

應用線性規劃分析近10年來台灣農業機械化之發展

Application of Linear Programming for Analysis of Agricultural Mechanization Development in Taiwan during 1980s

經濟部中央標準局檢定員

葉維煜
W. Y. Yeh.

台灣大學農機系及研究所教授

張森富
S. F. Chang

摘 要

本文應用線性規劃模式分析近十年來台灣農業機械化之發展趨勢，並利用"機械化潛力"及"機械利用率"兩項指標來量度機械化概況以及是否過度投資。

自民國70年以後，水稻作業幾乎已完全機械化，即其機械化潛力值已達100%，甚或超過。因此，本文著重於"機械利用率"之分析，以探討機械是否過度投資。靈敏度分析方面，則以油料及人力上不同比例之短缺，探討其對農機最佳利用以及農耕作業成本之影響。根據分析結果可得近年來柴油短缺較技工短缺對成本之影響較大。

在每公頃成本分析方面，對整地而言，中南部每公頃成本約為2500元左右，北部及東部則約為4000元；對插秧而言，本省各地區每公頃約為3500元；對收穫而言，則約為4320元；對乾燥而言，北、中、南部每公頃成本約為2000元左右，東部則較高約為3000元。

另外，隨著農業機械化之發展，雖然台灣本島各地區之稻作面積逐年地減少，其農作成本亦相對地降低；以全島而言，從事上述四種田間作業，由民國70年之每公頃生產成本新台幣18300元降至民國80年之14400元。

根據分析，本省農業機械化之發展趨勢係朝向高作業能力之農業機械發展，小型農業機械逐漸被淘汰。

本文雖以分析稻作機械化為主，但其模式仍可應用在其它作物機械化作業之研究上。另外，靈敏度分析方面，則可以增加對目標函數之耕作成本變化以及限制條件各種係數之變化加以討論，將可得更佳之結果。

關鍵詞：農業機械化，線性規劃。

ABSTRACT

A linear programming model is applied for analysis of recent 10-year Taiwan's agricultural mechanization development trend in this study. "Mechanization potential" and "Machinery utilization ratio" are two indices used for measurements of mechanization extent and if machines are over invested.

Since 1981, rice farming has been almost fully mechanized, that is the mechanization

potential reaches 100% or even higher. Therefore, a special attention is paid on machinery utilization ratio analysis for investigation of whether machine investments are over. As related to sensitivity analysis, different shortages of fuels and technical labors are used for obtaining optimal machinery utilizations results and its impact on farming costs.

Farming cost analysis results are summarized as follows:

1. For land preparation, the cost is around NT\$2500/ha in central and southern Taiwan and NT\$4000/ha in the other regions.
2. For rice transplantation, the cost is around NT\$3500/ha islandwide.
3. For rice harvesting, the cost is around NT\$4300/ha islandwide.
4. For rice drying, the cost is around NT\$3000/ha in eastern Taiwan and NT\$2000/ha any where else.

As the rapid development of agricultural mechanization in Taiwan even with a gradual decrease of rice acreage, the total rice farming costs of the above mentioned four operations are still reduced from NT\$18300/ha in 1981 to NT\$14400/ha in 1991 based on 1991 money value.

From the trend of agricultural mechanization development in Taiwan, we can see that small-scaled farm machines are displaced by large-scaled and high performance ones in local markets.

Although analysis of rice mechanization is the main subject in this study, the model developed still can be applied for mechanization analysis of other field crops. Besides, in sensitivity analysis, the change of farming costs in the objective function and coefficients in the constraint functions can be added in future studies for obtaining better results.

Keywords: Agricultural mechanization, Linear programming.

一、研究緣起與目的

近年來由於經濟發展突飛猛進，已使台灣從農業為主轉變為以工商業為主之已開發國家，締造了所謂“台灣經濟奇蹟”；然而正由於工商業不斷擴展，對農業造成莫大衝擊，農工發展因而呈現了不平衡現象，並使得農業勞力流向工業，形成農村勞力短缺、農業萎縮及農業生產成本增加等問題，在在影響農業正常發展；最近更由於要進入關稅暨貿易總協定（GATT）之影響，其對農民所處之困境，無異雪上加霜；故提高勞動生產力，以突破農業瓶頸實乃刻不容緩之工作，而推行農業機械化為其主要途徑之一。

本省稻作面積歷年來均佔全部可耕地面積55%以上，稻米為主要糧食作物；其他各種作物總種植面積超過10,000公頃，分別為落花生、甘藷、甘蔗、茶、菸草、蘿蔔、蔥、竹筍、甘藍、結球白菜、蕃茄、西瓜、鳳梨、香蕉、柳橙等。依農業資料分析，稻作機械化成功，亦即解決了半數以上之台灣農業機械化問題；且稻作栽培相當費時費工，故在人力、役畜不足之壓力下，推行稻作機械化栽培首

先為政府有關單位所重視。在民國40年左右，政府亟欲設置人力於集約耕作以增加農產品產值，但是由於供農耕作業用之役畜不足，因此自國外引進耕耘機，經過改良自製後解決此一問題。此為推展台灣農業機械工作之肇始，而後之發展仍以水稻機械為主。

目前本省使用之農業機械有：耕耘機、曳引機、插秧機、水稻聯合收穫機、稻穀乾燥機、噴霧機、噴粉機、抽水機、各種脫粒機、甘蔗採收機、旱作播種機、中耕機及採茶機等。以上這些機械與西方所用者比較，大都屬於小型農機。

我們是否會面臨機械過度投資問題？另外，燃料及技術工人之供應，其變動範圍在何種區間可不影響最佳化成本？此為本文所探討主題。

當農業機械達到最佳化利用時，100%之機械化潛力即為其最大可能水準。

當達到100%機械化潛力後，應用於農業上之農機數目絕對足夠。超過此點，將發生機械之過度投資，而可採用機械利用率量度機械之過度投資。根據使用農機數遞增趨勢，可估計機械平衡數目；然後可預測未來之“機械化潛力”及“機械利用率”，

