

引用格式:程文仕,姚尧,黄鑫,等. 基于生态风险空间差异的土地整治投入优先序研究[J]. 资源科学, 2018, 40(10): 2073-2084. [Cheng W S, Yao Y, Huang X, et al. Priority of land remediation based on spatial differences of the ecological risk[J]. Resources Science, 2018, 40(10): 2073-2084.] DOI :10.18402/resci.2018.10.15

基于生态风险空间差异的土地整治投入优先序研究

程文仕,姚尧,黄鑫,焦云腾

(甘肃农业大学管理学院,兰州 730070)

摘要:近年来,中国各地投入了大量资金实施土地整治项目,取得了显著成效,但在安排项目及其资金投入的先后顺序方面,缺乏科学的依据和标准,已成为土地整治中亟待解决的问题。本文以甘肃省华池县为例,在“十三五”土地整治规划(2016—2020年)确定的整治潜力的基础上,运用相对风险模型(RRM模型),对华池县15个乡镇的生态风险空间差异进行评价,确定土地整治投入优先序。结果显示:①华池县土地整治生态风险划分为低风险区、中风险区、较高风险区、高风险区4个等级;②土地整治投入优先序划分为整治优先投入区、一般投入区、投入紧缩区、限制投入区,并从管控风险的角度提出各区域未来土地整治的重点方向和注意问题。研究表明:运用相对风险模型(RRM模型)评价生态风险更符合土地整治工程建设实际,在此基础上确定的土地整治优先序符合西部生态环境脆弱区实际情况,在确定土地整治资金投入顺序中是一种较好的方法。

关键词:土地整治;生态风险;相对风险模型(RRM);投入顺序;华池县

DOI :10.18402/resci.2018.10.15

1 引言

中国自1997年大力推行土地整治工作以来^[1],全国各地投入了大量资金实施土地整治项目,不仅提高了土地利用率、增加了耕地面积、提高了耕地质量、改善了农村生产生活条件,而且有效地缓解了中国工业化、城镇化带来的耕地保护压力和粮食安全问题^[2,3],在优化土地利用结构和城乡统筹发展等方面发挥了重要的作用^[4],取得了显著的社会、经济和生态效益^[5-7]。《全国土地整治规划(2016—2020年)》^[8]明确了十三五期间将投入1.7万亿元整治土地,投资力度更大。

2016年《土地整治蓝皮书:中国土地整治发展研究报告No.3》^[9]明确了未来中国土地整治转型的方向,理念将从“注重数量”到树立“数量、质量、生态、人文”四位一体的方向转变,目标将从“保护耕地”到实现“优化三生”的转变,生态环境建设成为

土地整治的必然目标,对于西部生态环境脆弱区,土地整治更应以保持和改善区域生态环境为首选目标。因此,开展土地整治规划生态风险评价,合理安排和确定整治的优先顺序,是管控生态风险,有效开展土地整治的重要前提,然而目前还没有从生态风险的角度确定土地整治投入优先序的研究报道。

近年来,学者针对土地整治优先序进行了一定的研究,较为典型的有谢向向等采用DEA模型确定土地整治投入优先序^[10]、李克宇基于主成分分析法的土地整治优先度评价^[11]、王东等运用综合评价系数法确定耕地整治优先度^[12]、程文仕基于土地整治绩效空间差异和潜力分级的投入优先序的研究^[13]。但这些研究成果均未从生态风险前置控制的角度考虑投入优先序问题,不利于生态环境的恢复与重建。

国内学者针对一定区域开展生态风险评价的研究成果较多^[14-16],2005年臧淑英等首次将生态风

收稿日期:2017-04-26;修订日期:2018-04-02

基金项目:甘肃农业大学科技创新基金—学科建设基金资助(GSAU-XKJS-2018-090);国家社科基金西部项目(10XJY031)。

作者简介:程文仕,男,陕西南郑人,副教授,主要研究方向为土地调查与评价、土地利用与规划、土地整治工程。E-mail: tgchwhsh@163.com

险评价应用于土地利用领域的研究^[17],喻光明等从水、土、生物三方面选取土地退化指数、水土流失治理率等14项指标,评价土地整理生态风险^[18],吴金华等建立相对风险模型(Relative Risk Model, RRM)对神木县土地整治规划生态风险进行了评价^[19],这些成果对于深入研究土地生态风险具有重要意义。

本文以西部生态脆弱区的甘肃省华池县为例,为合理安排土地整治项目的优先顺序,运用相对风险模型(RRM),对华池县土地整治规划的生态风险进行评价,在此基础上,确定土地整治项目的投入优先顺序,并提出不同类型区土地整治生态风险管控策略,为未来土地整治项目安排和实施提供依据和参考。

2 研究区概况、数据来源与研究方法

2.1 研究区概况

华池县位于甘肃省庆阳市东北部,下辖15个乡镇,111个行政村。全县2015年底总人口13.27万人,土地总面积为3790.95km²,其中农用地面积为245 260.57hm²,建设用地面积为6691.44hm²,其他土地面积为127 143.42hm²。华池县地处黄土高原腹地,地势北高南低,地貌以黄土梁峁丘陵、残塬沟壑和河川阶地为主,地形以山地为主,山、川、塬兼有,梁峁沟壑纵横;土壤类型东部主要为灰褐土区、南部为黄绵土—黑垆土区、北部为黄绵土区;县域内主要河流以子午岭为界分泾河、洛河两大水系;地处温带半湿润、半干旱气候过渡区,日照充足,光能丰富,气温适中,但光、热、水年内分配不均,地域性气候差异显著,西北部干旱,东部林区湿润;干旱、霜冻、冰雹、暴雨等自然灾害多发;石油资源在全县各乡镇均有分布,是长庆油田在陇东的主要产油区。

2.2 数据来源

华池县和各乡镇土地利用现状数据来源于华池县国土资源局2015年的华池县土地利用现状更新调查数据库;全县风险源面积数据来源于华池县国土资源局的华池县土地整治规划(2016—2020年),各乡镇风险源面积数据采用ArcGIS对华池县土地整治规划(2016—2020年)数据库中的土地整治潜力区按乡镇统计面积;其他相关生态环境、经济、社会等资料来源于《华池县统计年鉴2015》^[20]。

2.3 研究方法

相对风险模型(RRM)是由Landis等于1997年

提出的一种区域复合压力风险评价模型^[21],该模型具有快捷、结果易于量化等特点^[22],经过20年的发展,已成功应用于水域和陆地生态环境等多学科领域^[23-25]。本文的研究方法具体评价过程如下:

