

# 作物蟲害管理的 生態學基礎\*

陳秋男

## 前 言

謀求更完善的植物保護技術，估計可使每年世界的農產品增產 10~15% 以上。本文旨在闡明蟲害管理技術與策略的運用，均以生態的原則為基礎，所以唯有採取有系統的生態研究途徑才能改進目前的害蟲防治方法。

### 蟲害管理與糧食增產

糧食缺乏是當今人類共同關切的問題，而在科學家探求糧食增產方法中，作物保護是不可或缺的一環。作物從種植到收穫的過程中，其根、莖、葉、花、果實、及種子之一部分，都有受到一種或兩種以上有害生物（pest）同時或先後加以損害的可能，嚴重者致死，輕者導致減產。甚至收穫後的產品，在搬運、在市場、或貯存期中，也擺脫不了有害生物的威脅。有害生物可以因直接損害或因其與作物競爭而造成作物產量損失。這些生物主要有節肢動物（如昆蟲及蠕蟲<sup>幼</sup>），寄生性病原（如真菌、細菌、菌質體及病毒體等），線蟲、齧齒類（如鼠類及野兔）、鳥類、腹足類（如蝸<sup>類</sup>及蝸牛），以及雜草等。

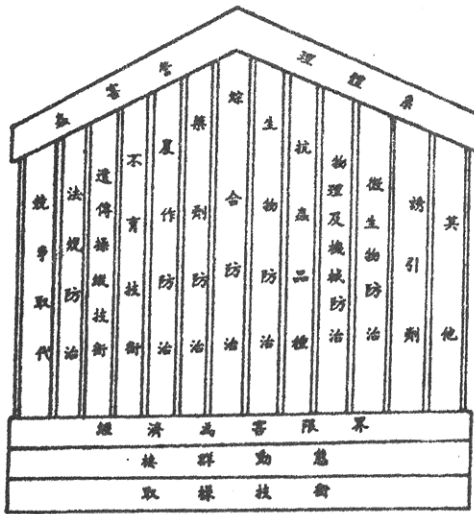
據 1967 年一項估計顯示，全世界作物因有害生物而造成的損失平均約為 35%（一般在 20 到 40% 之間），其中蟲害佔 14%，病害佔 12%，而草害佔 9%。單就糧食作物的損失而言，世界糧農組織曾估計，蟲害引起的損失約為總糧食收穫量的 5%，此損失量約等於 13 億人口一年的食用量。1969 年另一統計資料顯示，全世界的農產品一年蒙受蟲害的損失（包括防治費用及產量損失）約值美金 297 億元之鉅。即使技術發達如美國的已開發國家，其損失也達 35 億美元。但科學家深信，若能改善目前的植物保護方法，則損失率至少可減少 30—50%，亦即每年世界的農產品可增產 10—15% 以上。是故，謀求更完善的蟲害管理（Insect<sup>s</sup> pest management）方法是昆蟲學者當務之急。

\* 臺灣植物保護中心昆蟲組綜合論述第 17 號

## 作物蟲害管理簡介

作物蟲害管理是應用生態學的一支。它是  
以人類的經濟利益為目標，以生態的原理為基  
礎，綜合應用適當的防治技術於一農業生態系  
(agroecosystem)中，企圖調節(或抑制)  
作物主要害蟲棲群於一經濟容許的限度之下，  
並使因防治措施所引起的不良影響減到最低限  
度。蟲害管理不但要減少作物損失至最低限度  
，同時也要兼顧維持良好的環境品質。其考慮  
是系統的、是全盤的；其管理技術兼採藥劑與  
非藥劑的方法。

若將蟲害管理比喻為建築房屋，則其基礎  
與架構如圖一所示。



圖一 蟲害管理的基礎與架構



本文作者陳秋男先生為  
伊利諾大學昆蟲學博士  
，現任台灣植物保護中  
心技正，台灣大學及中  
興大學兼任副教授，曾  
著有有關昆蟲生態與蟲  
害管理論文多篇。

由圖一可知，所有防治技術都是蟲害管理體系  
的支架，但其運用均奠基於經濟為害界限( *economic thresholds* )、棲群動態( *population dynamics* )、及取樣技術( *sampling techniques* )等三大基礎上。

