

丹江口库区土地利用结构与格局优化

鄢铁平¹, 廖炜¹, 李璐², 史志华³

(1. 湖北省水土保持监测中心, 武汉 430071; 2. 湖北省水利水电科学研究院, 武汉 430070;
3. 中国科学院 水利部 水土保持研究所 黄土高原土壤侵蚀与旱地农业国家重点实验室, 陕西 杨凌 712100)

摘要:丹江口库区作为南水北调中线工程的水源区,其生态环境状况和水质安全不仅关系到库区的社会经济和环境保护的协调发展,也决定着调水工程的成败。科学量化评价丹江口库区土地利用结构并进行格局优化,对于库区可持续发展有着重要的意义。利用丹江口库区 1990 年、2000 年、2007 年 TM 遥感数据,在 RS 和 GIS 技术的支持下,在综合使用马尔柯夫预测模型和元胞自动机方法的基础上,建立了土地利用格局优化模拟模型,进行了丹江口库区生态安全条件下的土地利用格局优化模拟研究。通过马尔柯夫预测模型得出各土地利用总量预测结果,以宏观用地总量需求和微观土地供给相平衡为原则,利用具有复杂空间演变能力的元胞自动机完成土地空间分配。结果表明:1990—2007 年期间,丹江口库区土地利用类型的面积发生了很大变化,其中主要以农田面积大幅度减少和林地、灌丛以及居民地面积的大幅度增加为主。在未来的 2020 年,经格局优化,农田、未利用地面积显著减少,林地、园地面积相应增加,生态环境状况良性发展。结果显示使用 CA-Markov 模型进行土地利用变化预测,充分利用 CA 模型模拟复杂系统空间变化的能力和 Markov 模型长期预测的优势,对于揭示土地利用变化的动态机制具有一定意义。

关键词:土地利用变化;马尔柯夫预测模型;元胞自动机;丹江口库区

中图分类号:F301.2

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2012)01-0011-05

Optimization of Land Use Structure and Spatial Pattern for the Danjiangkou Reservoir Area

YAN Tie-ping¹, LIAO Wei¹, LI Lu², SHI Zhi-hua³

(1. *The Center of Soil and Water Conservation Monitoring, Hubei Province, Wuhan 430071, China;*
2. *Hubei Water Resources Research Institute, Wuhan 430070, China;* 3. *State Key Laboratory of Soil Erosion and
Dryland Farming on the Loess Plateau, Institute of Soil and Water Conservation, Yangling, Shaanxi 712100, China*)

Abstract: The Danjiangkou reservoir lies in the upper Hanjiang Basin and is the source of water for the Middle Route Project (MRP) under the South-to-North Water Transfer Scheme (SNWT) in China. The situation of eco-environment and the water quality security of the Danjiangkou Reservoir Area (DRA) play important roles in local coordinated development of economic and social development and environmental protection and would determine whether the MRP will succeed or not. The scientific and quantitative assessment and optimization of land use structure and spatial pattern is significant to the sustainable development of the DRA. This study aimed to predict land-use change trend of Danjiangkou reservoir area in 2020 by Markov prediction model and cellular automata model, in the support of the RS and GIS and based on the TM remote sensing data of Danjiangkou reservoir area during 1990 and 2007. The predicted results of the land use amount are acquired dynamically by the Markov prediction model, and with the total land of demand from a macroscopic viewpoint and the dynamic balance of land supply from a microscopic viewpoint as the principle, the distribution of land-use is achieved by Cellular Automata model. The results showed that in the period of these seventeen years from 1990 to 2007, great changes have taken place on the land use types in the study area, which was mainly characterized as the greatly increased forest, shrub and residential area and the greatly de-

收稿日期:2011-03-03

修回日期:2011-09-06

资助项目:水利部公益性行业专项(200901008);国家科技支撑计划项目(2006BAC10B02)

作者简介:鄢铁平(1958—),男,湖北天门人,硕士,高级工程师,研究方向为水土保持管理。E-mail:hbsbwz@163.com

通信作者:史志华(1970—),男,博士,教授,主要从事地质地貌、水土保持和地理信息系统应用方面的教学和研究工作。E-mail:pengshi@mail.hzau.edu.cn

creased farmland. In the 2020, by optimal allocation, the area of the croplands and unutilized land decrease rapidly, and the proportion of the forest land area and garden area increase accordingly, which healthily promote the development of eco-environment. The results showed that CA-Markov model make the fullest use of the simulating capability to space changes of complex system of CA model and the advantage of long-term prediction of Markov model, which would provide an important reference to reveal the dynamic mechanism of land-use change.

