

聯合收穫機作業方式與作業能力之研究

The Study on the Relation between the Working Methods and the Working Capacity of Rice Combine

臺灣省農業試驗所農機系助理研究員

臺灣省農業試驗所農機系助理

陳 加 忠

鄭 榮 瑞

Chia-Chung Chen

Jang-Jui Cheng

Abstract

In order to study the relation between the working methods and the working capacity of rice combine, a series of working locus equations were established. A simple BASIC program was used for the calculation of working efficiency and capacity.

The efficiency and capacity were under the influence of the area of field, the type of machinery, the working methods... etc. The efficiency of each machinery was limited in different areas. The circular working method was fitted for the field area under 0.5 ha. The reciprocal working method was fitted for the field area larger than 0.5 ha.

一、前 言

稻作機械之利用已接近完全開發，聯合收穫機用以進行收穫作業比例達到80%，作業能力是決定作業成本的主要因素（註1），但是不同作業情況下最佳作業方式尚未有所研究。

美歐諸國對於農機作業方式已有多年研究（註2），但是由於農場環境的差異，僅可為參考之用。日本農機作業方式之研究，限於早期開發之二行式聯合收穫機（註3、4）。本省農機由於代耕制度的推行，聯合收穫機的年作業面積大多超過了20公頃，因此針對本省之作業方式有其研究之必要。

