

# 吉林省西部盐碱化区热力景观特征分析

王德辉<sup>1,2</sup> 周慧杰<sup>3\*</sup> 王萌<sup>2</sup> 吴波<sup>4</sup> 董福湘<sup>5</sup> (1. 广州中海达卫星导航技术股份有限公司, 广东广州 511400; 2. 中国科学院广州地球化学研究所地球系统科学与可持续发展研究中心, 广东广州 510640; 3. 广西师范学院地理科学与规划学院, 广西南宁 530001; 4. 赣南师范学院, 江西赣州 341000; 5. 长春工程学院勘查与测绘学院, 吉林长春 130021)

**摘要** 吉林省西部地区的生态问题以湿地退化的盐碱化闻名, 已严重影响到区域的生态环境与社会经济可持续发展。该区域的盐碱化是否会与国内外其他生态退化区一样, 成为热力洼地型的盐尘暴源地, 危及吉林省乃至黑龙江省的农业区的生态安全与社会经济的可持续发展, 这个问题需进行必要的科学评估。利用 2000~2013 年的 MODIS 归一化植被指数、地表温度、雪盖等数据产品, 采用长时间序列分析和地理空间相关性原理方法, 计算了 MODIS 表征地表储热性能的昼夜地温指数。结果显示, 盐碱化区域没有形成热力洼地, 上半年的雪盖和云的分布也显示盐碱退化区并未“干涸”。该区域需要注意控制好地下水水位, 防止真正的热力洼地的出现。

**关键词** 盐碱化; 热力洼地; 沙尘暴; 遥感; 吉林省西部

中图分类号 S181.3 文献标识码 A 文章编号 0517-6611(2015)10-251-03

DOI:10.13989/j.cnki.0517-6611.2015.10.090

**Analysis on the Thermal Landscape Features of Salinization Areas in West Jilin Province**

WANG De-hui<sup>1,2</sup>, ZHOU Hui-jie<sup>3\*</sup>, WANG Meng<sup>2</sup> et al (1. Hi-Target Surveying Instrument Co., Ltd., Guangzhou, Guangdong 511400; 2. Guangzhou Institute of Geochemistry, CAS, Guangzhou, Guangdong 510640; 3. School of Geography and Planning, Guangxi Teachers Education University, Nanning, Guangxi 530001)

**Abstract** The well-known salinization of wetland degradation in West Jilin has seriously impacted the sustainable development of regional ecological environment and socio-economy. Careful scientific evaluation is needed to make it clear that whether these salinization areas could become the source of thermal depressions salt dust storms just like other ecological degradation areas in the world to jeopardize the sustainable development of eco-security and socio-economy of the agriculture areas in Jilin and even Heilongjiang. This study calculates MODIS day and night land surface temperature representing heat storage properties of the earth's surface by using data products of 2000-2013 like MODIS NDVI, land surface temperature and snow cover, applying long time series analysis and geospatial correlation methods. The result shows that thermal depressions have not formed in the salinization areas, and the distribution of snow cover and cloud in winter half year also shows the salinization areas have not dried up. This area is needed to well control the ground water level to avoid real thermal depressions.

**Key words** Salinization; Thermal depressions; Dust storms; Remote sensing; West Jilin Province

关于吉林省西部盐碱化的生态问题, 学者们已有较多的研究。认为该区域为生态脆弱的农牧交错带, 其生态退化的主导原因为外部气候因素, 人为扰动加剧了区域生态退化的进程<sup>[1-2]</sup>。虽然全球的气候和区域的气候要素变化曲线能为这种观点提供支持, 但这些退化区域也不乏年降水量达 600 mm 的地区, 这和典型的农牧交错带的年降水量并不完全相符, 而且该区以农业特征为主, 牧业并不占主导。年林丰等的研究显示, 吉林省西部地区的盐碱化与国内外其他区域盐碱化形成的原因一致, 认为地质条件形成的盐碱层经过人类对湿地的开发而暴露出来, 是引起该区盐碱化发生的一个重要原因<sup>[3-5]</sup>。这种内因成因的观点有地质上的证据支持, 如果吉林省西部的盐碱化均是这种类似潘多拉魔盒的效应, 那么随着气候的干旱化, 大量的盐碱被风力侵蚀搬运形成盐尘暴向东部地区输送, 必将使得这种潘多拉魔盒效应影响到更远的地方, 形成更多的盐碱地。匡耀求等的研究认为, 干涸的河流和湖泊形成的热力洼地牵引下沉气流, 对干涸河湖床上的沉积物进行侵蚀搬运传输, 使得热力洼地区成为沙尘暴的源地<sup>[6-7]</sup>。引发沙尘暴的热力洼地呈现白天为

