

基于矢量属性的宁夏中部干旱带土地利用变化信息挖掘

马彩虹^{1,2}, 贾科利^{1,2}, 邹淑燕^{1,2}, 樊新刚^{1,2}

[1. 宁夏大学 资源环境学院, 宁夏 银川 750021; 宁夏(中阿)旱区资源评价与环境调控重点实验室, 宁夏 银川 750021]

摘要: [目的] 增加对土地利用变化矢量属性的认知, 进一步挖掘潜藏于土地利用变化中的特征和规律, 丰富土地利用变化研究方法, 为区域土地资源调控提供参考依据。[方法] 基于土地转移流视角, 提出土地转移率和土地转移链概念, 采用 Landsat MSS/TM/ETM 遥感影像数据, 对宁夏中部干旱带同心县的土地变化过程进行研究。[结果] 1978—2015 年同心县耕地和草地比例增大, 未利用地减少。区县尺度上土地转移率渐次降低; 类型尺度上, 耕地转移率先升后降, 草地转移率先降后升, 未利用地转移率呈“降—升—降”特征。1978—1987 年的土地转移流以草地转未利用地为主, 1987—1996 年则呈现多元特征, 1996 年表现为退耕还林还草和对未利用地的改造利用。1978—2015 年土地利用转移围绕着耕地的流失与保护进行, 土地转移单向链以 31 型(草地转耕地)和 61 型(未利用地转耕地)为主, 往复链以 II₂ 型为主, 主要是 161 型(耕地—未利用地—耕地)和 131 型(耕地—草地—耕地)。[结论] 同心县土地利用变化存在较大份额的“往复链”。在土地资源开发与管理中要重视往复链所揭示的内涵并采取针对性措施。

关键词: 土地利用变化; 土地转移流; 土地转移链; 宁夏中部干旱带

文献标识码: B

文章编号: 1000-288X(2017)04-0260-06

中图分类号: F301.2

文献参数: 马彩虹, 贾科利, 邹淑燕, 等. 基于矢量属性的宁夏中部干旱带土地利用变化信息挖掘[J]. 水土保持通报, 2017, 37(4): 260-265. DOI:10.13961/j.cnki.stbctb.2017.04.044; Ma Caihong, Jia Keli, Zou Shuyan, et al. Information mining in arid area of central Ningxia Hui Autonomous Region based on vector properties of land use change[J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2017, 37(4): 260-265. DOI:10.13961/j.cnki.stbctb.2017.04.044

Information Mining in Arid Area of Central Ningxia Hui Autonomous Region Based on Vector Properties of Land Use Change

MA Caihong^{1,2}, JIA Keli^{1,2}, ZOU Shuyan^{1,2}, FAN Xingang^{1,2}

[1. School of Resource and Environment, Ningxia University, Yinchuan,

Ningxia 750021, China; 2. Ningxia(China-Arab) Key Laboratory of Resources

Evaluation and Environmental Regulation in Arid Area, Yinchuan, Ningxia, 750021, China]

Abstract: [Objective] This paper was aimed to deepen the cognition to the vector properties of land use change, to further extract the profundity information in the characteristics and the rule of land use change, and to enrich the land use change research methods, to provide relevant reference for the regulation of land resources. [Methods] On a perspective of land use transfer flow, two concepts termed land use transfer rate and the land use transfer chain were introduced. Data of MSS/TM/ETM remote sensing image were used to make a case study of land change process in Tongxin County in arid area of central Ningxia Hui Autonomous Region. [Results] Cultivated land and grassland had increased in the study region, however, the area of unused land had reduced during 1978—2015. At countywide scale, land use transfer rate had decreased gradually in Tongxin County. With respect to the land use transfer of different lands, the transfer rate of cultivated land increased firstly and then decreased; land use transfer rate of grassland reduced firstly and then rose;

收稿日期: 2016-11-04

修回日期: 2016-12-13

资助项目: 国家自然科学基金项目“回汉民族文化对土地利用变化的影响研究”(41361014); 宁夏科技发展计划项目(软科学, 021500000432); 宁夏大学引进人才启动项目(BQD2016005)

