

doi: 10.11720/wtyht.2022.0041

肖红叶, 刘国栋, 杨泽, 等. 东北黑土区近半世纪土地利用变化时空特征分析[J]. 物探与化探, 2022, 46(5): 1037–1049. <http://doi.org/10.11720/wtyht.2022.0041>

Xiao H Y, Liu G D, Yang Z, et al. Spatio-temporal change in land uses of the black soil area in northeast China over the past half century[J]. Geophysical and Geochemical Exploration, 2022, 46(5): 1037–1049. <http://doi.org/10.11720/wtyht.2022.0041>

东北黑土区近半世纪土地利用变化时空特征分析

肖红叶^{1,2,3}, 刘国栋^{1,2,3}, 杨泽^{1,2,3}, 房娜娜^{1,2,3},
戴慧敏^{1,2,3}, 刘凯^{1,2,3}, 韩晓萌^{1,2,3}, 朱恒¹

(1. 中国地质调查局 沈阳地质调查中心, 辽宁 沈阳 110034; 2. 自然资源部 黑土地演化与生态效应重点实验室, 辽宁 沈阳 110034; 3. 辽宁省黑土地演化与生态效应重点实验室, 辽宁 沈阳 110034)

摘 要: 东北黑土区作为世界四大黑土区之一, 分布着肥沃、珍稀的黑土资源, 它的保护和利用历来备受关注。土地利用/覆盖变化影响生态系统的结构、功能和健康, 对实现土地资源的可持续利用具有重要意义。本文选取 1970 年、1995 年、2010 年和 2020 年四期土地利用/覆盖数据, 应用土地利用转移矩阵、综合动态度、空间变化模型等方法分析东北黑土区近半世纪以来的土地利用变化时空特征, 发现: ①近半世纪以来东北黑土区建设用地、耕地及草地面积总体增加, 湿地、林地及未利用地面积总体降低, 地类变化主要集中于三江平原、松嫩平原西北部及西辽河平原地区; ②各地类变化均以交变量占主导优势, 存在大量空间位置转移; ③土地利用程度呈逐年小幅增长的趋势, 但仍低于全国水平, 土地开发利用的潜力巨大。未来, 应进一步研究东北黑土区土地利用变化时空特征、机制及其对生态环境、生态服务功能、碳收支平衡的影响, 优化国土空间布局, 实现“把黑土地用好养好”。

关键词: 黑土区; 土地利用; 转移矩阵

中图分类号: P632

文献标识码: A

文章编号: 1000-8918(2022)05-1037-13

0 引言

黑土作为世界上最肥沃的土壤之一^[1], 素有“土中之王”的美誉。自然黑土是在适宜的气候、水文和植被覆盖条件下, 以黄土状黏土、洪积物、冲积物、冰碛物及风积物等松散沉积物为成土母质, 历经第四纪全新世以来漫长的发育, 形成具有独特自然属性的土壤类型, 其表土层有大量黑色或暗黑色腐殖质, 有机质含量高, 是一种性状好、肥力强、适宜农耕的珍贵稀缺土地资源^[2-3]。曾经农民只能根据土壤的颜色、地力以及厚度是否超过一犁厚来辨别肥沃的黑土^[4], 经过国内外学者的持续关注和多年系统研究, 专家认为黑土的特征主要包括深厚的暗沃

表层、含量丰富的有机质、适宜的容重、良好的团粒结构、较高的盐基饱和度和适宜的 pH 值等^[3]。目前, 全球黑土区总面积约占地球陆地表面的 7%, 主要分布在世界四大黑土区: 俄罗斯—乌克兰大平原、北美洲密西西比河流域、中国东北平原以及南美洲的潘帕斯草原^[5]。我国政府历来高度关注黑土地的保护和利用, 2020 年习近平总书记在东北考察时指示“切实把黑土地这个‘耕地中的大熊猫’保护好、利用好, 使之永远造福人民”^[6]。

土地利用包括土地的使用情况及其社会经济属性^[7]。随着全球经济的高速发展、人口爆炸式增长以及生态资源压力的日益严峻, 受自然条件及人类活动的综合影响, 世界范围内 30% 以上土地的利用格局发生着剧烈的变化^[8]。土地利用/覆盖变化易

收稿日期: 2022-01-27; **修回日期:** 2022-06-09

基金项目: 中国地质调查局项目“东北黑土地 1: 25 万土地质量地球化学调查”(121201007000161312)、“兴凯湖平原及松辽平原西部土地质量地球化学调查”(DD20190520)

第一作者: 肖红叶(1987-), 女, 高级工程师, 主要从事黑土地生态地质研究工作。Email: kaolakaola1987@163.com

通讯作者: 朱恒(1986-), 男, 博士, 工程师, 研究方向为应用地球物理研究。Email: zhuheng129@126.com

引发土壤微生物、土壤碳储量的变化^[9-11],从而改变生态系统的结构和功能^[12-13],影响生态环境健康和生态服务价值^[14]。据研究表明,全球人类活动排放的二氧化碳中有 1/3 是由土地利用/覆盖变化造成的,仅次于化石燃料的燃烧^[15]。土地利用/覆盖变化是人类活动作用于地球表层系统最为显著的表现形式和人与自然关系最为密切的环节之一^[16-17],分析研究土地利用变化特征对实现土地资源的可持续利用具有重要意义,也是当代全球变化研究领域的重点课题^[18]。

1 研究区概况

根据 2021 年中国科学院发布的《黑土地白皮书》,中国东北黑土区包括黑龙江省、吉林省、辽宁省东北部以及内蒙古“东四盟”地区,东邻俄罗斯、东南紧靠朝鲜,西与蒙古交界,南抵辽河,共含 246 个县(市、旗),面积达 109 万 km²,占全球黑土总面积的 12%^[5]。东北黑土区位于中纬度亚洲大陆东部,属温带季风性气候,四季分明、雨热同季^[19]。中国东北地区的黑土是以砂砾和黄土状黏土为主要成土母质,并在其特有的气候条件和植被的相互作用下形成的土壤类型^[4,20]。夏季旺盛生长的植被进入秋冬后大量枯死,低温又抑制了土壤中的微生物活性,使植物残体分解缓慢,长此以往土壤表层积累了厚厚的腐殖层,最终发育成肥沃的黑土^[3,19]。

东北黑土区是全球最适宜耕作的地区之一,也是我国最大的商品粮生产基地^[2],玉米和大豆产量占全国 38.2%和 45.8%^[21],粮食总产量占全国的四分之一,粮食调出量占全国的三分之一^[22],人均粮食占有量比全国人均量高一倍以上^[23],享有“中国粮仓”和粮食安全“稳压器”的美誉^[24-25]。根据 2010 年国务院发布的《全国主体功能区规划》,东北黑土区涵盖了大、小兴安岭森林生态功能区、三江平原湿地生态功能区、长白山森林生态功能区、呼伦贝尔草原草甸生态功能区及部分科尔沁草原生态功能区^[26];作为我国重要的老工业基地,东北黑土区是我国重要的能源、木材、冶金生产基地,几十年间先后经历了经济发展、衰落到再振兴的过程^[13]。

2 数据来源

本研究所需的土地利用/覆盖数据来源于中国科学院资源环境科学数据中心(<http://www.resdc.cn>),分别选取 20 世纪 70 年代(按 1970 年统计)、90 年代中期(按 1995 年统计)、2010 年、2020 年四期 1:10 万比例尺土地利用/土地覆盖数据。70 年代数据的重建主要使用 Landsat-MSS 遥感影像,90 年代中期、2010 年数据的遥感解译主要使用 Landsat-TM/ETM 遥感影像,2020 年土地利用/覆盖数据更新主要使用 Landsat 8 遥感影像。本研究根据《全国土地分类标准》^[27],结合研究区具体情况以及湿地定义^[28],将中国 1:10 万比例尺土地利用/土地覆盖遥感监测数据库(LUCC)中 25 种土地资源的自然属性和利用属性划分为耕地、林地、草地、湿地、建设用地及未利用地共 6 种土地利用类型(表 1),此处湿地指天然湿地,不包括人工湿地。

表 1 土地利用类型归类
Table 1 Land use type classification table

土地利用类型	土地利用属性
耕地	水田、旱地
林地	有林地、灌木林、疏林地和其他林地
草地	高覆盖度草地、中覆盖度草地和低覆盖度草地
湿地	河渠、湖泊、水库塘坑、滩涂、滩地和沼泽地
建设用地	城镇用地、农村居民点和其他建设用地
未利用地	沙地、戈壁、盐碱地、永久性冰川雪地和裸土地、裸岩石质地和其他未利用土地