热力高地, 夜晚为热力洼地的性质。吉林省西部地区现在是不是热力洼地? 会不会成为沙尘暴的源地? 是否有导致吉林省东部甚至黑龙江省的农田盐碱化的可能, 从而造成影响远超过该区的生态灾难? 这些问题关乎我国粮仓的安全和区域甚至我国的可持续发展。笔者利用长时间序列的卫星遥感数据, 对吉林省西部的生态退化区的热力景观特征和成因机制进行了研究, 并对防止出现区域性盐尘暴提出了生态控制思路和建议。

## 1 研究区概况

吉林省西部位于松嫩平原的中部, 辽河平原的北端, 属于半干旱、亚湿润农牧交错地带, 是松辽平原农业区向西部草原牧区过渡地带。该区大部分属于温带半湿润气候, 西部小部分属于温带半干旱气候。热量资源较为丰富, 年降水量在 370~407 mm, 年蒸发量 1 500~1 900 mm,  $\geq 10^\circ\text{C}$  的年活动积温总和为 2 900~3 200  $^\circ\text{C}$ , 湿润系数为 0.15 左右。全区以西北风和西南风为多, 一般冬春干燥季节风速最大, 平均为 4.5 m/s。该区地带性土壤为黑栗钙土, 但盐碱化草甸土及风沙土分布广泛, 在植被类型上属于由草甸草原向真草原过渡的地带。吉林省西部曾经是水草丰美的大草原, 但由于人口剧增和对自然资源的过度开发, 人类活动对生态环境的干扰强度日益增大, 土地沙漠化、盐碱化和草场退化面积逐年增加, 植被覆盖面积锐减。

吉林省西部行政上包括白城市洮北、大安、洮南、镇赉、通榆, 松原市宁江、扶余、前郭尔罗斯、乾安、长岭 10 个县(市、区)。土地总面积为 4 689 752  $\text{hm}^2$ , 占吉林省总幅员面

**基金项目** 国家自然科学基金项目(4136102); 吉林省环境保护科技项目(吉环科 2010-26); 广州市及番禺区博士后基金项目(125124)。

**作者简介** 王德辉(1977-)男, 吉林榆树人, 博士, 在读博士后, 从事环境与区域可持续发展研究。\* 通讯作者, 副研究员, 博士, 从事资源环境与区域可持续发展研究。

**收稿日期** 2015-03-13

积的 24.54%。2011 年该区域总人口 494.68 万人,地区生产总值达 1 915.54 亿元,人均生产总值为 8 875 元,人均产粮食 2 080 kg,可为区外提供 1 500 万人的口粮。

## 2 数据与方法

**2.1 数据** 为了揭示吉林省西部生态环境状况,该研究从美国国家地质调查局(USGS)的 <https://mrtweb.cr.usgs.gov/> 网站获取研究区 2000~2013 年 MODIS Terra 和 2002~2013 年 MODIS Aqua 的月值归一化植被指数(NDVI)数据;为了研究该区的热力景观特征,从 <https://mrtweb.cr.usgs.gov/> 网站获取 Aqua MODIS 2003~2013 年 1 和 3 月的 8 d 合成的白天和晚上地表温度产品数据;为了探讨研究区的地表和大气湿度状况,收集了 Aqua MODIS 2002~2013 年每年 10 月~次年 3 月的 8 d 合成的雪覆盖产品(MYD10A2)数据。

