

# 中国 1999—2009 年土地覆盖动态变化的时空特点

黎治华<sup>1,4</sup>, 高志强<sup>2</sup>, 高 炜<sup>3,4</sup>, 施润和<sup>1</sup>, 刘朝顺<sup>4</sup>

(1. 华东师范大学地理信息科学教育部重点实验室, 上海 200062; 2. 中国科学院地理科学与资源所, 北京 100101;  
3. Natural Resource Ecology Laboratory, Colorado State University, Fort Collins, Colorado;  
4. 华东师范大学环境遥感与数据同化联合实验室, 上海 200062)

**摘 要:** 基于 SPOT NDVI 时间序列研究中国近 10 a 来(1999—2009 年)土地覆盖动态变化的时空特点。首先, 对 BISE 模型进行改进并对数据进行预处理; 其次, 结合光谱角分类和最小距离分类算法各自的优势构建了一个新的分类算法 (SAM-MDM), 并对多年 NDVI 数据分类和后处理, 提高了分类精度, 能满足土地覆盖变化趋势分析要求; 再次, 应用土地覆盖动态模型和 GIS 叠加方法分析了全国土地覆盖的时空变化, 建立了土地覆盖类型转移概率矩阵; 最后, 应用马尔科夫 (Markov) 过程建立了类型转移演化模型, 对未来 20 a 土地覆盖动态变化过程进行了预测。通过该研究探讨了 中国土地覆盖近 10 a 来在时间上的动态变化特点、空间上的变化差异、土地覆盖类型的转移概率分布和未来 10~20 a 的时空变化趋势。

**关键词:** 马尔科夫过程, 动态模型, 区划, SAM-MDM 算法, 土地利用/覆盖变化, 转移概率矩阵

doi: 10.3969/j.issn.1002-6819.2011.02.054

中图分类号: S17,S29,TP7,F301.2

文献标志码: A

文章编号: 1002-6819(2011)-02-0312-11

黎治华, 高志强, 高 炜, 等. 中国 1999—2009 年土地覆盖动态变化的时空特点[J]. 农业工程学报, 2011, 27(2): 312—322.

Li Zhihua, Gao Zhiqiang, Gao Wei, et al. Spatio-temporal feature of land use/land cover dynamic changes in China from 1999 to 2009[J]. Transactions of the CSAE, 2011, 27(2): 312—322. (in Chinese with English abstract)

## 0 引 言

土地覆盖一般是指地球表面当前所具有的自然和人为影响所形成的覆盖物, 包括植被、土壤、冰川、湖泊、沼泽湿地及道路等<sup>[1]</sup>, 是自然因素与社会经济活动因素综合作用的结果。改革开放 30 多年来, 中国社会经济和城市化都有了长足发展, 土地覆盖变化研究日益重要。为了研究中国土地覆盖变化, 更好地预测预报土地利用/土地覆盖 (LUCC) 变化的趋势, 需要构建完整的反映地表演化的具有时间、空间特征的数据平台, 基于遥感时间序列数据集研究土地覆盖变化是构建这个平台的一个重要方法<sup>[2-3]</sup>。应用遥感研究土地覆盖变化, 首先需要提取土地覆盖类型, 这方面已有一些研究成果<sup>[4]</sup>, 如神经网络分类、决策树分类和面向对象分类等方法已到了应用研究<sup>[5-8]</sup>, 但基于长时间序列进行土地覆盖变化的研究还比较少。基于 NDVI 时间序列的分类法得到一定的研究和应用<sup>[9-11]</sup>。各类研究表明 NDVI 时间序列在土地覆盖分类

上是可行的<sup>[12-14]</sup>; 利用 SPOT VGT 建立 1 km 分辨率的土地覆盖分类系统和提高 SPOT VGT 数据质量的处理方法也有研究成果<sup>[15]</sup>。

刘纪远等对中国土地利用/土地覆盖变化 (LUCC) 有很深入的研究, 通过土地覆盖动态分析区域土地覆盖变化速率<sup>[16]</sup>。高志强等根据土地利用程度指数和植被指数等指标, 采用 GIS 工具和数学模型方法, 对中国 LUCC 现状进行分析<sup>[17]</sup>, 指出中国植被指数时空变化极其复杂<sup>[18]</sup>。可以说, 研究中国土地覆盖动态变化是一个十分复杂而广阔的科学问题, 中国学者十分重视这方面的研究。近年来的研究主要涵盖遥感动态监测、遥感分类和制图、LUCC 驱动力、环境效应等方面; 但中国 LUCC 研究也存在很多突出的问题, 包括跨学科、时空尺度、理论体系完善、研究方法、与全球和区域环境变化及可持续发展之间的关系等<sup>[19]</sup>。

进入本世纪以来, 随着中国社会经济的发展和自然条件的变化, 中国土地覆盖变化的时空特点也会发生相应变化。本文在参阅已有研究基础上, 基于 1999—2009 年的 SPOT VGT 1 km 空间分辨率时间序列数据, 分析并构建 SAM-MDM 合成分类算法, 应用土地覆盖动态模型、区域分析模型和随机过程模型等进行变化研究, 通过大量算法程序开发和试验, 力图揭示中国近 10 年来土地覆盖动态变化的新特点, 为进一步研究中国土地覆盖提供一些新的资料, 为区域社会经济发展决策提供新的依据。

收稿日期: 2010-05-30 修订日期: 2010-11-12

基金项目: 国家重点基础研究发展计划 (973) 项目 (2010CB951603); 上海市科技支撑计划世博科技专项 (10DZ0581600); 中央高校基本科研业务费专项 (华东师范大学)

作者简介: 黎治华 (1967—), 男, 博士研究生, 主要从事遥感应用、环境演变、土地覆盖和地质灾害模拟评估方向研究。上海市中山北路 3663 号 华东师范大学环境遥感与数据同化联合实验室, 200062。

Email: zhliok@139.com

### 1 研究方法

#### 1.1 研究区域

本文研究区域是中国陆地部分，位于亚洲东部、太平洋西岸（见图 1），在东经 73.55°E~135.01°E 和 123.20°E、北纬 18.15°N~53.56°N 之间，包括中国的大陆、海南岛、台湾岛以及大陆周边岛屿，总面积约 948 万 km<sup>2</sup>。

中国气候具有显著季风特点。冬季盛行冬季风，全国大部分地区普遍低温，南北温差大。夏季盛行夏季风，全国大部分地区普遍高温（除青藏高原外），南北温差不大。青藏高原大部分地区海拔在 4 500 m 以上，年均气温较低，一般在 10℃ 以下，主要属于高原气候<sup>[20]</sup>。由于季风影响，降水地区分布不均匀，东部沿海多雨，西部内陆干旱少雨，南方比北方多雨，从东南到西北年降水量从 3 300 mm 以上减少到 50 mm 以下。通常，根据多年平均气温和年降水量的空间分布进行气候区划分<sup>[21-22]</sup>，一般把 400 mm 年降水量等值线作为半湿润和半干旱地区

分界线的主要参考，把 4 500℃ 的 ≥10℃ 年积温等值线作为亚热带和温带分界线的主要依据，按照热带、亚热带、温带和湿润、半湿润、半干旱和干旱地区类型进行组合分区<sup>[23-24]</sup>。本文将其归并为 4 个气候类型地区，如图 1 所示，4 个地区的具体情况参见表 1。

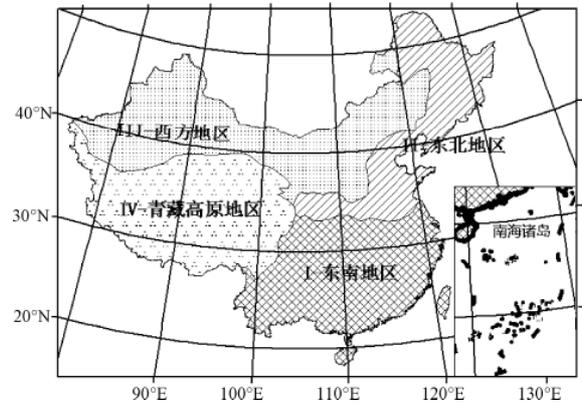


图 1 研究区域位置、范围及子区示意图  
Fig.1 Location, scope and sub-area of study area

表 1 研究区及其子分区情况  
Table 1 Information of the study area and its sub-area

代码	名称	面积/km <sup>2</sup>	百分比/%	气候条件
I	东南地区	2 432 556	25.64	主要是亚热带热带气候，湿润地区，年降水>800 mm
II	北方地区	1 621 783	17.10	主要是温带气候，湿润半湿润地区，年降水>400 mm
III	西北地区	2 882 716	30.39	主要是温带气候，干旱半干旱地区，年降水<400 mm
IV	青藏高原	2 549 411	26.87	大部分海拔>4 500 m，主要是高寒气候，终年低温
	全国	9 486 466	100	从东南往西北分别是湿润、半湿润、半干旱和干旱地区

