

滇池流域土地利用动态变化及对流域水环境的影响分析

张 洪, 黎海林, 陈 震

(云南财经大学 城市管理与资源环境学院, 昆明 650221)

摘 要:以滇池流域为研究对象,以 1974 年、1988 年、1998 年、2008 年四个时期的 TM 遥感影像为数据基础,结合图像处理、地理信息系统及计量软件,应用马尔柯夫模型对研究区土地利用动态变化及变化趋势进行了分析,同时研究了该区域土地利用变化对水环境的影响。结果表明:①滇池流域近 30 a 来土地利用状况发生了明显的变化,其中耕地、建设用地和其它地类的变化幅度较大,水域和林地变化不明显。②马尔柯夫链预测结果表明:2015—2030 年研究区内建设用地面积进一步增加,林地、水域和其它地类进一步减少,但减少的幅度在逐渐变小,耕地面积也继续减少。③滇池流域的水质明显受到土地利用类型及利用变化情况的影响:在 5% 显著性水平下 TP 和 BOD 与土地利用类型之间存在相关关系,建设用地对总氮量的弹性为 15.31,耕地对总氮量弹性为 10.47,牧草地对总氮量弹性为 -156.74。建设用地对 BOD 的影响为 543.79,耕地对 BOD 影响为 -272.49,林地对 BOD 影响为 160.88;在 20% 显著性水平下 COD 与土地利用类型之间存在相关关系,建设用地、耕地和湿地对 COD 的弹性分别为 173.88, -100.75, -4 920.59。④马尔柯夫链预测结果表明,随着年份的增长,水质污染状况指标呈现持续恶化的趋势。

关键词:土地利用; ArcGIS; 马尔柯夫; 滇池流域; 水环境

中图分类号: X143

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2012)01-0092-05

Analysis on Land Use Dynamic Change and Its Impact on the Water Environment in Dianchi Lake Drainage Area

ZHANG Hong, LI Hai-lin, CHEN Zhen

(School of Urban Management and Resources Environment, Yunnan University of Finance and Economics, Kunming 650221, China)

Abstract: The study area was divided into 5 big categories according to Class One Classification: arable land, woodland, construction land, water body and other land type. The Edras remote sensing image processing software and the ArcGIS geographic information system software were used to calibrate, match and enhance the Landsat-5(TM) remote sensing satellite images of four periods of 1974, 1988, 1998 and 2008. The resolution of Landsat-5(TM) original data is 30 m. Through the GPS field investigation, the visual interpretation of remote sensing image was obtained and the images of each period were interpreted with human computer interactive interpretation technology to generate the distribution situation of land use at four time points. The ArcMAP module in the ArcGIS was used to conduct a map overlapping analysis, the transition matrix of land use spatial dynamic change was established according to Markov model and 2 indices of land use area variation rate and land use dynamic state were used to quantitatively analyze the land use structural change in the study area, in which the unit root test and cointegration test were adopted to analyze the simulation of land use and water environment change in the drainage area. On the basis before that, Markov forecast model was used and both the land use results in the later period and the effect on the water environment were forecast with the Matlab software. The results showed that: ① the land use situation in the Dianchi Lake basin in the past 30 years had significantly changed, in which the changes of the arable land, construction land and other similar changes were extremely great, while the changes of the water body and forestland were not so obvious; ② the results of Markov model forecast showed that the land for construction in the study area further increases through 2015 to 2030, while the woodland, water body and other types of land further decreases, but

收稿日期: 2011-06-03

修回日期: 2011-07-28

资助项目: 国家自然科学基金项目“生态视角下云南高原湖滨城市土地集约利用模式与管理机制研究”(70863014)

作者简介: 张洪(1958—), 男, 四川人, 硕士生导师, 教授, 主要从事城市土地管理和 GIS 应用研究。E-mail: zhanghong0957@sina.com

the rate of decrease is gradually becoming smaller and the cultivated land area continues to decrease as well; ③the correlativity existing between TP and BOD under 5% significant level and COD under 20% significant level can be obtained; ④the indices of water pollution have a tendency of continuous deterioration over the years.

