

## 气候变化对元上都遗址区景观格局的影响

武录义<sup>1</sup>, 岳永杰<sup>2</sup>, 刘果厚<sup>1</sup>, 高润宏<sup>2</sup>, 苏志成<sup>3</sup>

(1. 内蒙古农业大学 生态环境学院, 内蒙古 呼和浩特 010019; 2. 内蒙古农业大学 林学院, 内蒙古 呼和浩特 010020; 3. 乌兰察布林业局国有林场和森林公园管理站, 内蒙古 乌兰察布 012000)

**摘要:** 为了研究气候变化对内蒙古元上都遗址区景观格局的影响, 运用小波分析、遥感技术等方法, 分析了1981-2010年元上都遗址区气候变化规律和1990年、2000年、2010年3个不同时期的景观格局动态。结果表明: 元上都遗址区近30a年均气温呈上升趋势, 年际变率为 $0.065\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot\text{a}^{-1}$ , 在30a低频区和10a中频区呈明显冷暖交替期。年降水量呈下降趋势, 但变化趋势不显著, 在25a的低频区呈明显干旱期, 而10a的中频区呈干湿交替, 受气候暖干化的影响仍将持续; 元上都遗址区草地景观优势度在降低, 景观结构变化较大。其中草地、水域、湿地与沼泽面积在减小, 而耕地、林地、居民点和沙地面积在增加, 沙地面积增幅显著, 20a间年均增加 $9.55\text{ km}^2$ ; 近30a来, 气候变化不是主导元上都遗址区景观格局变化的主要因素, 气候变化与沙地、草地面积相关性最大。而2000年后的区域开发和相关生态工程是导致遗址区景观稳定性降低的主要因素。图4表3参19

**关键词:** 景观生态学; 元上都遗址; 气候变化; 小波分析; 景观格局

中图分类号: P461; S718.5 文献标志码: A 文章编号: 2095-0756(2016)02-0232-07

## Climate changes affecting regional landscape patterns at Xanadu

WU Luyi<sup>1</sup>, YUE Yongjie<sup>2</sup>, LIU Guohou<sup>1</sup>, GAO Runhong<sup>2</sup>, SU Zhicheng<sup>3</sup>

(1. College of Ecology and Environmental Science, Inner Mongolia Agricultural University, Hohhot 010019, Inner Mongolia, China; 2. College of Forest Ecology Research, Inner Mongolia Agricultural University, Hohhot 010020, Inner Mongolia, China; 3. State Forest Farm and Forest Park Station of Forest Enterprise, Ulanqab 012000, Inner Mongolia, China)

**Abstract:** To study the effects of climate change on landscape patterns at sites in Xanadu, wavelet transformation and remote sensing were used to analyze the climate change rules from 1981-2010 for landscape pattern dynamics in three different periods: 1990, 2000, and 2010. Results showed that the annual temperature had a rising tendency over the nearly 30 years with an interannual variation of  $0.065\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot\text{a}^{-1}$  years. Zone temperature changes alternated between a low frequency of 30 years and high frequency of 10 years. Annual precipitation declined slightly with interannual variation of  $0.07\text{ mm}\cdot\text{a}^{-1}$ . The low frequency of 25 years experienced drought; whereas, the low frequency of 10 years alternated between wet and dry. Dominance of the grass landscape declined on this site. Structural landscape changes included a decrease in grasslands, water areas, wetlands, and swamps; while farmland, woodland, residential places, and sandy areas increased. For instance, sandy areas increased  $9.55\text{ km}^2$  in nearly 20 years. Over this 30 year period, climate change was not the dominant factor that changed the landscape pattern; climate change associated with sandy and grassland areas were greatest. As regional development and relevant eco-engineering being the main factors contributing to reduce stability of these landscape sites. [Ch, 4 fig. 3 tab. 19 ref.]

