

NSTEC 土地利用格局的人口密度 变化驱动力研究

王静爱^{1,2,3}, 赖彦斌^{1,2,3}, 徐伟², 陈婧¹

(1. 北京师范大学 地理学与遥感科学学院, 北京 100875; 2. 环境演变与自然灾害教育部重点实验室, 北京 100875;
3. 北京师范大学 区域地理研究重点实验室, 北京 100875)

摘要: 基于中国东部南北样带(NSTEC)20世纪50年代以来5个时期的县域人口数据,筛选出人口密度每平方公里5、10、50、100、200、400和800人等特征值,编制了5期人口密度图,分析了区域人口密度时空变化及其对土地利用变化的驱动关系。相关和回归分析表明:人口密度与耕地比例、城镇用地比例、牧草地比例、林地比例显著相关;不同时期的人口密度可以近似反演相应时期的耕地比例和格局,为人口驱动力的定量研究提供借鉴。

关键词: NSTEC;土地利用变化;人口密度变化;驱动力;相关;回归分析

中图分类号:F301.24;C922 文献标识码:A 文章编号:1000-3037(2004)01-0021-08

1 引言

土地利用/覆盖变化(LUCC)及其驱动力研究正日益成为最活跃的研究领域之一^[1-3]。Turner等^[3]指出,土地利用/覆盖变化驱动力应包括人口、收入、技术、政治经济状况和文化。“全球环境变化人文计划”(HDP)指出,影响土地利用的驱动因素可以分为直接因素和间接因素^[4-6]。摆万奇等认为,对土地利用变化起作用的是由多种驱动力形成的合力^[7],是一个完整的系统,需要应用系统的观点和方法,综合考察其整体与部分及结构与功能的关系^[8]。

在土地利用/覆盖变化的诸多驱动力因子中,人类活动的驱动力日益突出,特别是人口密度的变化与土地利用的变化有着较大的相关性。许多学者对不同区域的土地利用分析也证明了这一点^[9-11]。也有文章从理论上系统地讨论了人口数量的影响^[12],但人口驱动力的定量研究还比较缺乏。谢高地等^[13]构建了一个人—地关系平衡模型,对1970~1995年和未来50年全球人口增长胁迫下土地利用变化进行了分析;徐勇等^[14]采用GIS技术和统计分析技术,以行政村为单元,建立了农村居住用地与人口的相关模型。

本文试图定量研究中国东部南北样带(North-south Transect of Eastern China,简称NSTEC)人口密度与土地利用格局的关系,应用数据库和制图分析技术,分析人口密度时空动态变化格局,用回归分析方法,建立人口密度与土地利用结构相关的回归方程组,进而近似反演人口密度变化驱动下的土地利用时空动态变化。

收稿日期:2003-07-22;修订日期:2003-09-25。

基金项目:国家重点基础研究发展规划项目(G2000018604)、国家自然科学基金重大项目(G9899374)资助。

第一作者简介:王静爱(1955~),女,满族,硕士,教授,主要从事区域土地利用、自然灾害等方面的研究。E-mail: sqq@bnu.edu.cn

致谢:北京师范大学的赵金涛、徐霞、王理、于园园、杨春燕等为文章的资料收集和整理作了大量工作,特此致谢!

2 NSTEC 人口密度时空格局变化分析

NSTEC 位于中国的东部，其主体覆盖了 40°N 以南、108°~118°E 之间以及 40°N 以北、118°~128°E 之间的中国东部地区，涵盖 25 个省区的 1 329 个县，总面积约占国土面积的 1/3。对研究区的土地利用/覆盖格局，作者曾从人类农业活动和城市建设两方面选取指标，定量分析了土地利用在样带上的地带差异和基本特征^[15]，在此不再赘述。

本文系统地收集了 20 世纪 50 年代以来 5 个时期的县域人口数据，筛选了 5、10、50、100、200、400 和 800 人/km² 7 个特征值，编制了 1953、1964、1982、1990 和 1997 年 5 期人口密度图(图 1)，分析不同时期人口密度的变化特征，从而揭示人口密度变化驱动力对土地利用格局的影响程度。

