

doi: 10.12029/gc20220501

郑艺文,李福杰,刘晓煌,常铭,赵宏慧,赖明,张子凡. 2022. 工业化背景下 30 年来中国东北地区自然资源时空变化及其生态环境效应[J]. 中国地质, 49(5): 1361-1373.

Zheng Yiwen, Li Fujie, Liu Xiaohuang, Chang Ming, Zhao Honghui, Lai Ming, Zhang Zifan. 2022. Temporal and spatial variation of natural resources and their ecological environment effects in Northeast China in the past 30 years under the background of industrialization [J]. Geology in China, 49(5):1361-1373 (in Chinese with English abstract).

# 工业化背景下 30 年来中国东北地区自然资源时空变化及其生态环境效应

郑艺文<sup>1,2</sup>,李福杰<sup>2,3</sup>,刘晓煌<sup>2,4</sup>,常铭<sup>5</sup>,赵宏慧<sup>4</sup>,赖明<sup>6</sup>,张子凡<sup>7</sup>

(1. 中国地质大学(武汉)地质调查研究院,湖北 武汉 430074; 2. 自然资源要素耦合过程与效应重点实验室,北京 100055; 3. 中国地质调查局乌鲁木齐自然资源综合调查中心,新疆 乌鲁木齐 830000; 4. 中国地质调查局自然资源综合调查指挥中心,北京 100055; 5. 中国地质调查局牡丹江自然资源综合调查中心,黑龙江 牡丹江 157004; 6. 中国地质大学(武汉)资源学院,湖北 武汉 430074; 7. 中国地质大学(武汉)地理与信息工程学院,湖北 武汉 430074)

**摘要:**【研究目的】基于 1990—2018 年间的土地利用空间分布数据、数字高程模型(Digital Elevation Model, DEM)、植被、气象等数据,对位于东北地区自然资源时空变化及其区域生态环境效应进行定量分析。【研究方法】按照东北地区自然-地理-资源分布规律,通过定量计算与定性分析相结合的区划分析手段,将研究区划分为 7 个二级自然资源亚区和 14 个三级自然资源地区,分析其近 30 年来(1990—2018 年)自然资源时空动态特征及生态环境效应。【研究结果】结果表明:(1)近 30 年,研究区最主要的变化是森林、草地转变为耕地、水体与湿地,同时大量耕地被开发为建设用地,以及草地的荒漠化现象较突出。这与当地的老工业基地振兴政策、强农惠农政策等关系紧密。(2)研究区整体生态环境质量呈下降趋势,尤其是 I1、I5、I6、I7 二级亚区(I1 三江平原温带耕地亚区、I5 小兴安岭山地温带森林亚区、I6 山前平原温带耕地亚区和 I7 松辽平原温带草耕亚区)。(3)森林、草地转变为耕地,大面积的草地荒漠化等变化类型,对研究区生态环境质量恶化的生态贡献率较大。【结论】近 30 年,研究区大量森林、草地转变为耕地和水体与湿地,大量耕地被开发为建设用地以及草地荒漠化加剧,其 I1、I5、I6、I7 二级亚区生态环境质量下降趋势较显著,森林、草地转变为耕地以及草地荒漠化等变化类型对此现象的生态贡献率较大。

**关键词:**工业化;城镇化;土地利用变化;自然资源;时空动态特征;生态环境效应;驱动力;国土资源调查工程;东北地区

**创 新 点:**(1) 自然资源综合区划强化了对自然资源要素时空差异性和复杂多样性的科学认识;(2) 将东北地区自然资源综合区划为 7 个二级亚区,14 个三级地区进行研究;(3) 揭示了近 30 年来东北地区自然资源时空动态特征及其生态环境效应特征。

中图分类号:X171.1:P96 文献标志码:A 文章编号:1000-3657(2022)05-1361-13

## Temporal and spatial variation of natural resources and their ecological environment effects in Northeast China in the past 30 years under the background of industrialization

收稿日期:2021-10-27;改回日期:2022-02-14

基金项目:中国地质调查局项目(DD20211430)资助。

作者简介:郑艺文,女,1995 年生,硕士,工程师,主要从事资源与环境,自然资源要素综合观测的研究;E-mail:17839964224@163.com。

通讯作者:刘晓煌,男,1972 年生,博士,高级工程师,主要从事自然资源、生态环境研究;E-mail:liuxh19972004@163.com。

ZHENG Yiwen<sup>1,2</sup>, LI Fujie<sup>2,3</sup>, LIU Xiaohuang<sup>2,4</sup>, CHANG Ming<sup>5</sup>,  
ZHAO Honghui<sup>4</sup>, LAI Ming<sup>6</sup>, ZHANG Zifan<sup>7</sup>

(1. Institute of Geological Survey, China University of Geosciences, Wuhan 430074, Hubei China; 2. Key Laboratory of Coupling Process and Effect of Natural Resources Elements, Beijing 100055, China; 3. Urumqi Natural Resources Comprehensive Survey Center, China Geological Survey, Urumqi 830000, Xinjiang, China; 4. Natural Resources Comprehensive Survey Command Center, China Geological Survey, Beijing 100055, China; 5. Mudanjiang Natural Resources Comprehensive Survey Center of China Geological Survey, Mudanjiang 157004, Heilongjiang, China; 6. School of Earth Resources, China University of Geosciences, Wuhan 430074, Hubei, China; 7. School of Geography and Information Engineering, China University of Geosciences, Wuhan 430074, Hubei, China)

**Abstract:** This paper is the result of the natural resources survey engineering.

**[Objective]** Based on the spatial data of land use, Digital Elevation Model (DEM), vegetation and meteorological data we quantitatively analyzed temporal and spatial variation of natural resources and their effects on regional ecological environment in Northeast China from 1990 to 2018. **[Methods]** In accordance with the distribution regularity of nature, geography and natural resource in Northeast China, the study area was divided into 7 second-class zones and 14 third-class zones in comprehensive regionalization of natural resources by combining quantitative calculation and qualitative analysis. This paper analyzed temporal and spatial dynamic characteristics of natural resources and their ecological environmental effects in recent 30 years. **[Results]** The results showed as follows: (1) The main changes in the study area were the conversion of forest and grassland to cultivated land and water body and wetland from 1990 to 2018. Meanwhile, large areas of cultivated land was developed into built-up areas. In addition, the transformation of grassland to desertification was also prominent. The above phenomena were closely related to the local policy of revitalizing the old industrial base in Northeast China and strengthening agriculture and benefiting farmers policy, etc. (2) The overall ecological environment quality of the study area showed a declining trend, especially in I1, I5, I6 and I7 subregions (I1 Sanjiang plain temperate arable subregion, I5 Mountain temperate forest subregion of Lesser Khingan Mountains, I6 Piedmont plain temperate arable subregion and I7 Songliao plain temperate grass-tillage subregion). (3) The main reasons for the deterioration of ecological environment quality were that forest land and grassland were reclaimed as cultivated land and that grassland was turning to desertification. **[Conclusions]** In the past 30 years, large areas of forest and grassland in the study area have been transformed into cultivated land and water body and wetland, cultivated land has been developed into built-up areas and grassland desertification has intensified. There was a significant decreasing trend of ecological environment quality in the I1, I5, I6 and I7 subregions. The conversion of forest and grassland to cultivated land and grassland desertification mainly contributed to this phenomenon.

**Key words:** industrialization; urbanization; land use change; natural resources; spatiotemporal dynamic characteristics; ecological environment effect; driving force; land resources survey project; Northeast China

**Highlights:** (1) The comprehensive regionalization of natural resources strengthens the scientific understanding of spatial and temporal differences and complex diversity of natural resources elements. (2) The comprehensive regionalization of natural resources in Northeast China is divided into 7 second-class zones and 14 third-class zones. (3) The temporal and spatial dynamic characteristics of natural resources and their effects on ecological environment in Northeast China in recent 30 years were revealed.

**About the first author:** ZHENG Yiwen, female, born in 1995, master, mainly engaged in resources and environment, natural resources elements integrated observation research; E-mail: 17839964224@163.com.

**About the corresponding author:** LIU Xiaohuang, male, born in 1972, senior engineer, doctor, mainly engaged in natural resources, ecological environment research; E-mail: liuxh19972004@163.com.

