

DOI: 10.5846/stxb201909262024

郭亚娟, 刘廷玺, 童新, 罗艳云, 段利民, 王冠丽. 基于长时间序列 landsat 数据的科尔沁沙地土地利用演变分析. 生态学报, 2020, 40(23): 8672-8682.

Wu Y J, Liu T X, Tong X, Luo Y Y, Duan L M, Wang G L. Dynamic evolution analysis of land use (land cover) in Horqin Sandy Land based on long time series landsat data. Acta Ecologica Sinica, 2020, 40(23): 8672-8682.

基于长时间序列 landsat 数据的科尔沁沙地土地利用演变分析

郭亚娟¹, 刘廷玺^{1,2,*}, 童新^{1,2}, 罗艳云^{1,2}, 段利民^{1,2}, 王冠丽^{1,2}

1 内蒙古农业大学 水利与土木建筑工程学院, 呼和浩特 010018

2 内蒙古自治区水资源保护与利用重点实验室, 呼和浩特 010018

摘要:以科尔沁沙地沙丘—草甸过渡带区域主要土地覆被类型为研究对象,以 1987—2017 年多时相 Landsat TM/OLI 遥感影像解译分类为基础,参考生态学植被演替研究方法,系统分析研究区 30 年来的土地利用/覆被动态演变规律,研究结果表明:(1)决策树法在复杂下垫面不同覆被类型的同步识别效果较好,所有影像分类精度均达到 88% 以上,分类效果较好,其中 2017 年分类精度最高为 95.24%,达到了分类研究的要求;(2)研究区存在着“半灌丛-草甸地-灌丛”的植被结构特征,且整体表现为“南进北退”的变化趋势。结合土地利用动态度分析结果表明人类活动干涉下,研究区整体上遵循了半干旱区植被条件改善的一般规律,侧面反映该研究区域生态环境的持续不稳定性与脆弱性;(3)研究区覆被类型发生变化的总面积达到 2623.59 hm²,总变化强度为 63.76%。其中正向演替的比例为 52.61%,以半灌丛面积的持续减小与沙地草甸面积的持续扩张为主要变化特征。但同时,半灌丛转为沙地的面积为 184.95 hm²,表明以放牧为主的研究区同时发生着局部的逆行演变;(4)质心迁移结果反映了 1987—2017 年间,除人为影响较大的林地、草地以及耕地向北迁移外,其他植被类型的质心都有很明显的南迁,主要植被类型重心迁移距离依次由大到小为耕地>半灌丛>灌丛>沙地草甸>湿地草甸>林地。研究通过记录科尔沁沙地连续扩展的时空模式,展示了遥感—生态和时间序列影像在 30 m 分辨率下跟踪土地利用/覆被变化的潜力,为提高干旱半干旱区土地利用情况的动态监测效率,开展土地利用/覆被动态演变研究提供参考。

关键词:决策树;土地利用/覆被;Landsat TM/OLI;土地利用动态度;质心迁移

Dynamic evolution analysis of land use (land cover) in Horqin Sandy Land based on long time series landsat data

WU Yajuan¹, LIU Tingxi^{1,2,*}, TONG Xin^{1,2}, LUO Yanyun^{1,2}, DUAN Limin^{1,2}, WANG Guanli^{1,2}

1 College of Water Conservancy and Civil Engineering, Inner Mongolia Agricultural University, Hohhot 010018, China

2 Water Resources Protection and Utilization Key Laboratory, Inner Mongolia Agricultural University, Hohhot 010018, China

Abstract: This study takes the dune-meadow transition zone of Horqin Sandy Land as an example. Based on the interpretation and classification of 15 Landsat TM/OLI remote sensing images from 1987 to 2017, we systematically analyze the dynamic evolution law of land use/land cover in the study area in the past 30 years by referring to the ecological vegetation succession research method. The results show that: (1) With the decision tree classification algorithm, the classification accuracy of all images is more than 88%, among which the highest classification accuracy in 2017 is 95.24%, which meets the requirements of classification research. (2) There is a vegetation structure characteristic of Semi-shrub -

基金项目:国家自然科学基金重点国际合作研究与青年项目(51620105003, 51809141);教育部创新团队发展计划(IRT_17R60);科技部重点领域科技创新团队(2015RA4013)

收稿日期:2019-09-26; 网络出版日期:2020-10-30

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: txliu1966@163.com

Meadow - Shrub in the study area, and the overall change of land cover shows trend is " evolution in southern degradation in northern". Combined with the results of comprehensive dynamic change analysis of land use and land cover, it is shown that the study area follows the general law of dynamic change of land cover resources in arid and semi-arid areas under the intervention of human activities on the whole. It reflects the continuous instability and vulnerability of the ecological environment in the study area. (3) The total area of land use/land cover change in the study reached 2623.59 hm², and the overall change intensity is 63.76%. And the proportion of forward succession is 52.61%, which is mainly characterized by the continuous decrease of Semi-shrub area and the continuous expansion of Alpine meadow area. But at the same time, the area of Semi-shrub turned sandy land was 184.95 hm², indicating that local retrograde evolution occurred simultaneously in the research area dominated by grazing. (4) The centroid of main land cover have obvious southward shift, with the Forest, Meadow and Crop land shift to the north with great human influence during 1987 to 2017. And the centroid migration distance of main land cover descending is "Crop land > Semi-shrub > Shrub > Alpine meadow > Wetland meadow > Forest". By recording the continuously expanding spatial and temporal patterns in Horqin Sandy Land, the study demonstrated the potential of remote sensing-ecological and time series images to track land use changes at a resolution of 30 meters, providing a reference for improving the dynamic monitoring efficiency of land use in arid and semi-arid areas.