**Key words:** landscape ecology; Xanadu; climate change; wavelet analysis; landscape pattern

收稿日期: 2015-04-27; 修回日期: 2015-06-20

基金项目: 国家环保公益性行业资助项目(201309040)

作者简介: 武录义, 从事森林生态学、风险评估等研究。E-mail: 565294510@qq.com。通信作者: 岳永杰, 副教授, 从事森林生态教学、水土保持研究。E-mail: wolongyue@126.com

全球气候不断变暖这一不争的事实且这种变化趋势将会持续。预计 21 世纪末，气温将上升 1.1~6.4 °C，降雨模式也发生改变<sup>[1-3]</sup>。对全球生态系统的影响也在不断加剧。草地生态系统作为陆地生态系统的重要组成部分之一，在全球气候变化中的变化、响应与显著空间异质性正受到广泛关注<sup>[4-6]</sup>。在气候变化影响下，中国大面积草地资源系统发生改变，引起草地生态系统功能下降<sup>[7]</sup>。这种影响已威胁到区域生态安全和社会经济发展。而草原文化遗址区依托草地生态系统在全球气候变化中的响应与关系，国内外学者的关注相对较少<sup>[8-11]</sup>。大多学者研究气候变化基于草地生态系统的草地生物量和载畜量的动态变化，或侧重于气候变化与区域的合理开发，对气候变化影响区域景观的研究更是鲜有报道<sup>[11-13]</sup>。目前，由于草原文化遗址的开放性和界线模糊性，致使其正遭受着严重的威胁。特别是近年来，这些遗址和遗迹不断受到自然因素与人类活动的冲击。在全球气候变化导致的干旱区草地面积退化、生态功能降低的形势下，作为内蒙古蒙元文化繁荣的主要遗址<sup>[14-16]</sup>的元上都遗址区的气候变化研究具有现实意义。为此，该研究以内蒙古元上都遗址为研究区域，研究了气候变化对其景观的影响，旨在提高草原文化遗址应对气候变化的能力并为草原文化遗址的保护提供理论依据。

## 1 研究区概况

元上都遗址区位于内蒙古正蓝旗金莲川草原五一牧场境内，遗址所在区域属中温带半干旱大陆性气候，多年平均气温为 2.1 °C，1 月平均气温为 -18.3 °C，7 月平均气温为 18.7 °C； $\geq 10$  °C 的积温为 1 574~2 504 °C；多年平均降水量为 366.8 mm，主要集中在 6~8 月，占全年降水量的 65%~70%；多年平均蒸发量为 1 920.5 mm；无霜期 104 d，多年平均风速为 4.7 m·s<sup>-1</sup>。地貌总体上呈南高北低趋势，海拔为 1 200~1 300 m，土壤类型主要以温带干草原栗钙土为主，土壤厚度由南向北逐渐变薄<sup>[9]</sup>。植被以多年生草本植物为主，形成以大针茅 *Stipa grandis* 和克氏针茅 *Stipa krylovii* 为建群种的群落。

## 2 数据来源与分析方法

### 2.1 气象资料与分析方法

研究区是以元上都遗址为中心，向周边扩展至农牧交错点与城镇建设用地，南北各 20 km，东西各 40 km，总面积为 4 015 km<sup>2</sup>。研究区气象资料来源于内蒙古正蓝旗上都镇各气象监测站点，为 1981~2010 年逐日气象资料<sup>[10]</sup>，包括日平均气温、日降水量、日平均风速等。采用小波分析方法分析各气象要素的变化周期，*M—K* 突变检验方法检验各气象要素的突变点。小波分析<sup>[11]</sup>既能够反映出信号在时频域上的总体特征，还能够提供局部变化信息，亦能检验其突变时间。

### 2.2 遥感资料与分析方法

以中国科学院遥感卫星地面接收站提供的研究区 1990，2000，2010 年遥感影像数据为遥感信息源，以该区域 1:50 000 地形图及土地利用二次普查数据为补充信息源，运用 ArcGIS 和景观格局分析软件，基于现场踏勘与实地调研的基础上<sup>[5]</sup>，通过目视解译方法，对 3 个不同时段的遥感影像进行合成处理、景观分类、制图与空间叠加对比。