**Fund support:** Supported by the project of China Geological Survey (No. DD20211430).

## 1 引言

自然资源即一国主权范围内自然形成的所有空间资源、物质资源和能量资源,具有自然、经济、社会、生态等多重基本属性特征(中国自然资源学会,1985;陈国光等,2020),主要包含森林、草地、土地、矿产、水、湿地、海域海岛等7类自然资源。随着全球化迫使各国更加集中地开发自然资源,空气污染、土污染、水污染等问题愈发严重(Galli et al., 2012; Pata et al., 2020a; 周权平等, 2021)。在过去的30年里,全球人口大幅度增加,人类对资源的需求已经完全超过了地球生产资源的能力,从而导致自然资源遭到破坏、生态环境退化,威胁未来的经济增长(Danish et al., 2019; Pata et al., 2020b; Ulucak et al., 2020; Shittu et al., 2021)。必须采取措施来管控当下形势,如美国已经制定相关政策控制自然资源的过度使用,促进可持续的生活方式,以确保国家的可持续未来(Khan et al., 2020)。

在自然资源被过度消耗,地球及其生态系统遭到严重破坏的形势下(Bradshaw et al., 2010; Jiang et al., 2017; 姜月华等, 2021),了解自然资源当下的本底状况以及它们的动态变化特征,对于可持续的自然资源管理至关重要。因此,人类必须建立监测监督机制与方法,跟踪水-土地-森林-草-荒漠等资源属性特征、分布规律及消耗情况,及时评估其对生态环境效益的影响,为社会经济、资源环境之间的可持续发展提供技术支持及保障(张月, 2018; 马震等, 2021; 赖明等, 2021)。

东北以其自然资源、粮食生产和工业基地闻名于世,但东北地区资源环境具有人地相互作用短时限、高强度特征,生态环境问题突出(张殿发等, 2000a; 李汝资等, 2013)。近年来,国家出台了振兴东北老工业基地政策、强农惠农政策等,以提高粮食产量,振兴区域经济,对大量的自然资源造成了破坏(Mao et al., 2018)。

本研究主要从综合研究(水-土地-森林-草-荒漠)自然资源出发,在张海燕等(2020)划分的自然资源大区之一的东北平原林耕自然资源大区基础上,利用1990年、2000年、2010年、2018年4期土地利用数据,综合区域内部自然资源、自然条件等的相似性和差异性,辅以植被、地形地貌、气候、水

文等自然环境要素,对区域进行从一级到三级单位的自然资源综合区划。于区划基础上探讨在工业化背景下近30年东北平原林耕自然资源大区的自然资源动态变化特征及其生态-环境变化效应,以及各自然资源之间的转变对于生态环境变化的贡献率。本研究成果可为东北地区的自然资源保护及管控政策制定提供参考。

## 2 研究区概况

东北地区属于中国七大自然地理分区之一,行政区划包括黑龙江、辽宁和吉林3个省及内蒙古东部地区,不同于常规的地理划分区域,本研究区为张海燕等(2020)研究中的全国自然资源区划大区之一的东北平原林耕自然资源大区(以下简称东北林耕区),大区面积约为 $104.75 \times 10^4 \text{ km}^2$ ,占全国陆地面积的10.99%。研究区地形以山地、平原为主,区内分布着大兴安岭、小兴安岭、长白山地、松嫩平原、三江平原和辽河平原(图1)。该区是中国重点国有林区、北方重要原始林区的主要分布地,同时也是中国重要的粮食生产优势区、最大的商品粮生产基地,粮食产量约占全国总产量的四分之一,平均粮食商品率达70%以上(于丽丽等, 2019)。研究区的森林类型主要为东北针叶林及针阔叶混交林,这里拥有中国最大的天然林区(约4500万 $\text{hm}^2$ ),也属中国纬度最高的林区之一,森林面积约占全国森林面积的四分之一,是世界同纬度植物种质资源最为丰富的区域(Zhang et al., 2019)。2018年,东北林耕区森林资源面积约为 $45.33 \times 10^4 \text{ km}^2$ ,占该地区总面积的43.43%,主要分布在大兴安岭和长白山等山地,耕地资源面积约为 $35.78 \times 10^4 \text{ km}^2$ ,占该地区总面积的34.28%。东北林耕区作为中国重要的粮食主产区与生态安全保障区,在全国具有举足轻重的战略地位(Mao et al., 2014)。

东北平原林耕自然资源大区位于亚洲大陆东部,气候上属于温带季风大陆性气候,受纬度和海陆位置的影响,夏季温和多雨短促、冬季寒冷干燥漫长,雨热同期、热量不足。2018年,大区内 $\geq 10^\circ\text{C}$ 年积温约为2399.12 $^\circ\text{C}$ ,年降水量达547.69 mm左右,整体趋势为自东向西逐渐递减,平均湿润指数为2.90左右,大区内绝大部分地区湿润指数都在1.50以上,区内植被状况良好,全区归一化差分植被

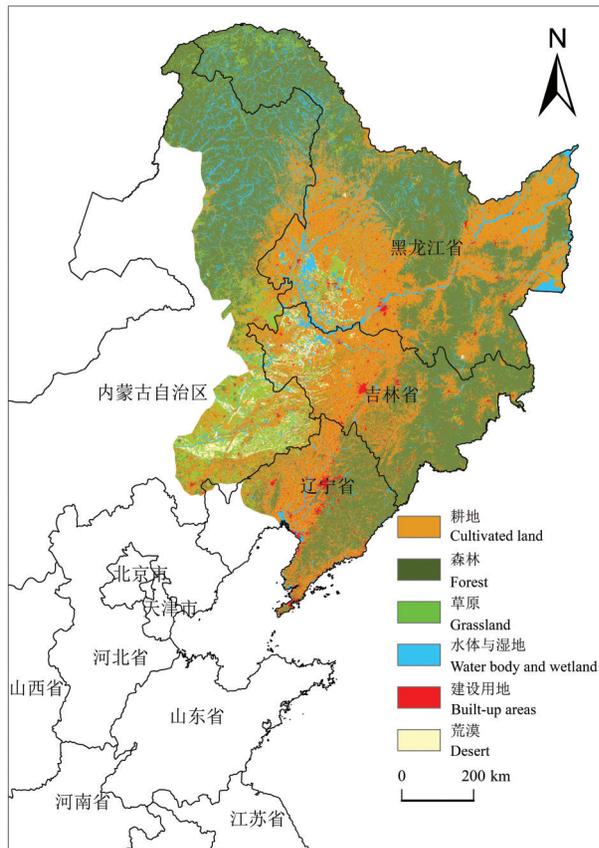


图1 东北平原林耕自然资源大区概况

Fig.1 Overview of forest and cultivated natural resources in Northeast Plain

指数NDVI(Normalized Difference Vegetation Index, NDVI)均值为0.80, 植被净初级生产力NPP(Net Primary Productivity, NPP)均值为 $256.64 \text{ g} \cdot \text{C}/\text{m}^2$ 。

### 3 数据来源与研究方法

#### 3.1 数据来源

根据中国科学院资源环境科学与数据中心(<http://www.resdc.cn/>)提取的研究区1990—2018年的数字高程模型(Digital Elevation Model, DEM)、植被、气象、流域和空间分辨率为 $1 \text{ km} \times 1 \text{ km}$ 的陆地生态系统空间分布(自然资源)等数据,其中植被数据包括基于遥感数据与气象数据,运用光能利用率模型(Carnegie Ames Stanford Approach, CASA)模拟的植被净初级生产力(Net Primary Productivity, NPP)数据和归一化差分植被指数数据(Normalized Difference Vegetation Index, NDVI)。

#### 3.2 研究方法

##### 3.2.1 东北平原林耕自然资源大区自然资源综合区划

根据研究区主要自然资源特点,建立包含地形地貌、气候条件、植被生长状况、土壤、水文和基础地理等指示环境自然属性的基础数据库和土地资源、森林资源、草资源、水体与湿地资源、建设用地和荒漠等七大类资源空间分布的专题数据库。利用主成分分析法与层次分析法确定研究区内各要素指标的相对权重,基于专家评判确定最终指标(表1)。采取定量方法—空间聚类分析法与定性方法—判别分析法、专家经验等分析方法相结合,“自上而下”演绎法与“自下而上”归纳法相结合,根据主导划分要素以及辅助决策要素研究高层次的地域分异,进行大区域的划分,在此基础上依次从高到低、由大至小,进行较低层次的小区域的划分。通过分析自然资源分区的异同,提出自然资源综合区划方案。

