

内蒙古阴山北麓农牧交错区土地利用动态分析及预测

王彦阁

(内蒙古工业大学, 内蒙古 呼和浩特 010051)

摘要: 基于阴山北麓农牧交错区 2000 年、2005 年、2010 年、2015 年四期土地利用遥感监测图, 利用 ARCGIS 和 IDRISI 软件分析了区域土地利用格局及其时空变化规律和变化趋势, 并用 CA-Markov 模型对 2020 年的土地利用变化趋势进行了模拟。结果表明: (1) 草地、耕地和未利用地为研究区的优势地类, 2000–2015 年耕地面积逐渐减少, 主要转化为林地和草地; 林地、居民工矿用地面积逐渐增加; 草地面积在 2000–2010 年逐渐增加, 2010–2015 年又显著减少, 主要转化为未利用地; 未利用地面积在 2000–2010 年逐渐减少, 2010–2015 年又呈增加趋势; 水域面积没有发生显著的变化。(2) 2000–2005 年由于生态工程实施的扰动, 使得土地利用处于调整期; 2005–2010 年土地利用处于稳定期; 2010–2015 年土地利用处于衰退期。(3) 2020 年土地利用的变化趋势和 2010–2015 年这 5 年间的变化趋势大体相同, 主要变化发生在草地和未利用土地上, 但变化幅度显著增加。

关键词: 阴山北麓; 农牧交错区; 土地利用; CA-Markov 模型; 预测模拟

中图分类号: S771.8

文献标识码: A

文章编号: 1001-3776(2020)04-0010-08

Analysis and Prediction of Land Use Types in Agro-Pastoral Ecotone in the Northern Yinshan Mountain of Inner Mongolia

WANG Yan-ge

(Inner Mongolia University of Technology, Huhhot 010051, China)

Abstract: Based on remote sensing monitoring maps of different land use types in agro-pastoral ecotone in the northern Yinshan Mountain, Inner Mongolia in 2000, 2005, 2010 and 2015, analysis was made on the pattern and spatial-temporal change by using ARCGIS and IDRISI, and prediction was simulated of land use types in 2020 by CA-Markov model. The results showed that from 2000 to 2015, the area of cultivated land decreased gradually, which was mainly converted into forest land and grassland, the area of forest land and residential land increased gradually. The area of grassland increased from 2000 to 2010, but decreased evidently from 2010 to 2015, mainly converted into unused land. While unused land decreased from 2000 to 2010 and increased from 2010 to 2015. There was no significant change in water area. The change of land use types during 2000 to 2005 was due to adjustment of ecological project, and then in a stable period from 2005 to 2010. The trend of land use types in 2020 by CA-Markov model was the same as that during 2010-2015.

Key words: agro-pastoral ecotone in the northern Yinshan Mountain; land use; CA-Markov model; forecast simulation

区域土地利用/覆被变化已经成为全球的研究热点之一, 不同时空尺度的土地利用变化研究有助于揭示人类社会影响下区域生态环境变化的过程和机理。在分析土地利用变化的基础上, 发展土地利用模型, 预测未来土地利用变化, 可以帮助土地管理者分析不同宏观政策和社会经济发展情景下的土地利用变化趋势, 为区域土地利用规划和决策、生态环境保护以及可持续发展提供科学依据^[1-4]。

阴山北麓农牧交错区是整个北方农牧交错区中生态环境最为脆弱和贫困的地区之一, 由于地处蒙古高压的

收稿日期: 2020-01-27; 修回日期: 2020-05-13

基金项目: 国家重点研发计划课题“阴山北麓农牧交错区风蚀草地治理技术与示范(课题编号 2016YFC0500705)”

作者简介: 王彦阁, 博士, 助理研究员, 从事水土保持、景观生态研究; E-mail: 3343698@qq.com。

前缘地带、风力作用强烈,沙物质来源丰富,且降水量小于蒸发量,风蚀沙化、水土流失现象非常严重。该区域原始植被为干草原,20 世纪六七十年代,由于粮食政策的困扰和牲畜数量的聚增,过度开垦、放牧及粗放经营使得草地出现大面积退化和沙化,单纯的牧业区域变为农牧交错区;20 世纪八九十年代后,该地区几乎所有的草地都存在着不同程度的退化,且以中、重度退化为主,生物资源急剧减少,生态环境的恶化成为制约当地农牧业发展、经济发展的主要因素,同时,该地区的日趋荒漠化也直接威胁着周边地区的生态环境^[5];自 2000 年以来,随着一系列生态治理工程的全面实施,极大地推动了该区域生态建设的发展,农牧交错区生态环境有了明显的改善,土地利用方式也发生了显著的变化。目前,对该区域土地利用变化的研究较少^[5-6],且研究的空间尺度和时间跨度较小。鉴于此,本文以阴山北麓农牧交错区为研究对象,在地理信息系统的支持下,对 2000 - 2015 年期间土地利用/覆被动态变化过程和规律进行分析,旨在揭示相关政策干扰下农牧交错区土地利用的演变机制和规律,同时运用 CA-Markov 模型对区域土地利用格局的时空演变趋势进行模拟和预测,以期制定土地利用和生态环境建设规划提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

