

1980—2020 年内蒙古自治区通辽市 土地利用变化及其驱动力

呼格吉乐^{1,2}, 张裕凤^{1,2}, 白力嘎^{1,2}

(1.内蒙古师范大学, 地理科学学院, 内蒙古 呼和浩特 010022; 2.内蒙古土地利用与整治工程研究中心, 内蒙古 呼和浩特 010022)

摘要: [目的] 分析内蒙古通辽市土地利用变化及其驱动力, 为该地区经济建设、土地可持续发展提供科学依据。[方法] 基于通辽市 1980—2020 年 8 期土地利用数据及统计年鉴数据, 采用土地利用动态度、土地利用程度、土地利用转移矩阵和主成分分析方法对通辽市土地利用变化特征及其驱动力进行研究分析。[结果] 通辽市 1980—2020 年土地利用以耕地和草地为主, 耕地总面积增加了 3 037 km², 整体增幅为 20.48%, 草地总面积减少了 2 922 km², 整体减幅为 10.40%。建设用地面积在 40 a 间持续增加, 其单一土地利用动态度最大。土地利用程度综合指数处在中低等水平, 由于研究期间综合指数变化率为正值, 整体上处于上升发展期。研究期间内草地主要转化为耕地、林地、建设用地及未利用土地。通辽市土地利用变化的社会经济驱动力以经济发展水平、农业发展水平、社会富裕程度和产业结构为主, 人口的影响次之。气候驱动因素方面主要是年平均气温和年降水量的影响较为显著。[结论] 1980—2020 年通辽市土地利用空间上存在明显异质性, 土地利用变化速度趋于稳定, 土地利用水平不断提高, 土地利用转换愈加频繁, 社会经济和气候因素对土地利用变化有正向显著作用, 整体上不断促进该地区经济建设和土地可持续发展。

关键词: 内蒙古自治区通辽市; 土地利用; 变化特征; 驱动力

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2023)04-0375-10

中图分类号: F301.2

文献参数: 呼格吉乐, 张裕凤, 白力嘎. 1980—2020 年内蒙古自治区通辽市土地利用变化及其驱动力[J]. 水土保持通报, 2023, 43(4): 375-384, 395. DOI: 10.13961/j.cnki.stbctb.20230508.004; Hu Gejile, Zhang Yufeng, Bai Liga. Land use change and its driving forces at Tongliao City of Inner Mongolia Autonomous Region from 1980 to 2020 [J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2023, 43(4): 375-384, 395.

Land Use Change and Its Driving Forces at Tongliao City of Inner Mongolia Autonomous Region from 1980 to 2020

Hu Gejile^{1,2}, Zhang Yufeng^{1,2}, Bai Liga^{1,2}

(1. College of Geographical Sciences, Inner Mongolia Normal University School, Hohhot, Inner Mongolia 010022, China; 2. Inner Mongolia Land Use and Improvement Project Research Center, Hohhot, Inner Mongolia 010022, China)

Abstract: [Objective] The land use change and its driving forces at Tongliao City of Inner Mongolia Autonomous Region were analyzed in order to provide a scientific basis for economic construction and sustainable development of land at Tongliao City. [Methods] Based on eight periods of land use data and statistical yearbook data for Tongliao City from 1980 to 2020, land use dynamic attitude, land use degree, land use transfer matrix, and principal component analysis were used to determine the characteristics and driving forces of land use change at Tongliao City. [Results] Land use at Tongliao City was mainly classified as cultivated land and grassland from 1980 to 2020. The total area of cultivated land increased by 3037 km², with an overall increase of 20.48%, while the total area of grassland decreased by 2922 km², with an overall decrease of 10.40%. The area of construction land increased continuously during the past 40 years, and its single land use dynamic attitude was the largest. The comprehensive index of land use degree was at a medium and low level. The change rate of the comprehensive index was positive during the study period, indicating a period of generally

收稿日期: 2022-12-03

修回日期: 2023-03-05

资助项目: 内蒙古自治区哲学社会科学规划重点项目“基于内蒙古自然资源与条件的产业结构优化研究”(2022NDA219)

第一作者: 呼格吉乐(1998—), 男(蒙古族), 内蒙古自治区通辽市人, 硕士研究生, 研究方向为土地资源开发利用与管理。Email: 2668649447@qq.com.

通讯作者: 张裕凤(1964—), 女(汉族), 山东省烟台市人, 教授, 博士生导师, 主要从事土地调查与评价、经济地理学方面的研究。Email: zhangyufeng@imnu.edu.cn.

increasing development. Grassland was mainly converted to cultivated land, forest land, construction land, and unused land during the study period. The socio-economic drivers of land use change at Tongliao City were dominated by the level of economic development, agricultural development, social affluence, and industrial structure, followed by population. Average annual temperature and annual precipitation were the main climatic factors influencing land use change. [Conclusion] There was obvious heterogeneity in the area devoted to different classifications of land use at Tongliao City from 1980 to 2020. The speed of land use change tended to be stable. The level of land use continued to increase, land use conversion became more frequent, and socio-economic and climatic factors had a significant positive effect on land use change, thereby continuously promoting economic construction and sustainable development of land in the region as a whole.

Keywords: Tongliao City of Inner Mongolia Autonomous Region; land use; change characteristics; driving forces

土地是人类赖以生存的宝贵资源,是人类进行各项活动的场所。土地利用是人们对土地自然属性的利用方式和状态,反映的是人为活动。土地覆被是地表上的物体和人工建筑物,反映地表的自然状况。土地利用/覆被变化在全球变化研究中发挥了桥梁作用,在当前全球变化研究当中成为前沿课题。LUCC研究不仅能够表示地区土地利用变化特征,还能结合驱动因子获得自然与人类对其造成的优劣情况,从而给地区土地可持续发展提供决策依据。

目前土地利用变化的研究基于国家、省、县等行政尺度^[1]和流域等自然尺度^[2],使用土地利用结构^[3]、土地利用动态度^[4]、土地利用程度及转移矩阵等^[5]指标来表示土地利用情况,研究土地利用变化特征及驱动力^[6]、土地生态敏感性研究^[7]、土地利用景观生态风险评价等^[8-9]。北方农牧交错地区是中国典型的生态脆弱区,是国家生态安全的重要屏障,主要原因是由于该区域气候多变、土质疏松、自然灾害频繁、加之人类不合理利用所导致^[10]。通辽市位于松辽平原西端、科尔沁草原腹地、是中国北方农牧交错地带的典型区域^[11]。通辽是国家实施“一带一路”和内蒙古自治区推进向北开放的重要战略节点。通辽是国家重要的商品粮和畜牧业生产基地,是蒙东地区重要能源基地,对保障国家能源安全和产业安全发挥着重要作用。近年来以农牧交错带和“中蒙俄经济走廊”为切入点,基于RS和GIS定量分析通辽市土地利用变化的研究较少,缺乏直观有效的数据分析。为此,本文应用GIS技术通过对比分析通辽市1980—2020年土地利用变化,探讨自然因素与人为因素对通辽市土地利用变化趋势的影响。本研究不仅对通辽市的经济建设、生态环境保护具有重要意义,也可为该典型农牧交错地区的土地利用规划和可持续发展提供科学依据。

1 研究区概况与研究方法

1.1 研究区概况

通辽市(119°14′—123°43′E, 42°15′—45°59′N)

