

基于 3S 的地下水位埋深与土地盐渍化 时空动态变化关系研究

——以山东省德州市齐河县为例

王文勇¹, 高佩玲^{1,2}, 郎新珠¹, 陈飞¹, 刘现伟³

(1. 山东理工大学 农业工程与食品科学学院, 山东 淄博 255049; 2. 中国科学院 水利部 水土保持研究所
黄土高原土壤侵蚀与旱地农业国家重点实验室, 陕西 杨凌 712100; 3. 山东省德州市水利局, 山东 德州 253000)

摘要:分析研究盐渍地产生原因、空间分布及发展变化趋势,将为优化配置水资源,改善农田土地利用现状,改良盐渍化土地具有重要意义。选取山东省德州市齐河县作为研究区,利用 ERDAS 对该区 2002 年 10 月、2006 年 10 月、2009 年 10 月和 2003 年 4 月 Landsat 5 卫星 TM 遥感影像进行处理,提取盐渍地等相关土地利用信息;采用 ArcGIS 生成 2002—2006 年、2006—2009 年及 2002 年 10 月至 2003 年 4 月土地类型转移矩阵,分析该区盐渍地的来源、去向、变化速率和产生原因;运用 ArcGIS 空间分析模块对研究区 2000—2009 年及 2009 年播种期前后地下水位埋深数据进行分析,研究该区埋深时空变化规律;利用 ArcGIS 邻域统计和分类区统计分析方法对该区埋深和盐渍地时空分布进行联合分析,研究该区盐渍地变化趋势和主导因素。结果表明:该研究区盐渍地时空分布年度、季节差异明显,全县地下水位埋深较浅,大部分地区埋深 2 m 左右,极少量地区年均最大埋深达到 5 m。盐渍地多分布在相对浅埋区或埋深变化波动性较强地区,埋深是该区控制盐渍地变化的主要因素。

关键词:盐渍地;地下水位;转移矩阵;时空动态

中图分类号:P332.3;S156.4⁺4

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2011)06-0157-05

Relationship of the Spatial-temporal Dynamic Change between Groundwater Level Depth and Land Salinization Based on 3S

—A Case Study of Qihe County in Dezhou City, Shandong Province

WANG Wen-yong¹, GAO Pei-ling^{1,2}, LANG Xin-zhu¹, CHEN Fei¹, LIU Xian-wei³

(1. School of Agricultural and Food Engineering, Shandong University of Technology,
Zibo, Shandong 255049, China; 2. State Key Laboratory of Soil Erosion and Dryland Farming on
Loess Plateau, Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Sciences and Ministry of Water
Resources, Yangling, Shaanxi 712100, China; 3. Dezhou Water Conservancy Bureau, Dezhou, Shandong 253000, China)

Abstract: The objective of this study was to characterize the causes, spatial distribution and trend of land salinization in Dezhou of Shandong Province, and to provide some suggestions on optimizing and allocating water resources and improving salinized land and land use status of farmland. The rule of the spatial-temporal change in this area was studied by using spatial analysis module of ArcGIS and analyzing groundwater level depth data from 2000 to 2009 and during seedtime around in 2009. Utilizing ERDAS to process TM remote sensing image of October 2002, October 2006, October 2009 and April, 2003, information on land use as salinized land was extracted. the source, target, change rate and causes of the salinized land in the targeted area were examined by generating transfer matrix of land use during 2002—2006, 2006—2009, and October 2002—April 2003 under ArcGIS. Groundwater level depth and spatial-temporal distribution of salinized land in this area were analyzed to learn the variation tendency and leading factors of salinization by using neighbor-

收稿日期:2011-06-02

修回日期:2011-07-15

资助项目:国家自然科学基金(40635027);黄土高原土壤侵蚀与旱地农业国家重点实验室基金(10501-231);山东理工大学青年教师发展支持计划;山东省自然科学基金(ZR2011EL020)

作者简介:王文勇(1986—),男,山东日照人,硕士研究生,研究方向为水土保持和农田水利建设。E-mail:wangwenyong1211@126.com

通信作者:高佩玲(1973—),女,河南省禹州人,副教授,博士,研究方向为水文及水资源。E-mail:gaoplxlj@163.com

hood statistics and classification area statistics of ArcGIS. Results show that the annual and seasonal differences are significant in terms of the spatial-temporal distribution of salinized land in the area. The county-wide underground water level is shallow and about 2 m in most of the areas, and up to annual maximum depth of 5 m in few areas. Salinized land shares much distribution in relatively shallow buried areas or areas that suffer stronger fluctuating change in buried depth. Buried depth is the main factor for the salinized land change in the area.

