

# 基于年度变更平衡表的土地利用结构演变预测

——以苏州市为例

乔伟峰<sup>1,2</sup>, 王亚华<sup>1</sup>, 方 斌<sup>1,3</sup>

(1. 南京师范大学地理科学学院, 江苏 南京 210023)

(2. 中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101)

(3. 江苏省物质循环与污染控制重点实验室, 江苏 南京 210023)

[摘要] 目前, 基于年度变更平衡表对土地利用演变进行预测的研究较少. 本文利用苏州市 1998~2008 年土地利用变更平衡表, 运用 Markov 预测模型对全市土地利用结构变化进行模拟、检验和预测, 并对苏州市土地利用结构何时达到稳定状态进行了探究. 结果表明: 基于变更平衡表, 运用马尔科夫模型预测土地利用结构的方法是切实可行的; 至 2020 年, 苏州市农用地、农村居民点用地、未利用地面积逐年减少, 且耕地面积减少最明显; 城镇建设用地、独立工矿用地、交通运输用地面积逐年增加; 到 2042 年, 苏州市的土地利用结构将逐步趋于稳定. 本文的研究对于土地利用年度变更平衡表的深入应用有一定的借鉴意义.

[关键词] 变更平衡表, 土地利用结构, 预测, 马尔科夫, 苏州市

[中图分类号] F301.23 [文献标志码] A [文章编号] 1001-4616(2014)04-0110-05

## Prediction of Land Use Structure Change Based on Annual Transfer Balance Table

——A Case Study of Suzhou

Qiao Weifeng<sup>1,2</sup>, Wang Yahua<sup>1</sup>, Fang Bin<sup>1,3</sup>

(1. School of Geography Science, Nanjing Normal University, Nanjing 210023, China)

(2. Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China)

(3. Jiangsu Provincial Key Laboratory of Materials Cycling and Pollution Control, Nanjing 210023, China)

**Abstract:** The study on land use structure prediction based on annual transfer balance table is less now. With the land use annual transfer balance table from 1998 to 2008 in Suzhou, we use Markov model to simulate, experiment and predict the change of the land use structure in the whole city. We also explore when the land use structure in Suzhou can reach a steady state. The results indicate that it is practical and feasible to use Markov model to predict the land use structure based on annual transfer balance table. By 2020, the area of agricultural land, rural residential area and the uncultivated land will reduce year by year. The cultivated land will reduce most obviously. On the contrary, the area of urban construction land, independent mine land, and land for transportation will increase year by year. The land use structure of Suzhou will be stable by 2042. The study is significant for the further applications of land use annual transfer balance table.

**Key words:** transfer balance table, land use structure, prediction, Markov, Suzhou

土地利用结构是指一定区域内, 国民经济各部门所占用的特定的用地类型按一定的构成方式组成的集合, 是经济结构在土地上的表现方式<sup>[1]</sup>. 一个地区不同时期土地利用状况及其结构功能很大程度上反映该地区不同时期的自然资源条件以及社会经济的发展状况和结构<sup>[2]</sup>, 合理的土地利用结构有助于土地资源在国民经济各部门之间的有效配置并实现其利用效率的最大化. 因此, 研究一个地区不同时期的土地

收稿日期: 2014-05-08.

基金项目: 国家自然科学基金(41371172、41271189)、中国博士后科学基金(2014M561040)、教育部人文科学研究青年基金(11YJC840051)、江苏高校优势学科建设工程资助项目(164320H101).

通讯联系人: 王亚华, 博士, 高级实验师, 研究方向: 地籍管理与土地利用. E-mail: wangyahua@njnu.edu.cn

利用结构动态变化是研究一个地区自然资源和社会经济发展状况的重要途径<sup>[3,4]</sup>。

近年来,国内外学者在土地利用结构的变化和预测研究方面取得了一定的成绩,从总体上把握热点区域的土地利用分布情况和时空演变特征,为深入研究土地利用、土地覆盖时空变化规律以及为政府的宏观决策提供了依据<sup>[5-13]</sup>。本文是以高度城市化区域的土地利用结构为研究对象,应用1998~2008年苏州市年度变更平衡表,通过建立马尔科夫模型,模拟预测苏州市未来的土地利用变化趋势,判断苏州市土地利用结构基本达到稳定状态的时间,并针对相应的问题提出对策,为政府进行土地利用的可持续发展和宏观经济结构的战略性调整提供参考。

