

鲁西北黄河冲积平原盐渍化灌区地下水动态变化

孙晓俊¹, 高佩玲¹, 胡涛¹, 刘现伟², 武文红², 景金勇¹

(1. 山东理工大学 农业工程与食品科学学院, 山东 淄博 255049; 2. 山东省德州市水利局, 山东 德州 253000)

摘要: 区域土壤盐渍化状况研究是进行区域地下水资源合理开发和盐碱化土壤防治的依据。以山东省德州市齐河县为研究区, 采用 ENVI, GIS 和统计学方法, 分析研究区土壤盐渍化状况及地下水埋深的时空变化规律。研究表明: (1) 研究区全境均有不同程度盐渍土分布, 在整体空间分布上, 盐渍化呈现出由东向西, 由南向北, 逐步减轻的趋势。(2) 该区地下水位较高, 埋深最浅的晏城镇(2005 年年均埋深仅为 0.76 m), 埋深最深的仁里集镇西高村(观测点 2005 年年均埋深达到了 5.12 m)。齐河县 2000, 2005 和 2009 年 3 a 地下水位埋深分布格局相似, 埋深年际变化总体波动较小。分析该区丰水年(2005 年)、枯水年(2009 年)年内地下水位变化发现灌溉后地下水位普遍升高。(3) 研究区在 2000—2009 年 10 a 间地下水位空间变异明显, 距离黄河越近, 埋深越浅。黄河通过影响研究区的灌溉模式和地下水位埋深间接影响着当地次生盐渍化的发生。

关键词: 土壤盐渍化; ENVI; GIS; 地下水埋深; 时空变异

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2013)05-0029-06

中图分类号: P641.74, S156.4

Dynamic Change of Groundwater in Salinization Irrigation Area of Yellow River Alluvial Plain in Northwest Shandong Province

SUN Xiao-jun¹, GAO Pei-ling¹, HU Tao¹, LIU Xian-wei², WU Wen-hong², JING Jin-yong¹

(1. School of Agricultural and Food Engineering, Shandong University of Technology, Zibo, Shandong 255049, China; 2. Dezhou Water Conservancy Bureau, Dezhou, Shandong 253000, China)

Abstract: Research on regional soil salinization status is fundamental to reasonable groundwater resources exploitation and soil salinization control. By taking Qihe County, Dezhou City, Shandong Province, as a study area and using the environment for visualizing images(ENVI), GIS and statistical methods, soil salinization status and spatiotemporal variation of groundwater level were analyzed. Results indicated that: (1) There were different levels of saline soil distribution and the salinization showed a gradually decreased trend from south to north and from east to west, as for its spatial distribution. (2) Groundwater level in the region was relatively high. In 2005, the shallowest annual average depth in Yan Town was only 0.76 m and the deepest depth was observed in Xi-gao village, Renliji Town, being 5.12 m. The distribution patterns of groundwater level in Qihe County in 2000, 2005 and 2009 were similar and the overall fluctuation of interannual variation was unapparent. Groundwater level was found to be generally high after irrigation by analyzing its changes in abundant year(2005) and dry year(2009). (3) The spatial variations of groundwater level were found to be obvious in the study area during the 10 years from 2000 to 2009. Groundwater level tended to be decreased with the decreased distance from the Yellow River. The Yellow River indirectly affected the occurrence of local secondary salinization by affecting irrigation model and groundwater level of the region.

Keywords: soil salinization; ENVI; GIS; groundwater level; spatiotemporal variability

盐分包含作物生长所必需的微量元素,但土壤含 干旱,扰乱作物正常的生理代谢,遏制作物的生长,从
盐浓度超过作物的正常耐盐力,将会使作物产生生理 而影响作物产量或造成绝产^[1]。研究表明,造成土壤

收稿日期:2012-11-06

修回日期:2012-12-03

资助项目:国家自然科学基金项目“黄土区多尺度小流域土壤侵蚀动态过程模拟研究”(40635027); 山东省自然科学基金项目“山东省黄泛平原区盐碱地改良水盐调控方法研究”(ZR2011EL020); 山东理工大学青年教师发展支持计划资助

作者简介:孙晓俊(1987—),男(汉族),山东省烟台市人,硕士研究生,研究方向为水土保持和农田水利建设。E-mail:sxj20070301@163.com。

通信作者:高佩玲(1973—),女(汉族),新疆维吾尔自治区石河子市人,教授,博士,主要从事水文及水资源研究。E-mail:gaoplj@163.com。

盐渍化生成的原因是多方面的,它是一定的气候、地形、地质等自然条件共同对水盐运动产生影响的结果。同时,土壤盐渍化与地下水文关系密切,气候条件和地下水动态变化是影响土壤盐渍化的主要环境因子^[2-3]。

