

鲁北平原(黄河以北)土壤盐渍化 环境质量及防治分区研究

张红军^{1,2}, 许艳¹, 王强^{1,2*}, 张太平¹, 赵慧¹, 王薇¹, 张瑞华¹, 王奎峰¹

(1.山东省地质科学研究所, 济南 250013;

2.自然资源部海岸带科学与综合管理重点实验室, 济南 250013)

摘要:【目的】研究鲁北平原(黄河以北)土壤盐渍化现状。【方法】采用二级模糊综合评判法, 构造了隶属土壤环境条件、地下水环境条件和自然地理条件3个层面, 盐渍土面积占比、土壤盐渍程度、土壤含盐量、包气带岩性、地下水埋深、地下水矿化度、地形地貌与蒸降比8个指标的综合评价指标体系, 对鲁北平原(黄河以北)区域进行了土壤盐渍化环境质量评价研究。【结果】①将鲁北平原(黄河以北)盐渍化土壤环境质量划分为优等、良好、中等、较差和差5个等级。②其中, 盐渍化土壤环境质量差区面积5 277.49 km², 盐渍化土壤环境质量较差区面积6 564.76 km², 盐渍化土壤环境质量中等区面积4 383.79 km², 良好区面积5 995.52 km², 盐渍化土壤环境质量优等区面积4 919.29 km²。针对不同的盐渍化环境质量条件。将土壤盐渍化的防治分区划分为3个防治区8个亚区。【结论】鲁北平原(黄河以北)地区土壤盐渍化程度和空间差异较大。本研究可为改善该地区土壤管理措施提供技术支持, 促进该地区农业和农村经济的健康发展。

关键词: 鲁北平原; 盐渍化; 模糊综合评判法; 土壤环境质量

中图分类号: X2

文献标志码: A

doi: 10.13522/j.cnki.ggps.2022623

OSID:



张红军, 许艳, 王强, 等. 鲁北平原(黄河以北)土壤盐渍化环境质量及防治分区研究[J]. 灌溉排水学报, 2023, 42(6): 89-95, 103.

ZHANG Hongjun, XU Yan, WANG Qiang, et al. Study on Environmental Quality and Prevention of Soil Salinization in Northern Shandong Plain (North of Yellow River)[J]. Journal of Irrigation and Drainage, 2023, 42(6): 89-95, 103.

0 引言

【研究意义】盐渍土壤分布广泛, 其范围遍及除南极洲以外的五大洲100多个国家和地区^[1]。我国也是盐渍土分布广泛的国家^[2-4], 20世纪80年代我国的盐渍土面积约为9 913.3×10⁴ hm², 主要分布在东北、华北、西北、长江中下游及滨海等地区^[5-6], 大约55%属于原生盐渍化土地, 其余是次生盐渍化土地。现阶段, 我国正面临耕地资源锐减、淡水资源匮乏等不可逆转的形势^[7]。对目前面临的耕地资源减少, 单位面积产量的提高已经达到了瓶颈, 保护和合理开发水土资源是一项艰巨而意义重大的任务。盐渍土作为一种土地资源, 在全国乃至全世界都有广泛的分布。迄今为止, 我国尚有80%左右的盐渍土尚未得到开发利用, 有着巨大的发展潜力^[8]。目前, 盐渍化土壤质

量评价方法主要包括土壤质量综合指数法^[9]、模糊评判法^[10]、主成分分析法^[11]、灰色关联度法^[12]与人工神经网络模型^[13]等, 并取得了较为丰硕的研究成果。

【研究进展】徐存东等^[14]通过构建土壤盐渍化程度多级模糊评价指标体系, 对灌区的土壤盐渍化程度进行了评价。王巍琦等^[15]以石河子垦区为研究区域, 利用层次分析法对垦区土壤质量做出综合评价。高娃等^[16]采用主成分分析方法确定土壤质量评价指标对土默川平原盐渍化土地开展了土壤质量评价工作。胡月明等^[17]将GIS技术与数学模型结合起来, 建立了土壤信息系统和新的土壤质量评价模型。在盐渍化土壤改良方面, 岳燕等^[18]发现向盐渍化土壤加入生物炭, 不仅能够缩短盐分洗脱时间, 而且能提高洗盐效率, 显著改良盐渍化土壤。石磊等^[19]在新疆南疆沙质次生盐渍土壤治理上采用了暗管和竖井排水控盐技术, 取得了良好的治理效果。王少丽等^[20]采用了覆膜滴灌技术, 地表排盐和排盐沟淋洗地表脱盐效果明显。

【切入点】以上学者在盐渍化土壤方面取得了丰硕的研究成果, 但在鲁北平原(黄河以北)地区盐渍化分区研究方面还鲜有报道。【拟解决的关键问题】因此, 在现场调查和前人的研究基础上, 本文运用模

收稿日期: 2022-11-07 修回日期: 2023-02-10 网络出版日期: 2023-05-05

基金项目: 山东省社会科学规划研究项目(21BKRJ03); 山东省自然科学基金博士基金项目(ZR2019BEE021); 自然资源部金矿成矿过程与资源利用重点实验室和山东省金属矿产成矿地质过程与综合利用重点实验室资助联合项目(kfkt201803)

作者简介: 张红军(1987-), 男, 山东济宁人。高级工程师, 博士, 主要从事水文地质方面的研究工作。E-mail: sdhongjun@163.com

通信作者: 王强(1980-), 男, 山东东平人。正高级工程师, 硕士, 主要从事水文地质、生态环境地质方面的研究工作。E-mail: wqsddky@126.com

©《灌溉排水学报》编辑部, 开放获取 CC BY-NC-ND 协议

模糊数学综合评判法,开展了鲁北平原(黄河以北)农业经济区盐渍化土壤环境质量分区评价工作,并提出了防治分区对策,研究成果对提高土地资源利用率,促进鲁北平原农业农村经济的健康发展和社会主义新农村建设具有十分重要的意义。

