

丁茜,付梅臣,王力. 基于转移矩阵的重庆市北碚区土地利用变化分析[J]. 江苏农业科学,2017,45(12):198-204.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2017.12.051

基于转移矩阵的重庆市北碚区土地利用变化分析

丁茜¹,付梅臣¹,王力²

(1. 中国地质大学土地科学技术学院,北京 100083; 2. 中国科学院遥感与数字地球研究所遥感科学国家重点实验室,北京 100101)

摘要:获取土地利用/覆被变化定量信息对于土地管理和规划、促进可持续发展有重要意义。以重庆市北碚区2000、2005、2010、2015年的 landsat TM 影像为基本数据源,采用监督分类的方法获得了北碚区4个时相的土地利用数据,建立土地利用转移矩阵,从年均变化强度、地类动态度、地类转变强度及倾向度3个层次构建指标,深入挖掘土地利用变化信息,分析北碚区15年土地利用的变化速率、转变强度及变化趋势。结果表明:2000—2015年重庆市北碚区的土地利用发生明显变化,变化强度呈递增趋势;各类用地在不同时段内变化分异较大,变化相对剧烈的地类主要是建设用地和耕地,耕地减少的强度与城市扩张速度呈正相关;地类综合动态度与地类占研究区面积的比例有关,单一动态度则反映地类自身的变化情况;地类转变强度和倾向度分别挖掘了地类变化的直观和潜在转变信息,二者结合更能全面地分析地类的来源与转向的情况。

关键词:土地利用变化;转移矩阵;遥感监测;重庆市北碚区

中图分类号: F301.24 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2017)12-0198-07

土地利用/覆被变化(LUCC)是全球气候变化和可持续发展研究领域关注的核心问题,也是人类活动与自然环境相互作用最直接的表现形式^[1-2]。研究区域系统内的土地利用结构变化规律,对土地利用调控、合理利用土地、促进区域社会发展具有重要意义^[3]。当前国内外土地利用变化研究主要涉及3个方面:一是土地利用演化规律研究^[4-15],包括数量和空间演变规律;二是引起土地利用变化的驱动机理分析^[16-19];三是基于变化过程构建有关模型模拟预测土地利用演化^[3-4,20-24]。土地利用动态过程监测是驱动力分析和模

拟预测的基础,对深入开展土地利用变化研究具有重要意义。

土地利用转移矩阵反映了一个区域在2个时间点土地利用变化的数量结构特征与各用地类型变化的方向,因而在土地利用变化和模拟分析中具有重要意义,并得到广泛应用^[6]。传统的土地利用转移矩阵应用集中在直接分析土地利用类型面积的变化信息,其中又以土地利用类型面积的净变化、总变化以及动态度分析为主^[7],不能全面而深入挖掘土地利用变化的过程潜在信息。

近年来,重庆市北碚区社会经济快速增长,重大基础设施建设导致土地利用格局变化具有典型性,有重要研究价值。本研究以重庆市北碚区为例,引入土地利用年均变化强度、地类动态度、地类转变强度及倾向度的分析计算方法,从3个层次对土地利用变化过程进行分析,并判断土地利用变化强度与倾向性的规则,以期有效获取北碚区土地利用类型动态变化信息以及为土地利用空间分析和预测建模提供有效信息。

收稿日期:2016-09-18

基金项目:国家“863”计划(编号:2014AA06A511);国家科技重大专项(编号:20-Y30B17-9001-14/16)。

作者简介:丁茜(1993—),女,湖南湘潭人,硕士研究生,主要从事土地资源评价与利用规划研究。E-mail:dingqian2011@163.com。

通信作者:付梅臣,教授,主要从事土地利用和复垦研究。E-mail:fumeichen@cugb.edu.cn。

neutrons measurements at COSMOS station in Eastern Poland[J]. Geoderma,2016,283:21-31.

[4] Bi H Y, Ma J W, Zheng W J, et al. Comparison of soil moisture in GLDAS model simulations and *in situ* observations over the Tibetan Plateau[J]. Journal of Geophysical Research Atmospheres,2016,121(6):2658-2678.

[5] 王文,汪小菊,王鹏. GLDAS月降水数据在中国区的适用性评估[J]. 水科学进展,2014,25(6):769-778.

[6] Li D Y, Zhao T J, Shi J C, et al. First evaluation of aquarius soil moisture products using *in situ* observations and GLDAS model simulations[J]. IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing,2015,8(12):5511-5525.

[7] Tian H J, Cao C X, Chen W, et al. Response of vegetation activity dynamic to climatic change and ecological restoration programs in Inner

Mongolia from 2000 to 2012[J]. Ecological Engineering,2015,82(4):276-289.

[8] Badreldin N, Frankl A, Goossens R. Assessing the spatiotemporal dynamics of vegetation cover as an indicator of desertification in Egypt using multi-temporal MODIS satellite images[J]. Arabian Journal of Geosciences,2014,7(11):4461-4475.

[9] 丁文荣. 滇东南喀斯特地区植被覆盖变化及其影响因素[J]. 水土保持研究,2016,23(6):227-231.

[10] 袁沫沙,邹玲,林爱文,等. 湖北省地区植被覆盖变化及其对气候因子的响应[J]. 生态学报,2016,36(17):5315-5323.

[11] 李威,蒋平,赵卫权,等. TRMM卫星降水数据在喀斯特山区的适用性分析——以贵州省为例[J]. 水土保持研究,2016,23(1):97-102.

