

# 玉米收穫機之開發研究

## The Research on the Development of the Corn-Harvester

國立中興大學農業機械工程學系兼任講師

陳 加 忠

Chia-chung Chen

### Summary

Corn was the major crop on upland field in Taiwan. On the mechanized operation system for corn cultivation, tilling, seeding, insect and disease damage control work have the perfectful implement. For the lack of harvester, a tremendous amount of labor was required for harvesting works.

Snappers and pickers were accommodated for the harvesting date with high m. c condition of corn ears. From the literatures review revealed that the losses relating to corn harvesting are loose ear loss, snapping ear loss and shelled corn loss. Careful operation and ideal circumstance can reduce the loss on harvesting. The performance of corn harvester are influenced by the clearance of snapping rolls, the speed of rolls, forward speed, date of harvesting, moisture content, varietal differences, lodging condition and other factors.

For the special harvesting condition in Taiwan, the author suggests that detailed field tests must be performed to realize the influence factor on harvesting performance.

### 一、前 言

水田轉作是本省農業生產的主要目標，轉作物以飼料玉米為主。由於高產量玉米臺農 351 的育成，已解決了本省栽培作業中單位面積低產問題。在機械作業體系中，整地、播種、中耕、病蟲害防除都已有適用的農機，但是在收穫方面，尙未有實用化的收穫機具。

本省的玉米轉作地區部份為旱作生產專業區，部份為稻作、旱作混合作業區。由於作業地形的不同，使得機械行走性的設計更為複雜。栽培面積小，田畦零散，田埂高度通常 30 cm 左右，機械橫跨不易，生產時期短，玉米無法留置田區自然乾燥，必須在高含水率時採收，產生了機械作業時多

餘的損傷……等，這些都是收穫機械面臨的問題，此外收穫後玉米穗的調製機械：去苞、乾燥、脫粒機械的研究，收穫機行走後田區地面玉米莖桿殘株的處理，都是急需解決的問題。

本省玉米收穫機的開發已有多年研究，由於基本試驗資料不足，各種作物條件，作業環境和機械性能對於收穫作業性能的影響無法明瞭，影響機械的開發設計。本研究之目的以各有關玉米收穫機之試驗資料，研究探討影響作業性能的各项因素，以為本省玉米收穫機械設計開發之參考。

### 二、玉米收穫機械的型式

玉米收穫機通常區分為四種型式<sup>(1)</sup>

(一)採穗機 (snappers)

以採收玉米穗為主。

(二)採穗去苞機 (picker-huskers)

通常稱作 pickers，除了採穗，有去苞作用。

(三)採穗脫粒機 (picker-shellers)

除了採穗，還有脫粒作業。

(四)聯合收穫機附掛玉米收穫頭 (grain combines equipped with corn heads)

拆下穀物聯合收穫機的切割機構，裝置玉米採穗收穫頭，調整脫穀滾筒機構以完成一貫化收穫作業。

本省玉米收穫時，玉米子實含水率高，立即脫粒時損傷比率大。加上田區零散，面積小，大型機械不適用。因此本省玉米收穫機的開發以採穗機或採穗去苞機為主。

本省有關玉米收穫機的研製開發中，在附屬農具型式方面有種苗繁殖場曳引機牽引式（後置式），側置式<sup>(4,5)</sup>，臺南改良場<sup>(4)</sup>和農業試驗所曳引機前置式，臺中改良場耕耘機附掛式<sup>(5,6)</sup>，在專用機的開發方面，有種苗繁殖場三輪式採穗機和臺南

改良場履帶式採穗去苞機。

### 三、玉米收穫機的主要作用機構

玉米收穫機的作用機構如表一所示。

主要的採穗和去苞裝置分述如下：

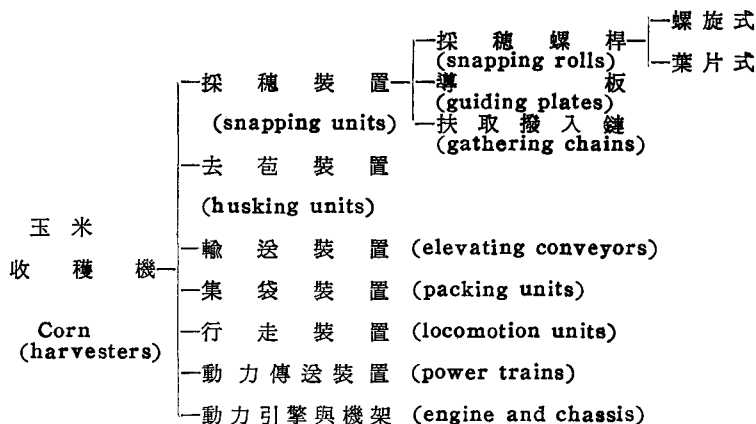
(一)採穗裝置

1.採穗螺桿

常用的採穗螺桿有兩種型式：螺旋式(spiral-ribbed, spiral-lugged rolls) 和葉片式(straight-fluted rolls)。螺桿與地面的傾斜角度約 30 度左右，兩螺桿的間隙範圍在 6~13 mm 之間。螺桿與螺桿彼此的傾斜角度為 10°~20°，以便利採下的玉米穗自螺桿上滑落。

螺旋式採穗螺桿的構造和作用如圖 1— a 所示。主要適用於採穗機或採穗去苞機。長度之範圍通常為 102~107 cm，直徑範圍：7.5~10 cm。主要的作用是利用螺桿上的凸起部份咬噬玉米莖桿向下，達到脫穗的目的。玉米穗的苞葉與螺桿接觸時，有部份去苞效果。

表一 玉米收穫機的基本構造



葉片式採穗螺桿主要利用於聯合收穫機所附掛的玉米採收頭。長度在不包含前置螺旋錐狀體(tapped point)時，範圍於 40~60 cm，直徑約 9~12.5 cm。因長度較短，轉速比螺旋式螺桿更快。在進行收穫作業時，利用螺桿上葉片的打擊作用使玉米莖桿向下。在螺桿上面安置蓋板 (stripper plates)，避免玉米穗與螺桿接觸。蓋板之間隙比玉米穗底部直徑小，使玉米穗在蓋板上脫穗，避免了玉米穗和螺桿接觸，防止採穗時的脫粒損

失 (shelling loss)，但是去苞效果不良。構造如圖 1— b 所示。

2.導板和扶取鏈

導板的設計為平滑流線形，使玉米莖桿能夠順利的導入收穫頭中。扶取鏈上面裝置扶撥指爪，作用與本省水稻聯合收穫機的扶取爪相似。玉米莖桿因氣候不良、病蟲害……等因素而引起倒伏時，以扶取鏈加以扶持引入。玉米莖桿直立時，扶取鏈速度與作業機前進速度相同。莖桿倒伏時，扶取鏈的

