

# 基于地形梯度的哈尔滨市土地利用格局变化分析

龚文峰<sup>1</sup>, 袁 力<sup>2</sup>, 范文义<sup>3</sup>

(1. 黑龙江大学水利水电学院, 哈尔滨 150086; 2. 东北林业大学信息与计算机学院, 哈尔滨 150040;  
3. 东北林业大学林学院, 哈尔滨 150040)

**摘 要:** 为揭示土地利用格局变化在地形差异上的演变过程, 探讨不同地貌部位自然因素和人文因素在土地利用变化过程中的作用, 以 1989 年、1995 年、2001 年和 2007 年 Landsat TM/ETM+影像为主要数据源, 在 RS 和 GIS 支持下获取土地利用数据。基于地学信息图谱分析理论, 研究该区域不同时期土地利用空间格局变化进程, 揭示土地利用变化成因和机理, 并基于 DEM (digital elevation model) 探究土地利用图谱地形梯度的空间分异和时空演变规律。结果表明: 土地利用结构以耕地和林地为主, 耕地和未利用地面积持续减少, 平均斑块面积分别由 20.96 km<sup>2</sup> 减少到 2.87 km<sup>2</sup> 和 3.92 km<sup>2</sup> 减少到 0.09 km<sup>2</sup>, 破碎化程度加剧, 且未利用地(滩涂地和湿地)→耕地是其主要的转变轨迹, 居民工矿用地呈现不平衡的增加态势, 耕地是居民工矿用地和林地的主要转化来源, 林地的破碎度由 0.117 个/km<sup>2</sup> 增加到 0.532 个/km<sup>2</sup>, 破碎化程度日益严重; 前期变化型和持续变化型的分布指数在地形位等级 2 时最大, 稳定型和反复变化型的在地形位等级 1 时最大, 之后随着地形位的增加而减小; 中间过渡型呈现一定的曲线变化。该文为城市化过程中的土地资源的合理规划和利用提供科学依据。

**关键词:** 土地利用, 地形, 等级, 土地利用格局, 地形位指数, 图谱

doi: 10.3969/j.issn.1002-6819.2013.02.034

中图分类号: F301.24

文献标志码: A

文章编号: 1002-6819(2013)-02-0250-10

龚文峰, 袁 力, 范文义. 基于地形梯度的哈尔滨市土地利用格局变化分析[J]. 农业工程学报, 2013, 29(2): 250 - 259.

Gong Wenfeng, Yuanl li, Fan Wenyi. Analysis on land use pattern changes in Harbin based on terrain gradient[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2013, 29(2): 250 - 259. (in Chinese with English abstract)

## 0 引 言

土地利用是自然环境演变和人类活动相互作用的复杂综合体<sup>[1-3]</sup>, 它不仅客观地记录了人类改变地球表面特征空间格局的活动, 而且还再现了地球表面景观的时空动态过程<sup>[4]</sup>; 且土地利用时空变化已成为全球环境变化研究的核心领域<sup>[5-7]</sup>, 不仅体现在时间过程中土地资源数量和质量变化<sup>[8]</sup>, 还表现为土地利用空间格局变化<sup>[9]</sup>, 即从“时间过程”、“空间格局”到“时空动态”不断的演变。基于 RS 和 GIS 是目前国际上研究土地利用格局时空演变的主要方法, 而地学信息图谱是一种时空复合分析方法<sup>[9]</sup>, 将特定时空尺度下土地利用的“空间格局”与“时间过程”相结合进行研究, 它弥补了基于非

空间属性数据库的数据挖掘方法在形象思维和空间位置方面的不足<sup>[10]</sup>, 是研究土地利用特征实体空间、过程和属性信息时空演变的理想手段。

地形是自然环境中的重要因素, 其特点及其变化直接影响地面的物质流动与能量的转化, 地形特征在一定程度上决定着土地利用的方向与方式<sup>[11-12]</sup>, 并显著影响着土地利用/覆被的结构, 不仅为土地利用格局的形成提供基础, 其空间特征也影响着土地利用的演变过程<sup>[13]</sup>。数字高程模型(digital elevation model, DEM)作为地形表达的数学模型, 为探讨土地利用的空间格局提供了基础平台<sup>[14]</sup>。因此, 从自然环境背景方面入手, 基于 DEM 的土地格局利用已做了部分相关研究<sup>[15-20]</sup>, 但在研究基于地形梯度的土地利用变化时, 更多的是将地形高度和坡度作为单个因子, 而把坡度和高度综合在一起研究地形梯度变化对土地利用分布的影响则相对较少<sup>[21-23]</sup>, 并且将土地利用图谱和地形梯度相结合, 研究土地利用格局的地形梯度时空演变特征及规律则显得更加稀少。

哈尔滨作为中国重要的老工业城市<sup>[24]</sup>, 是东北地区城市化进程较快和研究环境资源变化的典型

收稿日期: 2012-05-08 修订日期: 2012-12-11

基金项目: “十二五”国家科技支撑项目(2012AA102001); 黑龙江省自然科学基金(F201137)

作者简介: 龚文峰(1976-), 男, 河南南阳人, 副教授, 博士, 主要从事 3S 技术在土地利用和资源环境与监测方面的研究。哈尔滨 黑龙江大学水利水电学院, 150086。Email: gwfl01@163.com

通信作者: 范文义(1965-), 教授, 博士生导师。从事 3S 技术应用的研究。哈尔滨 东北林业大学林学院, 150040。Email: fanwy@163.com

区域。因此,本文以松花江流域哈尔滨段为研究对象,利用 RS 和 GIS 技术,从 1989 年、1995 年、2001 年和 2007 年的 4 期遥感影像解释分类及土地利用研究入手,依据地学信息图谱分析理论,基于 ArcGIS GRID 模块,利用地图代数运算方法,对其土地利用分布图进行叠加分析,复合成不同时期土地利用变化图谱,实现对土地利用类型变化信息的空间可视化表达与分析,进而揭示其时空动态演变原因、机理及趋势<sup>[25]</sup>,并基于 DEM 探究土地利用谱图地形梯度的时空演变规律及空间分异过程,探讨不同地貌部位土地利用变化中自然因素和人文因素的地位和作用<sup>[26]</sup>,揭示人、地和环境之间的发展关系及人类活动和社会因素对自然生态环境的影响<sup>[27-28]</sup>,以期对土地管理决策、制止不合理的开发利用和生态环境建设提供理论支持<sup>[29]</sup>。

## 1 研究区域概况

哈尔滨市位于 125°42' ~ 130°10'E, 44°04' ~ 46°40'N,处于松花江中游,属温带大陆性季风气候区,适宜发展农业生产,全区地势平坦开阔,从东南向西北略倾斜,地貌类型主要为漫滩、阶地和高平原。大小河流均属于松花江水系,主要有松花江、呼兰河、阿什河等,区域内植物资源丰富,土壤类型较多,主要有黑土、草甸土、黑钙土、沼泽土等。主要树种有红松、落叶松、樟子松、水曲柳、黄菠萝、胡桃楸以及柞、椴、榆等。

## 2 研究方法

### 2.1 遥感图像处理

把经过坐标配准和拼接的地形图(1:50 000)作为地理坐标参考基准,利用 ERDAS IMAGE 9.2 软件对 2007 年的遥感影像进行二次多项式几何校正,保证纠正后误差小于 0.5 个像元。并将该遥感影像作为参考,采用 AutoSync 模块完成 1989 年、1995 年和 2001 年遥感影像自动配准,根据行政边界完成遥感图像的裁剪,采用监督分类并结合人机交互的方法完成遥感影像的分类,并进行分类后的聚类统计、过滤分析、去除分析、分类重编码等处理,根据中国科学院所完成的国家基本资源与环境本底与动态遥感调查数据库(LU2000),本文将遥感图像分为 6 类,即耕地、林地、草地、水域、居民工矿用地和未利用土地,分别用代码 1, 2, 3..., 6 来表示,并借助于地面实测数据(GPS 野外调查)来检验解译精度,随机选取若干样点,利用混淆矩阵法进行评价分析,结果表明 4 期遥感影像分类结果的总体精度分别为 86.84%、87.83%、89.21%和 88.69%,且解译精度均超过了 86%,而

