

基于生态系统服务的土地整治生态风险评价与管控建议

刘世梁¹，侯笑云¹，张月秋¹，尹艺洁¹，王 军² (1. 北京师范大学环境学院/ 环境模拟与污染控制国家重点联合实验室，北京 100875; 2. 国土资源部土地整治重点实验室，北京 100812)

摘要：土地整治的生态风险评价与管理是生态文明背景下土地整治项目可持续发展的客观要求。“十三五”期间，土地整治投资和力度规模持续加大，在对区域社会和经济带来积极作用的同时，也会对区域生态系统结构与功能产生深远影响，如何管控土地整治的生态风险受到越来越多的关注。在系统阐述了土地整治生态风险的内涵与特点的基础上，分析了土地整治不同生态效应所对应的生态风险因子与评价指标体系，提出了基于土地整治全过程分析的生态风险识别、评价与管控的思路，并将生态系统服务功能的提升作为生态风险评价的重要内容，克服了以往生态风险研究更多侧重生态系统结构与功能本身变化的局限性，并指出了土地整治生态风险所需要关注的科学问题与发展趋势。

关键词：土地整治；生态风险；生态系统服务；风险评价

中图分类号：F311 **文献标志码：**A **文章编号：**1673-4831(2017)03-0193-08

DOI：10.11934/j.issn.1673-4831.2017.03.001

Assessment of and Controlling Strategies for Ecological Risks of Land Consolidation Based on Ecosystem Services.

LIU Shi-liang¹, HOU Xiao-yun¹, ZHANG Yue-qiu¹, YIN Yi-jie¹, WANG Jun² (1. State Key Joint Laboratory of Environment Simulation and Pollution Control, School of Environment, Beijing Normal University, Beijing 100875, China; 2. Key Laboratory of Land Consolidation and Rehabilitation, Ministry of Land and Resources, Beijing 100812, China)

Abstract: Ecological risk assessment and management of land consolidation are two objective requirements of the sustainable development of land resources under the background of ecological civilization. During the 13th Five-year Plan period, land consolidation will increase in investment and scale, which will not only bring about positive effects on regional social and economic development, but also have profound impacts on structure and functions of regional ecosystems. How to monitor and control ecological risks has become an issue causing more and more attention. On the basis of systematic elaboration of the connotation and characteristics of ecological risks of the land consolidation, analysis was done of ecological risk factors and evaluation index system relative to ecological effect of land consolidation, and thereof, a new idea was brought forth about identification, assessment and control of ecological risks based on full-process analysis of land consolidation projects, including ecosystem service functions as an important content of ecological risk assessment. Thus the limitation of the researches in the past on ecological risk has been overcome with more emphases on changes in structure and functions of an ecosystem. Scientific issues and development trend that need more attention in tackling ecological risks of land consolidation are pinpointed.

Key words: land consolidation; ecological risk; ecosystem service; risk assessment

目前，以土地整治为平台来实施国土综合整治的转变已呈现不可逆转的趋势^[1]。土地整治向国土综合整治转型期间，必须考虑新常态下的土地整治需求与生态文明背景下综合社会、经济、生态效益的提升，土地综合整治的实施思路有3种，即空间优化型土地综合整治、“一整四效”多部门联动型土地综合整治以及低碳型土地综合整治，应加强相关理论、方法与技术的储备^[2]。

对于土地整治的生态效应来说，土地整治在建设施工过程中，将会导致项目区景观格局的变化，包括不同类型的面积、种类和空间位置等发生

变化^[3]，进而影响区域内生态过程的变化，包括生态系统物质循环、能量和信息流动，也包括景观尺度上土壤、生物等景观流发生变化，这种变化既有正向的，也有反向的。此方面的研究是目前土地整治研究的热点，也是基础性研究^[4]。目前，土地整治项目不仅仅以单纯增加耕地面积为目的，更多的

收稿日期：2016-09-02

基金项目：国家重点研发计划(2016YFC0502103)；国家自然科学基金(41571173)；国土资源部土地整治重点实验室开放课题

① 通信作者 E-mail: shiliangliu@bnu.edu.cn

是“质量-数量-生态”三位一体的综合整治模式,土地综合整治也因地域不同而具有不同特色,在多目标和多功能性转变的情形下,对土地整治所产生的生态问题也越来越重视,区域生态效益方面的研究也日益受到重视,特别是生态系统服务的变化^[5-6]。生态效益是经济和社会效益实现的保证,在提高土地利用效率的同时实现生态系统服务的多重功能,实现生态系统的可持续发展^[7-8]。

土地整治对自然生态系统所带来的压力和胁迫,终究会导致诸多生态风险。由于土地整治在短期内大规模改变地表格局与过程,在研究生态效应的同时,其潜在的生态风险也日益受到重视。生态风险是不确定性的事故,对生态系统的结构和功能可能产生不利影响,对于人类活动来说,生态系统效应具有不确定性,正负效应都有可能出现,因而“不确定性”是一种“风险”的体现^[9]。目前,我国越来越重视生态型土地整理,其目的是为了减少对生态系统的干扰。对于控制土地整理的负面生态效应来说,生态风险的评价与管控尤为重要^[10-11]。

生态风险研究是目前区域资源管理、生态建设与环境修复等项目,工作与决策制定的重要依据,受到国内外众多学者的关注。在土地整治研究中,引入生态风险评价的概念,在识别可能产生的不利生态效应的基础上,评定其危害的大小及范围,对土地整治过程中规避生态风险、构建生态友好型土地整治模式具有重要的理论意义和现实意义^[12]。

