

# 浑善达克沙地多伦县流动沙地飞播成效调查

闫德仁<sup>1</sup>, 黄海广<sup>2</sup>, 闫婷<sup>1</sup>, 胡小龙<sup>2</sup> (1. 内蒙古自治区林业科学研究院/沙地生物资源保护与培育国家林业局重点实验室, 内蒙古呼和浩特 010010; 2. 内蒙古多伦浑善达克沙地生态系统国家定位观测研究站, 内蒙古锡林郭勒 027300)

**摘要** 长期连续定位调查结果对客观评价飞播固沙成效的动态变化具有重要意义。采用典型样地定位调查方法, 连续测定了2004—2018年浑善达克沙地多伦县流动沙地飞播区植物生长的动态变化。结果表明, 随着飞播后植物生长年限的增加, 播区植物生长经历了一个缓慢并波动的过程, 植物密度和植物种类均呈现多项式模型, 植被盖度和生物量均为指数模型。典型样方内植物群落结构特征发生明显变化, 植物种类从8种逐渐增加到19种, 多年生乡土植物种从无到有, 并逐渐增加到6种, 植被平均盖度从21.65%增加到60.00%, 生物量从22.30 g/m<sup>2</sup>增加到56.70 g/m<sup>2</sup>。植被盖度、生物量、植物种类和年度降雨具有显著相关性, 而植物种密度和年降雨的相关性较差。飞播固沙后植物生长经历了一个缓慢并波动的过程, 植被盖度、多年生乡土植物逐渐增加, 群落结构逐渐发生实质性变化。

**关键词** 浑善达克沙地; 飞播固沙; 成效调查

中图分类号 X173 文献标识码 A

文章编号 0517-6611(2023)09-0046-03

doi:10.3969/j.issn.0517-6611.2023.09.012



开放科学(资源服务)标识码(OSID):

## The Effectiveness Survey of Aerial Seeding for Mobile Sandy Land in Duolun County Otindag Desert Land Survey

YAN De-ren<sup>1</sup>, HUANG Hai-guang<sup>2</sup>, YAN Ting<sup>1</sup> et al (1. Inner Mongolia Academy of Forestry Sciences/Key Laboratory of Conservation and Cultivation of Desert Biological Resources of State Forestry Administration, Hohhot, Inner Mongolia 010010; 2. Inner Mongolia Duolun Otindag Desert Ecosystem Station, Xilinguole, Inner Mongolia 027300)

**Abstract** The results of long-term continuous positioning surveys have great significance for the objective evaluation of the dynamic changes in the effectiveness of aerial seeding sand fixation. A typical sample plot location survey method was used to be continuously measured the dynamic changes of plant growth in the mobile sandy aerial seeding area of Duolun County, Otindag Desert Land from 2004 to 2018. The results showed that plant growth experienced a slow and fluctuating process with the increase of plant growth years after aerial seeding. At the same time, the plant density and plant species were both the expressed the polynomial model, but the vegetation coverage and biomass were both the exponential models. Significant changes of plant community structure characteristics was led in typical plots, which the plant species gradually increased from 8 to 19 kinds, perennial native plant species was started from nothing to gradually increased to 6 species, the average vegetation coverage increased from 21.65% to 60.00%, and the biomass increased from 22.30 g/m<sup>2</sup> to 56.70 g/m<sup>2</sup>. The correlations of the vegetation coverage, biomass, plant species and annual rainfall were significant, but the correlation between plant species density and annual rainfall was poor. The plant growth experienced a slow and fluctuating process after the aerial seeding and sand fixation, which the vegetation coverage and perennial native plants gradually increased, at the same time the community structure gradually changed substantially.

