

doi: 10.19388/j.zgdzdc.2021.06.03

引用格式: 刘建宇, 聂洪峰, 肖春蕾, 等. 2010—2018年中国北方沙质荒漠化变化分析[J]. 中国地质调查, 2021, 8(6): 25—34. (Liu J Y, Nie H F, Xiao C L, et al. Evolution of sandy desertification in North China from 2010 to 2018[J]. Geological Survey of China, 2021, 8(6): 25—34.)

2010—2018年中国北方沙质荒漠化变化分析

刘建宇^{1,2}, 聂洪峰^{1,2}, 肖春蕾^{1,2}, 尚博譞^{1,2}, 李伟^{1,2}, 冀欣阳¹

(1. 中国自然资源航空物探遥感中心, 北京 100083; 2. 中国地质调查局国土空间生态保护修复中心, 北京 100083)

摘要: 荒漠化目前已成为威胁全球生态环境的主要问题。我国北方地区风蚀作用强烈, 是土地沙质荒漠化问题最为突出的地区。以沙漠、沙地分布较广的北方6省(区)为研究区, 利用遥感技术获取2010—2018年研究区沙质荒漠化演化特征, 并将气象、地质等因素进行综合分析, 探讨毛乌素沙地、科尔沁沙地沙质荒漠化变化原因。遥感解译结果表明: 2018年北方地区沙质荒漠化土地共35.08万km², 其中重度沙质荒漠化面积11.92万km², 中度沙质荒漠化13.54万km², 轻度沙质荒漠化9.62万km², 主要分布于内蒙古自治区和新疆维吾尔自治区; 2010—2018年, 北方地区沙质荒漠化土地面积减少0.73万km², 其中, 新疆维吾尔自治区沙质荒漠化面积减少0.48万km², 内蒙古自治区减少0.19万km², 同时有2.78万km²沙质荒漠化土地程度减轻。以毛乌素沙地和科尔沁沙地为典型研究区, 对比两沙地生态地质条件差异, 总结了沙质荒漠化好转、加重的原因。研究认为, 毛乌素沙地应降低人类活动干扰的影响, 以自然恢复为主; 科尔沁沙地应加强地下水资源管理, 优化植被结构, 进一步推进退耕还林、退耕还草工作。研究成果为我国北方沙质荒漠化地区生态保护修复提供了科学参考。

关键词: 中国北方; 沙质荒漠化; 转移矩阵; 毛乌素沙地; 科尔沁沙地; 生态地质调查

中图分类号: X144; TP79; X171.4; X87 **文献标志码:** A **文章编号:** 2095-8706(2021)06-0025-10

0 引言

“荒漠化是指在包括气候变化和人类活动在内的各种因素作用下, 干旱、半干旱和亚湿润干旱区的土地退化”^[1]。按主导营力可以分为风蚀荒漠化、水蚀荒漠化、土壤盐渍化, 其中风蚀荒漠化即沙质荒漠化, 又被称为沙漠化^[2-3]。中国干旱、半干旱地区自然环境相对脆弱, 风沙危害较为严重, 沙质荒漠化已然成为该区域主要的土地退化形式。沙漠化对生态环境、人类生存、社会经济可持续发展等诸多方面造成了巨大危害^[4]。

我国学者利用遥感影像探测范围广、时间序列长、受地面条件限制小的特点, 针对我国北方沙质

荒漠化较严重的地区开展了大量监测调查工作, 并结合气候条件、人类活动和社会发展分析研究其变化规律^[5-12]。近些年, 部分学者逐渐认识到地质背景, 如沉积序列、构造演化等, 对沙质荒漠化发育的控制作用, 并在北方地区的典型盆地开展了相关研究^[13-14]。但目前, 综合考虑气象、地质等多种因素分析沙质荒漠化演变过程, 进而服务国土空间保护修复的研究相对较少。

本文利用Landsat系列影像数据通过目视解译获取我国北方地区2010年、2018年沙质荒漠化分布状况, 分析总结2010—2018年沙质荒漠化演变规律, 借鉴生态地质学思想, 从地质背景、气候条件、土壤理化性质等方面综合分析典型地区沙质荒漠化土地变化的原因, 为我国北方沙质荒漠化地区生态保护修复提供科学参考。

收稿日期: 2021-09-02; 修订日期: 2021-11-17。

基金项目: 中国地质调查局“生态地质调查工程(编号: 0703)”“全国地球关键带遥感地质调查(编号: DD20190536)”项目联合资助。

第一作者简介: 刘建宇(1988—), 男, 工程师, 主要从事遥感地质、生态地质方向的研究。Email: liujy5577@163.com。

通信作者简介: 聂洪峰(1964—), 男, 正高级工程师, 生态地质调查工程首席专家, 主要从事遥感地质、生态地质、水工环地质领域的调查研究工作。Email: nie_hongfeng@qq.com。

1 研究区概况

选择我国北方干旱—半干旱地区覆盖较广的内蒙古、新疆、青海、甘肃、陕西和宁夏6个省(区)为研究区。6省(区)空间上呈向南凸出的弧形狭长地带,东西跨度较大,南北跨度较小,面积约为 $4.2 \times 10^6 \text{ km}^2$,约占全国陆域面积的43%(图1)。

研究区跨越我国三级地貌阶梯,由西向东主要有准噶尔盆地、塔里木盆地、柴达木盆地、鄂尔多斯盆地等盆地和阿尔泰山地、天山山地、祁连山山地、昆仑山地、阿拉善高原、内蒙古高原等山地和高原。在盆地与山脉间,分布着我国的8大沙漠(古尔班通古特沙漠、塔克拉玛干沙漠、巴丹吉林沙漠、腾格里沙漠、乌兰布和沙漠、库布齐沙漠、柴达木盆地沙漠和库木塔格沙漠)和4大沙地(呼伦贝尔沙地、科尔沁沙地、浑善达克沙地和毛乌素沙地)。

