

# 基于马尔科夫转移矩阵的南水北调中线 水源区土地类型变化分析

朱 九 龙

(中原工学院 经济管理学院, 河南 郑州 450007)

**摘 要:** [目的] 揭示南水北调中线水源区土地利用结构变化特征, 为区域土地规划提供依据。[方法] 根据土地利用现状调查数据及影像资料, 测算水源区土地利用结构熵、均衡度和优势度, 并利用马尔科夫转移矩阵求解各种类型土地间的数量转换关系。[结果] (1) 水源区土地类型转化主要发生在耕地、林地和草地之间; (2) 2010 年以前, 水源区土地利用结构稳定性较高, 2010 年以后, 由于丹江口水库蓄水而导致水源区土地利用结构波动性较大。[结论] 水源区各种类型的土地面积不断变化, 在 2008—2010 年土地结构较为稳定, 2010—2013 年土地结构和稳定性出现了波动。

**关键词:** 土地类型; 水源区; 结构特征; 南水北调中线工程

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2016)02-0171-05

中图分类号: F301.2

**文献参数:** 朱九龙. 基于马尔科夫转移矩阵的南水北调中线水源区土地类型变化分析[J]. 水土保持通报, 2016, 36(2): 171-175. DOI: 10. 13961/j. cnki. stbctb. 2016. 02. 033

## Analysis on Changes of Land Use Structure in Water Source Area of Middle Route of South to North Water Diversion Project Based on Markov Transfer Matrix

ZHU Jiulong

(School of Economics & Management, Zhongyuan University of Technology, Zhengzhou, He'nan 450007, China)

**Abstract:** [Objective] The characteristics of land use structure in the middle route of the south to north water transfer project was demonstrated to provide the basis for the regional land planning. [Methods] Data was collected by surveying of land use status of water source area and eliciting from image. The entropy, equilibrium degree and dominance degree were measured. The conversional quantity relationship was calculated by Markoff transfer matrix. [Results] Land type conversion mainly occurred among farmland, woodland and grassland. Land use structure of water source area was relatively stable before 2010. However, it had become unstable after 2010 because Danjiangkou reservoir began work from then on. [Conclusion] The land area of various types of water source area was constantly changing. Land structure was comparatively stable in 2008—2010, land structure and stability fluctuated in 2010—2013.

**Keywords:** land type; water source area; characteristics of land use structure; the south to north water transfer project

土地作为人类生存和发展的基础自然资源, 是整个社会经济生产和生活的物质载体。人类生产实践活动在基础自然资源上最为直接的反映为土地利用。土地利用包括人类对土地资源进行的一切开发利用活动。土地利用结构主要是指在一定区域范围内, 国

民经济不同组成部分占土地资源面积的比重及其空间布局<sup>[1]</sup>。国民经济的各组成部门对于区域土地资源的使用最直接体现就是形成了不同的土地类型, 反映土地资源的利用效率, 同时土地利用结构的变化还将影响区域水土保持、气候变迁、生态安全等问题, 国

收稿日期: 2015-11-25

修回日期: 2015-12-15

**资助项目:** 国家自然科学基金项目“基于演化博弈的跨流域调水工程水源区生态补偿关键问题研究: 以南水北调中线工程为例”(U1204709), “矿产资源开发区生态安全评价及预警研究: 以河南省义马煤矿为例”(71103213), “跨流域调水工程突发事件演化机理及动态协同管理机制研究: 以南水北调中线工程为例”(U1304702); 教育部人文社科基金项目(14YJA630060); 河南省青年骨干教师资助计划项目(2013GGJS-119); 河南省社科规划基金项目(2015BJJ062)

