

引用格式:何维灿,赵尚民,程维明.山西省不同地貌形态类型区土地覆被变化的GIS分析[J].地球信息科学学报,2016,18(2):210-219. [He W C, Zhao S M, Cheng W M. 2016. Analysis of land cover change on basic geomorphic types in Shanxi Province. Journal of Geo-information Science, 18(2):210-219.] DOI:10.3724/SP.J.1047.2016.00210

山西省不同地貌形态类型区土地覆被变化的GIS分析

何维灿^{1,2}, 赵尚民^{1*}, 程维明^{2,3}

1. 太原理工大学矿业工程学院测绘科学与技术系, 太原 030024; 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. 江苏省地理信息资源开发与利用协同创新中心, 南京 210023

Analysis of Land Cover Change on Basic Geomorphic Types in Shanxi Province

HE Weican^{1,2}, ZHAO Shangmin^{1*} and CHENG Weiming^{2,3}

1. Department of Surveying and Mapping, College of Mining Engineering, Taiyuan University of Technology Taiyuan 030024, China; 2. State Key Laboratory of Resources And Environmental Information System, Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China; 3. Jiangsu Center for Collaborative Innovation in Geographical Information Resource Development and Application, Nanjing 210023, China

Abstract: Based on the land cover data in 2000, 2005 and 2010, we used the Shanxi Province administrative boundary and the digital geomorphic database of China at a scale of 1:1 000 000, the methods of the dynamic degree analysis, the transformation probability matrix and the frequency distribution of area in different land cover types to analyze the land cover dynamic change from 2000 to 2010 on basic geomorphic types in Shanxi Province. The results were indicated as follows: (1) The main types of land cover were arable land, woodland and grassland, which accounted for over 95% of the area in Shanxi Province. The woodland and construction land revealed an increasing tendency; however, the arable land and grassland indicated the opposite tendency. The primary change tendency of land cover types was similar for the two periods of 2000-2005 and 2005-2010, which were resulting from the mutual transformation between woodland and grassland, arable land and construction land, as well as grassland and construction land. (2) The percentages of arable land and construction land gradually reduced with the increase of relief amplitude. Inversely, the percentage of woodland increased as the relief amplitude increased. In terms of the area change, the main changes of arable land, woodland and grassland occurred in the medium relief mountains; change of water area mainly occurred in high relief mountains; change of construction land area mainly occurred in plains and tablelands; and change of unused land area primarily occurred in small relief mountains. In the view of dynamic degree, arable land, grassland and water area exhibited the greatest changes in high relief mountains. And the most evident changes of woodland, construction land and unused land occurred in plains, hills and small relief mountains respectively. (3) The major transformations between land cover types were different with respect to basic geomorphic types. In the plains, the main occurrence was that the grassland evolved into woodland. The major transformations of tablelands were similar to that of the hills. Between 2000 and 2005, woodland was mainly degraded to grassland, while between 2005 and 2010, there was a mutual transition between grassland and woodland. In the small relief mountains, the dominating change trend was the mutual transition between grassland and woodland. However, the proportion of the grassland converted into woodland was much higher than that from the woodland into grassland. While in the medium relief and high relief mountains, the main transitions were that other land cover types transformed into woodland. It can be noted that the National Grain for Green Project and Afforestation Policy mainly occurred in the mountain area, while deforestation occurred in the gentle relief area.

收稿日期 2015-05-12; 修回日期: 2015-05-28.

基金项目: 全球变化研究国家重大科学研究计划(2015CB954101); 科技基础性专项(2011FY110400-2); 测绘地理信息公益性行业科研专项(201512033); 国家自然科学基金面上项目(41301469、41171332)。

作者简介: 何维灿(1992-), 男, 广西玉林人, 硕士生, 研究方向为GIS与遥感地学应用。E-mail: hewc@lreis.ac.cn

*通讯作者: 赵尚民(1982-), 男, 河南洛阳人, 博士, 讲师, 现主要从事黄土高原数字地形地貌研究。

E-mail: zhaoshangmin@tyut.edu.cn

Key words: land cover change; basic geomorphic type; transition probability matrix; Shanxi Province

***Corresponding author:** ZHAO Shangmin, E-mail: zhaoshangmin@tyut.edu.cn

摘要 基于全国1:100万数字地貌数据库,全国2000、2005、2010年土地覆被数据和山西省行政区边界数据,采用土地覆被动态、转移概率矩阵和地貌面积频度方法,分析了2000–2010年山西省基本地貌形态类型下的土地覆被变化。结果表明:(1)山西省的土地覆被类型以耕地、林地和草地为主,面积总和占省域面积的95%以上。面积变化的总体趋势是耕地和草地缩减,林地和建设用地持续增加。通过分析转移概率矩阵,表明2000–2005年和2005–2010年2个时段内,土地利用的主要转化趋势相似,即林地与草地之间大面积的相互转化,耕地、草地分别与建设用地之间的相互转化。(2)耕地和建设用地的分布,随着起伏度的增大而逐渐减小。林地分布随着起伏度的增加而逐步增大。从面积变化来看,耕地、林地和草地变化主要位于中起伏山地;水域变化主要集中在大起伏山地;建设用地变化主要分布于平原和台地;未利用地变化主要在小起伏山地。从动态度来看,耕地、草地和水域动态度,在大起伏山地地区最大;林地动态度在平原区最大;建设用地的动态度最大位于丘陵;未利用地在小起伏山地地区最大。(3)土地覆被类型之间的主要转化在地貌上也存在着差异。平原地区林地的增加主要来自草地转化。台地和丘陵地区3个主要转化类型相似,2000–2005年主要是林地向草地退化,2005–2010年主要是林地和草地的相互转化。在小起伏山地地区,主要是草地和林地之间的相互转化,但草地转化为林地的面积较林地向草地的转化多。中起伏和大起伏山地地区主要以草地和耕地向林地的转化为主,也有较高比例的建设用地转化为林地。封山育林和退耕还林主要是在起伏较大的山地地区,毁林主要发生在地形平缓地区。

关键词: 土地覆被变化;基本地貌类型;转移概率矩阵;山西省

1 引言

土地覆被格局及其时空变化是人类与自然界相互作用密切关系的反映,是全球环境变化的主要原因和重要组成^[1],对大气环境、土壤、水资源和人类的生存与发展有非常重要的影响^[2–5]。土地覆被变化已成为研究全球环境变化和区域可持续发展的热点和前沿领域^[6–7]。