地、科尔沁沙地、浑善达克沙地和毛乌素沙地)。

研究区虽然跨度大、面积广,但气候类型较为单一。研究区中北部广大地区深居内陆、远离海洋,东南沿海的暖湿气流无法到达,为温带大陆性气候^[15]。该区域常年干旱少雨,大风盛行,贺兰山以西,南至昆仑山—阿尔金山—祁连山一线以北地区为干旱区,年平均降水量仅约130 mm,蒸发强烈,年平均蒸发量为800~3 200 mm^[16]。靠近秦岭的陕西中部、甘肃南部以及内蒙古东部部分地区为温带季风气候,年均气温在-3~20℃,降水集中在夏季7—9月份,年均降雨量大于400 mm。干旱少雨的气候条件决定了研究区植被以草地为主。以内蒙古高原为主呈连续分布的温性草原构成了欧亚大陆草原的东翼,研究区广泛分布温性草原、低地草甸、山地草甸、高寒草原、高寒草甸和温性荒漠等生态类型^[17]。



图1 研究区位置

Fig. 1 Location of the study area

2 数据源及研究方法

2.1 数据源

本文以Landsat系列卫星影像为数据源,2010年、2018年沙质荒漠化解译分别利用TM影像和OLI影像完成,空间分辨率均为30 m。数据来源于中国科学院资源环境科学数据中心(<http://www.resdc.cn/>)。由于研究区不同季节植被覆盖度差异较大,因此选择植被覆盖度较高且云量较低的7—9月份的影像,影像预处理利用ENVI 5.3完成,然后在ArcGIS 10.6中选择合适的假彩色波段组合,进行线性拉

伸,以突出沙质荒漠化地区与植被覆盖区的差异。

气象数据来源于国家气象科学数据中心(<http://data.cma.cn>),利用鄂托克旗、榆林、横山、定边、盐池5个气象站以及翁牛特旗、林西、开鲁3个气象站的数据,分别分析了毛乌素沙地和科尔沁沙地西部2010—2018年的平均气温、年均降水量等变化规律。

2.2 沙质荒漠化解译

本文参考《联合国关于在发生严重干旱和/或荒漠化的国家特别是在非洲防治荒漠化的公约》中有关沙质荒漠化的分类标准,并结合前人工作成果^[3,18-19],

以植被覆盖度为主要指标,综合风积、风蚀地貌景观的遥感影像特征,将沙质荒漠化程度分为轻度、中度和重度 3 级,并建立遥感影像解译标志(表 1)。

表 1 沙质荒漠化土地分级标准及解译标志

Tab.1 Grading rule and remote sensing interpretation marks of sandy desertification land

程度	地貌类型	植被覆盖度	影像特征	解译标志
轻度	固定沙地	[30%, 50%)	呈深黄色,不规则斑块状,分布面积较大,但不连续,被绿色图斑隔开,纹理特征不明显	
中度	半固定沙地、半流动沙地	[10%, 30%)	色彩不均匀,呈深黄色、浅黄色,不规则斑块状,可见规模较小的链状影纹,沙丘规模较小,沙丘间发育植被	
重度	流动沙地	<10%	呈浅黄色、土黄色,面状分布,可见典型的链状影纹,沙丘规模较大,植被面积有限,且较稀疏	

不同程度的沙质荒漠化土地,由轻度到重度对应的地貌景观分别为固定沙地、半固定沙地或半流动沙地、流动沙地。沙质荒漠化解译主要以人机交互方式完成。首先,利用 ArcGIS 软件完成 2018 年研究区沙质荒漠化现状解译。之后以 2010 年影像为底图,对 2018 年沙质荒漠化解译数据进行修编,最终得到 2010 年沙质荒漠化现状数据及 2010—2018 年的沙质荒漠化程度变化数据。

3 结果与分析

3.1 沙质荒漠化土地现状

截至 2018 年,我国北方沙质荒漠化面积共 35.08 万 km²。其中轻度沙质荒漠化面积 9.62 万 km²,占沙质荒漠化总面积的 27.42%;中度沙质荒漠化面积 13.54 万 km²,面积占比 38.60%;重度沙质荒漠化面积 11.92 万 km²,面积占比 33.98%。

空间上,沙质荒漠化土地分布与沙漠、沙地具有密切联系。研究区中东部沙质荒漠化集中的区域由东向西分别为呼伦贝尔沙地、科尔沁沙地、浑善达克沙地、毛乌素沙地以及巴丹吉林沙漠、腾格里沙漠、腾格里沙漠与库布齐沙漠及其周边区域。西北部地区则主要围绕古尔班通沙漠与塔克拉玛干沙漠分布。西南部,青藏高原上的沙质荒漠化土地主要分布于柴达木盆地、共和盆地、青海湖盆地及阿尼玛卿山间谷地内。

北方 6 省(区)中,内蒙古与新疆的沙质荒漠化土地分布最广,面积分别为 16.00 万 km²和 11.55 万 km²,约占沙质荒漠化总面积的 79%(图 2,表 1)。其中,内蒙古沙质荒漠化程度较高,以重度(5.63 万 km²)和中度(5.53 万 km²)为主(表 2)。新疆沙质荒漠化程度同样较高,轻度沙质荒漠化面积仅 1.96 万 km²,占新疆沙质荒漠化土地总面积的 16.97%,而中度、重度沙质荒漠化面积分别为 5.46 万 km²、4.13 万 km²(表 2)。

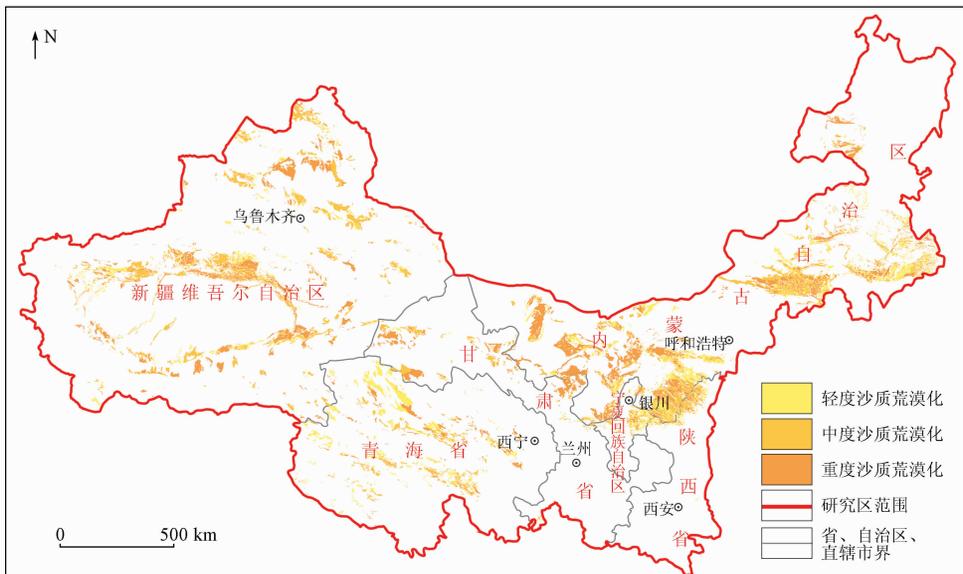


图 2 2018 年研究区沙质荒漠化土地分布
Fig.2 Distribution of sandy desertification land in 2018

表 2 2010 年和 2018 年研究区各省(区)沙质荒漠化土地面积统计

Tab.2 Land areas of different kinds of sandy desertification land in 2010 and 2018

