

20世纪80年代以来全球耕地变化的 基本特征及空间格局

张丽娟¹, 姚子艳¹, 唐世浩², 李侠祥¹, 郝甜甜¹

(1. 黑龙江省普通高等学校地理环境遥感监测重点实验室 哈尔滨师范大学, 哈尔滨 150025;
2. 中国气象局中国遥感卫星辐射测量和定标重点开放实验室 国家气象卫星中心, 北京 100081)

摘要: 本文基于全球1982-2011年土地利用/覆被的矢量数据, 分析了20世纪80年代以来全球耕地变化的基本特征及空间格局。结果表明: ① 20世纪80年代以来, 全球耕地面积增加了 $528.768 \times 10^4 \text{ km}^2$, 增加速率为 $7.920 \times 10^4 \text{ km}^2/\text{a}$, 呈不显著增加趋势, 全球耕地面积以20世纪80年代增速最快。20世纪80年代以来, 北美洲、南美洲、大洋洲耕地面积呈显著增加趋势, 分别增加了 $170.854 \times 10^4 \text{ km}^2$ 、 $107.890 \times 10^4 \text{ km}^2$ 、 $186.492 \times 10^4 \text{ km}^2$, 增加速率分别为 $7.236 \times 10^4 \text{ km}^2/\text{a}$ 、 $2.780 \times 10^4 \text{ km}^2/\text{a}$ 、 $3.758 \times 10^4 \text{ km}^2/\text{a}$; 亚洲、欧洲、非洲耕地面积为减少趋势, 分别减少了 $23.769 \times 10^4 \text{ km}^2$ 、 $4.035 \times 10^4 \text{ km}^2$ 、 $86.76 \times 10^4 \text{ km}^2$, 减少速率分别为 $-5.641 \times 10^4 \text{ km}^2/\text{a}$ 、 $-0.813 \times 10^4 \text{ km}^2/\text{a}$ 、 $-0.595 \times 10^4 \text{ km}^2/\text{a}$ 。② 20世纪80年代以来, 全球增加的耕地主要由草地、林地转化, 分别占53.536%、26.148%。新增耕地面积主要分布在非洲南部及中部、澳大利亚东部和北部、南美洲东南部、美国的中部及阿拉斯加、加拿大中部、俄罗斯西部及芬兰北部、蒙古北部等区域。非洲南部的博茨瓦纳为全球耕地增加比例最高区域, 增加了80%~90%。③ 20世纪80年代以来, 全球耕地换化为其他用地共计 $1071.946 \times 10^4 \text{ km}^2$, 全球减少的耕地主要转化为了草地、林地, 分别占比为57.482%、36.000%; 全球减少耕地主要分布在非洲中部的苏丹南部、美国中南部、俄罗斯南部及欧洲南部的保加利亚、罗马尼亚、塞尔维亚和匈牙利等国, 减少最大的区域为非洲南部, 减少了60%。④ 各大洲耕地均表现出向高纬扩张的趋势, 全球多数国家表现出新增耕地扩张而原有耕地减少的特点。

关键词: 耕地; 变化特征; 空间格局; 全球; 20世纪80年代

DOI: 10.11821/dlxb201707009

1 引言

人类活动对生态系统和土地覆盖的改变, 是地球自然生态系统变化的最主要根源之一^[1-4]。20世纪以来, 人类活动所导致的土地覆盖变化已逐渐成为了一个伴随地球系统产生的“全球”现象^[5-6]。土地利用/覆被(LUCC)不仅影响区域可持续发展, 而且对全球变化的影响已达到了与自然要素对全球变化影响的同一量级, 在一些区域成为生态系统变化的主要原因^[7-9]。农业, 作为人类最主要的土地利用活动之一, 目前已近涉及全球陆地地表的1/3, 已替代全球陆地地表的大部分植被^[10-12]。尽管通过耕作活动, 人类利用土地资源满足了自身生存的需要, 然而, 这种土地类型上的变化很可能导致了地球表面—大气系统的变化^[13], 这种反馈反过来也将改变生态系统满足人类需求的能力^[14]。因此, 耕地变化成为LUCC研究的最重要内容。

收稿日期: 2016-09-30; 修订日期: 2017-02-21

基金项目: 国家自然科学基金项目(42171217) [Foundation: National Natural Science Foundation of China, No.42171217]

作者简介: 张丽娟(1965-), 女, 河北唐山人, 博士, 教授, 主要从事土地覆盖变化研究。E-mail: zlj19650205@163.com

1235-1247 页

国内外学者对各种时空尺度的耕地变化进行了大量研究,研究成果已不胜枚举,而涉及全球尺度的耕地变化研究成果还不是很多。Ramankutty等结合卫星数据与国家地方农产品库存数据,创建了20世纪90年代初的全球10 km的空间分辨率数据集,认为20世纪90年代初全球耕地为 $1800 \times 10^4 \text{ km}^2$,并分析了全球耕地的空间变化^[15];Ramankutty等在1999年用“追算”建模技术创建了1700-1992年历史农田数据集,认为在近3个世纪以来,全球耕地面积整体上呈增加趋势,1700年后,欧洲是耕地扩张最快速的地区,其次是北美洲和前苏联,同时大部分的耕地增加是以牺牲林地和草地为代价的^[16];Ramankutty等还依据全球农业和卫星数据,重建了2000年的全球耕地矢量图,得出2000年全球耕地约为 $1500 \times 10^4 \text{ km}^2$,南亚、东南亚、欧洲和美国密西西比河东部耕地所占比例较大,加拿大、南美洲北部耕地比例较小^[17];Goldewijk等2011年基于全球历史环境数据集(HYDE),认为近3个世纪以来,全球耕地面积增加了5.5倍,增加的耕地主要由林地和草地转化^[12];Lepers等2005年通过对多源耕地数据的校正和分析,得出1981-1990年全球各个大洲耕地均有增加,增加的区域主要位于亚洲的东南部、孟加拉国印度河流域、中东和中亚地区、美国的大平原地区,同时美国东南部和中国东部的耕地减少较为剧烈^[18]。此外,赵文武2012年利用世界粮农组织(FAO)统计数据库和世界银行数据库,分析了世界上2050年人口可能过亿的17个国家及耕地面积排名前十的国家耕地动态变化,认为大多数国家表现出耕地减少趋势,90%以上的国家出现人均耕地面积减少现象^[19]。综上,尽管涉及全球尺度耕地时空变化的研究已有一些成果,但更多的研究集中揭示了全球20世纪90年代前的耕地变化。但随着全球气候变暖及全球尺度耕地数据的不断更新,人们更为关注近期全球耕地的时空变化。

本文基于2015年中国科学院地理科学与资源研究所与国家卫星气象中心等单位联合研制的全球地表覆盖数据产品(CG-LTDR),分析了20世纪80年代以来全球耕地面积变化及空间格局变化特征,为研究人类活动对地表的干预过程、保证耕地资源可持续发展和利用及保障世界粮食安全提供依据。