地形地貌是生态环境最基本的组成要素之一,直接影响土地覆被状态和土地承载力。它也明显控制着水热资源和光照的再分配,间接影响土壤、植被和物质迁移,对土地覆被的状态和发展方向起着决定性作用^[8–9]。

目前,国内涉及地形地貌的土地覆被变化研究较多,但多集中在市县和流域尺度,关于省级行政区的研究相对较少,而且在地形因子指标的选取上主要以高程、坡度等单一地形因子或结合高程和坡度信息的地形为指数^[10–12]。在地貌对土地覆被变化影响的研究中,所选用的地貌数据具有地域特色^[13–14],没有统一的参照指标。目前,最新的中国1:100万数字地貌数据库,为研究不同地貌条件下土地利用/覆被变化提供了统一且准确的数据源。

山西地处黄土高原东翼,生态环境脆弱,水土流失严重。人均土地资源相对丰富,但分布不均匀^[15],境内矿产资源极为丰富,尤以煤炭资源享誉全国。以煤炭为主导的产业蓬勃发展,对山西省经济社会的发展和城镇化进程起重要的推动作用,但随之而

来,城镇化过程对土地的需求,使得人地矛盾也日益突出,煤炭大量开采和炼化对生态环境造成了极大的污染和破坏^[16]。自2000年山西省退耕还林政策实施后,省内生态建设的力度和规模上都是空前的,同时经济快速发展和区域社会经济结构的变化,致使生态建设的方式、力度和驱动力上存在着巨大的空间差异,从而导致土地覆被变化具有地形分异特征。有关山西省土地覆被变化的研究已取得了一些成果^[17–20],但研究多集中于20世纪90年代,不足以反映山西省2000年以来退耕还林(还草)等生态建设相关政策引导的土地变化效果。而且与地形地貌相关的山西土地覆被变化的研究还很薄弱^[21]。因此,本文在ArcGIS 10.2的支持下,以“生态环境10年变化(2000–2010年)调查遥感评估”成果——2000、2005和2010年土地覆被数据为基础,结合1:100万数字地貌数据库,分析山西省地貌环境下土地覆被格局时空变化趋势,有利于评价退耕还林等生态建设政策在山西省的实施效果,揭示土地覆被变化的环境驱动因素;有助于优化土地利用结构,实现不同地貌上土地利用/覆被类型的合理布局,促进区域持续发展和生态恢复;同时为山西省采空区土地整理复垦布局和产业转型升级等相关决策提供参考。

2 研究区地理背景与数据源

(1)山西省位于中国中部,地处黄土高原东部,

北邻内蒙,西望陕西,南接河南,东与河北以太行山相连。辖区土地总面积约 15.67 万 km^2 ($34^\circ 34' \sim 40^\circ 44' \text{N}$, $110^\circ 14' \sim 114^\circ 33' \text{E}$),是黄土广泛覆盖的典型的山地高原。山西地貌类型复杂多样,以山地和丘陵为主,境内西有吕梁山,东有太行山,中部是彼此相隔的 5 大断陷盆地(图 1)。气候类型为温带大陆季风性气候,南北气候差异明显,北部寒冷,南部气候湿润温和。全境光热资源较为充沛,自然资源丰富,但水资源贫乏。水资源主要由降水补给,降水不均及水文下垫面条件的差异,使得水资源空间分布极不均匀,总趋势是由南向北递减,可利用水资源人均占有量仅占全国 17%。山西生态环境脆弱,水土流失严重,人类活动极易引起土地覆被的变化。

(2) 本文分析了山西省不同地貌特征下的土地利用变化,主要的数据源是山西省行政区边界数据、土地覆被分类数据和中国 1:100 万地貌数据库。

① 山西省行政区边界数据:由国家测绘地理信息局提供。

② 土地覆被类型数据:来自“全国生态环境十年变化(2000–2010 年)调查遥感评估”项目成果,分类精度 86% 以上^[22]。利用山西省范围对土地覆被调

查成果进行裁剪、投影转换等操作,获得山西省土地覆被分类数据。参照“全国土地分类系统标准(试行)”,并结合山西省实际情况,归并为耕地、林地、草地、水域、建设用地和未利用地 6 个一级类,并进行编码。

③ 中国 1:100 万地貌数据库:由中国 1:100 万数字地貌图编辑委员会从 2000 年到 2009 年完成,是《中国 1:100 万地貌图集》的基础源数据。该数据库以 Landsat TM/ETM+ 影像,参考数字高程模型、1:25 万基础地理底图数据、地质图和老地貌图等数据为基础,在 ArcGIS 中完成遥感解译与 GIS 建库^[23]。该地貌数据库拥有统一的分类系统。

本文利用山西省边界范围,对中国 1:100 万数字地貌数据库进行投影转换和裁剪,从而获得山西省数字地貌数据,为分析山西省不同地貌类型的土地覆被变化提供了基础源数据。裁剪得到的山西省数字地貌数据与中国 1:100 万数字地貌数据库的分类系统一致,采用“中华人民共和国 1:100 万数字地貌数值分类体系”。首先获取 0 层山地/平原的控制界线,然后逐级细分解译,依次获得第 1 到 7 层分层数据,分别为基本地貌类型、成因、次级成因、形

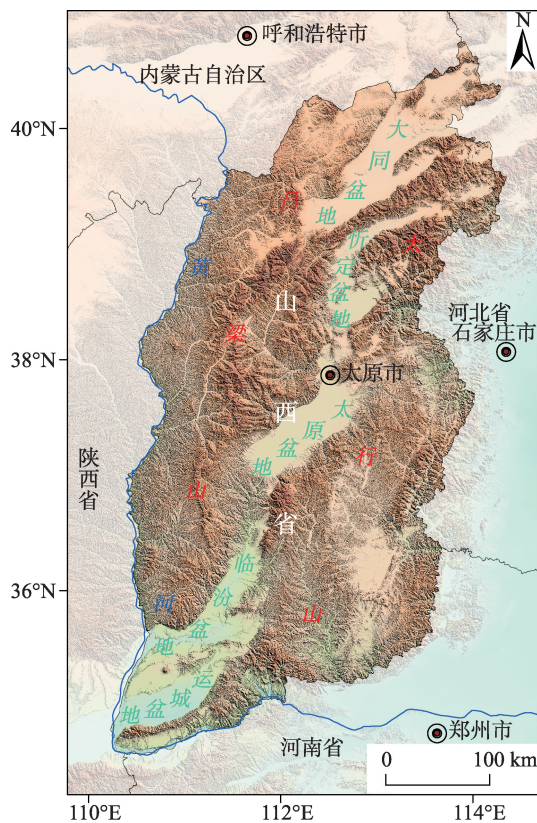


图 1 山西省分布范围与地形特征^[16]