1 研究区域与数据

1.1 研究区概况

北碚区位于 29°44'N ~ 29°33'N、106°12'E ~ 106°32'E，地处重庆市核心区的西北面嘉陵江下游(图1)。全区幅员面积 75 500 hm²，常住人口 77 万人，其中城镇人口 61 万人，辖 5 个街道、12 个镇。北碚区位于四川盆地平行岭谷地区，属西南坳褶带，主要地形为山脉和丘陵，其间形成谷地，嘉陵江从西北向东南横流而过，支流 20 余条，水系丰富。该地区属亚热带季风湿润气候，热量丰富，雨量充沛，最高气温 44.3 ℃，最低气温 -3.1 ℃，年平均气温 18.2 ℃。土壤以紫色土、水稻土为主，盛产水稻、玉米、红薯、水果等。

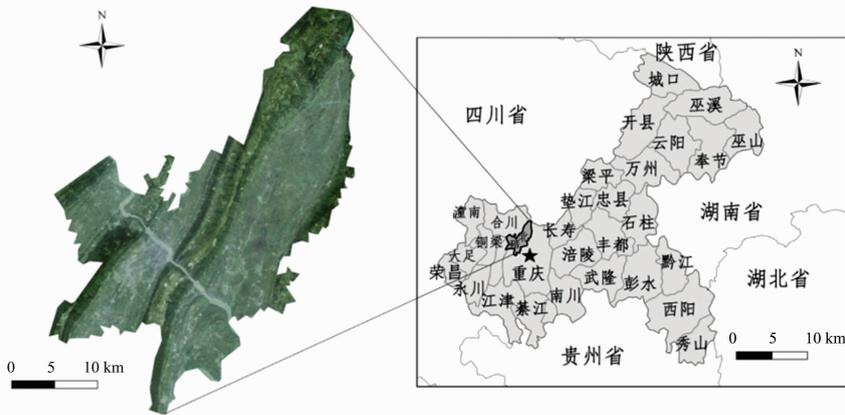


图1 重庆市北碚区区位示意图

1.2 数据来源及处理

通过美国地质调查局网站，下载重庆市北碚区 2000—2015 年 landsat TM 遥感影像，时段是 5 年，轨道号均为 128/039，分辨率为 30 m × 30 m。利用 ENVI 5.1 软件，对 4 个时段的影像进行辐射定标、波段合成、图像裁剪和掩膜等处理，根据研究区域实际情况，结合实地考察和 Google Earth 提供的高分辨率图像，通过选择样点，用监督分类的方法将研究区分成水域、建设用地、林地、耕地、其他用地 5 种用地类型，从而得到北碚区 4 期土地利用/覆被类型图(图 2)。经过混淆精度检验，4 个时段影像的分类精度符合研究的精度要求(表 1)。利用 ENVI 对不同时期遥感图像的分类结果进行叠加运算，得到 2000—2005 年、2005—2010 年、2010—2015 年 3

个时段的土地利用转移矩阵(表 2、表 3、表 4)。

北碚区距重庆市中心 24 km，距重庆市江北国际机场 27 km，是重庆市进出川北的咽喉要地。全区公路里程 1 470 km，航道里程 44.5 km，港口(码头)23 个，襄渝铁路横穿东西，嘉陵江黄金水道纵贯南北，交通极为便捷。

按照重庆市五大功能区域战略布局，北碚区属都市功能拓展区。北碚区立足都市功能拓展区定位，围绕“五区四带”发展战略部署，先后引进工业项目 180 余个，GDP 能耗降至 0.76 t 标煤/万元。2015 年，完成地区生产总值 430 亿元，规模以上工业总产值 841 亿元，全社会固定资产投资 595 亿元，一般公共预算收入 27.6 亿元，增长 12.1%，城乡常住居民人均可支配收入分别达到 30 261、14 499 元，扎实推进经济社会发展，进入了加速城市化发展的新阶段。

表 1 遥感影像分类精度检验

年份	数据源	获取时间 (年-月-日)	判读精度 (%)	Kappa 系数
2000	LT5	2000-11-03	90	0.878 5
2005	LT5	2005-04-07	93	0.912 1
2010	LT5	2010-05-23	91	0.888 6
2015	LT8	2015-04-03	94	0.926 3

