台灣昆蟲 23: 189-197 (2003)
Formosan Entomol. 23: 189-197 (2003)

輻射照射處理對不同蟲期花姬捲葉蛾 (*Eucosma notanthes*) (鱗翅目：捲葉蛾科) 存活及繁殖之影響

林俊耀　洪淑彬*　國立台灣大學昆蟲學研究所　台北市羅斯福路四段 113 巷 27 號
洪巧珍　農委會農業藥物毒物試驗所　臺中縣 413 霧峰鄉舊正村光明路 11 號

摘　要

昆蟲在卵期或幼蟲期等階段經不同劑量的輻射照射處理，可造成其卵孵化率、幼蟲發育期、幼蟲化蛹率、成蟲羽化率以及成蟲繁殖等方面的影響，而達到殺滅害蟲之效果。爲探討輻射照射處理應用之可行性，本試驗針對楊桃的關鍵害蟲花姬捲葉蛾 (*Eucosma notanthes* Meyrick) 不同齡期進行輻射處理試驗，結果顯示卵期最爲敏感，只需 76.57 Gy 即可達到 99.5% 之致死率。處理幼蟲之試驗顯示 3 齡幼蟲較 4 齡幼蟲敏感，如欲致花姬捲葉蛾 3 齡和 4 齡幼蟲無法化蛹，其 $LD_{99.5}$ 分別爲 273 及 381 Gy；然而並非所有蛹均可羽化，因此實際致使幼蟲 99.5% 無法羽化之劑量只需 131 Gy。處理蛹期的試驗顯示，雌蟲較爲敏感，其達到 99.5% 之致死率的劑量需要 192 Gy，而雄蟲則需高達 400 Gy 才能使 99.5% 的蛹無法羽化。惟處理劑量在 150 Gy 時，成蟲已無產卵，而處理劑量 100 Gy 所產蟲卵已無法孵化爲幼蟲。根據試驗結果照射處理之劑量達 100 Gy 即有使成蟲不孕之效果；如要完全殺滅花姬捲葉蛾則需 400 Gy 的處理劑量，均遠低於世界糧農組織所訂定之安全標準 10 kGy，顯見花姬捲葉蛾進行輻射處理殺蟲應是安全無疑慮。如果處理劑量對楊桃品質沒有不良作用，且能將放射處理流程標準化，將可實際應用於花姬捲葉蛾之檢疫處理上。

關鍵詞：花姬捲葉蛾、輻射照射、檢疫處理

前　言

輻射照射技術在農產食品上的應用，是爲了達到殺蟲、殺菌、降低菌數、抑制發芽、延緩蔬果後熟及品質改善等功能 (Wu and Tsian, 2000)。此種技術之優點包括：操作簡單、方便而有效、加馬射線穿透力強且均勻度佳、可大量迅速處理樣品以及可減少化學藥物之濫用。此外，食品可在包裝後進行處理，直到消費者開袋使用前，都不會受到污染，品質可保存得更好。況且只要正確應用於適當的產品，輻射照射並不影響農產品的營養品質，也

*論文聯繫人
e-mail:sbhorng@ccms.ntu.edu.tw

不會明顯改變食物的風味、組織或外觀(Wu and Tsian, 2000; Hallman, 2001)。此外，在一般的處理程序下，應用此種技術，並不會在農產品上留下輻射性物質，亦即不會使食品具有輻射性。雖然農產品經過照射，會產生一些化學物質，但對健康並無危害 (Wu and Tsian, 2000)。目前，台灣的「食品輻射處理標準」中，已公佈用於抑制馬鈴薯、甘藷、生薑、洋蔥、大蒜及蔥之發芽(Wu and Tsian, 2000)；延長木瓜、芒果之儲存期；防治穀類及豆類之病蟲害等共 15 項照射標準(Wu and Tsian, 2000)。其中以輻射照射處理害蟲已成爲檢疫處理之重要措施(Hallman, 2001)。