Key Words: decision tree; land use and land cover; Landsat TM/OLI; dynamic change of land use and land cover; centroid shifting

土地利用/覆被变化(Land use/cover change, LUCC)作为指示生态环境的最客观指标,是用于评价区域生态系统健康程度的重要参量^[1];尤其是生态环境脆弱的沙漠化地区,对其地表植被进行监测更有利于维持该地区生态系统平衡以及恢复、重建工作^[2]。目前,关于土地覆被变化研究方法包括:利用陆表景观指数表征、生态环境效应与物候变化相关关系分析以及 GIS 空间分析等^[3-4],例如通过结合空间分析技术能够解读季节变化对景观尺度上植被分布和空间格局的影响^[5-6],水文气象因子的变化能够揭示生态环境的脆弱性与不稳定性等^[7-8]。而在时空变化的研究中,遥感技术被认为能够实时、动态监测同一地区不同时期的地表环境现状,尤其是针对生态脆弱地区有关植被变化的研究,“3S(GPS、RS、GIS)”技术的应用有助于了解区域内的植被时空演替动态^[9-10],其中最广泛的是利用地理信息技术中的转移矩阵法,通过得到各地类间转出、转入面积以及转变方向,从宏观方向定量展示随时间推移不同地类时空上的动态变化,同时地类分布重心随时间推移的变化方向能够有效预测未来土地覆被变化趋势^[11]。科尔沁沙地作为我国沙地面积最大的干旱半干旱地区,进入 20 世纪 70 年代后,人类活动加快了沙漠化进程,土地覆被格局发生较大变化。关于科尔沁沙地 LUCC 的研究主要集中在土地覆被的景观效应、生态环境机制、影响因子等研究^[12-13],对其变化规律的深入研究较少,在生产力较低的荒漠化地区主要关注单一地类的空间格局,如疏林景观变化规律的研究等,对长时间尺度的分析也缺乏全面的讨论^[14-15]。近年来,多数学者发现时空信息与生态学结合的方法,有利于揭示区域内土地覆被现状及其演变过程与规律,更能弥补现有 LUCC 评价方法中的不足^[16-17]。

研究针对荒漠化典型区土地利用/覆被的长时间序列演变进程,获取了 1987—2017 年 15 景高质量 Landsat TM/OLI 遥感影像,采用 C4.5 决策树对多时相不同植被类型进行分类,利用该方法分析了研究区复杂下垫面环境的时空格局。通过分类结果的生态含义以及结合地理信息技术,在空间—属性过程分析的基础上,采用“空间代替时间”的生态学植被演替研究方法,定量描述了科尔沁沙地典型区植被演替的时空变化规律,有助于为今后该区域长时间序列的土地覆被研究提供科学参考,同时在干旱半干旱地区退化生态系统的恢复与重建工作中也具有一定的理论依据和指导意义。

1 研究区概况与数据收集

1.1 研究区概况

本文选取科尔沁沙地南部的阿古拉生态水文试验区(其地理坐标是:122°33′00″—122°41′00″E,

43°18′48″—43°21′24″E),研究区具有科尔沁沙地植被恢复与群落演替的一般特征,研究区位置如图 1 所示,总面积 4114.53 hm²,属半干旱温带大陆性季风气候,年平均降水量为 389 mm。研究区内地形总体走向为南北高翘,东低西高,中间低平,呈现沙丘—草甸—湖泊相间的的多地貌的梯级生态系统。除农业用地之外,自然植被类型在科尔沁沙地具有典型代表性,其主要植物种生活型演变方向为:流动、半流动沙地先锋植被→固定、半固定沙地灌丛植被→固定沙地草本植被^[18]。

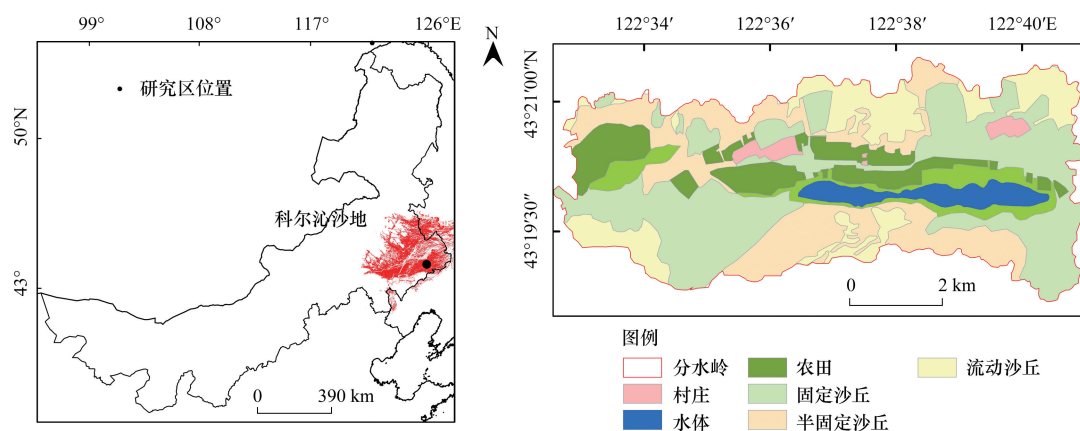


图 1 研究区位置

Fig.1 The location of study area

1.2 数据资料

由于个别年份研究区影像质量较差,因此研究选取了 1987—2017 年质量较好的 15 景 Landsat 影像作为主要数据源(所有影像的轨道号均为 119/31),所有影像数据来源于中国科学院计算机网络信息中心(<http://www.Gscloud.cn>)。选择研究区植被生长比较茂盛的 7、8 月份质量良好的影像数据。其他数据主要用于辅助遥感图像的解译以及分类精度的检验,如中国 1:400 万植被图分类系统、1:100 万陆地地表覆被分类系统以及 2007 年调查数据、2012 Google 数据年和 2017 年野外调查数据主要用于历史影像分类精度的验证;经过实地考察与生态资料相结合,确定实验区主要植被类型为林地、灌丛、草甸地和耕地。

2 研究方法

2.1 遥感图像分类信息提取

在考虑了研究区土地覆被特征、土地资源实际情况以及 Landsat TM/OLI 遥感影像的分类能力的基础上,本研究主要参考中国科学院土地资源分类系统建立土地覆被分类体系,通过构建二级分类,重点突出 11 个地类的土地利用在长时间序列上的演变,其中主要包括林地、灌丛、半灌丛、湿地草甸、沙地草甸、耕地、建设用地、水体、沙地以及未利用地(沼泽、盐碱地)。

后期辅助解译则是利用高精度 GPS,用于实地调查时在研究区域内布设调查点作为分类模型的测试样本以及验证样本,随机选取用于构建研究区不同地类分类模型^[19-20]的训练样本。根据地面调查确定主要土地覆被类型的分割阈值,构建 C4.5 决策树进行区域分类。最终获得 1987—2017 年 15 期研究区土地覆被分类图并利用混淆矩阵计算其分类精度(图 2 为 1987、1997、2007 以及 2017 年植被分类图),分类总精度分别为 91.39%、92.66%、90.74%和 95.24%,所有影像分类精度均在 88%以上,均满足空间分析的要求^[21]。