(1)生境、风险源、受体的确定。从甘肃省(尤其华池县)近年来土地整治项目的实施情况看,多为整域性综合整治,风险源选取农用地整理、农村居民点整理、土地开发和土地复垦。生境确定为土地整治工程实施影响较大的耕地、林地、牧草地、采矿用地、农村居民点和未利用地6种地类。

华池县土地整治无疑会为有效增加耕地面积、统筹城乡发展等发挥重大的积极作用,但具体项目的实施又必然会对项目实施区域及其周边的生态环境产生一定的负面影响。这些负面影响主要表现在:土地平整工程导致表层土壤结构和性状发生根本改变、施工中机械对土壤的压轧造成土壤板结,从而引起景观格局的结构和功能变化;排水工程(无灌溉条件)和田间道路工程中混凝土或砂砾石阻断地下环境的水热交换途径,在一定程度上扰乱原有生态系统结构等,水环境发生改变、生物多样性受损。从风险源的角度看:农用地整理和土地开发项目改变了原有土地利用格局或方式,可能威胁原有生物物种的生存环境,使得物种多样性受损和外来生物入侵;农村居民点整理和土地复垦项目的实施涉及到土地平整、填埋、甚至是炸药爆破等措施,会造成大量的固体废弃物,出现扬尘,使PM2.5升高,也可能排放污水、废气等对水气环境造成危害,致使生物生存环境面临威胁;废弃石油井场的复垦,需要采用化学、工程和生物等措施对原油污染进行治理,可能产生或遗留一定的有毒物质,影响土壤质量和水环境等;另外工程施工过程中,推土机、运输车等机械装备排放尾气、可能漏油、土石遗落等均可加重生态风险。因此,将生态受体确定为:土壤、水环境、生物多样性、景观格局。

(2)风险小区划分。华池县各地地貌特征较为相似,多以残垣或梁卯沟壑这些微地形呈现重复式组合结构,占总面积79.49%的坡地(>25°)均为林地、草地和其他生态用地。现状耕地等可整治土地主要分布在残垣的塬面、沟壑的河谷川区及边缘,地面起伏不大,微地形较为相似,按照能够获取的

2018年10月

资料难以从斑块尺度找出各图斑的差异,加之华池县土地整治项目的实施管理和权属调整等均以乡镇为主体,本研究以乡(镇)为单位划分风险小区,每一风险小区的整治潜力见表1。

(3)构建概念模型。风险源释放胁迫因子,胁迫因子通过生态环境的变化而作用于生态受体,生态受体对胁迫因子的干扰做出响应。基于这一过程,建立土地整治规划生态风险暴露-响应概念模型(表2),反映风险源-生境-生态受体之间的暴露-响应路径。

(4)风险源密度与生境丰度。根据统计所得到的各类风险源与生境的面积,采用各风险小区内风险源(生境)面积占该区所有风险源(生境)总面积百分比与研究区内该风险源(生境)最大面积百分比的比值,计算各风险小区的风险源密度(S_{ij})和生境丰度(H_{ik})^[19,27]。

(5)暴露系数。采用“区域压力源密集度分析”的方法^[28],用生境中某风险源面积与该生境总面积的比值计算土地整治规划风险源对生境的暴露系数(X_{jk})。暴露系数测算结果见表3。

表1 华池县各风险小区的土地整治潜力汇总

Table 1 The land consolidation potential of each risk areas in Huachi County

(hm²)

乡镇名称	农用地整理	农村居民点整理	土地复垦	土地开发	乡镇名称	农用地整理	农村居民点整理	土地复垦	土地开发
南梁乡	324.51	19.17	11.10	8.45	白马乡	474.60	28.04	16.24	12.37
王咀子乡	327.26	19.34	11.20	8.53	柔远镇	480.57	28.39	16.44	12.52
乔川乡	352.60	20.83	12.06	9.19	城壕乡	546.48	32.29	18.70	14.24
山庄乡	388.58	22.96	13.29	10.12	五蛟乡	566.30	33.46	19.37	14.75
悦乐镇	405.93	23.98	13.89	10.58	元城镇	623.04	36.81	21.32	16.23
怀安乡	442.65	26.15	15.14	11.53	紫坊畔乡	909.27	53.73	31.11	23.70
乔河乡	458.07	27.06	15.67	11.93	林镇乡	1 040.72	61.49	35.61	27.11
上里塬乡	463.67	27.40	15.86	12.08	合计	7 804.25	461.10	267.00	203.33

表2 华池县土地整治规划生态风险暴露-响应概念模型

Table 2 The Ecological Risk Exposure-response Concept Model in land remediation planning in Huachi County

生境	风险源释放的胁迫因子				生态受体的响应方式			
	农用地整理	农村居民点整理	土地开发	土地复垦	土壤质量	水环境	生物多样性	景观格局
耕地	D,C,ES				LC,SF	G,SC,WP	M,DP	S,SW
林地	D,C,ES				LC,SF	SC,WP	M,DP	S,F,SW
牧草地	D,C,ES				LC,SF	SC,WP	M,DP	S,F,SW
采矿用地				D,S,T,WS	SF	G,WP		SW
农村居民点		D,C,WS			SF	G,WP		SW
未利用地	D,C,ES,N		D,C,ES,N		LC,SF	G,SC,WP	M,DP	S,F,SW

注:D为扰动、C为污染、ES为外来生物入侵、N为营养物质、WS为固体废弃物等;LC为土壤污染、SF为土壤肥力下降、SC为水文结构改变、G为地下水位下降、WP为水体污染、M为生物多样性、DP为生物分布格局、SW为景观稳定性减弱、S为景观单一化、F为景观破碎化。

表3 华池县各类风险源对不同生境的暴露系数

Table 3 Exposure factors of different types of risk sources to different habitats in Huachi County

生境	农用地整理	农村居民点整理	土地开发	土地复垦
耕地	1.61			
林地	0.00			
牧草地	0.01			
采矿用地				9.22
农村居民点		1.60		
未利用地	0.02		0.04	

注:①因用公式直接计算所得结果太小,为便于计算,将计算结果整体扩大了10倍;②表中采矿用地复垦的暴露系数偏高是因为复垦对象为废弃石油井场用地,规模小而分散、所处区域条件复杂、污染土层难以处理等特点,符合区域实际。

(6)响应系数。响应系数的确定参考刘晓的方法^[29],用“弱、较弱、中、较强、强”五种不同影响程度来表示风险源的响应程度,分别赋值为:“0.1、0.3、0.5、0.7、0.9”,在充分征求甘肃省及华池县农业、环保、国土、水保等部门21位专家意见的基础上,根据各乡镇对各类生境利用程度的不同,通过对比分析确定相应的响应系数(表4)。