根據 Balock *et al.* (1963)指出，在昆蟲的卵期或幼蟲期等階段，以不同劑量的輻射照射加以處理，可對其卵孵化率、幼蟲發育、幼蟲化蛹率、成蟲羽化率以及成蟲繁殖等方面造成影響，而達到殺滅害蟲之效果。台灣目前已成功的建立了小包裝米及蒜頭的輻射線照射處理標準程序，能有效地殺滅米象(*Sitophilus oryzae* Lin.) 及長角象鼻蟲 (*Araecerus fasciculatus* De Deer)等倉儲害蟲，顯見輻射線照射處理應用在害蟲防治上之可行性(Hu, 2000; Hu *et al.*, 2002)甚好。

台灣所生產的楊桃，無論是果形或甜度，在國際上能與之匹敵的並不多。目前楊桃出口之檢疫，多以低溫處理爲主，在 1℃下連續冷藏 14 天以上。惟因有凍傷等寒害問題而致影響銷售(Wang *et al.*, 1997)，亟待發展新的替代性檢疫處理方法，來解決此一困擾。

過去，國外對重要害蟲之輻射處理，雖曾進行許多相關研究(Seo *et al.*, 1973; Lester and Petry, 1995; Lester and Barrington, 1997; Follett and Lower, 2000; Lester *et al.*, 2000)，其中也包括了水果害蟲的檢疫處理。但是，由於台灣的水果種類及品種與國外並不相同，無法直接參照使用，而且這些研究中，並無與花姬捲葉蛾(*Eucosma notanthes* Meyrick)輻射處理相關者，因此本試驗特別針對外銷楊桃之關鍵害蟲花姬捲葉蛾進行 γ 放射線照射試驗，來瞭解各蟲期對輻射照射之敏感性，以期訂定出最低致死照射量，未來可進行輻射照射處理流程之標準化。如果此一技術能被實際應用於檢疫處理上，則應可配合國際潮流，加強農產品國際化之趨勢。

材料與方法

一、供試蟲源與輻射處理

試驗之蟲源係取自台中縣霧峰鄉農委會農業藥物毒物試驗所化學傳訊素研究室大量飼育之花姬捲葉蛾，其幼蟲以玉米人工飼料飼育於塑膠飼養盒(直徑 22 cm、高 7 cm)，飼育及試驗皆置於 25±1℃，光照 12 小時，相對溼度 70±5 % 之恆溫生長箱中(Hung and Hwang, 1991)。

爲了解輻射處理對花姬捲葉蛾之影響，分別進行卵期、幼蟲期及蛹期等之輻射處理試驗，輻射處理於核能研究所進行，輻射源採用鈷 60，劑量率：21.81 Gy/min。試驗時，調整照射時間長短以訂定不同照射劑量。

二、照射劑量對卵存活之影響試驗

取 2 日齡花姬捲葉蛾卵一批，處理之輻射劑量範圍訂爲 0~150 Gy，計分別處理 0, 10, 25, 50, 100 及 150 Gy 等六種劑量。處理時，係將 15 粒卵置於直徑 3.5 cm 培養皿中當作處理單位，每處理劑量 4 重複共測試 60 粒卵，處理後逐日觀察並紀錄其孵化數。

三、照射劑量對幼蟲存活之影響試驗

花姬捲葉蛾幼蟲期有 5 個齡期。試驗時，

取第 3 齡及第 4 齡幼蟲進行輻射處理試驗，處理劑量有 0, 50, 100, 150 及 250 Gy 等五種，3 至 6 重複。試驗時，先將每 10 隻 3 齡幼蟲以及 4 齡幼蟲 15 隻分別置於 9 cm 培養皿中，並附上少許人工飼料供其取食，作爲輻射處理單位。經不同輻射劑量照射後，逐日觀察記錄其存活數、化蛹數及羽化成蟲數。

四、照射劑量對蛹存活及成蟲繁殖之影響試驗

花姬捲葉蛾雌、雄蛹體型大小差異大，易於區分。試驗時，取化蛹日期相同之雌、雄蛹各一批，每 10 個蛹置於 9 cm 培養皿中，作爲輻射處理單位。比較 0, 50, 75, 100, 150, 250 及 300 Gy 等輻射照射劑量對蛹期存活率之影響，雌、雄蟲分開處理，各 3 個重複。處理後逐日紀錄其存活數及羽化數。並將同一處理下之羽化成蟲，同日羽化之雌、雄蛾以 1♀＋1♂配對於透明塑膠袋中，並提供糖水爲食物，觀察紀錄成蟲壽命及產卵數，以了解輻射對繁殖之影響。