2.2 土地利用/覆被时空变化研究

土地利用类型的空间划分可以为不同地类结构变化、转移矩阵模型以及重心迁移分析提供详细的空间信息,是准确描述生态脆弱地区区域演化空间差异的最直观方法^[22]。能够利用地理信息技术、时空统计技术的叠加分析和统计分析等方法,以图表、图像的形式反映其变化的综合性、复杂性规律,表达出时间、空间以及质

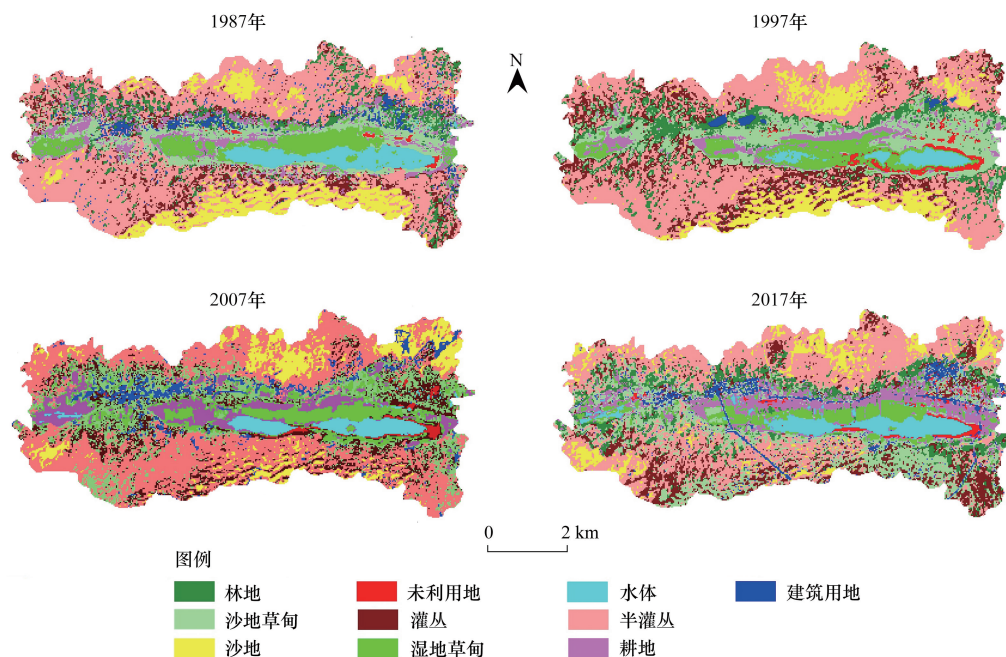


图 2 1987、1997、2007 以及 2017 年研究区土地利用/覆被分类图

Fig.2 Landuse/Landcover classification map of 1987、1997、2007 and 2017 in study area

量变化特征^[23-24]。

2.2.1 植被群落类型结构变化

不同植被群落类型的结构变化趋势以及过程可通过土地利用动态度定量描述,研究引入土地利用类型动态度指数(K)来分析典型研究区的土地利用变化特征,综合土地利用动态度(S)^[25]以及土地利用综合程度指数(La)^[26]能够描述和分析研究期不同时间节点的土地覆被类型的整体结构变化。采用转移矩阵法定量识别不同地类在不同时间上的空间格局变化,在进行土地覆被分类的基础上通过 GIS 空间分析功能探究研究区主要植被群落的空间变化规律。

$$K = \frac{A_{it_2} - A_{it_1}}{A_{it_1}} \times \frac{1}{t_2 - t_1} \times 100\% \quad (1)$$

$$S = \sum_{i=1}^n (A_{it_1} - UA_i) / \sum_{i=1}^n \frac{A_{it_1}}{t_2 - t_1} \times 100\% \quad (2)$$

式中, A_{it_1} 、 A_{it_2} 分别为研究初期与研究末期某单一植被群落 i 的面积(hm^2); UA_i 代表研究期内未发生转移的某单一植被群落 i 的面积(hm^2); t_1 、 t_2 分别为研究初期与研究末期; $t_2 - t_1$ 为研究期长(a); n 为土地覆被类型总数。

土地覆被类型的变化程度反映土地利用程度或者说人类活动对原有生态环境的干扰强度。依据人类对自然环境的干扰强度大小划分土地利用程度分级指数,1代表未利用地,2代表林地、草地和水域等生态较稳定地物类型,农用地(耕地)等赋值为3,道路、城镇等建设用地为4。 La 的值越大,说明某一地区人类活动的强度越大人口越密集,介于100—400之间。公式如下:

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

式中, La 为土地利用综合程度指数; R_i 为地类 i 的土地利用程度分级指数; C_i 为地类 i 占研究区总面积的百分比。

2.2.2 转移矩阵法

转移矩阵可以描述不同地物类型的时空格局变化。在图谱的基础上通过影像分析软件进行面积的计算和转移矩阵的直观表达等,进而得到量化的展示^[27]。转移矩阵的数学表达式如下:

$$P_{ij} = \begin{bmatrix} P_{11} & \cdots & P_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ P_{n1} & \cdots & P_{nn} \end{bmatrix} \quad (4)$$

$$A_i = \sum_{j=1}^n P_{ij}; B_j = \sum_{i=1}^n P_{ij} \quad (5)$$

式中, P_{ij} 表示地物类型 i 变为 j 的转移量, A_i 表示在 t_1 时期第 i 个地物类型的面积 (hm^2); B_j 表示 t_2 时期第 j 种地物类型的面积 (hm^2)。

2.2.3 质心迁移法(标准差椭圆 The Standard Deviation Ellipse)

标准差椭圆法(SDE)是进行数据点集或区域的中心趋势、离散和方向趋势的最直接方法^[28],该方法利用 Arcgis 软件进行空间统计,将 ENVI 分类后的影像进行栅格数据转换,利用提取的单一类别图层计算其标准差椭圆。在进行分析之前将要素几何投影到输出坐标系。所有数学计算都基于输出坐标系空间参考。在 SDE 法中,主要是提出椭圆的重心、方位角和标准距离,SDE 空间表达如图 3 所示:

SDE 参数主要有平均中心、方位角及各向标准差,在此主要分析其质心迁移规律,其质心坐标计算公式为:

$$\text{SDE}_x = \frac{\sum_{i=1}^n w_i x_i}{\sum_{i=1}^n w_i}; \text{SDE}_y = \frac{\sum_{i=1}^n w_i y_i}{\sum_{i=1}^n w_i} \quad (6)$$

