

北太平洋地区沙尘沉降与海洋生物兴衰的关系

韩永翔^{1,2*}, 宋连春¹, 赵天良³, 张强¹, 奚晓霞² (1.中国气象局兰州干旱气象研究所, 甘肃省干旱气候变化与减灾重点实验室, 甘肃 兰州 730020; 2.兰州大学大气科学学院, 甘肃 兰州 730000; 3.加拿大环境署, 多伦多 Ontario M3H 5T4, 加拿大)

摘要: 通过对 2001 年 4 月中亚强沙尘暴过程在中国、韩国、日本和北美大陆地面 PM₁₀ 观测结果进行统计分析, 推算出了北太平洋 PAPA 地区的沙尘沉降通量, 结合同期 PAPA 地区的海洋表层有机碳和叶绿素观测结果, 探讨了北太平洋沙尘与海洋生物兴衰的关系。结果表明, 本次强沙尘暴过程可以给 PAPA 地区带去大约 3.1~5.8 μg/m³ 的风成 Fe 元素, 它激发了海洋生物泵, 引起海洋浮游植物的快速繁盛。

关键词: 北太平洋地区; 沙尘沉降通量; 海洋生物兴衰; 气候变化

中图分类号: X503.2 文献标识码: A 文章编号: 1000-6923(2006)02-0157-04

The relationship between continental dust and marine phytoplankton in the North Pacific. HAN Yong-xiang^{1,2*}, SONG Lian-chun¹, ZHAO Tian-liang³, ZHANG Qiang¹, XI Xiao-xia² (1.Lanzhou Arid Meteorological Institute of China Meteorological Administration, Lanzhou 730020, China; 2.Institute of Atmospheric Science, Lanzhou University, Lanzhou 730000, China; 3.Environment Service of Canada, Toronto Ontario M3H 5T4, Canada). *China Environmental Science*, 2006,26(2): 157~160

Abstract: Through a statistical analysis on the surface PM₁₀ measurements in China, Korea, Japan and North America during a strong dust storm event from mid-Asia in April 2001, dust deposition fluxes were calculated for the PAPA region in North Pacific. Combining the dust depositions with the coincident observations of POC (Particle Organic Carbon) and chlorophyll from the PAPA-sea surface, the relationship between continental dust and marine phytoplankton was discussed. The results showed that the strong dust storm could transport about 3.1~5.8 μg/m³ aeolian Fe from mid-Asia to PAPA region triggering the biology pump and raising the productivity of phytoplankton.

Key words: Northern Pacific region; dust deposition fluxes; prospering and decaying of halobios; climate change

自从 1990 年 John Martin^[1]提出“铁假说”以来,对它的验证一直是研究全球气候变化的热点问题,许多科学家相信在海洋中的某些区域增加铁物质可使海洋中“生物泵”作用增强。地球上大半的光合作用是由海洋中的浮游植物进行的,海洋中浮游生物的增加可消耗大量的 C,进而使大气中的 CO₂ 浓度降低,所以海洋浮游植物能够对全球气候产生影响。海洋中铁物质是浮游植物繁盛或衰亡的主要限制因素,而海洋中的铁物质供应则来自大陆的沙尘。围绕“铁假说”,学者们展开了一系列的验证研究,如 1993 年在赤道海洋及 1995 年、1999 年在南大洋进行的海水铁投放实验,证明了加铁可以促进浮游生物的生长^[2,3]。

2001 年沙尘暴期间在北太平洋的有机碳和

万方数据

叶绿素观测^[4]以及由大陆沙尘过程的补充证据^[5,6],进一步从机制上表明大气粉尘—风成铁—溶解性 Fe(II)—海洋有机碳和叶绿素的变化是一个环环相扣的完整链条,从机理上为“铁假说”在自然状态下成立提供了证据。

据韩永翔等^[5]对 2001 年沙尘暴期间在北太平洋上空粉尘的观测和模拟分析,给出的沙尘沉降通量随传输距离的函数关系,结合 Bishop 等^[4]进行的同期海洋表层有机碳和叶绿素观测结果,来探讨中亚沙尘暴过程与北太平洋海洋生物兴衰的关系。

收稿日期: 2005-07-15

基金项目: 国家“973”项目(2005CB422001)

* 责任作者, 研究员, han-yx66@126.com

1 北太平洋地区沙尘沉降通量及风成铁含量

1.1 北太平洋地区沙尘沉降通量与传输距离的函数关系

由于北太平洋地区无地面沙尘观测资料,所以利用北太平洋东西两岸的观测资料,通过它们之间的函数关系,推测北太平洋地区的沙尘沉降通量.文献[5]排除气溶胶背景值及北美大陆本身粉尘的影响,在略去南北差异的情况下,在 40°N 纬度线上,以 80°E 为起点,260°E(即 100°W)为终点,横跨中亚大陆、北太平洋、北美西海岸,共选取 21 个站点的地面 PM₁₀ 沙尘净沉降通量进行了分析.结果表明,在 2001 年 4 月上中旬的强沙尘暴期间,地面的沙尘净沉降通量随经度的增加(传输距离的增加)呈指数衰减(图 1),相关显著,通过了 0.01 的置信度检验.其函数关系如下:

$$y = 4336.5e^{-0.0223x}, R^2 = 0.9104$$

式中: x 为经度; y 为最大沙尘净沉降通量; R^2 为相关系数.