1 研究区概况

研究区位于山东省西北部,黄河下游北侧,南依黄河和金堤河北大堤,北至漳卫新河南岸,西与河南河北二省为邻,东临渤海湾。其地理坐标东经 $115^{\circ}20'00''$ — $119^{\circ}06'00''$,北纬 $35^{\circ}47'00''$ — $37^{\circ}38'16''$ 。2018年3—12月通过遥感地质解译和区域环境地质调查查明了鲁北平原(黄河以北)盐渍化土壤分布现状,本工作区盐渍土面积 $14\,239.96\text{ km}^2$,土地盐渍化率47.93%,其中盐土面积 $1\,177.01\text{ km}^2$,占盐渍土总面积的8.27%,占全区总面积($29\,713\text{ km}^2$)的3.96%;重度盐渍土面积 655.69 km^2 ,占盐渍土总面积的4.60%,占全区总面积的2.21%;中度盐渍土面积 $4\,381.23\text{ km}^2$,占盐渍土总面积的30.77%,占全区总面积的14.75%;轻度盐渍土面积 $5\,470.07\text{ km}^2$,占盐渍土总面积的38.41%,占全区总面积的18.41%;潜在盐渍土 $5\,470.07\text{ km}^2$,占盐渍土总面积的38.41%,占全区总面积的18.41%;潜在盐渍土面积 $2\,555.96\text{ km}^2$,占盐渍土总面积的17.95%,占全区总面积的8.60%。

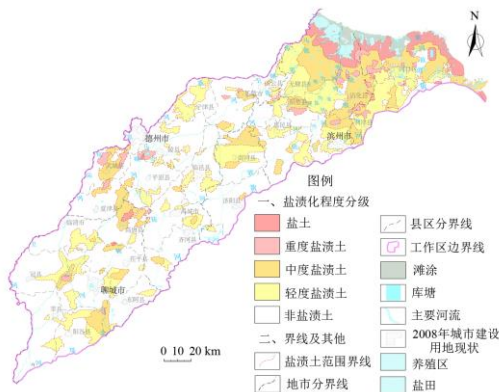


图1 鲁北平原(黄河以北)盐渍化土壤分布
Fig.1 Soil distribution map of salinization in North Shandong Plain (North of Yellow River)

2 研究方法

2.1 评价方法

地质环境由于其组成因素较多,而且因素分级界限具有一定的模糊性。为了克服盐渍化土壤质量评价过程中许多定性因素带来的诸多不便,模糊数学综合评判法把“亦此亦彼”中间过度的模糊概念用数学方法来处理,并对土壤盐渍化程度进行定量分析评价,充分体现了模糊数学综合评判法的优势所在。因此,模糊数学综合评判法被认为是较为合

理的评价方法。由于评价指标存在等级划分,不同层次因子的作用和地位不同,所以本次评价采用二级模糊综合评判法^[21-23]。

二级模糊综合评判法是把评价指标分成2个等级,首先对二级指标进行综合评判(二级评价),然后在二级评价的基础上再对一级指标进行综合评判(一级评价)。二级模糊综合评判法具有能正确反映各评价指标之间的相互联系、相互制约、整体协调和动态发展的特点。

2.2 评价指标体系的构建

根据影响鲁北平原土壤盐渍化的地质环境现状条件,以实际调查成果为基础,结合搜集到的实际资料,筛选出影响程度较为突出的指标进行评价,构建鲁北平原盐渍化土壤环境质量评价指标体系。本次盐渍化土壤环境质量评价确立了3个一级评价指标,8个二级评价指标。

表1 鲁北平原盐渍化土壤环境质量评价指标表

一级指标	二级指标
土壤环境质量	盐渍土面积占比
	土壤盐渍程度
	土壤含盐量
地下水环境质量	包气带岩性
	地下水埋深
	地下水矿化度
自然地理环境质量	地形地貌(缓平坡地和洼地面积占比)
	蒸降比

2.3 盐渍化土壤环境质量分级体系

2.3.1 盐渍化土壤环境质量分级体系

鉴于鲁北平原土壤盐渍化产生的地质环境与发育特征,采用五值逻辑分类将鲁北平原盐渍化土壤环境质量划分为5级。即:优等(I)、良好(II)、中等(III)、较差(IV)、差(V)。

2.3.2 评价指标量化分级体系

盐渍化土壤环境质量评价指标量化分级是在环境质量分级基础上,通过对区域地质环境影响因素、因子数据统计分析,确定因子最优和最差2个极限值,划定指标的级差范围,在2个极限值之间,按一定的级差,以阈限递增或递减规律取值来实现量化分级。盐渍化土壤环境质量评价指标构成和量化方法见表2。

2.4 评价单元的划分及运算

2.4.1 评价单元的划分

由于各种地质环境因素在不同区域的差异性和复杂性,要做到较为精确的评价,需将整个研究区域分成若干个小单元,即评价单元。本次评价单元划分采用正方网格单元划分法。网格单元以1:25

万地理底图为基础进行网格化单元设置，网格大小 10 km×10 km，将研究区划分为 337 个网格评价单元。

表 2 鲁北平原盐渍化土壤环境质量评价指标量化分级及其标准化指数

Table 2 Quantitative grading table and standardization index of salinized soil environmental quality evaluation index in North Shandong Plain

指标体系	优等级 I		良好级 II		中等级 III		较差级 IV		差级 V	
	标准	指数	标准	指数	标准	指数	标准	指数	标准	指数
盐渍土面积占比	0	0.02	<10%	0.20	<33%	0.50	<50%	0.80	≥50%	1.00
土壤盐渍程度	非盐渍土	0.02	潜在盐渍土	0.10	潜在-轻度盐渍土	0.40	轻度-中度盐渍土	0.70	重度盐渍化-盐土	1.00
土壤含盐量/(g·100 g ⁻¹)	<0.07	0.10	0.07~0.19	0.25	0.1~0.3	0.50	0.3~0.6	0.75	>0.5	1.00
包气带岩性	砂性土与黏性土互层	0.60	粉细砂砂土与黏性土互层	0.70	黏性土为主	0.80	砂性土为主	0.90	粉细砂为主	1.00
地下水埋深/m	>3.5	0.05	>3	0.15	2~3	0.50	1~2	0.75	<1	1.00
地下水矿化度/(g·L ⁻¹)	<1	0.05	≤2	0.20	≤3	0.45	≤5	0.70	>5	1.00
地形地貌(缓平坡地和洼地)面积占比	<5%	0.05	<20%	0.25	<33%	0.50	<50%	0.75	>50%	1.00
蒸降比	<1.9	0.75	2.0 左右	0.80	2.2 左右	0.85	2.4 左右	0.90	>2.4	1.00