目前已知可行的防蟲及治蟲技術很多，但  
考其原則不外(1)杜絕新的害蟲侵入本地(如法  
規防治中的海關檢疫)以防患未然，或隔絕產  
品不使害蟲加害(如套袋或裝罐等)。(2)採用  
圍堵方法不使害蟲蔓延，或改變(或破壞)害  
蟲棲所( *habitat* )使不利於其存活(如農耕  
防治法)。(3)利用各種致死方法(如物理的、  
機械的、化學的、或生物的方法)以減少害蟲  
數目。(4)種植免疫性或具抗性的品種，使害蟲  
不能加害或受害輕微；或設法改變種植或收穫  
期以躲避害蟲為害。(5)利用誘集器、誘集品或  
誘陷作物( *trapping crop* )以便宜於集體殺滅。  
(6)釋放超量不育性雄蟲，或遺傳上有缺陷昆  
蟲，使其與自然蟲群的異性交尾，造成不育或  
後代夭折。(7)利用一種昆蟲來競爭取代現有嚴  
重害蟲，以減少損失或易於防治，譬如以非病  
媒昆蟲來取代病媒昆蟲。

然而，無論採用任何防治技術，均應考慮  
到經濟效益及生態後果。此外，防治一種害蟲  
，通常採用一種技術是很難完全成功，一般總  
要同時或先後配合兩種或多種技術才能奏效。  
這是害蟲綜合防治( *Integrated control* )的  
道理之所在。所以綜合防治與其說是防治技術  
的一種，勿寧說是運用兩種或多種技術的一種  
策略。

採用任何一種防治措施，最先決的條件是  
有無必要，防治是否上算，會不會反而得不償  
失，這就是為何要訂定經濟為害限界的道理，  
若防治後所多得的產品價值剛好等於投入的成  
本，則防治當時的害蟲密度就是所謂經濟為害

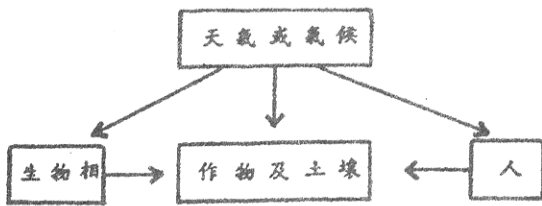
界限。這點考慮既合乎經濟的，也合乎生態的原則。

## 蟲害管理與生態原則

老子說「人法地，地法天，天法道，道法自然」。自然界現象遵循自然的法則，凡事合乎其法則則成功，違反其法則則失敗。生態原則是自然法則的一部份，所以人類唯有深入的認識生態原則，才能預測生物界的現象，並進而利用其原則來操縱某些事項使其合乎人類的利益。蟲害管理也不外乎是利用生態原則來管制害蟲棲群的舉動。而生態學即在探討生物與其棲息環境及生物彼此之間相互影響與依存的關係。生態學的考慮在時空上是連貫的、是系統的、也是全觀的（holistic）。當然，要想在一篇短文中道盡所有與蟲害管理有關的生態原則是不可可能的。本文僅扼要的提示一些較重要者以供讀者參考。

### (一) 考慮農業生態系並維持其適度的複雜性

由蟲害管理的觀點來看，一農業生態系之主要構成因素可簡單圖示為：



圖二

氣候因子主要是日照（太陽能）、溫度、濕度、雨量、氣壓及風等。土壤是作物生長的媒體，包括其物理的及化學的性質。生物相則包括生態系中所有的有益的或有利的動、植物及微生物等。

農業生態系因為是人為管理下的生態體系，所以有別於自然的生態系。其特性是在時間上相當的短暫；作物個體在遺傳上及年齡上較為均質（homogeneous）；行株距整齊劃一（uniform），所以作物個體間競爭性少；人為的施肥與灌溉減低作物蒙受生理壓力（physiological stress）的機會。蟲害管理人員除了應該認識此體系之特性外，還應認清任何加諸於此體系的人為因素均足以影響到它的穩定性（stability）。此外，一種害蟲由於其食性的複雜，可能會來往於兩種或多種作物生態系，此點尤應認明。