位于内蒙古自治区东部,东与吉林省接壤、南临辽宁省阜新市、北侧为内蒙古兴安盟、西侧为锡林郭勒盟和赤峰市,是内蒙古自治区东部和东北地区西部最大的交通枢纽城市。通辽市是自治区的副中心城市^[12],属中温带、干旱和半干旱、大陆性季风气候。全市年平均气温为2~14℃,年降水量变化为305~485mm,主要集中在6—8月份,全市各地湿润度一般在0.3~0.7,属于半干少水带。通辽市地势南、北部高,中部较低且平坦;北部为大兴安岭南麓余脉的石质山地、丘陵区;南部为辽西山地的黄土丘陵和浅山区;中部为西辽河冲积平原,其边缘分布着固定、半固定沙沼。通辽市下辖1个市辖区,1个县级市,1个县,5个旗,土地总面积为59 535 km²。

1.2 数据来源

本文所涉及到的土地利用数据来源于中国科学院资源环境科学数据中心(<http://www.resdc.cn/>)提供的中国多时期土地利用遥感监测数据集(CNLUCC),主要是以美国陆地卫星Landsat遥感影像作为主要信息源,通过人工目视解译并栅格化生成的1 km栅格数据集^[13]。结合研究具体情况,利用ArcGIS 10.2软件进行影像裁剪和投影变换等基本操作获得1980,1990,1995,2000,2005,2010,2015和2020年共8期通辽市土地利用遥感影像图。按照中国多时期LUCC遥感监测数据分类系统标准将土地利用类型划分为耕地、林地、草地、水域、建设用地和未利用土地6个1级类^[14-16]。DEM数据(SRTM-DEM 90 m分辨率原始高程数据)来源于地理空间数据云。社会经济统计数据来源于《通辽市统计年鉴》,包括通辽市1980—2020年的常住人口、地区生产总值、地区人均生产总值、第一产业比例、第二产业比例、第三产业比例、地方财政收支总额、年末大牲畜总头数、粮食总产量、社会消费品零售总额等11个指标。年平均气温数据和年平均风速数据均来源于NCDC(美国国家气候数据中心, National Climatic

Data Center), 隶属于 NOAA(美国国家海洋及大气管理局, National Oceanic and Atmospheric Administration)。1980—2016 年降水量数据来源于中国科学院资源环境科学数据注册与出版系统^[17], 2017—2020 年降水量数据来源于相关年份的《内蒙古统计年鉴》。

1.3 研究方法

1.3.1 土地利用动态度 土地利用动态度模型可充分表达某个时间段研究区土地利用变化速率。按不同的研究对象有单一土地利用动态度和综合土地利用动态度之分^[18], 计算公式为:

$$K = \left(\frac{H_b - H_a}{H_a} \right) \times \frac{1}{T} \times 100\% \quad (1)$$

式中: K 为单一土地利用动态度; H_a, H_b 分别为研究前后该土地利用类型面积; T 为研究时段; $|k|$ 越大, 表示该研究区某种土地利用类型的变化速率越大。

$$L_c = \left[\frac{\sum_{i=1}^n \Delta LH_{i-j}}{2 \sum_{i=1}^n LH_i} \right] \times \frac{1}{T} \times 100\% \quad (2)$$

式中: L_c 为综合土地利用动态度; LH_i 为前期第 i 类土地利用类型的面积; ΔLH_{i-j} 为第 i 类土地转化为第 j 类土地利用类型的面积取绝对值; n 为土地类型数 ($n=1, 2, 3, \dots$); T 为研究时段; L_c 越大, 表示该研究区土地利用变化的总体变化速度越快。

1.3.2 土地利用程度 土地利用程度能够表示区域内土地利用类型相互转换的综合水平和变化情况。土地利用分级指数按照樊玉山等^[19]提出的土地利用综合分析方法, 将未利用土地赋值为 1, 林地、草地、水域赋值为 2, 耕地赋值为 3, 建设用地赋值为 4, 级数越高就说明土地的开发利用受人为影响越大。本研究计算 1980—2020 年共 8 期的通辽市土地利用程度综合指数, 其计算公式为^[20]:

$$L = 100 \times \sum_{i=1}^n A_i C_i \quad (3)$$

式中: L 为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; C_i 为第 i 级土地利用类型占总面积的比重; 由上述公式可知, L 的值为 100~400, 数值表示研究区土地利用水平的高低。

1.3.3 土地利用转移矩阵 土地利用转移矩阵是区域内的土地利用类型在某段时间内相互转化的二维矩阵, 不仅能够表示土地利用类型变化的结构特征, 还能直观地显示土地利用类型空间上的演变状态, 是一个双向转移的动态过程^[21]。其数学形式为:

$$S_{ij} = \begin{bmatrix} S_{11} & S_{12} & \cdots & S_{1n} \\ S_{21} & S_{22} & \cdots & S_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ S_{n1} & S_{n2} & \cdots & S_{nn} \end{bmatrix} \quad (4)$$

式中: S 为面积; n 为土地利用类型总数; S_{ij} 是研究期内 i 地类转化为 j 地类的面积; i, j ($i, j=1, 2, \dots, n$) 分别为土地转移前与转移后的土地类型。

1.3.4 主成分分析 主成分分析法是将标准化处理的驱动因素进行降维, 根据主成分特征 (>1) 和累计贡献率统计出能够影响所有变量的几个综合变量, 并描述出原始多个变量之间较多的信息。自然因素和人为因素是影响区域土地利用变化的主要驱动力, 自然因素较为稳定, 起累积性作用, 而人为因素对地区的土地利用类型起决定性作用^[22]。本文根据通辽市实际情况选取了 14 个主成分指标: X_1 为常住人口 (万人), X_2 为地区生产总值 (亿元), X_3 为地区人均生产总值 (亿元), X_4 为第一产业比例 (%), X_5 为第二产业比例 (%), X_6 为第三产业比例 (%), X_7 为地方财政收入 (亿元), X_8 为地方财政支出 (亿元), X_9 为年末大牲畜总头数 (万头), X_{10} 为粮食总产量 (10 Kt), X_{11} 为社会消费品零售总额 (亿元), X_{12} 为年平均气温 ($^{\circ}\text{C}$), X_{13} 为年平均风速 (m/s), X_{14} 为年降水量 (mm)。

2 结果与分析

2.1 土地利用结构变化

2.1.1 土地利用变化分析 1980—2020 年通辽市土地利用分布图如图 1 和表 1 所示。研究期内土地利用以耕地和草地为主, 两者之和比重超过 70%, 水域面积占比最小。40 a 间通辽市土地利用结构变化主要表现为耕地和建设用地面积显著增加, 增加量分别为 3 037 和 285 km^2 。科尔沁左翼中旗耕地面积最多, 霍林郭勒市耕地面积最少, 建设用地主要分布在市区和各旗 (县) 中心地区。林地面积先减少后增加又减少, 总体上只有轻微变化, 面积减少了 9 km^2 。林地主要分布在扎鲁特旗, 研究期间林地面积增长主要发生在奈曼旗。草地呈先减少后增加趋势, 总体面积减少了 2 922 km^2 , 占研究区的比例减少了 5.04%, 草地面积减少主要发生在扎鲁特旗和科尔沁左翼后旗。水域呈先增加后减少又趋于平稳的趋势, 总面积减少了 194 km^2 。水域面积减少主要发生在奈曼旗、科尔沁区、科尔沁左翼中旗。未利用土地面积在研究区处于波动状态, 占研究区的比例由 14.60% 减少至 14.36%, 面积减少了 133 km^2 。未利用土地主要分布在科尔沁左翼后旗、科尔沁左翼中旗、奈曼旗、扎鲁特旗 (图 1)。

