

引用格式: 姚东恒, 曹颖, 成婧文, 等. 地球关键带框架下的黑土地时空演变及其驱动因素[J]. 资源科学, 2023, 45(9): 1856–1868. [Yao D H, Cao Y, Cheng J W, et al. Spatiotemporal evolution and driving factors of black soil cultivated land within the framework of critical zones on the Earth[J]. Resources Science, 2023, 45(9): 1856–1868.] DOI: 10.18402/resci.2023.09.12

# 地球关键带框架下的黑土地时空演变及其驱动因素

姚东恒<sup>1,2</sup>, 曹颖<sup>1,2</sup>, 成婧文<sup>1,2</sup>, 雷鸣<sup>1,2</sup>, 廖宇波<sup>1,2</sup>,  
王玲<sup>3</sup>, 赵晶<sup>1,2</sup>, 孔祥斌<sup>1,2</sup>

(1. 中国农业大学土地科学与技术学院, 北京 100193; 2. 自然资源部农用地质量与监控重点实验室, 北京 100193; 3. 黑龙江省自然资源权益调查监测院, 哈尔滨 150080)

**摘要:**【目的】东北黑土地为保障中国粮食安全和生态安全做出了巨大贡献, 准确界定和把握东北黑土地概念与时空动态特征, 对黑土地资源可持续利用和区域可持续发展具有重要意义。【方法】本文基于地球关键带理论, 厘清黑土地概念, 结合区域土壤类型数据和1980、2000和2020年土地利用/覆被数据, 采用叠加分析法、土地利用时空变化分析法, 揭示近40年东北黑土地变化的时空格局演变及其驱动因素。【结果】①黑土地是土壤为黑土类的耕地, 主要分布在中国东北中温带松辽和三江-长白气候区, 海拔主要在500 m以下, 土壤类型以草甸土居多。②受气候变化、经济发展和政策制度的影响, 40年间东北黑土地面积增加了412.44万hm<sup>2</sup>, 由于政策干预, 2000年以后增量大幅降低。③空间上, 由于人口与经济重心转移, 东北黑土地整体呈现北扩南缩的空间格局, 黑土地重心持续向北部迁移, 2000年以后迁移速度减慢。④退耕还林和建设占用是东北黑土地减少的主要原因, 增加则主要源于林地、草地开垦, 受政策和制度影响, 2000年以后东北黑土地动态转化频繁。【结论】受自然和社会经济因素影响, 近40年东北黑土地面积大幅增加, 并持续向北部扩张, 但扩张范围和扩张速度大有下降趋势。本文可为黑土地资源分析提供方法借鉴, 为东北黑土地保护和持续利用提供科学依据。

**关键词:** 地球关键带; 黑土地; 黑土; 资源特征; 时空演变; 驱动因素

DOI: 10.18402/resci.2023.09.12

## 1 引言

黑土地是一种极为独特且珍贵的自然资源, 全球仅集中分布在4片区域, 其中一片就分布在中国东北地区, 所以又称东北黑土地<sup>[1]</sup>。东北黑土地是中国重要的粮食生产基地, 粮食和商品粮产量占全国1/4, 商品粮调出量占全国2/3, 是中国粮食生产的“压舱石”<sup>[2,3]</sup>。同时东北黑土地土壤有机碳含量高达41.80 t C/hm<sup>2</sup>, 位居全国首位<sup>[4]</sup>, 最大固碳量为2887.8 g m<sup>2</sup>, 固碳潜力巨大<sup>[5]</sup>, 也是中国生态平衡的“调节器”。然而, 受自然气候变化和人类社会活动的影响, 东北黑土地产生了严重的退化问题, 威胁

到了国家粮食安全和生态安全<sup>[6,7]</sup>。近年来, 东北黑土地保护越来越受到国家和学者们的关注, 相继出台了一系列政策法规并发布了黑土地相关研究报告<sup>[8,9]</sup>。但是, 目前学界对于黑土地概念仍然界定不清, 导致对黑土地现状与变化把握不准, 这些问题或多或少制约了黑土地保护工作的成效<sup>[10]</sup>。因此, 明确黑土类型, 界定黑土地概念, 探明东北黑土地资源现状与时空动态特征, 对于东北黑土地资源保护和可持续利用具有重要意义。

通过总结以往研究发现, 国内外学者针对黑土类型划分和黑土区范围划定<sup>[11–15]</sup>以及黑土区土地利

收稿日期: 2023-04-04 修订日期: 2023-07-28

基金项目: 国家自然科学基金项目(42171289); 科技部科技基础资源调查专项(2021FY100403)。

作者简介: 姚东恒, 男, 辽宁东港人, 博士研究生, 研究方向为耕地质量评价。E-mail: b20203210945@cau.edu.cn

通讯作者: 孔祥斌, 男, 河北承德人, 教授, 研究方向为土地资源评价、利用与保护。E-mail: kxb@cau.edu.cn

2023年9月

用类型变化<sup>[16,17]</sup>等方面已开展大量研究。但是有关黑土地概念界定的研究却鲜有报道,黑土地尚无明确的定义和准确的分布面积<sup>[10]</sup>,黑土地概念和分布仍然模糊不清<sup>[18]</sup>。有学者认为产生这一问题的主要原因是黑土分类体系多样,不同分类体系对黑土定义和分类不同<sup>[19]</sup>,并且学者们对黑土的看法和研究程度不尽相同<sup>[11,13]</sup>,选用的分类体系也就不同,所以出现了黑土地的概念及其分布面积模糊不清的情况。然而,这并非是黑土地概念不清的主要原因。虽然黑土分类体系多样,但其背后都是有权威的土壤分类体系做支撑,或是根据成土过程和成土因素定性描述,或是根据诊断层和诊断特性定量刻画<sup>[20]</sup>。学者们从多个角度和多个标准进行研究,虽然研究结果存在差异,但是结论大都是准确的、可靠的,只是未能形成一种统一的看法。从单一的土壤或土地利用/覆盖视角和要素研究土地资源科学问题,缺乏系统观的认知,限制了对整个资源系统要素构成与要素间相互作用的理解<sup>[21]</sup>,将土地(黑土地)与土壤(黑土)二者概念混淆,这是导致黑土地概念模糊不清最主要的原因。所以,有必要从系统观的视角认知黑土地,厘清黑土与黑土地概念关系,从而明确黑土地概念。

21世纪初,科学家们提出了一个地球表层过程的系统科学框架,即地球关键带科学<sup>[21]</sup>。地球关键带明确了地球表层资源要素组成,厘清了各组成部分在空间上的层级关系,为地球科学研究提供了一个系统观的研究思路和范式<sup>[22-24]</sup>。Zhang等<sup>[25]</sup>基于地球关键带理论,定义了SOTER的概念及其分类,即土壤(Soil)和地体(TErrain)综合体;李晓亮等<sup>[26]</sup>基于地球关键带思想,构建了陆地表层系统分类研究框架,自上而下划分相应层级,揭示了陆地表层系统空间分异格局和演变规律;刘亚男等<sup>[27]</sup>借鉴地球关键带理念,从土壤、地质、气候等维度系统地认知土地类型,分析黑土区土地类型的面积和分布特征。

综上,本文基于地球关键带理论,构建黑土地资源系统研究框架,厘清黑土与黑土地关系,尝试性界定黑土地概念。在此基础上,采用空间叠加分析法和土地利用时空变化分析法,揭示东北黑土地资源现状及其时空格局演变特征,探究东北黑土地时空变化驱动因素,以期在黑土地概念界定及资源动态分析提供科学方法,为科学保护与持续利用黑

土地提供科学依据。

## 2 研究区概况、研究框架、研究方法与数据来源

### 2.1 研究区概况

黑土区是指有黑土类型分布的行政区域,包括黑龙江、吉林、辽宁3省与内蒙古东四盟(赤峰市、通辽市、兴安盟和呼伦贝尔市)(以下简称东四盟)(图1),因其分布在中国东北,所以又命名为东北黑土区,总面积约125万km<sup>2</sup>,介于118°53'E—135°5'E, 38°43'N—53°33'N,属温带季风气候,夏季炎热多雨,冬季寒冷干燥,年降雨量集中在450~850 mm,年平均气温为-7~11℃,太阳辐射较强,年太阳辐射在410~607 kJ/cm<sup>2</sup>。东北黑土区地形条件复杂多变,区内多为山麓平原和山前洪积阶地,地势平缓辽阔,为波状漫岗起伏,坡度范围在1~5°之间。得天独厚的自然地理条件造就了区域农业的稳定发展。东北黑土区主要生产玉米、水稻和大豆等粮食作物,素有“大豆之乡”和“黄金玉米带”称号,大豆和玉米产量分别约占全国总产量的1/2和1/3<sup>[6,28,29]</sup>。