Key words: salinized land; groundwater level depth; transfer matrix; spatial-temporal dynamic

山东省引黄灌区约有 1 万 km^2 的地下水浅埋区,存在着盐碱渍涝的危害和潜在威胁^[1]。德州境内有岗、坡、洼等多种地貌类型,旱涝盐碱为农业可持续发展的主要制约因素^[2]。浅埋地下水的动态变化对盐渍地时空分布有极大的影响,可以通过控制潜水位达到预防和治理土壤盐渍化的目的^[3-4]。众多学者在土壤盐渍化研究上做了大量研究工作。姚荣江,杨劲松^[5-6]分析了黄河三角洲地区土壤盐分时空变异特征,指出土地利用方式差异是引起秋季时段土壤盐分弱各向异性的直接因素;地形因素(主要是微地形起伏)会导致春季时段土壤盐分的变异函数及各向异性比在全步长域波动,但其在整个研究尺度上仍为各向同性。周在明等^[7]对环渤海低平原区盐渍化状况进行分析研究表明: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分与盐渍化格局变化的直接因素,不同农业取水灌溉方式也是影响土壤盐渍化不可忽视的因素。吕桂军,康绍忠等^[8]研究发现:入渗水量、入渗流速、水分再分布都是影响水盐在土壤中分布的重要因素。郭娇等^[9]采用遥感—数学—模型学融合的研究方法,提出了有效监测土壤水分的 Landsat—5 TM 遥感图像模型。王静等^[10]提出盐渍土盐分遥感预测模型应进一步结合中高分辨率卫星影像数据,并可以移植应用于其它传感器数据进行盐渍土盐分信息提取,以实现大区域盐渍土盐分的精确反演。

山东省作为我国严重缺水省份之一,随着人口的增加和水土资源的紧缺,如何最优的利用现有水土资源,改良利用盐渍地,防止土壤盐渍化已成为迫切需要解决的问题。本文选取德州市齐河县作为沿黄河地下水浅埋典型研究区,利用 3S 技术对齐河县盐渍地和地下水位埋深进行时空动态研究,分析该区盐渍地变化与埋深变化关系,结合转移矩阵分析、标准差单元统计、邻域统计和分类区统计等方法,探求该区盐渍地发生的主导因素和变化趋势,将为山东省优化配置水资源,改善农田土地利用现状,改良盐渍化土地提供理论和数据支持。

1 研究区概况及数据处理方法

齐河县位于鲁西北平原德州市的南部,地处黄河

下游左岸,与济南隔黄河相望,系黄河冲积平原,地势较为平坦。齐河县属暖温带半湿润季风气候区,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 7—9 月,年际变化较大,年内分配不均,季节性缺水比较严重。全县地下水蕴藏量丰富,大气降水为其主要补给源,其次是黄河侧渗和引黄灌溉回归补给。齐河县因受黄河侧渗和引黄灌溉的影响,沿黄河地下潜水位较高。浅层地下水开采利用不合理,个别地方地下水位较高,潜藏着土壤次生盐渍化的危机。因此,对于研究区历史期在枯水期和丰水期地下水位埋深变化问题的探讨,从而制定出相应的措施显得尤为重要。

对 2002 年 10 月、2006 年 10 月、2009 年 10 月和 2009 年 4 月 Landsat 5 卫星 TM 遥感影像处理,选择 2,4,7 波段合成。利用 ERDAS 遥感软件对影像进行影像融合、几何校正、投影转换、图像拼接、图像裁剪等预处理,通过目视解译提取训练场,提取盐渍化土地信息,对遥感影像监督分类,将研究区分成水域、湿地、非盐渍化农田、非盐渍化裸地、轻度盐渍地和重度盐渍地 6 类,生成 4 期土地分类专题地图(附图 8)。在研究区内随机选取 22 个采样井,分布尽量遍及整个研究区。对齐河县 2000—2009 年地下水位埋深数据,采用 ArcGIS 的反距离权内插法和标准差单元统计法,纵向比较分析 2000 年、2005—2009 年研究区地下水位埋深变化,横向比较分析研究区 2009 年 2 月和 2009 年 7 月地下水位埋深变化,以全面了解该区地下水位埋深时空动态变化规律。

2 结果与分析

2.1 盐渍地时空动态转移矩阵分析

转换矩阵动态变化表中,矩阵的横向表示转入的变化,反映出各种土地类型由其它土地类型转化的面积变化情况;矩阵的纵向表示转出的变化,反映出各种土地类型转化为其它土地类型的面积变化情况。对角线矩阵数据表示两个时期土地类型皆无变化的情况。选取 2002 年 10 月、2006 年 10 月和 2009 年 10 月三期专题图,利用转移矩阵进行时间上纵向分析,选取 2002 年 10 月和 2003 年 4 月两期专题图,利

用转移矩阵进行时间上横向分析。

由表 1 看出,齐河县 2002 年和 2006 年轻、重度盐渍地的面积分别为 259.01 km²、98.92 km² 和 185.51 km²、174.45 km²,占研究区齐河县总面积的 18.48%、7.06%和 13.24%、12.45%。与 2002 年相比,2006 年轻、重度盐渍地减少 73.50 km² 和增加 75.53 km²。2002—2006 年 12.75%的重度盐渍地转化为轻度盐渍地,占当年轻度盐渍地总面积的 6.80%;22.66%的轻度盐渍地转化为重度盐渍地,占

