

蒙古高原

Vegetation Changes and Associated Climate Variations in the Mongolian Plateau during the Past 40 000 Years

过去四万年来的植被与气候变化

主 编：冯兆东

副主编：马玉贞



甘肃科学技术出版社

蒙古高原

过去四万年来的植被与气候变化

Vegetation Changes and Associated Climate Variations in the Mongolian Plateau during the Past 40 000 Years

主 编：冯兆东

副主编：马玉贞



甘肃科学技术出版社

图书在版编目(CIP)数据

蒙古高原过去四万年来的植被与气候变化 / 冯兆东
主编. -- 兰州 : 甘肃科学技术出版社, 2015. 6
ISBN 978-7-5424-2206-4

I. ①蒙… II. ①冯… III. ①蒙古高原—植被—研究
②蒙古高原—气候变化—研究 IV ①Q948.531
②P468.31

中国版本图书馆CIP数据核字(2015)第117908号

出版人 吉西平

责任编辑 杨丽丽(0931-8773274)

封面设计 陈妮娜

出版发行 甘肃科学技术出版社(兰州市读者大道568号 0931-8773237)

印刷 甘肃澳翔印业有限公司

开本 787mm × 1092mm 1/16

印张 23.25

字数 509千

版次 2015年6月第1版 2015年6月第1次印刷

印数 1~1500

书号 ISBN 978-7-5424-2206-4

定价 90.00元

作者简介

冯兆东,男,1955年出生,甘肃定西人。1978年兰州大学地理系本科毕业,1982获兰州大学地理学硕士学位,1987年获美国华盛顿大学地质学硕士学位,1992年获美国堪萨斯大学地理学博士学位,1992~1994年在美国哥伦比亚大学 Lamont-Doherty 地质研究中心从事博士后研究。1994~1996年任美国犹它大学助理教授,1996~2008任美国蒙特可莱大学助理教授、副教授、教授,2000年起被聘任为教育部“长江学者奖励计划”特聘教授(兰州大学),现任中国科学院新疆生态与地理研究所特聘研究员。

马玉贞,女,1957年出生,河南太康县人。1982年获兰州大学地质学学士学位,1993年获兰州大学地质学硕士学位,2004年获兰州大学地理学博士学位。1982~2007年任兰州大学助教、讲师、副教授、教授,1995年、1997年、2000年和2006年先后赴德国哥廷根大学孢粉研究所、柏林自由大学和美国路易斯安那州立大学进修学习和合作研究,2007年起任北京师范大学教授、环境演变与自然灾害教育部重点实验室副主任。

王维,男,1972年出生,甘肃榆中人。1994年获兰州大学材料科学学士学位,2003~2005年在兰州大学地理系攻读硕士学位,2009年获兰州大学第四纪地质学博士学位,2009年起任内蒙古大学环境与资源学院讲师、副教授。

王丽霞,女,1976年出生,山东德州人。2002年获烟台师范学院地理学学士学位,2005年获兰州大学地理学硕士学位,2005年7月至2011年5月就职于辽宁省环境监测实验中心,2011年5月至2014年3月就职于中国环境科学研究院,目前就职于环境保护部南京环境科学研究所。

孙爱芝,女,1979年出生,山东章丘人。2002年获聊城大学地理学学士学位,2007年获兰州大学第四纪地质学博士学位,2007~2011年任西南大学副教授,2011~2013年在中国科学院地质与地球物理研究所从事博士后研究,2013年起任中国科学院大学地球科学学院教师。

郭兰兰,女,1980年出生,山西晋中人。2005年获兰州大学地理学硕士学位,2008年获北京师范大学地理学博士学位,2008年起任北京师范大学减灾与应急管理研究院讲师。

冉敏,男,1983年出生,湖北京山人。2007年获兰州大学地质学学士学位,2012年获兰州大学地理学博士学位,2012~2014年在新疆大学地理学博士后流动站从事博士后研究,2014年起任西南大学地理科学学院讲师。



前 言

一、与蒙古高原无关的一些事

我常常告诉我的同行朋友：“如果不是偶然的的机会捡起了蒙古高原，我这辈子可能就无事业可言了”。从硕士学习阶段至在兰州大学任讲师阶段(1978~1985)，我一直在学习和研究冰川地貌。我后来去美国华盛顿大学继续学习和研究冰川地貌(1985~1987)。在华盛顿大学完成了第二个硕士学位后，转磨到了美国中部的堪萨斯大学攻读博士学位(1987~1991)。当时正是中国黄土研究“暴热”的时候，我的导师 William Johnson 教授希望我将停顿了近三十年的美国中西部的黄土研究再捡起来，再加上我在出国之前就涉猎过中国黄土高原的环境重建研究，我就毫不犹豫地“背叛”了冰川而“投靠”了黄土。

