

# 喀斯特地区土地整理中的生物多样性保护

谢苗苗<sup>1</sup>, 李超<sup>2</sup>, 刘喜韬<sup>2</sup>, 付梅臣<sup>1</sup>

(1. 中国地质大学(北京)土地科学技术学院, 北京 100083; 2. 国土资源部土地整理中心, 北京 100035)

**摘要:** 以中国-欧盟生物多样性保护项目在贵州喀斯特地区的荔波示范区为研究区, 提出土地整理项目中进行生物多样性保护的思路与方法。首先基于生态敏感度评价划分土地整理重点区、自然植被保育区、林缘植被保护区、河流生态重建区和生态廊道建设区等土地整理分区, 其次依照耗费距离模型选择最小耗费路径构建生境廊道, 依照景观生态学原理确定景观中需保护的关键生态节点, 并通过地力恢复、灌排、道路与植被恢复等土地整理工程的生态化处理达成不同分区中的土地整理与生物多样性保护目标。以生物多样性保护为目标的土地整理项目规划协调了社会、经济与生态效益, 为建立可持续的土地综合整治提供理念与方法的参考。

**关键词:** 土地整理, 生物多样性, 农田景观, 喀斯特, 贵州荔波

doi: 10.3969/j.issn.1002-6819.2011.05.055

中图分类号: F301.24

文献标志码: A

文章编号: 1002-6819(2011)-05-0313-07

谢苗苗, 李超, 刘喜韬, 等. 喀斯特地区土地整理中的生物多样性保护[J]. 农业工程学报, 2011, 27(5): 313-319.  
Xie Miaomiao, Li Chao, Liu Xitao, et al. Biodiversity protection in land consolidation in Karst areas[J]. Transactions of the CSAE, 2011, 27(5): 313-319. (in Chinese with English abstract)

## 0 引言

中国的土地整理多在项目区内采取村庄迁并、荒地开发、筑路修渠、田块合并等扩大耕地面积、改善生产条件的措施, 有效地补充了耕地面积, 实现耕地占补平衡, 促进农村经济发展<sup>[1]</sup>。与此同时, 土地整理中的生态环境问题也逐渐显现<sup>[2]</sup>, 包括景观生态效应<sup>[3]</sup>、土壤、水文环境、气候、生物多样性等<sup>[4-5]</sup>。其中生物多样性是生态环境效应的重要指标<sup>[5-6]</sup>, 其保护问题是全世界关注的热点问题, 土地整理的生物多样性保护成为土地整理领域的前沿命题。

德国、瑞士、荷兰、波兰等发达国家, 已经将农业地区的生物多样性保护和景观价值维护作为土地整理的重要目标, 在土地整理区域内保留具有重要生态价值的景观, 通过建立生态补偿区、构建生态廊道等方式保留农田景观中的生物栖息地<sup>[9-14]</sup>。中国现阶段的土地整理项目主要以增加耕地面积提高耕地质量为目标<sup>[6,15]</sup>, 单纯以增加耕地面积为目的的土地整理项目, 对生物多样性产生直接和间接的影响。农田景观呈现规则性分布、作物规模化种植、沟渠道路不透水等特征, 降低了农田景观的多样性和生境的连通性, 直接影响了农田生态系统的生物多样性<sup>[3,5]</sup>; 土地整理后植被种类和群落结构趋于单一和简单, 导致农田害虫天敌的生境灭失, 增加了病虫害大规模爆发的风险, 影响农田生态系统的稳定性和效益<sup>[6-8]</sup>, 从

而对农田景观的生物多样性造成潜在影响。土地整理中的生物多样性保护技术方法研究仍处在起步阶段, 多集中在理念提出和经验借鉴层面<sup>[16-19]</sup>, 如何构建操作性强的保护框架是土地整治中亟需解决的现实问题<sup>[5,10,15,19]</sup>。

由此, 本文选取中国-欧盟生物多样性项目(EU-China biodiversity programme, ECBP)在贵州荔波的示范区为研究区, 综合景观生态学中的“斑-廊-基”格局优化模式<sup>[20]</sup>和土地整理工程规划设计方法, 借助生物多样性调查和GIS分析技术, 探索喀斯特地区土地整理中实行生物多样性保护的途径。

## 1 研究区概况

本文以贵州省荔波县西南部的洞塘乡板寨村河头为研究区, 位于黔东南茂兰国家级自然保护区外缘, 属于典型的喀斯特峰丛谷地地区, 总面积 86.64 hm<sup>2</sup>。研究区地势西高东低, 南侧与北侧为喀斯特低山, 三岔河的支流自西向东流经研究区中部谷地。研究区内总人口 390 人, 均为农业人口。农业种植活动聚集在河岸两侧, 从河流延伸至两侧山脊形成河流-农作物-人工植被-自然植被的垂直分布格局(图 1)。研究中采用的基础数据包括 1:1 000 地形图、土地利用现状图和植被分布图, 以及动植物多样性调查的数据资料。

2008 年在该区进行的生物多样性调查表明区内有植物 90 余种, 其中包括单性木兰(*Kmeria septentrionalis* Dandy)、香木莲(*Manglietia aromatica* Dandy)、任豆(*Zenia insignis* Chun)、多花兰(*Cymbidium floribunolum* Lindl.)、鹤顶兰(*Phaius tankervilleae* Lindl.)等 5 种国家重点保护植物; 分布动物 50 余种, 其中包括中华秋沙鸭(*Mergus squamatus*)、褐翅鹑(*Centropus sinensis*)、斑头鹑(*Glaucidium cuculoides whiteleyi*)、棕背田鸡