式中, $(\text{SDE}_x, \text{SDE}_y)$ 为加权平均中心坐标,即重心; w_i 为权重值; (x_i, y_i) 为空间区位坐标。

3 结果与分析

3.1 不同土地类型变化分析

3.1.1 土地覆被面积及结构变化

结合表 1 与图 4 可知土地覆被具有较大变化,具体表现在:1987—2017 年沙地为减少最多最快的地类,减少了 173.79 hm^2 ,年减少率为 1.35% ;除半灌丛以及湿地草甸,其他植被类型面积均呈增加趋势。研究区耕地面积在 2007 年前期扩张速度较快(1997—2007 年间变化率为 15.69%),达到了当地环境对耕地规模的容纳能力,导致 2007 年后耕地面积开始下降。林地面积在 1987—2007 年内缓慢下降,自 2007 年又开始逐渐上升,该变化是三北防护林政策的实施,林地的围封保护以及大力种植在防风固沙改善荒漠化状态发挥重要作用。

通过统计不同时期内不同土地覆被类型的面积、结构,掌握研究区在研究期内主要植被结构变化的一般特征,选取典型年遥感影像(1987、1997、2007 和 2017 年)分析了研究区主要土地利用类型结构特征及其变化(图 5)。由图可知,半灌丛作为研究区广泛分布的最主要覆被类型,四个典型年均呈现出“半灌丛-草甸-灌丛”的地域结构特征。1987—2017 年研究区沙地面积呈显著下降趋势,比重下降了 4.22% ;耕地比重由 4.38% 增至 5.36% ,说明人类活动对当地自然环境的改善扮演着重要的角色。其中沙地草甸占总面积的 10.31% ,这

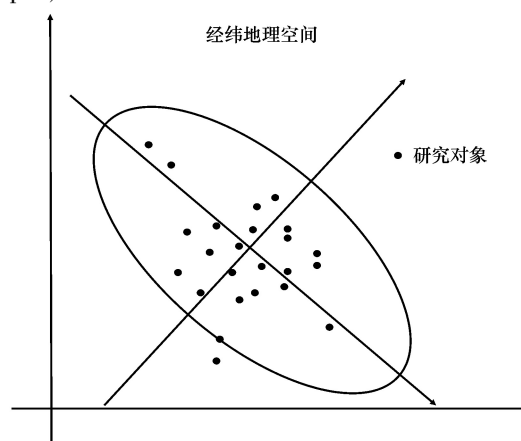


图3 基本参数空间表达

Fig.3 Spatial expression of basic parameters

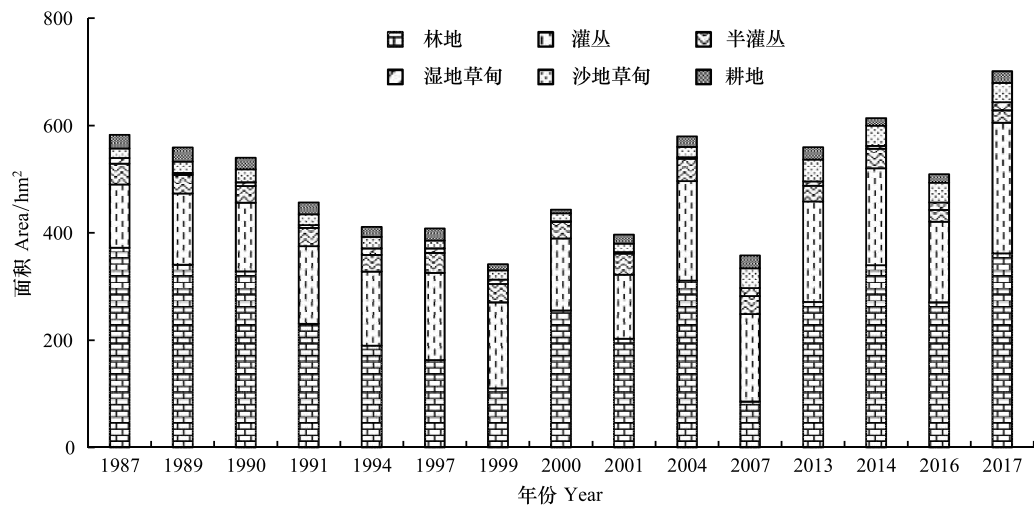


图 4 研究区 1987—2017 年土地利用/覆被年际面积变化趋势

Fig.4 Interannual change trend of land use and land cover in study area from 1987 to 2017

与该地区为半干旱沙生植被主要分布区,人口密度小的现状相一致,湿地草甸靠近水体,占研究区总面积的 5.95%,是当地优质牧草的主要来源。

表 1 1987—2017 年研究区土地利用/覆被面积变化情况

Table 1 Acreage and rate of land use and land cover change in study area from 1987 to 2017

地类 Land cover type	变化面积 Change area/hm ²			变化率 Gradient/%			
	1987—1997	1997—2007	2007—2017	1987—1997	1997—2007	2007—2017	1987—2017
林地 Forest	-29.25	-77.31	186.57	-1.04	-3.06	10.63	0.91
灌丛 Shrub	42.57	-11.61	25.02	1.08	-0.27	0.59	0.46
半灌丛 Semi-shrub	5.67	-558	398.07	0.03	-3.06	3.15	-0.27
湿地草甸 Wetland meadow	-35.37	14.31	-18	-1.25	0.58	-0.68	-0.44
沙地草甸 Alpine meadow	11.61	326.34	-327.78	0.28	7.66	-4.36	0.08
耕地 Crop	-36.63	251.01	-190.53	-1.86	15.69	-4.64	0.39
沙地 Sand	-16.29	-37.8	-119.7	-0.38	-0.92	-3.20	-1.31
水体 Water	14.13	58.86	-43.2	0.83	3.17	-1.77	0.56
建设用地 Construction	-18.63	36.63	107.28	-1.58	3.68	7.88	3.42
未利用地 Unused	62.19	-29.43	9.27	60.09	-4.06	-4.06	13.10

