

文章编号: 1672-8785(2020)06-0030-12

## 基于 Landsat 数据的科尔沁沙地 土地覆被变化分析

杜 云 喇赞娥 哈斯巴干\*

(上海师范大学环境与地理科学学院, 上海 200234)

**摘 要:** 基于 1985 年、2000 年和 2017 年的 Landsat 影像, 采用支持向量机 (Support Vector Machine, SVM) 分类方法获取了科尔沁沙地 1985~2017 年的土地覆被结果。首先, 采用 SVM 方法对 1985 年、2000 年和 2017 年的 Landsat 影像进行了土地覆被分类。然后将研究区划分为沙地主体和黄土丘陵地区两部分, 并进一步分析了研究区土地覆被变化的区域特征。结果表明: 1985~2000 年, 科尔沁沙地的耕地面积显著增加而草地面积减少, 这可能是因为在在此期间实行的家庭联产承包责任制调动了牧民生产的积极性, 大量耕地得到了开垦; 2000~2017 年, 耕地面积减少, 草地面积增加, 这与 2000 年以来在该地区大力执行退耕还林还草等生态保护政策密切相关, 说明研究区的生态保护已初见成效。进一步分析表明, 1985~2017 年沙地主体地区的耕地面积持续增加, 这与发展灌溉农业和种植水稻密切相关。本文将为改善和治理科尔沁地区的生态环境提供基础数据和决策依据。

**关键词:** 土地覆被变化; 科尔沁沙地; 支持向量机; Landsat

**中图分类号:** TP751 **文献标志码:** A **DOI:** 10.3969/j.issn.1672-8785.2020.06.005

## Analysis of Land Cover Changes in Horqin Sandy Land Based on Landsat Data

DU Yun, LA Yun-e, HASI Ba-gan

(School of Environmental and Geographical Sciences, Shanghai Normal University, Shanghai 200234, China)

**Abstract:** Based on Landsat images in 1985, 2000 and 2017, the land cover results of Horqin sandy land from 1985 to 2017 are obtained by using support vector machine (SVM) classification method. First, we obtained land cover classification maps by using SVM classification method on Landsat images in 1985, 2000 and 2017. Then, the research area is divided into two parts: the main body of the sandy land and the hilly loess area, and the regional characteristics of the land cover change in the research area are further analyzed. The results show that from 1985 to 2000, the cultivated land area of Horqin sandy land increased significantly while the grass-

**收稿日期:** 2020-04-17

**基金项目:** 国家自然科学基金项目(41771372); 上海市科委“科技创新行动计划”项目(18511102300)

**作者简介:** 杜云(1995-), 女, 江苏南京人, 硕士, 主要从事遥感土地覆被变化方面的研究。

**通讯作者:** 哈斯巴干, 男, 研究员, 主要从事沙漠化、城市化以及遥感图像处理方面的研究。

E-mail: hasibagan@staff.shnu.edu.cn

land area decreased probably because the household contract responsibility system was implemented during this period, which aroused the enthusiasm of herdsmen for production, and a large amount of cultivated land was reclaimed. From 2000 to 2017, the cultivated land area decreased and the grassland area increased, which is closely related to the vigorous implementation of ecological protection policies such as returning farmland to forest and grassland in this area since 2000. This change indicates that the ecological protection in the research area has achieved initial results. Further analysis shows that the cropland area in the main body of sandy land area continued to increase from 1985 to 2017, which is closely related to the development of irrigated agriculture and rice cultivation. This paper provides basic data and decision basis for improving and governing the ecological environment in Horqin area.

**Key words:** land cover change; Horqin sandy land; SVM; Landsat

## 0 引言

随着人类活动对气候和土地覆被的影响不断加深,全球生态环境正经历着快速而广泛的变化<sup>[1-2]</sup>。其中,人类土地开发利用及其引起的土地覆被变化被认为是全球生态环境变化的重要组成部分和主要影响因素<sup>[3]</sup>。因此,研究土地利用/覆被变化,可为由人类活动引起的生态环境变化及其效应评估、土地利用模型预测和政策决策等提供基础数据<sup>[4-5]</sup>。例如,Reid R S 等以埃塞俄比亚地区为例,探究了土地利用/覆被变化与气候、生物和政策的相应关系<sup>[6]</sup>。王涛等研究了中国北方地区的土地利用和沙漠化防治,并提出沙漠化防治的根本出路在于合理高效的土地利用<sup>[7]</sup>。科尔沁沙地处在我国北方的生态环境脆弱地区,对气候变化和人类活动十分敏感,历史上曾多次经历了沙漠化正逆交替过程(沙丘活化、沙漠扩张与沙丘固定、沙漠收缩)<sup>[8]</sup>。自 1950 年以来,由于水土资源的不合理利用,一度出现了土壤风蚀、沙丘活化和流沙蔓延等强烈风沙活动,导致科尔沁沙地成为我国沙漠化危机比较严重的地区<sup>[9-10]</sup>。此后,尤其是 2000 年以来,随着政府一系列生态治理工程的实施,该地区的植被覆盖度大幅增加,且大部分沙丘得以固定,沙漠化趋于逆转。与此同时,随着城市规模、工矿和交通的迅速发展以及农业技术的不断提高,该地区的土地利用方式发生了重大变化,土地覆被也可能发生了不同于以往的变化。因此需要对 2000 年前后该地区的土地覆被变化进行

对比分析。

准确地获取土地覆被数据是客观分析土地利用/覆被变化的基础工作。Landsat 系列卫星数据连续、开放、成熟,并且可以从美国地质调查局(USGS)免费获取。此外,其地面系统不断完善,数据产品也日益丰富<sup>[11]</sup>。大量的相关研究结果表明<sup>[12-17]</sup>,Landsat 遥感影像数据是当前进行区域尺度的土地利用/覆被变化分析研究较为理想的数据源。有学者利用 Landsat 影像研究了科尔沁沙地 1989 年至 2007 年的土地覆被变化<sup>[18]</sup>。然而,近年来对科尔沁沙地土地覆被变化的长时间尺度研究却较少,导致该地区最近的土地覆被时空变化特征尚不明确。因此,本文利用 Landsat 数据分析科尔沁沙地 1985 年至 2017 年 33 年间的土地覆被时空变化特征,并试图探讨该地区的土地覆被变化与国家政策及人口之间的关系。

