢”, 人工渠网密布, 一般年份沟内有水, 境内的洼地小区地势低洼, 雨季积水连片, 多数为盐碱地, 植被稀疏。

1.2 研究方法与数据处理 此次土体测试指标为易溶盐, 包括 Cl^- 、 SO_4^{2-} 、 CO_3^{2-} 、 HCO_3^- 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 Na^+ 、 K^+ , 由测试结果可知, 区内土壤 pH 为 7.5~9.0, 为弱碱性~碱性土壤, 根据《岩土工程勘察规范》(GB 50021—2001), 研究区盐渍土类型主要为氯盐渍土及亚氯盐渍土。

选取 5 个典型钻孔全盐量统计, 其中 ZK25 最大值为 15 837.67 mg/kg, 最小值为 4 367.65 mg/kg, 是 5 个钻孔中全盐量变化幅度最大的, 其他钻孔变异系数相对较小, 为 0.29~0.43, 详见表 1。

将采集的盐渍土的分布数据、腐蚀性评价数据进行规范化处理, 生成点文件, 再利用 ArcGIS 软件中地理分析工具进行等值线生成, 再结合实际地形地貌特征, 调整分区, 形成盐渍化曲线图、腐蚀性评价图。

2 结果与分析

2.1 盐渍土的分布规律

2.1.1 水平分布规律 该研究区盐渍土主要为滨海盐渍土, 盐渍土形成受气候、河流水文、地形地貌、水文地质条件及海侵等综合因素影响, 具有平面不连续性及不均匀性, 盐分主要聚集在地势低洼路段及透水性差的路段^[11], 组分以氯化物为主。

盐渍土的分布表现为垂直于海岸线方向向内陆方向逐步弱化的趋势, 近几年受自然气候条件、水资源的不合理利用以及海侵的影响, 土壤盐渍化现象局部地段有增加的趋势。

埋深 0~1 m, 全区广泛分布有盐渍土, 盐渍土区占该埋深土层总面积的 80%, 主要类型为弱盐渍土、中盐渍土。其中, 弱盐渍土占 60%, 分布在研究区的中北部以及南部; 中盐

作者简介 丁玉蓉(1986—), 女, 重庆人, 工程师, 硕士, 从事水文地质调查、海洋环境地质调查等方面工作。

收稿日期 2021-07-19; **修回日期** 2021-08-23

渍土占 20%,主要分布在研究区北部以及东部,包括齐家务乡、吕桥镇、羊三木回族乡、小山西南部等区域。

表 1 盐渍土全盐量分布特征
Table 1 Distribution characteristics of total salinity in saline soil

钻孔号 Drill number	最大值 Maximum//mg/kg	最小值 Minimum//mg/kg	平均值 Mean//mg/kg	极差 Range//mg/kg	标准差 SD//mg/kg	变异系数 CV
ZK07	6 242.66	3 546.68	4 624.10	2 695.98	1 350.47	0.29
ZK25	15 837.67	4 367.65	3 904.99	11 470.02	4 726.20	1.21
ZK26	6 218.64	2 608.27	4 609.34	3 610.37	1 549.90	0.34
ZK52	8 967.21	4 371.28	5 840.75	4 595.93	2 014.01	0.34
ZK57	10 203.17	4 179.58	6 465.91	6 023.60	2 764.19	0.43

埋深 1~2 m 对比埋深 0~1 m,盐渍土面积有所减少,盐渍土区占该埋深土层总面积的 55%,主要减少区域分布在海兴县东部沿海及黄骅市齐家务一带。其中,弱盐渍土区占 40%,分布在黄骅市中南部、北部以及零星分布在海兴县中东部;中盐渍土占 15%,主要分布在研究区北部和东部(图 1a)。

