

# 哈尔滨市城乡结合部不透水面时空变化及驱动力分析

李 苗<sup>1,2</sup>, 臧淑英<sup>2</sup>, 吴长山<sup>2</sup>, 田 旻<sup>1,2</sup>

(1. 哈尔滨师范大学地理科学学院, 哈尔滨 150025;

2. 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 150025)

**摘要:** 本文选取哈尔滨市城乡结合部为研究区, 以1984年、1993年、2002年和2010年的TM影像数据为数据源, 利用混合像元分解方法提取了哈尔滨市城乡结合部的不透水面信息。分析了不透水面的时空变化特征。选取坡度、坡向、DEM、距河流距离、距高速公路距离、距铁路距离、距主要路距离和距1984年城区距离8个因子, 利用增强回归树法进一步分析了1984-2010年哈尔滨市城乡结合部不透水面扩张的主要影响因素。结果表明: 1984年哈尔滨市城乡结合部不透水面所占比例为3.9%、1993年为6.6%、2002年为9.0%、2010年为16.52%。高速公路、铁路、主要路等交通要素带动周边地区的发展, 从而导致道路沿线城市扩张速度较快。

**关键词:** 城乡结合部; 不透水面; 驱动力; 时空变化; 哈尔滨市

DOI: 10.11821/dlxb201701009

## 1 引言

城乡结合部的自然、社会、生态特征比较特殊, 是土地利用情况复杂区域<sup>[1-2]</sup>。对于这一地带的定义有很多种。德国学者HezberLouis在1936年提出城乡之间过渡带概念<sup>[3]</sup>。Redfield 1941年把城市与乡村之间的空间范围统称为“城乡结合体”<sup>[4]</sup>; Weaver等把城市土地与农业土地之间的用地转变区域称为“城市边缘带”<sup>[5]</sup>; Pryor 1968年将一种土地利用和社会人口特征的过渡地带定义为“城市边缘带”<sup>[6]</sup>。除了定性的分析以外, 也有一些学者用定量的指标来定义。Bryant 1982年运用非农业人口与农业人口之比来定量的研究城乡边缘带<sup>[7]</sup>。Pyle等将城乡边缘带土地市场交易和土地利用变化相结合, 研究土地市场对用地分配的作用机制。与西方国家相比中国相关研究起步较晚。总结来看, 主要集中在“城乡结合部土地利用变化及驱动机制研究”<sup>[8]</sup>、“城乡结合部社会、经济、生态等问题研究”<sup>[9]</sup>、“城乡结合部土地利用景观格局研究”<sup>[10]</sup>、“城乡结合部土地利用结构优化配置研究”<sup>[11-12]</sup>、“城乡结合部可持续性利用对策研究”<sup>[13]</sup>等方面。

建筑密度高、土地结构优化配置差、生态环境恶化、人口流动大、治安不稳定是城乡结合部常见的问题。魏东辉等<sup>[14]</sup>2006年对哈尔滨市城乡结合部生态环境进行了研究, 他们指出生态规划不到位、环保立法及管理不到位、农民对土地过分索取、基础设施落后、垃圾处理能力弱是造成哈尔滨市城乡结合部生态环境问题的根本原因。同年, 宋戈等<sup>[15]</sup>指出哈尔滨市城乡结合部存在着土地布局不稳定、各种类型互相转换、土地利用率

收稿日期: 2016-08-06; 修订日期: 2016-11-01

基金项目: 黑龙江省自然基金项目(QC2016050, ZD201308); 国家自然科学基金项目(41571199) [Foundation: Natural Science Foundation of Heilongjiang Province, No.QC2016050, No.ZD201308; National Natural Science Foundation of China, No.41571199]

作者简介: 李苗(1984-), 女, 齐齐哈尔人, 博士, 讲师, 从事遥感图像处理与应用研究。E-mail: dkyilmiao@163.com

通讯作者: 臧淑英(1963-), 女, 哈尔滨人, 博士, 教授, 从事LUCC与3S综合应用研究。E-mail: zsy6311@163.com

较低以及土地结构混乱等问题。针对哈尔滨市城乡结合部的种种问题,2012年5月9日出台《哈尔滨市2012年城乡结合部环境综合整治实施方案》。在此之后哈尔滨市启动城乡结合部环境整治工作。政府已经开始重视哈尔滨市城乡结合部的整治与规划工作。虽然哈尔滨市城乡结合部存在种种问题,但是针对城乡结合部的研究并不多。不透水面作为一种典型的地表覆盖组分,可以有效描述地表覆盖变化的空间渐变特征。它是城市环境质量的指示因子,城市不透水面的扩张与城市人口数量、经济发展状况、城市总体规划等驱动因素密切相关<sup>[16-17]</sup>。基于以上的论述,本文选择哈尔滨市城乡结合部为研究对象,对城乡结合部的不透水面时空变化特征及驱动力进行研究,以期为哈尔滨的城市规划等相关政策的制定提供理论依据。

## 2 研究区概况与数据

### 2.1 研究区概况

哈尔滨市地处松花江中游、小兴安岭和张广才岭间,地理坐标为 $125^{\circ}42'E\sim 130^{\circ}10'E$ 、 $44^{\circ}04'N\sim 46^{\circ}40'N$ 之间,总面积为5.31万 $\text{km}^2$ <sup>[18]</sup>。哈尔滨市是黑龙江省的经济、政治、文化中心和交通枢纽(图1)。1996年哈尔滨市辖7区12县(市),2004年哈尔滨市调整成为8区11县(市),2006年哈尔滨市辖区规划为8区10县(市),2015年哈尔滨市调整为9区9县(市)。1984年哈尔滨市市区人口是259.21万人,2010年市区人口增加到471.79万人,26年间哈尔滨市市区人口增加了0.82倍<sup>[19]</sup>。

