

黑河流域历史时期土地利用变化及其驱动机制研究进展

唐霞^{1,2,3}, 冯起¹

(1. 中国科学院 寒区旱区环境与工程研究所, 兰州 730000; 2. 中国科学院 兰州文献情报中心/
中国科学院资源环境科学信息中心, 兰州 730000; 3. 中国科学院大学, 北京 100049)

摘要: 基于历史文献资料、树木年轮、湖泊沉积的研究结论, 以绿洲格局演变和土地荒漠化过程为主线, 分析了黑河流域历史时期土地利用/覆被变化及其驱动机制。结果表明: 历史资料记录的人口和土地垦殖数据的可信度不高, 今后在充分考虑历史数据误差因素的基础上进一步提高耕地重建的估算精度; 黑河流域历经西汉、唐、明清、建国后 4 次大规模的移民拓荒高潮, 历史时期土地利用变化的总体特征是人工灌溉农业逐步取代原始植被; 明清之前, 自然因素对土地利用变化的影响起着主导性的作用; 而现代土地利用主要受人为因素控制。

关键词: 土地利用; 历史时期; 驱动机制; 黑河流域

中图分类号: F301.24

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2015)03-0336-05

Analysis on Driving Mechanism of Land Use Change in Heihe River Basin During Historical Period

TANG Xia^{1,2}, FENG Qi¹

(1. *Cold and Arid Regions Environment and Engineering Research Institute, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000, China;*
2. *Lanzhou Library of Chinese Academy of Sciences & Scientific Information Center for Resources and Environment, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000, China;* 3. *University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China*)

Abstract: Based on historical archives, lake sediment record and tree-ring data, the spatiotemporal distribution of the oasis of Heihe River and its historical desertification processes were examined in this paper. Then, the mechanism for the land use/cover change in historical period of this area was discussed. The results showed that: (1) the attention should be paid when using historical records to discuss the human impacts because the land and population records in historical archives are always inaccurate; (2) four processes of migration occurred in West-Han dynasty, Tang dynasty, Ming and Qing dynasties, and from 1949 to present, respectively, have greatly changed the land cover patterns, as a whole, the natural vegetation of this region was gradually replaced by irrigated agriculture; (3) the land use/cover change was dominated by natural processes before the Ming and Qing dynasties, nevertheless, current land use has been totally impacted by human beings.

Keywords: land use change; historical periods; driving mechanism; Heihe River Basin

联合国在“21 世纪议程”中明确提出将加强 LUCC 研究作为 21 世纪工作重点^[1], 而历史时期的土地利用变化是其重要组成部分。2000 年 3 月, LUCC 和过去全球变化(PAGES)两个国际研究计划联合发起 BIOME300 项目, 旨在重建过去 300 年全球历史土地覆盖数据库^[2]。历史时期的 LUCC 研究有助于正确认识历史进程中人地关系的实质和人与环境和谐发展的机理^[3]。世界历史上多个古国

文明起源于生态较为脆弱的干旱、半干旱区, 而人类长期不合理利用土地资源, 导致干旱、荒漠化、沙尘暴、水土流失等, 成为困扰该区域经济社会发展的严重问题^[4]。

位于祁连山和河西走廊中段的黑河流域是我国第二大内陆河, 流域生态系统经历了荒漠变绿洲的辉煌, 也面临着沙漠化和沙尘暴的尴尬^[5], 历史时期开发的大片绿洲已经被沙漠吞噬。流域内土地利用的

剧烈变化,已造成生态环境的恶化,因此亟待开展黑河流域历史时期土地利用变化的研究。合理的土地利用对流域的生态环境和经济建设都具有重要的作用,分析研究土地利用变化的驱动因素,对调整优化流域的土地利用结构,促进区域社会经济发展、生态安全具有重要意义。为此,本文利用历史地理学与环境演变研究方面已有成果和历史文献资料,论述历史时期土地利用变化的时空演变过程,并探索其驱动机制。