### 2.3 数据处理

应用 SPSS 软件对各气象要素与不同景观类型面积进行相关分析。

## 3 结果与分析

### 3.1 元上都遗址区及其周边景观的气候变化特征

3.1.1 年均气温变化特征 由图 1 可知：气温整体呈上升趋势，30 a 平均气温为 2.53 °C，年均最高气温为 2007 年的 4.01 °C，最低气温值为 1985 年的 0.6 °C，极差值为 3.41 °C。30 a 平均气温的年际变率为 0.065 °C·a<sup>-1</sup>，小波分析如图 2。由图 2 可知：在低频区 30 a，气温出现 1 个明显冷暖期，时间突变大致在 20 世纪 90 年代初；在中频区 10 a 的时间尺度上，气温经过了降—升的循环趋势，出现 3 个明显的冷暖交替期，气温在中低频区变化规律一致。2010 年后将进入下个 10 a 气温下降周期；在高频区 3~5 a 的时间尺度上，气温循环趋势出现 8 个明显暖冷期的周期。由作者之前数据分析可知，*M—K* 突变检验在显著性水平 0.05 的临界线之间，曲线在 1993 年附近存在 1 个突变点，说明元上都遗址区在 1993 年

经历了1次显著变暖过程。

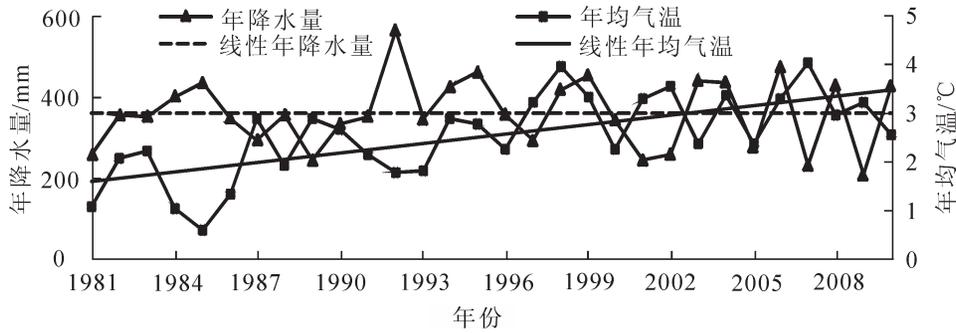


图1 研究区1981-2010年气温和降水量变化

Figure 1 Change of precipitation or temperature during 1981-2010

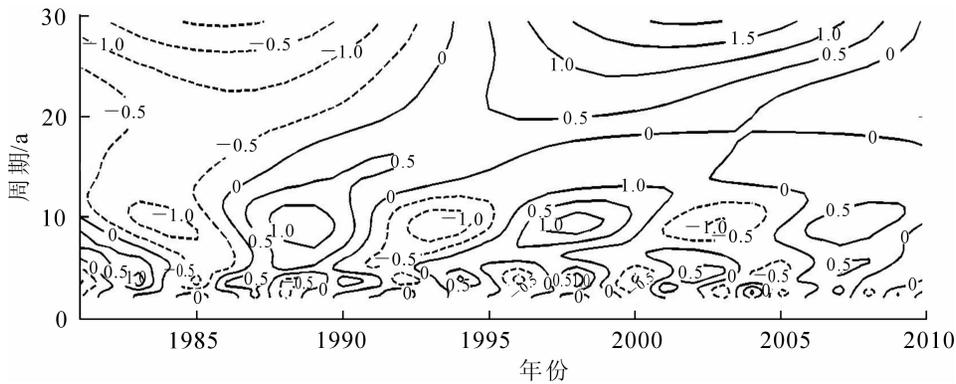


图2 研究区年均气温小波平面图

Figure 2 Average annual temperature of wavelet plan

3.1.2 降水量变化特征 由图1分析可知：降水量呈上升趋势，但是变化并不明显。30 a平均降水量为359.7 mm。年最大降水量出现在1992年，其值为562.8 mm，最小降水量出现在2007年，其值为207.0 mm，极差值为355.8 mm。降水量年际变化为 $0.07 \text{ mm} \cdot \text{a}^{-1}$ 。小波分析如图3可知：低频区25 a时间尺度上有2次明显干旱周期，即1985年和2002年前后；在1980-1995年，中频区10 a附近出现3次“干—湿—干”的交替期，而在1995年后以5 a周期振荡为主。在高频区5 a附近出现连续干湿交替期，但是在2005年后干湿交替不明显，2009年高、中频区都出现干旱情况，实际该年降雨量仅为207.0 mm。综合来看，2000年后研究区以干期为主。由作者之前M-K突变检验分析可得，统计量序列UF和UB曲线均在显著性水平0.05的临界线之间，在1989年和2009年附近存在2个明显的突变点，说明该突变年份年降水量显著减少。