## 1 研究区概况与数据来源

### 1.1 研究区域概况

苏州市位于太湖之滨,长江南岸的入海口处,京沪铁路、沪宁城际铁路和多条高速公路贯穿全境。苏州是中国经济高度发达的地区,是江苏省重要的经济中心、工商业和物流中心城市,也是重要的文化、艺术、教育和交通中心。苏州东邻上海,濒临东海;西抱太湖,背靠无锡,隔湖遥望常州;北濒长江,与南通隔江相望;南临浙江,与嘉兴接壤,所辖太湖水面紧临湖州。东距上海市区81 km,是江苏省的东南门户。

### 1.2 数据来源

本研究采用苏州市1998~2008年年度变更平衡表,该数据是在各县区土地利用年度变更平衡表的基础上汇总形成的。该数据一年一变更、一汇总,在数据的精度和时间分辨率上是传统的遥感解译方法所无法比拟的。由于2002年之前的变更调查数据分类体系采用的是1984年全国农业区划委员会制定的《土地利用现状分类及含义》,而2002及之后的数据分类体系采用的是2001年国土资源部制定的《全国土地分类》(过渡期间适用),根据两者之间转换的对应关系,将2002年之前的数据分类统一为2002年之后的标准,以利于对比与分析。

## 2 研究方法

### 2.1 土地利用年度变更平衡表分析

土地利用年度变更平衡表的简化样式如表1所示,该表是主、宾栏交叉对应的棋盘式平衡表,直观地反映一年中各类土地面积增加的来源和减少的去向。主栏部分为变更后地类,宾栏部分为变更前地类,主、宾栏交叉的纵横行构成地类变更面积,横行表示地类年内减少的去向,纵行表示地类年内增加的来源。变更平衡表可认为是土地利用转移矩阵,可采用基于转移矩阵的研究方法对其进行分析。

表1 1999年土地利用年度变更平衡表

Table 1 Annual transfer balance table of land use in 1999

hm<sup>2</sup>

		变更后地类				年初面积	年内减少
		耕地	园地	.....	其他土地		
变更前地类	耕地	304 741	0	.....	28	305 971	1 229
	园地	229	22 466	.....	0	22 752	286
	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
	其他土地	231	0	.....	303 117	303 433	315
	年末面积	305 925	22 466	.....	303 157	848 783	/
年内增加		1 183	0.13	.....	39	/	/

### 2.2 马尔科夫模型的构建

马尔科夫过程是一种特殊的随机运动过程,是具有“无后效性”的一种过程。如果随机过程 $X(t)$ 在 $(n+1)$ 时刻的状态概率分布只与时刻 $n$ 的状态有关,而与 $n$ 以前的状态无关,则称随机过程 $X(t)$ 为一个马尔科夫链。记条件概率 $P\{X(n+1)=j|X(n)=i\}=P_{ij}(n)$ ,其中 $P_{ij}(n)$ 为在时刻 $n$ 的一步转移概率<sup>[14]</sup>。

在固定时刻,由一步转移概率 $P_{ij}$ 构成的一步转移概率矩阵为:

$$P_{ij} = \begin{pmatrix} P_{11} & P_{12} & \cdots & P_{1n} \\ P_{21} & P_{22} & \cdots & P_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ P_{n1} & P_{n2} & \cdots & P_{nn} \end{pmatrix}, \quad 0 \leq P_{ij} < 1 \text{ 且 } \sum_{j=1}^n P_{ij} = 1, i, j = 1, 2, \cdots \quad (1)$$

如果马尔科夫链的转移概率  $P_{ij}(n)$  与  $n$  无关(即无论在任何时刻  $n$ ,从状态  $i$  经过一步转移到达状态  $j$  的转移概率矩阵都相等),则称此链为齐次马尔科夫链. 通常研究的马尔科夫链都具有无后效性和齐次两个特征,满足以下基本方程<sup>[13]</sup>:

$$X(n)=X(n-1)P_{ij}=X(0)P_{ij}^n.$$

(2)

在一定的条件下,土地利用结构的变化具有马尔科夫链的性质<sup>[14]</sup>:

- (1)一定区域内,不同用地类型之间具有可转化性;
- (2)土地利用类型的相互转化过程包含着较多尚难用函数关系准确描述的事件;
- (3)研究时间段内土地利用结构平均转移概率相对稳定;
- (4)状态的转移仅受前一时间的影响,而与前一时间以前的状态无关.

2.3 土地利用结构转移概率矩阵的确定

为了预测 2008 年以后苏州市土地利用结构变化,根据 1998 ~ 2008 年历年的年度转移概率矩阵表,求出 1998 ~ 2008 年平均转移概率矩阵,其计算公式如下<sup>[15]</sup>:

$$M=\sum n_iM_i/\sum n_i,$$

(3)

其中: $M$  为平均转移概率矩阵; $M_i$  为各年间土地利用类型转移概率矩阵; $n_i$  为土地利用数据的间隔时间,各为 1 年,求出的平均转移概率矩阵见表 2.

