

天津地区表层土壤 PAHs 多尺度空间分布特征

刘瑞民, 王学军, 张 巍

(北京大学环境学院, 地表过程分析与模拟教育部重点实验室, 北京 100871)

摘 要:在空间尺度划分和区域化分量研究的基础上, 进一步分析了天津地区表层土壤 PAHs 不同空间尺度上区域化分量的空间分布特征, 并分析了形成分布特征的原因。结果表明, 在块金尺度上, 16 种 PAHs 的区域化分量的空间分布都比较零散, 表现出局部小块的形式; 与块金尺度相比, 虽然在小尺度上 PAHs 区域化分量的空间分布上还是存在着较大的差异性, 但分布特征却存在着明显的规律性, 空间递变规律较好; 与块金尺度和小尺度空间相比, 天津地区 PAHs 在大尺度空间上的区域化分量基本上均匀分布。在成因上, 大气运移可能是决定土壤 PAHs 浓度空间递变方向和梯度的主要环境因素, 河流是另外一个主要环境因素。

关键词:天津表土; 多环芳烃; 因子克立格; 区域化分量; 多尺度空间分布

中图分类号: X53 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672-2043(2008)03-0844-06

Multi-scale Spatial Distribution Characteristics of Topsoil PAHs in Tianjin Area

LIU Rui-min, WANG Xue-jun, ZHANG Wei

(College of Environ. Sci., MOE Lab. of Earth Surface Process, Peking University, Beijing 100871, China)

Abstract: Based on the division of spatial scale and regionalized component analysis of topsoil PAHs in Tianjin area, the spatial distribution of regionalized components at different scales was studied in this paper. Results showed that the spatial distribution of the regionalized components of PAHs at the nugget scale were scattered. At the small scale, significant regional tendency could be identified, although spatial variation still existed for the regionalized components. In comparison, at the large scale, the regionalized components distributed evenly. The transportation of PAHs driven by atmosphere might be the key factor determining the spatial variation of PAHs in soils, river might be another important factor.

Keywords: topsoil of Tianjin area; PAHs; factorial Kriging; regionalized component; spatial interpolation

空间分布特征是区域环境科学中重要的研究内容之一, 通过该研究, 可以把握环境问题的区域差异性和空间变异性, 从而为污染治理和政策制定奠定基础。然而环境问题的形成是一个复杂的过程, 是空间各种物理过程的综合作用结果^[1-2]。因此在区域环境科学研究中, 不但要分析污染物的总体空间分布特征, 更需要将各种污染过程分开, 并探讨不同空间尺度上的污染物分布特征, 从而更深入地了解污染过程及其区域差异性, 对于科学地实施区域发展战略具有重要的意义。因子克立格(Factorial Kriging)可以根据空间结构特征将区域化变量划分为不同的空间尺度上的

区域化分量, 从而实现不同物理过程的划分^[3]。从 20 世纪 90 年代以来, 国内外学者开始应用因子克立格方法研究区域化分量的空间分布特征^[4-6]。

多环芳烃(Polycyclic aromatic hydrocarbons, 简称 PAHs) 是一类广泛存在于环境中的持久性有机污染物, 具有致畸、致癌和致突变性, 因此受到人们的高度重视^[7-8]。随着经济的快速发展, 导致了天津地区的土壤等环境介质中 PAHs 等污染物含量的增加^[9], 对人体健康存在着潜在的危害。刘瑞民等在空间结构分析的基础上, 提出了天津地区表层土壤中 PAHs 可以划分为 3 种空间尺度: 块金尺度(0~5 km)、小尺度(5~10 km)和大尺度(10~50 km), 并分析了不同尺度空间上 PAHs 区域化分量之间的空间相关性^[10]。

本文在前面空间尺度划分和区域化分量研究的基础上, 进一步分析天津地区表层土壤 PAHs 在不同

收稿日期: 2007-07-17

基金项目: 国家自然科学基金(40525003, 40371105)

作者简介: 刘瑞民(1975—), 男, 山东聊城人, 博士。

E-mail: Liurm75@163.com

空间尺度上区域化分量的空间分布特征, 希望从空间分布方面深入探讨区域污染特征, 从而为该地区的污染治理奠定基础, 对于揭示天津地区表层土壤 PAHs 污染特征、保持该地区社会经济可持续发展具有重要的意义。

