

臺灣常用農藥之慢性健康危害風險排序

廖俊麟^{1*} 林春蘭² 呂水淵¹ 蔡建任¹

摘要

廖俊麟、林春蘭、呂水淵、蔡建任。2018。臺灣常用農藥之慢性健康危害風險排序。臺灣農藥科學 5：53-73。

本研究為對國內高使用量農藥進行危害影響之風險排序，包括目前國際較關注 3 項慢性危害影響含致腫瘤性 (carcinogenicity)、內分泌干擾 (endocrine disruption) 和生殖/發育毒性 (reproductive/developmental toxicity)。針對各慢性危害指標考量其不同農藥之毒性 (toxicity) 及暴露 (exposure) 兩大層面藉以評估長期在環境暴露下之不同健康風險因子影響證據權重。先考量農藥使用量篩選出高使用量農藥清單，再依序評估毒性風險包括危害等級 (class) 及風險強度 (potency)，以及暴露風險包括揮發通量 (volatilization flux) 和土壤中持續性 (soil persistence)，進一步考量個別農藥在暴露環境下相關人員綜合的慢性危害風險，最後再利用使用量調整每一農藥的風險危害值，以精進本危害健康風險評估之方法，達到農藥對健康風險危害預警之用。最後統合出農藥對 3 項慢性危害之綜合健康風險的影響。風險排序結果顯示，總體慢性危害影響等級之前 10 名農藥分別為鋅錳乃浦 (mancozeb)、陶斯松 (chlorpyrifos)、施得圃 (pendimethalin)、丁基拉草 (butachlor)、甲基多保淨 (thiophanate-methyl)、愛殺松 (ethion)、四氯異苯腈 (chlorothalonil)、大滅松 (dimethoate)、加保扶 (carbofuran) 和加保利 (carbaryl)，相關排序結果可提供管理者更完整風險預警資訊，達到風險管控的目的。

關鍵詞：農藥、風險排序、毒性、暴露、致癌性、內分泌干擾

接受日期：2019 年 3 月 25 日

* 通訊作者。E-mail: clliao@tactri.gov.tw

¹ 臺中市 行政院農業委員會農業藥物毒物試驗所

² 新竹市 國立清華大學國際產學營運總中心

緒言

長久以來，風險排序技術 (Hazard-ranking schemes) 多用在危害健康污染物之評估及優先排序上。最早由美國環保署 (United States Environmental Protection Agency, US EPA) 發展作為評估污染廢棄物之優先存放地清單 (National Priorities List)⁽³⁸⁾，作為一個篩選的系統，利用可獲得最有限的資訊，評估污染物放置在不同地區進而產生可能對環境及人體產生的潛在危害。風險排序方法為一種對不同因子依層級給分作為結構性分析的方法，一般影響因子可區分為 (1) 污染物暴露到人體或者環境的量多寡、(2) 污染物的特性 (如毒性) 及 (3) 人體或者環境對於污染物暴露後產生的影響⁽³⁸⁾。過去危害環境污染物風險排序之方法受限於資料庫的不完整，僅能將危害物質風險排名列為“可能存在的污染物”，而無法明確定量環境污染物產生的影響⁽¹³⁾。而另一種風險排序方法為由已知化學物質產生的健康危害進行評估排序，但此技術系統缺乏化學物質在環境下風險強度的考量，一般多作為急性毒性之健康風險評估排序，而常忽略長期暴露下慢性毒性造成其相關的健康影響⁽²¹⁾。風險評估目的為調查化學品對生物體的潛在影響，在選擇指定目標生物的不同參數中，其出現頻率被認為是關鍵參數⁽¹²⁾。

農藥通常經非常嚴格的監管程序研發與使用，對人體健康和環境的影響皆經過

完整評估才可登記使用，但是對長期職業接觸農藥之操作者、農業社區居民及消費者可經不同途徑暴露因高頻率或非法使用農藥，導致不同族群仍存在潛在的健康風險⁽²⁰⁾，是各國政府或人民長期關注的議題。

由於農藥使用型態不斷增加與變化，新成分及新劑型產品不斷在增加，現今已無法依賴對於環境和生物抽樣等實驗技術來完整評估健康危害。對於農藥殘留暴露風險可以多層次的概率方法評估膳食暴露量、農藥殘留量、食物消費調查方法和其他潛在途徑的總體暴露情況做為評估模式^(11, 24, 35)。雖然這些模式有不同的目標，但皆期望透過結合不同類型的人類健康、生態系統影響和地下水和土壤污染等殘留監測數據來評估農藥風險以保護消費者的健康。目前國內在農藥管理上，主管單位每年均訂定相關計畫，持續關注近百種農藥，針對高危害風險之農藥進行檢討，並對持久性污染物、疑似環境賀爾蒙、對人體或環境中非目標生物具劇毒性者及常檢出之農藥設定為年度檢討對象⁽¹⁾。對於危害嚴重或已經有替代藥劑之高風險農藥，採取漸進式禁 (限) 用之方式淘汰。其他農藥則採取調整使用方法與範圍、強化產品標示和使用安全溝通等方式，以避免造成危害，並訂定各項農產品之農藥殘留容許量之管制機制⁽⁹⁾。但由於傳媒資訊與網路普及化，消費者皆對於偶發的農藥殘留新聞更因輿論影響常感到恐慌。農藥的廣泛風險雖難以評估，但可利用有限的科學

數據來評估不同農藥的相對危害性，以科學方式進行農藥對危害健康影響之風險排序 (risk ranking)，可利用排序結果針對國內高關注之農藥規劃出一套可行且維護大眾健康之資訊溝通管理技術系統。

由上述得知，危害物質健康風險排序其實用性及可行性範圍相當大，此策略觀念已被一些國家及國際組織所認可並採用。因此，本研究參考 Sugeng⁽³⁴⁾ 於美國亞利桑那州尤馬郡 (Yuma County, Arizona) 的研究，評估農藥對人體之慢性健康影響風險評估排序，發展一套指標評分標準，篩選國內近年來使用量較高的農藥種類作為評估清單基準，並且對於目前國際最關注 3 項慢性危害影響進行評估，包括潛在的致腫瘤性 (carcinogenicity)、內分泌干擾 (endocrine disruption) 和生殖/發育毒性 (reproductive / developmental toxicity)，並針對各慢性危害指標考量不同農藥之毒性 (toxicity) 及暴露 (exposure) 兩大層面評估長期對環境暴露下可能發生之不同健康風險因子之證據權重並給予評分⁽³⁴⁾，在毒性方面考慮農藥的危害等級 (class) 及風險強度 (potency)；在暴露方面考慮農藥的揮發通量 (volatilization flux) 和土壤中持續性 (soil persistence)。整體暴露風險模式主要參考美國環保署發展的風險排序系統及多項國際對化合物風險評估清單。另一方面，依 Sugeng 研究指出 4 項影響因子得到之風險因子之排序⁽³⁴⁾，能初步比較農藥對人暴露之風險危害，但可能忽略農藥在使用量上的風險，因此併入