Key words: land-use change; Markov prediction model; cellular automata model; Danjiangkou reservoir area

土地利用及其结构的变化不仅能够改变自然景观的面貌,而且深刻影响着生态系统的物质循环和能量流动,改变着土壤水分、养分和土壤侵蚀等生态过程的时空分布^[1-3]。土地利用动态预测与模拟主要包括两方面的内容:一是数量预测;二是未来空间格局模拟。传统的土地资源优化配置的研究多关注土地利用数量结构的优化,忽视了土地利用空间格局对诸多生态过程的影响^[4-5]。以经济效益最大化为目标的土地数量结构优化,已不能解决存在的土地利用问题。随着研究的深入,其研究逐渐从简单的数量预测转向复杂的时空格局的演变模拟^[6]。土地利用变化预测的方法有很多,目前常用的有:转移概率模型(马尔柯夫模型)^[7]、多元回归模型^[8]、系统模拟模型、人工神经网络、多智能体系统^[9]、元胞自动机(Cellular Automata, CA)模型^[10-12]等。其中,CA-Markov模型综合了CA模型模拟复杂系统空间变化的能力和Markov模型长期预测的优势,使得土地利用变化现象更为合理^[13]。

丹江口水库作为南水北调中线工程水源地,其水质一直备受各方关注,确保一江清水向北流是南水北调中线工程成败的关键^[14-15]。库区土地利用格局与动态对于评价整个中线调水工程的环境影响、科学规划环境保护与生态建设措施意义重大,这一问题仍尚待回答,相关研究非常缺乏^[16]。因此,本文在对研究区大量野外调查的基础上,借助遥感和GIS技术,对库区多年的土地利用格局进行分析,同时综合使用马尔柯夫预测模型和元胞自动机方法,建立土地利用格局优化模拟模型,进行丹江口库区生态安全条件下的土地利用格局优化模拟研究,为库区土地规划以及地区可持续发展提供一定参考。

1 研究区概况

丹江口库区位于 $32^{\circ}14'—33^{\circ}48'N$, $109^{\circ}25'—111^{\circ}52'E$,含河南淅川和西峡县,湖北十堰、丹江口、郧县和郧西等县市,面积 1.79 万 km^2 ,是南水北调中线工程水源保护最为敏感的地区(图1)。库区海拔 $86—2213$ m,总的地势是西北高、东南低、北陡南缓,汉江沿线形成峡谷和盆地相间的地貌。本区位于我

国南北气候过渡地带的秦巴山区,属北亚热带季风气候,年均温 $11.2—15.9^{\circ}C$,年均降雨量 $750—950$ mm,集中在5—9月。土壤以山地黄棕壤和黄褐土为主,并有水稻土、紫色土、石灰土等非地带性土壤发育。植被为常绿落叶阔叶林和针阔混交林,常见树种有栎类、马尾松、侧柏、杉木、油桐等。除山区有少量原始森林外,多为次生林,浅山多为荒山或灌丛,盆地是主要的农耕区。

