

稻作機械之作業方式與合理化利用 (I)

— 作業方式之研究

Studies on the Relation between Working Method and Efficient Utilization of Paddy Machinery (I)

—The Studies on the Working Method of Paddy Machinery.

臺灣省農業試驗所農機系助理研究員

陳 加 忠

Chia-Chung Chen

臺灣省農業試驗所農機系助理

鄭 榮 瑞

Jong-Jui Cheng

摘 要

稻作生產已接近全面機械化，然而主要之田間農機之作業方式和作業效率之關係，尙未有全面性之研究。

在此研究中，以稻作機械四種主要使用的田間農機為對象：耕耘機、曳引機、插秧機和聯合收穫機。調查其各種使用方式，以其田間作業的行走軌跡，建立各種作業時間和作業效率之方程式，以探討作業效率和作業能力之各項影響因子。

由研究結果顯示，農機作業所需時間有如下之通式： $T = \frac{WL}{pV} + aT(w) + b$ 。影響作業效率之主要因素有迴繞所需時間，農機作業速度和作業寬度，田區面積和長寬比值。在作業效率最高時，田區面積和長寬比並無一定值。為進行各種作業方式之比較，應建立詳細之田間調查資料，以做為操作者之參考。

Abstract

The paddy production has been becoming overall mechanization, but the relations between working method and working efficiency of the field machinery have not been studied yet. The major paddy machineries of the field include power-tiller, tractor with rotary, transplanter and combine. The author investigated the working methods and established the working time-requiring equation by the working locus of the paddy machineries. The influential factors of the working efficiency and working capacity were also studied.

The results of research showed that, the required working time have the general equation: $T = W.L/p.v. + aT(w) + b$. Idling time, operating speed and operating width of the machinery, the area of the working efficiency. The area and length-ratio F of the field do not approach a fixed value at the maximum working efficiency. The working informations must be established and collected to compare the working efficiency of various working methods.

一、前言

本省水稻生產作業體系已接近全面機械化，在田間作業主要的農機以耕犁機、曳引機、插秧機和聯合收穫機為主。但是各種農機的作業方式對於作業效率和作業能力之影響尚未有全面之研究，在土地重劃時，適用農機作業的田區面積和長寬比資料，也尚未建立（註1），這些資料都是農機作業體系建立之基本資料。

對於稻作機械使用成本研究時，農機作業能力是決定單位面積作業成本的主要因素（註2），在玉米收穫機的開發研究（註4），農機作業方式研究可用以估計各型玉米收穫機之作業能力。為促使農機的充分利用，農機作業方式更為重要。

在此研究中，調查田間農機的各種作業方式，以農機在田間作業之行走軌跡，建立各種作業所需時間和作業效率方程式，並探討作業效率和能力之各項影響因素。

二、理論探討

水稻機械之主要田間農機中，耕犁機、曳引機為兼用機，使用時附掛迴轉刀犁以做整地作業，插秧機和聯合收穫機為專用機。在此研究中以一標準長方形田區為基準，田區長為 L ，寬為 W ，農機作業速度 V (m/sec)，作業寬度為 P (m)，總作業時間 T ，理論作業時間 T_{∞} 。

四種主要田間農機作業方式和作業所需時間方程式分述如下：

(一) 耕犁機

耕犁機之整地作業不留頭地，在田區內迴繞作業方式可分為三型：

1.A型作業法

此型作業方式如圖1所示。自田區長邊田埂邊畦開始整地，每次間隔一行進行迴繞作業，其行程和迴繞行數之關係如表一。

耕犁機之整地作業共有 n 次行程，迴繞 $n-1$ 次， T_{P1} 與 T_{P2} 分別代表迴繞一行或二行所需時間，則作業所需時間分析如下：

$$n = W/P \dots\dots\dots(1)$$

每一行程所需時間為 L/V ，全部作業所需時間為 T 。

$$\begin{aligned} T &= (L/V)n + T_{P2}(n-2) + T_{P1} \\ &= \frac{WL}{PV} + \frac{W}{P}T_{P2} + T_{P1} - 2T_{P2} \dots\dots\dots(2) \end{aligned}$$

$$\text{令 } A_1 = T_{P1} - 2T_{P2} \dots\dots\dots(3)$$

$$T = \frac{LW}{PV} + \frac{W}{P}T_{P2} + A_1 \dots\dots\dots(4)$$

表一 耕犁機A型作業法行程和迴繞行數之關係

行 程	迴 繞 行 數	迴 繞 時 間
1 → 2	2	T_{P2}
2 → 3	2	T_{P2}
3 → 4	2	$\vdots$
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$
$\frac{n}{2} \rightarrow \frac{n}{2} + 1$	1	T_{P1}
$\frac{n}{2} + 1 \rightarrow \frac{n}{2} + 2$	2	T_{P2}
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$
$n-1 \rightarrow n$	2	T_{P2}

