

玉米脫粒損傷特性之研究

A Study on Damage Characteristics of Shelled Corns

臺灣大學農機系研究生

臺灣大學農機系教授

黃 文 課

馮 丁 樹

W. K. Huang

D. S. Fon

摘 要

本研究旨在提出一種以發芽率為基準之損傷指標，以作為玉米脫粒品質鑑定之標準。根據本試驗結果分析，玉米在含水率超過28%以上時，並不有利於脫粒作業，因為其損傷指標均顯示大幅增高。而在28%之範圍內，損傷指標約在20以內；其 BCFM 值⁽¹⁾則在2%以內；而嚴重損傷則在7%以內。含水率愈低，上述之損傷值亦有降低之趨勢。

苞葉之存在對損傷指標之影響，並不顯著。但水分範圍在28%以內時，苞葉之存在對玉米粒之損傷，有減輕的效果。故在一般水分範圍內，苞葉對玉米粒在脫粒作業過程中，具有相當程度之保護作用。

脫粒筒轉速對脫粒損傷之影響，在本試驗之範圍內，並不十分顯著。但若轉速低於600 rpm 時，含苞葉玉米穗無法有效排出其苞葉，脫粒能量因而降低，並造成二次損傷。當轉速高於1,000 rpm 時，損傷指標亦有明顯增高趨勢。因此為減少脫粒損傷提高產品品質，適宜脫粒時之轉速為800 rpm。

ABSTRACT

Purpose of this research is to construct a damage index for corns on a basis of germination. The experimental results show that ear corns with moisture higher than 28% is not suitable for shelling, as the damage greatly increases. It is found that the damage index falls within 20, the BCFM* within 2% and the severe damage within 7%, as the ear corns are shelled at moisture less than 28%. The lower the corn moisture is, the less the degree of damage results.

The husks are not significant in affecting the value of damage index, but can protect shelled corn from damage as the ear corn is shelled at moisture lower than 28%. Therefore, shelling corn with husks is a recommended procedure for local use.

The cylinder speed is another factor that might cause damage to the shelled corn, but not too significant. In operation, if a speed lower than 600 rpm is used, the husks become difficult to throw out and the machine capacity thus decreases, causing a secondary damage. Speed higher than 1000 rpm, on the other hand, tends to increase the damage index. The cylinder speed of 800 rpm is then best recommended.

註1：BCFM (Broken corn and Foreign Material)

壹、前言

稻田轉作雜糧已成為當前既定之重要政策，其轉作對象以玉米與高粱為主。目前省產飼料玉米與進口玉米數量均呈急速增長，故亟需發展適合本省高溫多濕特殊環境下使用之雜糧作業機械，以減輕轉作雜糧過勞力密集之作業方式。

就玉米而言，本省採行一年二作制度，故收穫期甚短，無法讓作物在田間成熟並充分乾燥至某程度方行採收。因此玉米穗採收時水分高達35%以上，再加上田區狹小，國外高效率之聯合收穫機較難適用。因此採收、去苞葉、乾燥及玉米穗脫粒等必須分段個別作業，工作甚為繁複。根據玉米主要產地美國之試驗，玉米水分乾至26%以內時，脫粒之損傷可減低至可容許之程度，而種子用玉米則應在20%以下。若苞葉與穗同時進入脫粒筒內，對脫粒效果無甚影響却能防止玉米粒受損。

自政府實施轉作雜糧後，各種雜糧作物之相關作業機械需要性日增，而在機械化過程中，除了效率提高，單位時間作業量大以外，收穫物品質也是相當重要之考慮因素。就玉米收穫處理作業而言，玉米粒受損傷之原因很多，諸如收穫時損傷、搬運輸送碰傷、脫粒時受脫粒齒打擊之機械損傷、乾燥時熱風溫度控制不當均會造成損傷。損傷之玉米會降低產品加工價值，影響種子發芽率，縮短儲存之安全期限，甚至遭致病菌感染，間接影響消費者健康甚鉅，亟需謀求改善之道。因玉米粒為非均質體，且脫粒過程為高速度又不規則之複雜運動，致研究玉米粒脫粒損傷均為統計模式之描述。國內研究者僅有奚氏(1987)，曾以力學分析模式之描述對軸流式玉米脫粒機脫粒損傷進行基礎研究。

本研究針對國內目前尚未解決之高含水率含苞葉玉米穗低脫粒損傷之問題，進行脫粒損傷特性之基礎分析。研究方法採用數值化損傷指標之分類標準分析脫粒損傷之機械及作物因子，探討各項作業變因對於脫粒損傷之影響情形，以期獲得最佳之脫粒組合與作業規範。

實驗設計採複因子試驗，僅控制苞葉、轉數和含水率三項變因，以 SAS 統計套裝軟體中的 ANOVA, REG 程序來處理，測試因子主效應及交感效應是否有顯著差異，同時實施多變域測驗檢定處理平均值是否有顯著差異，並以複迴歸模式建立損傷指標與變因間之關係式。

貳、文獻探討

影響玉米脫粒時之損傷及脫粒效率之因子，大體上可分為作物物理性質及外在之機械因素兩種 (Chowdhury, 1973)，前者包括品種、子實及穗軸含水率、抗拉強度、脫粒力及種皮之厚度等；後者則包括脫粒機本身之回轉速度、進給量、進料方向、承網間隙及承網之長度等。

華提氏及布克雷氏 (Waelti & Buchele, 1969) 認為玉米粒之分離力、玉米粒厚度及穗軸強度與脫粒時之損傷程度成正相關，而玉米粒強度與子實含水率則呈負相關。其玉米損傷重量百分比 (Y) 與玉米粒濕基含水率 (Mw) 之關係式為：

$$Y = 0.882 \times (Mw^{1.039}) \quad (1)$$

上式之相關係數為0.81。顯然，玉米之諸物理性質中，仍以水分含量對脫粒時之損傷影響最大。在相同的研究中，約翰遜氏 (Johnson, 1963) 等人亦指出：在玉米粒含水率低於30%時，脫粒筒損失可降低至1%以下，但此項損失會隨玉米粒水分之增高而加大。皮卡氏 (Pickard, 1955) 與布洛氏 (Burrough, 1953) 則認為當玉米粒含水率高於30%時，可見之破碎粒將超過10%以上。一般言，含水率高於20%時，玉米粒之組織鬆軟，因而易受衝擊負荷，導致碎裂。而在低水分時，玉米粒組織轉硬且脆，遭受衝擊後易產生裂紋。

莫力深氏 (Morrison, 1955) 則以傳統銼齒式打擊筒進行玉米損傷試驗。他認為在一般可接受範圍內，以22英吋直徑之脫粒筒進行玉米脫粒，其轉數須超過 450 rpm 以上；且脫粒筒與承網間之隙應維持在5/8至5/4英吋之間。若筒後端間隙低於 5/8英吋，則對脫粒筒損失無法產生降低效果。

根據莫力深氏之研究指出：當含水率高且脫粒筒之轉數超過 450 rpm 時，玉米粒之破碎率會明顯增高。但整體言之，銼齒式打擊筒所造成之機械損傷仍比包圍橡膠之銼齒式打擊筒為低。高斯氏 (Goss, 1955) 則指出：就脫粒筒損失及破碎粒而言，脫粒筒之最佳轉數應為 480 rpm (直徑為22英吋，線速度為 2200 fpm)。脫粒筒之轉數增高，會造成破碎粒過量增加，損及玉米之品質等級。但就另一方面言，脫粒筒轉數之增加則會提高玉米之脫粒效率，在機械之設計上，這是一個兩難的結局，也必須加以考慮的。

在軸流式脫粒機之作業中，脫粒筒之脫粒損失則隨穗軸含水率之增加而急速增高，主要原因在於穗軸組織鬆軟，易導致斷裂 (Burrough & Harbage, 1953)。在進給量對破損率亦有正面之影響。布拉斯氏 (Brass, 1970) 發現：脫粒時原料之進給量若降低，玉米粒之機械損傷會有增加之現象。

玉米損傷後對實際品質之影響則依其用途及儲存之日數而定。蘇爾氏及史弟爾氏 (Saul & Stele, 1966) 等人研究指出：玉米粒水分含量高時，脫粒後之玉米粒僅能貯藏數小時，否則其品質即產生劣化。葛米氏 (Gomez & Andrew, 1971) 等人研究發現玉米粒種子有機械損傷時，其根部生長率與種子發芽率均會降低。

