

農業環境中有機氯化烴農藥殘留調查及安全評估

林浩潭* 初建**

*行政院農業委員會農業藥物毒物試驗所 殘毒管制組 副研究員

**行政院農業委員會農業藥物毒物試驗所 殘毒管制組 助理研究員

TEL:04-23302101 轉 412、407

e-mail: htlin@tactri.gov.tw

chu@tactri.gov.tw

摘要

部份有機氯化烴農藥及其代謝產物屬於長持久性有機污染物且被歸類為內分泌干擾物質，可能對生態環境產生衝擊。有機氯化烴農藥曾於1945年至1985年間被用於植物保護。為探討有機氯化烴農藥在農業環境之分佈及降解情形，由1973年起至2004年許多環境殘留監測如土壤、水及底泥中此類農藥之調查工作被完成。結果顯示有機氯化烴農藥在農業環境中之殘留範圍為由微量至數ppb，土壤中殘留較高者為DDE，其殘留量範圍由2.50 to 2.32 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 。DDT、Aldrin及Endrin之殘留範圍皆低於0.5 $\mu\text{g}/\text{kg}$ ，其餘農藥如Heptachlor、Heptachlor epoxide及Lindane等皆低於0.1 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 。表土中有機氯化烴農藥之消散半量期(DT₅₀)為4.01至9.04年。裏土中有機氯化烴農藥之消散半量期則為4.61至18.6年。水中有機氯化烴農藥殘留量為微量至檢測不到，而底泥樣品中有機氯化烴農藥之平均殘留量皆低於2 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 。依據土壤中農藥之最高殘留量及作物由土壤中吸收農藥之係數，可推算得作物中農藥之最高殘留量範圍由微量至0.06 mg/kg，皆低於作物中有機氯化烴農藥之殘留限量。

Some organochlorine pesticides (OCPs) and their metabolites are belong to the persistent organic pollutants and suspected of being endocrine disruptors, they may have the impact on the environmental ecology. These pesticides had been used in the agricultural fields in Taiwan for plant protection during 1945 to 1985. Various studies on the monitoring of the residues of OCPs in agricultural environment including: Soil, water, and sediment have completed from 1973 to 2004. The results revealed that residue levels of OCPs in the agricultural environment of Taiwan were in the range of trace to few ppb levels. DDE has the highest residue level in soil. The DT₅₀ of OCPs in surface soil was ranged from 4.01 to 9.04 years. The DT₅₀ of OCPs in bottom soil was ranged from 4.61 to 18.6 years. The OCPs residue in water were mainly trace or non-detectable, and the average concentrations of OCPs residues in the sediment were below 2 $\mu\text{g}/\text{kg}$. The maximum of OCPs residues in crop that moved from soil was calculated based on the maximum residue levels in soil and the concentration or dilution factor of pesticides from soil to crop. The maximum residue levels of OCPs in crops were below the maximum residue limits for OCPs in crops.

前言

持久性有機污染物(Persistent Organic Pollutants, POPs)之特性為在環境中不易降解，具較長之半衰期，一般皆具慢性毒性、疏水性或親脂性。一旦進入生物體中，即存在於脂肪部份而較難排出，因此可經由食物鏈而達到生物濃縮作用(Jones and Voogt 1999)。此外，持久性有機污染物亦具有藉由氣流而可遠距離流佈之特性(Lohmann et al., 2007)。2000年全球122個國家對十二種持久性有機污染物(dirty dozen)達成禁用協議，這十二種化合物分別為：安特靈(Endrin)、滴滴涕(DDT)、飛佈達(Heptachlor)、阿特靈(Aldrin)、地特靈(Dieldrin)、毒殺芬(Toxaphene)、氯丹(Chlordane)、滅蟻樂(Mirex)、六氯苯(Hexachlorobenzene)、多氯聯苯(PCBs)、戴奧辛(Dioxins)及呋喃(Furans)等(UNEP, 2001; USEPA, 2004)。12種污染物中戴奧辛及呋喃為非工業產品，多氯聯苯作為工業用途，其餘9種皆為有機氯化烴類農藥或環境衛生用藥。2009年又新增 α -六氯環己烷(Alpha hexachlorocyclohexane)、 β -六氯環己烷(Beta hexachlorocyclohexane)、商用八溴二苯醚(commercial octabromodiphenyl ether)、商用五溴二苯醚(commercial pentabromodiphenyl ether)、十氯酮(克敵康, Chlordecone)、六溴聯苯(Hexabromobiphenyl)、靈丹(Lindane)、五氯苯(Pentachlorobenzene)、全氟辛烷磺酸及其鹽類和全氟辛基磺酰氟(Perfluorooctane sulfonic acid, its salts and perfluorooctane sulfonyl fluoride, PFOS)等12種 POPs (United Nations, 2009)。

