

中国干旱半干旱区的环境演变与荒漠化的成因

林年丰, 汤 洁

(吉林大学环境与建设工程学院, 吉林 长春 130026)

摘要:近40年来,中国北方荒漠化的发展速率为 $0.81\% \sim 1.64\% / \text{a}$ 。以往人们多侧重于对当代气候因素和人为因素的研究,而忽视第四纪环境演变的影响。分析了20000年来气候、风沙、黄土和第四纪环境的演变过程,采用GIS对干冷-温湿-干冷三个气候时段的荒漠化进行了定量的对比研究,并指出10000年来青藏高原的隆升是促使北方干旱和荒漠化的重要原因。自然因素导致荒漠化的时间尺度为万年或千年,人为因素导致荒漠化的尺度为百年或10年。第四纪环境是形成荒漠化的基础,植被、土壤被破坏是当代荒漠化发展的直接原因。近50年来,中国北方的气候有向干、热方向演变的趋势,因此,荒漠化的防治将是21世纪中国的一项重大任务。

关 键 词: 第四纪环境; 荒漠化; 黄土; 沙漠; GIS

中图分类号: X144 文献标识码: A

中国的干旱半干旱区面积为 $256.6 \times 10^4 \text{ km}^2$, 占国土面积的26.73%。该区拥有丰富的土地、植物和地下水资源,具有巨大的开发潜力,然而,该区正是中国荒漠化发展最严重的地区。荒漠化造成严重的环境灾害,影响经济的可持续发展,对区域环境、乃至全球环境也产生了影响。因此,研究和解决中国北方地区的荒漠化问题具有重大意义。

1 干旱半干旱区的环境特征

1.1 气候

本区属东亚季风气候区,气候变化显著,由东向西降水量逐级下降,450~350 mm, 350~200 mm, 200~100 mm, <100 mm, 年平均气温 $2^\circ \sim 6^\circ \text{C}$ 。气候干燥,雨量少而且集中,易形成暴雨。常常出现大风、暴风和沙尘暴等灾害性气候。

1.2 地质构造

本区的西北部为一些巨大的构造盆地所组成,例如塔里木盆地、准噶尔盆地、柴达木盆地等,盆地周边为山脉所环绕,它们形成于中生代-新生代^[1]。在中部、东部为鄂尔多斯高原和内蒙古高原,它们是自中生代-新生代以来在剥蚀和夷平作用下形成的准平原,海拔1000m左右。东部包括

西辽河平原和松嫩平原。

1.3 第四纪沉积物

本区第四纪沉积物比较发育,一般主要沉积于新生代-中生代的巨大盆地,和蒙古高原上。第四纪沉积物的厚度为200~600 m,最厚达1000 m左右^[2]。早更新世,在盆地边缘沉积了冰碛物、洪积物,在盆地中部有冲积物和风积物堆积。中更新世,冲积物、湖积物发育,在其上堆积了风沙和黄土,沙漠分布的地理格局已基本形成。晚更新世沙漠范围不断扩大,在沙漠形成和扩张的同时,细微的风尘顺着沙漠的下风方向堆积下来,形成了厚层的马兰期黄土,在黄河中游地区构成了著名的黄土高原^[3,4]。全新世气候转暖,在黄土和沙层剖面中出现了多层古土壤,在沙层中还有泥炭层。沙漠面积在不断地扩张和收缩,但总趋势是在逐渐缩小,大部分流动沙丘被固定。在部分地区堆积了黄土状土。

2 荒漠化的发展与危害

2.1 概 述

荒漠化是一个世界性的生态环境问题。中国是荒漠化发展最严重国家之一,50年来荒漠化土地扩大 $500 \times 10^4 \text{ hm}^2$ 。在已利用 $22000 \times 10^4 \text{ hm}^2$ 草地

中,有 $8\,100 \times 10^4 \text{ hm}^2$ 草地退化, 占利用草地面积的 36.82%。而有一些沙漠和沙地在几十年前或 100 年前还是草地和耕地。荒漠化发展的速率较快, 大约在 $0.81\%/\text{a} \sim 1.64\%/\text{a}$ 之间^[5]。