表 2 1998 ~ 2008 年苏州市土地利用结构平均转移概率矩阵

Table 2 Average transition probility matrix of land use structure between 1998 and 2008

%

	耕地	园地	林地	其他农用地	城市	建制镇	农村居民点	独立工矿	特殊用地	交通运输	水利设施	未利用地	其他土地
耕地	96.94		0.04	1.36	0.14	0.18	0.06	1.15		0.12			0.01
园地	0.26	98.35		0.32	0.01	0.12	0.07	0.79		0.03	0.01	0.03	0.01
林地	0.19	0.09	98.79	0.15	0.04	0.05	0.05	0.49		0.10	0.01	0.04	
其他农用地	0.81	0.04	0.01	96.15	0.09	0.24	0.10	0.84		0.31	0.01	0.06	1.34
城市	0.05				99.95								
建制镇	0.12				0.38	99.46		0.03		0.01			
农村居民点	0.24	0.02		0.01	0.12	0.25	98.88	0.42		0.06			
独立工矿	0.43	0.01		0.06	0.21	0.72	0.01	98.52		0.03			0.01
特殊用地	0.12		0.02	0.01	0.03	0.07	0.06	0.10	99.56	0.02			0.01
交通运输	0.10	0.01		0.01	0.82	0.41		0.08		98.57			
水利设施	0.48			0.04		0.15		0.10		0.02	99.21		
未利用土地	0.91	0.02		0.02	0.03	0.02	0.03	0.82		0.01		98.10	0.04
其他土地	0.09			0.01	0.01	0.01		0.07		0.01			99.80

2.4 马尔科夫过程的模拟与检验

为了验证马尔科夫链在土地利用结构变化中的可用性,以苏州市 1998 年的土地利用结构为基数,经过 10 步转移,模拟得到 2008 年苏州市的土地利用结构状态,见表 3.

表 3 马尔科夫链模拟土地利用结构的检验

Table 3 Test of Markov Chain's prediction

hm<sup>2</sup>, %

2008 年	耕地	园地	林地	其他农用地	城市	建制镇	农村居民点	独立工矿	特殊用地	交通运输	水利设施	未利用地	其他土地
模拟数值	232 999	19 841	10 462	79 433	18 909	22 999	59 415	67 488	1 850	14 285	2 715	6 595	307 526
模拟比例	27.59	2.35	1.24	9.41	2.24	2.72	7.04	7.99	0.22	1.69	0.32	0.78	36.41
实际数值	231 061	23 840	10 465	80 529	18 958	22 157	59 444	69 923	1 851	14 210	2 713	6 539	307 093
实际比例	27.22	2.81	1.23	9.49	2.23	2.61	7.00	8.24	0.22	1.67	0.32	0.77	36.18
比例差值	-0.37	0.46	-0.01	0.08	-0.01	-0.11	-0.03	0.25	0	-0.02	0	-0.01	-0.23

根据马尔科夫链模拟出 2008 年苏州市土地利用结构,与 2008 年实际用地结构相比,差距很小,模拟值和实际值十分接近. 在土地利用的 13 种类型中,园地的结构比例差值较大,但也只有 0.46%,由此可见,利用马尔科夫模型来预测苏州市土地利用结构是可行的.

3 结果分析

根据以上的转移概率矩阵,利用式 2 预测 2020 年的土地利用结构,其与 2008 年的土地利用结构比较

见表 4.

表 4 2020 年土地利用结构预测值与 2008 年现状值的比较

Table 4 The comparison of land use structure between the prediction value in 2020 and the current situation in 2008

	耕地	园地	林地	其他 农用地	城市	建制镇	农村 居民点	独立 工矿	特殊 用地	交通 运输	水利 设施	未利 用地	其他 土地
2008 年	231 061	23 834	10 465	80 529	18 958	22 157	59 444	69 923	1 851	14 201	2 713	6 539	307 093
比例	27.22	2.81	1.23	9.49	2.23	2.61	7.00	8.24	0.22	1.67	0.32	0.77	36.18
2020 年	173 651	16 993	9 983	77 981	29 434	37 964	54 511	97 982	1 863	18 706	2 744	5 911	312 942
比例	20.66	2.02	1.19	9.28	3.50	4.52	6.48	11.66	0.22	2.23	0.33	0.70	37.23
2020 年与 2008 年面积差值	-57 410	-6 841	-482	-2548	10 476	15 807	-4 933	28 059	12	4 505	31	-628	5 849

