文章编号：××××

我国北方风沙灾害加剧的成因及沙化过程的中长期发展趋势

高尚玉，　史培军，　哈斯，　潘耀忠

(北京师范大学环境演变与自然灾害教育部重点实验室；
北京师范大学资源科学研究所，北京，100875)

摘要　本文综合分析了我国风沙灾害加剧的原因，并从我国北方沙漠、沙地形成演变的地理格局，探讨了我国沙化过程的中、长期发展趋势。本文认为，我国近年风沙灾害加剧是在气候趋于干燥化背景下，人类大面积发展沙区生产造成的，但目前的流沙分布范围仍不及末次冰期极盛时期。未来我国风沙灾害的发展主要取决于气候增温背景下降水时空分布，沙区的风力变化与地表土地利用格局。

关键词：风沙灾害　沙地形成演变　中国

中图分类号：× ×　　**文献标识码**：×

Causes of Rapid Expansion of Blown-sand Disaster and Long-term Trend of Desertification in Northern China

GAO Shang-yu　SHI Pei-jun　HA Si　Pan Yao-zhong

（Key Laboratory of Environmental change and Natural disaster, The Ministry of Education of China; Institute of Resources Science , Beijing Normal University, Beijing 100875,China）

Abstract: Rapid expansion of blown-sand disaster in china has been analyzed synthetically in this paper. According to geographical pattern of the desert and sandy land evolution, Middle and long-term trend of desertification in Northern China has also been discussed. It can be thought that the rapid expansion of blown-sand disaster is caused by the human activities in the sandy regions under the background of increasing drought. However, the present distribution of drift sands is not exceeded the extension of that in the period of LGM. The occurrence trend of blown-sand disaster will depend on the changes of precipitation, wind and land use under the background of global warming in the future.

Key Words: blown-sand disaster　sandy land evolution　China

沙化（沙质荒漠化）是荒漠化的一种重要类型，是以流动沙丘前移入侵、土地风蚀沙化、固定沙丘活化与古沙翻新等一系列风沙活动为主要标志的土地退化过程。风沙灾害是由风沙活动造成的人畜伤亡，村庄、农田、牧场埋压，交通通讯设施破坏，土地生物生产能力的下降，大气环境质量恶化，各种运输机械和精密仪器毁损等共同组成的生态灾难。在我国北方，日趋严重的风沙灾害已经使人类的生存环境遭到极大的破坏，对原有的社会经济的发展模式产生了重大影响，迫使我们不得不设法探寻新的生存与发展模式，以求得对新的环境的适应，进而使已经遭到破坏的环境尽可能的得到恢复。特别是今年春季，

收稿日期：2000－5－18
基金项目：教育部科学技术重点项目、国家基础研究重点项目(培植)和国家基础研究发展规划项目(G1999043404)
作者简介：高尚玉(1952－)，男，甘肃古浪人，教授，博士，主要从事环境演变研究

我国先后发生了 12 次沙尘暴灾害，引起了各界的广泛关注，党中央和国务院对此十分重视，并指出我国土地沙化形势十分严峻，必须把防沙治沙、加强生态环境建设作为一项重大而紧迫的任务。科技部也组织了有关部门的专家，进行了认真的分析、考察与讨论，提出了我国防沙治沙的技术方案。目前所要做的基础工作是正确认识风沙灾害的发生原因及沙漠、沙地形成演变规律。本文针对我国风沙灾害发展的严峻形势，通过综合分析风沙灾害加剧的主要原因及发展趋势和末次盛冰期以来沙漠沙地演变过程，对沙化过程动态演进与区域分异作一探讨。

1 现状、成因与趋势

1.1 现状

我国是世界上受沙化危害严重的国家之一。目前全国荒漠化土地达 262 万 km^2，占国土面积的 27.3%，其中沙化土地为 161 万 km^2，占全国荒漠化土地面积的 61.3%，占国土面积的 16%。全国沙化土地主要分布在我国北方广大干旱和半干旱，以及部分半湿润地带。其中，我国北方农牧交错带、草原区、大沙漠的边缘地带是沙化最为严重的地区，风沙活动最为活跃的沙化土地近 30 万 km^2。这些地区是防沙治沙的重点地区[1]。