埋深 2~3 m 对比埋深 1~2 m,盐渍土区面积有所增大,占该埋深土层总面积的 85%。其中,弱盐渍土占 55%,分布在研究区的中部和北部,南部地区零星分布,包括黄骅市城区及周边区域、中捷产业园区及渤海新区;中盐渍土占 30%,主要分布在官庄乡、吕桥镇、南大港以及南排河地区。

埋深 3~4 m,盐渍土区占该埋深土层总面积的 70%。其中,弱盐渍土约占 60%,主要分布在研究区的北部和东部,包括黄骅市城区及东部区域、中捷产业园区、渤海新区及海兴县城区东部区域;中盐渍土约占 10%,主要分布在吕桥镇西北部区域,零星分布在南部区域(图 1b)。

埋深 4~5 m,盐渍土区占该埋深土层总面积的 60%。其中,弱盐渍土占 40%,主要分布在研究区的中北部、南部区域,包括黄骅市城区及周边区域、中捷产业园区及渤海新区;中盐渍土占 20%,主要分布在研究区的北部,如齐家务乡、吕桥镇、南大港、羊三木回族乡等区域。

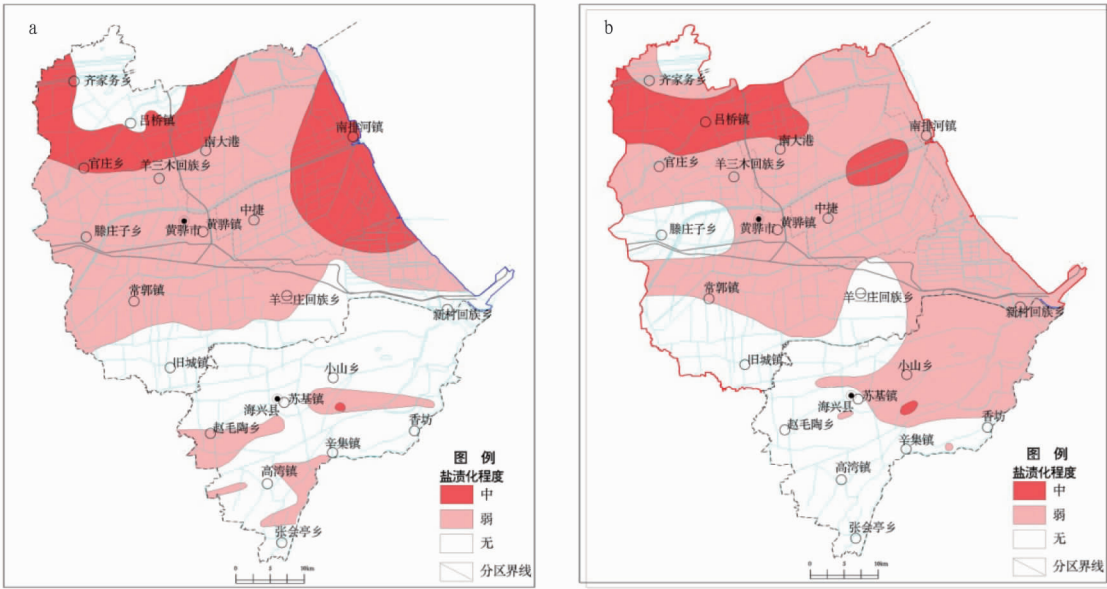


图 1 1~2 m(a)和 3~4 m(b)盐渍化程度分区

Fig.1 Zoning of 1-2 m(a) and 3-4 m(b) salinization degree

2.1.2 垂直分布规律。研究区由于海相层的存在和地下水的溶解、溶滤作用,使介质中的易溶盐分不断进入地下水中,再经过蒸发浓缩,大量盐分积聚于海相层上部,成为盐渍土的富集地,含盐量随之增加。从图 2 可以看出,区内盐渍土垂直分布规律为随着深度的增加,全盐量相应波动,从表层到第二海相层底部均为盐渍土。ZK57 浅表含盐量偏高,反映出毛细水作用的结果,而在农田耕作区等其他地区由于挖沟排盐,浅部含量偏低,反映出淋滤排盐的特征。全盐量垂向变化特征为陆相沉积段全盐量较小,海相沉积段全盐量较大,曲线呈波状振动。