生态系统服务研究是耦合生态系统结构、功能和人类社会经济活动等的重要途径,也是目前生态学研究的前沿科学。目前,已经有学者提出基于生态系统服务的生态风险评价途径^[13],而且也有研究对土地整治的生态服务经济价值^[14]等进行分析。土地整理作为重大人类活动,以生态系统服务提升为目标,以生态系统服务评价为主线,贯穿工程的扰动与风险终点,在风险管控上具有一定可行性。

笔者从当前的生态风险评价入手,系统论述了土地整治所产生的生态风险的内涵和特点,基于土地整治工程的周期性与特点,提出了土地整治生态风险全过程分析的必要性;并基于生态系统服务的研究进展,论述了生态系统服务对生态风险的重要性,且系统论述了土地整治风险评价的内容与方法,进而提出了土地整治生态风险的管控建议。

1 土地整治生态风险评价相关概念

1.1 生态风险评价的内涵

生态风险是生态系统及其组分所承受的风险,

指在一定区域内,具有不确定性的事故或灾害对生态系统及其组分可能产生的作用,这些作用的结果可能导致生态系统结构和功能的损伤,从而危及生态系统的安全和健康。

生态风险评价是基于环境管理目标和环境观念的转变而发展的,从最早一度追求的“零风险”环境管理逐渐转变为风险管理的环境政策^[15]。生态风险评价为风险管理提供了科学依据,因此受到国内外学术界和环境管理者的重视,成为一个研究热点^[16-17]。对于环境管理来说,生态风险评价侧重于由于化学品排放、人类活动^[18-19]和自然灾害产生非预期影响的可能性和强度,是研究一种或多种应激物形成或可能形成不利生态效应的过程,对暴露和影响进行定性、定量研究的方法与程序。即利用生态学、环境科学等知识,定量地确定自然或人类活动对生态环境负效应的概率及其强度的过程^[20-21]。

在研究方面,生态风险评价始于 20 世纪 80 年代,并且已在发达国家的环境管理中应用,如美国环境保护署发布的《生态风险评价框架》和《生态风险评价指南》。研究方向也逐步开始关注大尺度的区域生态风险评估,强调社会、经济和自然等方面特点。我国的生态风险评价工作起步较晚,虽然目前针对众多研究区做过相关的研究性工作,但是仍没有相关的导则参照执行,而且也没有将其系统地应用于生态与环境管理之中^[22]。

1.2 土地整治生态风险的内涵

发达国家在早期实施土地整治时,曾因忽视其对生态系统所造成的负面影响,导致许多物种的生存受到威胁。目前,我国的土地整治项目在验收后,往往出现生态恶化等现象,如整理区的水土流失、区域生物多样性降低,导致生态可持续性降低;主要原因是由于土地整治的目标还停留在增加耕地和其他农用地面积,尚未以提高生产能力、改善生态环境为主要目标^[23]。

土地整治的可持续性要求经济、社会和生态效益的统一,需要统筹城乡、区域、经济社会以及人与自然的共同发展,因此土地整治的相关生态评价非常必要。目前的研究更多地关注生态效应评价,但从近几年的情况来看,生态效益评价逐渐受到重视,而且逐步从定性过渡到定量评价。但生态定量评价结果并不能被决策者和管理者直接作为依据,所以如何将生态评价与决策管理相结合,是目前所要面对的重要科学问题。

土地整治工作包括社会、经济和技术等各个方面,而且随着国家经济的发展而不断变化。在土地

整治过程中,存在的诸多风险决定了土地整治工作的难度,生态风险与其他相关风险紧密耦合关联。土地整治的风险包括经济、社会、技术、管理和自然风险,而生态风险是其他风险的集中体现。土地生态风险则是外界因子造成土地生态系统的变化、破坏或污染的可能性,土地生态风险评价则是对这一过程进行量化计算和评估^[24-25]。在以生态文明为导向的土地整治发展背景下,生态风险评价同样是其他评价的核心,生态风险评价是科学发展观的体现,是当前新农村建设中实现生态经济平衡和土地整治项目投资科学决策的客观要求,引入土地整治的生态风险,体现了科学发展观的要求。

1.3 土地整治的生态风险类型

土地整治所带来的生态风险与其他区域人类活动所产生的生态风险一样,都是生态系统及其组

成部分所承受的风险。土地风险具有景观与区域生态风险的特征,所以土地整治的生态风险也侧重于景观与区域尺度,不同类型生态系统中存在多种风险因子,会对评价造成不利影响。

由于土地整治风险工程的建设类型、规模、周期等特点与一般重大工程不同,所以除了具有一般意义上“风险”的涵义外,土地整治风险还具有特殊性。典型土地整治工程的生态风险产生的风险源、类型、作用与响应分析见图1。在此概念模型里,风险源包括不同的土地整治工程类别,即土地平整、农田水利、田间道路、水土保持及防护林工程以及居民点归并等。不同的风险源释放的生态压力是有差异的,主要分为7种类型。这7类生态压力可以在不同尺度上体现,即生态风险的响应指标。风险的表征和衡量指标见图1。