收稿日期: 2010-08-19 修订日期: 2011-05-18

基金项目: 中国-欧盟生物多样性项目(ECBP)-土地利用规划与土地整理中的生物多样性保护项目(00062998); 国土资源部公益性行业科研专项(200911015)。

作者简介: 谢苗苗(1982-), 女, 河北保定人, 博士后, 主要从事景观生态与土地利用研究。北京 中国地质大学(北京)土地科学技术学院, 100083。Email: xmiaomiao@gmail.com

(*Porzana bicolor*)、猕猴 (*Macaca mulatta*)、斑灵狸 (*Prionodon pardicolor*) 等 6 种国家重点保护动物。

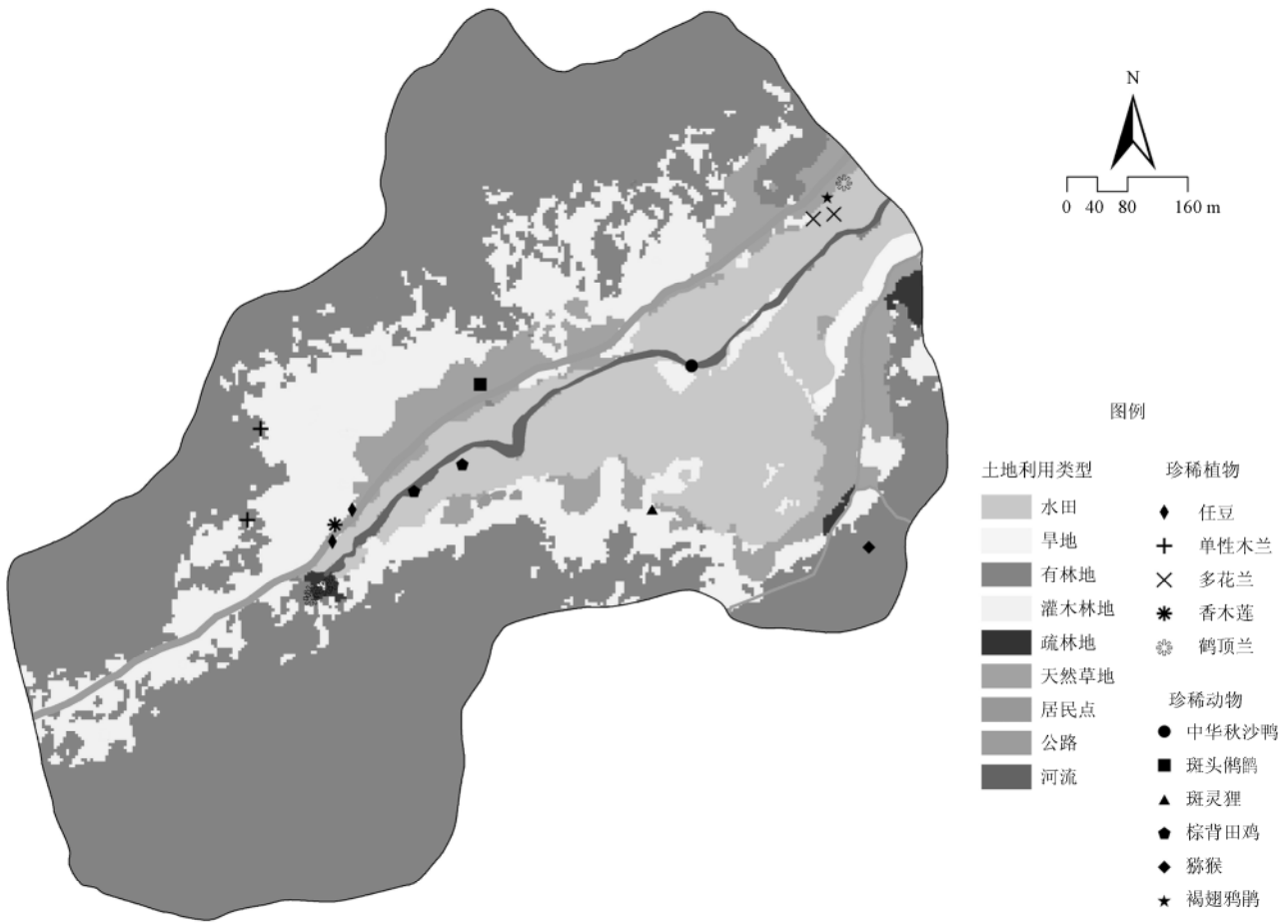


图 1 土地利用现状及珍稀动植物分布图  
Fig.1 Land use and the distribution of rare species

### 2 生物多样性保护评价与格局优化

土地整理中的生物多样性保护研究旨在探索农田生态系统中如何维护生物多样性和生态系统的稳定性，有助于降低农田遭受病虫害的风险<sup>[7,8]</sup>，促进土地的可持续利用，并且是对建立保护区方式进行就地保护生物多样性的重要补充<sup>[9]</sup>。由于研究区处于自然保护区外缘拥有多种珍稀物种，生物多样性保护的关键在于保护生态敏感

区域，增加珍稀物种活动与迁移的生境连通度。研究的主要思路为以生物多样性保护评价为依据优化生境格局，进行生态敏感度评价、最小耗费路径评价和关键生境斑块识别，分别作为格局优化中基质、廊道和斑块优化的依据，在生境格局优化的基础上进行土地整理工程的规划、设计与实施（图 2）。