滴滴涕為此類農藥中最早(1945年)被引進台灣，爾後1950年引進蟲必死(BHC)作為病媒防治及植物保護用。其餘有機氯化烴類農藥如：靈丹(Lindane)、Aldrin、Dieldrin、Heptachlor及安殺番(Endosulfan)亦曾被用於台灣之農田作為殺蟲劑，但Mirex在台灣並未被使用過。前已述及此類藥劑因在環境中不易降解又具生物累積性及慢毒性，可能破壞環境生態乃至人體健康。故在美國於1970年，在日本及我國分別於1972及1974年起被禁用，但其中之DDT因是對抗瘧疾病媒蚊之有效藥劑，在某些地區仍被使用(Crosby, 1998)。表1為有機氯化烴類農藥在台灣之使用歷史。自1985起即無DDT, BHC, Aldrine, Endrin, Dieldrin, Heptachlor, and Lindane等在台灣之銷售紀錄。Lindane使用之時間最長，達34年；最短者為使用11年之Heptachlor。其餘農藥之使用時間由19至25年不等。總計BHC、DDT、Aldrine、Heptachlor、Endrin及Dieldrin之使用量分別為：>100000、6300、3200、2700、600及300公噸。(王正雄與柳家瑞, 2000)。為保護生態環境，行政院農業委員會農業藥物毒物試驗所自1973年起，大約每隔10年共計4次，進行農田土壤中有機氯化烴農藥殘留調查並探討其降解情形。

本文報告有機氯化烴農藥在農業環境中(土壤、水及底泥)分佈及降解情形，並依據將近30年來關於其在台灣地區農田土壤監測之成果，估算田間消散半量期(DT₅₀)，並依據作物對此類藥劑之吸收係數，推算出土壤中農藥轉移至

作物體之殘留量，再與作物中有機氯化烴農藥之殘留限量比較，進行安全性評估。

1、農田土壤中有機氯化烴農藥殘留及降解情形

有機氯化烴農藥主要作為殺蟲劑，當農藥使用於田間後大部份可能沉降於土壤，因此類農藥在環境中不易降解，半衰期長(示於表 2)，於土壤中具長持久性，因此土壤即成為環境監測之主要目標。台灣植物保護中心(行政院農業委員會農業藥物毒物試驗所前身)從 1973 年起開始大規模進行台灣地區農田土壤中有機氯化烴農藥之殘留監測(李國欽與李運申，1973)，結果顯示表土(0 至 12 cm 深)中之殘留量高於裏土(12 至 24 cm 深)，表土中殘留量由高而低依序為：DDE ($20.3 \mu\text{g/kg}$) > Dieldrin ($17.8 \mu\text{g/kg}$) > DDT ($17.1 \mu\text{g/kg}$) > Lindane ($11.8 \mu\text{g/kg}$) > Aldrin ($11.3 \mu\text{g/kg}$) > Heptachlor epoxide ($2.1 \mu\text{g/kg}$) > Heptachlor ($1.2 \mu\text{g/kg}$) (見表 3)。8 年後(1981 年)再監測發現土壤中農藥殘留量已顯著下降(見表 3)，Dieldrin 降解至 3%，Aldrin 降解至 4%，Lindane 至 6%，DDT 至 16%，而 DDE 至 73%。表土(0 至 15 cm 深)中檢測不到 Endrin 及 Heptachlor；Aldrin, Dieldrin, Lindane 及 Heptachlor epoxide 之殘留量皆是裏土(15 至 30 cm 深)高於表土(李國欽與李泰林，1981)。相較於表土，裏土由於有機質及氧含量較低，微生物之活性較低，農藥之生物分解效率低，再者，裏土中之農藥因日光照不到，光分解作用無法發生，以致裏土中農藥之降解速率較低。DDT 在環境中可轉變至較穩定之代謝物 DDE，由表 3 可看出土壤中殘留最高者為 DDE。林浩潭等(1997)及初建(2004)亦先後進行同樣之土壤中有機氯化烴農藥殘留監測，由此二次監測結果皆可發現 DDE 在土壤中之殘留亦屬最高。2004 年之監測結果顯示 DDE 在土中之殘留範圍由 2.50 至 $2.32 \mu\text{g/kg}$ ，而 DDT、Aldrin 及 Endrin 之殘留量皆低於 $0.5 \mu\text{g/kg}$ ，其餘如：Heptachlor、Heptachlor epoxide 及 Lindane 等都低於 $0.1 \mu\text{g/kg}$ 。除 Dieldrin、Endrin 及 Heptachlor 外，其餘農藥之殘留量皆是在裏土者高於表土。圖 1 及圖 2 分別為表土及裏土中不同有機氯化烴農藥殘留由 1973 年至 2004 年之降解情形。依據表三不同年度之監測資料可推算出土壤中農藥之消散半量期(dissipation time of 50%, DT_{50})示之於表 4。Aldrin、Dieldrin、DDE、DDT、Heptachlor、Heptachlor epoxide 及 Lindane 在表土之 DT_{50} 分別為：8.45、4.70、9.04、4.01、4.27、5.33 及 4.73 年；Aldrin、Dieldrin、DDE、DDT、Heptachlor、Heptachlor epoxide 及 Lindane 在裏土之 DT_{50} 分別為：10.6、4.90、18.6、5.74、4.61、4.95 及 4.84 年。DDT 在表土中之 DT_{50} 最短，但其代謝物 DDE 在表土中之 DT_{50} 最長。DDE 之 DT_{50} 亦是裏土中最長者。表土因受較多之耕作擾動，含較高之氧氣、土中微生物較活躍及接受光照等因素，以致農藥在表土中降解速率較快，其 DT_{50} 較短。