Fig. 1 Location and relief map of the study area

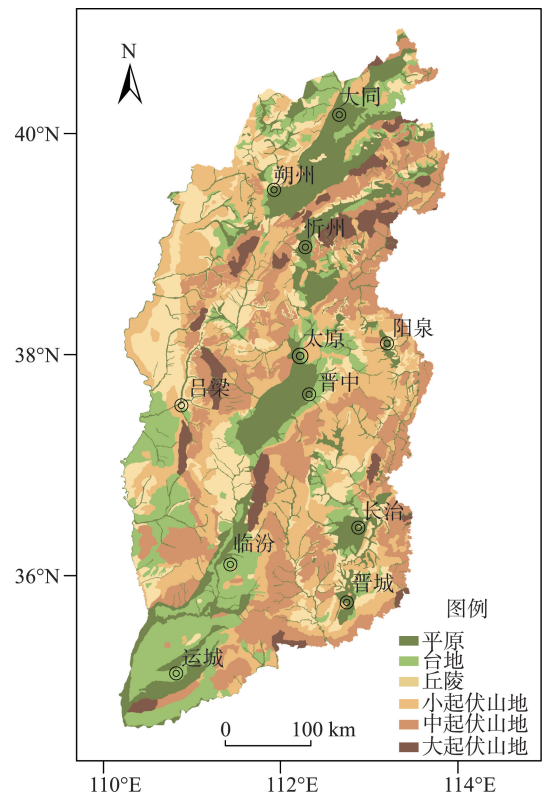


图 2 山西省基本地貌类型分布图

Fig. 2 Distribution of the basic geomorphic types in Shanxi Province

态、次级形态、坡度坡向及其组合类型地貌物质组成或岩石7层。主要采用第1层基本地貌类型数据,它是地貌内外营力共同作用下形成的基本地貌形态,由海拔和起伏度2个地形指标共同组成。将海拔和起伏度进行组合,除一些不可能出现的地貌类型外,共25种组合类型(表1)^[24]。由于地貌类型复杂,以地貌形态起伏度和地貌海拔分级2个指标难以全面反映各地貌结构客观规律。因此,实际制作过程中,局部地区是按照当地区域地貌的规律做了适当的调整。

由于山西省数字地貌数据在海拔指标只有中海拔和低海拔,因此,分析不同地貌类型的土地覆被变化时,只考虑起伏度指标,即平原、台地、丘陵、小起伏山地、中起伏山地和大起伏山地(图2),并统计了各类型面积及比例(表2)。

3 山西省土地覆被变化的GIS分析

3.1 土地覆被分析方法

(1)土地覆被数量动态分析

土地覆被类型数量上的变化,是土地覆被格局在时间上的演变,这一变化可用单一土地覆被动态度来表示。它既能表示区域内土地覆被变化的速率,也可对未来土地覆被的变化趋势起到一定的预测作用^[25],其表达式如式(1)所示。

$$K=\frac{U_b-U_a}{U_b}\times\frac{1}{T}\times100\%$$

式中: K 为研究期间,某一土地覆被类型的动态度(变化速率); U_a 和 U_b 分别为研究起始某土地覆被类型的面积; T 为2期数据时间间隔。

(2)转移概率矩阵

转移矩阵可全面地刻画区域土地覆被结构、特征的变化和各土地覆被类型变化的方向。本文在计算转移矩阵的基础上,根据式(2)计算转移概率矩阵,进一步研究土地利用的变化强度^[26]。

$$P_{ij}=\frac{C_{ij}}{\sum_{j=1}^nC_{ij}}$$

式中: P_{ij} 表示土地覆被类型*i*转化为*j*的概率; C_{ij} 表示类型*i*转化为类型*j*的面积; n 表示土地覆被类型数。

(3)地貌-面积频度分布

为综合研究不同地貌类型下某一种土地覆被类型出现的概率,采用地貌-面积频度分布模型来计算^[26](式(3))。

$$f=\frac{A_{ir}}{A_i}$$

式中: r 表示基本地貌形态类型; A_{ir} 表示*r*级地貌类型*i*类土地覆被的面积, i 取值1-6; f 为面积频度分布指数; A_i 是*i*类土地覆被类型的总面积。

表1 中国陆地地貌基本形态类型
Tab. 1 The basic geomorphic types in China

起伏度/m	海拔/m			
	低海拔(<1000)	中海拔(1000~3500)	高海拔(3500~5000)	极高海拔(>5000)
平原(一般<30)	低海拔平原	中海拔平原	高海拔平原	极高海拔平原
台地(一般>30)	低海拔台地	中海拔台地	中海拔台地	中海拔台地
丘陵(<200)	低海拔丘陵	中海拔丘陵	高海拔丘陵	极高海拔丘陵
小起伏山地(200~500)	小起伏低山	小起伏中山	小起伏高山	小起伏极高山
中起伏山地(500~1000)	中起伏低山	中起伏中山	中起伏高山	中起伏极高山
大起伏山地(1000~2500)	-	大起伏中山	大起伏高山	大起伏极高山
极大起伏山地(>2500)	-	-	极大起伏高山	极大起伏极高山

注:“-”表示不可能出现的地貌类型组合^[24]

表2 山西省基本地貌类型面积及比例
Tab. 2 Area and area ratio of the basic geomorphic types in Shanxi Province

地貌类型	平原	台地	丘陵	小起伏山地	中起伏山地	大起伏山地
面积/km ²	29 884.7	24 745.7	23 067.2	39 228.2	32 847.5	7005.2
比例/(%)	19.1	15.8	14.7	25.0	20.9	4.5

3.2 土地覆被变化结果与分析

通过统计山西省土地覆被类型的面积及百分比(表3)并结合山西省土地覆被图(图3),分析了山西省土地覆被类型面积的变化。由表3和图3可知,山西省土地覆被类型以耕地、林地和草地为主,以耕地面积比例最高,达到37%以上。3种类型面积之和占总面积的95%以上。而水域、建设用地和未利用地所占的面积相对较小,不到研究区总面积的5%。研究区内土地覆被结构相对稳定,未发生剧烈变化。

