

韩云环, 郑子彦, 肖宇, 等. 2017. 基于统计年鉴和 MODIS 的中国区域土地利用/覆盖变化特征研究 [J]. 气候与环境研究, 22 (6): 733–746. Han Yunhuan, Zheng Ziyang, Xiao Yu, et al. 2017. Characteristics of land use/ cover change over China based on China Statistical Yearbook and MODIS data [J]. Climatic and Environmental Research (in Chinese), 22 (6): 733–746, doi:10.3878/j.issn.1006-9585.2017.16214.

基于统计年鉴和 MODIS 的中国区域土地利用/覆盖变化特征研究

韩云环^{1,2} 郑子彦¹ 肖宇^{1,2} 马柱国^{1,2}

1 中国科学院大气物理研究所东亚区域气候—环境重点实验室, 北京 100029

2 中国科学院大学, 北京 100049

摘 要 土地利用/覆盖变化 (Land Use/Cover Change, LUCC) 是影响区域气候变化不可忽略的因素, 然而目前还没有十分可靠的土地利用/覆盖数据, 因此其对气候变化影响的研究存在很大不确定性。基于此, 利用中国统计年鉴 (简称年鉴) 和中分辨率成像光谱仪 (MODerate-resolution Imaging Spectroradiometer, MODIS) 遥感观测资料, 以行政区为研究单元对 3 种典型土地利用/覆盖类型 (森林、城市和农田) 的变化进行了比较分析。结果表明:

(1) 2004~2011 年, 年鉴和 MODIS 森林覆盖率在中国各省 (市、区) 的分布和变化整体一致性较好, 年鉴和 MODIS 数据都显示全国大部分省 (市、区) 份的森林覆盖率均有不同程度的增加, 而仅 MODIS 数据中的北京、天津、吉林、黑龙江、上海、江苏森林覆盖率降低。MODIS 数据能准确反映森林总体覆盖情况, 由于类别精度不够, 对单种森林类型及变化的描述存在较大误差。(2) 年鉴表明中国东部城市建成区覆盖率及其增长远高于西部地区, 黄淮海地区、东南部沿海地区城镇用地呈现加速扩张趋势, 符合实际情况。但 MODIS 数据没有表征出中国区域近 10 年来的快速城市化进程, 可能原因是城市面积较小, 且地面地物分布复杂, 受空间分辨率的限制, 在离散的不集中的区域 MODIS 数据的土地覆盖类型分类精度较低, 导致监测不到新城市的扩张。(3) MODIS 农田面积和年鉴农作物播种面积、有效灌溉面积覆盖率的数值和空间分布均有较好的一致性, 均是黄淮海地区覆盖率最大。但在 2001~2011 年, 3 种数据变化量的差异较大, 尤其东部省 (市、区) 份, MODIS 农田面积和年鉴有效灌溉面积增加, 而年鉴农作物播种面积减少。(4) 2004~2011 年中国土地利用类型变化中年鉴城市建成区的变化速率最大 (6.25%), 其次为森林; 耕地由于总量大, 变化部分所占的比例较小, 因而 MODIS 农田及年鉴农作物播种面积和有效灌溉面积的变化速率均较小。

关键词 中国 中国统计年鉴 MODIS 森林 城市 农田

文章编号 1006-9585 (2017) 06-0733-14

中国分类号 P461

文献标识码 A

doi:10.3878/j.issn.1006-9585.2017.16214

Characteristics of Land Use/ Cover Change over China Based on China Statistical Yearbook and MODIS Data

HAN Yunhuan^{1,2}, ZHENG Ziyang¹, XIAO Yu^{1,2}, and MA Zhuguo^{1,2}

1 Key Laboratory of Regional Climate-Environment for Temperate East Asia, Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029

2 University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049

收稿日期 2016-12-02; **网络预出版日期** 2017-06-08

作者简介 韩云环, 女, 1988 年出生, 博士研究生, 主要从事土地利用/覆盖变化及陆面过程模拟的研究。E-mail: hanyh@tea.ac.cn

通讯作者 郑子彦, zhengzy@tea.ac.cn

资助项目 国家自然科学基金项目 41530532、41275085, 国家重点研发计划“全球变化及应对”项目 2016YFA0600404

Funded by National Natural Science Foundation of China (Grants 41530532, 41275085), National Key Research and Development Program (Grant 2016YFA0600400)

Abstract Land Use/Cover Change (LUCC) is an influencing factor of regional climate change that cannot be ignored. However, there still exists no highly reliable Land Use/Cover data so far, and thus great uncertainties remain in the study of the effects of LUCC on climate change. For this reason, two datasets from China Statistical Yearbook and observed MODIS (MODerate-resolution Imaging Spectroradiometer) respectively are used to compare and analyze changes in three typical land use/cover types (forest, urban, cropland) over administrative regions. The results show that: (1) Spatial distribution and changes in the forest cover in provinces (municipalities, autonomous regions) of China overall agree well during 2004–2011 between China Statistical Yearbook and MODIS data. Both China Statistical Yearbook and MODIS data show that forest cover increases to different degrees in most provinces (municipalities, autonomous regions) of China but decreases in Beijing, Tianjin, Jilin, Heilongjiang, Shanghai, and Jiangsu based on MODIS data. MODIS data can accurately reflect the total forest cover, but there exist large errors in single forest types and their changes due to low classification accuracy. (2) The area of urban built districts from China Statistical Yearbook and its increment are much higher in eastern China than in the western region. Huanghuaihai region and southeastern coastal region of China show an accelerated expansion trend of urban area, which is consistent with the actual situation. However, MODIS data cannot reflect the process of rapid urbanization development in China over the past decade. The possible reasons are that urban areas are usually small with complex surface. Limited by spatial resolution, the classification accuracy of MODIS land cover is low in discrete regions, leading to no monitoring results of expansion of the new cities. (3) Both the values and spatial distribution are in good consistency among MODIS cropland, sown area of farm crops and irrigated area from China Statistical Yearbook, and the largest coverage of these three data are all in Huanghuaihai region. However, change quantities of the three data show great difference during 2001–2011. In particular, MODIS cropland and irrigated areas from China Statistical Yearbook increase in provinces (municipalities, municipalities) in eastern China, while sown area of farm crops from China Statistical Yearbook decrease. (4) The change rate of urban built districts in China Statistical Yearbook is the largest (6.25%) among all types of land use changes over China during 2004–2011, followed by forest. Because the quantity of arable land is large and the changes account for a relatively small proportion of the arable land, the change rate of MODIS cropland, sown area of farm crops and irrigated area are all small.

Keywords China, China Statistical Yearbook, MODIS, Forests, Urban, Croplands

1 引言

在气候变化和人类活动的双重作用下,土地利用/覆盖在不同的时间和空间尺度上发生着快速变化,改变了下垫面特征,影响生态系统的物质循环和生理生化过程,成为气候变化的重要驱动力之一(Feddema et al., 2005; Foley et al., 2005)。土地利用/覆盖变化(Land Use/Cover Change, LUCC)及其与气候变化和人类活动的相互作用已经成为全球变化研究关注的重要内容(刘纪远等, 2011)。

中国具有复杂多样的自然环境,下垫面类型多样,是全球人类活动改变土地利用方式最剧烈的地区之一,如城市化(何春阳等, 2001; Ding and Shi, 2013)、黄土高原退耕还林(信忠保等, 2007; 张强和王胜, 2008; 范泽孟等, 2013; Fan et al., 2015)等,也是大范围土地覆盖变化最具有代表性的地区之一,其LUCC对区域环境变化产生了重大影响(李巧萍等, 2006; 高学杰等, 2007; 毛慧琴等, 2011;

董思言, 2012),是研究LUCC及其影响的理想对象,一直倍受关注(刘纪远和布和敖斯尔, 2000; 王思远等, 2010; 华文剑等, 2014; Liu et al., 2014)。以前的研究主要侧重于土地资源调查、分区、分类、规划、评价及开发和管理研究(于兴修和杨桂山, 2002),数据源主要为历史文档资料、古地图、野外调查/考察资料等,但这些数据存在噪音和遗漏,缺乏直观的空间信息,即使有直观的空间位置信息,也因其时空范围较小,土地覆盖类型划分较粗,时空分辨率较低,精度存在较大误差等问题,对开展不同时空尺度的土地利用变化研究尤其是依赖高时空分辨率输入数据的气候和生态模型模拟工作的参考作用很有限(胡宁科和李新, 2012; 朱枫等, 2012)。

LUCC研究的关键环节是数据平台的建立和完善,这要以大量的土地利用/覆被变化数据为支持。近几十年来随着卫星、遥感以及计算机技术的快速发展,土地覆盖数据的获取手段由最初的土地调查、定位勘测、文献资料整理等升级到更精细和

高效的遥感探测技术（华文剑等，2014），逐渐实现自动化、实时化。虽然可以通过多种手段获取大量数据，但这些数据在时空分辨率、覆盖范围、监测对象等方面有很大的差异（刘纪远等，2011；陈海山等，2015）。众多基于遥感的 LUCC 数据虽然经过严格的产品质量控制，依然存在植被类型分类误差（史泽鹏等，2012；Olofsson et al., 2013），各种数据之间也存在明显的不一致性（张景华等，2011；Congalton et al., 2014）；以中国统计年鉴数据为代表的地面调查数据受到仪器误差、记录误差、调查方法等因素的影响，导致变化的空间位置难以确定，面积测量不准等问题（于兴修和杨桂山，2002），这增加了构建 LUCC 时空数据平台的难度。目前，多样化的观测手段得到迅速发展，很有必要对多种数据进行对比验证进而分析 LUCC 的特征，选取多元时空数据对比并进行综合分析是一个新的研究方向。

