

生物檢測展著劑對葉菜類蔬菜之毒性

蔣永正

農委會農業藥物毒物試驗所

摘 要

噴施農藥添加展著劑之目的為促進藥劑在葉表之滯留和滲透作用。展著劑具有改變細胞膜系之通透性，及造成蛋白質變性的特質，低濃度時影響生物膜上物質的分配與傳導，高濃度下則可能溶解葉表面臘質或膜脂質，對植物造成毒害。本研究利用葉片滲漏液之電導值變化，及植株噴施之生長抑制調查，評估展著劑引起葉菜類作物藥害之潛力，進一步分析施用量及作物種類與藥害發生之關係，提供農田常用展著劑安全使用之參考。十字花科、菊科、藜科、旋花科及莧科等 12 種葉菜類之葉圓片，以出來通、全透力、Agral 90、力道威及加收活展，五種測試展著劑之標示稀釋倍數，處理 0, 1, 2, 3 及 4 小時後之時間序列電導測值顯示，芥菜及萵苣較具忍受性，最大電導測值為對照之 1.5 倍，次為青江菜與空心菜，菠菜則最為敏感，電導測值高至 5 倍以上，其餘測試作物大部分對出來通及加收活展之滲漏反應較明顯，電導測值達對照處理 3 倍以上。比較萵苣、空心菜、白莧菜、甘藍、油菜及菠菜等作物，對不同劑量展著劑之葉片滲漏反應，出來通及加收活展對油菜及菠菜葉片之滲漏影響，隨劑量提高導致電導測值之增加最為顯著，全透力、力道威及 Agral 90 亦對油菜及菠菜之影響，較其餘測試作物明顯。以標示之稀釋倍數及系列高倍量之出來通、全透力及 Agral 90 三種展著劑，噴施 5-6 葉齡之萵苣、空心菜、白莧菜、甘藍、油菜及菠菜等作物，調查植株藥害發生率，顯示甘藍、油菜及菠菜在 16 倍以上之標示用量下，即造成植株不可恢復之傷害。萵苣、空心菜及白莧菜之鮮重抑制率，在 32 倍標示用量下，仍均低於 25%，甘藍及油菜則介於 25-50% 間，菠菜之鮮重反應隨處理用量之提高，抑制程度明顯增加。三種測試展著劑直接噴施植株，引起之藥害發生率及鮮重抑制率，均顯示出來通對作物生育之影響最為明顯，測試作物以菠菜較為敏感，次為甘藍及油菜，但一般超過標示用量 16 倍以上，較易造成葉菜類作物生育異常，不可恢復之藥害現象。

關鍵詞：展著劑、細胞滲漏、電導值、藥害、生長抑制。

Bioassay to Assess Potential Phytotoxic Effects of Surfactants on Leafy Vegetables

Yeong-Jene Chiang

*Taiwan Agriculture Chemicals and Toxic Substances Research Institute,
Wufeng, Taichung, Taiwan, R.O.C.*

Abstract

Surfactants are the most widely used and probably the most important of all adjuvants. These compounds often applied with herbicides, fungicides or insecticides as emulsifying, dispersing and spreading agents may cause distinct stress symptoms and considerable leaf damage. A popular method is to monitor the total ion efflux by simple measurements of the increase in conductivity of a bathing solution. This research was conducted to evaluate phytotoxic potential of surfactants on leafy vegetables and used ion leakage from leaf discs as an indicator of cell membrane integrity. Bioassay used involved leaf discs of tested crops soaked in surfactant solutions and measuring the conductivity after different hours. It had exhibited varying degrees of phytotoxicity according to the surfactants and crops used. The expression of results as a percentage of the total ion content of the discs provided a realistic comparison between different compounds. High inherent phytotoxicity was noted after treatment of spinach leaf discs with Triton, which resulted in large increases in the release of intracellular material at comparatively low concentration for each surfactant. The amount of leakage from leaf discs tended to increase as the surfactant concentration increased. Spray treatment of lettuce, convolvulus, edible amaranth, cabbage, edible rape and spinach at 5-6 leaf stage with tested surfactants, induced leaf chlorosis, leaf crinkling, leaf size reduction and plant stunting. Spinach was more sensitive to surfactants than any other species tested, while lettuce was least sensitive.

Key words : surfactant, cell leakage, conductivity, phytotoxicity, growth inhibition.

