

苏北海涂典型围垦区土壤盐渍化风险评估研究*

姚荣江¹ 杨劲松^{1**} 陈小兵² 余世鹏¹ 李晓明¹

(1. 中国科学院南京土壤研究所 南京 210008; 2. 中国科学院烟台海岸带研究所 烟台 264003)

摘要 为定量评估制约苏北海涂土壤资源开发利用的盐渍障碍因素,以苏北海涂典型围垦区江苏省大丰市金海农场为例,将灰色系统理论应用于风险评价,构建了实用的生态风险评价数学模型、指标体系与评价流程,并对区域土壤盐渍化风险状况进行了定量评估与分级。结果表明:土壤盐分、表土层容重与地下水矿化度是该区域盐渍化风险评估的重要因素;研究区土壤盐渍化风险总体较高且不同部位差异较大,其生态风险值 F 介于 0.12~0.60 之间,平均值达 0.30;盐渍化风险分布表现出与土壤盐分、地下水矿化度较为相似的空间规律;受种植制度与耕作措施差异的影响,研究区东部水稻田盐渍化风险总体高于西部棉花地;研究区域不存在土壤盐渍化较小风险区,以一般风险、较大风险为主,其中较大风险区占总面积的 50.11%,一般风险区占 49.41%,很大风险区仅占 0.48%,一般风险和较大风险区是该区土壤改良治理的重点区域。该结果可为海涂区中、低产地的质量提升、盐渍化土壤的科学改良与田间管理提供参考依据。

关键词 苏北 海涂 盐渍土壤改良 盐渍化风险 风险评估 土壤盐分 土壤容重 地下水矿化度
中图分类号: S156.4 **文献标识码**: A **文章编号**: 1671-3990(2010)05-1000-07

Evaluating soil salinization risk in typical coastal reclaimed regions in North Jiangsu Province

YAO Rong-Jiang¹, YANG Jin-Song¹, CHEN Xiao-Bing², YU Shi-Peng¹, LI Xiao-Ming¹

(1. Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008, China; 2. Yantai Institute of Coastal Zone Research, Chinese Academy of Sciences, Yantai 264003, China)

Abstract Salinization is a major obstacle for effective exploitation and utilization of soil resources in coastal regions of especially North Jiangsu Province. To that end, the gray relation theory was used to assess the risk of soil salinization in the farmlands of Jinhai Farm, Dafeng County. This is a typical region in North Jiangsu Province with extensive coastal land reclamation. A practical mathematical formula was designed to determine and classify risk evaluation index in the region. Results show that soil salinity, surface soil bulk density and groundwater mineralization are the most important drivers of salinization. For the farmlands of Jinhai, the range of ecological risk value (F) is 0.12~0.60 with an average of 0.30. This indicates that the risk of soil salinization is generally high and varies significantly with location in the study area. The spatial distribution of risk of salinization is similar to the distributions of soil salinity and groundwater mineralization. Due to differences in cropping and cultivation practices, the risk of salinization in rice fields is higher than that in cotton fields. While, there hardly exists low-risk regions, high-risk and medium-risk regions pervade across the study area. Areas of high-risk, medium-risk and severe-risk respectively account for 50.11%, 49.41% and 0.48% of total study area. Areas of high-risk and medium-risk need urgent amelioration measures. The findings in this study provide the basis for quality improvements in moderate-to-low-yield farmlands. It also lays the basis for scientific amelioration and management of saline soils in coastal regions of North Jiangsu Province.

Key words North Jiangsu Province, Coastal region, Saline soil amelioration, Salinization risk, Risk evaluation, Soil salinity, Soil bulk density, Groundwater mineralization

(Received Jan. 13, 2010; accepted April 10, 2010)

* 公益性行业(农业)科研专项经费项目(200903001)、江苏省企业院士工作站项目(BM2009622)、江苏省自然科学基金项目(BK2009337)和国家高技术研究发展计划(863计划)重点项目(2007AA091702)资助

** 通讯作者: 杨劲松(1959-), 男, 博士, 研究员, 博士生导师, 主要研究领域为土壤和水资源利用与管理。E-mail: jsyang@issas.ac.cn
姚荣江(1980-), 男, 博士, 助理研究员, 研究方向为农业水土资源可持续利用与管理。E-mail: rjyao@issas.ac.cn

收稿日期: 2010-01-13 接受日期: 2010-04-10

苏北地区海涂资源十分丰富,在江苏省近千公里的海岸线上,苏北沿海拥有占全国 1/4 以上的滩涂面积,是非常重要的后备土地资源^[1-2]。苏北海涂土壤资源的围垦开发利用历史悠久,已取得巨大的社会经济利益。目前来看,盐渍化依然是制约苏北海涂土壤开发利用的主要障碍因子,因此,开展土壤盐渍化调查与风险评价对实现该区土壤资源高效可持续利用具有重要意义。