**Key words** Otindag Desert Land; Aerial seeding and sand fixation; Effectiveness survey

飞播固沙是我国防沙治沙三大植物治沙技术之一, 具有治沙面积大, 投入少, 见效快的特点。从20世纪60年代初, 内蒙古首次在库布齐沙漠中、西部进行飞机播种种草, 但由于经验不足及技术原因, 飞播未获得成功。1978年以后, 在广大科技人员的共同努力下, 飞播固沙技术逐渐改进和完善, 飞播成效达到部颁优良标准, 并在适宜飞播的沙地类型和播种量、播期的确定、主要植物种的选择及植物种的配置取得突破性进展。例如, 毛乌素沙地、库布齐沙漠飞播后, 由于植被的逐渐恢复, 地表风沙活动减弱, 地表粗度增大, 流动沙地形态也逐渐变为半固定或固定状态, 土壤的性能得到改善, 有机质的含量增加<sup>[1]</sup>。闫德仁等<sup>[2]</sup>研究表明, 随着飞播后植物时间的增加, 植被盖度、植物密度和物种数也在增加。李新荣等<sup>[3]</sup>研究认为, 随着飞播后植被的逐渐恢复, 植物群落结构由简单到复杂, 植物种也发生明显变化。在浑善达克沙地, 随着京津风沙源工程的启动, 2000年以后也逐渐开展飞播固沙实践<sup>[4-6]</sup>。何建龙等<sup>[7]</sup>论述了植被恢复技术在多伦

县沙漠化防治中的应用效果。金旻等<sup>[8]</sup>总结了浑善达克沙地综合治理模式, 并进行了效益评价分析。哈斯宝力道等<sup>[9]</sup>调查研究了浑善达克沙地如何提高飞播治沙造林成效的关键技术。慕宗杰等<sup>[10]</sup>认为, 飞播后植物群落物种随着恢复年度增加而增加, 但飞播9年后, 植物种数量达到最高。周景陶等<sup>[11]</sup>认为, 影响浑善达克沙地飞播植被的主要因子是土壤水分, 而飞播8年后沙蒿群落趋于稳定。然而, 这些研究都是在空间替代时间的调查样地取得的分析结果。为了克服以往飞播调查样空间替代时间影响调查数据结果的不足, 该研究在相同飞播地, 通过每年(2004—2018年)定期进行典型样地植物特征的调查, 分析了多伦县一号沙带飞播区的成效, 并进一步探讨了飞播区植被特征变化和年平均降雨的关系, 对客观评价飞播成效的动态变化具有指导意义。

### 1 研究地概况

研究地位于内蒙古多伦浑善达克沙地生态系统国家定位观测研究站, 即浑善达克沙地南缘多伦县南沙梁国营林场(一号沙带)。地理坐标 116°29'E, 42°08'N, 海拔 1 277 m。年平均气温 1.6 °C, 年极端最高气温 35.4 °C, 年极端最低气温 -39.8 °C; ≥10 °C 的有效积温 1 970 °C, 无霜期 95 d。年降水量 386.2 mm, 年平均相对湿度 62%; 年蒸发量 1 761.0 mm。年平均风速 3.6 m/s, 年大风日数 69.8 d, 年日

**基金项目** 内蒙古自治区关键技术攻关项目(2021GG0031); 多伦生态站运行补助项目。

**作者简介** 闫德仁(1962—), 男, 内蒙古通辽人, 研究员, 博士, 从事沙漠治理研究。

**收稿日期** 2022-06-24

照时数 3 142.7 h。研究地带性植物种主要有羊草 (*L. chinensis*)、糙隐子草 (*C. squarrosa*)、冰草 (*A. cristatum*)、百里香 (*T. mongolicus*) 等,研究地土壤为流动风沙土,地下水埋深 5~6 m。

飞播前的研究地为流动沙地,飞播时间为 2001 年 6 月,飞播的植物种主要为杨柴 (*H. mongolicum*)、油蒿 (*A. ordosica*),飞播前在部分流动沙丘设置了 4 m×4 m 的黄柳 (*S. gordejvii*) 沙障。

