

1990-2010年中国耕地变化对粮食生产潜力的影响

刘 洛^{1,2,3}, 徐新良², 刘纪远², 陈 曦¹, 宁 佳^{2,3}

(1. 中国科学院新疆生态与地理研究所, 荒漠与绿洲生态国家重点实验室, 乌鲁木齐 830011;

2. 中国科学院地理科学与资源研究所, 资源与环境信息系统国家重点实验室, 北京 100101;

3. 中国科学院大学, 北京 100049)

摘要: 1990年以来,在国家生态环境保护工程实施、经济快速增长等因素的影响下,中国耕地数量与空间格局发生了巨大变化,对粮食生产潜力造成了巨大影响。本文采用GAEZ模型,结合中国气象、地形、土壤等因素,定量分析了中国耕地粮食生产潜力空间特征以及1990-2010年中国耕地变化对粮食生产潜力的影响。主要结论如下:① 2010年全国耕地粮食生产潜力总量为10.55亿t,全国耕地平均粮食生产潜力为7614 kg/hm²。中国耕地粮食生产潜力存在显著的空间差异,总体表现为东部高而西北部较低的趋势,并且高值区主要分布在长江中下游地区和华南区。② 1990-2010年的20年间,中国耕地粮食生产潜力变化表现出明显的时空差异,总体呈现南减北增、总量减少的基本特征。新增耕地粮食生产潜力的重心逐步由东北向西北转移。耕地粮食生产潜力总量净减少297万t,占2010年全国实际粮食总产量的0.29%。③ 在1990-2000年与2000-2010年两个时期,耕地变化对耕地粮食生产潜力影响差异明显。前10年,耕地粮食生产潜力总量净增加1011万t,主要集中在东北平原区和北方干旱半干旱区;后10年,耕地粮食生产潜力总量净减少1308万t,主要集中在长江中下游地区和黄淮海平原区。从总体看,近20年来耕地粮食生产潜力总量增加主要是由林、草地和未利用土地开垦所导致,而耕地粮食生产潜力总量减少主要是由城市扩展和退耕还林还草所导致。

关键词: 耕地; 粮食生产潜力; GAEZ模型; 中国

DOI: 10.11821/dlxb201412003

1 引言

粮食是关系国民生计的特殊商品和重要战略储备资源,粮食安全是国家安全的重要组成部分。作为人口众多的发展中国家,中国的粮食安全问题对世界粮食安全具有重要影响,始终受到国内外学者的广泛关注^[7]。影响粮食生产的因素很多,如制度与政策的创新、科技进步、物质和劳动的投入、耕地和气候资源变化等因素^[1-3]。耕地资源是农业生产最基本的物质条件,耕地数量和质量的直接变化影响粮食产量,从而影响到粮食有效供给^[4]。中国目前正处在工业化、城市化进程加快和生态文明建设的重要时期,耕地资源日益受到工业和城市土地利用的竞争,部分耕地非农化的趋势不可逆转,这已严重地影响到国家的粮食安全,并引起了国内外的广泛关注^[4]。

收稿日期: 2013-10-15; 修订日期: 2014-06-04

基金项目: 国家科技支撑计划 (2013BAC03B01); 中国科学院西部行动计划项目 (KZCX2-XB3-08-01); 高分辨率对地观测系统重大专项 (05-Y30B02-9001-13/15-10) [Foundation: National Key Project of Scientific and Technical Supporting Programs, No.2013BAC03B01; No.STSN- 14- 00; Project of CAS Action- plan for West Development, No.KZCX2- XB3- 08- 01; Important National Project of High- resolution Earth Observation System, No.05-Y30B02-9001-13/15-10]

作者简介: 刘洛 (1987-), 男, 汉族, 湖南益阳人, 博士研究生, 主要从事土地利用土地覆被变化研究。

E-mail: liuluo87930@qq.com

通讯作者: 徐新良 (1972-), 男, 山东青岛人, 博士, 副研究员, 硕士生导师, 主要从事土地利用土地覆被变化研究。

E-mail: xuxl@lreis.ac.cn

过去20年,由于开垦耕地、城市化侵占耕地以及退耕还林还草等的影响,中国的耕地资源在面积、空间分布和质量上都发生了巨大变化^[2-5]。为了揭示区域耕地资源变化及其对粮食生产和粮食安全的影响,国内外学者开展了大量研究。例如,刘纪远等分析了20世纪90年代中国LUCC过程对农田光温生产潜力总量和区域分异的影响^[5];闫慧敏等分析了中国城市化进程和退耕还林草生态工程对耕地的分布与生产力的影响^[6];石淑芹等分析了东北地区耕地数量、质量和作物种植制度等对粮食生产能力的影响^[7];徐新良等则揭示了气候波动与LUCC过程对东北农田生产潜力的影响^[8]。从上述研究可以看出,目前研究主要针对区域耕地变化以及粮食生产和安全问题。在全球粮食安全危机的背景下,从国家尺度的宏观层面,系统地揭示耕地资源变化格局和态势,及其导致的粮食生产潜力的变化及其区域差异,还有待继续深入。为提高中国粮食产量,增强农业生产抵御风险的综合能力,2009年中国政府开始核定全国耕地增产潜力及其区域分布,并对过去土地生产力的变化进行了科学的分析与评估^[9]。因此,总结归纳中国耕地资源时空过程,准确掌握耕地开垦和损失导致的粮食生产力变化及其区域分布,对进一步把握耕地供需规律及耕地变化与粮食安全的关系,巩固粮食生产基础和保障粮食安全具有重要的战略意义。

本研究针对20世纪90年代以来中国耕地发生的巨大变化,结合1990年、2000年、2010年三期耕地数据、30年来的气象数据、土壤数据和高程DEM数据,采用GAEZ (Global Agro-Ecological Zones) 模型综合考虑光、温、水、CO₂浓度、病虫害、农业气候限制、土壤、地形等多方面因素,估算了中国粮食生产潜力,进而分析了耕地变化导致的粮食生产潜力的变化、空间分布以及变化原因,以揭示1990-2010年来中国耕地变化对粮食生产力影响的空间格局及区域差异规律。

