

# 基于马尔科夫模型的吐鲁番市土地覆被动态变化研究

何宝忠<sup>1,2</sup>, 高敏华<sup>1,2</sup>, 赵军安<sup>1</sup>

(1. 新疆大学 资源与环境科学学院, 乌鲁木齐 830046; 2. 新疆大学 绿洲生态教育部重点实验室, 乌鲁木齐 830046)

**摘要:**以吐鲁番市 1990 年 TM 影像解译数据和 2005 年、2011 年的土地利用图为数据源,通过建立马尔科夫模型来预测该地区土地覆被变化情况。马尔科夫模型的预测精度与模拟步长密切相关,因此,首先以 1990 年为基础年,基于不同的模拟步长,预测 2005 年的各地类面积,并与其实际面积相比较,找出最佳模拟步长。其次,用该最佳步长预测 2011 年以后的土地覆被变化,由此分析该地区土地利用程度和土地利用空间变化动态度。研究表明:(1) 未利用地和草地相互转换数量较大;(2) 2005 年后耕地减少较为迅速,供需矛盾日益突出,基本没有实现耕地占补平衡;(3) 在 21 年间水体减少近 6 000 hm<sup>2</sup>,很可能与全球气候变暖有关;(4) 由于建设用地和园地的变化而使得土地利用程度逐年提高,说明经济的发展是土地覆被变化的重要因素;(5) 人为因素是土地覆被变化的主要原因,人们正采取越来越有力的手段影响着土地覆被变化。基于上述结论,文章提出了相应建议。

**关键词:**土地覆被; 马尔科夫模型; 土地利用程度; 空间变化动态度

中图分类号:F301.24

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2014)05-0041-08

## Dynamic Changes of Land Cover Based on Markov Model in Turpan City

HE Bao-zhong<sup>1,2</sup>, GAO Min-hua<sup>1,2</sup>, ZHAO Jun-an<sup>1</sup>

(1. College of Resources and Environmental Science, Xinjiang University, Urumqi 830046, China; 2. Key laboratory of Oasis Ecology, Ministry of Education, Urumqi 830046, China)

**Abstract:** The land-cover data obtained from the TM remote sensing images of 1990 as well as land-use map of 2005, 2011 were used in Turpan to set up a Markov model for predicting changes of land-cover. Given the accuracy of prediction in Markov model is closely related to its simulated step, therefore, firstly, 1990 was taken as initial year to predict various areas of land-cover on different classes in 2005, and the optimal simulated step was found out by comparing the minimum difference between the simulate and actual areas of land-cover. Secondly, the changes of land-cover in 2011 was predicted by taking the optimal simulated step in Markov model, then the land use degree and land use space change dynamic were analyzed based on this. Results could be summarized as: (1) the areas of transform between unutilized land and grassland are enormous; (2) the cultivated land decreased quickly since 2005, which indicated that the contradiction between supplement and demand was being increased, and also meant that the balance of the cultivated occupation and supplement had not implemented; (3) nearly 6 000 hectares of water disappeared in 21 years which was largely probably associated with global warming; (4) because the change of construction land and garden plot made the land use degree increase year by year, it exhibited that the development of economy was an important factor resulting in the changes of land cover; (5) anthropic factor was a major reason which led to the changes of land-cover, people were taking more and more powerful means to affect the land cover change. Therefore, some appropriate proposals were also offered according to the above results.

**Key words:** land cover; Markov model; land use degree; dynamic space change

自从 1986 年国际科学理事会提出国际地圈与生物圈计划 (IGBP) 和全球变化人文计划 (IHDP) 于

1995 年共同拟定并发表了《土地利用/土地覆被变化科学研究计划》以来,世界各国广泛开展了对 LUCC

的研究。诸多研究均表明:土地质量退化、空气污染、水质恶化等生态环境问题的出现总是与不合理的土地利用联系在一起,而土地利用合理往往会促使区域生态环境向适应人类需求的良性方向发展<sup>[1]</sup>。国内外有很多基于区域尺度的 LUCC 研究取得了许多成果<sup>[2-5]</sup>,其能够在时间和空间上较好地反映出研究区域生态环境变化,为区域生态、经济的可持续发展提供重要的理论依据<sup>[6]</sup>,基于 RS、GIS 技术在 LUCC 方面研究的应用也颇多<sup>[7]</sup>,吐鲁番市十分特殊的自然环境与交通枢纽战略地位、丰富的矿产资源和旅游资源使得研究吐鲁番市土地覆被时间序列变化尤其重要。以前已有过研究吐鲁番市土地利用或土地覆被的内容,但研究方法和侧重点不同<sup>[8-10]</sup>,这些研究内容较少地预测了吐鲁番市未来土地覆被的发展变化,加之以前很多文献应用马尔科夫模型对模拟的步长考虑较少,只是单纯的以 1 年或以抵达年为预测步长<sup>[11-13]</sup>,这直接影响了预测的精度,因此本文采用 1990—2011 年较长地数据序列和利用马尔科夫模型求得的最优模拟步长来研究和预测吐鲁番市土地覆被变化,并分析吐鲁番市土地利用程度和土地利用空间变化动态,考虑到单一土地利用动态和综合土地利用动态的缺点,引入单一土地覆被空间变化动态和综合土地覆被空间变化动态<sup>[14]</sup>。