3 研究方法

3.1 土地利用转移矩阵

土地利用转移矩阵(马尔可夫模型)反映了某一区域在一定时段内期初和期末各种土地利用类型的变化^[29-30]。表 2 中, P 代表某一地类占区域面积的百分比, P_{ii} 表示第 i 种地类未变化面积占区域面积的百分比, P_{i+} 表示第 i 种地类的期初面积占区域面积的百分比, P_{+i} 表示第 i 种地类的期末面积占区域面积的百分比, P_{ij} 表示由第 i 种地类转化为第 j 种地类的面积占区域面积的百分比,表中行元素之和表示某地类期初面积占区域面积的百分比,列元素之和表示其期末面积占区域面积的百分比。

3.2 土地净变化量

土地净变化量反映某一时段内某种地类面积的绝对变化量^[31-32],由于它无法反映土地利用类型在空间位置上的转移,易低估地类间转化程度。土地净变化量 B_i 计算公式为:

$$B_i = \max(P_{i+} - P_{ii}, P_{+i} - P_{ii}) - \min(P_{i+} - P_{ii}, P_{+i} - P_{ii}) = |P_{i+} - P_{+i}|。 (1)$$

表 2 土地利用转移矩阵
Table 2 Land use transfer matrix

地类	A_1	A_2	...	A_j	...	A_n	期初面积	减少面积
A_1	P_{11}	P_{12}	...	P_{1j}	...	P_{1n}	P_{1+}	$P_{1+} - P_{11}$
A_2	P_{21}	P_{22}	...	P_{2j}	...	P_{2n}	P_{2+}	$P_{2+} - P_{22}$
...	...	...	...	...	...	...	...	...
A_i	P_{i1}	P_{i2}	...	P_{ij}	...	P_{in}	P_{i+}	$P_{i+} - P_{ii}$
...	...	...	...	...	...	...	...	...
A_n	P_{n1}	P_{n2}	...	P_{nj}	...	P_{nn}	P_{n+}	$P_{n+} - P_{nn}$
期末面积	P_{+1}	P_{+2}	...	P_{+j}	...	P_{+n}	1	-
增加面积	$P_{+1} - P_{11}$	$P_{+2} - P_{22}$	...	$P_{+j} - P_{jj}$	...	$P_{+n} - P_{nn}$	-	-

3.3 土地交变化量

土地交变化量反映某一时段内某种土地利用类型空间位置上的变化,它与土地净变化量加和构成土地总变化量^[31-32]。土地交变化量 B_2 计算公式为:

$$B_2 = 2 \times \min(P_{i+} - P_{ii}, P_{+i} - P_{ii})。$$
 (2)

3.4 土地利用类型转移网络

基于土地利用类型转移矩阵,引入“土地利用转移流”指标,测算各土地利用类型的“转出流”及“转入流”,将得到土地利用类型转移网络^[8],它可以直观地表明一段周期内土地利用类型间的相互转换情况,有助于揭示土地利用类型的转移方向和空间演化进程。土地利用转移流 B_3 及土地转移流净值 B_4 计算公式为:

$$B_3 = P_{out} + P_{in}，$$
 (3)

$$B_4 = P_{in} - P_{out}，$$
 (4)

式中: P_{out} 为转出流, P_{in} 为转入流。当 B_4 值为正时,表示净流入,其值为负时,表示净流出。

3.5 单项地类面积变化率

单项地类面积变化率表示一段时间内某一地类变化面积占期初面积的比值,在分区的基础上计算各小区单项地类面积变化率,有助于揭示不同地类土地利用变化剧烈程度的空间分布特征^[31]。单项地类面积变化率 B_5 计算公式为:

$$B_5 = (P_{+i} - P_{i+}) / P_{i+}。$$
 (5)

3.6 单一土地利用类型动态度

单一土地利用类型动态度可定量描述研究区在一定的时间间隔内,土地利用类型的变化速度^[7,29]。若结果为正值,即为土地利用开发度(LUD),代表单位时间内某类型土地利用实际新开发的程度(不适用未利用地),若结果为负值,即为土地利用耗减度(LUC),指单位时间内某类型土地利用被实际消耗的程度^[33]。计算公式为:

$$B_6 = \frac{P_{+i} - P_{i+}}{P_{i+}} \times \frac{1}{T} \times 100\%，$$
 (6)

式中: B_6 为第 i 种地类单一土地利用类型动态度; T 为研究时段,此处以年为单位。

3.7 土地利用综合动态度

土地利用综合动态度反映研究区内部总土地活动动态度^[31]。当土地利用演变驱动以人为因素主导时,能反映人类活动对土地利用程度的综合影响^[34]。某一时段内研究区的土地利用综合动态度 B_7 计算公式为:

$$B_7 = 1 - \sum_{i=1}^n P_{ii}。$$
 (7)

3.8 土地利用程度综合指数

土地利用程度综合指数反映研究区内土地利用类型和方式转变导致研究区土地利用强度发生的综合变化^[16,29]。计算公式为:

$$B_8 = \left\{ \sum A_i (S_i / S) \right\} / n \times 100\%，$$
 (8)

式中: B_8 为研究区土地利用程度综合指数; A_i 为第 i 级土地利用程度分级指数; S_i 为第 i 级土地利用面积; S 为该区域内土地总面积; n 为土地利用总分类数。

3.9 土地利用空间变化模型

基于人口地理学中常见的人口分布重心原理,通过比较期初和期末研究区内不同地类的分布重心,最终得到土地利用空间变化模型^[7,35]。

$$X_B = \sum_{i=1}^n (C_{ii} \times X_i) / \sum_{i=1}^n C_{ii}，$$
 (9)

$$Y_B = \sum_{i=1}^n (C_{ii} \times Y_i) / \sum_{i=1}^n C_{ii}。$$
 (10)

式中: X_B 、 Y_B 分别表示在 t 年份某一地类分布重心的经度和纬度坐标; C_{ii} 表示在 t 年份研究区内第 i 种地类的面积; X_i 、 Y_i 分别表示研究区内第 i 个小区的几何中心(或旗县所在地)的经纬度坐标。

4 结果与分析

4.1 土地利用空间变化、面积变化

4.1.1 面积变化

近半个世纪以来,东北黑土区各类土地利用面积均发生不同程度和趋势的变化(图1)。其中,湿地面积整体大幅降低,2020年黑土区湿地面积较1970年降低了41.2%,除1995~2010时段湿地面积显著增加外,1970~1995年、2010~2020年均持续降低;50年间黑土区耕地(含水田和旱田)面积整体增加24.88%,除2010~2020年受退耕还林、退耕还

草、退耕还湿政策,生态保护红线划定及城市建设用地快速扩张的影响,耕地面积小幅降低以外,其他各期均呈增长趋势;50年间黑土区林地面积较期初下降6.94%,且近半个世纪以来各期变化均呈现持续降低趋势;50年间黑土区草地面积整体增加9.75%,除1995~2010时段呈降低趋势,其他各期面积均程增加态势;50年间黑土区建设用地面积整体增加25.69%,且各期均呈持续增长态势;50年间黑土区未利用土地面积整体下降7.69%,除1995~2010年面积增加外,其他各期面积均呈现降低趋势。

