

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

李 谦^{1,2}, 戴 靛^{1,3}, 朱 青¹, 杨桂山¹, 吴绍华³

(1. 中国科学院南京地理与湖泊研究所, 流域地理学重点实验室, 江苏 南京 210008;
2. 中国科学院大学, 北京, 100049; 3. 南京大学地理与海洋科学学院, 江苏 南京 210046)

摘要:以南京市高淳区东坝镇土地整治项目为实验区, 基于格局-过程-效应的视角, 运用最小累积阻力模型分析土地整治对生态连通性的影响及生态格局优化途径。结果显示: ① 从景观格局看, 土地整治后生态景观破碎度降低, 集聚度上升, 较整治前更规整, 但景观优势、空间连接度和多样性指数下降, 不利于整个生态系统的自组织能力与可持续发展; ② 从景观过程看, 土地整治后原有的生态廊道被侵占和阻断, 景观生态服务功能和强度均弱化。③ 从景观效应看, 土地整治后生态功能连通性降低, 生态流阻隔, 形成明显的3个“生态孤岛”。因此, 研究区在整治过程中需注意保护东-西方向生态流迁移关键通道和南-北方向、西南-东北方向辅助通道的畅通, 努力优化整治区生态格局。

关键词: 土地整治; 生态用地; 连通性; 最小累积阻力模型; 格局优化

中图分类号: F301.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-0690(2014)06-0733-07

随着中国城市化、工业化进程的加快, 建设用地扩张与耕地保护间的矛盾日益突出。中国土地整理从20世纪90年代被正式提出并实施以来, 在增加耕地面积、实现占补平衡、改善农业生产、促进农村经济发展方面卓有成效^[1-3]。与此同时, 农地整理、田块合并、修渠筑路、村庄外迁、开发复垦等一系列工程措施^[4]也改变了区域的景观格局, 打破了原有的生态平衡^[5]。其中, 生态用地是维护生物多样性和生态系统动态平衡的重要景观类型^[6]。生态连通性是指生态用地景观空间结构单元之间的连续性程度^[7-9], 是斑块延展性、廊道通达性和景观可持续性的综合表征, 也是区域生态系统内物质能量流通与交换、基因干扰与传播、物种迁移与扩散、土壤侵蚀与渗透等生态过程的基础与保障。因此, 生态连通性逐渐成为定量评价土地整治生态效应的重要指标, 其格局的优化有利于生态系统的稳定。

目前, 度量连通性的方法主要是通过计算连接度指数, 包括结构连接度指数与功能连接度指数2种^[10,11]。结构连接度指数包括破碎度、集聚度、蔓延度、分离度、连通度等景观格局指数。如邓劲松^[12]等运用破碎度指数来研究浙江省桐乡市土地整理对耕地景观的影响; 刘勇^[13]等通过集聚度、蔓延度和连通度等景观指数分析福建省长泰县土地整理项目区的景观格局变化及其生态效应。这些指标应用广泛, 但只能反映某种景观类型在空间上的表现连续性, 而忽视了景观过程。功能连接度则表示景观类型对各种生态过程促进或阻碍的程度, 主要包括基于距离阈值设定的综合连接度与连接度概率测算和基于最小累积阻力的连通性模型。前者依据生境斑块连通度与不同生态过程发生尺度的关系, 设定斑块距离梯度阈值分析景观过程变化的影响。如刘世梁^[14]等利用不同尺度下种群的迁移扩散能力设定5个距离阈值, 比较土

收稿日期: 2013-07-14; **修订日期:** 2013-11-05

基金项目: 国家自然科学基金(41030745, 41271109)、中国科学院南京地理与湖泊研究所“一三五”重点项目(NIGLAS2012135005)及领域前沿项目(NIGLAS2011YJ01)资助。

作者简介: 李 谦(1982-), 男, 江苏涟水人, 博士研究生, 主要从事土地利用生态环境效应及GIS应用研究。E-mail: liqian_nj@hotmail.com

通讯作者: 朱 青, 研究员。E-mail: qzhu@niglas.ac.cn

地整治前后的景观连接度,识别斑块变化范围。该方法实际上是基于某种景观功能分析不同情景下的结构连接度指数变化,而不是从景观类型变化出发去探究其阻碍或促进程度的改变。而最小累积阻力在生态安全评价^[15]、保护区功能划分^[16,17]、城市范围控制^[18]、景观格局优化^[19]等方面广泛应用,已较为成熟,近年来在景观连通性上的应用也得到一定发展^[20-22],但在土地整治的生态效应评价研究中尚不多见。