1 研究区概况

黑河发源于青海省祁连山区的冰川和积雪带,主要位于祁连山和河西走廊中段(37°45′—42°40′N, 96°42′—102°04′E),流域面积约13万km²。黑河流域共计大小河流41条,多年平均地表水资源为37.28亿m³,折合径流深29.1mm^[5]。该区域处于欧亚大陆腹地,属于典型的大陆性季风气候,降水集中在5—9月,占降水量的75.9%~97.2%。上游山区年降水量大于300mm,年均温-3.1~3.6℃;中游平原区年降水量80~130mm,下游阿拉善荒漠带降水量40~50mm,年均温7~8.2℃^[5-6]。据统计2010年,流域人口约为197.3万人,耕地面积是32.09万hm²,中游的张掖、酒泉金塔是全国商品粮、商品蔬菜基地之一。目前,维系荒漠地区生态平衡的森林、绿洲、水体3类景观仅占土地总面积的16.2%,自然生态条件非常脆弱^[7]。

2 研究数据与方法

本研究主要结合《张掖市志》、《张掖地区水利志》等文献资料和已有的研究成果,收集黑河流域近2000年的人口、耕地面积、灌渠数量、城镇变化、荒漠化等相关数据,通过树木年轮、湖泊沉积、冰芯记录和历史文献等不同类型的资料分析,参考历史地理研究的理论和方法,提取数千年来流域土地利用演化历史过程中气候、水文变化和人类活动信息,揭示历史时期黑河流域土地利用变化的驱动机制。

3 黑河流域土地利用变化的历史轨迹

黑河流域开发历史悠久,由于游牧民族和农耕民族在生活和生产方式的差异,导致土地利用历经多次农牧转换^[6]。历史时期土地利用方式的转变具体表现在城池聚落变迁、绿洲兴废、水系变迁等方面。历代王朝为了巩固边防,土地的开发利用多以屯垦(田)方式进行,但是对于流域内草地、林地等天然植被的变化情况记载很少。所以只能从耕地、城镇居民地为代表的人工绿洲及土地荒漠化的时空演变入手,以便

开展历史时期土地利用变化的研究。

3.1 绿洲格局演变

绿洲是干旱、半干旱区人类繁衍生息的场所,充足稳定的水资源供给是绿洲存在的基本条件。黑河流域绿洲系统在地质历史时期和现代发生了明显的变化,古绿洲除张掖“黑水国”分布于黑河中游绿洲腹地外,均分布在河流尾间三角洲上^[8];古绿洲面积呈现由北向南递减^[9]。从黑河流域古绿洲和现代绿洲分布格局看,流域绿洲的演变形式为:在河流下游尾间三角洲形成古绿洲,然后溯源上迁稳定于中上游的冲积洪积扇,并不断向四周扩展^[10]。

3.1.1 历史时期耕地面积的变化 西汉之前,居住在黑河流域的少数民族处于“逐水草而居”的游牧状态。自汉武帝起开始了大规模的兴置屯田,采取徙民实边、屯田管理组织、大兴水利等措施,耕地面积迅速扩大;据卫星照片和实地踏勘测算,当时居延屯田面积达4万hm²以上^[11]。进入隋唐时期,农业开发在前代的基础上获得较大的发展。明清时期是河西绿洲历史上第三次大规模开发时期^[5]。

对耕地面积进行重建,不同学者的研究结果存在较大差异(表1),主要因为黑河流域作为西北边陲,相关文献记载极其有限且多为定性描述,而各时期整个流域的人口数量、人均占有原粮、粮食单产等数据的估算存在一定误差。其中,程弘毅^[12]估算了河西整个地区的耕地规模并用“以人定地”的方法获得流域内的耕地面积,但结果因小于沙漠化耕地面积而不合理;颉耀文^[13]通过人均耕地面积和粮食产量两种途径重建了明代以前耕地面积,进行对比认为以人口为基础的重建结果具有一定可靠性。但仍需深入考证各时期军屯规模与人口变化,在今后的研究中有待进一步提高耕地面积的重建工作。

表1 黑河流域重建耕地面积的不同研究结果^[12-13]