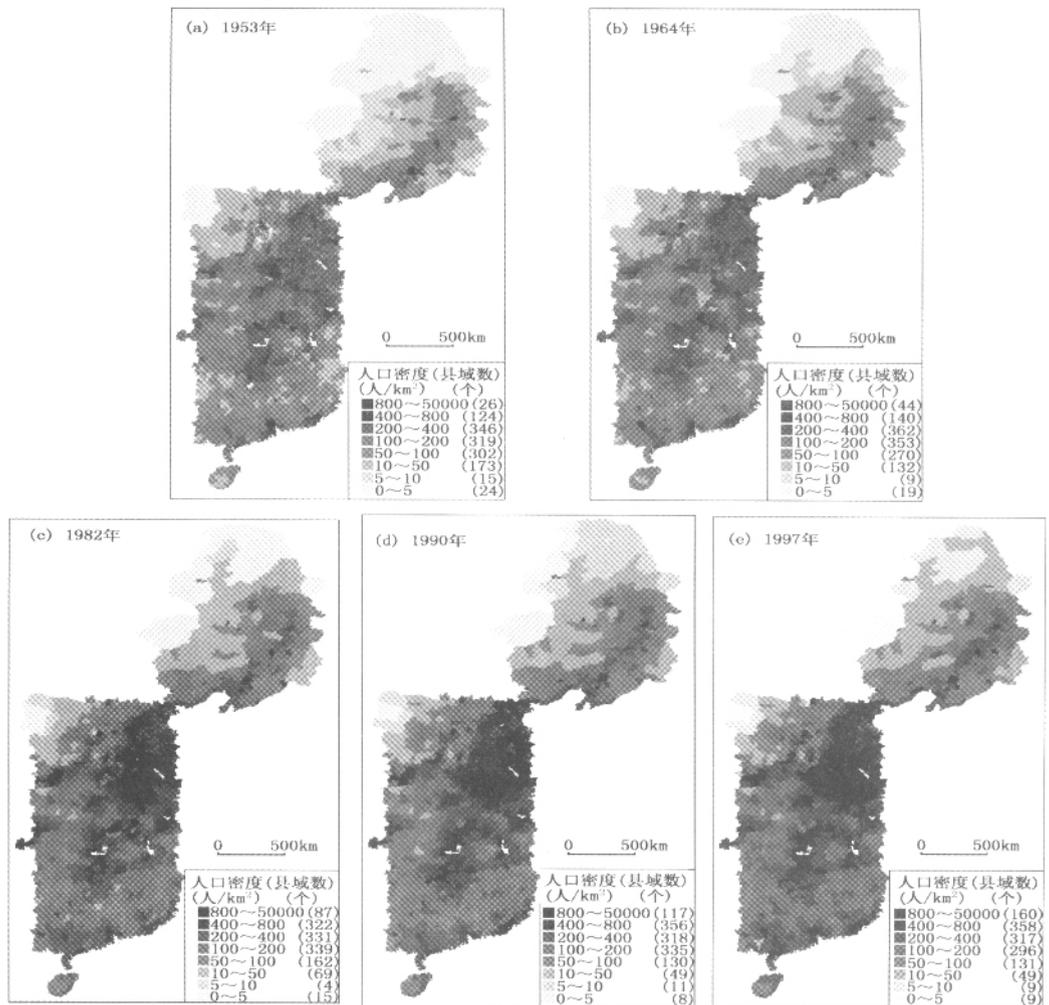


图 1 NSTEC 县域人口密度时空变化

Fig.1 The spatial-time variety of population density in NSTEC counties

首先，对比人口密度<5 人/km² 和>5 人/km² 的区域。1953 年人口密度<5 人/km² 的区域集中分布在大兴安岭、小兴安岭和鄂尔多斯地区，呈现南北分异；1964 年及以后，人口密度 5~10 人/km² 的区域随着人口增长北推西进；1997 年人口密度<5 人/km² 的区域由南北分异