## 1 研究区概况

吐鲁番市位于新疆维吾尔自治区东部,地处天山中东部主峰博格达山南麓,吐鲁番盆地中心。东西宽 90 km,南北长 262 km,地势南北高,中间低。地理坐标:东经 88°29′28″—89°54′33″,北纬 42°15′10″—43°35′,

土地总面积 13 589 km<sup>2</sup>。东临哈密,西、南与巴音郭楞蒙古自治州的和静、和硕、尉犁、若羌县毗连,北隔天山与乌鲁木齐市及昌吉回族自治州的奇台、吉木萨尔、木垒县相接。距新疆维吾尔自治区首府乌鲁木齐市 183 km。吐鲁番属于典型的大陆性暖温带荒漠气候,日照充足,热量丰富但又极端干燥,降雨稀少且大风频繁,故有“火洲”、“风库”之称,自然环境十分特殊。国家“一主两翼”大煤运铁路线和西气东输二线的投入运营,交通枢纽战略地位更加突出。旅游资源极为丰富,是享誉世界的优秀旅游胜地。

## 2 数据来源与研究方法

### 2.1 基于现状土地利用图和遥感影像的土地利用变化转移矩阵

采用获得的 1990 年吐鲁番市 TM 影像和 2005 年、2011 年土地利用现状图,运用 ENVI 来对 1990 年的影像进行几何校正、裁剪、辐射校正、波段合成、影像解译等操作步骤,在影像解译时依据《土地利用现状调查技术规程》解译为耕地、园地、有林地、草地、水体、建设用地、未利用地、裸地、沙地、盐碱地、灌木林、坑塘水面、永久性冰雪、内陆滩涂 14 类,为了讨论方便,经过在 ArcGIS 中进行后期处理,把相关地类融合为耕地、园地、林地、草地、建设用地、水体、未利用地 7 大类。经过影像解译精度评估,Kappa 系数为 80.34%,解译效果较好。把影像解译结果转为矢量格式数据导入到 ArcGIS 软件中进一步对误判的地物进行属性修正,获得 1990 年土地利用图,结合 2005 年和 2011 年土地利用现状图,导出土地利用转移矩阵(见表 1、表 2、表 3)。

表 1 吐鲁番市 1990 年、2005 年、2011 年土地覆被类型面积变化状况

时间	草地	耕地	建设用地	林地	水体	未利用地	园地
1990 年	287412.15 (21.05)	16506.26 (1.21)	7400.21 (0.54)	22523.05 (1.65)	19240.87 (1.41)	992103.05 (72.67)	19992.33 (1.46)
2005 年	282446.35 (20.69)	20536.64 (1.50)	10412.60 (0.76)	23680.61 (1.73)	12679.57 (0.93)	991985.84 (72.66)	23436.30 (1.72)
1990—2005	-4965.80	+4030.38	+3012.39	+1157.56	-6561.30	-117.21	+3443.97
2005 年	282446.35	20536.64	10412.60	23680.61	12679.57	991985.84	23436.30
2011 年	292979.05 (21.46)	19770.26 (1.45)	14778.38 (1.08)	27194.67 (1.99)	13302.42 (0.97)	973339.01 (71.30)	23814.11 (1.74)
2005—2011	+10532.70	-766.37	+4365.78	+3514.06	+622.85	-18646.83	+377.81

注:表中()中数字表示为该地类占该年土地总面积的百分比。

由表 2 和表 3 得出,在 1990—2005 年间草地和未利用地互转面积较大,草地有 33 518.59 hm<sup>2</sup> 变为未利用地,未利用地有 23 612.19 hm<sup>2</sup> 变为草地,草地在此期间减少了 4 965.8 hm<sup>2</sup>,主要是由于该地区气候

和缺水的原因引起的,未利用地的转入和转出面积都大于 50 000 hm<sup>2</sup>,转出与转入面积分别为 51 977.99, 51 860.78 hm<sup>2</sup>。林地在此期间有所增加,主要是为防风固沙、水土保持的需要而植树造林的结果。耕地与

园地在此期间转出的面积小于转入的面积,面积都有所增加,分别为 4 030.38,3 443.97 hm<sup>2</sup>,主要是由未利用地转化而来,分别为 6 127.18,5 416.78 hm<sup>2</sup>,说明耕地与园地的增加主要是由开荒而来。建设用地在这 15 a 间增加 3 012.39 hm<sup>2</sup>,到 2005 年达 10 412.60 hm<sup>2</sup>,主要是由未利用地、耕地、园地转变而来,分别为 2 499.62,1 012.34,964.89 hm<sup>2</sup>,在此期间由于土地整理项目和富民安居工程的实施等原因使得建设用

地主要转出为园地、未利用地和耕地,其比例分别为 11.69%,8.2%,4.52%。

水体在此期间是所有地类中减少面积最多的利用类型,达 6 561.30 hm<sup>2</sup>,主要是因为北部博格达峰的永久性冰雪大面积减少,使得 33.57%的水体变为了草地,达到 6 459.56 hm<sup>2</sup>,其次 13.55%变为了未利用地,达到 2 607.77 hm<sup>2</sup>,这很可能与全球变暖的气候变化密切相关。