## 2 研究方法

在研究地的大骆驼场、大宝生态园飞播区选择固定的典型地块,在 2004—2018 年,每年 7—8 月分别在选择的固定地块,进行植被生长状况调查,每个地块的调查样方 3 次重复,灌木样方面积 5 m×5 m,草本植物样方面积 1 m×1 m,植物调查内容主要有植被总盖度、植物种、植物株数、植物高度等。

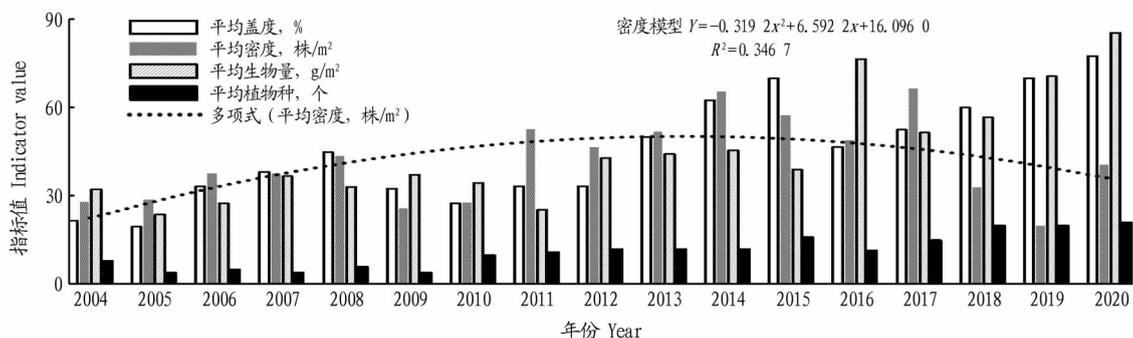


图 1 调查样方植被特征指标的变化

Fig. 1 Changes of vegetation characteristic indicators in the sample plot

平均植被盖度为指数模型:  $Y_g = 22.362e^{0.0705x}$ ,  $R^2 = 0.7455$

平均生物量为指数模型:  $Y_s = 23.592e^{0.0638x}$ ,  $R^2 = 0.7431$

植物种类为多项式模型:  $Y_z = 0.0493x^2 + 0.1522x + 4.7206$ ,  $R^2 = 0.8784$

如果从飞播后不同年度段进行分析,可以看出飞播后第 3 年(2004 年调查样方),播区平均植被盖度、平均生物量和植物种分别为 21.65%、22.30 g/m<sup>2</sup> 和 8 种。到 2007 年(飞播后第 6 年)播区平均植被盖度、平均生物量和植物种分别为 38.25%、36.73 g/m<sup>2</sup> 和 4 种。2010 年(飞播后第 9 年),播区平均植被盖度、平均生物量和植物种分别为 27.50%、34.50 g/m<sup>2</sup> 和 10 种。2014 年(飞播后第 13 年),播区平均植被盖度、平均生物量和植物种分别为 62.50%、45.48 g/m<sup>2</sup> 和 12 种。2018 年(飞播后第 17 年),播区平均植被盖度、平均生物量和植物种分别为 60.00%、56.70 g/m<sup>2</sup> 和 19 种。该变化规律说明飞播后植物生长经历了一个缓慢并波动的变化过程,而到了飞播后 13 年左右的时间段,飞播区植物生长状况则发生实质性变化,即植被平均盖度、生物量和植物种都明显增加,并进一步向着良好植被结构特征的方向演变,特别是调查样方中多年生乡土草本植物种的出现(2010 年样方),以及以后调查样方中出现更多多年生乡土草本植物种的变化特征(表 1),进一步说明了飞播区植被结构和植物组成向着正演替方向逐渐发展的过程。

