

doi: 10.3724/SP.J.1201.2014.01069

河北围场御道口地区中全新世以来古植被与古气候演变

刘永慧^{1,2}, 田冶³, 刘敖然³, 杨庆华⁴, 杨振京⁴, 周亚红², 郭照霞⁴, 孙黎明³

(1. 中国地质大学(北京), 北京 100083; 2. 内蒙古自治区地质勘查基金管理中心, 呼和浩特 010010;
3. 石家庄经济学院, 石家庄 050031; 4. 中国地质科学院水文地质环境地质研究所, 石家庄 050061)

摘要: 通过对河北坝上围场御道口牧场剖面高分辨率孢粉分析, 探讨了围场御道口地区 6000 年(底部¹⁴C测年为 5.7 ka B.P.) 以来气候与环境变迁。区域孢粉组合综合反映了该地区 6000 年以来气候经历了凉略湿-凉干-温略湿-温湿-温略湿-温湿-凉略干七次明显变化, 植被面貌为以松和蒿属为主要建群种的针叶林-草原植被, 林中伴生少量桦、栎等阔叶树及灌木。研究区的总体气候变化规律可与全新世我国其他地区较好对应。

关键词: 古植被; 古气候; 孢粉组合; 全新世; 河北围场

中图分类号: P532 文献标识码: A 文章编号: 1672-1683(2014)01-0069-04

Variation of Paleovegetation and Paleoclimate since the Mid Holocene in the Yudaokou Area of Weichang County, Hebei Province

LIU Yonghui^{1,2}, TIAN Ye³, LIU Aoran³, YANG Qinghua⁴, YANG Zhenjing⁴,
ZHOU Yahong², GUO Zhaoxia⁴, SUN Liming³

(1. China University of Geosciences, Beijing 100083, China; 2. Geological Exploration Fund Management Center of Inner Mongolia Autonomous Region, Hohhot 010010, China; 3. Shijiazhuang University of Economics, Shijiazhuang 050031, China; 4. The Institute of Hydrogeology and Environmental Geology, CAGS, Shijiazhuang 050061, China)

Abstract: Based on the high resolution sporopollen records of the section in the Yudaokou pasture of Weichang County, Hebei Province, the variations of climate and environment since 6000 a B.P. (¹⁴C dating is 5.7 ka B.P. at the section bottom) in the Yudaokou area of Weichang County were analyzed. The regional features of sporopollen assemblages showed that the paleoclimate in the Yudaokou area experienced seven stages since 6000 a B.P.: cool and slightly wet cool and dry warm and slightly wet warm and wet warm and slightly wet warm and wet cool and slightly dry. Vegetation landscape was mainly coniferous forest steppe vegetation, which was dominated with Pinus and Artemisia and scattered with a small amount of Betula, Quercus, and other deciduous trees and shrubs in the forest. The paleoclimate change pattern since the Holocene in the study area is similar to that in other regions of China.

Key words: paleovegetation; paleoclimate; sporopollen assemblages; Mid Holocene; Weichang County

全新世气候与环境变化同人类生存发展关系密切, 因此研究程度也相对较为深入。前人通过对生物群迁徙、河湖缩张、海平面升降、冰川进退以及考古遗址变化等方面的研究^[1-2], 总体认为全新世经历了变化幅度大、持续时间长、影响范围广的大暖期气候事件, 但在不同地区却有其特殊的表现形式^[1-2], 其中全新世中期是一个气候变化与古文化发展的重要转折时期, 人类活动对自然环境的相互作用影响较大^[3-4]。

坝上高原围场御道口地区, 是我国北方典型的农牧交错带, 其植被对于防止水土流失、作为天然屏障(保护京、津、冀地区)的生态作用十分重要^[5], 目前由于受人类活动的影响, 本区森林生态系统遭到严重的破坏后, 退化为灌丛草原^[6]。前人在坝上高原运用岩相特征和地球化学指标对全新世进行过气候与环境演变的研究^[7-9], 但高分辨率孢粉分析仍较欠缺。本文试图通过对围场御道口剖面的高分辨率的孢粉分析, 运用将古论今方法, 恢复御道口地区近 6000 年以来的