近年来,遥感技术与地统计学日益成为研究土壤盐渍化和地下水特性时空变异规律的有效手段^[4]。阮本清等^[5]利用地统计学模型对宁夏青铜峡灌区地下水位埋深的时空变异规律进行了探索,发现土壤盐渍化与地下水埋深关系密切。周在明等^[6]对环渤海低平原区盐渍化状况进行了分析研究,结果表明地下水位埋深与地下水矿化度的共同作用是影响该区土壤盐渍化格局的直接因素。Taylor^[7]用雷达数据监测澳大利亚维多利亚州西部灌溉区的盐渍土分布,认为不同遥感波段的选择能很好地区分盐渍土和非盐渍土。澳大利亚的 Metternicht^[8]结合 RS、GIS 及专家系统对土壤盐渍化变异进行模拟与预测,在盐渍化土壤的时空动态变化研究方面取得了一定的成果。然而盐渍化的形成机理十分复杂,目前我国学者的研究主要集中在西北地区,缺乏对东部盐碱地地区的综合研究,本文对鲁西北黄河冲积平原盐渍化灌区地下水位埋深动态变化开展分析,研究土壤盐碱化分布和影响因素,从而指导灌区盐碱地改良和盐渍化防治工作。

本文选取德州市齐河县为研究区,结合地下水位埋深历史数据和实地考察,利用 3S(RS, GIS, GPS)技术和统计学方法,研究齐河县盐渍地分布和地下水位埋深时空动态变化情况。具体研究内容包括:(1)研究区盐渍地空间分布状况;(2)研究区地下水位埋深在丰水(2005 年)、枯水年(2009 年)年内及 2000,2005 年和 2009 年年间动态变化情况;(3)研究区观测点地下水位埋深在 2000—2009 年 10 a 间的空间变异情况及其与黄河垂向距离的关系。通过揭示地下水位埋深变化对土壤盐渍化的影响,以期对该区治理土壤盐渍化、改良灌溉模式提供科学依据。

1 研究区概况及数据来源

1.1 研究区概况

齐河县位于鲁西北平原德州市南部,地跨北纬 $36^{\circ}24'37''$ — $37^{\circ}01'44''$,东经 $116^{\circ}23'28''$ — $116^{\circ}57'35''$,总土地面积 $1\,411\text{ km}^2$,其中耕地面积 $7.86 \times 10^4\text{ hm}^2$,农业发达。齐河县地处黄河下游左岸,系黄河冲积平原,地势较为平坦,西南高、东北低。全县高、坡、洼地貌相间分布,县内洼地呈零星分布,成为大部分流入徒骇河坡水的集中汇水区,易遭洪涝灾害。齐河县属暖温带半湿润季风气候区,四季分明,冷热季

和干湿季明显,多年平均降雨量为 553.6 mm ,一年中降雨 65% 以上集中于 8,9,10 这 3 个月,年际变化较大,年内分配不均,呈“春旱、夏涝、晚秋又旱及早涝交替出现”的气候特点,对农业生产有一定影响^[9-10]。全县地下水蕴藏量丰富,大气降水为其主要补给源。齐河县因受黄河侧渗和引黄灌溉的影响,地下水位普遍较高,灌溉农业发达,由此也带来一系列的盐渍化问题。

1.2 数据来源

本研究的地下水位埋深数据来源于德州市水利局及齐河县水务局对齐河县境内 22 个观测井常年地下水位监测的历史数据;选取 2009 年 3 月 Landsat 5 卫星 TM 遥感影像作为盐渍化信息提取的原始遥感影像;观测井到黄河垂向距离通过 ArcGIS 测算距离模块得出。

2 研究方法 with 数据处理

2.1 基于 NDVI—SI 特征空间的土壤盐渍化信息提取

综合分析归一化差值植被指数(NDVI)、盐分指数(SI)二者之间的关系,利用土壤表层含盐量与土壤盐渍化遥感信息(SDI)相关性较高的特点来提取 SDI,已知非盐渍地、轻度盐渍地、中度盐渍地、重度盐渍地的 SDI 平均值分别为 $0.399, 0.763, 0.974$ 和 1.201 ^[11]。信息初步提取后还须实地确认盐渍化信息,确保盐渍化信息提取的客观公正性。具体方法流程见图 1。

