

2011 年臺灣地區學齡前兒童血中鉛濃度調查

Survey on Blood Lead Levels of the Preschool Children in Taiwan,

2011

林宜萱¹, 林佳玉¹, 王怡人^{3,4}, 黃耀輝^{1,2,*}

Yi-Hseun Lin,¹ Chia-Yu Lin,¹ Wang I-Jen^{3,4}, Yaw-Huei Hwang^{1,2,*}

¹ 國立臺灣大學公共衛生學院職業醫學與工業衛生研究所

² 國立臺灣大學公共衛生學院公共衛生學系

³ 行政院衛生署臺北醫院小兒科

⁴ 中國醫藥大學公共衛生學院

¹ Institute of Occupational Medicine and Industrial Hygiene, College of Public Health,
National Taiwan University, Taipei, Taiwan, R.O.C. Rm. 735, No.17, Xu-Zhou Rd.,
Taipei, Taiwan, R.O.C.

² Department of Public Health, College of Public Health, National Taiwan University,
Taipei, Taiwan, R.O.C.

³ Department of Pediatrics, Taipei Hospital, Department of Health, Taipei, Taiwan,
R.O.C.

⁴ College of Public Health, China Medical University, Taichung, Taiwan, R.O.C.

*通訊作者：黃耀輝

聯絡地址：10055 台北市徐州路 17 號 7 樓 735 室

電話/傳真：+886-2-3366-8081

e-mail: yhhwang@ntu.edu.tw

2011年臺灣地區學齡前兒童血中鉛濃度調查

摘要

目標：近年來的研究指出，在 $<10\ \mu\text{g}/\text{dL}$ 的低血中鉛濃度下，兒童的生長發育與智能發展也可能仍會受到鉛暴露的影響，且尚未有證據顯示鉛所引起的不良健康效應是否有安全閾值。因此亟需進一步研究了解目前國內學齡前兒童血液中鉛濃度範圍，以及可能造成暴露的因素，以便有效進行鉛暴露防治。**方法：**本研究計畫以區、市、鎮、鄉各級行政區域分層隨機取樣，自2011年4月至10月間邀請被隨機選取的行政區域內之幼稚園學齡前兒童參與本計畫。血液樣本由醫護人員至幼稚園採集，後以感應耦合電漿質譜儀進行分析。共有934名來自於全台80所不同幼稚園的學齡前兒童參與本計畫。**結果：**學齡前兒童血中鉛濃度檢測結果顯示幾何平均值為 $1.86\ \mu\text{g}/\text{dL}$ (幾何標準差1.55)，血中鉛濃度超過 $3\ \mu\text{g}/\text{dL}$ 、 $4\ \mu\text{g}/\text{dL}$ 、 $5\ \mu\text{g}/\text{dL}$ 的比例分別為12.6%、3.6%、1.8%。以地區別而言，離島之研究個案平均血中鉛濃度最高($2.59\ \mu\text{g}/\text{dL}$)，北部最低($1.53\ \mu\text{g}/\text{dL}$)；縣市別方面，金門縣($2.80\ \mu\text{g}/\text{dL}$)、彰化縣($2.53\ \mu\text{g}/\text{dL}$)、連江縣($2.51\ \mu\text{g}/\text{dL}$)等縣最高，桃園縣($1.28\ \mu\text{g}/\text{dL}$)、新竹市($1.32\ \mu\text{g}/\text{dL}$)、台北市($1.49\ \mu\text{g}/\text{dL}$)等縣市最低；區市鎮鄉別方面，鎮($2.18\ \mu\text{g}/\text{dL}$)、鄉($2.17\ \mu\text{g}/\text{dL}$)級行政區域的研究個案血中鉛濃度平均值普遍較區($1.57\ \mu\text{g}/\text{dL}$)、市($1.82\ \mu\text{g}/\text{dL}$)級要高；社會經濟地位方面：學齡前血中鉛濃度與家庭收入、父母親教育程度等社會經濟地位指標成負相關(p 皆 <0.0001)；環境暴露因子方面，父親職業為農林漁牧業、其他服務業的研究個案其血中鉛濃度較高($> 2.20\ \mu\text{g}/\text{dL}$)。**結論：**未來應建立長期血中鉛監測系統，設定血中鉛監測警戒值為 $4\ \mu\text{g}/\text{dL}$ ，針對高危險群加強環境鉛暴露防護。並從協調行政院相關各部會加強環境鉛流佈的管控，以及改善健康不平等特性來進一步達到防制環境鉛暴露的目的。

關鍵詞： 學齡前兒童、血液、鉛。

Survey on Blood Lead Levels of Preschool Children in Taiwan,

2011

Abstract

Objectives: Recent researches indicated that children's growth and mental development might be influenced by lead exposure even at blood lead level as low as less than 10 $\mu\text{g}/\text{dL}$. Meanwhile, there is no evidence to support a threshold for no adverse health effect of lead exposure. Therefore, further studies are warranted to better understand the blood lead distribution in the preschool children in Taiwan, as well as the potential sources of lead exposure in order to effectively prevent lead exposure for preschool children. **Methods:** This study utilized a stratified random sampling strategy at the city/township level to select study areas, in which kindergartens located were invited to participate in. Totally, 934 children, aged 2-7 years old, from 80 kindergartens over Taiwan islands were recruited. **Results:** The geometric mean of blood lead concentration among these children was 1.86 $\mu\text{g}/\text{dL}$ (GSD=1.55). The percentages for blood lead concentration exceeding 3 $\mu\text{g}/\text{dL}$, 4 $\mu\text{g}/\text{dL}$ and 5 $\mu\text{g}/\text{dL}$ were 12.6%、3.6% and 1.8%, respectively. Among the 5 geographical study areas, subjects locating in off-shore islands had the highest geometric mean of blood lead concentration, 2.59 $\mu\text{g}/\text{dL}$, while those in the northern Taiwan presented the lowest one, 1.53 $\mu\text{g}/\text{dL}$. Besides, with respect to the study counties, subjects resided in Kinmen County (2.80 $\mu\text{g}/\text{dL}$), Changhua County (2.53 $\mu\text{g}/\text{dL}$) and Lienchiang County (2.51 $\mu\text{g}/\text{dL}$) presented the highest blood lead levels while those in Taoyuan County (1.28 $\mu\text{g}/\text{dL}$), Hsinchu County (1.32 $\mu\text{g}/\text{dL}$) and Taipei City (1.49 $\mu\text{g}/\text{dL}$) showed the lowest three. At fundamental administrative levels, subjects living in towns (2.18 $\mu\text{g}/\text{dL}$) and shiangs (2.17 $\mu\text{g}/\text{dL}$) tended to have higher geometric mean of blood lead concentrations, compared to those living in municipal districts (1.57 $\mu\text{g}/\text{dL}$) and cities (1.82 $\mu\text{g}/\text{dL}$). In the perspective of socioeconomic status, the blood lead concentration was negatively

correlated to household income and parents' educational level ($p < 0.0001$). The subjects whose fathers worked in the industries of Agriculture, Forestry and Fishery, and Other Services tended to have higher blood lead levels ($> 2.20 \mu\text{g/dL}$). **Conclusions:** It is recommended to establish a long-term survey system to monitor blood lead level and set alert value at $4 \mu\text{g/dL}$ to reinforce the infrastructure for environmental lead exposure prevention for those at high risk. Meanwhile, coordination among the relevant departments of the Executive Yuan to control the distribution and disposal of lead-containing products, and improving the status of health disparities and inequalities of the general people are also recommended to further prevent environmental lead exposure.

