

拉萨地区土地利用变化情景分析

除 多¹, 张镜铨^{2,3}, 郑 度²

(1. 西藏高原大气环境科学研究所, 拉萨 850000; 2. 中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101;
3. 中国科学院青藏高原研究所, 北京 100085)

摘要: 根据西藏拉萨地区 1990 年、1995 年和 2000 年 3 个时点的土地利用数据, 应用马尔科夫过程模型分析了未来 20 年内拉萨地区的土地利用情景变化, 并与 90 年代制定的拉萨地区土地利用规划面积进行了对比研究。研究结果: 1) 10 年间, 土地利用类型变化最广泛的是牧草地。变化方向主要由牧草地向耕地、园地、林地、居民点及水域转变, 其中变成林地的面积最大, 为 2338.25hm² (占变化面积的 94.093 %); 2) 拉萨地区未来 20 年中土地利用类型发展趋势是耕地、牧草地、水域和未利用土地面积将进一步减少, 林地、园地和居民点面积将进一步增加; 3) 土地利用规划面积与基于马尔科夫模型的土地利用变化情景分析结果比较吻合, 马尔科夫过程模型对制定该区域土地利用规划具有重要的参考价值; 4) 由于土地利用变化是一个复杂的过程, 不仅受到众多自然因素的影响, 而且受到未来土地利用政策、社会经济发展、区域内大型工程项目及其他人类活动等不确定因素的影响, 从而不同土地利用类型之间的转移概率会发生变化, 使得基于马尔科夫过程模型预测的精度有一定的局限性。

关键词: 土地利用变化; 情景分析; 马尔科夫模型; 拉萨地区

文章编号: 1000-0585 (2005) 06-0869-09

土地是人类活动的基础, 各种土地资源满足了人类的基本需求, 土地利用是土地资源的社会属性与自然属性的全面体现, 最能反映人类活动及其与自然环境要素之间的相互关系。预测未来土地利用的变化趋势对制定合理的土地利用规划具有重要的意义。马尔科夫过程模型是预测土地利用变换和情景分析的有效方法之一。国外如 Hulst 和 Lippe 等早在 1979 年和 1985 年就用马尔科夫过程模型来解决植被生态预测的问题^[1]。Qihao Weng 利用马尔科夫模型分析了中国珠江三角洲的土地利用变化^[2]。Erna Lopez 等用马尔科夫模型预测墨西哥莫雷利亚市城郊的土地利用变化^[3]。Michael R. Muller 等用马尔科夫模型分析了加拿大尼亚加拉河区域的土地利用变化^[4]。Hathout 利用马尔科夫模型分析和预测了加拿大温尼伯湖市城郊结合地带的土地利用变化趋势和城市化速度^[5]。Kiira Aarviksoo 基于马尔科夫模型分析和模拟了爱沙尼亚地区地表植被与土地利用的动态变化过程^[6]。王学雷等将马尔科夫模型应用于景观湿地的变化^[7]。赵庚星等用马尔科夫模型模拟了垦利县土地利用格局的变化^[8]。

马尔科夫模型包括单一马尔科夫链模型和时空的马尔科夫链 (spatio-temporal Markov chains, STMC) 模型。前者表现为静止或时间均一的, 这种模型仅当系统具有时间不变的转移概率和不变的状态或类别才是可用的, 所以对于土地利用变化是不适宜的。后者则尝试

收稿日期: 2005-01-18; 修订日期: 2005-05-24

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (40361001, 90202012)、国家重点基础研究发展计划 (2005CB422006) 和中国科学院知识创新项目 (KZCX3-SW-339) 资助。

作者简介: 除多 (1969-), 男, 西藏白朗县人, 博士, 高级工程师。主要从事环境遥感与 GIS 应用。

通讯作者: 张镜铨, 研究员, 博士生导师。E-mail: zhangyl@igsnrr.ac.cn

将空间维引入模型，将每一点单独通过马尔科夫链，解释它的位置，形成了每一时间步骤的状态空间图。转移概率用复合因子赋予权重，业已证实，空间零阶 STMC 模型在一定条件下具有遍历态分布。模拟显示，较高空间阶的 STMC 模型也具有遍历态分布^[9,10]。