“沙患”严重影响人民生活、制约经济发展，已经成为中华民族的心腹之患。其主要危害有：一是蚕食可利用土地。建国以来，全国已有 1000 万亩耕地、3525 万亩草地和 9585 万亩林地与灌草地沙化；全国土地沙化面积已达 161 万 km^2，且越来越严重，每年扩大 2460 km^2；二是掩埋村舍、沙进人退。全国有 2.4 万多个村庄，1400 km 铁路、3 万 km 公路和 5 万多 km 灌渠常年遭受沙害威胁；三是造成人员伤亡和经济损失。1993 年 5 月 5 日发生在西北地区的一次特大沙尘暴，导致 116 人丧生、264 人受伤。据初步估算，全国“沙患”每年造成的损失达 540 亿元，约占全球荒漠化造成损失的 16%，而其造成的生态服务价值的损失，则更难以估计。

总之，“沙患”不仅影响人民生产、生活，而且导致贫富差距、东西差距拉大，进而影响社会稳定、民族团结，乃至整个国家的长治久安。

1.2 成因

我国沙漠主要分布在极端干旱地区，沙地主要分布在半干旱地区。大量研究表明[2, 3]，气候干燥、地表富含沙性沉积物、植被覆盖度低、大风频发是沙漠形成的主要自然因素。沙化土地主要是由于人类不合理的土地利用，使沙漠边缘流沙蔓延，固定沙丘活化和古沙翻新，以及沙质土地风蚀沙化而形成的。由此可见，沙漠是自然的产物，而现代沙化土地则是在干旱半干旱气候背景下，在广泛分布沙质沉积物的地区人为所致。我国风沙灾害加剧的成因主要是：气候干燥多风、生态用水不足和沙化土地面积增大。

气候干燥多风。沙尘暴是沙化的产物，沙尘暴频发期均对应于干旱期。例如，在公元 1060~1270 年、1640~1720 年、1810~1920 年三段时期，我国大部分地区表现为干旱期。同期，沙尘暴高频率发生[4]。近 50a 来，受全球气候变暖的影响，我国北方大部分地区气温明显增高，而降水量减少，呈现出暖干化现象[5]。气候干燥化加剧，为沙化土地的扩展创造了重要的环境条件。

近年我国北方地区冬春季温差增大，强冷空气活动频繁，使大风频发，为沙化土地的扩展提供了动力条件。冬春季气温变幅加大，使大气层结处在不稳定状态，遇低压冷风过境，极易形成大风天气。就北京来说，虽然近 50a 来沙尘日数在减少，即 50 年代平均沙尘暴日数、扬沙日数和浮尘日数分别是 90 年代的 8 倍、14.5 倍和 3.2 倍，但今年入春以来，强沙尘次数频发，是 90 年代历年同期发生次数的 3 倍左右，反映了天气活动的异常。大风频发正是今年北京风沙灾害多的一个重要的动力条件。

生态用水严重不足。随着人口的剧增，从河流或地下取用淡水资源量明显增加，使维护植被生长的水资源不能得到保证，即生态系统用水严重短缺。加之，无节制抽取地下水，导致地下水位的大幅度下降，有些地段的地下水埋深已经低于植物根系分布的深度，结果造成植被枯死。原来被这些植被固定的沙质地表失去了植物的保护，一遇大风极易起沙扬尘。从这一角度看，生态系统用水短缺，亦是人类不合理利用水资源的结果。经济发展与生态保护用水竞争激烈，若确保了生产和生活用水，就使生态用水

得不到保证，如额济纳河下游，塔里木河下游胡杨林的大面积死亡，就是因水源短缺造成的。京津平原地区覆沙扩展亦与维护沙地植被的地下水位下降有密切关系。由于生态用水不能保证，使大面积的植被干枯，失去保护地表沙性物质的抗风蚀功能，加快了沙化土地的扩展，以及沙漠边缘沙丘向农田前沿的入侵。