第一作者: 马彩虹(1974—), 女(汉族), 宁夏自治区西吉县人, 博士, 硕士生导师, 副教授, 主要从事生态经济与区域可持续发展、资源环境评价与 GIS/RS 应用研究。E-mail: mchayanni@163.com.

and land use transfer rate of unused land experienced a variation of deduce-rise-deduce in Tongxin County. From 1978 to 1987, grasslands were mostly transformed to unused lands in Tongxin County. From 1987 to 1996, the land use transfer flow was diversified. Since 1996, grasslands were expanded in the processes of cultivated land transformation and the unused land was also amplified, for it was exploited attentively. From 1978 to 2015, the transformation of land use in Tongxin County was mainly referred to the loss and protection of arable land. Among the transformation types, one-way chain had two main types referring to 31 (grass turn arable land) and 61 (unused cultivated land); reciprocating chain called Π_a , mainly had the types of 161 (cultivated land-unused-cultivated land) and 131 (cultivated land-grassland-cultivated land). [Conclusion] There existed a great proportion of "reciprocating chain" of land use change in Tongxin County during 1978—2015. In the future, more attention should be paid to the connotation revealed by the called reciprocating chain of land use change, and relevant countermeasures should be taken in the development and management of land resources.

Keywords: land use change; land use transfer flow; land use transfer chain; Arid area of central Ningxia Hui Autonomous Region

土地利用变化中既存在地类数量的变化^[1-3],又存在转移方向的变化^[4],存在明显的矢量变化属性^[5]。土地变化的复杂性与其矢量属性关系密切^[5-7]。

近年来对土地转移矢量属性的探究明显增多,从内容上可分为 3 类:(1)对土地转移流向的研究,如孙强等^[8]在北京地区耕地流失与调控的研究中,分别就耕地的流入和流出作了对比分析,金淑婷等^[9]对甘肃省土地利用转移方向作了深入探究,吴琳娜等^[10]的研究表明,北洛河流域呈现出耕地和草地主要转化为林地的特点;(2)对土地转移关系的研究,如武鹏飞等^[11]对官厅水库流域不同土地利用类型的转换关系做了探讨,汪建珍^[12]对影响干旱区河谷城市土地转移关系进行识别,蔺小虎等^[13]研究发现,退耕还林明显改变了纸坊沟流域各类土地之间的流转关系;(3)对矢量属性涉及的数量和方向均作探讨。如马彩虹等^[5]提出了土地转移流的概念及计算方法,廖谏嫒等^[14]在对中老缅泰交界地区的土地利用矢量属性作了深入的挖掘与分析,王曼曼等^[15]分析了盐池北部风沙区土地类型的相互转移关系,吕立刚^[16]对江苏省发现 1985—1995 年耕地与建设用地、水域 3 种地类是江苏省土地利用变化的关键地类。已有研究基于单一时期的各地类的转移分析^[16-20],为探究土地转移矢量属性积累了良好的基础,但如何对连续时段区域土地利用演变信息进行记录和变化规律挖掘,仍然是制约土地利用变化过程研究的瓶颈之一。

本文以宁夏中部干旱带同心县为例,在土地转移流的基础上,提出土地利用转移率和转移链概念及计量方法,以进一步丰富土地利用变化研究的方法体系,为土地资源调控提供参考依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

宁夏自治区中部干旱带地理位置地处 $104^{\circ}17'—107^{\circ}39'E, 36^{\circ}54'—38^{\circ}23'N$,位于黄土高原北缘,受腾格里、乌兰布和、毛乌素 3 大沙漠包围,包括沙坡头区、中宁县、利通区、红寺堡开发区、灵武市、盐池县、同心县、红寺堡区、原州区北部等县区的 64 个乡镇,总面积 $2.85 \times 10^4 \text{ km}^2$,约占宁夏总面积的 43%^[21-22]。年均降水量 259 mm 左右,蒸发量 2 325 mm 以上,属典型的温带大陆性气候,冬春季多干旱、沙尘暴等灾害性天气^[23-24];土壤以灰钙土和风沙土为主,结构松散,沙粒含量大;地带性植被为荒漠、荒漠草原和干草原,植被覆盖度低,土地沙化严重,是北方农区与天然草地牧区接壤的过渡地带。本次研究的典型区——同心县,海拔 1 240—2 625 m,总面积 4 662.16 km^2 。按照地质地貌和开发程度可分为西部扬黄灌区、中部干旱山区及东部旱作塬区 3 块区域。