Keywords: preschool children, blood, lead

前言

鉛是存在於地殼中的微量金屬元素，但在環境中的暴露隨處可見，大部分是因人為活動而產生，例如燃燒石化燃料、採礦、工業製程等，環境中的鉛濃度因而在過去的三個世紀提高了一千倍(ASTDR, 2007)。最大增幅發生在 1950 至 2000 年間，正好反映了全球廣泛使用有鉛汽油的時期。

鉛暴露途徑可能包括食入受鉛污染之食物或水，或是吸入受鉛污染的土壤粉塵。吸入性鉛暴露是主要的職業暴露途徑，一般大眾的鉛暴露主要途徑則為食入。對兒童而言，含鉛的玩具、裝飾品，或是有受到鉛污染的灰塵，都可能是鉛的暴露來源，所以兒童鉛暴露途徑以食入為主(WHO 1995)。

鉛毒性危害影響主要是神經系統，包括手指、手腕、關節無力等神經功能的障礙，也可能造成高血壓或腦和腎臟的疾病。若是孕婦暴露到高濃度的鉛，也可能會造成流產(Goyer and Clarkson, 2001)。至於兒童，由於其生理機制和行為特性，使其受鉛暴露的機會更大，且他們對鉛的易感受性也比成人高(WHO 1995)。在懷孕母親體內的胎兒就會受到鉛的暴露，嬰兒時期可能會藉由哺乳、餵食或喝水等方式讓鉛進到體內。漸漸長大的兒童可能在玩耍時暴露到來自地板或土地上的鉛粉塵，這些活動使得兒童比成人更易受到鉛暴露。在嬰兒時期或兒童時期暴露到鉛可能導致氣喘、神經系統受損、腎臟病變、維生素 D 代謝失調(Goyer and Clarkson, 2001)。另外，不管是在子宮時期或嬰兒時期受到鉛暴露都會導致神經發展遲緩、神經行為的缺失，包括智商降低、出生體重減輕、孕期縮短、生長遲緩、女童發育遲緩等現象(ASTDR, 2007)。

雖然世界衛生組織(WHO)與美國疾病管制局(US CDC)均建議兒童血中鉛濃度參考限值為 10 $\mu\text{g}/\text{dL}$ ，但近年來陸續有相關研究指出當兒童的血中鉛濃度小於 10 $\mu\text{g}/\text{dL}$ 的情況下，對於智力發展仍可能有負面的影響(Kordas et al. 2006, Yang et al. 2002, Wang et al. 2002)。其他與生命早年兒童期鉛暴露有關的健康影響指標還包括注意力不足過動症(ADHD)、罹患疾病、攻擊性與違法犯罪(aggression and delinquency)、牙齒健康損傷，以及性成熟延遲等(Bellinger 2011)。目前為止也尚未有證據顯示鉛所引起的不良健康效應是否有安全閾值，亟需進一步瞭解低濃度鉛暴露可能帶來的影響(Jedrychowski et al., 2009; Jusko et al., 2008; Levin et al., 2008)。

學齡前兒童血中鉛的研究方面，從國外的研究文獻整理可看出各國學齡前兒童血中鉛濃度逐年降低的變化趨勢，與各國的經濟發展、教育水準及國民健康水準有很大的關係(Ahamed et al., 2008; Huo et al., 2007; Jarosińska et al., 2006; Schnaas et al., 2006; Tong et al., 2000)。以聯合國開發計畫署(UNDP)的各國「人類

發展指數(HDI, Human Development Index)」分組來看(UNDP, 2009)，圖一顯示近二十年來非常高度人類發展指數國家之學齡前兒童的血中鉛濃度自4~6 $\mu\text{g}/\text{dL}$ 逐年下降至近年的1.5~2.5 $\mu\text{g}/\text{dL}$ 左右。而高度人類發展指數國家的學齡前兒童血中鉛濃度也自8~12 $\mu\text{g}/\text{dL}$ 下降到2~6 $\mu\text{g}/\text{dL}$ 左右的範圍，但降幅較不明顯。而中度人類發展指數國家的學齡前兒童血中鉛濃度隨時間變化趨勢較緩，且變化的趨勢並不明顯，血中鉛值仍普遍偏高在4~10 $\mu\text{g}/\text{dL}$ 。

在國內的血中鉛研究較少見學齡前兒童的調查，先前的一些臍帶血中鉛研究顯示，臺灣地區汽油中鉛含量，自民國79年到89年間由使用有鉛汽油過渡到使用無鉛汽油後，臍帶血中鉛濃度平均值已自76年測得的7.48 $\mu\text{g}/\text{dL}$ ，下降至81年的3.28 $\mu\text{g}/\text{dL}$ 、94年的1.40 $\mu\text{g}/\text{dL}$ (劉俊宏等, 2009)。另外，也有一些以學童為主的血中鉛研究，例如1994年在澎湖縣的研究結果顯示，學童平均血中鉛濃度為 6.0 ± 2.4 $\mu\text{g}/\text{dL}$ (Yang et al., 2002)，1998-1999年在高雄市的研究結果則指出，學童血中鉛濃度平均為 5.5 ± 1.9 $\mu\text{g}/\text{dL}$ (Wang et al., 2002)。

由國內外的相關調查研究結果顯示，過去三十年因為禁用有鉛汽油、含鉛油漆、焊料等相關製品，已使得環境中的鉛暴露逐漸減少，血中鉛濃度也隨之降低(Lanphear 2007)。目前對鉛暴露危害的關注已轉為長時間低濃度暴露所帶來的健康效應。有鑑於我國尚缺乏具代表性之學齡前兒童族群的血中鉛分布資料，以及對低背景值下鉛暴露影響因素的瞭解，本研究欲以具代表性之樣本群體的血中鉛濃度分析來瞭解目前台灣兒童鉛暴露之情形，作為預防長期低濃度鉛暴露危害的基礎。