根据 1998 ~ 2008 年转移概率矩阵,并结合表 4 的预测结果我们可以看出:

苏州市耕地面积逐年减少,但减少的幅度有所降低,耕地占土地总面积的比重持续下降,由 2008 年的 27.22% 下降到 2020 年的 20.66%,面积减少 57 410  $\text{hm}^2$ ;园地、林地及其他农用地的面积也呈逐年减少的趋势,到 2020 年园地的面积减少 6 841  $\text{hm}^2$ ,但林地、其他农用地所占总面积的比重变化不大,维持在 1.2% 和 9.3% 左右.农用地面积的减少与苏州市经济发展及农业结构调整有必然的关系,同时也与建设用地规模的扩展有着一定的联系.

苏州市城市用地、建制镇用地、独立工矿用地、交通运输用地面积和比重都呈增加的趋势,且面积增加较明显.城市用地面积由 2008 年的 18 958  $\text{hm}^2$  增加到 2020 年的 29 434  $\text{hm}^2$ ,面积增加 10 476  $\text{hm}^2$ ;建制镇用地也由 2008 年的 22 157  $\text{hm}^2$  增加到 2020 年的 37 964  $\text{hm}^2$ ,增加 15 807  $\text{hm}^2$ ;独立工矿用地和交通运输用地面积分别增加 28 059  $\text{hm}^2$ ,4 505  $\text{hm}^2$ ;水利设施用地面积增加较少,结构比例较稳定,在 0.33% 左右;其他土地面积有所增加,结构比重增加较少.虽然全市的城镇用地、独立工矿用地和交通运输用地都会不断扩张,但与农用地的变率的变化类似,它们的增长幅度都有所降低,这意味着苏州市在今后的工业发展和城市建设中,土地利用集约程度将会提高,人们对建设用地的使用方式逐渐从外延扩张转向内部挖潜.

苏州市农村居民点用地面积逐年减少,结构中比重也不断降低,农村住房用地也将逐渐走向集约.从表格中我们不难看出,农村居民点用地占建设用地的比重较大,从 2008 年到 2020 年,农村居民点用地比重减少 0.52%,面积减少 4 933  $\text{hm}^2$ ,这表明至 2020 年,苏州市农民建房会由庭院式转向公寓式,大大提高建设用地的集约利用程度,整理出更多的土地用以补充耕地和城镇建设用地.

根据年平均转移概率矩阵,可以预测出每一年的土地利用结构和各用地类型的面积,并且随着经济的发展,苏州市土地利用结构也将逐步达到稳定的状态.本研究中认为当各用地类型的面积变化率小于或等于 2% 时达到稳定状态,由此得到表 5.

表 5 土地利用结构预测表

Table 5 Prediction table of land use structure

	耕地	园地	林地	其他 农用地	城市	建制镇	农村 居民点	独立 工矿	特殊 用地	交通 运输	水利 设施	未利 用地	其他 土地
2008 年	231 061	23 834	10 465	80 529	18 958	22 157	59 444	69 923	1 851	14 201	2 713	6 539	307 093
2040 年	115 463	13 336	8 941	64 751	48 334	62 517	46 868	123 837	1 845	22 924	2 729	4 955	319 667
2041 年	113 429	13 181	8 886	64 002	49 312	63 689	46 505	124 552	1 843	23 052	2 727	4 911	319 896
变化率	-1.76	-1.16	-0.62	-1.16	2.02	1.87	-0.77	0.58	-0.10	0.56	-0.09	-0.89	0.07
2042 年	111 459	13 028	8 830	63 254	50 292	64 853	46 145	125 225	1 841	23 173	2 725	4 867	320 114
变化率	-1.74	-1.16	-0.62	-1.17	1.99	1.83	-0.77	0.54	-0.10	0.53	-0.09	-0.89	0.07
结构比例	13.34	1.56	1.06	7.57	6.02	7.76	5.52	14.98	0.22	2.77	0.33	0.58	38.30

从表 5 中我们可以看出,到 2042 年,各类型用地面积的变化率均小于 2%,因此本研究认为到 2042 年苏州市土地利用结构便可稳定下来,此时,苏州市的土地中将有 13.34% 的耕地、13.78% 的城镇建设用地、5.52% 的农村居民点用地、14.98% 的独立工矿用地、2.77% 的交通运输用地.与 2008 年相比,耕地的面积减少了 119 602  $\text{hm}^2$ ,可见耕地保护面临着严峻的形势.