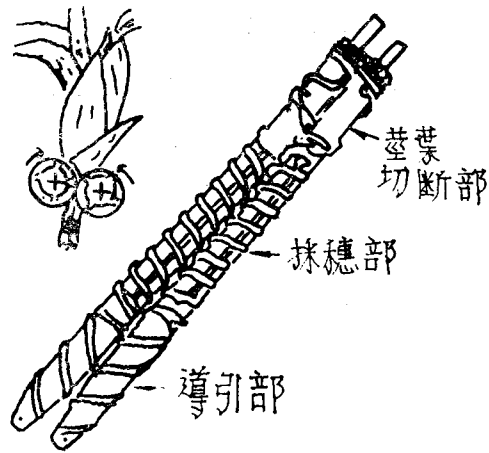


圖 1-a 螺旋式採穗螺桿裝置

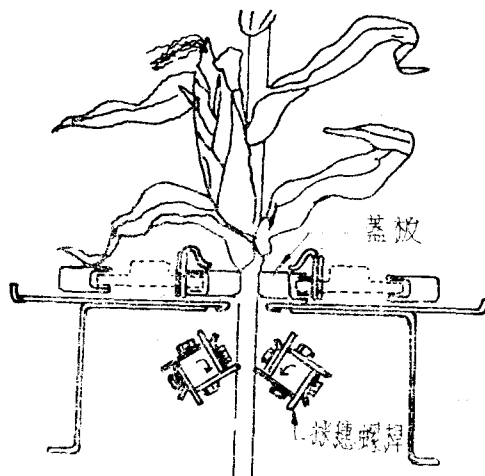


圖 1-b 葉片式採穗螺桿裝置

速度比作業速度較大。

影響扶取鏈的性能因素有玉米莖桿倒伏程度，機行速度，接觸點至採穗螺桿的傾斜角……等。

#### (二) 去苞裝置

經過採穗螺桿作業的玉米穗仍存有部份苞葉，因此必須加以去除。去苞裝置可安置於作業機上，使採穗、去苞作業同時完成。亦可以成爲一獨立作業機。

去苞裝置的主要構造是利用兩個材質不同的滾軸相向旋轉，通常分別爲生鐵軸或鋼軸，另一軸爲橡膠質地滾軸。在滾軸底下安置篩網，承接去苞時脫落的玉米粒。

去苞作用主要是利用滾軸的粗糙表面拉住玉米穗上的苞葉，在兩軸的間隙拉下去除。去苞軸的常

用直徑範圍爲 6.4~7.6 cm，長度爲 76~127 cm。

影響去苞效率的因素如下：去苞滾軸的轉速、滾軸表面所附裝置（去苞釘、去苞螺絲……等）、玉米穗自進料機構至滾軸的高度……等。

## 四、作業性能研究

### (一) 影響作業性能的因素

影響玉米收穫機作業性能的因素綜合如下：

#### 1. 作物特性

- a、玉米品種。
- b、莖桿直立性、破裂性、倒伏和纏繞程度。
- c、莖桿高度和結穗位置高度。
- d、玉米穗軸摘取性質。
- e、玉米穗的大小。穗徑愈大損失愈少。
- f、玉米穗的脫粒性。
- h、苞葉的數目和附着性。
- i、含水率。

#### 2. 機械因素

- a、採穗螺桿的型式和表面粗糙性。
- b、螺桿對地面的傾斜度。
- c、兩螺桿相互之傾斜角度。
- d、兩螺桿的間隙。
- e、螺桿的轉速。
- f、螺桿咬嚼作用的校準程度。
- g、作業機的前進速度。
- h、扶取鏈的速度。
- i、導板和扶取鏈的排列位置。

#### 3. 其他因素

- a、收穫時期和玉米成熟度。
- b、操作者的技術。
- c、收穫時期的天氣情況。
- d、田間狀況（地形，雜草著生程度）。
- e、種植的行距、間距。

### (二) 損失率的測定

玉米收穫機的損失主要有三種：

1. 採收前損失，損失物爲玉米穗，主要原因爲病蟲害、倒伏……等因素引起。
2. 採穗作業時，玉米穗經由扶取鏈或採穗螺桿，未進入機體而掉落於田間的採穗損失，損失物爲玉米穗，或是在螺桿間隙被壓碎壓斷的損失，損失物爲玉米粒。
3. 玉米穗與採穗螺桿接觸時因打擊脫粒作用引起

的脫粒損失，損失率為玉米粒。

在損失率的測定中<sup>(14)</sup>，二行式玉米收穫機的田間性能測定面積以 40 m<sup>2</sup> 為基準，作業寬度為 1.4 m (0.7m×2)，測定長度為 28.6 m。損失測定的方法如下：

1. 收穫機於田間收穫前後，在同一田間內劃定一塊 40 m<sup>2</sup> (1.4×28.6) 的面積，計算田區內的掉落損失 (l<sub>1</sub>)。

2. 檢取收穫機收穫後 40 m<sup>2</sup> 田區內地面的掉落穗 (l<sub>2</sub>)。

3. 以 1 平方公尺的木框，沿同一收穫後田區分別四次量測，計算每 1 m<sup>2</sup> 內所掉落的玉米粒全重。以平均值換算此 40 m<sup>2</sup> 內脫粒損失量 (l<sub>3</sub>)。

以採收前損失量 (l<sub>1</sub>)，採穗損失量 (l<sub>2</sub>)，脫粒損失量 (l<sub>3</sub>)，40 m<sup>2</sup> 的收穫量 (H)，計算實際損失量和田區損失率。

實際損失量(L):  $L = l_2 + l_3 - l_1$

田間損失率(P):  $P = L / L + H$

(三) 含水率與採穗性能。

在收穫期間玉米植株各部份如莖葉、穗柄、穗心、子實、苞葉……等含水率於田間的長期變化，依日人我妻幸雄<sup>(17)</sup>對於單雜交 4 號品種玉米的研究，含水率在成熟時期的變化如圖 2 所示。自 10 月 4 日至 10 月 31 日的含水率變化中，苞葉含水率降低趨勢十分顯著。子實含水率自 40 % 降低至 35 % 左右，顯示此段期間玉米於田間的自然乾燥效果不大。

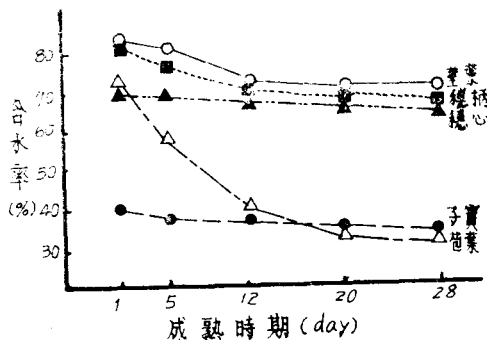


圖 2. 玉米成熟時期含水率的變化

Johnson, Lamp 氏<sup>(12)</sup>研究子實含水率與收穫時期損失率的關係，其結果如表二與圖 3 所示。由此研究結果得知，子實含水率在 25 % 時，損失率最少。高含水率時玉米穗容易被螺桿壓碎，形成採穗損失。低含水率時，玉米穗在採穗螺桿上受

到脫粒作用的影響很大，形成多餘的脫粒損失。

表二 子實含水率與損失率

子實含水率	W. B (%)	總損失率
30		6
25		3
20		4
15		7
10		10

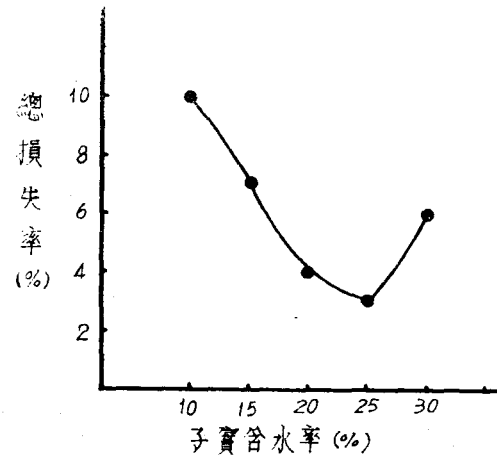


圖 3. 子實含水率對損失率的影響

Ohio Univ. <sup>(14)</sup> 進行田間試驗，研究子實含水率，作業機前進速度與損失率的關係如圖 4 所示。含水率 25~30 % 的範圍最適合作業。

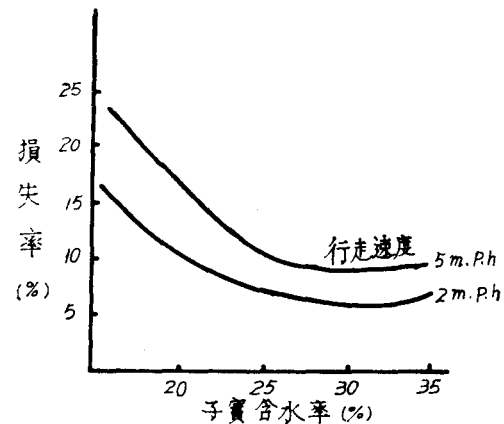


圖 4. 子實含水率與作業機行走速度對於損失率之影響

四 含水率與去苞性能

在含水率與去苞性能的關係研究中，我妻幸雄

氏<sup>(17,18)</sup>，以曳引機牽引式玉米採穗去苞機 (pickers)，和兩種品種玉米進行去苞性能測定。去苞率的計算方式如下：

$$\text{去苞率 (\%)} = \frac{\text{完全去苞穗數} + \text{殘留 2—3 苞葉穗數}}{\text{收穫穗數}} \times 100 \%$$

單雜交 4 號和雙雜交 4 號品種含水率的變化和去苞率的關係如圖 5 表示。含水率在 38 % 以下時，去苞效果良好，含水率 40 % 以上時，去苞作業有顯著降低。

