

· 专题：耕地保护与粮食安全 ·

粮食作物种植视角下东北粮食主产区耕地利用的时空分化特征

宋 戈, 张文琦

(东北大学文法学院土地资源管理系, 沈阳 110169)

摘 要: 作物种植是耕地最直接的利用方式。基于粮食作物种植视角研究耕地利用问题, 是耕地利用领域研究的进一步细化, 也是粮食安全的基础。该研究以东北粮食主产区典型地域为研究区, 基于主要粮食作物大豆、玉米和水稻的不同耕地利用方式, 以乡镇为单元, 综合运用标准差椭圆、重心模型及探索性空间数据分析法, 阐明 2016—2019 年研究区粮食作物的耕地利用空间分化特征。结果表明: 1) 研究区主要粮食作物的耕地利用结构变化明显, 大豆与玉米的耕地种植面积出现明显“剪刀差”变化特征, 水稻的耕地种植面积基本保持稳定。2) 研究区主要粮食作物的耕地利用空间分布呈现“西北-东南”动态格局, 种植大豆和玉米的耕地利用重心位于研究区的中东部地区, 分别向东偏南和西偏南方向迁移。3) 研究区种植主要粮食作物的耕地利用结构具有较强的正负空间关联性, 正相关类型聚集性较强, 表现出明显的区域一致性; 负相关类型无明显聚集区域, 面积较小, 且零星分布。研究结果较好地反映了种植结构调整政策实施阶段研究区种植主要粮食作物的耕地区域空间布局分化和耕地种植结构的时空关系, 为区域种植结构调整及保障粮食结构性安全提供科学依据。

关键词: 土地利用; 遥感; 耕地; 粮食安全; 作物种植; 时空分化; 东北粮食主产区

doi: 10.11975/j.issn.1002-6819.2020.15.001

中图分类号: F301.21

文献标志码: A

文章编号: 1002-6819(2020)-15-0001-08

宋戈, 张文琦. 粮食作物种植视角下东北粮食主产区耕地利用的时空分化特征[J]. 农业工程学报, 2020, 36(15): 1-8.

doi: 10.11975/j.issn.1002-6819.2020.15.001 <http://www.tcsae.org>

Song Ge, Zhang Wenqi. Spatiotemporal differentiation characteristics of cultivated land use from perspective of growing food crops in major grain production areas in northeast China[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2020, 36(15): 1-8. (in Chinese with English abstract) doi: 10.11975/j.issn.1002-6819.2020.15.001 <http://www.tcsae.org>

0 引 言

作物种植是耕地最直接的利用方式, 作物与耕地具有唯一的对应性。区域作物耕地利用方式决定着该地域的种植结构。目前, 尽管中国耕地综合生产力和粮食总量呈现逐年提高趋势, 但粮食安全存在着结构性矛盾^[1-2], 为此, 国家相继出台政策文件, 促进种植结构调整。2016—2020 年的《全国种植业结构调整规划》和《全国农业现代化规划》中对农业种植结构做出规划, 从此中国开始实施“减玉米、增大豆”的种植结构调整政策; 2018 年国家扩大包括黑龙江省在内的试点地区轮作休耕试点规模; 2019 年中央一号文件再次指出要调整种植结构, 发挥粮食主产区优势。2016—2019 年, 黑龙江省作为全国耕地轮作休耕制度的重要试点区之一, 受作物种植结构调整政策和市场等因素影响, 粮食作物种植结构进行了大幅度调整, 由玉米主导型转变为大豆玉米轮作型, 区域内粮食作物的耕地利用数量、分布、结构发生显著变化, 不同粮食作物的耕地利用方式呈现出明显的区域空间分化^[3]。适时准确掌握此期间主要粮食作物的耕地利用时空分化特征, 可以为区域粮食作物的耕

地利用结构进一步优化提供科学依据, 也为解决中国粮食结构性矛盾提供重要参考。

国内外关于耕地利用时空特征方面的研究成果丰富, 集中在耕地利用的“数量、质量、功能、效率”等方面^[4-7], 主要是基于国家、省域、市域等不同尺度^[8-10], 运用动态度指数、区位指数、转移矩阵、景观格局指数等模型和方法^[11-13], 研究某个时间节点或长时间序列耕地与其他土地利用类型之间的数量转移变化特征、耕地变化速率和耕地资源区域分布关系、水田和旱地转换特征等^[14-15], 研究成果对本文研究具有重要的借鉴作用。值得注意的是, 目前粮食生产存在结构性矛盾, 从大豆、玉米、水稻等主要粮食作物种植的角度对耕地利用进行细化和深化研究至关重要, 而现有关于作物时空分布的研究大多利用农业统计数据分析农作物数量和结构的变化特征^[16-17], 运用高分辨率卫星影像数据实现作物精准识别, 并分析粮食作物的耕地利用时空分化特征具有一定现实意义^[18-21]。同时, 实地调研和研究均表明, 稻谷和玉米作物均有向黑龙江省等地集中化生产趋势^[22], 东北地区粮食播种面积和产量明显集中于玉米、水稻 2 种作物, 而相对低产的大豆所占比例明显下降^[23], 气候变暖、粮食生产重心北移和“北粮南运”的产销格局仍将持续^[24]。本文以东北粮食主产区典型地域为研究区, 基于不同粮食作物的耕地利用方式, 选取 2016—2019 年种植结构调整政策实施期, 采用空间数据统计方法, 分析 2016—2019 年研究区种植主要粮食作物的耕地利用数

收稿日期: 2020-04-27 修订日期: 2020-05-29

基金项目: 国家自然科学基金(41971247, 41571165); 国家社科基金重大项目(19ZDA096); 辽宁省自然资源科技创新项目(19LNZRZY28)