#### 1.2 数据处理

本文使用 SPOT VGT、DEM、土地利用地图和多年降水量图等数据，使用前均经过预处理，包括数字化、数值计算、几何矫正、图像配准、投影变换，图像镶嵌和图像切割，形成坐标、范围和分辨率一致的研究数据集。由于 SPOT NDVI 采用的是地理坐标系（Datum 为 GCS\_WGS\_1984），因此在数据处理分析过程中均采用这种坐标系。最后的成果图均转换为 Albers 投影坐标系（Datum 为 D\_Krasovsky\_1940）。图 2 给出了本文研究的技术流程，主要包括数据预处理、土地覆盖分类、分类后处理和结果分析 4 个阶段。

##### 1) SPOT VEGETATION 数据

SPOT 卫星的 VEGETATION 传感器能获取 VGT-S10 产品，存档时间是从 1999 年 4 月 1 日到现在，VGT-S10 空间分辨率为 1 km × 1 km，以 8 bits 像元值方式存贮，每个像元 DN 值范围为 0~255，像元 DN 值乘以 0.004 再减去 0.1 就得到像元的 NDVI 值<sup>[25]</sup>。本文选择 1999、2000、2002、2005、2008 和 2009 年 10 a 间 6 期数据。VGT-S10 每年 36 个文件，将影像按年叠加合成为 36 个时间波段的年 NDVI 时间序列数据，其像元剖面曲线如图 3 所示。

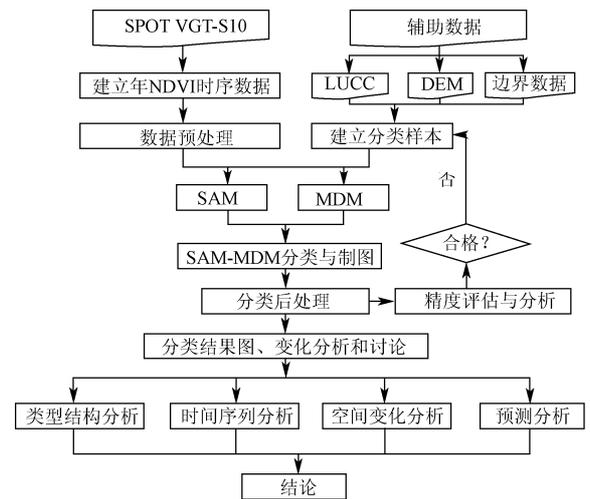


图 2 技术路线流程图  
Fig.2 Flow chart of methodology

SPOT VGT 采用 10 d 最大值（MVC）合成法，但合成后还会存在一些噪声，表现为 NDVI 值会突然变小，如图 3 所示圆圈所示。这主要是由于云、阴影等影响所致<sup>[13, 26-27]</sup>，需要去除或减小这些异常值。噪音异常值的检测和去除有较多研究，一般采用 Viovy 所用的 BISE（the best index slope extraction method）方法<sup>[28]</sup>，Zhang Jixian

等在研究中使用了BISE方法并建议20%作为检查异常点的阈值<sup>[27]</sup>，其算法表达为式(1)和(2)。

$$dNDVI_{t-1,t} = \frac{NDVI_{t-1} - NDVI_t}{NDVI_{t-1}} \times 100\% \quad (1)$$

$$dNDVI_{t,t+1} = \frac{NDVI_{t+1} - NDVI_t}{NDVI_{t+1}} \times 100\% \quad (2)$$

式中， $NDVI_t$ 、 $NDVI_{t-1}$ 和 $NDVI_{t+1}$ 分别表示 $t$ 、 $t-1$ 和 $t+1$ 时间的NDVI值。 $dNDVI_{t-1,t}$ 和 $dNDVI_{t,t+1}$ 分别是 $t$ 和 $t-1$ 、 $t$ 和 $t+1$ 的变化比例，如果式(1)和(2)的值同时都超过20%，则 $NDVI_t$ 被认为是异常值，使用 $NDVI_{t-1}$ 和 $NDVI_{t+1}$ 的均值进行矫正。

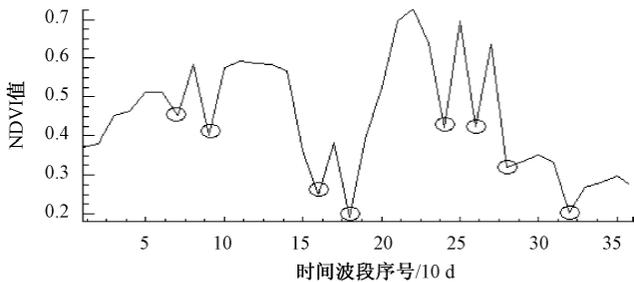


图3 年均NDVI时间序列曲线及其异常值示意图

Fig.3 Profile curve of annual NDVI time series and its outliers

本研究试验表明直接使用Viovy的BISE方法和20%阈值的效果并不理想，需要改进。本文在时间上扩展到4个邻近点，这样形成一个改进的BISE方法，算法参见式(3)~(7)。

$$dNDVI_{t-1,t} = NDVI_{t-1} - NDVI_t \quad (3)$$

$$dNDVI_{t,t+1} = NDVI_{t+1} - NDVI_t \quad (4)$$

$$dNDVI_{t,t+2} = NDVI_{t+2} - NDVI_t \quad (5)$$

$$dNDVI_{t-1,t+1} = NDVI_{t-1} - NDVI_{t+1} \quad (6)$$

$$dNDVI_{t+1,t+2} = NDVI_{t+2} - NDVI_{t+1} \quad (7)$$

式中，变量 $t-1$ 、 $t$ 、 $t+1$ 和 $t+2$ 为4个时间邻近点；符号 $dNDVI$ 表示2个时段NDVI的差值。

首先用式(3)和(4)来检测 $t$ 点，然后用式(4)~(7)来检测 $t$ 和 $t+1$ 点。试验表明，使用绝对数值代替百分比做阈值有更好的检测效果，这个值可以设为0.015~0.025之间。当这些邻近点差值大于阈值的时候，则 $t$ 或 $t+1$ 被认为是异常点，使用两边点的均值来进行矫正。

为了进一步“光滑”时间序列曲线，本文使用了步长为3的滑动窗口滤波算法进行滤波，其算法可以表达为式(8)。

$$NDVI_t = \frac{1}{w} \sum_{j=0}^{w-1} NDVI_{t+j-w/2} \quad (8)$$

式中， $NDVI_t$ 是滤波后的值； $w$ 为移动窗，本文中 $w=3$ 。

图4显示处理后NDVI时间序列曲线，点虚线是原始曲线；线段虚线是通过原Viovy所用的BISE方法处理结果；实线是用本文改进后BISE方法和移动窗口滤波处理

后结果。可以看改进算法处理法的效果更好，使NDVI时间序列曲线更具植物生长的“韵律”，曲线更加“光滑”。

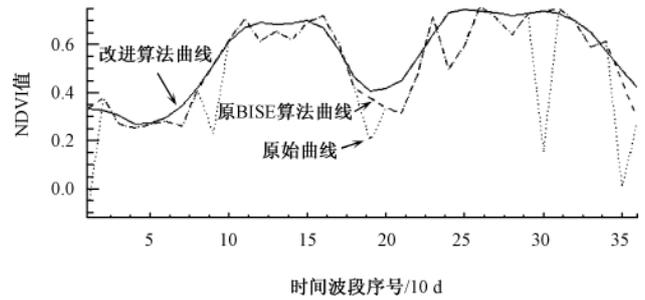


图4 NDVI时间序列数据预处理结果图

Fig.4 Results contrast for Data pre-processing of annual NDVI time series

## 2) DEM 和 LUCC 数据

DEM用来辅助土地覆盖分类后处理，本研究使用了SRTM3 (shuttle radar topography mission)的DEM数据，其空间分辨率为 $90\text{ m} \times 90\text{ m}$ ，SRTM3 DEM主要是由美国太空总署(NASA)和国防部国家测绘局(NIMA)联合测量的，2002年制作完成。从中国资源环境数据库获得了LUCC数据，有2000和2005年两期数据，是用TM/ETM/ETM+影像经过人工解译形成，用作精度评估参考数据。