重建依据	根据人口/ 万hm ²	根据人口/ 万hm ²	根据产量/ 万hm ²
西汉	4.03	16.30	19.49
东汉	3.22	9.57	11.80
唐	1.88	3.93	3.59
元	—	—	3.19
明	6.88	—	—
清	11.60	—	—

3.1.2 城镇聚落演变规律 黑河流域现有60多座城镇,绝大多数城镇集中分布在绿洲上,城镇—绿洲在流域各单元中高度耦合。通过历代行政沿革的梳理^[6,14],对各时期设置的郡县数量进行对比分析,可以看出城镇演变呈波浪型曲线向前发展;两汉时期的奠基期、魏晋时期的发展期、南北朝时期的衰落期、隋

唐时期的逐渐恢复期、中唐—元朝的再次衰落期、明清以后的复苏期、建国后的快速发展期(图1)。该变化过程也反映出在特定地理环境和民族分布格局下,对优势生存空间的争夺^[14]。

从空间分布来看,城镇聚落围绕着绿洲农业区依次分布。因为水资源是干旱区内陆河流域的生命线,农业开发最早主要分布在下游三角洲地区、中游冲积平原和洪积扇缘地带。通过绿洲的溯源迁移和下游绿洲古城的兴衰关系分析证明,由于中游绿洲面积的扩大和人类活动的加剧,打破了天然水资源条件下的荒漠—绿洲动态平衡关系和空间格局^[15],城镇由于

失去了最基本的生态屏障和经济基础而逐渐衰退,伴随着绿洲的溯源迁移,城镇分布的重心也从下位绿洲向上位绿洲迁移^[14]。黑河流域古城分布情况见表2。

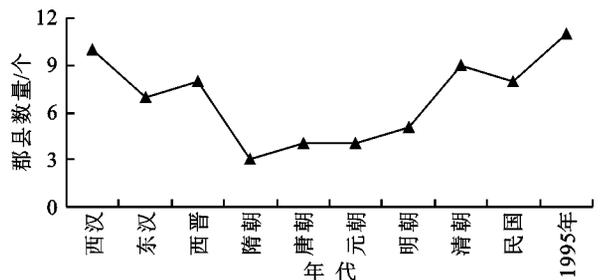


图1 黑河流域历代城镇发展演变

表2 黑河流域古城分布情况^[16]

所处位置	沙漠化绿洲	面积/km ²	绿洲古城
黑河下游	居延古绿洲	1200	K710城,雅布赖城(K688)、乌兰德勒布井城(F84)、破城子(A8)、温都格特日格城(K749)、绿城、马圈城(K789)、黑城(K799)
黑河中游	西城驿沙窝古绿洲	30	黑水国南、北城
童子坝河下游	民乐李寨菊花池	180	古城子
马营河、摆浪河下游	明海古绿洲	450	骆驼城、骆驼城东北遗址、许三湾城、新墩子城、草沟井城、明海子城、下河清紫禁城、深沟城、莲花寺、双丰城
北大河下游	金塔东沙窝古绿洲	550	西三角、西古城、一堵城、金塔三角城、下长城、破城子、黄鸭墩城(银耳子城)、三个锅桩、下破城、北三角城、之石滩古城、西窑破庄

3.1.3 下游水域面积的变化 在黑河绿洲的长期土地开发中,人类活动强烈地干预了自然绿洲的水文循环过程,造成许多湖泊的逐渐萎缩干涸和河流的改道迁徙^[8]。其中,黑河下游水系和尾间湖泊变迁有以下过程:唐代以前,水系以东河、哨马营—古日乃古河道为主,古居延泽为主要终端湖;西夏时期水系分为东、西两支,苏古、嘎顺淖尔两湖连为一体,古居延泽萎缩;元朝河水重新注入古居延泽,苏古、嘎顺淖尔两湖分离并缩小;元末明初以后,西河成为主要过水河道,东河下游注入古居延泽的河道干涸,以向北流入苏古淖尔的河道为主,古居延泽逐渐萎缩干涸,苏古、嘎顺淖尔成为主要终端湖^[17]。

