勞工安全衛生研究季刊 民國八十四年十月 第三卷第三期 第37-49頁

荔枝果農施藥後農藥暴露量評估

李宏萍、翁慄慎、李國欽

臺灣省農業藥物毒物試驗所

勞工安全衛生研究季刊　民國八十四年十月　第三卷第三期　第 37-49 頁

荔枝果農施藥後農藥暴露量評估

李宏萍、翁愫慎、李國欽

臺灣省農業藥物毒物試驗所

摘　要

選擇霧峰地區四位荔枝園農民，進行一季果園施藥之暴露量評估試驗，分別收集以貼布、手洗、腳洗及模擬呼吸之吸附管等方法進行皮膚及呼吸暴露量。該等農民使用八種農藥，以此八種農藥進行分析，結果顯示其皮膚接觸以臉、上臂及手的著藥量高，皮膚及呼吸之暴露量每小時接觸毒性物質之百分比 (Percentage of Toxic Dose Per Hour, PTDPH) 範圍爲 0.15（巴拉松）至 $3.2x10^{-6}$（第滅寧）之間，每天工作 2 小時之安全限量（ Margin of Safety, MOS ）之範圍由 9.74（芬殺松）至 12916.6（第滅寧）之間，每天工作 6 小時之安全限量（ MOS ）之範圍由 3.3（芬殺松）至 4305.5（第滅寧）之間。巴拉松、芬殺松、加保扶、撲滅松、陶斯松結果須加強防護；加保利、賽滅寧之噴藥使用接觸農藥較爲安全。收集噴藥後 24 小時尿液樣品以生物偵測方法，測定尿液中農藥及其代謝產物，均未測得農藥主成分，但測得農藥有機磷劑代謝產物 DEP（ diethyl phosphate ），DMTP（ dimethyl thiophosphate ），DETP（ diethyl thiophosphate ）。

關鍵詞：農藥暴露、安全評估、生物偵測

緒　言

人體對農藥之暴露途徑包括經由口服、呼吸及皮膚接觸。噴藥農民因短時間高劑量暴露於噴灑農藥之作業環境中，所造成之中毒危害常常發生。其爲害程度依農藥之劑型、種類、毒性，及本身防護設施之不同。此外噴灑農藥之作物種類（水稻田、草莓園、柑桔園等）決定施藥之方式亦是影響暴露量的重要因素。由於目前在經呼吸及皮膚吸收之農藥安全評估上尚無完整之制度，農民噴灑農藥之作業環境有待建立評估模式及監測之指標。目前國外文獻報告所建立農藥暴露量評估之技術中包括被動式偵測（ Passive Dosimetry ）、螢光

民國 84 年 6 月 14 日收稿，84 年 8 月 10 日修訂，84 年 9 月 26 日接受

通訊地址：台中縣霧峰舊正村光明路 11 號

照影（ Fluorescence Imaging ）及生物監測（ Biological Monitoring ）三種 [1-6] 。此三種方式各有其優缺點，被動式偵測較易分析且易分別皮膚及呼吸之含量，但要有體表面積及呼吸量；生物監測可直接評估人體暴露量但要有藥物動力學（ Pharmacokinetics ）之研究，瞭解以口服藥劑在 24 小時內或以皮膚接觸在幾天內有多少藥劑可由尿液代謝出之百分率。故本研究以被動式偵測爲主要評估農藥暴露量之技術爲主，生物技術爲輔，擬利用作業環境中空氣採樣，模擬呼吸採樣，全身各不同部位之皮膚貼布測試及尿液分析等偵測方法，測定噴藥頻繁之荔枝農民在噴灑農藥作業環境中經由不同途徑接觸的農藥，進而評估暴露量，並依不同農藥噴灑建議做不同程度之安全防護措施，以維護農民之健康。

研究方法及步驟

1. 試驗用試劑：

四位荔枝園農民噴洒農藥種類：
四位農民在荔枝園中 1994 年 5 月噴洒農藥之時間及次數見表 1 。
分析用農藥標準劑：加保利 (Carbaryl)：99%, RDH ，賽滅寧 (Cypermethrin)：97% , Dow ，陶斯松 (Chlorpyrifos)：99% , Dow ，加保扶 (Carbofuran)：99.0% , RDH ，撲滅松 (Fenitrothion)：100% , RDH ，芬殺松 (Fenthion)：97% , RDH ，第滅寧 (Deltamethrin)：99.5% , BASF ，巴拉松 (Parathion)：99% , RDH 。

