

基于 RRM 模型的华池县土地整治规划生态风险评价

王同伟¹, 胡云龙¹, 鲁晋¹, 程文仕², 刘金荣^{1*} (1. 草地农业生态系统国家重点实验室, 农业部草牧业创新重点实验室, 兰州大学草地农业科技学院, 甘肃兰州 730020; 2. 甘肃农业大学管理学院, 甘肃兰州 730070)

摘要 以庆阳市华池县土地整治规划(2010—2020年)为研究对象,通过收集相关数据和实地勘测,运用相对风险模型,对华池县土地整治规划的生态风险进行定量测算。结果表明:高风险区主要为地形破碎、生态脆弱的丘陵沟壑区(元城、五蛟和城壕),较高风险区主要在北部丘陵沟壑区,中风险区为西南部残塬沟壑区以及子午岭丘陵沟壑区,低风险区主要位于子午岭边缘地带;所划分的4个风险小区的6类生境中,采矿用地风险值最高,其次为农村居民点用地和耕地;就生态受体而言,土壤的相对风险值最高,水环境次之,且地形越复杂则表现得越明显。从中期评估角度进行生态风险评价,以期对华池县土地整治工作有所借鉴。

关键词 土地整治;生态风险评价;相对风险模型;风险管理;华池县
中图分类号 F301.2 **文献标识码** A **文章编号** 0517-6611(2018)10-0005-05

Ecological Risk Assessment in Land Reclamation Plan of Huachi County Based on Relative Risk Model
WANG Tong-wei, HU Yun-long, LU Jin et al (Key Laboratory of Grassland Agro-ecosystems, Key Laboratory of Grassland Livestock Industry Innovation of Ministry of Agriculture, College of Pastoral Agriculture Science and Technology, Lanzhou University, Lanzhou, Gansu 730020)
Abstract The land remediation plan of Huachi County in Qingyang City (2010-2020) was taken as the research object, and the relative risk model is used to quantitatively estimate the ecological risk of land remediation planning by collecting related data and field surveys. The results showed that: The high-risk areas are mainly hilly and gully areas (Yuancheng, Wujiao and Chenghao) with fragile topography and fragile landscapes. The higher-risk areas are mainly in the northern hilly and gully areas while the middle-risk areas are the gully areas in the southwest and the hilly and gully areas in Ziwouling Mountain, low-risk areas are mainly located in the edge of the Ziwouling Mountain; Among the six habitats classified in the four risk areas, the mining land has the highest risk value, followed by the rural residential land use and cultivated land; In the case of ecological receptors, the relative risk value of soil was the highest, followed by the water environment, and the more complex the terrain, the risk was more obvious. In the mid-term evaluation respect of ecological risk assessment, with a expectation to land reclamation work in Huachi County Lessons.

Key words Land reclamation; Ecological risk assessment; Relative risk model; Risk management; Huachi County

土地整治,是指采取多种措施对田、水、路、林、村等进行综合治理和全面规划,包括土地开发和复垦,其实行区域涵盖城市和农村^[1]。土地整治的根本目的在于合理利用土地资源、提高耕地质量、确保我国粮食安全、保持耕地总量动态平衡^[2]、促进社会主义新农村建设^[3],并使农业生产条件、农村生活环境有所改善^[4],自然环境得到保护。就目前来看,在土地整治规划编制设计时,多倾向于规划区域内的耕地占补平衡和基本农田建设等的数量与规模,对土地整治活动给规划区内各种环境因素及生态系统产生的直接或间接影响^[5],并未做详尽而充分的考虑,这些影响中的不利影响和负面效应,极易造成或加剧有关土地方面的各种生态问题^[6]。曾有专家学者就此问题展开研究,但以围绕某个具体的整治项目研究的居多,且只对影响状况做出基本描述与初步介绍,缺乏系统性和全面性^[7]。鉴于此,笔者以《华池县土地整治总体规划(2010—2020年)》为例,借助相对风险模型,分析指出规划实施可能给自然环境造成的潜在风险,综合评定其危害程度和影响范围,从中期评估的角度对此次规划做出判断,这对华池县今后的土地整治规划编制及生态文明建设具有重要的理论和现实意义。

