

邱人璋主編

水稻病蟲害：生態學與流行學

農復會1978年12月刊行 p. 83—111。

## 積穀害虫之生態<sup>1</sup>

謝豐國·高穗生<sup>2</sup>

### 目 錄

- 一、前言
- 二、主要積穀害虫種類
- 三、生態
  - (一)穀物害虫之發生與分佈
  - (二)溫度
  - (三)濕度
    - 1. 穀物含水量和相對濕度的關係
    - 2. 倉儲期間水分的移動
    - 3. 安全貯藏的水分含量
  - (四)食物
  - (五)氣體組成
  - (六)大氣壓力
  - (七)光照
  - (八)環境因子之聯合作用
- 四、結語
- 五、參考文獻
- 六、英文摘要

### 一、前 言

穀物係季節性與區域性之農產品，收成之後尚需經過適當之脫穀、乾燥、輸運及儲藏等處理，以便維持人類對其持續性之需求與消費。在這段處理的過程中損失情形相當可觀（見表一）<sup>(64)</sup>。其中倉儲期間的損失比例甚高；據 FAO 1975<sup>(39)</sup>年估計，每年穀物倉儲期之損失量約為 10%，而虫害損失約佔 5%，計五千五百萬噸<sup>(50)</sup>。臺灣地區早年之估計稻穀儲藏四個月以上者，其虫害損失量約為 6%<sup>(3)</sup>，近年之調查證實倉儲1~4個月以上之雜糧虫害損失量為0.3~3.9%<sup>(2)</sup>。

1 臺灣植物保護中心昆蟲組綜合論述第16號

2 臺灣植物保護中心昆蟲組技正及助理

表1 東南亞地區稻米操作加工過程中量之損失估計 (Spurgeon, 1976)<sup>(84)</sup>  
 Table 1. Estimated percent losses during the handling and processing of rice in Southeast Asia

| 操 作 | 損失範圍 (%) |
|-----|----------|
| 收 穫 | 1-3      |
| 搬 運 | 2-7      |
| 脫 殼 | 2-6      |
| 乾 燥 | 1-5      |
| 貯 藏 | 2-6      |
| 碾 製 | 2-10     |
| 總 計 | 10-37    |

表2 不同穀物在倉儲期間之損失估計 (Hall, 1970)<sup>(44)</sup>

Table 2. Estimated range of crop losses from a variety of causes in the postharvest system in different countries during storage

| 穀 物 | 國 家             | 重量損失 (%) | 貯藏期 (月) |
|-----|-----------------|----------|---------|
| 豆 類 | 上 伏 塔           | 50-100   | 12      |
|     | 塔 尚 尼 亞         | 50       | 12      |
|     | 迦 納             | 9.3      | 12      |
| 玉 米 | 桑 比 亞           | 90-100   | 12      |
|     | Benin           | 30-50    | 5       |
|     | 美 國             | 0.5      | 12      |
| 稻 米 | 馬 來 西 亞         | 17       | 8-9     |
|     | 日 本             | 5        | 12      |
|     | 阿 拉 伯 聯 合 共 和 國 | 0.5      | 12      |
| 高 粱 | 奈 及 利 亞         | 2-62     | 14      |
|     | 美 國             | 3.4      | 12      |
| 小 麥 | 奈 及 利 亞         | 34       | 24      |
|     | 印 度             | 8.3      | 12      |
|     | 美 國             | 3.0      | 12      |
|     |                 |          |         |

至於倉儲期受害損失量及品質變異情形，則因穀物種類、地區、儲藏期而有所差異<sup>(44, 84)</sup>，且與倉儲條件之好壞和管理方式之優劣關係極為密切：可由表二得窺一斑，表列之損失有高達 100% 者（桑比亞），亦有低至 0.5% 者（美國），後者顯係先進國家倉庫設備良好與管理完善所使然。

倉儲穀物是一個鉅大的生物複合體（Bio-complex），棲息此生態系中之有害生物，其生長、發育均受環境條件之影響<sup>(29)</sup>，尤以溫度、濕度與食物等最為重要。溫度可影響昆蟲代謝率、生長、發育、生殖力、壽命、行爲及分佈<sup>(5, 6)</sup>；濕度具有與溫度相當之影響力，其與溫度聯合作用可對昆蟲產生不同之生物效應，又可平衡穀物含水量（Moisture content），而直接影響倉儲害虫之生活史與穀物受害損失<sup>(14, 43)</sup>；至於食物方面譬如穀物之形態，物理性及化學性，亦可影響倉儲害虫棲羣之增加率及爲害損失<sup>(14, 49)</sup>。此外，其他生態因子如氣體組成分、大氣壓和光照等亦可影響昆蟲之生育及其爲害。因此爲了減少病虫害之發生與危害，對於倉庫害虫之生態應作深入研究與瞭解，進而應用生態防治法，將環境或生態因子予以適當之操縱或調節，並改善倉儲管理，始能奏功。

## 二、主要積穀害虫種類

積穀害虫發源於盛產穀類之地區，在人類尚未集中種植穀物以前，象鼻虫類（Weevils）及麥蛾類（Angoumois grain moths）已在田間野生物或其種子中發生。當人類開始儲存穀物時，此等昆虫即自然而然地進入穀倉。全世界估計有近千種害虫與倉儲物品有關<sup>(43)</sup>，至今經鑑定之積穀害虫已有數百種。臺灣則約有 65 種<sup>(1)</sup>，大致可分爲四種：即 1. 主要害虫（Major pests）2. 次要害虫（Minor pests），3. 偶發害虫（Incidental pests）及 4. 積穀害虫之寄生者或捕食者（Parasites and predators），其中在熱帶地區嚴重爲害積穀者，計有十餘種（見表三）<sup>(44)</sup>。臺灣地區之主要糧倉害虫亦有十種（見表四）<sup>(6)</sup>，皆可爲害主要豆穀物。嚴重爲害穀物種實（kernel）內部，並在其中發育者，包括穀象〔*Sitophilus granarius* (L.)〕、米象〔*S. oryzae* (L.)〕、玉米象（*S. zeamais* Motschulsky）、穀蠹〔*Rhyzopertha dominica* (F.)〕及麥蛾〔*Sitotroga cerealella* (Oliver)〕等。嚴重爲害並發育於種實外部及粉屑者，包括擬穀盜〔*Tribolium castaneum* (Herbst)〕扁擬穀盜（*T. confusum* Duval）、鋸胸粉扁虫〔*Oryzaephilus surinamensis* (L.)〕、扁虫類〔*Cryptolestes* spp.〕、大穀盜〔*Tenebriodes mauritanicus* (L.)〕、穀斑皮蠹、（*Trogoderma granarium* Everts）、印度穀蛾〔*Plodia interpunctella* (Hübner)〕、粉斑螟（*Ephestia cautella* Walker）及穀蟎（*Acarus siro* L.）等<sup>(37)</sup>。上述重要種類之基本生物習性，已有許多記載<sup>(37, 47, 62)</sup>。

## 三、生態

積穀害虫對溫度、濕度、食物及其他環境因子，有一定之適應與需求，此等

表3 熱帶地區主要倉庫害虫 (Hall, 1970)<sup>(44)</sup>  
Table 3. Major storage insect pests in the tropics

| 害 蟲 種 類 | 中 名 學 名                             | 受 害 倉 儲 物   |
|---------|-------------------------------------|---|
| 象鼻蟲類    | <i>Sitophilus</i> spp.              | 玉米、高粱、小麥、米穀   |
| 穀 蠹     | <i>Rhyzopertha dominica</i> (F.)    | 米穀、小麥、玉米、樹薯   |
| 穀斑皮蠹    | <i>Trogoderma granarium</i> Everts  | 玉米、小麥、高粱、米、豆類、油料種子 (oil seed) 和油料種子餅 (oilseed cake) |
| 粉扁蟲類    | <i>Oryzaephilus</i> spp.            | 玉米、小麥、米、油料種子、乾果                                     |
| 擬穀盜類    | <i>Tribolium</i> spp.               | 玉米、小麥、麵粉、花生、粉料類、乾果、可可、動物飼料                          |
| 豆 象 類   | <i>Callosobruchus</i> spp.          | 豇豆、格蘭姆豆 (gram)                                      |
|         | <i>Acanthoscelides oblectus</i> Say | } 豆類  |
|         | <i>Zabrotes subfasciatus</i> Boh.   |   |
|         | <i>Caryedon serratus</i> Ol.        |   |
| 鱗節蟲類    | <i>Dermestes</i> spp.               | 乾魚  |
| 烟草甲蟲    | <i>Lasioderma serricorne</i> (F.)   | 可可、樹薯   |
| 扁 蟲 類   | <i>Cryptolestes</i> spp.            | 玉米、米、花生、可可、麵粉                                       |
|         | <i>Laemophloeus pusillus</i> Sch.   |   |
| 麥 蛾     | <i>Sitotroga cerealella</i> Ol.     | 玉米、小麥、穀、高粱  |
| 粉 斑 螟   | <i>Ephestia cautella</i> Walk.      | 花生、米、玉米、小麥、可可、高粱                                    |
| 印度穀蛾    | <i>Plodia interpunctella</i> Hubn.  | 玉米、花生、乾果  |
| 外米綴蛾    | <i>Corcyra cephalonica</i> Staint   | 玉米、小麥、米、高粱、花生                                       |

因子直接影響害虫之發生、分佈、豐度及其為害程度等<sup>(35)</sup>，茲分述如下：

(一) 積穀害虫之發生與分佈

新收成之穀物，進倉不久，隨即發現害虫，考其原因可將之歸為下列數種：新穀未入倉前，倉庫中之牆壁及地板之裂縫罅隙中，或穀蠹與大穀盜作成之隧道或洞孔內，已有害虫潛伏；害虫潛伏於碾米機、升運機、輸送機、包裝袋等器具內；由田間隨着收穫物進入穀倉；由受害地區輸入飼料或種子，害虫藉運送而廣為傳佈；或於運輸過程中之火車、輪船、卡車之縫隙藏有害虫；新穀與舊穀雜陳，隱匿於舊穀之害虫即行入侵，或由田間受害稻穀、倉庫之雜物、粉屑、落穀之累積物或其他倉庫飛行遷入。

一般而言，在寒帶地區穀物之生長期較短，穀物收成後即儲入糧倉使其自然乾燥，由於冬季氣溫低，害虫多半不致嚴重發生，此等穀物往往於受害前即被消費。而在溫帶及熱帶地區，由於氣候較溫暖，穀物之生長季亦較長，收成後可能

表4 臺灣地區主要糧倉害虫及蟎類 (謝及高, 1976)<sup>(7)</sup>

Table 4. Major storage insects and mites in Taiwan

| 害 蟲 種 類   | 中 名 學 名                                  | 受 害 倉 儲 物                       |
|-----------|--|---------------------------------|
| 玉 米 象 鼻 蟲 | <i>Sitophilus zeamais</i> M.             | 米穀、大小麥、玉米、高粱、豆類                 |
| 穀 蠹       | <i>Rhyzopertha dominica</i> F.           | 米穀、小麥、玉米、豆類、甘藷簽                 |
| 擬 穀 盜     | <i>Tribolium castaneum</i> H.            | 米穀、小麥、麵粉、高粱、大豆、<br>玉米、花生、甘藷簽、餅乾 |
| 大 穀 盜     | <i>Tenebrioides mauritanicus</i> L.      | 米穀、麥、玉米、高粱、甘藷                   |
| 角胸粉扁蟲     | <i>Cryptolestes ferrugineus</i> (Steph.) | 米穀、麥、玉米                         |
| 穀 斑 皮 蠹   | <i>Trogoderma granarium</i> E.           | 雜糧、稻穀                           |
| 麥 蛾       | <i>Sitotroga cerealella</i> (Ol.)        | 積穀、大小麥                          |
| 穀 蛾       | <i>Tinea granella</i> L.                 | 米穀、麥、玉米、高粱、花生、粉<br>料            |
| 粉 斑 螟 蛾   | <i>Ephestia cautella</i> W.              | 米穀、大豆、麥、甘藷、麵粉                   |
| 粉 蟎       | <i>Tyroglyphus farinae</i> (De Geer)     | 粉料、魚粉、酵母、餅乾、種子、<br>小麥、中藥藥材      |