完成了博士论文之后(1991)，我很容易地获得美国哥伦比亚大学的博士后奖学金(Postdoctoral Fellowship)，跟着 George Kukla 教授继续研究美国中西部的黄土。我是兴致勃勃地走进了著名的 Lamont-Doherty Earth Observatory，但两年之后从那儿出来时我却是灰头灰脸的。我写的四个基金申请无一获准，两年博士后结束时也没有找到工作。无奈之下，哥伦比亚大学“半价地”延续了我的博士后身份半年，实际上是给了我找工作的时间缓冲。接下来的事更加烦人。我的地质学背景似乎不足以引起美国大学的地质系对我感兴趣，我的黄土和冰川背景似乎又不太适合美国大学的地理系。好我在堪萨斯大学接受了完整的地理信息系统和遥感方面的训练。于是我用我的地理信息系统背景和我在堪萨斯地质局做过地理信息系统助手的经历说服了犹他大学地理系，他们给我提供给了一个“非终身系列”的助理教授位子(1994~1996)。我想补充：虽然我在哥伦比亚大学“一事无成”，但在那儿两年多的奋斗过程和日常见闻让我彻底理解了：做科学研究既需要一丝不苟的严谨态度，也需要“宗教狂般”的追求精神。我想感谢：犹他大学给我提供的“上讲台经历”让我在之后的“终身系列(Tenure Track)”教职寻求中十分顺利。

二、与蒙古高原有关的一些事

大概是 1995 年 3 月吧，犹他大学的一位同事告诉我，美国基金委的国际合作局正在 EOS 杂志上广告寻找对蒙古国有地学研究背景和兴趣的学者，参加他们主办的美—蒙合作启动会并撰写研究纲要。我发送了我的简历，他们说，他们对我 1993 年发表在 The

Holocene 上的关于中国全新世气候变化的评述文章很感兴趣,因为其中有关于中国内蒙古的内容。同年 10 月我参加了在南卡(South Carolina)召开的启动会,并在研究大纲中贡献了一章(Late Cenozoic Environmental Change in the Mongolian Plateau)。1996 年 9 月我又参加了一个由六名学者组成的美国基金委(US NSF)代表团,与蒙古科学院签订了合作协议,并进行了为期 20 天的野外考察。

接下来便是漫长的“基金获得过程”。1996 年我开始了我在新泽西 Montclair 州立大学长达 13 年的教书生涯。1997 年我向美国基金委递交了一个蒙古高原北部风尘历史研究的项目,返回的评语很不好。1998 年我在基金委申请到了一笔“小钱”,为我的“大项目”的申请做了一些预研究。结果呢,1999 年的项目还是被毙了。2001 年,我在美国国家地理协会(National Geographic Society)又申请到了一笔“小钱”,2002 年用那笔“小钱”获得了不少预研究资料,2003 年的基金申请以非常高的排名和比较高的支持强度获准(项目批准号:USA-NSF-ESH-04-02509;题目:Holocene Climatic Changes in the Mongolian Plateau)。与此同时,我也获得了中国国家基金委的重点项目(项目批准号:NSFC-40331012;题目:蒙古高原全新世气候环境变化时空规律的高分辨率重建)。至此,我们的“蒙古高原学术战役”算是全面展开了,这也为我们日后的“中亚学术战役”拉开了序幕。实际上,这本书的第四章、第八章、第九章是“中亚学术战役”的成果(项目批准号:NSFC-40930102;题目:西风带主导区核心地带过去一万年以来生物气候的变化)。

三、一些主要成果

上述两个项目为 6 名学生创造了博士论文研究机会,为 8 名学生创造了硕士论文研究机会,共发表 SCI 论文 24 篇,其他论文 16 篇。前后有 20 多位兰州大学的老师和学生参加了野外考察,还有 10 多位蒙古国科学院的科学家参加了野外工作。虽然我们对“蒙古高原北部过去五万年来的风尘历史和植被变化的重建”还比较满意,我们对“沿蒙古高原南—北段面做的表土有机质碳同位素和表土孢粉调查”也还满意,但我们最满意的则是对“蒙古高原及周边地区全新世湿度变化的重建和比较”(见:Wang, W. and Feng, Z.-D., 2013. Holocene moisture evolution across the Mongolian Plateau and its surrounding areas: A synthesis of climatic records. *Earth-Science Reviews*, 122: 38~57)。

我们的重建和比较表明,受赤道太平洋海面温度的抑制和控制,蒙古高原南缘(即内蒙古南缘)和中国黄土高原全新世的湿度变化是一致的,二者均是对夏季太阳辐射的延迟响应,最湿润期发生在全新世中期。干旱和超干旱的蒙古高原大部的湿度在全新世中期是最低的,我们认为这个最低的湿度与全新世中期的温度最高有关,即高温加剧了蒸发。西伯利亚南缘(包括贝加尔湖盆地和阿尔泰山脉)的全新世湿度曲线和俄罗斯平原的全新世湿度曲线很相像:6000~9500 年前为最高,然后逐渐下降,且二者均与重建的北大西洋暖季温度曲线一致。新疆北部全新世湿度的变化与重建的挪威冬季降水变化很相

