

Trend Analysis and Correlation Analysis of PM_{2.5} and PM₁₀ in Taipei City during 2006-2012

Chi-Feng Chen^{1*}, Yu-Xie Lian¹, Hui-Chung Yeh¹, Yu-Chun Wang²

¹Department of Natural Resources, Chinese Culture University, Taipei, Taiwan

²Department of Bioenvironmental Engineering, Chung Yuan Christian University, Chungli, Taiwan

Email: *cqf2@faculty.pccu.edu.tw

Received: Jun. 30th, 2014; revised: Jul. 22nd, 2014; accepted: Aug. 1st, 2014

Copyright © 2014 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

Abstract

This study analyzed the real observation data from 6 monitoring stations in Taipei city to clarify the change of PM_{2.5} and PM₁₀ and their correlations to other air pollutants and climate factors. The results showed that the average concentration of PM_{2.5} and PM₁₀ from 2006-2012 maintained at a stable level. The annual average concentrations of PM₁₀ and PM_{2.5} among the 6 selected stations were 38.2 - 51.7 µg/m³ and 22.3 - 29.4 µg/m³, respectively. The ratios of PM_{2.5} to PM₁₀ were 48.3% - 61.6%. The PM_{2.5} concentrations in the 3 stations near the city center were significantly higher than that in the 3 stations close to the city center, but the ratio of PM_{2.5} to PM₁₀ was increasing annually in the stations close to the city center. PM₁₀, SO₂, NO₂, and CO had high correlations to PM_{2.5} and especially, NO₂ was significantly correlated to PM_{2.5} among the stations near the city center, which meant that the vehicle emission was the major source in the city center. However, the data from the stations close to the city center showed that SO₂ had a higher correlation with PM_{2.5} than NO₂, which implied that effects from nonlocal sources were influential. The climate factors, such as temperature, rainfall, relative humidity, and hourly wind speed, were negatively correlated to PM_{2.5} in the 6 selected stations.

Keywords

PM_{2.5}, PM₁₀, Air Pollution

*通讯作者。

2006~2012年台北市PM_{2.5}和PM₁₀变化趋势与相关分析

陈起凤^{1*}, 连语洁¹, 叶惠中¹, 王玉纯²

¹中国文化大学土地资源系, 台北市, 台湾

²中原大学生物环境工程系, 中坜市, 台湾

Email: *cqf2@faculty.pccu.edu.tw

收稿日期: 2014年6月30日; 修回日期: 2014年7月22日; 录用日期: 2014年8月1日

摘要

本研究依据台北市区内6个观测站的2006~2012年小时实测资料, 研究台北市PM_{2.5}与PM₁₀的历年变化趋势, 以及与其他空气污染物、气象条件的相关性。分析结果, 各站历年浓度变化不大, PM₁₀与PM_{2.5}的各站年平均浓度分别为38.2~51.7 μg/m³以及22.3~29.4 μg/m³, PM_{2.5}占PM₁₀的比例为48.3%~61.6%。接近市中心的3个测站PM_{2.5}浓度明显比周遭3个测站高, 但周遭测站的PM_{2.5}对PM₁₀占比逐年增加。除了PM₁₀外, 台北市PM_{2.5}浓度与SO₂、NO₂、CO的相关性较高, 靠近市中心的3测站PM_{2.5}与NO₂关系明显, 显示与车辆排放污染较相关。但周遭3测站的NO₂浓度低, PM_{2.5}与SO₂相关性较高。各测站的PM_{2.5}浓度与气温、降雨量、相对湿度、小时风速等气象因子都呈现低度负相关。

关键词

PM_{2.5}, PM₁₀, 空气污染

1. 引言

大气悬浮微粒(particulate matter, PM)从燃烧行为直接排放或间接产生, 已经证实对人类健康有影响[1][2]。尤其细悬浮微粒(PM_{2.5})因为粒径小, 可随大气气流传输到其他地区, 从地方的空气污染问题, 衍生成地区性甚至全球性的影响。悬浮微粒已是欧美日等全球先进国家重视之指标性污染物, 也是目前亚洲城市面临的重要议题。台湾在2012年修法增列PM_{2.5}为第8项空气污染物指标, 并以健康影响为优先考虑, 参考国外经验订定标准值, PM_{2.5}24小时标准为35 μg/m³、年平均值标准为15 μg/m³。