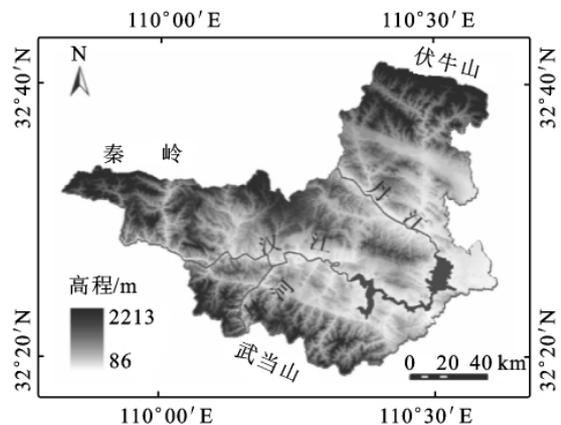


图1 研究区DEM图

2 数据与方法

2.1 数据来源及处理

研究的基础数据包括:丹江口库区1990年、2000年、2007年三期LANDSAT TM影像,1:25万的数字线化图(DLG)、1:5万DEM、土壤图、地质图、行政区划图、气象数据、部分县市土地利用图、社会经济数据及相关文献资料等。除上述资料外,还以遥感影像为选点、选线的主要依据之一,利用手持GPS、地形图及其它参考资料进行定位、导航,开展库区土地利用的野外调查。

数据处理首先是应用ERDAS和ArcGIS对各基础图件几何配准和数据重采样,将各类数据统一为WGS84投影,转化成统一格网数据,建立水源区空间背景数据库。结合野外调查信息,参考全国区域委员会的分类标准及研究区实际情况,采用监督分类将研究区三期遥感影像分为八类:林地、灌丛、草地、园地、农田、未利用地、居民地、水域,并对分类结果进行精度评价,分类结果评价主要参考库区各时期的土地利用

现状图,同时结合野外实地调查数据和目视方法,对各时相的分类结果进行精度检验。经 Kappa 系数^[17]检验,其 Kappa 系数分别为 0.84,0.86,0.87,满足研究要求。

2.2 土地利用变化预测方法

(1)CA—Markov 理论简介。马尔柯夫(Markov)是利用 Markov 过程在 T_0 时刻所处的状态为已知的条件下,过程在 $T > T_0$ 所处状态的条件发布与过程在 T_0 时刻之前所处的状态无关的特征(即状态的转移是无后效性的),来对事物的动态演变进行研究。元胞自动机(Cellular Automata,简称 CA)是具有一时空计算特征的动力学模型,其特点是时间、空间、状态等都离散,每个变量都只有有限多个状态,而且状态改变的规则在时间和空间上均表现为局部特征。Markov 与 CA 均为时间离散、状态离散的动力学模型,但是 Markov 预测法没有空间变量,CA 的状态变量则与空间位置紧密相连。根据 Markov 模型与 CA 模型的特点,将二者结合起来,即形成 CA—Markov 预测模型。CA—Markov 模型综合了 CA 模型模拟复杂系统空间变化的能力和 Markov 模型长期预测的优势,既提高了土地利用类型转化的预测精度,又可以有效地模拟其结构的时空变化,可在数量和空间两方面较好地进行土地利用变化时空格局模拟,可较好地进行土地利用变化情景模拟,具有较大的科学性和实用性。

一个完整的土地利用情景分析包括情景设定及设定情景的土地利用数量结构和空间格局分析,即未来情景下土地利用面积转换矩阵的设定以及对目标年土地利用数量结构的时空化。采用 Idrisi 的 CA—Markov 模块进行土地利用变化模拟。

(2)土地适宜性评价因子的确定。土地适宜性的评价因子有两种,一种是土地利用景观类型的影响因子,另一种是由空间自相关原理决定的土地利用景观空间分布距离因子。土地利用景观格局的影响因子有:DEM、坡度、面状水域距离、线状水系距离、铁路距离、乡镇距离、降雨量、 $>10^{\circ}\text{C}$ 积温、土壤有机质含量、人口密度。根据景观格局影响因子以及空间自相关原理确定各土地利用景观适宜性评价因子。采用 IDRISI 软件提供的多标准评价模块(Multi—criteria Evaluation, MCE)创建土地利用适宜性图集。

(3)MCE—CA—Markov 模型校验。模型校验是模型建立十分重要的组成部分^[18]。利用 1990 年和 2000 年的土地利用现状数据,模拟 2007 年土地利用格局分布,对模型及适宜性图进行校验,以期使 MCE—CA—Markov 模型的预测参数设置达到最佳

