

地理科学  
*Scientia Geographica Sinica*  
ISSN 1000-0690, CN 22-1124/P

## 《地理科学》网络首发论文

题目: 黑龙江省耕地时空变化及驱动因素分析  
作者: 李丹, 周嘉, 战大庆  
收稿日期: 2020-07-25  
网络首发日期: 2021-07-28  
引用格式: 李丹, 周嘉, 战大庆. 黑龙江省耕地时空变化及驱动因素分析[J/OL]. 地理科学. <https://kns.cnki.net/kcms/detail/22.1124.P.20210728.0834.002.html>



**网络首发:** 在编辑部工作流程中, 稿件从录用到出版要经历录用定稿、排版定稿、整期汇编定稿等阶段。录用定稿指内容已经确定, 且通过同行评议、主编终审同意刊用的稿件。排版定稿指录用定稿按照期刊特定版式(包括网络呈现版式)排版后的稿件, 可暂不确定出版年、卷、期和页码。整期汇编定稿指出版年、卷、期、页码均已确定的印刷或数字出版的整期汇编稿件。录用定稿网络首发稿件内容必须符合《出版管理条例》和《期刊出版管理规定》的有关规定; 学术研究成果具有创新性、科学性和先进性, 符合编辑部对刊文的录用要求, 不存在学术不端行为及其他侵权行为; 稿件内容应基本符合国家有关书刊编辑、出版的技术标准, 正确使用和统一规范语言文字、符号、数字、外文字母、法定计量单位及地图标注等。为确保录用定稿网络首发的严肃性, 录用定稿一经发布, 不得修改论文题目、作者、机构名称和学术内容, 只可基于编辑规范进行少量文字的修改。

**出版确认:** 纸质期刊编辑部通过与《中国学术期刊(光盘版)》电子杂志社有限公司签约, 在《中国学术期刊(网络版)》出版传播平台上创办与纸质期刊内容一致的网络版, 以单篇或整期出版形式, 在印刷出版之前刊发论文的录用定稿、排版定稿、整期汇编定稿。因为《中国学术期刊(网络版)》是国家新闻出版广电总局批准的网络连续型出版物(ISSN 2096-4188, CN 11-6037/Z), 所以签约期刊的网络版上网络首发论文视为正式出版。

# 黑龙江省耕地时空变化及驱动因素分析

李丹<sup>1</sup>, 周嘉<sup>2,3</sup>, 战大庆<sup>2,3</sup>

(1. 黑龙江工程学院测绘工程学院, 黑龙江 哈尔滨 150050; 2. 哈尔滨师范大学/寒区地理环境监测与空间信息服务黑龙江省重点实验室, 黑龙江 哈尔滨 150025; 3. 黑龙江省寒区生态安全协同创新中心, 黑龙江 哈尔滨 150025)

**摘要:** 以黑龙江省 1980 年、1990 年、2000 年、2010 年、2015 年 5 期土地利用数据为基础, 综合利用 GIS 手段和地理探测器模型, 确定 1980—2015 年 4 个时期黑龙江省耕地变化的时空分异特征及主要驱动因素。研究结果表明, 1980—2015 年黑龙江省耕地数量总体增加, 增加的耕地主要来源于林地、草地和未利用地。各时期耕地数量变化具有明显差异, 以 1990—2000 年耕地数量变化最多。各时期耕地变化空间差异特征明显。1980—2015 年黑龙江省耕地利用动态度呈现出先升高后降低的趋势, 耕地利用动态度活跃区域集中在三江平原和松嫩平原地区。各时期驱动因子的解释能力不同, 人口数量、政策因素、GDP 以及城镇化水平是解释能力较强的驱动力因子。驱动因子对耕地时空变化的影响是通过各个因子之间的交互作用实现的, 表现为双因子增强和非线性增强。

**关键词:** 耕地; 土地利用; 时空变化; 驱动力; 黑龙江省

**中图分类号:** F301.24      **文献标识码:** A      **文章编号:** 1000-0690(2021)X-1266-10

土地利用/土地覆被变化(LUCC)是人类活动作用于生态环境所呈现出的最显著形式, 也是全球环境变化研究的热点领域<sup>[1,2]</sup>。工业化和城镇化的发展, 在全球范围内引起了耕地面积的大幅改变<sup>[3-5]</sup>。国外学者针对耕地动态变化及其驱动机制做了大量研究, 研究内容集中在通过建立回归模型分析耕地利用变化对经济发展的影响, 相对缺乏经济发展对耕地利用变化的影响, 研究系统不尽完善<sup>[6,7]</sup>。国内学者关于耕地动态变化的研究发现, 20 世纪 80—90 年代全国的耕地总量呈增加趋势, 但东部沿海高质量耕地逐渐减少, 黑龙江与内蒙古地区水田转变成旱地的比例增加明显且耕地面积不断扩大<sup>[8]</sup>; 在对驱动因素的研究中, 发现人口增长、经济发展、城镇化进程、科技水平提高是主要的驱动因素<sup>[9-11]</sup>。黑龙江省是中国耕地面积最大的省份, 是中国重要的商品粮基地和水稻、大豆、

玉米主产区, 黑土资源丰富, 农业基础雄厚<sup>[12]</sup>。2018 年黑龙江省粮食生产实现“十五连丰”、总产量达到  $7.5 \times 10^{10}$  kg, 总产量、商品量、调出量均居全国第一位<sup>[13,14]</sup>。2018 年 9 月, 习近平总书记在黑龙江省考察时强调, 中国人的饭碗任何时候都要牢牢端在自己的手上, 作为农业大省, 黑龙江省肩负着保障国家粮食安全的重任。

耕地资源数量的多少和质量的优劣对粮食生产具有显著的影响, 同时耕地资源变化的单因子及复合因子对粮食产量均产生较大的影响, 粮食生产能力的提高应根据驱动因子的不同特征制定具体措施<sup>[15]</sup>。从时空变化的角度对耕地变化进行系统总结并确定其驱动因素, 对于制定农业发展政策具有重要参考价值。国内学者分别对江西省<sup>[16]</sup>、湖北省县域<sup>[17]</sup>、上海郊区<sup>[18]</sup>、长株潭地区<sup>[19]</sup>以及蒙古国<sup>[20]</sup>等地区的耕地利用时空变化进行了研

**收稿日期:** 2020-07-25; **修订日期:** 2020-12-02

**基金项目:** 国家自然科学基金项目(41701198)、黑龙江省省属本科高校基本科研业务费科研项目(2018CX05)资助。  
[Foundation: National Natural Science Foundation of China (41701198), Research Projects of Basic Scientific Research Business Expenses of Provincial Undergraduate Universities in Heilongjiang Province (2018CX05).]