额济纳地区历史时期的水系存在从东向西的迁移和萎缩过程^[18]。据记载,额济纳旗的古居延海是西北最大的湖泊之一。秦汉时期,居延泽湖面积达到726 km²^[19],1927—1934年和1944—1949年间西居延海(嘎顺淖尔)湖面积分别为350,276 km²,1951—1960年降至180 km²,1961年干涸;东居延海(苏古淖尔)湖面积分别从1927—1934年的150 km²缩减至1961—1970年的35.5 km²,在1963—1983年曾干涸过5次,最后1983年也完全干涸^[20-21]。从2000年7月开始,实施了黑河下游应急生态输水工程,水流于2002年7月17日流进黑河尾间端的东、西居延海^[22]。

3.2 土地荒漠化过程

黑河下游北部的汉代垦区沙漠化早于位于南部的唐代、西夏、元代垦区,沙漠化发展的程度更深^[23],

自三角洲下部向中上部推进,黑城地区的沙漠化发生在明中叶以后^[24];沙漠化的主要作用方式有就地起沙、风蚀绿洲、流沙入侵、洪积物掩埋绿洲4种^[16,25]。从空间来看,历史时期沙漠化土地大多位于河流的下游。程弘毅^[12]通过沙漠古城的废弃时代推测出河西地区3次沙漠化过程主要集中在魏晋南北朝、唐末五代、明清两朝,沙化面积分别是:南北朝1 030 km²,唐末五代1 000 km²,明清4 075 km²,共计6 105 km²,主要沙漠化区域见表3。这几次明显的沙漠化过程恰好与本地区历史时期大规模的土地开发活动相吻合,说明土地利用的开发强度越大,在没有充足的人力物力以及水资源量维系农业生产时,绿洲废弃的可能性也就越高。

纵观黑河流域土地利用变化的历史轨迹,可以看出,由于各民族之间对绿洲生存空间的争夺和大规模的屯垦,原始地带性森林或森林灌丛草地遭到了彻底破坏,即原始植被的动态消长直至逐步被人工的灌溉农业所取代是历史时期土地利用变化的总体特征。

4 黑河流域土地利用变化驱动机制研究

土地利用/覆被变化是各种驱动因素的综合结果,包括气候、土壤、水文等自然系统驱动因素和人口变化、贫富状况、技术进步、经济增长等社会系统中驱动力^[26-27]。在农耕时代,气候、水、土和生物等自然环境条件是人们开发利用土地资源时所考虑的主要因素。

表 3 黑河流域主要的沙漠化区域^[12]

区域	地理位置	面积/km ²	景观特征
额济纳居延海及古居延绿洲	101°04′—101°34′E, 41°37′—41°57′N	1150	新月形沙丘、盾状、片状沙丘及风蚀戈壁、风蚀劣地为主
蚀戈壁、风蚀劣地为主金塔东沙窝、条湖	98°58′—99°27′E, 39°55′—40°19′N	570	风蚀劣地为主,西北部以流动沙梁和片状流沙地为主
高台、肃南、肃州、明海沙漠和高台盐池	98°43′—99°38′E, 39°20′—39°48′N	2200	以风蚀劣地为主,分布新月形沙丘、片状流沙地以及半固定白刺灌丛沙丘
张掖甘州西城蜂窝	100°18′—100°22′E, 38°59′—39°05′N	25	新月形沙丘、盾状沙丘为主,丘间分布风蚀劣地,现多已被开垦为耕地
民乐李寨菊花地	38°30′—38°42′E, 100°38′—100°45′N	160	风蚀劣地为主,白刺灌丛沙丘以及片状流沙地也有分布