3.1.2 整体结构变化

由图 6 可知,综合土地利用指数 La 于 1987—1997 年间先持续上升后下降达到整个研究期内的最低值 196.94(1997 年),1997 年之后呈波动上升趋势,在 2007 与 2017 年分别得到了两个极大值 207.77 和 209.7,表明随着机械化水平的提高,科学性农耕活动的进行,土地利用强度显著提高。研究区综合土地利用动态度 S 在研究期内变化不稳定,以 1989 年为节点,先下降后趋于波动上升,总体处于下降趋势,1987—1989 年 S 值下降明显为 1.99,在该时期内人为活动为当地土地覆被变化有较大影响。同时在 1989—1999 年处于稳定不变的状态,究区生态环境处于平衡期。1999—2016 年间出现负值,其中:1999—2000(-0.6%)年以及 2001—2004(-0.2%)年的衰退期考虑到当年的生态保护政策,发展受到制约,而 2007—2013(-0.2%)年以及 2014—2016(-0.12%)年的衰退现象是由于 2007 年的发展高峰期的出现,导致后期发展速度受到一定约束。

3.2 土地利用/覆被动态演变分析

在遥感影像分类信息提取的基础上,根据不同地物类型在研究期内转移矩阵表制作了研究区主要地类面

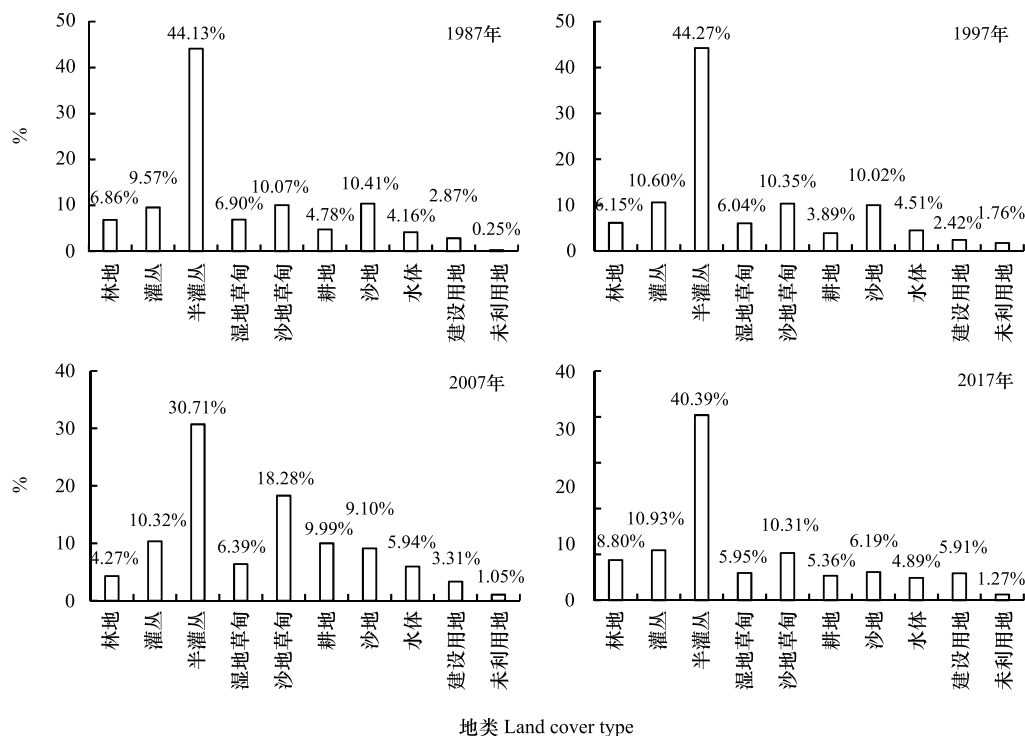


图5 1987、1997、2007 以及 2017 年土地利用/覆被结构特征

Fig.5 The structure characteristic of land use/land cover of 1987、1997、2007 and 2017

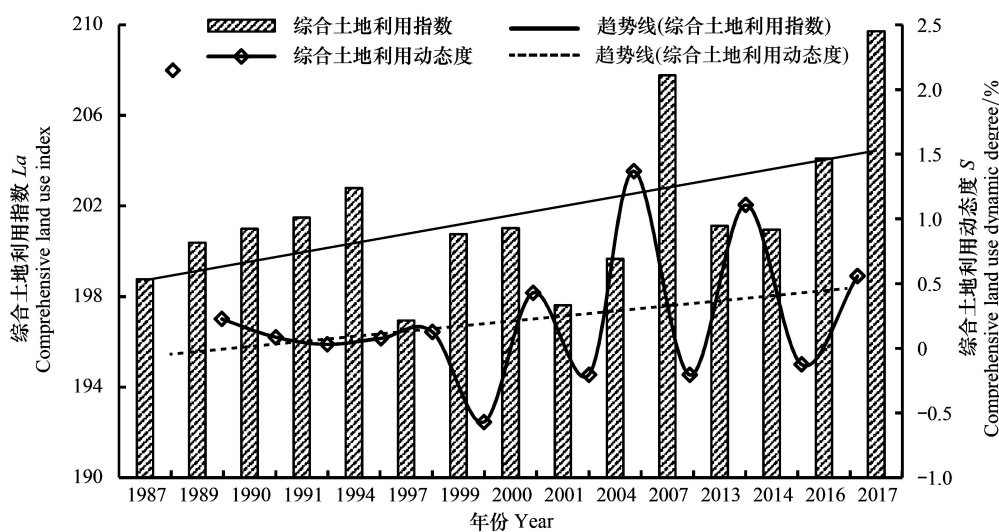


图6 研究区综合土地利用/覆被动态变化

Fig.6 Comprehensive dynamic change of land use and land cover change in study area

积变化图谱单元排序表(表2)。由排序表信息可知:在该时期内,研究区土地利用类型发生变化的总面积达到 2623.59 hm^2 ,总变化强度为 63.76%(总变化面积/研究区总面积)。具体表现在研究区土地利用演变在该时期内存在正向演替与逆行变化。其中,正向演变的比例为 52.61%,主要表现为半灌丛经过自然恢复演替、人工辅助等转变为了灌丛、沙地草甸和林地,演变面积分别为 233.37、214.83 hm^2 以及 122.49 hm^2 ,分别占进展演变以及总变化的 41.34%与 26.76%,而转出面积占总变化的 16.27%,说明研究区生态治理取得较大成果。

但同时,半灌丛转为沙地的面积为 184.95 hm^2 ,表明以放牧为主的研究区同时发生着局部的逆行演变。沙地以及灌丛发展为沙地草甸占进展演变的 15.25%,变化面积分别为 137.61 hm^2 以及 72.9 hm^2 ;而在转为耕地、湿地草甸以及林地,变化总面积为 224.73 hm^2 ,占正向演变的 16.28%,沙地草甸的总面积维持在稳定的状态,表明当地沙化现象有所缓解。