(7)构建RRM模型。将风险表征时需要的风险源密度、生境丰度、暴露系数和响应系数4个值进行累积求和测算相对风险值^[10,30]。其相对风险值计算为:

$$RS_i = \sum_{j, k, m} S_{ij} \cdot H_{ik} \cdot X_{jk} \cdot E_{km} \quad (1)$$

式中RS_i表示第i个乡镇的相对风险值;j表示风险

源;k表示生境类型;m表示生态受体类型;S_{ij}表示风险源密度;H_{ik}表示生境丰度;X_{jk}表示暴露系数;E_{km}表示响应系数。

3 结果及分析

3.1 生态风险分析

构建RRM模型,经过分析测算,可以得到风险源相对风险值(图1a)、生境相对风险值(图1b)和生态受体相对风险值(图1c)。

3.1.1 风险源相对风险分析

从风险源相对风险值(图1a)可以看出:各乡镇土地整治风险差别较大,农用地整理的相对风险值在0.03~2.31之间,农村居民点整理的相对风险值在0.03~0.56之间,土地开发的相对风险在0~0.04之

表4 华池县各乡镇生境-生态受体响应系数

Table 4 The response coefficient of habitat and ecological receptors in different towns in Huachi County

乡镇	生境	各生态受体的暴露方式及响应系数				合计
		土壤	水环境	生物多样性	景观格局	
白马乡、	耕地	LC,SF:0.5	G,SC,WP:0.3	M,DP:0.3	S,SW:0.5	1.6
乔河乡、	林地	LC,SF:0.7	SC,WP:0.5	M,DP:0.3	S,F,SW:0.5	2.0
城壕镇、	牧草地	LC,SF:0.3	SC,WP:0.3	M,DP:0.5	S,F,SW:0.3	1.4
柔远镇	采矿用地	SF:0.1	0	0	SW:0.3	0.4
	农村居民点用地	SF:0.1	0	0	SW:0.3	0.4
	未利用地	LC,SF:0.3	G,SC,WP:0.3	M,DP:0.3	S,F,SW:0.3	1.2
元城镇、	耕地	LC,SF:0.5	G,SC,WP:0.3	M,DP:0.5	S,SW:0.5	1.8
五蛟镇、	林地	LC,SF:0.5	SC,WP:0.3	M,DP:0.5	S,F,SW:0.3	1.6
乔川乡	牧草地	LC,SF:0.5	SC,WP:0.3	M,DP:0.3	S,F,SW:0.5	1.6
	采矿用地	SF:0.1	0	0	SW:0.3	0.4
	农村居民点用地	SF:0.1	0	0	SW:0.3	0.4
	未利用地	LC,SF:0.5	G,SC,WP:0.3	M,DP:0.3	S,F,SW:0.3	1.4
山庄乡、	耕地	LC,SF:0.3	G,SC,WP:0.3	M,DP:0.7	S,SW:0.5	1.8
林镇乡、	林地	LC,SF:0.5	SC,WP:0.1	M,DP:0.7	S,F,SW:0.5	1.8
紫坊畔乡、	牧草地	LC,SF:0.5	SC,WP:0.3	M,DP:0.5	S,F,SW:0.3	1.6
上里塬乡、	采矿用地	SF:0.1	0	0	SW:0.3	0.4
王咀子乡	农村居民点用地	SF:0.1	0	0	SW:0.3	0.4
	未利用地	LC,SF:0.3	G,SC,WP:0.3	M,DP:0.3	S,F,SW:0.3	1.2
	耕地	LC,SF:0.7	G,SC,WP:0.5	M,DP:0.3	S,SW:0.5	2.0
悦乐镇、	林地	LC,SF:0.3	SC,WP:0.5	M,DP:0.3	S,F,SW:0.5	1.6
南梁镇	牧草地	LC,SF:0.3	SC,WP:0.3	M,DP:0.5	S,F,SW:0.3	1.4
	采矿用地	SF:0.1	0	0	SW:0.3	0.4
	农村居民点用地	SF:0.1	0	0	SW:0.3	0.4
	未利用地	LC,SF:0.3	G,SC,WP:0.3	M,DP:0.3	S,F,SW:0.3	1.2

