

土地整理对项目区生境景观连接度的影响

欧维新^{1,2},李海丹¹

1. 南京农业大学 土地管理学院, 江苏 南京 210095

2. 农村土地资源利用与整治国家地方联合工程研究中心, 江苏 南京 210095

摘要: 生境景观连接度是反映生物多样性保护和景观功能的重要指标之一, 利用景观连接度方法可将生物个体和种群的扩散距离和行为反应纳入土地整理效应分析之中。本文基于景观连接度理论方法, 以竹镇镇重点土地整理项目区双龙村为研究区, 利用 GIS 平台和 Conefor26 软件, 选择反映不同物种空间扩散能力的 10 个景观距离阈值, 探讨了土地整理项目区整理前后不同景观阈值下连接度的变化, 并尝试在剔除沟渠的情况下, 分析土地整理前后, 景观结构与功能的变化。在此基础上分析了整理前后各生境斑块对景观连接度的重要程度, 识别重要斑块变化规模与空间范围, 从功能角度评价整理后的生态效应。结果表明: 整理后的 IIC 和 PC 值分别比整理前平均降低了 45.58%、39.03%, 因此土地整理对当地景观连接度造成了不利影响; 土地整理形成的人工沟渠网络在较低距离阈值范围内对景观的连接起着重要作用; 巨型斑块对生境斑块景观连通性的贡献大且稳定; 基于图论的连接度分析法, 能同时体现景观的结构连接度及功能连接度, 还能较好反映景观破碎化、识别垫脚石斑块。该方法不仅能用于测度土地整理的生态效应, 还可为土地整理项目区的生态用地结构、布局等提供理论参考。

关键词: 土地整理; 景观连接度; 生境

中图分类号: F301.24; S154.1

文献标识码: A

文章编号: 1000-2324(2015)05-0682-06

Effect of Land Consolidation on the Habitat Connectivity in the Project Area

OU Wei-xin^{1,2}, LI Hai-dan¹

1. College of Land Management/Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China

2. National & Local Joint Engineering Research Center for Rural Land Resources Use and Consolidation, Nanjing 210095, China

Abstract: Habitat landscape connectivity is one of important index for measuring biodiversity conservation and landscape function sustainability. The landscape connectivity approach based on graph theory used in land consolidation effect analysis is able to take organism individual and its behavior into consideration. In this paper, we take a land consolidation project area, where is located in Shuanglong village, Zhuzhen town of Nanjing, as a study area. The GIS and Conefor 26 software are employed to calculate the landscape connectivity metrics and patch important value. Ten distance thresholds including 10 m, 50 m, 100 m, 200 m, 500 m, 700 m, 1000 m, 1500 m, 2000 m, 3000 m that reflecting the spatial diffuse capability of different species were selected for analyzing the habitat landscape connectivity change before and after land consolidation respectively. The situation of with and without ditches before and after land consolidation was considered as well to compare the landscape structure and function changes. Then we test the contribution of each habitat patch to landscape connectivity and identify the variation range and spatial scope of important habitat patch due to land consolidation project. The results show: (1) Integrated index of connectivity (IIC) and probability connectivity (PC) index were decreasing by 45.58% and 39.03% for land consolidation. And the consolidation shows a negative impact on habitat connectivity. (2) The increasing ditch network due to the consolidation can improve the connectivity at lower distance threshold range. (3) The habitat patch with larger area size will always contribute a lot to connectivity. (4) The connectivity approach based on graph theory can used to measure landscape structure connectivity and function connectivity, and to test landscape fragmentation and identify the stepping stones for species. Therefore the approach is good for ecological effect evaluation for land consolidation, and can provide a guide for planning the composition and configuration of habitat or ecological land in a land consolidation project area.

