

# 台灣農業生物科技廠商創新效率 之分析

謝尚達\*、萬鍾汶\*\*、陸大榮\*\*\*

## 摘要

本研究旨在實證台灣農業生技廠商之創新效率與探討廠商規模對其影響。首先延伸探討生產效率的觀念為創新效率（innovation efficiency），以之作為分析科技型廠商競爭潛力之基礎，將創新的產出由廠商取得之專利與研發新產品衡量；而創新投入則是由研發經費投入與研發人力衡量，利用三階段資料包絡法（three-stage data envelopment analysis），以投入導向模式推估 2005 年農業生物科技產業調查之 52 家新設廠商的創新活動效率水準，藉此提供農生技產業訂定發展策略及政府調整政策之參考。

實證分析結果發現，我國新設的農業生技廠商創新效率為 0.816，表示廠商蘊藏相當高的競爭力，而影響農業生技廠商無效率的來源為廠商創新活動之規模過小，需擴大創新投入以從事更高層次之創新活動進而提高創新效率之表現。整體而言，具有以下環境因素之農業生技廠商創新效率較佳：（1）廠商型態為非獨立運作；（2）設廠年數越少者；（3）擅於發展網絡合作；（4）廠商資本小，而其中又以「網絡合作」為影響層面最廣之因素。

關鍵詞：農業生物科技、創新效率、三階段資料包絡法

JEL 分類代號：D24, L65, Q16

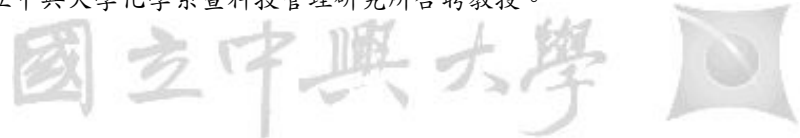
---

\* 國立中興大學應用經濟研究所碩士。

\*\* 國立中興大學應用經濟學系暨科技管理研究所合聘教授，本文聯繫作者。

電話：04-22850152，Email: [jwwann@nchu.edu.tw](mailto:jwwann@nchu.edu.tw)。

\*\*\* 國立中興大學化學系暨科技管理研究所合聘教授。



# 台灣農業生物科技廠商創新效率 之分析

謝尚達、萬鍾汶、陸大榮

## 壹、前言

「生物科技產業」被世界各國公認為二十一世紀的明星產業，亦為我國明訂重點開發之新興產業。我國以農立國，具備優良的農業技術能力，未來在農業生技市場的發展空間甚大。而現今產業的長期競爭力取決於廠商實質技術層次與產品開發的效能及速度，科技產業的發展與廠商的創新能力密切相關，創新對廠商的經濟活動的影響值得持續關切。因此本研究欲透過實證分析瞭解台灣農業生技廠商之創新能力及其效率。

以往有關農業生技之產業研究，大多選擇以上市、上櫃廠商作為研究標的，如邱永和等（2003）以隨機邊界法（stochastic frontier approach; SFA）之成本函數對 33 家上市廠商進行實證，實證結果顯示廠商的成本效率有逐年提升的現象，即廠商在投入產出過程中，逐年修正要素配置，以使生產要素之使用更有效率並進而增加產出；該文更認為研發支出為模型設定中必要考量之因素。顏晃平與張靜文（2004）針對 29 家上市、上櫃農業生技廠商進行實證，應用三階段資料包絡分析法（data envelopment analysis; DEA）估得廠商平均技術效率值為 0.91，且發明專利數對生產技術具效率有正面影響；萬鍾汶等（2006）以農業生物科技產業調查樣本中的 40 家新興農生技廠商，以隨機邊界生產函數實證估算出之平均生產效率值僅 0.385，但專利數愈多的廠商其效率水準較佳。前述之實證研究所獲的結果雖各不相同，但均指出創新活動是影響農業生技最終產出的重要因素。



本文專注於探討農生技業者之研發創新效率，擬經由實證瞭解當前農生技廠商之創新能力與影響創新研發的各項因素。本研究延伸既有的 Farrell (1957) 生產效率觀念來探討創新效率 (innovation efficiency) 的內涵，並深入分析科技型廠商競爭潛力之影響因素。實證研究採用 2005 年農生技廠商創新活動的調查資料，並應用三階段資料包絡法推估廠商創新活動之效率水準，據以研判提昇我國農生技廠商創新能力的方向，進而提供農生技產業及科技產業政策調整之參考。

創新效率之定義，在經濟學域中，效率 (efficiency) 被廣泛應用於實證廠商的生產表現。不過，傳統農業廠商為得到產出之最終利益 (如收益、利潤等)，須給予相關投入如資金、土地、勞動、設備等。然而農業生技的研發創新既非生產活動最初的投入亦非最終的產出，應將其視為中間要素，乃影響農業生產活動最終成果的關鍵因素。當廠商的創新產出相同時，效率高者相對所需的創新投入較少，此即可稱為創新效率，為一相對的概念，可免除以廠商數據資料做直接的評比，亦即具資源優勢而創新表現好者，代表其創新能力高。故本研究擬由傳統的生產效率 (production efficiency) (邱永和等，2003；顏晃平與張靜文，2004；萬鍾汶等，2006) 延伸為創新效率觀念，以作為分析農業生技廠商發展潛力之學理基礎。而實證上只要設定適當的創新產出 (innovation output) 及創新投入 (innovation input) 變數即可應用資料包絡法推估廠商層次創新活動之效率水準。

