

蘇力菌與其他農藥混合對小菜蛾及斜紋夜蛾的生物活性影響評估

胡斐婷¹ 郭雪¹ 曾經洲^{1*}

摘要

胡斐婷、郭雪、曾經洲。2018。蘇力菌與其他農藥混合對小菜蛾及斜紋夜蛾的生物活性影響評估。臺灣農藥科學 4: 21-36。

現今農業政策以安全農業、永續經營為重點，微生物藥劑逐漸被更多農民所使用，於研發上也有顯著進展，微生物藥劑專一性高，較化學藥劑安全，對人畜、天敵和有益生物無害，也可以和化學藥劑搭配，使用於綜合管理上，降低化學農藥使用量。本研究探討蘇力菌 (*Bacillus thuringiensis*, Bt) 產品與化學農藥混合使用之生物活性，期能減少化學藥劑的使用量。試驗以田間推薦濃度之庫斯蘇力菌 (*Bt kurstaki*)、鮎澤蘇力菌 (*Bt aizawai*) 分別與推薦濃度或 1/2 或 1/4 量之化學殺蟲劑、殺菌劑或微生物藥劑混合，測試個別藥劑與混合劑對小菜蛾 (*Plutella xylostella*)、斜紋夜蛾 (*Spodoptera litura*) 的生物活性，評估混合作用之毒效區分。於庫斯蘇力菌與有機磷殺蟲劑混合使用或乳劑劑型之化學殺蟲劑混合使用，結果顯示不論化學殺蟲劑是否減半，其共同毒效均屬拮抗作用，不建議混合使用；蘇力菌在與非乳劑劑型之化學殺蟲劑 (合成除蟲菊類、新類尼古丁類、抗生素類或胺基甲酸鹽類) 混合處理小菜蛾幼蟲的結果，不論化學藥劑是否減半與蘇力菌混合，其混合毒效區分多數屬獨立或少數協力作用，表示二者混合無不良影響，可混合使用，但化學藥劑之貢獻不大，其主要效果還是來自蘇力菌，因此不建議混合使用。蘇力菌與化學殺菌劑之混合試驗，亦顯示蘇力菌與乳劑劑型之化學殺菌劑混合使用，其毒效結果比單獨使用蘇力菌差。在鮎澤蘇力菌與化學藥劑的混合處理斜紋夜蛾幼蟲的結果，顯示蘇力菌較化學藥劑殺蟲效果更佳，但混合化學藥劑有加速殺蟲之效果。因此，實施植物病蟲害防治時，若主要的對象只是鱗翅類害蟲，建議僅使用蘇力菌即可達到良好的防治效果。尤其是有機磷殺蟲劑、乳劑劑型化學藥劑與蘇力菌混合使用，依目前之

接受日期：2018 年 8 月 2 日

* 通訊作者。E-mail: cctzeng@tactri.gov.tw

¹ 臺中市 行政院農業委員會農業藥物毒物試驗所

結果顯示拮抗作用，因此在使用上應多加斟酌考量，排除與蘇力菌同時混合使用。

關鍵詞：蘇力菌、共同毒效係數、藥劑混合、拮抗作用、獨立作用、協力作用

緒言

慣行農業生產，多使用化學農藥進行病蟲害防治。化學藥劑過量或不當使用，會影響環境生態及造成藥劑殘留等問題。而田間長期使用相同或相似藥劑，易致使田間害蟲、病原菌產生抗藥性，使後續防治上更加困難。現今農業政策以安全農業、永續經營為重點，微生物藥劑逐漸被更多使用，於研發上也有顯著進展。使用微生物藥劑進行病蟲害管理，近年來研究上也提出更多的防治效果佐證，其中蘇力菌 (*Bacillus thuringiensis*, *Bt*) 的安全性、有效性及田間施用方便性，普遍受到肯定。蘇力菌是昆蟲病原細菌，會產生專一性的殺蟲結晶毒蛋白，且對非目標昆蟲的生物完全無傷害^(11, 18)，因此在使用上相當安全，而且蘇力菌也會產生促進植物生長、養分吸收及抑制作物病害之物質⁽⁷⁾，有利作物健康。

昔日研究蘇力菌搭配化學殺蟲劑，防治害蟲的效果正反面皆有，有能預防或控制害蟲抗藥性產生的⁽²³⁾，如已禁用之有機氯劑安殺番 (endosulfan) 與蘇力菌混合使用後，除了能增加對蕃茄夜蛾 (*Helicoverpa armigera*) 的殺蟲效果外，還能減少蕃茄夜蛾對安殺番的抗性產生⁽¹⁶⁾，

也有如已禁用之有機氮劑百蟻克 (binapacryl)、有機錫類錫蟻丹 (cyhexatin)、三苯羥錫 (fentin hydroxide) 與庫斯蘇力菌 (*Bacillus thuringiensis* subsp. *kurstaki*, *Btk*) 混合使用防治小菜蛾 (*Plutella xylostella*) 時，會產生拮抗作用的⁽¹⁰⁾；在防治埃及斑蚊 (*Aedes aegypti*) 及甘比亞瘧蚊 (*Anopheles gambiae*) 研究中，蘇力菌與化學殺蟲劑亞培松 (temephos) 混合防治害蟲，並不會產生拮抗之不良影響，混合效果還優於單獨使用⁽²⁶⁾；庫斯蘇力菌與合成除蟲菊類化學殺蟲劑芬化利 (fenvalerate)、賽滅寧 (cypermethrin)、百滅寧 (permethrin) 或胺基甲酸鹽類化學殺蟲劑納乃得 (methomyl) 或昆蟲生長調節劑二福隆 (diflubenzuron) 混合，能增加防治棉花夜蛾 (*Spodoptera littoralis*) 的效力^(17, 19)；庫斯蘇力菌與化學殺蟲劑芬化利或亞素靈 (monocrotophos) 混合防治斜紋夜蛾 (*Spodoptera litura*)，不但使化學殺蟲劑的使用量減半，還能達到更好之防治效果^(14, 19)；倉儲害蟲防治多以化學藥劑進行燻蒸，擬步行蟲蘇力菌 (*Bt tenebrionis*) 與減量之磷化鋁在 37°C 的條件下，能有效的防治高粱儲存之土耳其扁穀盜 (*Cryptolestes turcicus*) 積穀害蟲，降低高粱的損失⁽¹⁵⁾。