阴山北麓农牧交错区位于内蒙古自治区中部,阴山山脉向蒙古高原的过渡带,地理坐标为 $107^{\circ}17' \sim 117^{\circ}30' E$, $40^{\circ}13' \sim 42^{\circ}28' N$,包括锡盟的多伦县、太仆寺旗,乌兰察布市的化德县、商都县、察右中旗、察右后旗和四子王旗,包头市的达茂旗和固阳县,呼和浩特市武川县以及巴彦淖尔市的乌拉特中旗共 11 个旗或县,见图 1。该地区属中温带干旱、半干旱大陆性季风气候,具有光资源丰富,日照充足,太阳辐射强的特点,多年平均降水量为 200 ~ 400 mm,由东向西呈递减趋势,全年降雨量的 60% ~ 70% 集中在 7 - 9 月,年蒸发量为降水量的 6 ~ 16 倍,旱季达 7 个月(10 月至翌年 5 月),干旱、低温、风大是该区

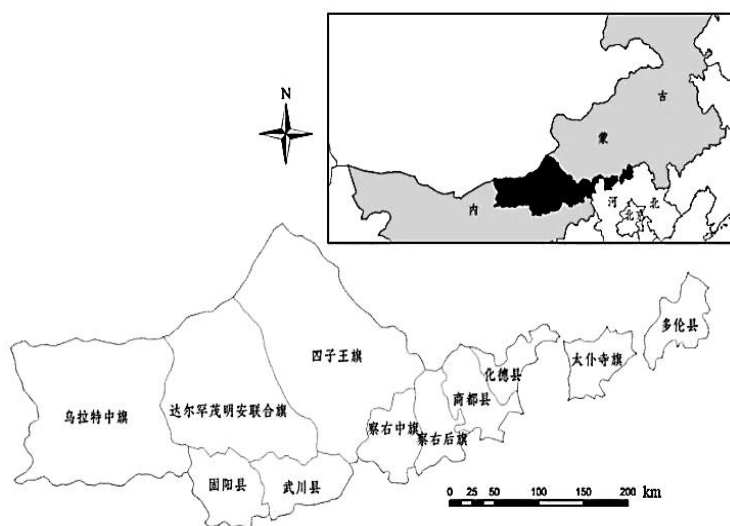


图 1 研究区地理位置

Figure 1 Location of the study area

主要的气候特点。地带性土壤基本上属于栗钙土,西部乌拉特中旗有少部分棕钙土分布,地表土广泛分布着疏松砂质、砂砾质沉积物。受气候条件的限制,原生植被主要是典型草原和荒漠草原,南部地区大部分被开垦,以旱作农业为主。

1.2 数据来源和研究方法

本文所采用的数据源是 2000 年、2005 年、2010 年和 2015 年 4 个时期的土地利用遥感监测数据,来源于中国科学院资源环境科学数据中心(图 2)。在地理信息系统的支持下,对不同年份的土地利用图进行叠加分析,探讨阴山北麓农牧交错区 2000 - 2015 年土地利用的时空变化规律,并利用 CA-Markov 模型对 2020 年土地利用变化趋势做预测模拟。

1.2.1 土地利用数量变化 土地利用变化包括土地利用类型的面积变化、空间变化和质量变化。土地利用动态度可用来定量描述区域土地利用变化的速度、土地利用变化的区域差异,对预测未来土地利用变化趋势有着积极的作用。本文用单一土地利用动态度和综合土地利用动态度来描述^[7]。