**第一作者:** 朱九龙(1976—), 男(汉族), 江西省临川市人, 博士, 副教授, 硕士生导师, 主要从事区域生态环境管理、流域水资源管理等方面研究。E-mail: zhujiulong7699@163.com.

内外诸多学者从不同的角度给予了土地利用类型变化足够的重视,得到了较多研究成果。国内外学者对于土地利用结构的研究内容大体可以分为 5 个方面:(1) 土地利用结构演化方面的研究。葛全胜<sup>[2]</sup>等人对我国 1927—1997 年的土地利用结构变化过程进行了定性描述;谭永忠等<sup>[3]</sup>通过测算土地利用结构变化熵,探究我国土地利用变化规律;杨杰等<sup>[4]</sup>采用洛伦茨曲线和聚类分析方法,以河北省 2004 年土地利用现状数据为基础,对河北省各地区土地利用结构状况进行了定量分析。(2) 土地利用结构变化趋势预测研究。对于土地利用结构变化趋势的预测方法主要有马尔科夫模型、灰色系统模型等。例如,解修平<sup>[5]</sup>采用马尔科夫模型,对西安地区土地利用结构变化的未来趋势进行了预测;王建英等<sup>[6]</sup>从生物多样性的视角出发,应用元胞自动机-马尔科夫模型对滨海地区 2020 年以后的土地利用结构进行了预测等。(3) 土地利用结构变化驱动力分析。Drummond 等<sup>[7]</sup>通过对影响土地利用结构变化的因素进行相关性分析,建立多项式分对数模型,分析了影响日本土地结构变化的各种驱动力因子间的相互关系;Li 等<sup>[8]</sup>通过研究发现,土地利用结构变化驱动力主要包括人口变化、经济增长、技术升级、政治环境等。(4) 土地利用结构评价研究。目前学者对于土地利用结构评价主要是评价土地利用合理性、适宜性和土地利用效益等 3 个方面。黄贤金等<sup>[9]</sup>采用模糊聚类分析方法,对南京 8 个不同类型区域的土地利用效益进行了评价;陈文业等<sup>[10]</sup>通过建立土地利用投入与产出指标体系,以经济效益最大化为目标,在土地面积、劳动力、社会需求等约束条件下,应用非线性规划方法对甘肃定西家沟流域土地利用效益进行了评价。(5) 土地利用结构的其他方面研究。主要包括土地结构优化配置方案设计、土地利用结构优化的多目标规划等方面的内容,代表学者有李国荣等<sup>[11]</sup>。

南水北调中线工程作为中国大型的跨流域调水工程项目,该项目的正常运行对于优化我国水资源空间配置,部分解决华北京津地区水资源短缺局面具有较为重要的作用。中线工程水源区涵盖的省市较多,

涉及区域范围较大,而且由于中线工程建设导致水源区土地利用结构发生了显著变化,水土流失逐年加剧,植被涵养能力下降。因此,通过采用马尔科夫转移矩阵,分析水源区近几年来土地利用结构变化特征将可为水源区政府制定土地利用规划提供理论参考依据,对水源区生态环境保护和工程水资源供应安全具有重要意义。

## 1 研究区概况

南水北调中线工程水源区主要由汉江、丹江两大流域组成,在行政区划方面,主要包括陕西、湖北、河南、四川、重庆、甘肃等 6 省(市)15 个地市 48 个县,区域总面积达到  $9.54 \times 10^4 \text{ km}^2$ 。水源区总人口数量超过 0.8 亿,区域工业经济欠发达,主要以农业经济为主,农村人口数量在总人口 80%。南水北调中线工程水源区属于亚热带和暖温带交叉气候,海拔落差较大,植被垂直分布特性明显,区内土地利用类型可以划分为水域、林地、草地、耕地、建设用地和未利用地等 6 种<sup>[15]</sup>。