沙化土地面积增大。沙尘暴等恶劣天气是生态脆弱的一种突出表现，其根本原因是水土资源的不合理利用，导致大量土地沙化。而造成土地沙化的主要原因是滥牧、滥垦、滥伐、滥采、滥樵。我国北方大部分地区，特别是农牧交错地带，人口密度增加，土地负荷加重，土地利用粗放，滥垦滥种。由于处在森林与草原过渡地带，常分布一些疏林和灌丛草地，为了获得耕地和木材，开垦这些土地，滥伐疏林和灌丛，结果导致覆沙层活化，这在河北坝上和大兴安岭西坡尤为突出。天然草地游耕游牧、超载过牧，形成大面积的撂荒地和退化草地，极易沙化。这些地区经济落后，当地人民常常以采挖药材作为一项主要收入，如过度采挖麻黄、甘草、发菜等，从而大范围地破坏了植被。由于贫困，即便处在煤炭能源基地的老百姓也因无能力使用煤炭，采挖各种灌木作为燃料，破坏植被，造成地面植被覆盖度整体减小。由于北方地表多为疏松的沙质沉积物，一旦植被破坏，必然造成沙丘活化、古沙翻新，地表风蚀沙化，从而使沙化土地面积扩大。

在冬春两季，大面积的耕作农田、退化草地和沙化土地地表裸露，沙尘物质丰富，成为风沙灾害得以加剧的重要物质基础。沙化土地是当地沙尘活动的物源，也是其下风方向地区的重要尘源。今春影响首都的几次风沙活动，其尘源主要来自内蒙古高原中部、农牧交错带中段和首都圈的沙化土地和裸地。据中国科学院地学部的资料，供尘区主要分布在内蒙古中西部和河北西北部近 25 万 km^2 的沙化发展区，而贴近地表的扬沙主要为就地起沙。因此，处在北京上风向 70 多 km 的怀来县天漠流沙不是首都就地扬沙的物质来源，控制天漠流沙不能解决首都冬春季大风扬沙的影响，而仅能相对削弱从北京上风向沿程累加的尘源。所以，固化冬春季建筑弃土和裸地、增加绿地面积和防护林网建设是控制首都大风扬沙的根本出路。

全球气候变暖是导致我国北方地区气候干燥化加剧的重要原因，植被覆盖度的减少，是人类不合理利用水土资源的结果。由此认为，风沙灾害加剧是人类活动与自然因素共同作用而形成的生态灾难，其中人类活动是诱发和加剧风沙灾害的关键因素。因此，在这些生态环境极为脆弱的地区，尽管开展了一些防沙治沙工作，但因大面积的开发利用，导致风蚀沙化、固定沙丘活化、古沙翻新，使治理的面积和速度赶不上破坏的面积和速度。几十年来形成的这种大面积搞生产，小面积搞生态的模式，正是局部治理、整体恶化的根本原因。

1.3　趋势

沙化土地扩展速度加快。全国每年土地沙化扩展的速度已从 70 年代的 1560km^2，增加到 80 年代的 2100 km^2 和 90 年代的 2400 km^2，相当于一年沙化掉一个中等县的土地面积。70 年代以来，内蒙古阿拉善、新疆塔里木河下游、青海柴达木盆地东南部，沙化土地的年均扩展速度达 4%以上；北方农牧交错带的毛乌素沙地、乌盟后山地区、河北坝上地区，沙化土地的年均扩展速度达 8%以上(表 1)。