**作者简介:** 李丹(1982-), 女, 黑龙江省绥化人, 副教授, 博士, 主要研究方向为农业遥感与土地利用。E-mail: lidan0220@126.com

**通讯作者:** 周嘉。E-mail: Harbin\_zhoujia@163.com

网络出版时间:              网络出版地址:

究,然而针对重要粮食主产区的省域尺度研究较少,针对黑龙江省的研究更多的是关注耕地集约利用<sup>[21,22]</sup>、耕地利用综合效益等方面<sup>[23]</sup>,而根据长时间序列数据,针对全省范围的耕地时空变化及影响因素鲜有研究,本研究以黑龙江省 1980—2015 年土地利用数据为基础,综合利用 GIS 手段和数学模型,系统梳理黑龙江省近 35 a 不同时间段的耕地时空变化特征,并确定其驱动因素,为黑龙江省耕地保护及农业政策的制定提供科学依据。研究成果对于保护黑土区耕地资源、保障国家粮食安全具有参考价值。

## 1 研究方法 with 数据来源

### 1.1 研究区概况

黑龙江省位于中国东北部,东部和北部以乌苏里江、黑龙江为界河与俄罗斯为邻,西接内蒙古自治区,南连吉林省,地理位置位于 43°25′~53°33′N, 121°11′~135°05′E,跨 10 个纬度,14 个经度,南北长约 1 120 km,东西宽约 930 km,总面积 47.3 万 km<sup>2</sup>(含加格达奇区和松岭区),是中国位置最北、最东,纬度最高的省份。黑龙江省西部属松嫩平原,东北部为三江平原,平原占全省总面积的 37.0%,北部、东南部为山地,平均海拔 50~200 m。气候为温带大陆性季风气候。黑龙江省辖哈尔滨市、齐齐哈尔市、牡丹江市、佳木斯市、大庆市、黑河市、绥化市、伊春市、鹤岗市、鸡西市、双鸭山市和七台河市 12 个地级市,以及 1 个大兴安岭地区。黑龙江省是中国耕地面积最大的省份,位于世界四大黑土区之一的中国东北黑土区,农业集约化程度高,是中国重要的粮食产区。2016 年总人口为 3 799.2 万人,国民生产总值总量为 15 386.1 亿元<sup>[24,25]</sup>。本文研究区以实际地理位置为基础,不包括加格达奇区和松岭区。

### 1.2 数据来源与处理

本文以研究区 1980 年、1990 年、2000 年、2010 年、2015 年 5 期土地利用数据库为基础,提取用地类型信息。土地利用数据库来源于中国科学院资源环境科学数据中心(<http://www.resdc.cn>)的 1 km 栅格数据集,该数据集基于美国陆地卫星 Landsat TM 遥感影像,利用中国资源一号卫星(CBERS—1)、环境 1 号卫星(HJ—1)的 CDD 多光谱数据作为补充,采用土地资源信息全数字人机交互遥感快速提取方法,建立的全国土地利

用变化数据集。并且通过大量野外调查数据进行随机精度验证,土地利用分类综合精度达 91.2% 以上。其中土地资源信息全数字人机交互遥感快速提取方法,是一种基于遥感/地理信息系统(RS/GIS)在个人与专家经验主导下的遥感影像人工解译方法,其具有可视化分析、方便快捷、所见即所得等特点<sup>[26,27]</sup>。

驱动力因子数据主要来源于黑龙江省统计局(<http://tjj.hlj.gov.cn/>)(GDP、人口数量等)、地理空间数据云(DEM,通过 DEM 数据获取坡度、坡向)等。政策因素根据黑龙江省农业地域规律<sup>[28]</sup>,将黑龙江省农业分为 4 个大区:大小兴安岭林区,三江平原农牧区,张广才岭老爷岭林农区,松嫩平原农牧区,依据各区种植结构及相应的农业政策分别赋值 1、2、3、4。

### 1.3 研究方法

#### 1.3.1 耕地利用动态度

耕地利用动态度能够反映一个地区耕地转入转出的活跃程度<sup>[29]</sup>,计算公式如下:

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

式中,  $U_a$ 、 $U_b$  分别表示研究初期和末期耕地的面积;  $T$  为研究时段;  $K$  为  $T$  时段内耕地动态变化度。

#### 1.3.2 地理探测器模型

本研究主要利用分异因子探测器以及交互作用探测器,定量分析黑龙江省耕地利用时空变化的驱动因子以及因子之间的相互影响<sup>[30]</sup>,地理探测器(Geographical Detector)是一种能够探测地理要素空间分异性及其驱动因子的统计学方法,被广泛应用于生态环境变化以及社会经济发展等方面的研究中<sup>[31~33]</sup>。具体模型如下:

$$q = 1 - \frac{\sum_{h=1}^L N_h \sigma_h^2}{N \sigma^2} = 1 - \frac{SSW}{SST} \quad (2)$$

$$SSW = \sum_{h=1}^L N_h \sigma_h^2, \quad SST = N \sigma^2 \quad (3)$$

式中,  $SSW$  是层内方差和,  $SST$  是全区总方差。  $L$  是变量  $Y$  或因子  $X$  的分类;  $N_h$  为层  $h$  单元数,  $N$  为全区的单元数;  $\sigma_h^2$  为层  $h$  的  $Y$  值方差,  $\sigma^2$  为全区的  $Y$  值方差。  $q$  的范围是  $[0, 1]$ ,  $q$  的数值越大说明耕地变化  $Y$  的空间分异性就越明显。如果分类是由因子  $X$  造成的,则  $q$  值越大表示因子  $X$  对耕地变