本文根据西藏拉萨地区 1990 年、1995 年和 2000 年 3 期的土地利用现状数据，利用马尔科夫过程模型进行了未来 20 年内拉萨地区土地利用变化的情景分析，研究结果可为拉萨地区土地利用规划与生态环境保护提供重要的科学依据。

1 研究区域概况

拉萨地区位于青藏高原中部稍偏东南，雅鲁藏布江中游北部及其支流拉萨河流域，地理位置为北纬 29°14'26" ~ 31°03'45"，东经 89°45'9" ~ 92°37'16"，南北纬差为 1°49'19"，距离为 202.53km，东西经差 2°52'07"，距离为 276.43km，总土地面积 29426.96km²，包括达孜县、曲水县、堆龙德庆县、尼木县、当雄县、林周县、墨竹工卡县、城关区八个县(区)。拉萨地区地形地貌的基本特征是山峦重叠，山高坡陡，沟谷纵横，沟深谷狭。具体表现为西部高、东部低，北部高、南部低；境内水系多，水源丰富，流域范围大；雅鲁藏布江在本地区内及拉萨河下游河段海拔均低于 4000 m。拉萨地区是由高山深谷相间组合并呈西北 - 东南向微微倾斜的巨大立体块体。拉萨地区属于高原温带半干旱季风气候区，主要特点是：太阳辐射强，日照时间长；常年气温偏低，四季不分明；日温差大，年温差小，干湿季分明，干季多大风；夜雨率高，年降水量小；年蒸发量大^[11-16]。

2 数据来源

文中 1990 年、1995 年和 2000 年三期的土地利用现状数据是来自 1990 年至 2000 年开展的西藏“一江两河”中部流域地区环境遥感动态监测第一期^[17]和二期项目的成果。

3 情景分析方法

马尔科夫过程是一种具有“无后效性”的特殊随机运动过程。一个运动系统在 t + 1 时刻的状态和 t 时刻的状态有关，而与以前的状态无关。这一点用于土地利用变化的预测是适合的。成功地应用马尔科夫模型的关键在于转移概率的确定^[18]。

马尔科夫转移矩阵模型对分析土地利用类型之间的转化具有重要意义。通过马尔科夫转移矩阵，不仅可以定量说明土地利用类型之间的相互转化状况，而且可以揭示不同土地利用类型之间的转移速率，从而可以更好地了解土地利用格局的时空演变过程。

P_{ij} 为土地利用类型 i 转化为土地利用类型 j 的转移概率。转移矩阵的每一项元素需满足以下条件：

$0 \leq P_{ij} \leq 1$ ，即各元素为非负值； $\sum_{j=1}^n P_{ij} = 1$ ，即每行元素之和为 1。

$$P = \begin{bmatrix} p_{11} & p_{12} & p_{13} & \dots & p_{1n} \\ p_{21} & p_{22} & p_{23} & \dots & p_{2n} \\ p_{31} & p_{32} & p_{33} & \dots & p_{3n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ p_{n1} & p_{n2} & p_{n3} & \dots & p_{nn} \end{bmatrix}$$

除多，等. 西藏自治区“一江两河”中部流域综合开发区遥感动态监测项目第二期技术报告. 拉萨，2002.

计算转移概率矩阵的过程是根据某一时段内土地利用类型的面积变化矩阵，求出以年为单位，计算出年平均土地利用类型面积变化矩阵，再由该矩阵求出年平均土地利用类型转移概率。例如 1990 年的土地利用图上某块耕地到 1995 年部分变成牧草地、林地和居民点及工矿用地，后者除以年数（ $n = 5$ ），即为其年平均面积转移概率，再由该矩阵计算总研究区面积中耕地、牧草地、林地的转移概率矩阵。本研究使用的土地利用时点是 1990 年、1995 年和 2000 年，由于时间间隔都为 5 年，所以直接利用 5 年时段的土地利用面积矩阵来计算概率矩阵即可。