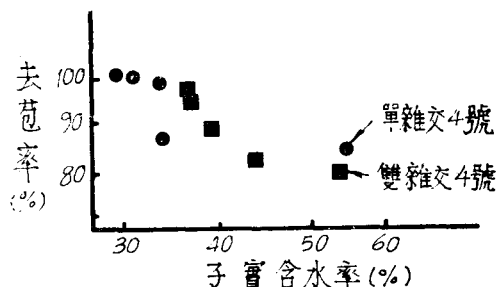


圖 5. 子實含水率對去苞效果之影響

單雜交 4 號三種含水率與去苞率的關係如圖 6—a 所示。含水率 33.2 %，34.3 % 時，去苞效果十分良好，去苞率 95 % 以上。含水率 37.1 % 時，去苞效果大為降低。去苞效果和玉米穗的流量並無顯著的關係。

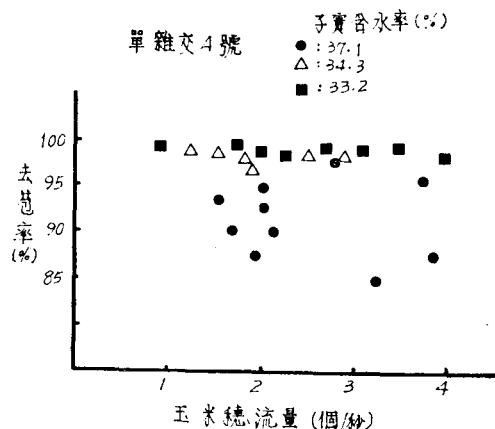


圖 6-a 子實含水率與去苞率的關係

雙雜交 4 號三種含水率的去苞性能如圖 6—b。含水率 43.1 % 時，去苞率大為降低。去苞性能與玉米穗流量並無顯著關係。兩種品種加以比較時，雙雜交 4 號的去苞性較難。

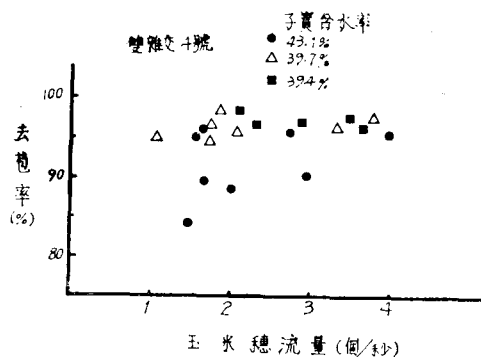


圖 6-b 子實含水率與去苞率之關係

損傷率的計算如下：

$$\text{總損傷率 (\%)} = \frac{\text{斷穗數} + \text{損傷穗數}}{\text{去苞總穗數}} \times 100 \%$$

單雜交 4 號玉米穗去苞作業時總損傷率與子實含水率的關係如圖 7—a。含水率 33.2 % 時，總損傷率較多，含水率 37.1 % 時，總損傷率反而較低。總損傷率與玉米穗流量無關。

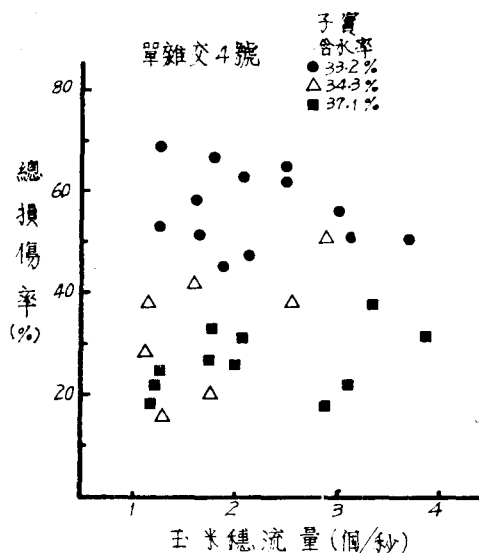


圖 7-a 子實含水率和去苞損傷率的關係

雙雜交 4 號三種含水率對於去苞總損傷率的影響如圖 7—b。以 43.1 % 含水率的總損傷率最少。39.7 % 的含水率其總損傷率最高。流量並不影響總損傷率。在兩種品種比較中，雙雜交 4 號的損傷率較低，可知品種的影響十分明顯。

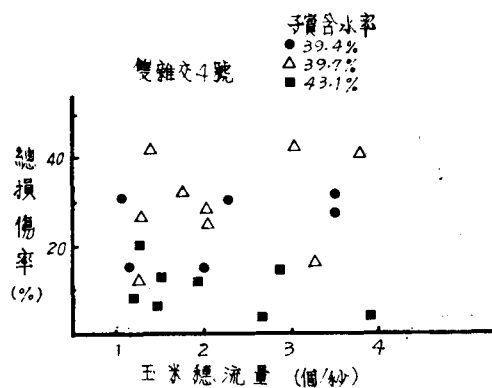


圖 7-b 子實含水率與去苞損傷率之關係

由於此試驗資料的損傷量為嚴重損失的斷穗量和輕微損傷的穗損傷量的總和。不同條件下（品種，含水率）對於嚴重損傷和輕微損傷的分別影響無法加以判斷。在去苞性能的基本試驗中，有分別計算加以研究的必要。

有關本省玉米收穫機的收穫性能試驗，臺南改良場所進行南改式玉米收穫機性能測定資料如表三和圖 8 所示。

在此研究中，以臺農 351 品種比較子實含水率對於收穫性能之影響。含水率增加時，脫粒損失相對減少，由於缺少採穗損失的資料，無法比較含水率對於總損失的影響。去苞率隨着含水率的增加而有降低的趨勢，莖桿青綠狀態子實含水率（74%）高時，去苞效果降至 75%。破損率因子實含水率的增加而有顯著的增加。

表三 南改式玉米收穫機之性能

供試品種	子實含水率%	田間脫粒損失 kg/ha	去苞效率%	破損率 %
臺南 5 號	14.5	250	99.5	3.1
臺南 11 號	36.0	220	98.2	6.2
臺農育 351	33.0	43	85.0	4.5
" "	45.0	35	83.8	5.0
" "	74.2	25	75.0	7.9

註：摘穗軸轉速：400 R. P. M.

去苞軸轉速：150 R. P. M.

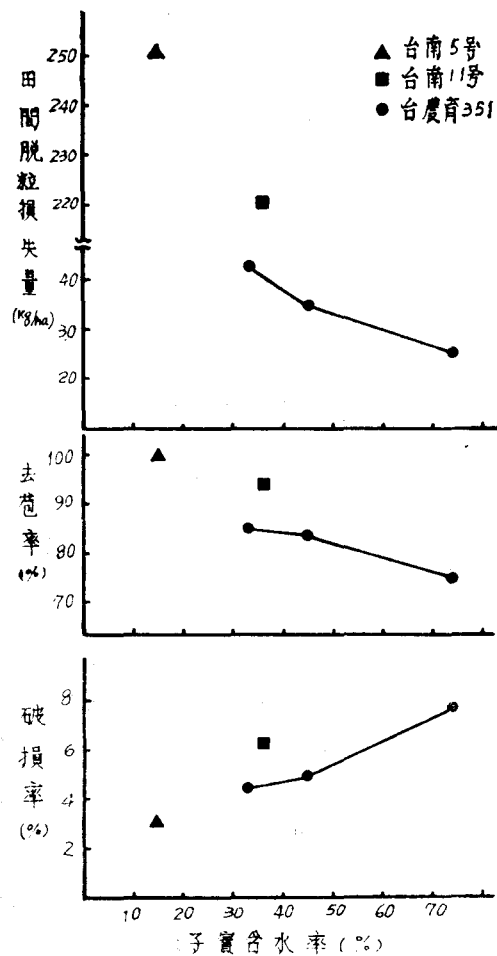


圖 8. 玉米子實含水率與收穫性能關係

在品種的比較時，由於含水率的不同，比較的意義並不顯著。新育成的臺農 351 號苞葉較其他品種數量多且附着緊密，子實與梗心的附着性強，因此在田間脫粒損失率較少，去苞效果較差。

(四) 轉速和附件對於收穫性能影響。

無詳細資料顯示採穗螺桿轉速和採穗性能的關係。去苞軸的轉速對於去苞性能的影響，依我妻幸雄<sup>(17)</sup>的研究結果如圖 9 所示。轉速 490 rpm 時，去苞效果最好，轉速 570 rpm 時，去苞效果最差。轉速增加可以使流量增加，但對去苞率並無顯著影響。美國所用去苞軸轉速為 500 rpm，和此試驗資料的結果相同。