HCO_3^- 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 为主,随着全盐量的增大而增大。 SO_4^{2-} 变化相对较小,说明其与全盐量的相关性较差,区域盐渍土全盐量及化学性质主要受 Na^+ 、 Cl^- 控制(图 3)。土壤 pH 是评价土壤盐渍化程度的一个重要指标,对土壤氧化还原作用、沉淀溶解、吸附、解吸和配合反应起到支配作用^[12],区域土壤 pH 与含盐量及大部分土壤可溶性盐离子间呈现极显著负相关。

2.2 盐渍土腐蚀性评价 盐渍土具有转化成盐胀、翻浆、腐蚀的工程特性,其中腐蚀是主要的环境工程地质问题。盐渍土对钢筋、混凝土等建筑材料均具有一定的腐蚀性。氯离子是盐渍土中起主要腐蚀作用的离子,氯离子与水、铁元素会

区域盐渍土盐组分较为复杂,主要以 Na^+ 、 Cl^- 、 SO_4^{2-} 、

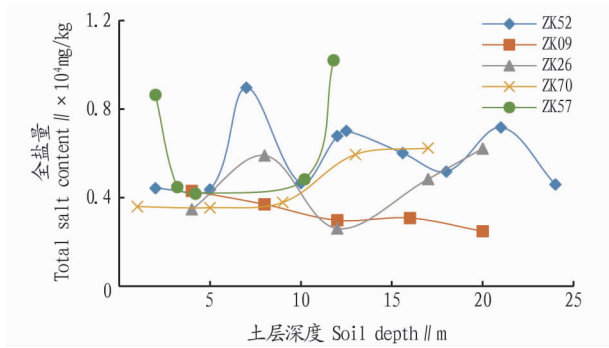


图2 全盐量与土层深度的关系

Fig.2 Relationship between total salt content and soil depth

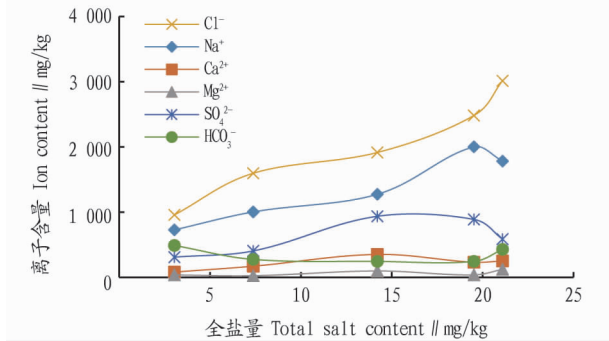


图3 ZK26全盐量与主要离子的关系

Fig.3 Relationship between total salt content of ZK26 and main ions

发生电化学腐蚀,生成氯化亚铁,铁离子再与氧气结合形成氧化物,即通常的铁锈。随着时间的推移,在氯离子的作用下铁受腐蚀量越来越大。

该研究在研究区内按不同深度分别采取土壤可溶盐样品进行分析测试。根据测试结果分析,按照该钻孔在垂向上土壤腐蚀性最强的等级定义该钻孔腐蚀性等级。

2.2.1 混凝土结构的腐蚀性评价。研究区0~20 m土体对混凝土结构的腐蚀性存在微腐蚀性、弱腐蚀性、中腐蚀性、强腐蚀性4种类型。微腐蚀性主要分布在海兴县大部地区;弱腐蚀性分布在黄骅市南部和东部,齐家务乡、官庄乡、滕庄子乡、常郭镇、旧城镇,在海兴县呈零星分布;中腐蚀性分布在黄骅市城区—羊三木回族乡—吕桥镇一带以东、渤海新区以北区域;强腐蚀性分布较少,主要分布在黄骅市城区—中捷产业园区以北及渤海新区北部区域。分布详情见图4。