## 2 数据来源与研究方法

### 2.1 数据来源

数据主要包括两大块,即区域社会经济数据和土地利用类型数据。社会经济数据主要来源于水源区包含的 6 省 15 市 48 县的《统计年鉴(2005—2014 年)》及《社会经济发展公报(2005—2014 年)》。水源区土地利用数据通过以下两个步骤收集整理得到:(1) 以水源区相关区域政府部门公布的土地调查数据为基础,通过分类规整和转换得到水源区不同时间各种土地利用类型面积;(2) 利用水源区 2008,2010 和 2013 年的 Landsat TM 影像资料,采用 1:10 万地形图在 ERDAS IMGING 9.2 数据处理平台上进行处理,结合野外实测调查结果,采用最大似然分类法,对遥感影像进行分类从而得到 3 个时期不同土地类型的数据<sup>[16-17]</sup>;(3) 采用遥感影像分析数据对区域土地调查统计数据校正,得到水源区 2008,2010,2013 年各年份不同土地利用类型面积(表 1)。

表 1 不同年份水源区土地利用类型的面积

$10^3 \text{ km}^2$

年份	耕地	林地	草地	水域	建设用地	未利用地	合计
2008	19.03	72.70	2.34	0.79	0.29	0.25	95.40
2010	19.81	73.21	1.03	0.80	0.37	0.18	95.40
2013	18.96	72.50	1.96	1.50	0.35	0.12	95.40

## 2.2 研究方法

### 2.2.1 水源区土地类型结构熵

一般来说,对于系

统的有序程度和稳定性通常采用熵值来进行定量表达,熵值越小,系统有序度越高,系统组成结构也越稳

定,反之亦然。通过测算水源区土地类型结构熵,定量描述水源区土地利用结构的稳定状态,并且根据结构熵值的纵向发展过程也可以反映水源区土地类型结构的变化方向。水源区土地类型结构熵测算公式为<sup>[9,20]</sup>:

$$H = - \sum_{i=1}^n p_i \ln p_i, \text{ 且 } p_i = \frac{A_i}{\sum_{i=1}^n A_i} \quad (1)$$

式中: $H$ ——土地利用结构熵值; $A_i$ ——水源区第  $i$  种土地类型的面积; $p_i$ ——水源区第  $i$  种土地占总面积的比例; $n$ ——水源区土地类型数量。当水源区各类型面积相等时, $H$  取值最大,即  $H_{\max} = \ln n$ 。同时,本研究引入均衡度  $J$  和优势度  $Y$  来反映土地利用类型间的差异程度<sup>[21]</sup>,计算公式为:

$$J = H/H_{\max} = H/\ln n \quad (2)$$

$$Y = 1 - J \quad (3)$$

2.2.2 水源区土地类型定量转换关系 采用马尔科夫转移模型来描述南水北调水源区土地类型的定量转换关系,反映每个时间段内水源区各种土地类型减少面积去向或增加面积的来源<sup>[10-14,18]</sup>。表达式为:

$$C = \begin{bmatrix} C_{11} & C_{12} & \cdots & C_{1j} \\ C_{21} & C_{22} & \cdots & C_{2j} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ C_{i1} & C_{i2} & \cdots & C_{ij} \end{bmatrix} \quad (4)$$

式中: $C_{ij}$ ——的是水源区第  $i$  种和第  $j$  种土地类型之间相互转换的数量。

2.2.3 水源区土地利用类型调整度 水源区土地利用类型调整度主要表示水源区土地利用类型的动态变化速度,测算公式为<sup>[19]</sup>:

$$V_i = \frac{A_{bi} - A_{ai}}{A_{ai}} \times \frac{1}{T} \times 100\% \quad (5)$$

式中: $V_i$ ——某时期内第  $i$  种土地类型调整指数; $A_{bi}, A_{ai}$ ——期末和期初第  $i$  种土地类型的面积; $T$ ——时间间隔(a)。

## 3 结果与分析

### 3.1 水源区土地利用类型总面积变化情况

根据水源区土地利用类型面积统计分析结果可知,水源区土地类型主要以林地和耕地为主,其中林地面积大约占总面积 76%,耕地占总面积约为 20%,两者面积占水源区总面积 96%左右。在各种土地利用面积数量变化方面,耕地和林地呈现先大幅增加后缓慢下降的变化过程;草地面积总体减少;水域在大坝蓄水之前总量较稳定,蓄水后水域面积呈现快速增加的趋势;建设用地在 2008—2010 年呈现快速增长,但是在 2010 年以后,由于水库蓄水和移民搬迁的原