## 貳、研究方法—三階段資料包絡分析法

資料包絡分析法最早起源於 Farrell (1957) 以「非預設生產函數」觀念建立數學規劃方法推估效率值，得到所謂的效率前緣。以其單一產出的效率模式，發展為多投入與多產出模式，並建立一般化的數學模式，即所謂的 CCR 模式。而三階段 DEA 理論主要為 Fried et al., (2002) 所提出，用以表示技術效率值可能同時包含多種因素的影響，例



如環境因素 (environmental effects)、統計干擾 (statistical noise) 以及管理無效率 (managerial inefficiency)，傳統的 DEA 方法並無法將這些因素對效率值的影響效果分開估計，因此在分析過程中易會有偏誤產生，採用三階段 DEA 估計則可免除此類疑慮。而本研究採用三階段 DEA 方法推估之考量理由有二：一是各廠商創新活動的內涵未必相同，而 DEA 在推估創新效率時無須設定特定函數形態，可減少人為偏誤 (Hariolf, 1997)；另一則是 DEA 之推估結果可進一步用於計量經濟分析，以檢視影響創新之相關因素。以下為三階段 DEA 之計算操作步驟。

## 一、第一階段－以傳統方式計算 DEA 與投入差額之導出

本階段利用原始投入與產出變項，求算各決策單位 (decision making unit; DMU) 之技術效率值與總投入差額值 (total input slacks)。目前傳統的 DEA 法分為 CCR 模式與 BCC 模式，兩者最大的區別為 CCR 模式是在固定規模報酬 (constant returns scale; CRS) 的假設下計算技術效率 ( $TE^{CRS}$ )，其中技術效率指在現有技術下，有效運用生產要素所能獲得之最大產出。但因為並非所有組織皆在相同規模下運作，造成技術無效率的原因可能有部份是來自於規模不當，因此又衍生出 BCC 的估計方式。BCC 模式為在變動規模報酬 (variable returns scale; VRS) 的生產技術假設下估算技術效率 ( $TE^{VRS}$ )，並將技術效率分解成純粹技術效率 (pure technical efficiency; PTE) 與規模效率 (scale efficiency; SE) 二部分，分別代表造成技術無效率的原因包含來自於原本生產技術上影響的無效率及 DMU 未處於最適規模下所影響的無效率。

利用原始投入、產出關係，依 CCR 模式或 BCC 模式可求出各技術效率值與其射線差額變數 (radial slack variable) 及非射線差額變數 (non-radial slack variable)。射線差額變數與非射線差額變數之差別在於以射線方式估計僅能衡量部份效率值，因其忽略投入差額及產出超額 (output surplus) 之存在。在投入導向假設下，利用非射線差額變數計



算可求得差額變數 (slack variable)，代表發生無效率之決策單位。利用差額變數分析可以減少投入及產出可以增加之幅度，以便探討改善效率之方法。圖 1 可說明射線與非射線投入差額之概念，假定有四個不同的決策單位 (A、B、C 及 D)，使用二種投入 ( $X_1, X_2$ ) 生產單一產品 (Y)，其中  $\overline{A'ABB'}$  為  $Y=1$  的等產量線 (isoquant)，代表效率前緣線。在此邊界上進行之生產決策單位具有技術效率的，因此決策單位 A、B 的技術效率為 1，決策單位 C、D 的射線技術效率為  $OC^*/OC$ 、 $OD^*/OD$  介於 0 與 1 之間。

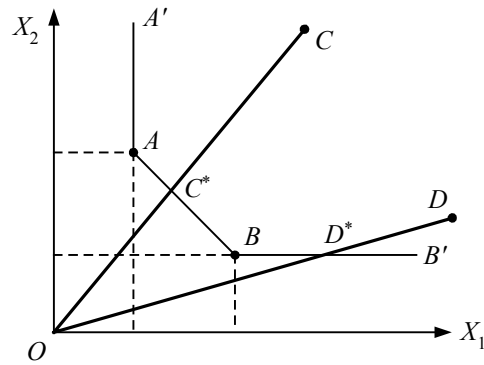


圖 1 射線與非射線投入差額之差異

決策單位可根據技術效率來調整要素投入量，以達有效率之生產目標，故將無技術效率值乘上各要素投入，則稱為射線差額 (radial slack)。以決策單位 D 為例，射線投入差額為  $(1 - TED) XD$ 。其中 TED 與 XD 為決策單位 C 的技術效率值與要素投入量。此外，使用線性規劃模型產生的效率邊界，可能具有不平滑的特性，亦即效率邊界平行於座標軸的情形，造成非射線差額變數，如  $D^*$  位於平行橫軸的效率邊界上，使得  $D^*$  與決策單位 B 有著相同的產出，但  $D^*$  點則使用更多的  $X_1$  投入量，所以  $BD^*$  部分則稱為非射線差額。由此可知，第一階段則可推估出總投入差額 (total input slack)，則為射線與非射線投入差額之加總，以作為第二階段分析之基礎。