2 数据来源与处理

2.1 全球耕地矢量数据

2.1.1 数据产品说明 随着卫星数据和遥感技术的飞速发展,国际上已有多套全球地表覆盖数据产品,近几年中国也陆续发布了几套全球高分辨率的地表覆盖数据(如FROM-GLC, Globe Land30)。但始于20世纪80年代以来逐年连续的全球土地利用数据还比较少。本文采用由中国科学院地理科学与资源研究所与国家卫星气象中心等单位联合研制的全球地表覆盖数据产品(CG-LTDR)。该数据具有以下特点:①本数据集是将空间分辨率为500 m的MODIS数据融合至空间分辨率为 0.05° 的AVHRR数据中,实现了像元尺度上的定量融合,生成了空间分辨率一致的长时间序列土地覆盖分类数据,时间尺度1982-2011年。②本文数据产品采用全新的土地覆盖分类算法,即层次分类方法作为分类方法,先按地理特征进行区分大类,然后在大类上进一步选择地理特征区分小类。其特点是先简化分类特征并将噪音信息过滤,极大降低分类特征数量,并将隐形信息转换为显性信息。③CG-LTDR将下垫面分为水(湖泊)、冰雪、荒地、稀疏植被、城市、湿地、常绿针叶林、落叶针叶林、常绿阔叶林、落叶阔叶林、灌木、耕地、草地、草地/林地混合型、苔藓地衣等15种土地利用类型。

1982年、1990年、2000年和2011年全球土地利用空间分布如图1所示。

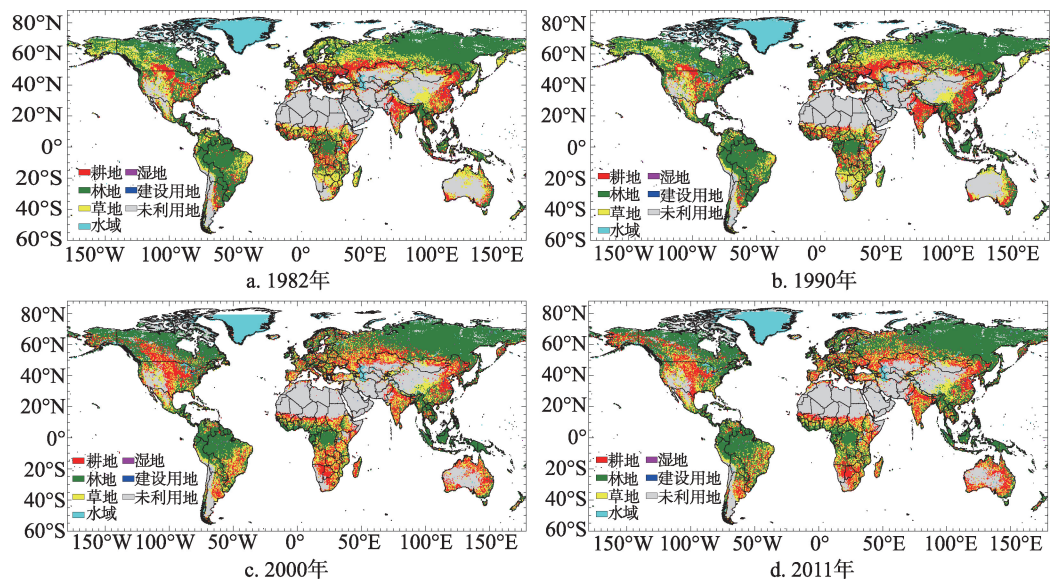


图1 全球土地利用空间分布图

Fig. 1 Spatial distribution of global land use change in 1982, 1990, 2000 and 2011

2.1.2 CG-LTDR数据验证 该数据产品已在多个研究中作为基础数据使用并已验证。史学丽等验证了CG-LTDR在中国的分类精度，其总体分类精度达65.57%，与其他全球土地利用数据（IGBP DISCOVER、UMD、GLC2000和MODIS LAND COVER等）相比，其精度相当乃至更高^[20]；商荣、刘洋等学者在此数据基础上，分别形成了全球地表反照率产品及叶面积指数数据^[21-22]，此数据多次用于全球气候模式或区域气候模式的驱动参数库。

为了进一步验证CG-LTDR除中国区域外的数据精度，本文采用将此数据产品与欧空局（ESA-GlobCover）、FAO粮农数据库、NASA（NASA-MCD12Q1）等3套全球土地利用数据进行对比。本文分别在<http://www.esa-landcover-cci.org>、<http://www.fao.org>、<https://ladsweb.nascom.nasa.gov/data/search.html>网站上下载2010年的以上3套数据。采用Kappa系数是用来评价CG-LTDR与3套数据空间吻合程度。由于不同数据在土地利用分类上稍有区别，所以本文进行了合并归类处理，主要比较了主要土地利用类型的空间分布吻合度。Kappa系数是用来比较两幅图件空间相似程度的参数^[23]。Kappa系数为0.0~0.20为极低的一致性，0.21~0.40为一般的一致性，0.41~0.60为中等的一致性，0.61~0.80为高度的一致性，0.81~1几乎完全一致。结果表明，CG-LTDR数据与ESA-GlobCover、FAO均具有高度的一致性，与NASA-MCD12Q1数据几乎完全一致（表1）。

表1 全球土地利用数据检验结果(kappa值)

Tab. 1 Global land use data test results (kappa values)

全球土地利用数据集	ESA-GlobCover	FAO粮农数据库	NASA-MCD12Q1
Kappa 值	0.6147	0.7104	0.8184
一致性	高度的一致性	高度的一致性	几乎完全一致

2.2 全球年平均气温资料

全球年平均气温数据来源于英国 East Anglia 大学的 Climatic Research Unit（简称 CRU）的气象要素数据库。该数据库是一套覆盖较全面、分辨率较高且连续的地表气象

要素数据集, 包括气温、降水、风速、蒸发、霜日数等多个要素。数据起始于 1901 年, 时间分辨率为月数据。该套数据集覆盖全球陆地, 沙漠和高原, 均无缺测现象。本文选择高分辨率格点地表气候变量数据集 CRU-TS3.22, 在 <http://www.cru.uea.ac.uk/data> 网站注册下载了 1982-2011 年的全球月平均气温数据。利用 ArcGIS 软件 Spatial Analyst Tools 模块中的 To Raster 工具将其转为栅格数据, 用以分析全球陆地气温数据空间分布和变化, 坐标系为 WGS84。

3 分析方法

3.1 气候倾向率

通过线性倾向估计法对不同气象要素的时间序列进行了趋势分析, 对资料序列 $y(x)$, $x=1, 2, \dots, n$, 以线性函数来拟合原序列^[24]:

$$Y = ax + b \quad (1)$$

式中: a 的正负表示该资料序列随时间变化的方向, 绝对值大小表示变化速率; b 为截距。

3.2 土地利用动态度模型

土地利用变化的速度可以通过土地利用类型动态模型进行度量, 它既可以表征单一土地利用类型的时间序列变化, 也可以对区域土地利用动态的总体状况及其区域分异进行分析^[25], 公式为:

$$K = \frac{U_a - U_b}{U_a} \times \frac{1}{T} \times 100\% \quad (2)$$

式中: K 为研究时段内某一种土地利用类型动态度; U_a 、 U_b 分别为研究期初始年与最后一年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, 则 K 表示该研究区某种土地利用类型的年变化率。本文在具体计算过程中, 以 $0.05^\circ \times 0.05^\circ$ 为计算单元。 U_a 、 U_b 分别代表 1982 年和 2011 年。

