

高環境風險潛勢農藥於臺灣之田間消散試驗研究

江珮瑜¹、江峻蔚²、許得美¹、初建^{1*}、徐慈鴻¹

摘要

江珮瑜、江峻蔚、許得美、初建、徐慈鴻。2023。高環境風險潛勢農藥於臺灣之田間消散試驗研究。臺灣農藥科學 15 : 1-18。

農藥於各國登記申請時，須依法規繳交各項動物與環境毒理等試驗項目資料，目的是瞭解農藥的代謝途徑、殘留等資訊，以作為農藥在人體及環境的風險評估。其中環境毒理試驗是指農藥進入環境後會經歷各種降解、代謝、移動等消散過程，稱之為農藥環境命運 (environmental fate) 的相關試驗，除了在實驗室內進行如水解、光分解、好/厭氣代謝、移動性等單一因子的研究外，最終仍需在實際田間進行環境持久性 (persistent) 量測，另可將實驗室及/或田間數據用於各種環境模型中，以預測在特定條件下可能發生的消散性結果，提供農藥環境風險潛勢。本研究選用草殺淨、亞托敏、貝芬替、加保扶、達滅芬、達有龍、菲克利、益達胺、納乃得及三賽唑共 10 種農藥，依我國防治病蟲害推薦使用方式進行田間消散性試驗，以瞭解上述藥劑在本土殘留消散情形。結果顯示，加保扶在本土之環境持久性分級高於國外消散試驗結果，草殺淨、亞托敏之本土環境持久性分級低於國外消散試驗結果，其餘 7 種藥劑則與國外環境持久性的分級區間相同。

關鍵詞：農藥、田間消散、環境風險、淋洗、土壤

接受日期：2023 年 10 月 23 日

* 通訊作者。E-mail: chu@acri.gov.tw

¹ 臺中市 農業部農業藥物試驗所

² 桃園市 農業部茶及飲料作物改良場

前言

田間消散性試驗 (terrestrial field dissipation, TFD) 是探討農藥在實際使用情況下於田間的殘留消散情形。相較於實驗室試驗一次僅進行單一代謝途徑的研究, TFD 能反映物理 (揮發、淋溶或植物吸收)、化學及生物 (水解、光分解、微生物轉化) 等交互作用對農藥降解的綜合影響⁽²¹⁾。藉由 TFD 取得藥劑之消散半衰期 (dissipation half-life, DT₅₀), 可用於與法規準則比較、作為更進一步風險評估的觸發因子, 或作為農藥於地下水或地表水預測模型之代入參數。目前農藥田間消散性資料多於國外建立, 本土資料較缺乏, 因此, 本研究為瞭解農藥在臺灣環境的宿命及與相關國際上消散資料的差異, 於本土進行小規模的消散性試驗, 以釐清農藥使用後在臺灣田間的消散情形, 有助於我國未來在農藥在土壤、地下水及地表水的暴露風險研究。

在過去歐美先進國家已建立了田間消散性試驗相關準則, 2006 年北美自由貿易區 (North American Free Trade Agreement, NAFTA) 制定了旱田田間消散指引⁽⁸⁾, 該版本在 2008 年為美國環保署 (United States Environmental Protection Agency, USEPA) 所採用⁽²¹⁾, 而 2016 年經濟合作暨發展組織 (Organisation for Economic Cooperation and Development, OECD) 也在該版本的基礎上進行調整並提出新版文

件⁽¹⁷⁾, 此外, 中國也在 2018 年發佈化學農藥於旱田的消散性試驗準則⁽¹⁾。本研究參考國際間的田間消散性試驗指引, 進行試驗規劃、施藥、採樣及殘留量分析, 取得高環境風險潛勢藥劑於本土的 DT₅₀, 建立本土之消散資料庫, 以利未來進行環境濃度預測及風險評估。

材料與方法

一、高環境風險潛勢藥劑之選用

本試驗藥劑係依以下指標篩選 (1) 國內高使用量農藥: 我國 2014-2017 年間農藥 (包括殺蟲劑、殺菌劑與除草劑) 有效成分年用量達 40 公噸以上之前 40 名高用量清單。(2) 評估各藥劑之環境潛勢: 查詢國際農藥資料庫 (Pesticides Properties DataBase, PPDB)⁽²⁰⁾, 取得該藥劑之土壤 DT₅₀、有機碳吸附常數 (K_{oc}) 與水溶解度 (S_w)。(3) 計算 GUS index^(13, 21) 評估是否具有淋洗風險: GUS index 是化學物質在土壤中淋溶行為的快速指標, 能提供淋洗潛勢指示, 使用 K_{oc}、DT₅₀ 計算, 公式為 $GUS = \log(DT_{50}) \times [4 - \log(K_{oc})]$ 。(4) 使用 Antonenko 等人所提出的 LEACH index⁽⁵⁾ 指標評估環境污染風險潛勢: $LEACH = (S_w + DT_{50}) / K_{oc}$, 除了採用 K_{oc}、DT₅₀ 做為評估參數, 另考量化學物質的水中溶解度, 相較於 GUS index, LEACH index 較能反映出藥劑透過逕流傳輸到其他環境介質的可能。(5) 參考本所

2014-2018 年監測全臺各地農田土壤、灌溉水中農藥檢出情形。綜合以上 5 項指標，篩選出優先進行本研究田間消散性之農藥 10 種 (表一)：草殺淨、亞托敏、貝芬替、加保扶、達滅芬、達有龍、菲克利、益達胺、納乃得及三賽唑，作為本研究進行田間消散試驗之試驗藥劑。

二、田間試驗設計

1. 試驗田區規劃：選擇 3 年內 (2017-2019 年) 未施用試驗物或化性相似農藥之田區，參考化學農藥旱田間消散試驗準則⁽¹⁾ 對試驗區之要求，每個試驗小區

長及寬分別至少大於 15 m 及 2 m，面積介於 30-120 m²，形狀應為長條狀，並能滿足各採樣時間所需採集之土壤數量。本研究試驗田設計共 1 個對照區 (CK) 及 2 個試驗處理區 (T1、T2)，長寬分別為 CK: 3 m×16 m 及 T1、T2: 2 m×16 m (圖一)，對照區與處理區相隔 5 m 以上，以避免施藥時的飄散污染。本研究之試驗田為我國中部代表土系社腳系 (TCo)⁽⁷⁾，田區位於豐正段 587 地號。