Key words: land use; ArcGIS; Markov; Dianchi Lake Drainage Area; water environment

在流域水环境变化原因的研究中,土地利用类型变化是一个非常重要的影响因素,如果能够明确土地利用类型和水质之间的关系,就可以通过适当的土地利用规划来确定合理的污染预防措施,从而解决水环境污染问题,保护水质。国外在这方面研究较多,Basta 和 Bower 总结了 14 个土地利用变化对水量、水质影响模型。比较详细地描述了这些模型使用的土地类型、时空属性、水文特征、水类型及测定的污染物。He 将 GIS 和 AGNPS 模型结合,研究密歇根州一个农业流域土壤侵蚀和 N、P 流失情况,并在模拟预测的结果基础上提出了最佳的土地利用方法^[1-3]。目前国内也有这方面的研究,于兴修以太湖上游浙江西苕溪流域为例研究了土地利用/覆被变化及对水质的影响^[4],李文杰研究了梁子湖流域土地利用变化对流域水环境的影响^[5],张婷对白洋淀水质时空变化及影响因子进行了评价与分析^[6]。但是云贵高原的滇池流域土地利用结构及动态变化对水质的影响研究没有,因此本文是 LUCC 及计量地理学理论在滇池流域的一次实证应用,致力于研究滇池流域 1974—2008 年土地利用动态变化及其对水环境的影响,旨在真实反映该区域的土地利用情况,同时得出这种变化对水环境的影响,为土地利用规划、水污染治理及其它领域研究提供参考借鉴作用。

1 研究区域及研究方法

1.1 研究区域

滇池流域位于云贵高原中部,地处长江、珠江和红河三大水系分水岭地带,范围包括昆明市盘龙、五华、西山、官渡四区及呈贡、晋宁、嵩明等县市区部分地区。地理坐标为东经 102°29′—103°01′,北纬 24°29′—25°28′,流域面积为 2 840.7 km²。整个流域为南北长、东西窄的湖盆地,地形可分为山地丘陵、淤积平原和滇池水域三个层次。滇池流域属北亚热带湿润季风气候,年均气温 14.9℃,年降雨量 931.8 mm,全年无霜期 227 d,具有低纬高原的季风气候特征,冬无严寒、夏无酷暑,四季如春,干湿分明,垂直差异大的气候特点。

1.2 研究方法及数据来源

1.2.1 研究方法 结合研究区域的土地利用方式特点,将土地利用按一级分类分为 5 大类,即:耕地、林

地、建设用地、水域及其它地类。利用 Edras 遥感影像处理软件和 ArcGIS 地理信息系统软件对 1974 年、1988 年、1998 年、2008 年 4 个时期 Landsat-5 (TM)遥感卫片进行校验配准及增强处理,通过野外 GPS 实地考察,获取遥感影像的解译标志,并对每个时期的影像进行人机交互解译,得出四个时期的土地利用现状。利用 ArcGIS 地理信息系统软件中的 ArcMAP 模块进行图层叠加分析,根据马尔柯夫模型建立土地利用空间动态变化转移矩阵。其中流域土地利用与水环境变化模拟采取单位根检验与协整检验来分析,并在此之前的基础上,利用马尔柯夫预测模型,通过 Matlab 软件实现对后期的土地利用结果及对水环境的影响进行预测。

1.2.2 数据来源 研究区数据来源于 1974 年、1988 年、1998 年及 2008 年 Landsat-5 (TM)遥感卫片,采取 TM_Band_4(R),TM_Band_3(G),TM_Band_2(B)波段合成影像,通过几何校正及 Edras 遥感影像处理软件和 ArcGIS 地理信息系统软件人机交互解译得来。

1.2.3 马尔柯夫模型 马尔柯夫方法是利用某一变量的现状和动向去预测未来的状态及动向的一种分析手段,数学表达为:

$$P(n) = P(n-1)P_{ij} = P(0)Pn_{ij}$$

式中: $P(n)$ ——将来时刻 n 土地利用类型的状态概率向量; $P(0)$ ——研究初始时刻土地利用类型的状态概率向量,简称初始状态概率向量; P_{ij} ——土地类型 i 转变为土地类型 j 的转移概率向量^[7]。

1.2.4 ADF 单位根检验 ADF 单位根检验是检验数据序列的平稳性,如果存在同阶平稳的话,就可以对它们进行协整检验。由以下回归方程构成:

$$\Delta Y_t = \beta_1 + \beta_2 t + \delta Y_{t-1} + \alpha_i \sum_{i=1}^m \Delta Y_{t-i} + \epsilon_t$$