## 二、第二階段－將第一階段產生之差額變數分解，並調整原投入項

若前述之 DEA 模型設定為投入導向模式，則環境因素、統計干擾以及管理無效率等三項因素為主要影響投入變數，進而會對產出造成影響。在此階段便可利用隨機生產邊界的成本邊界函數將此影響因素予以分解。其原因是被解釋變數之「投入差額值」為成本的概念，差額值愈大表示廠商使用的成本愈多。即以各項總投入差額值（ $s_{ni} = x^i - X\lambda \geq 0$ ）為被解釋變數， $t$  個環境變數  $z_i = (z_{i1}, \dots, z_{it})$  為解釋變數，可將模型表示為：

$$s_{ni} = f^n(z_i; \beta^n) + v_{ni} + u_{ni}, \quad n=1, \dots, N; \quad i=1, \dots, I \quad (1)$$

式中  $x^i$  代表  $i$  投入的實際投入值； $X$  是具效率之投入值； $\lambda$  則為效率值；總計有  $N$  家廠商、 $I$  種投入。其中  $f^n(z_i; \beta^n)$  為確定可能差額邊界 (deterministic feasible slack frontier)，所欲估計的環境因素參數向量為  $\beta^n$ ；殘差項為組合誤差 ( $v_{ni} + u_{ni}$ )，並假設  $v_{ni}$  與  $u_{ni}$  兩者為獨立不相關， $v_{ni} \sim N(0, \sigma_{vn}^2)$  為統計誤差； $u_{ni} \sim N^*(\mu^n, \sigma_{un}^2)$  代表管理無效率。

由第 (1) 式，經移項整理，可估算  $\hat{E}[v_{ni} | v_{ni} + u_{ni}]$  得第 (2) 式：

$$\hat{E}[v_{ni} | v_{ni} + u_{ni}] = s_{ni} - z_i \hat{\beta}^n - \hat{E}[u_{ni} | v_{ni} + u_{ni}], \quad n=1, \dots, N; \quad i=1, \dots, I \quad (2)$$

復根據 Fried 等 (2002) 之研究在第二階段採用之隨機成本邊界模型，依其所推估之 ( $\hat{\beta}^n, \hat{\mu}^n, \hat{\sigma}_{vn}^2, \hat{\sigma}_{un}^2$ )，再應用 Jondrow (1982) 所提出之截斷型常態模型 (truncated normal model) 可推估  $u_{ni}$  後而求得  $v_{ni}$ 。Jondrow 等之截斷型常態模型如第 (3) 式：



$$\hat{E}[u_{ni} | v_{ni} + u_{ni}] = \frac{\sigma\lambda}{(1+\lambda^2)} \times \left[ \frac{f\left(\frac{\varepsilon\lambda}{\sigma} + \frac{\mu}{\sigma\lambda}\right)}{1-F\left(\frac{\varepsilon\lambda}{\sigma} + \frac{\mu}{\sigma\lambda}\right)} - \left(\frac{\varepsilon\lambda}{\sigma} + \frac{\mu}{\sigma\lambda}\right) \right] \quad (3)$$

其中， $F$  代表標準常態分配之累積密度函數； $\lambda = \sigma_{vn}^2 / \sigma_{un}^2$ ， $\sigma^2 = \sigma_{vn}^2 + \sigma_{un}^2$ ， $\varepsilon = v - u$ 。因此， $\hat{E}[u_{ni} | v_{ni} + u_{ni}]$  的估計值是計算而得的。

接著利用 SFA 的結果調整投入項，以將所有不同環境下的廠商調整至相同的環境條件。通常以環境條件較差或運氣較不好的廠商為基準，對各投入量做調整，其方式如下：

$$x_{ni}^A = x_{ni} + [\max\{z_i \hat{\beta}^n\} - z_i \hat{\beta}^n] + [\max\{\hat{v}_{ni}\} - \hat{v}_{ni}], \quad n = 1, \dots, N; \quad i = 1, \dots, I \quad (4)$$

式中  $x_{ni}^A$  為實際投入值  $x_{ni}$  的調整值，第一個中括弧所代表的是將所有廠商調整於相同的環境，第二個中括弧表示將所有廠商的統計誤差調整為相同的情況。當環境因素與統計誤差因素均被調為一致，最後即剩下管理無效率之影響因素。

### 三、第三階段－將調整後投入項，重新以 DEA 推估各廠商之效率值

本階段係利用第二階段所求得的調整投入項（ $x_{ni}^A$ ），配合原有在第一階段的原始產出項，利用傳統 DEA 模式重新衡量樣本廠商之效率水準。所得結果即是去除環境因素和統計誤差後，僅剩下管理面影響的效率值，故第三階段 DEA 效率最可真實反應出要素使用之管理效率。