其 Kappa 系数分别为 0.783、0.794、0.823 和 0.808,均满足大于最低允许的判别精度 0.7 的要求<sup>[30]</sup>,表明分类结果与实地类型符合度较高,满足本文研究的需要。在 ArcGIS 9.2 的支持下,最终形成 4 期土地利用数据,并存储为 GRID 格式,便于分类统计、空间叠加等运算处理。

### 2.2 土地利用图谱分析

在 ArcGIS9.2 软件支持下,将 4 个时期土地利用图谱单元类型进行重组,获取研究区域 18 a 的土地利用变化模式信息图谱<sup>[31-32]</sup>,定量、直观分析土地利用格局时空演化历程。本文将图谱变化模式概括为 6 种类型,即:1)前期变化型:1989 - 1995 年变化,而 1995 - 2007 年未变;2)后期变化型:1989 - 2001 年未变,而 2001 - 2007 年变化;3)中间过渡型型:只在 1995 - 2001 年发生地类变化;4)反复变化型:在 1989 - 2007 年至少发生 2 种地类变化且初期和末期地类相同;5)持续变化型:在 1989 - 2007 年至少发生 2 种类型的变化,初期和末期地类不同;6)稳定型:在 1989 - 2007 年地类保持不变。图谱的计算公式如下

$$Y = (G_1) \times 10^{n-1} + (G_2) \times 10^{n-2} \cdots + (G_n) \times 10^{n-n} \quad (1)$$

式中, $Y$  没有数学意义,利用土地利用代码计算合成的 4 位编码的时空复合体数据; $n$  为参与计算的土地利用时期数目; $G_1, G_2, G_n$  为不同时期的土地利用单元。

### 2.3 地形位指数

基于 GIS 的空间分析模型,并参照喻红<sup>[33]</sup>的方法,将高程和坡度组合成一个地形位指数,便于定量分析土地利用空间格局与地形梯度的关系,揭示土地利用格局地形位梯度上的空间分布特征,其公式如下

$$T = \log \left[ \left( \frac{E}{\bar{E}} + 1 \right) \times \left( \frac{S}{\bar{S}} + 1 \right) \right] \quad (2)$$

式中, $T$  为地形位指数; $E$  及  $\bar{E}$  分别代表空间任一点的高程值和该点所在区域内的平均高程值, $m$ ;  $S$  与  $\bar{S}$  分别代表空间任一点的坡度值和该点所在区域内的平均坡度值,(°)。高程低、坡度小的地域地形位小,反之则大,其他情况则居于中间值。

### 2.4 分布指数的构建

地形条件是形成区域土地利用空间格局的自然背景因素,但基于地形条件各地类型分布特征的影响问题被简化为在地形梯度上所出现的概率问题<sup>[14]</sup>,且分布指数能够消除地形位梯度分段和土地利用面积差异的影响,其公式如下

$$P = (S_{ie} / S_i) / (S_e / S) \quad (3)$$

式中, $P$  是分布指数,是一个标准化、无量纲的指

数<sup>[14]</sup>; $S_{ie}$ 为 $e$ 地形位下第 $i$ 种图谱单元的面积,  $\text{km}^2$ ;  $S_i$ 为 $i$ 种图谱单元的总面积,  $\text{km}^2$ ;  $S_e$ 为 $e$ 种地形位的总面积,  $\text{km}^2$ ;  $S$ 为研究区域的面积,  $\text{km}^2$ ; 如果  $P > 1$ , 表示第 $i$ 种图谱在第 $e$ 级地形上的分布属于优势分布,  $P$ 值越大, 优势度越高<sup>[14]</sup>, 表示 $i$ 种图谱在 $e$ 级地形上的适宜程度和分布度程度较高。基于 ArcGIS9.2 的 Spatial Analyst 模块, 对 DEM 进行编程计算生成研究区的地形位指数, 将土地利用图谱单元与地形位指数进行叠加, 计算图谱单元在地形梯度上的分布指数, 揭示土地利用空间格局时空演变的地形梯度特征。

## 2.5 破碎度指数

破碎度是指景观被分割的破碎程度<sup>[34]</sup>, 该指数反映了人类活动对土地利用类型的干扰程度, 其计算公式为

$$F_j = (N_j - 1) / M_j \quad (4)$$

式中,  $F_j$ 为 $j$ 类斑块的破碎化指数, 个/ $\text{km}^2$ ;  $M_j$ 为 $j$ 斑块类型的平均斑块面积,  $\text{km}^2$ ;  $N_j$ 为 $j$ 斑块类型的斑块数目。

## 3 结果与分析

### 3.1 土地利用变化分析

基于 ArcGIS9.2 土地利用数量变化的总态势及其结构变化规律的分析可知(表 1 和图 1), 区域土地利用以耕地和林地为主, 两者占总面积的百分比最高, 其比例分别为 80.88%、81.88%、81.70%

和 79.46%, 其中耕地所占的面积最大, 面积比例均超过 60%, 构成土地利用格局的基质景观, 说明农业在哈尔滨市经济中仍占重要地位, 其次是居民工矿用地和草地(其中 1989 年中未利用地比草地多), 其他地类所占比例相对较少, 表明土地利用结构以农林生产为主, 符合该区域经济和社会发展的特点。1989 - 2007 年耕地和未利用地面积变化趋势相同, 呈现持续减少的趋势, 2001 - 2007 年减少的面积最大, 分别为 120.71 和 133.99  $\text{km}^2$ , 1995 - 2001 年减少面积最小, 且未利用地(滩涂地和湿地)→耕地是其主要的转变轨迹, 归因于人类社会经济活动范围不断扩大, 加大了对滩涂地、部分原生湿地的开发利用, 在获取经济利益的同时致使部分原生环境的次生化演化。居民工矿用地呈现一致增加的趋势, 18 a 面积增加了 215.22  $\text{km}^2$ , 其中 2001 - 2007 年增加的面积最大, 为 183.01  $\text{km}^2$ , 1995 - 2001 年次之。耕地是居民工矿用地和林地的主要转入来源, 源于城镇快速发展和“退耕还林”政策的推行; 草地和林地的变化趋势相同, 都呈现先较大幅度增加而略微减少的变化过程, 归因于退耕还林、还草工程的推行, 林地在 2001 年达到最大, 草地在 1995 年达到最大。水域呈现先减少而后增加的趋势, 其面积变化的原因很大程度上归因于自然因素和部分人为活动的影响(尼尔基大坝的修建), 且水域面积的变化会对生态环境及生态景观造成一定的影响<sup>[35]</sup>。

表 1 1989 - 2007 年研究区土地利用变化统计表

Table 1 Statistical table of land use changes in study region during 1989 - 2007

地类 Types	1989 年		1995 年		2001 年		2007 年	
	面积 Area/ $\text{km}^2$	比例 Proportion/%	面积 Area/ $\text{km}^2$	比例 Proportion/%	面积 Area/ $\text{km}^2$	比例 Proportion/%	面积 Area/ $\text{km}^2$	比例 Proportion/%
耕地	4591.29	65.58	4543.09	64.90	4513.78	64.48	4393.07	62.75
林地	1071.01	15.30	1188.80	16.98	1205.85	17.22	1169.47	16.71
草地	295.33	4.22	382.24	5.46	328.54	4.69	320.3	4.58
水域	177.69	2.54	106.06	1.52	157.91	2.26	274.24	3.92
居民工矿用地	539.98	7.71	549.66	7.85	572.19	8.17	755.2	10.79
未利用地	325.36	4.65	230.81	3.29	222.39	3.18	88.38	1.25

