

1990-2010年中国土地覆盖时空变化特征

何慧娟¹, 史学丽^{2*}

(1. 陕西省农业遥感信息中心, 西安 710014; 2. 国家气候中心, 北京 100081)

摘要 本文基于CG-LTDR土地覆盖数据产品,利用GIS空间统计等方法分析了中国1990-2010年土地覆盖的变化特点。与参考数据的比较检验表明,CG-LTDR土地覆盖数据在中国具有与其他同类数据相当甚至更高的分类精度。经逐年的长时间地表覆盖数据分析发现,由于受气候与人为因素影响,土地覆盖类型有明显的年际变化波动,尤其是云南-内蒙一线的干旱区与湿润区的过渡带。1990-2010年中国的林地和荒漠呈增加趋势,而草地和耕地呈减少趋势。利用5年的合成数据分析其年际变化,结果显示1990-2000年土地覆盖类型变化大,2000-2010年的变化较为平缓。在几种主要覆盖类型中,林地增加最明显,这主要与东南地区大部分耕地、西南和东北地区大面积草地转变为林地有关,但也有部分省份由于树木砍伐和农耕区扩张导致林地面积减小。耕地面积占比最高,其减少趋势主要与耕地变为林地和草地有关。南部的耕地减少最明显,北部略有增加,新增耕地的重心从东南向北转移。林地的增加趋势与耕地的减少趋势主要与全国大范围的退耕还林工程和生态保护政策有关。草地主要分布在生态脆弱区,其面积减少最显著,在西南及东北部分地区主要是草地变为林地,在内蒙中东部-陕西北部一线发生草地与耕地相互转换,而在内蒙北部-青藏高原一线有草地与荒漠的互相转换,在土地覆盖类型交错区,其利用类型容易发生改变。荒漠主要分布于西北地区,由于受到草地退化等因素影响,荒漠化趋势在进一步加剧。

关键词 CG-LTDR数据集;长时间序列;土地覆盖;精度评价;动态变化

DOI:10.3724/SP.J.1047.2015.01323

1 引言

土地覆盖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^[1],其变化能改变地表物理、化学及生物过程,影响地表能量和水汽收支平衡^[2-4]。地表覆盖分布及变化是气候变化研究、生态环境评估、地理国情监测、宏观调控分析等不可或缺的重要基础信息^[5]。

20世纪80年代后期,随着遥感技术、地理信息系统技术的普及,以及IGBP和HDP两大组织发起的土地利用/覆盖变化(LUCC)研究,促使LUCC的相关研究快速发展^[6]。多个国家相继推出了全球及区域尺度的土地覆盖遥感产品,如IGBP DISCover^[7]、UMD^[8]、GLC2000^[9]、MODIS Land Cover^[10]、GLOB-COVER2005和GLOB-COVER2009^[11]等数据集。与

此同时,中国的土地覆盖研究也在迅速发展,逐渐形成了一个以遥感动态信息提取与分析、驱动机理分析、时空过程模拟、生态效应评价为核心的LUCC研究方法体系^[12]。刘纪远等^[13-14]利用Landsat TM数据并结合环境卫星(HJ-1)的CCD多光谱数据进行补充,采用人机交互方式,制作了中国1980-2010年间5期土地利用数据,并对土地利用变化进行了深入分析。黎治华等^[15]基于SPOT NDVI时间序列生成了1999-2009年中国土地覆盖数据,并分析了中国地区土地覆盖动态变化特点。陈军等^[16]利用Landsat TM数据,并用环境卫星(HJ-1)和北京1号小卫星(BJ-1)数据以及MODIS NDVI数据进行补充,生成了2000年和2010年30 m空间分辨率全球土地覆盖数据。另外,有些学者^[17-22]在比较国外土地覆盖数据产品精度的基础上,利用数据融合等方

收稿日期 2015-05-04;修回日期:2015-06-01.

基金项目 气象行业专项(GYHY201106014-3)。

作者简介 何慧娟(1983-),女,汉族,陕西岐山人,工程师,硕士生,主要从事生态环境遥感监测方面研究。

E-mail: 393621703@qq.com

*通讯作者 史学丽(1972-),女,山东乳山人,正研级高工,主要从事陆面过程与气候模式、遥感数据的应用等方面研究。

E-mail: shixl@cma.gov.cn

法生成了中国地区精度更高的土地覆盖数据。

这些数据极大满足了土地覆盖相关研究的需要,但由于时间和空间分辨率、分类体系及分类精度等的差异,不同数据间较难统一,并没有形成一套统一的逐年变化的长时间序列,因而较难用于分析多年的变化特征。气象行业专项研发的CG-LTDR地表覆盖数据是在整合多方面遥感资源的基础上生成的1982–2011年逐年土地覆盖数据,有统一规范和标准,因此,对于研究中国等不同地区土地覆盖长时间演变过程具有明显的优势。本文将首次以CG-LTDR土地覆盖数据集,分析1990–2010年中国地区近20 a来土地覆盖的时空变化和分布特点。

2 数据与方法

2.1 数据来源与处理

土地覆盖数据产品源于CG-LTDR数据集,是在气象行业专项等计划项目支持下研发的卫星气候数据集。本文选择5 km分辨率1990–2010年逐年变化的土地覆盖数据。

应用该数据前,先通过与其他参考数据的比较来进一步了解数据的性能。土地覆盖数据验证选用中国科学院研制的2000年中国1:10万土地利用数据(CLOUD)^[13]作为参考数据。CLOUD数据主要基于Landsat TM遥感影像目视解译而成,并经过了野外实地考察验证,是中国目前精度最高的土地利用数据。

对参考数据利用面积最大法转换为5 km分辨率的栅格数据与CG-LTDR数据的空间分辨率一致。CG-LTDR数据选择2000年的土地覆盖与参考数据保持时间上的一致。为便于比较,主要选择林地、草地、耕地和荒漠几种主要的土地覆盖类型,作为研究对象,对2种数据的分类系统进行统一与重