表 2 吐鲁番市 1990—2005 年土地利用转移矩阵

hm<sup>2</sup>

土地利用类型	2005 年							合计转出	
	草地	耕地	建设用地	林地	水体	未利用地	园地		
1990 年	草地	245076.57 (85.27)	1385.98 (0.48)	190.95 (0.07)	5819.98 (2.02)	724.95 (0.25)	33518.59 (11.66)	695.14 (0.24)	42335.58
	耕地	727.98 (4.41)	4165.04 (25.23)	1012.34 (6.13)	657.68 (3.98)	456.10 (2.76)	4877.20 (29.55)	4609.93 (27.93)	12341.22
	建设用地	170.95 (2.31)	334.83 (4.52)	5340.54 (72.17)	63.91 (0.86)	17.80 (0.24)	606.96 (8.20)	865.21 (11.69)	2059.67
	林地	6308.21 (28.01)	2177.88 (9.67)	353.63 (1.57)	3546.89 (15.75)	301.99 (1.34)	8425.61 (37.41)	1408.83 (6.26)	18976.15
	水体	6459.56 (33.57)	12.28 (0.06)	50.63 (0.26)	76.52 (0.40)	9957.77 (51.75)	2607.77 (13.55)	76.35 (0.40)	9283.10
	未利用地	23612.19 (2.38)	6127.18 (0.62)	2499.62 (0.25)	13154.89 (1.33)	1167.33 (0.12)	940125.06 (94.76)	5416.78 (0.55)	51977.99
	园地	90.89 (0.45)	6333.45 (31.68)	964.89 (4.83)	360.74 (1.80)	53.64 (0.27)	1824.66 (9.13)	10364.07 (51.84)	9628.26
	合计转入	37369.79	16371.60	5072.05	20133.72	2721.80	51860.78	13072.23	146601.97

注:表中()中的数字表示该行土地覆被类型转变为该列土地覆被类型的百分数。下同。

表 3 吐鲁番市 2005—2011 年土地利用转移矩阵

hm<sup>2</sup>

土地利用类型	2011 年							合计转出	
	草地	耕地	建设用地	林地	水体	未利用地	园地		
2005 年	草地	276338.65 (97.84)	182.06 (0.06)	32.46 (0.01)	1029.45 (0.36)	86.20 (0.03)	4746.22 (1.68)	31.31 (0.01)	6107.70
	耕地	837.61 (4.08)	14382.94 (70.04)	289.59 (1.41)	885.04 (4.31)	18.89 (0.09)	1023.23 (4.98)	3099.34 (15.09)	6153.70
	建设用地	88.87 (0.85)	179.23 (1.72)	9055.39 (86.97)	61.78 (0.59)	8.44 (0.08)	528.94 (5.08)	489.94 (4.71)	1357.21
	林地	1155.96 (4.88)	350.43 (1.48)	92.91 (0.39)	20268.23 (85.59)	12.63 (0.05)	1578.53 (6.67)	221.93 (0.94)	3412.38
	水体	103.62 (0.82)	32.21 (0.25)	29.86 (0.24)	120.79 (0.95)	12283.16 (96.87)	88.21 (0.70)	21.72 (0.17)	396.41
	未利用地	13889.75 (1.40)	2017.72 (0.20)	4464.57 (0.45)	4527.56 (0.46)	864.60 (0.09)	964299.86 (97.21)	1921.78 (0.19)	27685.98
	园地	564.59 (2.41)	2625.67 (11.20)	813.61 (3.47)	301.82 (1.29)	28.51 (0.12)	1074.02 (4.58)	18028.10 (76.92)	5408.21
	合计转入	16640.40	5387.32	5723.00	6926.44	1019.27	9039.15	5786.02	50521.60

表 3 中各地类的变化趋势与表 2 的变化趋势基本相同,只是从总体上看未利用地和耕地面积分别减少了 18 646. 83, 766. 37 hm<sup>2</sup>, 耕地供需矛盾日益突出,随着城市化进程的不断加快,现有耕地已在较大程度上不能满足日益增长的各项建设和农民增收的需要<sup>[15]</sup>,而其他地类面积均有所增加,增幅最大的是草地和建设用地,分别为 10 532. 7, 4 365. 78 hm<sup>2</sup>,主要是 2005—2011 年有很多新建项目加之富民安居工程的实施,使得未利用地进一步开发,并占用了近 300 hm<sup>2</sup> 耕地,还有就是近几年实施“退粮还经”战略的影响下<sup>[15]</sup>,大量的耕地转化成以葡萄种植为主的园地,同时对未利用地开垦也会导致园地面积的大幅增加。

从表 1—3 可以得出这两期各地类面积排在前 4 位的都是未利用地、草地、林地和园地。从减幅和增幅来看未利用地连续减少,连续增加的是建设用地、林地和园地,先增后减的是耕地,先减后增的是水体面积,但是从表 1 可以得出建设用地的增幅最为迅速。1990 年、2005 年和 2011 年耕地面积分别约 16 506. 26, 20 536. 64, 19 770. 26 hm<sup>2</sup>,呈现先增后减的趋势,由表 3 可知主要是耕地 15. 09% 转变为园地的结果,因此土地管理部门应制定相应措施实现耕地的占补平衡。在 1990—2005 年 15 a 的变化面积是 146 601. 97 hm<sup>2</sup>,但 2005—2011 年变化面积就达到了 50 521. 6 hm<sup>2</sup>,可见吐鲁番市的经济迅速发展,人们对土地的利用程度不断增加。

由以上讨论可以得出在 2005 年之前土地利用变化比较平缓,2005 年之后土地利用变化比较剧烈,未利用地和草地互转比例较大,永久性冰雪面积减少的面积超过 6 000 hm<sup>2</sup>,建设用地面积增加迅速,说明全球气候变化和人类活动是影响土地覆被变化的重要因素。