Keywords: Land consolidation; habitat connectivity; habitat

土地整理是指采用一系列生物、工程措施, 对田、水、路、林、村进行综合整治, 增加有效耕地面积, 提高土地质量和利用率, 改善生产、生活条件和生态环境的活动^[1]。土地整理实质是对土地生态系统的重塑, 整个过程必然会打破一定地域内土地资源的原位状态, 对区域内的水资源、土壤、植被、生物等环境要素及其生态过程产生许多直接或间接、有利或有害的影响^[2]。其中, 生态

收稿日期: 2014-08-20

修回日期: 2014-09-08

基金项目: 江苏省青蓝工程人才计划项目(804096); 南京农业大学 SRT 计划项目(1420A03)

作者简介: 欧维新(1974-), 男, 博士, 教授, 主要从事土地利用及其生态环境效应研究. E-mail: wxounj@163.com

数字优先出版: 2015-10-06 <http://www.cnki.net>

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^[3]。生境景观连接度是对生态用地景观空间结构单元相互之间连续性的量度^[4,5],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动、基因干扰与传播等生态过程及生物的迁移扩散运动的基础与保障。在高度破碎化的景观中维持较高的生境景观连接度有利于种群个体在残留生境间的扩散运动,从而可有效地缓解片段化种群的局域灭绝风险^[6,7]。因此,生境景观连接度逐渐成为定量评价土地整理生态效应的重要指标。

景观连接度包括结构连接度和功能连接度,目前的景观连接度大多停留在景观结构的研究上,忽略了生物体在景观中的扩散行为,如利用破碎度、聚集度、蔓延度、斑块形状及斑块面积等景观格局指数来分析土地整理项目区的景观格局变化及其生态效应^[8,9],这些指标应用广泛,但只能反映某种土地覆盖类型在景观中的空间连续性,忽视了景观过程和功能变化。景观连接度实质是景观促进或阻碍生物体在资源斑块间运动的程度,反映了生物体在景观中扩散和生存的能力^[10,11]。因此,在评价景观连接度的过程中,如果不考虑生物体的扩散过程而单纯考虑景观的结构连接度是没有生态学意义的。基于图论理论的景观连接度方法通过对图中要素赋予特定的生态意义,可以直接利用景观基础空间数据,不仅考虑景观的空间布局,而且还将生物个体和种群的扩散距离和行为反应纳入分析之中^[12],即从功能连接度的角度探讨景观连接度的状况,并且可以得到景观中每一单独生境斑块对于维持现存连接度的贡献程度。

本文基于景观连接度理论方法,以竹镇镇重点土地整理项目区双龙村为研究区,研究土地整理前后景观生境连接度变化,识别出影响生物群体的重要地段和关键点,以期丰富土地整理生态效应评价方法,并为土地整理项目区的生态用地结构、布局等提供理论参考。

1 研究区域概况

双龙村(32°28'52.8"N—32°31'23.7"N, 118°36'14.3"E—118°38'39.9"E)位于江苏省南京市六合区竹镇镇西面,是典型的丘陵地区。属北亚热带气候,多年平均降水量 941.6 mm,年均气温 15.6℃。研究区面积 635.9 hm²,基本的土地利用类型为耕地、园地、林地、草地、水域及水利设施用地、城镇村及工矿用地、其他土地,总体生态环境较好。

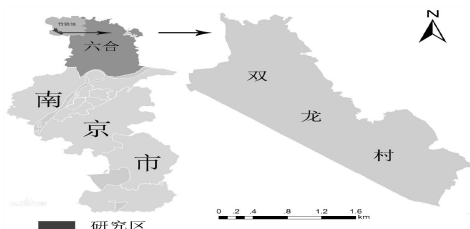


图1 研究区域地理位置示意图

Fig.1 Location of study area

2 研究方法

2.1 数据及处理

研究数据主要为南京市六合区竹镇镇土地整理项目区整理前土地利用现状矢量图和整理后土地利用现状矢量图(南京市国土资源局提供)。本文将园地、林地、草地、河流水面、坑塘水面、水库水面、沟渠等土地利用/覆被类型归并为生态用地类型,利用 Arcgis10.0 与 Conefor26 软件进行图形绘制及数据的计算。

