

论全球现代干燥半干燥沙区晚第四纪的湿润期与干燥期*

——全球主要现代干燥半干燥沙区晚第四纪以来流沙扩展与固定的初步研究

史培军

(北京师范大学地理系)

摘要

本文分析了全球主要现代干燥半干燥沙区晚第四纪流沙的扩展与固定,今日沙丘活化、沙化的气候背景,人类开发沙区与沙丘活化、沙化的关系;提出沙区湿润期与干燥期的概念及沙区的演变规律。

关键词:干燥半干燥沙区、晚第四纪湿润期与干燥期、流沙的固定与扩展

前言

在地球上不同的地区,地理环境的演变是不同的。在温度高低控制的地理环境区,冷暖变化是其地理环境演变的主要特征;在降水多少控制的地理环境区,干湿变化则为其地理环境演变的主要特征。对古湿度的研究导致雨期与间雨期概念的出现。这一研究在北美、非洲已有很大发展,特别是近年来与年俱增的沙漠化土地更加促使人们注意这些地区晚第四纪以来地理环境演变的干湿变化过程。但影响湿度变化的因素比温度变化复杂的多,所以至今尚未出现象温度那样公认的变化序列曲线。湿度变化的研究,在沙区未来地理环境预测中占有极为重要的地位,亦是第四纪地理环境演变研究具有重要意义的课题。在我国北方和西北地区,地理环境演变的研究中,降水变化过程的重建是其核心问题(张兰生,1984)。刘东生等(1987)提出第四纪湿润期与干旱期的概念。本文认为干旱是相对作物、林草而言的一个区域性水分亏缺的概念,它与地理环境地带中的干燥带概念有本质的不同。从地理环境地带的角度看,湿润带应与干燥带相对应。因此,从降水量地带摆动的时间过程来看,在此提出第四纪湿润期与干燥期的概念。对于全球干燥半干燥沙区来讲,由于气候的湿润与干燥的变化,在景观上相应表现出流沙的固定与扩展。分析全球晚第四纪干燥半干燥沙区流沙的固定与扩展,不仅对于重建这些地区的降水量有重要意义,而且对分析今日全球性的沙漠化形成的背景有重要价值。本文就是基于这些想法,试图分析全球干燥半干燥沙区晚第四纪以来流沙扩展与固定的过程,从中认识我国干燥半干燥沙区晚第四纪流沙扩展与固定的过程、及其与全球的异同之处。

一、反映干燥半干燥沙区干湿变化的主要证据

干燥半干燥沙区系指有风成床面形态分布的干旱与半干旱地区。

沙区形成原因各异,但以水分缺乏为主因:全球沙区主要形成于干旱气候区。因此,沙区的形成与干旱区的形成息息相关。干旱区形成的直接原因是雨水稀少(张兰生,1985),F. K. Hare (1977)归纳地球上出现干荒漠的原因不外三类:(1)位在 Hadley 环流的下沉部分;(2)位在山脉背风坡;(3)大气中水汽含量低、或是缺乏导致水汽凝聚降落的动力。

值得注意的是大多干旱区或多或少是综合成因的(张兰生,1985),在主导因素之上,还叠加着其它因素的影响。

虽然沙区形成与干旱区有关,但沙区沙物质分布的多少亦是重要制约因子之一,有松散沉积物分布的干旱地区,是风成床面发展的制约条件。世界沙区主要分布在干旱区的沉积盆地、古代河湖平原、古代河流两岸沿海平原等松散沉积物分布较为广泛的地区也证明

* 国家自然科学基金资助项目。

了这一点。这就是从本质上讲,世界沙区中风成床面的形成,几乎均系就地起源,沙粒的相对位移只在局部地段进行。

对于风成沙丘地貌来讲,不仅与干旱的气候、松散沉积物中的富沙有关,而且还与是否其上发育涡流状流场有关。这就是作者曾指出的风成沙丘形成必须具有三个条件:干燥多风的气候、丰富的沙物质、风力三维涡流物的同时存在。这就是为什么在非洲干燥高原、中国内蒙古干燥高原上,虽然有沙物质的分布,但高原高平,风场平直,不易形成风力三维涡流场,所以只有风蚀洼槽或风成坪沙或飞砂地,而没有风成沙丘广泛发育。研究沙区风成沙丘的历史演变也必须考虑这一点。

