

柑橘、葡萄、印度棗與草莓多重殘留風險評估

楊俊宏^{1*} 李育儒¹ 姚成瑞¹ 蔡韋任¹

摘要

楊俊宏、李育儒、姚成瑞、蔡韋任。2019。柑橘、葡萄、印度棗與草莓多重殘留風險評估。臺灣農藥科學 7 : 55-79。

農民用藥依害物種類之不同，而選擇不同類型之推薦農藥進行防治，而當同時有不同害物發生時，勢必有不同農藥多重使用之情形，而導致消費者攝食一種蔬果殘留多重農藥之風險。本研究探討柑橘、葡萄、印度棗與草莓等 4 種常見同時檢出多種農藥殘留之水果品項其多重殘留風險。結合哺乳動物毒理之毒性作用機制並就其於法規面上推薦用藥之理論殘留容許量風險與 2016 年實際多重殘留監測案例，對哺乳動物危害商數 (hazard index, HI) 整體風險進行比較分析，並依據農藥相同毒性評估組 (common assessment group, CAG) 分群，以劑量相加模式，進行累積性風險評估，結果顯示於此 4 種柑橘、葡萄、印度棗與草莓水果品項實際多重殘留案例中，其女性累積危害商數於 2016 年分別為 0.272、0.013、0.013 及 0.096；而男性累積危害商數則分別為 0.170、0.009、0.007 及 0.070。整體累積危害商數評估結果，2016 年實際案例累積危害商數均遠低於安全值 1。而於法規面上推薦用藥之理論殘留容許量累積危害商數亦均低於安全值 1，女性理論累積危害商數分別為 0.696、0.177、0.078 及 0.182；而男性理論累積危害商數則分別為 0.435、0.129、0.043 及 0.132。本研究結果無論採理論或實際案例之累積暴露危害商數，其危害商數均低於安全值 1，顯示其多重累積風險低，累積危害商數無論男女性別其高低依序為柑橘、草莓、葡萄與印度棗，此科學數據危害商數可說明實際農藥多重共暴露的風險低，並可做為政府主管單位管理多重共暴露農藥議題之重要科學依據與未來田間用藥推薦管理與建議。

關鍵詞：相同毒性評估組、劑量相加、累積性風險評估、危害商數

接受日期：2020 年 2 月 3 日

* 通訊作者。E-mail: yjh@tactri.gov.tw

¹ 臺中市 行政院農業委員會農業藥物毒物試驗所

緒言

臺灣地處亞熱帶與熱帶地區，氣候溫和，雨量充沛，適合各類水果的栽培。但相對的水果相關之病蟲害亦較為複雜與多樣，導致水果品質降低、單位面積產量減少等問題頻發。而農民為防治果樹病蟲害，確保產量與質量等目的，藉由農藥的施用，因而易導致農藥殘留之發生。且水果相關之病蟲害發生時，往往同時有數種病蟲害發生，農民此時會依害物種類之不同，而選擇不同類型之農藥進行防治，而有不同農藥多重同時使用之情形，導致消費者攝食到多重農藥殘留之風險。

農藥暴露達一定劑量閾值 (threshold) 時，會依其對哺乳動物之毒性表現的不同而對哺乳動物產生毒性。目前蒐集相關國際資料顯示，多重農藥殘留於食用作物中情形確實普遍存在⁽¹²⁾。但綜觀現有的科學研究，尚無法針對多種混合各種不同作用機制的農藥，作各種組合的毒性作用探討，以確切釐清多重農藥殘留實際上對人之攝食毒性風險。目前就理論上或經初步實際之驗證實驗後^(4, 5, 6)，可確認於殘留(微量)濃度下並不會產生更毒之毒性，即不具加乘作用 (synergy effect)，亦不會產生另一種更毒之物質，亦即不具有雞尾酒效應。但多重農藥殘留確實存在同一類毒性表現農藥間殘留量具累加 (accumulation) 之效應風險之疑慮^(9, 10, 13, 15)，因此多重農藥殘留之風險，最受到關注的是，不怕有多少種不同毒性表現之農

藥殘留，但憂心的是同時存在太多種同一毒性表現之農藥殘留。而本文所謂的毒性表現，非指對菌、病毒或蟲蟎之毒性表現，而專指對哺乳動物或人之毒性表現，因此相對於對菌、病毒或蟲蟎，對哺乳動物或人之毒性表現明顯複雜與多樣，例如四氯異苯腈農藥在短期試驗中會導致血清中丙氨酸轉胺酶 (alanine aminotransferase, ALT) 下降而具肝毒性⁽¹⁷⁾。而菲克利農藥亦因抑制動物體內細胞色素 P450 單加氧酶 (monooxygenase)，進而抑制類固醇和脂肪酸的羥化反應 (hydroxylation)，引起脂肪代謝異常而導致肝細胞脂肪堆積而引起肝毒性⁽¹⁴⁾，兩種藥劑雖對哺乳動物或人最終均會造成肝毒性之毒性指標 (endpoint)，但實際上兩者所透過之毒性表現是完全不同的，因此不具累加效應風險疑慮，此結果已於我們先前研究得到證實^(4, 5)。顯而易見，並非所有農藥均具有累加效應風險疑慮的，因此有些風險是被高估的。

針對農藥之累積性風險評估，歐州食品安全局 (European Food Safety Authority, EFSA) 為了釐清目前登記農藥主成分中，那些農藥對哺乳類動物毒性表現上是相同的，而具多重累積效應風險之疑慮，該局於 2009 年即啟動建立農藥相同毒性評估組 (common assessment group, CAG) 之研究計畫，被歸列於相同 CAG 群組中之農藥，即代表該群農藥具對哺乳動物相同之毒性表現，若同時暴露到該分群中之農藥，則具農藥多重累積效應風險。該計

畫收集了現有農藥已發表之毒性科學佐證資料，以階層式 (tiered approach) 進行評估分類，將 CAG 分類為 4 個等級，CAG 層級 1 (level 1) 代表農藥具相同之毒性作用器官 (target organ toxicity)，例如產生肝毒性、CAG 層級 2 代表農藥對某標的器官具特異性之毒性效應 (specific phenomenological effect)，例如產生肝肥大 (hypertrophy)、CAG 層級 3 代表農藥具相同之毒性作用模式 (toxicity mode of action)，表示特定分子 (如毒物分子) 在細胞層面上發揮特定毒理作用的機理，例如誘導肝細胞中第 1 相 (phase 1) 酵素之表現，而 CAG 層級 4 則代表農藥具相同之毒性作用機制 (toxicity mechanism of action)，指特定分子 (如毒物分子) 在分子層面上產生作用的機理，例如誘導 cytochrome P450 中之 CYP1A 酵素分子之表現，層級愈高，代表所需毒性科學佐證資料愈完整與精緻。EFSA 並已於 2012 年發表相關完整之農藥 CAG 分群結果⁽¹¹⁾。

本研究選擇常檢出多種農藥風險較高之柑橘、葡萄、印度棗與草莓等 4 種水果作物，針對此 4 種水果作物，以 2016 年度多重農藥實際殘留量之監測案例，分別列出於實際案例中殘留檢測頻度最高之前 10 名農藥清單與檢視法規面上建議使用頻度最高之前 10 名推薦用藥後，結合實際農藥殘留量或理論最大殘留容許量 (maximum residue level, MRL)、作物取食量資料，並計算人體實際暴露量後，結合每日可接受攝食量 (acceptable daily

intake, ADI) 值，以已建立危害商數 (hazard index, HI) 的計算模式，並依據農藥相同毒性評估組 (common assessment group, CAG) 分群⁽¹¹⁾，將具有對哺乳動物毒性表現相同之農藥，以劑量相加模式，進行累積性風險評估。

材料與方法

(一) 多重農藥實際於柑橘、葡萄、印度棗與草莓等 4 種水果作物中監測殘留量資料：依據農業藥物毒物試驗所 2016 年於此 4 種水果作物殘留監測分析結果，多種農藥同時檢驗之分析方法是目前世界各國用於調查農產品或食品中農藥殘留情形一致使用的方法，報告檢驗方法為行政院衛生福利部於 2014 年公告部授食字第 1031900615 號以「食品中殘留農藥檢測方法－多重殘留分析方法 (五)」⁽¹⁾，樣品採用 QuEChERS 方法 (Quick, Easy, Cheap, Effective, Rugged, Safe) 前處理後，以液相層析串聯質譜儀 (Liquid Chromatography-Tandem Mass Spectrometer, LC-MS/MS) 及氣相層析串聯質譜儀 (Gas Chromatography-Tandem Mass Spectrometer, GC-MS/MS) 分析檢測與鑑定。2016 年計有 729 個樣品，3,926 筆殘留分析資料。