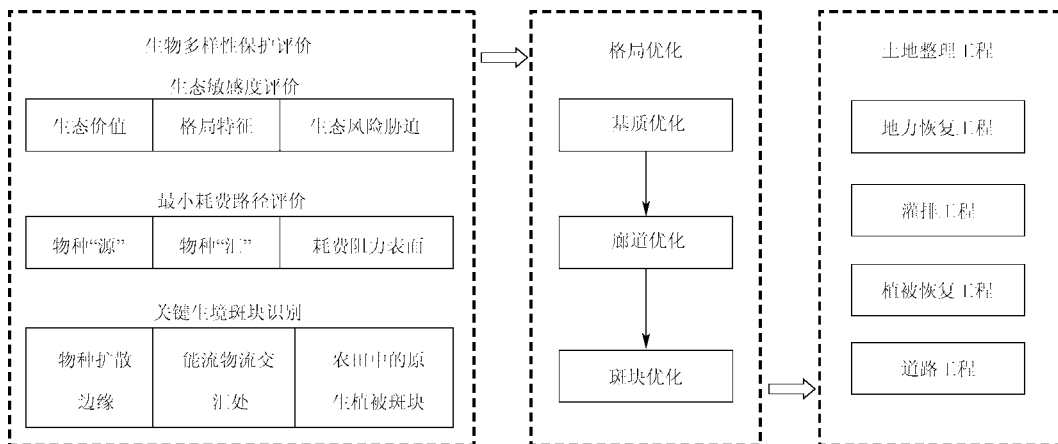


图 2 土地整理中的生物多样性保护流程图  
Fig.2 The steps of biodiversity protection in land consolidation

2.1 生态敏感度评价与基质优化

生态敏感度指的是生物多样性对土地整理工程和农业活动的敏感性，生态敏感度高的地区容易受到人为或自然因素胁迫发生生态系统功能退化，是农业可持续发展和进行农田生态环境综合整治的关键地区<sup>[21-22]</sup>。

表 1 生态敏感度评价指标

Table 1 Indices for ecological sensitivity evaluation

生态敏感度因子	指标	计算方法	方向*
生态价值 (Value)	生态系统服务价值	土地利用面积×土地利用类型的生态系统服务价值当量 <sup>[23]</sup>	+
	珍稀物种分布	物种珍稀程度×珍稀物种数量	+
	植被覆盖度	植被覆盖面积/总面积	+
格局特征 (Pattern)	景观形状指数	Shape Index <sup>[24]</sup>	+
	生境连通度	COHESION <sup>[24]</sup>	-
	生境斑块最大面积指数	Largest Patch Index <sup>[24]</sup>	-
生态风险胁迫程度 (Risk)	土壤侵蚀风险程度	降水×坡度×土地利用 <sup>[25]</sup>	+
	水质污染风险程度	土地利用面积×风险等级	+

\*注：表示指标数值对生态敏感度具有正向或负向贡献。

结合生物多样性保护目标、生态敏感状况和欧盟专家建议，通过生态价值 (Value)、格局特征 (Pattern) 与生态风险胁迫程度 (Risk) 三方面指标来度量各土地利用单元的生态敏感度 (表 1)，经归一化处理后应用理想景观向量模型 (式 1) 评价研究区的生态敏感度<sup>[26]</sup>。式 (1)  $ES_i$  代表评价单元  $i$  的生态敏感度值， $n$  是指标总数， $y'_{i,k}$  是  $i$  单元第  $k$  个生态敏感度评价因子的数值， $V_k$  是评价单元中生态敏感度的最低值。得出的生态敏感度划分为高、中、低三个等级，作为基质优化的依据 (表 2)。

$$ES_i = \sqrt{\left[ \sum_{k=1}^n (y'_{i,k} - V_k)^2 \right]} \quad (1)$$

生态敏感低值区主要为水田和旱地集中分布区，其中水田占 9.93 hm<sup>2</sup>，旱地面积为 0.63 hm<sup>2</sup>。处于研究区河谷谷地，地势较为平坦，生态风险胁迫低，生态价值主要体现在农作物生产功能上，仅在农田中分布有零星的生境斑块，生境连通性较低。现有地块较零散，灌溉模式以土渠输水为主，灌溉效率较低，优化方向为土地整理重点区 (表 2)。

生态敏感中值区包括：1) 道路及其缓冲区，两侧地形较为复杂、地表植被覆盖度低，土壤侵蚀风险胁迫高；道路两侧分布有任豆、香木莲、多花兰、鹤顶兰等珍稀植物，褐翅鸦鹃和斑头鸫鹛多在道路两侧的灌丛中活动觅食，具有一定的生态价值。道路工程作为人类扰动强烈的人工廊道，在增加人类活动连通性的同时隔离了生境影响生物多样性。为削弱道路对物种迁移和扩散的阻隔作用，设定为生态廊道建设区，占研究区总面积的 10.3%。2) 水域廊道及其缓冲区，是中华秋沙鸭、猕猴、斑灵狸、褐翅鸦鹃、棕背田鸡等珍稀动物的觅食饮水和隐蔽藏身场所，以及鹤顶兰、香木莲等珍稀植物的生境，区内小水塘及湿地受到人为活动影响强烈，水质污染风险程度较高，设为河流生态重建区，占研究区的 4.2%。

表 2 生态敏感度分区与土地整理基质优化方向

Table 2 Ecological sensitivity and pattern optimization in land consolidation regions