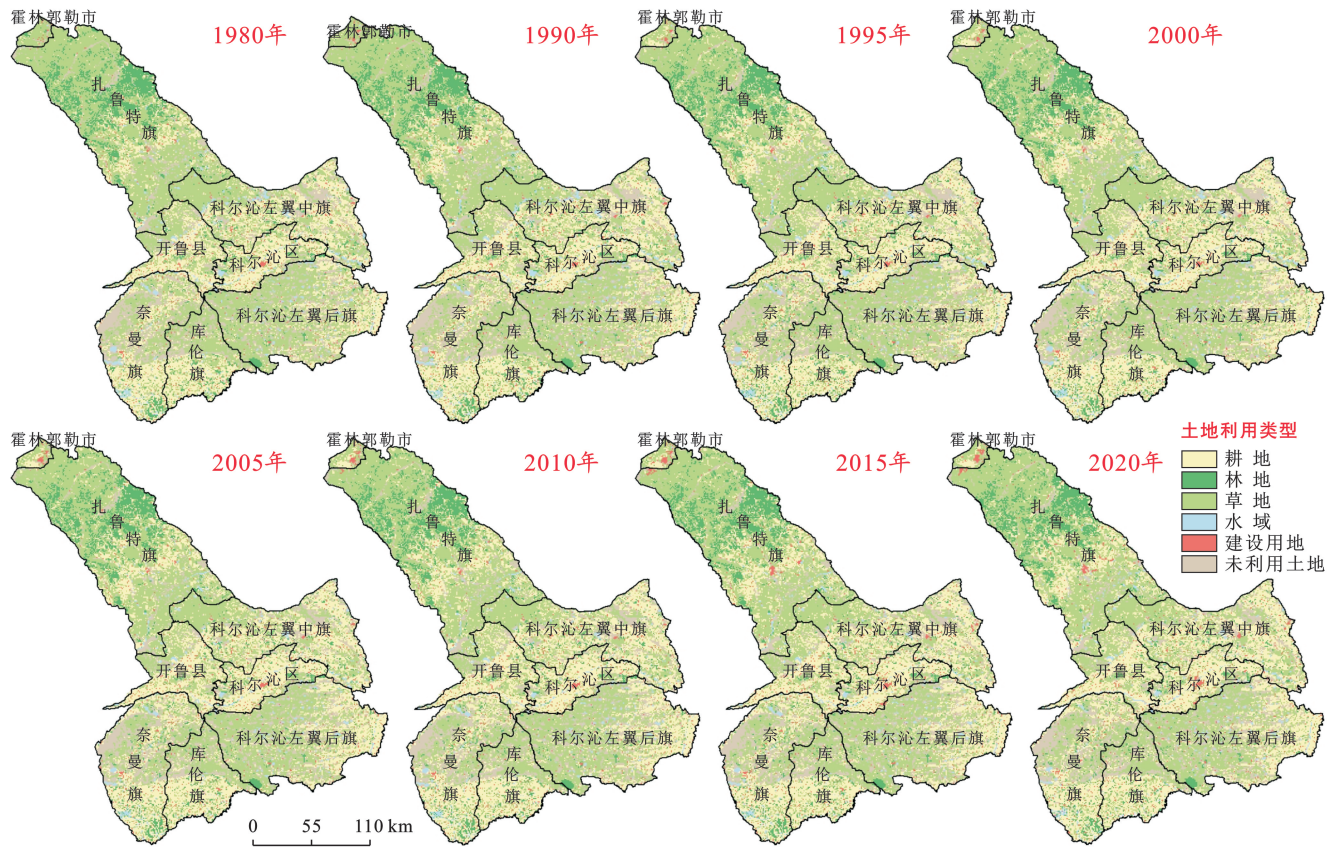


图 1 通辽市 1980—2020 年土地利用分布

Fig.1 Land use distribution map of Tongliao City from 1980 to 2020

表 1 通辽市各土地利用类型面积汇总

Table 1 Area summary of different land use types at Tongliao City

年份	耕地		林地		草地		水域		建设用地		未利用土地	
	面积/km ²	比例/%	面积/km ²	比例/%	面积/km ²	比例/%	面积/km ²	比例/%	面积/km ²	比例/%	面积/km ²	比例/%
1980	14 826	25.30	4 615	7.87	28 094	47.94	1 287	2.20	1 226	2.09	8 558	14.60
1990	15 425	26.32	4 344	7.41	27 647	47.17	1 320	2.25	1 277	2.18	8 593	14.66
1995	16 585	28.30	4 730	8.07	26 307	44.89	1 236	2.11	1 295	2.21	8 453	14.42
2000	17 450	29.78	4 684	7.99	25 520	43.55	1 227	2.09	1 302	2.22	8 423	14.37
2005	17 772	30.32	4 683	7.99	25 360	43.27	1 105	1.89	1 325	2.26	8 361	14.27
2010	17 814	30.40	4 673	7.97	25 231	43.05	1 103	1.88	1 341	2.29	8 444	14.41
2015	17 873	30.50	4 671	7.97	25 090	42.81	1 093	1.86	1 488	2.54	8 391	14.32
2020	17 863	30.45	4 606	7.85	25 172	42.90	1 093	1.86	1 511	2.58	8 425	14.36

2.1.2 土地利用与海拔、坡度的关系 由图 2 可以看出,通辽市内约 65%左右的土地都处在海拔 85~300 m地段,19%的地类分布在海拔 301~500 m地段,海拔越高地类面积越少。耕地主要分布在海拔 85~500 m地段,比例约占耕地总量的 95%。林地分布在海拔 501~700 m,701~900 m,901~1 100 m,1 101~1 445 m地段,分别占各海拔区间总地类面积的 33%,26%,17%,25%左右。草地分布较广,在海拔 85~1 445 m 都有分布且较多,在海拔高程 1 101~1 445 m地段占比约该地段总地类面积的 74%。通辽市水资源极其缺乏且占总量 99%的水域分布在

海拔 85~500 m。建设用地和未利用土地主要分布在海拔高度 85~300 m,301~500 m地段,分别占该地类总量的 70%,20%,75%,20%左右,该区域的人类活动最为密集。由图 3 可以看出,通辽市土地较为平坦,研究区内坡度 5°以下的地类面积为 51 713.99 km²,占总面积的 88.28%,10°以下的地类面积占比为 95.28%。研究区内水域、建设用地、未利用土地主要分布在 10°以下区域内,耕地主要分布在 25°以下区域内,高于 25°区域内面积仅有 0.53 km²。研究区坡度超过 10°各地段内地类面积逐渐减少,最后仅存有少量林地和草地,主要分布在 40°以下的区域。通过图

2—3 可以看出,通辽市大多为低海拔、低坡度区域,且该地区面积最多的为耕地和草地,水资源极其缺乏,土地利用多样性较少。

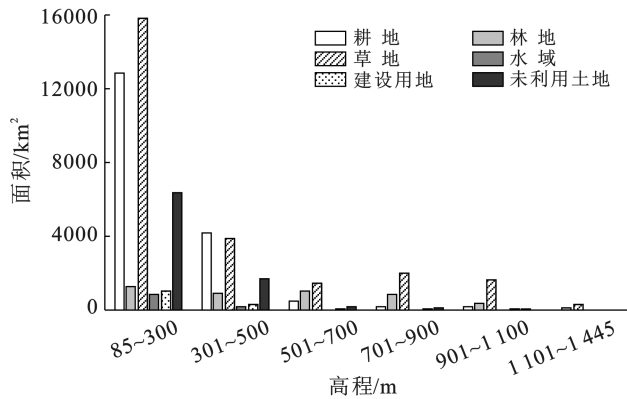


图 2 不同高程范围内 2020 年通辽市土地利用类型面积

Fig.2 Area of land use types in different elevation ranges at Tongliao City in 2020