試藥：丙酮、無水硫酸鈉、酒精、氯甲烷、苯二甲醛、十水合四硼酸鈉、乙醇縮硫醇、氫氧化鈉、乙醚及鹽酸均採用化學試藥特級。

0.05N 氫氧化鈉溶液：稱取氫氧化鈉 20g 以去離子水溶解並定容至 100mL ，臨用前再取 10mL 以去離子水稀釋至 1000mL 。

0.05N 硼酸鈉溶液：稱取硼酸鈉 19.1g 以去離子水溶解並定容至 1000mL 。

鄰苯二甲醛溶液：稱取鄰苯二甲醛 0.1g 以甲醇溶解並定容至 10mL ，倒入 1000mL 定容瓶中，以 0.05N 硼酸鈉溶液稀釋定容至 1000mL ，混合均勻後，經 0.45 μ m 濾紙過濾，再加入乙硫醇 0.25mL 混合均勻 。

2. 實施步驟：

(1) 實施方法

A. 分別選定噴灑荔枝園農藥之農民四位，噴藥時期由荔枝開花後至採收前之生長期止。

B. 農民依其慣性用藥方式施藥，再依其使用之農藥進行暴露量測定。

C. 皮膚暴露測試 [1]

測試農民身上依以下部位貼上吸附墊：(A) 前胸一片，(B) 後背一片，(C) 左右上臂各一片，(D) 左右前臂外側各一

片，(E) 左右大腿前方各一片，(F) 膝蓋下左右小腿前方各一片。(A)、(B)、(C)、(D)、(E)、(F) 之吸附墊（10x10cm^2）分別以α-cellulose 材質貼布貼於農民各部位，貼布下襯同樣大小之玻璃紙用訂書針固定，以防止衣服上原有之農藥污染上層之吸附層。吸附墊以膠帶貼在衣服或身體上，故眞正之吸附面積爲 8x10cm^2。施藥一小時後取下貼布，以錫箔紙分別包好放入塑膠袋中，左右手分別在 250mL 95% 藥用酒精中浸洗 15 秒。左右腳分別在 500mL 95% 藥用酒精中浸洗 15 秒，分別倒入玻璃瓶中攜回實驗室。

D. 模擬呼吸暴露偵測：分別在施藥及配藥之農民身上配帶攜帶型空氣採樣馬達，模擬呼吸每分鐘 1L 之量，經由吸附管（XAD-2）噴藥三十分鐘至一小時加以收集。

E. 安全評估方法 [1,7]

(A). 由皮膚暴露測試中α-cellulose 材質貼布及以酒精浸洗液分別分析其中單位面積農藥含量（μ g/cm^2），乘上各部位之面積（參考美國 EPA 規定），相加後再除以暴露時間即爲皮膚暴露量（D_E，mg/hr），依每人每日工作時間、平均成人體重 60 公斤，求出每人每日每公斤人之皮膚暴露吸收量 (ADD_{DE}，mg/kg/day)。空氣採樣之農藥含量 (R_E，mg/hr)，依每人每日工作時間，平均成人體重 60 公斤及每人每日之呼吸量約 22m^3 等計算因子，求出每人每公斤人之呼吸暴露量 (ADD_{RE}，mg/kg/day)。

(B). 以每小時毒性物質百分比 (PTDPH，Percentage of Toxic Dose Per Hour) 以評估急性暴露量，分別以每小時皮膚暴露量 (D_E，mg/hr) 加上每小時呼吸量 (R_E，mg/hr) 之十倍除以動物實驗贈之 LD50 之量及農民之體重即可。（式 1），再以動物兩年慢毒之無毒害藥量 NOEL (mg/kg.bw/day) 與皮膚暴露吸收量 (ADD_{DE}) 之 0.1 倍加上呼吸暴露量 (ADD_{RE}) 相比較爲 MOS 值，當大於 100 時表安全。（式 2）

(C). 生物偵測：分別收集噴藥後 24 小時尿液樣品，分析尿液中之農藥及其代謝物之含量，依每人每日收集排尿量約 1.0~1.5 公升，再依農藥在動物體內代謝至尿中之比例，求出實際之吸收量（ADD_{Bio}）同

（B）方法評估（式3）

式(1)：

$$PTDPH=\frac{D_E+R_E\times 10}{D_{LD50}\times b.Wt.}$$

PTDPH (Percentage of Toxic Dose Per Hour)