前 言

農藥在製劑過程中會與適當之溶劑、稀釋液及展著劑相混合，以達到均勻散布、易於操作及防止品質劣變等功能。展著劑為一種同時含有親水基(hydrophilic group)及親脂基(lipophilic group)之化學物質，會改變液體間、液體與氣體間或固體間之界面特性，為界面活性劑的一種，主要是促進農藥有效成分之乳化、分散、濕潤、展布、固著及滲透等作用^(7, 12)。通常成品農藥中不只添加一種展著劑，往往一種展著劑也有可能同時具備上述數種特性，分子之構造與排列會影響主要功能之表現。雖然在製劑過程中多已添加展著劑，但因為施用時的稀釋作用及施用環境的改變，噴施液中會再加入某些展著劑，增加農藥在葉表之滯留和滲透性。對具有抑制植物細胞正常生理生化作用之除草劑而言，因為展著劑會促使藥劑進入細胞的量增加，在毒物質持續累積無法即時分解的情況下，除草劑在作物與雜草間之選擇性範圍縮小，容易引起藥害的發生⁽⁶⁾。

實際上展著劑本身對植物亦具有毒害作用，主要的作用機制為改變細胞膜差異通透的特性⁽³⁾，或是造成細胞蛋白質的變性而失去活性。在濃度較低時可能影響到生物膜上重要物質的分配與傳導，而在高濃度時則有可能溶解葉表皮層的臘質或膜上脂質的組成^(5, 10, 11)。展著劑本身所帶的電荷會和蛋白質作用，引起多肽鏈結合上的改變，而影響蛋白質的三次元構造。對植物的毒害雖然和其化學構造及在細胞內之濃度有密切相關，但在非離子型疏水性分子中聚乙二醇(polyoxyethylene)的含量，為毒性效應及生長抑制作用之重要影響因素⁽⁸⁾。展著劑在水溶液中會形成微胞，微胞形成之臨界濃度(critical micelle concentration)，為決定展著劑用量是否能夠降低表面張力，達到最佳效果之依據，及造成植物生育抑制之判斷基礎⁽⁸⁾。藥劑用量過高時，在成熟葉上會引起黃白化藥斑，對尚未完全展開之嫩葉，則會導致葉肉綳縮及葉面積縮小的異常現象，但未直接接觸到展著劑之新生葉則無明顯影響^(1, 2)。目前在植物細胞尚無針對展著劑之結構及成分，對細胞膜功能之影響做系統性比較試驗，大部分仍依據動物或微生物系統的結果推論。展著劑引起植株致死之最低濃度，隨施用濃度及植物細胞性質而異，一般而言陽離子之植物毒性最強，致死濃度範圍 0.1-0.2% (w/v)，非離子致死濃度為 0.2-0.5%，陰離子致死濃度則為 0.5-1%⁽⁸⁾。有關植物細胞膜功能之完整性測量技術，大都使用葉圓片或切離組織，或分離之細胞或原生質體，如測定葉圓片浸液中電導度值的增加，作為監測細胞總離子的流出量，為一普遍被使用之方法^(4, 9)。本研究主要藉由葉圓片滲漏液電導值之測定，及植株噴施展著劑引起毒害之評估，作為農田常用展著劑對植物毒性之判別標準，提供安全使用之參考。

材料與方法

供試作物及處理藥劑

本研究主要以十字花科(芥菜-包心芥菜、甘藍-高峰甘藍、青江菜-菁芳、芥藍菜-圓葉白花、油菜-秀珍、結球白菜-早生種、白菜-三鳳白菜)，菊科(茼蒿-大葉種、萵苣-興農2號)，藜科(菠菜-清風)，旋花科(空心菜-竹葉種)，及莧科(白莧菜-地方種)等5-6葉齡之植株為測試材料。於裝有約5kg之一般農田土壤的栽植盆內(15cm×15cm；直徑×高度)，播種上述品種之作物種子，播種前每盆施用0.5公克複合肥料(台肥5號)做為基肥，種後置於溫室內，待萌芽後植株生長至一葉期左右，間苗成每盆一株。

試驗所用之藥劑為出來通(CS-7, Triton)、全透力(Total wett)、Agral 90、力道威(Sandovit)及加收活展五種展著劑商品，標示主成分及廠牌列於表一。

表一、測試展著劑之成分與廠牌

Table 1. Chemical composition and source of commercial surfactants tested

商品名稱	標示主成分	廠牌
出來通 (CS-7, Triton)	Quetylphenol ethoxylate	羅門哈斯
全透力 (Total wett)	Polyoxyethylene glycol alkyl aryl ether	巴斯夫
Agral 90	Nonylphenoxy polyethoxyethanol	卜內門
力道威 (Sandovit)	Alkyl aryl polyglycol ether	安農
加收活展	Blend of polyethylene alkylaryl ether and sodium salt of dialkyl sufosuccinate	興農