在此研究中，以作業機之行走軌跡建立各項方程式，解析作業效率和作業能力，以決定各種影響因子的相互關係，並以各項田間實測資料，以探究最佳作業方式。

二、理 論 分 析

(一) 作業方式探討

1. 田區形狀

如圖一所示，以一標準田區為研究對象，此田區長 l ，寬 W 。在聯合收穫機進入作業前，在四角以人工割取長 a 、寬 b 的小頭地，以方便作業和迴

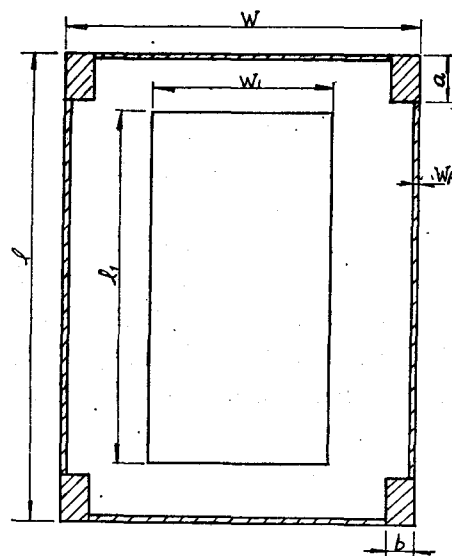


圖1. 標準作業田區形狀

轉。田區周圍因作業之需要，往往再以人工手割一行（寬 Wh ）。

收穫作業進行時，先行四周繞割，得到足夠的迴繞頭地再進行中間部份之收穫。

2. 作業方式類型

(1) 繞行法

此方式如圖二所示。

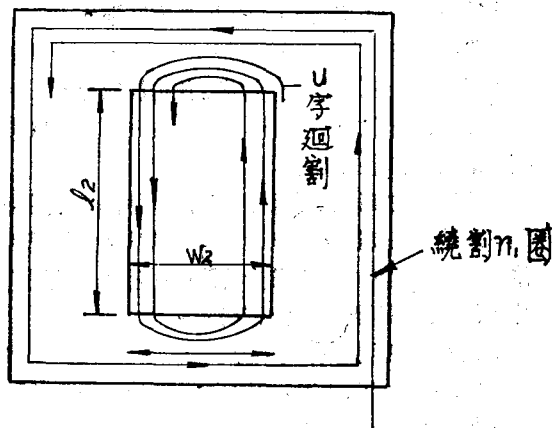


圖2. 繞行法

收穫機進入田區內先行繞割，至田區寬度為 W_2 時，以U型迴繞180°至另一端進行割取，此時所割取的田區長 l_2 維持一定。

(2) 中剖迴割法

大田區收穫作業時，先沿四周繞割，再於田區中間加以剖割，分割的小田區以向外和向內迴割

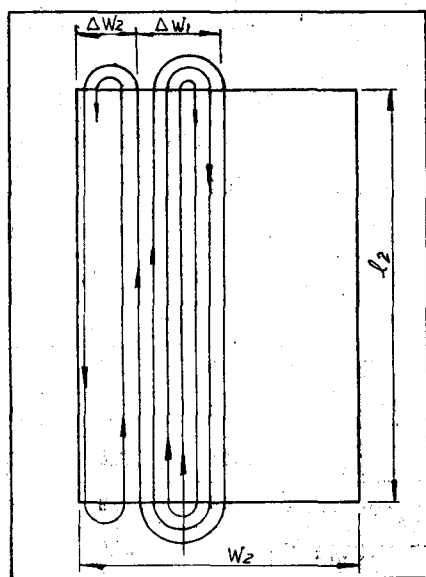


圖3. 中間剖割及迴割法(以田區長為準)

方式，分別進行割刈，此方式因長、寬基準之不同，而有兩種方式，各如圖3，圖4所示。

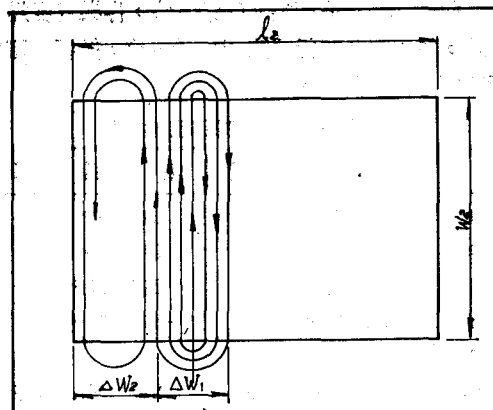


圖4. 中間剖割及迴割法(以田區寬為準)

(3) 往復法

此方法如圖5所行。收穫機於四周繞割後，在頭地進行往復迴轉作業。

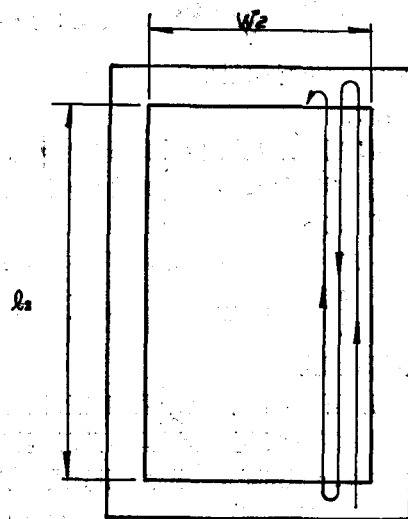


圖5. 往復法

(二) 作業方式解析

1. 頭地面積與作業時間

頭地面積 AH (m^2)，其計算值如下：

$$AH = 4ab + 2WH (L + W - 2a - 2b) \dots (1)$$

人工收割的作業能率為 CM (sec/m^2)，以收穫機脫穀裝置處理人工收割的穀穗，其作業能率為 SM (sec/m^2)。人工收割頭地之時間 TH (sec)，機械脫穀所需時間 TS (sec)，其計算值如下：

$$T_R = AH \cdot CM \dots\dots\dots(2)$$

$$T_S = AH \cdot SM \dots\dots\dots(3)$$

2. 四周繞行時間

收穫機作業速度為V(m/sec)，作業寬度為P(m)，四周直角繞行時間 T_r (sec)，繞行 n_1 圈所行路徑如表一所示。

表一 繞行 n_1 圈所行路徑長

圈數	長邊	短邊
1	2L-P	2W-3P
2	2L-5P	2W-7P
3	2L-9P	2W-11P
4	2L-13P	2W-15P
⋮		
n_1	2L-(4 n_1 -3)P	2W-(4 n_1 -1)P
Σn_1	2 n_1 L-(2 n_1^2 - n_1)P	2 n_1 W-(2 n_1^2 + n_1)P