注:①概念模型所给的生境-生态受体相应路径不存在时,响应系数为0;②表中对生境-生态受体响应系数相同的乡镇进行了归类;③表中符号含义同表2。

2018年10月

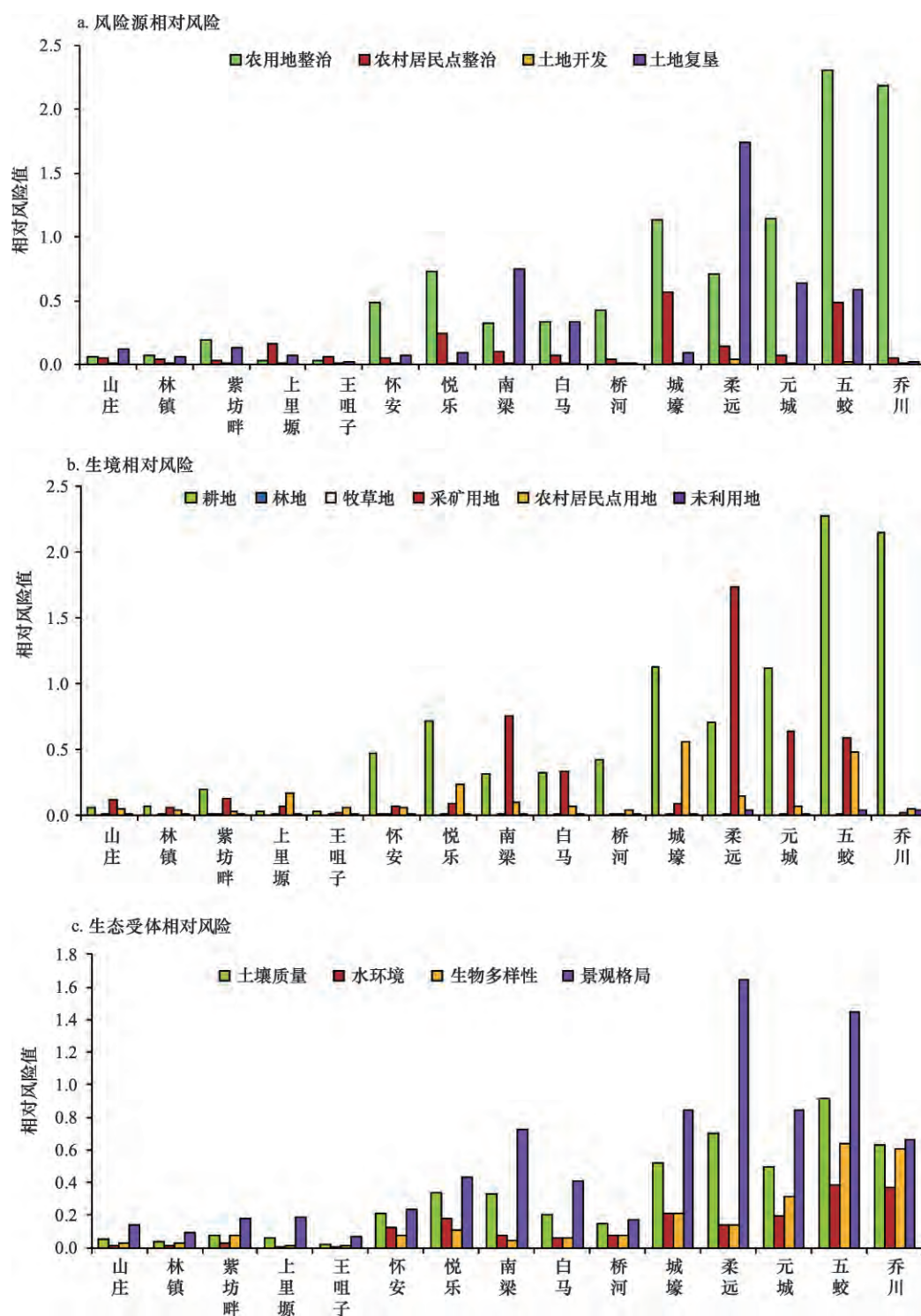


图1 华池县土地整治规划相对生态风险值

Figure 1 The relative ecological risk value of land remediation planning in Huachi County

间,土地复垦的相对风险值在0.01~1.74之间;农用地整理对生态环境造成的风险较大,明显高于农村居民点整理、土地开发和土地复垦造成的风险,农村居民点整理和土地复垦对生态环境造成的风险

相差不大,二者没有明显的高低之分,但都明显高于土地开发造成的风险,土地开发主要是对零星的其他草地或裸地的开发,造成的风险很小(均在0.04以下),可近似地认为没有风险。

3.1.2 生境相对风险分析

从生境相对风险值(图1b)可以看出:土地整治对耕地生境的影响最大,在0.03~2.28之间,次之是采矿用地(0.01~1.74)和农村居民点(0.03~0.56),对林地、牧草地和未利用地的影响较小,均在0.04以下,可近似的认为没有风险。其中:五蛟镇、乔川乡、城壕镇、元城镇、悦乐镇和柔远镇6个乡镇土地整治对耕地生境造成的压力较大(分别是2.28、2.15、1.13、1.12、0.72、0.71);柔远镇、南梁镇、元城镇、五蛟镇4个乡镇土地整治对采矿用地生境造成的压力较大(依次是1.74、0.75、0.63、0.59);城壕镇、五蛟镇2个乡镇土地整治对农村居民点生境造成的压力较大(依次是0.56、0.48)。在土地整治中需要科学实施各项工程,防止对耕地、采矿用地和居民点生境的破坏。

3.1.3 生态受体相对风险分析

从生态受体相对风险值(图1c)可以看出:土地整治对景观格局造成的风险(0.07~1.64之间)均最高,明显高于对土壤质量、水环境和生物多样性的影响,对土壤质量造成的风险(0.02~0.92之间)高于对水环境和生物多样性的影响,生物多样性受到的风险(0.01~0.64之间)明显高于水环境受到的风险(0.01~0.39之间),这符合旱作雨养农业区(无灌溉条件)的实际情况。从各乡镇的情况来看:柔远镇、五蛟镇、城壕镇、元城镇、南梁镇、乔川乡6个乡镇的景观格局受到的风险较大(依次为1.64、1.45、0.85、0.85、0.72、0.66);五蛟镇、柔远镇、乔川乡、城壕镇、元城镇5个乡镇的土壤质量受到的风险较大(依次为0.92、0.70、0.63、0.52、0.50);五蛟镇、乔川乡2个乡镇的生物多样性受到的风险较大(依次为0.64、

0.61);五蛟镇、乔川乡2个乡镇的水环境受到的风险较大(依次为0.39、0.37)。土地整治中需要对风险较大乡镇的景观格局、土壤质量、生物多样性和水环境进行保护,确保生态受体不受破坏。

3.2 生态风险空间差异分析

华池县各乡镇的情况差别较大,农用地整理、农村居民点整理和土地复垦对各乡镇造成的生态风险差别较大(土地开发风险在0.04以下,不考虑其风险的空间差异),将他们划分为4个风险级别(表5),其空间差异明显(图2)。

(1)根据农用地整理风险空间差异(图2a)可以看出:五蛟镇、乔川乡、元城镇、城壕镇、悦乐镇和柔远镇6个乡镇受到农用地整理造成的生态压力较大且依次递减(分别是2.31、2.19、1.15、1.13、0.73、0.71)。说明五蛟镇和乔川乡2个乡镇的农用地整理风险过大,应限制或紧缩农用地整理规模;元城镇和城壕镇2个镇属于农用地整理较高风险区,应严格农用地整理工程建设管理,在这些农用地整理风险较大的区域实施土地整治应强化土壤恢复与地力保持工程,严格农田防护林等生态廊道建设,保护耕地质量。

(2)根据农村居民点整理风险空间差异(图2c)可以看出:城壕镇、五蛟镇2镇受到农村居民点整理造成的生态压力较大,但风险值均在0.6以下(依次是0.56、0.48),这2个镇农村居民点整理生态压力相对较大,在农村居民点整理中应注重生态环境恢复与建设。

(3)根据土地复垦风险空间差异(图2b)可以看出:柔远镇、南梁镇、元城镇、五蛟镇4个乡镇受到土

表5 华池县土地整治生态风险级别

Table 5 The ecological risk level of land consolidation in Huachi County

		低风险区	中风险区	较高风险区	高风险区
农用地整理 风险级别	划分标准	$RS < 0.5$	$0.5 \leq RS < 1$	$1 \leq RS < 1.5$	$RS \geq 1.5$
	包括乡镇	白马乡、怀安乡、乔河乡、紫坊畔乡、南梁镇、山庄乡、林镇乡、上里塬乡、王咀子乡	悦乐镇、柔远镇	元城镇、城壕镇	五蛟镇、乔川乡
农村居民点 整理风险 级别	划分标准	$RS < 0.1$	$0.1 \leq RS < 0.2$	$0.2 \leq RS < 0.3$	$RS \geq 0.3$
	包括乡镇	白马乡、怀安乡、乔河乡、紫坊畔乡、山庄乡、林镇乡、王咀子乡、元城镇、乔川乡	柔远镇、上里塬乡、南梁镇	悦乐镇	五蛟镇、城壕镇
土地复垦 风险级别	划分标准	$RS < 0.25$	$0.25 \leq RS < 0.5$	$0.5 \leq RS < 0.75$	$RS \geq 0.75$
	包括乡镇	怀安乡、乔河乡、紫坊畔乡、山庄乡、林镇乡、上里塬乡、王咀子乡、悦乐镇、城壕镇、乔川乡	白马乡	元城镇、五蛟镇、南梁镇	柔远镇