### 2.2 黑土地资源系统研究框架

基于地球关键带理论框架,明确地表资源组成部分及其分层边界,根据黑土地资源产生、发育、演化和利用的过程,以立体空间位置作为组织和联系

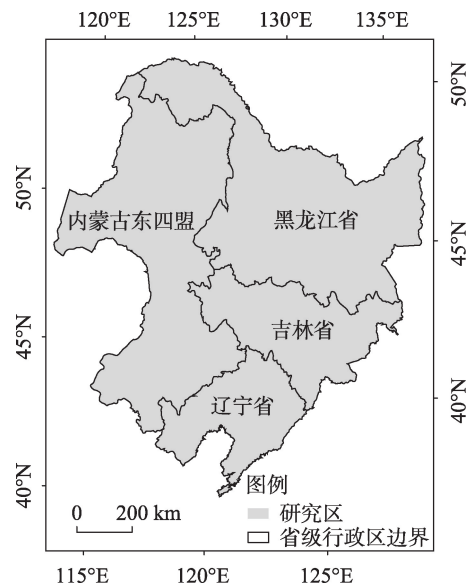


图1 东北黑土区分布图

Figure 1 Distribution map of black soil region in Northeast China  
注:基于自然资源部标准地图服务网站GS(2019)1719号标准地图制作,底图边界无修改。

各层级的基本纽带,参考前人构建的地球表层系统研究框架<sup>[26,30]</sup>,综合土壤和地表覆盖层,界定黑土地概念,并以此为基础,叠加气候层和自然本底层,分析黑土地资源特征,叠加多期地表覆盖层,研究黑土地时空动态,由此形成一套综合的黑土地资源系统研究框架(图2)。在构建的研究框架中,土壤层是链接地上和地下资源的纽带,起到根和源的作用。土壤层是由无数个体(单个土体)组成的复杂庞大的群体系统,是孕育和支撑森林、草原、水域等各类自然资源的基础<sup>[21]</sup>。不同土体存在许多共性,同时,受气候、地形、母质等要素综合作用,土体间存在相当大的差异,产生了各种各样的土壤类型<sup>[31]</sup>。因此,需要将土体进行分类和分级,以此来区分土体间土壤性质的异同,理解它们间的相互关系;地表覆盖层是人们判定资源特征及类型的基础,是地表资源最直观的体现。人类通过一定的活动,利用和管理地表资源使其满足自身需求,从而形成不同的地表覆盖类型,具体可分为林地、草地、耕地等若干类型。并且随着人类和自然因素长期综合作用,地表覆盖处于不断地动态变化之中<sup>[32]</sup>;自然本底层用来描述区域水文、岩石等现实的自然本底条件,可选用DEM数据表征。DEM是由地面规则格网点的高程值构成的矩阵,可以衍生出地形、地貌、水文等自然本底信息,能够为黑土地资源特征分析提供基础数据支撑;气候层是最外部的要素层,也是影响资源空间分布的重要因素。

## 2.3 研究方法

### 2.3.1 土地利用转移矩阵

土地利用转移矩阵能刻画土地利用变化的结

构特征,可反映研究期内不同的土地利用类型转入与转出情况<sup>[33]</sup>。本文利用转移矩阵揭示黑土地的来源构成和流失去向。土地利用转移矩阵如表1所示。

### 2.3.2 土地网格单元分析与变化度

本文采用网格单元分析法,结合变化度,探究黑土地变化热点区域。采用ArcGIS软件制作覆盖东北黑土区的10 km×10 km的网格,通过与黑土地图斑叠加,统计获取不同年份每个网格的黑土地面积,运用变化度公式计算每个网格的黑土地变化度,识别黑土地空间分布变化的热点区域<sup>[34]</sup>。黑土地变化度计算公式如下:

$$L = \frac{C_b - C_a}{TLA} \times 100\% \quad (1)$$

式中: $L$ 表示每个网格第 $a$ 年到第 $b$ 年的黑土地变化度; $C_b$ 和 $C_a$ 分别表示第 $b$ 年和第 $a$ 年每个网格中的黑土地面积; $TLA$ 表示每个网格的面积。

### 2.3.3 土地利用动态度

土地利用动态度又称变化率指数,用于描述某一土地利用类型面积在单位时间内的变化情况,能够反映该土地利用类型的年度变化速度<sup>[35]</sup>。计算公式如下:

$$K = \frac{A_b - A_a}{A_a} \times \frac{1}{b - a} \times 100\% \quad (2)$$

式中: $K$ 表示 $a$ 至 $b$ 年间黑土地的动态度; $A_a$ 和 $A_b$ 分别表示第 $a$ 年和第 $b$ 年黑土地总面积; $b - a$ 表示时间段。

### 2.3.4 土地利用重心分析模型

基于地理学人口分布重心原理,通过比较初期和末期研究区内黑土地分布重心,计算其重心分布

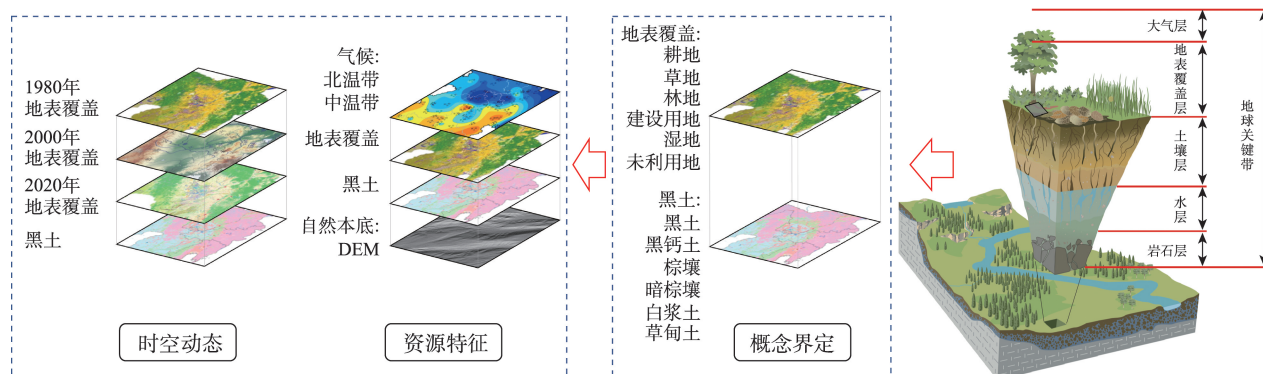


图2 黑土地资源系统研究框架

Figure 2 Research framework of black soil cultivated land resource system

2023年9月

表1 土地利用转移矩阵

Table 1 Land use transition matrix

		<i>b</i>			
		$A_1$	$A_2$	$\dots$	$A_i$
<i>a</i>	$A_1$	$S_{11}$	$S_{12}$	$\dots$	$S_{1i}$
	$A_2$	$S_{21}$	$S_{22}$	$\dots$	$S_{2i}$
	$\dots$	$\dots$	$\dots$	$\dots$	$\dots$
	$A_i$	$S_{i1}$	$S_{i2}$	$\dots$	$S_{ii}$

注: $A_i$ 表示第*i*种土地利用类型; $S_{ij}$ 表示由土地利用类型*i*转到*j*的面积; $a$ 表示第*a*年; $b$ 表示第*b*年。

与迁移距离和重心移动方向,能够精准把握黑土地总体的空间转移趋势<sup>[16]</sup>。公式如下:

$$X = \frac{\sum_{h=1}^n (C_h \times X_h)}{\sum_{h=1}^n C_h} \quad (3)$$

$$Y = \frac{\sum_{h=1}^n (C_h \times Y_h)}{\sum_{h=1}^n C_h} \quad (4)$$

式中: $X, Y$ 表示某年份黑土地重心经度和纬度坐标; $C_h$ 表示某年份黑土地第*h*个图斑的面积; $X_h, Y_h$ 表示第*h*个图斑的几何中心经度和纬度坐标。

重心移动距离是指第*b*年的重心坐标相较于第*a*年重心坐标的移动距离,重心移动方向是指第*b*年的重心坐标相较于第*a*年重心坐标的偏移方向,计算公式如下:

$$D = \sqrt{(Y_b - Y_a)^2 + (X_b - X_a)^2} \quad (5)$$

$$\theta = \arctan[(Y_b - Y_a)/(X_b - X_a)] \quad (6)$$

式中: $D$ 表示重心移动距离; $\theta$ 表示重心偏移角度; $(X_b, Y_b)$ 和 $(X_a, Y_a)$ 表示*b*年和*a*年的黑土地重心坐标。