在当前众多的土地利用/覆盖类型中，森林、城镇用地和耕地是显著受到气候变化和人类活动影响的 3 种土地利用类型，其变化也是最显著的（Lambin and Geist, 2001；史培军等，2006）。各省级行政区之间由于自然要素（土壤、地形、气候变化等）、技术、经济发展尤其是政策制度等因素的不同（邵景安等，2007；杨梅等，2011），其土地利用/覆盖变化尤其是城镇化水平存在明显的空间差异（王志宝，2011），以省级行政区为单元分析 LUCC 的特征更有利于区域 LUCC 驱动力和驱动机制研究。本文选取易受气候变化和人类活动影响的这 3 种典型土地利用类型（森林、城市和农田），综合对比中国统计年鉴和 MODIS 两种数据，以行政区域为研究单元得出典型土地利用/覆盖变化的基本特征。

2 数据和方法

2.1 数据介绍

MODIS (MODerate-resolution Imaging Spectroradiometer) 土地覆盖数据由美国国家航空航天局 (NASA) 发射的地球观测系统 (EOS) 环境遥感卫星 Terra (AM-1) 和 Aqua (PM-1) 的中分辨率成像光谱仪反演获得。本文所用 MODIS 土地覆盖类型按照国际地圈生物圈 (IGBP) 计划定义分为 17 类，其空间分辨率为 500 m，时间长度为 2001~

2011 共 11 年。下文中 MODIS 森林是指常绿针叶林、常绿阔叶林、落叶针叶林、落叶阔叶林和混合林 5 种森林类型的总和。城市面积是指城区和城市建成区覆盖的所有面积。农田指农田和农田/自然植被镶嵌体之和。

中国统计年鉴（简称年鉴）数据来自于国家统计局，包含了除台湾、香港和澳门外的 31 个地区（省、市、自治区）的数据。文中用到的各个统计量及其可用时间段如下：森林（2004~2014 年）、城市（2008~2014 年）、城市建成区（1997~2014 年）、农作物播种面积（1997~2014 年）、有效灌溉面积（1997~2014 年）。为了便于与 MODIS 数据对比，研究时选取两者的重叠时间段。

年鉴中的森林是指郁闭度 0.2 以上的乔木林地面积和竹林面积，并包括灌木林地、农田林网及村旁、路旁、水旁、宅旁林木的覆盖面积。城市面积是指城市的城区和县城两部分之和。建成区指城市行政区内成片建设，市政公共设施基本具备的区域，一般是这个城市实际建设用地的范围。农作物播种面积是指不论种植在耕地上还是非耕地上的实际播种农作物的面积。有效灌溉面积指灌溉工程设施基本配套，有一定水源，土地较平整，一般年景可进行正常灌溉的耕地面积。

因 MODIS 数据和中国统计年鉴中各变量的名称和定义有差异，对应着 3 个典型类型的变量可分为 3 组：森林（年鉴森林、MODIS 森林），城市（MODIS 城市、年鉴城市、年鉴城市建成区）、农田（MODIS 农田、年鉴农作物播种面积、年鉴有效灌溉面积）。全国各省（市、区）面积差异很大，因此用覆盖率定量比较各土地类型在不同行政区域的覆盖情况。

2.2 土地利用变化动态度

土地利用动态度可反映区域土地利用类型变化的剧烈程度，定量描述区域土地利用变化的速度，对比较土地利用变化的区域差异和预测未来土地利用变化趋势具有指示意义，被广泛用于土地利用变化研究（如，王秀兰和包玉海，1999；朱会义等，2001；史利江等，2012）。单一土地利用类型动态度表示的是研究区一定时间范围内某种土地利用类型的数量变化情况，其表达式为（侍昊等，2012）：

$$K = \frac{U_b - U_a}{U_a} \times \frac{1}{T} \times 100\%, \quad (1)$$

其中, K 为研究时段内某一土地利用类型动态度; U_a 、 U_b 分别为研究期开始及研究结束时某一种土地利用类型的数量; T 为研究时段长度, 当 T 的时段设定为年时, K 的值就是该研究区某种土地利用类型年变化率。

3 结果分析

3.1 MODIS 数据和统计年鉴森林对比分析

年鉴森林覆盖率从 2004 年开始统计, 但 2005~2010 年全国各省(市、区)森林覆盖率均和 2004 年的完全相同, 推断 2005~2010 年统计年鉴森林覆盖率可能是用 2004 年的数据代替补充, 因此本文选取与 MODIS 时间段(2001~2011 年)相

对应的, 可靠性较高的 2004 和 2011 两年的数据比较。图 1a、1b 分别是 2004 年、2011 年中国区域各省(市、区)年鉴和 MODIS 森林覆盖率的比较。两种数据森林覆盖率的数值和变化一致性较好, 在 2004 年、2011 年它们的相关系数分别高达 0.93 和 0.92。两种来源不同的数据能一致地表示出中国各省(市、区)森林覆盖率, 说明两种数据对中国森林覆盖率的定量描述有一定的可靠性。

由图 2a、2b 可知年鉴和 MODIS 森林覆盖率空间分布具有很好的一致性, 森林覆盖率较高的省(市、区)均位于东部地区, 新增林地主要集中在黄土高原和南方丘陵区, 这与前人用其它数据研究的结果基本一致(刘纪远等, 2014)。从图 2c 可以看出年鉴森林覆盖率在全国各省(市、区)均增加,

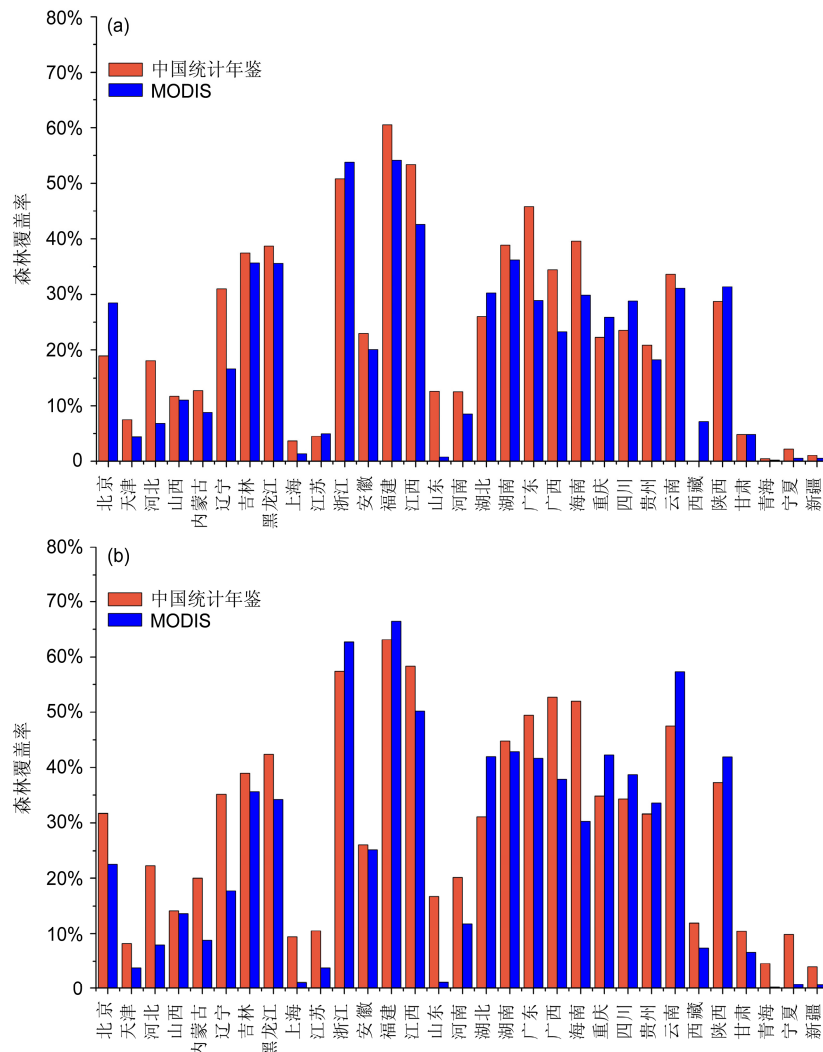


图 1 中国各省(市、区)中国统计年鉴(简称年鉴)和 MODIS 森林覆盖率比较: (a) 2004 年; (b) 2011 年

Fig. 1 Comparison of forest cover in provinces (municipalities, autonomous regions) of China between China Statistical Yearbook and MODIS (MODerate-resolution Imaging Spectroradiometer): (a) 2004; (b) 2011

而 MODIS 数据中北京、天津、吉林、黑龙江、上海、江苏的森林覆盖率降低, 其它省(市、区)均增加。整体上看, MODIS 和年鉴森林覆盖率变化一致性较好, 但北京、海南、宁夏、内蒙古、江苏等省(市、区)年鉴森林覆盖增加量明显高于 MODIS