### 2.2 数据处理方法

**2.2.1 吉林省西部生态状况信息提取。**为了获取吉林省西部生态退化区的分布状况,需要突出每年最好植被覆盖状态并且尽量压制气候的年变化等因素造成的波动。该研究对 MODIS NDVI 产品(基于最大值合成算法)进行了每年的最大值合成运算,得到年最大值 NDVI,然后对所有年份的年最大值合成的 NDVI 求均值运算,双星的产品分别运算,最后将两个星的多年合成的平均 NDVI 求算术平均值,得到吉林省西部地区的多年合成 NDVI 数据。

**2.2.2 吉林省西部地区地温指数提取。**对地表物质的储热性能影响最大的因素为水分,而水分含量的多少决定着盐碱化区是否会成为热力洼地的关键因素。因而,需要选择指标突出反映地表的含水状况。为此,该研究选取冬春之交季节的 Aqua MODIS 的白天和夜晚产品,以更好地突出尚未有大量绿色植被影响的夜晚地表本底辐射(不用考虑太阳辐射)和减少植被的影响。而白天(北京时间 13:00~15:00)的地表温度与晚上的温度差可以反映出地表吸收和释放太阳辐射的能力,可以通过地表储热性能推断地表的水分状况。由于这个温差不是标准的温度日较差,这里将其称为表征地表储热性能的地温指数。

**2.2.3 吉林省西部地区冬半年积雪和云覆盖信息提取。**积雪和云均是大气中不同水汽的相变产物,而地表是大气最主要的热源和重要的水源。因而,下垫面的积雪状况和大气云量状况可以反映出地表的湿度状况。该研究对吉林省西部冬半年的 Aqua MODIS 2002~2013 年 8 d 合成的雪盖产品(含云覆盖产品)进行二值化处理,然后进行时间序列方法中的求和运算,得到两者的 12 年间的累积次数,用以研究吉林省西部近年来的下垫面湿度状况。

## 3 结果与分析

**3.1 生态退化区分布特征** 图 1 中的 NDVI 为年最大值的多年平均,体现了水热状况最佳期的植被生长状况。在多年最大值平均状态下,NDVI 在 0.38 附近是生态退化的临界点,<0.38 的主要是城市、水域和生态退化区域。吉林省西部地区的植被生态较差的地区主要分布在白城地区,松原相对好。在县级行政单元上,大安市、镇赉县、通榆县较差。

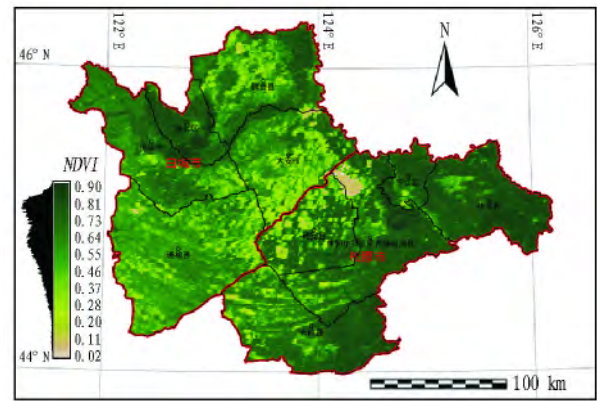


图 1 吉林省西部地区 MODIS 多年平均 NDVI 分布

**3.2 热力景观分布特征** 3 月接近吉林省西部的冬春之交,是植被覆盖度低、积雪覆盖度也比较低的月份,地表的热力状况可以较好地反映出固体地球内部的热力性状。另外,3 月的地表温度比较接近当地地下常温层温度和当地多年平均气温(通常与 4 月的平均气温一致),此时寒流控制相对弱,控制吉林省西部地区的盛行风西南风发生转向变为西风。这期间也是垂直气流开始活跃的时候,是一年中沙尘暴开始频发的月份。Aqua MODIS 记录的夜晚温度基本上不受太阳辐射的影响,主要反映地表本身释放热辐射的能量亏损过程,主要的能量来自地表覆盖物储存的热量和地下来自地球内部热流的贡献。该区有深厚的沉积和冲积物,粘土矿物的导热性能差,加之地层中有储油层的影响,来自地下的热流对表层的影响相对较小。因而,Aqua MODIS 记录的后半夜地表温度相对于植被生态系统来说接近它的背景辐射。

