

基于复杂网络的小清河流域土地利用/覆被变化研究

张 琨¹, 张宝雷¹, 冯朝阳², 梁 凯¹

(1. 山东师范大学 人口·资源与环境学院, 山东 济南 250014;

2. 中国环境科学研究院 国家环境保护区域生态过程与功能评估重点实验室, 北京 100012)

摘 要: 将复杂网络研究的理论和方法引入到小清河流域 LUCC(土地利用/覆被变化)研究中,以 1984—2010 年小清河流域土地利用/覆被变化转移矩阵作为网络,通过度、介数和平均路径长度等统计指标,从系统整体的层面分析了地类演变模式,识别土地系统的关键地类,分析其整体的稳定性演变。结果表明,耕地是小清河流域主要的转出型地类,水域湿地和建设用地则是主要的转入型地类;耕地是系统的关键地类,流域的 LUCC 过程主要围绕耕地展开。流域土地系统的稳定性较弱,且总体上表现出下降趋势。

关键词: LUCC; 复杂网络; 土地系统稳定性; 小清河流域

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2013)04-0081-04

中图分类号: F301.2

A Study of Land Use and Land Cover Change in Xiaoqing River Watershed Based on Complex Network

ZHANG Kun¹, ZHANG Bao-lei¹, FENG Chao-yang², LIANG Kai¹

(1. College of Population, Resources and Environment, Shandong Normal University, Ji'nan,

Shandong 250014, China; 2. State Environmental Protection Key Laboratory of Regional Eco-process and Function Assessment, Chinese Research Academy of Environmental Sciences, Beijing 100012, China)

Abstract: Based on the theory and method of the networks, this study explored the conversion models under different land-use types, identified the key land-use type, and analyzed the whole results of the conservation. Statistical indexes such as degree, betweenness and average path length were employed. The LUCC (land use/cover change) during the period from 1984 to 2010 in Xiaoqing River watershed were taken as a case study. The results indicated that farm land was the main land type that was converted from other land types, while the water land, wetland and construction land were the main land types that could be converted into the farm lands. The farm land was the key land type in the land type networks, by which the watershed LUCC was processed. The stabilization of land system was relative low, and this stabilization showed a decreasing trend.

Keywords: LUCC; complex network; stabilization of land system; Xiaoqing River watershed

土地利用/覆被变化(Land use and land cover change, LUCC)是区域环境演变的重要组成部分,其研究对区域可持续发展具有重要参考价值^[1-2]。从系统整体的角度识别关键变化地类是 LUCC 研究的关键,然而,传统 LUCC 研究主要是通过不同时期同一地类的面积变化以及不同地类间的面积转化来反映主要变化地类^[3-5],基于面积变化的研究方式只是孤立地研究地类个体,无法系统、整体地反映 LUCC 过程中地类的地位及作用^[6-7]。此外,系统稳定性是表征土地利用系统可持续发展水平的重要指标。以往的研究集中在利用景观格局指数度量某一种地类的稳定性,没

有充分考虑土地利用系统的整体性以及个别地类对土地利用系统整体的控制能力。复杂网络能够从系统整体的角度分析系统内个体的行为及个体间的联系,并且已经在社会学、信息产业、交通等领域取得了较好效果,将其理论和方法引入到流域 LUCC 研究中,是该研究的新方向,具有较广泛的研究前景。

小清河流域位于山东省中北部,是山东省重要的作物生产区和经济发展区,在山东省社会经济体系中占有重要地位。近年来,山东省实施了以小清河治污、补水、通航、景观建设等为手段的小清河流域生态综合整治,并以此为契机,实施小清河流域环境生态、

收稿日期:2012-05-12

修回日期:2012-09-17

资助项目:山东省自然科学基金青年项目“黄河三角洲退化湿地等级评价”(2010ZRE14029);山东省高校人文社科项目(J11WF12);教育部人文社科青年项目(11YJC790283; 12YJC790254)

作者简介:张琨(1988—),男(汉族),山东省济南市人,硕士研究生,主要从事资源环境监测和 GIS 应用研究。E-mail:zhangksd@163.com。

通信作者:冯朝阳(1979—),男(汉族),山东省临沂市人,博士,副研究员,主要从事 3S 技术在资源环境中的应用研究。E-mail:fengchychy@gmail.com。