重度盐渍地总面积的 33.65%。总体分析齐河县 2002—2006 年盐渍地的变化,轻、重度盐渍地的相互转化比例较大,偏重于向重度盐渍地的转化,盐渍化程度加深,盐渍地总面积变化较小。2002—2006 年轻度盐渍地主要来源是非盐渍化裸地和湿地,主要去向是重度盐渍地、非盐渍化裸地和湿地;重度盐渍地主要来源是轻度盐渍地、非盐渍化裸地和湿地,主要去向是非盐渍化裸地、湿地、轻度盐渍地。可见,盐渍地的变化与非盐渍化裸地和湿地的变化关联度较高。

表 1 齐河县 2002—2006 年土地类型动态变化转移矩阵

km²

土地利用类型		2002 年					
及代码		水域 1	非盐渍化农田 2	湿地 3	非盐渍化裸地 4	轻度盐渍地 5	重度盐渍地 6
2006 年	水域 1	50.51	58.15	95.23	95.69	38.09	11.50
	非盐渍化农田 2	21.81	27.70	43.61	27.33	19.05	7.55
	湿地 3	25.86	62.57	101.58	95.42	51.80	14.72
	非盐渍化裸地 4	4.32	12.61	42.51	64.78	52.17	16.93
	轻度盐渍地 5	5.80	13.80	53.00	61.10	39.20	12.61
	重度盐渍地 6	3.04	5.52	21.16	50.42	58.70	35.61

由表 2 看出,齐河县 2006 年和 2009 年轻、重度盐渍地的面积分别为 185.51 km²、174.45 km² 和 428.96 km²、95.78 km²,占研究区齐河县总面积的 13.24%、12.45%和 30.60%、6.83%。与 2006 年相比,2009 年轻度盐渍地增加 243.45 km²,重度盐渍地减少 78.67 km²,盐渍地总面积增加 164.78 km²。2006—2009 年 46.47%的重度盐渍地转化为轻度盐渍地,占当年轻度盐渍地总面积的 18.90%;6.80%的轻度盐渍地转化为重度盐渍地,占重度盐渍地总面积的 13.17%。总体分析齐河县 2006—2009 年盐渍

地的变化,重度盐渍地向轻度盐渍地转化比例较大,土地盐渍化程度减轻,盐渍地总面积有较大幅度的增大。2006—2009 年轻度盐渍地主要来源是非盐渍化裸地、湿地和重度盐渍地,主要去向是非盐渍化农田、非盐渍化裸地和湿地;重度盐渍地主要来源是湿地、水域和非盐渍化农田,主要去向是轻度盐渍地、非盐渍化农田和湿地。可见,齐河县研究区盐渍地分布并不是绝对的,可以在一定的条件下转化为非盐渍化农田等其他土地类型;同时在旱涝灾害或反常气候影响下,非盐渍化农田等非盐渍地土地类型可以转变为盐渍地。

表 2 齐河县 2006—2009 年土地类型动态变化转移矩阵

km²

土地利用类型		2006 年					
		水域	非盐渍化农田	湿地	非盐渍化裸地	轻度盐渍地	重度盐渍地
2009 年	水域	19.41	1.01	4.14	0.64	0.46	0.74
	非盐渍化农田	62.94	35.15	84.74	52.63	44.72	60.64
	湿地	113.64	44.81	93.48	15.83	20.52	21.89
	非盐渍化裸地	63.3	12.61	65.51	19.41	36.25	2.67
	轻度盐渍地	51.07	36.71	91.18	97.72	71.22	81.06
	重度盐渍地	21.16	20.06	24.29	10.21	12.61	7.45

由表 3 看出,齐河县 2002 年 10 月和 2003 年 4 月轻、重度盐渍地的面积分别为 270.83 km²、99.85 km² 和 171.46 km²、115.73 km²,占研究区齐河县总面积的 19.32%、7.12%和 12.23%、8.25%。与 2002 年 10 月相比,2003 年 4 年轻度盐渍地减少 99.73 km²,重度盐渍地增加 15.88 km²,盐渍地总面积减少 83.85 km²。2002 年 10 月到 2003 年 4 月期间,10.78%的重度盐渍地转化为轻度盐渍地,占轻度盐渍地总面积的 6.28%;7.09%的轻度盐渍地转化为重度盐渍地,占重度盐渍地总面积的 16.60%。总体

分析齐河县 2002 年 10 月至 2003 年 4 月盐渍地的变化,轻度盐渍地向着重度盐渍地方向转化,土地盐渍化程度加深,盐渍地总面积减小。齐河县 2002 年 10 月至 2003 年 4 月丰水期和枯水期连续变化时间内,轻度盐渍地主要来源是非盐渍化裸地和湿地,主要去向是非盐渍化农田和湿地;重度盐渍地主要来源是湿地、非盐渍化裸地和轻度盐渍地,主要去处是非盐渍化农田和湿地。综合分析 2002 年 10 月至 2003 年 4 月转移矩阵,盐渍地变化的主要来源是非盐渍化裸地

