

穀物乾燥

# 穀物乾燥

# 目 錄

## 原著者序

### 第一章 穀物乾燥原理

壹 穀粒之生理	1
貳 穀類之保存	3
叁 穀物之損失	4
肆 穀物分級之條件	6
伍 水分含量之測定	7
陸 穀物之發芽率	8
柒 穀物之清選	9
捌 穀粒之污染	10
玖 穀物之儲藏	11

### 第二章 濕空氣之特性

壹 濕氣特性之術語與定義	21
貳 濕氣特性之熱力學關係	23
叁 濕氣之非理想氣體特性	32
肆 濕氣特性圖	37

### 第三章 穀類品質之變化

壹 穀物之品質	47
貳 收穫作業	49
叁 乾 燥	49
肆 儲 藏	51

## 第四章 穀類平衡水分含量

壹 平衡含水率數值	65
貳 平衡含水率之測定	70
叁 EMC 模式	72
肆 吸附與去濕	76
伍 汽化熱	77

## 第五章 空氣之流動

壹 空氣之阻力	81
貳 系統特性曲線	90
叁 多倉式系統曲線	91
肆 送風機	94
伍 地上式管路系統	104
陸 風量率	106
柒 非綫性流動系統之分析	108
捌 綫性與非綫性流動系統之比較	110
玖 非綫性流動之數值法分析	112

## 第六章 靜置式乾燥系統之基本分析

壹 乾燥過程	118
貳 乾燥期間之熱平衡	119
叁 風 量	119
肆 氣象分析	119

伍	濕氣圖	120
陸	汽化熱	121
柒	英斗之定義	122
捌	穀物水分	122
玖	厚層乾燥系統之分析	125

壹	電與燃氣線路	201
貳	燃料蒸氣供應上之考慮	204
叁	由油箱至乾燥機之燃氣通路	204
肆	乾燥機內之燃氣通路	206

## 第七章 穀類乾燥系統

壹	分批式乾燥系統	133
貳	連續式乾燥系統	152
叁	間歇通風乾燥	160
肆	常溫通風	163

## 第八章 穀物乾燥原理與模式

壹	單粒乾燥	168
貳	厚層穀類乾燥	176
叁	穀類模擬乾燥系統之應用	184

## 第九章 乾燥機操作控制與安全

## 附 錄

A	農產品物理特性資料	212
B	測定風量之方法與裝置	220
C	單位換算表	221
D	玉米乾燥與乾濕氣特性之數學模式	224
E	濕球溫度與乾濕降(美國地區)	229

## 中英名詞對照索引

# 第一章 穀物乾燥原理

穀類爲人類與牲畜之糧食與飼料之主要來源。就生產之噸位計，全世界之穀類產量以小麥居首位。然就人類部份之糧食論，稻米則凌駕其他穀類之上。尤其東方地區，在全世界稻米之產銷上，更執牛耳地位。美國地區，則以玉米之種植面積最廣，產量因此遠比其他穀類爲高。其他重要之穀類則有大麥、燕麥與高粱等數種（見表 1-1）。

穀物單位面積產量之增加亦相當快速。在過去廿年，其成長幅度至少在兩倍以上。此項成果主要應歸功於新品種之引進、肥料之施用與雜草、病虫害等之有效防範措施等因素。雖然如此，增產之糧食仍需依賴其他方面諸如收穫、處理與乾燥等作業之繼續改善與發展，方能達到經濟上增產之效果。

表 1-1 世界主要穀類之年產量，噸（1960）

大	麥	$112 \times 10^6$
玉	米	$238 \times 10^6$
燕	麥	$64 \times 10^6$
稻	米	$188 \times 10^6$
黑	麥	$42 \times 10^6$
高	粱	$24 \times 10^6$
小	麥	$300 \times 10^6$

資料來源：Christensen與Kaufmann (1969)；Ken-Jones (1967)；Matz (1969)