低碳经济、宜居生活的开发活动。在环境改造和开发利用活动的影响下,流域内土地利用类型转化频繁,土地利用/覆被变化明显。因此,从整体层面把握流域 LUCC 过程,确定其特征与性质,明确其演变规律,对于流域的合理开发以及可持续利用具有重要意义。本研究利用复杂网络模型,对 1984—2010 年小清河流域的土地利用/覆被变化过程加以分析,以期突破传统 LUCC 研究的方法,从土地系统整体探明流域环境演变的进程及规律,为流域土地资源的合理开发以及土地利用的科学规划提供理论支持。

1 研究区概况

小清河流域南以泰山、鲁山为分水岭,北依黄河,东临渤海湾,西以玉府河为界,属于黄淮海平原地区。小清河流域包括济南市、淄博市、滨州市、东营市、潍坊市等 5 市(地)20 个县,总面积约 $1.5 \times 10^4 \text{ km}^2$ 。该流域属温带大陆性季风气候,全年降水的 70% 集中于 6—9 月份。流域内水系发达,河网纵横,水资源较为丰富。由于流域范围内古河道、古三角洲及洼地纵横分布,使得流域地表形态和沉积物结构都十分复杂。截至 2010 年底,流域总人口为 1 136.3 万人,流域人口密度为 699 人/ km^2 ,其中乡村人口为 722.5 万人,占总人口的 63.6%。2010 年,流域生产总值为 5 855.6 亿元,其中一、二、三产业所占比例为 4.8 : 54.4 : 40.8。小清河流域也是山东省重要的粮食作物生产基地,流域内分布有耕地 $8.72 \times 10^5 \text{ hm}^2$,粮食总产量超过 $5.00 \times 10^6 \text{ t}$ 。

2 数据与方法

2.1 数据基础

小清河流域的土地利用以成片分布的耕地为主,即使斑块相对破碎的林地和草地也基本上成片分布。以往研究^[8-9]表明,Landsat MSS/TM/ETM⁺ 影像能够满足 1 : 10 万的地面调查精度要求,同时该影像的处理技术成熟且价格相对适宜,因此选择 1984 年的 MSS 影像,1995 和 2000 年的 TM 影像以及 2010 年的 ETM⁺ 影像为基础数据源。为了更好地提取地表植被,减少季相对地物光谱的影响,选择 7—8 月份的影像。

根据小清河流域的实际情况,其主要土地利用类型为耕地、林地、草地、水域湿地、建设用地和未利用地共 6 种类型。采用计算机自动分类与目视解译相结合的方式,获取 1984,1995,2000 和 2010 年 4 期的 6 种类型土地利用数据序列,通过外业调查修订到定性精度与定量精度达到 95% 后,形成最终的土地利用序列数据,同时生成各个时段的 LUCC 转移矩阵。

2.2 复杂网络模型

2.2.1 复杂网络构建 小清河流域的土地系统可以看作由节点和连线构成的复杂网络(图 1),其节点为各种地类,连线为地类间的转化关系。该网络为有向有权网络,有向指的是对土地利用的转入与转出加以区分,如耕地转为草地和草地转为耕地视为两种转化情形;有权指的是网络中的连线具有权重,即地类间的转化面积。

