

新疆土地利用变化及其与城市化和工业化的耦合关系

郑飞, 刘光远, 刘志有

(新疆农业大学 管理学院, 乌鲁木齐 830052)

摘要:运用统计分析与相关分析相结合的方法,分析2001—2008年新疆土地利用变化趋势及特征,研究不同地区土地利用变化与城市化和工业化的耦合关系,为更加有效实施“富民兴边”国家战略提供政策依据。结果表明:(1)天山北坡经济带3个轴心城市土地利用变化最为显著,其他地区相对稳定,南疆的克州与和田两个集中连片贫困地区,土地利用变化最小;(2)城市化和工业化是新疆土地利用变化的主要影响因素,并且随着土地利用强度的增加,城市化和工业化对土地利用变化的影响会越来越大。边疆新时期扶贫开发,应针对处于不同城市化和工业化发展阶段的地区采取有差别的土地政策,通过放宽、放活建设用地供给,激活经济发展内生动力,力争与全国同步建成小康社会。

关键词:土地利用变化; 城市化; 工业化; 耦合系数; 新疆

中图分类号:F301.2

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2013)05-0251-06

Land Use Change and Its Coupling Relationship with Urbanization and Industrialization in Xinjiang Uygur Autonomous Region

ZHENG Fei, LIU Guang-yuan, LIU Zhi-you

(College of Management, Xinjiang Agricultural University, Urumqi 830052, China)

Abstract: By using statistical analysis method and correlation analysis method, this paper analyzes the trends and features of land use change in Xinjiang Uygur Autonomous Region from 2001 to 2008 and the coupling relationship of land use change with urbanization and industrialization, which provides policy basis for the effective implementation of the national strategy of prospering frontier. The results show that: (1) the comprehensive land use dynamic degree of the three axis cities in the Economic Belt on the Northern Slope of Tianshan Mountains is most significant, the land use variation of other regions is relative stable or stable, the degrees of Khotan and Kezilesu change least, and these two regions are very poor; (2) the urbanization and industrialization are the main factors that influence the land use variation in Xinjiang Uygur Autonomous Region, and the influence became more significant with the increase in strength of land use. It is concluded that we should adopt policies differently in different regions which are at different development stages of urbanization and industrialization in the new period of poverty relief, activate the endogenous dynamic of economic development by relaxing and enlivening the supply of construction land, strive to build the well-to-do society with the pace of the nation.

Key words: land use change; urbanization; industrialization; coupling coefficient; Xinjiang Uygur Autonomous Region

随着人口、资源和环境问题的日益突出,土地利用/土地覆被变化(LUCC)自提出之日起便成为土地相关学科的研究热点。从现有文献来看,许多学者从土地利用变化驱动力^[1-5]、土地利用变化时空分布特征^[6-8]、土地利用变化对生态系统和土壤质量的影响^[9-10]等方面进行了深入研究,并取得了一定成果。

而对于土地利用变化及其与社会经济发展关系方面的研究,仅有少数学者分析探讨了土地利用变化与城市化和工业化之间的关系,但也局限于中东部经济发达地区^[11-13],西部地区,尤其是边疆民族地区此类问题的研究尚属空白。本文以新疆为例,试图揭示该区域土地利用变化及其与城市化和工业化之间的内在

收稿日期:2013-01-29

修回日期:2013-03-03

资助项目:新疆维吾尔自治区高校科研计划重点项目“新疆农地流转与现代农业经营模式选择研究”(XJEDU2011I26);国家社会科学基金“西部地区农村土地承包经营权流转问题研究”(10BJY063)

作者简介:郑飞(1988—),男,河南漯河人,硕士研究生,研究方向:土地经济与政策。E-mail:liewaleishi2@163.com

通信作者:刘光远(1955—),男,陕西杨凌人,副教授,硕士生导师,研究方向:公共政策与管理。E-mail:lgyl81nd@163.com

联系,为国家有关方面及当地政府更加有效地实施“富民兴边”战略提供政策依据。

1 数据来源与研究方法

1.1 数据来源

本文土地资源数据来自《新疆维吾尔自治区国土资源综合统计资料册(2001—2008)》,社会经济数据来自《新疆统计年鉴(2002—2009)》。

1.2 研究方法

1.2.1 土地利用变化研究方法 本文采用土地利用动态度对新疆土地利用变化状况进行分析。

(1) 单一土地利用类型动态度^[14]。

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

式中: U_a,U_b ——基期及末期某一种土地利用类型的数量; T ——研究时间。

(2) 综合土地利用动态度^[15]。

$$K=|\frac{\sum_{i=1}^n\Delta LU_{i-j}}{2\sum_{i=1}^nLU_i}|\times\frac{1}{T}\times100\% \tag{2}$$