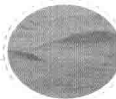


像:自 8000 年前以来一致上升,直到大约 500 年才有所下降,且二者均与重建北大西洋冷季温度变化一致。

本书的出版经费来自新疆生态与地理研究所提供的所长基金(时任所长是陈曦博士)。

冯兆东

2014年8月29日于新疆生态与地理研究所



目 录

第一章	蒙古高原现代花粉—植被—气候的关系	马玉贞 王维 孙爱芝(001)
第二章	蒙古高原表土有机质碳同位素与气候的关系	王丽霞 郭兰兰 冯兆东(033)
第三章	蒙古国北部夏马尔(Shaamar)风积剖面记录的过去近 40 000 年来植被与气候的变化	马玉贞 王维(049)
第四章	蒙古国西部阿奇特湖(Achit Nuur)湖芯记录的过去 20 000 多年来植被与气候的变化	孙爱芝 冉敏(068)
第五章	蒙古国北部岗湖(Gun Nuur)湖芯记录的过去 10 000 年植被与气候的变化	冯兆东 马玉贞(082)
第六章	蒙古国中部优贵湖(Ugi Nuur)湖芯记录的过去近 9000 年来植被和气候的变化	王维 马玉贞(100)
第七章	中国内蒙古中部柴盖淖尔(Qigai Nuur)湖芯记录的过去 10 000 年以来植被与气候的变化	孙爱芝 冯兆东(117)
第八章	中国新疆北部湖芯记录的过去 8000 年气候与水文的变化	冉敏 冯兆东(136)
第九章	哈萨克斯坦东部巴尔喀什湖(Balkhash Lake)湖芯记录的过去 2500 年气候与水文的变化	冯兆东 冉敏(153)
第十章	蒙古高原及其周边地区全新世湿度演化及其机制研究	王维 冯兆东(166)
后 序	蒙古高原与地中海全新世气候的可能联系	冯兆东(209)

- 附录一 Feng, Z.-D. And Khosbayer, P., 2004. Paleosubarctic Eolian environments along the southern margin of the North American Icesheet and the southern margin of Siberia during the Last Glacial Maximum. *Paleogeography Paleoclimatology Paleoecology*, 212: 265–275. (213)
- 附录二 Feng, Z.-D., Ma, Y.Z., Zhang, H.C., Narantsetsega, Ts. and Zhang, X.S., 2013. Holocene climate variations retrieved from Gun Nuur lake–sediment core in the northern Mongolian Plateau. *The Holocene*, 23(12):1721–1730. (224)
- 附录三 Feng, Z.-D., Wang, L.X., Ji, Y.H., Guo, L.L., Lee, X.Q. and Dworkin, S.I., 2008. Climatic dependency of soil organic carbon isotopic composition along the S–N Transect from 34°N to 52°N in central–east Asia. *Paleogeography Paleoclimatology Paleoecology*, 257: 335–343. (234)
- 附录四 Feng, Z.-D., Zhai, X.W., Ma, Y.Z., Huang, C.Q., Wang, W.G., Zhang, H.C., Khosbayer, P., Narantsetsega, Ts., Liu, K.-B. and Rutter, N.W., 2007. Eolian environmental changes in the Northern Mongolian Plateau during the past ~35,000 yr. *Paleogeography Paleoclimatology Paleoecology*, 245: 505–517. (243)
- 附录五 Feng, Z.-D., Wu, H.N., Zhang, C.J., Ran, M., and Sun, A.Z., 2013. Bioclimatic change of the past 2500 years within the Balkhash Basin, eastern Kazakhstan, Central Asia. *Quaternary International*, 311: 63–70. (256)
- 附录六 Ma, Y.Z., Liu, K.-B., Feng, Z.-D., Meng, H.W., Sang, Y.L., Wang, W. and Zhang, H.C., 2013. Vegetation changes and associated climate variations during the past 38,000 years reconstructed from the Shaamar eolian–paleosol section, northern Mongolia. *Quaternary International*, 311: 25–35. (264)
- 附录七 Ma, Y.Z., Liu, K.-B., Feng, Z.-D., Sang, Y.L., Wang, W. and Sun, A.Z., 2008. A survey of modern pollen and vegetation along a south–north transect in Mongolia. *Journal of Biogeography*, 35: 1512–1532. (275)
- 附录八 Ran, M., Zhang, C.J. and Feng, Z.-D., 2014. Climatic and hydrological variations during the past 8000 years in northern Xinjiang of China and the associated mechanisms. *Quaternary International, Quaternary International*, 358: 21–34. (296)



- 附录九 Sun, A.Z. and Feng, Z.-D., 2013. Holocene climatic reconstructions from the fossil pollen record at Qigai Nuur in the southern Mongolian Plateau. *The Holocene*, 23 (10): 1391–1402. (310)
- 附录十 Sun, A.Z., Feng, Z.-D., Ran, M. and Zhang, C.J., 2013. Pollen-recorded bioclimatic variations of the last 22,600 years retrieved from Achit Nuur core in the western Mongolian Plateau. *Quaternary International*, 311: 36–43. (322)
- 附录十一 Wang, W., Ma Y.Z., Feng Z.-D., Ts Narantsetseg., Liu K.-B. and Zhai X.W., 2011. A prolonged dry mid-Holocene climate revealed by pollen and diatom records from Lake Ugii Nuur in central Mongolia. *Quaternary International*, 229: 74–83. (330)
- 附录十二 Wang, W. and Feng, Z.-D., 2013. Holocene moisture evolution across the Mongolian Plateau and its surrounding areas: A synthesis of climatic records. *Earth-Science Reviews*, 122: 38–57. (340)