4 结果与分析

4.1 20 世纪 80 年代以来全球耕地时空格局变化

20 世纪 80 年代以来, 全球耕地面积呈现增加趋势, 增加速率为 $7.920 \times 10^4 \text{ km}^2/\text{a}$, 为不显著增加 (未通过 0.05 概率水平检验, 图 2a)。20 世纪 80 年代初期 (1982 年) 全球耕地面积为 $1939.573 \times 10^4 \text{ km}^2$, 21 世纪 10 年代初 (2011 年) 全球耕地面积为 $2468.340 \times 10^4 \text{ km}^2$, 增加了 $528.768 \times 10^4 \text{ km}^2$ 。20 世纪 80 年代以来, 全球耕地面积呈现增—减—增的年代变化特征, 即 20 世纪 80 年代和 21 世纪最初 10 年全球耕地面积为增加趋势, 20 世纪 90 年代为减少趋势, 20 世纪 80 年代耕地增加速率是 21 世纪最初 10 年增速的 3.7 倍, 可见 20 世纪 80 年代是全球耕地面积增加最迅速的时期 (表 2, 表 3)。

20 世纪 80 年代以来, 全球由其他土地利用类型转入耕地面积为 $1599.753 \times 10^4 \text{ km}^2$, 耕地转为其他土地利用类型 $1071.946 \times 10^4 \text{ km}^2$, 转入大于转出。全球增加的耕地主要由草地、林地和未利用地转化, 分别占了增加总量的 53.536%、26.148% 和 18.403%, 即全球增加的耕地面积的一半由草地转化。20 世纪 80 年代以来, 全球减少的耕地主要转化为了草地、林地和未利用地, 分别占了减少总量的 57.482%、36.000%、4.072%。全球减少的耕地也主要转化为了草地和林地。

20 世纪 80 年代以来, 全球增加的耕地在空间上主要分布在非洲南部及中部 (集中在博茨瓦纳、苏丹和马里)、澳大利亚中东部和北部、南美洲东南部 (集中在巴西东部和阿

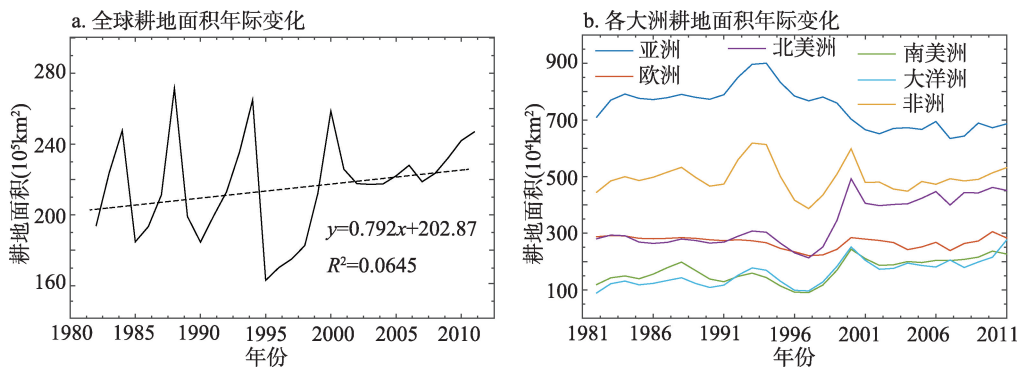


图2 20世纪80年代以来全球及各大洲耕地面积年际变化曲线

Fig. 2 The change of cultivated land area around the world since the 1980s

表2 20世纪80年代以来全球各大洲耕地面积变化特征

Tab. 2 Characteristics of cultivated land change in different continents since the 1980s

	年代	亚洲	欧洲	非洲	北美洲	南美洲	大洋洲	全球
耕地面积 (10^4 km^2)	1982年	710.016	287.521	444.869	280.407	118.850	89.331	1939.573
	2011年	686.247	283.486	531.629	451.261	226.740	275.823	2468.340
	年均耕地	749.801	267.166	494.680	333.512	167.752	158.975	2171.886
	2011-1982年	-23.769	-4.035	86.760	170.854	107.89	186.492	528.767
倾向率	1982-2011年	-5.641*	-0.813	-0.595	7.236**	2.780*	3.758*	7.920
	1982-1989年	2.382	-1.136	9.812	-2.277	10.080	2.226	20.650
	1990-1999年	-1.335	-8.769*	-9.050	-6.821	-3.073	-0.209	-29.780
	2000-2011年	-0.266	0.702	-0.320	2.057	1.297	2.039	5.553

注：*、**分别表示通过0.05、0.01的显著性检验。

表3 全球耕地与其他土地利用类型面积的转化(10^4 km^2)

Tab. 3 The transformation of the global cultivated land and other land use types (10^4 km^2)

	亚洲	欧洲	非洲	北美洲	南美洲	大洋洲	全球
转入面积	325.826	135.203	407.844	299.867	189.500	230.331	1599.753
转出面积	349.725	139.325	321.317	129.452	81.599	43.089	1071.946

根廷北部)、美国的中部及阿拉斯加、加拿大中部、俄罗斯西部及芬兰北部、蒙古北部等区域。非洲南部的博茨瓦纳为全球耕地增加比例最高区域,耕地增加比例达到80%~90%;澳大利亚东部、美国的阿拉斯加耕地增加比例也很高,为50%~60%;南美洲东南部,部分区域为40%~50%(图3)。全球耕地减少区域较为集中,主要分布在非洲中部(集中在苏丹南部)、南亚、东南亚、美国中南部、俄罗斯南部及欧洲南部的保加利亚、罗马尼亚、塞尔维亚和匈牙利等国。其中,减少最大的区域为非洲南部、美国东南部、俄罗斯西南部,减少30%~50%,部分区域高达60%以上(图4)。

全球耕地转化具有明显的空间性,呈现区域性较为集中的特点。草地转耕地主要集中在南半球和北半球中纬度地区,北半球高纬度及南美洲东部更多地表现为林地转耕地,低纬度地区出现了耕地转为草地的区域,印度、中国、俄罗斯和北美中部出现了较为集中的耕地转草地区域。