(二) 2016 年實際殘留案例中與法規面上最常被推薦使用之農藥前 10 名清單選取原則：(1) 2016 年實際殘留案例中殘留農藥前 10 名清單選取原則：乃依據實際殘留案例中殘留資料，殘留結果重複出現

頻率最高之農藥列為第一位 (Top 1) 農藥，其次列為 Top 2，其餘以此類推至 Top 10 農藥。(2) 法規面上最常被推薦使用之農藥前 10 名清單選取原則：以柑橘作物為例，法規面上最常被推薦使用於防治柑橘之害物有包括柑桔葉蟻與潛葉蛾等 27 種病蟲害，其中大滅松 (dimethoate) 就被 13 種不同病蟲害推薦為防治用藥最多列為 Top 1 農藥；而加保扶 (carbofuran) 則被 8 種不同病蟲害推薦為防治用藥，列為 Top 2，其餘以此類推至 Top 10 農藥。

(三) 查詢國家衛生研究院 2015 年國家攝食資料庫中⁽³⁾，國人每日平均攝取水果類作物取食量資料：19 至 65 歲男性平均體重 69.3 kg，平均男性每人每日取食小漿果 39.9 g (適用葡萄與草莓)、梨果 30.1 g (適用印度棗) 與柑橘類 22.8 g (適用柑橘)；19 至 65 歲女性平均體重 57.3 kg，平均女性每人每日取食小漿果 45.4 g (適用葡萄與草莓)、梨果類 44.8 g (適用印度棗) 與柑橘類 30.1 g (適用柑橘)。

(四) 柑橘、葡萄、印度棗與草莓等 4 種水果作物中農藥實際攝取量 (actual residue intake)⁽¹⁶⁾ 換算公式：實際攝取量 (mg/kg/day) = [每日平均作物取食量 (kg/person/day)] × [作物農藥實際監測殘留量(ppm)] / [平均體重(kg)]。

(五) 柑橘、葡萄、印度棗與草莓等 4 種水果作物中農藥理論攝取量換算公式：理論攝取量 (mg/kg/day) = [每日平均作物取食量 (kg/person/day)] × [農藥殘留容許量 MRL⁽²⁾ (ppm)] / [平均體重(kg)]。

(六) 危害商數計算公式為 HI (hazard index) = 實際攝取量或理論攝取量 / ADI。

(七) 累積毒性風險評估計算方法說明為：(1) 查詢理論與實際殘留之前 10 名農藥之毒性作用有幾種農藥被歸列於相同毒性評估組 (common assessment group, CAG)分群中。(2) 若 A、B、C 等三個藥劑被歸列於相同之 CAG 中⁽¹¹⁾，則表示此三個藥劑具有相同之毒性作用機制；(3) 則三藥之農藥殘留累積危害商數 (accumulation hazard index；HI_{accumulation}) 為：HI_{accumulation} = HI_A + HI_B + HI_C，即為：HI_{accumulation} = (ED_A/ADI_A) + (ED_B/ADI_B) + (ED_C/ADI_C)。

(八) 結果統計分析：數據為監測調查資料，實際殘留資料採平均值 (Mean) 表示。

結果

一、柑橘作物之危害商數整體評估

在 2016 年實際案例中多重殘留出現機率最高之前 10 名農藥依序分別為貝芬替 (carbendazim, Top 1)、愛殺松 (ethion, Top 2)、芬化利 (fenvalerate, Top 3)、芬佈賜 (fenbutatin oxide, Top 4)、陶斯松 (chlorpyrifos, Top 5)、賽滅寧 (cypermethrin, Top 6)、百利普芬 (pyriproxyfen, Top 7)、第滅寧 (deltamethrin, Top 8)、丁基加保扶 (carbosulfan, Top 9) 與賜派芬

(spirodiclofen, Top 10)。於 2016 年實際監測資料計完成 298 個樣品，共 1,302 筆農藥殘留資料評估，平均每個樣品約有 4.37 個農藥殘留，並依據農藥相同毒性評估組 (CAG) 分群，將對某標的器官具相同特異性毒性效應 (specific phenomenological effect) 歸列於 GAG2 相同分群中之農藥，以劑量相加模式，進行累積性風險評估，298 個樣品計算後之實際累積危害商數，

女性 HI 為 0.2727；而男性 HI 為 0.1705 (表一及表二)，結果可見 3 種農藥對某標的器官具相同特異性毒性效應 (specific phenomenological effect)，被歸列於肝毒性中 CAG level 2a 相同分群中，分別為愛殺松 (Top 2)、百利普芬 (Top 7)、加保扶 (Top 9)，對於肝臟上會造成肝細胞肥大之特異性毒性作用，累加後具有較高之累積危害商數 (表一及表二)。其中愛殺松提

表一、2016 年實際殘留案例於柑橘作物多重殘留前 10 名農藥女性累積多重危害商數推估結果

Table 1. Results of the actual cumulative hazard estimation for citrus fruit of top 10 pesticides in the multiple residue monitoring cases in 2016 for female

Top 10 pesticides	Actual mean residue (ppm)	Actual residue intake ¹⁾ (mg/kg/day)	ADI (mg/kg/day)	Actual hazard index ²⁾
Carbendazim (Top 1)	0.2529	0.000132923	0.03	0.00443076
Ethion (Top 2)	0.2492	0.000131003	0.0005	0.26200589
Fenvalerate (Top 3)	0.1385	0.00007282	0.02	0.00364085
Fenbutatin oxide (Top 4)	0.1199	0.0000630	0.03	0.002100848
Chlorpyrifos (Top 5)	0.0537	0.0000282	0.01	0.00282371
Cypermethrin (Top 6)	0.0814	0.0000428	0.04	0.001069346
Pyriproxyfen (Top 7)	0.0348	0.0000183	0.1	0.00018278
Deltamethrin (Top 8)	0.0286	0.000015	0.01	0.00150528
Carbosulfan (Top 9)	0.0500	0.0000263	0.0025	0.0105131
Spirodiclofen (Top 10)	0.0332	0.0000174	0.0065	0.002681476
Ethion				0.26200589
Pyriproxyfen		Level 2a	Liver Hypertrophy	0.00018278
Carbosulfan				0.0105131
Actual cumulative hazard index ³⁾		CAG ⁴⁾	Specific phenomenological effect	0.272701763

¹⁾ Actual residue intake = Actual mean residue (ppm) * [Daily food intake (kg/person/day)] / [Body weight (kg)]

²⁾ HI = residue intake / ADI

³⁾ Cumulative HI_{ABC...} = HI_A + HI_B + HI_C + HI... (A, B and C having a common mode of action).

⁴⁾ CAG = Common Assessment Groups, which is the pesticides having a common mode of action.

供較大的個別危害商數，分析原因是 ADI 值很低 0.0005，使用上有較高的風險。男女性之累積危害商數值均低於具風險疑慮值 1 約 4 至 6 倍，而實際之風險更低，因並非每個殘留案例均同時有高達 10 個藥劑殘留，如柑橘實際案例中平均每個樣品只有 4.37 個農藥殘留。

法規面上用於柑橘作物害物防治推薦前 10 名用藥之女性與男性理論累積多重

危害商數推估結果分別為 0.696 (表三) 與 0.435 (表四)，推薦前 10 名用藥依序為大滅松 (dimethoate, Top 1)、加保扶 (carbofuran, Top 2)、馬拉松 (malathion, Top 3)、賜諾特 (spinetoram, Top 4)、扶吉胺 (fluazinam, Top 5)、二硫代胺基甲酸鹽類 (dithiocarbamates, Top 6)、芬佈賜 (fenbutatin-oxide, Top 7)、腈硫醃 (dithianon, Top 8)、賽洛寧 (cyhalothrin, Top 9) 與百利普芬

表二、2016 年實際殘留案例於柑橘作物多重殘留前 10 名農藥男性累積多重危害商數推估結果

Table 2. Results of the actual cumulative hazard estimation for citrus fruit for top 10 pesticides in the multiple residue monitoring cases in 2016 for male

Top 10 pesticides	Actual mean residue (ppm)	Actual residue intake ¹⁾ (mg/kg/day)	ADI (mg/kg/day)	Actual hazard index ²⁾
Carbendazim (Top 1)	0.2529	0.00008312	0.03	0.002771
Ethion (Top 2)	0.2492	0.0000819	0.0005	0.163845
Fenvalerate (Top 3)	0.1385	0.00004554	0.02	0.002277
Fenbutatin oxide (Top 4)	0.1199	0.000039	0.03	0.001314
Chlorpyrifos (Top 5)	0.0537	0.0000177	0.01	0.0017658
Cypermethrin (Top 6)	0.0814	0.0000267	0.04	0.000669
Pyriproxyfen (Top 7)	0.0348	0.0000114	0.1	0.0001143
Deltamethrin (Top 8)	0.0286	0.0000094	0.01	0.000941
Carbosulfan (Top 9)	0.0500	0.0000164	0.0025	0.0065744
Spirodiclofen (Top 10)	0.0332	0.0000109	0.0065	0.001677
Ethion				0.163845
Pyriproxyfen		Level 2a	Liver Hypertrophy	0.0001143
Carbosulfan				0.0065744
Actual cumulative hazard index ³⁾		CAG ⁴⁾	Specific phenomenological effect	0.1705339

¹⁾ Actual residue intake = Actual mean residue (ppm) * [Daily food intake (kg/person/day)] / [Body weight (kg)]

²⁾ HI = residue intake / ADI

³⁾ Cumulative HI_{ABC...} = HI_A + HI_B + HI_C + HI... (A, B and C having a common mode of action).