总体来讲，我国风沙灾害的发展趋势是：治理速度赶不上沙化速度，局部改善、整体恶化的趋势还在延续，“沙进人退”的局面没有从根本上得到遏制，且有不断加剧之势。

2　沙化过程的中长期演变

就风沙活动或由其形成的沙漠和沙地而论，不仅是干旱区多风的气候、丰富的沙物质，地貌、水文、土壤、植被等各种环境要素相互作用、长期发展的产物，而且更重要的是地球环境长期演变的产物。从最近 20Ka B.P.以来的我国沙漠发展记录看，它经历了从末次盛冰期的风沙剧烈活动、沙漠急剧扩展到冰后期的流沙固定、沙漠缩小的变迁过程。20 Ka B.P.前，全球处于末次盛冰期的前期阶段，气候较冷稍湿。18~15 Ka B.P.，气候相当干冷，我国沙漠特别是贺兰山以东的沙地急剧扩张。据研究[6-7]，毛乌素沙地、科尔沁沙地、浑善达克沙地等的风沙地貌格局主要在这一时期形成，而且流沙面积规模远比现在沙化土地面积大的多。腾格里沙漠在此阶段大规模南侵到濒临黄河的位置。

表 1 北方半干旱地区荒漠化土地面积扩展趋势一览表*

Table 1　Expansion of Desertified land in semi arid region in northern China from 1970s to 1980s

地　区	70年代荒漠化土地		80年代荒漠化土地		年增长		时间
	面积 (KM^2)	荒漠化土地占研究区比例(%)	面积 (KM^2)	荒漠化土地占研究区比例(%)	面积 (KM^2)	比例 (%)	
西辽河上游及科尔沁沙地西北部	28971	68.4	32851	77.6	323.3	1.12	1976-1988
河北坝上草原农垦区西部	1761.7	13.4	3272	24.9	125.9	7.14	1975-1987
河北坝上草原农垦区东部	762.3	22.3	1336.6	39.1	47.6	6.28	1975-1987
内蒙古察哈尔草原农垦区	2848.3	31.5	5992.9	66.1	262.1	9.20	1975-1987
内蒙古乌盟后山	2031.4	4.4	4055.2	8.7	168.7	8.30	1975-1987
内蒙古伊克昭盟鄂尔多斯草原	43407	88.3	45973	93.6	256.6	0.59	1977-1986
陕西北部榆林地区	7808	43.3	8166.9	45.3	35.9	0.46	1977-1986
宁夏东南部盐池县草原区	1368.9	29	1845.5	31.8	47.6	3.48	1977-1986

* 资料来源：中国林业科学研究院

在九江、彭湖、南昌的长江南岸和鄱阳湖地区，发现在 26~14 Ka B.P.发育的风成砂堆积；在渤海、黄海、东海海岸带和陆架区，发现了一系列末次冰期尤其是极盛期的古风成沙丘和流沙活动的证据。这些都表明，由于末次冰期极盛期夏季风的萎缩，突出了盛行冬季风的效应，因而在长江中下游和东部沿海地区的风沙活动现象普遍而显著[8]。

约 11~10Ka B.P.，全球气候迅速转暖，进入冰后期。我国季风区夏季风开始明显加强，特别是在 8.5~3.0Ka B.P.的全新世大暖期，夏季风更为强盛。在 6.0Ka B.P.左右的鼎盛阶段，我国以 250mm 为限的降水等值线大幅度向西偏北水平位移[9](图 1)，可见夏季风之强大。李吉均认为此阶段新疆出现的高湖面即是季风作用的结果，说明当时夏季风的强盛程度可直抵亚洲腹地而打破西风带环境变迁模式[10]。

受冰后期全球气候变暖和亚洲夏季风环流的强大影响，我国沙漠或沙地的风沙活动受到很大的抑制。特别是贺兰山以东，已形成的沙质沉积物(包括沙丘)几经生草成壤过程(图 2)。按时间顺序，约 11Ka B.P. 以来我国沙漠和沙地的基本地理格局是：