依據土壤中農藥之最高殘留量及作物由土壤中吸收農藥之係數，可推算出作物中農藥之最高殘留量。推算結果顯示作物中農藥殘留量範圍由微量至 0.06mg/kg (示於表 5)，皆低於表 6 中作物中有機氯化烴農藥之殘留限量。

2、水中有機氯化烴農藥殘留調查結果

古德業(1979)於 1973 至 1976 年間調查大肚溪及淡水河之有機氯化烴農藥殘留情形，Lindane 在大肚溪及淡水河之平均殘留量分別為 $0.018 \mu\text{g/L}$ 及 $0.0047 \mu\text{g/L}$ ，而二河川中 Dieldrin 殘留量同為 $0.009 \mu\text{g/L}$ 。但淡水河中 DDTs 殘留($0.014 \mu\text{g/L}$)高於大肚溪($0.0068 \mu\text{g/L}$)者；本次調查發現 Heptachlor 及 Heptachlor epoxide 之殘留為最低者。環保署於 1998 年至 1999 年由大漢溪、客雅溪及烏溪共採集 36 個水樣檢測有機氯化烴農藥殘留。結果顯示僅有 3 個樣品被檢出殘留 Endrin，其它樣品中皆檢測不到或檢出微量之農藥殘留(行政院環保署，1999)。此結果與古於 25 年前所調查之結果比較，水中有機氯化烴農藥殘留已顯著降解至接近檢測不到。

3、底泥中有機氯化烴農藥殘留調查結果

最早之底泥中有機氯化烴農藥殘留亦由古德業(1979)於 1973 至 1976 年於大肚溪及淡水河所進行之調查。大肚溪底泥中農藥殘留量最高者為 DDD 及 Lindane，殘留量皆為 $2.3 \mu\text{g/kg}$ ；而 DDT 則為淡水河底泥中殘留量最高者，其殘留量為 $10 \mu\text{g/kg}$ 。此次調查發現 Heptachlor 及 Heptachlor epoxide 之殘留量為最低。吳天基等於 1982 年調查台灣地區 20 條河川 136 個底泥樣品中有機氯化烴農藥殘留，以 Lindane ($7.7 \mu\text{g/kg}$)殘留量最高，其次為 4,4'-DDT($6.6 \mu\text{g/kg}$)。含量最低者亦為 Heptachlor 及 Heptachlor epoxide，殘留量分別為 0.5 及 $0.2 \mu\text{g/kg}$ (吳天基等，1982)。

Doong 等(2002)於 1997 年至 1998 年分別由大漢溪及二仁溪採集 20 個底泥樣品檢測有機氯化烴農藥殘留。底泥中 \sum HCH 殘留範圍由 0.57 至 $14.1 \mu\text{g/kg}$ ，Aldrin 殘留範圍由 0.05 至 $0.15 \mu\text{g/kg}$ ，Endrin 殘留範圍由 0.22 至 $0.64 \mu\text{g/kg}$ ， \sum DDT (p,p' -DDT, p,p' -DDD, p,p' -DDE) 殘留範圍由 0.21 至 $8.81 \mu\text{g/kg}$ (見表 7)。大漢溪底泥中主要殘留之農藥為 α -HCH 及 p,p' -DDE，而 β -HCH 與 p,p' -DDD 為二仁溪中主要之殘留農藥。本次調查結果指出底泥中農藥代謝物被檢出之頻率高於農藥本身且推論底泥中之有機氯化烴農藥來自長距離傳輸及農田土壤輸入(Doong et al., 2002)。