在田間乾燥，故較易遭致虫害。

大宗積穀中昆虫的分佈受到許多因素之影響，積穀害虫中之蛾類昆虫相當脆弱，故其為害多局限於表層穀物；而象鼻虫及穀盜之類，則在穀物中自由移動，故其分佈深受溫度、濕度及累積穀糠之影響<sup>(37)</sup>。早年觀察由於溫度之影響，倉儲小麥之害虫，僅限於表層4~5英吋及在底層深數英吋之處<sup>(23)</sup>。大宗散裝積穀中的高溫，部分係由昆虫之代謝作用所引起，其產生之二氧化碳、水和蒸氣，致使糧倉內發生熱點 (Hot point) 及溫度階梯 (Temperature gradient)，此種高溫往往導致昆虫死亡或迫使其移動至表層穀物較涼之處<sup>(47, 81)</sup>。

糧倉穀物害虫，尤以金屬筒倉穀物害虫之分佈，受溫度之影響甚鉅。在春、夏、秋三季，散裝穀物之害虫，多半集中於穀倉上半部，而在冬季中期害虫則大致集中於下半部。又在夏季中期昆虫多分佈於穀物各角落，而在冬季中期，其分佈則近於南邊角落之積穀中。有時高溫處或熱點附近可發現較多之昆虫聚集；有時濕穀却可吸引某些偏濕性之昆虫種類。當大宗穀物各處形成不同溫度時，濕氣往往由暖區移至涼區，亦即水分由穀物內層轉移而使表層穀物變潮，甚而霉腐，此時經常誘引腐食性及菌食性之昆虫如毛菌甲虫 (Hairy fungus beetle) 及背圓粉扁虫 (Foreign grain beetle)。在溫帶地區，較耐寒性之粉扁虫類及鋸胸穀盜，因冬季存活數較多，而於翌春首先遷入新倉小麥中<sup>(37)</sup>。

(三)溫度

溫度是所有生物發育的決定因子，其影響和水蒸氣含量有相關性：當溫度上升時，大氣中水蒸氣之相對含量即減少。溫度可使積穀害虫不活躍或阻止其取食而間接促其死亡。昆虫的發育因溫度的上升而增加其速率，但只到  $42^{\circ}\text{C}$  為止，在此水平，大多數的昆虫若暴露一段長時間，則會致死。而溫度低於  $15^{\circ}\text{C}$  則可有效地延遲害虫的發育和生殖，如在  $10^{\circ}\text{C}$  延長一段時間，能使大多數昆虫致死。當溫度升高達  $50^{\circ}\text{C}$  時，儲穀呼吸停止，生機喪失，但由於真菌和細菌的發育（和呼吸），更進一步的變化和破壞仍在繼續，直到到達  $80^{\circ}\text{C}$  時為止（見圖一）<sup>(44)</sup>。

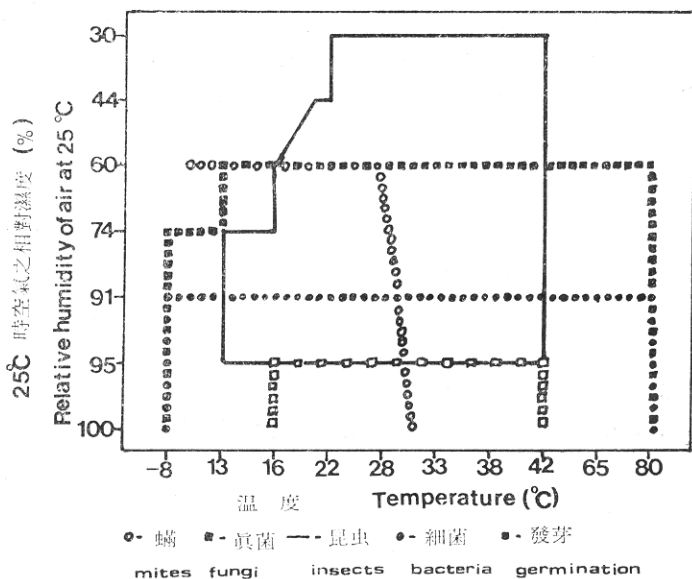


圖 1. 蟲、蟎、菌增殖及穀物發芽之一般溫濕度限界 (Hall, 1970)<sup>(44)</sup>

Fig. 1. General limits of temperature and relative humidity for the multiplication of biological agencies

一般而言，害虫致死高溫 (Lethal high temperature) 僅較最高溫度高數度而已<sup>(5,42)</sup>，且次致死高溫 (Sublethal high temperature) 對害虫有不孕的影響，因在此條件下，會發生不孕性雌虫<sup>(44)</sup>。溫度高於  $37.8^{\circ}\text{C}$  通常使大部分積穀害虫致死，惟  $55^{\circ}\text{C}$  時穀粉蟎 [*Acarus siro* (L.)] 仍可生存於發酵之菸草中<sup>(90)</sup>。儲穀中溫度高達  $66^{\circ}\text{C}$  維持 4 分鐘 (或  $60^{\circ}\text{C}$ , 10 分鐘或  $49^{\circ}\text{C}$ , 20 分鐘) 所有各種齡期的虫隻皆被殺斃<sup>(44)</sup>。故此等溫度似可應用於穀物之熱處理，以殺却積穀害虫。

至於降低溫度以確保倉儲穀物的安全，是一個全世界都在使用的方法<sup>(64,91)</sup>，低溫壓抑儲穀中微生物相的發育，因大多數倉儲真菌主要由喜好中溫之種類

(Mesophilic species) 組成，而抗寒性 (Psychrophilic) 的種類則十分稀少，故低溫在阻止微生物相之發育上，效果頗為顯著<sup>(20)</sup>。Christesen and Kaufman (1965)<sup>(34)</sup>指出穀堆中的溫度，若能維持 5~10°C，即可確保穀物免受霉菌的侵害。文獻中的資料顯示，穀物含水量雖高達15%，若能調節倉儲條件使溫度在10°C或10°C以下，即可安全的保藏穀物。

為害儲穀的害虫和為害生長中植物的其他害虫生態環境不同，倉儲穀物的絕緣性，對害虫惟一有利的因素係提供抵抗特殊之環境障礙 (Environmental barrier)，因此倉庫害虫對低溫之抵抗力甚弱：害虫對低溫的抵抗力，早期即有報告 Cotton (1950)<sup>(35)</sup>曾詳列主要積穀害虫於低溫範圍內致死所需時間，在-17.8~-15°C時，大部分於1日之內全數死亡，因為低溫成爲必須進行冬眠 (Winter hibernation) 的本地或引入昆虫分佈的惟一限制因子。

論及低溫抑制害虫效果之資料，在在皆是。因大多數的害虫皆源自熱帶或亞熱帶地區，其對中度的冷卻亦敏感<sup>(25)</sup> (見表五)。一般穀溫高於21.1°C時，可

表 5 積穀害虫生長最適溫及於最佳食物中需 100 天方能完成其發育 (從產卵再次成爲成虫) 之安全溫度 (Burges and Burrell, 1964)<sup>(25)</sup>

Table 5. Optimum temperature for rapid insect growth, and the temperature at which the development cycle takes 100 days on one of the best foods for each species

| 中 名     | 英 名 及 學 名   | 最 適 溫<br>(°C) | 安全溫度<br>(°C) |
|---------|---|---------------|--------------|
| 鋸胸粉扁蟲   | Saw-toothed grain beetle, <i>Oryzaephilus surinamensis</i>            | 34            | 19           |
| 穀 象     | Grain weevil, <i>Sitophilus (Calandra) granarius</i>                  | 28-30         | 17           |
| 角胸粉扁蟲   | Rust-red grain beetle, <i>Cryptolestes (Laemophloeus) ferrugineus</i> | 36            | 20           |
| 擬 穀 盜   | Rust-red flour beetle, <i>Tribolium castaneum</i>                     | 36            | 22           |
| 扁擬穀盜    | Confused flour beetle, <i>Tribolium confusum</i>                      | 33            | 21           |
| 穀 斑 皮 蠹 | Khaphra beetle, <i>Trogoderma granarium</i>                           | 38            | 22           |
| 米 象     | Rice weevil, <i>Sitophilus (Calandra) oryzae</i>                      | 29-31         | 18           |
| 穀 蠹     | Lesser grain borer, <i>Rhyzopertha dominica</i>                       | 34            | 21           |
| 扁 蟲     | Flat grain beetle, <i>Cryptolestes pusillus (= minutus)</i>           | 32            | 19           |

預測昆虫對積穀之嚴重爲害，低於21.1°C時，則其嚴重危害似可免於發生<sup>(37)</sup>。

Burges and Burrell (1964)<sup>(25)</sup>提出之安全溫度範圍爲17~22°C，在溫帶地區，欲使穀堆以通氣方法達成此溫度，並非難事，且已成爲產穀地區的國家普遍採用之管理方法<sup>(46)</sup>，在以色列<sup>(70)</sup>經廣泛的實驗之後，此種系統已納入實際應用。在英國<sup>(36, 37)</sup>、澳洲昆士蘭<sup>(68)</sup>和以色列<sup>(28, 71, 72, 78)</sup>曾以冷凍機械 (Chilling units)

產生之冷空氣，來作穀物的通氣。

故降低穀堆中之溫度，以保存穀物，毫無疑問的是一個頗有前途的方法，但需更進一步的研究，以澄清某些問題，諸如在冷的穀堆中，昆蟲相組成之可能改變<sup>(70)</sup>，和由於害虫對低溫馴化作用 (Acclimation) 而產生的抗寒性<sup>(82,83)</sup> 等問題。

### (三) 濕度

濕度是穀物能否安全儲藏的關鍵，生物的活動僅在有濕氣的情形下發生，生物活動之最低濕氣需求量，則因生物不同各異：種子發芽需要相當的水分，例如豆類浸水 24~48 小時後開始發芽。而適合細菌的發育條件，所需水分較種子發芽為少，真菌和蟎類發育所需水分更少，而昆蟲的發育最少。

在一定範圍內，穀物含水量增加，有利於昆蟲數目之快速增長；超過該範圍，微生物則取而代之，使昆蟲數目驟然降低或不復存在。此外，若穀物含水量低，則昆蟲所需水分，只得取自食物攝入體內後之分解，或取自體內脂肪組織。