1.2 研究方法

1.2.1 土地转移流 为有效表达矢量特性,引入动态物质变化中“流”的概念,把由一种土地利用类型转为另外一种土地利用类型的情况称作土地转移流^[5]。

1.2.2 土地转移率 可分为两类,其一是区域土地利用转移率,为发生在一定区域上的土地利用转移流总量与区域面积之比;其二是类型土地利用转移率,为发生在某种土地利用类型的转移流占该类土地利用类型面积之比。计算公式为:

$$R = \frac{F_i}{S} \times 100\% \quad (1)$$

$$R_i = \frac{F_i}{S_{i0}} \times 100\% \quad (2)$$

式中: R ——区域土地转移率; F_t ——就是时段 t 中发生的土地转移数量; S ——研究区域土地利用总面积; R_i ——类型土地转移率; i ——土地类型; S_{i0} —— i 土地利用类型在 t 时段初期的面积。

1.2.3 土地转移链 指由一种土地利用类型转为其他用地类型的过程构成的过程链。土地变化链的构建可采用逆推法和顺推法。逆推法是以报告期的遥

感影像起算,顺推法是以研究基期的遥感影像起算。

根据 GIS 的叠加分析功能,依次获取土地利用类型转换编码,称为土地转移原始链。对原始链中相邻期同类链合并,获得简化的土地转移链。参照《土地利用现状调查技术规程》,把宁夏中部干旱带土地利用类型划分为 6 个一级类型。分类及代码为 1-耕地,2-林地,3-草地,4-水域,5-建设用地,6-未利用地。由于土地转移情况多样,根据链的长短、特征划分土地转移链类型详见表 1。

表 1 土地转移链类型及涵义

项目	单向链(I型)	往复链(II型)		复杂链(III型)
		II _a	II _b	
特征	研究时段内土地利用类型发生一次转换	研究时段内土地利用类型发生两次变化,转为中间类型后又转为初始类型	研究时段内在两种土地利用类型中发生多次变化	研究时段内土地利用类型发生两次以上变化(含 2 次,不往复)
代码编制方法	耕地转林地,代码为 12,耕地转草地,编为 13,林地转草地,编为 23	如耕地转草地后又转为耕地,编为 131,林地转为草地后又转为林地,编为 232	如在耕地和草地之间多次变化,代码为 1313/13131 等	如耕地转为草地,后转为林地,后转为建设用地,则代码为 1325
涵义	土地利用状态比较稳定	土地利用类型存在反复性,较不稳定	土地利用变化频率高,不稳定	土地利用变化频率高,不稳定

1.3 数据来源与处理

以 1978 年 MSS 及 1987,1996,2007 和 2015 年 Landsat TM/ETM 遥感影像为基本数据源。其中 1978,1987 和 1996 年数据由国家科技基础条件平台建设项目:地球系统科学数据共享网(www.geodata.cn)提供。所选影像成像时间均在 7—8 月,已经经过了辐射校正和几何粗校正。以宁夏回族自治区 1:25 万地形图参照,对照 5 期图像选取控制点,采用多项式变换模型,在 ERDAS IMAGINE8.7 软件对图像进行几何校正和镶嵌处理。对经过校正的数字影像进行拼接、分割和融合处理,用 TM4(R),3(G),2(B)波段合成假彩色影像,结合野外实测资料,建立解译标志,用人机交互方式解译出同心县土地利用图。2015 年的总体分类精度为 83.174 4%,kappa 系数为 0.794 1,解译精度符合相关要求,可作为下一步研究的基础数据。