## 壹 穀粒之生理

穀粒自外界空氣吸收水分之情形，目前已有相當數量之研究，尤其對種子發育與大氣中吸濕等諸問題之探討甚多。其他關於高水分穀粒在乾燥或調製期間，水分傳遞情形之研究，亦不計其數。這些研究對未來乾燥方式之革新與實際之發展，提供不少學理基礎。

形態上，穀粒周圍爲一薄層穀皮所包覆；穀皮之內則有另一層保護膜。麥質蛋白層（Aleurone layer）即在此保護膜內，構成內部水分外移之通

## 2 穀物乾燥

道（圖 1-1, 1-2, 1-3）。麥質蛋白層為內胚乳（endosperm）之一部份。水分自穀粒內各部位中之移動情形依顆粒內部之特性、麥質蛋白層與外果皮之滲透性，以及各層次之碎裂性質等因素而異。

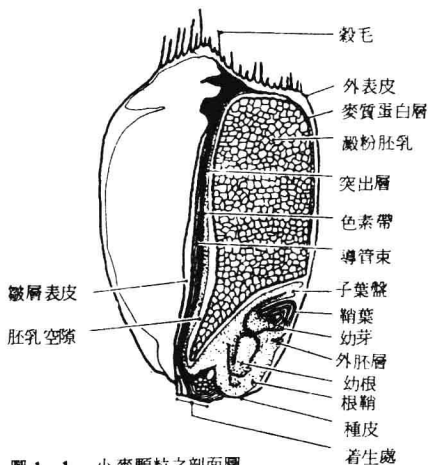


圖 1-1 小麥顆粒之剖面圖

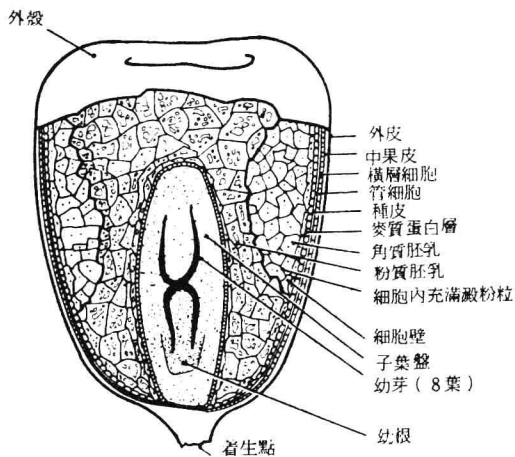


圖 1-2 玉米粒之剖面圖



圖 1-3 稻穀粒之剖面圖

## 貳 穀類之保存

保存穀類有不同之方法可資利用。這些方法中，可單獨或兩者配合使用，以期有效地儲存或調製已收成之穀物。

### 一、乾燥與脫水 (Drying or Dehydration)。

利用乾燥或脫水之方法，將穀物中多餘之水分加以排除，以消除霉菌與昆蟲成長之有利環境。霉菌與昆蟲之存在常易導致穀物變質或損害。本書主旨乃在闡明如何憑借乾燥之方法以降低或抑制此等霉菌與昆蟲之成長。

### 二、氣密貯藏 (Sealed Storage)

水分含量甚高之玉米粒可於密閉狀態下行安全貯藏。此時，穀體之水分需足以維持穀粒本身及微生物之呼吸作用，以消耗貯藏庫中原有之氧氣，釋放出二氧化碳，防止穀粒進一步腐敗。此種濕藏方式最適當之水分含量為：

#### 4 穀物乾燥

玉米，25%；小麥20%；稻穀20%；大麥與燕麥20%。應用此方式若無特別防護措施，或防範措施失效時，穀物極易發酵（Fermentation）而變質。而且，氣密貯藏之結果，穀粒之生機停頓，發芽率降低。

經過密閉儲藏處理之濕穀，於出倉後必需在24至48小時內即行餵飼或加以利用完畢，以避免各種微生物在穀體表面大量繁殖。微生物繁殖之情形視周圍大氣溫度與相對濕度之程度而異。利用密閉貯藏之穀物以作為飼料用者居多。其貯藏地點亦常鄰近其生產與消費地區。