#### 1. 穀物含水量和相對濕度的關係

穀物是感濕性 (Hygroscopic) 物體，大氣濕度的變化，直接影響穀物吸濕之程度。外界濕度愈高，穀物內部所能吸收或保存之水分也愈多，於是倉儲穀物乃開始回潮，此種回潮現象，最後將在不同溫度與相對濕度之條件下，維持平衡狀態<sup>(44)</sup>。每一種儲穀都有其特殊的平衡曲線，圖二即為臺南 5 號稻穀之含水量，在不同相對濕度及不同儲存期中之平衡曲線<sup>(9)</sup>。其他稻穀品種之濕度平衡曲線如圖三<sup>(40)</sup>。且相對濕度因溫度和空中水分含量而定，若溫度增加而水分含量保持一定，則相對濕度下降，至於相對濕度的減少，與溫度變化的關係見表六<sup>(44)</sup>。

#### 2. 倉儲期間水分的移動

穀物雖經乾燥後儲藏，但仍會發生腐敗現象，此種腐敗是由於袋裝穀物之堆棧中，或散裝穀物發熱，產生溫度階梯 (Temperature gradients) 而導致水分之移動所致。穀物和外空氣之溫度差異，可經由倉房或筒倉 (特別是由金屬所構成) 之牆壁得以交換，因而形成了倉內水分的移動現象。

穀物發熱有兩種型態：(1) 乾穀發熱或昆蟲引起之發熱，即大約在含水量低於 16% 之穀物發生，其結果可使溫度升高至 24°C<sup>(79)</sup>；(2) 濕穀發熱，即大約在含水量高於 15% 之穀物發生，可達 62°C 之高溫<sup>(80)</sup>。此兩種發熱有時可同時發生於倉儲穀物，乾穀發熱亦可能逐漸被濕穀發熱所取代。然而一般認為熱度的來源多半由昆蟲之代謝作用引起，而由穀物或微生物之代謝作用引起的熱度，並不足以明顯地使溫度升高<sup>(87)</sup>。

當昆蟲產生之代謝熱量超過熱量本身的散發作用時，遂形成熱點 (Hot point)；局部溫度升高，可增加昆蟲之代謝作用，並加速其棲羣增殖，因而代謝作用之熱量繼續增加。由於穀物的熱傳導度 (Thermal conductivity) 低，溫度影響了穀堆外部，但傳導至中心部分的速度緩慢，在穀堆中央的穀物溫度，因害虫的出

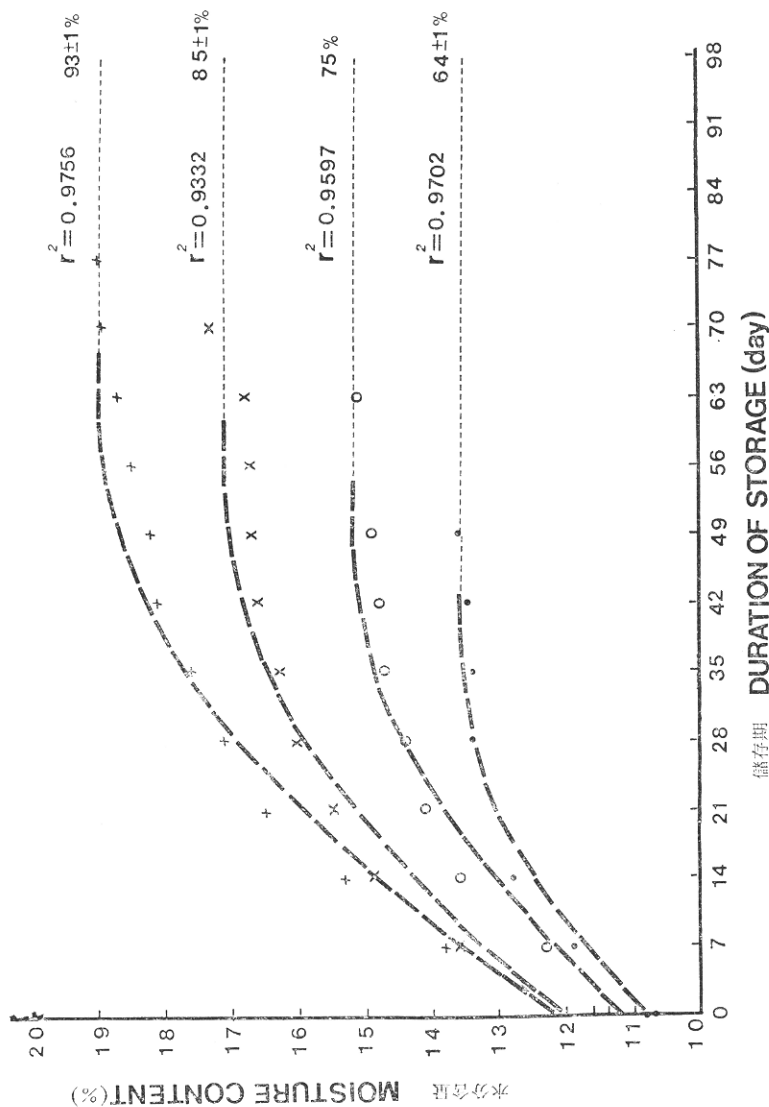


圖 2. 稻穀含水量於不同相對濕度與不同儲存期中之變化 (謝等, 1978)<sup>(9)</sup>

Fig. 2. Changes of the moisture content of rice under various relative humidity conditions during storage

現而增高，此種溫度很緩慢地才能和外邊的穀物交換，如此形成了溫度梯階，此時昆蟲之成蟲，即移動至熱點周圍外，因此又增加了它的範圍，常使幼蟲在穀實中死亡<sup>(47)</sup>。此種溫度階梯在穀物中生產了對流空氣 (Convection currents)，同時使得水分由高溫處移動到低溫處。當空氣冷卻，其相對濕度增加，而到達飽和點，過多的水分即附在較涼穀物之表面<sup>(55)</sup>，水分含量局部增加，使得真菌得到有利發育的條件，導致更進一步的腐敗。

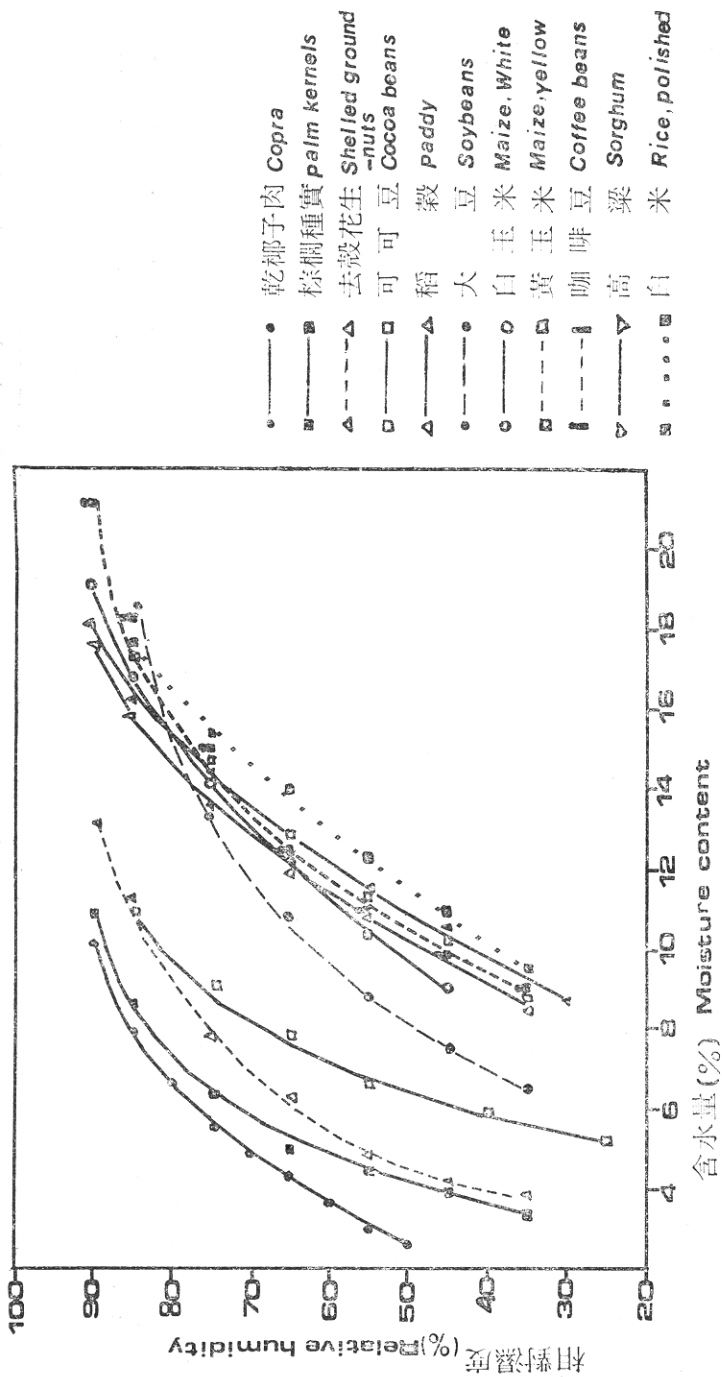


圖 3. 穀物水分含量與相對濕度之平衡曲線 (Hall, 1970)<sup>(4)</sup>

Fig. 3. Moisture content/relative humidity equilibrium curves

表 6 溫度上升導致相對濕度下降之情形 (Hall, 1970)<sup>(44)</sup>

Table 6. Reduction in relative humidity resulting from an increase in temperature

| 空氣溫度<br>Air temperature<br>(°C) | 溫度增加 Temperature increase (°C) |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|---------------------------------|--------------------------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
|                                 | 0                              | 6  | 11 | 17 | 22 | 28 | 33 | 39 | 45 | 50 | 55 | 61 |
| 43                              | 95*                            | 72 | 55 | 42 | 33 | 26 | 21 |    |    |    |    |    |
| 38                              | 95                             | 71 | 53 | 40 | 31 | 24 | 19 | 15 |    |    |    |    |
| 32                              | 95                             | 70 | 52 | 40 | 30 | 23 | 18 | 14 | 12 |    |    |    |
| 27                              | 95                             | 70 | 50 | 38 | 29 | 22 | 17 | 13 | 10 | 8  |    |    |
| 21                              | 95                             | 69 | 49 | 36 | 27 | 21 | 16 | 12 | 9  | 7  | 6  |    |
| 15                              | 95                             | 67 | 49 | 36 | 26 | 19 | 14 | 11 | 9  | 7  | 5  | 4  |
| 10                              | 95                             | 66 | 47 | 32 | 24 | 18 | 13 | 10 | 8  | 6  | 4  | 4  |
| 4                               | 95                             | 64 | 45 | 31 | 22 | 16 | 12 | 9  | 7  | 5  | 4  | 4  |

\* Percentage

## 3. 安全儲藏的水分含量

當穀物貯藏之前，必須得知其水分含量，因儲藏物之損害和穀物水分含量有頗為重要的關係。倉庫紀錄絕對不能沒有此項資料。至於溫度、相對濕度、水分含量影響穀物發芽及真菌與昆蟲的發熱情形即如圖四所示<sup>(44)</sup>。

穀物含水量若高過相對濕度70%時之平衡水分含量，則不適儲藏。在 27°C 及相對濕度70%之情況下，某些穀物水分含量平衡情形見表七<sup>(44)</sup>。雖然表七是儲穀可接受的水分含量之參考指標，但穀物品種不同，談及水分含量時，其儲藏特性亦有所差異。例如黃玉米和白玉米之平衡值有 1.5%之差異，低溫地區水稻品種，其安全儲藏最高含水量，由於品種不同（矽含量，稈的形式和厚度）而有 1%之差異等。某些豆類（如咖啡豆）在加工時期，其種子仍保有生機者，保存於相對濕度70~80%時，真菌不能發生，但如種子已死亡，則在70%時，霉菌即能發育<sup>(44)</sup>。