D_E：單位時間內之皮膚暴露量（mg/hr）

R_E：單位時間內經由呼吸所造成之暴露量（mg/hr）

D (LD50)：由動物皮膚試驗所測之LD50（mg/kg）

b.Wt：暴露人員之體重（kg）

假設直接由空氣中呼吸到農藥量之10倍爲急毒暴露之預估值。

式(2)：

呼吸暴露量：$ADD_{RE}=(R_E\cdot Ih\cdot Tw)/b.Wt$

皮膚暴露量：$ADD_{DE}=(D_E\cdot S\cdot Tw)/b.Wt$

$$MOS=\frac{NOEL}{ADD_{DE}\times 0.1+ADD_{RE}}$$

D_E：單位時間內之皮膚暴露量（mg/hr）

R_E：單位時間內經由呼吸所造成之暴露量（mg/hr）

Ih：每人每天之呼吸量（L）

Tw：每人每天之工作時間（hr）

S：平均每人之體表面積（cm^2）

b.Wt：暴露人員之體重（kg）

ADD_{DE}：每公斤人每天工作二（六）小時之皮膚暴露量(mg/kg/day)

ADD_{RE}：每公斤人每天工作二（六）小時經由呼吸所造成之暴露量(mg/kg/day)

NOEL：兩年動物試驗之無毒害藥量（mg/kg/day）

＊假設每人每天之呼吸量爲$22m^3$，則每人每分鐘之呼吸量爲15.3L。
(15.3L/min = $22m^3$/day x 1000L/m^3/24hr/day/60min/hr)

＊假設農藥由皮膚之吸收率爲0.1。

式(3)：

生物偵測：$ADD_{Bio}=(D_{Bio}\cdot V)/(P\cdot b.Wt)$

$$MOS=\frac{NOEL}{ADD_{Bio}}$$

ADD_{Bio}：每公斤人每天工作一小時之生物偵測量（mg/kg/day）

D_{Bio}：農藥及其代謝產物在尿液中之含量（mg/mL）

V：每天之排尿量（L/day）

P：農藥及其代謝產物在動物代謝中由尿液中代謝之百分比

b.Wt：暴露人員之體重（kg）

(2) 農藥及其代謝物分析步驟：

A. 皮膚貼附試驗物之分析口罩、貼布、手、腳浸洗液之分析分別將取回之α-cellulose貼布（8x10cm^2）剪碎後分別浸於100mL丙酮中，口罩浸於200mL丙酮中，分別置於內附碎冰塊之超音波中振盪20分鐘後取出加入無水硫酸鈉20g脫水過濾之，濾液部分以減壓濃縮並以丙酮定量於10mL定量瓶中（I），（I）部分以氣液層析儀附電子捕獲式檢出

器、火焰光度檢出器偵測之，取（I）部分 1mL 以氮氣吹乾，定量於 1mL 氯甲烷中（II），以高效液相層析儀附後反應系統螢光檢出器偵測之。（I）部分可測得陶斯松、巴拉松、芬殺松、賽滅寧、第滅寧、撲滅松，（II）部分可測得加保扶、加保利。

B. 空氣採樣之吸附管分析分別將吸附管之填充物（XAD-2）取出，以丙酮 20mL 放入超音波振盪三分鐘，濾紙過濾，以丙酮洗濾餅，減壓濃縮並定量至 1.0mL 丙酮中（I），取（I）0.5mL 以氮氣吹乾定量於氯甲烷中（II），（I）、（II）同A之分析條件 。

C. 尿液分析 [8,9]

精確量取尿液樣品 20 mL，加入 1N 之鹽酸水溶液 2 mL 並調整 pH 值至 4.5，再加入去離子水 10 mL 和氯化鈉 10g，均勻搖盪使氯化鈉溶解，而後每次加入氯甲烷 20 mL 和二氯甲烷 50 mL，萃取兩次，每次 1 分鐘，合併收集有機層，再加入 15g 無水硫酸鈉脫水過濾後，以 40 °C 減壓濃縮並定量至 1mL 丙酮中（I），取（I）0.5mL 供淨化用。商品化矽酸鎂淨化管，在抽氣 710-735mm 汞柱壓力下先以正己烷溶劑 10 mL 潤濕，將（I）0.5 mL 注入管柱，再每次以正己烷／二氯甲烷（1：2）溶液 3mL 注入管柱，直至正己烷／二氯甲烷（1：2）溶液 15mL 完全注入管柱，全部收集於試管中，用氮氣將溶液吹乾，用丙酮溶劑 0.5mL 定容之（II），（I）部分可測得陶斯松、巴拉松、芬殺松、加保扶、加保利、撲滅松，（II）部分可測得賽滅寧、第滅寧。有機磷劑代謝產物在尿液中之分析係依李等 1991 年 [8,9] 之『人體尿液中有機磷劑代謝產物之分析』方法分析。