五、資料分析

不同劑量處理各蟲期之存活蟲數進行變方分析(ANOVA)後，以最小顯著差異法(LSD)，比較處理間平均存活蟲數之差異性。此外，各蟲期之死亡蟲數計算死亡率後，與照射劑量資料進行機率值分析(probit analysis)，以求得半致死或半不育照射劑量(LD_{50})以及 99.5 % 致死所需照射劑量($LD_{99.5}$)(Burditt *et al*., 1971; Tuncbilek, 1997)，機率值分析以 SAS 之 PROC GENMOD 進行分析(SAS, 1996)。

結　　果

一、照射劑量對卵期存活之影響

卵期輻射照射處理結果如表一，照射劑量 20 Gy 即可造成存活卵數顯著減少，在處理劑量超過 100 Gy 之後，已無幼蟲孵化出來。計算其 LD_{50} 及 $LD_{99.5}$，分別爲 28.96 Gy 及 76.57 Gy(如表六)，可知處理劑量達 100 Gy 即可完全殺滅蟲卵，顯見卵期對輻射相當敏感。

二、照射劑量對幼蟲存活之影響

幼蟲期輻射照射處理結果如表二及三，3 齡幼蟲在處理劑量爲 50 Gy 時，化蛹數即顯著減少；當達 250 Gy 之處理劑量時，已皆無幼蟲成功化蛹。處理劑量爲 50 Gy 時，可造成羽化蟲數顯著減少；在 150 Gy 處理下雖有幼蟲化蛹，但是皆無成蟲羽化(如表二)。以蛹期的死亡率計算其 LD_{50} 及 $LD_{99.5}$ 分別爲 52.68 Gy 及 272.83 Gy，因此要達到幼蟲無法化蛹其處理劑量需要 273 Gy 以上；以羽化時之死亡率計算其 LD_{50} 及 $LD_{99.5}$ 分別爲 19.26 Gy 及 131.25 Gy，要達到無成蟲羽化則只需 132 Gy(如表六)。因此就 3 齡幼蟲而言，150 Gy 以內即造成絕育的效果。

而 4 齡幼蟲 50 Gy 之處理劑量下，化蛹數即顯著減少；在 250 Gy 之劑量下幼蟲成功化蛹率僅 1.7 %，在 25 Gy 處理下，已造成羽化蟲數顯著減少，而在 150 Gy 處理下雖有幼蟲化蛹，但是皆無成蟲羽化(表三)。以蛹期死亡率計算其 LD_{50} 及 $LD_{99.5}$ 分別爲 91.43 Gy 及 380.85 Gy(表六)。因此若要幼蟲尚未化蛹即致死，處理劑量需高於 380 Gy；以羽化時之死亡率計算其 LD_{50} 及 $LD_{99.5}$ 分別爲 7.85 Gy 及 117.93 Gy(表六)，因此要達到無成蟲羽化，處理劑量只需高於 118 Gy。以 4 齡蟲爲對象時，若以絕育爲目的，其處理劑量只需 150 Gy 即可。

三、照射劑量對蛹存活及成蟲繁殖之影響

表一　花姬捲葉蛾卵經不同劑量輻射處理後對其孵化率之效應
Table 1.　Effect of gamma radiation on eggs of the carambola fruit borer, *Eucosma notanthes*

Radiation dose (Gy)	Mean ± S.E.	Hatchability (%)
Control	13.40 ± 0.40 a[1)]	89.33
10	13.75 ± 0.48 a	91.67
20	9.25 ± 1.55 b	61.67
50	1.50 ± 0.29 c	10.00
100	0.00 ± 0.00 c	0
150	0.00 ± 0.00 c	0

1) Means within a column followed by different letters significantly differ ($p < 0.05$) by the least significant difference test.

表二　花姬捲葉蛾三齡幼蟲經不同劑量輻射處理後對其化蛹及成蟲羽化之效應
Table 2.　Numbers of pupae and adults developing from gamma-irradiated third instar larvae of the carambola fruit borer, *Eucosma notanthes*

Radiation dose (Gy)	Pupation		Emergence	
	Mean ± S.E.	Survival rate (%)	Mean ± S.E.	Survival rate (%)
Control	8.00 ± 0.58 a[1)]	80.00	6.33 ± 0.33 a	63.33
50	4.33 ± 0.33 b	43.33	2.83 ± 1.67 b	28.33
100	3.17 ± 0.60 bc	31.67	0.17 ± 0.17 c	1.67
150	1.67 ± 0.67 c	16.67	0.00 ± 0.00 c	0
250	0.00 ± 0.00 d	0	0.00 ± 0.00 c	0

1) Means within a column followed by different letters significantly differ ($p < 0.05$) by the least significant difference test.