2.2 地质历史时期的荒漠化

中国北方的荒漠化发生过多次正逆过程的演化, 冰期- 间冰期气候的交替是促进这一过程的驱动力。荒漠化发展最严重的时期是末次冰期的极盛期(18~ 15 ka B. P.), 当时的气候十分干冷, 年平均温度较现代低 $10^\circ \sim 12^\circ \text{C}$, 甚至更低。干旱荒漠草原与半干旱草原的界线从 33°N , 扩展至 35°N , 从 113°E 向东扩展至 122°E ^[6], 为荒漠化的强力扩展期。

2.3 古代文明时期的荒漠化

古代文明时期的荒漠化, 主要是指在古代人类活动作用下形成的荒漠化。例如现代的毛乌素沙地在 6 ka B. P. 已有类活动, 在 618 a B. C. 还是一个水草丰盛的大草原, 413 a A. D. 在毛乌素南部地区建立了夏王朝, 400 年后夏王朝毁灭于风沙和战乱。在唐、宋时期人类相继在毛乌素草地进行垦殖, 使其西北部沙漠化^[1]。清朝政府为了富国强兵, 大力开发“蒙古荒地”, 使沙地向草地东南部扩张, 流动沙丘南移, 在 1 000 多年内沙地由北西向东南推进了约 150 km。

2.4 当代发生的荒漠化

当代发生的荒漠化是指在 20 世纪内发生的荒漠化。毛乌素草地的沙漠化不仅是古代文明期荒漠化的典型, 也是当代荒漠化最严重的地区之一。在 1950~ 1990 的 40 年间, 由于人们对毛乌素草地进行过度垦殖, 使毛乌素沙地向南北两面扩张, 北部与鄂尔多斯高原的库布齐沙地相连, 南部与黄土高原的北界相连接, 毛乌素草地原有面积 $13.3 \times 10^6 \text{ hm}^2$, 现在有 $6 \times 10^6 \text{ hm}^2$ 为风沙所覆盖^[1, 7]。

科尔沁草地面积为 $42\,332 \text{ km}^2$, 20 世纪 50 年代初, 草地沙化的面积仅占 12.50%, 1989 年沙化面积已达 77.60%^[8], 沙化率为 $1.63\%/\text{a}$ 。松嫩平原西部土地面积为 $10.65 \times 10^6 \text{ hm}^2$, 在 1950~ 1990 的 40 年间, 碱质荒漠化面积发展了 $6.24 \times 10^6 \text{ hm}^2$, 占土地面积的 58.63%。荒漠化的发展速度为 $1.47\%/\text{a}$, 这是中国碱质荒漠最严重的地区^[9]。

2.5 荒漠化的危害

荒漠化的危害是多方面的, 它可以破坏土地资源, 甚至使其丧失生产能力; 加速地表水、土壤水的

蒸发, 促使土地干旱和盐碱化; 可使区域小气候恶化, 容易起旱涝灾害和沙尘暴, 近十年来, 北方地区沙尘暴的频繁发生与荒漠化的快速发展有关。1993 年 5 月发生了一场罕见的特大沙尘暴, 它从西向东波及新疆、甘肃、宁夏、内蒙古等四省区, 横跨 $75^\circ \sim 110^\circ \text{E}$, 影响范围达 $223 \times 10^4 \text{ km}^2$, 占干旱半干旱区面积的 69.69%, 估计经济损失达 11.89 亿元。在 2000 年 4~ 5 月间发生了 7 次沙尘暴, 并且已影响到北京、天津地区。初略估计, 中国因荒漠化造成的经济损失每年达 480 亿元^[10]。

3 荒漠化形成的地质地理因素

3.1 环境地质因素

我国现代荒漠化最严重的地区多发生在沙漠的边缘地带, 或是被现代植被、土被覆盖的沙地。荒漠化也发生在黄土高原侵蚀最严重的地区。前者为沙质荒漠, 后者为水蚀荒漠。在沙质荒漠边缘往往发生盐碱荒漠。中国现代干旱半干旱区地质环境的基本格局具有明显的继承性, 在早白垩纪晚期和第三纪早期($1.3 \times 10^8 \sim 0.25 \times 10^8 \text{ a. B. P.}$) 已基本形成。