从图 2 吉林省西部地区的地表背景辐射温度形成的热力景观来看,东南部松原地区的温度相对西部的白城高,呈现为热力高地的特征;图 2 中的热力高地主要为城镇、水域、森林、高山冰雪消融带等含有一定水分的区域;特别值得注意的是盐碱化的地区没有呈现典型的热力洼地,反而呈现了热力高地的性质。图 2 反映出地热表现出三级台阶的特征,西南部(通榆县、乾安县、长岭县、前郭尔罗斯和松原市宁江区西部)地热较高,中部(洮南市南部、大安市和扶余县)中等,北部(洮南市北部、白城市和镇赉县)较低,尤其是镇赉县,已经表现出热力洼地的特征,而且出现了生态退化的迹象,有可能引发沙尘暴。

相比 3 月的夜晚热力景观,白天的热力景观与多年平均的 NDVI 呈现出更好的对应关系(图 3)。湿地及湿地退化区域呈现出热力洼地景观,可见,在受白天太阳辐射影响而升温的过程中,生态退化区的升温相对周围裸土农田区和山区并不剧烈,这与导致沙尘暴的热力洼地特征并不相符。

同时考虑到白天获取太阳辐射热流升温与夜晚放热亏损过程,利用地温指数观察地表的储热性能变化形成了热力景观图(图 4)。不难发现,河湖湿地地区一级盐碱化的地区表现出相似的热力性质,即温度变化不剧烈,见图 4 中蓝色区域。这说明盐碱化区域并非干涸的河湖沉积物,表层具有一