蛹期輻射照射處理結果如表四及五，可造成羽化蟲數顯著降低之照射劑量，在雌、雄蛹分別爲 100 及 150 Gy，雌蛹較雄蛹爲敏感。在 300 Gy 照射處理下，已無雌蟲羽化，但雄蟲仍有 6.7 % 羽化。計算其 LD_{50} 及 $LD_{99.5}$，雌蟲爲 23.21 Gy 及 191.56 Gy，雄蟲則爲 139.37 Gy 及 399.55 Gy。因此殺滅雌蟲之劑量需高於 192 Gy，而殺滅雄蟲則需高於 400 Gy 之劑量(表六)。然而因爲雌蟲無法存活已足可達絕育之效，因此處理劑量 200 Gy 已然足夠。另外對雌蟲產卵數及卵孵化率之影響試驗部分，顯示劑量在 50 Gy 時，即可造成羽化雌蟲產卵及卵孵化率顯著降低(表五)；達 150 Gy 時，成蟲已皆無產卵，而在 100 Gy 劑量下，所產卵已皆無幼蟲孵化，顯示造成成蟲不孕的劑量比致使成蟲無法羽化低的多，只需 100 Gy 即能令蟲蛹羽化後不孕。

討　　論

由於害蟲各蟲期對輻射照射的敏感度並不一致，利用輻射照射處理檢疫害蟲時，首先需要測定殺滅各蟲期所需的最低致死劑量，以選定經濟有效的照射劑量，建立處理檢疫害蟲之標準流程。本試驗結果顯示花姬捲葉蛾的卵期對輻射相當敏感，在 100 Gy 的劑量即可完全致死(表一)，處理蛹期時，也發現處理劑量 150 Gy 時，羽化成蟲已不產卵；而處理劑量達 100 Gy，雖有少量卵產出，但所產卵已無法孵化爲幼蟲(表五)。因此已產出及未產出的

表三　花姬捲葉蛾四齡幼蟲經不同劑量輻射處理後對其化蛹及成蟲羽化之效應

Table 3. Numbers of pupae and adults developing from gamma-irradiated fourth instar larvae of the carambola fruit borer, *Eucosma notanthes*

Radiation dose (Gy)	Pupation		Emergence	
	Mean ± S.E.	Survival rate (%)	Mean ± S.E.	Survival rate (%)
Control	12.33 ± 0.33 a[1)]	82.22	8.33 ± 0.33 a	55.56
25	9.67 ± 0.33 ab	64.44	5.67 ± 1.45 b	37.78
50	8.00 ± 0.71 b	53.33	2.25 ± 0.85 c	15.00
100	9.25 ± 0.63 bc	61.67	0.25 ± 0.25 d	1.67
150	5.75 ± 1.75 c	38.33	0.00 ± 0.00 d	0
250	0.25 ± 0.25 d	1.67	0.00 ± 0.00 d	0

1) Means within a column followed by different letters significantly differ ($p < 0.05$) by the least significant difference test.

表四　花姬捲葉蛾蛹期經不同劑量輻射處理後對羽化之效應

Table 4. Numbers of adults emerging from gamma-irradiated pupae of the carambola fruit borer, *Eucosma notanthes*

Radiation dose (Gy)	Females		Males	
	Mean ± S.E.	Survival rate (%)	Mean ± S.E.	Survival rate (%)
Control	8.67 ± 0.33 a[1)]	86.67	9.00 ± 0.58 a	90.00
50	7.90 ± 1.08 a	78.79	9.10 ± 0.52 a	90.91
75	6.33 ± 1.20 a	63.33	6.67 ± 0.33 ab	66.67
100	3.67 ± 0.67 b	36.67	6.33 ± 1.76 ab	63.33
150	1.67 ± 0.33 bc	16.67	4.33 ± 0.88 b	43.33
300	0.00 ± 0.00 c	0	0.67 ± 0.33 c	6.67

1) Means within a column followed by different letters significantly differ ($p < 0.05$) by the least significant difference test.