濕度對倉儲生物發育所扮演的角色，已為人熟知，將穀物乾燥，使其水分含量低於臨界限度之下，是阻止微生物危害的傳統方法。但是降低濕度對防治倉庫害虫而言，並非一種有效方法，害虫可於相當乾燥的條件下存活。昆蟲對水分需求及其調節所需水分的能力，因種類而異。Cotton (1954)<sup>(36)</sup>發現米象在穀物含水量低於 9%時不能繁殖，但穀蠹可在高溫下，水分含量 8%的麥中繁殖。其他種類諸如擬穀盜、穀斑皮蠹，如表八所示，所需濕度更低，因而使得防治發生困難，然而降低濕度，同時改變其他環境條件，則可能有較佳的結果。

## (9) 食物

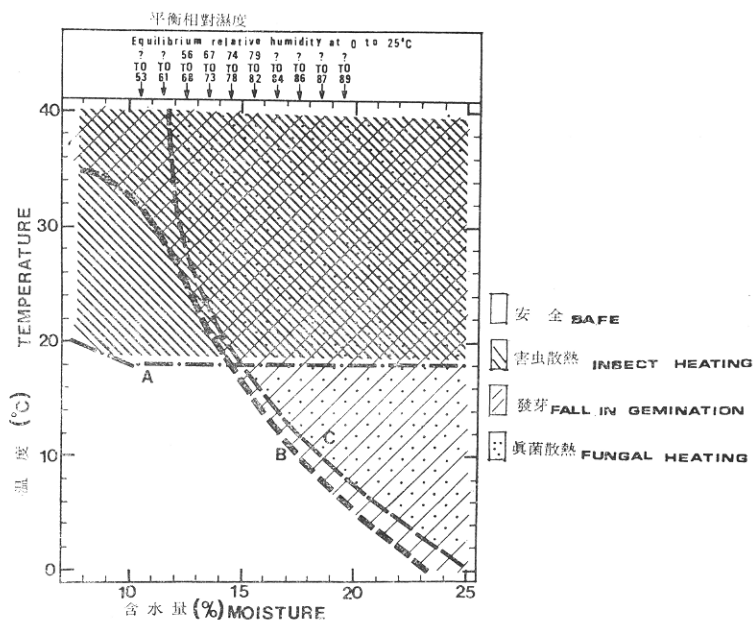
食物之種類能改變害虫之生殖力、壽命或發育速率，而影響其生存與繁殖。穀物之質與量，對積穀害虫均極為重要，在自然棲羣中，穀物之品質，能影響害

表 7 70%相對濕度時穀物含水量之平衡值 (Hall, 1970)<sup>(44)</sup>  
(溫度約為 27°C時)

Table 7. Moisture content equilibrium values at about 27°C for a range of produce at 70% relative humidity, the maximum acceptable level for storage for any sample

相對濕度70%之平衡含水量

|   |     |      |
|---|-----|------|
| 玉 | 米   | 13.5 |
| 小 | 麥   | 13.5 |
| 高 | 梁   | 13.5 |
| 小 | 米   | 16.0 |
| 稻 | 穀   | 15.0 |
| 米 |     | 13.0 |
| 豆 |     | 15.0 |
| 豆 | 類   | 15.0 |
| 花 | 生   | 7.0  |
| 棉 | 籽   | 10.0 |
| 可 | 可   | 7.0  |
| 乾 | 椰 子 | 7.0  |
| 棕 | 櫚 種 | 5.0  |



A 害蟲散熱之下限 A. Lower limit for insect heating  
B 發芽之下限 B. Lower limit for germination  
C 真菌散熱之下限 C. Lower limit for fungal heating

圖 4. 安全儲藏之溫度，相對濕度及穀物含水量 (Hall, 1970)<sup>(44)</sup>  
Fig. 4. Relationship of storage temperature, relative humidity and grain moisture content to insect heating, reduction in germination and damp grain heating

虫之真正增殖率。營養要素及食物之有無，有時可改變溫濕度之影響力，穀實磨成粉後，水分含量即使低於適當含量，亦可被一些原來在穀物中不能發育之幼虫取食利用，有些昆虫甚且可在水分大半除去之麵粉中發育。Frankel and Blewett<sup>(41)</sup>發現扁擬穀盜及地中海粉螟 (*Ephestia kuehniella* Zell.) 僅利用代謝水分，可在水分極低的食物中發育，因為在含水量較低穀物情形下，該兩種昆虫可取食更多的食物，以產生水分及單位體重，同時幼虫期有延長，及蛹重有減輕之現象發生。

穀物中之碎穀、穀屑或夾雜物 (Dockage) 不僅可吸引昆虫，且是某些昆虫生存的必需物。例如擬穀盜即較喜歡含有夾雜物之小麥，且在其中生殖力迅速增加，故髒小麥 (Dirty wheat) 比淨小麥 (Clean wheat) 較易受害及變質<sup>(61)</sup>。有些昆虫則經常伴隨他種昆虫生活，例如麥蛾及象鼻虫取食穀物後即提供了穀盜及腐食性昆虫所需之穀屑及粉屑，而後者因生活史較短，可能加速繁殖，而取代了前者之數量。由臺中地區數個穀倉定期取樣調查中，發現角胸粉扁虫經常跟隨穀蠹大量發生於稻穀中，可能因稻穀受穀蠹食為害後，害虫之排泄物和稻穀之

表 8 數種糧倉害虫之最低濕度需求 (Howe, 1965)<sup>(48)</sup>

Table 8. Minimal humidity requirements of some stored products insects

| 中   | 名     | 學                                | 名 | 最低相對濕度 (%) |
|-----|-------|----------------------------------|---|------------|
| 米   | 象     | <i>Sitophilus oryzae</i>         |   | 60         |
| 穀   | 象     | <i>Sitophilus granarius</i>      |   | 50         |
| 印 度 | 穀 蛾   | <i>Plodia interpunctella</i>     |   | 40         |
| 穀   | 蠹     | <i>Rhyzopertha dominica</i>      |   | 30         |
| 烟 草 | 甲 蟲   | <i>Lasioderma serricorne</i>     |   | 30         |
| 粉   | 斑 螟   | <i>Ephestia cautella</i>         |   | 25         |
| 鋸 胸 | 粉 扁 蟲 | <i>Oryzaephilus surinamensis</i> |   | 10         |
| 豆   | 象     | <i>Callosobruchus maculatus</i>  |   | 10         |
| 擬 穀 | 盜     | <i>Tribolium castaneum</i>       |   | 1          |
| 穀 斑 | 皮 蠹   | <i>Trogoderma granarium</i>      |   | 1          |

胚乳 (Endosperm) 形成粉狀物，而大量吸引粉扁虫之故<sup>(10)</sup>。

試驗顯示玉米象於數種混合豆穀中，最偏好於糙米內產卵繁殖，其次為高粱、玉米、大麥及燕麥，而其在稻穀、豆類及小米中，却未能產卵繁殖，此種偏好性之差異，可能與豆類外殼之有無與緊密程度，種皮之厚薄與軟硬程度或豆穀化學營養成分不同有關。又其發育中期，在糙米者為最短，其他依次為高粱、燕麥、大麥及玉米，此可能由於穀物中之營養成分不同、而影響昆虫之生長所致<sup>(8,11)</sup>。Bell<sup>(22)</sup>發現麥蛾取食不同成分之小麥穀實後，其存活率有相當的差異。將小麥

分成內胚乳，胚 (Germ) 及麥麸 (Bran)，並作成小球狀餵食麥蛾，其總存活率較高者，依次為下列組合：全穀實組 (Whole-kernel diets)；內胚乳與胚混合組 (Endosperm-germ，其中胚之含量 1~50%) 及內胚乳與麥麸混合組 (Endosperm-bran，其中麸含量 10~20%)。在內胚乳—麥麸組中若麥麸含量超過 30%，或麥麸—胚組中，麥麸含量高過 5%，則幼虫均不能成活。取食全穀實之幼虫，其發育期最短；幼虫發育期最長的為取食全內胚乳之一組，但若加入少量胚於其中，則可減短幼虫期；又取食含有高量胚或純胚之幼虫，其發育期顯著地延長。故食物之形態或成份，明顯地影響昆虫生育及成熟之能力。

食物基質同樣地影響昆虫之生殖與發育。維他命 B 類為許多昆虫食物中之需求物，其中維持穀盜類適當之生長與發育者至少有 7 種，即噻胺 (Thiamin, Vit. B<sub>1</sub>)，核黃素 (Riboflavin, Vit. B<sub>2</sub>)，菸草酸 (Nicotinic acid)，吡哆醇 (Pyridoxine)，泛酸 (Pantothenic acid)，膽鹼 (Choline) 及生物素 (Biotin)<sup>(40)</sup>。Cotton *et al.* (1945)<sup>(38)</sup> 指出在麵粉中加入核黃素，可使扁擬穀盜之繁殖率增加 72.5%，該虫在粗製麵粉 (含核黃素量高) 中之繁殖與發育亦比其於精製麵粉者為快。同樣地，玉米象在糙米中之繁殖力及為害損失，較在白米中為大，見表九<sup>(10)</sup>，因糙米中含有之核黃素與噻胺均較精製白米為高<sup>(24)</sup>。

表 9 玉米象於蓬來稻米中之繁殖力及為害損失估計<sup>a)</sup> (謝等, 1978)<sup>(10)</sup>

Table 9. Reproduction and damage by the maize weevil in rice

| 食 物     | 接入蟲數 | 繁殖蟲數    | 米重損失 (%) |
|---------|------|---------|----------|
| 白米 300克 | 4♀   | 242.4   | 9.15     |
|         | 2對   | 208.0   | 4.26     |
| 糙米 300克 | 4♀   | 1,119.2 | 16.29    |
|         | 2對   | 1,028.4 | 11.41    |

a) 接蟲試驗 9 週後調查，4 重複之平均值。

### (c) 氣體組成

穀物儲藏容器內之空氣組成，可將之改變，故密封或密閉儲藏法 (Air-tight or hermetic storage) 之主要基礎，在於使生物之氧氣獲得受到限制，密封儲藏曾被廣泛地研究過，Hyde<sup>(49)</sup> 曾對此問題作過一番深入的論述。

昆虫對氧氣含量之最低需求大約為 2%，低於此水平則不能存活<sup>(75)</sup>。Bailey<sup>(16,17,18,19)</sup> 發現氧氣的壓力 (Oxygen tension)，低至 2.5%~4.6% 範圍，可使 8 種主要的糧倉害虫出現百分之百的死亡率。

Harein and Press<sup>(45)</sup> 研究混合空氣時，發現若無二氧化碳情況下，擬穀盜成虫和幼虫，以及印度穀蛾幼虫，其致死大氣壓 (Lethal atmosphere) 可在氧氣濃度 1% 時到達。

Bailey (1955)<sup>(16)</sup> 曾研究在高氧氣含量下，二氧化碳濃度的致死效應，發現

在高的氧氣濃度（15~21%）時，大氣中二氧化碳含量在36%時，方能使穀象成虫致死。受害的穀堆中，其顆粒間空氣（Intergranular air），不可能產生如此高的二氧化碳含量，故推論在密閉儲藏穀物時，其所以能使害虫致死，乃源自氧氣的缺乏之故。