### 3.2 土地利用变化的生态过程响应

LUCC (land use and land cover) 格局的形成在一定程度反映了土地利用的生态过程。随着哈尔滨城市化进程的不断推进, 以人为主导的活动不断影响着区域土地利用格局, 进而影响着土地利用的演变进程、生态过程和变化趋势。其主要表现为(见表 2): 1) 未利用地(滩涂地和湿地)平均斑块面积一直呈“落势”, 由 3.92  $\text{km}^2$  减少到 0.09  $\text{km}^2$ , 其斑块数目从 1989 年的 83 个增加到 2007 年的 972 个, 大量的滩涂地和湿地被开发利用, 形成面积小而零散分布的地块, 破碎化程度加剧, 削弱了他们

之间的连通性, 致使部分自然植被和半自然植被破坏, 植被的生境、格局、类型、演替和种类组成受到一定程度的影响, 导致松花江沿岸湿地生态系统抗干扰能力下降, 不稳定性和脆弱性增大<sup>[36]</sup>, 区域河流生态系统的安全性的降低。2) 耕地的变化对区域土地利用格局的形成和其他地类的变化起着非常重要的作用。其斑块个数由 1989 年的 219 个增加到 2007 年的 1 531 个, 平均斑块面积由 20.96  $\text{km}^2$  减少到 2.87  $\text{km}^2$ , 破碎化程度日益严重, 缘于农民对沿水源边缘或地下水丰富区域的大块旱田的分割和改造, 生成数量多且面积更小的水

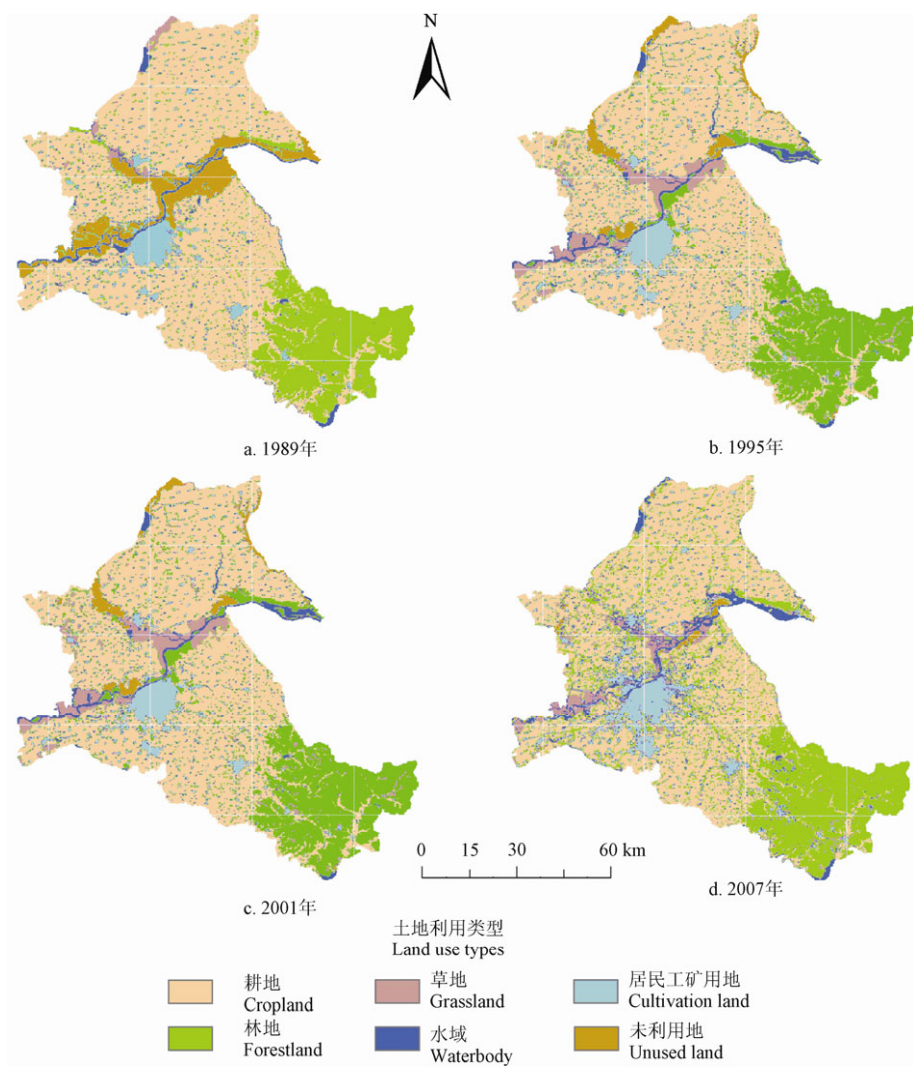


图 1 不同时期研究区土地利用数据 (1989, 1995, 2001 和 2007)  
Fig.1 Land use data of different times in study region (1989, 1995, 2001 and 2007)

表 2 研究区土地利用类型生态指标特征统计表

Table 2 Statistical table of ecological index characteristics for land use in study region during 1989 - 2007

地类 Types	1989 年			1995 年			2001 年			2007 年		
	斑块数 /个	平均斑块面 积/km <sup>2</sup>	破碎度 (个·km <sup>-2</sup> )	斑块数/ 个	平均斑块面 积/km <sup>2</sup>	破碎度 (个·km <sup>-2</sup> )	斑块数/ 个	平均斑块面 积/km <sup>2</sup>	破碎度 (个·km <sup>-2</sup> )	斑块数/ 个	平均斑块面 积/km <sup>2</sup>	破碎度 (个·km <sup>-2</sup> )
耕地 Cropland	219	20.96	0.048	257	17.68	0.057	374	12.07	0.083	1531	2.87	0.348
林地 Forestland	125	8.57	0.117	358	3.32	0.301	385	3.13	0.319	621	1.88	0.532
草地 Grassland	96	3.08	0.325	201	1.90	0.526	278	1.18	0.847	1255	0.26	3.846
水域 Water body	164	1.08	0.926	43	2.47	0.405	57	2.77	0.361	536	0.51	1.961
居民工 矿用地 Cultivated land	1951	0.28	3.571	1725	0.32	3.125	1741	0.33	3.030	4213	0.18	5.556
未利用地 Unused	83	3.92	0.255	97	2.38	0.420	117	1.90	0.526	972	0.09	11.111

田，表明区域农业结构的内部调整在一定程度上改变地下水的分布格局。目前，对于耕地而言，保护和提高耕地的质量是维持现状格局的首要问题。3) 4 个时期林地的斑块个数为 125, 358, 385 和 621 个，一直呈“涨势”，且平均斑块面积由

1989 年的 8.57 km<sup>2</sup> 减少到 2007 年的 1.88 km<sup>2</sup>，呈现“落势”，说明林地一直受人类频繁、强烈干扰，一些自然条件相对较好的林地，仅以部分景观、防护及用材林地得存，剩余林地也被切割成很小的斑块<sup>[35]</sup>，面积更小，破碎化程度更严重，

连通性更差,致使其生物多样性降低,其生态价值和水土保持功能大大降低,削弱了对区域生态环境作用的影响。4)居民工矿用地面积从1989-2007年一直呈“涨势”,呈现不平衡态势,且2001-2005年期间,全市房地产年开发量由 $9.075 \times 10^4 \text{ km}^2$ 上升到 $13.48 \times 10^4 \text{ km}^2$ ,致使哈尔滨市周边原有的大片农业用地转化为城镇建设用地<sup>[37]</sup>,在不断改变原有生物生境特征的同时<sup>[38]</sup>,形成了众多分散的居民区、工业区、商业区等人文景观,在一定程度上提高城市景观格局的异质性,更加速了自然和半自然生境破碎化,将会对局部区域的生态环境从整体上产生负面影响<sup>[36]</sup>。