##### 3.2.2 区域生态环境质量指数及驱动因子生态贡献率

基于研究区土地利用空间数据中的土地资源二级分类系统(26类)中的数据,参照杨述河等(2004)关于北方地区等的研究成果,采用专家征询和层次分析相结合的方法,对二级分类体系下各土地利用类型所具有的生态环境质量进行赋值(表

表1 东北平原林耕自然资源大区区划要素权重系数  
Table 1 Weight coefficients of regionalization elements of forest and cultivated natural resources in Northeast Plain

要素分类	图层指标	图层权重系数	要素权重系数
地形地貌	海拔高度/m	0.0232	0.0433
	坡度/(°)	0.0201	
	湿润指数	0.0265	
气候要素	年降雨量/mm	0.0322	0.0686
	$\geq 10^\circ\text{C}$ 积温/( $\text{d}^\circ\text{C}$ )	0.0099	
植被要素	NDVI	0.0012	0.0067
	NPP/( $\text{g} \cdot \text{C}/\text{m}^2$ )	0.0055	
流域要素	三级流域产水模数/( $\text{万 t}/\text{km}^2$ )	0.0417	0.0417
	森林占比/%	0.0572	
	草原占比/%	0.1054	
	湿地与水体占比/%	0.1972	
	耕地占比/%	0.0494	
陆表资源	荒漠占比/%	0.2922	0.8397
	建设用地占比/%	0.1383	
	合计	1.0000	

表2 土地利用分类系统及其生态环境指数赋值  
Table 2 Land use classification system and eco-environment value of the land use types

一级类型		二级类型		生态质量 指数赋值
编号	名称	编号	名称	
1	耕地	11	水田	0.30
		12	旱地	0.25
2	林地	21	有林地	0.95
		22	灌木林	0.65
		23	疏林地	0.45
		24	其他林地	0.40
		31	高覆盖度草地	0.75
3	草地	32	中覆盖度草地	0.45
		33	低覆盖度草地	0.20
		41	河渠	0.55
4	水域	42	湖泊	0.75
		43	水库坑塘	0.55
		44	冰川雪地	0.90
		45	滩涂	0.45
		46	滩地	0.55
		51	城镇用地	0.20
5	城乡、工矿、 居民用地	52	农村居民点	0.20
		53	其他建设用地	0.15
		61	沙地	0.01
6	未利用地	62	戈壁	0.01
		63	盐碱地	0.05
		64	沼泽地	0.65
		65	裸土地	0.05
		66	裸岩石砾地	0.01

2)。通过建立土地利用/土地覆盖与区域生态环境质量的关联,揭示区域土地利用/覆被变化及其生态环境质量的时空特征(吴卓,2012;崔佳等,2013;戈嘉璐等,2016)。基于研究区土地利用二级分类系统中各类土地利用面积的大小,以 $EV$ 定量表征某一区域内生态环境质量的总体状况, $EV$ 值越大,表示生态环境质量越高。其计算公式为:

$$EV_i = \sum_{i=1}^n (LU_i C_i / TA)$$

式中: $LU_i$ 、 $C_i$ —该区域内 $t$ 时期第 $i$ 种土地利用类型所具有的面积和生态环境指数; $TA$ —该区域总面积; $n$ —区域内所具有的土地利用类型数量。

区域土地利用变化类型生态贡献率可以用来表征由于土地利用类型的转变所导致的区域生态质量的变化情况(杨清可等,2018),分析影响区域

生态环境变化的主导因素,数学表达式为:

$$LEI = (LE_{t+1} - LE_t) LA / TA$$

式中: $LEI$ 是区域土地利用变化类型的生态贡献率; $LE_t$ 、 $LE_{t+1}$ 分别为研究初期和末期该地类的生态环境质量指数; $LA$ 为该变化类型的面积; $TA$ 为区域土地总面积。

## 4 结果与分析

### 4.1 区划分级及1990—2018年自然资源的动态演变

本文对张海燕等(2020)发表的《中国自然资源综合区划理论研究与技术方案》中一级区划的东北平原林耕自然资源大区进行二级、三级区划,区划代码依然以“I”开头。二级区划在“I”后加阿拉伯数字,如“I6”;三级区划在二级区划代码的基础上再加阿拉伯数字,如“I61”。二级区划命名根据“自然地理位置+地貌形态的组合特征+温湿情况/气候类型+自然资源一级类型+亚区”规则,三级区划命名根据“具体自然地理位置+地貌形态的组合特征+自然资源二级类型+地区”规则。共划分至7个二级自然资源亚区,14个三级自然资源地区。

在1990—2018年间,东北平原林耕资源大区的耕地面积占比由29.52%上升到34.28%,森林面积占比由45.59%降为43.43%,草地面积占比由13.44%降为7.60%,这些变动主要发生在1990—2000年间,此期间大量森林和草地被开垦为耕地;湿地和水面面积占比由6.57%变为9.20%,变动主要发生在2010—2018年间,此期间大量森林和草地沼泽化,转变为水体与湿地(图2);建设用地面积占比由2.46%变为3.17%。总体上,研究区内耕地、水体与湿地和建设用地面积逐渐增加,森林和草地面积逐渐减少,最主要的变化是森林、草地转变为耕地和水面与湿地,约16674 km<sup>2</sup>森林、22466 km<sup>2</sup>草地转变为耕地,21314 km<sup>2</sup>森林、20229 km<sup>2</sup>草地转变为水体与湿地,又有13904 km<sup>2</sup>水体与湿地转变为耕地,同时大量耕地被开发利用为建设用地,草地荒漠化现象也较为严重(表3)。

根据研究区自然资源动态变化状况,分析各类自然资源的变化特征(图2)。在1990—2018年间,耕地资源变动主要发生在I1三江平原温带耕地区、I2长白山山地温带森林亚区、I4大兴安岭寒温带丘陵森林亚区、I5小兴安岭山地温带森林亚区、I6山