此尤其有利於農業機械工業之規劃及資源利用。

因此，本研究之目的為：

1. 應用線性規劃模式分析農業機械化之發展。
2. 探討如何最佳利用現有之農機。
3. 計算機械化潛力。
4. 計算機械利用率。

二、文獻探討

前人曾以機械化潛力來表示農業機械化之概況（張，1985）。其計算方式是估計每種農耕作業農業機械之總工作能量除以農耕總工作量，以其值表示該種農耕作業之機械化程度。雖然如此，仍需一指標對機械是否過度投資作一機械化狀況之較佳描述。此方面建議採用機械利用率，而其定義為總農業工作量除以農業機械最大工作量。

張君於其博士論文（1985）中應用系統方法分析台灣農業機械化之發展，並導出含二次目標函數及線性限制條件之非線性模式以求最佳利用農業機械之結果。

邱與張（1987）在其“水稻機械化作業之工時研究”及“水稻生產成本分析”之研究報告中指出本省水稻生產作業成本每公頃所投入之機械成本在新台幣20200元至28900元之間，並指出今後如果希望降低每公頃之操作成本可以從提高年工作時數及年工作面積做起；另外於文中亦指出每種作業之代耕費用及其機械能力；而本文主要根據這些數據資料做為參考分析之用。

三、研究方法與模式發展

(一) 最佳化理論之應用

最佳化理論之步驟一般包含定義變數，導出目標函數及限制條件之函數等項；然後在限制條件下，求目標函數之最佳值。在實際問題中欲以數學函數關係完全代表整體真實情況係不可能，因此最佳化方法僅能視為一近似法。一般而言，最佳化問題區分為有限制條件及無限制條件兩類。本研究所以應用者為有限制條件者，如下所示：

使 $f(x)$ 最小

受限於 $g_i(x) \geq b_i, i=1,2,\dots,m$

$x' \geq 0$

其中 $x:n$ 階列向量

x' 為 x 之轉置向量

0 為 n 階行向量

若目標函數 $f(x)$ 及所有限制函 $g_i(x)$ 均為線性關係， $i=1,2,\dots,m$ ，則為線性規劃問題。本文中所得者為一線性模式，其中包含一次目標函數及線性限制條件以探討如何最佳利用現有農業機械。

(二) 定義變數

在定義系統時，包含4種農耕作業：整地、插秧、水稻收穫及稻穀乾燥。每一種作業均可利用不同大小型式的農機或傳統方法依農時完成；因此，每一種農機型式或方法均視為一個變數，如下所示：

對整地而言，

1. 大型曳引機 (50-70hp)， X_1
2. 小型曳引機 (30-50hp)， X_2
3. 大型耕耘機 (15-20hp)， X_3
4. 小型耕耘機 (8-15hp)， X_4
5. 役畜 (牛耕)， X_5

對插秧而言，

1. 二行式插秧機， X_6
2. 四行式插秧機， X_7
3. 六行式插秧機， X_8
4. 人工插秧， X_9

對水稻收穫而言，

1. 三行式聯合收穫機， X_{10}
2. 四行式聯合收穫機， X_{11}
3. 人工收穫， X_{12}

對稻穀乾燥而言，

1. 大型箱式乾燥機 (1.5公噸)， X_{13}
2. 小型箱式乾燥機 (1公噸)， X_{14}
3. 大型循環式乾燥機 (3公噸)， X_{15}
4. 小型循環式乾燥機 (2公噸)， X_{16}
5. 日曬， X_{17}

共有17個變數。如具更詳細之農機型式資料，或系統包含更多之農耕作業，皆會增加變數之數目。表1所示為在整地、插秧、水稻收穫、稻穀乾燥之作業下，各種機械或勞役者之有關資料；上述資料係參考邱與張（1987）之“水稻機械化作業之工時研究”及“水稻生產成本分析”而得。除了乾燥機變數單位為每期作使用次數外，其餘變數單位皆為每期作使用天數。

三) 目標函數

目標函數可選擇為求取最大之利潤或回收，或者求取最低之成本。農民最關心的是利潤，然而農業機械化則與降低成本關係較密切，而降低成本亦可間接增加農民利潤；故選擇降低農業成本為目標函數。本文採取線性模式分析，而將成本(新台幣元/天)考慮為常數，以符合一次線性之目標函數，且成本計算係根據民國80年之物價水準為基礎。假設成本為線性關係，理由如下：

- (1) 與現實情形相當接近。
- (2) 簡化了數學的處理過程。

將所有變數之成本(c_i)乘上相對之機械或傳統方式工作單位之數目(n_i)，將之相加即得目標函數Z，如下所示：

$$\text{使 } Z = \sum_{i=1}^{17} n_i c_i x_i \text{ 最小}$$

其中，n_i 為機械或傳統方式工作單位數目。

若以矩陣型式表示則為

$$\text{使 } Z = c' \cdot x \text{ 最小}$$

其中，c 及 x: (17*1) 行向量

c' 為 c 之轉置向量

四) 限制條件

農業生產所受之限制條件如下：

1. 必須耕作之農場面積或必須處理之農產品數量之最小量。
2. 燃料及技術工人之最大供應量。
3. 最大之工作天數，即所謂農時。
4. 非負數。

在整地方面，可使用4種型式之農機及1種傳統方法，若最小整地面積為b₁，則限制式為：

$$\sum_{i=1}^5 n_i a_{1i} x_i \geq b_1 \dots\dots\dots (1)$$

其中，n_i 為x_i之數量

a_{1i} 為x_i之作業能力 (如表1)

在插秧方面，可使用3種型式之插秧機及1種傳統方法，若最小插秧面積為b₂，則限制式為：

$$\sum_{i=0}^9 n_i a_{2i} x_i \geq b_2 \dots\dots\dots (2)$$

其中，n_i 為x_i之數量

a_{2i} 為x_i之作業能力 (如表1)

