

基于 GIS 的土地整理景观效应分析

王 军^{1,2}, 邱 扬², 杨 磊², 邸 超², 余 莉³

(1 国土资源部土地整理中心国土整治研究室, 北京 100035;

2 北京师范大学地理学与遥感科学学院, 北京 100875; 3 中国人民大学农业与农村发展学院, 北京 100872)

摘要: 以北京市怀柔区的土地整理项目为例, 基于 GIS, 应用景观生态学方法, 分析了土地整理前后的土地利用结构和景观格局变化。结果表明: (1) 土地整理实施后, 项目区超过 70% 的面积为耕地, 其他土地利用类型多转变为耕地。(2) 土地利用的斑块数量和斑块密度降幅超过 50%; 平均斑块面积、最大斑块面积和最小斑块面积分别增加 1.2 倍、0.4 倍和 79 倍, 而斑块面积变异系数降低了 24.18%。(3) 土地利用斑块形状变得简单规则、空间分布集中, 景观边缘密度、形状指数和分离度指数明显降低, 降幅超过 29%, 分维数略有降低, 而聚集度升高。(4) 土地整理在减轻景观破碎化的同时也降低了景观多样性, 斑块类型丰富度指数降低 14%, 而 Shannon 与 Simpson 的多样性指数和均匀度指数的降幅超过 30%。

关键词: 土地整理; 景观生态学; 景观效应指标; GIS

文章编号: 1000-0585(2007)02-0258-08

1 引言

土地整理的概念首次出现在 1886 年巴伐利亚王国的法律中, 随后在欧洲的荷兰、法国和前苏联以及亚洲的韩国和日本等国家开展起来^[1]。我国真正意义上的土地整理于上世纪 90 年代后期才被正式提出和运作, 以 1998 年成立国家土地局土地整理中心 (1999 年更名为国土资源部土地整理中心) 和 2001 年启动第一批土地整理项目为标志, 国家每年将投资数十亿元用于实施土地整理项目, 土地整理的实践工作正在全国普遍展开^[2~5]。土地整理是对土地资源及其利用方式的再组织和再优化过程, 是一项复杂的系统工程, 其土地平整、田间道路、农田水利和防护工程等改变了地表生态系统^[6,7], 必然对景观效应与生态过程产生影响^[8,9]。土地整理的景观效应研究是土地整理理论和实践研究的重要组成部分, 如何借鉴、综合已有的景观生态学方法来科学、客观地进行土地整理景观生态分析, 以推动土地整理的健康有序发展, 是重要而又亟待解决的科学问题^[10,11]。Bronster 等(1995)^[12]、Mihara(1996)^[13] 研究发现土壤侵蚀过程和径流量依据土地整理措施和尺度而异, 在田块尺度上对侵蚀影响明显。Niroula 和 Thapa(2005) 分析了南亚土地破碎化对农业耕作的不良影响, 并提出了改进措施^[9]。Bonfanti 等(1997)^[14] 以及我国的杨晓艳等(2005)^[11] 专家学者则从区域的角度探讨了土地整理对景观格局的影响, 提出了全面的、

收稿日期: 2006-09-22; 修订日期: 2006-11-30

基金项目: 国家自然科学基金青年基金项目资助 (40401001); 国土资源部“百人计划”项目资助和中国博士后科学基金资助项目 (2005038048)

作者简介: 王军 (1970-), 男, 河南新乡人, 高级工程师/博士, 国土资源部“百人计划”获得者。主要从事景观生态学、土地可持续利用与土地整理的研究, 在 *Journal of Arid Environments* 和 *CATENA* 等国内外核心期刊发表论文 50 余篇, 主(参)编著作 4 部。E-mail: wangjun@lrcrc.org.cn