Harein and Press<sup>(45)</sup>在作倉儲花生研究時，將氧氣、二氧化碳和氮氣，作二重和三重（Binary and ternary）混合，發現當大氣中有36%之二氧化碳時，若同時含有15%之氧氣，可使供試昆虫致死。毋庸置疑的，上述的研究結果，刺激了對此問題更進一步的研究，例如繼續不停地供應二氧化碳，或以二氧化碳或氮氣來置換氧氣，以降低氧氣濃度，並維持二氧化碳的濃度到一定水平，對倉儲中害虫影響之研究，在所多是<sup>(51, 52, 53, 54, 76, 77, 87)</sup>。

報告指出<sup>(54)</sup>經調整過的大氣中，其水蒸氣含量（即相對濕度），在害虫防治上，是一個顯著的相關因子。當供試昆虫暴露在以不同氣體混合的大氣中時，其死亡率因相對濕度的減少而增加，證實濕度因子影響供試昆虫甚鉅。Navarro and Calderon<sup>(68)</sup>指出粉斑螟之蛹在相對濕度22%下，若氧氣之含量為3.3%時，經過4天完全死亡，而在95%之相對濕度時，雖然低到此程度之氧氣，尚不能造成供試昆虫顯著的死亡率（見圖五）。Navarro and Calderon<sup>(68)</sup>，以二氧化碳處理供試昆虫，亦獲類似的結果，即濕度因子再次成爲顯著角色，若相對濕度為20%，暴露於5%之二氧化碳，5天後能造成全部死亡，在95%之相對濕度時則否（圖六）。

上述的實驗亦指出低的氧氣含量，或增加二氧化碳之濃度，能導致供試昆虫水分的喪失，而使害虫致死，因害虫的水分平衡非常重要<sup>(68, 69)</sup>。

昆虫不同生長期對於大氣中氧氣濃度需求之臨界水平（Critical level）亦有差異，例如穀斑皮蠹之卵，在氧氣含量16.8%時即失去活力，而老熟幼虫則在低於1%氧氣含量下，尚可生存<sup>(14)</sup>。故在適當情形下，操縱糧倉內之氧氣和二氧化碳，使氧氣維持至低於害虫需求水平，即可用以防治多種害虫。因此若穀物含水量乾燥至10%左右，保持相當地不透氣狀態及低氧氣濃度水平，大多數昆虫首先即因缺少水分而不能增殖，繼則因氧氣缺少而死亡<sup>(5)</sup>，然則降低氧氣至致死水平，所需時間，則因害虫發生與爲害程度，穀物含水量，儲藏期限及倉庫大小而定，實用上亦受到限制。

日本京都大學自1967到1972年曾作過穀物之地下和水中儲藏實驗，穀物置入充有二氧化碳之密閉塑膠袋內，儲藏於低溫下，此法儲藏穀物，遠較傳統方法爲佳，可使穀物免受鼠類，害虫及真菌感染之荼毒。此法能使穀物維持較佳的化學和生物性質，加入二氧化碳，可降低自由脂肪酸（Free fatty acids）的釋放，抑制自由脂肪酸進一步的氧化，從而減少食米的陳腐之味。水稻在儲藏三年之後，仍能保有原來之發芽能力，可以此法長期儲藏稻種，而不必年年生產<sup>(63)</sup>。本省中央研究院及食品工業研究所，亦在進行該項試驗中，若能試驗成功，可說是

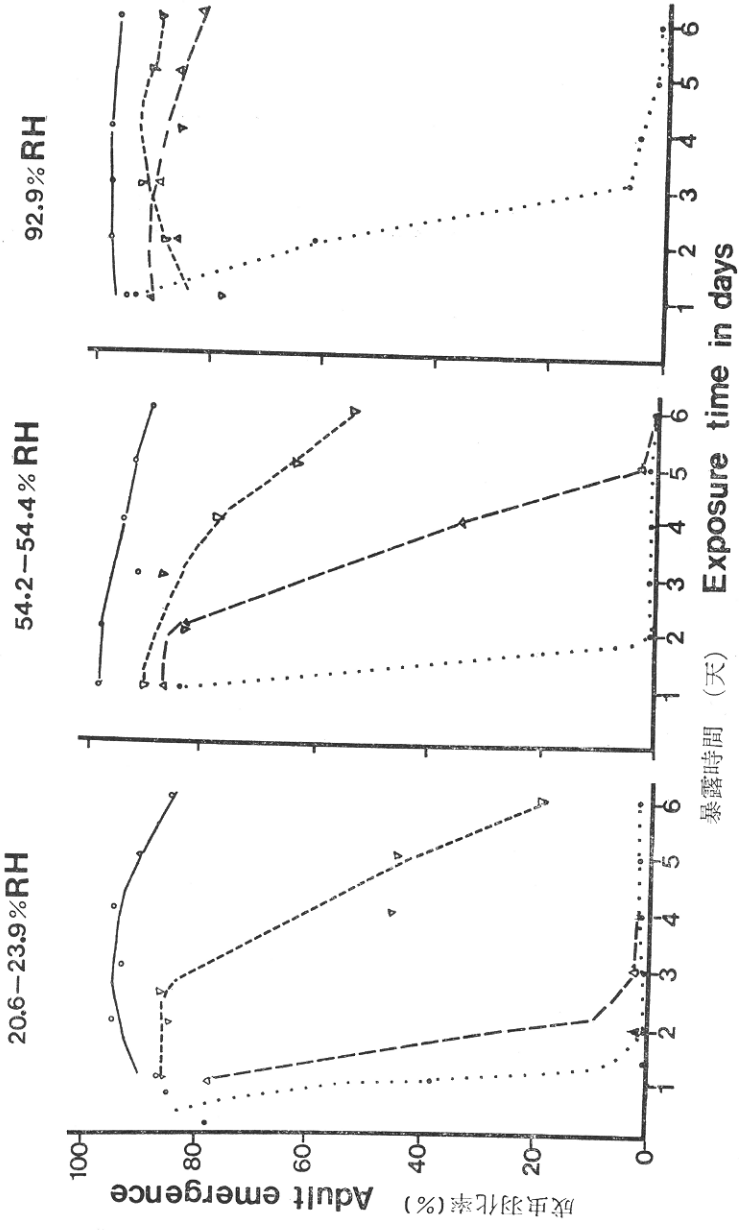


圖 5. 不同相對濕度中氧氣濃度對於粉毒蛾成羽化之影響 (Navarro and Calderon, 1973)<sup>(68)</sup>

Fig. 5. Effect of O<sub>2</sub> concentrations at different relative humidities on adult emergence of *Ephestia cautella* from pupae

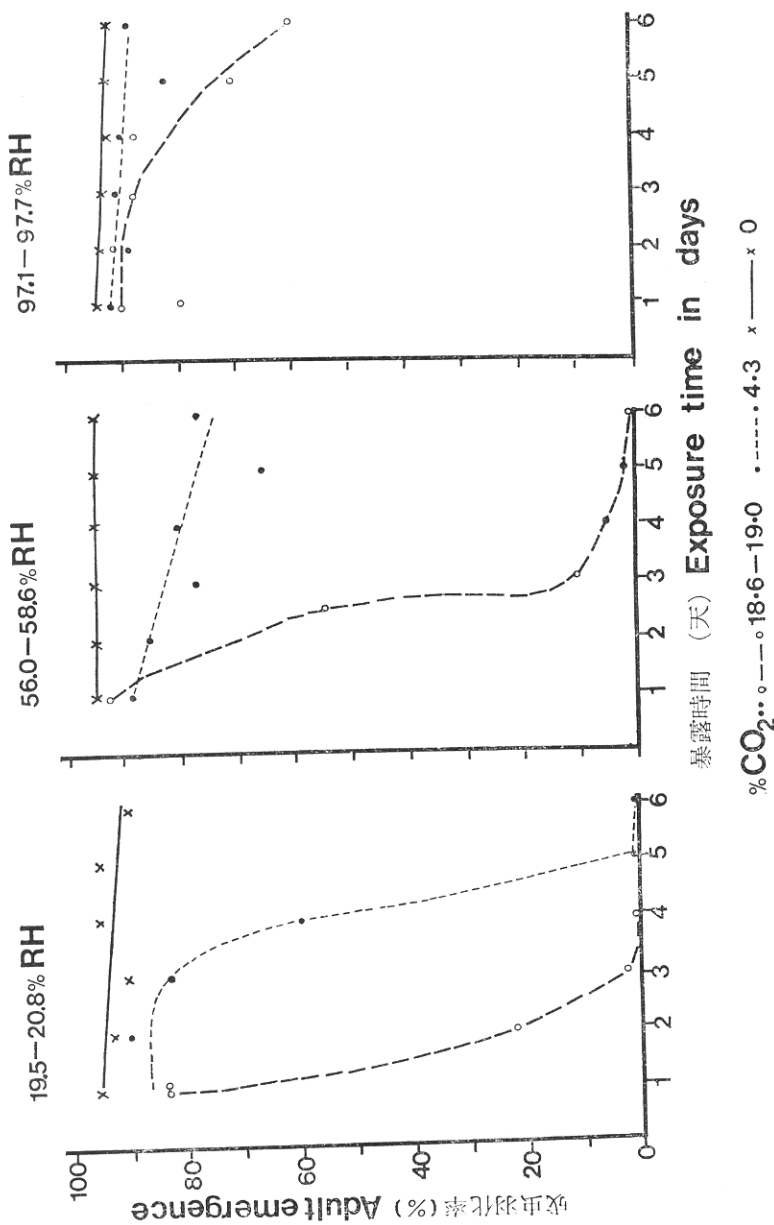


圖 6. 不同相對濕度中二氧化碳對粉斑蛾成蟲羽化之影響 (Navarro and Calderon, 1974)<sup>(69)</sup>

Fig. 6. Effect of CO<sub>2</sub> at different relative humidities on adult emergence of *Ephestia cautella* from pupae

倉儲方法之一大突破。

### (9) 大氣壓力

由於高度的差異，世界上人羣聚集之處之大氣壓範圍為 420~760mm Hg，此種壓力在一密封的儲藏器內，可使之改變，以創造足以影響倉庫害虫之壓力<sup>(89)</sup>。對穀物之微生物相言，高壓或低壓對其有顯著影響，尙無證據。而對害虫言，早在1925 Back and Cotton<sup>(15)</sup>已證實絕對壓力在22~25mm Hg 時，可收害虫防治之效果。Bare<sup>(20)</sup>在研究煙草倉儲害虫時，亦有類似結果。Calderon 等<sup>(33)</sup>研究壓力低到10~12mm Hg 和 16~200mm Hg 時，對放置於試驗儲穀中，6種害虫之影響，獲得頗有希望的結果。Calderon and Navarro<sup>(30)</sup>之實驗顯示，不同種類的害虫，對低壓反應有顯著的差異，但將害虫暴露於低度真空下所起的作用，則所知有限。爲了瞭解此種情形，Navarro and Calderon<sup>(66)</sup>發現壓力 100~400mm Hg 時，縮短了粉斑螟成蟲的壽命（見圖七），在300mm Hg 之壓力範圍內，產卵顯著地受到影響，且在 100mm Hg 時，產卵數甚少；粉斑螟剛產下之卵（0~2小時），滅壓暴露（300mm Hg）96小時，則卵之孵化受阻，在低壓時暴露較短時間能使卵全部致死<sup>(32)</sup>。