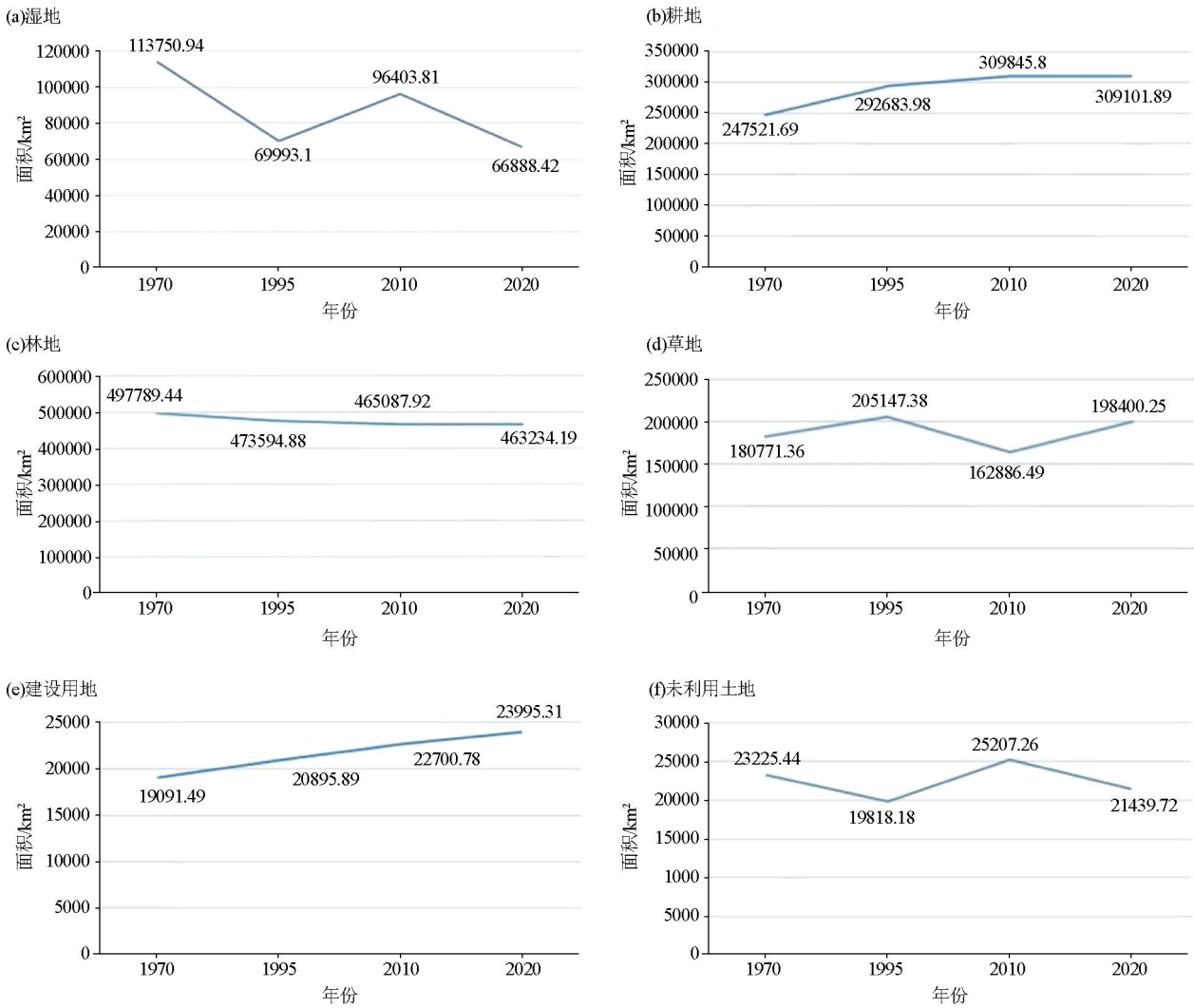


图 1 1970~2020 年各类土地利用面积变化

Fig. 1 Line chart of land use area changes for various types from 1970 to 2020

4.1.2 空间变化

1970~2020 年间,黑土区土地利用空间转移主要集中于三江平原北部、松嫩平原西北部及西辽河平原地区等(图2)。其中,草地主要向耕地和林地

转化,草地转化为耕地主要分布于三江平原、嫩江中上游、呼伦贝尔市周边、松原市南部、通辽市西部等地;草地转化为林地主要分布于兴安盟西部、科尔沁草原南部、呼伦贝尔草原南部及大小兴安岭地区;耕

地主要向林地和草地转化,其中,耕地转化为林地主要分布于齐齐哈尔市西北部、白城市北部、通辽市东部及延吉市周边等区域,耕地转化为草地主要分布于呼伦贝尔草原北部及西辽河平原等地区;林地主要向耕地和草地转化,其中,林地转化为耕地主要分布于大小兴安岭南部、三江平原部分区域及长白山部分地区,林地转化为草地主要分布于兴安盟西南

部及呼伦贝尔草原南部;湿地主要向耕地和草地转化,其中,湿地转化为耕地主要分布于三江平原及嫩江周边地区,湿地转化为草地主要分布于大小兴安岭及呼伦贝尔大草原;建设用地主要向耕地转化,呈零散分布;未利用地主要向草地转化,主要分布于呼伦贝尔市西南部及松嫩平原西部。

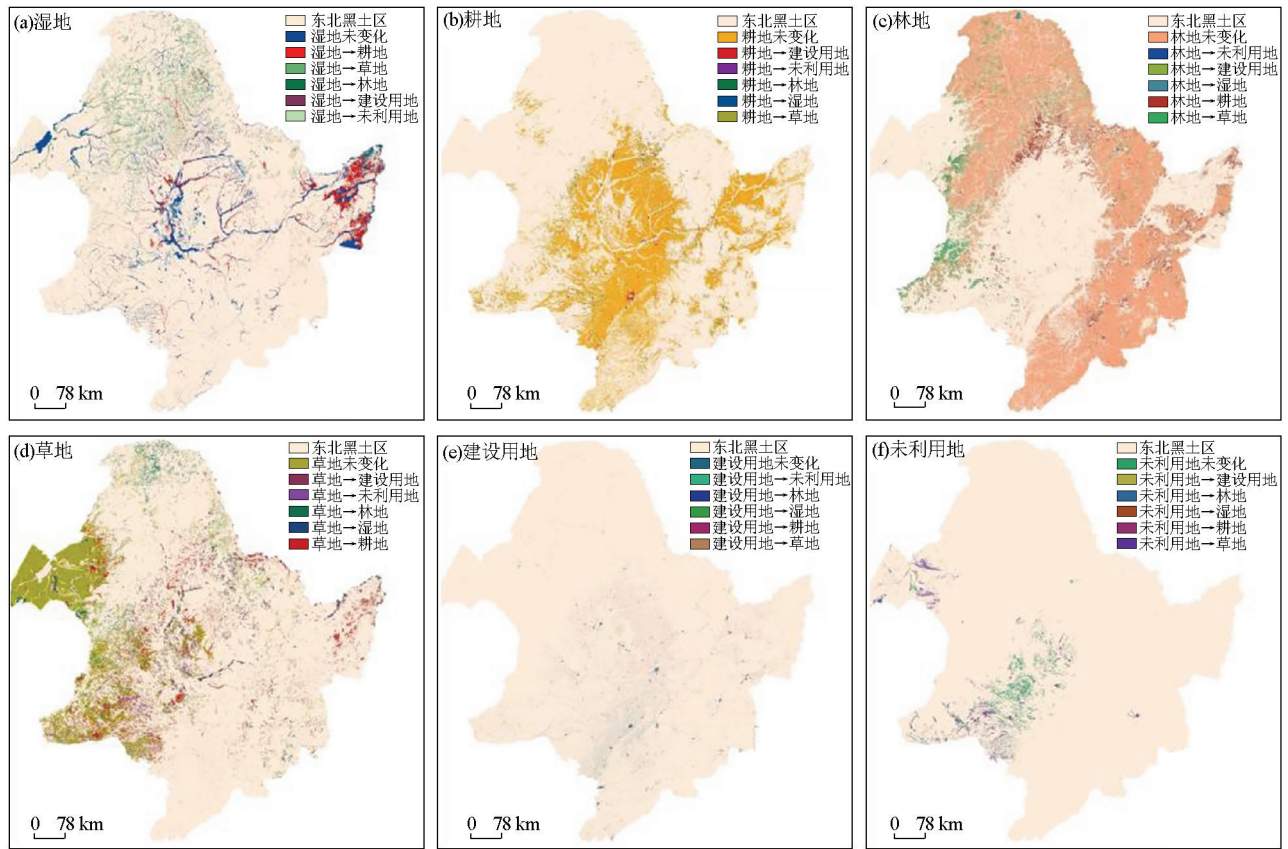


图 2 1970~2020 年各类土地利用空间转移情况

Fig. 2 The spatial transfer of land use for various types from 1970 to 2020

4.2 土地利用转移矩阵及各项变化

4.2.1 土地利用转移矩阵

根据土地利用转移矩阵(表 3、表 4),近半个世纪以来,东北黑土区耕地未变化面积占 20.3%,耕地向其他用地类型转化面积共占 2.58%,其他用地

类型向耕地转化面积共占 8.26%;林地未变化面积占 38.92%,林地向其他用地类型转化面积共占 7.08%,其他用地类型向林地转化面积共占 3.87%;草地未变化面积占 10.53%,草地向其他用地类型转化面积共占 6.17%,其他用地类型向草地转化面