每个调查样方内植物的平均值作为分析数据。采用 Excel 2016 版进行数据分析和绘图。

## 3 结果与分析

### 3.1 飞播区植被恢复动态变化

连续调查飞播区植物生长发育过程更能够客观评价飞播固沙的效果。从图 1 可以看出,随着飞播后植物生长时间的增加(2004—2018 年),植物密度(株/m<sup>2</sup>)呈现出多项式变化特征(变化模型  $Y = -0.3192x^2 + 6.5922x + 16.0960$ ,  $R^2 = 0.3467$ ),其每年的变化值并不是随着飞播后植物生长时间的增加而增加,和年降雨量也无明显的相关性( $r = 0.2027$ )。其原因是植物个体发育良好而抑制了个体数量的增加,导致了植物种密度降低。

此外,由图 1 可知,随着飞播后植物生长年限的增加,播区植被盖度、生物量、植物种等反映植物群落基本特征指标逐渐向好的趋势发展,其变化模型如下:

### 3.2 飞播区典型样方植被变化特征

根据年度调查样地植物生长特征的差异,进一步分析了 4 个年度典型样地内植物的变化特征(表 1),由表 1 可知,随着飞播年限的增加,样地内植物种及其群落组成结构状况逐渐向着良性的方向发展。

由表 1 可知,2004 年典型调查样地植被平均盖度 21.65%,平均密度 20.92 株/m<sup>2</sup>,平均生物量 22.30 g/m<sup>2</sup>,平均高度 31.88 cm,每平方米样地内有植物 8 种,调查样方中主要植物种平均高度、平均密度分别为差巴嘎蒿 (*A. halodendron*) 72.10 cm、1.24 株/m<sup>2</sup>,无芒雀麦 (*B. inermis*) 17.00 cm、1.12 株/m<sup>2</sup>,沙米 (*A. squarrosus*) 0.50 cm、4.64 株/m<sup>2</sup>,虫实 (*C. hyssofolium*) 3.50 cm、4.80 株/m<sup>2</sup>,杨柴 57.00 cm、1.40 株/m<sup>2</sup>,黄柳 98.00 cm、1.44 株/m<sup>2</sup>,狗尾草 (*S. viridis*) 3.00 cm、3.64 株/m<sup>2</sup>,雾冰藜 (*B. dasyphylla*) 3.00 cm、2.64 株/m<sup>2</sup>。

2010 年典型样地,植被平均盖度 27.50%,平均密度 27.90 株/m<sup>2</sup>,平均生物量 34.50 g/m<sup>2</sup>,平均高度 41.00 cm,每平方米样地内有植物 10 种,除常见的杨柴、黄柳、雾冰藜、地梢瓜 (*C. thesioides*) 以外,典型流动沙地植物沙米消失,而新出现了多年生乡土草本植物冰草、糙隐子草等,而在 2009 年以前的样地则没有发现多年生乡土草本植物,说明在多伦县流动沙地飞播 10 年左右,播区植被发生了实质性变化。此外,在调查样方中主要植物种平均高度、平均密度分别为杨

柴 123.00 cm、3.20 株/m<sup>2</sup>，黄柳 140.00 cm、2.30 株/m<sup>2</sup>，冰草 12.50 cm、1.00 株/m<sup>2</sup>，糙隐子草 11.00 cm、1.00 株/m<sup>2</sup>，叉分

蓼(*P. divaricatum*) 31.00 cm、1.00 株/m<sup>2</sup>，小叶锦鸡儿(*C. microphylla*) 37.00 cm、1.00 株/m<sup>2</sup>。