總作業路徑長為長短邊所行路徑和。

$$\begin{aligned} \ell &= 2n_1L - (2n_1^2 - n_1)P + 2n_1W - (2n_1^2 + n_1)P \\ &= 2n_1(L+W) - 4n_1^2P \dots\dots\dots(4) \end{aligned}$$

所需作業時間 T_1 (sec)

$$T_1 = \left(\frac{2n_1(L+W) - 4n_1^2P}{V} + 4n_1t_r \right) \dots\dots(5)$$

3. U字180°迴旋所需時間

(1) 繞行法

如圖2所示作業方式，小田區長 ℓ_2 ，寬 W_2 ，所需作業時間 T_2 (sec)，迴繞次數 n_2 ，每次迴繞時間 T_U (sec)。

$$n_2 = W_2/P \dots\dots\dots(6)$$

$$T_2 = \frac{\ell_2}{V} \cdot n_2 + \Sigma T_U \cdot n_2 \dots\dots\dots(7)$$

(2) 中剖迴割法

為簡化研究，設外迴割和內迴割之小田區寬 ΔW_1 和 ΔW_2 相等。以小田區寬 W_3 分割K塊後，剩餘田寬為 W_4 。以田區長為標準的計算式如下：

$$W_2 = K W_3 + W_4 \dots\dots\dots(8)$$

$$n_3 = \frac{KW_3 + W_4}{P} = K n_3 + n_4 \dots\dots\dots(9)$$

$$T_3 = \frac{\ell_2}{V} n_5 + K \Sigma T_U n_3 + \Sigma T_U \cdot n_4 \dots\dots(10)$$

以田區寬為基準時，(8)~(10)式中 ℓ_2 ， W_2 值互換即可求得所需時間 T_4 。

4. 往復法作業所需時間

四周繞割後進行往復作業，往復次數為 n_5 ，收穫機迴繞時間 T_R (sec)，所需時間 T_5 (sec)

$$n_5 = W_2/P \dots\dots\dots(11)$$

$$T_5 = \left(\frac{\ell_2}{V} + T_R \right) n_5 \dots\dots\dots(12)$$

三、各種作業方式所需時間

1. 第一型：四周繞割後，餘留迴割作業。

$$T = T_1 + T_2 \dots\dots\dots(13)$$

2. 第二型：四周繞割後，餘留大田區以長為基準，以 W_3 寬分割小田區。

$$T = T_1 + T_3 \dots\dots\dots(14)$$

3. 第三型：如第二型，以田區寬為基準。

$$T = T_1 + T_4 \dots\dots\dots(15)$$

4. 第四型：四周繞割後，進行往復法收穫。

$$T = T_1 + T_5 \dots\dots\dots(16)$$

四、作業效率和作業能力

收穫機在田區內所需作業時間包括機械作業時間，頭地手割時間，手割穀穗脫穀時間，農機調整修理時間，穀袋自機上移走時間……等。在此研究中，以前三項時間作為比較研究。

1. 田區內總作業時間(T_0)

$$T_0 = T + T_R + T_S \dots\dots\dots(17)$$

2. 理論作業時間(T_0)

$$T_0 = \ell \cdot W / P \cdot V \dots\dots\dots(18)$$

3. 田間作業效率(E)

$$E = T_0 / T_0 \dots\dots\dots(19)$$

4. 田間作業能力 C° (ha/nr)

$$C = 0.36 \cdot E \cdot P \cdot V \dots\dots\dots(20)$$

三、田間調查結果

以YS-1300, TC-1800, MC-2450三種機型聯合收穫機進行田間作業調查研究，有關調查資料如表二。

表二 聯合收穫機作業調查資料

項目		機型	YS-1300	TC-1800	MC-2450
割幅	P(m)		0.75	1.05	1.45
作業速度	V(m/sec)		0.67	0.79	0.85
頭地	長	a(m)	2	5	5
	寬	b(m)	2	4	4
四周頭地寬	Wh(m)		0.3	0.3	0
直角迴轉時間	T_r (sec)		12.6	13.4	12.3
往復迴轉時間	T_R (sec)		15.0	12.0	11.0
脫穀能率	$\frac{CS}{sec/m^2}$		6.4	5.2	4.85
人工收割能率	$\frac{cm}{sec/n^2}$		84.0		
四周迴繞圈數	N_1		8	6	5

