

# 台灣農業研究發展與技術 變動之經濟分析\*

李朝賢、邱泰穎\*\*

## 壹、緒論

一國產出的增加可經由投入因素量的增施與技術變動兩個途徑來達成，因素的增施效果顯而易見，而技術變動對產出的影響效果，較複雜不易衡量，它是許多經濟學者致力研究的課題。

傳統衡量技術變動的方法，大多建立在生產面，例如利用C-D 或CES 生產函數甚至超越對數生產函數型態來推估技術變動，而且獲致良好的效果。近年來由於計量方法的演進以及經濟動態對偶理論的發展，使得估計技術變動的方法逐漸由生產函數轉為使用成本函數來衡量，並且視生產面的總因素生產力(total factors productivity)成長率即為技術變動率。

Ohta (1974) 使用完全長期靜態的假設，認為在固定規模前提下，生產面的生產力成長率可視為對偶成本面的成本下降率。Caves, Christensen 與 Swanson (1981) 則在部份靜態(短暫均衡)的假設下，使用超越對數成本函數模型，重新分析生產面的生產力成長率與對偶成本之間的關係，結果認為以成本函數代表生產面的變動成長率，必須考慮規模報酬與因素準固定性的效果。Morrison(1986) 則將短暫均衡模型加以擴大，建立技術變動的動態架構，在模型中不僅放寬固定規模報酬與靜態的假設，而且考慮到因素調整的內部調整成本。

Berndt, Fuss 與 Waverman(1979)曾在模型中考慮內部調整成本，而Pindyck 與 Rotemberg(1983)則僅考慮外部調整成本，以進行對技術變動的估測。以上研究者在模型中均未將因素調整所造成的內部與外部調整成本一併考慮，而且所考慮因素均為土地、勞動、資本等傳統性因素，忽略了研究發展這項非傳統因素對生產的貢獻，因此本研究嚐試以成本面來衡量技術變動。本研究係建立動態成本

---

\* 本研究承行政院國科會專題研究補助，計畫編號：NSC83-0301-H005-004特表致謝。

\*\*作者分別為國立中興大學農經所教授與台中商專講師。

極小化的技術變動模型，考慮因素調整的內部與外部調整成本與因素準固定性，並透過規模彈性的調整，以放寬固定規模報酬的一般假設，來從事技術變動的研究。

因此，本研究的研究目的具體如下：

1. 建立研究發展與技術變動的理論模型。
2. 建立以成本函數衡量技術變動的方法。
3. 驗證研究發展對技術變動的效果。

為達成上述研究目的，本研究在研究方法上首先建立研究發展與技術變動的理論模型，在模型中為顧及研究發展投入與其他傳統因素在估計上會發生線性重合的問題，因此單獨建立研究發展投入與技術變動的函數關係，藉此函數的估計可顯示出研究發展的貢獻程度。在技術變動率的衡量上，為了表現出技術變動的動態特質，本研究建立包含內部與外部調整成本與準固定因素的動態成本極小化技術變動模型，經由薛佛定理(Shephard lemma)可得到變動因素與準固定要素存量的需求方程式，以三階段最小平方法推估因素需求體系，然後推估出技術變動率，最後再以短期總成本的規模彈性對技術變動率加以調整，獲得調整後的真實技術變動率。此一技術變動率係放寬一般固定規模報酬的假設下所獲得，因此較能表現出技術變動的動態特質。最後將此調整後的技術變動率代入研究發展與技術變動理論模型中，據此估算出研究發展對技術變動的貢獻程度。

本研究係探討農業研究發展與技術變動之關係，主要研究重點在於衡量非傳統性投入之研究發展對技術變動的貢獻程度。研究對象則為整體農業部門，為配合資料的有效性與連貫性，研究期間為民國41年至71年。主要資料來源係採用農委會統計室陳月娥所計算農業部門各項投入與產出資料。研究發展資料則採用史濟增等人所計算研發資料，其他則佐以政府公佈之次級資料。

## 貳、研究發展與技術變動的理論模型

研究發展與技術變動理論模型可分成四個步驟說明。首先建立研究發展投入可使農業部門發生技術變動而使生產成本下降的概念，在動態對偶理論的應用下，成本下降的程度應等於生產函數因技術變動而上移的程度。其次，經由上述概念以建立研究發展與技術變動的函數關係。另外，技術變動的衡量透過動態成本極小化模型來估測，且經由規模彈性的調整，以表現出技術變動的動態特性。最後，根據研究發展與技術變動的函數關係，以調整後的真實技術變動率估測研究發展的貢獻程度。

## 一、研究發展、技術變動與生產成本

技術變動與因素投入增加均可使產出增加，而技術變動的來源則是創新、發明及研究發展，因此研究發展經由技術變動而影響產出，此種影響包括產量增加與品質提高，所以我們可將研究發展視成一種新農業技術的創新來源。

經由經濟理論可知，生產函數與成本函數具有對偶關係。Shephard (1953) 與 Diewert (1974) 均曾提出理論驗證 (註1)。許多經濟學者的研究結果認為，符合成本函數特性的任意函數，其背後均存在一個可將此成本函數作合理解釋的生產技術，亦即生產函數與成本函數互為對偶，生產函數的移動程度，亦可反映在成本函數的變化上，所以生產函數與成本函數具有對偶的特性，亦即研究發展的投入增加將使生產的技術發生變動，因而促使單位成本發生下降。如此，生產函數的移動程度與成本函數的移動程度均是相等，因此，技術變動的效果可從成本函數的下降程度來表示。

當農業部門因研究發展而發生技術變動時，一方面使生產函數向上移動，另一方面由於產量增加而使平均成本發生下降，其影響過程如圖 1所示。

圖 1中的上圖代表農業部門的研究發展市場，縱軸表研究發展的價格，橫軸表研究發展支出。研究發展供給的增加，可能為政府或私人投入研究發展支出的增加，或國外新農業技術的引進。當研究發展供給增加時，其研發供給曲線由  $S_0$  右移至  $S_1$ 時，將促使農業部門發生技術上的變動，此時農業部門的總生產函數由  $f_0$  上移至  $f_1$ ，農業產出由  $Q_0$  增加至  $Q_1$ 。根據經濟理論中的對偶理論可知，當總生產函數上移時，亦即代表總生產成本下降，而且兩者移動比例應是相等。總生產成本由  $LTC_0$  下降為  $LTC_1$ 時，平均成本亦由  $LAC_0$  下降為  $LAC_1$  (註2)。而農產品市場則因產出增加而促使農產品價格下跌。

註1：參考 1. Shephard, R., "Cost and Production Functions", Princeton, NJ: Princeton University Press, 1953.