式中: LU_i ——基期第 i 类土地利用类型面积; ΔLU_{i-j} ——研究时段内第 i 类土地利用类型转为非 i 类土地利用类型面积的绝对值; T ——研究时间。

1.2.2 城市化和工业化与土地利用变化耦合关系研究方法

(1) 递变系数。主要描述数据从基期至末期的变动情况。城市化递变系数通过对基期和末期城市化率的描述分析,反映城市化水平的发展变化程度;产业非农化递变系数通过对基期和末期产业非农化率的描述分析,反映工业化水平的发展变化程度^[11](产业非农化率通过二、三产业产值占国内生产总值的比重计算)。具体表达式如下:

$$UCV=\sqrt[t]{UCV_t/UCV_o}-1 \tag{3}$$

式中: UCV ——城市化递变系数; UCV_t,UCV_o ——末期和基期的城市化率; t ——研究时间。

$$ICV=\sqrt[t]{ICV_t/ICV_o}-1 \tag{4}$$

式中: ICV ——产业非农化递变系数; ICV_t,ICV_o ——末期和基期的产业非农化率; t ——研究时间。

(2) 耦合系数。为研究城市化水平和工业化水平

与土地利用变化的耦合关系,本文采用张文忠提出的概念^[11],即城市化与土地利用变化耦合系数以及产业非农化与土地利用变化耦合系数。具体表达式如下:

$$LUC=\frac{LC}{UCV} \tag{5}$$

式中: LUC ——城市化与土地利用变化耦合系数; LC ——综合土地利用动态度; UCV ——城市化递变系数。

$$LIC=\frac{LC}{ICV} \tag{6}$$

式中: LIC ——产业非农化与土地利用变化耦合系数; LC ——综合土地利用动态度; ICV ——产业非农化递变系数。

城市化与土地利用变化耦合系数(LUC)能反映出综合土地利用动态度和城市化递变系数之间的关系。 LUC 值越大,表明研究区域由城市化率变化所引起的土地利用变化越剧烈。产业非农化与土地利用变化耦合系数(LIC)则反映了由产业非农化率变化所引起的土地利用变化剧烈程度。 LUC 和 LIC 均为无单位变量。

2 土地利用变化特征

2.1 土地利用变化

根据《新疆维吾尔自治区国土资源综合统计资料册》的分类,将土地利用类型分为 9 类:耕地、园地、林地、牧草地、其他农用地、居民点及工矿用地、交通运输用地、水利设施用地和未利用地。2001 年新疆土地面积为 1.7 亿 hm^2 ,其中耕地占 2.50%,园地占 0.12%,林地占 3.94%,牧草地占 30.85%,其他农用地占 0.41%,居民点及工矿用地占 0.53%,交通运输用地占 0.03%,水利设施用地占 0.11%,未利用地占 61.51%。

2008 年与 2001 年相比,园地增加 16.74 万 hm^2 ,年均增加 9.19%;林地增加 19.76 万 hm^2 ,年均增加 0.42%;耕地减少 3.95 万 hm^2 ,年均减少 0.14%;牧草地减少 23.97 万 hm^2 ,年均减少 0.07%;其他农用地增加 4.26 万 hm^2 ,年均增加 0.88%;居民点及工矿用地增加 10.45 万 hm^2 ,年均增加 1.60%;交通运输用地增加 1.02 万 hm^2 ,年均增加 2.57%;水利设施用地增加 0.40 万 hm^2 ,年均增加 0.31%;未利用地减少 24.71 万 hm^2 ,年均减少 0.03%(表 1)。

表 1 2001—2008 年新疆土地利用变化情况

项目	耕地	园地	林地	牧草地	其他农用地	居民点及工矿用地	交通运输用地	水利设施用地	未利用地
2001 年面积/万 hm^2	416.41	19.68	656.72	5135.35	67.49	88.88	5.25	17.98	10241.22
2008 年面积/万 hm^2	412.46	36.42	676.48	5111.38	71.75	99.33	6.27	18.38	10216.51
增加面积/万 hm^2	-3.95	16.74	19.76	-23.97	4.26	10.45	1.02	0.40	-24.71
增加率/%	-0.14	9.19	0.42	-0.07	0.88	1.60	2.57	0.31	-0.03