在较短的时期内,土地利用结构变化的驱动因素以人文因素为主.2010 年末,苏州市的城镇化率为

70.6%, 预计至2042年, 该市城镇化率将接近90%左右, 根据诺瑟姆的城市化“S”型曲线规律, 这将是一个较为稳定的状态. 届时经济和社会的发展将不依赖于建设用地的扩张, 而转向于建设用地内部的挖潜, 土地利用结构演变将逐步趋向稳定, 这和上述土地利用结构演变规律的预测是一致的.

## 4 结论与讨论

(1) 基于年度变更平衡表, 运用马尔科夫模型预测土地利用结构的方法是切实可行的. 本研究中根据1998~2008年年度变更平衡表得到平均概率矩阵, 进而对未来土地利用结构进行预测, 并对预测结果进行拟合, 模拟得到的值与实际值基本吻合, 说明马尔科夫模型对未来土地利用结构的预测是有效的.

(2) 从预测结果来看, 2008年到2020年这十几年间, 农用地、农村居民点用地、未利用地面积逐年减少, 分别减少了67 281  $\text{hm}^2$ 、4 933  $\text{hm}^2$ 、628  $\text{hm}^2$ , 耕地面积减少最明显; 城镇建设用地、独立工矿用地、交通运输用地面积逐年增加, 其中, 城镇建设用地面积增加明显, 为26 283  $\text{hm}^2$ . 这种趋势表明, 在近期, 耕地保护、土地集约化利用将是土地资源利用和管理的重点.

(3) 一定区域经济的发展最终要走向一个稳定的状态, 随着经济的发展, 苏州市的土地利用结构也将逐渐稳定下来. 从预测分析的结果来看, 到2042年苏州市的土地利用结构将趋于稳定, 届时, 苏州市的土地中将有13.34%的耕地、13.78%的城镇建设用地、5.52%的农村居民点用地、14.98%的独立工矿用地、2.77%的交通运输用地.

本文的研究对于土地年度变更平衡表的深入应用有一定的借鉴意义. 在今后的研究中, 可研究平均转移概率矩阵的替代方法. 另外, 年度变更平衡表是基于土地利用变更调查数据的, 变更调查中存在一定的人为因素造成的数据误差, 使用时应注意甄别剔除.

### [参考文献]

- [1] 王万茂, 潘文珠. 土地资源管理学[M]. 合肥: 安徽科学技术出版社, 1989: 399-451.
- [2] 蔡运龙. 土地利用/土地覆被变化研究: 寻求新的综合途径[J]. 地理研究, 2001, 20(6): 645-652.
- [3] 任志远, 张艳芳. 土地利用变化与生态安全评价[M]. 北京: 科学出版社, 2003: 53-54.
- [4] 张希彪. 黄土丘陵沟壑区土地利用结构的地域分异研究[J]. 农业现代化研究, 2005, 26(6): 435-439.
- [5] 洪军, 葛剑平, 江南. 上海市1985-2000年土地利用时空变化分析[J]. 北京师范大学学报: 自然科学版, 2004, 40(6): 814-819.
- [6] 洪军, 江南, 于雪英. 上海市土地利用时空变化及驱动力分析[J]. 国土资源遥感, 2002, 14(3): 58-61.
- [7] 刘俊, 陆玉麒. 经济快速发展地区土地利用结构的时空演变——以苏锡常地区为例[J]. 长江流域资源与环境, 2009, 18(4): 307-313.
- [8] 刘俊, 董平. 1996年以来苏锡常地区土地利用结构时空演变研究[J]. 地域研究与开发, 2009, 28(2): 79-84.
- [9] 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): 698-706.
- [10] Lopez E, Bocco G, Mendoza 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(4): 271-285.
- [11] Wentz E A, Stefanov W L, Gries C, et al. Land use and land cover mapping from diverse data sources for an arid urban environments[J]. Computers, Environment and Urban Systems, 2006, 30(3): 320-346.
- [12] 刘琼, 欧名豪, 彭晓英. 基于马尔柯夫过程的土地利用结构预测研究——以江苏省昆山市为例[J]. 南京农业大学学报, 2005, 28(3): 107-112.
- [13] 牛星, 欧名豪. 基于MARKOV理论的扬州市土地利用结构预测[J]. 经济地理, 2007, 27(1): 153-156.
- [14] 王顺庆. 概率论与数理统计[M]. 南宁: 广西民族出版社, 2000: 115-132.
- [15] 除多, 张懿铨, 郑度. 拉萨地区土地利用变化情景分析[J]. 地理研究, 2005, 24(6): 869-876.

[责任编辑: 丁 蓉]