2 结果与分析

2.1 同心县土地利用数量变化情况分析

从土地利用结构来看,同心县土地利用是以牧业为主,农牧结合,耕地和草地面积较大,比例均为 40%左右;由于该县三面临近沙区,未利用地(主要是

沙化地)比例较高,林地比例小。从研究期内各时段来看,1978—1987 年耕地、林地大幅增长而草地大幅减少,1987—1996 年主要表现为耕地的大幅减少和林地及未利用地的增多,1996—2007 年及 2007—2015 年均表现为林草面积的增加和未利用地的减少。显见,在研究时段内,不同地类之间发生了明显的转移,尤其在耕地、草地和未利用地之间的转移显著,1978—2015 年,耕地增加了 6.04%,林地增加了 7.44%,未利用地减少了 10.23%。

2.2 同心县土地转移率特征分析

区域尺度上,1978—2015 年同心县土地转移率表现为渐次降低的特征。其中,1978—1987 年最高,为 27.13%,到 2007—2015 年降低到 16.05%。类型尺度上,主要考虑土地利用结构中比例较大的耕地、草地和未利用地。研究时段内,土地利用活跃程度最高的类型为未利用地。从耕地、草地和未利用地转移率的变化趋势来看,同心县的耕地转移率呈现先升后降的态势,草地转移率表现为降—升特征,未利用地转移率表现为降—升—降态势。平均来看,未利用地的转移率最高,耕地其次,草地居于第 3。造成这种变化特征的原因需要在土地转移流中做进一步分析(图 1)。

表 2 同心县 1978—2015 年土地利用结构变化

年份	项目	耕地	林地	建设用地	水域	未利用地	合计
1978 年	面积/hm ²	125 748	26 813	4 824	609	78 648	441 000
	比例/%	28.51	6.08	1.09	0.14	17.83	100
1987 年	面积/hm ²	175 329	25 526	6 795	489.8	68 937	441 000
	比例/%	39.76	5.79	1.54	0.11	15.63	100
1996 年	面积/hm ²	148 353	46 214	8 992	4 409	76 934	441 000
	比例/%	33.64	10.48	2.04	1.00	17.45	100
2007 年	面积/hm ²	150 102	56 208	9 714	5 488	46 680	441 000
	比例/%	34.04	12.75	2.20	1.24	10.58	100
2015 年	面积/hm ²	152 360	59 627	9 895	3 201	33 523	441 000
	比例/%	34.55	13.52	2.24	0.73	7.60	100

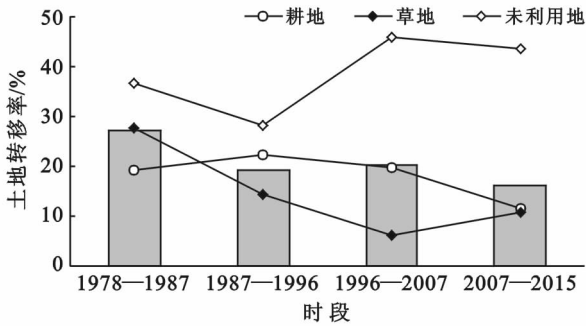


图 1 同心县土地利用转移率构成及动态变化

2.3 同心县关键土地利用转移流特征对比分析

按照累计百分比 99% 的转移流进行制图(表 3), 1978—1987 年同心县以草地转耕地流(31 型)、未利

用地转耕地流(31 型)为主,分别占这一时期土地转移流的 37.81% 和 21.22%,合计占 59.04%,这使得该时期同心县耕地增幅明显;1987—1996 年,以草地转未利用地流和退耕还草为主要特征;1996 年后土地利用转移流总量有所降低,转移趋势呈现多样化态势,表现为以加强对未利用地的改造利用和耕地退耕还草为主要特征。居于前列的转移流在 1978—1987 年为 31 和 61 型,1987—1996 年为 36 和 13 型,1996—2007 年为 13 和 61 型,2007—2015 年为 36,13 和 61 型。这些相反流向的土地转移流是否存在土地利用变化的反复情况,无法通过两期内的土地转移流两两比较得出,需要考虑土地转移链的情况。