有价值的土地整理格局变化信息需要利用景观指数，从项目区、区域等多种时空尺度上去研究，而我国关于土地整理项目的景观效应分析尚缺乏系统的研究。本文基于 GIS，应用景观生态学方法，从项目区的角度，以北京市怀柔区土地整理项目为例，分析了土地整理前后的景观格局变化，探讨了景观格局变化后的景观效应，以期为土地整理的规划设计和生态环境影响评价工作提供科学依据。

2 研究区域概况和研究数据及方法

2.1 研究区域概况

北京市怀柔区地处北纬 $40^{\circ}14' \sim 41^{\circ}04'$ 与东经 $116^{\circ}17' \sim 116^{\circ}55'$ 之间，山区占 88.7%，地势北高南低。该区属暖温带大陆性季风型半湿润气候，四季分明，年平均气温 $9 \sim 13^{\circ}\text{C}$ ，年降水 600~700mm，主要集中在 6~8 月份。

2.2 研究数据和方法

所用数据包括怀柔北房土地整理项目的土地利用现状图(1:2000)(图版 1 图 1)和实施后的土地利用图(1:2000)(图版 1 图 2)。上述图件利用 GIS 软件 ARC/INFO 经数字化后，利用 Fragstats 软件进行土地整理实施前后的景观格局分析，分析其景观效应。

依据国土资源部的土地利用分类标准，将项目区土地利用分为耕地、园地、林地、牧草地、居民点及工矿用地、交通用地、水域和未利用土地 8 类^[15]。利用 GIS，从土地整理实施前后的土地利用图中提取土地利用信息(图版 1，图 1 和图 2)。景观生态学的格局分析包括斑块水平、斑块类型水平和景观水平三个层次，结合土地整理的特点和前人的研究，重点从斑块类型水平和景观水平上选取了斑块密度、景观形状指数、分维数、分离度指数、聚集度指数、斑块类型丰富度指数、Shannon 和 Simpson 多样性与均匀度指数进行分析。限于篇幅，具体的景观格局指数计算方法不再赘述，可参考文献[16]~[18]。

3 结果与分析

3.1 土地整理对土地利用结构的影响

土地整理项目实施前，项目区中没有牧草地，其他土地利用类型按照面积比重大小排序为：耕地(占 52.88%)>居民点及工矿用地(15.32%)>林地(9.09%)>未利用土地(7.85%)>园地(6.86%)>水域(5.54%)>交通用地(2.47%)(图版 1 图 1，表 1)。

土地整理实施后，牧草地和未利用土地都不存在，耕地面积最大，占项目区面积的 73.67%，其次是居民点及工矿用地占 15.71%，其后依次为：园地>水域>交通用地>林地(图版 1 图 2，表 1)。

由表 2 可知，土地整理实施后，超过 70% 的耕地来自于原有耕地，其他 11.13% 和 10.08% 分别由林地和未利用土地转变而来，不到 8% 的耕地来自于园地和水域。超过 90% 的园地未发生变化，但是有 8.32% 的园地来自于耕地。整理后，林地面积减少到 2.8hm^2 ，其中超过 92% 的面积来自原有林地，其余不到 8% 的林地由未利用土地转变而来。居民点及工矿用地基本没有变化；82.89% 的交通用地没有变化，另外有 8.67% 来自于耕地。水域面积由整理前的 16.89hm^2 减少到 9.02hm^2 ，这些水域几乎全部来源于原有的水域；未利用土地则全部消失。

表 1 土地整理实施前后的土地利用结构变化

Tab 1 The changes of land use structures after land consolidation

土地利用	实施前		实施后	
	面积 (hm ²)	比例 (%)	面积 (hm ²)	比例 (%)
耕地	161.27	52.88	224.69	73.67
园地	20.94	6.86	13.73	4.50
林地	27.71	9.09	2.80	0.92
居民点及工矿用地	46.73	15.32	47.91	15.71
交通用地	7.52	2.47	6.85	2.25
水域	16.89	5.54	9.02	2.96
未利用土地	23.94	7.85	0.00	0.00
合计	305.00	100.00	305.00	100.00