去苞軸表面附件對去苞效果的研究中，臺南改良場<sup>(5)</sup>所試驗不同的去苞釘長度對於去苞性能的影響如表四。去苞軸轉速 420 rpm，長度 80 cm，去苞釘的間距為 9 cm。

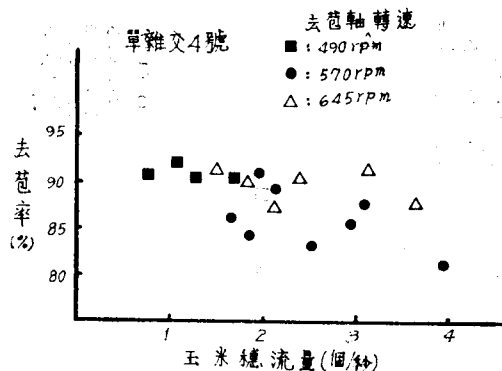


圖 9. 去苞軸轉速與去苞率的關係

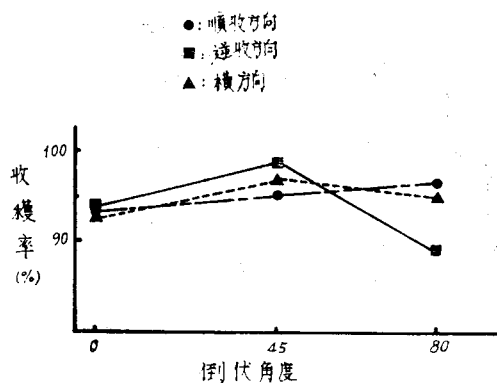


圖 10. 倒伏角度與收穫率的關係

表四 去苞釘長度與去苞性能的關係

項 目	去苞率 (%)	損傷率 (%)
去苞釘長度 (cm)		
0.3	70	3.0
0.4	98	3.5
0.5	93	6.0

由表四中得知去苞釘長度 0.3 cm 時，去苞效果最大，損傷率最低。

(丙) 玉米植株倒伏的影響

玉米收穫作業期間植株的倒伏性影響了採穗螺桿的作業性能，有關的研究如下：

我妻幸雄氏<sup>(17)</sup>以採穗去苞機 (pickers) 三種不同的前進方向進行試驗：

- (1) 與倒伏方向相同的順向收穫。
- (2) 與倒伏方向相反的逆向收穫。
- (3) 與倒伏方向垂直的橫向收穫。

以三種倒伏角度 (0, 45, 80) 比較收穫性能，收穫率的定義如下：

$$\text{收穫率 (\%)} = 100 - \text{損失率 (\%)}。$$

試驗結果如圖 10 所示，莖桿直立時，三種前進方向對於收穫率並無差別影響，倒伏 45 度時，以逆收方向收穫最好，在嚴重倒伏 80 度時，應該採用順收方向。

Ayres, Babcock, Hull<sup>(12)</sup>對於倒伏程度與總損失率的關係加以研究，結果如表五。在倒伏程度為 10 % 以下時，收穫性能的影響不大。倒伏超過 35 % 後，損失率幾乎是直立狀態的 5 倍。

表五 倒伏程度與損失率

莖桿倒伏程度 (%)	損失量 (kg/ha)	損失增加率 (%)
0	245	100
1~5	339	138
6~10	321	131
11~15	440	180
16~25	478	195
36~40	1157	472

Ohio Univ.<sup>(14)</sup>對於倒伏率和損失率關係的研究如圖 11 所示。倒伏率增加時，損失率隨之而增加，倒伏率超過 20 % 時，損失的增加十分顯著。

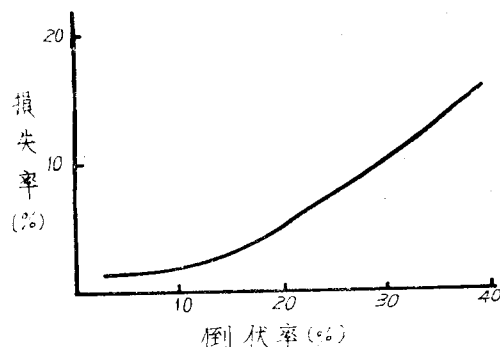


圖 11. 倒伏率與損失率之關係

倒伏的程度對損失率影響極大，本省玉米收穫時，品種與倒伏性的關係，倒伏程度對收穫性能的影響，這些都是需要研究的主題。

(丁) 採穗螺桿間隙的影響

螺桿的間隙對於收穫性能影響極大。間隙太寬時，玉米穗容易在螺桿上打滑，產生脫粒現象，直徑較小的玉米穗容易陷入螺桿間隙內，產生斷穗損失。間隙太窄時動力消耗大，容易因粗大的莖桿而產生阻塞。間隙因莖桿狀況而調整，莖桿潮濕強韌時，間隙要縮小，莖桿乾燥，脆弱纏繞時，間隙要放大。在正常情況間隙要縮小，以避免莖葉的纏繞和莖桿的破損現象。

螺桿間隙大小和損失率的關係在 Bateman 氏等<sup>(12)</sup>的研究中，研究結果如表六和圖 12。在間隙增大時，損失率增加十分明顯。

表六 螺桿間隙和損失率

螺桿間隙 (mm)	總損失率
3	5.0
8	6.4
13	12.4
17	15.8

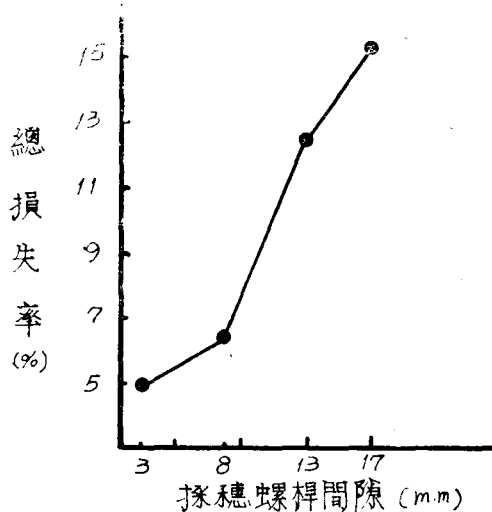


圖 12. 螺桿間隙與損失率之關係

我妻幸雄氏以三種品種進行螺桿間隙的影響試驗，結果如圖 13 所示。隨着間隙的擴大，損失率急劇的增加，而且品種的影響極大。雙雜交玉米的損失率比單雜交玉米品種還少。

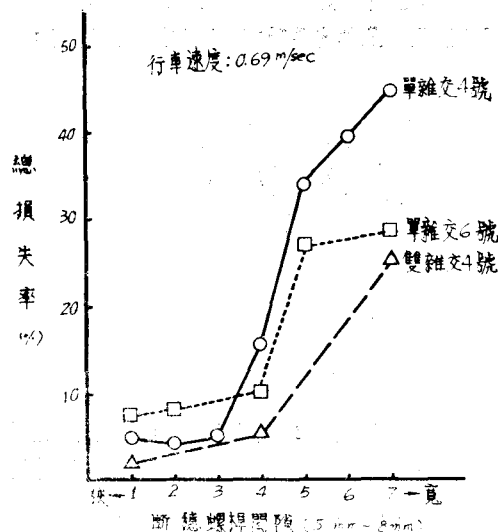
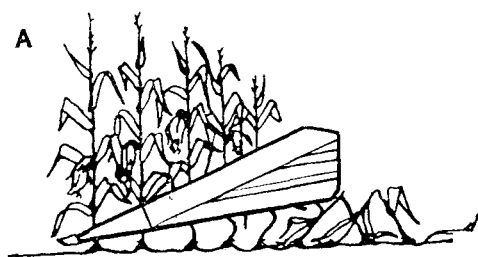