表 2 研究区主要土地利用/覆被变化比例(1987—2017)

Table 2 Sequencing of change units of main land use/land cover in study area (1987—2017)

主要变化类型 Main change type	排序 Rank	变化面积单元 Change area/ hm^2	占总变化比例 Propotion in total change/%	累计变化率 General propotion in total change/%
半灌丛→灌丛 Semi-shrub→Shrub	1	233.37	8.90	8.90
半灌丛→沙地草甸 Semi-shrub→Alpine meadow	2	214.83	8.19	17.08
沙地→半灌丛 Sand→Semi-shrub	4	156.69	5.97	23.06
沙地草甸→耕地 Alpine meadow→Crop	5	153.18	5.84	28.90
沙地→沙地草甸 Sand→Alpine meadow	6	137.61	5.25	34.14
半灌丛→林地 Semi-shrub→Forest	7	122.49	4.67	38.81
灌丛→沙地草甸 Shrub→Alpine meadow	10	72.9	2.78	41.59
沙地→灌丛 Sand→Shrub	11	70.11	2.67	44.26
灌丛→林地 Shrub→Forest	12	63.72	2.43	46.69
耕地→林地 Crop→Forest	17	54.54	2.08	48.77
沙地草甸→湿地草甸 Alpine meadow→Wetland meadow	18	40.14	1.53	50.30
沙地草甸→林地 Alpine meadow→Forest	22	31.41	1.20	51.50
耕地→湿地草甸 Crop→Wetland meadow	23	29.25	1.11	52.61
半灌丛→沙地 * Semi-shrub→Sand	3	184.95	7.05	59.66
灌丛→半灌丛 * Shrub→Semi-shrub	8	110.88	4.23	63.89
林地→半灌丛 * Forest→Semi-shrub	9	84.87	3.23	67.12
林地→沙地草甸 * Forest→Alpine meadow	13	59.31	2.26	69.38
湿地草甸→耕地 * Wetland meadow→Crop	14	58.05	2.21	71.59
林地→灌丛 * Forest→Shrub	15	56.88	2.17	73.76
耕地→沙地草甸 * Crop→Alpine meadow	16	55.62	2.12	75.88
沙地草甸→半灌丛 * Alpine meadow→Semi-shrub	19	39.96	1.52	77.41
半灌丛→建设用地 * Alpine meadow→Construction	20	39.6	1.51	78.91
沙地草甸→建设用地 * Alpine meadow→Construction	21	33.75	1.29	80.20
林地→耕地 * Forest→Crop	24	28.44	1.08	81.29

* 植被逆行演变

3.3 土地利用/覆被时空迁移分析

研究选取 4 个典型年分类影像,利用图谱研究中的叠置分析,将其动态演变阶段的主要植被类型的重心坐标进行叠合,形成了可视化的重心迁移图(图 7)以及通过计算得到基于欧式距离方法的不同覆被类型重心迁移距离(表 3)。沙地在 1987—1997 年期间重心向东偏南迁移,在 1997—2007 年又向北移动,这表明在该时期里原重心所在地南部沙地面积减少,与半干旱沙地在三北防护林措施下自然恢复与人工干预的实际情况相符;林地重心在 1987—1997 年期间明显南移,在 1997—2007 年又向东移,但总体上林地还是向南迁移,说明研究期内研究区南部在人为干预下有较多的灌丛在向林地方向变化;水体的重心在 1987—1997 年向东偏南移动,1997—2017 年持续向东偏南方向迁移,同时,半灌丛、灌丛以及林地的总体偏移方向趋势一致即向东南方向迁移。耕地在研究区的分布变化是生态演替和人类干涉的必然选择,其重心的迁移不显著。不同覆被类型重心基本集聚在了研究区的几何中心位置,说明在 1987—2017 年间不同植被在区域内均匀分布且梯度变化不明显。综合以上结论可知,不同覆被类型重心主要移动方向为东西向,这与该研究区梯级生态带走向

的地势有关,且在 1987—2017 年的迁移变化可知,主要植被类型重心迁移距离依次由大到小为耕地>半灌丛>灌丛>沙地草甸>湿地草甸>林地。说明受人为保护与自然演替影响,研究区内梯级生态现象愈发显著,部分地区恢复效果较理想。

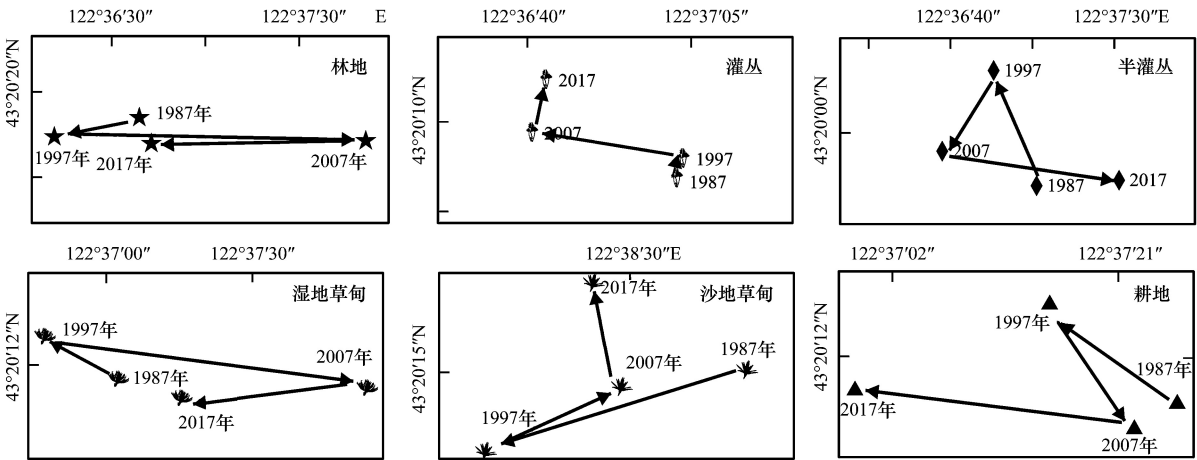


图 7 不同时期主要植被类型重心迁移图

Fig.7 Gravity center migration map of land use and land cover in different periods