2018年10月

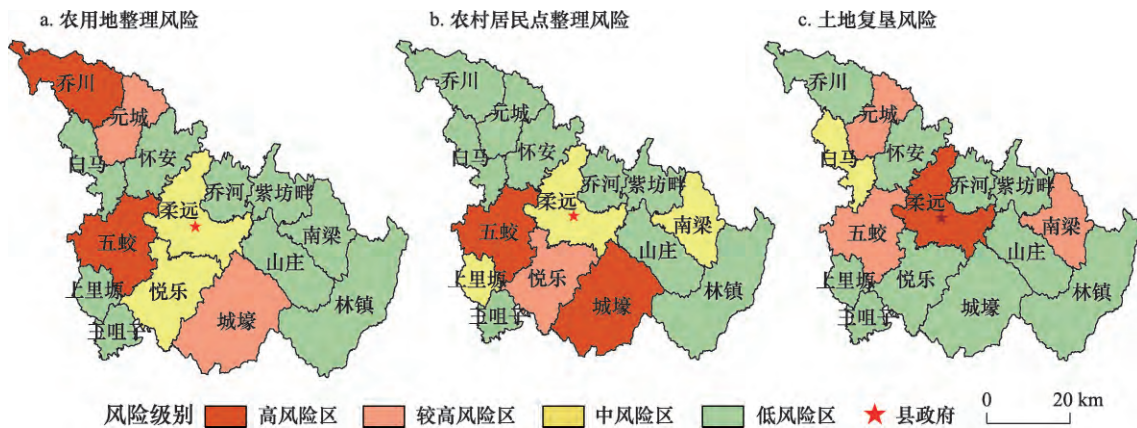


图2 华池县土地整治生态风险空间差异

Figure 2 The spatial difference of land remediation ecological risk in Huachi County

地复垦造成的生态压力较大(依次是1.74、0.75、0.63、0.59),说明柔远镇土地复垦生态压力过大,应紧缩土地复垦规模,南梁镇、元城镇、五蛟镇3个镇属于土地复垦较高风险区,应严格土地复垦工程建设管理,在这些风险较高的乡镇实施土地复垦应防治原油等污染,注重生态环境恢复与建设,保护好生物多样性和景观格局。

总体而言,从生态风险数值上看,农用地整理的风险(平均值0.687) > 土地复垦的风险(平均值0.316) > 农村居民点整理的风险(平均值0.144) > 土地开发的生态风险(平均值0.006),符合生态脆弱区实际情况,说明土地整治类型不同,生态风险空间差异不尽相同。

3.3 投入优先序

3.3.1 风险等级划分

根据华池县实际情况,土地整治实施的是整域性综合整治,土地整治生态风险由4个风险源综合决定。综合4个风险源的生态风险值,根据公式(1)计算得到各乡镇的综合相对风险值(表6)。综合相对风险值最大为五蛟镇3.39,最小为王咀子乡0.11。按照综合风险值高低,将各乡镇土地整治风险划分为四个风险等级:0~1.00为低风险区,1.00~2.00为中风险区,2.00~3.00为较高风险区,3.00以上为高风险区。

3.3.2 投入优先序确定

低风险区8个乡镇实施土地整治对生态环境的风险最小,综合风险值在0.11~0.74之间,4种风险源

的相对风险值均在0.48以下,安排土地整治项目不会造成生态环境的破坏,在土地整治中不需要优先考虑生态风险防范问题,属于土地整治优先投入区。中风险区4个乡镇实施土地整治对生态环境存在一定的风险,综合风险值在1.07~1.85之间,其中:悦乐镇、城壕镇和元城镇3个镇农用地整理风险较大,南梁镇和元城镇土地复垦风险较大,城壕镇农村居民点整理风险较大,但只要合理安排山、田、水、路、林、村各项工程,不会对生态环境产生负面影响,属于土地整治一般投入区。较高风险区2个乡镇实施土地整治对生态环境的风险较大,其中:乔川乡和柔远镇农用地整理风险依次达到2.19和0.71,柔远镇土地复垦风险达到1.74,说明该两乡镇土地整治的生态风险较大,实施土地整治项目必须首先考虑并增加生态环境保持和建设的投资力度,才能确保土地整治生态效益的实现,属于土地整治的投入紧缩区,尤其要紧缩乔川乡的农用地整理规模,紧缩柔远镇的土地复垦规模;高风险区1个镇农用地整理的风险达到2.31(最高),土地复垦和农村居民点整理的风险也较大(0.59和0.48),生态风险过高,实施土地整治项目需要为生态环境建设做出更大力度的投资,还不如自然恢复或以生态环境整治为主,确保生态环境不被破坏,属于土地整治限制投入区(表6)。

3.3.3 投入优先序的符合性分析

(1) 优先投入区为林镇乡、山庄乡、紫坊畔乡、乔河乡、王咀子乡、上里塬乡、怀安乡、白马乡8个乡镇

表6 华池县土地整治生态风险及投入优先序

Table 6 Ecological risk and investment priority partition of land consolidation in Huachi County

乡镇	农用地整理	农村居民点整理	土地开发	土地复垦	综合风险值	投入优先序
王咀子乡	0.03	0.06	0.00	0.02	0.11	优先投入区
林镇乡	0.07	0.04	0.00	0.06	0.17	
山庄乡	0.06	0.05	0.00	0.12	0.23	
上里塬乡	0.03	0.17	0.00	0.07	0.27	
紫坊畔乡	0.20	0.03	0.00	0.13	0.36	
桥河乡	0.43	0.04	0.00	0.01	0.49	
怀安乡	0.48	0.06	0.01	0.07	0.62	
白马乡	0.33	0.07	0.00	0.34	0.74	
悦乐镇	0.73	0.24	0.00	0.10	1.07	一般投入区
南梁镇	0.32	0.10	0.00	0.75	1.18	
城壕镇	1.13	0.56	0.00	0.09	1.79	
元城镇	1.15	0.07	0.00	0.63	1.85	
乔川乡	2.19	0.05	0.02	0.02	2.27	紧缩投入区
柔远镇	0.71	0.14	0.04	1.74	2.64	
五蛟镇	2.31	0.48	0.02	0.59	3.39	限制投入区