2. 試驗藥劑調配與施用：本試驗依防治病蟲害使用方法標示的最大使用量與推薦施藥方法，採用年度累計使用量進行一

表一、高環境風險潛勢藥劑之選用參數與淋洗特性計算

Table 1. Data used and calculated leaching characteristics of pesticides with high environmental-risk-potential in this study

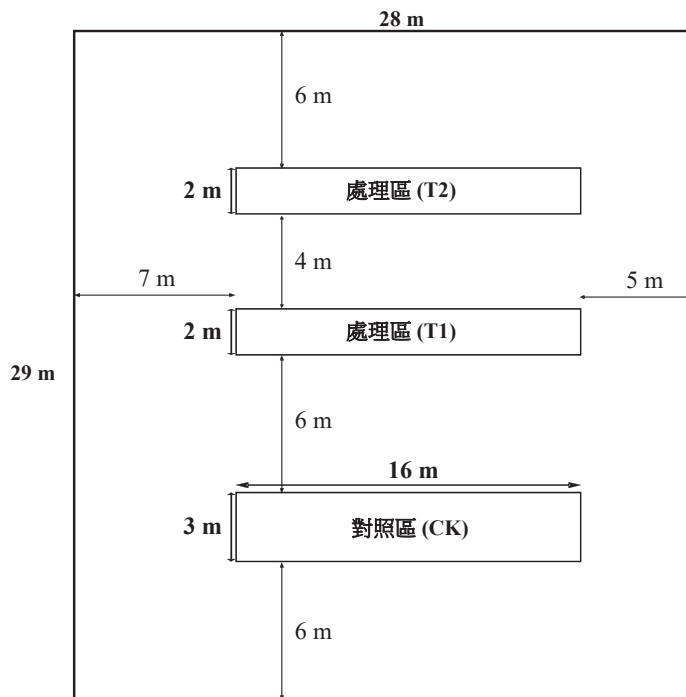
Pesticides	Chinese name	DT ₅₀ ¹⁾ (day)	K _{oc} ¹⁾ (mL/g)	S _w ¹⁾ (mg/L)	LEACH ²⁾	GUS ³⁾
ametryn	草殺淨	37	316	200	23.4	2.4
azoxystrobin	亞托敏	181	589	6.7	2.1	2.8
carbendazim	貝芬替	22	225	8	0.8	2.2
carbofuran	加保扶	14	22	322	204.9	3.0
dimethomorph	達滅芬	44	402	28.95	3.2	2.3
diuron	達有龍	229	680	35.6	12.0	2.8
hexaconazole	菲克利	225	1,040	18	3.9	2.3
imidacloprid	益達胺	174	225	610	471.7	3.7
methomyl	納乃得	7 ⁴⁾	72	55,000	5,347.2	1.8
tricyclazole	三賽唑	130	169	596	458.5	3.7

¹⁾ 資料檢自 PPDB⁽²⁰⁾.

²⁾ LEACH index 數值判定標準：0.0-1.0 屬環境污染低風險；1.1-2.0 具環境污染中等風險；>2.0 具環境污染高風險⁽⁵⁾。

³⁾ GUS index 數值判定標準：<1.8 具低移動性；1.8-2.8 具中等移動性；>2.8 具高移動性⁽²¹⁾。

⁴⁾ methomyl 於 PPDB 中僅提供實驗室土壤代謝半衰期 DT₅₀ = 7 d。



圖一、田間消散性試驗規劃示意圖。

Fig. 1. Schematic diagram of field dissipation study.

次性施藥，10種試驗藥劑之施用劑型及每公頃施藥量詳如表二。除了加保扶為粒劑直接施用之劑型，其他藥劑以桶混方式⁽²⁾加水稀釋後一起施用。藥劑混合經預試驗小規模測試無發生物理狀態之不良物現象，調配順序為可濕性粉劑(貝芬菲克利、達有龍)、水溶性粉劑(納乃得)、水懸劑(亞托敏、達滅芬、菲克利、益達胺、三賽唑)及乳劑(草殺淨)，用水量共 15 L。扇形噴頭出水量為 40 mL/s，藥液噴灑後待土壤自然乾燥後 3 小時，再進行粒劑(加保扶)撒布。

3. 土壤採樣：於 2020 年 2 月 24 日進行藥劑噴灑(第 0 天)，施藥前、後(施藥後 4 h 內)皆進行土壤採樣，至 2021 年 6 月 18 日(第 480 天)期間共規劃 14 個採樣時間點，分別為施藥後第 0、1、3、10、14、21、28、57、91、121、165、227、315 及 480 天。試驗處理區以隨機分布劃分成 14 個次區(圖二)，每次採樣各次區中至少採集 5 個點，每個點以不銹鋼製手動式土鑽採樣器(hand-held auger, Ø 3-10 cm)採集 0-100 cm 土壤，分為六段土層 0-15、15-30、30-45、45-60、60-80、80-100 cm，將

同一個次區中相同土層深度的土壤樣品混合為一個樣品。對照區只需在施藥開始前採集足夠可供後續分析之量，作為空白樣品。當土壤採集後，若無法於 24

小時內進行樣品前處理與殘留量分析，則盡速冷凍土壤樣品並保存於-18°C 條件下。

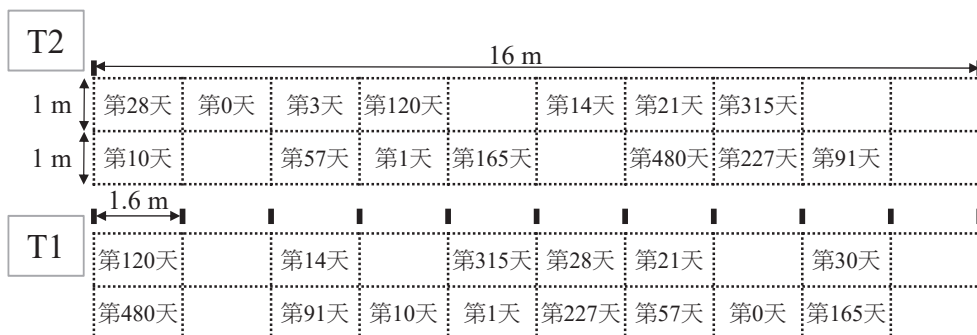
表二、供試農藥劑型及本研究每公頃有效成分施用量

Table 2. Selected formulations and application rates of test pesticides in this study