化属性  $Y$  的解释力就越强,反之则越弱。

2 结果与分析

2.1 黑龙江省耕地时空变化

2.1.1 耕地数量结构变化

利用 ArcGIS 分别计算出黑龙江省 1980—2015 年 4 个时期的土地利用转移矩阵,提取出各时期耕地转入转出面积,得到研究区耕地数量结构变化表(表 1)。由表 1 可知,1980—2015 年黑龙江省耕地数量总体增加,增加的耕地主要来源于林地、草地和未利用地。各时期耕地数量变化具有明显差异,1990—2000 年耕地增加面积为 20 929.05 km<sup>2</sup>,增加量比其他 3 个时期的总和还多,其中以林地转入耕地数量最多,其次为草地。第二个耕地面积增加数量较多的时期为 1980—1990 年,耕地转入 10 529.07 km<sup>2</sup>,主要来源是未利用地。2000—2010 年,2010—2015 年耕地增加数量相近且数量不大。耕地转出数量总体不大,4 个时期差距不明显。

2.1.2 耕地空间分布变化

为进一步明确黑龙江省 1980—2015 年耕地变化的空间位置,将各时期土地利用图进行 intersect 空间叠加分析,分析结果表明,1980—1990 年,耕地变化主要发生在研究区东部,以东部地区的未利用地向耕地的转化最为明显,其次为东南部

的林地向耕地的转化,以及西部的草地向耕地的转化。1990—2000 年,耕地空间变化地域分布特征明显,形成了以西部草地向耕地转化,中部林地向耕地转化,东部未利用土地向耕地转化的空间分布格局。2000—2010 年耕地变化空间格局呈分散状,耕地变化在各区均有发生,没有明显的集中区域。2010—2015 年,耕地变化空间分布仍为分散型,分散程度低于 2000—2010 年,并且在东部有一个较小的相对集中的林地和未利用地向耕地的转化区域。

2.1.3 耕地利用动态度

为了进一步确定耕地在各时期动态变化的活跃程度,引入耕地利用动态度模型,计算各时期耕地利用动态度指数,并利用 ArcGIS 自然断点法将其分为三级,一级最高,三级最低,从一级到三级耕地变化活跃程度逐渐降低(图 1)。

由图 1 可知,1980—1990 年黑龙经省耕地变化活跃的区域主要分布在东部和西部,东部的佳木斯市、双鸭山市、鸡西市与西部的齐齐哈尔市耕地利用动态度为一级,耕地变化主要以转入为主。中部的黑河市、哈尔滨市、鹤岗市、牡丹江市耕地利用动态度为二级,耕地变化也主要表现为转入。大兴安岭地区,大庆市、绥化市、伊春市、七台河市,动态度为三级。1990—2000 年黑龙江省耕地利用动态度级别较高的依然为东部和西部地区,但是

表 1 1980—2015 年黑龙江省耕地数量结构变化表

Table 1 Change of cultivated land quantity structure in Heilongjiang Province in 1980-2015

| 转换方向 | 类型      | 1980—1990年         |        | 1990—2000年         |        | 2000—2010年         |        | 2010—2015年         |        |
|------|---------|--------------------|--------|--------------------|--------|--------------------|--------|--------------------|--------|
|      |         | 面积/km <sup>2</sup> | 变化比例/% | 面积/km <sup>2</sup> | 变化比例/% | 面积/km <sup>2</sup> | 变化比例/% | 面积/km <sup>2</sup> | 变化比例/% |
| 耕地转入 | 林地→耕地   | 2 576.47           | 21.5   | 9 134.62           | 38.6   | 1 342.28           | 22.3   | 902.78             | 27.5   |
|      | 草地→耕地   | 2 993.90           | 25     | 6 924.82           | 29.3   | 725.85             | 12.1   | 387.17             | 11.8   |
|      | 建设用地→耕地 | 135.01             | 1.1    | 246.71             | 1.0    | 176.34             | 2.9    | 105.01             | 3.2    |
|      | 水域→耕地   | 73.87              | 0.6    | 475.62             | 2.0    | 177.82             | 3.0    | 157.17             | 4.8    |
|      | 未利用地→耕地 | 4 749.82           | 39.6   | 4 147.28           | 17.5   | 1 351.50           | 22.5   | 1 074.83           | 32.7   |
|      | 合计      | 10 529.07          | 87.8   | 20 929.05          | 88.4   | 3 773.79           | 62.8   | 2 626.96           | 80     |
| 耕地转出 | 耕地→林地   | 376.20             | 3.3    | 1 035.55           | 4.4    | 940.17             | 15.6   | 101.62             | 3.1    |
|      | 耕地→草地   | 265.75             | 2.2    | 421.72             | 1.8    | 577.62             | 9.6    | 70.84              | 2.2    |
|      | 耕地→建设用地 | 290.84             | 2.4    | 351.52             | 1.5    | 261.03             | 4.4    | 309.93             | 9.3    |
|      | 耕地→水域   | 70.84              | 0.5    | 257.72             | 1.2    | 144.52             | 2.4    | 41.85              | 1.3    |
|      | 耕地→未利用地 | 454.12             | 3.8    | 639.23             | 2.7    | 314.59             | 5.2    | 135.10             | 4.1    |
|      | 总计      | 1 457.75           | 12.2   | 2 705.74           | 11.6   | 2 237.93           | 37.2   | 659.34             | 20     |



图 1 黑龙江省 1980—2015 年耕地利用动态变化

城市有所变化,一级动态度增加了哈尔滨市和黑河市。大庆市,绥化市,双鸭山市和牡丹江市耕地利用动态度为二级,其中绥化市和大庆市由 1980—1990 年的三级动态度提升为二级。大兴安岭、伊春市、鹤岗市和七台河市耕地利用动态度为三级,鹤岗市由 1980—1990 年的二级动态度降为三级。黑龙经省 2000—2010 年耕地利用动态度一级的城市包括齐齐哈尔市、佳木斯市和哈尔滨市,一级城市个数明显小于上一时期。黑河市、绥化市、大

市、大庆市、哈尔滨市、鹤岗市、双鸭山市、七台河市、牡丹江市、鸡西市,其中哈尔滨市由 2000—2010 年一级动态度降为三级,降幅明显;大庆市、黑河市、牡丹江市和双鸭山市由 2000—2010 年二级动态度降为三级。齐齐哈尔市、绥化市耕地利用动态度为二级,其中齐齐哈尔市由 2000—2010 年一级动态度降为二级。佳木斯市的耕地利用动态度为一级,仍然是黑龙江省耕地利用动态度最高的市。