收稿日期: 2013-09-13 修回日期: 2013-12-02 网络出版时间: 2013-12-17
网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/doi/10.3724/SP.J.1201.2014.01073.html>
基金项目: 国家自然科学基金项目(40972212)
作者简介: 刘永慧(1972-), 女, 内蒙古呼和浩特人, 高级工程师, 博士研究生, 主要从事区域地质综合研究。E-mail: yonghui1@163.com
通讯作者: 杨振京(1966-), 男, 河北行唐人, 研究员, 博士(后), 主要从事第四纪地质与环境地质研究。E-mail: yangzhenjing1966@163.com

古气候与古环境演变特征。

1 研究区概况

御道口位于河北承德市围场县西北部的塞罕坝上地区,地理坐标为北纬 $42^{\circ}25' - 42^{\circ}27' N$, $116^{\circ}46' - 117^{\circ}26' E$,海拔高度 $1\,230 \sim 1\,820\text{ m}$ (图1),是内蒙古高原与冀北山地过渡地带,受第三纪以来喜马拉雅造山运动影响,形成了由西北向东南低倾斜的坝上高原地貌景观。

研究区属于温带向寒温带过渡、半干旱向半湿润过渡的大陆性季风型高原山地气候,冬季受西伯利亚高压控制,季风影响特别强烈,风力较大,多风沙,极其酷寒干燥,1月平均气温 $-13.20\text{ }^{\circ}\text{C}$,极端最低气温 $-42.90\text{ }^{\circ}\text{C}$;夏季凉爽无暑热,7月平均气温 $20.70\text{ }^{\circ}\text{C}$,日照充足;区内年平均气温在 $1.4\text{ }^{\circ}\text{C} \sim 4.0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 之间,年降水量在 $380 \sim 460\text{ mm}$ 之间,年蒸发量 $1\,557\text{ mm}$, $>10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 积温 $1\,608\text{ d}$ 。

本区水系发育,有天然淡水湖21个,泉水47处,小滦河发源于塞罕坝林场西南流经御道口牧场,属常年河,雨季河流量增大,下切侵蚀强烈,形成众多峡谷,较宽的谷地二侧坡地有坡积、洪积物及风成的黄土。区内森林植被保存较好,典型性植被为草甸草原及落叶阔叶林。主要的针叶树种有油松(*Pinus tabulaeformis*)、华北落叶松(*Larix olgensis*),同时阔叶林白桦(*Betula platyphylla*)、棘皮桦(*Betula dahurica*)、紫椴(*Tilia amurensis*)、核桃楸(*Juglans mandshurica*)、杨树(*Populus spp.*)、柳树(*Salix spp.*)、蒙古栎(*Quercus morgolica*)、槭树(*Acer spp.*)等也生长繁茂。由于山地海拔高度的变化造成水热条件差异,区内植被垂直分带呈现出低山落叶阔叶灌丛带、中山落叶阔叶林带和亚高山草甸带^[9]。

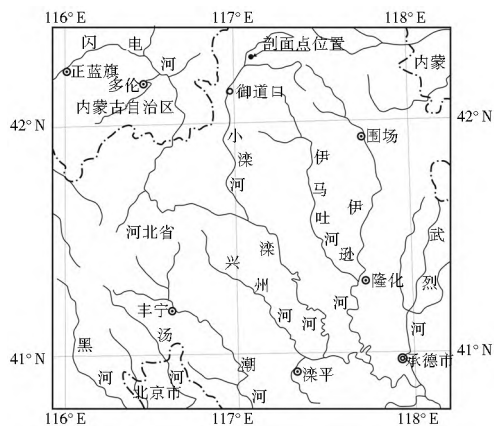


图1 河北省御道口牧场剖面地理位置

Fig. 1 Map showing the geographical location of the section in the Yudaokou pasture of Hebei Province

2 材料与方法

御道口牧场剖面深 150 cm ,岩性均为黑棕色含粉砂淤泥,采样间距为 2 cm ,共采集孢粉样品70件和 ^{14}C 测年样品2件。孢粉分析实验室处理步骤:(1)取样品 100 g 于 100 mL 的烧杯中,加入已准备好的石松药片($11\,670$ 粒);(2)加入盐酸,并加热,去钙;(3)换水洗至中性;(4)用 2.1 重液浮选;(5)冰乙酸稀释并洗至中性后置于试管;(6)制片于Olympus生物显微镜下观察,统计400粒以上。