卵可能均對輻射照射相當敏感，另一個造成不產卵或卵不孵化的原因可能與精子傳送量減少有關。地中海粉斑螟蛾(*Ephestia kuehniella* Keller) 的研究顯示以輻射照射處理蛹期，導致精子傳送量減少，並延長交尾時間，而繁殖率又與精子傳送量有相關(Koudelova and Cook, 2001)。

本試驗結果亦顯示殺滅雄蟲所需的劑量遠高於雌蟲者(表四)，而致雌蟲不產卵的劑量較低，使卵不孵化的劑量則更低，在應用上，如以使害蟲不致侵入及立足爲目的，則只要使用能致雌蟲絕育的處理劑量即可，如此將可大量降低處理劑量，省時又經濟。又試驗結果顯示 3 齡幼蟲較 4 齡幼蟲對輻射照射敏感(表二、三)，而蛹期對輻射照射忍受力又較 4 齡幼蟲爲強(表四)，因此幼蟲齡期的增加可能對輻射照射的忍受力亦增加，而蛹殼的保護可能是蛹期對輻射照射忍受力增強的原因之一。據介殼蟲的研究顯示蠟質的分泌與保護，使輻射照射所需劑量提高(Angerilli and Fitzgibbon, 1990)；而非洲菊斑潛蠅(*Liriomyza trifolii* Burgess)化蛹日數增加，其對輻射的抵抗力也越強(Yathom *et al.*, 1990)。

輻射照射可在貨品包裝後進行處理，有利於貨品品質的保存，也使處理流程更爲方便。參考本研究的結果，選擇適當的劑量對不同品種的楊桃果實及不同的包裝處理，進行接蟲與輻射照射處理，是建立花姬捲葉蛾輻射照射檢

表五　花姬捲葉蛾蛹期經不同劑量輻射處理後對羽化成蟲產卵及卵孵化之作用

Table 5. Numbers of eggs laid by adults and the hatchability of those eggs from irradiated pupae of the carambola fruit borer, *Eucosma notanthes*

Radiation dose (Gy)	No. of eggs		No. of eggs hatching	
	Mean ± S.E.	Percent of control	Mean ± S.E.	Hatchability (%)
Control	82.50 ± 9.58 a[1)]	100.00	82.50 ± 9.58 a	100.00
50	57.11 ± 9.58 b	69.22	55.56 ± 9.54 b	96.55
75	13.50 ± 4.18 c	16.36	5.63 ± 3.61 c	28.51
100	3.42 ± 0.69 c	4.15	0.00 ± 0.00 c	0
150	0.00 ± 0.00 c	0	0.00 ± 0.00 c	0
300	0.00 ± 0.00 c	0	0.00 ± 0.00 c	0

1) Means within a column followed by different letters significantly differ ($p < 0.05$) by the least significant difference test.

表六　不同蟲期花姬捲葉蛾經輻射處理之機率值回歸方程式、半致死劑量及 99.5% 致死劑量

Table 6. Probit regression equations, and LD_{50} and $LD_{99.5}$ values of different stages of the carambola fruit borer, *Eucosma notanthes*, after irradiation treatment

Stage	Regression equation	p	LD_{50}	$LD_{99.5}$
Egg	Y = 0.054X-1.567	< 0.0001	28.96	76.57
3rd instar larva to pupa	Y = 0.012X-0.616	< 0.0001	52.68	272.83
3rd instar larva to adult	Y = 0.023X-0.443	< 0.0001	19.26	131.25
4th instar larva to pupa	Y = 0.009X-0.814	< 0.0001	91.43	380.85
4th instar larva to adult	Y = 0.023X-0.184	< 0.0001	7.85	117.93
Pupa to female adult	Y = 0.015X-0.355	< 0.0001	23.21	191.56
Pupa to male adult	Y = 0.010X-1.380	< 0.0001	139.37	399.55