任何生態系在自然演變過程中，其構造（如物種的數目及食物網的繁複）均由簡而繁，而其狀態由不穩而趨於穩定。作物生態系由於時期短暫加上人為干擾，往往只停留於消長（succession）過程的某一階段，而無法達到頂峯群落（climax）。雖然如此，由於其內在生物群間的相剋相生彼此牽制，因而仍具有相當限度的自我制衡（homeostasis），生態學者的任務之一，即在探討這些制衡現象，設法維持它或強化它，必要時補助它。蟲害管理的生物防治即建基於此種自然平衡（balance of nature）的信念上。

最近生態系的研究發現，穩定的生態系其物種繁異度（species diversity）比不穩定者高。而且食物鏈越複雜，其系統也愈穩定（但是過度複雜的系統反而趨於不穩）。一般言之，穩定的生態系較能抗拒外加的干擾，而且當受到干擾後，常比不穩定者較快回復原來的狀態，且其穩定狀態較持久。所以生態學者建議，蟲害管理的策略之一即應適度地增加農業生態系空間的（spatial），構造的（structural）及物種的（species）繁異度。而蟲害管理中有關的對應措施。則有如鼓勵間作、

雜作或輪作，以代替大面積長期性單一品種的連作。因此，單作區（如美國玉米帶）或專業區蟲害問題一般均較嚴重。另外，自別處引入天敵以增加種的繁異度等等均與生態系平穩有關。

再者，雜草的存在在農業生態系的構造上也佔有很重要的地位，所以應先評估其利弊之後才決定是否清除。在許多事例中，雜草是害蟲（或病原）渡過困境（如無寄主植物時）的重要避難所，例如水稻田邊的禾本科雜草，常是水稻病媒昆蟲（如黑尾葉蟬）過冬處所，清除雜草則可減少病媒存活機率。

但有些情況，野生植物可能是天敵避難的處所，若清除之則可能影響整個蟲害管理計劃。茲舉一例來說明，在美國加州的聖約昆山谷（San Joaquin valley）盛產葡萄。其中有一主要害蟲叫葡萄葉蟬（*Erythroneura elegantula*）（屬同翅目葉蟬科）。當地果農時常需噴藥防治，可是在靠溪流的葡萄園，雖亦有此害蟲為害，但不防治卻也不影響葡萄的產量與品質。後來經一番研究才知道，原來溪邊葡萄園內的葉蟬受到一種有效的寄生蜂 *Anagrus epos* 的控制，其被寄生率在夏季常高達95—99%，但此寄生蜂在冬季時却需飛到2哩外河邊的常綠野生黑莓（blackberry）上找另外一種黑莓葉蟬（*Dikrella cruentata*）的卵寄生才能越冬。後來山谷葡萄園附近也種植野生黑莓，使寄生蜂在冬季能找到替代寄主，因而發揮生物防治的效果。是故，對田邊野生植物的生態功能，實有深入了解以便適當利用的必要。

總之，考慮生態系，避免過度干擾，維持其適度複雜性以確保其穩定性，是蟲害管理首重的原則。

(二) 深入了解關鍵害蟲的棲群動態

在一作物的生態系中，儘管同時會有幾十種甚至上百種昆蟲取食為害，但真正經常出現而且數目眾多，若不適當加以防治則每每造成嚴重損害的害蟲，往往只限于固定少數幾種而已——即所謂關鍵害蟲（key pests）。例如台灣水稻害蟲有80多種，但主要的却只有5種，在美國有數百種害蟲為害蘋果，但重要的也只有6種而已。蟲害管理所關心的對象也以這些關鍵害蟲為優先。當然，有些偶發性、地域性、或具潛力的害蟲亦宜注意。