1 数据来源与研究方法

1.1 研究区概况 华池县位于甘肃省东部,地处陕、甘交界,现辖15个乡(镇),111个行政村,总人口13.3万。全县

土地总面积3 790.95 km²,其中农用地面积245 260.57 hm²,建设用地面积6 691.44 hm²,其他土地面积127 143.42 hm²。华池县地势呈北高南低,地形以山地为主,山、川、塬相间分布,梁峁林立,沟壑纵横,典型的黄土高原风貌;地貌以黄土梁峁丘陵、黄土残塬沟壑和河川阶地为主;土壤类型分布主要有东部灰褐土区、南部黄绵土-黑垆土区、北部黄绵土区;境内主要河流以子午岭为界分泾河、洛河两大水系;华池县地处温带半湿润、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、暴雨等自然灾害频发;华池作为长庆油田在陇东的主要产油区,石油资源广泛分布于全县各乡镇,主要有华池油田、城壕油田、元城油田等5个采油区,油水井4 493口,输油管线超过1 000 km。

1.2 数据来源 数据主要来源于《华池县土地整治总体规划(2010—2020年)》和《华池县各乡镇土地整治规划(2010—2020年)》以及编制规划时实地勘测结果;另外根据研究所需对华池县生态环境、社会经济等相关资料进行了补充收集。

1.3 研究方法 相对风险模型是一种适合研究区域复合压力问题的模型^[8],目前,已广泛应用于水域、海域及陆地环境等诸多研究领域,且均已证明其实用性^[9-11]。生态风险评价是一个极其复杂的过程,该研究采用相对风险模型,将土地整治规划可能造成生态风险的风险源和生境类型进行筛选,构建概念模型,进行暴露-危害分析,对已得的风险源密度、生境丰度、暴露系数和响应系数,通过相对风险公式得出各风险小区的风险值,并进行不同评价小区风险程度的分析比较^[12]。

1.3.1 风险小区划分 考虑到各类整治项目在各乡(镇)分

作者简介 王同伟(1994—),男,甘肃天水人,硕士研究生,研究方向:农村与区域发展。*通讯作者,教授,博士生导师,从事盐碱地改良与治理、草坪绿地规划设计与工程等研究。

收稿日期 2018-01-04

布情况的差异,该研究以乡(镇)作为评价单元,采用特尔斐法^[13]广泛征询甘肃农业大学土地科学系相关专家的意见,并结合不同的土地整治项目对规划区内生态环境所产生的影响,确定农用地整治、农村居民点整治、土地复垦及土地开发项目的权重,依次为0.09、0.16、0.27和0.48,根据以下公式计算各综合分值:

$$S_i = a_iw_1 + b_iw_2 + c_iw_3 + d_iw_4$$

(1)

式中, S_i 表示各乡(镇)综合分值; $a、b、c、d$ 依次为农用地整治、农村居民点整治、土地复垦、土地开发项目的规模; $w_1、w_2、w_3、w_4$ 分别表示农用地整治、农村居民点整治、土地复垦、土地开发项目的权重; i 则表示第*i*个乡(镇)。

1.3.2 生境和风险源。《华池县土地整治总体规划(2010—2020年)》主要涉及6种地类:耕地、林地、牧草地、采矿用地、农村居民点和其他农用地。土地整治规划通过整治项目的实施,对生态环境形成潜在的生态风险,在风险源的选取上,结合规划区土地整治项目类型,选取整治规模大、涉及范围广的主要风险源^[14],将其确定为3类:农用地整治、农村居民点整治和采矿废弃地复垦。

1.3.3 生态受体分析。人类活动和自然因素等风险源所产生的不利影响对自然环境造成潜在的生态风险或危害^[15],生态受体即是指生态系统中易遭受风险源产生的各种不良效应的生态实体的组成部分。

1.3.4 构建概念模型。各风险源释放出不同的胁迫因子,胁迫因子在改变生态环境的过程中作用于生态受体,同时,生态受体对胁迫因子所产生的干扰做出响应^[16],据此建立概念模型。

1.3.5 风险分析。

(1)风险源密度和生境丰度。统计各风险源和生境面积,计算方法为:各风险小区内风险源(生境)面积与研究区

内该类风险源(生境)最大面积的比值^[17]。

(2)暴露系数。该研究采用“区域压力源密集度分析”的方法进行计算^[18]。

$$X_{jk} = S_{jk}/S_k$$

(2)

式中, X_{jk} 表示暴露系数; S_k 表示生境*k*的总面积; S_{jk} 表示生境*k*中风险源*j*的面积。

(3)响应系数。通过梳理生境与生态受体之间的相关程度,以确定生态受体对风险源的响应系数。

1.3.6 风险表征。风险表征是进行生态风险评价的核心内容,根据相对风险模型计算不同风险源、生境类型和各风险小区的相对风险值,对评价小区的风险等级做出评定。

1.3.7 相对风险公式。按照相对风险公式[式(3)],对风险源密度、生境丰度、暴露系数、响应系数进行累积求和,得出各风险小区的相对风险值。

$$RS_i = \sum_{j,k,m} S_{ij} H_{ik} X_{jk} E_{km}$$

(3)