叁、玉米機械損傷之分析

由於在收穫或加工過程中，玉米粒必須以機械方式設法使其與穗軸部份分離，故多少會造成機械損傷；而在乾燥過程中，玉米粒亦會因熱風乾燥原故，產生胴裂、破碎、擦傷及熱傷等。此外，若經儲藏過程，亦會造成發霉、蟲蛀等損傷；而在運輸過程中，亦會加重前段所具有之破碎程度，產生更多的粉塵及碎粒，並失去原有之光澤，使其在抵達使用者之手中時，品質更為降低。種種過程，均會對玉米子粒造成輕重不同之損傷，故如何建立一個評判玉米粒本身損傷程度之客觀標準，則是一項相當重要的課題。而此種評估制度則常因玉米本身之最終用途及其處理之對象設備而有所不同。

理想的玉米品質 (李, 1987)，應具備有下列特性：

(1) 水分含量應低至適當程度，且分佈均勻。
 (2) 胴裂粒、破損粒、受傷粒及雜質量之比例需低。

(3) 試重或千粒重高。

(4) 澱粉成份高，可碾性高。

(5) 油脂回復性大。

(6) 蛋白質成份品質優良。

(7) 發芽率高。

(8) 霉菌粒少。

(9) 營養成份高。

(10) 破損之感受性低。

就玉米粒之加工過程而言，玉米粒之損傷大致可分為外表機械損傷與內部品質之變化程度兩大類，茲分述如下：

一、機械損傷之評估：

有關玉米外部損傷之評估方式，以美國地區而言，最早之官方分級標準係依據1961年美國穀類標

表一、美國玉米之分級標準
 (適用於黃玉米、白玉米及混合玉米)

級 別	最低容 重 量 (磅/英斗)	最高限量(%)			
		水分	破損粒與 夾 雜 物	損 害 粒 總 量	熱 損 粒
1	56	14.0	2.0	3.0	0.1
2	54	15.5	3.0	5.0	0.2
3	52	17.5	4.0	7.0	0.5
4	49	20.0	5.0	10.0	1.0
5	46	23.0	7.0	15.0	3.0

樣品級：凡未能符合1至5等級規格之玉米，或夾雜石粒，或已發霉、酸敗、發熱，或具有任何商業上不能接受之異味，或品質甚為低劣之玉米均屬樣品級。

表二、我國玉米之分級標準

級 別	最低容 重 量 (公克/ 公升)	最高限量(%)			
		水分	破損粒與 夾 雜 物	損 害 粒 總 量	熱 損 粒
1	730	13.5	2.0	3.0	0.1
2	700	14.5	3.0	5.0	0.2
3	670	15.0	4.0	7.0	0.5
4	630	15.0	5.0	10.0	1.0
5	600	15.0	7.0	15.0	3.0

註：(1)第3、4、5級不得為糧食用。

(2) 損害粒：係指由於熱傷、發芽、霜害、發霉、雜斑、病害、蟲蛀、不良氣候所引起之損害或其他重大損害之玉米或碎粒。

(3) 夾雜物：係指所有物質，易於通過4.7625公釐 (12/64 吋) 篩之玉蜀黍粒、玉蜀黍破碎粒及其他物質以及存留在篩上樣品內，除玉蜀黍以外之各種物質。(該4.7625公釐 (12/64 吋) 篩，應為一鋁片篩，其板厚度為0.8103公釐 (0.0319吋)，圓篩孔直徑為 4.7625公釐 (12/64吋)。

準法案 (U. S. Grain Standard Act) 之決議所制定。其後 (1966) 所公佈之玉米分級標準中，則將玉米區分為六個等級。除水分含量外，有關損傷之檢查項目為破損粒與夾雜物 (BCFM) 之最高限量 (參見表一)。我國之糧食及飼料用玉米標準，其檢驗則依中國國家標準第3287號——糧食檢驗法為之。其中之規定與美國農部之標準大略相同僅將玉米仁水分限制在較低水分下 (參見表二)。

對於尚留在 12/64吋篩孔內之玉米損傷情形，一般均以目測方法對脫粒後之玉米粒損傷性質進行檢視，以察看其損傷部位及種類。此種目測之對象是以顆粒作為檢視單位。在進行本測定前，樣本得先以鋁製之 4 號篩網 (12/64 吋或 4.76mm 網孔直徑) 篩選，將未通過篩孔之玉米粒，以分樣器 (Divider) 隨機取樣 100顆玉米粒 (重複次數 4 次)，檢視其損傷性質。依國際種子檢查協會 (International Seed Test Association) 之規定，其損傷部位及種類分為七大類：

1. 胚 (子葉盤) 缺損。
2. 胚 1 級損傷—子葉盤周緣皮傷長度佔周緣 1/2 以上 (1*)。
3. 胚 2 級損傷—子葉盤周緣皮傷長度佔周緣 1/2 至 1/4 (2*)。
4. 胚 3 級損傷—子葉盤周緣皮傷長度佔周緣 1/4 以下 (3*)。
5. 胚乳缺損。
6. 種皮嚴重破損。
7. 種皮輕微破損。

為求有效以定量目測法檢查脫粒之機械損傷情形，克南氏 (Kline, 1972) 等人曾以快速綠色染料着色探傷法 (Fast Green FCF Dye Method) 檢測損傷部位。其法係將受損部位之玉米粒先浸泡於染料中，經洗滌後受損部位之玉米粒會出現明顯之綠色，易於檢測受損部位，故最適合外部損傷之檢測評估。

破碎粒及夾雜物之含量通常為飼料玉米常用之分級標準。但在包括乾燥及運輸過程中，輕微損傷、主要損傷及嚴重損傷等之多寡均會影響事後破碎粒及夾雜物含量之增加，因而更降低玉米粒之品級。因此在處理之前段過程中所發生之損傷，僅採用破碎粒 (或所謂之 BCFM) 之損傷部份作為評估標準，並不十分客觀。問題是前段作業所獲得之破碎粒含量並無法預估到後段處理後，其 BCFM 之

增加情形。

採用攪拌器 (Steinlit Mixer) 則是一種補救的措施。其方法係將定量樣本置於一攪拌器中加以攪拌特定時間 (約 1 分鐘)，然後再通過 4 號篩網求得另一次『較接近未來實際』之破碎粒含量因而決定，其損傷程度。這種方式雖然簡便，但可靠性或穩定性不高，是為其缺點。

二、品質降低程度之評估：

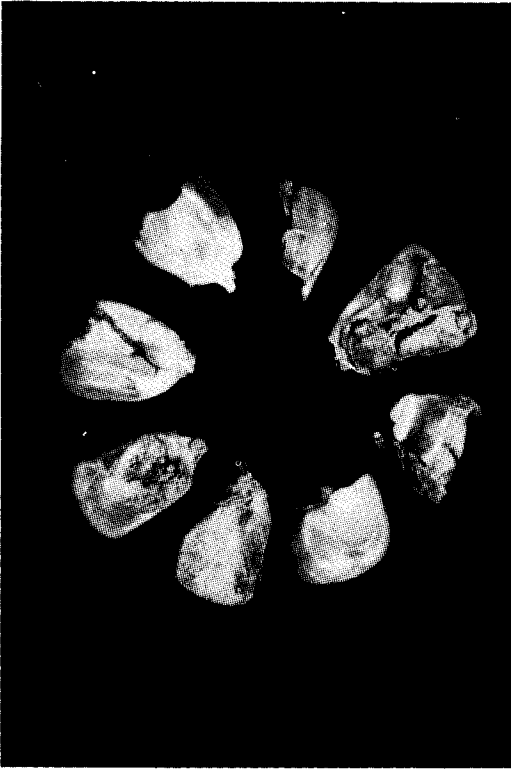
由於玉米遭受各種機械損傷之後，其相關品質之降低係依其最終用途而定。在種子方面，通常均以其發芽之高低作為評估品質之標準，由此進而作為評判玉米整體損傷程度之依據。

損傷指標 (Damage Index) 之觀念係參考喬子利氏 Chowdhury, 1973) 所發表之損傷指標測定方式發展而成，是為數值化型之指標，用以定量描述及嚴格定義脫粒玉米粒之損傷程度。配合光譜儀，喬子利氏亦曾研製成一種玉米損傷量度計 (Damage Meter)，以期立即測定玉米粒之損傷指標。此種損傷指標可作為種子玉米脫粒損傷之評估標準。