式中: β_1 ——常数项; β_2 —— t 的系数; ϵ_t ——纯粹白噪声误差项,而 $\Delta Y_{t-1} = (Y_{t-1} - Y_{t-2})$, $\Delta Y_{t-2} = (Y_{t-2} - Y_{t-3})$ 等。假设 $\delta=0$, Y_{t-1} 系数的估计 t 值服从 τ 统计量,即存在一个单位根,即时间序列是非平稳的。假设不能接受 $\delta=0$ 假设,可以使用通常的 t 检验,即不存在单位根,该时间序列是平稳的^[8]。

1.2.5 协整检验 采用 Johansen 检验法进行协整检验,其基本思路是在多变量向量自回归 (VAR) 系统回归构造两个残差的积矩阵,计算矩阵的有序本征

值,根据本征值得出一系列的统计量判断协整关系是
否存在以及协整关系的个数^[9]。

2 土地利用变化分析

2.1 土地利用现状

根据前面所得数据,利用 ArcGIS 地理信息系统
软件中的面积统计功能,得到 4 个研究时期的 5 大地

类的面积及其所占总面积的百分比(表 1)。

从表 1 可以看出,4 个研究时期的各类土地利用
中林地所占比率最大,最大是 1974 年达到 44.8%,
这与流域的地质地貌特点有很大关系。耕地面积和
建设用地面积变化则较大,耕地由 1974 年的 17.3%
下降到 2008 年的 9.3%,建设用地则从 1974 年的
3.1%上升到 2008 年的 14.0%。

表 1 1974—2008 年土地利用现状结构

地类	1974 年		1988 年		1998 年		2008 年	
	面积/km ²	所占比率/%	面积/km ²	所占比率/%	面积/km ²	所占比率/%	面积/km ²	所占比率/%
耕地	492.2	17.3	442.2	15.6	403.2	14.2	265.1	9.3
建设用地	86.8	3.1	129.8	4.6	181.9	6.4	397.1	14.0
林地	1272.3	44.8	1256.7	44.2	1252.6	44.1	1252.8	44.1
水域	320.4	11.3	323.2	11.4	322.9	11.4	320.7	11.3
其他地类	669.0	23.6	688.7	24.2	680.1	23.9	605.0	21.3

2.2 土地利用类型变化

土地利用变化分析主要是对 4 个时期土地利用
现状空间信息在 ArcGIS 地理信息系统软件下进行
空间叠加,利用马尔柯夫转移矩阵,通过统计分析、计
算整理后得到各个时期的土地利用现状图及土地利
用转移矩阵(附图 9、表 2)。

表 2 1974—2008 土地利用类型转移矩阵 km²

土地利用 类型	2008 年					
	建设 用地	林地	耕地	其他 地类	水域	总计
建设用地	79.27	0.03	3.34	3.85	0.28	86.76
林地	0.54	1250.49	0.22	20.51	0.54	1272.3
1974 年 耕地	212.86	1.57	227.84	44.01	5.89	492.18
其他地类	102.86	0.35	29	533.55	3.24	669
水域	1.56	0.37	4.73	3.08	310.71	320.45
总计	397.08	1252.81	265.13	605.01	320.66	2840.68

所得转移矩阵表中,数据所在列代表 1974 年土
地利用类型,行代表 2008 年土地利用类型。数字代
表的是 1974 的土地利用类型转变为 2008 年各类利
用类型的面积。根据转移矩阵不难看出,在 1974—
2008 年期间,耕地转化为建设用地的面积为 212.86
km²,其中 1988—2008 年中,耕地转化为建设用地的
面积为为 128.98 km²;其它地类转化为建设用地的
面积为 102.86 km²,水域及林地呈递减趋势,但是减
少的面积很小,整体变化不大。

3 基于马尔柯夫模型的土地利用预测

根据马尔柯夫预测模型,应用 Matlab 软件对各
个时期的转移概率进行计算,并将预测相应结果与实
际值比较,结合实际情况,采用 1988—2008 这个时间
段的里 1988 年作为初始状态年,以这个时间段的转