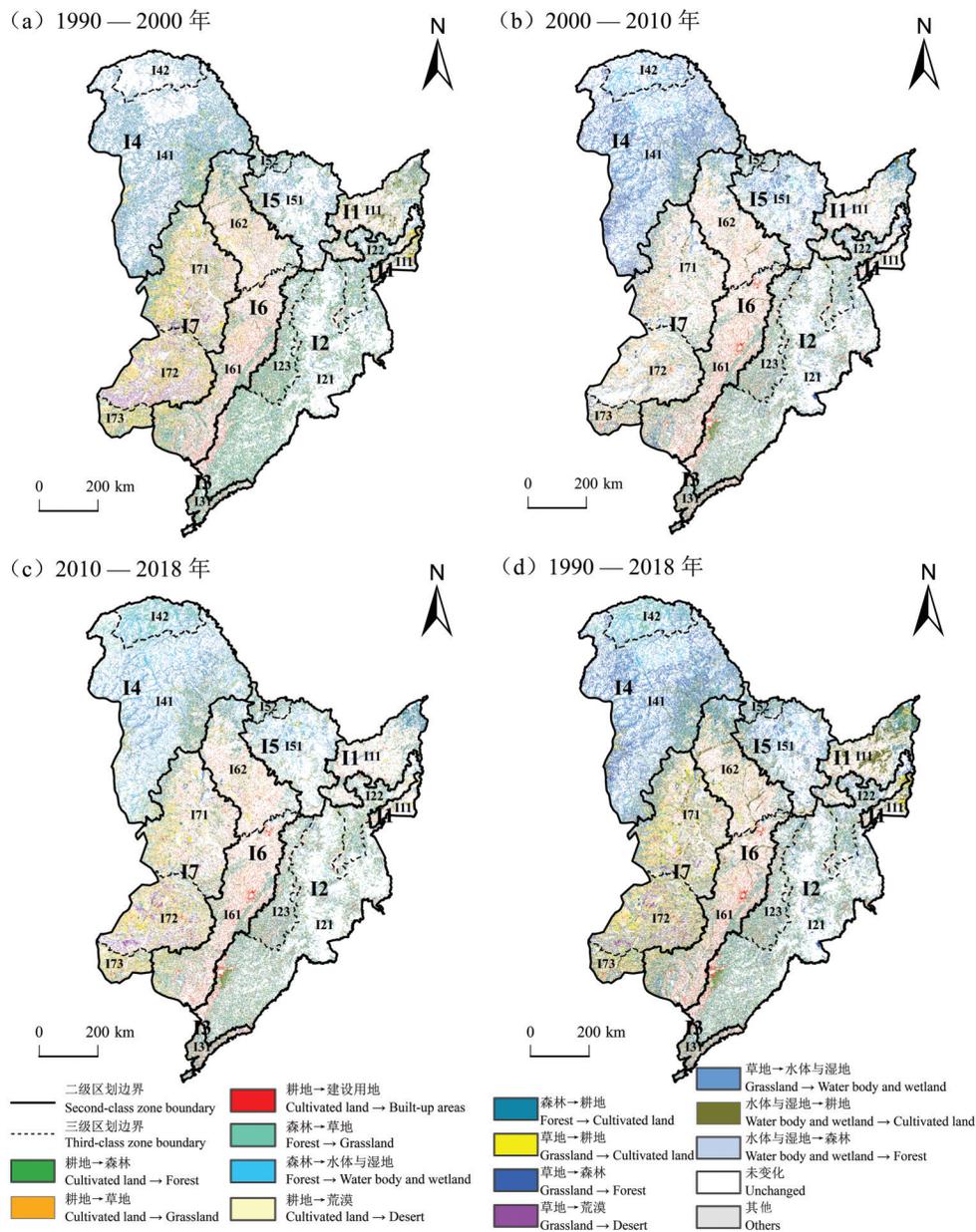


图2 东北平原农林自然资源大区自然资源变化空间格局

I1—三江平原温带耕地亚区;I2—长白山山地温带森林亚区;I3—辽东平原温带耕地亚区;I4—大兴安岭寒温带丘陵森林亚区;I5—小兴安岭山地温带森林亚区;I6—山前平原温带耕地亚区;I7—松辽平原温带草耕亚区;I11—三江平原旱地地区;I21—兴凯湖平原旱地地区;I22—老爷岭山地灌木林地区;I23—长白山山地北部灌木林旱地地区;I31—张广才岭灌木林旱地地区;I41—辽东平原旱地地区;I42—大兴安岭丘陵有林地灌木林地区;I51—漠河山地灌木林高覆盖草原地区;I52—小兴安岭山地灌木林地区;I61—黑河山地灌木林旱地地区;I62—辽河平原南部旱地地区;I71—山前平原旱地地区;I72—松嫩平原耕地地区;I73—辽河平原低覆盖草原旱地地区

Fig. 2 Spatial pattern of natural resources change in forest-cultivated natural resources region of Northeast Plain

I1—Sanjiang plain temperate arable subregion;I2—Mountain temperate forest subregion of Changbai Mountain;I3—Liaodong plain temperate arable subregion;I4—Great Khingan Mountains cold temperate hilly forest subregion;I5—Mountain temperate forest subregion of Lesser Khingan Mountains;I6—Piedmont plain temperate arable subregion;I7— Songliao plain temperate grass - tillage subregion;I11— Dry land area of Sanjiang Plain;I21— Xingkai Lake plain dry land area;I22— Laoye Mountain shrubbery area;I23— Changbai Mountain northern shrubbery dry land area;I31— Zhangguangcailing shrubbery dry land area;I41— Dry land area of Liaodong Plain;I42— Greater Khingan Mountains hills woodland shrubbery area;I51— Mohe mountain shrubbery high cover grassland area;I52— Mountain shrubbery area of Lesser Khingan Mountains;I61— Heihe mountain shrubbery dry land area;I62— Dry land area in southern Liaohe Plain;I71— Piedmont plain dryland area;I72— Cultivated area of Songnen Plain;I73— Liaohe plain low cover steppe dryland area

表3 大区1990—2018年自然资源动态变化转移矩阵(km<sup>2</sup>)Table 3 Transfer matrix of regional natural resources dynamic change from 1990 to 2018(km<sup>2</sup>)

1990年	2018年						
	耕地	森林	草	水与湿地	建设用地	荒漠	合计
耕地	238439	28614	11604	9524	17561	2759	308501
森林	45288	382447	17310	27710	2638	308	475701
草	34070	33099	39667	24352	2029	7318	140535
水与湿地	23428	6396	4123	31534	1104	1889	68474
建设用地	12580	1674	846	1002	9271	279	25652
荒漠	3852	885	5723	1428	559	12134	24581
合计	357657	453115	79273	95550	33162	24687	1043444

前平原温带耕地亚区和I7松辽平原温带草耕亚区。I1三江平原温带耕地亚区内耕地面积占比由51.19%上升到68.84%，主要为森林、草地和水体与湿地向耕地转化规模分别达到3284 km<sup>2</sup>、2419 km<sup>2</sup>和6842 km<sup>2</sup>。I2长白山山地温带森林亚区内耕地面积占比由24.04%上升到25.22%，主要为森林向耕地转化规模达3973 km<sup>2</sup>。I4大兴安岭寒温带丘陵森林亚区内耕地面积占比由3.43%变为5.83%，其中森林和草地向耕地转化规模分别达到3348 km<sup>2</sup>和3195 km<sup>2</sup>，主要为其三级小区I41辽东平原旱地地区耕地面积的增加。I5小兴安岭山地温带森林亚区内森林向耕地转化规模达3269 km<sup>2</sup>，耕地面积占比由12.06%上升到17.96%。I6山前平原温带耕地亚区内森林、草地和水体与湿地向耕地转化规模分别达到2401 km<sup>2</sup>、2339 km<sup>2</sup>和3830 km<sup>2</sup>，耕地面积占比由65.59%变为69.18%，主要为其三级小区I62辽河平原南部旱地地区耕地面积的增加，该区内森林、草地和水体与湿地向耕地转化规模分别达到2435 km<sup>2</sup>、1037 km<sup>2</sup>和2762 km<sup>2</sup>。I7松辽平原温带草耕亚区内耕地面积占比由33.54%上升到42.30%，其中草地和水体与湿地向耕地转化规模分别达到12687 km<sup>2</sup>和3022 km<sup>2</sup>，主要为其三级小区I71山前平原旱地地区内草地和水体与湿地向耕地转化规模分别达到6873 km<sup>2</sup>和2154 km<sup>2</sup>，I72松嫩平原耕地地区草地向耕地转化规模达4832 km<sup>2</sup>。

森林资源的变化主要发生在I1三江平原温带耕地亚区、I2长白山山地温带森林亚区、I4大兴安岭寒温带丘陵森林亚区和I5小兴安岭山地温带森林亚区。在1990—2018年间，I1三江平原温带耕地亚区内森林向耕地转化规模达3284 km<sup>2</sup>，森林面积占比由19.25%降为14.08%。I2长白山山地温带森林

亚区内森林面积占比由68.49%降为66.99%，主要为森林向耕地转化规模达3973 km<sup>2</sup>。I4大兴安岭寒温带丘陵森林亚区内森林面积占比由75.38%降为71.02%，主要为较大数量的森林转化为耕地(3348 km<sup>2</sup>)和水体与湿地(16479 km<sup>2</sup>)，变动主要发生在三级小区I41辽东平原旱地地区，该区内森林向耕地和水体与湿地转化规模分别达到3343 km<sup>2</sup>和12788 km<sup>2</sup>。I5小兴安岭山地温带森林亚区内森林向耕地转化规模达3269 km<sup>2</sup>，森林面积占比由72.97%降为67.99%，变动主要发生在三级小区I51漠河山地灌木林高覆盖草原地区，该区内森林向耕地转化规模达1926 km<sup>2</sup>。

草资源变动主要发生在I1三江平原温带耕地亚区、I4大兴安岭寒温带丘陵森林亚区、I6山前平原温带耕地亚区和I7松辽平原温带草耕亚区。在1990—2018年间，I1三江平原温带耕地亚区的草资源面积占比由5.93%降为1.78%，草地向耕地转化规模达2419 km<sup>2</sup>。I4大兴安岭寒温带丘陵森林亚区的草资源面积占比由18.48%降为6.40%，有较大数量的草地转化为耕地(3195 km<sup>2</sup>)、森林(9389 km<sup>2</sup>)和水体与湿地(16235 km<sup>2</sup>)，变动主要发生在I41辽东平原旱地地区，该区内草地向耕地、森林和水体与湿地转化规模分别达到3174 km<sup>2</sup>、12873 km<sup>2</sup>和14895 km<sup>2</sup>。I6山前平原温带耕地亚区内草地向耕地转化规模达2339 km<sup>2</sup>，草资源面积占比由6.18%降为4.33%。I7松辽平原温带草耕亚区草资源面积占比由34.32%降为25.02%，亦有较大数量的草地转化为耕地(12687 km<sup>2</sup>)和森林(2288 km<sup>2</sup>)，变动主要发生在I71山前平原旱地地区和I72松嫩平原耕地地区，I71山前平原旱地地区内草地向耕地转化规模达6873 km<sup>2</sup>，I72松嫩平原耕地地区草地向耕地转