(万 km²)

省(区)	轻度沙质荒漠化面积及变化			中度沙质荒漠化面积及变化			重度沙质荒漠化面积及变化			面积及变化合计		
	2010年	2018年	变化	2010年	2018年	变化	2010年	2018年	变化	2010年	2018年	变化
甘肃省	0.10	0.07	-0.03	0.69	0.70	0.01	1.17	1.15	-0.02	1.96	1.92	-0.04
内蒙古	4.34	4.84	0.50	5.13	5.53	0.40	6.72	5.63	-1.09	16.19	16.00	-0.19
宁夏	0.05	0.34	0.29	0.45	0.27	-0.18	0.18	0.07	-0.11	0.68	0.68	0.00
青海省	2.07	2.16	0.09	1.28	1.17	-0.11	0.75	0.76	0.01	4.10	4.09	-0.01
陕西省	0.10	0.25	0.15	0.34	0.41	0.07	0.41	0.18	-0.23	0.85	0.84	-0.01
新疆	1.89	1.96	0.07	5.53	5.46	-0.07	4.61	4.13	-0.48	12.03	11.55	-0.48
总计	8.55	9.62	1.07	13.42	13.54	0.12	13.84	11.92	-1.92	35.81	35.08	-0.73

3.2 沙质荒漠化土地变化特征

2010年,研究区内沙质荒漠化土地面积共35.81万km²,沙质荒漠化程度以重度和中度为主,其中重度沙质荒漠化13.84万km²,中度沙质荒漠

化13.42万km²,轻度沙质荒漠化8.55万km²,其空间分布特征与2018年较一致(图3)。内蒙古、新疆两自治区沙质荒漠化土地面积广、程度重,沙质荒漠化土地面积共28.22万km²,重度占比达40%。

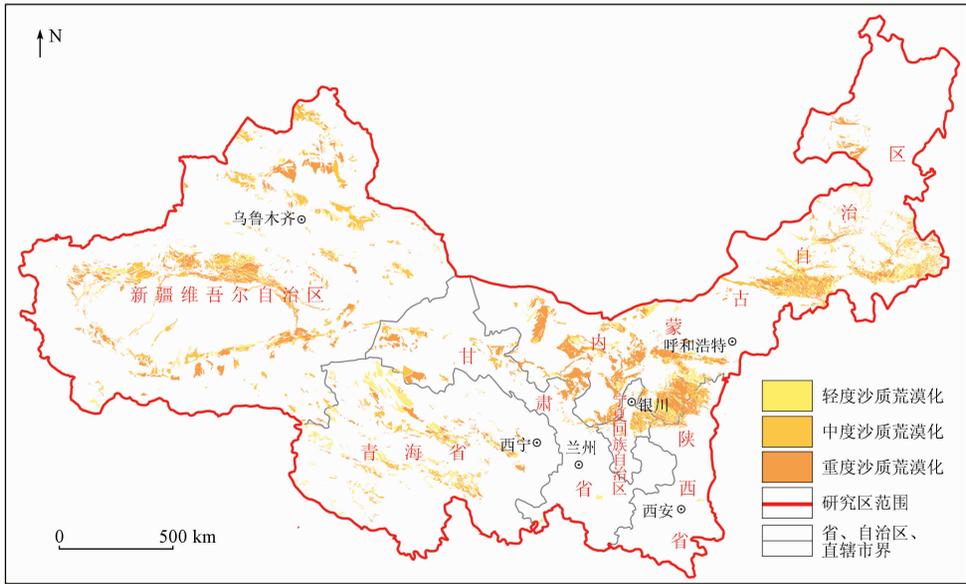


图 3 2010 年研究区沙质荒漠化土地分布

Fig.3 Distribution of sandy desertification land in 2010

2010—2018年研究区沙质荒漠化土地共减少0.73万km²,减少区域主要分布于塔里木盆地周边河流及居民点附近、准噶尔盆地北缘和南缘,浑善达克沙地南部、科尔沁沙地东部和北部、乌海湖周边,以及甘肃腾格里沙漠西南缘、毛乌素沙地东南缘、渭河平原东部,宁夏毛乌素沙地西南缘和青海省青海湖周边地区(图4)。沙质荒漠化程度减轻区域主要集中于毛乌素沙地及其北部地区、科尔沁沙地东部及北部、塔里木盆地周边、柴达木盆地南缘等地。同期,沙质荒漠化程度加剧区域主要位于科尔沁沙地西部、浑善达克沙地西南部以及青海布尔汗布达山山间谷地。同时,在浑善达克

沙地西部、科尔沁沙地西部、塔里木盆地周边局部地区还存在少量的非沙质荒漠化土地转变为沙质荒漠化土地。

2010—2018年,新疆、内蒙古两自治区沙质荒漠化土地面积减少最多,分别减少0.48万km²和0.19万km²,其余4省(区)沙质荒漠化土地总面积变化较小(表2)。从面积减少比例看,新疆减少比例最大,为3.99%,其次为甘肃省和陕西省,减少比例分别为2.04%、1.18%。内蒙古、新疆两自治区同时还是重度沙质荒漠化减少面积最多的地区,分别减少了1.09万km²和0.48万km²。6省(区)的中度沙质荒漠化土地面积变化不尽相同,宁夏、青