### 1.3 SPOT NDVI 时间序列分类

中国在土地分类上制定了标准或规范，如过渡分类标准、试行分类标准、城镇土地分类标准、2007年(根据全国第二次土地调查需要)的国家标准等。本研究要使用的参考数据是2000和2005年土地利用图，它们采用的是过渡分类标准。土地过渡分类法定义了6个一级类和25个二级类：水域，含6个二级类；建设用地，含3个二级类；耕地，含2个二级类；草地，含3个二级类；林地，含4个二级类；未利用地，含7个二级类。未利用地中的沼泽地、盐碱地一般都有植被覆盖，本文归为到草地中，其他的如沙地、戈壁、盐碱地、裸土地、裸岩石砾地等几乎无植被覆盖的，本文称它们为无覆盖土地或者称为裸露土地。这6个一级类25个二级类在NDVI时间序列上有明显的特征。每一年每一个土地覆盖类型都有各自NDVI时间序列特征，建立每年每类的土地覆盖特征曲线库就可以进行土地覆盖分类。基于SPOT NDVI时间序列分类的过程如下：

1) 建立感兴趣区域，即训练样本的选取，是提高分类精度的基础。根据2000和2005年的土地利用图，对耕地、林地、草地、水体、建设用地、裸露土地分别建立感兴趣区域(the region of interest, ROI)。选取ROI要考虑典型性和一致性，即选取的ROI是单一的二级类，同时要求这个ROI在1999—2009年的10a间土地类型未发生改变。本研究针对25个二级类中的每一类均选取6个以上ROI，每个ROI的像元在100点以上，并且在全国4个典型地区独立选取。整个样本像元在 $4 \times 25 \times 6 \times 100$

点以上，并逐年建立 ROI 样本特征曲线和均值库，作为分类样本特征。

2) 对年 NDVI 时间序列数据集进行分类。由于时间序列具有“高时间分辨率”的特点，其曲线类似高光谱曲线，可以应用光谱角制图法 (SAM) 进行分类<sup>[29]</sup>，Peng Guangxiong 等研究表明 SAM 分类有较高精度<sup>[30]</sup>。把一个像元 NDVI 时间序列作为一条曲线，计算它与各 ROI 曲线的夹角，该像元与夹角最小的 ROI 判为同一类，其算法见式 (9)<sup>[31]</sup>。

$$\cos(ta) = \frac{F_p \cdot F_{roi}}{|F_p| |F_{roi}|} = \frac{\sum_{i=1}^n F_p i F_{roi} i}{\sqrt{\sum_{i=1}^n F_p i F_p i} \sqrt{\sum_{i=1}^n F_{roi} i F_{roi} i}} \quad (9)$$

式中， $ta$  为像元曲线与 ROI 曲线之间的夹角； $F_p$  和  $F_{roi}$  分别为像元和 ROI 的时序向量， $i=1, \dots, n$ 。

由于 SAM 对角度敏感，即对曲线形状很敏感，但对曲线的数值不敏感；因此在应用 SAM 方法的同时，需要结合距离算法来区别 NDVI 数值，这里采用最小距离分类算法 (MDM)，其算法参见式 (10)。

$$Dist(j) = \sum_{i=1}^n |Pixel - Mean_{ij}|, j = 1, 2, \dots, M \quad (10)$$

式中， $M$  为参与运算的 ROI 数量， $j$  为该 ROI 的序号； $n$  为时间波段，这里  $i=1, 2, \dots, n$ ； $Pixel$  为时间序列里的一个像元； $Mean$  为一个 ROI 的在各个时间波段的系列平均值，这里一个 ROI 有 36 个均值，是进行类型检测的特征值。

本文通过 SAM 和 MDM 各自优势的结合，形成研究使用的 SAM-MDM 算法。SAM-MDM 的算法思想是：对每年 NDVI 时间序列分类时，对于一个像元，首先在相应的 ROI 样本中分别进行 SAM 和 MDM 分类，得到 2 个分类编码（用 SAM 分得到 C1，用 MDM 分得到 C2），如果  $C1=C2$ ，那么这个像元的类别就可以立即确定；如果  $C1 \neq C2$ ，那么可以通过设定一个距离阈值过滤并锁定该像元应分类的样本范围；最后，在锁定的样本范围内再次进行 SAM 运算，可最终确定该像元分类类别。多次试验表明 SAM-MDM 算法能较大程度提高时间序列数据分类的精度。

3) 分类后处理。应用 DEM 数据、区域（如 I、II、III 和 IV 区）和不同类 NDVI 阈值经验等先验知识进行分类后处理和重编码。本文使用了类似于 William L. Stefanov 使用的分类后处理专家模型来进行分类后处理<sup>[32]</sup>。对需要后处理的类别设置判断路径，对符合判断路径的类进行确认，对不符合判断路径的类进行重编码。这样，完成了对 6 年 NDVI 时间序列的分类和分类后处理。

## 1.4 土地覆盖变化分析方法

### 1.4.1 土地覆盖类型统计分析

按照 6 个类别和 4 个地区（I、II、III 和 IV）分别对 6 年分类图逐像元累加求和，然后计算各类在本区域或本

类总面积中所占面积比例，用百分数来表达，算法如式 (11)、(12)，可得出每年每类土地覆盖的百分数。

$$Qp = Sp / A_k \times 100\% \quad (11)$$

式中， $Qp$  为某个地区或全国的第  $p$  类土地覆盖类型在本子区或全国总面积所占的百分比； $Si$  表示某个地区或全国的第  $p$  类土地覆盖类型的面积， $p=1, 2, \dots, 6$ ； $A_k$  表示第  $k$  个子区的面积， $k=I, II, III, IV$  或 Total。

$$Rp = Sp / (\sum_p Sp) \times 100\% \quad (12)$$

式中， $Rp$  表示某个地区或全国的第  $p$  类土地覆盖类型在本类型总面积所占的百分比。

### 1.4.2 土地覆盖类型变化分析

分析土地覆盖在时间上的变化，通用算法是计算土地覆盖最终状态与初始状态的年均面积变化率，它反映土地覆盖在时间上的发展趋势。本文采用土地覆盖动态度模型算法<sup>[33]</sup>，参见式 (13)，它既可以用于多类型土地覆盖变化速率的度量，也可以用于单一土地覆盖类型变化速率的度量<sup>[16]</sup>。

$$S = \left\{ \sum_{pq} (\Delta S(p-q) / Sp) \right\} \times (1/t) \times 100\% \quad (13)$$

式中， $Sp$  是开始时间第  $p$  类的面积； $\Delta S(p-q)$  是结束时间第  $p$  类转换成其他类的面积； $t$  指时间， $a$ ； $S$  是在  $t$  时间段内某个类的变化速率。

### 1.4.3 土地覆盖类型转移概率

土地覆盖类型随着时间变化相互转移，第  $p$  类可以转到第  $q$  类，其转移面积记为  $\Delta S_{pq}$ ，则  $\Delta S_{pq}/Sp$  就是第  $p$  类转到第  $q$  类的概率，记着  $P_{pq}$ ，因此  $P_{pq} = \Delta S_{pq}/Sp$ ， $P_{pq}$  就是类型转移概率组成的一个矩阵，记着  $P$ ，参见式 (14)。

$$P = (P_{pq}) = \begin{pmatrix} P_{11} & \dots & P_{1N} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ P_{N1} & \dots & P_{NN} \end{pmatrix} \quad (14)$$

式中， $P$  为开始时间到结束时间研究区域土地覆盖类型转移概率矩阵。 $P_{pq}$  表示第  $p$  类土地覆盖转移到第  $q$  类土地覆盖的概率， $n$  表示土地覆盖类型的数量， $p=1, 2, \dots, N$ ， $q=1, 2, \dots, N$ 。

根据式 (15) 计算出了土地覆盖类型转移概率矩阵。

### 1.4.4 类型转移概率矩阵与马尔柯夫过程

用马尔可夫过程来看，式 (14) 实际上就是马尔柯夫过程的状态转移概率矩阵。这里的“状态”就是指土地覆盖类在某年的面积百分比，也就是状态概率，即由状态  $Ep$  转为状态  $Eq$  的状态转移概率  $P(Eq/Ep)$ <sup>[34]</sup>。