展著劑引起測試作物葉圓片滲漏之測定

參考 Silcox and Holloway⁽⁹⁾偵測葉片細胞鉀離子滲漏，作為評估展著劑對植物毒害之方法，本研究於 5-6 葉齡之測試作物植株上，摘取第 5 及第 6 葉位之完全展開葉，用純水洗淨輕輕拭乾後，以打孔器取得直徑 0.6 cm 之葉圓片數片，浸泡於 10 ml 不同劑量之測試展著劑溶液中，每處理劑量浸泡之葉圓片為十片，置於 25 之 300 $\mu\text{mol photon m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 光強度下，於照光兩小時後，取出浸泡之葉圓片洗淨拭乾後，再放置於 10 ml 純水中，兩小時後測定細胞滲漏液之電導值。電導度測定是以電導度測定計(Kyoto Electronics, Model CM-115)之電極棒，直接測定處理後溶液，記錄電導值。同時測定不同劑量之各測試展著劑溶液電導值，提供展著劑溶液之離子化數據，以為評估

藥劑毒害之參考。

展著劑對測試作物生育影響之調查

以不同劑量之測試展著劑溶液，定量噴施於5-6葉齡之測試作物植株，噴施後定期調查植株之反應；根據藥斑發生面積及葉片數，以百分率量化指標評級藥害發生程度(0為無藥害，100為全株乾枯)，並記錄藥害徵狀及恢復情形。同時於噴施後十日調查植株鮮重，由植株外觀形態變化及生育抑制結果，分析比較施藥後不同時期之作物反應。

統計分析

本研究不同測試之各項處理均為3重複，調查分析之結果以 $\text{mean} \pm \text{S.E.}$ 表示。

結果與討論

展著劑對測試作物葉圓片滲漏之影響

出來通、全透力、Agral 90、力道威及加收活展，五種展著劑之標示稀釋倍數依序為2000倍、10000倍、5000倍、1000倍及2000倍，電導測值為20.3, 2.5, 16.8, 37.0, 及 $27.7 \mu\text{S cm}^{-2}$ (表二)。其中全透力用量提高至標示量16倍時，電導測值($4.0 \mu\text{S cm}^{-2}$)僅增為1.6倍，且與純水測值(約 $2.0 \mu\text{S cm}^{-2}$)相近。Agral 90、力道威、加收活展及出來通，則分別依序高達6.1倍、9.7倍、11.7倍及12.6倍(表二)，隨配置濃度的提高，溶液之電導測值有明顯增加的趨勢。依據標示之主成分，除加收活展為非離子 polyethylene alkylaryl ether 與陰離子 dialkyl sufosuccinate 鈉鹽之混合劑外，另外四種測試展著劑均屬非離子界面活性劑(表一)，理論上水溶液電導值之變化範圍應屬有限，但由表二實測結果，除全透力外之其餘測試展著劑，均顯示在主成分以外尚含有相當比例之離子性物質，導致水溶液電導值隨濃度的提高而呈倍量增加。

十字花科、菊科、藜科、旋花科及莧科等12種葉菜類之葉圓片，以標示用量之測試展著劑，處理0, 1, 2, 3, 及4小時後之時間序列電導測值示於圖一。芥菜及萵苣對五種測試展著劑之滲漏反應頗為一致，浸泡1小時後之電導測值即呈穩定，最大測值為對照處理之1.5倍左右。青江菜與空心菜葉圓片浸泡於出來通、全透力、力道威及加收活展溶液4小時後之電導測值，略為升高至對照處理之2倍。甘藍、茼蒿及白莧菜於出來通及加收活展，隨浸著之變化，電導測值可提高至對照處理之5-6倍。綜合測試作物對展著劑之滲漏反應，芥菜及萵苣較具忍受性，次為青江菜與空心菜，菠菜則最為敏感，

