

潘俊,梁海涛,孟利,等.平原水库周边土壤盐渍化易发性评价指标体系建立与应用[J].江苏农业科学,2016,44(8):447-450.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2016.08.129

平原水库周边土壤盐渍化易发性评价指标体系建立与应用

潘俊,梁海涛,孟利,岳丹丹

(沈阳建筑大学市政与环境工程学院,辽宁沈阳 110168)

摘要:针对当前平原水库周边土壤盐渍化易发性评价方法适用范围小、评价精度低的共性问题,提出以地下水位埋深、土壤含盐量、蒸发降水比为评价指标的土壤盐渍化易发性评价指标体系。以石佛寺水库为例,在野外蓄水试验获得参数的基础上,运用基于层次分析法(AHP)的模糊综合评价方法对库区蓄水后土壤盐渍化易发程度进行评价。结果表明:库区蓄水后左岸主坝下游周边大部分地区出现严重盐渍化,且越靠近主坝盐渍化程度越严重,远离主坝的部分地区盐渍化程度逐渐降低;右岸因地势较低,大部分地区土壤盐渍化程度严重,少部分地区呈现轻度盐渍化。采用所建立的评价指标体系所得评价结果比常规地下水位评价方法更合理、更符合实际,进而为提出采用地表-地下联合调蓄控制盐渍化的具体措施提供了技术依据,为库区环境地质灾害评估提供了新思路、新方法。

关键词:平原水库;土壤盐渍化;评价指标体系;蓄水试验;模糊综合评价

中图分类号: S156.4 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2016)08-0447-04

平原水库蓄水极易在库区及库岸周边产生土壤盐渍化问题,从而引起多种环境地质灾害,并带来巨大的经济损失,土壤盐渍化易发性评价是水库工程勘察与评价的重要内容,也是水库四大工程地质问题之一^[1]。如何评价水库蓄水引起的土壤盐渍化程度,一直是研究热点。目前普遍采用的相关评价方法有主成分分析法、电磁感应法、人工神经网络法等。上述蓄水土壤盐渍化易发性的评价只能根据研究区内有限的地下水位资料进行计算,由于用于预报的地下水位数据有限,对于适用地区在地形、地质参数等方面也有较多约束,评价精度较低,适用范围较小^[2-3]。因此较为全面的库区土壤盐渍化程度易发性评价指标体系和评价等级划分等问题值得深入研究。

土壤盐渍化是指水库蓄水后,由于地表水补给地下水的水量迅速增大,致使库区周围的地下水位高于或接近于地面,而使土壤底层或地下水的盐分随毛管水上升到地表,水分蒸发后使盐分积累在表层土壤的现象^[4-5]。因此,库区周围地下水位埋深是盐渍化程度的最直观指标;其次,土壤含盐量也是影响土壤盐渍化的重要因素,土壤含盐量也应作为盐渍化程度的评价指标^[6];再次,蒸发降水比对土壤含盐量有一定影响,地表蒸发、入渗是盐分在土体中运动的重要驱动力,直接控制着盐分在土体中的分布和存在状态^[7-8],因此蒸发降水比也是盐渍化易发程度评价的一项重要指标。本研究提出以地下水位埋深、土壤含盐量、蒸发降水比作为土壤盐渍化易发性评价的指标体系,以此划分土壤盐渍化程度分级标准,并

以辽河干流控制性水利工程——石佛寺水库为例,该评价指标体系采用基于层次分析法(analytic hierarchy process, AHP)的模糊综合评价法对该库区蓄水产生的盐渍化易发程度进行评价,以期库区环境地质灾害评估提供参考。

1 评价指标体系的建立

土壤盐渍化是水库蓄水后极易发生的环境地质问题,如何有效、准确地表征土壤盐渍化程度,需要涉及多方面的评价。本研究首先通过分类、集成方法,筛选出有代表性的评价指标,并根据各指标间的内在关系建立全方位、多视角的评价指标体系;其次制定了土壤盐渍化程度的不同等级及其各指标评价标准;最后运用基于AHP的模糊综合评价方法来评价土壤盐渍化程度。