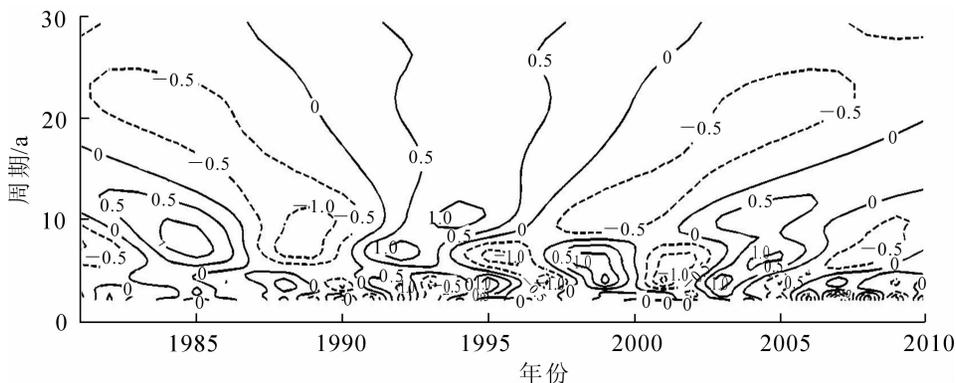


图3 研究区年降水量小波平面图

Figure 3 Annual precipitation of wavelet plan

### 3.2 景观格局变化

基于元上都遗址区区域开发规模、历史文化背景与上都河流域面积确定遥感区域界线，即以元上都为中心，向周边扩展至农牧交错点与城镇建设用地。总面积为 4 015 km<sup>2</sup>。通过对比蓝旗 1990, 2000, 2010 年遥感影像，以 GB/T 21010-2007《土地利用现状分类》标准作为参考，将元上都遗址区的景观类型分为 10 个 I 级类，分别为耕地、林地、高覆盖度草地、中覆盖度草地、低覆盖度草地、城镇与工矿用地、沙地、水域、沼泽与湿地、盐碱地<sup>[5]</sup>。景观中草地和耕地面积最大，耕地所占面积比例由 1990 年的 14.26% 增加到 2000 年的 16.53%，之后的 2010 年又减少了 0.35%；而草地所占比例由 1990 年的 73.36% 减少到 2010 年的 67.10%；于此相比，沙地面积所占比例由 1990 年的 5.14% 增加到 2010 年的 8.47%。

由图 4，表 1 和表 2 可以看出：元上都遗址区区域景观面积变化草地景观总体呈缩减趋势，减少 19.2 km<sup>2</sup>·a<sup>-1</sup>。其中草地转变为沙地与耕地的面积较大，沙地面积增加 9.55 km<sup>2</sup>·a<sup>-1</sup>，耕地面积增加 6.7 km<sup>2</sup>·a<sup>-1</sup>。而转化为林地、城镇与工矿用地、水域、盐碱地、裸地面积相对较小。这主要是由于研究区北部为浑善达克沙地，每年向南扩展，放牧导致草地沙化加剧，而同时 20 世纪 80 年代末至 90 年代初区域大面积植树造林、农业大开发开垦种植农作物、城镇化进程的加快都是其诱导因素，2000 年以后沙地区域的人为治沙以及退林还草使其得到明显改善；盐碱地在风蚀和强风力作用下，表层土壤结皮破坏，面积逐渐减少演变为新的沙地。而水域与沼泽与湿地面积由 183 km<sup>2</sup> 减少到 181 km<sup>2</sup>，平均减少 0.07 km<sup>2</sup>·a<sup>-1</sup>，遗址区正是由于坐落在上都河下游，其面积的减少对遗址区的保护亦构成较大威胁。1990-2010 年间，研究区景观格局发生了较大变化，斑块数量与斑块密度呈先减少后增加趋势，表明遗址区区域斑块数渐趋稳定，但是 2000 年后虽然斑块数增加，斑块形状趋于复杂，但草地景观斑块数趋于下降，不及 1990 年，景观破碎化程度在加剧，景观多样性指数呈增加趋势，表面研究区景观构成趋于复杂，景观稳定性在下降。