2个 ^{14}C 测年样品由北京大学AMS实验室进行测定,测定结果经树木年龄校正后: 75 cm 处年龄为 $2\,920\text{ a B.P.} \pm 40$, 125 cm 处年龄为 $5\,020\text{ a B.P.} \pm 60$,其他样品年龄数据均通过该值线性内插计算获得。

3 孢粉组合特征

御道口剖面共分析孢粉样品70件,统计出 $36\,020$ 粒孢粉,平均每个样品为 515 粒。鉴定统计出70个科属的孢粉类型。其中乔木植物主要有:松属(*Pinus*)、云杉属(*Picea*)、冷杉属(*Abies*)、桦属(*Betula*)、栎属(*Quercus*)等;中旱生灌木和草本植物主要有:榛属(*Corylus*)、麻黄属(*Ephedra*)、蒿属(*Artemisia*)、藜科(*Chenopodiaceae*)等;中旱生草本植物主要有:禾本科(*Gramineae*)、菊科(*Compositae*)、十字花科(*Cruciferae*)、豆科(*Leguminosae*)等;湿生草本主要有莎草科(*Cyperaceae*);蕨类孢子主要有:中华卷柏(*Selaginella sinensis*)和水龙骨属(*Polypodium*)等。根据孢粉分析数据结果,参照植物气候特性,运用孢粉学专业作图Tilia软件以及CONISS软件^[11]聚类分析结果,结合 ^{14}C 测年作出孢粉百分比含量综合图式,将本剖面自下而上划分为7个孢粉组合带(图2)。

孢粉带I($150 \sim 132\text{ cm}$, $5\,692 \sim 5\,356\text{ a B.P.}$):乔木植物花粉含量较低($17.83\% \sim 35.83\%$,平均 24.71%),以松属(18.26%)为主;草本植物花粉含量较高($59.96\% \sim 80.32\%$,平均 69.05%),以蒿属(28.28%)、莎草科(19.75%)和藜科(9.78%)花粉为主,其中莎草科花粉含量最高达 43.41% ,处整个剖面的最高值,草本植物中的其他科属花粉含量很低;同时还见少量的榛属(2.72%)、柳树花粉(1.18%)和个别的蕨类孢子等。

孢粉带II($132 \sim 115\text{ cm}$, $5\,356 \sim 4\,684\text{ a B.P.}$):乔木植物花粉($21.47\% \sim 39.01\%$,平均 30.56%)含量增加,其中松属花粉(24.2%)含量上升明显,云杉属(0.24%)、栎属(4.33%)和鹅耳枥花粉(0.68%)含量均有所上升;草本植物花粉($50.45\% \sim 76.74\%$,平均 65.42%)含量虽略有下降,但含量仍很高,其中莎草科(10.2%)和藜科(7.43%)花粉含量减少,而蒿属(31.72%)和禾本科(5.64%)花粉含量增加;灌木植物花粉(3.46%)含量有所减少。

孢粉带III($115 \sim 86\text{ cm}$, $4\,684 \sim 3\,424\text{ a B.P.}$):乔木植物花粉($33.56\% \sim 60.86\%$,平均 42.4%)迅速增加,其中针叶类乔木植物花粉松属(30.09%)、云杉属(0.86%)和阔叶类桦木属(5.11%)、鹅耳枥(1.42%)和栎属(4.42%)花粉含量都有不同的上升;草本植物花粉($37.91\% \sim 59.34\%$,平均 51.71%)含量迅速减少,但在孢粉组合中仍占很大比例;灌木植物花粉(5.87%)含量和带I相似。

孢粉带IV($86 \sim 56\text{ cm}$, $3\,424 \sim 2\,210\text{ a B.P.}$):乔木植物花粉($29.55\% \sim 50.57\%$,平均 39.58%)含量略有下降,其中桦属、松属减少;草本植物花粉($45.8\% \sim 62.46\%$,平均 53.57%)含量略有上升,莎草科(13.76%)花粉含量增加,而其他科属的植物花粉相对减少;灌木植物花粉(6.11%)和蕨类植物孢子含量略有增加。

孢粉带V($56 \sim 40\text{ cm}$, $2\,210 \sim 1\,657\text{ a B.P.}$):乔木植物花粉($38.33\% \sim 48.7\%$,平均 43.35%)中栎属(3.75%)和桦