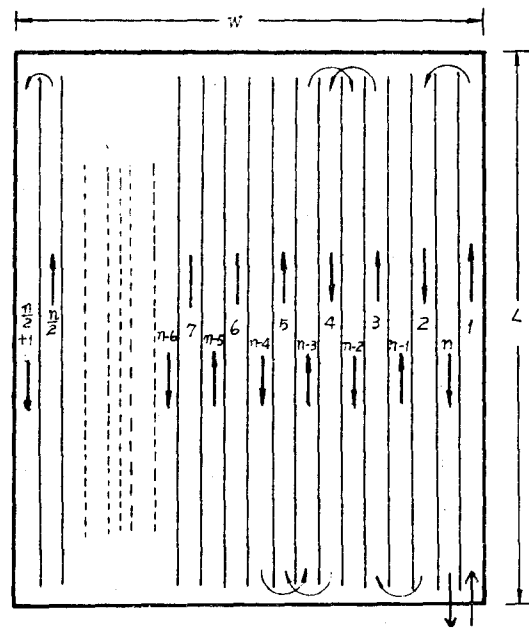


圖1. 耕犁機作業法：A型

2.B型作業法

此型作業法如圖2。自田區長邊開始作業，作業流程如下：第一行程→迴繞2行→第二行程→迴繞1行→第三行程→迴繞3行→第四行程→迴繞2行→第五行程→迴繞4行→（以2、4行迴繞循環）。

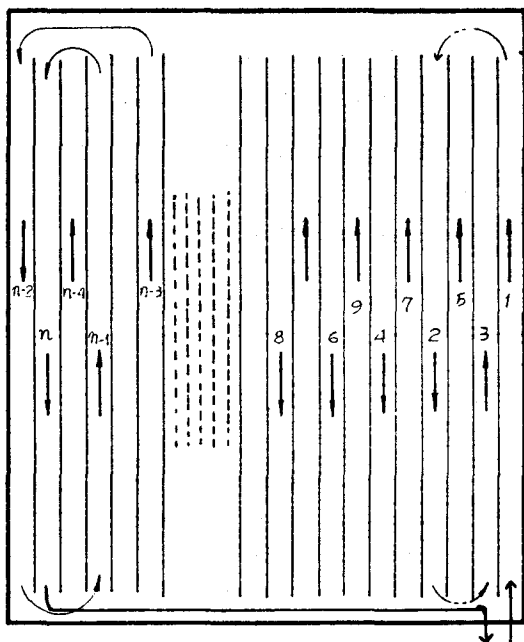


圖2. 耕耘機作業法：B型

作業行程和繞行行數如表二。在第四行程後，繞行行數為 2、4 行循環。繞行 n 行所需時間以 T_{pn} 代表，則所有繞行時間 T_c 值如下：

表二 耕耘機B型作業法行程和迴繞行數之關係

行 程	迴 繞 行 數	迴 繞 時 間
1 → 2	2	T_{p2}
2 → 3	1	T_{p1}
3 → 4	3	T_{p3}
4 → 5	2	T_{p2}
5 → 6	4	T_{p4}
6 → 7	2	T_{p2}
7 → 8	4	T_{p4}
⋮	⋮	⋮
$n-1$	2	T_{p2}
n	1	T_{p1}

$$\begin{aligned}
 T_c &= (n-6) \frac{T_{p4} + T_{p2}}{2} + T_{p3} + 2T_{p2} + 2T_{p1} \\
 &= \frac{n}{2} (T_{p4} + T_{p2}) - 3T_{p4} + T_{p3} - T_{p2} \\
 &\quad + 2T_{p1} \dots \dots \dots (5)
 \end{aligned}$$