研究区内旱地、林地和草地的面积之和,在3个时期的比例分别为95.88%、95.82%和95.53%,所占比例持续下降,幅度不大,但三者的变化情况略有不同:旱地和草地的面积持续减少,林地面积持续

增加。2000–2010年,旱地面积减少538.58 km²,减少幅度不到1%;草地面积减少8649.56 km²,减幅为15.94%;林地面积大幅增加,增加面积为8622.47 km²,增幅为23.25%,增幅最大。其他3类中,未利用地所占比例最小,面积增加14.02 km²,但增幅最大;建设用地次之,增加506.63 km²,增幅为8.74%;水域面积增加45.09 km²,增幅为8.22%。

3.2.1 土地覆被类型间的转化分析

通过构建山西省2000–2005年和2005–2010年的土地覆被类型转移概率矩阵,分析覆被类型之间的转化(表4、5)。由于水体对降水和河流径流量等变化比较敏感,故其变化不作考虑。图3可见,耕地、建设用地和未利用地比较稳定,大部分被保留;林地和草地向其他类型的演化较为活跃。2个时段

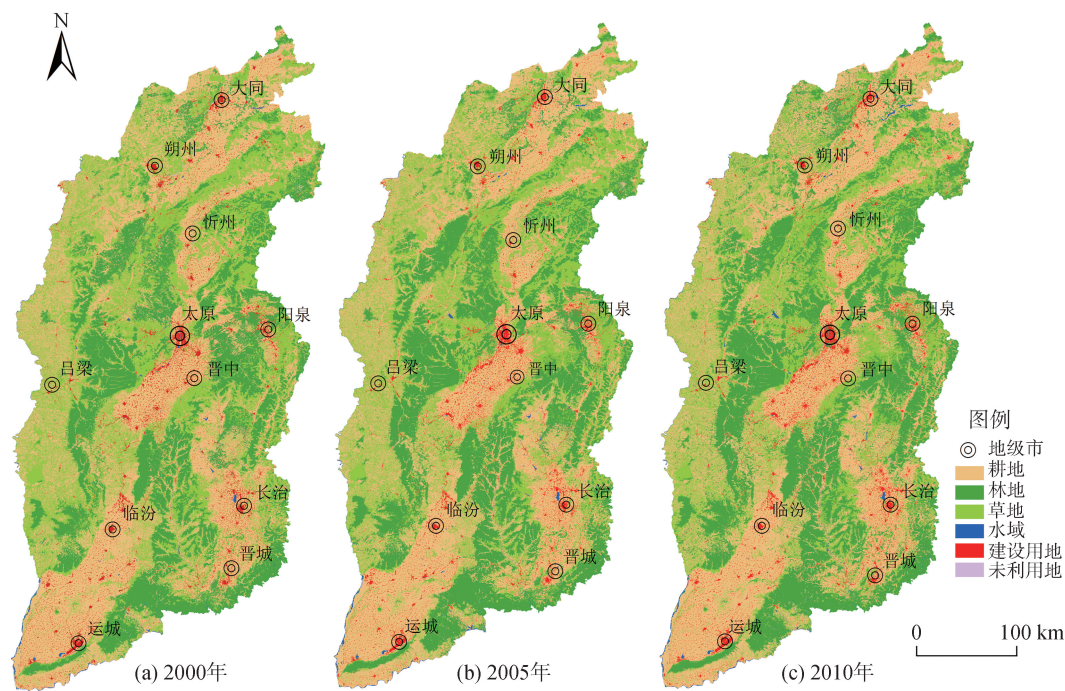


图3 2000、2005和2010年山西省土地覆被分布图
Fig. 3 Distribution of land cover types in Shanxi Province in 2000, 2005 and 2010

表3 2000、2005和2010年山西省各土地覆被类型面积比例
Tab. 3 Areas and percentages of land cover types in Shanxi Province in 2000, 2005 and 2010

土地覆被 类型	2000年		2005年		2010年	
	面积/km ²	比例/(%)	面积/km ²	比例/(%)	面积/km ²	比例/(%)
耕地	58 999.44	37.63	58 536.24	37.34	58 460.86	37.29
林地	37 080.15	23.65	40 651.68	25.93	45 702.62	29.15
草地	54 250.74	34.60	51 028.69	32.55	45 601.18	29.09
水域	548.57	0.35	592.14	0.38	593.66	0.38
建设用地	5796.38	3.70	5855.66	3.73	6303.01	4.02
未利用地	104.47	0.07	115.34	0.07	118.49	0.08

表4 2000-2005年山西省土地覆被类型转移概率矩阵

Tab. 4 The probability transformation matrix of land cover types in Shanxi Province from 2000 to 2005

土地覆被类型 转移概率/(%)	耕地	林地	草地	水域	建设用地	未利用地
耕地	98.33	0.82	0.38	0.09	0.37	0.01
林地	0.08	92.25	7.63	0.00	0.02	0.02
草地	0.53	10.83	88.10	0.05	0.48	0.01
水域	5.39	0.28	0.86	92.50	0.81	0.16
建设用地	2.98	1.40	2.93	0.04	92.62	0.03
未利用地	0.04	0.05	2.54	2.43	0.01	94.94

表5 2005-2010年山西省土地覆被类型转移概率矩阵

Tab. 5 The probability transformation matrix of land cover types in Shanxi Province from 2005 to 2010

土地覆被类型 转移概率/(%)	耕地	林地	草地	水域	建设用地	未利用地
耕地	98.99	0.16	0.19	0.11	0.54	0.00
林地	0.31	88.84	10.59	0.00	0.25	0.00
草地	0.42	18.59	80.64	0.01	0.34	0.01
水域	7.23	0.19	3.57	88.31	0.29	0.43
建设用地	2.21	0.07	0.20	0.01	97.52	0.00
未利用地	2.04	0.03	0.02	0.01	0.02	97.88