除化學殺蟲劑外，蘇力菌與殺菌劑混合之相關培養試驗中，發現鏈黴素 (streptomycin)、多保鏈黴素 (thiophanate-methyl + streptomycin) 及有機硫磺劑會抑制蘇力菌的生長；有機氮劑及雜環類殺菌劑中福爾培 (folpet) 及蓋普丹 (captan) 有較大之抑制效果；銅劑大多不影響蘇力菌生長；在蓋普丹 (captan)、甲基鋅乃浦 (propineb)、鋅錳克絕 (mancozeb + cy-moxanil)、鋅錳滅達樂 (mancozeb + met-alaxyl) 及三苯醋錫 (fentin acetate) 雖然對蘇力菌的生長，有較強烈之抑制情形，但施用於作物時，對蘇力菌之殺蟲效果完全無影響⁽⁴⁾。

小菜蛾為十字花科蔬菜上重要害蟲，國內小菜蛾主要的防治方法以化學藥劑為主，其登記用藥數量約有數十種，目前有研究指出小菜蛾對多種之殺蟲劑產生抗藥性，例如加保扶 (carbofuran)、芬化利、百滅寧 (permethrin)、阿巴汀 (abamectin)⁽⁸⁾，造成小菜蛾防治不易。斜紋夜蛾幼蟲取食量大，且取食的植物種類繁多，所以在防治上亦屬不易，防治上目前還是以藥劑為主。

在蔬菜農產品農藥殘留監測研究成果報告⁽⁵⁾中，常檢出的農藥約有 130 種，其中化學藥劑以達滅芬 (dimethomorph)、益達胺 (imidacloprid) 及亞滅培 (acetamiprid) 之檢出率較高，以剋安勃 (chlorantraniliprole)、芬普尼 (fipronil)、達特南 (dinotefuran) 及賓克隆 (pencycuron) 之不合格率較高。本研究挑選其中常被檢出

或田間經常施用之化學農藥，以田間常見害蟲小菜蛾及斜紋夜蛾為對象，進行蘇力菌與化學農藥混合使用之試驗。

混合藥劑的毒效估計，是比較單獨藥劑之毒效值與藥劑混合之後毒效值相互間之關係，藉由生物活性試驗結果 (半致死量)，經共同毒效係數值 (Co-toxicity coefficient)^(1, 2, 3, 9, 12, 13, 20, 21, 22, 24, 26, 27) 運算表示藥劑混合之結果，以係數數值之高低作為藥劑混合後之反應。當混合藥劑共同毒效係數值大於 120 時為協力作用 (synergistic effect)，表示藥劑混合後之毒效較單獨使用時增加，而混合藥劑之共同毒效係數在 80 與 120 之間時，表示各個藥劑互相之間不影響，為獨立作用 (independent effect)；若共同毒效係數值小於 80 時，則表示藥劑之藥效相互抵消，視為拮抗作用 (antagonistic effect)。本研究用其評估化學藥劑依推薦濃度全量或化學減半之方式混合蘇力菌的殺蟲效果、蘇力菌混合其他微生物藥劑之殺蟲效果以及化學殺菌劑混合蘇力菌之殺蟲效果。

材料與方法

一、供試藥劑

(一) 蘇力菌：

1. 鮎澤蘇力菌 (*Bacillus thuringiensis* subsp. *aizawai*, *Bta*) ABTS1857 48.1% (35,000 DBMU/mg) WG，台灣住友化學

股份有限公司。

2. 庫斯蘇力菌(*Bt kurstaki*, *Btk*) E911 60% (30,000 DBMU/mg) WP, 福壽實業股份有限公司。

(二) 化學殺蟲劑：

1. 賽洛寧 (*lambda-cyhalothrin*) 2.8% EC, 嘉農企業股份有限公司。
2. 第滅寧 (*deltamethrin*) 2.4% SC, 洽益化學股份有限公司。
3. 達特南 (*dinotefuran*) 20% SG, 惠光股份有限公司。
4. 可尼丁 (*clothianidin*) 16% SG, 台灣住友化學股份有限公司。
5. 亞滅培 (*acetamiprid*) 20% SP, 台灣庵原農藥股份有限公司。
6. 益達胺 (*imidacloprid*) 18.2% SC, 臺聯實業股份有限公司。
7. 阿巴汀 (*abamectin*) 2% EC, 嘉泰企業股份有限公司。
8. 因滅汀 (*emamectin benzoate*) 5% SG, 聯利農業科技股份有限公司。
9. 佈飛松 (*profenofos*) 43% EC, 青山貿易有限公司。
10. 陶斯松 (*chlorpyrifos*) 75% WG, 台灣道禮股份有限公司。
11. 陶斯松 (*chlorpyrifos*) 50% WP, 安特旺股份有限公司。
12. 陶斯松 (*chlorpyrifos*) 40.8% EC, 中華民國農會附設各級農會農化廠。
13. 加保利 (*carbaryl*) 39.5% SC, 聯利農