3. 儀器及設備

(1) 氣液層析儀附火焰光量檢出器 (GC/FPD)、電子捕獲式檢出器 (GC/ECD)，及氮磷檢出器 (GC/NPD) 使用儀器為 HP-5890 series II 使用分離管均為長 30m，內徑 530 μ DB-608 及 DB-1701 之毛細管其儀器使用條件分別為：

A. 氣液層析儀附火焰光量檢出器 (GC/FPD) — HP 5890 series Ⅱ-FPD 注入器溫度：200 °C，檢出器溫度：260 °C，分離管溫度：DB-608：210 °C 持續 6 分鐘，而然後每分鐘 20 °C升溫至 250 °C持續 5 分鐘（分析巴拉松，芬殺松），DB-1701：190 °C持續 8 分鐘，而後每分鐘 20 °C升溫至 230 °C持續 5 分鐘（分析陶斯

松，撲滅松），氫氣流速：75 mL/min，空氣流速：流速：100mL/min，攜帶氣體：N_2，流速：20mL/min。

B. 氣液層析儀附電子捕獲式檢出器 (GC/ECD) — HP 5890 series Ⅱ-ECD 層析管：30m，530 μ DB-608；5m，530 μ HP-1，注入器溫度：200 °C，檢出器溫度：280 °C，分離管溫度：DB-608：230 °C 持續 3 分鐘，而後每分鐘 20 °C升溫至 250 °C持續 8 分鐘（分析賽滅寧），240 °C恆溫持續12 分鐘（分析第滅寧），HP-1：190 °C持續 2 分鐘，而後每分鐘 20 °C升溫至 250 °C持續 5 分鐘（分析賽滅寧），攜帶氣體：N_2 流速：20mL/min。

(2) 高效液相層析儀附螢光檢出器 (HPLC-Fluorescence Detector) — HP-1050 autosampler, HP 1046 Fluorescence Detector

A. 裝置：層析管：Merck RP Select B-5 μ，內徑 4.0 mm x 25 cm。溶媒輸送系統：具移動相溶液，氫氧化鈉及鄰苯二甲醛溶液輸送系統。後置反應裝置（Post-column reactor）：恆溫槽-加熱至 90 °C。氫氧化鈉溶液反應圈-內徑 0.5 mm x 10 m。鄰苯二甲醛溶液反應圈-內徑 0.3 mm x 5 m。

B. 高效液態層析測定條件：移動相溶液：氰甲烷與去離子水以 50：50（v/v）之比例混勻後以濾膜過濾，取濾液作移動相溶液，移動相溶液流速：1.0 mL/min，氫氧化鈉溶液：0.4 mL/min，鄰苯二甲醛溶液：0.4 mL/min。螢光檢出器：激發波長 338nm，發散波長 420nm，分析加保扶、加保利。

結　果

1. 田間農藥主成分及回收率之分析：

農藥混合後施藥前取部分裝入 100mL 褐色量瓶中，另取 0.2mL 滴在三片 α-Cellulose 濾紙上攜回實驗室，進行混合藥劑之主成分測試及貼布上之各農藥殘留回收率測試。回收率均達 80 % 以上，且相對偏差在 10% 以內，表示採樣至分析過程中無農藥分解之現象，萃取過程可信度亦符合要求，其主成分及含量見表 1。

2. 尿液中農藥之回收率試驗：

依步驟測得尿液中農藥主成分之回收率結果除陶斯松較低外，其它回收率範圍在 74.8%-111.9% 之間，且相對偏差均在 11% 之內。根據 Boyer & Horwitz [10] 之數據準確性計算其理想值爲 18%，均在其範圍內，其偵測界限爲 0.5-1.9 ppb 之間見表 2。

3. 農藥暴露量之安全評估：

依前述安全評估方法分別計算不同農藥在不同工作時數之 MOS（ Margin of Safety ）值及 PTDPH 值，結果見表 3。四位荔枝園施藥農民以 A，B，C，D 代表之。