个时段的土地利用转移矩阵(表 2、表 3、表 4)。

2 方法

2.1 年均变化强度分析

土地利用转变强度分析研究区每个时段的年均变化速

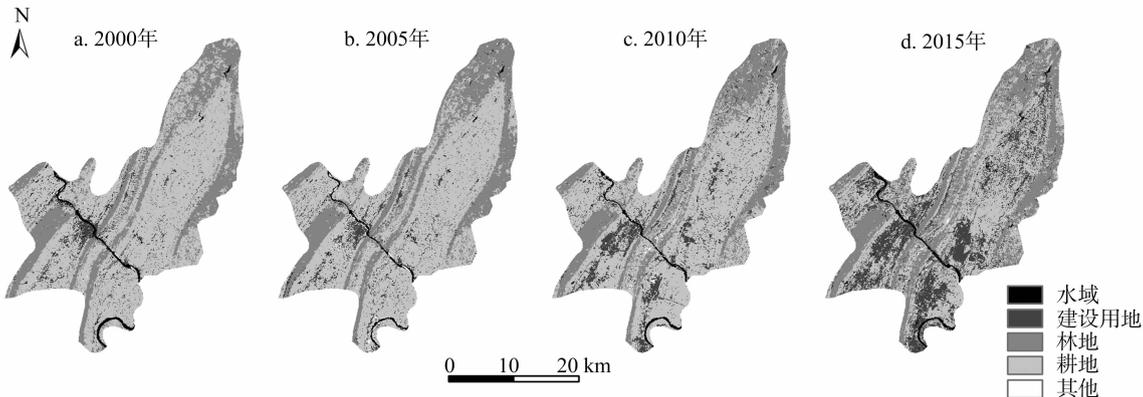


图2 重庆市北碚区土地利用变化

表2 重庆市北碚区2000—2005年土地利用变化转移矩阵

2005年	2000年					2005年 合计	转入 面积
	水域	建设 用地	林地	耕地	其他		
水域	14.37	0.65	2.03	4.19	0	21.24	6.87
建设用地	1.89	17.06	1.42	18.84	0.51	39.72	22.66
林地	1.55	0.69	186.65	31.50	0	220.39	33.74
耕地	3.83	7.05	29.83	458.26	0.74	499.71	41.45
其他	1.05	1.70	0.16	3.23	0.81	6.96	6.14
2000年合计	22.70	27.14	220.09	516.02	2.07	788.01	110.86
转出面积	8.33	10.09	33.44	57.76	1.26	110.86	

表3 重庆市北碚区2005—2010年土地利用变化转移矩阵

2010年	2005年					2010年 合计	转入 面积
	水域	建设 用地	林地	耕地	其他		
水域	14.27	0.48	1.16	6.09	0.67	22.67	8.40
建设用地	1.84	182.78	2.60	16.25	0.03	203.50	20.72
林地	1.19	1.94	24.94	46.55	4.36	78.97	54.04
耕地	3.77	35.04	10.68	427.21	1.00	477.71	50.49
其他	0.17	0.15	0.35	3.60	0.89	5.16	4.27
2005年合计	21.24	220.39	39.72	499.71	6.96	788.01	137.92
转出面积	6.97	37.61	14.78	72.49	6.07	137.92	

表4 重庆市北碚区2010—2015年土地利用变化转移矩阵

2015年	2010年					2015年 合计	转入 面积
	水域	建设 用地	林地	耕地	其他		
水域	14.44	1.10	0.75	4.48	0.41	21.18	6.74
建设用地	5.67	60.22	5.04	103.37	3.67	177.97	117.75
林地	0.66	2.03	178.36	42.35	0.02	223.43	45.07
耕地	1.75	14.69	19.04	324.60	0.35	360.43	35.83
其他	0.15	0.93	0.31	2.91	0.71	5.00	4.29
2010年合计	22.67	78.97	203.50	477.71	5.16	788.01	209.68
转出面积	8.23	18.75	25.14	153.11	4.45	209.68	

率,用于比较各时段的土地利用变化程度。由于研究区土地利用总的转入和转出面积是相等的,因此计算取转入或转出面积均可^[11]。本研究采用土地利用总的转入面积进行计算。式(1)定义了研究区内各时段的土地利用变化强度。

$$U_i = \frac{S_n}{S} \times \frac{1}{T} \times 100\% \quad (1)$$

式中: U_i 为研究区在研究时段内的年均转变强度,%; S_n 为研究区总的转入面积, km^2 ; S 为研究区域的土地总面积, km^2 ; T 为研究时段的年跨度,年。

2.2 地类动态变化分析

土地利用的显著特点之一就是其空间位置的固定性与特殊性。如图3所示,实线部分表示地类*i*在 T_1 时点的状态,虚线部分表示地类*i*在 T_2 时点的状态,地类*i*从研究时点 T_1 到 T_2 的土地利用空间格局变化包含3种类型:(1)未变化部分(S_{ii}),其土地利用类型与空间区位在时间段 $T_1 - T_2$ 没有发生变化;(2)转入部分($S_{+i} - S_{ii}$),表示其他非*i*地类转变为

地类*i*的部分;(3)转出部分($S_{i+} - S_{ii}$),表示地类*i*在研究时间段转变成其他非*i*地类的部分。

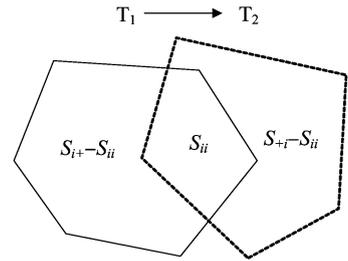


图3 土地利用动态变化示意图

地类动态变化主要进行空间格局变化的转入和转出2个部分分析,研究方法分为2种:一种是地类综合动态度模型,该模型分析各地类相较于整个研究区域的变化程度;另一种是地类单一动态度模型,该模型分析不同地类相较于其自身发生变化之前的状态产生的变化强度。

$$G_{si} = \frac{S_{+i} - S_{ii}}{S} \times \frac{1}{T} \times 100\% \quad (2)$$

$$L_{si} = \frac{S_{i+} - S_{ii}}{S} \times \frac{1}{T} \times 100\% \quad (3)$$

$$G_i = \frac{S_{+i} - S_{ii}}{S_{+i}} \times \frac{1}{T} \times 100\% \quad (4)$$

$$L_i = \frac{S_{i+} - S_{ii}}{S_{i+}} \times \frac{1}{T} \times 100\% \quad (5)$$