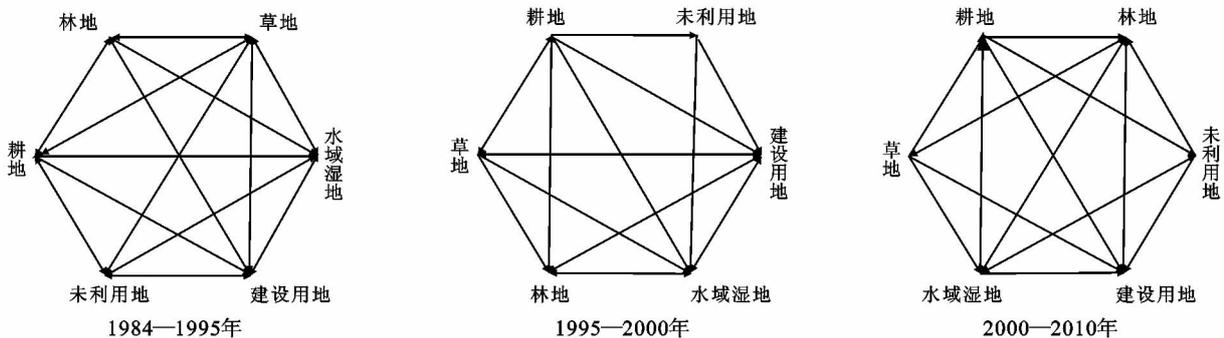


图 1 各时期 LUCC 转移矩阵的网络结构

注:箭头表示土地流转的方向。

2.2.2 复杂网络统计性质

(1) 度。复杂网络的度指的是与节点相连接的连线数,即该节点与其他节点之间存在的直接联系的数目。由于本研究中网络为有向有权网络,节点的度还分为出度与入度,分别代表地类面积的转入与转出,同时还要考虑连线的权重,即地类的转化面积。

在复杂网络中,节点与其他节点间直接联系的密切程度,对于节点在网络中的活跃性以及节点的行为模式具有重要影响,而节点的度可以在一定程度上表征这种联系。

(2) 介数。介数指的是网络中经过特定节点的最短路径占全部最短路径的比例。节点介数是反映

节点在整个网络中所发挥的作用和影响力的统计指标,介数越大,表示节点在网络中的地位和作用越重要。网络中介数较大的节点可以视为网络的关键节点^[10],关键节点对于系统整体具有重要的影响^[11],其行为可以很大程度上控制系统的结构与性质。对于小清河流域土地利用/覆被系统来说,关键节点代表的是系统中的关键地类,流域的LUCC过程在很大程度上围绕着关键地类展开,当关键地类的作用弱化时,系统中的许多转化关系也会随之弱化乃至消失。

(3) 平均路径长度。复杂网络中最短路径长度 d_{ij} 定义为连接节点*i*与节点*j*的最短边数,网络中所有节点对的最短路径长度的平均值,称为该网络的平均路径长度^[12]。平均路径长度描述的是网络中节点的离散程度,或者说是网络的通达性,所反映的是系统整体的稳定性。对于小清河流域土地利用/覆被系统而言,系统的平均路径长度越大,不同地类间发生转化的难度也就越大,即系统整体的稳定性越强。网络平均路径长度的计算方法为:

$$APL = \frac{2}{n(n-1)} \sum_{i \neq j} d_{ij}$$

式中,APL——平均最短路径长度;*n*——节点总数; d_{ij} ——节点*i*与节点*j*间的最短路径长度。

3 结果分析

3.1 地类行为分析

地类的度值高低表示的是与该地类存在直接转化关系的地类类型及发生转化的面积。在有向网络中,出度和入度的比值大于1的地类属于转出型地类,比值小于1则属于面积转入型地类。

从小清河流域LUCC转移矩阵网络的节点度(表1)可以看出,在1984—2010年,流域内的耕地是主要的转出型地类,耕地转化为其他地类,总面积不断减少。造成耕地减少的主要原因是