新分类(表1)。

2.2 数据验证方法

混淆矩阵(p)是统计评价分类数据最常用的方法,用于分析不同类别分类结果与参考数据的差异。针对某一类型的评价指标有漏分误差与错分误差,二者值越小,分类精度越高。漏分误差(O_k)是对于参考数据来说,表示实际的类型有多少被错误的分到了其他类别。错分误差(C_k)是对于评估数据来说,表示在所分的类别中有多少实际为其他类型的数据被分入其中。针对分类总体的评估指标有总体分类精度和Kappa系数,二者值越大,分类精度越高。总体分类精度(P_k)为评估数据与参考数据类型相同的概率。Kappa系数(K_a)是采用了一种离散的多元技术,能更好的评价二者之间的吻合程度。上述各方法的具体公式分别为^[1,20–22]:

$$p=(p_{ij})=\begin{bmatrix} p_{11} & \cdots & p_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ p_{1n} & \cdots & p_{nn} \end{bmatrix} \quad (1)$$

$$O_k=\left(1-\frac{p_{kk}}{p_{+k}}\right)\times 100\% \quad (2)$$

$$C_k=\left(1-\frac{p_{kk}}{p_{k+}}\right)\times 100\% \quad (3)$$

$$P_k=\frac{\sum_{k=1}^n p_{kk}}{N}\times 100\% \quad (4)$$

$$K_a=\frac{N\sum_{k=1}^n p_{kk}-\sum_{k=1}^n (p_{k+}p_{+k})}{N^2-\sum_{k=1}^n (p_{k+}p_{+k})}\times 100\% \quad (5)$$

式中, p_{ij} 是评估数据中第*i*类与参考数据第*j*类的面积; n 为类别数量; N 为区域总面积; p_{kk} 表示第*k*类评估数据与参考数据相同(正确分类)的面积; p_{+k} 表示参考数据第*k*类的面积; p_{k+} 表示评估数据第*k*类的面积。

表1 分类系统聚合统一标准

Tab. 1 The standard of aggregated category

序号	类型	参考数据 CLOUD	评估数据 CG-LTDR
1	林地	有林地、灌木林、疏林地、其他林地	常绿针叶林、落叶针叶林、常绿阔叶林、落叶阔叶林、灌木林
2	草地	高覆盖度草地、中覆盖度草地、低覆盖度草地	稀疏植被、草地、苔原
3	耕地	水田、旱地	耕地、作物–林地混合地
4	裸地	沙地、戈壁、盐碱地、裸土地、裸岩石砾地、其他	沙地
5	其他	永久性冰川雪地、城镇用地、农村居民点、其他建设用地、沼泽地、滩涂、河渠、湖泊、水库坑塘、滩地	冰雪、居民地、湿地、水体

2.3 时空变化规律的统计方法

转移矩阵^[23–24](c)可监测始末土地覆盖结构的变化特征,反映土地覆盖类型转移方向。土地覆盖面积变化^[24–25]的统计方法有:覆盖率(F_{ki})表示某一时刻某一土地覆盖类型占区域总面积的百分比;变化趋势(B_k)反映某一土地覆盖类型所占面积随时间的变化速率和趋势,是利用线性回归方程拟合的方法求出斜率,即为变化趋势。对区域某一土地覆盖类型来说,面积净变化(N_{ck})为监测末期与监测初期比较转入面积与转出面积之差占初始面积的百分比;面积总变化(T_{ck})指转入面积与转出面积之和占初始面积的百分比。而对区域所有土地覆盖类型来说,面积净变化(N_c)为各类型净变化面积之和占区域总面积的百分比;面积总变化(T_c)为各类型总变化面积之和占区域总面积的百分比。动态度^[13–15]反映土地覆盖类型变化的强度,单一动态度(S_k)为监测末期某一土地类型转换为其他土地类型面积之和与监测初期这一土地类型面积之比,而综合动态度(S)为所有土地类型单一动态度之和。具体公式为:

$$c=(c_{ij})=\begin{bmatrix} c_{11} & \cdots & c_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ c_{1n} & \cdots & c_{nn} \end{bmatrix} \quad (6)$$

$$F_{ki} = \frac{U_{ki}}{N} \times 100\% \quad (7)$$

$$B_k = \frac{\sum_{i=1}^l (U_{ki} - \bar{U}_k)(x_i - \bar{x})}{\sum_{i=1}^l (x_i - \bar{x})^2} \quad (8)$$

$$N_{ck} = \frac{U_{kb} - U_{ka}}{U_{ka}} \times 100\% \quad (9)$$

$$T_{ck} = \frac{\Delta U_{kin} + \Delta U_{kout}}{U_{ka}} \times 100\% \quad (10)$$

$$N_c = \frac{\sum_{k=1}^n |U_{kb} - U_{ka}|}{N} \times 100\% \quad (11)$$

$$T_c = \frac{\sum_{k=1}^n (\Delta U_{kin} + \Delta U_{kout})}{N} \times 100\% \quad (12)$$

$$S_k = \frac{\Delta U_{kout}}{U_{ka}} \times \frac{1}{t} \times 100\% \quad (13)$$

$$S = \sum_{k=1}^n S_k \quad (14)$$

式中, c_{ij} 是监测初期第*i*类与监测末期第*j*类的面积; n 为类别数量; N 为区域总面积; t 为变化时长; x_i 为第*i*时刻; U_{ki} 为第*i*时刻第*k*类的面积; U_{ka} 为

监测初期*k*类的面积; U_{kb} 为监测末期*k*类的面积; ΔU_{kin} 为监测末期其他类转为*k*类的面积; ΔU_{kout} 为监测末期*k*类转为其他类的面积。