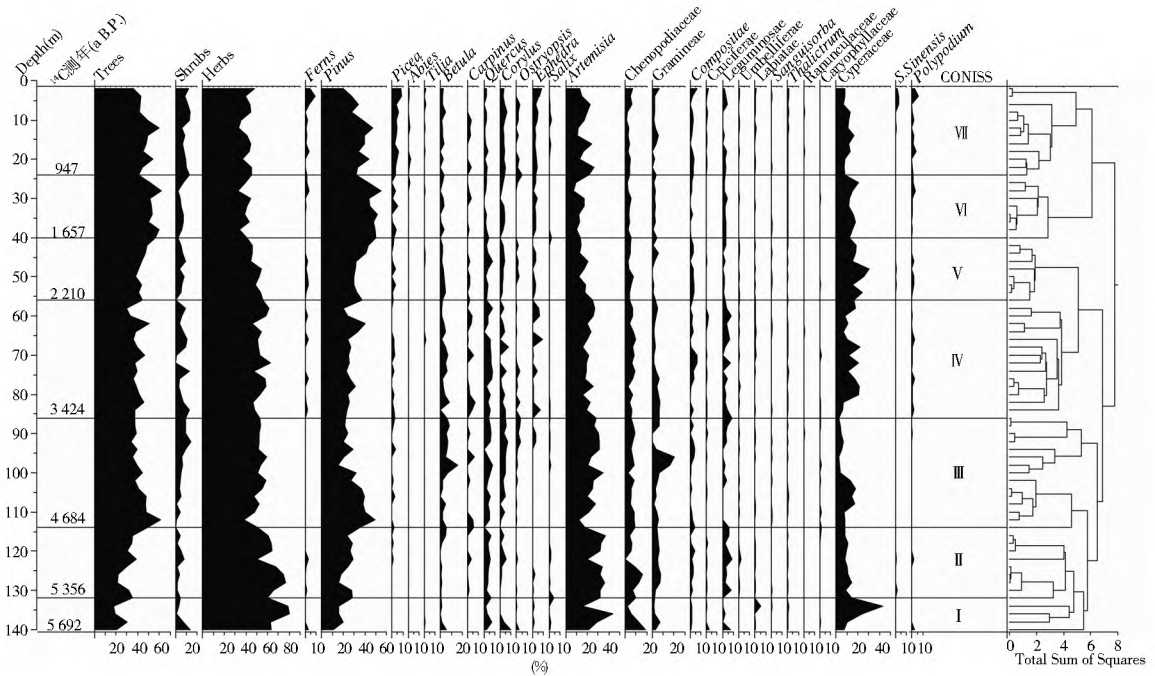


图2 河北围场地区御道口剖面孢粉百分比图式

Fig. 2 Sporopollen percentages in the Yudaokou section of Weichang County, Hebei Province

木属(2.69%)花粉含量减少;草本植物花粉(44.81%~54.61%,平均49.45%)中的湿生植物莎草科花粉(15.27%~30.43%,平均21.08%)含量迅速上升,为本孔中含量最高的孢粉带;灌木植物花粉和蕨类孢子的含量基本维持前一阶段的水平。

孢粉带VI(40~24 cm, 1657~947 a B.P.):乔木植物花粉(50.2%~61.96%,平均54.72%)含量增加,松属花粉(48.15%)含量升高至整个剖面的最高;草本植物花粉(32.56%~44.33%,平均39.37%)含量有所减少,其中莎草科(15.16%)、蒿属(12.45%)、藜科(3.65%)和禾本科(2.46%)花粉含量降低;灌木植物花粉(5.17%)和蕨类孢子(0.74%)含量降低至带I时期的水平。

孢粉带VII(24~2 cm, 947 a B.P.至今):乔木植物花粉(35.95%~59.79%,平均46.05%)含量略减少,其中桦木属(1.99%)、云杉属(5.07%)和冷杉属(0.65%)花粉含量升高;草本植物花粉(33.61%~47.94%,平均41.75%)含量略有上升,其中莎草科花粉(10.15%)含量降低,中早生草本植物花粉和灌木植物花粉中的麻黄(3.95%)、虎榛子(1.48%)、榛(3.99%)含量增加;蕨类植物孢子(2.26%)含量上升至整个剖面最高值。