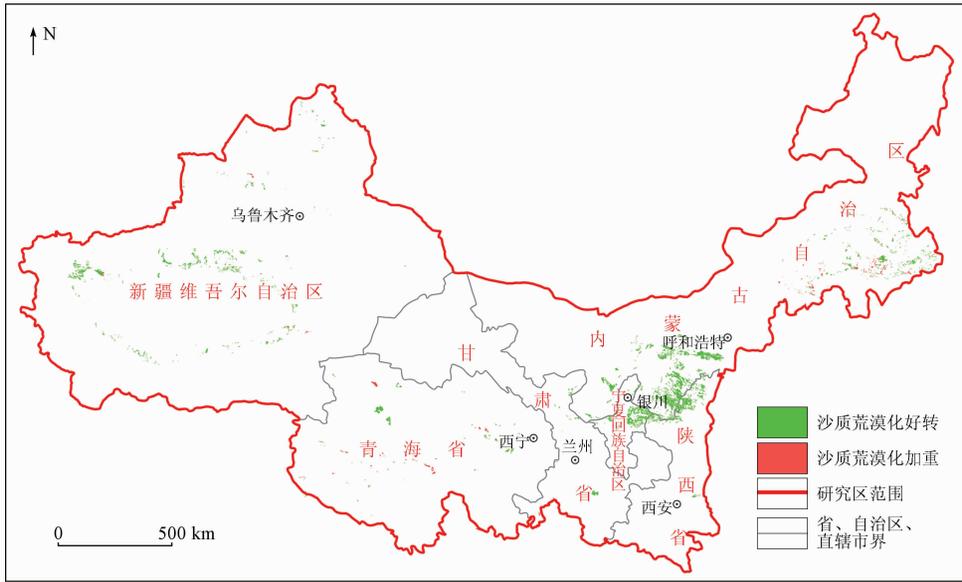


图4 2010—2018年研究区沙质荒漠化变化

Fig. 4 Changes of sandy desertification land from 2010 to 2018

海、新疆3省(区)面积有所减少,而内蒙古、陕西、甘肃3省(区)面积则小幅增加。除甘肃省外,其他5省(区)的轻度沙质荒漠化土地均呈增加的趋势,内蒙古增加面积最大,为0.50万 km^2 。从北方6省(区)的沙质荒漠化变化特征可以看出,2010—2018年,区内沙质荒漠化土地整体呈面积减少、程度减轻的趋势。

3.3 沙质荒漠化土地转移

沙质荒漠化土地的演化与发展具有一定跳跃性,即可以从非沙质荒漠化土地转化为重度沙质荒漠化土地。为分析各种程度沙质荒漠化土地间以及其与非沙质荒漠化土地间的转化关系,通常利用转移矩阵分析一定时间段内各类型土地间的转变程度和趋势^[12,20-21]。

由表3可知,2010—2018年,重度沙质荒漠化土地共转出2.07万 km^2 ,占2010年重度沙质荒漠化土地面积的14.96%,主要转化为中度沙质荒漠化土地,面积共1.16万 km^2 ,占转出面积的56.04%。中度沙质荒漠化土地明显好转,共有0.97万 km^2 中度沙质荒漠化土地转化为轻度。同时期,研究区内轻度、中度和重度沙质荒漠化土地分别有0.37万 km^2 、0.16万 km^2 和0.26万 km^2 转化为非沙质荒漠化土地。另一方面,研究区共有0.23万 km^2 的轻度沙质荒漠化土地沙质荒漠化程度加重,转变为中度(0.20万 km^2)和重度(0.04万 km^2);0.12万 km^2 中度沙质荒漠化土地转化为重度;0.06万 km^2 非

沙质荒漠化土地发生退化,形成了新的沙漠化土地。

表3 2010—2018年研究区沙质荒漠化面积转移矩阵

Tab.3 Transfer matrix among different kinds of sandy desertification land from 2010 to 2018 (万 km^2)

沙质荒漠化程度	2010年				合计	
	轻度	中度	重度	非沙漠化		
2018年	轻度	7.95	0.97	0.65	0.05	9.62
	中度	0.20	12.17	1.16	0.01	13.54
	重度	0.03	0.12	11.77	0.00	11.92
	非沙漠化	0.37	0.16	0.26		
合计	8.55	13.42	13.84			

综上所述,我国北方地区沙质荒漠化程度以中度和重度为主,主要分布于内蒙古自治区和新疆维吾尔自治区。空间分布上具有围绕沙漠和沙地发育、扩张的特征。2010—2018年,研究区沙质荒漠化程度呈明显好转态势,0.73万 km^2 沙质荒漠化土地转化为非沙漠化土地,1.81万 km^2 重度和0.97万 km^2 中度沙质荒漠化土地的沙漠化程度减轻。同时,在局部地区有0.41万 km^2 沙质荒漠化土地程度加重或由非沙漠化土地转化形成。

4 典型地区沙质荒漠化土地变化原因分析

过去近10年间,毛乌素沙地沙质荒漠化程度整

体明显好转,共有 1.24 万 km²沙质荒漠化土地程度改善或转化为非沙漠化土地;而科尔沁沙地教来河以西地区共有 474.99 km²沙质荒漠化土地程度加重。因此本文以毛乌素沙地和科尔沁沙地西部为例,从生态地质角度分析两沙地变化原因,并提出针对性的保护修复建议。

4.1 毛乌素沙地

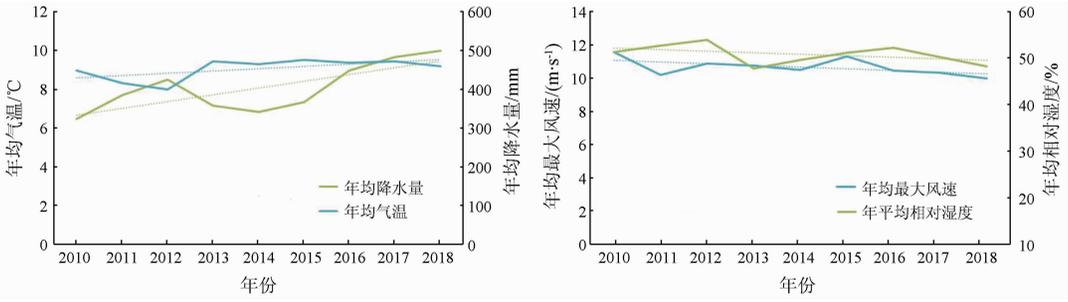
4.1.1 地质与水文因素

毛乌素沙地位于鄂尔多斯盆地南部,在长期风化、剥(风)蚀和再沉积作用下,地表呈梁地、滩地、沙丘和湖泊交互排列的独特景观。沙地内地层结构具有第四系松散堆积物直接覆盖于白垩系之上的特征。第四系松散堆积物主要包括全新统风积层和上更新统萨拉乌素组,白垩系为一套碎屑岩地层^[22]。与植被生长关系较密切的地下水为潜水,含水层为第四纪河湖积、风积砂,白垩纪碎屑岩为隔水层。其地层结构决定了地下水埋深主要受地形控制,因此滩地地下水埋深小于 2 m,滩地周围埋