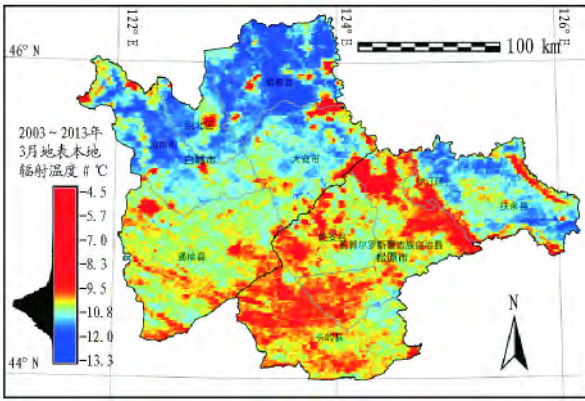


图2 吉林省西部 Aqua MODIS 多年平均夜晚温度分布

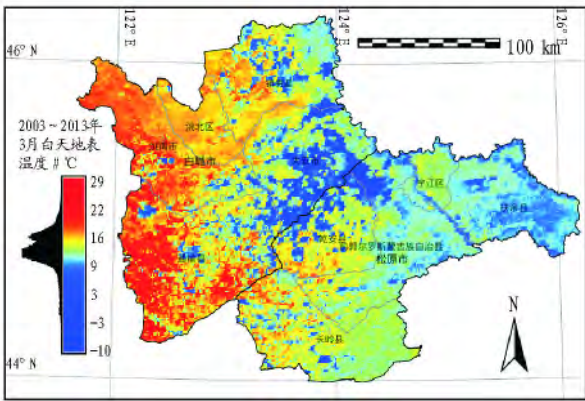


图3 吉林省西部 Aqua MODIS 多年平均白天温度分布

定的水分。

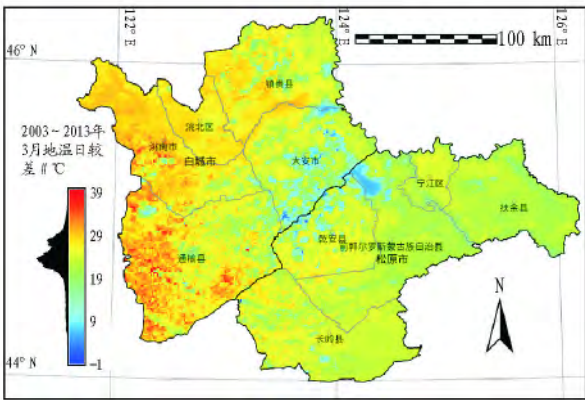


图4 吉林省西部 Aqua MODIS 多年平均地温指数分布

由图2~4可以初步判断,盐碱化区域没有进入干涸状态,不具备导致沙尘暴启动的热力洼地特征,反而呈现了热力高地性状。

3.3 雪覆盖特征 为了进一步确认吉林省西部地区的盐碱化区域是否仍具有湿地区域的热力性质,可根据该区域降水分布情况来分析。降水中降雨数据的长时间序列空间连续的数据难以获取,而降雪可以滞留于地表,可以被卫星遥感获取。通过记录2002~2013年的遥感获取的最大雪覆盖区域的累积次数分布(图5),可以清楚地发现同为夜晚热力高地的城市区域雪盖低,这与城市的热岛效应和人为清理有关,而湿地和盐碱化区域呈现了比较高的积雪覆盖,即累积

图中白色至绿色的区域。这说明大安市和乾安县等盐碱化区域具备相似的雪覆盖特征。而同样的受人类影响小的周围区域呈现了迥然不同的累积次数,这也与降水易发生在下垫面湿润地区有关。

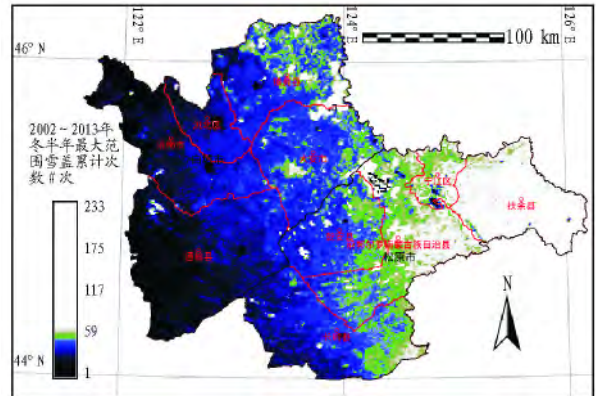


图5 2002~2013年吉林省西部地区雪盖累积次数分布

3.4 云覆盖特征 大气的云是水汽的凝结物。对于地形起伏接近,海拔高度接近的区域,云的累积次数数据也是不同的。从吉林省西部地区冬半年云覆盖累积次数分布图(图6)中可知,盐碱化区域云的累积次数仍然很高,而旱地区域的累积次数最低,面积大的湖泊累积次数也比较低,但是在湖泊边缘累积次数很高。这可能与大面积水体呈现的热力性质有关,云多形成在温度和湿度差异最显著、切变强、湍流强烈的地方。

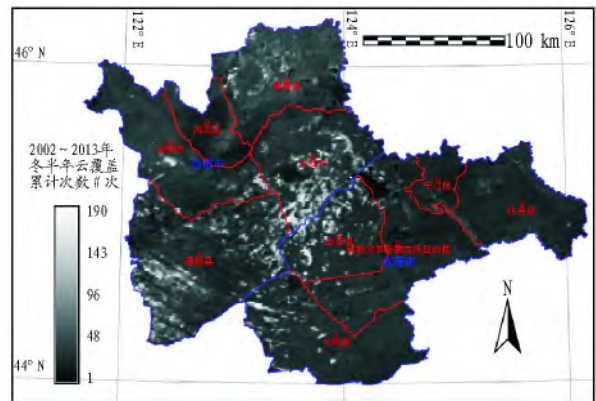


图6 2002~2013年吉林省西部地区冬半年云覆盖累积次数分布

从遥感获取的积雪覆盖和同期云覆盖的长时间累积状况,可以进一步确认吉林省湿地盐碱化地区没有呈现干涸热力洼地的性质,而是有一定水分的热力高地。

#### 4 结论与建议

通过吉林省西部地区热力景观的分析,可以初步确认该区的盐碱化不同于华北平原干旱状态的盐碱化,而是处于湿润状态下的盐碱化。这可能与当地的内源性的地质因素有关,从而导致不同于其他干旱区的盐碱化阶段出现致沙尘暴的热力洼地特征,反而呈现了热力高地的一些特性。

