

# 中国沙漠形成演化与气候变化研究\*

董光荣 靳鹤龄 王贵勇 高尚玉

(中国科学院 兰州沙漠研究所 兰州 730000)  
国家林业局

**关键词** 沙漠演化, 气候变化

“中国沙漠形成演化与气候变化研究”是兰州沙漠研究所主持的一项长期研究项目。该项研究针对以往对风沙地貌和沙漠化研究较多,而沙漠形成演化研究相对薄弱的现状,自 1978 年起,从沙漠活动的地层证据——古风成砂出发,采用野外调查、室内实验和对比研究等方法,对我国主要沙区的古风成砂沉积特征、形成时代、沙漠性质和演化模式、古气候和古环境及与全球变化对比、沙漠成因机制及未来发展趋势等方面进行了综合研究。共发表学术论文 80 余篇,专著 1 本,参编专著 2 本;论文被 SCI 收录 12 篇、CSCI 收录 66 篇;有 39 篇论文被 SCI 引用 53 次,其它刊物引用 49 篇 313 次。其主要结果包括:

## 1 沙漠沉积

风成砂和戈壁堆积是第四纪的重要沉积类型,但一直研究较少。通过对中新世以来地层中的古风成砂的系统研究,提出明确定义及其分布、形态、沉积构造、粒度、碎屑矿物组成和石英颗粒微结构等特征,并按产状和岩性特点区分出埋藏古风砂、蚀余古风成砂和砂质风积物、砂质古土壤类型;通过对地层中戈壁面的研究,提出了明确定义及戈壁面上砾石机械破碎、盐分风化与石膏楔、风蚀与风积及荒漠漆发育等四大特征,并按产出状态与下伏母质的不同,划分了裸露戈壁、埋藏戈壁和砾石戈壁、石质戈壁等类型。这为研究沙漠变迁提供了直接可靠的地质证据,开辟了新的研究途径。

## 2 沙漠演化时代

根据岩性岩相对比和年代测定结果,对我国含古风成砂地层进行了划分与对比,并结合有关资料,初步建立了我国沙漠演化的时间序列与空间格局。在时间上,我国沙漠经历了白垩纪、第三纪和第四纪三大演化阶段;在空间上,第四纪前为自西北往东南横贯我国中部的亚热带红

---

\* 主持人:董光荣,兰州沙漠研究所研究员。参加人员:李保生、高尚玉、金炯、邵亚军、王贵勇、靳鹤龄、李森、王跃、陈惠忠、申建友、李孝泽、戴枫年、胡智育、陈振英等。该项成果获中国科学院 1998 年度自然科学奖一等奖  
收稿日期:1998 年 10 月 19 日

色沙漠,第四纪为集中于我国西北部的温带黄色沙漠。其中,早更新世时期,沙漠面积小而分散;中更新世时期沙漠面积迅速扩大,奠定了温带黄色沙漠的基本格局;晚更新世后期,东部沙区迅速活化,但沙漠范围似未超出中新世时期;全新世时期沙漠总体有所缩小,期间仍有不同程度的固定与活化(主要在东部沙漠);现代地表的沙漠(包括沙漠化土地)只是沙漠长期发展演变过程中新近经历的一幕。这一结果大致可与大陆风成红土、黄土堆积及深海风成沉积对比,为研究全球变化及其区域响应提供了沙漠证据。

### 3 沙漠发育模式和性质

白垩纪-早第三纪期间,我国红色沙漠带区域分异不明显。中新世甚至上新世期间红色沙漠出现区域分异。大致以贺兰山至兰州地区为界,东部沙漠区以红色古风成砂、红土、红色古土壤互层为主,且钙质淋溶强烈,存在沙漠正、逆过程,似多为固定、半固定沙丘;西部沙区以红色古风成砂与膏盐互层为主,古土壤不发育,且钙质淋溶微弱,沙漠是以正过程占优势的流动沙丘。第四纪以来,沙漠的区域分异进一步加剧。大体在贺兰山至青海都兰一线,以东为东部沙区,该线以西至马鬃山-格尔木之间为中部沙区,马鬃山-格尔木以西、天山以南、昆仑山以北为西部沙区,天山以北为北部沙区。东部和北部沙区第四纪地层在纵向上古风成沙-黄土-古土壤互层沉积系列表明,其发展模式是几经流沙出现、扩大(沙漠化正过程)与固定、缩小乃至生草成壤(沙漠化逆过程)相交替的波动式发展过程。沙漠是以半固定、固定沙丘占相当比重的“草原型”沙漠。西部沙区风成砂、亚沙土连续沉积系列与风成砂、河湖相互层地层表明,除河湖附近,其它地区为流沙不断出现、扩大的直线式发展过程。是以流动沙丘为主的荒漠型沙漠。中部沙区性质和模式介于东北部和西部两沙区之间。