農藥使用量用以調整危害風險之排序，更能精準評估農藥使用多寡在長期暴露下對風險排序之影響，以調整農藥排名之順序，最後統合出農藥對 3 項慢性危害之綜合健康風險的影響，以得到高風險之農藥。此風險排序技術在缺乏完備的危害物質暴露研究試驗前，將是先期評估農藥對健康暴露危害一個篩選的管理策略，以免在取得可靠的暴露影響如流行病學等研究前，可能忽略了對危害健康的物質先採取必要的安全性防護措施與風險管控。因此本研究擬藉由此模式應用於我國之農藥對健康風險之排序系統，並加入國內農藥使用數據，識別高危害農藥的使用，針對風險排名在前的農藥，再進一步執行更完整的毒性及暴露研究，以作為農藥管理政策決定之重要依據。

材料與方法

一、篩選農藥評估基準清單

考量使用量較高的農藥其潛在的暴露影響可能較高⁽³⁴⁾，因此，我們篩選國內近年來使用量較高的農藥種類作為評估清單基準。參考近五年 (2012~2016) 臺灣植物保護工業同業公會整理之農藥產銷統計資料⁽⁸⁾，因部分農藥並非在每一年度皆有統計數據，比如近兩年才核准登記使用者農藥，因此只以該年度具數據資料者作不同年度之計算平均，統計每年平均原體使用量，將該原體使量有登記之藥劑平均

原體使用量由小至大進行排列，考量不同藥劑間之使用量數據差異甚大，故以算術平均值較無法代表其數值意義，而先取該數列之第三四分位數 (Q3)，等於該樣本中所有數值由小到大排列後第 75% 的數字，其數值為 23,286.5 公斤，因此統計每年度年平均農藥原體使用量大於 23,286.5 公斤的農藥，視同為所有農藥產銷統計資料中佔前 25% 藥劑作為高使用農藥清單評估基準 (表一)。

二、健康影響評估

本風險排序研究使用各種不同國際已公開包括致腫瘤、內分泌干擾及生殖/出生前發育毒性等風險評估清單，針對不同清單只要有被評估為疑似、可能或確定風險者就納入作為不同慢性風險評估農藥基準清單 (表二)，並作為判斷不同慢性危害風險危害等級 (class) 的依據。本次依據不同慢性風險評估清單說明如下：

表一、高用量農藥風險評估清單

Table 1. List of high-use pesticides evaluated in hazard-ranking

Pesticides (n=45)	
acephate, ametryn, butachlor, carbaryl, carbendazim, carbofuran, carbosulfan, cartap, chlorothalonil, chlorpyrad, copper oxychloride, cypermethrin, difenoconazole, dimethoate, edifenphos, ethion, fenitrothion, fenobucarb, fenthion, fenvalerate, glyphosate, hexaconazole, imidacloprid, iprobenfos, isoprocarb, malathion, mancozeb, metaldehyde, methomyl, niclosamide, oxamyl, oxine-copper, paraquat, pencycuron, pendimethalin, permethrin, phenthoate, phorate, probenazole, prothiofos, terbufos, thiobencarb, thiophanate-methyl, tricyclazole	

表二、不同慢性風險評估農藥清單

Table 2. List of high-use pesticides which were evaluated in ranking of chronic health hazards

Health effect	Pesticides
Cancer (n=16)	acephate, butachlor, carbaryl, carbendazim, chlorothalonil, cypermethrin, difenoconazole, dimethoate, glyphosate, hexaconazole, malathion, mancozeb, metaldehyde, pendimethalin, permethrin, thiophanate-methyl
Endocrine disruption (n=33)	acephate, ametryn, butachlor, carbaryl, carbendazim, carbofuran, chlorothalonil, chlorpyrad, copper oxychloride, cypermethrin, difenoconazole, dimethoate, ethion, fenitrothion, fenthion, fenvalerate, glyphosate, hexaconazole, imidacloprid, malathion, mancozeb, methomyl, oxamyl, oxine-copper, paraquat, pencycuron, pendimethalin, permethrin, phenthoate, prothiofos, terbufos, thiobencarb, tricyclazole
Developmental/reproductive toxicity (n=4)	carbaryl, dimethoate, mancozeb, thiophanate-methyl.

(一) 致腫瘤風險 (表三)

1. 美國環保署評估具潛在致腫瘤性之化學物質清單⁽⁴²⁾。
2. 聯合國世界衛生組織國際癌症研究中心 (International Agency for Research on Cancer) 評估具潛在致腫瘤性之化學物質清單⁽²⁸⁾。
3. 美國國立衛生研究院 (National Institutes of Health, NIH) 監督之國家毒理學計畫 (National Toxicology Program, NTP) 評估具潛在致腫瘤性之化學物質清單⁽³¹⁾。
4. 美國加州環保局 (California Environmental Protection Agency in USA, CalEPA) 評估具潛在致腫瘤性或生殖毒性之化學物質清單⁽¹⁵⁾。

表三、致腫瘤風險危害等級風險評估證據權重

Table 3. Carcinogenicity “class” weighting system

Carcinogenicity List (s) and Designations	Cancer Class Weight
(Pesticide has been listed under/designated as all 4 of the following: NTP, Prop 65, USEPA “known” carcinogen, and IARC Group I carcinogen)	10
(Pesticide has been listed under/designated as at least 2 of the following: NTP, Prop 65, USEPA “known” carcinogen, or IARC Group I carcinogen)	9
(Pesticide has been listed under/designated as at least 1 of the following: NTP, Prop 65, USEPA “known” carcinogen, or IARC Group I carcinogen; and it is also designated as an IARC Group 2A carcinogen and as a USEPA “probable” carcinogen)	8
(Pesticide has been listed under/designated as at least 1 of the following: NTP, Prop 65, or USEPA “known” carcinogen, or IARC Group I carcinogen; and it is also designated as an IARC Group 2A carcinogen or as a USEPA “probable” carcinogen)	7
(Pesticide has been listed under/designated as at least 1 of the following: NTP, Prop 65, USEPA “known” carcinogen, or IARC Group I carcinogen)	6
(Pesticide has been listed under/designated as an IARC Group 2A carcinogen and as a USEPA “probable” carcinogen)	5
(Pesticide has been listed under/designated as an IARC Group 2A carcinogen or as a USEPA “probable” carcinogen)	4
(Pesticide has been listed under/designated as an IARC 2B carcinogen and/or as a USEPA “possible” carcinogen)	3

NTP: National Toxicology Program

USEPA: United States Environmental Protection Agency

IARC: International Agency for Research on Cancer

Prop 65: Chemicals known to the state to cause cancer or reproductive toxicity (Proposition 65) assessed by California Environmental Protection Agency in USA