業科技股份有限公司。

14. 克凡派 (*chlorfenapyr*) 10% SC, 雅飛有限公司。

(三) 化學殺菌劑：

1. 亞托敏 (*azoxystrobin*) 23% SC, 國豐化學工業股份有限公司。
2. 待克利 (*difenoconazole*) 24.9% EC, 龍燈生物科技股份有限公司。
3. 待克利 (*difenoconazole*) 24.9% SC, 安特旺股份有限公司。
4. 撲滅寧 (*procymidone*) 50% WP, 生力化學工業股份有限公司。

(四) 其他微生物藥劑：

1. 甜菜夜蛾核多角體病毒 (*Spodoptera exigua* nucleopolyhedrovirus, *SeNPV*) 0.64% SC, 嘉農企業股份有限公司。
2. 液化澱粉芽孢桿菌 (*Bacillus amyloliquefaciens* BPD1) 1×10^9 CFU/mL AL, 台灣肥料股份有限公司。
3. 純白鏈黴菌素 (*Streptomyces candidus* Y21007-2) 700 PCU/g SP, 百泰生物科技股份有限公司。
4. 枯草桿菌 (*Bacillus subtilis* Y1336) 50% (1×10^9 CFU/g) WP, 百泰生物科技股份有限公司。
5. 綠木黴菌 (*Trichoderma virens* R42) 2×10^8 CFU/g AP, 寶林生物科技股份有限公司。

(五) 展著劑：

嘉展-90，非離子型展著劑，嘉泰企業股份有限公司。

(六) 供試藥劑配置：

藥劑以水稀釋、並加入展著劑 (2000 倍) 備用。各藥劑單獨稀釋成梯度濃度供試；蘇力菌依田間推薦濃度與化學藥劑依推薦濃度或 1/2 或 1/4 濃度混合，配製成梯度濃度供試。

二、供試昆蟲

農業藥物毒物試驗所於室內維持之感受性品系小菜蛾 (*Plutella xylostella*) 幼蟲及斜紋夜蛾 (*Spodoptera litura*) 幼蟲，各以不同之人工飼料培養基飼養，置人工環境培養箱內 (25°C、70% RH、L:D= 12:12)，挑選適齡蟲體供生物活性測試。

三、生物活性測試

(一) 小菜蛾生物活性測試

甘藍幼株葉片，以模型裁成圓形葉片 (15 cm²)，將葉片浸漬於稀釋的樣品液中 3 秒，對照組以水處理，葉片置不銹鋼網上陰乾後，再葉背朝上移置於直徑 9 cm 之培養皿中，每片葉接入 10 隻 3 齡初小菜蛾幼蟲，置 25°C、70% RH、L:D=12:12

之培養箱中，經 24、48、72 小時後觀察紀錄死亡蟲數。處理分三大組，一是庫斯蘇力菌與化學殺蟲劑混合處理組；另一是庫斯蘇力菌及化學殺菌劑混合處理組；再一是庫斯蘇力菌與混合其他微生物藥劑混合處理組。

(二) 斜紋夜蛾生物活性測試

同 (一) 之葉片浸藥方法，陰乾葉片背朝上移置於 30 孔盤 (直徑 3.5 cm，深度 2.9 cm) 中，每片葉接上 1 隻 3 齡初斜紋夜蛾幼蟲，置於 25°C、75% RH、L:D=12:12 之培養箱中，經 24、48、72、96、120 小時後觀察紀錄死亡蟲數，並測量經 120 小時後之活蟲體重。處理分純澤蘇力菌與化學殺蟲劑混合處理組及與化學殺菌劑混合處理組。

四、生物活性資料統計分析

單劑及混合藥劑生物活性測試結果死亡蟲數，經 Abbott's formula 校正死亡率⁽⁸⁾，以濃度對數與死亡率 Probit analysis 分析，求取試驗 72 小時後之半數致死濃度值 (LC₅₀, ppm)，經計算單劑毒效係數、混合實測、理論毒效指數等運算求取共同毒效係數 (Co-toxicity coefficient；CTC)，並評估其混合毒效區分。

$$CTC = \frac{\frac{Bt LC_{50}}{Mix LC_{50}}}{\frac{A \times S LC_{50} + B \times Bt LC_{50}}{(A+B) \times S LC_{50}}} \times 100$$

Bt LC₅₀ = 蘇力菌之 LC₅₀

S LC₅₀ = 化學供試藥劑之 LC₅₀

Mix LC₅₀ = 兩種藥劑混合後之 LC₅₀

A = 蘇力菌在混合藥劑中的濃度 (ppm)

B = 化學供試藥劑在混合藥劑中的濃度 (ppm)

結果

庫斯蘇力菌 E911 與化學殺蟲劑，依推薦濃度混合之藥效試驗結果 (表一)，依化學殺蟲劑之種類列出各藥劑藥效結

果，經運算所得之共同毒效係數 (CTC)，分別為胺基甲酸鹽類 [加保利 (174)]、有機磷類 [佈飛松 (65)、陶斯松 75% WG (59)、陶斯松 50% WP (35)、陶斯松 40.8% EC (64)]、除蟲菊類 [賽洛寧 (66)、第滅寧 (111)]、新尼古丁類 [達特南 (108)、可尼丁 (125)、亞滅培 (97)、益達胺 (115)]、抗生素類 [阿巴汀 (33)、因滅汀 (80)] 及未分類 [克凡派 (89)]。其中與庫斯蘇力菌混合毒效為拮抗作用的，有賽洛寧、阿巴汀、佈飛松、陶斯松 75% WG、陶斯松 50% WP 和陶斯松 40.8% EC，其餘則為獨立或協力作用。

表一、庫斯蘇力菌 E911 與化學殺蟲劑依推薦濃度混合對小菜蛾之毒效

Table 1. Toxicity of mixtures that contain *Bacillus thuringiensis* subsp. *kurstaki* E911 and the full recommended concentration of various chemical insecticides against *Plutella xylostella*