## 2.4 数据来源与处理

土壤数据、地表覆盖数据、气候区划数据来源于中国科学院资源环境科学数据中心(<https://www.resdc.cn>)。地表覆盖数据选取中国多时期分省土地利用遥感监测数据集(CNLUCC),包括1980、2000、2020年3期1 km×1 km栅格数据。土壤类型数据取自中国科学院资源环境科学数据中心提供的中国土壤类型空间分布栅格数据,精度为1 km×1 km。数字高程模型DEM 30 m×30 m分省栅格数据和行政区划矢量数据来源于国家基础地理信息中心提供的国家基础地理信息数据库。

数据预处理均在 ArcGIS 10.7 软件平台中进

行。首先利用裁剪功能提取出东北黑土区气候区划、土壤类型、多期地表覆盖类型和DEM图层,并将所有图层统一投影到Krasovsky-1940-Albers坐标系。接着对土壤、地表覆盖和DEM数据进行重分类,并根据构建的黑土地资源系统研究框架,利用叠加分析功能,获取东北黑土地图层,分析黑土地资源现状及时空动态特征。

## 3 结果与分析

### 3.1 黑土地概念界定

根据黑土地资源系统研究框架,本文认定黑土地为黑土和地表覆盖的综合体,而明确黑土类型和地表覆盖类型是界定黑土地概念的关键。目前,群众普遍认知的黑土是民间说法,即“黑色”“松软”的土壤,本质上属于黑土“类”的概念<sup>[10]</sup>。在结合前人的研究成果基础上,本文统一采用应用较为普遍的发生学分类体系,将黑土类型划分为黑土、黑钙土、草甸土、白浆土、暗棕壤和棕壤(广义黑土)6类,再将黑土类中更为典型的黑土和黑钙土进一步划分为狭义(典型)黑土。地表覆盖是指地表自然形成的或者人为引起的覆盖状况<sup>[36]</sup>,不同的地表覆盖数据产品有各自的地表覆盖类型体系<sup>[37]</sup>,本文依据中国多时期土地利用遥感监测数据集(CNLUCC)的分类系统,并结合《土地利用现状分类》(GB/T 21010-2017)国家标准,在土壤层基础上,将黑土地表覆盖类型分为:黑土耕地、黑土林地、黑土草地、黑土湿地、黑土建设用地、黑土未利用地6种。而群众普遍认知的黑土地大多是指耕地这一地类<sup>[38]</sup>。基于以上,本文尝试给出一个具体的黑土地概念:黑土地是土壤为黑土类(黑土、黑钙土、白浆土、草甸土、暗棕壤、棕壤)的耕地,也称广义黑土地。狭义黑土地是土壤为典型黑土类(黑土、黑钙土)的耕地。

### 3.2 东北黑土地资源现状特征

本文通过叠加2020年东北黑土区耕地数据与黑土类型数据,从而获取2020年东北黑土地数据,并叠加气候区划和DEM数据,分析东北黑土地资源现状特征。由图3可知,东北黑土地集中分布在中温带的松辽和三江-长白气候区内。经统计二者共占黑土地总面积的72.08%,北温带根河区和南温带的辽东-胶东半岛区黑土地面积分布较少。从海拔

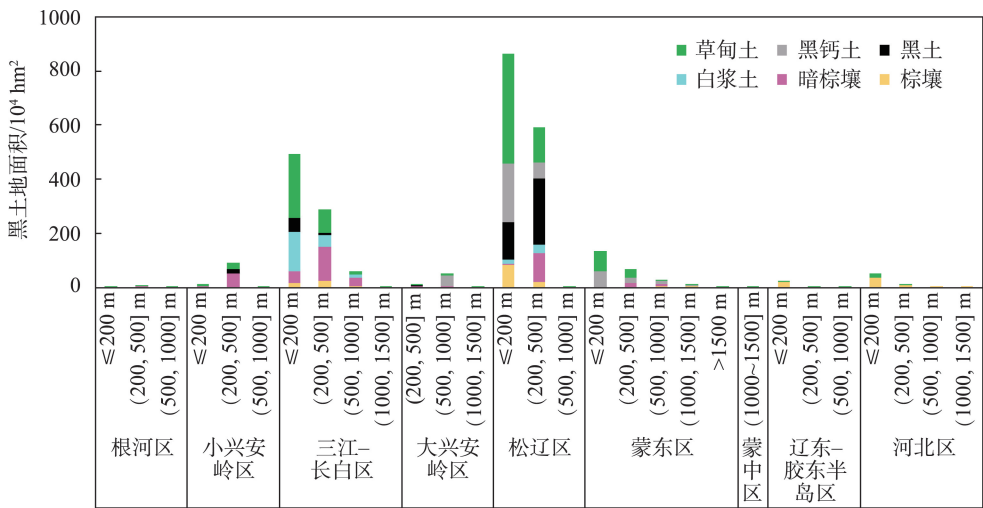


图3 东北黑土地气候-土壤-海拔分类

Figure 3 Black soil cultivated land climate-soil-elevation classification in Northeast China

特征来看,东北黑土地总体海拔较低,海拔在500 m以下的黑土地面积共达到2642.84万hm<sup>2</sup>,占黑土地总面积的94.35%。从黑土类型看,东北黑土地主要以草甸土为主,其次是黑土、黑钙土和暗棕壤,棕壤和白浆土占比较少。具体来看,松辽气候区黑土地土壤类型最为丰富,其中草甸土和黑土占比较多,海拔主要在500 m以下,草甸土海拔集中在200 m以下,黑土海拔多在200~500 m;三江-长白区黑土地土壤类型主要为草甸土、白浆土和暗棕壤,草甸土和白浆土类的黑土地海拔多在200 m以下,暗棕壤海拔相对较高;蒙东区黑土地在不同海拔均有分布,土壤类型主要为草甸土和黑钙土,黑钙土在高海拔分布较多,草甸土在低海拔分布较多;小兴安岭区黑土地海拔主要在200~500 m,土壤类型为暗棕壤和草甸土,相比之下大兴安岭区黑土地海拔较高,主要在500~1000 m,土壤类型以黑钙土为主;北温带根河区黑土地的土壤类型以暗棕壤和草甸土

为主,海拔集中在200~500 m;南温带河北气候区黑土地地势低,多数在200 m以下,土壤类型主要以棕壤和草甸土为主。

3.3 东北黑土地变化时空格局

3.3.1 时间格局

表2和图4反映了不同时间段东北黑土地面积及变化情况。广义黑土地由1980年的2390.43万hm<sup>2</sup>增加到2020年的2802.87万hm<sup>2</sup>,面积增加了412.44万hm<sup>2</sup>,年均增加10.31万hm<sup>2</sup>,年均增长幅度为0.43%。广义黑土地面积主要增加在黑、吉、蒙3省,东四盟增速最快,年均增幅为0.68%,而在辽宁省广义黑土地面积近40年减少了9.33万hm<sup>2</sup>,年均减幅1.22%。狭义黑土地由1980年的823.05万hm<sup>2</sup>增加到2020年的871.75万hm<sup>2</sup>,增加了48.7万hm<sup>2</sup>,年均增加1.22万hm<sup>2</sup>,增长速度为0.06%;狭义黑土地面积在4省均有增加,在东四盟增加最多,增速最快。分阶段来看,广义黑土地面积在2000年以后增

表2 1980—2020年东北黑土地面积及占比

Table 2 Area and proportion of black soil cultivated land in Northeast China, 1980-2020

区域	1980年				2000年				2020年			
	广义 /10 <sup>4</sup> km <sup>2</sup>	占比 /%	狭义 /10 <sup>4</sup> km <sup>2</sup>	占比 /%	广义 /10 <sup>4</sup> km <sup>2</sup>	占比 /%	狭义 /10 <sup>4</sup> km <sup>2</sup>	占比 /%	广义 /10 <sup>4</sup> km <sup>2</sup>	占比 /%	狭义 /10 <sup>4</sup> km <sup>2</sup>	占比 /%
黑龙江	1205.91	50.45	483.84	58.79	1419.39	52.25	502.93	57.20	1512.01	53.95	498.00	57.13
吉林	578.25	24.19	237.95	28.91	617.79	22.74	253.36	28.82	630.85	22.51	251.79	28.88
辽宁	373.83	15.64	0.68	0.08	383.74	14.12	0.67	0.08	364.50	13.00	0.80	0.09
东四盟	232.44	9.72	100.58	12.22	295.86	10.89	122.27	13.90	295.51	10.54	121.16	13.90
总计	2390.43	100.00	823.05	100.00	2716.79	100.00	879.23	100.00	2802.87	100.00	871.75	100.00