#### 三、低溫與冷藏（Cooling or chilling）

當大氣溫度降至華氏40度以下時，穀物與微生物等之呼吸速率即有顯著之降低。因此，只要穀體溫度維持愈低，其貯藏壽命將愈為增高。這種以低溫或冷凍貯藏穀物之方式，在西歐地區應用相當普遍，其中特別以黑麥之數量為最多。

#### 四、化學處理（Chemical Treatment）

貯藏過程中，施用某特殊化學藥劑，亦可改變微生物之生存環境，抑制其成長。最常使用之藥劑為醋酸與Propionic酸，兩者先與濕穀攪拌混合，貯藏時即可限制微生物之活動。青貯（Silage）之製造過程亦是一種化學處理方式。在其加工作業中，自然產生大量之乳酸（lactic acid），此種乳酸可使厭氣性細菌停止活動。

### 叁 穀物之損失

穀物在田間開始成熟之日起至消費者手中之日止，其間損耗之情形依穀類、品種、地理環境與氣候不同，約在總產量之5~50%間。其損耗量之變化情形與自收穫至儲藏期間所經歷各階段之水分含量變化關係如圖1-4所示，依其變化趨勢上看，無論在脫粒、乾燥或儲藏期間，穀物之水分含量若愈高，其所造成之損耗愈大。

#### 一、田間損耗（Field Losses）

作物一旦在田間開始成熟，其可能遭遇之風險亦告增大。各種因素諸如害虫、強風、大雨或烈日等，均足以造成巨大損失。一般言之，此項風險愈大，其收穫期更需提早完成。在目前企業化農場經營中，儘快地收穫已熟之穀物已為經營人員之一致期望，因此常需利用大型機械收穫。但加快收穫速度之結果，將使收穫後之穀物更需要充分而適當的處理程序，否則由於水分含量過高，反而不利傳統式貯藏。



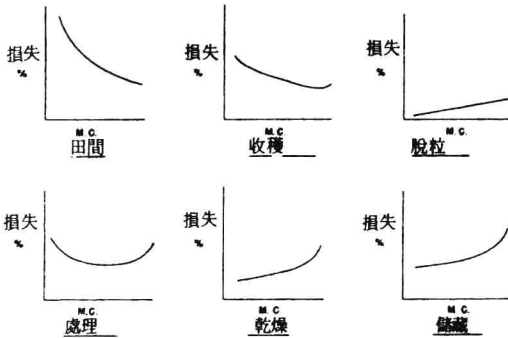


圖 1-4 收穫與儲藏間不同階段之損失

## 二、收穫損耗

在美國地區，收穫期間穀類之損耗平均約為總產量之5%，大部份收穫損耗可歸納於下列原因：(1)穀物震落地面之損失；(2)風害與虫害之損失；(3)收穫機械操作不當；以及(4)作物生長不良。

據研究，在玉米收穫期間，田間損失約在2.3~22%之間，顯然，由於各種變因參雜交錯，地球上所有之穀類很難歸納出實際之損耗數字，但足以想見其損耗比率仍然相當之大。至於此項損耗是否應該杜絕，須端視其所投入之損耗防範成本與收回之穀物價值間之經濟關係而定。

許多種穀物損耗直接與作物之含水率有關，此項含水率一般均以穀粒內之水分含量為基礎(圖1-4)。但穀物在收穫期間，其所遭遇之困難，則與穀殼、株莖與枝葉之水分含量有關。在田間，這些部份之水分變化遠比穀粒本身者為大。

在收穫期內，穀物之水分狀況若選擇得宜，則利用適當機械收穫應可減少損耗。水分狀況合適與否與其品種有關；其適當之範圍，稻米：22至25%；小麥：18~20%，玉米粒：25~32%。在上述水分範圍下，作物正臻成熟時期，其乾物含量最高。此項水分若偏高時，其實際之總產量必低，傳統之收穫機械亦易使穀粒受傷；但水分若過低，則穀粒容易震落，且由於長期曝露大氣，易受氣候傷害，穀粒易碎裂，收穫機械之作業損失因此更大。在適當之水分含量下，雖然田間與機械方面之損失可以減至最低。但若維持該水分不變，則其後之處理作業與貯藏方面之損失反而要比其他水分狀態