式中: G_{si} 和 L_{si} 分别为地类*i*在综合动态度模型下某研究时段内的年均转入速率和年均转出速率; G_i 和 L_i 分别为地类*i*在单一动态度模型下某研究时段内的年均转入速率和年均转出速率; S 为研究区的总面积; S_{+i} 和 S_{i+} 分别为地类*i*在期初和期末的总面积; S_{ii} 为地类*i*没有发生变化的面积; T 为研究时段的年跨度。

式(2)、(3)定义了地类综合动态模型的地类年均转入速率和转出速率,其值越大,表示地类相较于研究区变化速率相对越快;式(4)、(5)定义了单一动态模型的地类年均转入速率和转出速率,其值越大,表示地类相较于自身变化速率相对越快。两者关系在于,地类单一动态度是地类综合动态度乘上该地类占研究区总面积的比值所得结果,消除了面积对变化强度的影响,对于分析特定时段内地类相较于自身面积变化速率快慢有着重要意义,两者结合可以较为全面地反映与比较各地类的变化程度。

2.3 地类转变强度和倾向度分析

地类转变强度研究针对某一特定地类,其转入和转出面积的主要来源以及转换的程度。式(6)、(7)分别定义了地类年均转入强度和年均转出强度,其值越小,表示该地类的转变强度越小,且为非主要转入/转出来源;其值越大,表示该地类的转变强度越大,且为主要转入/转出来源^[8]。

$$G_{ji} = \frac{S_{ji}}{S_{+i}} \times \frac{1}{T} \times 100\% \quad (6)$$

$$L_{ij} = \frac{S_{ij}}{S_{i+}} \times \frac{1}{T} \times 100\% \quad (7)$$

式中: G_{ji} 为其他地类*j*转成地类*i*($i \neq j$)的转入强度; L_{ij} 为地类*i*转成其他地类*j*($i \neq j$)的转出强度; S_{ij} 表示某研究时段内地

类 i 转成地类 j 的面积; S_{ji} 表示研究时段内地类 j 转成地类 i 的面积; T 为研究时段的年跨度。

地类转变倾向度定义了不同土地利用类型之间转换的倾向性强度,该方法消除了土地利用类型面积对转换面积的影响,能够很好地反映地类之间相互转换的优势信息。式(8)、(9)分别从地类转出量和转入量的角度,定义了随机条件下土地利用类型之间转化的理论值计算方法^[7]。式(10)、(11)定义了地类实际转换与理论转换的差异强度,其值越小,说明该土地利用转换类型的倾向优势越强,相应地类转换系统性越强;其值越大,表明该土地利用转换类型的倾向优势越弱,相应地类转换随机性越强。

$$W_{ij} = (S_{i+} - S_{ii}) \times \frac{S_{i+}}{S - S_{i+}}; \quad (8)$$

$$V_{ji} = (S_{+i} - S_{ii}) \times \frac{S_{+i}}{S - S_{+i}}; \quad (9)$$

$$R_{ji} = \frac{|S_{ij} - W_{ij}|}{W_{ij}}; \quad (10)$$

$$Q_{ji} = \frac{|S_{ji} - V_{ji}|}{V_{ji}}. \quad (11)$$

式中: W_{ij} 为地类 i 转成地类 j ($i \neq j$) 的理论转出量; V_{ji} 为地类 j 转成地类 i ($i \neq j$) 的理论转入量强度; R_{ji} 为地类 i 转成地类 j ($i \neq j$) 的地类转出倾向度; Q_{ji} 为地类 j 转成地类 i ($i \neq j$) 的地类转入倾向度; S_{ij} 表示某研究时段内地类 i 转成地类 j 的面积; S_{ji} 表示研究时段内地类 j 转成地类 i 的面积。

3 结果与分析

3.1 年均变化强度

从地类年均变化强度(图4)来看,2000—2005年土地利用变化面积仅占研究区域的14%,年均变化强度为2.81%,变化相对缓慢;2005—2010年年均变化强度为3.50%,土地利用变化相对加快;2010—2015年土地利用变化最快,年均变化强度达5.32%。从土地利用变化总体态势来看,2000—2015年北碚区整体的年均变化强度达到3.88%,从分时段的土地利用变化来看,土地利用年均变化强度呈逐渐增大趋势,且相较于整体变化而言,前2个时段变化相对缓慢;2010—2015年土地利用年均变化强度变化迅速,这与北碚区近年来都市功能拓展区的定位及“五区四带”发展战略的不断深入有着密不可分的联系。

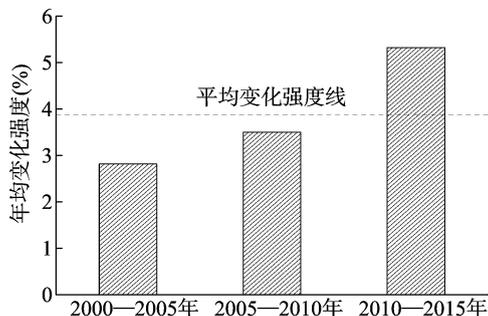


图4 北碚区3个时段土地利用年均变化强度

3.2 地类动态度

从地类净变化来看(图5),耕地在3个时段内的动态度

均是转出大于转入,说明耕地在研究时段内呈缩减趋势;建设用地在3个时段内的动态度均是转入大于转出,说明建设用地呈不断增长趋势;林地的净变化呈现先基本平稳到缩减再到增长的趋势;水域净变化呈现先减后增再减的趋势,但变化不明显;其他用地呈现先增后减再平稳的趋势。