其餘測試作物大部分對出來通及加收活展之滲漏反應較明顯。

表二、不同稀釋倍數之展著劑溶液電導測定值

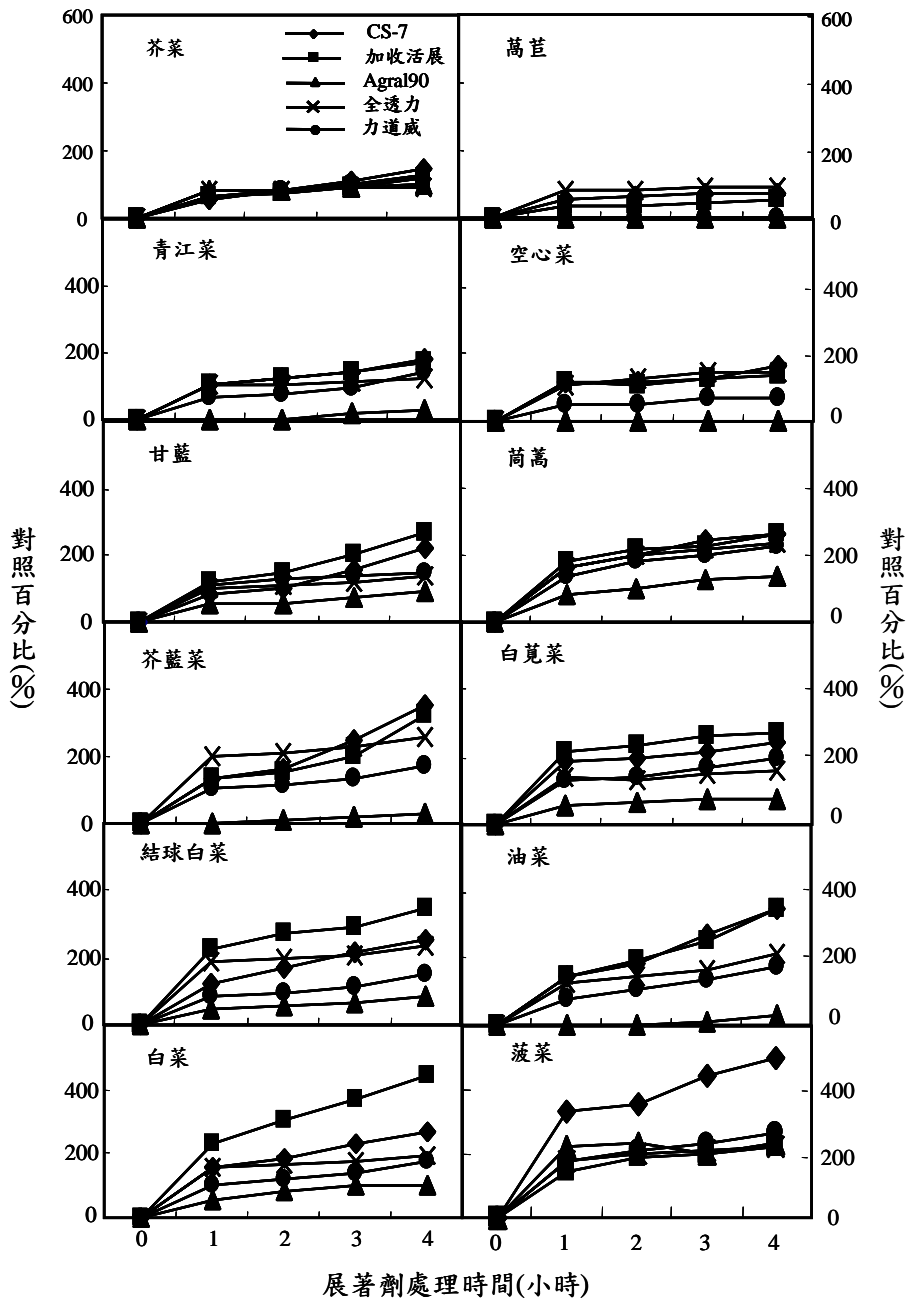
Table 2. Changes in conductivity of commercial surfactants tested with different dilution rates

劑量 ¹⁾	出來通	全透力	Agral 90	力道威	加收活展
----- $\mu\text{S cm}^{-2}$ -----					
R	20.3±1.3	2.5±0.1	16.8±0.8	37.0±1.1	27.7±1.1
2R	42.2±2.5	2.8±0.1	22.6±1.1	67.3±1.4	51.8±1.9
4R	76.9±4.6	2.9±0.1	39.8±1.7	116.7±4.7	94.3±2.8
8R	145.7±7.3	3.1±0.2	70.8±2.8	203.7±8.1	176.3±7.1
16R	256.3±9.3	4.0±0.2	102±4.1	358.7±12.6	323.5±11.8

¹⁾測試展著劑出來通、全透力、Agral 90、力道威及加收活展之標示稀釋倍數 (R 值)依序為 2000 倍、10000 倍、5000 倍、1000 倍及 2000 倍。