生態學者認為，害蟲的發生是人為引起的，一種昆蟲所以會成為重要害蟲，大概有四種可能原因，即(1)由於侵入或被引入新的環境而立足；(2)由於作物種植面積擴大，或引進新的作物品種，或頻繁的連作，害蟲因得到豐富和不斷的食物而猖獗；(3)由於人的生活水準提高，要求更高的品質或美觀的產品，因而對於為害輕微，蟲數甚低和原先被忽略的昆蟲，突然敏感起來，而把它列為重要防治對象；或(4)由於人為的破壞性行為加諸於生態系中（如濫施農藥），導致天敵受害而使次要性害蟲反而大量發生。

所以值得一提的是，一種作物的主要害蟲相往往會因種種因素的影響隨着時間而改變。例如台灣的水稻害蟲，在1952年之前主要為三化螟、鐵甲蟲、負泥蟲、黑椿象及白背飛虱。可是1953年以後却以三化螟、二化螟、黑尾葉蟬及褐飛虱為主。但自1963年至今，主要害蟲改變為褐飛虱、黑尾葉蟬、二化螟、從捲葉蟲及稻心蠅。而原來猖獗的大害蟲——三化螟至今連標本都不容易找到，可能的誘因包括殺蟲劑的濫用、豐產水稻品種的推廣、灌溉的充裕與過量的施肥、及農耕方法的改變等。

害蟲棲群動態（population dynamics）的研究，在於了解害蟲在其生態系中，其密度

變動的幅度、引起變動的主要因素，以及其變動的操作過程 ( processes ) 與機制 ( mechanism )，以求達到預測棲群動態及調節其棲群密度的目標。

作物由於種植→收穫→種植的循環 ( 指非常年生作物 )，所以害蟲往往需不斷地重新建立其棲群，了解害蟲的來源，自何處何時侵入，何種因子影響其侵入及立足，是非常重要的。有些遷移性很大的害蟲，如飛蝨、葉蟬、蚜蟲、薊馬，均可自很遠地區侵入本地，非洲的沙漠蝗甚至於來往於國際間，這些害蟲也可在短時間內自一區散佈至另一區。又如日本及韓國的水稻害蟲白背飛蝨及褐飛蝨，其來源可能遠自華南或南洋一帶。對這類害蟲的防治，宜用空中採集或其他偵測方法來加強預測其動態，

並配合藥劑的區域聯防或共同防治來達到防治的目標。

概括地說，害蟲在一棲所的棲群密度變動由四項變量所決定，即 ( 生殖數 + 遷入數 - 死亡數 - 移出數 )。而影響此諸變量的主要外在因子亦可概略地分為食物 ( 質與量 )、氣候、天敵 ( 包括寄生性、捕食性及病原性天敵 )、種間競爭、種內競爭 ( 包括自相殘殺 ) 及農藥等。

生態學者常利用不施農藥的作物生態系來研究田間害蟲棲群的動態，而發展到目前最有系統而深入的方法即是生命表的分析 ( Life-table approach )。所謂生命表實際上是一棲群的「收支帳目」表，其內容如表一所示。

表一 馬鈴薯金花蟲 ( *Leptinotarsa decemlineata* ) 在加拿大  
安大略之生命表 ( 1964-65 )

齡 別	開始蟲數	致死因子	死亡數	死亡率	存活率	累計存活率
卵 期	6156	未產出	1724	28.0%		
		不孵化	217	3.5		
		豪雨沖失	4	0.1		
		天敵捕食	130	16.6		
		自相殘殺	1019	2.1		
			3094	50.8	49.7%	49.74%
幼蟲期, I	3062	豪雨沖失	482	15.7	84.3	41.91
幼蟲期, II	2580	餓死	524	20.3	79.7	33.40
蛹 期	2056	被寄生	97	4.7	95.3	31.82
成 蟲	1959	性比(49%♀)	39	2.0	98.0	
雌 蟲 x 2	1920	遷出	1847	96.2	3.8	1.18
越冬成蟲	73	霜凍	51	69.9	30.1	0.36
翌春成蟲	22					

