

干旱荒漠绿洲景观空间格局及其受水资源条件的影响分析

王根绪^{1,2}, 程国栋¹

(1. 中国科学院寒区旱区环境与工程研究所冻土工程国家重点实验室, 兰州 730000; 2. 兰州大学资源环境学院, 兰州 730000)

摘要:以黑河流域下游额济纳荒漠绿洲为研究对象, 分析了景观生态的基本特点和景观嵌体类型, 通过景观空间格局及其变化分析与景观生态功效的评价, 利用 80 年代和 90 年代两期有关景观生态的资料, 论述了水资源条件变化对研究区景观格局的影响, 指出河流廊道是干旱区荒漠绿洲的主要生态流, 河流廊道的变化是导致荒漠绿洲景观格局变化的驱动力。

关键词: 干旱区; 荒漠; 绿洲; 景观生态; 空间格局; 水资源; 影响

The spatial pattern and influence caused by water resources in arid desert oases

WANG Gen-Xu^{1,2}, CHENG Guo-Dong¹ (1. State Key Laboratory of Frozen Soil Engineering, Institute of CAREE, CAS, Lanzhou 730000, China; 2. Department of Lanzhou University, Lanzhou 730000, China)

Abstract: Ejina oasis, located in the lower reach of Heihe River basin, was selected for the case study. The characteristics and types of the landscape were analyzed. By using the information of landscape ecology in 1980s and 1990s, the indices such as Dominance, Diversity, Homogeneity, Fragmentation and Separation were chosen to analyze the resources conditions. The landscape ecological functions were evaluated. The results show that, the river corridors are the most important ecological flow in the arid desert oasis and their changes are the drive power resulted in the variation of landscape patterns.

Key words: arid area; desert; oases; landscape ecology; spatial pattern; water resources, influence

文章编号: 1000-0933(2000)03-0363-06 中图分类号: Q149, S181 文献标识码: A

干旱区荒漠绿洲系指荒漠中有水源, 可供人类生存并从事各种社会经济活动的区域, 其绿洲生态系统既是整个荒漠生态系统的组成部分, 又是决定荒漠生态系统结构与功能的关键组分, 同时也是干旱区生态最为敏感的部分^[1], 对外界干扰, 尤其区域水土资源的开发, 响应强烈, 表现在绿洲生态系统的景观空间格局及其功能随水土资源开发程度而变化, 在干旱区不受区域水土资源开发影响的绿洲生态系统几乎不存在, 普遍存在林草退化, 土地盐碱化或沙漠化等问题, 因此评价与预测区域资源开发利用后的生态环境变化趋势, 成为干旱区社会经济持续发展过程中始终需要解决的问题之一。

从区域角度出发, 绿洲生态系统的状况的评价, 实质是绿洲生态景观空间格局与功能的分析, 不同时期景观格局的变化的研究就是对生态系统演变的预测。景观结构组分是相对同质的生态要素或单元, 绿洲生态系统的变化, 首先表现在景观结构组分(或景观元素)的空间结构、相互作用及功能的变化与演替, 景观生态学就是用来研究一类基质中景观要素之间的相互作用及在大尺度上作为整体的景观动态^[2], 而由不同生态系统所组成的景观的空间结构、相互作用、功能及动态变化是景观异质性的具体表现, 景观异

基金项目: 国家“九五”攻关课题 96-912-03-03 以及国家重点基金 49731030 联合资助

收稿日期: 1998-09-08 修订日期: 1998-12-10

作者简介: 王根绪(1965~), 男, 博士, 研究员

万方数据

质性研究一直是景观生态学的基本问题之一^[3]。景观空间格局分析是景观生态学研究的核心之一,对干旱区荒漠绿洲的景观的空间格局分析,将有助于正确评价生态状况及其与自然与人类活动的关系。