状态。引进修正的 Lee—Sallee 形状指数^[19]进行模拟精度分析。修正的 Lee—Sallee 形状指数即计算模拟结果和检验数据的空间交集和并集的面积之比,反映两个数据空间分布的相似性,具体表达式为:

$$L = \frac{A_0 \cap A_1}{A_0 \cup A_1}$$

式中: L ——修正的 Lee—Sallee 指数,取值范围为 $[0, 1]$; A_0 ——历史真实年份的土地利用格局现状图; A_1 ——模拟的土地利用格局图。

利用 ArcGIS 将预测结果与 2007 年土地利用现状图进行空间叠加,计算其修正的 Lee—Sallee 形状指数为 0.59,预测结果具有较高的精度。说明采用 MCE—CA—Markov 模型进行预测研究时设置的参数准确、规则合理。

(4)土地利用变化模拟。根据丹江口库区生态环境综合治理工程实施情况,对研究区景观格局动态模拟分为两种预案情况,一是未实施跨流域调水工程,不受跨流域调水影响,自然演变情况下土地利用的动态模拟,为 A 方案;二是实施跨流域调水工程,受跨流域调水影响,并开展相关调控工作的土地利用的动态模拟,为 B 方案。

根据南水北调中线工程规划,丹江口水利枢纽大坝加高工程建成后,坝顶高程由目前的 162 m 增加到 176.6 m,正常蓄水位由 157 m 抬高至 170 m,将增加淹没面积 370 km^2 ,移民 34.5 万人。据有关研究,大坝加高后库区可利用的生态承载力呈减少趋势,生态赤字呈现扩大化^[20]。土地利用格局优化基于假设土地利用/覆盖空间分布格局总是和土地需求以及该区域的自然环境和社会经济状况处于动态平衡之中,首先要充分考虑人口、经济、市场调节、技术进步以及政府政策调控的影响确定土地需求,然后基于土地适宜性实现土地利用数量的微观空间分配。根据统计年鉴,1990—2007 年间库区人口总量 2 291.22 万人增长到 2 341.61 万人,按照稳定发展型预测 2020 年增长人口数量基本与移民数量持平。鉴于丹江口库区的重要性和特殊性,本文的优化思路是在库区土地资源评价、土地利用对生态安全影响识别的基础上,重点考虑政府政策调控的影响,根据丹江口库区生态环境综合治理工程的相关规划,将退耕还林还草,在丹江口市、西峡县等地发展特色果园等综合考虑,对土地利用格局进行模拟与优化。B 方案是基于假设大坝加高工程已完建,调水已实施并运行,25°坡耕地退耕还林还草、保护基本农田等政策实施的前提下,加入人为调控条件下,对 2020 年土地利用格局进行模拟,对土地利用进行调控优化。技术路线见图 2。