(二) 內分泌干擾風險 (表四)

估疑似內分泌干擾之化學物質之篩選清單⁽²⁹⁾。

1. 美國環保署啟動之內分泌干擾物質篩選計畫 (Endocrine Disruptor Screening Program, EDSP) 公布之 52 種疑似內分泌干擾之化學物質之篩選清單^(40, 41)。
2. 歐盟委員會 (European Commission, EC) 公布之疑似內分泌干擾之化學物質評估分類清單⁽²³⁾
3. Dr. Colborn 創辦之內分泌干擾物質評估交流會議 (The endocrine disruption exchange, TEDX) 公布之疑似內分泌干擾之化學物質評估清單⁽²²⁾。
4. 美國伊利諾洲環保局 (Illinois EPA) 評

(三) 生殖及出生前發育毒性風險

1. 美國加州環保局評估具潛在致腫瘤性或生殖毒性之化學物質清單⁽¹⁵⁾。
2. 美國環保署啟動之毒性物質暴露清單計畫 (Toxics Release Inventory Program, TRI) 公布之非腫瘤慢性風險之化合物和綜合風險資訊系統 (Integrated Risk Information System, IRIS) 等疑似生殖/發育毒性之化學物質的初步篩選清單評估清單⁽³⁹⁾。

表四、內分泌干擾風險危害等級風險評估證據權重

Table 4. Endocrine disruption (ED) “class” weighting system

Endocrine Disruption List(s) and Designation	ED Class Weight
(Pesticide has been listed under/designated as all 3 of the following: EDSP, EC category 1, and IEPA “known” endocrine disruptor, and it is also present in TEDX.)	10
(Pesticide has been listed under/designated as at least 2 of the following: EDSP, EC category 1, or IEPA “known” endocrine disruptor.)	9
(Pesticide has been listed under/designated as at least 1 of the following: EDSP, EC category 1, or IEPA “known” endocrine disruptor; and it is also listed under EC category 2 or has been designated an IEPA “probable” endocrine disruptor.)	7
(Pesticide has been listed under/designated as at least 1 of the following: EDSP, EC category 1 or IEPA “known” endocrine disruptor.)	6
(Pesticide has been listed under/designated as at least 1 of the following: EC category 2 or IEPA “probable” endocrine disruptor; and it is also present in TEDX.)	5
(Pesticide has been listed under/designated as an IEPA “suspect” endocrine disruptor; and it is also present in TEDX.)	4
(Pesticide is present in TEDX.)	3

EDSP: Endocrine Disruptor Screening Program

EC: european commission

IEPA: Illinois Environmental Protection Agency

TEDX: The endocrine disruption exchange list of potential endocrine disruptors

三、毒性及暴露評估風險模式

針對各慢性危害則考量不同農藥之毒性及暴露兩大層面，在毒性方面考慮農藥的危害等級及風險強度；在暴露方面考慮農藥的揮發通量和土壤中持續性等農藥風險，最後將 4 種不同因子之評分進行相乘⁽³⁴⁾。

1. 危害等級：根據不同農藥危害等級給予不同程度權重分數 3-10 分，其代表農藥具該潛在危害風險之證據強度，分數越高顯示其危害證據越明顯，致腫瘤風險及內分泌干擾風險證據權重如表三及表四，其中因生殖/出生前發育經參考國際相關風險評估清單後，於本次只有 4 種農藥在清單中顯示具明顯生殖/出生前發育危害風險，因此只將該 4 種農藥納入生殖/出生前發育慢性風險評估清單中，且考量生殖/出生前發育慢性風險其危害影響相較致腫瘤或內分泌干擾

等評估機制較明確，故不再對 4 種農藥進行生殖/出生前發育之危害等級評估。

2. 風險強度：根據不同農藥於毒性試驗所訂定之每日容許攝取量 (acceptable daily intake, ADI) 數據給予權重分數 1-10 分 (表五)，其代表該物質具該危害風險之危害潛能，分數越高代表其危害潛能越高。

3. 揮發通量：可視為農藥經噴灑後從地上轉化為霧氣或氣體進入大氣的能力。藥劑自最初施用的位置隨氣流移轉至較遠之非目標區。與噴霧飄散不同之處為揮發飄散在噴施後一段時間才發生，和農藥本身的揮發性有關。其計算公式為參考 Glotfelty 等人研究 (1989)⁽²⁶⁾，評估資料主要參考赫特福德大學農業與環境研究所 (Agriculture & Environment Research Unit, AERU) 所公開之農藥綜合資料數據庫 (Pesticide Properties DataBase, PPDB)⁽³⁷⁾ 及農藥名稱手冊

表五、農藥風險排序之危害權重表

Table 5. Weight table of hazards use in ranking of pesticide risk

Weight	Potency	Flux Volatilization	Persistence Soil half-life
	RfD Value	Flux	(days)
1	>1	$<10^{-7}$	<25 or NA
3	>0.1 - 1	$10^{-7} - 10^{-5}$	25 - 50
5	>0.01 - 0.1	$>10^{-5} - 10^{-3}$	51 - 75
8	0.001 - 0.01	$>10^{-3} - 10^{-1}$	76 - 100
10	<0.001 or NA	$>10^{-1}$	>100

(The pesticide manual)⁽¹⁴⁾ 得到之蒸氣壓 (vapor pressure)、土壤分配係數 (Koc ; organic carbon adsorption coefficient) 和水溶性 (aqueous solubility) 三種參數。將上述三種參數以下列公式進行計算後得到揮發通量數值，對照表二所示分級給予權重分數 1-10 分 (表五)。

揮發通量=蒸氣壓 (mmHg) × 土壤分配係數 (mL/g) / 水溶性 (mg/L)^(26, 27, 34)

4. 土壤中持續性：農藥噴灑後於土壤及其代謝產物在特定環境中經代謝分解或其他理化作用移除前所滯留的時間，以農藥在土壤中半衰期 (soil half days) (日) 表示，本研究主要參考赫特福德大學農業與環境研究所 (Agriculture & Environment Research Unit, AERU) 所公開之農藥綜合資料數據庫 (Pesticide Properties DataBase, PPDB)⁽³⁷⁾ 及農藥名稱手冊 (The pesticide manual)⁽¹⁴⁾ 之相關資料並根據等級給予權重分數 1-10 分 (表五)^(27, 34)。

四、風險因子 (Hazard factor)：

風險因子為潛在致腫瘤性、內分泌干擾和潛在生殖/發育毒性暴露風險模式數值再相除參數以標準化風險因子數值⁽³⁴⁾，其中致腫瘤性和內分泌干擾慢性風險使用參數為 1000，而生殖 / 發育毒性因沒有進行危害等級分級，因此為使與致腫瘤性和內分泌干擾慢性風險因子計算調和，因此使用參數為 100⁽³⁴⁾。計算方式如下：