表 3 同心县 1978—2015 年土地利用转移流比例比较

转移类型	代码	1978—1987 年	1987—1996 年	1996—2007 年	2007—2015 年
草地—未利用地	36	7.07	17.65	1.86	4.70
未利用地—草地	63	0.83	1.00	3.81	16.21
未利用地—耕地	61	21.22	7.34	19.06	11.63
耕地—未利用地	16	6.76	13.44	1.36	0.84
草地—耕地	31	37.81	6.10	6.79	10.13
耕地—草地	13	9.57	16.00	20.74	15.25
草地—林地	32	2.05	3.03	0.69	11.63
林地—草地	23	3.19	1.26	3.45	8.05
林地—耕地	21	2.61	0.55	7.64	4.97
耕地—林地	12	2.82	13.45	7.98	5.80
林地—未利用地	26	1.75	0.57	1.15	0.43
未利用地—林地	62	1.55	10.49	15.63	0.62

2.4 同心县关键土地转移链对比分析

以 1978,1987,1996,2007,2015 年为研究截面,统计同心县初始类型为耕地、草地和未利用地的转移流,根据上文提出的编码原则进行编码,对该类土地利用转移面积大于 1% 以上的土地利用转移链进行统计制图(图 2)。由图 2 可以看出,研究时段内同心

县的土地利用变化围绕着耕地的流失与保护进行,典型转移链以往复链和单向链为主。其中,往复链又以 II_a 型为主,如 161,131 型,单向链以 31 和 61 型为主;初始耕地转移链以 161 型和 131 型的比例明显高于其它类型。161 型达 15 582 hm²,占耕地转移面积的 13.97%;131 型为 12 027 hm²,占同期耕地转移面

积的 11.40%。初始草地转移链中,31 型比例最高,达 15 934.30 hm²,占耕地转移面积的 13.85%。初始未利用地转移链中,以 61 型比例最高,转移 15 582 hm²,占未利用地转移总量的 13.97%。