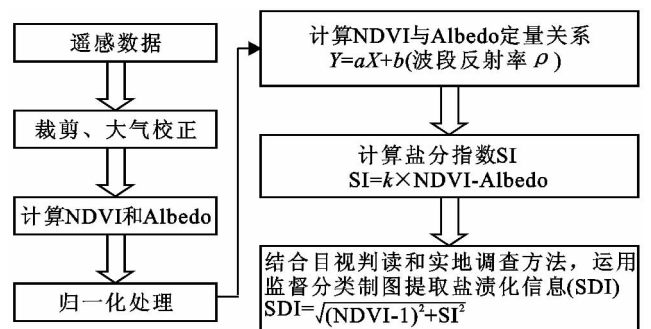


图 1 基于 NDVI—SI 特征空间的土壤盐渍化信息提取流程
注: k 为特征空间中的拟合曲线斜率系数。

2.2 反距离权插值法

反距离权(inverse distance weighted,简称 IDW)插值法是基于相近相似的原理,即两个物体离得越近,它们的性质就越相似,反之,离得越远则相似性越小。它以插值点与样本点间的距离为权重进行加权平均,离插值点越近的样本点赋予的权重越大。在预测过程中,各样点值对预测点值作用的权重大小是成比例的,这些权重值的总和为 1,可由式(1)表示:

$$Z = \frac{\sum_{i=1}^N d_i^{-p} Z_i}{\sum_{i=1}^N d_i^{-p}} \quad (1)$$

式中: Z ——估计值; Z_i ——第 i ($i=1, \dots, N$) 个样本值; d_i ——估计值与样本值的距离; p ——估计值与样本值距离的幂, 它显著影响内插的结果^[12]。式(1)在研究中主要用于分析和预测不同埋深数据源区域数值的趋势变化。

2.3 实地调研

本研究分别于 2011 年 4, 11 月对齐河县进行两次研究区实地调研。具体工作包括: (1) 信息采集, 搜集研究区基本地质水文信息和行政区划图, 提取研究区盐渍化土壤空间分布信息; (2) 采样点布设及定标, 利用 3S 技术布设地下水位检测点, 选取 10 个典型观测点, 野外考察期间借助 GPS 定位记录观测点地理坐标(见表 1); (3) 实地考察, 记录采样点附近水文地质情况、土壤盐渍化程度、植被种类及生长状况等信息, 以用于盐渍化信息提取的修正标定。

表 1 采样点地理坐标

采样点编号	经度	纬度	采样点位置
1	116°35'45"	36°27'03"	北方寺村
2	116°48'23"	36°51'34"	陈庄村
3	116°55'22"	36°54'39"	后孙村
4	116°25'47"	36°31'17"	西高村
5	116°30'45"	36°34'11"	柴洼村
6	116°38'36"	36°34'00"	孔官村
7	116°34'30"	36°39'28"	杜庄村
8	116°33'44"	36°43'25"	朱庄村
9	116°49'29"	36°43'51"	大林郭村
10	116°44'49"	36°53'01"	徐屯村

2.4 数据分析与处理

运用统计学原理与方法, 结合 SPSS 统计软件和 ArcGIS 地理信息系统, 对研究区地下水埋深统计特征值进行分析与比较; 运用变异系数分析地下水埋深在 2000 年到 2009 年间的变化特征; 利用 SPSS 软件对研究区采样点地下水位埋深与其到黄河的垂向距离关系进行研究。

变异系数是反映数据离散和变异程度的绝对值, 研究中用于分析地下水位埋深的变异程度。变异系数的计算一般要求数据符合正态分布, 否则可能存在比例效应。因此本研究将非正态分布的数据进行了正态化处理, 均通过 95% 的置信度检验。变异系数 C_v 公式为:

$$C_v = (SD/MN) \times 100\% \quad (2)$$

式中: SD ——标准差; MN ——平均数。一般情况下, 变异系数在 0~0.2 属于弱变异强度, 在 0.2~0.5 属于中等变异强度, >0.5 属于强变异强度。

3 结果与分析

3.1 研究区盐渍化空间分布及地下水埋深年内变化分析

3.1.1 研究区盐渍化空间分布特征 土壤盐渍化具有较强的季节性特点, 春季气温升高, 降雨量较少, 蒸发量大, 致使潜水位升高, 是一年中蒸发强度很大、土壤积盐最强烈的时期^[13]。因此, 春季 3, 4, 5 月是研究土壤盐渍化的最佳时间。选用研究区 2009 年 3 月 Landsat 5 卫星 TM 遥感影像进行处理。根据对各波段数据合成效果的目视解译, 大部分盐碱地为裸地或作物生长稀疏。选择对地表绿色植被反应敏感的 TM4, 3, 2 波段进行 RGB 假彩色合成, 结合现场考察认证情况运用 ENVI(the environment for visualizing images)进行 NDVI—SI 特征空间的土壤盐渍化信息提取得到盐渍化分布图(图 2), 轻度盐渍化土为浅色, 中度、重度盐渍土为深色。