2 数据与方法

2.1 数据来源

本研究的输入数据主要包括耕地数据、地形高程数据、气象数据和土壤数据。

耕地数据包含1990年、2000年和2010年三期,来源于中国科学院资源环境数据中心的全国土地利用数据库。该数据库是在国家科技支撑计划、中国科学院知识创新工程重要方向项目等多项重大科技项目的支持下经过多年的积累而建立的覆盖全国陆地区域的多时相1:10万比例尺土地利用现状数据集^[10-13]。该数据集是以Landsat TM/ETM遥感影像为主要数据源,通过人工目视解译生成。土地利用类型包括耕地、林地、草地、水域、居民地和未利用土地6个一级类型以及25个二级类型。通过野外调查实地验证,土地利用一级类型综合评价精度达到94.3%以上,满足1:10万比例尺用户制图精度^[14-15]。本研究利用GIS技术,从三期土地利用现状数据集中提取耕地空间分布数据用于开展1990-2010年中国耕地变化对粮食生产潜力的影响研究。

地形高程数据来源于美国奋进号航天飞机的雷达地形测绘 (Shuttle Radar Topography Mission, SRTM) 数据。SRTM数据有现实性强、免费获取等优点,全球许多应用研究都采用SRTM数据开展环境分析^[16]。

气象数据是基于中国气象局的760多个气象观测站点的1980-2010年的月平均数据,包括最高气温、最低气温、降水量、相对湿度、10 m高度处的风速和日照时数,在考虑地形高程差异的条件下使用ANUSPLIN软件进行空间插值,获得全国1 km×1 km的月气象要素空间格网数据^[17-19],以此作为粮食生产潜力计算的气候条件基础。

土壤数据来源于中国科学院资源与环境科学数据中心1:100万全国土壤数据集,包括土壤类型、土壤成分、土壤深度和土壤持水力等属性。

2.2 研究方法

(1) 耕地变化分析方法。耕地变化分析是利用GIS的空间分析方法从1990年、2000年和2010年三期耕地数据集中获取耕地面积数量和空间格局特征，进而获取1990-2000年和2000-2010年前后两期耕地变化的面积数量和空间格局特征，以及耕地与其他土地利用类型之间的转换特征，如林、草地开垦导致的耕地扩张和退耕还林还草以及城市扩张导致的耕地损失特征。

(2) 粮食生产潜力方法。本研究粮食生产潜力的估算采用了GAEZ模型，该模型是由FAO(联合国粮农组织)和IIASA(国际应用系统研究所)共同研发的近30年的大尺度土地生产力模型。GAEZ模型首先根据气候条件估算种植某种作物的气候适宜性，然后对适宜种植的作物，采用逐级限制法来计算土地粮食生产潜力，即按光合生产潜力(仅光照限制)—光温生产潜力(光照和温度限制)—气候生产潜力(光照、温度和水分限制)—土地生产潜力(光照、温度、水分和土壤限制)—农业生产潜力(农业投入水平、经营管理方法等限制)^[20-23](图1)。本研究采用GAEZ模型计算了1980-2010年平均气候条件下的粮食生产潜力，主要考虑了小麦(4个品种)、玉米(4个品种)、水稻(2个品种)、大豆和甘薯五种作物。这五种作物是中国主要的粮食作物，约占粮食总产量的97.7%^[24]。计算过程中结合耕地分布数据，水稻仅能在水田上种植，而其他作物在旱地上种植。

中国大部分地区都采用多熟制耕作制度，故在估算总粮食生产潜力时需要考虑作物的多熟制^[25]。本文根据GAEZ模型计算的潜在熟制结合中国实际种植制度，考虑了多种熟制的经验方式组合(包括一年两熟、两年三熟、一年三熟)来获取最大土地粮食生产潜力。

GAEZ模型包含灌溉和雨养两种模拟情景。雨养条件下仅考虑降水对作物产量的影响，而灌溉条件则假设水分充足，即不考虑水分对作物的影响。灌溉和雨养情景下的生产潜力利用灌溉比例数据获得最终粮食生产潜力^[26]，具体方法如下：

$$yield_{total} = yield_{rain-fed}(1 - i) + yield_{irrigated} \times i$$

式中： $yield_{total}$ 是粮食总生产潜力； $yield_{rain-fed}$ 是指雨养条件下的粮食生产潜力； $yield_{irrigated}$ 指在灌溉条件下的粮食生产潜力； i (%)是从中国国家统计局得到的全国各县(市)灌溉面积与总耕地面积的比率。

3 结果与分析

3.1 结果验证

为了对基于GAEZ模型估算的中国耕地粮食生产潜力进行验证，利用2010年月气候数据和2010年耕地数据估算了2010年中国耕地的粮食生产潜力，从估算结果看，2010年全国耕地平均粮食生产潜力为8316 kg/hm²，是全国实际粮食平均产量统计值的1.55倍。以全国各县(市)为统计单元，统计各县(市)2010年耕地粮食生产潜力总量，并用2010年

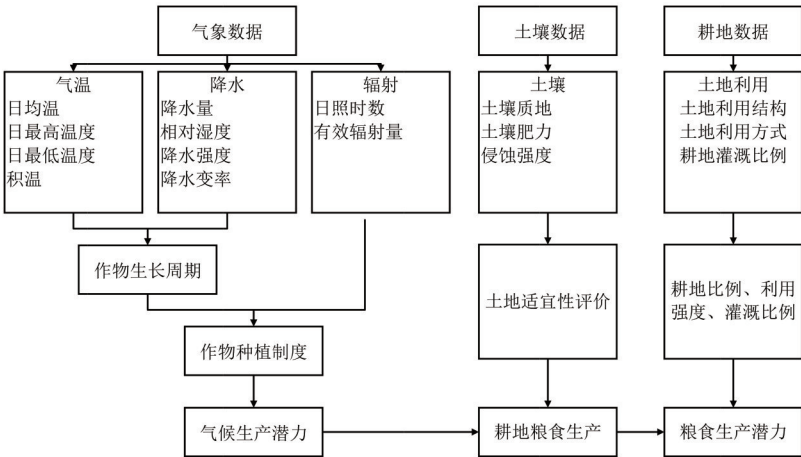


图1 GAEZ模型结构图
Fig. 1 Schematic diagram of overall structure and data integration of GAEZ

全国各县(市)粮食产量统计数据进行比较(图2)。

图中虚线表示估算的各县(市)粮食生产潜力总量与实际粮食产量的相关趋势线,从两者的拟合情况来看,各县(市)粮食生产潜力总量与实际粮食产量的相关系数为0.82,标准差为0.74万t,两者相关性较好,实际粮食总产量为估算结果的65.4%,因此各县(市)粮食生产潜力总量的变化在很大程度上能反映实际粮食产量的变化趋势。

3.2 2010 年中国耕地粮食生产潜力空间特征

为研究中国1990-2010年耕地变化对粮食生产潜力的影响,假设气候条件、地形高程和土壤要素不变的前提下,且气候数据为从1980年到2010年月平均气候要素,分析仅由耕地变化所导致的粮食生产潜力变化。