从地类动态度来看(图5),耕地的综合转出动态度均最大,综合转入动态度除2010—2015年较小外,其他时间段变化都相对较大,说明15年间耕地面积变化很大,但是单一动态度均小于7%,这与耕地在研究区内所占比例最大有关,说明对于整个研究区域而言,耕地变化十分剧烈,但是就耕地自身面积来看,由于面积基数较大,变化的部分相对较少;其他用地与耕地变化趋势相反,由于其他用地面积在整个研究区的比例最小,因此综合动态度在3个时段内均最小,但是相较于自身面积来看,变化十分剧烈;建设用地的综合动态度和单一动态度呈增大趋势,且转入均大于转出,说明建设用地在3个时段内的变化强度不断增大,并不断扩张;由于林地面积占研究区比例较大,与其他4种地类相比,综合动态度较大,但单一动态度较小;水域的综合动态度和单一动态度均变化不大,说明水域在研究区内变化强度相对平稳,变化趋势不明显。

3.3 地类转变强度和倾向度

从转入强度和倾向度来看(图6),3个研究时段内林地一直是耕地增加部分的主要来源,且转入倾向度均小于1%,说明林地转为耕地为系统性转换;转入耕地来源其次是建设用地,转入比例有增大趋势,倾向度为3%~4%,变化不大,说明建设用地转为耕地属于随机性转换;水域和其他用地转入耕地的比例很小,且倾向度逐渐减小,说明2类用地转为耕地有随机到系统变化的趋势。

耕地在3个时段内主要转为建设用地,2000—2010年间为随机转变,2010—2015年转变相对稳定;其次是林地,强度先减小后增大,均为系统性转变;其他用地和水域强度相对很小,2000—2010年倾向度相对较大,变化相对随机;2010—2015年倾向度减小,为系统性转变。

从转变强度来看(图7),3个时段内建设用地主要转入来源和转出去向均为耕地,而林地、水域和其他用地的转变强度均相对较小。

耕地、林地、水域在3个时段内的转变倾向度较小,为系统性转变;其他用地除2005—2010年转出倾向度较小,为系统性转换外,其他时段内的转变倾向度均为随机性转换。

从转变强度来看(图8),3个时段内耕地的转入和转出强度最大,林地转入的主要来源和流向主要为耕地,且倾向度均小于0.6%,说明这种转变相对稳定;其他3种地类与林地之间的转变强度较小。

水域转出倾向度有减小趋势,即林地转为水域呈现由随机性向系统性转变的趋势,此外,水域转入倾向度经历了由系统—随机—系统的转变;除水域外的其他3种地类的转入和转出倾向度相对较小,为系统性转变。

从转变强度来看(图9),2000—2010年耕地的转出强度较大,说明水域主要转出为耕地;2010—2015年建设用地变成了水域的主要流向;耕地转为林地的强度在3个时段内均最大,说明耕地为林地增加的主要来源。