在驱动之下,建设用地扩展而大量占用耕地,1984—2010年耕地转出总面积为117 035.3 hm²,其中有107 303.94 hm²转化为建设用地,占转出总面积的91.69%。1984—1995年,林地和草地的出度分别为2 668.23和3 512.79,入度却皆为0.36,表明该时期小清河流域的地表植被持续消耗,却几乎没有得到补充,植被覆盖水平降低。林地在2000—2010年表现为转入型地类,流域植被覆盖水平有所恢复,这得益于山东省对生态保护工作重视程度的加强,2000年以来山东省先后出台了《山东生态省建设规划纲要》、《山东省生态环境保护条例(草案)》等文件,同时开展了大规模生态保护与建设项目,促进了流域植被的恢复。1984—1995年水域湿地的出度和入度分别为20 771.01和2 180.34,为转入型地类,这主要由于该时期为山东省大规模的农业建设期,围湖造田项目使得众多水域湿地变成了耕地,小清河流域仅白云湖、马踏湖和巨淀湖三个湖泊在该时期湿地面积就减少了1 468.73 hm²。1995—2010年,水域湿地由转出型地类转化为转入型地类,面积变化趋势由下降变为增长,这主要是因为人们生产生活和农业生产的需水量增大,为截留降雨和河流来水而在流域内不断开发新建人工坑塘,2010年流域人工坑塘面积达10 692.55 hm²,较1984年5 189.23 hm²的坑塘面积扩张了近1倍。在社会经济发展需求的驱动下,建设用地始终表现为转入型地类,面积不断增加,1984—2010年期间建设用地共增加136 058.19 hm²,增幅高达74.45%。各阶段各类地类都不同程度的向建设用地转移,说明在人类开发建设意愿的驱使之下,建设用地的扩展对不同地类都产生了不同程度的占用。未利用地由于面积较小,在各个阶段出度和入度数值都较小,但在2000—2010出度较大为1 110.69,这个时期未利用地主要转化为建设用地,说明此阶段未利用地变化的同样为建设用地占用引起的。

表1 1984—2010年小清河流域LUCC转移矩阵网络节点度分布

地类	1984—1995年			1995—2000年			2000—2010年		
	出度	入度	出度/入度	出度	入度	出度/入度	出度	入度	出度/入度
耕地	26 449.47	969.84	27.272	21 532.77	1 667.25	12.915	70 473.87	3 516.84	20.039
林地	2 668.23	0.36	7 411.750	1 139.67	977.94	1.165	1 229.94	3 828.15	0.321
草地	3 512.79	0.36	9 757.750	766.26	1414.89	0.542	4 230.9	52.92	79.949
水域湿地	20 771.01	2 180.34	9.527	826.56	2 049.39	0.403	1 531.17	3 752.19	0.408
建设用地	126.36	50 399.28	0.003	750.87	19 152.18	0.039	2 234.79	69 648.75	0.032
未利用地	35.82	13.50	2.653	245.61	0.09	2 729.000	1 110.69	12.51	88.784

3.2 关键地类识别

网络节点的介数可以作为判定系统关键地类的依据,介数越大,则对应地类在系统中的地位就越重

要,其对系统的影响也就越明显。从不同时段土地系统复杂网络介数值(表2)可以看出,1984—1995年、1995—2000年和2000—2010年这3个时段耕地介数

值分别为 0.400, 0.200 和 0.087, 在各时段中均为最大值, 可以认为耕地在系统中的地位和作用最为重要, 是系统的关键地类。耕地是小清河流域面积最大的土地利用类型, 其面积的变化会引发其他地类的连锁反应。被占用的耕地是水域湿地和建设用地转入面积的主要来源, 1984—2010 年共有 5 156.37 hm² 的耕地被改造为水域湿地, 107 303.94 hm² 的耕地被占用开发为建设用地, 分别占二者转入总面积的 73.80% 和 77.84%。耕地的转入面积主要来源于自然水面的围垦、未利用地的开发和林地的开垦, 转入面积分别为 1 711.08, 795.78 和 696.60 hm²。可见, 耕地与流域内其他地类联系密切, 在一定程度上对小清河流域 LUCC 过程起着控制作用。

表 2 1984—2010 年小清河流域 LUCC 转移矩阵网络节点的介数

地类	1984—1995 年	1995—2000 年	2000—2010 年
耕地	0.400	0.200	0.087
林地	0.000	0.000	0.013
草地	0.067	0.000	0.000
水域湿地	0.092	0.075	0.087
建设用地	0.092	0.075	0.013
未利用地	0.000	0.000	0.000

3.3 系统稳定性分析

1984—2010 年小清河流域 LUCC 转移矩阵网络的平均路径长度都保持在 1.5 以下, 表明系统中任意两个地类间仅需要经过一个地类的衔接就可以建立联系, 如未利用地—耕地—草地的地类转化关系中, 未利用地与草地之间不存在直接转化关系, 但是耕地作为中转地类对二者加以衔接, 实现了未利用地与草地之间的面积转化。