A、B 農民由於同時噴藥，因此農藥種類相同。但依貼布上之測量暴露量，每天工作 2 小時、6 小時以求出安全限量，B 農民均較 A 農民危險，但依實際穿有長袖長褲衣物及雨鞋手套等防護之實際暴露量，兩者均以陶斯松之噴藥較不安全。

C 農民噴洒未推薦之藥劑巴拉松，其安全限量值較低，屬不安全且急毒性暴露值 PTDPH 亦是很高，應嚴禁噴洒於荔枝園中。

D 農民噴洒 6 種已推薦及未推薦之藥劑，其中芬殺松、加保扶、撲滅松其安全限量均低於 100，雖有防護但有待評估，故亦嚴禁噴洒於荔枝園中；而工作 6 小時之加保利其 MOS 值亦低於 100，故注意其長時間噴藥。

4. 生物偵測之結果

收集噴藥後 24 小時尿液約 1L 左右其偵測農藥主成分之含量均未偵測到。其代謝產物測得 DEP（ diethyl phosphate ），DMTP（ dimethyl thiophosphate ），DETP（ diethyl thiophosphate ），DEDTP（ diethyl dithiophosphate ），A 農民測得陶斯松之代謝產物 DETP、DEDTP，其陶斯松生物吸收量爲 67.1 μ g/hr/day 及 92.0 μ g/hr/day；B 農民測得陶斯松之代謝產物 DETP、DEDTP，其陶斯松生物吸收量爲 2.3 μ g/hr/day 及 497.7 μ g/hr/day；C 農民測得巴拉松之代謝產物 DETP，其巴拉松生物吸收量爲 8.2 μ g/hr/day 及 336.1 μ g/hr/day；D 農民測得芬殺松及撲滅松之代謝產物 DMTP，其芬殺松生物吸收量爲 47.4 μ g/hr/day 及 37.7 μ g/hr/day，另測得陶斯松之代謝產物 DEP、DETP，其陶斯松生物吸收量爲 12.9 μ g/hr/day 及 59.9 μ g/hr/day。由生物偵測測得工作一小時之安全限量（ MOS ）以巴拉松小於 100 安全堪慮，結果見表 3 及表 4。

5. 綜合荔枝園農民噴藥評估結果：

荔枝園農藥之噴藥以賽滅寧、第滅寧之噴藥較爲安全，巴拉松、芬殺松、加保扶、撲滅松雖僅工作 2 小時其安全限量（ MOS ）小於 100，屬風險高，應嚴禁噴洒於荔枝園。而加保利則於工作 6 小時危險較高，應注意其長時間之接觸。至於陶斯松 25% 可濕性粉劑於 A、B 農民雖然主成分之含量低，但是在工作 6 小時之 MOS 均小於 100，但是 D 農民噴洒 40.8% 陶斯松主成分較 A、B 農民噴洒 25% 可濕性粉劑高，但其仍屬安全，是否因噴藥之器械不同而造成噴藥之危機，應進一步探討。

討　論

荔枝栽培在亞熱帶地區易有病蟲害之發生，雖然已有許多正式推薦之藥劑，由於荔枝園農民噴藥屬於向上之噴洒，因此對於防護上有其必要，故評估藥劑對人體暴露量外，更針對噴藥種類

之安全加以評估。荔枝農民在荔枝栽培中依每次噴灑 30 分鐘左右實際暴露量對每一藥劑加以評估，因此針對每天噴藥時間 2 及 6 小時加以安全評估，以作爲暴露農藥之參考。雖然利用 1916 年 D.Du Bois 等人 [11] 由身高體重公式計算中國人體表面積約 1.7m^2 ，但並無身體各部分之面積資料，因此引用美國 EPA 之各部位之面積 [1]（見附錄），經皮膚暴露之總量再經由農藥之毒理基本資料（見表 5）分別將四位荔枝農民噴洒農藥加以評估。其結論分述如下：

1. 建立農民之安全評估模式，推估暴露量之安全指標以作爲農藥管制及安全防護措施之依據。
2. 荔枝園噴藥，巴拉松、芬殺松、加保扶、撲滅松較不安全（ MOS <100 ）故應注意此類藥劑之安全性。噴藥時急毒性需注意巴拉松。
3. 試驗中發現農民仍有使用未推薦藥劑，其安全上須進一步考量。
4. 由被動式偵測之暴露評估方式之實際暴露量及生物偵測方式所得之吸收量，可得農藥在暴露時之吸收率與目前假設值爲 10 相比較，可做爲往後模式建立之重要因子。

參考文獻

[1] EPA., 1987, U.S.; "Pesticide Assessment Guidelines - Applicator Exposure Monitoring".