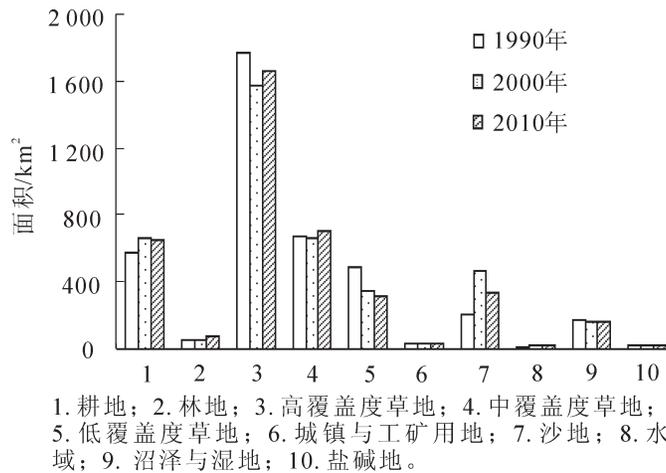


图 4 1990, 2000, 2010 年景观面积变化

Figure 4 Landscape area change of 1990, 2000 and 2010

表 1 研究区 1990-2010 年草地景观转换分类面积

Table 1 Classification convert grassland landscape area in 1990-2010 years

年份	转换面积/ km <sup>2</sup>							
	耕地	沙地	林地	裸地	盐碱地	城镇工矿用地	水域	沼泽与湿地
1990-2000	1.98	2.51	0.36	0.05	0.10	0.19	0.10	0.22
2000-2010	37.84	62.56	20.00	2.37	5.00	7.26	1.01	0.57
1990-2010	133.91	190.99	27.18	8.35	6.49	8.85	7.21	0.33

### 3.3 气候因子对研究区景观格局的影响

气温因子影响植被的生长、分布以及区域生态环境，因此，气温的变化对景观格局的斑块及分布具有重要影响。

由表3可知：研究区年均气温与盐碱地面积呈正相关关系，相关系数为0.992。即随着气温的升高盐碱地的面积呈增加趋势，在自然状态下，气温升高导致土壤蒸发量增加，加之20世纪90年代增温较大，气候暖化程度加剧，盐碱地面积呈扩大趋势；而其他景观类型均与气温呈负相关关系。沙地和耕地面积的减少与气温相关关系不大，主要是由于研究区在20世纪90年代人为治沙以及近10a退耕还林、退耕还草原因导致的。从气温的年际变化来看，研究区目前处于暖干化期，而且这种暖期仍将继续，因此，未来几年，元上都遗址区区域盐碱地仍会扩大，而沼泽湿地与草地面积随着人为治理和保护作用下有所改善。

降水量反映了地区的干旱程度，对各景观类型的分布、植被生长、人类生存都具有重要影响<sup>[17-18]</sup>。城镇工矿面积与降水量呈正相关关系(表3)，相关系数为0.994。降水量的增加，城镇工矿面积在扩大，耕地、林地、沙地、裸地、盐碱地、水域面积也与降水量呈正相关关系，其中，20世纪70年代元上都遗址区区域耕地面积较少，80年代开始，大量草地、水域已被开垦，耕地面积达1.98 km<sup>2</sup>，随着近20a降水量的增加，拓荒面积进一步扩大，波及整个元上都遗址区周边水域、林地，耕地面积直线上升，达到37.84 km<sup>2</sup>。直到近5a降水量波动巨大，退耕还林与退耕还草的政策使耕地面积增加趋势有所缓减，相应草地面积增加明显<sup>[19]</sup>。沼泽与湿地、高草面积是呈负相关关系，降水量增加导致沼泽与湿地面积的减少，其反常原因在于：①元上都遗址区位于正蓝旗上都镇西北20 km处，2003年遗址区上游上都河修建水库出现连年断流现象；②2005-2010年随着“一产”比例的降低，“二产”所占人均国民生产总值(GDP)比例由61.41%上升至80.37%，因此，区域经济的快速增长必然带动土地利用的增长，从而导致研究区降水量与沼泽湿地负相关。