2023年9月

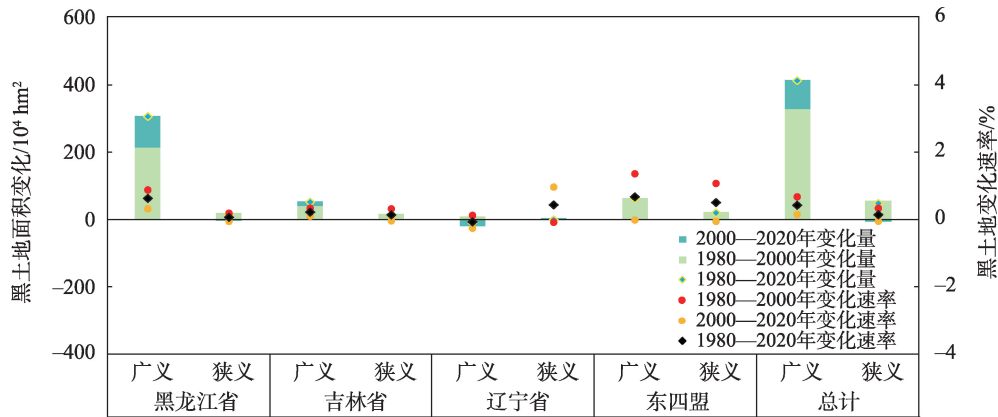


图4 1980—2020年东北黑土地变化量及变化速率

Figure 4 Amount and rate of change of black soil cultivated land in Northeast China, 1980-2020

量大幅降低,增速放缓,黑龙江和吉林两省增速减慢,辽宁省和东四盟广义黑土地按下了“急刹车”,面积呈负增长;狭义黑土地40年间总体表现出先增加后减少的趋势,在黑、吉、蒙3省同样表现为先增加后减少的趋势,而辽宁省狭义黑土地则呈现出先减少后增加的相反趋势,并且后20年增幅速度飞速提升。40年间,东北黑土地大面积增加主要是受气候变化和政策制度的影响。近几十年东北地区气温升高,降雨增加,作物生长期延长,提升了东北黑土地气候生产潜力,因此,黑土地的开垦对粮食增产具有积极作用<sup>[39]</sup>。另一方面受耕地开垦和农业补贴等政策影响,加之东北土壤有机质含量高、土地地势低且集中连片、水资源较为充沛的资源禀赋优势<sup>[40]</sup>,使得东北黑土地大面积增加成为必然。2000年以后,中国开始重视生态保护和治理,遏制了大面积的林草开垦,并实施了退耕还林、还草、还湿和防护林建造等一系列生态工程,减缓了黑土地增长趋势,加之各地方大力发展经济,使得黑土地被大面积占用,黑土地增量大幅降低,部分地区甚至出现了负增长的趋势。

### 3.3.2 空间格局

图5反映了东北黑土地空间演变格局。可以看出,40年间黑土地变化存在显著的空间差异。广义黑土地变化整体呈现北扩南缩的分布格局,狭义黑土地呈现西扩东缩的分布格局,广义黑土地扩张的热点区主要分布在东北黑土区北部三江平原,大、小兴安岭和中部松嫩平原区,广义黑土地收缩的热点区主要分布于中南部松辽平原区;狭义黑土地扩

张的热点区主要分布在吉林省西部松嫩平原区和东四盟北部大兴安岭区,收缩的热点区主要分布在中部松嫩平原区和东四盟西部地区。各时段黑土地变化的热点区也具有一定差异。1980—2000年广义黑土地扩张热点区主要分布在北部,在东北部三江平原和黑吉蒙3省交接地带较为集中,狭义黑土地扩张热点区域主要分布在吉林省西部和东四盟北部,广义黑土地收缩的热点区域主要分布在东四盟西北部、中部松辽平原和黑土区东南部,狭义黑土地收缩的热点区集中在中部松嫩平原和东四盟北部;2000—2020年广义黑土地扩张热点范围明显缩小,主要分布在东北部三江平原和东部山地区,在黑龙江省分布最广,狭义黑土地扩张热点区域仅在吉林省西部和黑龙江、东四盟北部零星分布,广义黑土地收缩的热点区域主要分布在中南部的松辽平原和黑土区东部地区,狭义黑土地收缩的热点区主要分布在黑龙江和吉林两省的中部松嫩平原区。总体来看2000—2020年较前20年区域黑土地空间变化较为平稳,变化幅度不大。

### 3.3.3 重心迁移

由图6可知,1980—2020年广义黑土地重心均位于黑龙江省哈尔滨市境内,而狭义黑土地重心则是落在绥化市和大庆市境内。近40年广义黑土地重心持续向东北方向迁移,而狭义黑土地重心则是持续向西北方向迁移,二者迁移速度都是自2000年以后减缓。近40年广义黑土地重心以东偏北68°的方向迁移了40.40 km,年均迁移1.1 km。不同阶段迁移距离和方向存在差异。1980—2000年,黑土地

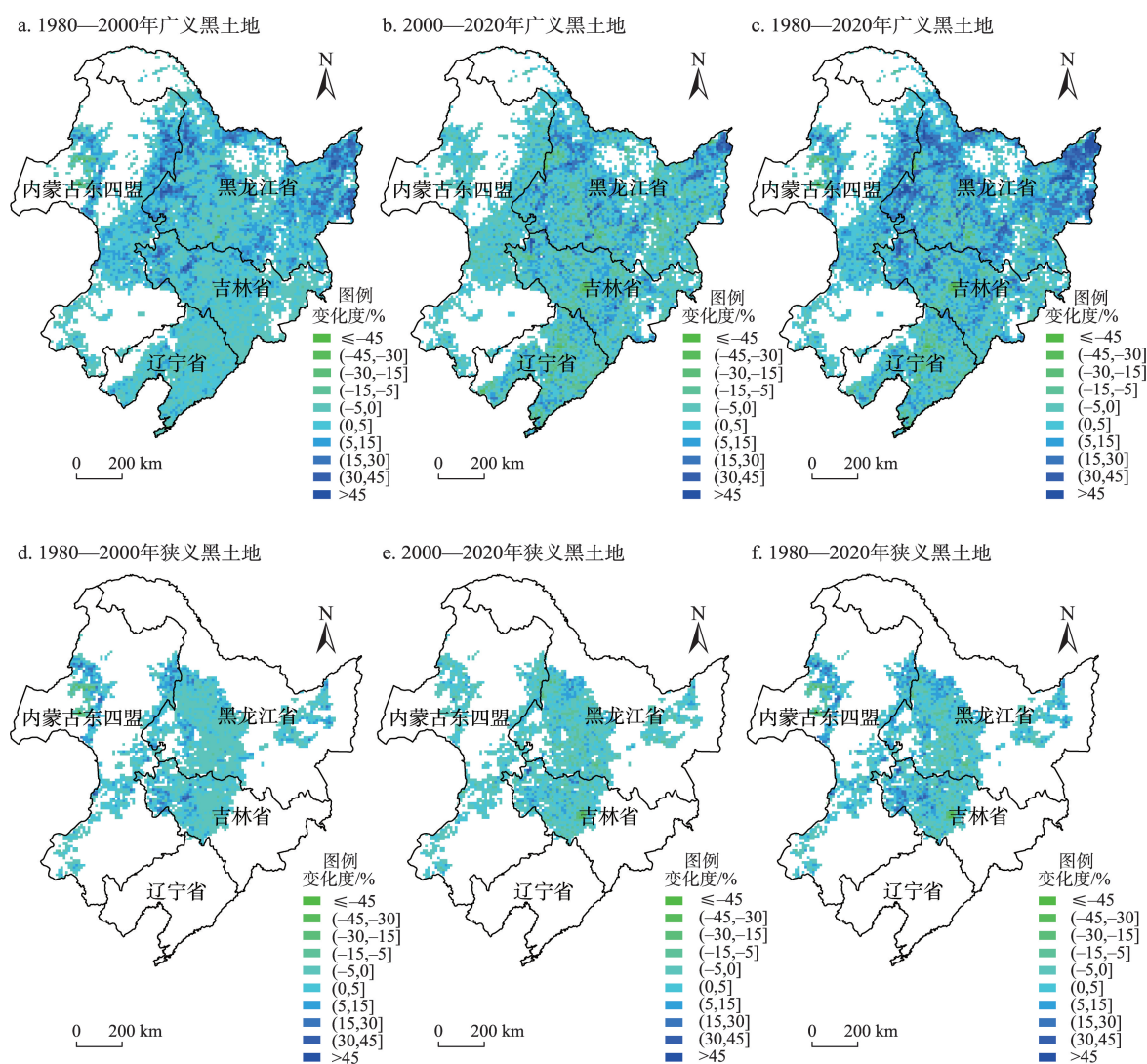


图5 1980—2020年广义与狭义黑土地变化热点空间分布

Figure 5 Hotspots of change of generally defined black soil cultivated land and typical black soil cultivated land, 1980-2020