式中, RS_i 表示第*i*个风险小区的相对风险值; 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。

2 结果与分析

2.1 风险小区划分 如表1,I区(39.33~49.20)相对综合分值最低,包括南梁乡、王咀子乡、乔川乡、山庄乡、悦乐镇5个乡镇,以上5个乡镇自然地貌相对复杂,土地利用状况趋于稳定,规划期内安排在该区的各类土地整治项目较少且整治规模较小;II区(53.64~58.24)包括怀安乡、桥河乡、上里塬乡、白马乡、柔远镇5个乡镇;III区(66.23~75.51)包括城壕乡、五蛟乡、元城镇3个乡镇;IV区(110.21~126.13)相对综合分值最高,包括紫坊畔乡和林镇乡2个乡,该区各类土地整治项目面积均较大。

表1 风险小区划分结果
Table 1 The risk of area division results

序号 No.	乡镇名称 Township	农用地整治 Farmland consolidation	农村居 民点整治 Village renovation	土地复垦 Land reclamation	土地开发 Land development	综合分值 Comprehe- nsive score	分区 Division result
1	南梁乡	324.51	19.17	11.10	8.45	39.33	I区
2	王咀子乡	327.26	19.34	11.20	8.53	39.67	
3	乔川乡	352.60	20.83	12.06	9.19	42.73	
4	山庄乡	388.58	22.96	13.29	10.12	47.09	
5	悦乐镇	405.93	23.98	13.89	10.58	49.20	
6	怀安乡	442.65	26.15	15.14	11.53	53.64	II区
7	桥河乡	458.07	27.06	15.67	11.93	55.51	
8	上里塬乡	463.67	27.40	15.86	12.08	56.15	
9	白马乡	474.60	28.04	16.24	12.37	57.52	
10	柔远镇	480.57	28.39	16.44	12.52	58.24	
11	城壕乡	546.48	32.29	18.70	14.24	66.23	III区
12	五蛟乡	566.30	33.46	19.37	14.75	68.63	
13	元城镇	623.04	36.81	21.32	16.23	75.51	
14	紫坊畔乡	909.27	53.73	31.11	23.70	110.21	IV区
15	林镇乡	1 040.72	61.49	35.61	27.11	126.13	

2.2 生境、风险源和生态受体分析

区的 6 种生境面积和 3 类风险源面积,如表 2。

2.2.1 生境和风险源面积。统计得到规划区内 4 个风险小

表 2 风险小区内各类生境面积

Table 2 Statistical table of all kinds of habitats in the area of risk		hm ²			
风险源/生境 Risk source/Habitat		I 区	II 区	III 区	IV 区
风险源 Risk source	农用地整治	1 249.00	1 143.00	1 126.00	2 286.41
	农村居民点整治	586.86	377.60	379.15	188.60
	采矿废弃地复垦	144.24	180.93	197.95	70.18
生境 Habitat	耕地	20 643.61	22 808.49	18 402.27	7 053.18
	林地	48 884.08	21 780.45	38 184.31	50 043.51
	牧草地	40 440.57	46 950.97	35 621.45	8 602.58
	采矿用地	148.11	280.87	223.60	37.95
	农村居民点	1 209.65	1 004.30	1 079.05	268.60
	其他农用地	3 361.76	4 099.70	3 291.95	1 048.36

2.2.2 生态受体分析。在综合分析规划区内生态环境的基础之上,将生态受体确定为土壤、水环境、生物物种及景观格局。

2.3 构建概念模型 建立规划区生态风险暴露－响应概念模型(表 3),反映研究区内风险源、生境、生态受体的暴露－响应路径。

表 3 土地整治规划生态风险暴露－响应概念模型

Table 3 Land remediation planning ecological risk exposure response concept model							
生境 Habitat	风险源释放的胁迫因子 Stress factor			生态受体暴露方式 Exposed way			
	农用地整治 Farmland consolidation	农村居民点整治 Village renovation	采矿废弃地复垦 Mining abandoned land reclamation	土壤 Soil	水环境 Water	生物物种 Biological species	景观格局 Landscape pattern
耕地 Arable land	D,C,ES,T	C,T,SE,WS	C,WS,T	LC,LS,E,SF	G,SC,WP	M,DP	S,SW
林地 Woodland	D,C,ES,T	D,C,IC,T	C,WS,T	LC,E,SF	SC,WP	M,DP	S,F,SW
牧草地 Grassland	D,C,ES,T	D,C,IC,T	C,WS,T	LC,E,SF	SC,WP	M,DP	S,F,SW
采矿用地 Mining land	D,C,SE	C,SE,T	D,SE,T	LC	G,WP	—	SW
农村居民点 Village	D,C,SE	D,C,SE,S,WS,T	C,WS,T	LC	G,WP	—	SW
其他农用地 Other agricultural land	N,T,C,ES	C,N,ES,T	C,N,ES,T	LC,E,SF	G,SC,WP	M,DP	S,F,SW