4.2 20世纪80年代以来各大洲耕地时空格局变化

20世纪80年代以来,北美洲、南美洲、大洋洲耕地面积为增加趋势,亚洲、欧洲、非洲为减少趋势。相比1982年,2011年北美洲、南美洲、大洋洲耕地面积增加了

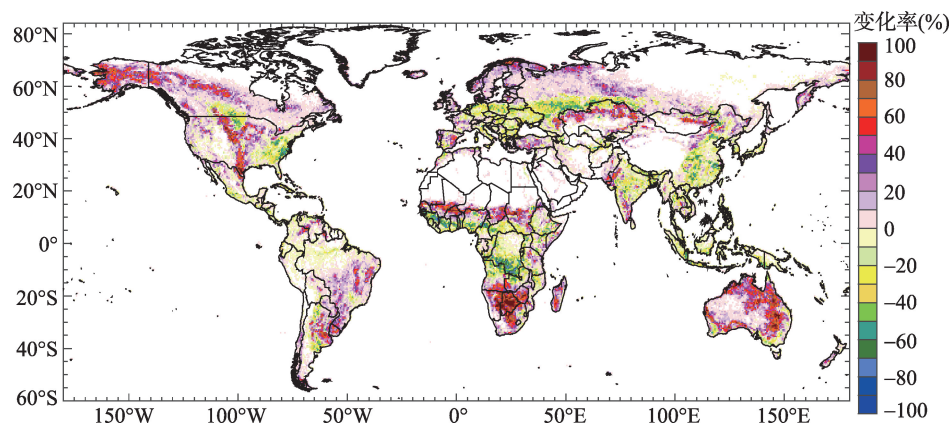


图3 20世纪80年代以来全球耕地空间变化及变化率

Fig. 3 Spatial variation rate of cultivated land in the world since the 1980s

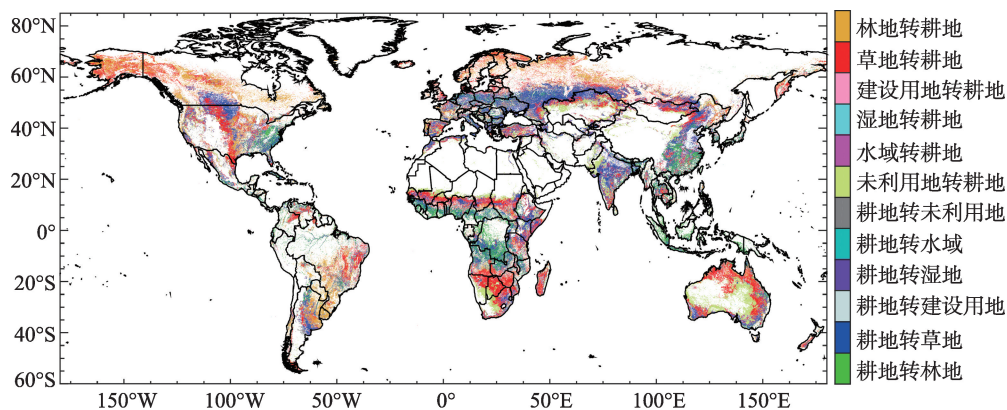


图4 20世纪80年代以来全球耕地空间转换分布

Fig. 4 Spatiotemporal conversion of cultivated land in the world since the 1980s

170.854、107.890、186.492 $\times 10^4$ km²，亚洲、欧洲、非洲耕地面积减少了23.769、4.035、86.76 $\times 10^4$ km²。其中，北美洲、南美洲耕地面积为显著增加趋势，北美洲耕地面积增加速率最快，为7.236 $\times 10^4$ km²/a，为极显著增加；亚洲耕地面积减少速率最快，为5.641 $\times 10^4$ km²/a，为显著减少。各大洲耕地面积随年代变化特征不一样。南美洲、大洋洲和全球特征一致；亚洲、非洲耕地面积20世纪80年代增加，以后减少；欧洲、北美洲20世纪80年代、90年代减少，21世纪最初10年增加（图2b）。各大洲增加的耕地以草地、林地和未利用地转化为主，其中亚洲、北美洲、非洲、南美洲和大洋洲以草地转耕地所占比例最高，欧洲以林地转换耕地所占比例最大；亚洲、非洲、大洋洲以未利用地转耕地次之，欧洲、北美洲、南美洲以林地次之（表4）。各大洲均以耕地转为草地为主，林地次之，二者之和占了90%以上，耕地转为草地均在50%以上，其中欧洲耕地转为草地占了70%以上（表5）。

20世纪80年代以来，亚洲新增耕地在空间上主要分布在印度南部及西北部、哈萨克斯坦北部、蒙古北部、俄罗斯西南部、中国东北部、土耳其中西部等区域。其中哈萨克斯坦北部、蒙古北部、印度西北部为亚洲耕地增加比例最高区域，增加比例达到50%~60%；印度南部、土耳其中西部增加比例为40%~50%。日本、朝鲜、马来西亚、印度尼西亚等国家耕地减少较明显，局部地区达到40%~50%。印度中部、中国东南部、俄罗斯

表4 20世纪80年代以来全球及其各大洲耕地转入矩阵(km²)

Tab. 4 The matrix of cultivated land of the world and continents since the 1980s (km²)

	转入面积(km ²)						
	亚洲	欧洲	非洲	北美洲	南美洲	大洋洲	全球
林地	587 044.033	538 977.272	497 117.371	1 295 193.574	1 049 514.128	210 610.092	4 183 030.965
草地	1 685 071.620	700 578.490	2 693 786.908	1 527 020.934	768 167.250	1 168 947.585	8 564 519.048
建设用地	8 745.380	3 418.037	852.623	2 675.515	1 455.492	125.654	17 290.898
湿地	53 106.836	29 938.381	24 623.822	27 727.065	16 697.013	18 878.816	231 618.103
水域	12 878.212	4 244.370	4 824.171	7 055.778	3 649.667	3 989.419	57 099.131
未利用地	911 410.987	74 871.195	857 230.925	138 995.122	55 494.096	900 758.834	2 943 976.114
	转入比例(%)						
	亚洲	欧洲	非洲	北美洲	南美洲	大洋洲	全球
林地	18.017	39.864	12.189	43.192	55.384	9.144	26.148
草地	51.717	51.817	66.050	50.923	40.537	50.751	53.536
建设用地	0.268	0.253	0.021	0.089	0.077	0.005	0.108
湿地	1.630	2.214	0.604	0.925	0.881	0.820	1.448
水域	0.395	0.314	0.118	0.235	0.193	0.173	0.357
未利用地	27.972	5.538	21.019	4.635	2.928	39.107	18.403

表5 20世纪80年代以来全球及其各大洲耕地转出矩阵(km²)

Tab. 5 The out matrix of cultivated land of the world and each continent since the 1980s (km²)

	转出面积(km ²)						
	亚洲	欧洲	非洲	北美洲	南美洲	大洋洲	全球
林地	1 217 276.742	300 777.368	1 410 706.162	399 259.025	341 994.955	141 504.896	3 859 019.347
草地	2 017 539.664	1 065 004.971	1 647 566.868	788 780.992	373 549.898	258 183.988	6 161 722.976
建设用地	15 804.035	10 816.968	1 370.660	4 030.622	723.119	151.457	33 117.082
湿地	57 448.359	6 470.664	17 104.849	25 935.501	41 131.877	6 184.790	166 437.848
水域	19 388.005	2 573.700	7 587.074	8 548.657	15 530.140	6 160.882	62 663.411
未利用地	169 794.097	7 604.133	128 833.594	67 964.712	43 064.184	18 703.268	436 504.043
	转出比例(%)						
	亚洲	欧洲	非洲	北美洲	南美洲	大洋洲	全球
林地	34.807	21.588	43.904	30.842	41.911	32.840	36.000
草地	57.689	76.440	51.275	60.932	45.779	59.919	57.482
建设用地	0.452	0.776	0.043	0.311	0.089	0.035	0.309
湿地	1.643	0.464	0.532	2.003	5.041	1.435	1.553
水域	0.554	0.185	0.236	0.660	1.903	1.430	0.585
未利用地	4.855	0.546	4.010	5.250	5.278	4.341	4.072