变化, 尤其是北京市, MODIS 森林覆盖率减少 5.96%, 年鉴森林覆盖却增加 12.79%, 其可能原因是文中采用的 MODIS 土地覆盖数据集 MCD12Q1 是合成的年数据, 虽可在一定程度上抑制云等噪声的干扰, 但在采集过程中易受到气溶胶、太阳高度

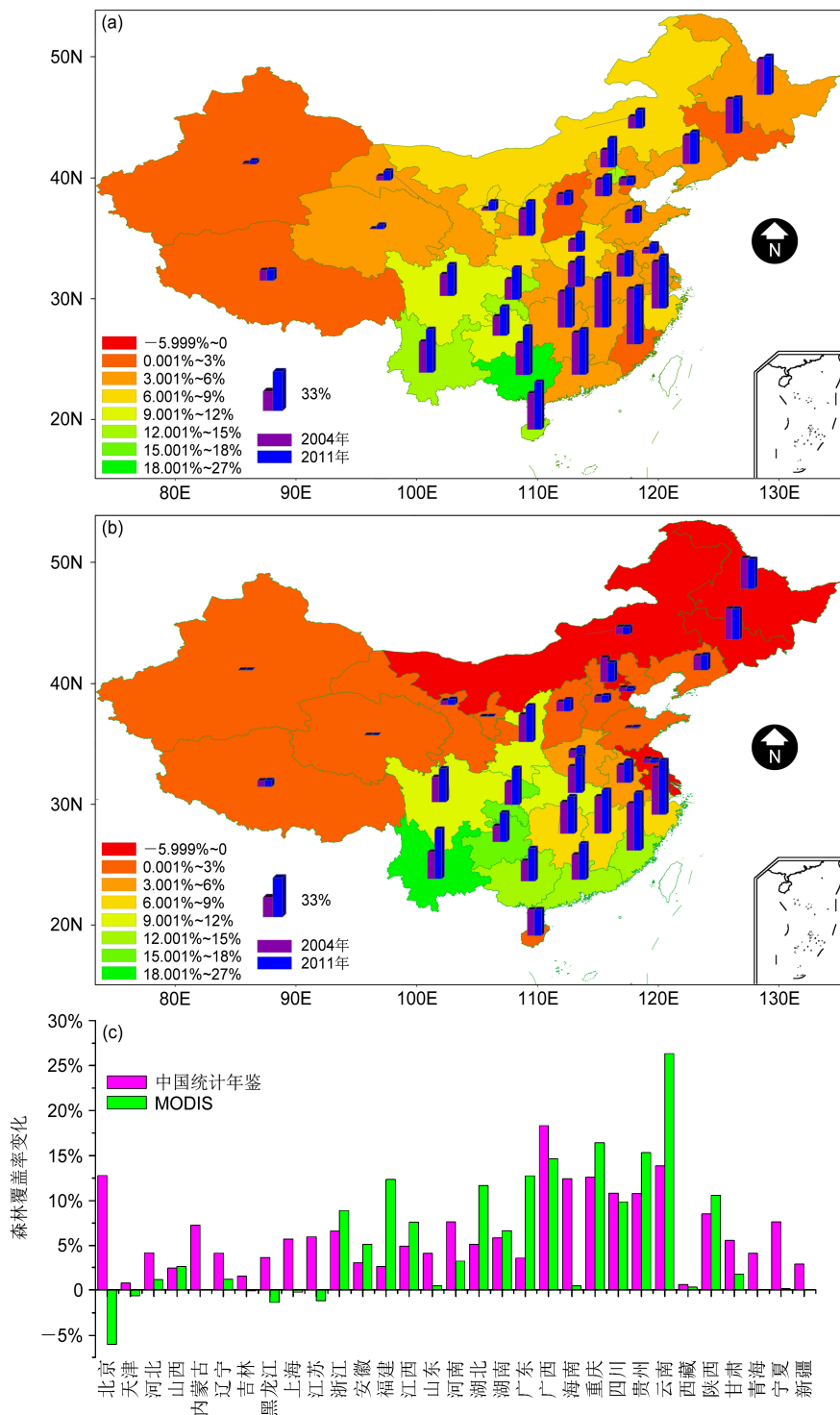


图2 2004~2011年(a)年鉴、(b)MODIS森林覆盖率空间分布(柱状)和变化(填色)及(c)两种数据森林覆盖率变化的对比

Fig. 2 Spatial distributions (histogram) and changes (colored) of forest cover in 2004–2011 from (a) China Statistical Yearbook and (b) MODIS data, and (c) comparison of changes in forest cover between the two datasets

角、水汽等随机性较强的因素的影响（左玉珊等，2014），会造成数据的年际波动较大；而北京地区的森林类型包括松柏林、刺槐林、杨树、阔叶林等（王光华，2012），而且大部分为山区林地（贾忠奎等，2006），其观测受到地形、地理位置的影响，容易与稀疏林地、郁闭灌丛混淆（高浩，2012），可能造成 2004 年偏大，2011 年偏小，从而森林覆盖率减小。而实际情况中，为改善城市生态环境，促进绿色增长，北京地区开展植树造林工程，特别是 2008 年“绿色奥运”的规划中提出 2007 年前大规模增加投入，提高森林覆盖率，使得北京市森林覆盖率在 2004~2013 年为上升趋势（李波，2011；徐济德，2014），基于此，年鉴中北京地区的森林覆盖率变化更符合实际情况。而云南、福建、广东、湖北等却是 MODIS 森林覆盖增加量远高于年鉴，其中云南省两种数据差异最突出，年鉴森林覆盖率增加 13.86%，而 MODIS 森林覆盖率增加量为 26.31%，接近于年鉴增量的 2 倍。年鉴和 MODIS 森林覆盖率变化产生差异的原因是：森林覆盖率变化量是 2004 年、2011 年两年数据之差，如果两个年份数据分别有差异，则差值的差异有可能扩大；而两种数据每个年份的差异来源于年鉴中野外工作量大，人为影响产生的调查误差，和 MODIS 数据中因同物异谱或同谱异物产生的误差。

MODIS 数据中森林包括常绿针叶林、常绿阔叶林、落叶针叶林、落叶阔叶林和混合林共 5 种，它们相互之间具有相似生态功能和光谱信息。下面以中国森林覆盖率较高的北方内蒙古省和南方广东省为例，检验 MODIS 遥感监测是否会发生类别间的相互混淆，分析 MODIS 数据的类别精度。图 3a 中显示，内蒙古地区总森林面积在 2001~2011 年间有较小的年际波动，相邻两年的增减幅度在 1%~7%，以混合林、落叶针叶林和落叶阔叶林 3 种类型为主，而这 3 种主要类型的年际波动较大。以 2009~2010 年混合林和落叶针叶林的变化为例，发现混合林仅一年内增长面积为 $2.42 \times 10^4 \text{ km}^2$ ，增长率达 37%，而恰好落叶针叶林减少量为 $2.22 \times 10^4 \text{ km}^2$ ，减少率高达 74%。由森林生长的特殊性可知，人为或者自然灾害可能导致森林覆盖急剧减少，但是突然大量增加的可能性很小。而且从图中两个阴影区可以看出，3 种主要类型之间存在着此消彼长的关系，可以判断 MODIS 数据在内蒙古地区的混合林、落叶针叶林和落叶阔叶林之间存在明显的植

被类型分类误差。同理，图 3b 中显示广东地区的常绿阔叶林和混合林类别间存在此消彼长的特征，应该是两个森林类别间发生了混淆。

综上，MODIS 数据能准确地反映森林总体覆盖情况，由于类别精度不够，对于单种森林类型覆盖及变化存在较大误差。

3.2 MODIS 数据和统计年鉴城市对比分析

通过分析 2001~2011 年 MODIS 城市覆盖面积变化（图 4）得，即使城市化进程最快的北京、上海，其城市面积变化也仅为 0.14%，而且大部分省（市、区）并没有明显变化，两年的面积几乎一样，因此，MODIS 数据没有表征出中国区域近 10 年来经历的快速城市化发展过程。可能原因是城市面积相对较小，地面地物分布比较复杂；而且受空间分辨率的限制，在离散的不集中的区域 MODIS 数据的土地覆盖类型分类精度较低（左玉珊等，2014），使监测的面积变化较小，很容易监测不到新城市的扩张，年际变化不明显，故该数据并不能用于区域气候模式模拟城市化的气候效应研究。而年鉴数据中城市面积从 2008 年开始，它能部分反映出中国东部一些省（市、区）城市面积增加的特征，但在城市化不断深入的情况下，城区的面积应该是不断扩大的，广东、吉林和宁夏面积却出现缩小的情况，原因是这些省（市、区）的城市面积的统计指标在 2008 年、2011 年两个年份有差异，在 2008~2009 年城市面积是市辖区面积的总和，即包括设市城市的城区和县城部分，之后城市面积不含县城，仅指设市城市城区的面积，统计范围变小。统计年鉴中城市面积数据时间段长度太短，并且指标有变动，因此不适用于分析 21 世纪以来中国各省（市、区）城市的变化情况。