3.2 青藏高原的隆升

上新世中晚期(12~ 2 Ma B. P.) 青藏高原平均海拔仅 1 000 m 左右, 冬季在 30°N 附近(西藏拉萨) 有一个弱高压。上新世末以来以青藏高原为中心的广大地区剧烈上升。中新世(1 Ma B. P.) 青藏高原平均海拔约 3 000 m, 使冬季的弱高压加强, 其中心移到 40°N , 位于塔里木盆地南缘的若羌附近, 使西北地区的干旱加剧, 塔克拉玛干沙漠的面积显著扩大^[1]。在晚中新世和全新世中期, 青藏高原及周围地区整体隆升, 高原面平均海拔 4 000 m 左右, 中国的季风环流系统随之形成, 原来的冬季高压中心再次得到加强, 并移到 55°N , 接近于现代的西伯利亚- 蒙古高压位置。从冬季高压中心向四周劲吹的干冷的大陆季风, 受到青藏高原的顶托, 在 97°E 附近分别形成西北风和东北风。前者吹向东南, 影响中国东部气候。后者吹向西南, 直到塔克拉玛干沙漠。到近代, 青藏高原隆升到海拔 5 000 m, 使蒙古高压进一步加强。使西北、华北地区的气候更为干旱少雨^[1]。 $80^\circ \text{E} \sim 125^\circ \text{E}$ 形成一条干旱- 半干旱- 半湿润的气候带。

3.3 沙漠、黄土与荒漠化

沙漠是在干旱多风的气候条件下形成的沙质松

散堆积物。我国沙漠化土地面积已达 $36 \times 10^4 \text{ km}^2$, 沙漠和沙地主要分布于 $35^\circ \sim 50^\circ \text{N}$ 、 $75^\circ \sim 125^\circ \text{E}$ 之间^[11] (图 1)。东部沙区在冬季流行干冷季风, 夏季流行湿润季风, 降水量为 $200 \sim 400 \sim 450 \text{ mm}$, 属半干旱半湿润带, 为稀树草原, 多为固定和半固定沙丘, 流动沙丘较少。西部沙漠区受蒙古高压反气旋干冷风系的控制, 四周高山环绕, 受不到海洋季风的影响, 属于干旱—极干旱气候, 降水量 $< 100 \text{ mm}$, 为荒漠景观。在冰期—间冰期气候旋回的控制下, 北

方地区的沙漠化进行了多次正逆过程的演化。

黄土是在半干旱气候条件下形成的风尘堆积物, 主要分布于黄河中游地区, 形成黄土高原^[3]。在沙漠的边缘和山地亦有黄土分布, 黄土分布的最高界线约为 5000 m ^[12, 13]。黄土与沙漠在地理分布上往往呈现伴生现象, 即在沙漠的下风方向几乎都有黄土的分布, 而且在黄土与沙漠之间有一条比较明显的交界带^[14] (见图 1)。沙漠和黄土分布区生态环境极端脆弱, 是中国荒漠化形成和发展的基础。



图 1 中国沙漠黄土分布略图

Fig. 1 The sketch of desert and loess in China

4 荒漠化形成的气候因素

4.1 概述

自上新世末和早更新世初在北半球高纬度带发生冰盖后, 经历了多次冰期—间冰期旋回, 最近的一次是大理冰期末次冰期—间冰期的变化 (0.13 Ma B. P.)。以往人们主要是通过冰期间冰期旋回的规律来研究气候变化。近年来, 刘东生、安芷生等从黄土地层序列中提取丰富的环境信息, 揭示了黄土堆积过程中古气候、古环境的变化规律^[3, 15]。这对于研究中国荒漠化的成因具有特别重要的意义。

在黄土地层序列中常发现古土壤层, 少者 3~5 层, 多者达 37 层^[6]。黄土是在干冷气候条件下形成的风尘沉积物, 古土壤是在温湿条件下发育而成的, 它们的交替出现反映了干冷与温湿气候和环境的变

