

# 内蒙古高原中部主要气候因子及地表覆盖 对沙尘暴影响分析\*

田育红 纪中奎 刘鸿雁

(北京大学环境学院生态学系,北京 100871)

## 摘 要

通过对内蒙古中部不同地表覆盖类型和土地利用方式下降水、气温、10 cm 地温等气候因子和地表植被对沙尘暴频率和强度的影响分析,认为:气温、降水等气候因子与地表植被覆盖对沙尘暴频率和强度的影响不具有普遍性,降水影响相对明显,地表植被覆盖的影响仅在农牧交错区和牧区草甸草原亚区表现明显。通过防治荒漠化来减少沙尘暴的危害需要因地制宜,农牧交错区应该是植被恢复的重点区域。

关键词: 沙尘暴 内蒙古高原 土地利用 植被覆盖

## 引 言

沙尘暴的发生必须具备三个基本条件:沙源、大风、低层大气层结不稳定,而这三者主要与脆弱的自然生态环境、一定的天气系统过程、独特的地貌结构有关<sup>[1]</sup>。沙尘微粒的消长直接与地面植被覆盖状况和土壤状况有关系。人为活动毁坏了大面积的森林和草地,导致植被覆盖率下降,植被对土壤的保护作用减弱,为沙尘暴发生提供沙源的可能性增加。因此,荒漠化为沙尘暴发生提供了更多的物源,而沙尘暴发生则进一步加剧了沙尘源区的荒漠化程度,带走了富含营养的土壤细颗粒,使得植物更难生存,进而导致气候进一步恶化。由此可知,荒漠化与沙尘暴的相互作用形成一个恶性循环,必须从根本上找出它们之间关系的内在机理以及引起这种生态恶化的根源,才能制订出有效的措施来防止荒漠化和沙尘暴。目前,有较多的研究工作试图通过沙尘暴的时空分布与气候及植被因子的统计分析来推断沙尘暴爆发与植被和气候条件的关系<sup>[2-3]</sup>,然而,只能得出较为笼统的结论,如植被覆盖率下降则沙尘暴日数增加等。

本文试图通过对内蒙古中部这一沙尘活动的重要源区和途经区域风沙活动的影响因子的分析,探讨不同地表植被覆盖和土地利用方式下气候和植被因子对风沙活动频率和强度的影响,为更好地认识荒漠化与沙尘暴的关系提供科学依据。

## 1 研究区域地表与气候特征

本研究区域主体部分位于内蒙古高原中部的浑善达克沙地和河北坝上地区,海拔在

\* 国家自然科学基金项目(40171097)和北京市自然科学基金项目(6022010)共同资助。

2004-02-04 收到,2005-03-17 收到再改稿。

1100 ~ 1500 m 左右。在行政区划上包括内蒙古自治区锡林郭勒盟的所有旗县, 乌兰察布盟的化德和商都等县, 河北省张家口地区的张北、沽源、康保等县以及承德市的丰宁、围场两县的坝上部分。为了分析风沙活动的规律, 研究区域还涉及到下风向的北京、天津和河北北部的其他县市。研究区域的地理坐标为  $39^{\circ} \sim 45^{\circ} \text{N}$ ,  $112^{\circ} \sim 119^{\circ} \text{E}$  (图 1)。