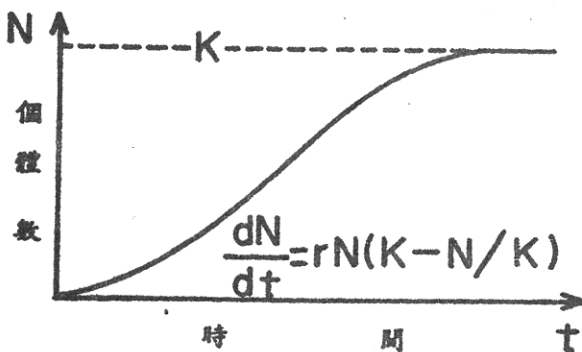
棲群趨勢指數 = 1.83

由表一可知，在收集生命表資料時，應把蟲期加以適當劃分，然後利用可靠的取樣方法在一定時期估計害蟲密度，計算死活蟲數並鑑定其致死原因，然後再整理成一收支平衡表。累積 5—10 組生命表資料，經過適當的統計分析（如關鍵因子分析 key factor analysis），即可確定引起棲群變動的主要因子，將來估計這些要因的影響即可預測害蟲棲群變動情形。同時由每一表所求得的棲群趨勢指數（population trend index）也可得知將來棲群升降情形，當此值大於 1 則升，等於 1 則不變，小於 1 則降，可作為防治準備的參考。同時根據累積的生命表數據，亦可導出適當的數學模型（mathematical models），透過電腦模擬（computer simulation）即可了解田間害蟲棲群變動情形，達到精確預測其動態的最終目的。所以棲群動態的研究是擬定害蟲管理策略的基礎，認識害蟲生活環及棲群成長最脆弱的一環加以打擊，了解原有的生物防治效力，可作為改進生物防治的參考。

總之，「知己知彼，百戰不殆」，對害蟲棲群動態認識愈清楚，則愈能穩操勝券，而生命表的分析正是深入了解害蟲棲群動態最佳途徑之一。

#### （一）認識 $r$ 害蟲與 $k$ 害蟲

一般言之，昆蟲在一棲所，其棲群的成長與時間的關係，可以用圖三的推理成長曲線來



圖三 昆蟲棲群成長曲線

在圖三式中  $dN/dt$  是單位時間  $t$  之棲群增加率， $r$  是該蟲在該棲所之內在增殖率， $N$  是棲群個體數， $K$  是該棲所之最大載荷量（carrying capacity）（亦即飽和點）。簡單地說，上式的意義為：

單位時間棲群增加率 = （內在增殖力）×（棲群個體數）×（棲所載荷量尚可容納的能力）。由式中可知，當  $N$  逐漸等於  $K$  時，增加率即緩慢下來，當  $N = K$  時則增加率等於零。

從上式中，生態學者把某一生物在某一生態系中所賴以存活的策略劃分為  $r$  及  $k$  兩種，由於策略的運用只是程度的差異，所以實際上是由  $r$  端至  $k$  端的連續（ $r-k$  continuum）。基於此，害蟲亦可區分為  $r$  害蟲（ $r$ -pest）及  $k$  害蟲（ $k$ -pest）。

$r$  害蟲能適應高度不穩定的環境，它們的最佳策略是擁有極高的生殖能力，具有遷移性，它們是一生態系中的墾荒者，一旦侵入棲所立足以後，即能在短時間內大量繁殖，若時間許可往往對作物造成嚴重損害，其棲群之消長恰似曇花一現，天敵往往無法控制它，其棲群變動主要係受非密度依變因子（density-independent factor）—如惡劣天候—所影響。相反的， $k$  害蟲一般生活在穩定環境中，其最佳策略是利用  $k$  的剩餘空隙，以低的生殖率及低的棲群密度，存在於一低的平衡點上，一般其個體較大，世代較長，較不移動，其棲群變動幅度較小，常在一低的平衡點上作小幅度波動，而其棲群變動主要受密度依變因子（density-dependent factor）—如天敵—所控制。

茲舉水稻害蟲為例來說明。褐飛虱可以視為是典型的  $r$  害蟲，它的世代短（3—4 週可完成一代），在台灣每期稻作中往往可完成 4 代左右，其生殖力甚高，每一雌蟲一生可產下