1.1 评价因子的筛选与确定

土壤盐渍化易发性评价指标应体现公平、高效、可持续这3个特征,考虑其内在的层次性、预警性、阶段性的特殊属性,利用指标属性分组的方法确定地下水位埋深、土壤含盐量、蒸发降水比为土壤盐渍化易发性评价指标。

1.1.1 地下水位 土壤盐渍化的发生有2个条件:(1)由于地下水含有一定量盐分,当地下水位升高至根系层高度或毛管水上升至根系层高度,随着水分蒸发,盐分逐渐析出,滞留在土壤中,使土壤含盐量增大;(2)地势低洼,水分无法及时排出,待水分蒸发后,地表留下的盐分使土壤含盐量增大^[9]。此外,地下水位是根据地下水位埋深和毛管水上升高度确定的,因此将地下水位埋深和毛管水上升高度确定为地下水位的评价指标。根据GB 50487—2008《水利水电工程地质勘察规范》中有关浸没评价的计算公式计算出毛管水上升高度。

1.1.2 土壤含盐量 土壤含盐量是影响土壤盐渍化的直接因素。土壤含盐量又分为氯离子含量和矿化度2个指标。矿

收稿日期:2016-01-06

基金项目:国家自然科学基金(编号:41072190);环保公益性行业科研专项经费大项目(编号:201009009)。

作者简介:潘俊(1962—),男,辽宁大连人,博士,教授,主要从事水文及水资源和环境影响评价研究。E-mail: hj-pj@sjzu.edu.cn。

通信作者:梁海涛,硕士研究生,主要从事地下水环境影响评价研究。

E-mail: 990548684@qq.com。

化度与地下水临界深度关系见表 1^[10]。矿化度是指研究区域土壤浸提液的含盐量,运用电导率法测定矿化度。土壤中总含盐量和氯化钠含量对农作物有很大影响,以水稻为例,各生育阶段耐盐临界浓度见表 2。通过对不同土壤含盐量的空间变异^[11]以及石佛寺地区的实际情况分析总结,从而确定土壤含盐量与盐渍化程度之间的关系。

表 1 矿化度与地下水临界深度的关系

矿化度 (g/L)	地下水临界深度 (m)
2	2.0
4	2.5
6	3.0
10	3.3

表 2 水稻各生育阶段的耐盐临界浓度

生育阶段	生育情况	耐盐临界浓度 (%)
幼苗期—返青期	生长死亡	<0.212
	逐渐死亡	>0.265
返青期—分蘖期	生长死亡	<0.242
	逐渐死亡	>0.348
分蘖期—抽穗期	生长死亡	<0.250
	逐渐死亡	>0.400
抽穗期—成熟期	生长死亡	<0.280
	逐渐死亡	>0.469

表 4 土壤盐渍化评价指标及标准

盐渍化程度	地下水位(m)		土壤含盐量(g/L)		蒸发降水比
	地下水埋深	毛管水上升高度	矿化度	NaCl	
严重盐渍化	<1.5	2.3~2.5	7~10	>0.322	11~20
中度盐渍化	1.5~3.0	1.9~2.2	5~6	0.118~0.280	6~10
轻度盐渍化	3.1~4.0	0.9~1.8	3~4	0.088~0.117	2~5
未发生盐渍化	>4.0	0.5~0.8	≤2	<0.088	1

1.3 基于 AHP 模糊综合评价模型

基于 AHP 模糊综合评价模型是在模糊综合评价的基础上,利用层次分析法在每层指标均设置不同权重,且在每个层次、每个因素对结果的影响程度都是量化明确的特点,将层次分析法与模糊综合评价法相结合,建立基于 AHP 的模糊综合评价方法。该方法以多个指标对被评价事物隶属等级状况进行综合性评判,兼顾评价指标的层次性,使得评价标准、影响因素之间的联系可以更加直观地得以体现。