2.2 土地利用变化区域类型划分与特征

2.2.1 划分方法 根据式(2)计算新疆各地市州 2001—2008 年综合土地利用动态度 LC。按照新疆统计年鉴的数据来源,本文所指的新疆各地市州是指乌鲁木齐市、克拉玛依市、吐鲁番地区、哈密地区、昌吉回族自治区、博尔塔拉蒙古自治州、巴音郭楞蒙古自治州、克孜勒苏柯尔克孜自治州、阿克苏地区、和田地区、喀什地区、伊犁州直属县(市)、塔城地区、阿勒泰地区、石河子市共 15 个地市州。

按照各地市州综合土地利用动态度 LC 的大小,进行土地利用变化区域类型划分。如表 2 所示,当 $LC \leq 0.01\%$ 时,为稳定型;当 $0.01\% < LC \leq 0.07\%$ 时,为相对稳定型;当 $0.07\% < LC \leq 0.34\%$ 时,为缓变型;当 $LC > 0.34\%$ 时,为剧变型。

表 2 2001—2008 年新疆各地市州土地利用变化类型

地名	综合土地利用 动态度/%	类型
乌鲁木齐市	0.13	缓变型
克拉玛依市	0.86	剧变型
吐鲁番地区	0.02	相对稳定型
哈密地区	0.04	相对稳定型
昌吉回族自治区	0.05	相对稳定型
博尔塔拉蒙古自治州	0.07	相对稳定型
巴音郭楞蒙古自治州	0.06	相对稳定型
阿克苏地区	0.04	相对稳定型
克孜勒苏柯尔克孜自治州	0.01	稳定型
喀什地区	0.07	相对稳定型
和田地区	0.01	稳定型
伊犁州直属县(市)	0.06	相对稳定型
塔城地区	0.05	相对稳定型
阿勒泰地区	0.03	相对稳定型
石河子市	0.34	缓变型

2.2.2 类型特征分析 剧变型的地区只有克拉玛依市,缓变型地区包括乌鲁木齐市和石河子市。这 3 个地区是天山北坡经济带的 3 个轴心城市,综合土地利用动态度明显高于其他地区。

相对稳定型地区包括吐鲁番、哈密、昌吉州、博州、巴州、阿克苏、喀什、伊犁州直属县(市)、塔城、阿勒泰共 10 个地州。除昌吉州位于天山北坡经济带外,吐鲁番和哈密位于东疆,博州、伊犁州直属县(市)、塔城、阿勒泰位于北疆边境地区,巴州、阿克苏、喀什位于南疆。这些地区涉及的面积广阔,是新疆土地利用变化的主体类型。稳定型地区包括克州与和田,这两个地区综合土地利用动态度均为 0.01% ,说明这些地区土地利用变化很小。这两个地区均位于南疆,属国家重点扶持的贫困地区。

综合以上土地利用动态度各类型特征分析:天山北坡经济带 3 个轴心城市的综合土地利用动态度最

高,为新疆 2001—2008 年土地利用变化最为突出的地区。东疆、北疆除天山北坡经济带以外的其他地区、南疆的巴州、阿克苏和喀什地区为相对稳定型地区,这些地区土地利用变化较小,是新疆土地利用变化的主体类型。南疆的克州与和田地区是新疆土地利用变化最小的地区。

3 土地利用变化与城市化的耦合关系

3.1 土地利用变化与城市化的相关分析

城市化的发展必然带来城镇区域的向外扩展,在欠发达地区,这种扩张多是外延式扩张,粗放式发展。距离市区较近的各种农业用地被建设用地占用,来满足城市发展的需要。农业用地减少,建设用地增加,土地利用格局发生变化。新疆地处我国西北边陲,基础薄弱,经济发展相对滞后,城市化水平较低,2008 年,全国城市化率为 45.68% ,而新疆仅为 39.64% 。如图 1 所示,2001—2008 年,新疆城市化率保持了较快的增加速度,取得显著提高。