表 3 1970~2020 年黑土区土地利用面积转移矩阵

Table 3 The transfer matrix of land use area in black soil area from 1970 to 2020

土地类型	耕地	林地	草地	湿地	建设用地	未利用地	期初	减少
耕地	2196.40	80.39	89.28	44.30	58.09	6.71	2475.17	278.77
林地	306.96	4212.16	389.52	56.19	7.73	5.38	4977.93	765.78
草地	301.58	207.69	1139.65	86.16	15.6	57.03	1807.71	668.06
湿地	243.91	122.88	286.02	468.81	4.67	10.97	1137.25	668.44
建设用地	30.22	1.95	4.48	1.83	151.54	0.9	190.91	39.37
未利用地	10.73	6.18	68.49	11.28	2.31	133.27	232.25	98.98
期末	3089.8	4631.26	1977.43	668.56	239.93	214.25	10821.23	2519.40
新增	893.4	419.1	837.78	199.75	88.39	80.99	2519.4	

10⁴hm²

表 4 1970~2020 年黑土区土地利用转移率矩阵

Table 4 Matrix of land use transfer rate in black soil area from 1970 to 2020								%
土地类型	耕地	林地	草地	湿地	建设用地	未利用地	期初	减少
耕地	20.30	0.74	0.83	0.41	0.54	0.06	22.87	2.58
林地	2.84	38.92	3.6	0.52	0.07	0.05	46.00	7.08
草地	2.79	1.92	10.53	0.80	0.14	0.53	16.71	6.17
湿地	2.25	1.14	2.64	4.33	0.04	0.10	10.51	6.18
建设用地	0.28	0.02	0.04	0.02	1.4	0.01	1.76	0.36
未利用地	0.10	0.06	0.63	0.10	0.02	1.23	2.15	0.91
期末	28.55	42.80	18.27	6.18	2.22	1.98	100.00	23.28
新增	8.26	3.87	7.74	1.85	0.82	0.75	23.28	

积共占 7.74%;湿地未变化面积占 4.33%,湿地向其他用地类型转化面积共占 6.18%,其他用地类型向湿地转化面积共占 1.85%;建设用地未变化面积占 1.4%,建设用地向其他用地类型转化面积共占 0.36%,其他用地类型向建设用地转化面积共占 0.82%;未利用地未变化面积占 1.23%,未利用地向其他用地类型转化面积共占 0.91%,其他用地类型向未利用地转化面积共占 0.75%。

4.2.2 土地变化量

根据式(1)、式(2)计算 1970~2020 年黑土区各时段、各用地类型变化量,从各地类变化量图(图 3)可知,50 年间各地类均是交变化量占主导地位,各地类的变化中存在着大量空间位置上的转移,说明各地类所处的空间位置较为不稳定。在 3 个时段中,1970~1995 年各用地类型总变化量最大,1995~2010 年次之,2010~2020 年最小,说明东北黑土区

土地利用变化在 1970~1995 年最为剧烈,随时间推移逐渐降低。

4.2.3 单项地类面积变化率

单项地类面积变化率显示各地类在某一时段内面积变化的剧烈程度。1970~2020 年黑土区单项地类面积变化最为剧烈的依次是:湿地>建设用地>耕地>草地>未利用地>林地(图 4),其中,湿地减少 41.21%,建设用地增加 25.68%,耕地增加 24.83%,草地增加 9.34%,未利用地减少 7.75%,林地减少 6.96%。1970~2020 年黑土区耕地、林地、草地、湿地、建设用地及未利用地的年均变化速率,即单一土地利用类型动态度分别为 0.5%、-0.14%、0.19%、-0.82%、0.51%及-0.15%。其中,耕地、草地、建设用地开发度为 0.5%、0.19%、0.51%,林地、湿地未利用地耗减度为 0.14%、0.82%、0.15%。