主要的胁迫因子有 D(扰乱)、C(污染)、ES(物种入侵)、T(有毒物质)、SE(沉降效应)、N(营养物质)、WS(固体废弃物)和 IC(切割廊道作用)^[19]等;各生态受体随即产生的响应方式有 LC(土壤污染)、SF(土壤肥力下降)、SC(水文结构变化)、G(地下水位降低)、WP(水污染)、M(物种多样性)、DP(生物布局改变)、SW(景观稳定性减弱)、S(景观单一化)以及 F(景观完整性降低)^[19]等。

2.4 暴露－危害分析

2.4.1 风险源密度与生境丰度。由表 2 统计所得的 4 个风险小区 3 类风险源与 6 种生境的面积,计算风险源密度和生境丰度(表 4)。

表 4 各风险小区风险源密度与生境丰度

Table 4 Risk source density and habitat abundance in each risk area					
风险源/生境 Risk source/Habitat		I 区	II 区	III 区	IV 区
风险源密度 Risk source density	农用地整治	0.55	0.50	0.49	1.00
	农村居民点整治	1.00	0.64	0.65	0.32
	采矿废弃地复垦	0.73	0.91	1.00	0.35
生境丰度 Habitat abundance	耕地	0.91	1.00	0.81	0.31
	林地	0.98	0.44	0.76	1.00
	牧草地	0.86	1.00	0.75	0.18
	采矿用地	0.53	1.00	0.80	0.14
	农村居民点	1.00	0.83	0.89	0.22
	其他农用地	0.82	1.00	0.80	0.26

2.4.2 暴露系数。统计3种风险源在6类生境中的面积,依据式(2)计算风险源相对于生境的暴露系数(表5)。

表5 各类风险源对不同生境的暴露系数

Table 5 Exposure factors of different types of risk sources to different habitats

生境 Habitat	农用地整治 Farmland consolidation	农村居民点整治 Village renovation	采矿废弃地复垦 Mining abandoned land reclamation
耕地 Arable land	0.84	0.00	0.00
林地 Woodland	0.00	0.00	0.00
牧草地 Grassland	0.01	0.00	0.00
采矿用地 Mining land	0.00	0.00	8.50
农村居民点 Village	0.00	4.30	0.00
其他农用地 Other agricultural land	0.02	0.00	0.00

由表5可知,农用地整治的主要对象是耕地,其次为牧草地和其他农用地;农村居民点整治的主要对象为靠山窑洞和废旧庄基;采矿废弃地复垦则以自然灾害灾毁地、石油工矿废弃地及其周边生态环境遭到破坏的区域为主要整治对象。

2.4.3 响应系数。综合分析生境和生态受体之间的关联度,用“弱、较弱、中、较强、强”来表示生态受体对风险源的响应程度^[19],依次赋值为0.1、0.3、0.5、0.7、0.9(表6)。

因其影响程度不同,同一风险源对不同的生态受体而言,其值各有差异;对于各风险小区,概念模型给出的风险源未必悉数出现,则与之对应的路径不存在,其响应系数为0(如采矿用地-生物物种、农村居民点-生物物种的暴露方式此刻不存在,即相应暴露系数为0)。

表6 各风险小区生境-生态受体响应系数

Table 6 Way of exposure and response coefficient of ecological receptor of each risk area