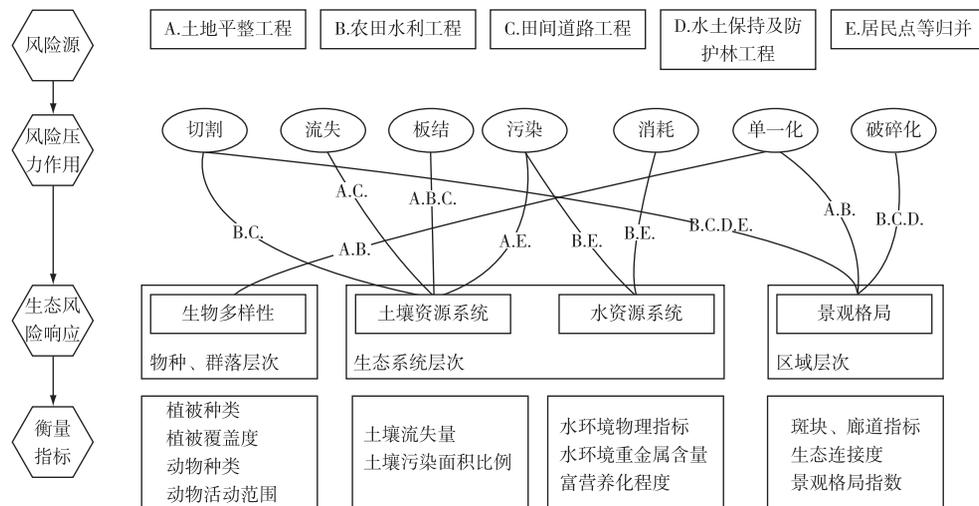


图1 典型土地整治工程的生态风险类型

Fig.1 Types of ecological risks of typical land reclamation projects

除此以外,土地整治还具有不确定性、危害性、内在价值性、客观性和动态性特征。其中,内在价值性是必须认识到土地生态系统自身的价值与功能,重视土地整治区内生态系统对人类的服务功能。而在土地整治过程中,其会对整治区域的大气质量、小气候、地形地貌、水资源、生物资源和土壤理化性质等产生较强影响^[26-27],直接或间接地影响整治区域内的生态系统服务(尤其是供给服务和调节服务)。因此,在土地整治过程中,应当考虑其对生态系统服务的影响,并做出生态风险评价。

1.4 土地整治生态风险评价的目的和方法

土地整治生态风险评价的目的,是为了研究在土地整治过程中可能形成的不利生态效应及其发

生的可能性和影响强度的过程。评价方法通常有4种:(1)现场调查法,由经验丰富的技术人员,对评价区的生态风险现状及其发展趋势进行评价;(2)统计分析法,将整个评价区域内已有的土地整治生态风险作为样本,量化统计分析地形、降雨、植被覆盖以及土地整治工程等因素与生态风险发生之间的关系,并建立方程;(3)制图法,运用遥感和地理信息技术,分析解译整治区域的生态风险;(4)数学模型法,评价整治区内生态风险的成因、机制和发生特征,并以土地整治生态风险的各个因素和土地整治生态风险性之间的关系作为判定准则,来评价预测研究区内各评价单元土地整治生态风险。

2 基于生态系统服务的土地整治生态风险评价

2.1 土地整治生态风险评价步骤

生态风险评价对于科学管理和保护生态系统具有重要意义。对于生态风险评价来说,主要有3种评价途径,分别是针对风险源进行的生态风险评价、针对风险受体的生态风险评价和针对生态终点发生的尺度划分而开展的评价。风险源评价主要是干扰源的识别,包括自然灾害、人类活动等,也可以分为单一和多重风险源;而风险受体的评价主要是针对种群、群落或生态系统等水平的评价(图1);生态终点可以划分为湖泊、河流、河口及整个流域的生态风险评价。

对于土地整治工程来说,一般土地整治工程和重大土地整治工程所涵盖的范围不同,评价的尺度会有较大区别。同时,对于不同的生态系统类型来说,其评价的关键指标也不同。在建设项目环境风险评价工作实践中,针对危险物质的风险调控,总结出“八步法”,包括危险物质识别、危险设施(设备)识别、危险生产工艺识别、危险功能单元识别、危险类别识别、重大危险源识别、风险评价工作等级识别、风险评价范围识别方面的风险识别。概括来看,主要流程包括危害识别、暴露评估、效应评估、风险表征、风险预警和风险决策等几部分。因此,土地整治工程生态风险评价主要内容应包括风险源的调查分析与评价,生态环境质量现状调查与评价,规划、施工与管护的全过程分析,主要包括风险源分析、概念模型与分析计划、压力响应分析、风险表征、不确定性分析,及其生态风险的管控^[28]。

在土地整治项目规划设计阶段,要对土地整治项目的实施可能造成的环境污染、生态破坏进行预测分析,并对预测评估结果筛选出区域内将会存在的主要风险源,为生态风险评价提供依据。选取对生态环境质量形成、发展、变化影响重大的因素,即评价要素及其评价参数,制定质量标准,得到生态环境基准质量。对于风险的识别来说,可分为系统识别和经验型调查方法,从识别手段来看则可分为定性识别、定量识别和综合识别3类。

土地整治风险的暴露危害分析可以类比污染物的暴露危害分析,针对土地整治的风险源识别,开展土地整治生态风险的暴露危害分析,找出土地整治中可能产生的不利生态效应,并评定其危害的大小及范围。“暴露分析”是研究各风险源在评价区域中的分布、流动及其与风险受体之间的接触暴

露关系,土地整治生态风险评价的暴露分析具有空间分异特点,不同种类和级别的影响会复合叠加,而“危害分析”是土地整治生态风险评价的重要部分,可以根据长期的野外观测,结合其他学科的相关知识进行推测与评估。尽可能地利用一切有关的信息和数据资料,弄清各种干扰对风险受体的作用机理,提高评价的准确性。