虽然不同成因的沙区其干湿变化残留的遗迹是不同的,但下述主要证据几乎在各个沙区都能够发现。

(一) 沙区湖泊水位和水质的变化

沙区内陆湖泊水位的高低与湖泊流域降水量的多少有明显的正相关关系。在澳大利亚沙区威兰卓湖一带,曾发育了一连串内陆湖泊。J. M. Bowler (1971、1973、1978、1981、1983)曾系统的研究了这些湖泊区沉积物的变化,发现湖区水位曾有明显的变动。以艺戈湖为例, 5×10^4 a. B. P 以来,湖水在总的减低趋势下,显示出5个高水位段和4个相对低水位段。另外,克拉伯特湖距今一万年来,水位高度也显示出明显的波动,大致在距今2000年左右、6000年左右、8000年左右均为高湖面时期,而在距今3000年左右、10000年左右均为低湖面时期。非洲沙区的Chad湖,在 5×10^4 a. B. P 以来,也表现出三个明显的高湖面和二一个明显的低湖面时期(H. H. Lamb, 1977)。J. P. Kutzbach (1980)进一步指出,早全新世(10000—5000 a. B. P)湖区降水量为650mm/a,现在湖区降水量为350mm/a,我国柴达木盆地干燥沙区,达布逊湖CKI/81孔的研究表明,大约5万年来,曾经有过5个明显的水质盐分含量低的时期,6个盐分含量较高的时期,显示降水量曾有过明显的波动(陈克造等,1981)现处草原沙区的萨拉乌素河,曾经程度不等地发育过湖泊,降水量的定量复原表明, 6.5×10^4 a. B. P 以来,也曾经有过明显的干湿波动。

(二) 沙区古土壤与风成层的交替发育

我国沙区,特别是草原地带的沙区,曾经发育过多期黑沙土,它与其间的风成层形成明显的交替。据作者测定,在我国科尔沁、毛乌素沙区,全新世期间曾发育了明显的五期古土壤层,其形成的年代分别距今在10000年、8000年、6000年、4000年、2000年左右,其间为风成沙层,显示出了约2000年左右的周期。沙区土壤的发育必须依赖植被的发育,而植被的发育则主要取决于降水条件。因此,古土壤与风成层的交替真实地记录了沙区气候的干湿变化过程。这种情况在澳大利亚草原沙区(J. M. Eowler, 1971),北美加利福尼亚沙区(O. K. Davis et al, 1985),北非、印度沙区(A. S. Goudie, 1977),中亚以色列沙区(M. M. agaritg, 1986)等都曾有过专门研究。

(三) 沙区河流水文网密度的变化

虽然在广大沙区,因偶发性的洪水在低植被覆盖的条件下,能够形成一些较密集的水文网(周延儒,1982),但由于气候的干湿变化曾使这些地区水文网有过明显的变化,如在我国内蒙古广大沙区,曾有昔日河流发育的古河道遗迹直至今日清楚可辨;在我国西北沙区,过去的古河道,今日多为风成沙所改造,或仅为干河床遗存在沙区。在北非,曾利用遥感技术,在不少沙区找上了昔日的古河道,在埃及将这些沙区古河道作为第二水源地(J. F. Mccaujey et al, 1982)。沙区残留的古水文网曾记录了有过湿润的河网形成与发育时期,其后的风成堆积改造了这些河网则显示了气候的干旱化。