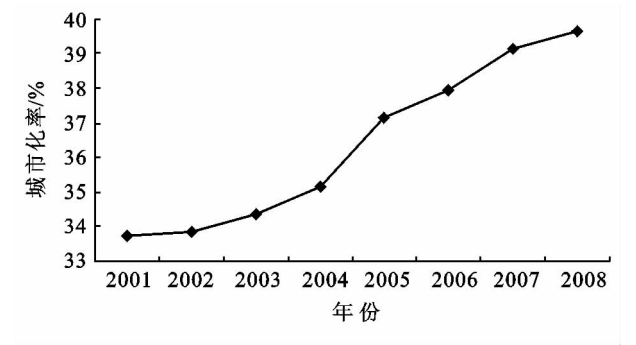


图 1 2001—2008 年新疆城市化演进过程

城市化进程的加快必然引起土地利用的变化,在此将 2001—2008 年新疆城市化率分别与表 1 所示的 9 种土地利用类型的面积进行相关分析,根据相关系数 R 的大小确定城市化对土地利用变化的影响程度(表 3)。其中 $R[-1,1]$ 表示土地利用变化与城市化之间相关程度统计指标。当 $R > 0$ 时,二者正相关;当 $R < 0$ 时,二者负相关; R 的绝对值越大,相关程度越高。

表 3 新疆各类土地利用类型变化与城市化的相关性

土地利用类型	相关性
耕地	0.138
园地	0.848
林地	0.794
牧草地	-0.952
其他农用地	0.894
居民点及工矿用地	0.781
交通运输用地	0.915
水利设施用地	0.962
未利用地	-0.882

从表 3 可以看出,除耕地外,新疆各类土地利用类型变化与城市化之间存在显著的相关性。随着城市化的发展,城市向郊区扩张,距离市区较近的耕地被占用转为建设用地,耕地非农化导致耕地数量减少似乎是不可避免的,但在新疆,2001—2008 年,耕地数量年均减少仅 0.14%,与城市化之间并不存在显著的相关性。原因是多方面的,首先,作为少数民族地区,牧草地在新疆占据重要地位,是全疆已利用土地中面积最大的地类,约占全疆面积的 30%,每年有大量牧草地被开垦为耕地,其中 90%以上为天然草地,这是新疆耕地数量未明显减少的主要原因;其次,广阔的未利用地也为城市扩张和经济发展提供了部分土地;第三,土地开发整理也起到一定作用。去除耕地,新疆各类土地利用类型变化与城市化的相关系数 $|R|$ 平均值达到 0.879,呈现显著相关性。通过对该结果分析,可知城市化是新疆土地利用变化的主要影响因素,城市化水平越高,土地利用变化越剧烈。

3.2 土地利用变化与城市化的耦合系数变化

城市化发展一般划分为 3 个阶段:起始阶段,城

市化率为 10%~30%;加速阶段,城市化率为 30%~70%;完成阶段,城市化率达到 70%以上^[16]。按照上述指标将 2001 年和 2008 年新疆 15 个地市州的城市化水平划分为 3 个阶段(表 4)。

对比表 2 和表 4 可以发现,在 2001 年就进入城市化完成阶段且城市化率明显高于其他地州的乌鲁木齐、克拉玛依、石河子,土地利用变化类型为剧变型或缓变型;由低级城市化发展阶段跨入高级发展阶段的地州,如喀什、博州、巴州、塔城等,虽然土地利用变化类型为相对稳定型,但综合土地利用动态度相对较高;其他处于城市化起始阶段和加速阶段的地州,土地利用变化类型多为相对稳定型或稳定型,城市化率和综合土地利用动态度均较低。

虽然各个地市州城市化发展水平与相应的土地利用变化类型表现出较高的相关性,但并不是完全对应。这是因为:城市化对土地利用变化的作用具有相对滞后性,随着城市化水平的不断提高,土地利用变化会随之表现出相应的特征,但并不完全一一对应^[17]。

表 4 2001—2008 新疆 15 个地市州城市化阶段划分

年份	起始阶段(<30%)	加速阶段(30%~70%)	完成阶段(>70%)
2001	喀什、和田	博州、巴州、阿克苏、克州、伊犁州直属县(市)、塔城、阿勒泰	乌鲁木齐、克拉玛依、吐鲁番、哈密、昌吉、石河子
2008		阿克苏、克州、喀什、和田、伊犁州直属县(市)、阿勒泰	乌鲁木齐、克拉玛依、吐鲁番、哈密、昌吉、博州、巴州、塔城、石河子