随着生态风险评价研究的快速发展,评价尺度不断扩大,评价对象从单一类型生态系统到多种生态系统的空间镶嵌。因此,基于景观生态过程与空间格局相互关联视角的景观生态风险评价应运而生,更注重风险的时空异质性和尺度效应;基于多目标、多尺度、多等级系统、多重作用关系的过程分析,景观生态风险评价可为区域土地综合风险防范提供决策依据,有效指引土地整治的优化与管理。

2.2 基于生态系统服务的生态风险评价体系构建

生态风险评价主要是评估风险的程度与发生概率,一般利用综合指标评价模型和相对风险模型进行评价。针对土地整治风险的暴露危害评价,一般从土地整治区微地貌、土壤、水环境、生态系统与景观等方面展开。也有学者从水土流失、生态演变、环境容量下降和环境脆弱性变化4个方面对土地整治生态风险类型进行识别,并以此为基础,选取水、土和生物3个要素14个指标,构建了土地整治生态风险识别的指标体系,为生态风险评价研究提供理论基础^[11]。

随着对土地整治的区域生态效应与社会经济效益研究的发展,景观尺度上的生态风险评价逐步摆脱了“风险源识别-受体分析-暴露与危害评价”的固有模式。评价受体为土地整治影响区的异质性景观,而且关注土地整治的生态价值,为弥补传统生态风险评价方法的不足和提高风险管理的效率,将生态系统服务引入生态风险评价中加以发展和完善,成为当前生态风险评价研究的前沿和热点^[13]。

生态系统服务指生态系统与生态系统过程所形成及所维持的人类赖以生存的生物资源和自然环境条件及其效用^[29]。基于生态系统服务的生态风险评价可用项目区土地整治工程导致的生态系统服务的变化量来衡量土地整治的生态风险^[30-31]。这样更能定量、直观地了解土地整治对生态环境的影响,生态系统服务的空间表征也使得生态风险更具直观性,有利于更好地提出改进措施^[32]。

基于生态系统服务的土地整治生态风险评价的思路也充分体现了生态风险的复杂性、动态性和

整体性的特征(图2)^[33]。目前,由于在不同的尺度上土地整治生态风险的类型与影响范围不同,因此难以用相同的方法对其进行评估。生态系统服务可以耦合宏观与微观的结果,而且能针对特定的生

态系统服务进行权衡与调控^[34]。目前,也有传统的风险评价耦合生态系统服务的结果,即生态环境改变影响到生态系统服务的改变,并在社会福祉上进行成本效益分析,在一定程度上实现风险管理^[35]。

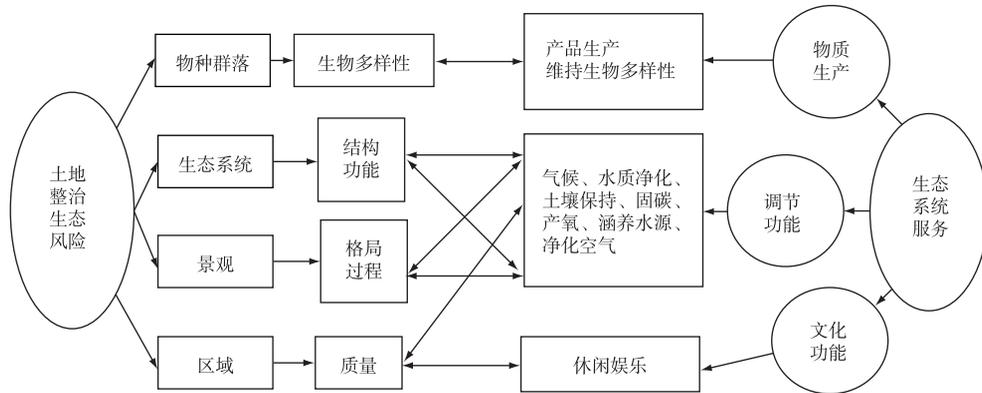


图2 生态系统服务与土地整治生态风险的耦合作用关系

Fig. 2 Coupling relationship between ecosystem services and ecological risk of land reclamation

基于生态系统服务的生态风险评价实践目前仍较少,特别是在土地整治研究中^[36]。从目前的生态系统服务研究来看,可以从以下几个方面进行耦合分析:(1)针对风险源的识别,选择关键生态系统服务,重点关注生态系统服务实体与属性,将提升土地整治后单元生态系统服务水平作为风险的表征指标;(2)耦合不同生态系统服务特征,分析不同服务之间的动态特点,预测综合生态风险的变化特征;(3)将生态系统服务的空间变异,不同服务之间的调控与权衡纳入土地整治的生态风险管理中^[37]; (4)从社会经济角度入手,综合考虑土地整治的生态系统服务,从社会经济系统层面上对土地整治长期生态风险进行调控^[38-39]。

基于生态系统服务的风险评价可以更好地综合各种生态过程参数和理论模型,并能根据土地整治的需求等,模拟不同驱动情景对生态系统所提供的影响,根据评估结果进行生态风险等级划分。另外,仍需要加强对生态风险评价的不确定分析,提高模型评价的实用性和可操作性。

3 土地整治的生态风险管控建议

随着我国土地整治事业的发展,在新增耕地数量、提高耕地质量、节约集约利用土地和改善生态环境的“数量-质量-生态”三位一体模式的要求下,应降低土地整治过程中的风险,注重其对生态环境的长远影响和潜在影响,深刻认识山水林田湖等生命共同体的本质内涵,充分考虑风险因子,将可能