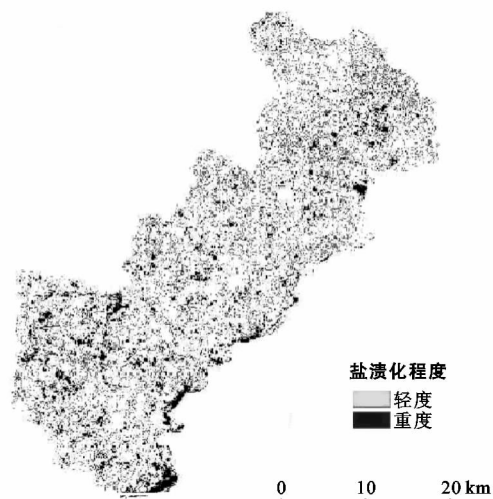


图 2 2009 年 3 月齐河县盐渍化土分布情况

从图 2 可以看出, 齐河县全境内均有不同程度盐渍化土壤分布, 东南部赵官镇、马集镇、胡官屯镇为重度盐渍化分布区。分析其原因, 这些地区水利灌排渠系老化陈旧, 引黄灌溉发展落后, 同时又东临黄河, 良好的河水侧向补给造成了地下水位较高, 地下水灌溉成为主要灌溉方式; 当高矿化度的灌溉地下水淤积得不到排出时, 加之当地的高蒸发量, 造成了严重的土壤积盐。

全县绝大部分地下水属中性或微咸性水, pH 值一般为 7~8, 地下水矿化度平均值为 2.219 g/L, 不良的灌排制度使次生盐渍化现象滋生。整体空间分布上, 盐渍化呈现出由东向西、由南向北逐步减轻的趋势。齐河县裸地大都含盐量高, 一般 0—30 cm 土

层含盐量 10 ~ 50 g/kg, 严重地区达到 50 ~ 100 g/kg, 脱盐难。

3.1.2 研究区地下水埋深年内变化分析 分析比较研究区年内地下水位埋深变化规律, 应保证研究区不会受到因供需水变化而产生的过量引黄和降雨等因素控制, 故分别选取丰水年 2005 年和枯水年 2009 年进行研究。一年中春秋两季蒸发较弱, 可适度排除蒸发干扰。3 月和 9 月是农耕重要时段, 3 月播种, 9 月是二次农耕结束后的时段, 具有年内地下水位埋深变化的典型意义。因此选取 2005 年和 2009 年的 3 月和 9 月作为研究时段, 分析每月 6 次均匀测量的埋深历史数据。研究观测点的选择考虑了两个方面。地理分布上, 西高村和大林郭村分别位于齐河县西南和东北方向, 用水方面, 大林郭村主要采取地下水灌溉, 西高村则更多为引黄支渠补给灌溉。西高村距黄河

距离大于大林郭村, 两个研究观测点具有明显的研究差异。综上所述, 选取西高村和大林郭村两个地区分析可有效突现差异产生的多个方面。两个采样点埋深数据统计结果见表 2。

由表 2 可以看出, 西高村整体埋深较深, 2009 年 9 月最深时达到了 3.39 m; 大林郭村埋深则明显小于西高村, 2005 年 9 月最小值仅为 0.56 m。从 3 月到 9 月, 2 个采样点地下水埋深起伏都较为明显, 盐渍地地下水位从 3 月逐渐上升, 之后开始下降到 9 月达到最低水位, 由于秋季后灌溉用水明显减少造成地下水位回升, 呈现出典型的农业用水降深曲线。埋深标准差较小, 月内变化幅度不大, 原因是这 2 个机井分布于黄河的下游, 黄河侧向补给较好。大林郭村丰、枯水年 3、9 月变化幅度均大于西高村, 大量提取地下水用于灌溉是主要原因。

表 2 典型观测点地下水埋深数据统计

采样点位置	采样数	时间	极小值/m	极大值/m	均值/m	标准差
西高村	6	200503	2.69	2.78	2.735	0.032 7
大林郭村	6	200503	1.44	1.56	1.497	0.045 0
西高村	6	200509	2.04	2.14	2.087	0.039 3
大林郭村	6	200509	0.56	1.21	0.968	0.252 6
西高村	6	200903	2.99	3.12	3.067	0.051 6
大林郭村	6	200903	1.54	1.68	1.612	0.054 2
西高村	6	200909	3.30	3.39	3.360	0.031 6
大林郭村	6	200909	1.13	1.28	1.220	0.055 5

横向分析研究区典型点年内埋深变化特征。

(1) 在灌溉期前后, 深埋区和浅埋区分布范围变化不大。究其原因, 研究区地势平坦, 埋深受到黄河水侧向补给, 水源充足, 也与距离灌溉渠较近有一定关系。(2) 灌溉后由于播种期的灌溉影响, 研究区埋深普遍变浅, 灌溉引水直接影响地下水位埋深。(3) 研究点受到河流和灌溉的影响, 地下水位因季节不同而产生变化。农业灌溉对该区埋深影响显著, 灌溉方式和程