1 研究区域概况

本文研究以内蒙古额济纳旗为研究对象,该区域位于河西最大内陆河——黑河流域下游尾间地段,介于东经 97°10'23"~102°7'5",北纬 39°52'20"~42°47'20",总面积 102461.30km²。按地貌单元划分,研究区由西南部干燥剥蚀低山残丘、中部及东部冲积平原及湖盆洼地与南部巴丹吉林沙漠等类型组成。气候极端干旱,年均降水量仅 37.9~49.3mm,蒸发量为 3700~4300mm,黑河经甘肃张掖地区和酒泉地区金塔县流入境内,分成东、西两条支流,分别汇入东、西居延海,形成广阔的三角洲冲积平原,历史上著名的古居延绿洲就位于该冲积平原上靠近东河一带。据史书记载,从汉代开始,这里繁荣的农垦经济与商贸活动一直延续至明代,在长达 1000 多年的开发过程中,曾一度形成稳定的灌溉绿洲达 $2.4 \times 10^4 \text{hm}^2$,著名的黑城成为从汉代至元代各历史时期重要的边防重镇^[4]。从本世纪以来,尤其是建国后,随着中上游工农业经济的迅速发展,黑河进入本区的水量不断减少,由 50 年代的平均 12.31 亿 m³ 下降到 80 年代的 9.84 亿 m³,进入 90 年代后,进一步减少到年均约 6.7 亿 m³,水资源量的急剧减少,导致额济纳旗境内生态环境不断恶化,终端湖泊干涸、地下水位下降,原来繁茂的乔灌木林大量消亡的同时,天然草场不断缩小,现代沙漠化在本区迅速发展,不仅严重制约着本地农牧经济的稳定发展,而且已威胁着这片荒漠绿洲的存亡,并对国防建设、民族关系及中上游经济发展产生深远影响。

研究区经济以牧业为主,人口约 14579 人。农耕地面积很小,且不稳定,随着水量变化,草场面积较大,约占总土面积的 61%,但草场质量较低,平均干草产量仅约 375.6kg/hm²。

2 景观生态特点与景观类型划分

研究区域同其他干旱内陆河流域荒漠绿洲生态体系相类似,其景观生态具有以下特征:①绿洲的异质镶嵌性,天然荒漠绿洲是以广袤的戈壁荒漠景观为基质的镶嵌体,且二者之间存在截然不同的生物作用强度和生产力,使二者之间对比鲜明。②景观斑块较大,结构粗粒化;干旱区荒漠绿洲景观的嵌块体粒度相对农业及城郊景观要大得多,同一类景观嵌块体可占居数百平方公里乃至上千平方公里范围,这也是干旱环境下生物种类相对贫乏,生态结构相对简单的表现。③水源依赖性,干旱荒漠境条件下天然降水对绿洲的生存与发展几乎不具有任何价值,构成绿洲的主要植被群落依靠外来径流或地下水来提供生长来源于地表径流的转化,因此,荒漠绿洲实质是河流廊道及其影响区。

④类型简单而隐域化,构成绿洲的天然植被主要有沼泽植被,草甸植被及河岸林灌植被等非地带性植被类型,且由于其水源依赖性,空间分布上除沿河流廊道带状分布外,还有零散布于低湿湖盆地带;荒漠绿洲生物种类稀少,种群结构单一,景观类型相对简单。⑤景观演变迅速及区域性,干旱区荒漠绿洲景观,是在极其严酷的自然环境下由外来径流作用的产物,其脆弱性决定了其抗干扰性低。尤其是景观的水源依赖使其随水资源变化的演变十分显著而深刻,且这种演变发生的范围较大,具有区域性,如石羊河下游、塔里木河中游以及黑河流域下游地区,植被生态退化速率达到年均总面积的 3.2%~3.4%,在 20a 年间绿洲退缩达 $21.0 \sim 35.09 \times 10^4 \text{hm}^2$,在新疆伊犁地区,甚至达到 $305.26 \times 10^4 \text{hm}^2$ 。

干旱区荒漠绿洲上述景观生态特征,表明景观结构或异质性镶嵌并不总是土地利用的产物,景观的变化往往是植被生态演替的表现,且在荒漠基质上的不同植被镶嵌体的动态变化,因此,景观嵌块类型的划