研究方法：

本研究之研究個案招募以國內區、市、鎮、鄉各級行政地區為基礎，進行分層隨機集束選取具代表性之各級行政區域內幼稚園中、大班學齡前兒童參與本研究。首先以區、市、鎮、鄉為基本抽樣單位(primary sampling unit)，將臺灣地區 369 個基本行政區域分成區、市、鎮、鄉四級，各級行政區域再以隨機取樣方式選取參與本研究之行政區域。被採樣之各行政區內再依教育部登錄有案的幼稚園名單依序詢問有合作意願的幼稚園，納入本研究計畫。各合作之幼稚園代為詢問研究個案及其家長的意願，同意參加者須經家長簽署同意書後才納入成為本研究的研究個案。

研究個案資料蒐集方面，係以結構式問卷來蒐集研究個案個人與家庭背景資料、鉛暴露來源，以及進行研究個案注意力評估等。主要內容包括以下面向：(1)

家庭及社會經濟因素，如籍貫、家庭成員、父母教育程度、家庭收入與父母工作等；(2)新生兒出生資料，如早產、出生體重、出生併發症、出生重大疾病、分娩方式，以及過動兒、自閉症或發育遲緩診斷等；(3)居住環境，如居家附近工廠、距離馬路幹道遠近、家中使用化學藥劑或豢養寵物、家中燒香拜拜等；(4)兒童衛生習慣，如以手就口、地上玩耍、爬行等。

血液檢體採集工作由合格之小兒科醫師或護士至各幼稚園進行血液採樣，主要以採血針及含抗凝劑 Heparin 之 10 ml 真空採血管採集手臂靜脈血，每名研究個案約採集 3-5 ml 血液樣本。已採集之血液樣本置於冷藏桶中帶回實驗室，並集中貯存於-20°C 冰箱中保存。

進行血中鉛濃度分析前，先將置於冰箱中之血液樣本取出，在室溫下輕輕轉動讓血液樣本回溫至常溫狀態下。每支血液樣本分析時，取 0.5 ml 血液樣本加上 4.5 ml 的基質修釋劑(去離子水中含 ammonia 1.25 g/L、Triton X-100 0.5 g/L 和 EDTA 0.5 g/L)，經充分均勻混合後，利用針頭過濾器將均勻稀釋混合過的血液樣本溶液以濾片過濾。之後再將過濾液以分析小管盛裝，利用感應耦合電漿質譜儀(ICP-MS, Agilent 7500c)來量測樣本中鉛濃度。本實驗室血中鉛濃度分析除進行一般品管程序外，也持續參加美國疾病管制局(US CDC)所提供的能力比試(Proficiency Test)，同步進行樣本分析準確度(Accuracy)確認，並且都能通過評核。

統計資料分析工作包括：(1)描述性資料分析，如血中鉛濃度分布曲線與累積分布曲線，地區、籍貫、父母親教育程度、家庭收入與父母親工作等觀察變項下研究個案的人數分布情形，以及相對應的血中鉛濃度分布情形；(2)分析性資料分析，如相關矩陣分析(Correlation Matrix Analysis)，將基本人口學資料、社會經濟地位、嬰幼兒健康照護情形及居住環境可能的鉛暴露因素，與研究個案的血中鉛濃度作相關性分析；以 t-test 或 ANOVA 配合 Scheffe 事後檢定方法比較行政等級、籍貫、社會經濟地位或環境潛在鉛暴露等級間學齡前兒童血中鉛濃度之差異情形；以線性回歸分析比較學齡前兒童血中鉛濃度與人口學特性、社經狀況、居住地區、住家居住環境鉛暴露因子等因素之間的關係。

結果：

本研究共訪視了 44 個區、市、鎮、鄉行政區域，依序聯絡了 106 家幼稚園，其中 85 所幼稚園同意參與本計畫。扣除因天候因素、時間未能配合等因素致未能完成訪視的幼稚園，總共有 80 家幼稚園配合參與本次研究計畫。1,161 位同意參與本計畫的學齡前兒童中，扣除改變心意不再參加、抽血當日缺勤，或是臨陣心

生畏懼不願意抽血的個案，總共有 934 位學齡前兒童參與本研究。

北部參與之幼稚園數 17 所(21.3%)，研究個案樣本數 318 人(34.0%)，中部 18 所(22.5%)、155 人(16.6%)，南部 25 所(31.3%)、254 人(27.2%)，東部 11 所(13.8%)、152 人(16.3%)，離島 9 所(11.3%)、55 人(5.9%)。依區、市、鎮、鄉別來看，分別有 286 人、299 人、168 人、181 人參與本研究。表一資料顯示，研究個案平均年齡為 5.74(±0.77)歲、平均體重 21.1(±4.58)公斤、平均身高 113.6(±7.96)公分，男生(50.2%)較女生人數稍多。

研究個案之平均血中鉛濃度幾何平均值為 1.86 µg/dL(幾何標準差 1.55)。最小值 0.42 µg/dL、第 5 百分位數 0.93 µg/dL、第 25 百分位為 1.40 µg/dL、中位數 1.84 µg/dL、第 75 百分位為 2.43 µg/dL、第 95 百分位為 3.81 µg/dL、最大值 15.5 µg/dL，且有兩位研究個案之血中鉛濃度值超過世界衛生組織(WHO)所建議之 10 µg/dL 安全值標準。圖二之學齡前兒童血中鉛濃度分佈曲線顯示，研究個案之血中鉛濃度分布多數集中在低濃度範圍，整體分佈呈現向右尾高濃度方向延伸(skewed to right)。

表一結果也顯示研究個案父親為原住民之平均血中鉛濃度(2.36 µg/dL)顯著高於父親為外省(1.65 µg/dL)、客家(1.65 µg/dL)和閩南(1.86 µg/dL)族裔背景之研究個案；相同分佈趨勢亦見於研究個案母親族裔背景(資料未呈現)，且研究個案母親為大陸或外籍配偶，其血中鉛濃度亦明顯較高(2.23 µg/dL)。父親職業為林漁牧業(2.34 µg/dL)、其他服務業(如保全、汽車美容保養、汽車修護)(2.32 µg/dL)、農(2.20 µg/dL)、運輸通信業(2.03 µg/dL)、製造業/營造業(2.01 µg/dL)之研究個案平均血中鉛濃度顯著高於父親職業為專門服務業者之平均血中鉛濃度(1.55µg/dL)。研究個案家庭平均月收入為 1~3 萬元之研究個案平均血中鉛濃度 2.12 µg/dL 顯著高於家庭平均月收入為 5~8 萬元(1.75 µg/dL)或 8~12 萬元(1.62µg/dL)以上者之平均血中鉛濃度。家中有燒香拜拜習慣者之平均血中鉛濃度(1.92 µg/dL)顯著高於沒有燒香拜拜習慣者(1.70 µg/dL)，且有家裡燒香拜拜的頻率與研究個案血中鉛濃度亦呈正相關。