基于最小累积阻力的连通性模型可依据不同的景观变化要素构建对景观功能的阻力面,从而计算源汇之间累积阻力,阻力越小则阻碍越少、连通性越好,反之则越差。它既能显化土地整治前后景观类型空间连续性的变化,也能反映土地整治对生态过程的正负作用力及其变化。因此,本文以南京市高淳区东坝镇傅家坛土地整治项目为例,从格局-过程-效应的视角,运用该模型分析土地整治对生态连通性的影响,并以此为基础提出连通性优化廊道,以期作为土地整治的规划、实施和管理提供参考。

1 研究区概况与数据来源

土地整治项目区位于南京市高淳区东坝镇东部的低山丘陵区,属亚热带季风气候,自然资源丰富,水陆交通发达,年平均气温 16℃,年降水量为 1 162.30 mm,土地总面积 778.97 hm²。土地整治前后土地利用矢量图来源于 ArcGIS 制作的项目区土地利用现状图和土地整治规划图,景观指数测算中的原始数据是将土地利用矢量图栅格化后获得。根据国家标准(GB/T21010-2007)明确的南方宽小于 1 m 的固定沟、渠、路和田坎列为耕地^[23],所以设定研究栅格大小为 1 m×1 m。

2 基于最小累积阻力的生态连通性模型

2.1 源地的识别

源地是物质能量流通和物种扩散的原点,它具有内部同质性或集聚性和外部扩张性的特点^[16]。本文研究土地整治前后生态用地景观的连通性变化,首先要识别出研究区的生态用地景观。生态用地是指除了用于生产建设的土地,能提供各种生态服务价值,促进地区生态可持续发展的土地类型。生态用地景观区别于其他景观类型最重要的体现是

生态价值和功能,对环境没有任何负作用。因此,根据生态用地分类^[24],项目区源地包括茶园、果园、其他园地、有林地、灌木林地、其他林地、其他草地、坑塘水面、沟渠以及河流水面 10 个地类。

2.2 阻力面的构建

最小累积阻力模型是指从源地经过不同阻力的景观类型所累积耗费的最小费用或克服阻力作的最小功^[25]。阻力面是景观要素的地理位置、方向及其对源地扩散的阻力系数,可以引入地形地貌(高程、坡度等)、社会经济状况(人口密度、经济指数等)、土地利用/覆被变化等要素。土地整治是对土地生态系统各类景观的人工改造,整治前后改变最大的要素是土地利用/覆被变化。地类本身对生态流的影响程度较难客观的显化,而本文研究的生态连通性本质上反映的是土地整治前后各类景观对生态流的影响,生态流的畅通性取决于项目区景观服务功能与价值的高低^[26]。理论上,生态服务价值越高,即服务功能强度越高,景观单元之间的物质能量传输越容易,生态流则越畅通^[27]。因此,本文在分析区域景观组成变化的基础上,借鉴相关研究^[28-31]的土地生态服务价值系数(表 1)测算整治前后各类景观生态服务价值,其所占总价值的比例作为该景观类型生态功能强度的表征,并以结果作为阻力面分析的依据。

表 1 研究区不同景观类型的生态服务价值系数

Table 1 Land ecosystem service value coefficients of different landscapes in study area

景观类型	对应生态系统	生态服务价值系数(元/hm ²)
有林地、灌木林地、其他林地	森林	19334.00
茶园、果园、其他园地	园地	12870.30
其他草地	草地	6406.50
水田、旱地、早改水、田坎、设施农用地	农田	6114.30
新增耕地 ^①	农田、草地	6260.40
复垦耕地 ^②	农田、荒漠	3242.90
河流水面、坑塘水面、沟渠	水体	40676.40
公路用地、农村道路、村庄、风景名胜及特殊用地	荒漠	371.40