## 2.2 吐鲁番市的马尔科夫模型

马尔科夫过程是无后效性的一种特殊的随机运动过程。马尔科夫模型通过对系统不同状态的初始概率以及状态之间转移概率的研究来确定系统各状态变化趋势。从而达到对未来趋势预测的目的。它有三个假设:① 马尔科夫模型是随机的,从状态  $i$  到

状态  $j$  的转移概率满足  $\sum_{j=1}^m p_{ij} = 1$ , 其中  $j = 1, 2, 3, \dots, m$ ; ② 马尔科夫链是一个一阶模型,即系统在  $t+1$  时刻的状态只与  $t$  时刻所处的状态有关; ③ 转移概率不发生改变<sup>[16]</sup>。

以  $S_{i(t+1)}$  表示各地类  $i$  在  $t+1$  时刻的面积,则根据马尔科夫模型的无后效性即只与前一时刻该地类  $S_t$  有关,故  $S_{i(t+1)} = \sum_{j=1}^n a_{ji} S_{jt}$ , 这里  $S_{jt}$  是指地类  $j$  在  $t$  时刻的面积,  $n$  为区域土地覆被类型的数目,  $a_{ji}$  为土地覆被/土地利用类型  $j$  转变为土地覆被/土地利用类型  $i$  的转移概率。Markov 模型的具体实现过程是计算出初始状态概率向量  $P(0)$  以及转移概率矩阵  $P(n)$  来确定,即系统经从初始状态出发经过  $n$  步转移后到达状态  $J$  的概率向量为  $P(n) = P(0) P(n)$ <sup>[17]</sup>。

## 3 基于不同步长模型模拟结果与分析

由于马尔科夫模型受到自然、经济、政策等因素的影响使得预测结果会出现误差,不同的模拟步长也会有不同的模拟精度<sup>[16]</sup>,由以上讨论中得出 2005 年后土地利用变化发生剧烈变化,因此以 2011 年为基准年来进行模拟是适当的,为了消除这些因素的影响,分别以 1990 年为基准年,2005 年为抵达年分别以 1 年、3 年、5 年为模拟步长得 2005 年预测结果,然后与 2005 年实际数据进行比较找出最优的模拟步长,再以 2011 年为基准年,用 2005—2011 年转移矩阵的转移概率为转移概率矩阵,比较得出最优模拟步长来预测 2011 年后的土地覆被变化。

### 3.1 初始状态矩阵的建立

以 1990 年的各土地覆被类型所占土地总面积的百分比作为初始状态概率构成初始状态矩阵(见表 1)。

### 3.2 转移概率矩阵和最优模拟步长的确定

以该市 1990—2005 年的数据得到的转移矩阵作为 Markov 模型中的转移概率矩阵(见表 2),分别以 1 年、3 年和 5 年为模拟步长对吐鲁番市土地覆被变化进行模拟,模拟结果见下表 4。

不同模拟步长与 2005 年土地利用实际面积比较误差见表 5。

表 4 Markov Chain 模型的不同步长模拟下吐鲁番市土地覆被变化

万 hm<sup>2</sup>

土地类型	草地			耕地			建设用地			林地	水体			未利用地			园地				
	1年	3年	5年	1年	3年	5年	1年	3年	5年		1年	3年	5年	1年	3年	5年	1年	3年	5年		
1990年	28.74	28.74	28.74	1.65	1.65	1.65	0.74	0.74	0.74	2.25	2.25	2.25	1.92	1.92	1.92	99.21	99.21	99.21	2.00	2.00	2.00
2005年	28.21	28.22	28.22	1.99	1.99	2.00	1.02	1.02	1.03	2.34	2.34	2.34	1.40	1.39	1.37	99.23	99.22	99.22	2.33	2.33	2.34

表 5 不同步长模拟下吐鲁番市 2005 年土地利用模拟值与实际面积比较误差

土地类型	项目	草地	耕地	建设用地	林地	水体	未利用地	园地
1 年	模拟值/hm <sup>2</sup>	282145.66	19871.62	10214.69	23357.23	14016.13	992257.64	23314.94
	相对误差/%	-0.11	-3.24	-1.90	-1.37	10.54	0.03	-0.52
3 年	模拟值/hm <sup>2</sup>	282162.21	19938.38	10242.21	23386.84	13872.53	992233.23	23342.52
	相对误差/%	-0.10	-2.91	-1.64	-1.24	9.41	0.02	-0.40
5 年	模拟值/hm <sup>2</sup>	282185.14	20010.72	10270.18	23419.80	13717.17	992205.90	23369.01
	相对误差/%	-0.09	-2.56	-1.37	-1.10	8.18	0.02	-0.29

由表 4 和表 5 可以得出,1990—2005 年对于吐鲁番市的土地覆被变化而言,模拟的步长越接近 15 年模拟的效果越好,即草地、耕地、建设用地、林地、水体、未利用地、园地的模拟值越接近 2005 年实测值。模拟步长 1 年、3 年、5 年的各个地类相对误差均是 1 年>3 年>5 年,从相对误差可以得出模拟的效果从高到底排列为:未利用地>草地>园地>林地>建设用地>耕地>水体,除对水体模拟的误差达 9%左右误差较大外(这可能是解译的误差引起的与模型本身