就地理區域而言，表二結果顯示離島研究個案之平均血中鉛濃度 2.59 µg/dL 顯著高於北部之 1.53 µg/dL、南部之 1.92 µg/dL 與東部之 1.95 µg/dL。鎮(2.18 µg/dL)、鄉(2.17 µg/dL)級行政區域的研究個案血中鉛濃度平均值普遍較區(1.57 µg/dL)、市(1.82 µg/dL)級行政區域要高。以各縣市別來看，金門縣(2.80 µg/dL)、彰化縣(2.53 µg/dL)、連江縣(2.51 µg/dL)、台東縣(2.48 µg/dL)和澎湖縣(2.46 µg/dL)等縣之研究個案平均血中鉛濃度顯著高於桃園縣(1.28 µg/dL)、新竹市(1.32 µg/dL)、台北市(1.49 µg/dL)、和花蓮縣(1.67 µg/dL)。

統計相關分析(correlation analysis)顯示，血中鉛濃度與研究個案家中其他兄弟姐妹數呈現弱相關($r=0.1$ ， $p=0.0017$)，與家庭平均月收入($r=-0.21$)、父親教育程度($r=-0.26$)和母親教育程度($r=-0.22$)則呈負相關(p 皆 <0.0001)。

若將以上統計檢定與血中鉛濃度有顯著相關之變項同時納入複回歸模式進行分析，則血中鉛濃度與地區別、區市鎮鄉別、縣市別、家庭平均月收入和父親職業具統計上顯著相關性(表三)。且其中區市鎮鄉別和家庭平均月收入對血中鉛濃度的影響程度會受地區別의 交互作用干擾。區市鎮鄉別和地區別間交互作用影響的結果顯示，北部區域鄉和市等級之行政區域的平均血中鉛濃度顯著高於區和鎮等級研究個案平均血中鉛濃度；中部區域則是鄉和鎮等級高於區等級；東部區域為鄉和鎮等級高於市等級(圖三)；地區別和家庭平均月收入間之交互作用對研究個案血中鉛濃度分佈之影響則顯示，東部和離島區域研究個案的血中鉛濃度受家庭平均月收入的影響程度明顯高於北部地區。

討論：

根據內政部統計通報(許雅玲, 2011)及教育部全國幼教資訊網(教育部, 2011)所彙整的資料顯示, 96學年至99學年度間5歲幼兒入學幼稚園率在89-94%之間, 比例相當高(表四)。因此, 本研究以幼稚園學齡前兒童為主要研究對象, 進行分層隨機集束取樣所獲得的研究個案樣本, 雖不能絕對代表國內全部五至七歲學齡前兒童母全體, 但也具有相當代表性。

先前文獻探討曾提及1994年澎湖縣的學童血中鉛平均濃度為 6.0 ± 2.4 $\mu\text{g}/\text{dL}$ (Yang et al., 2002), 1998至1999年高雄市學童血中鉛研究平均濃度為 5.5 ± 1.9 $\mu\text{g}/\text{dL}$ (Wang et al., 2002)。鑑於學齡前兒童血中鉛濃度會比學齡兒童略高(USCDC 2011a), 因此, 以上述兩項研究的學齡兒童血中鉛濃度為基準, 推斷當年國內的學齡前兒童血中鉛濃度應相當或約略高於這兩項研究的學童血中鉛濃度值。而本次研究的學齡前兒童血中鉛濃度幾何平均值為 1.86 $\mu\text{g}/\text{dL}$, 相較於上述兩項在澎湖縣與高雄市所進行的學童血中鉛濃度調查, 並考量學齡前兒童與在學學童年紀差異對血中鉛濃度的影響, 顯示這12~17年間, 學齡前兒童血中鉛濃度降低的幅度約略在 3.6 ~ 4.1 $\mu\text{g}/\text{dL}$ 之間, 或更大一些。這兩項研究的在學學童在研究進行當時若都假設為十歲左右年紀, 則他們應相當於1984與1988至1989前後的出生世代。再參照1987年在台北市所進行的臍帶血中鉛濃度監測平均值 7.48 $\mu\text{g}/\text{dL}$, 2005年全台的臍帶血中鉛濃度監測值 1.40 $\mu\text{g}/\text{dL}$ (劉俊宏等, 2009)。相較之下, 臍帶血中鉛濃度降低幅度也約略在 6 $\mu\text{g}/\text{dL}$ 左右。這一時期正好跨越1990~2000年間臺灣地區由有鉛汽油轉變為完全使用無鉛汽油的階段, 不論學齡前兒童或是臍帶血中鉛濃度在這一段期間都明顯反應了改用無鉛汽油所產生的環境鉛暴露減少的影響。

同時, 相較於文獻探討中所提及的各國學齡前兒童血中鉛濃度分佈資料, 此次國內學齡前兒童血中鉛濃度監測結果與非常高人類開發指數國家相當。以美國而言, 2005至2010年間學齡前兒童血中鉛濃度維持在 1.3 ~ 1.5 $\mu\text{g}/\text{dL}$ 左右(USCDC 2010), 本次研究國內的監測值 1.86 $\mu\text{g}/\text{dL}$ 僅比他們略高一些, 顯示國內在整體鉛暴露環境的控制上並未明顯落後於先進國家, 但整體環境背景鉛暴露情形可能仍遜於美國, 致使國內學齡前兒童血中鉛濃度略比美國要高。

另外, 美國歷年國民健康營養調查(NHANES)結果顯示, 1至5歲學齡前兒童血中鉛濃度大於 10 $\mu\text{g}/\text{dL}$ 的比例從1976~1980年代高達87%, 大幅下降至1988~1991年代的7.8%, 1999~2004年間更下降到1.4%, 到2008年已僅0.83%。我們國內這方面資料並不齊全, 無法做相對應比較。但在本研究計畫的結果顯示, 僅有0.21%(2位)研究個案的血中鉛濃度值明顯超過 10 $\mu\text{g}/\text{dL}$, 另外超過 5 $\mu\text{g}/\text{dL}$ 的研究個案數也只有