在水稻收穫方面，可使用2種型式之聯合收穫機及1種傳統方法，若最小收穫面積為b₃，則限制

式為：

$$\sum_{i=1}^{12} n_i a_{3i} x_i \geq b_3 \dots\dots\dots (3)$$

其中，n_i 為x_i之數量

a_{3i} 為x_i之作業能力 (如表1)

在稻穀乾燥方面，可使用4種型式之乾燥機及1種日曬法，若最小乾燥稻數量為b₄，則限制式為：

$$\sum_{i=1}^{17} n_i a_{4i} x_i \geq b_4 \dots\dots\dots (4)$$

其中，n_i 為x_i之數量

a_{4i} 為x_i之作業能力 (如表1)

曳引機、耕耘機及聯合收穫機之使用燃料為柴油，若最大柴油供應量為b₅，則限制式為：

$$\sum_{i=1}^4 n_i a_{5i} x_i + \sum_{i=10}^{11} n_i a_{5i} x_i \leq b_5 \dots\dots\dots (5)$$

其中，n_i 為x_i之數量

a_{5i} 為x_i之燃料消耗量 (如表1)

插秧機之使用燃料為汽油，若最大汽油供應量為b₆，則限制式為：

$$\sum_{i=6}^8 n_i a_{6i} x_i \leq b_6 \dots\dots\dots (6)$$

其中，n_i 為x_i之數量

a_{6i} 為x_i之燃料消耗量 (如表1)

在操作農業機械時需有技術工人，若技術工人最大供應量為b₇，則限制式為：

$$\sum_{i=1}^4 n_i a_{7i} x_i + \sum_{i=6}^8 n_i a_{7i} x_i + \sum_{i=10}^{11} n_i a_{7i} x_i \leq b_7 \dots\dots\dots (7)$$

其中，n_i 為x_i之數量

a_{7i} 為x_i之技術工人需求量 (如表1)

對任一農耕作業，時間為一非常重要因子。下列不等式係描述在農業上使用不同農機之時間限制。

曳引機由於具有機動性佳之條件，因此將之應用於長時間、大田區之操作。其最大工作天數每期作約為30天；而與曳引機較而言，耕耘機之機動性則有所限制，其最大工作天數每期作約為20天。現在，我們可以下列不等式來描述整地作業之時間限制式：

$$X_1 \leq 30 \dots\dots\dots (8)$$

$$X_2 \leq 30 \dots\dots\dots (9)$$

$$X_3 \leq 20 \dots\dots\dots (10)$$

$$X_4 \leq 20 \dots\dots\dots (11)$$

表 1. 農機或傳統工作單位基本資料

(一) 整地資料

設備/方法	變數	作業能力 (ha/day)	柴油消耗量 (liter/day)	技術工人需求量 (persons)	成本 (NT\$/day)
大型曳引機	X_1	2.5	63.8	1	5,930
小型曳引機	X_2	1.6	85	1	6,250
大型耕耘機	X_3	0.6	29.3	2	3,660
小型耕耘機	X_4	0.5	17.2	2	3,240
役畜	X_5	0.1	0	0	1,800

(二) 插秧資料

設備/方法	變數	作業能力 (ha/day)	汽油消耗量 (liter/day)	技術工人需求量 (persons)	成本 (NT\$/day)
二行式插秧機	X_6	0.6	6.94	2	2,950
四行式插秧機	X_7	1	7.39	2	3,880
六行式插秧機	X_8	1.5	9.42	2	4,880
人工插秧	X_9	0.1	0	0	1,600

(三) 收穫資料

設備/方法	變數	作業能力 (ha/day)	柴油消耗量 (liter/day)	技術工人需求量 (persons)	成本 (NT\$/day)
三行式聯合收穫機	X_{10}	0.7	22	2	5,720
四行式聯合收穫機	X_{11}	1.5	24	1	6,480
人工收穫	X_{12}	0.06	0	0	1,600

(四) 乾燥資料

設備/方法	變數	作業能力 (ha/day)	成本 (NT\$/day)
大型箱式乾燥機	X_{13}	0.9	730
小型箱式乾燥機	X_{14}	0.6	920
大型循環式乾燥機	X_{15}	3	1,090
小型循環式乾燥機	X_{16}	2	1,280
日曬	X_{17}	0.5	1,400

本省二期作之插秧時間非常地短，且插秧作業尚須符合育苗中心之種苗供應率。因此，對插秧機而言，每期作約為15天；若再考慮天候因素，則各種型式插秧機每一期作約僅為10天。所以插秧作業之時間限制式：

$$X_6 \leq 10 \dots\dots\dots (12)$$

$$X_7 \leq 10 \dots\dots\dots (13)$$

$$X_8 \leq 10 \dots\dots\dots (14)$$

時間對於各種尺寸型式之聯合收穫機僅有些許差異：如三行式聯合收穫機每期作為15天，四行式每期作則為20天。因此水稻收穫作業之時間限制式：

$$X_{10} \leq 15 \dots\dots\dots (15)$$

$$X_{11} \leq 20 \dots\dots\dots (16)$$

各種型式之稻穀乾燥機，其最大使用量為每期作25次。因此稻穀乾燥作業之時間限制式：

$$X_{13} \leq 25 \dots\dots\dots (17)$$

$$X_{14} \leq 25 \dots\dots\dots (18)$$

$$X_{15} \leq 25 \dots\dots\dots (19)$$

$$X_{16} \leq 25 \dots\dots\dots (20)$$

最後，任何作業無法在負數狀態下進行，故自然須符合下列條件：

$$x_i \geq 0, \text{ 其中 } i=1,2,\dots,17$$

上述限制條件經整理以矩陣型式表示如下：

$$Ax \geq b$$

$$x \geq 0$$

其中，A：(20*17) 矩陣

x：(17*1) 行向量

b：(20*1) 行向量

0：n階行向量

(五) 基本模式

當目標函數與限制條件發展完成，則可建立基本模式如下：

使 $Z=c^1 x$ 最小

受制於 $Ax \geq b$

$$x > 0$$

其中，c：(17*1) 行向量

x：(17*1) 行向量

A：(17*17) 矩陣

b：(20*1) 行向量

c¹ 為c之轉置向量

0為n階行向量

(六) 求解

前述模式須將其化為標準型式，而後可利用簡算法 (Simplex method) 求解；不過亦可直接利用現成之套裝軟體解此模式。本文係採用Microsoft Excel 3.10版之套裝軟體中所提供之規劃求解程式以得到最佳解之結果。