4 结果分析

4.1 拉萨地区 2000 年土地利用现状特点

根据西藏“一江两河”中部流域地区环境遥感动态监测项目土地利用现状调查表明，拉萨地区的耕地面积较小，在八大土地利用类型中列为第五位，面积是 70022.10hm²，占土地总面积的 2.371%（表 1）。在农、林、牧三个土地利用类型中，耕地也远小于牧业和林业的用地面积。但是，耕地中投入的人力、物力却远远大于牧草地和林地，耕地的单位面积经济效益也远远大于牧草和林地，历来是拉萨地区土地利用的主要方面之一。除北部海拔较高的纯牧区当雄县之外，其他七个县（区）均有耕地分布。拉萨地区的园地面积仅为 176.05hm²，在土地利用类型中是面积最小的一种类型，主要分布在人口集中、交通方便的河谷地区，其分布特点是从中部向两翼逐渐减少，在拉萨市郊最为集中。拉萨地区由于受到自然条件的限制，林地面积不大，为 108856.50hm²，其面积位居第四位，包括有林地、灌木林地、疏林地、未成林造林地、苗圃等五个二级类型。牧草地是拉萨地区土地利用类型中分布最广，面积最大的一类，面积是 2110843.00hm²，占土地总面积的 71.484%，包括所有天然草地、改良草地和人工草地。居民点及工矿用地 8935.40hm²，占整个土地总面积的 0.303%，其中农村居民点的面积最大，为 41.48%。交通用地的面积较小，总面积为 580.34hm²，为总土地面积的 0.020%，其面积仅次于园地，位居第七位。水域面积为 155079.90hm²，占总土地面积的 5.252%。未利用土地面积 498396.90hm²，是土地利用类型中面积较大的一类，仅次于牧草地面积而位居第二位，并分布范围十分广泛，不管是农区还是牧区都有这类土地利用类型分布。

表 1 拉萨地区 2000 年土地利用现状（单位：hm²）

Tab 1 Land use status in 2000 in Lhasa district, Tibet (unit: hm²)

类型	耕地	园地	林地	牧草地	居民点	交通用地	水域	未利用土地	总面积
面积	70022.10	176.05	108856.50	2110843.00	8935.40	580.34	155079.90	498396.90	2952890.2
比重(%)	2.371	0.006	3.686	71.484	0.303	0.020	5.252	16.878	100.000

4.2 拉萨地区 1990 年至 2000 年土地利用变化

由表 2 可知，10 年中耕地变成林地的面积最大，为 186.53 hm²，占耕地变成其他类型的 54.857%，变成居民点的占 38.247%，面积为 130.05hm²，其他有少量的变成了牧草地和水域。类型变化比较广泛的是牧草地，牧草地变成耕地、园地、林地、居民点及水域，其中牧草地变成林地的面积最大，为 2338.25 hm²，占变化面积的 94.093%，这与这一期间实施的旨在改变区域生态环境的西藏“一江两河”中部流域综合开发建设等人类活动直接相关。

表 2 拉萨地区 1990 年至 2000 年土地利用类型变化转移矩阵 (单位: hm^2)

Tab 2 Transition matrix of Land use changes from 1999 to 2000 in Lhasa district, Tibet (unit: hm^2)

类型	耕地	园地	林地	牧草地	居民点	交通用地	水域	未利用土地	总面积
耕地	69934.72		186.53	19.71	130.05		3.73		70274.76
园地		165.74							165.74
林地			106067.79	3.59	71.66				106143.04
牧草地	84.00	10.31	2338.25	2110817.49	47.59		4.91		2113302.54
居民点			4.69	0.34	8672.93				8677.95
交通用地						580.34			580.34
水域	3.37		243.13	2.15	12.42		155071.31		155332.38
未利用土地			16.13		0.75			498396.90	498413.78
总面积	70022.10	176.05	108856.51	2110843.28	8935.40	580.34	155079.95	498396.90	2952890.52