2.2.2 钢筋混凝土中钢筋的腐蚀性评价。研究区0~20 m土体对钢筋混凝土中钢筋的腐蚀性存在弱腐蚀性、中腐蚀性、强腐蚀性3种类型。弱腐蚀性呈片状分布在黄骅市西部,官庄乡、旧城镇及海兴县西北部;中腐蚀性全区广泛分布;强腐蚀性主要分布在黄骅市东北部、中捷东南部。分布详情见图5。

3 结论与建议

研究区盐渍土广泛存在,盐渍土类型以氯盐渍土及亚氯盐渍土为主,按含盐量划分本区主要为弱盐渍土、中盐渍土两类。土体盐渍化程度水平向垂直于海岸线方向向内陆方向逐步弱化的趋势,在垂向上土壤盐剖面特征表现出波状振动类型。混凝土腐蚀性评价结果显示,0~20 m土体对

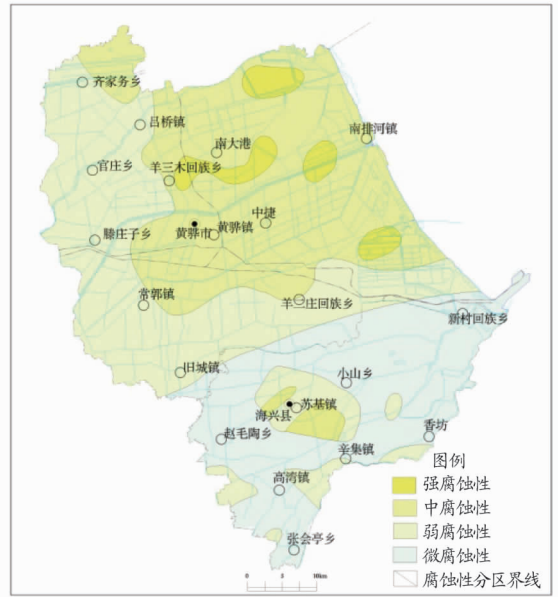


图4 盐渍土对混凝土结构腐蚀性的影响

Fig.4 Effect of saline soil on the corrosion of concrete structure

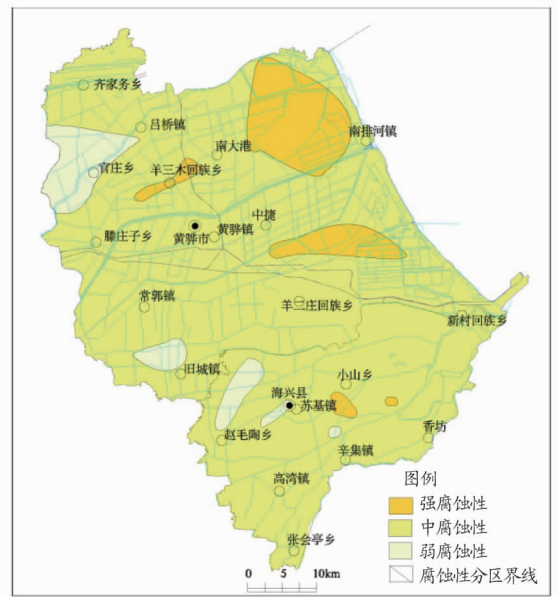


图5 盐渍土对钢筋混凝土结构中钢筋腐蚀性的影响

Fig.5 Effect of saline soil on the corrosion of steel bars in reinforced concrete structures