2010年中国耕地粮食生产潜力总量为10.55亿t,中国耕地平均粮食生产潜力为7614 kg/hm²。全国耕地粮食生产总潜力空间格局呈现东部生产总潜力高,西北部生产力较低的趋势(图3)。这主要是由于中国耕地资源空间分布不均,东部地形平坦、土壤肥沃、水热条件较好,而西部地区地形复杂、土壤退化、水热条件较差。从中国耕地粮食生产潜力空间分异看,长江中下游地区是中国耕地粮食生产潜力最高的地区,其总产量达到32842.71万t,遥遥领先其他地区,该地区亦是中国经济发展最快的地区,故成为了用地矛盾最突出的地方;青藏高原区是中国耕地粮食生产潜力最少的地区,其总产量仅为213.23万t。该区域人烟稀少,耕地数量少,耕地质量差,水分和热量条件均不利于作物的生长发育。华南区耕地最大粮食生产潜力为25989 kg/hm²,远远高于中国其他区域,该地区雨水充沛、温度适宜作物生长、太阳辐射较大、作物生长期较长等因素促使中国最大耕地粮食生产潜力存在于该区域。此外,中国农田平均单产最大的地方也分布在长江中下游地区,其平均产量为12089 kg/hm²(图4)。

3.3 中国耕地变化对粮食生产潜力的影响

3.3.1 1990-2010年中国耕地变化基本特征 1990-2010年,中国耕地总量基本保持平衡,但在前后两个10年耕地数量变化表现出不同的特征。1990-2000年耕地面积净增加2.83万km²,耕地总量变化总体趋势是南减北增,新增耕地主要集中在北方干旱半干旱区的东部,耕地减少主要发生在长江中下游地区(图5);2000-2010年耕地净减少1.02万km²,主要是由于东部沿海地区城镇居民工矿用地的扩张和中西部生态脆弱区退耕还林还草占用了大量耕地,此外北方干旱半干旱区的西部也发生局部地区耕地开垦现象(图6)。

1990-2010年,城镇扩展是导致中国耕地面积减少的主要原因。前10年,城镇扩展占用耕地占该时期耕地减少总面积的45.96%;后10年,城镇扩展占用耕地占该时期耕地减少面积的55.44%。随着中国城市化进程的加快,建设用地占用耕地的年均速率已由1990-2000年的每年约200万亩,激增到2000-2010年的每年300万亩以上,因此耕地保护与城镇化之间的矛盾进一步凸显。林、草地与耕地之间的转换亦是导致耕地面积变化的另一个主要原因。前10年,由于林、草地与耕地转换,耕地净增加4.05万km²,但这种增加是以牺牲生态环境质量为代价的;后10年,林、草地与耕地转换,耕地仅净增加0.93万km²,主要是由于中国开始注重生态保护,全国大范围实施退耕还林还草工程,从而导致耕地面

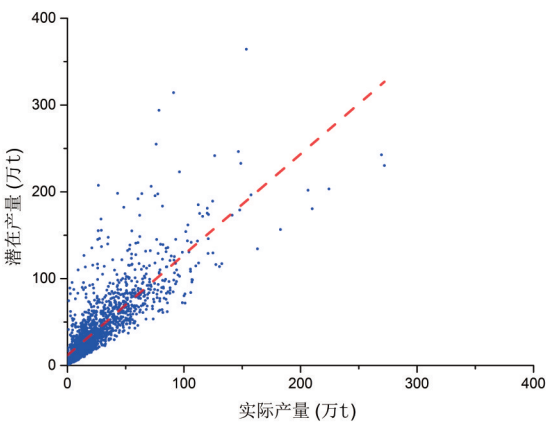


图2 2010年中国各县(市)粮食生产潜力总量与实际粮食产量的对比
Fig. 2 Comparison between potential and actual production in each county of China in 2010

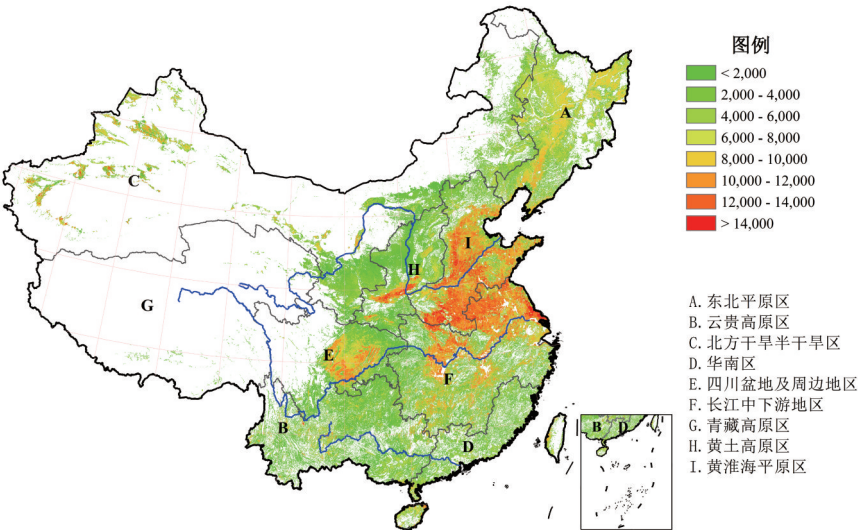


图3 2010年中国耕地粮食生产潜力空间分布图 (kg/hm²)

Fig. 3 Distribution of farmland potential production of China in 2005 (kg/hm²)