第一章

蒙古高原现代花粉—植被—气候的关系

马玉贞^① 王 维^② 孙爱芝^③

①北京师范大学 环境演变与自然灾害教育部重点实验室

②内蒙古大学 环境与资源学院

③中国科学院大学 地球科学学院

为了研究蒙古国现代花粉与植被的地理空间和气候关系,并探索这一关系重建古气候的潜力,我们在蒙古国中东部,沿跨越5个植被带的南北断面系统采集了104个表土花粉样品。本章首先运用判别分析(DA)判别现代花粉谱与植被带的关系并建立了判别函数;再使用聚类分析(HCA)和非度量多维测度法(NMS)对主要花粉类型进行自然分类并判断主要类群对环境梯度的响应。通过综合分析5个植被带相对应花粉谱、DA、HCA和NMS结果,发现沿着南北断面的每个植被带都有着独特的现代花粉组合特征,具体如下:①荒漠:藜科—蒺藜科—白刺属—禾本科花粉组合;②荒漠草原:禾本科—藜科花粉组合;③草原:蒿属—紫菀型—禾本科—单束松型花粉组合;④森林草原:单束松型—云杉属—蒿属—桦木属,山地非禾本草本植物/灌木花粉—蕨类孢子组合;⑤山地泰加林:单束松型—云杉属—禾本科—莎草科,山地非禾本草本植物/灌木花粉—蕨类孢子组合。并根据主要花粉类型组及亚组间的比值,建议了两个能反映降水和温度条件的花粉—气候指数。进一步地检验分析显示,湿度指数(M)和温度指数(T)计算出的蒙古国南北断面温度和湿度的变化趋势很好地反映了研究区现代降水和温度的变化梯度,表明花粉—气候指数可用于该区基于化石花粉数据的古气候重建。另外,本章还讨论了10种重要花粉类型的传播模式和代表性。

关键词: 聚类分析;判别分析;现代花粉谱;蒙古国;花粉—气候指数;植被

1. 引言

为了通过化石花粉数据准确地重建过去的环境,孢粉学家认为首先要了解研究区内现代花粉谱与相应植被的关系(Webb, 1987; Webb等, 1993)。在蒙古国,几乎没有现代花粉与植被关系的综合性研究成果发表。除少数工作外(Tarasov等, 2000a),蒙古国全新世

花粉记录也十分少见(Dorofeyuk和Tarasov, 1998; Gunin等, 1999), 且在這些工作中几乎没有对现代花粉组合特征的分析研究。

根据花粉和植物大化石资料, Tarasov等(1998, 1999a)重建了苏联和蒙古国现代和中全新世的生物群区。基于对欧亚大陆北部和北美洲西部的1245个表层花粉谱(其中644个来自苏联和蒙古国, 但是属于后者的很少)计算得到的植物功能型(Plant functional types, PFTS)得分, 重建了该地区中全新世(6 kyr BP; kyr BP = 千年前)和末次冰期极盛期(Last Glacial Maximum; 大约18 kyr BP)的气候特征(Tarasov等, 1999a, b; 2000b)。与此同时, 据蒙古国102个现代花粉谱的研究推论出现代花粉数据可反映相对应的植被类型; 但落叶松属(*Larix*)较低的花粉生产力和花粉传播能力导致其花粉的低代表性(Guninet等, 1999)。Tarasov等(2000a)据这一结论和花粉—生物群区定量重建法解释了蒙古国西北部浩特湖(Hoton-Nur)盆地的花粉记录。然而, 尽管上述工作都用到了来自欧亚大陆北部(包括蒙古国)的现代花粉数据, 但仍未见到专门研究蒙古国现代花粉谱的文献, 因而我们对这一地区花粉与植被或气候的具体关系(定量和定性)了解甚少。在蒙古国南部的荒漠和荒漠草原地区, 这种知识的缺乏更为严重, 在现有数据网络中, 那里的表土花粉样品数据是完全缺失的(Tarasov等, 1999b; 2000b)。

为了建立现代花粉和植被地理空间上和统计学上的关系, 我们在2002年7月和8月沿着蒙古国中东部南北断面收集了104个现代花粉样品, 并对这一断面的现代花粉谱进行系统的分析。这些资料将拓展我们对该区现代花粉和植被关系的理解, 并填补蒙古国现代孢粉数据网络的空缺。

2. 研究区

104个表土花粉样品采自从42°45'55"N到51°35'08"N, 从99°45'55"E到51°35'08"E的广大区域, 包括蒙古国中东部的东戈壁(East Gobi)和中央(Tov)省部分地区、杭爱(Hangay)—肯特山地区(Hentiy)、色楞格(Selenge)和鄂尔浑河(Orhon)流域以及库苏古尔湖(Hovsgol nuur)区。该研究区位于中亚北部, 远离海洋(图1-1), 气候为典型的大陆性气候(Tuvdendorzh和Myagmarzhav, 1985; Orshikh等, 1990)(图1-2)。年降水量自西北向东南逐渐递减。年降水量最高的地区位于库苏古尔湖区的山地, 超过600mm; 年降水量最低的是东戈壁省地区, 约为50mm。