注:基于自然资源部标准地图服务网站GS(2019)1719号标准地图制作,底图边界无修改。

重心由(125.8860°E, 45.3816°N)移至(126.0400°E, 45.5581°N),向东北方向移动24.32 km,年均移动1.22 km,与2000年相比,2020年黑土地重心向东北方向推移了16.08 km,年均迁移0.8 km,迁移速度有所减缓。近40年狭义黑土地重心以西偏北26°的方向迁移了10.52 km,年均迁移0.53 km。分阶段来看,1980—2000年,狭义黑土地重心均位于黑龙江省绥化市境内,由(125.3270°E, 46.4625°N)移至(125.2570°E, 46.4886°N),向西北方向移动8.3 km,年均迁移0.42 km。2020年狭义黑土地重心位于黑龙江省大庆市境内(125.2570°E, 46.4886°N),相较于2000年,狭义黑土地重心向西北方向又迁移了

2.59 km,年均迁移0.13 km。事实上,东北黑土地变化的空间格局与经济和人心的转移密切相关。已有研究指出,整个东北的经济重心是向南部迁移,并且人口也在不断地向外部流失<sup>[41,42]</sup>。辽宁省人口流入量相对较大,总体经济发展和城镇化水平较快<sup>[43]</sup>,并且辽宁和吉林两省工业经济较为发达<sup>[15]</sup>,为追求更大的社会效益,势必会造成建设用地需求量增加,占用大量黑土地资源。而黑龙江、内蒙古由于农村人口和劳动力的流失,加之国家对合作社等新型经营主体的扶持力度不断加大,促进了黑土地大规模流转与规模化经营<sup>[15]</sup>,间接的推动了北部黑土地面积扩张。从而形成了北扩南

2023年9月

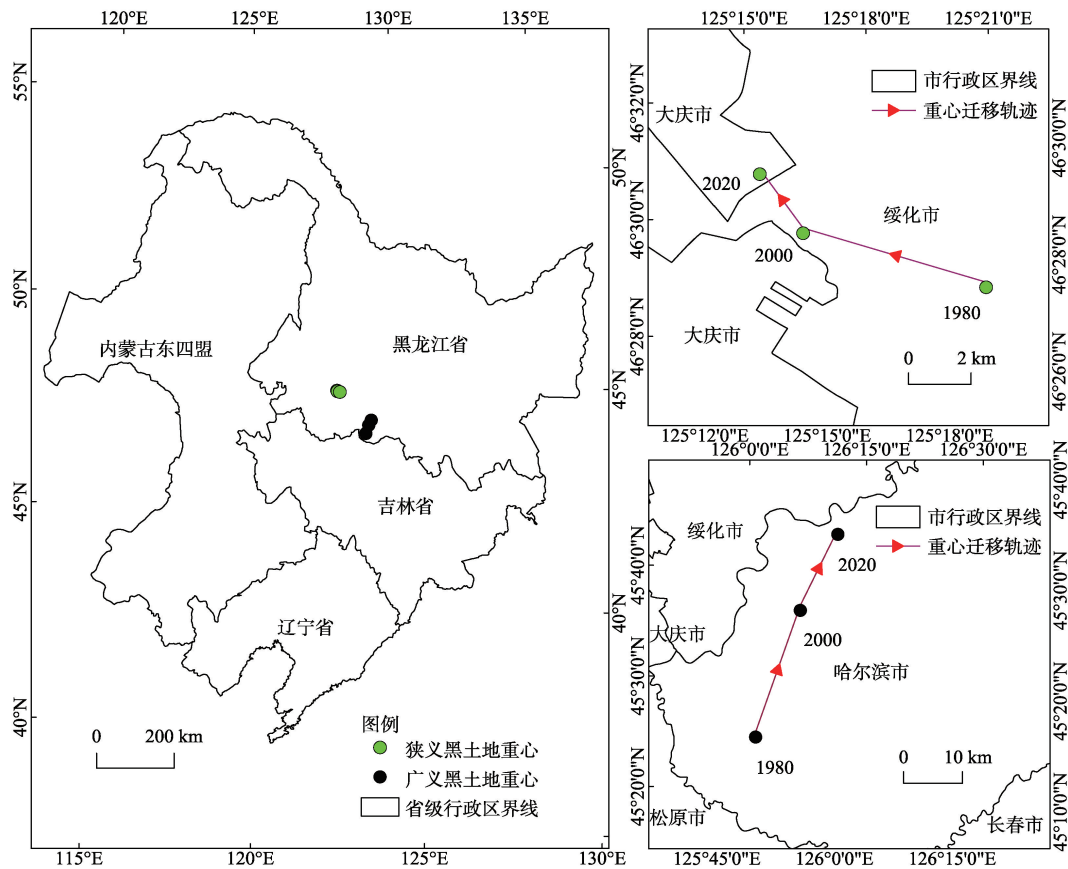


图6 1980—2020年东北黑土地重心迁移轨迹

Fig 6 The trajectory of the gravity center of black soil cultivated land in Northeast China, 1980-2020

注:基于自然资源部标准地图服务网站GS(2019)1719号标准地图制作,底图边界无修改。

缩的分布格局。

### 3.4 东北黑土地动态转换情况

结果显示(表3),1980—2020年广义黑土地转出的主要去向是黑土地、黑土建设用地和黑土草地,三者约占广义黑土地转出面积的90%。黑土地转为黑土地主要发生在吉林和辽宁省,转为黑土建设用地主要发生在黑、吉、辽3省,转为黑土草地主要发生在东四盟。狭义黑土地转出主要去向是黑土建设用地和黑土草地。转为黑土建设用地主要发生在黑龙江和吉林省,转为黑土草地主要发生在东四盟。广义黑土地的转入主要来源于黑土地和黑土草地,二者约占黑土地转入面积的70%,其次是黑土未利用地与黑土建设用地。黑土地转为黑土地主要发生在黑龙江和吉林省,黑土草地转为黑土地主要发生在黑龙江和东四盟,黑土建设用地和黑土未利用地转为黑土地多发生在黑龙江省;狭义黑土地的转入主要来源于黑土草地、黑土建设

用地和黑土地,主要发生在东四盟和黑龙江省。

分阶段来看,①2000年以前,黑土地的转出量较少,黑土地和黑土草地转为黑土地是广义黑土地动态转换的主要过程,二者共占黑土地转换总量的70%。黑土地和黑土草地转为黑土地主要发生在黑龙江省和东四盟。黑土草地转为黑土地是狭义黑土地转换的主要过程,占狭义黑土地转换总量的55%。狭义黑土地转出的主要去向也是黑土草地,二者均发生在东四盟。②2000年以后,黑土地转换量大面积增加。相较于2000年以前,广义黑土地转出量增加了629.45万 $\text{hm}^2$ ,主要增加在黑土地转为黑土地和黑土建设用地,并均发生在黑、吉、辽3省。广义黑土地转入量增加了388.94万 $\text{hm}^2$ ,主要增加在黑土地和黑土建设用地转为黑土地上,黑土地转为黑土地的增加主要体现在吉林和辽宁省,黑土建设用地转为黑土地的增加主要体现在黑、吉、辽3省。狭义黑土地转出量增加了

表3 1980—2020年东北不同省份(地区)黑土地转换情况(分阶段与总转换)( $10^4 \text{ hm}^2$ )Table 3 Conversion of black soil cultivated land conversion (in two periods and total) in the four provinces (region) of Northeast China, 1980-2020( $10^4 \text{ hm}^2$ )