注:① 研究区新增耕地由其他草地和田坎整理而得;② 复垦耕地来自建设用地,故这 2 种景观类型各对应于 2 种生态系统,其服务价值系数取平均值。

2.3 最小累积阻力的计算

利用最小累积阻力模型研究生态用地景观的

连通性,探讨土地整治对其影响。将源地矢量图层和阻力面栅格图层输入 ArcGIS 下的 cost distance 模块,计算出项目区每个栅格到源地的最小累积阻力值,阻力小的栅格表示生态连通性强。最小累积阻力模型如下

$$WMCR=f_{\min}\Sigma(D_{ij}\times R_j)$$

式中,WMCR是最小累积阻力值; f 是某个待定的正函数; D_{ij} 是以源地*i*为圆心,以其中中心到达空间栅格*j*点的外辐射半径; R_j 是空间栅格对生态流的阻力;*i*是生态源地的数目;*j*是阻力面栅格的个数。

3 结果与分析

3.1 土地整治对生态用地景观格局影响

生态景观是研究区内仅次于农田景观的第二大优势景观。土地整治后,生态用地总面积降低了 28.42 hm²,所占比例由整治前的 25.89%降低至 22.21%。在 Fragstats 景观软件下,从类型水平(class metrics)和景观水平(landscape metrics)2 个尺度,计算出整治前后生态用地的斑块个数(NP)、斑块密度(PD)、分维数(FRAC)、分离度(SPLIT)、集聚度(AI)、优势度(LDI)、连通度(CONNECT)、多样性指数(SHDI),以分析土地整治对生态用地格局的影响(表 2)。

表 2 土地整治前后研究区生态用地景观指数

Table 2 Ecological landscape indices before and after land consolidation in study area

景观指数	NP	PD	FRAC	SPLIT	AI	LDI	CONNECT	SHDI
整治前	433.00	55.59	1.32	90.57	97.78	0.54	97.45	1.58
整治后	280.00	35.94	1.19	78.45	98.13	0.53	86.06	1.49

土地整治后,研究区生态斑块个数大幅下降,用以补充新增耕地,其斑块密度由原来的 55.59 个/km²降至 35.94 个/km²,说明土地整治使得研究区生态景观破碎度下降,且分维数也由 1.32 降至 1.19,亦表明土地整治使景观形状变得更加规则、斑块形状趋于简单,反映了人为规划设计活动对研究区景观的干扰和影响痕迹。分离度的降低和集聚度的上升则反映出研究区景观中斑块的规模和团聚性的增强。优势度和连通度的下降,说明研究区生态用地斑块的功能和廊道的功能均一定程度地减弱。景观指数由原来的 1.58 到整治后的 1.49,表明土地整治破坏了生态景观多样性。研究区原有的异质生态景观逐渐被均质的耕地和交通

等基础设施所取代,生态活性降低,威胁区域景观生态功能的流通。

3.2 土地整治对区域景观服务功能强度影响

根据前文介绍的生态服务价值系数法,计算出整治前后各类景观类型的生态服务价值,用每种景观生态服务价值占区域总价值的比例作为景观服务功能强度。将矢量图转为 1 m×1 m 的栅格单元图,对之进行重分类,可将每种景观类型的服务功能强度空间化,以分析土地整治对项目区景观服务功能的影响(如图 1)。

根据土地利用现状和整治规划图统计可知,整治前的景观类型有 18 种,其他草地、村庄、风景名胜及特殊用地消失,增加了整理新增耕地、复垦新增耕地、旱地改水田 3 种地类。整治后新增地类均属于耕地,但其价值和功能均有别于整治前的耕地,故区别对待。整治前,土地生态服务价值为 996.12×10⁴ 元,整治后稍有降低,为 928.19×10⁴ 元。其中,坑塘水面的景观服务功能最强,为 39.63,整治后减少到 37.10。耕地的景观服务功能强度由整治前的 28.94 增加至整治后的 35.06。由图 1a 和图 1b 可以看出,土地整治前的景观生态服务功能强度最高值高于整治后,其强度平均值由 16.86 降至 16.60,功能强度高值区与低值区间的过渡强度区较明显。整治后,项目区的生态服务功能强度整体较均质化,区域强度标准差由 11.56 降至 10.61,中间值强度区大面积消失。将整治后的强度减去整治前的强度叠加分析得到图 1c,复垦新增耕地区域的景观功能强度增加最多,其次是部分整理新增耕地地区,但其增加的功能强度均不及坑塘水面、沟渠等生态用地填埋成道路或耕地后减少的功能强度。景观功能强度减少区主要分布在项目区最西、中间和略靠东的 3 条南北方向的条带状生态用地区。坑塘散布于耕地中本是东坝镇的常见景观,而坑塘水面是发挥生态维护功能作用的重要斑块,一方面可缓冲暴雨产生的涝渍灾害,另一方面可以蓄水用水。在土地整治过程中,往往偏重保护耕地、提高产能而将大量坑塘填埋成为生产用地,忽视了发挥坑塘斑块的生态功能^[23]。