有些學者<sup>(57, 65, 89)</sup>指出，低壓對於害虫的致死作用，主要由於失水和乾燥，

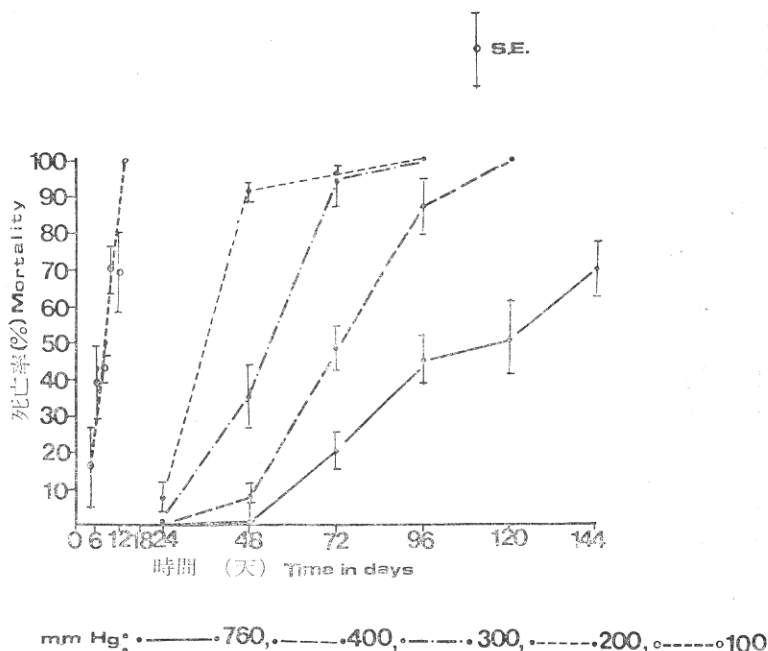


圖 7. 低氣壓下粉斑螟成蟲之壽命 (Navarro and Calderon 1972a)<sup>(66)</sup>

Fig. 7. Longevity of *Ephestia cautella* adults exposed to different low pressures

此種假定因 Navarro and Calderon<sup>(67)</sup>在研究低壓對於粉斑螟蛹之作用時，得到證實。供試昆蟲之死亡率與水分的損失有相關性，可推論出氣壓的減低配合低濕度，能有效地控制害蟲的危害。故綜合數種環境因子如溫度、濕度、二氧化碳濃度，低氣壓一起作用時，將是未來頗值深入研究的一個範疇<sup>(29)</sup>。

#### (c) 光照

有關昆蟲對於可見光和紫外線輻射的反應，已發表的著作不少<sup>(60,74,86)</sup>，大多數的研究，討論到昆蟲受到波長（主要在紫外線範圍內）的誘引。Beard<sup>(21)</sup>發現紫外線輻射，對昆蟲有致死作用，此種輻射對粉斑螟之卵亦十分有效<sup>(31)</sup>。

Jung<sup>(56)</sup>把大豆象 (*Acanthoscelides obtectus*) 的卵以 270~330nm 之波長的紫外線，作輻射處理，並做了一詳細的胚胎學研究 (Embryological study)。據 Navarro and Calderon<sup>(39)</sup>的研究，紫外線輻射，亦影響粉斑螟的幼蟲期和蛹期，但須更進一步之研究，方可評估這些處理的實用性。

有一組美國農部的研究人員，曾調查過扁擬穀盜和印度穀蛾暴露於光暗週期 (Light and dark cycle) 下，行為受到之影響<sup>(13,58,59)</sup>，對印度穀蛾的研究，發現連續的照光，對其生殖能力有幾種影響：包括交尾的延遲與產卵的降低，這些研究人員，注意到的結果，頗值進一步的研究。

Rawnsley<sup>(78)</sup> and Steele<sup>(85)</sup>曾觀察記錄和研究過粉斑螟成蟲羽化的晝間律動 (Diurnal rhythm)，交配和產卵活動，與光照強度的變化相符合。暴露在連續的照光下，粉斑螟交配和產卵，受到部份的阻礙，此點應更進一步作調查。

#### (d) 環境因子之聯合作用

上述各種環境或生態因子，不僅單獨影響昆蟲之生存與活動，二者或二者以上聯合作用之結果，更顯著地改變昆蟲之生殖力、壽命及發育速率。

以溫度、濕度及糙米對玉米象之生物效應試驗為例<sup>(4)</sup>，當相對濕度一定 (45%) 時，成蟲死亡率以 35°C 時為最高 (23%)，隨着溫度下降至 32°C，死亡率驟減，自 32~16°C 時保持 2% 左右，然而溫度降至 13°C 時，死亡率又行升高 (如圖八)。又自 16°C 起，溫度愈高，玉米象之增殖數愈增，至 26~27°C 時達最高峯，高於 26~27°C，增殖數逐漸降低，同時自 16°C 起，溫度愈高，其發育期愈短，至 28°C 時為最短，高於 28°C 後則逐漸延長 (如圖九及圖十)。該兩圖亦顯示當溫度一定時，則以高濕度玉米象之增殖數，較低濕度者為多，然而濕度高至 93% 時，則增殖數有降低趨勢；同時發育期則以高濕度時較短。該試驗並證實最適於玉米象棲羣增殖的溫濕度組合為 28°C 與濕度 80%，此時環境指數 (Environmental index) 為 16.47<sup>(4)</sup>。

溫度上升時，飽和蒸氣壓差 (Saturation deficiency) 明顯地增加，而昆蟲發育則朝向一個特定的熱致死點 (Thermal death point) 迅速下降。故在一個濕度恒定的空氣中 (當溫度上升時，相對濕度下降)，發育最適溫是在發育時間和飽和蒸氣壓差的乘積最低點<sup>(12)</sup>。

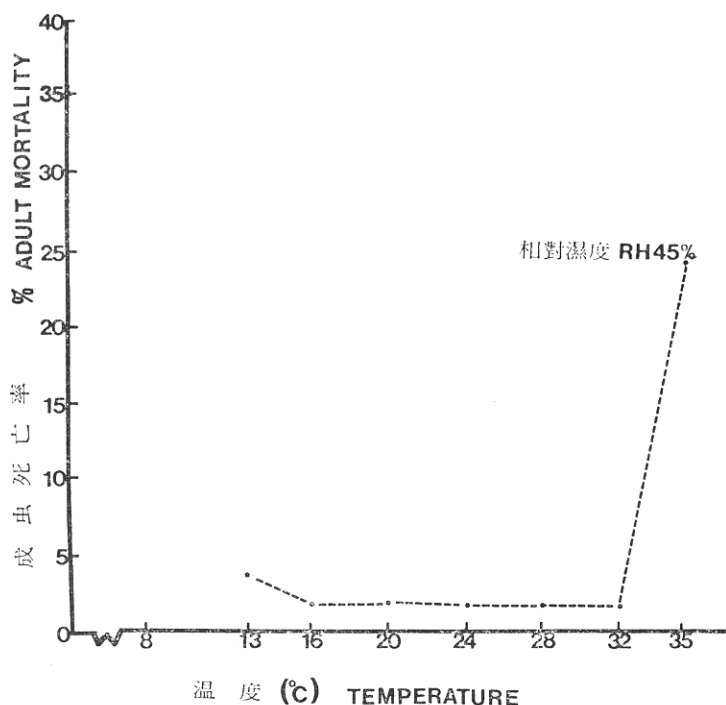


圖 8. 溫濕度組合與玉米象死亡率之關係 (食物為糙米) (黃及謝, 1978)<sup>(4)</sup>

Fig. 8. Effects of temperature and relative humidity on the mortality of the maize weevil

在自然條件下，棲羣的增加率，在環境狀況最適條件偏移時有所減少，故溫、濕度的少許改變，能造成一種昆蟲或他種昆蟲之優勢 (Predominance)<sup>(5)</sup>。

除此之外，尚有許多有害的併發現象，導源於對溫濕度操縱無效所致。這些併發現象，主要和前述發生於倉儲穀物中的熱點及溫度階梯有關。

#### 四、結 語

積殺害虫之發生及其棲羣之消長與害虫生殖潛能、倉庫生態環境及倉儲管理有密切的關係。倉庫環境適於害虫生存與繁殖，而倉儲管理又不善時，害虫棲羣即迅速增長，其為害程度亦加速猖獗，反之，害虫之發生即減少，其為害程度亦相形減輕。

害虫之生殖潛能因種類而異，在自然界中，一種或數種環境因子或能決定昆蟲之真正增殖力，但是在倉儲環境中害虫之繁殖及其棲羣變遷即受到溫度、濕度、穀物種類、氣體組成、大氣壓力及光照等單獨或聯合作用的影響。多數積殺害虫之生育適溫介於 25~30°C，穀溫低於 21°C 時，則對積殺之嚴重為害可免於

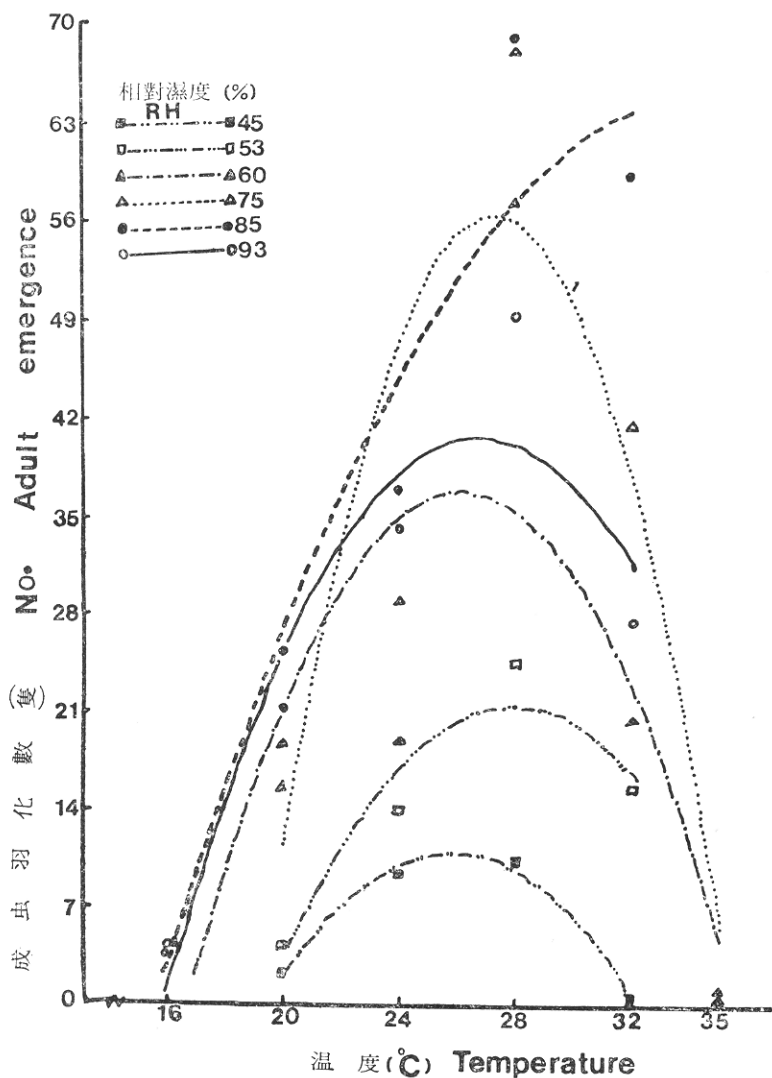


圖 9. 溫濕度組合與玉米象產卵繁殖之關係 (黃及謝1978)<sup>(4)</sup>

Fig. 9. Effects of temperature and relative humidity on the reproduction of the maize weevil