## 1 数据来源和研究方法

### 1.1 研究区概况

科尔沁沙地位于中国东北平原的西部,处于大兴安岭南段东麓和燕山山脉东延北麓的相交地带。它在行政区划上跨越内蒙古地区的赤峰市、通辽市和兴安盟,其地理坐标大致为 119°20'E~121°55'E,42°25'N~43°54'N。沙地主体分布于西拉木伦河冲积平原上,在大兴安岭山前冲洪积台地上也有片状散布。自然景观以起伏沙地、洼地和河流滩地相间为特色。该地区的气候为温带大陆性季风气候,冬季干冷多风,夏季炎热多雨,年均气温为 5.8~

6.4℃, 年降水量为 300~450 mm, 且 70%~80% 的降水集中在 7~9 月, 年蒸发量为 1300~1800 mm<sup>[19]</sup>。地带性土壤主要有栗钙土和黑垆土, 非地带性土壤主要有风沙土、草甸土和盐碱土。地带性植被是典型草原到森林草原的过渡类型疏林草原。研究区为科尔沁沙地西半部(见图 1), 图版面积为 26000 km<sup>2</sup>, 囊括了沙地主体的各种土地类型, 也包括了西北部的低山丘陵和西南部的黄土丘陵, 因而具有一定的代表性。

1.2 数据来源及概况

本文使用的三期 Landsat 影像数据分别采集于 1985 年、2000 年和 2017 年(见表 1)。这些影像数据均来自于 USGS。他们提供的 Level-1T Landsat 陆地卫星影像已通过地面控制点和数字高程模型(Digital Elevation Model, DEM)进行了几何纠正。本文使用的 Landsat 影像的投影坐标系为 UTM\_ZONE\_51N, 大地基准为 WGS\_1984。同时, 为了消除由于季节不同而引起的影像差异, 从而更好地分辨地物并提高分类精度, 我们选取了植被生长旺盛的

7~9 月中的无云卫星影像。因此, 我们选取的影像中草地、林地、耕地和稀疏植被等地物的光谱分离程度较高。

1.3 样本数据的选取

近十几年来, 我们在科尔沁沙地开展了许多研究工作<sup>[20-23]</sup>, 在此期间积累了该地区的野外调查数据、卫星数据与 GIS 数据等。此外, 2017~2019 年, 我们又在科尔沁沙地地区进行了三次实地考察, 并利用无人机进行了航拍, 获取了该地区一些典型的土地覆被景观(见图 2)。

本文参考了刘纪远等<sup>[24]</sup>提出的中国土地利用遥感制图分类系统, 并根据科尔沁沙地的实地调查结果确定了 8 类土地覆被类型: 耕地、草地、林地、建设用地、水域、稀疏植被、裸沙和裸地。

将野外实地调查数据、WorldView-2 高分辨率遥感影像、2000 年土地利用数据与 Google Earth 高分辨率卫星影像及百度地图等相结合, 选取了这 8 类土地覆被类型所对应的地面样本点, 并将它们随机分为训练样本点和

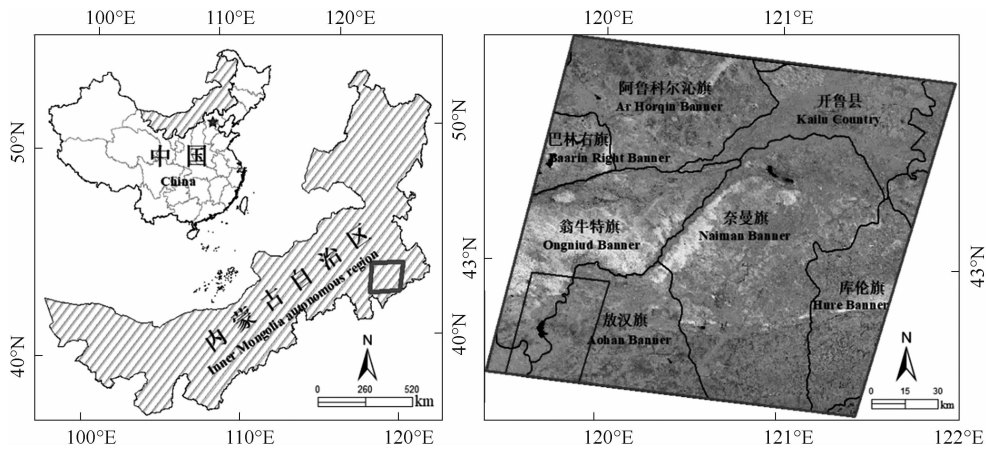


图 1 研究区的地理位置图: 左图中的红色框为研究区域; 右图是 2017 年 7 月 28 日获取的 Landsat-8 影像(RGB=6,5,4; 蓝色框为红山水库及其周边地区(见图 5))

表 1 Landsat 研究数据概况

| 获取日期       | 传感器           | 轨道号    | 空间分辨率 |
|------------|---------------|--------|-------|
| 1985-09-16 | Landsat-5 TM  | 121/30 | 30 m  |
| 2000-08-14 | Landsat-5 TM  | 121/30 | 30 m  |
| 2017-07-28 | Landsat-8 OLI | 121/30 | 30 m  |