4 植被与环境变化

从上述孢粉分析结果可得,围场御道口剖面沉积物孢粉多数阶段以草本植物占优势,草本植物孢粉组合中以莎草科、藜、蒿为主;其次为乔木植物,乔木植物花粉以针叶乔木松属为主。其中松、藜、蒿花粉产量相对较高,具有超代表性;莎草科植物分布范围很广,草原、湖滨、河谷以及林下都可见到,其高含量可指示环境湿度增加;乔木植物中松属和桦较为常见,其增多可反映水热条件相对较好。阔叶乔木要求气候更为温暖湿润,因此,阔/针比例的变化又可反映气候

冷暖变化,即针叶树种增多而阔叶树减少,可反映气候趋于变冷^[12]。由于本区地形变化较大,山地至丘陵及山麓、河谷阶地、漫滩地带,植被水平与垂直分带存在差异性,因此沉积物中的孢粉是代表区域性综合特征。根据以上7个孢粉组合带特征,将围场御道口地区自中全新世以来的植被演替与环境变化对应地划分为7个阶段。

第一个阶段(5692~5356 a B.P.):从孢粉组合特征可推测当时围场御道口地区的植被面貌为疏林草原:在广阔的山间湖盆上分布着由蒿属、藜科、禾本科和豆科等中早生草本植物组成的温性草原,在河漫滩和沼泽湿地生长着莎草科、蒿属等植物,在周围的低山丘陵地带零星地生长有一些栎和桦木,较高山地可能发育小片森林,反映气候为凉略湿。此期正值5500 a B.P.前后气候转变时期,世界上许多地区都表现为气候变冷^[4],在中国地区也有较为明显的降温反映^[1],在考古学上称此阶段为仰韶中期的寒冷期^[13]。

第二阶段(5356~4684 a B.P.):孢粉组合中针叶乔木植物松属花粉含量增加,阔叶乔木桦属相对减少,莎草科植物为代表的湿生草本植物也相对减少,但总体上仍是疏林草原植被景观,反映的气候特征为凉干。翟秋敏^[8]在研究坝上高原安固里淖地球化学特征与环境变化时发现,在5137~4617 a B.P.气候相对干旱。

第三阶段(4684~3424 a B.P.):阔叶乔木植物桦木属、栎属和鹅耳枥迅速增加,草本植物相对减少,乔木植物逐渐增加,表明气候变得相对温略湿,有利于乔木生长的水份和热量得到改善,森林面积扩张,草原收缩,植物种类繁多。

第四阶段(3424~2210 a B.P.):乔木植物和草本植物中的中早生植物孢粉含量变化不大,但喜温湿的阔叶乔木增多,且湿地上的莎草科植物增加,反映出气候转变为温湿。北京昆明湖沉积物中孢粉、炭屑及烧失量指标所反映的气候特征与历史文献中所揭示的特征为商周干凉气候^[14],与本

区存在差异。

第五阶段(2 210~ 1 657 a B. P.): 乔木植物以针叶树松为主, 喜温湿的阔叶树桦属、栎属减少, 湿生草本莎草科又大量出现, 喜温干的草本植物蒿属、藜科和菊科相反减少, 反映气候为温略湿, 与北京西山地区气候特征和历史记载的秦汉温暖期表现一致^[14]。

第六阶段(1 657~ 947 a B. P.): 乔木植物增多, 尤以松属占绝对优势, 阔叶乔木继续减少, 草本植物比例减少, 森林面积扩张。推测此期温湿状况继续好转, 呈现出温湿气候。相关研究表明, 1 000 a A. D. 在内蒙岱海地区出现干燥期, 中世纪出现温暖期^[15]。

第七阶段(947 a B. P. 至今): 此期乔木植物仍以松为主, 喜冷湿的冷杉和云杉变化不明显, 耐干旱的草本植物麻黄和蒿略有增加, 反映的气候总体为凉略干。此阶段的后期中华卷柏和水龙骨科蕨类植物突然增多, 表明后期有短时间的明显回暖变湿的特征, 可能与人类活动加剧以及全球温室效应相关^[6]。