表 2 整理后各土地利用类型由整理前土地利用转入的比例 (%)

Tab 2 The rates of land use types after land consolidation derived from the original land uses

土地利用	耕地	园地	林地	居民点及工矿用地	交通用地	水域	未利用土地
耕地	70.86	8.32		0.66	8.67		
园地	3.65	91.62			2.24		
林地	11.13		92.13		1.73		
居民点及工矿用地	0.13			96.91			
交通用地	0.63	0.06		0.85	82.89	0.10	
水域	3.51					99.90	
未利用土地	10.08		7.87	1.58	4.48		
合计	100	100	100	100	100	100	

3.2 土地整理对土地利用斑块格局的影响

表 3 给出了土地整理实施前后各土地利用方式的斑块变化特征。

表 3 土地整理实施前后土地利用类型的斑块特征比较

Tab 3 The comparisons of characteristics of land use patches between before and after land consolidation

土地利用	斑块数量		斑块密度 (个/100 hm ²)		平均斑块面积 (hm ²)		最大斑块面积 (hm ²)		最小斑块面积 (hm ²)		变异系数 (%)	
	前	后	前	后	前	后	前	后	前	后	前	后
耕地	20	17	6.56	5.57	8.06	13.22	20.57	28.83	0.048	0.401	77.39	58.06
园地	6	2	1.97	0.66	3.49	6.86	6.94	6.88	0.474	6.846	82.07	0.38
林地	18	4	5.90	1.31	1.54	0.70	6.56	2.33	0.094	0.118	122.70	155.23
居民点及 工矿用地	19	13	6.23	4.26	2.46	3.69	11.78	12.41	0.002	0.080	147.69	112.03
交通用地	3	3	0.98	0.98	15.58	2.28	6.88	6.42	0.237	0.153	24.34	157.04
水域	19	9	6.23	2.95	0.40	1.00	4.12	3.02	0.030	0.278	294.25	106.64
未利用土地	22	0	7.21	0.00	0.77		11.74		0.001		325.63	
合计	107	48	35.08	15.74	2.85	6.35	20.57	28.83	0.001	0.080	151.81	115.11

土地整理实施后, 所有土地利用的斑块数量、斑块密度和斑块变异系数均表现出减小的趋势, 而平均斑块面积、最大和最小斑块面积则增加。项目区的斑块数量由 107 个减少到 48 个, 减少了 59 个, 降低了 55%; 斑块密度大幅减少, 由整理前的 35.08 个/100hm² 减少到整理后的 15.74 个/100hm²。平均斑块面积增加了 3.5hm², 最大斑块面积和最小斑块面积分别增加了 8.26hm²和 0.079hm²。与整理前相比, 整理后斑块大小变得相对均匀, 斑块的变异系数降低了 24.18%。

整理后, 项目区未利用土地全部转变为其他土地利用; 耕地不仅其斑块数量 (17 个) 和斑块密度 (5.57 个/100hm²) 最高, 而且其总面积 (73.67%)、斑块平均面积 (13.22hm²) 和最大斑块面积 (28.83hm²) 也都最大, 斑块变异系数相对较小 (58.06%), 在景观中占据绝对优势 (表 3)。

3.3 土地整理对景观格局的影响

景观指数能够高度浓缩景观格局信息, 定量反映其结构组成和空间配置方面的特征^[19, 20]。边缘密度是边缘长度和面积的比值, 边缘密度越大表明斑块形状越复杂。形状指数反映了能量流和物质流等扩散过程的可能性, 斑块的形状越复杂则形状指数值越大, 形状指数降低表明景观中斑块形状趋于规则。分维数可以直观地理解为不规则几何形状的非整数维数, 分维数越高表明斑块周长越长形状越复杂; 同样, 分维数降低表明景观中斑块形状趋于规则简单。分离度指景观中不同斑块个体分布的分离程度, 能够反映土地整理前后不同土地利用类型的空间分布状况。聚集度指数反映景观中斑块类型的聚集程度, 如果景观是由许多离散小斑块组成则聚集度就小, 反之如果景观以少数大斑块为主或同一类型的斑块高度连接时, 聚集度的值就大, 因此聚集度指数能反映景观组分的空间配置特征。