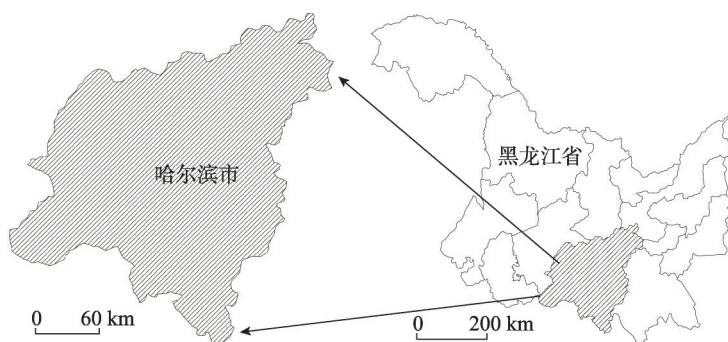


图1 研究区图

Fig. 1 Location of the study area

### 2.2 研究数据

本文选用的Thematic Mapper (TM)遥感影像和Digital Elevation Model (DEM)高程数据均来自美国地质调查局(U.S. Geological Survey)。所有遥感数据都使用Universal Transverse Mercator (UTM)投影系统和World Geodetic System 84 (WGS 84)坐标系。统计数据均来源于《中国城市统计年鉴》和《哈尔滨市统计年鉴》。

本文选用1984年9月14日、1993年9月7日、2002年9月16日和2010年9月22日的TM影像数据,4幅影像研究区内的云覆盖量均为0%。

## 3 研究方法

### 3.1 城乡结合部范围的界定

对于城乡结合部范围的界定,不同的学者有不同的见解。有的学者把郊区的内部行政界线作为城乡结合部的内边界;也有学者把城市最外圈的公路作为城乡结合部的内边界;还有学者将城市建成区界线作为城乡结合部的内边界。顾朝林<sup>[20]</sup>认为“内边界以城市建成区行政单位单位为界,外边界将工业、居住、交通等城市物质要素扩张范围作为界线”比较合理;程连生等<sup>[21]</sup>应用信息熵原理来划定城乡结合部的范围;陈佑启<sup>[22]</sup>明确制

定5类20条量化指标,如人均国内生产总值、土地利用结构、人均收入、劳动力结构、部门产值结构等,根据“断裂点”分析法来划定城乡结合部范围;章文波等<sup>[23]</sup>在遥感分类的基础上,把均值突变检测方法引入遥感影像的空间分析来划定城乡结合部的位位置,以城市用地比率突变点来划分区域边缘;叶明<sup>[24]</sup>利用DTM信噪度分析来界定城乡结合部。

在综合分析以往学者界定依据的基础上,针对研究区的特点,本文认为在研究城乡结合部内部的土地变化时把城市最外圈的环城公路作为城乡结合部的内边界,将与城市建成区相连的乡镇的行政外边界所形成的闭合曲线作为城乡结合部的外边界比

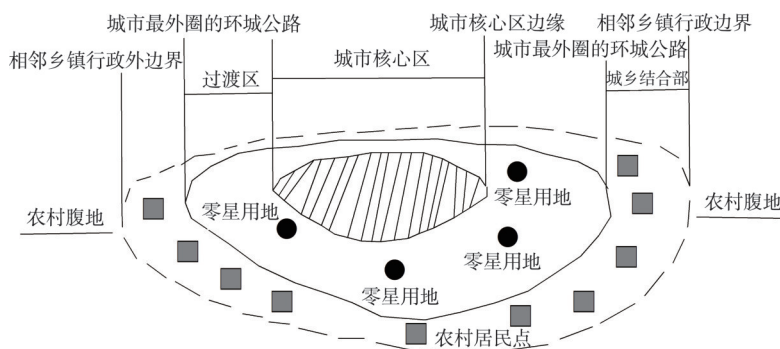


图2 城乡结合部的区域示意图<sup>[25]</sup>

Fig. 2 Sketch of rural-urban continuum

较合理<sup>[26]</sup>。城乡结合的区域示意图如图2所示。哈尔滨市城乡结合部共涉及14个乡镇的131个村、184个屯,城乡结合部的主体位于松花江南北两侧,包括群力乡、松北镇、松浦镇、幸福镇、团结镇、王岗镇、黎明镇、呼兰街道、民主乡、万宝镇、新发镇、榆树镇、成高子镇、朝阳镇等14个乡镇。

### 3.2 线性光谱混合分解

线性光谱混合模型认为像元在某一波段的反射率是由几个不同端元的反射率与其所占像元面积比例为权重系数的线性组合<sup>[17, 27-28]</sup>,其公式为:

$$R_i = \sum_{k=1}^n f_k R_{ik} + \varepsilon_i \left( \sum_{k=1}^n f_k = 1, 0 \leq f_k \leq 1 \right) \quad (1)$$

式中:  $i = 1, 2, \dots, m$  为光谱波段数;  $k = 1, 2, \dots, n$  为端元数目;  $R_i$  为波段  $i$  的反射率,其中包含一种或多种端元成分;  $f_k$  为端元  $K$  在像元内部所占比例;  $R_{ik}$  为端元  $K$  在波段  $i$  的反射率;  $\varepsilon_i$  为模型在波段  $i$  的拟合误差。

### 3.3 增强回归树

增强回归树(BRT)是在分类回归树算法上发展起来的一种集成学习方法,该方法通过随机选择和自主学习产生多重回归树<sup>[29-30]</sup>。BRT在运算过程中随机抽取一定的数据,用于分析自变量对因变量的影响程度,利用剩余数据进行结果验证<sup>[31-32]</sup>。利用增强回归树来研究城市扩展,不仅能得出各个驱动因子的相对影响大小,而且能够得出相对影响随每个驱动因子变化的关系<sup>[33]</sup>。

## 4 结果与分析

### 4.1 城乡结合部不透水面时空变化特征分析

**4.1.1 城乡结合部不透水面信息提取** 首先对影像进行PCA变换,在此基础上选取植被、土壤、高反射率地物和低反射率地物等4种端元,将端元值输入程序中,在Matlab中运算。因为城乡结合部的不透水面所占的比例比较小,所以在不透水面计算中,只把高反射率地物定义为不透水面。哈尔滨市城乡结合部不透水面分布如图3所示。经过计