2. Diewert, E., "Applications of Duality Theory", In M. Zutiligator & D. Kendrick (Eds), "Frontiers of Quantitative Economics Amsterdam: North-Holland (1974).

註2：Chandler (1990)指出，由於新技術的引進，所造成的規模經濟會使產品的單位成本下降。因此，利用生產函數之對偶成本函數下降程度，可表現技術變動的相同效果。而利用此一概念以表現技術變動的學者，如 Denny, Fuss Waverman (1981)、Denny, Fuss May (1981)，Stanislaw (1990) 等人。

一般傳統對技術變動的估計方法較偏重於圖1 中的右半部，係從生產面估測技術變動率，而本研究則嘗試以成本函數估測技術變動率，係著重於圖中左半部的研究與一般傳統研究有別。本研究所指技術變動率，則以總因素生產力變動率來表示。

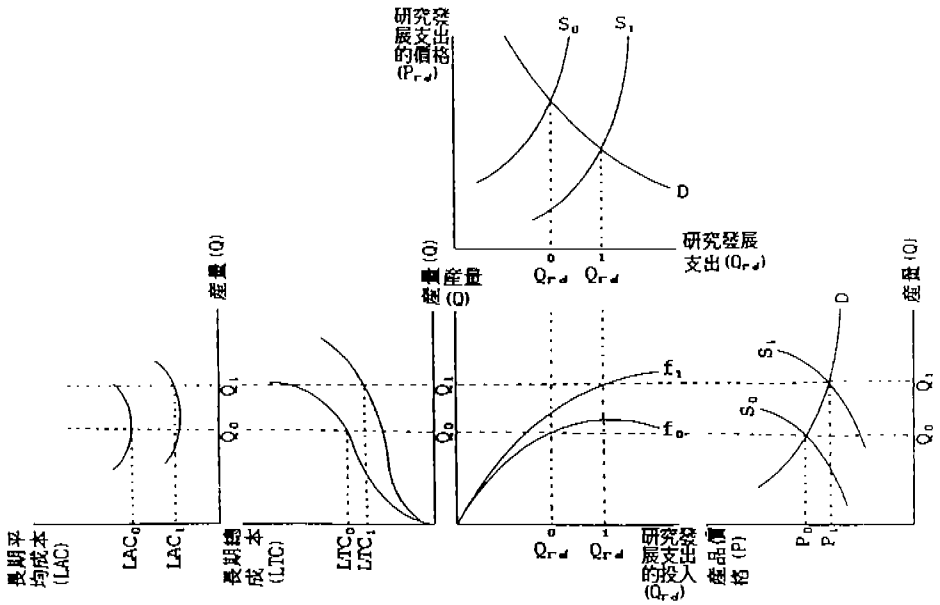


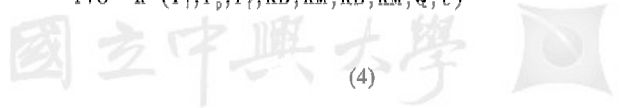
圖1 研究發展、技術變動與生產成本之關係

## 二、研究發展與技術變動率

已知農業生產函數與成本函數互為對偶，因此可得到下列關係式。

$$Q = F(L, P, F, KB, KM, KB, KM, t) \Leftrightarrow$$

$$TVC = R(P_1, P_0, P_r, KB, KM, KB, KM, Q, t) \dots \dots \dots (1)$$



- F : 單一產出的生產函數  
 R : F的對偶函數, 為受限制的成本函數  
 L : 勞動投入  
 P : 流動資本, 如農藥投入  
 F : 流動資本, 如肥料投入  
 $P_i$  : 為變動因素的投入價格,  $i=L, P, F$   
 KB : 農業建築物, 如農舍資本投入(準固定因素)  
 KM : 農業機械資本投入(準固定因素)  
 $\dot{K}B$  : 建築物存量變動  
 $\dot{K}M$  : 農業機械存量變動  
 Q : 毛產出  
 t : 時間趨勢, 代表技術狀態

研究發展與農業生產的關係可以C-D 函數型態表示為

$$Q = A F(K, L, M, \dot{K}, T) \dots\dots\dots(2)$$

$$T = G(TVC, OF) \dots\dots\dots(3)$$

$$TVC = \sum_i W_i P_i \dots\dots\dots(4)$$

- Q : 產出  
 A : 技術變動的移動係數  
 K : 資本投入  
 $\dot{K}$  : 資本存量(包含農業建築物(KB)與農業機械(KM))  
 L : 勞動  
 M : 中間投入(為農藥(P)與肥料投入(F))  
 T : 技術知識  
 TVC : 技術資本



OF：其他影響技術知識累積的因素

P<sub>i</sub>：R&D 的投資支出

W<sub>i</sub>：R&D 的支出佔產出的比例

具體的C-D 函數可表達為

$$Q(t) = A_0 \exp(\lambda t) \sum_{i=1}^4 X_i(t)^{\beta_i} T(t)^\alpha \dots\dots\dots(5)$$

$$X_1(t) = K(t)$$

$$X_2(t) = L(t)$$

$$X_3(t) = M(t)$$

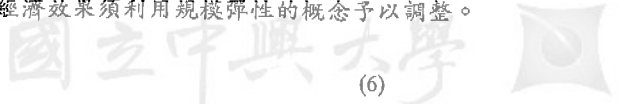
$$X_4(t) = K(t)$$

$\beta_i$  為  $i$  因素的產出彈性， $\exp(\lambda t)$  為技術變動以指數方式變動，而  $\alpha$  為 R&D 的產出彈性。

如前所述，生產函數與成本函數互為對偶，但是在動態時，由於Solow(1957) 認為總因素生產力成長率即等於技術變動率的條件未必成立（註），因此以動態方式衡量技術變動率，為了表現真實的技術變動率須考慮規模經濟的效果，如Ohta(1974)、Caves(1981)、Morrison(1986)等人。而 Morrison 即利用規模彈性對成本下降率作一調整，以求得真實的動態技術變動率，此一技術變動率可視為生產面總因素生產力的成長率。

---

註：Solow 認為總因素生產力成長率要等於技術變動率須符合各項嚴格假設條件  
 (1) 生產技術為固定規模報酬型態，(2) 產出及投入因素市場均為完全競爭，  
 (3) 生產者處於長期均衡狀態，所有投入均在一期內完全調整到成本極小狀態，  
 (4) 在生產或分配階段均沒有發生無效率的現象。因此，在完全靜態時，總因素生產力率一定會等於技術變動率，但在動態時，由於生產要素的規模經濟效果須利用規模彈性的概念予以調整。