度的不同是地下水埋深产生差异性变化的主要影响因素。因此, 建设排水沟渠, 排除积水, 可有效降低地下水埋深, 减轻盐渍化。

3.2 研究区地下水埋深年际变化分析

对 3S 技术布设选择的 10 个典型观测点的历史埋深数据进行研究, 运用 SPSS 对其在 2005—2009 年地下水埋深数据进行初步统计分析, 地下水埋深特征参数见表 3。

表 3 2005—2009 年 10 个观测点地下水埋深特征参数

采样点位置	变化/m	最小值/m	最大值/m	平均值/m	标准差	偏度
北方寺村	2.09	1.42	3.51	2.38	0.820	0.239
陈庄村	0.67	2.12	2.79	2.31	0.281	1.755
后孙村	0.89	1.34	2.23	1.57	0.373	2.049
西高村	0.85	2.49	3.34	2.91	0.324	0.097
柴洼村	0.42	1.16	1.58	1.41	0.158	-1.151
孔官村	0.52	1.57	2.09	1.91	0.203	-1.576
杜庄村	1.20	3.30	4.50	3.92	0.508	-0.276
朱庄村	0.44	2.00	2.44	2.21	0.167	0.296
大林郭村	0.22	1.27	1.49	1.41	0.085	-1.342
徐屯村	3.44	2.21	5.65	3.83	1.225	0.398

分析表 3 数据,研究区地下水位埋深普遍较浅,采样点最大值均 <6 m,最小值仅为 1.16 m。10 个采样点地下水位埋深具有明显的差异,杜庄村 2005—2009 年年均埋深为 3.83 m,柴洼村和大林郭村的年均埋深仅为 1.41 m,有明显的空间分布层次。偏度是表征概率分布密度曲线相对于平均值不对称程度的特征数,标准正态分布偏度为 0。研究区 10 个采样点地下水埋深的偏度在 0 两侧分布,表明地下水埋深数值无规律地分布在平均值的两侧,各个采样点不同的埋深特征分布说明地下水位埋深不对称分布,主要与当地气候、灌溉影响有关;70%的采样点 5 a 间全距变化 <1 m,表明采样点变化波动总体较小。标准差分析可体现埋深数据集的离散程度。柴洼村、大林郭村、朱庄村标准差均低于 0.17,波动较小;北方寺村、徐屯村标准差大于 0.8,波动变化相对较大,数据的波动与采样点的地理位置和灌溉方式有一定关系。

上述数据反映了该区地下水埋深年际变化的部分规律。研究区位于黄河下游西岸,因受到引黄灌溉和黄河侧渗的影响,地下水位较高,地下水埋深一般为 1.5~3.5 m,最浅的地区埋深不足 1 m。研究区为农作物主产区,当灌溉不合理,排水系统不能及时将水排出,加之潜水水位过高时,研究区可能出现大面积的土壤次生盐渍化现象。为进一步探寻研究区地下水变异规律,采用 ArcGIS 中 IDW 插值法分析处理全部 22 个观测井在不同年间的地下水埋深数据,以探究研究区地下水位埋深的时空变化规律。生成 2000,2005,2009 年地下水埋深空间分布内插图(附图 1—3)进行纵向比较。

2000,2005 和 2009 年 3 a 地下水位埋深空间分布格局相似,但也存在明显的差异。研究区内位于东南部黄河沿岸和赵牛新河、新巴公河沿岸的地区,埋深始终较小,一般不超过 2.5 m,分析是因为沿河地区受到河流侧渗和引黄灌溉影响,地下水补给充足,水位较高;仁里集镇、焦庙镇地下水位埋深常年保持较高水平,这些地区受侧渗影响小并主要依赖开采地下水进行灌溉,地下水消耗大,埋深较深。部分地区随着年份的不同,埋深差异较大,例如徐屯村和北方寺村采样点在 2000 年和 2009 年埋深都超过 3 m,2005 年埋深却保持在 1 m 左右。原因可能由于 2 个采样点濒临黄河,受到黄河侧向补给和引黄灌溉影响大,在丰水年和相对枯水年的埋深分布格局差异大。研究区在 2005 年丰水年埋深分布特征较为单一,埋深分布层次差异性较弱,有大范围的浅埋区分布。2000,2009 与 2005 年比较为枯水年,埋深空间分布层次性较为明显,埋深大于丰水年,一些主要靠开采

地下水来满足农业灌溉需求的地区,如仁里集镇西高村,埋深普遍较深,达到了 3.5 m 以上,主要原因是枯水年需要大量开采地下水以满足农业需求,致使地下水位下降,埋深变深。

3.3 研究区地下水位变异性及观测点到黄河垂向距离与地下水埋深关系分析

3.3.1 2000—2009 年研究区地下水位埋深变异性分析

研究区在 2000—2009 年,地下水位因受到气候、水文、地质等自然因素及农业灌溉的影响,整体分布发生了一定的变异——研究区埋深普遍降低,降低幅度不一;浅埋区与深埋区面积变化较小。