从风速与各类型景观面积变化来看，风速与中覆盖度草地关系密切，具有显著性，呈正相关关系，相关系数为0.999。草原植被盖度较好，风蚀量较小，中覆盖度草地能有效减缓风蚀作用以及沙化速度。而风速与沙地呈负相关关系，其原因在于沙化土地大都为固定沙地，其植被覆盖度较高，抗风蚀力较强，风速的增加对沙地面积的减少作用较小。

综合以上分析，气温与耕地、沙地、水域面积负相关较大，与盐碱地面积正相关较大；而降水量与林地、裸地、城镇面积正相关较大，与沼泽湿地负相关较大；风速与中覆盖度草地面积正相关较大。

表3 研究区各景观类型面积与各气象要素的相关系数

Table 3 Correlation coefficients of the area of landscape type area and climate factors

景观类型	气温/°C	降水量/mm	平均风速/(m·s <sup>-1</sup> )
耕地	-0.796	0.455	-0.071
水域	-0.818	0.422	-0.108
沙地	-0.958	0.114	-0.417
沼泽与湿地	0.514	-0.754	-0.305
林地	0.049	0.992	0.782
高覆盖度草地	0.946	-0.153	0.381
裸地	-0.348	0.862	0.475
中覆盖度草地	0.624	0.879	0.999*
盐碱地	0.992	0.297	0.749
低覆盖度草地	0.580	-0.700	-0.229
城镇与工矿	-0.071	0.994	0.796

说明：\*表示  $P < 0.05$ 。

## 4 讨论

1981-2010年，元上都遗址区区域气候经历了冷干—暖湿—冷干—暖干的演变过程，目前为暖干期，并在2015年前将继续维持这一暖干气候期。受气候暖干化的影响，研究区的草地植被破坏，土地

沙化、盐碱化面积不断扩大，虽然近 10 a 的人为治沙和退耕还草，土地沙化面积与耕地面积都有所减缓，但是其扩大趋势仍将继续；随着研究区林业工程的建设，林地面积的剧增已经严重影响元上都遗址区区域景观格局，而农牧业结构的调整与优化趋势势在必行，其以草原文化为主的遗址区景观正遭受保护与开发的双重压力。

在气候暖干化的影响下，人为破坏和区域开发促进和加快了研究区沙地的活化过程<sup>[19]</sup>。20 世纪 90 年代尽管降水量增加，但是沙化面积比近 10 a 仍然增加了 60.05 km<sup>2</sup>，2000 年以后，尽管研究区依然温度升高，降水量减少，但是在人为保护和治理下，沙化面积得到控制，草地面积则增加了 108.18 km<sup>2</sup>，说明研究区生态环境治理得到有效控制，人为治理抑制了土地沙化、盐碱化面积的扩大，但是受气候变化影响，草地植被退化程度依然严重。

目前，随着气候暖干化的推移，研究区水域面积不断缩小，其上游闪电河的断流进一步加剧了湿地景观的萎缩，原来大面积的湿地被分割成小的斑块。气候变化是导致研究区景观格局变化的内部驱动因素，而随着研究区 2000 年后区域开发的不断加剧，其对研究区景观格局的变化起着越来越显著的外部驱动因素。因此，对于元上都遗址区的保护与开发要坚持“保护优先，开发适度”的原则，加强周边湿地与草地的保护，抑制沙地、盐碱地的扩张。

## 5 结论

年均气温呈明显上升趋势，于 1986 年显著增加，且年平均最低气温的上升更为显著；年均降水量略有增加，1989 年和 2009 年为突变显著年份。气候总体变化呈暖干化趋势。气候季节变化中夏季最低气温和夏季最高气温的升高是导致研究区气候暖化的原因。而夏季降水量的减少是导致该区降水量近 30 a 不显著的主要原因。