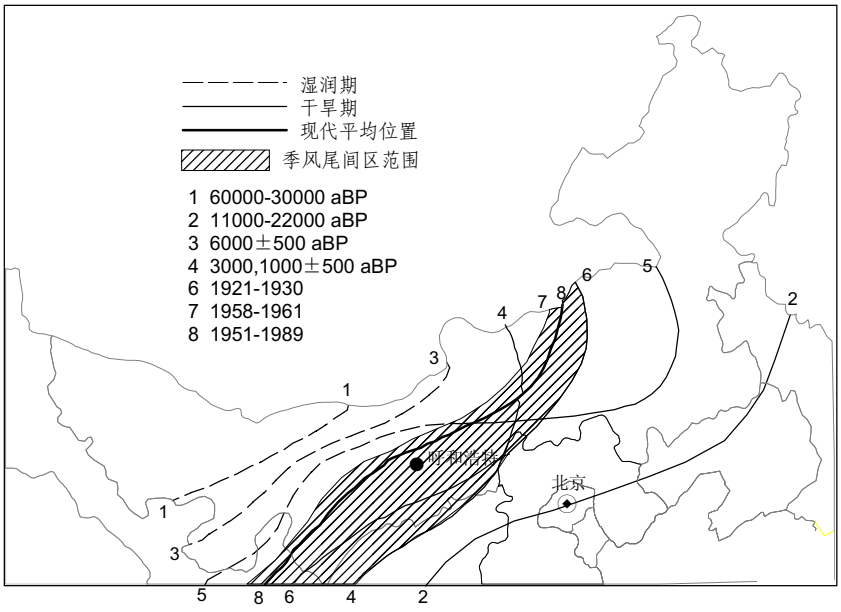

图 1　中国北方末次盛冰期以来不同时期 250mm 降水线分布

Fig1 Distribution of 250mm precipitation isopleth in northern China since LGM

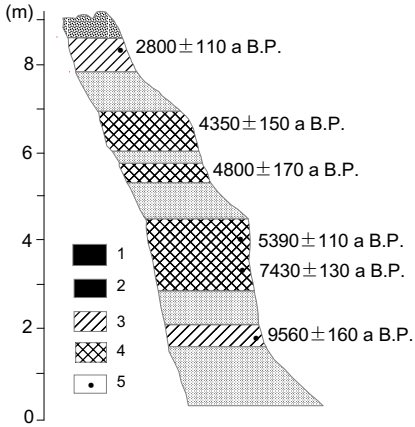

图 2 毛乌素沙地东南部风成沙沉积剖面

1 现代风成沙，2 古风成沙，3 淡色弱沙质古土壤，4 黑色沙质古土壤，5 C^{14} 取样点

Fig.2　Aeolian sand depositional profile in southeastern Mao Wusu sandy land

1.mordern aeolian sand,2.ancient aeolian sand,3.light sandy palaeosol,4.black sandy palaeosol, and5.C^{14}ampling point

约 10.5 Ka B.P.开始，贺兰山以东的沙漠(或沙地)内河流、湖泊水位上升，在浸没地势低洼区后与流沙区构成分隔镶嵌的地貌格局。在河湖周围，由于总体降雨量已有增加，更受到区域性局地气候环境的影响，出现草原甚至疏林草原景观，普遍发育栗钙土或黑钙土，以及泥炭和沼泽土。在流动沙丘分布区估计仍有一定程度的风沙活动。到 9.6 Ka B.P.，普遍发育了弱成沙质壤土，风沙活动范围进一步缩小。

约 9.6—8.0 Ka B.P.为干冷的风沙期。

8.0—3.0 Ka B.P.在贺兰山以东尽管有过几次风沙活动，但时间都较为短暂，总体上以较强的生草成壤过程占优势，发育了较好的黑砂土或黑钙土，普遍出现疏林草原或草甸草原景观。特别需要指出的是，7.5-5.0 Ka B.P.时期几乎完全固定成壤，6.0-5.0 Ka B.P.腾格里沙漠的流沙大部停止活动。

中国西部的沙漠在全新世大暖期总的仍处于活动发展阶段，但是随着降水量的增加，风沙活动肯定有一定程度的减弱。虽然不足以出现有机化学作用或者极其轻微不足以出现土壤化过程，但或强或弱地产生无机化学作用，以淋溶、结盐、结钙等方式阻止流沙活动。另外，一些地区的泛洪作用和湖面上涨，一方面浸没流沙，一方面引起周围环境变化，致使沙漠中的绿洲得以扩大。