转成东西分异。10 人/km² 特征值的空间变化趋势与 5 人/km² 特征值一致,1964 年 5 人/km² 特征值的分布位置与 1982 年 10 人/km² 特征值分布位置吻合。人口变化过程体现了人口及土地利用向山地林区和草原牧区的扩展和开发过程。5 人/km² 特征等值线可作为耕地开发极限的西界。

其次,对比人口密度<50 人/km² 和>50 人/km² 的区域。北方呈现东、中、西分异的规律,1953~1997 年,从东北平原中东部高人口密度区向两侧外推,但北界变化不大。这种东西扩展过程主要体现农业开发用地扩展的过程,西部 1990 年 50 人/km² 特征值稳定存在,成为耕地开发受沙地和山地限制的西界;北部受年均温 0°等温线的限制,成为耕地扩展的北界。南方变化则不同,大部分地区在 1953 年<50 人/km² 区域呈现岛状分布,1982 年以后几乎全为>50 人/km²,这种变化体现了人口及其活动向山地或湿地区推进的过程。

第三,对比人口密度<100 人/km² 和>100 人/km² 的区域,北方的变化远远小于南方。北纬 40°以南、南岭以北区域,在 1953 年呈现东西分异,南岭及其以南区域呈现南北分异,均反映出地貌条件的限制。1982 年以后,<100 人/km² 的连片区域缩小成岛状区域,体现了人口进入山地丘陵和向坡耕地扩展的过程。值得注意的是,1982 年 100 人/km² 特征值的分布位置与 1953 年 50 人/km² 特征值的分布位置大致吻合,29 年人口密度翻了一番。

第四,对比人口密度<200 人/km² 和>200 人/km² 的区域,最突出的是其基本格局没有根本变化。1953 年>200 人/km² 的区域,在华北平原和长江中下游平原,呈沿铁路线扩展趋势;在东北哈尔滨—吉林—沈阳一线,随工业化和城市群的发展而扩展;在沿海地区,中心区域主要在城市,之后随着沿海地带的开放发展,形成连片区域。1982 年 200 人/km² 特征值的分布位置与 1953 年 100 人/km² 特征值的分布位置大致吻合,它充分体现了平原人口发展与耕地产量提高同步、沿交通线人口发展与城市化同步、沿海带人口发展与特区开发带动同步。

第五,对比人口密度<400 人/km² 和>400 人/km² 的区域,华北平原、长江中下游平原>400 人/km² 的县域相对集中分布,基本格局 1953 年为点状分布,到 1997 年为片状分布;东北和沿海等区域则呈点状,反映了人口发展与城市化和聚落发展的互动过程。1997 年 400 人/km² 特征值的分布位置与 1953 年 200 人/km² 特征值的分布位置大致吻合。人口密度>800 人/km² 的区域极好地体现了城市数目增多、城市群发展和城市区扩展的过程。

总之,NSTEC 的东北、西部、南部地区人口增长率明显高于华北地区,1997 年与 1953 年相比,人口增加 1 倍以上的县数为 755 个,占总县数的 56.81%;其中有 183 个县人口增加 2 倍以上,占总县数的 13.77%;人口增长数达到 5 倍的县数占 4.22%,主要分布于东北地区和华南的城市区。5 个时期的人口密度等级的县数变化特点为:<50 人/km² 的县域数目明显减少,从 1953 年 212 个县减少到 66 个,减少 3 倍多;<100 人/km² 的县数也迅速减少;400~800 人/km² 的县数从 26 个增到 160 个,增加近 6 倍。这说明在人口密度增长过程中,人口密度较大地区的人口增加率大于人口密度较小地区的增加率。

3 人口密度驱动力分析

对比分析 NSTEC 土地利用格局与同时代人口密度格局,可知二者有一定的对应性。本文采用相关分析探讨人口密度与各土地利用类型的相关程度;用线性回归方法,定量表达人口密度变化对土地利用格局变化的驱动关系;用不同时期的人口密度反演土地利用格局。