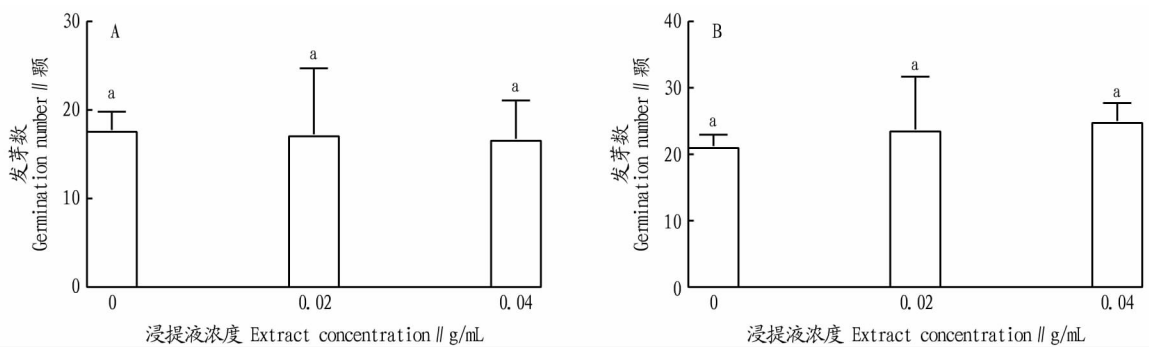
混凝土及钢筋混凝土均有不同程度的腐蚀性。

盐渍土工程防治应因地制宜,针对本区特点,提出治理及防护措施如下:①盐渍土地区混凝土施工要提高耐久性,必须加强混凝土及钢筋抗氯离子腐蚀的能力,保持混凝土的高碱度,提高混凝土的密实度,增强抗渗能力。可通过掺入少量粉煤灰提高抗渗性,减少热开裂;掺入减水剂,降低水灰比,增加密实度;必要时再加入一定的防腐剂。②加强工程地基排水,通过明沟、暗管等途径,降低地下水位,增加土壤中盐分的排放;也可建立垂直(竖井)排水,降低工程建设区地下水位。③针对滨海地区盐渍土分布范围广、等级较大的特点,加强盐渍土清表厚度:非盐渍土段落清除表土30 cm,

(下转第69页)

地碱蓬发芽产生促进作用。一般情况,化感作用是由于互花米草根茎具有有毒性的化学物质,互花米草对其他植物的化

感作用是通过抑制根部吸收利用、酶的活性等,互花米草化感作用多元化。



注:不同小写字母表示 Duncan 法多重比较差异显著 ($P<0.05$)
Note: Different lowercase letters indicate significant differences in Duncan's multiple comparisons ($P<0.05$)

图2 第3天(A)、第7天(B)互花米草浸提液浓度与盐地碱蓬种子发芽数的关系

Fig.2 The relationship between the concentration of *Spartina alterniflora* extract and the germination number of *Suaeda salsa* seeds on the 3rd day (A) and the 7th day (B)

3 讨论与结论

互花米草的植株高度与环境盐分有关联,陈伟霖等^[9]研究1%、2%、3%盐质量分数处理下互花米草的生长指标表明,随着盐质量分数的升高,互花米草的植株高度显示出下降趋势。该研究通过水培和土培出苗试验表明,在低盐质量分数处理下,互花米草出苗有一定的促进作用,在高盐质量分数处理下,互花米草的出苗生长受到限制。可能是因为互花米草具有较强的泌盐作用,可将体内过多的盐分泌出体外,能适应一定的盐质量分数环境。当盐质量分数过高,将导致互花米草对水的利用率降低,进而影响其生长。

在水培中,互花米草在不同盐质量分数中生长情况不一致,盐质量分数较高的水培环境抑制了互花米草的生长,盐质量分数较低的水培环境更利于互花米草的生长,水培互花米草的盐分适宜生长区间为0~2.5%。土培中互花米草生长趋势与水培的趋势一致,盐质量分数较高的土壤抑制了互花米草的生长,盐质量分数较低的土壤环境更利于互花米草的生长,但土培互花米草的盐分适宜生长区间比水培小,为0~1.1%。