化规模达4832 km<sup>2</sup>。

水体与湿地资源变动主要发生在I1三江平原温带耕地亚区、I4大兴安岭寒温带丘陵森林亚区、I5小兴安岭山地温带森林亚区和I6山前平原温带耕地亚区。在1990—2018年间,I1三江平原温带耕地亚区内水体与湿地面积占比由21.40%降为12.82%,水体与湿地向耕地转化规模较大(6842 km<sup>2</sup>)。I4大兴安岭寒温带丘陵森林亚区水体与湿地面积占比由2.38%上升到16.34%,其中森林和草地向水体与湿地转化规模分别达到16479 km<sup>2</sup>和16235 km<sup>2</sup>,变动主要发生在I41辽东平原旱地地区,该区内森林和草地向水体与湿地转化规模分别达到12788 km<sup>2</sup>和14895 km<sup>2</sup>。I5小兴安岭山地温带森林亚区内水体与湿地面积占比由6.65%变为10.59%,其中森林向水体与湿地转化规模达2744 km<sup>2</sup>,变动主要发生在三级小区I51漠河山地灌木林高覆盖草原地区,该区内森林向水体与湿地转化规模达2516 km<sup>2</sup>。I6山前平原温带耕地亚区内水体与湿地向耕地转化规模达3830 km<sup>2</sup>,水体与湿地面积占比由8.43%变为6.68%。

荒漠在1990—2018年间的变动主要发生在I7松辽平原温带草耕亚区,主要为草地荒漠化现象,约1351 km<sup>2</sup>草地荒漠化,其中I72松嫩平原耕地地区内草地荒漠化面积达1089 km<sup>2</sup>。建设用地变化主要发生在I2长白山山地温带森林亚区和I6山前平原温带耕地亚区,I2长白山山地温带森林亚区内耕地被开发利用为建设用地的规模达1858 km<sup>2</sup>,变动主要发生在I21兴凯湖平原旱地地区;I6山前平原温带耕地亚区内耕地被开发利用为建设用地的规模达2026 km<sup>2</sup>,其主要发生在I61黑河山地灌木林旱地地区。

#### 4.2 自然资源变化的生态环境效应及生态贡献率

人类对自然资源的不断探索对其直接环境产生了很大的影响,对资源的需求甚至已经超过了地球生产资源的能力,从而导致环境退化(Shittu et al., 2021)。近年来,东北地区制定了“振兴东北老工业基地”、“粮食安全规划”、“中蒙俄经济走廊”等一系列政策,促进社会经济的快速发展,同时也导致了自然资源结构的显著变化,进而对生态-环境产生影响。

通过对东北林耕区区域生态环境指数(EI)计

算,得出其生态环境指数分别为:1990年为0.6110,2000年为0.5959,2010年为0.5938,2018年为0.5968。近30年来,随着森林和草地不断被开发利用为耕地,以及大量草地荒漠化等,驱动该区整体生态环境质量呈下降趋势,尤其在1990—2000年期间最为明显。2010—2018年期间研究区内生态环境质量略有改善,显然是相关政策加强了生态保护,使其生态环境质量略微得到改善,但总体形势仍不容乐观。

东北林耕区生态环境质量区域差异日益明显(图3)。I2长白山山地温带森林亚区、I4大兴安岭寒温带丘陵森林亚区、I5小兴安岭山地温带森林亚区二级小区是研究区生态环境质量的高值区,1990—2018年间其值集中分布在0.7100~0.8240,I4>I5>I2。I1三江平原温带耕地亚区、I3辽东平原温带耕地亚区、I6山前平原温带耕地亚区和I7松辽平原温带草耕亚区二级小区生态环境质量普遍偏低,是驱动研究区生态环境恶化的主要地区。

I1三江平原温带耕地亚区生态环境质量经历了快速下降(1990—2000年均下降0.28%)—趋于稳定(2000—2010年)—快速下降(2010—2018年均下降0.47%)。I2长白山山地温带森林亚区和I4大兴安岭寒温带丘陵森林亚区二级小区生态环境质量属稳定型,生态环境质量保持较好。I5小兴安岭山地温带森林亚区生态环境质量经历了快速下降(1990—2000年均下降0.53%)—趋于稳定(2000—2018年)。I6山前平原温带耕地亚区生态环境质量在1990—2000年经历了快速下降,年均下降达0.52%。I7松辽平原温带草耕亚区生态环境质量经历了快速下降(1990—2000年均下降0.25%)—缓慢下降(2000—2018年均下降0.03%)。从空间格局看,I1、I5、I6、I7小区生态环境质量均呈下降趋势,I2、I3、I4小区属相对稳定区域。

由表4可知,1990—2018年,耕地、草地和水体与湿地转变为森林,耕地转变为草地和水体与湿地是导致东北林耕区生态环境质量改善的主要资源转变类型。森林、草地和水体与湿地被开发利用为耕地,森林转变为沼泽和草地,草地荒漠化,草地转变为沼泽,以及森林、草地被开发利用为建设用地是导致东北林耕区生态环境恶化的主要转变类型。研究区同时存在着生态改善和生态恶化的两

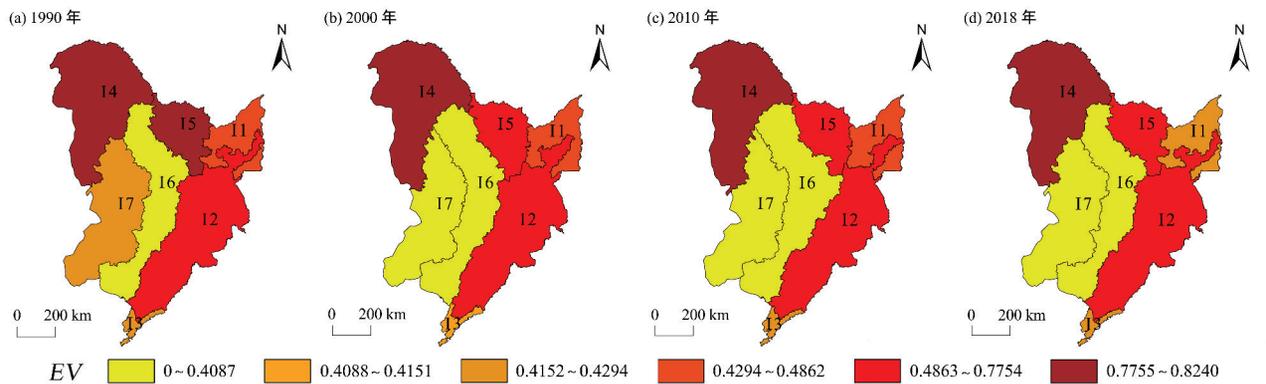


图3 1990—2018年东北林耕区生态环境质量空间差异(图中代码含义同图2)

Fig.3 EV spatial differences in forest-cultivated areas of Northeast China from 1990 to 2018

种变化,但是生态环境恶化大于生态环境改善,总体生态环境质量呈下降趋势。

## 5 东北林耕区自然资源变化的驱动力因素分析

东北林耕区的自然资源变化驱动力因素可从人文因素和自然因素两个方面进行分析,这两方面因素的作用不是孤立的,而是相互作用、相辅相成的(李晓燕等,2009;Mao et al.,2019)。大量研究表明,自然资源变化是生态-环境变化的主要驱动因素,而人文因素在驱动自然资源变化方面发挥着关键作用。

### 5.1 人文因素的影响

在近30年来,东北林耕区的自然资源发生了一系列变动。耕地面积扩大了约 $4.92 \times 10^4 \text{ km}^2$ ,林地、草地的面积分别减少了约 $2.26 \times 10^4 \text{ km}^2$ 、 $6.13 \times 10^4 \text{ km}^2$ ,建筑用地占比呈逐渐增加趋势。造成其变动的人文因素错综复杂,宏观政策、经济产业结构、科技、人口分布等社会因素都会对当地自然资源变动产生影响(邵亚奎等,2020;吕晓立等,2021;张子凡等,2021),其中宏观政策的引导尤为显著。