全部作業時間 T 值

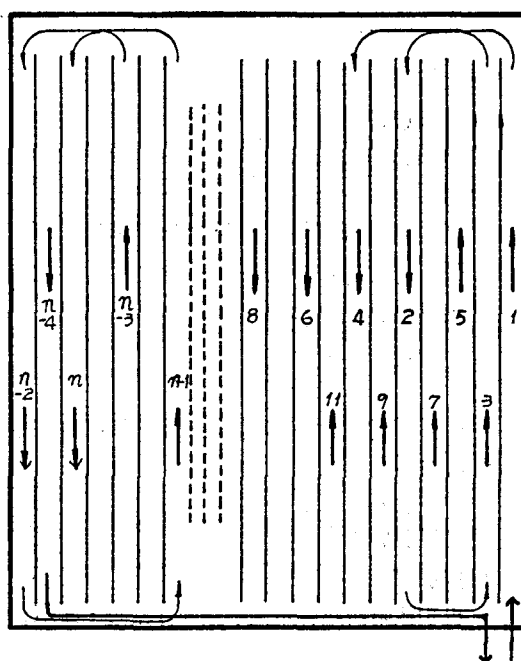


圖3. 耕耘機作業法：C型

$$T = \frac{WL}{PV} + \frac{1}{2} \frac{W}{P} (T_{p4} + T_{p2}) + A_2 \dots \dots \dots (6)$$

$$A_2 = T_{p3} + 2T_{p1} - 3T_{p4} - T_{p2} \dots \dots \dots (7)$$

3. C型作業法

此型之作業法如圖3。作業流程如下：第一行程 → 迴繞3行 → 第二行程 → 迴繞2行 → 第三行程 → 迴繞4行 → 第四行程 → 迴繞3行 → 第五行程 → 迴繞5行 → 第六行程 → (依序4、6行迴繞循環)。

表三 耕耘機C型作業法行程和迴繞行數之關係

行 程	迴 繞 行 數	迴 繞 時 間
1 → 2	3	T_{p3}
2 → 3	2	T_{p2}
3 → 4	4	T_{p4}
4 → 5	3	T_{p3}
5 → 6	5	T_{p5}
6 → 7	4	T_{p4}
7 → 8	6	T_{p6}
⋮	⋮	⋮
$n-4 \rightarrow n-3$	4	T_{p4}
$n-3 \rightarrow n-2$	5	T_{p5}
$n-2 \rightarrow n-1$	3	T_{p3}
$n-1 \rightarrow n$	1	T_{p1}

作業行程和繞行行數之關係如表三。所需繞行時間 T_c 值如下：

$$T_c = (n-10) \frac{T_{P6} + T_{P4}}{2} + T_{P1} + T_{P2} + 3T_{P3} + 2T_{P4} + 2T_{P5} \\ = \frac{n}{2} (T_{P6} + T_{P4}) + T_{P1} + T_{P2} + 3T_{P3} - 3T_{P4} + 2T_{P5} - 5T_{P6} \dots\dots\dots(8)$$

作業所需時間 T 值

$$T = \frac{WL}{PV} + \frac{W}{2P} (T_{P6} + T_{P4}) + A_3 \dots\dots\dots(9)$$

由 (4)(6)(8) 式可歸納耕犁機之田區整地作業時間有如下之關係式：

$$T = \frac{WL}{PV} + a \frac{W}{P} + b \dots\dots\dots(10)$$

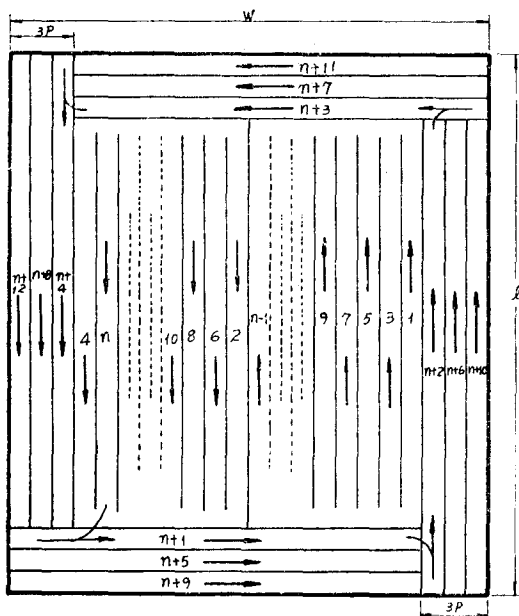
(二) 曳引機

曳引機附掛迴轉犁從事整地作業時，必須先預留三倍作業寬度之頭地，而自田區內開始進行整地作業，以避免在田埂邊緣迴旋而造成多次迴繞後土壤飛濺，堆積於田埂。

田區內整地完成後，曳引機在頭地邊緣需後退至田埂邊緣，再開始起耕，避免在田區四角直接迴旋。依作業方式有三型：

1. 中割迴繞法

此型之作業方法如圖 4。其作業流程如下：



$$= \frac{6(L+W)}{V} - \frac{36P}{V} - T_R \dots \dots \dots (15)$$

$$T_R = 4(T_{R1} + T_{R2} + T_{R3}) \dots \dots \dots (16)$$

(3)全部所需時間 (T)

$$T = T_i + T_h$$

$$= \frac{WL}{PV} + \frac{W}{P} T_{tg} + D + T_R \dots \dots \dots (17)$$

2.中割廻耕法

此型之作業方法如圖 5。作業流程如下：進入田區第一行程作業→廻繞至田區中間→第二行程→不跨行直接廻繞→第三行程作業→廻繞 1 行→第四行程→廻繞 2 行→第五行程→(廻繞 N-3 行，第 N 行程)→頭地作業。