本研究亦以規模彈性對技術變動率作一調整，而得到與生產面的總因素生產生產力成長率(TFP)相同的技術變動率。

已知總因素生產力 (TFP)為產出與投入之間比例的關係，因此總因素生產力可表示為

$$TFP = Q(t) / \prod_{i=1}^4 X_i(t)^{\beta_i} \dots\dots\dots (6)$$

為求算總因素生產力(TFP)的變動率，可由式(5)代入式(6)得

$$TFP = \frac{A_0 \exp(\lambda t) \prod_{i=1}^4 X_i(t)^{\beta_i} T(t)^\alpha}{\prod_{i=1}^4 X_i(t)^{\beta_i}} \dots\dots\dots (7)$$

$$= A_0 \exp(\lambda t) T(t)^\alpha \dots\dots\dots (7)$$

對式(7)取對數

$$\log TFP(t) = \log A_0 + \alpha \log T(t) + \lambda t \dots\dots\dots (8)$$

式(8)再對時間微分，則

$$dTFP_t = \frac{\dot{TFP}}{TFP} = \alpha \frac{\dot{T}}{T} + \lambda \dots\dots\dots (9)$$

而  $\dot{T} = IR - \delta IR$ ， $IR$  為 R&D 的投資， $\delta$  為折舊率。因為研究發展的投資與一般資本投資性質迥異，因此 Griliches 與 Lichtenbery(1984) 將之設為零，



表示研究發展的投資不會發生折舊的現象。而  $\alpha = \left(\frac{\partial Q}{\partial T}\right)\left(\frac{T}{Q}\right)$  表示研究發展的投資對產出的貢獻。

$$\begin{aligned} \text{所以 } \frac{\dot{TFP}}{TFP} &= \rho \frac{\dot{T}}{Q} + \lambda + U \\ &= \rho \frac{IR}{Q} + \lambda + U \dots\dots\dots(10) \end{aligned}$$

式(10)等號左方即為總因素生產力成長率，一般可由 Divisa 指數計算得到或經由生產函數得到。本文為顧及技術變動動態性而由成本極小動態模型得到技術變動率，經由規模彈性的調整可得到技術變動率的估計值。等號右方的 IR/Q即為投資密度以每一單位產出中，研究發展所佔比例為代表，而  $\rho$  為研究發展對技術變動的貢獻係數， $\lambda$  為截矩項，U 為殘差項。由式(10)可反映出研究發展支出對技術變動率的貢獻。技術變動率的衡量可透過成本極小化技術變動模型來推估。

### 三、技術變動與成本函數

首先建立包含內部與外部調整成本的總成本函數，利用 Shephard lemma 得到變動要素與準固定要素存量需求方程式，然後由受限制變動成本函數對時間微分，估計出技術變動率，最後利用規模彈性的調整得到真實的技術變動率。

假設農民追求成本的現值極小化，則總成本為短期變動成本，準固定成本與調整成本之和(Lee, 1991)，其數學表達式為：

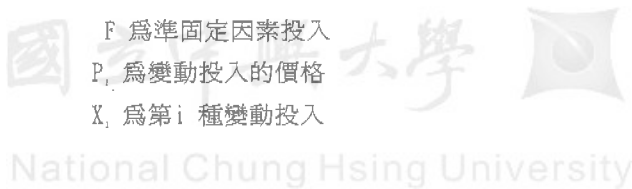
$$TC = \sum_{i \in V} P_i X_i + \sum_{j \in F_1} P_j X_j + \sum_{j \in F_1} h(\dot{X}_j) \dots\dots\dots(11)$$

V 為變動投入

F 為準固定因素投入

$P_i$  為變動投入的價格

$X_i$  為第 i 種變動投入





$h(\dot{X}_j)$  為外部調整成本

將受限制成本函數定義為變動成本加內部調整成本。

$$\sum_{j \in v} P_j X_j = R(P_i, X_i, \dot{X}_j, Q, t) \dots \dots \dots (12)$$

經由式(11)與式(12)可重新整理總成本函數TC

$$TC = R(P_i, X_i, \dot{X}_j, Q, t) + \sum_{j \in f} P_j X_j + \sum h(\dot{X}_j) \dots \dots \dots (13)$$

在方便實證, 將連續時間變數視成離散的變數, 因此有兩個假設條件:

- (1)  $K \approx \Delta K \approx K_t - K_{t-1}$
- (2) 第t期的產出 $Q_t$ 是由第t-1期所購置 $K_{t-1}$ 的資本所生產或是第t期期初的資本所生產。

為表現成本函數先遞減後遞增的特性, 將包含內部調整成本的受限制成本函數設為二次函數式, 則得

$$R(P_i, X_i, \dot{X}_j, Q, t) = \alpha_0 + \alpha' Z + 1/2 Z' \beta Z \dots \dots \dots (14)$$

$Z' = [P_i, X_i, \dot{X}_j, Q, t]$  為  $(n+2m+2x+1)$  個外生變數向量  
 $\alpha' = [\alpha_i]$  為  $(n+2m+2x+1)$  個一階係數向量  
 $\beta = [\beta_{ij}]$  為  $(n+2m+2x+2)$  個二階係數矩陣

外部調整成本為表現遞增的特性亦為二次式



$$h(\dot{X}) = \sum_{j \in F_i} h(\dot{X}_j) = \sum_{j \in F_i} 1/2 r_{jj}(\dot{X}_j)^2, \quad r_{jj} > 0 \quad \dots\dots\dots(15)$$

爲了減少所估計的係數數目，必須附加一些限制條件。

限制條件1：對稱性條件，爲滿足成本極小的必要條件

限制條件2：投入因素的價格爲一階齊次函數

限制條件3：固定規模報酬

式(14)之變動成本(VC)可再具體表示如式(16)所示：

$$\begin{aligned} R \equiv VC &\equiv \sum_{i \in v} P_i X_i = P_L L + P_p P + P_f F \\ &= R(P_L, P_p, P_f, KB, KM, \Delta KB, \Delta KM, Q, t) \\ &= \alpha_0 + \alpha' Z + 1/2 Z' \beta Z \quad \dots\dots\dots(16) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{而 } Z' &= [P_L, P_p, P_f, KB, KM, \Delta KB, \Delta KM, Q, t] \\ \alpha' &= [\alpha_i], \quad i = [L, P, F, KB, KM, \Delta KB, \Delta KM, Q, t] \\ \beta &= [\beta_{ij}], \quad ij = [L, P, F, KB, KM, \Delta KB, \Delta KM, Q, t] \end{aligned}$$