风险小区 Risk area	生境 Habitat	各生态受体的暴露方式及响应系数 Way of exposure and response coefficient of habitat-ecological receptor				合计 Total
		土壤 Soil	水环境 Water	生物物种 Biological species	景观格局 Landscape pattern	
I	耕地	LC、LS、E、SF,0.3	G、SC、WP,0.5	M、DP,0.5	S、SW,0.3	1.6
	林地	LC、E、SF,0.1	SC、WP,0.3	M、DP,0.5	S、F、SW,0.5	1.4
	牧草地	LC、E、SF,0.3	SC、WP,0.1	M、DP,0.5	S、F、SW,0.1	1.0
	采矿用地	LC,0.1	G、WP,0.1	0	SW,0.1	0.3
	农村居民点	LC,0.1	G、WP,0.3	0	SW,0.1	0.5
	其他农用地	LC、E、SF,0.3	G、SC、WP,0.3	M、DP,0.1	S、F、SW,0.5	1.2
II	耕地	LC、LS、E、SF,0.3	G、SC、WP,0.3	M、D,0.5	S、SW,0.3	1.4
	林地	LC、E、SF,0.3	SC、WP,0.3	M、DP,0.5	S、F、SW,0.5	1.6
	牧草地	LC、E、SF,0.3	SC、WP,0.3	M、D,0.5	S、F、SW,0.1	1.2
	采矿用地	LC,0.3	G、WP,0.3	0	SW,0.3	0.9
	农村居民点	LC,0.1	G、WP,0.3	0	SW,0.1	0.5
	其他农用地	LC、E、SF,0.3	G、SC、WP,0.3	M、DP,0.5	S、F、SW,0.3	1.4
III	耕地	LC、LS、E、SF,0.7	G、SC、WP,0.5	M、DP,0.5	S、SW,0.7	2.4
	林地	LC、E、SF,0.5	SC、WP,0.3	M、DP,0.7	S、F、SW,0.7	2.2
	牧草地	LC、E、SF,0.5	SC、WP,0.3	M、DP,0.7	S、F、SW,0.5	2.0
	采矿用地	LC,0.7	G、WP,0.3	0	SW,0.1	1.1
	农村居民点	LC,0.5	G、WP,0.3	0	SW,0.1	0.9
	其他农用地	LC、E、SF,0.3	G、SC、WP,0.3	M、DP,0.5	S、F、SW,0.3	1.4
IV	耕地	LC、LS、E、SF,0.9	G、SC、WP,0.5	M、DP,0.5	S、SW,0.5	2.4
	林地	LC、E、SF,0.5	SC、WP,0.5	M、DP,0.7	S、F、SW,0.9	2.6
	牧草地	LC、E、SF,0.3	SC、WP,0.5	M、DP,0.5	S、F、SW,0.7	2.0
	采矿用地	LC,0.7	G、WP,0.3	0	SW,0.1	1.1
	农村居民点	LC,0.5	G、WP,0.5	0	SW,0.9	1.9
	其他农用地	LC、E、SF,0.5	G、SC、WP,0.7	M、DP,0.7	S、F、SW,0.9	2.8

2.5 风险表征 根据式(3)计算各评价单元的相对风险值RS_i(图1)。为求风险管理决策的准确与客观,对生境和生态受体也进行计算,得到相应的相对风险值RS_k(图2)与RS_m(图3)。

由图1可知,I~IV区的相对生态风险值依次为3.81、8.69、10.52和1.69,并由低而高依次分为低、中、较高和高4个风险等级(图4)。其中,农用地整治相对风险值最大的是III区,采矿废弃地复垦的相对风险值II区和III区显著高于

其他;I区和III区农村居民点整治的相对风险值较高。

图2中,I区农村居民点的相对风险值最大,II区和III区采矿用地的相对风险值为各生境之最,IV区各生境的相对风险值基本持平。

就生态受体而言(图3),各风险小区相对风险普遍较高的是土壤和水环境,由此看来,规划实施过程中,不合理的土地整治活动加剧了土地退化,使水体受到污染;生物物种和景观格局在II区的生态风险远高于其他各区,这就足以说