移概率作为转移概率向量,预测得到 1998 年、2008
年的土地利用结构与 1998 年、2008 年实际的土地利
用结构进行对比,模拟值和实际值十分接近,两个时
期的相对误差平均值在 0.05%内。由此可见利用马
尔柯夫过程预测滇池流域土地利用结构是可行的。
得到的预测结果见表 3。

表 3 马尔柯夫链预测的各土地利用类型面积 km²

年份	建设用地	林地	耕地	其他地类	水域
2015	417.00	1251.54	268.45	584.50	319.19
2020	456.70	1250.60	247.68	567.36	318.34
2025	493.18	1249.67	229.44	550.92	317.48
2030	526.75	1248.74	213.43	535.17	316.59

马尔柯夫模型预测结果表明,2015—2030 年研
究区内建设用地面积进一步增加,林地、水域和其他
地类进一步减少,但减少的幅度在逐渐变小,耕地面
积也继续减少。

4 流域土地利用演变与水环境变化的
关系

土地利用是人类对自然环境最直接的一种作用
方式,如果利用方式不当将会导致大量的硝酸盐、磷
酸盐等物质未经处理排入流域水体,进一步造成对流
域水环境的污染。在此以滇池流域土地利用变化的
研究为基础,结合查找相关年份的土地利用数据,利
用 1994—2008 年以来可以获得的水质资料,分析滇
池流域土地利用变化对水环境所带来的影响。

4.1 流域土地利用与水环境变化模拟

水环境主要由地表水和地下水两部分组成,本文
只对滇池的地表水环境进行相应分析。滇池水环境
的评价标准是参考中华人民共和国环境保护总局颁
布的《中华人民共和国地表水环境质量标准》

(GB3838—2002)。水质监测的常规项目包括:水温、电导率、pH、溶解氧(DO)、总磷(TP)、总氮(TN)、氨氮(NH₃—N)、高锰酸盐指数、生化需氧量 BOD,挥发酚、石油类、重金属和细菌等指标^[6]。结合本次研究实际情况,对从监测部门所获取的 1994—2008 年的总氮(TN)、总磷(TP)、生化需氧量(BOD)及化学需氧量(COD)资料采用时间序列方法进行分析,研究滇池流域土地利用变化对滇池水环境产生的影响。

4.1.1 单位根检验 采用监管部门调研得到的土地

数据,将滇池流域的土地类型分为城镇村工矿建设用地(CH)、耕地(GE)、有林地(LIN)、牧草地(MU)、湿地(SHI)、园地(YUAN)6 大类,分别采用各类土地类型占流域土地的比重,对 1994—2008 年滇池流域的总氮(TN)、总磷(TP)、生化需氧量(BOD)、化学需氧量(COD)以及各土地类型的时间序列采用 ADF 法进行单位根检验,计算结果如表 4 所示。

由表 4 可以看出总氮量与园地序列为 0 阶单整,其它序列均为 2 阶单整。

表 4 各变量 ADF 检验

变量	形式	原始序列			一阶差分序列			二阶差分序列			结论
		ADF 值	5%统 计量	10%统 计量	ADF 值	5%统 计量	10%统 计量	ADF 值	5%统 计量	10%统 计量	
总磷(TP)	(C,T,3)	-3.59	-3.88	-3.39	-3.30	-3.93	-3.42	-5.35	-4.11	-3.52	I(2)
总磷(TN)	(C,T,3)	-4.67	-3.79	-3.34							I(0)
生化需氧量(BOD)	(C,T,3)	-0.90	-3.79	-3.34	-3.34	-3.93	-3.42	-4.67	-4.11	-3.52	I(2)
化学需氧量(COD)	(C,T,3)	-2.61	-3.88	-3.39	-1.67	-3.93	-3.42	-7.79	-4.11	-3.52	I(2)
耕地(GENG)	(C,T,3)	-1.62	-3.79	-3.34	-3.28	-3.83	-3.36	-3.93	-3.93	-3.42	I(2)
城镇村工矿建设用地(CHENG)	(C,T,3)	-1.85	-3.79	-3.34	-3.28	-3.83	-3.36	-4.05	-3.93	-3.42	I(2)
有林地(LIN)	(C,T,3)	-2.69	-3.93	-3.42	-2.44	-3.83	-3.36	-4.98	-3.88	-3.39	I(2)
牧草地(MU)	(C,T,3)	-0.92	-3.79	-3.34	-2.56	-3.93	-3.42	-4.49	-3.38	-3.39	I(2)
园地(YUAN)	(C,T,3)	-5.60	-3.88	-3.39							I(0)
湿地(SHI)	(C,T,3)	-1.68	-3.79	-3.34	-3.72	-3.83	-3.36	-5.65	-3.88	-3.39	I(2)