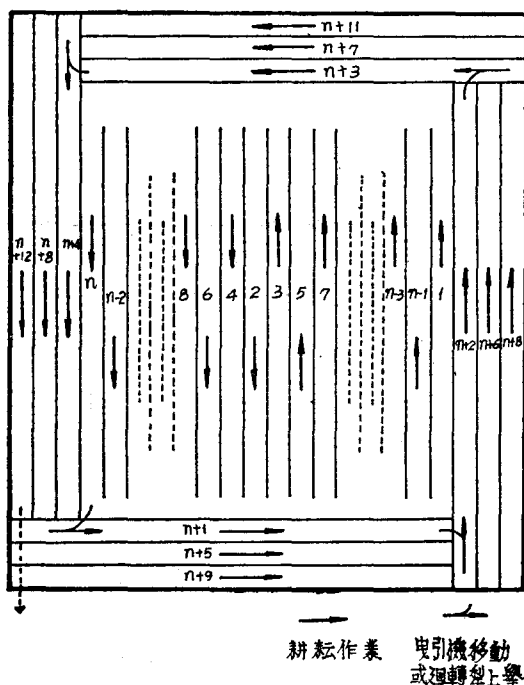


圖 5. 曳引機中割廻耕法

作業行程與廻繞行數於表五。

田區內作業時間 T_i 值如下：

$$T_i = \left(\frac{L-6P}{V} \right) \left(\frac{W-6P}{P} \right) + T_{ta} + T_{to} + \dots \dots \dots + T_{t(n-3)}$$

$$= \frac{(L-6P)(W-6P)}{PV} + T(w) \dots \dots \dots (18)$$

$T(w)$ 表示廻繞時間為田區寬 W 之函數值

全部作業時間 T 之值

$$T = \frac{WL}{PV} + T(w) + T_R \dots \dots \dots (19)$$

表五 曳引機中割廻耕法作業行程與廻繞行數

行 程	廻 繞 行 數	廻 繞 時 間
1 → 2	$\frac{W}{2} - 3P$	T_{ta}
2 → 3	0	T_{to}
3 → 4	1	T_{t1}
4 → 5	2	T_{t2}
...	...	...
$n-1 \rightarrow n$	$n-3$	$T_{t(n-3)}$

3.隔耕法

此型之作業方法如圖 6。田區內整地廻繞作業之路徑與耕耨機作業法 C 型相同，可謂由耕耨機作業法演變而來。

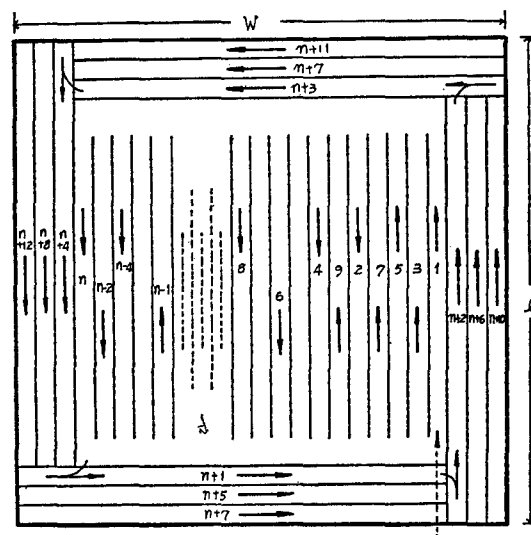


圖 6. 曳引機隔耕法

田區內廻繞所需時間 T_{ci} 值如下，以 T_{ci} 代表曳引機繞行 i 行所需時間。

$$T_{ci} = (n-10) \frac{T_{t6} + T_{t4}}{2} + T_{t1} + T_{t2} + 3T_{t3}$$

$$+ 2T_{t4} + 2T_{t5}$$

$$= \frac{W}{P} \frac{T_{t4} + T_{t6}}{2} + T_{t1} + T_{t2} + 3T_{t3} - 6T_{t4}$$

$$+2T_{t5}-8T_{t6}$$

$$=\frac{W}{P} \frac{T_{t4}+T_{t6}}{2}+E \dots\dots\dots(20)$$

全部作業所需時間

$$T=\frac{WL}{PV}+\frac{W}{P} \frac{T_{t4}+T_{t6}}{2}+E+T_R \dots\dots\dots(21)$$

