

選擇農場機具之新方法

A New Approach to the Solution of Farm Power and Machinery Selection Problem

臺灣大學農業工程系講師

梁 桐

購置農場機具之目的，在於於一定時間內，以最經濟之方式完成一定量之工作，因而在選購時不但需注意機具之性能可以完成規定之工作，而且更需注意其是否合乎經濟之原則。換言之，完成一定量工作之機具，其大小及數量配合方法無限，而其中必有一或數個最經濟之配合方法，吾人選擇之目的即在尋求此最便宜之機具組合。

與機具大小數量之選擇有關，而同時影響機具費用之因子，不外乎下列數點：

- (1) 負載率之高低。
- (2) 年使用小時之多寡，
- (3) 機具之數量。

當這些因子均在最理想之狀態時，機具之使用成本必然偏低，合乎吾人降低生產成本之要求。

(一) 使用小時、負載率及機具數目對成本之影響

使用小時及負載率，為不易分別討論之兩個因子，其乘積與曳引機全年之工作量成正比，當其乘積高時，工作量也高，同時因利息，管理及人工費用之不受工作量影響，則單位工作對這些開支之負擔也相對

減輕，成本也隨之下降。所以增加使用小時及負載率，為降低成本之一重要手段。

欲達到較高之負載率及使用小時，機具之數量及其工作能力（馬力及耕寬）應管制在最低之限度，機具數量少則駕駛及管理費用也均可減少。但因農業上之工作必須在一定之時間內完成，機具數量及能力也不可太低，以免耽誤農時。所以機具之大小及其數量之選擇，以恰好符合農時之需要為原則。又因不同作業對耕寬，耕速及阻力均有不同之限制，過大馬力之曳引機每不易保持各作業之高負載率。如農具耕寬不作適當選擇，有些作業必不能保有較高之負載率，使平均負載率降低，增加成本。因此吾人選擇曳引機時應使(1)機具數目越少越佳，(2)每個作業之負載率均應相同而高，(3)機具在單位時間內可工作之最大能力應恰好符合農忙時之要求。換言之，吾人希望機具能力及數量之選擇，使其在農忙月份，應無休閒之事發生，做任何作業時，均應保持較高之負載率，同時機具之數量應越少越佳。如吾人選購之機具確能達到這些要求，則單位工作之成本必定降低，此將選擇機具之步驟繪製如下圖 1。

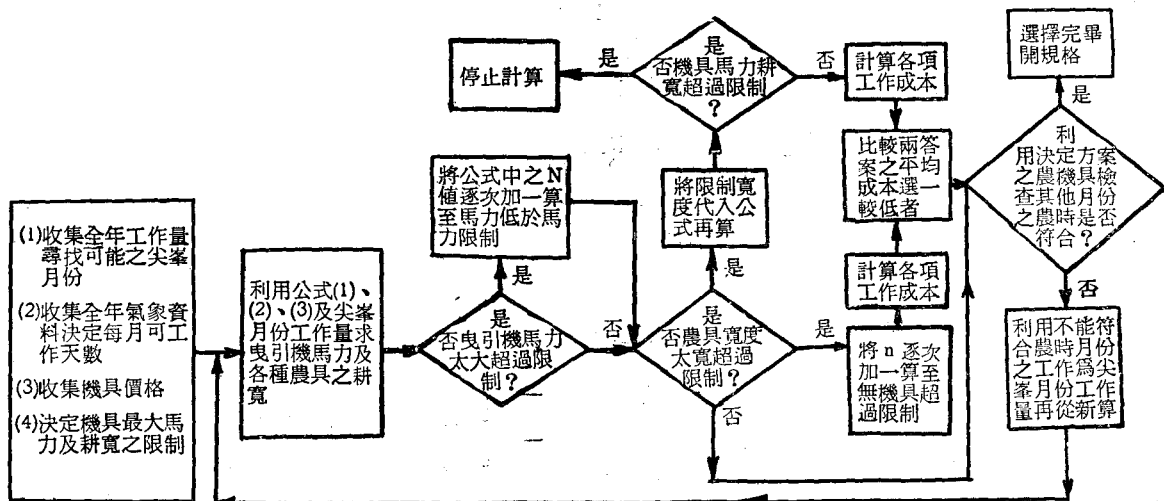


圖 1. 農場機具選擇計算程序圖

(二) 選擇機具之公式

$$\sum_{i=1}^n \frac{8.25 A_i \times N}{S_i \times W_i \times E_i} = T_P \dots\dots\dots(1)$$