鉴于 MODIS 和年鉴中的城市数据均不能合理地分析近十年来中国的城市变化情况，下面用年鉴中城市建成区覆盖率的变化表示城市化过程。城市建成区强调的是城市地域范围。图 5a、5b 分别是 1997~2011 和 2004~2011 两个时间段内城市建成区覆盖率的空间分布和变化。两个图中显示中国东部尤其是沿海地区城市建成区覆盖率远高于西部地区，中国东部平均城市建成区覆盖率在 1997 年、2004 年、2011 年分别为 12.6%、21.5%和 28.5%，而西部地区在这 3 个年份则分别为 1.3%、2.1%和 3.5%。从变化程度上看，1997~2011 年间东部城市建成区覆盖率的变化量平均为 15.9%，西部地区变

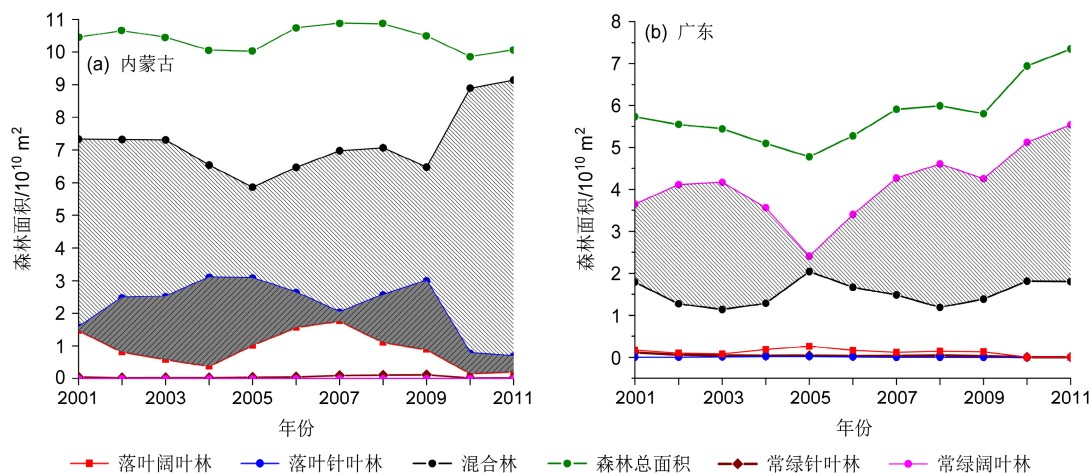


图3 2001~2011年不同类型森林面积变化时间序列：(a) 内蒙古；(b) 广东

Fig. 3 Time series of areas of different forests during 2001–2011 in (a) Inner Mongolia and (b) Guangdong

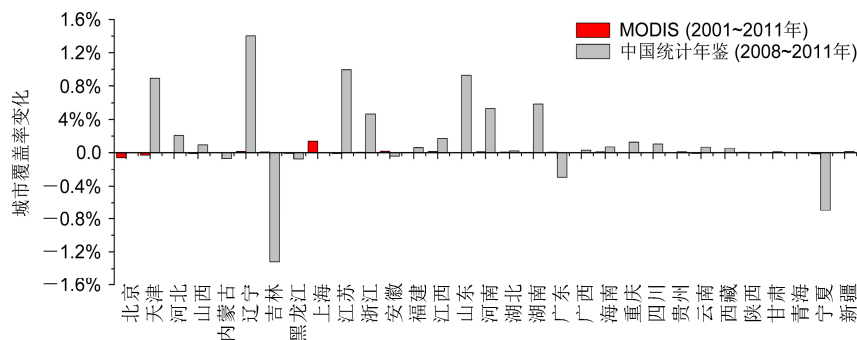


图4 中国各省（市、区）年鉴和MODIS城市覆盖率变化

Fig. 4 Urban area changes in provinces (municipalities, autonomous regions) of China based on China Statistical Yearbook and MODIS data

化量平均为 2.2%，而在 2004~2011 年这个较短的时间段内，东部城市建成区覆盖率的变化量平均为 7%，西部地区变化量平均为 1.4%。在 1997~2011 时段内东部地区的变化与西部变化的差异比在 2004~2011 时段更明显，表明在较长时间内，中国东部地区的累积城市化进程远高于西部地区。图 5c 是 1997~2011 和 2004~2011 两个时间段各省（市、区）的城市建成区覆盖率的变化量。1997~2011 的变化量接近于 2004~2011 变化的两倍，并且两个时间段内都是上海最显著，其次为北京、天津、山东、江苏、浙江、广东等地区，这些都体现了黄淮海地区、东南部沿海地区城镇用地呈现明显的加速扩张态势。

3.3 MODIS 数据和统计年鉴农田对比分析

由于人为活动的影响，农田具有强烈的季节性和均一植被类型的特性，因此它在 MODIS 土地覆盖产品中可靠性比较大。因 2001~2011 年的统计

年鉴数据中，农田覆盖面积在部分相邻年份甚至连续几年没有变化，这不仅降低这些年份资料的可靠性，也会影响变化趋势的分析；为了便于将 MODIS 和年鉴中的变化统一对比，选取 2001 年、2011 年两个可靠性高，并且能代表整个研究时段变化的年份比较分析。首先用 MODIS 数据分析近 10 年农田覆盖率的变化。由图 6a 可知黄淮海地区农田覆盖率较高，其次为东北地区。2001~2011 年各省（市、区）的变化增减不一，除陕西外，西部其它省（市、区）农田覆盖率均降低，而东部大部分省（市、区）增加，尤其是东南部地区，这与前人用其它数据或其它年份比较得出的研究结果（刘纪远等，2014；吴炳方等，2014）有差异，可能原因是农田受人类活动的影响比较大，用两年的数据不能代表十几年的连续变化情况，如果选择的年份不同，很可能得出不同的变化结果。东部北京、河北、辽宁的农田覆盖率减少量分别为 9.7%、7.6%、7.4%。

根据年鉴数据分析农作物播种面积覆盖率变化(2011年相对于2001年)可得,31个省(市、区)中,15个省(市、区)农作物播种面积覆盖率增加,另外16个省(市、区)降低。覆盖率增加

最多的3个省(区)为河南、黑龙江、宁夏,增加量分别为6.7%、6.2%、4.5%。而降低较多的4个省(市)是上海、浙江、北京、天津,其降低量分别为18.8%、10.5%、8.3%、6.7%。从空间分布上

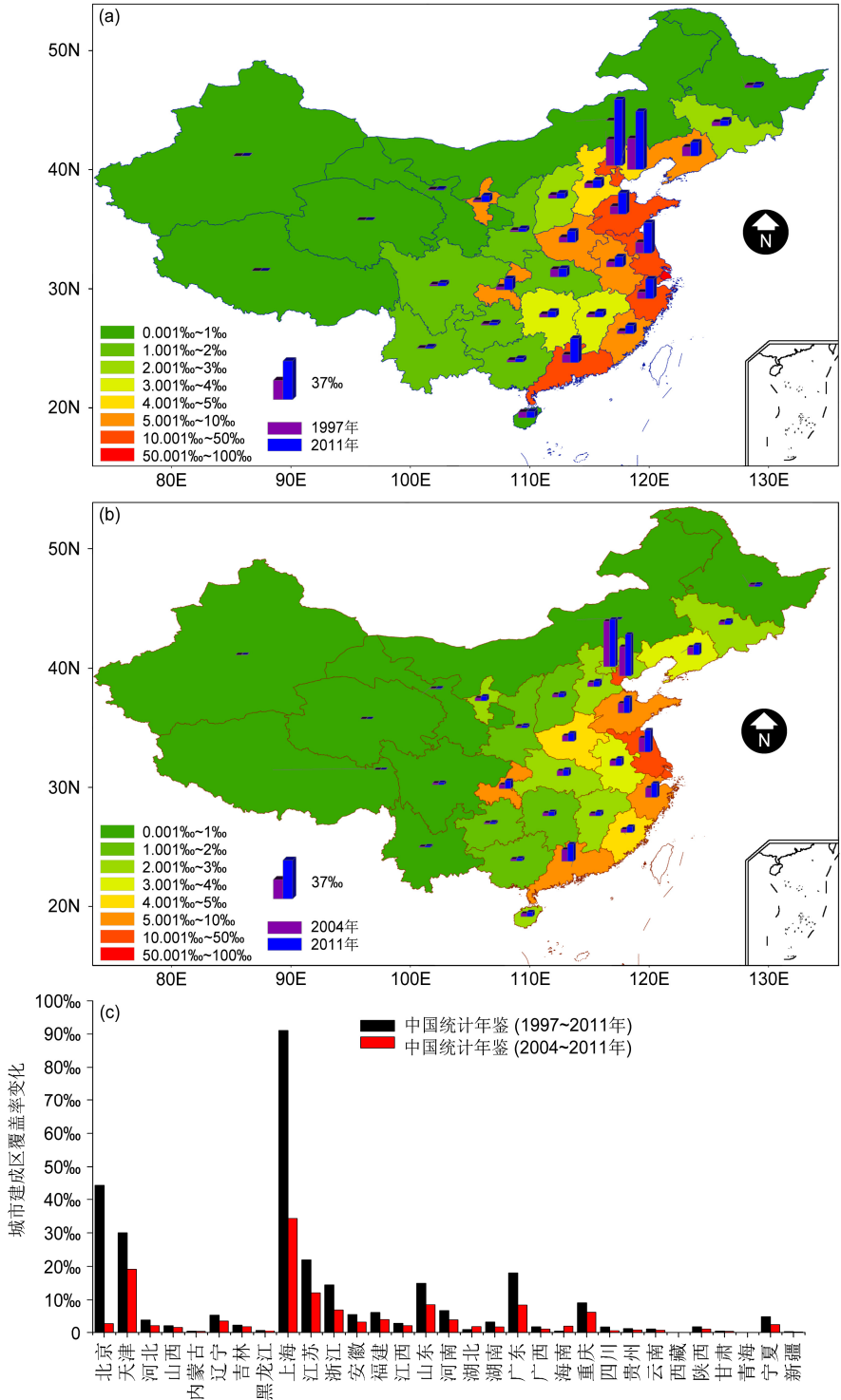


图5 (a) 1997~2011年和(b) 2004~2011年年鉴城市建成区覆盖率空间分布(柱状)和变化(填色)及(c)两时间段变化差异比较
Fig. 5 Spatial distributions (histogram) and changes (colored) of urban built districts cover based on China Statistical Yearbook during (a) 1997-2011 and (b) 2004-2011, and (c) comparison of their changes differences between two time periods