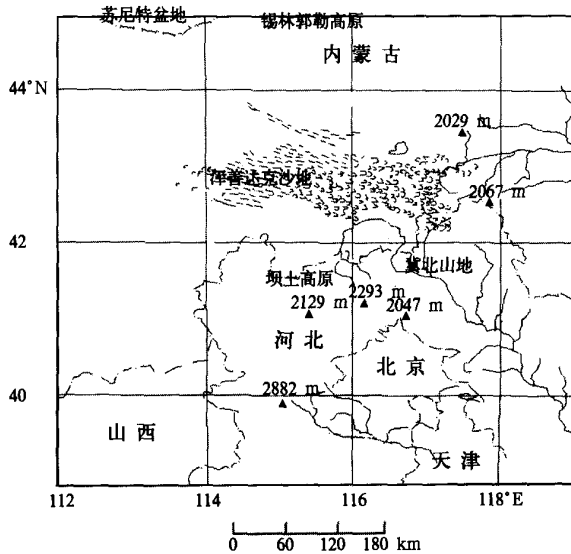


图 1 研究区域自然地理概况

研究区域地貌类型复杂多样。中部为浑善达克沙地, 核心部分为东西向条带状的沙垄, 边缘部分为覆沙丘陵。北部为锡林郭勒高原, 以波状高平原地貌为代表, 有大面积火山活动形成的火山锥和熔岩台地。西北部为苏尼特盆地。坝上高原部分以波状高平原为主, 有阴山余脉形成的低缓丘陵。

研究区域的气候条件为温带大陆性半湿润气候向半干旱气候逐渐过渡。主体部分海拔高, 气温低, 年降水量在 200 ~ 450 mm 之间, 为季风气候影响的尾间区 (marginal area)。浑善达克沙地与内蒙古其他地区的沙地有所不同, 其气候特点是夏季温凉, 降水较多, 冬季寒冷干燥, 热量自东向西递增, 风大沙多。研究区域西北部全年 8 级以上的起风时日高达 60 ~ 80 d, 形成了沙尘暴的动力基础。利用研究区域和周边地区的 30 个气象台站 1980 ~ 2000 年多年平均气候资料, 对研究区域的气温、降水进行克里格插值, 得出主要气候指标的空间分布规律 (图 2)。可以看出研究区域内年平均气温、1 月平均气温、7 月平均气温、年降水量均有明显的东南—西北向梯度, 但高原上 7 月平均气温变化不明显, 与 1 月平均气温存在明显的区别, 说明研究区域气温的空间格局存在一定的季节差异。

土壤和植被格局反映了气候条件和地貌特征的空间差异。冀北山地的植被以落叶阔叶林和落叶阔叶灌丛为主, 相应的土壤类型为褐土和棕壤。坝上高原东部为草甸草原, 土壤为黑钙土。坝上高原西部和锡林郭勒高原则以典型草原植被和栗钙土为主。浑善达克沙地西部为沙地小叶锦鸡儿灌丛草原, 东部为榆树疏林草原, 土壤为风沙土。在西北部的