镇,这些乡镇地势较低,地面起伏相对较小,其中前4个乡土壤以灰褐土为主,其余乡镇土壤以黄绵土-黑垆土为主,相对土壤质量较好,耕地破碎化程度较低,生物多样性丰富,水资源条件较好,基础设施条件较好,土地整治条件好。

(2)一般投入区包括南梁镇、悦乐镇、城壕镇、元城镇4个镇,这4个镇地势相对较高,地面起伏不大,南梁镇土壤以黄绵土-黑垆土为主,后3个镇土壤以灰褐土为主,相对土壤质量较好,生物多样性丰富。但4个乡镇的情况不尽相同:城壕镇和元城镇地面起伏相对较大,耕地破碎化程度较高,农用地整理的风险较高;悦乐镇靠近县城,地面起伏不大,耕地集中且破碎化程度较低,人口较为集中,经济和交通区位优势明显,土地利用集约度较高,农用地整理和农村居民点整理对土壤、水资源、生物多样性的风险较高;南梁镇农用地整理风险非常小,但南梁镇是全国百个红色旅游经典景区之一、是国家级生态乡镇,保护性景观较多,难以实施农用地整理,加之待复垦废弃采矿地分散,多分布于山梁和山坡上,复垦对生物多样性和景观格局的影响较大。土地整治受到一定的风险。

(3)紧缩投入区包括乔川乡和柔远镇2个乡镇。乔川乡地面起伏较大,土壤以黄绵土为主,降水量最小,耕地质量不高,生物多样性最少,景观格

局破碎,农用地整理的生态风险高;柔远镇地面起伏较大,土壤以灰褐土为主,农用地整理风险较高,加之柔远镇是华池县县政府所在地,人口较为集中,土地利用集约度较高,待复垦废弃采矿地分散,多分布于山梁和山坡上,坡度过大,景观格局更为破碎,复垦对土壤、生物多样性的风险较高。

(4)限制投入区包括五蛟镇1个镇,地面起伏较大,土壤以黄绵土为主,土壤质量不高,生物多样性不高,景观格局破碎,生态环境脆弱,农用地整理生态风险高,加之待复垦废弃采矿地分散,多分布于山梁和山坡上,复垦的生态风险也高,待整理农村居民点分散,多分布于塬边、沟头,整理的生态风险也高。

由此可见,土地整治优先序的划分符合华池县各乡镇实际情况。

4 讨论

(1)根据华池县实际,在土地整治中,受土壤、景观格局等自然条件限制,未利用土地开发难度较大且待开发利用土地的潜力小;农村居民点整理主要是靠山窑洞复垦,由于分布零散,较少形成规模,专项整治的难度较大;土地复垦主要是零散的废弃石油井场,原有田、林、草生态系统被破坏,亟待开展废弃矿区生态环境的综合治理。在土地整治中,应加大投资力度,以大范围、区域性农用地整理为

2018年10月

主体,整合零星的土地复垦、农村居民点整理和土地开发区域,开展山田水路林村综合整治。从综合风险值的角度确定投入优先序符合实际。

(2)不同区域的土地整治的潜在风险不同,实施土地整治项目需要防治的生态风险类别不同,采取的风险管控措施不尽相同,具体而言,各区域风险管控的总体原则如下:

①优先投入区,土地整治潜在的生态风险相对最低,规划期内安排在该区的农用地整理规模最大。在进行风险管理时,要特别注重对耕地和基本农田质量的保护,优先开发利用废弃、闲置和低效利用的土地,保护森林资源,禁止乱砍滥伐。

②一般投入区,土地整治潜在的生态风险相对较低,规划期内安排在该区的农用地整理规模较大、农村居民点整理规模最大。在进行风险管理时,以现有耕地的保护和地力提高为重点,适度安排生态脆弱区坡耕地退耕还林还草,开展“迁村并点、村庄治理、退宅还田”的农村居民点整理,加大对农村废弃土地、废旧宅基地的复垦力度,促进农村建设用地节约集约利用,改善农村人居环境。

③紧缩投入区,水土保持的能力差,水土流失面积大,农业对自然灾害的抵御能力很弱,土地整治的潜在风险较高,规划期内安排在该区的各类土地整治项目较多,区域立地条件较为复杂,土壤质量较差,规划实施难度大。应减缓该区域土地整治步伐,在进行风险管理上,要始终以保护生态环境为出发点和落脚点,并提高对各种自然灾害的防治能力。

④限制投入区,地面起伏较大,地形破碎,土壤质量差,土地集约利用程度低且生态环境十分脆弱,水土流失严重,破坏性自然灾害频发,应限制土地整治资金投入,不投资或少投资土地整治,确实因为精准扶贫、生态环境建设等需要进行土地整治,在风险管理上,需强化耕作层地力保持工程(土壤质量保护),将自然恢复与各种工程措施、生物措施有机结合,使地力得到保护或提升,自然环境有所改善。

(3)实际土地整治中,因资金来源不同、整治目标不同,土地整治的类型不尽相同,生态风险空间差异不同,投入优先序也需要做适当的调整:

①确定单一的农用地整理项目投入优先序,需

将南梁镇从一般投入区调入优先投入区,将柔远镇从投入紧缩区调入一般投入区,将城壕镇和元城镇从一般投入区调入投入紧缩区,将乔川乡从投入紧缩区调入限制投入区,其余乡镇的投入优先级序不变。

②确定单一的土地复垦项目投入优先序,需保留柔远镇为投入紧缩区,保留元城镇和南梁镇为一般投入区并调整五蛟镇为一般投入区;其余优先投入级序不变,非优先投入级序的乡镇全部调入优先投入区。

③确定单一的农村居民点整理项目投入优先序,除保留城壕镇为一般投入区外,其余所有乡镇均为优先投入级序。

(4)对全县土地整治规划生态风险进行评价,涉及的范围较大且具有预测性,因数据资料贫乏,采用一般方法难度较大,而RRM模型将定性和定量相结合^[31],具有比较优势,评价结果更可靠。但研究选择的危险源主要是土地整治的4种类型,未能打破乡镇界线从干旱、地形地貌、整治地块的情况、整治对周边生态环境的影响等自然风险源的角度进行研究;研究选择的生境类型主要是针对风险源发生概率高且对华池县极具代表性的生态环境,未考虑其他类型,需在后续研究中进一步完善。

5 结论

通过土地整治生态风险评价,由生态风险高低确定土地整治的投入优先序,有利于管控土地整治的生态风险,对科学地安排山田水路林村各项工程建设内容具有重要的指导意义,有利于生态脆弱区的生态环境修复与重建,对建设美丽乡村和推进供给侧结构性改革具有基础性作用。本文主要结论如下:

(1)本文以华池县土地整治规划(2016—2020年)为研究对象,运用RRM模型,将华池县15个乡镇,确定4类风险源、6种生境类型、4种生态受体,建立生态风险暴露—响应概念模型,对各乡镇土地整治相对生态风险做了定量测算,方法科学合理。