分区	生态价值	格局特征	生态风险胁迫	基质优化方向
生态敏感度低值区	最低	农田为优势景观	低风险	土地整理重点区
生态敏感度中值 (1) 区	中等	连通性亟需优化	土壤侵蚀风险	生态廊道建设区
生态敏感度中值 (2) 区	较高	生境连通性需提高	水质污染风险	河流生态重建区
生态敏感度高值 (1) 区	最高	连通性好	极易受胁迫	自然植被保育区
生态敏感度高值 (2) 区	很高	形状复杂易受外界影响	较易受胁迫	林缘植被保护区

生态敏感高值区主要位于研究区外缘的自然植被及边缘的疏林、灌木林缘地带 (表 2)：1) 自然植被分布区与自然保护区相连，区内物种丰富度高、包含一定的珍稀物种，生境保留较为完好、连通程度高，具有最高的生态价值，但极易受到干扰造成功能损失。基质优化方向为自然植被保育区，占研究区总面积的 51.5%。2) 林缘地带是自然植被保育区向土地整理重点区的过渡地带，面积为研究区总面积的 21.3%。其生态系统和群落的多样性对栖息于林缘灌丛的斑头鸫鹛、斑灵狸等物种的保护，以及单性木兰、任豆等珍稀植物群落生境的扩展具有重要意义，并对农作物生产具有重要的防护作用，具有较高的生态价值。生态系统极易受到土壤侵蚀、农业生产、交通运输等自然和人为因素的干扰，设为林缘植被保护区。

2.2 最小耗费路径评价与廊道优化

生境廊道优化是提高生境连通性、保护生物多样性的重要保障。研究区中，中华秋沙鸭和棕背田鸡的活动范围在河流两侧，斑头鸫鹛的主要活动范围为原生阔叶林，维护原有生境和严禁捕猎是保护以上三种珍稀动物的有效途径。而其他珍稀动物——猕猴、斑灵狸和褐翅鸦鹃活动范围跨越农田、灌木林地、疏林地、有林地等多种景观，廊道对于生境的维护具有重要作用，选择这三种动物作为最小耗费路径评价的对象确定廊道优化的位置<sup>[27-28]</sup>，提高廊道保护生物多样性的效率。

最小耗费路径模型遵循系统论中的能量消耗最小化原理，即生态系统中的物质流和能量流选择“源”、“汇”之间最小的能耗路径运行。生物多样性调查动物的栖息地、活动习性与觅食区域，栖息地作为最小耗费距离模型中的“源”，如猕猴和斑灵狸等动物栖息的山地常绿阔叶林和稀树灌丛，褐翅鸦鹃繁殖季节喜栖息的隐蔽灌丛乔木等处 (图 1)。动物觅食与活动区域作为“汇”，猕猴和斑灵狸常至溪边觅食饮水，褐翅鸦鹃多食农田中和河流两岸的毛虫、蝗虫等害虫，则设定河流和水田为“汇” (图 1)。根据动物活动习性和研究区植被覆盖状况，利用 ArcGIS 的 Cost Distance 模块构建各类动物活动和通行的阻力表面<sup>[27,29-30]</sup> (图 3)。根据耗费阻力图选取最小耗费路径，在路径所经之处通过植被恢复工程设置

生境廊道，保留原有生境斑块，避免道路和沟渠对连通性的破坏（图4）。

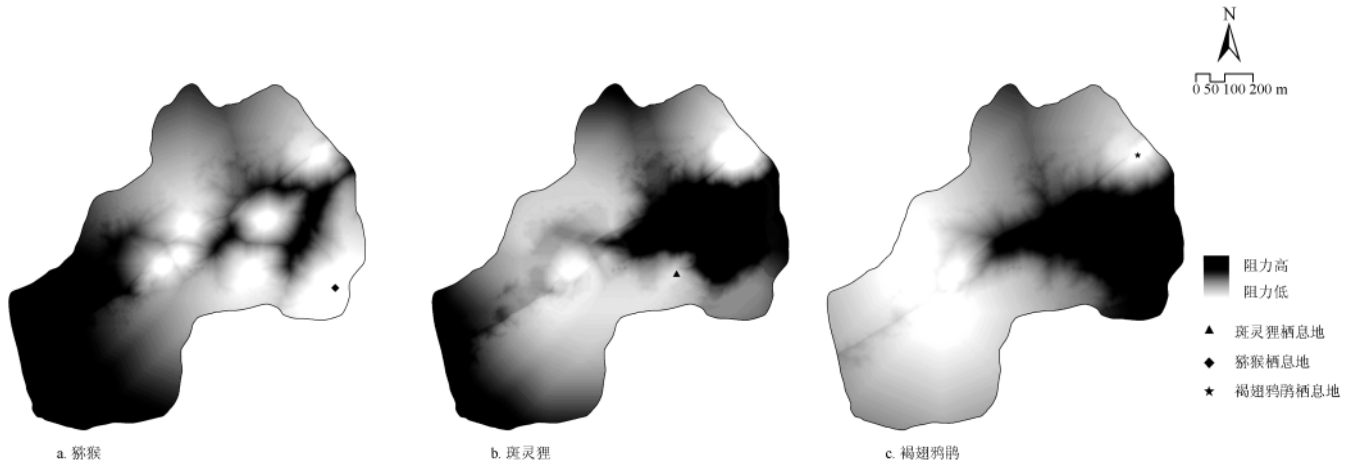


图3 珍稀动物活动和通行耗费阻力表面图

Fig.3 Cost distance for rare animals

### 2.3 关键生境斑块识别与斑块优化

景观中的关键斑块与节点对维护生物多样性同样具有重要作用，往往可以决定生物多样性保护的整体水平，物种扩散的斑块边缘、各种能量流和物质流的交汇处、农田中的原生植被等具有维护生态系统功能的关键