2.2 距离阈值的选择

景观连接度指数的计算需要确定景观斑块连通的距离阈值,当斑块间距离大于阈值,认为斑块间不连通,当斑块间的距离小于或等于阈值,则认为是连通的。斑块是否连通与生物的迁移扩散过程特性有关系。根据文献记载^[13-15]及对南京市六合区竹镇镇双龙村野生动物活动范围进行调查,该区鸟类活动范围大约在 30000 m 以内,小型哺乳动物和两栖爬行动物活动范围大约在 50~1000 m,同时为了研究整理前后沟渠对项目区生态效应的细微影响,本研究设定 10 m、50 m、100 m、200 m、

500 m、700 m、1000 m、1500 m、2000 m、3000 m，10 个距离阈值。

2.3 沟渠网络特征指标选取

农田中的沟渠是农村空间纹理和环境生态系统中的重要元素,除了肩负灌溉、排水等功能外,还可提供水生动植物的栖息地和田间动物的迁移廊道,拥有生态保育的多样化机能。土地整理中排灌沟渠的重新布设改变了农田景观中原有的斑块与廊道,因此选取整理前后沟渠的长度、宽度、密度、连接度、环通度等来研究沟渠的变化。部分指标公式及说明如下:

表 1 沟渠网络特征指标说明
Table 1 Index characteristics of ditch network

指标 Index	公式 Formula	定义 Definition	意义 Meaning	取值范围 Threshold
密度	$D = Li/A$	廊道景观在研究区单位面积内的长度	廊道疏密程度	m/hm^2
连接度	$\gamma = L/L_{max} = L/3(V-2)$ ($V \geq 3, V \in N$)	所有交点被廊道连接起来的程度	网络的重要特征	[0, 1]
环通度	$\alpha = (L - V + 1)/(2V - 5)$ ($V \geq 3, V \in N$)	能流、物流或物种迁移的可选择程度	环路存在度指标	[0, 1]

2.4 景观连接度指数选取

综合连接度指数与概率连接度立足于图论理论并以矢量数据为基础的连接度评价指数,可以同时体现景观的结构连接度及功能连接度,对景观内的变化相当敏感,还能够较好反映景观破碎化、识别垫脚石。本研究选取 *IIC* 指数和 *PC* 指数来描述项目区整理前后景观连接度及变化情况。此外还选取路径数、成分数来探究项目区整理前后景观连接度质量的变化,计算方法及意义如下:

2.4.1 综合连接度指数(IIC)

$$IIC = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \frac{a_i \cdot a_j}{1 + nl_{ij}}}{A_L^2}$$

式中: n 表示景观中的斑块总数; a_i 和 a_j 分别表示斑块 i 和斑块 j 的面积; nl_{ij} 表示斑块 i 和斑块 j 之间的连接数; A_L 是整个景观的面积。 $0 \leq IIC \leq 1$, 当 $IIC=0$ 时,表示各生境斑块之间没有连接;当 $IIC=1$ 时,表示整个景观都为生境斑块。

2.4.2 概率连接度指数(PC)

$$PC = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n a_i \cdot a_j \cdot p_{ij}^*}{A_L^2}$$

式中: n 表示景观中斑块总数; a_i 和 a_j 分别表示斑块 i 和斑块 j 的面积; p_{ij} 表示物种在斑块 i 和 j 直接扩散的最大可能性; A_L 表示整个景观的面积, PC 越大,表示生境斑块之间连通的可能性越大。