本文以新疆 15 个地市州为单元,进一步分析土地利用变化与城市化的耦合关系。根据式(3)和式(5)分别计算出各地市州城市化递变系数 UCV 和城市化与土地利用变化耦合系数 LUC,将新疆各地市州的综合土地利用动态度 LC 与城市化和土地利用变化耦合系数 LUC 进行匹配,通过建立二者的相关模型,分析土地利用变化与城市化之间的耦合关系。由于本文采用常规人口统计学指标,即以城镇人口占总人口的比重计算城市化率,而克拉玛依市和石河子市的总人口均已全部为城镇人口,因此得出这两个城市 2001—2008 年城市化率为 100%。为了更好地分析耦合关系,去除这两个特殊单元,以其余的 13 个单元数据进行曲线拟合。

通过 SPSS 软件对 13 个单元数据进行曲线拟合,从决定系数 $R^2=0.959$ 来看,三次曲线的拟合效果最好,并且方差分析的显著性水平(Sig.)为 0,说明模型成立的统计学意义非常显著。其拟合方程式为:

$$Y = -0.716 + 552.291X - 13972.514X^2 + 96659.665X^3$$

式中:Y——城市化与土地利用变化耦合系数 LUC,

为无单位变量;X——综合土地利用度 LC(%)。

该三次曲线模型一定程度上反映了 2001—2008 年新疆土地利用变化与城市化的耦合关系。由图 2 可知,当综合土地利用动态度<0.075%、土地利用变化类型为稳定型或相对稳定型时,当地土地利用变化与城市化的耦合关系较为波动,随着土地利用变化剧烈程度的提高,城市化与土地利用变化耦合系数经历了一个先上升再下降的过程。当综合土地利用动态度≥0.075%、土地利用变化类型主要为剧变型或缓变型、部分为相对稳定型时,综合土地利用动态度与城市化和土地利用变化耦合系数呈现出良好的正相关性,随着土地利用变化强度的不断增加,城市化水平对土地利用变化的影响越来越大。

4 土地利用变化与工业化的耦合关系

4.1 土地利用变化与工业化的相关分析

工业化发展的直接效应就是土地需求剧增。伴随工业化进程的加快,产业发展对于土地的需求愈发迫切;同时,人口大量向城市集中,住宅用地需求也开始大幅度增长。工业和城市用地需求的增加,激发了

土地需求的增长,引起土地利用的变化。事实上,城市化和工业化密不可分,二者是对一个国家或地区经济现代化进程在区域和产业方面的分别表述。在现阶段的技术经济条件下,经济发展必然带来土地需求增加,城市化和工业化作为重要的经济演进过程,总是伴随着土地利用方式的变化。前文对于土地利用变化与城市化的相关分析已经表明,城市化是新疆土地利用变化的主要影响因素,而工业化与城市化密不可分,因此工业化与土地利用变化之间同样存在显著相关性,工业化亦是新疆土地利用变化的主要影响因素,工业化水平越高,土地利用变化越剧烈,在此不作赘述。

4.2 土地利用变化与工业化的耦合系数变化

库兹涅兹、钱纳里等人通过研究认为,在国内生产总值中,当第一产业比重高于 20%,第二产业比重较低时,工业化处于初期阶段;当第一产业比重低于

20%,第二产业比重超出第三产业而占据最大比重时,工业化进入中期阶段;当第一产业比重低于 10%,第二产业比重达到最高水平,第三产业不断发展时,工业化进入后期阶段^[13]。按照上述指标将 2001 年和 2008 年新疆 15 个地市州的工业化水平划分为 3 个阶段(表 5)。