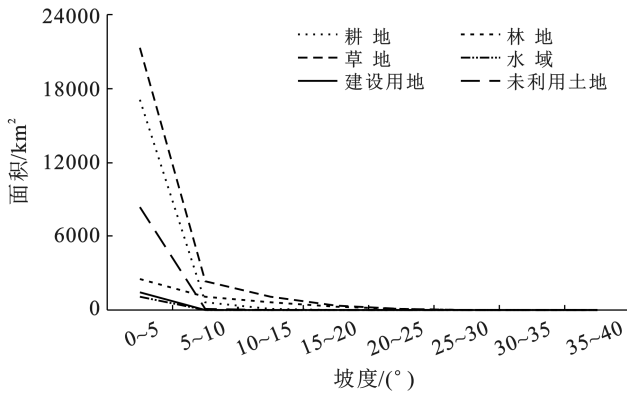


图 3 不同坡度范围内 2020 年通辽市土地利用类型面积

Fig.3 Area of land use types in different slope ranges at Tongliao City in 2020

2.2 土地利用速度变化

由表 2 的单一土地利用动态度可以看出,1980—2020 年通辽市建设用地土地利用动态度最大,地类变化速度最快,其次为耕地,土地利用动态度分别为 0.58% 和 0.51%。水域、草地、未利用地、林地面积均减少,其中水域面积减幅最大,其土地利用动态度分别为 -0.38%, -0.26%, -0.04%, 0.00%。按旗(县)划分,1980—2020 年霍林郭勒市耕地土地利用动态度最大,其次是扎鲁特旗,分别为 8.93% 和 1.16%,其余旗(县)土地利用动态度也均为正值。研究期间除开鲁县建设用地土地利用动态度负值之外其余旗(县)均为正值,其中霍林郭勒市最高,其次是扎鲁特旗,土地利用动态度分别为 6.63% 和 1.38%。奈曼旗林地土地利用动态度最高,动态度为 1.52%。各旗(县)草地土地利用动态度均为负值,这主要与通辽市畜牧业的快速发展有关。通辽市综合土地利用动态度整体较低,但是各个旗(县)的动态度变化有所差异,各旗(县)综合土地利用动态度由大到小排序为:霍林郭勒市 > 库伦旗 > 科尔沁区 = 奈曼旗 > 科尔沁左翼中旗 > 科尔沁左翼后旗 = 开鲁县 = 扎鲁特旗。1980—2000 年各土地利用类型面积变化较后 20 a 明显,综合土地利用动态度为 0.24%, 2000—2020 年综合土地利用动态度较平稳,为 0.05%。1980—2020 年研究区土地利用变化情况跟土地利用动态度计算出的结果一致,土地类型变化速度不快且变化的强度在研究期内相对稳定。这表明近 40 a 以来该地区土地利用政策的实施对保护耕地、控制建设用地规模、依法用地以及生态环境保护等方面做出了积极贡献。

表 2 通辽市 1980—2020 年土地利用动态度统计结果

Table 2 Statistical results of land use dynamics at Tongliao City from 1980 to 2020

年份	研究区	单一土地利用动态度/(%·a ⁻¹)						综合土地利用动态度/(%·a ⁻¹)
		耕地	林地	草地	水域	建设用地	未利用土地	
1980—2000		0.88	0.07	-0.46	-0.23	0.31	-0.08	0.24
2000—2020	全通辽市	0.12	-0.08	-0.07	-0.55	0.80	0.00	0.05
1980—2020		0.51	0.00	-0.26	-0.38	0.58	-0.04	0.14
	科尔沁区	0.23	0.11	-0.54	-0.62	0.55	0.24	0.17
	科尔沁左翼中旗	0.44	0.04	-0.25	-0.87	0.29	-0.11	0.15
	科尔沁左翼后旗	0.55	-0.15	-0.25	-0.06	0.37	0.11	0.14
	开鲁县	0.31	-0.18	-0.26	0.54	-0.04	-0.27	0.14
	库伦旗	0.44	-0.10	-0.42	0.89	0.71	0.03	0.18
	奈曼旗	0.35	1.52	-0.32	-0.93	0.25	-0.10	0.17
	扎鲁特旗	1.16	-0.12	-0.18	0.26	1.38	-0.19	0.14
	霍林郭勒市	8.93	-2.32	-0.72	0.00	6.63	0.24	0.68

2.3 土地利用程度分析

从表 3 可以看出,通辽市 1980—2020 年 8 期土地利用程度综合指数分别为 214.87, 215.99, 218.27,

219.82, 220.56, 220.54, 221.23 和 221.22, 其土地利用水平在持续增加,数值均处在 100~400,但是土地利用程度是处在中低等水平。2015 年通辽市土地利用

程度最高,2005—2010 年和 2015—2020 年土地利用程度基本没有变化,其余研究时段内的土地利用程度都在增加,其土地利用程度综合指数变化率分别为 0.005,0.011,0.007,0.003,0,0.003,0,0.03。按旗(县)划分,科尔沁区的土地利用程度最高,其次是开鲁县、霍林郭勒市、科尔沁左翼中旗、库伦旗(图 4,表 3)。主要原因是由于这些旗(县)内土地利用等级低

的未利用土地面积比例较少,土地利用等级较高的耕地和建设用地占比高且面积都有所增加,由此带动土地经济进入发展期。科尔沁左翼后旗、奈曼旗、扎鲁特旗土地利用程度综合指数相较于其他旗(县)有明显差异,主要是因为这些旗(县)内土地利用程度等级低的草地和未利用土地比例多导致人为利用较低,但是整体上土地利用程度是处于上升趋势。

表 3 通辽市 1980—2020 年土地利用程度综合指数及变化率

Table 3 Comprehensive index and changing rate of land use degree at Tongliao City from 1980 to 2020

项目	研究区	1980 年	1990 年	1995 年	2000 年	2005 年	2010 年	2015 年	2020 年
土地利用程度综合指数	全通辽市	214.87	215.99	218.27	219.82	220.56	220.54	221.23	221.22
	科尔沁区	252.23	253.98	256.98	258.52	259.24	259.38	260.67	258.21
	科尔沁左翼中旗	224.11	225.00	227.47	228.52	230.14	230.28	231.32	231.17
	科尔沁左翼后旗	202.52	203.83	202.27	206.46	206.83	206.48	206.72	206.44
	开鲁县	235.65	236.83	239.94	239.85	240.80	240.91	241.49	241.84
	库伦旗	223.37	223.25	228.63	230.46	229.04	228.83	228.85	230.45
	奈曼旗	209.05	209.76	210.01	212.32	214.44	213.99	214.26	214.76
	扎鲁特旗	205.47	206.80	210.90	210.77	210.99	211.21	212.29	212.26
	霍林郭勒市	204.70	211.65	227.65	232.52	236.87	240.00	241.57	239.83
项目	研究区	1980—1990 年	1990—1995 年	1995—2000 年	2000—2005 年	2005—2010 年	2010—2015 年	2015—2020 年	1980—2020 年
土地利用程度综合指数变化率	全通辽市	0.005	0.011	0.007	0.003	0.000	0.003	0.000	0.03
	科尔沁区	0.007	0.012	0.006	0.003	0.001	0.005	-0.009	0.024
	科尔沁左翼中旗	0.004	0.011	0.005	0.007	0.001	0.004	-0.001	0.031
	科尔沁左翼后旗	0.006	-0.008	0.021	0.002	-0.002	0.001	-0.001	0.019
	开鲁县	0.005	0.013	0.000	0.004	0.000	0.002	0.001	0.026
	库伦旗	-0.001	0.024	0.008	-0.006	-0.001	0.000	0.007	0.032
	奈曼旗	0.003	0.001	0.011	0.010	-0.002	0.001	0.002	0.027
	扎鲁特旗	0.006	0.020	-0.001	0.001	0.001	0.005	0.000	0.033
	霍林郭勒市	0.034	0.076	0.021	0.019	0.013	0.007	-0.007	0.172