生态风险评价(Ecological risk assessment)起源于为保护人类免受化学暴露的威胁而进行的人类健康评估和污染物对生态系统或其中某些组分产生有害影响的环境健康评价^[3-5]。随着风险理论的发展和生态问题日益突出,一些国内外研究者引入风险管理的理论和方法对生态系统面临的各种风险进行综合评价^[6-12]。一般而言,要综合评价生态系统面临的风险需要大量长期监测数据,而风险作为一种不确定性的危害,是用事件概率来描述的,只要能够确定主要风险源及其概率分布,就可以对总体风险进行评价。基于这一思想,本文以苏北海涂围垦区为背景,针对该区域农田生态系统面临的主要威胁——盐渍化风险,将灰色关联理论引入风险评价中,构建了生态风险灰色评价的数学模型,确立了风险评价指标体系与评价流程,对区域土壤盐渍化风险进行了综合评价与定量分级。该研究可为滩涂区中、低产地质质量提升、障碍土壤的科学管理及合理作物布局提供一定的科学依据。

1 材料与方 法

1.1 研究区概况

研究区域为江苏省大丰市金海农场,位于 32°59'30"~33°0'31"N、120°49'40"~120°51'4"E,总面积约 167 hm²,东距黄海约 4 km,西临大丰麋鹿国家级自然保护区,于 1999 年进行围垦。该区地处北亚热带季风气候区,具有明显的海洋性和季风性,年均降水量 1 058.4 mm,主要集中在 6~8 月份的雨季。由于当地缺乏蓄水工程,雨季水量丰沛但不能调蓄,非雨季淡水资源紧缺,农田灌溉一般采用当地微咸水。研究区域东部主要为“水稻-油菜”一年两熟制,西部为“棉花-大麦”一年两熟制,土壤盐渍化是制约该地区农业生产发展的主要障碍因子。受种植模式影响,研究区东部水稻种植区的排渠密度(平均间距约 50 m)明显大于西部棉花种植区(平均间距约 100 m)(图 1)。

1.2 样品采集与分析

在研究区范围内布设采样点,采样点位置与数量的确定综合考虑当地土质、植被类型、种植制度

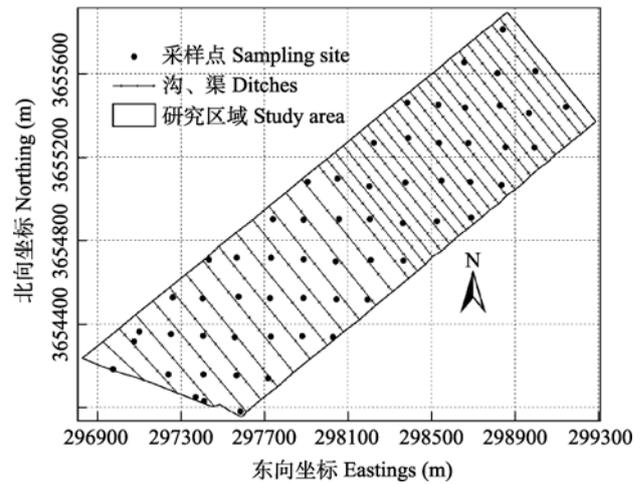


图 1 研究区域和采样点的地理位置

Fig. 1 Geographic locations of study area and sampling sites

等因素,共选取 60 个代表性样点,其中水稻地 25 个,棉花地 29 个,盐蒿、杂草地 6 个,各采样点空间位置如图 1 所示。首先对每个样点的 0~20 cm 耕层进行采样,为保证样品的代表性,各样点均在中心点和相邻的 3 个角采集土样并进行混合,共采集 60 个混合土样。待耕层土样采集完成后,在中心点位置对每个样点进行剖面挖掘,再对 20~40 cm、40~60 cm、60~80 cm 和 80~100 cm 进行分层采样(若地下水埋深小于 1.0 m 则采至地下水埋深为止)。由于滨海滩涂区地下水埋深较浅,每个剖面都挖到地下水流出,待水位稳定后测量地下水埋深并采集地下水样品;同时对 5~10 cm、20~25 cm、40~45 cm、60~65 cm、80~85 cm 和 100~105 cm 进行土壤容重测量的环刀采样(至地下水埋深为止),考虑到表层 0~5 cm 土壤较易受外界扰动,本文以 5~10 cm 土壤容重作为表土层容重。样品采集于 2007 年 10 月下旬进行。

采集的土样带回实验室内自然风干,磨碎、过筛后备用。室内分析测试项目包括土壤有机质、土壤盐分和地下水矿化度。土壤有机质的测定采用重铬酸钾容量法-外加热法,土壤盐分和地下水矿化度的测定采用常规分析法^[13]。

1.3 生态风险灰色评价模型

生态风险评价具体表征各个生态风险因子的变化对生态终点的整体影响程度或效果^[5,14]。假设 i 为采样点编号, j 为生态评价指标编号, y_{ij} 表示第 i 个采样点第 j 个生态评价指标的实测数据, $y_{\alpha j}$ 表示第 j 个生态评价指标的最适值。对 y_{ij} 和 $y_{\alpha j}$ 原始数据进行标准化:

$$x_{ij} = \frac{y_{ij} - y_{\min j}}{y_{\max j} - y_{\min j}}, x_{\alpha j} = \frac{y_{\alpha j} - y_{\min j}}{y_{\max j} - y_{\min j}} \quad (1)$$