3.3 土地整治对生态连通性的影响

基于土地整治前后生态源地景观指数和景观服务功能阻力面空间分异的变化分析,通过最小累积阻力模型计算项目区各景观单元到生

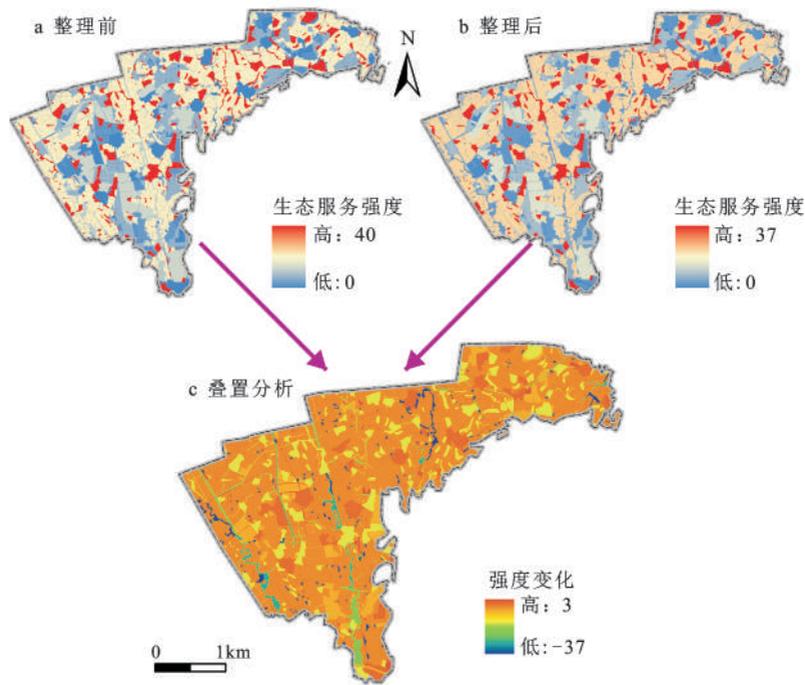


图1 土地整治前后景观生态服务功能强度空间差异与变化

Fig.1 Spatial differentiation and changes of ecological service function intensity of different landscapes before and after land consolidation

态用地的阻力值,以分析土地整治对生态连通性的影响(如图2)。

整治前(图2a)景观单元的生态流阻力最大值为7 389.21,阻力高值区斑块细碎,面积较小,且分布较均匀。整治后(图2b)的景观单元生态流阻力最大值增大到8 987.28,且高值区斑块集聚效应明显,面积增大。从区域平均阻力值和标准差看,整治前为 498.16 ± 646.59 ,整治后大幅上升至 761.35 ± 909.06 。区域生态连通性大大降低,且各景观单元连通性的空间异质性增强。与图1c比较发现,生态连通性减弱区内的高值斑块位于生态功能强度

减弱最严重的3条生态廊道上,廊道功能的变更导致区域内主要景观单元之间物质能量交换的被阻隔,阻力值平均增加了263.29;生态连通性增强区阻力值平均减少了11.46,主要得益于建设用地复垦,硬质地面减少,以及田块合并、田坎和田间道路的修整。