作者简介: 宋戈, 博士, 教授, 博士生导师。主要研究方向为土地资源利用与管理。Email: songgelaoshi@163.com

量、空间和结构的分化特征,研究成果为种植结构调整和保障粮食安全提供科学依据。

1 研究方法与数据来源

1.1 研究区概况

研究区为拜泉县、克山县和依安县,3个县相互邻接,是东北粮食主产区的产粮大县,该区域位于黑龙江省松嫩平原腹地的黑土带,土地总面积 10 460 km²,耕地占 79.42%,人均耕地面积 0.55 hm²/人。2018 年末研究区总人口约为 148 万人,辖 46 个乡镇,2 个农场。研究区主栽作物为玉米、大豆和水稻,受国际转基因大豆市场冲击,中国大豆贸易自由政策出台后,研究区大豆种植面积 2009 年至 2015 年缩减近 50%,玉米种植面积 2003 年到 2013 年增加 6 倍。2016—2019 年,受国家种植结构调整政策影响,研究区实施了耕地轮作,主要粮食作物的耕地利用方式发生了很大的变化。基于 2016—2019 年间种植结构调整的政策背景,选择东北粮食主产区典型地域拜泉县、克山县和依安县作为研究区,阐明主要粮食作物的耕地利用时空分化特征具有一定的现实意义。

1.2 数据来源

本文选取研究区 2016—2019 年 Sentinel-2 高分辨率多光谱成像卫星影像数据,分辨率为 10 m,选择每年 5—9 月份覆盖研究区的 Sentinel-2 影像作为原始数据,来源于欧洲航天局的数据共享网站(<https://scihub.copernicus.eu/>)。数据获取时间及其详细信息见表 1。土地利用数据来源于依安县、克山县和拜泉县 2017 年土地利用变更调查矢量数据库,为保证研究时段内耕地范围的一致性,在该矢量数据库中提取乡镇行政区划范围、耕地范围以及田块信息,作为本文主要粮食作物的耕地利用空间分化特征研究的基础数据。

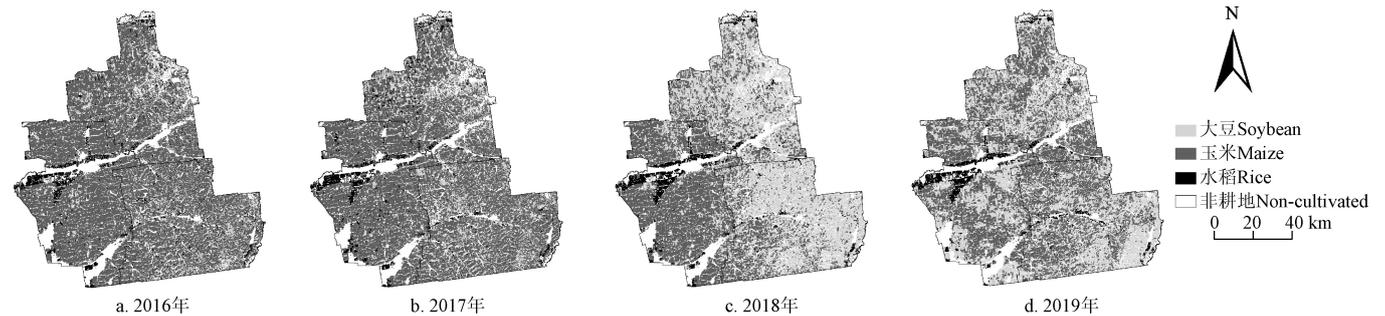


图 1 2016—2019 年主要粮食作物的耕地利用情况

Fig.1 Cultivated land use information of main grain crops in 2016—2019

采用同期土地调查资料和典型区域野外抽样调查进行精度验证,影像解译总体精度分别为 81.25%、83.62%、91.52%和 89.37%,Kappa 系数分别为 0.79、0.81、0.89 和 0.85,分类结果满足精度要求,因此,通过该方法获取的研究区主要粮食作物类型结果满足研究所需精度。

1.3.2 地理空间分布和重心迁移模型

主要粮食作物的耕地利用重心与空间分布为优化耕地利用布局、调整种植结构等提供依据,对于实现粮食生产区域平衡有着重要意义。为科学反映研究区主要粮

表 1 Sentinel-2 影像获取信息

编号 No.	获取时间 Acquisition time	波段数 Bands	影像质量 Image quality
1	2016-05-09	13	良好
2	2016-08-22	13	良好
3	2017-05-09	13	良好
4	2017-08-22	13	良好
5	2018-05-09	13	良好
6	2018-07-23	13	良好
7	2019-05-09	13	良好
8	2019-08-02	13	良好

1.3 研究方法

1.3.1 主要粮食作物的耕地利用信息提取

研究区耕地分布集中连片,以粮食作物为主要作物类型,依据研究区一年一季农作物的物候特征,水稻一般 4 月育苗,5 月到 6 月处于插秧和分蘖期,此时水田在遥感影像中光谱差异明显,故选择研究期内每年 5 月或 6 月的影像用于识别水稻,研究区 7 月中下旬到 8 月中旬大豆处于结荚鼓粒期至成熟期,植株开始泛黄,而玉米处于乳熟期,植株绿度仍然较高,因此选择 7 月或 8 月的影像以分辨玉米和大豆。

随机森林分类法(Random Forest)是一种利用多棵树对样本进行训练和预测的分类技术,比传统的最大似然法和决策树分类法更为精确,在遥感领域得到广泛应用,并成功应用于许多分类研究^[25]。本文使用随机森林分类器对每个节点中的决策树和变量的值进行分类,将树的数量(number of trees)设置为 300,将其他参数设置为默认值。基于随机森林分类法解译得到研究区 2016—2019 年主要粮食作物的空间分布信息。在 ArcGIS 10.2 软件支持下,将每年作物分类结果分区统计到耕地矢量图斑中,得到 2016—2019 年以地块为统计单元的主要粮食作物耕地利用空间分布图(图 1)。

食作物的耕地利用空间分布和重心迁移特征,利用 ArcGIS 10.2 软件的空间统计工具进行标准差椭圆和重心迁移轨迹分析,计算得到研究区 2016—2019 年主要粮食作物的分布重心、空间方向和展布范围等一系列参数的变化特征。

标准差椭圆(Standard Deviational Ellipse, SDE)是空间统计方法中能够精确揭示要素空间分布特征的经典方法之一,可以反映节点空间组织的总体轮廓和主导分布方向^[26]。本文中标准差椭圆的大小表征主要粮食作物

耕地利用的空间分布集中程度，旋转角 θ 以 x 轴为准，正北方为 0° ，顺时针旋转确定椭圆方向，扁率则代表目标要素在空间上的分布形态。主要粮食作物耕地利用的空间分布范围、方向和形态随时间变化具有不同的动态特征。标准差椭圆扁率为椭圆两轴差值与椭圆长轴之比，可以用来衡量研究区主要粮食作物的空间分布和综合极化特征，标准差椭圆扁率越大，表示数据的方向性越强；反之两轴差值越接近，表示数据方向性越不明显，若两轴完全相等则为圆，表示数据没有任何方向特征。