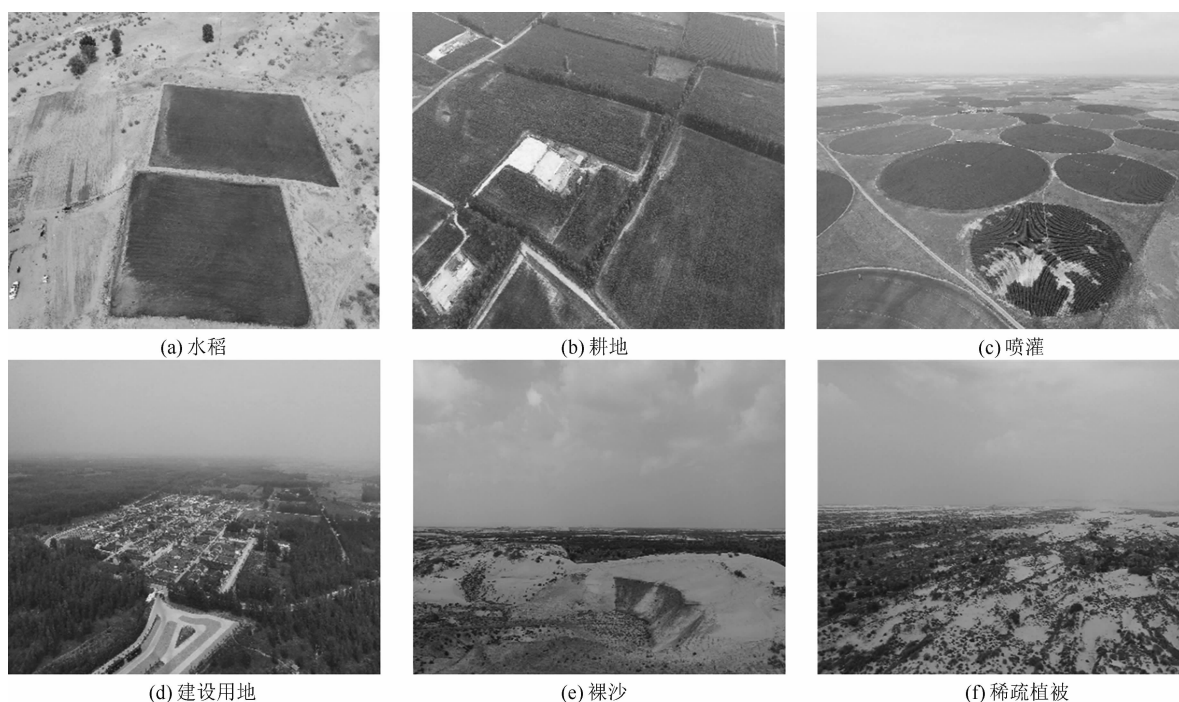


图 2 科尔沁沙地几种典型土地覆被类型的无人机航拍影像

表 2 1985~2017 年对应的各地物覆被类型的训练样本和验证样本的像元数

| 土地覆被类型 | 1985 年 |      | 2000 年 |      | 2017 年 |      |
|--------|--------|------|--------|------|--------|------|
|        | 训练     | 验证   | 训练     | 验证   | 训练     | 验证   |
| 耕地     | 2244   | 302  | 2614   | 650  | 1363   | 744  |
| 草地     | 1651   | 318  | 2086   | 1047 | 3141   | 519  |
| 林地     | 621    | 227  | 489    | 310  | 1325   | 166  |
| 水域     | 2611   | 781  | 1810   | 599  | 3197   | 200  |
| 裸沙     | 18314  | 2559 | 1222   | 230  | 453    | 221  |
| 稀疏植被   | 2674   | 1009 | 968    | 398  | 881    | 368  |
| 建设用地   | 1097   | 712  | 1268   | 316  | 1298   | 539  |
| 裸地     | 1155   | 448  | 1697   | 287  | 2880   | 329  |
| 总计     | 30367  | 6356 | 12154  | 3837 | 14538  | 3086 |

验证样本点(见表 2)。其中,训练样本点用于训练进行土地覆被分类的分类器,验证样本点用于检验分类结果的精度。

#### 1.4 SVM 方法

分类方法的选择对分类结果起到重要作用。本文采用的是 SVM 分类方法。近年来,该方法因其所需样本少、分类精度高的优势而被广泛运用于土地覆被分类研究中<sup>[25]</sup>。这种方法的优点是分类时无需进行数据降维,在算法的收敛度、训练速度、分类精度等方面

显示出较高的性能。它是一种基于线性划分的机器学习算法。在线性不可分的情况下,可以通过核函数将输入向量映射到高维特征空间中,然后构造一个可在高维特征空间中分离两个或多个类的超平面。它主要是一个两类分类器。这里的优化标准是类之间的边界宽度(即决策边界周围的空白区域),由到最近训练模式的距离来定义<sup>[26]</sup>。这些模式称为支持向量,最终定义了分类函数。利用新模式  $x$  (待分类)的核函数  $K(x_i, x)$  和训练模式  $x_i$ , 将支持向量

分类器导出的两类问题的决策函数写成以下形式：

$$D(x) = \sum_{\forall i \in S} \alpha_i \lambda_i K(x_i, x) + \alpha_0 \quad (1)$$

$$\min_{\alpha} (\alpha^T \Lambda K \Lambda \alpha + c \sum_j \epsilon_j) \quad (2)$$

式中， $S$  是支持向量集(训练集)， $x$  为待分类的点， $x_i$  为样本点， $\lambda_i = \pm 1$ ， $K(x_i, x)$  为核函数，参数  $\alpha_i \geq 0$  最优化的约束条件是  $\Lambda_j D(x_j) \geq 1 - \epsilon_j$ ， $\Lambda$  为对角矩阵。矩阵  $K$  用来存储核函数的值，允许类重叠的松弛项  $\epsilon_j$  通过大于 0 的惩罚系数  $C$  来控制。若  $C = \infty$ ，那么类就不能重叠。式(2)是最大化边界(加上惩罚项)的对偶形式。在优化过程中，除支持向量之外，所有的  $\alpha_i$  值的变成 0。

在用 SVM 分类器对遥感图像进行分类之后，利用与训练样本点对应的验证样本点并

使用常规的混淆矩阵法对分类结果图进行精度评价。

## 2 结果与分析

利用 SVM 分类方法获得的 1985 年、2000 年和 2017 年的研究区土地覆被状况如图 3 和表 3 所示。结合两者可以看出，研究区的主要土地覆被类型为草地、林地、耕地和稀疏植被。在 1985~2017 年的 33 年间，稀疏植被、裸沙和水域面积持续减少，草地和裸地面积趋于减少，耕地和林地面积趋于增加。其中，1985~2000 年，草地和林地面积减少，耕地面积显著增加；2000~2017 年，草地和林地面积增加，耕地面积减少。图 3(d) 为 DEM 图。依据文献[27-29]，将研究区划分成冲积平原区(即沙地主体地区)和低山及黄土丘陵区