马尔柯夫过程是研究和预测一种无后效性的随机过程，即  $t$  时刻研究事物的状态转移只和前一时刻  $t-1$  的状态有关，而与过去  $t-2$ 、 $t-3$  等时点的状态无关。运用马尔可夫过程对事件发展过程中状态概率的预测，就是通过状态概率  $\pi q(k)$  去推算  $\pi q(k+1)$  的状态，事件在初始 ( $k=0$ ) 时状态为已知的条件下的  $\pi q(k)$  计算如式 (15)<sup>[34]</sup>。在实际应用中，马尔柯夫过程既适用于时间序列，也适用于

空间序列<sup>[35]</sup>；但由于马尔柯夫过程在空间序列上的预测涉及到邻域、转换概率限制等问题研究，同时遥感影像在空间上能够直观展示事物的分布变化，因此本文侧重于马尔柯夫过程在时间序列上的应用。

$$\pi(k) = \pi(k-1)P = \dots = \pi(0)P^k \quad (15)$$

通过式(15)对研究区土地覆盖未来的变化进行预测。

表 2 2000 年土地覆盖分类精度评估

Table 2 Accuracy assessment of the land use/cover classification in 2000

参考数据	水体	建设用地	耕地	草地	林地	裸露土地	全国
水体	191 519	794	4 475	10 587	982	17 455	225 812
建设用地	5 926	42 574	27 042	1 900	3 149	422	81 013
耕地	33 533	31 161	1 823 833	166 318	143 759	20 302	2 218 906
草地	31 498	4 928	227 368	3 373 576	116 049	185 371	3 938 790
林地	5 384	1 704	233 872	193 679	2 634 901	2 803	3 072 343
裸露土地	8 190	307	719	92 534	2 522	2 170 747	2 275 019
全国	276 050	81 468	2 317 309	383 8594	2 901 362	2 397 100	11 811 883
生产精度/%	69.38	52.26	78.70	87.89	90.82	90.56	
用户精度/%	84.81	52.55	82.20	85.65	85.76	95.42	
总体精度/%	86.67(10237150/11811883)						
Kappa 系数	0.8226						

表 3 2005 年土地覆盖分类精度评估

Table 3 Accuracy assessment of the land use/cover classification in 2005

参考数据	水体	建设用地	耕地	草地	林地	裸露土地	全国
水体	190 418	1 420	4 544	10 104	1 019	16 347	223 852
建设用地	6 110	47 086	26 811	1 511	3 295	244	85 057
耕地	35 874	42 594	1 825 587	144 170	157 909	22 641	2 228 775
草地	25 660	5 398	188 639	3 318 370	110 501	190 594	3 839 162
林地	6 797	3 396	283 842	197 363	2 659 682	3 227	3 154 307
裸露土地	9 973	735	2 032	79 094	3 464	2 183 084	2 278 382
全国	274 832	100 629	2 331 455	3 750 612	2 935 870	2 416 137	11 809 535
生产精度/%	69.29	46.79	78.30	88.48	90.59	90.35	
用户精度/%	85.06	55.36	81.91	86.43	84.32	95.82	
总体精度/%	86.58(10 224 227/11 809 535)						
Kappa 系数	0.8218						

表 2 是对 2000 年 NDVI 分类图进行精度评估的结果。评估像元总数为 11 811 883，Kappa 系数和总体精度分别为 0.8226 和 86.67%，说明 2000 年 NDVI 分类图具有较高的分类精度，为研究土地覆盖变化趋势提供较高精度的数据。

表 3 是对 2005 年 NDVI 分类图进行精度评估结果。像元总数为 11 809 535，Kappa 系数和总体精度分别为 0.82186 和 86.58%，说明 2005 年 NDVI 分类图具有较高

## 2 结果与分析

### 2.1 分类精度评估

利用 2000 和 2005 年的中国土地利用图分别对 2000 和 2005 年 NDVI 分类图进行精度检验，应用混淆矩阵计算 Kappa 系数、总体精度、生产精度和用户精度，结果参见表 2 和表 3。

的分类精度，可满足研究土地覆盖变化趋势。

### 2.2 土地覆盖时空动态变化分析

使用基于光谱角的监督分类方法和分类后处理专家模型，得到 1999、2000、2002、2005、2008 和 2009 年的土地覆盖图，如图 5 所示。

图 5 对照显示了 1999 到 2009 年近 10 a 来土地覆盖的基本分布格局。耕地、林地和建设用地主要分布 I 和 II 区，草地、裸露和 水体土地主要分布在 III 和 IV 区。从

东南到西北植被覆盖逐步减少，土地覆盖由耕地和林地逐步过渡到草地和裸露土地；这是由于中国属于季风气候，降水量从东南沿海到西北内陆逐步减少。表 4 列出了 1999 年到 2009 年全国范围内水体、建设用地、耕地、草地、林地和裸露土地面积比例及其时间序列。2009 年与 1999 年比，水体、建设用地、耕地、草地、林地和裸

露土地的面积比例变化分别为-0.06、0.10、-0.41、-1.56、1.76 和 0.17 百分点。耕地、草地和水面比例减少，而建设用地、林地和裸露土地比例增加；其中，草地、耕地比例减少明显，建设用地比例增加显著。这是本世纪来中国土地覆盖时间上变化一个显著特征。

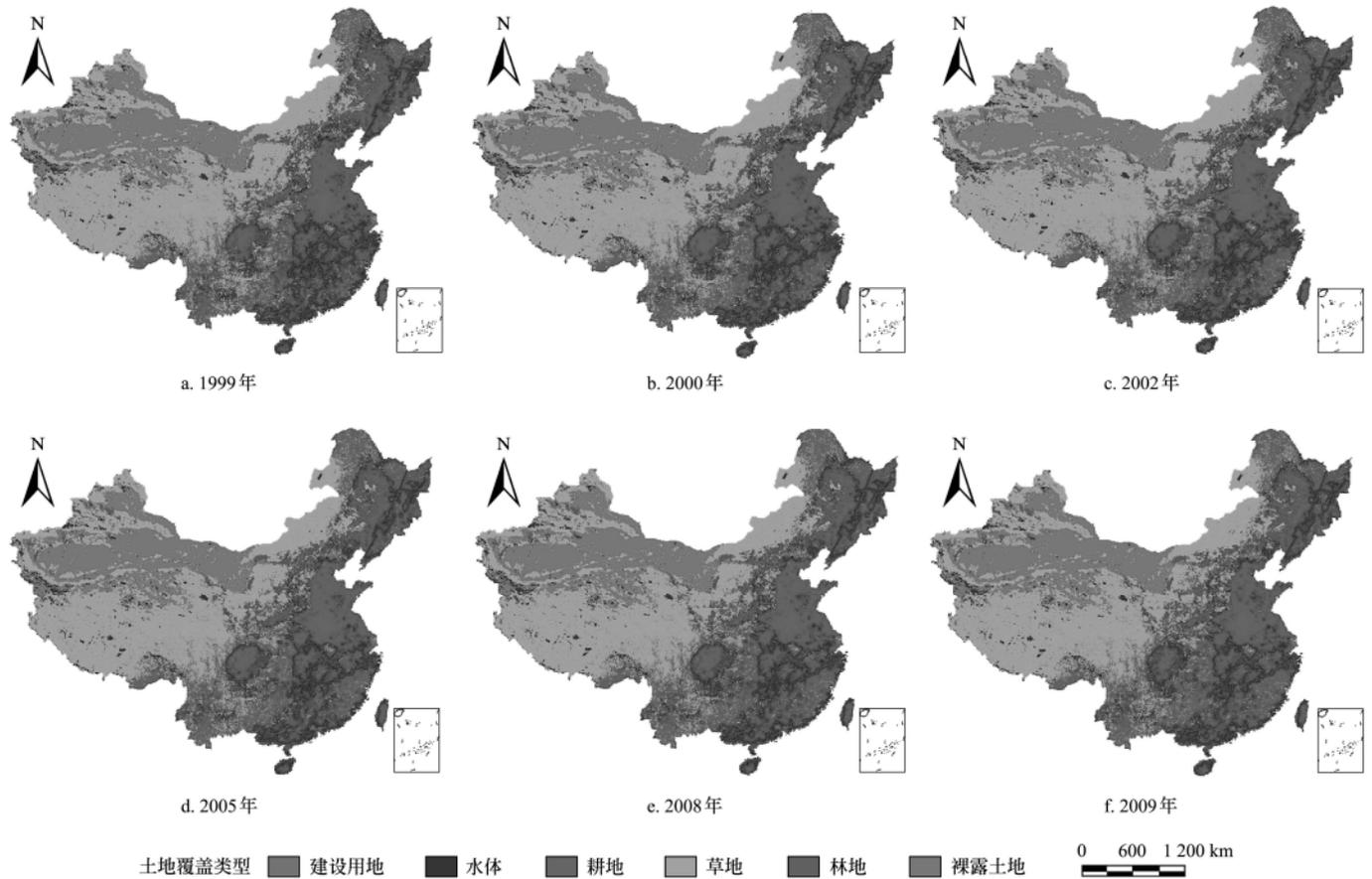


图 5 1999—2009 年土地覆盖类型分布图  
Fig.5 Land use/land cover change maps from 1999 to 2009