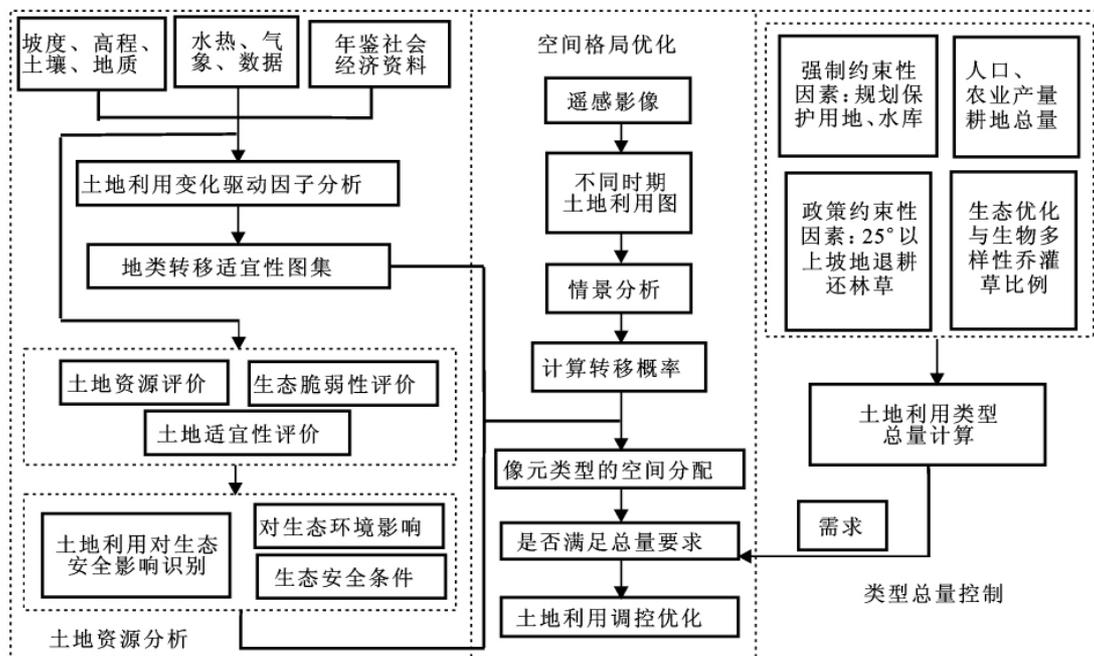


图 2 土地利用格局模拟与优化模型框图

3 结果与分析

3.1 土地利用变化分析

利用 ArcGIS 的叠置分析等功能,对各年份的土地利用数据进行空间分析,生成土地利用/土地覆盖类型之间转移矩阵,获取土地利用动态变化信息,对丹江口库区土地利用动态变化进行研究,结果见表 1。由表 1 可见,林地、灌丛、居民地的面积有不同程度的增加,而农田则大幅度减少,表明在 1990—2007

年,丹江口库区土地利用面积有很大变动。1990—2007 年,林地面积由 8 743.63 km² 增加到 9 050.05 km²,转入转出过程主要发生在旱地、灌丛和草地之间。17 a 间农田面积减少了 1 371.28 km²,年平均减少 80.66 km²,主要转变成林地,其次为灌丛和草地。灌丛大部分转化成林地,灌丛的转入量大部分来源于林地、旱地和草地。居民地由 147.01 km² 增加到 410.25 km²,主要来自对农田的占用,城镇化进程中,耕地的流失是人地关系主要矛盾应该注意的问题。

表 1 丹江口库区 1990—2007 年土地利用/土地覆盖类型之间转移矩阵

土地利用类型	2007 年								1990 年
	林地	灌丛	草地	园地	农田	未利用地	居民地	水域	合计
1990 年	7442.46	615.57	49.00	0.69	573.25	17.17	35.50	9.99	8743.63
林地	583.40	980.96	204.82	0.21	0.16	20.66	22.42	3.08	1815.71
灌丛	171.52	129.82	591.52	0.08	0.74	25.63	31.07	3.26	953.64
草地	0.22	0.11	0.09	110.80	0	0.03	2.77	0.33	114.35
园地	809.51	478.58	315.35	5.10	3261.59	180.47	145.34	22.41	5218.35
农田	25.79	20.62	74.37	0.05	3.00	117.49	23.41	35.05	299.78
未利用地	0.81	0.68	1.07	0.77	0.30	0.69	142.44	0.26	147.01
居民地	16.34	2.12	3.21	0.89	8.03	25.70	7.30	576.65	640.25
水域	2007 年合计	9050.05	2228.46	1239.43	118.59	3847.07	387.84	410.25	651.03

3.2 土地利用预测总体分析

2020 年土地利用格局模拟结果见表 2 和附图 1。由表 2 可以看出,A 情景下的模拟结果与 2007 年土地利用结构相比,农田面积大幅度减少,减少幅度接近 30%;未利用地则大幅度增加,居民地的扩张缺乏限制,扩张十分剧烈,分别增长了 38.84%和 67.60%;而对生态环境安全有重要意义的林地、灌丛、草地面积的增长幅度较小,分别为 4.95%,8.87%,3.34%;对经济发展有显著体现的园地仅增长了 1.69%;

水域面积变化不大。可见,在 A 方案的情况下,与 2007 年相比,2020 年库区的生态环境可能进一步恶化,生态环境恶化的结果将严重制约库区社会经济的发展。

在 B 方案的情况下,与 2007 年土地利用结构相比,模拟的 2020 年土地利用结构中水域、未利用地、居民地、园地、农田变化均较大,而林地、灌丛和草地变化不大。大坝加高后,水域面积显著增长,增加至 942.08 km²,增长了约 44.60%,淹没了大量的农田