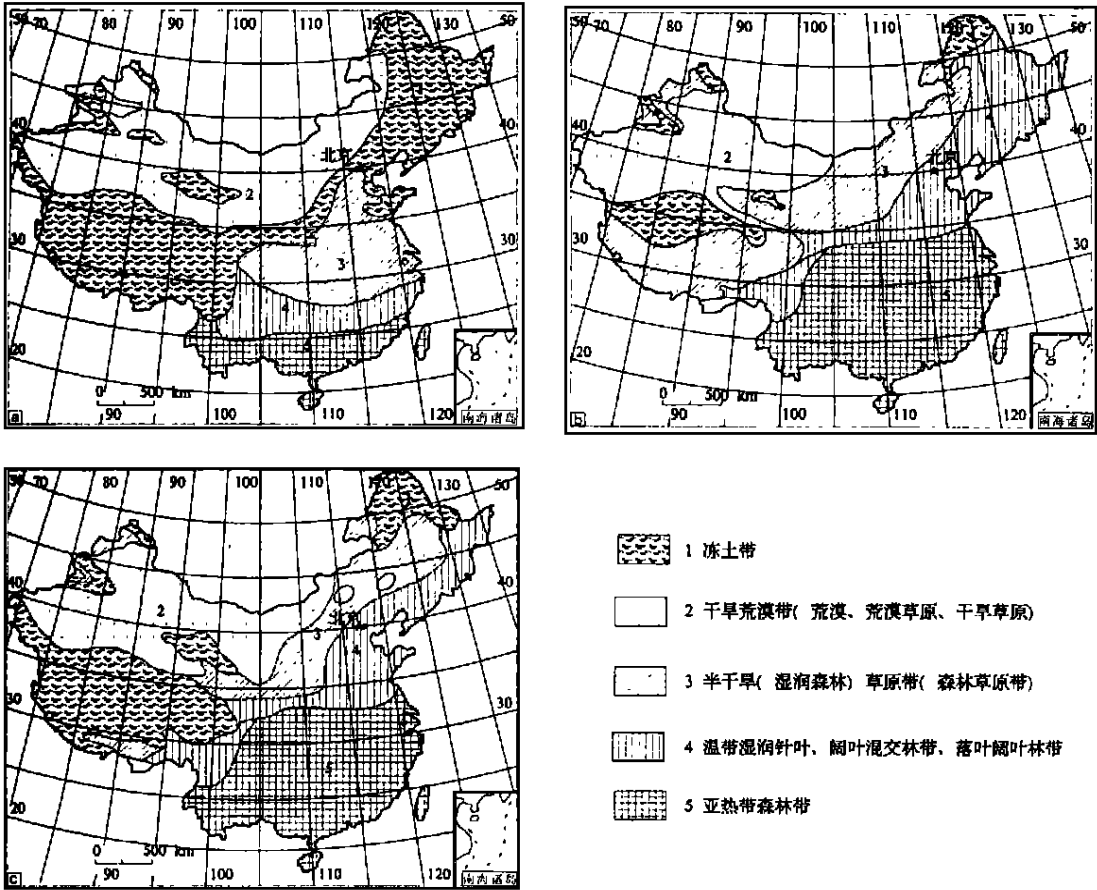
化。人们可将黄土和古土壤中的某些物理、化学特性作为气候和环境变化的指标, 例如黄土的 CaCO_3 含量高、磁化率低, 而古土壤则相反^[15]。根据黄土剖面的磁化率曲线和其它指标划分出了 3 个气候时段, 即温湿期 ($0.128 \sim 0.073 \text{ Ma B. P.}$)、干冷期 ($0.073 \sim 0.011 \text{ Ma B. P.}$)、回暖期 (0.011 Ma B. P.)。后者标志着全新世的到来。研究表明, $9 \sim 5 \text{ ka B. P.}$ 是一个高温高湿期, 5 ka B. P. 年以来又出现了一系列小冰期的气候颤动, 到 19 世纪气候转暖。近百年来气候向干暖方向发展。因此, 重点剖析 0.02 Ma B. P. 以来气候的变化对研究荒漠化形成与演变十分重要。