[2] Maroni, M., Jarvisalo, J., Ferla, FL., 1986; " The WHO-UNDP Epidemiological Study on The Health Effects of Exposure to Organo Phosphorus Pesticides," *Toxicology Letters*, 33:115-123.

[3] Coye, M.J., Lowe, J.A., Maddy, K.J., 1986 ; " Biological Monitoring of Agricultural Workers Exposed to Pesticides : II.Monitoring of Intact Pesicides and their Metabolites," *J. of Occapational Medicine*, 28(8):628-637.

[4] Honeycutt, R.C. , 1986 ; "NACA Overview on Assessnent of Mixer-Loader-Applicator exposure to Pesticides," *Toxicology Letters*, 33: 175-182.

[5] Lary, T.L., Mattice, J.D., 1986; "Progress in Pesticide Exposure Studies and Future Concerns," *Toxicology Letters*, 33:61-71.

[6] Drevenlcar, V., Radic, Z., Vasilic, E., Reiner, E., 1991; " Dialkyl Phoshorus Metabolites in the Urine and Activities of Esterases in the Serum as Biochemical Indics for Human Absorption of Organophosphorus Pesticides," *Arch, Environ, Contan, Toxicol.*, 20:417-422.

[7] Reinert, J.C., Nielsen, A.P., Lunchiek, C. , Hernandez, O., Mazzetta, D.M., 1986; "The United States Environmental Protection Agency's Guidelines For Applicator Exposure monitoring" .

[8] 李國欽、李宏萍， 1984 ； "尿液中農藥及其代謝物之偵測方法" ，科學農業，第 32 卷，第 1-2 期： 34-46 。

[9] 李宏萍、翁愫愼、李國欽，1991；"人體尿液中有機磷劑代謝產物之分析"，植物保護學會會刊，第33卷:188-196。

[10] Boyer, K.W., Horwitz, W., Albert, R.,1985; "Interlaboratory Variability in Trace Element Analysis," *Anal. Chem.*, 57:454-459.

[11] Du Bois, D., Du Bois, E.F., 1916; "A formula to estimate the approximate surface area if height and weight be known", *Arch. Intern. Med.*, 17:863-871.

表 1　四位荔枝園農民在 1994 年 5 月中噴灑農藥日期及主成分含量

農民	使用農藥種類	噴藥日期（月/日）	農藥主成分 (μg/mL)
A, B	*5% Cypermethrin EC.	5/5，5/13，5/13，5/30	79.0，47.6，52.7, 46.6
	*25% Chlorpyrifos WP.	5/13，5/30，5/30	150.9，156.5，43.7
C	*47% Parathion	5/7，5/16	276.5，901.5
	*5% Cypermethrin EC.	5/31	56.5
D	50% Fenthion EC.	5/10，5/31 401.8，	701.0
	*2.8% Deltamethrin EC	5/10，5/31	11.5，8.1
	*85% Carbarl WP.	5/10，5/31	340.7，272.6
	40.64% Carbofuran FP.	5/10，5/31	340.7，541.0
	*40.8% Chlorpyrifos EC.	5/10，5/31	252.1，182.6
	50% Fenitrothion EC.	5/10，5/31	514.5，299.7

*：爲未推薦使用於荔枝園之藥劑

表 2 尿液中農藥之回收率試驗

農藥總類	農藥添加量（μg）	回收率*（%, n=3）	標準偏差	相對偏差（%）	偵測界限（ppb）
Carbaryl	0.2	111.9	9.94	7.54	1.0
Carbofuran	0.4	98.9	10.05	10.16	1.0
Cypermethrin	1.0	93.1	4.94	5.31	1.9
Parathion	0.5	94.3	2.86	3.03	0.5
Fenthion	0.5	74.8	2.33	3.12	0.7
Deltamethrin	1.0	110.1	2.69	2.44	0.9
Chlorpyrifos	0.5	59.9	0.85	1.43	0.8
Fentrothion	0.5	100.4	3.44	3.43	1.0