2.4 土地利用转移矩阵分析

为了解通辽市土地利用类型间的相互转换情况,利用 ArcGIS 10.2 软件对该地区 1980,2000 和 2020 年 3 期土地利用图斑进行叠加分析,获取了 3 个时间段土地利用转移矩阵(表 4),制作了 1980—2020 年通辽市土地利用各类别变化图(图 5)。由表 4 可以看出,1980—2000 年耕地转入面积为 2 624 km²,其中草地净转入面积为 2 336 km²,是耕地增加的主要来源,耕地和草地面积的变化与人口增长和畜牧业的发展有密切关系。林地主要由草地转入,净转入面积为 176 km²。草地转出面积为 2 574 km²,耕地、林地、建设用地、未利用土地的增加导致该地类减少,净转化面积分别为 2 336,176,39,23 km²。水域转出面积为 60 km²,主要转向为耕地,净转出面积为 57 km²。建设用地面积共计增加了 76 km²,主要由耕地和草地转入,还有少部分林地和未利用土地转入,净转入面积分别为 25,39,9,3 km²。未利用土地转出面积为 135 km²,主要转向为耕地,净转出面积为

158 km²。2000—2020 年,各类用地之间转换频繁,耕地面积共计增加了 401 km²,主要是由草地、未利用土地、林地、水域转入,净转入面积分别为 105,104,99,100 km²。林地转出面积为 79 km²,主要转化为耕地和未利用土地,净转出面积分别为 99 km²,25 km²。水域转出面积为 139 km²,主要转向为耕地,净转出量为 100 km²。建设用地转入面积为 209 km²,主要来源是草地和未利用土地,净转入量分别为 130 和 60 km²。未利用土地面积共计减少了 16 km²,主要转向为耕地和建设用地,净转出量为 104 和 60 km²。1980—2020 年耕地转入面积为 3 014 km²,主要来源是林地、草地、水域、少量建设用地、未利用土地,主要是从扎鲁特旗、科尔沁左翼后旗、科尔沁左翼中旗、奈曼旗、开鲁县转化。林地转出面积为 11 km²,主要转向为耕地,净转出面积为 200 km²,林地转化为耕地主要发生在科尔沁左翼后旗、库伦旗、扎鲁特旗、霍林郭勒市。草地转出面积为 2 938 km²,主要转向为耕地、林地、建设用地、未利用

土地,净转出面积分别为 2 214,153,233,301 km²。水域转出面积为 199 km²,主要转向为耕地和未利用土地,这些地类的转换主要分布在科尔沁左翼中旗、科尔沁左翼后旗、奈曼旗、库伦旗。建设用地转入面积为 285 km²,主要来源是草地、水域、未利用土

地,主要在科尔沁区、科尔沁左翼中旗、霍林郭勒市、科尔沁左翼后旗、扎鲁特旗转化。未利用土地共计减少了 151 km²,主要转向为耕地、林地、建设用地,这些地类在科尔沁区、科尔沁左翼中旗、奈曼旗转化最多(图 5)。

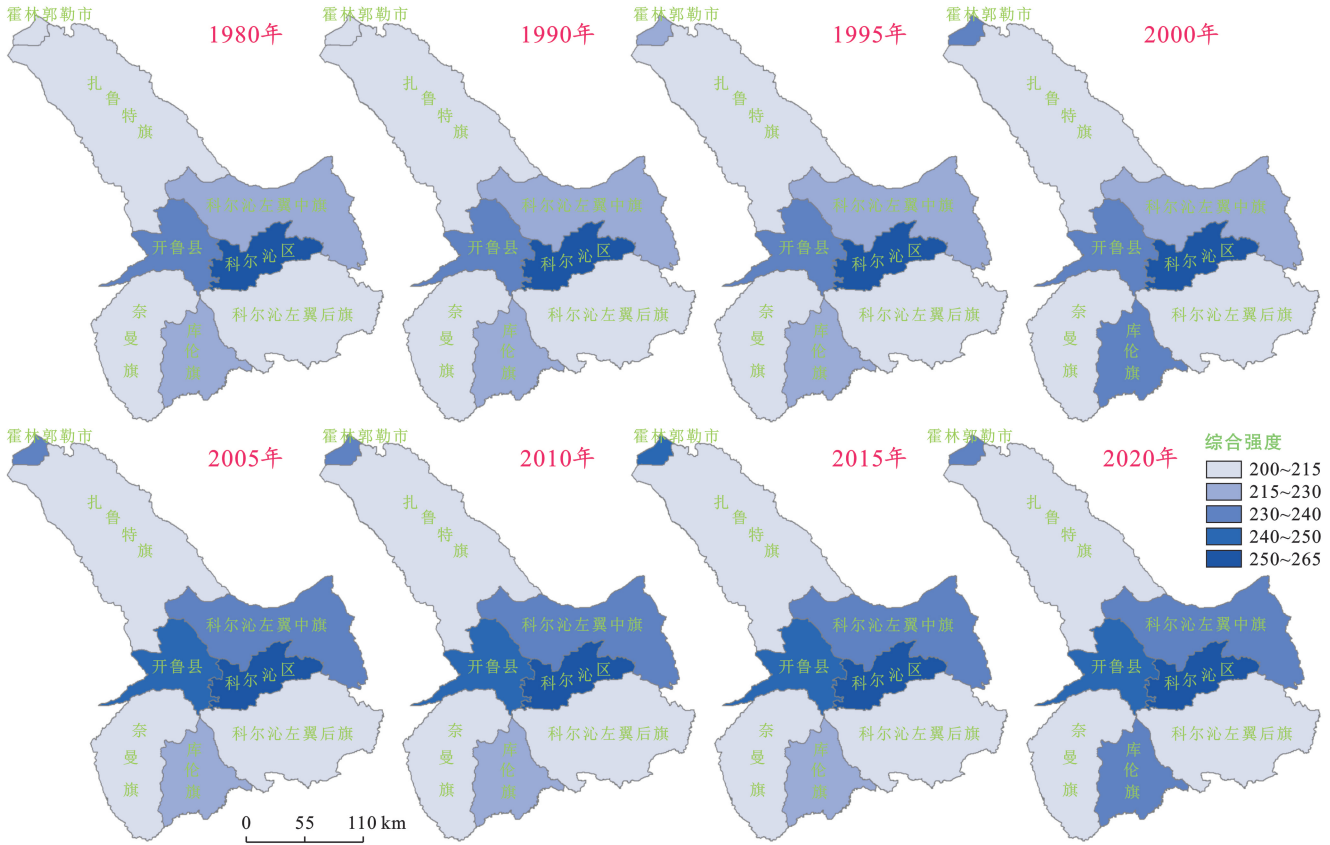


图 4 通辽市 1980—2020 年土地利用综合强度分布

Fig.4 Distribution of comprehensive intensity of land use at Tongliao City from 1980 to 2020