⁴⁾ CAG = Common Assessment Groups, which is the pesticides having a common mode of action.

(pyriproxyfen, Top 10) (表三及表四)。依據農藥相同毒性評估組 (CAG) 分群，將對某標的器官具相同特異性毒性效應歸列於 GAG2c 相同分群中之農藥，以劑量相加模式，進行累積性風險評估，在法規上推薦用藥的前十名中理論累積多重危害商數，女性為 0.696；而男性為 0.435，結果可見 5 種農藥對某標的器官具相同特異性毒性效應分別為大滅松 (Top 1)、丁基加

保扶 (Top 2)、賜諾特 (Top 4)、扶吉胺 (Top 5)、二硫代胺基甲酸鹽類 (Top 6)，被歸列於神經毒性中 CAG level 2c 相同分群中，對於視網膜有特異性毒性作用 (表三及表四)，其中較大的個別風險來自大滅松這個農藥因為其建議 MRL 值為 2 (ppm) 最高，然而 ADI 值為 0.002 卻最低，因而其暴露風險最高。

表三、法規面於柑橘作物害物防治推薦前 10 名用藥之女性理論累積多重危害商數推估結果
Table 3. Results of the theoretical cumulative hazard estimation for citrus fruit in recommended top 10 pesticides on the regulatory side for female

Top 10 pesticides	MRL (ppm)	Theoretical residue intake ¹⁾ (mg/kg/day)	ADI (mg/kg/day)	Theoretical hazard index ²⁾
Dimethoate (Top 1)	2	0.001051309	0.002	0.52565445
Carbofuran (Top 2)	0.5	0.000262827	0.0025	0.10513089
Malathion (Top 3)	2	0.001051309	0.07	0.015018699
Spinetoram (Top 4)	0.2	0.000105131	0.024	0.004380454
Fluazinam (Top 5)	0.2	0.000105131	0.004	0.026282723
Dithiocarbamates (Top 6)	2	0.001051309	0.03	0.03504363
Fenbutatin-oxide (Top 7)	2	0.001051309	0.03	0.03504363
Dithianon (Top 8)	2	0.001051309	0.006	0.17521815
Cyhalothrin (Top 9)	1	0.000525654	0.02	0.026282723
Pyriproxyfen (Top 10)	0.5	0.000262827	0.1	0.002628272
Dimethoate				0.52565445
Carbosulfan				0.10513089
Spinetoram		Level 2c	Retinal effects	0.004380454
Fluazinam				0.026282723
Dithiocarbamates				0.03504363
Theoretical cumulative hazard index ³⁾		CAG ⁴⁾	Specific phenomenological effect	0.696492147

¹⁾ Theoretical residue intake= MRL (ppm) * [Daily food intake (kg/person/day)] / [Body weight (kg)]

²⁾ HI= residue intake / ADI

³⁾ Cumulative HI_{ABC}... = HI_A+ HI_B+ HI_C+ HI... (A, B and C having a common mode of action).

⁴⁾ CAG= Common Assessment Groups, which is the pesticides having a common mode of action.

二、葡萄作物之危害商數整體評估

在 2016 年實際案例中多重殘留出現機率最高之前 10 名農藥依序分別為達滅芬 (dimethomorph, Top 1)、亞托敏 (azoxystrobin, Top 2)、賽普洛 (cyprodinil,

Top 3)、益達胺 (imidacloprid, Top 4)、納乃得 (methomyl, Top 5)、貝芬替 (carbendazim, Top 6)、護汰寧 (fludioxonil, Top 7)、白克列 (boscalid, Top 8)、撲克拉 (prochloraz, Top 9) 與三氟敏 (trifloxystrobin, Top 10)。於 2016 年實際監測資料計完成 266 個樣品, 共 1,895 筆農藥殘留資料評估, 平均每個樣品約有 7.12 個

表四、法規面於柑橘作物害物防治推薦前 10 名用藥之男性理論累積多重危害商數推估結果

Table 4. Results of the theoretical cumulative hazard estimation for citrus fruit in recommended top 10 pesticides on the regulatory side for male

Top 10 pesticides	MRL (ppm)	Theoretical residue intake ¹⁾ (mg/kg/day)	ADI (mg/kg/day)	Theoretical hazard index ²⁾
Dimethoate (Top 1)	2	0.000657435	0.002	0.328717727
Carbofuran (Top 2)	0.5	0.000164359	0.0025	0.065743545
Malathion (Top 3)	2	0.000657435	0.07	0.009391935
Spinetoram (Top 4)	0.2	6.57435E-05	0.024	0.002739314
Fluazinam (Top 5)	0.2	6.57435E-05	0.004	0.016435886
Dithiocarbamates (Top 6)	2	0.000657435	0.03	0.021914515
Fenbutatin-oxide (Top 7)	2	0.000657435	0.03	0.021914515
Dithianon (Top 8)	2	0.000657435	0.006	0.109572576
Cyhalothrin (Top 9)	1	0.000328718	0.02	0.016435886
Pyriproxyfen (Top 10)	0.5	0.000164359	0.1	0.001643589
Dimethoate				0.328717727
Carbosulfan				0.065743545
Spinetoram	Level 2c		Retinal effects	0.002739314
Fluazinam				0.016435886
Dithiocarbamates				0.021914515
Theoretical cumulative hazard index ³⁾	CAG ⁴⁾		Specific phenomenological effect	0.435550987

¹⁾ Theoretical residue intake = MRL (ppm) * [Daily food intake (kg/person/day)] / [Body weight (kg)]

²⁾ HI = residue intake / ADI

³⁾ Cumulative HI_{ABC...} = HI_A + HI_B + HI_C + HI... (A, B and C having a common mode of action).

⁴⁾ CAG = Common Assessment Groups, which is the pesticides having a common mode of action.

農藥殘留，並依據農藥相同毒性評估組 (CAG) 分群，將具有對哺乳動物具相同之毒性作用器官 (target organ toxicity) 歸列於 GAG1 相同分群中之農藥，以劑量相加模式，進行累積性風險評估，266 個樣品計算後之實際累積危害商數，女性 HI 為 0.013；而男性 HI 為 0.009 (表五及表六)，結果可見 3 種農藥具相同之毒性作用器官，被歸列於腎標的器官毒性中 CAG level 1 相同分群中，分別為賽普洛 (Top 3)、納乃得 (Top 5)、三氟敏 (Top 10) 均會造成腎標的器官毒性，累加後具有較高之累積危害商數 (表五及表六)。女性實際累積危害商數值為 0.013 (表五)；而男性實際累積危害商數值為 0.009 (表六)，兩個性別之 HI 累積危害商數值均低於具風險疑慮值 1 約 80 至 100 倍，而實際之風險更低，因並非每個殘留案例均同時有高達 10 個藥劑殘留，如葡萄實際案例中平均每個樣品只有 7.12 個農藥殘留。

表五、2016 年實際殘留案例於葡萄多重殘留前 10 名農藥女性累積多重危害商數推估結果
Table 5. Results of the actual cumulative hazard estimation for grape fruit for top 10 pesticides in the multiple residue monitoring cases in 2016 for female