西南部边境等均出现耕地减少现象。增加的耕地在俄罗斯主要为林地转耕地，哈萨克斯坦、蒙古、印度、土耳其主要为草地转耕地。亚洲耕地分布北界，由1982年的66°N移动到2011年的68°N（图5a）。

20世纪80年代以来，欧洲的耕地变化以北部增多，南部减少为主要特征。挪威、瑞典、芬兰、冰岛、英国等北欧国家耕地增加较为明显，尤其是芬兰北部为欧洲耕地增加比例最高区域，耕地增加比例达到50%~60%；德国、意大利、乌克兰、罗马尼亚等南欧国家耕地减少明显，大部分地区在20%~30%之间；俄罗斯、法国、西班牙、葡萄牙等国，耕地增加和减少同时发生。其中俄罗斯耕地向中北部扩展的同时，南部原有耕地转为其他用地；法国耕地向中南部扩展，北部耕地减少；西班牙耕地向东部扩展，西南部减少；葡萄牙耕地向中北部扩展，南部耕地减少。欧洲耕地分布北界，由1982年的55°N移动到2011年的71°N（图5b）。

20 世纪 80 年代以来, 非洲新增耕地主要分布在 10°N~15°N 之间及 15°S 以南, 减少的耕地主要位于 10°N~15°S。非洲耕地总体向高纬移动, 原有耕地大幅度减少。其中非洲南部的博茨瓦纳为整个非洲增加比例最高的区域, 达 90%~100%; 安哥拉的东南部、纳米比亚的东北部、南非的中北部、津巴布韦、布基纳法索以及乍得和苏丹南部耕地增加比例也很高, 达 50%~70%, 马达加斯加岛耕地增加比例在 40%~60%。刚果民主共和国南部和安哥拉东北部减少比例最大, 为 60%~70%。非洲增加的耕地主要由草地转化而来, 减少的耕地主要转化为草地和林地。非洲耕地分布北界, 北半球撒哈拉以南耕地北界由 16°N 移动到 17°N (图 5c)。

20 世纪 80 年代以来, 北美洲的美国本土中部及阿拉斯加州和加拿大中部, 是北美洲增加比例最高的地区, 为 50%~70%。美国、加拿大、墨西哥的耕地增加与减少并行。美国增加的耕地主要分布在美国本土中部、西部及阿拉斯加地区, 阿拉斯加州地区的耕地增加明显; 加拿大的耕地整体向北扩展, 中南部耕地减少; 墨西哥增加的耕地主要分布在东北部, 其西部边陲的原有耕地呈减少趋势。北美洲耕地分布北界, 由 1982 年的 67°N 移动到 2011 年的 70°N (图 5d)。

20 世纪 80 年代以来, 南美洲的乌拉圭、巴西东南部、阿根廷东北部、哥伦比亚北部等区域为耕地增加区域, 局部地区耕地增加比例达到 50%~60%。阿根廷中部及北部耕地有明显减少, 减少比例在 40%~60%; 巴西西部、委内瑞拉西部均有耕地减少, 减少比例在 20% 左右; 哥伦比亚西部和东部也有耕地减少现象。南美洲多数国家耕地表现出东扩西缩的特征。南美洲耕地分布北界, 由 1982 年的 53°S 移动到 2011 年的 55°S (图 5e)。

20 世纪 80 年代以来, 大洋洲以澳大利亚耕地面积增加最多, 增加了 189.165×10⁴ km², 澳大利亚新增耕地从北部、东部、南部分别向内陆地区延伸, 北部和东部更显著, 增加比例达到 60%~70%。新西兰南岛耕地较多, 增加了 2904.572 km², 主要为草地转耕地。大洋洲耕地分布北界, 由 1982 年的 46°S 移动到 2011 年的 47°S (图 5f)。

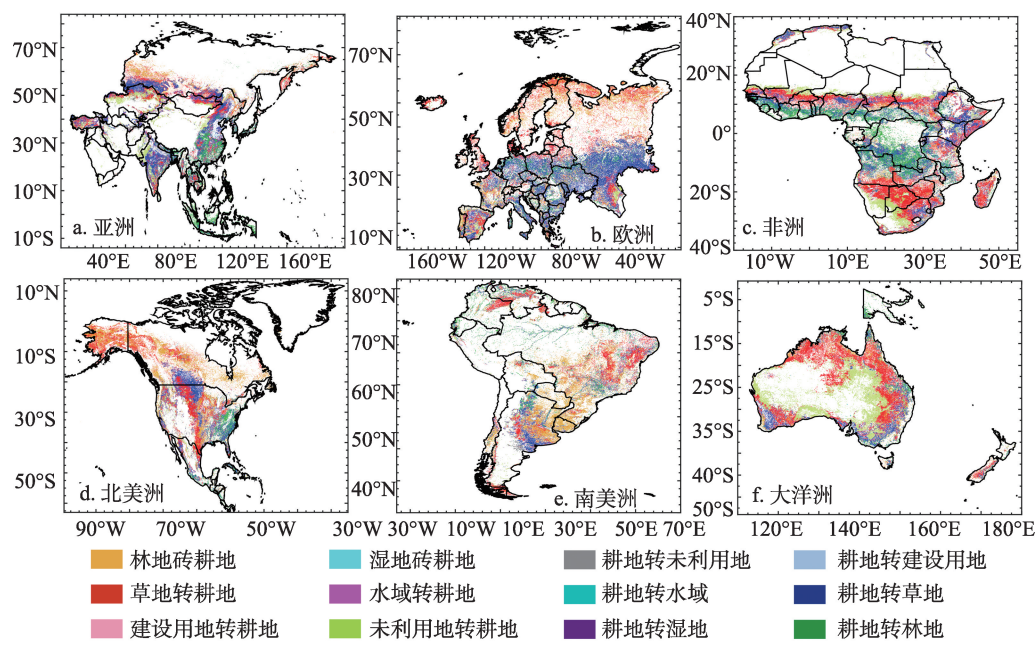


图 5 20 世纪 80 年代以来各大洲耕地空间转换分布
Fig. 5 Spatial distribution of cultivated land changes in each continent since the 1980s

5 讨论

本文利用 CG-LTDR 全球耕地数据, 对 20 世纪 80 年代以来全球耕地的时空变化特征进行了分析, 相比已有研究, 更加突出了耕地面积的时序变化特征和空间格局的变化, 揭示了近 30 年来全球耕地变化的空间格局。

(1) 采用与已有相关研究结果进行比较, 对本文研究结果进行验证。为了与已有研究结果进行对比, 本文分别按照相应文献的研究时段, 重新依据 CG-LTDR 数据计算同时段的结果 (表 6)。尽管与不同的学者所采用的研究数据以及研究方法不同, 但本文与诸多学者的研究结论基本吻合, 也证实了本文研究结论的可信性。相比, 由于本文结合空间矢量数据, 所以结果相比更加定量化。比如, 谢高地等认为 1985 年以前全球耕地呈增加趋势, 1985-1995 年间耕地呈减少趋势^[26], 本文认为 1985-1995 年全球耕地面积为减少趋势, 还进一步指出减少为不显著减少, 减少速率为 $19.772 \times 10^4 \text{ km}^2/\text{a}$; Abbas 等研究认为 1975-2005 年尼日利亚耕地向南部森林区扩展, 同时原有耕地减少^[27], 本文认为 1982-