發生，若能使溫度低於 12~15°C，則穀物之儲藏更為安全。大氣濕度除了直接影響倉儲害虫之生育外，尚可使穀物之含水量改變，而間接影響害虫之繁殖力。一般濕氣對昆虫之影響程度變異較大，然而在低濕氣環境中，害虫之發生與為害均較輕微。不同穀物因營養成分的差異而往往促使害虫之產卵、取食產生不同之偏好程度或進而影響其發育與繁殖。穀物中之碎穀、穀屑不僅可吸引昆虫，且與

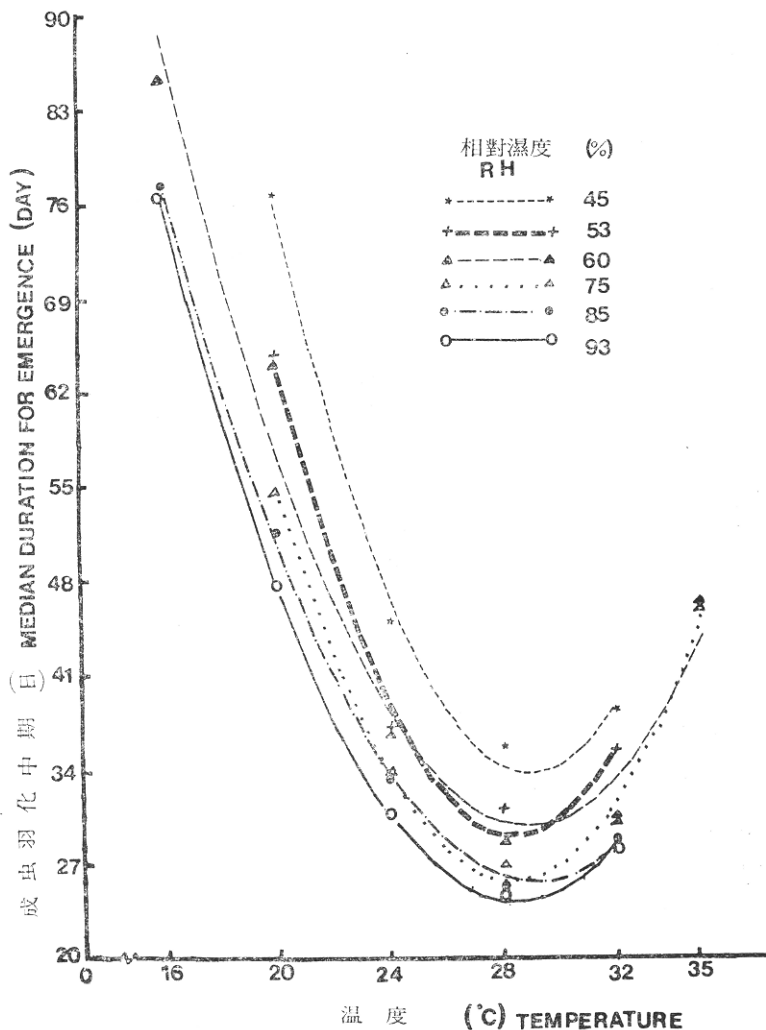


圖 10. 溫濕度組合與玉米象發育期(自卵至成蟲)之關係(黃及謝, 1978)<sup>(4)</sup>

Fig. 10. Effects of temperature and relative humidity on the development of the maize weevil

某些昆蟲的生存有關；昆蟲取食缺乏核黃素 (Riboflavin, Vit. B<sub>2</sub>) 之穀物時，其繁殖力即降低；穀物穀殼保持完整，證實有助於減少害虫之取食為害。因此穀物之種類，形態或基質均可影響昆蟲之發育速率，壽命及生殖力。積穀害虫對於倉庫中之氧氣及大氣壓亦有其最低需求量，一般氧氣濃度若低於 2% 以下，大氣壓低於 400mm Hg，則對害虫之生存與繁殖有不利之影響。

研究積穀害虫生態之目的，除了增進對害虫生活習性的瞭解外，尚可應用生態之基本知識，作生態防治工作，於興建現代化之倉庫系統時，對防虫設備可提

供重要的參考，對於現有倉儲之管理，則可配合化學的、物理的、生物的方法以及抗虫殺物品種等，作適當的環境操縱或調節，使倉儲穀物之虫害損失降至最低水平。

## 五、參 考 文 獻

1. 林櫟 1968。積穀害蟲與益蟲之調查(-)。農業研究 17(3):39-45。
2. 林櫟、蔡文珊、彭添興、林文雄、黃財發、顏福成、陳榮銘 1975。臺灣雜糧儲藏期間受害之損失及其熏蒸處理。植保學會會刊 17:142-149。
3. 梁崇仁、陳德能、林櫟 1954。臺灣稻穀貯藏之現狀及積穀害蟲為害損失量之調查。科學農業 2(8):34-40。
4. 黃振聲、謝豐國 1978。溫、濕度對玉米象 (*Sitophilus zeamais* Motschulsky) 之生物效應 (尚未發表)。
5. 高德生、謝豐國 1977。倉庫害蟲生態分析。稻作與糧倉蟲害研討會專輯 臺灣植物保護中心印行 pp.60-73。
6. 謝豐國 1975。棲羣動態：生物防治基礎研究之一。植保學會會刊 17:42-53。
7. 謝豐國、高德生 1976。談倉庫害蟲問題。科學月刊 7(3):26-34。
8. 謝豐國、黃振聲 1978。稻穀穎殼抗玉米象 (*Sitophilus zeamais* Motschulsky) 產卵繁殖之探討 (植保學會會刊已接受刊登)。
9. 謝豐國、黃振聲、洪麗梅、高德生 1978。相對濕度對積穀含水量及蟲害損失之影響 (植保學會會刊已接受刊登)。
10. 謝豐國、高德生、洪麗梅 1978。臺中區積穀害蟲調查與蟲害損失估計 (尚未發表)。
11. 謝豐國、高德生、黃振聲 1976。玉米象 (*Sitophilus zeamais* Motschulsky) 對積穀偏好性之初步檢定。臺灣農業 12(3):164-170。
12. Araullo, E. V., D. B. de Padua and M. Graham 1976. Rice. Postharvest Technology IDRC-053e. International Development Research Centre. Ottawa. Canada pp. 133-142.
13. Arbogast, R. T., and B. R. Flaherty 1973. Light responses of *Tribolium castaneum* and *Tribolium confusum* (Coleoptera, Tenebrionidae): Variation with age and sex. J. stored Prod. Res. 9:31-35.
14. Atwal, A. S. 1974. Ecology of pest complex in stored grains. In Training Manual: Post-harvest Prevention of Waste and Loss of Food Grain. Asian Productivity Organization. pp. 131-142.
15. Back, E. A., and R. T. Cotton 1925. The use of vacuum for insect control. J. agr. Res. 31:1035-1041.
16. Bailey, S. W. 1955. Airtight storage of grain; its effect on insect pests. I. *Calandra granaria* L. (Coleoptera, Curculionidae). Aust. J. agr. Res. 6:33-51.
17. Bailey, S. W. 1956. Airtight storage of grain; its effect on insect pests. II. *Calandra oryzae* (small strain). Aust. J. agr. Res. 7:7-19.
18. Bailey, S. W. 1957. Airtight storage of grain; its effect on insect pests. III. *Calandra oryzae* (large strain). Aust. J. agr. Res. 8:595-603.

19. Bailey, S. W. 1965. Airtight storage of grain; its effect on insect pests. IV. *Rhyzopertha dominica* (F.), and some other Coleoptera that infest stored grain. J. stored Prod. Res. 1:25-33.
20. Bare, C. O. 1948. The effect of prolonged exposure to high vacuum on stored-tobacco insects. J. Econ. Entomol. 41:109-110.
21. Beard, R. L. 1972. Lethal action of U. V. irradiation on insects. J. Econ. Entomol. 65:650-654.
22. Bell, K. O., Jr. 1971. Angoumois grain moth, *Sitotroga cerealella* (Oliver), reared on pellets and meals composed of various combinations of endosperm, germ, and bran of wheat. Ph.D. dissertation, Kansas State University.
23. Birch, L. C. 1946. The heating of wheat stored in bulk in Australia. J. Aust. Inst. Agr. Sci. 12(1-2):27-31.
24. Bureau of Science and Technology, Japan. 1973. Standard Table of Food Composition for Japan.
25. Burges, H. D. and N. J. Burrell 1964. Cooling of bulk grain in the British climate to control storage insects and to improve keeping quality. J. Sci. Food Agr. 15:32-50.
26. Burrell, N. J. 1967. Grain cooling studies. II. Effect of aeration of infested grain bulks. J. stored Prod. Res. 3:145-154.
27. Burrell, N. J. and J. H. J. Laundon 1967. Grain cooling studies. I. Observations during a large scale refrigeration test on damp grain. J. stored Prod. Res. 3:125-144.
28. Calderon, M. 1972. Aeration of grain-benefits and limitations. EPPO Bull. 2(6):83-94.
29. Calderon, M. 1975. The feasibility of environmental control for the protection of stored grain. EPPO Bull. 5(2):125-136.
30. Calderon, M. and S. Navarro 1968. Sensitivity of three stored product insect species exposed to different low pressures. Nature 218(5137):190.
31. Calderon, M. and S. Navarro 1971. Effects of ultra-violet irradiation on the eggs of *Ephestia cautella* (Wlk.) (Lepidoptera: Phycitidae). J. stored Prod. Res. 7:309-311.
32. Calderon, M. and S. Navarro 1973. Effect of low pressures on *Ephestia cautella* (Wlk.) eggs. Prog. Rep. Israel Min. Agr., Stored Prod. Res. Lab. 1972-73:47-50.
33. Calderon, M., S. Navarro and E. Donahaye 1966. The effect of low pressures on the mortality of six stored-product species. J. stored Prod. Res. 2:135-140.
34. Christensen, C. M. and H. H. Kaufmann 1965. Deterioration of stored grain by fungi. Annu. Rev. Phytopath. 3:69-84.
35. Cotton, R. T. 1950. Pests of stored grain and grain products. Burgess Publishing Co., Minneapolis Minn.
36. Cotton, R. T. 1954. Insects. In J. A. Anderson and A. W. Alcock (ed.) Storage of Cereal Grains and Their Products, Amer. Assoc. of Cereal Chemists. Monograph series II:221-274.