的精度或许没有关系),其它地类的模拟误差都在 3%以下,可见用马尔科夫模型预测吐鲁番市土地覆被变化效果是较好的。

由以上讨论可知,对于吐鲁番市而言,模拟步长越接近所达之年模拟精度越高,因此选择以 2011 年为基准年,以  $n=6$  年为模拟步长来进行土地覆被变化预测,即以 2005 年各土地类型面积比例为初始概率矩阵(见表 1),以 2005—2011 年的土地转移频数为土地利用转移概率矩阵(见表 3),预测结果见表 6。

表 6 土地覆被类型预测结果

年份	草地	耕地	建设用地	林地	水体	未利用地	园地
2011 年(实际)	292979.05	19770.26	14778.38	27194.67	13302.42	973339.01	23814.11
2017 年(预测)	303214.62	19373.45	18509.96	30159.32	13897.93	955829.08	24193.51
2023 年(预测)	313158.08	19218.64	21698.14	32669.75	14467.39	939368.78	24597.10

由表 6 可以得出:(1)农用地中,耕地面积整体上逐年减少,且减幅较小,由 2011 年的 19 770.26 hm<sup>2</sup> 减少到 2023 年的 19 218.64 hm<sup>2</sup>,说明耕地供需矛盾日益突出。园地和林地面积逐年增加分别从 2011 年的 23 814.11,27 194.67 hm<sup>2</sup> 增加到 2023 年的 24 597.10,32 669.75 hm<sup>2</sup>。(2)建设用地逐年增加,从 2011 年的 14 778.38 hm<sup>2</sup> 增加到 2029 年的 21 698.14 hm<sup>2</sup>。(3)水体面积也是逐年增加,且增幅较大,从 2011 年的 13 302.42 hm<sup>2</sup> 增加到 2023 年的 14 467.39 hm<sup>2</sup>,水体面积在增加说明吐鲁番市进行的一系列水利工程中起到了很好的作用。(4)未利用地面积逐年减少,并且减少的面积特别大,由预测结果来看 2011—2023 年未利用地将减少 33 970.23 hm<sup>2</sup>,这其中减少面积肯定有许多转变为采矿用地,

这与吐鲁番市矿产资源丰富密切相关,也刺激了该地区经济的发展。由此得出很可能是一系列土地整理和复垦项目的确起到了作用,使得吐鲁番市水体、林地和草地的面积都有所增加。

## 4 土地利用程度变化的时空特征分析

### 4.1 吐鲁番市土地利用程度分析

土地利用程度主要反映了土地利用的广度和深度,不仅反映了土地利用中土地本身的自然属性,同时也反映了人类因素和自然环境因素的综合效应<sup>[18]</sup>。采用刘纪远<sup>[19]</sup>提出的土地利用程度的综合分析方法,将土地利用程度按照土地自然综合体在社会因素影响下的自然平衡分为 4 级,并赋予分级指数(见表 7),得出吐鲁番市土地利用程度定量表达式。

表 7 土地利用程度分级赋值

分级类型	未利用地	林、草、水用地级	农业用地级	城镇聚落用地级
土地利用类型	未利用地或难利用地	林地、草地、水域	耕地、园地、人工草地	城镇、居民点及工矿交通用地
分级指数	1	2	3	4

土地利用程度综合指数计算公式<sup>[18]</sup>:

$$L_j = 100 \times \sum_{i=1}^n A_i C_i$$

式中:  $L_j$ ——研究区域土地利用程度综合指数;  
 $A_i$ ——研究域内第  $i$  级土地利用程度分级指数;  
 $C_i$ ——研究域内第  $i$  级土地利用程度分级面积百分比; $n$ ——土地利用程度分级数。

土地利用程度变化量  $L_{b-a}$  和变化率  $R$ , 计算公式为:

$$L_{b-a} = L_b - L_a = 100 \times \left[ \sum_{i=1}^n A_i C_{ib} - \sum_{i=1}^n A_i C_{ia} \right] \quad (1)$$

$$R = \frac{\sum_{i=1}^n A_i C_{ib} - \sum_{i=1}^n A_i C_{ia}}{\sum_{i=1}^n A_i C_{ia}} \quad (2)$$

式中:  $L_b$ —— $b$  时间的区域土地利用程度综合指数;  $L_a$ —— $a$  时间的区域土地利用程度综合指数;  $A_i$ ——第  $i$  级的土地利用程度分级指数;  $C_{ib}$ ——某区域  $b$  时间第  $i$  级土地利用程度面积百分比;  $C_{ia}$ ——某区域  $a$  时间第  $i$  级土地利用程度面积百分比。

土地利用程度及其变化量和变化率可定量地揭示该范围土地利用的综合水平和变化趋势, 如果  $L_{b-a} > 0$  或  $R > 0$ , 则区域土地利用处于发展期, 否则处于调整期或衰退期<sup>[18]</sup>。根据表 7 和以上两式得出吐鲁番市不同时期土地利用程度综合指数, 土地利用程度变化量和变化率。

经计算, 可以得出 1990—2011 年土地利用程度综合指数呈连续上升趋势, 从 1990 年的 131.09 上升到 2011 年的 134.06; 土地利用程度变化量从 1990—2005 年的 0.997 上升到 2005—2011 年的 1.977, 1990—2011 年为 2.974; 土地利用程度变化率从 1990—2005 的 0.007 6 上升到 2005—2011 年的 0.015 0, 1990—2011 年为 0.022 7。说明人们对吐鲁番的土地利用程度不断加深, 利用区域更加广泛, 主要是由于经济发展而使得很多以前没有利用的土地现在正在利用, 以前利用的土地其利用的程度更深更细, 期间许多建设项目落户该地区, 城区面积和居民点面积也不断增加, 只是居民点越来越集中, 为了更