冬季(12~3月)很冷, 最低温纪录出现在1月, 月平均气温低于-16℃, 最低超过-24℃。冬季也很干, 其降水量只占全年的5%~10%, 在北部地区和山区多有降雪。夏季(6~8月)是最湿润的季节, 降水量占到了全年的70%左右。通常, 7月降水量最大, 也是最热的月份, 从北部地区和山区到东戈壁地区, 月平均气温为12℃~24℃。自西北向东南, 气候逐渐变暖变干。春季(4月、5月)以强风、较低的空气湿度和较少的降水量为特征。午后经常伴有扬尘和沙尘暴(Tuvdendorzh和Myagmarzhav, 1985; Orshikh等, 1990)。

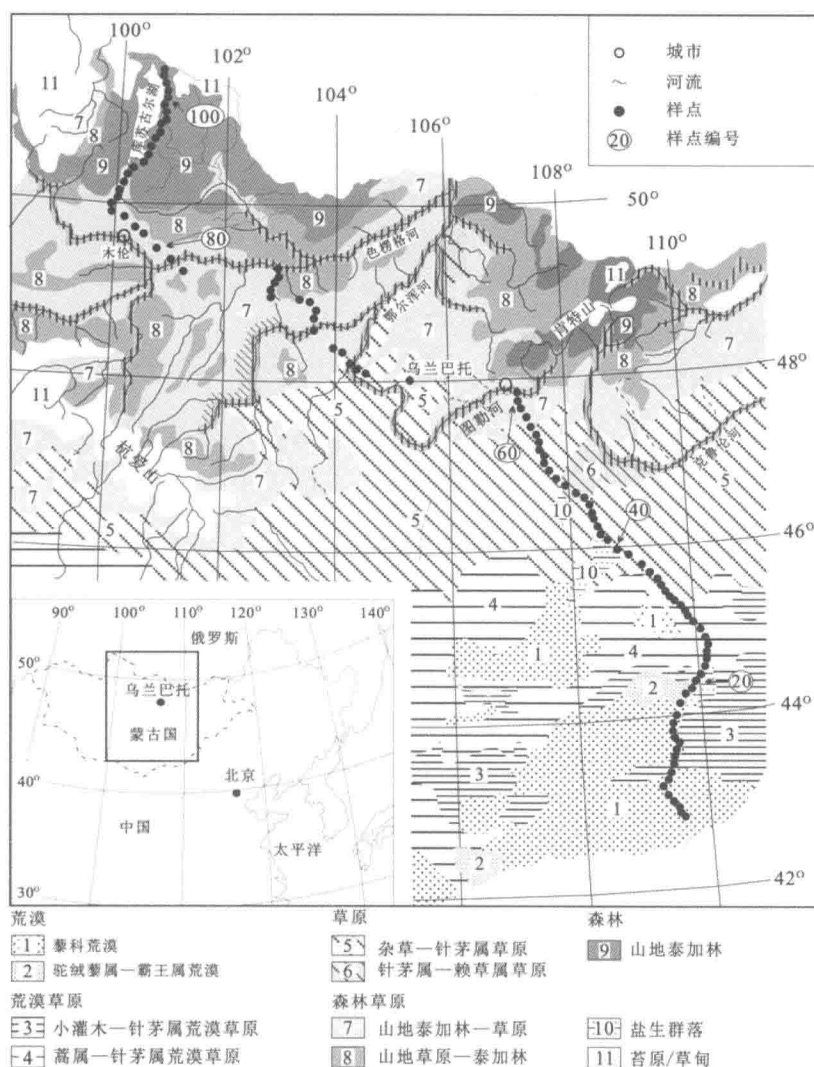


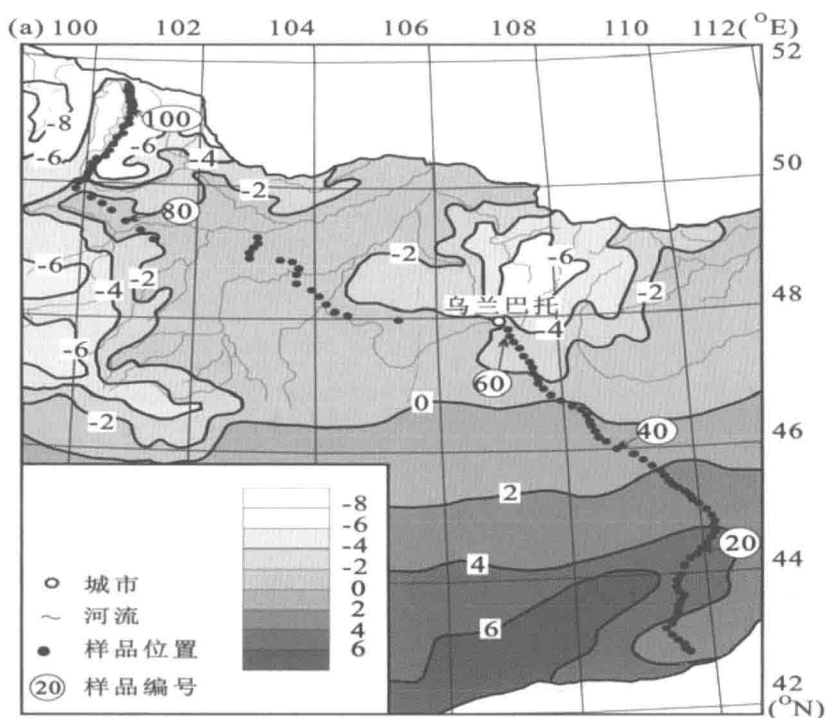
图1-1 蒙古国中东部的植被图(引自Lavrenko等,1979;Lavrenko和Karamisheva,1990)和104个表土样点位置