4.1 自然环境的变化是土地利用演变的客观因素

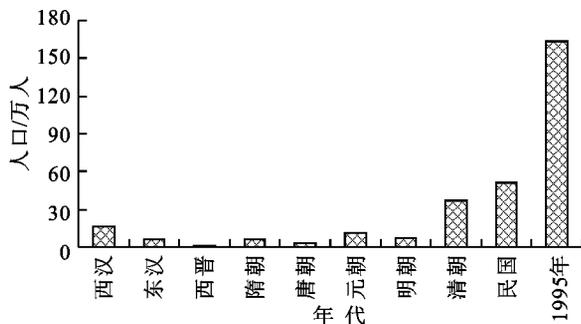
自然环境的变化主要表现在气候变化和出山口径流量。姚檀栋等^[28]通过对比分析古里雅冰芯和祁连山树轮高分辨率气候变化记录,结果表明树轮和冰芯均明显地记录了小冰期的 3 次冷期,其出现的时间基本上一致。张振克等^[29]根据黑河尾闾额济纳旗东居延海 2 700 a 来的湖泊沉积记录的环境变化,分析发现冷湿→暖湿、冷干→暖干→冷湿的规律。在对比古城废弃的年代与气候波动的变化时,发现流域古城废弃的时期都是气候明显偏干冷的时期^[14]。

近 2 000 a 以来,该地区耕地总体呈现不断增加趋势,历史时期黑河流域 3 次大规模的农业开发(两汉时期、隋至盛唐、明清时期)都发生在出山口径流量较大的时期^[30]。根据树轮重建的自公元 680 年以来黑河出山口年径流量不同水平年统计表明,唐代(统计自 680—907 年)的丰水年份为 98 a,占整个统计时段的 43.2%;明、清两代分别为 66 a,23.9%和 82 a,30.7%^[31]。所以说,水资源的丰枯是黑河流域农业开发的基础和保障。

4.2 政策演变与人口变化是土地利用演变的主导因素

历代中央王朝及若干地方割据政权都十分重视河西走廊的开发和经营,采取了各种恢复农业生产的措施,鼓励内地移民不断涌入内陆河流域开荒种地。从屯田制—占田制—均田制,以及府兵制与均田制的结合,都说明了政策的优化组合极大地提高了人们垦荒种植的积极性。历史时期人口的周期性动荡(图 2),反映出战乱、自然灾害的侵袭,也导致土地利用强度和广度在各时段上的明显差异,但更重要的是突出了该地区严峻的土地生态承载能力问题。据《甘肃新通志》记载,清光绪三十二年(1906 年)耕地面积为 16.9 万 hm²。随着 1978 年农村经济体制改革以来,人口急剧增加,到 1995 年中游的人口达到 163.7 万^[5],掀起了新一轮扩大耕地面积的热潮,1995 年土地变更调查耕地达 37.1 万 hm²^[32]。目前,天然绿洲已基

本演变为灌溉渠网、防护林网和农田广布的人工绿洲,绿洲内道路网密布、建筑物林立,人口密度高达 60 人/km² 左右^[7]。

图 2 历史时期黑河流域人口变化^[5]

4.3 农牧业交替发展与水资源开发利用是土地利用演变的动力

黑河流域作为西北地区重要产粮基地以及大规模绿洲农业开发最早地区之一,由于战乱、国家政策、民族矛盾等因素驱动的人类活动强度各异,耕地规模自古至今变化十分频繁^[13,33]。汉武帝以前、西晋至唐初、唐安史之乱后至元朝为畜牧业生产占优势的时期,西汉武帝至西晋、唐初至安史之乱、明清以来为农业生产为主的时期^[34]。但是沿续了两千多年的“屯田制”,农业栽培作物大量取代了原始植被。自西汉、唐、明清 3 次大移民,祁连、合黎二山千里绿荫变为荒野,祁连山森林面积缩减到约 50 万 hm²,覆盖率为 16.7%^[35]。人类活动集中的流域中下游垦区与人工绿洲的土地沙漠化基本吻合,天然绿洲的土地沙化、退化主要与下游的河湖滩地相一致^[36]。

河西地区的水、土资源决定了“有水即有地”的格局^[5]。由于绿洲灌溉农业的特点,水资源开发与利用程度是耕地面积增加的主要动力。西汉时期流域屯垦业非常发达,“千金渠”过郡二,行二千二百里;唐朝中期修建的水渠可灌田约 3.1 万 hm²;明清时期大规模开垦荒地,相继开凿了大量灌溉渠道,逐步形成内陆河流灌区^[37-38]。解放后,黑河流域建立了完整的农