和湿地,主要去处是非盐渍化农田和湿地。可见,齐河县由丰水期向枯水期转变的过程中,土地盐渍化的

程度加重。该县通过调控灌溉量等措施人为压盐,可以在播种期间将轻度盐渍地改变成非盐渍化农田。

表 3 齐河县 2002 年 10 月至 2003 年 4 月土地类型动态变化转移矩阵

km²

土地利用类型		2002 年 10 月					
		水域	非盐渍化农田	湿地	非盐渍化裸地	轻度盐渍地	重度盐渍地
2003 年 4 月	水域	28.41	16.18	26.66	22.71	15.35	2.31
	非盐渍化农田	2.39	5.24	31.34	96.25	94.87	37.32
	湿地	29.14	46.61	94.60	98.83	82.28	24.73
	非盐渍化裸地	33.00	77.68	118.96	93.95	27.40	8.55
	轻度盐渍地	8.64	20.13	54.06	46.15	31.72	10.76
	重度盐渍地	5.79	13.88	34.29	26.38	19.21	16.18

2.2 齐河县土地类型变化速率分析

土地类型变化速率可以定量描述一定时间范围内某种土地类型变化的速度,有利于比较土地类型变化的差异和预测未来土地类型变化的趋势。其计算公式为:

$$LC = \frac{U_b - U_a}{U_a} \times \frac{1}{T} \times 100\%$$

式中: U_a, U_b ——研究初期和末期某种土地类型的数量; T ——研究时段长,若以年为量度则 LC 为年均变化率,以月为量度则 LC 表示月均变化率。

2002—2006 年齐河县轻、重度盐渍地年均变化率分别为 -7.01% 和 19.09%,盐渍地年均变化率为 0.57%。2006—2009 年齐河县轻、重度盐渍地年均变化率分别为 43.73% 和 -15.03%,盐渍地年均变化率为 15.26%。2002 年 10 月至 2003 年 4 月齐河县由丰水期到枯水期过程中,轻、重度盐渍地月均变化率分别为 -6.12% 和 2.65%,盐渍地月均变化率为 -3.75%。

研究表明:不同年份、季节盐渍地变化速率差别较大,盐渍地的主要来源和去处是非盐渍化裸地和湿地,转化得比例和优势方向取决于不同年份季节的水量多寡。枯水期向丰水期转化时,盐渍地总体范围减小,但重度盐渍地面积增大;丰水期向枯水期转化时,盐渍地总体范围扩大,但重度盐渍地面积减小。

2.3 齐河县地下水位埋深时空动态分析

如附图 9—11 所示,从纵向上看,齐河县埋深空间分布基本相似,年均埋深多低于 3 m,局部地区年均埋深达到 5 m。沿黄河及徒骇河水系地区埋深较浅,通常不超过 2 m。黄河筑堤起土造成局部地区地势低洼,受黄河侧渗影响,潜水埋深提高到 1 m 左右。部分河流长期蓄水侧渗,导致沿岸虽地势较高,埋深保持在 1 m 以内,如赵牛新河、新巴公河、中心河流域。埋深 3~5 m 地区,大部分为河滩高地或黄河决口冲击扇形地。附图 12 为 2000—2009 年地下水埋深变化标准差单元统计图,该图显示的是研究区范围

内地下水位埋深波动性强弱。标准差值高者(红色)波动性强,埋深变化显著,潜水水位活动相对剧烈;标准差值低者(黄色)波动性弱,埋深变化较小,潜水水位相对稳定。结合齐河县 2000 年、2005 年、2009 年地下水位埋深空间分布特点分析发现,埋深变化显著地区多分布于相对高埋深地区。此类地区相对浅埋区,受河流侧渗补给影响小,随干湿季节变化及丰水期和枯水期交替埋深变化显著。埋深稳定区多位于浅埋区。此类区长期受到河流侧渗补给,埋深受气候影响相对较弱,而变化较小。

横向上看,齐河县播种期前后埋深空间分布特征相似,浅埋区与深埋区相对变化区域不大。与播种期前相比,播种期后研究区埋深普遍降低,降低幅度不一。附图 13 为 2009 年齐河县播种期前后潜水埋深变化标准差单元统计图,由附图 13 可知齐河县西部地区埋深变化大,且呈现向中东部地区埋深变化程度递减的趋势。推测造成此种趋势的可能原因是为满足作物需水要求,大量引水灌溉致使埋深升高,导致高埋深区变化幅度较大。浅埋区长期受到河流侧渗补给,相对少量的灌溉能够满足播种期作物需水要求,因此,浅埋区埋深降低但幅度相对较小。

综合分析齐河县地下水位埋深变化时空分布特征,该区埋深年际变化较大,丰水期与枯水期差异性明显,埋深受河流侧渗影响显著,地域性差异较大。齐河县最大年均埋深多不超过 5 m,浅埋区常年埋深低于 2 m,多分布在沿河流域或洼地,相对深埋区季节性变化显著。