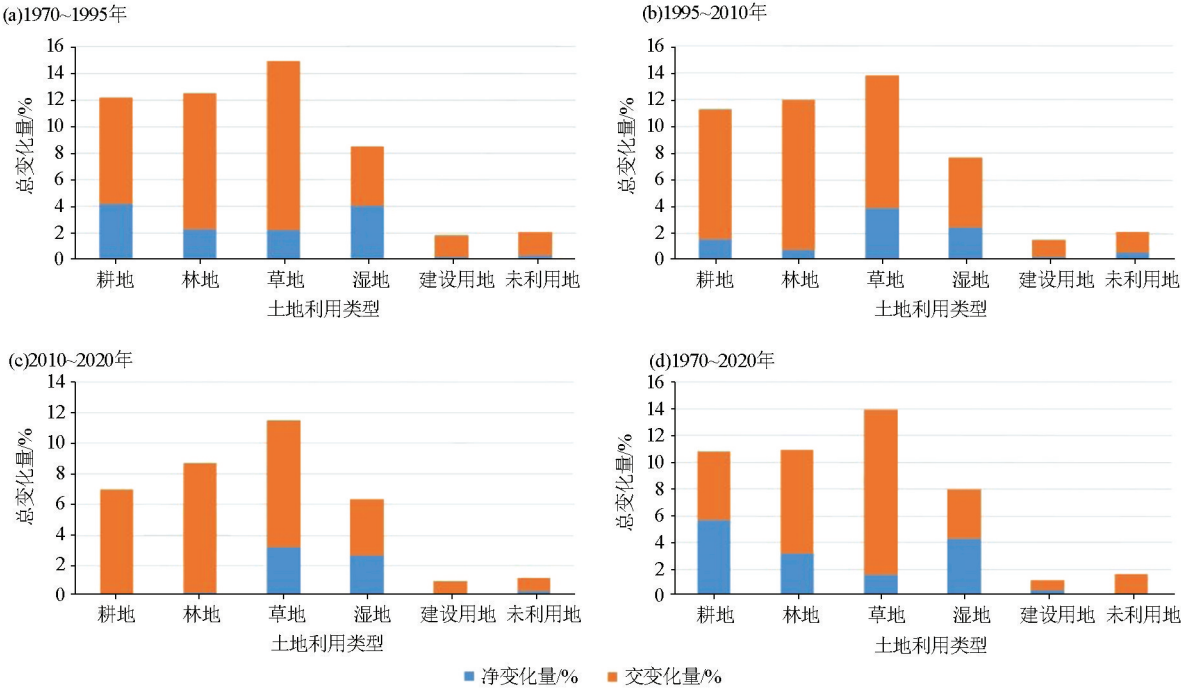


图 3 各地类变化量
Fig. 3 Variation of each land type

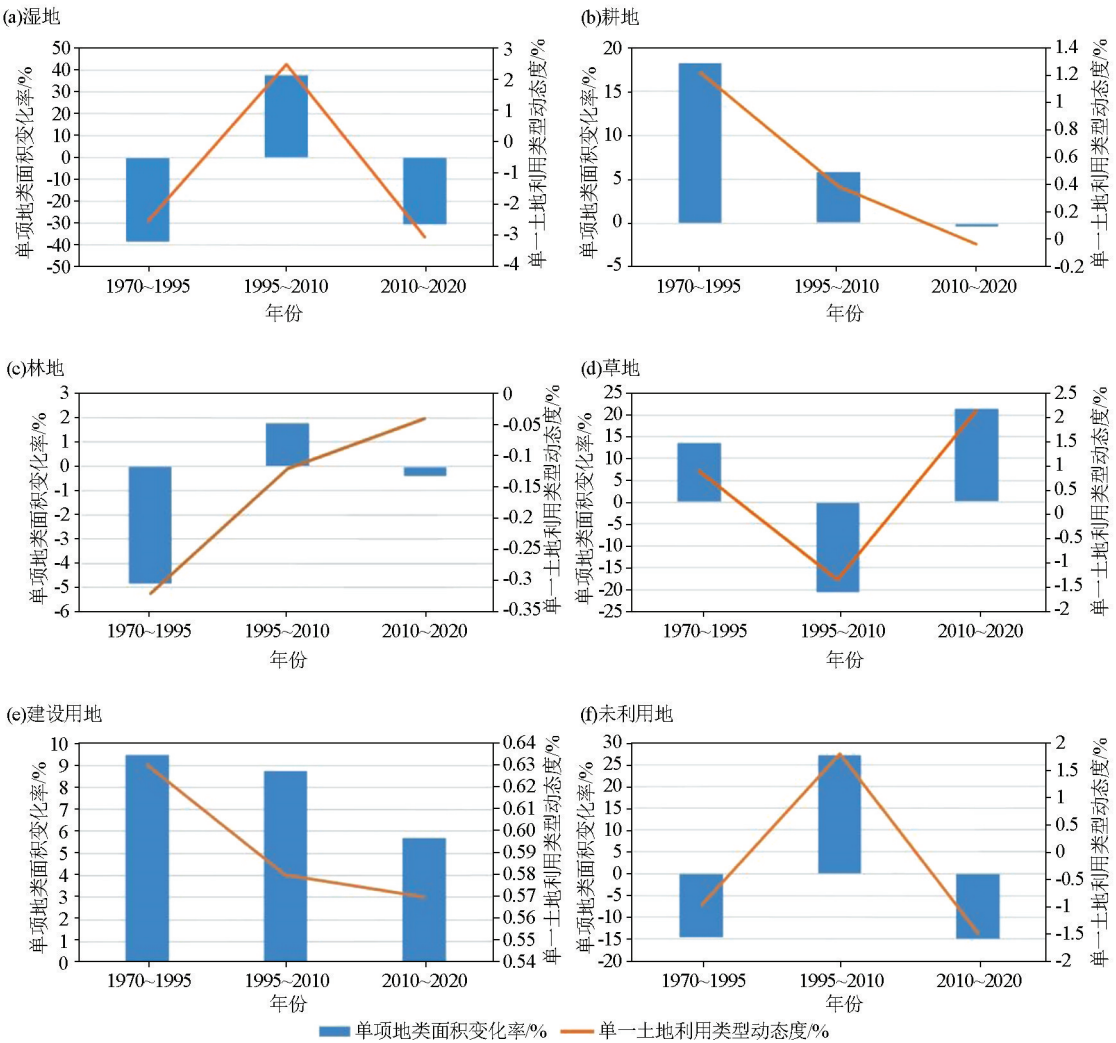


图 4 1970~2020 年黑土区单项地类面积变化率

Fig. 4 The area change rate of each land type in the black soil area from 1970 to 2020

4.2.4 土地利用综合动态度

近半世纪以来,东北黑土区总土地利用综合动态度为 23.28%,由图 5 可见,各时期土地利用综合动态变化程度由高到低依次是 1970~1995 年、1995~2010 年、2010~2020 年,说明 1970~1995 年各类土地利用类型面积变化相对剧烈,内部空间转化较其他两期更为频繁,与前文图 3 结果相符。

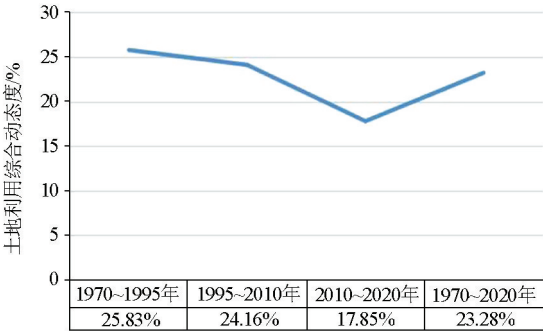


图 5 土地利用综合动态度曲线

Fig. 5 Curve diagram of comprehensive dynamic degree of land use

4.2.5 土地利用程度综合指数

利用庄大方等提出的土地利用程度分级办法^[36],结合研究区及本研究实际需要,制定土地利用程度分级赋值表(表 5)。根据式(8)计算 1970 年、1995 年、2010 年及 2020 年东北黑土区土地利用程度综合指数分别为 37.38%、38.18%、38.42%及 38.5%(图 6),土地利用程度呈逐年小幅增长态势,整体处于持续发展期,但仍低于全国平均水平 50.5%^[29],说明东北黑土区原始及生态用地占比较大,建设用地占比较小,近半世纪以来土地利用逐渐呈集约化利用趋势,但受经济发展及人口密度影响,土地利用类型变化引起的强度变化不明显,土地开发利用的潜力很大。

表 5 土地利用程度分级赋值

土地利用类型	未利用土地	林地、草地、湿地	耕地	建设用地
分级指数	1	2	3	4

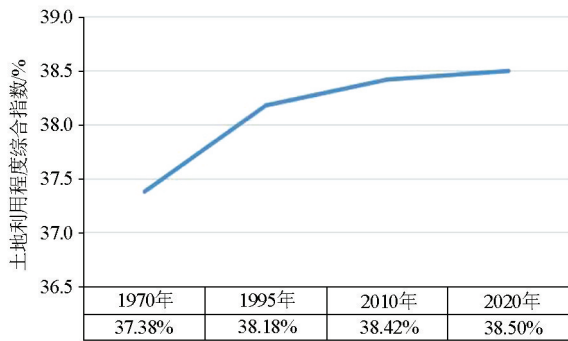


图 6 不同年份土地利用程度综合指数

Fig.6 Comprehensive index of land use degree in different years

4.2.6 土地利用转移网络

对东北黑土区近 50 年间不同时段土地利用变化数据进行处理,得到土地利用转移网络图(图 7)。结果显示,1970~1995年间,东北黑土区转出

最多的土地利用类型是林地,被砍伐的林地主要转化为草地和耕地,转出面积次之的相继为草地和湿地;东北黑土区转入面积最多的土地利用类型是草地,主要由林地和湿地转化而来;转入面积次之的为耕地,主要由林地、草地和湿地转化而来。1995~2010 年间,东北黑土区转出最多的土地利用类型为草地,主要转化为林地、湿地和耕地;转出面积次之的为林地,主要转化为耕地和草地;东北黑土区转入面积最多的土地利用类型是耕地,主要由林地和草地转化而来。2010~2020 年间,东北黑土区转出最多的土地利用类型为湿地;转入最多的土地利用类型为草地。

4.2.7 重心变化

根据土地利用的空间变化模型得出 50 年间东北黑土区各地类重心变化情况(图 8),其中:

1)未利用地重心。东北黑土区近 50 年来未利用地重心除 1995 年在吉林省通榆境内外,1970、2010 及 2020 年均吉林省洮南市境内。其中 1995 年与 1970 年相比,未利用地重心向东南方向偏移 32.61 km,2010 年与 1995 年相比,重心向西北移动 41.54 km,2020 年与 2010 年相比,重心向东南推移 37.66 km。东北黑土区未利用地重心相对稳定,近半个世纪以来,整体向东南方向偏移了 34.37 km。

2)湿地重心:东北黑土区近 50 年湿地重心均在黑龙江省境内,其中 1970 年湿地重心在克山县,2010 年在讷河市域内,1995 年与 2020 年重心坐标在明水县内重合。1995 年与 1970 年相比,湿地重心向西南方向偏移 85.96 km,2010 年与 1995 年相比,重心向西北方向移动 115.34 km,2020 年移回原 1995 年重心。东北黑土区湿地较其他用地类型而言,重心移动更为剧烈,近半个世纪以来,整体向西南方向偏移了 85.96 km。

3)林地重心:东北黑土区近 50 年来林地重心均在黑龙江省明水县境内,1995 年与 1970 年相比,林地重心向东北方向偏移 13.32 km,2010 年与 1995 年相比,重心向西南方向移动 19.80 km,2020 年与 2010 年相比,重心向东北方向推移 14.51 km。东北黑土区林地重心较为稳定,近半个世纪以来,整体向东北方向偏移了 7.67 km。

4)建设用地重心:东北黑土区近 50 年来建设用地重心均在吉林省扶余县境内,1995 年与 1970 年相比,建设用地重心向正北方向偏移 23.71 km,2010 年与 1995 年相比,重心向正南方向移动 2.3 km,2020 年与 2010 年相比,重心向西南方向推移 13.72 km。东北黑土区建设用地重心较为稳定,近