## 6 穀物乾燥

時爲大。是故穀物雖在最大乾物量狀態下收穫，但由於其水分含量將不適於貯藏，故必須增加乾燥作業程序，使其水分含量適於安全貯藏。

### 三、儲藏損耗

穀物儲藏期間，由於呼吸及腐敗所致之損失平均約在 4.5%，另外虫害之損耗則在 1～3% 左右。乾淨而完整之穀粒（通常少於 13% w·b<sub>w</sub>），在儲藏期間，若能加以通風維持穀粒適當之含水率、穀溫，並且施用化學藥劑，使之在穀粒間循環，則上項之各種損失必可大爲減少。

### 肆 穀物分級之條件

穀類品質之不同與穀物本身之物理性質、儲藏特性、加工特性以及潛在市場價值或價格等因素有顯著之關連。穀物之等級即以上述各項品質因素爲基礎。此項等級之劃分亦可作爲消費階段最後作業之過程中諸如精米、給飼、加工及化學成品等品質之判斷標準。穀物等級之劃分亦可利用設備先將穀物予以選別與分類，然後以分類後不同品級之含量比例或比例分數表示之。至於其比例範圍與劃分級次則端視穀物之商業價值或其用途而有不同，其分級標準係由政府、有關協會或個別生產團體制定之。等級之規格則包括水分含量、試重（Test weight），破損粒、雜質、熱傷粒與感染物等含量之最高限度等。

穀物水分含量常作爲成熟度與品質之判斷參數。市場上穀物價格之結構亦完全以含水率之多寡爲基準。此項含水率常以溼物全重（溼基）或乾物重（乾基）之穀物水分所佔之百分率表示。市場上價格通常均以溼基含水率作爲基準，而工程上之演算則採用乾基含水率，

$$M_w (\text{溼基}) = \frac{w-d}{w} (100\%)$$

$$M_d (\text{乾基}) = \frac{w-d}{d} (100\%)$$

此處， $w$  = 溼穀全重， $d$  = 乾物重， $M$  = 水分含量百分率。受試之樣本必須具有代表性並且需利於水分之測定。取樣之方式以及水分測定之方法，通常必須依照政府機構、學術團體、購買戶或商家所訂定之標準爲之。

在商場交易時亦常使用每一英斗之試重（Test weight）作爲量度質量密度之標準。穀物之等級愈佳（第一級爲最佳級數）其試重亦應愈高，試重之求法係將已知容量（1 1/8 夸特）之穀物直接置於磅秤上秤重，其後再換算爲磅／英斗之單位。

影響穀物等級級號之有關條件可參考附錄 A-8, A-9, A-10 及 A-11。穀物若未能達到各欄最低等級所列之標準或條件時, 均列為樣品級 ( Sample grade )。

## 伍 水分含量之測定

一般測定穀物水分含量之方法可大別歸納為兩大類別: 即直接法與間接法。但無論利用何種方法, 最主要之問題是所取得之樣本對整個樣本空間是否具有代表性, 而且樣本在測定完成前其水分含量亦必須維持與取樣時之水分狀態相同。為達此目的通常可利用標準之金屬容器及透明袋, 事先編號以便放置待測樣品。有些方法在測定之前, 樣品需先磨碎成粉, 而磨碎之工作必須在水分含量接近些大氣平衡狀態下進行。

### 一、直接測定法 ( Direct methods )

1. 烤箱法—利用烤箱測定水分之方式, 因穀物種類之不同而有數種過程。一般所採用之方式係將樣品置入烤箱以移去穀中之水分。測定程序上則可分兩種: (1) 將樣品磨碎, 置入烤箱烘烤 1~2 小時, 溫度維持 266°F ( 130°C ); (2) 將樣品以整粒狀態置入烤箱烘烤 72 至 96 小時, 溫度 212°F ( 100°C )。測定之情形須依官方農化協會 ( A·O·A·C· ) 或政府所制定之標準為之。