好地利用土地, 有些村庄集体搬迁合为一体化。

#### 4.2 吐鲁番市土地利用空间变化动态度

存在单一土地利用动态度和综合土地利用动态度, 应用它们的缺点在于出现地类面积增减变化的抵消, 这样在一定程度上掩盖了土地覆被变化的实际情况, 不能够反映出土地覆被类型的空间变化<sup>[14]</sup>, 因此引入单一土地覆被空间变化动态度和综合土地覆被空间变化动态度。

单一土地覆被空间变化动态度, 其表达式为:

$$L_{cs_i} = \frac{\Delta U_{i,in} + \Delta U_{i,out}}{U_i^k} \times \frac{1}{T} \times 100\% \quad (3)$$

综合土地覆被空间变化动态度, 其表达式为:

$$L_{cs} = \frac{\sum_i (\Delta U_{i,in} + \Delta U_{i,out})}{2 \sum_i U_i^k} \times \frac{1}{T} \times 100\% \quad (4)$$

式中:  $\Delta U_{i,in}$ ——其他地类转变为  $i$  类型的面积之和;  $\Delta U_{i,out}$ ——为研究时段内  $i$  土地覆被类型转变为其他类型的面积之和;  $U_i^k$ ——研究初期  $k$  中  $i$  土地覆被类型的面积;  $T$ ——研究段长。

单一土地覆被空间变化动态度和综合土地覆盖空间变化动态度体现了土地覆被变化在空间上的变化速度<sup>[14]</sup>。以 1990—2005 年土地利用转移面积和 2005—2011 年土地利用转移面积计算吐鲁番市土地覆被空间变化动态度, 见表 8。

表 8 不同时段吐鲁番市土地覆被空间变化动态度

时段	草地	耕地	建设用地	林地	水体	未利用地	园地	综合
1990—2005 年	1.85	11.60	6.42	11.58	4.16	0.70	7.57	0.72
2005—2011 年	1.34	9.37	11.33	7.28	1.86	0.62	7.96	0.62
1990—2011 年	1.37	8.51	7.60	8.56	3.05	0.51	5.65	0.54

从表 8 可以得出:

(1) 1990—2005 年间空间动态变化度最大的是耕地和林地, 其次是园地、建设用地、水体、草地、未利用地, 分别为 11.6%, 11.58%, 7.57%, 6.42%, 4.16%, 1.85%, 0.7%, 在此期间耕地、林地、园地、建设用地空间变化动态度最大主要是因为期间人们垦荒和建设用地占用其它地类的结果。2005—2011 年间土地覆盖类型空间变化动态度最大的是建设用地, 其次是耕地、园地、林地、水体、草地、未利用地, 分别为 11.33%、9.37%、7.96%、7.28%、1.86%、1.34%、0.62%, 可见该时期随着城市化水平的提高、城镇建设的发展引起了建设用地空间变化动态度的加大。

这两期都是未利用地空间变化动态度为最小, 这并不是说未利用地变化最小, 从总体上看未利用地在这三期中每一期变化的面积都超过了 30 000 hm<sup>2</sup>, 均为各地类最高, 主要是因为未利用地占到了吐鲁番市总面积的 70% 以上, 基数太大所以空间变化动态度

相对最小, 所以所有地类的空间变化动态度都是相对而言的。

(2) 比较前后两个阶段, 2005—2011 年除了建设用地和园地空间变化动态度大于前一个时期外, 其它地类均小于前一个时期, 由此可以得出主要是由于建设用地和园地的变化造成了后一时期的土地利用综合程度指数总的趋势是逐年升高, 说明这两个时期建设用地和园地与其他地类相互之间的转移比较活跃, 这主要是由于园地种植的主要是葡萄, 是一大经济产业, 而使得许多其它地类转变为了园地, 再者由于城市规划、耕地占补平衡、经济快速发展等原因使得许多其他地类转变为了建设用地。

(3) 综合前两个阶段, 1990—2011 年期间土地覆盖类型空间变化动态度变化最大的是林地, 其次是耕地、建设用地、园地、水体、草地、未利用地, 其实耕地和水体主要反映的是 1990—2005 年时期的变化, 主要是开荒和全球气候变暖的结果; 建设用地和园地主

要反映的是 2005—2011 年时期的变化,说明随着城镇化水平的提高和经济发展的需要,建设用地和园地空间变化动态加大;而未利用地和林地主要反映的是 1990—2011 年整个时期的变化,期间由于环境保护的需要,许多未利用地转变为了林地而用来防风固沙、水土保持,未利用地与其他地类相互转变十分频繁。

通过以上分析得出:人为因素是土地覆盖变化的主要原因;看空间变化动态时一定要看它的基数面积值,值最小的也可能是绝对数量变化最大的;人们正采取越来越有力的手段改变着土地利用结构。

## 5 结论与建议

### 5.1 结论

(1) 从面积上看,1990—2011 年吐鲁番市面积最大的是未利用地、草地、林地、园地,其它地类各年面积排名稍有不同。耕地面积 2005—2011 年面积减少了  $766.37 \text{ hm}^2$ ,耕地供需矛盾日益突出。