Top 10 pesticides	Actual mean residue (ppm)	Actual residue intake ¹⁾ (mg/kg/day)	ADI (mg/kg/day)	Actual hazard index ²⁾
Dimethomorph (Top 1)	0.1594	0.000126279	0.11	0.00114799
Azoxystrobin (Top 2)	0.2058	0.000162961	0.1	0.00163
Cyprodinil (Top 3)	0.2433	0.000192694	0.03	0.006423
Imidacloprid (Top 4)	0.2117	0.00016767	0.06	0.002795
Methomyl (Top 5)	0.1359	0.00010767	0.02	0.005383
Carbendazim (Top 6)	0.1620	0.000128307	0.03	0.004277
Fludioxonil (Top 7)	0.1203	0.0000953	0.4	0.0002382
Boscalid (Top 8)	0.2209	0.000174977	0.04	0.004374
Prochloraz (Top 9)	0.0678	0.0000537	0.01	0.0053714
Trifloxystrobin (Top 10)	0.0872	0.0000691	0.04	0.0017273
Cyprodinil				0.006423
Methomyl		Level 1	Toxicity to the kidney	0.005383
Trifloxystrobin				0.0017273
Actual cumulative hazard index ³⁾		CAG ⁴⁾	Target organ toxicity	0.013533

¹⁾ Actual residue intake = Actual mean residue (ppm) * [Daily food intake (kg/person/day)] / [Body weight (kg)]

²⁾ HI= residue intake / ADI

³⁾ Cumulative HI_{ABC...} = HI_A+ HI_B+ HI_C+ HI... (A, B and C having a common mode of action).

⁴⁾ CAG= Common Assessment Groups, which is the pesticides having a common mode of action.

法規面上用於葡萄作物害物防治推薦前 10 名用藥之女性與男性理論累積多重危害商數推估結果分別為 0.177 (表七) 與 0.129 (表八)，推薦前 10 名用藥依序為二硫代胺基甲酸鹽類 (dithiocarbamates, Top 1)、貝芬替 (carbendazim, Top 2)、三氟敏 (trifloxystrobin, Top 3)、亞托敏 (azoxystrobin, Top 4)、阿巴汀 (abamectin, Top 5)、勃激素 A3 (gibberellic acid, Top 6)、腐絕 (thiabendazole, Top 7)、撲克拉

(prochloraz, Top 8)、鋅錳乃浦 (mancozeb, Top 9)、賽洛寧 (cyhalothrin, Top 10) (表七及表八)。依據農藥相同毒性評估組 (CAG) 分群，將具有對哺乳動物具相同之毒性作用模式 (toxicity mode of action) 歸列於 GAG3a 相同分群中之農藥，以劑量相加模式，進行累積性風險評估，在法規上推薦用藥的前十名中理論累積多重危害商數，女性為 0.177；男性為 0.129，結果可見 3 種農藥具相同之毒性作用模式，

表六、2016 年實際殘留案例於葡萄多重殘留前 10 名農藥男性累積多重危害商數推估結果

Table 6. Results of the actual cumulative hazard estimation for grape fruit for top 10 pesticides in the multiple residue monitoring cases in 2016 for male

Top 10 pesticides	Actual mean residue (ppm)	Actual residue intake ¹⁾ (mg/kg/day)	ADI (mg/kg/day)	Actual hazard index ²⁾
Dimethomorph (Top 1)	0.1594	0.0000919	0.11	0.000835
Azoxystrobin (Top 2)	0.2058	0.000118565	0.1	0.001186
Cyprodinil (Top 3)	0.2433	0.000140198	0.03	0.004673
Imidacloprid (Top 4)	0.2117	0.000121991	0.06	0.002033
Methomyl (Top 5)	0.1359	0.0000783	0.02	0.003917
Carbendazim (Top 6)	0.1620	0.0000934	0.03	0.003112
Fludioxonil (Top 7)	0.1203	0.0000693	0.4	0.000173
Boscalid (Top 8)	0.2209	0.000127308	0.04	0.003183
Prochloraz (Top 9)	0.0678	0.0000391	0.01	0.003908
Trifloxystrobin (Top 10)	0.0872	0.0000503	0.04	0.001257
Cyprodinil				0.004673
Methomyl	Level 1		Toxicity to the kidney	0.003917
Trifloxystrobin				0.001257
Actual cumulative hazard index ³⁾	CAG ⁴⁾		Target organ toxicity	0.009847

¹⁾ Actual residue intake = Actual mean residue (ppm) * [Daily food intake (kg/person/day)] / [Body weight (kg)]

²⁾ HI= residue intake / ADI

³⁾ Cumulative HI_{ABC...} = HI_A+ HI_B+ HI_C+ HI... (A, B and C having a common mode of action).

⁴⁾ CAG= Common Assessment Groups, which is the pesticides having a common mode of action.

被歸列於內分泌毒性中 CAG level 3a 相同分群中，分別為二硫代胺基甲酸鹽類 (Top 1)、三氟敏 (Top 3)、阿巴汀 (Top 5) 具抗雄性激素的作用有相同的毒性作用模式，二硫代胺基甲酸鹽類的 MRL 較高，所以個別危害商數會較高。

三、印度棗作物之危害商數整體評估

在 2016 年實際案例中多重殘留出現機率最高之前 10 名農藥依序分別為貝芬替 (carbendazim, Top 1)、第滅寧 (deltamethrin, Top 2)、亞托敏 (azoxystrobin, Top 3)、益達胺 (imidacloprid, Top 4)、陶斯松 (chlorpyrifos, Top 5)、白克列 (boscalid, Top 6)、百克敏 (pyraclostrobin, Top 7)、達特南 (dinotefuran, Top 8)、芬殺蟎 (fenazaquin, Top 9)、賽洛寧 (lambda-cyhalothrin, Top 10)。於 2016 年實際監測資料計完成

表七、法規面於葡萄作物害物防治推薦前 10 名用藥之女性理論累積多重危害商數推估結果

Table 7. Results of the theoretical cumulative hazard estimation for grape fruit in recommended top 10 pesticides on the regulatory side for female

Top 10 pesticides	MRL (ppm)	Theoretical residue intake ¹⁾ (mg/kg/day)	ADI (mg/kg/day)	Theoretical hazard index ²⁾
Dithiocarbamates (Top 1)	5	0.003958988	0.03	0.131966259
Carbendazim (Top 2)	3	0.002375393	0.03	0.079179756
Trifloxystrobin (Top 3)	2	0.001583595	0.04	0.039589878
Azoxystrobin (Top 4)	2	0.001583595	0.1	0.015835951
Abamectin (Top 5)	0.02	0.00001584	0.0025	0.00633438
Gibberellic acid (Top 6)	5	0.003958988	5	0.000791798
Thiabendazole (Top 7)	5	0.003958988	0.1	0.039589878
Prochloraz (Top 8)	1	0.000791798	0.01	0.079179756
Mancozeb (Top 9)	NA	NA	NA	NA
Cyhalothrin (Top 10)	1	0.000791798	0.02	0.039589878
Dithiocarbamates				0.131966259
Trifloxystrobin		Level 3a	Anti-androgenic effects	0.039589878
Abamectin				0.00633438
Theoretical cumulative hazard index ³⁾		CAG ⁴⁾	Toxicity mode of action	0.177890517

¹⁾ Theoretical residue intake = MRL (ppm) * [Daily food intake (kg/person/day)] / [Body weight (kg)]

²⁾ HI= residue intake / ADI

³⁾ Cumulative HI_{ABC...} = HI_A+ HI_B+ HI_C+ HI... (A, B and C having a common mode of action).

⁴⁾ CAG= Common Assessment Groups, which is the pesticides having a common mode of action.