(2)各乡镇土地整治相对风险在0.11~3.39之间,差别较大,根据相对生态风险值高低,将王咀子乡等8个乡镇划分为低风险区,悦乐镇等4个镇划分为中风险区,乔川乡等2个乡镇划分为较高风险区,五蛟镇划分为高风险区,结果与实际相符。

(3)根据相对生态风险高低,对土地整治投入优先序划分为4个层次:王咀子乡、林镇乡、山庄乡、上里塬乡、紫坊畔乡、乔河乡、怀安乡、白马乡8个乡镇为优先投入区,悦乐镇、南梁镇、城壕镇、元城镇4个镇为一般投入区,乔川乡和柔远镇2个乡镇为投入紧缩区,五蛟镇为限制投入区,这一结果符合华池县实际情况。

(4)不同投入优先序区域土地整治建设的重心不同:优先投入区土地整治项目以增加耕地、提高粮食单产为主要目标,不需专门考虑生态环境整治;一般投入区土地整治项目以增加耕地面积为主要目标,但需要加强土壤保持和景观格局建设,强化对耕地质量的保护;投入紧缩区土地整治不应以增加耕地面积为主要目标,宜林则林,宜水则水,使生境结构趋于平衡,降低整个区域的生态风险;限制投入区土地整治以生态整治为主要目标,将生物措施和工程措施结合,尽量多采用生物措施,循序渐进。总之,土地整治中要加强对生态环境的监测,及时发现生态风险并进行防治,具体防治措施需结合各区域实际情况最终确定。

参考文献(References):

- [1] 鄯宛琪,朱道林,汤怀志. 中国土地整治战略重塑与创新[J]. 农业工程学报, 2016, 32(4): 1-8. [Yun W Q, Zhu D L, Tang H Z. Reshaping and innovation of China land consolidation strategy[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2016, 32(4): 1-8.]
- [2] 刘彦随. 科学推进中国农村土地整治战略[J]. 中国土地科学, 2011, 25(4): 1-8. [Liu Y S. Scientifically promoting the strategy of reclamation and readjustment of rural land in China[J]. *China Land Science*, 2011, 25(4): 1-8.]
- [3] 管棚,金晓斌,杨绪红,等. 中国农用地整理项目安排与耕地资源分布的协调性研究[J]. 自然资源学报, 2015, 30(2): 226-234. [Guan X, Jin X B, Yang X H, et al. Study on the coordination between farmland consolidation and cultivated land resources in China[J]. *Journal of Natural Resources*, 2015, 30(2): 226-234.]
- [4] 黄辉玲,吴次芳,张守忠. 黑龙江省土地整治规划效益分析与评价[J]. 农业工程学报, 2012, 28(6): 240-246. [Huang H L, Wu C F, Zhang S Z. Benefits analysis and evaluation on land consolidation planning in Heilongjiang province[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2012, 28(6): 240-246.]
- [5] 程文仕,乔蕻强,刘学录,等. 基于AHP-DEA模型的土地整治项目规划方案比选[J]. 自然资源学报, 2017, 32(9): 1615-1626. [Cheng W S, Qiao H Q, Liu X L, et al. Comparison and selection of land consolidation planning schemes based on AHP-DEA Model[J]. *Journal of Natural Resources*, 2017, 32(9): 1615-1626.]
- [6] Cheng W S, Du Z Q, Cao C, et al. Assessing rural land consolidation based on ecosystem service: a case study of Qingyang in western China[J]. *Remote Sensing and Smart City*, 2015, 64: 423-439.
- [7] 程文仕,乔蕻强,刘志,等. 基于RAGA-PPC模型的土地整治综合效益评价-以庆阳市15个土地整治项目为例[J]. 水土保持通报, 2016, 36(4): 257-261. [Cheng W S, Qiao H Q, Liu Z, et al. Assessment of comprehensive benefits from Land remediation based on RAGA-PPC model-a case study of 15 projects in Qingyang city of Gansu province[J]. *Bulletin of Soil and Water Conservation*, 2016, 36(4): 257-261.]
- [8] 中华人民共和国中央人民政府. 国务院关于全国土地整治规划(2016-2020年)的批复[EB/OL]. (2016-12-29)[2017-04-26]. http://www.gov.cn/zhengce/content/2016-12/29/content_5153999.htm. [The Central People's Government of the People's Republic of China. The Approval of the State Council on the National Land Renovation Plan (2016-2020)[EB/OL]. (2016-12-29)[2017-04-26]. http://www.gov.cn/zhengce/content/2016-12/29/content_5153999.htm.]
- [9] 国土资源部土地整治中心. 土地整治蓝皮书: 中国土地整治发展研究报告 No. 3[M]. 北京: 社会科学文献出版社, 2016. [The Ministry of Land and Resources Land Management. Blue Book of Land Consolidation and Rehabilitation: Research Report on Land Consolidation and Rehabilitation of China No.3[M]. Beijing: Social Sciences Academic Press, 2016.]
- [10] 谢向向,张安录,杨蒙. 土地整治绩效空间差异及投入优先序[J]. 资源科学, 2016, 38(11): 2058-2071. [Xie X X, Zhang A L, Yang M. Spatial differences in land consolidation performance and investment priority in Hubei Province[J]. *Resources Science*, 2016, 38(11): 2058-2071.]
- [11] 李克宇. 基于主成分分析法的土地整治项目优先度评价研究-以格尔木市为例[D]. 兰州: 甘肃农业大学, 2012. [Li K Y. The Research on the Priority Evaluation of Land Consolidation and Rehabilitation Projects Based on Principal Component Analysis: A Case Study of Geermu City [D]. Lanzhou: Gansu Agricultural University, 2012.]
- [12] 王东,陈英,杨润慈. 黄土丘陵沟壑区耕地整治优先度及模式[J]. 资源科学, 2017, 39(2): 231-239. [Wang D, Chen Y, Yang R C. Priorities and modes of land consolidation in the Loess hilly and gully region of China[J]. *Resources Science*, 2017, 39(2): 231-239.]
- [13] 程文仕,黄鑫,刘洋,等. 基于土地整治绩效空间差异和潜力分级的投入优先序研究[J]. 水土保持通报, 2018, 38(1): 192-197. [Cheng W S, Huang X, Liu Y, et al. Input priority of spatial differ-