圖 13. 螺桿間隙與總損失率之關係

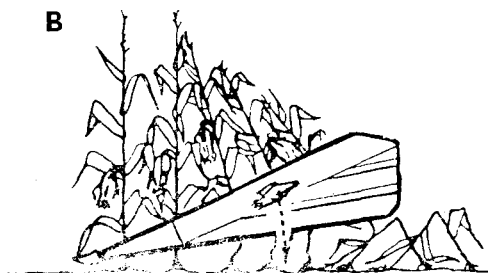
#### (二) 作業速度的影響

收穫作業時作業速度愈高，每小時作業能力隨之提高，但是嚴重的影響作業精確度，增加損失率。因此作業機的行走速度和收穫機構中採穗螺桿的作業能力必須精確配合，以圖 14 加以說明。



行走速度正常

1. 行走速度正常：如圖 14-a。玉米莖桿以直立狀態進入收穫裝置內，採穗後由輸送裝置後送集袋。

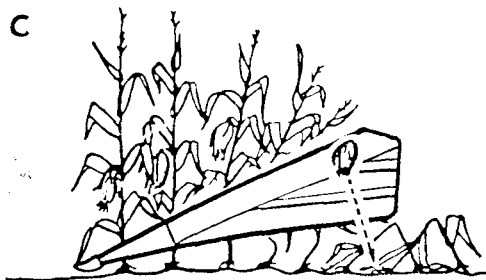


行走速度太快

2. 行走速度太快：如圖 14-b。玉米莖桿受到



推擠作用，莖桿彼此的撞擊而使玉米穗脫落，形成了採穗損失，莖葉容易破損而產生過多的碎屑。



行走速度太慢

3.行走速度太慢：如圖 14-c。因為作業機行走速度慢，扶取鏈的速度相對太快，對玉米莖桿有拉引作用。採下的玉米穗容易跌落至後方，造成了採穗損失。

圖 14. 作業機行走速度對作業性能之影響

有關行走速度與損失率的關係研究中，D. L. Young<sup>(3)</sup>所得的結果如圖 15 所示。顯示損失率因作業速度的增加而增加。

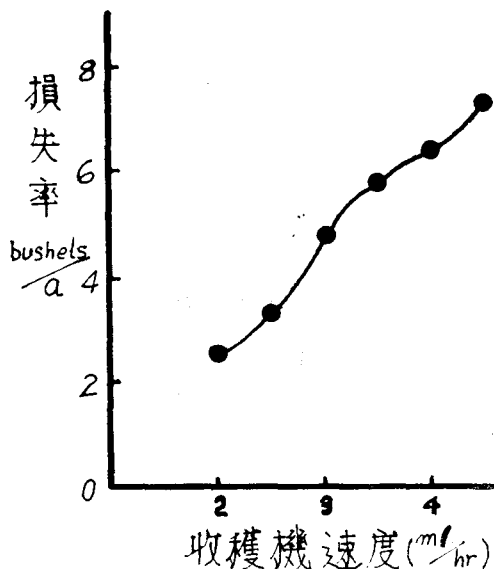


圖 15. 收穫機行走速度與損失率關係

Ohio Univ. 的研究結果如圖 5 所示。顯示兩種行走速度對於損失率的影響以 5 m. p. h 的速度影響較大。

#### (九) 收穫時期的影響

以作物在收穫時期含水率的變化可決定最適當

的收穫時期。我妻幸雄氏<sup>(17)</sup>的研究中，以單雜交 4 號玉米進行長期試驗，結果如圖 16。可知莖桿含水率於 70 % 以下時，適合機收作業之進行。

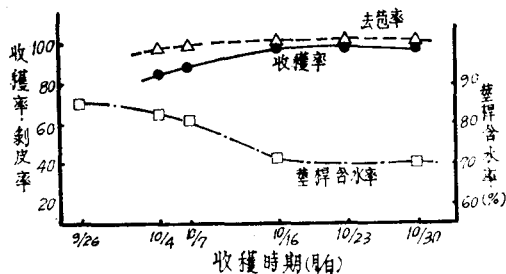


圖 16. 收穫時期與收穫性能

#### (十) 基本試驗的建議

綜合各項研究資料，對於本省玉米收穫機的開發研究，建議進行下列基本試驗。

1. 收穫時期玉米莖桿、子實、穗梗、苞葉……等長時期含水率的變化。
2. 子實含水率對於採穗總損失率，去苞作業的去苞率，去苞損失率，斷穗率的影響。
3. 採穗螺桿的型式，轉速，間隙對於採穗能力的影響。
4. 螺旋式採穗螺桿的轉速和間隙對於採穗時局部去苞葉能力的影響。
5. 去苞滾軸的轉速和表面附加物型式，對於去苞性能的影響。
6. 莖桿倒伏程度和損失率的關係。
7. 作業速度，扶起鏈條速度對於採穗能力的影響。
8. 以作物長時期含水率的變化為基準，決定適合機械收穫作業的作物含水率範圍。
9. 以不同的品種比較上述各種性能的影響。

### 五、作業方式和作業能力

#### (一) 作業方式

##### (1) 曳引機附掛農具

以曳引機附掛玉米收穫機，由於機型龐大，迴轉半徑增大，在小田區無法進行往復作業<sup>(1)</sup>，必須沿着田區四週進行繞收，剩餘中間小田區再以 U 字迴繞方式迴轉 180° 迴繞收穫，此方式如圖 17-a 所示。

##### (2) 耕耘機附掛農具

以耕耘機附掛單行玉米收穫機，機具小，操作靈活，可以在田區直接每行進行往復迴轉收穫，其

作業方式如圖 17-b 所示。

### (3) 專用機

專用機的機型比曳引機小，操作比較靈活，作業方式和聯合收穫機的往復作業方式相似。為便於轉彎，田區四角頭地必須先以人工採收。以頭地之大小可區分兩種，A 型作業方式是以人工在田區兩端採收足夠迴繞的頭地。B 型作業方式是在四角頭地採收後，利用收穫機以橫向往復收穫方式以得到足夠迴繞的頭地，再進行直向往復作業，此作業方式如圖 18。

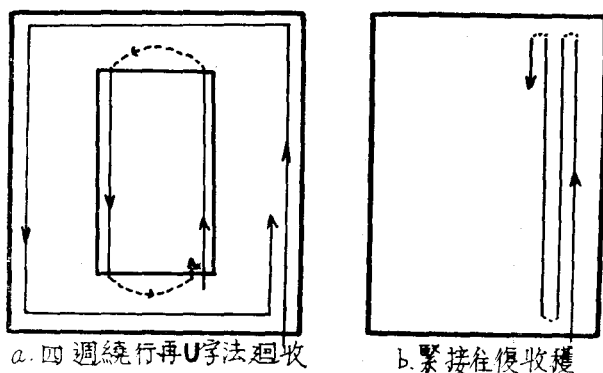


圖 17 附屬農具的作業方式

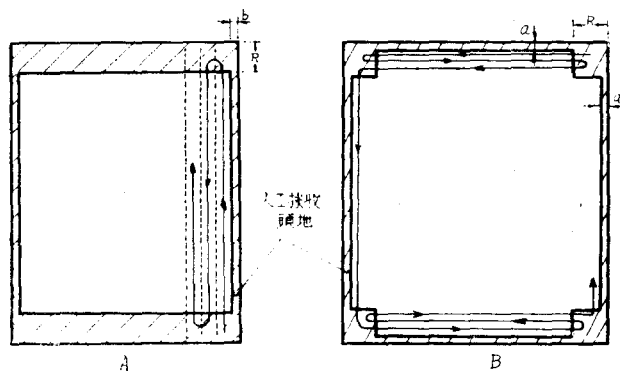


圖 18. 專用機的作業方式

### (二) 作業效率和作業能力的計算

#### 1. 曳引機附掛收穫機

參考水稻聯合收穫機作業方式之研究<sup>(8)</sup>，以一標準田區進行各種收穫機的作業效率和作業能力之研究。田區為長方形，長  $l$ ，寬  $W$ ，四角迴轉頭地之長寬為  $R$ ，四周田邊長邊人工採收寬度為  $a$ ，短邊的採收寬度  $b$ ，頭地的面積 (AH) 計算值如下：

$$AH = 4R^2 + 2lb + 2Wa - 4R(a+b) \quad (1)$$

人工作業時間 (CH) 估計值為  $20 \text{ sec/m}^2$ ，因此田區內人工作業時間 (TH) 之計算式如下：

$$TH = AH \cdot CH \quad (2)$$

曳引機附屬農具以四週繞行方式進行收穫作業，所需時間 ( $T_1$ ) 如下：

$$T_1 = (2n_1(L_1 + W_1) - 4n_1P) / V + 4n_1T_r \quad (3)$$

$n_1$ ：繞行圈數

$L_1, W_1$ ：四週頭地手摘後田區長、寬(m)