1.50%(14位)，顯示國內的學齡前兒童血中鉛濃度偏高的情形並不多(圖二)。

根據文獻探討歸納結論顯示，各國學齡前兒童血中鉛濃度逐年降低的變化趨勢，與各國的經濟發展、教育水準及國民健康水準有很大的關係(Ahamed et al., 2008; Huo et al., 2007; Jarosińska et al., 2006; Schnaas et al., 2006; Tong et al., 2000)。人類發展指數愈高的國家，近十年來的學齡前兒童鉛暴露情形愈低。這也反應出知識教育水準較高、國力較強盛、經濟情況較佳的國家或地區，其對整體污染產業的管制、環境保護與職場安全衛生意識較強，因此能有較積極有效的健康保護政策，以防護、減少環境鉛暴露。相同現象也反應在國內的學齡前兒童血中鉛濃度的分布，都會等社會經濟地位較高地區，例如北部或區/市等級之行政區域，其學齡前兒童血中鉛濃度明顯低於經濟弱勢的地區，例如東部、離島地區，或是鎮/鄉等級之行政區域。這些學齡前兒童血中鉛濃度的差異原因，簡單來說應該是與他們所處的環境背景鉛濃度有關，例如研究個案父母親的工作環境暴露所導致的間接鉛暴露，或是住家附近工廠排放的含鉛物質，乃至住家或附近環境中殘存的鉛塵。但這些環境背景鉛濃度並不容易從單一或少數因子來解釋，但會透過社會經濟地位反應出來。例如本研究的分析結果即顯示，相關影響學齡前兒童血中鉛濃度的因素包括父母親的教育程度背景、家庭收入、住家環境水準、職業與工作內容等。這些導因於社會經濟地位差異影響所產生的學齡前兒童血中鉛濃度變異情形，也可以簡稱為健康不平等(Health Disparities and Inequalities)的影響。美國疾病管制局(USCDC)即曾對健康不平等提出研究報告，指出社會經濟地位、種族、教育、性別、居住及工作環境等與人民健康受到的影響極有關係(USCDC 2011b)。其中也提及環境危害因素，如住家環境衛生、空氣品質等也都是影響健康不平等的因素。以本計畫研究結果來看，也可將眾多影響學齡前兒童血中鉛濃度分布的因素歸結為健康不平等的現象。因此未來進一步的防制學齡前兒童鉛暴露的工作也應從健康不平等這個角度來思考，特別是教育方面。因為教育是決定工作與收入的重要因子，對多數人而言，教育程度反應了家庭物質與其他資源，以及年輕人能獲得的知識與技能。因此，教育對每個人的人生有長期影響，也包括對成年後健康狀況的影響。而且，收入是衡量物質資源的最直接工具，收入可藉由其對生活水準的直接效應來影響健康，例如獲取更佳的食物與住居、休閒活動與健康照護服務等(US CDC 2011b)。

歐盟的一項統整研究顯示，兒童血中鉛濃度的降低與環境和食物中鉛含量有關(Bierkens et al. 2011)。該研究評估，空氣中鉛濃度因無鉛汽油的使用後已不是重要的血中鉛影響因素。未來若要能有效地預測人體血中鉛濃度的變化趨勢，環境

土壤中鉛、室內粉塵、食物與飲水中鉛會是血中鉛濃度的重要影響因素。需要有完整的綜合性環境研究調查，才能進一步釐清或預測人體鉛濃度變化。特別是針對兒童的系統性整合監測計畫是十分需要的，以期能辨識、定量及降低鉛暴露的殘存來源。

除了一般性環境鉛暴露來源外，特殊鉛暴露來源也是造成學齡前兒童個別高血中鉛濃度的主要因素。這類高血中鉛個案不容易以統計分析歸納原因，必須以個案調查方式，探討其個別的鉛暴露原因。例如在美國紐約市的一項研究即顯示，在美國六歲以下兒童鉛暴露的來源主要因素是含鉛油漆。另外，移民族群的文化特性也是重要原因，再如美國紐約市一位柬埔寨移民兒童因長期配戴來自其祖國的辟邪物，造成持續鉛暴露，以致血中鉛濃度超過 $20 \mu\text{g}/\text{dL}$ (USCDC 2011c)。這項調查結果提醒在尋找個案的鉛暴露來源時，必須針對種族、文化影響下一些特殊的可能暴露形式進行瞭解，以協助判斷引起高血中鉛的原因。例如，國內先前也有許多案例因服用鉛含量過高的八寶粉或中草藥造成高血中鉛濃度健康影響，但在本研究中並無法以統計方法歸納整理出服用這些漢方中草藥對學齡前孩童血中鉛濃度分佈有何影響。此現象說明在國內服用這些漢方中草藥造成的鉛暴露應是個案為主，而非普遍性的鉛暴露來源，因此對這類型的鉛暴露來源調查時，也就必須特別謹慎。

有鑑於環境鉛暴露雖已逐年降低，但低血中鉛值的潛在健康危害仍是目前所關注的重點(Bellinger 2011)。為了能夠有效掌握國民健康受環境鉛污染影響的程度，國內衛生主管單位應針對國民生活健康環境影響因素進行持續的生物指標監測計畫，像是美國國家健康營養調查(NHANES) (USCDC 2011a)，或是法國生物監測系統(French Human Biomonitoring (HBM) Programme) (Fréry et al. 2011)，以人體生物檢體為介質，如血液、唾液、尿液等，針對環境中可能的鉛或其他金屬或化學污染物進入人體的成分與含量進行定期偵測。就以鉛暴露監測而言，這樣的監測系統不僅可定期提供學齡前兒童血中鉛濃度變化的背景值，同時也可提供長期評估基礎，作為鉛暴露防治策略擬定與執行的依據，以有效改善高暴露風險族群的環境鉛暴露(Scott and Nguyen, 2011)。同時，這樣的監測系統可以是新設或是現有監測系統的延伸，例如國內現有的國民營養調查計畫就是現有可擴充或延伸的重要監測基礎。重要的是這樣的監測系統能與其他相關監測系統或資料庫應有可以整合的平台，像是國民營養調查中，有關飲食中金屬成分的資訊，就應該能連結使用，讓血中鉛的監測結果能有機會作更完整、周延的解釋與說明。同時這樣的監測系統，也應與國家環境監測體系有共同溝通平台，如食物、空氣、水、環

境動植物檢體中的鉛濃度分佈變異情形，以便瞭解環境中鉛或其他金屬的流布與血中鉛的監測結果是否有關，作為環境鉛暴露防制的重要依據。

有關血中鉛監測警戒值方面，雖然世界衛生組織(WHO)與美國疾病管制局(US CDC)對於兒童血中鉛濃度參考限值設定為10 µg/dL。但先前章節已提到近年來許多相關研究指出當兒童的血中鉛濃度小於10 µg/dL的情況下，對於智力發展有負面影響，甚或造成疾病(Bellinger 2011)。因此現今有關於學齡前兒童血中鉛監測警戒值的設定不應受限於此傳統兒童血中鉛濃度參考限值10 µg/dL。在美國，有學者提出對學齡前兒童鉛暴露介入性防治工作之血中鉛參考閾值應降至5 µg/dL (Iqbal et al., 2008)。尤有甚者，另有研究指出是項警戒值應降低為2 µg/dL (Gilbert et al., 2006)。就國內情形而言，本研究指出學齡前兒童血中鉛濃度大於4 µg/dL、3 µg/dL的盛行率分別為3.6%、12.6%(圖二)。因此，就防制學齡前兒童鉛暴露之目的，以及行政執行可行性而言，國內學齡前兒童血中鉛監測警戒值應可逐步往下調降至4 µg/dL，目標族群為約3.6%的學齡前兒童，將其作為輔導改善環境鉛接觸、減少鉛暴露的主要對象。同時並可考慮以3 µg/dL為「動作閾值(action level)」，以此相對較嚴格的警戒值提醒家長及衛生人員，超過此警戒值的學齡前兒童比常人有更多的鉛暴露，需更加費心注意環境、飲食或家人工作上鉛暴露來源的辨識與防範，以有效防治長期低鉛濃度暴露的健康危害。