3 中国土地覆盖时空变化特征分析

3.1 CG-LTDR 土地覆盖数据验证

对比 CG-LTDR 与参考数据的土地覆盖类型空间分布(图 1)可看出,CG-LTDR 数据能较为准确地反映中国主要土地覆盖类型的分布特征:东北大小兴安岭、长白山、中部的秦岭、东南、中南、西南山地丘陵区域为林地覆盖;东北平原、华北平原、江淮流域、四川盆地、内蒙古东部至青藏高原及新疆北部为草地覆盖;西北大部分区域为荒漠覆盖,这也与大部分已有的分类结果一致^[20–22]。从混淆矩阵也能得到 CG-LTDR 数据与参考数据有较高的一致性(表 2),统计得到总体分类精度达 64.57%,Kappa 系数为 53.06%。其中,林地和草地错分较少,分别为 15.75%和 32.67%,荒漠和耕地漏分较少,分别为 10.38%和 25.63%。引起误差的主要原因有:占总面积 10.09%的草地被分为荒漠,主要在中国西北部地区及青藏高原北部;占总面积 9.08%的林地被分为耕地,主要在东北–华北–东南一线;占总面积 4.85%的草地被分为耕地,并且有 3.84%的耕地被分为草地,主要在内蒙古东部–山西–陕西中部一线。

一些学者利用 CLUD 数据评估了 IGBP DIS-Cover、UMD、GLC2000 和 MODIS Land Cover 等常用的土地覆盖数据,其结果都表明错分区域主要位于土地覆盖类型的交错区^[20–22],而且这些常用土地覆盖产品的总体分类精度和 kappa 系数都略低于 CG-LTDR 数据,因此新的数据能较好地反映实际的地表覆盖状况。另外,CG-LTDR 数据有较长的时间序列,对研究土地利用的时空演变更具有优势,因此,本文将以 CG-LTDR 数据集,分析 1990–2010 年间中国土地覆盖发生的时空变化。

3.2 中国地区土地覆盖的年际变化特征

从图 2 可看出,1990–2010 年间中国土地覆盖类型发生了明显变化,其中,林地($p<0.001$)和荒漠($p<0.005$)面积呈明显的增加趋势,而草地($p<0.001$)和耕地($p<0.005$)面积呈明显减小的趋势,这与黎治华等^[15]的研究结论一致。CG-LTDR 土地覆盖数据年际间的变化波动较大,特别是在 1990–

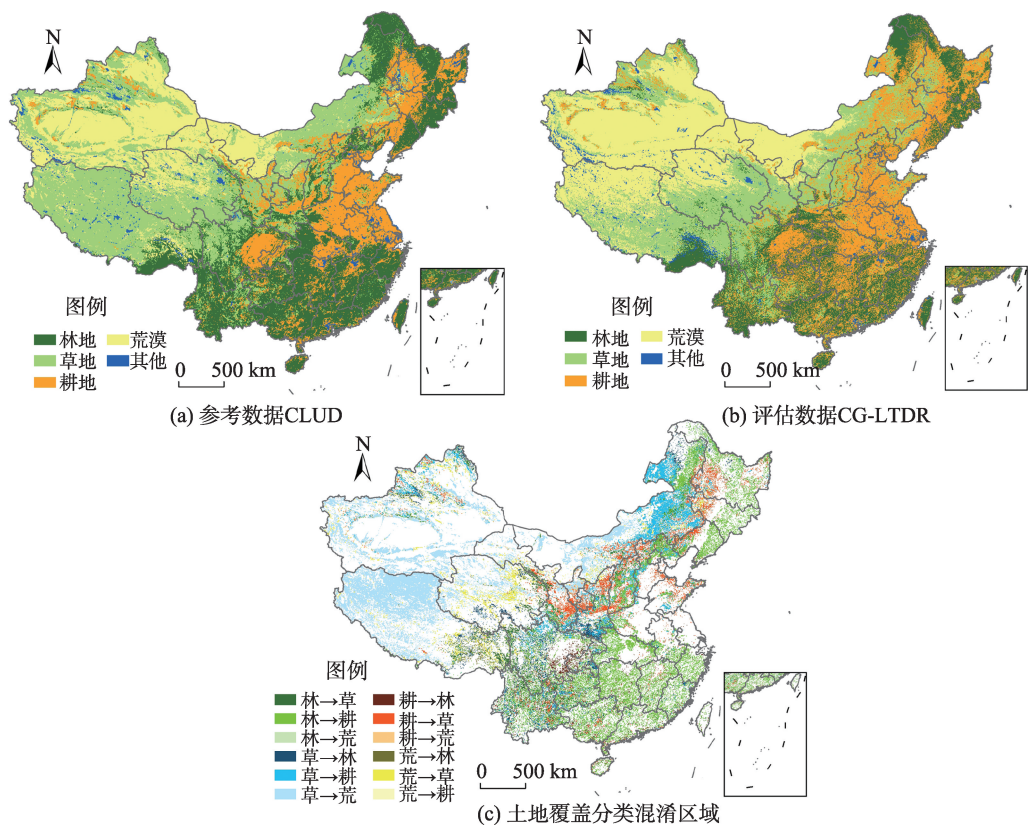


图1 土地覆盖数据比较
Fig. 1 Land cover data comparison

表2 CG-LTDR 2000年数据与参考数据混淆矩阵(km²)
Tab.2 Confusion matrix of the CG-LTDR 2000 data and reference data

参考数据	CG-LTDR 2000年数据			
	林地	草地	耕地	荒漠
林地	139.72	24.13	83.46	0.67
草地	16.12	155.19	44.54	92.67
耕地	8.13	35.29	128.60	0.90
荒漠	1.88	15.88	1.90	169.69