Pesticides	Formulation	Application rate (kg a.i./ha) ¹⁾
ametryn	emulsifiable concentrate (EC)	1.875
azoxystrobin	suspension concentrate (SC)	1.000
carbendazim	wettable powder (WP)	0.588
carbofuran	granule (GR)	2.400
dimethomorph	suspension concentrate (SC)	0.600
diuron	wettable powder (WP)	0.400
hexaconazole	wettable powder (WP) / suspension concentrate (SC)	0.240
imidacloprid	suspension concentrate (SC)	0.364
methomyl	water soluble powder (SP)	0.640
tricyclazole	suspension concentrate (SC)	0.667

¹⁾ 每公頃有效成分施用量 (kg a.i./ha) 計算方式，以草殺淨 (ametryn) 為例：查防檢局農藥資訊服務網-登記農藥查詢，草殺淨核准使用範圍有 2 種：

- (1) 草殺淨 25% 乳劑 (EC)，核准使用在蓮霧田，用以防治雜草，每公頃每次用量 7.5 公升，共施藥 1 次，則每公頃有效成分施用量為： $25\% \times 7.5 \text{ (L/次/ha)} \times 1 \text{ (次)} = 1.875 \text{ kg a.i./ha}$ 。
- (2) 草殺淨 80% 可溼性粉劑 (WP)，核准使用在甘蔗田，用以防治雜草，每公頃每次用量 2 公升，共施藥 1 次，則每公頃有效成分施用量為： $80\% \times 2 \text{ (L/次/ha)} \times 1 \text{ (次)} = 1.6 \text{ kg a.i./ha}$ 。
- (3) 綜上，以風險高者計，擇定以草殺淨 25% 乳劑、每公頃每次用量 7.5 公升，共施藥 1 次之年度累計使用量 1.875 kg a.i./ha 作為本研究試驗劑量。



圖二、試驗處理區 14 個次區採樣規劃。

Fig. 2. Illustration showing the sampling plot and 14 subplots in the treated area.

4. 環境條件監控及記錄：氣象資訊收集自農業氣象觀測網監測系統⁽⁴⁾ 農業試驗所測站 (G2F820)，紀錄每日之平均氣溫 (°C)、最高氣溫 (°C)、最低氣溫 (°C)、累計雨量 (mm) 及平均地溫 (°C)。

三、樣品前處理及分析試驗

1. 土壤樣品均質：在冷凍或乾冰存在下進行，以避免分析成分在混合或粉碎過程中降解。將土壤樣品去除石塊、雜物後攪拌混勻，加入約 2 kg 碎乾冰充分混合使土壤樣品維持低溫，以土壤均質機 SK300 (Retsch GmbH, Retsch-Allee, Hann, Germany) 在轉速 2,600 rpm 下進行均質，均質完成後冷凍保存於-20°C 條件下，以待試驗分析用。
2. 殘留量分析：參考施等人 (2019)⁽³⁾ 之土壤中多重農藥殘留分析方法及儀器分析條件，其中前處理定容步驟依樣品中濃度進行調整，原樣品經索式萃取 (Soxhlet extraction) 並濃縮至微乾後以 2 mL 丙酮與正己烷混合液 (1:1, v/v) 定容，本試驗改為經索式萃取並濃縮至微乾後以甲醇 (≥ 99.9%, Merck) 定容至 10 mL 備用。以超高效液相層析串聯質譜儀 (Waters ACQUITY UPLC/Waters Premier XE) 檢測殘留量。
3. 根據歐洲食品安全局 (European Food Safety Authority, EFSA) 指引中探討降雨量與水分滲入土層深度之結果⁽¹⁰⁾，

0.05 mm 的降雨可滲入土層 0.2 mm。由於農藥於土壤中係藉由水分移動，本試驗施藥後第 28 天累積降雨 36.5 mm⁽⁴⁾，經換算水分可滲入土層 14.6 cm；第 57 天累積降雨 68 mm，水分可滲入土層 27.2 cm；第 91 天累積降雨 235 mm，水分可滲入土層 94 cm，故施藥後第 0 至 28 天之採樣點僅檢測 0-15 cm 土層之殘留量，第 57 天之採樣點檢測 0-30 cm 土層之殘留量，第 91-480 天之採樣點檢測 0-100 cm 土層之殘留量。

4. 方法偵測極限 (Limit of detection, LOD) 以對照樣品添加 4 µg/kg，並計算訊噪比 (S/N)；定量極限 (Limit of quantification, LOQ) 以對照樣品添加 10 µg/kg，並計算回收率。樣品分析期間以對照區土壤空白樣品進行添加試驗 (添加標準劑濃度 0.1 mg/kg)，作為每批次品質管制分析。
5. 土壤水分含量測定：採用重量法，將 15 g 經均質之土壤樣品於 105°C 下乾燥至恆重，以乾燥前後重量之差值計算水分含量 (補充資料一)。
6. 土壤性質分析：委託國立中興大學土壤調查試驗中心進行土壤性質分析，項目包含有機質、酸鹼值、質地、陽離子交換能力及總體密度等 (表三)。

四、殘留量數據分析

1. 不同採樣時間點之殘留量計算：將各土層殘留量以其水分含量換算為乾重計，

表三、供試土壤性質分析結果

Table 3. Characteristics of test soil

Soil characteristics	Value / Result
Organic Matter (%)	2.11
pH	6.64
Texture	Loam
Sand (%)	39.7
Silt (%)	36.9
Clay (%)	23.4
Cation Exchange Capacity (cmolc kg ⁻¹)	8.59
Bulk density (g/cm ³)	1.33

公式為：殘留量 (乾重計, $\mu\text{g}/\text{kg}$) = 殘留量 (濕重計, $\mu\text{g}/\text{kg}$) \div [100%-水分含量(%)] \times 100%。計算同一天兩重複處理區相同土層殘留量之平均值，再將同一採樣時間之各土層殘留量相加，取得該採樣時間點之農藥殘留量。