“重心”指物体各部分所受重力产生合力的作用点，在地理学中表示区域地理对象在空间上的平衡点^[27-28]。本文分析研究区主要粮食作物耕地利用的重心变化，能够清晰客观地反映不同要素在时间、空间上的变化轨迹，呈现种植结构局部或整体转移、集聚和分散特征。重心迁移模型是研究地理对象空间变化的重要方法之一，地理要素分布重心的迁移情况反映总体格局位移特征，重心迁移模型所得的主要粮食作物耕地利用重心迁移距离反应区域间耕地利用的相互作用，公式为：

$$M(\bar{X}, \bar{Y}) = \left[\frac{\sum_{k=1}^n w_k x_k}{\sum_{k=1}^n w_k}, \frac{\sum_{k=1}^n w_k y_k}{\sum_{k=1}^n w_k} \right] \quad (1)$$

式中 \bar{X} 、 \bar{Y} 分别表示研究区主要粮食作物耕地利用重心的经度值和纬度值； x_k 和 y_k 分别表示第 k 个次级单元中心的经度值和纬度值； n 为次级单元数； w_k 表示第 k 个次级单元的属性值。

计算不同年份之间重心的迁移距离，可采用下列公式

$$d_{\alpha-\beta} = c \cdot \sqrt{(X_\alpha - X_\beta)^2 + (Y_\alpha - Y_\beta)^2} \quad (2)$$

式中 d 表示某种属性重心移动的距离，km； α 、 β 表示 2 个不同年份； (X_α, Y_α) 和 (X_β, Y_β) 分别为第 α 年和第 β 年属性重心所在空间位置的坐标值； c 为常数。

1.3.3 探索性空间数据分析

探索性空间数据分析 (Exploratory Spatial Data Analysis, ESDA) 是以空间关联性测度为核心，描述与揭示研究对象的空间分布，分析其空间联系、集聚以及异质性的空间分析方法，实现方式包括全局空间自相关和局部空间自相关^[29]。本文通过全局空间自相关 Global Moran's I 指数探测主要粮食作物种植结构在区域整体的空间自相关性大小，计算公式为：

$$I = \frac{n \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij} (x_i - \bar{x})(x_j - \bar{x})}{\left(\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij} \right) \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (3)$$

式中 n 为研究区乡镇总数； x_i 和 x_j 分别为空间单元 i 和 j 的观测值， n 个乡镇单元的作物耕地利用比例观测值的均值为 \bar{x} ； w_{ij} 是要素 i 和要素 j 的权重，邻接取值为 1，反之为 0。同一般统计学中相关系数，Global Moran's I 取值在 -1 到 1 之间， I 大于 0 表示存在正相关，即空间集聚， I 小于 0 表示存在负相关，即空间离散，经检验不显著的

则表明不存在空间相关性，即要素空间随机分布。

全局 Moran's I 可以揭示种植结构在整体上的关联程度，但不能指出聚集或异常发生的具体空间位置，局部空间自相关则可通过空间关联局域指标 (Local Indicators of Spatial Association, LISA) 揭示主要粮食作物种植结构在区域局部的空间相关性大小^[30]。空间关联局域指标 (LISA) 可以用 Local Moran's I 统计量进行度量，公式为：

$$I = x'_i \sum_{j=1}^n w_{ij} x'_j \quad (4)$$

式中 x'_i 和 x'_j 分别为标准化空间单元 i 或 j 上的观测值， w_{ij} 是要素 i 和要素 j 的权重。

2 结果与分析

2.1 主要粮食作物的耕地利用数量变化特征

研究期内种植结构调整政策实施效果明显，大豆与玉米种植面积出现明显“剪刀差”变化特征，水稻种植面积基本保持平稳，维持在耕地总面积的 5% 左右，大豆和玉米为研究区主要粮食作物 (图 2)。数据显示结果表明，研究区 2016 年大豆种植面积 5.79 万 hm^2 ，占耕地总面积的 7.18%，玉米种植面积达到 71.20 万 hm^2 ，占据研究区耕地面积的 88.19%，农户倾向于种植收益相对较高的玉米；2017 年大豆种植面积小幅度上升，为 8.01 万 hm^2 ，占比仍然较低，为耕地总面积的 9.92%；2018 年研究区大豆种植面积大幅度提升至 36.51 万 hm^2 ，占比 44.94%，是 2017 年大豆种植面积的 4 倍，政策实施效果明显，与此同时，研究区玉米种植面积调减至 40.40 万 hm^2 ，占比不足 50%；2019 年大豆种植面积稍有回落，为 32.41 万 hm^2 ，玉米种植面积 44.40 万 hm^2 ，2 种作物仍为研究区主栽农作物。总体而言，研究期内该地区耕地作物种植结构调整特征显著，恰好与东北粮食主产区种植结构变化方向相一致。

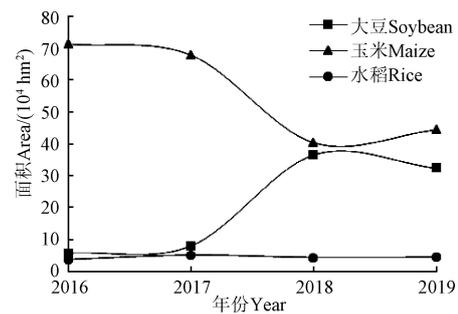


图 2 2016—2019 年研究区主要粮食作物种植面积变化
Fig.2 Area change of main grain crops in the study area from 2016 to 2019

2.2 主要粮食作物的耕地利用空间分布和重心迁移特征

2016—2019 年研究区主要粮食作物的耕地利用标准差椭圆均呈西北—东南方向，表明研究区大豆和玉米两种主要粮食作物在西北—东南方向较东北—西南方向更为密集。通过图 3a 可以看出，2016—2019 年大豆作物的耕地利用标准差椭圆位于研究区东部地区，前期空间分布较为分散，后期趋于集中再扩大。2016—2019 年，大豆作物的耕地利用重心均位于拜泉县境内，重心迁移轨

迹总长 27.17 km, 表现为向东偏南方向顺时针移动 (图 3a), 说明该阶段东部地区的种植结构转型较快, 东部地区克山县与拜泉县土质条件优越适宜大豆作物生长, 受