受限制的成本函數如式(14)，可再分解成包含準固定要素及其存量的成本函數( $\tilde{r}$ )與不包含準固定要素存量的受限制成本函數( $R$ )，如式(17)所示。

$$\tilde{r} = \tilde{R}(P_i, X_j, Q, t) + r(P_i, X_j, X_j, Q, t) \quad \dots\dots\dots(17)$$

式中 $\tilde{R}$ 爲受限制成本函數，而 $r$ 則是包含 $X_j$ 及 $X_j$ 的內部調整成本。

而 $r$ 一項根據式(16)變動成本變數之間的關係可再具體表示爲式(18)。

$$r(Z) = \sum_{i=bm} r_i(Z) = \sum_{i=bm} [r_1(\Delta K_i) + r_2(Z_i) \cdot \Delta K_i] \quad \dots\dots\dots(18)$$

$$Z = [Z_i, \Delta K_i]$$

$$Z_i = [P_L, P_p, P_f, K_b, K_m, \Delta K_i, Q, t], \quad i \neq j$$

如果  $r_1$  與  $r_2$  以係數方式表示則

$$r_1(\Delta K) = \frac{1}{2} \beta_{\Delta k, \Delta k_i} (\Delta K_i)^2 \dots\dots\dots (19)$$

$$r_2(Z_i) = \alpha_{\Delta k_i} + \beta_{i\Delta k_i} P_i + \beta_{p\Delta k_i} P_p + \beta_{r\Delta k_i} P_f + \beta_{r\Delta k_i} Q + \beta_{k\Delta k_i} KM + \beta_{kb\Delta k_i} KB + \beta_{\Delta k_i t} t + \beta_{\Delta k_i \Delta k_j} \Delta K_j \dots\dots\dots (20)$$

i = B, M

$r_1(\Delta K_i)$  表準固定性要素存量單獨變動所引起的內部調整成本，而  $r_2(Z_i) \Delta K_i$  則表準固定性要素變動與其他投入要素共同所形成的內部調整成本，如果假設準固定要素存量不變 ( $\Delta K_i = 0$ ) 則  $r_2(Z_i)$  一項也等於零，但  $r_1(\Delta K_i)$  要等於零則必須進一步假設在靜態時邊際調整成本也為零，因此，內部調整成本不僅可以完全從受限制成本函數中分離出來，而且也減少了所需估計係數的數目。

(一) 因素需求函數

為了衡量技術變動率，因此必須估計準固定要素存量需求函數，再經由薛佛定理 (Shephard lemma) 對因素價格作偏導數，可得到變動要素 (農藥、肥料、勞動) 的需求函數，而準固定要素存量需求函數則經由準固定要素調整係數與最適資本存量共同得到。五個需求函數 (農藥、肥料、勞動、農業機械、農業建築物) 係聯立求解，因此可先建立變動要素的需求函數。

1. 農藥需求函數：

$$\partial R / \partial P_p = P = \alpha_p + \beta_{pt} t + \beta_{pp} P_p + \beta_{pr} P_f + \beta_{pr} P_i + \beta_{pq} Q + \beta_{pkb} KB + \beta_{pka} KM + \beta_{p\Delta kb} \Delta KB + \beta_{p\Delta ka} \Delta KM \dots\dots\dots (21)$$

2. 肥料需求函數：

$$\partial R / \partial P_i = F$$

$$= \alpha_i + \beta_{it}t + \beta_{ip}P_p + \beta_{fi}P_i + \beta_{if}P_f + \beta_{iq}Q + \beta_{ikb}KB + \beta_{ikm}KM + \beta_{i\Delta kb}\Delta KB + \beta_{i\Delta km}\Delta KM \dots (22)$$

3. 勞動需求函數：

由式(16)，式(21)及式(22)之關係可得到勞動需求方程式，因為式中(16)變動成本為  $\sum_{i \in v} P_i X_i - (P_p P + P_f F) = R - (P_p P + P_f F) = P_i L$ ，所以勞動需求函數為：

$$P_i L = [R - (P_p P + P_f F)]$$

$$= [\alpha_i P_i + \beta_{it} P_i t + \beta_{iq} P_i Q + \sum_{j \in f_i} \beta_{ij} P_i j + \frac{1}{2} (\beta_{ii} P_i^2) + (\beta_{iq} Q_t + \alpha_o + \alpha_{it} + \alpha_{o_i}) + \sum_{j \in f_i} (\alpha_{ij} + \beta_{ijt} + \beta_{qj} Q_j) + \sum_{ij \in f} (\beta_{ij} ij) + \frac{1}{2} \sum_{j \in f_i} (\beta_{ij} (j)^2) + (\frac{1}{2} (\beta_{qq} Q^2 + \beta_{tt} t^2) - \frac{1}{2} (\beta_{pp} P_p^2 + 2\beta_{pf} P_p P_f + \beta_{ff} P_f^2))]$$

$$f_i = [KB, KM, \Delta KB, \Delta KM] \dots (23)$$

$$f = [KB, KM]$$

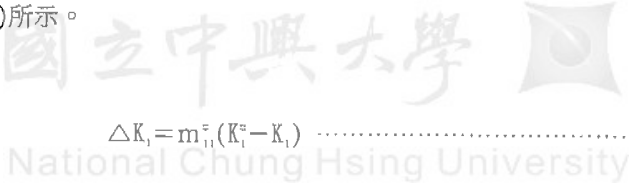
式(23)為勞動需求函數，係利用變動成本減農藥與肥料支出而得，如此處理可將式(21)、式(22)與式(23)直接取代式(16)、式(21)、式(22)之推估。

4. 準固定要素需求函數

為建立準固定要素需求函數，首先根據準固定要素存量係由最適資本存量與實際資本存量之差，乘以調整係數而得的觀念。

首先建立調整係數，已知準固定要素需求存量與最適資本存量二者之關係如式(24)所示。

$$\Delta K_i = m_{ii}^c (K_i^c - K_i) \dots (24)$$



根據動態最適理論，包含兩個準固定要素的資本調整係數型態為式(25)所示  
(註)

$$m_{ii}^c = -\frac{1}{2} \left\{ r - \left[ r^2 + 4 \times \frac{\tilde{R}X_i \dot{X}_i + r g X_i \dot{X}_i}{g X_i \dot{X}_i + h X_i \ddot{X}_i} \right] \right\} \frac{1}{2} \dots\dots\dots(25)$$