由曳引機之作業法可知，曳引機作業時間T在中割迴繞法和隔排法有如下通式。

$$T=\frac{WL}{PV}+\frac{W}{P} c+d \dots\dots\dots(22)$$

c、d為常數

(二)插秧機

在插秧機作業中，必需留持足夠頭地以供迴繞之用。頭地之面積與形狀依作業方式和作業寬度而不同。

1.A型作業法

此型之作業法如圖7所示。在四周先預留一作業行程，自長邊內側開始進行第一行程作業，迴繞後循序作業。至(n-4)行程結束後，空駛至另一長邊，以(n-3)行程開始進行田區內四週迴繞作業。

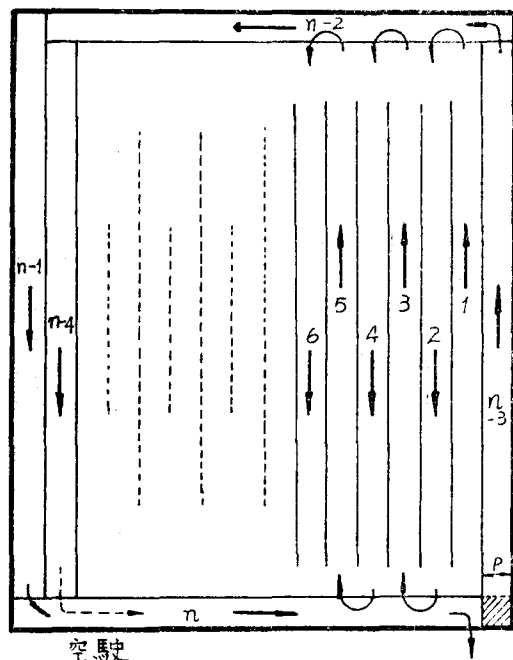


圖7. 插秧機作業法(A)

此型作業法作業次數M，迴繞M-1次。

$$M=\frac{W}{P}-2 \dots\dots\dots(23)$$

空駛時間為 t_d ，四角直角迴繞時間為 t_c ， 180° 迴繞時間為 t_r ，頭地人工插秧時間為 t_h 。

田區內作業時間 T_i 值如下：

$$T_i=(\frac{W}{P}-2) \frac{L-2P}{V}+(\frac{W}{P}-3)t_r$$

$$=(\frac{W-2P}{P})(\frac{L-2P}{V})+\frac{W}{P}t_r-3t_r \quad (24)$$

四周迴繞時間 T_c

$$T_c=2(L+W-2P)/V+5t_c+t_d \dots\dots\dots(25)$$

全部作業時間

$$T=\frac{WL}{PV}+\frac{W}{P}t_r+t_d+5t_c+4t_h-3t_r-\frac{4P^2}{V}$$

$$=\frac{WL}{PV}+\frac{W}{P}t_r+F \dots\dots\dots(26)$$

2.B型作業法

此型之作業法如圖8。自田區之長邊開始進行插秧工作，其餘三邊各留一行程以供迴繞。(n-3)行程後空駛至田區右側，再進行其餘三邊的作業。

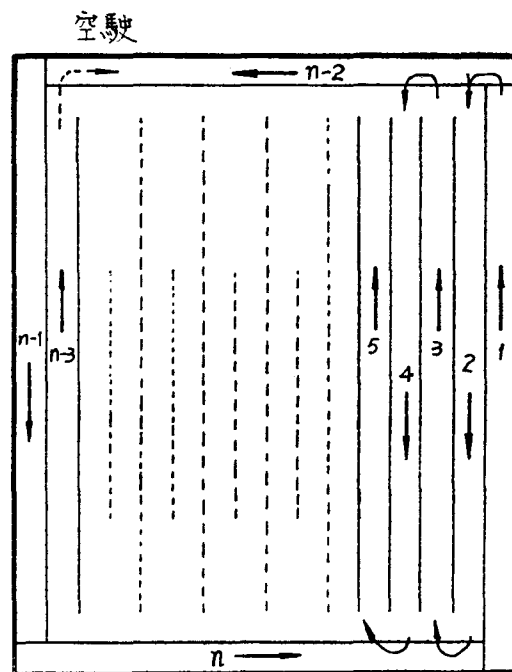


圖8. 插秧機作業法(B)