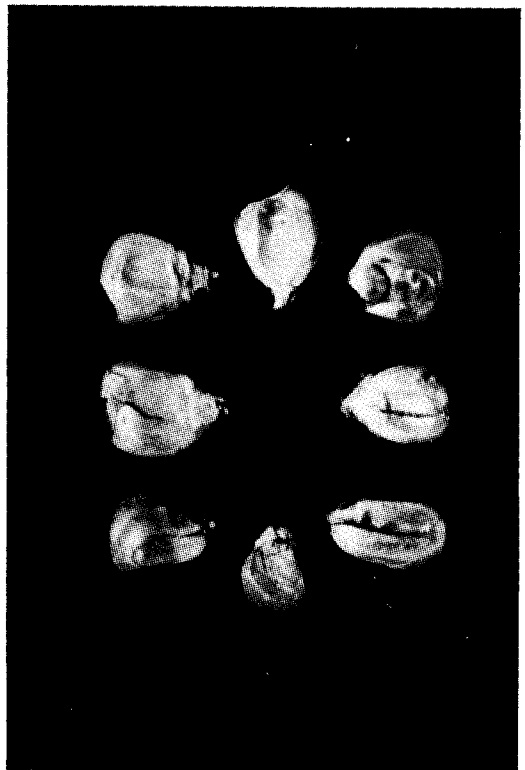
基本上，損傷指標係以機械損傷為架構分成數級，再搭配各級之品質為其權數，求得損傷總指標。根據損傷指標之定義，玉米粒破碎、裂傷、破損、種皮瘀傷或種皮上有細微裂傷等情況均視之為損傷。利用快速綠色染料着色探傷法，可使損傷部份着色及易於檢視損傷。為利前面之定性描述，喬子利氏認為應發展一種數值化損傷指數，並依據損傷嚴重程度加以區分。其方式是將損傷情形分為破碎粒 (D_1)、嚴重損傷 (D_2)、主要損傷 (D_3)、輕微損傷 (D_4)、完整粒 (D_5) 等五大類。其定義如下：

1. 破碎粒 (D_1) ——可通過 4 號篩網之破碎粒及雜物 (BCFM—Broken Kernels and Foreign Material)。
2. 嚴重損傷 (D_2) ——完整粒超過 1/3 缺損之破碎粒、破損粒及壓碎粒 (如圖一)。
3. 主要損傷 (D_3) ——開口裂傷、破損及嚴重種皮損傷 (如圖二)。
4. 輕微損傷 (D_4) ——細微裂痕及種皮部份點缺損 (如圖三)。
5. 完整粒 (D_5) ——除蒂頭外任何部位均不吸附染料 (如圖四)。

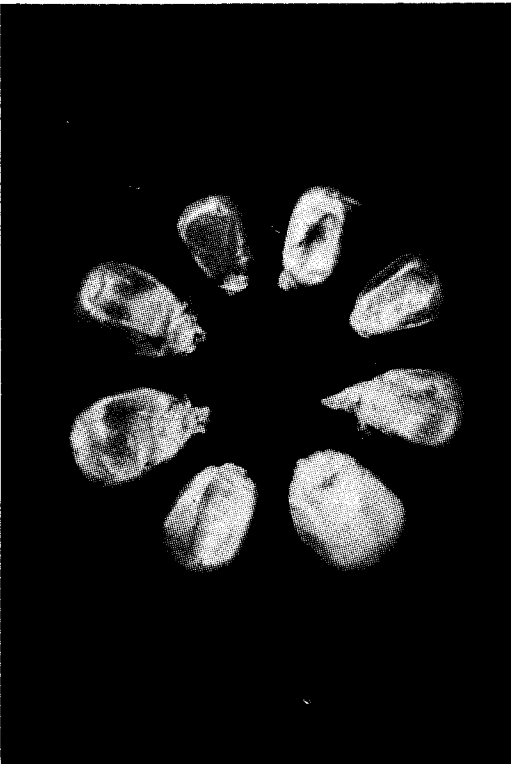
就如前面所言，品質之評估，有時常需因其用



圖一、玉米粒產生嚴重損傷時之情形 (D₂)。



圖二、玉米粒產生主要損傷時之情形 (D₃)。



圖三、玉米粒受輕微損傷時之情形 (D₄)。



圖四、玉米粒全為完整粒時之情形 (D₅)。

途而異。故上述五大損傷分類之百分比，仍有其修正的必要。在飼料玉米中，只要貯藏的時間不長，不因發霉、發熱而損及營養價值，則前面所提出之 BCFM 方式，應足為判斷。但在其他如種子用途方面，種子之活力變得相當重要，必須另行考慮。

設上面所列五大類之相對應品質權值分別為 W_1 (破碎粒)、 W_2 (嚴重損傷)、 W_3 (主要損傷)、 W_4 (輕微損傷)、 W_5 (完整粒) 等。今以目視法檢測 100 公克樣品，並將樣品按前述五大類分別稱其重量，如此即可計算損傷指數 (DI) 值，其方程式為：

$$DI = \frac{(D_1M_1 + D_2M_2 + D_3M_3 + D_4M_4 + D_5M_5)}{10} \quad (2)$$

式中， D_1 、 D_2 、 D_3 、 D_4 及 D_5 等分別為各類之重量百分比。且此重量比之總和應為 100 公克，或：

$$D_1 + D_2 + D_3 + D_4 + D_5 = 100 \quad (3)$$

喬子利氏 (Chowhury, 1973) 所提之損傷指標法，則是以玉米粒之發芽率為出發點，作為加

表三、國產玉米各類損傷之最適溫度發芽率檢查

損傷類別	D_1	D_2	D_3	D_4	D_5
發芽率，%	0	2	50	77	98
	0	3	49	73	91
	0	4	39	70	94
	0	5	42	75	84
	0	4	40	78	96
	0	4	46	86	80
	0	6	51	74	87
	0	8	22	76	75
	0	6	31	80	80
	0	8	20	72	90
平均發芽率百分比	0	5	39	76.1	87.5
未發芽種子百分比	100	95	61	24.9	12.5
損傷指標之權數	10	10	6	2	1

W_5 (完整粒) = 1 W_4 (輕微損傷) = 2
 W_3 (主要損傷) = 6 W_2 (嚴重損傷) = 10
 W_1 (破碎粒) = 10

權的因數。並就五種損傷類別與完整粒之損傷嚴重程度，與其發芽率作比較研究。本試驗即根據此項步驟，就本省省產之玉米，建立一項評判的指標。

發芽率之測定作業則是針對各損傷類別進行，其法係分別從每一損傷類別中，隨機取樣 50 粒玉米粒，種植在標準砂床上實施發芽率測定。利用標準之發芽率測定程序，種植期 7 天，然後檢視發芽情形。發芽之判視分為正常苗、病苗、弱苗及畸苗等四種。本試驗針對國產臺農 351 號玉米品種之脫粒及發芽情形進行測定，在每一類別中之損傷粒均重複 10 次以標準發芽法測定，並記錄其結果。其後再計算各類別中無法發芽之百分數，並將其數值以 10 除之，得到不同類別損傷嚴重程度之乘數因子，或稱為權數。為了方便計算損傷指標 (數)，乃決定不同損傷類別之近似權數如下：

將表中試驗所獲得之發芽率權值 W_1 、 W_2 、 W_3 、 W_4 及 W_5 等之設定值分別代入第(3)式中，且由第(4)式消去 $(D_1 + D_2)$ ，即可化減為第(5)式：

$$DI = 100 - \frac{[4D_3 + 8D_4 + 9D_5]}{10} \quad (4)$$

由第(5)式可知只要主要損傷粒、輕微損傷粒及完整粒為已知，即可計算 DI 之值。而 DI 值之範圍應為 10 至 100 之間。DI = 100 時即表示完全損傷，亦即樣本均屬三分之一以上破碎粒、夾雜物、破損粒及壓碎粒等之總和；若以篩選法，則此類樣本應大部份會通過 4 號篩，亦即 $D_1 + D_2 = 100$ (或 $D_3 = D_4 = D_5 = 0$)。在沒有損傷指標之應用中，以 D_1 或 BCFM 作為破損率標準是最為常見者。但若就發芽率之觀點作為觀察破損率之客觀表示方式時， $D_1 + D_2$ 之值似乎更具代表性。因為此部份根本無任何生命活力。故以 Steinlite 攪拌器打擊之方式，仍值得推介使用。

在低指標值之範圍內，當 100 公克之樣品中雖均完為整粒時，其 DI 值仍為 10 (亦即 $D_1 = D_2 = D_3 = D_4 = 0$ ；而 $D_5 = 100$)。只有在標準砂床法發芽率測定時，其完整粒之發芽率若為 100%，其所得之 DI 值方有機會等於零，但事實上此種情況很少。這可能會使損傷指標值產生誤導的地方。故若能將完整粒修正為 100% 發芽率，將使此一指標值有較為完美之解釋。