表 4 1999—2009 年中国土地覆盖类型面积比例表

Table 4 Area percents of the six main classes of land use/cover change from 1999 to 2009

年份	水体	建设用地	耕地	草地	林地	裸露土地	全国
1999 年	1.97	0.69	18.9	33.72	25.54	19.18	100
2000 年	1.96	0.7	18.78	33.33	25.99	19.24	100
2002 年	1.96	0.71	18.74	32.88	26.46	19.25	100
2005 年	1.95	0.73	18.87	32.49	26.69	19.27	100
2008 年	1.94	0.76	18.86	32.15	27	19.29	100
2009 年	1.91	0.79	18.49	32.16	27.3	19.35	100

依据土地覆盖动态变化率模型式 (13)，以 1999 年为基线 (Baseline) 计算出 1999 到 2009 年近 10 a 来全国土及 I、II、III 和 IV 区的土地覆盖类型变化速率 (动态度)。表 5 反映了全国及 I、II、III 和 IV 区土地类型的年均变化趋势和基本的程度。总体上看，水体、耕地和草地呈减少趋势，草地减少速率最大；建设用地、林地

和裸露土地呈增加趋势，其中建设用地年均增加速率最大。控制建设用地的总规模，治理草地退化是当前经济发展最需要注意的问题。

表 5 1999—2009 年研究区域土地覆盖类型年变化率

Table 5 Annual change rates of the six main classes of land use/cover from 1999 to 2009

区域	水体	建设用地	耕地	草地	林地	裸露土地
I	-0.16	1.72	-1.18	-2.89	0.94	0
II	-0.1	1.29	0.11	-1.24	0.21	0.33
III	-0.13	0.61	0.97	-0.45	0.85	0.06
IV	-0.42	0.48	-0.72	-0.05	0.26	0.13
全国	-0.29	1.5	-0.22	-0.46	0.69	0.09

从空间上看，水体年均减少速率在 IV 区最大，其次是 I 区，说明西南部和东南部经济发展对水体有较大的胁迫，因此西部开发要注意水体的保护；建设用地增长速率在 I 区最大，其次是 II 区，即建设用地在东部地区增

加较快；耕地年均减少速率在 I 区最大，其次 IV 区；耕地在 II 区和 III 区出现一个较小年均增长速率，在北方 II 和 III 区耕地面积比例有所增加，这与 20 世纪 90 年代耕地“北增南减”变化趋势一致<sup>[33]</sup>，但全国耕地总体比例由原来的增加转变为减少；草地减少速率在 I 区最大，其次是 II 区；林地有所增加，年均增长率 I 区最大；裸露土地年均增加速率在 II 区最大，其次是 IV 区，说明西北区沙漠化趋势还在继续。这些是中国土地覆盖空间上变化的一些显著特征，不仅反映了土地覆盖变化的社会经济因素和自然条件因素在空间上的作用差异，也反映了人类活动对土地覆盖变化程度在空间上的影响差别。

由于自然因素和人类活动因素作用的空间差异，土地覆盖类型可以相互转换，如耕地可以向建设用地、草地、林地等方向转换，图 6 展示了土地覆盖变化的空间分布情况。

图 6a 表示了 1999 到 2009 年耕地转移成其他土地覆盖的分布情况。在 I 区耕地主要向林地、建设用地方向转移；在 II 区耕地主要向草地、林地和建设用地方向转移；在 III 区耕地主要向草地、林地方向转移。这些变化与城

市化、经济作物面积扩大、退耕还林、土地沙化、气候变化等人类活动和自然因素有关。图 6b 显示了 1999 到 2009 年草地转移成其他土地覆盖的分布情况，在 I 区草地主要向林地和耕地方向转移，主要发生在 I 区的西南（主要是四川、云南和贵州省）；在 II 区草地主要向耕地、林地方向转移；在 III 区草地主要向耕地、林地方向转移。向耕地方向的转换主要是土地开垦活动加强的驱动。图 6c 显示了 1999 到 2009 年林地转移成其他土地覆盖的分布情况，林地主要向耕地方向转移，主要发生在 I、II 和 III 区。水体、建设用地和裸露土地向其它土地覆盖类型转移很少，这里暂且省略。从图 6 的土地覆盖类型转移分布来看，土地覆盖类型转移发生概率较大的地区集中在 I、II 和 III、IV 区的过渡地带，这个过渡地带实际上就是半湿润半干旱地带（大约位于年降水量 200~400 mm 东北-西南走向的狭长地带），这是中国土地覆盖空间变化的又一个显著特征。由于这一地带气候变化影响显著，特别是降水量年际变化较大，同时人口较稠密、土地承载压力较大，属于农业与牧业随政策和气候变化而变迁。半湿润半干旱地区生态胁迫变化也是目前全球变化研究的一个重点。

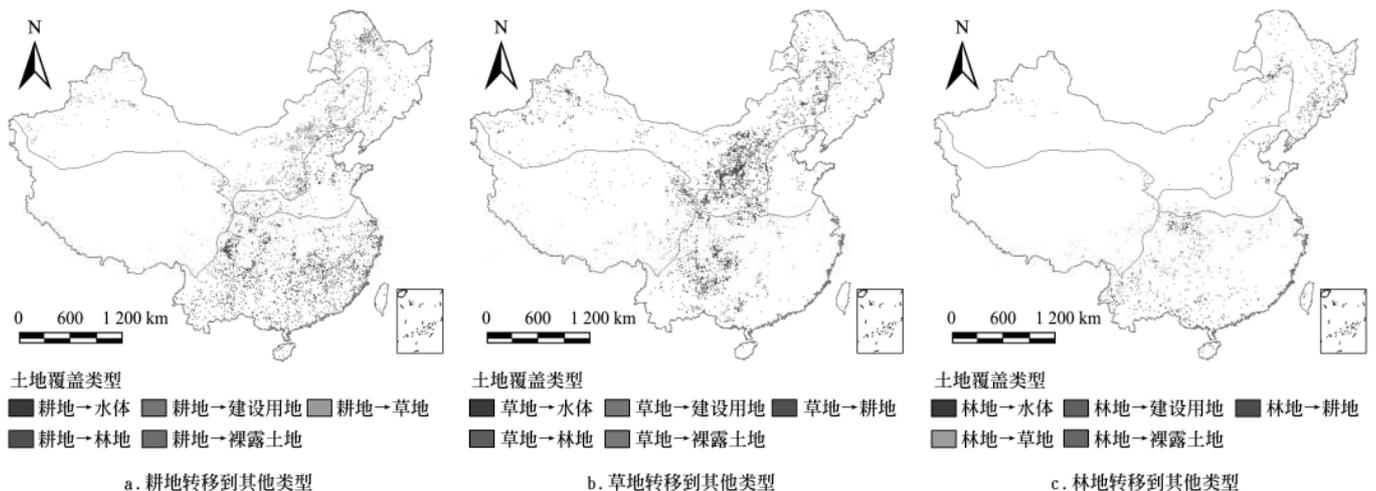


图 6 1999—2009 年土地覆盖变化分布图

Fig.6 Maps of class distribution of land use/cover change from 1999 to 2009

依据式 (14) 可以计算出不同时间段的土地覆盖类型转移概率，表 6 显示了 1999 到 2009 年土地覆盖转移的概率；表 6 实际上就是转移概率矩阵，表现了土地类型转移的程度，可以看出，耕地、草地、林地和水体都能向其他覆盖类型土地转移，而建设用地和裸露土地几乎不能向其他类型土地转移。结合其他年份的数据进行分析得出，耕地向林地、草地和建设用地转移的概率较大；草地向林地和耕地转移的概率较大；林地向耕地、草地转移的概率较大；水体向草地、耕地和建设用地转移的概率较大。这个结果也表明了建设用和裸露土地的向其他方向的可转移概率很小。