3 埋深与盐渍地关系分析

3.1 邻域统计

齐河县盐渍地分布与相对应时期潜水埋深空间分布如附图 14 所示。灰色变化表示以 0.43 m 为组距划分的 9 个埋深段,颜色由浅到深代表埋深由浅到深变化;彩色代表盐渍地在整个研究区内的分布情况。由图 1 可知,盐渍地分布并不与对应时期埋深大

小完全对应,在沿河浅埋区和洼地地区多发生土壤盐渍化现象。可见,土壤盐渍化是需要一定时间的,其孕育发生为一个过程,沿河与洼地等特殊地域是盐渍地多发地。

邻域统计是以待计算栅格为中心,向其周围扩展一定范围,基于这些扩展栅格数据进行函数运算,从而得到此栅格的值。本文采用矩形邻域最大值统计方法,邻域大小为 3×3 单元。设定重度盐渍地和轻度盐渍地栅格单元属性值为最大值和次最大值,在ArcGIS中进行邻域统计运算生成附图15。图中彩色所覆盖土地代表盐渍地按邻域统计方法扩大后在研究区内的空间分布。通过对齐河县2009年盐渍地邻域统计附图15分析发现,盐渍地扩张多以非盐渍化裸地和湿地为方向,威胁整个种植区。盐渍地生成高危险区除分布在浅埋区外多分布在埋深变化标准差值较高的地区。

3.2 分类区统计

分类区统计即以一个数据集的分类区为基础,对另一个数据集进行数值统计分析,从而根据一个分区栅格数据计算分区范围内所包含的另一个栅格数据的统计信息。以齐河县2009年土地分类数据为分类区数据集,埋深变化标准差轴代表研究区埋深变化标准差,柱的高度代表研究区某土地类型所覆盖的整个地域内,各点地下水位埋深变化标准差值的平均值。柱的高低表示该土地类型对应的地下水位埋深变化波动的大小。由图1可知,相对于其它土地类型盐渍化地区潜水埋深变化波动较大,埋深变化标准差高值区为盐渍地高发区。

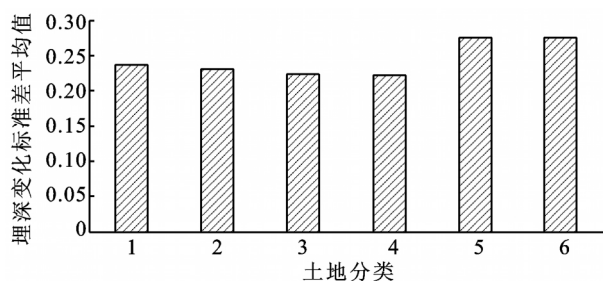


图1 土地分类区内埋深变化标准差平均值变化

4 结论与讨论

本文运用ArcGIS内插和标准差单元统计方法分析研究区2000—2009年及2009年播种期前后地下水位埋深时空变化规律;应用ERDAS提取该区2002年10月、2006年10月、2009年10月和2003年4月TM遥感影像中盐渍地等相关土地类型信息;采用ArcGIS生成转移矩阵分析2002—2006年、2006—2009年及2002年10月至2003年4月研究区盐渍地

的来源、去向、变化速率和产生原因;利用ArcGIS邻域统计和分类区统计分析方法对该区埋深和盐渍地时空分布进行联合分析,研究该区盐渍地变化趋势和主导因素。

(1)山东省德州市齐河县潜水埋深受河流、灌溉和气候影响显著,埋深变化区域性差异较大。浅埋区多临近河流或地势低洼,埋深变化标准差值相对较小。埋深标准差值较大地区多分布在高埋深区,此类区多因灌溉期大量灌水导致地下水位大幅度上升,埋深变化较大。

(2)山东省德州市齐河县盐渍地时空分布变化较大。2002—2006年盐渍地年均变化率为0.57%;2006—2009年盐渍地年均变化率为15.26%;2002年10月至2003年4月齐河县由丰水期到枯水期过程中,盐渍地月均变化率为-3.75%。通过对转移矩阵分析发现,盐渍地的变化是通过与湿地和非盐渍化裸地间的相互转化表现的。丰水期与枯水期的转变,表现在水域和非盐渍化农田的面积变化,进而调控湿地和非盐渍化裸地的变化,从而改变盐渍地的面积和程度。枯水期向丰水期转化时,盐渍地总体范围减小,但重度盐渍地面积增大;丰水期向枯水期转化时,盐渍地总体范围扩大,但重度盐渍地面积减小。推测这种变化与当地长期引水灌溉方式的影响有关。

(3)山东省德州市齐河县盐渍地的形成是一个长期的过程,其分布在浅埋区或埋深变化标准差高值区,表明埋深是影响盐渍地发展变化的主要因素。由于该研究区水资源配置不合理、灌溉方式不科学等原因,埋深变化向着导致土地盐渍化加重的方向发展。因此,为了达到挖掘研究区农业开发利用潜力、改善农田土地利用现状、改良盐渍化土地的目的,从调控地下水位埋深角度出发,科学合理优化配置水资源,改进现有灌溉方式势在必行。