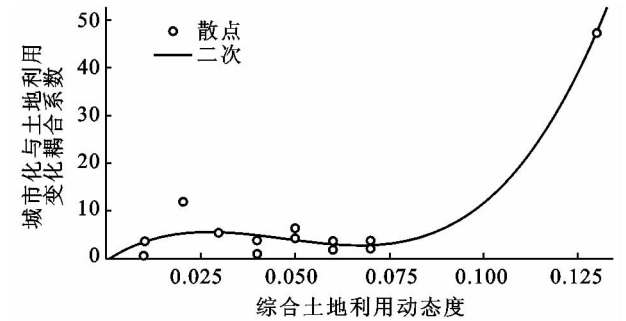


图 2 2001—2008 年新疆城市化与土地利用变化耦合系数与综合土地利用动态度相关分析

表 5 2001—2008 年新疆 15 个地市州工业化阶段划分

年份	工业化初期	工业化中期	工业化后期
2001	昌吉、博州、阿克苏、克州、喀什、和田、伊犁州直属县(市)、塔城、阿勒泰	吐鲁番、哈密、巴州	乌鲁木齐、克拉玛依、石河子
2008	昌吉、博州、阿克苏、克州、喀什、和田、伊犁州直属县(市)、塔城、阿勒泰	吐鲁番、哈密、巴州	乌鲁木齐、克拉玛依、石河子

同样以上述新疆 15 个地市州为单元,进一步分析土地利用变化与工业化的耦合关系。首先根据式(4)和式(6)分别计算出各地市州产业非农化递变系数 ICV 和产业非农化与土地利用变化耦合系数 LIC,然后根据计算结果,将新疆 15 个地市州的综合土地利用动态度 LC 与城市化和土地利用变化耦合系数 LIC 进行匹配,通过建立二者的相关模型,分析土地利用变化与工业化之间的关系。通过分析,去除乌鲁木齐市和克拉玛依市两个产业非农化递变系数为负值的特殊单元,以其余的 13 个单元数据进行曲线拟合。

通过 SPSS 软件对 13 个单元数据进行曲线拟合,从决定系数 $R^2=0.998$ 来看,三次曲线的拟合效果最好,并且方差分析的显著性水平(Sig.)为 0,说明模型成立的统计学意义非常显著。其拟合方程式为:

$$Y=4.428-312.983X^2+9257.463X^3$$

式中:Y——产业非农化与土地利用变化耦合系数 LIC,为无单位变量;X——综合土地利用度 LC(%)。该三次曲线模型一定程度上反映了 2001—2008 年新疆土地利用变化与工业化之间的耦合关系。由图 3 可知,综合土地利用动态度 LC,与产业非农化和土地利用变化耦合系数 LIC 呈现出良好的正相关性。随着土地利用变化强度的不断增加,工业化进程对土地利用变化的影响越来越大。

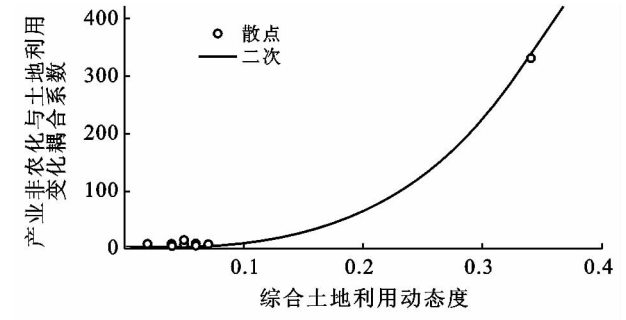


图 3 2001—2008 年新疆产业非农化与土地利用变化耦合系数与综合土地利用动态度相关分析

5 结论

(1) 2001—2008 年新疆土地利用变化的主要特点为:园地大幅增加、交通运输用地和居民点及工矿用地规模日益扩大、牧草地和未利用地不断减少,其他各类用地保持基本稳定。从地区来看,天山北坡经济带 3 个轴心城市土地利用变化最为显著,其他地区相对稳定,南疆的克州与和田两个集中连片贫困地区,土地利用变化最小。

(2) 通过对新疆土地利用变化及其与城市化和工业化耦合关系分析,表明城市化和工业化是新疆土地利用变化的主要影响因素,城市化和工业化水平越高,土地利用变化越剧烈,并且随着土地利用强度的增加,城市化和工业化对土地利用变化的影响也会越

来越大。

土地资源是经济社会发展的重要基础,也是市场经济条件下政府掌握的主要资源,经济社会发展离不开土地资源的保障。新时期、新阶段,有必要研究扶贫攻坚的新模式,加强新疆土地利用变化与城市化和工业化的耦合关系研究,针对处于不同城市化和工业化发展阶段的地市州采取有差别的土地政策,特别是应当根据边疆民族区域集中连片贫困地区的劳动力等资源禀赋,探索放宽、放活建设用地政策,借助对口援疆省(市)的推动力,加快当地城市化和工业化建设,激活民族地区经济发展的内生动力,增强就近、就地吸纳农村劳动力转移就业的能力,不断开辟就业门路、拓宽增收渠道,大力提高贫困农牧民收入水平,力争早日摆脱贫困,与全国同步建成小康社会。