120 個樣品，共 485 筆農藥殘留資料評估，平均每個樣品約有 4.04 個農藥殘留，並依據農藥相同毒性評估組 (CAG) 分群，將對某標的器官具相同特異性毒性效應歸列於 GAG2 相同分群中之農藥，以劑量相加模式，進行累積性風險評估，120 個樣品計算後之實際累積危害商數，女性 HI 為 0.013；而男性 HI 為 0.007 (表九及表十)，其多重累積危害商數只來自於芬殺蟎 1 個農藥，因其 ADI 是 10 個農藥中最

低，其個別風險最高，且在毒性作用機制的分類下，其餘 9 個農藥均無與芬殺蟎被歸列於產生腎上腺增生毒性表現中 CAG level 2d 之相同分群中 (表九及表十)，毒性累積危害商數也未高於單一的芬殺蟎危害商數，因而不具多重累積風險。女性實際累積危害商數值為 0.013 (表九)；而男性實際累積危害商數值為 0.007 (表十)，兩個性別之 HI 累積危害商數值均低於具風險疑慮值 1 約 80 至 140 倍，而實際之

表八、法規面於葡萄作物害物防治推薦前 10 名用藥之男性理論累積多重危害商數推估結果

Table 8. Results of the theoretical cumulative hazard estimation for grape fruit in recommended top 10 pesticides on the regulatory side for male

Top 10 pesticides	MRL (ppm)	Theoretical residue intake ¹⁾ (mg/kg/day)	ADI (mg/kg/day)	Theoretical hazard index ²⁾
Dithiocarbamates (Top 1)	5	0.002880427	0.03	0.096014231
Carbendazim (Top 2)	3	0.001728256	0.03	0.057608539
Trifloxystrobin (Top 3)	2	0.001152171	0.04	0.028804269
Azoxystrobin (Top 4)	2	0.001152171	0.1	0.011521708
Abamectin (Top 5)	0.02	0.00001152	0.0025	0.004608683
Gibberellic acid (Top 6)	5	0.002880427	5	0.000576085
Thiabendazole (Top 7)	5	0.002880427	0.1	0.028804269
Prochloraz (Top 8)	1	0.000576085	0.01	0.057608539
Mancozeb (Top 9)	NA	NA	NA	NA
Cyhalothrin (Top 10)	1	0.000576085	0.02	0.028804269
Dithiocarbamates				0.096014231
Trifloxystrobin	Level 3a		Anti-androgenic effects	0.028804269
Abamectin				0.004608683
Theoretical cumulative hazard index ³⁾	CAG ⁴⁾		Toxicity mode of action	0.129427183

¹⁾ Theoretical residue intake = MRL (ppm) * [Daily food intake (kg/person/day)] / [Body weight (kg)]

²⁾ HI= residue intake / ADI

³⁾ Cumulative HI_{ABC...} = HI_A+ HI_B+ HI_C+ HI... (A, B and C having a common mode of action).

⁴⁾ CAG= Common Assessment Groups, which is the pesticides having a common mode of action.

風險更低，因並非每個殘留案例均同時有高達 10 個藥劑殘留，如印度棗實際案例中平均每個樣品只有 4.04 個農藥殘留。

法規面上用於印度棗作物害物防治推薦前 10 名用藥之女性與男性理論累積多重危害商數推估結果分別為 0.078 (表十一) 與 0.043 (表十二)，推薦前 10 名用藥依序為陶斯松 (chlorpyrifos, Top 1)、賽洛寧

(cyhalothrin, Top 2)、三氟敏 (trifloxystrobin, Top 3)、克凡派 (chlorfenapyr, Top 4)、芬殺蟎 (fenazaquin, Top 5)、益達胺 (imidacloprid, Top 6)、第滅寧 (deltamethrin, Top 7)、賜派滅 (spirotetramat, Top 8)、賜諾特 (spinetoram, Top 9)、達特南 (dinotefuran, Top 10) (表十一及表十二)。

表九、2016 年實際殘留案例於印度棗多重殘留前 10 名農藥女性累積多重危害商數推估結果

Table 9. Results of the actual cumulative hazard estimation for Indian jujube fruit for top 10 pesticides in the multiple residue monitoring cases in 2016 for female

Top 10 pesticides	Actual mean residue (ppm)	Actual residue intake ¹⁾ (mg/kg/day)	ADI (mg/kg/day)	Actual hazard index ²⁾
Carbendazim (Top 1)	0.1647	0.000128765	0.03	0.0042922
Deltamethrin (Top 2)	0.0344	0.0000269	0.01	0.00269077
Azoxystrobin (Top 3)	0.0723	0.0000565	0.1	0.0005655
Imidacloprid (Top 4)	0.0821	0.0000642	0.06	0.0010699
Chlorpyrifos (Top 5)	0.057	0.0000446	0.01	0.00445555
Boscalid (Top 6)	0.085	0.0000664	0.04	0.0016611
Pyraclostrobin (Top 7)	0.0553	0.0000433	0.03	0.001443
Dinotefuran (Top 8)	0.095	0.0000743	0.02	0.003713
Fenazaquin (Top 9)	0.0863	0.0000675	0.005	0.0134942
lambda-Cyhalothrin (Top 10)	0.0282	0.0000221	0.02	0.00110354
Fenazaquin	Level 2d		Proliferation of the adrenal cortex	0.0134942
Actual cumulative hazard index ³⁾	CAG ⁴⁾		Specific phenomenological effect	0.0134942

¹⁾ Actual residue intake = Actual mean residue (ppm) * [Daily food intake (kg/person/day)] / [Body weight (kg)]

²⁾ HI= residue intake / ADI

³⁾ Cumulative HI_{ABC}... = HI_A+ HI_B+ HI_C+ HI... (A, B and C having a common mode of action).

⁴⁾ CAG= Common Assessment Groups, which is the pesticides having a common mode of action.

依據農藥相同毒性評估組 (CAG) 分群，將對某標的器官具相同特異性毒性效應歸列於 GAG2d 相同分群中之農藥，以劑量相加模式，進行累積性風險評估，在法規上推薦用藥的前十名中理論累積多重危害商數，女性為 0.078；而男性為 0.043，其多重累積危害商數只來自於芬殺蟎個別風險及不具多重累積風險等均類似於前段實際累積多重危害。

四、草莓作物之危害商數整體評估

在 2016 年實際案例中多重殘留出現機率最高之前 10 名農藥依序分別為賽普洛 (cyprodinil, Top 1)、護汰寧 (fludioxonil, Top 2)、達特南 (dinotefuran, Top 3)、達滅芬 (dimethomorph, Top 4)、必芬蟎 (bifenazate,

表十、2016 年實際殘留案例於印度棗多重殘留前 10 名農藥男性累積多重危害商數推估結果

Table 10. Results of the actual cumulative hazard estimation for Indian jujube fruit for top 10 pesticides in the multiple residue monitoring cases in 2016 for male

Top 10 pesticides	Actual mean residue (ppm)	Actual residue intake ¹⁾ (mg/kg/day)	ADI (mg/kg/day)	Actual hazard index ²⁾
Carbendazim (Top 1)	0.1647	0.0000716	0.03	0.002387
Deltamethrin (Top 2)	0.0344	0.0000150	0.01	0.001497
Azoxystrobin (Top 3)	0.0723	0.000031	0.1	0.000315
Imidacloprid (Top 4)	0.0821	0.000036	0.06	0.000595
Chlorpyrifos (Top 5)	0.057	0.0000446	0.01	0.002478
Boscalid (Top 6)	0.085	0.0000370	0.04	0.000924
Pyraclostrobin (Top 7)	0.0553	0.0000241	0.03	0.000803
Dinotefuran (Top 8)	0.095	0.0000413	0.02	0.0020652
Fenazaquin (Top 9)	0.0863	0.0000375	0.005	0.007506
lambda-Cyhalothrin (Top 10)	0.0282	0.0000123	0.02	0.000614
Fenazaquin	Level 2d		Proliferation of the adrenal cortex	0.007506
Actual cumulative hazard index ³⁾	CAG ⁴⁾		Specific phenomenological effect	0.007506

¹⁾ Actual residue intake = Actual mean residue (ppm) * [Daily food intake (kg/person/day)] / [Body weight (kg)]

²⁾ HI= residue intake / ADI

³⁾ Cumulative HI_{ABC...} = HI_A+ HI_B+ HI_C+ HI... (A, B and C having a common mode of action).

⁴⁾ CAG= Common Assessment Groups, which is the pesticides having a common mode of action.