1984—1995 年, 网络平均路径长度为最大值 1.43, 系统稳定性较强。这主要是因为该时期小清河流域范围内人类活动强度相对较弱, 开发建设规模有限, 自然因素对地类间的相互转化影响较大, 流域土地利用/覆被系统相对稳定。1995—2000 年平均路径长度下降至 1.23, 网络连通性加强, 地类间的相互转化更容易发生。2000—2010 年间平均路径长度保持在 1.23。总体来看, 1984—2010 年网络的平均路径长度有所降低, 网络的连通性加强, 系统稳定性下降。这主要是因为人类基于自身需求对地类间的转化施加干预, 使得地类间的转化更加频繁, 如对农作物的需求量增加, 而将其他地类更多的转化为耕地; 实施生态建设促进林地和草地与其他地类间的直接或间接转化; 开展建设活动使其他地类不断转化为建设用地等。由此可见, 近 30 a 来人类有目的的开发

建设活动在小清河流域 LUCC 过程中起主导作用。可以预见, 随着流域人类活动的加强, 地类间的转化更加频繁, 系统稳定性进一步降低。

4 结论

(1) 1984—2010 年小清河流域耕地被大量开发为建设用地, 耕地是主要的转出型地类, 面积明显下降; 林地和草地在 1995—2010 年间转入面积有所增加, 流域植被覆盖水平有所恢复; 水域湿地和建设用地是主要的转入型地类, 这与流域内的人类开发建设活动有关。

(2) 各时段耕地的介数值均为最大值, 耕地与其他地类间联系密切, 是系统的关键地类。耕地是水域湿地和建设用地转入面积的主要来源, 而耕地面积的补充则主要来源于自然水面的围垦、未利用地的开发和林地的开垦。

(3) 网络平均路径长度均小于 1.5, 系统稳定性较弱, 任意两个地类间仅需要通过一个中间地类即可建立联系。1984—1995 年平均路径长度最大, 土地利用相对稳定; 1995—2010 年平均路径长度保持在 1.23, 系统总体稳定性降低。

[参 考 文 献]

- [1] 刘纪远, 邓祥征. LUCC 时空过程研究的方法进展[J]. 科学通报, 2009, 54(21): 3251-3258.
- [2] 李秀彬. 全球环境变化研究的新领域: 土地利用/土地覆被变化变化的国际研究动向[J]. 地理学报, 1996, 51(6): 553-558.
- [3] 严应存, 校瑞香, 肖建设. 青海省巴音河流域 LUCC 遥感调查及驱动分析[J]. 中国沙漠, 2012, 32(1): 276-283.
- [4] 赵艳霞, 刘欣, 秦彦杰. 河北省农牧交错区 LUCC 及其对生态脆弱性的影响[J]. 水土保持研究, 2011, 18(5): 205-211.
- [5] 徐小娇, 周建峰, 王文丽. 近十五年来江汉平原 LUCC 轨迹分析[J]. 湖北大学学报, 2012, 34(1): 110-115.
- [6] 武鹏飞, 官辉力, 周德民. 基于复杂网络的官厅水库流域土地利用/覆被变化[J]. 地理学报, 2012, 67(1): 113-121.
- [7] 祁永发, 沙占江, 王静慧. 基于 RS 和 GIS 的湟水流域平安段土地利用变化研究[J]. 鸡西大学学报, 2012, 12(3): 148-150.
- [8] 孔次芬, 李月臣, 简太敏. 基于 RS 和 GIS 重庆都市区土地利用/覆被变化过程及预测分析[J]. 水土保持研究, 2012, 19(2): 205-209.
- [9] 张丽, 高维. 基于 RS 和 GIS 的抚顺市土地利用与覆被变化研究[J]. 安徽农业科学, 2012, 40(11): 6897-6900.
- [10] 刘涛, 陈忠, 陈晓荣. 复杂网络理论及其应用研究概述[J]. 系统工程, 2005, 23(6): 1-7.
- [11] 约翰·斯科特. 社会网络分析法[M]. 重庆: 重庆大学出版社, 2007: 72-73.
- [12] 关沫, 李波, 赵海. Internet 的复杂网络统计规律研究与分析[J]. 计算机工程, 2008, 34(21): 92-95.