250—600個卵，因個體小隨風飄散及飛翔遷移能力甚強，其棲群的平衡點約為572隻/叢，在此密度情況下一叢水稻不到三天即被吸乾枯死，所以它是目前本省水稻第一號大害蟲。雖然也有不少捕食性、寄生性及病原性天敵攻擊它，但目前除了靠殺蟲劑及抗性品種外，想利用生物防治幾乎是註定要失敗的。反之，黑尾葉蟬是趨向於K端的害蟲（但非典型的），它除了水稻之外尚可存活於其他禾本科雜草上，所以生態系較穩定，其繁殖力遠不如褐飛蝨，其棲群的長期平衡點約為13隻/叢，就其對水稻的直接為害而言，幾乎是微不足道的，若非它是水稻黃萎病的病媒，則本蟲幾乎不能擠進重要害蟲之列。

總之，對付r害蟲唯一可靠的方法是明智的選用殺蟲劑來防治它。對付k害蟲只要維持生態系的穩定<sup>即</sup>不致造成損害，再者，利用費洛蒙（pheromone）及雄性不育技術也是恰當的方法。不過，大多數的害蟲是介於r與k之間的中間型，這些害蟲往往因農藥施用不當才猖獗，策劃綜合防治法乃是最恰當的手段。當然，對任何一類型的害蟲，利用抗性作物仍是最好的方法。

#### 四、利用抗性品種

不同品系的作物通常對害蟲的為害顯示不同程度的反應，從敏感性、容忍性、抵抗性到免疫性者都有。篩選抗性品系或育成抗性品種是發展完善蟲害管理系統中最理想的方法。

前面提到食物是影響害蟲棲群成長的重要因素之一，事實上食物的質與量正是決定一環境的載荷量之最重要因素。害蟲在抗性作物上生活比在感性品系生活者，一般是取食量少，個體較小，存活率較低，生殖系統發育較差，導致產卵量少，所以棲群之增殖率較緩慢，自然地對作物造成的損害就減輕，加上天敵活動

不受干擾，而許多天敵僅在害蟲棲群密度不太高時才能發揮抑制的功能，所以有時僅靠抗性品系即可達到治蟲的目的。當然，在許多情形下配合抗性品種，天敵的力量及藥劑防治，可以達到更完善的綜合防治的目標。

不過，因為害蟲與作物的關係是一種動態的關係，就演化的過程來說是共同演化（coevolution）的，害蟲為害則作物產生抗性來抵禦，於是害蟲又設法突破其抗性來繼續為害，此種類似「捉迷藏」式的共同演化，是自然界中生物制衡的必然現象。譬如，目前已篩選並育成許多抗褐飛蝨的水稻品系，可是近年來也陸續發現有幾種褐飛蝨的生物小種（biotypes）可為害不同類型的抗蟲品系水稻。這也是利用抗蟲品種於一種蟲害管理系統中時所應事先認清的一項限制。

#### 五、殺蟲劑施用之生態考慮

殺蟲劑在過去三十年的蟲害防治中扮演著最重要的角色，毫無疑問，在將來的蟲害管理中，它仍將佔有可能更重要的地位。然而殺蟲劑的應用也是最引起非議的，其功過論者頗多，但其罪過實因人類應用不當而得咎，主要原因是缺乏生態上的考慮。

過去人們總錯誤地認為農藥是用來對付有害生物的，而忽略了農藥實際上是一種殺生劑（biocide），具有殺傷多數生物的可能性。就生態的立場而言，應該認識農藥是施用到對象害蟲生存的生態系中，而生態系中還同時有其他有益的生物存在。若把害蟲的猖獗比喻為生態系的「偏頭痛」，則農藥即是生態系的「麻醉劑」。麻醉劑可緩和一時的病痛，常用之後却引起了一些併發症或後遺症。其症狀如(1)產生抗藥性害蟲，致使用藥量漸增，終至失效，結果害蟲為害更為嚴重；(2)無辜的天敵遭殃，次要害蟲失去控制，生態系呈現一時的不穩

，主要害蟲相隨之改變；(3)授粉昆蟲也遭殃，作物產量受損；(4)農藥殘留於食物中或污染環境，在食物鏈中順著由下而上的方向遞轉而濃縮，終於使居上位的野生動物及人畜遭到危害；或使產品因殘留農藥量太高而無法輸出。