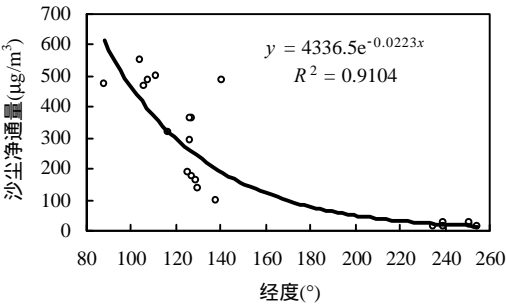


图 1 中亚-北太平洋-北美沙尘净通量随经度的变化
Fig.1 The changing of net dust fluxes with the longitude increasing from mid-Asia, the North Pacific to Northern American

上述结果同GAO等^[7]模拟并观测证实的北太平洋地区平均铁通量随传输距离的变化曲线完全一致,证明北太平洋地区沙尘沉降通量(与铁通量密切相关)随传输距离的增加呈指数衰减的结论具有普遍意义.

1.2 北太平洋地区海洋表层有机碳和叶绿素观测与风成铁含量的估算

2001 年 4 月 10 日,Bishop 等^[4]用碳探测器开始在北太平洋 PAPA 地区海洋温跃层进行了有机碳和叶绿素的观测,并将这次近 20 年来最强沙尘暴过程对有机碳和叶绿素的影响记录下来.4 月 18 日温跃层的有机碳和叶绿素开始快速增长,到 4 月 25~28 日达到顶峰并开始下降,这段时间内有机碳和叶绿素的值几乎较沙尘暴出现之前增加了 1 倍(图 2).

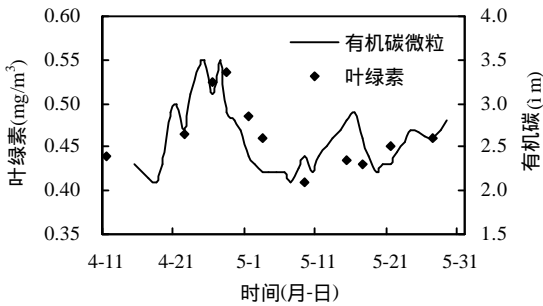


图 2 PAPA 地区海洋有机碳和叶绿素的变化
Fig.2 The changing of POC and chlorophyll at PAPA in the North Pacific region

由于 Bishop 等使用的碳探测器没有收集沙尘的功能,因而缺乏海洋中沙尘通量的资料和化学元素分析.而 TOMS 气溶胶指标显示的是沙尘的高层传输,而且缺乏沉降到海洋中的沙尘通量与其气溶胶指标的直接函数关系^[5].因此,可根据 1.1 节中的函数关系,计算出 PAPA 地区的地面沙尘沉降通量.

北太平洋 PAPA 地区的地理位置为 50°N, 145°W,根据与传输距离的函数关系,可计算出 PAPA 地区地面的沙尘净沉降通量为 35.87μg/m³.沙尘在此区沉降的时间约为 5~7d 左右,假如沙尘的分布呈正态分布,则平均沉降通量约为 17.64μg/m³^[6],低于 Gong 等^[8]根据 MODEL 模拟的每日平均 33μg/m³的值.根据 2 个结果,估计这次沙尘过程可给 PAPA 地区每日平均带去 17.64~33μg/m³的沙尘.取沉降时间为 5d,则可估算出这次沙尘过程可给 PAPA 地区总共带去 88.2~165μg/m³的沙尘.