互花米草根茎浸提液对供试植物发芽有影响,随浓度增加对小麦发芽抑制作用愈明显,但对盐地碱蓬种子发芽没有明显影响。

参考文献

[1] 王卿.互花米草在上海崇明东滩的入侵历史、分布现状和扩张趋势的预测[J].长江流域资源与环境,2011,20(6):690-696.
[2] 秦卫华,王智,蒋明康.互花米草对长江口两个湿地自然保护区的入侵[J].杂草科学,2004,22(4):15-16.
[3] 王卿,安树青,马志军,等.入侵植物互花米草:生物学、生态学及管理[J].植物分类学报,2006,44(5):559-588.
[4] BERTNESS M D.Zonation of *Spartina patens* and *Spartina alterniflora* in New England salt marsh[J].Ecology,1991,72(1):138-148.
[5] 石福臣,鲍芳.盐和温度胁迫对外来种互花米草(*Spartina alterniflora*)生理生态特性的影响[J].生态学报,2007,27(7):2733-2741.
[6] 赵吉强,李丽霞,陈世华,等.不同盐浓度处理对互花米草生长及离子含量的影响[J].安徽农业科学,2011,39(4):1942-1943,1953.
[7] 宋连清.互花米草及其对海岸的防护作用[J].东海海洋,1997,15(1):11-19.
[8] 沈永明,杨劲松,曾华,等.我国对外来物种互花米草的研究进展与展望[J].海洋环境科学,2008,27(4):391-396.
[9] 陈伟霖,梁梓娇,缪绅裕,等.不同盐度下互花米草生长状况的比较研究[J].广东农业科学,2017,44(4):67-72.
[10] 杨东,万福绪.外来入侵种互花米草的研究进展[J].植物保护,2014,40(2):5-10.

(上接第66页)

弱盐渍土段落清除表土40~60 cm,中盐渍土段落清除表土60 cm,强盐渍土段落清除表土60~80 cm,填筑非一弱盐渍土至路床底部设计标高。

参考文献

[1] 杨劲松.中国盐渍土研究的发展历程与展望[J].土壤学报,2008,45(5):837-845.
[2] 王丹阳.基于不同盐渍度的黄三角滨海盐渍土水盐定量反演[D].泰安:山东农业大学,2020.
[3] 付腾飞,张颖,徐兴永,等.山东滨海低平原区盐渍土盐分的时空变异研究[J].海洋开发与管理,2017,34(12):38-45.
[4] 马莉.崇明土壤盐分时空分布特征研究[D].上海:上海师范大学,2017.
[5] 付腾飞.滨海典型地区土壤盐渍化时空变异及监测系统研究应用[D].

青岛:中国科学院研究生院(海洋研究所),2015.
[6] 周忠勤,叶景艳,董军林,等.南通某沿海地区盐渍土分布特征及其腐蚀性研究[J].海洋开发与管理,2014,31(4):42-45.
[7] 廉晓娟,李明悦,王艳,等.基于GIS的天津滨海新区土壤盐渍化空间分布研究[J].安徽农业科学,2012,40(5):2746-2748,2751.
[8] 席人双.含盐量对盐渍土力学特性的影响[J].铁道建筑,2016,56(10):86-88,92.
[9] 张宁宁,骆亚生.易溶盐对黄土强度特性的影响[J].人民黄河,2014,36(8):103-105.
[10] 李宏波,沈晖,沈杰.粉煤灰固化超盐渍土的抗剪强度及耐久性[J].兰州理工大学学报,2015,41(3):140-144.
[11] 潘肖燕.滨海平原区土壤盐分反演及时空演变研究:以黄骅市为例[D].保定:河北农业大学,2020.
[12] 鄂宇迪,徐雅婧,冯君.松嫩平原不同微地貌上土壤剖面盐分组成及其分布特征[J].土壤通报,2021,52(3):535-543.