### 3.3 土地利用变化信息图谱分析

将1989-2007年的土地利用类型通过重组形成时间·空间·属性·过程一体化的土地利用图谱单元,创建土地利用格局变化信息图谱<sup>[39]</sup>,进而获取土地利用变化的种类、数量和过程,从而探讨18a土地利用变化的内部机制及时空演变成因,见图2和表3。

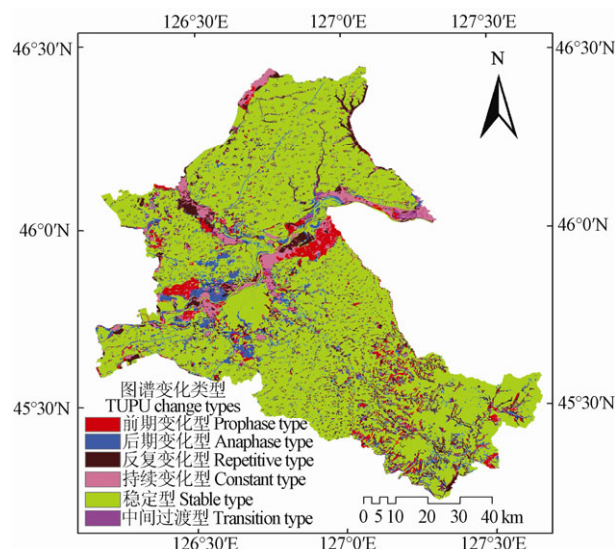


图2 研究区土地利用变化图谱分析(1989、1995、2001和2007)  
Fig.2 TUPU analysis of land use changes in 1989, 1995, 2001 and 2007 of study region

表3 研究区土地利用变化图谱分析

Table 3 TUPU analysis of land use change in study region

图谱变化类型 TUPU change types	面积 Area/km <sup>2</sup>	占总面积比例 Proportion/%	最大图谱演变类型 Largest TUPU change types	面积 Area/km <sup>2</sup>
稳定型	5050.74	72.15	耕地-耕地-耕地-耕地	3667.28
反复变化型	609.97	8.71	居民工矿用地-耕地-耕地-居民工矿用地	49.39
后期变化型	481.76	6.88	耕地-耕地-耕地-居民工矿用地	143.73
持续变化型	434.40	6.21	未利用地-林地-林地-耕地	24.39
前期变化型	360.84	5.15	未利用地-耕地-耕地-耕地	84.42
中间过渡型	62.95	0.90	耕地-耕地-居民工矿用地-居民工矿用地	21.42

从表3可知:1)稳定型图谱:该单元占总面积的72.15%,其面积最大变化模式为“耕地→耕地→耕地→耕地”,占该图谱面积的72.61%，“林地→林地→林地→林地”紧随其后,面积比例为16.56%,再次表明区域的生产结构以农林生产为主。2)反复变化型:“居民工矿用地→耕地→耕地→居民工矿用地”的面积最大,为49.39 km<sup>2</sup>,集中分布于城郊过渡地带,在1989-2001年间,随着经济的发展和部分建设项目的开展,导致该区域的人口大规模涌入城市,呈现出农业人口非农化,部分村屯经过合并后并把闲置的开垦为耕地,致使居民工矿用地→耕地,2001年后,耕地→居民工矿用地归因于经济的快速发展和城市化进程的加速,致使哈尔滨市不断向外扩张和原有老工业所在地向城外迁出,结果使城市从紧凑团块向分散组团的建设过程中,导致周边郊区耕地被侵占<sup>[40]</sup>,体现出城市化进程的进程改变了城郊过渡带产业结构和土地利用配置;“耕地→林地→林地→耕地”次之,面积为33.80 km<sup>2</sup>,耕地→林地则得利于“退耕还林”政策的推行,林地→耕地则说明毁林开荒及改造和占用林地等不合理的土地利用方式依然存在,源于经济利

益的驱使。3)后期变化型:“耕地→耕地→耕地→居民工矿用地”的面积最大,达到143.73 km<sup>2</sup>,在耕地资源不断减少的情况下,哈尔滨人口大量由1989年的279.82万人增加到2008年的475.13万人,加之农村剩余劳动力向城镇的不断迁移,推动了城市住宅、商业、工业与交通运输等产业的建设<sup>[41]</sup>,更加大了对耕地的开发利用,在工业园区和科技园区尤为突出,耕地→居民工矿用地直接体现出粮食安全问题 and 城镇扩建之间的矛盾,也表明人口增长导致土地需求增加是城镇扩张的根本原因。4)对于持续变化型和前期变化型而言,“未利用地→林地→林地→耕地”和“未利用地→耕地→耕地→耕地”的面积最大,分别为24.39和84.42 km<sup>2</sup>,这些变化模式直接体现了随着人口压力不断增大,在经济利益的驱使下,人们加大了对林地、草地和未利用地的破坏、改造和利用,致使部分区域生态环境质量有所恶化。5)中间过渡型:所占的面积比例最小,仅为0.90%,但“耕地→耕地→居民工矿用地→居民工矿用地”的面积最大,为21.42 km<sup>2</sup>,占该变化类型的34.03%,再次表明城镇化的快速扩建在很大程度上加速了耕地非农化的进程,可见如何协调城市



用地理性扩展成为当前或今后土地可持续利用的核心问题。

### 3.4 土地利用图谱的地形梯度分布特征

基于 ArcGIS 9.2 软件的 Equal Internal 分类方法,对地形位指数进行重分类,分成 10 级(见图 3),进而计算土地利用图谱的地形梯度分布,有助于分析土地利用格局随地形的分布格局的变化<sup>[11]</sup>,进而探寻土地利用图谱与地形位梯度之间的关系。

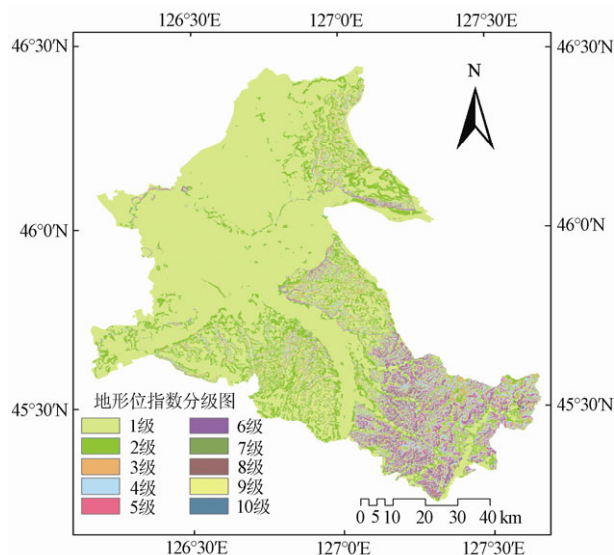


图3 研究区地形位指数分级图

Fig.3 Classification map of terrain niche index in study region

从图 4 各地形位区域土地利用图谱类型分布指数的分析可知,前期和持续变化型的变化趋势相似,地形位等级 1~2 是优势分布区,分布指数值均大于 1,在 2 级时最大,之后随着级别的增加而减小,但持续变化的分布指数在 8~10 级时又呈现一定幅度的增加。稳定型和反复变化型的分布趋势相似,分布指数在 1 级时大于 1,之后随着级别的增加而

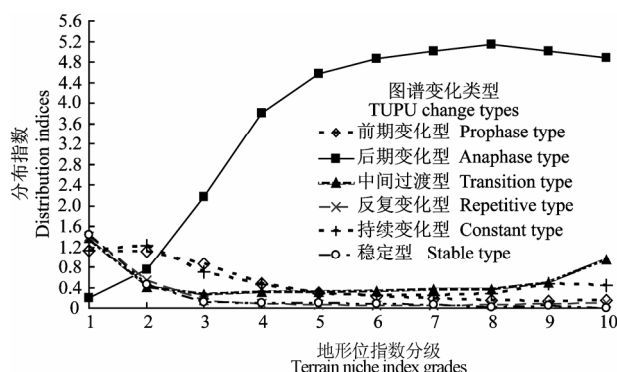


图4 地形位分级上土地利用图谱单元分布指数

Fig.4 Distribution index of land use TUPU unites in terrain niche classification

减小,但反复变化型的分布指数在 8~10 级又呈现略微增加。后期变化型的分布指数在 1~8 级时一直呈现增加的趋势,在 8 级时最大,之后呈现减小的趋势,且在 3~10 级都大于 1,在一定程度上说起其分布具有明显的区域优势。中间过渡型的分布指数在 1 级时大于 1,1~3 级呈现减少趋势,之后呈现一定的曲线变化,在 10 级接近于 1,总体上呈现递增的趋势。