所以，明智的合成新農藥及明智的選擇與施用農藥，是今後昆蟲學者所共同努力的方向。下述的一些方針正是解決此問題的途徑：

(一)了解害蟲棲群（或其為害程度）與作物產量損失的關係—害蟲對作物所能造成的為害通常與其數目的多寡呈正變關係。但作物在不同的生長發育期對害蟲的加害却有不同程度的容忍性，不到某種程度不致影響最終的產量或品質。例如，四季豆在開花前，既使損失60%的葉片也無損於其產量；而前述的加州葡萄，可忍受平均每葉5—10隻葉蟬的為害而不蒙受損失；在台灣我們估計水稻在抽穗前可容忍平均每叢5—10隻褐飛虱的為害，但在抽穗後約可忍受10—20隻而不造成損失。但若明瞭了這些關係，並經過經濟的考慮，即可訂定害蟲防治的基準（即前述之經濟為害限界），如此防治或不防治才有可靠的準據，才能減少不必要的施藥。

(二)把握用藥時機—用藥時應把握(1)在害蟲棲群急速上升的緊要時期用藥；(2)在害蟲對藥劑最敏感的時期用藥；(3)在害蟲一天出現活動之高峯期用藥；(4)避免在天敵活躍時期，或作物敏感時期用藥。

(三)減少藥劑處理面積—例如利用種子粉衣或藥液浸漬；設置引誘站利用誘引劑混合農藥；隔行噴藥；或改變劑型以減少農藥污染面積。

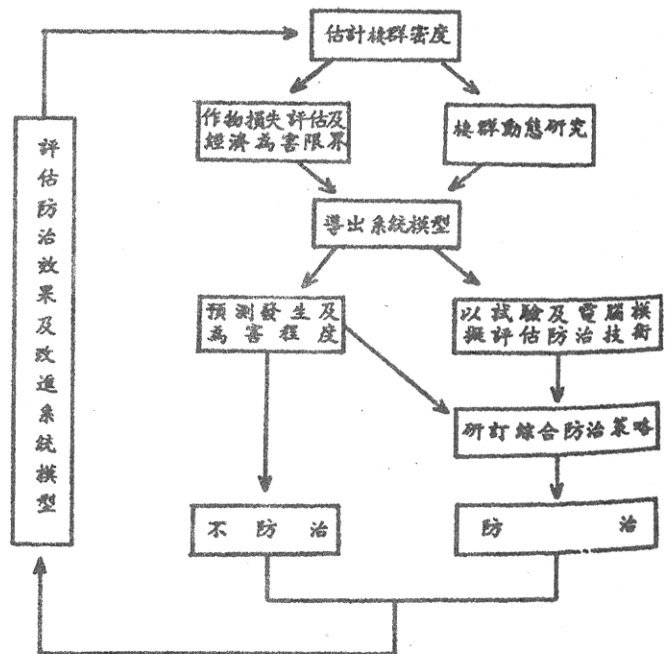
(四)加強定期性田間害蟲之監視—田間害蟲的監視（surveillance）有兩項基本任務，即評估與決策。評估是在收集到情報之後，評價防治法之得當與否及其效益。但對農友而言，

收集情報主要在決定當時情況下需不需要採取任何防治措施。

害蟲的監視工作包括(1)使用適當的偵測儀器或設備（如捕蟲網、捕蟲器、誘蟲燈、或紅外線空照技術等）或可靠的取樣技術，以獲知害蟲的動態情報；(2)透過區域性監視系統，收集全國性資料，以研判蟲情，作為預測的準據。必要時設立全國性資訊傳遞網，以便有效率地傳遞情報，告訴農友採取適當共同防治措施，以減少損失。密切地監視田間蟲情是將來蟲害管理工作中不可或缺的一項。

## 結 語

本文所要強調的是：蟲害管理技術及策略的運用均奠基於生態原則，而改進當前蟲害管理的唯一途徑是加強農業生態系與害蟲棲群動態的研究。茲以圖四的流程圖指明發展一個現代化的蟲害管理系統所可遵循的生態研究途徑來作為本文的結束。



圖四 發展蟲害管理系統的生態研究途徑