疫標準流程的下一步重要工作。此外，輻射照射處理對不同品種楊桃的品質影響如何？也是建立標準流程前必須進行的試驗。

輻射照射檢疫處理技術日漸受到重視，相關研究也顯著增加，主要包括重要的果實害蟲，如：果實蠅類、鱗翅類等及儲存食品中的鞘翅類及鱗翅類害蟲(Burditt, 1994; Hallman, 2001; Lin *et al*., 2001)。在各種檢疫處理措施中，輻射照射具有運用範圍廣，貨品耐受性較高，處理快速，方便及不易產生抗性等優點；社會大眾的接受度及處理費用則屬中等(Hallman, 2001)。其實聯合國糧農組織(FAO)、國際原能總署(IAEA)及世界衛生組織(WHO)等國際組織於 1980 年即宣佈：在 10 kGy(千格雷)以下劑量照射的食品是衛生安全的，不需再經任何毒性試驗，而且該類食品亦無營養及微生物方面之特殊問題。因此國際間已公認經照射 10 kGy 以下劑量輻射線之食品，並無急毒性、遺傳毒性、致癌性及催畸形性等的毒性(Burditt, 1994; Wu and Tsian, 2000)。本研究顯示殺滅花姬捲葉蛾蛹之劑量低於 400 Gy，仍遠低於我國衛生署核准的滅蟲劑量 1 kGy，因此建立此蟲之輻射照射處理技術應屬可行。

以楊桃上花姬捲葉蛾的檢疫處理爲例，在溴化甲烷等燻蒸處理被禁後，低溫處理又有凍傷等寒害問題，輻射照射不失爲一理想的替代方案。本研究結果將有助於經濟和省時的標準處理流程的建立。雖然，社會大眾對輻射照射的接受度及處理費用較高仍待改善，經由更詳

細嚴謹的研究，將有助於提高社會大眾的接受度。ISPM (International Standards for Phytosanitary Measures) 在 2002 年公佈「Guideline for the use of irradiation as a phytosanitary measure」，也有助於使輻射照射檢疫處理標準流程有一致的依據，有利於各國的相互承認，也將使輻射照射成爲未來檢疫處理的重要手段(FAO ISPM, 2002)。

致　謝

本研究承農委會 91 農科-7.3.2-檢-B2 之經費補助，以及行政院原子能委員會核能研究所胡燦博士協助輻射照射處理，謹誌謝忱。

引用文獻

Angerilli, N. P. D., and F. Fitzgibbon. 1990. Effect of cobalt gamma radiation on San Jose scale (Homoptera: Diaspididae) survival on apples in cold and controlled-atmosphere storage. J. Econ. Entomol. 83: 892-895.

Burditt, A. K. Jr. 1994. Irradiation. pp.101-117. *In*: J. L. Sharp, and G. J. Hallman, eds. Quarantine Treatments for Pests of Food Plants. Westview Press, Oxford, UK. 290 pp.

Balock, J. W., A. K. Burditt Jr., and L. D. Christenson. 1963. Effects of gamma radiation on various stages of three fruit fly species. J. Econ. Entomol. 56: 42-46.

Burditt, A. K. Jr., S. T. Seo, and J. W. Balock. 1971. Basis for developing quarantine treatments for fruit flies. Disinfestation of fruit by irradiation. PL-422/5 International Atomic Energy Agency, Vienna. 1971. pp. 27-31.

FAO ISPM. 2002. Guideline for the use of irradiation as a phytosanitary measure. Food and Agriculture Organization. 19 pp.

Follett, P. A., and R. A. Lower. 2000. Irradiation to ensure quarantine security for *Cryptophlebia* spp. (Lepidoptera: Tortricidae) in sapindaceous fruits from Hawaii. J. Econ. Entomol. 93: 1848–1854.

Hallman, G. J. 2001. Irradiation as a quarantine treatment. pp.113-130. *In*: R. A. Molins, ed. Food Irradiation: Principles and Applications. J. Wiley & Sons, New York. 469 pp.

Hu, T. 2000. Review of research and development of applying irradiation on agriculture in Institute of Nuclear Energy Research. Ultrasonics 34: 47-53 (in Chinese).

Hu, T., C. C. Chen, and W. K. Peng. 2002. Lethal effect of gamma radiation on *Sitophilus oryzae* (L.) (Coleoptera: Curculionidae). Formosan Entomol. 22: 229-236 (in Chinese).