在台湾, 悬浮微粒的空间分布受到当地污染特征影响[3], 也与邻近国家长程传输有关。北部有东北季风, 所以冬天时候从东北季风带来PM, 使得冬天PM_{2.5}浓度上升, 而夏季季风不经过亚洲大陆, 空气质量较不受影响[4]。另外, 若空气来自太平洋海上, 带来非海盐类硫酸盐, 会使得台湾高海拔各地受到东南亚国家的长程传输影响[5]。都市的PM浓度, 北部季节性PM_{2.5}以机动车辆贡献量最大, 其次为街道扬尘。若是靠近沿海地区, 则海盐飞沫贡献比例较高[6]。由于台湾与大陆相近, 每年冬季至春季期间全台都会受到沙尘暴之影响[7][8]。

台北市位于台湾北部, 属于盆地地形。除了上述的长程传输与都市中机动车辆影响外, 因为地形阻挡关系, 也会让PM_{2.5}和有机质容易积聚在台北盆地[8]。根据陈等人[9]研究, 台北市悬浮物的主要为纯碳或碳化合物, 排放源的统计分析结果则有73.3%来自车辆排放, 12.4%来是土壤灰尘, 其余则来自工业

制程、二次生成以及海沫。梁等人[10]对台北市悬浮微粒的来源分析也有相似的结果,梁等分析台北市于沙尘暴与非沙尘暴期间的来源比例,发现在非沙尘暴期间车辆排放以及二次生成物占40%,燃烧制程以及交通相关排放有29%,道路扬尘占25%。但台北市在沙尘暴期间,沙尘暴带来的悬浮微粒占了24%。显示台北市除了当地的车辆排放为主要来源外,在特定季节境外传输亦相当明显。

本研究利用环保署既有测站资料,探讨台北市有监测数据以来的PM变化趋势,以及与其他污染物与气象条件的相关性,以了解台北市整体大气PM的分布与特性。本研究结果亦可与其他污染源分析结果比较,提供后续台北市空气污染管制方向。

2. 数据来源与分析方法

环保署于2005年8月完成全台76个空气质量监测网,包括各都会区、东部与外岛地区之PM_{2.5}之自动监测仪器。本研究采用台北市的6个测站数据,时间从2006年至2012年,测站数据为小时数据,除了悬浮微粒外,另同时监测其他空气污染物,如氮氧化物(NO_x)与硫氧化物(SO_x),以及小时气象数据,如温度、湿度、雨量、风速等。因此可同时比较PM与其他监测项目的关系。全台空气质量监测站以及本研究所采用测站分布如图1。本研究所采用的台北市6个空气质量监测站包含靠近市中心的古亭、永和以及松山站,以及靠近东边山区的新店站、西边海岸的淡水站,以及西北边山区的士林站。

本研究采用皮尔森相关分析,了解PM_{2.5}与其他因子的两两相关性。相关分析是利用来衡量两个随机变量之间的直线关系方向与强弱程度,故可使用相关分析来决定二变量之间关系的强度。相关分析的结果以相关系数(correlation coefficient, r)表示。相关系数的值介于-1与+1之间,+1表示与为完全正向线性相关;-1表示与为完全负向线性相关。若相关系数接近零,则表示无线性关系。R值相关程度之高低,在正负0.3之间为低度相关;在正负0.3~0.6之间称为中度相关;而在正负0.6~0.9之间则称为高度相关。相关系数的计算公式如下:

$$r = \frac{\sum(x - \bar{x})(y - \bar{y})}{\sqrt{\sum(x - \bar{x})^2 \sum(y - \bar{y})^2}}$$