表 1 典型样方内植物生长状况

Table 1 The plant growth status in the typical plot

调查年度 Survey year	调查样地植物名称 Investigate the plants in the sample plot	盖度 Cover degree %	密度 Density 株/m <sup>2</sup>	生物量 Biomass g/m <sup>2</sup>	高度 Height cm	植物种 Plant species 种/m <sup>2</sup>
2004年	杨柴、黄柳、差巴嘎蒿、无芒雀麦、狗尾草、沙米、虫实、雾冰藜	21.65	20.92	22.30	31.88	8
2010年	杨柴、黄柳、雾冰藜、地梢瓜、冰草、糙隐子草、尖头叶藜、虫实、小叶锦鸡儿、叉分蓼	27.50	27.90	34.50	41.00	10
2014年	杨柴、黄柳、虫实、雾冰藜、糙隐子草、黄花蒿、地梢瓜、狗尾草、扁蓿豆、播娘蒿、猪毛蒿、细叶苦苣菜	62.50	137.00	45.48	47.00	12
2018年	杨柴、黄柳、狗尾草、地梢瓜、虫实、细叶苦苣菜、褐沙蒿、雾冰藜、灰绿藜、阿拉泰狗娃花、糙隐子草、老芒麦、直立黄耆、草木樨、冰草、早熟禾、叉分蓼、黄花蒿、唐松草	60.00	48.70	56.70	29.53	19

2014年典型样地，植被平均盖度 62.50%，平均密度 137.00 株/m<sup>2</sup>，平均生物量 45.48 g/m<sup>2</sup>，平均高度 47.00 cm。每平方米样地内有植物 12 种，除常见的杨柴、黄柳、雾冰藜、地梢瓜、狗尾草以外，沙米消失，并出现了糙隐子草、扁蓿豆(*M. ruthenicus*) 2 种多年生乡土草本植物，但和 2010 年样地不同的是，没有发现冰草，原因可能和选择年度调查样地的位置无法进行年度样地复位有关。调查样方中主要植物种平均高度、平均密度分别为杨柴 77.80 cm、7.80 株/m<sup>2</sup>，黄柳 130.00 cm、2.50 株/m<sup>2</sup>，糙隐子草 36.50 cm、13.00 株/m<sup>2</sup>，扁蓿豆 11.00 cm、4.00 株/m<sup>2</sup>，虫实 23.50 cm、50.00 株/m<sup>2</sup>，雾冰藜 23.00 cm、18.50 株/m<sup>2</sup>，狗尾草 50.50 cm、35.00 株/m<sup>2</sup>。

2018年典型样地，植被平均盖度 60.00%，平均密度 48.70 株/m<sup>2</sup>，平均生物量 56.70 g/m<sup>2</sup>，平均高度 29.53 cm。每平方米样地内有杨柴、黄柳、狗尾草、地梢瓜、虫实、细叶苦苣菜(*I. gracilis*)、褐沙蒿(*A. halodendron*)、雾冰藜、灰绿藜(*C. glaucum*)、阿拉泰狗娃花(*H. altaicus*)、糙隐子草、直立黄耆(*A. adsurgens*)、草木樨(*M. officinalis*)、冰草、老芒麦(*E. sibiricus*)、早熟禾(*P. annua*)、叉分蓼、黄花蒿(*A. annua*)、唐松草(*T. aquilegifolium* var. *sibiricum*) 19 种植物，且多年生乡土草本植物主要有糙隐子草、直立黄耆、草木樨、冰草、老芒麦、早熟禾 6 种。调查样方中主要植物种平均高度、平均密度分别为杨柴 40.40 cm、7.30 株/m<sup>2</sup>，黄柳 150.00 cm、1.50 株/m<sup>2</sup>，褐沙蒿 20.50 cm、6.80 株/m<sup>2</sup>，直立黄耆 22.00 cm、1.00 株/m<sup>2</sup>，草木樨 20.50 cm、4.00 株/m<sup>2</sup>，冰草 67.00 cm、1.00 株/m<sup>2</sup>，老芒麦 130.00 cm、1.00 株/m<sup>2</sup>，早熟禾 70.00 cm、1.00 株/m<sup>2</sup>，糙隐子草 34.00 cm、2.00 株/m<sup>2</sup>，虫实 23.50 cm、5.80 株/m<sup>2</sup>，狗尾草 59.00 cm、9.50 株/m<sup>2</sup>。