簡算法係解線性規劃問題之一般程序，其實即為一種非常有效且可靠之演算法，簡而言之，其係一種簡單有系統的計算過程，且不斷地反覆運用，直到得出結果之方法。

四、資料蒐集與分析

應用前述之模式，需先蒐集有關向量c、b及矩陣A之資料。c之元素為各變數之單位成本乘以相對之機械或傳統方式數目而得。本文係採本省代耕中心之代耕收費為單位成本，各種農耕作業之單位成本如表1所示。A之元素則為各變數之性能資料乘以上述之工作單位相對數目而得。b之元素則為各種限制條件之最大或最小量，如最小農地面積、最小稻作面積、最少稻穀產量、燃料及技術工人之最大供應量以及最大作業時間等。本文係假設燃料及技術工人之供應量足夠；而就短缺情形而言，農業亦具有優先性之特質。有關燃料及技術工人短缺造成之影響將於靈敏度分析中討論。

本文分析台灣農業機械化趨勢所需資料為：農業人口、農地面積、稻作面積、稻穀產量、役畜(耕牛)以及農業機械數目(如表2至表4)。

五、結果與機械化分析

(一) 結果

將上述線性模式建立完成後，再利用Microsoft Excel 3.10版之規劃求解程式以得最佳解(此最佳解包括最小農耕作業成本以及最佳化利用農業機械)。

由民國80年全島性第一期作業結果可知，我們可以新台幣46億5600萬元之最低成本經營上述4種水稻農耕作業，並採取下列規劃：

1. 整地

a. 9817台大型曳引機，30天

b. 8222台小型曳引機，13.93天

表 2. 臺灣農業背景資料

年 份	農業年口 (人)	農地面積 (公頃)	稻作面積 (公頃)		稻穀產量 (公頃)		役畜 (頭)
			一期作	二期作	一期作	二期作	
民國70年	5,059,084	894,348	318,419	347,657	1,242,858	1,140,043	76,428
民國71年	4,938,477	885,123	316,477	342,472	1,266,177	1,215,260	71,740
民國72年	4,283,148	888,625	324,041	321,041	1,704,412	1,437,735	67,338
民國73年	4,232,947	885,988	285,684	301,008	1,471,979	1,368,743	86,874
民國74年	4,110,545	877,533	277,498	286,180	1,474,219	1,275,629	86,579
民國75年	4,252,895	881,837	268,769	262,792	1,475,001	1,022,509	87,059
民國76年	4,033,335	880,670	255,329	246,163	1,353,514	1,048,963	92,514
民國77年	3,789,632	889,366	240,698	230,367	1,354,978	976,938	88,607
民國78年	3,642,949	889,004	242,774	232,380	1,398,070	957,182	74,120
民國79年	3,913,523	884,494	242,298	211,968	1,342,000	941,670	59,648
民國80年	4,184,108	877,969	227,417	201,385	1,450,952	860,730	48,780

資料來源：臺灣農業年報

表 3. 本省主要農機歷年累積數

年 份	耕耘機	水稻聯合 收穫機	稻穀乾燥機		曳引機	水稻插秧機		
			箱 式	循環式		二 行	四 行	六 行
民國70年	102,182	16,463	19,318	14,381	4,930	31,646	8,165	222
民國71年	107,871	18,979	20,690	17,878	6,741	33,498	11,768	339
民國72年	113,116	20,948	22,142	21,462	8,406	34,864	14,569	1,044
民國73年	117,608	22,380	23,379	24,129	9,847	35,906	16,558	1,839
民國74年	121,440	23,677	24,095	25,314	11,226	36,709	18,360	2,685
民國75年	124,204	24,352	24,483	27,008	12,347	37,113	19,776	4,151
民國76年	126,025	25,019	24,805	28,452	13,169	37,313	21,149	5,375
民國77年	126,846	25,671	25,100	30,259	13,996	37,513	21,903	6,679
民國78年	127,284	26,277	25,263	32,947	14,987	37,713	23,485	7,900
民國79年	127,801	27,058	25,385	35,219	16,127	37,913	25,411	8,758
民國80年	128,058	27,723	25,767	37,368	17,313	38,113	26,818	9,735

表 4. 農機或傳統工作單位數 (民國80年)

農 機 或 方 法	數 量	農 機 或 方 法	數 量
大型曳引機 (Big tractor)	9,817	三行式聯合收穫機 (3-row combine)	1,725
小型曳引機 (Small tractor)	8,222	四行式聯合收穫機 (4-row combine)	2,262
大型耕耘機 (Big power tiller)	3,215	人工收穫 (Hand harvesting)	199,926
小型耕耘機 (Small power tiller)	2,775	大型箱式乾燥機 (Big bin dryer)	10,514
役畜(牛耕) (Draft animal)	48,780	小型箱式乾燥機 (Small bin dryer)	15,247
二行式插秧機 (2-row transplanter)	338	大型循環式乾燥機 (Big cir. dryer)	16,173
四行式插秧機 (4-row transplanter)	5,644	小型循環式乾燥機 (Small cir. dryer)	12,592
六行式插秧機 (6-row transplanter)	9,734	日 曬 (Sun-drying)	199,926
人工插秧 (Hand transplanting)	99,963		