$(i = 1, 2, \dots, n; j = 1, 2, \dots, m)$

1.3.1 生态风险评价 将生态风险定义为生态风险因子对最适宜生态值的偏离程度, 则有如下基本的评价模型:

$$F_i = \sum_{j=1}^m w_j \frac{|x_{ij} - x_{\alpha j}|}{\max_i \{|x_{ij} - x_{\alpha j}|\}} \quad (i=1, 2, \dots, n) \quad (2)$$

式中, w_j 为各风险因子对生态评价目标影响的权重系数, 且有 $\sum w_j=1$ ($j=1, 2, \dots, m$)。

1.3.2 灰色关联分析 本研究引进灰色关联度的方法, 其基本思想是根据序列之间发展趋势的相似或相异程度来判断其联系是否紧密, 该方法弥补了采用数理统计方法进行系统分析所导致的缺憾。它对样本量的多少和样本有无规律都同样适用^[15-16]。

设 X_{i0} 为第 i 个采样点的指标变量(参考序列), X_{ij} 为第 i 个样点第 j 个风险因子的标准化值(比较序列)。其中:

$$\begin{cases} X_0 = (X_{10}, X_{20}, \dots, X_{i0}, \dots, X_{n0}) \\ X_1 = (X_{11}, X_{21}, \dots, X_{i1}, \dots, X_{n1}) \\ \dots \dots \dots \\ X_j = (X_{1j}, X_{2j}, \dots, X_{ij}, \dots, X_{nj}) \\ \dots \dots \dots \\ X_m = (X_{1m}, X_{2m}, \dots, X_{im}, \dots, X_{nm}) \end{cases} \quad (3)$$

则称

$$\gamma(x_{i0}, x_{ij}) = \frac{\min_{i,j} \{|x_{ij} - x_{i0}|\} + k \max_{i,j} \{|x_{ij} - x_{i0}|\}}{|x_{ij} - x_{i0}| + k \max_{i,j} \{|x_{ij} - x_{i0}|\}} \quad (4)$$

为第 i 个样点第 j 类风险因子 x_{ij} 与指标变量 x_{i0} 的灰色关联系数, k 为分辨系数且 $k \in (0, 1)$, 其值越小, 分辨率越高, 通常取 0.5。取与式(2)中意义相同的诸权重系数 w_j , 则有:

$$\gamma_{i0} = \sum_{j=1}^m w_j \frac{\min_{i,j} \{|x_{ij} - x_{i0}|\} + k \max_{i,j} \{|x_{ij} - x_{i0}|\}}{|x_{ij} - x_{i0}| + k \max_{i,j} \{|x_{ij} - x_{i0}|\}} \quad (5)$$

式中, γ_{i0} 为第 i 个样点与各类风险因子关联度的综合评价价值。

鉴于诸 X_{ij} 与 X_{i0} 之间可能呈现负相关性, 即生态风险变量值的增加引起指标变量减少而产生损失性风险, 在此情形下, 则可定义如下基于灰色关联度的生态风险评价模型:

$$F_i = 1 - \sum_{j=1}^m w_j \frac{\min_{i,j} \{|x_{ij} - x_{i0}|\} + k \max_{i,j} \{|x_{ij} - x_{i0}|\}}{|x_{ij} - x_{i0}| + k \max_{i,j} \{|x_{ij} - x_{i0}|\}} \quad (6)$$

式中, k ($0, 1$)为分辨系数, w_j 的意义同式(2), $j=1, 2, \dots, m$ 。显然, F_i 即为第 i 个样点的生态风险。

为客观评价研究区土壤盐渍化风险, 本文选取 0~20 cm 耕层土壤盐分、深层土壤盐分(20~100 cm

盐分均值)、5~10 cm 表土层容重、深层土壤容重(其余层次容重均值)、地下水埋深和矿化度共 6 个指标为生态风险因子, 以作物产量作为生态终点^[17]。考虑到研究区土地利用类型比较复杂, 有水稻地, 棉花地, 盐蒿、杂草地等, 且不同作物的产量间缺乏可比性, 本文选择与作物产量密切相关的土壤有机质作为生态终点。