2. 計算土壤消散半衰期 (DT_{50})：使用降解動力學軟體 CAKE (Computer Assisted Kinetic Evaluation) ⁽¹⁹⁾ 評估化學物質降解動力學。將採樣時間與殘留量輸入 CAKE 進行擬合，得到試驗藥劑之降解曲線、殘差分布圖、卡方檢定誤差百分比 (χ^2) 及 DT_{50} 。

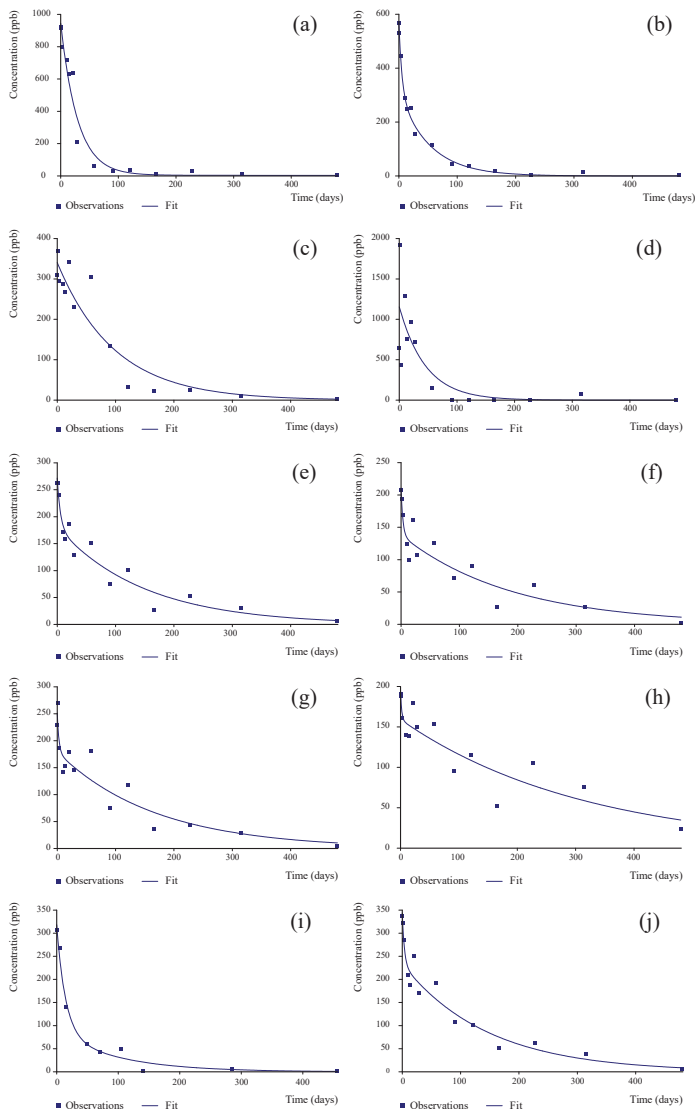
對標準偏差小於 15.8%， LOQ 可達 10 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 。每批次品質管制分析結果回收率介於 70.7-123.5%之間。

2. 殘留量數據擬合、 DT_{50} 計算：根據歐盟農藥降解動力學指引 ⁽¹²⁾，殘留量介於 LOD 與 LOQ 間，以原殘留量表示；殘留量第一次小於 LOD 則以 $0.5 \times LOD$ (2 $\mu\text{g}/\text{kg}$) 表示，之後小於 LOD 之殘留量忽略不計 (本研究以“-”表示)。將各採樣時間之殘留量數據 (補充資料二) 點輸入 CAKE 後，以 DFOP (Double first-order in parallel) 模式進行擬合，得到各藥劑之降解曲線及殘差分布圖 (圖三、圖四)，各藥劑之卡方檢定誤差百分比介於 6.59-59% (表四)，經軟體自動計算後可得高環境風險潛勢藥劑之 DT_{50} ，分別為草殺淨 20.4 天、亞托敏 10.9 天、貝芬替 67.9 天、加保扶 31.6 天、達滅芬 42.6 天、達有龍 51.5 天、菲克利 60.0 天、益達胺 157 天、納乃得 2.89 天及三賽唑 44.7 天，本研究所得之 DT_{50} 及 PPBD 所查詢之 DT_{50} 與範圍同列於表四。