由此可見，本研究所使用之損傷指標評估方式係僅考慮種子發育能力 (Seed Viability)。其他之生物因子 (Biological Factor)、貯藏力

(Storability)、二氧化碳產量 (CO₂ Production) 及處理能力 (Handling ability) 均未考慮，但亦可利用此種指標制定法，將上述其他各項考慮為 DI 之基準值，以適用於其他用途。一旦其他生物因子亦一併考慮時，利用此法應可建立一般損傷指數 (Universal Numerical Damage Index)，以作為各種不同品質之參考用途。茲將各種用途可能使用之品質權值表列於後：

表四、品質指標法建議使用之權值

品質指標別	各損傷之權值 (W _x)				
	D ₁	D ₂	D ₃	D ₄	D ₅
發芽率指標	10	10	6	2	1
發芽率修正指標	10	10	6	2	0
BCFM 指標	10	0	0	0	0
破碎粒指標	10	10	0	0	0
儲藏指標	10	10	6	4	0
飼料指標	10	5	3	0	0
加工指標	10	10	2	2	0

表四所列之各種加權情況中，若純就目前商業上以外型之完整性為基準時，即為 BCFM 指標。但就玉米粒之破碎粒而言，實應包括 D₁ 與 D₂ 兩項，故以破碎粒為指標亦是常用之方法。至於儲藏、飼料及加工等方面則視業者之需要而定。

肆、實驗設備與方法

一、實驗設備

本研究係採用美國進口之 Haban 牌玉米脫粒機進行玉米脫粒之作業。該機可對未經去苞葉之玉米穗進行脫粒工作，並配有排渣拋送機及裝袋機。試驗物料主要針對省產高產量之單雜交臺農 351 號玉米品種。本機為曳引機 PTO 軸驅動，其外觀如圖五所示。茲將本機之脫粒系統流程及其主要規格說明如下：

本機主要由進料部、脫粒部、拋送部、排粒部及選別部等組成，機體本身不具動力，須由電動馬達驅動或由曳引機之動力傳導裝置 (P.T.O.) 帶動。其脫粒部份之流程為：含苞葉之玉米穗經進料口進料後，以附有脫粒齒之脫粒筒利用高速運轉中之轉子，進行去苞葉及脫粒。脫粒量可依含苞葉之玉米穗進給量及苞葉水份之多寡進行調整。其方式係

由其進料量推送器 (Capacity Booster) 之四種位置中加以選擇，以獲得適當之脫粒能量。玉米穗經脫粒滾筒上之脫粒齒打擊後，會分離為苞葉、穗軸及子粒。

苞葉及穗軸經由脫粒筒上蓋之阻擋器 (Cylinder Cover Retainer) 與玉米擋板 (Corn Saver Wing) 之間隙排出。復藉穗軸拋送葉片 (Cob Thrower Fan) 之作用，將苞葉及穗軸拋送至遠處。玉米子粒及夾雜物則經由脫粒筒承網落下，此時底部之選別風扇可將夾雜物吹走。經分離篩選後之乾淨玉米粒將以螺旋輸送器輸送至排粒部，再利用拋送機將玉米粒拋送至集粒袋中，完成脫粒作業。玉米脫粒筒轉子之構造如圖六所示。

二、實驗方法

1. 發芽率之測定：

據涂氏 (1987) 之報告指出：在美國之種子發芽率檢查分二種：冷害檢定 (Cold Test) 與最適溫度檢查 (Warm Test)。冷害檢定是為確保玉米在播種初期若遭遇寒冷氣候，亦能保有良好之發芽率。其檢定方式係先將樣本置於攝氏 10 度、相對濕度百分之百之環境下，一週之後再轉到攝氏 25 度下四天。然後計算其發芽率及調查幼苗生長情形。最適溫度檢查是將種子置於攝氏 25 度之環境下，俟其發芽，以檢查其種子最適溫度下之發芽率。

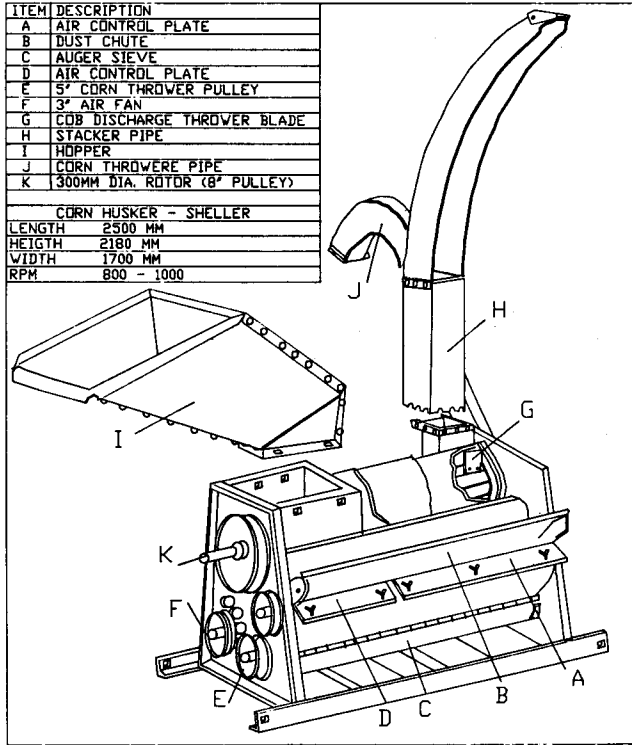
本研究係採用標準砂床法進行發芽率測定，其砂箱為 22.5cm × 13cm × 8cm，底層砂厚度為 2cm，頂層為 0.5cm。採用蒸餾水純化系統 (Mega pure system)，配合去離子機 (Corning Glass Works Ionmister model 6C) 產生去過離子之澆注液。將種在砂箱內之玉米粒置於生長保溫器內，白天八小時定溫為 30°C，晚上為 20°C，相對濕度為 95%。在種植七天後觀察其發芽情形。

2. 穀物含水率之測定

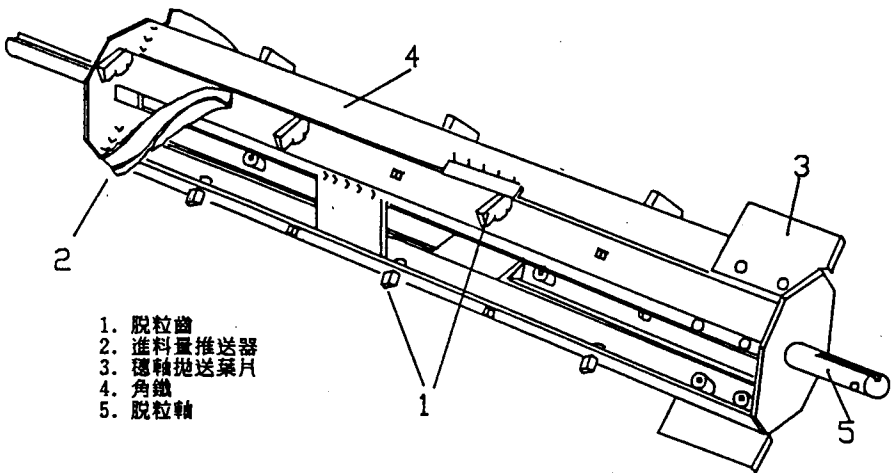
(1) 苞葉與穗軸含水率之測定：以 Ohaus 紅外線水分計測定之。測定時將兩者樣本取樣 10 克，在水分計上加溫至 90°C，30 分鐘讀取其含水率。

(2) 玉米粒水分之測定：以 Steinlite SS 250 型電容式水分計測定之。樣品重為 250 克，重複測量四次，並取其平均值。

3. 重量之測定：



圖五、美國 Haban 牌玉米脫粒機之外形圖



1. 脫粒齒
2. 進料量推送器
3. 穗軸拋送葉片
4. 角鐵
5. 脫粒軸

圖六、脫粒筒轉子之示意圖

各種損傷粒、破碎粒及夾雜物等重量之測定則以 Brainweigh B 300 D Ohaus 電子天平爲之。

4. 實驗材料：

本研究採用之玉米材料爲臺農 351號及臺南 10號。人工採樣每次數量爲含苞葉玉米穗及去苞葉玉米穗各 360公斤，共計 720公斤，而每一處理之脫粒量均爲20公斤。玉米粒含水率分18%、20%、22%、24%、28%、30%及32%等等級進行試驗。其中，因時間採收之不同，水分含量在28%、30%及32%等等級則屬臺農 351號品種，其餘爲臺南選 10號品種。