其中, x 、 y 为两个变量的数值, \bar{x} 、 \bar{y} 分别为 x 与 y 变量的平均值。

3. 结果与讨论

3.1. PM_{2.5}与PM₁₀历年浓度趋势

本研究采用的6个测站分布如图1,各测站的PM₁₀与PM_{2.5}历年变化如图2。各站年变化趋势不大,但有逐年下降趋势。古亭与士林站的PM₁₀浓度最高,历年平均分别为51.1与49.0μg/m³。但两站在2011年后浓度明显降低,尤其士林站浓度降至41.0μg/m³。新店站与淡水站的PM₁₀浓度最低,至2012年,降至31.7与34.3μg/m³。各站PM_{2.5}浓度变化也是逐年微幅下降,古亭、松山、永和三站的平均浓度较高,落在25~30μg/m³。新店、淡水以及士林站浓度相似,范围在20~25μg/m³之间。因此很明显靠近市区的测站浓度,比周遭的测站浓度要高。

探究PM_{2.5}在PM₁₀的占比,如图3所示。各测站的PM_{2.5}/PM₁₀比例有些微上升现象,此比例为40%~65%之间。除士林站外,各站的PM_{2.5}占了PM₁₀浓度50%以上,尤其新店站的PM_{2.5}比例上升趋势明显,至2012年达64%。比较2006年与2012年两年数据,市中心的古亭与永和站比例降低,但松山站以及周遭的新店、淡水、士林站的PM_{2.5}占比都上升,尤其周遭三站PM_{2.5}占比增加了5%~10%。

台北市PM浓度有逐年下降趋势,此现象应与影响PM生成的其他空气物浓度下降有关,如下小节之图4,各站的NO₂与SO₂浓度也是逐年下降。显示台北市增加大众运输系统、减少机动车辆数量、改善机动车辆燃烧效率、改善燃油质量等策略都可能直接或间接影响了PM浓度变化。

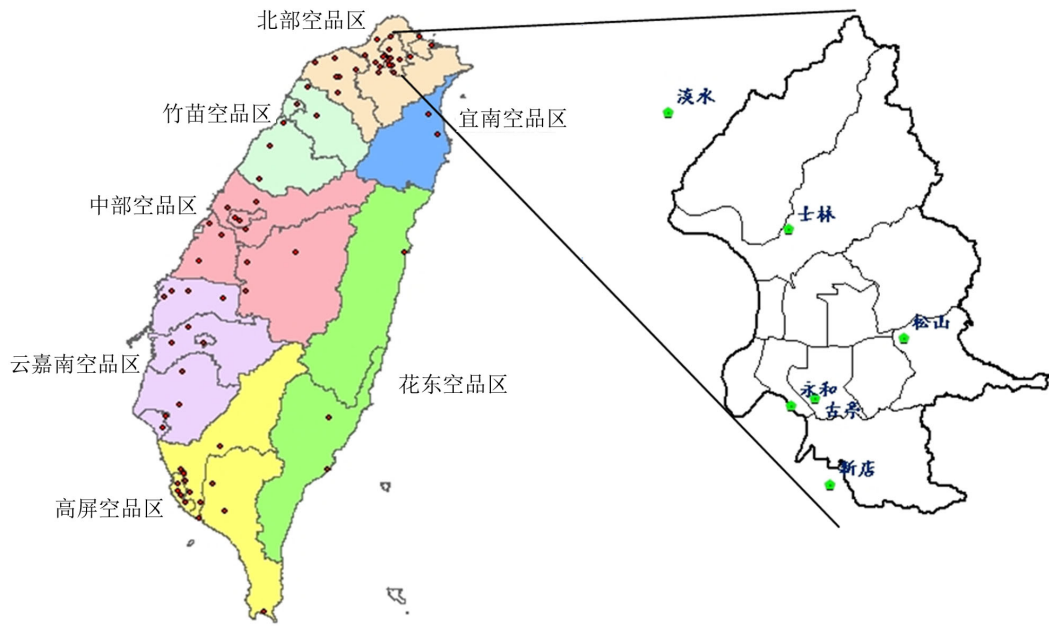


Figure 1. Air quality monitoring stations in Taiwan and the selected monitoring stations in Taipei city
图 1. 台湾空气质量监测站分布以及本研究使用之台北测站分布图