(2) 从面积转移矩阵中可以得出,2005 年之前土地覆被变化比较平缓,2005 年之后土地覆被变化比较剧烈,1990—2005 年 15 年间才变化  $146\ 601.97 \text{ hm}^2$ ,而 2005—2011 年 6 年之间就变化了  $50\ 521.60 \text{ hm}^2$ ;1990—2011 年未利用地和草地互转数量较大,未利用地转变为其它地类面积较大,其它地类转变为未利用地面积较少;水体在 1990—2005 年间面积大幅减少近  $6\ 000 \text{ hm}^2$ ,主要是由于北部博格达峰永久性冰雪的减少,这很可能与全球气候变暖密切相关;建设用地面积增加迅速。

(3) 对于吐鲁番市而言,马尔科夫模型的预测步长越接近于抵达年,那么对各个地类的预测误差越小,除对水体模拟的误差达 9% 左右,误差较大外,其它地类的模拟误差都在 3% 以下,不过这可能与对 1990 年影像解译的误差有关,而与模型本身的精度关系不大,可见用马尔科夫模型模拟吐鲁番市土地覆被变化效果是较好的。

(4) 从预测结果来看,农用地中,耕地逐年减少,说明照现在的情况发展下去,离现在提出的保护耕地的目标是背道而驰的;园地逐年增加,这与为了发展经济而使得许多耕地转变为了园地密切相关。建设用地逐年增加,从 2011 年的  $14\ 778.38 \text{ hm}^2$  增加到 2023 年的  $21\ 698.14 \text{ hm}^2$ 。水体也是逐年增加且增幅较大,从 2011 年的  $13\ 302.42 \text{ hm}^2$  增加到 2023 年的  $14\ 467.39 \text{ hm}^2$ 。未利用地逐年减少,并且减少的面积特别大,由预测结果来看,2011—2023 年未利用地将减少  $33\ 970.23 \text{ hm}^2$ ,这减少的面积肯定有很多

转变为了采矿用地,这与吐鲁番市矿产资源丰富密切相关。

(5) 从吐鲁番市土地利用程度分析得出,1990—2011 年间人们对土地利用程度不断加深,土地利用程度综合指数从 1990 年的 131.09 上到 2011 年的 134.06。

(6) 吐鲁番市土地覆被空间变化动态方面可知,1990—2005 年期间耕地、林地、园地的空间变化动态最大,主要是该期间垦荒、经济发展和从生态方面需要而植树造林的结果。2005—2011 年间土地覆盖类型空间变化动态最大的是建设用地,可见该地区城市化水平不断提高。主要是由于 2005—2011 年建设用地和园地的变化造成了 1990—2011 年的土地利用综合程度指数总的趋势是逐年升高的,说明经济的发展是土地覆被变化的重要因素。耕地、水体主要反映的是 1990—2005 年的变化,主要是开荒和全球气候变暖的结果;建设用地和园地主要反映的是 2005—2011 年时期的变化;未利用地和林地主要反映的是 1990—2011 年整个时期的变化,期间由于环境保护的需要许多未利用地转变为了林地而用来防风固沙、水土保持,未利用地与其他地类相互转变频繁。

综合以上结论可以得出人为因素是土地覆被变化的主要原因,人们正采取越来越有力的手段改变着土地利用结构。

### 5.2 建议

严格制定保护耕地的措施,实现耕地的占补平衡;加大对未利用地的开发,吐鲁番市有近 70% 的未利用地,加上在未利用地上有很多旅游资源,可在生态旅游方面多做规划,解决该地区一些土地资源过度开发和退化的问题;适当减少工矿企业的发展,多发展生态产业,因为过多的工矿产业会增多  $\text{CO}_2$  的排放,使得全球气候变暖的效应更加突出,以遏制吐鲁番市北部博格达峰永久性冰雪面积减少的速度。

由于缺少 2000 年之前十分详细的资料,因此根据相关资料对吐鲁番市土地覆被变化的原因只是做了一些定性的解释,如果资料充足,最好可对该地区土地覆被变化的驱动因素做一些定量的研究,如用主成分分析法、典型相关分析法等。这有待以后改进、完善;由于马尔科夫模预测的对象要求其保持某一固定的转移概率,要求预测对象的变化过程是平稳的,并且不能综合考虑政策的改变等因素的影响,但实际上土地覆被的变化会因诸多自然或人为因素的影响而随时间有所变化,是该模型的局限所在,有待进一步完善。