作用<sup>[31]</sup>。研究区现有的主要生境斑块包括农田中的树木、灌丛、荒草和小水塘等生态岛，物质流和能量流较为充沛的河流源头与交汇处，易于物种扩散的半岛状生境斑块等，均是需要同保护与优化的斑块（图4）。

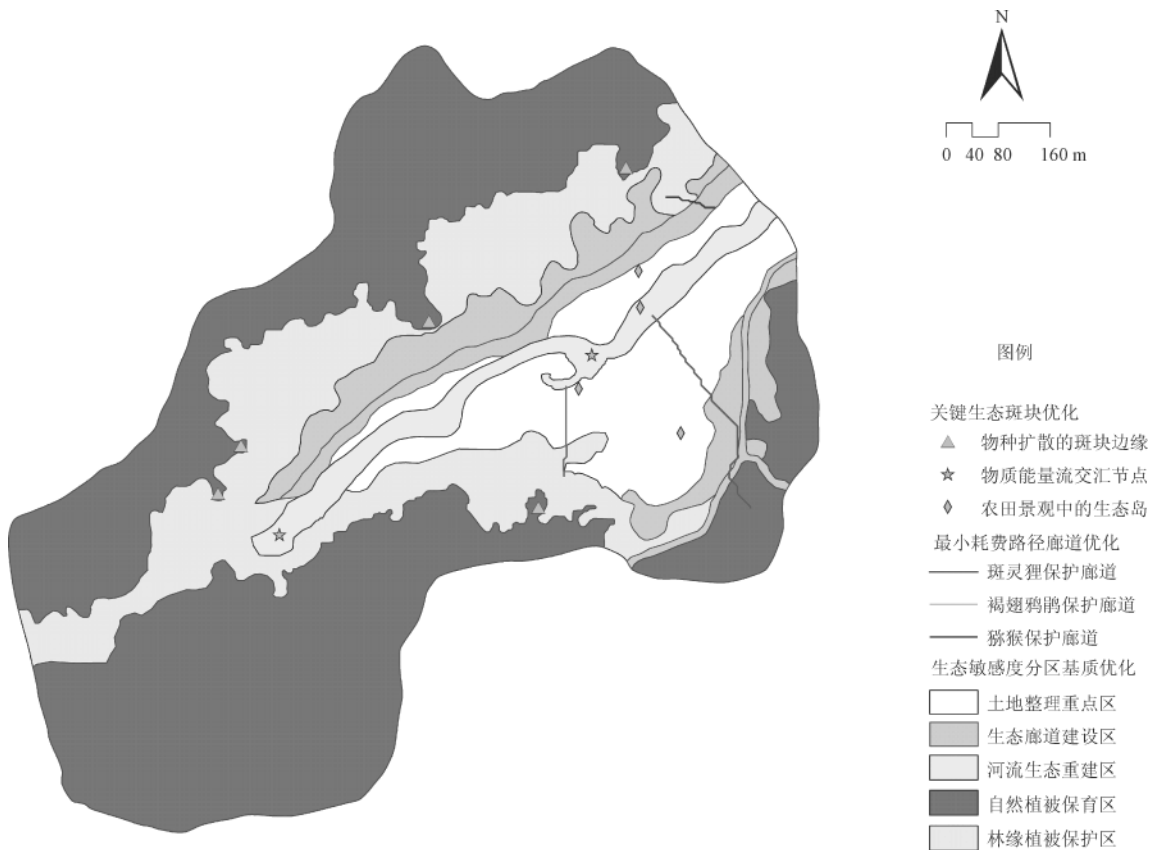


图4 生境格局优化示意图

Fig.4 Habitat pattern optimization

### 3 不同分区中的土地整理工程

土地整理工程主要包括地力恢复工程、灌排工程、

植被恢复工程和道路工程，基于生物多样性保护的 land 整理工程需针对特定土地整理分区，以生态化原则进行设计、实施与管护。

实施土地整理工程中需注意的原则包括：1) 实施保肥、保土、保护物种工程。在土地平整工程中，采取表土剥离措施，保护肥沃土壤和土壤动物、植物种源，维护原生态。2) 选择适宜施工期。土地平整工程在9月至次年2月间进行，以避开大多数动物的繁殖期。3) 采用适宜的施工工艺。施工采用小型机械结合人工措施，工程爆破采用低振低噪爆破技术，减少对动植物的扰动。4) 在工程实施中应避免在生态高敏感区、动物通行廊道和关键生境斑块内设置施工场地和工程临时用地(图4)，减少施工过程对生态系统的扰动。

### 3.1 土地整理重点区

实施土地平整工程、土壤肥力保持措施、水土保持措施等地力恢复工程，提高土地整理重点区土地利用效率，减少对生态高敏感地区的压力。土地平整工程将小地块适当整理为大地块，清除农田中的卧牛石提高耕作便利度、增加耕地面积。为有效保护陡坡梯田的稳定性，减缓水土流失，保留传统的“U”形、鱼鳞状和波浪状田坎，发挥其抗水力冲击的力学特性。土地整理重点区实施土地平整工程 $1.36\text{ hm}^2$ ，整理后增加耕地面积为 $1.04\text{ hm}^2$ 。