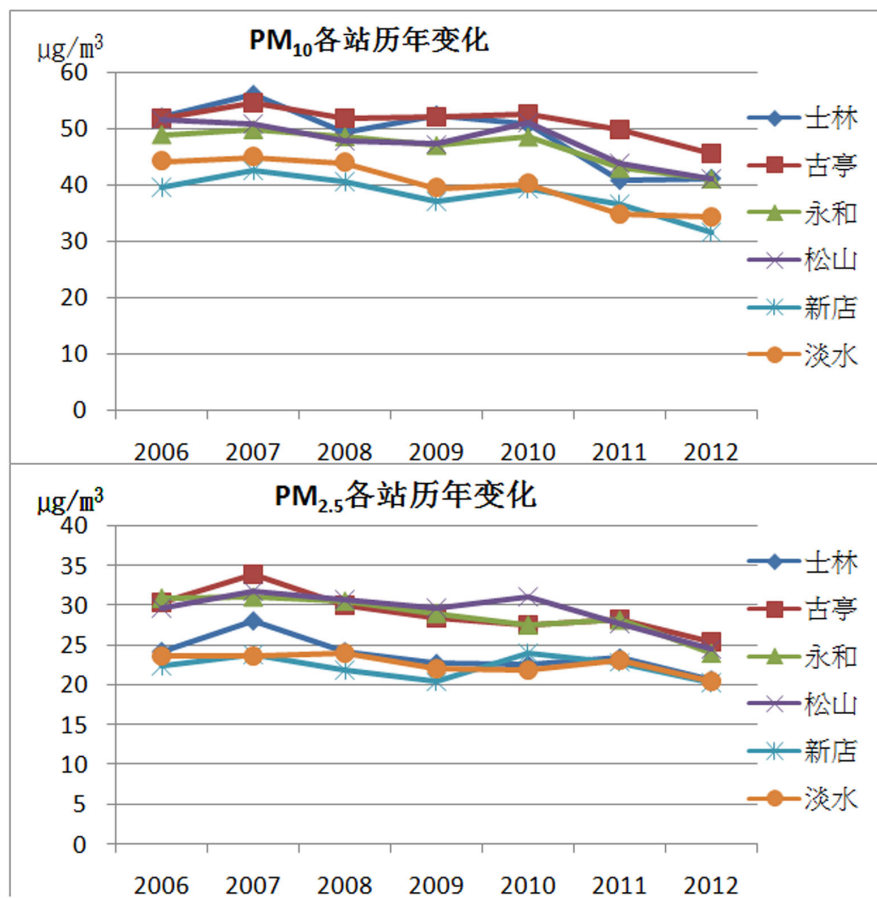


Figure 2. Annual trends of PM_{2.5} and PM₁₀ in the selected monitoring stations
图 2. 各测站 PM_{2.5} 与 PM₁₀ 的年变化趋势