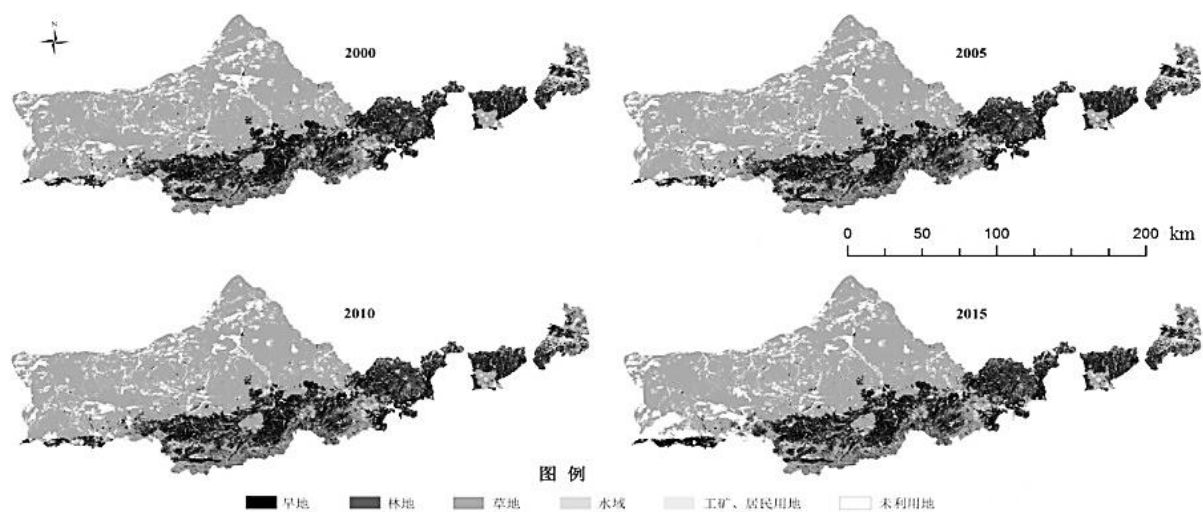


图 2 阴山北麓农牧交错区土地利用图

Figure 2 Land use of the study area in 2000, 2005, 2010 and 2015

单一土地利用类型动态度表达式为：

$$K = \frac{U_b - U_a}{U_a} \times \frac{1}{T} \times 100\%$$
 (1)

式中， K 为研究时段内某一土地利用类型动态度； U_a 、 U_b 分别为研究期初及研究期末某一种土地利用类型的数量； T 为研究时段长，当 T 的时段设定为年时， K 的值就是该研究区某种土地利用类型的年变化率。

综合土地利用动态度计算公式为：

$$LC = \left[\frac{\sum_{i=1}^n \Delta LU_{i-j}}{2 \sum_{i=1}^n LU_i} \right] \times \frac{1}{T} \times 100\%$$
 (2)

式中， LU_i 为监测起始时间第 i 类土地利用类型面积； ΔLU_{i-j} 为监测时段内第 i 类土地利用类型转为非 i 类土地利用类型面积的绝对值； T 为监测时段长度。当 T 的时段设定为年时， LC 的值就是该研究区土地利用的年变化率。

1.2.2 土地利用程度变化 根据刘纪远等^[8]提出的数量化土地利用程度分析方法，将土地利用程度按照土地自然综合体在社会因素影响下自然平衡保持状态分为 4 级，结合研究区土地利用类型进行分级并赋予指数(表 1)，选取土地利用程度综合指数、土地利用程度变化量及其变化率对该区土地利用程度变化进行定量分析。计算公式如下：

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

$$\Delta L_{b-a} = L_b - L_a = 100 \times (\sum_{i=1}^n A_i \times C_{ib} - \sum_{i=1}^n A_i \times C_{ia})$$
 (4)

$$R = \frac{\sum_{i=1}^n A_i \times C_{ib} - \sum_{i=1}^n A_i \times C_{ia}}{\sum_{i=1}^n A_i \times C_{ia}}$$
 (5)

上述各式中， L_j 为某研究区域土地利用程度综合指数， A_i 为研究区域内第 i 级土地利用程度分级指数， C_i 为研究区域内第 i 级土地利用程度分级面积百分比， n 为土地利用程度分级数； L_a 、 L_b 分别为土地利用变化前和变化后的土地利用程度综合指数， ΔL_{b-a} 为区域土地利用程度变化量， C_{ia} 、 C_{ib} 分别为 a 时间和 b 时间第 i 级土地利用类型的面积百分比； R 为区域土地利用程度变化率。若 $L_{b-a} > 0$ 或 $R > 0$ ，表示区域土地利用处于发展期，否则处于调整期或衰退期^[9]。

表 1 土地利用类型及分级
Table 1 Land use type and classification value

土地利用类型	未利用地	林地、草地、水域	耕地	居民工矿用地
分级指数	1	2	3	4

1.2.3 土地利用转移特征 对不同年份的土地利用图进行叠加分析，建立转移矩阵，对区域土地利用动态变化进行定量和定向分析。

1.2.4 CA-Markov 模型 Markov 模型和 CA 模型是目前土地利用格局模拟预测研究中最常用的方法。传统 Markov 模型中没有空间因子^[10]，CA 模型的状态变量则与空间位置紧密相连^[11]，兼具 Markov 理论的时间序列和 CA 理论的空间预测优点的 CA-Markov 模型，既保留了 Markov 长期数量预测的优势，又综合了 CA 模拟复杂时空系统变化的能力，能较好地 从时间和空间上模拟土地利用格局的变化^[12-13]。IDRISI 软件中的 CA-Markov 模块集成了 CA 滤波器与 Markov 程序的功能，利用转换面积表及条件概率转换图来预测土地利用变化情况，可较 好地进行土地利用变化模拟^[13-14]，同时能有效地纳入地理信息系统和遥感数据，具有较强的科学性与实用性。