3. 植被和气候

图1-1显示出蒙古国中东部的主要植被带分布区域(Lavrenko等,1979;Lavrenko和Karamisheva,1990)。从生物地理学的角度看,从南到北可划分出荒漠、荒漠草原、干草原、森林草原和西伯利亚泰加林五个主要植被带,而且草原和森林草原分布最广。上述五个植被带的分布完全受控于气候的南—北向梯度:温度由南向北递减,降水由南向北递增(图1-2)。我们从南到北跨越五个植被带系统的采集了表土样品,植物命名引自Hilbig(1995)。

3.1. 荒漠植被

荒漠植被分布在东戈壁海拔750~1200m的地区, 年平均气温 4°C ~ 6°C , 7月气温 $>24^{\circ}\text{C}$, 1月气温 $<-16^{\circ}\text{C}$ 。降水几乎全部发生在夏季, 年降水量一般为50~150mm(图1-2), 但是小于40mm的年份也屡见不鲜。冬季寒冷少雨。重要的荒漠植被由小灌木和半灌木植物组成, 主要类型为藜科(*Chenopodiaceae*), 如假木贼属(*Anabasis*)、梭梭属(*Haloxylon*)、盐爪爪属(*Kalidium*)、地肤属(*Kochia*)、戈壁藜属(*Iljinia*)、猪毛菜属(*Salsola*)、合头草属(*Sympegma*)和小蓬属(*Nanophyton*); 菊科(*Asteraceae*), 包括亚菊属(*Ajania*)、蒿属(*Artemisia*)、紫菀木属(*Asterothamnus*)和短舌菊属(*Brachanthemum*); 蓼科(*Polygonaceae*), 如木藜属(*Atraphaxis*)和沙拐枣属(*Calligonum*); 蒺藜科(*Zygophyllaceae*), 包括白刺属(*Nitraria*)和霸王属(*Zygophyllum*); 怪柳科(*Tamaricaceae*), 如红砂属(*Reaumuria*)和怪柳属(*Tamarix*); 豆科(*Fabaceae*), 包括锦鸡儿属(*Caragana*)和棘豆属(*Oxytropis*); 蔷薇科(*Rosaceae*), 如锦刺属(*Potaninia*); 旋花科(*Convolvulaceae*), 如(旋花属(*Convolvulus*)等。



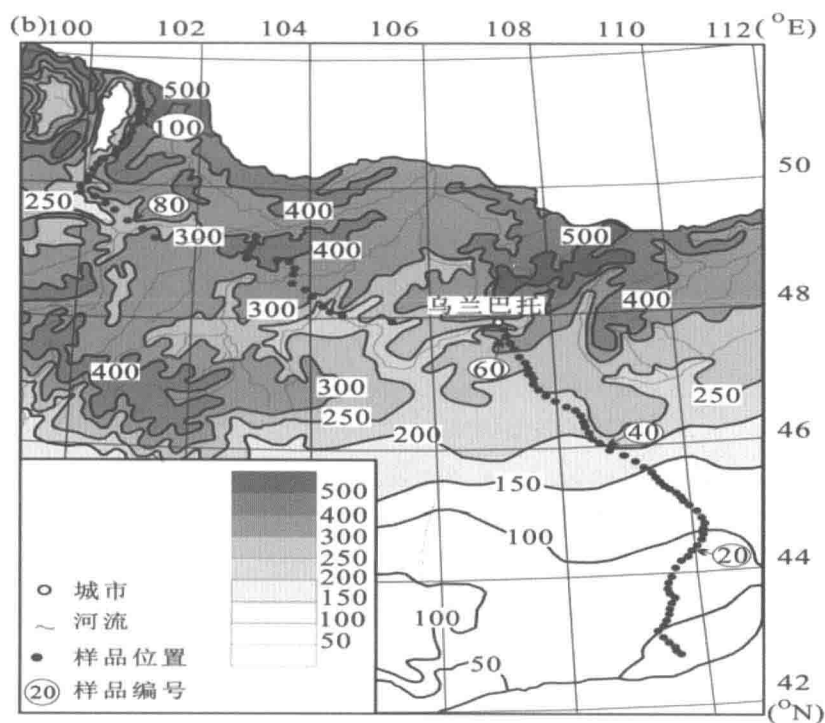


图1-2 蒙古国中东部气候:(a)年平均温度(°C);(b)年平均降水(mm)

(引自Orshikh等, 1990)