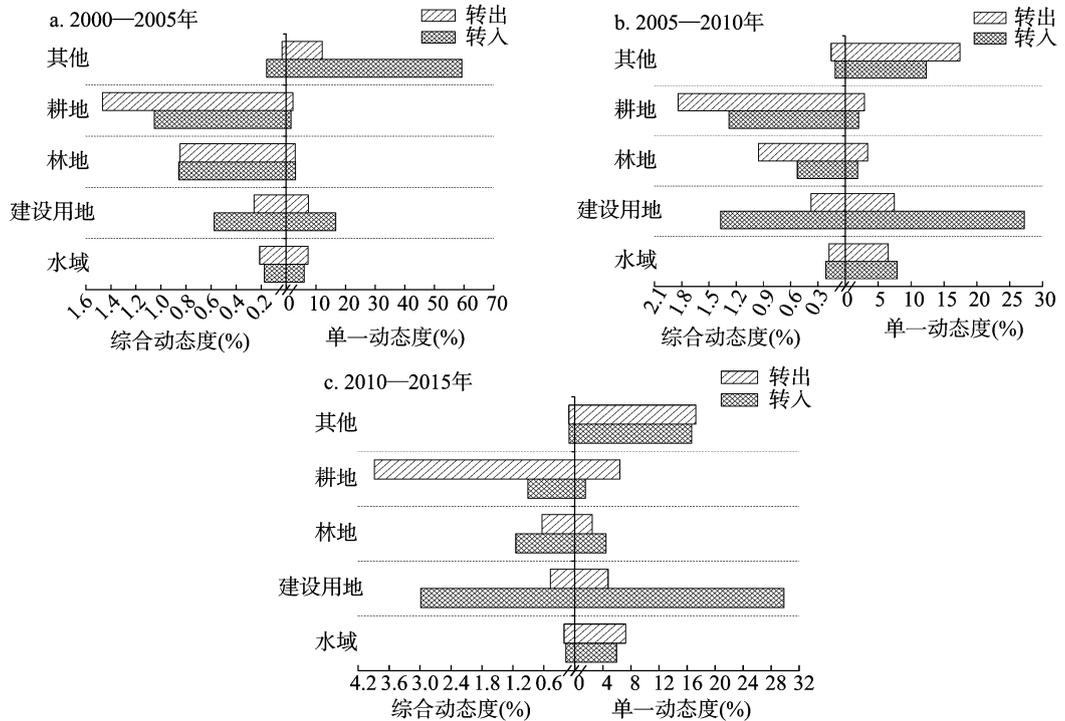


图5 北碚区土地利用变化动态度

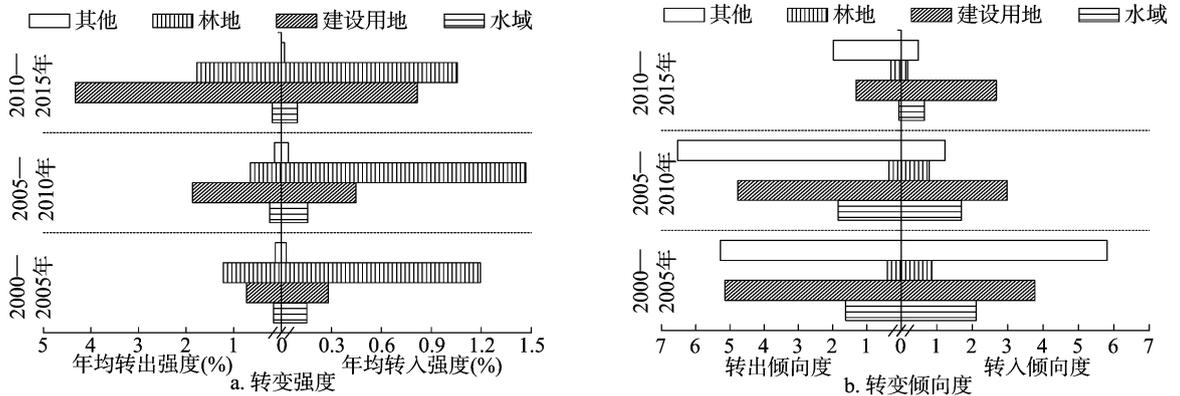


图6 北碚区耕地转变强度和倾向度

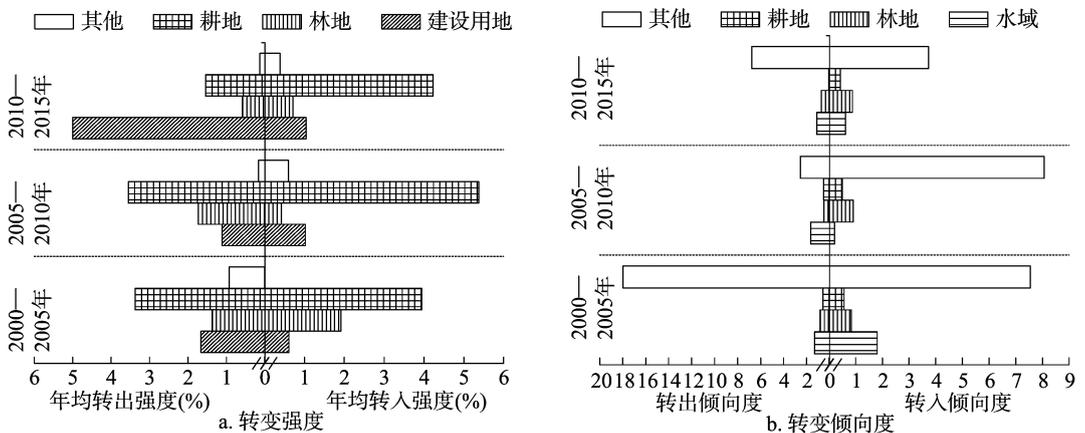


图7 北碚区建设用地转变强度和倾向度

2000—2005年其他用地转出倾向度很大,为随机性转变,而后2个时段内的转出倾向度急剧减小,转变较为稳定;