2 结果与分析

2.1 评价因子的统计特征

表 1 列出了所有样点的土壤有机质与各风险评价因子的统计结果。可以看出, 各样点土壤有机质均值仅为 $10.90 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$, 含量总体偏低, 其变幅介于 $4.44 \sim 19.46 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$, 说明研究区不同部位土壤有机质含量差异显著, 亦表明不同程度盐渍化危害导致研究区不同部位作物产量有较大差异。就各风险评价因子而言, 表土层盐分与深层土壤盐分的均值分别为 $2.22 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 和 $2.39 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$, 差异不大, 但均已达到中度盐渍化土标准; 表土层容重与深层土壤容重的均值分别为 $1.37 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ 和 $1.52 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$, 均较大(肥沃的耕层土壤容重一般在 $1.0 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ 左右), 说明该区土壤呈一定的紧实趋势, 且深层土壤容重明显大于表土层; 地下水矿化度和埋深的均值分别为 $9.67 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 和 1.24 m , 矿化度较高且埋深较浅, 这也是滨海滩涂区较为显著的地下水特征。总体上, 受高土壤盐分、地下水矿化度和浅地下水埋深的影响, 研究区土壤盐渍化风险较高, 因而应加强田间管理并完善排灌设施, 以降低土壤盐渍化与次生盐渍化的危害。

从表 2 列出的土壤有机质与各风险评价因子间的相关系数看, 有机质与表土层盐分、表土层容重、深层土壤盐分以及地下水矿化度均显著相关($n=60$, $r_{0.05}=0.250$), 其中与深层土壤盐分、地下水矿化度的相关性达到 1% 极显著水平($n=60$, $r_{0.01}=0.325$)。该结果表明各层土壤含盐量、表土层孔隙状况、地下水矿化度均是耕层土壤盐渍化风险评估的重要因素。此外, 表土层盐分、深层土壤盐分与地下水矿化度亦呈极显著相关。事实上, 滨海滩涂区的浅地下水埋深条件导致地下水中可溶性盐分与土壤盐分存在关联性, 因此可以认为地下水性质主要通过影响盐分在土体、地下水中的交换、运移进而影响耕层土壤盐渍化状况。

2.2 生态风险灰色评价过程

综合考虑作物生长和滨海滩涂地区实际情况, 本研究以土壤有机质为生态终点, 采用表土层盐分、深层土壤盐分、表土层容重、深层土壤容重、

表 1 研究区盐渍化风险评价因子的统计特征值
Tab. 1 Statistical eigenvalues of salinization risk evaluation indices of the study area

评价因子 Evaluation indices	最小值 Min.	最大值 Max.	平均值 Mean	中位值 Median	标准差 St. d.	变异系数 C _v (%)
SOM (g · kg ⁻¹)	4.44	19.46	10.90	10.56	3.34	30.67
S _s (g · kg ⁻¹)	0.65	6.86	2.22	2.06	1.17	52.82
BD _s (g · cm ⁻³)	1.17	1.56	1.37	1.36	0.08	5.83
S _d (g · kg ⁻¹)	0.80	9.03	2.39	1.75	1.70	71.14
BD _d (g · cm ⁻³)	1.41	1.59	1.52	1.52	0.03	2.19
GM (g · L ⁻¹)	1.57	29.90	9.67	7.44	6.12	63.32
GD (m)	0.50	1.65	1.24	1.30	0.24	19.33

SOM: 表土层有机质 Surface soil organic matter; S_s: 表土层盐分 Surface soil salinity; BD_s: 表土层容重 Surface soil bulk density; S_d: 深层土壤盐分 Soil salinity at deep layers; BD_d: 深层土壤容重 Soil bulk density at deep layers; GM: 地下水矿化度 Groundwater mineralization; GD: 地下水埋深 Water table. 下同 The same below.

表 2 各盐渍化风险评价因子间的相关系数矩阵
Tab. 2 Pearson correlation matrix of evaluation indices of salinization risk

评价指标 Evaluation indices	SOM	S _s	BD _s	S _d	BD _d	GM	GD
SOM	1						
S _s	-0.281*	1					
BD _s	-0.255*	-0.006	1				
S _d	-0.451**	0.719**	0.119	1			
BD _d	-0.174	0.102	0.377**	-0.048	1		
GM	-0.500**	0.707**	0.063	0.875**	0.111	1	
GD	-0.171	-0.118	-0.014	-0.046	-0.096	-0.074	1

* 显著性水平 $P < 0.05$, **显著性水平 $P < 0.01$. * means significance at the 5% level, ** means significance at the 1% level.

地下水埋深和矿化度作为生态风险因子进行盐渍化风险分析。将土壤容重作为盐渍化风险评估因子,其原因主要在于表土层容重越大越不易淋洗脱盐,而表土层容重越小越易脱盐,更有利于作物生长、产量提高与土壤培肥;对于深层土壤容重,主要考虑到采样时研究区已进入旱季,此时土壤盐分向上运移的强度大于向下,若深层土壤孔隙度较大(容重较小)则有利于盐分向表土层运移,加剧耕层盐渍化危害,若深层土壤孔隙度较小(容重较大)会抑制盐分的上移表聚,减轻耕层盐渍化危害。此外,表层或深层土壤盐分越高盐渍化风险越大,而地下水埋深越大盐渍化风险越低。以上指标的田间采样数据为盐渍化风险评估的基础数据,利用 ArcGIS 软件进行图件的栅格化处理与计算,并采用相关系数法确定各评价指标权重系数,最终实现区域土壤盐渍化风险的定量评估,详细的评价流程如图 2 所示。