分析齐河县埋深数据齐全的 10 个典型观测井在 2000—2009 年的埋深空间变异性,生成变异系数空间差值(附图 4)。由附图 4 可以看出,齐河县 10 a 间地下水位变动并不剧烈,变异系数值均 <0.35 ,东南部北方寺村数值最大,这是因为濒临黄河,受黄河丰枯水年水量变化影响较大,西北部徐屯村变动大的原因可能是由于当地引黄渠道工程改造,灌溉模式由地下水灌溉改为引黄河水灌溉,地下水得到补给,水位变动大有关。地下水位变动的主要原因在于研究区当地农业灌溉用水、植被覆盖、蒸散发、根系吸水及地表微地形差异等因素的影响。由于研究区对地下水的开采及农业灌溉的影响,部分地区变异系数达到中度变异强度,波动较为明显。

3.3.2 研究区黄河垂向距离与地下水埋深关系分析

黄河贯穿鲁西北冲积平原全境,齐河县境内黄河段长 62.5 km,年引用黄河水 2.5×10^9 m³。研究观测点到黄河垂向距离与地下水位的关系说明了黄河水灌溉和侧向补给对地下水位的影响,探求通过合理控制地下水埋深,实现土壤盐渍化的水盐调控具有重要意义。选取齐河县 10 个典型观测点进行研究,通过 ArcGIS 距离测算得到观测点到黄河的垂向距离,埋深数据选取 2009 年 10 个观测点的年均地下水位埋深,利用 SPSS 分析观测点到黄河垂向距离与地下水埋深的关系,得到线性回归方程:

$$Y=0.123x+1.466 \quad (R^2=0.635) \quad (3)$$

式中:Y——观测点地下水位埋深值(m);x——观测点到黄河垂向距离(km),线性回归方程决定系数 R^2 为 $0.635 > 0.576$ (相关性临界, $N=10$),表明在显著性水平 $\alpha=0.05$,Y(埋深)与 x(黄河垂向距离)有较强相关性。

观测点的地下水埋深数值和黄河垂向距离表现出类似的分布趋势,结合线性回归方程(3)可知:在一定范围内,到黄河距离越近地下水位埋深越浅,距离越远埋深越深,黄河垂向距离与地下水位埋深呈正相

关性。黄河的侧向补给和引黄灌溉对地下水位埋深的变化有着重要影响,黄河通过影响地下水位,间接影响当地土壤盐渍化状况。因此,合理开发利用黄河水资源,控制地下水位,制定有效的灌溉制度,完善灌溉设施,对于改良盐渍土有着不可忽视的作用^[14]。

4 结论与讨论

本研究利用 ENVI 对齐河县 2009 年 3 月遥感影像进行处理,基于 NDVI—SI 特征空间方法提取齐河县土壤盐渍化信息,借助 ArcGIS 和 SPSS 软件对齐河县地下水位埋深时空变化规律进行分析,结合该地区地质水文状况和灌溉制度展开研究,得出如下结论。

(1) 齐河县盐渍地范围较大,重度盐碱地主要分布在东南方向的赵官镇和马集镇。推测与当地灌溉模式造成地下水位过高有关,当地下水埋深过浅,在蒸发作用下,溶解在地下水中的盐分沿毛管上升水流在表土聚集,土壤易发生盐渍化^[15]。在整体空间分布上,盐渍化呈现出由东向西,由南向北,逐步减轻的趋势。

(2) 在一年中,地下水埋深的季节变化明显,春季水位明显高于冬季,但不同季节的地下水埋深空间分布趋势一致。造成这种现象的主要原因是:每年的 3—5 月为当地春灌期,灌溉地下水的入渗加上丰富的黄河侧向补给,使得地下水位明显升高。齐河县在 2000—2009 年 10 a 间地下水埋深变化具有明显空间变异性,研究区水位普遍降低,北部徐屯村和东南方向的北方寺村地下水埋深变异性明显大于其他地区,与灌溉方式及引黄渠道的改造关系密切。故建设排水沟渠,排除积水,可有效降低地下水埋深,减轻盐渍化。