樣品之水分含量甚高時, 可採用兩段烘烤方式為之。在此方法中, 樣品可先依原二種方法以完整顆粒進行烘烤, 隨後將樣品取出研磨成粉再度置入烤箱烘乾, 水分含量之決定將由水分失重多寡計算之。

樣品放在烤箱中須烘烤到殼體之失重現象停頓為止, 事實上無法在樣品本身之晶體結構遭受破壞前, 完全烤乾穀粒中所含水分。樣品若置於烤箱烘烤過久, 有機質多將逐漸減少, 乾物質部份發生失重, 此種失重將使測定值不準確。

真空烤箱法亦用以測定穀物之水分含量。測定前, 須將穀粒磨碎並置入真空烤箱中約 5 小時, 烤箱內維持 25mm 之低度真空, 溫度約在 212°F ( 100°C ) 左右, 烘烤期間若採用較低溫度與較短時間, 則由於晶體破壞導致乾物失重之可能性較小。

樣品自烤箱取出後, 為求準確, 在測定過程中, 應防止樣品再度吸收水分。為此, 樣品皿上須加玻璃蓋密封, 直至樣品與盛皿均冷卻後再量取重量。

2. 蒸餾法—係將穀物樣本放在油中加熱, 以蒸發穀粒中之水分, 蒸發後再利用凝結水氣之體積或重量, 或直接由樣品之失重量計算含水率。

布朗—杜維爾蒸餾法 (Brown-Duvel distillation method) 為最早公認為測定穀物水分含量之標準方式。穀物於秤重後，整粒放入油中，將油加熱並設法使蒸發之水蒸氣凝結，再導入有刻度之量筒內量測其體積。

甲苯 (甲基苯  $C_6H_5CH_3$ ) 蒸餾法亦為官定之方法，應用此法時須將樣品先研磨成粉，然後放入蒸餾裝置，加熱並收集凝結水。甲苯在  $233^\circ F$  ( $111^\circ C$ ) 沸騰，沸點在此溫度以下之物質均將蒸發，水分之沸點遠較此為低，因此將全部蒸發。

## 二、間接測定法

間接測定水分含量之方法係指先測定與水分含量有相應變化關係之其他穀物特性，再以此特性關係推算水分含量。因此，間接法必須事先用直接測定法加以校正。間接法測定之水分含量一般均以溼基含水率表示。

1. 電阻測定法—物質之電阻或電導度之大小與其含水之多寡常成函數關係。因此，許多水分計即利用此原理製成。據研究，小麥之水分含量在 11~16% 之範圍時，其電阻值之對數與水分含量有直線關係。此種特性因穀類而異，故必須將此型式之水分測定計分別利用標準測定法，依所測對象加以校正。此外，由於溫度對物體電阻影響甚鉅，故測定時之溫度若不同於校正時之溫度時，所得之讀數必須另依溫度差數加以修正。電阻值之單位在設計上甚為簡單，可直接以含水率表示。以此種儀器測定穀中水分僅需費一分鐘左右，當壓力增加時穀物之電阻讀數隨之減少。

水分含量超過 17% 時，電阻之對數值與水分含量變成拋物綫關係。大部份電阻式測定計很少標明 7% 以下水分讀數，因為在此乾燥程度下之穀物其電阻數不再隨水分含量發生變化。穀物以熱風乾燥後若立即加以測定，其讀數將較實際者為低，因為此時此種水分測定計有偏於測穀物表面電阻之趨向；相反地，若水分係自外加入穀體中時，表中讀數將比穀物之平均含水率為高。

2. 電容式測定法—穀體之介質 (絕緣) 特性與其水分含量有某種關係存在。電容器之容電量受兩極板間所夾材料之介質特性影響甚大，若兩極板間置放不同水分之穀物時，則測定之電容量或介質常數值即可換算為水分之含量值。一般言之，溼材料之介質常數較高，而乾物之介質係數則較低。