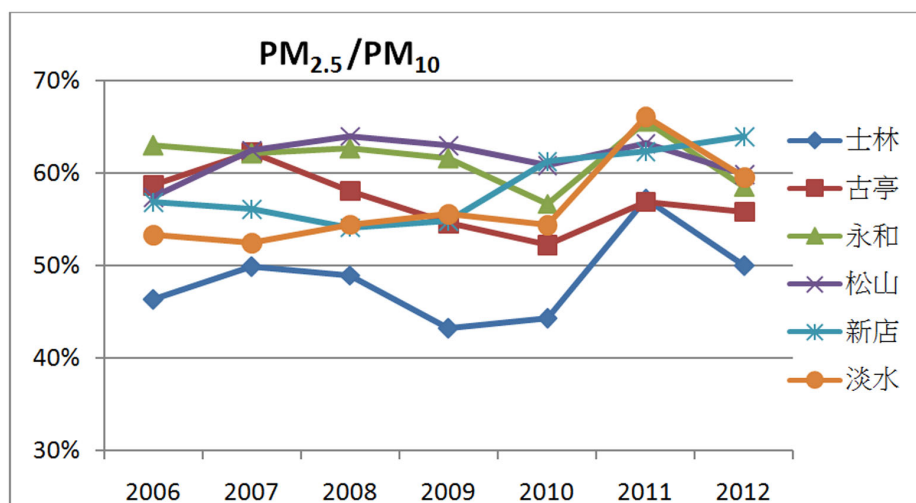


Figure 3. The ratio of PM_{2.5} to PM₁₀
图 3. 各测站 PM_{2.5} 对 PM₁₀ 的重量百分比

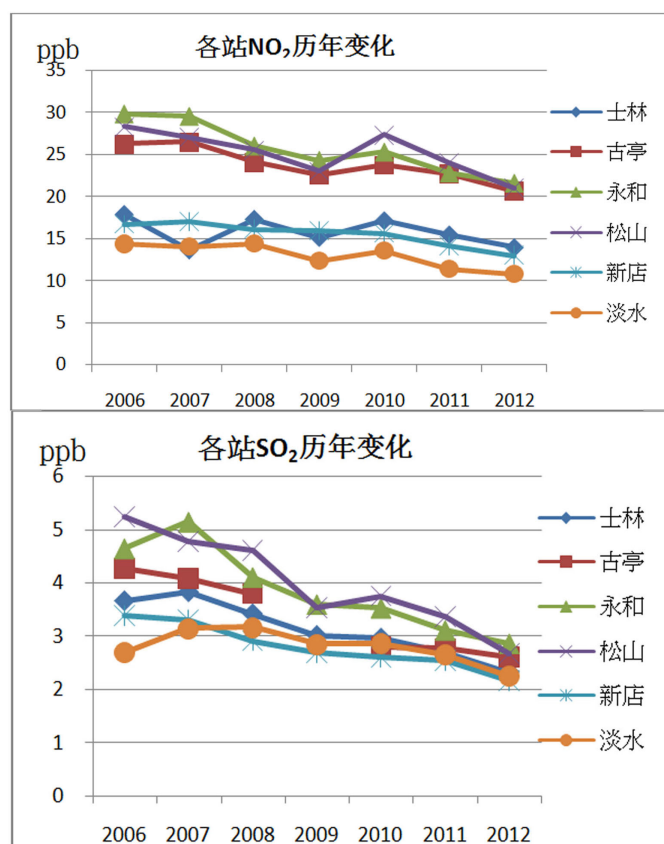


Figure 4. Annual trend of NO₂ and SO₂ in the selected monitoring stations
图 4. 各测站 NO₂ 与 SO₂ 的年变化趋势

3.2. PM_{2.5} 与其他空气污染物相关分析

利用各测站 2006~2012 的小时数据进行相关性分析, PM_{2.5} 与其他空气污染物的两两相关系数如表 1。

Table 1. Correlation coefficients of PM_{2.5} and other air pollutants in the selected monitoring stations (average results from hourly data in 2006-2012)**表 1.** 各测站 PM_{2.5} 与其他空气污染物相关系数(小时数据之 2006~2012 年平均结果)

测站	CO	NO	NO ₂	NO _x	O ₃	PM ₁₀	SO ₂
古亭	0.38	0.05	0.43	0.28	0.31	0.81	0.48
永和	0.43	0.28	0.58*	0.46	0.16	0.87	0.54
松山	0.44	0.15	0.44	0.33	0.24	0.81	0.42
士林	0.41	0.13	0.35	0.29	0.23	0.73	0.43
新店	0.55	0.12	0.46	0.38	0.28	0.87	0.53
淡水	0.49	0.17	0.44	0.37	0.17	0.85	0.54

*: 粗体字标示除 PM₁₀ 外的最高相关系数值。

历年的平均结果, 除士林站外, 小时 PM_{2.5} 与 PM₁₀ 的相关系数都高于 0.8。士林站的 PM_{2.5} 与 PM₁₀ 的相关性较低, 可能与该站的 PM_{2.5} 在 PM₁₀ 所占比例较低有关。而永和、新店、淡水站的 PM_{2.5}/PM₁₀ 比例较高, 其两两相关性也较佳。