(一) U型180°迴旋所需時間

由調查值得知，收穫機繞行小圈時，迴繞時間幾乎為定值，超過一定行數後，迴繞時間和行數有

直線相關關係（圖6），因行距 30cm，換算迴繞時間和田區寬之關係如下：

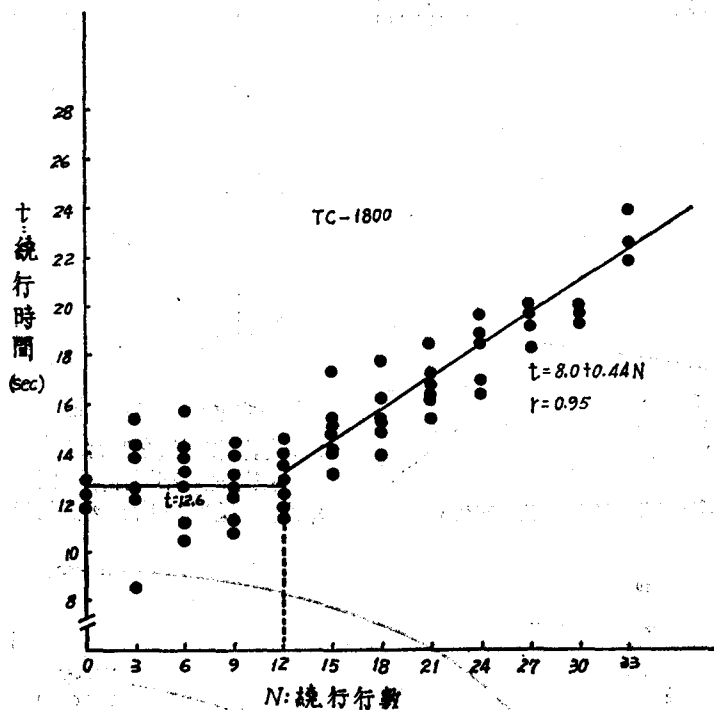


圖6. 繞行行數和時間之關係

- 1. YS-1300 : $n < 4, T_v = 15.0 \text{ sec}$
 $n \geq 4, T_v = 10.8 + 3.33 W \dots (21)$
- 2. TC-1800 : $n < 12, T_v = 12.6 \text{ sec}$
 $n \geq 12, T_v = 8.0 + 1.47 W \dots (22)$
- 3. MC-2450 : $T_v = 10.2 + 1.21 W \dots (23)$

- 2. TC-1800 : $\sum n T_v = 39.0 + 25.9W + 2.44 W^2 \dots (27)$
- 3. MC-2450 : $\sum n T_v = 9.84 + 33.4W + 2.01 W^2 \dots (28)$

由此歸納U型180°迴繞作業所需時間 T_v 與繞行行數 n 的通式如下：

$$\begin{aligned} n < n_0, T_v &= b_1 \dots (24) \\ n \geq n_0, T_v &= b_2 + C_2 N \dots (24) \end{aligned}$$

繞行 n 行所需全部時間 $\sum n T_v$ 之計算式有如下關係：

$$\begin{aligned} \sum n T_v &= (b_1 - b_0) n_0 - \frac{(n_0 - 1)(n_0 - 2)}{2} \\ &C_2 + b_2 + (b_2 - \frac{C_1}{2}) N + \frac{n^2}{2} C_2 \dots (25) \end{aligned}$$