風險因子 = (危害等級 × 風險強度 × 揮發通量 × 土壤中持續性) / 1000 或 100。

五、農藥使用量的風險危害調整 (Hazard-adjusted use)

使用量的危害調整為統計近 5 年農藥使用數量，數據為參考台灣植保公會之資料⁽⁸⁾，統計農藥成品內銷有效成分含量以及農藥成品進口有效成分含量之加總，計算方式如下：

風險危害調整 = 風險因子 × 近 5 年農藥使用量。

六、農藥對危害健康風險評估總排序

在完成排序腫瘤、內分泌干擾及生殖/發育毒性不同慢性風險農藥後，由危害排序中將各慢性風險排名前 10 名農藥(生殖/發育毒性只取 4 名) 分別統計其農藥出現在不同慢性風險數量 (number) 以及在不同慢性風險平均排名值 (Average hazard ranking placement) 之比值，作為總風險最後評估排名⁽³⁴⁾。

結果

一、風險因子排序

列出由國內已登記 45 種高用量農藥清單 (表一)，並參照不同國際風險評估清

單，從中歸類出疑似具有腫瘤疑慮者共 16 種，疑似具內分泌干擾疑慮者共 33 種，生殖/發育毒性共 4 種農藥 (表二)。以上述指標進行計算，危害因子分數介於 0.027~2.4。

二、致腫瘤性風險排序

具潛在致腫瘤性風險農藥經評估風險因子後排序結果其前 5 名依序為菲克利、施得圃、丁基拉草、待克利、加保利，危害風險因子介於 0.56~1.92 之間。經農藥使用量的危害調整後，排名前五名農藥分

別為鋅錳乃浦、施得圃、丁基拉草、四氯異苯腈和嘉磷塞 (表六)。

三、內分泌干擾風險排序

具潛在內分泌干擾風險農藥經評估風險因子後排序結果其前 5 名依序為陶斯松、愛殺松、菲克利、施得圃和加保扶，危害風險因子介於 1.44~2.4 之間。經農藥使用量的危害調整後，排名前五名農藥分別為陶斯松、鋅錳乃浦、愛殺松、加保扶和丁基拉草 (表七)。

表六、農藥對致腫瘤性風險排序

Table 6. Carcinogenic pesticides ranked according to hazard-adjusted pesticide use

Pesticide	Class	Potency	Flux	Persistence	Hazard factor	5 year use (ton)*	Hazard-Adjusted use
mancozeb	7	8	8	1	0.45	3,700.30	1,657.74
pendimethalin	3	5	10	10	1.50	530.77	796.15
butachlor	4	5	10	5	1.00	609.08	609.08
chlorothalonil	7	5	10	1	0.35	1,494.74	523.16
glyphosate	7	3	3	1	0.06	7,481.09	471.31
hexaconazole	3	8	8	10	1.92	130.35	250.28
carbendazim	3	5	10	3	0.45	240.77	108.35
thiophanate-methyl	4	5	8	1	0.16	601.35	96.22
difenoconazole	3	8	3	10	0.72	113.18	81.49
dimethoate	3	8	8	1	0.19	416.15	79.90
malathion	7	5	8	1	0.28	177.47	49.69
carbaryl	7	8	10	1	0.56	49.87	27.93
acephate	3	5	3	1	0.05	405.96	18.27
metaldehyde	3	1	10	1	0.03	188.53	5.66
cypermethrin	3	5	8	1	0.12	34.20	4.10
permethrin	4	5	8	1	0.16	10.11	1.62

*Amount use of active ingredients within 2012~2016 in Taiwan.

表七、農藥對內分泌干擾風險排序

Table 7. Endocrine disrupting pesticides ranked according to hazard-adjusted pesticide use

Pesticide	Class	Potency	Flux	Persistence	Hazard factor	5 year use (ton)*	Hazard-Adjusted use
chlorpyrifos	3	8	10	10	2.40	1,658.85	3,981.25
mancozeb	5	8	8	1	0.32	3,700.30	1,184.10
ethion	3	10	8	8	1.92	552.83	1,061.43
carbofuran	6	8	10	3	1.44	692.10	996.63
butachlor	3	5	10	5	0.75	1,285.04	963.78
pendimethalin	3	5	10	10	1.50	530.77	796.15
paraquat	3	8	1	10	0.24	2,626.23	630.29
chlorothalonil	6	5	10	1	0.30	1,494.74	448.42
terbufos	3	10	10	1	0.30	1,335.30	400.59
hexaconazole	3	8	8	10	1.92	203.09	389.94
tricyclazole	3	5	8	10	1.20	279.00	334.80
ametryn	3	8	8	3	0.58	563.13	324.36
fenitrothion	3	8	10	3	0.72	378.57	272.57
dimethoate	7	8	8	1	0.45	460.01	206.09
glyphosate	3	3	3	1	0.03	7,481.09	201.99
penicuron	3	5	8	8	0.96	208.10	199.78
carbendazim	5	5	10	3	0.75	240.77	180.58
phenthoate	3	8	10	3	0.72	206.09	148.38
methomyl	4	5	8	1	0.16	927.02	148.32
difenoconazole	3	8	3	10	0.72	142.26	102.43
fenvalerate	4	5	10	3	0.60	143.06	85.84
prothiofos	3	10	10	3	0.90	80.06	72.05
fenthion	3	8	10	1	0.24	294.95	70.79
imidacloprid	3	5	1	10	0.15	425.57	63.84
malathion	5	5	8	1	0.20	177.47	35.49
carbaryl	6	8	10	1	0.48	49.87	23.94
acephate	3	5	3	1	0.05	405.96	18.27
oxine-copper	3	5	3	1	0.08	200.90	15.07
oxamyl	3	8	5	1	0.12	106.95	12.83
thiobencarb	3	5	10	1	0.15	62.65	9.40
cypermethrin	6	5	8	1	0.24	34.20	8.21
copper oxychloride	3	1	3	10	0.09	68.64	6.18
permethrin	6	5	8	1	0.24	10.11	2.43

*Amount use of active ingredients within 2012~2016 in Taiwan.