东北地区作为中国重要的老工业基地和农业商品粮基地,其对国民经济发展有着重要的影响力,工业化和城市化程度较高。近年来,东北地区实施多项政策。主要与政策相关的区域工业化和城市化加剧了资源的变动。东北老工业基地曾是新中国工业的摇篮,为建成独立、完整的工业体系和国民经济体系,为国家的改革开放和现代化建设

作出了历史性的重大贡献。而1990年以来,由于体制性和结构性矛盾日趋显现,东北老工业基地企业设备和技术老化,竞争力下降,资源性城市主导产业衰退,经济发展步伐相对较缓慢,与沿海发达地区的差距逐渐扩大。自2001年底中国正式加入世界贸易组织(WTO),对能源、原材料等基础产业和重化工业的需求更是快速增长。

因此,2002年,中共“十六大”报告中提出“走新型工业化道路”,要求东北老工业基地进行区域创新;在2003年11月,国家发改委批准了“振兴东北”第一批100个国债项目,总投资610亿元。2003—2014年期间,国家实施多项大力扶持东北老工业基地的振兴政策,推进东北地区具有一定基础和优势的重化工业项目,极大地推动了东北地区的工业化进程。同时,经济发展大大加快城市化进程,城市规模及其配套交通网络不断扩增,城市带、城市群模式发展明显。在“十三五”规划中,国家大力支持东北地区哈尔滨—长春和辽宁中南部两个城市群的发展(Mao et al.,2018),致使哈尔滨、长春、沈阳等大中型城市周边建设用地占用耕地现象较为严重。

除此之外,中国制定了一系列“强农惠农政策”,奋力推进农垦发展。如第二轮家庭联产承包责任制(1997—2027年)和2005年农业税的取消,引发农民大量开垦耕地;各大农场加大资金投入,将大量低海拔地区的天然林开垦为耕地。2008年,《国家粮食安全中长期规划(2008—2020年)》提出“提高东北水稻综合生产能力、加大对东北大豆扶持”,同年,《全国新增千亿斤粮食生产能力规划

表4 1990—2018年东北林耕区生态环境变化的主要驱动因子及其贡献率

Table 4 Main driving factors and contribution rate of ecological environment change in forest-cultivated areas of Northeast China from 1990 to 2018

	变化类型	面积/km <sup>2</sup>	生态贡献率/%	
导致生态环境改善	耕地→森林	32191	1.93	
	草地→森林	28625	0.68	
	耕地→草地	6212	0.3	
	耕地→水体与湿地	5397	0.21	
	水体与湿地→森林	5397	0.13	
	合计	77822	3.25	
导致生态环境恶化	森林→耕地	45719	2.6	
	草地→耕地	32118	1.28	
	水体与湿地→耕地	16865	0.61	
	森林→沼泽	19317	0.56	
	草地→荒漠	7318	0.34	
	森林→草地	10498	0.2	
	草地→沼泽	18295	0.18	
	森林→建设用地	1439	0.1	
	草地→建设用地	1877	0.08	
	耕地→荒漠	2759	0.05	
	森林→荒漠	308	0.02	
		合计	156513	6.02

(2009—2020年)》将东北209个县确定为粮食生产核心区,《吉林省增产百亿斤商品粮能力建设总体规划》预计5年内吉林省粮食增产50亿kg,黑龙江省出台《黑龙江省保障国家粮食安全战略工程规划》,指出5年内实现粮食增加100亿kg;2010年,《关于加快转变东北地区农业发展方式建设现代农业指导意见的通知》指出把东北建设成维护国家粮食安全的战略基地和农业现代化示范区等。大规模农垦活动的推进为国家粮食安全提供了保障,但也造成大量自然资源被消耗,区域生态环境遭到破坏。

综上所述可以看出,国家东北老工业基地振兴政策、城市发展规划、强农惠农政策等是东北地区30年来自然资源变动的主要驱动力。

## 5.2 自然因素的影响

自然资源与气候、地质、地貌、水文、土壤等诸多要素自成体系,同时又相互作用,相互制约。如气候条件是较为重要的因素,其对土地利用有明显的制约作用,主要表现在其对农作物、牧草和林木种类选择及其分布、组合、耕作制度和产量的影响上(符淙斌和袁慧玲,2001;李晓燕等,2009)。东北

地区作为全球环境变化敏感区,全球气候变暖使积温增加促进不适宜作物等积温线北移,为耕地增长提供了重要的前提条件(张殿发和李凤全,2000b;满卫东等,2016)。一些河谷、沟谷、坡地及丘陵岗地等水热自然条件较好的地区的林地则更有可能被开垦为耕地。

研究区位于地球环境变化速率最大的东亚季风区,是气候变暖的强增温区域,暖干化趋势明显,近年来由于自然降水偏少,蒸散量大于降水量,致使土壤经常处于水分亏缺状态(黄慰文和侯亚梅,1999;张淑杰等,2010),已成为影响区内农业生产的主要自然灾害之一,造成农业生产不稳定性增加。东北林耕区作为主要的农业商品粮基地,需要保证粮食产量,所以近年来的气候条件对于耕地面积的增加势必会有所贡献。

东北林耕区地形主要为平原,土壤类型主要有黑土、黑钙土及草甸土,土壤肥沃,利于农作物生长,主要有大豆、高粱、玉米、小麦等旱地作物。近年来,在靠近江河湖泊的平原地带也种植了大量水稻,即平原主要以耕地为主(郑艺文等,2021)。东北林耕区湿地分布于地势平坦、海拔较低的平原地区,这些湿地地势较平缓、且水资源丰富,可以为水稻等农作物提供优越的生长条件,促使耕地面积的增加(牛振国等,2009)。

## 6 结 论

(1)利用研究区气候条件、植被生长状况、土壤、水文和基础地理等指示环境自然属性的基础数据库和土地资源、森林资源、草资源、水体与湿地资源、建设用地和荒漠等7大类资源空间分布的专题数据库,通过定量方法计算与定性方法相结合的方式,进行自然资源综合区划,将东北平原林耕自然资源大区初步划分为7个二级自然资源亚区和14个三级自然资源地区。

(2)通过对研究区1990—2018年的自然资源时空动态特征作定量分析,得出:在1990—2018年间,东北林耕区主导资源森林资源面积减少了约22586 km<sup>2</sup>,草资源减少了约61262 km<sup>2</sup>,耕地资源面积增加了约49156 km<sup>2</sup>。最主要的变化是森林、草地转变为耕地和水体与湿地,同时大量耕地被开发利用为建设用地,草地荒漠化现象也较为严重。

(3)近30年,研究区生态环境质量总体呈下降趋势,尤其在1990—2000年期间最为明显。从空间格局看,I2长白山山地温带森林亚区、I4大兴安岭寒温带丘陵森林亚区、I5小兴安岭山地温带森林亚区二级小区是研究区生态环境质量的高值区,I1三江平原温带耕地区、I3辽东平原温带耕地区、I6山前平原温带耕地区、I7松辽平原温带草耕亚区生态环境质量普遍偏低;其中I1、I5、I6、I7二级小区生态环境质量均呈现下降趋势,是驱动研究区生态环境恶化的主要地区。导致东北林耕区生态环境质量恶化的主要资源转变类型是森林、草地和湿地与湿地被开发利用为耕地,森林转变为沼泽和草地,草地荒漠化等。森林、草地被开发利用为耕地对于研究区生态环境质量恶化的生态贡献率最大。

(4)森林资源、草资源、水体与湿地转变为耕地,森林沼泽化以及草地荒漠化是研究区生态环境退化的主要驱动因子,而城市化和工业化等相关政策调控以及国家近年来的强农惠农政策的实施对于自然资源的变化贡献很大,进而对生态环境质量产生影响。