表 4 通辽市 1980—2020 年土地利用类型转移矩阵

Table 4 Land use type transfer matrix of Tongliao City from 1980 to 2020

项目		土地利用类型	耕地	林地	草地	水域	建设用地	未利用土地
1980—2000 年 面积	耕地		14 457	165	113	15	25	51
	林地		263	4 121	191	5	9	26
	草地		2 449	367	24 811	25	39	403
	水域		72	6	25	1167	0	17
	建设用地		0	0	0	0	1 226	0
	未利用土地		209	25	380	15	3	7 926
2000—2020 年 面积	耕地		9 634	954	4 371	313	628	1 495
	林地		1 053	1 762	1 527	45	68	221
	草地		4 476	1 564	15 442	337	462	3 219
	水域		413	51	335	186	29	209
	建设用地		621	70	332	15	114	145
	未利用土地		1 599	196	3 117	188	205	3 110
1980—2020 年 面积	耕地		8 371	809	3 501	280	565	1 256
	林地		1 009	1 757	1 549	37	67	189
	草地		5 715	1 702	16 207	377	537	3 524
	水域		447	51	340	189	32	224
	建设用地		600	66	304	15	99	137
	未利用土地		1 654	212	3 223	186	206	3 069

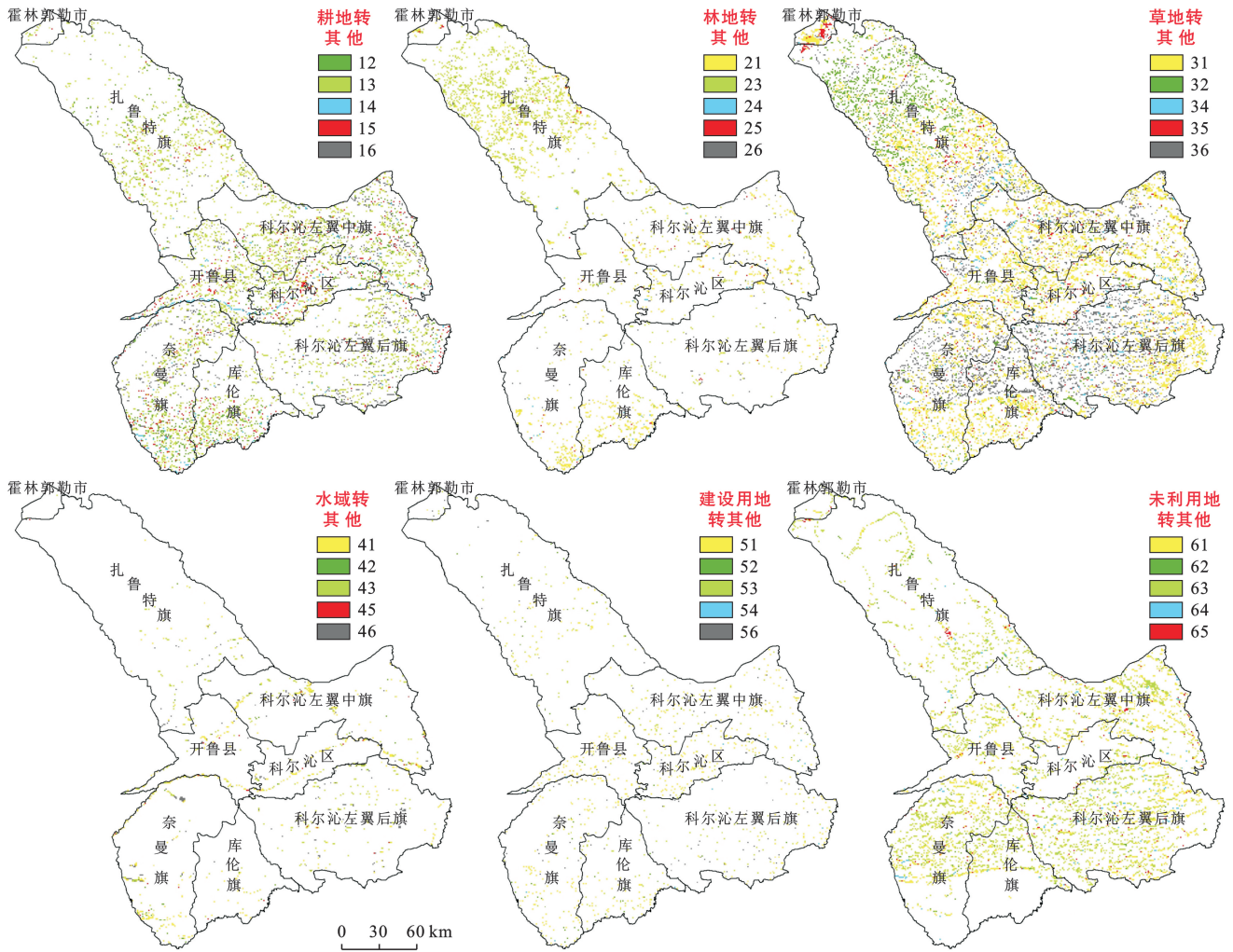


图 5 通辽市 1980—2020 年土地利用各类别变化

Fig.5 Changes of different land use types at Tongliao City from 1980 to 2020

2.5 土地利用变化驱动力分析

由于不同指标量纲不同,不存在可比性,所以首先要将研究区近 40 a 社会经济统计数据与气候数据用 SPSS 25.0 软件进行标准化处理,然后需要对变量进行 Bartlett 球形度检验,判断 sig 值与 KMO 值。本研究的 KMO 值为 0.847,大于临界值 0.6,适宜进行因子分析; p 值为 0.000,小于 0.05,说明选取的指标内部有较高的关联度,适合进行因子分析。计算特征值与各成分贡献率和旋转后的成分载荷矩阵(表 5),选取特征值应大于 1 且累积贡献率高于 85% 的主成分因子进行分析。结果表明,选取的 14 个指标成分中有 2 个主成分特征值符合大于 1 的标准,数值分别为 10.505,1.624。2 个成分累计贡献率达到 86.639%,能够代表通辽市土地利用变化的总体情况。从表 5 旋转后的成分载荷矩阵可以看出,第一主成分与地区生产总值、地区人均生产总值、地方财政收支、第二产业比例、第三产业比例、年末大牲畜总头数、粮食总产量、社会消费品零售总额、年平均气温和

年降水量有较强的相关性。通辽市生产总值从 1980 年的 8.67(亿元)提升到 2020 年 1 276.64(亿元),实现了 1 267.97(亿元)的经济飞跃。产业结构升级主要通过第二和第三产业比例增加对通辽市土地利用变化产生影响,通辽市 1980—2020 年第二产业和第三产业占比分别从 16.1%,22.4% 增加至 29% 和 47.1%。通辽是国家重要的商品粮和畜牧业生产基地,粮食总产量从 1980 年的 8.48×10^5 t 增加至 2020 年的 8.65×10^6 t,大牲畜总头数从 1980 年的 122.17(万头)增加至 2020 年的 210.67(万头)。通辽市年平均气温增加显著,1980—2020 年增温 4.2°C ,其中北部和东部较为南部和西部升温较高。通辽市 1980—2020 年降水量呈波动状态,近 40 a 平均降水量为 395.17 mm。这些因子主要与经济发展水平、农业发展水平、产业结构、社会富裕程度和气候因素有关。第二主成分与常住人口有较为显著的相关性。通辽市常住人口由 1980 年的 236.49 万人增加到 2020 年的 287.32 万人,人口的大幅度增加一方面会