1 数据采集与实验分析

采样时间为 2001 年 5 月, 采用纬向宽度相等的网格布点方法, 设计 188 个表层土壤样品。实际采样位置根据当地交通的可通达性进行适当调整, 采样间距平均为 6.75 km, 实际采样点分布如图 1 所示。在实验室中测定了 16 种优控 PAHs 的含量, 它们分别为: 萘(Nap), 苊烯(Any), 苊(Ane), 芴(Fle), 菲(Phe), 蒽(Ant), 荧蒽(Fla), 芘(Pyr), 苯并[a]蒽(Baa), 屈(Chr), 苯并[b]荧蒽(Bbf), 苯并[k]荧蒽(Bkf), 苯并[a]芘(Bap), 茚并[1,2,3-cd]芘(I1p), 二苯并[a,h]蒽(Daa), 苯并[ghi]芘(Bgp)^[11]。具体的处理和测定方法参见有关文献[12]。



图 1 采样点分布概况

Figure 1 Map of sampling sites

2 天津表土 PAHs 的多尺度空间分布特征

2.1 多尺度空间分布特征

从块金尺度上 PAHs 区域化分量的空间分布图(图 2)可以看出, 在天津地区, 16 种 PAHs 在块金尺度上的区域化分量的空间分布都比较零散, 几乎没有较

大范围的均一分布。

与图 2 相比, PAHs 在小尺度上各分量的空间分布存在着明显的规律性, 但 PAHs 不同组分在空间分布上存在着很大的差异(图 3)。在小尺度上, PAHs 各组分空间分布各不相同, 高值区域一般分布在市区和北部宝坻县区域, 空间递变规律较好。

和其他空间尺度不同, 在大尺度空间上, PAHs 的分量在天津地区均匀分布, 基本上没有明显的高值区域和低值区域, 而且所有组分大尺度分量的分布特征基本上相似(图 4)。

总体来说, 在不同的空间尺度下, PAHs 各组分的影响范围不同, 同一组分在不同空间尺度上主要影响区域不同, 在同一空间尺度上, 不同组分空间分量的分布区域不同。

2.2 基于多尺度空间分布特征的成因探讨

PAHs 在污染源处生成后, 环境中的各种动力(如水流传输和大气运移) 将使其发生空间迁移和转化, 最终形成一定的浓度分布格局。大气和水的运动是环境中 PAHs 迁移的两种主要动力。

关于水的运动, 天津地区总体地势北高南低, 西北高东南低, 主要的河流均呈西北-东南走向。该地区几条主要的排污河(渠)也呈西北-东南或西-东走向。可见, 水流传输物质的主导方向应为西北-东南向。在表示 PAHs 各组分在块金尺度上分量空间分布的图 2 中, 体现污染物高浓度的斑点一般都是在西北-东南方向出现长轴, 基本上没有东北-西南方向的长轴出现。因此可以推断: 河流是天津地区环境中 PAHs 迁移的主要动力之一。

其次分析大气运移与 PAHs 分布格局的关系。天津地区的风向存在明显的季节变化, 冬季盛行风向为西北和偏北, 春秋两季为西南, 夏季为东南和西南。全年风速的季节变化为, 春季大于冬季, 秋季较小, 夏季最小, 各月的平均风速以 4 月最大。从图 3 可见, PAHs 空间分布的主要长轴方向(东北-西南向和南-北向)与春、冬两季的盛行风向恰好吻合。春季和冬季是天津地区风速最大和次大的季节, PAHs 在主风向(西南、偏北)上的扩散范围大; 夏、秋两季风速小, 主风向上的扩散范围小, 同时, 夏季水热条件也更利于 PAHs 的降解和在垂直方向上的移动。天津地区东-西方向的风频最小, 因此污染物在该方向上的扩散范围最小。PAHs 空间分布长轴方向可能是上述各季节 PAHs 扩散状况综合影响所导致的结果。此外, 冬、春两季是采暖集中的时期, 污染物的生成量大, 加之采