受气候暖干化的影响，研究区的景观格局趋于多样化和破碎化。其景观斑块数由 1990 年的 2 234 块增加到 2010 年的 2 469 块。1990–2010 年草地所占面积比例减少了 6.26%，耕地所占面积比例增加了 2.27%，沙地所占面积比例增加了 3.33%，其中土地沙化、盐碱化面积不断扩大，沙地面积每年增加 9.55 km<sup>2</sup>，耕地面积每年增加 6.7 km<sup>2</sup>。草地面积减少和沙地面积增大这一趋势仍将持续。而水域、湿地面积在萎缩，其面积由 183 km<sup>2</sup> 减少到 181 km<sup>2</sup>，年均减少 0.07 km<sup>2</sup>。这种变化趋势原因之一是由于气候的变暖和降水量在夏季的减少造成的。

研究区景观格局的破碎化和生境变迁内因是由于气候逐渐趋于暖干化，外因是由于周边区域开发。闪电河上游修建水库导致流域断流，20 世纪 90 年代的过度放牧，修建公路、铁路以及旅游开发等区域开发类型带来的生态环境变迁。

## 6 参考文献

- [1] IPCC. *Climate Change 2007-the Physical Science Basis: Working Group I Contribution to the Fourth Assessment Report of the IPCC* [M]. Cambridge: Cambridge University Press, 2007: 996.
- [2] 《气候变化国家评估报告》编写委员会. 气候变化国家评估报告[M]. 北京：科学出版社，2007.
- [3] 陈隆勋，朱文琴，王文，等. 中国近 45 a 来气候变化的研究[J]. 气象学报，1998，**56**(3): 257 – 271.  
CHEN Longxun, ZHU Wenqin, WANG Wen, *et al.* Studies of climate change in China in recent 45 years [J]. *Acta Meteorol Sin*, 1998, **56**(3): 257 – 271.
- [4] 王遵娅，丁一汇，何金海，等. 近 50 a 来中国气候变化特征的再分析[J]. 气象学报，2004，**62**(2): 228 – 236.  
WANG Zunya, DING Yihui, HE Jinhai, *et al.* An updating analysis of the climate change in China in recent 50 years [J]. *Acta Meteorol Sin*, 2004, **62**(2): 228 – 236.
- [5] 甄江红，银山，刘果厚，等. 草原文化遗址区景观格局变化及其生态风险评估：以元上都为例[J]. 干旱区资源与环境，2014，**28**(12): 159 – 165.  
ZHENG Jianghong, YIN Shan, LIU Guohou, *et al.* Landscape pattern change and ecological risk assessment on the grassland culture relics area: a case of Yuanshangdu [J]. *J Arid Land Resour Environ*, 2014, **28**(12): 159 – 165.
- [6] 任国玉，郭军，徐铭志，等. 近 50 a 中国地面气候变化基本特征[J]. 气象学报，2005，**63**(6): 942 – 955.  
REN Guoyu, GUO Jun, XU Mingzhi, *et al.* Climate changes of China's mainland over the past half century [J]. *Acta*