2.4.2 模糊数学模型运算

模糊矩阵复合运算的方法很多，常用的有以下 3 种：二级评价通过建立单因素评价矩阵 R 及权值分配矩阵 A ，经模糊运算可得评价结果分别为： $B_1=A_1$ ： $R_1=(b_{11},b_{12},b_{13},b_{14},b_{15})$ ； $B_2=A_2$ ： $R_2=(b_{21},b_{22},b_{23},b_{24},b_{25})$ ； $B_3=A_3$ ： $R_3=(b_{31},b_{32},b_{33},b_{34},b_{35})$ 。以上 3 组评价结果可组合成一级评价矩阵为：

$$B=\begin{bmatrix} b_{11} & b_{12} & \dots & b_{15} \\ b_{21} & b_{22} & \dots & b_{25} \\ b_{31} & b_{32} & \dots & b_{35} \end{bmatrix} \quad (1)$$

一级评价因子权重向量为： $A=(a_1, a_2, a_3)$ 。采用“加权平均型”，即 $M(\cdot, +)$ 运算方法，可求得评价结果 E ， $E=A \cdot B=(e_1, e_2, e_3, e_4, e_5)$ 。最后采用式 (2) 求得模糊质量指数 (FQI)，该指数全面应用等级模糊向量 E 的信息，且在数值上具有连续性：

$$FQI=(\sum_{j=1}^5 e_j \cdot j)/(\sum_{j=1}^5 b_j^k), \quad (2)$$

式中： j 为等级数； k 为参数， $k=2, 3, 4$ ，这样模糊质量指数实际上反映了评价单元环境质量的好坏， FQI 值越大，环境质量越差。

本次评价基于模糊数学评价结果，将各单元质量等级标绘在网格单元内并在 1:25 万网格图用圆滑曲线圈出，然后根据评价单元实际情况对界线进行必要的修正，最后完成评价区盐渍化环境质量分区。分区标准为：环境质量优等区 $FQI \leq 0.2$ 、环境质量良好区 $0.2 < FQI \leq 0.4$ 、环境质量中等区 $0.4 < FQI \leq 0.6$ 、环境质量较差区 $0.6 < FQI \leq 0.8$ 、环境质量差区 $0.8 < FQI \leq 1$ 。

3 盐渍化土壤环境质量评价

3.1 盐渍化土壤环境质量分区评价

根据图 2 模糊质量指数评价计算结果，绘制成盐

渍化土壤环境质量评价分区图 (图 3)。根据评价结果可将工作区划分为盐渍化土壤环境质量差区、盐渍化土壤环境质量较差区、盐渍化土壤环境质量中等区、土壤盐渍化环境质量良好区和盐渍化土壤环境质量优等区 5 个等级。

3.1.1 盐渍化土壤环境质量差区

盐渍化土壤环境质量差区面积 5 277.49 km²，在划分的 3 个环境地质分区均有分布，但大部位于冲积-海积微倾斜低平原区和海积-冲积黄河三角洲平原区。主要分布于以下地区：无棣埕口镇-碣石山镇-三角洼水库-西小王乡西-无棣城区东南侧-阳信城区东侧-河流镇-沾化古城镇-冯家镇-沾化城区-泊头镇-黄升店乡-滨城区堡集镇东-滨北街办北-秦皇台乡东-利津北宋镇南-利津城区西侧-马坊水库东-明家集乡南-沾化利国乡东-下河乡东-河口区义和镇南-河口城区北侧-黄河故道-孤北水库西-孤岛镇西-孤东水库向东南至黄河入海口一线以北的冲积-海积微倾斜低平原和海积-冲积黄河三角洲微倾斜低平原，还包括利津中部的北岭镇东经陈庄镇向北至汀罗镇之间的地区；另外在黄河冲积微倾斜低平原区的商河东北部、陵县西部丁庄水库周围、聊城和冠县之间的聊城电厂水库周围、聊城-东阿-阳谷三地交界地带、齐河西南部的胡官屯镇-潘店镇之间也有分布。

该区土壤环境背景条件差，盐渍土非常发育，分布范围一般超过区域的 1/2，盐渍土一般为重度盐渍化和盐土，土壤易溶盐质量分数一般 >0.5 g/100 g，地下水环境差，浅层地下水埋深在丰水期一般 <1.0 m，地下水矿化度一般 >5 g/L，自然地理条件差，在冲积-海积平原区和三角洲平原区，地势低，为区域地下水的排泄区，且海侵影响大，在黄河冲积平原区，地形高低不平，浅平洼地和缓平坡地普遍分布，雨季易涝，蒸降比一般 >2.4 ，包气带在蒸发强烈期积盐强烈。

3.1.2 盐渍化土壤环境质量较差区

盐渍化土壤环境质量较差区面积 6 564.76 km²，分布于质量差区的外围或独立分布，在划分的 3 个环境地质分区均有分布。主要的分布地区有：利津大部至河口区南部地区，庆云东北部-无棣西部和西南部-庆云东南部-阳信中部、北部和中东部-沾化南部，滨城区中部和南部-惠民东部，乐陵东部中北部，宁津中部，乐陵南部-商河北部和中部-惠民西部，临邑东南部-济阳西北部，武城中部和南部-夏津北部，平原西南部和东南部-夏津东部-高唐北部，茌平北部-高唐南部接壤地带，聊城、茌平、东阿交界处的蒋官屯街办-广平乡-韩集乡地区，茌平、东阿、齐河交界处的杜郎口镇及其周围地区，临清东南部-东昌府区西北部-冠县东北部，冠县东南部定远寨南-东昌府区西部郑家镇之间，东昌府区西部沙镇至张鲁集-阳谷北部和中东部，阳谷西南与莘县东北交界地区。