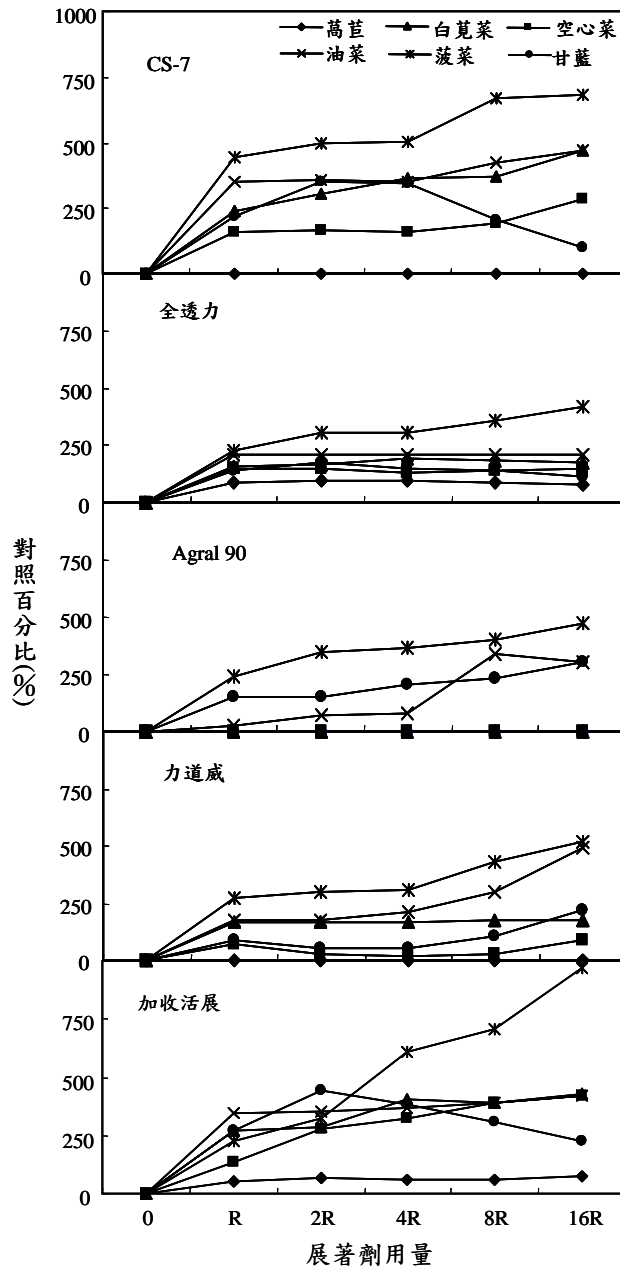
比較各測試展著劑對不同作物之影響差異(圖一)。Agral 90 對測試作物引起之葉片滲漏程度，均較其他測試藥劑為低，除菠菜外僅為對照處理之 1.5 倍以下。全透力及力道威對油菜、芥藍菜、白菜、茼蒿、菠菜及白莧菜，在浸藥四小時後可達對照處理 2 倍左右之電導測值。出來通及加收活展對大部分測試作物之滲漏影響，較其他測試藥劑顯著，電導測值達對照處理 3 倍以上。

比較萵苣、空心菜、白莧菜、甘藍、油菜及菠菜等作物，對不同用量之測試展著劑之葉片滲漏反應(圖二)。出來通以標示量及系列高倍量處理後，萵苣葉片之電導測值與對照處理無明顯差異，空心菜、白莧菜及油菜隨用量提高至 16 倍時，電導測值增加為對照處理之 2.5-5 倍，菠菜在 8 倍標示用量處理後，電導測值即達 7 倍左右之升高，但甘藍在 8 倍用量處理下，電導測值則急速下降，與其他測試展著劑之表現不同(圖二)。加收活展的作用趨勢與出來通類似，只是對測試作物葉片引起之滲漏程度較出來通更為明顯(圖二)。全透力對大多數測試作物之電導測值變化，與處理用量無明顯關係，但菠菜隨用量提高時，電導測值增加至對照處理之 5 倍左右(圖二)。力道威引



圖一、展著劑對測試作物葉片滲漏之影響(出來通、全透力、Agral 90、力道威及加收活展之用量，依序稀釋為2000倍、10000倍、5000倍、1000倍及2000倍)。

Fig. 1. Effects of tested surfactants on electrolyte leakage from leaf discs of tested crops.



圖二、不同稀釋倍數展著劑對測試作物葉片滲漏之影響 (出來通、全透力、Agral 90、力道威及加收活展之稀釋倍數(R)，依序為2000倍、10000倍、5000倍、1000倍及2000倍)。

Fig. 2. Effects of tested surfactants with different dilution rates on electrolyte leakage from leaf discs of tested crops.