4.3 2000 年土地利用面积预测及检验

拉萨地区有 1990 年、1995 年和 2000 年共三期的土地利用数据。为了检验马尔科夫过程在土地利用预测方面的有效性,以 1995 年的土地利用现状为初始状态矩阵,根据 1990 年至 1995 年的土地利用转移概率矩阵(表 4)模拟了 2000 年的土地利用类型面积(表 3)。结果表明,2000 年模拟值与实际值中,园地误差百分比最大(绝对值为 5.86%),其次就是居民点及工矿用地(为 1.62%),其他类型都小于 1%。

表 3 拉萨地区 2000 年土地利用预测值误差分析 (单位: hm^2)

Tab 3 Difference analysis of predicted area of land use change for 2000 in Lhasa district (unit: hm^2)

类型		耕地	园地	林地	牧草地	居民点	交通用地	水域	未利用土地
初始值	1995 年	70017.19	165.74	107589.20	2111927	8879.19	580.34	155326.00	498405.60
	2000 年	70022.10	176.05	108856.50	2110843	8935.40	580.34	155079.90	498396.90
预测值	2000 年	69760.60	165.74	109033.60	2110553	9080.36	580.34	155319.60	498397.40
误差	差值	-261.50	-10.31	177.10	-290.00	144.96	0	239.70	0.50
	%	-0.37	-5.86	0.16	-0.01	1.62	0.00	0.15	0.00

对预测的结果可以利用卡方检验方法进行检验,结果如下:

$$\chi^2 = \frac{(\sum \frac{Y_{ij} - Y_{ij}^e}{Y_{ij}^e})^2}{y} = 10.68$$

在显著水平 $\alpha = 0.05$, 自由度为 7 的情况下,查 χ^2 分布的临界值分别是:

$\chi^2_{1-\frac{\alpha}{2}} = 1.237$ 和 $\chi^2_{\frac{\alpha}{2}} = 16.013$, 因为 $\chi^2_{1-\frac{\alpha}{2}} = 1.237 < \chi^2 < \chi^2_{\frac{\alpha}{2}} = 16.013$, 所以用马尔科夫过程来预测土地利用变化是可行。

4.4 2000 年以后的土地利用面积预测

为了预测 2000 年以后拉萨地区土地利用类型面积变化,根据 1990~1995 年、1995~2000 年两个时段的转移概率矩阵(表 4,表 5),求出这两期土地利用类型的多年加权转移概率矩阵,该矩阵即为初始状态的转移概率矩阵 $M^{(0)}$,其计算公式如下:

$$M^{(0)} = (n_1 \times M_1 + n_2 \times M_2) / (n_1 + n_2)$$

其中, $M^{(0)}$ 为初始矩阵, M_1 和 M_2 分别是 1990 年至 1995 年和 1995 年至 2000 年土地利用类型转移概率矩阵, n_1 和 n_2 为土地利用数据的间隔时间,各为 5 年,求出初始转移概率矩阵(表 6)。

表 4 1990 年至 1995 年拉萨地区土地利用转移概率矩阵（单位：%）

Tab 4 Transition probability matrix of land use change from 1990 to 1995 in Lhasa district (unit : %)

类型	耕地	园地	林地	牧草地	居民点	交通用地	水域	未利用土地
耕地	99. 6205		0. 1766	0. 0174	0. 1801		0. 0053	
园地		100. 0000						
林地			99. 9678		0. 0322			
牧草地	0. 0004		0. 0630	99. 9343	0. 0020		0. 0002	
居民点			0. 0211		99. 9789			
交通用地						100. 0000		
水域			0. 0097				99. 9903	
未利用土地			0. 0015		0. 0002			99. 9984

表 5 1995 年至 2000 年拉萨地区土地利用转移概率矩阵（单位：%）

Tab 5 Transition probability matrix of land use change from 1995 to 2000 in Lhasa district (unit : %)