其中  $\tilde{R}X_i \dot{X}_i = \beta_{ki} K_i \dot{K}_i$

$$g X_i \dot{X}_i = r_1 \dot{X}_i \dot{X}_i = \beta_{\Delta ki \Delta ki}$$

$$g X_i \dot{X}_i = r_2 \dot{X}_i \dot{X}_i = \beta_{ki \Delta ki}$$

$$h X_i \ddot{X}_i = r_{\Delta ki \Delta ki} \quad i = KB, KM$$

因此式(25)可再表示成式(26)之型態

$$m_{ii}^c = -\frac{1}{2} \left\{ r - \left[ r^2 + 4 \frac{\beta_{kik_i} + r \beta_{ki \Delta ki}}{\beta_{\Delta ki \Delta ki} + r_{\Delta ki \Delta ki}} \right] \right\} \frac{1}{2} \dots\dots\dots(26)$$

而最適資本存量則為式(27)所示。

$$K_i^c = \left( \frac{-1}{\beta_{kik_i} + r \beta_{ki \Delta ki}} \right) \left[ (\alpha_{ki} + \beta_{ki} k_i P_i + \beta_{f_i} P_f + \beta_{q_i} Q + \beta_{kt} t + P_{ki}) + r (\alpha_{\Delta ki} + \beta_{i \Delta ki} P_i + \beta_{p \Delta ki} P_p + \beta_{f \Delta ki} P_f + \beta_{q \Delta ki} Q + \beta_{\Delta ki} t + \beta_{kj \Delta ki} K_j) \right] \dots\dots\dots(27)$$

註：參考李朝賢，民國82年，第44至45頁之有關調整係數的求解過程。

為減少推估係數的數目，對式(27)宜加限制條件

限制條件 1：Treadway(1974)指出，某一特定準固定要素存貨 $K_i$ 的變動與另一個準固定要素的邊際調整成本無關，亦即式(27)中的 $\beta_{k_i\Delta k_i}$ 與 $\beta_{k_j\Delta k_j}$ 之值均等於零。

限制條件 2：假設在短期變動成本函數中，準固定要素存量的變動與產量(Q)無關，表示對產量的預期行為為靜態。因此式(27)中的 $\beta_{q\Delta k_j} = \beta_{q\Delta k_i} = 0$ ， $j = Kb, Km$ 。

限制條件 3：為了將內部調整成本從受限制成本函數中分離出來，可假設在靜態時，準固定要素的邊際調整成本為零。則式(27)中所有與準固定要素存量有關的變數係數值均為零。亦即 $\alpha_{\Delta k_i} = \beta_{l\Delta k_i} = \beta_{p\Delta k_i} = \beta_{f\Delta k_i} = \beta_{q\Delta k_i} = \beta_{kb\Delta k_i} = \beta_{km\Delta k_i} = \beta_{\Delta k_{it}} = 0$

經由以上限制條件的設定，可以簡化推估準固定要素存量函數的困難，同時也使最適資本存量的推估更便利。因此由式(26)與式(27)可推估出準固定要素存量函數。

$$\Delta K_i = m_{ii}^{\infty}(K_i^2 - K_i) = -\frac{1}{2} \left\{ r - [r^2 + 4 \frac{\beta_{k_{ik_i}} + r \beta_{k_i\Delta k_i}}{\beta_{\Delta k_i\Delta k_i} + r \beta_{\Delta k_{ik_i}}}] \right\} \times$$

$$\left( \frac{-1}{\beta_{k_{ik_i}} + r \beta_{k_i\Delta k_i}} \right) [ \alpha K_i + \beta_{l_{ik_i}} P_l + \beta_{p_{ik_i}} P_p + \beta_{f_{ik_i}} P_f + \beta_{q_{ik_i}} Q + \beta_{k_{it}} t +$$

$$P_{k_i} + r ( \alpha_{\Delta k_i} + \beta_{l_{\Delta k_i}} P_l + \beta_{p_{\Delta k_i}} P_p + \beta_{f_{\Delta k_i}} P_f ) - K_i ]$$

i = B, M ..... (28)

式(21)至式(28)為完整的因素需求函數。整個因素需求體系的估計係利用三階段最小平方法與最大可能概似估計法達成。因本研究需以規模彈性作為調整係數，對技術變動率作一調整。因此準固定投入存量需求函數是求得規模彈性的關鍵函數，在實證時必須推估；但其他變動因素需求函數，雖與準固定要素投入為聯立方程式，但實證時則不作分析。

## (二) 技術變動率的衡量

依Morrison(1986)的研究，如欲獲得真實的技術變動率，首應放寬固定規模

的假設，再以規模彈性來調整技術變動率。然而所考慮的規模彈性係由包含內部調整成本的短期成本函數得到，如此，以規模彈性對已獲得的技術變動率作一調整，將可得到真實的技術變動率。

首先對式(16)對時間  $t$  微分，得

$$\frac{\partial R}{\partial t} = \alpha t + \sum_{i=1}^n \beta_{it} P_i + \sum_{k=kmkb} \beta_{kt} K + \sum_{l=labla} \beta_{lt} L + \beta_{qt} Q + \beta_{ut} t \dots\dots\dots(29)$$

而  $(-\partial R / \partial t) / R$  亦即以成本變動率作為技術變動率的表示方法。式中的時間係數  $\beta_{it}$  即是一般傳統的技術變動率或總因素生產力成長率。

根據Morrison(1986)的研究，變動成本的規模彈性  $\epsilon_{RQ}$  與總成本函數的規模彈性  $\epsilon_{CQ}$ ，在長期固定規模報酬與發生內部調整成本的假設條件下，受限制成本函數規模彈性  $\epsilon_{RQ}$  可表示為：

$$\epsilon_{RQ} = 1 - \sum_i \left[ \frac{K_i}{R} \cdot \frac{\partial R}{\partial K_i} + \frac{\Delta K_i}{R} \cdot \frac{\partial R}{\partial \Delta K_i} \right]$$

$$\frac{\partial R}{\partial K_i} = \alpha K_i + \sum_{j \in i} \beta_j K_{ij}, \quad i=M, B \dots\dots\dots(30)$$

$$\frac{\partial R}{\partial \Delta K_i} = \alpha \Delta K_i + \sum_{j \in i} \beta_j \Delta K_{ij}, \quad i=M, B$$