评价因子在土壤盐渍化风险总体构成中的作用大小或者重要性,即风险权重,须根据以上 6 个因子对作物产量(本研究为土壤有机质)的影响程度来确定。在以往的研究中,确定评价因子权重时常采用专家评分法、熵值法、因子分析法等,本文采用相关系数法确定权重。据此,由表 2 可知,表土层盐分、表土层容重、深层土壤盐分、深层土壤容重、地下水埋深和矿化度与土壤有机质的相关系数的绝对值分别为 0.281、0.255、0.451、0.174、0.500 和 0.171,进行标准化处理后分别为 0.153、0.139、

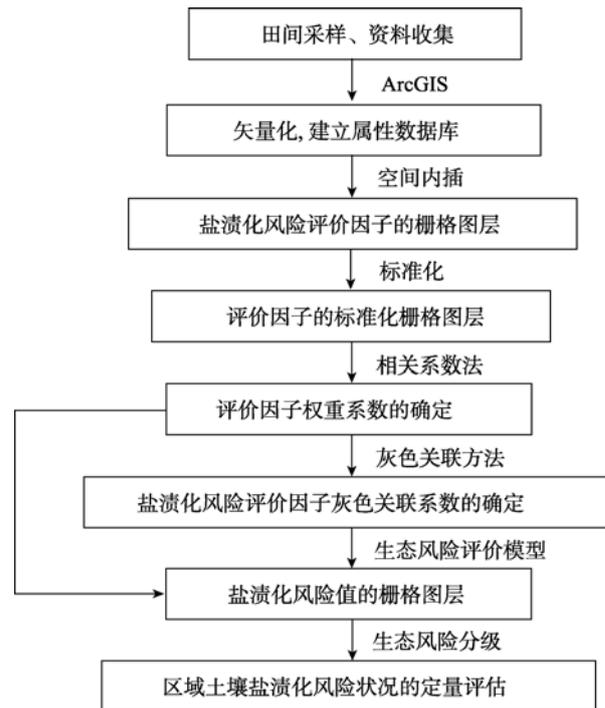


图 2 土壤盐渍化风险评估流程图
Fig. 2 Progress of soil salinization risk evaluation

0.246、0.095、0.273 和 0.093, 下面的计算中将其作为上述各因子的风险评价权重向量。

根据滨海滩涂地区土壤盐渍化现状以及作物生长状况,并参考相关文献所反映的分级方法确定该地区土壤盐渍化风险等级划分标准^[18-20]: 当生态风险值 $F < 0.1$ 时, 风险较小; $0.1 < F < 0.3$ 时, 为一般风

险; 0.3 $F < 0.5$ 时, 风险较大; $F > 0.5$ 时, 风险很大。

2.3 土壤盐渍化风险评估

为对整个研究区域耕层土壤盐渍化风险状况进行综合评价, 首先应用逆距离权重法(IDW, 邻 12 点数据)对各评价因子进行空间内插, 形成各评价因子的空间分布栅格图层, 结果见图 3。进一步参照图 2 的风险评估过程, 计算出各评价因子与土壤有机质的灰色关联系数的栅格图层, 然后根据风险权重系数计算出土壤盐渍化风险值 F 的栅格图层。以上运算均利用 ArcGIS 空间分析工具完成, 得到的研究区土壤盐渍化风险值空间分布及其分级图如图 4 所示。

总体来看, 研究区不同部位耕层土壤盐渍化风

险状况差异显著, 风险值 F 介于 0.12~0.60 之间, 平均值达 0.30, 风险总体较高。从空间上看, 土壤盐渍化风险状况表现出与盐分、地下水矿化度较为相似的空间规律, 且研究区东部(前茬作物为水稻)盐渍化风险高于西部(前茬作物为棉花)。其原因一方面在于东部离海较近, 土壤盐分、地下水矿化度较高, 另一方面可能在于水稻田采用大水淹灌, 尽管淹灌可淋洗土壤盐分, 促进“淡土层”的形成, 但也导致地下水位抬升, 再加上淹灌条件下土壤易沉实板结, 孔隙度降低, 一定程度增大了盐渍化风险。从局部来看, 研究区域中间部位盐渍化风险最高, 田间调查亦表明, 该部位呈现地下水埋深较浅、表土层盐分较高的特征, 植被覆盖度较低, 且主要为盐蒿、杂