种植结构调整政策影响, 区域内实施大豆种植补贴, 吸引大量农户进行粮豆轮作, 使大豆作物种植比例不断提升, 牵动大豆作物的耕地利用重心移动。

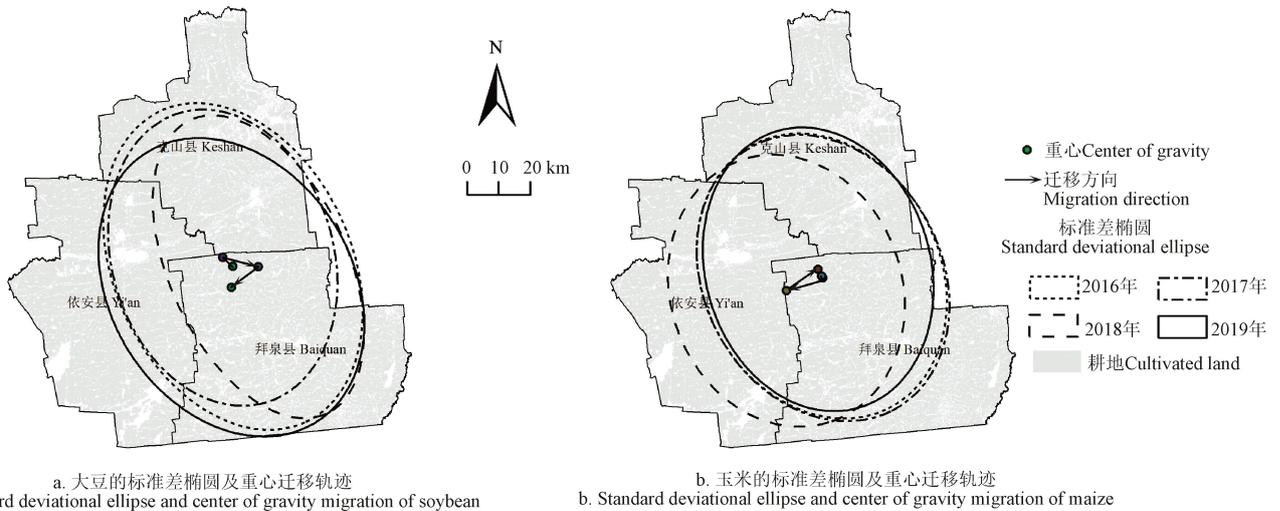


图 3 2016—2019 年研究区大豆与玉米标准差椭圆及重心迁移轨迹

Fig.3 Standard deviational ellipse and center of gravity migration of soybean and maize in the study area from 2016 to 2019

标准差椭圆的扁率为椭圆长短轴差值与椭圆长轴之比, 可以反映耕地主要作物空间布局的方向性, 通过对比标准差椭圆的扁率可以掌握耕地主要作物空间布局范围的变化, 扁率越大, 表明标准差椭圆的方向性越明显。对大豆作物的标准差椭圆参数统计可知 (表 2), 研究区大豆标准差椭圆扁率先升后降, 反映该地区大豆空间分布极化呈现阶段性特征。其中, 2018 年大豆的标准差椭圆扁率最大达到 0.45, 大豆分布呈现较强向心力, 2019 年大豆标准差椭圆扁率降为 0.24, 表明该时期研究区大豆作物种植较为分散, 虽然南北方向为大豆分布的主轴方向, 但东西方向的发展也愈加明显。

表 2 2016—2019 年研究区主要粮食作物标准差椭圆参数
Table 2 Parameters of standard deviation ellipse of main grain crops in the study area from 2016 to 2019

作物 Crop	年份 Year	X轴长度 X dist/km	Y轴长度 Y dist/km	方向角 Rotation $\theta/(^\circ)$	扁率 Oblateness	面积 Area/km ²
大豆 Soybean	2016	54.94	37.74	153.25	0.31	6 586
	2017	48.40	35.22	161.47	0.27	5 413
	2018	51.82	28.31	153.23	0.45	4 658
	2019	50.91	38.50	146.25	0.24	6 227
玉米 Maize	2016	47.62	37.66	152.62	0.21	5 696
	2017	48.04	37.80	151.27	0.21	5 768
	2018	44.54	36.75	160.07	0.17	5 201
	2019	46.49	35.68	162.14	0.23	5 268

从图 3b 和表 2 可以看出, 研究区 2016—2019 年玉米作物的耕地利用标准差椭圆形状近乎正圆, 标准差椭圆的扁率均在 0.17~0.23 之间, 表明研究区玉米种植较为广泛, 种植区域分散, 但标准差椭圆的长轴、短轴仍然在变化中。研究期内, 玉米作物布局的标准差椭圆的长轴沿顺时针方向旋转, 旋转角 θ 由 2016 年的 152.62° 上升至 2019 年的 162.14°, 尽管研究区 3 个县都作为黑龙江省作物轮作试点县, 但东部克山县与拜泉县玉米种植

面积的调减成效明显, 对标准差椭圆旋转起逆时针推动作用, 促使长轴向逆时针转动。该时间段, 玉米作物的耕地利用重心主要位于拜泉县西北部的新建乡内, 重心迁移总距离为 25.52 km, 其中 2016 年和 2017 年重心位置未发生明显变化, 2018 年较 2017 年重心位置向西南方向移动 12.64 km, 2019 年在 2018 年重心基础上向东北方向移动 12.42 km, 说明种植结构调整政策实施以来, 研究区种植结构发生变化明显, 2018 年拜泉县和克山县大豆种植面积增加, 驱使玉米作物的耕地利用重心向西南方向移动, 2019 年依安县推广大豆轮作后, 重心则向东北方向迁移。

本研究在标准差椭圆分析中, 将椭圆大小选择为 1 级标准差, 即椭圆内包含 68% 的数据分布, 标准差椭圆面积越大说明该作物空间分布范围越广。对 2016—2019 年的主要作物大豆和玉米标准差椭圆面积进行计算, 结果表明, 研究期内轮作政策实施前后大豆作物空间布局实质是收缩的, 2016 年大豆标准差椭圆面积为 6 586 km², 政策实施前期玉米调减区域主要集中在克山县与拜泉县境内, 即研究区东部, 整体上大豆布局呈收缩态势, 2018 年大豆标准差椭圆面积变为 4 658 km²。研究期内, 玉米作物的空间布局离散程度相对稳定, 4 a 间玉米标准差椭圆面积变化幅度较小。