其他用地转入倾向度与之相反,2000—2005年为系统性转变,2005—2015年的转变较为随机;建设用地、林地、耕地的

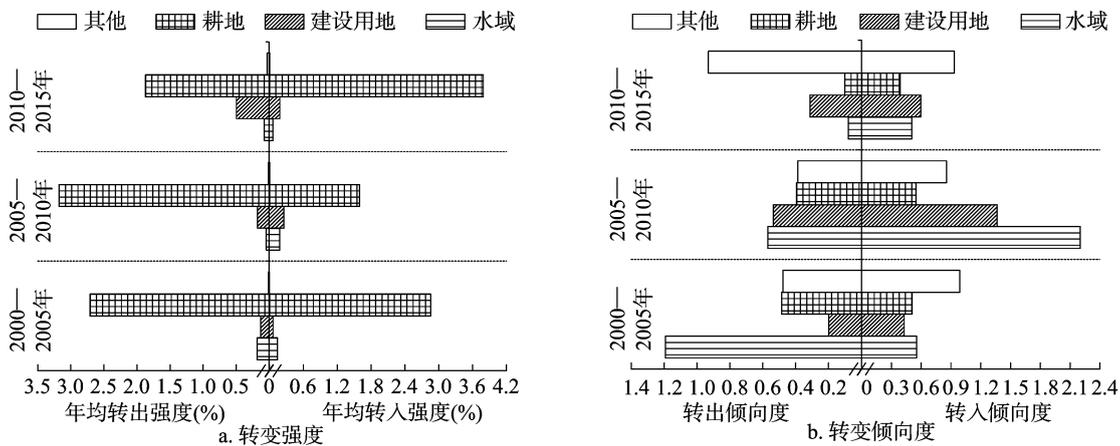


图8 北碚区林地转变强度和倾向度

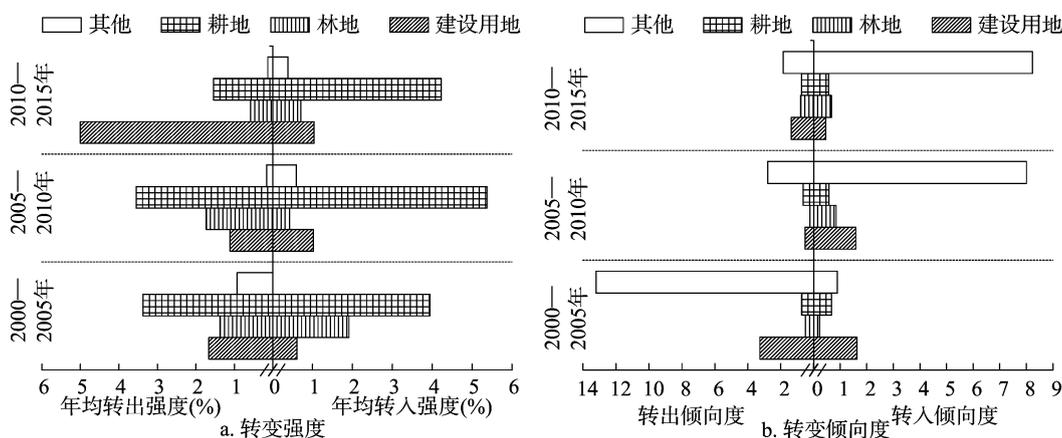


图9 北碚区水域转变强度和倾向度

转变倾向度相对较小,属于系统性转变。

从转出强度和倾向度来看(图10),建设用地在3个时段内转出强度相对较大,且有逐年增大趋势,说明建设用地逐渐成为其他用地主要流向,但其转出倾向度不断减小,即其他用地转为耕地由随机性向系统性转变。耕地的转出强度逐渐减小,2000—2005年为其他用地的主要流向,2005—2015年是非主要流向。3个时段内耕地的转入强度均大于9%,说明耕

地一直是其他用地增加的主要来源,且耕地的转入和转出倾向度均小于1%,说明耕地与林地之间的转变为系统性转变。水域不是其他用地的主要来源,但倾向度有较大变化,2000—2005年其他用地转为水域为系统性变换,水域转为其他用地为随机性变换;2005—2015年则与之相反,其他用地转为水域为随机性变换,水域转为其他用地为系统性变换。

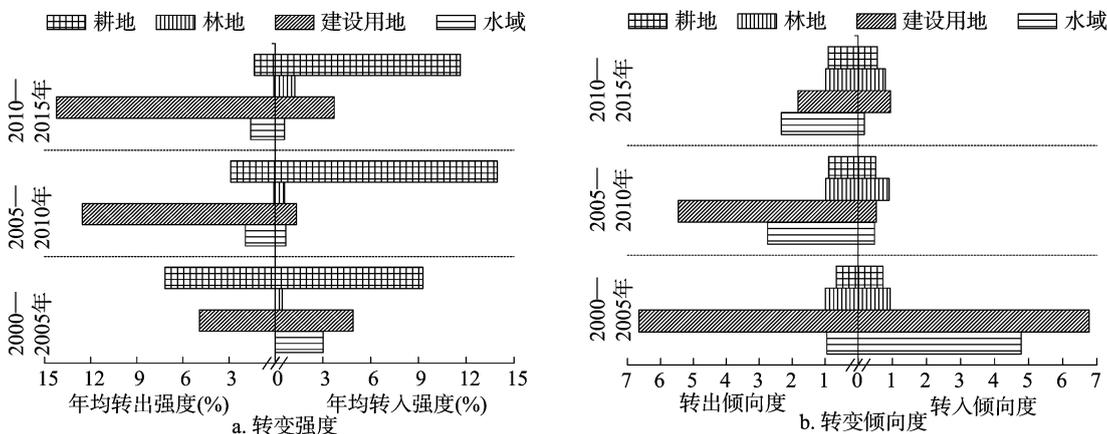


图10 北碚区其他用地转变强度和倾向度

4 结论与讨论

利用遥感解译得到的北碚区 2000、2005、2010、2015 年土地利用数据,利用 GIS 空间分析功能提取相邻年份之间的土地利用转移矩阵,通过年均变化强度、地类动态度、地类转变强度及倾向度 3 个层次的分析,对北碚区 2000—2015 年土地利用变化情况及趋势进行了研究,主要结论如下:(1)从整体变化来看,北碚区 15 年间土地利用发生较大变化,平均变化强度为 3.88%,且土地利用变化强度呈递增趋势,实现了由缓慢到迅速变化的转变;从综合动态度来看,变化相对剧烈的地类主要是耕地和建设用地,总体态势是建设用地面积增加、耕地面积减少,其他用地虽然面积占研究区比例较少,但从单一动态度来看变化较为明显;第 3 层次分析表明,耕地面积的减少与建设用地的增加有着密不可分的联系,耕地受建设用地干扰最强,耕地的转出主要发生在城镇周边,其强度伴随着城市扩张速度的加快而增大,因此在区域用地调控中,控制了耕地的减少也就防止了建设用地的无序扩张。(2)地类变化强度可以从综合动态度与单一动态度两方面考察,2 个指标之间没有必然联系,综合动态度的大小与地类占地区总面积的比例有关,单一动态度则与地类自身变化有关,且不同地类的动态度分异较为明显;年均转变强度直观反映了地类在研究时段内的主要来源和转向情况,而转变倾向度则能将面积所占比例较小的地类转变结果显著化,辅助挖掘潜在来源与转向信息,在面积差异较大的地类作用尤为明显。(3)传统的土地利用变化分析模型通常只考虑土地利用类型的变化,很难全面反映土地利用变化的过程和机制。因此,以转移矩阵为基础,从时间序列上对土地利用综合变化进行第 1 层次的分析,从地类转入和转出两部分的动态变化,综合考虑净变化和综合变化进行第 2 层次分析,同时地类之间转换的角度既考虑地类相互转变强度又分析了该种转变的倾向程度作为第 3 层次分析,层层深入,更能客观和全面反映土地利用变化的实际情况,研究结果可为土地管理和规划提供依据。