表 8 為 2003 年所調查之台灣地區 12 條主要河川底泥中有機氯化烴農藥殘留結果(李俊璋等，2004)，比較早季及雨季所採樣品中農藥殘留之結果可發現早季所採樣品中農藥殘留高於雨季所採樣品者。早季於河川上游及雨季於河川中游所採樣品中農藥殘留皆較低。所有底泥樣品中有機氯化烴農藥殘留量皆低於 $5 \mu\text{g/kg}$ 。樣品中最高殘留之農藥為 Heptachlor，這些樣品來自河川之中游及下游，二處 Heptachlor 殘留量分別為 4.8 及 $4.5 \mu\text{g/kg}$ 。雨季所採河川底泥樣品中被檢出最高殘留之農藥為 DDE 及 DDT，二農藥之殘留量皆為 $3.6 \mu\text{g/kg}$ 。本次調

查結果亦指出河川底泥中有機氯化烴農藥殘留量已逐漸降解至低於檢測極限。

初建(2004)由各水稻專業區採集 144 個灌溉溝渠底泥樣品檢測有機氯化烴農藥殘留量。被檢出農藥殘留之樣品佔 38.9%，檢出百分率由高而低依序為：Aldrin (18.1%) > DDE (9.03%) > BHC (6.25%) > DDT (4.86%) > Endrin (2.78%) > Heptachlor epoxide (2.08%) > Heptachlor (2.08%) > DDD (0.69%)。樣品中農藥平均殘留量由高而低依序為：DDT ($1.31 \mu\text{g/kg}$) > DDE ($1.00 \mu\text{g/kg}$) > Aldrin ($0.84 \mu\text{g/kg}$) > Endrin ($0.76 \mu\text{g/kg}$) > BHC ($0.23 \mu\text{g/kg}$) = Heptachlor ($0.23 \mu\text{g/kg}$) > Heptachlor epoxide ($0.14 \mu\text{g/kg}$) > DDD ($0.03 \mu\text{g/kg}$)。由上述資料可看出底泥樣品中各有機氯化烴農藥平均殘留量皆低於 $2 \mu\text{g/kg}$ 。樣品中 Aldrin、BHC、DDD、DDE、DDT、Dieldrin、Endrin、Heptachlor 及 Heptachlor epoxide 最高殘留量分別為：7.50、10.3、4.52、70.0、120、ND、46.8、29.9 及 $10.4 \mu\text{g/kg}$ (表 9)。比較此調查結果與表 7 及表 8 之河川底泥之調查結果，可發現稻田灌溉溝渠底泥中有機氯化烴農藥之殘留高於河川底泥中者，灌溉溝渠因較狹窄及靠近施藥地點(農田)，且底泥長期處於無氧及無光照之狀態下，故其較其它環境介質含較高之農藥殘留。

4、結論與未來展望

有機氯化烴農藥在農業環境中之殘留範圍為由微量至數 $\mu\text{g/kg}$ ，土壤中殘留較高者為 DDE，其殘留量範圍由 2.50 至 $2.32 \mu\text{g/kg}$ 。DDT、Aldrin 及 Endrin 之殘留範圍皆低於 $0.5 \mu\text{g/kg}$ ，其餘農藥如 Heptachlor、Heptachlor epoxide 及 Lindane 等皆低於 $0.1 \mu\text{g/kg}$ 。表土中有機氯化烴農藥之消散半量期(DT_{50}) 為 4.01 至 9.04 年。裏土中有機氯化烴農藥之消散半量期則為 4.61 至 18.6 年。水中有機氯化烴農藥殘留量為微量至檢測不到，而底泥樣品中有機氯化烴農藥之平均殘留量皆低於 $2 \mu\text{g/kg}$ 。依目前所得資料判斷，有機氯化烴農藥於禁用將近 30 年後，環境中農藥殘留量已顯著下降，且對環境安全並無影響。但環境中有機氯化烴農藥殘留為全球化之議題，吾人須注意其可經由氣流之傳輸及農藥非法使用等而進入台灣的環境中，因此環境監測實不可中斷。

表 1、有機氯化烴農藥在台灣地區使用之歷史

Table 1. Usage history of banded organochlorine pesticides in Taiwan

| Pesticides | Year of use started | Sale and usage banned |
|------------|---------------------|-----------------------|
| DDT | 1949 | July 1, 1974 |
| BHC | 1950 | October 1, 1975 |
| Lindane | 1951 | February 1, 1985 |
| Aldrin | 1952 | October 1, 1975 |

| | | |
|------------|------|-----------------|
| Endrin | 1953 | January 1, 1972 |
| Dieldrin | 1955 | October 1, 1975 |
| Heptachlor | 1964 | October 1, 1975 |