參考文獻：

許雅玲。內政部統計通報－幼托現況分析與整合探討，2011。

教育部。教育部全國幼教資訊網－5歲幼兒免學費教育計畫，2011。

劉俊宏、吳惠瑋、陳保中、郭育良、黃耀輝。臺灣地區新生兒臍帶血中元素濃度分佈初探，*臺灣衛誌* 2009;28(5):420-434。

Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR). Toxicological Profile for Lead, 2007. Available at: <http://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp13.html>. Accessed October 2, 2011.

Ahamed M, Verma S, Kumar A, Siddiqui MK. Blood Lead Levels in Children of Lucknow, India. *Environmental Toxicology* 2010, 25(1): 48–54.

Bellinger DC. The protean toxicities of lead: new chapters in a familiar story. *Int J Environ Res Public Health*. 2011;8(7):2593-628.

Bierkens J, Smolders R, Van Holderbeke M, Cornelis C. Predicting blood lead levels from current and past environmental data in Europe. *Sci Total Environ* 2011; 409(23): 5101-5110.

Fréry N, Vandentorren S, Etchevers A, Fillol C. Highlights of recent studies and future plans for the French human biomonitoring (HBM) programme. 2011 *Int J Hyg Environ Health*. 2011:1-6.

Gilbert SG, Weiss B. A rationale for lowering the blood lead action level from 10 to 2 ug/dL. *Neuro Toxicology* 2006;27:693-701.

Goyer RA, Clarkson TW. Toxic effects of metals. In: Klaassen CD ed. *Casarett and Doull's Toxicology — The basic science of poisons*. McGraw-Hill, New York, 2001.

Huo X, Peng L, Xu X, Zheng L, Qiu B, Qi Z, Zhang B, Han D, and Piao Z. Elevated blood lead levels of children in Guiyu, an electronic waste recycling town in China. *Environmental Health Perspectives* 2007;115: 1113-1117.

Iqbal S, Muntner P, Batuman V, Rabito FA. Estimated burden of blood lead levels >5 µg/dl in 1999–2002 and declines from 1988 to 1994. *Environmental Research* 2008;107: 305-311.

Jarosińska D, Biesiada M, Muszyńska-Graca M. Environmental burden of disease due to lead in urban children from Silesia, Poland. *Science of the Total Environment* 2006;367:71-79.

Jedrychowski, Perera W, Jankowski FP, Mrozek-Budzyn J, Mroz D, Flak E. Very low prenatal exposure to lead and mental development of children in infancy and early

childhood: Krakow prospective cohort study. *Neuroepidemiology* 2009;32: 270-278.

Jusko TA, Henderson CR, Lanphear BP, Cory-Slechta D A, Parsons PJ, Canfield RL. Blood lead concentrations < 10 microg/dL and child intelligence at 6 years of age. *Environmental Health Perspectives* 2008;116:243-248.

Kordas K, Canfield RL, Lo'pez P, Rosado JL, Vargas GG, Cebria'n ME, Rico AJ, Ronquillo D, Stoltzfus RJ. Deficits in cognitive function and achievement in Mexican first-graders with low blood lead concentrations. *Environmental Research* 2006;100:371-386.

Lanphear BP. The conquest of lead poisoning: a pyrrhic victory. *Environmental Health Perspectives* 2007;115:A484-5

Levin R, Brown MJ, Kashtock ME, Jacobs DE, Whelan EA, Rodman J. Lead exposures in U.S. children, 2008: implications for prevention. *Environmental Health Perspectives* 2008;116:1285-1293.

Schnaas L, Rothenberg SJ, Flores M, Martinez S, Hernandez C, Osorio E, Velasco SR, and Perroni E. Reduced intellectual development in children with prenatal lead exposure. *Environ Health Perspect.* 2006 , 114(5): 791–797.

Scott LL, Nguyen LM. Geographic region of residence and blood lead levels in US children: results of the National Health and Nutrition Examination Survey. *Int Arch Occup Environ Health.* 2011 Jun;84(5):513-22.

Tong S, Schirnding YE, Prapamontol T. Environmental lead exposure: a public health problem of global dimensions. *Bulletin of the World Health Organization* 2000;78:1068-1077.

UNDP, United Nations Development Programme, Summary Human Development Report 2009 at <http://www.undp.org/>.

USCDC. Fourth National Report on Human Exposure to Environmental Chemicals, Updated Tables. Department of Health and Human Services Centers for Disease Control and Prevention, Atlanta, Georgia, 2010.

USCDC. Fourth National Report on Human Exposure to Environmental Chemicals, Updated Tables. Department of Health and Human Services Centers for Disease Control and Prevention, Atlanta, Georgia, 2011a.

USCDC. Health Disparities and Inequalities Report — United States, 2011. *MMWR* / January 14, 2011b / Vol. 60 / No. 3: 22-27.

Wang CL, Chuang HY, Ho CK, Yang CY, Tsai JL, Wu TS, Wu TN. Relationship between blood lead concentrations and learning achievement among primary school children in

Taiwan. Environmental Research, Section A 2002;89:12-18.

WHO. Environmental Health Criteria 165 — Inorganic lead. World Health Organization, Geneva, 1995.

Yang T, Wu TN, Hsu SW, Lai CH, Ko KN, Liou SH. Blood lead levels of primary-school children in Penghu County, Taiwan: distribution and influencing factors. Int Arch Occup Environ Health 2002;75:528-534.