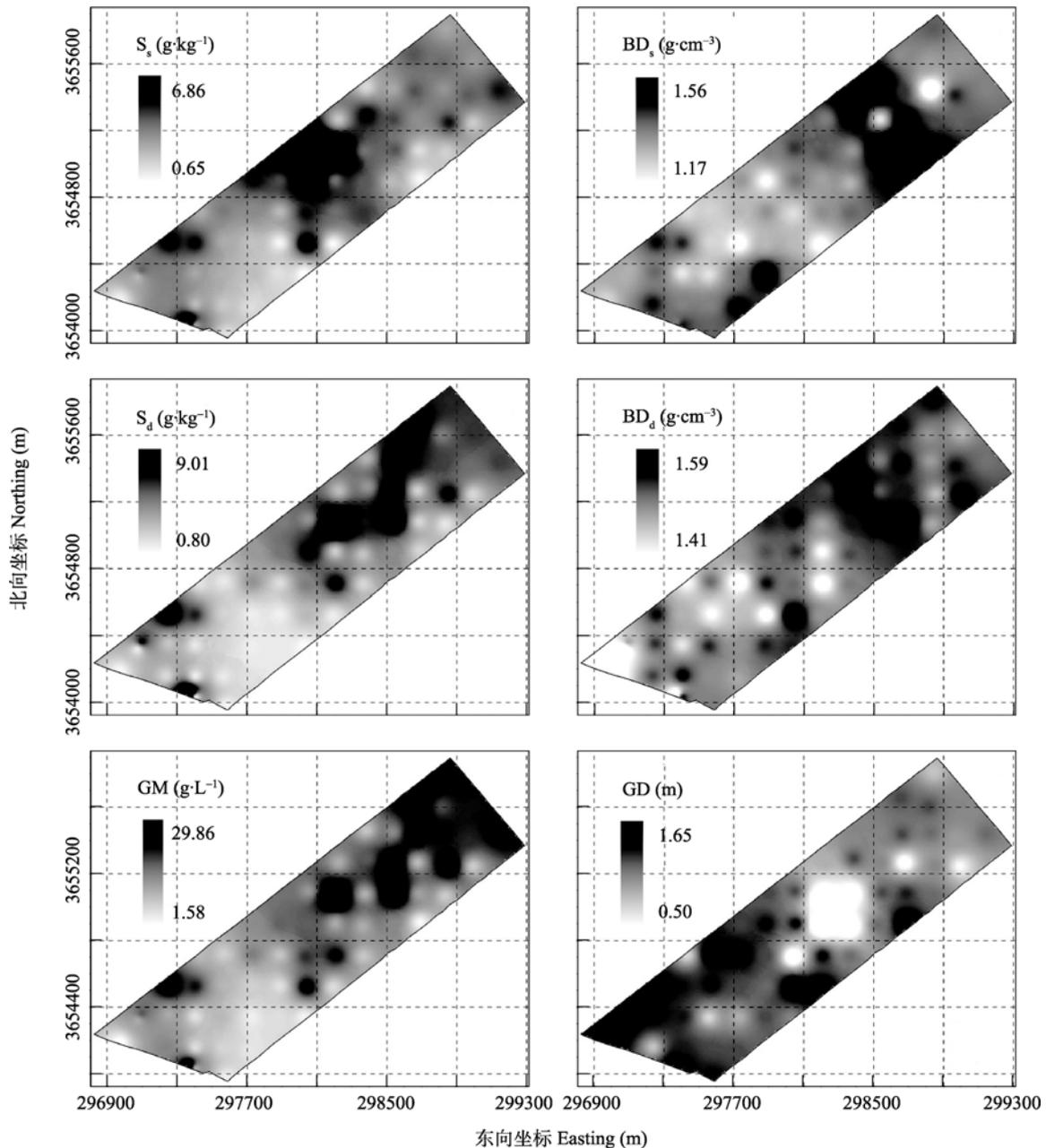


图 3 研究区各盐渍化风险评价因子的空间分布

Fig. 3 Spatial distribution of salinization risk evaluation indices of the study area

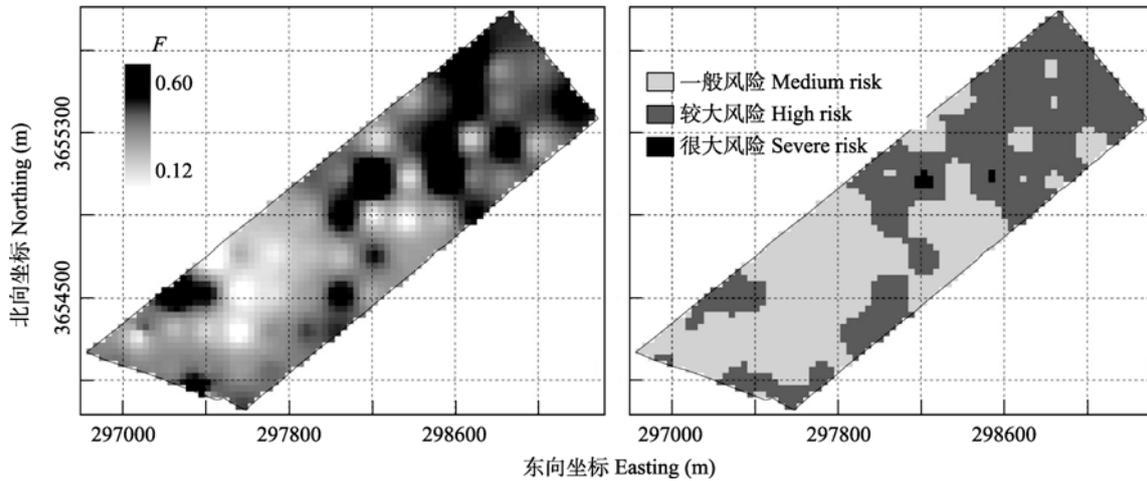


图 4 研究区域土壤盐渍化风险空间分布及其分级

Fig. 4 Spatial pattern of soil salinization risk and its classification across the study area