5. 外部機械損傷之測定：

玉米之機械損傷有部份必須以肉眼審視。爲使審視過程能順利進行，通常必須先行染色。爲求能完整量測各類損傷，以配合本研究在不同轉速及苞葉有無之情況下，所造成之損傷情形，其對樣本之處理如下：

1. 在每特定處理之試驗中，俟每次脫粒完成後，隨機取樣 500公克（二次重複）。

2. 先將樣本在稍高於室溫環境下乾燥至15%之子實含水率。

3. 其次，將乾燥過後之樣本以分樣器隨機取樣 100公克之次樣本，並分別以12/64英寸圓孔篩之四號篩網篩選。將通過篩孔之樣品及夾雜物一齊以電子秤稱重。

4. 將其餘留在篩網上之樣品，浸泡在 0.1%之綠色染劑（Fast Green FCF Dye）中約四分鐘。

5. 將處理後之樣本置於過濾器之濾網內，利用清水將濾網內之樣品多餘染劑沖洗去除。

6. 將染色後之樣品撒佈在紙器（Paper Mates）上，通風乾燥24小時後，以目視用放大鏡檢查損傷情形。

7. 將每一類別之損傷粒均行稱重，且每一類別須以總重量爲基準，計算各類別之損傷百分比，其公式如下：

$$\text{損傷百分比 (d \%)} = \frac{\text{損傷部份重 (f)}}{\text{樣品重量 (w)}} \times 100\% \quad (5)$$

三、脫粒損傷之試驗設計

爲探討打擊筒轉速、苞葉及子實含水率等對玉米脫粒後所產生之損傷程度，本研究乃針對此兩種變數

進行試驗設計。試驗所採用之材料爲臺農 351號。其變數之分類如下：

1. 脫粒筒轉速：脫粒筒之直徑爲 300mm，其轉速分 600、800及 1000 rpm 等三種。

2. 苞葉狀況：分無苞葉及有苞葉兩種，有苞葉者係以採穗機採得之玉米穗爲準，其中已有部份外在之苞葉在採穗過程中，已自動去苞。

3. 玉米粒水分含量：玉米粒之子粒水分（濕基）從32%降至18%，分八個等級進行脫粒試驗。爲獲得此種均等之含水率，乃利用種苗場之靜置式乾燥設備進行乾燥，其熱風溫度均維持在40°C以下。

在試驗的過程中，每次均於試驗前量測玉米粒之含水量，俟其達預定含水量時，即就含苞葉及無苞葉之玉米穗各取樣 120公斤，分別以脫粒筒轉數 600、800及 1000 rpm 實施脫粒，每次脫粒量爲20公斤，重複兩次。在含苞葉玉米穗行通風乾燥之過程中，分段將玉米子粒含水率從32%、30%、28%、26%、24%、22%、20%及18%等分批脫粒。脫粒後取樣依脫粒損傷測定法，測定各項損傷值，並定出脫粒損傷指標值。除測定脫粒損傷指標值外，並作定性描述脫粒損傷，且以最適溫度發芽率檢查測定種子之發芽率。

脫粒時測定各項脫粒數據，藉以評估脫粒機之脫粒性能，主要測定項目爲脫粒率、脫淨率、排出損失率等。最後再以統計分析法，分析影響脫粒損傷之主變因及各項脫粒數據間之關係，藉以推定最佳之脫粒作業組合及條件。最後進行預估特定脫粒組合及損傷指標值，以供國內各界發展較適合本省使用之玉米脫粒機時，以爲參考。

伍、結果與討論

一、打擊筒之迴轉數與玉米粒損傷指數間之關係

由前面所討論之文獻中可知，在玉米粒之脫粒過程中，其所遭受之損傷程度與打擊筒的迴轉速度有成正比的關係。但就本試驗之600、800及1000等三種迴轉速而言，其間之損傷指標差異並不大。損傷指標及其他相關之數值如表五所示：

在三種不同之含水率範圍中，1000RPM之迴轉速所產生之損傷指標雖略爲提高，但與其他兩種轉速所造成之指數比較，實際上差異不大。亦即由本試驗無法檢驗出其實際差異。究其原因，可能本機型所用之脫粒方式係以軸向推擠之作用較多，不像傳統銼刀型或打擊齒型專以打擊作用爲主，故前

表五、不同轉速下之損傷指標

		脫粒筒迴轉數，RPM		
		600	800	1000
有苞葉	—低水分 (18—22%)	16.03	16.41	17.74
	—中水分 (24—28%)	18.31	18.71	19.83
	—高水分 (30—32%)	37.99	38.79	37.66
無苞葉	—低水分 (18—22%)	16.90	16.98	18.89
	—中水分 (24—28%)	18.33	19.75	19.93
	—高水分 (30—32%)	34.58	32.98	34.97

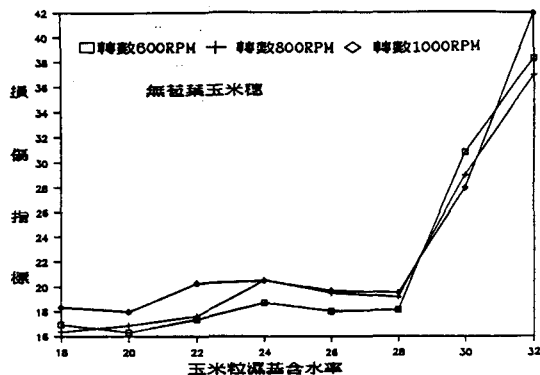
者所產生之破損情形，對脫粒筒轉速高低較不敏感。軸流式脫粒方式之優點亦在於此。

但若就操作之觀點言，脫粒筒轉速若低於 600 rpm 時，含苞葉玉米穗無法有效排出其苞葉，脫粒能量因而降低，並造成二次損傷。另一方面，轉速高於 1000 rpm 時，損傷指標、脫淨率及脫粒率等亦有明顯增高趨勢。因此為期能減少脫粒損傷程度，提高產品品質，適宜脫粒時之轉速應為 800 rpm。

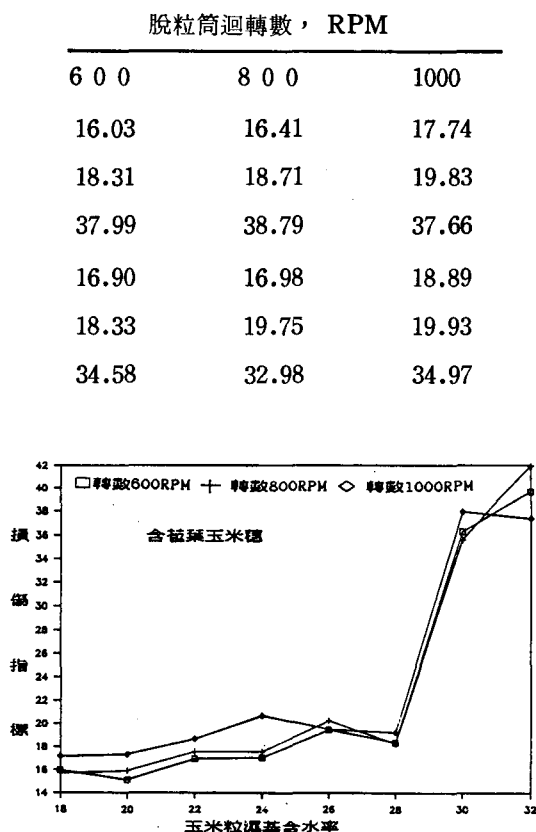
二、玉米粒含水率與損傷指數間之關係

由表五可知，玉米粒之含水率對損傷指數之影響，在低、中水分之範圍內較為微小，但對高水分部份 (30—32%) 之影響則較大，而且呈指數增加之趨勢。圖七及圖八為含苞葉及無苞葉下之玉米粒含水率與損傷指數間之關係。

由兩圖所顯示之趨勢可知：當玉米粒含水率超過 28% 時，損傷指標大為增加，此應為玉米粒組織



圖七、無苞葉玉米穗脫粒時，水分含量、轉速與損傷指標間之關係。



圖八、含苞葉玉米穗脫粒時，水分含量、轉速與損傷指標間之關係。

較鬆軟，脫粒時易因擠壓造成損傷所致。在低水分之範圍內，或水分在 28% 以下時，其損傷指數則維持在相當低的數值。由此可知，無論苞葉是否存在，最佳之玉米脫粒水分應在 28% 以下。