该区土壤环境背景条件较差，盐渍土较为发育，分布范围较大，分布范围一般在区域的 1/3 和 1/2 之间，盐渍土一般为轻度盐渍化-中度盐渍化，土壤易溶盐质量分数一般大于 0.3~0.6 g/100 g，地下水环境较差，浅层地下水埋深在丰水期一般在 1.0~2.0 m，地下水矿化度一般在 3~5 g/L 之间，自然地理条件较差，地形多有起伏，局部有浅平洼地和缓平坡地分布，排水较差，蒸降比一般 2.4 左右，包气带在蒸发强烈期积盐明显。

3.1.3 盐渍化土壤环境质量中等区

盐渍化土壤环境质量中等区面积 4 383.79 km²，主要以大面积连片分布形式为主，其次是与质量较差区、良好区和优等区小范围插花分布。在黄河冲积微倾斜低平原区以大面积连片分布为主，在冲积-海积微倾斜低平原区和海积-冲积黄河三角洲平原区为小范围插花分布。大面积连片分布的区域有：庆云中部和南部-乐陵北部、西部和南部-阳信西部、南部和东南部-滨城西北部-惠民北部、中部和南部-商河东南部-济阳东部，宁津东部和西南部-陵县大部-平原东北部，临邑西南部-禹城北部和东部-齐河西北部，平原南部-夏津中东部-高唐南部-临清中东部-茌平西北部，东阿北部-茌平中南部-东昌府区中东部和西南部-莘县东北部、中部和中南部。小范围插花分布：在海积-冲积黄河三角洲微倾斜低平原区有 2 块，一是河口区东南孤东水库以南、垦利北部黄河北岸到黄河大堤之间的地区，二是黄河北岸利津和垦利交界地带沿黄河故道向北约 32 km、东西宽 4~10 km 的狭长地带；在冲积-海积微倾斜低平原区有 1 块，沾化中南部徒骇河两侧地区；在黄河冲积微倾斜低平原区有宁津、武城、东阿等地的局部地区分布。

该区土壤环境背景条件中等，局部盐渍土分布，分布范围一般不超过区域的 1/3，盐渍土一般为轻度盐渍化，土壤易溶盐质量分数一般大于 0.1~0.3 g/100 g，地下水环境中等，浅层地下水埋深在丰水期一般在 2.0~3.0 m，地下水矿化度一般在 2~3 g/L 之间，自然地理条件中等，地形略有起伏，有小范围的浅平洼地和缓平坡地分布，蒸降比一般 2.2 左右，包气带在蒸发强烈期有一定程度的积盐反应。

3.1.4 盐渍化土壤环境质量良好区

盐渍化土壤环境质量良好区面积 5 995.52 km²，除滨城区东南部-利津南部的黄河北岸的局部地区之外，良好区的其余部分都分布于黄河冲积微倾斜平原区，以大面积连片分布形式为主。主要分布于陵县东北部-乐陵西南部-临邑北部-商河西北部-临邑中部-陵县西部-临邑南部-商河南部-济阳大部-天桥区东北部-齐河中部、西部和南部-东阿东部和北部-茌平南部，德城区南部-武城东部-平原西北部、中部和东南部-禹城北部，武城西部-夏津西部和中部，冠县中部和东南部-莘县北部，莘县中东部-阳谷中西部，东昌府区北部-茌平西南部，禹城西部，惠民南部黄河沿岸地区。

该区土壤环境背景条件较好，有零星盐渍土分布至基本无盐渍土分布，盐渍土盐渍程度潜在至轻度，土壤易溶盐质量分数一般大于 0.07~0.19 g/100 g，地下水环境较好，浅层地下水埋深在丰水期一般不小于 3.0 m，地下水矿化度一般在 1.0~2 g/L 之间。自然地理条件较好，地形较平整，基本无浅平洼地和缓平坡地分布，排水较好，蒸降比一般 2.0 左右，包气带渗透性较好，蒸发强烈期积盐反应较弱。

3.1.5 盐渍化土壤环境质量优等区

盐渍化土壤环境质量优等区面积 4 919.29 km²，全部位于黄河冲积微倾斜平原区。主要分布于宁津东部-乐陵西南部一带、德州城区及东部、陵县东北部糜镇周围-临邑北部翟家和德平一带、夏津南部西部西南部-临清西部-冠县东北部一带、茌平西部中部东北部-禹城西南部一带、冠县南部的梁堂和斜店-莘县西北部的王奉集一带、莘县西南部张寨-观城-古云-大张家-樱桃园一带、阳谷南部黄河北岸的十五里园-寿张-李台-城区-阎楼之间的区域、聊城城区及西南部地带、东阿南部黄河北岸大桥-陈集-顾官屯-姜楼-刘集之间的区域、黄河北岸齐河南部焦庙和祝阿-济南天桥桑梓店一带、齐河北部宣章屯和大黄跨徒骇河-临邑南部临南-济阳二太平之间的区域、平原东部王凤楼与禹城和临邑交界地带、商河县南部玉皇庙-徒骇河南岸之间的区域、济阳东部仁凤镇南黄河沿岸地带、惠民县南部徒骇河北岸皂户李-淄角-辛店之间的区域。