Insecticide	LC ₅₀ (ppm)			Co-toxicity coefficient ¹⁾	Summarized response
	Pesticide	<i>Bt</i> only	Mixture		
carbaryl (39.5% SC)	4.91	0.67	0.63	174	Synergistic effect
profenofos (43% EC)	1.66	2.76	3.32	65	Antagonistic effect
chlorpyrifos (75% WG)	9.61	2.71	6.37	59	Antagonistic effect
chlorpyrifos (50% WP)	8.56	2.83	10.19	35	Antagonistic effect
chlorpyrifos (40.8% EC)	6.72	1.56	3.54	64	Antagonistic effect
lambda-cyhalothrin (2.8% EC)	0.67	2.18	3.00	66	Antagonistic effect
deltamethrin (2.4% SC)	1.68	2.62	2.32	111	Independent effect
dinotefuran (20% SG)	18.94	1.94	1.97	108	Independent effect
clothianidin (16% SG)	6.88	3.15	2.60	125	Synergistic effect
acetamiprid (20% SP)	7.41	1.36	1.50	97	Independent effect
imidacloprid (18.2% SC)	4.17	1.94	1.79	115	Independent effect
abamectin (2% EC)	0.011	2.76	1.65	33	Antagonistic effect
emamectin benzoate (5% SG)	0.004	1.41	0.26	80	Independent effect
chlorfenapyr (10% SC)	4.85	1.15	1.45	89	Independent effect

¹⁾ Co-toxicity coefficient: CTC=toxicity index for insecticide mixtures/theoretical toxicity index for insecticide mixtures × 100. CTC > 120, synergistic effect; 80 < CTC < 120, independent effect; CTC < 80, antagonistic effect.

庫斯蘇力菌 E911 與化學殺蟲劑，依化學減半混合之藥效試驗結果 (表二)，藥劑與共同毒效係數 (CTC)，分別為加保利 (145)、佈飛松 (62)、陶斯松 75% WG (54)、陶斯松 50% WP (81)、陶斯松 40.8% EC (76)、賽洛寧 (75)、第滅寧 (98)、達特南 (120)、可尼丁 (116)、亞滅培 (131)、益達胺 (110)、阿巴汀 (45)、因滅汀 (93)、克凡派 (91) 之混合結果。與庫斯蘇力菌混合毒效為拮抗作用的有賽洛寧、阿巴汀、佈飛松、陶斯松 75% WG 和陶斯松 40.8% EC，其餘

則為獨立或協力作用。

庫斯蘇力菌 E911 與化學殺菌劑 (待克利 24.9% SC、亞托敏 23% SC、待克利 24.9% EC、撲滅寧 50% WP)，依推薦濃度混合對小菜蛾之藥效試驗結果 (表三)，單獨使用庫斯蘇力菌 E911 之 LC_{50} 分別為 1.83、1.83、1.76、1.76 ppm，混合使用之 LC_{50} 為 1.65、1.76、3.04、1.50 ppm。

庫斯蘇力菌 E911 與甜菜夜蛾核多角體病毒 (SeNPV)、液化澱粉芽孢桿菌 BPD1、純白鏈黴菌素 Y21007-2、枯草桿

表二、庫斯蘇力菌與化學殺蟲劑依化學減半混合對小菜蛾之毒效

Table 2. Toxicity of mixtures that contain *Bacillus thuringiensis* subsp. *kurstaki* E911 and half the recommended concentration of various chemical insecticides against *Plutella xylostella*

Insecticide	LC_{50} (ppm)			Co-toxicity coefficient ¹⁾	Summarized response
	Pesticide	<i>Bt</i> only	Mixture		
carbaryl (39.5% SC)	4.91	0.67	1.00	145	Synergistic effect
profenofos (43% EC)	1.66	2.76	3.73	62	Antagonistic effect
chlorpyrifos (75% WG)	9.61	2.71	6.07	54	Antagonistic effect
chlorpyrifos (50% WP)	8.56	2.83	3.93	81	Independent effect
chlorpyrifos (40.8% EC)	6.72	1.56	2.56	76	Antagonistic effect
lambda-cyhalothrin (2.8% EC)	0.67	2.18	2.77	75	Antagonistic effect
deltamethrin (2.4% SC)	1.68	2.62	2.65	98	Independent effect
dinotefuran (20% SG)	18.94	1.94	1.69	120	Independent effect
clothianidin (16% SG)	6.88	3.15	2.77	116	Independent effect
acetamiprid (20% SP)	7.41	1.36	1.55	131	Synergistic effect
imidacloprid (18.2% SC)	4.17	1.94	1.81	110	Independent effect
abamectin (2% EC)	0.011	2.76	1.99	45	Antagonistic effect
emamectin benzoate (5% SG)	0.004	1.41	0.39	93	Independent effect
chlorfenapyr (10% SC)	4.85	1.15	1.34	91	Independent effect

¹⁾ Co-toxicity coefficient: $CTC = \text{toxicity index for insecticide mixtures} / \text{theoretical toxicity index for insecticide mixtures} \times 100$. $CTC > 120$, synergistic effect; $80 < CTC < 120$, independent effect; $CTC < 80$, antagonistic effect.