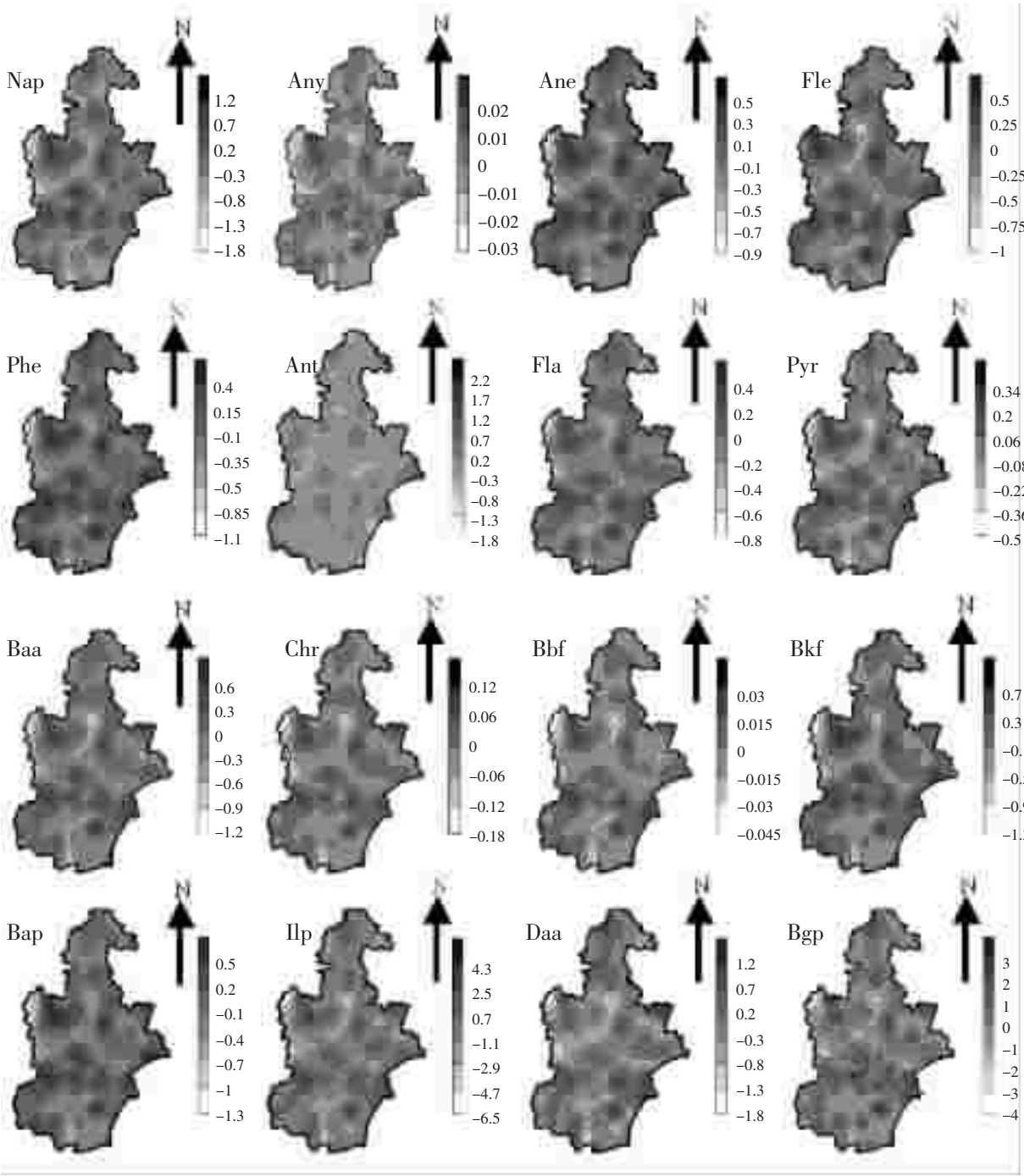


图 2 块金尺度上 PAHs 组分空间分布

Figure 2 Spatial distribution of PAHs compounds on nugget scale

样季节是春夏之交,故表土 PAHs 含量更多的反映了采样之前冬、春两季的地表污染物累积状况。这也可能使得主要长轴方向与春、冬两季的盛行风向的一致性进一步加强。

因此可以推断,大气运移是天津地区 PAHs 迁移的另外一个主要环境动力,主要作用在 5~10 km 范围

内。

另外,有研究表明,PAHs 的长距离迁移或天然源可能是在大尺度空间中造成天津地区污染的重要过程^[13]。从图 4 可以看出,这两种污染过程造成的空间分布几乎没有什么分布格局,可能的原因是由于区域性沉降或天然源是大范围的污染过程,而在天津范围