3.4 研究区生态连通性的格局优化

根据阻力变化值与景观单元栅格数量间的统计关系,选择自然断裂的拐点处设定生态连通性优化阈值为927,则阻力值大于927以上的区域为图3中的“生态孤岛”。

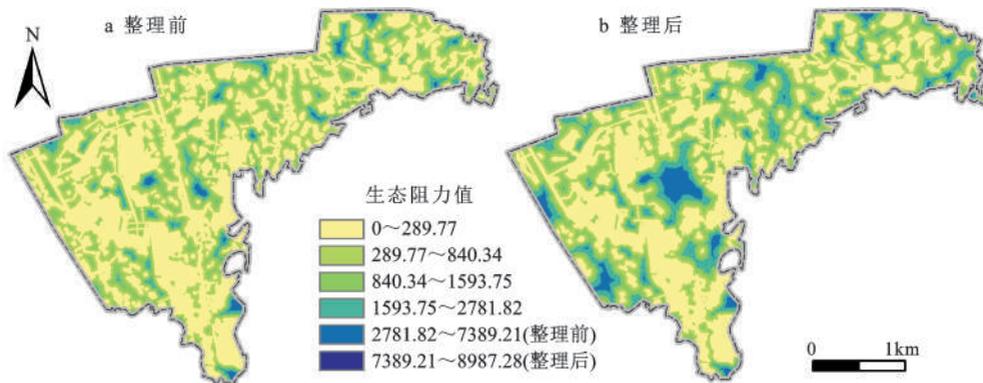


图2 土地整治前后生态连通性阻力空间差异与变化

Fig.2 Spatial differentiation and changes of ecological connectivity resistance before and after land consolidation

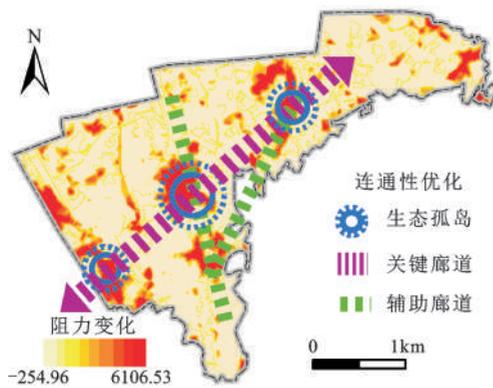


图3 研究区生态连通性格局优化

Fig.3 Pattern optimization of ecological connectivity in the study area

该区域在土地整治后生态连通性弱化较为严重,在建设中应注意保证廊道的畅通,研究将对应的3个连通性弱化中心连接而成,在项目区内形成了东-西方向的生态流迁移关键通道和南-北方向、西南-东北方向的辅助通道,作为物种迁移和物质能量空间扩散的廊道。所以,在后续土地整治规划中,道路绿化与水网建设应特别注意这3条廊道的保护与建设,建议廊道宽度大于50 m,形成项目区良好的生态系统,维持生物多样性。

4 结论与讨论

本文以南京市高淳区东坝镇傅家坛土地整治项目区为例,引进运用最小累积阻力模型,借助ArcGIS和Fragstats等空间分析和可视化工具,从景观格局-过程-效应角度定量分析了土地整治对区域生态连通性的影响及生态格局优化途径,得到以下结论。

1) 从景观格局看,土地整治中的生态用地主要被耕地占用,其面积和景观优势均下降。同时,斑块破碎化程度降低,集聚度上升,稳定性增强,较整治前更规整。但是,生态用地景观连接度和多样性指数的下降,不利于整个生态系统的自组织能力与可持续发展。

2) 从景观过程看,土地整治后景观组成和结构发生较大变化,景观服务强度整体降低,且区域内的服务强度偏均质化,中间值服务强度斑块大量减少。沟渠、坑塘水面这类重要生态廊道和斑块的大量侵占,会阻碍高低值服务强度景观间的物质能量交换与流通。

3) 从景观效应看,土地整治后生态连通性大

大降低,而阻力值整体上升,因此,区域生态功能连续性弱化,并形成明显的3个“生态孤岛”。在建设过程中需注意保障东-西方向的生态流迁移关键通道和南-北方向、西南-东北方向辅助通道的畅通。

本文在为土地整治的生态效应评价提供新视角和手段的同时,存在以下几点值得进一步探讨。在计算景观服务价值变化时,直接借鉴前人研究的土地生态服务价值系数,将之与相应景观类型对应,根据系数法直接计算。相对于具体分析区域生态服务功能,从源头估算每个功能的价值而言略显粗糙。鉴于生态服务系数法目前已应用广泛,且景观服务价值为文中的一部分内容,故该计算误差在可接受范围内。此外,土地整治过程中改变的要害涉及“水、土、气、生”等多方面,文中选取了土地利用类型的变化,其直接或间接地与其余方面相关,且数据易于获取。但不能全面反映土地整治对生态过程的影响,有待深入研究。最后,在文章最后景观格局优化的过程中,选取前人常用的自然断裂点法设定阈值,略有主观,通过不同的阈值预设发现会导致阻力高值区面积的差异,但3个“生态孤岛”的分布不变。所以,为定量精准化优化后的景观格局,一种能得到认可的阈值设定法有待引进或创新。