2018年10月

- ence and potential classification based on land remediation performance[J]. *Bulletin of Soil and Water Conservation*, 2018, 38(1): 192-197.]
- [14] 付在毅, 许学工, 林辉平, 等. 辽河三角洲湿地区域生态风险评价[J]. 生态学报, 2001, 21(3): 365-373. [Fu Z Y, Xu X G, Lin H P, et al. Regional ecological risk assessment of in the Liaohe River Delta wetlands[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2001, 21(3): 365-373.]
- [15] 许学工, 林辉平, 付在毅, 等. 黄河三角洲湿地区域生态风险评价[J]. 北京大学学报(自然科学版), 2001, 37(1): 111-120. [Xu X G, Lin H P, Fu Z Y, et al. Regional ecological risk assessment of wet land in the Huanghe River Delta[J]. *Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Pekinensis*, 2001, 37(1): 111-120.]
- [16] 卢宏伟, 曾光明, 谢更新, 等. 洞庭湖流域区域生态风险评价[J]. 生态学报, 2003, 23(12): 2521-2530. [Lu H W, Zeng G M, Xie G X, et al. The regional ecological risk assessment of the Dongting Lake watershed[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2003, 23(12): 2521-2530.]
- [17] 臧淑英, 梁欣, 张思冲. 基于GIS的大庆市土地利用生态风险分析[J]. 自然灾害学报, 2005, 14(4): 141-145. [Zang S Y, Liang X, Zhang S C. GIS based analysis of ecological risk on land-use in Daqing City[J]. *Journal of Natural Disasters*. 2005, 14(4): 141-145.]
- [18] 喻光明, 胡秀丽, 张敏, 等. 土地整理的生态风险评价[J]. 安全与环境学报, 2007, 7(6): 83-88. [Yu G M, Hu X L, Zhang M, et al. On the ecological risks assessment of the land-use rectification and reconstruction[J]. *Journal of Safe Environment*, 2007, 7(6): 83-88.]
- [19] 吴金华, 张伟, 刘小玲. 基于RRM模型的神木县土地整治规划生态风险评价[J]. 中国土地科学, 2014, 28(3): 76-82. [Wu J H, Zhang W, Liu X L. Ecological risk assessment in land reclamation plan of Shenmu County based on relative risk model[J]. *China Land Sciences*, 2014, 28(3): 76-82.]
- [20] 华池县统计局. 华池统计年鉴[M]. 花池: 华池县统计局, 2015. [Statistics Bureau of Huachi County. *Huachi Statistical Yearbook* [M]. Huachi: Statistics Bureau of Huachi County, 2015.]
- [21] Landis W G, Weigers J A. Design considerations a suggested approach for regional and comparative ecological risk assessment[J]. *Human and Ecological Risk Assessment*, 1997, 3(3): 287-297.
- [22] 颜磊, 许学工. 区域生态风险评价研究进展[J]. 地域研究与开发, 2010, 29(1): 113-118. [Yan L, Xu X G. Review on evaluation of sustainable agro-ecosystem[J]. *Areal Research and Development*, 2010, 29(1): 113-118.]
- [23] Landis W G, Weigers J A. Ten years of the relative risk model and regional scale ecological risk assessment[J]. *Human and Ecological Risk Assessment*, 2007, 13(1): 25-38.
- [24] 王常颖, 张杰, 辛红梅, 等. 基于景观格局的海岛开发潜在生态风险评价[J]. 生态学报, 2008, 28(6): 2811-2817. [Wang C Y, Zhang J, Xin H M, et al. Ecological risk assessment of island exploitation based on landscape pattern[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2008, 28(6): 2811-2817.]
- [25] Wang X L, Zhang J. A nonlinear model for assessing multiple probabilistic risks: a case study in south five-island of Changdao national nature reserve in China[J]. *Journal of Environmental Management*, 2007, 85(4): 1101-1108.
- [26] 周军英, 程燕. 农药生态风险评价研究进展[J]. 生态与农村环境学报, 2009, 25(4): 95-99. [Zhou J Y, Cheng Y. Advancement in the study of pesticides ecological risk assessment[J]. *Journal of Ecology and Rural Environment*, 2009, 25(4): 95-99.]
- [27] 张伟. 基于RRM模型的神木县土地整治规划生态风险评价[D]. 西安: 长安大学, 2014. [Zhang W. The Ecological Risk Assessment of Land Renovation Plan in Shenmu County Based on RRM Model[D]. Xi'an: Chang'an University, 2014.]
- [28] 王小龙. 海岛生态系统风险评价方法及应用研究[D]. 北京: 中国科学院研究生院, 2006. [Wang X L. Study on Risk Assessment Method and Application of Island Ecosystem[D]. Beijing: Graduate School of Chinese Academy of Sciences, 2006.]
- [29] 刘晓. 基于3S技术三峡库区生态风险评价及管理研究[D]. 重庆: 重庆师范大学, 2009. [Liu X. Study on Ecological Risk Assessment and Management of the Three Gorges Reservoir Area Operated on 3S Technology a Case Study of Kaixan Country[D]. Chongqing: Chongqing Normal University, 2009.]
- [30] 付光辉, 陈慧. 土地整理生态风险的暴露和危害分析[J]. 科技信息, 2011, (29): 39-40. [Fu G H, Chen H. Exposure and hazard analysis of ecological risk of land consolidation[J]. *Science & Technology Information*, 2011, (29): 39-40.]
- [31] 赵源, 黄成敏. 基于RRM的市级土地利用总体规划生态风险评价[J]. 长江流域资源与环境, 2015, 24(7): 1102-1109. [Zhao Y, Huang C M. Ecological risk assessment of municipal-level land-use master planning based on relative risk model[J]. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 2015, 24(7): 1102-1109.]

Priority of land remediation based on spatial differences of the ecological risk

CHENG Wenshi, YAO Yao, HUANG Xin, JIAO Yunteng

(College of Management, Gansu Agricultural University, Lanzhou 730070, China)

Abstract: For the past few years, a large amount of capital has been invested in land remediation projects across China and these have achieved remarkable results. However, urgent problems exist in land remediation projects affecting project arrangement and capital investment due to a lack of a scientific basis and standards. Here, we evaluated spatial differences in ecological risk and confirmed the priority for land remediation in 15 townships in Huachi county using the relative risk model (RRM) based on remediation potential derived from The 13th Five-year Land Remediation Plan. The results show that the ecological risk of land remediation can be divided into four grades: low risk zone, middle risk zone, higher risk zone and highest risk zone. The priority for land remediation investment should be priority input areas followed by general input areas, tightening areas and restricted areas. We put forward a prospective key direction and issues affecting land remediation from the point of view of risk management and control. Ecological risk evaluated by a RRM is more in line with the actual construction of land remediation projects, and land remediation priorities are in line with the western ecological environment fragile zone. The RRM is an ideal way to determine the arrangement of land remediation and capital investment.

Key words: land remediation; ecological risk assessment; relative risk model (RRM); risk management; Huachi County