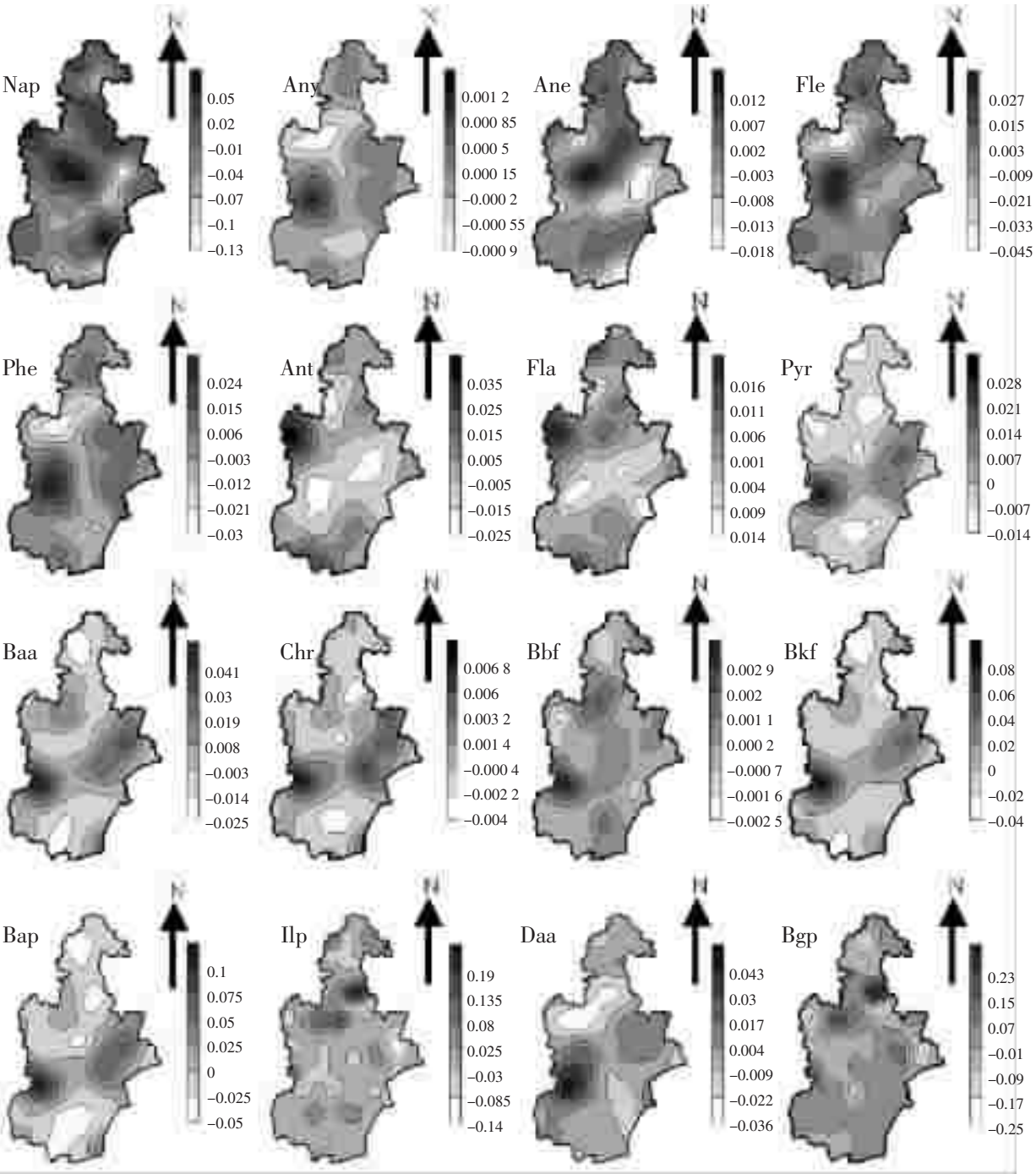


图 3 小尺度上 PAHs 组分空间分布

Figure 3 Spatial distribution of PAHs compounds on small scale

内,却无法体现大范围的空间分布格局。

3 结论

研究结果表明,在块金尺度上,16 种 PAHs 的区域化分量的空间分布都比较零散,表现出局部小块的形式,所有 PAHs 区域化分量的空间递变规律都不规则;与块金尺度相比,虽然在小尺度上 PAHs 区域化