2.4.3 路径数(NL) 路径数是连接网络中任意两个节点的连续线段,表示个体在景观中运动可能遵循的路径,通常拥有越好连接度的景观,其呈现出的路径数就越多。

2.4.4 组分数(NC) 组分指一组互相连通的斑块,不同组分之间彼此孤立,景观组分越少,景观连接度越高。

2.4.5 斑块重要性值 斑块的重要性值有助于在景观规划和栖息地保护中做决策支持,是量化了的生境斑块对于维持生境景观连接度的贡献作用的大小。可识别如重要的垫脚石等斑块重要性的变化。

$$dI (\%) = 100 \frac{I - I_{remove}}{I}$$

上式中, I 表示景观中的整体即全部斑块的连接度指数, I_{remove} 是从景观中除去某个斑块后剩余的斑块所构成新景观的连接度指数。

3 研究结果

3.1 土地整理项目区沟渠结构特征分析

表 2 项目区土地整理前后沟渠特征变化

Table 2 Changes of ditch characteristics before and after the land consolidation in project area

处理 Treatment	长度(m) Length	平均宽度(m) Average width	面积(hm ²) Area	密度(m/hm ²) Density	连接度 Connectivity	环通度 Circuity
整理前	24760.56	9.29	23.01	38.94	0.46	0.19
整理后	99476.21	3.60	35.80	156.43	0.58	0.37

从表 2 可以看出,整理前后沟渠发生了很大变化。整理后沟渠长度、密度增加了 3 倍,面积提高了 56%,连接度增加了 26%。说明整理后沟渠的网络化水平和复杂度大大提高,这有利于维持农田灌溉水源与农田景观的稳定。同时环通度可衡量能流、物流或物种迁移的可选择程度,整理后的环通度提高了 95%,这对许多水生物种的生存是十分有利的。但整理后沟渠的平均宽度从 9.29 m 降低到了 3.60 m,下降了 61%,且整理前大多数沟渠都在 7 m 宽以上,而整理后有 2/3 以上都是 3 m 宽的标准化人工沟渠。物种需要最小面积的栖息地,低于最小面积,物种将可能会灭绝。因此整理后空间上高密度、低宽度的沟渠,虽然对部分水生物种的生存有利,但同时可能对需要较大栖息地面积的部分水生物种的生存构成威胁,且容易造成景观的破碎化,对一些小型动物的活动造成阻碍。

3.2 土地整理项目区生境斑块景观连接度变化分析

纵横交错的沟渠廊道在一定程度上干扰了整理前后景观连接度的变化,本文分别从含沟渠(表 3)和不含沟渠(表 4)探讨多个阈值下整理前后景观连接度的变化。

表 3 整理前后生境斑块景观连接度变化(含沟渠)

Table 3 Habitat connectivity changes before and after the land consolidation in different dispersal distances (with ditches)

距离阈值 Threshold	IIC			PC			NC			NL		
	整理前	整理后	变化率	整理前	整理后	变化率	整理前	整理后	变化率	整理前	整理后	变化率
	Ago	Later	percentage	Ago	Later	percentage	Ago	Later	percentage	Ago	Later	percentage
10	0.0071	0.0059	-16.9	0.0055	0.003	-45.45	130	40	-69.23	76	203	167.11
50	0.0136	0.008	-40.97	0.0115	0.0094	-18.32	29	9	-68.97	224	387	72.77
100	0.0168	0.0085	-49.13	0.0174	0.0142	-18.41	1	1	0.00	434	591	36.18
200	0.0196	0.0091	-53.46	0.025	0.0188	-24.78	1	1	0.00	908	999	10.02
500	0.0224	0.0105	-53.32	0.0361	0.0232	-35.8	1	1	0.00	2799	2428	-13.25
1000	0.0247	0.012	-51.4	0.043	0.025	-41.74	1	1	0.00	6607	5171	-21.73
1500	0.0265	0.0129	-51.15	0.046	0.0257	-44.03	1	1	0.00	10018	7626	-23.88
2000	0.027	0.0138	-49.04	0.0476	0.0261	-45.25	1	1	0.00	12573	9432	-24.98
3000	0.0283	0.0143	-49.35	0.0494	0.0264	-46.5	1	1	0.00	16968	12430	-26.74