2000年间年际变化幅度较大,这可能与国家政策调控和经济发展有关。

比较每个像元与前一年土地覆盖的差异,变化计为1,不变计为0,最后累计20年的数值,即可得到1990-2010年间土地覆盖类型转移频次的空间分布。从图3可清楚地看到,土地覆盖类型转移频次最多的地区在云南-内蒙一线(图中红色虚线),此处为半湿润半干旱地带,降水年际变化较大,气候影响显著,并且人口稠密,土地承载压力较大^[15],因而导致土地覆盖类型易于发生变化。与图1(c)比较可看到,变化频次多的区域也与错分区域一致,说明这一区域气候与人为因素的不确定性是导致

错分的原因之一,因此仅用一年的数据难以保证分类的精度。

为更好地分析1990-2010年间土地覆盖类型的转变特征,尤其是消除年际变化的影响,将1990-1994年、1998-2002年、2006-2010年每一个像元5年间出现频次最多的土地覆盖类型作为1990、2000、2010年合成的土地覆盖类型数据。将这种方法得到2000年合成数据与参考数据比较,结果表明,总体分类精度和Kappa系数为67.34%和56.82%,与单

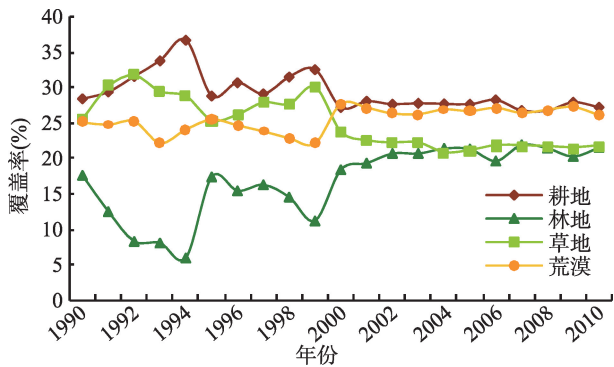


图2 CG-LTDR数据主要土地覆盖类型1990-2010年变化
Fig. 2 Temporal evolutions of different CG-LTDR land cover types during 1990-2010

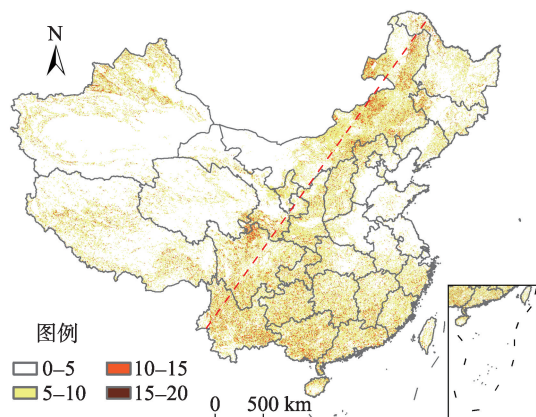


图3 1990–2010年间土地覆盖类型转移频次
Fig. 3 The transfer frequency of land cover during 1990–2010

独一年的分类精度比较精度有一定提高。下面将主要分析1990、2000、2010年的合成数据。

3.3 中国土地覆盖的空间转变特征

从中国土地覆盖空间分布图来看(图4(a)–

(b)), 1990–2010年间土地覆盖类型的分布大体一致, 没发生变化的区域主要分布在东北大小兴安岭及长白山的大部分林区, 西南边界的热带雨林区, 东北–华北–江淮一线及四川盆地的耕地区, 内蒙中部–青藏高原南部一线的草地区, 以及西北荒漠区。21年间我国土地覆盖的变化, 总体上表现为林地和荒漠区域增加, 耕地和草地区域减少。据统计, 林地覆盖率和荒漠覆盖率分别增加了10.66%和2.28%, 草地覆盖率和耕地覆盖率分别减少了7.91%和4.93%。1990–2010年间全国土地覆盖类型综合动态度为7.0%, 净变化面积12.94%, 总变化面积28.74%, 1990–2000年和2000–2010年2个时期的变化有差异, 这主要与国家政策调控和经济驱动等因素有关^[14], 前10年(1990–2000年)主要以土地的开发为主, 土地覆盖类型变化最大, 综合动态度达到12.3%, 净变化面积和总变化面积分别为9.33%和23.17%; 而后10年(2000–2010年)转变为开发与保护并重, 因此变化较为平缓, 综合动态度为6.16%,