### 4 沙漠气候和环境

根据中生代地层沉积相及有关资料,白垩纪-早第三纪时,我国红色沙漠总的为干热的热带、亚热带荒漠。新第三纪时期,西部和东部沙区生物气候带分别为:亚热带干旱至极干旱荒漠和半干旱疏林草原至干草原,中间的过渡区为亚热带干旱荒漠草原。在第四纪期间,中国北方沙区主体已处于暖温带至寒温带之间的温带位置,但期间存在多次生物气候带波动。根据地层中的沉积相、脊椎动物、孢粉、地球化学元素、可溶盐、碳酸钙、粘土矿物、粒度、古冰碛、古冰缘以及石膏多边形等地质纪录,提出第四纪特别是晚更新世以来我国不同沙区的气候和环境变化具有明显差异。北部特别是东部沙区具有暖湿森林草原、凉湿灌丛草原(草甸草原)与干冷干草原、荒漠草原乃至荒漠相互交替的频繁变化,而且气候与环境变化具有多变性与不稳定性、变化周期愈来愈短和波动幅度愈来愈小等三大特征。其总趋势是由暖湿森林草原、灌丛草原(草甸草原)向干冷干草原、荒漠草原甚至荒漠过渡,该区沙漠出现、扩大(沙漠化正过程)的自然环境为干冷干草原、荒漠草原甚至荒漠,该区流沙固定、缩小(沙漠化逆过程)的自然环境为暖湿的森林草原、凉湿的灌丛草原(草甸草原)。西部沙区则一直处于干热与干冷交替的干旱或极干旱的荒漠环境,中间湿度波动不大。中部沙区的气候环境波动幅度稍大,大体介于干热与干冷交替的极干旱荒漠至半干旱草原之间。

## 5 沙漠成因与机制

上述我国沙漠与气候环境的演化,与地球表面各圈层相互作用导致的全球变化的影响和区域响应有关。根据冰期波动理论、新构造运动以及有关资料,指出我国沙漠的成因与机制,在不同时期和不同地区(即不同时空尺度)并不相同。白垩纪-早第三纪红色沙漠带的出现,主要是由于当时处于地球三大冰期中末次最大间冰期,两极无冰盖,大陆广泛海侵,加之欧亚大陆构造相对宁静,地形平坦,全球为温暖宽广的行星气候带控制,我国西北、华北、长江流域与藏北处于副热带动力高压位置,因气候炎热干燥而出现红色沙漠。到中新世,随着全球普遍降温,南极冰盖的出现与形成,地球已进入新生代大冰期,南半球受冰盖影响首先建立与今日相近的生物气候带,但北半球直至上新世尚未形成冰盖,包括我国在内的热带亚热带还较宽广,红色沙漠带虽有缩小但依旧发育。但是此间受喜马拉雅山运动的作用,大地抬升,古特提斯海和古地中海东支海湾消失,欧亚大陆连成一片,导致海陆热力对比加大而引起的古季风影响,使红色沙漠带内部的水热状况在东部与西部之间出现了明显的分异。这种受热带亚热带高压影响而形成的沙漠是真正的地带性沙漠。上新世末-更新世初,北极高纬度地区及一系列高山也出现了冰盖与冰川活动,标志着全球进入新生代盛冰期,致使包括我国在内的北半球形成与现今大体相似的行星气候带,其中我国北方大部已处于温带区。同时,岩石圈进入青藏高原隆升为代表的强烈造山、造陆运动时期。青藏高原这一高大地形的动力、热力作用,对业已存在的冰期行星大气环流以及古季风进行一系列调整。其结果一方面使我国东南部气候温暖湿润、红色沙漠消失,另一方面则使我国西北部气候干旱化,形成黄色沙漠。这种受高大地形作用而出现的沙漠为非地带性沙漠。其中西部和中部沙区,气候一直干旱,流动沙丘占优势,可谓“雨影”沙漠。但北部、东部沙区有所不同,新构造运动只是促使气候干冷、流沙出现扩大的背景因素,而冰期气候波动所导致的西风和古季风变迁乃至生物气候带移动,才是流沙出现与固定的决定性因素,东部沙地可谓“季风”沙漠。