目前國內種植之玉米穗其脫粒作業大部份均在含水率 28% 以下。主要還是由於脫粒時容易產生碎裂的緣故。美國玉米大部份均在 28% 以下開始採收，其原因亦在此。

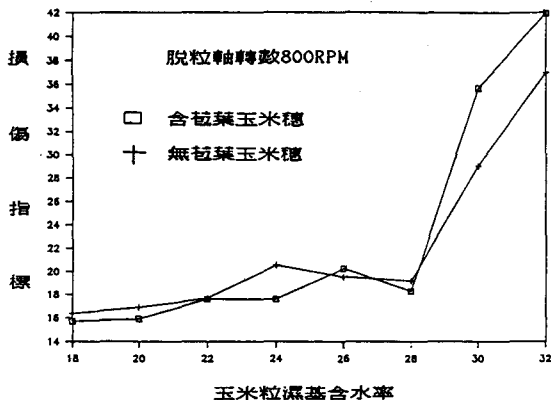
圖九、十及十一所示為脫粒筒轉速每分鐘在 800 轉下，不同含水率對損傷指標 (DI)、破碎粒 (BCFM)、嚴重損傷等三項下之影響及比較。由於損傷指標係以發芽率為基礎，故其表示之變化應直接與玉米粒之發芽率有關。由圖九所示，損傷指標亦在 28% 附近以指數幅度上升。而苞葉之存在對 28% 含水率以下之玉米穗，則有相當之保護效果。其指標值均在 20 以內。

圖十為 BCFM 之比例與玉米粒水分含量間之關係。在28%之含水量以內，其破碎粒比例不及2%。但在28%以上，其破碎粒比例則以每%含水量增加下，以2%之破碎粒增加。而對於苞葉之影響，在28%以內者，影響不甚顯著。

圖十一為嚴重損傷部份與 BCFM 之總和。其量應可表示玉米粒在實際市場上所顯示之外在破損粒。在28%以內，其總損傷比例約在7%以內；而在28%以上者，則以含水量每增加1%時，總破損率以3%之速率增加。綜合圖十及十一所得之結果可以確知，在高水分範圍內，僅嚴重損傷部份(D₂)，約以1%之比例增加。

三、苞葉對玉米粒脫粒損傷之影響

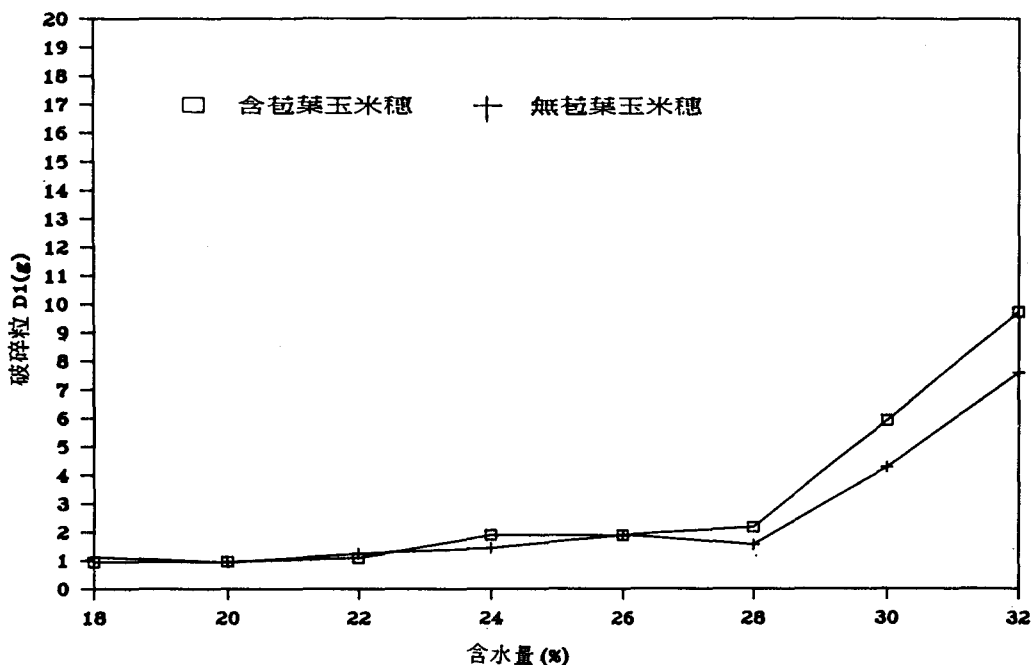
由圖七與圖八所示之損傷指標比較，苞葉之存在對損傷指標之影響，並不顯著。但由表五之對照可知，其影響之層面因水分範圍而不同。在低水分或低於28%之範圍內，苞葉之存在對玉米粒之損傷，有減輕的效果；但對水分超過30%以上時，無苞葉之情況，其損傷之程度反而略小。是否因為苞葉



圖九、腹粒筒轉速在 800 rpm 下，不同含水量對損傷指標 (DI) 之影響。

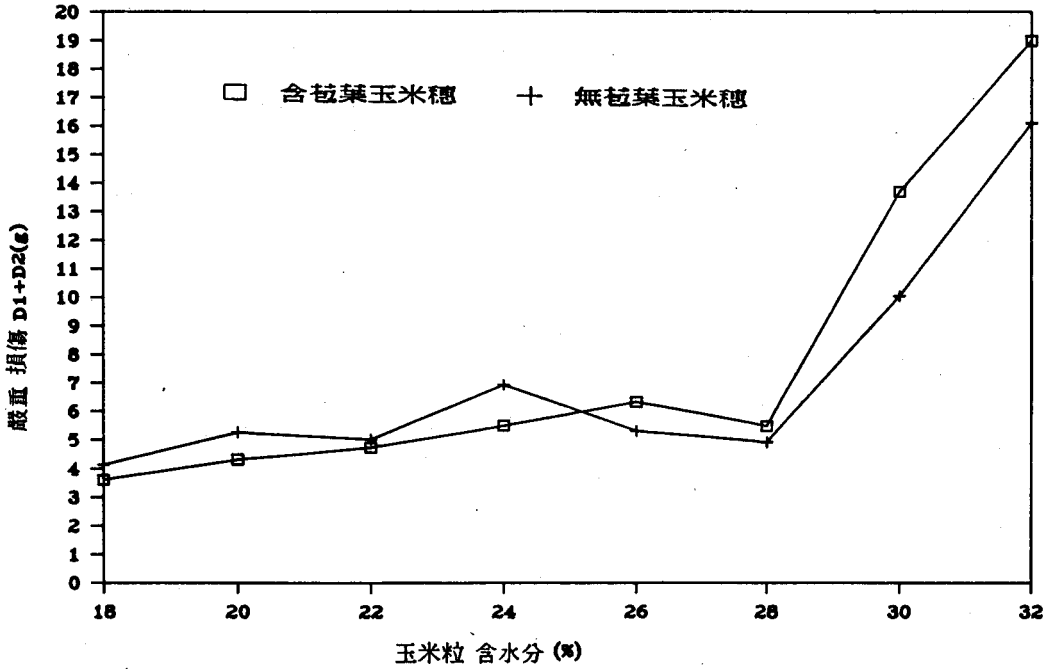
存在，造成大量之擠壓，致產生更大的磨擦及損傷，則有待進一步探討。但在整個中低水分之範圍內，有苞葉之保護作用則相當顯著。這也是本研究之重點所在。