起各測試作物葉片滲漏之趨勢與全透力相近，但油菜隨用量提高，電導測值增為對照處理 5 倍左右(圖二)。Agral 90 引起之萵苣、空心菜及白莧菜電導測值變化，與對照處理無明顯差異，甘藍、油菜及菠菜隨用量提高至 8-16 倍時，電導測值即增加為對照處理之 2.5-5 倍(圖二)。不同稀釋倍數之用量之測試展著劑中，出來通及加收活展對油菜及菠菜之葉片滲漏影響，隨用量提高導致電導測值增加最為顯著，全透力、力道威及 Agral 90 亦對油菜及菠菜之影響，較其餘測試作物明顯(圖二)。

展著劑對測試作物生育之影響

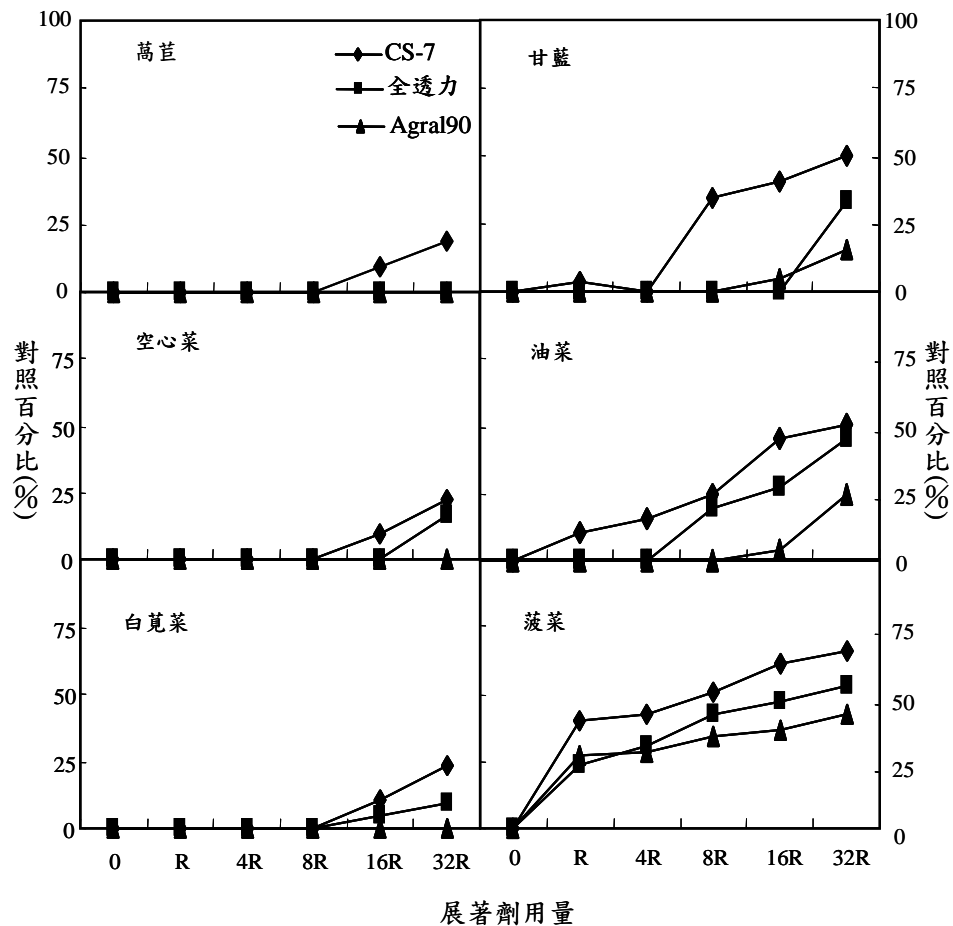
以標示之稀釋倍數及系列高倍量之出來通、全透力及 Agral 90 三種測試展著劑，噴施於 5-6 葉齡之萵苣、空心菜、白莧菜、甘藍、油菜及菠菜等作物，根據葉片褐化、葉柄折斷、藥斑、葉肉壞疽、葉片扭曲縮、株高抑制等異常徵狀，調查植株藥害發生率(表三)。標示量之出來通噴施後 10 日，未導致任一測試作物發生藥害，其中甘藍於噴施後 1 日，雖顯現 10% 之藥害程度，但在一星期左右即完全恢復。4 倍標示用量於噴施後 1 日，引起甘藍、油菜及菠菜 20-30% 之藥害發生率，10 日後降至 10% 以下，8 倍標示用量之出來通導致白莧菜、甘藍、油菜及菠菜約 5-20% 之藥害發生率，16 倍用量下增加至 20-50%，32 倍用量更高達 90%，且藥害有趨於嚴重呈不可恢復之現象(表三)。全透力引起之藥害主要發生在甘藍、油菜及菠菜等測試作物，在 16 倍及 32 倍標示用量處理下，分別導致 20-50% 及 50-60% 之藥害發生率(表三)。Agral 90 僅在 32 倍標示用量處理時，引起甘藍、油菜及菠菜 50-60% 之藥害發生率(表三)。綜合出來通、全透力及 Agral 90 對植株生育之影響，以甘藍、油菜及菠菜較為敏感，且在 16 倍以上之標示用量易造成不可恢復之傷害。