参考文献:

- [1] 刘江,李昕,张长江. 山东省浅埋区地下水环境优化研究[J]. 中国农村水利水电, 2005(3): 43-45.
- [2] 张义丰,姜德华,高军,等. 山东省德州市农业可持续发展的途径与模式[J]. 安徽农业科学, 2005, 33(12): 2406-2413.
- [3] 杨建强,罗先香. 土壤盐渍化与地下水动态特征关系研究[J]. 水土保持通报, 1999, 19(6): 11-15.
- [4] 李法虎, Benhur M, Keren R. 劣质水灌溉对土壤盐碱化及作物产量的影响[J]. 农业工程学报, 2003, 19(1): 63-66.
- [5] 姚荣江,杨劲松. 基于电磁感应仪的黄河三角洲地区土壤盐分时空变异特征[J]. 农业工程学报, 2008, 24(3): 107-113.

5.2 讨论

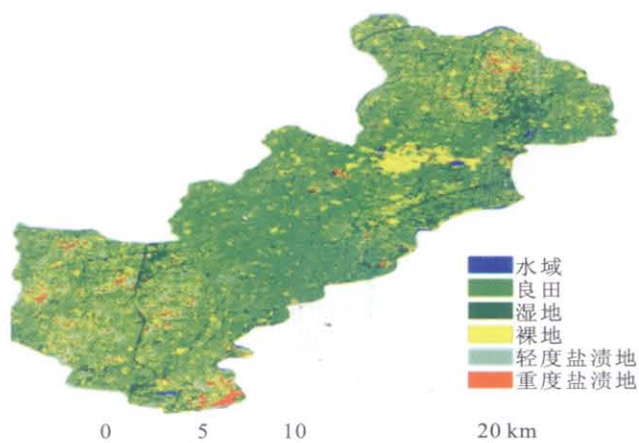
本文突破了以往的水土保持三大措施综合配置的研究思路,探索出了黑土区小流域可持续经营道路,取得了良好的治理成效,但有待进一步的使用水土保持科技监测技术,在各项治理措施全部生效年进行水土保持效益定量分析。

参考文献:

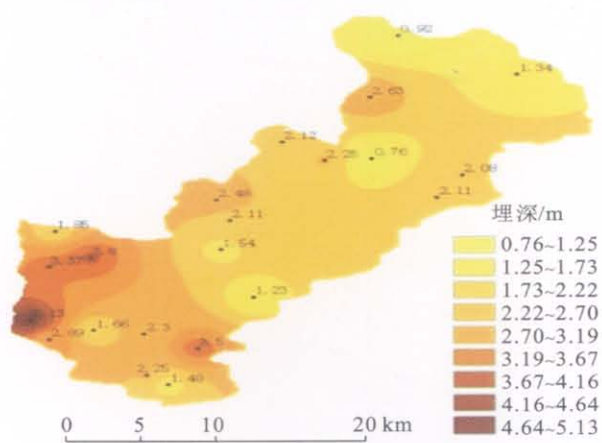
- [1] 王礼先. 小流域综合治理的概念与原则[J]. 中国水土保持, 2006(2): 16-17.
- [2] 高圭, 常磊, 刘世海. 山区小流域综合治理可持续发展指标体系及其评价初探[J]. 水土保持通报, 2003, 23(4): 72-74.
- [3] 董仁才, 余丽军. 小流域综合治理效益评价的新思路[J]. 中国水土保持, 2008(11): 22-24.
- [4] Bergsma E. Incentives of land users in projects of soil and water conservation, the weight of intangibles[J]. GeoJournal, 2000, 50(1): 47-54.
- [5] Grewal S, Mittal S, Dyal S, et al. Agroforestry systems for soil and water conservation and sustainable production from foothill areas of north India [J]. Agroforestry Systems, 1992, 17(3): 183-191.
- [6] 曹江源, 于杰. 浅谈“3S”技术在水土保持工作中的应用[J]. 水土保持研究, 2003, 10(4): 168-169.
- [7] 许静. 基于 GIS 的黑土区小流域综合治理效益评价信息系统[D]. 哈尔滨: 东北林业大学, 2010.
- [8] 郑英荣, 丁瑞军. 应用生物措施治理阜新县水土流失问题的探讨[J]. 防护林科技, 2006(4): 96-97.
- [9] 李凤荣, 张凤勇. 阜新市黑土区水土流失防治措施[J]. 东北水利水电, 2011(1): 60-61.
- [10] 许靖华, 李成杰, 吕志学, 等. 侵蚀山区水土保持与可持续发展的理论思索[J]. 黑龙江水利科技, 2002(4): 13-15.
- [11] 李岩, 王立群. 小流域综合治理及其效益评价研究进展[J]. 北京林业大学学报: 社会科学版, 2008, 7(3): 62-66.
- [12] 李国强. 东北黑土区水土流失综合治理模式研究[D]. 武汉: 华中农业大学, 2009.
- [13] 王振颖. 辽宁省小流域生态特点与治理模式的探讨[J]. 水土保持研究, 1997, 4(4): 117-120.
- [14] 孙国文. 马家台小流域综合治理工程综合效益分析[J]. 甘肃农业, 2005(11): 113.
- [15] 范建荣, 潘庆宾. 东北典型黑土区水土流失危害及防治措施[J]. 水土保持科技情报, 2002(5): 36-38.
- [16] 许静, 王玉玺, 樊华. 东北黑土区小流域综合治理措施及效益评价: 以振祥小流域为例[J]. 中国水土保持科学, 2010, 8(4): 95-100.
- [17] 杨滇平, 王军, 张根锁. 香沟流域综合治理的水土保持效益分析[J]. 山西水土保持科技, 2006(1): 13-15.
- [18] 段海侠, 李靖. 莫古沟小流域水土保持综合治理及效益分析[J]. 辽宁工程技术大学学报: 自然科学版, 2009, 18(S2): 223-225.
- [19] 吴泉源, 徐秋晓, 方学蜜, 等. 基于 Virtual GIS 技术的龙口市流域综合治理研究[J]. 国土资源遥感, 2005(1): 57-60.
- [20] 马根录, 吴遵雄. 湖北省“长治”工程水土保持前期工作存在问题探讨[J]. 水土保持通报, 2008, 28(6): 177-179.
- [21] 姚文波, 刘文兆, 赵安成, 等. 水土保持效益评价指标研究[J]. 中国水土保持科学, 2009, 7(1): 112-117.
- [22] 董仁才, 余丽军. 小流域综合治理效益评价的新思路[J]. 中国水土保持, 2008(11): 22-24.
- [23] 陈维杰. 水土保持综合治理措施效益分析: 以浑槽河流域为例[J]. 水利经济, 2006, 24(2): 22-25.
- [24] 李智广, 李锐. 小流域治理综合效益评价方法刍议[J]. 水土保持通报, 1998, 18(5): 20-22.
- [25] 水利部. 水土保持小流域治理办法(草案)[J]. 中国水土保持, 1980(1): 1-2.
- [26] 李成杰, 陆洪斌, 许靖华, 等. 浅谈水土保持效益计算中存在问题及解决途径[J]. 水土保持通报, 2000, 20(3): 29-30.