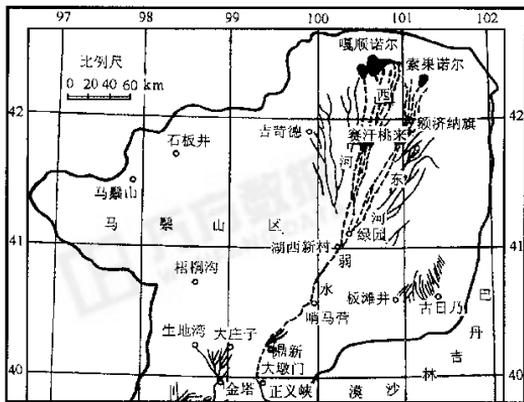


图 1 研究区位置图

Fig. 1 The site of research area

分,应体现干旱荒漠绿洲生态系统的基本特点,本文提出了分类结果。

I. 河岸疏林灌丛草甸地 指由河流廊道为核心形成的沿河带状河滩,低湿地林灌、疏林及草甸,以分布胡杨,沙枣、红柳等荒漠林灌为主要特征。

II. 河泛地,湖盆低地沼泽草甸 包括河泛地及低湿湖盆滩地沼泽草甸、盐化沼泽草甸及盐化草甸等土地类型。

III. 盐化荒漠草原 包括盐生半灌木、小灌木及盐生杂草构成的低平滩地,零星分布红柳、胡杨等乔灌木。

IV. 戈壁荒漠 包括砾石戈壁、荒漠和沙质戈壁荒漠及草原化荒漠土质平地。

V. 固定、半固定沙丘 指分布灌丛植被的固定与半固沙漠。

VI. 流动沙丘和裸露平地沙漠 以裸露风沙土为特征,基本无植被分布,包括流动沙丘和平地两种土地类型。

VII. 裸岩、土及砾地 包括剥蚀戈壁、裸岩、裸土及矿质盐漠(含干湖盆)等,无植被分布。

VIII. 耕地 由灌耕土和盐化灌耕土组成,包括水田、水浇地、旱地、园地等。

IX. 河流廊道 指一定时期内有水流经的河道及相邻河岸地带,包括季节性主干道、支流以及人工改造的河道(沟渠等)。

X. 湖泊水域 指干旱区流域终端尾间渚水形成的湖泊以及水库等。

研究区各类景观的分布参数如表 1 所示,表 1 中的有关数据系根据 1983~1985 年间及 1993~1995 年间两次土地详查及卫片资料量算而得。

表 1 各类景观嵌块的面积与数目统计
Table 1 The patch numbers and areas of every landscape types

| 嵌块体类型 Patch types | | I | II | III | IV | V | VI | VII | VIII | IX | X | 总计 Total |
|----------------------|---|--------|--------|--------|---------|--------|---------|---------|-------|-------|---------|-------------|
| 80 年代 1980S | 嵌块体数目(块) Patch numbers | 47 | 28 | 94 | 74 | 63 | 23 | 84 | 29 | 11 | | |
| | 面积($\times 10^4 \text{hm}^2$) Areas | 16.14 | 21.67 | 40.61 | 97.66 | 27.75 | 25.13 | 370.32 | 0.301 | 0.816 | 7 | 460 |
| | 面积比(%) Ratio to area | 2.69 | 3.61 | 6.7 | 16.27 | 4.62 | 4.19 | 61.71 | 0.05 | 0.14 | 0.015 | 600.14 |
| | 单块面积(hm^2) Area of single patch | 3434.0 | 7739.3 | 4320.2 | 13197.3 | 4404.7 | 10926.1 | 44085.7 | 103.8 | 741.8 | 0.002 | 100 |
| 90 年代 1990S | 嵌块体数目(块) Patch numbers | 33 | 22 | 87 | 54 | 63 | 19 | 97 | 18 | 6 | 21.4 | |
| | 面积($\times 10^4 \text{hm}^2$) Areas | 8.53 | 19.33 | 28.66 | 43.38 | 27.25 | 31.07 | 441.38 | 0.114 | 0.117 | 0.03062 | 402 |
| | 面积比(%) Ratio to area | 1.42 | 3.22 | 4.77 | 7.23 | 4.53 | 5.18 | 73.55 | 0.02 | 0.02 | 0.001 | 600.14 |
| | 单块面积(hm^2) Area of single patch | 2584.8 | 8786.3 | 3294.2 | 8033.3 | 4325.4 | 16352.6 | 45503.1 | 63.3 | 195.0 | 20.7 | 100 |

3 研究方法

3.1 景观空间格局分布

关于景观空间格局分析已提出了许多定量指标^[4~6],本文结合研究区特点,主要选用以下几种指标及其计算方法。

① 优势度(Dominance): $D_0 = H_{\max} + \sum_{k=1}^m (P_k) \cdot \ln(P_k)$

万方数据

$$\textcircled{2} \text{多样性 (Diversity): } H = - \sum_{k=1}^m (P_k) \cdot \ln(P_k)$$

$$\textcircled{3} \text{破碎度 (Fragmentation): } C = \sum_{k=1}^m (n_k) / A$$

$$\textcircled{4} \text{分离度 (Separation): } S_k = P_k / B_k, \text{ 其中: } P_k = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{n_k}{A}} B_k = A_k / A$$