算1984年哈尔滨市城乡结合部不透水面所占比例为3.9%、1993年为6.6%、2002年为9.0%、2010年为16.52%。

**4.1.2 城乡结合部不透水面动态变化分析** 为了进一步分析哈尔滨市城乡结合部的不透水面变化特征将该区域按照不同的比例分成(图4):不透水面低密度区(0%~30%)、不透水面中密度区(30%~70%)、不透水面高密度区(70%~100%),并在此基础上分析不透水面的动态度。

动态度表示某研究区一定时间范围内某种土地利用类型的数量变化情况<sup>[34]</sup>,其表达式为:

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

式中:  $K$ 为研究时段内某一土地利用类型动态度;  $U_a$ 、 $U_b$ 分别为研究期初及研究期末某一种土地利用类型的数量;  $T$ 为研究时段长,当 $T$ 的时段设定为年时,  $K$ 的值就是该研究区某种土地利用类型年变化率。

研究结果表明哈尔滨市城乡结合部1984-2010年低密度不透水面、中密度不透水面和高密度不透水面都不断增加。1984-1993年低密度不透水面和高密度的不透水面面积增加较少,而中密度不透水面增加很多。1993-2002年与低密度不透水面和中密度不透水面相比高密度不透水面增加的非常快。2002-2010年与1993-2002年不同的是,中密度不透水面增加的很慢,而低密度不透水面和高密度不透水面增加的很快,尤其是高密度不透水面增加的非常快。整体来看,1984-1993年的动态度要低于1993-2010年(表1)。说明后一阶段哈尔滨市城市发展的较快。在交通线密集的地方,城市不透水面分布较多。而相对来说交通线稀疏的地方城市不透水面分布较少(图5)。

## 4.2 城乡结合部不透水面变化影响因素分析

史培军等<sup>[35]</sup>在“深圳市土地利用变化机制分析”一文中,将土地利用变化机制分为外在驱动力和内在因素两种。其中总人口、国民生产总值、基本建设投资、外资利用额、第一、第二、第三产业产值分别占国内生产总值的百分比等几个因子被归为外在驱动机制。距交通干线的距离、距城市中心区的距离、高程与坡度、与相邻土地利用类型的距离等交通条件、地形条件和土地利用现状等内在的因素被归为土地利用变化的内在因素。本文参照史培军教授的研究思路,将人口因素、经济因素和规划引导因素归结为城市不透水面变化的外在驱动因素进行定性分析。把坡向、距河流距离、坡度、距高速

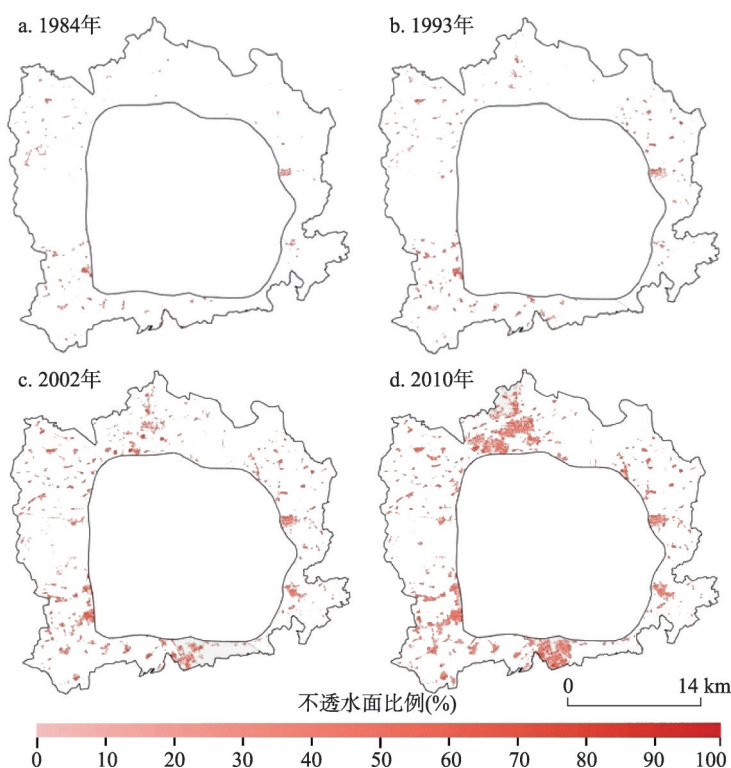


图3 1984-2010年哈尔滨市城乡结合部不透水面

Fig. 3 Impervious surfaces in Harbin rural-urban continuum in 1984-2010



公路距离、DEM、距铁路距离、距主要路距离和距1984年城区距离等8个因子归为城市不透水面变化的内在因素进行定量分析(图6)。

**4.2.1 影响不透水面变化的外在因素** 随着经济的发展,城市不透水面的增长受到人口增长、经济发展、国家宏观政策等多方面的影响。人口增长对城市不透水面扩展有刺激性的作用。经济因素包括经济产业结构布局、城镇化情况、市场化条件、交通条件、商业贸易的发展等。这些因素都直接或者间接的影响着土地利用的变化。在现实生活中,城市规划导向也是城市不透水面增加的主要影响因素之一。

1984年哈尔滨市市区人口是259.21万人,到了2010年市区人口增加到471.79万人。26年间哈尔滨市市区人口增加了0.82倍<sup>[19]</sup>。围绕人口的生产和生活需要,大量的建设用地需要用来满足其空间扩张的需要。人口增多,相应的住房、道路、工厂、学校、商场等一系列的配套设施都会增多。而且随着人们生活水平的提高,人们在追求物质生活的同时也会增加对精神生活的追求,相应的一些旅游、健身和娱乐场所也会增多,这样也会使建筑增加,不透水面会随之增加。