因,导致水源区建设用地缓慢减少;未利用地面积呈现逐年下降。

### 3.2 水源区土地利用信息熵、均衡度和优势度

根据图 1 可知,水源区土地类型信息熵的变化可以分为 2 个阶段。第 1 阶段为 2008—2010 年,此阶段水源区土地结构信息熵从 0.692 Nat 减少到 0.652 Nat,呈现逐年递减趋势;第 2 阶段为 2010—2013 年,此阶段熵值从 0.652 Nat 上升到 0.704 Nat,呈现增加趋势。均衡度与信息熵走势相同,优势度的变化趋势与前两种正好相反。究其原因,可以归纳为:(1) 耕地和林地变化。由于南水北调中线工程的施工建设,中央和地方政府加大力度对水源区进行水土保持、植树造林等生态保护工程项目的建设,水源区林地在 2008—2010 年持续增长,有效遏制水源区的水土流失现象;同时,国家耕地保护的红线政策也为水源区耕地面积保护提供了政策支持。由于林地和耕地总量在增加,所以使得水源区的其他类型土地面积逐年减少;(2) 2010 年以后,丹江口水库坝基加高并开始蓄水,淹没部分良田和林地,增加水域面积,减少林地和耕地面积,土地类型结构出现了波动,熵值逐渐放大。

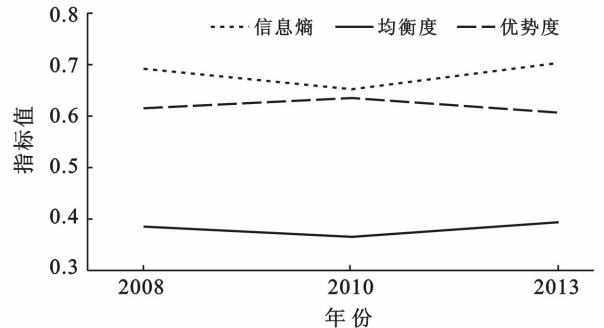


图 1 水源区不同年份土地利用信息熵、均衡度、优势度变化曲线

### 3.3 水源区土地类型间转换数量关系

采用马尔科夫转移矩阵对水源区土地类型间转换的数量关系进行分析,探究水源区土地利用类型变化的时间特征(表 2—3)。从表 2 测算结果可知,水源区的土地类型变化呈现一定的波动性。2008—2010 年水源区大约有 26.8% 的耕地转化为林地、草地、水域、建设用地等,其中绝大多数均转化为林地,转化成林地类型的耕地占比 23.5%。同时,也有部分林地转化为耕地,并且该面积绝对数量要比耕地转化为林地面积的数量多,因而使得水源区耕地面积略有增长。在水域面积方面,由于 2008—2010 年水源区上游来水量不断减少,使得水源区面积略有减少,减少的水域面积主要转化为耕地和林地。同时,草地也在

不断转化为水域面积。2010—2013 年水源区林地转化为耕地的面积大于耕地转化为林地的面积(表 3), 同时, 林地还转化为草地和水域等, 使得水源区林地面积减少, 耕地面积略有增加。与前阶段相比, 在 2010—2013 年土地利用类型变化最为显著的特点就

是水域面积呈现显著增长, 而且这些增长的水域面积主要来源于淹没的耕地、林地和草地面积。总体而言, 水源区土地利用变化主要发生在耕地、林地和草地之间, 然而, 在 2010—2013 时期内, 林地、耕地和草地转化为水域也是该时期的一个较为显著的特点。

表 2 水源区 2008—2010 年不同土地利用类型间的转移关系

年份	类型	2010					
		耕地	林地	草地	水域	建设用地	未利用地
2008	耕地	13 692.13	4 393.32	585.37	22.32	2.63	0.86
	林地	5 878.71	65 889.12	132.46	133.72	24.74	9.36
	草地	23.67	25 69.86	286.56	286.34	39.56	0.79
	水域	214.36	247.32	1.36	358.22	5.05	0
	建设用地	3.69	0.23	0.14	0.42	236.11	1.12
	未利用地	0	106.57	23.46	0.24	56.05	167.36