根据沙尘通量与铁通量的关系,取最常用的每 $100\mu\text{g}/\text{m}^3$ 沙尘通量中含有铁通量约 $3.5\mu\text{g}/\text{m}^3$ 的比值^[7]进行计算,可以估算出这次沙尘沉降在北太平洋 PAPA 地区的风成 Fe 元素在 $3.1\sim 5.8\mu\text{g}/\text{m}^3$ 之间,它激发了 PAPA 地区海洋生物泵的效率,引起海洋浮游植物的快速繁盛^[6]。

2 传输到北太平洋地区的沙尘暴过程

2001 年 4 月上中旬来自中亚的强沙尘暴过程,是近 20 年来最强的一次沙尘远程传输过程,在全球变暖的情形下,像这样强的沙尘过程很少见^[9]。研究表明,沉积在日本和北太平洋地区的亚洲粉尘主要被 500hPa(5.5km)的西风急流携带^[10]。这就要求发生在中亚大陆的沙尘暴过程必须具有一定的强度才能够将沙尘扬入西风急流区,传送到遥远的北太平洋地区。而在一些海拔较低地区,如中国的北方沙漠和戈壁地区,由弱沙尘暴过程扬起的沙尘因上升强度弱,很难进行大规模的远程传输。而高海拔的青藏高原则只需要发生强的扬沙过程,就可以将沙尘扬入西风急流区^[11]。所以,统计不同时段中国大陆强沙尘暴过程将有助于估算传输到北太平洋地区的沙尘沉降通量。

根据文献^[12],和田地区近 40 年发生强沙尘暴 32 次,而同期沙尘暴总次数达 1036 次,仅占 3%;董安祥等^[13]放宽了条件,计算了河西走廊 45 年中强、特强沙尘暴所占总次数的比例也仅为 17% 和 3.4%。所以,能够将沙尘粒子扬升到西风急流区而传输到北太平洋地区的强沙尘暴次数所占总沙尘暴次数的比例在 3%~17% 之间。

中国沙尘暴的发生同气温变化密切相关,与全球气候变暖相联系,中国北方地区近 50 年来强沙尘暴发生次数呈现波动下降趋势(图 3)^[12],其中相对寒冷的 20 世纪 60~80 年代中期以前,年强沙尘暴过程平均在 4.3~4.7 次,其中 1976 年达 10 次,而温暖的 20 世纪 90 年代,年强沙尘暴过程仅 2.9 次。平均海拔 4500m 的青藏高原沙尘暴发生次数同相对海拔较低的中国北方地区趋势基本一致^[11]。

万方数据

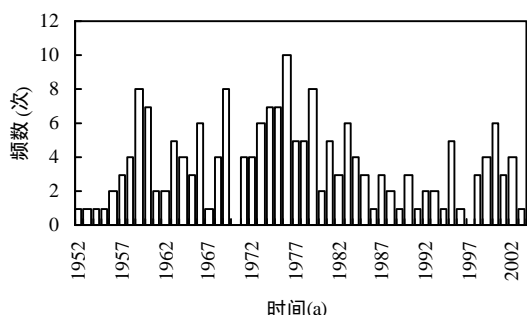


图 3 中国北方春季逐年强沙尘暴频数变化

Fig.3 The annual frequencies of spring strong dust storm in the North China

3 讨论

研究表明,在北太平洋地区浮游生物所需要的 Fe 估计是 $60\mu\text{g}/\text{m}^3$,其中上涌流能够带来 $3\mu\text{g}/\text{m}^3$,其余的 Fe 则由来自中亚大陆的粉尘所提供^[4]。上面的分析表明,2001 年 4 月中旬的强沙尘暴过程可给 PAPA 地区带去大约 $3.1\sim 5.8\mu\text{g}/\text{m}^3$ 的风成 Fe 元素参与海洋化学过程。因此,一年只需要平均 10~20 次左右的强沙尘暴过程就可基本满足海洋浮游生物的需要,从而引起气候的变化。最近 50 年,强沙尘暴过程年平均仅 3.6 次,即使相对寒冷的 20 世纪 60~80 年代中期以前,年强沙尘暴过程也仅有 4.3~4.7 次,显然不能满足海洋生物的需要,海洋生物泵的效率持续减弱,可能也是目前全球气候变暖的主要原因之一。古气候研究表明,在气候寒冷或冰期时,情况就完全不同。对古沙尘(黄土、冰芯)的研究表明,无论在中亚还是南北两极,在冰期,沙尘暴非常剧烈,远远大于间冰期的沙尘暴活动^[14-16]。同时亚洲沙尘暴源区存在千年尺度的波动,间冰期沙尘暴活动弱,而且主要发生在北部源区^[14],同时沙尘远程传输的主要动力—500hPa 西风急流^[10]较弱而且位置偏北,因此带往北太平洋地区的沙尘量非常少;在冰期则相反,沙尘暴活动非常强,它不但激活了富含 Fe 元素的西部高粉尘源区,而且也越过北部源区,更重要的是具有高效远程传输效率的沙尘源地—青藏高原^[11,17]也被激活,沙尘暴源区的急剧扩大,加上 500hPa 西风急流非常强大而且

位置偏南,从而带往北太平洋地区的沙尘量急剧增加,海洋生物泵的效率大大增加,引起全球气候变冷.Vostok 冰芯中 400ka 的沙尘通量与 CO_2 浓度和温度呈非常显著的负相关^[18],进一步证明来自大陆的沙尘与全球气候变冷有非常密切的关系.这些事实揭示沙尘气溶胶可能不仅仅只是在空中削弱太阳辐射从而降低大气温度,而很可能通过海洋的“生物泵”作用,有效地降低了大气中的 CO_2 浓度,从而对全球气候变化产生重大影响.结合 Bishop 的海洋证据^[4],表明中亚的干旱化及其所产生的沙尘物质有可能是驱动全球气候变化的重要因素之一.