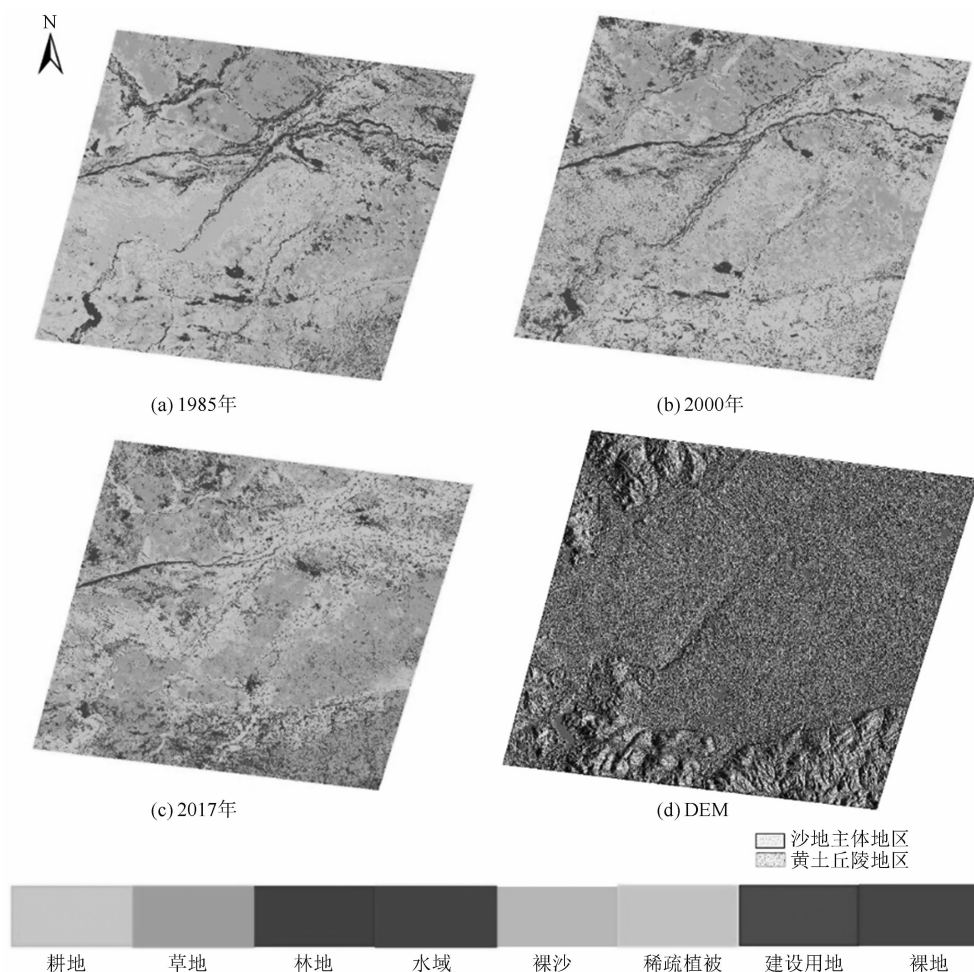


图 3 (a) 1985 年科尔沁沙地的土地覆被分类结果图；(b) 2000 年科尔沁沙地的土地覆被分类结果图；(c) 2017 年科尔沁沙地土地覆被分类结果图；(d) 科尔沁沙地的 DEM 图

表 3 1985~2017 年研究区各类土地覆被类型占总面积的比例

| 类型   | 1985 年 | 2000 年 | 2017 年 |
|------|--------|--------|--------|
| 耕地   | 16.8%  | 37.7%  | 31.6%  |
| 草地   | 30.6%  | 26.8%  | 36.1%  |
| 林地   | 5.0%   | 3.7%   | 11.3%  |
| 水域   | 3.6%   | 2.7%   | 2.0%   |
| 裸沙   | 18.5%  | 10.0%  | 2.4%   |
| 稀疏植被 | 18.8%  | 10.8%  | 8.7%   |
| 建设用地 | 1.7%   | 2.9%   | 1.3%   |
| 裸地   | 4.8%   | 5.4%   | 6.7%   |

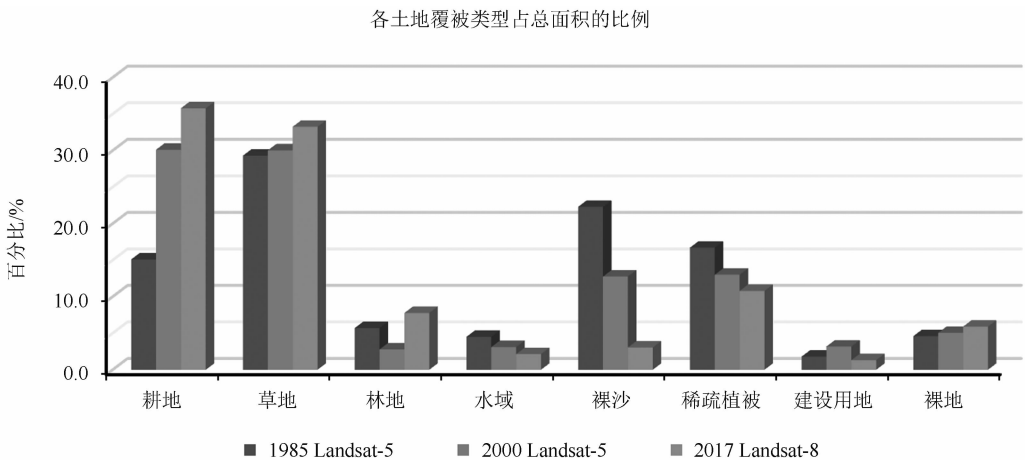


图 4 1985~2017 年科尔沁沙地主体地区的各类土地覆被类型占沙地总面积的比例直方图

表 4 1985~2017 年科尔沁沙地主体地区的各类土地覆被类型占沙地区域总面积的比例

| 类型   | 1985 年 | 2000 年 | 2017 年 |
|------|--------|--------|--------|
| 耕地   | 15.1%  | 30.1%  | 35.8%  |
| 草地   | 29.3%  | 30.0%  | 33.3%  |
| 林地   | 5.7%   | 2.8%   | 7.8%   |
| 水域   | 4.5%   | 3.1%   | 2.1%   |
| 裸沙   | 22.3%  | 12.8%  | 3.1%   |
| 稀疏植被 | 16.7%  | 13.0%  | 10.8%  |
| 建设用地 | 1.8%   | 3.2%   | 1.3%   |
| 裸地   | 4.6%   | 5.1%   | 5.9%   |

区<sup>[27-29]</sup>。据此,对研究区的土地覆被变化分别加以分析。

2.1 沙地主体地区的土地覆被变化

图 4 为沙地主体地区的各土地覆被类型面积占沙地主体面积的比例直方图。由表 4、表 5、表 6 和图 4 可以看出,1985~2017 年沙地主体地区的各土地覆被类型均有较显著的变化

趋势。我们通过面积变化和土地转移两个方面来对其进行定量分析。

2.1.1 面积变化

表 4 列出了沙地主体地区的各土地覆被类型面积占沙地主体面积的比例变化数据。1985~2017 年的 33 年间,裸沙、稀疏植被和水域等面积持续减少,耕地面积持续增加。从空间