在內部調整成本與短暫均衡存在的前題下，短期總成本函數可表示成  $C(\cdot) = R(\cdot) + \sum \mu X_j X_j$ ，而  $\mu X_j$  是準固定要素  $X_j$  的影子價格，即  $\mu X_j = P_j$ ，因此  $\epsilon_{CQ}$  可簡化成式(31)。

$$\epsilon_{CQ} = 1 - \sum_{j \in f_1} (\epsilon_{CX_j} + \epsilon_{CX_j})$$



$$\begin{aligned}
 &= 1 - \frac{R}{C} [1 - \tilde{\epsilon} RQ] - \sum_{j \in f_1} \frac{P_j X_j}{C} \\
 &= \frac{C - \sum P_j X_j}{C} - \frac{R}{C} [1 - \tilde{R}Q] \\
 &= \frac{R}{C} \tilde{\beta} RQ \dots \dots \dots (31)
 \end{aligned}$$

由式(31)可知受限制變動成本規模彈性(  $\tilde{\epsilon} RQ$ )與短期總成本規模彈性的關係。根據 Morrison 的研究，將成本函數的移動率除以規模彈性便可表現出真實的技術變動率，因此調整後的技術變動率如式 (32)所示。

$$(-\partial \ln C / \partial t) / \tilde{\epsilon} CQ = \frac{\dot{C}}{C} \dots \dots \dots (32)$$

式 (32) 即是以短期總成本規模彈性  $\tilde{\epsilon} CQ$  對總成本下移比率(  $-\partial \ln C / \partial t$ ) 作一修正。此一調整代表包含內部及外部調整成本的總因素生產力成長率或技術變動率。同時也放寬傳統固定規模報酬的假設條件，最後將調整後的技術變動率

( $\frac{\dot{C}}{C}$ )代入式(10)，則可衡量出研究發展對技術變動率的貢獻。

#### 四、研究發展對技術變動率貢獻的衡量

將 (32)式的真實技術變動( $\frac{\dot{C}}{C}$ )代入式(10)，取代總因素生產力成長率如式 (33)：



$$\left(\frac{\dot{C}}{C}\right) = \rho \frac{IR}{Q} + \lambda + U \dots\dots\dots(33)$$

由式(33)可知, 技術變動率是研究發展支出投資密度( $\frac{IR}{Q}$ )的函數, 因此對式

(33)取雙對數如式(34)所示:

$$\ln\left(\frac{\dot{C}}{C}\right) = \rho \ln\left(\frac{IR}{Q}\right) + \ln \lambda \dots\dots\dots(34)$$

式(34)中的  $\ln \lambda$  為截距項。

因此根據式(34)中的  $\rho$  係數值, 可獲得研究發展支出對技術變動率的貢獻程度。

### 參、研究發展與技術變動的實證分析

本研究的資料來源已如前述, 研究期間則為民國41~71年, 傳統投入要素的量資料除勞動之外均以產值佔投入比例為權數再乘以價格指數而得。準固定要素(農機與農業建築物)的量資料以流量表示, 而其價格以產值佔固定資本比例為權數再乘以資本報酬而得。內部調整成本以資本使用成本的概念表示, 而外部調整成本則以準固定要素價格指數變動量為表示。

經由上述理論模型建立與資料處理之後, 以最大可能概似法及三階段最小平方法估計成本函數及因素需求體系。根據式(11)的說明, 總成本可分解成變動成本, 準固定成本與外部調整成本; 而外部調整成本係因為變動準固定要素(農業機械與農業建築物)存量所導致。因此可將欲推估的成本函數分成三類: 第一類僅包含內部調整成本的成本函數, 第二類僅包含外部調整成本的成本函數, 第三類則同時包含內、外部調整成本的成本函數。第三類成本函數是本研究用以調整技術變動率的依據。表1 係三種不同成本函數的推估結果, 由表中資料可知, 這三種函數均符合前一節的限制條件, 包含內、外部調整成本的成本函數中準固定

要素的調整成本係數值均大於零，隱含準固定要素的邊際調整成本為正數。由式(21)至式(28)為完整因素需求聯立方程式，以三階段最小平方法推估，其中式(21)、式(22)與式(23)為變動要素的需求函數，其推估為聯立需求模型所不可避免，但實證結果則不予列出分析。

農業機械存量需求函數的推估結果如表 2 所示，觀察表得知  $\beta_{lm} > 0$  此表示農機與勞動為替代關係， $\beta_{fn} < 0$  與  $\beta_{pn} < 0$ ，表示農機與肥料和農藥為互補關係。此結果顯示在農業勞動人口不斷外移與勞動人口素質不佳的情況下，增加農業機械的投入，可防止農業生產力的下降。另外，增施肥料與農藥的中間投入也可增加農機對生產力的貢獻。

農業建築物存量需求函數推估結果如表 3 所示，其中價格係數( $P_{lb}$ )小於零，符合需要理論。由式(26)與式(27)可分別推估出準固定要素調整係數與最適的準固定資本存量，其結果如表 4 與表 5 所示。

表1 包含調整成本的成本函數型態

分類 變數	僅包含內部調整成本		僅包含外部調整成本		包含內外部調整成本	
	係數	T 值	係數	T 值	係數	T 值
$\alpha_d$	-0.45	-0.14	-0.51	-2.17	-0.51	-2.17
$\alpha_p$	0.61	0.15	0.12	0.15	0.15	1.12
$\alpha_f$	0.53	0.22	0.50	0.21	1.42	0.41
$\alpha_{kb}$	0.03	1.56	-0.019	-1.46	-1.18	-0.023
$\alpha_{km}$	1.34	0.18	1.30	1.13	2.11	0.017
$\alpha_t$	-0.15	-1.52	-0.19	-1.32	-0.13	-1.95
$\beta_{pp}$	0.63	1.96	0.72	1.63	0.92	2.21
$\beta_{pf}$	3.88	0.12	0.81	0.10	1.24	0.02
$\beta_{pkb}$	0.98	0.13	0.98	0.13	0.58	0.077
$\beta_{pkm}$	1.12	0.62	1.21	0.07	1.99	1.02
$\beta_{pt}$	0.95	1.23	1.21	0.79	1.01	0.005
$\beta_{ff}$	-27.76	-0.31	-27.32	-0.30	-22.37	-1.50
$\beta_{fkb}$	-0.11	-0.22	-0.14	-0.23	-0.12	-0.13
$\beta_{fkm}$	-0.15	-0.19	-0.15	-0.17	-0.09	-0.61
$\beta_{ft}$	-0.18	-0.24	-0.18	-0.22	-0.29	-0.99
$\beta_{kbb}$	0.54	0.79	0.55	0.76	0.13	1.13
$\beta_{kkm}$	0.13	0.12	0.13	0.13	0.25	0.77
$\beta_{\Delta Kb\Delta Kb}$	0.18	0.09	—	—	-0.17	-0.07
$\beta_{\Delta Km\Delta Km}$	0.19	0.08	—	—	-0.14	-0.06
$\gamma_{\Delta Kb\Delta Kb}$	—	—	0.61	1.21	0.68	1.43
$\gamma_{\Delta Km\Delta Km}$	—	—	7.19	0.8	8.14	1.22
$\beta_{kbt}$	-0.0045	-0.0032	-0.0043	-0.0028	-0.0033	-0.0018
$\beta_{kmt}$	-0.0043	-0.018	-0.0042	-0.016	-0.0014	-0.0142
$\beta_{tt}$	0.0023	0.0014	0.0025	0.0014	0.00121	0.002
	logL=472.12		logL=418.29		logL=349.87	