(四) 沙区沉积物孢粉种群与比例的变化

作者等(1988)曾专文利用孢粉分析的方法恢复了中国鄂尔多斯沙区沉积物形成时的降水量变化,结果表明,沙区伴随流沙扩展与固定沉积层中的孢粉种属数量有明显的变化,

显示了当时降水量的不同。一般来讲,对于干燥半干燥沙区,降水增多,植物生长茂盛,不仅种群密度增加,而且整个地上生物量增加,因此响应沉积层中孢粉含量也就增加。正是利用这一原理,国内外学者试图将孢粉分析的结果用于降水量的复原(A. P. Kershaw, 1958; Webb, T.III, et al, 1972; 史培军等, 1988)。

(五) 沙区沉积物之粘土微量与全量元素氧化物比值的变化

作者曾根据沙区沉积物(鄂尔多斯地区)之粘土微量元素与全量氧化物比值的变化,建立了沉积物形成时的水分条件估算模型。因此,有理由认为,沙区沉积物的这些化学特征同样记录了沙区气候的干湿变化,在某种程度上,比一些物理性指标更加敏感而准确。这是因为虽然沙区物理过程明显,但地域差异小;而化学过程虽然在景观宏观变化上不明显,但却有着明显的地域差异。这一点早在30多年前,苏联土壤学家E. A. Kobga (1954)就曾明确地指出,干旱半干旱的荒漠和草原地区,地球化学过程不仅非常明显,而且也具有明显的地理规律性。可惜在历来沙区地理环境演变研究中,没有引起足够重视。这是显而易见的,虽然沙区有其共性特征,但由于地貌条件、沉积物条件、成因类型的不同,必然会促使地球化学过程的空间差异;当时,沙区水分的绝对量很少,但其地域差异很大,因此,由其而引起的地球化学过程也就有很大的不同。这正是为什么一些地球化学的特征值可以反映沙区干湿变化的根本原因。

除以上的分析外,沙区古代人类物质文化过程的残存也程度不同地显示了当时地理环境的差异。如我国沙区的古城遗址、北非沙区的古代人类生活的遗迹都曾显示出,这些地区曾经有过有利于人类物质文化过程的条件。因此,历史上沙区物质文化过程的强弱也表明了沙区湿干的变化过程,只不过在时间上表现出滞后现象。

二、世界主要干燥半干燥沙区干湿变化的基本特征

(一) 低纬度干燥半干燥沙区

这一地区的沙区基本上是 Hadleg 环流之下沉气流控制下的产物,其典型地区有非洲广六沙区,阿拉伯半岛广大沙区,印度拉贾斯坦沙区,澳大利亚沙区。

1. 非洲沙区: A. S. Goudie (1977)就非洲沙区的古沙区作了综合的分析和探讨,结果表明:南非晚更新世浩瀚的沙土地存在于今日年降水量达 500mm 的地区。非洲赤道以北的古沙丘向南延伸到西非的热带稀树草原和森林地带,并且覆盖了砖红壤和其它土壤,甚至侵入了古湖盆。总的看来,所谓古代沙漠延伸到目前降雨量高达了 700mm 的地带。尼日利亚的北部许多沙区现在已被开垦,而乍得湖附近的沙丘已被上涨的湖水所淹没。在尼日尔河中游地区看来好象有几个不同年代的古沙丘。西非看来有两个沙丘活跃的时期,第一期意味着风带期和降水量带向南移动大约 450Km;第二期(全新世)风带和雨带向南移动 200Km。P. Rognon (1987)指出,在 $4-2 \times 10^4$ a. B. P 沙区为相对湿润的环境,这与西风带的南移有很大关系; $2-1.8 \times 10^4$ a. B. P 降水不规则、波动大; $1.2-1.0 \times 10^4$ a. B. P 降水明显减少;干燥一直持续到距今 6000 年,然后转湿。近 2000 年以来自然干燥化与人类活动的影响难以区分。显而易见,北非沙区近地中海地区流沙固定与扩展与湿干变化有关,且冰期时与湿润期相对应,间冰期与干燥期相对应。J. P. Kutgbach (1980)通过对乍得湖(Chad)水量平衡的研究,指出 1000—5000a.B.P 降水量高达 650mm/a,而且前近为 350mm/a,这与北非北部边缘虽然不同,且显示出反位相的变化,即与冰期呈反相关关系。E. M. PoKras 等(1985)指出,在热带非洲,萨哈拉西南及南部,冰期时,气候干燥,而在间冰期时,气候比现在偏湿;相反在萨哈拉东南部,冰期时湿润,间冰期干燥。但在晚全新世,两个地区间冰期时都显干燥。D. I. Martin 等(1975)对摩洛哥沙区的研究指出,不仅沙区有干湿的变化,同时也有风向的文化。现在这些地区以东北风为主,在古沙区形成时则为东风和西北风为主。O. H. E. Wright (1985)指出在埃及及沙区,12000—9000a.B. P 为沙区发展时期,9000a. B. P 以后流沙固定,3700a. B. P 后沙区局部活