表 3 水源区 2010—2013 年不同土地利用类型间的转移关系

年份	类型	2013					
		耕地	林地	草地	水域	建设用地	未利用地
2010	耕地	14 856.7	3 698.96	856.87	396.34	3.69	0
	林地	3 712.27	68 663.58	557.82	238.67	26.34	7.63
	草地	377.02	63.51	535.41	35.57	12.47	5.32
	水域	13.64	2.36	0.36	784.34	0.56	0
	建设用地	2.36	6.23	2.38	39.23	302.32	14.43
	未利用地	1.28	68.31	3.65	9.67	7.23	89.63

### 3.4 水源区土地利用调整度分析

3.4.1 单一土地利用类型调整度分析 单一土地类型调整指数主要衡量水源区单一土地类型的动态变化率, 描述该土地类型的变化速度。本研究从 2008—2010, 2010—2013 及 2008—2013 等 3 个时间层面上来分析水源单一土地利用类型动态变化的情况(表 4)。由表 4 可知, 2008—2010 年水源区各种土地利用类型均发生了不同程度的变化, 其中变化最为明显的是草地、建设用地和未利用地。由于该时期内水源区新农村建设和城镇化建设的加速, 使得水源区建设用地增长较快, 未利用地和草地急剧下降。其中草地、建设用地和未利用地的动态调整度分别为 -13.58%, 10.36% 和 -9.83%。然而, 由于保护措施得力, 此时期内水源区的林地和水域变化微乎其微。在 2010—2013 年, 水源区的草地和水域动态变化调整最为明显, 而且两者均呈现增加趋势。其中草地、水域、未利用地的动态调整度分别为 22.52%, 21.92% 和 -8.73%, 表明此间草地和水域面积得到显著增加, 其他土地利用类型变化速度较慢。从整个时间段来看, 2008—2013 年水域、建设用地呈现明显增长, 草地和未利用地呈现明显减少, 其他土地类型变化并不是非常明显, 尤其是林地面积变化速度非常小, 为 0.08%。

表 4 水源区单一土地利用类型动态调整度

土地利用类型	土地类型变化率/%		
	2008—2010 年	2010—2013 年	2008—2013 年
耕地	1.19	-1.07	0.18
林地	0.32	-0.24	0.08
草地	-13.58	22.52	-4.87
水域	-0.61	21.92	10.25
建设用地	10.36	-1.00	5.71
未利用地	-9.83	-8.73	-8.36

3.4.2 水源区综合土地利用类型调整度分析 根据水源区土地类型转换数量关系矩阵和土地类型调整指数, 计算得出 2008—2010 年水源区综合土地利用类型调整指数为 1.86%, 2010—2013 年为 2.01%。根据计算得出的两个时期内的综合调整指数可以知道, 2010—2013 年土地类型调整指数高出 2008—2010 年指数的 0.15%, 说明随着社会经济的不断发展, 人类生产活动对于土地利用的干扰和影响度在不断增强。

## 4 结论

以水源区 6 省 15 市 48 县的土地利用现状调查数据和 Landsat TM 的影像资料数据为基础, 利用信息熵、马尔科夫转移矩阵、动态调整指数等理论与方

法对水源区不同土地利用类型的变化特征进行了研究,得出水源区不同土地类型面积在不断变化中,而且水源区土地结构稳定性特征在2008—2010年区域均衡态势,2010年以后土地利用类型结构的稳定性和有序度出现了波动。通过利用马尔科夫转移矩阵,得知水源区各土地利用类型空间位置变换的面积大小依次为:林地>耕地>草地>水域>未利用地>建设用地。其中,林地的位置变换面积最大,平均达到5359 km<sup>2</sup>,占林地总面积大约7%。总之,本研究主要分析了水源区土地利用类型的时间变化特征,对于水源区相关政府制定和调整区域土地利用规划起到一定的参考价值,但对水源区土地利用类型的空间变化特征涉及较少,在今后的研究过程中,将着力综合运用RS和GIS理论与方法探讨水源区土地利用类型的空间变化特征及演化过程。