表 6 与已有研究结果的比较
Tab. 6 Comparison with the results of previous studies

	已有研究结果	本文研究结果
1	谢高地等认为 1985 年以前全球耕地呈增加趋势, 1985-1995 年间耕地呈减少趋势 ^[26] 。	1985-1995 年全球耕地面积变化特征, 结论为不显著减少趋势, 减少速率为 $19.772 \times 10^4 \text{ km}^2/\text{a}$ 。
2	Lepers 等得出 1981-1990 年全球耕地在各个大洲均有增加, 增加的主要区域位于亚洲的东南部、孟加拉国印度河流域、中东和中亚地区、美国的大平原地区 ^[18] 。	对全球 1982-1990 年耕地面积进行分析, 得出全球各大洲耕地在此期间除亚洲和南美洲呈增加趋势外, 其他各大洲均呈减少趋势。增加的区域主要位于亚洲东南部, 撒哈拉以南的非洲, 减少的区域主要集中在非洲赤道附近和美国东南部及中国东部 (图 6)。
3	Waisanen 等认为 1982-1992 年美国耕地面积呈增加趋势 ^[28] 。	1982-1992 年美国耕地面积变化, 认为呈不显著增加趋势, 主要在中西部增加 (图 7a)。
4	杜国明等认为巴西 1980-2005 年耕地增加较为剧烈, 除北部热带雨林地区, 其他地区耕地均有增加 ^[29] 。	巴西 1980-2005 年耕地面积变化, 认为 1980-2005 年巴西耕地面积呈增加趋势, 主要由草地和林地转化 (图 7b)。
5	Dewan 等认为孟加拉国 1960-2005 年其耕地面积一直呈减少趋势, 主要转化为了林地和建设用地 ^[30] 。	1982-2005 年孟加拉国的耕地面积变化, 认为耕地面积呈极显著减少趋势, 主要在西南部地方减少, 主要转化为草地、林地 (图 7c)。
6	Abbas 等研究认为 1975-2005 年尼日利亚耕地向南部森林区扩展, 同时原有耕地减少 ^[27] 。	1982-2005 年尼日利亚耕地向南部森林区扩张了约 214197.544 km^2 , 原有耕地减少了 187354.798 km^2 (图 7d)。
7	Müller 等分析认为阿尔巴尼亚东南部在 1988-2003 年, 很多耕地被遗弃 ^[31] 。	阿尔巴尼亚 1988-2003 年耕地面积呈显著减少趋势, 减少的耕地转化为了草地。
8	Ramankutty 等认为 20 世纪 90 年代初全球耕地大约为 $1800 \times 10^4 \text{ km}^2$, 空间上主要集中在欧亚地区, 其次是北美洲和非洲 ^[15] 。	本文研究认为 20 世纪 90 年代初全球耕地为 $1845.761 \times 10^4 \text{ km}^2$, 空间上主要分布在欧洲南部、蒙古东北部、中国东部、美国五大湖附近及密西西比河流域、非洲的撒哈拉以南及刚果和刚果民主共和国南部。
9	Ramankutty 等认为 1700-1992 年近 3 个世纪以来, 整体上呈增加趋势, 1700 年后耕地扩张最快的地区发生在欧洲, 其次是北美洲和南美洲 ^[6] 。	本文分析了 1982-2011 年全球耕地时空变化, 时间上较新, 时间跨度较短, 同时认为近 30 年耕地扩张最快的地区发生在大洋洲。
10	Goldewijk 等分析了 1700-1990 年近 300 年的全球耕地数据, 得出近 3 个世纪以来, 全球耕地面积增加了 5.5 倍 ^[12] 。	本文分析 1982-2011 年全球耕地面积变化, 得出近 30 年来全球耕地面积增加了 1.273 倍。

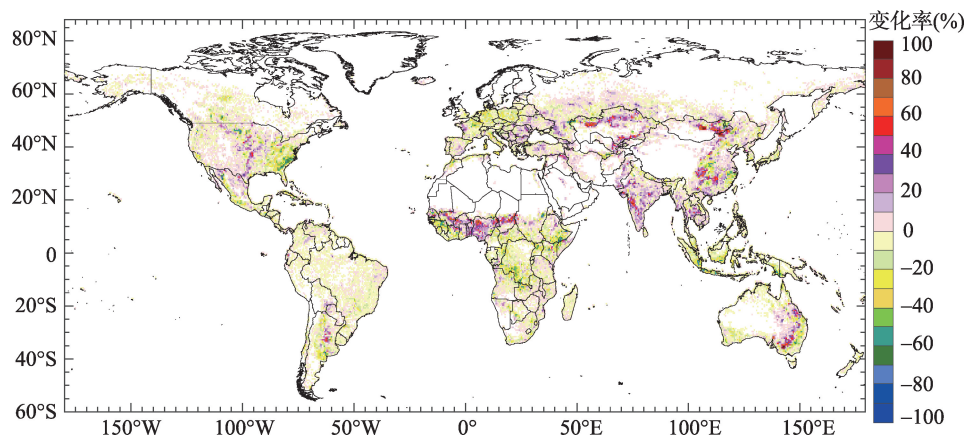


图6 1982-1990年全球耕地空间变化

Fig. 6 Spatial change of global cultivated land in 1982-1990

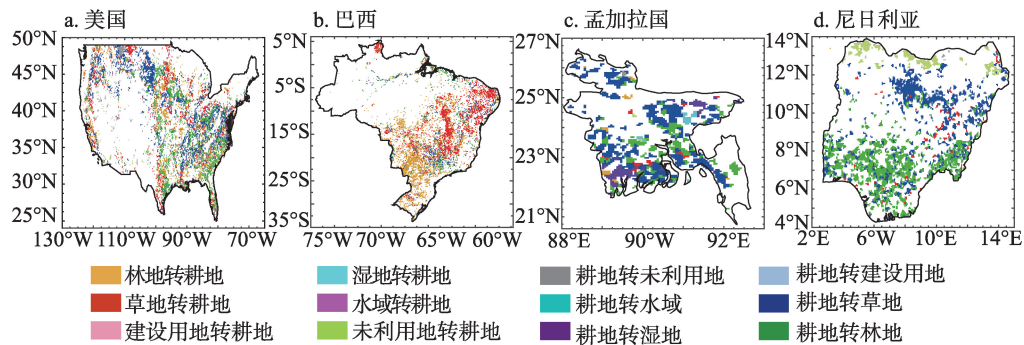


图7 不同区域耕地转换空间分布

Fig. 7 Spatial distribution of cultivated land conversion in some countries

2005年尼日利亚耕地向南部森林区扩张了约214 197.544 km², 原有耕地面积减少了187354.798 km²等。但有些结论也有不同之处, 比如Ramankutty等认为20世纪90年代初全球耕地大约为1800×10⁴ km², 空间上主要集中在欧亚地区, 其次是北美洲和非洲^[15], 本文研究认为20世纪90年代初全球耕地为1845.761×10⁴ km², 空间上主要分布在欧洲南部、蒙古东北部、中国东部、美国五大湖附近及密西西比河流域、非洲的撒哈拉以南及刚果和刚果民主共和国南部。另外, 还有一些研究成果, 由于本文研究时段为最近的30年, 所以有些结论因研究时段不同而不一样。