代入 (21) ~ (23) 式，得到迴割作業所需全部時間 ($\sum n T_v$) 與田區寬 (W) 的相關方程式：

$$1. YS-1300 : \sum n T_v = 24.6 + 34.3W + 5.56 W^2 \dots (26)$$

(二) 迴繞圈數和分割小田區寬

為求得足夠迴繞或往復作業之頭地，依田間調查，其所需寬度為 6 ~ 7 m，因收穫機作業寬度之不同，所需繞割行數也不同，其各項調查值如表二。

U型迴繞收割之寬度和繞行所需之時間關係為一二項次方程式，田間調查顯示，通常分割小田區之寬度為 10 ~ 12 m，在此研究中為進行比較，設定為 10.8 m。

四、討 論

以表二調查值代入各式，計算不同田區長、寬時各機型的作業效率和作業能力，以簡易 BASIC 程式計算各種結果，所用程式於附錄。

(一) 作業效率之比較

1. 田區長寬之影響

進行迴繞作業時，田區長寬的影響以 TC-1800 為代表，如圖 7 所示。隨著田區長度，寬度的增加，作業效率隨之增加，但在田區長度超過 100 m 時，增加的趨勢漸趨緩和，由圖可知寬度的影響比長度更大。

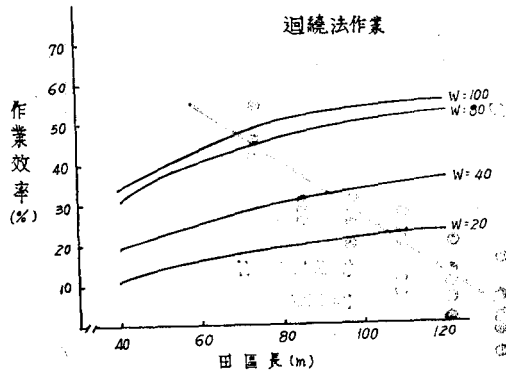


圖7. TC-1800 田區長寬與作業效率關係

進行往復作業時，田區長寬的影響以 MC-2450 為代表，如圖 8 所示。田區長、寬的增加，作業效率亦增加。田區長度超過 100m 時，作業效率仍然繼續增加。

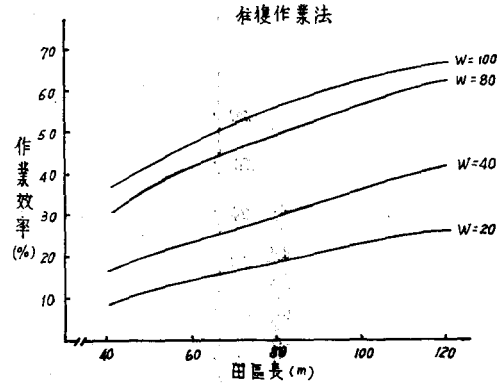


圖8. MC-2450 田區長寬與作業效率之關係

2. 機型和面積之影響

三種型於不同作業面積時，迴繞法對於作業效率之影響如圖 9 所示，往復法之影響如圖 10 所示。

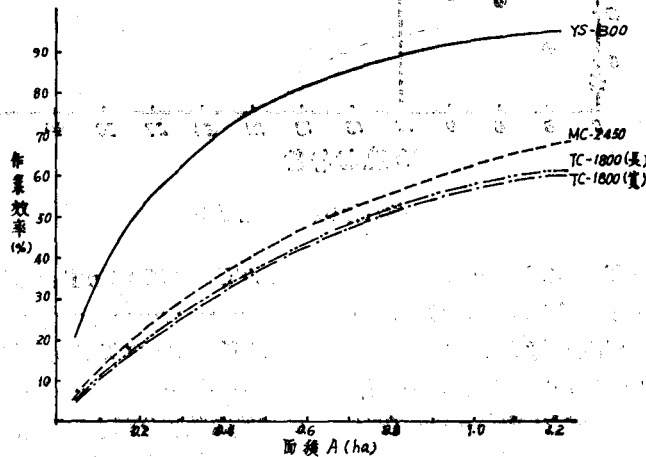


圖9. 機型和面積對於作業效率之影響(迴繞法)

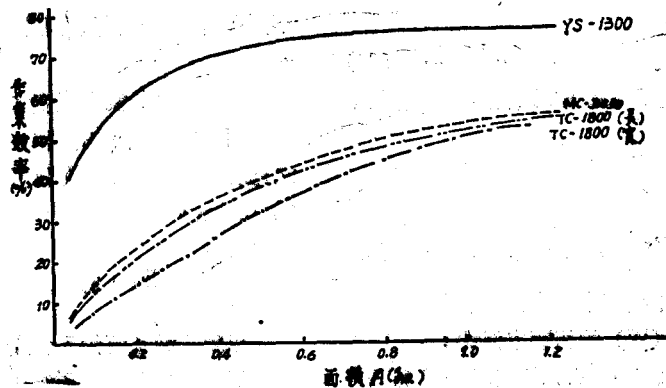


圖10. 機型和面積對於作業效率之影響(往復法)