## References

- Bradshaw C, Giam X, Sodhi N S. 2010. Evaluating the relative environmental impact of countries[J]. *PLoS One*, 5(5): e10440.
- Chen Guoguang, Zhang Xiaodong, Zhang Jie, Zhan Long. 2020. Discussion on natural resources classification system[J]. *East China Geology*, 41(3): 209–214(in Chinese with English abstract).
- China Society of Natural Resources. 1985. *Natural Resources Research Theory and Method*[M]. Beijing: Science Press(in Chinese with English abstract).
- Cui Jia, Zang Shuying. 2013. Ecological and environmental effects of land use change in Harbin Daqi Industrial Corridor[J]. *Geographical Research*, 32(5): 848–856(in Chinese with English abstract).
- Danish K, Wang Zhaohua. 2019. Investigation of the ecological footprint's driving factors: What we learn from the experience of emerging economies[J]. *Sustainable Cities and Society*, 49: 101626.
- Fu Congbin, Yuan Huiling. 2001. A virtual experiment on the effects of restoring natural vegetation on summer Climate and environment in East Asia[J]. *Chinese Science Bulletin*, 46(8): 691–695(in Chinese).
- Galli A, Kitzes J, Niccolucci V, Wackernagel M, Wada Y, Marchettini N. 2012. Assessing the global environmental consequences of economic growth through the Ecological Footprint: A focus on China and India[J]. *Ecological Indicators*, 17: 99–107.
- Ge Jialu, Xie Qingya. 2016. Analysis of land use landscape pattern and its eco-environmental effect in Dalian City[J]. *Land and Natural Resources Research (Phase 3)*: 53–55(in Chinese with English abstract).
- Huang Weiwen, Hou Yamei. 1999. On the reconstruction of paleoecology in East Asia[J]. *Quaternary Sciences*, 19(2): 155–164 (in Chinese with English abstract).
- Jiang S, Wang J, Zhao Y, Shang Y, Gao X, Li H, Wang Q, Zhu Y. 2017. Sustainability of water resources for agriculture considering grain production, trade and consumption in China from 2004 to 2013[J]. *Journal of Cleaner Production*, 149(APR.15): 1210–1218.
- Jiang Yuehua, Ni Huayong, Zhou Quanping, Cheng Zhiyan, Duan Xuejun, Zhu Zhimin, Wu Jichun, Ren Haiyan, Fan Chenzi, Yang Jinwei, Chen Chao, Hu Jian, Wang Xiaolong, Jiang Xiaye, Liu Yongbing, Yang Hai, Guo Wei, Feng Naiqi, Wei Guangqing, Jin Yang, Yang Hui, Liu Lin, Mei Shijia, Zhang Hong, Chen Pengjun, Yuan Jihai, Qi Qiuju, Lü Jinsong, Gu Xuan, Liu Peng. 2021. Key technologies of ecological restoration demonstration in the Yangtze River Economic Zone and their application[J]. *Geology in China*, 48(5): 1305–1333 (in Chinese with English abstract).
- Khan I, Hou F, Le H P. 2020. The impact of natural resources, energy consumption, and population growth on environmental quality: Fresh evidence from the United States of America[J]. *Science of the Total Environment*, 754: 142222.
- Lai Ming, Wu Shuyu, Zhang Haiyan, Liu Jiufen, Wang Xinhua, Chen Xizhuo. 2021. Analysis on the characteristics of natural resources dynamic changes in Southwest China based on comprehensive regionalization[J]. *Geological Survey of China*, 8(2): 83–91(in Chinese with English abstract).
- Li Ruzi, Song Yuxiang, Li Yuting, Chen Xiaohong. 2013. Ecological environment evolution and its characteristics in Northeast China in recent 10 years[J]. *Scientia Geographica Sinica*, 33(8): 7(in Chinese with English abstract).
- Li Xiaoyan, Li Baoyi, Xue Linfu. 2009. Remote sensing dynamic monitoring and driving factors analysis of cultivated land resources in black soil region of Northeast China[J]. *Anhui Agricultural Sciences*, 37(23): 11142–11144(in Chinese with English abstract).
- Lü Xiaoli, Liu Jingtao, Han Zhantao, Zhu Liang, Yang Mingnan, Li Haijun. 2021. Geochemical characteristics and driving factors of high-ammonium groundwater in the rapid urbanization of the Pearl River Delta[J]. *Geology in China*, 48(6): 1770–1780(in Chinese with English abstract).
- Ma Zhen, Xia Yubo, Li Haitao, Han Bo, Yu Xuezhong, Zhou Yalong, Wang Yushan, Guo Xu, Li Hongqiang, Pei Yandong. 2021. Analysis of natural resources and environment eco-geological conditions in the Xiong'an New Area[J]. *Geology in China*, 48(3): 677–696(in Chinese with English abstract).
- Man Weidong, Wang Zongming, Liu Mingyue, Lu Chunyan, Jia Mingming, Mao Dehua, Ren Chunying. 2016. Spatio-temporal

- dynamics analysis of cropland in Northeast China during 1990–2013 based on remote sensing[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 32(7): 1–10(in Chinese with English abstract).
- Mao D, He X, Wang Z, Tian Y, Zheng H. 2019. Diverse policies leading to contrasting impacts on land cover and ecosystem services in Northeast China[J]. Journal of Cleaner Production, 240: 117961.
- Mao D, Wang Z, Changshan WU, Song K, Ren C. 2014. Examining forest net primary productivity dynamics and driving forces in northeastern China during 1982–2010[J]. Chinese Geographical Science, 24(6): 631–646.
- Mao D, Wang Z, Wu J, Wu B, Ling L. 2018. China's wetlands loss to urban expansion[J]. Land Degradation and Development, 29(8): 2644–2657.
- Niu Zhenguo, Gong Peng, Cheng Xiao, Guo Jianhong, Wang Lin, Huang Huabing, Shen Shaoqing, Wu Yunzhao, Wang Xiaofeng, Wang Xiancheng. 2009. Preliminary remote sensing mapping of wetlands in China and analysis of related geographical features[J]. Science in China (Series D: Earth Sciences), 39(2): 188–203(in Chinese).
- Pata U K, Aydin M, Haouas I. 2020a. Are natural resources abundance and human development a solution for environmental pressure? Evidence from top ten countries with the largest ecological footprint[J]. Resources Policy, 70(26): 101923.
- Pata U K, Aydin M. 2020b. Testing the EKC hypothesis for the top six hydropower energy-consuming countries: Evidence from Fourier Bootstrap ARDL procedure[J]. Journal of Cleaner Production, 264: 121699.
- Shao Yakui, Zhu Changming, Xu Xinliang, Zhang Xin, Shen Qian. 2020. Remote sensing mapping and spatiotemporal changes of forest land in Anhui Province from 2000 to 2012[J]. Ecological Science, 38(6): 15–21 (in Chinese with English abstract).
- Shittu W, Adedoyin F F, Shah M I, Oluwaseyi M H. 2021. An investigation of the nexus between natural resources, environmental performance, energy security, and environmental degradation: Evidence from Asia[J]. Resources Policy, 73(26): 102227.
- Song Yuxiang. 2002. Ecological environment conservation and green community construction in Northeast China[J]. Scientia Geographica Sinica, 22(6): 655–659 (in Chinese with English abstract).
- Ulucak R, Danish, Ozcan B. 2020. Relationship between energy consumption and environmental sustainability in OECD countries: The role of natural resources rents[J]. Resources Policy, 69: 101803.
- Wu Zhuo. 2012. Analysis of land use landscape pattern and its eco-environmental effect in Dandong City[J]. Journal of Capital Normal University(Natural Science Edition), (6): 45–50(in Chinese with English abstract).
- Yang Qingke, Duan Xuejun, Wang Lei, Jin Zhifeng. 2018. Land use transformation based on ecological-production-living spaces and associated eco-environment effects: A case study in the Yangtze River Delta[J]. Scientia Geographica Sinica, 38(1): 97–106(in Chinese with English abstract).
- Yang Shuhe, Yan Haili, Guo Liying. 2004. Land use change and its eco-environmental effect in the farming-pastoral ecotone in northern Shaanxi Province: A case study of Yulin City[J]. Progress in Geography, 23(6): 49–55(in Chinese with English abstract).
- Yu Lili, Tang Shinan, Ding Yuanfang, Chen fei, Yang Yan, Ding Yueyuan, He Jun. 2019. Situation and countermeasures of groundwater overexploitation in northeast China[J]. Water Resources Planning and Design, 186(4): 37–40(in Chinese).
- Zhang Dianfa, Li Fengquan. 2000. Discussion on the formation mechanism of fragile ecological geological environment in farming-pastoral ecotone in north China[J]. Journal of Ecology and Rural Environment, 16(4): 58–60 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Dianfa, Lin Nianfeng. 2000. A preliminary study on the neotectonism and climate cycle mechanism of environment evolution in the Songnen Plain since the Quarternary[J]. Global Geology, 19(1): 73–77(in Chinese with English abstract).
- Zhang Haiyan, Pan Jiangwen, Huang Lin, Tang Yulei, Yue Ying, Yang Yu, Liu Xiaohuang. 2020. Theoretical study and technical scheme of comprehensive regionalization of natural resources in China[J]. Resource Science, 42(10): 1870–1882(in Chinese with English abstract).
- Zhang Shujie, Zhang Yushu, Cai Fu, Wu Jinwen, Chen Pengshi, Ji Ruipeng, Mi Na, Liu Xiaomei. 2010. Changes of water budget and their effects and responses in Northeastern China from 1961 to 2007[J]. Resource Science, (4): 79–86(in Chinese with English abstract).
- Zhang X, Manzanedo R D, D 'Orangeville L, Radmacher T T, Pederson N. 2019. Snowmelt and early to mid-growing season water availability augment tree growth during rapid warming in southern Asian boreal forests[J]. Global Change Biology, 25(10): 3462–3471.
- Zhang Yue. 2018. Analysis of the relationship between geographical national conditions monitoring and resource environment monitoring[J]. Geomatics & Spatial Information Technology, 41(7): 135–138 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Zifan, Zhang Haiyan, Liu Xiaohuang, Wu Haoran, Liu Shuliang, Liu Xiaodan. 2021. Dynamic change characteristics of comprehensive regionalization of natural resources in North China[J]. Geological Survey of China, 8(2): 92 – 99(in Chinese with English abstract).
- Zhao Junfang, Yan Xiaodong, Jia Gensuo. 2009. Simulation of carbon stocks of forest ecosystems in Northeast China from 1981 to 2002[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 20(2): 241–249.