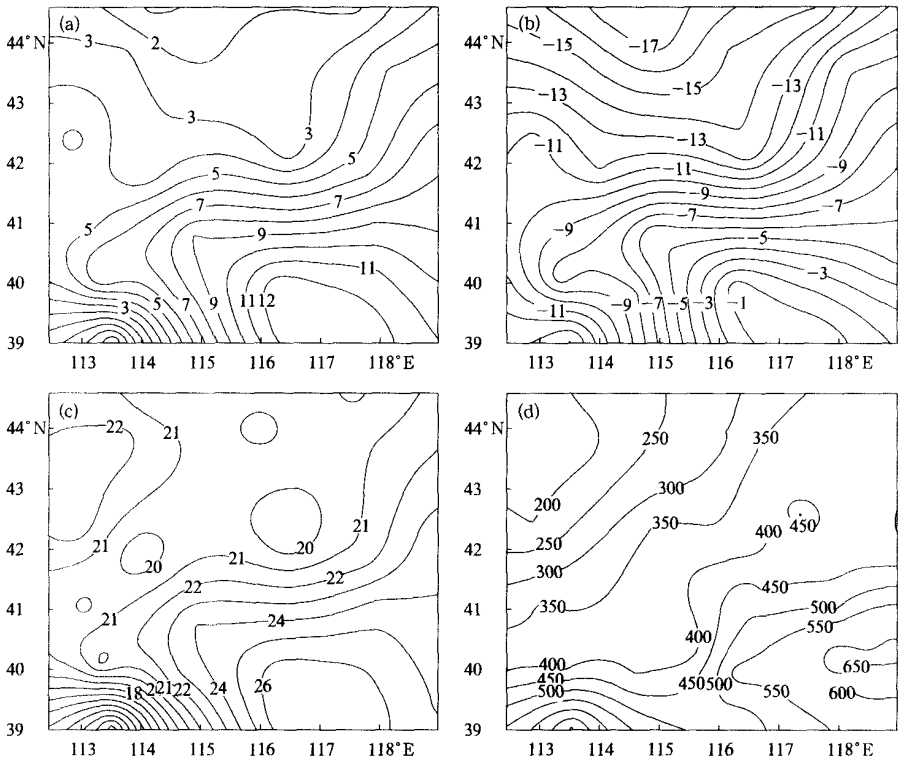


图2 研究区域1980~2000年多年平均主要气象指标的空间分布

(a) 年平均气温,(b) 1月平均气温,(c) 7月平均气温(单位:℃),  
(d) 年均降水量(mm)

苏尼特盆地,植被为荒漠化草原,土壤为棕钙土。

研究区域历史上为不同经济文化的汇合点,区域开发过程复杂、多变,尤其是17世纪中叶以来,区域开发速度快、强度大,使这里的生态状况发生了显著的变化。整个研究区域的土地利用格局表现为南农北牧,河北坝上地区以及内蒙古多伦县、太仆寺旗、化德县、正蓝旗南部、正镶白旗南部、镶黄旗局部为农牧交错区。由南往北,耕地所占的比例逐渐减小。由于地处季风气候尾部区,降水量的波动性明显,这一农牧交错带生态上脆弱,对于人类的干预反应敏感,过度的人为利用已经造成了突出的生态问题,被认为是华北等地沙尘天气的重要物源区之一<sup>[4]</sup>。

## 2 区域划分与资料

根据研究区域及周边地区土地利用方式,可以将研究区域及周边地区划分为农区、林区、农牧交错区和牧区。在牧区根据植被特点的进一步差异可以划分为草甸草原为主的牧区、典型草原为主的牧区、沙地榆树疏林草原为主的牧区、沙地小叶锦鸡儿灌丛草原为主的牧区和荒漠化草原为主的牧区5个亚区。每一区(亚区)内选择有代表性的台站,分

析台站记录的气候动态。各区(亚区)的植被特点、土地利用方式和代表性台站如表 1 所示。需要说明的是,对于沙地榆树疏林草原为主的牧区来说,正蓝旗更具代表性,但由于正蓝旗缺少数据,用相距约 40 km 的多伦站的数据代替。

表 1 各区(亚区)植被特点及代表性地点

代号	土地利用分区	植被特点	代表性台站
I	农区	耕作植被为主	北京
II	林区	森林和灌丛植被为主	承德
III	农牧交错区	兼有耕作植被和典型草原	化德
IV1	牧区	草甸草原为主	西乌珠穆沁旗
IV2	牧区	典型草原为主	锡林浩特
IV3	牧区	沙地榆树疏林草原为主	多伦
IV4	牧区	沙地小叶锦鸡儿灌丛草原为主	那仁宝力格
IV5	牧区	荒漠化草原为主	苏尼特左旗

本研究所用资料包括:从美国 NASA 网站获取的 1981 ~ 2000 年的归一化植被指数 ( $I_{NDV}$ ) 数字影像,其中 1981 年上半年、1982 年全年、1983 年 9 月、1992 年和 1993 年全年、1994 年 10 ~ 12 月的数据缺失,具有完整年份能够利用的数据为 14 年。数据处理方法是根据 1:100 万中国植被图<sup>[5]</sup>,对各区(亚区)分别选取代表性样区( $0.5^{\circ} \times 0.5^{\circ}$ ),利用二次开发程序提取这些样区内各像元的  $I_{NDV}$  值,计算每个样区的均值,作为各区(亚区)的  $I_{NDV}$  值;从中国气象局气象数据中心的获得的研究区域各区(亚区)代表性气象台站 1981 ~ 2000 年的气候资料(包括旬平均地温、旬平均气温、旬降水量等项目)以及建站以来中国沙尘天气数据库。