类型	耕地	园地	林地	牧草地	居民点	交通用地	水域	未利用土地
耕地	99. 8952		0. 0892	0. 0107	0. 0050			
园地		100. 0000						
林地			99. 9619	0. 0033	0. 0348			
牧草地	0. 0035	0. 0005	0. 0476	99. 9480	0. 0003			
居民点			0. 0322	0. 0038	99. 9640			
交通用地						100. 0000		
水域	0. 0022		0. 1469	0. 0014	0. 0080		99. 8416	
未利用土地			0. 002					99. 998

表 6 初始转移概率矩阵（单位：%）

Tab 6 Primary transition probability matrix of land use change in Lhasa district (unit : %)

类型	耕地	园地	林地	牧草地	居民点	交通用地	水域	未利用土地
耕地	99. 7579		0. 1329	0. 0140	0. 0925		0. 0027	
园地		100. 0000						
林地			99. 9648	0. 0017	0. 0335			
牧草地	0. 0020	0. 0002	0. 0553	99. 9412	0. 0011		0. 0001	
居民点			0. 0266	0. 0019	99. 9715			
交通用地						100. 0000		
水域	0. 0011		0. 0783	0. 0007	0. 0040		99. 9160	
未利用土地			0. 0016		0. 0001			99. 9983

将表 6 作为初始转移概率矩阵，2000 年的土地利用类型面积作为初始状态矩阵，以每 5 年为单位，利用马尔科夫过程模型预测了 2005 至 2020 年（以 5 年为时间间隔）的土地利用类型面积变化趋势（表 7）。

预测表明：拉萨地区未来的土地利用类型发展趋势是耕地、牧草地、水域和未利用土地将进一步减少；林地、园地和居民点面积将进一步增加。2000 年至 2020 年 20 年期间，在不同类型的土地利用类型中牧草地减少幅度最大，达 0. 6135 万 hm²，其次就是水域和耕地面积，各将减少近 0. 0630 万 hm²，另外，未利用土地将减少 42. 20hm²；在面积增加

方面，林地的增幅最大，将达 0. 6759 万 hm^2 ，其次就是居民点及工矿用地，增加的面积近 0. 0650 万 hm^2 ；最后就是园地将有一定面积的增加，增幅面为 25. 74 hm^2 。耕地、林地、牧草和水域面积变化趋势见图 1~4。

表 7 2005 年至 2020 年拉萨地区土地利用类型面积预测值 (单位： hm^2)

Tab 7 Predicted area of land use change from 2005 to 2020 using Markov model (unit : hm^2)								
类型	耕地	园地	林地	牧草地	居民点	交通过地	水域	未利用土地
2005 年	69896. 23	181. 21	110211. 10	2109615	9064. 48	580. 34	154953. 90	498388. 50
2010 年	69770. 63	186. 36	111564. 40	2108387	9193. 84	580. 34	154828. 00	498380. 00
2015 年	69645. 31	191. 50	112916. 30	2107160	9323. 48	580. 34	154702. 20	498371. 60
2020 年	69395. 50	201. 79	115615. 90	2104708	9583. 61	580. 34	154450. 90	498354. 70

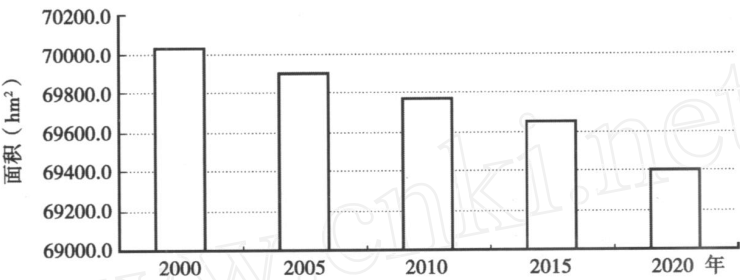


图 1 拉萨地区 2000 年至 2020 年耕地面积发展趋势 (单位： hm^2)

anging trend of cultivated land area from 2000 to 2020 in Lhasa district (unit : hm^2)