3.1 NSTEC 土地利用变化的人口密度变化驱动力分析

人口密度与土地利用结构(1997 年)相关,回归分析结果表明:人口密度与耕地比例、城镇用地比例、牧草地比例、林地比例显著相关;其中与耕地比例和城镇用地比例呈正相关关系,与牧草地比例和林地比例呈负相关关系,且与耕地比例的相关系数最大(表 1)。说明在某种程度上,耕地变化很大部分是由人口密度变化驱动的。增长的人口需要更多的粮食供应,在单位面积产量不变的情况下,必然需要扩大耕地的面积,“人口对土地利用/覆盖变化

表 1 NSTEC 县域、自然带人口密度与各类土地比例的相关系数

Table 1 The correlation indexes between population density and land use percentage of counties and physical transits

	样本数 (个)	耕地	林地	牧草地	水域	城镇用地	其他用地
全部县城	1 329	0.310**	-0.215**	-0.233**	-0.002	-0.275**	-0.038
自然带	8	0.910**	-0.518	-0.828*	0.368	0.600	-0.464
5~400 人/km ² 县域	802	0.454**	-0.166**	-0.295**	0.077*	0.025	-0.197*
>400 人/km ² 县域	518	0.003	-0.016	-0.065	-0.030	0.251**	0.011

注:**表示在 0.01 水平下显著相关,*表示在 0.05 水平下显著相关。

的驱动主要原因在于快速增长的人口数量需要扩大生产建设规模^[16]。

首先,设人口密度为 y ,耕地比例为 x_1 ,林地比例为 x_2 ,牧草地比例为 x_3 ,水域比例为 x_4 ,城镇用地比例为 x_5 ,其他用地比例为 x_6 ,利用数学分析软件 SPSS 作线性回归分析,建立整个样带人口密度与各土地利用类型的回归方程为:

$$y=160.804+733.803x_1-447.703x_3-887.445x_4+9480.029x_5-208.839x_6 \quad (1)$$

方程 (1)中, R^2 值为 0.179, F 值为 57.81,从回归的残差分析看,拟合的效果不是非常理想,说明样带总体的人口密度与耕地可能不是简单的线性关系。实际上,在不同时期,因人口素质、年龄结构、性别比例不同,以及土地单位产出不同,耕地比例并不一定随着人口密度的增长呈线性增长,即使相同数量的人口密度对土地利用变化的驱动作用也有所不同。

其次,由前面分析可知,5 人/km² 为耕地发展极限界线,>400 人/km² 区域的人口密度增长主要是城市化驱动。为了更好地探讨人口密度和耕地之间的关系,去除人口密度>400 和<5 人/km² 的样本,再次进行人口密度与土地利用结构相关分析,结果表明,仍是耕地比例与人口密度的相关性最大(表 1)。建立的人口密度与各土地利用类型的回归方程为:

$$y=147.520+153.556x_1-90.109x_3+275.026x_4+544.054x_5-235.826x_6 \quad (2)$$

方程 (2)中, R^2 值为 0.247, F 值为 52.17,从回归的残差分析看(图 2),回归方程的预期值与实际值拟合得很好。可以认为,这些县域的耕地变化主要是人口密度变化所驱动。

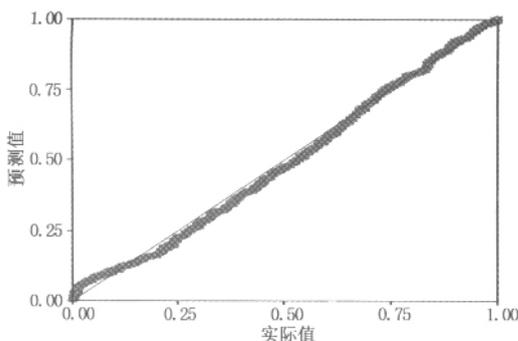


图 2 5~400 人/km² 县域人口密度与耕地回归残差分析

Fig.2 The regress residual analysis between population density of 5~400 p/km² and plough of counties in NSTEC

最后,选用人口密度>400 人/km² 的样本进行人口密度与土地利用结构的相关分析,结果表明城镇用地与人口密度的相关性最大,人口密度与耕地基本无关(表 1)。再次说明这些县域的土地利用变化主要是城市化驱动。