$P$ ：作業寬度 (m)。

$V$ ：作業速度 (m/sec)。

$T_r$ ：作業機  $90^\circ$  直角迴繞時間 (sec)。

四週繞行後，中間小田區長寬各為  $l_2, W_2$ ，以 U 字  $180^\circ$  迴繞進行收穫，每次迴繞時間以平均值 ( $T_u$ ) 加以估算。作業所需時間為  $T_2$ 。 $T_2$  計算如下：

$$T_2 = (l_2/V + T_u) \frac{W_2}{P} \quad (4)$$

為簡化研究，不考慮農機具於田區內修理，調整時間，收穫後玉米穗田區搬運時間。作業所需全部時間 ( $T_0$ ) 之計算如下：

$$T_0 = TH + T_1 + T_2 \quad (5)$$

理論作業時間 (T) 之計算：

$$T = l \cdot W / P \cdot V \quad (6)$$

作業效率 (E) 之計算

$$E(\%) = T / T_0 \quad (7)$$

作業能力 (C) 之計算

$$C (\text{ha/hr}) = 0.36 \cdot E \cdot P \cdot V \quad (8)$$

#### 2. 耕耘機附掛收穫機

耕耘機為往復作業方式，其往復作業時間 ( $T_3$ ) 之計算如下：

$$T_3 = (l_1/V + T_r) \cdot W_1/P \quad (9)$$

$T_r$ ：作業機往復迴轉所需時間。

總作業時間為  $TH$  和  $T_3$  之和，以理論作業時間比較，可求出 E、C 值。

### 3. 專用機

專用機的作業方式，依頭地之不同可分為 A、B 兩種型式。

#### (1) A 式

四週頭地 (AH) 計算如下：

$$AH = 2 \cdot W \cdot R + 2lb + 4 \cdot R \cdot b \quad (10)$$

機收作業時間 ( $T_4$ ) 與耕耘機附掛收穫機之作業時間 ( $T_3$ ) 計算方式相同。

#### (2) B 式

四週頭地 (AH) 的計算如下：

$$AH = 4 \cdot R^2 + 2(Q+W)a - 8Ra \quad (11)$$

橫向往復作業所需時間為  $T_s$ ，假設直角迴轉和往復迴轉之時間相同。

$$T_s = 6(W - 2R)/V + 7TR \quad (12)$$

直向往復作業所需時間  $T_r$  之計算方式與  $T_s$  相同。

由  $T_H$ ,  $T_s$ ,  $T_r$  之總和求得作業時間 ( $T_0$ )

，和  $T$  值比較，可分別計算  $E$ ,  $C$  值。

(三) 作業效率和作業能力之比較

依各研究文獻之資料，不同型式的收穫機的性能資料如表七。

以有關數據分別計算各型收穫機的作業效率和作業能力，專用機以兩種方式進行比較，所得的結果如圖 19, 20 所示。

表七 玉米收穫機作業性能資料

性能項目	機 型	曳 引 機 附 掛			耕 耘 機 附 掛	專 用 機	備 註
		牽 引 式	側 置 式	前 置 式			
機 長 (m)		6~7	3~3.5	6	2.5	3.5	(1)
機 寬 (m)		3.5~4	4.5~5	2.5	1.5	2.0~2.5	(1)
四 角 頭 地 長 (m)		8×8	6×6	6.3×6.3	2.5×2.5	4.2×4.2	(1)
長 邊 頭 地 a (m)		3.5	4.5	1.4	2.5	0.7	(1)
短 邊 頭 地 b (m)		3.5	4.5	1.4	0.7	0.7	(1)
作 業 速 度 (m/s)		0.83 <sup>(4)</sup>	0.83 <sup>(4)</sup>	0.42 <sup>(4)</sup>	0.33 <sup>(5)</sup>	0.72 <sup>(8)</sup>	
作 業 寬 度 (m)		1.4	1.4	1.4	0.7	1.4	
直 角 迴 轉 時 間 $T_r$ (sec)		20	20	20	—	—	估
往 復 迴 轉 時 間 $T_B$ (sec)		—	—	—	12	18	計
U 字 180° 迴 轉 時 間 $T_U$ (sec)		28	28	28	—	—	值
動 力 傳 動 方 式		曳 引 機 P. T. O 軸	曳 引 機 P. T. O 軸	1. 曳 引 機 前 動 力 分 頭 (臺 南 場) 2. 油 壓 馬 達 (農 試 所)	耕 耘 機 引 擎 機 械 傳 動	油 壓 馬 達 傳 動	
作 業 方 式		四 週 繞 收 再 U 字 迴 收	同 左	同 左	緊 接 往 復 收 穫	隔 畦 往 復 收 穫	

(括弧內數字代表資料來源)

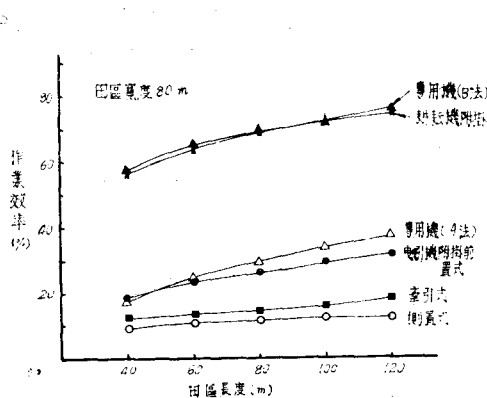


圖 19. 各型作業機之效率比較

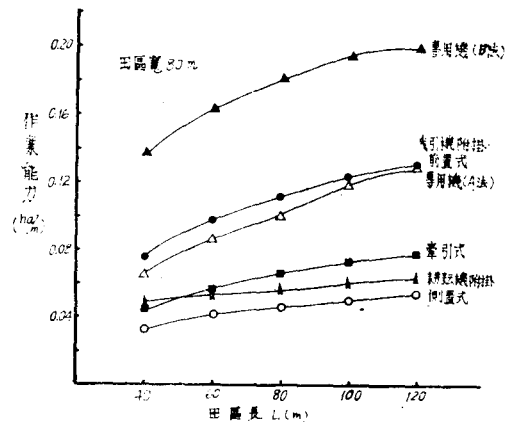


圖 20. 各型作業機之作業能力比較

在田區寬為 80 m 的田區，田區長度各為 40m 至 120 m。在作業效率方面，以專用機 B 型作業方式和耕耘機附掛式最高，主要的原因是由於兩型的作業方式，人工採收的頭地面積小，機械作業時間所佔總工作時間的比例高。

作業能力的比較方面，專用機 B 型作業法的作業能力最高，曳引機前置式收穫機和專用機 A 型作業法的作業能力相近。耕耘機附掛型收穫機因作業寬度小，速度慢，因此作業能力低下。

曳引機附掛側置式，牽引式收穫機因人工採收頭地面積大，採收時間久，機械採收時間佔總作業時間比例少，作業效率和作業能力低下。

#### 四、作業能力的影響因素

以不同的田區寬度 (40m, 80m)，田區長度 (40m~120m)，作業方法 (A, B 型)，作業速度比較專用機的作業能力，結果如圖 21、22 所示。

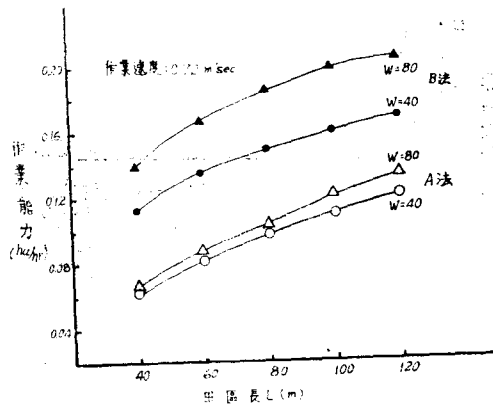


圖 21. 頭地面積和作業能力的關係

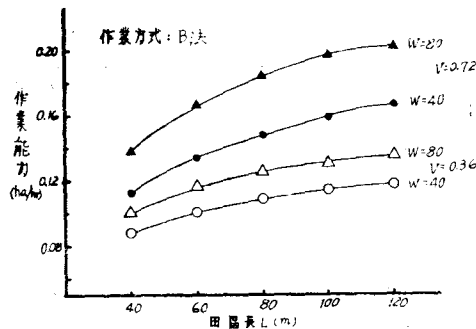


圖 22. 作業速度與作業能力的關係

由圖 21 可知，田區長、寬的增加，提高了作業能力，B 型作業方式，由於頭地面積小，作業能力的增大十分顯著。圖 22 中，以不同速度比較 B

型作業方式的作業能力，速度亦有顯著的影響。由上述之比較，可做為收穫作業進行時提高作業能力的參考。

#### 四、作業流量之影響

玉米收穫機的集袋問題可由作業流量以估計玉米穗的集袋時間。估算方式如下：

機械收穫的田區面積為  $A_1$ ，則作業機從事收穫作業，不包括迴轉時間，所需要的時間  $TM$  (min) 計算式如下：

$$TM = A_1 / 60 \cdot P \cdot V \quad (13)$$

玉米每公頃的玉米穗產量為  $Q$  (kg)，每  $1 m^2$  產量為  $Q \times 10^{-4}$  kg。收穫作業時玉米穗通過作業機的流量為  $\dot{Q}$  (kg/min)，計算如下：