(2) 由于本文研究区域空间尺度大, 影像空间分辨率还不是很, 因此在分析过程中, 着重分析了耕地变化比例较高的区域和耕地变化集中区域, 对于分散的或面积较小的耕地变化区域, 没有进行具体描述。由于本文篇幅的限制, 本文只针对各大洲耕地变化进行了分析, 未能具体分析各个国家耕地分布及空间格局变化。同时在数据分析过程中, 设计到大量的图层转化、裁切、叠加等操作, 难免会产生误差, 影响结果的精度。

(3) 全球各大洲耕地在空间上均显示出向高纬度不同程度扩张的趋势, 说明气候变暖在空间上提供了耕地向高纬度扩张的自然条件, 同时也为耕地向高海拔区域延伸提供了自然条件, 因此, 结合气候变暖的事实及全球高程数据, 详细分析全球气候变暖对耕地空间扩张的影响, 是下一步需要剖析的内容。

6 结论

(1) 20世纪80年代以来全球耕地面积呈现增加趋势, 增加速率为 $7.920 \times 10^4 \text{ km}^2/\text{a}$, 为不显著增加。全球耕地面积增加了 $528.768 \times 10^4 \text{ km}^2$ 。20世纪80年代和21世纪最初10年全球耕地面积为增加趋势, 20世纪90年代为减少趋势。全球增加的耕地主要由草地、林地和未利用地转化, 全球减少的耕地主要转化为草地、林地和未利用地。

(2) 20世纪80年代以来, 北美洲、南美洲、大洋洲耕地面积分别增加了 $170.854 \times 10^4 \text{ km}^2$ 、 $107.890 \times 10^4 \text{ km}^2$ 、 $186.492 \times 10^4 \text{ km}^2$, 亚洲、欧洲、非洲耕地面积分别减少了 $23.769 \times 10^4 \text{ km}^2$ 、 $4.035 \times 10^4 \text{ km}^2$ 、 $86.76 \times 10^4 \text{ km}^2$ 。北美洲、南美洲耕地面积显著增加, 亚洲耕地面积显著减少。最近10年北美洲耕地面积增加最快, 南美洲在20世纪80年代增加最快, 亚洲耕地面积在20世纪90年代后持续减少。各大洲新增耕地主要由草地、林地和未利用地转化为主, 各大洲减少耕地基本转化为草地和林地。

(3) 全球新增耕地集中分布在非洲南部及中部、澳大利亚东部和北部、南美洲东南部、美国的中部及阿拉斯加、加拿大中部、俄罗斯西部及芬兰北部、蒙古北部等区域, 非洲南部的博茨瓦纳为全球耕地增加比例最高区域, 耕地增加比例达到80%~90%; 减少耕地主要分布在非洲中部的苏丹南部、美国中南部、俄罗斯南部及欧洲南部的保加利亚、罗马尼亚、塞尔维亚和匈牙利等国, 减少最大的区域为非洲南部、美国东南部、俄罗斯西南部。

(4) 各大洲耕地均表现出向高纬扩张的趋势, 同时全球多数国家耕地空间格局变化表现出新增耕地扩展, 原有耕地减少的特征。

参考文献(References)

- [1] Ramankutty N, Delire C, Snyder P. Feedbacks between agriculture and climate: An illustration of the potential unintended consequences of human land use activities. *Global and Planetary Change*, 2006, 54(1/2): 79-93.
- [2] Tian H Q, Chen G S, Zhang Chi, et al. Century- scale responses of ecosystem carbon storage and flux to multiple environmental changes in the southern United States. *Ecosystems*, 2012, 15(4): 674-694.
- [3] Tao B, Tian H Q, Chen G S, et al. Terrestrial carbon balance in tropical Asia: Contribution from cropland expansion and land management. *Global & Planetary Change*, 2013, 100(1): 85-98.
- [4] He Fanneng, Li Meijiao, Liu Haolong. Reconstruction of cropland area at Lu scale and its spatiotemporal characteristics in the Northern Song Dynasty. *Acta Geographica Sinica*, 2016, 71(11): 1967-1978. [何凡能, 李美娇, 刘浩龙. 北宋路域耕地面积重建及时空特征分析. *地理学报*, 2016, 71(11): 1967-1978.]
- [5] Chhabra A, Geist H, Houghton R A, et al. Multiple impacts of land-use/cover change//Land- Use and Land-Cover Change. Springer Berlin Heidelberg, 2006: 71-116.
- [6] Liu Jiyan, Kuang Wenhui, Zhang Zengxiang, et al. Spatiotemporal characteristics, patterns and causes of land use changes in China since the late 1980s. *Acta Geographica Sinica*, 2014, 69(1): 3-14. [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. *地理学报*, 2014, 69(1): 3-14.]
- [7] Shi Peijun, Wang Jing'ai, Chen Jing, et al. The future of human-environment interaction research in geography: Lessons from the 6th Open Meeting of IHDP. *Acta Geographica Sinica*, 2006, 61(2): 115-126. [史培军, 王静爱, 陈婧, 等. 当代地理学之人地相互作用研究的趋向: 全球变化人类行为计划(IHDP)第六届开放会议透视. *地理学报*, 2006, 61(2): 115-126.]
- [8] Findell K L, Pitman A J, England M H, et al. Regional and global impacts of land cover change and sea surface temperature anomalies. *Journal of Climate*, 2009, 22(12): 3248-3269.
- [9] Forster P, Ramaswamy V, Artaxo P, et al. Changes in atmospheric constituents and in radiative forcing. *Climate Change 2007: The Physical Science Basis: Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge, UK: Cambridge University Press, 2007.
- [10] Ramankutty N, Achard F, Alves D, et al. Global changes in land cover. *IHDP Newsletter*, 2005(3): 4-5.
- [11] Godfray H C, Beddington J R, Crute L R et al. Food security: The challenge of feeding 9 billion people. *Science*, 2010,