由此可见,人口密度变化对耕地的驱动力具有区域性,科学地对人口密度进行分级,能够挖掘出人口密度与土地利用的对应关系。

3.2 近似反演 NSTEC 耕地比例与格局变化的年代系列

样带内各县平均的用地比例计算表明,耕地、林地和牧草地 3 种用地类型的用地比例之

和达 98.23%,从全样带的总量计算也达 96.45%。所以,可近似地认为耕地、林地和牧草地比例总和为 1,即:

$$x_1+x_2+x_3=1 \quad (3)$$

用线性回归方法建立人口密度与耕地比例、林地比例、牧草地比例的线性回归方程 (4)

以及耕地比例与林地比例之间的回归方程(5) :

$$y=1\ 863.057-962.704x_1-1\ 688.696x_2-2\ 262.998x_3 \tag{4}$$

$$(n=1\ 329\ R^2=0.119\ F=59.63)$$

$$x_2=0.68-0.71x_1 \quad (n=1\ 329\ R_2^2=0.627\ F=2\ 227.54) \tag{5}$$

根据方程 (3) (4) (5) 耕地比例、林地比例、牧草地比例都可以用人口密度来表示 :

$$\begin{cases} x_1=(y+9.416)/892.54 \\ x_2=(600.242-0.71y)/892.54 \\ x_3=(282.882-0.29y)/892.54 \end{cases} \tag{6}$$

因此 ,已知不同年份的人口密度 ,便可求出其相应的土地结构。在此尝试用 1953、1964、1982、1990 和 1997 年的人口密度 ,近似反演各县域的耕地比例和格局 (图 3)。

同样 ,利用方程组 (6) 还可以近似地求出各年的林地比例和草地比例 ,以作者曾对 NSTEC 所作的积温自然带为统计单元^[15] ,用 1953、1964、1982、1990 和 1997 年的人口密度 ,近似反演各自然带的土地利用格局 (表 2 中仅列出南温带、北亚热带、中亚热带和南亚热带 4 个自然带 1953、1982 和 1997 年的数据)。

表 2 NSTEC 部分自然带土地利用格局反演值

Table 2 Land use structure calculated by population density of physical regions in NSTEC

自然带名称	年份	人口密度 (人/km ²)	耕地比例 (%)	林地比例 (%)	草地比例 (%)	自然带名称	年份	人口密度 (人/km ²)	耕地比例 (%)	林地比例 (%)	草地比例 (%)
南温带	1953	217.66	25.44	49.94	24.62	中亚热带	1953	109.47	13.32	58.54	28.14
	1982	350.05	40.27	39.41	20.32		1982	191.71	22.53	52.00	25.47
	1997	460.20	52.62	30.64	16.74		1997	233.97	27.27	48.64	24.09
北亚热带	1953	193.53	22.74	51.86	25.41	南亚热带	1953	169.99	20.10	53.73	26.17
	1982	306.82	35.43	42.84	21.72		1982	305.23	35.25	42.97	21.78
	1997	403.54	46.27	35.15	18.58		1997	383.60	44.03	36.74	19.23

为了验证回归方程反演出来结果的精度 ,特采用图谱对比和抽样验证的方法。首先 ,采用相同的分级标准 ,将反演的 1982 年耕地比例图与《中国综合地图集》中 1982 年中国耕地面积图相比较。从两图比较来看 ,高值区、低值区及各等级区域分布规律大体相同。但最大的差异就是反演图的高值区多且较破碎 ,验证图的高值区比较集中 ,其原因可能是因为有些高人口密度区域是城市化驱动的 ,与耕地的关系不是很大 ,而单把高人口密度值代入方程所得的高耕地比例区就会偏多 ;再考虑到资料来源的不同 ,也会有所误差。尽管这样 ,回归方程反演的县域耕地比例数据大体上还是与实际相吻合的。

其次 ,选取了来源于统计年鉴的黄河流域河龙区部分县 (旗)1990 年耕地比例实际值与反演值的比较 ,误差率基本上在 20%~30% 之间 ,在精度要求不是很高的情况下可以反演大致的耕地比例值 ,尤其是那些靠天吃饭的农区 ;但是可以看出 ,耕地比例的增长并不是随着人口密度的增长而呈简单的线性增长 ,特别是那些牧区 ,主要是靠扩大畜牧业来维持增加的人口 ,耕地比例的提高并不明显 ,误差率较大。