菌 Y1336、綠木黴菌 R42 等其他微生物藥劑，依推薦濃度混合對小菜蛾之藥效試驗結果 (表四)，單獨使用蘇力菌之 LC₅₀ 分別為 1.91、1.05、1.05、1.07、1.05 ppm，混合使用之 LC₅₀ 為 1.95、1.02、1.01、1.10、1.10 ppm。

鮎澤蘇力菌 ABTS1857 與化學殺蟲劑 (賽洛寧、陶斯松、益達胺、加保利、阿巴汀、克凡派)，依推薦濃度混合對斜紋夜蛾之藥效試驗結果 (表五)，處理 5 天後，單獨使用鮎澤蘇力菌 ABTS1857，試驗 120 小時後之死亡率 (%) 與活蟲平

均體重 (mg)，分別為 86.7% (4.9 mg)、80.0 (18.9)、93.3 (4.0)、90.0 (4.8)、92.3 (5.4)、100 (0)；化學藥劑依推薦濃度混合結果為 93.3% (4.1 mg)、100 (0)、76.7 (4.8)、100 (0)、96.0 (13.5)、100 (0)；化學藥劑減半混合使用結果為 86.2% (3.4 mg)、100 (0)、80.0 (5.5)、93.3 (4.0)、92.0 (5.3)、100 (0)；化學藥劑 1/4 量混合使用結果為 76.7% (3.3 mg)、93.3 (2.9)、86.7 (5.9)、89.7 (4.0)、100 (0)、100 (0)，而對照組的活蟲平均重量 (mg) 為 78.0、118.6、52.7、71.4、67.1、76.3 mg。

表三、庫斯蘇力菌 E911 與化學殺菌劑依推薦濃度混合對小菜蛾之殺蟲效果

Table 3. Effects of mixtures containing *Bacillus thuringiensis* subsp. *kurstaki* E911 and the full recommended concentration of various chemical fungicides on *Plutella xylostella*

Fungicide	LC ₅₀ (ppm)	
	<i>Btk</i> E911 only	Mixture
difenoconazole (24.9 % SC)	1.83	1.65
azoxystrobin (23 % SC)	1.83	1.76
difenoconazole (24.9 % EC)	1.76	3.04
procymidone (50 % WP)	1.76	1.50

表四、庫斯蘇力菌 E911 與微生物藥劑依推薦濃度混合對小菜蛾之殺蟲效果

Table 4. Effects of mixtures containing *Bacillus thuringiensis* subsp. *kurstaki* E911 and the full recommended concentration of various microbial pesticides on *Plutella xylostella*

Microbial pesticide	LC ₅₀ (ppm)	
	<i>Btk</i> E911 only	Mixture
<i>Spodoptera exigua</i> nucleopolyhedrovirus, 0.64% SC	1.91	1.95
<i>Bacillus amyloliquefaciens</i> Ba-BPD1, 1×10 ⁹ CFU/ml AL	1.05	1.02
<i>Streptomyces candidus</i> Y21007-2, 700 PCU/g SP	1.05	1.01
<i>Bacillus subtilis</i> Y1336, 50% WP	1.07	1.10
<i>Trichoderma virens</i> R42, 2×10 ⁸ CFU/g AP	1.05	1.10

鮎澤蘇力菌 ABTS1857 與化學殺菌劑 (待克利、亞托敏)，依推薦濃度混合對斜紋夜蛾之藥效試驗結果 (表五)，結果不論單獨使用或依推薦濃度混合使用，其死亡率皆為 100%。

討論

選擇防治小菜蛾、尺蠖蛾、夜蛾、蚜蟲、粉蝨、薊馬等之化學殺蟲劑，並依作

用機制選出不同類型之藥劑供試，分別有乙醯膽鹼酯酶抑制劑 IRAC 1A 胺基甲酸鹽類 (加保利)、IRAC 1B 有機磷類 (佈飛松、陶斯松)、鈉離子通道調節劑 IRAC 3A 合成除蟲菊類 (賽洛寧、第滅寧)、尼古丁乙醯膽鹼受器競爭性調節劑 IRAC 4A 新類尼古丁類 (達特南、可尼丁、亞滅培、益達胺)、谷氨酸門控氯離子通道異位調節劑 IRAC 6 (阿巴汀、因滅汀) 及 IRAC 13 干擾質子梯度分解氧化磷酸化反

表五、鮎澤蘇力菌 ABTS1857 與化學藥劑混合處理斜紋夜蛾幼蟲 120 小時後之殺蟲效果
Table 5. Mortality of *Spodoptera litura* after exposure to mixtures of *Bacillus thuringiensis* subsp. *aizawai* ABTS1857 and different concentrations of various chemical pesticides 120 hours after treatment

Pesticide	Mortality (%) / Average weight (mg) of survivor					
	Control	Pesticide only	ABTS1857 only	Pesticide concentration		
				Recommended	Half	Quarter
lambda-cyhalothrin (2.8% EC)	0/ 78.0	33.3/ 24.8	86.7/ 4.9	93.3/ 4.1	86.2/ 3.4	76.7/ 3.3
chlorpyrifos (40.8% EC)	0/ 118.6	100/ 0	80.0/ 18.9	100/ 0	100/ 0	93.3/ 2.9
imidacloprid (18.2% SC)	0/ 52.7	0/ 41.4	93.3/ 4.0	76.7/ 4.8	80.0/ 5.5	86.7/ 5.9
carbaryl (39.5% SC)	0/ 71.4	23.3/ 32.9	90.0/ 4.8	100/ 0	93.3/ 4.0	89.7/ 4.0
abamectin (2% EC)	0/ 67.1	0/ 54.3	92.3/ 5.4	96.0/ 13.5	92.0/ 5.3	100/ 0
chlorfenapyr (10% SC)	0/ 76.3	6.7/ 73.4	100/ 0	100/ 0	100/ 0	100/ 0
difenoconazole (24.9% SC)	0/ 75.2	-/ -	100/ 0	100/ 0	-/ -	-/ -
azoxystrobin (23% SC)	0/ 75.2	-/ -	100/ 0	100/ 0	-/ -	-/ -