化。J. Maley (1982) 指出, 北非热散, 15000—7000a. B. P, 干燥少雨, 7000—4000a. B. P 相对湿润。A. V. Todorovc (1985) 指出 1972~1973 年干燥, 1982—1983 更干燥, 这是现代沙漠化形成之背景, 从以上的分析可以看出, 在非洲沙区处在不同的气压带控制的地区, 干湿变化的节律是不相同的。总显示得出, 在相应于冰期时, 偏高纬沙区, 气候转湿, 沙丘趋于固定, 偏低纬沙丘, 则气候转干, 沙丘活化, 流沙扩展, 反之, 相应于在间冰期时, 偏高纬沙区气候转干, 流沙扩展; 偏低纬沙区, 气候转湿, 流沙趋于固定。此外与北纬沙区相毗连的阿拉伯半岛, 在 36000—17000a. B. P 和 9000—6000a. B. P 是一个相对湿润的时期, 其间是相对干燥时期。这看来与阿拉伯海的湿润的气流之季风强弱有关, 季风加强时, 水分增多, 反之, 水分减弱。

2. 印度沙区: A. S. Goudie (1977) 指出, 印度北部的许多沙丘都是古沙丘。古沙丘曾分布在今日降水量高达 750—900mm/a 的地区。此外, 大量的细石器遗址分布在沙区, 也显示了曾经是相对湿润的沙区。P. V. Campo (1986) 指出, 印度沙区的干湿变化与西南季风的强弱有很大关系, 2. 2—1. 8×10^4 a. B. P 是非常干燥的时期, 西南季风减弱; 1. 1×10^4 a. B. P 以来趋湿, 西南季风加强。C. C. Bandy 等 (1987) 则认为在印度沙区沿海地带, 更新世古沙丘与古土壤多次交替, 反映了有过明显的干湿变化。R. A. Bryson 等 (1981) 利用孢粉分析结果定量地复原了拉贾斯坦沙区 Bunkarasar 湖区的全新世年降水量变化, 总趋势是减少, 但显示出明显的干湿波动, 大致在今 3000 年, 5000 年, 7000 年, 9000 年, 11000 年左右都是相对干燥的时期, 其间为相对湿润的时期。仍在拉贾斯坦, DiaWana 湖, 看到了虽然在细节上与前述情况有些差异, 但仍显示出明显的干湿变化且趋于的特征。在最近 1000 年内, 仍有明显的干湿交替, 湿润时较 1970—1941 年的平均值高出 10%。干燥时较此平均值低 15%, 这一幅度的干湿变化虽然不及前一尺度, 但足以造成沙区 1000 年来的流沙扩展与固定的变化, 亦是今日沙漠化的背景。从以上分析可以看出, 印度沙区主要受西南季风控制, 距今 10^4 年尺度干湿变化与冰期、间冰期的交替大致呈正相关关系。而在距今 10^3 年尺度的干湿变化上也表现出与湿度变化的反相关关系。