結果與討論

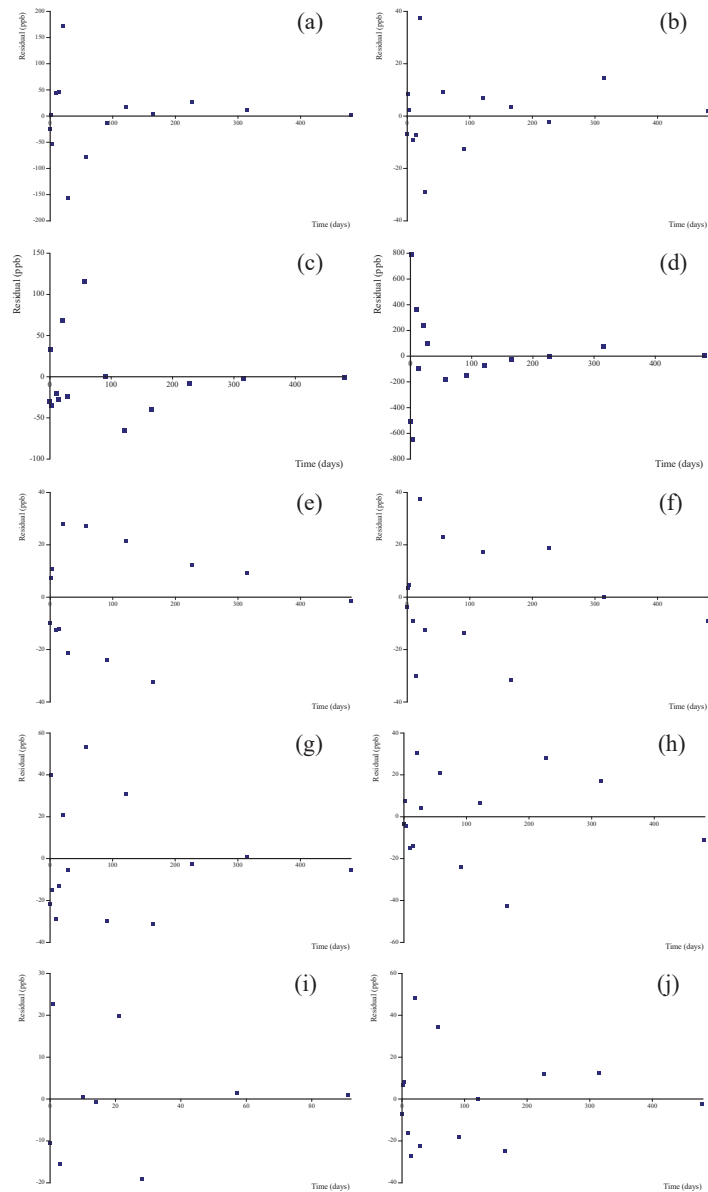
一、田間消散試驗結果

1. 方法偵測極限、定量極限及品質管制分析：各試驗藥劑之 4 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 添加試驗，其 S/N 皆大於 3，顯示 LOD 可達該濃度，而各試驗藥劑之 10 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 添加回收試驗，其回收率介於 78.2-109.7%，相



圖三、以 CAKE 軟體擬合之降解曲線圖 (a) 草殺淨、(b) 亞托敏、(c) 貝芬替、(d) 加保扶、(e) 達滅芬、(f) 達有龍、(g) 菲克利、(h) 益達胺、(i) 納乃得、(j) 三賽唑。

Fig. 3. Graphs showing observation points and fitted curves to illustrate the relationship between simulated pesticide concentrations and time. Specifically, the following pesticides are shown: (a) ametryn, (b) azoxystrobin, (c) carbendazim, (d) carbofuran, (e) dimethomorph, (f) diuron, (g) hexaconazole, (h) imidacloprid, (i) methomyl, (j) tricyclazole by CAKE.



圖四、以 CAKE 軟體擬合之殘差分布圖 (a) 草殺淨、(b) 亞托敏、(c) 貝芬替、(d) 加保扶、(e) 達滅芬、(f) 達有龍、(g) 菲克利、(h) 益達胺、(i) 納乃得、(j) 三賽啞。

Fig. 4. Residual plots for pesticides: (a) ametryn, (b) azoxystrobin, (c) carbendazim, (d) carbofuran, (e) dimethomorph, (f) diuron, (g) hexaconazole, (h) imidacloprid, (i) methomyl, (j) tricyclazole by CAKE.

表四、卡方檢定誤差 (χ^2) 百分比及本研究與 PPDB 之 DT_{50} 比較Table 4. Results of Chi-square (χ^2) analyses and comparisons of DT_{50} values between this study and PPDB

Pesticides	χ^2 (%)	DT_{50} , this study (day)	DT_{50} , PPDB (day)	DT_{50} , PPDB (range) (day)	DT_{50} , this study/ DT_{50} , PPDB (%)
ametryn	17.1	20.4	37	70-120	55.1
azoxystrobin	6.59	10.9	181	121-262	6.0
carbendazim	21.1	67.9	22	11-78	309
carbofuran	59	31.6	14	1.3-27	226
dimethomorph	12.3	42.6	44	34-54	96.8
diuron	15.8	51.5	229	54-729	22.5
hexaconazole	17.7	60	225	49-225	26.7
imidacloprid	13.7	157	174	104-228	90.2
methomyl	12.4	2.89	7	4.6-8.6	41.3
tricyclazole	11.3	44.7	130	47-213	34.4

觀察降解曲線圖，除加保扶之量測濃度偏離曲線較大，其餘 9 種農藥預測濃度大致與量測濃度趨勢接近，且殘差值是在 x 軸兩側隨機分布，未發生僅在 x 軸同一側，表示無系統性偏差，符合歐盟農藥降解動力學指引⁽¹²⁾對降解曲線之要求。卡方檢定係用於判斷降解曲線與實際殘留量的擬合程度，指引中建議誤差小於 15%，本研究大部分藥劑符合指引建議。結果顯示加保扶之誤差為 59%，表示其擬合程度不佳，這可能是由於加保扶為粒劑，直接撒布於土壤表面，其他劑型藥劑在施用時須先加水稀釋，以液體型態施用更能均勻分布於土壤表面，此外，粒劑也使土壤樣品在前處理的混合上較為困難，故其田間變異性較大及樣品均質性較差，使得降解曲線擬合程度不理想。

二、本研究取得之 DT_{50} 與國外資料之比較

將本研究計算所得之 DT_{50} 與 PPDB 資料庫比較，草殺淨、亞托敏、達滅芬、達有龍、菲克利、益達胺、納乃得及三賽唑等 8 支藥劑 DT_{50} 皆短於 PPDB 所提供之資料，其中亞托敏 DT_{50} 僅為 PPDB 資料庫的 6.0% (表四)，其他 7 支藥劑則介於 22.5-96.8%，顯示這些藥劑在臺灣的環境下降解速率較快。進一步探討亞托敏 DT_{50} 與 PPDB 資料庫差異大的原因，歐盟在實驗室的土壤代謝半衰期數據顯示， DT_{50} (typical) 介於 35.2-248 天，在田間試驗 DT_{50} (field) 則介於 120.9-261.9 天，可發現此藥劑 DT_{50} 變異大。此外，在聯合國

農糧組織 (Food and Agriculture Organization of the United Nations, FAO) 的報告中提到亞托敏於土表光分解快速，DT₅₀ 僅 11 天⁽¹¹⁾，參考先正達公司對亞托敏水懸劑之使用說明書，於環境資料部分敘明顯示該藥劑在田間的土壤 DT₅₀ 平均為 14 天⁽¹⁸⁾。上述資訊能解釋本研究亞托敏的 DT₅₀ 與 PPDB 資料庫的差異，可能是由於田間試驗的變異、臺灣氣候條件與國外研究不同，以及藥劑本身易於土壤表面發生光分解的特性。