## 参考文献:

- [1] 刘新卫,陈百明,史学正. 国内 LUCC 研究进展综述[J]. 土壤,2004,36(2):132-135.
- [2] 葛全胜,戴君虎,何凡能,等. 过去三百年中国土地利用变化与陆地碳收支[M]. 北京:科学出版社,2008.
- [3] 张云鹏,孙燕,王小丽,等. 不同尺度下的土地利用变化驱动力研究:以常州市新北区为例[J]. 水土保持研究,2012,19(6):111-117.
- [4] 容芳芳,塔西甫拉提·特依拜,田源,等. 于田绿洲土地利用/覆盖变化轨迹分析[J]. 水土保持研究,2010,17(3):259-263.
- [5] 谭君,李世平. 铜川市土地利用变化对生态系统服务价值的影响分析[J]. 水土保持研究,2012,19(6):131-136.
- [6] 余慧容,蒲春玲,刘志有,等. 基于 TM/ETM+ 绿洲城市土地利用时空演变分析:以新疆奎屯市为例[J]. 水土保持研究,2012,19(6):147-151.
- [7] Chandra P Giri. Remote Sensing of Land Use and Land Cover: Principles and Applications[M]. New York: CRC Press,2012.
- [8] 程克坚,彭补拙,濮励杰. 干旱绿洲地区土地资源可持续利用初探:以新疆吐鲁番市为例[J]. 资源科学,1998,20(4):14-18.
- [9] 刘荣,高敏华,谢峰. 基于 Logistic 回归模型的土地利用格局模拟分析:以新疆吐鲁番市为例[J]. 水土保持研究,2009,16(6):74-78.
- [10] 张光耀,刘光远,崔丽娜,等. 西北干旱区设施农业土地利用效益研究:以吐鲁番市为例[J]. 新疆农业科学,2011,48(6):1157-1161.
- [11] 曹晶晶,吴静,李纯斌. 基于马尔柯夫模型的酒泉市肃州区 LUCC 趋势预测[J]. 国土与自然资源研究,2008(1):45-47.
- [12] 刘启承,熊文强,韩贵锋. 用马尔可夫理论预测三峡库区的土地利用趋势[J]. 重庆大学学报,2005,28(2):107-110.
- [13] 徐岚,赵界. 利用马尔柯夫过程预测东陵区土地利用格局的变化[J]. 应用生态学报,1993,4(3):272-277.
- [14] 刘福辉. 基于遥感的张家界市永定区土地覆盖动态监测研究[D]. 长沙:中南大学,2009.
- [15] 侯芳,高敏华. 吐鲁番市土地利用动态变化研究[J]. 资源环境与工程,2010,24(3):317-320.
- [16] 冉圣宏,李秀彬,吕昌河. 土地覆被及生态服务价值变化的多时间尺度模拟:以四川省渔子溪流域为例[J]. 地理学报,2006,61(10):1113-1120.
- [17] 刘姣娣,曹卫彬,李华,等. 基于马尔科夫模型的石河子垦区土地利用动态变化研究[J]. 新疆农业科学,2011,48(10):1936-1940.
- [18] 李传哲,于福亮,刘佳,等. 近 20 年来黑河干流中游地区土地利用/覆被变化及驱动力定量研究[J]. 自然资源学报,2011,26(3):353-363.
- [19] 刘纪远. 西藏自治区土地利用[M]. 北京:科学出版社,1992.
- [20] 程克坚,彭补拙,濮励杰. 干旱绿洲地区土地资源可持续利用初探:以新疆吐鲁番市为例[J]. 资源科学,1998,20(4):14-18.
- [21] Pan Y, Shi P, Zhu W, et al. Measurement of ecological capital of Chinese terrestrial ecosystem based on remote sensing[J]. Science in China Series D: Earth Sciences,2005,48(6):786-796.
- [22] 陈妮,李谭宝,张晓萍,等. 北洛河流域植被覆盖度时空变化的遥感动态分析[J]. 水土保持通报,2013,33(3):206-210,327.
- [23] 马明国,王建,王雪梅. 基于遥感的植被年际变化及其与气候关系研究进展[J]. 遥感学报,2006,10(3):421-431.
- [24] 白文龙,张福平,倪海燕,等. 关中地区植被覆盖变化及其对气候因子的响应研究[J]. 农业现代化研究,2013,34(1):104-108.
- [25] 周伟,王倩,章超斌,等. 黑河中上游草地 NDVI 时空变化规律及其对气候因子的响应分析[J]. 草业学报,2013,22(1):138-147.
- [26] 徐建华. 现代地理学中的数学方法[M]. 北京:高等教育出版社,2002.
- [27] 李双双,延军平,万佳. 近 10 年陕甘宁黄土高原区植被覆盖时空变化特征[J]. 地理学报,2012,67(7):960-970.
- [28] 许炯心,信忠保. 从黄土高原植被指数数据中获取森林覆盖率信息[J]. 中国水土保持科学,2010,8(4):7-12.
- [29] 孙艳萍,张晓萍,刘建祥,等. 黄土高原水蚀风蚀交错带植被覆盖度动态变化[J]. 干旱区研究,2013,30(6):1036-1043.
- [30] Jingyong Z, Wenjie D, Congbin F, et al. The influence of vegetation cover on summer precipitation in China: A statistical analysis of NDVI and climate data[J]. Advances in Atmospheric Sciences,2003,20(6):1002-1006.

(上接第 40 页)

- [16] Goetz S J, Fiske G J, Bunn A G. Using satellite time-series data sets to analyze fire disturbance and forest recovery across Canada[J]. Remote Sensing of Environment,2006,101(3):352-365.
- [17] Holben B N. Characteristics of maximum-value composite images from temporal AVHRR data [J]. International Journal of Remote Sensing,1986,7(11):1417-1434.
- [18] 万龙,马芹,张建军,等. 黄土高原降雨量空间插值精度比较:KRIGING 与 TPS 法[J]. 中国水土保持科学,2011,9(3):79-87.
- [19] Hijmans R J, Cameron S E, Parra J L, et al. Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas [J]. International Journal of Climatology,2005,25(15):1965-1978.
- [20] Fung T, Siu W. Environmental quality and its changes, an analysis using NDVI[J]. International Journal of Remote Sensing,2000,21(5):1011-1024.
- [21] Pan Y, Shi P, Zhu W, et al. Measurement of ecological capital of Chinese terrestrial ecosystem based on remote sensing [J]. Science in China Series D: Earth Sciences,2005,48(6):786-796.