Hung, C. C., and J. S. Hwang. 1991. Mass rearing method of the carambola fruit borer, *Eucosma notanthes* Meyrick. Chinese J. Entomol. 11: 203-212 (in Chinese).

Koudelova, J., and P. A. Cook. 2001. Effect of gamma radiation and sex-linked recessive lethal mutations

on sperm transfer in *Ephestia kuehniella* (Lepidoptera: Pyralidae). Fla. Entomol. 84: 172-182.

Lester P. J., and R. J. Petry. 1995. Gamma irradiation for after harvest disinfestation of diapausing twospotted spider mite (Acari: Tetranychidae). J. Econ. Entomol. 88: 1361-1364.

Lester, P. J., and A. M. Barrington. 1997. Gamma irradiation for postharvest disinfestation of *Ctenopseustis obliquana* (Walker) (Lep., Tortricidae). J. Appl. Entomol. 121: 107-110.

Lester, P. J., D. J. Rogers, R. J. Petry, P. G. Connolly, and P. Robertson. 2000. The lethal effects of gamma irradiation on larvae of the Huhu beetle larvae, *Prinoplus reticularis*: a potential quarantine treatment for New Zealand export pine trees. Entomol. Exp. Appl. 94: 237-242.

Lin, Y., H. Y. Liu, X. L. Li, and P. X. Shi. 2001. The establishment of good irradiation practice for insect disinfestations of cereal grain products. Acta Agric. Nucleatae Sinica. 15: 311-314 (in Chinese).

SAS Institute. 1996. SAS/STAT software: changes and enhancements. SAS Institute Inc., Cary, NC.

Seo, S. T., R. M. Kobayashi, D. L. Chambers, A. N. Dollar, and M. Komura. 1973. Hawaiian fruit flies in papaya, bell pepper, and egg-plant: quarantine treatment with gamma irradiation. J. Econ. Entomol. 66: 937-939.

Tuncbilek, A. S. 1997. Susceptibility of the saw-toothed grain beetle, *Oryzaephilus surinamensis* (L.), to gamma radiation. J. Stored Prod. Res. 33: 331-334.

Wu, T. G., and M. S. Tsian. 2000. Current development of the law for food irradiation. Ultrasonics 34: 7-17 (in Chinese).

Wang, T. C., C. C. Shiesh, and D. S. Lin. 1997. Studies on export suitability of different carambola cultivars. J. Agric. Res. China 46: 278-293 (in Chinese).

Yathom, S., R. Padova, S. Tal, and I. Ross. 1990. Effects of gamma radiation on the immature stages of *Liriomyza trifolii*. Phytoparasitica 18: 117-124.

收件日期：2003 年 4 月 10 日
接受日期：2003 年 6 月 16 日

Effects of Gamma Radiation on Survival and Reproduction of the Carambola Fruit Borer, *Eucosma notanthes* Meyrick (Lepidoptera: Tortricidae)

Jun-Yaw Lin, and Shwu-Bin Horng* Department of Entomology, National Taiwan University, Taipei 106, Taiwan, R.O.C.
Chau-Chin Hung Taiwan Agricultural Chemicals and Toxic Substances Research Institute, Council of Agriculture, Wufeng, Taichung 413, Taiwan, R.O.C.

ABSTRACT

Eucosma notanthes is an important quarantine pest for exported carambola in Taiwan. To evaluate the possibility of applying gamma irradiation treatment against this pest, the eggs, larvae, and pupae were separately exposed to gamma radiation in the Institute of Nuclear Energy Research's mega curie Co-60 irradiation plant at dosages ranging from 50 to 400 Gy. A dose of 76.57 Gy could prevent 99.5% of eggs from hatching. Prevention of larvae from developing to pupae at the 99.5% level was accomplished with estimated doses of 273 and 381 Gy for third and fourth instar larvae, respectively, while a dose of less than 131 Gy was required for preventing larvae from developing to the adult stage. When pupae were irradiated, adult emergence was completely prevented with doses of 192 and 400 Gy for females and males, respectively. Doses above 100 Gy appeared to produce sterility in this pest. Doses for irradiation quarantine treatment against *E. notanthes* were substantially lower than 10 kGy, the safety standard of the FAO. We therefore conclude that irradiation treatment is suitable for controlling this pest.

Key words: *Eucosma notanthes*, gamma radiation, quarantine treatment