其餘 2 支藥劑貝芬替及加保扶之本土消散結果則較 PPDB 資料庫 DT₅₀ 長，但若與 PPDB 所提供的田間消散 DT₅₀ 資料區間相比，本研究貝芬替 (DT₅₀ = 67.9 d) 落在 PPDB 區間內 (11-78 天)，加保扶 (DT₅₀ = 31.6 d) 則高於 PPDB 區間 (1.3-27 天)。此外，PPDB 亦提及有其他研究顯示這些藥劑具較長 DT₅₀，例如美國國家農藥資訊中心 (National Pesticide Information Center, NPIC) 顯示貝芬替於環境中土壤之 DT₅₀ 為 120 天、加保扶為 50 天⁽¹⁶⁾，世界衛生組織 (World Health Organization, WHO) 亦指出貝芬替在裸土的 DT₅₀ 介於 6-12 個月⁽¹⁵⁾，皆較本研究結果長。根據上述國內外研究資料，相同藥劑經田間消散試驗所得出之 DT₅₀ 數值區間較大，儘管各研究機構已依循相關國際試驗準則，但由於試驗地點在氣候 (降雨量、環境溫度及濕度) 與土壤性質 (有機質含量、土壤組成及含水量) 上的差異，皆會影響農藥在環境中降解速率，這是田間消散試驗結果變

異較大的原因。

根據本研究結果顯示，本試驗選用持久性風險較高 (DT_{50, PPDB} > 60 天) 之 5 種農藥：亞托敏、達有龍、菲克利、益達胺及三賽唑，其本土 DT₅₀ 皆較 PPDB 短。其餘 5 種持久性風險較低之農藥 (DT_{50, PPDB} < 60 天)：草殺淨、貝芬替、加保扶、達滅芬及納乃得，有 2 種之本土 DT₅₀ 較 PPDB 長 (貝芬替、加保扶)，然進一步查詢相關歐美研究報告^(9, 16)，本研究之 DT₅₀ 仍小於或僅相當於國外消散試驗之 DT₅₀。這可能是 (1) 由於歐美國家多屬大陸性氣候，溫度較低、降雨較少不利於農藥降解，而本研究試驗期間之平均氣溫為 9.4-31°C，地表下 10 cm 之平均地溫為 14.6-30.3°C；單日降雨量 0-205.5 mm⁽⁴⁾。不論是氣溫、地溫或降雨量，均較歐美國家高溫且多濕，故本研究中農藥降解較快。(2) 根據 Carpio 等人⁽⁶⁾ 及 Harju 等人⁽¹⁴⁾ 研究結果顯示，土壤中添加有機質可促進農藥田間消散速度，而本研究試驗土壤有機質含量 2.11%，係屬有機質含量較高之土壤，推測其為造成本研究 DT₅₀ 小於或僅相當於國外消散試驗 DT₅₀ 之可能原因。另依據 PPDB 環境命運指標中降解半衰期數據分級，僅 1 種藥劑 (加保扶) 在本土之環境持久性分級高於國外消散試驗結果，2 種藥劑 (草殺淨、亞托敏) 之本土環境持久性分級低於國外消散試驗結果，其餘 7 種藥劑與國外環境持久性分級區間相同 (表五)。

表五、供試農藥之本土 DT₅₀ 與 DT_{50, PPDB} (區間) 環境持久性分級比較Table 5. Comparison of environmental persistence classifications according to DT₅₀ values from this study and from PPDB

Pesticides	DT _{50, this study}		DT _{50, PPDB} (range)	
	Value (day)	Interpretation ¹⁾	Value (day)	Interpretation ¹⁾
ametryn	20.4	N	70-120	M to P
azoxystrobin	10.9	N	120.9-261.9	P
carbendazim	67.9	M	11-78	N to M
carbofuran	31.6	M	1.3-27	N
dimethomorph	42.6	M	34-54	M
diuron	51.5	M	54-729	M to V
hexaconazole	60.0	M	49-225	M to P
imidacloprid	157	P	104-228	P
methomyl	2.89	N	4.6-8.6	N
tricyclazole	44.7	M	47-213	M to P

¹⁾ N: Non-persistent, DT₅₀ < 30 d; M: Moderately persistent, DT₅₀ = 30-100 d; P: Persistent, DT₅₀ = 100-365 d; V: Very persistent, DT₅₀ > 365 d⁽²⁰⁾.

結論

本研究於臺灣環境下進行田間消散性試驗，探討 10 種高環境風險潛勢農藥之消散情形，取得本土 DT₅₀ 分別為草殺淨 20.4 天、亞托敏 10.9 天、貝芬替 67.9 天、加保扶 31.6 天、達滅芬 42.6 天、達有龍 51.5 天、菲克利 60.0 天、益達胺 157 天、納乃得 2.89 天及三賽唑 44.7 天，能填補本土消散資料不足之缺口。總體而言，本研究選用共 10 種農藥中，有 8 種農藥在臺灣環境之 DT₅₀ 小於或相當於國外研究試驗機構所報導之 DT₅₀。此外，國外資料庫所提供之 DT₅₀ 一般係綜合多場次之田間試驗結果，以幾何平均 (Geometric mean) 求得 DT₅₀，已將田間試驗在氣候及

環境上之變異納入考量，未來若因國內資料缺乏，可先引用國外田間消散性 DT₅₀ 推估該農藥於我國之環境風險。

謝辭

本研究承蒙農業部 2022 年農科-5.4.6-藥-P1 計畫經費補助及本所殘留管制組張巧盈、徐劭儒、陳素文、簡文彥、及張欽豪及廖偉志協助試驗工作，謹此謝忱。

引用文獻

1. 中华人民共和国农业部。2018。化学农药 旱田田间消散试验准则。
2. 農業部農業知識入口網。2004。農藥調配技術。檢自 <https://kmweb.coa.gov.tw/>