$$ff_1 \times W_1 \times S_1 = ff_2 \times W_2 \times S_2 = \dots\dots\dots \\ = ff_n \times W_n \times S_n \dots\dots\dots(2)$$

- A_i : 農忙月之作業面積 (英畝)
 S_i : 作業速度 (英哩/時)
 W_i : 作業或農具寬度 (英呎)
 E_i : 作業效率
 T_P : 農忙月份可工作時間 (小時/月)
 $ff_{1,2,\dots,n}$: 作業農具阻力 (磅/呎)
 N : 曳引機數量

解聯立方程式(1)及(2),即可求得農具之寬度 W_1 ,
 $W_2 \dots W_n$ 。曳引機馬力可由公式(3)求得。

$$\text{Net } H_P = \frac{ff_1 \times W_1 \times S_1}{375} = \frac{ff_2 \times W_2 \times S_2}{375} \\ = \dots\dots = \frac{ff_n \times W_n \times S_n}{375} \dots\dots\dots(3)$$

由(3)求得之馬力為有效馬力,採購時應除75%,以求最大拉桿馬力,保證曳引機於使用相當時間後,乃有足夠之馬力工作。(此25%包括曳引機克服本身阻力所需之馬力)。

(三) 各項作業成本之估算

選擇機具之目的,即在求以最低之代價換取相同之工作,因此不論在選擇之過程中或選擇完畢後,各項作業成本之估算必為一不可缺少之工作。當機具之大小,價格,消耗之馬力及人工費用等獲得後,成本之估算並非一困難之事,但其準確程度,決定於計算所用資料之正確性,公式(4)即為估算成本之計算公式

$$TC_i = \left\{ \left[\left(\frac{C_t - S_t}{L_t} \right) \times T_t + \left(\frac{C_t + S_t}{2} \right) I + C_t \times R_t \right] \right. \\ \times \frac{T_t}{100} + C_i + C_m \left. \right\} \times \frac{T_i}{T_t} + \sum_{(i=1)}^n \left(\frac{C_i - S_i}{L_i} \right) \\ \times T_i + \sum_{i=1}^n \left(\frac{C_i + S_i}{2} \right) I + \sum_{i=1}^n C_i \times R_i \\ \times \left. \left\{ \frac{T_i}{100} + \sum_{i=1}^n F_i \right\} \frac{1}{A_i} \times 2.47 \times R_G \dots\dots\dots(4)$$

- TC_i = 每公頃作業費用 (臺幣/公頃)
 C_t = 曳引機價格 (美金\$)
 C_i = 農具價格 (美金\$)
 S_t = 曳引機更新時價格 (美金\$)
 S_i = 農具更新時價格 (美金\$)

I = 年利率

R_t = 每使用100小時曳引機修理費對新曳引機價格之比 (修理費包括每日清潔,滑潤費)

R_i = 每使用100小時農具修理費對於農具價格比 (修理費包括每日清潔,滑潤費)

T_t = 曳式機年工作時間 (小時)

T_i = 農具年工作時間 (小時)

C_i = 駕駛員年薪 (= $T_t \times$ 駕駛員每小時工資) (美金)

C_m = 每年管理及雜費 (美金)

L_t = 曳引機使用壽命 (小時)

L_i = 農具使用壽命 (小時)

F_i = 曳引機做 i 作業全年油料費 (美金)

A_i = i 作業面積 (英畝)