1980—2020年黑土地转换	黑龙江		吉林		辽宁		东四盟		总计	
	广义	狭义	广义	狭义	广义	狭义	广义	狭义	广义	狭义
黑土地—黑土地林地	73.09	10.16	83.02	9.52	80.84	0.01	22.36	6.24	259.30	25.93
黑土地—黑土地草地	28.39	9.06	9.90	3.85	4.12	—	43.33	22.64	85.74	35.55
黑土地—黑土地湿地	12.94	2.11	7.89	1.11	9.33	0.01	1.46	0.25	31.62	3.48
黑土地—黑土地建设用地	62.31	30.79	45.13	22.46	44.65	0.07	5.31	2.04	157.40	55.36
黑土地—黑土地未利用地	32.64	8.01	11.49	6.72	1.80	—	3.95	0.79	49.88	15.52
黑土地林地—黑土地	199.10	17.52	103.00	8.53	88.99	—	43.48	12.38	434.57	38.43
黑土地草地—黑土地	108.62	18.91	36.35	18.86	8.33	0.01	81.35	37.85	234.65	75.63
黑土地湿地—黑土地	28.24	2.45	11.92	1.71	6.80	0.05	1.40	0.06	48.35	4.27
黑土地建设用地—黑土地	48.30	23.22	33.90	16.43	24.97	0.11	4.61	1.62	111.78	41.37
黑土地未利用地—黑土地	128.54	12.14	24.15	11.95	2.69	—	8.41	0.95	163.80	25.04
净变化	303.43	14.11	51.90	13.82	-8.96	0.08	62.84	20.90	409.21	48.90
1980—2000年黑土地转换	黑龙江		吉林		辽宁		东四盟		总计	
	广义	狭义	广义	狭义	广义	狭义	广义	狭义	广义	狭义
黑土地—黑土地林地	3.96	0.82	2.80	1.70	3.48	—	0.30	0.15	10.54	2.67
黑土地—黑土地草地	2.72	0.45	1.20	0.64	0.56	0.01	10.07	9.36	14.55	10.46
黑土地—黑土地湿地	1.57	0.26	0.52	0.05	1.03	—	0.10	—	3.22	0.31
黑土地—黑土地建设用地	3.51	1.23	2.93	1.32	4.64	—	0.50	0.19	11.58	2.74
黑土地—黑土地未利用地	3.75	0.22	0.73	0.23	0.13	—	0.44	0.14	5.05	0.59
黑土地林地—黑土地	94.04	7.84	13.64	3.45	14.06	—	19.67	6.41	141.41	17.70
黑土地草地—黑土地	74.01	10.99	23.66	13.28	2.84	—	51.17	24.73	151.67	49.00
黑土地湿地—黑土地	2.90	0.26	2.76	0.16	0.72	—	0.08	0.01	6.46	0.43
黑土地建设用地—黑土地	0.21	0.05	0.03	0.03	0.11	—	—	—	0.35	0.08
黑土地未利用地—黑土地	57.83	2.93	7.62	2.42	2.01	—	3.94	0.39	71.40	5.74
净变化	213.48	19.09	39.53	15.40	9.89	-0.01	63.45	21.70	326.35	56.18
2000—2020年黑土地转换	黑龙江		吉林		辽宁		东四盟		总计	
	广义	狭义	广义	狭义	广义	狭义	广义	狭义	广义	狭义
黑土地—黑土地林地	110.33	12.00	88.68	11.28	86.29	0.01	30.78	8.81	316.08	32.10
黑土地—黑土地草地	38.01	10.35	11.78	4.71	4.41	—	47.84	19.80	102.04	34.87
黑土地—黑土地湿地	14.75	2.20	8.60	1.08	9.23	0.01	1.70	0.34	34.28	3.63
黑土地—黑土地建设用地	63.95	30.73	45.08	22.35	43.32	0.07	5.53	2.04	157.87	55.19
黑土地—黑土地未利用地	43.66	8.88	13.31	7.60	2.01	—	5.14	0.93	64.12	17.41
黑土地林地—黑土地	151.00	12.59	97.30	8.15	84.68	—	29.57	7.97	362.55	28.71
黑土地草地—黑土地	54.60	10.53	18.75	9.31	7.05	0.02	48.85	20.48	129.25	40.35
黑土地湿地—黑土地	27.36	2.38	9.95	1.47	6.78	0.05	1.43	0.05	45.52	3.95
黑土地建设用地—黑土地	50.60	23.87	35.32	17.08	26.81	0.11	4.95	1.72	117.69	42.77
黑土地未利用地—黑土地	79.09	9.81	18.94	9.45	1.20	—	5.99	0.89	105.22	20.15
净变化	91.95	-4.98	12.81	-1.56	-18.74	0.09	-0.20	-0.81	85.84	-7.27

126.43 万  $\text{hm}^2$ , 主要增加在黑土地转为黑土地建设用地和黑土地林地上, 这一过程主要发生在黑龙江和吉林省。相较于2000年以前, 狭义黑土地转入量增加了62.98 万  $\text{hm}^2$ , 主要体现在黑土地建设用地转为黑土地上, 同样发生在黑龙江和吉林省。2000年以后东

北黑土地动态转换量显著提升, 得益于1998年开始实施的耕地占补平衡制度, 有效地保护了耕地红线, 确保黑土地总量处于动态平衡。后续出台的城乡用地增减挂钩、耕地进出平衡等政策, 挖掘了耕地后备资源和农村宅基地复垦潜力, 弥补了占用黑

2023年9月

土地的损失,这也是黑土建设用地和未利用地转入量增加的主要原因<sup>[44]</sup>。值得注意的是,随着生态保护建设加强,黑土地、黑土草地和黑土湿地的面积明显提升。但是总体来看,黑土地林地和草地开垦仍然是黑土地面积增加的主要来源,黑土区生态治理任重道远。

## 4 结论与政策启示

### 4.1 结论

本文基于地球关键带理论框架,厘清黑土地与黑土概念关系,明确黑土地概念,采用叠加分析和土地利用时空变化分析法,结合土壤类型与多期地表覆盖等数据,揭示了东北黑土地资源特征及其时空演变格局。主要结论如下:

(1)黑土地是土壤为黑土类(黑土、黑钙土、草甸土、白浆土、暗棕壤和棕壤)的耕地,狭义黑土地是土壤为典型黑土类(黑土、黑钙土)的耕地。东北黑土地主要分布在中温带松辽和三江-长白气候区,海拔较低,土壤类型以草甸土居多,狭义黑土地主要分布在中温带松辽和蒙东气候区,海拔较高,黑土居多。

(2)受气候变暖、经济发展、耕地开垦政策和农技水平提升的影响,40年间东北黑土地面积增加了412.44万 $\text{hm}^2$ ,年均增幅为0.43%,狭义黑土地面积增加了48.7万 $\text{hm}^2$ ,年均增幅0.06%。受政策和制度干预,2000年以后二者增量大幅降低,增速放缓,扩张热点区范围缩小。

(3)40年间东北黑土地整体呈现北扩南缩的空间格局,狭义黑土地呈现西扩东缩的空间格局,黑土地重心以东偏北 $68^\circ$ 的方向迁移了40.40 km,狭义黑土地重心以西偏北 $26^\circ$ 的方向迁移了10.52 km,自2000年以后二者迁移速度减缓。

(4)东北黑土地转出的主要去向是黑土地林地和黑土建设用地,转入主要源于黑土地林地、草地的开垦,狭义黑土地转入的来源与转出的去向都以黑土草地和黑土建设用地为主。受耕地总量平衡政策的影响,2000年以后黑土地转入转出动态频繁,黑土地总量趋于平稳。

### 4.2 政策启示

针对东北黑土地时空格局演变及其驱动因素分析,提出几点政策启示:

(1)数量保护。虽然黑土地大面积增加,但更

为优质的狭义黑土地面积大有减少的趋势,并且建设占用黑土地大面积增加。建议将黑土地尤其是狭义黑土地全部划为永久基本农田,一经划定永久不得占用,并加强对已有黑土地的保护,优化占补平衡政策,建立黑土地进出平衡机制,严格限制黑土地建设占用,减少优质黑土地资源流失。

(2)质量提升。随着黑土地增量逐渐减少,黑土地面积趋于稳定,在有限的资源条件下,提升黑土地质量是非常必要的。要建立黑土地韧性调控机制,采用用养结合的利用方式,通过实施轮作休耕等保护性耕作,改善黑土地质量退化问题。加强黑土地质量管理,促进黑土地连片规模,将黑土地全部纳入高标准农田建设中,加强黑土地基础设施建设,提高黑土地生产能力以及抗灾减灾能力,有效提升黑土地质量和产能。

(3)生态治理。总体来看,黑土地增加主要是依靠黑土地林地和黑土草地的大面积开垦,这严重威胁了黑土区的生态安全。要严格落实黑土地用途管制,通过国土空间规划进一步优化黑土地空间格局,遏制黑土地侵占生态空间,同时有序退出资源禀赋较差的黑土地,将黑土地林地、草地和湿地划入生态保护红线,统筹协调黑土地红线与生态红线的关系,实现黑土地保护与生态保护的协同。

(4)效益补偿。建立多元化的黑土地保护补偿机制,包括对于种粮的黑土地生产补偿、对于实施保护性耕作的黑土地生态补偿和对于承担种粮和耕保而导致经济发展受损的黑土地发展权益补偿,在保障其基本收益的同时,制定相应的奖补措施,适当提高经营主体的效益,有利于提升黑土地保护积极性。要转变黑土区经济发展模式,积极推动产业结构调整,发展具有黑土地特色的农业产业,促进社会经济与黑土地保护协同发展。

## 参考文献(References):

- [1] 韩晓增, 邹文秀. 我国东北黑土地保护与肥力提升的成效与建议[J]. 中国科学院院刊, 2018, 33(2): 206-212. [Han X Z, Zou W X. Effects and suggestions of black soil protection and soil fertility increase in northeast China[J]. Bulletin of Chinese Academy of Sciences, 2018, 33(2): 206-212.]
- [2] 李保国, 刘忠, 黄峰, 等. 巩固黑土地粮仓 保障国家粮食安全[J]. 中国科学院院刊, 2021, 36(10): 1184-1193. [Li B G, Liu Z, Huang F, et al. Ensuring national food security by strengthening