應(克凡派)等,劑型則有 EC(乳劑)、SC(水懸劑)、SG(水溶性粒劑)、SP(水溶性粉劑)、WG(水分散性粒劑)、WP(可濕性粉劑)、AL(其他液劑)、DP(粉劑),測試對小菜蛾生物活性,並利用共同毒效係數評估蘇力菌與其他化學藥劑混合之殺蟲效果,過去的研究曾界定共同毒效係數 70 以下為拮抗作用、70-100 為獨立作用、100 以上為協力作用,結果較易達成協力作用^(1, 2, 3, 9, 20, 21, 22, 26),而在近幾年的研究中,多改以 120 以上,才視為協力作用^(12, 13, 24, 27),本研究亦依此基準,作為評估標準。

庫斯蘇力菌混合化學殺蟲劑測試對小菜蛾的藥效試驗中,蘇力菌與賽洛寧、阿巴汀、佈飛松、陶斯松 75% WG、陶斯松 50% WP、陶斯松 40.8% EC,在推薦濃度或是化學減半混用,共同毒效係數皆小於 80,屬拮抗作用,其中佈飛松、陶斯松 75% WG、陶斯松 50% WP、陶斯松 40.8% EC,皆為 IRAC 1B 的有機磷類藥劑,究竟其主要因子為何,尚待探討,惟暫建議蘇力菌不混合有機磷劑使用,惟亦曾有報導蘇力菌混合有機磷殺蟲劑亞培松防治埃及斑蚊 (*Aedes aegypti*) 及甘比亞瘧蚊 (*Anopheles gambiae*),並不會產生拮抗作用⁽²⁵⁾。

試驗結果也發現分別屬於合成除蟲菊類、抗生素類及有機磷類的賽洛寧、阿巴汀、佈飛松、陶斯松 40.8% EC,與蘇力菌混用時皆呈現拮抗作用,其共同點皆是乳劑(EC)劑型,而在庫斯蘇力菌與化學

殺菌劑(待克利 24.9% SC、亞托敏 23% SC、待克利 24.9% EC、撲滅寧 50% WP)混合試驗中,亦發現蘇力菌與乳劑劑型的待克利(24.9% EC)混合之 LC_{50} 值,是單獨使用蘇力菌的 1.7 倍,效果變差,而與其餘化學殺菌劑之混合,蘇力菌卻皆可正常發揮殺蟲效果,也曾有蘇力菌並不適合與乳劑劑型之殺菌劑混合使用之報告⁽⁹⁾,顯示蘇力菌並不適合與乳劑劑型之藥劑混合使用。致於其是否係因乳劑劑型之何成分造成忌食、拒食,以致毒性降低則有賴進一步探討。另外與有機磷類同為乙酰膽鹼酯酶抑制劑的胺基甲酸鹽類加保利,在與蘇力菌混合試驗中,有明顯的協力作用(全量 174,減半 145),因其害蟲防治範圍相當廣範(如飛蝨、葉蟬、薊馬、椿象、螟蛾、夜蛾類等),所以若為防治其他害蟲,則不排除與蘇力菌混合使用,但若只為防治小菜蛾,雖然加保利混蘇力菌效果更好,但其實單獨使用蘇力菌即已有相當好的防治小菜蛾效果,而且無安全採收期,且不受殘留容許量(MRL)的限制,為減少化學農藥使用,宜鼓勵農友單獨使用蘇力菌即可。

不論是化學殺蟲劑或殺菌劑,都有研究指出會影響蘇力菌活菌的生長或孢子形成,在蘇力菌混合化學藥劑的發酵培養研究中,有蘇力菌培養液中混入有機磷類馬拉松或亞培松,發現蘇力菌的生長狀況並不會受影響⁽²⁵⁾;蘇力菌混合胺基甲酸鹽類化學殺蟲劑,會影響到蘇力菌孢子的形成,其中加保利對蘇力菌之有害影響較納

乃得高，有機磷佈飛松抑制孢子形成的能力高於巴賽松，而除蟲菊類芬化利、賽滅寧及百滅寧較其他如胺基甲酸鹽類、有機磷類藥劑，對蘇力菌孢子形成，干擾較小或是無干擾⁽¹⁷⁾。有關殺菌劑混合培養蘇力菌之生長試驗，顯示鏈黴素、多保鏈黴素及有機硫磺劑會抑制蘇力菌生長，有機氮劑及雜環類殺菌福爾培及蓋普丹抑制更大，而銅劑大多不影響蘇力菌生長。在蓋普丹、甲基鋅乃浦、鋅錳克絕、鋅錳滅達樂及三苯醋錫雖然對蘇力菌有較強烈之抑制生長的情形，但施用於作物時，對蘇力菌之殺蟲效果完全無影響⁽⁹⁾。

由吾人先前研究⁽⁷⁾得知，蘇力菌活菌會產生植物生長素 (IAA)、尿素分解酶、幾丁質分解酶、硝酸還原酶等，且具有溶磷反應。此外與植物病原菌共同培養，也會產生對峙效果。培養於高鹽環境下，仍有 IAA 及尿素分解酶的生成。在盆栽試驗中顯示蘇力菌成品具促進作物生長、增長植物根系、協助肥料利用、耐鹽以及降低病原菌危害等效用。田間試驗也顯示使用蘇力菌成品之結球甘藍重量增加，提升作物健康、品質及產量。因此，若是蘇力菌與會抑制活菌生長之化學藥劑混合使用，則會減少蘇力菌附加促進生長、抑制病害發生之作用，但因殺蟲效果主要係來自專一性的殺蟲結晶毒蛋白，其不受影響，所以仍具殺蟲效果。