3.0 Ka B.P.以后，气候变化的总趋势为向干冷方向发展，沙丘渐趋活化，植被不断退化。尽管在东部仍交替出现几次土壤化过程，但成熟程度和分布规模均不及先前，植被多为草原。特别是自 1.1 Ka B.P.后，干冷化趋势更加明显，中国沙漠逐渐发展为今天的规模。

综上所述，20 Ka B.P.以来我国沙区经历了末次盛冰期的大规模发展过程和全新世以来数次土壤化逆转过程(西部为缓慢发展过程)。无论现代气候处于长期干冷、暖湿周期波动发展历史的哪个阶段，以及人类活动的强烈影响，沙漠的面积仍不如末次盛冰期之大。现代的风沙活动，则一方面由于气候干旱化的加剧，另一方面由于随着人类社会的发展，人类活动已经作为一种重要的外营力参与了自然环境的变迁，其最重要的原因是破坏了地表植被格局、影响了土壤结构、致使古沙翻新、沙丘复活。

3　沙化过程中长期发展的透视

对于我国北方沙化为特色的土地退化原因，曾引起国内外学者的长期争论。对这一问题的讨论我们认为应从时空两个方面进行考虑，即考虑土地退化的空间分异与动态演进的尺度，笼统的讲是难以澄清这一问题的。因此作者认为，可从以下两个方面分析这一问题。

从环境演变的角度看，我国北方沙区自中更新世以来存在明显的干旱化趋向[11]，在这一背景下，如前所述中国北方沙区在晚更新世盛冰期沙区面积达到了最大的程度。此后，进入全新世受季风气候影响的北方沙区经历了程度不同至少三次固定时期(即黑沙土形成时期) [12]，目前处在 10^3a(年)尺度的相对湿润时期的由湿转干阶段。从这个意义上来说，目前处在 10^3a 尺度的流沙固定时期，亦可说处在全新世平均状态阶段。若从 10^2a 尺度来看，中国北方受季风影响的沙区，目前处在小冰期干燥段后的相对偏湿阶段，这也正是 0.42~0.14 Ka B.P.期间小冰期流沙扩展后得到不同程度抑制的主要原因[13]。若从 10^1a 尺度来看，中国北方季风影响的沙区，目前正处在这一时间相对平均状态，即 20 年代末至 30 年代初期土地退化加

剧、流沙扩展，30~60 年代土地退化减弱、流沙固定阶段后，沙区降水状况处在相对平均状态。从 40a 有器测记录来看，最近 10a 也处在平均降水状况，相对波动幅度是近 40a 来最小的。由此可以认为，若以近 10KaB.P.来自然植被变化看，中全新世暖湿段盛期(6.5~5.5 Ka B.P.)沙区植被状况，比目前平均植被盖度高 15~20%来对比，我国北方季风影响沙区，流沙扩展系自然演变的产物。从近 1.0KaB.P.以来的自然植被变化看，目前流沙面积的扩大是在自然趋干背景下的扩展即自然为主，人为因素只是一种强化因素，且在局部地段显示出人工扩大或控制的主导作用(如居民地附近与人工绿洲地段)。若考虑到目前的状况，从近 0.1KaB.P.以来的自然植被演变来看，人为过度开发与利用，在局部得到治理的情况下(人工植被盖度增加)，沙区部分地区土地退化显示出在自然偏湿背景下的，人为加强和诱发的作用，北方季风影响沙区土地退化是人为活动成为主因，自然因素则是一种叠加强化或抑制因素。从近 10a 来的自然植被看，在整体变化不明显的情况下，沙区局部地段的土地退化与绿化则由人类作用所致，即属于人为作用的产物。