- high-productivity black soil granary in Northeast China[J]. Bulletin of Chinese Academy of Sciences, 2021, 36(10): 1184–1193.]
- [3] 邓祥征, 梁立, 廖晓勇, 等. 国际粮食贸易影响下东北黑土地生产压力变化与保护策略[J]. 自然资源学报, 2022, 37(9): 2209–2217. [Deng X Z, Liang L, Liao X Y, et al. Research on changes in grain production pressure and protection strategies in the black soil region of Northeast China under the influence of international grain trade[J]. Journal of Natural Resources, 2022, 37(9): 2209–2217.]
- [4] Zhao Y C, Wang M Y, Hu S J, et al. Economics- and policy-driven organic carbon input enhancement dominates soil organic carbon accumulation in Chinese croplands[J]. Proceedings of the National Academy of Sciences, 2018, 115(16): 4045–4050.
- [5] Yu G R, Fang H J, Gao L P, et al. Soil organic carbon budget and fertility variation of black soils in Northeast China[J]. Ecological Research, 2006, 21(6): 855–867.
- [6] 高江波, 刘路路, 郭灵辉, 等. 气候变化和物候变动对东北黑土区农业生产的协同作用及未来粮食生产风险[J]. 地理学报, 2022, 77(7): 1681–1700. [Gao J B, Liu L L, Guo L H, et al. Synergic effects of climate change and phenological variation on agricultural production and its risk pattern in black soil region of Northeast China[J]. Acta Geographica Sinica, 2022, 77(7): 1681–1700.]
- [7] 赵华甫, 吴克宁, 王自威, 等. 中国东北典型黑土区土地整理规划设计模式[J]. 资源科学, 2011, 33(5): 929–934. [Zhao H F, Wu K N, Wang Z W, et al. Planning and design modes of land consolidation in typical black soil of Northeastern China[J]. Resources Science, 2011, 33(5): 929–934.]
- [8] 宋显伟, 张保才, 白洋, 等. 生物技术助力黑土地保护性利用的应用与思考[J]. 中国科学院院刊, 2021, 36(12): 1488–1496. [Song X W, Zhang B C, Bai Y, et al. Application and review of biotechnology in promoting protective utilization of black soil[J]. Bulletin of Chinese Academy of Sciences, 2021, 36(12): 1488–1496.]
- [9] 姚东恒, 裴久渤, 汪景宽. 东北典型黑土区耕地质量时空变化研究[J]. 中国生态农业学报, 2020, 28(1): 104–114. [Yao D H, Pei J B, Wang J K. Temporal-spatial changes in cultivated land quality in a black soil region of Northeast China[J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2020, 28(1): 104–114.]
- [10] 窦森, 郭琳. 吉林省土壤类型分布与黑土地保护[J]. 吉林农业大学学报, 2018, 40(4): 449–456. [Dou S, Guo D. Soil type distribution and black soil land protection in Jilin Province[J]. Journal of Jilin Agricultural University, 2018, 40(4): 449–456.]
- [11] 刘宝元, 张甘霖, 谢云, 等. 东北黑土区和东北典型黑土区的范围与划界[J]. 科学通报, 2021, 66(1): 96–106. [Liu B Y, Zhang G L, Xie Y, et al. Delineating the black soil region and typical black soil region of Northeastern China[J]. Chinese Science Bulletin, 2021, 66(1): 96–106.]
- [12] 刘兴土, 阎百兴. 东北黑土区水土流失与粮食安全[J]. 中国水土保持, 2009, (1): 17–19. [Liu X T, Yan B X. Soil and water loss and food security in the black soil region of Northeast China[J]. Soil Water Conservation in China, 2009, (1): 17–19.]
- [13] 张新荣, 焦洁钰. 黑土形成与演化研究现状[J]. 吉林大学学报(地球科学版), 2020, 50(2): 553–568. [Zhang X R, Jiao J Y. Formation and evolution of black soil[J]. Journal of Jilin University (Earth Science Edition), 2020, 50(2): 553–568.]
- [14] Duan X W, Xie Y, Liu B Y, et al. Soil loss tolerance in the black soil region of Northeast China[J]. Journal of Geographical Sciences, 2012, 22(4): 737–751.
- [15] Ma S, Wang L J, Wang H Y, et al. Impacts of land use/land cover and soil property changes on soil erosion in the black soil region, China[J]. Journal of Environmental Management, 2023, DOI: 10.1016/j.jenvman.2022.117024.
- [16] 刘洪彬, 高嘉鞠, 吴梦瑶, 等. 东北三省黑土区耕地数量时空格局变化及其驱动机制研究[J]. 沈阳农业大学学报, 2022, 53(4): 444–453. [Liu H B, Gao J J, Wu M Y, et al. Xiao H Spatial-temporal pattern change of cultivated land quantity and its driving mechanism in black soil area of Northeast China[J]. Journal of Shenyang Agricultural University, 2022, 53(4): 444–453.]
- [17] 张瑞, 杜国明, 张树文. 1986–2020年东北典型黑土区耕地资源时空变化及其驱动因素[J]. 资源科学, 2023, 45(5): 939–950. [Zhang R, Du G M, Zhang S W. Spatiotemporal changes and the driving factors of cultivated land resources of the typical black soil region in Northeast China from 1986 to 2020[J]. Resources Science, 2023, 45(5): 939–950.]
- [18] 韩晓增, 邹文秀. 东北黑土地保护利用研究足迹与科技研发展望[J]. 土壤学报, 2021, 58(6): 1341–1358. [Han X Z, Zou W X. Research perspectives and footprint of utilization and protection of black soil in Northeast China[J]. Acta Pedologica Sinica, 2021, 58(6): 1341–1358.]
- [19] 张之一. 关于黑土分类和分布问题的探讨[J]. 黑龙江八一农垦大学学报, 2005, (1): 5–8. [Zhang Z Y. Discuss on issue of black soils classification and its distribution[J]. Journal of Heilongjiang Bayi Agricultural University, 2005, (1): 5–8.]
- [20] 张维理, 徐爱国, 张认连, 等. 土壤分类研究回顾与中国土壤分类系统的修编[J]. 中国农业科学, 2014, 47(16): 3214–3230. [Zhang W L, Xu A G, Zhang R L, et al. Review of soil classification and revision of China soil classification system[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2014, 47(16): 3214–3230.]
- [21] 朱永官, 李刚, 张甘霖, 等. 土壤安全: 从地球关键带到生态系统服务[J]. 地理学报, 2015, 70(12): 1859–1869. [Zhu Y G, Li G, Zhang G L, et al. Soil security: From Earth's critical zone to ecosystem services[J]. Acta Geographica Sinica, 2015, 70(12): 1859–1869.]
- [22] 马腾, 沈帅, 邓娅敏, 等. 流域地球关键带调查理论方法: 以长江中游江汉平原为例[J]. 地球科学, 2020, 45(12): 4498–4511. [Ma T, Shen S, Deng Y M, et al. Theoretical approaches of survey on Earth's critical zone in basin: An example from Jiangnan Plain, central Yangtze River[J]. Earth Science, 2020, 45(12): 4498–4511.]