2 实例应用

2.1 研究区域概况

石佛寺水库位于沈阳市沈北区黄家锡伯族乡和法库县依牛堡乡,是辽河干流上唯一的控制性水利工程,属于蓄水滞洪型水库,库区范围如图 1 所示。研究区域属于北温带大陆性季风半湿润气候,春季平均气温为 8.6℃,平均降水总量为 108.4 mm,平均蒸发总量为 306.6 mm;夏季平均气温为 22.6℃,平均降水总量为 413.0 mm,占年降水总量的 62.1%;秋季平均气温为 7.9℃,平均降水量为 127.5 mm,占年降水总量的 19.2%;冬季平均气温为 -10.3℃,平均降水总量为 15.7 mm,占年降水总量的 2.4%。库区底部及周围

1.1.3 蒸发降水比 土壤盐渍化是易溶性盐分在土壤表层逐步积累的过程,地表蒸发、入渗是盐分在土体中运动的重要驱动力,直接控制着盐分在土体中的分布和存在状态^[12]。蒸发降水比对土壤含盐量具有一定影响,其关系见表 3。

表 3 蒸发降雨比与土壤盐化的关系

蒸发降雨比	土壤盐化状况
<1	盐化或少许盐化
5~10	部分盐化
11~15	盐化土壤面积 <5%
16~20	盐化土壤面积 6%~10%
>20	盐化土壤面积 >20%

1.2 评价标准的确定

根据筛选的土壤盐渍化易发性评价指标,结合研究区域的地下水位埋深、农作物生长的耐盐标准和蒸发降水与土壤盐化的相对关系,制定土壤盐渍化程度评价标准,详见表 4。本研究区域辽宁省沈阳地区的极限蒸发深度为 4.0 m,因此将未发生盐渍化的标准定为潜水位大于 4.0 m 的范围。研究区域大部分土壤为粉质黏土,毛管水上升高度平均为 1.5 m,因此将严重盐渍化标准定为毛管水上升高度低于 1.5 m。根据地下水位与矿化度的关系,将未发生盐渍化的矿化度标准定为 2 g/L。根据水稻耐盐浓度标准,将未发生盐渍化的氯化物含量标准定为低于 0.088%。根据蒸发降水比与土壤盐化的关系,将未发生盐渍化的蒸发降水比定为 1(表 4)。

地层为第 4 纪地层,岩性由中细砂与砾砂组成,厚度为 35~45 m。该地层颗粒比较松散、孔隙率较发育,是地下水蕴藏较丰富的含水层。该含水层中的地下水埋深较浅,与地表水联系密切,通过水库的蓄水试验表明,水库蓄水后库区及周围极易发生浸没问题,而库区左岸主要为水田区,库区右岸主要为旱田区。因此,如何评价水库蓄水引起浸没所产生的土壤盐渍化程度,评估其对农田产生的影响,进而通过土壤盐渍化程度分析,提出切实可行的控制措施,避免水库蓄水产生的土壤盐渍化等各种环境地质灾害十分重要。

2.2 盐渍化程度评价

2.2.1 评价区域划分 采用网格布点法划分评价区域。将规划区划分为等面积网格,在网格中心设置采样点,本单元划分基于浸没初判断确定的浸没影响范围,将该范围划分为 500 m×500 m 的等面积网格,将每个网格作为 1 个评价单元,并选择网格中心点作为该网格特征点,网格内区域评价数据均采用该点数值。

2.2.2 计算参数获取 为了确定地下水位埋深与地面的关系,以及库区和周边土壤物理性质参数,进行野外蓄水试验。通过竖管法毛细水上升高度试验、比重法以及环刀法试验,计算出研究区毛管水上升高度、天然孔隙比和饱和度(表 5、表 6)。