注:C表示估计模型中含有常数项,T表示估计模型中含有时间趋势项,3表示估计模型的滞后阶。

4.1.2 协整检验 通过 Johansen 检验计算得到总磷(TP)、生化需氧量(BOD)、化学需氧量(COD)与城镇村工矿建设用地(CH)、耕地(GE)、有林地(LIN)、牧草地(MU)、湿地(SHI)、园地(YUAN)之间存在协整关系。其关系为:

TP=15.31CH+10.47GE-156.74MU-0.66 (1)
(5.06) (7.12) (-2.79)(-0.48)

$R^2=0.81,F=20.37,DW=2.21$

BOD=543.79CH-272.49GE+160.88LIN-194.24 (2)
(4.40) (-4.34) (2.91)(-3.77)

$R^2=0.62,F=6.96,DW=1.88$

COD=173.88CH-100.75G-4920.59SHI+41.88 (3)
(1.40) (-1.45) (1.44) (1.15)

$R^2=0.39,F=3.70,DW=2.29$

其中(1)(2)(3)式下括号内数为 *t* 值, *R*² 表示调整后的拟合优度,DW 为 durbin watson 检验值。可以得到在 5%显著性水平下 TP 和 BOD 与土地利用类型之间存在相关关系,城镇建设用地及独立工矿用地对总氮量的弹性为 15.31,即城镇建设用地每增加 666.7 m²,会对总氮量产生 15.31 mg/L 的正向影响,同理,耕地对总氮量弹性为 10.47,牧草地对总氮量弹性为 -156.74。城镇建设用地及独立工矿用地对 BOD 的

影响为 543.79,耕地对 BOD 的影响为 -272.49,有林地对 BOD 的影响为 160.88。在 20%显著性水平下 COD 与土地利用类型之间存在相关关系,城镇建设用地及独立工矿用地、耕地、湿地对 COD 的弹性分别为 173.88, -100.75 和 -4920.59。可以认为,城镇村工矿建设用地和耕地显著提高了流域总磷量的排放,然而牧草地显著减少了流域总磷量的影响;城镇村工矿建设用地及有林地显著提高了流域 BOD 的污染,而耕地有效地减少了流域 BOD 的污染;城镇村工矿建设用地显著提高了流域 COD 的排放,而耕地和湿地有效减少了 COD 的排放。

4.2 流域土地利用与水环境变化预测

采用马尔柯夫链分别预测 2015 年、2020 年、2025 年、2030 年 4 期土地利用状况后,采用模型(1),(2),(3)分别对滇池流域 TP,BOD,COD 进行预测,结果见表 5。

表 5 4 个时期水质污染状况预测 mg/L

年份	TP	BOD	COD
2015	0.084	2.744	6.25
2020	0.162	3.157	6.08
2025	0.303	2.341	7.02
2030	0.454	3.562	7.96

由以上预测可以看出,随着年份的增长,水质污染状况指标呈现持续恶化的趋势,主要原因是由于随着年份的增长,流域城镇村工矿建设用地所占比例不断扩大,而流域内耕地、有林地、牧草地、湿地等地类不断减少,导致了环境状况的持续恶化。

5 结论

通过对1974—2008年4个时期的分析,揭示了滇池流域近30 a土地利用/覆被变化情况以及这种变化对滇池水环境的影响。结果表明,滇池流域土地利用类型变化显著,土地利用对滇池水质有一定的影响。土地利用相互转化过程中,耕地、建设用地和其它地类的变化幅度较大,水域和林地变化不明显。其中,耕地转化为建设用地的面积为212.86 km²,其它地类转化为建设用地的面积为102.86 km²。各时间段中,1998—2008年研究期间的土地利用变化最大,同样表现为耕地的大量减少和建设用地的急剧增加。