## 參、研究設計

### 一、資料來源

我國推動生物科技產業始自 1982 年之「科技發展方案」。由於台灣農業生技廠商多屬於中小型規模廠商，且大多不是已上市、上櫃的公司，目前僅萬鍾汶等（2003）、萬鍾汶等（2004）及萬鍾汶等（2005）所調查之農業生技廠商研究中有較完整廠商層次之樣本資料，本研究便以之為研究標的，並以 2004 年為基準，擬檢視廠商自其投入創新活動以來之表現與探討相關影響因素。但調查內容涉及研發層面之資料，因此有部份受訪廠商考量到營業秘密而不願填答或填答不完全，故經由篩選將此無效之樣本廠商剔除，再選出 1982 年以後成立之公司，最後共得到 52 家創新企業為本研究之實證對象。故本研究以 1982~2004 年期間成立之 52 家新興廠商作為實證對象，檢視我國當前農生技產業之創新效率水準。

### 二、樣本敘述統計

52 家樣本農業生技子領域之分布情形，其中以食品生技 30 家（57.68%）最多，其次為水產養殖與畜禽生技有 6 家（11.54%）、生物性肥料與其他 3 家（5.77%）、植物種苗廠商與生物性農藥各 2 家（3.85%）；無動物用疫苗類，其它類生技廠商 3 家。

在創新產出上，新產品開發上市的平均個數約為 2.65 個，標準差為 1.73，最多為 6 個。關鍵技術項數平均數為 3.62 個，標準差為 3.16，最多為 16 個。在創新投入方面，每家研發經費投入平均約有 35.64 百萬元，標準差為 43.06 百萬元，最大值與最小值分別為 175 百萬元與 2 萬元；研發人力素質投入約為 22.48 萬元，標準差為 19.35 萬元，最大值為 83.37 萬元，最小值為 3.37 萬元。





樣本中大型廠商（資本額在 8000 萬元以上者）有 12 家；小型（資本額在 4000 萬元以下者）有 32 家、中型者有 8 家。獨立運作者有 39 家（占 75%）；與學研機構發展網絡關係者有 40 家，占整體的 76.92%；產品以內銷為主（41 家，占 78.85%）。

### 三、變數設定

廠商創新效率為本研究之主軸，為了精準地獲得廠商的創新水準，廣泛的蒐集創新指標是重要的，且對於創新的估計首要工作須先釐清創新活動的投入與產出（Rogers, 1998）。另外，由於農業生技的研發創新是影響農業生產活動最終成果的關鍵因素而非最終產出，故與一般評估生產效率之考量不同，乃以創新活動之投入、產出進行 DEA 分析，分析後所得之效率即為創新技術效率，故簡稱為創新效率。其設定之投入、產出變數與環境變數如下：

#### (一)創新產出變數

##### 1. 新產品 ( $Y_1$ )

在高度競爭的農業生技市場中，由於新技術不斷地被發掘，使得產品生命週期日漸縮短，因此新產品的開發成為廠商維持競爭力的重要方式之一。Deeds and Hill（1996）認為此種創新型高科技產業的生技廠商，其成功的關鍵因素在於新產品的開發率，產品的迅速開發為廠商造就顯著的優勢，包括初期的現金流量、知名度和初期的市場份額。廠商新產品的開發率越高，公司越有可能取得並且保持先行者（first-mover）的優勢。新產品變項的衡量方式甚多，視實務而異，故本研究將其定義為四年內樣本廠商所生產上市之產品數目。

##### 2. 關鍵技術 ( $Y_2$ )

專利是最常被用來評估廠商創新活動的產出指標，亦為衡量廠商創新成果的重要指標（Wakasugi and Koyala, 1997；楊志海與陳忠榮，2001；吳榮義與林秀英，2002），其



優點為客觀且明確。Hariolf (1997) 指出在創新競爭中，通常將專利視為創新的獎賞，即為一種產出，且會使廠商產生專屬權 (appropriability)。

本研究因受限於資料取得，無法採用質性的指標，僅能針對廠商實際擁有之專利數目進行分析，並進一步假設專利之品質相同。在實務上，有些廠商認為申請專利會揭露營業秘密，而傾向不申請專利。本研究因而將技術專利擴大為廠商自行研發的專利與非專利技術之項數，以期能確實衡量出廠商的創新活動表現。

## (二) 創新投入變數

### 1. 研發經費 ( $X_1$ )

研發活動的財務指標是最方便且經常使用的創新活動指標 (楊志海與陳忠榮, 2001; 莊立民, 2002; Hariolf, 1997)。廠商在進行創新活動時，必須要有一定的資金及相關儀器設備做支持，且研發經費的支出對於廠商在全球產業中的競爭有直接的加分作用 (張殿文, 2002)。本研究亦將研發支出作為創新投入之要素，為樣本廠商至 2004 年累計投入之生技相關研發經費，包括儀器設備費、材料費、檢測費、設備使用費、委外研究費、圖書資料費等。

### 2. 研發人力 ( $X_2$ )

研發人力亦為衡量創新投入的主要指標 (Flor and Oltra, 2004; 莊立民, 2002)。由於農生技創新活動之技術層次較高，相對地亦需僱用高素質的研發人員，因此在衡量創新投入時應考量員工素質的高低。本研究參照萬鍾汶等 (2006)，以各學歷之每月平均薪資衡量代表不同員工之素質，並引用 1111 人力銀行公布的「2004 台灣上班族薪資調查」，博士級 78,931 元/月、碩士 46,576 元/月、大學 30,389 元/月、專科 29,964 元/月，高中職 25,865 元/月。