上述公式中, P_k 为 k 类景观所占的面积比; m 为景观类型数目; n 表示嵌块体数目; A_k 、 A 分别表示 k 景观面积和研究区区域总面积。

3.2 景观功效评价

用于分析景观的生物生产能力,对水分、养分等的消耗水平以及生物种群数量(生物多样性)等,以评价不同景观类型的生态功效、稳定性等特征^[7]。

某类景观的生物生产能力,用某类景观的平均生产力表示,在本例研究中,采用某类景观的平均单位面积产草量和载畜水平表示;用某类景观中植物优势种类数来反映其具有的生物多样性;利用某类景观稳定存在的生态需水量(用维持植被体系正常生长的生态耗水量表示)大小来评价其对水资源胁迫稳定的程度。

4 研究结果

4.1 景观格局分布与景观功效评价

在进行景观格局分析时,先对研究区进行景观分区,根据植被景观特征和水系作用强度,划分为河岸及河泛地低平滩地、戈壁荒漠及固定半固定风沙地,裸露风沙土与岩土地以及水域等。利用前述研究方法,计算研究区各类景观的多样性,优势度、破碎度指标值列表 2 所示。其中水域景观中因河流廊道占居较大比例,因此不进行破碎度分析。景观功能评价的生物生产力,生物种类及耗水量列表 3 所示。

由表 2 可以看出,研究区河岸及河泛地低滩地和戈壁荒与固定半固定风沙地景观多样性较高,结合表 1,反映出各景观成分面积较接近,优势度小,而破碎度较高,由于河岸及河泛地低平滩地是构成该区域荒漠绿洲的主要土地类型,受水分条件影响,各类灌丛及低湿草甸和乔灌木成带状散布于河道两岸及河泛低湿滩地,其斑块的高度破碎反映了该类景观受干扰的强度较大。砾石与沙质戈壁荒漠及草原化荒漠,是研究区分布最为广泛且碎度较高的一类景观,由于绿洲退化演替的结果往往形成这类景观,加上植被覆盖的固定、半固定风沙斑块,使这类景观的多样性最高。对于多样性指数小于 0.13 的其他两类景观,各景观组分的面积差异悬殊,面积最大的景观类型总是面积的 70% 以上,甚至达 97%,景观优势度增大,反映了景观由某种组分占居绝对优势的格局,由此,景观破碎度相应较小。反映了研究区裸岩土及石砾地的区域性连片分布的状况及其景观主导性地位。

表 3 中列出了几类景观的功效评价指标,可以看出,河岸及河泛地草甸景观和灌丛景观类型,其植物种最多,单位面积生产力最高,以载畜水平所代表的经济利用价值最大,是两类生态功效最好的景观生态体系,但耗水量显著高于其他景观,一旦水资源条件发生改变,对其影响较大,反映出这类景观的稳定性,尤其是受水资源短缺干扰的阻抗能力较差。相比而言,固定与半固定风沙土景观,尽管植物多样性差,种类最少,但其生产力水平次于上述两类景观而高于其他景观类型,水资源消耗较少,经济利用价值也较高,是一种较为稳定的有较强抗力的景观类型。当然从水资源依赖程度而言,其他几类景观稳定性最强,因此其分布较广,也是绿洲退化演替的主要方向。

4.2 水资源变化对景观格局的影响分析

4.2.1 河流廊道的变化及影响 干旱区流域下游荒漠绿洲是外来径流作用的产物,绿洲景观结构及组成类型的空间分布严格受河流廊道影响,一般地,以河流廊道为核心,带状分布主要荒漠绿洲景观,且由内向外,随水热的改变,植被类型由乔灌木林→灌丛草甸→盐化草甸→荒漠化草甸→草原化荒漠的层次结构,因此,若把河流廊道灌丛草甸和河岸乔灌木林视作河流廊道的构成要素^[6],则荒漠绿洲的高级生物组成实质是河流廊道。在干旱区河流廊道不仅具有传输能量与养分的功能,更是绿洲生物流的载体和传导源,干