内,各类型的转化趋势主要有:(1)耕地主要向林地、草地和建设用地转化,分别有0.82%和0.16%转为林地,0.38%和0.19%转为草地,0.37%和0.54%转为建设用地,虽然比例较小,但耕地基数较大,这种变化也很明显。耕地向林地和草地的转化是2000年退耕还林还草等生态建设政策实施以来取得的显著效果,后期由于确保耕地红线,退耕还林还草政策的暂停,转化率有所降低;耕地向建设用地的转化也显示出快速的城镇化过程。(2)林地和草地大规模相互转化,林地向草地的转化分别为7.63%和10.59%,而草地转化为林地分别为10.83%和18.59%,但以草地向林地的转化为主,这是退耕还林和封山育林取得的成效。林地向草地的退化可能与人工生态的稳定性较差和人地矛盾有关。(3)建设用地主要转化为耕地,分别为2.98%和2.21%,这种转化是低质量的,主要发生在城乡结合部,可能与产业布局优化和农村住宅用地规划有关。(4)未利用地主要向草地和建设用地转化,其与土地的改良和工矿业发展有关。

3.2.2 地貌类型对土地覆被变化的影响分析

(1)地貌梯度下土地覆被类型

通过叠加土地覆被类型图和山西省地貌类型

图,利用式(3)计算各覆被类型的地貌面积-频度。2000-2010年间,各种土地覆被类型分布状况变化不大,故只以2000年各类型的分布状况加以说明图4中,对地貌面积频度取以10为底的对数,以缩小小类型间数值差异。 f 值分布曲线反映了土地覆被类型在不同类型地貌出现的频率。

由图4可知:①耕地在平原地区分布比例最大,随着地貌梯度增加而逐步下降。耕地分布的主体为平原、台地和丘陵,这说明不少耕地分布在坡面上,若水土保持不当,水土流失极易发生。②林地的面积分布比例随着地貌梯度的增加呈逐渐增大的趋势。在中起伏山地地区达到最大,大起伏山地地区的比例仍处于较高水平,高于平原、台地和丘陵地带。这说明在区域地势较陡、坡度较大的地区,由于人迹罕至,人为干扰较少,林地生长状态良好。③草地面积比例随着地貌梯度的增大而出现波动,在小起伏山地地区比例最大。④建设用地的面积比例在平原地区,随着地貌梯度的增加,其面积比例总体上呈下降趋势。⑤水体受到自身特征的影响,主要分布在平原。⑥未利用地的面积比例随着地貌梯度的增大,出现较大的波动,在平原地区比例最高,小起伏山地地区次之,而在丘陵地区面积比例最小。

(2)不同地貌类型的土地覆被结构变化

通过地貌类型图(图2)与土地覆被图(图3)叠加分析得到2000-2010年不同地貌类型的土地利用面积及比例(表6)。从表6可看出,不同地貌类型的土地覆被结构差异明显。平原和台地地区以耕地、草地和建设用地为主;丘陵地区以耕地和草地为主,与平原和台地相比,耕地比例较之低20%以上,而草地较之高20%以上;在山地地区以林地和

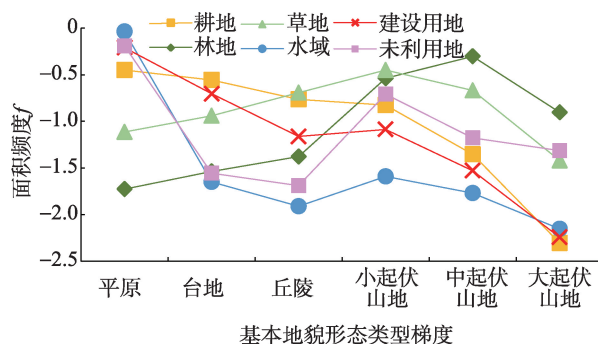


图4 土地覆被类型基本地貌类型下面积频度分布

Fig. 4 Frequency distribution of area for different land cover types according to the basic geomorphic types

表6 地貌类型下土地覆被类型面积与比例

Tab. 6 Area and area ratio of different land cover types in different basic geomorphic types

类型	年份	面积/km ²						比例/(%)					
		耕地	林地	草地	水域	建设用地	未利用地	耕地	林地	草地	水域	建设用地	未利用地
平原	2000	20 868.5	694.3	4178.0	502.3	3574.6	67.1	69.83	2.32	13.98	1.68	11.96	0.04
	2005	20 866.4	767.9	3992.1	539.6	3649.6	69.2	69.82	2.57	13.36	1.81	12.21	0.04
	2010	20 678.1	1306.4	3390.8	549.0	3890.1	70.4	69.19	4.37	11.35	1.84	13.02	0.04
台地	2000	16 315.1	1075.1	6195.3	12.3	1145.1	2.9	65.93	4.34	25.04	0.05	4.63	0.02
	2005	16 293.4	870.7	6410.3	14.8	1153.3	3.2	65.84	3.52	25.90	0.06	4.66	0.02
	2010	16 304.4	1512.5	5683.8	12.8	1229.0	3.2	65.89	6.11	22.97	0.05	4.97	0.02
丘陵	2000	10 119.7	1551.2	10 989.1	6.7	398.4	2.1	43.87	6.72	47.64	0.03	1.73	0.01
	2005	10 119.2	1230.3	11 298.0	7.0	410.6	2.3	43.87	5.33	48.98	0.03	1.78	0.01
	2010	10 141.7	2069.9	10 398.3	6.7	448.3	2.3	43.97	8.97	45.08	0.03	1.94	0.01
小起伏山地	2000	8790.1	10 703.0	19 226.9	14.0	473.9	20.4	22.41	27.28	49.01	0.04	1.21	0.00
	2005	8662.6	12 365.0	17 692.9	19.6	462.6	25.5	22.08	31.52	45.10	0.05	1.18	0.00
	2010	8709.3	13 753.1	16 203.5	13.8	521.4	27.3	22.20	35.06	41.31	0.04	1.33	0.00
中起伏山地	2000	2613.6	18 443.2	11 603.4	9.3	171.4	6.9	7.96	56.15	35.32	0.03	0.52	0.00
	2005	2356.5	20 477.1	9846.3	8.5	150.4	9.0	7.17	62.34	29.98	0.03	0.46	0.00
	2010	2387.3	21 831.2	8432.9	9.1	179.1	9.2	7.27	66.46	25.67	0.03	0.55	0.00
大起伏山地	2000	292.4	4613.1	2057.8	3.8	33.0	5.1	4.17	65.85	29.38	0.05	0.47	0.01
	2005	238.1	4940.4	1788.9	2.6	29.2	6.1	3.40	70.52	25.54	0.04	0.42	0.01
	2010	240.1	5230.0	1491.6	2.3	35.3	6.1	3.43	74.66	21.29	0.03	0.50	0.01