田區內作業之次數為 $(\frac{W}{P}-1)$ 次，迴繞次數為 $(\frac{W}{P}-2)$ 次。如A型作業法，

田區內作業時間 T_i 值

$$T_i = \left(\frac{W}{P} - 1\right) \left(\frac{L - 2P}{V}\right) + \left(\frac{W}{P} - 2\right) t_R \dots (27)$$

四周迴繞時間 T_c

$$T_c = (L + 2W - 2P) / V + 4t_c \dots (28)$$

總作業時間 T

$$T = \frac{WL}{PV} + \frac{W}{P} t_R + 4t_c + 4t_h - \frac{4P^2}{V} - 2t_R$$

$$= \frac{WL}{PV} + \frac{W}{P} t_R + G \dots (29)$$

3. C型作業法

以田區長邊為主，在兩端各留頭地，以人工作業，頭地的面積為 $2PW$ 。(圖9)

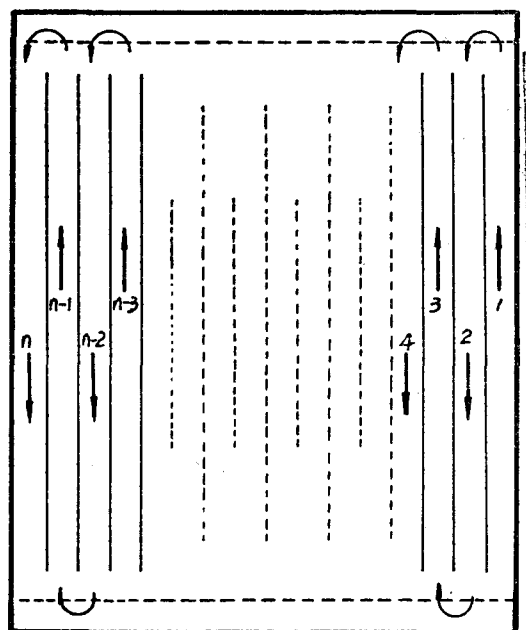


圖9. 插秧機作業法(C)

總作業時間為 T

$$T = \frac{WL}{PV} + \frac{W}{P} t_c + t_h - t_c - \frac{2W}{V} \dots (30)$$

四聯合收穫機

聯合收穫機之作業方式已有研究(註3)，依其主要作業方式，可分為兩型：迴繞作業法(圖10)與往復作業法(圖11)。

迴繞作業法因田區寬度以決定中間田區迴割方式。在四周繞割取得足夠之迴繞頭地後，小田區直接進行迴割作業；大田區分割成數個小田區，再進行迴割作業，又因迴割方式有內割和外迴兩種方式。