表 3 主要土地覆被质心迁移方向以及距离

主要植被群落类型 Land cover type	1987—1997		1997—2007		2007—2017		1987—2017	
	迁移距离 Migration distance/m	迁移方向 Migration direction	迁移距离 Migration distance/m	迁移方向 Migration direction	迁移距离 Migration distance/m	迁移方向 Migration direction	迁移距离 Migration distance/m	迁移方向 Migration direction
林地 Forest	629.04	西南	2246.41	东偏南	1546.22	西偏南	205.31	南偏东
灌丛 Shrub	70.85	北偏东	527.66	西偏北	188.15	北偏东	562.41	东南
半灌丛 Semi-Shrub	845.15	北偏西	657.04	西南	1231.90	南偏东	568.27	东偏北
湿地草甸 Wetland meadow	391.84	北偏西	1509.76	东南	859.82	北偏西	306.33	北偏西
沙地草甸 Alpine meadow	280.18	东偏南	1138.41	西南	926.47	东北	433.24	东南
耕地 Crop	306.42	西北	285.81	东南	534.49	西偏北	611.26	西偏北

4 结论与讨论

4.1 主要结论

研究以遥感信息为基础,结合空间分析,分析了科尔沁沙地典型区土地利用/覆被时空变化。分类结果和时空变化分析结果表明:a)决策树分类法具有较强的扩展识别能力,对于不同植被类型的同步识别在中分辨率影像中的分类精度均达到 88%以上,分类效果较好;b)近 30 年来研究区植被活动不断增强,沙地面积呈减少趋势,仅北部部分沙化地区恢复速度较缓慢但是仍存在局部沙化现象。同时,由土地覆被结构变化可知,研究期内土地覆被呈现出“半灌丛—草甸地—灌丛”的地域结构特征;c)1987—2017 年间,研究区内土地覆被同时存在正向演变与逆向演变,其中逆向演变占总变化的 28.68%,从变化序列来看,研究区土地覆被变化主要以半灌丛的持续减小与沙地草甸的持续扩张为主要特征,总体呈现出“南进北退”的空间变化,整体上遵循了半干旱区植被条件改善的一般规律;d)质心迁移方向与距离反映了各植被类型在研究区的恢复过程中变化方向,主要植被地类向南迁移,与研究区南部沙地面积减少,植被面积增加的实际相符。

4.2 讨论

研究充分利用 Landsat TM/OLI 数据较高的时空分辨率,进行基于决策树分割的土地覆被分类,获取了科尔沁沙地典型区域不同时期土地覆被分类图。结合地理信息技术,从典型年分类图中提取并分析了主要植被类型的结构变化、类型转变以及空间变化,对于具有地带性差异的荒漠化区域土地覆被分类及其时空变化分析具有一定的借鉴意义。然而研究区植被斑块化分布现象严重,某些植被类型在野外实际工作中采样点数目少,导致误差较大,因而在以后的研究中应注重样地选择的均匀性与准确性来进一步提高分类建模的准确率以及类别划分的精细程度。同时由于历史和遥感信息缺少时间上的研究以及影像识别方法的不完善等,有必要进一步扩展研究区域的范围,深入研究多植被同步识别方法,以及融合多时空尺度信息如 Sentinel—2 等数据提高分类精度^[29-30]。

在土地覆被的动态分析研究中,生态系统格局及其演变过程可以看作数量、交换以及移动的综合表现^[31],即通过量化其变化程度,明确地类间在转变期内的转入与转出比例,分析该变化对当地植被结构等是否存在积极性,然而目前如何定性分析演变过程的方法还处于探索阶段^[32-33]。同时土地覆被整体结构变化的计算方法仍不统一,确定适用于该区域的最佳参数也是待解决的关键问题^[34]。除了上述内容以外,在生态系统的演替中,虽然可以通过遥感影像信息获取其演变过程、总结演替规律^[35],但还是缺乏生态环境变化下的深入研究,例如将植被的物候变以及人类活动等因子纳入演替的研究框架,能够更进一步从空间上将演替分析与其它生态学过程和格局变化的研究(如退化生态系统的恢复与重建^[36],生态系统的碳、氮循环,景观格局特征^[37-38]以及生态系统的可持续性发展^[39]等)紧密地联系在一起,为多种气候模式下的生态环境治理提供行之有效的理论方案。

参考文献(References):

- [1] 邱扬, 张英, 韩静, 王军, 孟庆华. 生态退耕与植被演替的时空格局. 生态学报, 2008, 27(11): 2002-2009.
- [2] Liao H J, Li G S, Cui L L, Ouyang N L, Zhang Y, Wang S H. Study on evolution features and spatial distribution patterns of coastal wetlands in North Jiangsu province, China. Wetlands, 2014, 34(5): 877-891.
- [3] 齐清, 刘晓伟, 佟守正, 张冬杰, 王雪宏, 薛振山, 安雨. 苔草草丘恢复湿地的景观格局变化——以哈尔滨太阳岛为例. 生态学报, 2019, 39(14): 5261-5267.
- [4] 唐见, 曹慧群, 陈进. 生态保护工程和气候变化对长江源区植被变化的影响量化. 地理学报, 2019, 74(1): 76-86.
- [5] Hou X Y, Wu T, Yu L J, Qian S. Characteristics of multi-temporal scale variation of vegetation coverage in the Circum Bohai Bay Region, 1999-2009. Acta Ecologica Sinica, 2012, 32(6): 297-304.
- [6] Dunton K H, Hardegree B, Whitledge T E. Response of estuarine marsh vegetation to interannual variations in precipitation. Estuaries, 2001, 24(6): 851-861.
- [7] 王泉泉, 王行, 张卫国, 王志保, 肖德荣. 滇西北高原湿地景观变化与人为、自然因子的相关性. 生态学报, 2019, 39(2): 726-738.
- [8] 肖生春, 陈小红, 丁爱军. 近现代阿拉善荒漠气候变化与环境演变机制研究进展. 中国沙漠, 2017, 37(6): 1102-1110.
- [9] 常恩浩, 李鹏, 肖列, 徐国策, 赵宾华, 苏远逸, 冯朝红. 黄土丘陵沟壑区植被恢复演替过程中根系行为特征. 生态学报, 2019, 39(6): 2090-2100.
- [10] Cao R Y, Shen M G, Zhou J, Chen J. Modeling vegetation green-up dates across the Tibetan Plateau by including both seasonal and daily temperature and precipitation. Agricultural and Forest Meteorology, 2018, 249: 176-186.
- [11] 满卫东, 王宗明, 刘明月, 路春燕, 贾明明, 毛德华, 任春颖. 1990—2013 年东北地区耕地时空变化遥感分析. 农业工程学报, 2016, 32(7): 1-10.
- [12] 周建, 张凤荣, 徐艳, 高阳, 张佰林, 李超. 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. 地理研究, 2017, 36(7): 1210-1222.
- [13] 社会石, 哈斯额尔敦, 李爽, 赵艺源, 孙小旭. 科尔沁沙地风沙与湖泊景观演变及影响因素分析. 地理科学, 2018, 38(12): 2109-2117.
- [14] 郑惠茹, 罗红霞, 邹扬庆, 程玉丝, 张锐. 基于地学信息图谱的重庆岩溶石漠化植被恢复演替研究. 生态学报, 2016, 36(19): 6295-6307.
- [15] 王娟, 刘红玉, 李玉凤, 刘伶, 谢富斌. 入侵种互花米草空间扩张模式识别与景观变化模拟. 生态学报, 2018, 38(15): 5413-5422.
- [16] He Y, Prishchepov A V, Kuemmerle T, Bleyhl B, Buchner J, Radeloff V C. Mapping agricultural land abandonment from spatial and temporal