草地。风险分级结果表明: 研究区风险较大的区域面积最大, 占总面积的 50.11%, 主要集中分布于研究区东部, 前茬作物为水稻, 盐渍化危害程度高, 对后茬秋播作物较为不利; 其次是风险一般的区域, 占 49.41%, 主要连片分布于研究区的西部, 前茬作物为棉花, 这些部位土壤含盐量较低, 土地利用强度大; 风险很大的区域仅占 0.48%, 主要呈斑块状分布于研究区中间部位。总体上, 研究区域以一般风险、较大风险为主, 占总面积 99.52%, 是改良治理的重点区域。

土壤盐渍化风险图为土壤改良和后茬作物的合理布局提供了一定参考依据。如考虑到采样期(正值旱季)滨海滩涂区土壤盐分向上运移的强度大于向下, 因此应完善较大、很大风险区的田间排灌设施, 促进土壤的淋盐、排盐以降低盐渍化风险; 对一般风险区宜采用农艺改良措施, 通过改善土壤理化性状以提高生产力。此外, 根据研究区土壤盐渍化风险分级图可为后茬作物合理布局及其田间管理提供指导, 如在一般风险区种植棉花、油菜、大麦等常规作物, 而在较大风险区适当种植菊芋、油菜、籽粒苋等耐盐经济植物。

3 结论

本研究以苏北海涂典型围垦区金海农场为例, 结合滨海滩涂地区盐渍化实际情况, 选取与盐渍化密切相关的土壤和地下水水质作为评价指标, 采用生态风险分析方法对区域土壤盐渍化风险状况进行定量评估与分级。结果显示研究区盐渍化风险总体较高, 种植制度与耕作措施差异导致水稻田盐渍化风险高于棉花地。整个研究区域以一般风险、较大风险为主, 是改良治理的重点区域。

本研究选择在 10 月下旬进行土壤盐渍化风险

评估, 其原因是多方面的: 首先, 由于该时段正值沿海地区大麦播种, 因此获得的盐渍化风险图有利于制定适宜的种植制度与苗期农田管理对策; 其次, 盐渍化风险图为土壤改良和后茬作物的合理布局提供了参考, 如灌排、农艺、生物等改良措施的确定以及耐盐作物品种的选择。事实上, 土壤盐渍化的发生与演变与土壤性质、气候条件、水文地质条件和农田管理措施密切相关, 其风险评价指标体系应包括土壤理化性状、地下水水质、气候、地貌以及灌排、耕作、栽培等一系列因素, 其中含盐土壤与地下水是盐渍化发生的内在因素, 而气候、地貌、地下水位、土壤质地以及排灌、耕作等因素是其发生的外部因素。本研究选取剖面土壤含盐量和容重、地下水埋深与矿化度作为评价因子, 已基本涵盖滨海滩涂地区盐渍化发生的内外部因素, 其结果具有可信度; 其中可溶性盐含量大、潜水位高是盐渍化形成的主要条件; 土壤容重一定程度决定了土壤毛管水的上升作用, 也影响着水分的下渗和盐分的淋洗; 考虑到研究区域多年平均蒸降比 1.5 左右且地形较为平坦, 对土壤盐渍化发生和盐分分异的影响较小, 因而文中未作为评价指标。须说明的是, 灌溉和耕作等人为农业措施亦是影响盐渍化的重要因素, 由此研究区域东西部种植制度的差异对盐渍化的影响不容忽视, 笔者将在下一步研究工作中深入分析农田管理措施对盐渍化风险的影响。

参考文献

- [1] 王资生, 阮成江, 郑怀平. 盐城滩涂资源特征及可持续利用对策[J]. 海洋通报, 2001, 20(4): 64-69
- [2] 欧维新, 杨桂山, 于兴修, 等. 盐城海岸带土地利用变化的生态环境效应研究[J]. 资源科学, 2004, 26(3): 76-83
- [3] 陈辉, 刘劲松, 曹宇, 等. 生态风险评价研究进展[J]. 生态学报, 2006, 26(5): 1558-1566