R_G = 美金對臺幣換率

L_t 值約為 12,000小時,年利率 I 通常在 6% 左右。耗油費之計算可先由曳引機試驗報告查出每小時耗油量,再乘以時價及年使用小時即可求得。在下節中吾人將利用一實例以討論公式(1)(2)(3)(4)之利用。

(四) 選擇計算實例

問題:一農場其工作量及各項工作阻力係數,速度等資料如表一,二,三,試求合理之機具數量及大小。

表一:全年工作量之分佈

	工 作	面積	
1 月	開 宿 根	87	
2 月	開 宿 根	87	} 月 份 可 能 為 尖 峯
	犁	177	
	耙	177	
3 月	做 畦	43	}
	開 宿 根	87	
	犁	177	
	耙	177	
4 月	做 畦	43	}
	培土施肥	59	
5 月	培土施肥	59	
6 月	中耕施肥	173	}
	培土施肥	173	
	犁	74	

7 月	培土施肥	173	} 月可能為尖峯
	犁	74	
	犁	133	
	做 畦	59	
	耙	59	
8 月	犁	133	
	做 畦	59	
	耙	59	
11 月	中耕施肥	59	
12 月	中耕施肥	59	

表二：田間效率阻力常數及工作速度

作業名稱及農具	E(田間效率)	S(工作速度) 英呎/時	ff(阻力係數) 磅/呎
(1)板犁犁地 moldboard plow	0.79	3.5	1,000
(2)圓盤耙碎 tandem disk harrow	0.84	4.5	250
(3)中耕 spring tooth cultivator	0.76	2.5	225
(4)作畦 lister	0.79	3.5	300
(5)培土施肥 lister and fertilizer attachment	0.79	3	350
(6)開宿根 disk chopper and fertilizer attachment	0.79	3.5	400

解答：

(1)將三月份工作面積數據，工作速度及田間效率代入公式(1)得：

$$\frac{8.25 \times 177}{3.5 \times W_1 \times 0.79} + \frac{8.25 \times 177}{4.5 \times W_2 \times 0.84} + \frac{8.25 \times 43}{3.5 \times W_3 \times 0.79} + \frac{8.25 \times 59}{3 \times W_4 \times 0.79} + \frac{8.25 \times 87}{3.5 \times W_5 \times 0.79} = 180$$

W_1 ：犁之工作寬度

W_2 ：耙之工作寬度

W_3 ：作畦寬度

W_4 ：培土施肥寬度

W_5 ：開根工作寬度

$T_P = 180$ 小時

化簡後得：

$$\frac{556}{W_1} + \frac{386}{W_2} + \frac{128}{W_3} + \frac{205}{W_4} + \frac{260}{W_5} = 180 \quad \dots\dots\dots(1a)$$

(2)將阻力常數及工作速度代入公式(2)

$$3.5 \times 1000 W_1 = 4.5 \times 250 W_2 = 3.5 \times 300 W_3 = 3 \times 350 W_4 = 3.5 \times 400 W_5$$

$$\text{化簡得 } W_1 = 0.321 W_2 = 0.300 W_3 = 0.300 W_4 = 0.400 W_5$$

$$\text{或 } W_2 = \frac{W_1}{0.321}, W_3 = \frac{W_1}{0.300}, W_4 = \frac{W_1}{0.300},$$

$$W_5 = \frac{W_1}{0.400}$$

(3)解：(1a)及(2a)即可求得

$$W_1 = 4.910 \text{ 英呎} \quad \text{犁寬}$$

$$W_2 = 15.295 \text{ 英呎} \quad \text{耙寬}$$

$$W_3 = 16.366 \text{ 英呎} \quad \text{作畦器寬}$$

$$W_4 = 16.366 \text{ 英呎} \quad \text{培土施肥器寬}$$

$$W_5 = 12.275 \text{ 英呎} \quad \text{開宿根器寬}$$

(4)利用公式(3)求曳引機做各項工作所需馬力：

$$Hp = \frac{4.910 \times 1000 \times 3.5}{375} = 45.83 \text{ 淨拉桿馬力}$$

(Net Drawbar Hp)