作業面積的增加使作業效率隨之增加，增加的趨勢因機型而不同。迴繞法作業時，YS-1300的作業效率於面積超過0.5ha時，增加的趨勢漸加緩和。TC-1800的作業面積超過1.0ha時，增加趨勢有限。MC-2450在作業面積超過1.2ha時，作業效率仍然繼續增加。往復法作業時，YS-1300的作業效率增加趨勢十分明顯，但在小面積時，比迴繞法低。TC-1800, MC-2450的影響和迴繞法相似。

三種機型的比較中，迴繞法和往復法的結果相似。YS-1300的作業效率最高，MC-2450次之，TC-1800最少。此原因是由於機型小時，頭地面積少，直角迴轉容易。MC-2450與TC-1800四角頭地面積相同，但因直角迴轉，往復迴轉和U型180°迴轉所需時間少，作業效率較高。因此對於聯合收穫機製造廠商而言，機具的操作愈加靈

活，迴轉所需的時間愈短，愈能提高農機的作業效率。

以TC-1800機型比較田區長寬為基準的影響。以田區長為主的作業效率略大於以田區寬為主的作業效率，其原因是迴繞時間較少。

3. 作業方式之影響

三機型於不同面積時，作業方式和作業效率的關係如圖11所示。YS-1300往復法的作業效率最高。而在小面積時，三機型的迴繞法作業效率較高，大面積時，往復法的作業效率較高。在YS-1300的作業效率曲線得知，面積0.4ha時，兩種方式效率大致相等。TC-1800與MC-2450兩機型中，面積0.4~0.5ha時，兩種方法的作業效率相似。此作業方式之影響在作業能力比較時，更有其意義。