由表 4 可知, 土地整理实施后, 各土地利用类型的空间分布特征均发生了变化。耕地的边缘密度 (-10.08%)、景观形状指数 (-18.38%) 和分离度指数 (-47.79%) 都显著降低, 而聚集度 (0.13%) 略有升高, 说明耕地在土地整理过程中斑块形状、面积和空间分布变化较大, 耕地形状趋于规则, 面积增大, 分布趋于集中。园地由整理前的 6 块变为整理后的 2 块, 表明部分园地转变为其他土地利用, 园地分离度增加, 而其他特征表现出与耕地相似的变化趋势。土地整理实施后林地面积数量变化较大, 大部分林地转换为其他土地利用方式, 林地斑块减少, 从而边缘密度和景观形状指数显著降低, 整理后林地分散于整个景观中, 聚集度略有降低, 分离度升高。交通用地和水域的变化特征同林地类似。居民点及工矿用地在土地整理实施前后变化不大。

表 4 土地整理项目实施前后土地利用类型空间分布特征的变化 (%)

Tab 4 The changes of spatial pattern of land uses after land consolidation

土地利用	边缘密度	景观形状指数	分维数	分离度指数	聚集度指数
耕地	- 10.08	- 18.38	- 5.33	- 47.79	0.13
园地	- 65.19	- 50.80	N/A	21.02	0.31
林地	- 72.33	- 13.93	N/A	1782.93	- 1.84
居民点及工矿用地	- 8.05	- 3.30	3.08	- 7.54	0.02
交通用地	- 7.36	1.10	N/A	14.95	- 0.59
水域	- 42.06	- 21.96	N/A	117.00	- 0.06
未利用土地	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A

注: N/A 为无数据

对项目区的整个景观而言，土地整理实施后，景观边缘密度、形状指数和分离度指数明显降低，降幅超过 29%，分维数略有降低（- 2. 86%），而聚集度（0. 29%）略有升高（表 5）。说明景观中各个斑块的形状趋于规则，从空间配置上看，景观由原有的许多离散小斑块组成转变成以少数大斑块为主或同一类型斑块高度连接为主。这样有利于提高土地利用集约度，便于机械化操作和集约化经营。

表 5 土地整理对景观整体空间格局的影响

Tab 5 The changes of spatial pattern of the whole landscape after land consolidation

景观格局	实施前	实施后	变化（%）	变化（%）
边缘密度（m/ hm ² ）	177. 38	115. 26	- 62. 12	- 35. 02
景观形状指数	10. 24	7. 20	- 3. 05	- 29. 73
分维数	1. 18	1. 15	- 0. 03	- 2. 86
分离度指数	32. 57	20. 89	- 11. 67	- 35. 84
聚集度指数（%）	99. 15	99. 44	0. 29	0. 29
斑块类型丰富度（种类/100 hm ² ）	1. 82	1. 56	- 0. 26	- 14. 29
Shannon 多样性指数	1. 48	0. 89	- 0. 59	- 39. 90
Simpson 多样性指数	0. 67	0. 43	- 0. 25	- 36. 34
Shannon 均匀度指数	0. 76	0. 50	- 0. 26	- 34. 73
Simpson 均匀度指数	0. 79	0. 51	- 0. 27	- 34. 53