表 4 整理前后生境斑块景观连接度变化(不含沟渠)

Table 4 Habitat connectivity changes before and after the land consolidation in different dispersal distances (without ditches)

距离阈值 Threshold	IIC			PC			NC			NL		
	整理前	整理后	变化率	整理前	整理后	变化率	整理前	整理后	变化率	整理前	整理后	变化率
	Ago	Later	percentage	Ago	Later	percentage	Ago	Later	percentage	Ago	Later	percentage
10	0.0019	0.0016	-15.79	0.0018	0.0016	-11.11	183	64	-65.03	61	21	-65.57
50	0.0023	0.0018	-23.34	0.002	0.0017	-16.46	81	43	-46.91	210	58	-72.38
100	0.0033	0.0019	-43.71	0.0023	0.0018	-23.4	13	30	130.77	428	86	-79.91
200	0.0077	0.002	-74.22	0.0029	0.0019	-34.86	1	14	1300.00	967	170	-82.42
500	0.0117	0.0043	-63.59	0.0055	0.0023	-57.89	1	2	100.00	3578	428	-88.04
1000	0.0151	0.0053	-64.54	0.0102	0.0031	-69.86	1	1	0.00	9139	977	-89.31
1500	0.0168	0.0058	-65.66	0.0142	0.0039	-72.57	1	1	0.00	13984	1617	-88.44
2000	0.0181	0.0063	-65.02	0.0174	0.0047	-73.19	1	1	0.00	17581	2225	-87.34
3000	0.0191	0.0066	-65.65	0.0218	0.0059	-73.05	1	1	0.00	23832	2953	-87.61

从表 3、表 4 中可以发现,不论是否含沟渠,整理后的整体连接性指数值(IIC)、概率连接性指数值(PC)都较整理前低,说明土地整理对当地景观连接度造成了不利影响。

随着距离阈值的增加,不含沟渠时,IIC、PC 的下降幅度逐渐超过含有沟渠时的 IIC、PC 的下降幅度,说明沟渠对于景观连接度的下降具有一定的抑制作用。整理前后 NC 随着距离阈值的增大而减少,最后减至 1,阈值为 100 m、200 m 时,整理前含沟渠、不含沟渠的组分数相继等于 1,而

整理后,含沟渠在阈值 100 m 时组分数为 1,不含沟渠则直到阈值为 1000 m 时,才等于 1。同时,在阈值在 200 m 以内含有沟渠时,整理后的路径数普遍大于整理前的路径数,而不含沟渠时,整理后的路径数大量减少,远远低于整理前。说明,土地整理前景观的生境网络完整而丰富,生境斑块间具有很高的连接度,沟渠在其中并没有起到关键的连接作用。而土地整理后耕地的大量增加,沟渠的大量修建,使得许多原有的生境斑块灭失,景观趋于破碎化,整理后的生境斑块(特别是在小范围内)主要依靠沟渠形成相互连接,一旦沟渠不能起到生态连接作用,景观中将存在大量独立的斑块,对生物多样性造成不利影响。

3.3 土地整理前后生境斑块重要性变化分析

因概率连接度(*PC*)比综合连接度(*IIC*)考虑了一个更丰富的连接模型,不受相邻栖息地的影响,较少考虑基质和道路等廊道的影响。因此,依据生境景观斑块重要值的结果,将整理前后生境斑块重要性从高到低以自然断点方法分为非常高($dPC > 10$)、高($2 < dPC \leq 10$)、中($0.5 < dPC \leq 2$)、低($0.1 < dPC \leq 0.5$)、非常低($dPC \leq 0.1$)五个等级,结合 Gis 软件得出不同阈值下连接度重要值斑块分布图,以 500 m 为例分析土地整理前后(分含沟渠、不含沟渠两种情况)斑块重要性的变化。