灌排工程需根据研究区水系湿地现状、水资源利用状况、现有排灌系统、农作物种植状况等因素进行设计，构建与自然水系相协调的灌排系统，河流至农田之间的新建输水渠道采用PPR管以减少水泥沟渠对生物的阻隔作用并提高水资源利用率，项目区共修PPR管道 $2\ 368\text{ m}$ 。优化农田景观内的灌溉系统，构建生态化沟渠减少对生物的阻隔效应。在土层较厚、石漠化风险程度较低的水田中，保留土质构造的田内调节渠道，并保持田间小水塘的常年蓄水状态，维护鱼类及两栖动物的生存环境；对渗漏损失较大的渠道进行砼衬砌防渗处理，以节约水资源；在已有和新建防渗渠道中每隔 $100\text{ m}$ 以小圆木、树枝等天然材料搭设沟渠生态板<sup>[5,32]</sup>，并通过恢复两侧灌草丛构建生态沟渠，利于昆虫、爬行类和两栖类动物通行。

保留和恢复农田景观中的原生生境，保持生境连通性，便于动物的隐蔽与迁移。在珍稀动物运行最小耗费路径上保留田坎上的荒草灌丛，构建生态廊道(图3)，增加景观的可达性。农田中残存的原生植被斑块和小水塘对保留原生物种、提供生态岛具有重要作用，应予以保护(图3)。

### 3.2 生态廊道建设区

基于生物多样性保护的道路工程设计重点在于设置合理宽度，并尽量选取本地土石材料。田间道设计宽度为 $3\text{ m}$ ，路面结构设计为泥结石路面厚 $10\text{ cm}$ 、路基夯填土厚 $20\text{ cm}$ ，两旁修建干砌石路肩，路肩两侧种植乔灌木，起到减缓水土流失减少道路阻隔效应的作用，共修建 $1\ 992\text{ m}$ 。生产道宽度小于 $1.2\text{ m}$ ，共修建 $890\text{ m}$ ，采用泥结石堆砌路面，增加道路透水性减少动物通行阻力，两侧种植灌草植被。

同时，在两栖类、爬行类等小动物迁徙廊道与道路交汇处增设桥涵(图4)，在猕猴和鸟类活动穿行的道路两侧种植本地乔木或果树，如拐枣、南酸枣、构树等，

为鸟类提供停歇场所，为猕猴提供食物来源，减少道路的阻隔效应。

### 3.3 河流生态重建区

修复河流及沟渠两侧植被，种植小叶女贞、蚊母树等本地植物。重点恢复河流与农田之间的植被，选取灌草间种乔木的方式设置异质性树篱，起到防护农田与维护生物多样性的作用。河流的源头与汇流处是能量流与物质流的关键节点，分布有鹤顶兰、任豆、多花兰、中华秋沙鸭等珍稀动植物，在这些区域应加强植被培育与防护，修复沼泽湿地补植香蒲、李氏禾、蔗草、问荆等本地种，为中华秋沙鸭等物种提供越冬生境。

### 3.4 自然植被保育区

自然植被保育区位于茂兰自然保护区的外缘，此区域的保护策略为严格的植被保育，维护自然植被良好的连通性。并选取具有较丰富物种和较强扩散作用的半岛状斑块边缘种植国家一级重点保护植物单性木兰(图3)，扩展其分布范围，增强群落的优势度。

### 3.5 林缘植被保护区

树篱是防护农田、减少土壤侵蚀、增加生境多样性的重要方式<sup>[31]</sup>。传统农田防护林的单一化易造成农田景观中野生动物物种生境的缺失，高大乔木与农作物形成突变边缘致使农作物减产，因此农田景观至山地阔叶林景观的过渡带上宜保留稀树灌丛林缘，构建农田景观边缘的异质性防护树篱。并保留林缘的岩石与灌丛等生境斑块，以保护在林下灌丛从岩石缝隙中生长的多花兰和鹤顶兰等灌木。

## 4 结论

结合 ECBP 在贵州省荔波的示范项目，本文通过生境格局优化和生态化的土地整理工程提高土地整理项目区生境的多样性与生态系统的稳定性，为土地整理中加强生物多样性保护提供分析评价、规划设计和工程实施等方面的借鉴参考：

1) 研究区拥有多种珍稀物种，且处于生态环境较为脆弱的喀斯特地貌区，生物多样性保护的关键在于减少农业活动对高敏感地区的扰动，因此采用生态敏感度评价方法进行土地整理分区，确定需进行重点保护的高敏感地区。

2) 生境连通性对于生物多样性保护具有重要意义，为增强物种迁移与通行的连通性，基于耗费阻力表面选取最小耗费路径，为生态廊道的建设提供定位依据。

3) 土地整理工程以基于生物多样性保护评价的景观格局优化为空间布局依据，避免或减少土地平整工程中对生态系统的扰动，依循生态化理念设计道路、灌排等工程，保留农田中的生态岛等关键斑块，重建具有高异质性结构的林缘与河流两侧树篱，修复湿地生态系统为物种提供生境。

该研究是在农用地土地整理中落实生物多样性保护理念的尝试与探索，项目的实施可改善灌排和交通运输条件，提高农作物单产，并通过土地平整增加耕地面积，为实现增加耕地数量、提高耕地质量和改善生态环境的

土地整理综合目标提供技术框架与定量分析方法。在未来的研究中,应加强对土地整理实施后生物多样性状况的监测与评价研究,以进一步完善生物多样性保护的技术与策略,以期通过土地综合整治推进农业生态系统的可持续发展。