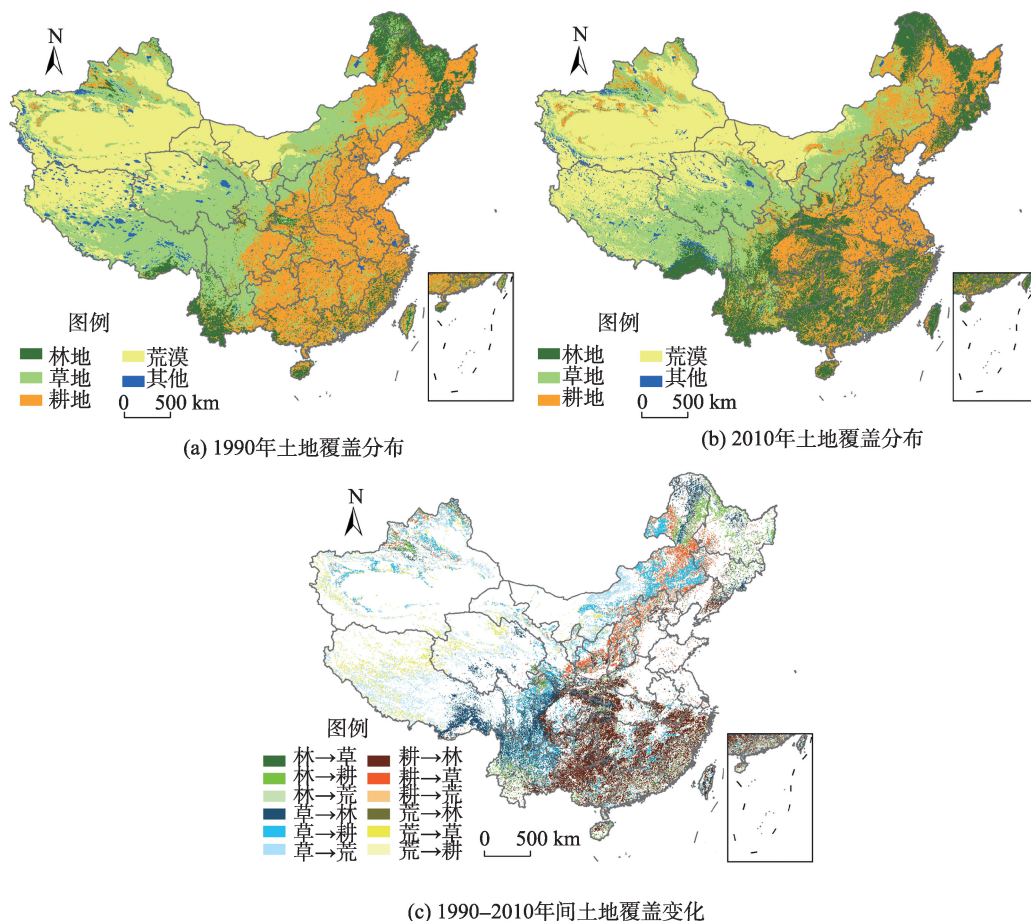


图4 不同时期中国土地覆盖的空间分布及变化
Fig. 4 Spatial distribution and variations of land covers

净变化面积和总变化面积分别为3.79%和13.75%。

从图4(c)的覆盖类型变化及转移矩阵(表3)可看出,1990–2010年间不同土地覆盖类型变化的差异较大,林地的增加最明显,1990–2010年面积净增加了114.52%。其中,1990–2000年间面积增加较多,由1990年的89.45 km²迅速增加至2000年的161.92 km²,面积净增加81.03%,到2010年林地面积增加到191.88 km²,面积净增加18.5%。林地面积增加主要是由东南部大部分耕地及西南和东北部大面积草地转变而来。有小部分地区的林地面积减少,主要是由于树木砍伐(如大小兴安岭地区)和农耕地扩张(新疆部分地区)^[14]。中国的耕地总面积最大,1990年为312.84 km²,2010年为265.42 km²,面积减少了47.42 km²。1990–2010年间耕地面积净减少15.16%,动态度为1.76%。由于全国大范围的退耕还林工程和生态保护政策^[15],使得耕地转变为林地的面积最多(78.39 km²),在南部表现最为明显。草地分布在生态环境较为脆弱的地区且最容易发生变化,2000–2010年草地转为林地42.65 km²,转为耕地43.69 km²,转为荒漠30.81 km²,动态度为2.07%。西南地区的草地主要转变为林地,内蒙中东部–陕西北部一线是草耕地交错地区存在草地与耕地间的互相转换,内蒙北部–青藏高原一线的草地荒漠交错区存在草地与荒漠间的互相转换,因而也验证了“生态环境脆弱的地区土地转移概率最高”^[15]。受到草地退化等因素的影响,西北荒漠化在进一步加剧,荒漠面积净增加了9.26%,表明裸露土地的增长主要在西北地区^[15]。

3.4 不同区域各土地覆盖类型的变化特征

下面进一步分析中国不同区域及省(直辖市、自治区)的地表覆盖类型的时间变化特征。

3.4.1 林地的变化特征

1990年东北地区的林地覆盖率最高(35.14%),2010年增长至38.28%,但中南部植被覆盖率增长更为迅速,从1990年的10.96%增长至2010年的

44.80%,超过了东北部的植被覆盖率。1990年没有林地覆盖率超过50%的省份,海南、黑龙江和云南林地覆盖率排前3位,分别为47.07%、43.83%和35.88%;随着中南部和西南部耕地和草地转变为林地,林地覆盖率急速上升,到2000年有5个省的林地覆盖率超过50%,福建、台湾、海南位列前3,分别为71.4%、68.61%和61.61%;2010年林地覆盖率超过50%的省已有8个,其中福建、台湾、广西位列前3,分别为71.14%、67.95%和65.01%。1990–2010年除黑龙江(0.13%)和新疆(0.53%)的林地覆盖率下降外,其他各省林地覆盖率都呈上升趋势,覆盖率上升最快的3个省(区/市)是广西、贵州和重庆,分别增加了50.09%、48.96%和43.75%(图5)。

3.4.2 耕地的变化特征

华东地区耕地覆盖率一直最高,1990年为82.22%,2000年减少至65.42%,2010年只有60.97%。从1990–2010年间,耕地覆盖率减少了21.25%,而耕地覆盖率减幅最大的是中南地区,1990–2012年间减少了28.06%。尽管大部分地区耕地覆盖率在下降,但西北和华北地区的耕地有小幅增加,增幅分别为0.43%和0.02%。1990年耕地覆盖率超过50%的省达到20个,2000年下降至17个,到2010年只有12个。北方耕地覆盖率较高的山东、江苏、河南等省份,1990–2010年总体较为稳定略有减少,减幅分别为2.57%、2.78%和8.71%;在内蒙、宁夏、黑龙江等省区呈增加趋势,增幅分别为4.35%、3.67%和3.15%。在南方,广西、浙江、福建等省区耕地覆盖率下降幅度明显,分别减少了43.73%、41.65%和35.57%(图6)。