在定量分析土地利用图谱类型与地形梯度之间的相互关系的基础上,进而计算最大图谱演变类型的地形位分布指数,以其探讨不同地貌部位的自然因素和人类活动因素对土地利用方式选择的影响程度,有助于深入理解区域生态现象和过程及土地利用格局的时空演变规律<sup>[11]</sup>。由表 4 分析可知: 1) 前期变化型:“耕地 居民工矿用地 居民工矿用地 居民工矿用地”在地形位等级 1~2 的分布指数较大,由于该区域属于低海拔缓坡地带,地势相对平坦,适宜人类生活和从事各种生产活动,便于耕地向其他类型调整,在加速对耕地的开发利用的过程中,更加快耕地向建设用地的转换进程,致使建设用地不断的扩张和增加,同时也表明地形条件对于城镇用地具有一定的约束性,随着地形位指数的增加,部分开发活动因土地适宜性的下降而难于开展;“耕地 林地 林地 林地”是 3~10 级的最大面积变化模式,表明退耕还林政策的实施对地形具有一定的选择性。2) 持续变化型:“林地 耕地 林地 耕地”是地形位等级 2 的面积最大变化模式,集中分布于松花江沿岸区域,由于人口增加及对经济利益的过分追求,致使部分林地开垦为耕地,森林资源受到一定的破坏,表明该区域对林地的保护力度不够;7~10 级的最大面积变化模式是“耕地 林地 耕地 林地”,随着坡度和海拔的增高,削弱了人类的活动范围,致使天保工程和退耕还林政策在这些特定的地段得以实施。3) 后期变化型:“耕地 耕地 耕地 居民工矿用地”是地形位等级 1~2 的最大面积变化模式;“林地 林地 林地 耕地”是 3~7 级的最大面积变化模式,说明该区域毁林开荒的现象比较普遍,且在调查的过程中,发现大于 25°的陡坡上仍有部分耕地存在,虽然国家在 1999 年推行退耕还林、还草工程,但由于人口数量不断的增加和对经济利益的追求,需要开垦更多的农用地来获取更多的粮食及经济利益,在一定程度上表明人类活动对区域土地利用影响日益加重,但今后仍需要加大林业监督管理,制止不合理人类活动,以实现土地资源在空间和结构上的合理配置<sup>[35]</sup>;“耕地 耕地 耕地 林地”是 8~10 级的最大面积变化模式,表明随着坡

度和海拔的升高,人为活动强度和范围受到很大的约束,致使该区域的弃耕地和撂荒地已基本转变为林地,在一定程度上降低了对土地的开发利用强度,一方面表明该地类的转变对地形具有较强的选择性,另一方面也得力于退耕还林政策的推行。4)反复变化型:“居民工矿用地 耕地 耕地 居民工矿用地”是地形位等级 1~2 的最大面积变化模式,再次表明地形条件对于耕地 居民工矿用地的转变具有很大的约束作用,“林地 耕地 耕地 林地”是 3~10 级的最大面积变化模式。5)中间过渡型:“耕地 耕地 居民工矿用地 居民工矿用地”是地形位等级 1~2 的面积最大变化模式,

表明人们在追求粮食需求的同时更加大了对住房等建设用地的需求,导致耕地在该区域受到强烈的开发利用,在城市化进程的加速下,导致耕地持续减少和城区不断向外扩展,但一些新开发区也存在着征而不用,荒废闲置的现象<sup>[42]</sup>,可见这种冒进式扩张行为已经影响到其局部区域经济持续的发展;“耕地 耕地 林地 林地”是 3~10 级的最大面积变化模式。6)稳定型:“林地 林地 林地 林地”的分布指数在地形位等级 4 时达到最大,而其他地类的分布指数在 1 级最大,说明林地在较高地势的处于主导地位,而其他地类在较低势处于优势地位。

表 4 研究区地形位梯度最大图谱变化类型及分布指数

Table 4 Distribution index and largest TUPU change types in terrain niche gradient of study region

地形位 等级	前期变化型		持续变化型		后期变化型		反复变化型		中间过渡型		稳定型	
	最大图谱变 化类型	分布指数	最大图谱 变化类型	分布指数	最大图谱 变化类型	分布指数	最大图谱 变化类型	分布指数	最大图谱 变化类型	分布指数	最大图谱 变化类型	分布指数
1	1-5-5-5	0.849	1-5-1-5	0.543	1-1-1-5	0.535	5-1-1-5	0.322	1-1-5-5	0.463	1-1-1-1	0.821
2	1-5-5-5	0.782	2-1-2-1	0.643	1-1-1-5	0.562	5-1-1-5	0.358	1-1-5-5	0.540	1-1-1-1	1.143
3	1-2-2-2	0.563	1-2-2-5	0.436	2-2-2-1	0.345	2-1-1-2	0.343	1-1-2-2	0.368	1-1-1-1	0.630
4	1-2-2-2	0.674	3-1-2-1	0.233	2-2-2-1	0.463	2-1-1-2	0.362	1-1-2-2	0.380	2-2-2-2	0.913
5	1-2-2-2	0.767	3-2-1-2	0.212	2-2-2-1	0.458	2-1-1-2	0.391	1-1-2-2	0.375	2-2-2-2	0.890
6	1-2-2-2	1.142	3-1-1-2	0.102	2-2-2-1	0.431	2-1-1-2	0.459	1-1-2-2	0.396	2-2-2-2	0.876
7	1-2-2-2	1.789	1-2-1-2	0.458	2-2-2-1	0.411	2-1-1-2	0.533	1-1-2-2	0.427	2-2-2-2	0.789
8	1-2-2-2	2.825	1-2-1-2	0.496	1-1-1-2	0.417	2-1-1-2	0.585	1-1-2-2	0.632	2-2-2-2	0.740
9	1-2-2-2	4.216	1-2-1-2	0.609	1-1-1-2	0.602	2-1-1-2	0.682	1-1-2-2	0.538	2-2-2-2	0.590
10	1-2-2-2	6.011	1-2-1-2	1.674	1-1-1-2	0.896	2-1-1-2	0.684	1-1-2-2	1.026	2-2-2-2	0.273

注:1 为耕地;2 为林地;3 为草地;4 为水域;5 为居民工矿用地;6 为未利用地。

## 4 结 论

1)区域的土地利用以耕地和林地为主,表明区域以农林生产为主,符合区域经济和社会发展的特点。耕地和未利用地面积持续减少,居民工矿用地持续增加,草地和林地先较大幅度增加而后略微减少,耕地是居民工矿用地和林地的主要转入来源。

2)稳定型图谱:单元面积比例最大,“耕地 耕地 耕地 耕地”是其最大面积变化模式,反复变化型的为“居民工矿用地 耕地 耕地 居民工矿用地”,后期变化型的为“耕地 耕地 耕地 居民工矿用地”,持续型变化型的为“未利用地 林地 林地 耕地”,前期变化型的为“未利用地 耕地 耕地 耕地”,中间过渡型:的面积比例最小较小,“耕地 耕地 居民工矿用地 居民工矿用地”为其最大的面积变化模式。

3)前期和持续变化型的分布指数在地形位等级 2 最大,之后随着级别的增加而减小;稳定型和反复变化型的分布指数在 1 级最大,之后随着地形位的增加而减小;中间过渡型的分布指数在地形位