明,Ⅱ区所涵盖地区,不恰当的整治措施对生物多样性造成极大威胁,更进一步降低了景观的完整性。

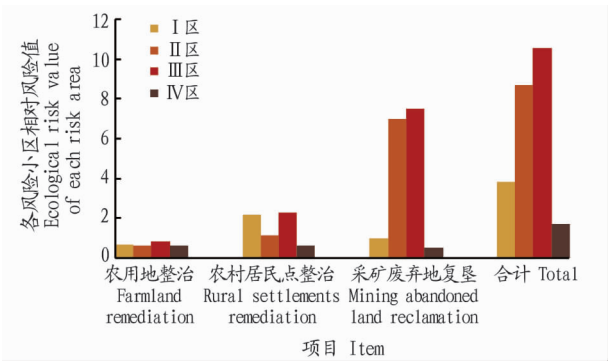


图1 华池县土地整治规划相对生态风险值

Fig. 1 Huachi County land consolidation planning ecological risk value

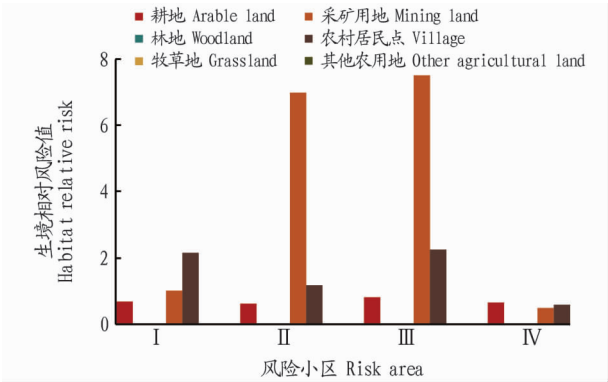


图2 生境相对风险

Fig. 2 Habitat relative risk

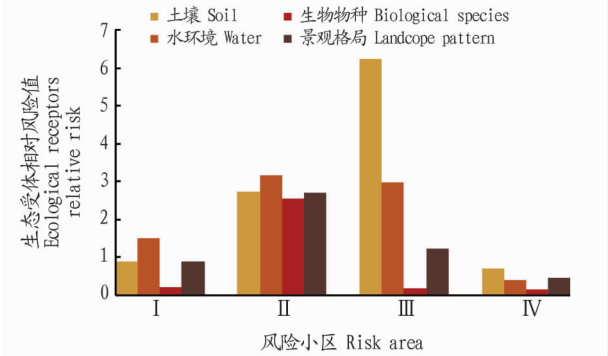


图3 生态受体相对风险

Fig. 3 Ecological receptors relative risk

2.6 规划风险管理

(1) 高风险区在西北部丘陵沟壑区(元城镇)、陇东黄土高原丘陵沟壑区(五蛟乡)和子午岭边缘丘陵沟壑区(城壕乡)均有分布,区内沟壑纵横,地形破碎,水土流失严重,破坏性自然灾害频发。整个规划期,安排在该区的采矿废弃地复垦项目规模最大,所以,必须开展对废旧矿区及其周边环境的综合整治,将自然恢复与工程、生物措施进行有机结合,使地力尽快得到提升,自然环境状况有所好转。

(2) 较高风险区主要分布在北部丘陵沟壑区,境内水资源和石油资源相对丰富,有一定的森林资源,天然草场广布;但水土保持能力差,水土流失面积大,发生自然灾害时,其抵

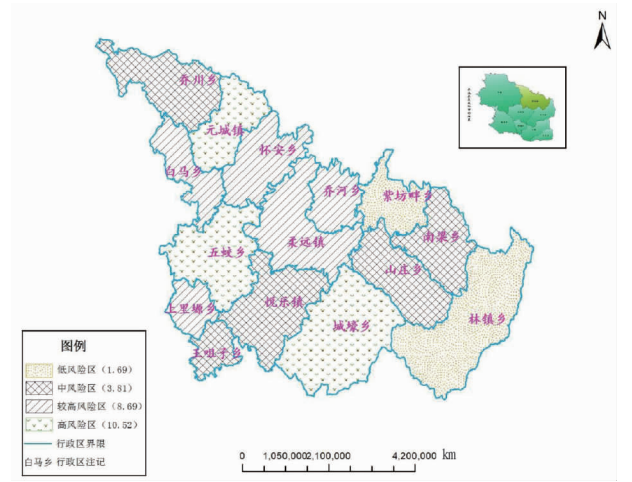


图4 华池县生态风险评价等级划分结果

Fig. 4 Huachi County ecological risk evaluation grading map

御能力表现得很差;整个规划期,各种土地整治项目在该区安排较多,且立地条件较为复杂,规划实施难度大。因此,土地整治活动始终要以保护自然资源和防止水土流失为主。

(3) 中风险区位于西北部丘陵沟壑区(乔川乡)、西南部残塬沟壑区(王咀子乡、悦乐镇)及东部子午岭丘陵沟壑区(南梁乡、山庄乡),该区农村居民点整治项目规模最大。对废弃、闲置院落和废旧庄基进行整顿,提高农村建设用地的利用效率,善借各种社会资源及环保政策,改善农村人居环境,建设美丽乡村^[20]。

(4) 低风险区位于东北部黄绵土梁峁沟壑区(紫坊畔乡)和子午岭边缘地带(林镇乡),相比之下,其相对生态风险值为各区中最低,但该区农用地整治项目的规模最大。规划实施过程中,要特别注重对耕地尤其是对基本农田的建设和保护,优先开发利用撂荒、闲置以及利用效率较低的土地,构建农村环境监管体系,积极倡导公众参与^[21],保护森林资源,禁止乱砍滥伐,并考虑将生态脆弱的部分土地进行退耕还林还草。