4 结 论

4.1 北太平洋地区沙尘沉降通量(与铁通量密切相关)随传输距离的增加呈指数衰减.

4.2 中亚的沙尘可使北太平洋的海洋浮游植物快速繁盛.

4.3 中亚的干旱化及其所产生的沙尘物质可能是驱动全球气候变化的重要因素之一.

参考文献:

- [1] Martin J H. Glacial-interglacial CO_2 change: The iron hypothesis [J]. *Paleoceanography*, 1990,5:1-13.
- [2] Coale K H, Johnson K S, Fitzwater S E, *et al.* A massive phytoplankton bloom induced by an ecosystem-scale iron fertilization experiment in the equatorial Pacific Ocean [J]. *Nature*, 1996,383:495-501.
- [3] Watson A J, Bakker D C E, Ridgwell A J, *et al.* Effect of iron supply on Southern Ocean CO_2 uptake and implications for glacial atmospheric CO_2 [J]. *Nature*, 2000,407:730-733.
- [4] Bishop J K B, Davis R E, Sherman J T. Robotic observations of dust storm enhancement of carbon biomass in the North Pacific [J]. *Science*, 2002,298:817-821.
- [5] 韩永翔,赵天良,宋连春,等.北太平洋地区春季粉尘的空间分布特征—观测及模拟 [J]. *中国环境科学*, 2005,25(3):257-261.
- [6] 韩永翔,奚晓霞,方小敏,等.亚洲大陆沙尘过程与北太平洋地区生物环境效应 [J]. *科学通报*, 2005,50(23):2649-2655.
- [7] Gao y, Fan S M, Sarmiento J L. Aeolian iron input to the ocean through precipitation scavenging: A modeling perspective and its implication for natural iron fertilization in the ocean [J]. *J. Geophys. Res.*, 2003,108(D7):4221-4241.
- [8] Gong S L, Zhang X Y, Zhao T L, *et al.* Characterization of soil dust aerosol in China and its transport/distribution during 2001 ACE-Asia 2. Model simulation and validation [J]. *J. Geophys. Res.*, 2003,108,(D9):4262-4273.
- [9] Jaffe D, Snow J, Cooper O. The 2001 Asian dust events: Transport and impact on surface aerosol concentrations in the U.S [J]. *EOS*, 2003,84(46):501-516.
- [10] Duce R A, Unni C K, Ray B J, *et al.* Long-range atmospheric transport of soil dust from Asia to the tropical North Pacific: Temporal variability [J]. *Science*, 1980,209:1522-1524.
- [11] 方小敏,韩永翔,马金辉,等.青藏高原沙尘特征与高原黄土堆积——以2003-3-4拉萨沙尘天气过程为例 [J]. *科学通报*, 2004,49(11):1084-1090.
- [12] 钱正安,宋敏红,李万元.近50年来中国北方沙尘暴的分布及变化趋势分析 [J]. *中国沙漠*, 2002,22(2):106-111.
- [13] 董安祥,白虎志,陆登荣,等.河西走廊强和特强沙尘暴变化趋势的初步研究 [J]. *高原气象*, 2003,22(2):420-425.
- [14] 张小曳.亚洲粉尘的源区分布、释放、输送、沉降与黄土堆积 [J]. *第四纪研究*, 2001,21(1):29-40.
- [15] 安芷生,王苏民,吴锡浩,等.中国黄土高原的风积证据: 晚新生代北半球大冰期开始及青藏高原的隆升驱动 [J]. *中国科学*, D辑, 1998,28(6):481-490.
- [16] 吕连清,方小敏,鹿炅煜,等.青藏高原末次冰期千年尺度的粒度记录 [J]. *科学通报*, 2004,49(11):1091-1098.
- [17] 韩永翔,奚晓霞,宋连春,等.青藏高原沙尘及其可能的气候意义 [J]. *中国沙漠*, 2004,24(5):588-592.
- [18] Ridgwell A J. Feedback in the earth system: The biogeochemical linking of land, air and sea [J]. *IGBP Global Change Newsletter*, 2002,360:2905-2924.

作者简介: 韩永翔(1966-),男,甘肃民勤人,研究员,博士,主要从事全球气候变化研究.发表论文 40 余篇.