表 5 1985~2000 年科尔沁沙地主体地区的土地转移矩阵(面积单位为 km<sup>2</sup>)

|        |        | 1985 年 |        |        |       |        |        |       |       | 总面积    |
|--------|--------|--------|--------|--------|-------|--------|--------|-------|-------|--------|
|        |        | 1      | 2      | 3      | 4     | 5      | 6      | 7     | 8     |        |
| 2000 年 | 1.耕地   | 2136.1 | 1720.4 | 480.0  | 180.2 | 330.7  | 521.0  | 130.0 | 267.8 | 5766.2 |
|        | 2.草地   | 386.3  | 2684.6 | 384.0  | 127.3 | 689.0  | 1128.2 | 104.2 | 245.4 | 5748.9 |
|        | 3.林地   | 95.8   | 227.1  | 66.2   | 22.8  | 29.1   | 63.0   | 9.5   | 20.0  | 533.6  |
|        | 4.水域   | 69.0   | 37.3   | 44.8   | 346.8 | 22.0   | 5.8    | 5.8   | 63.5  | 595.0  |
|        | 5.裸沙   | 5.8    | 99.3   | 2.6    | 4.6   | 1848.1 | 471.9  | 5.0   | 6.0   | 2443.3 |
|        | 6.稀疏植被 | 40.2   | 642.5  | 28.9   | 10.0  | 913.6  | 820.6  | 17.2  | 18.0  | 2490.8 |
|        | 7.建设用地 | 112.8  | 117.9  | 47.8   | 42.8  | 71.0   | 52.4   | 61.7  | 101.9 | 608.3  |
|        | 8.裸地   | 44.1   | 89.6   | 35.8   | 122.5 | 373.3  | 131.1  | 19.1  | 150.8 | 966.3  |
|        | 总面积    | 2890.8 | 5621.7 | 1091.0 | 857.4 | 4277.5 | 3195.2 | 352.7 | 873.5 |        |
|        | 变化面积   | 754.6  | 2937.2 | 1024.8 | 510.6 | 2429.4 | 2374.6 | 291.0 | 722.7 |        |
|        | 变化比例/% | 99.5   | 2.3    | -51.1  | -30.6 | -42.9  | -22.0  | 72.5  | 10.6  |        |

表 6 2000~2017 年科尔沁沙地主体地区的土地转移矩阵(面积单位为 km<sup>2</sup>)

|        |        | 2000 年 |        |       |       |        |        |       |       | 总面积    |
|--------|--------|--------|--------|-------|-------|--------|--------|-------|-------|--------|
|        |        | 1      | 2      | 3     | 4     | 5      | 6      | 7     | 8     |        |
| 2017 年 | 1.耕地   | 3778.9 | 1840.7 | 281.5 | 290.3 | 15.1   | 174.5  | 269.9 | 203.1 | 6853.9 |
|        | 2.草地   | 1113.4 | 2713.0 | 116.0 | 59.1  | 441.4  | 1526.8 | 128.2 | 270.0 | 6367.6 |
|        | 3.林地   | 517.3  | 638.1  | 117.6 | 31.6  | 15.5   | 104.4  | 37.5  | 26.4  | 1488.2 |
|        | 4.水域   | 87.1   | 64.3   | 5.4   | 150.2 | 13.0   | 7.2    | 36.1  | 46.5  | 409.8  |
|        | 5.裸沙   | 5.3    | 10.5   | 0.1   | 0.1   | 515.2  | 34.7   | 1.0   | 16.4  | 583.3  |
|        | 6.稀疏植被 | 109.1  | 238.9  | 2.7   | 1.4   | 1076.6 | 494.7  | 13.5  | 129.1 | 2065.8 |
|        | 7.建设用地 | 85.7   | 54.6   | 3.2   | 3.4   | 2.6    | 5.6    | 82.7  | 15.7  | 253.6  |
|        | 8.裸地   | 69.5   | 188.9  | 7.2   | 59.0  | 363.9  | 142.9  | 39.6  | 259.2 | 1130.2 |
|        | 总面积    | 5766.2 | 5748.9 | 533.6 | 595.0 | 2443.3 | 2490.8 | 608.3 | 966.3 |        |
|        | 变化面积   | 1987.3 | 3035.9 | 416.0 | 444.8 | 1928.0 | 1996.2 | 525.7 | 707.1 |        |
|        | 变化比例/% | 18.9   | 10.8   | 178.9 | -31.1 | -76.1  | -17.1  | -58.3 | 17.0  |        |

上看,耕地沿西拉木伦河及其支流两侧分布并趋于向外扩张;随着大部分河流断流,干涸河床也几乎被耕地所占。建设用地呈集中化趋势,且东北部和南部地区逐渐出现较大规模的城镇。林地面积趋于增加而建设用地趋于减少。其中,1985~2000 年,林地面积减少,建设用地增加;2000~2017 年,林地面积增加,建设用地面积减少。

### 2.1.2 土地转移

基于土地利用转移矩阵能够全面、具体地分析研究区土地利用变化的数量结构特征和各

土地利用类型之间的转化关系,从而提高对土地利用/覆被变化动态过程的认识以及预测土地利用/覆被变化的能力<sup>[30-31]</sup>。因此,我们对土地覆被的分类结果进行了土地转移分析,以探究沙地主体地区各土地覆被类型之间的变化(见表 5 和表 6)。

1985~2000 年,主要表现为草地、稀疏植被和林地向耕地转化,其中约有 1720 km<sup>2</sup> 草地和 480 km<sup>2</sup> 林地转化为耕地;裸沙向草地和稀疏植被转化,其中约有 689 km<sup>2</sup> 裸沙转为草地,914 km<sup>2</sup> 裸沙转化为稀疏植被。

表 7 1985~2017 年黄土丘陵区域的各类土地覆被类型占黄土丘陵区域总面积的比例

| 类型   | 1985 年 | 2000 年 | 2017 年 |
|------|--------|--------|--------|
| 耕地   | 21.5%  | 58.1%  | 20.2%  |
| 草地   | 34.1%  | 18.3%  | 43.8%  |
| 林地   | 3.2%   | 6.0%   | 20.6%  |
| 水域   | 1.4%   | 1.7%   | 1.4%   |
| 裸沙   | 8.2%   | 2.6%   | 0.7%   |
| 稀疏植被 | 24.7%  | 4.9%   | 3.2%   |
| 建设用地 | 1.4%   | 2.0%   | 1.2%   |
| 裸地   | 5.4%   | 6.3%   | 8.9%   |