作業時間研究如下：

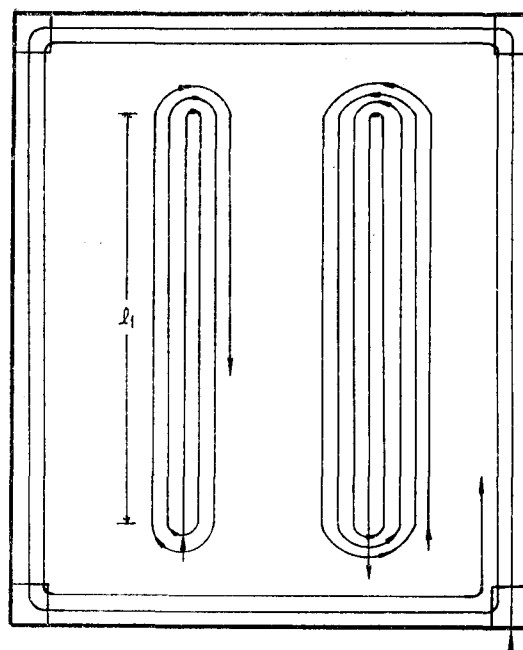


圖10. 聯合收穫機迴繞作業法

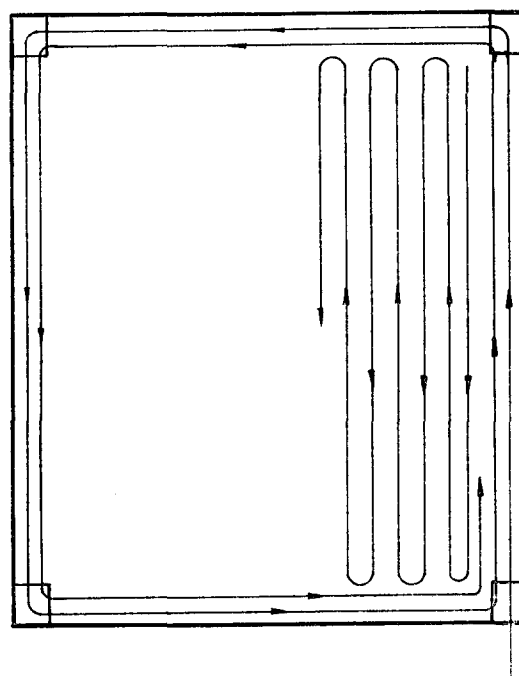


圖11. 聯合收穫機往復作業法

1. 迴繞作業法

頭地處理時間為 T_h

四週繞割時間 T_1

$$T_1 = \left(\frac{2n_1(L+W) - 4n_1^2P}{V} + 4n_1t_R\right) \dots (31)$$

n_1 = 繞割次數

t_F = 直角迴繞時間 (sec)

迴割時間為 T_2

剩餘田區寬 $W_2(W - 2n_1P)$ ，以小田區寬 W_3 為基準，分割 K 塊，則迴割時間如下：

迴繞全部時間與迴繞田區寬度有如下關係

$$T_v = f(W_3) = aW_3^2 + bW_3 + C \quad \dots\dots\dots(32)$$

a 、 b 、 c 為常數，以機型而定。

$$T_2 = \frac{(L - 2n_1P)}{V} \cdot \frac{(W - 2n_1P)}{P} + Kf(W_3) + f(W_4) \quad \dots\dots\dots(33)$$

總作業時間 T

$$T = \frac{WL}{PV} + 4n_1t_F + Kf(W_3) + f(W_4) + T_H \quad \dots\dots\dots(34)$$

2. 往復作業法

經四周繞割後進行往復作業，往復迴繞時間為 t_R ，往復時所需時間 T_3

$$T_3 = \left(\frac{L - 2n_1P}{V} + T_R \right) \frac{(W - 2n_1P)}{P} \quad \dots\dots\dots(35)$$

總作業時間 T

$$T = \frac{WL}{PV} + \frac{W}{P} T_R - 2n_1 T_R + 4n_1 t_F + T_H \quad \dots\dots\dots(36)$$

三、討 論

以田區的面積、長寬比值探討作業方式對於作業效率之影響。令 A 代表面積、 F 代表長寬比。

$$A = L \cdot W \quad \dots\dots\dots(37)$$

$$F = L/W \quad \dots\dots\dots(38)$$

$$\text{則 } L = \sqrt{A \cdot F} \quad \dots\dots\dots(39)$$

$$W = \sqrt{A/F} \quad \dots\dots\dots(40)$$

(一) 耕耘機

耕耘機三型作業法中，總作業時間有如下之關係：

$$T = \frac{WL}{PV} + a \frac{W}{P} + b$$

理論作業時間為 T_∞

$$T_\infty = \frac{WL}{PV} \quad \dots\dots\dots(41)$$

作業效率 E 之定義如下：

$$E = T_\infty / T \quad \dots\dots\dots(42)$$

由此分析作業效率之影響因子

$$\frac{1}{E} = \frac{T}{T_\infty} = 1 + \frac{aV}{L} + b \frac{PV}{WL}$$

$$= 1 + aV/\sqrt{AF} + b \frac{PV}{A} \quad \dots\dots\dots(43)$$

由(43)式中可知，影響作業效率 E 值之因素有 a 、 b (迴繞所需時間)， P (作業寬度)， V (作業速度)， F (長寬比)， A (作業面積)。此中之意義顯示迴繞時間愈短，作業速度愈慢，長寬比愈大，作業面積愈大，則作業效率愈高，而且 F 值並未趨向一定值。

作業能力 (c) 分析如下：

$$c = 0.36 E \cdot P \cdot V = \frac{0.36}{\frac{1}{PV} + \frac{a}{P\sqrt{AF}} + \frac{b}{A}} \quad \dots\dots\dots(44)$$

由此可知影響作業能力的因素有 a 、 b 值、 P 、 V 、 F 、 A 值。由此顯示迴繞時間愈短、作業速度愈快、作業寬度、田區長寬比、田區面積愈大，作業能力愈高。