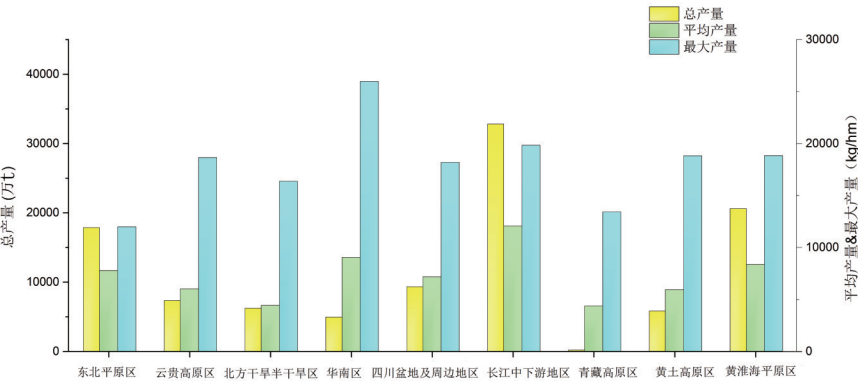


图4 2010年中国耕地粮食生产潜力统计图

Fig. 4 Statistics of potential production of China in 2010

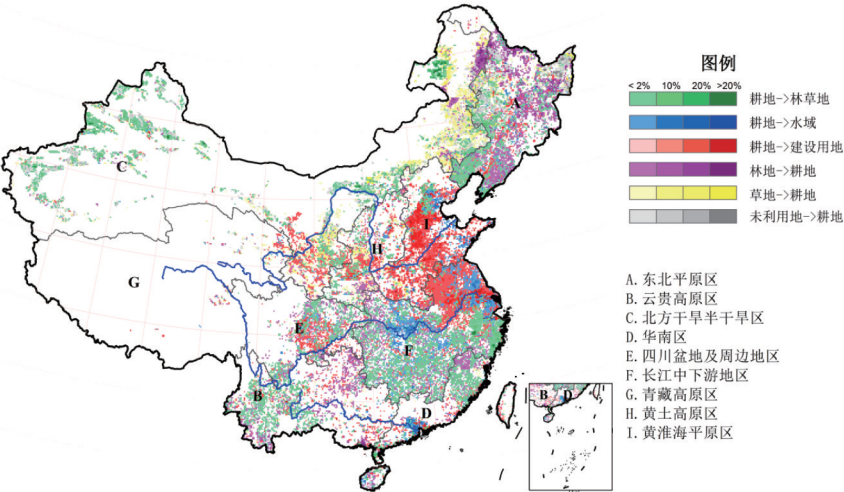


图5 1990-2000年中国耕地动态变化图

Fig. 5 Map of farmland change in China from 1990 to 2000

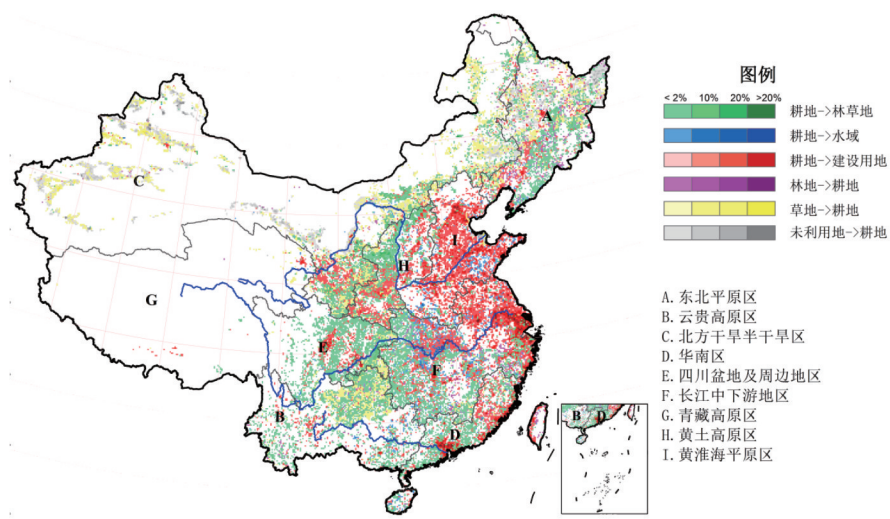


图6 2000-2010年中国耕地动态变化图
Fig. 6 Map of farmland change in China from 2000 to 2010

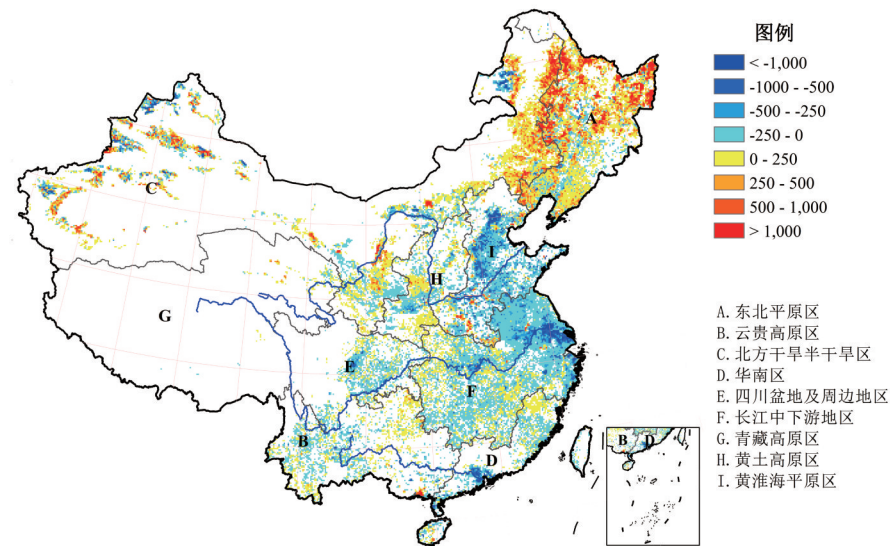


图7 1990-2000年中国耕地粮食生产潜力变化图 (kg/hm²)
Fig. 7 Changes of farmland potential production of China from 1990 to 2000 (kg/hm²)

表1 1990-2010年中国耕地粮食生产潜力总量变化及空间分布格局

Tab. 1 Distribution of changes in farmland potential productivity in China during 1990-2010					
时段	变化类型	主要原因	变化总量 (万t)	变化比例 (%)	空间分布
1990-2000	增加	耕地扩张(毁林、毁草开垦), 占增长总量的81.5%。	3486.89	3.30	主要分布于东北平原区和北方干旱半干旱区(图5), 分别占增加总量的47.8%和40.0%。
	减少	城镇扩展侵占耕地和退耕还林还草, 分别占减少总量的52.8%和32.3%。	-2475.89	-2.34	主要集中在长江中下游地区、北方干旱半干旱区和黄淮海平原区(图5), 分别占减少总量的27.8%、25.8%和23.5%。
2000-2010	增加	未利用地和草地开垦, 分别占增加总量的48.7%和27.3%。	1101.83	1.03	主要集中在北方干旱半干旱区(图6), 占增加总量的64.1%。
	减少	城市扩展侵占耕地资源, 占减少总量的66.0%。	-2410.28	-2.26	主要集中在长江中下游地区 and 黄淮海平原区(图6), 分别占耕地粮食生产潜力减少总量的38.0%和22.6%。

积增长较前期明显减少。

3.3.2 中国耕地变化对粮食生产潜力的影响 1990-2010年,由于耕地变化导致中国粮食生产潜力变化的基本特点是:南减北增,总量减少,新增耕地粮食生产潜力的重心逐步由东北向西北转移。耕地粮食生产潜力新增4589万t,减少4886万t,净减少297万t,占2010年全国粮食总产量的0.29%(表1)。