3.4.3 草地的变化特征

草地的分布没有大的变动,都表现为西南部草地覆盖率最高,其次是西北和华北(30%左右),而中南部、东北部和华东地区草地覆盖率相对较小(<10%)。1990–2010年间草地覆盖率在西南部下降幅度最大,达17.58%,其他地区的降幅在2.18%~6.19%之间。1990年有4个省草地覆盖率超过50%,分别为宁夏(73.51%)、四川(64.18%)、青海(61.94%)和西藏(50.29%),2000年和2010年这4个省草地覆盖率依然最高,但只有宁夏和青海草地覆盖率超过50%。1990–2010年间草地覆盖率在各省主要呈下降趋势,降幅最大的是四川、云南、台湾,降幅分别为31.82%、25.95%和20.66%,而华北的山西、河北、天津及华东的上海、山东、江苏等省(市)都呈小幅上升趋势,其中山西的增幅最大,为

表3 1990–2010年土地覆盖转移矩阵(km²)

Tab.3 Transition matrix of the land cover types from 1990 to 2010 (unit: km²)

1990年	2010年			
	林地	草地	耕地	荒漠
林地	70.19	2.43	16.72	0.003
草地	42.65	170.77	43.69	30.81
耕地	78.39	28.65	202.63	0.73
荒漠	0.02	10.84	0.48	221.66

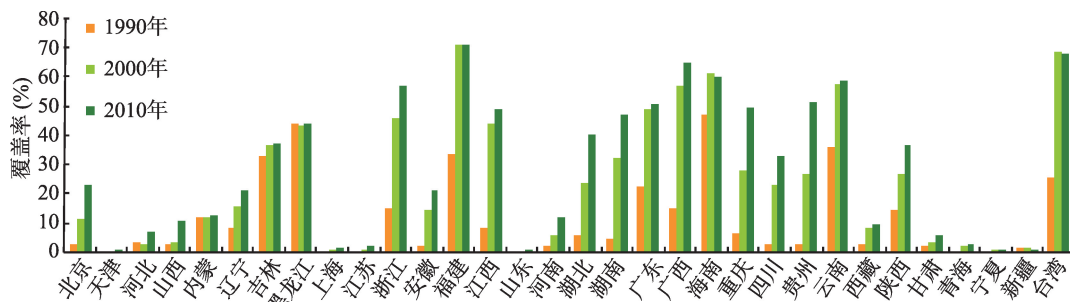


图5 1990–2010年间中国各省(区/市)林地覆盖率变化

Fig. 5 Woodland coverage rate changes in different provinces of China from 1990 to 2010

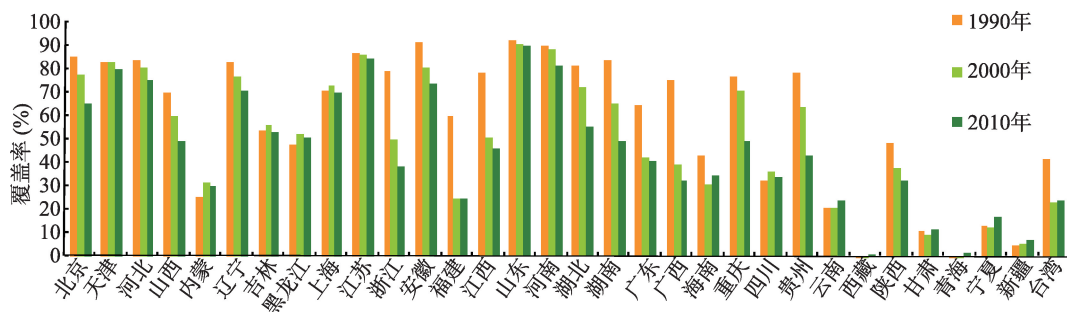


图6 1990–2010年间中国各省(区/市)耕地覆盖率变化

Fig. 6 Farmland coverage rate changes in different provinces of China from 1990 to 2010

13.19%(图7)。

3.4.4 荒漠的变化特征

西北地区的荒漠面积最大,覆盖率超过了50%, 1990–2010年间西北地区荒漠覆盖率增加了3.64%。荒漠覆盖率最高的省(区)市包括新疆、甘肃、西藏和青海等,覆盖率都超过了30%,其中新疆的荒漠覆盖率最高,1990年为67.85%,2010年增至72.21%。1990–2010年间荒漠化趋势最严重的是宁夏,覆盖率增加了6.82%。尽管西北大部分地区的荒漠化加剧,但陕西省的荒漠面积减小了0.2%,这可能与退耕还林等国家政策有关(图8)。

4 结论与讨论

基于CG-LTDR数据集的地表覆盖数据产品,分析研究了1990–2010年间中国土地覆盖时空变化。通过与2000年CLUD的参考数据比较,CG-LTDR数据具有较高的精度,总体分类精度和Kappa系数分别为64.57%和53.06%。利用CG-LTDR数据具有较长的逐年变化时间序列优势,通过转移矩阵、面积变化统计、动态度等GIS空间统计方法,分析了1990–2010年间中国主要土地覆盖类型的分布及变化特征,得到如下结论:

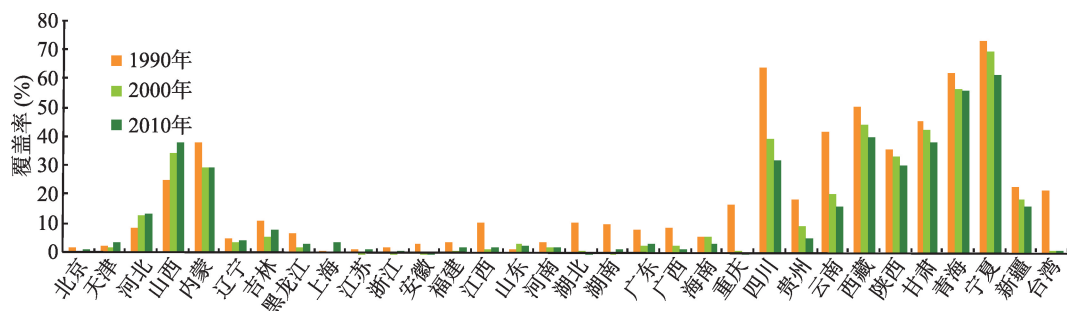


图7 1990–2010年间中国各省(区/市)草地覆盖率变化

Fig. 7 Grassland coverage rate changes in different provinces of China from 1990 to 2010