摘自：王正雄與柳家瑞(2000)

表 2、有機氯化烴農藥在農田環境中之半衰期

Table 2. The half-life ($t_{1/2}$) of organochlorine pesticides in the field environment

| | Endrin | DDT | Dieldrin | DDE | Aldrin | Lindane | Heptachlor |
|------------------|--------|------|----------|------|--------|---------|------------|
| $t_{1/2}$ (days) | 4300 | 2000 | 1000 | 1000 | 365 | 400 | 250 |

摘自：Augustijn-Beckers et al., 1994.

表 3、1973、1981、1994 及 2004 年農田土壤中有機氯化烴農藥監測成果摘要

Table 3. Average residue levels of organochlorine pesticides in soil found in the year of 1973, 1981, 1994 and 2004¹.

| Pesticides | Average residue levels (μ g/kg) | | | | | | | |
|--------------------|--------------------------------------|-----------------|------|------|------------------------------|-------|------|-------|
| | Surface soil (0-15 cm depth) | | | | Bottom soil (15-30 cm depth) | | | |
| | 1973 | 1981 | 1994 | 2004 | 1973 | 1981 | 1994 | 2004 |
| Aldrin | 11.3 | 0.5 | 1.88 | 0.39 | 1.6 | 0.8 | 0.80 | 0.18 |
| Dieldrin | 17.8 | 0.5 | 0.30 | 0.14 | 11.7 | 1.7 | 0.33 | 0.19 |
| DDE | 20.3 | 14.9 | 5.82 | 2.32 | 7.4 | 5.3 | 3.54 | 2.50 |
| DDT | 17.1 | 2.8 | ND | 0.08 | 2.2 | 1.5 | 0.06 | 0.14 |
| Endrin | - ² | ND ³ | 0.12 | 0.16 | - | Trace | 0.02 | 0.07 |
| Heptachlor | 1.2 | ND | 0.10 | 0.02 | 0.5 | 0.1 | 0.17 | 0.003 |
| Heptachlor epoxide | 2.1 | 0.5 | 0.12 | 0.01 | 2.1 | 0.8 | 0.01 | 0.03 |
| Lindane | 11.8 | 0.7 | 1.11 | 0.07 | 4.7 | 3.1 | 0.43 | 0.09 |

¹) 112, 136, 204 and 536 samples were analyzed in 1973, 1981, 1994 and 2004 respectively. Surface soil from 0-12 cm and bottom soil from 12-24 cm were taken in 1973.

²) Not analyzed.

³) Not detectable.

表 4、有機氯化烴農藥在台灣農田土壤中之消散半量期(DT₅₀)(年)

Table 4. The DT₅₀ of OCPs in the field soils of Taiwan¹

| | Aldrin | Dieldrin | DDE | DDT | Heptachlor | Heptachlor | Lindane |
|--|--------|----------|-----|-----|------------|------------|---------|
|--|--------|----------|-----|-----|------------|------------|---------|

| | | | | | | | |
|--------------|------|------|------|------|------|---------|------|
| | | | | | | epoxide | |
| Surface soil | 8.45 | 4.70 | 9.04 | 4.01 | 4.27 | 5.33 | 4.73 |
| Bottom soil | 10.6 | 4.90 | 18.6 | 5.74 | 4.61 | 4.95 | 4.84 |

¹⁾ DT₅₀ were calculated based on data of Table 3, the unit of DT₅₀ was year.

表 5、有機氯化烴農藥由土壤轉移至作物之最高推算值

Table 5. Estimated maximum residue levels of OCPs moved from soil to crop

| Pesticides | Maximum residue levels in soil ¹ ($\mu\text{g}/\text{kg}$) | Concentration or dilution factor ² (from soil to crop) | Maximum residue levels in crops ³ (mg/kg) |
|------------|--|--|---|
| Aldrin | 30.1 | 0.001 – 0.396 | Trace – 0.01 |
| DDT | 26.1 | 0.003 – 0.128 | Trace |
| Dieldrin | 36.7 | 0.008 – 0.481 | Trace – 0.02 |
| Endrin | 19.1 | 0.020 | Trace |
| Heptachlor | 1.19 | 0.02 – 2.863 | Trace |
| Lindane | 16.0 | 0.021 – 3.53 | Trace – 0.06 |

¹⁾ Maximum residue levels in soil are come from the monitoring results of 2004

²⁾ Cited from: Edwards, 1975. Concentration or dilution factor = amount in plant (fresh weight basis)/ amount in soil (dry weight basis).