综上所述，随着飞播后植物生长时间的增加，植物生长经历了一个缓慢并波动的变化过程，同时典型样方内植物群落结构特征发生明显变化，植物种类从 2004 年的 8 种逐渐增加到 2018 年的 19 种，提高了 1.375 倍，多年生乡土植物种从无到有，并逐渐增加到 6 种，植被平均盖度从 2004 年的 21.65% 增加到 2018 年的 60.00%，提高了 1.771 倍，生物量从 2004 年的 22.30 g/m<sup>2</sup> 增加到 2018 年的 56.70 g/m<sup>2</sup>，提高了 1.543 倍。

**3.3 降雨对飞播区植被生长的影响** 飞播固沙成功后，年降雨量及季节降雨量直接影响着飞播区植物的生长状况。为此，该研究统计了 2004—2020 年，年降雨量和飞播区调查样方植被平均盖度、生物量、植物种类和样方内植物密度的相关性。结果表明，年降雨量和植被平均盖度显著相关( $r_{0.05}=0.574$ )，相关系数为 0.658 7，年降雨量和生物量、植物种类达极显著相关( $r_{0.01}=0.677$ )，相关系数分别为 0.743 7 和 0.861 8，年降雨量和植物密度的相关系数仅为 0.202 7。说明年度降雨对调查样方内植物种密度影响较小，其原因可能是样方内植被盖度、生物量、植物种类增加后，由于植物个体发育良好而抑制了个体数量的增加，导致了植物种密度降低。

#### 4 结论

(1) 随着飞播后植物生长年限的增加，播区植被盖度、生物量、植物种等指标逐渐向好的趋势发展，且播区植物生长经历了一个缓慢并波动的过程，典型样方内植物群落结构特征发生明显变化，2004 至 2018 年，植物种类从 8 种逐渐增加到 19 种，提高了 1.375 倍；多年生乡土植物种从无到有，并逐渐增加到 6 种；植被平均盖度从 21.65% 增加到 60.00%，提高了 1.771 倍；生物量从 22.30 g/m<sup>2</sup> 增加到 56.70 g/m<sup>2</sup>，提高了 1.543 倍。

(2) 年降雨量直接影响着飞播区植物的生长状况，且年降雨量和植被盖度、生物量、植物种类具有显著相关性，而和样方内植物种密度相关性较差。

#### 参考文献

- [1] 闫德仁,郭中,胡小龙,等.沙漠沙地治理技术与原理[M].呼和浩特:内蒙古大学出版社,2019:160-170.
- [2] 赵春光,闫德仁,薛英英.飞播固沙林植物群落特征及土壤理化性质的变化[J].内蒙古林业科技,2007,33(4):4-6.
- [3] 李新荣,赵雨兴,杨志忠,等.毛乌素沙地飞播植被与生境演变的研究[J].植物生态学报,1999,23(2):116-124.
- [4] 包海林,秦富仓,王树森,等.多效复合剂在浑善达克沙地飞播造林中应用研究[J].内蒙古农业大学学报(自然科学版),2008,29(4):87-91.
- [5] 张永宏.浑善达克沙地飞播治沙造林技术[J].内蒙古林业,2004(2):29.
- [6] 罗庆军.浅谈内蒙古多伦县浑善达克沙地飞播造林技术[D].呼和浩特:内蒙古大学,2003.