景观多样性可由斑块类型丰富度、多样性和均匀度指数描述。斑块类型丰富度指数表示研究区内景观类型的丰富程度。多样性指数反映了景观类型丰富性和复杂性程度，而均匀度指数则表示研究区内各组分的分配均匀程度。土地整理实施后，原有的未利用土地全部转变为其他土地利用类型，斑块类型由原来的 7 类转变为 6 类，土地利用斑块数目也减少，故斑块类型丰富度指数由原来的 1. 82 变成 1. 56（表 5）。多样性和均匀度指数的大小取决于斑块类型的多少和各斑块类型在面积上分布的均匀程度，其值越大，说明景观结构组成的复杂性越大、空间分布越均匀。Shannon 与 Simpson 的多样性指数和均匀度指数的降幅超过 30%（表 5），一方面由于未利用土地转换为其他土地利用类型，斑块类型数量减少，另一方面土地整理使原来破碎的小斑块合并为较大的斑块，斑块类型在空间上分布趋于集中。

4 结论与讨论

土地整理实施后，其他土地利用多转变为耕地；其中，未利用土地几乎全转为耕地，耕地的有效面积增加，项目区超过 70% 的面积为耕地。同时，土地整理改变了景观的斑块特征，景观的破碎化程度和各个景观斑块被分割的程度减小，土地利用斑块呈现出数量较少、面积较大、大小变异不显著的特点；其中，耕地的斑块数量、斑块密度和斑块面积最大，斑块变异系数变化较小。土地整理后平均斑块面积和最小斑块面积增大，破碎化的景观趋于完整，农田道路网络得到改善，这不仅可以有利于耕地和园地的机械化操作和集约化经营，而且还可以具有农田防护和灌溉、交通方便等功能，有助于提高农作效率，利于耕地的规模经营，提高土地利用效率，增加农业效益。

土地整理使景观中原有的离散小斑块转变成以少数大斑块为主或同一类型斑块相互连

接, 引起整个景观的边缘密度、景观形状指数和分离度指数降低; 也造成景观多样性和均匀性指数变低, 说明土地整理在减轻景观破碎化的同时也降低了景观多样性。所以, 土地整理规划设计时应融入景观生态设计的思想, 尽可能改善生态系统结构简单、生态系统脆弱的状况, 例如通过田间道路和沟渠设计注重增加绿地和生物栖息场, 注意景观多样性的设计, 改善景观系统的多样性和稳定性。而未来的土地整理景观生态研究重点围绕土地整理的景观生态设计、土地整理对区域景观生态与土地质量的影响以及土地整理的生态效应分析等方面开展研究。

根据土地整理对景观格局的影响特点和前人的研究成果, 总结了土地整理景观效应分析的常用指标, 包括斑块水平和景观水平上 6 类 10 种指标。在斑块水平上可选用斑块数目、斑块密度、斑块大小 (各个景观类型面积、最大和最小斑块面积、平均斑块面积); 在景观水平上可选取镶嵌度指数 (聚集度指数)、生境破碎化指数 (分离度指数) 和多样性指数 (Shannon 多样性指数和均匀度指数)。

总之, 借助 GIS, 利用景观生态学方法能客观表达土地整理实施前后景观格局的变化, 同时也丰富了土地整理的理论和方法, 将为土地整理规划以及项目可行性研究中评价土地整理景观效应提供科学依据。

参考文献:

- [1] 王军, 余莉, 罗明, 翟刚. 土地整理研究综述. 地域研究与开发, 2003, (2): 8~ 11
- [2] 鹿心社. 论中国土地整理的总体方略. 农业工程学报, 2002, 18(1): 1~ 5
- [3] 高向军. 土地整理理论与实践. 北京: 地质出版社, 2003
- [4] Wu Ziping, Liu Minquan, Davis J. Land consolidation and productivity in Chinese household crop production. China Economic Review, 2005, 16: 28~ 49
- [5] 国土资源部规划司, 国土资源部土地整理中心. 土地开发整理规划实例. 北京: 地质出版社, 2001
- [6] 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. 农业工程学报, 2001, 17(4): 151~ 156
- [7] 罗明, 张惠远. 土地整理及其生态环境影响综述. 资源科学, 2002, 24(2): 60~ 63
- [8] 王军, 罗明, 龙花楼. 土地整理生态评价的方法与案例. 自然资源学报, 2003, 18(3): 363~ 367.
- [9] Niroula G S, Thapa G B. Impacts and causes of land fragmentation, and lessons learned from land consolidation in South Asia Land Use Policy, 2005, 22: 358~ 372
- [10] 杨庆媛. 西南丘陵山区土地整理与区域生态安全研究. 地理研究, 2003, 22(6): 698~ 708
- [11] 杨晓艳, 朱德举, 鄢文聚, 等. 土地开发整理对区域景观格局的影响. 农业工程学报, 2005, 21(9): 67~ 71
- [12] Bronster A, Vollmer S, Ihringer J. A review of the impact of land consolidation on runoff production and flooding in Germany. Phys Chem Earth, 1995, 20(3~ 4): 321~ 329
- [13] Mihara M. Effects of agricultural land consolidation on erosion processes in semi-mountainous paddy fields of Japan J Agric Engng Res, 1996, 64: 237~ 248
- [14] Bonfanti P, Fregonese A, Sigura M. Landscape analysis in areas affected by land consolidation Landscape and Urban Planning, 1997, 37: 91~ 98
- [15] 李元. 中国土地资源. 北京: 中国大地出版社, 2000 100~ 104
- [16] O'neill R V, Krummel J R, Gardner R H, et al. Indices of landscape pattern Landscape Ecology, 1988, 1: 153~ 162
- [17] 张金屯, 邱扬, 郑凤英. 景观格局的数量研究方法. 山地学报, 2000, 8(4): 346~ 352
- [18] 董绍玉, 蔡运龙, 李双成. 云南省楚雄市与双柏县土地利用变化对比研究. 地理研究, 2006, 25(3): 397~ 405.
- [19] 傅伯杰, 陈利顶, 马克明, 等. 景观生态学原理及应用. 北京: 科学出版社, 2001
- [20] 李阳兵, 王世杰, 容丽. 不同石漠化程度岩溶峰丛洼地系统景观格局的比较. 地理研究, 2005, 24(3): 371~ 378

Landscape effect analysis of land consolidation using GIS

WANG Jun^{1,2}, QIU Yang², YANG Lei², DI Chao², YU Li³

(1 Land Consolidation and Rehabilitation Center, the Ministry of Land and Resources,
Beijing 100035, China; 2 Beijing Normal University, Beijing 100875, China;

3 Renmin University of China, Beijing 100872, China)

Abstract: Land consolidation plays an important role in promoting rational land use and improving ecological environments. It produces the changes of land uses and their spatial structure to result in the changes of landscape pattern and ecological effects. Therefore, it is very important for planning and designing eco-environmental evaluation of land consolidation so as to study its landscape-ecological effects. Taking Huairou District in Beijing as an example, the changes of land use structure and landscape patterns for land consolidation are analyzed using GIS combined with method of landscape ecology in this paper. The following conclusions are drawn.

The land consolidation converts most of other land uses into cultivated land, whose area is more than 70% of the project area. In this process, most of the unused land was transformed into the cultivated land, some forest land was changed into cultivated land. Whereas residential and industrial areas changed indistinctively.

The number of land use patches and their density decreased by over 50%, the areas of average patch, the largest patch and the least patch increased 1.2, 0.4 and 79 times compared with those before land consolidation. However, the patch variance coefficient reduced by 24.18%.

In the whole landscape, the land use patches became simple and regular, landscape edge density, shape index and splitting index decreased over 29%, whereas aggregation index slightly increased, when land consolidation has been finished.

Land consolidation reduces landscape fragmentation. At the same time, it also causes decrease of landscape diversity. The Shannon's and Simpson's diversity index and evenness index reduce over 30%.

Based on the characteristics of land consolidation and results of the previous researchers, the common 10 indexes of landscape effect analysis including patch level and landscape level are summarized.

Key words: land consolidation; landscape ecology; index of landscape effects; GIS