Top 5)、合賽多 (hexythiazox, Top 6)、凡殺同 (famoxadone, Top 7)、二硫代胺基甲酸鹽類 (dithiocarbamates, Top 8)、亞托敏 (azoxystrobin, Top 9)、撲滅寧 (procymidone, Top 10)。於 2016 年實際監測資料計完成 45 個樣品，共 244 筆農藥殘留資料評估，平均每個樣品約有 5.42 個農藥殘留，並依據農藥相同毒性評估組 (CAG) 分群，將具有對哺乳動物毒性相同之毒性作用模式歸列於 GAG3a 相同分群中之農藥，以劑量相加模式，進行累積性風險評估，45 個樣品計算後之實際累積危害商數，女性 HI 為 0.096；而男性 HI 為 0.070 (表十三及表十四)，結果來自於有 2 種農藥具有相同的毒性作用機制，被歸列於內分泌毒性中 CAG level 3a 相同分群中，具抗雄性激素的作用有相同的毒性作用模式，此 2 種農藥分別為凡殺同 (Top 7) 和二硫代胺基

表十一、法規面於印度棗作物害物防治推薦前 10 名用藥之女性理論累積多重危害商數推估結果

Table 11. Results of the theoretical cumulative hazard estimation for Indian jujube fruit in recommended top 10 pesticides on the regulatory side for female

Top 10 pesticides	MRL (ppm)	Theoretical residue intake ¹⁾ (mg/kg/day)	ADI (mg/kg/day)	Theoretical hazard index ²⁾
Chlorpyrifos (Top 1)	0.5	0.000390838	0.01	0.03908377
Cyhalothrin (Top 2)	0.4	0.00031267	0.02	0.015633508
Trifloxystrobin (Top 3)	0.5	0.000390838	0.04	0.009770942
Chlorfenapyr (Top 4)	0.5	0.000390838	0.02	0.019541885
Fenazaquin (Top 5)	0.5	0.000390838	0.005	0.078167539
Imidacloprid (Top 6)	0.5	0.000390838	0.06	0.006513962
Deltamethrin (Top 7)	0.2	0.000156335	0.01	0.015633508
Spirotetramat (Top 8)	0.5	0.000390838	0.05	0.007816754
Spinetoram (Top 9)	0.2	0.000156335	0.024	0.006513962
Dinotefuran (Top 10)	0.5	0.000390838	0.02	0.019541885
Fenazaquin	Level 2d		Proliferation of the adrenal cortex	0.078167539
Theoretical cumulative hazard index ³⁾	CAG ⁴⁾		Specific phenomenological effect	0.078167539

¹⁾ Theoretical residue intake = MRL (ppm) * [Daily food intake (kg/person/day)] / [Body weight (kg)]

²⁾ HI= residue intake / ADI

³⁾ Cumulative HI_{ABC...} = HI_A+ HI_B+ HI_C+ HI... (A, B and C having a common mode of action).

⁴⁾ CAG= Common Assessment Groups, which is the pesticides having a common mode of action.

甲酸鹽類 (Top 8)。女性實際累積危害商數值為 0.096 (表十三)；而男性實際累積危害商數值為 0.070 (表十四)，兩個性別之 HI 累積危害商數值均低於具風險疑慮值 1 約 10 至 15 倍，而實際之風險更低，因並非每個殘留案例均同時有高達 10 個藥劑殘留，如草莓實際案例中平均每個樣品只有 5.42 個農藥殘留。

法規面上用於草莓作物害物防治推薦

前 10 名用藥之女性與男性理論累積多重危害商數推估結果分別為 0.182 (表十五) 與 0.132 (表十六)，推薦前 10 名用藥依序為賽洛寧 (cyhalothrin, Top 1)、二硫代胺基甲酸鹽類 (dithiocarbamates, Top 2)、白克列 (boscalid, Top 3)、亞托敏 (azoxystrobin, Top 4)、氟比來 (fluopicolide, Top 5)、普拔克 (propamocarb hydrochloride, Top 6)、氟克殺 (fluxapyroxad, Top 7)、百克敏

表十二、法規面於印度棗作物害物防治推薦前 10 名用藥之男性理論累積多重危害商數推估結果

Table 12. Results of the theoretical cumulative hazard estimation for Indian jujube fruit in recommended top 10 pesticides on the regulatory side for male

Top 10 pesticides	MRL (ppm)	Theoretical residue intake ¹⁾ (mg/kg/day)	ADI (mg/kg/day)	Theoretical hazard index ²⁾
Chlorpyrifos (Top 1)	0.5	0.000217388	0.01	0.021738817
Cyhalothrin (Top 2)	0.4	0.000173911	0.02	0.008695527
Trifloxystrobin (Top 3)	0.5	0.000217388	0.04	0.005434704
Chlorfenapyr (Top 4)	0.5	0.000217388	0.02	0.010869408
Fenazaquin (Top 5)	0.5	0.000217388	0.005	0.043477633
Imidacloprid (Top 6)	0.5	0.000217388	0.06	0.003623136
Deltamethrin (Top 7)	0.2	8.69553E-05	0.01	0.008695527
Spirotetramat (Top 8)	0.5	0.000217388	0.05	0.004347763
Spinetoram (Top 9)	0.2	8.69553E-05	0.024	0.003623136
Dinotefuran (Top 10)	0.5	0.000217388	0.02	0.010869408
Fenazaquin	Level 2d		Proliferation of the adrenal cortex	0.043477633
Theoretical cumulative hazard index ³⁾	CAG ⁴⁾		Specific phenomenological effect	0.043477633

¹⁾ Theoretical residue intake = MRL (ppm) * [Daily food intake (kg/person/day)] / [Body weight (kg)]

²⁾ HI= residue intake / ADI

³⁾ Cumulative HI_{ABC...} = HI_A+ HI_B+ HI_C+ HI... (A, B and C having a common mode of action).

⁴⁾ CAG= Common Assessment Groups, which is the pesticides having a common mode of action.

(pyraclostrobin, Top 8)、密滅汀 (milbemectin, Top 9)、賜諾特 (spinetoram, Top 10) (表十五及表十六)。依據農藥相同毒性評估組 (CAG) 分群，將具有對哺乳動物毒性某標的器官具相同特異性毒性效應歸列於 GAG2c 相同分群中之農藥，以劑量相加模式，進行累積性風險評估，在法規上推薦用藥的前 10 名中理論累積多重危害商

數，女性為 0.182 (表十五)；而男性為 0.132 (表十六)。結果來自於有 3 種農藥對某標的器官具相同特異性毒性效應，被歸列於神經毒性中 CAG level 2c 相同分群中，對於視網膜有特異性毒性作用，此 3 種農藥分別為二硫代胺基甲酸鹽類 (Top 2)、普拔克 (Top 6)、賜諾特 (Top 10)。

表十三、2016 年實際殘留案例於草莓多重殘留前 10 名農藥女性累積多重危害商數推估結果

Table 13. Results of the actual cumulative hazard estimation for strawberry fruit for top 10 pesticides in the multiple residue monitoring cases in 2016 for female

Top 10 pesticides	Actual mean residue (ppm)	Actual residue intake ¹⁾ (mg/kg/day)	ADI (mg/kg/day)	Actual hazard index ²⁾
Cyprodinil (Top 1)	0.5295	0.000419257	0.03	0.0139752
Fludioxonil (Top 2)	0.587	0.000464785	0.4	0.001162
Dinotefuran (Top 3)	0.1452	0.000115044	0.02	0.00575218
Dimethomorph (Top 4)	0.9056	0.000717072	0.11	0.0065188
Bifenazate (Top 5)	0.2491	0.00019729	0.01	0.01972896
Hexythiazox (Top 6)	0.0975	0.0000772	0.03	0.002573
Famoxadone (Top 7)	0.4618	0.000365667	0.006	0.0609444
Dithiocarbamates (Top 8)	1.3433	0.001063648	0.03	0.035455
Azoxystrobin (Top 9)	0.1766	0.000139884	0.1	0.00139884
Procymidone (Top 10)	1.73	0.00136981	0.1	0.013698
Famoxadone			Anti-androgenic effects	0.0609444
Dithiocarbamates	Level 3a			0.035455
Actual cumulative hazard index ³⁾	CAG ⁴⁾		Toxicity mode of action	0.0963994

¹⁾ Actual residue intake = Actual mean residue (ppm) * [Daily food intake (kg/person/day)] / [Body weight (kg)]

²⁾ HI = residue intake / ADI

³⁾ Cumulative HI_{ABC...} = HI_A + HI_B + HI_C + HI... (A, B and C having a common mode of action).

⁴⁾ CAG = Common Assessment Groups, which is the pesticides having a common mode of action.

表十四、2016年實際殘留案例於草莓多重殘留前10名農藥男性累積多重危害商數推估結果

Table 14. Results of the actual cumulative hazard estimation for strawberry fruit for top 10 pesticides in the multiple residue monitoring cases in 2016 for male

Top 10 pesticides	Actual mean residue (ppm)	Actual residue intake ¹⁾ (mg/kg/day)	ADI (mg/kg/day)	Actual hazard index ²⁾
Cyprodinil (Top 1)	0.5295	0.000305037	0.03	0.010168
Fludioxonil (Top 2)	0.587	0.000338162	0.4	0.001162
Dinotefuran (Top 3)	0.1452	0.0000837	0.02	0.004185
Dimethomorph (Top 4)	0.9056	0.000521717	0.11	0.004743
Bifenazate (Top 5)	0.2491	0.000143541	0.01	0.014354
Hexythiazox (Top 6)	0.0975	0.0000562	0.03	0.001872
Famoxadone (Top 7)	0.4618	0.000266047	0.006	0.044341
Dithiocarbamates (Top 8)	1.3433	0.000773875	0.03	0.025796
Azoxystrobin (Top 9)	0.1766	0.000101775	0.1	0.001018
Procymidone (Top 10)	1.73	0.000996628	0.1	0.009966
Famoxadone	Level 3a		Anti-androgenic effects	0.044341
Dithiocarbamates				0.025796
Actual cumulative hazard index ³⁾	CAG ⁴⁾		Toxicity mode of action	0.070136

¹⁾ Actual residue intake = Actual mean residue (ppm) * [Daily food intake (kg/person/day)] / [Body weight (kg)]

²⁾ HI= residue intake / ADI

³⁾ Cumulative HI_{ABC...} = HI_A+ HI_B+ HI_C+ HI... (A, B and C having a common mode of action).