4 结论与讨论

人口密度变化是土地利用变化的一种重要的社会驱动力。人口密度特征值地域分异分析表明 :5 人/km² 特征值可以作为耕地开发极限的西界 ;50 人/km² 特征值成为耕地开发受沙地和山地限制的西界和受年均温零度等温线限制的北界 ;100 人/km² 特征值的地域变化则体现了人类活动进入山地丘陵和向坡耕地扩展的过程 ;200 人/km² 特征值的区域基本格局充分体现了平原人口发展与耕地产量提高同步 ;400 人/km² 特征值的地域变化体现了人口发展与城市化和聚落发展的互动过程 ;800 人/km² 特征值的地域变化体现了城市群发展

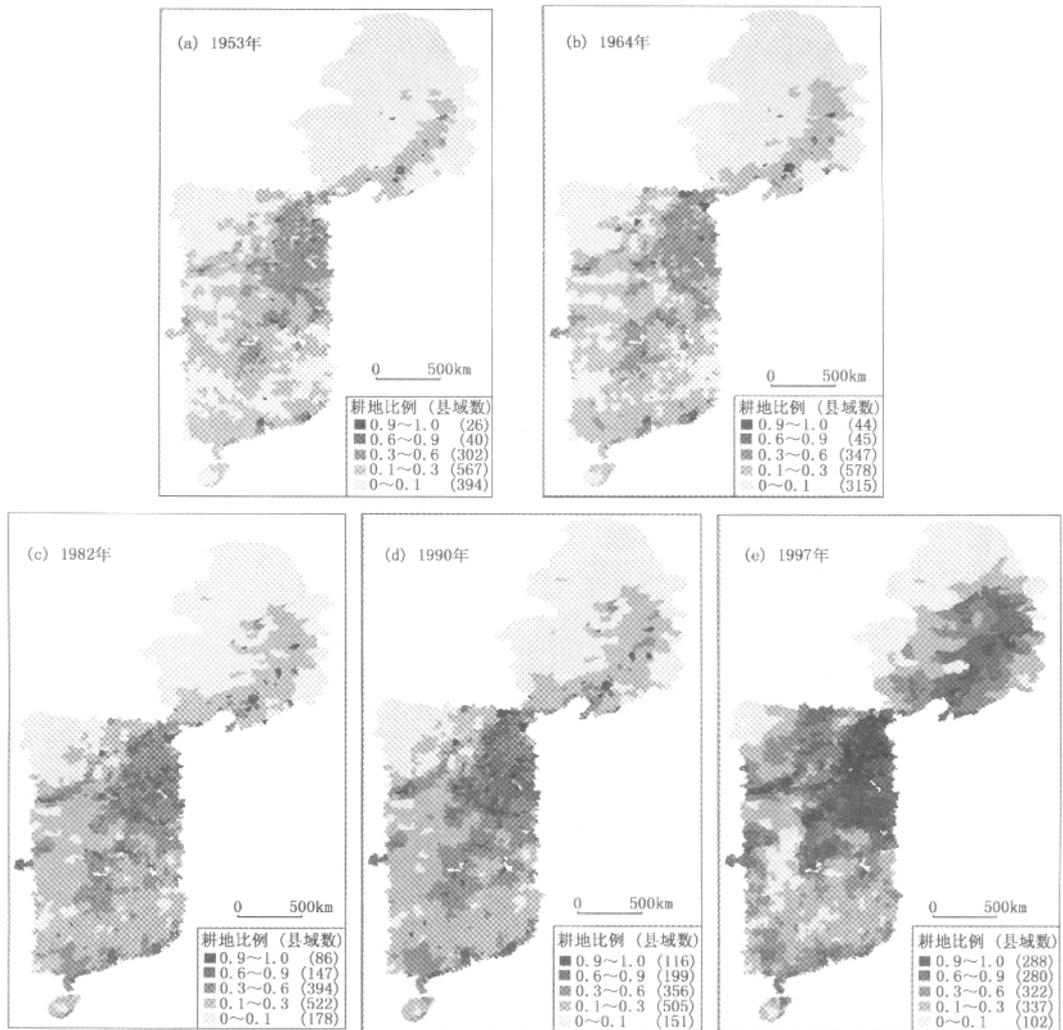


图3 用人口密度反演各年耕地比例系列图

Fig.3 The plough percentage calculated by population density

的过程。

NSTEC 土地利用格局与同时代人口密度格局有一定的对应性：人口密度与耕地比例、城镇用地比例、牧草地比例、林地比例显著相关；其中与耕地比例和城镇用地比例为正相关关系，与耕地比例的相关系数最大。对介于 5~400 人/km² 的县域耕地比例与人口密度的相关性最大且回归的拟合效果好；人口密度 >400 人/km² 的县域城镇用地比例与人口密度的相关性最大，而与耕地比例无关。

通过建立回归方程，已知不同年份的人口密度，便可反演不同年份各县域的土地结构，从验证的效果来看，线性回归方程可以近似反演各年代的耕地比例与格局。

驱动土地利用/覆盖变化的因子有很多，包括自然的和社会的，不同区域、不同时期也会有所不同，人口密度只是其中的一种；人口结构、人口素质和土地单位产出的不同，人口密度对土地利用的驱动力也会不同，人口密度与土地利用的关系并不是简单的线性关系。本文单独用人口密度指标来分析土地利用变化还欠完善，耕地扩展在一定时期内与人口增长呈正相关，但其扩展是有限的，到某种程度可能会出现与人口增长相反的现象。文中的反演结果

验证, 尽管扣除了城市用地的部分影响, 但仍有 20%~30% 的误差, 也同样说明了人口密度作为土地利用变化的驱动因素而言, 只是其中之一。如何考虑人口因素在诸因子中的权重以及与其他因子的相互关系, 如何对比不同时期、不同区域人口密度对土地的驱动作用, 还有待进一步的研究。

参考文献(References) :