5 讨论

从整个剖面纵向变化看, 湿地莎草科植物以及阔叶乔木和蕨类植物所反映湿度增加, 表明: 第三、四、五、六阶段气候相对温和湿润, 第一、二、七阶段气候相对凉偏干旱。此特征与全新世北半球气候波动曲线能进行较好的对应^[2], 通常认为气温升高夏季风增强, 水热同期, 表现为暖湿气候, 而本区第四阶段与北京西山地区的差异, 可能是由于不同地区受夏季风影响差别造成降雨量与蒸发量的不平衡, 这一点同河北坝上地区湖泊沉积物记录的气候特征相一致^[9]。从孢粉所反映历史时期的古植物面貌可以看出, 该区由于地理位置特殊, 受夏季风影响较弱, 且植被对环境变化具一定的生态适应性, 致使该区域总体植被面貌为森林-草原或疏林-草原, 气温的升降和湿度的增减, 主要表现为森林面积与草原面积的互为增减。本区为京、津、冀地区气候环境的天然屏障, 此研究结论可为长期原生态的保护与恢复提供参考意义。

参考文献(References):

[1] 施雅风, 孔昭宸, 王苏民, 等. 中国全新世大暖期气候与环境的基本特征[A]. 施雅风. 中国全新世大暖期气候与环境[C]. 北京: 海洋出版社, 1992: 1-18. (SHI Yafeng, KONG Zhaochen, WANG Sumin, et al. Basic Characteristics of Climate and Environment during Holocene Megathermal in China[A]. SHI Yafeng. The Climates and Environments of Holocene Megathermal in China[C]. Beijing: China Ocean Press, 1992: 1-18. (in Chinese))

[2] 徐馨, 沈志达. 全新世环境[M]. 贵阳: 贵州人民出版社, 1990: 55-69. (XU Xin, SHEN Zhida. Holocene Environmental[M]. Guiyang: Guizhou People's Press, 1990: 55-69. (in Chinese))

[3] 吴文祥, 刘东生. 4000 a. B. P. 前后降温事件与中华文明的诞生[J]. 第四纪研究, 2001, 21(5): 4443-451. (WU Wenxiang, LIU Dongsheng. 4000a.B. P. Event and Its Implications for the Origin of Ancient Civilization[J]. Quaternary Sciences, 2001, 21(5): 4443-451. (in Chinese))

[4] 吴文祥, 刘东生. 5500aBP 气候事件在三大文明古国古文明和

古文化中的作用地学前缘, 2002, 9(1): 155-162. (WU Wenxiang, LIU Dongsheng. 5500a.B. P. Climatic Event and Its Implications for the Emergence of Civilizations in Egypt and Mesopotamia and Neolithic Cultural Development in China [J]. Earth Science Frontiers, 2002, 9(1): 155-162. (in Chinese))

[5] 刘春兰, 钱金平. 御道口湿地生态功能评价及保护对策[J]. 黑龙江水专学报, 2003, 30(3): 15-16. (LIU Chunlan, QIAN Jinping. The Ecological Functions and Policies of Wetland in Yudaokou[J]. Journal of Heilongjiang Hydraulic Engineering College, 2003, 30(3): 15-16. (in Chinese))

[6] 赵建成, 吴跃峰, 李盼威. 温带暖温带交接带生物多样性研究[A]. 木兰围场自然保护区科学考察集[C]. 北京: 科学出版社, 2005. (ZHAO Jiacheng, WU Yuefeng, LI Panwei. Temperate Warm Temperate Zone Handover with Biodiversity Research[A]. Mulan Weichang Nature Reserve Comprehensive Scientific Survey [C]. Beijing: Science Press, 2005. (in Chinese))

[7] 闫永福. 冀西坝上全新世堆积及环境演变特征[J]. 北京地质, 2002, 15(2): 23-27. (YAN Yongfu. The Characteristics of the Holocene Accumulation and Its Evolution in Bashang, North West Heibeij [J]. Beijing Geology, 2002, 15(2): 23-27. (in Chinese))

[8] 翟秋敏, 郭志永. 坝上高原安固里淖全新世沉积地球化学特征与环境变化[J]. 古地学报, 2002, 4(4): 54-60. (ZHAI Qiumin, GUO Zhiyong. Geochemical Characters and Environmental Changes of Holocene Sediments of Angulino Lake in Bashang Plateau[J]. Journal of Palaeogeography, 2002, 4(4): 54-60. (in Chinese))

[9] 朱江玲, 刘鸿雁, 王红亚. 河北坝上地区湖泊沉积物记录的中全新世干旱气候[J]. 地理科学, 2007, 27(3): 380-384. (ZHU Jiangling, LIU Hongyan, WANG Hongya. Mid-Holocene Dry Climate Recorded by Lacustrine Sediments in Bashang Region of Hebei Province[J]. Scientia Geographica Sinica, 2007, 27(3): 380-384. (in Chinese))