根据上述分析可以看出,4 个时期耕地利用动态度呈现出先升高后降低的趋势,1990—2000 年是耕地利用动态变化最为活跃的时期,2010—2015 年为最不活跃时期。佳木斯市在 4 个时期均为一级动态度,大兴安岭和伊春市在 4 个时期均为三级动态度。耕地利用动态度活跃区域集中在三江平原和松嫩平原区。

## 2.2 黑龙江省耕地时空变化驱动因素

### 2.2.1 驱动因子探测

耕地的时空分异演变受到自然、经济、社会等因素的影响,本文选取人口数量( $X_1$ )、农业机械化程度( $X_2$ )、城镇化水平( $X_3$ )、高程( $X_4$ )、坡度( $X_5$ )、政策因素( $X_6$ )、GDP( $X_7$ )7 个驱动因子,来探测这些驱动因子对黑龙江省耕地时空变化的影响机制。使用 ArcGIS10.2 软件对影响黑龙江省耕地时空变化的驱动因子进行类别划分,同时运用地理探测器模型,通过因子探测器获得 1980—1990 年、1990—2000 年、2000—2010 年、2010—2015 年耕地变化驱动因子的影响强度即地理探测器的  $q$  值, $q$  值越大则对耕地变化的解释能力越强(表 2)。

由表 2 可知,1980—1990 年耕地变化驱动因子按从大到小排序为: $q(X_1)$ 、 $q(X_2)$ 、 $q(X_3)$ 、 $q(X_7)$ 、 $q(X_4)$ 、 $q(X_6)$ 、 $q(X_5)$ 。其中人口数量起到主导作用,GDP、农业机械化程度、城镇化水平都具有较强的解释力。1990—2000 年耕地变化驱动因子按从大到小排序为: $q(X_1)$ 、 $q(X_2)$ 、 $q(X_3)$ 、 $q(X_7)$ 、 $q(X_6)$ 、

$q(X_5)$ 、 $q(X_4)$ 。其中起主导作用的仍然是人口数量,解释能力较强的因子依然与上一个时期相同,但这一时期驱动因子的解释力较上一时期都有明显提高,耕地变化也是最剧烈的。2000—2010 年耕地变化驱动因子按从大到小排序为: $q(X_6)$ 、 $q(X_7)$ 、 $q(X_3)$ 、 $q(X_2)$ 、 $q(X_1)$ 、 $q(X_4)$ 、 $q(X_5)$ 。起主导作用的因子由前 2 个时期的人口数量变为政策因素,其他有较强解释力的因子为城镇化水平与 GDP。人口数量在这一时期趋于稳定,不再对耕地有较大的影响,21 世纪以来,国家相继出台了“退耕还林”与“退耕还草”相关政策,对耕地的演变造成了影响。2010—2015 年耕地变化驱动因子按从大到小排序为: $q(X_3)$ 、 $q(X_7)$ 、 $q(X_2)$ 、 $q(X_6)$ 、 $q(X_1)$ 、 $q(X_4)$ 、 $q(X_5)$ 。该时期主导因子为城镇化水平,另外具有较高解释力的是 GDP 与农业机械化程度,其他几个因子在这一时期的解释力都较低,耕地的演变趋于平稳。

### 2.2.2 驱动因子交互作用探测

黑龙江省耕地时空变化情况是由多种驱动因子共同作用的结果,运用地理探测器的交互作用探测器来获取 1980—1990、1990—2000、2000—2010 和 2010—2015 年各个驱动因子对耕地时空变化的交互作用(表 3,图 2)。

1980—1990 年耕地时空变化的交互作用大多数为双因子增强与非线性增强(图 2a,表 3),没有单独起作用的因子,其中具有较强的解释力的因子是农业机械化程度-人口数量、城镇化水平-人口数量、城镇化水平-农业机械化程度等,都为非线性增强。城镇化水平-GDP、人口数量-GDP、农业机械化程度-GDP、高程-人口数量、高程-农业机械化程度为双因子增强。GDP、人口数量和农业机械化程度可以增强各个驱动因子的对耕地时空变化的解释。

1990—2000 年各个因子对耕地时空变化的交互作用大都为双因子增强(图 2b,表 3),非线性增强较少,解释力强的有人口数量-GDP、农业机械

表 2 1980—2015 年驱动因子作用强度  $q$  的变化趋势

Table 2 The change trend of the driving factor action intensity  $q$  from 1980 to 2015

| 年份        | $X_1$  | $X_2$  | $X_3$  | $X_4$  | $X_5$  | $X_6$  | $X_7$  |
|-----------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 1980—1990 | 0.1836 | 0.1768 | 0.1545 | 0.1037 | 0.0862 | 0.0939 | 0.1471 |
| 1990—2000 | 0.3035 | 0.2840 | 0.2732 | 0.1827 | 0.2056 | 0.2669 | 0.2697 |
| 2000—2010 | 0.1054 | 0.2137 | 0.2375 | 0.0629 | 0.0438 | 0.2659 | 0.2546 |
| 2010—2015 | 0.0086 | 0.1352 | 0.1736 | 0.0061 | 0.0047 | 0.0132 | 0.1529 |

注: $X_1$ 为人口数量; $X_2$ 为农业机械化程度; $X_3$ 为城镇化水平; $X_4$ 为高程; $X_5$ 为坡度; $X_6$ 为政策因素; $X_7$ 为GDP。