* 回收率爲 3 次之重覆

表 3 四位噴灑農民農藥暴露量之之安全評估值

農民	農藥名稱 (*)	暴露量[1]		實際接觸[2]		吸收量[3]	
		MOS (2)	MOS(6)	MOS (2)	MOS(6)	MOS(1)	PTDPH
A	Cypermethrin (1)	144.3	48.1	2839.6	946.5	--	2.0E-04
	Cypermethrin (2)	250.4	83.5	731.1	243.7	--	1.2E-04
	Cypermethrin (3)	103.2	34.4	674.7	224.9	--	3.0E-04
	Chlorpyrifos (1)	22.2	7.4	198.8	66.3	892.9	2.3E-04
	Chlorpyrifos (2)	25.0	8.3	244.8	81.6	649.4	2.0E-04
B	Cypermethrin (1)	70.7	23.6	1445.3	481.8	--	4.4E-04
	Cypermethrin (2)	116.8	38.9	402.6	134.2	--	2.7E-04
	Cypermethrin (3)	64.9	21.6	231.6	77.2	--	4.8E-04
	Chlo4rpyrifos (1)	14.9	5.0	147.4	49.1	25000	3.4E-04
	Chlorpyrifos (2)	6.6	2.2	93.7	31.2	120.5	7.5E-04
	C Parathion (1)	8.0	2.7	137.8	45.9	3649.7	3.1E-02
	Parathion (2)	1.7	0.6	29.4	9.8	89.3	1.5E-01
	Cypermethrin (1)	9.9	3.3	3346.8	1115.6	--	3.2E-04
D	Carbaryl (1)	34.2	11.4	657.5	219.2	--	7.3E-05
	Carbaryl (2)	14.2	4.7	251.1	83.7	--	1.8E-04
	Deltmethrin (1)	284.2	94.7	12916.6	4305.5	--	1.8E-05
	Deltmethrin (2)	1538.6	512.9	--	--	--	3.2E-06
	Fenthion (1)	1.0	0.3	13.5	4.5	126.6	2.8E-03
	Fenthion (2)	0.5	0.2	9.7	3.3	158.7	5.9E-03
	Carbofuran (1)	8.1	2.7	231.6	77.2	--	4.1E-04
	Carbofuran (2)	2.5	0.8	42.2	14.1	--	1.3E-03
	Chlorpyrifos (1)	23.2	7.7	389.6	129.9	4672.9	2.2E-04
	Chlorpyrifos (2)	22.8	7.6	544.5	181.5	1002.0	2.2E-04
	Fenitrothion (1)	2.7	0.9	57.3	19.1	--	1.4E-03
	Fenitrothion (2)	4.5	1.5	52.1	17.4	--	8.5E-04

(*) 表不同施藥日期取得之樣品

1. 表由貼布上測得之評估值
2. 表除去衣物鞋子後實際暴露測得之暴露值
3. 由實際暴露一小時尿液測得之實際暴露量

MOS(1) ， MOS(2) ， MOS(6) 分別表暴露一小時，二小時，六小時之 MOS 值

表 4 四位農民有機磷劑農藥暴露量及吸收量

農民	農藥種類 (*)	暴露量 (mg/hr)	實驗暴露量 (μ g/hr)	生物吸收量 (μ g/hr)	吸收率 (**) (%)
A	Chlorpyrifos (1)	12.6	646.2	67.1	10.4
A	Chlorpyrifos (2)	11.3	537.0	92.0	17.1
B	Chlorpyrifos (1)	18.3	226.4	2.3	1.0
B	Chlorpyrifos (2)	11.3	537.0	497.7	92.7
C	Parathion (1)	18.3	712.2	8.2	1.2
C	Parathion (2)	89.90	4090.0	336.1	8.2
D	Fenthion (1)	27.6	303.6	47.4	15.6
D	Fenthion (2)	59.8	210.6	37.7	17.9
D	Chlorpyrifos (1)	12.4	237.6	12.9	5.4
D	Chlorpyrifos (2)	13.2	550.8	59.9	10.9

(*) 表不同施藥日期取得之樣品
(**) 表 (生物吸收量 ÷ 實驗暴露量) × 100%

表 5 荔枝園使用農藥之毒理資料摘要

農藥名稱	商品名稱	皮膚 LD50(mg/kg)	NOEL (mg/kg.bw/day)
加保利 (Carbaryl)		>4000	1.0
加保扶 (Carbofuran)	Furdan	3000	1.0
陶斯松 (Chlorpyrifos)	Dursban	2000	1.0
賽滅寧 (Cypermethrin)		>1600	5.0
第滅寧 (Deltamethrin)	Decis	2000	1.0
芬殺松 (Fenthion)		345~410	0.1
撲滅松 (Fenitrothion)		1300	0.5
巴拉松 (Parathion)		20~60	0.5

摘自 FAO/WHO 1982,1990.