来说(图 6b), 东部沿海一带的农作物播种面积均下降。

有效灌溉面积是反映我国农田水利建设的重要指标, 而且灌溉通过改变土壤湿度影响气候, 它很大程度上体现了人类活动对气候变化的作用强度。图 6c 是 2001~2011 年年鉴有效灌溉面积覆盖率的空

间分布及变化量。有效灌溉面积在黄淮海地区最大。2011 年与 2001 年相比, 有效灌溉面积覆盖率除了北京、上海、天津、江苏减少外, 其他省(市、区)均增加。黑龙江增长最大为 4.1%, 其次为贵州、安徽、广东、吉林, 分别为 2.8%、2.3%、2.19%、2.16%。而减少的 4 个省(市)中上海降低了 13.4%,

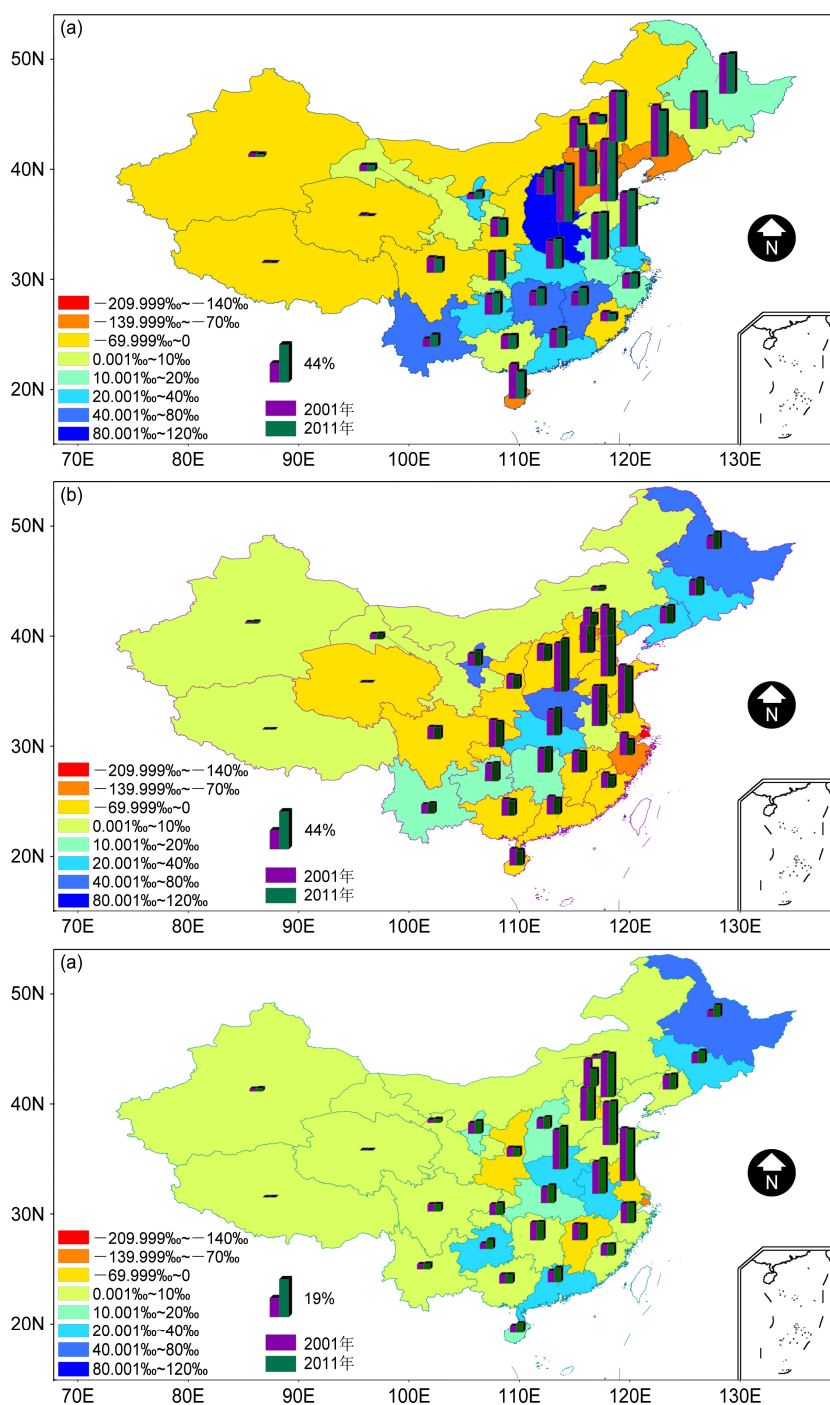


图 6 2001~2011 年 (a) MODIS 农田面积、(b) 年鉴农作物播种面积和 (c) 年鉴有效灌溉面积覆盖率空间分布(柱状)及变化(填色)

Fig. 6 Spatial distributions (histogram) and changes (colored) of (a) MODIS cropland cover, (b) sown area of farm crops, and (c) irrigated area based on China Statistical Yearbook during 2001–2011

其次为北京 6.95%，江苏和天津分别降低了 0.79%、0.78%。这 4 个省（市）有效灌溉面积减少是由于整个省（市）耕地面积减少导致的，而其它省（市、区）有效灌溉面积的增加也显示了它们抗旱水平的

提高。

图 7a、7b 分别是 2001 年、2011 年 MODIS 农田面积、年鉴农作物播种面积和有效灌溉面积 3 种数据的比较。从图中看出，两个年份中 3 种数据都

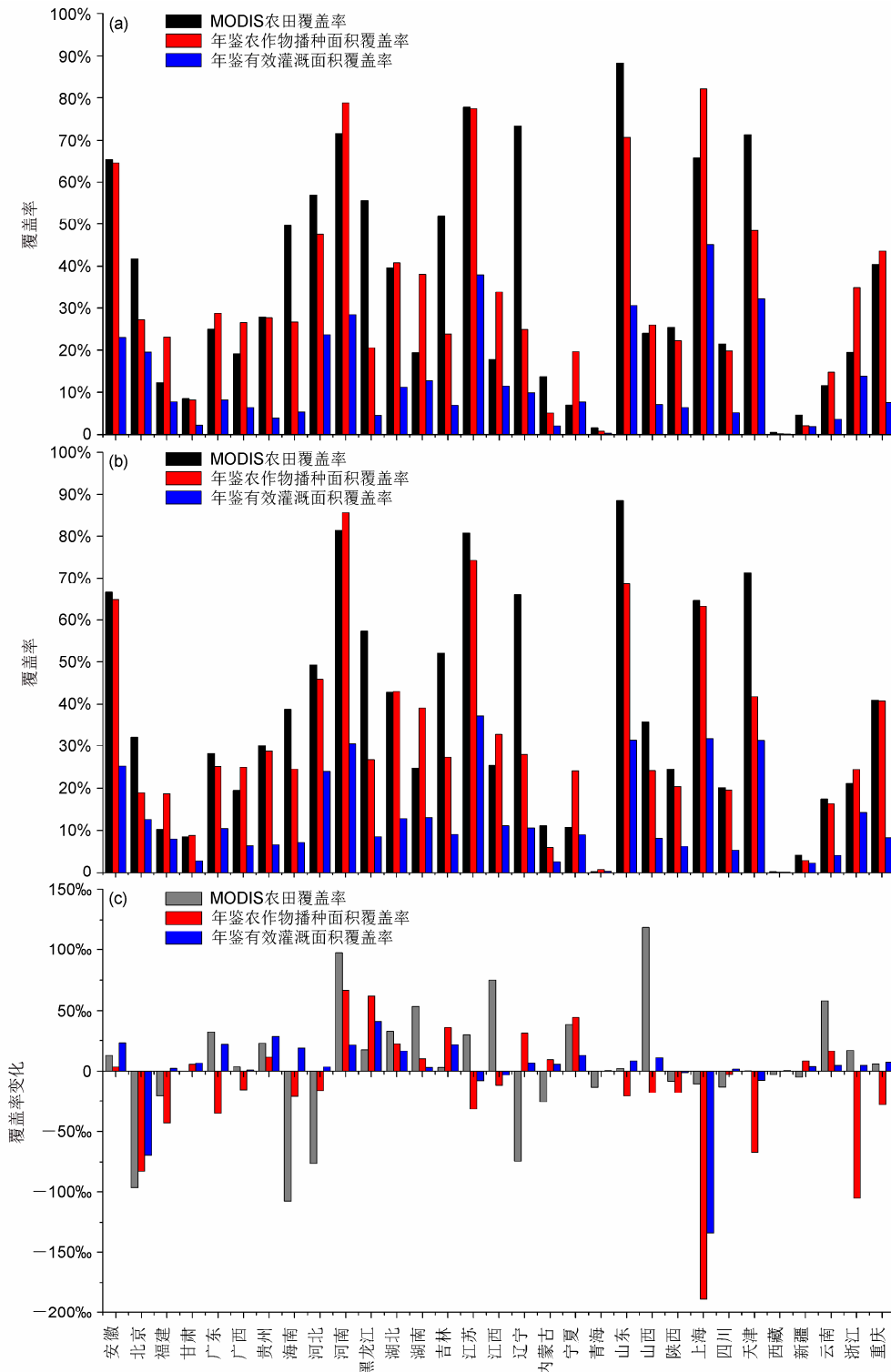


图 7 (a) 2001 年、(b) 2011 年 MODIS 农田面积、年鉴农作物播种面积、年鉴有效灌溉面积覆盖率及 (c) 2001~2011 年 3 种数据变化量对比