志谢:感谢贵州省土地整理中心对实地调研的大力支持,贵州师范大学中国南方喀斯特研究院为本研究提供了基础数据和相关资料,在此深表谢意。

#### [参 考 文 献]

- [1] 高向军, 罗明, 张惠远. 土地利用和覆被变化(LUCC)研究与土地整理[J]. 农业工程学报, 2001, 17(4): 151—155.  
Gao Xiangjun, Luo Ming, Zhang Huiyuan. Study on land use and cover change and land consolidation[J]. Transactions of the CSAE, 2001, 17(4): 151—155. (in Chinese with English abstract)
- [2] 郎文聚, 杨红. 农村土地整治新思考[J]. 中国土地, 2010, (2/3): 69—71.
- [3] 王军, 邱扬, 杨磊, 等. 基于GIS的土地整理景观效应分析[J]. 地理研究, 2007, 26(2): 258—264.  
Wang Jun, Qiu Yang, Yang Lei, et al. Landscape effect analysis of land consolidation using GIS [J]. Geographical Research, 2007, 26(2): 258—264. (in Chinese with English abstract)
- [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 Zhengfeng, Zhao Wei. Effects of land consolidation on ecological environment[J]. Transactions of the CSAE, 2007, 23(8): 281—285. (in Chinese with English abstract)
- [5] 刘勇, 吴次芳, 岳文泽, 等. 土地整理项目区的景观格局及其生态效应[J]. 生态学报, 2008, 28(5): 2261—2269.  
Liu Yong, Wu Cifang, Yue Wenze, et al. Evaluation of ecological effect and landscape pattern in land consolidation project[J]. Acta Ecologica Sinica, 2008, 28(5): 2261—2269. (in Chinese with English abstract)
- [6] 孙一铭. 土地整理的生物多样性影响研究综述[J]. 中国国土资源经济, 2008(7): 15—17.
- [7] Altieri M A. Biodiversity and pest management in agroecosystems [M]. New York: Haworth Press, 1994, 185.
- [8] 尤民生, 刘雨芳, 侯有朋. 农田生物多样性与害虫综合治理[J]. 生态学报, 2004, 24(1): 117—122.  
You Minsheng, Liu Yufang, Hou Yongming. Biodiversity and integrated pest management in agroecosystems [J]. Acta Ecologica Sinica, 2004, 24(1): 117—122. (in Chinese with English abstract)
- [9] Dobson A P, Bradshaw A D, Baker A J M. Hopes for the future :restoration ecology and conservation biology. Science, 1997, 277: 515—522.
- [10] 赵桂慎, 贾文涛, 柳晓蕾. 土地整理过程中农田景观生态工程建设[J]. 农业工程学报, 2007, 23(11): 114—119.  
Zhao Guishen, Jia Wentao, Liu Xiaolei. Construction of ecological engineering of farm landscape for land consolidation[J]. Transactions of the CSAE, 2007, 23(11): 114—119. (in Chinese with English abstract)
- [11] 艾尼瓦尔·吐米尔, 马合木提·哈力克, Tomas Frank. 农田及生态补偿区甲虫群落结构的差异[J]. 生态学报, 2005, 25(9): 2284—2290.  
Tumur Anwar, Halik Mahmut, Frank Tomas. Beetles communities structure differences between farmland and ecological compensation area[J]. Acta Ecologica Sinica, 2005, 25(9): 2284—2290. (in Chinese with English abstract)
- [12] 徐雪林, 杨红, 肖光强, 等. 德国巴伐利亚州土地整理与村庄革新对我国的启示[J]. 资源产业, 2002, 4(5): 35—39.
- [13] 国土资源部耕地保护司、土地整理中心. 中外土地整理比较研究[R]. 全国土地开发整理规划专题研究之五, 2002.
- [14] G. Van Huylbroeck, J. Castro Coelho, Pinto P A. Evaluation of land consolidation projects (LCPs): A multidisciplinary approach[J]. Journal of Rural Studies, 1996, 12(3): 297—310.
- [15] 李红举, 林坚, 阎红梅. 基于农田景观安全格局的土地整理项目规划[J]. 农业工程学报, 2009, 25(5): 217—222.  
Li Hongju, Lin Jian, Yan Hongmei. Planning of land consolidation project based on farmland landscape security pattern[J]. Transactions of the CSAE, 2009, 25(5): 217—222. (in Chinese with English abstract)
- [16] 付梅臣, 陈秋计, 米静, 等. 农田景观规划设计及3S技术应用[J]. 农业工程学报, 2003, 19(1): 196—199.  
Fu Meichen, Chen Qiuji, Mi Jing, et al. Farm landscape and planning and application of 3S[J]. Transactions of the CSAE, 2003, 19(1): 196—199. (in Chinese with English abstract)
- [17] 张正峰. 国外可持续土地整理的发展特征及对我国的启示[J]. 生态经济, 2007, (10): 144—147.  
Zhang Zhengfeng. Development characteristics of sustainable land consolidation in foreign countries and its implications for China[J]. Ecological Environment, 2007, (10): 144—147. (in Chinese with English abstract)
- [18] 张正峰. 我国土地整理模式的分类研究[J]. 地域研究与开发, 2007, 26(4): 82—85.  
Zhang Zhengfeng. Connotation and classification of land consolidation pattern in China[J]. Areal Research and Development, 2007, 26(4): 82—85. (in Chinese with English abstract)
- [19] 魏秀菊, 胡振琪, 何蔓. 土地整理可能引发的生态环境问题及宏观管理对策[J]. 农业工程学报, 2005, 21(增刊): 127—130.  
Wei Xiuju, Hu Zhenqi, He Man. Potential problems of ecological environment resulted from land rehabilitation and their macroscopic management countermeasures[J]. Transactions of the CSAE, 2005, 21(Supp): 127—130. (in Chinese with English abstract)
- [20] Forman R T T. Land mosaics: the ecology of landscape and regions[M]. Cambridge: Cambridge University Press. 1995.
- [21] Nilsson C N, Grelsson G. The fragility of ecosystems: a review[J]. Journal of Applied Ecology, 1995, 32: 677—692.