註：Cir. 指Circulating

2. 插秧

b. 5644台四行式插秧機，3.04天

c. 9734台六行式插秧機，10天

3. 收穫

b. 2262台四行式聯合收穫機，9.17天

4. 乾燥

a. 16173台大型循環式乾燥機，23.22天

所得之大多數解皆係由最大農機使用量與利用傳統作業方法以完成其餘工作量兩部分之簡單組合所構成。此結果是在充分供應足夠燃料量及技術工人之假設下所得。另外為簡化分析模式，我們還假設機械能力超過實際農耕作業量。民國80年之最佳化結果表5所示。

從民國70年至80年之農業成本中可知隨著農業機械化之發展，再加上海島各地區之稻作面積逐年地減少，其農作成本亦相對地降低；以全島而言，由民國70年之每公頃生產成本為新台幣18300元降至民國80年之14400元。

當農業機械之使用水準較低時，其農業成本較高；而較低之使用水準僅需較少之柴油及汽油量，並伴隨著較低之燃料成本。

(二) 每公頃成本分析

為獲得更具意義之比較，須求得各種農耕作業每公頃農業成本。此可利用Microsoft Excel 3.10版之規劃求解計算出民國70年至80年間全島之各種農耕作業單位成本；利用這些數值可計算出稻米生產每公

表 5. 最佳化結果 (民國80年)

農 機 或 方 法	變 數	最 佳 解	
		一 期 作	二 期 作
大型曳引機 (Big tractor)	X ₁	30	30
小型曳引機 (Small tractor)	X ₂	13.93	13.93
大型耕耘機 (Big power tiller)	X ₃	0	0
小型耕耘機 (Small power tiller)	X ₄	0	0
役畜 (牛耕) (Draft animal)	X ₅	0	0
二行式插秧機 (2-row transplanter)	X ₆	0	0
四行式插秧機 (4-row transplanter)	X ₇	3.04	2.06
六行式插秧機 (6-row transplanter)	X ₈	10	10
人工插秧 (Hand transplanting)	X ₉	0	0
三行式聯合收穫 (3-row combine)	X ₁₀	0	0
四行式聯合收穫 (4-row combine)	X ₁₁	9.17	8.12
人工收穫 (Hand harvesting)	X ₁₂	0	0
大型箱式乾燥機 (Big bin dryer)	X ₁₃	0	0
小型箱式乾燥機 (Small bin dryer)	X ₁₄	0	0
大型循環式乾燥機 (Big cir. dryer)	X ₁₅	23.22	13.77
小型循環式乾燥機 (Small cir. dryer)	X ₁₆	0	0
日 曬 (Sun-drying)	X ₁₇	0	0
總 價 (NT\$)		4,655,783,781	4,227,873,856
總柴油量 (liter)		30,951,756	30,535,242
總汽油量 (liter)		1,518,541	1,326,164
總工人量 (person-days)		900,291	830,872

頃成本，並藉由總和稻田耕作之4種農耕作業每公頃成本值，而達到每公頃成本分析之目的；每公頃最佳化農耕成本如表6所示。

對整地而言，在北部地區耕作，其成本為新台幣3806元／公頃，中部為2372元／公頃，南部為2379元／公頃，東部為4278元／公頃。對插秧而言，在北部地區耕作，其成本為新台幣3551元／公頃，中部為3490元／公頃，南部為3390元／公頃，東部為3495元／公頃。對收穫而言，各地區之耕作成本皆約為4320元／公頃，此乃由於其皆採高作業能力之四行式聯合收穫機實施耕作之故。對乾燥而言，在北部地區耕作，其成本為新台幣1991元／公頃，中部及南部為1526元／公頃，東部為3275元／公頃。

㊦機械化潛力

鑒於農業機械化之重要，過去二、三十年來，許多學術研究機構、農民團體以及政府有關單位等均極力提倡推動此項工作，並廣開研討會討論農業機械化相關事宜。在這些討論中，農業機械數目、

每公頃機械馬力、用於農業上機械馬力百分比或機械化比率等，皆已被用來做為總機械化之指標。前述三項指標可視為機械化之間接表示法；最後一項——機械化比率，為一較直接之描述。此外，其並無法由整體調查或研究中得到，而係由研究者或使用之經驗所得之估計值。因此，當輸入錯誤值時，使用機械化比率亦有問題。本文採用機械化潛力做為總機械化指標。而在一特定條件下，只有一種機械化潛力；最佳利用農業機械時，該潛力即已達到。