本文采用 IDRISI 软件的 CA-Markov 模型对 2020 年阴山北麓农牧交错区土地利用格局变化趋势进行模拟预测。

2 结果与分析

2.1 土地利用数量变化分析

在土地利用专题图的基础上，对 4 个时期土地利用类型面积进行统计，结果见表 2。由表 2 可知，阴山北麓农牧交错区土地利用类型以草地、耕地和未利用地为主，其中，以草地的占比最大，其主要分布在研究区北部乌拉特中旗、达尔罕茂名安联合旗和四子王旗境内，耕地主要分布在南部地区。2000－2015 年，耕地面积逐渐减少，共减少了 532.9 km²，尤以 2000－2005 年减少的幅度最大；林地、居民工矿用地面积逐渐增加，其中，林地面积增加了 357.5 km²，尤以 2000－2005 年增加的幅度最大；居民工矿用地面积增加了 259.5 km²，以 2010－2015 年增加的幅度最大；草地面积在 2000－2010 年逐渐增加，共增加了 405.4 km²，2010－2015 年又呈减少的趋势，使得 2015 年草地面积比 2000 年减少了 1 721.6 km²；未利用地 2000－2010 年逐渐减少，共减少了 308.4 km²，2010－2015 年又增加了 1 945.5 km²。

表 2 阴山北麓农牧交错区土地利用类型面积统计
Table 2 Area of different land use types in studied area

土地利用类型	2000 年		2005 年		2010 年		2015 年	
	面积/km ²	百分比/%	面积/km ²	百分比/%	面积/km ²	百分比/%	面积/km ²	百分比/%
耕地	17 472.0	18.00	16 998.8	17.51	17 004.3	17.52	16 932.1	17.44
林地	2 154.0	2.22	2 480.6	2.56	2 474.9	2.55	2 511.4	2.59
草地	66 042.6	68.04	66 311.2	68.31	66 448.0	68.45	64 321.0	66.26
水域	1 248.8	1.29	1 258.0	1.30	1 267.3	1.31	1 257.2	1.30
居民工矿用地	1 869.5	1.93	1 893.1	1.95	1 901.6	1.96	2 129.0	2.19
未利用地	8 284.1	8.53	8 129.2	8.37	7 974.7	8.22	9 920.1	10.22
合计	97 070.9	100	97 070.9	100	97 070.9	100	97 070.9	100

由表 3 可知，单一土地利用动态度计算结果显示，耕地、林地面积的变化主要发生在 2000－2005 年，在 2000－2005 年，耕地面积的年均减少率为 0.54%，林地面积的年均增加率为 3.03%；草地、居民工矿用地、未利用地面积变化主要发生在 2010－2015 年，在 2010－2015 年，草地面积的年均减少率为 0.64%，居民工矿用地面积的年均增加率为 2.39%，未利用地面积的年均增加率为 4.88%。

表 3 阴山北麓农牧交错区 2000－2015 年土地利用动态度
Table 3 Dynamic of different land use types in studied area

年份/年	综合土地利用动态度 变化率/%	单一土地利用动态度变化率/%					
		耕地	林地	草地	水域	居民工矿用地	未利用地
2000－2005	0.13	－0.54	3.03	0.08	0.15	0.25	－0.37
2005－2010	0.03	0.01	－0.05	0.04	0.15	0.09	－0.38
2010－2015	0.46	－0.08	0.29	－0.64	－0.16	2.39	4.88

从综合土地利用动态度来看，阴山北麓农牧交错区 2010－2015 年的土地利用变化速率（0.46%）最大，

2000 – 2005 年的土地利用变化速率次之（0.13%），2005 – 2010 年的土地利用变化速率（0.03%）最小。

2.2 土地利用程度变化分析

根据公式（3）、（4）、（5）计算得出阴山北麓农牧交错区 2000 – 2015 年土地利用变化综合程度指数及其变化量和变化率，见表 4。由表 4 可知，阴山北麓农牧交错区 2000 – 2015 年的土地利用程度均接近全国平均水平 231.92^[15]，处于中等利用水平，土地利用程度总体较高。从阶段性变化来看，2000 – 2005 年，由于退耕还林还草等生态工程的实施，使得分级指数为 3 的耕地减少，分级指数为 2 的林地、草地虽有增加，但其增加的幅度小于耕地减少的幅度，因此，该时段土地利用程度变化量为负值（-0.28），变化率为 -0.13%；2005 – 2010 年，分级指数为 2 的草地、水域，分级指数为 3 的耕地以及分级指数为 4 的居民工矿用地都有轻微的增加，导致该时段内土地利用程度变化量为正值（0.18），变化率为 0.09%；2010 – 2015 年，由于分级指数为 2 的草地、水域显著减少和分级指数为 3 的耕地的减少，导致土地利用程度变化量为负值（-1.61），变化率为 -0.76%。