RPM=800



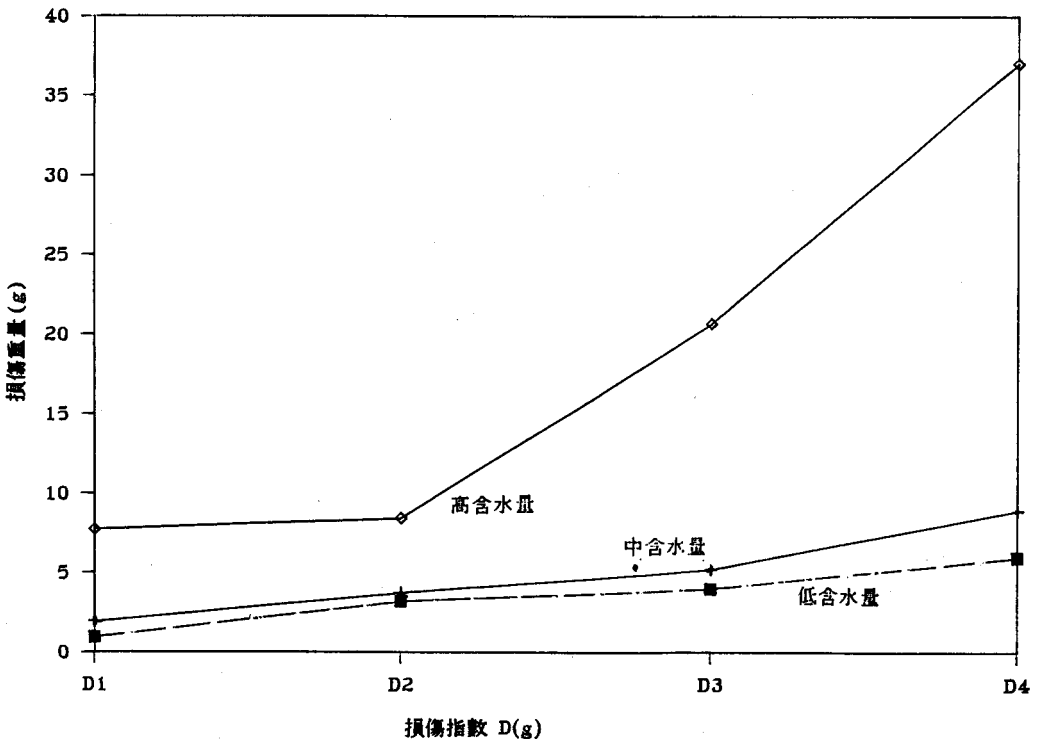
圖十、脫粒筒轉速在800 rpm 下，不同含水量對 BCFM(D₁) 之影響

RPM=800



圖十一、脫粒筒轉速在 800 rpm 下，不同含水率對嚴重損傷 (D₁+D₂) 之影響。

RPM=800



圖十二、含苞葉玉米穗在不同含水率下脫粒時，其損傷等級間重量增加之情形。

本脫粒機之脫粒筒構造與一般傳統銼齒打式不太相同。由於其送料方向係由軸向進入，並由軸向流出，故以擠壓作用產生之脫粒情況較大，打擊力量反而較小。在此種情況下若有苞葉作為介質，可緩衝其壓擠力量。由此次試驗結果可知，在玉米粒水分28%以下時，此種效果特為顯著。

因此，就常理而言，有苞葉之存在，等於在玉米粒之外圍加上一層保護的外衣，可減少玉米粒直接遭受打擊而產生損傷。由圖七至圖十一所顯示，在水分含量28%以內時，含苞葉情況無論對損傷指標、BCFM、嚴重損傷粒等均有降低的效果。

四、各損傷級別與損傷程度之關係

圖十二及圖十三所示為脫粒筒在 800 rpm 轉速下，破碎粒 (D_1)、嚴重損傷 (D_2)、主要損傷 (D_3)、輕微損傷 (D_4) 等類所產生之損傷程度。無論有無苞葉，在低含水率 (22%以下) 之範圍內，四種分類下之分配程度，大致上相當平均。而輕微損傷類比其他類別稍多。中含水率 (24—28%) 時，各類別內略有增加，並以輕微損類增幅較大。在此方面，無苞葉之情況則較為嚴重。高水分區部份，各類別均有顯著增加，尤其以主要損傷及輕微

損傷兩大類增幅最大。

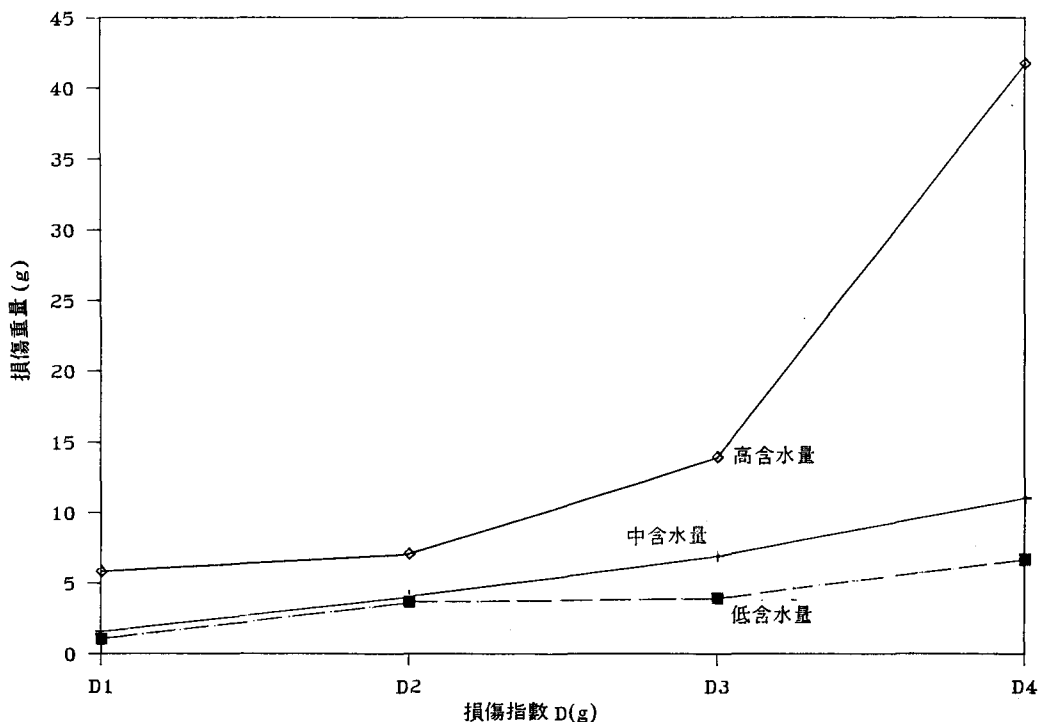
上述四類比例之增加，即表示完整粒部份之減少。圖十四所示為玉米穗脫粒後，其完整粒玉米之重量比例與含水率間之關係。完整粒在28%以後即急劇下降，顯示出玉米粒在過高水分含量下，極容易破損、變形。

五、損傷指標之變方分析

表六為損傷指標之變方分析結果，其在顯著水準 1% 下，脫粒筒轉數與玉米粒濕基含水率對損傷指標之影響，其效果有極顯著差異存在。以 *duncun* 多變域測驗，測知苞葉變因之變級其損傷指標之平均值差異不顯著。在顯著水準 5% 下，脫粒筒轉數 1000 RPM 與 800 RPM 有差異，但 800 RPM 與 600 RPM 間，其損傷指標之平均值差異不顯著。玉米粒濕基含水率之變級其損傷指標之平均值差異不顯著，此時之含水率分別為32—30%，28—22%或20—18%。

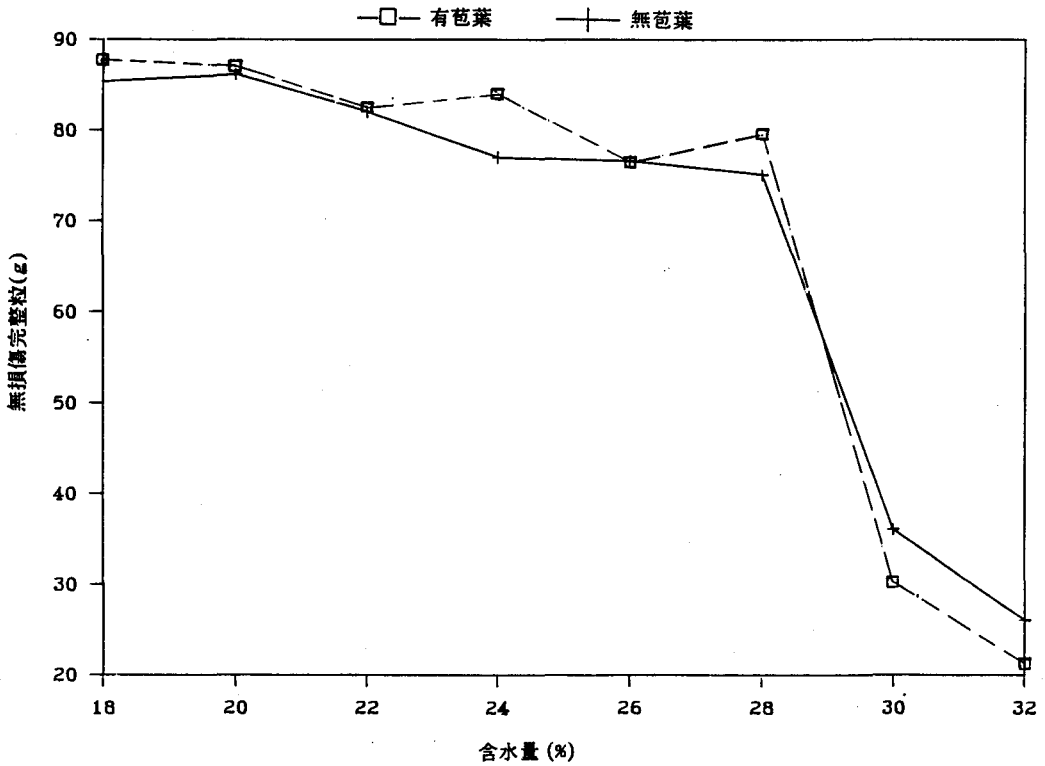
由損傷指標之複迴歸分析其關係式，設損傷指標 = DI，玉米粒濕基含水率 = MC，脫粒軸轉數 = RPM，苞葉變因以虛擬變數 DUMMMY 表示之。則損傷指標與各項變因之複迴歸關係式如下：