[10] 唐海萍, 孙林, 李薇, 等. 河北省御道口牧场气候生产潜力估算[J]. 北京师范大学学报. 2007, 43(2): 199-202. (TANG Haiping, SUN Lin, LI Wei, et al. Evaluation of the Climatic Potential Productivity of Yudaoku Pasture in Hebei Province[J]. Journal of Beijing Normal University(Natural Science). 2007, 43(2): 199-202. (in Chinese))

[11] Grimm E C. CONISS: A FORTRAN 77 Program for Stratigraphically Constrained Cluster Analysis by the Method of Incremental Sum of Squares[J]. Computers & Geosciences, 1987, 13: 13-35.

[12] 沈振枢, 程果, 乐昌硕, 等. 柴达木盆地第四纪含盐地层划分及沉积环境[M]. 北京: 地质出版社, 1993. 30-61. (SHEN Zhenhu, CHENG Guo, LE Changshuo, et al. The Division and Sedimentary Environment of Quaternary Salt-Bearing Strata in Qaidam Basin [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1993. 30-61. (in Chinese))

[13] 吕厚远. 新石器以来的北温带草原文化与气候变迁[J]. 文物保护与考古科学, 1991, 3(2): 43-50. (LV Houyuan. Grassland culture in North Temperate Areas During Neolithic and Climate Change[J]. Sciences of Conservation and Archaeology,

(下转第 93 页)