1990-2000年耕地变化使中国粮食生产潜力总量净增加1011万t,耕地粮食生产潜力增加总量为减少总量的1.4倍,但这种净增长是以损失优质传统耕地资源和毁坏自然生态环境为代价的。耕地粮食生产潜力增加的区域主要集中在东北平原区和北方干旱半干旱区,分别占耕地粮食生产潜力增加总量的47.8%和40.0%。耕地粮食生产潜力增加主要来源于林草地开垦,林草地开垦所导致的耕地粮食生产潜力增加总量占粮食生产潜力增长总量的81.5%。而耕地粮食生产潜力减少的区域主要集中在长江中下游地区、北方干旱半干旱地区和黄淮海平原区,分别占耕地粮食生产潜力减少总量的27.8%、25.8%和23.5%。耕地粮食生产潜力减少主要以城市扩展侵占耕地资源为主,城市扩展侵占耕地所导致的粮食生产潜力减少总量占耕地粮食生产潜力减少总量的52.8%(图7),此外退耕还林还草也导致部分耕地资源损失,减少的粮食生产潜力占减少总量的32.3%。

2000-2010年耕地变化导致中国粮食生产潜力总量净减少1308万t,耕地粮食生产潜力减少总量是增加总量的2.19倍。耕地粮食生产潜力减少区域主要集中在长江中下游地区和黄淮海平原区,分别占耕地粮食生产潜力减少总量的38.0%和22.6%。耕地粮食生产潜力的减少主要是由于城市扩展侵占了大量耕地资源,城市扩展侵占耕地所导致的粮食生产潜力减少总量占耕地粮食生产潜力下降总量的66.0%。而耕地粮食生产潜力增长区域主要集中在北方干旱半干旱区,占耕地粮食生产潜力增加总量的64.1%。该区域耕地粮食生产潜力的增加主要是由于未利用地和草地开垦,分别占耕地粮食生产潜力增加总量的48.7%和27.3%(图8)。

3.2.2 不同区域耕地变化对粮食生产潜力的影响 1990-2010年,各地区耕地变化对粮食生产潜力影响区域差异明显,1990-2010年各地区耕地变化对粮食生产潜力影响的区域典型特征如下(表2和表3)。

东北平原1990-2010年耕地粮食生产潜力增加1917万t,减少378万t,净增加1539万t,其中1990-2000年粮食生产潜力增加1672万t,减少222万t,净增加1450万t,增加量

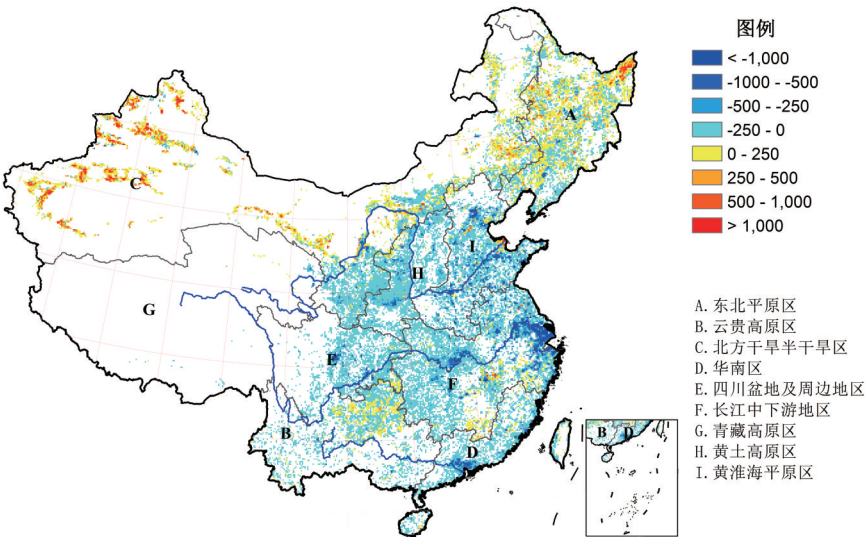


图8 2000-2010年中国耕地粮食生产潜力变化图 (kg/hm²)
Fig. 8 Changes of farmland potential production of China from 2000 to 2010 (kg/hm²)

与净增加量位居全国第一。主要由于北部地区大量的林草地被开垦为耕地，此外中部地区也有少数耕地发生退耕还林还草。2000-2010年耕地粮食生产潜力增加245万t，减少156万t，净增加89万t。林草地和未利用土地开垦，是该时期耕地粮食生产潜力增长的主要因素，但也存在退耕还林还草和城镇化侵占耕地的现象，使得粮食生产潜力增长的幅度较前期有所减弱。

云贵高原区1990-2010年耕地粮食生产潜力增加96万t，减少149万t，净减少53万吨，其中1990-2000年粮食生产潜力增加72万t，减少76万t，净减少4万t，该区域出现大量林、草地和耕地相互转换的现象，且有少量建设用地扩展占用耕地，但耕地粮食生产潜力总体相对稳定。2000-2010年耕地粮食生产潜力增加24万t，减少72万t，净减少48万t。退耕还林和建设用地扩展占用耕地是该时期耕地粮食生产潜力减少的主要原因，此外该区东北部存在少量草地开垦现象。

表 2 1990-2000年中国各地区耕地变化对粮食生产潜力影响统计表
Tab. 2 Impacts of regional farmland change on grain potential productivity in China during 1990-2000

地区	减少					增加							净变化
	退耕还林	退耕还草	耕地转水域	城镇扩张侵占	耕地转未利用地	减少总量	林地开垦	草地开垦	水域转耕地	工矿建设用地转耕地	未利用地开垦	增加总量	
东北平原区	-96.83	-39.19	-17.43	-37.38	-31.21	-222.03	697.62	634.96	46.16	1.94	291.21	1671.88	1449.85
云贵高原区	-20.38	-18.05	-3.05	-35.34	-0.00	-76.82	56.91	14.54	0.71	0.04	0.00	72.20	-4.62
北方干旱半干旱区	-57.12	-403.58	-19.46	-69.78	-87.23	-637.16	171.68	1033.53	18.79	42.96	113.16	1380.13	742.97
华南区	-29.72	-1.15	-35.45	-67.58	-0.00	-133.89	17.08	2.29	3.69	0.95	0.43	24.44	-109.45
四川盆地及周边地区	-5.59	-1.61	-4.37	-55.34	-0.00	-66.90	7.65	1.03	0.67	0.40	0.00	9.76	-57.14
长江中下游地区	-85.03	-3.52	-116.32	-481.06	-0.32	-686.26	44.28	11.73	32.43	0.71	0.39	89.54	-596.71
青藏高原区	-0.00	-0.30	-1.03	-1.15	-0.44	-2.91	0.62	8.37	0.42	0.00	0.65	10.05	7.14
黄土高原区	-9.92	-3.05	-5.85	-49.45	-0.52	-68.79	5.64	37.02	10.86	0.00	1.07	54.60	-14.19
黄淮海平原区	-20.69	-3.26	-43.87	-509.86	-3.45	-581.14	35.60	62.99	59.76	0.20	15.74	174.28	-406.85
全国	-325.27	-473.70	-246.82	-1306.93	-123.17	-2475.89	1026.08	1806.46	173.50	47.20	422.66	3486.89	1011.00