四、生殖/出生前發育毒性風險排序

具潛在生殖/出生前發育毒性風險農藥經評估風險因子後排序結果其前 4 名依序為甲基多保淨、鋅錳乃浦、大滅松及加保利，危害風險因子介於 0.4~0.8 之間。經農藥使用量的危害調整後，排名前 4 名農藥分別為鋅錳乃浦、甲基多保淨、大滅松及加保利 (表八)。

五、健康影響評估總風險排序

整合上述經農藥使用量的危害調整後之 3 種影響慢性健康的影響因子 (表九)，排名前 10 名的農藥依序為鋅錳乃浦、陶斯松、施得圃、丁基拉草、甲基多保淨、愛殺松、四氯異苯腈、大滅松、加保扶和加保利。

表八、農藥對生殖/發育毒性風險排序

Table 8. Pesticides which cause reproductive/developmental toxicity ranked according to hazard-adjusted pesticide use

Pesticide	Potency	Flux	Persistence	Hazard factor	5 year use (ton)*	Hazard-Adjusted use
mancozeb	8	8	1	0.64	3,700.30	2,368.19
thiophanate-methyl	8	10	1	0.80	601.35	481.08
dimethoate	5	8	1	0.40	460.01	184.00
carbaryl	5	8	1	0.40	49.87	19.95

*Amount use of active ingredients within 2012~2016 in Taiwan.

表九、健康影響評估總風險排序。農藥使用量的風險危害調整之總風險排序

Table 9. Overall hazard ranking of pesticides according to hazard-adjusted pesticide use

Rank	Pesticide	Number of associated health effects	Average hazard ranking placement	Overall hazard ranking
1	mancozeb	3	1.33	2.25
2	chlorpyrifos	1	1	1.00
3	Pendimethalin	2	4	0.50
3	butachlor	2	4	0.50
5	thiophanate-methyl	2	5	0.40
6	ethion	1	3	0.33
6	chlorothalonil	2	6	0.33
8	dimethoate	2	6.5	0.31
9	carbofuran	1	4	0.25
9	carbaryl	1	4	0.25

討論

本研究參考 Sugeng 研究評估我國常用農藥對人體之慢性健康影響風險評估排序，發展一套指標評分標準，並引用相關目前國際對於不同農藥慢性風險評估資料，本研究與 Sugeng 在排序基本概念考量皆相同，差異在細節如因引用年分不同而參考國際清單有更新之情況，因此對於風險因子排序權重亦有差異，但整體排序概念皆與 Sugeng 相似，比如針對內分泌干擾方面，乃依據美國環保署啟動內分泌干擾物質篩選計畫 (EDSP) 在 2015 年已公布最新篩選清單，包括了關注 52 種化學物質之試驗篩選結果⁽⁴¹⁾，因此在評估危害等級給分的依據也有修訂。另外 Sugeng 為針對美國亞利桑那州尤馬郡地區性進行評估，故在暴露風險評估下為以適用該地區特性為主，比如在土壤半衰期方面考量當地土壤偏向沙地性質 (sandy-loam)，故使用沙地土壤之半衰期以進行後續評估，而本研究為針對適用我國普遍地區之農藥使用狀況進行評估，故為使用廣泛性概念進行後續評估。另外在開始選定基準評估農藥時，Sugeng 使用美國亞利桑那州尤馬郡 2006 年至 2011 年官方統計農藥使用量的依據，使用量平均大於 1 lb/mile² 的農藥視為高用量農藥⁽³⁴⁾，從 226 種農藥選出 74 種農藥進行後續風險排序。本研究則參考近五年 (2012~2016) 臺灣植物保護工業同業公會整理之農藥產

銷統計資料⁽⁸⁾，以成品農藥主成分含量 (active ingredient) 在排列前四分之一位數納入，從 184 種農藥選出 45 種農藥進行後續風險排序。

在本次總體慢性健康影響排名前十名中，殺蟲劑佔 5 項，分別為陶斯松、愛殺松、大滅松、加保扶及加保利，殺菌劑佔 3 項，分別為鋅錳乃浦、甲基多保淨及四氯異苯腈，除草劑佔 2 項，分別為施得圃及丁基拉草。總體慢性健康影響排名第一的危害農藥為鋅錳乃浦 (mancozeb)，為「二硫代胺基甲酸鹽類(dithiocarbamates)」殺菌劑⁽³⁾，近五年於國內使用量高達 3,700 噸⁽⁸⁾，在本次使用排序之農藥使用量為第二名，只小於嘉磷塞。二硫代胺基甲酸鹽類農藥其種類繁多，尚包括甲基鋅乃浦 (propineb)、免得爛 (metiram)、得恩地 (thiram) 及錳乃浦 (maneb) 等藥劑⁽³⁾，理想狀況下，當執行殘留量檢測應有高度專一性的多重殘留分析方法以及適用的定量極限 (limit of quantitation, LOQ) 以進行容許量管制，而二硫代胺基甲酸鹽類農藥屬例外，其殘留定義為二硫化碳 (CS₂) mg/kg 呈現⁽⁷⁾。由於二硫代胺基甲酸鹽類的不純物 (ethylenethiourea, ETU) 有致腫瘤風險，在大鼠/小鼠長期致腫瘤試驗發現有具甲狀腺癌 (thyroid-gland follicular-cell carcinoma)、肝癌 (hepatocellular carcinoma) 及腦下垂腺瘤 (pituitary-gland adenoma) 疑慮⁽²⁵⁾，其被美國環保署評估為極可能對人類具致腫瘤性 (Group B--Probable Human Carcinogen,

1999)⁽⁴²⁾，在綜合風險評估與致腫瘤機制探討資料未釐清前，目前我國管制措施為限制新劑型含量申請登記及擴大作物使用範圍。雖然鋅錳乃浦並未列在美國環保署啟動內分泌干擾物質篩選計畫 (EDSP) 公布篩選清單內，但其不純物 ETU 被內分泌干擾物質評估交流會議 (TEDX) 評估為可能具內分泌干擾疑慮⁽²²⁾，主要考量可能具甲狀腺毒性。鋅錳乃浦並被美國環保署 (US EPA) 及美國加州環保局 (Cal EPA in USA) 評估具潛在出生前發育毒性^(15, 19, 32, 39)。鋅錳乃浦其每日參考劑量 (ADI) 於我國目前引用數值為 0.0002 mg/kg bw，以本次風險強度評分為 10 分，顯示其危險潛能高。而其暴露風險評估顯示其於土壤半衰期極短，而揮發通量大，表示農藥經噴灑後於土壤所停留的時間短，但從地上轉化為氣體進入大氣的能力強，因此針對操作人員應謹慎重視暴露風險。根據 Sugeng 研究其慢性健康影響風險評估綜合排序第一名為錳乃浦 (maneb)⁽³⁴⁾，亦為二硫代胺基甲酸鹽類，顯示二硫代胺基甲酸鹽類其對慢性危害風險潛能確實較高。

本研究農藥風險排序中，總體慢性健康影響排名第二的危害農藥為陶斯松 (chlorpyrifos)。陶斯松為一種有機磷類殺蟲劑 (organophosphate, OP)，其作用機制為對乙醯膽鹼酯酶 (acetylcholinesterase, AChE) 的抑制反應⁽³⁾，導致有過度的乙醯膽鹼累積在神經末端，導致平滑肌、骨骼肌、腺體、自主神經節以及中樞神經系