³⁾ Maximum residue levels in crops = maximum residue levels in soil \times concentration or dilution factor.

表 6、作物中有機氯化烴農藥殘留最高限量

Table 6. The maximum residue limits for OCPs in crops (mg/kg)¹⁾

| Country | Aldrin & Dieldrin | Endrin | DDT & DDE ²⁾ | Heptachlor & Heptachlor epoxide | Lindane |
|-------------------------|-------------------|------------|-------------------------|---------------------------------|----------|
| Japan | ND – 0.1 | ND – 0.01 | 0.05 – 1 | 0.01 – 0.03 | 0.01 - 2 |
| Eu ³⁾ | 0.02 – 0.1 | 0.01 – 0.1 | 0.05 - 1 | 0.01 – 0.1 | 0.01 - 1 |
| United Nation (FAO/WHO) | 0.02 – 0.1 | 0.05 | 0.1 – 0.2 | 0.01 – 0.02 | 0.01 |

¹⁾ Cited from: EU Pesticide database (2009), The Codex Alimentarius Commission. (2009), The Japan Food Chemical Research Foundation (2009).

2) DDT, DDE, TDE individual or combination.

3) European Commission.

表 7、大漢溪及二仁溪底泥中有機氯化烴農藥殘留監測結果摘要

Table 7. Concentration ranges and mean values of OCPs residues in surface sediments collected from Da-han and Erh-jen River¹

| | α - BHC | β - BHC | Hept. epoxide | Hept. epoxide | Aldrin | Di- -eldrin | Endrin | Endrin- aldehyde | Endrin- ketone | DDE | DDD | DDT |
|---------------|-------------------|------------------|------------------|------------------|---------------|----------------|----------------|---------------------|-------------------|----------------|----------------|----------------|
| Da-han River | | | | | | | | | | | | |
| Range | <0.12- 4.55 | <0.35- 1.08 | <0.15- 1.57 | <0.05- 0.15 | <0.12- 5.8 | <0.22- 0.56 | <0.15 | <0.06- 2.39 | <0.13- 0.57 | <0.12- 3.89 | <0.18- 3.34 | <0.18- 3.34 |
| Mean | 1.05 | 0.15 | 0.30 | 0.01 | 0.70 | 0.03 | -- | 0.35 | 0.10 | 0.78 | 0.69 | 0.62 |
| Erh-jen River | | | | | | | | | | | | |
| Range | <0.12- 1.5 | <0.35- 14.1 | <0.15- 5.61 | <0.24 | <0.05- -- | <0.12- 1.09 | <0.22- 0.64 | <0.06- 1.99 | <0.13- 1.77 | <0.12- 1.69 | <0.18- 3.9 | <0.18- 1.44 |
| Mean | 0.63 | 3.46 | 0.47 | -- | -- | 0.32 | 0.05 | 0.34 | 0.27 | 0.51 | 1.13 | 0.76 |

¹Cited from: Doong et al. 2002

表 8、台灣 12 條主要河川底泥中有機氯化烴農藥最高殘留量(2003 年採樣)

Table 8. Maximum organochlorine pesticide residues in the sediment of 12 major rivers of Taiwan found on 2003¹

| Maximum Residue (μ g/kg dry wt.) | HCB | Lindane | Heptachlor | Heptachlor epoxide | Aldrin | Dieldrin | Endrin | DDT | DDE | DDD |
|--|-------------------|---------|-----------------|-----------------------|--------|----------|--------|------|------|------|
| Dry season | | | | | | | | | | |
| Upper reaches | <0.2 ² | 0.41 | ND ³ | <0.2 | <0.2 | 1.3 | ND | <0.2 | 0.99 | 0.99 |
| Middle | 1.3 | 0.49 | 4.8 | <0.2 | 0.29 | <0.2 | ND | 1.2 | 1.2 | 1.2 |
| Lower reaches | 0.57 | 0.42 | 4.5 | 0.25 | 1.6 | 0.45 | 2.9 | 0.30 | 3.4 | 3.4 |
| Raining season | | | | | | | | | | |
| Upper reaches | 0.83 | 0.43 | ND | ND | ND | 0.42 | ND | 0.57 | 0.92 | 0.92 |
| Middle | <0.2 | 0.45 | ND | ND | 0.36 | <0.2 | 0.51 | 0.53 | 0.68 | 0.68 |
| Lower | 0.36 | 0.46 | 0.88 | <0.2 | <0.2 | 0.51 | 0.95 | 0.72 | 3.6 | 3.6 |

| | | | | | | | | | | |
|-----------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| reaches | | | | | | | | | | |
| Detection limit | 0.05 | 0.06 | 0.06 | 0.03 | 0.02 | 0.06 | 0.02 | 0.08 | 0.04 | 0.05 |

¹⁾ 摘自李俊璋等(2004)

²⁾ Concentration lower than the lowest of calibration concentration range.