- [1] 李秀彬.全球环境变化研究的核心领域——土地利用/土地覆盖变化的国际动向[J].地理学报,1996,51(6): 553~558.[LI Xiu-bin.A review of the international researches on Land Use/Cover Change.*Acta Geographica Sinica*,1996,51(6):553~558.]
- [2] International Geosphere-Biosphere Program.Relating Land Use and Global Land Cover Change[R].IGBP No.24 & HDP Report No.5.Stockholm:IGBP,1993.
- [3] I B L Turner,W B Merwr,D L Slole,*et al*.Land Use and Land Cover Change (LUCC):Science/Research Plan[R].IGBP Reports, No.35 and HDP Report.Stockholm:IGBP,1995.
- [4] I B L Turner,W B Meyer,D L Skole.Global land-use/land-cover change:towards an integrated program of study[J]. *AMBIO*, 1994,23(1):91~95.
- [5] G Fishcher,Y Ermoliev,MA Keyzer,*et al*.Simulating the Socio-economic and Biogeophysical Driving Forces of Land-Use and Land-Cover Change:the IASA land-use change model [R].WP-96-010.Laxenburg:IASA,1996.
- [6] E F Lambin,Baulies X,*et al*.Land-Use and Land Cover Change Implementation Strategy[R].IGBP Report No.48 & IHDP Report No.10. Stockholm:IGBP,1999.11~16.
- [7] 摆万奇,柏书琴.土地利用和覆盖变化在全球变化研究中的地位与作用[J].地域研究与开发,1999,18(4):13~16.[BAI Wan-qi,BAI Shu-qin.The status and roles of land use and cover change in global change study.*Areal Research and Development*,1999,18(4):13~16.]
- [8] 摆万奇,赵士洞.土地利用变化驱动力系统分析[J].资源科学,2001,23(3):39~41.[BAI Wan-qi,ZHAO Shi-dong.Analysis on driving force system of land use changes.*Resources Science*,2001,23(3):39~41.]
- [9] 慈龙骏,刘玉平.人口增长对荒漠化的驱动作用[J].干旱区资源与环境,2000,14(1):28~33.[CI Long-ju,LIU Yu-ping.Driving action of population increase on desertification.*Journal of Arid Land Resources and Environment*,2000,14(1):28~33.]
- [10] 史培军,陈晋,潘耀忠.深圳市土地利用变化机制分析[J].地理学报,2000,55(2):151~160.[SHI Pei-jun,CHEN Jin,PAN Yao-zhong.Landuse change mechanism in Shenzhen City.*Acta Geographica Sinica*,2000,55(2):151~160.]
- [11] 朱会义,何书金,张明.环渤海地区土地利用变化的驱动力分析[J].地理研究,2001,20(6):670~678.[ZHU Hui-yi,HE Shu-jin,ZHANG Ming.Driving forces analysis of land use change in Bohai Rim.*Geographical Research*,2001,20(6):670~678.]
- [12] 王秀兰.人口因子与土地利用/覆盖变化分析[J].资源科学,2000,22(3):39~42.[WANG Xiu-lan.Analysis on demographic factors and land use/land cover change. *Resources Science*,2000,22(3):39~42.]
- [13] 谢高地,成升魁,丁贤忠.人口增长压力下的全球土地利用变化研究[J].自然资源学报,1999,14(3):193~199.[XIE Dao-di, CHENG Sheng-kui,DING Xian-zhong.A study on global land use change under the pressure of population growth.*Journal of Natural Resources*,1999,14(3):193~199.]
- [14] 徐勇,沈洪泉,甘国辉.北京丰台区农村居住用地变化及与人口相关模型[J].地理学报,2002,57(5):569~576.[XU Yong, SHEN Hong-quan,GAN Guo-hui.The house land use change and the correlative model between house land and population in country in Fengtai District,Beijing.*Acta Geographica Sinica*,2002,57(5):569~576.]