1984年哈尔滨市GDP为68.8亿元,2010年为4550.2亿元,26年间增长了65.14倍。二、三产业生产总值由1984年的52.6亿元,到2010年增加到4043.4亿元。二、三产业的比重由1984年的76.45%增加到88.86%<sup>[19]</sup>。第二产业的发展在使工业用地面积不断扩大的同时会带动大量的人口向城市涌进使城市住房用地也随之增加。第三产业的发展也会使城市不透水面不断增加。在经济快速增长的情况下,居民收入也不断增高。Brueckner<sup>[36]</sup>的研究认为居民收入增加是城市空间扩展的主要驱动因素之一。哈尔滨市平均工资在1984年为996元,在2010年为32397元。2010年的平均工资为1984年平均工资的32.53倍<sup>[19]</sup>。人们在生活富足的情况下,很多人投资买房,这样就带动了房地产业的发展,

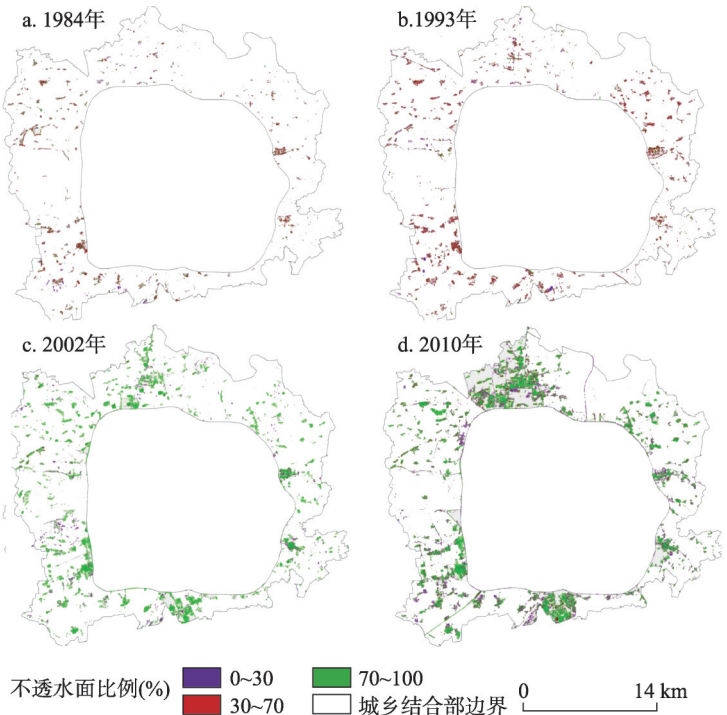


图4 1984-2010年哈尔滨市城乡结合部不透水面分布  
Fig. 4 Distribution of impervious surfaces in Harbin rural-urban continuum in 1984-2010

表1 1984-2010年哈尔滨市城乡结合部不透水面单一动态度  
Tab. 1 Single dynamic degree of impervious surface in Harbin rural-urban continuum in 1984-2010

| 年份         | 单一土地动态度(%) |       |        |
|------------|------------|-------|--------|
|            | 0~30       | 30~70 | 70~100 |
| 1984-1993年 | 0.004      | 0.157 | 0.008  |
| 1993-2002年 | 0.188      | 0.106 | 0.928  |
| 2002-2010年 | 0.243      | 0.058 | 0.666  |

也使城市不透水面增多。

1984年通过的《关于经济体制改革的决定》确立改革的重心从农村转向城市。在这样政策的引导下,城市不透水面必然增多。“十五”期间(2001-2005年),哈尔滨城市规划审批运行机制进行了改革,五年间共审批各类建设项目5623个,占地面积41.27 km<sup>2</sup>,建筑面积3672 m<sup>2</sup>,其中住宅危房棚户区改造项目80余个;城市基础设施建设项目1500余个<sup>[37]</sup>。“十五”期间,哈尔滨建成区面积由2000年的211 km<sup>2</sup>增加到2005年末的318 km<sup>2</sup>。“十一五”期间(2006-2010年),哈尔滨市城市建设用地达到359.2 km<sup>2</sup>,新增用地56.8 km<sup>2</sup>,其中居住用地增加19.6 km<sup>2</sup>,公共设施新增用地7.8 km<sup>2</sup>,道路广场新增用地6.9 km<sup>2</sup>,市政设施新增用地1.2 km<sup>2</sup>,绿地新增5.6 km<sup>2</sup><sup>[38]</sup>。

#### 4.2.2 影响不透水面变化的内在因素

本文的因变量是哈尔滨市1984-2010年不透水面的增加。用2010年哈尔滨市城乡结合部的城市不透水面与1984年的城市不透水面图做差运算,得到哈尔滨市1984年到2010年城市不透水面的变化值。0表示1984年和2010年都不是城市不透水面,证明该区域无新的建筑; >0表示1984年为非不透水面2010年为不透水面,或者2010年不透水面的比例大于1984年,证明此区域建筑物有所增加,将大于0的值赋为1,将此变化值作为因变量。8种因子是通过ArcGIS中的Spatial Analyst Tool模块得到的。在ArcGIS中随机生成了10000个样本点,然后将各个图层中的点对应的属性值导出,将数据导入R软件中进行增强回归树分析。

选择的8种驱动因子中DEM为106~203 m之间,整体来看北部DEM要低于南面。由于城乡结合部分布在松花江的两侧,所以距河流的距离是沿着松花江向两侧由近及远分布。主要路分布比较广泛,距主要路的距离为0~12742.4 m之间,但是除了北部以外,东部、南部和西部距主要路的距离都比较小。距1984年城区的距离为3561.4~22790.4 m,东部和南部要比西部和北部的距离小一些。