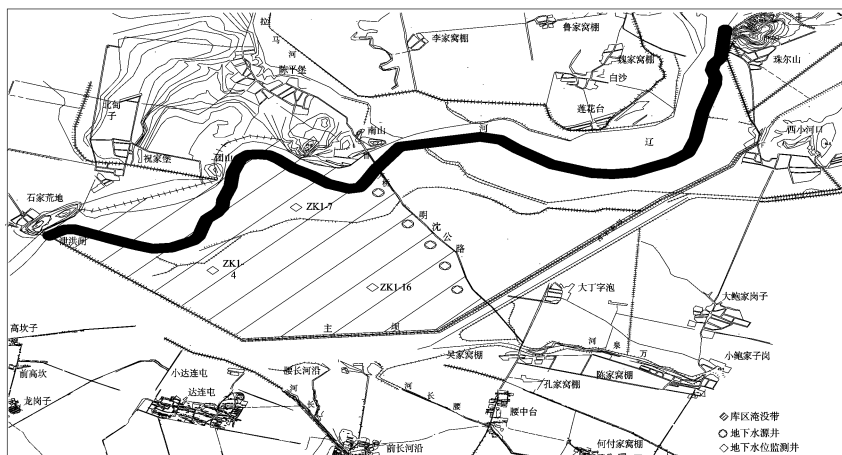


图1 研究区域范围

表5 探坑内毛管水上升高度

左岸			右岸		
探坑 编号	地层 岩性	毛管水上 升高度(m)	探坑 编号	地层 岩性	毛管水上 升高度(m)
1	粉质黏土	1.23	8	粉质黏土	1.24
2	粉质黏土	1.20	9	粉质黏土	1.20
3	粉质黏土	0.89	10	粉质黏土	0.94
4	粉质黏土	1.10	11	粉质黏土	0.70
5	粉质黏土	0.70	12	粉质黏土	0.89
6	粉质黏土	0.89			
7	粉质黏土	0.99			

表 6 各监测点不同深度土壤的天然孔隙比、饱和度

土样 编号	取样深度 (m)	天然孔 隙 e_0	饱和度 S_r	土样 编号	取样深度 (m)	天然孔 隙 e_0	饱和度 S_r
1	2.0 ~ 2.3	0.820	0.892	16	1.5 ~ 1.8	0.943	0.897
2	4.0 ~ 4.3	0.890	0.949	17	3.8 ~ 4.0	1.147	0.902
3	6.0 ~ 6.3	0.906	0.965	18	6.0 ~ 6.3	1.235	0.971
4	11.0 ~ 11.3	0.663	0.979	19	8.0 ~ 8.3	0.734	0.928
5	1.3 ~ 1.6	0.668	0.882	20	1.8 ~ 2.0	0.770	0.908
6	9.0 ~ 9.3	0.753	0.957	21	2.8 ~ 3.0	0.834	0.974
7	12.5 ~ 12.8	0.676	0.955	22	15.0 ~ 15.2	0.707	0.894
8	1.8 ~ 2.1	1.104	0.955	23	2.0 ~ 2.2	0.611	0.878
9	2.0 ~ 2.3	0.815	0.931	24	1.0 ~ 1.3	0.726	0.860
10	4.0 ~ 4.3	0.886	0.933	25	2.0 ~ 2.2	0.970	0.801
11	1.5 ~ 1.8	1.000	0.910	26	2.3 ~ 2.5	0.831	0.984
12	3.0 ~ 3.3	0.850	0.937	27	1.5 ~ 1.7	0.825	0.922
13	6.0 ~ 6.3	1.381	0.971	28	1.7 ~ 1.9	0.873	0.878
14	9.0 ~ 9.3	0.840	0.894	29	1.5 ~ 1.8	1.107	0.931
15	11.0 ~ 11.3	1.410	0.967				

2.2.3 评价结果及分析 确定土壤盐渍化程度评价指标集。土壤盐渍化程度(U) = {地下水位埋深, 土壤含盐量, 蒸发降雨比}; 每个因素按其性质和程度细分为 N 个因子, 可表示为如下因子等级: 地下水位 = {潜水位埋深, 毛管水上升高度}; 土壤含盐量 = {矿化度, 氯化物含量}。

根据研究区域地下水埋深和土壤含盐量的监测数据,结合蓄水试验参数,按照土壤盐渍化评价指标体系,运用二级模糊综合评判方法对石佛寺库区土壤盐渍化程度进行评价,结果见图 2。

由图2可知,库区左岸主坝下游西南侧的高坎子地区、南侧的腰长河地区以及东南侧的大丁字泡地区等大部分地区呈现严重土壤盐渍化;远离主坝的西南侧龙岗子地区和东南侧的小鲍家子岗部分地区呈现轻度盐渍化,龙岗子地区以南的小部分地区未出现盐渍化现象。库区右岸代家荒地、石家荒地、陈平堡以及李家窝棚的大部分地区呈现严重土壤盐渍化现象,鲁家窝棚、魏家窝棚以及靠近辽河右岸的团山部分地区呈现轻度盐渍化现象。