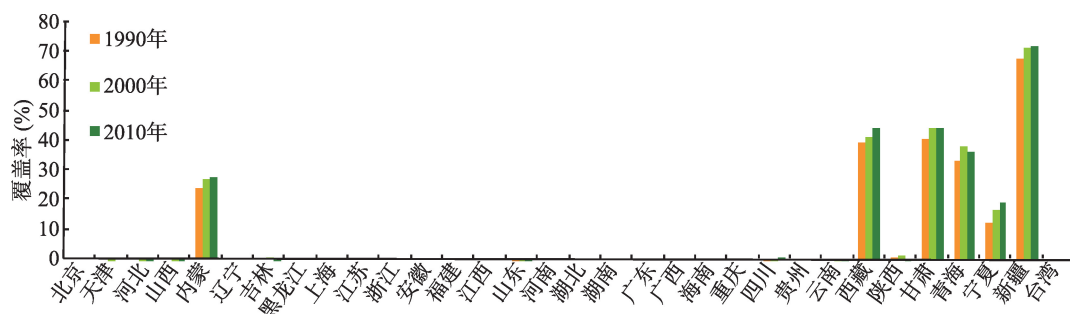


图8 1990–2010年间中国各省(区/市)荒漠覆盖率变化

Fig. 8 Bareland coverage rate changes in different provinces of China from 1990 to 2010

(1)1990–2010年间中国土地覆盖的主要变化趋势是林地和荒漠覆盖率的增加(增幅分别为10.66%和2.28%),草地和耕地逐年减少(减幅分别为7.91%和4.93%)。云南–内蒙一线的干旱区与湿润区的过渡带土地覆盖类型更易于发生改变。

(2)利用5年合成数据分析1990–2000年与2000–2010年2个时期土地利用变化的差异,结果表明,该变化与国家政策调控和经济驱动有关。1990–2000年主要以土地的开发为主,土地覆盖类型变化最大,综合动态度达12.3%,而2000–2010年转变为开发与保护并重,土地覆盖类型变化较为平缓,综合动态度为6.16%。

(3)1990–2000年间4种主要地表覆盖类型的变化趋势与地区分布不同。林地的变化最明显,全国林区呈增加趋势,面积净增加了114.52%,南部地区增幅最大,1990–2010年间林地覆盖率超过50%的省份从零个增加至8个;而由于树木砍伐和农耕区扩张造成的森林覆盖率减少的地区主要位于黑龙江和新疆。耕地面积大范围下降,尤其是我国南部,这与耕地变为林地和草地有关;新增耕地的重心从东南部向北部转移。林地的增加与耕地的减少都与全国大范围的退耕还林工程和生态保护工作有关。草地的面积减少最多,净减少26.09%,动态度为2.07%,类型转变显著且有局域特性,在西南及东北部分地区主要转变为林地,在内蒙中东部–陕西北部一线,表现为草地与耕地相互转换,内蒙北部–青藏高原一线存在草地与荒漠的互相转换。西北荒漠化趋势在进一步加剧,荒漠面积净增加了9.26%。

研究表明,1990–2010年间中国土地覆盖发生了巨大的变化,尽管政府在发展经济的同时也逐渐加大了对生态环境的保护力度,但仍存在着一些问题,例如,东西部发展不平衡、生态建设与农业发展

不协调等。全国范围的生态建设使得林地面积明显增加,但林地增加的区域主要在东南部,而较为落后的西北部干旱半干旱区,生态环境相对脆弱,荒漠化和水土流失严重,因此,应加大经济支持力度,根据区域气候环境特征,有效利用现有资源,进一步因地制宜开展植被生态恢复工程。此外,生态建设与农业可持续发展之间存在的矛盾不容忽视,1990–2010年间,中国的耕地面积大幅下降与退耕还林还草等生态保护政策密切相关,但这会对中国粮食生产造成一定的压力。未来可考虑自然环境特点,在不利于耕种的区域加大生态保护力度,而适宜发展农业的区域提高土地利用率,大力发展生态农业。

土地覆盖(变化)与生态环境之间存在复杂的非线性相互作用。气候环境和人为作用决定着土地覆盖类型的分布。随着社会经济的发展,人为作用的影响日益凸现,而土地覆盖变化又会作用于气候、生态、土壤、水资源等环境因素,它们的复杂关系涉及多个学科,需综合利用更多的数据产品和分析方法,并结合数值模拟作进一步分析。CG-LTDR数据集为该方面的研究提供了良好的统一数据源,未来将据此进行更长时段(如1982年以来)、更多地区乃至全球的下垫面覆盖状况分析及其与气候等因子的相关分析研究。

参考文献:

- [1] 赵时英. 遥感应应用分析原理与方法[M]. 北京: 科学出版社, 2003.
- [2] Foley J A, DeFries R, Asner G P, *et al.* Global consequences of land use[J]. *Science*, 2005, 309(5734): 570–574.
- [3] Sterling S M, Ducharme A, Polcher J. The impact of global land-cover change on the terrestrial water cycle[J]. *Nature Climate Change*, 2012, 3(4): 385–390.
- [4] Meyfroidt P, Lambin E F, Erb K, *et al.* Globalization of