草地为主,其中,小起伏山地地区草地比例最高,中起伏和大起伏山地地区林地比例最高。从平原到大起伏山地,土地覆被结构变化表现出耕地、水域、建设用地和未利用地的比例不断降低,林地持续增加,草地先增加后降低。

2000–2010年未利用地比例保持稳定不变,水域在平原比例不断增加,在大起伏山地地区不断降低。在平原地区,耕地和草地比例持续降低,林地和建设用地比例持续增加;台地和丘陵地区变化趋势相似,即耕地和林地先减后增,草地先增后减,建设用地持续增加;山地地区各起伏度的土地覆被类型结构变化趋势一致,即耕地和建设用地先降低后升高,林地不断增加,草地不断降低。

对2000–2010年山西省不同地貌的土地覆被类型面积变化和动态度进行统计,结果如表7所示。由表7可看出,2000–2010年,耕地、林地和草地面积变化主要位于中起伏山地,变化面积分别为 -257.13 km^2 , 3388.0 km^2 和 -3170.57 km^2 ;水域变化主要集中在大起伏山地,为 46.65 km^2 ;建设用地变化主要分布于平原,为 315.43 km^2 ;未利用地变化主要在小起伏山地,为 6.88 km^2 。从动态度来看,耕地和水域在大起伏山地地区动态度最大,分别为

-18.57% 和 -39.84% ,明显高于其他地貌类型;林地和平原区动态度远高于其他地貌以及其他覆被类型,高达 88.18% ;草地动态度中起伏和大起伏的明显高于其他地貌,分别为 -27.32% 和 -27.51% ;建设用地的动态度最大位于丘陵,达到 12.53% ;未利用地小起伏山地地区最大,为 33.74% 。

(3) 不同地貌类型的土地覆被类型转换

通过计算2000–2005年和2005–2010年2个时段的不同地貌类型的土地覆被转移概率矩阵,选取最主要的3种土地覆被类型,根据不同地貌类型背景下的转化率,分析地貌类型下的转换情况。从表8可知:①起伏较小的平原地区,最显著的土地覆被变化是草地转换为林地,尽管林地转化比例较高,但在平原地区草地的基数远高于林地,使得平原林地有大幅的增加。2000–2010年,林地转化为草地的比例较高,但2005–2010年,草地转化为林地的比例也相当高,由于草地基数较大,使得基数较小的林地面积在平原区大幅度升高,说明在该时段内人工造林工程和森林退化现象并存。林地和草地向耕地和建设用地的转变,说明经济发展和城镇建设使得人地矛盾突出,引起毁林毁草。②台地地区最明显的土地覆被变化与平原地区相似,仍然是

表7 2000–2010年山西省各地貌类型的土地覆被变化量及动态度

Tab. 7 Variation and dynamic degree of land cover types in different geomorphic types from 2000 to 2010

类型	变化	平原	台地	丘陵	小起伏山地	中起伏山地	大起伏山地
耕地	面积变化/km ²	-2.12	-21.70	-0.48	-127.48	-257.13	-54.29
	动态度/(%)	-0.01	-0.13	0.00	-1.45	-9.84	-18.57
林地	面积变化/km ²	612.18	437.46	518.68	3050.06	3388.00	616.90
	动态度/(%)	88.18	40.69	33.44	28.50	18.37	13.37
草地	面积变化/km ²	-787.16	-511.47	-590.74	-3023.38	-3170.57	-566.21
	动态度/(%)	-18.84	-8.26	-5.38	-15.72	-27.32	-27.51
水域	面积变化/km ²	46.65	0.49	-0.01	-0.24	-0.27	-1.53
	动态度/(%)	9.29	3.99	-0.15	-1.71	-2.90	-39.84
建设用地	面积变化/km ²	315.43	83.89	49.91	47.43	7.70	2.27
	动态度/(%)	8.82	7.33	12.53	10.01	4.49	6.88
未利用地	面积变化/km ²	3.32	0.32	0.15	6.88	2.28	1.07
	动态度/(%)	4.95	11.07	7.04	33.74	32.85	21.10

表8 2000–2010年山西省各地貌类型的
土地覆被主要转化类型

Tab. 8 The main land cover transition on basic geomorphic types in Shanxi Province from 2000 to 2010

地貌 类型	2000–2005		2005–2010	
	主要转换类型	转化率/(%)	主要转换类型	转化率/(%)
平原	林转草	11.5	林转草	18.7
	草转建	3.5	林转建	4.8
	草转耕	3.4	林转耕	3.5
台地	林转草	30.6	林转草	14.7
	建转耕	3.0	草转林	12.3
	建转草	2.8	建转耕	2.9
丘陵	林转草	39.3	林转草	32.7
	建转耕	3.0	草转林	11.2
	建转草	2.3	建转耕	1.9
小起伏 山地	草转林	13.3	草转林	19.8
	林转草	9.2	林转草	16.7
	未利用转草	5.9	水转草	2.2
中起伏 山地	草转林	21.2	草转林	27.8
	耕转林	10.1	林转草	6.6
	建转草	8.6	建转林	1.1
大起伏 山地	耕转林	19.5	草转林	28.7
	草转林	19.3	林转草	4.5
	建转草	16.1	建转林	3.1

林地与草地之间的相互转化,且林地向草地的转化远高于草地向林地的转化。③ 丘陵地区主要转换类型与台地地区相同。④ 小起伏山地地区最显著的是林地与草地之间的相互转换,但与平原、台地和丘陵地区相反,主要是草地向林地的转化,生态条件得到改善。⑤ 中起伏山地以林地和草地之间的相互转化为主,以草地向林地的转变占优。此外,还有较高比例的耕地和建设用地向林地和草地

转化。⑥ 大起伏山地地区,草地向林地的转化最为显著,而林地转为草地的比例较低。另外,2000–2005年,有较高比例的耕地向林地转换,建设用地向草地转化。在平原、丘陵和台地地区,林地和草地之间的相互转化以林地的退化为主,在山地地区主要是草地向林地转化。封山育林和退耕还林主要是在起伏较大的山地地区,毁林主要发生在起伏较小地区。