发生的风险概率降低到最低限度。同时,结合不同区域的生态、地形、气候和土地整治建设特点,综合运用经济、行政和法律等手段,制定适合不同区域的、科学可行的生态环境保护措施。

3.1 土地整治的生态风险应对策略建议

土地整治的生态风险管控贯穿于土地整治的全周期,包括土地整治的规划计划立项、施工建设与验收运营管护阶段。依照生态风险管理目标,采取不同的应对措施来最大限度地降低可能出现的生态风险。主要内容包括生态风险识别、生态风险监测和生态风险应对。由于土地整治生态风险管理所具有的外部性,策略的决定主要考虑生态风险等级。因此,当生态风险评价等级很高时,就应当采取规避风险的方法;当风险评价等级相对较高时,则应采取遏制、转化、减轻和抑制风险的措施;而风险几乎不存在或等级较低时,可以选择自留风险(图3)。

3.2 土地整治的生态风险应对理论建议

土地整治生态风险管控需从整体进行适度开发和合理整治,加强生境调整或合理替代,优化整体的景观格局,提高生态系统服务^[40]。对于土地整治过程中生态风险评价与管控的理论建议,需关注以下几个方面:(1)当前土地整治的生态风险管控处于探索与发展阶段,其可靠性取决于研究者对生态环境的认识和理解程度,因此应关注生态环境基准方面的研究,有助于生态风险的源识别与终点分析;(2)加强土地整治生态评价标准与体系的研究,

筛选与实际的生态环境问题紧密结合的评价指标体系,以生态系统服务提升为主要目标。在开展土地整治项目时,应针对不同的土地利用方式、规模、格局的改变,选择与协调,考虑生态系统服务价值,结合不同的整治目标,保证项目区生态系统服务总值在土地整理后有所提高^[41]。在此过程中,景观空间单元的功能性分类、生态功能分区、生态系统服务分类管理等是重要的研究内容^[42]; (3) 土地整治

的生态风险具有尺度性,在研究中应重视不同尺度上生态风险的变化,包括不同时期生态风险关键因子的变化,同时也要关注土地整治区内外生态风险的空间分布特征。在进行风险评价与不确定性分析过程中,需要加强数学分析与土地生态系统研究的交叉渗透^[43]。同时需要加强数据库的建设^[44-45]。

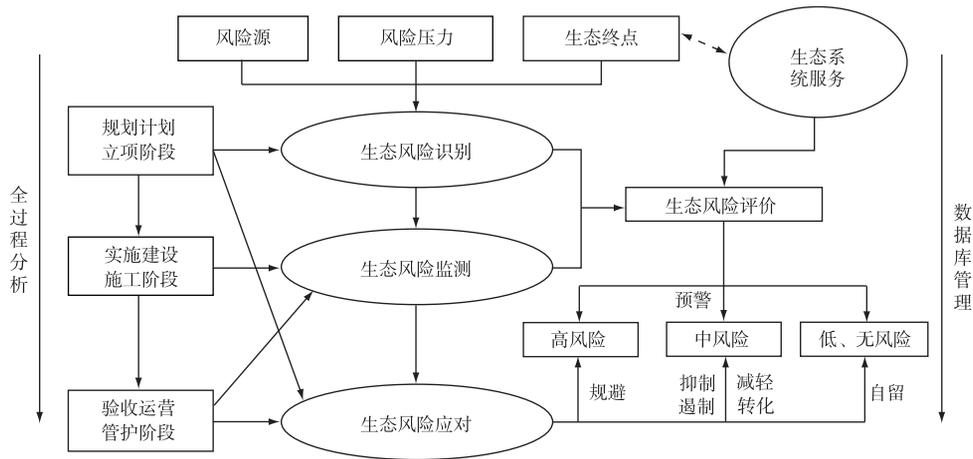


图3 土地整治生态风险全过程分析与调控策略

Fig. 3 Full process analysis of ecological risk of land regulation and controlling strategies

3.3 土地整治的生态风险应对技术建议

除了相关理论研究外,还需要深入揭示不同土地整治模式对不同生态风险因子的影响机制与演化趋势,将提升生态系统服务理念融入土地整治规划与实践中。以土地整治为平台,统筹运用城乡建设用地增减挂钩、低效开发、废弃地复垦和地质灾害治理等相关政策与手段,开展山水林田湖的统一整治与修复。主要建议如下:(1)在关键技术与评价方法上实现突破。构建适合不同区域的土地整治生态风险评估框架与指南,选择合适的评价指标体系,研究生态风险与预警模型;(2)形成相关的数据库平台与技术体系。主要是加强土地整治的背景资料调查,建立平台数据库,调研不同整治工程类型的生态风险规模,建设可量化、可共享的技术平台,为风险评估提供基础数据与必要参数;(3)开展典型土地整治区的技术示范与应用。特别是生态脆弱区、不同模式的土地整治区、发达城市区周边土地整治、高标准农田建设等生态风险与管控措施,研究风险管控的社会经济解决途径;(4)完善相关规章制度并成立相应的监管机构^[46]。进一步完善规划、立项实施方案中关于生态风险的调控方

法,提供必要的支撑调节。特别是工程实施前的生态调查、工程实施后的管理维护,同时加强土地整治的生态系统服务理论的宣传和普及,为生态风险评估的开展奠定坚实基础。

参考文献:

[1] 王军,严慎纯,白中科,等.土地整理的景观格局与生态效应研究综述[J].中国土地科学,2012,26(9):87-94.[WANG Jun, YAN Shen-chun, BAI Zhong-ke, et al. Review on Landscape Patterns of Land Consolidation and the Ecological Effects [J]. China Land Sciences, 2012, 26(9): 87-94.]