表3 1980—2015年驱动因子交互探测结果

Table 3 Driving factor interaction detection results from 1980 to 2015

| 驱动因子          | 1980—1990年 | 1990—2000年 | 2000—2010年 | 2010—2015年 |
|---------------|------------|------------|------------|------------|
| 高程-坡度         | 双因子增强      | 双因子增强      | 非线性增强      | 非线性增强      |
| 城镇化水平-高程      | 双因子增强      | 双因子增强      | 非线性增强      | 双因子增强      |
| 高程-人口数量       | 双因子增强      | 双因子增强      | 非线性增强      | 非线性增强      |
| 坡度-农业机械化程度    | 双因子增强      | 双因子增强      | 非线性增强      | 非线性增强      |
| 坡度-人口数量       | 双因子增强      | 双因子增强      | 非线性增强      | 非线性增强      |
| 城镇化水平-坡度      | 双因子增强      | 双因子增强      | 非线性增强      | 双因子增强      |
| 高程-农业机械化程度    | 双因子增强      | 双因子增强      | 非线性增强      | 非线性增强      |
| 城镇化水平-人口数量    | 非线性增强      | 双因子增强      | 双因子增强      | 双因子增强      |
| 城镇化水平-农业机械化程度 | 非线性增强      | 双因子增强      | 双因子增强      | 双因子增强      |
| 农业机械化程度-人口数量  | 非线性增强      | 双因子增强      | 双因子增强      | 非线性增强      |
| 高程-政策因素       | 双因子增强      | 双因子增强      | 非线性增强      | 非线性增强      |
| 坡度-政策因素       | 双因子增强      | 双因子增强      | 非线性增强      | 非线性增强      |
| 城镇化水平-政策因素    | 双因子增强      | 双因子增强      | 双因子增强      | 双因子增强      |
| 人口数量-政策因素     | 双因子增强      | 双因子增强      | 双因子增强      | 非线性增强      |
| 农业机械化程度-政策因素  | 双因子增强      | 双因子增强      | 双因子增强      | 双因子增强      |
| 高程-GDP        | 非线性增强      | 非线性增强      | 非线性增强      | 非线性增强      |
| 坡度-GDP        | 非线性增强      | 非线性增强      | 非线性增强      | 非线性增强      |
| 城镇化水平-GDP     | 双因子增强      | 双因子增强      | 双因子增强      | 双因子增强      |
| 人口数量-GDP      | 双因子增强      | 双因子增强      | 非线性增强      | 双因子增强      |
| 农业机械化程度-GDP   | 双因子增强      | 双因子增强      | 双因子增强      | 双因子增强      |
| 政策因素-GDP      | 双因子增强      | 双因子增强      | 双因子增强      | 双因子增强      |

化程度-GDP、城镇化水平-人口数量、农业机械化程度-人口数量、人口数量-政策因素。其中人口数量和GDP仍为解释力较强的因子,人口数量和GDP在这一时期还是对耕地的变化有显著的影响。

2000—2010年各驱动因子对耕地时空变化的交互作用与前2个时期相同(图2c,表3),仍然还是非线性增强和双因子增强。其中有较强解释力的交互因子是人口数量-GDP、高程-政策因素、高程-GDP、坡度-政策因素、城镇化水平-高程等,都是非线性增强。政策因素-GDP、城镇化水平-GDP、农业机械化程度-政策因素等为双因子增强。政策因素和城镇化水平在这一时期可以增强各因子对耕地变化的解释。

2010—2015年各因子对耕地时空变化的交互作用仍为非线性增强和双因子增强(图2d,表3)。其中具有较强的解释力的交互因子是城镇化水平-GDP、城镇化水平-农业机械化程度、农业机械化

程度-GDP、城镇化水平-政策因素、城镇化水平-人口数量等,都为双因子增强。坡度-GDP、政策因素-GDP、农业机械化程度-人口数量、坡度-农业机械化程度、高程-农业机械化程度等为非线性增强。在这一时期GDP、农业机械化程度与城镇化水平可以增强各驱动因子的解释力,城镇化水平与GDP对耕地的变化有一定的引导作用。

### 3 结论与讨论

#### 3.1 结论

本文综合利用GIS空间分析与耕地利用动态度,确定1980—2015年4个时期黑龙江省耕地变化的时空分异特征,并利用地理探测器方法确定影响黑龙江省耕地利用时空变化的驱动因子及其相互关系,得到主要结论如下:

1) 1980—2015年,黑龙江省耕地数量总体增加,增加的耕地主要来源于林地、草地和未利用地。



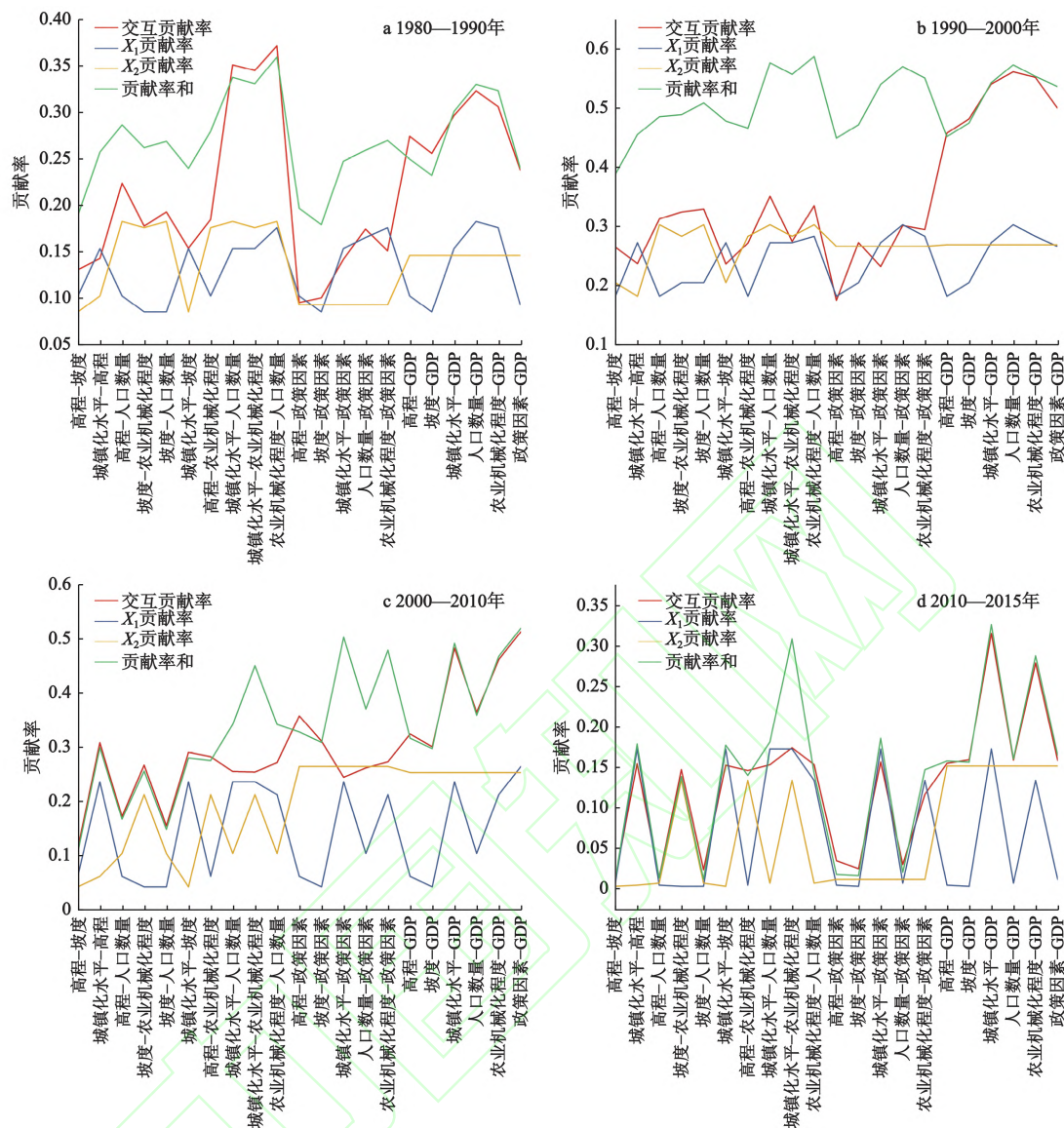


图2 黑龙江省1980—2015年因子交互贡献率

Fig.2 Interactive contribution rate of factors in Heilongjiang Province from 1980 to 2015

各时期耕地数量变化具有明显差异,以1990—2000年耕地数量变化最多。各时期耕地变化空间差异特征明显。

2) 1980—2015年,黑龙江省耕地利用动态度呈现出先升高后降低的趋势,1990—2000年是耕地利用动态变化最为活跃的时期,2010—2015年为最不活跃时期。耕地利用动态度活跃区域集中在三江平原和松嫩平原区。

3) 驱动力因子在不同时期的解释能力表现:1980—1990年与1990—2000年,驱动因子中人口数量的解释能力最强;2000—2010年,政策因素和GDP解释能力最强;2010—2015年,城镇化水

平为主要驱动因子。

4) 各时期起主要作用的驱动因子不同,没有能够单独起作用的因子,驱动因子对耕地时空变化的影响是通过各个因子之间的交互作用实现的。不同时期驱动因子对耕地时空变化的影响具有差异性。1980—1990年和1990—2000年驱动因子间的交互作用多表现为双因子增强。2000—2010年和2010—2015年驱动因子的交互作用多表现为非线性增强。

### 3.2 讨论

随着城镇化与工业化的快速发展,土地、水资源过度开发,致使人类的粮食生产能力受到了巨



大挑战。中国是世界上人口数量最多的国家,是粮食的生产大国,更是粮食的消费大国,用仅占世界7%的耕地养活了占世界总人口22%的全体中国人,粮食生产资源短缺,中国的粮食安全问题一直受到国内外学术界的关注<sup>[34-36]</sup>。粮食自给能力是目前中国粮食安全政策关注的重中之重,而耕地资源是保障粮食安全的基础<sup>[37,38]</sup>。黑龙江省作为中国重要的粮食主产区,在确保国家粮食安全中起着至关重要的作用。从黑龙江省耕地利用的时空变化来看,具有明显的时空特征。1990—2000年为耕地变化数量最多且最为活跃的时期,这一时期的主要驱动力因子为人口数量,说明在2000年以前,人口数量的增加对耕地的需求较高,粮食生产需要满足人口增长的刚性需求。2000年以后,政策因素起到主要作用,依据《中共中央关于进一步加强土地管理切实保护耕地的通知》等耕地保护政策<sup>[39]</sup>,作为农业大省,黑龙江省高度重视耕地保护工作,为耕地合理利用提供了重要政策支持。在空间特征上,黑龙江省耕地变化主要以西部的松嫩平原和东部的三江平原比较活跃,并且随时间变化,具有分散的发展趋势。根据这一特点,可以采取差异化的政策措施,进行科学合理调整。同时,进一步探讨耕地利用与粮食产量的关系,依据耕地时空分异特征调整粮食种植结构,达到确保粮食安全的目的。

本研究分析黑龙江省1980—2015年耕地变化的时空特征以及驱动因素,受数据获取等原因的限制,所选取的驱动因子数量较少,只选择了代表性较强的驱动力因子。同时,按照10 a一个时间段为标准划分时段,时间尺度的确定需要进一步精准,通过确定准确时间空间尺度研究耕地利用变化将是下一步研究的方向。