- 327(5967): 812-818.
- [12] Goldewijk K K, Beusen A, Van Drecht G, et al. The HYDE 3. 1 spatially explicit database of human-induced global land-use change over the past 12, 000 years. *Global Ecology and Biogeography*, 2011, 20(1): 73-86.
- [13] Ramankutty N, Delire C, Snyder P. Feedbacks between agriculture and climate: An illustration of the potential unintended consequences of human land use activities. *Global & Planetary Change*, 2006, 54(1): 79-93.
- [14] Ye Yu, Fang Xiuqi, Ren Yuyu, et al. Coverage changes of cropland in northeast China during the past 300 years. *Science in China Series D: Earth Sciences*, 2009, 39(3): 340-350. [叶瑜, 方修琦, 任玉玉, 等. 东北地区过去300年耕地覆盖变化. *中国科学(D)辑: 地球科学*, 2009, 39(3): 340-350.]
- [15] Ramankutty N, Foley J A. Characterizing patterns of global land use: An analysis of global croplands data. *Global Biogeochemical Cycles*, 1998, 12(4): 667-685.
- [16] Ramankutty N, Foley J A. Estimating historical changes in global land cover: Croplands from 1700 to 1992. *Global Biogeochemical cycles*, 1999, 13(4): 997-1027.
- [17] Ramankutty N, Evan A T, Monfreda C, et al. Farming the planet: 1. Geographic distribution of global agricultural lands in the year 2000. *Global Biogeochemical Cycles*, 2008, 22(1): 567-568.
- [18] Lepers E, Lambin E F, Janetos A C, et al. A synthesis of information on rapid land-cover change for the period 1981-2000. *Bio Science*, 2005, 55(2): 115-124.
- [19] Zhao Wenwu. Arable land change dynamics and their driving forces for the major countries of the world. *Acta Ecologica Sinica*, 2012, 32(20): 6452-6462. [赵文武. 世界主要国家耕地动态变化及其影响因素. *生态学报*, 2012, 32(20): 6452-6462.]
- [20] Shi Xueli, Zhang Fang, Zhou Wenyan, et al. Impacts of CG-LTDR Land Cover Dataset Updates on the Ground Temperature Simulation with BCC_AVIM 1. 0. *Journal of Geo-Information Science*, 2015, 17(11): 1294-1303. [史学丽, 张芳, 周文艳, 等. CG-LTDR 地表覆盖数据对 BCC_AVIM1. 0 陆面温度模拟的影响研究. *地球信息科学学报*, 2015, 17(11): 1294-1303.]
- [21] Shang Rong, Liu Ronggao, Liu Yang. Generation of global long-term albedo product based on the background knowledge. *Journal of Geo-Information Science*, 2015, 17(11): 1313-1322. [商荣, 刘荣高, 刘洋. 基于背景知识的全球长时间序列反照率反演. *地球信息科学学报*, 2015, 17(11): 1313-1322.]
- [22] Liu Yang, Liu Ronggao. Retrieval of global long-term leaf area index from LTDR AVHRR and MODIS observations. *Journal of Geo-Information Science*, 2015, 17(11): 1304-1312. [刘洋, 刘荣高. 基于 LTDR AVHRR 和 MODIS 观测的全球长时间序列叶面积指数遥感反演. *地球信息科学学报*, 2015, 17(11): 1304-1312.]
- [23] Hudson W D. Correct formulation of the Kappa coefficient of agreement. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 1987, 53(4): 421-422.
- [24] Ma Kaiyu, Ding Yuguo, Tu Qipu, et al. Principles and Methods of Climate Statistics. Beijing: China Meteorological Press, 1993: 77-82. [马开玉, 丁裕国, 屠其璞, 等. 气候统计原理与方法. 北京: 气象出版社, 1993: 77-82.]
- [25] Liu Jiyuan. A study on spatial-temporal feature of modern land use change in China. *Quaternary Sciences*, 2000, 20(3): 229-239. [刘纪远. 中国土地利用变化现代过程时空特征的研究. *第四纪研究*, 2000, 20(3): 229-239.]
- [26] Xie Gaodi, Cheng Shengkui. A study on global land use change under the pressure of population growth. *Journal of Natural Resources*, 1999, 14(3): 193-199. [谢高地, 成升魁. 人口增长胁迫下的全球土地利用变化研究. *自然资源学报*, 1999, 14(3): 193-199.]
- [27] Abbas I I. An overview of land cover changes in Nigeria, 1975-2005. *Journal of Geography & Regional Planning*, 2009, 5(12): 62-65.
- [28] Waisanen P J, Bliss N B. Changes in population and agricultural land in conterminous United States counties, 1790 to 1997. *Global Biogeochemical Cycles*, 2002, 16(4): 84-1-84-19.
- [29] Du Guoming, Kuang Wenhui, Meng Fanhao, et al. Spatiotemporal pattern and driving forces of land use/cover change in Brazil. *Progress in Geography*, 2015, 34(1): 73-82. [杜国明, 匡文慧, 孟凡浩, 等. 巴西土地利用/覆盖变化时空格局及驱动因素. *地理科学进展*, 2015, 34(1): 73-82.]
- [30] Dewan A M, Yamaguchi Y. Using remote sensing and GIS to detect and monitor land use and land cover change in Dhaka Metropolitan of Bangladesh during 1960-2005. *Environmental Monitoring & Assessment*, 2009, 150(150): 237-49.
- [31] Müller D, Sikor T. Effects of postsocialist reforms on land cover and land use in south-eastern Albania. *Applied Geography*, 2006, 26(3): 175-191.

Spatiotemporal characteristics and patterns of the global cultivated land since the 1980s

ZHANG Lijuan¹, YAO Ziyan¹, TANG Shihao², LI Xiaxiang¹, HAO Tiantian¹

(1. Key Laboratory of Remote Sensing Monitoring of Geographic Environment, College of Heilongjiang, Harbin Normal University, Harbin 150025, China; 2. Key Laboratory of Radiometric Calibration and Validation for Environmental Satellites, National Satellite Meteorological Center, CMA, Beijing 100081, China)

Abstract: Based on the global land use / cover data from 1982 to 2011(CG-LTDR), this paper analyzes the characteristics and spatial patterns of cultivated land change since the 1980s. The results are summarized as follows: (1) Since the 1980s, the world's arable land has increased by $528.768 \times 10^4 \text{ km}^2$ with a rate of $7.920 \times 10^4 \text{ km}^2/\text{a}$, although the trend is not statistically significant. The world's arable land grew fastest in the 1980s. Areas of cultivated land in North America, South America and Oceania increased by $170.854 \times 10^4 \text{ km}^2$, $107.890 \times 10^4 \text{ km}^2$ and $186.492 \times 10^4 \text{ km}^2$, respectively since the 1980s, showing significant trends with rates of $7.236 \times 10^4 \text{ km}^2/\text{a}$, $2.780 \times 10^4 \text{ km}^2/\text{a}$ and $3.758 \times 10^4 \text{ km}^2/\text{a}$, respectively. Areas in Asia, Europe and Africa decreased by 23.769×10^4 , 4.035×10^4 , $86.76 \times 10^4 \text{ km}^2$, with rates of $-5.641 \times 10^4 \text{ km}^2/\text{a}$, $-0.813 \times 10^4 \text{ km}^2/\text{a}$ and $-0.595 \times 10^4 \text{ km}^2/\text{a}$, respectively. Only Asia revealed a significant reduction trend. (2) Since the 1980s, the increased cultivated land in the world has been mainly converted from grasslands and forests, accounting for 53.536% and 26.148%, respectively. Newly cultivated land was mostly distributed in southern and central Africa, eastern and northern Australia, southeastern South America, central US, Alaska, central Canada, western Russia, northern Finland and northern Mongolia. Among these regions, Botswana in southern Africa has the highest proportion of increased arable land, an increase of 80%-90%. (3) Since the 1980s, a total of $1071.946 \times 10^4 \text{ km}^2$ of arable land has been converted to other types of land, mostly grasslands and forests that account for 57.482% and 36.000%, respectively. Global reduction of arable land was mainly found in southern and central Africa, central South America, southern Russia and southern Europe (Bulgaria, Romania, Serbia and Hungary). Among these regions, southern Africa experienced the highest reduction of 60%. (4) Cultivated lands in all continents had a trend of expanding to high latitudes, and most countries in the world are characterized by expansion of newly cultivated land and reduction of cultivated land in the earlier period.

Keywords: cultivated land; spatiotemporal characteristics; spatiotemporal patterns; global land use change