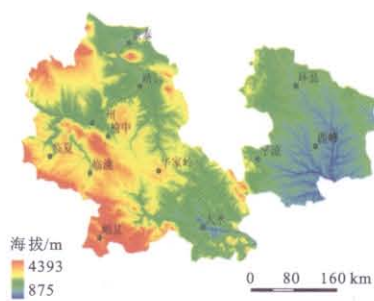
马尔柯夫模型预测结果表明,2015—2030年研究区内建设用地面积进一步增加,林地、水域和其它地类进一步减少,但减少的幅度在逐渐变小,耕地面积也继续减少。

通过单位根和协整检验可以看出土地利用类型的变化对滇池水环境变化具有明显的影响作用,在5%显著性水平下TP和BOD与土地利用类型之间存在相关关系,建设用地对总氮量的弹性为15.31,即城镇建设用地每增加0.067 hm²,会对总氮量产生15.31 mg/L的正向影响,耕地对总氮量弹性为10.47,牧草地对总氮量弹性为-156.74。建设用地对BOD的影响为543.79,耕地对BOD影响为-272.49,

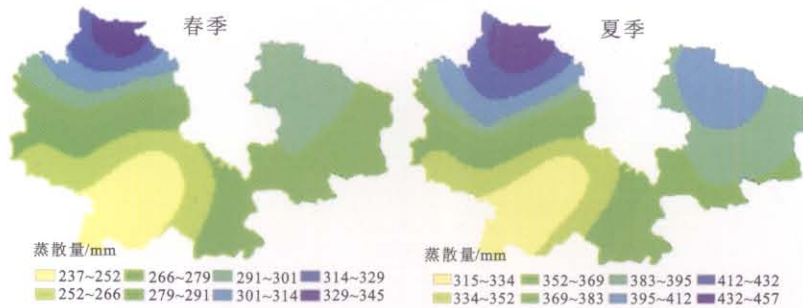
有林地对BOD影响为160.88。在20%显著性水平下COD与土地利用类型之间存在的相关关系,建设用地、耕地、湿地对COD的弹性分别为173.88, -100.75, -4920.59。可以认为,城镇村工矿建设用地和耕地显著提高了流域总磷量的排放,然而牧草地显著减少了流域总磷量的影响;城镇村工矿建设用地及有林地显著提高了流域BOD的污染,而耕地有效地减少了流域BOD的污染;城镇村工矿建设用地显著提高了流域COD的排放,而耕地和湿地有效减少了COD的排放。

参考文献:

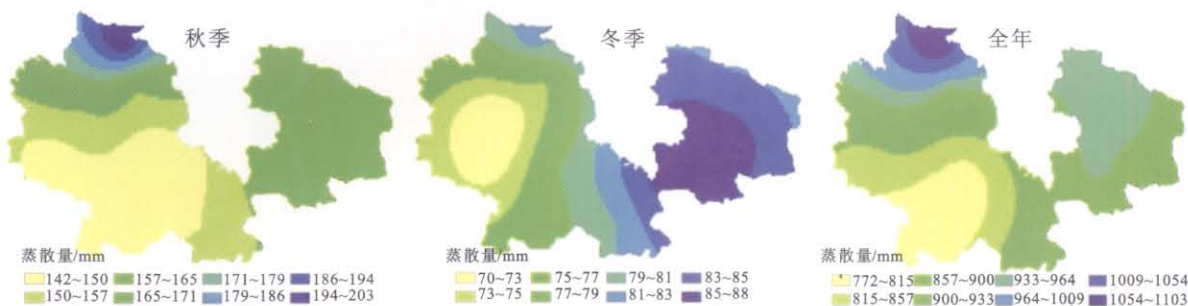
- [1] 张殿发,王世杰.土地利用/土地覆被变化对长江流域水环境的影响研究[J].地域研究与开发,2003,2(1):69-72.
- [2] 郭旭东,陈利顶.土地利用/土地覆被变化对区域生态环境的影响[J].环境科学进展,1999,12(6):66-75.
- [3] 赵米金,徐涛.土地利用/土地覆被变化环境效应研究[J].水土保持研究,2005,12(1):43-46.
- [4] 于兴修,杨桂山.典型流域土地利用/覆被变化及对水质的影响[J].长江流域资源与环境,2003,12(3):211-217.
- [5] 张婷,刘静玲,王雪梅.白洋淀水质时空变化及影响因子评价与分析[J].环境科学学报,2010,30(2):261-267.
- [6] 李文杰.梁子湖流域土地利用变化对流域水环境的影响[D].武汉:华中师范大学,2009.
- [7] 刘琼,欧名豪,彭晓英.基于马尔柯夫过程的区域土地利用结构预测研究[J].南京农业大学学报,2005,28(3):107-112.
- [8] 李子奈,叶阿忠.高等计量经济学[M].北京:高等教育出版社,2003.
- [9] 达莫达尔·N·古扎拉蒂.计量经济学基础[M].4版.北京:中国人民大学出版社,2005.