通过土壤盐渍化程度评价结果可知,水库蓄水将对石佛寺水库周围大部分地区造成严重环境地质灾害,出现严重土壤盐渍化现象,对当地居民正常生活有一定影响。

3 土壤盐渍化防控方案

为消除水库因滞洪蓄水带来的土壤盐渍化地质灾害,设计采用深浅组合井的取水方案对库区周边的土壤盐渍化进行防控,将抽取的地下水作为沈阳市沈北新区供水水源。因此,在降低地下水位以减少蓄水带来的环境地质灾害的同时,充分利用了库区水资源。根据石佛寺水库周边的环境条件,考虑明沈公路是连接沈阳市和黑龙江省明水市的重要交通干道,则以明沈公路路基地面埋深 46.5 m 为蓄水高度限值。

运用 Visual Modflow 软件对取水方案进行数值模拟,结果见图 3。

由图3可见,水库左岸主坝下游泄洪闸至前高坎部分地区有轻度盐渍化,库区右岸石家荒地、李家窝棚及陈平堡西南部分地区呈现轻度盐渍化,其他地区均未发生盐渍化现象。对比图3、图4可以看出,严重土壤盐渍化和中度土壤盐渍化范围大大减少,深浅组合井的布井方案基本解决了库区土壤盐渍化问题。

4 结论

本研究围绕平原水库周边土壤盐渍化易发性评价问题,通过指标属性分组法确定以地下水位埋深、土壤含盐量、蒸发降水比为评价指标的评价体系,结合研究区域的实际情况制定土壤盐渍化程度评判标准,为土壤盐渍化易发程度评估提供新思路。