评价结果与工作区土壤盐渍化环境现状基本一致，环境质量差区盐渍土分布面积比例大，浅层地下水埋深浅，土壤含盐量高，盐渍程度中度以上，地下水矿化度一般 $>3\text{ g/L}$ ，土壤层长期积盐。如河口地区盐渍土面积占比超过90%，浅层地下水埋深一般 $<1\text{ m}$ ，土壤含盐量高，盐渍程度中度以上，地下水矿化度 $>5\text{ g/L}$ ，土壤层严重积盐，评价结果与现状相符。地质环境质量优等区，无盐渍土分布或仅有小范围的潜在盐渍土分布，浅层地下水埋深大，土壤含盐量低，地下水矿化度一般 $\leq 1\text{ g/L}$ ，土壤没有积盐现象，评价结果与现状相吻合，评价结果可靠合理。

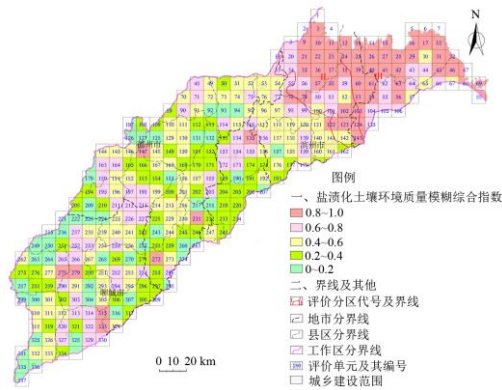


图2 鲁北平原土壤盐渍化环境模糊质量指数评价结果

Fig.2 Evaluation result of fuzzy quality index of soil salinization in North Shandong Plain



图3 鲁北平原盐渍化土壤环境质量评价分区

Fig.3 Evaluation zone of salinized soil environmental quality in North Shandong Plain

3.2 土壤盐渍化的防治分区及防治措施

按照土壤盐渍化防治原则，根据前述盐渍化土壤环境质量综合分区评价结果，结合盐渍化区域的客观条件进行分区，将工作区分为3个区8个亚区。

3.2.1 黄河冲积平原次生盐渍化为主防治区（I）

黄河冲积平原与滨海平原过渡带盐渍土防治区（I-1）分布于庆云北部崔口-严家务-徐园子-常家-阳信翟王、河流、水流坡-沾化黄升店一带与东部（II-1）防治区之间，受黄河冲积和海侵影响，区内盐渍土兼

具原生盐渍土和次生盐渍土的特点。防治措施：在区内逐步建立完善的排灌系统，同时栽植耐盐树种建设农田防护林网，扩大植被覆盖，改善局地气候和水盐运动条件。土壤盐渍程度较轻的区域可通过完善排灌系统，结合平整土地、精耕细作、培肥土壤和地面覆盖等农业耕作方式等防止土壤盐渍化。土壤盐渍程度较重的区域可通过台条田工程、沟垄工程，采用“上农下渔”模式，有条件的地区还可以结合引黄放淤和灌水洗盐来改良盐碱地。

黄河北岸背河洼地次生盐渍土防治区（I-2）分布于滨州城区西部、惠民东南部黄河北岸到沙河之间的徒骇河沿岸地带、惠民西南部的姜楼镇周围地区、齐河城区-安头乡-宣章屯镇一带、齐河西南部的胡官屯镇-潘店镇之间、茌平东南杜郎口镇-乐平铺镇-东阿东北部姚寨镇-牛角店镇一带。防治措施：该亚区盐渍化主要是浅层地下水开发利用程度低、浅层地下水埋深浅，黄河水灌溉量大等原因导致的。主要通过限制引黄灌溉量，鼓励实行井灌井排，开采浅层地下水资源，同时做好排水，降低地下水位方法来防治土壤盐渍化。再结合构建农田林网的生物措施，以及深翻改土、整平土地、深耕细耙、培肥土壤等农耕和田间管理措施加以强化。地势较低的局部地段可以采取引黄放淤，提高地段高度的办法来增加地下水埋深，减少土壤积盐。

黄河冲积平原涝洼地盐渍土防治区（I-3）分布于漳卫新河南岸宁津-乐陵-庆云一带、商河北部、临邑西南部-禹城东北部一带、陵县北部、陵县-德城区南部-武城大部-夏津新盛店一带、高唐北-平原西南部一带、聊城-冠县-临清之间的区域、聊城-茌平-东阿交界处的蒋官屯-广平-韩集地区、阳谷东部与东阿交界地带-阳谷北部安乐-石佛-大布-定水-聊城西南部的沙镇至张鲁集一带、阳谷西南与莘县交界的高庙王-金斗营-朝城-徐庄-西湖之间的地区。防治措施：该区域土壤盐渍程度一般轻度—中度，局部重度。区内多涝洼地和浅平洼地，排水条件差，历史上非碱即涝。宜加强规划实施流域治理，采取以水利工程和农业工程措施改良为基础，结合整平土地、深耕细耙、培肥土壤和营建农田防护林网等措施。比如在大型洼地实施挖深垫浅，修筑条台田，“上农下渔”，在洼地中部发展水产养殖业，如养鱼、养鸭或鱼鸭混养、种植莲藕及芦苇等水生植物等。

黄河冲积平原潜在盐渍土为主的防治区（I-4）呈“岛状”分布于I-3之内，潜在盐渍土较为发育区。防治措施：区内影响土壤盐渍化的主要因素有包气带岩性，灌溉方式和耕作方式，宜通过合理灌溉，推广浅层微咸水灌溉，平整土地、精耕细作、培肥土壤、

地表覆盖、局部改土、构建农田林网增加植被覆盖等方式综合进行盐渍化防治。在非盐渍土灌区,采取井渠结合,以渠水补井水之不足,以井灌降低渠灌补给的地下水位,防止次生盐渍化。

3.2.2 冲积海积滨海原生盐渍土为主防治区(II)

冲积海积滨海原生盐渍土防治区(II-1)分布于II-2区向陆地一侧,庆云东北部-无棣南部-阳信东部-沾化南部一带。该区域土壤含盐量0.14%~0.63%,盐渍程度一般为中度,浅层地下水矿化度一般在3~5 g/L,主要依靠黄河水灌溉,盐碱地改良难度大。区内农业目前以种植耐盐碱的冬枣为主。防治措施:该区域盐渍化防治宜因地制宜,中北部以发展盐碱林果业为主,与其他地区盐渍土壤改良相结合。以农业工程措施和水利工程措施为主,结合生物措施来防治盐渍化。可通过开发和引种耐盐作物,如枸杞、白刺、大麦、甜菜、向日葵等,发展耐盐碱农林业,来改良盐渍土。