(二) 曳引機

在曳引機附掛迴轉犁之整地作業中，中割迴繞法和隔耕法的總作業時間，其關係式如同耕耘機為

$$T = \frac{WL}{PV} + aw + b \text{ 之型式。其影響因子亦相同。}$$

中割迴耕法之總作業時間 T 值如下：

$$T = WL/PV + T(w) + T_R$$

$T(w)$ 為迴繞所需時間， $T(w) = aw$ 之關係時，此作業型式與耕耘機相同，影響因子亦相同。 $T(w)$ 與 W 之關係為二項次數，作業效率影響因子討論如下：

$$\text{設 } T(w) = dw^2/P \quad \dots\dots\dots(45)$$

$$\frac{1}{E} = T/T_\infty = 1 + aV/F + (PV/A)T_R \quad \dots\dots\dots(46)$$

由此式中可知影響作業效率的因子如下：作業速度、作業寬度愈小、迴轉時間愈小、長寬比值愈大，田區面積愈大，作業效率愈高。

作業能力分析如下：

$$c = 0.36 \cdot E \cdot P \cdot V = \frac{0.36}{\frac{1}{PV} + \frac{a}{PF} - \frac{T_R}{A}} \quad \dots\dots\dots(47)$$

因此為提高 c 值， P 、 V 、 F 、 A 要大， T_R 要小。

(三) 插秧機

插秧機之總作業時間與耕耘機相似，有如下之型式， $T = \frac{WL}{PV} + aw + b$ ，而插秧機作業有頭地

存在，頭地人之作業所需時間對於作業效率有直接影響，因此在三種作業法中，c型作業法效率最低。其他作業條件如P、V、F、A值之影響和耕耘機相似。

四聯合收穫機

聯合收穫機於田間進行收穫作業，主要有兩種方式，分別討論如下：

1.迴繞作業法

迴繞作業法中分割田區之數量影響了迴繞時間，各機型所適用之小田區寬近乎定值，因此分割塊數(K)有如下關係：

$$K = \frac{W - 2n_1P - W_3}{W_2} = g(W) \dots\dots\dots(48)$$

因 n_1 ，P， W_2 為定值， W_3 為殘留田寬影響較小，K為W之函數，(34)式可改寫如下：

$$T = \frac{WL}{PV} + g(W)(aW_2^2 + bW + c) + 4n_1t_r + f(W_3) + T_H \dots\dots\dots(49)$$

此式顯示迴繞作業法之總作業時間亦有如下之形式： $T = \frac{WL}{PV} + a(W) + b$ ，其影響因子與插秧機相同。

2.往復作業法

往復作業法總作業時間如(36)式，亦有 $T = \frac{WL}{PV} + \frac{a(W)}{P} + b$ 之形式，因其受頭地影響，其影響因子與迴繞作業相同。

四、討 論

1.稻作機械田間作業方式研究中，作業效率和能力其主要之影響因子為迴繞所需時間，農機作業速度和作業寬度，田區長寬比，作業面積。

2.在作業方式之研究中，作業效率和能力最大時，田區面積和長寬比並未有一定值。因此土地重

劃時，稻作田區愈大，長寬比愈高，作業效率和能力愈高，至於土地面積之極限應以水利設施，農機整地水田均平的極限面積……等其他因素加以研究。

3.各機型的迴繞時間，作業速度……等因素應有詳細之調查值，以比較不同作業方式之作業效率和能力，做為作業之參考。

4.不規則田區對於作業效率之影響，應建立各種形狀係數，以互相比較。

5.操作者技術優劣，田區土壤性質，田區狀況（前期作物之殘留物……等），需建立修正因子，方能正確估算農機作業效率。

參 考 文 獻

1. 張漢聖、王康男，1980，擴大農場經營規模與農業機械之配合措施。農工學報26卷4期P. 14~15。
2. 陳加忠，1983，稻作機械使用成本之研究。中國農業工程學報29卷4期，P. 116~132。
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。中國農業工程學報30卷1期，P. 84~91。
4. 陳加忠，1984，玉米收穫機之開發研究。中國農業工程學報30卷2期，P. 136~150。
5. Hunt, D., 1979, Farm Power and Machinery Management. Chap I. Machinery performance. Iowa State Univ. P. 3~23。
6. 遠藤俊三等。1957，圃場作業量の表示法の策定に關する研究。農事試驗所研究報告44，P.91~100。
7. 清水浩等，1971，農業機械の合理的利用に關する研究(1)——條刈形刈取機の作業方法与作業能率。農機誌33(1)，P. 39~44。
8. 清水浩，1972，農業機械の合理的利用法に關する研究(2)——トラクタ耕うん作業のほ場作業效率に關する分析。農機誌34(2)，P. 164~169。

專營土木、水利、建築等工程

振合營造事業股份有限公司

地 址：雲林縣斗六市中華路210號

電 話：(055) 3 2 2 1 1 8