Fig. 7 Comparison of MODIS cropland cover, sown area of farm crops, irrigated area by China Statistical Yearbook in (a) 2001 and (b) 2011, and (c) their changes during 2001–2011

有一定的相关性。在 2001 年, MODIS 农田和年鉴农作物播种面积、有效灌溉面积的相关系数分别为 0.79、0.77, 在 2011 年, 这两个相关系数分别为 0.87 和 0.85。而年鉴农作物播种面积和有效灌溉面积的相关系数在 2001 年、2011 年均高达 0.91。

图 7c 是 2001~2011 年 3 种农田数据在全国各省(市、区)的变化量比较。由于数据来源和指标定义的不同, 3 个数据仅在北京、贵州、黑龙江、湖北和宁夏等部分省(市、区)有较好的一致性, 在其它省(市、区)差异较大。而年鉴农作物播种面积和有效灌溉面积的变化相关性较好, 31 个省(市、区)的相关系数达 0.8。

3.4 3 种典型土地利用变化动态度分析

根据公式(1)计算出 2004~2011 年整个中国区域 3 种典型土地利用类型的年变化动态度(表 1)。结果表明, 2004~2011 年中国土地利用变化速率很快, 其中以年鉴城市建成区的变化速率最大为 6.25%; 其次为森林, 年变化率为 3.67%(年鉴)、3.69%(MODIS); 耕地由于总量大, 土地利用变化部分所占的比例较小, 其中 MODIS 农田是减少的, 其动态度为-1.33%; 年鉴农作物播种面积和有效灌溉面积均是增加的, 他们的增加速率也较小, 分别为 0.81%、1.79%。这些结果忽略了土地利用变化的内在过程, 只反映出土地利用数量上的变化速度。

表 1 2004~2011 年中国区域 3 种典型土地利用类型比例及年动态度

Table 1 Proportion of three typical land use types and their dynamic degree indexes in China during 2004-2011

	2004 年覆	2011 年覆	2011~2004 年	动态度
	盖率	盖率	覆盖率变化	
年鉴森林	17.9%	22.5%	4.6%	3.67%
MODIS 森林	14.7%	18.5%	3.8%	3.69%
年鉴城市建成区	0.32%	0.46%	0.14%	6.25%
MODIS 农田	22.5%	20.4%	-2.1%	-1.33%
年鉴农作物播种面积	15.9%	16.8%	0.9%	0.81%
年鉴有效灌溉面积	5.6%	6.3%	0.7%	1.79%

中国各省(市、区)具体的土地利用类型年动态度结果见表 2。通过分析表 2 中的数据, 得出以下重要结果。年鉴森林覆盖中青海省增长最快, 年动态度高达 137.54%, 其次为西部的宁夏、新疆, 其动态度分别为 49.61%、38.89%, 这些地区的森林覆盖研究期初始值很小, 因此相对变化较大, 变化速率也较快。MODIS 森林覆盖中西南地区的云南、

贵州变化最大, 动态度约为 12%, 其它省(市、区)份的变化相对较小。年鉴城市建成区动态度较大的是重庆(14.46%)、云南(12.53%)和福建(11.41%), 而城市化率较高的北京、上海、天津等其增长速率并不是很快, 原因是研究初期(2004 年)这些地区城市建成区比例已经很高, 研究时段内相对变化较小, 变化速率也较慢。农田在各省(市、区)的基数均较大, 其相对变化量也较小, MODIS 农田中 23 个省(市、区)是减小的, 以福建(6.22%)、西藏(6.0%)、北京(5.19%)减小得最快。年鉴农作物播种面积的动态度均在 5%以下, 其中甘肃

表 2 2004~2011 年中国各省(市、区)典型土地利用类型年动态度

Table 2 Dynamic degree indexes of the typical land use types in Chinese provinces (municipalities, autonomous regions) during 2004-2011

省 (市、区)	年动态度					
	年鉴 森林	MODIS 森林	年鉴城市 建成区	MODIS 农田	年鉴农作物 播种面积	年鉴有效 灌溉面积
北京	9.65%	-2.99%	0.59%	-5.19%	-0.11%	2.60%
天津	1.47%	-2.10%	6.01%	-0.12%	0.39%	-0.38%
河北	3.33%	2.41%	4.99%	-3.96%	-1.41%	0.47%
山西	2.93%	3.33%	5.97%	-3.59%	1.48%	2.33%
内蒙古	8.16%	0.00%	7.72%	-1.84%	-1.05%	2.55%
辽宁	1.93%	1.01%	4.43%	-1.87%	-0.87%	0.23%
吉林	0.57%	-0.04%	6.24%	0.40%	0.79%	1.68%
黑龙江	1.35%	-0.55%	2.63%	0.01%	-1.15%	11.93%
上海	22.44%	-2.34%	3.98%	0.41%	0.13%	-3.13%
江苏	18.91%	-3.41%	7.87%	0.39%	0.59%	-0.08%
浙江	1.86%	2.36%	6.75%	-3.13%	3.43%	0.48%
安徽	1.94%	3.67%	6.03%	-0.17%	1.72%	1.02%
福建	0.61%	3.26%	11.41%	-6.22%	0.90%	0.42%
江西	1.32%	2.55%	8.78%	-1.51%	1.53%	-0.16%
山东	4.70%	8.82%	8.08%	-0.21%	-0.12%	0.58%
河南	8.72%	5.52%	6.79%	0.39%	1.32%	0.86%
湖北	2.84%	5.51%	3.78%	-0.92%	1.36%	2.35%
湖南	2.15%	2.63%	5.77%	-2.10%	3.10%	0.34%
广东	1.13%	6.31%	6.58%	-2.46%	1.50%	6.04%
广西	7.62%	9.00%	6.13%	-3.32%	2.45%	0.06%
海南	4.49%	0.22%	6.41%	-3.07%	-0.09%	5.36%
重庆	8.09%	9.07%	14.46%	-2.83%	0.22%	0.78%
四川	6.57%	4.88%	4.04%	-3.19%	0.46%	0.29%
贵州	7.41%	12.01%	7.57%	-1.71%	-0.61%	9.40%
云南	5.89%	12.11%	12.53%	0.73%	0.14%	1.29%
西藏	0.76%	0.63%	3.40%	-6.00%	-1.20%	7.38%
陕西	4.24%	4.82%	7.07%	-3.64%	0.40%	0.15%
甘肃	16.53%	5.07%	4.62%	-2.37%	4.94%	4.08%
青海	137.54%	1.15%	2.61%	-3.71%	1.69%	5.50%
宁夏	49.61%	4.17%	8.15%	3.46%	-1.76%	1.78%
新疆	38.89%	0.76%	8.21%	2.07%	-0.03%	3.14%

(4.94%)、浙江 (3.43%)、湖南 (3.1%) 年增长率较快。随着各地灌溉设施的增多, 全国 27 个省 (市、区) 有效灌溉面积增加, 尤以黑龙江 (11.93%)、贵州 (9.4%)、西藏 (7.38%)、广东 (6.04%) 增长得较快。

4 结论与讨论

本文通过综合对比中国统计年鉴和 MODIS 遥感资料两种数据, 以省 (市、区) 行政区为研究单元对中国区域受气候变化和人类活动影响较大的 3 种典型土地利用/覆盖类型 (森林、城市和农田) 的变化特征进行定量分析和比较。主要结论如下:

(1) 2004~2011 年年鉴和 MODIS 森林覆盖率在中国各省 (市、区) 分布和变化整体一致性较好, 年鉴和 MODIS 数据都显示全国大部分省 (市、区) 份的森林覆盖率均有不同程度的增加, 而仅有 MODIS 数据中的北京、天津、吉林、黑龙江、上海、江苏森林覆盖率降低。北京、海南、宁夏、内蒙古、江苏等省 (市、区) 年鉴森林覆盖增加量明显高于 MODIS 变化, 而云南、福建、广东、湖北等的 MODIS 森林覆盖增加量远高于年鉴。MODIS 数据能准确反映森林总体覆盖情况, 由于类别精度不够, 对单种森林类型覆盖及变化存在较大误差。