- land use: Distant drivers of land change and geographic displacement of land use[J]. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 2013, 5: 1-7.
- [5] 陈军, 陈晋, 宫鹏, 等. 全球地表覆盖高分辨率遥感制图[J]. *地理信息世界*, 2011, 9(2): 12-14.
- [6] 宋乃平, 张凤荣, 王磊, 等. 我国土地利用/覆被研究的热点与应用发展问题[J]. *地球信息科学*, 2008, 10(1): 60-66.
- [7] Loveland T R, Reed B C. Development of a global land cover characteristics database and IGBP DISCover from 1km AVHRR data[J]. *International Journal of Remote Sensing*, 2000, 21(7): 1303-1330.
- [8] Hansen M C, Defries R S. Global land cover classification at 1km spatial resolution using a classification tree approach[J]. *International Journal of Remote Sensing*, 2000, 21(7): 1331-1364.
- [9] Bartholomé E, Belward A S. GLC 2000: A new approach to global land cover mapping from Earth Observation data[J]. *International Journal of Remote Sensing*, 2005, 26(9): 1959-1977.
- [10] Friedl M A, McIver D K. Global land cover mapping from MODIS: Algorithms and early results[J]. *Remote Sensing of Environment*, 2002, 83(12): 287-302.
- [11] Arino O, Bicheron P, Achard F, *et al.* GLOBCOVER: The most detailed portrait of the earth[J]. *European Space Agency Bull*, 2008, 136: 24-31.
- [12] 邓祥征, 邵全琴, 李国胜, 等. 中国 LUCC 信息学方法体系的结构与应用分析[J]. *地球信息科学学报*, 2009, 11(4): 406-412.
- [13] 刘纪远, 张增祥. 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): 1031-1040.
- [14] 刘纪远, 匡文慧, 张增祥, 等. 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*, 2014, 69(1): 3-14.
- [15] 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.
- [16] 陈军, 陈晋, 廖安平, 等. 全球 30m 地表覆盖遥感制图的总体技术[J]. *测绘学报*, 2014, 43(6): 551-557.
- [17] 冉有华, 李新, 卢玲. 基于多源数据融合方法的中国 1 km 土地覆盖分类制图[J]. *地球科学进展*, 2009, 24(2): 192-202.
- [18] 宋宏利, 张晓楠, 陈宜金. 基于证据理论的多源遥感产品土地覆被分类精度优化[J]. *农业工程学报*, 2014, 30(14): 132-139.
- [19] 崔林丽, 陈昭, 尹球, 等. 基于模糊集合理论的中国区域土地覆盖数据集融合及精度分析[J]. *长江流域资源与环境*, 2014, 23(11): 1627-1632.
- [20] 冉有华, 李新, 卢玲. 四种常用的全球 1 km 土地覆盖数据中国区域的精度评价[J]. *冰川冻土*, 2009(3): 490-500.
- [21] 宋宏利, 张晓楠. 中国区域多源土地覆被遥感产品精度分析与验证[J]. *农业工程学报*, 2012, 28(22): 207-214.
- [22] 刘向培, 王汉杰, 何明元, 等. 三种土地覆盖遥感数据在中国区域的精度分析[J]. *农业工程学报*, 2013, 28(24): 252-259.
- [23] 吴琳娜, 杨胜天, 刘晓燕, 等. 1976 年以来北洛河流域土地利用变化对人类活动程度的响应[J]. *地理学报*, 2014, 69(1): 54-63.
- [24] 任正超, 朱华忠, 柳小妮. 年际尺度上土地覆盖类型时空分异及其对气候和地形的响应[J]. *农业工程学报*, 2012, 28(15): 205-214.
- [25] 易扬, 信忠保, 覃云斌, 等. 生态植被建设对黄土高原农林复合流域景观格局的影响[J]. *生态学报*, 2013, 33(19): 6277-6286.

Spatio-Temporal Characteristics of Land Cover Changes in China During 1990–2010

HE Huijuan¹ and SHI Xueli^{2*}

(1. Shaanxi Remote-Sensing Information Center for Agriculture, Xi'an 710014, China;

2. National Climate Center, Beijing 100081, China)

Abstract:Based on CG-LTDR datasets, the land cover change and distribution characteristics during 1990–2010 were analyzed in China using the GIS spatial statistical analysis and other mathematical statistics methods. Compared with the reference data of CLUD, CG-LTDR land cover data has a higher classification precision. The new datasets show that the land cover indicates obvious interannual evolutions due to the climate and human activities, especially in the semi-arid and semi-humid areas distributed along Inner Mongolia to Yunnan Province. The synthetic land cover data for 5 years were used to eliminate the interannual fluctuations and to increase accuracy. The results show that the land cover types in China had changed dramatically during 1990–2000 and indicated a relatively smooth pattern during 2000–2010, which is related to the application of national policy and economic development. Among the four major land cover types, the increase of woodland area was the most significant, which is mainly due to the land use transformation from farmland to woodland in the Southeast China, and grassland into woodland in the southwest and northeast part of China. But due to the deforestation and cropland expansion, the coverage of woodland was decreased in some of the Northeast and Northwest China regions. Farmland has the largest coverage in China, while its decreasing trend is mainly caused by its transformation toward woodland and grassland. The most significant decrease of farmland appeared in the south part of China, while a slight increase was revealed in some of the Northern China. The increase of woodland and decrease of farmland were related to the national policy of "returning farmland to forest" and relevant ecological environment constructions. Grassland was mainly distributed in the ecological fragile region, and was prone to convert into other land cover types. Moreover, grassland decreased most evidently around China, because of the changes among different land cover types. To be specific, grassland was turned into woodland in Southwest China. And, grassland and farmland was interactively converted into each other along the conjunction areas from the middle east of Inner Mongolia to the north of Shaanxi Province. Additionally, grassland and bareland was converted interactively along the regions from the northern of Inner Mongolia to Tibetan Plateau. The bareland was mainly located in the Northwest China, while showing an increasing trend due to the degradation of grassland.

Key words:CG-LTDR datasets; long time series; land cover; precision evaluation; dynamic change

*Corresponding author:SHI Xueli, E-mail:shixl@cma.gov.cn