沙尘暴是指大风将地面的尘沙扬起,使空气混浊,水平能见度小于 1 km 的风沙天气现象<sup>[6]</sup>。从中国沙尘天气数据库获得以上各区(亚区)代表性气象台站的 20 世纪 50 年代以来的沙尘暴数据,并将不同地表覆盖类型  $I_{NDV}$  的动态与同一时段沙尘暴发生的强度和频率进行多元统计分析。值得说明的是,本文不统计扬沙和浮尘天气,直接以数据库中的能见度数据表示沙尘暴的强度。

### 3 沙尘暴发生次数与强度分析

#### 3.1 沙尘暴地理分布与年际变化

从图 3 可以看出,1966 年是研究区域沙尘暴的高发年,有些区域该年沙尘暴的发生次数远远高于其他年份。根据近 50 年来沙尘暴发生次数的年际变化可以将所有区(亚区)划分为以下几个类型:(1)明显下降型:牧区草甸草原亚区、牧区典型草原亚区和北京周围的农区沙尘暴的发生次数有明显下降的趋势;(2)波动型:牧区荒漠化草原亚区、牧区沙地小叶锦鸡儿灌丛草原亚区和牧区沙地榆树疏林草原亚区沙尘暴的发生次数波动明显,没有一定的趋势性;(3)零星发生型:冀北山地森林和灌丛为主的地区由于地理位置、地形和地表覆盖的影响,沙尘暴发生的次数少于其他区(亚区),仅在少许年份零星发生。

由于 20 世纪 50 年代的资料不全,仅利用 20 世纪 60 年代以来的沙尘暴资料,对不同时期不同区(亚区)的沙尘暴发生次数进行比较分析,结果如表 2 所示。