⁴⁾ CAG= Common Assessment Groups, which is the pesticides having a common mode of action.

討論

目前國際上對於多重農藥於殘留量下之混合毒性評估樣態主要分為劑量相加效應 (dose additivity) 與毒性反應獨立表現效應 (response additivity)，其中劑量相加效應發生於農藥作用於相同之毒性表現，亦即透過相同之毒性表現於哺乳動物相同

之生物反應位置 (biological site)，差異只在於個別農藥引起毒性之嚴重程度之潛能 (potency)，多重農藥之毒性為個別農藥毒性相加之結果，適用於農藥之累積性風險評估，反之若多重農藥作用於完全不相同之毒性表現時，且毒性表現作用完全不相關時，多重農藥之毒性為個別農藥毒性反應表現之結果，毒性是不能相加的 (4, 12)。

從本研究結果顯示，柑橘作物之危害

表十五、法規面於草莓作物害物防治推薦前 10 名用藥之女性理論累積多重危害商數推估結果

Table 15. Results of the theoretical cumulative hazard estimation for strawberry fruit in recommended top 10 pesticides on the regulatory side for female

Top 10 pesticides	MRL (ppm)	Theoretical residue intake ¹⁾ (mg/kg/day)	ADI (mg/kg/day)	Theoretical hazard index ²⁾
Cyhalothrin (Top 1)	1	0.000791798	0.02	0.039589878
Dithiocarbamates (Top 2)	5	0.003958988	0.03	0.131966259
Boscalid (Top 3)	3	0.002375393	0.04	0.059384817
Azoxystrobin (Top 4)	2	0.001583595	0.1	0.015835951
Fluopicolide (Top 5)	2	0.001583595	0.08	0.019794939
Propamocarb hydrochloride (Top 6)	9	0.007126178	0.4	0.017815445
Fluxapyroxad (Top 7)	2	0.001583595	0.02	0.079179756
Pyraclostrobin (Top 8)	0.5	0.000395899	0.03	0.013196626
Milbemectin (Top 9)	0.2	0.00015836	0.03	0.00527865
Spinetoram (Top 10)	1	0.000791798	0.024	0.032991565
Dithiocarbamates				0.131966259
Propamocarb hydrochloride	Level 2c		Retinal effects	0.017815445
Spinetoram				0.032991565
Theoretical cumulative hazard index ³⁾	CAG ⁴⁾		Specific phenomenological effect	0.18277327

¹⁾ Theoretical residue intake = MRL (ppm) * [Daily food intake (kg/person/day)] / [Body weight (kg)]

²⁾ HI= residue intake / ADI

³⁾ Cumulative HI_{ABC...} = HI_A+ HI_B+ HI_C+ HI... (A, B and C having a common mode of action).

⁴⁾ CAG= Common Assessment Groups, which is the pesticides having a common mode of action.

商數於 4 種作物中最高，分析其結果，柑橘作物之危害商數整體評估上可見 2016 年實際監測資料中無論男性或女性之累積危害商數介於 0.170 與 0.272 間，HI 值均低於具風險疑慮值 1 約 4 至 6 倍，而實際之風險更低，因並非每個柑橘作物殘留案例均同時有高達 10 個藥劑殘留，在實際案例中平均每個樣品為 4.37 個農藥殘留。

而其殘留農藥之樣態前 5 名分別為貝芬替 (Top 1)、愛殺松 (Top 2)、芬化利 (Top 3)、芬佈賜 (Top 4) 與陶斯松 (Top 5)，與法規面上所推薦使用之前 5 名大滅松 (Top 1)、丁基加保扶 (Top 2)、馬拉松 (Top 3)、賜諾特 (Top 4) 與扶吉胺 (Top 5) 則完全不同，且其實際案例中累積危害商數值女性 HI 值高達 0.272，分析其原因主要為其

表十六、法規面於草莓作物害物防治推薦前 10 名用藥之男性理論累積多重危害商數推估結果

Table 16. Results of the theoretical cumulative hazard estimation for strawberry fruit in recommended top 10 pesticides on the regulatory side for male

Top 10 pesticides	MRL (ppm)	Theoretical residue intake ¹⁾ (mg/kg/day)	ADI (mg/kg/day)	Theoretical hazard index ²⁾
Cyhalothrin (Top 1)	1	0.000576085	0.02	0.028804269
Dithiocarbamates (Top 2)	5	0.002880427	0.03	0.096014231
Boscalid (Top 3)	3	0.001728256	0.04	0.043206404
Azoxystrobin (Top 4)	2	0.001152171	0.1	0.011521708
Fluopicolide (Top 5)	2	0.001152171	0.08	0.014402135
Propamocarb hydrochloride (Top 6)	9	0.005184768	0.4	0.012961921
Fluxapyroxad (Top 7)	2	0.001152171	0.02	0.057608539
Pyraclostrobin (Top 8)	0.5	0.000288043	0.03	0.009601423
Milbemectin (Top 9)	0.2	0.000115217	0.03	0.003840569
Spinetoram (Top 10)	1	0.000576085	0.024	0.024003558
Dithiocarbamates				0.096014231
Propamocarb hydrochloride	Level 2c		Retinal effects	0.012961921
Spinetoram				0.024003558
Theoretical cumulative hazard index ³⁾	CAG ⁴⁾		Specific phenomenological effect	0.13297971

¹⁾ Theoretical residue intake = MRL (ppm) * [Daily food intake (kg/person/day)] / [Body weight (kg)]

²⁾ HI= residue intake / ADI

³⁾ Cumulative HI_{ABC...} = HI_A+ HI_B+ HI_C+ HI... (A, B and C having a common mode of action).

⁴⁾ CAG= Common Assessment Groups, which is the pesticides having a common mode of action.

殘留農藥中有未推薦用藥愛殺松，且其 ADI 值較低為 0.0005 mg/kg/day⁽⁷⁾ 屬高風險農藥，而導致其產生風險疑慮，加上實際案例分析中愛殺松是為多重殘留出現機率最高之第 2 位，推估可能農民並未完全依推薦使用農藥，此部分若輔導農民能正確推薦使用風險度較低的農藥如馬拉松

(ADI 值較高為 0.07 mg/kg/day)，勢必可大幅降低暴露的風險。另外法規面上用於柑橘作物害物防治推薦前 10 名用藥之理論累積多重危害商數推估結果高達 0.696，高於實際案例，原因乃在於實際案例中只有三個農藥殘留是作用在同一個毒性機制，而理論累積多重危害商數卻有五個藥

劑是作用在同一個毒性機制，惟其最高理論風險仍低於風險可接受值 1，顯示目前法規面上柑橘所推薦之農藥所產生之多重殘留風險是可接受的。未來若能進一步於法規面上持續推薦輔導農民正確使用風險較低 ADI 值較高之農藥，將可更有效的降低多重殘留風險。

本研究目前結果都是以有限之監測資料進行點估法之風險評估，較無法代表實際之殘留情境，為解決此一監測資料樣品數較少之問題，擬擴大收集相關監測資料，由單一年度擴展為多年度之監測資料，由點而線擴充樣品數之來源。另一方面目前多重毒理機制上之評估乃依據農藥相同毒性評估組 (CAG) 分群，將具有對哺乳動物相同毒性評估組之農藥，以劑量相加模式，進行累積性風險評估，由 CAG 層級上來看，層級 1 之分類乃依據在標的器官之毒性，可供參考之毒理資料最多最易獲得，而愈往上層級如到層級 4 毒性作用機制時，相關資料幾乎無法取得，但評估 CAG 時往往發現如於層級 1 時具相同毒性分群，但往上取得層級 2 之分群時該些農藥又被分至不同之 CAG2 之不同分群中，以先前發表之報告為例^(4, 5)，四氯異苯腈農藥與菲克利農藥於 CAG 層級 1 分類時皆具肝毒性之相同標的器官毒性，但於 CAG 層級 3 分類時實際上兩者所透過之毒性作用模式是完全不同的，因此不具累加效應風險疑慮。而這就存在就毒理觀點上會造成累積風險高估之不確定度，為解決此不確定度，未來將更進一步導入