3 结论

该研究采用相对风险模型对《华池县土地整治总体规划(2010—2020年)》进行生态风险评价,经测算得到Ⅰ~Ⅳ区的风险值依次为3.81、8.69、10.52、1.69,并据此将华池县土地整治相对生态风险划分为低、中、较高和高4个等级,从整个规划区来看,大致呈北高南低态势。受地形地貌等自然条件限制,未利用土地开发难度较大,加之待开发土地的利用潜力比较小,建议将此类土地的开发、复垦和耕地整理结合起来,归并零散地块;农村居民点整治的主要对象是靠山窑洞,受黄土易崩塌的影响,庄基需要不断更新,因分布零散,较少形成整治规模,整治难度相应增加;在采矿废弃地复垦的过程中,因压占、挖损等破坏植被,改变原有田、林、草生态系统及污染地下水等,亟待开展废弃矿区生态环境的全方位、多层次的综合治理。

参考文献

[1] 王秋兵. 土地资源学[M]. 北京:中国农业出版社,2002:241-265.
(下转第13页)

的条件下,藻液温度的变化与养殖水体的质量成反比;对单位面积水体而言,藻液温度与养殖深度成反比,养殖深度越深,同样条件下藻液温度越低。因此,在确定当地蒸发量、光照、微藻生长情况下,可对温度和液位进行理论计算,获得适宜的养殖深度,对实际养殖进行指导。

3.3 规模化生产 EPA 原料 室外培养时,温度随昼夜的更替和季节的变化产生较大的波动,这与室内培养的温度条件有较大的差异。该研究发现,在规模化养殖过程中,EPA 含量比实验室同等温度下较高,这可能是由规模化养殖过程中昼夜温差影响造成的。在养殖过程中,各月藻液最低温度均低于 20℃,有利于 EPA 的累积。大量研究表明,不同季节微藻细胞内 EPA 的含量不同^[12-13]。Sukenik 等^[14]研究了室外大规模培养微绿藻时,温度的季节性波动对脂肪酸种类的影响很大。冬季水温在 8~16℃ 时生物量产率较低,但 EPA 含量最高(占干重的 3.8%);在夏季,当生物量产率最高时,EPA 的含量降到不足冬季的 50%。Zittelli 等^[15]报道春季和初秋 EPA 含量最高。这与该研究长期养殖结果相一致。

目前规模化生产 EPA 的很少,基本上都是基于研究室的探索性养殖,且以反应器为主。Dunstan 等^[16]采用不同光径的露天平板式反应器培养拟微球藻,冬季和夏季 EPA 的最高产率分别为 278.2 和 515.70 g/(m²·d)。

参考文献

[1] TAPIERO H,BA G N,COUVREUR P,et al. Polyunsaturated fatty acids (PUFA) and eicosanoids in human health and pathologies[J]. *Biomedicine & pharmacotherapy*,2002,56(5):215-222.

[2] BARCLAY W R,MEAGER K M,ABRIL J R. Heterotrophic production of long chain omega-3 fatty acids utilizing algae and algae-like microorganisms[J]. *Journal of applied phycology*,1994,6(2):123-129.

[3] 黄旭雄,周洪琪,朱建忠,等. 不同生长阶段微绿球藻的营养价值[J].

(上接第9页)

[2] 鄯玖琪,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.

[3] 李冰清,王占岐,金贵. 新农村建设背景下的土地整治项目绩效评价[J]. *中国土地科学*,2015,29(3):68-74,96.

[4] 冯应斌,杨庆媛. 转型期中国农村土地综合整治重点领域与基本方向[J]. *农业工程学报*,2014,30(1):175-182.

[5] 王军,钟莉娜. 土地整治工作中生态建设问题及发展建议[J]. *农业工程学报*,2017,33(5):308-314.

[6] 吴林,张鸿辉,王慎敏,等. 基于栅格数据空间分析的土地整理生态评价:以江西省南康市凤岗镇为例[J]. *中国土地科学*,2005,19(3):24-28.

[7] 孙兴志. 农村土地整治生态风险管理探究[J]. *南方农业*,2017,11(1):110,115.

[8] LANDIS W G,WEIGERS J A. Design consideration a suggested approach for regional and comparative ecological risk assessment[J]. *Human and ecological risk assessment*,1997,3(3):287-297.