台灣於民國70年至80年間之機械化潛力值已由最佳化機械利用性中獲得，且利用上述結果以得到機械化潛力之計算值：

$$\text{機械化潛力(MP)} =$$

$$1 - \frac{\text{傳統作業方法所作之農耕作業量}}{\text{農耕總工作量}}$$

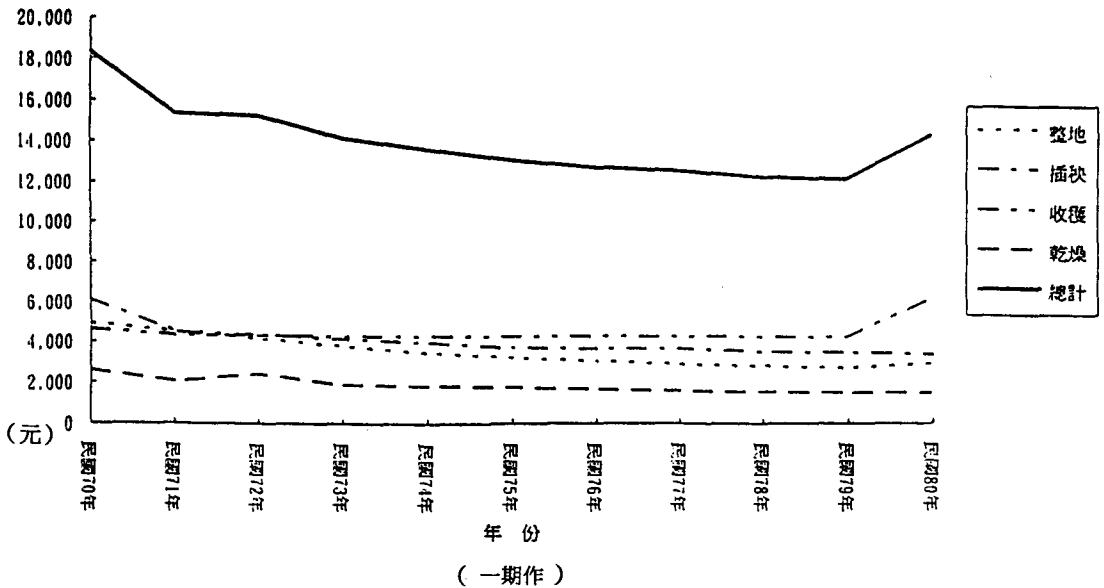
$$\text{或機械化潛力(MP)} = \frac{\text{農業機械之總工作能量}}{\text{農耕總工作量}}$$

大體而言，台灣幾已完全農業機械化了；此點

表 6. 每公頃最佳化農耕成本

一期作		NT\$				
年 份	整 地	插 秧	收 穫	乾 燥	總 計	
民國70年	4,945	6,150	4,641	2,603	18,339	
民國71年	4,517	4,504	4,320	2,030	15,371	
民國72年	4,151	4,370	4,320	2,417	15,258	
民國73年	3,824	4,155	4,320	1,875	14,174	
民國74年	3,494	3,989	4,320	1,838	13,642	
民國75年	3,262	3,769	4,320	1,785	13,136	
民國76年	3,076	3,682	4,320	1,654	12,733	
民國77年	2,930	3,717	4,320	1,593	12,560	
民國78年	2,844	3,574	4,320	1,537	12,275	
民國79年	2,767	3,540	4,320	1,526	12,153	
民國80年	3,041	3,478	6,311	1,526	14,355	

二期作		NT\$				
年 份	整 地	插 秧	收 穫	乾 燥	總 計	
民國70年	4,945	6,978	4,938	2,257	19,119	
民國71年	4,517	5,142	4,390	1,972	16,020	
民國72年	4,151	4,365	4,320	1,970	14,805	
民國73年	3,824	4,194	4,320	1,813	14,151	
民國74年	3,494	4,165	4,320	1,657	13,637	
民國75年	3,262	3,742	4,320	1,526	12,851	
民國76年	3,076	3,675	4,320	1,526	12,597	
民國77年	2,929	3,664	4,320	1,526	12,439	
民國78年	2,844	3,560	4,320	1,526	12,250	
民國79年	2,767	3,492	4,320	1,526	12,105	
民國80年	2,683	3,426	4,320	1,526	11,954	



可由表7中之附圖看出。綜上所述，我們發現到自民國70年後，本省各地區幾乎已達完全農業械化。

四、機械利用率

本文亦採用機械利用率，以量度農業機械之利用性，同時作為農業機械過度投資之指標。

當機械化潛力達到100%時，就需要另一個指標來量度農機是否過度投資以更佳表示清楚機械化發展之情形。機械利用率即為如此定義：

$$\text{機械利用率(MUR)} = \frac{\text{農耕總工作量}}{\text{農機最大工作量}} \times 100\%$$

若 $MUR > 100\%$ ，則 $MUR = 100\%$ 。

直到機械化潛力達到100%，農業生產需求方超過機械能量。機械利用率可在機械化潛力達到100%前，任何時刻皆可達到100%。當機械化潛力一旦達到100%時，則機械利用率被視為量度農業機械之使用水準以及是否會發生農業機械過度投資之指標。

低機械利用率係表示高機械投資水準，且可能過度投資。此外，由於具有較多機械，使得農民擁有較多自由度，以決定其何時及如何選擇農業機械從事農耕作業。機械之過度投資與機械利用性之自由度是分不開的；若農民欲得到自由運用農機之利，則須為其付出代價。

將全島視為一個系統觀察其機械利用率（如表

8），我們可以看出在一期作方面，僅民國70年之插秧作業機械利用率達到100%，二期作方面則僅民國70、71年兩年間之插秧作業機械利用率達到100%；另外，各種農耕作業之機械利用率逐年地減少，至民國80年時，在整地及插秧方面之機械利用率約為35%，收穫方面約為37%，而乾燥方面則約為50%。

六、靈敏度分析

在基本模式中，我們可以有系統的改變向量c、b及矩陣A之元素，以求得此模式之反應變化。此反應變化，即最佳解之改變，這就是所謂的靈敏度分析（或稱參數分析）。因此靈敏度分析之一般目的，即在於辨認出具有相當敏感的參數（亦即那些參數變化會改變最佳解），而設法更正確地估計這些參數；然後在這些敏感參數之可能值範圍內選擇一優良解，因此，靈敏度分析幾乎是每個線性規劃研究中之必要部份。

本文所進行之靈敏度分析主要係針對向量b中元素之變化，而向量b中元素係包含需完成農耕作業量、燃料（柴油、汽油）、技術工人供應量及農時等。其中農耕面積、農產品數量、需完成農耕作業量及農時等在現況下變化不大，因此不需加以分析。而僅就燃料（柴油、汽油）、技術工人供應量