- [15] 赖彦斌,徐霞,王静爱,等.NSTEC 不同自然带土地利用/覆盖格局分析[J].地球科学进展,2002,17(2):215~220. [LAI Yan-bin,XU Xia,WANG Jing-ai,*et al*.Analysis of LUCC pattern on physical region in NSTEC.*Advance in Earth Research*,2002, 17(2):215~220.]
- [16] 姜逢清,朱诚,穆桂金,等.当代新疆干旱灾害扩大化:人类活动的影响分析[J].地理学报,2002,57(1):57~66.[JIANG Feng-qing,ZHU Cheng,MU Gui-jin,*et al*.The spread of flood and drought in Xinjiang nowadays:the analysis of effects by human activities.*Acta Geographica Sinica*,2002,57(1):57~66.]

Study on population density driving force of land use change in north-south transect of eastern China

WANG Jing-ai^{1,2,3}, LAI Yan-bin^{1,2,3}, XU Wei², CHEN Jing¹

(1. College of Geography and Remote Sensing Science, Beijing Normal University, Beijing 100875, China; 2. Key Laboratory of Environment Change and Natural Disaster, The Ministry of Education of China, Beijing 100875, China; 3. Key Laboratory of Regional Geography, Beijing Normal University, Beijing 100875, China)

Abstract: To reflect the population distribution directly in north-south transect of eastern China (NSTEC), five periods of population density maps covering 1953, 1964, 1982, 1990 and 1997 are compiled based on seven eigenvalues of 5, 10, 50, 100, 200, 400 and 800 persons per km². According to the analysis of the maps, we can see that the higher the density is, the faster the growth rate. Furthermore, correlation and regression analysis shows that density is related with plough and urban land use positively, with grassland and forest negatively, and the regression equation between density and land use is thus built. So, the regression equation between plough and forest can be also built to inverse LUCC in past times. The analysis of pattern changes of population density, which is regarded as an important driving force of land use and cover change in NSTEC, shows the force of population density to LUCC. The development of population density eigenvalues varies among several regions. The study of this paper shows the correlation to certain extent between land use structure and contemporary population. Through the regression equation in this paper, contemporary land use structure can be mapped based on population density. However, besides population density, there are many other forces acting on land use change, such as city development, technology, education and so on.

Key words: NSTEC (North-south Transit of Eastern China); LUCC (land use/cover change); population density change; driving force; correlation and regress analysis