田水利体系,并形成了黑河中游人工水文循环过程。据1944年甘肃省建设厅统计,黑河中游地区已有耕地16.5万 hm^2 ,其中水浇地13.6万 hm^2 ;20世纪90年代灌耕地面积达到了17.13万 hm^2 ^[39]。

5 结论与讨论

5.1 结论

(1) 黑河流域历史时期的人口和土地垦殖数据存在诸多问题:①为了躲避纳税,在册人口数据、土地垦殖数据和实际情况尚有差距;②明代之前耕地面积相对匮乏,人口数量和土地垦殖面积很难找到相重合的时段进行比较;③流域内草地、林地和城镇用地的文献记载稀少且为定性描述,对于这些类型的土地利用变化很难估算。

(2) 随着西汉、唐、明清、建国后4次大规模的移民拓荒高潮,城镇规模和耕地面积急速扩展而草场、林地面积日益退缩,过垦、滥垦、战争等也加剧了土地退化、沙漠化的进程。从时间上来说,黑河流域土地利用表现为不同尺度上自然因素与流域人类活动耦合作用的驱动机制,明清之前,自然因素占主导地位;现代流域的土地利用变化几乎完全受到人为控制。

(3) 经过历代农田水利建设,灌溉农田的面积不断扩大导致上、中、下游天然水资源的分布格局改变。从而自然力起主导作用的天然绿洲格局在很大程度上被以灌溉农业为中心并与草原畜牧相结合的人工绿洲所代替。在空间上,人工绿洲逐步向中上游迁移,使得流域下游水资源量迅速减少,荒漠化土地逐渐增加。

5.2 讨论

(1) 土地利用变化受到自然、社会经济多因子综合作用的复杂过程,利用历史数据了解过去的土地变化很重要。如何将现代的遥感数据与其他信息源有机融合,开展多尺度下土地利用变化的时空过程及其自然与人文因素的驱动机制辨析。通过遥感技术识别特定历史时期的人类活动古遗迹和地理环境状况,对比分析历史时期土地动态变化研究是未来的发展方向之一。

(2) 上游地区的LUCC研究局限于行政区划范围并主要集中在近十几年,其影响因子和驱动机制分析多处于定性描述阶段,还缺乏定量甄别气候变化和人类活动影响的研究成果。

参考文献:

[1] 刘纪远,邓祥征. LUCC时空过程研究的方法进展[J]. 科学通报,2009,54(21):3251-3258.