导致耕地需求量增多;另一方面住房需求和公共设施需求高导致建设用地持续增加。第二主成分主要解释了常住人口变化对土地利用变化的影响。根据因子得分矩阵,可得到两个主成分的表达式 Y_1 和 Y_2 , 然后需要进行加权运算,计算得到 1980—2020 年通辽市土地利用变化驱动力综合得分。

$$Y = (68.505/86.639 \times Y_1) + (18.134/86.639 \times Y_2)$$

式中: Y 为驱动力综合得分; Y_1, Y_2 分别为第一主成分和第二主成分表达式。

由图 6 可以看出,1980—2020 年通辽市土地利用变化综合驱动力得分在逐年增加,其中 1980—2004 年土地利用变化综合驱动力得分为负值,2004 年开始驱动力得分为正值。2005—2015 年通辽市社会经济和气候驱动因素对土地利用变化影响显著,呈直线上升趋势。归纳上述部分,本研究对通辽市 1980—2020 年土地利用变化发生影响的驱动因子归纳为经济发展水平、农业发展水平、社会富裕程度、人口、产业结构和气候因素。

表 5 通辽市旋转后的成分载荷矩阵

Table 5 Component loading matrix after rotation at Tongliao City

驱动因子	成分	
	1	2
常住人口	0.410	0.782
地区生产总值	0.985	0.122
地区人均生产总值	0.985	0.102
地方财政收入	0.934	0.087
地方财政支出	0.984	0.013
第一产业比例	-0.777	-0.594
第二产业比例	0.724	0.607
第三产业比例	0.771	0.549
年末大牲畜总头数	0.875	0.224
粮食总产量	0.957	0.205
社会消费品零售总额	0.983	0.070
年平均温度	0.598	0.292
年平均风速	-0.898	-0.385
年降水量	0.328	-0.735

3 讨论与结论

3.1 讨论

通过对通辽市 1980—2020 年土地利用变化分析可以看出研究区各地类面积变化较为明显,作为主导地类的耕地和草地变化最为明显。通辽市耕地主要分布在科尔沁区、科尔沁左翼中旗、开鲁县、库伦旗南部、奈曼旗。研究期内耕地面积增加的主要原因是由通辽市半农半牧地区特色所导致的,随着人口增长和牲畜量的增多对粮食的需求量增大。草地主要分布

在科尔沁左翼后旗西部、库伦旗北部、奈曼旗中部、扎鲁特旗、霍林郭勒市。草地面积大幅度减少,主要其自身是最容易被利用的地类,比如开垦成为耕地、开发建设用地以及持续的荒漠化导致草地资源减少。研究期内建设用地持续增加,主要是随着城市化进程加快以及人口数量增多导致城镇用地的需求量增多^[23-24]。研究区土地利用变化主要集中在草地与耕地的相互转换,增加的耕地主要来源于开垦草地,减少的耕地主要转换为草地,该研究结论与刘军会等^[25]、刘孟竹等^[26]研究结果一致。通辽市 2020 年林地面积比例为 7.85%,远不如当年全区森林覆盖率 23%,退耕还林还草项目效果不明显,实施应综合考虑对种植业和畜牧业的影响^[27]。

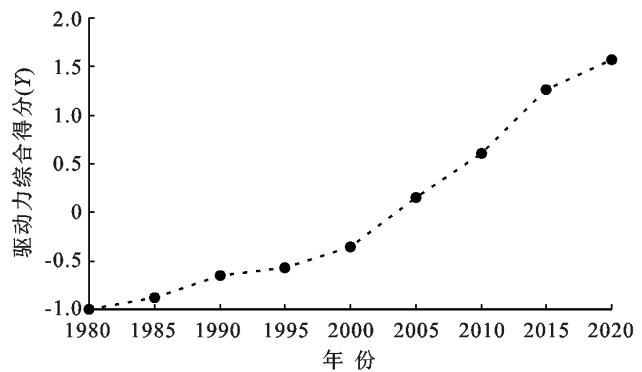


图 6 通辽市 1980—2020 年驱动力综合得分

Fig.6 Comprehensive score of driving force of Tongliao City from 1980 to 2020

研究区内水资源匮乏,时空分布不均,所占比例从 1980 年 2.2% 减少至 2020 年 1.86%,该变化趋势与陈雪萍等^[28]研究的气候变化及 LUCC 背景下北方农牧交错带水资源问题一致。通辽市 1980—2020 年土地利用程度综合指数范围在 210~230,土地利用处于中低等水平,但是其综合指数变化率在逐年增加,整体上处于上升发展阶段。对此通辽市应继续采取合理有效的措施来加强土地利用结构优化,加强对土地资源的保护,严格控制建设用地扩张,保证最大程度上发挥土地资源的核心价值。本研究的优势在于首先在研究范围上大尺度缩小,选择“草原丝路第一驿站”和典型农牧交错地区通辽市为研究区,其次在研究时间长度上选择近 40 a 来分析该研究区土地利用变化特征及驱动因素。文章整体上能较好地反映出通辽市土地利用变化的整体情况及未来的发展态势,这将会对农牧交错地区的土地利用规划、经济建设和可持续发展提供重要的科学依据。本研究由于数据获取的局限性,所使用的土地利用数据是由中国科学院资源环境科学数据中心提供的 1 km 栅格数

据集,分辨率稍低,所以在栅格数据转矢量数据过程中会出现研究区总面积与实际面积稍有差异的情况,但对于分析通辽市土地利用变化总趋势影响不大。今后土地利用数据精度的改进,驱动因素的扩展以及对研究方法的创新是我们需要努力的方向。

3.2 结论

(1) 通辽市土地利用主要以耕地和草地为主,所占比例约 73%。40 a 间耕地面积增加了 3 037 km²,整体增幅为 20.48%,草地面积减少了 2 922 km²,整体减幅为 10.40%。建设用地持续增加,增加面积为 285 km²。林地和未利用土地面积都有所减少,分别减少了 9 和 133 km²。水域所占比重最小,比例不到 2%,40 a 间减少了 194 km²。通辽市近 40 a 间土地利用类型按单一土地利用动态度从高到低排序为:建设用地>耕地>水域>草地>未利用土地>林地。

(2) 研究期间内通辽市耕地转入面积为 3 014 km²,主要来源是林地、草地、水域、少量建设用地、未利用土地。林地转出面积为 11 km²,主要转向为耕地。草地转出面积为 2 938 km²,主要转向为耕地、林地、建设用地、未利用土地。水域转出面积为 199 km²,主要转向为耕地、未利用土地。建设用地转入面积为 285 km²,主要来源是草地、水域、未利用土地。未利用土地转出面积为 151 km²,主要转向为耕地、林地、建设用地。

(3) 通辽市土地利用变化的主要社会经济驱动因素以经济发展水平、农业发展水平、产业结构和社会富裕程度为主,人口增长也对土地利用变化有一定的影响。气候驱动因素方面主要是年平均气温和年降水量的影响较为显著。1980—2020 年通辽市土地利用变化驱动力综合得分在逐年增加,2004 年开始驱动力综合得分为正值,2005—2015 年增长迅速,这表明社会经济因素和气候因素对土地利用变化越来越有积极作用,逐步成为该地区经济建设以及可持续发展的核心因素。

[参 考 文 献]

[1] 罗鸿,杨存建.2005—2015 年四川省土地利用变化及驱动力分析[J].生态科学,2021,40(1):86-94.

[2] 张佰发,苗长虹.黄河流域土地利用时空格局演变及驱动力[J].资源科学,2020,42(3):460-473.

[3] 付建新,曹广超,郭文炯.1980—2018 年祁连山南坡土地利用变化及其驱动力[J].应用生态学报,2020,31(8):2699-2709.

[4] 邱高峯,马波.卢旺达共和国土地利用变化特征及其驱动因子[J].水土保持通报,2022,42(3):263-273.

[5] 邓信翠,陈洋波.1990—2018 年东江流域土地利用变化

及其驱动力[J].水土保持通报,2020,40(6):236-242,258,331.