依据马尔可夫过程可以预测一个区域未来土地覆盖

状态。本研究预测了 2011、2014、2017、2019 和 2029 中国土地覆盖的面积比例，参见表 7。其中 2002、2005 和 2008 的预测数据可以和参考数据表 4 相应年份数据进行对照。预测误差分析结果表明，3 a 18 个预测数据的误差偏离范围在 -3.54%~5.34% 之间，平均误差偏离值为 1.54%，标准方差为 2.31%。误差分析表明预测结果与遥感监测数据吻合程度很高。预测数据表明目前这种土地覆盖动态变化的时空趋势在未来 10~20 a 内任将持续下去，耕地、水体、草地和林地生态不容乐观，对中国生态环境产生较大的压力，经济发展的同时要注意生态环境的保护。

表 6 1999—2009 年土地覆盖类型转移概率矩阵

Table 6 Matrix of transition probability of the land use/cover classification from 1999 to 2009

2009 年	1999 年						%
	水体	建设用地	耕地	草地	林地	裸露土地	
水体	97.0561316	0	0	0	0	0	
建设用地	0.1357849	100	0.4556885	0.0417893	0.0017531	0	
耕地	0.2324672	0	82.7685547	5.9558231	3.2696396	0	
草地	1.6380129	0	6.4479499	91.2746855	0.5092501	0	
林地	0	0	10.3276281	2.2920213	96.2193573	0	
裸露土地	0.9376034	0	0.0001788	0.4356807	0	100	
全国	100	100	100	100	100	100	

表 7 2002 到 2029 年中国土地覆盖变化预测表

Table 7 Change trend prediction of the six main classes of land use/cover in China from 2002 to 2009

预测年份	水体	建设用地	耕地	草地	林地	裸露土地	全国	%
2002	1.954	0.729	18.549	32.561	26.861	19.347	100	
2005	1.942	0.769	18.201	31.479	28.101	19.508	100	
2008	1.940	0.755	18.991	32.122	26.907	19.285	100	
2011	1.932	0.794	18.851	31.810	27.304	19.311	100	
2014	1.923	0.823	18.842	31.476	27.606	19.331	100	
2017	1.914	0.853	18.833	31.147	27.903	19.350	100	
2019	1.852	0.893	18.117	30.718	28.916	19.504	100	
2029	1.798	0.991	17.774	29.383	30.398	19.656	100	

### 3 结 论

本文基于 SPOT NDVI 数据来研究中国近 10 a 来土地覆盖动态变化的时空特点。研究过程与结果表明，依据 SPOT NDVI 时间序列研究中国土地覆盖长周期变化的趋势具有可行性，能揭示土地覆盖变化的时空趋势。改进的 BISE 对 NDVI 时间序列处理获得了较好的效果。本文构建了 SAM-MDM 新分类模型对 NDVI 时间序列按照调整后国家过渡类进行分类，得到 1999、2000、2002、2005、2008 和 2009 年共 6 a 的土地覆盖类型图，分类后处理采用了专家模型，使用 2000 和 2005 年两期人工解译图作为参考数据对分类精度进行了评估，2000 年的 Kappa 系数和总体精度在分别为 0.8226 和 86.67%，2005 年的 Kappa 系数和总体精度分别为 0.82186 和 86.58%。分析结果表明这种精度对检测土地覆盖类型的中长期变化趋势是可用的。

为了研究中国土地覆盖动态变化的时空特点，依据自然地理区划归纳了东南、东北、西北和青藏高原 4 个子区，应用土地覆盖动态模型、GIS 空间叠加分析方法、类型转移概率矩阵等方法对区域土地覆盖的时空分布和时空变化特征进行了分析。研究结果表明，从 1999 到 2009 年近 10 a 来，水体、耕地和草地呈逐年减少的趋势，年均减少速率分别是 -0.29%、-0.22%、和 -0.46%，耕地和草地呈减少趋势明显；建设用地和林地逐年增长的趋势

明显，裸露土地呈现出逐年增长的趋势，计算结果表明它们的年均增长速率分别是 1.50%、0.69% 和 0.09%，其中建设用地增长速率最快。土地覆盖类型在空间上的变化差异较大，耕地在南方地区呈明显减少趋势、在北方有增加的趋势，建设用地在东部地区呈明显增长趋势、在西部地区增长缓慢，林地在南方增长速度较快，裸露土地的增长主要在西北地区。从类型转移概率来看，耕地、草地、林地是转移概率较大的三类土地覆盖，主要分布在半湿润半干旱地区，即位于年降水量 200~400 mm 东北-西南走向的狭长地带。这里是土转移概率最高的地带，也是生态环境比较脆弱的地区，对自然因素和人类因素变化响应敏感，这里需要十分重视生态环境保护。这些研究表明中国近 10 a 来土地覆盖动态变化的时空特点与上个世纪的有所不同，应用马尔科夫过程对中国未来 10~20 a 土地覆盖预测表明，目前土地覆盖动态变化的时空趋势还将继续发展下去。

由于 SPOT VGT 的空间分辨率较低、分类辅助数据不足和实地核查比较困难等条件的限制，本研究基于年 NDVI 序列的分类精度还是有限的。使用更高空间分辨率的遥感数据、进一步提高土地覆盖分类的精度、加入更多的辅助数据、实地采样核查、加强驱动力分析、基于马尔科夫过程的空间变化预测等，是深化本研究的几个方向。

致谢: 本项目团队、实验室老师和同事为本研究所做的大量工作, 其中包括数据收集、数据预处理、数据分析、插图制作和文章修改建议等, 特此志谢!