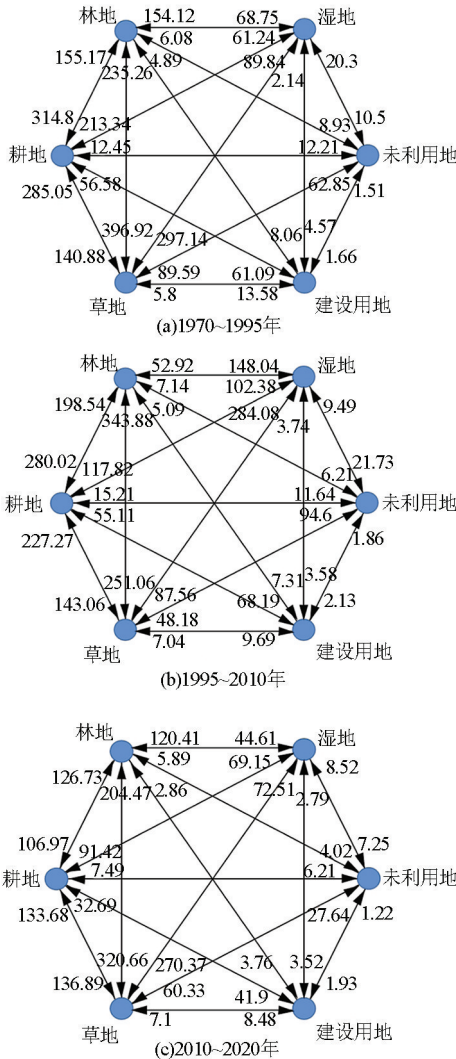


图 7 东北黑土区近半世纪不同时段土地利用转移网络(1×10⁴hm²)

Fig.7 Land use transfer network for different time periods in the black soil area of Northeast China in the past half century

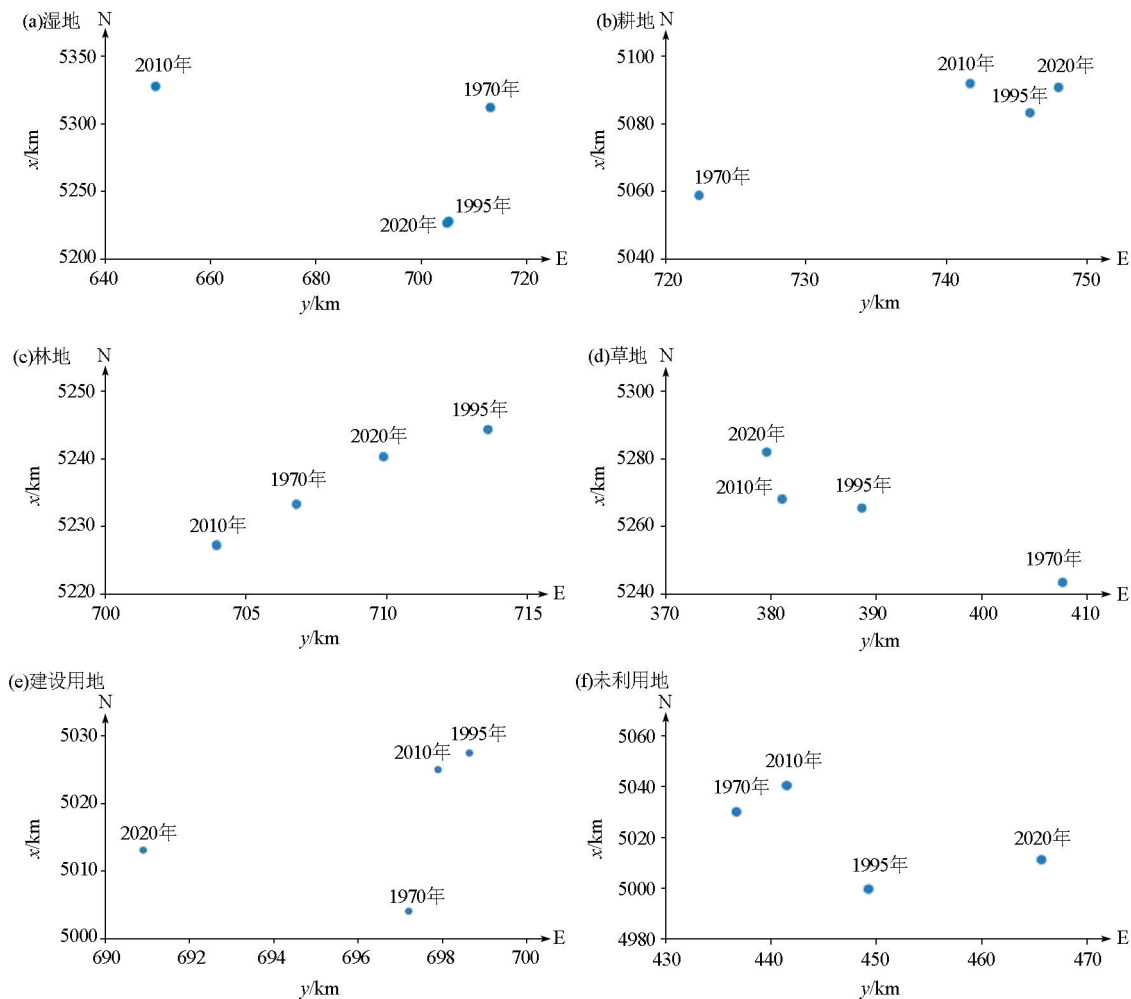


图 8 不同地类 50 年间重心变化

Fig. 8 The change of the gravity center for each land type in 50 years

半个世纪以来,整体向西北方向偏移了 11.25 km。

5) 耕地重心变化:东北黑土区近 50 年来耕地重心均在黑龙江省肇东市境内,1995 年与 1970 年相比,草地重心向东北方向偏移 33.82 km,2010 年与 1995 年相比,重心继续向西北方向偏移 9.75 km,2020 年与 2010 年相比,重心向东南方向推移 6.59 km。东北黑土区耕地重心较为稳定,近半个世纪以来,整体向东北方向偏移了 41.32 km。

6) 草地重心变化:东北黑土区近 50 年来草地重心均在内蒙古扎兰屯市境内,1995 年与 1970 年相比,草地重心向西北方向偏移 28.76 km,2010 年与 1995 年相比,重心继续向西北方向偏移 7.61 km,2020 年与 2010 年相比,重心向正北方向推移 15.41 km。因此,东北黑土区草地重心较为稳定,近半个世纪以来,整体向西北方向偏移了 48.25 km。

5 结论与讨论

土地作为一个自然—人文综合体,其利用方式

主要受自然环境及人类活动的制约^[35],具有很强的综合性和地域性。区域所处的自然地理地带性,如水文条件、温湿度、降雨量、地形地貌、光照条件、植被类型及土壤类型等,与社会经济发展水平、人口数量、经济产业结构布局与政策制度等人文因素,共同影响着区域土地利用结构及程度变化^[36-37]。东北黑土区自然资源禀赋极佳,域内林地、草地、湿地等生态用地面积占比较大,是我国重要的生态功能区,19 世纪前,该区域较为原始,人类活动干扰少,生态服务功能较强,进入 20 世纪后,受人口增长、气候变暖及现代农业迅猛发展的影响,东北黑土地逐渐被开荒利用,过去几百年间,东北黑土区历经土地开发、利用与保护的波动扩张过程^[20]。中国加入 WTO 后东北地区在粮食生产方面的优势得到提升,在不断发展的商品化农业的刺激下,东北地区农民对扩大耕地规模增加收入的需求更加迫切,曾出现大规模的毁林开荒与未利用地开发活动,特别是在三江平原等水土资源丰富、生产潜力大的地区,黑土

地开发进入快速扩张期,盲目的高强度机械开垦导致区域生态环境不断恶化^[37]。近年来,我国政府高度重视生态保护与环境质量,东北黑土区土地利用进入开发与保护并重阶段^[5]。本文主要研究东北黑土区土地利用波动最为显著的近半个世纪以来的土地利用结构及程度变化,主要结论如下:

1)东北黑土区建设用地、耕地及草地面积总体增加,增幅分别为 25.96%、24.88%及 9.75%,湿地、林地及未利用地面积总体降低,降幅分别为 41.2%、6.94%及 7.69%,其中三江平原北部、松嫩平原西北部及西辽河平原地区地类变化较为明显。

2)东北黑土区各地类变化中均是交变化量占主导优势,土地利用变化中存在着大量空间位置上的转移,土地利用变化在 1970~1995 年期间最为剧烈,后随时间推移趋于稳定,单项地类面积变化剧烈程度依次为湿地>建设用地>耕地>草地>未利用地及林地。