Exposure Assessment of Lychee Farmers to Pesticides Applied

Hong-Ping Li Sue-San Wong Gwo-Chen Li
Taiwan Agricultural Chemicals and Toxic Substances Research Institute

ABSTRACT

Mixer-loaders and applicators of pesticides in Lychee field near Wufeng area were monitored for exposure. Alpha-cellulose were placed outside regular working clothes and air sample were collected by pumping through protable sampling tube during application with airblast sprayers. Dermal exposure of each pesticide residue on nine different body regions from face to feet were measured. One month worker pesticide exposure study was designed to measure and evaluate the exposure occuring to workers who had the potential for simultaneous exposure to multiple pesticides. Monitoring was performed for 8 different pesticides which were used by these four farmers. The percentage of toxic dose per hour (PTDPH) including dermal and inhalation exposure were estimated as risk assessment values for each pesticides. The result showed that PTDPH values were ranging from 0.150 (parathion) to $3.2x10^{-6}$ (deltamethrin). The working 6 hours of margin of safety (MOS) for 8 pesticides were ranging from 3.3 (fenthion) to 4305.5 (deltamethrin). Pesticides including chlorpyrifos, parathion, fenthion, carbofuran and fenitrothion had MOS values with work 6 hours lower than 100 should be concerned about their hazard. Urine samples collected from applicators after application for 24 hours periods were used as a biological monitor. Parent compounds and major metabolites of these pesticides were analyzed.

Key Words : pesticide exposure , risk assessment , biological monitoring 14

附錄：D農民噴洒Chlorpyrifos農藥總暴露量之計算及評估

暴露部位	吸附墊上陶斯松量 (ng/cm²/min)		表面積 (cm²)	農藥附著量 (μg/min)	按標示使用之皮膚接觸農藥量 (μg/min)	實際狀況皮膚直接接觸農藥量 (μg/min)	備註
臉部	胸或口罩	11.31	650	0.00	7.35	7.35	戴帽子
頭部(包含臉部)	肩	24.75	1300	15.80	0.00	0.00	
	胸	11.31					
	背	1.23					
	平均	12.15					
前頸	胸	11.31	150	1.70	1.70	1.70	
後頸	背	1.23	110	0.14	0.14	0.14	
胸腹	胸	11.31	3550	40.15	0.00	0.00	
背部	背	1.23	3550	4.37	0.00	0.00	
兩上臂	肩	24.75	2910	72.02	0.00	0.00	
兩前臂	前臂	6.48	1210	7.84	0.00	0.00	受測者穿長袖T恤上衣
兩大腿	大腿	4.71	3820	17.99	0.00	0.00	
兩小腿	小腿	21.4	2380	50.93	0.00	0.00	受測者穿西裝長褲
手部	-		820	0.39	0.00	0.00	受測者戴手套
腳部	-		1310	8.29	0.00	0.00	受測者穿雨鞋
總量 (μg/min)				219.61	9.18	9.18	
2小時總量 (mg /day)				26.35	1.10	1.10	估計農民每日工作2小時
2小時皮膚總吸收量 (mg/day)				26.35	1.10	1.10	皮膚吸收率 10%
每分鐘吸入量 (μg/min)				0	0	0	
呼吸量 (mg/day)				0	0	0	
ADD (mg/kg/day)				0.04392266	0.00183666	0.00183666	
MOS				22.77	544.47	544.47	式(2)
PDPTH				0.00021961	9.1833E-06	9.1833E-06	式(1)
6小時總量 (mg /day)				79.06	3.31	3.31	估計農民每日工作6小時
6小時皮膚總吸收量 (mg/day)				79.06	3.31	3.31	皮膚吸收率 10%
每分鐘吸入量 (μg/min)				0	0	0	
呼吸量 (mg/day)				0	0	0	
ADD (mg/kg/day)				0.13176798	0.00550998	0.00550998	
MOS				7.59	181.49	181.49	式(2)
24小時尿液樣品(μg/hr)			1650mL	59.91 μg/hr	ADD=0.998mg/kg	MOS=1.0/0.998=1002	式(3)