## 6 沙漠化与全球变化

沙漠化与全球变化是国际前沿的两大环境问题,与生物多样性问题有联系。我们在前述研究结论的基础上,对土地沙漠化和由于人为  $\text{CO}_2$  等温室效应气体的增加可能引起的全球气候变化及其对我国土地沙漠化的影响发表了自己的见解。

(1)从第四纪环境变化角度出发,对土地沙漠化的研究结果主要是:①提出不加时间、地点和成因三个限定条件的狭义沙漠化概念,即原非沙漠变为沙漠的环境变化。②指出沙漠化过程的实质,是风力作用于砂质地表引起风蚀、风沙流、流沙沉积、沙丘前移和粉尘吹扬等一系列地质地貌过程。③对土地沙漠化危害做了全面论述,总结出其危害特点是时间上的经常性,空间上的广泛性,致害的多样性,以及由此造成的经济损失的严重性。④对土地沙漠化的过程作了全面划分:从发生性质可分出沙漠化正过程与逆过程;从发生时间可分地质时期、人类历史时期与现代时期;从影响因素存在自然过程和人为加速过程(在人类出现后特别是现代时期,多数为两者迭加过程)。⑤指出土地沙漠化成因在不同时期与不同地区是不一样的:西部和中部



沙区,第四纪期间主要与气候变化、河道移动、水量变化和沙丘入侵有关;在历史时期与现代时期人类不合理的经济活动也起了重要作用。在北部和东部沙区,第四纪地质时期主要与冰期、间冰期气候波动导致的西风和古季风环流变化以及生物气候带移动有关;人类历史时期,主要是冰后期气候波动,但人类也起一定作用;在现代时期,气候干旱等自然条件是基础,但不合理的人为活动是主要的,其加速值可达百分之几到131倍。⑥土地沙漠化正逆过程既受全球气候变化控制,又通过辐射平衡、凝结核、水分和对流而对气候起反馈作用。土地沙漠化的未来发展趋势取决于未来气候、人为活动和沙漠化土地的变化趋势,以及三者之间反馈关系的发展趋势。⑦防治土地沙漠化既要消除人为因素,又要加强对气候和水资源变化规律的研究和预测,并采取正确的对策与措施才能收到最大效益。

(2)对人为释放的 $\text{CO}_2$ 增加、温室效应增强导致全球气温上升,引起全球气候变化及其对土地沙漠化的可能影响问题,我们提出:①现代气候变化取决于自然因子与人为因子的迭加结果,不是存在增温一种可能,而是存在三种可能趋势:增温、降温或不变。自然界 $\text{CO}_2$ 含量自地质时期以来一直是变化的,其自然变化控制因子至今不明,温室效应也颇具争议,因而要加强气候自然变化、 $\text{CO}_2$ 含量自然变化的控制因子的研究,其中地质时期自然过程的研究是关键。②即使未来人为 $\text{CO}_2$ 增加,中纬度特别是我国北方不一定是变暖变干,土地沙漠化发展趋势在不同地区的响应亦不尽相同。根据我国沙区89个台站现代气温、降水记录及冰芯、树轮等资料,并考虑到 $\text{CO}_2$ 增加所作的拟合预报,未来80年自然沙漠化发展趋势因地制宜:西部沙区,1995—2020年自然沙漠化向逆过程转化,2020—2055年,自然沙漠化正过程发展,之后10年将有所减弱;东部沙区,1995—2045年自然沙漠化正过程缓慢减弱,2045—2060年沙漠化逆过程发展,之后15年自然沙漠化逆过程逐渐减弱;北部沙区,未来80年降水波动式减少,自然沙漠化正过程发展;中部沙区,1995—2030年沙漠化逆过程发展,2030—2040年沙漠化逆过程减弱,2040—2055年沙漠化向逆过程转化,2055—2075年沙漠化逆过程减弱,并向正过程转化。