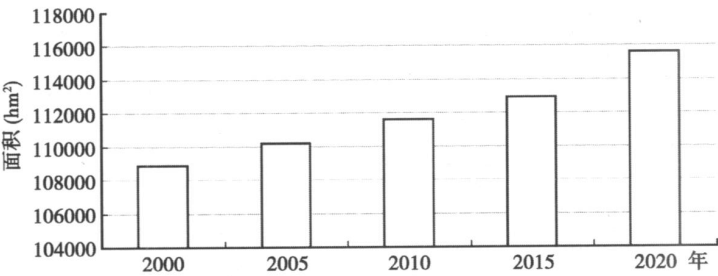
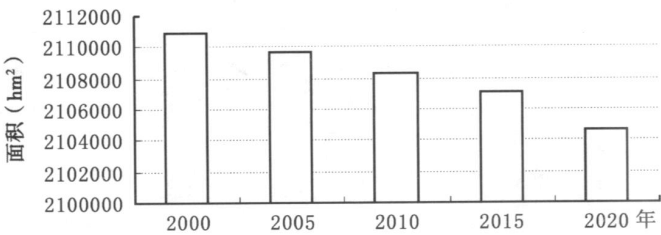


图 2 拉萨地区 2000 年至 2020 年林地面积发展趋势 (单位： hm^2)

anging trend of forest land area from 2000 to 2020 in Lhasa district (unit : hm^2)



拉萨地区 2000 年至 2020 年牧草地的面积发展趋势 (单位： hm^2)

anging trend of grassland area from 2000 to 2020 in Lhasa district (unit : hm^2)

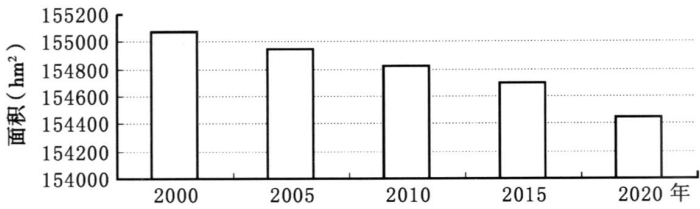


图 4 拉萨地区 2000 年至 2020 年水域的面积发展趋势 (单位: hm^2)
nging trend of water body area from 2000 to 2020 in Lhasa district (unit: hm^2)

4.5 土地利用规划面积与基于马尔科夫过程模型的情景分析结果对比

为了全面合理保护和利用每一寸基本农田, 根据: (1) 短期利益与长期利益, 局部利益和整体利益兼顾; (2) 经济效益, 生态效益, 社会效益相统一; (3) 因地制宜, 分级指导和宏观控制相结合; (4) 保护和利用并重, 开发与整治并举; (5) 同时统筹兼顾, 全面安排, 积极保护的原则, 于 1998 年 7 月西藏自治区政府制定了西藏自治区土地利用总体规划部门规划 (1997~2010 年)^[19], 规划面积见表 8。

2000 年土地利用现状与 1998 年制定的规划比较得出: 2000 年的耕地面积比 2000 年规划面积多出了 14022.10hm^2 , 这主要是土地利用现状面积中未按非耕地系数扣除相应面积, 该面积实际为土地的毛面积; 2000 年林地面积比规划面

表 8 拉萨土地利用规划面积 (单位: 10^4hm^2)
Tab 8 Land use plan area by Tibet Autonomous Region (TAR) government in 1998 (unit: 10^4hm^2)

	耕地	林地	牧草地
2000 年	5.60	10.54	216.50
2010 年	5.55	11.14	230.50

积多出了 3456.5hm^2 , 这与 1991 年至 2000 年实施的西藏“一江两河”地区综合开发建设直接有关, 该项目的目的之一是通过兴修水利、改造中低产田、改造草场和植树造林等生物技术工程措施, 使作为自治区腹心和粮食重要产区的“一江两河”地区的农业生产有一个稳固、坚实的基础和良好的生态屏障; 2000 年的牧草地现状比规划面积少了 54156.72hm^2 。