## 陸 穀物之發芽率

發芽率乃在測知穀粒育成正常苗之能力。穀粒在收穫時或收穫後之處理期間，極易遭受機械上之損傷，影響發芽率甚鉅。機械損傷之程度大體上與

穀物之水分含量與溫度有關。測定穀物發芽率之標準程序與方法，一般係由穀種銷售與使用之雙方機構協同制定。

田間之野黴菌有時亦能影響種子之發芽特性，尤其當穀物暴露在田間惡劣之天氣中過久或種子已在株上發生胴裂時為甚。穀物收穫後，予以充分乾燥並適當儲藏，此方面損害必可減至最低程度。

穀物收穫後，若不排除穀粒中之水分即予冷凍時，其發芽率將會降低。以玉米為例，其含水率在25%以上時若暴露於32°F (0°C)以下低溫24小時，其發芽率即刻降低。另一導致發芽率低落之原因是穀物在溫度125°F (51°C)以上之環境下存放過久。此時縱然水分含量降低，其發芽率亦會降低。

因此之故，穀物在進行乾燥作業時，所使用之熱風溫度亦應維持在某一最高極限內，以免損及種子之發芽能力。種子乾燥時其熱風溫度通常要維持低於110°F (43.3°C)。

穀物在潮溼狀態或含水率低於14%以下時，調製期間，穀粒最易遭受損傷，因此更導致發芽率降低。事實上，有關調製對發芽率之影響，其關係相當複雜，常隨穀物種類、負荷之型態、進出倉之速率、水分含量、霉菌之感染型式與範圍以及周圍溫度等因素之不同而異。

穀物儲存之狀況與貯藏時間亦影響發芽率，其中最為重要者當為高相對溼度環境下對貯藏中穀物發芽率所產生之影響，此情況即使僅為短暫之儲藏亦然。以小麥、燕麥與大麥等為例，在室溫70°F (21°C)相對溼度高於90%之狀態下，貯存不到一個月期間，其發芽率即已發生嚴重傷害，但同樣之穀物在溫度70°F相對溼度57%下，貯存三年其發芽率僅呈些微之降低。穀物由相對溼度高之處轉移至較低相對溼度環境下作安全貯藏時，其達到水分含量平衡所需時間之長短亦影響發芽率。在同一倉庫內，頂層水較易聚集之處其發芽率均顯著減低。

## 柒 穀物之清選

正常情況下，穀物若經一番清選與分級（分類為各等級）等處理手續後，其市場價值將因而大為提高。清選或部份選別之工作常在農場上進行，但分級之工作通常不在農場上進行。

在乾燥或儲藏之前，穀物之清選工作極為重要。在清選之過程中，穀粒間所滲雜之草枝、空殼、異種粒、青粒、染病粒或破損粒、害虫及其他不純物均可除去。因此可以減少所需除去之水分，減低雜物含量，並且處理後，

## 10 穀物乾燥

產品均勻，利於通風乾燥。雜物及破損之穀粒常易聚積在升降機排穀口處，妨碍自然通氣，在倉儲方面，亦易堵塞機械通風之風路。

風選機（利用風與篩網以選別）之應用對穀粒不但可作清選淨化之工作，同時亦能依穀粒之大小與密度加以選別。選別時，穀物先流經篩網，較小顆粒即由網目中通過，輕質之糠、殼、草枝及微小雜粒可因控制風量之大小自穀物中吹離出，而較重之顆粒則在風路中掉落。較簡單之風選機係一具鼓風機及兩片篩網組成，商業化之大工廠則配合大型風選設備與比重式選別機，將穀種加以清選與分類。

比重式選別機之設計係利用穀粒與其他雜物間不同比重之特性加以分類選別。其方法係利用風力使草枝與穀物同時在空氣層中浮動，並輔之以機械振動使穀物前進。整部機械係由一三角形之傾斜枱構成，枱面裝有帆布網或多孔板，空氣由枱面底部送入穀層，穀物則沿傾斜枱面而下落。吹送之風量可自由控制，枱面可左右振動，成爲一振動式輸送帶，將被選別之穀物往一邊推進。