从区域分异的角度看，在不同自然地带，沙区土地退化的方式是不一样的，在流沙分布的边缘显示出流沙前移入侵；在覆沙带或坪沙分布地带，即沙质土地分布地段，表现为土地风蚀沙化；在高原草原区则显示出草地退化现象，最为典型的是内蒙古高原和鄂尔多斯高原地带性典型草原区[14]。在北方广大草原地带的沙区沙丘地分布地段，则表现为“沙丘活化”，在北方广大草原地带的沙区丘间、沙黄土地带、显示出被压埋的古风沙出露(由于水土流失)，即“古沙翻新”。由此所述，若从近 10KaB.P.来看，古沙翻新在中全新世相对干燥段在沙黄土广泛分布地区有过加强的时期，此后整体进入抑制阶段(或减弱阶段)。只是近 100a 以来，广大沙黄土分布地区、草原地带沙区局部地段由于年降水量的相对稳定或增加，以及人类开垦利用的加强，使水力侵蚀加强，使受流水沉积层或现代土壤层保护的下伏全新世、晚更新世古风成沙(沙丘沙、坪沙)暴露地表，形成古沙翻新，这在科尔沁沙地、呼伦贝尔沙地、毛乌素沙地及与这些沙地相邻的沙黄土、黄土分布区表现最为突出。因此可以认为古沙翻新是自然与人为共同作用的产物。

综上所述，从对北方季风影响区的土地沙化成因的分析，既有自然成因和自然为主、人为诱发与加强为次的自然与人为共同形成，又有人为成因、自然叠加强化与抑制、人为成因五种类型；而且从空间上又表现出不同形式，这就是在选择不同治沙措施过程中，必须考虑的重要科学依据，亦是沙区产业开发需要重视的问题。

从未来气候变暖的形式下，我国北方沙区及沙化土地的发展主要受两个方面的因素所左右，一是沙区干燥程度与地表植被覆盖度的变化；另一是沙区土地利用格局与强度的变化。我们认为。未来气候变暖对广大沙区和沙化控制影响是“利小弊多”；沙区人口的每年剧增，土地人口压力加重将是我国沙区沙化土地扩展的重要驱动力。因此，减轻沙区土地人口负荷，调整沙区土地利用格局，增加沙区灌草植被覆盖，是控制我国沙区沙化土地扩展的根本出路。

4. 结语

我国近年风沙灾害加剧是在气候趋于干燥化背景下，人类大面积发展沙区生产造成的。沙区沙地的形成演化深受气候变化的影响。这在制定防沙治沙策略时，必须给予高度关注。重视沙区土地利用格局的调整，以及增加沙区灌草植被覆盖。

参考文献

[1] CCICCD. 1996. China Country Paper to Combat Desertification. Beijing: China Forestry Publishing House. 18-26.

[2] 朱震达，吴 正，刘 恕. 中国沙漠概论(修订版). 北京：科学出版社，1980，1—7.

[3] Pye,K Tsoar,H.Aeolian Sand and Sand Dunes,Unwin Hyman,London,395,1990

[4] 张德二，我国历史时期以来降尘的天气气候学分析，中国科学(B 辑)，1984，14()

[5] 史培军，李晓兵，周武光 利用“3S”技术检测我国北方气候变化的植被响应，第四纪研究，2000，20(3)：220-228。

[6] 高尚玉，中国季风区西北边缘的沙漠演化的初步研究，博士论文，兰州大学 130，1991

[7] 董光荣，金炯，高尚玉，晚更新世以来我国北方沙漠地区的气候变化，第四纪研究，1990，10(3)：213-222

[8] 安芷生，吴锡浩，汪品先等，末次间冰期以来中国古季风气候与环境变迁，见：刘东生主编，黄土、第四纪地质、全球变化，第三集，科学出版社，14-30。

[9] 张兰生，史培军，候乐锋等，中国北方季风尾闾区全新世不同时期降水变化及其区域分异规律的研究，见：张兰生主编，中国生存环境历史[9演变规律研究(一)，北京：海洋出版社 1993，147-154。
[10] 李吉均，中国西北地区晚更新世以来环境变迁模式，第四纪研究，1990，10(3)：197-204。
[11] 张兰生，中国第四纪以来环境演变的主要特征，北京师范大学学报(自然科学版)，1984，20(4)
[12] 史培军，地理环境演变的理论与实践，北京，科学出版社，1991，150-160。
[13] 史培军，中国北方农牧交错带降水变化与“波动性农业”，干旱区资源与环境，1989，3(3)1-6。
[14] 李博，内蒙古自治区 1：150 万草场类型图说明，北京：科学出版社，1992。