吉林省西部盐碱化地区的热力高地特征不代表该区域以后就不会发生沙尘暴源的情况;笔者正在进行的研究已发

(下转第355页)

区中最低的地区,分布最为连片。

曲江区的土地利用类型中分形维数值最大的是采矿用地(1.690 9),曲江区是 3 个区中采矿用地占比最大的地区(表 1),也是韶关市采矿用地的分布最多的区域,其空间镶嵌结构最为复杂。其次是水域(1.489 3),土地利用方式上坑塘等养殖水面分布较分散,也是 3 区中分布形态最为复杂的地区。耕地(1.345 5)分维数也较高,曲江是 3 区中耕地面积最大的区域,其复杂程度也较高。草地(1.299 5)、未利用地(1.294 9)、园地(1.272 8)的空间镶嵌结构复杂程度依次降低。交通用地(1.254 5)是 3 区中分维数值最小的区域,说明在 3 区中道路的分布形态最为简单,覆盖程度也最低。林地(1.205 0)的分维数最小,其空间镶嵌结构最为简单。

**2.2.2 土地利用类型的稳定性。**稳定性是与分形特征直接相关的一个指标,在土地利用研究中用来表征土地利用空间行为的结果。土地利用类型稳定性指数能够说明具有某一分形维数的土地斑块在自然状态下,抵御外部干扰,维持其自身及内部形态的能力<sup>[3]</sup>。

在各土地利用类型空间镶嵌结构中采矿用地的稳定性差异最小,其次由小到大是园地、城镇村居民点、林地、未利用地、草地、水域、耕地,交通用地的稳定性差异性最大。研究区内各区的土地利用空间镶嵌结构稳定性差异最大的是武江区,其次是曲江区,浈江区的土地利用空间镶嵌结构稳定性差异性最小。

浈江区的土地利用类型中林地(0.281 7)的图斑镶嵌结构稳定性最高,说明其抗外部干扰能力最强,不易改变其分布形态,但相对于其他区域较低。其次城镇村居民点用地(0.274 4),也是 3 个区域中稳定性最高的区域,空间镶嵌结构稳定性较高,城镇村居民点用地的用途较难改变为其他用地类型。草地(0.239 3)、园地(0.205 5)、采矿用地(0.196 7)和未利用地(0.157 0)的图斑镶嵌结构稳定性依次降低。耕地(0.115 6)的图斑镶嵌结构稳定性较低,也是 3 区中最低的,其抗干扰能力差,较易变更为其他土地利用类型或改变分布形态。交通用地(0.096 4)的图斑镶嵌结构稳定性也较低,其利用结构较易被改变。水域(0.084 3)图斑镶嵌结构稳定性最低,不仅有自然降水的原因,也有土地利用方式调整和土地整治的原因。

武江区的土地利用类型中林地(0.318 5)的图斑镶嵌结

构稳定性最高,也是 3 区中稳定性最高的地区。其次是草地(0.261 8)、城镇村居民点(0.259 9)、园地(0.216 8)、采矿用地(0.207 3)、耕地(0.202 8)、未利用地(0.194 5)和交通用地(0.047 0)、水域(0.029 6)的图斑镶嵌结构稳定性最差。

在曲江区的土地利用类型中林地(0.295 0)的图斑镶嵌结构稳定性最高,其次是城镇村居民点(0.249 8),在空间分布形态上表现较为聚集。曲江区水域(0.010 7)的图斑镶嵌结构稳定性最差,也是 3 个区中最差的地区,分布最为分散。