海积滨海原生盐渍土防治区(II-2)分布于无棣、沾化北部埕口-马山子-冯家镇北部,徒骇河和漳卫新河之间的渤海沿岸地区,该区域土壤含盐量0.30%~2.39%,重度以上盐渍化,浅层地下水矿化度一般在10 g/L以上,基本不适于农业生产,区内土地利用主要以盐业和养殖业为主。防治措施:该亚区主要为重度盐渍土及盐土,地下水环境差,水资源匮乏,大部分土地不适于农作物生长。目前不适于农业盐碱地改良。可通过有计划地种植盐地碱蓬、沙枣、沙棘等耐盐碱植物来改良土壤环境。同时需要注意盐业和水产养殖业生产活动对生态环境的不利影响。

3.2.3 海积冲积黄河三角洲原生盐渍土为主防治区(III)

黄河三角洲内缘原生盐渍土防治区(III-1)分布于II区以东,黄河北岸利津城区西-沾化城区东-徒骇河一带和河口区黄河故道之间的区域。土壤含盐量0.15%~1.41%,盐渍程度一般为中度一重度,浅层地下水矿化度一般>5 g/L。农作物主要为棉花、玉米和冬小麦,依靠黄河水灌溉。在黄河附近,土壤含盐量相对较低,一般种植可玉米和冬小麦;在黄河故道附近地区一般种植棉花等耐盐作物,但由于管理和利用方式粗放,与2000年相比,目前已有约1/3的可耕种土地重新盐渍化而撂荒。该区荒碱地广袤平坦,黄河水资源相对比较丰富,适宜大规模改良,盐碱地改良潜力大。

该区的盐渍土改良要充分结合该地区的自然条件(土壤、水文地质、气候)和经营管理条件,进行统筹规划,推广工程措施为主进行盐渍土改良,实施综合治理。实施台条田工程,利用“暗管排碱”和“上农下渔”技术。在规划设计时,统筹考虑生物措施,

合理规划建设平原水库以调节黄河来水丰枯不均,高效利用黄河水。在有条件的地区适时开展引黄放淤,灌水洗盐。后期应加强盐生植物的土壤改良工作,综合激光精平土地、深松破结、草田轮作、培肥土壤、秸秆还田(稻草还田)等各类生态改良措施加以巩固。

黄河三角洲外缘原生盐渍土防治区(III-2)分布于III-1区以东,黄河入海口以北渤海沿岸地区。区内主要分布有黄河三角洲国家级自然保护区(国家级地质遗迹保护区)和东营港化工仓储物流工业区。该区土壤含盐量一般0.07%~2.37%,盐渍程度一般为中度一重度,浅层地下水矿化度一般>5 g/L。防治措施:区域湿地资源丰富,具有较强的生态功能和环境价值,本区应慎重开展农业生产,盐渍土改良应以保护湿地资源和生态环境为中心,可在局部地段试验性开展。

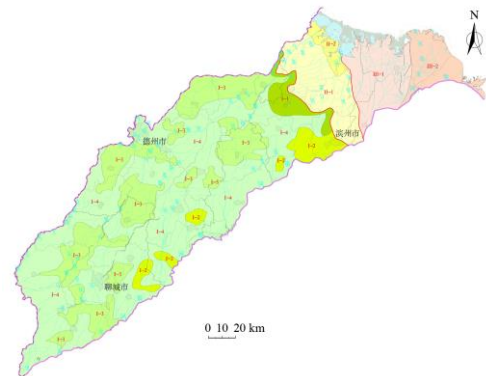


图4 鲁北平原盐渍化土壤防治分区

Fig.4 Zonal map of soil control for salinization in North Shandong Plain

4 结论

1) 将鲁北平原(黄河以北)盐渍化土壤环境质量划分为优等、良好、中等、较差、差5个等级。其中,盐渍化土壤环境质量差区面积5 277.49 km²,盐渍化土壤环境质量较差区面积6 564.76 km²,盐渍化土壤环境质量中等区面积4 383.79 km²,良好区面积5 995.52 km²,盐渍化土壤环境质量优等区面积4 919.29 km²。

2) 针对不同的盐渍化土壤环境质量条件,进行了土壤盐渍化的防治分区,共划分为3个防治区8个亚区,并针对各防治亚区提出了建设农田防护林网、台条田工程、沟垄工程、“上农下渔”等针对性的防治对策与措施。

(作者声明本文无实际或潜在的利益冲突)

参考文献:

- [1] 李建国, 濮励杰, 朱明, 等. 土壤盐渍化研究现状及未来研究热点[J]. 地理学报, 2012, 67(9): 1 233-1 245.
LI Jianguo, PU Lijie, ZHU Ming, et al. The present situation and hot issues in the salt-affected soil research[J]. Acta Geographica Sinica,