表 4 土地利用程度变化指数
Table 4 Variability index of land use degree in different periods

综合指数				变化量指数			变化率/%		
2000 年	2005 年	2010 年	2015 年	2000 – 2005 年	2005 – 2010 年	2010 – 2015 年	2000 – 2005 年	2005 – 2010 年	2010 – 2015 年
213.32	213.04	213.22	211.61	-0.28	0.18	-1.61	-0.13	0.09	-0.76

2.3 土地利用空间转移规律分析

对不同年份土地利用专题图进行空间叠加，提取出土地利用类型空间转移矩阵，结果见表 5。

表 5 阴山北麓农牧交错区土地利用转移矩阵
Table 5 Land use transfer matrix of studied area

2000 – 2005 年							
土地利用类型	面积/km ²						
	耕地	林地	草地	水域	居民工矿用地	未利用地	面积增加合计
耕地	—	4.9	101.6	0.5	0.7	23.8	131.4
林地	193.0	—	138.2	4.9	2.8	1.6	340.5
草地	371.2	6.3	—	22.6	4.2	312.1	716.4
水域	8.1	0.3	30.8	—	0.5	13.2	52.9
居民工矿用地	18.6	0.4	12.9	0.2	—	0.4	32.5
未利用地	13.7	1.9	164.3	15.4	0.9	—	196.1
面积减少合计	604.6	13.8	447.8	43.7	8.9	351.0	
2005 – 2010 年							
土地利用类型	面积/km ²						
	耕地	林地	草地	水域	居民工矿用地	未利用地	面积增加合计
耕地	—	0.2	14.4	4.2	0.1	0.3	19.2
林地	0	—	0	0	0	0	0
草地	9.8	5.4	—	3.7	0.2	149.8	168.8
水域	0.3	0.1	10.2	—	0.1	7.2	17.9
居民工矿用地	3.3	0	5.6	0	—	0	8.9
未利用地	0.3	0	1.8	0.7	0	—	2.8
面积减少合计	13.7	5.7	32.0	8.6	0.4	157.3	
2010 – 2015 年							
土地利用类型	面积/km ²						
	耕地	林地	草地	水域	居民工矿用地	未利用地	面积增加合计
耕地	—	128.8	1 655.5	71.2	258.6	179.7	2 293.8
林地	189.0	—	300.9	17.5	19.4	13.8	540.5
草地	1 682.8	299.1	—	159.7	233.7	1 089.8	3 465.1
水域	53.0	17.7	159.2	—	14.0	55.5	299.3
居民工矿用地	351.3	28.0	351.5	13.6	—	36.1	780.5
未利用地	89.9	30.5	3 125.1	47.5	27.3	—	3 320.3
面积减少合计	2 365.9	504.0	5 592.2	309.5	553.1	1 374.8	

由表 5 可知, 2000–2005 年, 由其他地类转化为耕地的面积有 131.4 km^2 , 主要来源为草地, 由耕地转化为其他地类的面积有 604.6 km^2 , 主要去向为林地和草地; 由其他地类转化为林地的面积有 340.5 km^2 , 主要来源为耕地和草地, 由林地转化为其他地类的面积有 13.8 km^2 ; 由其他地类转化为草地的面积有 716.4 km^2 , 主要来源为耕地和未利用地, 由草地转化为其他地类的面积有 447.8 km^2 , 主要去向为未利用地、林地和耕地, 草地面积共增加了 268.6 km^2 , 主要来源为耕地和未利用地; 由其他地类转化为未利用地的面积有 196.1 km^2 , 主要来源为草地, 由未利用地转化为其他地类的面积有 351.0 km^2 , 主要去向为草地; 水域和居民工矿用地的变化幅度不大。2005–2010 年, 由其他地类转化为草地的面积有 168.8 km^2 , 主要来源为未利用地, 由草地转化为其他地类的面积有 32.0 km^2 , 主要去向为耕地; 由未利用地转化为其他地类的面积有 351.0 km^2 , 主要去向为草地; 耕地、林地、水域和居民工矿用地面积变化较轻微。