[9] LANDIS W G,WIEGERS J K. Ten years of the relative risk model and regional scale ecological risk assessment[J]. *Human and ecological risk assessment*; An international journal,2007,13(1):25-38.

[10] 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.

[11] WANG X L,ZHANG J. A nonlinear model for assessing multiple probabi-

水产学报,2004,28(4):477-480.

[4] 魏东,张学成,隋正红,等. 氮源和 N/P 对眼点拟微球藻的生长、总脂含量和脂肪酸组成的影响[J]. *海洋科学*,2000,24(7):46-51.

[5] BERRY J,BJORKMAN O. Photosynthetic response and adaptation to temperature in higher plants[J]. *Annual review of plant physiology*,1980,31(1):491-543.

[6] 魏东,张学成. 微藻脂肪酸去饱和酶及其基因表达的生态调控研究新进展[J]. *海洋科学*,2000,24(8):42-46.

[7] SAKAMOTO T,LOS D A,HIGASHI S,et al. Cloning of ω 3 desaturase from cyanobacteria and its use in altering the degree of membrane-lipid unsaturation[J]. *Plant molecular biology*,1994,26(1):249-263.

[8] KODAMA H,AKAGI H,KUSUMI K,et al. Structure, chromosomal location and expression of a rice gene encoding the microsome ω -3 fatty acid desaturase[J]. *Plant molecular biology*,1997,33(3):493-502.

[9] 魏东,张学成. 富含 EPA 的海洋微藻眼点拟微球藻的大规模培养[J]. *中国海洋药物*,2003,22(1):5-10.

[10] 杨官品,张继民,魏东,等. 温度逆境处理提高拟微球藻(*Nannochloropsis oculata*) EPA 含量的研究[J]. *海洋学报*,2002,24(4):132-135.

[11] ZOU N,RICHMOND A. Effect of light-path length in outdoor flat plate reactors on output rate of cell mass and of EPA in *Nannochloropsis* sp. [J]. *Journal of Biotechnolog*,1999,70(1/2/3):351-356.

[12] SAKAMOTO T,HIGASHI S,WADA H,et al. Low-temperature-induced desaturation of fatty acids and expression of desaturase genes in the cyanobacterium *Synechococcus* sp. PCC 7002[J]. *FEMS Microbiology Letters*,1997,152(2):313-320.

[13] SAKAMOTO T,SHEN G Z,HIGASHI S,et al. Alteration of low-temperature susceptibility of the cyanobacterium *Synechococcus* sp. PCC 7002 by genetic manipulation of membrane lipid unsaturation[J]. *Archives of microbiology*,1997,169(1):20-28.

[14] SUKENIK A,ZMORA O,CARMELI Y. Biochemical quality of marine unicellular algae with special emphasis on lipid composition. II. *Nannochloropsis* sp. [J]. *Aquaculture*,1993,117(3/4):313-326.

[15] ZITTELLI G C,LAVISTA F,BASTIANINI A,et al. Production of eicosapentaenoic acid by *Nannochloropsis* sp. cultures in outdoor tubular photobioreactors[J]. *Journal of biotechnology*,1999,70(1):299-312.

[16] DUNSTAN G A,VOLKAMN J K,BARRETT S M,et al. Changes in the lipid composition and maximisation of the polyunsaturated fatty acid content of three microalgae grown in mass culture[J]. *J Appl Phycol*,1993,5(1):71-83.

listic risks:A case study in South five-island of Changdao National Nature Reserve in China[J]. *Journal of environmental management*,2006,85(4):1101-1108.

[12] 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):35-36.

[13] 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.

[14] 贡璐,鞠强,潘晓玲. 博斯腾湖区域景观生态风险评价研究[J]. *干旱区资源与环境*,2007,21(1):27-31.

[15] 丁晖,徐海根,吴翼,等. 生物多样性风险评估方法和案例研究[J]. *生态与农村环境学报*,2014,30(1):90-95.

[16] 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.

[17] 马禄义,许学工. 基于气象灾害的青岛市域生态风险评价[J]. *城市环境与城市生态*,2010,23(4):1-5.

[18] 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.

[19] 刘晓,苏维词,王铮,等. 基于 RRM 模型的三峡库区重庆开县消落区土地利用生态风险评价[J]. *环境科学学报*,2012,32(1):248-256.

[20] 姚忠,辛在军,吴永明,等. 日本里山环境管理模式及对我国新农村建设的启示[J]. *生态与农村环境学报*,2017,33(9):769-774.

[21] 鞠昌华,朱琳,朱洪标,等. 我国农村环境监管问题探析[J]. *生态与农村环境学报*,2016,32(5):857-862.