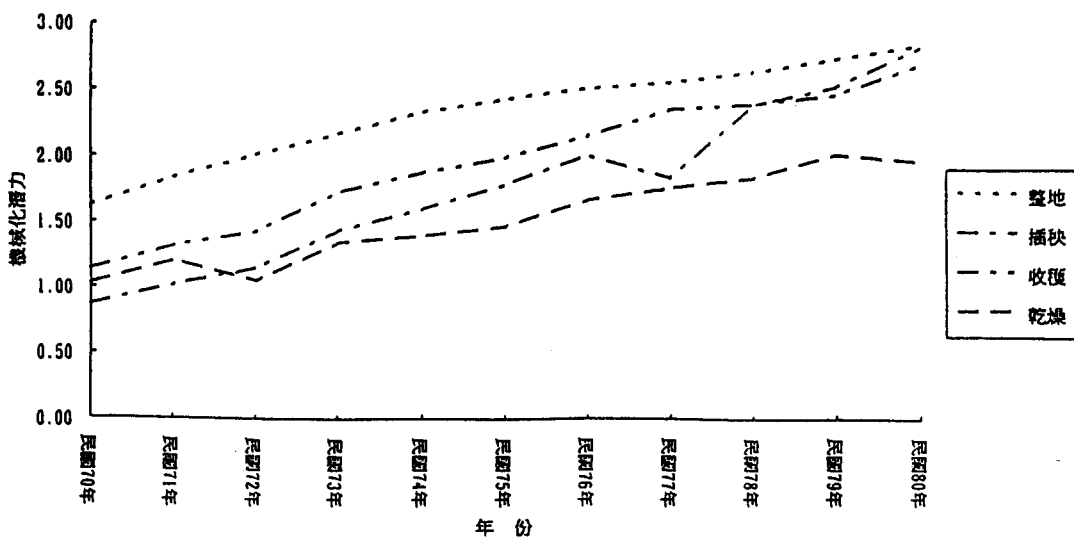
表 7. 機械化潛力 (全島性)

一期作

年 份	整 地	插 秧	收 穫	乾 燥
民國70年	1.62	0.86	1.14	1.03
民國71年	1.84	1.02	1.32	1.21
民國72年	2.01	1.14	1.42	1.04
民國73年	2.17	1.43	1.73	1.34
民國74年	2.34	1.60	1.88	1.40
民國75年	2.44	1.80	2.00	1.47
民國76年	2.53	2.02	2.17	1.68
民國77年	2.57	1.84	2.36	1.76
民國78年	2.64	2.39	2.39	1.83
民國79年	2.74	2.53	2.47	2.02
民國80年	2.85	2.83	2.70	1.97

二期作

年 份	整 地	插 秧	收 穫	乾 燥
民國70年	1.62	0.79	1.04	1.12
民國71年	1.84	0.95	1.22	1.26
民國72年	2.01	1.15	1.44	1.24
民國73年	2.17	1.36	1.64	1.44
民國74年	2.34	1.30	1.53	1.69
民國75年	2.44	1.84	2.05	2.13
民國76年	2.53	2.10	2.25	2.16
民國77年	2.57	1.92	2.46	2.45
民國78年	2.64	2.49	2.50	2.68
民國79年	2.74	2.89	2.83	2.88
民國80年	2.85	3.19	3.05	3.32



(一期作)

之參數變化進行靈敏度分析，以觀察目標函數值之變化情形。

燃料供應量（包含柴油、汽油）及技術工人供應量分別以0%、5%、10%、20%百分比之短缺率加以探討分析。綜括言之，我們共具有10種變量之組合。如表9所示，以柴油短缺為比較因子考慮其成本變化時，當柴油短缺率由0%至20%間變化時，一期作之總農業成本由新台幣46億5600萬元增至60億7200萬元，增加了30.4%；二期作之總農業成本由新台幣42億2800萬元增至56億1600萬元，亦即增加了32.8%。以汽油短缺為比較因子考慮其成本變化時，當汽油短缺率由0%至20%間變化時，一期作之總農業成本由新台幣46億5600萬元增至51億5400萬元，增加了10.7%；二期作之總農業成本由新台幣42億2800萬元增至46億6300萬元，亦即增加了10.3%。以技工短缺為比較因子考慮其成本變化時，當技工短缺率由0%至20%間變化時，一期作之總農業成本由新台幣

46億5600萬元增至58億730萬元，增加了24.7%；二期作則由新台幣42億2800萬元增至54億2900萬元，亦即增加了28.4%。

由靈敏度分析可知造成成本增加主要係由於柴油短缺所致。技工短缺次之，影響最小者為汽油短缺。

七、發展趨勢

未來農業機械化發展趨勢之精確預測，對政府相關單位及農機製造工廠皆非常有用。政府可利用此發展趨勢於規劃整體農業政策時加以考量；而農機製造工廠則可針對未來機械之供需狀況訂定出其經營生產計畫。基於上述原因，我們可由過去數年來新機械之推出量，得出其增加率，進而推演出未來發展趨勢。

而根據分析，本省農業機械化之發展趨勢係朝向高作業能力之農業機械發展，小型農業機械勢必

表 8. 機械利用率（全島性）

一期作						％
年 份	整 地	插 秧	收 穫	乾 燥		
民國70年	61.78	100.00	87.83	97.11		
民國71年	54.48	97.75	75.75	82.88		
民國72年	49.74	87.45	70.24	95.81		
民國73年	46.01	69.92	57.91	74.70		
民國74年	42.73	62.48	53.13	71.61		
民國75年	40.96	55.68	49.99	67.87		
民國76年	39.60	49.48	46.19	59.61		
民國77年	38.94	54.34	42.40	56.67		
民國78年	37.84	41.88	41.76	54.52		
民國79年	36.48	39.53	40.46	49.51		
民國80年	35.12	35.38	37.08	50.84		

二期作						％
年 份	整 地	插 秧	收 穫	乾 燥		
民國70年	61.78	100.00	95.90	89.08		
民國71年	54.48	100.00	81.97	79.54		
民國72年	49.74	86.64	69.59	80.82		
民國73年	46.01	73.67	61.01	69.46		
民國74年	42.73	77.11	65.56	59.03		
民國75年	40.96	54.44	48.88	47.05		
民國76年	39.60	47.71	44.53	46.19		
民國77年	38.94	52.01	40.58	40.86		
民國78年	37.84	40.09	39.97	37.33		
民國79年	36.48	34.58	35.40	34.74		
民國80年	35.12	31.33	32.83	30.16		