### [参 考 文 献]

- [1] 杨立民, 朱智良. 全球及区域尺度土地覆盖土地利用遥感研究的现状和展望[J]. 自然资源学报, 1999, 14(4): 340-344. Yang Liming, Zhu Zhiliang. The status quo and expectation of global and local land cover and land use RS research [J]. Journal of Natural Resources, 1999, 14(4): 340-344. (in Chinese with English abstract)
- [2] 刘纪远, 刘明亮, 庄大方, 等. 中国近期土地利用变化的空间格局分析[J]. 中国科学: D 辑, 2002, 32(12): 1031-1041. Liu Jiyuan, Liu Mingliang, Zhuang Dafang, et al. Study on spatial pattern of land-use change in China during 1995-2000 [J]. Science in China Series D, 2003, 46(4): 373-384.
- [3] 韩涛. 遥感监测土地覆盖变化的方法及研究进展[J]. 干旱气象, 2004, 22(2): 76-81. Han Tao. Some research advances and methods on detecting land cover change by remote sensing[J]. Arid Meteorology, 2004, 22(2): 076-081. (in Chinese with English abstract)
- [4] Tucker C J, Townshend J R G, Goff T E. African land-cover classification using satellite data[J]. Science, 1985, 227(4685): 369-375.
- [5] Solberg A H S, Taxt T, Jain A K. A markov random field model for classification of multisource satellite imagery[J]. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 1996, 34(1): 100-113.
- [6] Carrão, H, Gonçalves P, Caetano M. Contribution of multispectral and multitemporal information from MODIS images to land cover classification[J]. Remote Sensing of Environment, 2008, 112(3): 986-997.
- [7] Jabbar M T, Shi Zhihua, Wang Tianwei. Vegetation change prediction with geo-information techniques in the three gorges area of china[J]. Soil Science Society of China, 2006, 16(4): 457-467.
- [8] 巴雅尔, 敖登高娃, 沈彦俊, 等. 地理信息系统支持下 Spot/vegetation NDVI 影像的大尺度神经网络分类[J]. 红外与毫米波学报, 2005, 24(6): 427-432. Bayaer, Aodenggaowa, Shen Yanjun, et al. Spot/vegetation NDVI image's large scale neural networks classification supported by GIS[J]. Journal of Infrared and Millimeter Waves, 2005, 24(6): 427-432. (in Chinese with English abstract)
- [9] 韩爱惠. 用 MODIS 植被指数的时间序列分析提取荒漠化敏感区域的方法[J]. 林业资源管理, 2004, 2004(1): 57-60. Han Aihui. Method of abstracting the desertification sensitive areas through analysis of the time series of modis vegetation indices[J]. Forest Resources Management, 2004, 2004(1): 57-60. (in Chinese with English abstract)
- [10] 江东, 王乃斌, 杨小唤, 等. NDVI 曲线与农作物长势的时序互动规律[J]. 生态学报, 2002, 22(2): 247-252. Jiang Dong, Wang Naibin, Yang Xiaohuan, et al. Principles of the interaction between ndvi profile and the growing situation of crops[J]. Acta Ecologica Sinica, 2002, 22(2): 247-252. (in Chinese with English abstract)
- [11] 索玉霞, 王正兴. 基于决策树和 MODIS 植被指数时间序列的中亚土地覆盖分类[J]. 世界地理研究, 2008, 17(3): 126-130. Suo Yuxia, Wang Zhengxing. Land cover classification of middle asia based on decision tree and modis vegetation index time serials[J]. World Regional Studies, 2008, 17(3): 126-130. (in Chinese with English abstract)
- [12] Wardlow B D, Egbert S L, Kastens J H. Analysis of time-series MODIS 250 m vegetation index data for crop classification in the U.S. Central Great Plains[J]. Remote Sensing of Environment, 2007, 108: 290-310.
- [13] 张培松, 武伟, 刘洪斌, 等. 基于 MODIS 影像对 NDVI 和 EVI 的分类研究[J]. 西南师范大学学报: 自然科学版, 2007, 32(2): 70-75. Zhang Peisong, Wu Wei, Liu Hongwu, et al. Classification of NDVI and EVI based on modis images[J]. Journal of Southwest China Normal University: Natural Science, 2007, 32(2): 70-75. (in Chinese with English abstract)
- [14] 杨小唤, 张香平, 江东. 基于 MODIS 时序 NDVI 特征值提取多作物播种面积的方法[J]. 资源科学, 2004, 26(6): 17-22. Yang Xiaohuan, Zhang Xiangping, Jiang Dong. Extraction of multi-crop planting areas from modis data[J]. Resources Science, 2004, 26(6): 17-22. (in Chinese with English abstract)
- [15] Han K S, Champeaux J L, Roujean J L. A land cover classification product over France at 1 km resolution using SPOT4/VEGETATION data[J]. Remote Sensing of Environment, 2004, 92(1): 52-66.
- [16] 刘纪远, 布和敖斯尔. 中国土地利用变化现代过程时空特征的研究: 基于卫星遥感数据[J]. 第四纪研究, 2000, 20(3): 229-239. Liu Jiyuan, Buheaosier. A study on the spatial-temporal feature of modern landuse change in china: Using remote sensing techniques[J]. Quaternary Sciences, 2000, 20(3): 229-239. (in Chinese with English abstract)
- [17] 高志强, 刘纪远, 庄大方. 基于遥感和 GIS 的中国土地利用/土地覆盖的现状研究[J]. 遥感学报, 1999, 3(2): 134-139. Gao Zhiqiang, Liu Jiyuan, Zhuang Dafang. The research of chinese land-use/land-cover present situations[J]. Journal of Remote Sensing, 1999, 3(2): 134-139. (in Chinese with English abstract)
- [18] 高志强, 刘纪远. 基于遥感和 GIS 的中国土地潜在资源的研究[J]. 感学报, 2000, 4(2): 136-140. Gao Zhiqiang, Liu Jiyuan. The research of land potential resources in china based on remote sensing & GIS[J]. Journal of Remote Sensing, 2000, 4(2): 136-140. (in Chinese with English abstract)
- [19] 陈志军, 李森. 中国土地利用和土地覆被变化研究进展[J]. 资源开发与市场, 2007, 23(10): 898-902. Chen Zhijun, Li Sen. Advance on chinese land use and land coverage change research[J]. Resource Development and Market, 2007, 23(10): 898-902. (in Chinese with English abstract)
- [20] 吴绍洪, 尹云鹤, 郑度, 等. 青藏高原近 30 年气候变化趋势[J]. 地理学, 2005, 60(1): 3-11.

- Wu Shaohong, Yinyunhe, Zheng Du, et al. Climate changes in the tibetan plateau during the last three decades[J]. *Acta Geographica Sinica*, 2005, 60(1): 3—11. (in Chinese with English abstract)
- [21] 黄秉维. 中国综合自然区划的初步草案[J]. *地理学报*, 1958, 23(4): 348—363.
- [22] 丘宝剑. 中国自然区划浅论[J]. *地理科学*, 1984, 4(1): 61—68.
- Qiu Baojian. A preliminary study on the physical regionalization of china[J]. *Scientia Geographica Sinica*, 1984, 4(1): 61—68. (in Chinese with English abstract)
- [23] 赵松乔. 中国综合自然地理区划的一个新方案[J]. *地理学报*, 1983, 38(1): 1—10.
- Zhao Songqiao. A new scheme for comprehensive physical regionalization in china[J]. *Scientia Geographica Sinica*, 1983, 38(1): 1—10. (in Chinese with English abstract)
- [24] 张军涛, 李哲. 中国半湿润/半干旱类型及区域划分指标的研究[J]. *地理科学进展*, 1999, 18(3): 230—237.
- Zhang Juntao, Li Zhe. A study on demarcation indexes between subhumid and semiarid sectors in china[J]. *Progress In Geography*, 1999, 18(3): 230—237. (in Chinese with English abstract)
- [25] VITO. What is the relation between the digital number and the real NDVI? [EB/OL]. <http://www.vgt.vito.be/faq/faq.html>, 2010-05-30.
- [26] 范锦龙, 吴炳方. 复种指数遥感监测方法[J]. *遥感学报*, 2004, 8(6): 628—636.
- Fan Jinlong, Wu Bingfang. A methodology for retrieving cropping index from NDVI profile[J]. *Journal of Remote Sensing*, 2004, 8(6): 628—636. (in Chinese with English abstract)
- [27] Zhang Jixian, Liu Zhengjun, Sun Xiaoxia. Changing landscape in the Three Gorges Reservoir Area of Yangtze River from 1977 to 2005: Land use/land cover, vegetation cover changes estimated using multi-source satellite data[J]. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 2009, 11(6): 403—412.
- [28] Viovy N, Arino O, Belward A S. The best index slope extraction (BISE): a method for reducing noise in NVDI time series[J]. *International Journal of Remote Sensing*, 1992, 13: 1585—1590.
- [29] Carvalho D, Guimaraes O A, Gomes R F, et al. Normalization of multi-temporal images using a new change detection method based on the spectral classifier[C]. *Geoscience and Remote Sensing Symposium, IGARSS 2006. IEEE International Conference*, 2006
- [30] Peng Guangxiong, Deng Lei, Cui Weihong, et al. Remote sensing monitoring of tobacco field based on phenological characteristics and time series image—a case study of chengjiang county, yunnan province, china[J]. *Chinese Geographic Science*, 2009, 19(2): 186—193.
- [31] 唐宏, 杜培军, 方涛, 等. 光谱角制图模型的误差源分析与改进算法[J]. *光谱学与光谱分析*, 2005, 125(18): 1180—1183.
- Tang Hong, Du peijiun, Fang Tao, et al. The Analysis of error sources for sam and its improvement algorithms[J]. *Spectroscopy and Spectral Analysis*, August, 2005, 125(18): 1180—1183. (in Chinese with English abstract)
- [32] Stefanov W L, Netzband M. Assessment of ASTER land cover and MODIS NDVI data at multiple scales for ecological characterization of an arid urban center[J]. *Remote Sensing of Environment*, 2005, 99: 31—43.
- [33] 刘纪远, 张增祥, 庄大方, 等. 20 世纪 90 年代中国土地利用变化时空特征及其成因分析[J]. *地理研究*, 2003, 22(1): 1—12.
- Liu Jiuyan, Zhang Zengxiang, Zhuang Dafang, et al. A study on the spatial-temporal dynamic changes of land-use and driving forces analyses of China in the 1990s[J]. *Geographical Research*, 2003, 22(1): 1—12. (in Chinese with English abstract)
- [34] 徐建华. 现代地理学中的数学方法[M]. 第二版. 北京: 高等教育出版社, 2002.
- [35] 李小英, 彭望, 曹彤. 在遥感时间序列数据分析中马尔柯夫链方法与空间信息最佳结合的探讨[J]. *北京师范大学学报: 自然科学版*, 2002, 38(5): 700—705.
- Li Xiaoying, Peng Wang, Cao Tong. A study on the best combination of markov method and spatial analysis with time-series data of remote sensing[J]. *Journal of Beijing Normal University: Natural Science*, 2002, 38(5): 700—705. (in Chinese with English abstract)