(2) 年鉴表明中国东部城市建成区覆盖率及其增长均远高于西部地区, 黄淮海地区、东南部沿海地区城镇用地呈现明显的加速扩张趋势, 符合实际情况; 但 MODIS 数据没有表征出中国区域近十年来经历的快速城市化发展过程, 可能原因是城市面积较小, 且地面地物分布复杂, 受空间分辨率的限制, 在离散的不集中的区域 MODIS 数据的土地覆盖类型分类精度较低, 导致监测不到新城市的扩张。

(3) MODIS 农田面积和年鉴农作物播种面积、有效灌溉面积覆盖率的数值和空间分布均有较好的一致性, 都是黄淮海地区覆盖率最大。但在 2001~2011 年, 3 种数据变化量的差异较大, 尤其是在东部部分省 (市、区), MODIS 农田面积和年鉴有效灌溉面积增加, 而年鉴农作物播种面积减少。

(4) 2004~2011 年中国土地利用类型变化中年鉴城市建成区的变化速率最大, 为 6.25%; 其次为森林, 年变化率为 3.67% (年鉴)、3.69% (MODIS);

耕地由于总量大, 变化部分所占的比例较小, 因而 MOIDS 农田及年鉴农作物播种面积和有效灌溉面积的变化速率均较小。

目前的 LUCC 研究偏重以遥感、地理信息系统为依托, 这些数据存在系统性或者实验性误差, 缺少地面验证工作 (Liu et al., 2005; Zeledon and Kelly, 2009), 未来应该重视通过国土勘测、实地调查等传统方法获得的信息以及充分合理利用中国丰富的历史文献数据资料。下一步工作中, 需要发展全新、高效的方法将数据融合, 从而为准确刻画 LUCC 过程提供保障, 同时将这些数据集作为下垫面数据, 为后面的 LUCC 驱动力机制和模型模拟研究奠定基础。

参考文献 (References)

- 陈海山, 李兴, 华文剑. 2015. 近 20 年中国土地利用变化影响区域气候的数值模拟 [J]. 大气科学, 39 (2): 357-369. Chen Haishan, Li Xing, Hua Wenjian. 2015. Numerical simulation of the impact of land use/land cover change over China on regional climates during the last 20 years [J]. Chinese Journal of Atmospheric Sciences (in Chinese), 39 (2): 357-369, doi:10.3878/j.issn.1006-9895.1404.14114.
- Congalton R, Gu J Y, Yadav K, et al. 2014. Global land cover mapping: A review and uncertainty analysis [J]. Remote Sensing, 6 (12): 12070-12093, doi:10.3390/rs61212070.
- Ding H Y, Shi W Z. 2013. Land-use/land-cover change and its influence on surface temperature: A case study in Beijing city [J]. International Journal of Remote Sensing, 34 (15): 5503-5517, doi:10.1080/01431161.2013.792966.
- 董思言. 2012. 土地利用/覆盖变化对中国气候影响的模拟研究 [D]. 中国科学院研究生院博士学位论文, 2-4. Dong Siyan. 2012. Modeling study of the land use/cover change's impact on regional climate in China [D]. Ph. D. dissertation (in Chinese), Graduate University of Chinese Academy of Sciences, 2-4.
- Fan X G, Ma Z G, Yang Q, et al. 2015. Land use/land cover changes and regional climate over the Loess Plateau during 2001-2009. Part I: Observational evidence [J]. Climatic Change, 129 (3-4): 427-440, doi:10.1007/s10584-014-1069-4.
- 范泽孟, 李婧, 岳天祥. 2013. 黄土高原生态系统过渡带土地覆盖的时空变化分析 [J]. 自然资源学报, 28 (3): 426-436. Fan Zemeng, Li Jing, Yue Tianxiang. 2013. Spatial-temporal change of land-cover in ecosystem transitional zones on the loess plateau of China [J]. Journal of Natural Resources (in Chinese), 28 (3): 426-436, doi:10.11849/zrzyxb.2013.03.008.
- Feddema J J, Oleson K W, Bonan G B, et al. 2005. The importance of land-cover change in simulating future climates [J]. Science, 310 (5754): 1674-1678, doi:10.1126/science.1118160.
- Foley J A, DeFries R, Asner G P, et al. 2005. Global consequences of land use [J]. Science, 309 (5734): 570-574, doi:10.1126/science.1111772.

- 高浩. 2012. 面向区域模式的土地覆盖空间数据校验 [D]. 中国科学院研究生院博士学位论文, 64–66. Gao Hao. 2012. Validation and evaluation of the satellite-derived land cover products for regional climate modeling [D]. Ph. D. dissertation (in Chinese), Graduate University of Chinese Academy of Sciences, 64–66.
- 高学杰, 张冬峰, 陈仲新, 等. 2007. 中国当代土地利用对区域气候影响的数值模拟 [J]. 中国科学 D 辑: 地球科学, 37 (3): 397–404. Gao Xuejie, Zhang Dongfeng, Chen Zhongxin, et al. 2007. Modeled impacts of current land use in China on regional climate [J]. Science in China Series D: Earth Sciences (in Chinese), 37 (3): 397–404, doi:10.3321/j.issn:1006-9267.2007.03.013.
- 何春阳, 史培军, 陈晋, 等. 2001. 北京地区土地利用/覆盖变化研究 [J]. 地理研究, 20 (6): 679–687. He Chunyang, Shi Peijun, Chen Jin, et al. 2001. A study on land use/cover change in Beijing area [J]. Geographical Research (in Chinese), 20 (6): 679–687, doi:10.3321/j.issn:1000-0585.2001.06.005.
- 胡宁科, 李新. 2012. 历史时期土地利用变化研究方法综述 [J]. 地球科学进展, 27 (7): 758–768. Hu Ningke, Li Xin. 2012. A review of research methods of historical land use change [J]. Advances in Earth Sciences (in Chinese), 27 (7): 758–768, doi:10.11867/j.issn.1001-8166.2012.07.0758.
- 华文剑, 陈海山, 李兴. 2014. 中国土地利用/覆盖变化及其气候效应的研究综述 [J]. 地球科学进展, 29 (9): 1025–1036. Hua Wenjian, Chen Haishan, Li Xing. 2014. Review of land use and land cover change in China and associated climatic effects [J]. Advances in Earth Science (in Chinese), 29 (9): 1025–1036, doi:10.11867/j.issn.1001-8166.2014.09.1025.
- 贾忠奎, 马履一, 徐程扬, 等. 2006. 北京市森林资源动态及可持续经营对策 [J]. 干旱区资源与环境, 20 (3): 30–36. Jia Zhongkui, Ma Lvji, Xu Chengyang, et al. 2006. Analysis on the dynamic changes of forest resources and sustainable development in Beijing [J]. Journal of Arid Land Resources and Environment (in Chinese), 20 (3): 30–36, doi:10.3969/j.issn.1003-7578.2006.03.007.
- Lambin E F, Geist H. 2001. Global land use and land cover change: What have we learned so far [J]. Global Change News Letter, 46 (6): 27–30.
- 李波. 2011. 北京市城市林业发展制约因素研究 [D]. 北京林业大学硕士学位论文, 28–29. Li Bo. 2011. Research on constraints of urban forest in Beijing [D]. M. S. thesis (in Chinese), Beijing Forestry University, 28–29.
- 李巧萍, 丁一汇, 董文杰. 2006. 中国近代土地利用变化对区域气候影响的数值模拟 [J]. 气象学报, 64 (3): 257–270. Li Qiaoping, Ding Yihui, Dong Wenjie. 2006. A numerical simulation on impact of historical land-use changes on regional climate in China since 1700 [J]. Acta Meteorologica Sinica (in Chinese), 64 (3): 257–270, doi:10.3321/j.issn:0577-6619.2006.03.001.
- 刘纪远, 布和敖斯尔. 2000. 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, 20 (3): 229–239. Liu Jiyuan, Buheaisier. 2000. Study on spatial-temporal feature of model land-use change in China: Using remote sensing techniques [J]. Quaternary Sciences (in Chinese), 20 (3): 229–239, doi:10.3321/j.issn:1001-7410.2000.03.003.
- Liu J Y, Liu M L, Tian H Q, et al. 2005. Spatial and temporal patterns of China's cropland during 1990–2000: An analysis based on Landsat TM data [J]. Remote Sensing of Environment, 98 (4): 442–456, doi:10.1016/j.rse.2005.08.012.
- 刘纪远, 邵全琴, 延晓冬, 等. 2011. 土地利用变化对全球气候影响的研究进展与方法初探 [J]. 地球科学进展, 26 (10): 1015–1022. Liu Jiyuan, Shao Quanqin, Yan Xiaodong, et al. 2011. An overview of the progress and research framework on the effects of land use change upon global climate [J]. Advances in Earth Science (in Chinese), 26 (10): 1015–1022, doi:10.11867/j.issn.1001-8166.2011.10.1015.
- 刘纪远, 匡文慧, 张增祥, 等. 2014. 20 世纪 80 年代末以来中国土地利用变化的基本特征与空间格局 [J]. 地理学报, 69 (1): 3–14. Liu Jiyuan, Kuang Wenhui, Zhang Zengxiang, et al. 2014. Spatiotemporal characteristics, patterns and causes of land use changes in China since the late 1980s [J]. Acta Geographica Sinica (in Chinese), 69 (1): 3–14, doi:10.11821/dlxb201401001.
- Liu J Y, Kuang W H, Zhang Z X, et al. 2014. Spatiotemporal characteristics, patterns, and causes of land-use changes in China since the late 1980s [J]. Journal of Geographical Sciences, 24 (2): 195–210, doi:10.1007/s11442-014-1082-6.
- 毛慧琴, 延晓冬, 熊喆. 2011. 土地利用变化对气候影响的研究进展 [J]. 气候与环境研究, 16 (4): 513–524. Mao Huiqin, Yan Xiaodong, Xiong Zhe. 2011. An overview of impacts of land use change on climate [J]. Climatic and Environmental Research (in Chinese), 16 (4): 513–524, doi:10.3878/j.issn.1006-9585.2011.04.12.
- Olofsson P, Foody G M, Stehman S V, et al. 2013. Making better use of accuracy data in land change studies: Estimating accuracy and area and quantifying uncertainty using stratified estimation [J]. Remote Sensing of Environment, 129: 122–131, doi:10.1016/j.rse.2012.10.031.
- 邵景安, 李阳兵, 魏朝富, 等. 2007. 区域土地利用变化驱动力研究前景展望 [J]. 地球科学进展, 22 (8): 798–809. Shao Jing'an, Li Yangbing, Wei Chaofu, et al. 2007. The drivers of land use change at regional scale: Assessment and prospects [J]. Advances in Earth Science (in Chinese), 22 (8): 798–809, doi:10.3321/j.issn:1001-8166.2007.08.005.
- 史利江, 王圣云, 姚晓军, 等. 2012. 1994–2006 年上海市土地利用时空变化特征及驱动力分析 [J]. 长江流域资源与环境, 21 (12): 1468–1479. Shi Lijiang, Wang Shengyun, Yao Xiaojun, et al. 2012. Spatial and temporal variation characteristics of land use and its driving force in Shanghai City from 1994 to 2006 [J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin (in Chinese), 21 (12): 1468–1479.
- 史培军, 王静爱, 冯文利, 等. 2006. 中国土地利用/覆盖变化的生态环境安全响应与调控 [J]. 地球科学进展, 21 (2): 111–119. Shi Peijun, Wang Jing'ai, Feng Wenli, et al. 2006. Response of eco-environmental security to land use/cover changes and adjustment of land use policy and pattern in China [J]. Advances in Earth Science (in Chinese), 21 (2): 111–119, doi:10.3321/j.issn:1001-8166.2006.02.001.
- 侍昊, 薛建辉, 马婉丽. 2012. 1991–2006 年无锡市土地利用变化动态度及转换参数分析 [J]. 南京林业大学学报 (自然科学版), 36 (6): 63–68. Shi Hao, Xue Jianhui, Ma Wanli. 2012. Analysis on dynamic degree and transition parameters of land-use type changes in Wuxi city, Jiangsu during 1991–2006 [J]. Journal of Nanjing Forestry University (Natural Science Edition) (in Chinese), 36 (6): 63–68.
- 史泽鹏, 马友华, 王玉佳, 等. 2012. 遥感影像土地利用/覆盖分类方法研究进展 [J]. 中国农学通报, 28 (12): 273–278. Shi Zepeng, Ma Youhua, Wang Yujia, et al. 2012. Review on the classification methods of