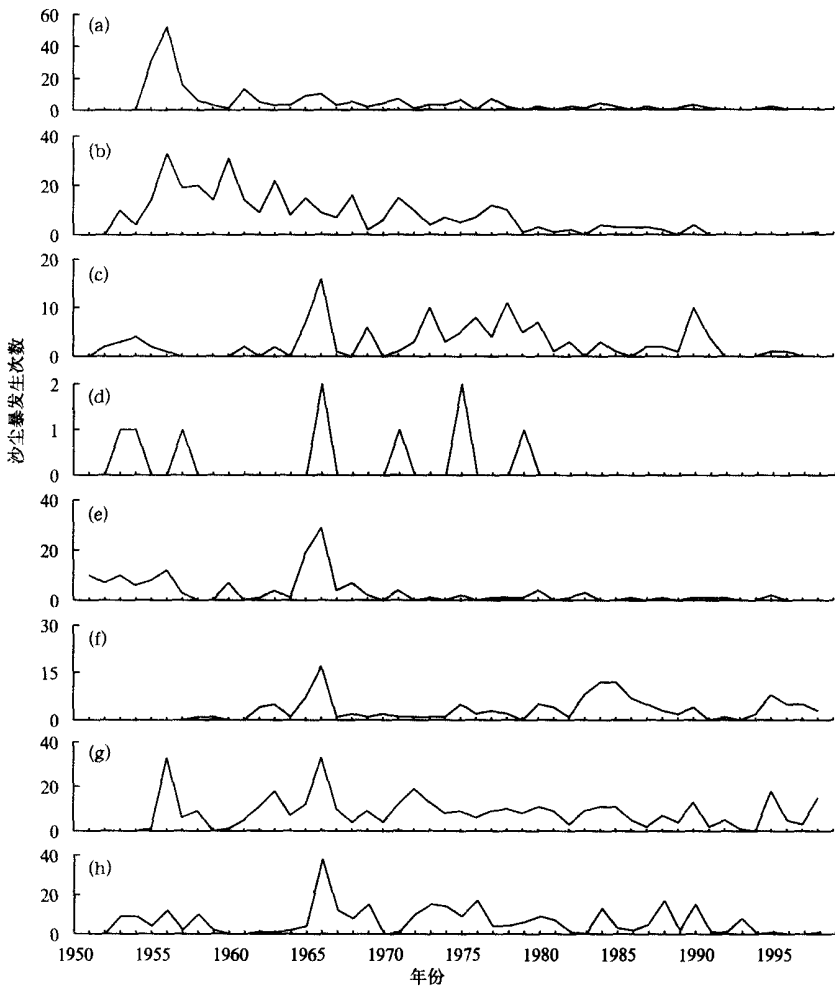


图3 50年来不同类型土地利用/土地覆盖区(亚区)沙尘暴发生次数  
(a) 牧区草甸草原亚区,(b) 牧区典型草原亚区,(c) 牧区沙地榆树疏林草原亚区,(d) 林区,(e) 农区,(f) 牧区沙地小叶锦鸡儿灌丛草原亚区,(g) 牧区荒漠化草原亚区,(h) 农牧交错区

从表2可以看出,近40年来沙尘暴发生总次数的顺序为:牧区荒漠化草原亚区>农牧交错区>牧区典型草原亚区>牧区沙地小叶锦鸡儿灌丛草原亚区>牧区沙地榆树疏林草原亚区>牧区草甸草原亚区>农区>林区。这一趋势与气候和植被变化的梯度总体一致。值得注意的是,农牧交错区比沙地和牧区草甸草原亚区的次数均高,可能反映了农业活动对植被破坏的影响。由于春季耕翻,在同等风力条件下,农牧交错区比牧区更容易形成沙尘暴。

除沙地其余各区(亚区)20世纪90年代的沙尘暴次数均为近40年来最少的,即使是在农牧交错区和沙地,20世纪90年代相对于80年代沙尘暴次数明显减少。

表 2 20 世纪 60 ~ 90 年代不同区域沙尘暴发生次数的动态变化

区(亚区)	代表性台站	60 年代	70 年代	80 年代	90 年代	总次数
牧区草甸草原亚区	西乌珠穆沁旗	57	31	15	3	106
牧区典型草原亚区	锡林浩特	108	74	22	2	206
牧区沙地榆树 疏林草原亚区	多伦	34	57	23	7	121
林区	承德	2	4	0	0	6
农区	北京	67	14	7	4	92
牧区沙地小叶锦鸡儿 灌丛草原亚区	那仁宝力格	40	21	58	24	143
牧区荒漠化草原亚区	苏尼特左旗	113	105	74	49	341
农牧交错区	化德	81	89	65	16	251

### 3.2 不同区(亚区)不同月份沙尘暴发生次数的影响因子

根据有关资料,求出 1981 ~ 2000 年间不同月份沙尘暴发生次数与当月  $I_{NDV}$  和降水、气温、0 cm 地温之间的相关系数见表 3,其中降水为月降水总量,气温和 0 cm 地温为月平均。因那仁宝力格缺少气象数据,以下分析中不考虑牧区沙地小叶锦鸡儿灌丛草原亚区。

表 3 1981 ~ 2000 年不同区不同月份沙尘暴发生次数与  $I_{NDV}$ 、降水、气温、0 cm 地温之间的相关系数

区(亚区)	沙尘暴发生月份(次数)	$I_{NDV}$	降水	气温	0 cm 地温
牧区草甸草原亚区	3(1), 4(4), 5(6), 7(1), 11(1)	- 0.362	- 0.191	0.14	0.132
牧区典型草原亚区	3(1), 4(6), 5(2), 6(4), 8(1), 11(2)	- 0.362	- 0.405	0.172	0.203
牧区沙地榆树 疏林草原亚区	1(1), 3(4), 4(10), 5(3)	0.116	0.106	0.483	0.522
林区	1(2), 3(1), 4(2), 5(1)	0.576	- 0.506	- 0.431	- 0.433
农区	3(1), 4(6), 5(2), 6(3), 7(2)	- 0.147	- 0.196	- 0.047	0.052
牧区荒漠草原亚区	2(1), 3(3), 4(22), 5(9), 6(4), 7(2), 8(8), 11(2)	- 0.314	- 0.136	0.195	0.198
农牧交错区	1(2), 2(2), 3(6), 4(18), 5(11), 6(3)	- 0.094	0.007	0.423	0.419