3. 澳大利亚沙区: 澳大利亚古沙丘与反时针干燥气流旋转有关。曾有许多研究证实了有晚更新世大面积古沙丘的分布。冰期时, 等雨量线想索道方向移动达 900km (A. S. Goudie, 1977)。B. G. Thom 等 (1981) 指出, 澳大利亚南部沙区, 晚第四纪气候经历了以下六个阶段: (1) 前晚间冰期粘土与风成沙交替沉积, 干湿过度。(2) 晚间冰期, 形成内部埋藏古土壤层, 湿润;(3) 晚冰期, 形成东西走向的沙丘沙带, 干燥;(4) 冰后期, 形成外部埋藏层古土壤, 湿润;(5) 中全新世 (6500—6000a. B. P) 海面升高, 流沙趋于固定;(6) 晚全新世, 风力增大, 风成沙与古土壤层交织。V. Semeniun (1986) 的研究表明, 澳大利亚沿岸沙区, 干湿变化有东西差异, 而且西南海岸的研究表明, 6000—2000a. B. P 是半干旱环境, 2000a. B. P 以来, 由半干旱向半湿润变化。M. J. Mulcahy 等 (1973) 通过对沙区古土壤的研究, 认为冰期时, 南部沙区有较高的降水量。P. Rognon 等 (1977) 年通过对澳大利亚沙区与非洲沙区的比较晚第四纪气候变化研究, 指出: 40000—20000a. B. P 澳大利亚沙区南部降水增多, 形成高湖面、洪积期。在 30000a. B. P 左右在热带边缘的沙区, 流沙扩展, 气候干燥。在半干燥的新南威尔土沙区, 17000~12000a. B. P, 则是一个相对干燥的时期。11000—5000a. B. P, 澳大利亚北部和南部是高湖面相对湿润的时期。同时指出, 北半球的气压系统对南半球有影响, 反之, 南半球的气压系统对北半球有影响, 南北半球沙区干湿变化在 10^4 a. B. P 尺度的时期是可对比的, 且低纬度沙区具有干湿变化的同步性。J. M. Bowler 指出, 澳大利亚沙区东南部, 40000—25000a. B. P, 高湖面、流沙固定时期; 25000a. B. P 以后, 湖面下降, 流沙扩展, 到 18000—16000a. B. P 干燥达到盛期, 大面积的线性沙丘得以形成, 在 13000a. B. P 以后, 由干转湿, 流沙趋于固定, A. P. Kershaw (1985) 指出, 孢粉分析揭示了澳大利

亚南部沙区的干湿变化,在距今 10^5 — 10^4 年尺度上,水热的变化是同步的,而在澳大利亚沙区北部,似乎水热的变化是反相关关系。由以上分析表明,澳大利亚沙区南北边缘的干湿变化与非洲沙区具有一些共同特征。偏高纬度的沙区,冰期时偏湿,而低纬沙区则偏干;在间冰期时,正好相反,在高纬度偏干,而低纬度偏湿,这与西风环流与信风环流及赤道辐合带的交替控制是有密切关系的。

除以上地区外,在南美洲低纬度沙区也有类似的干湿变化。还需补充的是,温度的变幅在与干湿变化的同时,并不很明显。

(二) 中纬度干燥半干燥沙区:

中纬度干燥半干燥沙区,均属前面论述干旱区成因的第二或第三种情况,以中亚中纬度沙区分布最为广泛,我国广大沙区在中纬度干燥半干燥沙区占有举足轻重的地位。

1. 中国沙区:张兰生(1985)曾指出,中国干旱区的成因不仅与前述干旱区成因的第三个原因有关,而且更重要的与青藏高原抬升的屏障作用和高原季风有关,其中夏季从高原面上升的气流在高原周围下降,后果与副热带 Hadley 环境的下沉部分完全相似,而北侧下沉气流的轴部恰与甘新沙区的位置相吻合。周延儒(1942)从自然地理角度论证了西北沙区历史时代气候的干湿变化过程。张兰生(1984)论证了我国沙区自中更新世以后存在着旱化趋向。进一步研究表明,处在东南季风边缘的草草原沙区在距今 10^5 、 10^4 年尺度干湿与冷暖的变化是准同步关系,而且在相对冷的时期,有干湿的文化,而在相对暖的时期也有干湿的变化。在 $2.2-1.8 \times 10^4$ a. B. P 是我国东部流沙的大发展时期,在整个全新世,存在着 2000 年干湿变化的准周期,流沙扩展与固定交替。在距今 500 年以来,水热变化呈明显的反相关关系,这与水分的反馈调节有关。人类历史时期流沙的扩展,主要与沙区气候的干湿变化有关,而人类过度的土地利用只是这种流沙扩展(即沙漠化)的诱导和加强性因素。在受西风环流影响明显的西北沙区(主要是北疆沙区),近年的研究表明,气温相对低的时期,沙区气候偏湿,流沙趋于固定。由此可以看出,我国沙区在受青藏高原下沉气流控制的轴部之东南和西北两侧,流沙扩展与固定存在着反位相的关系,这与低纬度沙区似乎存在同样的性质,只不过是表现在东西递变的差异上,即冰期时,偏西一侧相对偏湿,而东侧偏干;间冰期时,西侧偏干,而东侧偏湿,这种配置至少在距今 10^5 、 10^4 年尺度中存在。至于距今 10^3 年尺度的配合还需进一步研究。

2. 苏联沙区:苏联沙区深受西风环流强弱的影响。大多数研究者都试图通过分析处在沙区的几个海子(湖泊)来揭示沙区晚第四纪以来的干湿变化。显而易见(B. Freagel, 1973)冰期时的湖泊面积是比现在要大的多,间冰期时又比现在还小,说明沙区干湿变化与冰期间冰期气候呈明显的反相关配置。即冷温与暖干配置。此外在苏联沙区以外的中亚沙区,如在以色列(M. Magdritg, 1986)偏东的沙区,干湿变化过程与我国东部沙区基本一致,而偏西沙区则与苏联沙区及我国西部北疆沙区的干湿变化一致。

3. 北美和南美沙区:北美和南北沙区是典型的雨影和缺乏降水动力之气候条件(北美)而形成的沙区。A. S. Goudie (1977)指出,北美 Btano. EStacado 沙区,在干燥时期曾向北、向东扩展了大约 300km;在内布拉斯加和南达科沙区,绵亘 52000km² 的沙冈(Sandhills)在晚更新世非常活跃,已鉴别出 3 个沙区形成时期,其中以 PreWoofordian 期分布最广。H. E. Wright 等(1985)进一步指出,这个地区 12000—9000a. B.P 干燥;9000a. B. P 以来偏湿,37000a. B 后偏干。M. G. Winkler 等(1986)研究表明,在美国西北部沙区,在 6500—3500a. B. P, 为低湖面时期,降水要比现在少 10%左右,此期间气温较高,形成干热配置。3500a. B.P 以后,气候冷而湿润。而在加利福尼亚的 panamint 谷地沙区,2000a. B. P. 以来,广泛发育有荒漠土壤,在气候上是一干而偏冷的时期(F. F. Paterson, 1980)。在美国沙区东南边缘,气候是干冷配置(J. M. Cotema, 1980)。在加利福尼亚南 Sierra Nevada 沙区,全新世以来气候的干湿变化表现为:11000—7000a. B. P, 干燥,流

沙扩展; 3000a. B. P. 以来, 显示出冷湿特征, 1200a. B. P. 以来火灾频率减少, 反映气候偏湿 (O. K. Davis, 1985)。由此可见, 北美沙区偏西北和东南或西南沙区干湿变化也有类似我国的地域差异。在南美中纬度沙区, 在晚更新世时, 沙区面积曾大大向南扩展 (A. S. Goudie, 1977)。进一步的研究表明, 南北沙区的变化在潘帕斯高原也有明显的流沙扩展和固定的交替变化, 其节奏与北美沙区基本一致。