本研究的尺度是以 5 年为间隔,考虑时段内区域总体平均变化趋势,没有考虑单个研究时段内土地利用变化具体情况,且受遥感影像精度的限制将地类分成 5 类,若能获取更长时间和空间分辨率的土地利用数据,则能获得更精确的区域土地利用转变信息。

参考文献:

[1] 颜长珍,张增祥,刘纪远,等. 20 世纪 80 年代末以来中国土地利用变化的基本特征与空间格局[J]. 地理学报,2014,69(1):3-14.

[2] 李秀彬. 全球环境变化研究的核心领域——土地利用/土地覆被变化的国际研究动向[J]. 地理学报,1996,51(6):553-558.

[3] Mas J F, Kolb M, Paegelow M, et al. Inductive pattern-based land use/cover change models: a comparison of four software packages[J]. Environmental Modelling & Software, 2014, 51(1): 94-111.

[4] 杨成凤. 北京市土地利用空间格局演化模拟及预测[J]. 地理科学进展, 2015, 34(8): 976-986.

[5] Islam M R, Miah M G, Inoue Y. Analysis of land use and land cover changes in the coastal area of Bangladesh using landsat imagery[J]. Land Degradation & Development, 2016, 27(4): 899-909.

[6] 段增强,张凤荣,孔祥斌. 土地利用变化信息挖掘方法及其应用[J]. 农业工程学报, 2005, 21(12): 60-66.

[7] 刘瑞,朱道林. 基于转移矩阵的土地利用变化信息挖掘方法探讨[J]. 资源科学, 2010, 32(8): 1544-1550.

[8] Aldwaik S Z, Pontius J. Intensity analysis to unify measurements of size and stationarity of land changes by interval, category, and transition[J]. Landscape and Urban Planning, 2012, 106(1): 103-114.

[9] 乔伟峰,盛业华,方斌,等. 基于转移矩阵的高度城市化区域土地利用演变信息挖掘——以江苏省苏州市为例[J]. 地理研究, 2013, 32(8): 1497-1507.

[10] 孙云华,郭涛,崔希民. 昆明市土地利用变化的强度分析与稳定性研究[J]. 地理科学进展, 2016(2): 245-254.

[11] 孙雁,刘志强,王秋兵,等. 1910—2010 年沈阳城市土地利用空间结构演变特征[J]. 地理科学进展, 2012, 31(9): 1204-1211.

[12] 白根川,夏建国,王昌全,等. 基于地类空间转化趋势模型的眉山市东坡区土地利用转化分析[J]. 资源科学, 2009, 31(10): 1793-1799.

[13] 唐宽金,郑新奇. 基于空间相邻的地类转换倾向性模型的构建及应用[J]. 生态学报, 2009(1): 337-343.

[14] Pontius R G, Shusas E, Mceachern M. Detecting important categorical land changes while accounting for persistence[J]. Agriculture Ecosystems & Environment, 2004, 101(2/3): 251-268.

[15] 钟凯文,孙彩歌,解靓. 基于 GIS 的广州市土地利用遥感动态监测与变化分析[J]. 地球信息科学学报, 2009, 11(1): 111-116.

[16] 李平,李秀彬,刘学军. 我国现阶段土地利用变化驱动力的宏观分析[J]. 地理研究, 2001, 20(2): 129-138.

[17] 刘纪远,张增祥,徐新良,等. 21 世纪初中国土地利用变化的空间格局与驱动力分析[J]. 地理学报, 2009, 64(12): 1411-1420.

[18] 牟风云,张增祥,迟耀斌,等. 基于多源遥感数据的北京市 1973—2005 年间城市建成区的动态监测与驱动力分析[J]. 遥感学报, 2007, 11(2): 257-268.

[19] 刘康,李月娥,吴群,等. 基于 Probit 回归模型的经济发达地区土地利用变化驱动力分析——以南京市为例[J]. 应用生态学报, 2015, 26(7): 2131-2138.

[20] 龚文峰,袁力,范文义. 基于 CA-Markov 的哈尔滨市土地利用变化及预测[J]. 农业工程学报, 2012, 28(14): 216-222.

[21] Liu T, Yang X. Monitoring land changes in an urban area using satellite imagery, GIS and landscape metrics[J]. Applied Geography, 2015, 56: 42-54.

[22] Abuelalish B, Olmedo M T. Scenario of land use and land cover change in the Gaza Strip using remote sensing and GIS models[J]. Arabian Journal of Geosciences, 2016, 9(4): 1-14.

[23] 孟成,卢新海,彭明军,等. 基于 Markov-C 5.0 的 CA 城市用地布局模拟预测方法[J]. 中国土地科学, 2015, 29(6): 82-88.

[24] 张云鹏,孙燕,陈振杰. 基于多智能体的土地利用变化模拟[J]. 农业工程学报, 2013(4): 255-265.