2.3 主要粮食作物耕地利用结构的时空关联性分析

2.3.1 全局空间自相关

研究区水稻种植面积相对稳定, 本文在分析主要粮食作物耕地利用结构变化时只考虑大豆和玉米两种作物。由于研究区乡镇之间耕地总量差异明显, 直接采用大豆与玉米的种植面积进行统计会导致结果偏差, 为消除乡镇之间耕地总量不同的影响, 本文选用大豆与玉米的种植面积比值表示区域内耕地利用结构, 大豆与玉米的种植面积比值大于 1 说明该地区以大豆种植为主, 反

之则说明该地区以玉米种植为主，通过对不同乡镇大豆与玉米的比值进行空间自相关分析，来反映研究区不同乡镇主要粮食作物耕地利用结构的时空集聚特征。

对研究区 2016—2019 年种植结构指数进行全局空间自相关显著性检验（表 3），结果显示，研究期内 Global Moran's I 均为正值，说明这期间研究区耕地种植结构调整并非随机发生，表现出相似值间的空间集聚，且都为正的空间自相关。2016 年和 2017 年的 P 值均小于 0.01，反映出耕地种植结构在研究区域内具有 99% 显著水平的空间集聚特征，2018 年 P 值小于 0.005，达到极显著水平，均表现为极强的空间聚集格局，随后的 2019 年 P 值小于 0.05，具有 95% 水平的空间集聚特征。对比标准化 Z 值与显著水平临界值，均明显大于检验最高临界值 2.58，说明 4 个年份研究区各乡镇耕地利用结构呈现出显著的空间自相关性，表现出显著的聚集分布态势。

表 3 全局空间自相关显著性检验

年份 Year	全局莫兰指数 Global Moran's I	Z 得分 Z score	P 值 P value
2016	0.300	3.662	<0.01
2017	0.260	3.687	<0.01
2018	0.637	7.872	<0.005
2019	0.133	4.623	<0.05

2.3.2 局部空间自相关

从大豆与玉米的耕地利用结构的全局空间自相关分析来看，研究区主要粮食作物的耕地利用结构在空间分布上呈现出显著的空间关联性，而且随着农业政策实施效果有波动变化的趋势。为解释区域内不同乡镇之间的主要粮食作物耕地利用的空间关联性，基于在空间关联局部指数（Local Indicators of Spatial Association，简称

LISA），绘制局部空间自相关 LISA 图观察局部空间的集聚特征，检验局部地区与周边地区是否存在相似或相异集聚（图 4）。LISA 集聚图中：“高-高”（HH）表示乡镇本身和其周围乡镇的大豆与玉米的耕地利用比例值都高；“高-低”（HL）表示乡镇本身大豆与玉米的耕地利用比例值高而其周围乡镇的比例值低；“低-高”（LH）表示乡镇本身大豆与玉米的耕地利用比例值低但其周围乡镇的比例值高；“低-低”（LL）表示大豆与玉米的耕地利用比例值都低；“不显著”表示观测乡镇与周围乡镇不存在显著的局部空间集聚现象。

结果显示，2016 年大豆与玉米的耕地利用比例高值区主要分布在克山县北部地区，涵盖北兴镇、西建乡、北联镇和向华乡 4 个乡镇，该地区大豆种植比例较高且空间集聚性强，低值区则分布在克山县南部和依安县中南部的 5 个乡镇，说明低值集聚地区 2016 年主要以玉米种植为主。2017 年大豆与玉米的耕地利用比例高值区仍然集中在克山县的北联镇、西建乡、西城镇、发展乡以及克山农场，低值区则零星分散在依安县的依龙镇和上游乡，说明克山县大部分地区为传统大豆种植集聚区，依安县 2017 年仍以玉米为主要种植作物。2018 年研究区全面落实耕地种植结构调整政策，其中高值区集聚在拜泉县 7 个乡镇，低值区集聚在依安县大部分乡镇，符合研究预期，说明克山县和拜泉县率先开展耕地种植结构调整，且实施效果明显。2019 年轮作试点面积继续增加，研究区大部分地区实现粮豆轮作，种植结构空间分布较为均匀，高值区集聚在拜泉县东南部，低值区分布在拜泉县北部地区。由此可以看出，耕地种植结构的实施情况与不同地区管理制度与政策息息相关，克山县与拜泉县为大豆传统种植区域，集聚效应明显，在政策干预下，玉米连作模式发生转变，种植结构趋于平衡态势。

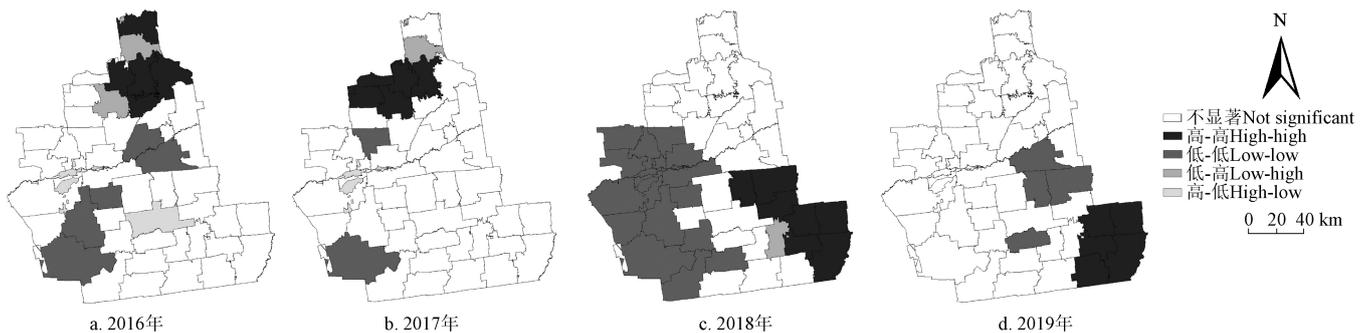


图 4 2016—2019 年研究区主要粮食作物的耕地利用结构空间关联性分布图

Fig.4 Spatial association of cultivated land use structure of main crops in the study area from 2016 to 2019