- knowledgebase.php?id=13055 (May 22, 2018)
3. 施念昊、許得美、徐慈鴻、初建。2019。利用氣相層析串聯質譜法及超高效液相層析串聯質譜法同時檢測土壤中352種農藥殘留。臺灣農藥科學 6：1-36。
 4. 交通部中央氣象署、農業部。農業氣象觀測網監測系統。檢自 https://agr.cwb.gov.tw/NAGR/history/station_day (Oct. 22, 2021)
 5. Antonenko, A., Vavrinevych, O., Korshun, M., and Omelchuk, S. 2019. Development of a method for prediction of risk of surface and groundwater contamination with pesticides and their dangerous aspects for human health. pp.37-51. *In*: M. Gomo [ed.], Groundwater-resource characterization and management aspects. IntechOpen, London, UK. 146 pp.
 6. Carpio, M. J., Marín-Benito, J. M., Sánchez-Martín, M. J., and Rodríguez-Cruz, M. S. 2021. Accelerated dissipation of two herbicides after repeated application in field experiments with organically-amended soil. *Agronomy* 11: 1125.
 7. Chen, Z. S., Hseu, Z. Y., and Tsai, C. C. 2015. *The soils of Taiwan*. Springer Dordrecht, Netherlands. 127 pp.
 8. Corbin, M., Eckel, W., Ruhman, M., Spatz, D., Thurman, N., Gangaraju, R., Kuchnicki, T., Mathew, R., and Nicholson, I. 2006. NAFTA guidance document for conducting terrestrial field dissipation studies. Retrieved from https://archive.epa.gov/scipoly/sap/meetings/web/pdf/terrestrial_field_dissipation_guidance.pdf (May 22, 2018)
 9. EFSA. 2006. Conclusion regarding the peer review of the pesticide risk assessment of the active substance dimethomorph. *EFSA J.* 4: 82.
 10. EFSA. 2014. EFSA Guidance Document for evaluating laboratory and field dissipation studies to obtain DegT50 values of active substances of plant protection products and transformation products of these active substances in soil. *EFSA J.* 12: 3662.
 11. FAO. 2008. JMPR Evaluation: azoxystrobin (229). Retrieved from https://www.fao.org/fileadmin/templates/agphome/documents/Pests_Pesticides/JMPR/Report13/Azoxystrobin.pdf (Sep. 26, 2021)
 12. Forum for the co-ordination of pesticide fate models and their Use (FOCUS). 2014. Generic guidance for estimating persistence and degradation kinetics from environmental fate studies on pesticides in EU registration. Version 1.1 Retrieved from https://esdac.jrc.ec.europa.eu/public_path/projects_data/focus/dk/docs/FOCUSkineticsvc1.1Dec2014.pdf (Oct. 15, 2021)
 13. Gustafson, D. I. 1989. Groundwater

- ubiquity score: a simple method for assessing pesticide leachability. *Environ. Toxicol. Chem.* 8: 339-357.
14. Harju, A. V., Närhi, I., Mattsson, M., Kerminen, K., and Kontro, M. H. 2021. Organic matter causes chemical pollutant dissipation along with adsorption and microbial degradation. *Front. Environ. Sci.* 9: 1-14.
 15. International Programme on Chemical Safety, International Labour Organization (ILO), WHO, and United Nations Environment Programme (UNEP). 1993. Carbendazim: health and safety guide, Companion volume to: Environmental health criteria 149, WHO, Geneva, Swiss. 24 pp.
 16. National Pesticide Information Center, NPIC. 1994. OSU Extension pesticide properties database. Retrieved from <http://npic.orst.edu/ingred/ppdmmove.htm> (Apr. 30, 2023)
 17. OECD. 2016. Guidance document for conducting pesticide terrestrial field dissipation studies. Series on Pesticides and Biocides, No. 82, OECD Publishing, Paris, France. Retrieved from <https://www.oecd-ilibrary.org/docserver/82afb9d0-en.pdf?expires=1698234012&id=id&accname=guest&checksum=566675979D79269AF2EC1718BA7BE777> (Sep. 1, 2021)
 18. Syngenta Crop Protection. 2005. Envirofacts: azoxystrobin. Retrieved from https://www.parks.marincounty.org/-/media/files/departments/pk/integrated-pest-mgmt/all-reports/2014-landscape-pesticides-products/hlazoxy_2011.pdf?la=en (Sep. 26, 2021)
 19. Tessella Technology and Consulting. 2018. CAKE 3.3: Computer Assisted Kinetic Evaluation. Tessella Technology and Consulting, Abingdon, Oxfordshire, UK. Retrieved from <https://showcase.tessella.com/products/cake/> (Oct. 23, 2021)
 20. University of Hertfordshire. PPDB: Pesticide Properties DataBase. Retrieved from <https://sitem.herts.ac.uk/aeru/ppdb/en/atoz.htm> (Apr. 30, 2023)
 21. USEPA. 2008. Fate, transport and transformation test guidelines: OPPTS 835.6100, Terrestrial field dissipation. Document number EPA 712-C-08-020.

補充資料一、土壤水分含量

Sample	Water content (%)	Sample	Water content (%)
T1_0d_0015F	7.9	T1_121d_0015F	6.9
T1_1d_0015F	8.3	T1_121d_1530F	11.4
T1_3d_0015F	6.8	T1_121d_3045F	14.9
T1_10d_0015F	6.6	T1_121d_4560F	15.6
T1_14d_0015F	5.3	T1_121d_6080F	14.7
T1_21d_0015F	10.2	T1_121d_80100F	14.2
T1_21d_1530F	13.4	T1_165d_0015F	7.9
T1_21d_3045F	15.6	T1_165d_1530F	12.0
T1_21d_4560F	16.5	T1_165d_3045F	12.6
T1_21d_6080F	17.9	T1_165d_4560F	14.2
T1_21d_80100F	19.0	T1_165d_6080F	12.8
T1_28d_0015F	8.9	T1_165d_80100F	16.2
T1_28d_1530F	12.0	T1_227d_0015F	7.6
T1_28d_3045F	14.2	T1_227d_1530F	8.3
T1_28d_4560F	15.7	T1_227d_3045F	9.8
T1_28d_6080F	16.1	T1_227d_4560F	11.5
T1_28d_80100F	15.5	T1_227d_6080F	14.4
T1_57d_0015F	8.6	T1_227d_80100F	13.3
T1_57d_1530F	11.2	T1_315d_0015F	8.2
T1_57d_3045F	14.1	T1_315d_1530F	10.8
T1_57d_4560F	16.0	T1_315d_3045F	11.5
T1_57d_6080F	19.0	T1_315d_4560F	11.7
T1_57d_80100F	18.8	T1_315d_6080F	11.2
T1_91d_0015F	12.4	T1_315d_80100F	10.7
T1_91d_1530F	12.9	T1_480d_0015F	8.9
T1_91d_3045F	15.2	T1_480d_1530F	10.8
T1_91d_4560F	16.5	T1_480d_3045F	12.9
T1_91d_6080F	17.1	T1_480d_4560F	15.0
T1_91d_80100F	15.4	T1_480d_6080F	13.8
		T1_480d_80100F	9.3