³⁾ Not detectable.

表 9、水稻專業區灌溉溝渠底泥中有機氯化烴農藥殘留調查摘要(2004 年採樣)

Table 9. OCPs residues in the sediments collected from irrigation ditches of paddy fields of Taiwan found on 2004¹

| OCPs | Positive sample (%) | Average ($\mu\text{g/kg dry wt.}$) | Range ($\mu\text{g/kg dry wt.}$) |
|--------------------|---------------------|--------------------------------------|------------------------------------|
| Aldrin | 18.1 | 0.84 | ND ² - 7.50 |
| BHC | 6.25 | 0.23 | ND - 10.3 |
| DDE | 9.03 | 1.00 | ND - 70.0 |
| DDD | 0.69 | 0.03 | ND - 4.52 |
| DDT | 4.86 | 1.31 | ND - 120 |
| Endrin | 2.78 | 0.76 | ND - 46.8 |
| Heptachlor | 1.39 | 0.23 | ND - 29.9 |
| Heptachlor epoxide | 2.08 | 0.14 | ND - 10.4 |
| Dieldrin | 0 | ND ³ | ND |

¹⁾ 摘自：初建(2004)

²⁾ 144 samples

³⁾ ND = Non-detectable

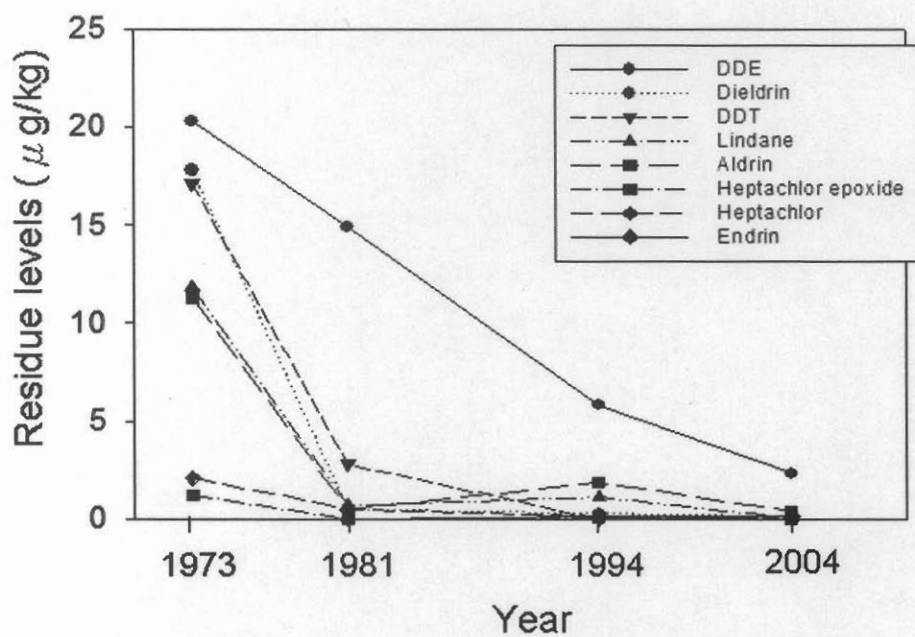


Figure 1. The degradation of OCPs residues in field soil of Taiwan (surface soil).