规划面积与马尔科夫情景分析的结果对比分析得出: 基于马尔科夫过程模型的 2010 年的耕地变化的情景比规划面积大 14270.63hm^2 , 即大 25.71%; 林地的情景变化比林地规划面积大 164.4hm^2 , 即大 0.15%; 牧草地的规划面积比马尔科夫预测值小 8.53%。可见, 马尔科夫过程模型来预测土地利用的面积及趋势是可行的, 特别是基于马尔科夫模型的林地面积变化的情景分析结果与规划面积吻合, 误差仅为 0.15%。所以, 基于马尔科夫过程模型的区域土地利用情景分析对制定合理的土地利用规划将具有重要的意义。

5 结论

(1) 1990~2000 年 10 年间, 拉萨地区耕地变成林地的面积为 186.53hm^2 (占耕地类变化面积的 54.857%), 变成居民点面积为 130.05hm^2 (占 38.247%), 其他有少量的变成了牧草地和水域。

(2) 10 年间土地利用类型变化最广泛的是牧草地。土地利用类型转化主要表现为由牧草地向耕地、园地、林地、居民点及水域转化, 其中牧草地变成林地的面积最大, 为 2338.25hm^2 (占变化面积的 94.093%), 这与旨在改变区域生态环境的西藏“一江两河”

中部流域综合开发建设等人类活动直接相关。10 年来, 大面积植树造林和农田防护林等生物工程措施的实施, 已经通过改变区域地表植被状况、土地覆被状况、控制水土流失作用等方面显出效果。

(3) 马尔科夫随机过程预测表明: 拉萨地区未来 20 年中土地利用类型发展趋势是耕地、牧草地、水域和未利用土地面积将进一步减少, 林地、园地和居民点面积将进一步增加。

(4) 由于马尔科夫过程模型是利用过去土地利用类型之间转移的概率来模拟分析未来的变化趋势, 然而土地利用变化是一个复杂的过程, 它不仅受到如全球气候变化、自然灾害等许多自然因素的影响, 而且受到未来土地利用政策、社会经济发展、各种政策、法规及区域内大型工程项目及其他人类活动等不确定因素的影响, 从而不同土地利用类型之间的转移概率会发生变化, 使得基于马尔科夫过程模型预测的精度有一定的局限性。

(5) 土地利用规划面积与基于马尔科夫模型的土地利用变化情景分析结果比较吻合, 基于马尔科夫过程模型的未來土地利用变化情景分析对制定合理的区域土地利用规划具有重要的参考价值。

参考文献:

- [1] Hulst R. On the dynamics of vegetation: Markov chains as models of succession. *Vegetation*, 1997, 40: 3 ~ 14.
- [2] Qihao Weng. Land use change analysis in the Zhujiang Delta of China using satellite remote sensing, GIS and stochastic modeling. *Journal of Environmental Management*, 2002, 64: 273 ~ 284.
- [3] Erna Lopez, *et al.* Predicting land-cover and land-use change in the urban fringe: A case in Morelia city, Mexico. *Landscape and Urban Planning*, 2001, 55: 271 ~ 285.
- [4] Michael R Muller, *et al.* A Markov model of land-use change dynamics in the Niagara Region, Ontario, Canada. *Landscape Ecology*, 1994, 9(2): 151 ~ 157.
- [5] Hathout S. The use of GIS for monitoring and predicting urban growth in East and West St Paul, Winnipeg, Manitoba, Canada. *Journal of Environmental Management*, 2002, 66: 229 ~ 238.
- [6] Kiira Aaviksoo. Simulating vegetation dynamics and land use in mire landscape using a Markov model. *Landscape and Urban Planning*, 1995, 31: 129 ~ 142.
- [7] 王学雷, 吴宜进. 马尔科夫模型在四湖地区湿地景观变化研究中的应用. *华中农业大学学报*, 2002, 21(3): 288 ~ 291.
- [8] 赵庚星, 等. GIS 支持下的马尔科夫链模型模拟垦利县土地利用空间格局变化. *山东农业大学学报*, 1999, 30(4): 345 ~ 349.
- [9] 李双成. 植物响应气候变化模型模拟研究进展. *地理科学进展*, 2001, 20(3): 217 ~ 226.
- [10] 王纪军, 等. 气候变化对森林演替的影响. *应用生态学报*, 2004, 15(10): 1722 ~ 1730.
- [11] 西藏自治区拉萨市农牧局. 西藏拉萨土地资源. 北京: 中国农业科技出版社, 1991. 3 ~ 25.
- [12] 林日暖, 等. 西藏拉萨市农业气候资源. 北京: 气象出版社, 2001. 1 ~ 50.
- [13] 拉萨市农牧局. 西藏自治区拉萨市土地利用(油印本). 1990. 11.
- [14] 郑度. 青藏高原对中国西部自然环境地域分异的效应. *第四纪研究*, 2001, 21(6): 484 ~ 489.
- [15] 张锦锬, 李秀彬, 等. 拉萨城市用地变化分析. *地理学报*, 2000, 55(4): 395 ~ 406.
- [16] 李利锋, 郑度. 区域可持续发展评价—以拉萨地区为例. *地理研究*, 2004, 23(4): 549 ~ 558.
- [17] 张增祥, 徐多, 等. 西藏自治区中部地区资源环境遥感监测与综合评价研究. 北京: 宇航出版社, 1998. 72 ~ 77.
- [18] 叶庆华. 黄河三角洲土地利用/土地覆被变化的时空复合模式研究. 中国科学院地理研究所博士学位论文, 2001. 77 ~ 88.
- [19] 西藏自治区政府. 西藏自治区土地利用总体规划部门规划(1997 ~ 2010 年)(油印本). 1998. 10 ~ 47.