除 PM₁₀ 外, PM_{2.5} 与 SO₂、NO₂、CO 的相关性落在 0.4~0.6 之间。各站相关性最高的空气污染物项目不尽相同。靠近市区的测站, 其 PM_{2.5} 与 NO₂ 的相关性较高, 如永和站与松山站。古亭站以 SO₂ 相关性最高(0.48), NO₂ 次之(0.43)。市区周遭的测站, 其 PM_{2.5} 则是与 SO₂ 相关性较高, 如士林站与淡水站。新店站则 CO 相关性较佳(0.55), SO₂ 次之(0.53)。进一步探究各站的 NO₂、SO₂ 分布, 如图 4, 市中心三个测站的 NO₂ 与 SO₂ 都比周遭的三测站要高, 各站的 NO₂ 与 SO₂ 都呈现下降趋势, 尤其 SO₂ 下降幅度较为明显。由此可知, 靠近市区的三测站, 其 PM_{2.5} 受到机动车辆排放的 NO₂ 影响较大。周遭的三测站 PM_{2.5} 受到 SO₂ 的影响比 NO₂ 明显, 可能与其 NO₂ 浓度较低有关。台北市境内并无明显的 SO₂ 来源, 如火力发电厂与工业燃烧源, 推测周遭测站的 PM_{2.5} 有可能受到台北市以外的污染源影响所致。

图 5 利用各站年平均数据, 显示 PM_{2.5} 与 NO₂、SO₂ 以及 CO 浓度之间关系。由此分布更确定台北市的 PM_{2.5} 与 NO₂ 关系明显, 高浓度 NO₂ 的测站其 PM_{2.5} 浓度都较高。但 PM_{2.5} 与 SO₂、CO 关系, 在低浓度时还有良好的线性关系, 但在高浓度时, 分布发散, 相关性变差。推测台北市的 PM_{2.5} 浓度变高时, 其生成来源较复杂, 可能受到境外传输影响。从图 5 推测, 台北市 PM_{2.5} 浓度在 25 μg/m³ 应是当地污染造成, 但超过 25 μg/m³ 时, 可能就有来自境外的排放源影响。

3.3. PM_{2.5} 与气象因子相关分析

将 PM_{2.5} 与同时间的气象因子进行相关分析, 分析结果如表 2。气象因子对 PM_{2.5} 的影响在各测站的表现结果相似, PM_{2.5} 与气温、降雨量、相对湿度、小时风速都呈现低度负相关, 仅相对湿度对 PM_{2.5} 的相关性约-0.2, 其余各项因子的相关性都不到 0.1。但因为呈现一致的负相关性, 可推测当气温越低时, PM_{2.5} 浓度越高, 此结果与春冬季节 PM_{2.5} 浓度比夏季高的现象一致。降雨量高、相对湿度高, 也会使 PM_{2.5} 浓度降低, 此为湿沉降的影响。小时风速大, 通风状况良好也会使 PM_{2.5} 浓度降低。由此推测, 市区周遭的淡水站靠近海边, 风速大且湿度高, 新店站靠近山区, 也是相对湿度较高区域, 除了 PM_{2.5} 排放源的影响外, 此气象条件的影响也导致两测站的 PM_{2.5} 浓度比其他测站低。

4. 结论

本研究采用台北市 6 个空气质量监测站的小时实测数据, 分析 PM_{2.5} 历年变化趋势以及与其他因子的相关性。结果显示, 测站设站以来 2006~2012 年 PM₁₀ 与 PM_{2.5} 微幅下降。但 PM_{2.5} 占 PM₁₀ 的比例, 市区