- Zheng Yiwen, Zhang Haiyan, Liu Xiaojie, Liu Xiaohuang, Bao Kuanle, Wang Xiaotian. 2021. Analysis of natural resources dynamic change characteristics under comprehensive regionalization in Northeast China from 1990 to 2018[J]. Geological Survey of China, 8(2): 100–108(in Chinese with English abstract).
- Zhou Quanping, Zhang Pengbin, Xue Tengfei, Jiang Yuehua, Guo Lin, Yang Ranran. 2021. Changes of ecological environment in Yangtze River Economic Belt in recent 20 years[J]. Geology in China, 48(4): 1127–1141 (in Chinese with English abstract).
- ### 附中文参考文献
- 陈国光, 张晓东, 张洁, 湛龙. 2020. 自然资源分类体系探讨[J]. 华东地质, 41(3): 209–214.
- 崔佳, 臧淑英. 2013. 哈大齐工业走廊土地利用变化的生态环境效应[J]. 地理研究, 32(5): 848–856.
- 符淙斌, 袁慧玲. 2001. 恢复自然植被对东亚夏季气候和环境影响的一个虚拟试验[J]. 科学通报, 46(8): 691–695.
- 戈嘉璐, 谢清雅. 2016. 大连市土地利用景观格局及其生态环境效应分析[J]. 国土与自然资源研究, (3): 53–55.
- 黄慰文, 侯亚梅. 1999. 关于东亚早期人类生态环境的重建[J]. 第四纪研究, 19(2): 155–164.
- 姜月华, 倪化勇, 周权平, 程知言, 段学军, 朱志敏, 吴吉春, 任海彦, 范晨子, 杨晋炜, 陈超, 胡建, 王晓龙, 姜夏烨, 刘永兵, 杨海, 郭威, 冯乃琦, 魏广庆, 金阳, 杨辉, 刘林, 梅世嘉, 张鸿, 陈澎军, 袁继海, 齐秋菊, 吕劲松, 顾轩, 刘鹏. 2021. 长江经济带生态修复示范关键技术及其应用[J]. 中国地质, 48(5): 1305–1333.
- 赖明, 吴淑玉, 张海燕, 刘玖芬, 王新华, 陈熹卓. 2021. 基于综合区划的中国西南地区自然资源动态变化特征分析[J]. 中国地质调查, 8(2): 83–91.
- 李汝资, 宋玉祥, 李雨婷, 陈晓红. 2013. 近10 a来东北地区生态环境演变及其特征研究[J]. 地理科学, 33(8): 7.
- 李晓燕, 李宝益, 薛林福. 2009. 东北黑土区耕地资源遥感动态监测与驱动因素分析[J]. 安徽农业科学, 37(23): 11142–11144.
- 吕晓立, 刘景涛, 韩占涛, 朱亮, 杨明楠, 李海军. 2021. 快速城镇化进程中珠江三角洲高铍地下水赋存环境及驱动因素[J]. 中国地质, 48(6): 1770–1780.
- 马震, 夏雨波, 李海涛, 韩博, 余学中, 周亚龙, 王雨山, 郭旭, 李洪强, 裴艳东. 2021. 雄安新区自然资源与环境-生态地质条件分析[J]. 中国地质, 48(3): 677–696.
- 满卫东, 王宗明, 刘明月, 路春燕, 贾明明, 毛德华, 任春颖. 2016. 1990—2013年东北地区耕地时空变化遥感分析[J]. 农业工程学报, 32(7): 1–10.
- 牛振国, 宫鹏, 程晓, 魏建宏, 王琳, 黄华兵, 沈少青, 吴昀昭, 王晓风, 王显成. 2009. 中国湿地初步遥感制图及相关地理特征分析[J]. 中国科学: D辑, 39(2): 188–203.
- 邵亚奎, 朱长明, 徐新良, 张新, 沈谦. 2020. 2000—2012年安徽省林地遥感制图与时空变化分析[J]. 生态科学, 38(6): 15–21.
- 宋玉祥. 2002. 东北地区生态环境保育与绿色社区建设[J]. 地理科学, 22(6): 655–659.
- 吴卓. 2012. 丹东市土地利用景观格局及其生态环境效应分析[J]. 首都师范大学学报(自然科学版), (6): 45–50.
- 杨清可, 段学军, 王磊, 金志丰. 2018. 基于“三生空间”的土地利用转型与生态环境效应——以长江三角洲核心区为例[J]. 地理科学, 38(1): 97–106.
- 杨述河, 闫海利, 郭丽英. 2004. 北方农牧交错带土地利用变化及其生态环境效应——以陕北榆林市为例[J]. 地理科学进展, 23(6): 49–55.
- 于丽丽, 唐世南, 丁元芳, 陈飞, 羊艳, 丁跃元, 何君. 2019. 东北地区地下水超采情况及对策建议[J]. 水利规划与设计, 186(4): 37–40.
- 张殿发, 李凤全. 2000a. 我国北方农牧交错带脆弱生态地质环境形成机制探讨[J]. 生态与农村环境学报, 16(4): 58–60.
- 张殿发, 林年丰. 2000b. 松嫩平原生态地质环境变迁构造—气候旋回机制探讨[J]. 世界地质, 19(1): 73–77.
- 张海燕, 樊江文, 黄麟, 汤宇磊, 岳颖, 杨玉, 刘晓煌. 2020. 中国自然资源综合区划理论研究与技术方案[J]. 资源科学, 42(10): 1870–1882.
- 张淑杰, 张玉书, 蔡福, 武晋雯, 陈鹏狮, 纪瑞鹏, 米娜, 刘晓梅. 2010. 1961年至2007年东北地区水分盈亏变化趋势及其影响与响应[J]. 资源科学, (4): 79–86.
- 张月. 2018. 浅析地理国情监测与资源环境监测的关系[J]. 测绘与空间地理信息, 41(7): 135–138.
- 张子凡, 张海燕, 刘晓煌, 吴浩然, 刘淑亮, 柳晓丹. 2021. 华北地区自然资源综合区划的动态变化特征分析[J]. 中国地质调查, 8(2): 92–99.
- 郑艺文, 张海燕, 刘晓洁, 刘晓煌, 鲍宽乐, 王小天. 2021. 1990—2018年东北地区综合区划下自然资源动态变化特征分析[J]. 中国地质调查, 8(2): 100–108.
- 中国自然资源学会. 1985. 自然资源研究的理论与方法[M]. 北京: 科学出版社.
- 周权平, 张澎彬, 薛腾飞, 姜月华, 郭琳, 杨冉冉. 2021. 近20年来长江经济带生态环境变化[J]. 中国地质, 48(4): 1127–1141.