2010–2015 年, 由其他地类转化为耕地的面积有 $2\,293.8 \text{ km}^2$, 主要来源为草地, 其次为居民工矿用地、未利用地和林地, 由耕地转化为其他地类的面积有 $2\,365.9 \text{ km}^2$, 主要去向为草地, 其次为居民工矿用地和林地; 由其他地类转化为林地的面积有 540.5 km^2 , 主要来源为草地和林地, 由林地转化为其他地类的面积有 504.0 km^2 , 主要去向为草地和耕地; 由其他地类转化为水域的面积有 299.3 km^2 , 主要来源为草地、耕地和未利用地, 由水域转化为其他地类的面积有 309.5 km^2 , 主要去向为草地、耕地和未利用地; 由其他地类转化为居民工矿用地的面积有 780.5 km^2 , 主要来源为耕地和草地, 由居民工矿用地转化为其他地类的面积有 553.1 km^2 , 主要去向为耕地和草地; 由其他地类转化为未利用地的面积有 $3\,320.3 \text{ km}^2$, 主要来源为草地, 由未利用地转化为其他地类的面积有 $1\,374.8 \text{ km}^2$, 主要去向为草地和耕地。

2.4 基于 CA-Markov 模型的土地利用变化模拟

为检验 CA-Markov 模型在阴山北麓农牧交错区应用的适用性和准确性, 以 2000 年和 2005 年的土地利用图作为起始点, 分别以 2000–2005 年和 2005–2010 年的土地利用转移规律作为模型的模拟依据对 2010 年和 2015 年土地利用状况进行模拟, 将模拟结果和实际状况进行比较, 结果见图 3。

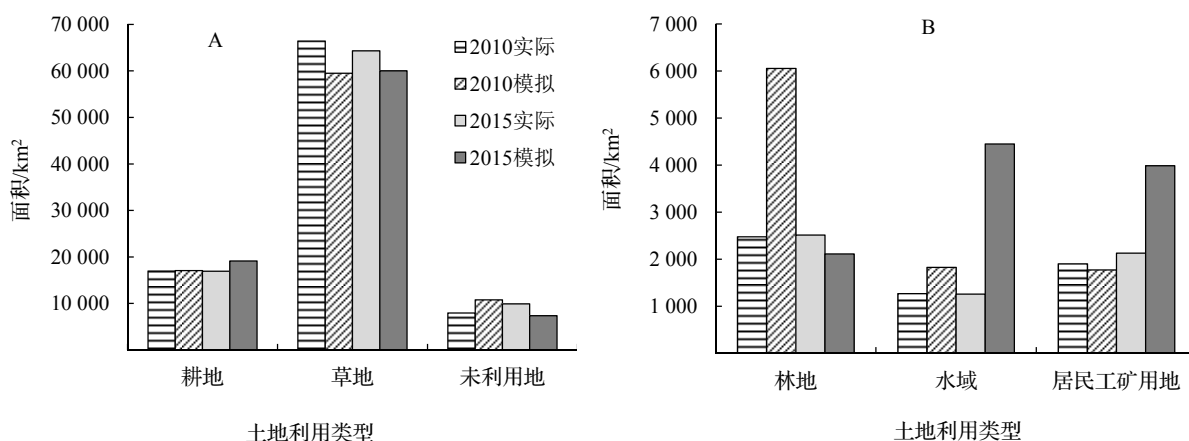


图 3 阴山北麓农牧交错区土地利用模拟结果和现实比较

Figure 3 Comparison between simulating and reality of different land use types in studied area

以 2000 年为起始年, 以 2000–2005 年之间土地利用的变化规律为模拟依据的 2010 年模拟图和 2010 年实际图之间的 kappa 系数为 0.942 6; 以 2005 年为起始年, 以 2005–2010 年之间土地利用的变化规律为依据模拟所得的 2015 年模拟图和 2015 年实际图之间的 kappa 系数为 0.881 7。说明 CA-Markov 模型模拟精度较高, 适宜于该区域的土地利用变化模拟。

依据阴山北麓农牧交错区 2010 年和 2015 年的土地利用格局, 利用 CA-Markov 模型进行 2020 年土地利用格局变化趋势预测, 结果见图 4 和表 6。由图 4 可以看出, 除草地外, 其他土地利用类型在 2015–2020 年都呈增加的趋势, 5 年间耕地面积增加了 838.9 km^2 、林地面积增加了 366.1 km^2 、水域面积增加了 236.4 km^2 、居民

工矿用地面积增加了 639.2 km²、未利用地面积增加了 3 408.2 km²；草地面积在 2015–2020 年大幅度减少，5 年间减少了 3 408.2 km²。总体来看，2020 年土地利用的变化趋势和 2010–2015 年这 5 年间的变化趋势大体相同，主要变化发生在草地和未利用土地上，且变化幅度显著增加。