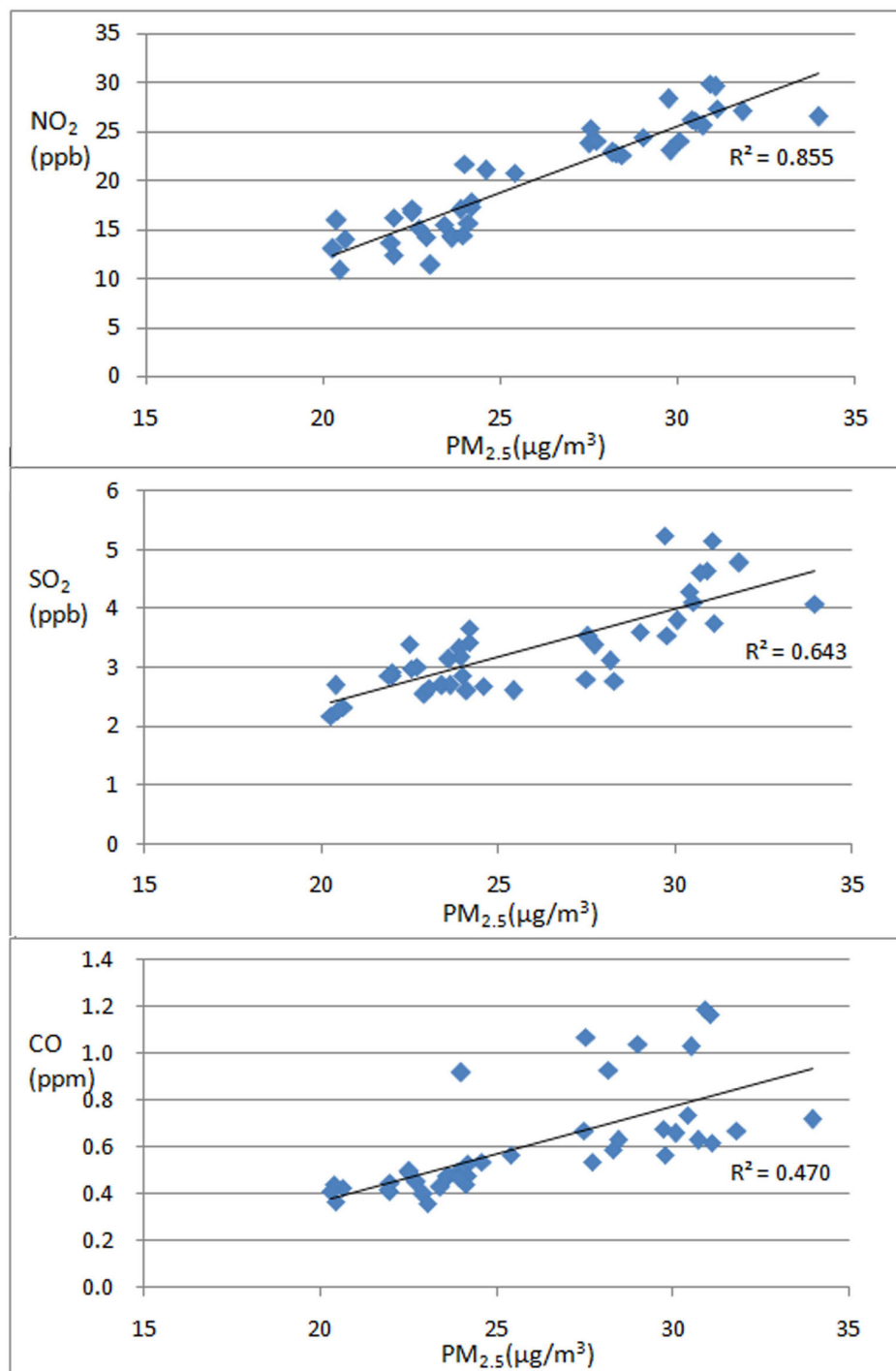


Figure 5. Correlations between PM_{2.5} and NO₂, SO₂, and CO (annual average data)

图 5. PM_{2.5} 与 NO₂、SO₂、CO 的相关性(年平均数据)

周遭的新店、淡水、士林站的占比上升了 5%~10%，此现象值得后续注意。由相关分析结果，推测各站的 PM_{2.5} 影响来源不同，靠近市区的测站，其 PM_{2.5} 与 NO₂ 的相关性较高，显示受机动车辆影响较大。市区周遭的测站，其 PM_{2.5} 则与 SO₂ 相关性较高，但台北市境内并无明显的 SO₂ 来源，推测周遭测站的 PM_{2.5} 有可能受到台北市以外的污染来源影响，又周遭测站的气象条件与市区测站不同，也会受到湿度、风速

Table 2. Correlation coefficients of PM_{2.5} and climate factors in the selected monitoring stations (average results from hourly data in 2006-2012)**表 2.** 各测站 PM_{2.5} 与气象因子的相关系数(小时数据之 2006~2012 年平均结果)