(上接第 161 页)

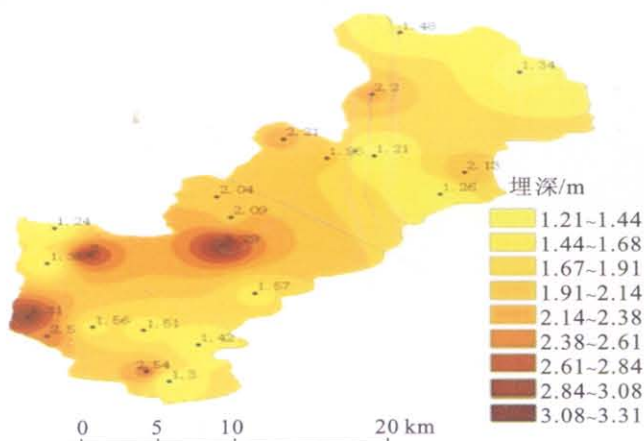
- [6] 姚荣江, 杨劲松. 黄河三角洲地区浅层地下水与耕层土壤积盐空间分异规律定量分析[J]. 农业工程学报, 2007, 23(8): 45-51.
- [7] 周在明, 张光辉, 王金哲, 等. 环渤海微咸水区土壤盐分及盐渍化程度的空间格局[J]. 农业工程学报, 2010, 26(10): 15-20.
- [8] 吕桂军, 康绍忠, 张富仓, 等. 盐渍化土壤不同入渗条件下水盐运动规律研究[J]. 人民黄河, 2006, 28(4): 52-54.
- [9] 郭娇, 石建省, 石迎春, 等. 黄河三角洲土壤水分遥感监测研究[J]. 土壤学报, 2008, 45(2): 229-233.
- [10] 王静, 刘湘南, 黄方, 等. 基于 ANN 技术和高光谱遥感的盐渍土盐分预测[J]. 农业工程学报, 2009, 25(12): 161-166.
- [11] 高佩玲, 雷廷武, 张石峰. 新疆阿图什哈拉峻地区地下水系统模型研究[J]. 水利学报, 2004(4): 61-66.
- [12] 李毅, 王文焰, 王全九, 等. 非充分供水条件下滴灌入渗的水盐运移特征研究[J]. 水土保持学报, 2003, 17(1): 1-4.
- [13] 李晓明, 杨劲松. 黄淮海平原典型区域耕地盐碱障碍诊断指标研究[J]. 灌溉排水学报, 2010, 29(4): 56-58.
- [14] 孙丹峰, 李红. 民勤绿洲荒漠化遥感评价研究[J]. 农业工程学报, 2002, 18(6): 176-181.
- [15] Forkutsa I, Sommer R, Shirokova Y I, et al. Modeling irrigated cotton with shallow groundwater in the Aral Sea Basin of Uzbekistan: II. Soil salinity dynamics[J]. Irrigation Science, 2009, 27(4): 319-330.
- [16] Gowing J W, Rose D A, Ghamarnia H. The effect of salinity on water productivity of wheat under deficit irrigation above shallow groundwater[J]. Agricultural Water Management, 2009, 96(3): 517-524.