統調控機制失衡，因此在過量時可能造成相關毒性反應⁽⁴³⁾。陶斯松近五年於國內使用量約為 1,659 噸⁽⁸⁾，在本次使用排序之農藥使用量為第四名，此外陶斯松亦為環境用藥，於我國有多項產品具登記證⁽⁴⁾，顯示其用於農場等其他工作場所或家庭用途之廣泛。在內分泌干擾慢性風險評估方面陶斯松為第一名，陶斯松過去曾被美國環保署啟動內分泌干擾物質篩選計畫 (EDSP) 列在疑似內分泌干擾物質內⁽⁴⁰⁾，但在 2015 年公布最新篩選清單已評估陶斯松為非內分泌干擾物質⁽⁴¹⁾，但仍被內分泌干擾物質評估交流會議 (TEDX) 評估為可能具內分泌干擾疑慮⁽²²⁾，另外其每日參考劑量 (ADI) 於我國目前引用數值為 0.003 mg/kg bw，以本次風險強度評分為 8 分，顯示其危害潛能高。目前陶斯松關注議題為對於兒童神經系統發育之毒性疑慮⁽⁴³⁾，依據我國台北兒童農藥暴露及其與注意力缺陷過動症 (attention deficit hyperactivity disorder, ADHD) 之相關性研究⁽⁵⁾，陶斯松於兒童尿液檢出率為 6.25%，雖然其結論一般兒童與 ADHD 兒童的農藥暴露情形未達統計上顯著之差異，但可檢出者的 ADHD 勝算比則較高。其暴露風險評估陶斯松於土壤半衰期及揮發通量評分皆為 10 分，顯示其暴露風險高。

Sugeng⁽³⁴⁾ 等人指出部分有機磷農藥廣泛應用於美國各地，美國環保署要求化學實驗室提高有機磷農藥 OPs 的分析能力，並定期重新檢測評估，以避免缺漏相

關有機磷農藥的分析能力和風險危害。此外，近期歐美國家更積極評估有機磷劑之累積風險，研發低用量及高安全性之化學農藥，並發展生物性農藥推動病蟲害綜合防治，減少除草劑、土壤薰蒸劑如溴化甲烷之使用，以降低農藥使用量⁽¹⁶⁾。我國近年來 (2014-2017) 也積極研發生物性農藥之商品化應用⁽⁶⁾。根據 Sugeng 於美國亞利桑那州尤馬郡研究其慢性健康影響風險評估綜合排序前 10 名與本次綜合排序前 10 名中只有加保利重複，加保利為胺基甲酸鹽類殺蟲劑⁽³⁾，用途廣泛但對哺乳動物之神經毒性高，同時具有疑似致腫瘤性、內分泌干擾和生殖/發育毒性⁽¹⁷⁾。雖然本次研究針對農藥毒性及暴露所與 Sugeng 研究引用資料及評分標準略有差異，但原則類似，主要差異推測為不同國家或地區對於作物栽種種類及農藥使用習慣相異，因此在依據農藥使用量資料庫評估基準清單以及調整危害風險因子時會導致不同結果，亦顯示不同地區其農藥風險排序結果及優先關注農藥會有所不同。因上述研究顯示除了危害等級和暴露強度外，農藥使用量是考量主要因素之一，故發展及推廣相關高用量農藥替代藥劑以降低使用量可調整風險危害，本次研究參考使用量之來源為植保公會統計之資料，雖然與實際田間農藥使用量可能有差異，但仍不失為參考之重要依據。

雖然本研究其暴露危害風險主要為考量農藥施用人員及農業社區族群暴露的影響，但因納入使用量因子，因此對比行政

院農業委員會農糧署所公開之農作物農藥殘留監測結果⁽²⁾，其監測對象主要於田間及集貨場蔬果，統計其 106 年度資料，檢出總次數前 9 名依序包括芬普尼、陶斯松、達滅芬、愛殺松、菲克利、克凡派、普拔克、賓克隆及佈飛松，而第 10 名因檢出次數相同同時包括待克利、達特南及第滅寧。另外對比行政院衛生福利部所公開之市售農產品農藥殘留採樣結果⁽¹⁰⁾，其監測對象主要於傳統市場、超市、農會、機關等市售或預定直接讓消費者可能攝取之農產品，統計其 106 年度資料，檢出總次數前 10 名依序包括達滅芬、芬普尼、陶斯松、施得圃、得克利、普拔克、凡殺同、亞滅培、撲克拉及加保扶。本研究排序結果與上述國內所公開農藥殘留監測結果比對，其中陶斯松為本次綜合慢性風險排序第 2 名；施得圃為本次綜合慢性風險排序第 3 名；愛殺松為本次綜合慢性風險排序第 6 名；加保扶為本次綜合慢性風險排序第 9 名；菲克利為本次腫瘤慢性風險排序第 6 名；待克利為本次腫瘤慢性風險排序第 9 名。本次綜合慢性風險排序前 10 名中有 4 項佔不同官方統計檢出前 10 名結果，另外腫瘤慢性風險也佔其中 2 項。可知由本排序風險在考量暴露風險及使用量數據的確能提早提供風險之警示，並注意到目前國內農藥施用情形，另外還提供毒性風險評估可作為主管機關參考使用之依據。然而，並非所有高使用量就會造成高排名情況發生，例如本研究顯示殺蟲劑納乃得近 5 年內農藥施用情形達 9 百

公噸，但無致腫瘤及生殖/出生前發育毒性風險，只有具疑似內分泌干擾特性，但風險強度低和農藥半衰期較短，即使高度使用其評估風險仍較低。

本研究風險分析對象主要為考慮農藥施用人員以及居住在農業社區周圍族群^(27, 34)。一般而言我們可透過抽樣農產品農藥殘留監測或依據攝食量結合作物殘留消退試驗結果等方式評估消費者經攝食暴露農藥的風險^(11, 24)，但過去國內少有執行對於農藥施用人員或者居住在農業社區周圍族群暴露農藥對於健康危害的研究。比如透過採集農藥施用人員及家庭成員血液及尿液的檢體於農藥主成分或其代謝物殘留監測數據以及探討其他不同健康危害指標生物標記物 (biomarkers) 的關連等流行病學研究，或者進行農業社區周圍空氣粉塵、土壤及住家等環境地區農藥殘留監測的研究。根據美國華盛頓洲研究⁽³⁰⁾，透過對比農業及非農業家庭採樣包括塵埃、各設施表面擦拭樣本及兒童尿液樣本進行有機磷農藥殘留檢測，結果顯示農業家庭塵埃及擦拭樣本是非農業家庭殘留農藥的 7 倍，兒童尿液檢測代謝物則是非農業家庭的 5 倍，61 名農業家庭兒童中有 1/10 皆有檢測出微量農藥殘留。兒童相較成人其主要器官尚在發育，因此更容易受到如發育毒性或者內分泌干擾等影響⁽³⁰⁾，過去也有流行病學研究顯示農藥暴露會增加孩童罹患白血病學機率⁽¹⁸⁾。根據孩童的生理學、行為模式及衛生管理會導致有不同暴露到農藥的可能性⁽¹⁸⁾，比如