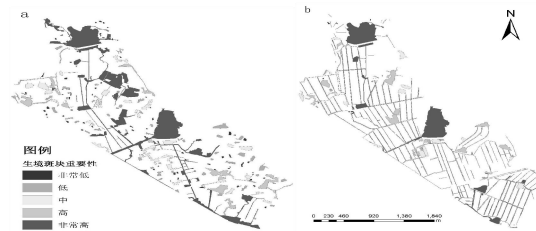


图 2 距离阈值为 500 m 时土地整理前后斑块重要性分布图(含沟渠)

Fig.2 Distribution of the important patches under 500 m thresholds before and after land consolidation project (with ditches)

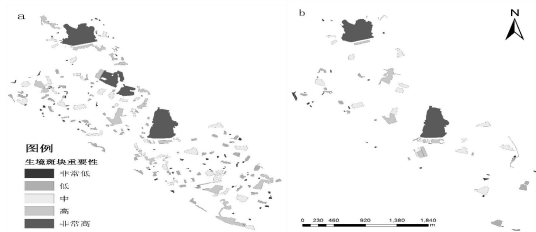


图 3 距离阈值为 500 m 时土地整理前后斑块重要性分布图(不含沟渠)

Fig.3 Distribution of the important patches under 500 m thresholds before and after land consolidation project (without ditches)

阈值 500 m 时,整理前生境斑块重要性“非常高”和“高”的斑块数含沟渠时为 15(不含沟渠时为 21),生境面积 107.44 hm^2 (不含沟渠时为 72.62 hm^2),占生境总面积的 73.08%(不含沟渠时为 58.57%);而整理后生境斑块重要性“非常高、高”的斑块数含沟渠时增加到 18 个,生境面积减少了近 30 hm^2 ,占生境总面积的比重却略有增加(74.77%);不含沟渠时生境斑块数为 9 个,仅为原来的 43%,同样生境面积减少的同时,占生境总面积的比重却明显增加。可见,整理后景观连接度的维持比整理前更依赖于沟渠,但人工修建的沟渠常常不能满足许多物种的生存需要,且纵横交错的沟渠在一定程度上阻碍着它们的迁移扩散。

不论整理前后,是否含沟渠,重要性“非常高”、“高”的斑块都较固定的分布在景观中,且面积较大。但也存在一些面积较小重要值却很高的斑块,说明有的小型、中型斑块对于迁移距离较大的动物或鸟类是重要的脚踏石,对于维持区域生物多样性和景观功能具有重要作用。因此,土地整理中对景观连接度具有重要作用的大型生境斑块以及一些重要值较大的小型斑块采取必要保护措施。

4 结论与讨论

4.1 结论

研究表明,土地整理后,综合连接度值(*IIC*)平均降低了 45.58%,概率连接度值平均降低了 39.03%,说明土地整理使得项目区景观连接度下降,对景观生态功能造成了不利影响。主要表现为两个方面:(1)整理后,沟渠的密度、环通度等提高了,平均宽度降低了,沟渠形成了纵横交错的

网状,结构连接度大大提高,生境斑块(特别是在小范围内)主要依靠沟渠形成相互连接,但大量修建的单一的标准化沟渠不能弥补众多生境斑块灭失造成的景观连接度的下降。一旦沟渠不能起到生态连接作用,景观中将存在大量独立的斑块,对生物多样性造成不利影响。

(2)整理后,原有的生境斑块大量减少,人工沟渠大量增加,土地整理一方面使得重要生境斑块破碎化,另一方面整理形成的人工沟渠网络在较低距离阈值范围内对景观的连接起着重要作用。整理后,重要值“非常高、高”的斑块除了大型的坑塘与水库外,其他均为与小水域相连的沟渠,斑块丰富度明显下降,这对生物的多样性造成不利影响。