- [2] Lambin E F, Geist H J. 土地利用与土地覆盖变化:局部变化过程和全球影响研究[M]. 马骏,刘龙庆,狄艳艳,等,译. 北京:中国水利水电出版社,2013.
- [3] 胡宁科,李新. 历史时期土地利用变化研究方法综述[J]. 地球科学进展,2012,27(7):758-768.
- [4] 黄春长. 环境变迁[M]. 北京:科学出版社,1998.
- [5] 程国栋. 黑河流域水—生态—经济系统综合管理研究[M]. 北京:科学出版社,2009.
- [6] 甘肃省张掖市志编修委员会. 张掖市志[M]. 兰州:甘肃人民出版社,1995.
- [7] 蒙古军,吴秀芹,李正国. 黑河流域LUCC(1988—2000)的生态环境效应研究[J]. 水土保持研究,2005,12(4):17-21.
- [8] 李并成. 河西走廊汉唐古绿洲沙漠化的调查研究[J]. 地理学报,1998,53(2):106-115.
- [9] 李静,桑广书,刘小艳. 黑河流域生态环境演变研究综述[J]. 水土保持研究,2009,16(6):210-214.
- [10] 肖生春,肖洪浪. 黑河流域环境演变因素研究[J]. 中国沙漠,2003,23(4):385-390.
- [11] 梁东元. 额济纳笔记[M]. 北京:国际文化出版公司,1999.
- [12] 程弘毅. 河西地区历史时期沙漠化研究[D]. 兰州:兰州大学,2007.
- [13] 汪桂生,颀耀文,王学强,等. 明代以前黑河流域耕地面积重建[J]. 资源科学,2013,35(2):362-369.
- [14] 王录仓,程国栋,赵雪雁. 内陆河流域城镇发展的历史过程和机制[J]. 冰川冻土,2005,27(4):598-607.
- [15] 李并成. 河西走廊历史时期沙漠化研究[M]. 北京:科学出版社,2003.
- [16] 程弘毅,王乃昂,李育. 河西地区沙漠古城及其环境指示意义[C]//陕西师范大学西北历史环境与经济社会发展研究中心. 历史环境与文明演进. 北京:商务印书馆,2005:122-135.
- [17] 肖生春,肖洪浪,宋耀选,等. 2000年来黑河流域中下游水土资源利用与下游环境演变[J]. 中国沙漠,2004,24(4):405-408.
- [18] 马燕,李志萍,曹希强. 近200年来额济纳绿洲土地荒漠化进程及其驱动机制[J]. 水土保持研究,2010,17(5):158-162.
- [19] 张光辉,刘少玉,谢悦波,等. 西北内陆黑河流域水循环与地下水形成演化模式[M]. 北京:地质出版社,2005.
- [20] 刘钟龄,朱宗元,郝敦元. 黑河下游绿洲生态受损与生态保育对策的思考[J]. 干旱区资源与环境,2001,15(3):1-8.
- [21] 杜海斌. 居延二千年历史环境的变迁[J]. 中国历史地理论丛,2003,18(1):123-131.
- [22] 司建华,冯起,张小由,等. 黑河下游分水后的植被变化初步研究[J]. 西北植物学报,2005,25(4):631-640.