分量的空间分布上还是存在着较大的差异性,但分布特征却存在着明显的规律性,空间递变规律较好;与块金尺度和小尺度空间相比,天津地区 PAHs 在大尺度空间上的区域化分量基本上均匀分布。

大气运移可能是决定土壤 PAHs 浓度空间递变方向和梯度的主要环境因素,河流是另外一个主要环境因素。但是由于大气运移造成的 PAHs 污染浓度要

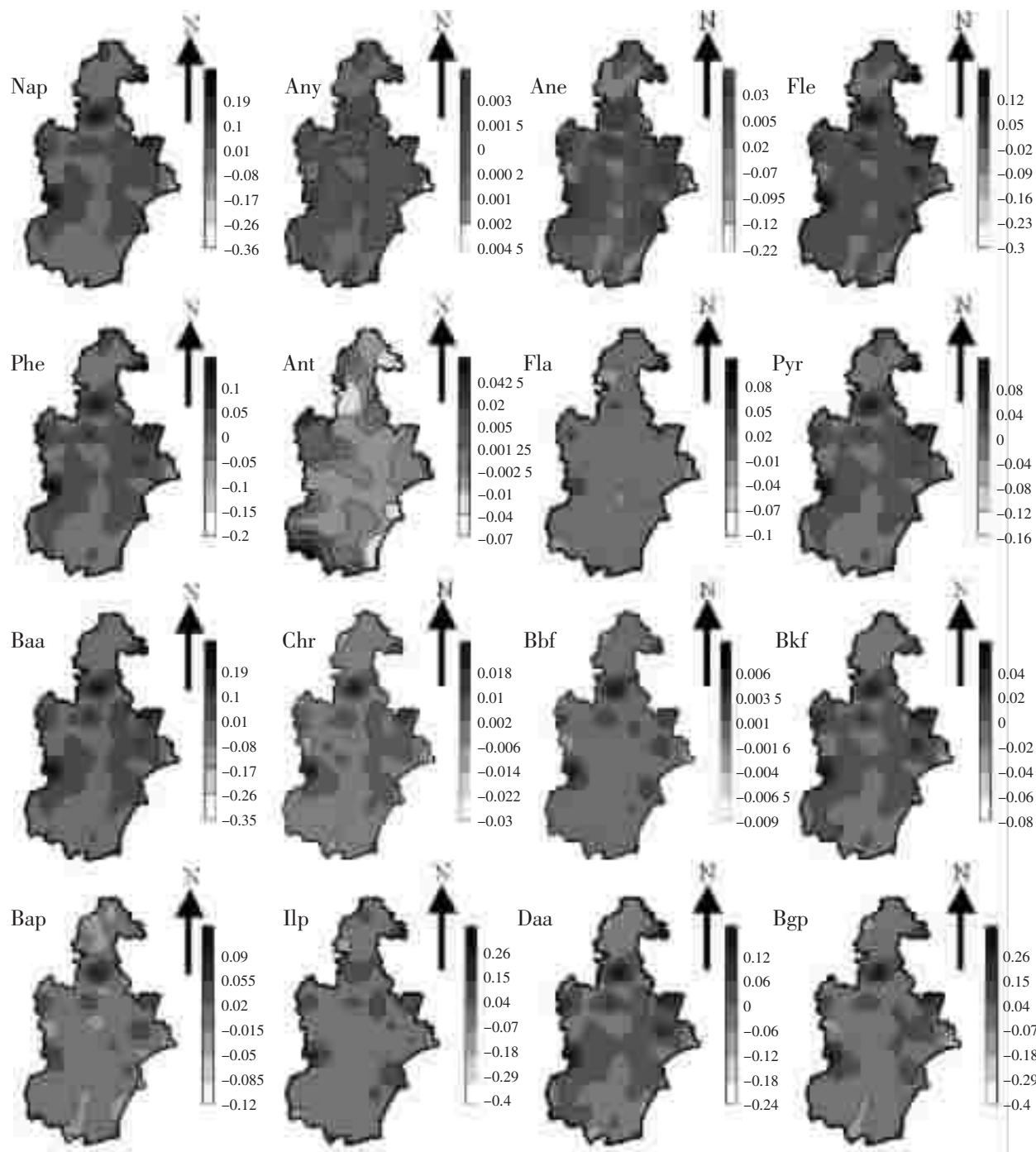


图 4 大尺度空间上 PAHs 组分分布

Figure 4 Spatial distribution of PAHs compounds on large scale

远远大于河流造成的污染浓度，因此从总体来看，只表现出大气运移造成的空间分布结果，即污染区域的长轴方向主要是东北-西南方向。

参考文献：

[1] Bocchi S, Castrignano A, Fornaro F, et al. Application of factorial kriging for mapping soil variation at field scale [J]. *Euro J Agronomy*, 2000,

13: 295-308.