深一般小于 5 m,而在沙丘地带,埋深多为 5~10 m,沙丘较高的局部地区,埋深大于 10 m^[23]。地下水埋深进一步影响了植被分布的特征,从滩地到沙丘随着地下水埋深逐渐增加,形成由水生植被带过渡为水生/旱生植被过渡带,后转为旱生植被带的生长规律。

4.1.2 气象条件

在干旱与半干旱地区,降雨对植物的生长、特别是一年生植物的生长影响很大。2010—2018 年,毛乌素沙地年均降水量在 2012 年突破 400 mm 后,2013—2015 年降至 350 mm 左右,之后降水量逐年增加,至 2018 年,年降水量接近 500 mm。另一方面,风速是风蚀荒漠化程度的主要决定因素。2010 年以来,毛乌素沙地年均最大风速具有缓慢降低的趋势,2018 年,年均最大风速低于 10 m/s,有助于降低风蚀程度、减少沙质荒漠化土地转变面积。同期毛乌素沙地年均气温相对稳定,维持在 9℃左右,相对湿度略有下降(图 5)。



(a) 2010—2018 年年均降水量和年均气温

(b) 2010—2018 年年均相对湿度和最大风速

图 5 毛乌素沙地 2010—2018 年气候条件变化特征

Fig. 5 Characteristics of climate change of Maowusu sandy land from 2010 to 2018

综上所述,毛乌素沙地的地层结构决定了沙地内地下水水量丰富、埋深较浅,2010—2018 年气象条件相对稳定,年均降雨量明显增加,进一步丰富了沙地的水资源量。其生态地质条件有利于植被恢复。因此建议应控制毛乌素沙地内人类干扰活动的强度,以自然恢复为主。

4.2 科尔沁沙地

4.2.1 地质背景

科尔沁沙地位于西辽河平原,地处东北平原向内蒙古高原的过渡地带。地下水隔水层分别由新近系顶部的泥岩与第四系底部的黏土构成,垂向上可划分为松散岩类孔隙含水层、碎屑岩孔隙-裂隙

含水层和基岩裂隙含水层三大系统^[24]。区内发育有西拉木伦河、响水河、老哈河等河流,地表水与地下水资源较丰富,浅层潜水分布较为广泛^[25]。但近年来,由于科尔沁沙地地区耕地扩张和城镇工业经济快速发展,大量开采地下水资源,地下水水位明显下降^[26-27]。

位于科尔沁沙地北部的西拉木伦断裂,呈东西向展布,宽 20 km,长达数千公里^[28],分隔了大兴安岭与燕山山脉,并在两大山脉之间形成了一条宽数公里、走向近东西向的谷地,成为风沙向科尔沁沙地西部运移的重要通道(图 6),导致区内最大风速常年维持在 12 m/s 左右,风沙天气频繁^[29]。



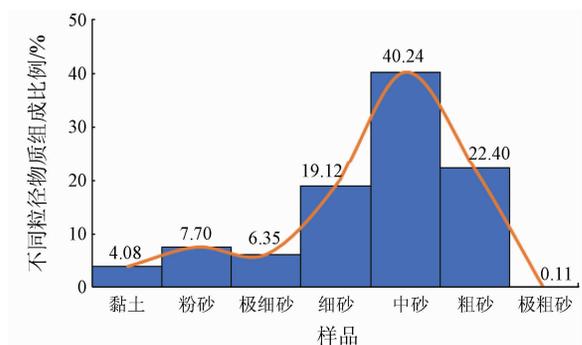
图 6 西拉木伦风沙廊道示意图^[29]

Fig. 6 Schematic diagram of wind sand corridor^[29]

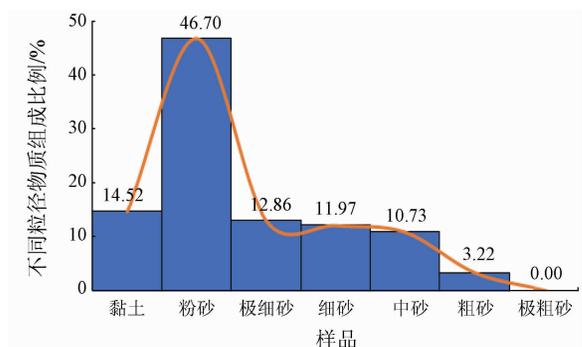
4.2.2 成土母质与土壤

科尔沁沙地西部指教来河以西,位于赤峰市内的地区。科尔沁沙地西部为流动沙地的集中分布区^[30],主要发育有第四纪风积物、冲积物及湖积物。科尔沁沙地样品粒径分析结果显示,科尔沁沙地西部沉积物粒径组成以中砂、粗砂为主,含量分别为 40.24% 和 22.40%,其次为细砂,含量 19.12%,黏土含量一般不超过 5% (图 7),与前人研究成果一致^[24]。毛乌素沙地样品中黏土、粉砂含量分别高于科尔沁沙地 255.88% 和

506.49%,中砂、粗砂含量仅为科尔沁沙地的 26.27% 和 14.38% (图 7)。由于黏粒、粉砂粒径极小,相对于中砂、粗砂单位质量具有表面积更大、更容易吸附有机碳的特点,因此土壤中有有机碳的含量与黏土、粉砂具有极显著正相关关系,与中砂等粗粒物质呈极显著负相关关系,而土壤中有有机碳含量越高,越有利于植被生长^[31]。科尔沁沙地西部土壤中的中粗粒物质含量较高,导致其有机碳含量明显匮乏,仅为毛乌素沙地的 32.50% (图 8),不利于植被的生长恢复。



(a) 科尔沁沙地样品物质组成



(b) 毛乌素沙地样品物质组成

图 7 科尔沁沙地与毛乌素沙地样品粒径组成特征

Fig. 7 Characteristics of particle size composition of Horqin and Maowusu sandy land