等级 1 大于 1,之后呈现一定的曲线变化,在 10 级接近于 1,总体上呈现递增的趋势。

4)“林地→林地→林地→耕地”是后期变化型是地形位等级 3~7 的最大面积变化模式,对于陡坡大于 25°的部分区域仍存在毁林开荒等现象,今后仍需要加大林业监督管理,禁止垦种,以实现土地资源的合理利用。“林地→林地→林地→林地”的分布指数在 4 级最大,而其他地类在 1 级最大。

## [参 考 文 献]

- [1] 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 Wangqi, Zhao Shidong. Analysis on driving force system of land use changes[J]. Resources Science, 2001, 23(3): 39 - 41. (in Chinese with English abstract)
- [2] 徐霞,王静爱,贾海坤,等. 内蒙中部地区不同生态区土地利用格局分布特征[J]. 地理科学进展, 2005, 24(3): 45 - 49.  
Xu Xia, Wang Jingai, Jia Haikun, et al. The spatial pattern of land use under the different eco-region in the Middle of Inner Mongolia[J]. Progress in Geography, 2005, 24(3): 45 - 49. (in Chinese with English abstract)

- [3] 杨丽, 谢高地, 甄霖, 等. 泾河流域土地利用格局的时空变化分析[J]. 资源科学, 2005, 27(4): 26 - 32.  
Yang Li, Xie Gaodi, Zhen Lin, et al. Spatio-temporal changes of land use in jinghe watershed[J]. Resources Science, 2005, 27(4): 26 - 32. (in Chinese with English abstract)
- [4] 余明, 李慧珍. 土地利用与土地覆盖变化信息的图谱研究: 以大福州为例[J]. 遥感应用, 2007 (3): 29 - 33.  
Yu Ming, Li Huizhen. Study on atlas of land use changing information based on RS and GIS Technology[J]. Remote Sensing Information, 2007(3): 29 - 33. (in Chinese with English abstract)
- [5] 叶庆华. 黄河三角洲土地利用/土地覆被变化的时空复合研究[D]. 北京: 中国科学院, 2001.  
Ye Qinghua. Study on Land Use/land Cover Space-time Change in the Yellow River Delta[D]. Beijing: Chinese Academy of Sciences, 2001. (in Chinese with English abstract)
- [6] 张树文. 东北地区土地利用/覆被时空特征分析[M]. 北京: 科学出版社, 2006.
- [7] 李秀彬. 全球环境变化研究的核心领域: 土地利用/土地覆被变化的国际研究动向[J]. 地理学报, 1996, 51(6): 553 - 558.  
Li Xiubin. A review of the international researches on land use/land cover change[J]. Acta Geographica Sinica 1996, 51(6): 553 - 558. (in Chinese with English abstract)
- [8] 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 - 86.  
Wang Xiulan, Bao Yuhai. Study on the methods of land use dynamic change research[J]. Progress in Geography, 1999, 18(1): 81 - 86. (in Chinese with English abstract)
- [9] 李军, 庄大方. 地理数据集成的理论与集成体系[J]. 地理科学进展, 2001, 20(2): 137 - 145.  
Li Jun, Zhuang Dafang. Theories and systems of geo-spatial data integration[J]. Progress in Geography, 2001, 20(2): 137 - 145. (in Chinese with English abstract)
- [10] 陈述彭. 地学信息图谱的探索研究[M]. 北京: 科学出版社, 2001.
- [11] 崔步礼, 李小雁, 姜广辉, 等. 基于 DEM 的山地丘陵区土地利用/覆被研究: 以青海湖流域为例[J]. 自然资源学报, 2011, 26(5): 871 - 880.  
Cui Buli, Li Xiaoyan, Jiang Guanghui, et al. Study on land use/cover in mountain area based on the DEM: Taking the Qinghai Lake basin as an example[J]. Journal of Natural Resources, 2011, 26(5): 871 - 880. (in Chinese with English abstract)
- [12] 冯朝阳, 于勇, 高吉喜, 等. 地形因子对京西门头沟区土地利用/覆盖变化的影响[J]. 山地学报, 2007, 25(3): 274 - 279.  
Feng Chaoyang, Yu Yong, Gao Jixi, et al. Influences of topographic factors on distribution and change of land use and cover in Mentougou District, Beijing[J]. Journal of Mountain Science, 2007, 25(3): 274 - 279. (in Chinese with English abstract)
- [13] 邱扬, 傅伯杰, 王军, 等. 黄土丘陵小流域土地利用的时空分布及其与地形因子的关系[J]. 自然资源学报, 2003, 18(1): 20 - 29.  
Qiu Yang, Fu Bojie, Wang Jun, et al. Spatio-temporal distribution of land use in relation to topography in a gully catchments of the Loess Plateau, China[J]. Journal of Natural Resources, 2003, 18(1): 20 - 29. (in Chinese with English abstract)
- [14] 梁发超, 刘黎明. 基于地形梯度的土地利用类型分布特征分析: 以湖南省浏阳市为例[J]. 资源科学, 2010, 32(11): 2138 - 2144.  
Liang Fachao, Liu Liming. Analysis on distribution characteristics of land use types based on terrain gradient: A case of Liuyang City in Hunan Province[J]. Resources Science, 2010, 32(11): 2138 - 2144. (in Chinese with English abstract)
- [15] 毛蒋兴, 李志刚, 闫小培, 等. 深圳土地利用时空变化与地形因子的关系研究[J]. 地理与地理信息科学, 2008, 24(2): 72 - 76.  
Mao Jiangxing, Li Zhigang, Yan Xiaopei, et al. Research on the spatio-temporal changes of land use in relation to topography factors in Shenzhen City[J]. Geography and Eco-information Science, 2008, 24(2): 72 - 76. (in Chinese with English abstract)
- [16] 刘瑞民, 杨志峰, 沈珍瑶, 等. 基于 DEM 的长江上游土地利用分析[J]. 地理科学进展, 2006, 25(1): 102 - 108.  
Liu Ruimin, Yang Zhifeng, Shen Zhenyao, et al. Study on land use/cover change in upper reach of Yangtze River Basin based on the DEM Data[J]. Progress in Geography, 2006, 25(1): 102 - 108. (in Chinese with English abstract)
- [17] 汤国安, 宋佳. 基于 DEM 坡度图制图中坡度分级方法的比较研究[J]. 水土保持学报, 2006, 20(2): 157 - 192.  
Tang Guoan, Song Jia. Comparison of slope classification methods in slope mapping from DEM[J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2006, 20(2): 157 - 192. (in Chinese with English abstract)
- [18] 崔卫国, 文倩, 刘艳艳, 等. 基于 DEM 的醴陵市土地利用空间格局分析[J]. 资源科学, 2008, 30(2): 228 - 234.  
Cui Weiguo, Wen Qian, Liu Yanyan, et al. Analyzing spatial pattern of land use in Liling City based on DEM[J]. Resources Science, 2008, 30(2): 228 - 234. (in Chinese with English abstract)
- [19] Jozef M, Ian S Evans. Elementary forms for land surface esegmentation: The theoretical basis of terrain analysis and geomorphological mapping[J]. Geomorphology, 2008, 95(3/4): 236 - 259.
- [20] Pignatti. Impact of tourism on the mountain landscape of central Italy[J]. Landscape and Urban Planning, 1993, 24(4): 49 - 53.
- [21] Mot tet A, Ladet S, Coque'N, et al. Agricultural land use change and its drivers in mountain landscapes: A case