4 讨论和结论

(1)山西省的土地覆被类型以耕地、林地和草地为主,面积总和占省域面积的95%以上。面积变化的总体趋势是耕地和草地的缩减,林地和建设用地的持续增加。2个时间段内土地利用的主要转化趋势相似,包括林地与草地之间大面积的相互转化,建设用地分别与耕地、草地之间的相互转化,反映出研究区内“封山育林”和“退耕还林还草”由2000年提出,到2002年试点,再到正式执行后取得了良好的效果。而耕地与建设用地之间的转化,可能与城市扩张和优化产业布局相关,但建设用地转为耕地无疑是低质量的。相关土地覆被文献中,研究区覆盖山西省且研究时段为2000–2010年的较少。由文献[27]可知,2000–2010年耕地呈减少趋势,与本文的研究趋势一致,但在比例上存在区别。

(2)地貌对土地覆被类型的分布有较大的影响,而且土地覆被在各地貌的结构随地貌梯度变化与各土地覆被在地貌类型上的分布规律相似,即耕地和建设用地的分布随着起伏度的增大而逐渐减

少,林地分布比例随着起伏度的增大而逐渐增加。从面积来看,耕地、林地和草地变化量,主要位于中起伏山地;水域变化主要集中在大起伏山地;建设用地变化主要分布于平原和台地;未利用地变化主要在小起伏山地。从动态度方面来看,耕地、草地和水域在大起伏山地地区动态度最大,明显高于其他地貌;林地动态度在平原区最大;建设用地的动态度最大位于丘陵;未利用地在小起伏山地地区最大。平原和台地地区的耕地减少和建设用地的面积增加,显示出平坦地区为城镇化发展和人口聚集提供了有利条件,同时建设用地在丘陵地区的动态度最大也说明人地矛盾,迫使人们向较陡地区的开发。受退耕还林和封山育林的影响,山地地区的耕地和草地大幅度下降,林地快速大幅增加。

(3)土地覆被类型之间的转化在地貌上也存在差异。平原地区林地增加主要由草地转化而来。台地和丘陵地区3个主要转化类型相似,2000-2005年主要是林地向草地的退化,2005-2010年主要是林地和草地的相互转化,但林地转化为草地面积和所占比例远高于草地向林地的转化。在小起伏山地地区,主要是草地和林地之间的相互转化,但草地转化为林地的面积,较林地向草地的转化多。中起伏和大起伏山地地区主要以草地和耕地向林地的转化为主,也有较高比例的建设用地转化为林地。育林和退耕还林主要发生在起伏较大的山地地区,而毁林主要发生在地形平缓地区。这可能受到保护耕地红线,部分地区暂停退耕还林政策的影响。不同地貌的土地覆被变化,不仅与生态建设政策的实施时间有关,且与不同时期当地经济发展状况联系紧密,从而导致了变化的空间差异。在对地貌类型的选择方面,为便于统计分析,本文只选取了第一层基本类型,其他更为精细的地形地貌特征对土地覆被变化的影响有待今后进一步深入研究。

参考文献(References):

- [1] Foley J A, Defries R, Asner G P, *et al.* Global consequences of land use[J]. *Science*, 2005,309(5734):570-574.
- [2] Nunes A N, de Almeida A C, Coelho C O A. Impacts of land use and cover type on runoff and soil erosion in a marginal area of Portugal[J]. *Applied Geography*, 2011,31(2):687-699.
- [3] 许珊,邹滨,蒲强,等.土地利用/覆盖的空气污染效应分析[J].*地球信息科学学报*,2015,17(3):290-299. [Xu S, ZOU B, PU Q, *et al.* Impact analysis of land use/cover on air pollution[J]. *Journal of Geo-information Science*, 2015,17(3):290-299.]
- [4] 史晓亮,李颖,赵凯,等.诺敏河流域土地利用覆被变化及其对水文过程的影响[J].*水土保持通报*,2013,33(1):23-28. [Shi X L, Li Y, Zhao O K, *et al.* Land use/cover change and its effects on hydrologic processes in Nuomin river basin[J]. *Bulletin of Soil and Water Conservation*, 2013,33(1):23-28.]
- [5] 刘敏,许世远,侯立军,等.长江三角洲土地利用/土地覆被动态变化及其环境效应[J].*资源科学*,2010,32(8):1533-1537. [Liu M, Xu S Y, HOU L J, *et al.* Dynamic variation and environmental effects of land use and land cover change in Yangtze Delta region[J]. *Resource Science*, 2010,32(8):1533-1537.]
- [6] 李秀彬.全球环境变化研究的核心——土地利用覆被变化的研究动向[J].*地理学报*,1996,51(6):553-558. [Li X B. A review of the international research on land use/land cover change[J]. *Acta Geographica Sinica*, 1996,51(6):553-558.]
- [7] 刘纪远,邓祥征.LUCC时空过程研究的方法进展[J].*科学通报*,2009,54(21):3251-3258. [Liu J Y, Deng X Z. Progress of the research methodologies on the temporal and spatial process of LUCC[J]. *Chinese Science Bulletin*, 2009,54(21):3251-3258.]
- [8] 陈述彭.地学的探索(第一卷)地理学[M].北京:科学出版社,1990. [Chen S P. Exploration in Geo-science (the first volume) geography[M]. Beijing: Science Press, 1990.]
- [9] 中国科学院《中国自然地理》编辑委员会.中国自然地理地貌[M].北京:科学出版社,1985. [Chinese academy of Sciences, China's Natural Geographic Editor Committee. China's natural geographical landscape[M]. Beijing: Science Press,1985.]
- [10] 钟德燕,常庆瑞,宋丰骥.黄土丘陵沟壑区土地利用空间分布与地形因子关系研究[J].*干旱区资源与环境*,2012,26(6):102-107. [Zhong D Y, Chang Q R, Song F J. Relationship between terrain factors and spatial distribution of land use hilly and gully area[J]. *Journal of Arid Land Resource and Environment*, 2012,26(6):102-107.]
- [11] 吴楠,高吉喜,苏德毕力格,等.长江上游不同地形条件下的土地利用/覆被变化[J].*长江流域资源与环境*,2010,19(3):268-275. [Wu N, Gao J X, Sudebilige, *et al.* On land use/cover changes of different topographic conditions in the upper Yangtze River basin[J]. *Resource and Environment in the Yangtze Basin*, 2010,19(3):268-275.]
- [12] 张方方,齐述华,舒晓波,等.南方山地丘陵土地利用类型的地形影响GIS分析——以江西省为例[J].*地球信息科学学报*,2010,12(6):754-790. [Zhang F F, Qi S H, Shu X B, *et al.* Study on the relationship between land use spa-