据植物组成可分出两个主要的荒漠群落(Hilbig, 1995),即藜科荒漠和驼绒藜属—霸王属(*Eurotia - Zygophyllum*)荒漠。

藜科荒漠(图1-1;类型1)是荒漠中非常重要且广泛分布的植物群落,优势种为:短枝假木贼(*Anabasis brevifolia*)、珍珠柴(*Salsola passerine*)、小蓬(*Nanophyton erinaceum*)、梭梭(*Haloxylon ammodendron*)、细枝盐爪爪(*Kalidium gracile*)、木地肤(*Kochia prostrata*)、小果白刺(*Nitraria sibirica*)、泡泡刺(*Nitraria sphaerocarpa*)、木霸王(*Zygophyllum xanthoxylon*)、骆驼蓬(*Peganum nigellastrum*)、琵琶柴(*Reaumuria soogorica*)和膜果麻黄(*Ephedra przewalskii*)。伴生植物为:戈壁针茅(*Stipa gobica*)、中华隐子草(*Cleistogenes chinensis*)、三芒草(*Aristida adscensionis*)、白皮锦鸡儿(*Caragana leucophloea*)、茵陈蒿(*Artemisia scoparia*)、蓍状亚菊(*Tanacetum achillaeoides*)、亚菊属、猫头刺(*Oxytropis aciphylla*)、沙拐枣(*Calligonum mongolicum*)、紫菀木属、葱属(*Allium*)、戈壁短舌菊(*Brachanthemum gobicum*)、盐豆木属(*Halimodendron*)、野胡麻属(*Dodartia*)、旋花属、棉毛鸦葱(*Scorzonera capito*)和绵刺(*Potaninia mongolica*)(Hilbig, 1995)。

驼绒藜属—霸王属荒漠(图1-1;类型2)出现在荒漠带气候较湿润的地区,植被覆盖度为0~10%。灌木层由驼绒藜(*Eurotia ceratoides*)、木霸王、白皮锦鸡儿、内蒙古旱蒿(*Artemisia xerophytica*)、木蓼(*Atraphaxis frutescens*)、沙拐枣和麻黄属(*Ephedra*)组成。草

本层主要由沙生针茅(*Stipa glareosa*)、沙葱(*Allium mongolicum*)、银灰旋花(*Convolvulus ammannii*)、砂蓝刺头(*Echinops gmelinii*)、帚状鸦葱(*Scorzonera pseudodivaricata*)、兔唇花(*Lagochilus ilicifolius*)、燥原芥(*Ptilotrichum canescens*)、戈壁天冬(*Asparagus gobicus*)、著状亚菊、无芒隐子草(*Cleistogenes songorica*)、短枝假木贼和细叶鸢尾(*Iris tenuifolia*)组成。

3.2. 荒漠草原植被

小灌木—沙生针茅荒漠草原(图1-1;类型3)主要分布在东戈壁地区。主要植物种类有旋花属、红砂属、霸王属、蒺藜属(*Tribulus*)、蒿属、骆驼蓬属(*Peganum*)、针茅属、画眉草属(*Eragrostis*)、三芒草属(*Aristida*)、驼绒藜属、沙拐枣属、锦鸡儿属和雾冰草属(*Bassia*) (Hilbig, 1995)。

在东戈壁北部海拔750~1000m的地区生长着蒿属—针茅属(*Artemisia-Stipa*)荒漠草原(图1-1;类型4),该区年平均气温为3℃~4℃,7月气温22℃~24℃,1月气温-18℃~-16℃。年平均降水为100~150mm(图1-2)。禾本科(Poaceae)为主要建群种(如克氏针茅(*Stipa krylovii*)、戈壁针茅和无芒隐子草),还有冷蒿(*Artemisia frigida*)、内蒙古旱蒿(*A. caespitosa*)、线叶菊(*Tanacetum sibiricum*)、乔状艾菊(*T. achillaeoides*)和三裂艾菊(*T. trifidum*)等亚灌木。其他常见的物种包括西伯利亚冰草(*Agropyrum sibiricum*)、沙葱、矮锦鸡儿(*Caragana pygmaea*)、白皮锦鸡儿、银灰旋花、狗娃花(*Heteropappus hispidus*)、白刺属、短枝假木贼、珍珠柴、木地肤、驼绒蒿(*Eurotia ceratoides*)、琵琶柴、刺叶柄棘豆(*Oxytropis aciphylla*)、骆驼蒿、戈壁短舌菊、绵刺和木霸王。

3.3. 草原植被

该植被类型主要由蒿属—针茅属(*Artemisia-Stipa*)禾草草原和针茅属—赖草属(*Stipa-Leymus*)草原群落组成,生长在海拔为950~1400m的蒙古国中部和东部广大地区。

非禾本草本—针茅属禾草草原(图1-1;类型5;Hilbig, 1995)也以达乌里苳芭(*Cymbaria dahurica*)—克氏针茅(*Stipa krylovii*)群落而著称(Hilbig, 1987),是该区草原植被的主要群落。为了与较湿润的山地草原区分,这类禾草草原常被称为干草原,主要生长在杭爱山东坡,肯特山的西、南和东南部。该区属于哈尔哈中部和蒙古—达斡尔地区南部,年均温为-2℃~3℃(图1-2),最低温为-20℃~-17℃,最高温为16℃~22℃,年平均降水量为150~300mm(图1-2)。禾草草原里禾本科植物发育良好,尤其是丛生禾草植物,优势种是针茅(克氏针茅)、糙隐子草(*Cleistogenes squarrosa*)和冷蒿(*Artemisia frigida*)。伴生种包括冰草(*Agropyrum cristatum*)、羊草(*Elymus chinensis*)、寸草苔(*Carex duriuscula*)、东北丝裂蒿(*Artemisia adamsii*)、滨蒿(*A. scoparia*)、黑蒿(*A. palustris*)、裂叶蒿(*A. tanacetifolia*)和芨芨草(*Achnatherum splendens*)。并伴生一些非禾本草本植物,如达乌里苳芭(*Cymbaria dahurica*)、驼舌草(*Goniolimon speciosum*)、木地肤、柳叶凤毛菊(*Saussurea salicifolia*)和骆驼蓬及半灌木矮锦鸡儿(尤纳托夫, 1959; Hilbig, 1995)。此外,在农牧民居民点附近的针茅草原中,一些其他禾本和非禾本草本植物(如羊草、糙隐子草和冷蒿)占主导地位。针茅属—赖草属草原植被(图1-1,类型6)主要分布在较湿润的地区,优势种主要为针茅和羊草(Hilbig, 1995)。