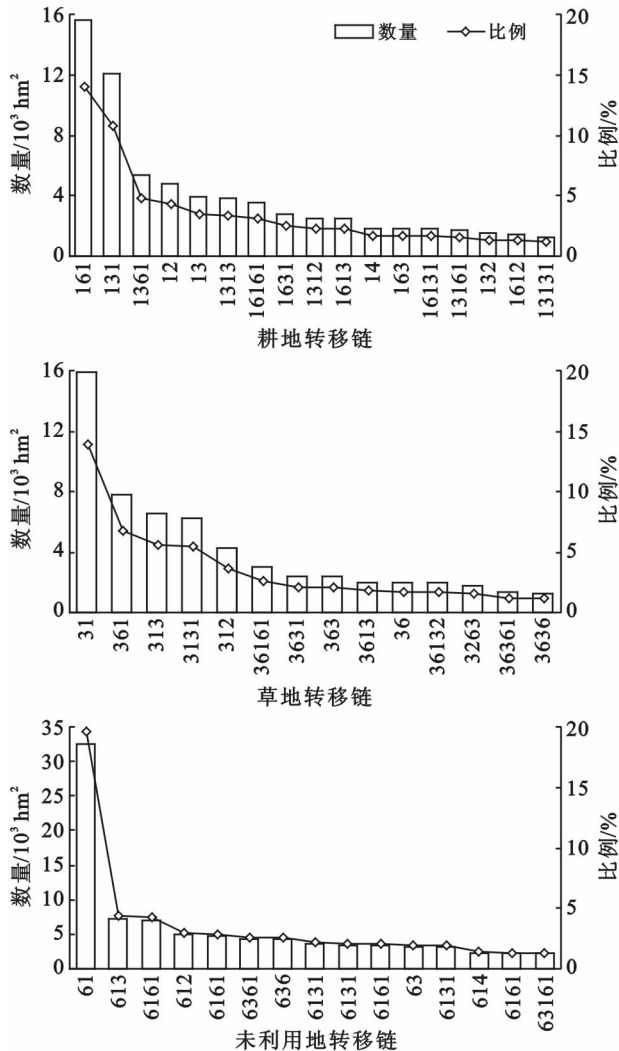


图 2 同心县 1978—2015 年土地利用转移链对比

3 讨论与结论

3.1 讨论

土地变化的矢量属性研究与表达,对于提高人们对土地系统的认知和土地变化特征、机制、效应的研究具有十分重要的作用。土地利用转移流可以从数量和方向上对土地利用转移信息进行反映,应该说比以净值计算的土地利用数量结构变化反映更多的信息;基于转移流的土地转移率,对土地利用活跃度的研究也有较好的价值;土地转移链则可以探究在一个较长时段内土地利用变化的过程信息。这些信息无法通过两期内的土地转移流两两比较得出。如本研究发现,研究期内同心县的土地利用转移链的长短不

一,有些发生了一次转换,如 31,21,61 等,有些两次转换,如 131,132 等,有些链更长,甚至有 4 次转换,如 36 361,63 161 等。土地利用转移链比较短,反映出土地利用较为稳定,土地转移链较长,则表明土地利用不稳定,转换频率高。因此,土地转移流、转移率和转移链可以从不同的功能层面,加强对土地利用利用过程信息的挖掘。今后将进一步对不同尺度下,对上述指标的变化内涵及其对土地利用变过程的指示意义作进一步探究。

3.2 结论

(1) 1978—2015 年同心县土地利用变化的特征如下:1978—1987 年为耕地增加、草地减少,1987 年后耕地、草地持续增加,未利用地持续减少,反映出人进沙退,自然生态条件有所改善。

(2) 区县尺度上,土地利用转移率渐次降低。类型尺度上,耕地转移率先升后降,草地转移率先降后升,未利用地转移率为降—升—降特征。

(3) 1978—1987 年,同心县以草地转未利用地流为主,1987—1996 年,土地利用转移流呈现多元特征;1996 年后,加强了退耕还林还草和对未利用地的改造利用。

(4) 研究时段内同心县围绕着耕地的流失与保护进行,典型转移链以往复链和单向链为主。单向链以 31(草地转耕地)和 61(未利用地转耕地)为主,往复链以 II₂ 型为主,如 161(耕地—未利用地—耕地)和 131(耕地—草地—耕地)。土地资源开发与管理中要重视往复链所揭示的内涵并采取针对性措施。

[参 考 文 献]

- [1] GLP(Global Land Project) Global Land Project: Science Plan and Implementation Strategy[R]. IGBP Report No. 153/IHDP Report No. 19. 1 Stockholm: IGBP Secretariat, 2005.
- [2] Rindfuss R R, Walsh S J, Turner B L, et al. Developing a science of land change: Challenges and methodological issues[J]. Proceedings of the National Academy of Science, 2004,101(39):13976-13981.
- [3] Turner B L, Lambin E F, Reenberg A. The emergence of land change science for global environmental change and sustainability[J]. Proceedings of the National Academy of Sciences, 2007,104(52):20666-20671.
- [4] Verburg P H, Overmars K P, Huigen M G A, et al. Analysis of the effects of land use change on protected areas in Phillipines[J]. Applied Geography, 2006,26(2):153-173.
- [5] 马彩虹,任志远,李小燕.黄土高原区土地利用转移流及空间集聚特征分析[J].地理学报,2013,68(2):257-267.