National Chung Hsing University

表5 係最適資本存量以及與實際資本存量的比較。由表可知，歷年實際的資本存量均不及最適資本存量，但是歷年農業建築物與最適存量的差距均較農業機械的差距為少，而且自民國56年以後，農業機械與最適存量的差距日益擴大，顯示農業機械的投資有過剩現象，而且過剩現象有逐漸擴大的跡象。

表2 農業機械存量需求函數

變數	係數	T值
$\alpha_{km}$	-21992.00	-2.07
$\beta_{lkm}$	54.32	1.59
$\beta_{pkm}$	-783.71	-1.78
$\beta_{rkm}$	-84.84	-1.47
$\beta_{qkm}$	504.85	2.19
$\beta_{kmt}$	4.49	1.59
$P_{km}$	-4.49	-1.59
$\bar{R}^2=0.64$		D.W.=1.95

表3 農業建築物存量需求函數

變數	係數	T值
$\alpha_{km}$	-13803.21	-1.34
$\beta_{lkm}$	-54.13	-1.62
$\beta_{pkm}$	-2029.78	-1.91
$\beta_{rkm}$	631.67	1.51
$\beta_{qkm}$	-15.81	-0.38
$\beta_{kmt}$	293.76	1.33
$P_{km}$	-8.08	-0.54
$\bar{R}^2=0.62$		D.W.=1.4

表4 準固定要素調整係數

年	度	農業建築物調整係數	農業機械調整係數
41		0.51	0.61
42		0.49	0.56
43		0.49	0.55
44		0.48	0.53
45		0.47	0.51
46		0.46	0.48
47		0.46	0.48
48		0.46	0.47
49		0.45	0.46
50		0.45	0.45
51		0.45	0.45
52		0.44	0.43
53		0.43	0.41
54		0.43	0.40
55		0.42	0.40
56		0.40	0.36
57		0.40	0.36
58		0.38	0.32
59		0.64	0.12
60		0.64	0.12
61		0.64	0.12
62		0.64	0.12
63		0.63	0.11
64		0.63	0.12
65		0.64	0.12
66		0.64	0.12
67		0.64	0.12
68		0.63	0.11
69		0.62	0.11
70		0.62	0.11
71		0.64	0.12

表5 最適資本存量與實際資本存量

單位：新台幣百萬元

年 度	農 業 機 械 存 量	最 適 農 業 機 械 存 量	農 業 建 築 物 存 量	最 適 農 業 建 築 物 存 量
41	1043	936	3867	3028
42	1062	961	4273	4399
43	1136	995	4272	4439
44	1209	1005	4113	4425
45	1232	1088	4400	4374
46	1376	1165	4726	4913
47	1400	1261	4725	5581
48	1601	1404	4551	4547
49	1632	1482	4552	4800
50	1975	1612	4585	4703
51	2033	1734	4554	5540
52	2156	1845	4140	4513
53	2320	1930	4519	4827
54	2373	2020	4593	5085
55	2824	2068	5185	5647
56	3471	2237	5635	5934
57	3689	2362	5986	6279
58	3411	2468	5931	6407
59	3510	2525	5862	6664
60	4191	2776	6054	6704
61	4498	2894	6652	6745
62	5298	3090	6743	6970
63	6425	3359	5769	7026
64	6856	3764	7508	8022
65	7315	4268	7682	8145
66	7703	5301	7778	8161
67	8930	6286	8787	8920
68	8943	7290	8258	8488
69	9943	8832	7840	8249
70	13287	9094	8199	8522
71	13860	9692	8724	9168

由上述各表可得到完整因素需求體系的估計狀況，根據因素需求估計結果與式(27)之關係可衡量出技術變動率，其衡量結果如表6 所示。

表6 技術變動率的衡量

變數	係數	T 值
$\alpha_t$	7.15	1.81
$\beta_{lt}$	-0.01	-0.98
$\beta_{pt}$	0.47	1.12
$\beta_{it}$	0.07	0.42
$\beta_{kbt}$	0.91	1.91
$\beta_{knt}$	0.78	0.26
$\beta_{\Delta kbt}$	0.73	2.41
$\beta_{\Delta knt}$	0.16	0.25
$\beta_{qt}$	0.36	1.78
$\beta_{ut}$	-0.15	-1.73
$\bar{R}^2 = 0.38$		D.W. = 2.54

值得注意的是技術變動率的估計中，各解釋變數包含變動要素的價格( $P_L, P_P, P_I$ )、農業機械與建築物存量(KM, KB)與其存量變動率( $\Delta KM, \Delta KB$ )對技術變動率的解釋能力僅有38%，另外62%則歸於殘差項，亦即在這一個技術變動率的估計中遺漏了一項重要的影響因素，也就是非傳統性的投入因素—研究與發展的因素，因此應進一步分析研究發展對技術變動率的貢獻程度。

經由式(32)的衡量需對傳統的固定規模報酬的假設作一修正，此一修正可表現出與技術變動在生產面的相同衡量效果，其結果如表7所示。

表7 調整前後技術變動率

年 度	調 整 前 技 術 變 動 率	規 模 彈 性	調 整 後 技 術 變 動 率
41	-190	0.98	-1.94
42	-183	0.94	-1.94
43	-185	0.85	-2.16
44	-168	0.91	-1.83
45	-167	0.78	-2.14
46	-193	0.75	-2.56
47	-2.16	0.76	-2.83
48	-1.81	0.80	-2.26
49	-1.37	0.83	-1.64
50	-1.98	0.89	-2.22
51	-1.14	0.88	-1.30
52	-1.86	0.78	-2.38
53	-1.35	0.77	-1.75
54	-1.68	0.85	-1.76
55	-2.17	0.83	-2.61
56	-2.12	0.90	-2.36
57	-2.11	0.96	-2.46
58	-2.12	0.78	-2.72
59	-1.59	0.82	-1.93
60	-1.10	0.83	-1.31
61	-1.22	0.91	-1.34
62	-1.32	0.93	-1.42
63	-1.23	0.84	-1.46
64	-1.33	0.85	-1.56
65	-2.05	0.90	-2.27
66	-1.52	0.86	-1.76
67	-1.61	0.75	-2.13
68	-1.71	0.81	-2.11
69	-2.16	0.83	-2.59
70	-2.00	0.85	-2.33
71	-1.61	0.90	-1.79