在庫斯蘇力菌與微生物藥劑 (枯草桿菌、甜菜夜蛾核多角體病毒、液化澱粉芽孢桿菌、純白鏈黴菌素、枯草桿菌、綠木

黴菌) 混合試驗，得微生物藥劑對蘇力菌的殺蟲效果無不良影響，但亦無貢獻。至於蘇力菌與其他微生物間在生存競爭上的優劣，則會隨菌種與菌株 (品系) 間會有所差異，有賴再進一步探討。

鮎澤蘇力菌混合化學藥劑測試斜紋夜蛾的藥效試驗，鮎澤蘇力菌與分屬於不同作用機制的賽洛寧、陶斯松、益達胺、加保利、阿巴汀、克凡派混合測試，結果混合處理組在 48 小時內就會有蟲體死亡，可加速殺蟲效果，而單獨只有蘇力菌藥劑之處理組，多在 72 小時後才會產生明顯之殺蟲效果，但以最終之死亡結果來看，混合與否並沒有明顯差距。其中還發現到有添加蘇力菌之處理組，觀察至試驗後期，仍存活之蟲體均重，明顯較單獨只有化學藥劑之處理組低，符合蘇力菌在被取食後，毒蛋白被活化造成昆蟲腸道細胞受損停止取食之作用機制方式的表現方式^(11, 18)，因斜紋夜蛾幼蟲較壯碩較能忍飢耐餓，以致因絕食而體重萎縮，但在已食下的化學藥劑發揮毒殺的作用下，會令其已衰弱的蟲體加速死亡。

田間在施作病蟲防治時，常為了增加防治對象、防治效果，達到省工、省時之目的，混合多種藥劑同時施用。本研究結果，蘇力菌與化學藥劑全量或減半混合結果，大多為獨立作用，少數為協力作用，除表示二者混合使用無不良影響外，更顯示化學藥劑對效果的提昇貢獻不大，其主要的效果還是來自蘇力菌，建議若主要的防治對象只是鱗翅目類的害蟲，僅使用蘇

力菌就能達到好的防治效果，而且能因蘇力菌附加之功效，使作物達到促生、抑病之效果。而依目前之數據顯示，有機磷殺蟲劑、乳劑劑型化學藥劑與蘇力菌混合使用呈現拮抗作用，因此在使用上應多加斟酌考量，排除與蘇力菌同時混合使用。

謝辭

本研究所使用之供試化學農藥樣品，承蒙藥毒所殘毒管制組徐慈鴻組長及檢驗中心黃鎮華主任檢驗合格提供，特致謝忱。

引用文獻

1. 古德業、王順成。1976。殺蟲劑與防治水稻稻熱病之殺菌劑混合作用對水稻褐飛蟲之藥效研究。臺灣農業季刊 14(4): 12-29。
2. 古德業、王順成、洪霽濃。1977。農藥混合使用對水稻主要害蟲之毒效研究 I. 殺蟲劑混合使用對黑尾葉蟬及褐飛蟲之毒效影響。臺灣農業季刊 13(2): 84-98。
3. 古德業、李慶龍。1978。殺菌劑間混合使用和殺菌劑與殺蟲劑間混合使用對水稻稻熱病菌菌絲之毒效研究。臺灣農業季刊 14(4): 30-45。
4. 高靜華。1989。蘇力菌之增殖及其對小菜蛾之殺蟲力受殺菌劑之影響。國立中興大學昆蟲學研究所碩士論文。臺中。53 頁。
5. 費雯綺 編。2015。103 年度蔬菜農產品農藥殘留監測研究成果報告。行政院農業委員會農業藥物毒物試驗所。臺中。75 頁。
6. 許如君、龔庭毅、劉佩芳、李建佑、馮海東。2012。小菜蛾對 21 種登記殺蟲劑的田間感受性調查及敏感品系感受性基準資料的建立。台灣昆蟲 32: 25-40。
7. 胡斐婷、郭雪、蔡米皓、曾經洲。2016。增益植物健康之多功能蘇力菌研究。台灣農藥科學 1: 50-69。
8. Abbott, W. S. 1925. A method of computing the effectiveness of an insecticide. J. Econom. Entomol. 18: 265-267.
9. Durham, W. F. 1967. The interaction of pesticides with other factors, pp. 21-103. In: F. A. Gunther (ed), Residue Reviews, vol. 18. Springer, New York, NY. 103pp.
10. Hamilton, J. T., and Attia, F. I. 1977. Effects of mixtures of *Bacillus thuringiensis* and pesticides on *Plutella xylostella* and the parasite *Thyraeella collaris*. J. Econ. Entomol. 70: 146-148.
11. Höfte, H., and Whiteley, H. R. 1989. Insecticidal crystal proteins of *Bacillus thuringiensis*. Microbiol. Rev. 53: 242-255.
12. Huang, Y., Liu, J., Li, L., Peng, T., and Zhang, L. 2014. Efficacy of binary combinations of botanical pesticides for rotifer elimination in microalgal cultivation. Bio-resour. Technol. 154: 67-73.