$$\text{或：} \frac{45.83}{0.75} = 61.10 \text{ 最大拉桿馬力 (Max. Drawbar Hp.)}$$

(5)利用公式(1)檢查農具工作能力是否符合7月份工作。

$$\frac{8.25 \times 207}{3.5 \times 4.910 \times 0.79} + \frac{8.25 \times 59}{4.5 \times 15.295 \times 0.84} + \frac{8.25 \times 173}{3 \times 0.79 \times 16.366} + \frac{8.25 \times 59}{3.5 \times 16.366 \times 0.79}$$

$$= 181.763 \sim T_P = 180。7 \text{ 月份農時之要求可以符合。}$$

(6)尚未獲得耕寬農具之推算原則：

如此項作業阻力較大，而其他工作甚少時，可使用下公式計算耕寬：

$$\frac{S \times W \times ff}{375} = Hp_n$$

而 Hp_n 為求得之淨曳引機拉桿馬力值。

但有時阻力小而耕寬又不可太大時，則農具寬度必須在此限度以下，對平均負載率有不良影響，但只要符合農時要求即。本題內中耕器之耕寬即限制為16呎，負載率略低，但符合農時要求。

(7)年總工作小時之計算：

$$T_t = \frac{768 \times 8.25}{4.910 \times 3.5 \times 0.79} + \frac{471 \times 8.25}{15.295 \times 4.5 \times 0.84} + \frac{464 \times 8.25}{16 \times 2.5 \times 0.76} + \frac{204 \times 8.25}{16.366 \times 3.5 \times 0.79} + \frac{464 \times 8.25}{6.366 \times 3 \times 0.79} + \frac{262 \times 8.25}{12.275 \times 3.5 \times 0.79} = 466.7 \text{ (犁)} + 67.2 \text{ (耙)} + 125.9 \text{ (中耕)} + 37.2 \text{ (做畦)} + 98.7 \text{ (培土施肥)} + 63.7 \text{ (開根)} = 859.4 \text{ 小時。}$$

(8)利用公式(4)估算各項作業成本

表三：曳引機及農具價格

農 機 具 名 稱	價 格 美 金
(1) 曳引機 (62拉桿馬力)	5,500.00
(2) 板犁 (5-16")	1,260.00
(3) 圓盤犁 (16')	1,125.00
(4) 中耕施肥器 (16')	640.00
(5) 做畦器 (16')	960.00
(6) 開宿根器 (16')	720.00

(甲) 犁耕：

$$\begin{aligned}
 TC = & \left\{ \left[\left(\frac{5,500-400}{12,000} \right) \times 859.4 + \left(\frac{5,500+400}{2} \right) \right. \right. \\
 & \times \frac{6}{100} + 5,500 \times \frac{0.85}{100} \times \frac{859.4}{100} + \frac{21,000}{42} \\
 & + \frac{5,000}{42} \times \frac{466.7}{859.4} + \left. \left(\frac{1,260-150}{2,500} \right) \times 466.7 \right. \\
 & + \left. \left(\frac{1,260+150}{2} \right) \times \frac{6}{100} + 1,260 \times \frac{7}{100} \right. \\
 & \left. \times \frac{466.7}{100} + \frac{12 \times 4 \times 466.7}{42} \right\} \times \frac{1}{768} \\
 & \times 2.47 \times 42 = 2039.6 \times \frac{1}{768} \times 2.4742 \\
 & = 274.68 \quad \text{臺幣元/公頃。}
 \end{aligned}$$

(乙) 耙地費用：

$$\begin{aligned}
 TC = & \left[1,818 \times 67.2 + \left(\frac{1,125-150}{2,500} \right) \times 67.2 \right. \\
 & + \left. \left(\frac{1,125+150}{2} \right) \times \frac{6}{100} + 1,125 \times \frac{6.5}{100} \right. \\
 & \left. \times \frac{67.2}{100} + \frac{12 \times 4 \times 67.2}{42} \right] \times \frac{1}{471} \times 2.47 \times 42 \\
 & = 68.7 \quad \text{臺幣元/公頃。}
 \end{aligned}$$