表一、研究個案人口學資料、環境暴露因子與血中鉛濃度分布($\mu\text{g/dL}$)

| 變項 | 樣本數 | 幾何平均值 (幾何標準差) | P-value |
|---------|-----|------------------|---------|
| 血中鉛濃度 | 930 | 1.86(1.55) | |
| 年齡 | 934 | | |
| 身高 | 662 | | |
| 體重 | 755 | | |
| 性別 | | | 0.25 |
| 女 | 462 | 1.82(1.54) | |
| 男 | 468 | 1.90(1.57) | |
| 父親籍貫 | | | <0.0001 |
| 閩南 | 742 | 1.86(1.55) | |
| 客家 | 63 | 1.65(1.63) | |
| 外省 | 60 | 1.65(1.45) | |
| 原住民 | 53 | 2.36(1.49) | |
| 大陸及外國籍 | 12 | 1.60(1.51) | |
| 父親學歷 | | | <0.0001 |
| 識字/小學 | 17 | 2.29(1.46) | |
| 國中 | 109 | 2.12(1.52) | |
| 高中職 | 323 | 1.97(1.57) | |
| 專科 | 188 | 1.79(1.52) | |
| 大學 | 147 | 1.62(1.51) | |
| 研究所/以上 | 94 | 1.51(1.51) | |
| 父親職業 | | | <0.0001 |
| 農 | 55 | 2.20(1.51) | |
| 林漁牧 | 25 | 2.34(1.51) | |
| 製造業/營造業 | 245 | 2.01(1.55) | |
| 商業 | 107 | 1.73(1.51) | |
| 運輸通信業 | 52 | 2.03(1.63) | |
| 金融保險房仲業 | 22 | 1.63(1.68) | |
| 公共行政業 | 118 | 1.88(1.51) | |
| 個人服務業 | 87 | 1.68(1.46) | |
| 專門服務業 | 165 | 1.55(1.52) | |
| 家管 | 3 | 1.92(1.45) | |
| 文化/自由業 | 10 | 2.03(1.52) | |
| 其他服務業 | 19 | 2.32(1.55) | |
| 其他 | 22 | 2.20(1.67) | |

表一、研究個案人口學資料、環境暴露因子與血中鉛濃度分布
($\mu\text{g/dL}$) (續)

| 變項 | 樣本數 | 幾何平均值 (幾何標準差) | P-value |
|----------|-----|------------------|---------|
| 家庭平均月收入 | | | <0.0001 |
| 1 萬元以下 | 34 | 2.01(1.68) | |
| 1~3 萬元 | 170 | 2.12(1.62) | |
| 3~5 萬元 | 235 | 1.92(1.51) | |
| 5~8 萬元 | 218 | 1.75(1.52) | |
| 8~12 萬元 | 163 | 1.62(1.54) | |
| 12~20 萬元 | 41 | 1.57(1.36) | |
| 20 萬元以上 | 8 | 1.65(1.42) | |
| 母懷孕時服用中藥 | | | 0.23 |
| 否 | 657 | 1.86(1.57) | |
| 是 | 217 | 1.79(1.52) | |
| 小朋友服用中藥 | | | 0.64 |
| 否 | 506 | 1.82(1.55) | |
| 是 | 372 | 1.86(1.55) | |
| 燒香拜拜習慣 | | | 0.0001 |
| 沒有 | 295 | 1.70(1.52) | |
| 有 | 562 | 1.92(1.55) | |
| 距大馬路 | | | 0.79 |
| 0.5 公里內 | 552 | 1.79(1.54) | |
| 0.5-1 公里 | 155 | 1.84(1.58) | |
| 1-2 公里 | 45 | 1.82(1.54) | |
| 2-3 公里 | 22 | 1.93(1.51) | |
| 3 公里以上 | 17 | 1.95(1.67) | |
| 焚化爐 | | | 0.99 |
| 否 | 642 | 1.84(1.57) | |
| 是 | 95 | 1.84(1.51) | |
| 農藥製造工廠 | | | 0.85 |
| 否 | 708 | 1.84(1.55) | |
| 是 | 6 | 1.92(2.94) | |
| 鋼鐵銅礦產工廠 | | | 0.18 |
| 否 | 666 | 1.84(1.55) | |
| 是 | 61 | 1.99(1.72) | |

表二、地區別與行政區域別研究個案血中鉛濃度分布($\mu\text{g/dL}$)

| 變項 | 樣本數 | 幾何平均值 (幾何標準差) | P-value |
|-------|-----|------------------|---------|
| 地區別 | | | <0.0001 |
| 北部 | 318 | 1.53(1.45) | |
| 中部 | 155 | 2.20(1.51) | |
| 南部 | 253 | 1.92(1.63) | |
| 東部 | 150 | 1.95(1.46) | |
| 離島 | 54 | 2.59(1.45) | |
| 區市鎮鄉別 | | | <0.0001 |
| 區 | 286 | 1.57(1.48) | |
| 市 | 297 | 1.82(1.51) | |
| 鎮 | 166 | 2.18(1.57) | |
| 鄉 | 181 | 2.17(1.60) | |
| 縣市別 | | | <0.0001 |
| 台北市 | 102 | 1.49(1.36) | |
| 台北縣 | 109 | 1.83(1.40) | |
| 桃園縣 | 30 | 1.28(1.54) | |
| 新竹市 | 77 | 1.32(1.45) | |
| 苗栗縣 | 16 | 2.03(1.27) | |
| 台中市 | 30 | 1.78(1.62) | |
| 台中縣 | 24 | 2.29(1.39) | |
| 彰化縣 | 12 | 2.53(1.26) | |
| 南投縣 | 48 | 2.46(1.60) | |
| 雲林縣 | 25 | 2.20(1.43) | |
| 嘉義縣 | 76 | 1.80(1.86) | |
| 台南市 | 52 | 1.77(1.57) | |
| 台南縣 | 5 | 2.10(1.45) | |
| 高雄市 | 57 | 1.84(1.42) | |
| 高雄縣 | 28 | 2.23(1.39) | |
| 屏東縣 | 35 | 2.39(1.46) | |
| 宜蘭市 | 62 | 1.79(1.45) | |
| 花蓮縣 | 37 | 1.67(1.34) | |
| 台東縣 | 51 | 2.48(1.40) | |
| 金門縣 | 21 | 2.80(1.34) | |
| 連江縣 | 14 | 2.51(1.57) | |
| 澎湖縣 | 19 | 2.46(1.49) | |

表三、血中鉛濃度與相關變項之複迴歸分析結果

| 變項 | DF | Type III SS | Mean Square | F Value | p |
|---------------|----|-------------|-------------|---------|---------|
| 地區別 | 4 | 21.48 | 5.37 | 37.99 | <0.0001 |
| 地區別 x 區市鎮鄉別 | 11 | 12.01 | 1.09 | 7.73 | <0.0001 |
| 縣市別 | 12 | 6.70 | 0.56 | 3.95 | <0.0001 |
| 家庭平均月收入 x 地區別 | 4 | 1.79 | 0.45 | 3.16 | 0.0137 |
| 家庭平均月收入 | 1 | 1.69 | 1.69 | 11.98 | 0.0006 |
| 父親職業 | 12 | 3.68 | 0.31 | 2.17 | 0.0115 |