除了上述沙区, 一些局部地段的沙区 (沿海沙区、半湿润地区河谷沙地等) 目前了解的情况还很少, 还需做进一步的工作。

三、现代全球干燥半干燥沙区晚第四纪的湿润期与干燥期

全球主要干燥半干燥沙区干湿变化分析表明, 晚第四纪以来, 沙区流沙有明显的扩展和固定的交替。据此, M. Sarnthein (1978) 曾编制了晚更新世盛冰期时 (18000a.B. P) 和中全新世湿润期时 (6000a.B. P) 的全球沙漠分布图, 从中可以看出前期流沙分布的面积远较现在为大, 而后期固定沙区 (地) 的面积又比现在的面积要广。因此, 一些研究者更得出干燥期与冰期一致、湿润期与冰期一致的结论 (任振球等, 1987)。此外, 据 (LIMAP. Project Members, 1976) 的研究结果, 在最盛冰期时 (约 18000a. B. P) 全球降水低于现在的 14%, 北半球低于现在达 20%, 也试图说明在这个尺度上气候寒冷与干燥相配合。就全球而言, 在 10^3 以及 10^4 年尺度的气候变化之降水与温度的配合确定存在干冷与暖湿相配合的特征。但是, 对于沙区, 是否也存在这一特征? 对于沙区的不同地区结果如何? 只有从对沙区的干湿变化序列的重建才可能解决这些问题。从我们的工作看, 无论在 10^5 年或 10^4 年尺度, 沙区冷暖的变化与干湿的变化都不是一个简单的——对应关系。

(一) 在干燥带沙区两侧气候的干湿变化迥然不同

低纬度干燥沙区。在这一地区决定沙区干湿变化的环流场主要与 Hadley 环流之下沉气流均与其北侧的西风环流场, 南侧的赤道辐合带上升气流场的相对空间位移有关。寒冷冰期时, 温度较高的地带面积收缩, 赤道辐合带的范围相对减少, Hadley 下沉气流的控制面积向南扩展, 干燥沙区面积相应地在南部扩大, 结果北部沙区因受西风带影响降雨增多, 从而形成沙区南部的冷干和北部的冷湿配置, 这样在低纬区虽然处在冷期, 但因干燥调节, 相对温度增高, 就使冰期的降温幅度不及北部沙区明显。温暖间冰期, 与上述过程相反, 温度较高的地带面积扩大, Hadley 环流之下沉气流的控制面积向北扩展, 干燥沙区面积相应地在北部扩大, 结果南部沙区因受赤道辐合带上升气流影响, 使流沙趋于固定, 从而形成沙区南部的暖湿与北部的暖干配置, 再由于北部沙区受降水少的反馈调节, 使空气更加干燥, 温度增加, 结果比同纬度地区的非沙区要更暖一些。由此可以看出, 在低纬度沙区, 偏高纬度沙区温暖与暖干配合, 而偏低纬度沙区暖湿与冷干配合。因此, 不能仅仅根据温度复原的结果, 进行简单的降水量推论, 其中必须区分出北部和南部沙区。

2. 中纬度干燥沙区: 在这一地区决定沙区干湿变化的环流场主要是中纬大陆干燥气团两侧的冬季和夏季风环流场及西风环流场的相对位移。寒冷冰期时, 中纬大陆干燥气团南移, 冬季风增强, 受夏季风影响的沙区面积减小, 沙区东南侧流沙扩展, 而受西风影响的沙区面积增加。沙区西北侧流沙趋于固定; 这样形成东南部沙区的冷干与西北部沙区的冷湿配置, 另外由于东南部的温度相对比较高, 故其干燥程度更甚。温暖间冰期时, 与上述情况相反, 沙区东南侧夏季风加强, 降雨增多, 流沙趋于固定, 而沙区西北侧西风环流受中纬度大陆气团顶托, 难以深入, 东部降水难以波及, 结果流沙扩展, 从而形成沙区东南侧的暖湿与西北侧的暖干配合。显而易见在中纬度沙区, 偏西北侧沙区暖干和冷湿配合而偏东南侧沙区则冷干与暖湿配合。

由以上分析我们可以看出, 在全球干燥半干燥沙区, 气候在降水和湿度的配合显示出两种模式, 即在干燥沙区南或东南侧, 是暖湿与冷干配合, 即冰期与干燥期、间冰期与湿润期相应, 湿度重建可以反推降水量的变化; 在干燥沙区的北或西北侧, 呈冷湿与暖干配