$$\begin{aligned} \dot{Q} &= A_1 \cdot Q \cdot 10^{-4} / TM \\ &= A_1 \cdot Q \cdot 10^{-4} / A_1 / 60 \cdot P \cdot V \\ &= 6 \times 10^{-3} P \cdot V \cdot Q \quad (14) \end{aligned}$$

收穫機的作業寬度  $P$  為 1.4 m，代入 (14) 式

$$\dot{Q} = 8.4 \times 10^{-3} \cdot V \cdot Q \quad (15)$$

由此可知作業流量的影響因子為收穫機的作業速度與每單位面積的作物產量。

在高產玉米每公頃產量 6000 kg 的地區，作業速度 0.36 m/s 時，作業流量為 18.1 kg/min。作業速度 0.72 m/s 時，作業流量為 36.3 kg/min，作業速度提高至 1.53 m/s (5.5 km/hr) 時，作業流量增加至 77.1 kg/min。在高流量時，集袋成為問題，以通常容量 30 kg (50 臺斤) 的穀袋，每分鐘至少要處理兩次，因此在作業速度增加時，如何研製完善，省時的集袋裝置，此是玉米收穫機開發面臨的問題。

## 六、作業成本研究

在玉米收穫機的作業成本研究中，固定成本包括折舊和利息費用。變動成本包括修理、保養、燃料和勞力費用。

依稻作機械使用成本之研究<sup>(2)</sup>，作業機每公頃的作業成本 ( $C/A$ ) 計算式如下：

$$\begin{aligned} C/A &= \frac{P(1-\alpha+C_R)}{FC \cdot TH} + \frac{i}{2}(1+\alpha) \frac{P}{A} \\ &+ (1.3 \cdot K \cdot HP + Lc \cdot PPM) \frac{1}{FC} \quad (16) \end{aligned}$$

$A$  : 年作業面積 (ha)

$P$  : 農機價格 (元)

$\alpha$  : 折舊殘存比，通常為 10 %

$C_n$  : 總修理係數 (%)  
 $FC$  : 田間作業能力 (ha/hr)  
 $HP$  : 農機馬力 (hp)  
 $i$  : 年利率, 其值為 8.5 %  
 $K$  : 耗油量計算常數, 柴油引擎值:  
           2.7元/hr·hp 汽油引擎值: 5.33元  
           /hr·hp  
 $L_c$  : 工資 (元/小時)  
 $PPM$  : 農機操作人數

(一) 曳引機附掛作業機之成本

曳引機附掛作業機進行收穫作業時, 其總作業成本為曳引機和附掛作業機兩者成本之總和。

曳引機年作業成本計算資料如下: 二行式附掛玉米收穫機需用 40 hp, TH=5,000 hr, CR=70%,  $L_c=60$ 元/hr·人, P. P. M=1人  
代入(16)式,

$$(C/A)_T = 3.2 \times 10^{-4} \frac{P_T}{FC} + \frac{200.4}{FC} + 4.675 \times 10^{-2} \frac{P_T}{A} \quad (17)$$

附掛收穫機之成本計算時不考慮燃料消耗, 以「水田作機械化資料」<sup>(16)</sup>, 估計成本計算資料: TH=2000 hr, CR=50%, PPM=1, 代入(16)式。

$$(C/A)_H = 7 \times 10^{-4} \frac{P_H}{FC} + \frac{60}{FC} + 4.675 \times 10^{-2} \frac{P}{A} \quad (18)$$

假設曳引機 40 HP 之售價為 400,000 元, 附掛收穫機之造價為 180,000 元, 則總作業成本如下:

$$(C/A) = (C/A)_T + (C/A)_H = \frac{514.4}{FC} + \frac{27070}{A} \quad (19)$$

(二) 專用機的作業成本

專用機作業成本估算資料如下: TH=2000hr, CR=50%, HP=20, PPM=2人, 代入(16)式

$$\left(\frac{C}{A}\right) = 7 \times 10^{-4} \frac{P}{FC} + 4.675 \times 10^{-2} \frac{P}{A} + \frac{190.2}{FC} \quad (20)$$

專用機之造價估算為 300,000 元, 代入(20)式,

$$\left(\frac{C}{A}\right) = 400.2/FC + 14,025/A \quad (21)$$

(三) 作業成本之比較

依稻作機械成本之研究<sup>(2)</sup>, 農機售價和作業

能力是決定作業成本的主要因素。曳引機附掛玉米收穫機的造價設為 18 萬元, 專用機的造價為 30 萬元, 在面積 0.6 ha 的田區, 以圖 18 估計曳引機附屬作業機的作業能力為 0.12 ha/hr, 專用機的作業能力以 0.12, 0.16, 0.20 ha/hr 三值進行比較。各單位面積的作業成本與作業面積之關係如圖 23 所示。曳引機附掛收穫機的作業成本包括曳引機的使用成本和附屬農具的作業成本。由於曳引機之使用成本幾乎為定值, 因此附屬農具的價格必須降低, 作業能力必須提高, 才能使作業成本降低。

由專用機的作業成本比較中, 作業能力對於作業成本的影響極為顯著, 年使用面積超過 12 ha 之後, 作業成本的降低有限, 因此要降低作業成本必須提高作業效率和作業能力。

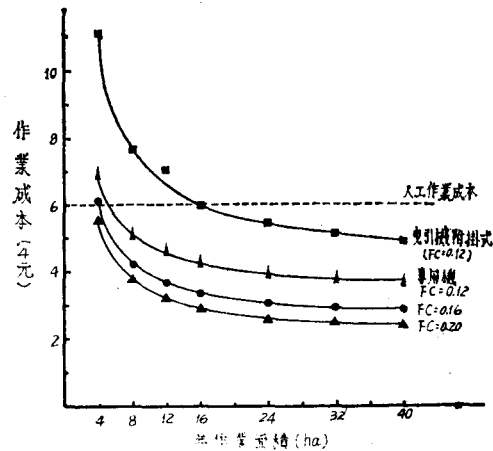


圖 23. 玉米收穫機單位面積作業成本

(四) 損失率的影響

使用農機的目的在於取代人力, 減低作業成本。機械作業成本和人工作業成本的比較關係式如下:

$$N = H - M - L \cdot G \quad (22)$$

$N$  : 使用農機收穫作業單位面積淨收益 (元/公頃)

$H$  : 人工收穫作業成本 (元/公頃)

$M$  : 農機收穫作業成本 (元/公頃)

$L$  : 農機收穫時單位面積損失量 (公斤/公頃)

$G$  : 農產品價格 (元/公斤)

單位面積損失量關係式如下:

$$L = Q \cdot l \quad (23)$$

Q：單位面積產量（公斤／公頃）

l：損失率（%）

為使農機作業的淨收益為正值，損失率的極限如下：

$$l \geq H - M / (Q \cdot G) \quad (24)$$

以專用機的作業成本為例：設專用機的售價30萬元，年作業面積 25 公頃，作業能力 0.20公頃／小時，代入(24)式得作業成本值 2562 元／公頃。

人工收穫時所需作業成本計算如下：依農林廳雜糧作業成本調查資料，玉米收穫每公頃所需人工為 160 人一小時，人工工資為 300 元／天，一天工作量为 8 小時，則每公頃人工收穫成本為  $300 \times 160 / 8 = 6,000$  元。