13. Islam, M. S., and Akter, M. J. 2013. Larvicidal efficacies of some plant extracts and their synergistic effects with cypermethrin on the life-history traits of *Musca domestica* L. *Int. J. Innov. Biosci.* 3: 92-103.
14. Kamala Jayanthi, P. D., and Padmavathamma, K. 2001. Joint action of microbial and chemical insecticides on *Spodoptera litura* (Fab.) (Lepidoptera: Noctuidae). *J. Trop. Agric.* 39: 142-144.
15. Li, X. S., Lu, B. S., and Pan, X. B. 2006. Toxic efficacy of *Bacillus thuringiensis* and chemical insecticide on Ko-ji insect pests. *Agrochemicals* 45: 344-345.
16. Pree, D. J., and Daly, J. C. 1996. Toxicity of mixtures of *Bacillus thuringiensis* with endosulfan and other insecticides to the cotton boll worm *Helicoverpa armigera*. *Pestic. Sci.* 48: 199-204.
17. Salama, H. S., Foda, M. S., Zaki, F. N., and Moawad, S. 1984. Potency of combinations of *Bacillus thuringiensis* and chemical insecticides on *Spodoptera littoralis* (Lepidoptera: Noctuidae). *J. Econ. Entomol.* 77: 885-890.
18. Schnepf, E., Crickmore, N., Van Rie, J., Lereclus, D., Baum, J., Feitelson, J., Zeigler, D. R., and Dean, D. H. 1998. *Bacillus thuringiensis* and its pesticidal crystal proteins. *Microbiol. Mol. Biol. Rev.* 62: 775-806.
19. Sokolyanskaya, M. P. 2013. Ways of overcoming insecticide resistance: use of mixtures and rotations of insecticides. *Resist. Pest Manage. Newsl.* 22: 10-14.
20. Sun, Y. P. 1950. Toxicity index-an improved method of comparing the relative toxicity of insecticides. *J. Econ. Entomol.* 43: 45-53.
21. Sun, Y. P., and Johnson, E. R. 1960a. Analysis of joint action of insecticides against house flies. *J. Econ. Entomol.* 53: 887-892.
22. Sun, Y. P., and Johnson, E. R. 1960b. Synergistic and antagonistic action of insecticides-synergist combinations and their mode of action. *J. Agric. Food Chem.* 8: 261-266.
23. Marrone, P. G., and Macintosh, S. C. 1993. Resistance to *Bacillus thuringiensis* and resistance management, p. 221-231. *In*: P. F. Entwistle, J. S. Cory, M. J. Bailey, and S. Higgs [eds.], *Bacillus thuringiensis*, an Environmental Biopesticide: Theory and Practice. Wiley, New York, USA. 330 pp.
24. Mazarin, A., Nukenine, E. N., Niu, C., and Vincent, F. V. 2016. Synergistic effects of wood ash and essential oil on fecundity, pupal eclosion and adult mortality of *Callosbruchus maculatus* (Coleoptera: Bruchidae) cowpea seed weevil. *Am. J. Exp. Agric.* 11:1-12.
25. Narkhede, C. P., Patil, C. D., Suryawanshi, R. K., Koli, S. H., Mohite, B. V., and Patil,

- S. V. 2017. Synergistic effect of certain insecticides combined with *Bacillus thuringiensis* on mosquito larvae. J. Entomol. Acarol. Res. 49: 22-27.
26. Wilkinson, C. F. 1971. Effect of synergists on the metabolism and toxicity of anticholinesterase. Bull. World Health Organ 44: 171-190.
27. Zhang, C., Liu, R., He, J., Ma, Z., and Zhang, X. 2016. Chemical compositions of *Ligusticum chuanxiong* oil and lemongrass oil and their joint action against *Aphis citricola* van der goot (Hemiptera: Aphididae). Molecules 21: 1-10.

Assessing the Effects of Mixing *Bacillus thuringiensis* with other Pesticides on the Biological Activities of *Plutella xylostella* and *Spodoptera litura*

Fei-Ting Hu¹, Sheueh Kuo¹, Ching-Chou Tzeng^{1*}

Abstract

Hu, F. T., Kuo, S., and Tzeng, C. C. 2018. Assessing the effects of mixing *Bacillus thuringiensis* with other pesticides on the biological activities of *Plutella xylostella* and *Spodoptera litura*. Taiwan Pestic. Sci. 4: 21-36.

Current agricultural policy primarily focuses on safety and sustainability. Significant progress has been made in the development of microbial agents, and these agents are increasingly employed by farmers. Microbial agents are less dangerous and more specific than chemical pesticides, and furthermore, these agents are harmless to humans, animals, natural enemies of pests, and beneficial organisms. Microbial agents can also be used in conjunction with chemical pesticides to (1) reduce the amount of chemical pesticide that is required to protect agricultural crops and (2) achieve more comprehensive crop management. The current study focused on developing methods by which *B. thuringiensis* can be mixed with chemical pesticides. In so doing, our goal was to reduce chemical pesticide use while still ensuring that crops are sufficiently protected. For this, recommended concentrations of *Bacillus thuringiensis* subsp. *aizawai* (*Bta*) and *B. thuringiensis* subsp. *kurstaki* (*Btk*) were used, and microbial agents were mixed with chemical insecticides (applied at the full label recommended concentration or at half or a quarter of this concentration), chemical fungicides, or other common microbial agents. Co-toxicity of mixtures involving

Accepted: August 2, 2018.

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

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

B. thuringiensis subsp. *kurstaki* E911 and chemical insecticides (pyrethroids, neonicotinoids, avermectins, milbemycins, or carbamates) used full or half-recommended concentration to *P. xylostella* were independent effect or synergistic effect. This indicates that mixing *B. thuringiensis* with the aforementioned chemical insecticides did not lead to adverse effects. However, when *B. thuringiensis* was mixed with organophosphate or chemical insecticides (at full or half recommended concentration) that contained emulsifiable concentrates, antagonistic effects were observed; therefore, *B. thuringiensis* should not be mixed with these compounds. In contrast, mixing *B. thuringiensis* with chemical fungicides that contained emulsifiable concentrates yielded a mixture that was less toxic than was *B. thuringiensis* alone. This suggests that, if the primary pests only belong to the order Lepidoptera, strong control can be achieved when only *B. thuringiensis* is used.

Key words: *Bacillus thuringiensis*, co-toxicity coefficient, pesticide mixture, antagonistic effect, independent effect, synergistic effect.