通常創新是表示廠商不斷地對研發技術、製程等有所改進或能生產更多新產品，應屬動態之觀點。但若以動態觀點評論各廠商之間創新的表現實屬困難，本研究僅能以比較靜態之方式，檢視各廠商創新活動之表現。另外，新產品與關鍵技術為創新活動之產



出，因受限於資料取得，故僅能以數量區分新產品與關鍵技術間，並無法區分「質」的不同，即實證結果隱含樣本廠商所有新產品與所有關鍵技術均為同質的假設。

### (三)環境變數

Fried 等（2002）認為環境影響變數，如所有權、地區特性、管制政策等，通常為管理者在經營管理上所無法改變之因素，但卻會對效率產生影響。本研究除設廠地區、經營型態與公司成立年數分別設定為環境因素，亦將短期內無法變更且會對效率產生影響之因素，亦設定為環境變數，如經營策略上的網絡合作、廠商經營方針的內外銷導向與廠商之資本額。本研究共設定六項環境變數，以下為各變數處理方式之說明：

1. 營運地區（ $Z_{1i}$ ）：因考量各地區資源及文化背景可能有所差異，因而設定地理虛擬變數，北部為  $Z_{11} = 1$ 、中部為  $Z_{12} = 1$ 、其他為南部。東部的樣本廠商只有一家，故將之併入其他。
2. 經營型態（ $Z_2$ ）：為母公司、集團的子公司或進駐於育成中心的培育廠商，若有其他單位給予資源支持者稱為非獨立運作；若無則為獨立運作。變數設定非獨立運作為  $Z_2 = 1$ ，獨立運作  $Z_2 = 0$ 。
3. 公司成立年數（ $Z_3$ ）：預期營運其越久者可能因從實踐中學習（learning by doing）而累積經驗，使效率提昇，亦可能因資本設備老舊，而使效率較差。
4. 網絡合作（network）（ $Z_4$ ）：指廠商有與產官學研單位進行產學合作，以取得資金、技術、人力等協助，爭取互補性資源。一般認為網絡合作有助於廠商提昇研發能力，Roger（1998）對澳洲製造業與非製造業廠商的規模與創新進行實證比較時指出，創新程度較高的製造業者擁有較豐富的網絡關係。變數設定有網絡合作為  $Z_4 = 1$ ，反之， $Z_4 = 0$  為無網路合作。

5. 銷售導向：指廠商經營方向，產品多銷售到國外者，稱為外銷導向；反之，則為內銷導向。因此種導向之競爭對手不同，營運方針與策略亦有所不同。變數設定外銷導向為  $Z_5 = 1$ ，內銷導向  $Z_5 = 0$ 。
6. 廠商資本（ $Z_6$ ）：Bommer and Jalajas（2004）指出廠商規模大小對創新的影響是一個時常被爭論的議題。一般而言，大廠商具有資源、資金與人才優勢，可以持續地支持內部的研發活動，對研發會做較多的投資。就資源使用上，小廠內部營運靈活性，較願意承擔風險。近年來許多小型科技公司亦積極投入創新活動，造成廠商規模與創新成效之關係。這些特質已漸引起產業經濟學界的注意與形成新興的探討課題。

## 肆、實證推估結果與分析

為實證我國農業生技廠商的競爭力及產業優勢，本研究經由三階段 DEA 結合創新活動之投入產出指標進行評估，檢視農業生物科技廠商的創新效率。其 DEA 三階段推估結果如下：

### 一、第一階段

此階段完全不考慮外生變數之影響，純粹使用原始投入（ $X_1, X_2$ ）與產出資料（ $Y_1, Y_2$ ）對 52 家樣本農業生技廠商進行創新效率分析，結果如表 1 所示，創新效率之平均數為 0.574，顯示農業生技廠商創新活動效率的表現略顯偏低，仍有 42.6% 的效率改善空間。標準差 0.345，最小值與最大值相差 0.943 [= 1 - 0.057] 可知，效率值的落差很大，意謂著樣本之間創新效率表現之差異頗大。另外，規模效率之平均數高於創新效率（0.774 > 0.574），可知廠商創新活動的無效率主要受技術面的影響，若要改善無效率之現象需從投入要素使用管理上著手，避免造成過多閒置浪費的情形。



表1 農業生技廠商 DEA 第一階段之創新效率估計結果

項 目	效 率 值	
	創新效率 ( $TE_1^{IRS}$ )	規模效率 ( $SE_1$ )
平均數	0.574	0.774
標準差	0.345	0.253
極小值	0.057	0.250
極大值	1.000	1.000

資料來源：本研究。

## 二、第二階段

DEA 第二階段為環境因素對創新投入差額影響之迴歸分析。由於在此迴歸式中被解釋變數為投入差額，其數值亦含相對無效率廠商對於最有效率廠商所過於浪費或閒置之差額值。若環境因素之係數估計值為負時，表示具有降低農業生技廠商要素閒置之作用，有利廠商創新效率表現的環境，反之，則為不利的環境。