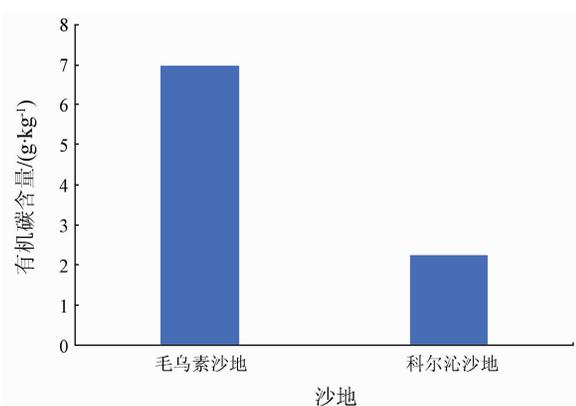
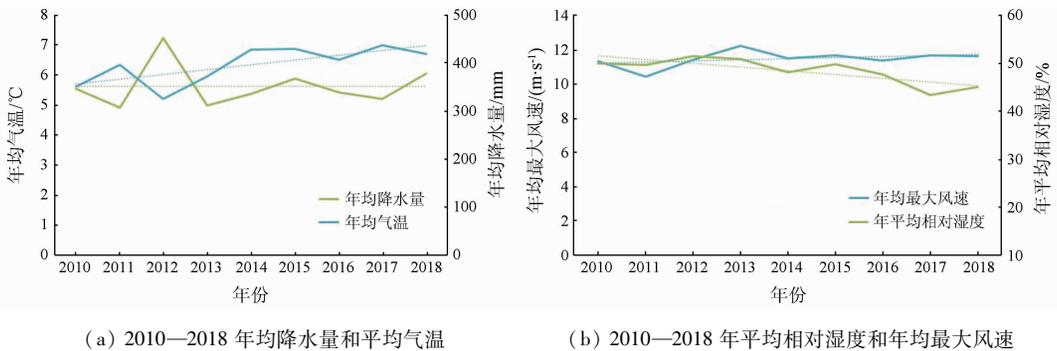


图 8 毛乌素沙地与科尔沁沙地有机碳含量对比

Fig. 8 Difference of organic carbon contents between Maowusu and Horqin sandy land

4.2.3 气象条件

2010—2018 年,科尔沁沙地西部年降水量除 2012 年较高外,其他年份相对稳定;同期年均气温缓慢升高,近 5 a,维持在 6.7 °C 左右。沙地西部年均最大风速除 2011 年外,其他年份均大于 11 m/s,多年平均值约高于毛乌素沙地 8%。在大风与气温升高的双重作用下,沙地平均相对湿度下降较明显,由 50% 左右下降至 45% 以下(图 9)。



(a) 2010—2018 年均降水量和平均气温

(b) 2010—2018 年平均相对湿度和年均最大风速

图9 科尔沁沙地 2010—2018 年气候条件变化特征

Fig. 9 Characteristics of climate change of Horqin sandy land from 2010 to 2018

综上所述,科尔沁沙地西部受西拉木伦断裂控制的风沙廊道影响,流动沙丘广布,物质组成以中砂、粗砂为主,土壤保水能力较差。再加上近些年来受气温缓慢升高、平均相对湿度逐渐降低、地下水水位下降明显等自然因素以及人类活动的影响,科尔沁沙地西部地区的沙质荒漠化程度呈加重趋势。因此建议加强区域地下水资源管理,优化植被结构,种植较耐旱的沙蒿、柠条等植物,同时持续推进退耕还林、还草工作。

5 结论

(1) 我国北方地区沙质荒漠化土地面积共 35.08 万 km^2 , 主要分布于内蒙古自治区和新疆维吾尔自治区, 空间上与我国主要沙地、沙漠分布范围较一致。沙质荒漠化土地以中度为主, 重度次之, 轻度面积最少。

(2) 2010—2018 年我国北方地区沙质荒漠化土地整体呈程度减轻、面积减少的趋势, 沙质荒漠化土地面积减少 0.73 万 km^2 , 沙质荒漠化程度减轻面积共 2.78 万 km^2 。同期浑善达克沙地西部、科尔沁沙地西部等局部地区程度有所加重。

(3) 毛乌素沙地生态地质条件相对较好, 地下水埋深浅、水量丰富, 土壤中泥质、粉砂比例较高, 有机碳含量相对较高, 2010—2018 年沙质荒漠化程度明显好转。科尔沁沙地西部紧邻西拉木伦风沙廊道, 沙地物质组成中中砂、粗砂含量较高, 有机碳含量较低, 造成局部沙质荒漠化程度加重。建议在毛乌素沙地后续保护修复工作中, 应降低人类活动干扰的影响, 以自然恢复为主, 在科尔沁沙地加强地下水资源管理, 优化植被结构, 进一步推进退耕还林、还草工作。

(4) 本次研究范围较大, 相对注重不同区域沙

地间的对比研究, 对沙地内部地质背景、地形地貌变化对沙质荒漠化的影响分析较少。下一步将以毛乌素沙地为研究对象, 根据其生态地质条件进行分区, 针对不同区域提出针对性的保护修复建议。

参考文献 (References):

- [1] 丁国栋, 赵廷宁, 范建友, 等. 荒漠化评价指标体系研究现状述评[J]. 北京林业大学学报, 2004, 26(1): 92-96.
Ding G D, Zhao T N, Fan J Y, et al. Analysis on development of desertification assessment indicator system [J]. J Beijing For Univ, 2004, 26(1): 92-96.
- [2] 王涛, 朱震达. 我国沙漠化研究的若干问题——1. 沙漠化的概念及其内涵[J]. 中国沙漠, 2003, 23(3): 209-214.
Wang T, Zhu Z D. Study on sandy desertification in China: 1. Definition of sandy desertification and its connotation [J]. J Desert Res, 2003, 23(3): 209-214.
- [3] 崔瀚文, 姜琦刚, 邢宇, 等. 32a 来气候扰动下中国沙质荒漠化动态变化[J]. 吉林大学学报: 地球科学版, 2013, 43(2): 582-591.
Cui H W, Jiang Q G, Xing Y, et al. Dynamics of sandy desertification under climate disturbance in China from 1975 to 2007 [J]. J Jilin Univ: Earth Sci Ed, 2013, 43(2): 582-591.
- [4] 朱震达, 陈广庭. 中国土地沙质荒漠化[M]. 北京: 科学出版社, 1994.
Zhu Z D, Chen G T. Research on Sandy Desertification in China [M]. Beijing: Science Press, 1994.
- [5] Song X, Yan C Z, Li S, et al. Assessment of sandy desertification trends in the Shule River Basin from 1978 to 2010 [J]. Sci Cold Arid Reg, 2014, 6(1): 52-58.
- [6] 高会军, 姜琦刚, 霍晓斌. 中国北方沙质荒漠化土地动态变化遥感分析[J]. 灾害学, 2005, 20(3): 36-40.
Gao H J, Jiang Q G, Huo X B. Remote sensing analysis on dynamic change of sandy desertification land in North China [J]. J Catastrophol, 2005, 20(3): 36-40.
- [7] 韩雪莹, 杨光, 秦富仓, 等. 毛乌素沙地近 30 年沙漠化土地时空动态演变格局[J]. 水土保持研究, 2019, 26(5): 144-150, 157.
Han X Y, Yang G, Qin F C, et al. Spatial and temporal dynamic