表 3 2000-2010年中国各地区耕地变化对粮食生产潜力影响统计表
Tab. 3 Impacts of regional farmland change on grain potential productivity in China during 2000-2010

地区	减少					增加							净变化
	退耕还林	退耕还草	耕地转水域	城镇扩张侵占	耕地转未利用地	减少总量	林地开垦	草地开垦	水域转耕地	工矿建设用地转耕地	未利用地开垦	增加总量	
东北平原区	-52.38	-39.17	-10.01	-46.75	-7.70	-156.02	84.86	52.68	13.71	10.63	83.13	245.02	89.00
云贵高原区	-32.34	-9.61	-4.02	-25.77	-0.00	-71.75	5.99	17.11	0.45	0.03	0.06	23.63	-48.12
北方干旱半干旱区	-33.39	-128.40	-9.41	-36.63	-19.38	-227.21	47.17	442.35	11.68	1.38	203.62	706.20	478.99
华南区	-22.09	-0.24	-13.85	-153.11	-0.53	-189.81	5.62	0.53	1.06	0.12	1.11	8.45	-181.36
四川盆地及周边地区	-25.38	-9.98	-4.10	-85.34	-0.07	-124.86	0.43	1.20	0.06	0.00	0.01	1.69	-123.17
长江中下游地区	-27.24	-1.80	-160.49	-724.44	-2.15	-916.13	20.50	3.86	30.86	1.10	0.92	57.24	-858.89
青藏高原区	-0.14	-3.30	-0.44	-2.56	-0.00	-6.44	0.25	1.45	0.00	0.00	0.11	1.80	-4.63
黄土高原区	-46.17	-48.20	-16.82	-62.47	-0.28	-173.94	0.55	4.19	6.71	0.00	1.18	12.62	-161.32
黄淮海平原区	-15.03	-0.78	-74.47	-452.66	-1.18	-544.12	1.81	13.06	18.09	1.58	10.62	45.17	-498.95
全国	-254.17	-241.49	-293.60	-1589.74	-31.29	-2410.28	167.18	536.42	82.62	14.85	300.76	1101.83	-1308.45

北方干旱半干旱区1990-2010年耕地粮食生产潜力增加2086万t,减少864万t,净增加1222万t,其中1990-2000年耕地粮食生产潜力增加1380万t,减少637万t,净增加743万t。大量草地开垦是该时期耕地粮食生产潜力增加的主要原因,但中部黄河和河套平原局部地区退耕还草成效显著。2000-2010年耕地粮食生产潜力增加706万t,减少227万t,净增加479万t。新疆大面积草地和未利用地开垦是该时期粮食生产潜力增加的主要因素,但中部地区存在一定的量的退耕还草现象。

华南区1990-2010年耕地粮食生产潜力增加33万t,减少324万t,净减少291万t,其中1990-2000年耕地粮食生产潜力增加24万t,减少134万t,净减少109万t。南部地区存在退耕还林、退耕还湖以及城镇化侵占耕地现象,使得粮食生产潜力有所减少。2000-2010年耕地粮食生产潜力增加8万t,减少190万t,净减少182万t。该时期城镇化侵占了大量耕地,致使耕地粮食生产潜力严重减少。

四川盆地及周边地区1990-2010年耕地粮食生产潜力增加11万t,减少192万t,净减少181万t,其中1990-2000年耕地粮食生产潜力增加10万t,减少67万t,净减少57万t。耕地粮食生产潜力变化主要集中在东部地区,以城镇扩展占用耕地为主。2000-2010年耕地粮食生产潜力增加2万t,减少125万t,净减少123万t。该区东部地区城镇扩展占用了大量耕地,致使粮食生产潜力大量减少。

长江中下游地区1990-2010年耕地粮食生产潜力增加147万t,减少1602万t,净减少1456万t,其中1990-2000年耕地粮食生产潜力增加90万t,减少686万t,净减少597万t;2000-2010年耕地粮食生产潜力增加57万t,减少916万t,净减少859597万t。该区前后2个时段耕地粮食生产潜力减少量和净减少量均居全国第一,大量的城镇化侵占耕地以及退耕还湖,是导致耕地粮食生产潜力大量减少的主要原因。

青藏高原区1990-2010年耕地粮食生产潜力增加12万t,减少9万t,净增加3万t,其中1990-2000年耕地粮食生产潜力增加10万t,减少3万t,净增加7万t。2000-2010年耕地粮食生产潜力增加2万t,减少6万t,净减少5万t。该区耕地稳定少动,粮食生产潜力基本无变化。

黄土高原区1990-2010年耕地粮食生产潜力增加67万t,减少243万t,净减少176万t,其中1990-2000年耕地粮食生产潜力增加55万t,减少69万t,净减少14万t。2000-2010年耕地粮食生产潜力增加13万t,减少174万t,净减少161万t。退耕还林还草以及城镇扩展占用耕地是该区耕地粮食生产潜力减少的主要原因。

黄淮海平原区1990-2010年耕地粮食生产潜力增加129万t,减少1125万t,净减少906万t,其中1990-2000年耕地粮食生产潜力增加174万t,减少581万t,净减少407万t。2000-2010年耕地粮食生产潜力增加45万t,减少544万t,净减少499万t。大量城镇化侵占耕地是该区粮食生产潜力减少的最主要原因。同时该区南部也存在林草地和湖泊开垦现象。

1990-2010年的20年间,在国家生态环境保护工程实施、经济快速增长等因素的影响下,中国的耕地数量与空间格局发生了巨大变化,直接对粮食生产潜力造成了巨大的影响。本文从耕地粮食生产潜力模拟方法和耕地变化对粮食生产潜力的影响出发,以中国五种主要的粮食作物为研究对象,采用GAEZ模型,定量分析了中国耕地粮食生产潜力空间特征,以及1990-2000年和2000-2010年两个典型时期的耕地变化对粮食生产潜力的影响。研究的主要结论如下:

(1) 2010年全国耕地粮食生产总潜力总量为10.55亿t,全国耕地平均粮食生产潜力为7614 kg/hm²。中国耕地粮食生产潜力空间差异显著,总体呈现东部生产总潜力高,西北部生产力较低的趋势,其中耕地粮食生产潜力高值区主要分布在长江中下游地区和华南区。

(2) 1990-2010年的20年间,中国耕地粮食生产潜力变化表现出明显的时空差异,总体呈现南减北增,总量减少的基本特征。新增耕地粮食生产潜力的重心逐步由东北向西北转移。耕地粮食生产潜力总量净减少297万t,占全国粮食总产量的0.29%。

(3) 在1990-2000年与2000-2010年两个时期,耕地变化对耕地粮食生产潜力影响差异明显。前10年,耕地粮食生产潜力总量净增加1011万t,主要集中在东北平原区和北方干旱半干旱区;后10年,耕地粮食生产潜力总量净减少1308万t,主要集中在长江中下游地区和黄淮海平原区。从总体看,1990-2010年耕地粮食生产潜力总量增加主要是由林、草地和未利用土地开垦所导致,而耕地粮食生产潜力总量减少主要是由于城市扩展占用耕地和退耕还林还草导致部分耕地资源损失。

本文深入分析了耕地变化对粮食生产潜力的影响,但由于时间和数据的限制,本研究仍存在一些不确定性。例如,① 极端气候条件对粮食生产潜力影响很大,但这一气候异常因素在本研究中并未考虑;② 本研究中灌溉条件即假设有充足的水分供给作物生长,但实际上即使在灌溉条件下,作物生长仍然受到水分条件的限制;③ 在获取最大粮食生产潜力选择作物品种和种植制度时,并没有考虑农民追求最大收益对产量带来的影响。在全球粮食安全危机的背景下,耕地变化对粮食产量的影响已经引起各国政府和社会各界的广泛关注。自21世纪以来,中国耕地面积的总体变化趋势表现为总面积持续减少,耕地不断向非农利用方式的转变,致使2000年以来中国耕地粮食生产潜力总量出现下滑的趋势^[27]。因此准确核定全国耕地粮食潜力及其区域分异,正确把握耕地变化对粮食潜力影响的主要方向和区域格局,对保护耕地红线,保持耕地总量的占补平衡,保证国家粮食安全,合理开展中国土地资源管理具有重要的科学指导意义。当前,在构建国家生态安全屏障,建设生态文明,以及持续城镇化的影响下,未来中国耕地面积的萎缩可能还会持续。因此,在准确认识主要耕地流失对粮食产量的影响并合理控制耕地转移的基础上,不断开发、提高、更新和恢复耕地生产力,是保障粮食供给、保证国家粮食安全的重要方式^[28]。

参考文献 (References)

- [1] Song W, Chen B M, Chen X W. Evaluation for use efficiency of agricultural resources in grain production: A case study of Changshu, Taihe and Ansai in China. *Chinese Geographical Science*, 2009, 19(1): 46-54.
- [2] Zeng Kejun, Chen Yi, Gao Zhonggui et al.. Study on the relationship of cultivated land change and food security in Yangtze River Delta. *Geography and Geo-Information Science*, 2006, 22(6): 58-61. [曾科军, 陈逸, 高中贵 等. 长江三角洲土地利用变化与粮食安全分析. *地理与地理信息科学*, 2006, 22(6): 58-61.]
- [3] Liu Yansui, Wu Chuanjun. Situation of land-water resources and analysis of sustainable food security in China. *Journal of Natural Resources*, 2002, 17(3): 270-275. [刘彦随, 吴传钧. 中国水土资源态势与可持续食物安全. *自然资源学报*, 2002, 17(3): 270-275.]
- [4] Fu Zeqiang, Cai Yunlong, Yang Youxiao et al. Research on the relationship of cultivated land change and food security in China. *Journal of Natural Resources*, 2001, 16(4): 313-319. [傅泽强, 蔡运龙, 杨友孝 等. 中国粮食安全与耕地资源变化的相关分析. *自然资源学报*, 2001, 16(4): 313-319.]
- [5] Liu Ji yuan, Xu Xinliang, Zhuang Dafang et al. Impact of LUCC on light-temperature potential production in 1990s. *Science in China Series D: Earth Sciences*, 2005, 35(6): 483-492. [刘纪远, 徐新良, 庄大方 等. 20世纪90年代LUCC过程对我国农田光温生产潜力的影响. *中国科学D辑*, 2005, 35(6): 483-492.]
- [6] Qin Yuanwei, Yan Huiming, Liu Ji yuan et al. Impacts of ecological restoration projects on agricultural productivity in China. *Journal of Geographical Sciences*, 2013, 23(3): 404-416.
- [7] Shi Shuqin, Chen Youqi, Yao Yanmin et al. Impact assessment of cultivated land change upon grain productive capacity in Northeast China. *Acta Geographica Sinica*, 2008, 63(6): 574-586. [石淑芹, 陈佑启, 姚艳敏 等. 东北地区耕地变化对粮食生产能力的影响评价. *地理学报*, 2008, 63(6): 574-586.]
- [8] Xu Xinliang, Liu Ji yuan, Cao Mingkui et al. Impact of recent climate fluctuation and LUCC process on potential productivity for crops in Northeast China. *Scientia Geographica Sinica*, 2007, 27(3): 318-324. [徐新良, 刘纪远, 曹明奎]