3 讨论

本文选取 2016—2019 年国家种植结构调整政策实施期间，基于粮食作物种植视角，从耕地利用的数量、空间、结构等方面研究耕地利用的时空分化特征。2016—2019 年受到种植结构调整与耕地轮作休耕等多种政策因素的综合影响，玉米、大豆、水稻等主要粮食作物的耕地利用方式与结构呈现出明显的时空分化。东北

粮食主产区是作物种植结构调整的重点地区，传统分析作物种植结构调整的方法通常是使用统计数据，这样很难刻画作物种植结构调整的时空特征。本文利用多时相 Sentinel-2 遥感数据结合随机森林算法提取研究区主要粮食作物的耕地利用信息，改变以往 Landsat 和 MODIS 系列卫星重返周期长和分辨率较低的限制性，为客观、准确的获取主要粮食作物的耕地利用信息提供了新的科学方法和手段。同时，运用标准差椭圆和重心迁移模型研

究主要粮食作物的耕地利用时空分化特征,能够清晰地从整体上反映出研究区主要粮食作物空间分布的整体轮廓和方向性特征。并以乡镇为基本单元,将研究区 48 个乡镇单元的种植结构关联性特征在空间上得到充分反映,更加科学准确的描述和分析种植结构的时空集聚性。

东北粮食主产区种植结构调整的目的主要是调减种植规模过大的玉米、恢复种植规模缩减的大豆,从而实现合理的粮豆轮作及其他粮食作物轮作机制。通过研究发现,在粮食作物种植结构调整的重点地区,玉米种植规模锐减,大豆种植规模迅速上升,但仍然大量存在种植结构调整的“冷点”现象,例如研究区的个别区域在执行和实施国家休耕轮作和种植结构调整的政策上还存在一定的偏差,2016—2019 年在一定范围内仍然存在以玉米种植为主的问题,并没有达到全区域通过种植结构调整实现粮食作物布局优化,实现整个区域乃至全国的粮食种植结构达到平衡和优化,更能切实保障中国粮食的结构性安全。

本研究结果能够反映种植结构调整政策实施阶段研究区主要粮食作物耕地利用方式数量、结构和空间分布的整体状况,为调种植结构调整和保障粮食结构性安全提供重要的参考。实际上一定区域的耕地利用时空分化是自然条件、人类的社会经济活动、宏观政策以及市场行为综合作用的累积结果,综合分析众多自然要素和人文要素对区域耕地利用分化的作用机理,找出导致部分地区种植结构调整效果不佳的原因,将是下一步研究的重点和方向。

4 结 论

本文利用 Sentinel-2 遥感数据结合随机森林分类法提取 2016—2019 年东北粮食主产区典型区域 3 种主要粮食作物(玉米、大豆和水稻)的耕地利用空间分布信息,分析主要粮食作物的耕地利用数量、结构、空间分布和空间集聚性等时空分化特征。主要结论如下:

1) 研究期内,种植结构调整政策实施效果明显,大豆与玉米种植面积出现明显“剪刀差”变化特征,大豆作物的耕地利用占比从 2016 年的 7.18%,提升至 2018 年的 44.94%。此外,研究区水稻种植面积基本保持平稳,维持在耕地总面积的 5%左右,大豆和玉米为研究区主要粮食作物。

2) 2016—2019 年研究区主要粮食作物的耕地利用标准差椭圆均呈西北—东南方向,研究期内,2018 年大豆的标准差椭圆扁率最大达到 0.45,大豆分布呈现较强向心力,玉米作物的空间布局离散程度相对稳定,四年间玉米标准差椭圆变化幅度较小,表明玉米的分布范围变化较小。受种植结构调整政策影响,大豆作物的耕地利用重心向东偏南方向顺时针迁移 27.17 km,玉米作物的耕地利用重心向西偏南逆时针迁移 25.52 km。

3) 研究区大豆与玉米作物耕地利用比例的 Global Moran's I 指数均为正,呈现出显著的空间集聚特征。通过绘制各乡镇主要粮食作物耕地利用结构空间关联性分布图,可知在研究区范围 2016 和 2017 年高值集聚区分

布在克山县北部乡镇,该时段自然因素起主导作用;2018 和 2019 年在种植结构调整政策因素干预下,大豆与玉米种植比例的高值集聚区发生在拜泉县大部分乡镇,且高值集聚区呈现缩小趋势,耕地利用结构空间分布趋于均匀合理。

[参 考 文 献]

- [1] 蒋和平, 尧珏, 蒋黎. 新时期我国粮食安全保障的发展思路与政策建议[J]. 经济学家, 2020(1): 110-118.
Jiang Heping, Yao Jue, Jiang Li. Development thoughts and policy suggestions for China's food security in the new era[J]. Economist, 2020(1): 110-118. (in Chinese with English abstract)
- [2] 刘洛, 徐新良, 刘纪远, 等. 1990—2010 年中国耕地变化对粮食生产潜力的影响[J]. 地理学报, 2014, 69(12): 1767-1778.
Liu Luo, Xu Xinliang, Liu Jiyuan, et al. Impact of farmland changes on production potential in China during recent two decades[J]. Acta Geographica Sinica, 2014, 69(12): 1767-1778. (in Chinese with English abstract)
- [3] 董非非, 刘爱民, 封志明, 等. 大豆传统产区种植结构变化及影响因素的量化评价: 以黑龙江省嫩江县为例[J]. 自然资源学报, 2017, 32(1): 40-49.
Dong Feifei, Liu Aimin, Feng Zhiming, et al. Changes of planting structure and quantitative evaluation of influencing factors in traditional[J]. Journal of Natural Resources, 2017, 32(1): 40-49. (in Chinese with English abstract)
- [4] 祝锦霞, 徐保根. 基于变化向量的耕地利用方式变化下耕地质量评价[J]. 农业工程学报, 2020, 36(2): 292-300.
Zhu Jinxia, Xu Baogen. Evaluation of cultivated land quality under changed cultivated land use pattern based on change vector analysis[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2020, 36(2): 292-300. (in Chinese with English abstract)
- [5] 宋小青, 李心怡. 区域耕地利用功能转型的理论解释与实证[J]. 地理学报, 2019, 74(5): 992-1010.
Song Xiaoqing, Li Xinyi. Theoretical explanation and case study of regional cultivated land use function transition[J]. Acta Geographica Sinica, 2019, 74(5): 992-1010. (in Chinese with English abstract)
- [6] Jiang G, Zhang R, Ma W, et al. Cultivated land productivity potential improvement in land consolidation schemes in Shenyang, China: Assessment and policy implications[J]. Land Use Policy, 2017, 68: 80-88.
- [7] Luo X, Ao X, Zhang Z, et al. Spatiotemporal variations of cultivated land use efficiency in the Yangtze River Economic Belt based on carbon emission constraints[J]. Journal of Geographical Sciences, 2020, 30(4): 535-525.
- [8] 金涛. 中国粮食作物种植结构调整及其水土资源利用效应[J]. 自然资源学报, 2019, 34(1): 14-25.
Jin Tao. The adjustment of China's grain cropping structure and its effect on the consumption of water and land resources[J]. Journal of Natural Resources, 2019, 34(1): 14-25. (in Chinese with English abstract)
- [9] 谭言飞, 濮励杰, 解雪峰, 等. 基于敏感度分析的江苏省粮食生产与耕地数量变化动态响应研究[J]. 长江流域资源与环境, 2019, 28(5): 1102-1110.
Tan Yanfei, Pu Lijie, Xie Xuefeng, et al. Dynamic response of grain production and cultivated land quantity change in Jiangsu province based on sensitivity analysis[J]. Resources