- Weihe River Basin in Gansu Province[J]. Water Resources and Hydropower Engineering, 2012, 43(4): 5-10. (in Chinese)
- [31] 罗巧, 王克林, 王勤学. 基于 SWAT 模型的湘江流域土地利用变化情景的径流模拟研究[J]. 中国生态农业学报, 2011, 19(6): 1431-1436. (LUO Qiao, WANG Ke lin, WANG Qin xue. Using SWAT to Simulate Runoff under Different Land Use Scenarios in Xiangjiang River Basin[J]. Chinese Journal of Eco Agriculture, 2011, 19(6): 1431-1436. (in Chinese))
- [32] 杨霞. 水文下垫面对河川径流的影响分析[J]. 水资源与水工程学报, 2008, 19(1): 100-103. (YANG Xia. Analysis on Influence of the Hydrologic Lower Bedding Course upon the River Runoff[J]. Journal of Water Resources and Water Engineering, 2008, 19(1): 100-103. (in Chinese))
- [33] 李云驹, 潘剑君, 许建初, 等. 气候和土地利用变化对松华坝流域水资源的相对作用研究[J]. 南京农业大学学报, 2012, 35(1): 80-86. (LI Yun ju, PAN Jian jun, XU Jian chu, et al. Relative Impacts of Climate and Land Use Changes on Water Resource in Songhuaba Watershed[J]. Journal of Nanjing Agricultural University, 2012, 35(1): 80-86. (in Chinese))
- [34] 陈晓宏, 王兆礼. 东江流域土地利用变化对水资源的影响[J]. 北京师范大学学报, 2010, 46(3): 311-316. (CHEN Xiaohong, WANG Zhaoli. Land Use Change and Its Impact on Water Resources in East River Basin[J]. Journal of Beijing Normal University (Natural Science), 2010, 46(3): 311-316. (in Chinese))
- [35] 邱国玉, 尹婧, 熊育久, 等. 北方干旱化和土地利用变化对泾河流域径流的影响[J]. 自然资源学报, 2008, 23(2): 211-217. (QIU Guoyu, YIN Jing, XIONG Yujiu, et al. Studies on the Effects of Climatic Warming-drying Trend and Land Use Change on the Runoff in the Jinghe River Basin[J]. Journal of Natural Resources, 2008, 23(2): 211-217. (in Chinese))
- [36] 陈宁, 赵红莉, 蒋云钟. 汉江上游不同气候情景下土地利用变化对径流的影响研究[J]. 北京师范大学学报(自然科学版), 2010, 46(3): 366-370. (CHEN Ning, ZHAO Hongli, JIANG Yunzhong. Effects of Land Use Changes on Runoff in the upper Stream of the HAN River Basin in Different Climate Scenarios[J]. Journal of Beijing Normal University (Natural Science), 2010, 46(3): 366-370. (in Chinese))
- [37] Aurlien Letourneau, Peter H Verburg, Elke Stehfest. A Land use Systems Approach to Represent Land use Dynamics at Continental and Global Scales[J]. Environmental Modelling & Software, 2012, 33: 61-79.
- [38] 胡彩虹, 刘丽娜, 吴泽宁, 等. 未来气候情景下覆被变化对径流量的影响[J]. 人民黄河, 2012, 34(1): 19-21. (HU Cairong, LIU Lina, WU Zening, et al. Effect of Land Cover Change to Runoff Under Future Climate Scenarios[J]. Yellow River, 2012, 34(1): 19-21. (in Chinese))
- [39] 王云琦, 齐实, 孙阁, 等. 气候与土地利用变化对流域水资源的影响——以美国北卡罗莱纳州 Trent 流域为例[J]. 水科学进展, 2011, 22(1): 51-57. (WANG Yunqi, QI Shi, SUN Ge, et al. Impacts of Climate and Land Use Change on Water Resources in a Watershed: A Case Study on the Trent River basin in North Carolina, USA[J]. Advances in Water Science, 2011, 22(1): 51-57. (in Chinese))
- [40] WAN Yanhua, LUO Dan, GUO Yong. Urban Flood Control Strategy Based on New Relationship of Human and Flood[J]. Ecological Economy, 2010, 6: 187-194.
- [41] 李建柱, 冯平. 紫荆关流域下垫面变化对洪水的影响[J]. 地理研究, 2011, 30(5): 922-930. (LI Jianzhu, FENG Ping. The Effects of Underlying Surface Change on Floods in Zijingguan Watershed[J]. Geographical Research, 2011, 30(5): 922-930. (in Chinese))
- [42] 陈瑜, 黄锋华, 孔次芬. 白盆珠水库流域下垫面变化的洪水响应研究[J]. 长江科学院院报, 2011, 28(8): 1-4. (CHEN Yu, HUANG Fenghua, KONG Cifen. Flood Response Caused by Underlying Surface Change in Baipenzhu Reservoir Basin[J]. Journal of Yangtze River Scientific Research Institute, 2011, 28(8): 1-4. (in Chinese))
- [43] Yeshewatesfa Hundecha, Andra sBardossy. Modeling of the Effect of Land Use Changes on the Runoff Generation of a River Basin through Parameter Regionalization of a Watershed Model[J]. Journal of Hydrology, 2004, 292: 281-295.
- [44] 林凯荣, 何艳虎, 陈晓宏. 气候变化及人类活动对东江流域径流影响的贡献分解研究[J]. 水力学报, 2012, 43(11): 1312-1320. (LIN Kaorong, HE Yanhu, CHEN Xiaohong. Identifying the Quantitative Effect of Climate Change and Human Activity on Runoff in the Dongjiang River Basin[J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2012, 43(11): 1312-1320. (in Chinese))
- [45] 胡彩虹, 王金. 流域产汇流模型及水文模型[M]. 郑州: 黄河水利出版社. 2010. (HU Cairong, WANG Jin. Rainfall-runoff Models and Hydrological Models[M]. Zhengzhou: The Yellow River Water Conservancy Press. 2010.)
- [46] 徐宗学. 水文模型[M]. 北京: 科学出版社. 2009. (XU Zongxue. Hydrological Model[M]. Beijing: Science Press. 2010. (in Chinese))
- [47] LIU J Y, DENG X Z. Progress of the Research Methodologies on the Temporal and Spatial Process of LUCC[J]. Physical Chemistry. 2010, 55(3): 1-9.

(上接第 72 页)

- 1991, 3(2): 43-50. (in Chinese))
- [14] 黄成彦, 孔昭宸, 浦庆余, 等. 颐和园昆明湖 3500 余年沉积物研究[M]. 北京: 海洋出版社, 1996: 111-117. (HUANG Chengyan, KONG Zhaochen, PU Qingyu, et al. Summer Palace Kunming Lake in 3500 Years of Sediment Research[M]. Beijing: China Ocean Press, 1996: 111-117. (in Chinese))
- [15] 金章东, 沈吉, 王苏民, 等. 岱海的“中世纪暖期”[J]. 湖泊科学. 2002, 15(3): 209-216. (JIN Zhangdong, SHEN Ji, WANG Sumin, et al. The Medieval Warm Period in the Daihai Area[J]. Journal of Lake Sciences. 2002, 15(3): 209-216. (in Chinese))