## Spatio-temporal feature of land use/land cover dynamic changes in China from 1999 to 2009

Li Zhihua<sup>1,4</sup>, Gao Zhiqiang<sup>2</sup>, Gao Wei<sup>3,4</sup>, Shi Runhe<sup>1</sup>, Liu Chaoshun<sup>4</sup>

(1. Key Laboratory of Geographic Information Science for Ministry of Education, East China Normal University, Shanghai 200062, China;

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

3. Natural Resource Ecology Laboratory, Colorado State University, Fort Collins, Colorado;

4. Joint Laboratory for Environmental Remote Sensing and Data Assimilation, East China Normal University, Shanghai, 200062, China)

**Abstract:** Using the long term NDVI time series derived from SPOT VGT, the spatio-temporal feature of land use/land

cover (LUCC) dynamic changes from 1999 to 2009 was investigated. First, the BISE model was improved to become a new pre-processing method for VGT time series processing. Second, a new classification model which can be named as SAM-MDM was reconstructed with SAM and MDM based on the phenological characteristics of annual NDVI time series; and then LUCC maps were retrieved from annual NDVI time series, and the post-classification recoding was performed on them. The classification accuracy was improved obviously and met the requirement of the trend analysis of land use/land cover changes (LUCC). Third, applying the model of LUCC dynamic change rate, the analysis was performed on the spatio-temporal feature of LUCC. Finally, applying the principles of Markov process, a model of LUCC class transition was constructed, and it was used to perform prediction for dynamic changes of LUCC in the next 20 years. These results indicate some conclusions: 1) the cropland, water body and grassland reduced continuously in the past decade; 2) the built-up area, bare land and woodland increased continuously; 3) there are different patterns of the spatio-temporal feature of LUCC for different land covers in different areas in china, including the south east, the north east, the north west and the south west; 4) the transition probability of LUCC which was discovered in the past decade should be continued in the next 20 years; 5) these results can provide information for regional socio-economic development decisions.

**Key words:** markov processes, dynamic models, zoning, SAM-MDM, land use/land cover change (LUCC), transition probability matrix

黎治华, 等. 中国1999—2009年土地覆盖动态变化的时空特点(图5、6)

Li Zhihua, et al. Spatio-temporal feature of land use/land cover dynamic changes in China from 1999 to 2009 (Figure 5, 6)

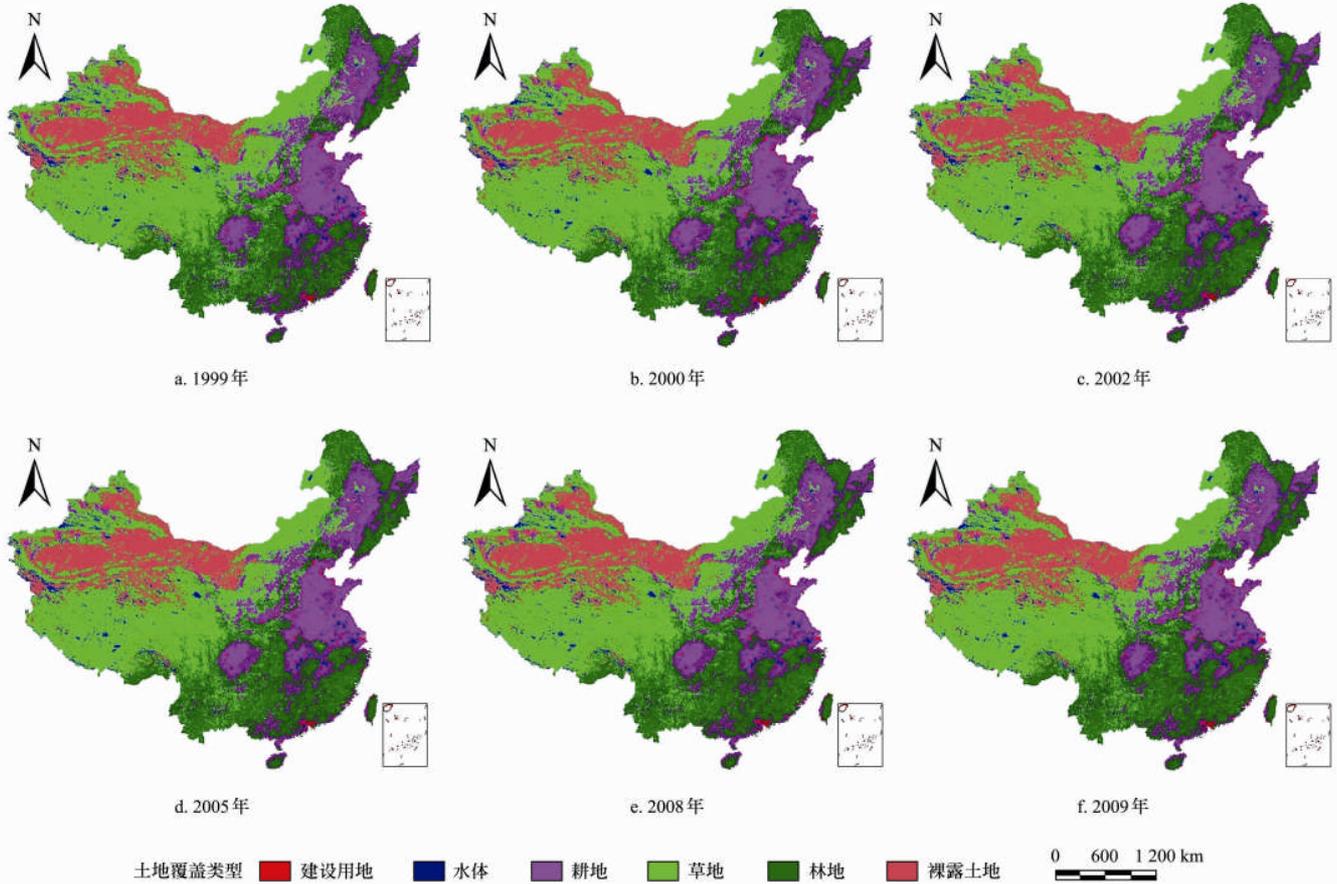


图 5 1999—2009年土地覆盖类型分布图

Fig.5 Land use/land cover change maps from 1999 to 2009

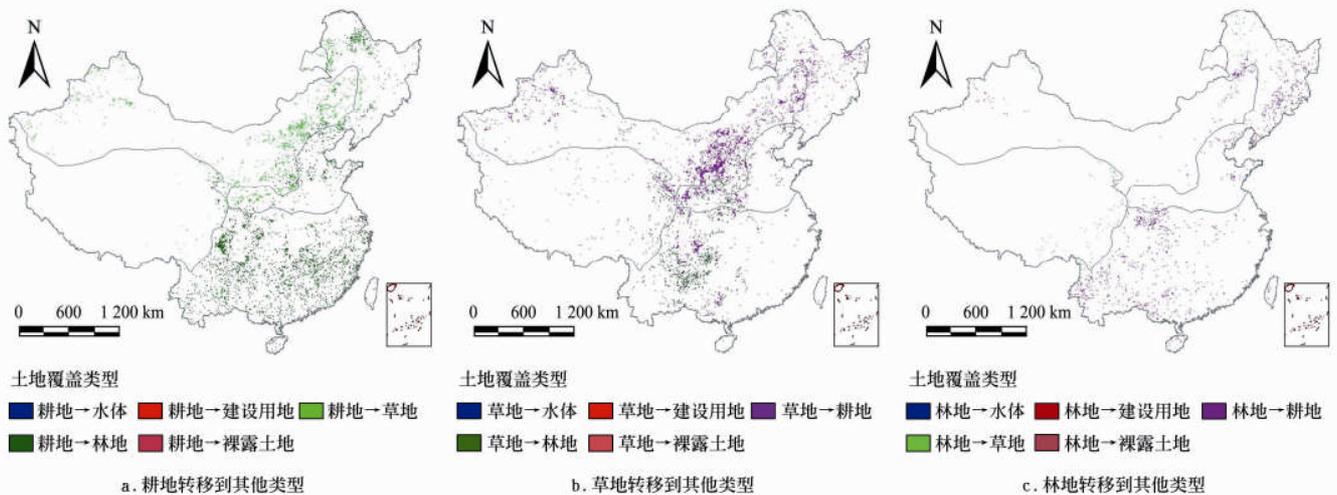


图 6 1999—2009年土地覆盖变化分布图

Fig.6 Maps of class distribution of land use/cover change from 1999 to 2009