2000~2017 年, 主要表现为耕地与草地及林地之间的转化, 但以草地转化为耕地为主; 裸沙转化为稀疏植被和草地。值得关注的是, 仍有较大面积的水域转化为耕地。

## 2.2 黄土丘陵地区的土地覆被变化特征

表 7 列出了黄土丘陵地区的各土地覆被类型面积占该地区面积的比例。33 年间, 耕地、林地和草地的面积在两个时段变化较剧烈。林地面积所占比例持续增加, 这种增长趋势在 2000 年后表现尤为显著; 裸沙和稀疏植被面积持续减少。1985~2000 年, 耕地面积显著增加, 草地面积锐减。2000~2017 年, 耕地面积锐减至低于 1985 年的水平, 草地面积大幅增加。

## 2.3 红山水库地区的土地覆被变化特征

为了更直观地了解科尔沁沙地河流、湖泊地区的局部土地覆被时空变化, 我们选取红山水库及其周边地区进行研究(见图 1 中的右图)。图 5(a)、图 5(b)、图 5(c)和图 5(d)分别为科尔沁沙地西南部的红山水库区域在 1985 年、2000 年、2017 年的土地覆被变化图和红山水库及其周边地区的 DEM 图。

总体上来看, 红山水库及其周边地区的各土地覆被类型的变化特征与科尔沁沙地趋于一致(见图 3)。水域、裸沙和耕地变化显著。其中, 黄土丘陵地区的耕地面积从 1985 年至 2000 年显著增加, 从 2000 年至 2017 年明显减少。然而, 1985~2017 年期间库区水域面积持续减少, 耕地面积不断增加, 且 2000~2017 年

期间尤为突出。

## 3 讨论

33 年间, 科尔沁沙地的土地覆被发生了显著变化。其中, 裸沙、稀疏植被和水域等持续减少; 耕地、草地和林地 在 2000 年前后的两个时段出现了不同的变化趋势, 且在不同的地貌区域(沙地主体与黄土丘陵区)也显示出了明显差异。这些既反映了区域土地覆被对气候变化和人类活动的差异响应, 也反映了各种土地覆被类型之间的相互影响。

作为生态脆弱区, 科尔沁沙地对气候变化敏感。由于气候的冷暖干湿波动, 历史上它多次经历了沙丘活化与固定等沙漠化正逆过程的交替。近半个世纪以来, 研究区的气温趋于持续上升; 降水量具有明显的波动性但也有一定的趋势(1980 年至 1990 年初趋于增加, 1990 年至 2000 年前后趋于减少, 2000 年前后至今又趋于增加); 年均风速和最大风速均持续降低<sup>[32-33]</sup>。在研究区沙地主体的土地覆被类型中, 裸沙代表的是流动沙丘和裸露风蚀坑, 稀疏植被几乎是半固定沙丘, 部分草地则是固定沙丘。裸沙和稀疏植被的减少说明沙漠化在逆转, 这与气候要素中的风速降低和后一时间段(2000~2017 年)的降水增加趋势一致, 但与前一阶段的降水变化并不一致。水域包括了河流、湖泊、湿地及水库, 其持续减少与近几十年的气候要素变化并不一致。由此认为, 近几十年来气候要素的变化对自然或半自然土地覆被类型(裸沙、稀疏植被及水域)的持续减少起