旱区荒漠绿洲景观的变化,更多地体现为河流廊道变化所导致的生物流改变。近 40a 来,随上游来水量不断递减,研究区河流廊道变化剧烈减少幅度近 46%(如表 4 所示),河流密度减少达 63.7%,河流流域面积减少 168hm²,形成许多干涸废弃河床,随这些河流廊道的消失,沿河两岸及其水流滋润范围内的植被生态发生显著退化演替,景观格局改变,主要体现在 I、II、III 类景观的嵌块体面积与数目的减少,如表 4 所示,面积减少速率分别达到 8.25%、1.08% 和 2.94%,相反,VI、VII 类景观面积增加速率达 2.37% 和 1.91%。灌丛草甸、沼泽植被以及河岸林灌景观类型的嵌块体缩小或消失,以废弃干河床为沙源的流动沙丘随之发展,景观趋于荒漠化。同时,终端湖泊萎缩或干涸,近 40a 来,黑河流域下游西居延海和东居延海相继干湖,湖泊水域景观面积减少约 23600hm²。

表 2 不同景观类型的多样性、优势度及破碎度值

Table 2 Landscape diversity, dominance and fragmentation in the study region

| 景观类型 Landscape | 河泛地低平滩地 | 戈壁荒漠(包括半固定与固 定沙丘) | 裸岩土及沙丘地 | 水 |
|--|-----------------------------------|---|-------------------------------------|---------------|
| | Alluvial plain and river beach | Gebi desert(include fix and semi-fix sand) | Bare rock and soil, movable sand | Water body |
| 80 年代 景观多样性 Landscape diversity | 0.682 | 0.955 | 0.125 | 0.0901 |
| 优势度 Dominance index | 0.011 | 0.143 | 568 | 0.603 |
| 1980S 破碎度 Fragmentation index | 1.98 | 1.39 | 0.27 | |
| 90 年代 多样性 Landscape diversity | 0.616 | 1.075 | 0.2426 | 0.199 |
| 优势度 Dominance index | 0.077 | 0.024 | 0.4505 | 0.494 |
| 1990S 破碎度 Fragmentation index(patches/km ²) | 1.974 | 2.055 | 0.243 | |

表 3 各类景观的景观功效评价

Table 3 Landscape functional assessment in the study region

| 景观类型 Landscape types | I | II | III | IV | V | VI | VII |
|--|----------|----------|---------|---------|---------|----|-----|
| 产草量 Grass product(kg/m ²) | 3633 | 3150 | 975.7 | 4783.5 | 1537.5 | 0 | 0 |
| 载畜水平(羊单位/6.7hm ²) Carry | 9.5~15.1 | 8.7~11.8 | 1.0~3.3 | 0.7~1.9 | 0.7~6.7 | — | — |
| 植物种数 Vegetation types(100m ²) | 5~9 | 4~8 | 2~7 | 2~8 | 3~4 | 0 | 0 |
| 耗水量 Consumption of water(m ³ /hm ²) | 2245.4 | 1029.5 | 302.7 | 235.5 | 270.3 | — | — |

表 4 近 40a 来河流廊道变化及其景观影响

Table 4 The changes of river corridors and the influence on landscape in recent 40 years

| 流量减少(%) Ratio of runoff reduce | 河流廊道 数目减少 (条) Reduce of river corridor | 河流密度 减少(%) Reduce of river density | 景观变化速度 Rate of landscape change(%) | | | | | 河流域缩小 Reduce of river area(km ²) | 湖泊水域缩小 Reduce of lake area(hm ²) |
|--------------------------------------|---|--|------------------------------------|-------|-------|------|------|---|---|
| | | | 景观变化速度 Rate of landscape change(%) | | | | | | |
| | | | I | II | III | VI | VII | | |
| 45.6 | 14 | 63.7 | -8.25 | -1.08 | -2.94 | 2.37 | 1.91 | 168 | 23600 |

4.2.2 景观格局的动态变化

由表 1 和表 2 可以看出,自 80 年代(1985)至 90 年代(1995)的 10a 间,无论景观斑块数还是景观面积都发生显著变化。景观类型 I、II、III 及 VI 都呈现明显减少现象,而景观类型 VI 和 VII 则大幅度增加。景观格局也有所改变,对于河岸及河泛地低平滩地,斑块数减少,单块面积有所增加,使多样性有所降低,优