3 讨论

草原退化往往是多种因素叠加耦合作用的复杂过程，2010–2015 年，年均气温和前两个时间段相比没有明显的变化，年降水量也没有明显的减少趋势，因此，气温和降水并不是引起草原退化的主要因素，而乌拉特中旗牲畜总数在 2010–2015 年逐年增加（图 5），该区草原处于长期的超载放牧状态，退耕还林后农民短期内无法找到其他谋生途径，只能从事草地畜牧业，超载放牧可能是引起草地退化、沙化的主要因素。近年来，阴山北麓农牧交错区草原开垦现象日益突出，由此带来的草地退化愈加严重^[18]。生态移民政策可能是导致居民工矿用地增加的主要原因。

由土地利用程度变化分析结果显示，研究区 2000–2015 年的土地利用程度均处于中等利用水平，土地利用程度总体较高。从阶段性变化来看，2000–2005 年土地利用程度变化量为–0.28，可理解为退耕还林还草等生态工程实施的扰动，使得土地利用方式处于调整期；2005–2010 年，土地利用程度变化量为 0.18，土地利用方式处于稳定期；2010–2015 年，草地面积大幅度退化，土地利用处于衰退期，土地利用程度变化量为–1.61。利用 CA-Markov 模型模拟 2010 年和 2015 年的土地利用结果和实际情况进行比较，模拟精度都较高，表明 CA-Markov 模型适用于阴山北麓农牧交错区土地利用/覆被变化模拟，能够较好地反应区域土地利用的动态变化，模拟结果有较高的可信度，可为土地资源管理及相关政策规划提供依据。

按照 2010–2015 年阴山北麓农牧交错区土地利用的变化规律进行 2020 年土地利用景观格局变化趋势预测模拟。结果表明，2020 年土地利用的变化趋势和 2010–2015 年这 5 年间的变化趋势大体相同，主要变化发生在草地和未利用土地上，且变化幅度有显著增加，说明如果按照当前的土地利用方式，草地可能会进一步退化。

4 结论

（1）阴山北麓农牧交错区土地利用类型以草地、耕地和未利用地为主，其中以草地的占比最大，主要分布在北部乌拉特中旗、达尔罕茂名安联合旗和四子王旗境内，耕地主要分布在南部地区。由于国家退耕还林还草工程等一系列以林草建设为核心的植被恢复工程在该区域的实施，在 2000–2015 年，耕地面积逐渐减少，林地、

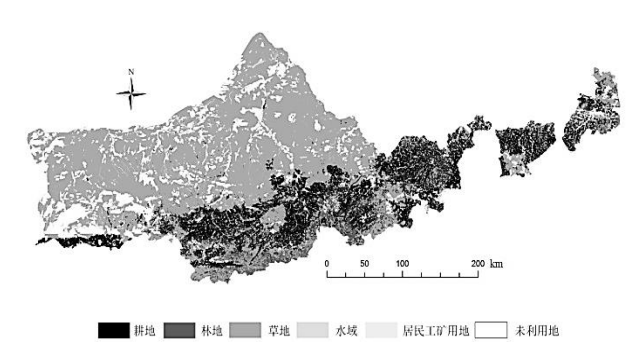


图 4 2020 年阴山北麓农牧交错区土地利用模拟图
Figure 4 Simulating map of land use types in studied arar in 2020

气温和降水并不是引起草原退化的主要因素，而乌拉特中旗牲畜总数在 2010–2015 年逐年增加（图 5），该区草原处于长期的超载放牧状态，退耕还林后农民短期内无法找到其他谋生途径，只能从事草地畜牧业，超载放牧可能是引起草地退化、沙化的主要因素。

表 6 2020 年阴山北麓农牧交错区土地利用模拟结果
Table 6 Simulating result of land use types in 2020 in studied area

土地利用类型	面积/km ²	百分比/%
耕地	17 771	18.31
林地	2 877.5	2.96
草地	58 832.2	60.61
水域	1 493.5	1.54
居民工矿用地	2 768.2	2.85
未利用地	13 328.4	13.73
合计	97 070.9	100

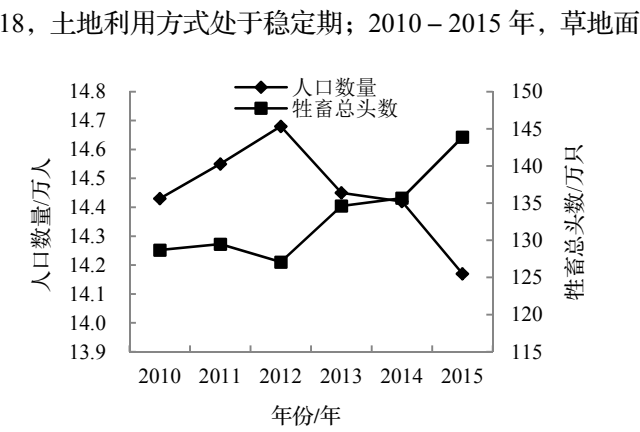


图 5 乌拉特中旗 2010–2015 年人口数量和牲畜总数的变化
Figure 5 Population and livestock in Urad Zhongqi from 2010 to 2015