[2] 张中秋,胡宝清,韦金洪.基于生态文明的土地综合整治内涵与思路探析:以广西为例[J].钦州学院学报,2015,30(8):53-58.[ZHANG Zhong-qiu, HU Bao-qing, WEI Jin-hong. On the Connotation and Development Direction of Comprehensive Land Management Based on Ecological Civilization: A Case Study of Guangxi [J]. Journal of Qinzhou University, 2015, 30(8): 53-58.]

[3] 于漳佩,朱红梅,王乐,等.基于土地整理的生态服务价值损益估算:以洪江市洗马乡土地整理项目为例[J].湖南农业科学,2013(1):73-75,79.[YU Zhang-pei, ZHU Hong-mei, WANG Le, et al. Estimation of Gain and Loss for Ecosystem Service Value Based on Land Consolidation: A Case Study of Land Consolidation Project in Xima Town of Hongjiang City [J]. Hunan Agricultural Sciences, 2013(1): 73-75, 79.]

- [4] 张正峰, 赵伟. 土地整理的生态环境效应分析[J]. 农业工程学报, 2007, 23(8): 281-285. [ZHANG Zheng-feng, ZHAO Wei. Effects of Land Consolidation on Ecological Environment [J]. Transactions of the CSAE, 2007, 23(8): 281-285.]
- [5] 刘世梁, 安南南, 王军. 土地整理对生态系统服务影响的评价研究进展[J]. 中国生态农业学报, 2014, 22(9): 1010-1019. [LIU Shi-liang, AN Nan-nan, WANG Jun. Research Progress on the Effects of Land Consolidation on Ecosystem Services [J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2014, 22(9): 1010-1019.]
- [6] 周卫东, 孙鹏举. 基于土地生态服务价值对土地生态管理的探讨[J]. 山西农业科学, 2012, 40(2): 168-171, 185. [ZHOU Wei-dong, SUN Peng-ju. Approach to Ecosystem Management for Land Resource Based on Ecosystem Service Values of Land [J]. Journal of Shanxi Agricultural Sciences, 2012, 40(2): 168-171, 185.]
- [7] 李娜, 董立国, 刘长宁, 等. 黄土丘陵区土地利用格局与生态系统服务价值分析: 以中庄流域为例[J]. 水土保持研究, 2013, 20(1): 144-147. [LI Na, DONG Li-guo, LIU Chang-ning, et al. Analysis of Land Use Type and Ecosystem Service Value in Loess Hilly Region: A Case Study of Zhongzhuang Watershed [J]. Research of Soil and Water Conservation, 2013, 20(1): 144-147.]
- [8] 黄晓阳, 金晓斌, 郭贝贝, 等. 黄土台塬区农用地整治分区研究[J]. 资源科学, 2014, 36(3): 438-445. [HUANG Xiao-yang, JIN Xiao-bin, GUO Bei-bei, et al. Land Consolidation Regionalization of the Loess Platform [J]. Resources Science, 2014, 36(3): 438-445.]
- [9] COSTANZA R. Ecosystem Health and Ecological Engineering [J]. Ecological Engineering, 2012, 45(8): 24-29.
- [10] 卫学众, 陈文明, 郭闯, 等. 土地整理项目工程风险防范策略分析[J]. 国土资源导刊, 2008, 5(6): 10-12. [WEI Xue-zhong, CHEN Wen-ming, GUO Chuang, et al. Risk Analysis of Project Risk in Land Consolidation Project [J]. Land and Resources Herald, 2008, 5(6): 10-12.]
- [11] 付光辉. 土地整治生态风险评价研究[M]. 北京: 中国大地出版社, 2013: 66-67. [FU Guang-hui. Study on Ecological Risk Assessment of Land Renovation [M]. Beijing: China Land Press, 2013: 66-67.]
- [12] 付光辉, 刘友兆. 土地开发整理项目规划设计中引入生态风险评价的思考[J]. 广东土地科学, 2007, 6(2): 19-22. [FU Guang-hui, LIU You-zhao. Ecology Assessment in the Land Development and Reorganization Project [J]. Guangdong Land Science, 2007, 6(2): 19-22.]
- [13] 康鹏, 陈卫平, 王美娥. 基于生态系统服务的生态风险评价研究进展[J]. 生态学报, 2016, 36(5): 1192-1203. [KANG Peng, CHEN Wei-ping, WANG Mei-e. Advances in Ecosystem Service-Based Ecological Risk Assessment [J]. Acta Ecologica Sinica, 2016, 36(5): 1192-1203.]