大多孩童更習慣在家庭地板上及戶外土壤活動，較大青少年則可能因協助其家庭從事農業工作而增加暴露農藥的機會，因此本研究對於其毒性危害及暴露風險排序結果非常適合做為比對日後相關環境農藥監測結果探討相關族群暴露風險所適用。

本研究為首次在國內利用危害等級、風險強度、揮發通量和土壤中持續性等四項危害因子作為考量內涵，針對國內高使用量的農藥，再從中分類出致腫瘤、內分泌干擾和生殖/發育毒性進行綜合總排序的方法，每項研究的權重分數是獨立的，在評估慢性危害影響的總體風險時，表現出多種健康影響的參考價值。由於本研究尚未將國內所有使用中之農藥全數列入評估，目前研究也僅限於與慢性健康影響相關因子，有些農藥危害風險可能被忽略。未來將納入國內所有登記使用農藥，依 4 項風險危害因子，並考慮增加其他如發育神經毒性等其他較關注健康風險進行排名，可提供更完整農藥危害風險資訊，或者納入更多考量因子如將殘留監測數據導入排序依據中，使其評估對象除農業相關人員外更包括普遍消費大眾，以提供管理者更完整風險預警資訊，達到風險管控的目的。

謝辭

感謝行政院農業委員會補助本研究計畫 107 農科-8.5.1-藥-P2(1)，並感謝林春蘭博士在計畫起始規劃並進行本研究及廖

佩俞助理協助文書資料之處理。

引用文獻

1. 行政院農業委員會。2015。政府持續關注高致癌危險農藥，強化風險管理並維護國人安全。取自 <https://kmweb.coa.gov.tw/ct.asp?xItem=1084968&ctNode=1580&mp=1&kpi=0&rowId=&hashid=>
2. 行政院農業委員會農糧署。農作物農藥殘留監測結果統計表。2017。取自 https://www.afa.gov.tw/cht/index.php?code=list&flag=detail&ids=752&article_
3. 費雯綺、蔣永正、李敏郎、林映秀 編。2018。農藥作用機制分類與檢索。行政院農業委員會農業藥物毒物試驗所。臺中。43 頁。
4. 行政院環境保護署毒物及化學物質局。2018。環境用藥許可證及病媒防治業網路查詢系統。取自 <https://mdc.epa.gov.tw/PublicInfo/>
5. 吳仲凱。2009。臺北地區兒童農藥暴露及其與注意力缺陷過動症之相關性研究。國立陽明大學環境與職業衛生研究所碩士論文。臺北。103 頁。
6. 張敬宜、黃郁容、蔡韋任、謝奉家、何明勳、費雯綺 編。2017。106 年天然植物保護資材商品化研發成果及應用研討會專刊。行政院農業委員會農業藥物毒物試驗所。臺中。126 頁。
7. 蒲玠涵、徐慈鴻、費雯綺 編。2015。殘留量定義評估指引。行政院農業委員會農業藥物毒物試驗所。臺中。54 頁。
8. 臺灣植物保護工業同業公會。2012-2016。農藥產銷統計(101 至 105 年度)。臺灣區農藥公會。臺北。
9. 衛生福利部食品藥物管理署。2018。農藥殘留容許量標準。取自 <https://consumer.fda.gov.tw/Law/PesticideList.aspx?nodeID=520>
10. 衛生福利部食品藥物管理署。2017。106 年度市售農產品農藥殘留量監測結果。取自 <https://www.fda.gov.tw/tc/includes/GetFile.ashx?id=f636812673960078622>
11. FAO. 2016. FAO Plant Production and Protection 225. Submission and evaluation of pesticide residues data for the estimation of maximum residue levels in food and feed, 3rd ed. Food and agriculture organization of the united nations, Rome. 286 pp.
12. Andrade, C., Chiron, F., and Julliard, R., 2012. Improving the selection of focal species exposed to pesticides to support ecological risk assessments. *Ecotoxicology* 21: 2430-2440.
13. Baun, A., Eriksson, E., Ledin, A., and Mikkelsen, P. S. 2006. A methodology for ranking and hazard identification of xenobiotic organic compounds in urban storm-water. *Sci. Total. Environ.* 370: 29-38.
14. BCPC Congress. 2018. The pesticide manual online. Available at <http://www.bcpc.org/product/bcpc-online-pesticide-manual-latest-version>

15. California, EPA. 2019. Chemicals known to the state to cause cancer or reproductive toxicity (Proposition 65). Available at <https://oehha.ca.gov/media/downloads/proposition-65/p65list030819.pdf>
16. Coble, J., Thomas, K. W., Hines, C. J., Hoppin, J. A., Dosemeci, M., Curwin, B., Lubin, J. H., Beane Freeman, L. E., Blair, A., Sandler, D. P., and Alavanja, M. C. R. 2011. An updated algorithm for estimation of pesticide exposure intensity in the agricultural health study. *Int. J. Environ. Res. Public Health* 8: 4608-4622.
17. Corsini, E., Sokooti, M., Galli, C. L., Moretto, A., and Colosio, C. 2013. Pesticide induced immunotoxicity in humans: A comprehensive review of the existing evidence. *Toxicology* 307: 123-135.
18. Curwin, B. D., Hein, M. J., Sanderson, W. T., Nishioka, M. G., Reynolds, S. J., Ward, E. M., and Alavanja, M. C. 2005. Pesticide contamination inside farm and nonfarm homes. *J. Occup. Environ. Hyg.* 2: 357-367.
19. Klaassen, C. D. 2013. Casarett & Doull's toxicology, the basic science of poisons, 8th ed. Mc Graw Hill, New York, USA. 1454 pp.
20. Damalas, C. A., and Eleftherohorinos, I. G. 2011. Pesticide exposure, safety issues, and risk assessment indicators. *Int. J. Environ. Res. Public Health* 8: 1402-1419.
21. Dix, D. J., Houck, K. A., Martin, M. T., Richard, A. M., Setzer, R. W., and Kavlock, R. J. 2007. The ToxCast program for prioritizing toxicity testing of environmental chemicals. *Toxicol. Sci.* 95: 5-12.
22. Colborn, T. 2018. The endocrine disruption exchange (TEDX) list of potential endocrine disruptors. Available at <https://endocrinedisruption.org>
23. European Commission (EC). 2016. Screening of available evidence on chemical substances for the identification of endocrine disruptors according to different options in the context of an impact assessment. Document number SANTE/2015/E3/SI2.706218.
24. EFSA. PRIMo- Pesticide residue intake model, revision 3. 2018. Available at <https://www.efsa.europa.eu/en/applications/pesticides/tools>
25. Food and agriculture organization of the united nations, World Health Organization, FAO panel of experts on pesticide residues in food and the environment & WHO expert group on pesticide residues. 1994. Pesticide residues in food: 1993. 837 pp.
26. Glotfelty, D. E., Leech, M. M., Jersey, J., and Taylor, A. W., 1989. Volatilization and wind erosion of soil surface applied atrazine, simazine, alachlor, and toxaphene. *J. Agric. Food Chem.* 37: 546-551.
27. Gunier, R. B., Harnly, M. E., Reynolds, P., Hertz, A., and Von Behren, J. 2001. Agricultural pesticide use in California: pesti-