- [36] 徐德鸿. 区域工业用水与工业结构调整系统分析[J]. 环境科学研究, 1990, 3(4): 1-6.
- [37] 程国栋. 承载力概念的演变及西北水资源承载力的应用框架[J]. 冰川冻土, 2002, 24(4): 361-367.
- [38] 陈洋波, 陈俊合. 水资源承载能力研究中的若干问题探讨[J]. 中山大学学报: 自然科学版, 2004(S1): 181-185.
- [39] 徐良芳, 冯国章, 刘俊民. 区域水资源可持续利用及其评价指标体系研究[J]. 西北农林科技大学学报, 2002, 20(6): 119-122.
- [40] 贾绍凤, 张军岩, 张士锋. 区域水资源压力指数与水资源安全评价指标体系[J]. 地理科学进展, 2002, 21(6): 538-545.
- [41] 刘恒, 耿雷华, 陈晓燕. 区域水资源可持续利用评价指标体系的建立[J]. 水科学进展, 2003, 14(3): 265-270.
- [42] 王友贞, 施国庆, 王德胜. 区域水资源承载力评价指标体系的研究[J]. 自然资源学报, 2005, 20(4): 597-604.
- [43] 曲耀光, 樊胜岳. 黑和流域水资源承载力分析计算与对策[J]. 中国沙漠, 2000, 20(1): 1-8.
- [44] 刘佳骏, 董锁成, 李泽红. 中国水资源承载力综合评价研究[J]. 自然资源学报, 2011, 26(2): 258-269.
- [45] 林衍, 顾恒岳, 盛湘渝. 模糊综合评判误判原因的探讨[J]. 系统工程理论方法应用, 1997, 6(2): 67-70.
- [46] 傅湘, 纪昌明. 区域水资源承载能力综合评价: 主成分分析法的应用[J]. 长江流域资源与环境, 1999, 8(2): 168-173.
- [47] 王建华, 江东, 顾定法, 等. 基于 SD 模型的干旱区城市水资源承载力预测研究[J]. 地理学与国土研究, 1999, 15(2): 18-22.
- [48] 陈冰, 李丽娟, 郭怀成, 等. 柴达木盆地水资源承载方案系统分析[J]. 环境科学, 2000, 5(3): 17-21.
- [49] 刘树峰, 陈俊合. 基于神经网络理论的水资源承载力研究[J]. 资源科学, 2007, 29(1): 99-105.
- [50] 董益华, 王延辉, 李跃鹏. 基于多目标遗传算法的水资源承载力模型研究[J]. 黑龙江水专学报, 2007, 34(3): 41-43.
- [51] 冯尚友. 水资源持续利用与管理导论[M]. 北京: 科学出版社, 2000: 213-215.
- [52] 王顺久, 侯玉, 张欣莉, 等. 流域水资源承载能力的综合评价方法[J]. 水利学报, 2003(1): 88-92.
- [53] 孙才志, 左海军, 杨静. 基于极大熵原理的黄河流域水资源承载力研究: 以山西段为例[J]. 资源科学, 2004, 26(2): 17-22.
- [54] 丁爱中, 陈德胜, 潘成忠, 等. 基于粗糙集和集对分析的中国水资源承载力现状评价[J]. 南水北调与水利科技, 2010(3): 71-75.
- [55] 熊建新, 陈端吕, 彭保发, 等. 2001—2010 年洞庭湖区经济、社会和环境变化及其生态承载力响应[J]. 地理科学进展, 2014, 33(3): 356-363.
- [56] 党丽娟, 徐勇, 王志强. 陕西省榆林市水资源人口承载规模研究[J]. 水土保持研究, 2014, 21(3): 90-97.

~~~~~

(上接第 340 页)

- [23] 朱震达, 刘恕, 高前兆, 等. 内蒙古西部古居延: 黑城地区历史时期环境的变化与沙漠化过程[J]. 中国沙漠, 1983, 3(2): 1-8.
- [24] 景爱. 沙漠考古通论[M]. 北京: 紫禁城出版社, 2002.
- [25] 李并成. 河西走廊汉唐古绿洲的调查研究[J]. 地理学报, 1998, 53(2): 106-115.
- [26] 摆万奇, 赵士洞. 土地利用变化驱动力系统分析[J]. 资源科学, 2001, 23(3): 39-41.
- [27] 杨东, 郑凤娟, 窦慧亮, 等. 干旱内陆河流域土地利用变化的人文驱动因素探究: 以甘肃省酒泉市为例[J]. 水土保持研究, 2010, 17(2): 217-222.
- [28] 姚檀栋, 杨梅学, 康兴成. 从古里雅冰芯与祁连山树轮记录看过去 2000 年气候变化[J]. 第四纪研究, 2001, 21(6): 514-519.
- [29] 张振克, 吴瑞金, 王苏民, 等. 近 2600 年来内蒙古居延海湖泊沉积记录的环境变迁[J]. 湖泊科学, 1998, 10(2): 44-51.
- [30] 肖生春, 肖洪浪. 两千年黑河流域水资源平衡估算与下游水环境演变驱动分析[J]. 冰川冻土, 2008, 30(5): 733-739.
- [31] 康兴成, 程国栋, 康尔泗, 等. 利用树轮资料重建黑河近千年来出山口径流量[J]. 中国科学: D 辑, 2002, 32(8): 675-685.
- [32] 张勃, 石惠春. 河西地区绿洲资源优化配置研究[M]. 北京: 科学出版社, 2004.
- [33] 汪桂生, 颀耀文, 王学强. 黑河中游历史时期人类活动强度定量评价: 以明、清及民国时期为例[J]. 中国沙漠, 2013, 33(4): 1225-1234.
- [34] 赵永复. 历史时期河西走廊的农牧业变迁[M]. 上海: 上海人民出版社, 1986.
- [35] 柯英, 卢学银. 注目黑河[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2005.
- [36] 刘蔚, 王涛, 郑航, 等. 黑河流域不同类型土地沙漠化驱动力分析[J]. 中国沙漠, 2008, 28(4): 634-641.
- [37] 甘肃省张掖地区行政公署水利电力处. 张掖地区水利志[M]. 甘肃张掖: 《张掖地区水利志》编纂委员会, 1993.
- [38] 王元第. 黑河水系农田水利开发史[M]. 兰州: 甘肃民族出版社, 2003.
- [39] 肖生春. 近 2000 年黑河下游水环境演变及其驱动机制研究[D]. 兰州: 中国科学院, 2006.