- tial patterns and topographical factors for mountainous region: taking Jiangxi province as an example[J]. *Journal of Geo-information Science*, 2010, 12(6): 754-790.]
- [13] 罗娅, 杨胜天, 刘晓燕, 等. 黄河河口镇-潼关区间 1998-2010 年土地利用变化特征[J]. *地理学报*, 2014, 69(1): 42-53. [Luo Y, Yang S T, Liu X Y, *et al.* Land use change in the reach from Hekouzhen to Tongguan of the Yellow River during 1998-2010[J]. *Acta Geographica Sinica*, 2014, 69(1): 42-53.]
- [14] 李阳兵, 姚原温, 谢静. 贵州省山地-坝地系统土地利用与景观格局时空演变[J]. *生态学报*, 2014, 34(12): 3257-3265. [Li Y B, Yao Y W, Xie J, *et al.* Spatial-temporal evolution of land use and landscape pattern of the mountain-basin system in Guizhou province. *Acta Ecologica Sinica*, 2014, 34(12): 3257-3265.]
- [15] 邹亚荣, 张增祥, 赵晓丽, 等. 近十年来山西省土地利用变化分析[J]. *国土与自然资源研究*, 2002(3): 25-26. [Zou Y R, Zhang Z X, Zhao X L, *et al.* Analysis on land use change in Shanxi province during recent ten years[J]. *Territory & Natural Resources Study*, 2002, 3: 25-26.]
- [16] 赵尚民, 程维明. 山西省多级行政单元的数字地貌分布特征[J]. *太原理工大学学报*, 2014, 45(4): 542-547. [Zhao S M, Cheng W M. Analysis on the digital geomorphologic characteristics of administrative units at multi-levels in Shanxi province[J]. *Journal of Taiyuan University of Technology*, 2014, 45(4): 542-547.]
- [17] 赵晓丽, 易玲, 张增祥, 等. 山西省土地覆盖时空变化特征及其驱动因子分析[J]. *地球信息科学学报*, 2010, 12(1): 95-102. [Zhao X L, Yi L, Zhang Z X, *et al.* Analysis on spatial-temporal environment characteristics of land cover change and driving factors in Shanxi province[J]. *Journal of Geo-information Science*, 2010, 12(1): 95-102.]
- [18] 张勇, 蔡继清, 孙雁君, 等. 王家沟小流域 50 a 土地利用动态变化分析[J]. *山西农业科学*, 2011, 39(8): 897-899. [Zhang Y, Cai J Q, Sun Y J, *et al.* Dynamic changes analysis of land use in past 50 years in Wangjiagou small watershed[J]. *Journal of Shanxi Agricultural Science*, 2011, 39(8): 897-899.]
- [19] 马晓勇, 张国信, 党晋华, 等. 汾河上游土地利用类型动态变化研究[J]. *山西大学学报(自然科学版)*, 2013, 36(2): 308-312. [Ma X Y, Zhang G X, Dang J H, *et al.* Land use dynamic from 1990 to 2010 in the upper reaches of Fenh River, Shanxi[J]. *Journal of Shanxi University (Natural Science Edition)*, 2013, 36(2): 308-312.]
- [20] 刘建, 李月臣, 曾喧, 等. 县域土地利用变化的碳排放效应——以山西省洪洞县为例[J]. *水土保持通报*, 2015, 35(1): 262-266. [Liu J, Li Y C, Zeng X, *et al.* Effects of county scale land use change on carbon emissions: taking Hongdong county of Shanxi province as an example[J]. *Bulletin of Soil and Water Conservation*, 2015, 35(1): 262-266.]
- [21] 余正军, 任志远, 卢锦荣, 等. 基于地形综合指数的土地利用动态变化研究——以山西省运城市为例[J]. *宁夏大学学报(自然科学版)*, 2013, 34(3): 270-274. [Yu Z J, Ren Z Y, Lu J R, *et al.* Study land use dynamic changes based on the topographic composite index: taking the Yuncheng for example[J]. *Journal of Ningxia University (Natural Science Edition)*, 2013, 34(3): 270-274.]
- [22] 欧阳志云, 王桥, 郑华, 等. 全国生态环境十年变化(2000-2010 年)遥感环境调查评估[J]. *中国科学院院刊*, 2014, 29(4): 462-466. [Ouyang Z Y, Wang Q, Zheng H, *et al.* National ecosystem survey and assessment of China (2000-2010)[J]. *Bulletin of the Chinese Academy of Science*, 2014, 29(4): 462-466.]
- [23] 中华人民共和国地貌图集编辑委员会. 中华人民共和国地貌图集(1:1 000 000)[M]. 北京: 科学出版社, 2009. [The Geomorphologic Atlas of the People's Republic of China Editor Committee. The geomorphologic atlas of the People's Republic of China (1:1 000 000)[M]. Beijing: Science Press, 2009.]
- [24] 周成虎, 程维明, 钱金凯. 数字地貌遥感解析与制图[M]. 北京: 科学出版社, 2009. [Zhou C H, Cheng W M, Qian J K. Digital geomorphological interpretation and mapping from remote sensing[M]. Beijing: Science Press, 2009.]
- [25] 王秀兰, 包玉海. 土地利用动态变化研究方法探讨[J]. *地理科学进展*, 1999, 18(1): 81-87. [Wang X L, Bao Y H. Study on the methods of land use dynamic change research[J]. *Process in Geography*, 1999, 18(1): 81-87.]
- [26] 吴晓甫, 唐志尧, 崔海亭, 等. 北京地区不同地形条件下的土地覆盖动态[J]. *植物生态学报*, 2006, 30(2): 239-251. [Wu X B, Tang Z Y, Cui H T, *et al.* Land cover dynamic of different topographic conditions in Beijing[J]. *Journal of Planet Ecology*, 2006, 30(2): 239-251.]
- [27] 李洁, 马卫鹏, 余永林. 区域耕地面积时空变化特征及驱动力分析——以我国中部地区为例[J]. *南方农业学报*, 2012, 43(8): 1241-1246. [Li J, Ma W P, Yu Y L. Analysis on temporal and spatial variation characteristics of regional agricultural acreage and driving force: a case of central area[J]. *Journal of Southern Agriculture*, 2012, 43(8): 1241-1246.]