注:表中显著性水平平均低于 95%。

从表 3 可以看出,春季是发生沙尘暴的旺季,几乎所有区域的沙尘暴都集中于 3 ~ 5 月,而 4 月是除林区外的其他类型发生沙尘暴次数最多的月份。20 年来牧区荒漠化草原亚区发生沙尘暴次数最多,而且出现沙尘暴的月份也最多。

$I_{NDV}$  和降水、气温、0 cm 地温对沙尘暴发生次数的影响都不太显著。在农区上述所有因子都基本不起作用。林区由于沙尘暴次数少,不能说明问题。由此可见,沙尘暴是否发生与当时的气温、降水和地表植被覆盖关系不密切,可能受大风天气的影响密切。有关研究也表明<sup>[7]</sup>,沙尘暴与大风的年际振荡及多年变化趋势有一致性,单站相关系数可以达到 0.5 以上。

### 3.3 1981 ~ 2000 年各区(亚区)沙尘暴发生强度的影响因子

1981 ~ 2000 年不同区(亚区)能见度/风速(表示沙尘暴发生的相对强度,能见度/风速越大,沙尘暴的相对强度就越小)与  $I_{NDV}$ 、降水、气温和 0 cm 地温之间的关系见表 4,其中能见度/风速为每次发生沙尘暴时能见度与风速的比值, $I_{NDV}$  为沙尘暴发生时所在的旬

值,气温、0 cm 地温为旬均值,降水为旬降水总量,去掉没有发生沙尘暴和  $I_{NDV}$  值不全的旬期。

表 4 1981~2000 年各区(亚区)能见度/风速与  $I_{NDV}$ 、降水、气温和 0 cm 地温之间的相关系数

类型	样本数(沙尘暴发生总旬数)	$I_{NDV}$	降水	气温	0 cm 地温
牧区草甸草原亚区	13	0.679*	0.626*	0.169	0.614*
牧区典型草原亚区	16	0.339	0.335	0.292	0.272
牧区沙地榆树疏林草原亚区	18	0.168	0.533*	0.215	0.206
林区	6	-0.196	0.499*	0.012	-0.084
农区	14	-0.038	0.224	0.052	0.107
牧区荒漠化草原亚区	45	-0.054	0.581**	0.355*	0.258
农牧交错区	43	0.405**	0.388*	0.385*	0.384*

注:其中\*表示显著水平在 95%~99%之间,较显著相关;\*\*表示显著水平高于 99%,明显显著相关。

在风力条件相同的情况下,沙尘暴的强度取决于地表植被和土壤状况,而植被覆盖又受到温度和降水条件的影响,土壤的沙尘释放能力也受到降水条件和温度的影响。在植被覆盖低的地区,降水能够影响土壤的起沙能力,温度升高引起土壤解冻,从而直接影响到沙尘暴的强度。在植被覆盖高的地区,植被覆盖与沙尘暴强度关系更密切。此外,如果沙尘暴以外源为主,则各因子的影响均不明显。

从表 4 可以看出,降水对牧区(典型草原亚区除外)和农牧交错区沙尘暴相对强度影响明显,而地表植被覆盖的影响仅反映在农牧交错区和牧区草甸草原亚区等植被覆盖相对较高的地区。在农牧交错区,由于植被的强烈破坏,地表植被对沙尘暴强度的影响尤为明显。林区由于样本数小,计算结果不能说明问题。对于农区而言,沙尘暴相对强度与各因子的相关性均很低,说明沙尘暴主要是外源。值得注意的是,牧区典型草原亚区没有较显著或显著相关的因子,可能的原因是这一亚区无论是植被覆盖还是温度和降水条件均介于草甸草原和荒漠草原之间,植被覆盖、温度、降水对沙尘暴强度的作用程度相当,没有一个明显的主导因子。