- [4] Landis W G. Twenty years before and hence: Ecological risk assessment at multiple scales with multiple stressors and multiple endpoints[J]. *Human and Ecological Risk Assessment*, 2003, 9: 1317-1326
- [5] Suter G W, Suter II G W, Barnhouse L W. Ecological risk assessment[M]. 2nd Edition. New York: CRC Press Taylor & Francis Group, 2006
- [6] 李名升, 佟连军. 辽宁省污灌区土壤重金属污染特征与生态风险评价[J]. *中国生态农业学报*, 2008, 16(6): 1517-1522
- [7] Xu X G, Lin H P, Fu Z Y. Probe into the method of regional ecological risk assessment—a case study of wetland in the Yellow River Delta in China[J]. *Journal of Environmental Management*, 2004, 70(3): 253-262
- [8] 姚丽贤, 李国良, 何兆桓, 等. 连续施用鸡粪与鸽粪土壤次生盐渍化风险研究[J]. *中国生态农业学报*, 2007, 15(5): 67-72
- [9] Conner A J, Glare T R, Nap J P. The release of genetically modified crops into the environment: Part II. Overview of ecological risk assessment[J]. *Plant Journal*, 2003, 33(1): 19-46
- [10] Cramer V A, Hobbs R J. Assessing the ecological risk from secondary salinity: A framework addressing questions of scale and threshold responses[J]. *Austral Ecology*, 2005, 30(5): 537-545
- [11] Biggs A J W, Power R E, Brough D M. A preliminary assessment of salinity risk modelling in the Queensland Murray-Darling Basin[R]. Department of Natural Resources and Mines, Queensland, QNRM03155, 2003: 1-34
- [12] 李维德, 李自珍, 石洪华. 生态风险分析在农田肥力评价中的应用[J]. *西北植物学报*, 2004, 24(3): 546-550
- [13] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法[M]. 北京: 中国农业科技出版社, 1999: 90-99
- [14] 寇俊卿, 张海涛, 杨德五, 等. 生态风险分析及研究进展[J]. *河南科技大学学报: 农学版*, 2003, 23(1): 71-74
- [15] 赵晓慧, 严立蛟. 生态敏感性的灰色关联投影评价模型及其应用[J]. *浙江大学学报: 农业与生命科学*, 2006, 32(3): 341-345
- [16] 季月芬, 汤洁, 林年丰, 等. 灰色关联度法在草原土壤质量评价中的应用[J]. *吉林农业大学学报*, 2003, 25(5): 551-556
- [17] 毛小苓, 倪晋仁. 生态风险评价研究述评[J]. *北京大学学报: 自然科学版*, 2005, 41(4): 646-654
- [18] 李自珍, 李维德, 石洪华, 等. 生态风险灰色评价模型及其在绿洲盐渍化农田生态系统中的应用[J]. *中国沙漠*, 2002, 22(6): 617-622
- [19] 姚荣江, 杨劲松. 黄河三角洲地区浅层地下水与耕层土壤积盐空间分异规律定量分析[J]. *农业工程学报*, 2007, 23(8): 45-51
- [20] 刘广明, 杨劲松, 姜艳. 江苏典型滩涂区地下水及土壤的盐分特征研究[J]. *土壤*, 2005, 37(2): 53-58

欢迎订阅 2011 年《生态与农村环境学报》

《生态与农村环境学报》系环境保护部主管、环境保护部南京环境科学研究所主办的全国性学术期刊, 是全国中文核心期刊, RCCSE 中国核心学术期刊、中国科技核心期刊, 全国优秀环境科技期刊, 江苏省优秀期刊, 中国期刊协会赠建全国百家期刊阅览室指定赠送期刊, 中国科学引文数据库(CSCD)、中国科技论文与引文数据库(CSTPCD)、中文社会科学引文索引(CSSCI)、中国学术期刊综合评价数据库(CAJCED)和中国核心期刊(遴选)数据库等来源期刊, 并被 CA、CABI、BA、BP、BD、PD、ZR、EM、Scopus、AGRIS、中国农业文摘、中国生物学文摘和环境科学文摘等国内外重要刊库收录。

本刊宗旨为及时报道生态与农村环境保护领域研究的动态、理论、方法与成果等。主要栏目有研究报告、研究简报、研究方法、专论与综述、学术讨论与建议、书刊评介、动态与信息。报道内容: (1) 区域环境与发展, 包括生态环境变化与全球环境影响、区域生态环境风险评价、环境规划与管理、有机农业与农业生态、区域生态经济与生态安全等; (2) 自然保护与生态, 包括自然资源保护与利用, 生物多样性与外来物种入侵, 转基因生物环境安全与监控, 生态保护、生态工程与生态修复等; (3) 污染控制与修复, 包括污染控制原理与技术、土壤污染与修复、水环境污染与修复、农业废物综合利用与资源化、农用化学品(包括化学品)风险评价与监控等。主要读者对象为从事生态学、环境科学、农学、林学、地学、资源科学等研究、教学、生产的科技人员, 相关专业的高等院校师生以及各级决策与管理人员。

本刊为双月刊, 逢单月 25 日出版, A4 开本, 每期定价 15.00 元, 全年定价 90.00 元。国内统一连续出版物号: CN32-1766/X。国内外公开发行, 国内邮发代号: 28-114, 全国各地邮局均可订阅; 国外由中国国际图书贸易总公司(北京 399 信箱)负责发行, 国外发行代号: 5688。如漏订, 可向本刊编辑部补订。

地址: 江苏省南京市蒋王庙街 8 号 邮编: 210042 电话: (025)85287036, 85287052, 85287053

E-mail: ncst@chinajournal.net.cn bjb@nies.org