[2] Pardo-Iguzquiza E, Dowd P A. FACTOR2D: a computer program for factorial cokriging[J]. *Computers & Geosciences*, 2002, 28: 857-875.
[3] Goovaerts P. Factorial Kriging analysis: a useful tool for exploring the structure of multivariate spatial soil Information [J]. *J Soil Sci*, 1992, 43: 597-619
[4] Castrignano A, Giugliarini L, Risaliti R, et al. Study of spatial relationships among some soil physico-chemical properties of a field in central

Italy using multivariate geostatistics[J]. *Geoderma*, 2000, 97: 39–60

[5] Reis A P, Sousa A J, Ferreira da Silva E. Combining multiple correspondence analysis with factorial kriging analysis for geochemical mapping of the gold–silver deposit at Marrancos (Portugal)[J]. *Applied Geochemistry*, 2004, 19: 623–631.

[6] Larocque G, Dutilleul P, Pelletier B, et al. Conditional gaussian co-simulation of regionalized components of soil variation[J]. *Geoderma*, 2006, 134: 1–16.

[7] Reilley K A, Banks M K, Schwab A P. Organic chemicals in the environment, dissipation of polycyclic aromatic hydrocarbons in the rhizosphere [J]. *Journal of Environmental Quality*, 1996, 25: 212–219.

[8] Zedeek M S. Polycyclic aromatic hydrocarbons: a review [J]. *J Environ Pathology and Toxicology*, 1980, 3: 537–567.

[9] Malins D C, Hodgins H O. Petroleum and marine fishes: a review of uptake, deposition and effects [J]. *Environ Sci Technol*, 1981, 15: 1272–1280.

[10] 刘瑞民, 王学军, 陶 澍, 等. 天津地区表层土壤 PAHs 含量的多尺

度空间特征[J]. *地理研究*, 2005, 24(4): 531–537.

LIU Ruimin, WANG Xuejun, TAO Shu, et al. Multi-scale spatial characteristics of topsoil PAHs in Tianjin area [J]. *Geographical Research*, 2005, 24(4): 565–571.

[11] Keith L H, Telliard W A. Priority pollutants I– A perspective view [J]. *Environmental Science & Technology*, 1979, 13: 416–423

[12] 崔艳红, 朱雪梅, 郭丽青, 等. 天津污灌区土壤中多环芳烃的提取、净化和测定[J]. *环境化学*, 2002, 21(4): 392–396.

CUI Yanhong, ZHU Xuemei, GUO Liqing, et al. Measurement of PAHs in soil samples from eastwater irrigated soil from Tianjin [J]. *Environmental Chemistry*, 2002, 21(4): 392–396.

[13] 刘瑞民, 王学军, 陶 澍, 等. 天津表土 PAHs 的空间主成分与污染源分析[J]. *地理科学进展*, 2005, 24(3): 109–117.

LIU Ruimin, WANG Xuejun, TAO Shu, et al. Spatial PCA and Pollutant sources of topsoil PAHs in Tianjin area [J]. *Progress In Geography*, 2005, 24(3): 109–117.

《农业环境科学学报》网上投稿运行

为提高本刊编辑部稿件审理的工作效率,方便广大科研人员网上投稿、网上实时查询,本刊网站及网上投稿系统已于 2008 年 4 月 28 日起运行。有关网上投稿系统的使用、稿件状态查询、修改意见的收取等请作者登陆本刊网站点击“作者投稿”操作,不明之处敬请咨询 022–23674336。

网上投稿成功后,作者利用用户名及稿件密码可直接查询、下载相关文件。

本刊网上投稿系统实现了作者网上投稿、网上实时查询稿件状态及修改意见,专家网上审查,以及编辑网上处理稿件等功能,可使稿件审理更快捷、更方便、更有效,是本刊走向国际化、现代化的标志。热忱地欢迎广大科研人员使用该系统,对于作者在使用过程中发现的问题以及意见与建议,请及时反馈给编辑部,我们将努力为大家提供更好的服务。

《农业环境科学学报》编辑部