势度有所增加,而戈壁荒漠及固定与半固定风沙地景观则正好相反,景观更加碎块化,多样性显著增加,而优势度则趋于减少。在80年代到90年代的大约10a中,流域下游进入研究区的地表径流量的减少幅度达到历史上的最高峰,减少32%,这对于密切依赖地表河流廊道而存在与发展的绿洲景观的影响是深刻的。从景观的分离指数的变化上更能说明这一点,如表5所示,受水资源胁迫干扰,景观类型I、II、III以及IX和X的分离度在80年代就表现出较高斑块分离度,进入90年代后,这些景观的斑块分离程度进一步加剧,而以裸露风沙土、裸岩土等严重荒漠化景观分离度都不断减少,表现出荒漠化景观不断加剧之趋势。

表5 景观分离度指标值及其变化

Table 5 Landscape separation value and its changes in the study region

| 景观类型 Landscape type | | I | II | III | IV | V | VI | VII | VIII | IX | X |
|------------------------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|
| 分离度指数 Separation | 1985 | 5.202 | 2.992 | 2.923 | 1.079 | 3.506 | 2.34 | 0.303 | 219.8 | 48.35 | 2699.9 |
| | 1995 | 8.257 | 2.973 | 3.991 | 2.074 | 3.568 | 1.717 | 0.273 | 432.96 | 249.97 | 3535.1 |

5 结束语

干旱荒漠绿洲景观是河流廊道作用的产物,河岸及河泛地林灌、草甸等景观类型的生态效能较高,但对水的需求也较高,易受水资源短缺的胁迫干扰而稳定性差,戈壁荒漠、草原化荒漠以及固定与半固定风沙土景观对水资源胁迫相对不敏感,其稳定性较强,尤其是固定与半固定风沙地,不但其稳定性较好,而且具有较高的生态效能,在荒漠化迅速发展的研究区,该类景观可视作较佳的景观类型。这种特性使得景观格局及其变化具有明显规律,受河水影响范围,景观破碎化且随河流量减少而破碎化程度不断加剧,景观多样性较高,但斑块分离度高且呈不断分离化发展趋势;远离河水影响区,一般呈荒漠化景观,景观破碎化程度较低,优势度较高,而且随水资源减少,景观多样性和破碎化程度不断减小,斑块分离程度下降,但戈壁荒漠、草原化荒漠类型的景观受风蚀作用和其他景观的内演作用影响其景观多样性和破碎度均最高且随水资源减少而不断增加。

水资源减少,首先引起河流廊道的变化,研究区河流廊道变化剧烈,其密度,景观面积及条数均呈现较大幅度减少,而荒漠绿洲对水源的依赖性使得河流廊道的变化,直接导致整个景观结构与空间格局发生改变,成为研究区景观过程的主要驱动力。

参考文献

- [1] 方创林. 河西走廊绿洲生态系统的动态模拟研究. 生态学报, 1996, 16(4): 389~398.
- [2] Pickett S T A and Cacanasso M L. Landscape ecology, spatial heterogeneity in ecological system. SCIENCE, 1995, 269(21): 331~334.
- [3] 肖笃宁, 李秀珍. 当代景观生态学的进展和展望. 地理科学, 1997, 7(4): 356~364.
- [4] 陈利顶, 傅伯杰. 黄河三角洲地区人类活动对景观结构的影响分析. 生态学报, 1996, 16(4): 337~345.
- [5] 肖笃宁, 布仁仓, 李秀珍. 生态空间理论与景观异质性. 生态学报, 1997, 17(5): 453~460.
- [6] 肖笃宁. 景观空间结构的指标体系和研究方法. 见: 肖笃宁主编, 景观生态学理论、方法及应用. 北京: 中国林业出版社, 1991. 92~99.
- [7] 肖笃宁, 钟林生. 景观分类与评价的生态原则. 应用生态学报, 1998, 9(2): 217~221.
- [8] 胡智育. 古居延地区的环境演变. 干旱区研究. 1987, 2: 46~50.
- [9] 冯绳武. 河西黑河水系的变迁. 地理研究, 1998, 7(1): 18~26.
- [10] 朱震达, 陈广庭. 中国土地沙质荒漠化. 北京: 科学出版社, 1994. 91~97.