### 3 结论

分形理论应用在土地利用研究上,能够通过分析不同土地利用类型的斑块面积-周长关系,揭示其空间镶嵌结构的复杂程度和稳定性,定量表示土地利用结构和空间分异规律。基于分形理论的土地利用研究将各土地利用类型及其空间自相关性,用量化的指标进行对比,能够发现土地利用类型在整体和局部上的复杂程度和稳定性的差异。

韶关市辖区土地利用类型中,林地在数量上占有绝对的优势,其分布面积最大且较为集中连片,空间镶嵌结构复杂程度最小,稳定性最强。城镇村居民点在城区受到自然、经济和社会等因素的影响,其空间镶嵌结构复杂程度较小,稳定性较强。耕地、园地、草地、采矿用地、交通用地、水域和未利用地,由于其自身形态和人为的外部干扰,空间镶嵌结构复杂程度较大,稳定性较差。

### 参考文献

- [1] 朱晓华,蔡运龙.中国土地利用空间分形结构及其机制[J].地理科学,2005,25(6):671-677.
- [2] 朱晓华,李加林,杨秀春,等.土地空间分形结构的尺度转换特征[J].地理科学,2007,27(1):58-62.
- [3] 宋博,马建华,秦艳培.土地利用与土地覆被变化的分形分析[J].地域研究与开发,2004,23(3):106-122.
- [4] 岳文泽,徐建华,金炯,等.西北半干旱区城郊土地利用结构与分形模型研究[J].中国沙漠,2002,22(3):249-256.
- [5] 张济忠.分形[M].北京:清华大学出版社,1995:序7-18.
- [6] 田义超,任志远.基于分形模型的土地利用变化研究—以延安市宝塔区为例[J].干旱区资源与环境,2012,26(7):184-189.
- [7] 谢花林,李秀彬.基于分形理论的土地利用空间行为特征—以江西东江源流域为例[J].资源科学,2008,30(12):1866-1872.
- [8] 叶长盛,董玉祥.珠江三角洲土地利用分形特征及其影响机制[J].农业工程学报,2011,24(7):330-335.
- [9] 秦鹏,董玉祥.广州市土地利用空间分布影响因素的粒度效应分析[J].资源科学,2013,35(11):2239-2247.
- [10] 王璐璐,张征,李坚,等.基于 GIS 的土地利用类型分形维数及稳定性研究[J].环境科学与管理,2010,35(3):131-134.
- [11] 阿如早,杨持,同丽嘎.基于分形理论的沙漠化土地空间结构[J].地理研究,2010,19(2):283-290.

(上接第 253 页)

现该区域已有小规模不频发的区内起沙情况。因而需要在治理盐碱化的同时,务必控制好地下水的水位,不能过度开采地下水。一旦形成地下漏斗,地表盐碱化地区会演变为真正的干涸湖床,从而形成诱发沙尘暴的热力洼地。

### 参考文献

- [1] 张殿发,王世杰.吉林西部土地盐碱化的生态地质环境研究[J].土壤通报,2002,33(2):90-93.
- [2] 刘志明,晏明,何艳芬.吉林省西部土地盐碱化研究[J].资源科学,

2004,26(5):111-118.

- [3] 林年丰,汤洁.松嫩平原环境演变与土地盐碱化、荒漠化的成因分析[J].第四纪研究,2005(4):474-483.
- [4] 林年丰,汤洁,斯谔,等.松嫩平原荒漠化的 EOS-MODIS 数据研究[J].第四纪研究,2006(2):265-273.
- [5] 林年丰,BOUNLOM V,汤洁,等.松嫩平原盐碱土的形成与新构造运动关系的研究[J].世界地质,2005(3):282-288,311.
- [6] 匡耀求,黄宁生.热力洼地与沙尘暴的形成[J].科学,2006,58(5):19-22.
- [7] 刘宇,匡耀求,吴志峰,等.不同土地利用类型对城市地表温度的影响—以广东东莞为例[J].地理科学,2006(5):5597-5602.