通过对结果分析可以看出距高速公路距离、距城区距离、距铁路距离、距主要路距离和距河流距离等邻域因子对城市不透水面的影响较大,5种邻域因子对城市不透水面的相对影响在所有因子中排前5位,总的影响达到79.9%(图7)。其中距高速公路距离的相对影响为20.6%;距城区距离的相对影响为19.5%;距铁路距离的相对影响为14.6%;距主要路距离的相对影响为13.8%;距河流距离的相对影响为11.4%。自然因子中,DEM对城市不透水面的影响较高为7.9%。坡度对城市不透水面的影响为6.4%;坡向对城市不透水面的影响为6%。在距高速公路为6700 m时相对影响为正值,在这个范围内随着距高速公路距离的增加相对影响逐渐变小。从距1984年城区距离的相对影响可以看出,影响力是随着距离的增大而减弱的。在距城区9000 m以内时,距城区距离对城市不透水面的影响是正相关关系,而且距离城区越近,影响力越大。当距离达到一定值时影响变为负值,此时距离对城市不透水面的增加有限制作用。

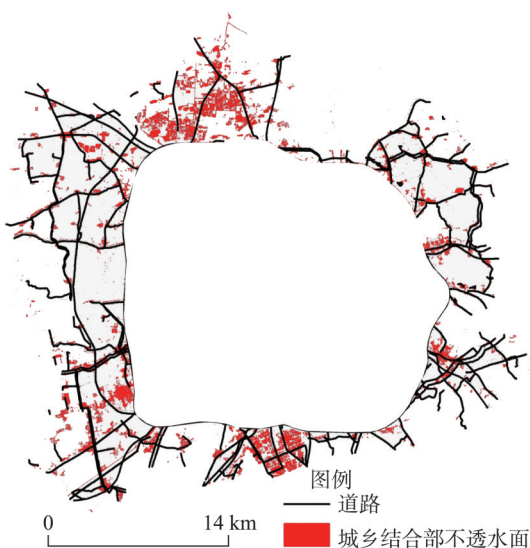


图5 2010年哈尔滨市城乡结合部不透水面分布

Fig. 5 Distribution of impervious surfaces in Harbin rural-urban continuum in 2010

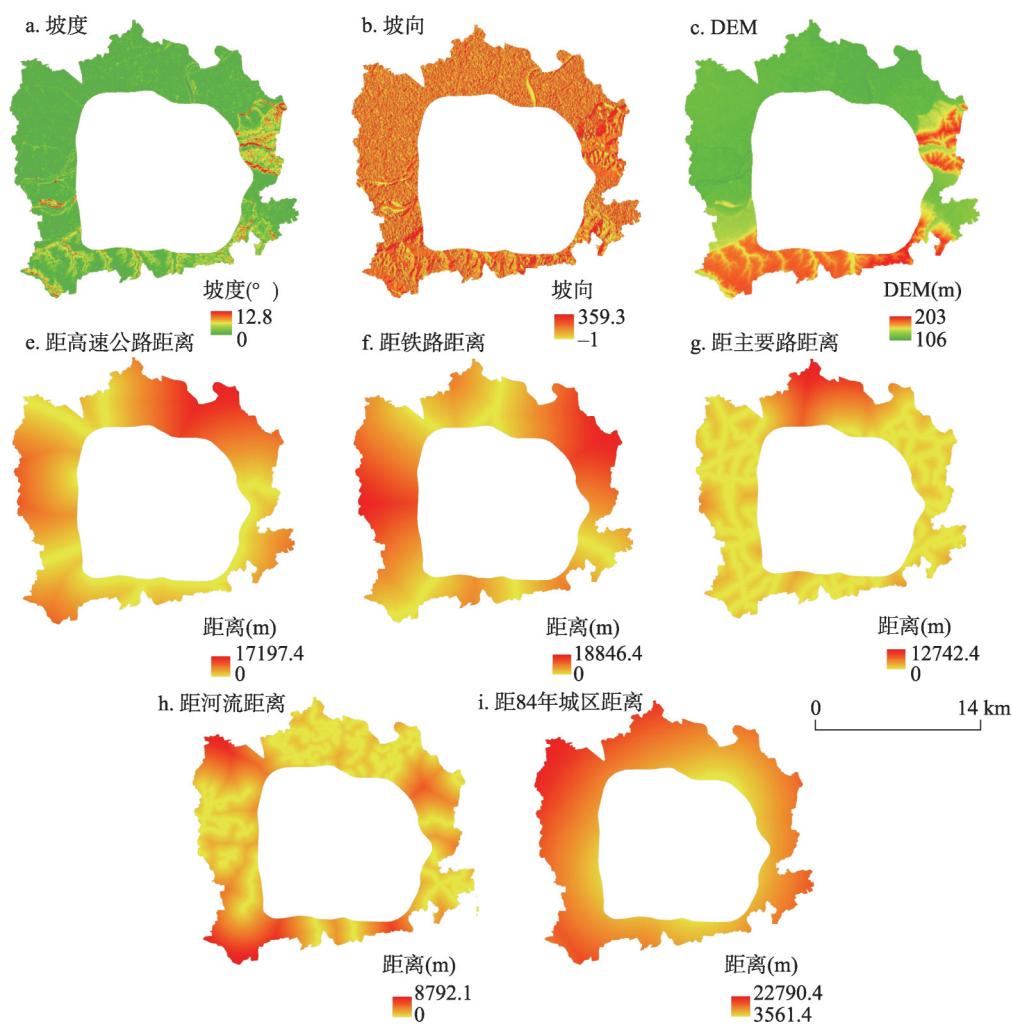


图6 驱动因子栅格图

Fig. 6 Raster graph of driving factors

## 5 结论与讨论

### 5.1 结论

(1) 经过计算，哈尔滨市城乡结合部不透水面所占比例1984年为3.9%、1993年为6.6%、2002年为9.0%、2010年为16.52%。1984-1993年，哈尔滨市城乡结合部主要是低密度不透水面周围的建筑增多使中密度不透水面不断增多；1993-2002年，则是中密度的不透水面附近的不透水面增多，进而使这个时间段内高密度不透水面不断增多；2002-2010年，中密度不透水面周围的建筑增多使高密度不透水面不断增多，同时由于城市的扩展，又有很多新的建筑，使原来的空地上建起建筑，所以低密度不透水面也不断增加。