- 等. 近期气候波动与LUCC对东北农田生产潜力的影响. 地理科学, 2007, 27(3): 318-324.]
- [9] Xu Xiaoli, Shi Peijun, Yang Mingchuan et al. The impact of the national land policy on the sustainable arable land use in China since 1949. Journal of Beijing Normal University: Social Science Edition, 2003, (2): 115-123. [徐小黎, 史培军, 杨明川 等. 我国土地政策对耕地可持续利用的影响. 北京师范大学学报: 社会科学版, 2003, (2): 115-123.]
- [10] Liu Jiuyan, Liu Mingliang, Tian Hanqin et al. Spatial and temporal patterns of China's cropland during 1990-2000: An analysis based on Landsat TM data. Remote Sensing of Environment, 2005, 98(4): 442-456.
- [11] 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. Geographical Research, 2003, 22(1): 1-12. [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. 地理研究, 2003, 22(1): 1-12.]
- [12] Liu Jiuyan, Buheaozier. Study on spatial-temporal feature or modern land-use change in China: Using remote sensing techniques. Quaternary Sciences, 2000, 20(3): 229-239. [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. 第四纪研究, 2000, 20(3): 229-239.]
- [13] Liu Jiuyan, Zhang Zengxiang, Xu Xinliang et al. Spatial patterns and driving forces of land use change in China during the early 21st century. Journal of Geographical Sciences, 2010, 20(4): 483-494.
- [14] Liu Jiuyan, Liu Mingliang, Zhuang Dafang et al. Study on spatial pattern of land-use change in China during 1995-2000. Science in China Series D: Earth Sciences, 2003, 46(4): 373-384.
- [15] Liu Jiuyan, Kuang Wenhui, Zhang Zengxiang et al. Spatiotemporal characteristics, patterns and causes of land-use changes in China since the late 1980s. Journal of Geographical Sciences, 2014, 24(2): 195-210.
- [16] Shortridge Ashton, Messina Joseph. Spatial structure and landscape associations of SRTM error. Remote Sensing of Environment, 2011, 115(6): 1576-1587.
- [17] Hutchinson M F. Interpolation of rainfall data with thin plate smoothing splines. Part I: Two dimensional smoothing of data with short range correlation. Journal of Geographic Information and Decision Analysis, 1998, 2(2): 139-151.
- [18] Hutchinson M F. Interpolation of rainfall data with thin plate smoothing splines. Part II: Analysis of topographic dependence. Journal of Geographic Information and Decision Analysis, 1998, 2(2): 152-167.
- [19] Hutchinson M F. Hutchinson. Interpolating mean rainfall using thin plate smoothing splines. International Journal of Geographical Information Systems, 1995, 9(4): 385-403.
- [20] Fischer Gunther, Sun Laixiang. Model based analysis of future land-use development in China. Agriculture Ecosystems & Environment, 2001, 85(1-3): 163-176.
- [21] Fischer Gunther, Mahendra Shah, Harrij van Velthuizen et al. Global agro-ecological assessment for agriculture in the 21st century: Methodology and results. 2002: International Institute for Applied Systems Analysis.
- [22] Fischer Gunther, Mahendra Shah, Harrij van Velthuizen et al. Agro-ecological Zones Assessments: Land Use and Land Cover. Encyclopedia of Life Support Systems (EOLSS), Developed under the Auspices of the UNESCO. Oxford, UK: Eolss Publishers, 2006.
- [23] Fischer Gunther, Mahendra Shah, Francesco N. Tubiello et al. Socio-economic and climate change impacts on agriculture: An integrated assessment, 1990-2080. Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences, 2005, 360(1463): 2067-2083.
- [24] Chen Yinjun, Yi Xiaoyan, Fang Linna et al. Analysis for arable land resource and its grain production capacity in China. Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning, 2012, 33(6): 4-10. [陈印军, 易小燕, 方琳娜 等. 中国耕地资源及其粮食生产能力分析. 中国农业资源与区划, 2012, 33(6): 4-10.]
- [25] Yan Huimin, Liu Jiuyan, Cao Mingkui. Remotely sensed multiple cropping index variations in China during 1981-2000. Acta Geographica Sinica, 2005, 60(4): 559-566. [闫慧敏, 刘纪远, 曹明奎. 近20年中国耕地复种指数的时空变化. 地理学报, 2005, 60(4): 559-566.]
- [26] Tatsumi Kenichi, Yosuke Yamashiki, Roberto Valmir da Silva et al. Estimation of potential changes in cereals production under climate change scenarios. Hydrological Processes, 2011, 25(17): 2715-2725.
- [27] Jiang Qunou, Deng Xiangzheng, Lin Zhiying et al. Impacts of cultivated land conversion on cultivated land productivity in China: Prediction and analysis. Chinese Journal of Applied Ecology, 2010, 21(12): 3113-3119. [姜群鸥, 邓祥征, 林英志 等. 中国耕地用途转移对耕地生产力影响的预测与分析. 应用生态学报, 2010, 21(12): 3113-3119.]
- [28] Gao Zhiqiang, Liu Jiuyan, Cao Mingkui et al. Impacts of land use and climate changes on ecosystem productivity and carbon cycle in the cropping grazing transitional zone in China. Science in China Series D, 2005, 48: 1479-1491.

Impact of farmland changes on production potential in China during recent two decades

LIU Luo^{1,2,3}, XU Xinliang², LIU Jiyuan², CHEN Xi¹, NING Jia^{2,3}

(1. *State Key Laboratory of Desert and Oasis Ecology, Xinjiang Institute of Ecology and Geography, CAS, Urumqi 830011, China;*

2. *State Key Laboratory of Resources and Environmental Information System, Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, CAS, Beijing 100101, China;*

3. *University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)*

Abstract: Quantity and spatial pattern of farmland has changed, which leads to significant change of farmland potential productivity under the influence of national ecological environmental protection project and the rapidly increased economic growth during the last two decades. In this study, farmland potential productivity in China was calculated based on meteorological data, terrain elevation data, soil data and land use data in 1990, 2000 and 2010 by using the Globe Agricultural Ecology Zone model (GAEZ). Then, the changes in farmland potential productivity in response to farmland change from 1990 to 2000 were subsequently analyzed. (1) In 2010, total farmland potential productivity is 1.055 billion tons in China, and the average farmland potential productivity is 7614 kg/hm², which shows tremendous heterogeneity in spatial pattern. The productivity in eastern China is high, while that of northwestern China is low. High value region of farmland potential productivity is mainly distributed in South China and the middle and lower reaches of the Yangtze River. (2) The obvious tempo-spatial heterogeneity of farmland change from 1990 to 2010 has a significant influence on the farmland potential productivity in China. The trend shows the farmland potential productivity decreased in southern China and increased in northern China. Furthermore, the gravity of the growth of farmland potential productivity moves gradually from northeastern to northwestern China. The net decrease of farmland potential productivity is 2.97 billion tons, which occupies 0.29% of the national total productivity. (3) There is a huge difference of the farmland potential productivity in response to farmland change between two periods from 1990 to 2000 and from 2000 to 2010. During the first decade, net increase in the cultivated land areas is 10.11 billion tons, which primarily spread across Northeast China Plain and arid and semiarid regions of North China. During the next decade, net decrease in the cultivated land areas is 13.08 billion tons, primarily distributed in the middle and lower Yangtze River region and the Huang-Huai-Hai Plain. In general, during the last two decades, the reason for the increase of the farmland potential productivity may contribute to the reclamation of grassland, woodland and unused land, and the reason for the decrease of the farmland potential productivity may result from the urbanization that occupies the cultivated land and Green for Grain Project that returns farmland to forests and grasslands.

Key words: farmland; production potential; GAEZ model; China