- [14] 鄢大彬, 田小松, 周春蓉, 等. 基于土地整治的采煤区生态服务价值评价[J]. 中国农学通报, 2015, 31(1): 180-185. [YAN Da-bin, TIAN Xiao-song, ZHOU Chun-rong, et al. Evaluation of Ecosystem Services Value Based on Land Remediation in Mining Subsidence Area [J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2015, 31(1): 180-185.]
- [15] 付光辉, 刘友兆. 土地整理生态风险评价的概念模型构建[J]. 安徽农业科学, 2009, 37(20): 9586-9588, 9591. [FU Guang-hui, LIU You-zhao. Conceptual Model Construction for Ecological Risk Assessment of Land Consolidation [J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2009, 37(20): 9586-9588, 9591.]
- [16] 刘世梁, 董玉红, 王军. 基于 WEPP 模型的土地整理对长期土壤侵蚀的影响[J]. 水土保持学报, 2014, 28(4): 18-22. [LIU Shi-liang, DONG Yu-hong, WANG Jun. Effects of Land Consolidation on Long-Term Soil Erosion Based on WEPP Model [J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2014, 28(4): 18-22.]
- [17] THOMSEN M, FABER J H, SORENSSEN P B. Soil Ecosystem Health and Services: Evaluation of Ecological Indicators Susceptible to Chemical Stressors [J]. Ecological Indicators, 2012, 16(6): 67-75.
- [18] 刘佰琼, 徐敏. 埭子口海域表层沉积物重金属空间分布特征及生态风险评价[J]. 生态与农村环境学报, 2014, 30(5): 581-587. [LIU Bai-qiong, XU Min. Spatial Distribution of Heavy Metals in the Surface Sediments of Liezikou Sea Area and Ecological Risk Assessment [J]. Journal of Ecology and Rural Environment, 2014, 30(5): 581-587.]
- [19] 刘钦普. 安徽省化肥面源污染环境风险分析[J]. 生态与农村环境学报, 2015, 31(6): 876-881. [LIU Qin-pu. Environmental Risk Analyses of Non-Point Source Pollution From Fertilization in Anhui Province, China [J]. Journal of Ecology and Rural Environment, 2015, 31(6): 876-881.]
- [20] 王作功, 贾元华, 李健. 基于生态系统理论构建的项目风险管理系统[J]. 北京交通大学学报, 2009, 33(6): 56-60. [WANG Zuo-gong, JIA Yuan-hua, LI Jian. Research of Project Risk Management System Construction Based on Ecological Theory [J]. Journal of Beijing Jiaotong University, 2009, 33(6): 56-60.]
- [21] MALEKMOHAMMADI B, BLOUCHI L R. Ecological Risk Assessment of Wetland Ecosystems Using Multi Criteria Decision Making and Geographic Information System [J]. Ecological Indicators, 2014, 41(6): 133-144.
- [22] 周婷, 蒙古军. 区域生态风险评价方法研究进展[J]. 生态学杂志, 2009, 28(4): 762-767. [ZHOU Ting, MENG Ji-jun. Research Progress in Regional Ecological Risk Assessment Methods [J]. Chinese Journal of Ecology, 2009, 28(4): 762-767.]
- [23] 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 Guang-ming, HU Xiu-li, ZHANG Min, et al. On the Ecological Risks Assessment of the Land-Use Rectification and Reconstruction [J]. Journal of Safety and Environment, 2007, 7(6): 83-88.]
- [24] 孙洪波, 杨桂山, 苏伟忠, 等. 生态风险评价研究进展[J]. 生态学杂志, 2009, 28(2): 335-341. [SUN Hong-bo, YANG Gui-shan, SU Wei-zhong, et al. Research Progress on Ecological Risk Assessment [J]. Chinese Journal of Ecology, 2009, 28(2): 335-341.]
- [25] 虞燕娜, 朱江, 吴绍华, 等. 多风险源驱动下的土地生态风险评价: 以江苏省射阳县为例[J]. 自然资源学报, 2016, 31(8): 1264-1274. [YU Yan-na, ZHU Jiang, WU Shao-hua, et al. Assessment of Land Ecological Risks Driven by Multi-Sources: A Case Study of Sheyang County, Jiangsu Province [J]. Journal of Natural