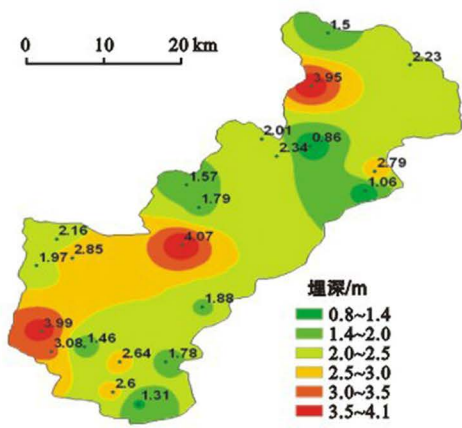
(3) 2000, 2005 和 2009 年 3 a 研究区地下水位埋深分布格局相似,自东北方向到西南区域逐渐递增,枯水年较丰水年埋深的空间差异性更大。90% 采样点地下水位埋深 < 3.5 m,说明齐河县地下水埋深较浅,地下水开采条件便利,推测是由于受黄河侧渗影响大,地下水补给较好。对观测点到黄河的垂向距离与埋深数据进行分析,得到线性回归方程 $Y = 0.123x + 1.466 (R^2 = 0.635)$ 。表明在一定范围内,采样点距离黄河越近地下水位越高,距离越远地下水埋深越深,黄河通过影响研究区的灌溉模式和地下水埋深间接影响当地土壤盐渍化的发生。

由于该研究区独特的水文地质状况及不合理的灌溉方式,土地盐渍化状况向着恶化的方向发展。本研究运用 3S 技术和地统计学方法,着重对黄河冲积平原盐渍化灌区地下水埋深的时空变异进行了分析,研究土壤盐渍化成因和地下水变化规律,以期与研究区盐渍化土壤的改良和治理提供科学的参考。后续

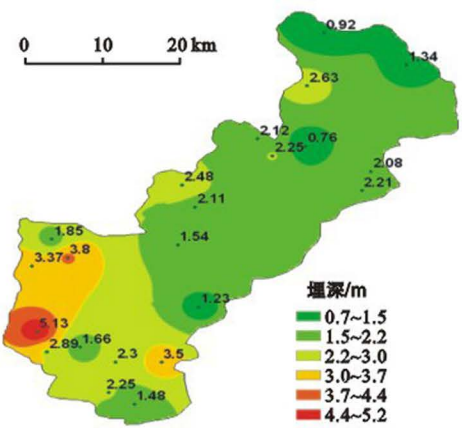
研究工作将对研究区的地下水矿化度、降雨、灌溉制度进行综合分析,进一步探究土壤盐渍化成因及治理对策。

[参 考 文 献]

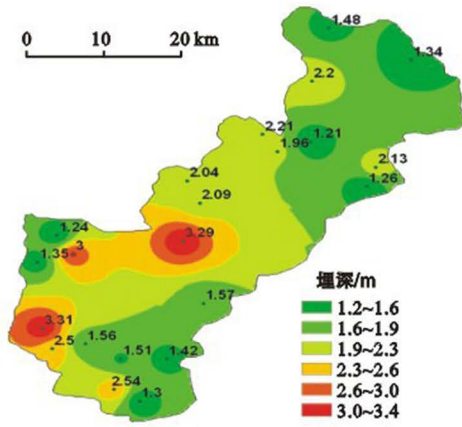
- [1] 齐春三,赵倩,董温荣,等.引黄灌溉对土壤盐碱化的影响与对策[J].水利规划与设计,2007(2):10-12.
- [2] 李治元,李昌龙,王多泽,等.石羊河下游盐渍化弃耕地植被演替特征分析[J].西北植物学报,2010,30(10):2087-2092.
- [3] 依力亚斯江·努尔麦麦提,丁建丽,塔西甫拉提·特依拜,等.基于支持向量机分类的遥感土壤盐渍化信息监测[J].水土保持研究,2007,14(4):209-214.
- [4] 管孝艳,王少丽,高占义,等.盐渍化灌区土壤盐分的时空变异特征及其与地下水埋深的关系[J].生态学报,2012,32(4):1202-1210.
- [5] 阮本清,许凤冉,蒋任飞.基于球状模型参数的地下水水位空间变异特性及其演化规律分析[J].水利学报,2008,39(5):573-579.
- [6] 周在明,张光辉,王金哲,等.环渤海微咸水区土壤盐分及盐渍化程度的空间格局[J].农业工程学报,2010,26(10):15-20.
- [7] Taylor G R, Mah A H, Kruse F A, et al. Characterization of saline soils using Airborne Radar Imagery[J]. Remote Sensing of Environment, 1996,57(3):127-142.
- [8] Metternicht G I. Remote sensing of soil salinity-potentials and constraints[J]. Remote Sensing of Environment, 2003,64(5):1-20.
- [9] 黄亚英,徐云英,景子文,等.齐河县水利志[M].济南:山东人民出版社,1990.
- [10] 王文勇,高佩玲,郎新珠,等.基于 3S 的地下水埋深与土地盐渍化时空动态变化关系研究:以山东省德州市齐河县为例[J].水土保持研究,2011,18(6):157-161.
- [11] 王飞,丁建丽,伍漫春.基于 NDVI-SI 特征空间的土壤盐渍化遥感模型[J].农业工程学报,2010,26(8):168-173.
- [12] 孙月,毛晓敏,沈清林,等.石羊河流域地下水埋深时空变化规律研究[J].干旱区资源与环境,2009,23(12):112-117.
- [13] 孟岩,赵庚星,王静.基于遥感图像的垦利县盐碱退化土地信息提取及其演化规律研究[J].地域研究与开发,2009,28(5):135-139.
- [14] Ravindrana K C, Venkatesana K, Balakrishnana V, et al. Restoration of saline land by halophytes for Indian soils[J]. Soil Biology & Biochemistry, 2007,39(10):2661-2664.
- [15] 吴明辉,宁虎森,王让会,等.克拉玛依地区减排林地下水动态变化及合理生态水位分析[J].水土保持通报,2010,30(4):129-133.