37. Cotton, R. T. and D. A. Wilbur 1974. Insects. *In* C. M. Christensen (ed.) Storage of Cereal Grains and Their Products. pp. 193-231.
38. Cotton, R. T., J. C. Frankenfeld and E. G. Bayfield 1945. Relative susceptibility of enriched and non-enriched flours to insect attack. Northwest. Miller 221(7):3a, 23a.
39. FAO. 1975. Stored product pests causing losses of stored food. FAO Plant Prot. Bull. 23:115-117.
40. Frankel, G. and M. Blewett 1943. The natural foods and the food requirements of several species of stored product insects. Trans. Roy. Entomol. Soc. (London) 93:457-490.
41. Frankel, G. and M. Blewett. 1944. The utilization of metabolic water in insects. Bull. Entomol. Res. 35(2):137-139.
42. Girish, G. K. 1965. Effect of temperature on the development of stored grain insect pests. Bull. Grain Tech. 3:142-154.
43. Girish, G. K. 1974. Storage Entomology: A Review. *In* Training Manual on Post Harvest Prevention of Waste and Loss of Food Grain. Asian Productivity Organization. pp. 143-160.
44. Hall, D. W. 1970. Handling and storage of food grains in tropical and subtropical areas. Food and Agriculture Organization of The United Nations, Rome, FAO Agricultural Development Paper No. 90. pp. 14-112.
45. Harein, P. K., and A. F. Press 1968. Mortality of stored-peanut insects exposed to mixtures of atmospheric gases at various temperatures. J. stored Prod. Res. 4:77-82.
46. Holman, L. E. 1960. Aeration of grain in commercial storages. Mktg. Res. Rep. USDA 178, 46 p.
47. Howe, R. W. 1962. A study of the heating of stored grain caused by insects. Ann. Appl. Biol. 50:137-158.
48. Howe, R. H. 1965. A summary of estimates of optimal and minimal conditions for population increase of some stored products insects. J. stored Prod. Res. 2:177-184.
49. Hyde, M. B. 1974. Airtight Storage. *In* C. M. Christensen (ed.), Storage of Cereal Grains and Their Products. pp. 361-419.
50. Iman, I. M., and I. D. Kilin 1973. Insecticide Screening. Ministry of Agriculture, Central Research Institute for Agriculture. Bogor, Indonesia
51. Jay, E. G. 1971. Suggested conditions and procedures for using carbon dioxide to control insects in grain storage facilities. ARS USDA no. 46-51, 6p.
52. Jay, E. G., and G. C. Pearman, Jr., 1973. Carbon dioxide for control of an insect infestation in stored corn (maize). J. stored Prod. Res. 9:25-29.
53. Jay, E. G., L. M. Redlinger and H. Laudani 1970. The application and distribution of carbon dioxide in a peanut (groundnut) silo for insect control. J. stored Prod. Res. 6:247-252.
54. Jay, E. G., R. T. Arbogast, and G. C. Pearman 1971. Relative humidity: its importance in the control of stored-product insects with modified atmospheric gas concentrations. J. stored Prod. Res. 6:325-329.

55. Joffe, A. 1958. Moisture migration in horizontally stored bulk maize: the influence of grain infesting insects under south African conditions. S. Afr. J. Agr. Sci., 1:175-193.
56. Jung, E. 1971. Die Entwicklungsfähigkeit des Eies von *Bruchidius obtectus* Jay nach partieller UV-Licht-Bestrahlung (Coleoptera). Wilhelm Roux' Archiv 167:299-324.
57. Livingstone E. M. and W. D. Reed 1940. Water vapor as a factor affecting the survival of *Ephestia elutella* and *Lasioderma serricorne* at reduced pressures. Ann. Entomol. Soc. Amer. 33:583-587.
58. Lum, P. T. M. and B. R. Flaherty 1969. Effect of mating with males reared in continuous light or in light-dark cycles on fecundity in *Plodia interpunctella* Hubner (Lepidoptera: Phycitidae). J. stored Prod. Res. 5:89-94.
59. Lum, P. T. M. and B. R. Flaherty 1970. Regulating oviposition by *Plodia interpunctella* in the laboratory by light and dark conditions. J. Econ. Entomol. 63:236:239.
60. Marzke, F. O., M. W. Street, M. A. Mullen, and T. L. McCray. 1973. Spectral responses of six species of stored-product insects to visible light. J. Georgia Entomol. Soc. 8(3):195-200.
61. McGregor, H. E. 1964. Preference of *Tribolium castaneum* for wheat containing various percentage of dockage. J. Econ. Entomol. 57:511-513.
62. Metcalf, C. L., W. P. Flint, and R. L. Metcalf. 1962. Destructive and Useful Insects. pp. 920-938.
63. Mituda, H. 1973. Underwater storage of cereal grains by CEM skin-packing technique. Ann. Technol. Agr. 22:751-755.
64. Munro, J. W. 1966. Pests of Stored Products. Hutchinson & Co. Ltd., London 234 p.
65. Narayanan, E. S. and H. J. Bhambhani 1956. Effect of reduced pressure on *Tribolium castaneum* Herbst (Tenebrionidae: Coleoptera) and *Trogoderma granaria* Everts. Indian J. Entomol. 18:196-198.
66. Navarro, S. and M. Calderon 1972a. Exposure of *Ephestia cautella* (Wlk.) (Lepidoptera, Phycitidae) to low pressures: effect on adults. J. stored Prod. Res. 8:209-212.
67. Navarro, S. and M. Calderon 1972b. Effects of low pressures exposed on water loss and mortality of *Ephestia cautella* (Wlk.) (Lepidoptera, Phycitidae). Prog. Rep. Israel Min. of Agr., Stored Prod. Res. Lab. 1971-72:47-53.
68. Navarro, S. and M. Calderon. 1973. Effect of oxygen concentrations of *Ephestia cautella* (Wlk.) Pupae exposed to different relative humidities. Prog. Rep. Israel Min. Agric., Stored Prod. Res. Lab. 1972-73: 33-46.
69. Navarro, S. and M. Calderon 1974. Exposure of *Ephestia cautella* (Wlk.) pupae to carbon dioxide concentrations at different relative humidities. The effect on adult emergence and loss in weight. Isr. J. Entomol. 8:143-152.
70. Navarro, S., E. Donahaye and M. Calderon 1969. Observations on prolonged grain storage with forced aeration in Israel. J. stored Prod. Res. 5:73-81.
71. Navarro, S., E. Donahaye and M. Calderon 1973a. Studies on aeration with

- refrigerated air. I. Chilling of wheat in concrete elevator. J. stored Prod. Res. 9:253-259.
72. Navarro, S., E. Donahaye and M. Calderaon 1973b. Studies on aeration with refrigerated air. II. Chilling of soybeans undergoing spontaneous heating. J. stored Prod. Res. 9:261-268.
  73. Navarro, S., E. Donahaye and M. Calderaon 1974. Studies on aeration with refrigerated air. III. Chilling of wheat with modified chilling unit. J. stored Prod. Res. 10:1-8.
  74. Nelson, S. O. 1972. Insect-control possibilities of electromagnetic energy. Cereal Sci. Today 17(12):377-387.
  75. Oxley, T. A. and G. Wickenden 1963. The effect of restricted air supply on some insects which infest grain. Ann. Appl. Biol. 51:313-324.
  76. Person, N. K. and J. W. Sorenson 1970. Use of gaseous nitrogen for controlling stored product insects in cereal grains. Cereal Chem. 47:679-686.
  77. Press, H. F. Jr. and P. K. Haren 1967. Mortality of *Tribolium castaneum* (Herbst) (Coleoptera, Tenebrionidae) in simulated peanut storage purged with carbon dioxide and nitrogen. J. stored Prod. Res. 3:91-96.
  78. Rawnsley, J. 1957. *Cadra cautella* (Walker), the tropical warehouse moth; biological studies in relation to control. Symp. on Control of Pests, Ghana Acad. of Sci., 7 p.
  79. Sinha, R. N. 1961. Insects and mites associated with hot spots in farm stored grain. Can. Entomol. 93:609-621.
  80. Sinha, R. N., and H. A. H. Wallace. 1965. Ecology of a fungus-induced hot spot in stored grain. Can. J. Pl. Sci., 45:48-59.
  81. Sinha, R. N. 1973. Climate in relation to deterioration of stored grain: A multivariate study. Oecologia (Berl.) 12:69-88.
  82. Smith, L. 1970. Effects of cold-acclimation on supercooling and survival of the rusty grain beetle, *Cryptolestes ferrugineus* (Stephens) (Coleoptera, Cucujidae), at subzero temperatures. Can. J. Zool. 48:853-858.
  83. Somme, L. 1968. Acclimation to low temperatures in *Tribolium confusum* Duval (Col., Tenebrionidae). Norsk ent. Tidssks. 15:134-136.
  84. Spurgeon, D. 1976. Hidden Harvest. A systems approach to postharvest technology. International Development Research Centre. Ottawa, Canada, 36 p.
  85. Steele, R. W. 1970. Copulation and oviposition behaviour of *Ephestia cautella* J. stored Prod. Res. 6:229-245.
  86. Stermer, A. R. 1959. Spectral response of certain stored-product insect to electromagnetic radiation. J. Econ. Entomol. 52:888-892.
  87. Storey, C. L. 1973. Exothermic inert atmosphere generators for control of insects in stored wheat. J. Econ. Entomol. 66:511-514.
  88. Sutherland, J. W. 1970. Refrigeration of bulk stored wheat. Australian Refrigeration Air Conditioning and Heating, August, 1970:30-45.
  89. Thornton, B. C., and W. W. Sullivan 1964. Effects of a high vacuum on insect mortality. J. Econ. Entomol. 57:852-854.
  90. Von Wahl, C. 1923. Milbeum fermentierendem Tabak. Z. Angew. Entomol. 9:416.

91. Watters, F. L. 1972. Control of storage insects by physical means. *Trop. stored Prod. Inf.* 23:13-28.

## Ecology of Storage Insects

*F. K. Hsieh and S. S. Kao*

Plant Protection Center  
Wufeng, Taichung, Taiwan 431

### Summary

The major storage insects and mite pests in Taiwan were identified. Ecological aspects of some storage insects are discussed, with special references to the effects of temperature, moisture, food grain, gas composition, air pressure, light, and combinations of these factors in relation to the occurrence and distribution of insects.

Stored grains may become infested from many sources, e.g., infested grain holdover; cracks and crevices in bins; waste or spilled grains in or under the granary; imported feeds or seeds from infested sources; migration from nearby infested sources, etc.

Temperature is a determining factor in the development of all insects. Unfavorable temperatures may cause the death of many insect pests of stored grain, render them inactive or prevent them from feeding. Insect development often accelerates with the increase in temperature up to about 42°C. At that level, most species of insects will die, if exposed for a long enough period. Temperatures below 15°C considerably retard insect reproduction and development and, if for a prolonged period below 10°C, will cause the death of most insects. In general grains stored at temperatures below 17-12°C may aid in preventing a heavy insect infestation.

Moisture is another key factor to the safe storage of agricultural produce. Grains absorb greater amounts of moisture in an environment of higher relative humidity. Increasing the grain moisture within a threshold favors a rapid increase in the numbers of insects and their infestation levels. Rice and maize weevils are unable to reproduce in grain with a moisture content below 9%, whereas flour beetles produce progeny in flour in which all moisture has been removed.

The kind of grain or grain products may affect the fecundity, longevity

or speed of development of storage insects, and may even influence their survival and reproduction. The presence of grain dockage or dust is of vital importance; without it, dry grain is unfavorable for reproduction. Nutrition and the availability of food sometimes modify the effects of relative humidity and temperature. The type of food may also affect the ability of an insect to develop and mature to the adult stage. Insects often show a feeding preference among various mixed grains.

Combinations of temperatures and relative humidities show a pronounced physical effect upon insect reproduction and development. The insect generally increases the rate of its reproduction and development proportionally with higher temperatures and higher humidities before the latter reaching a maximum limit. Effects of gas make-up, air pressures, and light alone or in combination with temperature or humidity are also discussed.