RPM=800



圖十三、無苞葉玉米穗在不同含水率下脫粒時，其損傷等級間重量增加之情形。

RPM=800



圖十四、脫粒後完整粒玉米之重量比例與含水率間之關係。

表六、損傷指標之變方分析

變因	自由度	平方和	F-值	機率
模式	48	6475.4271875	59.40	0.000
重複數	1	4.725938	2.08	0.155
苞葉	1	6.573067	2.89	0.095
脫粒筒迴轉數	2	28.465894	6.27	0.003**
苞葉×迴轉數	2	1.651827	0.36	0.697
含水率	7	6175.096867	388.45	0.000**
苞葉×含水率	7	172.744983	10.87	0.000**
迴轉數×含水率	14	21.700190	0.68	0.779
苞葉×轉數×含水率	14	64.468423	2.03	0.036
機差	47	106.7366625		
總數	95	6582.1638500		

** 5%顯著水準

$$DI = 0.0632 \times (RPM) - 4.9128 \\ \times (MC) + 5.7290 \times (MC)^2 \\ + 0.0316 \times (DUMMY) \quad (6)$$

此時之決定係數 $R^2=0.8506$ 。由此可知損傷指標與玉米粒濕基含水率有二次式關係式存在。且玉米粒含水率對損傷指標之影響力較苞葉及脫粒筒迴轉數為大。將(6)式中有苞葉時 DUMMY 之值為 1；無苞葉時 DUMMY 之值為 0。

利用試驗所得之發芽率數據亦可求得其與損傷指標間之關係如下：

$$(\text{發芽率, \%}) = 186.844 - 9.610 \times (DI) \\ + 0.21 \times (DI)^2 \quad (7)$$

式中，其決定係數 $R^2=0.766$ 。

陸、結 論

利用損傷指標作為玉米品質鑑定之標準在國外已有學者提倡，但在國內則尚在研究階段。由於玉米之最終用途無法事先預測，因而其損傷之定義較難有一致的標準。尤其在生產層面上，因對將來玉米品質之要求無法確定，其所採用之處理方法，如脫粒、乾燥等，就無法有一定的或最佳的操作方式可茲使用。本研究則提出一種以發芽率為基準之損傷指標，作為玉米脫粒品質鑑定之標準。

本文針對脫粒機之轉速、含水率之高低以及苞葉之有無等因子進行脫粒之性能測定，並分析其結果，以期能對目前國內之玉米採收作業，提供一較為妥改善的因應辦法。

根據本試驗結果分析，玉米在含水率超過 28% 以上時，並不適合於脫粒作業，因為其損傷指標均顯示大幅增高。而在 28% 之範圍內，損傷指標約在 20 以內；其 BCFM 值則在 2% 以內；而嚴重損傷則在 7% 以內。含水率愈低，上述之損傷值亦有降低之趨勢。

苞葉之存在對損傷指標之影響，並不顯著。但水分範圍在 28% 以內時，苞葉之存在對玉米粒之損傷，有減輕的效果。故在一般水分範圍內，苞葉對玉米粒在脫粒作業過程中，具有相當程度之保護作用。

捌、參考文獻

1. 奚永明，1987。軸流式玉米脫粒機脫粒損傷之

基礎研究。國立臺灣大學碩士論文，臺大農機系。

2. 馮丁樹、施名南、黃維東、陳銓燦，1985。美國玉米、高粱機械採收及種子處理研習報告。臺大，種苗場，種苗場，農林廳農產科。
3. 涂勳、陳建山，1987。考察美國飼粒料玉米種源保存利用及雜交種子生產儲銷制度。農委會。
4. 李浩銓，1987。玉米通風之研究及電腦模擬。國立臺灣大學碩士論文，臺大農機系。
5. 國際種子檢查規則，1987。農林廳印行。
6. 發芽試驗幼苗評鑑手冊，1979。農林廳印行。
7. Brass, R.W. Marley, S.J., 1973. Roller Sheller: Low Damage Corn Shelling Cylinder. Trans. ASAE 16: 64-66.
8. Saul, R. A. Steele, J. L., 1966. Why Damaged Shelled Corn Costs More to Dry. Agricultural Engineering 47: 326-329.
9. Gomez, F. Andrews, C. H., 1971. Influence of Mechanical Injury on Seed Corn Quality. Agronomy Abstracts 43.
10. Morrison, G. S., 1955. Attachment for Combining Corn. A. E. 36, No. 12: 796-799.
11. Picard, G. E. Hopkins, D. F., 1963. Corn Shelling with a Combine Cylinder. A.E. 34, 461-464.
12. Johnson, W. H., Lamp, B. J., Henry, J. E. Hall, G. E., 1963. Corn Harvesting Performance at Various Dates. ASAE Trans. 6, NO. 3: 268-272.
13. Burrough, D. E. Harbage, R. P., 1953. Performance of a Corn Picker Sheller. A.E. 34: 21-22.
14. Picard, G. E., 1955. Laboratory Studies in Corn Combining. A. E. 36: 792.
15. Goss, J.R., Bainer, R., Curley, R. G., Smeltzer, D. G., 1955. Field Tests of Combines in Corn. A.E. 36: 794.
16. Brass, W. R., 1970. Development of a Low Damage Corn Shelling Cylinder.

Unpublished M.S. Thesis. Iowa State University, Ames, Iowa.

17. Chowdhury, M.H., 1973. Effects of the Operating Parameters of the Roller Sheller. I. S. U. M. S. Thesis.
18. USDA, 1966. Official Grain Standards of the U. S. for Corn. U. S. Printing Office, Washington D. C,

19. Kline, G.L., 1972. Mechanical Damage to Corn during Harvesting Drying. ASAE Grain Damage Symposium. A. E. Department, Ohio State University.

收稿日期：民國79年1月18日

修正日期：民國79年4月26日

接受日期：民國79年5月10日

(上接第49頁)

reporting equilibrium moisture data for grains. ASAE paper 76-3520. ASAE, St. Joseph, MI.

- Oswin, C. R. 1946. The kinetics of package life. III. Isotherm. J. Chem. industry, London. 65: 419.

Schar, W. and M. Ruegg. 1985. The evaluation of G.A.B. constants from water vapour sorption data. Lebensm. Wiss. Technol. 18: 225.

Smith, S. E. 1947. The sorption of water vapor by high polymers. J. Am. Chem. Soc. 69: 646.

Thompson, T. L., Peart, R. M. and Forst, G. H. 1968. Mathematics simulation of corn drying - a new model. Trans. of ASAE 24(3): 582.

Van den Berg, C. and Bruin, S. 1981. Water activity and its estimation in food systems: theoretical aspects. In: "Water Activity: Influences on Food Quality" L. B. Rockland and G. F. Stewart (eds.). pp. 1 Academic Press. N.Y.

Van den Berg, C. 1984. Description of water activity of foods for engineering purposes by means of the G. A. B. models of sorption. In: "Engineering and Foods", Vol. I.

Mckenna, B. M. (eds.) p. 311. Elsevier Applies Science Publ. London and N. Y.

- Van den berg, C. 1985. Development of B. E. T. -like models for sorption of water on foods, theory and relevance. In: "Properties of water in Foods". D. Simatos and J. L. Multon (eds.). p. 119. M. Nijhoff Publ. Netherlands.

Weisser, H. 1985. Influence of temperature on sorption equilibria. In: "Properties of water in foods." Simato, D. and J. L. Multon (eds.) p. 95. M. Nijhooff Publ. Netherlands.

Weisser, H. 1986. Influence of temperature on sorption isotherms. In "Food engineering and process applications", vol. I. Lemagner, M. and P. Jelen (eds.). pp. 189-200. Elsevier Applied Science Pub. N Y.

Young, J. H, and Nelson, G.L. 1967. Research of hysteresis between sorption and desorption isotherms of wheat. Trans. of ASAE 10(3): 756.

Zuritz, C., R.P. Singh, S.M. Meini and S.M. Henderson. 1979. Desorption isotherms of rough rice from 0 to 40°C. Trans of ASAE 22(2): 433.

收稿日期：民國79年2月13日

修正日期：民國79年4月26日

接受日期：民國79年5月4日