Land use change scenario in Lhasa district using Markov chain model

CHU Duo¹, ZHANG Yi-li^{2,3}, ZHENG Du²

(1. Tibet Institute of Plateau Atmospheric and Environmental Sciences, Lhasa 850000, China;

2. Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, CAS, Beijing 100101, China;

3. Institute of Tibetan Plateau Research, CAS, Beijing 100085, China)

Abstract: Markov model was used to represent the land-use change data for several reasons. Firstly, land use change is not unidirectional in nature. A given parcel of land theoretically may change from one category of land-use to any other at any time. Markovian analysis uses matrices that represent all the multi-directional land-use changes between all the mutually exclusive land-use categories. Land use changes and scenarios in Lhasa district were analyzed in this paper using Markov model. The main conclusions are as follows:

(1) Land use changes in Lhasa district during the last ten years were related to this period's integrated agricultural development project. In 10 years from 1990 to 2000, 186.53 ha of cultivated land were converted into forest land, accounting for 54.857% of the total cultivated land area converting into the other land use categories; and 130.05 ha were converted into residential area, being 38.247%. The remaining limited area was converted into the other land use categories such as rangeland and water body.

(2) The most extensive changes of land use from 1990 to 2000 in Lhasa district was rangeland conversion. Rangeland was converted into cultivated land, horticultural land, forestland, residential area and water body. Among them, 2333.33 ha of forestland were converted from rangeland, or 94.093%, the largest of all in area. These land use changes were related directly to the integrated development and construction project carried out in the central Tibetan Plateau in the mid 1990s. Because of the implementation of biological and engineering measures consisting of large scale of forestation and construction of field safeguarding forest, since the 1990s, remarkable effects in soil erosion control have been obtained through improving surface vegetation and land cover conditions.

(3) Markov chain model prediction indicated that the general trends of land use changes, in Lhasa district in future were that cultivated land, rangeland, water body and unused land will decrease and forest, horticultural land and residential area will increase.

(4) It should be pointed out that since there are many factors impacting land use changes, in particular in a short period of time, policies, regulations, important regional projects and human activities and other uncertain factors will affect regional land use changes, hence causing certain errors in prediction accuracy of land use changes in Lhasa district.

(5) The simulated areas of land use changes in the future in Lhasa district by Markov mode are very close to the planning areas of land use changes of Tibet, therefore, land use change scenario based on the Markov model has an important value for making land use plan.

Key words: land use change; scenario analysis; Lhasa district; Markov chain model