## 7 对相关学科的贡献

中国北方沙漠作为地球表层系统的组成部分,与我国表层子系统有着密切的联系,既相互依赖又相互影响。因此,我们在研究沙漠形成演化与气候变化的过程中,既吸收了相关学科的成果,也对相关学科做出了自己的贡献。

(1)黄土、红土问题。以前认为风成砂与黄土是不同风力的分异沉积,而且沙漠是黄土的重要物源地,但在地层接触关系及时代上没有证明。沙漠区第四纪地层中古风成砂与黄土的前述接触关系和时代,进一步佐证沙漠与黄土是第四纪不同时期风力作用的孪生沉积。对第三纪特别是中新世、上新世红土,过去多偏向于河湖相沉积,我们在广大沙区及兰州等地的中新世、上新世地层中发现大量红色古风成砂,为红土的风成学说乃至晚第三纪中国古环境与古气候的重建提供了重要证据。

(2)青藏高原隆升的环境效应问题。它涉及到两个方面,一方面是高原自身环境的变化,另一方面是对周边地区及全球气候环境变化的影响。在我国西北部沙漠与干旱气候的形成时代与成因问题上,以前多依靠理论推测与数值模拟提出看法,但最终需要沙漠地区的地质记录加

以证实。前述研究表明,中国沙漠和干旱气候由来已久,但不同时期其性质与成因是不同的。前第四纪的干旱和沙漠主要是受行星风系中的副热带动力高压控制;第四纪以来,我国西北地区沙漠的出现与气候干旱化,主要与第四纪冰期气候波动中生物气候带移动和青藏高原隆升引起的大气环流形势的调整有关。因此,在我国环境变迁及全球变化研究中,既不能无视青藏高原的作用,也不能夸大它的影响。

(3)古季风的形成与变迁问题。季风的形成时代与成因,长期以来颇具争议。我们的研究主要是:①依据沙区资料,我国存在两代古季风:晚第三纪时期由海陆热力差异引起的古季风,第四纪由青藏高原隆升强化了的古季风。②晚更新世以来,我国北方沙区冬夏季风交替具有快速突变的特点,并具有不稳定性,尤以全新世期间夏季风的不稳定最为突出。③由若干特征时期夏季风强度波动式减弱、北界水平位置波动式南移来看,末次间冰期以来夏季风呈波动式衰退的趋势。④全球性冰期间冰期气候波动与我国区域性的冬夏季风交替具有同步性,表明我国冬夏季风交替及其强弱变化受冰期气候波动控制,同时冬夏季风对我国中东部地区冰期气候波动幅度具放大作用,因而冬夏季风是冰期气候波动在我国特定区域的具体体现。

此外,我们还在晚更新统标准地层萨拉乌苏组的划分、古人类与古脊椎动物、古冰缘、石膏楔、新构造运动等方面,提供了有关研究的新资料、新观点。

\* \* \*

## \* 简讯 \*

### 首次全国优秀博士学位论文评选揭晓 中国科学院 20 篇论文榜上有名

**本刊讯** 由国务院学位委员会和教育部部署开展的首次全国优秀博士学位论文评选工作已经结束。此项活动旨在提高我国研究生教育特别是博士生教育质量,促进高层次人才脱颖而出。评选对象是全国所有博士学位授予单位 1995 年至 1997 年间博士学位获得者的博士学位论文,共计 1 6700 余篇。经过学位授予单位推荐、省级学位或研究生教育主管部门初选、全国范围内同行专家评议和专家会审定,产生了 100 篇优秀博士学位论文,其中中国科学院 20 篇榜上有名,占获奖总数的 1/5(中科院每年博士生招生人数约占全国招生总数的 1/10)。

此次我院经各省级学位委员会初选上报参评的博士论文有 62 篇,经专家通讯评议后上报专家会审定的 30 篇,表决结果有 20 篇中榜。这一评选结果,反映了中国科学院近年来在研究生培养教育改革工作中紧紧抓住全面提高培养质量这个根本所取得的成效,显示了我院研究生培养教育的整体实力和水平。

(樊 捷)