(丙) 中耕費用：

$$\begin{aligned}
 TC = & \left[1,818 \times 125.9 + \left(\frac{640-0}{2,500} \right) \times 125.9 \right. \\
 & + \left. \left(\frac{640+0}{2} \right) \times \frac{6}{100} + 640 \times \frac{6}{100} \right. \\
 & \left. \times \frac{125.9}{100} + \frac{12 \times 4 \times 125.9}{42} \right] \times \frac{1}{464} \\
 & \times 2.47 \times 42 = 105.4 \quad \text{臺幣元/公頃}
 \end{aligned}$$

(丁) 作畦及栽土施肥費用

$$\begin{aligned}
 TC = & \left[1,818 \times 135.9 + \left(\frac{960-30}{2,500} \right) \times 135.9 \right. \\
 & + \left. \left(\frac{960+60}{2} \right) \times \frac{6}{100} + 960 \times \frac{7}{100} \right. \\
 & \left. \times \frac{135.9}{100} + \frac{12 \times 4 \times 135.9}{42} \right] \times \frac{1}{405.5} \\
 & \times 2.47 \times 42 = 146.5 \quad \text{臺幣元/公頃}
 \end{aligned}$$

(戊) 開宿根費用

$$\begin{aligned}
 TC = & \left[1.818 \times 63.7 + \left(\frac{720-0}{2,500} \right) \times 63.7 \right. \\
 & + \left. \left(\frac{720+0}{2} \right) \times \frac{6}{100} + 720 \times \frac{6.5}{100} \right. \\
 & \left. \times \frac{63.7}{100} + \frac{12 \times 4 \times 63.7}{42} \right] \times \frac{1}{262} \\
 & \times 2.47 \times 42 = 102.2 \quad \text{臺幣元/公頃}
 \end{aligned}$$

(五) 討 論

本文所介紹之農場機具選擇法，係基於(1)農機具之充份利用及(2)保有最低數量機具二原則所創造，公式中所利用之數據，除阻力係數及每月可工作時間外(農時限制)，其他均可靠而準確。每月可工作之天數，因氣候之具有周期性，可藉長期氣象資料獲得一最低數字。阻力係數應因農場土壤及工作性質而異，故計算前，似應先在該農場測取這些數據，使計算之結果更為準確可靠。換言之此法所計算結果之可靠性，決定於阻力係數及工作時間之準確程度。

在美國橫特博士(Dr. Donnel Hunt)發明其選擇公式前，農場機具之選擇從未數據及公式化，但橫特博士之計算方法頗多值得商榷之處，作者曾使用其公式選用機具而遭遇困難，因而擬就此法。此法將農時，農具阻力，曳引負載率及機具數量等變因一次合併於計算公式內，減少多次盲試(Cut and try)之麻煩。此選擇法並可依照圖1之程序圖(flow chart)製作一電腦命令(Computer program)，使機具之選擇工作於瞬間完成。

參 考 資 料

- Hunt, D.R. Efficient field machinery selection ASAE paper no. 61-628.
- Nordbo, M. T., Schaffner, L. and Sta, ngeland S. Decision making process in farm machinery selections Bulletin no. 410 June 1957, North Dakota Agricultural College, North Dakota, USA.
- Larson, G. H. Fairbanks, G. E. and Fenton F. C. What it costs to use farm machinery Bulletin 417 April 1960, Kansas State University, Manhattan, Kansas, USA.
- Reece, F. N. and Larson G. H. A study of the performance of fifty farm tractors, Technical Bulletin 99, May 1959 Kausas State University, Manhattan, Kansas, USA.
- Barger, E. L., Liljedahl J. B., Carleton, W. M. and Mckibben E. G. Tractor and their power units Second edition John Wiley and Sons, INC New York, USA.
- ASAE Year book 1964.