#### [参 考 文 献]

- [1] 王万茂. 土地规划学[M]. 北京:农业出版社,1983:63-65.
- [2] 葛全胜,赵名茶,郑景云. 20世纪中国土地利用变化研究[J]. 地理学报,2000,55(6):89-96.
- [3] 谭永忠,吴次芳. 区域土地利用结构的信息熵分异规律研究[J]. 自然资源学报,2003,18(1):58-62.
- [4] 杨杰,王印传,许皞,等. 河北省土地利用结构的计量地理分析[J]. 中国农学通报,2008,24(6):72-78.
- [5] 解修平,周杰. 土地利用变化预测研究:以西安地区为例[J]. 干旱区研究,2008,25(1):23-28.
- [6] 王建英,李江风,张丽琴,等. 基于生物多样性保护的土地利用结构预测[J]. 农业工程学报,2012,28(4):63-69.
- [7] Drummond M A, Loveland T R. Land-use pressure and a transition to forest-cover loss in the eastern united states[J]. Bioscience, 2010,60(4):286-298.
- [8] Li Xiaojian, Jim Peterson, Liu Gangjun, et al. Assessing regional sustainability: The case of land use and land cover change in the middle Yiluo catchment of the Yellow River basin, China [J]. Applied Geography, 2011,21(1):87-106.
- [9] 黄贤金,陈利根,冯年华. 大城市郊区土地利用结构类型区评价:以南京市为例[J]. 长江流域资源与环境,1997,6(2):13-17.
- [10] 陈文业,戚登臣,杨鑫光,等. 安家沟流域土地利用结构优化设计及效益评价[J]. 草业科学,2007,24(3):85-89.
- [11] 李国荣. 我国城市土地优化配置与地租调节机制[J]. 学术月刊,1992(10):36-39.
- [12] Crecente R, Alvarez C, Fra U. Economic, social and environmental impact of land consolidation in Galicia [J]. Land Use Policy, 2002, 113(19):8070-8076.
- [13] Ruben N L, Andrew J P, Robert N S. What Drives Land-Use Change in the United States: A National Analysis of Landowner Decisions[J]. Land Economics, 2008,84(4):529-550.
- [14] 张永民,程维明,刘海江,等. 2005—2010年河南省土地利用结构变化分析[J]. 水土保持研究,2015,22(2):258-263.
- [15] 申怀飞,田庆久,吴国玺. 南水北调中线水源区土地利用时空变化分析[J]. 水土保持研究,2015,22(2):204-208.
- [16] 刘纪远,张增祥. 中国近期土地利用变化的空间格局分析[J]. 中国科学(D辑):地球科学,2002,32(12):1031-1040.
- [17] 高志强,刘纪远. 基于遥感和GIS的中国土地利用土地覆盖的现状研究[J]. 遥感学报,1999,3(2):631-639.
- [18] 解修平,周杰,张海龙,等. 基于景观生态和马尔科夫过程的西安地区土地利用变化分析[J]. 资源科学,2006,28(6):175-181.
- [19] 沈泽昊,张全发,岳超,等. 南水北调中线水源区土地利用/土地覆被的空间格局[J]. 地理学报,2006,61(6):633-644.
- [20] 韩玉,於忠祥. 信息熵在合肥市土地利用结构变化分析中的应用[J]. 安徽农业大学学报,2012,39(4):624-628.
- [21] 钟莉娜,郭旭东,赵文武,等. 内蒙古鄂尔多斯达拉特旗土地利用结构变化对生态系统服务价值的影响[J]. 中国土地科学,2014(10):25-32.