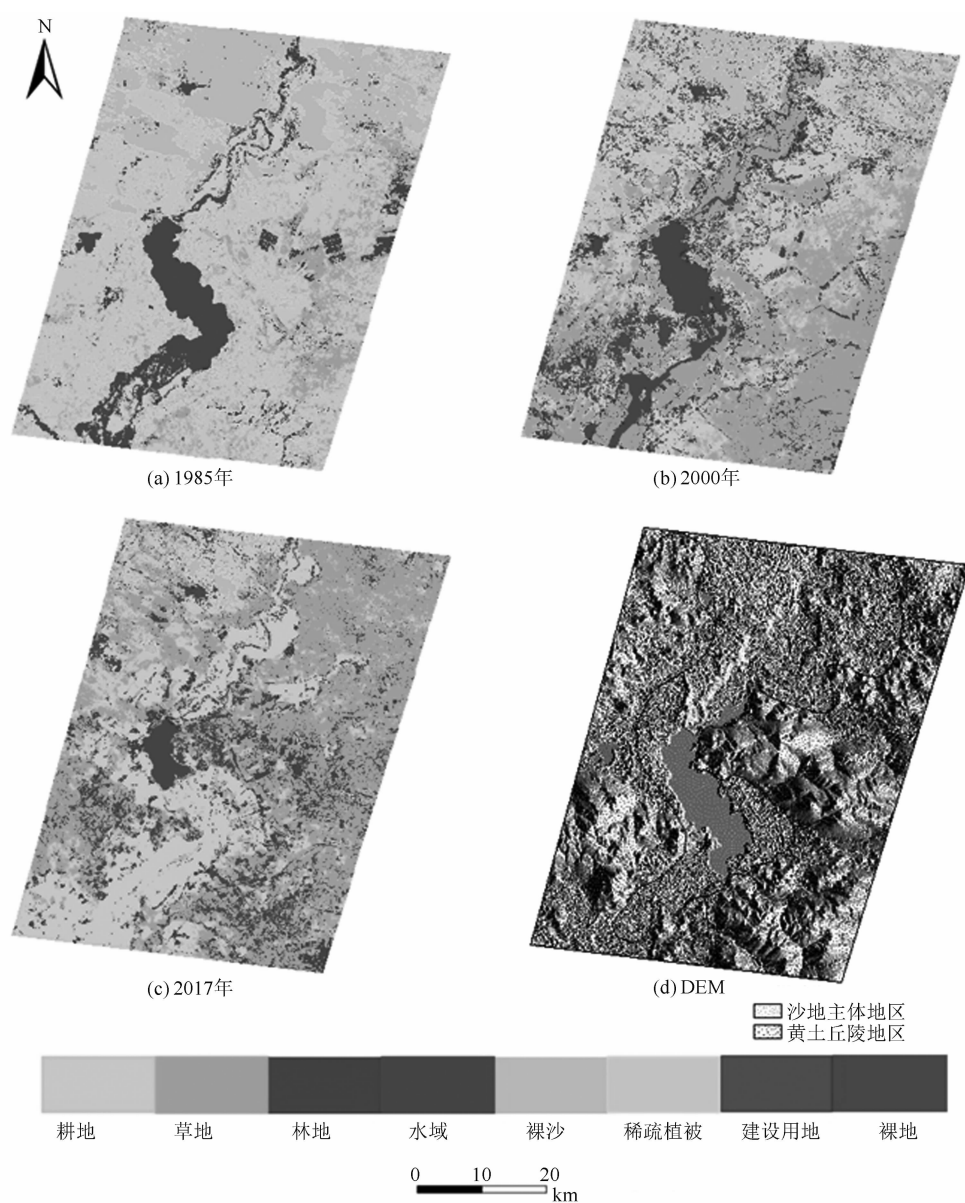


图 5 (a) 1985 年红山水库及其周边地区的土地覆被分类结果图；(b) 2000 年红山水库及其周边地区的土地覆被分类结果图；(c) 2017 年红山水库及其周边地区的土地覆被分类结果图；(d) 红山水库及其周边地区的 DEM 图

到了一定作用，但不是主要因素。

作为该区域的主要土地覆被类型，耕地、草地和林地 在 2000 年前后的两个时间段具有不同的变化趋势(见图 3 和表 3)。这与同期人类活动尤其是土地利用政策和方式密切相关。20 世纪 80 年代初，该地区的农牧业全面推行“畜牧归户”、“包产到户”和“农田、草场承包”等生产责任制，充分调动了广大农牧民的积极性，显示出了巨大的优越性和活力<sup>[34]</sup>。同

时，由于这段时间内人口急剧增加，对粮食等的需求量也大幅度提高<sup>[35]</sup>。在这种背景下，人们在黄土丘陵区大面积开垦了山坡草地和稀疏植被区，即 15% 的草地和近 20% 的稀疏植被转化为耕地，耕地面积大幅增加。在沙地主体区，许多牧民弃牧从农，开垦耕地，占用了大量的林地、草地和部分稀疏植被，导致林地和草地大面积减少。自 2000 年左右开始，国家在该地区实施了若干个生态环境保护与建设项

目(主要有退耕还林、退耕还草工程和三北防护林四期工程),并在草原牧区推行了草原生态保护补助奖励机制。在黄土丘陵区实施退耕后,建造了大面积的人工林地,并在沙地主体开展了防风固沙、植被恢复和天然草场保育等工作。在黄土丘陵区,林地和草地面积大幅增加,耕地面积大幅减少。这与黄土高原区的土地覆被变化趋势相似<sup>[36]</sup>。在沙地主体区,裸沙面积大幅减少,林地和草地面积增加,但耕地面积仍趋于增加。这类似于近 15 年来毛乌素沙地区的土地覆被情景<sup>[37]</sup>。

2000~2017 年沙地主体区耕地面积的增加与城市化、水域面积减少和农业技术发展有关。2000 年以来城市扩展所占的部分耕地需在其它地方通过开垦土地得到补充,从而实现耕地的“占补平衡”。由于西拉木伦河及其主要支流上游用水量及区内灌溉耗水量等的增加,区内河流水量急剧下降且水域面积大幅减少。这为农田开发提供了空间。至 2017 年,已有 290 km<sup>2</sup> 水域转化为耕地(见表 6)。近年来农业机械化和农田灌溉技术手段的提高促使沙地和草地的农田开发,导致大面积草地和稀疏植被覆被的沙地转化为耕地。为了寻求更高的经济效益,发展高耗水的沙地水稻和马铃薯等“绿洲农业”促进了沙地农业开发,同时也加剧了地下水资源的消耗。目前,科尔沁沙地的大部分地区已经是地下水位下降很严重的“地下水漏斗区”。因此,在大范围河流断流和区内水资源短缺的情况下,是否发展灌溉农业是个值得商榷的问题。

此外,1985~2017 年的 33 年间,建设用地趋于集中化。主要原因在于,该期间研究区内部的生态系统不平衡,政府在此地区实行的生态移民政策将原本位于生态破坏严重地区的牧民转移后集中安置,并积极推进城镇化建设<sup>[38]</sup>。总体上,建设用地和裸地面积呈增加趋势。由于农村村落的房屋大部分采用泥土建造,而且研究所用 Landsat 影像的空间分辨率为 30 m,因此选取的建设用地样本点容易受到

影响。这可能会导致建设用地被误认为是裸地。

## 4 结论

本文基于 1985 年、2000 年和 2017 年的 Landsat 影像,采用 SVM 分类方法获取了科尔沁沙地的土地覆被分类结果图。然后将研究区分为沙地主体地区和黄土丘陵地区,并进一步分析了 1985~2017 年科尔沁沙地研究区的土地覆被变化的时空特征。研究结果表明:

(1) 1985~2000 年,科尔沁沙地整个地区的土地覆被变化主要表现为耕地和建设用地扩张,草地和林地被大量开垦为耕地。2000~2017 年,整个地区的土地覆被变化则主要表现为草地和林地的恢复。退耕还林、退耕还草等生态工程使耕地面积减少,草地和林地面积增加。此外,由于生态移民政策的实施,此期间建设用地面积减少。

(2) 1985~2017 年,科尔沁沙地主体地区的水域、建设用地和稀疏植被等土地覆被类型的变化特征与整个地区基本一致。然而,耕地却呈现出了新的变化特征。沙地主体地区的耕地面积持续增加,水域和稀疏植被面积持续减少。

## 参考文献

- [1] Popp A, Humpenöder F, Weindl I, et al. Land-use protection for climate change mitigation [J]. *Nature Climate Change*, 2014, **4**(12): 1095–1098.
- [2] Seddon A W R, Macias-Fauria M, Long P R, et al. Sensitivity of global terrestrial ecosystems to climate variability [J]. *Nature: International Weekly Journal of Science*, 2016, **531**(7593): 229–232.
- [3] 陈四清, 刘纪远, 庄大方, 等. 基于 Landsat TM/ETM 数据的锡林河流域土地覆盖变化 [J]. *地理学报*, 2003, **58**(1): 45–52.
- [4] Post W M, Kwon K C. Soil carbon sequestration and land-use change: processes and potential [J]. *Global Change Biology*, 2008, **6**(3): 317–327.