以不同稀釋倍數之出來通、全透力及 Agral 90，噴施 5-6 葉齡之萵苣、空心菜、白莧菜、甘藍、油菜及菠菜等作物，對作物生育之鮮重抑制(圖三)。三種測試展著劑對萵苣、空心菜及白莧菜之鮮重抑制率，在 32 倍標示用量下均低於 25%，甘藍及油菜則介於 25-50% 間(圖三)。菠菜之鮮重反應隨處理劑量之提高，鮮重抑制程度增加，出來通、全透力在 16 倍標示用量下即引起 50% 以上之抑制率(圖三)。

三種測試展著劑直接噴施植株，引起之藥害發生率及鮮重抑制率，均顯示出來通之作用最明顯，測試作物亦以菠菜較為敏感，次為甘藍及油菜，但一般超過標示用量 16 倍以上較易造成不可恢復之藥害現象。

植物葉表蠟質會減少細胞水分的散失，及限制水溶性物質之進出，與下層角質層混合散生在一起，角質層內之角質為羥基及其聚合物，不溶於大部分的溶劑，愈近表面的聚合程度愈高，透水性亦愈弱，角質層下方為含纖維

素與果膠質之初生和次生細胞壁，則均具透水性，因此葉表皮層為一兼具親水和親脂特性之構造。細胞膜為流動之膜脂上鑲嵌不同型式之膜蛋白，對中性脂溶性物質為直接傳送，以膜兩邊之濃度梯度為驅動力。對脂溶性弱酸或



圖三、不同稀釋倍數展著劑噴施後對測試作物鮮重之影響(出來通、全透力、Agral 90、力道威及加收活展之稀釋倍數(R)，依序為2000倍、10000倍、5000倍、1000倍及2000倍)。

Fig. 3. Effects of tested surfactants with different dilution rates on fresh weight of tested crops.

弱鹼之移動，經質子化或去質子化作用所產生跨膜質子梯度，推動分子累積在膜的酸性或鹼性的一邊。極性分子的傳導主要藉由細胞內的傳導系統而移動，成為膜選擇性的基礎。由於展著劑的特殊結構，具有改變葉表蠟質及細胞膜脂的生物活性，降低藥液在葉片上之表面張力及接觸角，導致藥劑進入

細胞的量增加，但同時也可能對植物造成生長抑制的毒性效應^(8, 12)。研究證實展著劑會影響植物的發芽、生長及發育，對礦物離子的吸收，及膜透性的改變。一般因展著劑種類及濃度而異，但在不同作物種類及生長部位的反應

表三、不同稀釋倍數展著劑噴施後引起之葉菜類作物藥害¹⁾

Table 3. Phytotoxic effects of tested surfactants with different dilution rates on leaf vegetables

濃度	萵苣	空心菜	白莧菜	甘藍	油菜	菠菜
出來通	----- % ²⁾ -----					
R ³⁾	0 (0) ⁴⁾	0 (0)	0 (0)	0 (10%)	0 (0)	0 (0)
4R	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (20%)	0 (30%)	10 (30%)
8R	0 (5%)	0 (0)	5 (0)	15 (40%)	20 (30%)	20 (30%)
16R	0 (10%)	0 (0)	20 (0)	30 (50%)	30 (50%)	50 (70%)
32R	0 (10%)	0 (0)	20 (0)	80 (90%)	80 (90%)	90 (90%)
全透力						
R	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (10%)	0 (10%)
4R	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (10%)	0 (10%)	0 (10%)
8R	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (20%)	0 (20%)	10 (20%)
16R	0 (5%)	0 (0)	0 (0)	20 (20%)	20 (20%)	50 (30%)
32R	10 (10%)	5 (0)	10 (0)	50 (70%)	60 (40%)	60 (40%)
Agral90						
R	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (10%)	0 (10%)
4R	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (10%)	0 (10%)
8R	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (10%)	0 (20%)	0 (20%)
16R	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (20%)	0 (20%)	0 (20%)
32R	0 (5%)	0 (5%)	0 (5%)	50 (40%)	50 (40%)	60 (60%)