## 参考文献(References):

- [1] Sun L, Wei J, Duan D H et al. Impact of land-use and land-cover change on urban air quality in representative cities of China[J]. *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*, 2016, 142: 43-54.
- [2] 赵锐锋, 王福红, 张丽华, 等. 黑河中游地区耕地景观演变及社会经济驱动力分析[J]. *地理科学*, 2017, 37(6): 920-928. [Zhao Ruifeng, Wang Fuhong, Zhang Lihua et al. Dynamic of farmland landscape and its socioeconomic driving forces in the middle reaches of the Heihe River. *Scientia Geographica Sinica*, 2017, 37(6): 920-928.]
- [3] Shi W, Tao F, Liu J et al. Has climate change driven spatio-temporal changes of cropland in Northern China since the 1970s[J]. *Climatic Change*, 2014, 124(1/2): 163-177.
- [4] Conway T M. The impact of class resolution in land use change models[J]. *Computers Environment & Urban Systems*, 2009, 33(4): 269-277.
- [5] Lambin E F, Meyfroidt P, Rudel T K et al. Land use transition: Socio-ecological feedback versus socio-economic change[J]. *Land Use Policy*, 2010, 27(2): 108-118.
- [6] Deng X, Huang J, Rozelle S et al. Impact of urbanization on cultivated land changes in China[J]. *Land Use Policy*, 2015, 45: 1-7.
- [7] Ligtenberg A, Wachowicz M, Bregt A K et al. A design and application of a multi-agent system for simulation of multi-actor spatial planning[J]. *Journal of Environmental Management*, 2004, 72(1-2): 43-55.
- [8] 张国平, 刘纪远, 张增祥. 近10年来中国耕地资源的时空变化分析[J]. *地理学报*, 2003, 58(3): 323-332. [Zhang Guoping, Liu Jiyuan, Zhang Zengxiang. Spatial-temporal changes of cropland in China for the past 10 years based on remote sensing. *Acta Geographica Sinica*, 2003, 58(3): 323-332.]
- [9] 杜新波, 周伟, 司慧娟, 等. 青海省2000-2008年间耕地变化及驱动力研究[J]. *水土保持研究*, 2013, 20(5): 180-186. [Du Xinbo, Zhou Wei, Si Huijuan et al. Driving forces of cultivated land changes in Qinghai Province during 2000-2008. *Research of Soil and Water Conservation*, 2013, 20(5): 180-186.]
- [10] 岁秀珍, 阮仁宗, 颜梅春, 等. 南京市耕地时空变化及驱动力分析[J]. *地理空间信息*, 2014, 12(3): 89-92. [Sui Xiuzhen, Ru-an Renzong, Yan Meichun et al. Analysis of cropland spatio-temporal change and driving force in Nanjing. *Geospatial Information*, 2014, 12(3): 89-92.]
- [11] 刘彦彤, 张延军, 赵玲. 长春市耕地动态变化及其驱动力分析[J]. *地理科学*, 2011, 31(7): 868-873. [Liu Yantong, Zhang Yanjun, Zhao Ling. Dynamic changes of cultivated land in Changchun City and their driving forces. *Scientia Geographica Sinica*, 2011, 31(7): 868-873.]
- [12] 魏丹, 匡恩俊, 迟凤琴. 东北黑土资源现状与保护策略[J]. *黑龙江农业科学*, 2016(1): 158-161. [Wei Dan, Kuang Enjun, Chi Fengqin et al. Status and protection strategy of black soil resources in Northeast of China. *Heilongjiang Agricultural Sciences*, 2016(1): 158-161.]
- [13] 张庆伟. 深化农业供给侧改革[N]. *黑龙江日报*, 2019-3-13. [Zhang Qingwei. Deepening agricultural supply side reform. *Heilongjiang Daily*. 2019-3-13.]
- [14] 颜波, 胡文国, 周竹君, 等. 关于黑龙江省在保障国家粮食安全中的定位和粮食产业发展方向的调查[J]. *中国粮食经济*, 2019(4): 41-48. [Yan Bo, Hu Wenguo, Zhou Zhujun et al. A survey on the position of Heilongjiang Province in ensuring national food security and the development direction of grain industry. *China's Grain Economy*, 2019(4): 41-48.]
- [15] 徐珊. 县域耕地资源变化及其对粮食生产能力影响研究[D]. 哈尔滨: 东北农业大学, 2014. [Xu Shan. Study on the change

- of cultivated land resources and its impact on grain production capacity at county level. Harbin: Northeast Agricultural University, 2014.]
- [16] 王鹏. 江西省耕地利用的演变规律与驱动力研究[D]. 南昌: 江西农业大学, 2013. [Wang Peng. Study on the evolution law and driving force of cultivated land use in Jiangxi Province. Nanchang: Jiangxi Agricultural University, 2013.]
- [17] 席娟. 基于GIS的湖北省县域耕地集约利用时空差异分析[D]. 武汉: 华中师范大学, 2013. [Xi Juan. Spatial and temporal differences of cultivated land intensive use in Hubei pProvince based on GIS. Wuhan: Central China Normal University, 2013.]
- [18] 高婧. 上海郊区耕地时空变化特征及影响因素分析[D]. 上海: 华东师范大学, 2018. [Gao Jing. Spatial and temporal variation characteristics and influencing factors of cultivated land in Shanghai suburbs. Shanghai: East China Normal University, 2018.]
- [19] 陈亦男. 长株潭地区耕地集约利用时空变化分析[D]. 长沙市: 湖南师范大学, 2014. [Chen Yinan. Analysis of spatial and temporal changes of cultivated land intensive use in Chang-Zhu-Tan area. Changsha: Hunan Normal University, 2014.]
- [20] 张文静. 近20年蒙古国耕地时空变化及驱动力分析[D]. 呼和浩特: 内蒙古师范大学, 2019. [Zhang Wenjing. Analysis of temporal and spatial changes and driving forces of cultivated land in Mongolia in recent 20 years. Hohhot: Inner Mongolia Normal University, 2019.]
- [21] 杜国明, 刘彦随. 黑龙江省耕地集约利用评价及分区研究[J]. 资源科学, 2013, 35(3): 554-560. [Du Guoming, Liu Yansui. Evaluating and zoning intensive utilization of cultivated land in Heilongjiang Province. Resources Science, 2013, 35(3): 554-560.]
- [22] 倪超, 杨胜天. 黑龙江省耕地集约利用评价及障碍因素诊断[J]. 干旱区资源与环境, 2014, 28(12): 32-37. [Ni Chao, Yang Shengtian. Evaluation of cultivated land intensive use and the diagnosis of its obstacle factors in Heilongjiang Province. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2014, 28(12): 32-37.]
- [23] 宋戈, 梁海鸥, 林佳, 等. 黑龙江省垦区耕地利用综合效益评价及驱动力分析[J]. 经济地理, 2010, 35(5): 835-840. [Song Ge, Liang Haiou, Lin Jia et al. Evaluation on the comprehensive benefit of cultivated land use and analysis on the driving forces in Heilongjiang Reclamation Area. Economic Geography, 2010, 35(5): 835-840.]
- [24] 李丹, 曲建光, 王帅. 黑龙江省耕地非农化的空间格局与重心曲线分析[J]. 测绘科学, 2021, 46(2): 171-177. [Li Dan, Qu Jianguang, Wang Shuai. Analysis of spatial pattern and gravity center curve of cultivated land conversion in Heilongjiang Province. Science of Surveying and Mapping, 2021, 46(2): 171-177.]
- [25] 刘浩然, 吴克宁, 宋文, 等. 黑龙江粮食产能及其影响因素研究[J]. 中国农业资源与区划, 2019, 40(07): 164-170. [Liu Haoran, Wu kening, Song Wen et al. Study on the grain productivity and its influenceing factors in Heilongjiang. Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning, 2019, 40(07): 164-170.]
- [26] 鲁学军, 尚伟涛, 周和颐. 基于视觉思维的人机交互遥感解译模式研究[J]. 遥感信息, 2013, 28(60): 6-12. [Lu Xuejun, Shang Weitao, Zhou Heyi. Resarch on human-machine interactive remote sensing interpreting mode based on visual thinking. Remote Sensing Information, 2013, 28(60): 6-12.]
- [27] Ji yuan Liu, Mingliang Liu, Hanqin Tian et al. Spatial and temporal patterns of China's cropland during 1990-2000: An analysis based on landsat TM data[J]. Remote Sensing of Environment, 2005, 98(4): 442-456.
- [28] 黑龙江省农业区划办公室. 黑龙江省综合农业区划[M]. 牡丹江: 黑龙江朝鲜民族出版社, 1985. [Agricultural Division of office of Heilongjiang Province. Comprehensive agricultural regionalization in Heilongjiang Province. Mudanjiang: Heilongjiang Korean Nationality Press, 1985.]
- [29] 王越, 宋戈, 王盼盼. 松嫩高平原土地利用类型变化特征及时空格局研究[J]. 干旱区资源与环境, 2017, 31(4): 61-66. [Wang Yue, Song Ge, Wang Panpan. The characteristics and spatiotemporal patterns of land use types change in Songnen high plain. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2017, 31(4): 61-66.]
- [30] 王劲峰, 徐成东. 地理探测器: 原理与展望[J]. 地理学报, 2017, 72(1): 116-134. [Wang Jinfeng, Xu Chengdong. Geodetector: Principle and prospective. Acta Geographica Sinica, 2017, 72(1): 116-134.]
- [31] 李凡, 强文丽, 刘晓洁, 等. 中国县域肉类生产的时空演变及影响因素[J]. 自然资源学报, 2021, 36(5): 1224-1237. [Li Fan, Qiang Wenli, Liu Xiaojie et al. Spatio-temporal evolution of meat production in China's counties and its influencing factors. Journal of Natural Resources, 2021, 36(5): 1224-1237.]
- [32] 钟韵, 赵蓓蕾, 李寒. 广州市制造业与生产性服务业协同集聚与空间相似性[J]. 地理科学, 2021, 41(3): 437-445. [Zhong Yun, Zhao Beilei, Li Han. Co-agglomeration and spatial similarity: Based on the analysis of manufac-turing and producer services in Guangzhou, China. Scientia Geographica Sinica, 2021, 41(3): 437-445.]
- [33] 郭付友, 佟连军, 仇方道, 等. 黄河流域生态经济走廊绿色发展时空分异特征与影响因素识别[J]. 地理学报, 2021, 76(03): 726-739. [Guo Fuyou, Tong Lianjun, Qiu Fangdao et al. Spatio-temporal differentiation characteristics and influencing factors of green development in the eco-economic corridor of the Yellow River Basin. Acta Geographica Sinica, 2021, 76(03): 726-739.]
- [34] Gale H F, Hu D H. Food safety pressures push integration in China's agricultural sector[J]. American Journal of Agricultural Economics, 2012, 94(2): 483-488.
- [35] Jin S S, Zhou J H. Adoption of food safety and quality standards by China's agricultural cooperatives[J]. Food Control, 2011, 22(2): 204-208.