最後對技術變動的未被解釋部份作一分析。研究發展投入對產出具有重大影響，因此在分析技術變動的來源時，應該考慮研究發展的影響。最後將表7 調整的技術變動率代入式(10)，並作雙對數微分以顯示研究發展對技術變動的貢獻程度，其估計結果如表8 所示。

表8 研究發展對技術變動之貢獻，民國41-71年

	係 數	T 值	$\bar{R}^2$	D.W.
截 距 項	-1.20	-2.18	0.42	1.51
研究發展	0.035	1.28		

民國41至71年研究發展對技術貢獻的衡量，其結果如表8 所示，其中研究發展對技術變動率的貢獻程度，係數為 0.035，表示每一元產出的研究發展支出增加1%時，技術變動率增加為0.035%。換言之，研究發展支出每增加一元，則農業生產成本可下降0.035元。

## 肆、結論

經由研究發展與技術變動理論模型的建立與實證可得到下列重要結論：

1. 本研究係以成本極小化的動態模型來估計技術變動率，此種方法有別於以往從生產函數估測技術變動率的方法。同時於模型中不僅考慮到因素內部與外部調整成本及因素準固定性，更放寬傳統對固定規模報酬的假設，而以規模彈性對技術變動率作一調整，使得估計結果能反映出技術變動的動態性，如此更能反映出研究發展對技術變動的效果。
2. 以包含內部與外部調整成本型態之成本函數的推估，結果均符合成本函數的各項限制條件，且成本函數中準固定要素的調整成本係數值均大於零，表示

農業機械與農業建築物準固定要素有正的邊際調整成本。準固定要素農業機械與農藥、肥料均為互補關係，與勞動卻是替代關係。此顯示流動資本與固定資本彼此之間大多為互補關係，與勞動則為替代關係，亦即當勞動相對價格較高時，農產品的增加可經由多投入資本要素達成。農業機械與農業建築物存量的調整係數均小於1，符合經濟理論。農業建築物與最適存量的差距較農業機械的差距為小。農業機械與最適存量的差距有日益擴大跡象，顯示農業機械的投資有過剩現象，而且過剩現象有逐漸擴大傾向。

3. 經由技術變動率的衡量，各投入要素對技術變動率的解釋程度因遺漏研究與發展要素而呈偏低現象，其解釋能僅有 38%。經由規模彈性的調整，已表現出技術變動率的動態特性，而且歷年的技術變動率經調整後均增加其變動幅度，擴大技術變動的效果。
4. 估測民國41-71 年研究發展對技術變動率的貢獻程度，其彈性值為 0.035，表示每一元產出的研究發展支出增加 1%，可使技術變動率增加0.035%，亦即研究發展支出每增加一元，則農業成本下降0.035元。

## 參考文獻

### 一、中文部分

1. 史濟增、傅祖壇、陳建宏，「台灣戰後農業知識投資報酬率之研究」，中研院經濟所，經濟論文，第18卷第2期，民國79年 9月。
2. 李朝賢，台灣農場動態投資行為之研究－最適控制方法之應用，興大農經所，民國82年。

### 二、英文部分

1. Berndt, E.R., M. Fuss, and L. Waverman, "A Dynamic Model of Costs of Adjustment and Interrelated Factor Demands, with an Empirical Application to Energy Demand in U.S. Manufacturing," Discussion Paper 79-30, Univ. of British Columbia, 1979.

2. Caves, D.W., L.R. Christensen, and J.A. Swanson, "Technical Progress, Scale Economics, and Capacity Utilization in U.S. Railroads, 1955-1974", American Economic Review, Vol. 71, No.5, 1981, pp.994-1002.
3. Chandler, A.D., "Scale and Scope: The Dynamics of Industrial Capitalism", Belknap/Harvard University Press, Cambridge, 1990.
4. Diewert, W.E., "Applications of Duality Theory", in M. Zutiligator & D. Kendrick(Eds), Frontiers of Quantitative Economics Amsterdam: North-Holland(1974).
5. Griliches Evi, "Productivity, R&D, and Basic Research at the Firm Level in the 1970's", American Economic Review, 76(1), 1986, pp.141-154.
6. Lee, Jong-Kun, "Modeling and Measuring Technical Change and Productivity Growth", Ph.D Dissertation, University of Illinois, 1991.
7. Morrison, C.J., "Productivity Measurement with Non-Static Expectations and Varying Capacity Utilization: an Integrated Approach", Journal of Economics 33, pp.51-74, 1986.
8. Ohta, M., "A Note on the Duality between Production Function and Cost Functions: Rate of Return to Scale and Rate of Technical Progress", Economic Studies Quarterly, Vol.25, 1974, pp.63-65.
9. Pindyck, R.S. and Julio Rotemberg, "Dynamic Factor Demands and the Effects of Energy Price Shocks", American Economic Review, Vol.73, No.5, 1983, pp.1066-1079.
10. Shephard, R., "Cost and Production Functions", Prination, NJ: Princeton University Press, 1953.
11. Solow, Robert, M., "Technical Change and the Aggregate Production Function," Review of Economics and Statistics, 39, 1957, pp.312-320.
12. Treadway, A.B., "The Globally Optimal Flexible Accelerator", Journal of Economic Theory 7, 1974, pp.7-39.

## An Economic Analysis of R&D and Technological Change for Taiwan's Agriculture

*Chaur-Shyan Lee\*, Tai-Ying Chiu\**

### Summary

This research will attempt to measure the technological change by using the cost function. The empirical model is specified with a dynamic minimum cost function for measuring the technological change by considering the quasi-fixed factors effects and releasing the assumption of constant return to scale. The model is fitted to data for the input-output of agricultural sector in Taiwan for the years from 1952 to 1982. The main result is that the return rate of R&D on technological change is 0.035 which implying the intensity of R&D investment increasing 1% will make technological change by 0.035%, or the increasing one dollar of R&D investment in agricultural output will lead production cost declined by 0.035 dollar.

---

\* authors are professor and graduate student of Ph.D. respectively, Department of Agricultural Economics, National Chung Hsing University, Taiwan.