居民工矿用地面积逐渐增加,草地面积在 2000–2010 年有所恢复,而在 2010–2015 年乌拉特中旗境内草地大幅度退化,超载过牧是草地退化的主要诱因。

(2) 研究区土地利用程度总体较高。从阶段性变化来看,2000–2005 年,由于生态工程实施的扰动,土地利用方式处于调整期;2005–2010 年,土地利用处于稳定期;2010–2015 年,草地面积大幅度减少,土地利用处于衰退期。

(3) CA-Markov 模型适用于阴山北麓农牧交错区土地利用/覆被变化模拟,能够较好地反应区域土地利用的动态变化,模拟结果有较高的可信度。2020 年土地利用的变化趋势和 2010–2015 年这 5 年间的变化趋势大体相同,主要变化发生在草地和未利用土地上,但变化幅度有显著增加。

本研究中 CA-Markov 模型模拟是基于自然惯性性进行的,并未将政策影响因子的干扰强度纳入其转换规则中,因此,模拟得到的结果可以视为是由前一时段内相同的外界干扰下演化而来的。如何纳入驱动因子,丰富 CA-Markov 模型模拟复杂系统空间变化的能力,有待进一步的深入研究。

参考文献:

- [1] BRATH A, MONTANARI A, MORETTI G. Assessing the effect on flood frequency of land use change via hydrological simulation (with uncertainty)[J]. *Jf Hydrol*, 2006, 324 (1): 141–153.
- [2] 段增强, 张凤荣, 苗利梅. 基于 IPAT-S 脚本语言的土地利用情景分析及其应用[J]. *农业工程学报*, 2006, 22 (7): 75–81.
- [3] GARCÍA-FRAPOLLI E, AYALA-OROZCO B, BONILLA-MOHENO M, *et al.* Biodiversity conservation, traditional agriculture and ecotourism: Land cover/land use change projections for a natural protected area in the northeastern Yucatan Peninsula, Mexico[J]. *Landsc Urb Plan*, 2007, 83 (2–3): 137–153.
- [4] 李月臣, 何春阳. 中国北方土地利用/覆盖变化的情景模拟与预测[J]. *科学通报*, 2008, 53 (6): 713–723.
- [5] 云秀丽. 阴山北麓地区土地退化及其治理对策[J]. *内蒙古林业调查设计*, 1999 (3): 113–117.
- [6] 春风. 阴山北麓农牧交错带土地利用变化研究[D]. 呼和浩特: 内蒙古师范大学, 2009.
- [7] 秦富仓, 周佳宁, 刘佳, 等. 内蒙古多伦县土地利用动态变化及驱动力[J]. *干旱区资源与环境*, 2016, 30 (6): 31–37.
- [8] 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.
- [9] 王秀兰, 包玉海. 土地利用动态研究变化探讨[J]. *地理科学进展*, 1999, 18 (1): 81–87.
- [10] 陆汝成, 黄贤金, 左天惠, 等. 基于 CLUE-S 和 Markov 模型的土地利用情景模拟研究——以江苏省环太湖地区为例[J]. *地理科学*, 2009, 29 (4): 577–581.
- [11] 孙贤斌, 刘红玉, 李玉凤, 等. 基于 CA Markov 模型土地利用对景观格局影响辨识[J]. *生态与农村环境学报*, 2009, 25 (1): 1–7.
- [12] WARD D P, MURRAY A T, PHINN S R. An optimized cellular automata approach for sustainable urban development in rapidly urbanizing regions[J]. *Int J Geogr Inf Sci*, 1999, 7 (5): 235–250.
- [13] 熊利亚, 常斌, 周相广. 基于地理元胞自动机的土地利用变化研究[J]. *资源科学*, 2005, 27 (4): 38–43.
- [14] 侯西勇, 常斌, 于信芳. 基于 CA-Markov 的河西走廊土地利用变化研究[J]. *农业工程学报*, 2004, 20 (5): 286–291.
- [15] 丁兴修, 高华中. 城市及边缘地带土地利用/覆被变化研究——以临沂市为例[J]. *地域研究与开发*, 2003, 22 (2): 47–51.
- [16] 武志杰. 内蒙古乌拉特中旗草原退化原因与修复途径研究[D]. 北京: 中国农业科学院, 2011.
- [17] 邢旗, 梁东亮, 刘永录, 等. 阴山南部草原生态分区与草牧业发展对策[J]. *草原与草业*, 2015, 27 (4): 3–10.
- [18] 高天明, 张瑞强, 黄建国, 等. 开垦对阴山北麓农牧交错区草原坡地的破坏作用[J]. *中国农业科技导报*, 2014, 16 (1): 125–130.