参考文献:

- [1] 王 军,李 正,白中科,等. 土地整理对生态环境影响的研究进展与展望[J]. 农业工程学报, 2011, 27(S1): 340~345.
- [2] 何娇云,贺荣斌,龙振华,等. 从国外土地整理特点看我国土地整理的意义与原则[J]. 农村经济与科技, 2010, 21(6): 75~76.
- [3] 赵华璞. 土地整理及土地整理项目的相关研究综述[J]. 中国科技信息, 2005, 22(22A): 129.
- [4] 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.
- [5] 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.
- [6] Zhang Q, Luo H, Yan J. Integrating biodiversity conservation into land consolidation in hilly areas: A case study in Southwest China[J]. Acta Ecologica Sinica, 2012, 32(6): 274-278.
- [7] 陈利顶,王计平,姜昌亮,等. 廊道式工程建设对沿线地区景观格局的影响定量研究[J]. 地理科学, 2010, 30(2): 161~167.
- [8] 郭建国. 景观生态学——概念与理论[J]. 生态学杂志, 2000, 19(1): 42~52.
- [9] Bunn A G, Urban D L, Keitt T H. Landscape connectivity: A conservation application of Graph Theory[J]. Journal of Envi-

- ronmental Management, 2000, **59**(4): 265-278.
- [10] Rodriguez Gonzalez J, Del Barrio G, Duguay B. Assessing functional landscape connectivity for disturbance propagation on regional scales—A cost-surface model approach applied to surface fire spread[J]. *Ecological Modelling*, 2008, **211**(1-2): 121-141.
- [11] Ng C N, Xie Y J, Yu X J. Integrating landscape connectivity into the evaluation of ecosystem services for biodiversity conservation and its implications for landscape planning[J]. *Applied Geography*, 2013, **42**(0): 1-12.
- [12] 邓劲松, 王珂, 李君, 等. 乡镇耕地整理对耕地景观破碎度的影响研究[J]. *应用生态学报*, 2006, **17**(1): 41-44.
- [13] 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.
- [14] 刘世梁, 杨玉婵, 安晨, 等. 基于景观连接度的土地整理生态效应评价[J]. *生态学杂志*, 2012, **31**(3): 689-695.
- [15] 刘孝富, 舒俭民, 张林波. 最小累积阻力模型在城市土地生态适宜性评价中的应用——以厦门为例[J]. *生态学报*, 2010, **30**(2): 421-428.
- [16] 张序强, 李华, 董雪旺. 旅游地阻力面理论初探——以五大连池风景名胜为例[J]. *地理科学*, 2003, **23**(2): 241-244.
- [17] 王建英, 李江风, 邹利林, 等. 生态约束下的湖泊旅游用地布局[J]. *应用生态学报*, 2012, **23**(10): 2871-2877.
- [18] 俞孔坚, 游鸿, 许立言, 等. 北京市住宅用地开发压力与城市扩张前景——基于阻力面的分析[J]. *地理研究*, 2012, **31**(7): 1173-1184.
- [19] 岳德鹏, 王计平, 刘永兵, 等. GIS与RS技术支持下的北京西北地区景观格局优化[J]. *地理学报*, 2007, **62**(11): 1223-1231.
- [20] 王瑶, 宫辉力, 李小娟. 基于最小累计阻力模型的景观通达性分析[J]. *地理空间信息*, 2007, **5**(4): 45-47.
- [21] 魏伟, 赵军, 王旭峰. GIS、RS支持下的石羊河流域景观利用优化研究[J]. *地理科学*, 2009, **29**(5): 751-754.
- [22] 吴昌广, 周志翔, 王鹏程, 等. 基于最小费用模型的景观连接度评价[J]. *应用生态学报*, 2009, **20**(08): 2042-2048.
- [23] 谷晓坤, 陈百明. 土地整理景观生态评价方法及应用——以江汉平原土地整理项目为例[J]. *中国土地科学*, 2008, **22**(12): 58-62.
- [24] 邓红兵, 陈春娣, 刘昕, 等. 区域生态用地的概念及分类[J]. *生态学报*, 2009, **29**(3): 1519-1524.
- [25] Knaapen J P, Scheffer M, Harms B. Estimating habitat isolation in landscape planning[J]. *Landscape and Urban Planning*, 1992, **23**(1): 1-16.
- [26] 刘红玉, 李兆富. 流域土地利用/覆盖变化对洪河保护区湿地景观的影响[J]. *地理学报*, 2007, **62**(11): 1215-1222.
- [27] 孙贤斌, 刘红玉. 土地利用变化对湿地景观连通性的影响及连通性优化效应——以江苏盐城海滨湿地为例[J]. *自然资源学报*, 2010, **25**(6): 892-903.
- [28] 戴靓, 姚新春, 周生路, 等. 长三角经济发达区金坛市土地生态状况评价[J]. *农业工程学报*, 2013, **27**(8): 249-257.
- [29] 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.
- [30] 麦麦提吐尔逊·艾则孜, 海米提·依米提, 迪拉娜·尼加提, 等. 昆仑山北麓克里雅绿洲生态服务价值对土地利用变化的响应[J]. *地理科学*, 2012, **32**(9): 1148-1154.
- [31] Costanza R, D'Arge R, de Groot R, et al. The value of the world's ecosystem services and natural capital[J]. *Ecological Economics*, 1998, **25**(1): 3-15.