補充資料一 (續)、土壤水分含量

Sample	Water content (%)	Sample	Water content (%)
T2_0d_0015F	8.0	T2_121d_0015F	5.3
T2_1d_0015F	8.0	T2_121d_1530F	8.6
T2_3d_0015F	8.5	T2_121d_3045F	12.4
T2_10d_0015F	8.8	T2_121d_4560F	12.6
T2_14d_0015F	7.3	T2_121d_6080F	15.3
T2_21d_0015F	11.1	T2_121d_80100F	15.9
T2_21d_1530F	12.8	T2_165d_0015F	6.9
T2_21d_3045F	14.3	T2_165d_1530F	11.9
T2_21d_4560F	13.9	T2_165d_3045F	14.2
T2_21d_6080F	14.0	T2_165d_4560F	14.1
T2_21d_80100F	14.1	T2_165d_6080F	13.8
T2_28d_0015F	8.2	T2_165d_80100F	15.2
T2_28d_1530F	10.3	T2_227d_0015F	5.9
T2_28d_3045F	12.7	T2_227d_1530F	7.6
T2_28d_4560F	15.4	T2_227d_3045F	7.9
T2_28d_6080F	15.3	T2_227d_4560F	8.9
T2_28d_80100F	13.6	T2_227d_6080F	12.3
T2_57d_0015F	7.1	T2_227d_80100F	10.3
T2_57d_1530F	8.1	T2_315d_0015F	6.4
T2_57d_3045F	10.7	T2_315d_1530F	8.0
T2_57d_4560F	11.4	T2_315d_3045F	10.3
T2_57d_6080F	12.3	T2_315d_4560F	11.3
T2_57d_80100F	13.2	T2_315d_6080F	10.6
T2_91d_0015F	12.4	T2_315d_80100F	9.0
T2_91d_1530F	12.7	T2_480d_0015F	9.3
T2_91d_3045F	14.1	T2_480d_1530F	13.5
T2_91d_4560F	16.4	T2_480d_3045F	14.7
T2_91d_6080F	13.6	T2_480d_4560F	15.1
T2_91d_80100F	13.9	T2_480d_6080F	12.2
		T2_480d_80100F	14.2

補充資料二、各採樣時間之供試農藥於土壤中殘留量數據

Pesticides	days after treatment													
	0	1	3	10	14	21	28	57	91	121	165	227	315	480
Residue ($\mu\text{g}/\text{kg}$, dry weight soil)														
ametryn	919.9	915.8	799.4	715.9	634.0	634.9	209.8	59.4	32.8	36.5	12.2	31.7	15.4	6.1
azoxystrobin	566.6	530.8	445.2	287.8	249.7	251.0	155.4	115.2	43.2	38.5	17.4	2.0	15.4	2.0
carbendazim	310.7	370.1	296.0	286.7	267.2	342.8	231.5	306.0	134.4	33.3	23.8	25.4	11.3	2.0
carbofuran	643.4	1,918.6	431.9	1,288.6	752.7	966.1	720.7	151.3	6.9	7.9	2.0	2.0	75.1	2.0
dimethomorph	261.7	262.9	241.0	171.5	159.5	186.9	128.9	150.7	74.4	102.0	27.7	52.0	31.1	5.8
diuron	207.1	193.7	168.8	124.8	99.1	161.1	106.8	125.4	72.1	90.2	26.5	60.6	26.5	2.0
hexaconazole	229.3	269.4	187.3	142.7	152.4	178.9	146.1	180.9	74.5	118.5	36.0	44.2	28.3	5.1
imidacloprid	190.5	187.6	161.3	139.5	138.4	179.1	150.0	153.7	95.1	115.0	51.7	105.4	75.9	24.0
methomyl	307.8	268.4	140.0	59.7	43.7	50.1	2.0	6.5	2.0	-	-	-	-	-
tricyclazole	336.7	322.7	285.7	209.0	187.2	250.7	170.2	192.5	107.3	102.1	50.8	61.4	39.5	6.6

Field Dissipation Study of Pesticides with High Environmental Risk Potential in Taiwan

Pei-Yu Jiang¹, Chun-Wei Chiang¹, De-Mei Hsu¹, Chien Chu^{1*}, Tsy-Horng Shyu¹

Abstract

Jiang, P. Y., Chiang, C. W., Hsu, D. M., Chu, C., and Shyu, T. H. 2023. Field dissipation study of pesticides with high environmental risk potential in Taiwan. *Taiwan Pestic. Sci.* 15: 1-18.

National regulations dictate that data from animal toxicology studies and environmental toxicology studies are required for pesticide registration. Specifically, this data must identify metabolic pathways and residues of the test substance. Environmental toxicology studies investigate degradation, metabolism, and mobility processes. It is important to understand the environmental fate of pesticides and assess their potential exposure and associated risks to protect both human health and to the environment. In addition to laboratory research that investigates individual processes such as hydrolysis, photolysis, aerobic/anaerobic metabolism, and mobility, it is also necessary to measure the environmental persistence in the field. Under specific conditions, laboratory and/or field data can also be used in various predictive environmental models to help elucidate environmental risk potential. The current study evaluated ten pesticides (ametryn, azoxystrobin, carbendazim, carbofuran, dimethomorph, diuron, hexaconazole, imidacloprid, methomyl, and tricyclazole) to improve understanding of pesticide field dissipation in Taiwan. Results showed that only carbofuran had a higher environmental persistence in Taiwan compared to overseas dissipation tests. Ametryn and azoxystrobin had lower environmental persistence in Taiwan compared to overseas dissipation tests. The remaining seven pesticides fell within the same classification range in Taiwan and in overseas environmental persistence tests.

Key words: pesticide, field dissipation, environmental risk, leaching, soil

Accepted: October 23, 2023.

* Corresponding author, E-mail: chu@acri.gov.tw

¹ Agricultural Chemicals Research Institute, Ministry of Agriculture, Taichung

² Tea and Beverage Research Station, Ministry of Agriculture, Taoyuan