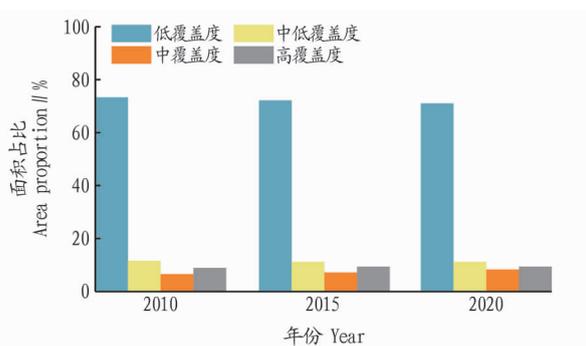


图 4 不同植被覆盖度在不同研究时段的面积占比

Fig. 4 Area proportion of different vegetation coverage in different study periods

### 3 结论

该研究采用喀什地区 2010、2015 和 2020 年 Landsat-TM 影像数据,结合 GIS 技术及植被覆盖度指数计算方法,分析 2010—2020 年喀什地区土地利用变化与植被覆盖度变化特征。结果表明,2010—2020 年喀什地区土地利用格局主要表现为耕地和林地面积的持续增加以及草地和未利用地面积的不断减少;分析土地类型之间的相互转化发现,区域内土地转化以耕地、林地和草地的变化尤为突出,草地面积明显减少的主要原因是向林地、耕地和未利用地发生转化,林地面积的增加主要源于未利用地、耕地和草地的转化;2010—2020 年喀什地区植被覆盖度总体变化幅度较小且主要以中低覆盖度为主。由此可见,近年来喀什地区生态环境状况有所下降。

### 参考文献

- [1] 吴建国,吕佳佳. 土地利用变化对生物多样性的影响[J]. 生态环境, 2008, 17(3): 1276-1281.
- [2] 丘君,陈利顶,傅伯杰. 土地利用/覆被变化对生物多样性的影响[C]//中国地理学会自然地理专业委员会. 土地覆被变化及其环境效应学术研讨会论文集. 北京:星球地图出版社,2002:55-63.
- [3] 曹建廷,李原园. 虚拟水及其对解决我国水资源短缺问题的启示[J]. 科技导报,2004(3):15-16,14.
- [4] 马世骏,王如松. 社会-经济-自然复合生态系统[J]. 生态学报,1984,4(1):1-9.
- [5] 钟海燕. 鄱阳湖区土地利用变化及其生态环境效应研究[D]. 南京:南京农业大学,2011.
- [6] TURNER B L II, SKOLE D, SANDERSON S, et al. Land-use and land-cover change: Science/research planning[J]. Global change report (Sweden), 1995, 43: 669-679.