根据制定的土壤盐渍化评价指标体系,运用 AHP 模糊综合评价法对石佛寺库区周边土壤盐渍化易发程度进行评价。

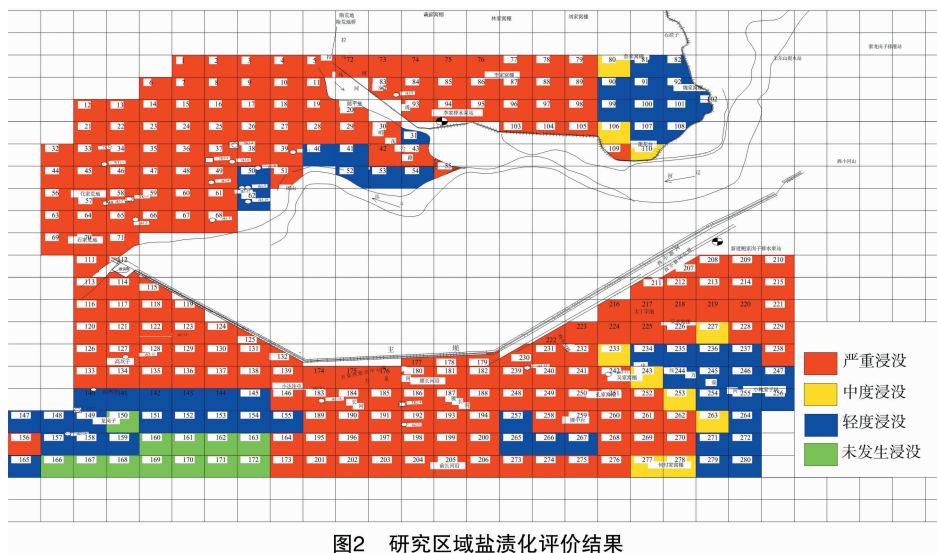


图2 研究区域盐渍化评价结果

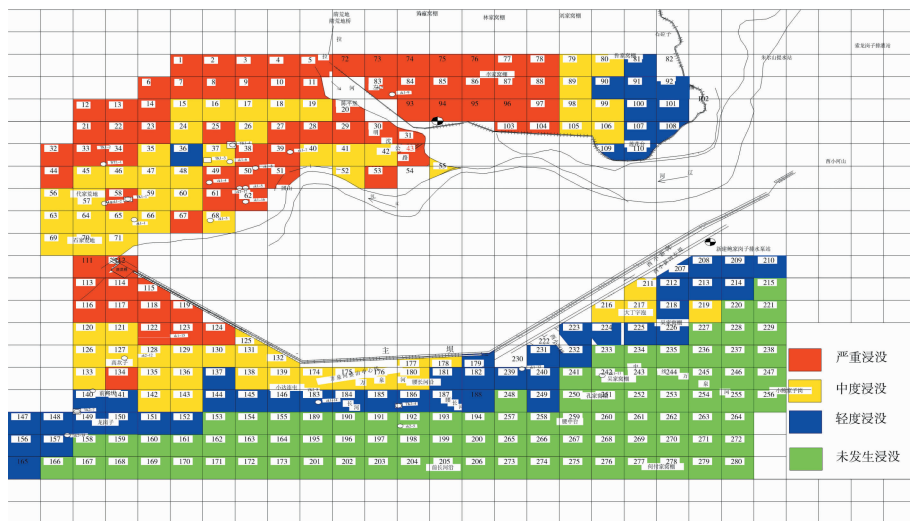


图3 研究区域盐渍化防控预测结果

结果表明,库区周边均存在不同程度土壤盐渍化现象,尤其在库区左岸主坝下游和库区右岸陈平堡地区土壤盐渍化程度严重。针对评价结果,制定地表-地下联合调控的措施,在控制土壤盐渍化同时,为沈北新区供水,实现了水资源合理开发与利用,为解决土壤盐渍化问题提供依据。

参考文献:

- [1] Kang Y, Chen M, Wan S. Effects of drip irrigation with saline water on waxy maize (*Zea mays* L. var. *ceratina* Kulesh) in North China Plain[J]. *Agricultural Water Management*, 2010, 97(9): 1303–1309.
- [2] Ding J L, Wu M C, Tiyp T. Study on Soil salinization information in arid region using remote sensing technique[J]. *Agricultural Sciences in China*, 2011, 10(3): 404–411.
- [3] 张征云, 孙貽超, 孙静, 等. 天津市土壤盐渍化现状与敏感性评价[J]. *农业环境科学学报*, 2006, 25(4): 954–957.
- [4] Acosta J A, Jansen B, Kalbitz K, et al. Salinity increases mobility of heavy metals in soils[J]. *Chemosphere*, 2011, 85(8): 1318–1324.

- [5] 戚隆溪, 陈启生, 逢春浩. 土壤盐渍化的监测和预报研究[J]. *土壤学报*, 1997, 34(2): 189–197.
- [6] Lety J, Hoffman G J, Hopmans J W, et al. Evaluation of soil salinity leaching requirement guidelines[J]. *Agricultural Water Management*, 2011, 98(4): 502–506.
- [7] 刘延锋, 曹英兰, 欧阳正平. 焉耆盆地土壤盐渍化影响因素的信息统计分析[J]. *环境科学与技术*, 2010, 33(3): 23–26, 36.
- [8] 刘庆生, 刘高焕, 赵军. 土壤类型、质地和土地类型对土壤盐渍化水平的指示[J]. *中国农学通报*, 2008, 24(1): 297–300.
- [9] 黄梦琪, 蔡焕杰, 黄志辉. 黄土地区不同埋深条件下潜水蒸发的研究[J]. *西北农林科技大学学报: 自然科学版*, 2007, 35(3): 233–237.
- [10] 胡克林, 陈海玲, 张源沛, 等. 浅层地下水埋深、矿化度及硝酸盐污染的空间分布特征[J]. *农业工程学报*, 2009(增刊1): 21–25.
- [11] 刘建军, 程东娟, 于振红. 土壤氯化钠含量对毛管水上升特性影响研究[J]. *节水灌溉*, 2011(2): 8–10, 14.
- [12] 何雨江, 靳孟贵, 刘延锋, 等. 南疆棉田表层土壤盐分的空间变异特征分析与应用[J]. *地质科技情报*, 2010, 29(6): 89–93.