〔譯者註：穀物在浮動之時，輕者漂浮較高，故不受枱板推送之影響，即在較近之枱緣下落，較重者處半浮狀態，與枱面時而接觸，因此受枱面推送至較遠處之枱緣下落。〕

### 捌 穀粒之污染

美國聯邦法律已明令禁止污染穀物在州際間售賣。避免穀物之感染需注意下列措施：(1)勿把穀物貯放在田間，以防土壤中之微生物入侵；(2)收穫時需清選穀物，清除感染在雜物上之微生物；(3)收穫與調理期間避免穀粒胴裂、損傷；(4)儲藏期間應防鼠、鳥之侵襲與感染；(5)提供一良好之貯藏環境，杜絕與穀類有關之微生物之繁殖；(6)每季儲藏期過後，應徹底清除穀倉、儲藏室及提運機等部份。

污穢物之含量可由穀物中所含之頭髮、糞便、羽毛等之數量決定。污穢量過多之穀物不能作爲食物。

穀物在調理期間，若能注意衛生措施，對於產品之清潔程度具有決定性之影響。

昆蟲亦是穀粒感染之來源。昆蟲一旦進入穀粒，即在穀粒內部爲害，因此，虫害穀粒常不易爲人所察覺。雖然輕質穀粒可用空氣法或空氣選別法予以去除，但這些虫害則極難利用正規之選別法加以清除。

舊穀物極易成爲害虫生存、冬眠或產卵之場所，並且很容易感染新穀。

害虫本身亦可能爬行或飛翔至其他穀倉，侵入並感染其他穀類。而且亦可能在收穫進行期間，自某作物轉移至另一作物上。

## 玖 穀物之儲藏

### 一、水分之影響：

各種穀類安全貯藏時，所需之水分含量如表 1-2 所示。儲藏中之穀物是否安全則應以穀倉中水分含量最高之部份穀物之儲藏情況作為判斷指標。

穀物儲藏時間之長短依含水率之不同與作物之種類而異。一般言之，若需將穀物貯藏 5 年以上，其含水率應維持此表中所列一年期所需之安全含水率略低 2% 左右方能保持安全。

表 1-2 穀類收穫時與安全貯藏期之水分含量 (%, d. b.)

穀物種類	收穫時之 最高含水率	收穫時最適當(損 耗最低)之含水率	一般收穫時 之含水率	安全貯藏之含水率	
				一年期	五年期
大 麥	30	18 ~ 20	10 ~ 18	13	11
玉 米	35	28 ~ 32	14 ~ 30	13	10 ~ 11
燕 麥	32	15 ~ 20	10 ~ 18	14	11
稻 穀	30	25 ~ 27	16 ~ 25	12 ~ 14	10 ~ 12
黑 麥	25	16 ~ 20	12 ~ 18	13	11
高 粱	35	30 ~ 35	10 ~ 20	12 ~ 13	10 ~ 11
小 麥	38	18 ~ 20	9 ~ 17	13 ~ 14	11 ~ 12

註：上表適用於穀類之一般生長氣候。例如：燕麥在溫帶之安全含水率為 10 ~ 11%；黑麥在蘇俄則為 13 ~ 15%

資料來源：C.W. Hall (1957); D.W. Hall (1970); Matz (1969); Sinha (1973)

### 二、穀物與微生物之呼吸作用

穀物貯藏期間之發熱問題為安全貯藏上之重要因素，但常為人所忽視。由於穀物本身之自然現象所招致之損失肉眼難識，故貯藏中，穀物內自然發熱所產生之損耗，鮮為人注意。一般言，穀物自然現象導致穀溫上升之情形可分為兩階段。茲以 25% 水分含量存放在傳統式穀倉貯藏時為例，其第一發熱階段平均將達 130°F (54.4°C)。在此期間內霉菌、微生物等將被消滅；第二發熱階段則由於穀體內產生化學變化之結果，穀體溫度將高達 170°C (76.7°C)。

發熱現象與穀物及有關微生物之呼吸作用有關，呼吸過程中可產生熱與

## 12 穀物貯藏

二氧化碳。換言之，乾物質消耗而形成二氧化碳。穀物中最主要乾物質成分為碳水化合物，其燃燒之過程如下：



由式中可知，乾物質若因呼吸損耗 1% 時，每公斤乾物質中即可產生 14.7 公克之二氧化碳，此種 1% 乾物質損失量目前已被公認為一種合理之穀類試驗標準（Steele 與 Saul, 1962）。