機率法與電腦模擬推估進行 CAG 分群評估⁽⁸⁾，擬藉此可獲得 CAG 層級愈高如層級 4 之毒理資訊，以避免目前點估法所造成風險高估之問題。

綜合上述結果，無論就理論上或實際案例中，4 種水果作物之多重農藥殘留危害商數與農藥殘留種類，其風險分別由高至低，依序為柑橘、草莓、葡萄與印度棗，而柑橘之累積危害商數最高，分析其發生之病蟲害樣態，可見 27 種病蟲害中，蟲害就占了包括柑桔葉蟻、潛葉蛾與葉蟻等蟲害共 20 種，因此推薦用藥就會以殺蟲劑如大滅松等有機磷劑為主，而有機磷劑往往具對哺乳動物產生神經毒性風險，具風險高與 ADI 值低等特性，此時防治害物時，若未謹慎選擇風險較低之法規推薦用藥，則導致具多重殘留風險疑慮。其餘草莓、葡萄與印度棗等 3 種作物，無論就理論上或實際案例中風險推估之結果均不具多重累積殘留風險疑慮。結合此實際監測案例與法規理論上之累積多重危害商數評估結果，以作為說明實際農藥多重共暴露使用與強化政府主管單位管理多重共暴露農藥之重要科學風險評估依據，以期對多重農藥殘留風險有更深一層的認知，並將較具風險之多重殘留農藥進行未來田間用藥推薦管理評估與建議。後續若能正確指導農民依據農作物病蟲害發生情況，審慎選擇法規推薦農藥，避免任意混用多種農藥，且逐漸淘汰高風險用藥，以目前相關研究科學佐證資料，可瞭解到多重共暴露累積殘留風險是低的。

謝辭

本研究由行政院農業委員會 2017 年農科-10.8.1-藥-P2(2)計畫經費補助。試驗期間蒙本所張麗煌、邱秀英及高鳳凰小姐等協助、黃慶文先生提供實際殘留監測資料與李敏郎及黃莉欣博士提供田間用藥推薦與管理相關資訊與經驗，謹此誌謝。

引用文獻

1. 衛生福利部食品藥物管理署。2014。食品中殘留農藥檢驗方法－多重殘留分析方法(五)。部授食字第 1031900615 號。
2. 衛生福利部食品藥物管理署。2018。農藥殘留容許量標準。檢自食品藥物消費者知識服務網
<https://consumer.fda.gov.tw/Law/PesticideList.aspx?nodeID=520#> (Jan 30, 2019)
3. 衛生福利部食品藥物管理署。2016。2016 年度－食物小類－攝食量計算結果。檢自國家攝食資料庫
<http://tnfcds.cmu.edu.tw/index.php?action=download&p=3> (Feb 28, 2019)
4. 楊俊宏、林天宇、蔡韙任。2015。蔬果多重農藥殘留之風險研究簡介。農政與農情 275: 97-100。
5. 楊俊宏、林天宇、蔡韙任。2016。四氯異苯腈、菲克利與益達胺三種農藥之多重混合毒性評估。臺灣農藥科學 1: 1-22。
6. Pohl, H., Hansen, H., Wilbur, S., Odin, M., Ingerman, L., Bosch, S., McClure, P., and Coleman, J. 2001. Guidance for the preparation of an interaction profile. Agency for Toxic Substances and Disease Registry, U. S. Department of Health and Human Services, New York, USA. 86 pp.
7. U. S. Environmental Protection Agency. 1999. Ethion RED, Reregistration eligibility & risk management decision. Retrieved from https://archive.epa.gov/pesticides/reregistration/web/html/ethion_red.html (Mar 15, 2019)
8. EFSA Panel on Plant Protection Products and their Residues (PPR). 2012. Guidance on the use of probabilistic methodology for modelling dietary exposure to pesticide residues. EFSA J. 10(10): 1-95.
9. EFSA Panel on Plant Protection Products and their Residues (PPR). 2013. Scientific Opinion on the identification of pesticides to be included in cumulative assessment groups on the basis of their toxicological profile. EFSA J. 11(7): 1-131.
10. Alexander, J., Hetland, R. B., Vikse, R., Dybing, E., Eriksen, G. S., Farstad, W., Jenssen, B. M., Paulsen, J. E., Skåre, J. U., Steffensen, I. L., and Øvrebø, S. 2008. Combined toxic effects of multiple chemical exposures. Vitenskapskomiteen for Mattrygghet/ Norwegian Scientific Committee for Food Safety, Oslo, Norway.

- 102 pp.
11. Nielsen, E., Nørhede, P., Boberg, J., Isling, L. K., Kroghsbo, S., Hadrup, N., Bredsdorff, L., Mortensen, A., and Larsen, J. C. 2012. Identification of cumulative assessment groups of pesticides. European Food Safety Authority (EFSA). 303pp.
 12. Reffstrup, T. K., Larsen, J. C., and Meyer, O. 2010. Risk assessment of mixtures of pesticides. Current approaches and future strategies. *Regul. Toxicol. Pharmacol.* 56: 174-192.
 13. Teuschler, L. K. 2007. Deciding which chemical mixtures risk assessment methods work best for what mixtures. *Toxicol. Appl. Pharmacol.* 223: 139-147.
 14. Johnson, S. L. 1996. Pesticide tolerance for hexaconazole. *Federal Register* 61: 3363-3365.
 15. U. S. Environmental Protection Agency. 2001k. Report from Session II of the FIFRA Scientific Advisory Panel Meeting of December 7-8, 2000. "Case Study of the Cumulative Risk of 24 Organophosphate Pesticides" May 8, 2001. Retrieved from <https://archive.epa.gov/scipoly/sap/meetings/web/pdf/finalreport.pdf> (Mar 31, 2019)
 16. Joint FAO/WHO Consultation. 1988. Guidelines for predicting the dietary intake of pesticide residues. *Bull. World Health Organ.* 66: 429-434.
 17. Wilson, N. H., Killeen, J. C., Haley, B. L., and Ignatoski, J. A. 1984. A subchronic toxicity study of technical chlorothalonil in rats. Document number 562-5TX-81-0213-004-001. SDS Biotech Corporation. DPR Vol. 275-107 #34377.

Risk Assessment of Multiple Residues of Pesticides in Citrus, Grape, Indian Jujube and Strawberry

Chun-Hung Yang^{1*}, Yu-Ru Li¹, Cheng-Ruei Yao¹, Wei-Ren Tsai¹

Abstract

Yang C. H., Li Y. R., Yao C. R., and Tsai W. R. 2019. Risk assessment of multiple residues of pesticides in citrus, grape, Indian jujube and strawberry. *Taiwan Pestic. Sci.* 7: 55-79.

According to the different types of plant pests, farmers use different types of recommended pesticides for prevention and control. When different pests occur at the same time, there are bound to be multiple use of different pesticides, which leads to the risk of consumers eating multiple pesticide residues. This study investigated the multiple residual risk of four common fruit products with multiple pesticide residues detected in citrus, grape, Indian jujube and strawberry. Combining the toxicological mechanism of animal toxicology with a comparative analysis of the theoretical risks of recommended drugs on the regulatory side and the overall risk of hazard index for the 2016 actual multiple residue monitoring cases. Based on the common assessment group (CAG), this study performed the accumulation risk assessment by dose additivity model. The results showed that the cumulative hazard index of the four citrus, grape, Indian jujube and strawberry fruit items in the actual multiple residual cases was 0.272, 0.013, 0.013, 0.096 for female in 2016; while for male is 0.170, 0.009, 0.007, 0.070 in 2016. The overall cumulative hazard index is still far below the safe value “1” of the overall hazard index. The theoretical risk of recommended pesticides on the regulatory side is also below the safe value “1”. The theoretical cumulative risk quotient for female is 0.696, 0.177, 0.078 and 0.182, respectively, while for male is 0.433, 0.129, 0.043 and 0.132, respectively. The results of this study can be used as an important scientific basis for the multi-co-exposure use of pesticides and to strengthen the

Accepted: February 3, 2020.

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

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

management of multi-co-exposed pesticides by government authorities and the evaluation and recommendations for future field drug recommendation management.

Key words: common assessment group, dose additivity, accumulation risk assessment, hazard index