等;未利用地得到有效治理控制,减少了 38.01%;居民地的扩张更有计划性和限制性,增长幅度控制为 30.73%,有效防止基本农田被占用;作为带动经济发展,促进农民增收的支柱产业,园地面积增长幅度达到 28.79%;由于大坝加高后对农田的淹没,退耕还林政策的实施以及城市扩张等引起的农田占用情况,农田面积减少了 26.25%,与 A 方案相比,减少面积要少一些,这是基本农田保护政策的作用;林地稳定增加了 812.64 km²,增长了 8.99%;灌丛变化不大,而草地减少了 109.43 km²。在 B 方案情况下,较 2007 年相比,2020 年库区水域增加至 942.08 km²,农田、未利用地面积显著减少,林地、园地面积相应增加,生态环境状况良性发展,将有效地促进了库区社会经济的发展。B 方案考虑较为全面,根据当前丹江口水利枢纽大坝加高工程的实施情况,并将土地利用调控措施考虑在内进行预测,结果更为符合实际情况。

表 2 丹江口库区 2020 年土地利用预测结果

土地利用类型	2020 年(A 方案)		2020 年(B 方案)	
	面积/ km ²	面积变 化率/%	面积/ km ²	面积变 化率/%
林地	9488.08	4.95	9853.49	8.99
灌丛	2423.83	8.87	2228.86	0.11
草地	1282.05	3.34	1131.15	-8.82
园地	120.82	1.69	153.02	28.79
农田	2711.83	-29.45	2834.56	-26.25
未利用地	537.81	38.84	240.14	-38.01
居民地	686.32	67.60	535.32	30.73
水域	667.87	2.51	942.08	44.60

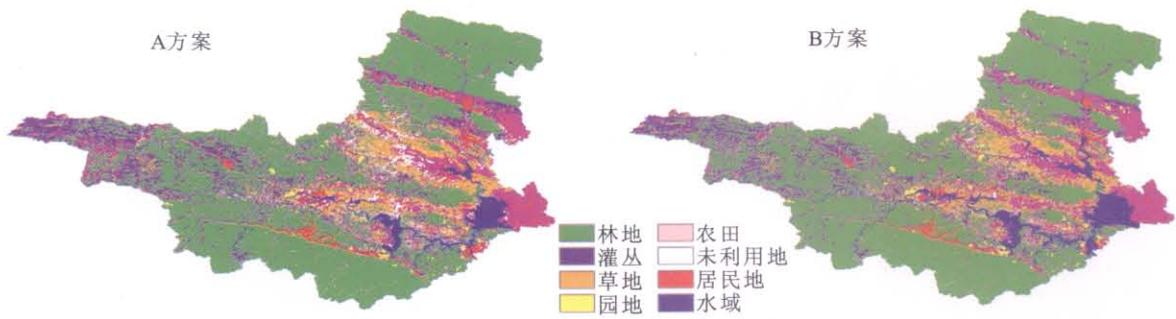
4 结论

(1)1990—2007 年期间,丹江口库区土地利用类型的面积发生了很大变化,其中主要以农田面积大幅度减少和林地、灌丛以及居民地面积的大幅度增加为主。基于假设大坝加高工程已完建,调水已实施并运行,对 2020 年土地利用格局进行模拟,对土地利用进行调控优化,预测在 2020 年,农田、未利用地面积显著减少,林地、园地面积相应增加,生态环境状况良性发展。