¹⁾藥害徵狀為葉片發生褐化、葉柄折斷、藥斑、葉肉壞疽、葉片扭曲縮、株高抑制。

²⁾噴藥後 10 日調查之藥害發生率。

³⁾測試展著劑出來通、全透力、Agral 90、力道威及加收活展之標示稀釋倍數 (R 值)依序為 2000 倍、10000 倍、5000 倍、1000 倍及 2000 倍。

⁴⁾括弧內為噴藥後 1 日之藥害發生率。

也有明顯差異，如燕麥較蘿蔔、牧草等對大多數展著劑敏感，玉米則最具忍受性^(3, 8)。此外根的伸長較種子發芽、葉片反應及細胞滲透性的改變亦較敏感⁽⁸⁾。

本研究利用芥菜、甘藍、青江菜、芥藍菜、油菜、結球白菜、白菜、茼蒿、萵苣、菠菜、空心菜、及白莧菜等 12 種葉菜類作物，以葉圓片滲漏液之電導測值的變化，及 5-6 葉齡植株噴施後的藥害發生率及鮮重抑制程度，分析五種測試展著劑之植物毒性。其中出來通及加收活展對大部分葉菜類之毒性較強，菠菜在測試作物中對展著劑的反應最為敏感，反之萵苣則最具忍受性。兩種評估指標在不同作物及藥劑種類間之變化趨勢頗為一致，可提供田間用藥時選擇適合展著劑之參考。

引用文獻

1. 蔣永正、蔣慕琰。2002。農藥藥害的發生與診斷。第四章 農藥劑型與藥害。25-29 頁。行政院農業委員會農業藥物毒物試驗所 印行。
2. Cline, W. O. and P. V. Oudemans. 2002. Diagnosis and description of widespread surfactant injury on blueberries in North Carolina. *Acta Hort. (ISHS)* 574: 95-99.
3. Florence, A. T., I. G. Tucker and K. A. Walters. 1984. Interactions of nonionic polyoxyethylene alkyl and aryl ethers with membrane and other biological systems. *In: Structure/Performance Relationships in Surfactants* (Ed. M. J. Rosen), pp. 190-207. American Chemical Society Symposium Series Number 253, Washington D. C.
4. Haapala, E. 1970. The effect of a nonionic detergent on some plant cells. *Physiol. Plant.* 23: 187-201.
5. Kirkwood, R. C. 1999. Recent developments in our understanding of the plant cuticle as a barrier to the foliar uptake of pesticides. *Pestic. Sci.* 55: 69-77.
6. Knoche, M., G. Noga and F. Lenz. 1992. Surfactant induced phytotoxicity: evidence of interaction with epicuticular wax fine structure. *Crop Protection* 11: 51-56.
7. Manthey, F. A., E. F. Szelezniak and J. D. Nalewaja. 1997. Lipophilic chemistry affects surfactant phytotoxicity and enhancement of herbicide efficacy. *In: Pesticide Formulations and Application Systems* (Eds. M. J. Hopkinson, H. M. Collins and G. R. Goss), STP 1328 17, 267-278, American Society for Testing and Materials, West Conshohocken.

8. Parr, J. F. 1982. Toxicology of adjuvants. *In: Adjuvants for Herbicides*, pp. 93-114. WSSA, Champaign, IL.
9. Silcox, D. and P. J. Holloway. 1986. The use of potassium leakage to assess potential phytotoxic effects of surfactant. *In: Aspects of Applied Biology 11, Biochemical and Physiological Techniques in Herbicide Research*, pp.149-158. Produced by The Association of Applied Biologists. National Vegetable Research Station, Wellesbourne, Warwick.
10. Stock, D. and P. J. Holloway. 1993. Possible mechanisms for surfactant-induced foliar uptake of agrochemicals. *Pestic. Sci.* 38: 165-177.
11. Tamura, H., M. Knoche and M. J. Bukovac. 2001. Evidence for surfactant solubilization of plant epicuticular wax. *J. Agric. Food Chem.* 49: 1809-1816.
12. Zabkiewicz, J. A. 2000. Adjuvants and herbicidal efficacy – present status and future prospects. *Weed Res.* 40: 139-149.