- study in the Pyrenees I Agriculture[J]. *Ecosystems and Environment*, 2006, 114(2): 296 - 310.
- [22] Kong F H, Nakagoshi N. Spatial temporal gradient analysis of urban green spaces in Jinan of China[J]. *Landscape and Urban Planning*, 2006, 78(1): 147 - 164.
- [23] Wang X, Zheng D, Shen Y. Land use change and its driving forces on the Tibetan Plateau during 1990-2001[J]. *Catena*, 2008, 72(1): 56 - 66.
- [24] 李静, 张平宇, 郭蒙, 等. 哈尔滨市城市用地扩展时空特征及驱动机制分析[J]. *城市环境与城市生态*, 2010, 23(6): 1 - 4.  
Li Jing, Zhang Pingyu, Guo Meng, et al. Spatial-temporal characteristic of urban land expansion in Harbin and driving mechanism analysis[J]. *Urban Environment and Urban Ecology*, 2010, 23(6): 1 - 4. (in Chinese with English abstract)
- [25] 张国坤, 邓伟, 张洪岩, 等. 新开河流域土地利用格局变化图谱分析[J]. *地理学报*, 2010, 65(9): 1111 - 1120.  
Zhang Guokun, Deng Wei, Zhong Hongyan, et al. The TUPU analysis of land use pattern in Xinkai river basin[J]. *Acta Geographica Sinica*, 2010, 65(9): 1111 - 1120. (in Chinese with English abstract)
- [26] 沈泽昊, 张全发, 岳超, 等. 南水北调中线水源区土地利用/土地覆被的空间格局[J]. *地理学报*, 2006, 61(6): 633 - 644.  
Shen Zehao, Zhang Quanfa, Yue Chao, et al. The spatial pattern of land use/cover in the water supplying area of the middle route of the South-to-North Water Diversion (MR-SNWD) project[J]. *Acta Geographica Sinica*, 2006, 61(6): 633 - 644. (in Chinese with English abstract)
- [27] 李卓卿, 许建初. 云南省维西县塔城镇土地利用/地表覆盖及其空间格局变化研究[J]. *生态学杂志*, 2005, 24(6): 6232 - 6241.  
Li Zhuoqing, Xu Jianchu. Land use/cover change spatial pattern in Tacheng township Weixi country, Yunnan Province[J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2005, 24(6): 6232 - 6241. (in Chinese with English abstract)
- [28] 陈利顶, 杨爽, 冯晓明. 土地利用变化的地形梯度特征与空间扩展: 以北京市海淀区和延庆县为例[J]. *地理研究*, 2008, 27(6): 1225 - 1234.  
Chen Liding, Yang Shuang, Feng Xiaoming. Land use change characteristics along the terrain gradient and the spatial expanding analysis: A case study of Haidian District and Yanqing County, Beijing[J]. *Geographical Research*, 2008, 27(6): 1225 - 1234. (in Chinese with English abstract)
- [29] 龚文峰, 孔达, 范文义, 等. 松花江流域哈尔滨段土地利用时空格局演变特征分析[J]. *农业工程学报*, 2009, 25(8): 249 - 255.  
Gong Wenfeng, Kong Da, Fan Wenyi, et al. Characteristic analysis of spatio-temporal pattern evolution of land use in Harbin region of Songhuajiang watershed[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE)*, 2009, 25(8): 249 - 255. (in Chinese with English abstract)
- [30] 张荣群, 宋乃平, 王秀妮, 等. 盐渍土时空变化信息的图谱可视化分析[J]. *农业工程学报*, 2012, 28(9): 230 - 235.  
Zhang Rongqun, Song Naiping, Wang Xiuni, et al. Visual analysis of saline soil spatio-temporal variation using Geo-information TuPu[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE)*, 2012, 28(9): 230 - 235. (in Chinese with English abstract)
- [31] 龚文峰, 袁力, 范文义. 基于 CA-Markov 的哈尔滨市土地利用变化及预测[J]. *农业工程学报*, 2012, 28(14): 216 - 222.  
Gong Wenfeng, Yuan Li, Fan Wenyi. Dynamic change and prediction of land use in Harbin city based on CA-Markov model[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE)*, 2012, 28(14): 216 - 222. (in Chinese with English abstract)
- [32] 郭碧云, 王光谦, 傅旭东, 等. 黄河中游清涧河流域土地利用空间结构和分形模型[J]. *农业工程学报*, 2012, 28(14): 223 - 228.  
Guo Biyun, Wang Guangqian, Fu Xudong, et al. Land use structure and fractal model of Qingjian River area in middle Yellow River[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE)*, 2012, 28(14): 223 - 228. (in Chinese with English abstract)
- [33] 喻红, 曾辉, 江子瀛. 快速城市化地区景观组分在地形梯度上的分布特征研究[J]. *地理科学*, 2001, 21(1): 64 - 69.  
Yu Hong, Zeng Hui, Jiang Ziying. Study on distribution characteristics of landscape elements along the terrain gradient[J]. *Acta Geographica Sinica*, 2001, 21(1): 64 - 69. (in Chinese with English abstract)
- [34] John A Wiens. Landscape ecology as a foundation for sustainable conservation[J]. *Landscape Ecology*, 2009(8): 1053 - 1065.
- [35] 刘鸿雁, 赵雨森. 基于遥感数据的哈尔滨市土地利用景观格局分析[J]. *中国水土保持科学*, 2010, 8(2): 91 - 98.  
Liu Hongyan, Zhao Yusen. Analysis on landscape pattern of land use in Harbin based[J]. *Science of Soil and Water Conservation*, 2010, 8(2): 91 - 98. (in Chinese with English abstract)
- [36] 臧淑英, 黄樨, 郑树峰. 资源型城市土地利用变化的景观过程响应: 以黑龙江省大庆市为例[J]. *生态学报*, 2005, 25(7): 1699 - 1706.  
Zang Shuying, Huang Xi, Zheng Shufeng. Landscape processing response analysis on land use development trend of natural resources based city: A case study in Daqing city[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2005, 25(7): 1699 - 1706. (in Chinese with English abstract)

- [37] 张新乐, 张树文, 李颖, 等. 30 年哈尔滨城市土地利用空间扩张及其驱动力分析[J]. 资源科学, 2007, 29(5): 157 - 163.  
Zhang Xinle, Zhang Shuwen, Li Ying, et al. Spatial expansion of urban land use and its driving forces in Harbin city over the past 30 years[J]. Resources Science, 2007, 29(5): 157 - 163. (in Chinese with English abstract)
- [38] 李伟峰, 欧阳志云. 城市生态系统的格局和过程[J]. 生态环境, 2007, 16(2): 672 - 679.  
Li Weifeng, Ouyang Zhiyung. Urban landscape pattern and ecological process[J]. Ecology and Environment, 2007, 16(2): 672 - 679. (in Chinese with English abstract)
- [39] 王晨野. 生态环境信息图谱: 空间分析技术支持下的松嫩平原土地利用变化评价与优化研究[D]. 长春: 吉林大学, 2009.  
Wang Chenye. Research on Land Use Changes Evaluation and Optimization Supported by Eco-environment Information Atlas-Spatial Analysis Technique in Songnen Plain[D]. Changchun: Jilin University, 2009. (in Chinese with English abstract)
- [40] 李栓, 王红梅. 基于 GIS 的哈尔滨市土地利用动态变化分析[J]. 地理信息世界, 2008, 12(6): 73 - 77.  
Li Shuan, Wang Hongmei. Analysis of land-use dynamic change in Harbin based on GIS[J]. Geomatics World, 2008, 12(6): 73 - 77. (in Chinese with English abstract)
- [41] 黄秋燕, 胡宝清, 曾令锋. 红水河梯级电站喀斯特库区土地利用与景观格局变化研究[J]. 资源科学, 2009, 31(10): 1805 - 1814.  
Huang Qiuyan, Hu Baoqing, Zeng Lingfeng. Land use/cover and landscape pattern changes over the Karst reservoir area of the Red River, China[J]. Resources Science, 2009, 31(10): 1805 - 1814. (in Chinese with English abstract)
- [42] 李雨航. 哈尔滨市市区土地资源的可持续利用问题及对策分析[J]. 哈尔滨师范大学自然科学学报, 2009, 25(2): 109 - 112.  
Li Yuhang. Sustainable use and countermeasure analysis of the land resource in Harbin[J]. Natural Science Journal of Harbin Normal University, 2009, 25(2): 109 - 112. (in Chinese with English abstract)