- [36] 罗翔, 曾菊新, 朱媛媛, 等. 谁来养活中国: 耕地压力在粮食安全中的作用及解释[J]. 地理研究, 2016, 35(12): 2216-2226. [Luo Xiang, Zeng Juxin, Zhu Yuanyuan et al. Who will feed China: The role and explanation of China's farmland pressure in food security. Geographical Research, 2016, 35(12): 2216-2226.]
- [37] 张利国, 陈苏. 中国人均粮食占有量时空演变及驱动因素[J]. 经济地理, 2015, 35(3): 171-177. [Zhang Ligu, Chen Su. Empirical analysis on spatio-temporal evolution and driving forces of per capita grain possession in China. Economic Geography, 2015, 35(3): 171-177.]
- [38] 蒋敏, 李秀彬, 辛良杰, 等. 南方水稻复种指数变化对国家粮食产能的影响及其政策启示[J]. 地理学报, 2019, 79(1): 32-43. [Jiang Min, Li Xiubin, Xin Liangjie et al. The impact of paddy rice multiple cropping index changes in southern China on national grain production capacity and its policy implications. Acta Geographica Sinica, 2019, 79(1): 32-43.]
- [39] 刘光盛, 王红梅, 胡月明, 等. 基于不同调查时点数据的黑龙江省土地利用变化及政策驱动分析[J]. 农业现代化研究, 2015, 36(5): 869-875. [Liu Guangsheng, Wang Hongmei, Hu Yueming et al. Land use change and its relating to policies in Heilongjiang Province based on data of different surveys point. Research of Agricultural Modernization, 2015, 36(5): 869-875.]

## Spatial and Temporal Changes and Driving Factors of Cultivated Land in Heilongjiang Province

Li Dan<sup>1</sup>, Zhou Jia<sup>2,3</sup>, Zhan Daqing<sup>2,3</sup>

(1. College of Surveying and Mapping Engineering, Heilongjiang Institute of Technology, Harbin 150050, Heilongjiang, China; 2. Heilongjiang Province Key Laboratory of Geographical Environment Monitoring and Spatial Information Service in Cold Regions, Harbin Normal University, Harbin 150025, Heilongjiang, China; 3. Heilongjiang Province Collaborative Innovation Center of Cold Region Ecological Safety, Harbin 150025, Heilongjiang, China)

**Abstract:** It is of great practical significance for protecting cultivated land and guaranteeing national food security to thoroughly explore the spatio-temporal variation characteristics and driving factors of cultivated land. Based on the land use data of Heilongjiang Province in 1980, 1990, 2000, 2010 and 2015, this article determined the spatiotemporal differentiation characteristics and main driving factors of cultivated land change in Heilongjiang Province in the four periods from 1980 to 2015 by using GIS and geographical detector model. The results show that from 1980 to 2015, the cultivated land quantity in Heilongjiang Province increased, and the increased cultivated land mainly came from forest land, grassland and unused land. The variation of cultivated land quantity in each period was obviously different, with the largest variation from 1990 to 2000. The spatial difference of cultivated land change in each period was obvious. From 1980 to 2015, the dynamic degree of cultivated land use in Heilongjiang Province showed a trend of increasing first and then decreasing, and the regions with active dynamic degree of cultivated land use were concentrated in the Sanjiang Plain and the Songnen Plain. The explanatory ability of drivers factors are different in each period. Population size, policy factors, GDP and urbanization level are the driving factors with strong explanatory ability. The influence of driving factors on the spatiotemporal change of cultivated land is realized through the interaction of various factors, which is manifested as double factor enhancement and nonlinear enhancement.

**Key words:** cultivated land; land use; temporal and spatial variation; driving force; Heilongjiang Province