- Resources, 2016, 31(8): 1264-1274.]
- [26] PAŠAKARNIS G, MALIENE V. Towards Sustainable Rural Development in Central and Eastern Europe: Applying Land Consolidation[J]. Land Use Policy, 2010, 27(2): 545-549.
- [27] BONFANTI P, FREGONESE A, SIGURA M. Landscape Analysis in Areas Affected by Land Consolidation[J]. Landscape and Urban Planning, 1997, 37(1/2): 91-98.
- [28] 彭建, 党威雄, 刘焱序, 等. 景观生态风险评价研究进展与展望[J]. 地理学报, 2015, 70(4): 664-677. [PENG Jian, DANG Wei-xiong, LIU Yan-xu, et al. Review on Landscape Ecological Risk Assessment[J]. Acta Geographica Sinica, 2015, 70(4): 664-677.]
- [29] WALLACE K J. Classification of Ecosystem Services: Problems and Solutions[J]. Biological Conservation, 2007, 139(3/4): 235-246.
- [30] 张正峰, 王琦, 谷晓坤. 秀山自治县土地整治生态系统服务价值响应研究[J]. 中国土地科学, 2012, 26(7): 50-55. [ZHANG Zheng-feng, WANG Qi, GU Xiao-kun. Ecosystem-Services Value Response of Land Comprehensive Consolidation in Xiushan Autonomous County[J]. China Land Sciences, 2012, 26(7): 50-55.]
- [31] 王军, 严慎纯, 余莉, 等. 土地整理的生态系统服务价值评估与生态设计策略: 以吉林省大安市土地整理项目为例[J]. 应用生态学报, 2014, 25(4): 1093-1099. [WANG Jun, YAN Shen-chun, YU Li, et al. Evaluation of Ecosystem Service Value and Strategies for Ecological Design in Land Consolidation: A Case of Land Consolidation Project in Da'an City, Jilin Province, China[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2014, 25(4): 1093-1099.]
- [32] 赵微, 闵敏, 李俊鹏. 土地整理区域生态系统服务价值损益规律研究[J]. 资源科学, 2013, 35(7): 1415-1422. [ZHAO Wei, MIN Min, LI Jun-peng. Regulation of Ecosystem Services in Land Consolidation Regions[J]. Resources Science, 2013, 35(7): 1415-1422.]
- [33] 付光辉, 陆守超. 基于生态系统服务价值的区域土地整理生态效益评价: 以南京市为例[J]. 生态经济, 2010, 26(5): 142-145. [FU Guang-hui, LU Shou-chao. Study on Economic Valuation of Regional Land Consolidation Ecological Benefits Based on Ecosystem Service Value: A Case of Nanjing[J]. Ecological Economy, 2010, 26(5): 142-145.]
- [34] 李屹峰, 罗跃初, 刘纲, 等. 土地利用变化对生态系统服务功能的影响: 以密云水库流域为例[J]. 生态学报, 2013, 33(3): 726-736. [LI Yi-feng, LUO Yue-chu, LIU Gang, et al. Effects of Land Use Change on Ecosystem Services: A Case Study in Miyun Reservoir Watershed[J]. Acta Ecologica Sinica, 2013, 33(3): 726-736.]
- [35] 官继萍, 石培基, 杨雪梅. 黑河中游土地生态价值及生态风险动态研究: 以甘肃省民乐县为例[J]. 土壤, 2012, 44(5): 846-852. [GONG Ji-ping, SHI Pei-ji, YANG Xue-mei. Changes of Land Ecosystem Value and Ecological Risk in Middle Reaches of Heihe River: A Case Study in Minle County of Gansu Province[J]. Soils, 2012, 44(5): 846-852.]
- [36] 李靖, 廖和平. 基于生态系统服务功能价值土地整理生态效益评价研究: 以重庆市长寿区木耳村土地整理项目为例[J]. 西南师范大学学报(自然科学版), 2013, 38(10): 94-99. [LI Jing, LIAO He-ping. On Eco-Benefit Evaluation of Land Consolidation Based on Functional Value of Ecosystem Service: A Case Study on Land Consolidation of Muer Village of Chongqing[J]. Journal of Southwest China Normal University (Natural Science Edition), 2013, 38(10): 94-99.]
- [37] WU J. Landscape Sustainability Science: Ecosystem Services and Human Well-Being in Changing Landscapes[J]. Landscape Ecology, 2013, 28(6): 999-1023.
- [38] 张贞, 高金权, 杨威, 等. 土地整理工程影响下农业生态系统服务价值的变化[J]. 应用生态学报, 2010, 21(3): 723-733. [ZHANG Zhen, GAO Jin-quan, YANG Wei, et al. Changes of Agroecosystem Services Value Under Effects of Land Consolidation[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2010, 21(3): 723-733.]
- [39] 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, 2007, 13(1): 25-38.
- [40] 李谦, 戴颀, 朱青, 等. 基于最小阻力模型的土地整治中生态连通性变化及其优化研究[J]. 地理科学, 2014, 34(6): 733-739. [LI Qian, DAI Liang, ZHU Qing, et al. Ecological Connectivity Changes and Its Pattern Optimization During Land Consolidation Based on Minimal Accumulative Resistance Model[J]. Scientia Geographica Sinica, 2014, 34(6): 733-739.]
- [41] 卢小丽. 基于生态系统服务功能理论的生态足迹模型研究[J]. 中国人口·资源与环境, 2011, 21(12): 115-120. [LU Xiao-li. Ecological Footprint Model Based on Ecosystem Services Theory[J]. China Population, Resources and Environment, 2011, 21(12): 115-120.]
- [42] VAISSIÈRE A C, LEVREL H, HILY C, et al. Selecting Ecological Indicators to Compare Maintenance Costs Related to the Compensation of Damaged Ecosystem Services[J]. Ecological Indicators, 2013, 29(3): 255-269.
- [43] WU J S, FENG Z, GAO Y, et al. Hotspot and Relationship Identification in Multiple Landscape Services: A Case Study on an Area With Intensive Human Activities[J]. Ecological Indicators, 2013, 29(3): 529-537.
- [44] 吴冬秀, 宋创业, 韦文珊, 等. 生态系统长期监测数据的质量维度研究[J]. 科研信息化技术与应用, 2012, 3(2): 44-52. [WU Dong-xiu, SONG Chuang-ye, WEI Wen-shan, et al. Data Quality Dimensions for Long-Term Ecosystem Observation[J]. e-Science Technology and Application, 2012, 3(2): 44-52.]
- [45] 李健, 苏锦河, 陈灿, 等. 青海湖 e-Science 应用研究进展[J]. 科研信息化技术与应用, 2014, 5(1): 70-76. [LI Jian, SU Jin-he, CHEN Can, et al. Progress in Qinghai Lake e-Science Application[J]. e-Science Technology and Application, 2014, 5(1): 70-76.]
- [46] 王静, 邵晓梅. 土地节约集约利用技术方法研究: 现状、问题与趋势[J]. 地理科学进展, 2008, 27(3): 68-74. [WANG Jing, SHAO Xiao-mei. Methodologies of Intensive Land Use Research: Issues and Trend[J]. Progress in Geography, 2008, 27(3): 68-74.]

作者简介: 刘世梁(1976—), 男, 山东沂水人, 教授, 博士, 主要从事景观生态学、土壤学方面的研究。E-mail: shiliangliu@bnu.edu.cn

(责任编辑: 李祥敏)