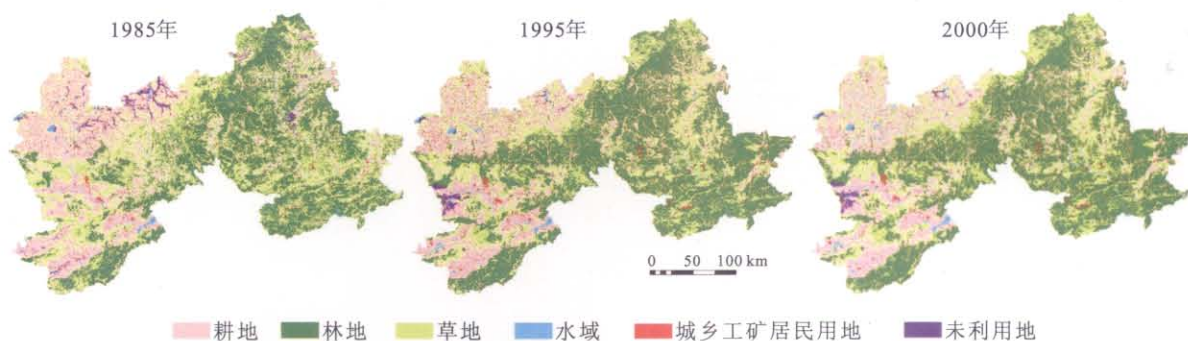
附图5 甘肃黄土高原区气象站点分布



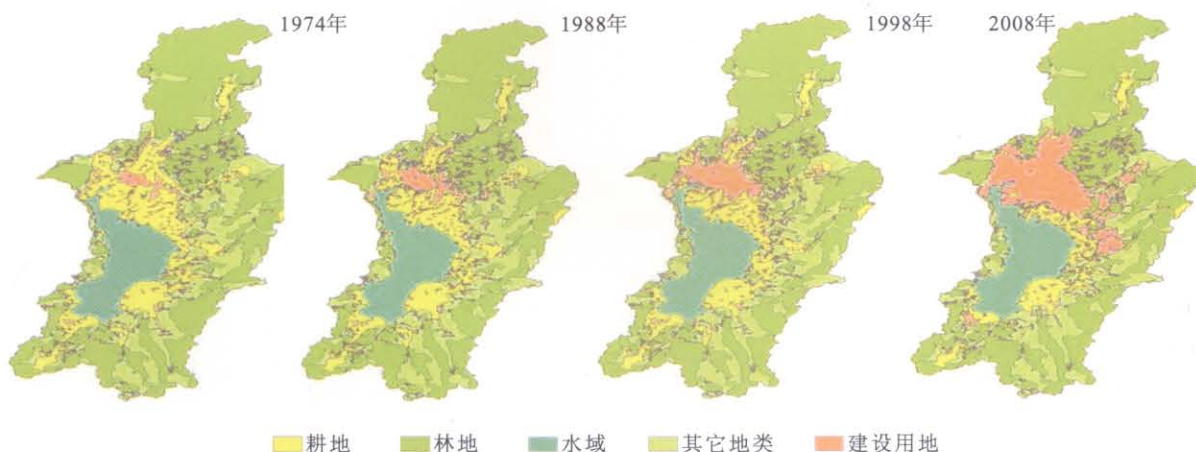
附图6 甘肃黄土高原春季和夏季平均潜在蒸散量的空间分布



附图7 甘肃黄土高原秋季、冬季以及全年平均潜在蒸散量的空间分布



附图8 不同年份冀北贫困带土地利用现状



附图9 1974—2008年滇池流域土地利用现状