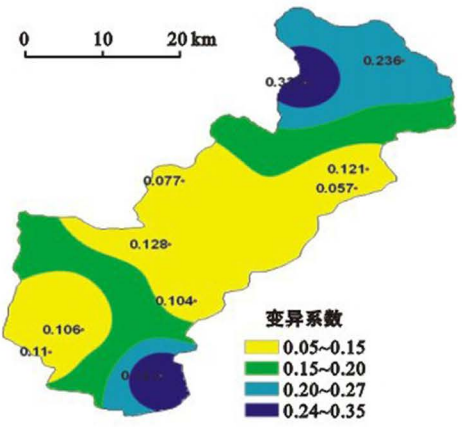
附图1 山东省齐河县2000年地下水埋深分布



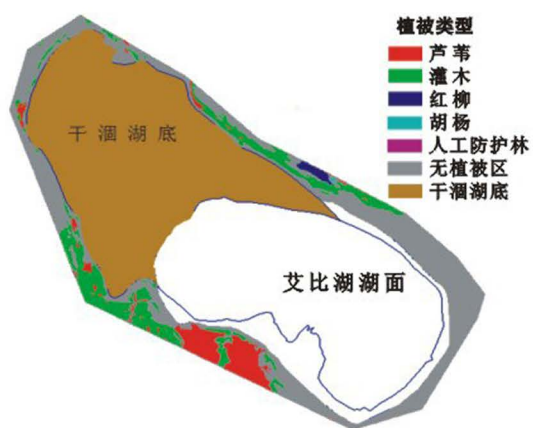
附图2 山东省齐河县2005年地下水埋深分布



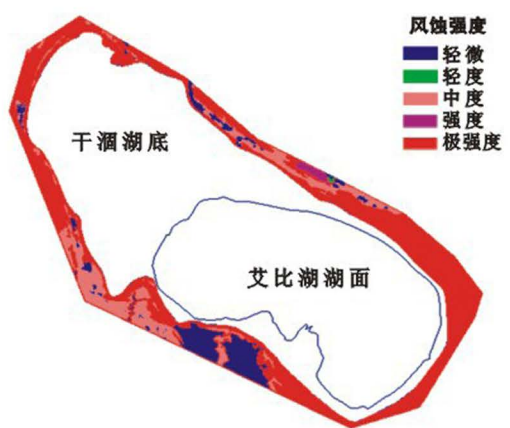
附图3 山东省齐河县2009年地下水埋深分布



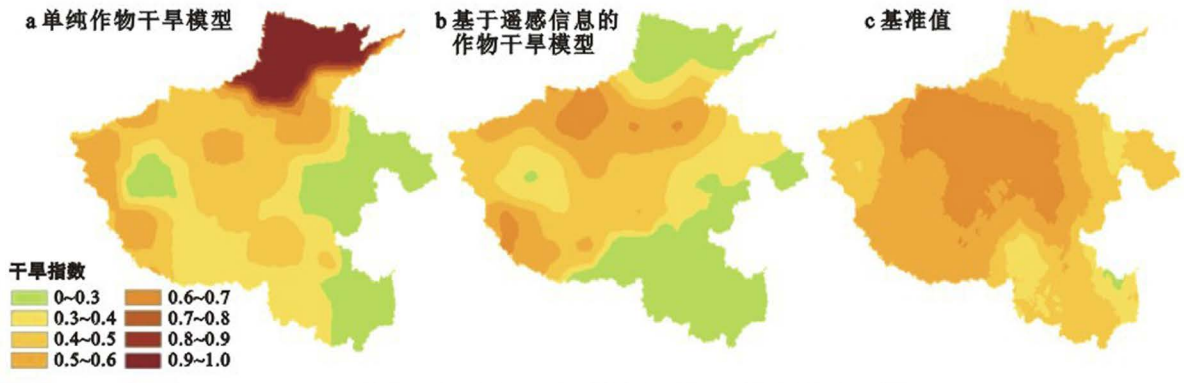
附图4 山东省齐河县地下水埋深变异系数空间插值



附图5 艾比湖湖岸周边植被分布



附图6 艾比湖湖岸周边土壤风蚀现状



附图7 河南省2004年5月中旬区域农业干旱模拟与验证