4.2 讨论

作为水生动植物的栖息地和农田中动物的迁移廊道,沟渠是影响区域生物活动、种类和数量的重要因素,对保持农业景观的生物多样性具有重要意义。但目前的土地整理中,缺少建设生态廊道的观念,人工沟渠大多采用硬化,六合区竹镇镇的双龙村也是如此。当整理后的生境斑块(特别是在小范围内)主要依靠沟渠形成相互连接,而硬化的沟渠却失去了生态连接的作用,这对景观的生态功能无疑会造成很不利的影响。同时纵横交错的沟渠还会对一些小型动物的活动造成阻隔,降低生物多样性。因此,修建沟渠时应将动物安全通道也考虑在内,连接各孤立的栖息点,使之成为较完整的生存栖息空间,以保护生物多样性。尽量避免修建大量标准宽度的沟渠,应根据实际需要调整沟渠宽度并对其进行生态化设计。

基于图论的景观连接度与传统的景观指数方法相比,不仅能有效的反映结构和功能连接度水平,还能从空间上明确每一生境斑块对景观连接度的贡献作用,有利于采取恰当措施保护对景观连接度具有重要作用的的大面积生境斑块和“脚踏石”的斑块。本文通过对土地整理前后景观连接度的研究,发现土地整理后原有生境斑块大量消失,虽然沟渠的大量修建提高了结构连接度,但景观的功能连接度却下降了。因此,采用图论的方法对土地整理项目区进行景观连接度评价可提前识别影响生物群体的重要地段和关键点,可为项目区规划、景观生态型土地整理的建设提供科学的决策依据^[16]。

本文中景观连接度的计算、斑块组分的划分是依据任何两个斑块间的几何距离,小于景观距离阈值,即认为景观斑块间是连接的,没有考虑景观基质异质性的影响,特别是不同景观土地利用阻力效果不同。此外,区域物种的生物学特性、扩散能力也还需要进一步深入的考虑和分析。

参考文献

- [1] 严金明,钟金发,池国仁.土地整理[M].北京:经济管理出版社,1998
- [2] 罗明,张惠远.土地整理及其生态环境影响综述[J].资源科学,2002,24(2):60-63
- [3] Zhang Q, Luo H, Yan J. Integrating biodiversity conservation in-to land consolidation in hilly areas:A case study in Southwest China[J]. Acta Ecologica Sinica, 2012,32(6):274-278
- [4] Tischendorf L, Fahrig L. On the usage and measurement of landscape connectivity[J]. Oikos, 2000,90:7-19
- [5] 郭建国.景观生态学——概念与理论[J].生态学杂志,2000,19(1):42-52
- [6] Bunn AG, Urban DL, Keitt TH. Landscape connectivity: A conservation application of graph theory[J]. Journal of Environmental Management, 2000,59:265-278
- [7] Urban D, Keitt T. Landscape connectivity: A graph-theoretic perspective[J]. Ecology, 2001,82:1205-1218
- [8] 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
- [9] 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(9):87-94
- [10] Tischendorf L, Fahrig L. On the usage and measurement of landscape connectivity[J]. Oikos, 2000,90:7-19
- [11] Taylor PD, Fahrig L, Henein K, et al. Connectivity is a vital element of landscape structure[J]. Oikos, 1993,68:571-573
- [12] Theobald DM. Exploring the functional connectivity of landscapes using landscape networks//Crooks KR, Sanjayan M. Connectivity Conservation[C]. New York:Cambridge University Press, 2006:416-443
- [13] Shumaker NH. Using landscape indices to predict habitat connectivity[J]. Ecology, 1996,77:1210-1225
- [14] 刘常富,周彬,何兴元,等.沈阳城市森林景观连接度距离阈值选择[J].应用生态学报,2010,21(10):2508-2516
- [15] Mazerolle MJ. Drainage Ditches Facilitate Frog Movements in a Hostile Landscape[J]. Landscape Ecology, 2005,205:225-264
- [16] 刘世梁,杨珏婕,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