2023年9月

- [23] 张甘霖, 宋效东, 吴克宁. 地球关键带分类方法与中国案例研究[J]. 中国科学: 地球科学, 2021, 51(10): 1681–1692. [Zhang G L, Song X D, Wu K N. A classification scheme for Earth's critical zones and its application in China[J]. Scientia Sinica (Terrae), 2021, 51(10): 1681–1692.]
- [24] 杨顺华, 张甘霖. 什么是地球关键带?[J]. 科学, 2021, 73(5): 33–36. [Yang S H, Zhang G L. What is the critical zone?[J]. Science, 2021, 73(5): 33–36.]
- [25] Zhang G L, Zhao Y G. SOTER database for China, Scale 1: 1 Million[R]. Nanjing: Chinese Institute of Soil Science, 2008.
- [26] 李晓亮, 吴克宁, 冯喆, 等. 陆地表层系统分类研究进展: 从土地类型到地球关键带类型[J]. 地理科学进展, 2022, 41(3): 531–542. [Li X L, Wu K N, Feng Z, et al. Research progress of land surface system classification: From land type to Earth's critical zone type[J]. Progress in Geography, 2022, 41(3): 531–540.]
- [27] 刘亚男, 吴克宁, 李晓亮, 等. 基于黑土地保护目标的省级尺度土地类型划分研究: 以黑龙江省为例[J]. 地理科学, 2022, 42(8): 1348–1359. [Liu Y N, Wu K N, Li X L, et al. Classification of land types at provincial level based on the goal of black land protection: A case study of Heilongjiang Province[J]. Scientia Geographica Sinica, 2022, 42(8): 1348–1359.]
- [28] 汪景宽, 徐香茹, 裴久渤, 等. 东北黑土地地区耕地质量现状与面临的机遇和挑战[J]. 土壤通报, 2021, 52(3): 695–701. [Wang J K, Xu X R, Pei J B, et al. Current situations of black soil quality and facing opportunities and challenges in Northeast China[J]. Chinese Journal of Soil Science, 2021, 52(3): 695–701.]
- [29] 徐英德, 裴久渤, 李双异, 等. 东北黑土地不同类型区主要特征及保护利用对策[J]. 土壤通报, 2023, 54(2): 495–504. [Xu Y D, Pei J B, Li S Y, et al. Main characteristics and utilization countermeasures for black soils in different regions of Northeast China[J]. Chinese Journal of Soil Science, 2023, 54(2): 495–504.]
- [30] 姚东恒, 廖宇波, 孔祥斌, 等. 基于“三层”融合的松嫩平原盐碱地资源特征[J]. 农业工程学报, 2022, 38(23): 247–257. [Yao D H, Liao Y B, Kong X B, et al. Characteristics of saline-alkali land and resources based on three-layer fusion of saline-alkali soil in Songnen Plain of China[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2022, 38(23): 247–257.]
- [31] 张凤荣. 土壤地理学[M]. 北京: 中国农业出版社, 2016. [Zhang F R. Soil Geography[M]. Beijing: China Agriculture Press, 2016.]
- [32] 陈琼, 张懿铨, 刘峰贵, 等. 黄河流域河源区土地利用变化及其影响研究综述[J]. 资源科学, 2020, 42(3): 446–459. [Chen Q, Zhang Y L, Liu F G, et al. A review of land use change and its influence in the source region of Yellow River[J]. Resources Science, 2020, 42(3): 446–459.]
- [33] 黄海潮, 温良友, 孔祥斌, 等. 中国耕地空间格局演化对耕地适宜性的影响及政策启示[J]. 中国土地科学, 2021, 35(2): 61–70. [Huang H C, Wen L Y, Kong X B, et al. The impact of spatial pattern evolution of cultivated land on cultivated land suitability in China and its policy implication[J]. China Land Science, 2021, 35(2): 61–70.]
- [34] 杨建新, 龚健, 高静, 等. 国家中心城市土地利用变化稳定性和系统性特征: 以武汉市为例[J]. 资源科学, 2019, 41(4): 701–716. [Yang J X, Gong J, Gao J, et al. Stationary and systematic characteristics of land use and land cover change in the national central cities of China using intensity analysis: A case study of Wuhan City[J]. Resources Science, 2019, 41(4): 701–716.]
- [35] 刘丹, 李琳娜. 1995–2015年中国北方边境样带土地利用时空格局演变及驱动因素[J]. 资源科学, 2021, 43(6): 1208–1221. [Liu D, Li L N. Spatiotemporal change and driving factors of land use in the northern border transect of China, 1995–2015[J]. Resources Science, 2021, 43(6): 1208–1221.]
- [36] 陈佑启, 杨鹏. 国际上土地利用/土地覆盖变化研究的新进展[J]. 经济地理, 2001, 21(1): 95–100. [Chen Y Q, Yang P. Recent progresses of international study on land use and land cover change (LUCC)[J]. Economic Geography, 2001, 21(1): 95–100.]
- [37] 官鹏, 张伟, 俞乐, 等. 全球地表覆盖制图研究新范式[J]. 遥感学报, 2016, 20(5): 1002–1016. [Gong P, Zhang W, Yu L, et al. New research paradigm for global land cover mapping[J]. Journal of Remote Sensing, 2016, 20(5): 1002–1016.]
- [38] 中华人民共和国农业农村部. 东北黑土地保护规划纲要(2017–2030年)[EB/OL]. (2017–06–15) [2023–04–04]. [http://www.moa.gov.cn/nybg/b/2017/dqq/201801/t20180103\\_6133926.htm](http://www.moa.gov.cn/nybg/b/2017/dqq/201801/t20180103_6133926.htm). [Ministry of Agriculture and Rural Affairs of the People's Republic of China. Outline of the Northeast Black Soil Land Conservation Plan (2017–2030)[EB/OL]. (2017–06–15) [2023–04–04]. [http://www.moa.gov.cn/nybg/b/2017/dqq/201801/t20180103\\_6133926.htm](http://www.moa.gov.cn/nybg/b/2017/dqq/201801/t20180103_6133926.htm).]
- [39] 刘泽瑾, 焦利民, 连喜红. 1995–2020年气候变化和耕地利用变化对中国耕地气候生产潜力的影响分析[J]. 中国土地科学, 2022, 36(3): 62–73. [Liu Z J, Jiao L M, Lian X H. Effects of climate change and cultivated land use change on climatic potential productivity of cultivated land in China from 1995 to 2020[J]. China Land Science, 2022, 36(3): 62–73.]
- [40] 贾志峰, 刘鹏程, 刘宇, 等. 气候变化和人类活动对松辽流域植被覆盖的影响[J]. 生态环境学报, 2023, 32(1): 1–10. [Jia Z F, Liu P C, Liu Y, et al. Effects of climatic change and human activities on vegetation cover in Songliao River Basin[J]. Ecology and Environmental Sciences, 2023, 32(1): 1–10.]
- [41] 慕晓飞, 雷磊. 东北经济重心演变及区域发展均衡性研究[J]. 经济地理, 2011, 31(3): 366–370. [Mu X F, Lei L. A research on the economic center evolution and regional development equilibrium of Northeast China[J]. Economic Geography, 2011, 31(3): 366–370.]
- [42] 张丽萍, 王广州. 东北地区人口负增长特征及突出问题研究[J]. 社会科学辑刊, 2023, (2): 129–142. [Zhang L P, Wang G Z. Study on the characteristics and main problems of negative population growth in Northeast China[J]. Social Science Journal, 2023, (2): 129–142.]

- [43] 刘超, 霍永伟, 许月卿, 等. 生态退耕前后张家口市耕地变化及影响因素识别[J]. 自然资源学报, 2018, 33(10): 1806–1820.  
[Liu C, Huo Y W, Xu Y Q, et al. Changes in cultivated land and

influencing factors before and after the implementation of grain for green project in Zhangjiakou City[J]. Journal of Natural Resources, 2018, 33(10): 1806–1820.]

## Spatiotemporal evolution and driving factors of black soil cultivated land within the framework of critical zones on the Earth

YAO Dongheng<sup>1,2</sup>, CAO Ying<sup>1,2</sup>, CHENG Jingwen<sup>1,2</sup>, LEI Ming<sup>1,2</sup>, LIAO Yubo<sup>1,2</sup>,  
WANG Ling<sup>3</sup>, ZHAO Jing<sup>1,2</sup>, KONG Xiangbin<sup>1,2</sup>

(1. College of Land Science and Technology, China Agricultural University, Beijing 100193, China; 2. Key Laboratory of Agricultural Land Quality, Ministry of Natural Resources, Beijing 100193, China; 3. Heilongjiang Natural Resources Rights and Interests Survey and Monitoring Institute, Harbin 150080, China)

**Abstract:** [Objective] Northeast black soil cultivated land (BSCL) is crucial for the country's food and ecological security. Defining its concept and grasping the spatiotemporal dynamics is vital for sustainable resource use and regional development. [Methods] This article, based on the theory of critical zone of the Earth, redefined BSCL and combined regional soil data with land use data in 1980, 2000, and 2020. It used methods of overlay analysis and spatiotemporal analysis of land use to reveal BSCL evolution patterns and drivers over 40 years. [Results] (1) BSCL refers to cultivated land with black soil types, primarily located in the temperate zone of Northeast China, with elevation mostly below 500 m and soil predominantly composed of meadow soil. (2) Due to the impacts of climate, economic, policy and institutional factors, the area of BSCL increased by 4.12 million  $\text{hm}^2$  over 40 years. However, due to policy interventions, the increase has significantly decreased since 2000. (3) Spatially, due to the transfer of population and economic center of gravity, the overall spatial pattern of BSCL in Northeast China showed northward expansion and southward contraction. The gravity center of BSCL has been continuously moving northward, but the speed of migration has slowed down after 2000. (4) Forest and construction land were the main destinations for the transition of BSCL, while forests and grasslands are the principal sources contributing to the increase in BSCL. Influenced by policies and institutional interventions, the dynamic conversions of BSCL have undergone frequent since 2000. [Conclusion] Influenced by natural and socio-economic factors, the area of BSCL in Northeast China has significantly expanded over the past 40 years, continuously spreading northward. However, there is a obvious decreasing tendency in both the scope and speed of this expansion. This study can provide a methodological reference for the analysis of BSCL and a scientific basis for the conservation and sustainable utilization of BSCL.

**Key words:** critical zones of the Earth; black soil cultivated land; black soil; resource characteristics; spatiotemporal evolution; driving factors