- cide prioritization, use densities, and population distributions for a childhood cancer study. *Environ. Health Perspect* 109: 1071-1078.
28. International Agency for Research on Cancer. 2017. IARC monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans Available at <https://monographs.iarc.fr>
29. Illinois EPA, 1997. Endocrine disruptors strategy preliminary list of chemicals associated with endocrine system effects in animals and humans or *in vitro*. Available at <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.169.8701&rep=rep1&type=pdf>
30. Lu, C., Fenske, R. A., Simcox, N. J., and Kalman, D. 2000. Pesticide exposure of children in an agricultural community: evidence of household proximity to farmland and take home exposure pathways. *Environ. Res.* 84: 290-302.
31. NTP (National Toxicology Program). 2016. Report on Carcinogens, Fourteenth Edition.; Research Triangle Park, NC: U.S. Department of Health and Human Services, Public Health Service. Available at <https://ntp.niehs.nih.gov/pubhealth/roc/index-1.html>
32. Runkle, J., Flocks, J., Economos, J., and Dunlop, A. L. 2017. A systematic review of Mancozeb as a reproductive and developmental hazard. *Environ. Int.* 99: 29-42.
33. kovgaard, M., Encinas, S. R., Jensen, O. C., Andersen, J. H., Condarco, G., and Jørs, E. 2017. Pesticide residues in commercial lettuce, onion, and potato samples from Bolivia- a threat to public health? *Environ Health Insights* 11: 1178630217704194.
34. Sugeng, A. J., Beamer, P. I., Lutz, E. A., and Rosales, C. B. 2013. Hazard-ranking of agricultural pesticides for chronic health effects in Yuma County, Arizona. *Sci. Total Environ.* 463-464: 35-41.
35. Sun, Z., Tao, Y., Li, S., Ferguson, K. K., Meeker, J. D., Park, S. K., Batterman, S. A., and Mukherjee, B. 2013. Statistical strategies for constructing health risk models with multiple pollutants and their interactions: possible choices and comparisons. *Environ. Health* 12: 85.
36. Szenczi-Cseh, J., and Ambrus, Á. 2017. Uncertainty of exposure assessment of consumers to pesticide residues derived from food consumed. *J. Environ. Sci. Health B* 52: 658-670.
37. University of Hertfordshire. 2018. PPDB: Pesticide properties database. Available at <https://sitem.herts.ac.uk/aeru/ppdb/en/>
38. United States Environmental Protection Agency. 1992. The Hazard Ranking System Guidance Manual. National Service Center for Environmental Publications. 509 pp.
39. United States Environmental Protection Agency. 2000. Chronic (non-cancer) toxicity data for chemicals listed under EPCRA

- section 313. Available at <https://www.epa.gov/toxics-release-inventory-tri-program/chronic-non-cancer-toxicity-data-tri-listed-chemicals>
40. United States Environmental Protection Agency. 2011. Endocrine disruptor screening program Tier 1 assessment. Available at <https://www.epa.gov/ingredients-used-pesticide-products/endocrine-disruptor-screening-program-tier-1-assessments>
41. United States Environmental Protection Agency. 2015. Status of EDSP Tier 1 screening results and data evaluation records for DESP Tier 1 chemicals with Docket hyper-links. Available at https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-10/documents/edsp_tier_1_screening_results_der_response_table_092315.pdf
42. United States Environmental Protection Agency. 2018. Chemicals evaluated for carcinogenic potential office of pesticide programs. annual cancer report 2018. Available at http://npic.orst.edu/chemicals_evaluated.pdf
43. Whitney, K. D., Seidler, F. J., and Slotkin, T. A. 1995. Developmental neurotoxicity of chlorpyrifos: cellular mechanisms. *Toxicol. Appl. Pharmacol.* 134: 53-62.

Hazard Rankings Based on Chronic Health Effects of High-use Pesticides in Taiwan

Chun-Lin Liao^{1*}, Chun-Lan Lin², Shui-Yuan Lu¹, Wei-Ren Tsai¹

Abstract

Liao C. L., Lin C. L., Lu S. Y., and Tsai W. R. 2018. Hazard-ranking of high-use pesticides for chronic health effects in Taiwan. *Taiwan Pestic. Sci.* 5: 53-73.

This study applied a hazard-ranking approach to the evaluation of high-use pesticides in Taiwan. Specifically, we were concerned with three types of chronic health hazards that are of international concern: carcinogenicity, endocrine disruption, and reproductive/developmental toxicity. In evaluating each pesticide, both toxicity and exposure were used as chronic hazard indicators. Toxicity and exposure were employed to assess the long-term evidence weights of different health risk factors that may occur under environmental exposure. We first determined the frequency of use of various pesticides in Taiwan in order to establish a list of high-use pesticides. We then evaluated the toxicity risk of each high-use pesticide according to “toxic class” and “toxic potency”. We further assessed the “volatilization flux” and “soil persistence” of each pesticide to determine the potential exposure risk faced by individuals who are exposed to pesticides in the surrounding environment. Pesticide hazard scores were adjusted according to the frequency at which each pesticide was used in order to improve the reliability of our health risk assessment and to achieve early warning about pesticides that present health risks. Finally, the overall health risk posed by each high-use pesticide was determined by combining the hazard scores obtained for the three types of chronic health hazards. According to the overall chronic hazard level, risk ranking results showed that the top ten riskiest pesticides are mancozeb, chlorpyrifos, pendimethalin, butachlor, thiophanate-methyl, ethion, chlorothalonil,

Accepted: March 25, 2019.

* Corresponding author, E-mail: cliao@tactri.gov.tw

¹ Taiwan Agricultural Chemicals and Toxic Substances Research Institute, Council of Agriculture, Taichung

² Global Research & Industry Alliance, National Tsing Hua University, Hsinchu

dimethoate, carbofuran, and carbaryl. Our findings of this study should provide managers with more comprehensive risk information and thereby help improve risk management and control.

Key words: pesticide, risk ranking, toxicity, exposure, carcinogenicity, endocrine disruptor