参考文献:

- [1] 宇振荣,欧阳进良.集约化农区县域种植业土地利用变化驱动力研究[J].中国土地科学,2001,15(4):35-38.
- [2] 郭雅雯,赵敏娟.基于STIRPAT模型的陕西省耕地面积变化社会经济驱动力分析[J].水土保持研究,2012,19(6):197-201.
- [3] 位欣,刘耀林,姚鹏.基于模拟退火遗传算法的土地利用变化驱动力研究[J].中国土地科学,2008,23(7):34-37.
- [4] 刘纪远,张增祥,徐新良,等.21世纪初中国土地利用变化的空间格局与驱动力分析[J].地理学报,2009,64(12):1411-1420.
- [5] 郭程轩,徐颂军,巫细波.基于地统计学的佛山市土地利用变化驱动力时空分异[J].经济地理,2009,29(9):1524-1529.
- [6] 朱会义,李秀彬,何书金.环渤海地区土地利用的时空变

化分析[J].地理学报,2001,56(3):253-260.

- [7] 曹雪,罗平,李满春,等.基于扩展CA模型的土地利用变化时空模拟研究:以深圳市为例[J].资源科学,2011,33(1):127-133.
- [8] 余惠容,蒲春玲,刘志有,等.基于TM/ETM+绿洲城市土地利用时空演变分析:以新疆奎屯市为例[J].水土保持研究,2012,19(6):147-151.
- [9] 王华伟,高鹏,吕圣桥,等.辽宁西部北票市生态修复区生态退化驱动力分析[J].水土保持研究,2011,18(1):121-124.
- [10] 董爽,王让会,宁虎森,等.人工绿洲生态系统中土壤和植被对土地利用变化的响应:以北屯绿洲为例[J].干旱区地理,2009,32(4):578-584.
- [11] 张文忠,王传胜,吕昕,等.珠江三角洲土地利用变化与工业化和城市化的耦合关系[J].地理学报,2003,58(5):667-685.
- [12] 汤青,徐勇,刘毅.广东省土地利用变化时空分异及其与城市化和工业化的耦合关系[J].中国土地科学,2010,24(10):46-51.
- [13] 王汉花,刘艳芳,樊敏.武汉城市圈土地利用变化与工业化和城市化的耦合关系[J].国土资源科技管理,2008,25(5):84-89.
- [14] 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.
- [15] 陈述彭,童庆禧,郭华东.遥感信息机理研究[M].北京:科学出版社,1998.
- [16] 蔡建明.中国城市化发展动力及发展战略研究[J].地理科学进展,1997,16(2):9-14.
- [17] Zhang Wenzhong, Liu Yansui. Study on land resource problems and countermeasures in the process of urbanization in China[J]. Regional Views,2001,14:1-8.

(上接第250页)

- [12] 史小丽,秦伯强.长江中游网湖沉积物重金属元素变化特征分析[J].第四纪研究,2009,29(1):135-143.
- [13] Huang H, Yuan X, Zeng G, et al. Quantitative evaluation of heavy metals' pollution hazards in liquefaction residues of sewage sludge[J]. Bioresource Technology, 2011,102(22):10346-10351.
- [14] Müller G. Die Schwermetallbelastung der sedimente des Neckars und seiner Nebenflüsse; eine Bestandsaufnahme[J]. Chemical Zeitung, 1981,105(2):157-164.
- [15] Hakanson L. An ecological risk index for aquatic pollu-

tion control: a sedimentological approach[J]. Water Research,1980,14(8):975-1001.

- [16] Peng J, Song Y, Yuan P, et al. The remediation of heavy metals contaminated sediment[J]. Journal of hazardous materials,2009,161(2/3):633-640.
- [17] Yin X, Liu X, Sun L, et al. A 1500-year record of lead, copper, arsenic, cadmium, zinc level in Antarctic seal hairs and sediments[J]. Science of the Total Environment,2006,371(1/3):252-257.
- [18] 姚书春,薛滨.长江下游青弋江,水阳江水系湖泊沉积物中重金属变化特征研究[J].第四纪研究,2010,30(6):1177-1185.