Ecological Connectivity Changes and Its Pattern Optimization During Land Consolidation Based on Minimal Accumulative Resistance Model

LI Qian^{1,2}, DAI Liang^{1,3}, ZHU Qing¹, YANG Gui-shan¹, WU Shao-hua³

(1. Key Laboratory of Watershed Geographic Sciences, Nanjing Institute of Geography and Limnology, Chinese Academy of Sciences, Nanjing, Jiangsu 210008, China; 2. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China; 3. School of Geographic and Oceanographic Sciences, Nanjing University, Nanjing 210093, China)

Abstract: China has witnessed an explosive rise in the demand for construction lands in recent decades in conjunction with its rapid urbanization and industrialization. This intensifies the contradictions between construction land expansion and arable land protection. Fortunately, land consolidation has been proposed and carried out since 1990s, which made the aforementioned situation better. Meanwhile, it seems to yield many new is-

sues on ecology which might be side-effect. As it is accepted that land consolidation is an artificial transformation of land ecological system, which can not only change the composition and structure of ecological land, but deeply affect the material cycling, energy flow and ecological process of landscape elements. Therefore, it changes the connectivity and function of ecological land. From the perspective of pattern-process-effect, a case study of land consolidation project in Dongba Town, Gaochun District, Nanjing was analyzed for the impact of land consolidation on ecological connectivity and its pattern optimization based on the minimum cumulative resistance model which would be called MCR model hereafter. Whereas attempts for MCR model has been made for many realms such as ecological security assessment, urban growth boundary definition, landscape pattern optimization, etc., few such spatially explicit MCR model for land consolidation impact has been devised. The analysis might provide an alternative and quantitative perspective of this field and subsequently deepen understanding of the fact that in which way and to which extent land consolidation alters the ecological connectivity. The results showed that: 1) With regards to landscape pattern, the ecological landscape fragmentation decreased from 1.32 to 1.19 while the aggregation index increased from 97.78 to 98.13 during land consolidation. This suggests that more regular ecological patches. However, the landscape dominance index, space connectivity and diversity index declined, which could indicate unfavorable impact on the ability of self-organization and sustainable development of the whole ecosystem. 2) With regards to landscape process, the original ecological corridors were occupied and blocked after land consolidation landscape, making the ecological service function and service strength weakened. It was mainly attributed to the losses of pit-ponds as well as canals which were crucial channels for energy flow, material cycling and exchange. 3) With regards to landscape effect, ecological functional connectivity reduced after land consolidation as the mean of regional resistance value ascended from 498.16 to 761.35 and the maximum increased from 7389.21 to 8987.28. A threshold value of 927 according to the natural break point was employed to pick out the hotspots of connectivity reduction area. As a consequence, it is salient to see the formation of three "ecological islands", more explicitly indicating where the ecological flow was blocked much. Therefore, much more attention should be paid to protect the key channel and auxiliary channels for ecological flow to optimize the ecological pattern.

Key words: land consolidation; ecological land; connectivity; minimal accumulative resistance model; pattern optimization