- and Environment in the Yangtze Basin, 2019, 28(5): 1102-1110. (in Chinese with English abstract)
- [10] Zhang Y, Wang Y, Fu B, et al. Changes in cultivated land patterns and driving forces in the Three Gorges Reservoir area, China, from 1992 to 2015[J]. Journal of Mountain Science, 2020, 17(1): 203-215.
- [11] 张冰琦, 郭静, 于溪, 等. 中国 2000—2010 年耕地低效转化的空间特征[J]. 自然资源学报, 2018, 33(7): 1230-1243. Zhang Binqi, Guo Jing, Yu Xi, et al. Spatial pattern of low-benefit conversion of cultivated land in China from 2000 to 2010[J]. Journal of Natural Resources, 2018, 33(7): 1230-1243. (in Chinese with English abstract)
- [12] 孔祥斌, 张蚌蚌, 温良友, 等. 基于要素—过程—功能的耕地质量理论认识及其研究趋势[J]. 中国土地科学, 2018, 32(9): 14-20. Kong Xiangbin, Zhang Bangbang, Wen Liangyou, et al. Theoretical framework and research trends of cultivated land quality based on Elements-Process-Function[J]. China Land Science, 2018, 32(9): 14-20. (in Chinese with English abstract)
- [13] 曹隽隽, 周勇, 叶青清, 等. 江汉平原耕地资源空间格局变化分析[J]. 经济地理, 2013, 33(11): 130-135. Cao Juanjuan, Zhou Yong, Ye Qingqing, et al. Analysis of spatial pattern changes of cultivated land resource in Jianghan Plain[J]. Economic Geography, 2013, 33(11): 130-135. (in Chinese with English abstract)
- [14] 张文琦, 宋戈. 三江平原典型区水田时空变化及驱动因素分析[J]. 农业工程学报, 2019, 35(6): 244-252. Zhang Wenqi, Song Ge. Spatial-temporal variations and driving factor analysis of paddy fields in typical regions of Sanjiang Plain[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2019, 35(6): 244-252. (in Chinese with English abstract)
- [15] 马瑞明, 马仁会, 韩冬梅, 等. 基于多层次指标的省域耕地质量评价体系构建[J]. 农业工程学报, 2018, 34(16): 249-257. Ma Ruiming, Ma Renhui, Han Dongmei, et al. Construction of cultivated land quality evaluation system in provincial level based on hierarchical control[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2018, 34(16): 249-257. (in Chinese with English abstract)
- [16] 刘珍珠, 杨鹏, 吴文斌, 等. 近 30 年中国农作物种植结构时空变化分析[J]. 地理学报, 2016, 71(5): 840-851. Liu Zhenhuan, Yang Peng, Wu Wenbin, et al. Spatio-temporal changes in Chinese crop patterns over the past three decades[J]. Acta Geographica Sinica, 2016, 71(5): 840-851. (in Chinese with English abstract)
- [17] 蒋凌霄, 安悦, 谭雪兰, 等. 近 30 年来长株潭地区农作物种植结构演变及优化对策[J]. 经济地理, 2020, 40(1): 173-180. Jiang Lingxiao, An Yue, Tan Xuelan, et al. Temporal and spatial evolution and optimized countermeasure of crop planting structure in the Changsha-Zhuzhou-Xiangtan area in recent 30 years[J]. Economic Geography, 2020, 40(1): 173-180. (in Chinese with English abstract)
- [18] Luo C, Liu H, Fu Q, et al. Mapping the fallowed area of paddy fields on Sanjiang Plain of Northeast China to assist water security assessments[J]. Journal of Integrative Agriculture, 2020, 19(7): 1885-1896.
- [19] 张磊, 宫兆宁, 王启为, 等. Sentinel-2 影像多特征优选的黄河三角洲湿地信息提取[J]. 遥感学报, 2018, 23(2): 313-326. Zhang Lei, Gong Zhaoning, Wang Qiwei, et al. Wetland mapping of Yellow River Delta wetlands based on multi-feature optimization of Sentinel-2 images[J]. Journal of Remote Sensing, 2018, 23(2): 313-326. (in Chinese with English abstract)
- [20] You N, Dong J. Examining earliest identifiable timing of crops using all available Sentinel 1/2 imagery and Google Earth Engine[J]. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 2020, 161: 109-123.
- [21] 董金玮, 吴文斌, 黄健熙, 等. 农业土地利用遥感信息提取的研究进展与展望[J]. 地球信息科学学报, 2020, 22(4): 772-783. Dong Jinwei, Wu Wenbin, Huang Jianxi, et al. State of the art and perspective of agricultural land use remote sensing information extraction[J]. Journal of Geo-information Science, 2020, 22(4): 772-783. (in Chinese with English abstract)
- [22] 刘航, 吴文斌, 申格, 等. 1996—2016 年松嫩平原传统大豆种植结构的时空演变[J]. 应用生态学报, 2018, 29(10): 3275-3282. Liu Hang, Wu Wenbin, Shen Ge, et al. Spatio-temporal evolution of traditional soybean planting structure in Songnen Plain, China in 1996-2016[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2018, 29(10): 3275-3282. (in Chinese with English abstract)
- [23] 刘大千, 刘世薇, 温鑫. 东北地区粮食生产结构时空演变[J]. 经济地理, 2019, 39(5): 163-170. Liu Daqian, Liu Shiwei, Wenxin. Spatial-temporal evolution of grain production structure in Northeast China[J]. Economic Geography, 2019, 39(5): 163-170. (in Chinese with English abstract)
- [24] 陈玉洁, 张平宇, 刘世薇, 等. 东北西部粮食生产时空格局变化及优化布局研究[J]. 地理科学, 2016, 36(9): 1397-1407. Chen Yujie, Zhang Pingyu, Liu Shiwei, et al. The spatio-temporal pattern change and optimum layout of grain production in the west of Northeast China[J]. Scientia Geographica Sinica, 2016, 36(9): 1397-1407. (in Chinese with English abstract)
- [25] Kussul N. Parcel-based crop classification in ukraine using landsat-8 data and sentinel-1A data[J]. IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations Remote Sensing, 2016, 36(9): 2500-2508.
- [26] 任君临, 方斌, 许实. 长江中下游地区耕地后备资源空间分布及影响因素研究[J]. 中国土地科学, 2016, 30(5): 71-79. Ren Junlin, Fang Bin, Xu Shi. Study on spatial distribution and impact factors of reserved cultivated land resources in the middle and lower reaches of Yangtze River[J]. China Land Science, 2016, 30(5): 71-79. (in Chinese with English abstract)
- [27] 聂雷, 郭忠兴, 汪险生, 等. 我国主要粮食作物生产重心演变分析[J]. 农业现代化研究, 2015, 36(3): 380-386. Nie Lei, Guo Zhongxing, Wang Xiansheng, et al. The evolution analysis of the grain production concentration in China[J]. Research of Agricultural Modernization, 2015, 36(3): 380-386. (in Chinese with English abstract)
- [28] 王海军, 张彬, 刘耀林, 等. 基于重心—GTWR 模型的京津冀城市群城镇扩展格局与驱动力多维解析[J]. 地理学报, 2018, 73(6): 1076-1092.