3.4. 森林—草原植被

该植被类型广泛分布在杭爱山的北部和东北部,肯特山的西北部、西部和南部;主要发育在色楞格和鄂尔浑河流域。北边与山地泰加林相邻,南边与草原和荒漠草原接壤。该区内,草原与其中的斑块状森林分界明显。具体来说,就是泰加林主要分布在低海拔山区的北坡和高海拔地区,而草原主要集中在南坡和山谷及周边地区。在东西向的山脉中,山顶经常是森林和草原的分界区(尤纳托夫,1959;Hilbig,1995)。

山地泰加林—草原植被(图1-1,类型7)主要由山地和高山草本—丛生禾草草原组成,局部有西伯利亚落叶松(*Larix sibirica*)林发育。该植被类型主要分布在海拔1000~1600m。年平均降水250~400mm,年平均气温 $-2^{\circ}\text{C}\sim 0^{\circ}\text{C}$,1月平均气温 $-24^{\circ}\text{C}\sim -20^{\circ}\text{C}$,7月平均气温 $12^{\circ}\text{C}\sim 17^{\circ}\text{C}$ (图1-2)。一些伴生种如桦木属(*Betula*)和杨属(*Populus*)生长在较高的山区中。

该区山地草原植被稀疏,一般覆盖度为60%~70%,丛生禾草植物为建群种,如羊茅(*Festuca ovina*)、冷草(*Koeleria macrantha*)、纤细冷草(*K. gracilis*)、渐尖早熟禾(*Poa attenuata*)、冰草和克氏针茅。同时也出现一些蒿属植物,如冷蒿、银叶蒿(*A. argyrophylla*)和北极蒿(*A. borealis*)。其他伴生草本植物包括高山紫菀(*Aster alpinus*)、柳叶凤毛菊(*Saussurea salicifolia*)、腺毛唐松草(*Thalictrum foetidum*)、小叶罗汉松(*Astragalus brevifolius*)、普米腊棘豆(*Oxytropis pumila*)、白头翁属(*Pulsatilla*)、红花百里香(*Thymus serpyllum*)、双齿葱(*Allium bidentatum*)、毛叶老牛筋(*Arenaria capillaris*)、锥叶柴胡(*Bupleurum bicaule*)、岩黄芪(*Hedysarum pumilum*)、卷鞘鸢尾(*Iris potaninii*)、黄花马先蒿(*Pedicularis flava*)、燥原芥、绢毛委陵菜(*Potentilla sericea*)、星毛委陵菜(*P. acaulis*)、岩生繁缕(*Stellaria petraea*)、瑞香狼毒(*Stellera chamaejasme*)和伏毛山莓草(*Sibbaldianthe adpressa*)(尤纳托夫,1959;Hilbig,1995)。

在过度放牧的地区,山地草原退化为由寸草苔(*Carex duriuscula*)占主导的短草甸草原。这些贫瘠的草原也发育有冷蒿,但除冰草外,禾草数量减少。随着海拔的增加,植被类型变为山地草原—泰加林植被(图1-1,类型8),主要由西伯利亚落叶松林、欧洲赤松(*Pinus sylvestris*)林以及混有高山草甸的桦木属—西伯利亚落叶松(*Betula-Larix sibirica*)混交林组成(尤纳托夫,1959;Hilbig,1995)。

3.5. 山地泰加林植被

山地泰加林植被带(图1-1,类型9)主要分布在海拔1700~1950m的库苏古尔湖区域,年平均 $-6^{\circ}\text{C}\sim -2^{\circ}\text{C}$,1月平均气温 -24°C ,7月平均气温 12°C ,年平均降水为300~500mm(图1-2)。山地泰加林优势种为落叶松和欧洲赤松。灌木层的特征种是刺蔷薇(*Rosa acicularis*)和园叶桦(*Betula rotundifolia*)。在较高海拔地区,发育有高山绣线菊(*Spiraea alpina*)、金银花(*Lonicera altaica*)、西伯利亚刺柏(*Juniperus sibirica*)、细叶杜香(*Ledum palustre*)和杜鹃花属(*Rhododendron*)等。湿生草本和多年生禾草在这里发育良好,主要为异颖草属(*Calamagrostis obtusata*)、紫花党参(*C. purpurea*)、东北羊角芹(*Aegopodium alpestre*)、红三七(*Polygonum viviparum*)、三毛草属(*Trisetum*)、批碱草属(*Elymus*)、石竹科