## Analysis on land use pattern changes in Harbin based on terrain gradient

Gong Wenfeng<sup>1</sup>, Yuan Li<sup>2</sup>, Fan Wenyi<sup>3</sup>

(1. College of Hydraulic and Electrical Engineering, Heilongjiang University, Harbin 150086, China;

2. College of Information and Computer Engineering, Northeast Forestry University, Harbin 150040, China;

3. College of Forestry, Northeast Forestry University, Harbin 150040, China)

**Abstract:** Rapid land use pattern change has taken place in Songhua River basin of old industry base in Northeast Region of China over the past decades in Harbin Province. To explore evolution process of land use pattern on terrain gradient, data interpreted with RS and GIS technology from remote sensing images (Landsat TM/ETM+) were collected in 1989, 1995, 2001 and 2007, respectively. Based on the geo-information image analysis theory, the rules of land use spatial pattern changes and structural characteristics were analyzed, reasons and mechanisms of land use change were disclosed. Afterwards, terrain gradient-based spatial differentiation and spatial-temporal evolution process of land usage were studied further based on DEM (digital elevation model). The results showed during the past 18 years, cropland and forestland were the dominant land use types, areas of cropland and unused land were decreased constantly, the average area of cropland patch were decreased from 20.96 km<sup>2</sup> to 3.92 km<sup>2</sup>, while the average area of unused land patch was decreased from 2.87 km<sup>2</sup> to 0.09 km<sup>2</sup>, which showed that the fragmentation degree of both cropland and unused land aggravated seriously, and at the same time, the estuarine and coastal wetlands were the main transformation trace to cropland for unused land. Areas of cultivated land were increased constantly with an unbalanced station. Compared to the increased land areas of cultivated land, cropland acted as the main source for transforming to the other land use types, the fragmentation of forestland was increased from 0.117 to 0.532 piece /km<sup>2</sup>, which showed that the fragmentation degree became more and more serious. When the terrain niche grade was 2, the distribution index of the Pre-change Model and the Continuous Change Model reached their top values. However the Stable Model and the Repetitive Change Model became the largest when the terrain niche grade changed to 1. Afterwards, distribution index of these models was decreased with the increase of the terrain niche grade. Distribution of the Intermediate Transition Model matched with the certain curve. This study provides a scientific basis for planning and using land properly in the process of urbanization.

**Key words:** land use, topography, grading, land use pattern, terrain niche index, TUPU

龚文峰，等. 基于地形梯度的哈尔滨市土地利用格局变化分析(图1、2、3)

Gong Wenfeng, et al. Analysis on land use pattern changes in Harbin based on terrain gradient(Figure 1, 2, 3)

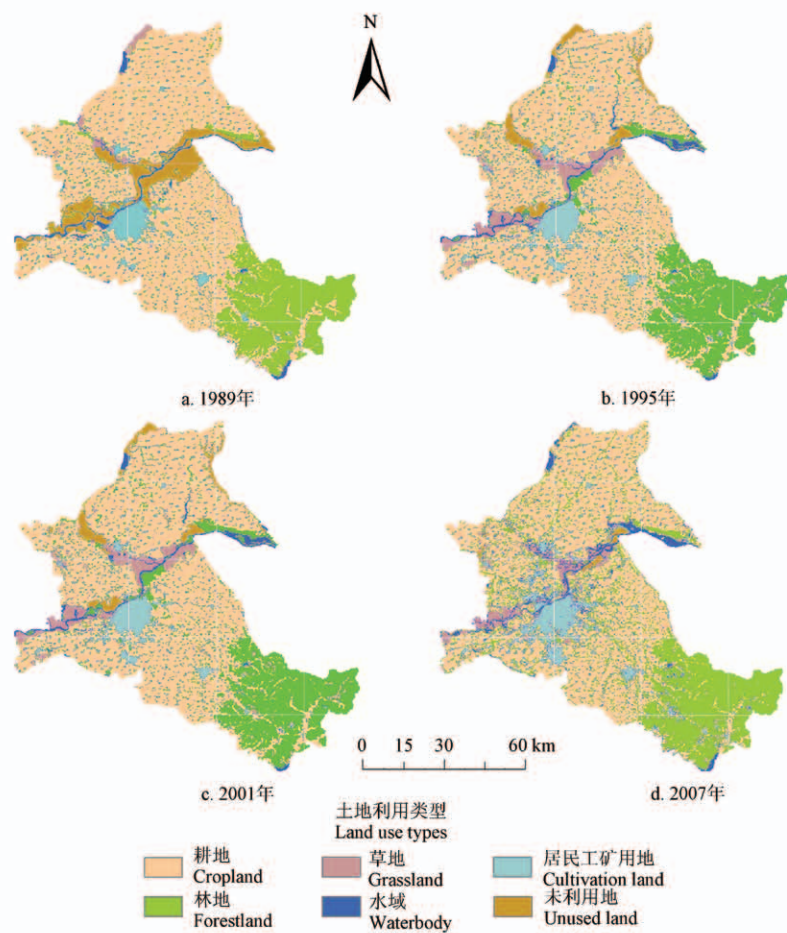


图1 不同时期研究区土地利用数据（1989，1995，2001和2007）

Fig.1 Land use data of different times in study region (1989, 1995, 2001 and 2007)

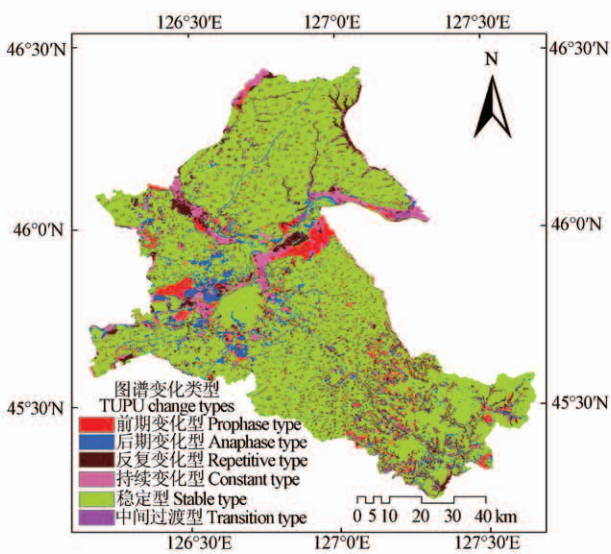


图2 研究区土地利用变化图谱分析  
(1989、1995、2001和2007)

Fig.2 TUPU analysis of land use changes in1989,  
1995, 2001 and 2007 of study region

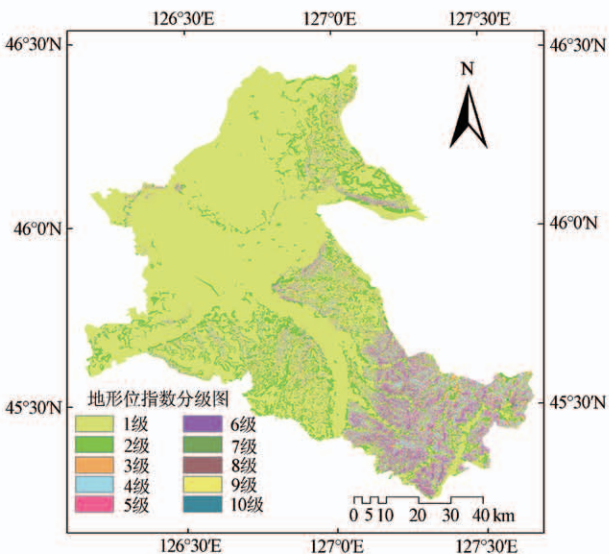


图3 研究区地形位指数分级图

Fig.3 Classification map of terrain niche index in study region