- segmentation of Landsat time series. *Remote Sensing of Environment*, 2018, 210: 12-24.
- [17] 柯丽娜, 庞琳, 王权明, 韩增林, 王辉. 围填海景观格局演变及存量资源分析--以大连长兴岛附近海域为例. *生态学报*, 2018, 38(15): 5498-5508.
- [18] 曹文梅, 刘小燕, 王冠丽, 罗艳云, 何韬, 刘廷玺. 科尔沁沙地自然植被与生境因子的 MRT 分类及 DCCA 分析. *生态学杂志*, 2017, 36(2): 318-327.
- [19] 马丽, 徐新刚, 贾建华, 黄文江, 刘良云, 程一沛. 利用多时相 TM 影像进行作物分类方法. *农业工程学报*, 2008, 24(S2): 191-195.
- [20] 于文婧, 刘晓娜, 孙丹峰, 姜宛贝, 曲葳. 基于 HJ-CCD 数据和决策树法的干旱半干旱灌区土地利用分类. *农业工程学报*, 2016, 32(2): 212-219.
- [21] 王利军, 郭燕, 贺佳, 王利民, 张喜旺, 刘婷. 基于决策树和 SVM 的 Sentinel-2A 影像作物提取方法. *农业机械学报*, 2018, 49(9): 146-153.
- [22] 张荣群, 孙玮健, 艾东, 王盛安. 基于监测信息可视化方法的土地覆被变化分析. *农业工程学报*, 2015, 31(21): 240-247.
- [23] 邹滨, 杨令宾, 佟志军, 李欣欣. 半干旱环境下的土地利用/覆被时空变化研究--以吉林省通榆县为例. *遥感技术与应用*, 2007, 22(5): 602-607.
- [24] Ye Q H, Tian G L, Liu G, Ye J M, Yao X, Liu Q S, Lou W G, Wu S G. Tupu methods of spatial-temporal pattern on land use change: a case study in the Yellow River Delta. *Journal of Geographical Sciences*, 2004, 14(2): 131-142.
- [25] 张军峰, 孟凡浩, 包安明, 李长春, 齐修东, 刘铁, 张鹏飞. 新疆孔雀河流域人工绿洲近 40 年土地利用/覆被变化. *中国沙漠*, 2018, 38(3): 664-672.
- [26] 罗光杰, 李阳兵, 王世杰, 罗绪强. 自然保护区聚落空间格局与演变的梯度效应--以贵州茂兰为例. *自然资源学报*, 2012, 27(8): 1327-1339.
- [27] 玛丽艳姑丽·阿西穆, 塔西甫拉提·特依拜, 买买提·沙吾提, 张飞. 基于 Markov 模型的植被覆盖动态变化预测研究. *水土保持研究*, 2013, 20(1): 121-125.
- [28] 刘涛, 杨树文, 李轶鲲, 段焕娥. 空间线群目标方向相似度计算模型. *测绘科学*, 2013, 38(1): 156-159.
- [29] Varghese A O, Suryavanshi A, Joshi A K. Analysis of different polarimetric target decomposition methods in forest density classification using C band SAR data. *International Journal of Remote Sensing*, 2016, 37(3): 694-709.
- [30] 王树东, 张立福, 陈小平, 欧阳志云. 基于 Landsat TM 的热带精细地物信息提取的模型与方法--以海南岛为例. *生态学报*, 2012, 32(22): 7036-7044.
- [31] 田锡文, 王新军, K.G.卡迪罗夫, 贾宏涛. 近 40a 凯拉库姆库区土地利用/覆盖变化及景观格局分析. *农业工程学报*, 2014, 30(6): 232-241.
- [32] Quan B, Pontius R G Jr, Song H. Intensity Analysis to communicate land change during three time intervals in two regions of Quanzhou City, China. *GIScience & Remote Sensing*, 2019, 57(1): 21-36.
- [33] 张敏, 宫兆宁, 赵文吉, 阿多. 近 30 年来白洋淀湿地景观格局变化及其驱动机制. *生态学报*, 2016, 36(15): 4780-4791.
- [34] Pontius R G Jr, Huang J L, Jiang W L, Khallaghi S, Lin Y T, Liu J Y, Quan B, Ye S. Rules to write mathematics to clarify metrics such as the land use dynamic degrees. *Landscape Ecology*, 2017, 32: 2249 - 2260.
- [35] 徐晓龙, 王新军, 朱新萍, 贾宏涛, 韩东亮. 1996-2015 年巴音布鲁克天鹅湖高寒湿地景观格局演变分析. *自然资源学报*, 2018, 33(11): 1897-1911.
- [36] Halmy M W A, Gessler P E, Hicke J A, Salem B B. Land use/land cover change detection and prediction in the north-western coastal desert of Egypt using Markov-CA. *Applied Geography*, 2015, 63: 101-112.
- [37] 何建华, 潘越, 刘殿锋. 生态网络视角下武汉市湿地生态格局分析. *生态学报*, 2020, 40(11): 3590-3601.
- [38] 王博, 段玉玺, 王伟峰, 李晓晶, 刘宗奇. 库布齐东段不同植被恢复阶段荒漠生态系统碳氮储量及分配格局. *生态学报*, 2019, 39(7): 2470-2480.
- [39] 王璐, 丁建丽. 艾比湖保护区荒漠植被时空过程变化及其植被指数影响因素分析. *草业学报*, 2015, 24(5): 4-11.