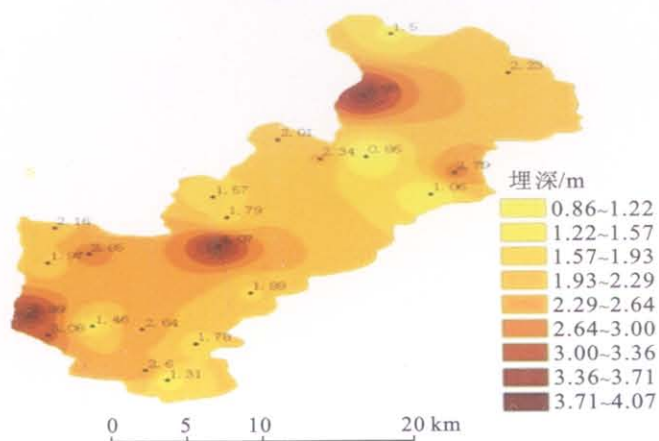
附图8 齐河县2009年9月遥感土地分类



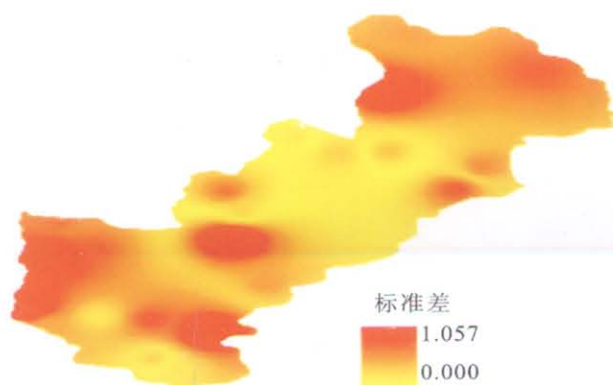
附图9 齐河县2000年地下水位埋深内插



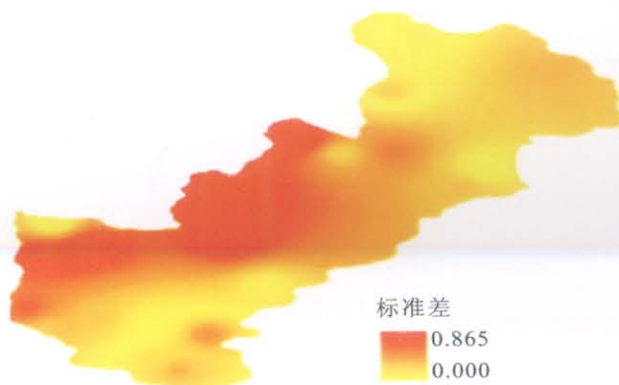
附图10 齐河县2005年地下水位埋深内插



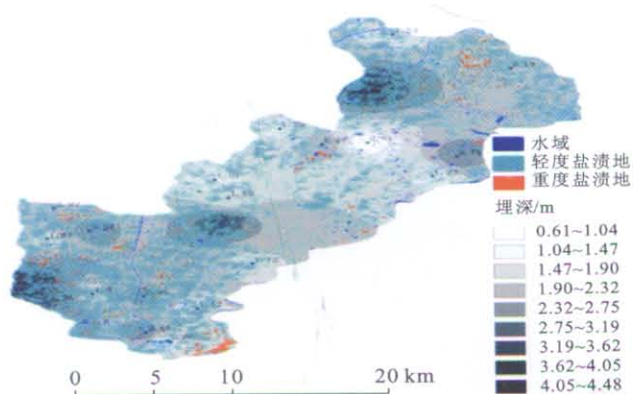
附图11 齐河县2009年地下水位埋深内插



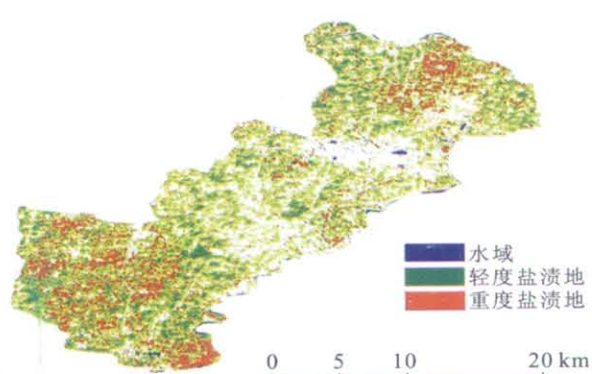
附图12 2000-2009年埋深标准差统计



附图13 2009年播种期前后埋深标准差统计



附图14 2009年9月22日盐渍地分布与地下水位埋深合成



附图15 齐河县2009年盐渍地分布邻域统计