高產玉米臺農 351 號每公頃產量 6000 公斤，收購價格 15 元／公斤，代入(24)式。

$$l = \frac{6000 - 2562}{6000 \times 15} = 3.82\%$$

換言之，損失率超過 3.82% 時，使用農機收穫之淨收益為負值。

損失率對於作業成本的影響如圖 24 所示。損失率增加 1% 時，收穫成本增加 900 元／公頃，以圖 24 為例，損失率大於 4% 時，農機收穫成本高於人工作業成本。

在玉米機械採收的各項損失中，採收前損失和採穗作業時玉米穗的損失可利用人工檢拾，降低損失率。但是在採穗機構因壓碎或脫粒的玉米粒損失，無法以人工一一檢拾。因此如何減少損失率以降低作業成本，成為收穫機研究之另一主題。

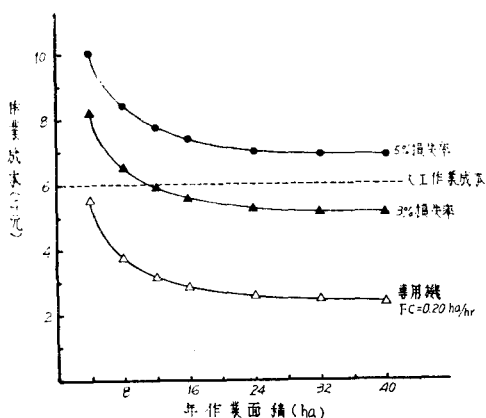


圖 24. 損失率對作業成本的影響

(四) 去苞機的作業成本

去苞機為定置使用機械，計算作業成本時以每小時工作量为基準，參考(16)式，所得單位工作量为作業成本 C/Q (元／公斤) 計算式如下：

$$C/R = \frac{P(1-\alpha+C_R)}{TH \cdot W} + \frac{i}{2}(1+\alpha) \frac{P}{R} + (1.3 \cdot K \cdot HP + LC \cdot PPM) / W \quad (25)$$

W：每小時工作量为 (kg/hr)

R：每年總工作量为 (Kg)

參考定置式加工調製機械成本資料<sup>(16)</sup>，去苞機之 TH=1000 hr，C<sub>R</sub>=15%，使用 3 馬力汽油引擎。有關數據代入(25)式，

$$C/R = 1.05 \times 10^{-3} \frac{P}{W} + 4.675 \times 10^{-3} \frac{P}{R} + 80.8 / W \quad (26)$$

在(16)式與(25)式的比較時，Q 為每公頃產量 (kg/ha)，則 W, FC, R, A 有如下關係：

$$W = Q \cdot FC \quad (27)$$

$$R = Q \cdot A \quad (28)$$

(四) 專用機的作業成本和農機設計

在玉米收穫機專用機的設計中有兩種型式：採穗去苞機 (corn-pickers) 在同一機型內同時採穗與去苞，採穗機 (snappers) 本身只有採穗作業能力，去苞作業必須另外使用去苞機。兩種機型的比較如表八。

表八 專用機兩種機型比較

項目	機型	
	採穗去苞機 (pickers)	採穗機 (snappers)
作業速度	較慢	較快
作業能力	較低	較高
機械結構	複雜	簡單
引擎馬力	25 hp	18 hp
農機價格	較高	較低
單位面積作業成本	較高	較低
收穫作業總成本	採穗去苞機之單機成本	採穗機成本和去苞機成本

採穗機的結構不包含去苞機構，作業速度較快，作業能力高，但是採摘後玉米穗需要另一部去苞機加以調製處理，因此作業成本為採穗機和去苞機兩機作業成本之總和。

由於作業成本的影响因子有農機價格，總修理

係數，耗油量，耐用小時，耕作面積，作業能力……等。因此對農機之開發設計而言，如何使機件精良，減少耗油量和修護費用，提高作業能力……等，都是降低作業成本的方法。在採穗去苞機和採穗機的開發比較中，必須以詳盡的田間試驗，比較各項作業性能和作業成本。

#### 七年作業面積與作業能力

農機代耕制度在臺灣已普及多年，未來玉米收穫作業必將走向收穫機代收的方式。一部收穫機每期代收總面積和作業能力的關係如下：

$$TA = FC \cdot H \cdot E_1 \cdot D \cdot E_2 \quad (29)$$

TA：收穫機每期作業面積 (ha)

FC：田區作業能力 (ha/hr)

H：每日工作時數 (hr/day)

E<sub>1</sub>：每日田區內作業率，通常此值為  
0.75~0.8

D：收穫時期可以工作時日 (day)

E<sub>2</sub>：收穫時期可利用之時間率，因作業制度，地區，氣候……等因素而相異。

在共同經營區有一定的總作業面積，或是代耕者有一定的代收面積，收穫機要求的作業能力計算如下：

$$FC = TA / H \cdot E_1 \cdot D \cdot E_2 \quad (30)$$

本省的農業生產制度一年多作，玉米無法留置田區內自然乾燥，收穫時期受天雨氣候等限制，農民要求生長期不能太長……等，這些因素限制了收穫時期的利用率。田畦小，田埂出入跨越不便，農地與農機停駐倉庫距離長，耕地分散……等因素影響了每日農機於田區內的使用率，因此作業能力的高低對每期收穫機的作業面積影響極大。專用機之型式不同使作業能力為之不同。在不同的生產區所適用的專業機因此相異。因此在專用機的開發設計除了作業總成本的比較，亦需以作業能力考慮各生產地區的適用性。

## 七、結 論

1. 本省玉米收穫機已有多年研究，但是由於基本試驗資料不足，各種影響收穫性能的作業因素無法確立，此應為今後研究之重點。

2. 收穫機內玉米穗流量以面積產量和作業速度為決定因素，在高產量品種以高作業速度收穫時，集袋裝置的處理能力應該加以提高。

3. 損失率嚴重影響作業成本，尤其以玉米粒的損失最為嚴重，應探討產生原因加以改進。

4. 農機作業方式對於作業效率和作業能力影響極大。減少人工頭地面積以減少人工採收時間，農機之設計使收穫機作業時操作靈活，減少迴轉時間，都可提高作業效率。

5. 專用機的開發有兩種型式：採穗機與採穗去苞機。由於各生產區環境、氣候、作業制度之不同，必須以總作業成本和適用的作業能力以決定專用機所需要的作業能力。

6. 玉米收穫作業全部流程有採穗、去苞、乾燥、脫粒等。其中乾燥作業尚未完全機械化，因此利用箱式乾燥機從事玉米穗的乾燥為一可行方式。收穫後的玉米莖桿殘留地面，殘株處理問題需要加以研究，以使玉米生產作業能夠達到全面機械化的境界。

附記：此文為筆者於中興大學農機系兼授課程「雜糧機械」編撰講義。

## 八、參 考 文 獻

1. 吳維健、涂勳、謝柔煙。1982. 美日兩國雜糧省工栽培及機械化作業考察報告，農發會。P11~16.
2. 陳加忠，1983. 稻作機械使用成本之研究。農工學報 29 卷 4 期。P116~132.
3. 陳加忠、鄭榮瑞、1984. 聯合收穫機作業方式與作業能力之研究。農工學報 30 卷 1 期。P84~91.
4. 六十八年度農機具試驗研究發展彙報，69年，農林廳。P68~72.
5. 六十九年度農機具試驗研究發展彙報。70年，農林廳，P76~83.
6. 七十年度農機具試驗研究發展彙報。71年。農林廳。P50~55.
7. 三輪式雙行玉米採收機，玉米去苞機試驗簡報。73年1月。種苗繁殖場。
8. 南改式玉米收穫機性能簡介。73年1月，臺南改良場。
9. R. M. Lien. et. 1976, Machine Losses in Field Harvesting Popcorn. Trans. A. S. A. E. P 827~829.
10. D. M. Byg, G. E. Hall, 1968. Corn Losses and Kernel Damage in Field Shelling of Corn. Trans, A. S. A, E. P 164~166.
11. Kepner, Bainer, Barger. 1978. Principles of Farm Machinery. 3 edition. P. 432~444. (文轉第29頁)