- Wang Haijun, Zhang Bin, Liu Yaolin, et al. Multi-dimensional analysis of urban expansion patterns and their driving forces based on the center of gravity-GTWR model: A case study of the Beijing-Tianjin-Hebei urban agglomeration[J]. *Acta Geographica Sinica*, 2018, 73(6): 1076-1092. (in Chinese with English abstract)
- [29] 陈藜藜, 宋戈, 邹朝晖, 等. 基于改进局部空间自相关分析的萝北县耕地保护分区[J]. *资源科学*, 2016, 38(10): 1871-1882. Chen Lili, Song Ge, Zou Chaohui, et al. Zoning of protected cultivated land based on improved local indicators of spatial association[J]. *Resources Science*, 2016, 38(10): 1871-1882. (in Chinese with English abstract)
- [30] 董玉红, 刘世梁, 安南南, 等. 基于景观指数和空间自相关的吉林大安市景观格局动态研究[J]. *自然资源学报*, 2015, 30(11): 1860-1871. Dong Yuhong, Liu Shiliang, An Nannan, et al. Landscape pattern in Da'an City of Jilin Province based on landscape indices and local spatial autocorrelation analysis[J]. *Journal of Natural Resources*, 2015, 30(11): 1860-1871. (in Chinese with English abstract)

Spatiotemporal differentiation characteristics of cultivated land use from perspective of growing food crops in major grain production areas in northeast China

Song Ge, Zhang Wenqi

(Department of Land Resources Management, School of Humanities and Law, Northeastern University, Shenyang 110169, China)

Abstract: Cultivated land is mostly used to raise crops, and thereby the evaluation of cultivated land use can be expected from the perspective of crop planting, in order to ensure the subsequent refined research of cultivated land use and food security. Taking Baiquan, Keshan and Yi'an county as the research areas, this study aims to extract the spatial distribution information of cultivated land use on major food crops, including maize, soybean, and rice, during the implementation period of national planting structure adjustment policy from 2016 to 2019. Sentinel-2 remote sensing data and random forest classification were used in this study. ArcGIS 10.2 software was selected to achieve the annual crop classification, ranging from dividing various cultivated land into regions, then to counting into the vector map spots of cultivated land. The spatial distribution map of cultivated land use on main grain crops from 2016 to 2019 was obtained with the plot as the statistical unit. Standard deviation ellipse and main center models were used to analyze the quantity and spatial differentiation characteristics of cultivated land use. In addition, the spatial exploratory analysis method was used to explore the spatial correlation of cultivated land use structure in 48 towns. The results show that: 1) During the research period, there was obvious change characteristics of "scissors difference" occurred in the planting area of soybean and maize, whereas, the planting area of rice basically remained stable, indicating the dominated implementation effect of maize reduction policy, while soybean and maize became the main food crops. The proportion of soybean planting in the total cultivated areas increased from 7.18% to 44.94%, whereas the maize planting decreased from 88.19% to less than 50%, and the rice planting remained at about 5% of the total cultivated areas. 2) The spatial distribution of cultivated land use demonstrated a typical dynamic pattern of "from northwest to southeast". During the study period, the driving force of soybean distribution was strong, whereas the spatial distribution of maize was relatively constant. The main center of cultivated land use on soybean and maize was in the middle east of the study area. The center of land use on soybean crop shifted 27.17 km clockwise from east to south, while the center of land use on maize crop moved 25.52 km anticlockwise from west to south, possibly due to the policy implementation of planting structure adjustment from 2016 to 2019. 3) There was strong positive or negative spatial correlation among the structure variation of cultivated land use on main grain crops in the study areas. The area type of positive correlation mostly occurred in the form of cluster, indicating strong clustering and remarkable regional consistency. In the type of negative correlation, there was no obvious aggregation area, showing small number and sporadic distribution. The findings reveal the quantity and distribution features of major grain crops, particularly on soybean, maize, and rice, indicating the comprehensive situation of cultivated land utilization in the implementation period of planting structure adjustment policy in the study area. This study can provide a promising insightful reference for the regional planting structure adjustment and urban food security in the cultivated land use.

Keywords: land use; remote sensing; cultivated land; food security; grain crops; temporal-spatial differentiation; major grain producing of northeast China