- [6] 郝洁,刘翠善,王尧,等.基于高程的山南市土地利用变化时空格局及驱动力分析[J].华北水利水电大学学报(自然科学版),2022,43(4):91-97.
- [7] 王曦,程三友,李英杰,等.基于 Landsat TM 和 OLI 数据的 30 年间土地利用变化及生态敏感性研究:以西安市秦岭段鄠邑区为例[J].第四纪研究,2022,42(6):1655-1672.
- [8] 刘闯祚,李广雪,邢吕阳,等.青岛市崂山区土地利用变化和景观风险分析[J].中国海洋大学学报(自然科学版),2022,52(9):90-102.
- [9] 胡波,唐红,李广,等.定西市土地利用变化及驱动力分析[J].草原与草坪,2021,41(6):119-126.
- [10] 李旭亮,杨礼箫,田伟,等.中国北方农牧交错带土地利用/覆盖变化研究综述[J].应用生态学报,2018,29(10):3487-3495.
- [11] 于显双,赵明,陈凤臻,等.基于 GIS 的北方农牧交错带荒漠化遥感动态监测与成因分析:以内蒙古通辽市为例[J].干旱区资源与环境,2010,24(4):107-111.
- [12] 徐冬平,李同昇,薛小杰,等.北方农牧交错区不同农牧用地格局下的可持续发展研究:以内蒙古通辽市为例[J].水土保持研究,2017,24(1):219-225.
- [13] 徐新良,刘纪远,张树文,等.中国多时期土地利用遥感监测数据集(CNLUCC)[M].资源环境科学数据注册与出版系统(<http://www.resdc.cn/DOD>),2018.
- [14] 杨光宗,吕凯,李峰.基于格网尺度的南昌市土地利用变化及生态系统服务价值时空相关性分析[J].中国土地科学,2022,36(8):121-130.
- [15] 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.
- [16] 徐新良,刘纪远,张增祥,等.中国 5 年间陆地生态系统空间分布数据集(1990—2010)内容与研发[J].全球变化数据学报(中英文),2017,1(1):52-59,175-182.
- [17] 谢云东,蒋晨凯.中国陆地年降水量频率分布参数数据集[M].资源环境科学数据注册与出版系统(<http://www.resdc.cn/DOD>),2022.
- [18] 刘少坤,林树高,王嘉佳,等.1980—2018 年中越边境带广西段土地利用变化及驱动力[J].水土保持通报,2021,41(1):290-299,326.
- [19] 樊玉山,刘纪远.西藏自治区土地利用[M].北京:科学出版社,1994:30-51.
- [20] 陈伊多,杨庆媛.西藏自治区土地利用/覆被变化时空演变特征及驱动因素[J].水土保持学报,2022,36(5):173-180.
- [21] 朱晓昱,王宗明,徐大伟,等.呼伦贝尔草原生态功能区土地利用变化及驱动力分析[J].中国农业资源与区划,2020,41(4):74-82.

- change on water provisional services in Tungabhadra basin using InVEST Model [J]. *River Research and Applications*, 2021, 38(1):94-106.
- [10] Pan Tao, Wu Shaohong, Dai Erfu, et al. Spatiotemporal variation of water source supply service in Three Rivers Source Area of China based on InVEST model. [J]. *The journal of applied ecology*, 2013, 24(1): 183-189.
- [11] Yang Dong, Liu Wen, Tang Lingying, et al. Estimation of water provision service for monsoon catchments of South China: applicability of the InVEST model [J]. *Landscape and Urban Planning*, 2019, 182:133-143.
- [12] 郭洪伟, 孙小银, 廉丽姝, 等. 基于 CLUE-S 和 InVEST 模型的南四湖流域生态系统产水功能对土地利用变化的响应[J]. *应用生态学报*, 2016, 27(9):2899-2906.
- [13] Yang Jie, Xie Baopeng, Zhang Degang, et al. Climate and land use change impacts on water yield ecosystem service in the Yellow River basin, China [J]. *Environmental Earth Sciences*, 2021, 80(3):72-83.
- [14] Budyko M I. *Climate and Life* [M]. New York: Academic Press, 1974.
- [15] Sharp R, Douglass J, Olwero, et al. *InVEST User's Guide* [M]. Stanford: the Natural Capital Project, 2022.
- [16] Zhang L, Hickel K, Dawes W R, et al. A rational function approach for estimating mean annual evapotranspiration [J]. *Water Resources Research*, 2004, 40(2):W02502.
- [17] Jafarzadeh A A, Mahdavi A, Shamsi S F, et al. Annual water yield estimation for different land uses by GIS-Based InVEST model: case study: Mish-khas Catchment, Ilam Province, Iran [J]. *Journal of Rangeland Science*, 2019, 9(1):1-12.
- [18] Zhang L, Dawes W R, Walker G R. Response of mean annual evapotranspiration to vegetation changes at catchment scale [J]. *Water Resources Research*, 2001, 37(3):701-708.
- [19] 周文佐, 刘高焕, 潘剑君, 等. 中国土壤有效含水量分布 [J]. *地理学报(英文版)*, 2005, 15(1):3-12.
- [20] Yan Fapeng, Shangguan Wei, Zhang Jing, et al. Depth-to-bedrock map of China at a spatial resolution of 100 meters [J]. *Scientific Data*, 2020, 7(1):74-86.
- [21] 杜佳衡, 王锦. 基于 InVEST 模型的大理州永平县水生态系统服务功能时空变化分析 [J]. *西部林业科学*, 2021, 50(6):91-102.
- [22] 胡砚霞, 于兴修, 廖雯, 等. 汉江流域产水量时空格局及影响因素研究 [J]. *长江流域资源与环境*, 2022, 31(1): 73-82.
- [23] 刘瑞, 朱道林. 基于转移矩阵的土地利用变化信息挖掘方法探讨 [J]. *资源科学*, 2010, 32(8):1544-1550.
- [24] 洪忠. 云龙水库水源保护区水源涵养林建设探讨 [J]. *林业建设*, 2020(2):42-48.
- [25] 黄欣, 彭双云, 王哲, 等. 基于地理探测器的云南省生态系统产水服务的空间异质性及驱动因素 [J]. *应用生态学报*, 2022, 33(10):2813-2821.

(上接第 384 页)

- [22] 段红腾, 吴发启, 杨一凡, 等. 近 10 年巴音河流域土地利用变化及驱动力分析 [J]. *水土保持研究*, 2020, 27(2):172-177.
- [23] 何俊仕, 王志新, 付玉娟, 等. 西辽河平原土地利用/覆被变化特征分析 [J]. *中国农村水利水电*, 2016(11):66-69, 73.
- [24] 呼和孟古拉. 干旱区土地利用/覆被变化及生态安全评价研究 [D]. 重庆: 西南大学, 2018.
- [25] 刘军会, 高吉喜, 耿斌, 等. 北方农牧交错带土地利用及景观格局变化特征 [J]. *环境科学研究*, 2007, 20(5): 148-154.
- [26] 刘孟竹, 王彦芳, 裴宏伟. 退耕还林(草)背景下中国北方农牧交错带土地利用及碳储量变化 [J]. *中国沙漠*, 2021, 41(1):174-182.
- [27] 周建, 张凤荣, 徐艳, 等. 基于降水量与土壤类型的北方农牧交错区土地利用/覆被格局及变化分析: 以科尔沁左翼后旗为例 [J]. *地理研究*, 2017, 36(7):1210-1222.
- [28] 陈雪萍, 赵学勇, 王瑞雄, 等. 气候变化与土地利用/覆被变化对中国北方农牧交错带水资源影响研究进展 [J]. *中国沙漠*, 2022, 42(3):170-177.