3)东北黑土区土地利用程度呈逐年小幅增长的趋势,但仍低于全国平均水平,土地开发利用的潜力很大。

4)东北黑土区各地类重心变化除湿地外,均较为稳定。

东北黑土区是我国重要的商品粮基地、生态功能区与老工业基地,随着社会经济的发展,城镇化水平持续提高,哈大齐工业走廊及长吉图开发开放先导区的建设,域内农用地、生态用地及建设用地在扩张时易发生冲突,粮食生产、生态保护、经济发展三者间冲突关系的消长使不同时段农用地、生态用地、建设用地相对重要性产生变化^[35]。不同地类在空间上由冲突到协调的持续性重构过程为东北黑土地近半个世纪以来的土地利用程度及格局带来改变^[38]。50 年间东北黑土区土地利用变化控制因子以农业生产为主,区域功能定位、经济社会发展及城镇化发展等多种驱动力量并存,导致域内农业用地及建设用地呈持续增加态势,增加用地主要源于未利用地及生态用地^[39]。然而,土地利用结构呈单一化发展趋势,不利于黑土资源的可持续利用,甚至会影响到农业可持续发展和粮食产能的稳定与提升^[40],针对部分盲目追求农用地面积扩大和城镇化发展而占用生态用地的现象,应加大土地调控力度,寻求黑土地利用与保护的平衡。未来,应深入研究东北黑土区土地利用变化时空特征、机制及其对生境、生态服务功能、碳收支平衡的影响,实现“把黑土地用好养好”,保护黑土区生态安全和国土资源,优化土地开发结构,加强国土空间格局管控和生态

保护,强化多种政策间的综合协调,以科学的政策设计引导区域土地资源开发向可持续方向转型,寻求东北黑土区资源、环境、经济社会的可持续发展,实现东北全面振兴^[37]。

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] 全国农业技术推广服务中心,农业部耕地质量检测保护中心,沈阳农业大学.东北黑土区耕地质量评价[M].北京:中国农业出版社,2017.
National Agricultural Technology Extension Service Center, Farmland Quality Inspection and Protection Center of the Ministry of Agriculture,Shenyang Agricultural University. Quality evaluation of cultivated land in black soil regions of Northeast China[M]. Beijing:China Agricultural Press,2017.
- [3] 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.
- [4] 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.
- [5] 中国科学院.东北黑土地白皮书(2020)[EB/OL].中国科学院网站, [2021-07-09]. https://www.cas.cn/yw/202107/t20210709_4797892.shtml.
Chinese Academy of Sciences. White paper on black land in Northeast China (2020) [EB/OL]. Website of the Chinese Academy of Sciences, [2021-07-09]. https://www.cas.cn/yw/202107/t20210709_4797892.shtml.
- [6] 叶雪.保护好利用好黑土地这个“耕地中的大熊猫”——习近平总书记在吉林考察时的重要讲话引发强烈反响[EB/OL].中国共产党新闻网,2020-07-27. <http://epc.people.com.cn/n1/2020/0727/c64387-31799253.html>.
Ye X. Protect and make good use of black land, the “giant panda in arable land” —General Secretary Xi Jinping’s important speech during his inspection tour in Jilin aroused strong repercussions [EB/OL]. Communist Party of China News Network, 2020-07-27. <http://epc.people.com.cn/n1/2020/0727/c64387-31799253.html>.
- [7] 王秀兰,包玉海.土地利用动态变化研究方法探讨[J].地理科学进展,1999,18(1):81-87.
Wang X L, Bao Y H. study on the methods of land use dynamic change research [J]. Progress in Geography, 1999, 18(1):81-87.
- [8] 杨志鹏,许嘉巍,冯兴华,等.基于 InVEST 模型的东北地区土地利用变化对生境的影响研究[J].生态科学,2018,37(6):

139-147.

Yang Z P, Xu J W, Feng X H, et al. Effects of land use change on habitat based on InVEST model in Northeast China[J]. *Ecological Science*, 2018, 37(6): 139-147.

[9] 李茂娟,李天奇,朱连奇,等. 50 年来东北黑土区土地利用变化对沟蚀的影响——以克东地区为例[J]. *地理研究*, 2019, 38(12):2914-2926.

Li M J, Li T Q, Zhu L Q, et al. Effect of land use change on gully erosion in black soil region of Northeast China in the past 50 years: A case study in Kedong county[J]. *Geographical Research*, 2019, 38(12):2914-2926.

[10] 贾鹏丽,冯海艳,李森. 东北黑土区不同土地利用方式下农田土壤微生物多样性[J]. *农业工程学报*, 2020, 36(20): 171-178.

Jia P L, Feng H Y, Li M. Soil microbial diversity of black soil under different land use patterns in northeast China[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2020, 36(20): 171-178.

[11] 郝翔翔,韩晓增,李禄军,等. 土地利用方式对黑土剖面有机碳分布及碳储量的影响[J]. *应用生态学报*, 2015, 26(4):965-972.

Hao X X, Han X Z, Li L J. Effects of land use patterns on the distribution of organic carbon and carbon storage in black soil profile [J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2015, 26(4): 965-972.

[12] 戚丽萍,闫丹丹,李静泰,等. 江苏省生态系统服务价值对土地利用/土地覆盖变化的动态响应[J]. *北京师范大学学报:自然科学版*, 2021, 57(2):255-264.

Qi L P, Yan D D, Li J T, et al. Dynamics of ecosystem services value in response to land use/Land cover changes in Jiangsu Province [J]. *Journal of Beijing Normal University: Natural Science*, 2021, 57(2):255-264.

[13] 夏天,吴文斌,周清波,等. 基于模型的中国东北地区土地利用时空格局变化研究[J]. *地理学报:英文版*, 2016(2):171-187.

Xia T, Wu W B, Zhou Q B, et al. Model-based analysis of spatio-temporal changes in land use in Northeast China [J]. *Journal of Geographical Sciences*, 2016(2):171-187.

[14] 刘晓,张学霞,徐新良,等. 河北坝上土地利用变化对生态服务价值的影响[J]. *北京林业大学学报*, 2019, 41(8):94-104.

Liu X, Zhang X X, Xu X L, et al. Impacts of land use change on ecosystem service value in Bashang area of Hebei Province, northern China[J]. *Journal of Beijing Forestry University*, 2019, 41(8):94-104.

[15] 刘学荣,杨琳,王颖,等. 基于土地利用变化的东北地区碳排放效应研究[J]. *水土保持通报*, 2017, 37(2):107-114.

Liu X R, Yang L, Wang Y, et al. Assessment of carbon emissions based on land use change in Northeast China[J]. *Bulletin of Soil and Water Conservation*, 2017, 37(2):107-114.

[16] 张小虎,雷国平,袁磊,等. 东北典型黑土区土地利用变化的生态服务价值研究——以巴彦县为例[J]. *农业现代化研究*, 2008, 29(6):739-742.

Zhang X H, Lei G P, Yuan L, et al. Ecosystem service values based on land use change in black soil region of Northeast China: A case study of Bayan County [J]. *Research of Agricultural Modernization*, 2008, 29(6):739-742.

[17] 刘纪远,宁佳,匡文慧,等. 2010-2015 年中国土地利用变化的时空格局与新特征[J]. *地理学报*, 2018, 73(5):789-802.

Liu J Y, Ning J, Kuang W H, et al. Spatio-temporal patterns and characteristics of land-use change in China during 2010-2015 [J]. *Acta Geographica Sinica*, 2018, 73(5):789-802.

[18] 韩晓增,王守宇,宋春雨,等. 土地利用/覆盖变化对黑土生态环境的影响[J]. *地理科学*, 2005, 25(2):203-208.

Han X Z, Wang S Y, Song C Y, et al. Effects of land use and cover change on ecological environment in black soil region [J]. *Scientia Geographica Sinica*, 2005, 25(2):203-208.

[19] 韩晓增,李娜. 中国东北黑土地研究进展与展望[J]. *地理科学*, 2018, 38(7):1032-1041.

Han X Z, Li N. Research progress of black soil in Northeast China [J]. *Scientia Geographica Sinica*, 2018, 38(7):1032-1041.

[20] 王立刚,杨黎,贺美,等. 全球黑土区土壤有机质变化态势及其管理技术[J]. *中国土壤与肥料*, 2016(6):1-7.

Wang L G, Yang L, He M, et al. Changes and management techniques of soil organic matter in global black soil regions [J]. *China Soil and Fertilizer*, 2016(6):1-7.