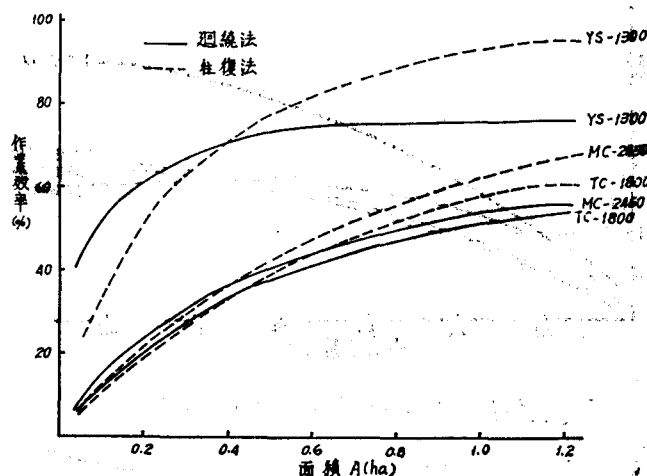


圖11. 作業方式和作業效率之關係

(二) 作業能力之比較

作業能力除了作業效率之影響，更受到作業寬度和作業速度的限制，因此作業能力和作業效率並非單純的正比關係。各種影響因子說明如下：

1. 田區長寬的影響

迴繞作業時田區長寬對於作業能力之影響以YS-1300說明，如圖12所示。往復法的影響，以MC-2450為例，如圖13所示。

由圖12得知，田區長寬的增加，作業能力隨之增加，但是由於作業寬度(0.75m)與作業速度(0.67m/sec)的限制，作業能力的增加有限。

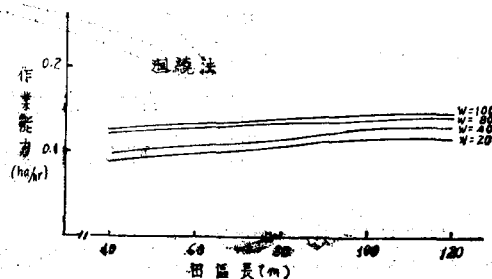


圖12. YS-1300 田區長寬和作業能力之關係

圖13表示在 MC-2450機型的作業能力，亦因田區長寬的增加而增加，增加的趨勢十分明顯。顯示作業能力尚未充份發揮。

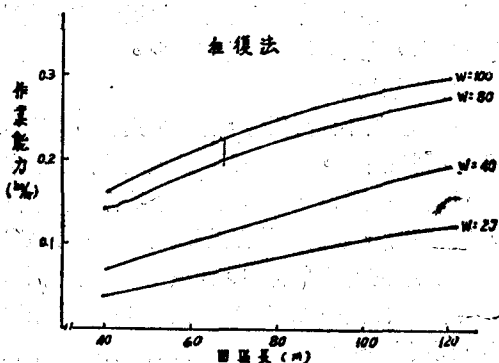


圖13. MC-2450 田區長寬與作業能力之關係

2. 機型和面積之影響

三種機型於不同作業面積時，迴繞法對於作業

能力的影響如圖14所示，往復法之影響如圖15所示

作業面積之增加，作業能力隨之增加。作業能力的增加趨勢和作業效率相同。YS-1300的增加趨勢在0.4-0.5ha時漸近極限，TC-1800的增加趨勢在於1.0ha時增加有限，MC-2450在面積超過1.0ha時，仍繼續增加。

在三種機型比較中，0.2ha 以下的小田區，以YS-1300 作業能力最高。在大田區作業時，MC-2450作業能力最好。由三者之比較中，大田區作業適用大農機，而小田區作業時，大型農機的作業能力和作業效率受到了限制，因此使用農機時，應考慮田區大小的適用性，以避免盲目大型化。利用土地重劃以擴大田區，增大農機作業能力更由此可知其重要性。

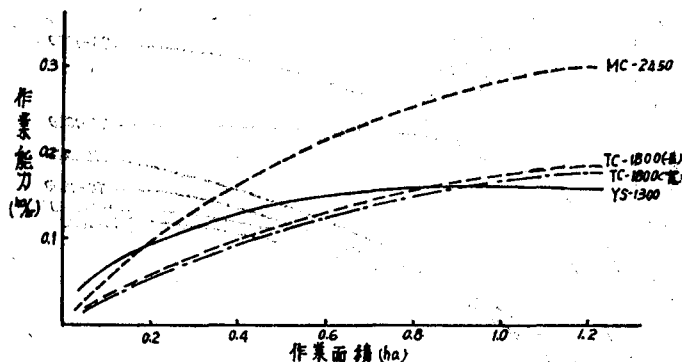


圖14. 機型、面積和作業能力之關係(迴繞法)

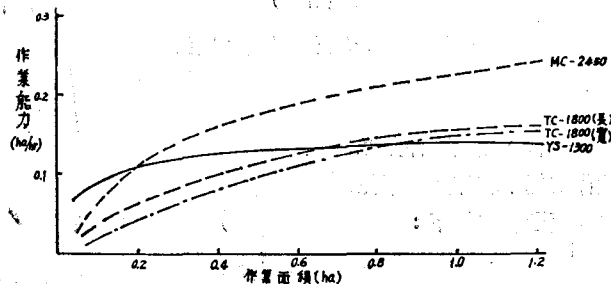


圖15. 機型、面積和作業能力之關係(往復法)

3. 作業方式之影響

迴繞法與往復法對於作業方式的影響如圖16所示。

由圖16得知，往復法和迴繞法的作業能力相差

很大，其適用作業面積並不相等。在小田區作業時，三機型的作業方式應以迴繞法為主。大田區作業時，以往復法作業，作業能力較高。田區面積在0.4~0.5ha時，兩種方法都可以適用。