4.2 万年尺度的气候变化

$18 \sim 15 \text{ ka B. P.}$ 为末次冰期的极盛期^[6], 气候恶劣、干冷, 中国大陆处于海退期, 海平面为 -150

m, 东南大陆架几乎全部露出海面, 海岸线向外推进 400~ 1 000 km, 沙漠、黄土面积扩大, 湖泊收缩。与当代中国气候环境相比较, 干旱荒漠- 草原面积达 29. 81%, 其边界向南扩至 34. 5°N, 向东扩至 122. 5°E, 当时的年平均气温至少低于现代 10°~ 12℃, 降

水量减少 50%^[6]。青藏高原地区均为冻土层所覆盖, 而且, 东北和西南地区的冻土相连接, 占中国大陆面积的 40. 90%。冻土带和干旱荒漠的面积占 70. 71%, 这是近 0. 02 Ma B. P. 生态环境最恶劣的时期(图 2a)。



a. 18~ 15 ka B. P. 中国生态环境略图; b. 9~ 5 ka B. P. 中国生态环境略图; C. 中国现代生态环境略图

图 2 中国生态环境略图(引自安芷生, 吴锡浩, 1990^[6], 略加修改)

Fig. 2 The sketch of Chinese eco-environment

4.3 千年尺度的气候变化

末次冰期的极盛期结束后气候逐渐变暖, 0. 01 Ma B. P. 开始了全新世的温湿期, 9~ 5 ka B. P. 为全新世的高温高湿期, 中国北方的气候和环境发生了深刻的变化, 年平均气温较现代高 2°~ 4℃, 冰川消退, 雪线上升, 湖泊面积扩大, 海面较现代上升 2 m^[6]。与末次冰期极盛期相比较, 冻土带的面积大大缩小, 在东北已退缩到 49°N 以北, 青藏高原冻土仅限于很小的范围(37. 5°~ 32°N, 78°~ 97. 5°E), 面积为 8. 42%。温带森林的界线从 28°N 北移至 52°N, 直接取代了东北地区广阔的冻土带。干旱荒漠

- 草原也从东向西收缩了 17. 5° (105°E~ 122. 5°E), 而在纬度上的变化不大, 仅北移 2°~ 3°, 面积为 18. 17%。35°~ 38°N, 整个内蒙古高原和鄂尔多斯高原的干旱荒漠植被景观为半干旱草原和森林草原景观所取代。

北方草原沙层中和黄土高原的土层中, 在 11~ 7 ka B. P. 和 6~ 4. 5 ka B. P. 的时段内形成了多层古土壤^{6, 8, 16]}, 这标志了干冷与暖湿气候的微小颤动。这是 0. 02 Ma B. P. 中国北方气候和生态环境的最佳时期(图 2b)。

在中全新世(5 ka B. P.) 高温高湿期结束后, 气

候向干冷方向变化,导致了现代中国北方的生态环境恶化,其特点表现为东北地区的冻土带再次南扩,其边界从 50°N 移至 47°N。青藏高原冻土带的面积从 8.4% 扩大至 23.71%,干旱荒漠-草原的边界从 105°E 向东延伸至 114°E,其南部边界从 38°N 南移至 36°N,其面积为 21.71%。半干旱草原和森林草

原覆盖了鄂尔多斯高原、内蒙古高原的中-东部和东北平原的西南部(图 2c)。

我们采用 MAPGIS 软件和数字化绘图仪,在安芷生、吴锡浩 1990 年的文献^[6]基础上绘制出了以上图件,计算出了不同时代、不同植被类型所占的面积。从表 1 中可以看出气候变化对荒漠化的影响。

表 1 20 000 年来中国气候与植被类型的演化

时 代	Table 1 Evolution of climate and vegetation type in China since 20000 years (1×10 ⁴ hm ²)									
	冻土带		干旱荒漠		干旱半干旱草原		温带湿润半湿润森林		亚热带森林, 热带雨林	
	面积	(%)	面积	(%)	面积	(%)	面积	(%)	面积	(%)
18~ 15 ka B. P.	392. 63	40. 90	286. 21	29. 80	127. 56	13. 29	72. 82	7. 59	80. 83	8. 42
9~ 5 ka B. P.	80. 85	8. 42	174. 39	18. 17	242. 98	25. 31	139. 39	14. 58	321. 79	33. 52
现 代	227. 61	23. 71	208. 39	21. 71	137. 79	14. 35	149. 65	15. 59	179. 04	18. 65