由實證推估結果可知(如表2)，在研發經費差額迴歸估計部份，「非獨立運作 ( $Z_2$ )」與從事「網絡合作 ( $Z_4$ )」者存在負向顯著關係；而「公司成立年數 ( $Z_3$ )」與「廠商資本 ( $Z_6$ )」為正向顯著關係。在研發人力差額迴歸估計部份則只有「網絡合作 ( $Z_4$ )」在統計上顯著且係數值為負。

綜合二估計式顯示的樣本特性中，本研究發現「網絡合作 ( $Z_4$ )」關係乃唯一對兩種投入要素皆為有利之環境因素。農生技廠商可透過與學研機構或策略聯盟方式，便於取得專業人力、資金、技術、儀器設備等資源上的協助，以減少要素投入之浪費，使得創新效率得以提昇。「廠商型態」為非獨立運作者 ( $Z_2$ )，能減少研發經費投入之浪費。由於隸屬於母公司或集團之子公司，較容易取得資金與設備之援助，而育成中心培育廠商則可享有辦公室、實驗室、儀器設備等空間設備支援，亦可取得營運管理諮詢、專業訓練、宣傳推廣、資金協助等商務管理支援，因此得以擁有較好的環境，故對研發經費

差額能有效降低。「公司成立年數 ( $Z_3$ )」愈久者，其研發經費越容易有閒置之現象。由於長期下來廠商之資本設備逐漸舊老，而導致無效率的產生。另一方面，由於農業生技相關法規逐年修訂使得政府對於農業生技廠商之相關政策與措施越來越健全，如經濟部工業局的「促進產業升級條例相關租稅減免措施」、行政院之「開發基金」、「加強生物技術產業推動方案」與「生物技術產業策略 (SRB)」會議，進一步使得愈晚創立之廠商享有愈好愈完善的環境。「廠商資本 ( $Z_6$ )」表示規模越大越容易產生研發資金之閒置。由於農業生技廠商規模愈大者，雖然具有資金與設備的優勢。但隨其組織層級的增加，使得控管程度隨之提高，導致研發資金使用不靈活，而有許多閒置資本。

表 2 DEA 第二階段隨機邊界迴歸估計結果

解釋變數	研發經費		研發人力	
	估計值	t 值	估計值	t 值
常數項	-1.1429	-1.1220	-0.0916	-0.8603
非獨立運作 ( $Z_2$ )	-0.5908	-3.2950***	0.0025	0.0847
公司成立年數 ( $Z_3$ )	0.0687	2.2589**	-0.0002	-0.1791
網絡合作 ( $Z_4$ )	-0.3022	-2.1814**	-0.0186	-2.7361***
外銷導向 ( $Z_5$ )	-0.4816	-0.2490	-0.0034	-0.0778
廠商資本 ( $Z_6$ )	0.0037	3.0445***	0.0001	1.3571
設廠地區：北 ( $Z_{11}$ )	0.3260	0.2453	0.0850	0.8130
設廠地區：中 ( $Z_{12}$ )	0.8077	0.7091	0.0862	0.8337
$\sigma^2$	134.22	1.2E+2***	7.7845	7.0643***
$\gamma$	0.9999	7.5E+7***	0.9999	2.1E+5***
Log-likelihood function	-151.3303		-40.2095	
LR test of the one-sided error	51.8087		116.6354	

資料來源：本研究。

註：\*\*\*表示顯著水準達 1%；\*\*表示顯著水準達 5%。

另外，兩投入差額迴歸式之  $\gamma$  係數  $[\sigma_u^2 / (\sigma_u^2 + \sigma_v^2)]$  均趨近於 1 且顯著，表示組合誤差的變異主要由管理無效率所影響，而受統計干擾項的影響很小（Fried et al., 2002；李俊彥與楊永列，2006），故對於進行第三階段的分析便顯得相當重要。進行第三階段之效率分析前已將環境變數與統計干擾項調整過，並將農業生技廠商所處的狀況設為相同，僅探親管理無效率之情況下，廠商真實的創新活動效率之表現情況。

### 三、第三階段

本階段藉由第二階段調整後之投入變數與原產出變數，再以 DEA 重新推估創新效率。由表 3 可知，在能實際反應廠商本身之創新效率結果的第三階段，創新效率之平均數為 0.816，由於此效率值摒除環境因素與第二階段估計時所產生的統計干擾項影響，因此較能反應農業生技廠商實際之創新效率，且其值表示有較佳的表現，僅有 18.4% 的效率改善空間。

而以標準差 0.197、最小值與最大值相差 0.74 可知，廠商之間的創新效率差異程度頗大。另外，因規模效率之平均數低於創新效率（ $0.697 < 0.816$ ），可知廠商創新活動的無效率主要是因為未達最合適之規模狀態所影響。

表 3 農業生技廠商 DEA 第三階段創新效率值

項 目	效率值	
	創新效率 ( $TE_3^{IRS}$ )	規模效率 ( $SE_3$ )
平均數	0.816	0.697
標準差	0.197	0.268
極小值	0.260	0.156
極大值	1.000	1.000