(2) 从各个驱动因子对哈尔滨市城乡结合部的相对影响可以看出，哈尔滨市城乡结合部的扩展为沿主要对外交通线呈轴线、带状扩展模式；高速公路、铁路、主要路等交通要素能有效的带动周边地区的发展，从而导致道路沿线的城市扩张速度较快。

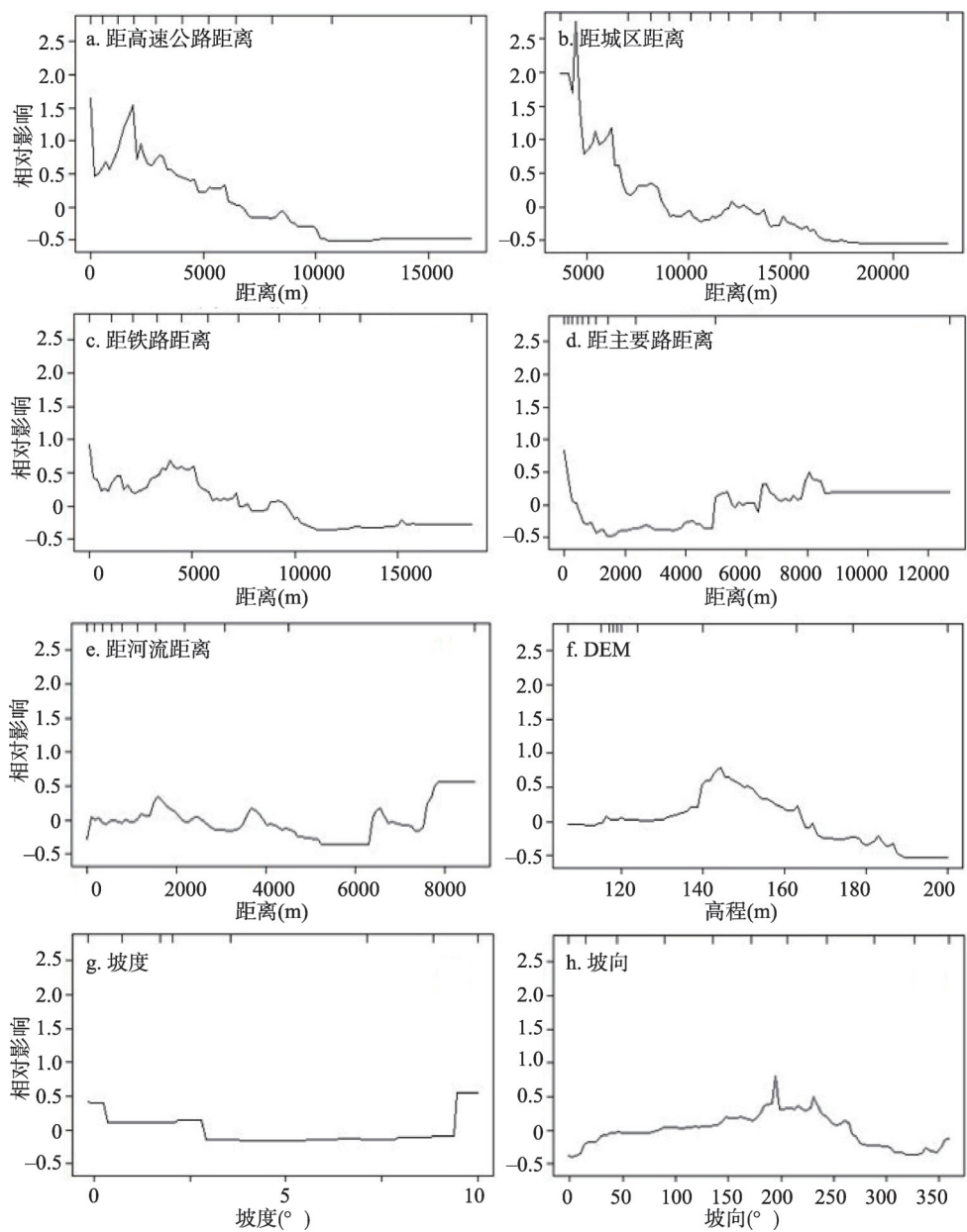


图7 驱动因子对城乡结合部不透水面变化的相对影响  
Fig. 7 Effects of driving factors on change of impervious surface in rural-urban continuum

5.2 讨论

在城市化的进程中,大量的农田、森林、草地和湿地转变成为城市用地,城市不透水面增多,使地表的物理特征,如反射率、土壤含水量、表面粗糙度和生物化学的循环过程发生了改变,从而对区域气候、水文、生态等自然环境产生了重要的影响,城市温度升高,城市不透水面积加大,改变城市水循环,首先导致地面降水入渗的减少、地面径流加快、碳吸收减少、水体污染加重以及生态环境退化。所以对于城市不透水面的研究具有一定的现实意义。而本文采用的是30 m空间分辨率的TM数据,在一定程度上会



对不透水面的提取精度产生影响。社会经济因子的空间化一直是一个难点,也在一定程度上影响着驱动因素的分析。本文在这问题上并没有找到好的方法,而是对经济因子进行定性的分析,在以后的研究中要争取改进。