- 2012, 67(9): 1 233-1 245.
- [2] 郭然, 王效科, 欧阳志云, 等. 中国土地沙漠化、水土流失和盐渍化的原因和驱动力: 总体分析[J]. 自然资源学报, 2004, 19(1): 119-127. GUO Ran, WANG Xiaoke, OUYANG Zhiyun, et al. Causes and drivers of desertification, soil erosion and salinization in China: A meta-analysis[J]. Journal of Natural Resources, 2004, 19(1): 119-127.
- [3] 张万钧. 盐渍土绿化[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 1999.
- [4] 温利强. 我国盐渍土的成因及分布特征[D]. 合肥: 合肥工业大学, 2010. WEN Liqiang. Origin and distribution characteristics of saline soil in China[D]. Hefei: Hefei University of Technology, 2010.
- [5] 梅芹芹, 龚绪龙, 史雅栋, 等. 江苏沿海盐渍土盐渍化程度及其影响因素分析[J]. 工程地质学报, 2020, 28(5): 959-965. MEI Qinqin, GONG Xulong, SHI Yadong, et al. Study on salinization degree and its influential factors of saline soil in coastal area of Jiangsu province[J]. Journal of Engineering Geology, 2020, 28(5): 959-965.
- [6] 杨真, 王宝山. 中国盐渍土资源现状及改良利用对策[J]. 山东农业科学, 2015, 47(4): 125-130. YANG Zhen, WANG Baoshan. Present status of saline soil resources and countermeasures for improvement and utilization in China[J]. Shandong Agricultural Sciences, 2015, 47(4): 125-130.
- [7] 杨劲松, 姚荣江, 王相平, 等. 中国盐渍土研究: 历程、现状与展望[J]. 土壤学报, 2022, 59(1): 10-27. YANG Jinsong, YAO Rongjiang, WANG Xiangping, et al. Research on salt-affected soils in China: History, status quo and prospect[J]. Acta Pedologica Sinica, 2022, 59(1): 10-27.
- [8] 李光超. 黄河三角洲土壤盐渍化研究综述[J]. 安徽农学通报, 2020, 26(S1): 113-115. LI Guangchao. A summary on soil salinization of Yellow River Delta[J]. Anhui Agricultural Science Bulletin, 2020, 26(S1): 113-115.
- [9] 郑琦, 王海江, 董天宇, 等. 基于不同评价方法的绿洲棉田土壤质量综合评价[J]. 灌溉排水学报, 2019, 38(3): 90-98. ZHENG Qi, WANG Haijiang, DONG Tianyu, et al. Evaluating soil quality of the cotton fields in oasis of Xinjiang using different methods[J]. Journal of Irrigation and Drainage, 2019, 38(3): 90-98.
- [10] 胡月明, 万洪富, 吴志峰, 等. 基于 GIS 的土壤质量模糊变权评价[J]. 土壤学报, 2001, 38(3): 266-274. HU Yueming, WAN Hongfu, WU Zhifeng, et al. Gis-based soil quality evaluation with fuzzy variable weight[J]. Acta Pedologica Sinica, 2001, 38(3): 266-274.
- [11] 陈吉, 赵炳梓, 张佳宝, 等. 主成分分析方法在长期施肥土壤质量评价中的应用[J]. 土壤, 2010, 42(3): 415-420. CHEN Ji, ZHAO Bingzi, ZHANG Jiabao, et al. Application of principal component analysis in evaluation of soil quality under different long-term fertilization[J]. Soils, 2010, 42(3): 415-420.
- [12] 咎凯, 周青, 张志民, 等. 灰色关联度和 DTOPSIS 法综合分析河南区域试验中大豆新品种(系)的农艺性状表现[J]. 大豆科学, 2018, 37(5): 664-671. ZAN Kai, ZHOU Qing, ZHANG Zhimin, et al. Gray correlation analysis and DTOPSIS method for comprehensive agronomic performance analysis of new soybean varieties (lines) in Henan regional test[J]. Soybean Science, 2018, 37(5): 664-671.
- [13] 陈辉, 李双成, 郑度. 基于人工神经网络的青藏公路铁路沿线生态系统风险研究[J]. 北京大学学报(自然科学版), 2005, 41(4): 586-593. CHEN Hui, LI Shuangcheng, ZHENG Du. Ecological risk assessment of regions alongside Qinghai-Xizang highway and railway based on artificial neural network[J]. Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Pekinesis, 2005, 41(4): 586-593.
- [14] 徐存东, 程慧, 王燕, 等. 灌区土壤盐渍化程度云理论改进多级模糊评价模型[J]. 农业工程学报, 2017, 33(24): 88-95. XU Cundong, CHENG Hui, WANG Yan, et al. Improved multi-level fuzzy evaluation model based on cloud theory for evaluation of soil salinization degree[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2017, 33(24): 88-95.
- [15] 王巍琦, 杨海昌, 王卫超, 等. 新疆绿洲盐渍化区域土壤质量评价[J]. 黑龙江农业科学, 2018(5): 26-30. WANG Weiqi, YANG Haichang, WANG Weichao, et al. Soil quality evaluation of salinization in Xinjiang oasis[J]. Heilongjiang Agricultural Sciences, 2018(5): 26-30.
- [16] 高娃, 景宇鹏, 樊明寿, 等. 土默川平原盐渍化土地不同利用方式的土壤质量评价[J]. 中国土壤与肥料, 2019(6): 22-31. GAO Wa, JING Yupeng, FAN Mingshou, et al. Soil quality assessment of different land use on the saline soils in Tumochuan plain[J]. Soil and Fertilizer Sciences in China, 2019(6): 22-31.
- [17] 胡月明, 万洪富, 吴志峰, 等. 基于 GIS 的土壤质量模糊变权评价[J]. 土壤学报, 2001, 38(3): 266-274. HU Yueming, WAN Hongfu, WU Zhifeng, et al. Gis-based soil quality evaluation with fuzzy variable weight[J]. Acta Pedologica Sinica, 2001, 38(3): 266-274.
- [18] 岳燕, 郭维娜, 林启美, 等. 加入不同量生物质炭盐渍化土壤盐分淋洗的差异与特征[J]. 土壤学报, 2014, 51(4): 914-919. YUE Yan, GUO Weina, LIN Qimei, et al. Salt leaching in the saline soil relative to rate of biochar applied[J]. Acta Pedologica Sinica, 2014, 51(4): 914-919.
- [19] 石磊, 吕宁, 何帅, 等. 次生盐渍土暗管+竖井排水控盐技术模式筛选及效果评价[J]. 新疆农业科学, 2022, 59(3): 716-724. SHI Lei, LYU Ning, HE Shuai, et al. Screening of the water drainage and salt control mode of subsurface pipe and shaft on the secondary salinization soil and its effect evaluation[J]. Xinjiang Agricultural Sciences, 2022, 59(3): 716-724.
- [20] 王少丽, 周和平, 瞿兴业, 等. 干旱区膜下滴灌定向排盐和盐分上移地表排模式研究[J]. 水利学报, 2013, 44(5): 549-555. WANG Shaoli, ZHOU Heping, QU Xingye, et al. Study on directional salt transport and surface salt draining under mulched drip irrigation in arid areas[J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2013, 44(5): 549-555.
- [21] 常文娟, 梁忠民, 李燕, 等. 云南省干旱分区及农业旱灾风险区划研究[J]. 灌溉排水学报, 2017, 36(2): 44-51. CHANG Wenjuan, LIANG Zhongmin, LI Yan, et al. Drought partition and agricultural drought risk zoning in Yunnan Province[J]. Journal of Irrigation and Drainage, 2017, 36(2): 44-51.
- [22] 晁月增, 黄修桥, 范永申, 等. 仰角和雾化程度可调式喷头的水力性能试验研究与评价[J]. 灌溉排水学报, 2009, 28(4): 18-20. CHAO Yuezheng, HUANG Xiuqiao, FAN Yongshen, et al. Experimental research and evaluation of hydraulic performance of a elevation and atomization adjustable sprinkler[J]. Journal of Irrigation and Drainage, 2009, 28(4): 18-20.
- [23] 胡建强, 赵经华, 杨磊, 等. 基于模糊综合评判对多砾石砂土膜下滴灌玉米灌溉制度的定量分析[J]. 西北农业学报, 2020, 29(8): 1 167-1 176. HU Jianqiang, ZHAO Jinghua, YANG Lei, et al. Quantitative analysis of irrigation system for maize drip irrigation under mulch in pebbly sandy soil based on fuzzy comprehensive evaluation[J]. Acta Agriculturae Boreali-Occidentalis Sinica, 2020, 29(8): 1 167-1 176.