資料來源：本研究。

## 四、第一階段與第三階段創新效率之比較

就 DEA 之推估方式而言，之前對於環境因素均為另外探討，並未將其與效率值並行考量，因此所估得的效率值並非廠商本身真實的效率表現。本節專門針對應用 DEA 所能獲得之相關資訊，對原始 DEA 方式所估得的效率值（即第一階段效率值）與分離環境變數後所估得的效率值（即第三階段效率值）進行比對探討，以瞭解二者估算之差異。

### (一) 創新效率值之比較

首先就第一階段與第三階段之創新效率值與規模效率值相比，由表 4 所示， $TE_3^{VRS}$  比  $TE_1^{VRS}$  提高 0.242，改善幅度為 42.16%，但  $SE_3$  比  $SE_1$  降低 0.077，其降低幅度為 9.95%。且第一階段表示廠商無效率是來自於技術面的影響（ $TE_1^{VRS} < SE_1$ ），但第三階段則顯示無效率是未達最有效之規模狀態所影響（ $TE_3^{VRS} > SE_3$ ）。因此，兩個階段在效率值之表現上，得到截然不同的結果。

另外，從 DEA 兩個階段估計效率值的分佈與趨勢來看（表 4），兩個階段亦有極大差異。第一階段的創新效率表現高低起伏不一致且無明顯趨勢，並以完全有效率效率值為 1 的廠商最多（18 家，34.62%），介於 0.1~0.2 者次之（8 家，15.38%），兩者差距甚大。而第三階段的創新效率表現則明顯呈現左偏，且廠商效率多集中在 0.7 以後（39 家，75%），也以效率值為 1 的廠商最多（18 家，34.62%），其次效率值為 0.8~0.9 者（9 家，17.31%）。

若不考慮環境因素之影響，對於實證估計之結果恐有甚大差異，本研究進而以統計檢定方式加以驗證之。利用 Mann-Whitney 檢定（又稱 U 檢定）比較第一階段與第三階段兩者效率變動是否有顯著差異（表 5），其結果顯示農業生技廠商之 DEA 實證第一階段與第三階段估得之創新效率與規模效率均呈現顯著差異，故得以驗證，若欲客觀地推估各廠商的創新效率，摒除環境因素與統計干擾項的是相當重要的。



表 4 樣本農業生技廠商第一階段與第三階段 DEA 創新效率之分佈情況

級距	TE <sup>VRS</sup> 第一階段		TE <sup>VRS</sup> 第三階段	
	家數	百分比	家數	百分比
0	0	0.00	0	0.00
0.0~0.1	2	3.85	0	0.00
0.1~0.2	8	15.38	0	0.00
0.2~0.3	5	9.62	1	1.92
0.3~0.4	6	11.54	0	0.00
0.4~0.5	6	11.54	5	9.62
0.5~0.6	4	7.69	2	3.85
0.6~0.7	1	1.92	5	9.62
0.7~0.8	1	1.92	8	15.38
0.8~0.9	1	1.92	9	17.31
0.9~1.0	0	0.00	4	7.69
1	18	34.62	18	34.62
總計	52	100.00	52	100.00

資料來源：本研究。

表 5 農業生技廠商 DEA 第一階段與第三階段效率值之比較

階段	純粹創新效率		規模效率	
	TE <sub>1</sub> <sup>VRS</sup>	TE <sub>3</sub> <sup>VRS</sup>	SE <sub>1</sub>	SE <sub>3</sub>
平均數	0.574	0.816	0.774	0.697
成長幅度	42.16%		-9.95%	
U 檢定 (Z 值)	-3.114 ***		1.718 *	

資料來源：本研究。

註：\*\*\*表示顯著水準達 1%；\*表示顯著水準達 10%。

## (二)規模報酬階段之比較

以 BCC 模式估算效率時，亦可估得廠商創新之規模報酬階段。此處之創新規模意指廠商從事創新活動之規模，即廠商所投注之研發人力與經費。從表 6 之統計可知，在 DEA



第一階段估得樣本廠商之規模報酬遞增、遞減與固定分別為 19 家 (36.54%)、15 家 (28.85%) 與 18 家 (28.85%)，分布相當平均。而在調整後之 DEA 第三階段，有 7 家 (13.46%) 廠商為固定規模報酬，有 44 家 (88.64%) 廠商處於規模報酬遞增階段，而規模報酬遞減者僅有 1 家 (1.92%)。由多數樣本廠商均處於為規模報酬遞增階段可知，廠商應擴大其創新規模方能提高創新效率之表現。同時亦隱含目前國內農業生技廠商之研發創新多屬小規模，故應增加創新之投入，以從事更高層次之創新活動。

表 6 農業生技廠商第一階段與第三階段之規模報酬階段

規模報酬階段	第一階段		第三階段	
	家數	百分比	家數	百分比
規模報酬遞增 (IRS)	19	36.54	44	84.62
規模報酬固定 (CRS)	18	34.62	7	13.46
規模報酬遞減 (DRS)	15	28.85	1	1.92
總計	52	100.00	52	100.00