## 参考文献(References)

- [1] Zhu Guofeng. The suburb land-use diversification study of Wuwei [D]. Lanzhou: Northwest Normal University, 2009. [朱国锋. 武威市城乡结合部土地利用动态研究[D]. 兰州: 西北师范大学, 2009.]
- [2] Zuo Yuqiang. Study on the dynamics of cultivated land conversion in urban fringe: A case in Wanbolin Taiyuan [D]. Beijing: China Agricultural University, 2003. [左玉强. 城乡结合部耕地转化动态研究: 以太原市万柏林区为例[D]. 北京: 中国农业大学, 2003.]
- [3] Li Ying. The developed city of rural and urban combination zoneliving environment planning and design research as an example [D]. Beijing. Shandong Institute of Light Industry, 2012. [李颖. 发达城市城乡结合地带居住环境规划设计研究: 以北京为例[D]. 山东轻工业学院, 2012.]
- [4] Li Weiwei. Analysis in the game theory on the decision-making of utilization to rural-urban fringe [D]. Anshan: University of Science and Technology Liaoning, 2008. [李薇薇. 城乡边缘土地利用的博弈论分析[D]. 鞍山: 辽宁科技大学, 2008.]
- [5] Weaver D B, Lawton L J. Resident perceptions in the urban-rural fringe. *Annals of Tourism Research*, 2001, 28(2): 439-458.
- [6] Pryor R J. Defining the rural-urban fringe. *Social Forces*, 1968, 47(2): 202-215.
- [7] Wang Liwen. A study on changes of village space in Urban fringe [D]. Lanzhou: Northwest Normal University, 2008. [王莉霞. 城市边缘区村落空间变动研究[D]. 兰州: 西北师范大学, 2008.]
- [8] Jiang Yuqi. Research on the driving mechanism of land use change: A case study of Heping township in Lanzhou city [D]. Lanzhou: Gansu Agricultural University, 2013. [蒋毓琪. 城乡结合部土地利用变化驱动机制研究: 以兰州市和平镇为例[D]. 兰州: 甘肃农业大学, 2013.]
- [9] Kang Gen. The ecological and environmental protection issues in urban fringe during the process of urbanization in China [D]. Yan'an: Yan'an University, 2013. [康根. 我国城镇化进程中城乡结合部生态环境保护问题研究[D]. 延安: 延安大学, 2013.]
- [10] Zhang Feng, Wu Quanyuan, Zhang Hui. RS and GIS-based analysis on dynamic changes of landscape pattern on urban-rural fringe: A case study of Licheng District, Jinan City of China. *Journal of Landscape Research*, 2012, 4(6): 42-46.
- [11] Cao Changcai. Study on land-use structure change and optimal allocation of Qianjiang urban-rural ecotone [D]. Wuhan: Central China Normal University, 2013. [曹长彩. 潜江市城乡结合部土地利用结构变化及其优化配置研究[D]. 武汉: 华中师范大学, 2013.]
- [12] Xun Wenhui, Wang Yuqing, Li Hongtao. Methods exploration and case study on intensive use evaluation in urban fringe area land. *Economic Geography*, 2014, 34(10): 144-149. [荀文会, 王雨晴, 李洪涛. 城乡结合部土地集约利用评价方法探讨与实证研究. *经济地理*, 2014, 34(10): 144-149.]
- [13] Qin Mingzhou, Zhao Jie. Strategies for sustainable use and characteristics of soil quality changes in urban-rural marginal area: A case study of Kaifeng. *Acta Geographica Sinica*, 2000, 55(5): 545-554. [秦明周, 赵杰. 城乡结合部土壤质量变化特点与可持续性利用对策: 以开封市为例. *地理学报*, 2000, 55(5): 545-554.]
- [14] Wei Donghui, Song Ge, Wu Huirui. The ecological environment transformation in the area between city and countryside of Harbin city. *Journal of Northeast Agricultural University (Social Science Edition)*, 2006, 4(3): 65-67. [魏东辉, 宋戈, 武卉蕊. 哈尔滨市城乡结合部生态环境改造问题及对策研究. *东北农业大学学报: 社会科学版*, 2006, 4(3): 65-67.]
- [15] Song Ge, Wu Cifang, Wei Donghui. A study on the formation mechanism and optimization of land use structure of the area between city and countryside of Harbin city. *Economic Geography*, 2006, 26(2): 313-317. [宋戈, 吴次芳, 魏东辉. 哈尔滨市城乡结合部土地利用结构成因及优化对策. *经济地理*, 2006, 26(2): 313-317.]
- [16] Wei Jinhong, Tan Chunyang, Wang Yongshan, et al. Study on the relationship between heat island effect and impervious surface area in central city. *Geomatics & Spatial Information Technology*, 2014, 37(4): 69-72. [魏锦宏, 谭春阳, 王勇山, 等. 中心城区不透水面与城市热岛效应关系研究. *测绘与空间地理信息*, 2014, 37(4): 69-72.]
- [17] Tan Chuanyang, Kuang Wenhui, Xu Tianshu, et al. Analyzing spatio-temporal pattern of impervious surface for recent two decades in Shanghai. *Journal of Geomatics*, 2014, 39(3): 71-74. [谭春阳, 匡文慧, 徐天蜀, 等. 近20年上海市不透