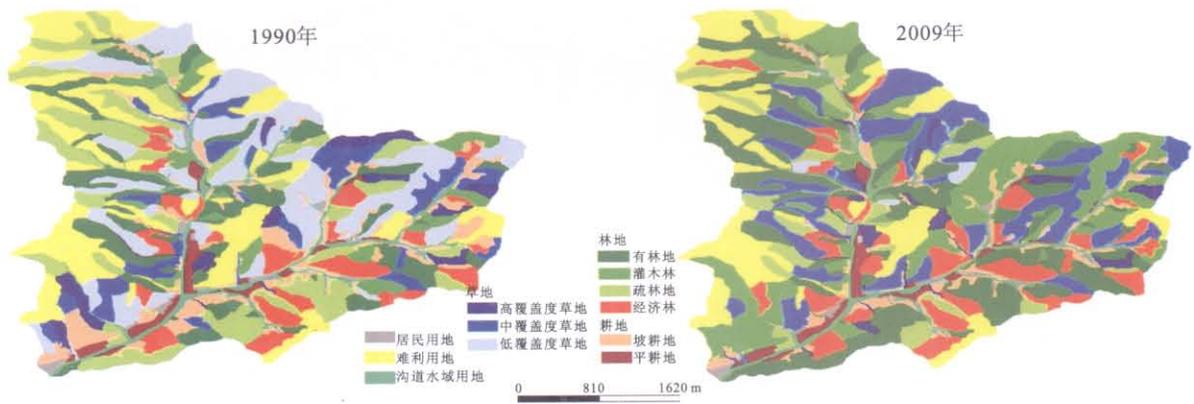
(2)使用 CA—Markov 模型进行土地利用变化预测充分利用 CA 模型模拟复杂系统空间变化的能力和 Markov 模型长期预测的优势,可以与 GIS 有效结合,根据历史资料及相关环境数据,归纳土地利用变化规律,进行土地利用预测及格局优化。

参考文献:

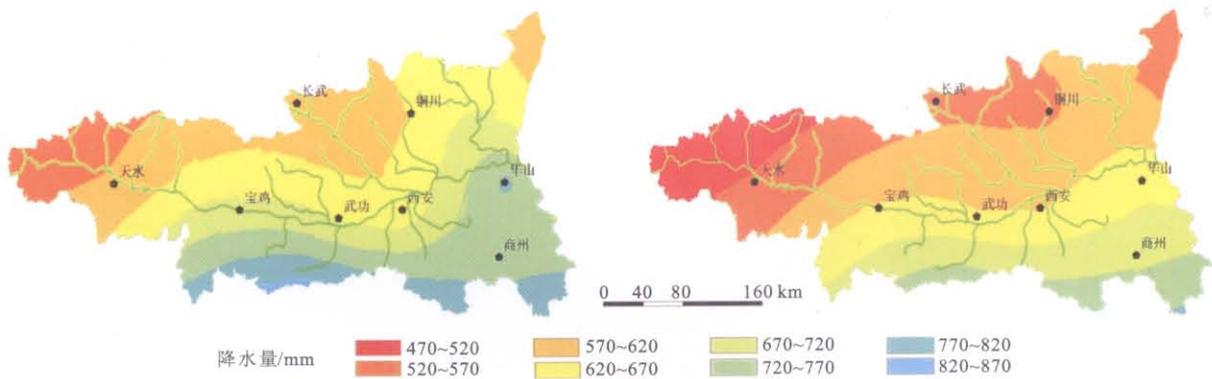
- [1] Foley J A, De Fries R, Asner G P, et al. Global consequences of land use[J]. Science, 2005, 309: 570-574.
- [2] Pielke Sr R A. Land use and climate change[J]. Science, 2005, 310: 1625-1626.
- [3] 王枫,叶长盛. 广州市土地利用与生态环境协调发展评价研究[J]. 水土保持研究, 2011, 18(3): 238-242, 246.
- [4] 李秀彬. 全球环境变化研究的核心领域: 土地利用/覆被变化的国际研究动向[J]. 地理学报, 1996, 51(6): 553-558.
- [5] 张华,张勃. 国际土地利用/覆盖变化模型研究综述[J]. 自然资源学报, 2005, 20(3): 422-431.
- [6] Gao Q Z, Kang M Y, Xu H M, et al. Optimization of land use structure and spatial pattern for the semi-arid loess hilly-gully region in China[J]. Catena, 2010, 81(3): 196-202.
- [7] Lopez E, Bocco G, Mendoz M, et al. Predicting land-cover and land-use change in the urban fringe: A case in Morelia city, Mexico[J]. Landscape and Urban Planning, 2001, 55: 271-285.
- [8] Zang S Y, Xi H. An aggregated multivariate regression land-use model and its application to land-use change processes in the Daqing region[J]. Ecological Modelling, 2006, 193: 503-516.
- [9] 张鸿辉,曾永年,谭荣一,等. 多智能体区域土地利用优化配置模型及其应用[J]. 地理学报, 2011, 66(7): 972-984.
- [10] 苏伟 陈云浩,武永峰,等. 生态安全条件下的土地利用格局优化模拟研究: 以中国北方农牧交错带为例[J]. 自然科学进展, 2006, 16(2): 207-214.
- [11] Ward D P, Murray A T. An optimized cellular automata approach for sustainable urban development in rapidly urbanizing regions[J]. International Journal of Geographical Information Science, 1999, 7(5): 235-250.
- [12] 熊利亚,常斌,周相广. 基于地理元胞自动机的土地利用变化研究[J]. 资源科学, 2005, 27(4): 38-43.
- [13] Peterson L K, Bergen K M, Brown D G, et al. Forested land-cover patterns and trends over changing forest management eras in the Siberian Baikal region[J]. Forest Ecology and Management, 2009, 57: 911-922.
- [14] 张全发,苏荣辉,江明喜,等. 南水北调工程及其生态安全: 优先研究领域[J]. 长江流域资源与环境, 2007, 16(2): 217-221.
- [15] 李璐,史志华,朱惇,等. 南水北调中线水源区森林覆盖变化及其影响因子分析[J]. 自然资源学报, 2009, 24(6): 1049-1057.
- [16] 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.
- [17] Congalton R, Oderwald R, Mead R. Assessing Landsat classification accuracy using discrete multivariate analysis statistical techniques[J]. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 1983, 49: 1671-1678.
- [18] 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.
- [19] Clarke K C, Gaydos L J. Loose-coupling a Cellular Automaton Model and GIS: Long-term urban growth prediction for San Francisco and Washington/Baltimore[J]. Journal of International Geographical Information Science, 1998, 12(7): 699-714.
- [20] 王玲玲,胡歌鸣,董威. 基于生态足迹的丹江口库区生态承载力分析[J]. 环境科学与技术, 2011, 34(6): 292-297.