- [7] 董建红,张志斌,笕晓军,等. “三生”空间视角下土地利用转型的生态环境效应及驱动力:以甘肃省为例[J]. 生态学报,2021, 41(15): 5919-5928.
- [8] 王少华. 郑州沿黄旅游区土地利用变化及其生态环境效应评价研究[D]. 开封:河南大学,2016.
- [9] 伏洋,肖建设,校瑞香,等. 基于 RS 和 GIS 的西宁市 LUCC 分析及模拟预测[J]. 农业工程学报,2009, 25(7): 211-218.
- [10] 高志强,刘纪远,庄大方. 基于遥感和 GIS 的中国土地利用/土地覆盖的现状研究[J]. 遥感学报,1999, 3(2): 134-138.
- [11] 何春阳,陈晋,陈云浩,等. 土地利用/覆盖变化混合动态监测方法研究[J]. 自然资源学报,2001, 16(3): 255-262.
- [12] 史培军,宫鹏,李晓兵,等. 土地利用/覆盖变化研究的方法与实践[M]. 北京:科学出版社,2000.
- [13] 李秀彬. 全球环境变化研究的核心领域:土地利用/土地覆被变化的国际研究动向[J]. 地理学报,1996, 51(6): 553-558.
- [14] 刘盛和,吴传钧,沈洪泉. 基于 GIS 的北京城市土地利用扩展模式[J]. 地理学报,2000, 55(4): 407-416.
- [15] 贺秋华. 江苏滨海土地利用/覆盖变化及其生态环境效应研究[D]. 南京:南京师范大学,2011.
- [16] 高彦春,王长耀. 水文循环的生物圈方面(BAHC 计划)研究进展[J]. 地理科学进展,2000, 19(2): 97-103.
- [17] 王晓利. 中国沿海极端气候变化及其对 NDVI 的影响特征研究[D]. 烟台:中国科学院烟台海岸带研究所,2017.
- [18] 石培基,周堂,张宁. 绿洲土地利用的景观生态学分析:以武威市古浪县绿洲为例[J]. 干旱区资源与环境,2011, 25(8): 53-58.
- [19] 杜宏茹. 生态城市建设进程中土地利用变化趋势[J]. 国土与自然资源研究,2004(1): 9-10.
- [20] 陈琼,张镜铨,刘峰贵,等. 黄河流域河源区土地利用变化及其影响研究综述[J]. 资源科学,2020, 42(3): 446-459.
- [21] 孔冬冬,张强,黄文琳,等. 1982—2013 年青藏高原植被物候变化及气象因素影响[J]. 地理学报,2017, 72(1): 39-52.
- [22] 李娅丽,汪小钦,陈芸芝,等. 福建省地表温度与植被覆盖度的相关性分析[J]. 地球信息科学学报,2019, 21(3): 445-454.
- [23] 阿布都克日木·阿巴司,秦榕,伊力达尔江·吐生,等. 喀什地区 1961—2010 年气候变化特征[J]. 沙漠与绿洲气象,2012, 6(6): 34-40.
- [24] 热汗古丽·吾买尔,满苏尔·沙比提,陆吐布拉·依明. 喀什地区近 10 年地下水资源时空动态变化分析[J]. 干旱区资源与环境,2011, 25(7): 63-68.
- [25] 王文杰,张永福. 基于 GIS 的新疆喀什地区耕地变化及驱动力研究[J]. 湖北农业科学,2016, 55(17): 4560-4564.
- [26] TAN K L, WANG X F, GAO H J. Analysis of ecological effects of comprehensive treatment in the Tarim River Basin using remote sensing data[J]. Mining science and technology (China), 2011, 21(4): 519-524.
- [27] 徐长春,陈亚宁,李卫红,等. 塔里木河流域近 50 年气候变化及其水文过程响应[J]. 科学通报,2006, 51(S1): 21-30.
- [28] 李孟倩,苏世宗. 基于 Landsat8-OLI 遥感影像水稻种植区提取方法研究[J]. 华北理工大学学报(自然科学版), 2019, 41(3): 26-33, 59.
- [29] 靳士科. 遥感技术在核域陆域生态环境状况评价中的应用研究[J]. 环境科学与管理,2020, 45(12): 163-166.
- [30] 谢勇坚. 应用 Microsoft Excel 对分析数据进行处理[J]. 西南给排水, 2001, 23(4): 5-12.
- [31] 单文坡,卢海霞,郑辉. Excel 和 Origin 在环境监测数据处理中的应用[J]. 石家庄职业技术学院学报,2008, 20(2): 58-60, 67.

(上接第 48 页)

- [7] 何建龙,俞海生,张武文. 植被恢复技术在多伦县沙漠化防治中的应用效果分析[J]. 内蒙古林业调查设计,2007, 30(3): 32-35.
- [8] 金旻,贾志清,卢琦. 浑善达克沙地防沙治沙综合治理模式及效益评价:以多伦县为例[J]. 林业科学研究,2006, 19(3): 321-325.

- [9] 哈斯宝力道,吕伟,李亚英,等. 提高浑善达克沙地飞播治沙造林成效的初步研究[J]. 内蒙古林业科技,2006, 32(2): 7-10.
- [10] 慕宗杰,刘果厚,桂荣,等. 飞播年限对浑善达克沙地植物群落特征的影响[J]. 中国草地学报,2020, 42(2): 58-66.
- [11] 周景陶,高娃,史万林. 浑善达克沙地南缘飞播固沙植物群落特性的研究[J]. 内蒙古林业调查设计,2008, 31(1): 24-26, 28.