細菌與霉菌之生理活動中亦可產生二氧化碳。正常狀況下，1 公克之小麥中可以發現 20,000 至 100,000 隻細菌（Anderson 及 Alcock, 1954）。而霉菌在每公克小麥中其數目自 0 至 50,000 隻不等。穀物遭受霉菌之侵害後，其胚芽之生活力將會減低，並產生不良味道，因而減低其商品價值。霉菌在溫度與水分含量低之場合，極不易繁殖；在相對溼度低於 70% 與溫度低於 32°F (0°C) 時，其生長實際已完全停頓。不同之霉菌其合適繁殖之溫度亦自不同，通常在 50~90°F 之範圍內。

微生物活動之速率或穀物貯藏期間變質（Deterioration）速率與氧氣

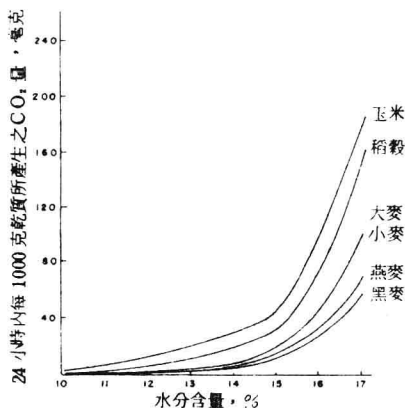


圖 1-5 穀類在不同水分含量下 100°F 時所產生之二氧化碳量

之供給量，霉菌與細菌之潛伏與蔓延情形，穀類之水分與溫度之高低以及穀粒遭受機械損傷之程度等因素間具有函數關係存在。所產生之二氧化碳量與時間、溫度及水分含量等因素間之變化關係如圖 1-5 與 1-6 所示。穀物質變速率之變化關係如圖 1-7、1-8 所示。



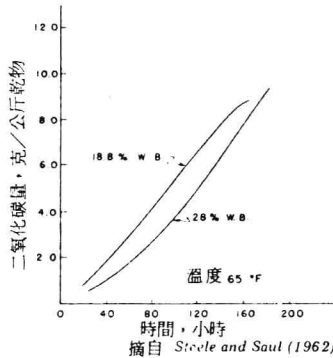


圖 1-6 玉米在兩種水分含量下，65°F時之二氧化碳產生量

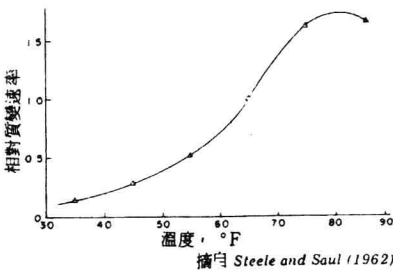


圖 1-7 溫度影響穀物腐敗相對速率之情形

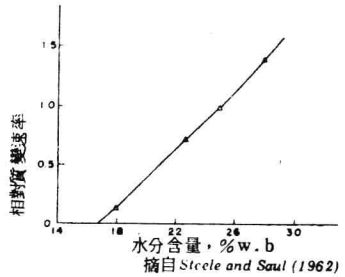


圖 1-8 水分含量影響穀類腐敗相對速率之情形

### 三、積穀虫害

穀物入倉時若能保持乾燥，並防止害虫入侵，則貯藏期間只需保持低穀溫，虫害發生之機會必可較少。大部份之積穀害虫在大氣溫度 50°F (10°C) 以下時進入冬眠，但氣溫超過 100°F (37.8°C) 以上時，即無法生存，故對於虫害之控制，溫熱地區遭遇之困難遠比寒冷地區為多。穀類貯藏時，應定期加以檢查以確定虫害蔓延之範圍。一般言之，穀層頂部水分較易聚積，故虫害發生最烈，虫害之發生可由穀溫之上升、虫卵之發現或虫蛀粒