[21] 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.

[22] 农业农村部,国家发改委,财政部,等. 东北黑土地保护规划纲要(2017-2030 年) [EB/OL]. 中华人民共和国农业农村部网站, 2017-07-20. http://www.moa.gov.cn/nybgb/2017/dqq/201801/t20180103_6133926.htm.

Ministry of Agriculture and Rural Affairs, National Development and Reform Commission, Ministry of Finance, et al. Outline of the northeast black land protection plan (2017-2030) [EB/OL]. Website of the Ministry of Agriculture and Rural Affairs of the People's Republic of China, 2017-07-20. http://www.moa.gov.cn/nybgb/2017/dqq/201801/t20180103_6133926.htm.

[23] 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 erosion and food security in black soil region of Northeast China [J]. *Soil and Water Conservation in China*, 2009(1):17-19.

[24] 阎百兴,杨育红,刘兴土,等. 东北黑土区土壤侵蚀现状与演变趋势[J]. *中国水土保持*, 2008(12):26-30.

Yan B X, Yang Y H, Liu X T, et al. Status and evolution trend of soil erosion in black soil region of Northeast China [J]. *Soil and Water Conservation in China*, 2008(12):26-30.

[25] 苏浩,吴次芳. 东北黑土区耕地系统变化机理[J]. *农业工程学报*, 2021, 37(6):243-251.

Su H, Wu C F. Mechanism of cultivated land system change in black soil areas of Northeast China [J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2021, 37(6):243-251.

[26] 国务院办公厅. 国务院关于印发全国主体功能区规划的通知(国发[2010]46 号) [EB/OL]. 中华人民共和国中央人民政府网站, 2011-06-08. <http://www.gov.cn/zwgg/2011-06/08/>

content_1879180. htm.

General Office of the State Council. Circular of the State Council on Printing and Distributing the National Main Function Zone Planning([2010]46)[EB/OL]. Website of the Central People’s Government of the People’s Republic of China,2011-06-08. http://www. gov. cn/zwgk/2011-06/08/content_1879180. htm.

[27] GB/T 21010—2017 土地利用现状分类[S]. 北京:中华人民共和国国家标准,2017.

GB/T 21010—2017 Classification of land use status[S]. Beijing: national standards of People’s Republic of China,2017.

[28] 陈克林.《拉姆萨尔公约》——《湿地公约》介绍[J]. 生物多样性,1995(2):119-119.

Chen K L. Introduction to the Ramsar Convention—Convention on Wetlands[J]. Biodiversity,1995(2):119-119.

[29] 谢叶伟,刘兆刚,赵军,等. 基于 RS 与 GIS 的典型黑土区土地利用变化分析——以海伦市为例[J]. 地理科学,2010,30(3):428-434.

Xie Y W,Liu Z G,Zhao J,et al. Analysis of landuse dynamic in typical black soil region based on GIS and RS:A case study of Hailun County[J]. Scientia Geographica Sinica,2010,30(3):428-434.

[30] 朱会义,李秀彬. 关于区域土地利用变化指数模型方法的讨论[J]. 地理学报,2003,58(5):4-11.

Zhu H Y,Li X B. Discussion on the index method of regional land use change[J]. Acta Geographica Sinica,2003,58(5):4-11.

[31] 李威,陈杰,李璐,等. 1980~2015 年长江流域土地利用变化分析[J]. 人民长江,2020,51(2):49-57.

Li W,Chen J,Li L,et al. Land use changes in Yangtze River Basin from 1980 to 2015[J]. Yangtze River,2020,51(2):49-57.

[32] 段增强,张凤荣,孔祥斌. 土地利用变化信息挖掘方法及其应用[J]. 农业工程学报,2005,21(12):60-66.

Duan Z Q,Zhang F R,Kong X B. Method for information mining of land-use change and its applicaion[J]. Transactions of the CSAE,2005,21(12):60-66.

[33] 赵健,魏成阶,黄丽芳,等. 土地利用动态变化的研究方法及其在海南岛的应用[J]. 地理研究,2001,20(6):723-730.

Zhao J,Wei C J,Huang L F,et al. Research methods of land use changes and their applications in Hainan Island[J]. Geographical Research,20(6):723-730.

[34] 乔伟峰,毛广雄,王亚华,等. 近 32 年来南京城市扩展与土地利用演变研究[J]. 地球信息科学学报,2016,18(2):200-209.

Qiao W F, Mao G X, Wang Y H, et al. Research on urban expansion and land use change in Nanjing over the past 32 years[J]. Journal of Geo-information Science,2016,18(2):200-209.

[35] 李晓燕,赵广敏,李宝毅. 我国东北地区土地资源变化态势分析[J]. 水土保持研究,2010,17(5):68-74.

Li X Y,Zhao G M,Li B Y. Analysis of changing situation of land resources in Northeast China[J]. Research of Soil and Water Conservation,2010,17(5):68-74.

[36] 庄大方,刘纪远. 中国土地利用程度的区域分异模型研究[J]. 自然资源学报,1997,12(2):105-111.

Zhuang D F,Liu J Y. study on the model of regional differentiation of land use degree in Chian[J]. Journal of Natural Resources,1997,12(2):105-111.

[37] 田俊峰,王彬燕,王士君. 东北地区土地利用转型特征测度与机制探索[J]. 经济地理,2020,40(9):184-195.

Tian J F,Wang B Y,Wang S J. Land use transition in Northeast China:Features measurement and mechanism exploration[J]. Economic Geography,2020,40(9):184-195.

[38] 田俊峰,王彬燕,程利莎,等. 政策主导下的区域土地利用转型过程与机制——以中国东北地区为例[J]. 地理研究,2020,39(4):805-821.

Tian J F,Wang B Y, Cheng L S,et al. The process and mechanism of regional land use transition guided by policy:A case study of Northeast China[J]. Geographical Research,2020,39(4):805-821.

[39] 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.

[40] 杨佳佳,张一鹤,冯雨林,等. 松嫩平原东部土地利用时空动态变化分析[J]. 地质与资源,2020,29(6):627-634.

Yang J J, Zhang Y H, Feng Y L, et al. Spatiotemporal dynamic change analysis of land use in eastern Songnen Plain[J]. Geology And Resources,2020,29(6):627-634.

Spatio-temporal change in land uses of the black soil area in northeast China over the past half century

XIAO Hong-Ye^{1,2,3}, LIU Guo-Dong^{1,2,3}, YANG Ze^{1,2,3}, FANG Na-Na^{1,2,3}, DAI Hui-Min^{1,2,3},
LIU Kai^{1,2,3}, HAN Xiao-Meng^{1,2,3}, ZHU Heng¹

(1. Shenyang Center of China Geological Survey, Shenyang 110034, China; 2. Key Laboratory of Black Soil Evolution and Ecological Effect, Ministry of Natural Resources, Shenyang 110034, China; 3. Key Laboratory of Black Soil Evolution and Ecological Effect, Liaoning Province, Shenyang 110034, China)

Abstract: As one of four major black soil areas in the world, the black soil area in northeast China boasts fertile and rare black soil resources, and its protection and utilization have always attracted much attention. The changes in land uses/cover affect the structure, function, and health of the ecosystem and thus are greatly significant for the sustainable utilization of land resources. Based on the data on the land uses/cover in 1970, 1995, 2010, and 2020, this study analyzed the spatio-temporal characteristics of the change in the

land uses of the black soil area in northeast China over the past half century using the methods, such as transfer matrix, comprehensive dynamic degree, and spatial change model. The results are as follows. ①The areas of construction land, cultivated land, and grassland in the black soil area of northeast China generally increased over the past half century, whereas the areas of wetland, woodland, and unused land generally decreased. The changes in land types mainly occurred in the Sanjiang Plain, the northwestern Songnen Plain, and the Xiliaohe Plain. ②The change in each land type was dominated by the alternating quantity, with a large amount of spatial position shift occurring. ③The degree of land utilization slightly increased yearly but is still lower than the national level, suggesting considerable potential for land development and utilization. Therefore, further studies should focus on the spatio-temporal characteristics and mechanisms of the change in the land uses of the black soil area in northeast China, as well as their impacts on the habitats, ecological service functions, and balance of carbon budget, to fully utilize and protect the black soil area and optimize the national spatial layout.

Key words: black soil area; land use; transfer matrix

(本文编辑:蒋实)