圖 1、台灣地區表土(0-15 cm 深)中有機氯化烴農藥殘留降解情形

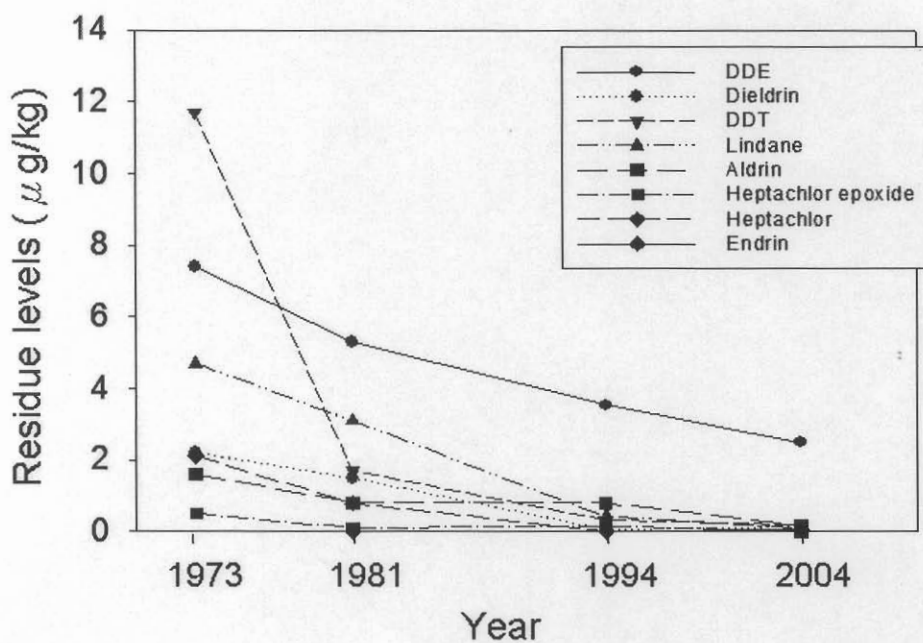


Figure 2. The degradation of OCPs residues in field soil of Taiwan (bottom soil).

圖 2、台灣地區裏土(15-30 cm 深)中有機氯化烴農藥殘留降解情形

參考文獻

- 王正雄、柳家瑞。2000。臺灣歷年環境中有機氯殺蟲劑殘留趨勢分析 (1973-1999)。藥物食品分析 8: 149-158。
- 古德業。1979。台灣農業環境中有機氯化烴殺蟲劑殘留量。台灣植物保護中心毒理組研究報告第廿三號。118 頁。
- 行政院環保署。1999。河川魚體中累積性化合物之檢測方法確認。行政院環保署報告編號 EPA-88-1502-03-01。
- 李俊璋、王應然、孫逸民、田倩蓉。2004。毒性化學物質環境流佈調查分析。行政院環保署報告編號 EPA-92-u1J1-02-102。
- 李國欽、李運申。1974。數種有機氯化烴類殺蟲藥劑在台灣水田中之殘留量。植物會刊 15: 163-170。
- 李國欽、李泰林。1983。台灣地區水稻田土壤中有機氯殺蟲劑含量調查。植物會刊 25: 271-279。
- 吳天基、李錦地、王一雄、陳玉麟。臺灣河川底泥中有機氯化烴殺蟲劑之殘留。中國農業化學會誌 20: 1-8。
- 林浩潭、翁懷慎、李國欽。1997。有機氯化烴殺蟲劑在台灣地區農田土壤中之殘留量。植物會刊 39: 173-180。
- 初建。2004。水田灌溉圳底泥中殘留農藥調查。農業藥物毒物試驗所研究計畫執行成果報告(93 農科-8.2.3-藥-P(1))。
- Augustijn-Beckers, P.W.M., Hornsby, A.G. and Wauchope, R.D. 1994. The SCS/ARS/CES pesticide properties database for environmental decision-making. II. Additional compounds. Review of Environmental Contamination and Toxicology 137:1-29.
- Doong, R.-A., Y.-C. Sun, P.-L. Liao, C.-K. Peng and S.-C. Wu. 2002. Distribution and fate of organochlorine pesticide residues in sediments from the selected rivers in Taiwan. Chemosphere 48: 237-246.
- Edwards, C.A. 1975. Persistent Pesticides in the Environment. CRC Ptes Inc. 170 pp.
- EU Pesticide database. 2009. Pesticide EU-MRLs.
http://ec.europa.eu/sanco_pesticides/public/index.cfm
- Jones, K.C. and P. de Voogt. 1999. Persistent organic pollutants (POPs): State of the sciences. Environmental Pollution 100: 209-221.
- Lohmann, R., K. Brevik, J. Dachs and D. Muir. 2007. Global fate of POPs: Current and future research directions. Environmental Pollution 150: 150-165.
- The Codex Alimentarius Commission. 2009. Pesticide Residues in Food.
http://www.codexalimentarius.net/mrls/pestdes/jsp/pest_q-e.jsp
- The Japan Food Chemical Research Foundation. 2009.

Positive List System for Agricultural Chemical Residues in Foods.

<http://www.ffcr.or.jp/zaidan/FFCRHOME.nsf/pages/MRLs-p>.

United Nations. 2009. Report of the Conference of the Parties of the Stockholm Convention on Persistent Organic Pollutants on the work of its fourth meeting

United Nations Environment Programme. UNEP/pops/cop.4/38. 112 pp.

UNEP. 2001. Final Act of the Plenipotentiaries on the Stockholm Convention on Persistent Organic Pollutants. United Nations Environment Program Chemicals, Geneva, Switzerland. 445 pp.

USEPA. 2004. Persistent organic pollutants: A global issue, A global response.

<http://www.epa.gov/international/toxics/pop.htm>.