- [6] 路云阁,蔡运龙,许月卿. 走向土地变化科学:土地利用/覆被变化研究的新进展[J]. 中国土地科学,2006,20(1):55-61.
- [7] 唐华俊,吴文斌,杨鹏,等. 土地利用/土地覆被变化(LUCC)模型研究进展[J]. 地理学报,2009,64(4):456-468.
- [8] 孙强,蔡运龙,王乐. 北京耕地流失的时空特征与驱动机制[J]. 资源科学,2007,29(4):158-163.
- [9] 金淑婷,李博,杨永春,等. 甘肃省土地利用变化的基本特征及其格局[J]. 兰州大学学报:自然科学版,2016,52(3):334-341.
- [10] 吴琳娜,杨胜天,刘晓燕,等. 1976年以来北洛河流域土地利用变化对人类活动程度的响应[J]. 地理学报,2014,69(1):54-63.
- [11] 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.
- [12] 张琨,张宝雷,冯朝阳,等. 基于复杂网络的小清河流域土地利用/覆被变化研究[J]. 水土保持通报,2013,33(4):81-84.
- [13] 汪建珍,卢李朋,赵锐锋,等. 基于土地转移流的干旱区河谷城市土地系统稳定性评价:以兰州市近郊四区为例[J]. 经济地理,2014,34(4):153-158.
- [14] 蔺小虎,姚顽强,邱春霞. 黄土丘陵沟壑区退耕驱动下土地利用变化:以陕西省安塞县纸坊沟流域为例[J]. 山地学报,2015,33(6):759-769.
- [15] 廖湛娅,封志明,李鹏,等. 中老缅泰交界地区土地利用变化信息挖掘与国别对比[J]. 自然资源学报,2015,30(11):1785-1797.
- [16] 王曼曼,吴秀芹,吴斌,等. 近25年盐池北部风沙区土地系统变化及空间集聚格局分析[J]. 农业工程学报,2014,30(21):256-267.
- [17] 吕立刚,周生路,周兵兵,等. 1985年以来江苏省土地利用变化对人类活动程度的响应[J]. 长江流域资源与环境,2015,24(7):1086-1093.
- [18] 吴琳娜,杨胜天,刘晓燕,等. 1976年以来北洛河流域土地利用变化对人类活动程度的响应[J]. 地理学报,2014,69(1):54-63.
- [19] 王立军,安慧君,张韬,等. 基于RS、GIS技术的土地利用转移关系研究:以三响梁地区为例[J]. 内蒙古农业大学学报:自然科学版,2009,30(4):99-102.
- [20] 张超,王琳,张秋霞,等. 布哈河流域土地利用转移矩阵及空间变化研究[J]. 水利水电技术,2016,47(5):6-11.
- [21] 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.
- [22] 贾科利,张俊华,马正亮,等. 生态脆弱区土地利用变化与沙漠化响应研究:以宁夏中部干旱带为例[J]. 干旱区资源与环境,2011,25(10):98-103.
- [23] 贾科利,张俊华. 生态脆弱区土地利用时空格局变化分析:以宁夏中部干旱带为例[J]. 干旱地区农业研究,2011,29(3):221-225.
- [24] 贾科利,张俊华. 宁夏中部干旱带土地利用变化及驱动力分析[J]. 水土保持研究,2011,18(6):62-66.

(上接第259页)

- [10] Kreuter U P, Harris H G, Matlock M D, et al. Change in ecosystem service values in the San Antonio area, Texas[J]. Ecological Economics, 2001,39(3):333-346.
- [11] Hulst R. On the dynamics of vegetation: Markov chains as models of succession[J]. Vegetation, 1979,40(1):3-14.
- [12] 胡汝晓,赵松义,谭周进,等. 烟草连作对稻田土壤微生物及酶的影响[J]. 核农学报,2007,21(5):494-497.
- [13] 王晓峰,任志远,黄青. 农牧交错区县城土地利用变化及驱动力分析:以陕北神木县为例[J]. 干旱区地理,2003,26(4):402-407.
- [14] 部鲁豪,徐旌. 基于Markov模型的安宁市土地利用预测[J]. 云南地理环境研究,2010,22(2):87-89.
- [15] 蓝永超,丁永建,康尔酒,等. 黑河流域水资源动态变化及其趋势的灰色Markov链预测[J]. 中国沙漠,2003,24(3):435-440.
- [16] 李黔湘,王华斌. 基于马尔科夫模型的涨渡湖流域土地利用变化预测[J]. 资源科学,2008,30(10):1542-1543.