测站	气温	降雨量	相对湿度	小时风速
古亭	-0.04	-0.05	-0.25	-0.03
永和	-0.07	-0.06	-0.20	-0.16
松山	-0.02	-0.08	-0.22	-0.05
士林	-0.04	-0.08	-0.11	-0.06
新店	-0.07	-0.08	-0.19	-0.07
淡水	-0.12	-0.11	-0.07	-0.14

等因子影响。另外，台北市的 PM_{2.5} 与高低浓度的 NO₂ 线性关系佳，但 PM_{2.5} 与 SO₂ 与 CO 的关系在高低浓度的表现不同，低浓度有良好的线性关系，浓度超过 25 μg/m³ 时相关性变差。推测台北市的 PM_{2.5} 浓度高于 25 μg/m³ 时，境外排放源的影响程度可能增加，所以造成 PM_{2.5} 与当地的 SO₂、CO 浓度相关性降低。本文呈现台北市历年 PM_{2.5} 与 PM₁₀ 的特性，未来可作为污染源分析参考，厘清主要 PM_{2.5} 排放源，进行因地制宜的有效管制策略。

参考文献 (References)

- [1] Hung, L.J., Tsai, S.S., Chen, P.S., Yang, Y.H., Liou, S.H., Wu, T.N. and Yang, C.Y. (2012) Traffic air pollution and risk of death from breast cancer in Taiwan: Fine particulate matter (PM_{2.5}) as a proxy marker. *Aerosol and Air Quality Research*, **12**, 275-282.
- [2] Chiu, H.F., Peng, C.Y., Wu, T.N. and Yang, C.Y. (2013) Short-term effects of fine particulate air pollution on ischemic heart disease hospitalizations in Taipei: A case-crossover study. *Aerosol and Air Quality Research*, **13**, 1563-1569.
- [3] 柳中明 (2005) 高屏地区大气悬浮微粒(PM₁₀ 及 PM_{2.5})特性及成因分析研究 - 子计划二: 本土化[空气质量指针(AQI)]研析与建议. 国家科学委员会研究报告, 台北.
- [4] Chang, S.Y., Lee, C.T., Chou, C.C.K., Liu, S.C. and Wen, T.X. (2007) The continuous field measurements of soluble aerosol compositions at the Taipei aerosol supersite, Taiwan. *Atmospheric Environment*, **41**, 1936-1949.
- [5] Chen, S.C., Hsu, S.C., Tsai, C.J., Chou, C.C.-K., Lin, N.H., Lee, C.T., Roam, G.D. and Pui, D.Y.H. (2013) Dynamic variations of ultrafine, fine and coarse particles at the Lu-Lin background site in East Asia. *Atmospheric Environment*, **78**, 154-162.
- [6] 薛智远 (2011) 北部地区细悬浮微粒化学成份及来源贡献暨民众细悬浮微粒暴露之研究. 硕士论文, 朝阳科技大学环境工程与管理系, 台中.
- [7] Lee, C.T., Chuang, M.T., Chan, C.C., Cheng, T.J. and Huang, S.L. (2006) Aerosol characteristics from the Taiwan aerosol supersite in the Asian yellow-dust periods of 2002. *Atmospheric Environment*, **40**, 3409-3418.
- [8] Chuang, M.T., Chiang, P.C., Chan, C.C., Wang, C.F., Chang, E.E. and Lee, C.T. (2008) The effects of synoptical weather pattern and complex terrain on the formation of aerosol events in the Greater Taipei area. *Science of Total Environment*, **399**, 128-146.
- [9] Chen, J.L., Lee, C.T., Chang, S.Y. and Chou, C.C.-K. (2001) The elemental contents and fractal dimensions of PM_{2.5} in Taipei city. *Aerosol and Air Quality Research*, **1**, 9-20
- [10] Liang, C.S., Yu, T.Y., Chang, Y.Y., Syu, J.Y. and Lin, W.Y. (2013) Source apportionment of PM_{2.5} particle composition and submicrometer size distribution during an asian dust storm and non-dust storm in Taipei. *Aerosol and Air Quality Research*, **13**, 545-554.