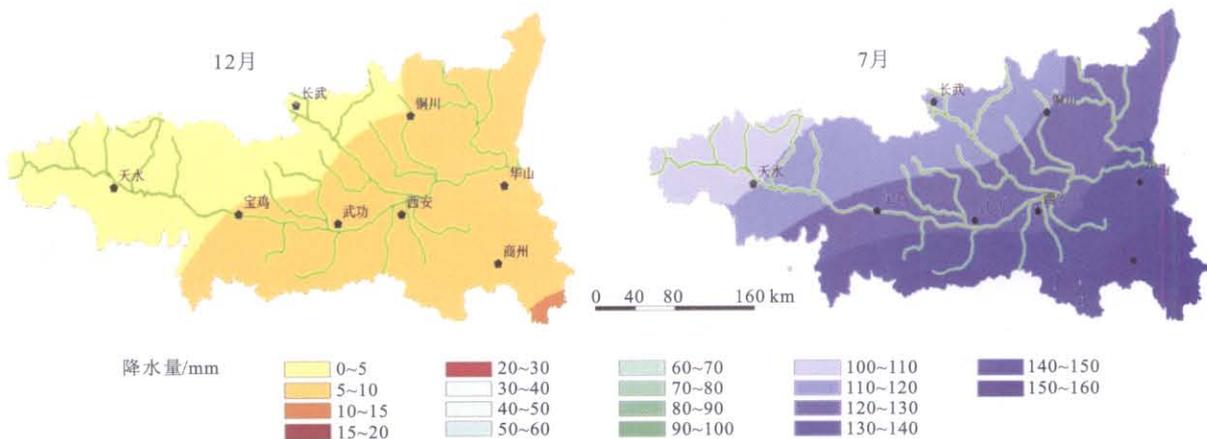
附图1 丹江口库区2020年土地利用预测图



附图2 1990年和2009年冀北山区东北沟流域土地利用状况



附图3 关中—天水经济区降水量年代际变化分布



附图4 关中—天水经济区降水量多年平均年内分布