- [22] 徐福留, 曹军, 陶澍, 等. 区域生态系统可持续发展敏感因子及敏感区分析[J]. 中国环境科学, 2000, 20(4): 361—365.  
Xu Fuli, Cao Jun, Tao Shu, et al. Analysis of sensitive factors and regions for the sustainable development of regional ecosystem[J]. China Environmental Science, 2000, 20(4): 361—365. (in Chinese with English abstract)
- [23] 谢高地, 鲁春霞, 冷允法, 等. 青藏高原生态资产的价值评估[J]. 自然资源学报, 2003, 18(2): 189—196.  
Xie Gaodi, Lu Chunxia, Leng Yunfa, et al. Ecological assets valuation of the Tibetan Plateau[J]. Journal of Natural Resources, 2003, 18(2): 189—196. (in Chinese with English abstract)
- [24] McGarigal K, Cushman S A, Neel M C, et al. FRAGSTATS: Spatial Pattern Analysis Program for Categorical Maps[EB/OL]. Computer software program produced by the authors at the University of Massachusetts, Amherst. 2002. Available URL: [www.umass.edu/landeco/research/fragstats/fragstats.html](http://www.umass.edu/landeco/research/fragstats/fragstats.html).
- [25] 颜磊, 许学工, 谢正磊, 等. 北京市域生态敏感性综合评价[J]. 生态学报, 2009, 29(6): 3118—3125.  
Yan Lei, Xu Xuegong, Xie Zhenglei, et al. Integrated assessment on ecological sensitivity for Beijing[J]. Acta Ecologica Sinica, 2009, 29(6): 3118—3125. (in Chinese with English abstract)
- [26] Rossi P, Pecci A, Amodio V, et al. Coupling indicators of ecological value and ecological sensitivity with indicators of demographic pressure in the demarcation of new areas to be protected: the case of the Oltrepò Pavese and the Ligurian-Emilian Apennine area (Italy)[J]. Landscape and Urban Planning, 2008, (85): 12—26.
- [27] 张小飞, 王仰麟, 李贵才, 等. 流域景观功能网络构建及应用——以台湾乌溪流域为例[J]. 地理学报, 2005, 60(6): 974—980.  
Zhang Xiaofei, Wang Yanglin, Li Guicai, et al. Landscape functions network construction and application in watershed scale: a case study on Taiwan Wuxi watershed[J]. Acta Geographica Sinica, 2005, 60(6): 974—980. (in Chinese with English abstract)
- [28] 张小飞, 王仰麟, 李正国. 两岸典型城市生态功能网络的组成与结构[J]. 生态学杂志, 2007, 26(3): 399—405.  
Zhang Xiaofei, Wang Yanglin, Li Zhengguo. Elements and configuration of ecological function network in typical cities of the Mainland and Taiwan[J]. Chinese Journal of Ecology, 2007, 26(3): 399—405. (in Chinese with English abstract)
- [29] Wegner J F, Merriam G. Movements by birds and small mammals between a wood and adjoining farmland habitats[J]. Journal of Applied Ecology, 1979, (16): 349—358.
- [30] 李晓文, 胡远满, 肖笃宁. 景观生态学与生物多样性保护[J]. 生态学报, 1999, 19(3): 399—407.  
Li Xiaowen, Hu Yuanman, Xiao Duning. Landscape ecology and biodiversity conservation[J]. Acta Ecologica Sinica, 1999, 19(3): 399—407. (in Chinese with English abstract)
- [31] 肖笃宁, 李秀珍, 高峻, 等. 景观生态学[M]. 北京: 科学出版社, 2003.
- [32] 鲍海君, 徐保根. 生态导向的土地整治区空间优化与规划设计模式[J]. 经济地理, 2009, 29(11): 1903—1906.  
Bao Haijun, Xu Baogen. Planning mode for land remediation based on ecological priority: a case of Qixing Town of Jiaying[J]. Economic Geography, 2009, 29(11): 1903—1906. (in Chinese with English abstract)

## Biodiversity protection in land consolidation in Karst areas

Xie Miaomiao<sup>1</sup>, Li Chao<sup>2</sup>, Liu Xitao<sup>2</sup>, Fu Meichen<sup>1</sup>

(1. School of Land Science and Technology, China University of Geosciences (Beijing), Beijing 100083, China;

2. Land Consolidation and Rehabilitation Center, the Ministry of Land and Resources, Beijing 100035, China)

**Abstract:** A demonstration area for European Union-China Biodiversity Programme (ECBP) in Libo, Guizhou, China, as a representative karst area, was involved in this study. Firstly, the evaluation of ecological sensitivity was applied to regionalization for formulating the land consolidation strategies, including land consolidation zone, conservation zone of natural vegetation, conservation zone of forest edge, reconstruction zone of river ecosystem, and ecological corridor area. Secondly, by the ‘least-cost’ modeling, the ecological corridors for enhancing the connectivity for protective animals were chosen. The hot spots in landscape were defined by the importance in ecosystem to be protected as habitat patches. Following the optimization of landscape pattern, ecological engineering including irrigation and drain engineering, restoration of land productive, vegetation reconstruction, and road layout were designed for biodiversity conservation. The results showed that the interdependence of cultural landscapes, landscape pattern and ecological infrastructure optimization in land consolidation project planning could coordinate the social, economic, and ecological benefits. This study can supply a theoretical reference and practical approach for biodiversity conservation in land consolidation planning.

**Key words:** land consolidation, biodiversity, agro-landscape, karst, libo guizhou