- land use/cover based on remote sensing image [J]. Chinese Agricultural Science Bulletin (in Chinese), 28 (12): 273–278, doi:10.3969/j.issn.1000-6850.2012.12.050.
- 王光华. 2012. 北京森林植被固碳能力研究 [D]. 北京林业大学博士学位论文, 21–25. Wang Guanghua. 2012. Carbon sequestration capability of forest vegetation in Beijing [J]. Ph. D. dissertation (in Chinese), Beijing Forestry University, 21–25.
- 王思远, 刘纪远, 张增祥, 等. 2010. 中国土地利用时空特征分析 [J]. 地理学报, 56 (6): 631–639. Wang Siyuan, Liu Jiyan, Zhang Zengxiang, et al. 2010. Analysis on spatial-temporal features of land use in China [J]. Acta Geographica Sinica (in Chinese), 56(6): 631–639, doi:10.3321/j.issn:0375-5444.2001.06.001.
- 王秀兰, 包玉海. 1999. 土地利用动态变化研究方法探讨 [J]. 地理科学进展, 18 (1): 81–87. Wang Xiulan, Bao Yuhai. 1999. Study on the methods of land use dynamic change research [J]. Progress in Geography (in Chinese), 18 (1): 81–87, doi:10.3969/j.issn.1007-6301.1999.01.012.
- 王志宝. 2011. 中国人口城镇化的省级行政单元差异分析 [J]. 城市发展研究, 18 (1): 90–96. Wang Zhibao. 2011. Analysis on differences of provincial-level administrative units' population urbanization in China [J]. Urban Studies (in Chinese), 18 (1): 90–96, doi:10.3969/j.issn.1006-3862.2011.01.015.
- 吴炳方, 苑全治, 颜长珍, 等. 2014. 21 世纪前十年的中国土地覆盖变化 [J]. 第四纪研究, 34 (4): 723–731. Wu Bingfang, Yuan Quanzhi, Yan Changzhen, et al. 2014. Land cover changes of China from 2000 to 2010 [J]. Quaternary Sciences (in Chinese), 34 (4): 723–731, doi:10.3969/j.issn.1001-7410.2014.04.04.
- 信忠保, 许炯心, 郑伟. 2007. 气候变化和人类活动对黄土高原植被覆盖变化的影响 [J]. 中国科学 D 辑: 地球科学, 37 (11): 1504–1514. Xin Zhongbao, Xu Jiongxin, Zheng Wei. 2007. Impacts of climate change and human activities on vegetation change in loess plateau [J]. Science China D: Earth Sciences (in Chinese), 37 (11): 1504–1514, doi:10.3321/j.issn:1006-9267.2007.11.009.
- 徐济德. 2014. 我国第八次森林资源清查结果及分析 [J]. 林业经济, 37 (3): 6–8. Xu Jide. 2014. The 8th forest resources inventory results and analysis in China [J]. Forestry Economics (in Chinese), 37 (3): 6–8.
- 杨梅, 张广录, 侯永平. 2011. 区域土地利用变化驱动力研究进展与展望 [J]. 地理与地理信息科学, 27 (1): 95–100. Yang Mei, Zhang Guanglu, Hou Yongping. 2011. Advances and prospects of the driving force of regional land use change researches [J]. Geography and Geo-Information Science (in Chinese), 27 (1): 95–100.
- 于兴修, 杨桂山. 2002. 中国土地利用/覆被变化研究的现状与问题 [J]. 地理科学进展, 21 (1): 51–57. Yu Xingxiu, Yang Guishan. 2002. The advances and problems of land use and land cover change research in China [J]. Progress in Geography (in Chinese), 21 (1): 51–57, doi:10.3969/j.issn.1007-6301.2002.01.007.
- Zeledon E B, Kelly N M. 2009. Understanding large-scale deforestation in southern Jinotega, Nicaragua from 1978 to 1999 through the examination of changes in land use and land cover [J]. Journal of Environmental Management, 90 (9): 2866–2872, doi:10.1016/j.jenvman.2008.03.016.
- 张景华, 封志明, 姜鲁光. 2011. 土地利用/土地覆被分类系统研究进展 [J]. 资源科学, 33 (6): 1195–1203. Zhang Jinghua, Feng Zhiming, Jiang Luguang. 2011. Progress on studies of land use/land cover classification systems [J]. Resources Science (in Chinese), 33 (6): 1195–1203.
- 张强, 王胜. 2008. 关于黄土高原陆面过程及其观测试验研究 [J]. 地球科学进展, 23 (2): 167–173. Zhang Qiang, Wang Sheng. 2008. On land surface processes and its experimental study in Chinese loess plateau [J]. Advances in Earth Science (in Chinese), 23 (2): 167–173, doi:10.3321/j.issn:1001-8166.2008.02.007.
- 朱枫, 崔雪锋, 缪丽娟. 2012. 中国历史时期土地利用数据集的重建方法述评 [J]. 地理科学进展, 2012, 31 (12): 1563–1573. Zhu Feng, Cui Xuefeng, Miao Lijuan. 2012. China's spatially-explicit historical land-use data and its reconstruction methodology [J]. Progress in Geography (in Chinese), 31 (12): 1563–1573.
- 朱会义, 李秀彬, 何书金, 等. 2001. 环渤海地区土地利用的时空变化分析 [J]. 地理学报, 56 (3): 253–260. Zhu Huiyi, Li Xiubin, He Shujin, et al. 2001. Spatio-temporal change of land use in Bohai rim [J]. Acta Geographica Sinica, 56 (3): 253–260, doi:10.3321/j.issn:0375-5444.2001.03.001.
- 左玉珊, 王卫, 郝彦莉, 等. 2014. 基于 MODIS 影像的土地覆被分类研究——以京津冀地区为例 [J]. 地理科学进展, 33 (11): 1556–1565. Zuo Yushan, Wang Wei, Hao Yanli, et al. 2014. Land cover classification based on MODIS images: Taking the Beijing-Tianjin-Hebei region as an example [J]. Progress in Geography (in Chinese), 33 (11): 1556–1565, doi:10.11820/dlkxjz.2014.09.012.