- Meteorol Sin*, 2005, **63**(6): 942 – 955.
- [7] 屠其璞, 邓自旺, 周晓兰. 中国近 117 a 年平均气温变化的区域特征研究[J]. 应用气象学报, 1999, **10**(增刊): 34 – 42.  
TU Qipu, DENG Ziwan, ZHOU Xiaolan. Study of regional characteristics on mean annual temperature variation of 117 years in China [J]. *Quart J Appl Meteorol*, 1999, **10**(supp): 34 – 42.
- [8] 张平. 大遗址周边区域开发强度控制研究[D]. 西安: 西北大学, 2014: 1 – 7.  
ZHANG Ping. *Development Intensity Control of the Great Site Surrounding Area* [D]. Xi'an: Northwest University, 2014: 1 – 7.
- [9] 李兴华, 韩芳, 张存厚, 等. 气候变化对内蒙古中东部沙地-湿地镶嵌景观的影响[J]. 应用生态学报, 2009, **20**(1): 105 – 112.  
LI Xinghua, HAN Fang, ZHANG Cunhou, *et al.* Influence of climate change on mosaic landscape of sand land-wetland in middle-east Inner Mongolia [J]. *Chin J Appl Ecol*, 2009, **20**(1): 105 – 112.
- [10] 王涛, 哈斯格日勒, 布仁毕力格, 等. 正蓝旗辉煌 30 a[R]. 正蓝: 正蓝旗统计局, 2008: 10 – 417.
- [11] 沈姣姣, 寇小兰, 巨晓璇, 等. 西安市汛期降雨特征的多尺度分析及未来趋势预测[J]. 中国农学通报 2015, **31**(2): 219 – 224.  
SHEN Jiaojiao, KOU Xiaolan, JU Xiaoxuan, *et al.* Analysis on the precipitation characteristics in multiple scales and prediction of future trend in flood season in Xi'an [J]. *Chin Agric Sci Bull*, 2015, **31**(2): 219 – 224.
- [12] 杜军. 西藏高原近 40 a 的气温变化[J]. 地理学报, 2001, **56**(6): 682 – 690.  
DU Jun. Change of temperature in Tibetan Plateau from 1961 to 2000 [J]. *Acta Geogr Sin*, 2001, **56**(6): 682 – 690.
- [13] 苏洁琼, 王烜. 气候变化对湿地景观格局的影响研究综述[J]. 环境科学与技术, 2012, **35**(4): 74 – 81.  
SU Jieqiong, WANG Xuan. Review on impacts of climate change on wetland landscape patterns [J]. *Environ Sci Technol*, 2012, **35**(4): 74 – 81.
- [14] 刘宏娟, 胡远满, 布仁仓, 等. 气候变化对大兴安岭北部沼泽景观格局的影响[J]. 水科学进展, 2009, **20**(1): 105 – 110.  
LIU Hongjuan, HU Yuanman, BU Renchang, *et al.* Impacts of climate changes on the landscape patterns of potential mire distributions in northern Great Khing'an Mountains [J]. *Adv Water Sci*, 2009, **20**(1): 105 – 110.
- [15] 肖锐, 王学雷, 杨小琴, 等. 基于 TM 影像的湿地格局变化空间分析: 以洪湖市为例[J]. 华中师范大学学报: 自然科学版, 2008, **42**(2): 295 – 298.  
XIAO Rui, WANG Xuelei, YANG Xiaoqin, *et al.* Spatial analysis of wetland changes based on the TM image: a case study in Honghu City [J]. *J Huazhong Norm Univ Nat Sci*, 2008, **42**(2): 295 – 298.
- [16] 白军红, 欧阳华, 杨志峰, 等. 湿地景观格局变化研究进展[J]. 地理科学进展, 2005, **24**(4): 36 – 45.  
BAI Junhong, OUYANG Hua, YANG Zhifeng, *et al.* Changes in wetland landscape patterns: a review [J]. *Prog Geogr*, 2005, **24**(4): 36 – 45.
- [17] 赵慧颖, 乌力吉, 郝文俊. 气候变化对呼伦湖湿地及其周边地区生态环境演变的影响[J]. 生态学报, 2008, **28**(3): 1064 – 1071.  
ZHAO Huiyin, Wuliji, HAO Wenjun. Influences of climate change to ecological and environmental evolution in the Hulun Lake wetland and its surrounding area [J]. *Acta Ecol Sin*, 2008, **28**(3): 1064 – 1071.
- [18] 李金亚, 徐斌, 杨秀春, 等. 锡林郭勒盟草原沙化动态变化及驱动力分析: 以正蓝旗为例[J]. 地理研究, 2011, **30**(9): 1659 – 1681.  
LI Jinya, XU Bin, YANG Xiuchun, *et al.* Dynamic changes and driving force of grassland sandy desertification in Xilin Gol: a case study of Zhenglan Banner [J]. *Geogr Res*, 2011, **30**(9): 1659 – 1681.
- [19] 施建敏, 马克明, 赵景柱, 等. 三江平原残存湿地斑块特征及其对物种多样性的影响[J]. 生态学报, 2010, **30**(24): 6683 – 6690.  
SHI Jianmin, MA Keming, ZHAO Jingzhu, *et al.* The patch characteristics of wetland remnants in the Sanjiang Plain and its influence on plant species richness [J]. *Acta Ecol Sin*, 2010, **30**(24): 6683 – 6690.