- 水地表时空格局分析. 测绘地理信息, 2014, 39(3): 71-74.]
- [18] Huang Huiling, Wu Cifang. Evaluation on eco-city construction based on extension theory: A case of Harbin City. *Scientia Geographica Sinica*, 2009, 29(5): 651-657. [黄辉玲, 吴次芳. 基于可拓学的生态市建设评价: 以哈尔滨市为例. 地理科学, 2009, 29(5): 651-657.]
- [19] Harbin Bureau of Statistics. Statistical Yearbook of Harbin. China Statistics Press, 2011. [哈尔滨统计局. 哈尔滨统计年鉴. 中国统计出版社, 2011.]
- [20] Gu Chaolin. Study of the Chinese Big City Fringe Area. Beijing: Science Press, 1995. [顾朝林. 中国大城市边缘区研究. 北京: 科学出版社, 1995.]
- [21] Chen Liansheng, Zhao Hongying. Discussion on the city's border area of Beijing. *Journal of Beijing Normal University (Natural Science)*, 1995, (1): 127-133. [程连生, 赵红英. 北京城市边缘带探讨. 北京师范大学学报: 自然科学版, 1995, (1): 127-133.]
- [22] Chen Youqi. With a distinguish between cities and countryside. *Geography and Territorial Research*, 1995(2): 47-52. [陈佑启. 城乡交错带名辨. 地理学与国土研究, 1995(2): 47-52.]
- [23] Zhang Wenbo, Fang Xiuqi. Method to identify the urban-rural fringe by TM images. *Journal of Remote Sensing*, 1999, 3(3): 199-202. [章文波, 方修琦. 利用遥感影像划分城乡过渡带方法的研究. 遥感学报, 1999, 3(3): 199-202.]
- [24] Ye Ming. Study on the urban fringe of Ningbo central city. *Journal of Ningbo University (NSEE)*, 2000, 13(2): 16-20. [叶明. 宁波城市边缘带研究. 宁波大学学报(理工版), 2000, 13(2): 16-20.]
- [25] Lu Haiying. Land use research in urban-rural-integration-area based on RS/GIS [D]. Nanjing: Nanjing Normal University, 2003. [陆海英. 基于RS/GIS的城乡结合部土地利用研究[D]. 南京: 南京师范大学, 2004.]
- [26] Lou Wenlong. Issues on the land use in urban-rural-integration-area in China [D]. Wuhan: Wuhan University, 2005. [娄文龙. 我国城乡结合部土地利用问题研究[D]. 武汉: 武汉大学, 2005.]
- [27] Liu Zhenhuan, Wang Yinglin, Peng Jian. Quantifying spatiotemporal patterns dynamics of impervious surface in Shenzhen. *Geographical Research*, 2012, 31(8): 1535-1545. [刘珍环, 王仰麟, 彭建. 深圳市不透水表面的遥感监测与时空格局. 地理研究, 2012, 31(8): 1535-1545.]
- [28] Chang C I, Ji B. Weighted abundance-constrained linear spectral mixture analysis. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 2006, 44(2): 378-388.
- [29] Li Chunlin, Liu Miao, Hu Yuanman, et al. Driving forces analysis of urban expansion based on boosted regression trees and Logistic regression. *Acta Ecologica Sinica*, 2013, 34(3): 727-737. [李春林, 刘淼, 胡远满, 等. 基于增强回归树和Logistic回归的城市扩展驱动力分析. 生态学报, 2013, 34(3): 727-737.]
- [30] Elith J, Leathwick J R. A working guide to boosted regression trees. *Journal of Animal Ecology*, 2008, 77(4): 802-813.
- [31] Zhao Fang, Ouyang Xunzhi. Assessing relative contributions of various influencing factors to soil organic carbon in aerially-seeded *Pinus massoniana* plantations. *Acta Ecologica Sinica*, 2016, 36(9): 2637-2645. [赵芳, 欧阳勋志. 飞播马尾松林土壤有机碳空间分布及其影响因子. 生态学报, 2016, 36(9): 2637-2645.]
- [32] Yin Cai, Liu Miao, Sun Fengyun, et al. Influencing factors of non-point source pollution of watershed based on boosted regression tree algorithm. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2016, 27(3): 911-919. [尹才, 刘淼, 孙凤云, 等. 基于增强回归树的流域非点源污染影响因子分析. 应用生态学报, 2016, 27(3): 911-919.]
- [33] Freund Y, Schapire R E. A decision-theoretic generalization of on-line learning and an application to boosting. *Journal of Computer and System Sciences*, 1997, 55(1): 119-139.
- [34] Zhao Wenwu, Fu Bojie, Chen Liding. The effects of grain change on landscape indices. *Quaternary Sciences*, 2003(3): 326-333. [赵文武, 傅伯杰, 陈利顶. 景观指数的粒度变化效应. 第四纪研究, 2003(3): 326-333.]
- [35] Shi Peijun, Chen Ji, Pan Yaozhong. Landuse change mechanism in Shenzhen City. *Acta Geographica Sinica*, 2000, 55(5): 151-160. [史培军, 陈晋, 潘耀忠. 深圳市土地利用变化机制分析. 地理学报, 2000, 55(5): 151-160.]
- [36] Brueckner J K. Urban sprawl: Diagnosis and remedies. *International Regional Science Review*, 2000, 23(2): 160-171.
- [37] Yu Binying, Chen Ye. Research and practice of urban planning in Harbin city. *Urban Planning*, 2006(Suppl.1): 81-89. [俞滨洋, 陈烨. 哈尔滨市城市规划工作探索与实践. 城市规划, 2006(Suppl.1): 81-89.]
- [38] <http://www.hrbghj.gov.cn/view/fzgh/article/306160.html>.

## Spatial and temporal variation and its driving forces of urban impervious surface in urban-rural continuum of Harbin

LI Miao<sup>1,2</sup>, ZANG Shuying<sup>2</sup>, WU Changshan<sup>2</sup>, TIAN Yang<sup>2</sup>

(1. School of Geographical Sciences, Harbin Normal University, Harbin 150025, China;

2. Key Laboratory of Remote Sensing Monitoring of Geographic Environment, College of Heilongjiang Province, Harbin 150025, China)

**Abstract:** Due to its rapid economic development in recent years, China is becoming ever more urbanized. With this background of urbanization, land use and land cover change are complex in urban-rural continuum where the land is characterized by both town and country usages. The urban-rural continuum of Harbin City, Heilongjiang Province was chosen as the study area. Impervious surface from the Harbin urban-rural continuum was extracted by a linear spectral mixture analysis method based on the Landsat TM image acquired in the years of 1984, 1993, 2002 and 2010. The temporal and spatial variations of the urban impervious surface were examined. A boosted regression tree was employed to identify the most important factor that has been affecting the expansion of the impervious surface since 1984 from among eight factors, i.e. slope, aspect, DEM, distance to river, distance to expressway, distance to railway, distance to main road, and distance to the central city in 1984. The results indicate that the proportion of impervious surfaces in the Harbin rural-urban continuum was 3.9% in 1984, 6.6% in 1993, 9.0% in 2002, and 16.52% in 2010. The distribution patterns of impervious surface coverage from 1984 to 2010 showed obvious spatial variations. Traffic factors, including expressways, railways, and main roads, have been propelling the development of surrounding area, and inducing the rapid expansion of cities along the roads.

**Keywords:** rural-urban continuum; impervious surface; driving force; temporal and spatial variation; Harbin City