- patterns of sandy land in Mu us in the last 30 years[J]. *Res Soil Water Conserv*,2019,26(5):144-150,157.
- [8] 李宝林,周成虎. 东北平原西部沙地沙质荒漠化的遥感监测研究[J]. *遥感学报*,2002,6(2):117-122.
Li B L,Zhou C H. A study on monitoring sandy desertification in sandy land of west northeast China Plain[J]. *J Remote Sens*, 2002,6(2):117-122.
- [9] 李金霞,殷秀琴,包玉海. 北方农牧交错带东段土地沙质荒漠化监测——以扎鲁特旗为例[J]. *中国沙漠*,2007,27(2):221-228.
Li J X,Yin X Q,Bao Y H. Monitoring of land sandy desertification at east part of farming-pasturing interlock zone in northern China:The case of Zhalot Banner[J]. *J Desert Res*,2007,27(2):221-228.
- [10] 万炜,颜长珍,肖生春,等. 1975—2015年阿拉善高原沙漠化过程、格局与驱动机制[J]. *中国沙漠*,2018,38(1):17-29.
Wan W,Yan C Z,Xiao S C, et al. Process, spatial pattern and driving mechanisms of the Aeolian desertification in the Alxa Plateau from 1975 to 2015[J]. *J Desert Res*,2018,38(1):17-29.
- [11] 游宇驰,李志威,黄草,等. 1990—2016年若尔盖高原荒漠化时空变化分析[J]. *生态环境学报*,2017,26(10):1671-1680.
You Y C,Li Z W,Huang C, et al. Spatial-temporal evolution characteristics of land desertification in the Zoige Plateau in 1990-2016[J]. *Ecol Environ Sci*,2017,26(10):1671-1680.
- [12] 胡梦珺,李向锋,左海玲,等. 1989—2014年共和盆地贵南县土地沙漠化动态[J]. *中国沙漠*,2018,38(1):30-38.
Hu M J,Li X F,Zuo H L, et al. Change of sandy desertification land in Guinan County in Gonghe basin from 1989 to 2014[J]. *J Desert Res*,2018,38(1):30-38.
- [13] 黄婷,李振宏,刘锋,等. 宁夏红寺堡盆地地表沙漠化现状及其地质主控因素[J]. *地质力学学报*,2018,24(4):505-514.
Huang T,Li Z H,Liu F, et al. The current situation of desertification in the Hongsibu Basin,Ningxia,and its main geological controlling factors[J]. *J Geomech*,2018,24(4):505-514.
- [14] 董晓朋,李振宏,黄婷,等. 宁夏红寺堡盆地隐伏古隆起成因机制及其对区域沙漠化的影响[J]. *地球科学与环境学报*,2020,42(5):688-700.
Dong X P,Li Z H,Huang T, et al. Origin of the latent palaeohigh in Hongsibu basin of Ningxia,China and its effect on the regional desertification[J]. *J Earch Sci Environ*,2020,42(5):688-700.
- [15] 潘顺. 我国北方地区土地荒漠化时空分布特征分析[D]. 青岛:山东科技大学,2020.
Pan S. Analysis of Spatial and Temporal Distribution Characteristics of Land Desertification in Northern China[D]. Qingdao: Shandong University of Science and Technology,2020.
- [16] 郭泽呈,魏伟,石培基,等. 中国西北干旱区土地沙漠化敏感性时空格局[J]. *地理学报*,2020,75(9):1948-1965.
Guo Z C,Wei W,Shi P J, et al. Assessment of ecosystem services and ecological regionalization of grasslands support establishment of ecological security barriers in northern China[J]. *Acta Geogr Sin*,2020,75(9):1948-1965.
- [17] 白永飞,赵玉金,王扬,等. 中国北方草地生态系统服务评估和功能区划助力生态安全屏障建设[J]. *中国科学院院刊*,2020,35(6):675-689.
Bai Y F,Zhao Y J,Wang Y, et al. Assessment of ecosystem services and ecological regionalization of grasslands support establishment of ecological security barriers in northern China[J]. *Bull Chin Acad Sci*,2020,35(6):675-689.
- [18] 李姣,张春来,李庆,等. 近15年来呼伦贝尔沙地土地沙漠化发展及其驱动力[J]. *北京师范大学学报(自然科学版)*,2017,53(3):323-328.
Li J,Zhang C L,Li Q, et al. Development of sandy desertification and driving forces in Hulun Buir sandy land in the past 15 years[J]. *J Beijing Norm Univ (Nat Sci)*,2017,53(3):323-328.
- [19] 联合国. 联合国关于在发生严重干旱和/或荒漠化的国家特别是在非洲防治荒漠化的公约[M/OL]. [2021-08-22]. <https://www.un.org/zh/documents/treaty/files/A-AC.241-27.shtml>.
United Nations. United Nations Convention to combat desertification in those countries experiencing serious drought and/or Desertification, particularly in Africa[M/OL]. [2021-08-22]. <https://www.un.org/zh/documents/treaty/files/A-AC.241-27.shtml>.
- [20] 崔永想,刘海隆,汪传建. 基于支持向量机和遥感的塔里木河流域下游沙质荒漠变化的分析——以大西海子库区为例[J]. *石河子大学学报(自然科学版)*,2021,39(1):46-53.
Cui Y X,Liu H L,Wang C J. Analysis of sand desertification change in the lower reach of Tarim River Basin based on support vector machine and remote sensing: Taking the area of Daxihaizi Reservoir as an example[J]. *J Shihezi Univ (Nat Sci)*,2021,39(1):46-53.
- [21] 丁文广,赵晨,陈利珍,等. 1975—2014年锡林郭勒盟沙漠化时空演变分析[J]. *兰州大学学报:自然科学版*,2017,53(1):60-67.
Ding W G,Zhao C,Chen L Z, et al. Spatial-temporal evolution of desertification in Xilinguole League during 1975-2014[J]. *J Lanzhou Univ:Nat Sci*,2017,53(1):60-67.
- [22] 程东会,王文科,侯光才,等. 毛乌素沙地植被与地下水关系[J]. *吉林大学学报(地球科学版)*,2012,42(1):184-189.
Cheng D H,Wang W K,Hou G C, et al. Relationship between vegetation and groundwater in Muus desert[J]. *J Jilin Univ (Earth Sci Ed)*,2012,42(1):184-189.
- [23] 程东会,王文科,侯光才,等. 毛乌素沙地与植被有关的地下水环境研究[J]. *安徽农业科学*,2010,38(12):6463-6466.
Cheng D H,Wang W K,Hou G C, et al. Survey on groundwater environment related to vegetation in Mu us desert[J]. *J Anhui Agric Sci*,2010,38(12):6463-6466.
- [24] 陈军,周丽,于孟文. 内蒙古西辽河平原地质环境问题及地下水资源合理开发利用研究[J]. *水文地质工程地质*,2008,35(3):123-125.
Chen J,Zhou L,Yu M W. Geological environmental problems and suggestion of scientific exploitation and utilization of groundwater resource in the west of Liaohe plain Inner Mongolia[J]. *Hydrogeol*