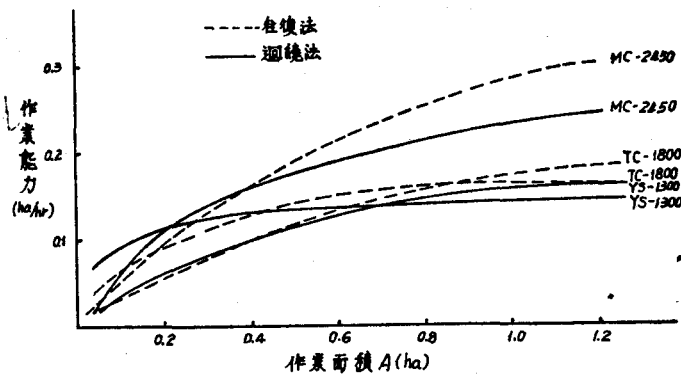


圖16. 作業方式和作業能力之關係

五、結 論

綜合上述研究，所得結論如下：

(一)以聯合收穫機的行走軌跡建立作業效率的解析方程式，可用以研究各種因素對於作業能力之影響，並可利用 BASIC 程式加以計算與分析。

(二)田區長寬，面積因作業機型之不同，影響作業能力的顯著性亦不同。小面積田區利用小機型作業時，作業效率高，充份發揮機具性能，大面積田區則適用大農機，在機型趨向大型時，受到田區面積之限制，使作業效率的提高有限。

(三)機具迴繞轉彎時，操作的靈活性影響了作業時間和作業效率，如何使迴繞的時間減少，操作簡易，此可為農機廠商改良的課題。

(四)迴繞法和往復法作業時，以田區長為主，可減少迴繞時間，增加工作效率。

(五)小田區作業以迴繞法為主，大田區作業以往復法為主，作業面積0.4~0.5ha時，兩種方法都可適用。

(六)稻作機械中，耕耘機、曳引機、插秧機……等作業機的作業方法和作業效率、能力之關係應加以研究，以提供農機使用者參考之用。

六 參 考 文 獻

1. 陳加忠，1983，稻作機械使用成本之研究，中國農業工程學報廿九卷第四期 P116~132。
2. Hunt, D., Farm Power and Machinery Management. Chap. 1. Machinery Performance. Iowa State Univ. 1979. P3~23.
3. 清水浩，深山重信，1971，農業機械的合理的利用に關する研究（第1報）一條刈形刈取機の作業方法と作業能率。農機誌83(1). P39-44。
4. 遠藤俊三等。1957. 圃場作業量の表示法の策定に關する研究。農事試驗場研究報告(12). P91-100.

附 錄

YS-1300作業能力 BASIC 計算程式
LIST

```

10 REM CALCULATE YS-1300 WORKING
    G          CAPACITY
15 FOR L=40 TO 120 STEP 20
20 FOR W=10 TO 100 STEP 10
25 N1=8:V=0.67:P=0.75:A=2
    :B=2:TF=12.6:TR=15:WH=
    0.3:SM=6.4
30 CM=84:W3=10.8
35 AH=4*A*B+2*WH*(L+W-2*
    (A+B))
40 TH=AH*CM:TS=AH*SM
45 T1=(2*N1*(L+W)-4*N1^2*P)/
    V+4*N1*TF
50 RH=2*N1*P+2*WH
55 L2=L-RH:W2=W-RH
60 T2=L2*W2/(P*V)
65 K=INT(W2/W3):W4=W2-K*W3
70 T3=24.6*(K+1)+34.3*(K*W3+W4)+
    5.56*(K*W3^2+W4^2)
75 N5=INT(W2/P)+1
80 T5=N5*(L2/V+TR)
85 TC=L*W/(P*V)
90 T6=TH+TS+T1+T2+T3
95 T7=TH+TS+T1+T5
100 F1=TC/T6:D1=0.36*F1*P*V:F2=
    TC/T7:D2=0.36*F2*P*V
105 DEF FN A(X)=INT(X*10^4+0.5)/
    10^4
110 E1=FN A(F1):C1=FN A(D1)
    :E2=FN A(F2):C2=FN A(D2)
115 AR=L*W/10000
120 PRINT "L=";L;"W=";W;"AR=";AR
125 PRINT "E1=";E1;"C1=";C1;"E2="
    ";E2;"C2=";C2
130 NEXT W,L
135 END

```