研究表明,我国北方地区当代的气候环境虽然好于末次冰期极盛期,但较中全新世高温、高湿期的气候环境还要恶化许多,这乃是当今中国北方生态环境脆弱、易于发生荒漠化的重要原因。

4.4 百年尺度的气候变化

由于科技的发展,人们不仅可以从环境介质中提取气候、环境演变的信息,而且还可以从历史文献和气象记录中去寻求线索。因此,研究气候变化的尺度可以百年为单位,甚至是几十年为单位。研究表明,近百年来中国的气候向干暖的方向发展,冰川加速退缩。雪线上升,河川迳流量减少,湖泊和湿地萎缩、由于干旱缺水、植被退化、水土流失、沙尘暴灾害频繁,气候演变的趋势有利荒漠化的发展。

4.5 气候变化原因分析

上新世以来,地球表面的气候呈现了周期性和准周期性的变化,其主要原因如下:地球轴线与太阳光入射角的变化;构造-气候旋回的影响;地球自身因素与天文因素叠加而形成周期性的冰期-间冰期气候旋回;太阳活动小周期(11 年)和中周期(50~100 年)对气候的直接影响。

5 荒漠化形成的人为因素

5.1 概 述

人类活动已成为当代影响全球变化和荒漠化的一个重要因素,有 85% 沙漠化是由人为因素引起的。中国北方自第四纪以来经历了多次荒漠化的正逆演化过程。在新石器时代以前,促使其演化的驱动力是自然因素,在此以后人类活动逐渐产生影响,但是能促使荒漠化发展的人类活动始于秦、汉,加强

于唐、宋,扩大于清末,强化于 20 世纪。

5.2 人口和政策因素

中国是世界上人口增长最快的国家之一,在 1950~1995 年的 45 年间,人口净增了 6.48×10⁸,增长率为 2.22%/a。人口快速增长导致过牧促使资源紧缺、环境破坏和土地荒漠化。对新疆、内蒙古、甘肃、宁夏、吉林、黑龙江等省荒漠化原因的调查结果表明,垦殖、采樵、过牧、河流枯竭等人为因素是导致荒漠化的重要因素。

政策因素对荒漠化的发展往往起到了十分重要的作用,政策因素实际上是强化了的人为因素。古代的开拓边疆,屯垦戍边。现代的某些政策的误导等等都是荒漠化发展的社会驱动力,20 世纪 70~80 年代,中国荒漠化的发展几乎达到了高峰。

6 结 语

作为信息载体的风沙、黄土和古土壤,它们储存了大量的丰富的环境信息,可将其作为研究第四纪环境演变和全球变化的科学依据。这些环境信息对于荒漠化的研究也有重要意义。

重点分析了 20 000 年来冰期-间冰期气候对第四纪环境演变的影响,采用 GIS 对干冷-温湿-干冷气候期的环境进行了定量的对比研究,结果表明,荒漠化的面积经过多次扩张和收缩,荒漠和草原经过多次交替,沙漠和黄土的界线经过多次摆动,而这些对当代荒漠化的形成与发展有重要影响。

第四纪环境是形成荒漠化的基础,植被系统和土被系统是荒漠化土地良好的保护层,人类对环境的破坏是导致荒漠化迅速发展的直接原因。人类活

动对荒漠化的影响始于秦、汉, 加强于唐、宋, 扩大于清末, 强化于 20 世纪。中国的荒漠化多具有次生的特征, 从地质历史的角度出发, 查明生态环境特征, 合理配置水资源, 保护、恢复植被和土被是防治荒漠化的基本措施。

参考文献:

- [1] 赵松乔. 西北干旱区地理环境的形成与演化[A]. 中国自然资源研究会, 中国地理学会, 中国农学会, 等(编). 中国干旱半干旱区自然资源研究[C]. 北京: 科学出版社, 1988. 10~ 22.
- [2] 吴锡浩, 安芷生, 卢演俦. 中国第四纪地质与环境[A]. 刘东生, 安芷生(主编). 黄土·第四纪地质·全球变化(第三集)[C]. 北京: 科学出版社, 1992. 31~ 37.
- [3] 刘东生. 黄土与环境[M]. 北京: 科学出版社, 1985. 44~ 106.
- [4] G 库拉克, 安芷生, 刘东生. 中国中部黄土地层学[A]. 刘东生(主编). 黄土·第四纪地质·全球变化(第二集)[C]. 北京: 科学出版社, 1990. 115~ 131.
- [5] 林年丰. 第四纪地质环境的人工再造作用与土地荒漠化[J]. 第四纪研究, 1998, (2): 128~ 133.
- [6] 安芷生, 吴锡浩, 卢演俦. 最近 2 万年中国古环境变迁的初步研究[A]. 刘东生(主编). 黄土·第四纪地质·全球变化(第二集)[C]. 北京: 科学出版社, 1990. 1~ 12.
- [7] 吴波, 慈龙骏. 五十年代以来毛乌素沙地荒漠化扩展及其原因[J]. 第四纪研究, 1998, (2): 165~ 171.
- [8] 张启德, 王玉秀. 科尔沁沙地与大气环境[M]. 北京: 科学出版社, 1994. 28~ 31.
- [9] 林年丰, 汤洁, 卞建民. 东北平原第四纪环境演化与荒漠化问题[J]. 第四纪研究, 1999, (5): 448~ 454.
- [10] Tang Jie, Lin Nianfeng. Some problems of ecological environmental geological in arid and semiarid areas of China[J]. Environmental Geology, 1995, 26: 64~ 67.
- [11] 朱震达, 刘恕, 邱醒民. 中国的沙漠化及其治理[M]. 北京: 科学出版社, 1989. 1~ 69.
- [12] 王嘉荫. 华山顶上的黄土[J]. 中国第四纪研究, 1960, 13(2): 1~ 8.
- [13] 王富葆. 喀喇昆仑- 昆仑山地区的粉尘堆积[A]. 刘东生, 安芷生(主编). 黄土·第四纪地质·全球变化(第三集)[C]. 北京: 科学出版社, 1992. 108~ 115.
- [14] 孙继敏, 丁仲礼, 刘东生. 末次冰期以来黄土和沙漠交界带的环境演变[J]. 第四纪研究, 1995, (2): 117~ 122.
- [15] 安芷生, 肖举乐. 黄土高原风尘沉积通量的一个实例[J]. 科学通报, 1990, 35(2): 220~ 223.
- [16] 裘善文. 科尔沁沙地的形成与演化的研究[A]. 《东北平原第四纪自然环境形成与演化》国家自然科学基金课题组. 中国东北平原第四纪自然环境形成与演化[C]. 哈尔滨: 哈尔滨地图出版社, 1990. 185~ 201.

Study on the Environmental Evolution and the Causes of Desertification in Arid and Semiarid Regions in China

LIN Nian-feng, TANG Jie

(College of Environment and Construction Engineering, Jilin University, Changchun, Jilin 130026)

Abstract: In recent 40 years, the developing rate of desertification is 0.81%–1.64% per year in the north of China. The researchers emphasize particularly climate and man-made factors of present time, but overlook the effect of environmental evolution on the study of desertification. The authors analyze evolution process of climate, sand blown by wind, loess and environment of Quaternary since 20000 years, and have the study of quantitative and contrast, using GIS on desertification of three periods of time including dry-cold, warm-humid and dry-cold. The result indicates that the important factor to make drought and desertification in north is the uplifting of Qinghai-Xizang Plateau in 10 000 years. The time scale on which natural factors cause desertification is ten thousand years or thousand years, while that of human efforts is only hundred years or decade. Quaternary environment is the foundation of desertification formation and the desertification of vegetation and soil covering is direct cause leading to the present desertification. In recent 50 years, climate in the north of China evolves to dry and heat. Thus, desertification protection is an important task for China in the 21st century.

Key words: Quaternary environment; Desertification; Loess; Desert; GIS