- [5] Dadashpoor H, Azizi P, Moghadasi M. Land use change, urbanization, and change in landscape pattern in a metropolitan area [J]. *Science of The Total Environment*, 2019, **655**: 707–719.
- [6] Reid R S, Kruska R L, Muthui N, et al. Land-use and land-cover dynamics in response to changes in climatic, biological and socio-political forces: the case of southwestern Ethiopia [J]. *Landscape Ecology*, 2000, **15**(4): 339–355.
- [7] 王涛, 吴薇. 我国北方的土地利用与沙漠化 [J]. *自然资源学报*, 1999, **14**(4): 355–358.
- [8] 裘善文. 试论科尔沁沙地的形成与演变 [J]. *地理科学*, 1989, **9**(4): 317–328.
- [9] 张永民, 赵士洞. 近 15 年科尔沁沙地及其周围地区土地利用变化分析 [J]. *自然资源学报*, 2003, **18**(2): 174–181.
- [10] 高尚玉, 史培军, 哈斯, 等. 我国北方风沙灾害加剧的成因及其发展趋势 [J]. *自然灾害学报*, 2000, **9**(3): 31–37.
- [11] Wulder M A, Loveland T R, Roy D P, et al. Current status of Landsat program, science, and applications [J]. *Remote Sensing of Environment*, 2019, **225**: 127–147.
- [12] Hansen M C, Loveland T R. A review of large area monitoring of land cover change using Landsat data [J]. *Remote Sensing of Environment*, 2012, **122**: 66–74.
- [13] Yuan F, Sawaya K E, Loeffelholz B C, et al. Land cover classification and change analysis of the Twin Cities (Minnesota) Metropolitan Area by multitemporal Landsat remote sensing [J]. *Remote Sensing of Environment*, 2005, **98**(2): 317–328.
- [14] Fuller R M, Groom G B, Jones A R. Land cover map of Great Britain: An automated classification of Landsat Thematic Mapper data [J]. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 1994, **60**(5): 553–562.
- [15] 李炳燮, 马张宝, 齐清文, 等. Landsat TM 遥感影像中厚云和阴影去除 [J]. *遥感学报*, 2010, **14**(3): 534–545.
- [16] 金字, 高吉喜, 周可新, 等. 围垦及米草入侵下江苏中部滨海湿地土地利用/覆被类型动态变化 [J]. *地理研究*, 2017, **36**(8): 1478–1488.
- [17] 王亚琴, 王正兴, 刁慧娟. 多源遥感数据在土地覆盖变化监测中的应用 [J]. *地理研究*, 2014, **33**(6): 1085–1096.
- [18] 张建平, 朱教君, 闫巧玲, 等. 基于决策树的科尔沁沙地土地利用/覆盖变化监测 [J]. *生态学杂志*, 2009, **28**(9): 1730–1736.
- [19] 曹军, 吴绍洪, 杨勤业. 科尔沁沙地的土地利用与沙漠化 [J]. *中国沙漠*, 2004, **24**(5): 32–36.
- [20] Bagan H, Takeuchi W, Kinoshita T, et al. Land cover classification and change analysis in the Horqin Sandy Land from 1975 to 2007 [J]. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 2010, **3**(2): 168–177.
- [21] Qian T, Bagan H. Spatial-temporal analyses of surface coal mining dominated land degradation in Holingol, Inner Mongolia [J]. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 2014, **7**(5): 1675–1687.
- [22] Li Z L, Bagan H, Yamagata Y. Analysis of spatiotemporal land cover changes in Inner Mongolia using self-organizing map neural network and grid cells method [J]. *Science of the Total Environment*, 2018, **636**: 1180–1191.
- [23] Du Y, Bagan H, Takeuchi W. Land-Use/land-cover change and drivers of land degradation in the Horqin Sandy Land, China [C]. Yokohama: IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium, 2019.
- [24] Liu J, Liu M, Tian H, et al. Spatial and temporal patterns of China's cropland during 1990–2000: An analysis based on Landsat TM data [J]. *Remote sensing of Environment*, 2005, **98**(4): 442–456.
- [25] Gong P, Wang J, Yu L, et al. Finer resolution observation and monitoring of global land cover: first mapping results with Landsat TM and ETM+ data [J]. *International Journal of Re-*

- mote Sensing*, 2013, **34**(7): 2607–2654.
- [26] Jain A K, Duin R P W, Mao J. Statistical pattern recognition: a review [J]. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 2000, **22**(1): 4–37.
- [27] 闫妍, 朱教君, 闫巧玲, 等. 基于遥感和 GIS 方法的科尔沁沙地边界划定 [J]. *地理科学*, 2014, **34**(1): 122–128.
- [28] 杜会石, 哈斯额尔敦, 王宗明. 科尔沁沙地范围确定及风沙地貌特征研究 [J]. *北京师范大学学报(自然科学版)*, 2017, **53**(1): 33–37.
- [29] 朱震达, 吴正, 刘恕, 等. *中国沙漠概论* [M]. 北京: 科学出版社, 1980.
- [30] 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.
- [31] 徐岚, 赵羿. 利用马尔柯夫过程预测东陵区土地利用格局的变化 [J]. *应用生态学报*, 1993, **4**(3): 272–277.
- [32] 杜会石, 哈斯额尔敦, 李爽, 等. 科尔沁沙地风沙与湖泊景观演变及影响因素分析 [J]. *地理科学*, 2018, **38**(12): 2109–2117.
- [33] 代海燕, 李丹, 娜日苏, 等. 内蒙古干湿环境演变与地区生态建设优势气候背景分析 [J]. *干旱区地理*, 2019, **42**(4): 745–752.
- [34] 杨理, 侯向阳. 完善北方草原家庭承包制与天然草地可持续管理 [J]. *科技导报*, 2007, **25**(9): 29–32.
- [35] 赵珍珍. 基于多源数据的科尔沁沙地生态环境变化研究 [D]. 武汉: 武汉大学, 2017.
- [36] 周书贵, 邵全琴, 曹巍. 近 20 年黄土高原土地利用/覆被变化特征分析 [J]. *地球信息科学学报*, 2016, **18**(2): 190–199.
- [37] Li S, Yan C, Wang T, et al. Monitoring grassland reclamation in the Mu Us Desert using remote sensing from 2010 to 2015 [J]. *Environmental Earth Sciences*, 2019, **78**(10): 1–9.
- [38] 朱儒顺, 史俊宏. 草原牧区生态移民可持续发展问题研究——以内蒙古乌拉特中旗为例 [J]. *干旱区资源与环境*, 2007, **21**(3): 28–31.