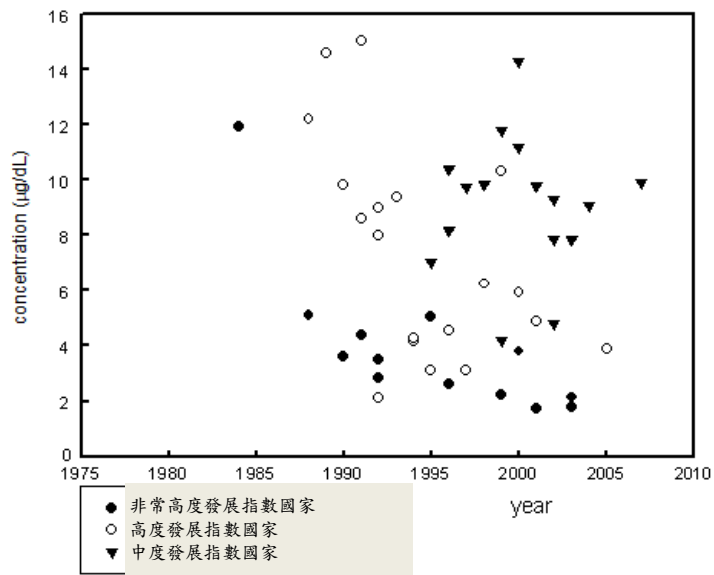
附註：'x'表兩變數間之交互作用；本分析將家庭平均月收入視為連續變數。

表四、 96-99 學年度 5 歲幼兒入學幼稚園率

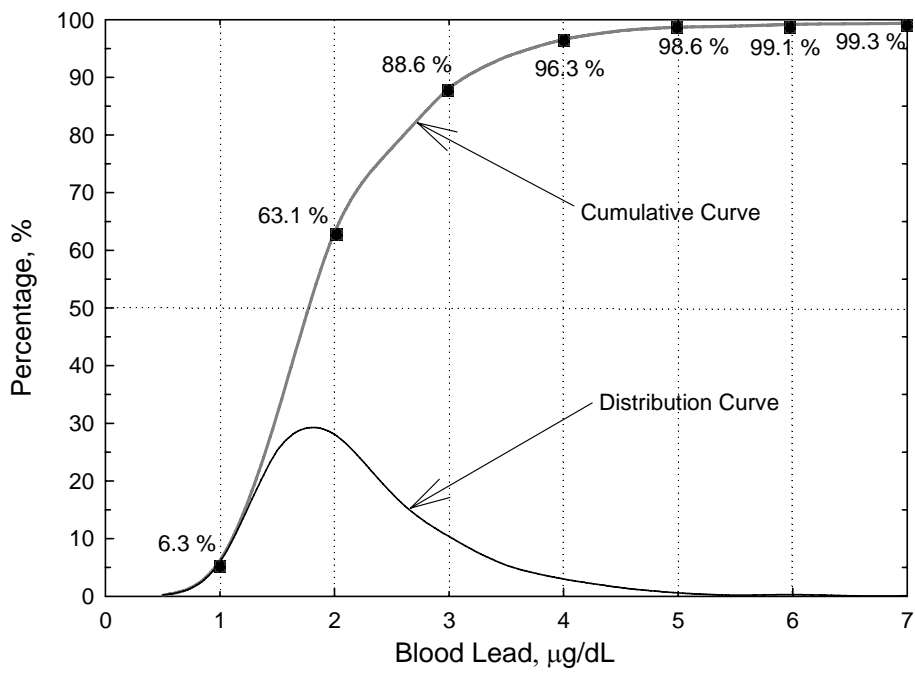
| 學年 | 5歲幼兒 年底人數 | 5歲幼兒就讀人數 | | 5歲幼兒入 園率(%) | |
|----|--------------|----------|---------------|----------------|-------------|
| | | 總計 | 幼稚園 第一學期人數 | | 托兒所 年底人數 |
| 96 | 246,419 | 219,112 | 109,035 | 110,077 | 88.9 |
| 97 | 227,647 | 208,796 | 105,596 | 103,200 | 91.7 |
| 98 | 218,335 | 205,563 | 100,105 | 105,458 | 94.2 |
| 99 | 208,559 | 193,892 | 99,010 | 94,882 | 93.0 |

說明：1.96~98學年度之入園率以第一學期為資料基準。

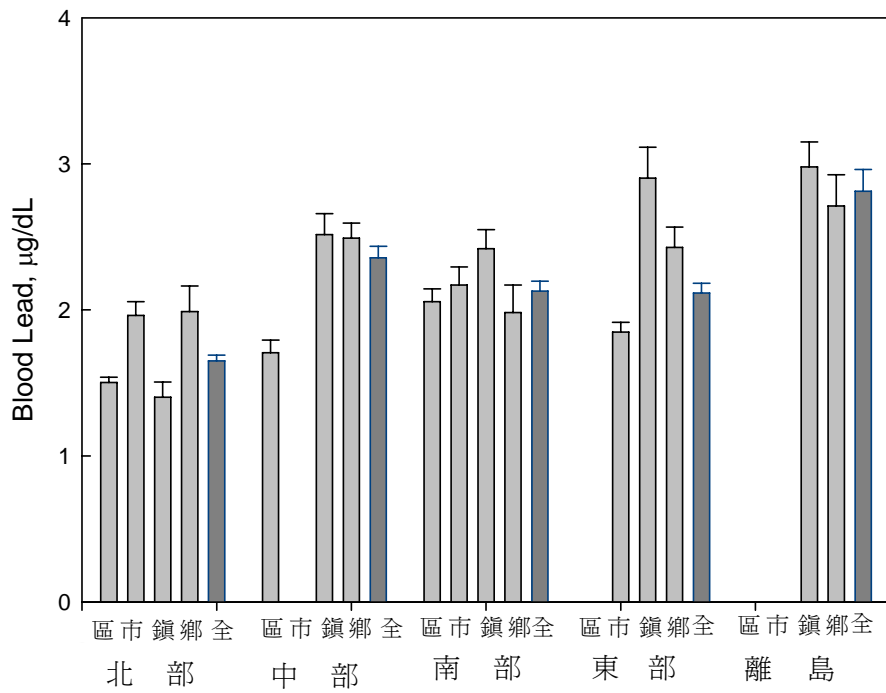
2.本表5歲幼兒入園率含幼稚園及托兒所資料。



圖一、各等級人類發展指數國家學齡前兒童血鉛濃度分布圖



圖二、學齡前兒童血中鉛濃度分布曲線與累積分布曲線



圖三：區域別與區市鎮鄉別研究個案血中前濃度分布