Sustainable Agricultural Resource Utilization in Northwestern China Determined Using the Wavelet-PSOSVM

WANG Chenxuan¹, CHEN Li², ZHANG An'an²

(1. School of Economics and Management, Xiamen University of Technology, Xiamen 361024, China;

2. School of Economics and Management, Anhui Jianzhu University, Hefei 230601, China)

Abstract: 【Objective】 The initiative of “Western Development” launched by Chinese Government in 1999 had greatly benefited the northwestern provinces in the country including Shaanxi, Gansu, Ningxia and Xinjiang. As ecological systems in these provinces are fragile, rational use of agricultural resources is crucial to their sustainable development. The purpose of this paper is to present a method to help sustainable use of their agricultural resources.

【Method】 The method is based on the wavelet-PSOSVM (particle swarm optimization (PSO) and support vector machine techniques (SVM)). The evaluation indexes are constructed using data measured from 2018 to 2020 in six aspects: economy, science and technology, society, natural environment, resources, and ecological governance.

【Result】 ①The mean square error and the correlation coefficient of the wavelet-PSOSVM are 9.4115×10^{-5} and 0.968, respectively. In contrast, the mean square error and the correlation coefficient of PSOSVM are 0.015 3 and 0.967, respectively, using the same training and test set. The wavelet process improves the predicting accuracy and convergence of the PSOSVM. ②The mean square error and the correlation coefficient of the wavelet-SVM are 20.836 and 0.748 respectively, while the mean square error and correlation coefficient of the SVM are 30.903 and 0.634, respectively, using the same training and test sets. The wavelet process also improves the predicting accuracy and convergence of the SVM. 【Conclusion】 Using wavelet process in both PSOSVM and SVM algorithms significantly improves their prediction accuracy, convergence, and training time efficiency, while reducing their complexity. Its application for evaluating sustainable utilization of agricultural resources in the four provinces in northwestern China indicates that, in terms of sustainability, Xinjiang comes to the top, followed by Gansu, with Shaanxi and Ningxia ranked in third and fourth, respectively.

Key words: wavelet analysis; particle swarm optimization; support vector machine; resource sustainability utilization assessment

责任编辑：白芳芳

(上接第 95 页)

Study on Environmental Quality and Prevention of Soil Salinization in Northern Shandong Plain (North of Yellow River)

ZHANG Hongjun^{1,2}, XU Yan¹, WANG Qiang^{1,2*}, ZHANG Taiping¹,
ZHAO Hui¹, WANG Wei¹, ZHANG Ruihua¹, WANG Kuifeng¹

(1. Shandong Institute of Geological Sciences, Ji'nan 250013, China;

2. Key Laboratory of Coastal Science and Integrated Management, Ministry of Natural Resources, Ji'nan 250013, China)

Abstract: 【Objective】 Soil salinity is a common abiotic stress most crops experience during their growth. Understanding its spatiotemporal variation and the underlying reasons is impetus to improve agricultural management. We propose a model in this paper to classify soil salinity and analyze the underlying mechanisms. The model is applied to the North of Yellow River in Northern Shandong Plain. 【Method】 The model is based on the two-level fuzzy comprehensive evaluation method. A comprehensive evaluation index system is constructed using soil environment factors, groundwater environmental factors, and physical geographical factors. It considered eight indexes: proportion of land areas affected by salinized soil, degree of soil salinity, soil salt content, lithology of unsaturated zone, depth of groundwater table, groundwater salinity, evaporation-prescription ratio, and topography and landform. The degree of soil quality was divided into excellent, good, moderate, poor, and very poor grades.

【Result】 The areas of soil classified as very poor, poor, moderate, good and excellent based on soil salinization were 5 277.49 km², 6 564.76 km², 4 383.79 km², 5 995.52 km², and 4 919.29 km², respectively. Based on their genesis and salinization, the salinized soils in the region can be divided to three areas consisting of eight sub-areas.

【Conclusion】 Soil salinity in the North of Yellow River in Northern Shandong Plain varies in its severity and space. The results presented in this paper can aid in improving soil management practices to promote a healthy agricultural and rural economy in the region.

Key words: Northern Shandong Plain; salinization; fuzzy comprehensive evaluation method; environmental quality of soils

责任编辑：白芳芳