表 9. 靈敏度分析結果

柴油短缺為比較因子

短缺率%	期作數	總成本(NT\$)	總柴油量(liter)	總汽油量(liter)	總工人量(person-day)
0	一期作	4,655,783,781	30,951,756	1,518,541	900,291
0	二期作	4,227,873,856	30,535,242	1,326,164	830,872
5	一期作	4,868,500,187	29,404,161	1,518,541	1,179,230
5	二期作	4,437,727,206	29,008,480	1,326,164	1,106,056
10	一期作	5,081,216,018	27,856,571	1,518,540	1,458,168
10	二期作	4,647,581,687	27,481,710	1,326,164	1,381,242
20	一期作	6,071,631,099	24,761,397	1,518,541	1,167,513
20	二期作	5,615,824,621	24,428,187	1,326,164	1,107,781

汽油短缺為比較因子

短缺率%	期作數	總成本(NT\$)	總柴油量(liter)	總汽油量(liter)	總工人量(person-day)
0	一期作	4,655,783,781	30,951,756	1,518,541	900,291
0	二期作	4,227,873,856	30,535,242	1,326,164	830,872
5	一期作	4,780,307,972	30,951,754	1,442,614	879,742
5	二期作	4,336,622,895	30,535,242	1,259,856	812,927
10	一期作	4,904,832,407	30,951,754	1,366,687	859,194
10	二期作	4,445,371,939	30,535,242	1,193,548	794,982
20	一期作	5,153,881,260	30,951,754	1,214,832	818,097
20	二期作	4,662,870,007	30,535,242	1,060,931	759,091

技工短缺為比較因子

短缺率%	期作數	總成本(NT\$)	總柴油量(liter)	總汽油量(liter)	總工人量(person-day)
0	一期作	4,655,783,781	30,951,756	1,518,541	900,291
0	二期作	4,227,873,856	30,535,242	1,326,164	830,872
5	一期作	4,928,571,972	30,951,754	1,352,212	855,276
5	二期作	4,479,628,158	30,535,242	1,172,660	789,329
10	一期作	5,201,369,203	30,951,754	1,185,901	810,267
10	二期作	4,731,382,187	30,535,244	1,019,157	747,785
20	一期作	5,807,290,549	30,951,754	835,723	720,233
20	二期作	5,428,876,974	30,535,244	655,893	664,698

逐漸被市場所淘汰。故整地機械已由曳引機取代了耕耘機；插秧機械則以六行式插秧機取代了行數少之插秧機械；收穫機械則由二行、三行之聯合收穫機發展成四行乃至六行之聯合收穫機；而最後在乾燥機械方面，則由循環式乾燥機取代了箱式乾燥機；此項取代因素除了乾燥能力以外，尚包含了乾燥後品質在內之考量。

八、結論與建議

本研究主要是發展出一次目標函數及線性限制式之線性模式來分析台灣農業機械化之趨勢，所得之結論如下：

1. 隨著農業機械化之發展，雖然稻作面積逐年地減少，其農作成本仍然相對地降低；以全島而言，由民國70年之每公頃生產成本為新台幣18300元降至民國80年之14400元。
2. 在靈敏度分析中，如柴油短缺較技工短缺對成本之影響較大。
3. 農業機械之使用水準較低時，雖需較少之柴油及汽油量；但農業耕作成本反而增高，此點可說明機械化對降低成本之貢獻。
4. 近五年來之機械利用率範圍在30%到50間，主要是因為農民為求更大之使用自由度所致。故直至今日，在農民能忍受下所增成本看來，本省似乎並無農業機械之過度投資問題。
5. 根據本省近十年之農業機械年增量，可看出農業機械化之發展趨勢係朝向高作業能力之農業機械發展，小型農業機械將被市場所淘汰。

本文中所做之靈敏度分析僅探討資源向量b中燃料及技術工人因素之影響；未來研究可針對技術矩陣A及成本向量C中之元素變化加以探討。另外，可將本文所發展之模式應用在其它作物機械化作業之研究上；並利用靈敏度分析，改變目標函數之耕作成本及限制條件之係數，以得更佳之結果。

九、參考文獻

1. 台灣農業年報，民國73至81年版，台灣省政府農林廳。
2. 台灣農產品生產成本調查報告，民國77年期，台灣省政府農林廳。
3. 張森富，1985。Agricultural Mechanization Development in Taiwan，美國加州大學戴維斯校區農工所博士論文。
4. 張森富，1987。台灣農業機械化之進展，科學農業，35卷3-4期。
5. 張森富，1988。我國農機工業的發展，國立台灣大學慶祝創校60週年「農業學術研討會」中發表。
6. 邱穎峰，張森富，1987。水稻機械化作業之工時研究，中國農業工程學報，33(4):24-32。
7. 邱穎峰，張森富，1987。水稻生產成本分析，中國農業工程學報，33(4):33-44。
8. 彭添松，民國82年。台灣農機工業之過去、現在及未來發展趨勢，台灣農業機械，第8卷第2期。
9. 鄒瑞珍，1988。台灣農業機械化之發展，台灣農業機械年鑑，1988年版，財團法人農業機械化研究發展中心。
10. 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。
11. 陳加忠，1984。農業機械化與農機研究，中國農業工程學報，30(3)。
12. 葉維煜，1993。應用線性規劃模式分析台灣農業機械化之趨勢，台灣大學農機所碩士論文。
13. Hiller and Lieberman, 1986, "Introduction to Operation Research", Fourth Edition, Holden-Day Inc, Oakland, California.

收稿日期：民國83年5月30日

接受日期：民國83年8月3日