- Eng Geol, 2008, 35(3): 123-125.
- [25] 朱孟娜. 科尔沁沙地沙丘砂的来源分析[D]. 长沙: 湖南师范大学, 2017.
Zhu M N. Analysis of the Source of Dune Sand in the Horqin Sandy Land[D]. Changsha: Hunan Normal University, 2017.
- [26] 杨恒山, 刘江, 梁怀宇. 西辽河平原气候及水资源变化特征[J]. 应用生态学报, 2009, 20(1): 84-90.
Yang H S, Liu J, Liang H Y. Change characteristics of climate and water resources in west Liaohe River Plain[J]. Chin J Appl Ecol, 2009, 20(1): 84-90.
- [27] 孙标, 朱永华, 张生, 等. 通辽平原区近35年地下水埋深及土地利用变化响应关系研究[J]. 中国农村水利水电, 2019(8): 15-19, 25.
Sun B, Zhu Y H, Zhang S, et al. Response relationship between groundwater depth and land use/cover change over the 35 years of the Tongliao Plains, Inner Mongolia, China[J]. China Rural Water Hydro, 2019(8): 15-19, 25.
- [28] 李益龙, 周汉文, 钟增球, 等. 华北—西伯利亚板块对接带早白垩纪的裂解: 来自西拉木伦断裂带中性岩墙群的锆石 U-Pb 年龄及地球化学证据[J]. 地球科学: 中国地质大学学报, 2010, 35(6): 921-932.
Li Y L, Zhou H W, Zhong Z Q, et al. Extension of suture zone between north China and Siberia Craton in Early Cretaceous: insights from geochronology and geochemistry of intermediate dykes from Xar Moron fault belt in Inner Mongolia[J]. Earth Sci: J China Univ Geosci, 2010, 35(6): 921-932.
- [29] 聂洪峰, 肖春蕾, 戴蒙, 等. 生态地质调查工程进展与主要成果[J]. 中国地质调查, 2021, 8(1): 1-12.
Nie H F, Xiao C L, Dai M, et al. Progresses and main achievements of ecogeological survey project[J]. Geol Surv China, 2021, 8(1): 1-12.
- [30] 社会石, 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.
Du H S, Hasi E E D, Wang Z M. Boundary delimitation and characteristics of Aeolian sand landform in Horqin sandy land[J]. J Beijing Norm Univ (Nat Sci), 2017, 53(1): 33-37.
- [31] 郝良杰. 科尔沁沙地草甸土退化特征及修复措施研究[D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2019.
Hao L J. Study on Degradation Characteristics and Restoration Measures of Meadow Soil in Horqin Sandy Land[D]. Hohhot: Inner Mongolia Agricultural University, 2019.

Evolution of sandy desertification in North China from 2010 to 2018

LIU Jianyu^{1,2}, NIE Hongfeng^{1,2}, XIAO Chunlei^{1,2}, SHANG Boxuan^{1,2}, LI Wei^{1,2}, JI Xinyang¹

(1. China Aero Geophysical Survey & Remote Sensing Center for Natural Resources, Beijing 100083, China; 2. Territorial Ecological Protection and Restoration Center of China Geological Survey, Beijing 100083, China)

Abstract: Desertification has become a major threat to the global ecological environment. The wind erosion is very intense in North China, with prominent sandy desertification problems. In this research, the authors selected six northern provinces with widely sandy land distribution as the study area to comprehensively analyze the meteorological and geological factors and discuss the cause of change in Maowusu sandy land and Horqin sandy land, based on the evolution patterns of sandy desertification land by TM images of 2010 and OLI images of 2018. The results indicated that the sandy desertification land in North China in 2018 was 350 800 km², mainly distributed in Inner Mongolia Autonomous Region and Xinjiang Uygur Autonomous Region, with severe, moderate and mild sandy desertification land of 119 200 km², 135 400 km² and 96 200 km², respectively. From 2010 to 2018, the area of sandy desertification land in North China decreased by 7 400 km², and the Xinjiang Uygur Autonomous Region and Inner Mongolia Autonomous Region decreased mostly with the areas of 4 800 km² and 1 900 km², respectively, also with the area of desertification reduction of 35 400 km². Taking the Maowusu and Horqin sandy land as typical study area, the authors compared the differences of the ecogeological conditions between these two areas, and summarized the cause of improvement and aggravation of sandy desertification. Moreover, the authors suggested that the impact of human activities should be reduced for natural recovery in Maowusu sandy land, and in Horqin sandy the groundwater resources management land should be strengthened and vegetation structure should be optimized to promote returning farmland to forest or grassland. This research would provide scientific reference for the ecological protection of sandy desertification in North China.

Keywords: North China; sandy desertification; transition matrix; Maowusu sandy land; Horqin sandy land; ecogeological survey