## 4 结 论

通过研究,可以得出如下初步结论:

(1) 研究区域牧区域草甸草原亚区、典型草原亚区和农区近 50 年来沙尘暴发生次数均呈下降趋势;除沙地以外,20 世纪 90 年代是 50 年来发生沙尘暴次数最少的 10 年。

(2) 不同地表覆盖和土地利用方式下,沙尘暴的发生主要受风力的影响。在风力条件一定的情况下,沙尘暴发生强度主要受降水的影响,在农牧交错区和牧区草甸草原亚区还受到地表植被覆盖的影响。

(3) 在农区,无论是沙尘暴发生次数还是相对强度,均与气温、降水等气候因子以及地表植被覆盖关系不密切,可能原因是农区沙尘暴主要非本地起沙。

总之,气温、降水等气候因子与地表植被覆盖对沙尘暴的频率和强度的影响不具有普遍性,降水影响较明显,地表植被覆盖的影响仅在农牧交错区和牧区草甸草原亚区表现明

显。通过防治荒漠化来减少沙尘暴的危害需要因地制宜,农牧交错区和牧区草甸草原亚区应该是荒漠化防治的重点区域。有关研究表明<sup>[8]</sup>,牧区草甸草原亚区的植被退化不明显,而广大的农牧交错区植被出现严重退化,应该是植被恢复的重点区域。

### 参 考 文 献

- 1 胡金明,崔海亭,唐志尧.中国沙尘暴时空特征及人类活动对其发展趋势的影响.自然灾害学报,1998,(4):49~56.
- 2 顾卫,蔡学鹏,谢锋,等.植被覆盖与内蒙古沙尘暴日数分布的关系探讨——以内蒙古中西部地区为例.地球科学进展,2002,17(2):273~277.
- 3 Zou X K,Zhai P M. Relationship between vegetation coverage and spring dust storms over northern China. *Journal of Geophysical Research*, 2004,109, D03104, doi: 10.1029/2003JD003913.
- 4 叶笃正,丑纪范,刘纪远,等.关于我国华北沙尘天气的成因与治理对策.地理学报,2000,55(5):513~521.
- 5 中国植被图集.中国植被图集编辑委员会.北京:科学出版社,2000.
- 6 中国气象局.沙尘天气年鉴(2002年).北京:气象出版社,2003.
- 7 周自江,王锡稳,牛若芸.近47年中国沙尘暴气候特征研究.应用气象学报,2002,13(2):192~200.
- 8 刘鸿雁,田育红,丁登.河北坝上地区与内蒙古浑善达克沙地不同地表覆盖类型对北京沙尘天气物源的贡献.科学通报,2003,48(11):1229~1233.

## MAIN CLIMATIC FACTORS AND LAND COVER EFFECTS ON SANDSTORMS IN THE CENTRAL PART OF INNER MONGOLIA PLATEAU

Tian Yuhong Ji Zhongkui Liu Hongyan

(Department of Ecology, School of Environmental Sciences, Peking University, Beijing 100871)

### Abstract

Study is conducted of effects of such climate factors as rainfall, temperature and 0-cm ground temperature as well as surface vegetation cover in relation to diverse land cover types and land use modes upon the frequency and intensity of sandstorms in the central part of Inner Mongolia Plateau. It can be assumed that there is no universal feature regarding effects of such climate factors as temperature, precipitation and vegetation cover except greater effect given by rainfall, the higher impact of vegetation is limited to agriculture-pasture transitional zones and pasture land in sub-meadows and sub-steppes in the grazing land. The anti-desertization for reducing the danger of sandstorm should be specific to regional condition and vegetation restoring is suggested as the focus in the transitional zone.

**Key words:** Sandstorm Inner Mongolia Plateau Land use Vegetation cover