合,即冰期与湿润期、间冰期与干燥期相应。这两种模式至少在 10^5 、 10^4 年尺度的干湿变化中普遍存在。

(二) 距今 1000 年来,全球干燥沙区干湿变化的不同步性

根据已有资料分析,只有近 30 年宋降水过程变化一致的地区,在 10^3 年尺度内显示出降水变化的一致性。如在鄂尔多斯地区,距今 1000 年来,降水变化过程基本是一致的,特别是在近 500 年来显示出更一致的规律,形成至少明清时的湿润期以及本世纪初期,50 年代—60 年代初期的湿润期,其间为相对干燥阶段所占据。然而在北非沙区,70 年代以来的干旱一直延续到 80 年代,虽然前期与我国鄂尔多斯沙区一致,但到 80 年代两地相差就比较明显,前者继续干燥,后者已转湿,显示出不同步性。另就近 1000 年来说,两地的变化也有很大不同,即虽然都有几个相同的湿润与干燥段,但在时间上不同步,且表现出湿润段在中纬度沙区早到的特征。造成这一尺度的干湿变化,一方面与前述环流移动的小尺度位移有关,另一方面也与所在地的下垫面性质有关。既然下垫面在各地沙区不同,则必然在干湿变化上有差异,这可理解为地方性干湿变化的结果。此外,人类活动的强度和方式不同,也足以造成这一尺度干湿变化的差异。因此,今日各地沙区的流沙扩展(沙漠化)从本质上仍与气候的干湿波动在沙区的作用有关,人类活动仅是一个诱导性或加强性因素。此外,在强调这一尺度干湿变化的不同步性的同时,也可看到,在某种程度上的一致性。如 60 年代末期到 70 年代中期的干燥,在我国东部沙区和非洲萨赫尔(Sahel)带都经历了流沙(沙漠化)的扩展时期,这也许与两地同处于 10^5 、 10^4 年尺度的暖湿与冷干的配置有关。

就我国东部沙区研究结果(史培军,1988),在 10^3 尺度中,降水与温度又表现出明显的反相关关系,这是因为在沙区温度变幅不大的情况下(一般小于 1.2°C),降水量的反馈调节有关。这在鄂尔多斯准格尔树木年轮分析的结果中,表现非常明显。这里油松和侧柏的年轮生长指数分别与降水量和温度呈正相关关系,故显示出降水量与温度的反相关配置。

由以上的分析,可以看出,无论是在低纬度,还是中纬度沙区,都不存在简单的冰期与雨期或间冰期与间雨期的配置。而显示出降水量的独立变化过程,即不同地区,沙区之湿润期与干燥期的交替。故不能简单地用全球温度变化与降水量变化的关系解释沙区的水热配置规律;同时也不能利用相同沙区不同尺度的水热变化之关系代之整个晚第四纪沙区水热变化的关系。人类活动在流沙的形成、扩展与固定过程中,在不同的时空尺度中,作用是不同的,且始终表现为对流沙扩展的加强或诱导与逆转两种作用。

从整个晚第四纪全球干燥半干燥沙区来看,中纬度沙区显示出明显的干旱化趋向,尤在中国沙区更为突出。在低纬度澳大利亚南部沙区,也存在自 5 万年以来的干旱化趋向。在 10^5 、 10^4 年尺度中,全球干燥——半干燥沙区的干湿变化是可比的,两种模式都具有同步性的特征。

结语

本文仅是对上述问题的初步分析,所得之结论出只是轮廓性的。但研究全球干燥半干燥沙区降水量的干湿变化规律,对探求与全球温度变化同时的降水量变化有很重要的意义,这是因为这些地区人类活动的强度和密度与湿润地区相比要弱、稀一些,更易揭示地理环境本身的演变规律,从而解剖人类物质文化过程对自然地理环境的演变过程的影响方式与程度,进而在进行未来地理环境预测时,客观地估价人类活动的作用。