資料來源：本研究。

## 五、創新與廠商規模

創新與廠商規模間之關聯，本研究透過三階段調整環境變數，探討廠商實際創新效率與廠商規模之表現。規模大小以廠商資本額區分為大型、中型以及小型廠商，小廠為資本額 4 千萬元以下者、中廠為 4 千萬元至 8 千萬元者，大廠為 8 千萬元以上者。由表 7 可知，國內小型廠商之創新表現較好，而隨著廠商規模擴大，效率表現之程度逐漸下降。

本研究進而以統計檢定出各規模廠商之創新效率之差異 (參見表 8)，由 K-W 檢定顯著可證實確實有顯著差異，再以 U 檢定做細部檢視，經由兩兩比對之結果可知，小廠對大廠及中廠亦均有顯著差異，且以小廠的創新效率表現較佳；至於大廠與中廠則無顯著差異。

綜觀所有第三階段 DEA 對於規模之結果，第二階段表示廠商所處之環境為規模越大者，其創新效率表現越差；第三階段的結果呈現廠商資本為 4 千萬元以下之小廠表現最佳。由此可瞭解國內農業生技廠商以小型廠商之創新效率表現較佳。

表 7 農業生技廠商各規模創新效率之敘述統計

類別	資本額	廠商家數	平均創新效率	標準差
大廠	8 千萬元以上	12	0.6214	0.1342
中廠	4 千萬元至 8 千萬元	8	0.7421	0.2027
小廠	4 千萬元以下	32	0.8746	0.1720

資料來源：本研究。

表 8 農業生技廠商各規模之創新效率檢定

廠商規模	平均值	K-W 檢定	U 檢定	
			比較對象	Z 值
大廠	0.6214	$\chi^2_{(c-1, c=3)} = 18.428^{***}$	v.s 中廠	-1.120
中廠	0.7421		v.s 小廠	-2.110**
小廠	0.9078		v.s 大廠	-4.281***

資料來源：本研究。

註：\*\*\*表示顯著水準達 1%；\*\*表示顯著水準達 5%；\*表示顯著水準達 10%。

## 伍、結論與建議

本文旨在瞭解當前農業生技廠商創新活動之表現，採用三階段 DEA 模式衡量樣本廠商之創新效率及創新規模效率，實證對象為台灣 1982 年以來成立之 52 家新設農業生技廠商之創新效率。依據實證推估結果可歸納之結論：

- 一、依據 DEA 第三階段估計結果，當前農業生技廠商的創新效率平均為 0.816，與完全有效率僅相差 0.184，屬於高創新效率表現。

- 二、創新規模未達最合適之狀態乃是農業生技廠商無效率的主因。且由估計結果得知，高達 44 個樣本（84.62%）處於規模報酬遞增階段，隱含目前國內農業生技廠商多屬小規模之研發創新活動，經由擴大創新之規模來提高創新效率為可能途徑之一。
- 三、透過 DEA 第二階段檢定結果，呈現較高創新效率的農業生技廠商深受四項環境因素影響：（1）廠商型態為非獨立運作；（2）為新創公司企業；（3）擅於與學研機構發展網絡合作之廠商；（4）資本規模較小的廠商。其中又以「網絡合作」的最具影響性，隱含國內農業生技業者在研發資源不足的情形下，傾向透過產學研合作方式從事創新活動。
- 四、就廠商規模而言，小型廠商（資本額 4 千萬元以下）較中型（資本額 4 千萬元至 8 千萬元）與大型之廠商（資本額 8 千萬元以上）有顯著差異表現，且以第二階段估得結果可知，隨著廠商規模之擴大，使得組織層級增加而導致研發資金不靈活。

綜合而言，就廠商規模來看，小規模廠商有較佳之創新表現。因此，就創新的角度來看，廠商規模仍以維持小廠為宜，但小廠商在創新規模方面，仍有擴大其創新活動之空間。此外，由 DEA 三階段分析之第一階段與第三階段效率值間呈現若顯著差異。與其他相關研究結果比較，國內、外的科技廠商受環境因素的影響確實很大，應在研究模型中予以調整，才能符合現實。

綜合本文研究結果，以下分別對農業生技廠商與政府提出建議供作決策參考：

## 一、對農業生技廠商

- (一) 由 DEA 第二階段之環境因素與第三階段之創新效率值表現，均顯示台灣農業生技應仍以小規模之經營方式為適；而從創新之規模效率與規模報酬階段來看，若廠商欲提高其創新效率，則需考慮擴大對創新活動之投入規模，以從事更高層次之創新活動。

- (二) 網絡合作可促進農業生技廠商從事研發創新效率，一方面可減少投入浪費的產生，一方面藉由資源的互補、資訊互通與建立自有競爭優勢。
- (三) 有母公司或集團支持，及進駐育成中心的農生技廠商，在創新效率上的表現較佳。因此，既有之其他產業廠商可考慮跨足於農業生技產業，並透過成立子公司的模式，以避免大型廠商從事創新活動不夠靈活的缺點。或藉由進駐科技育成中心，接受專業的創業與研發輔導，及引薦資源以有效從事創新活動。

## 二、對政府而言

- (一) 基於網絡合作與創新之正面關係，建議政府應加強輔導廠商進行產學合作或策略聯盟等網絡合作關係，而非直接投資或補助廠商從事研發。透過產業界與學術界的有效互動得以提高廠商間互補資源，並可促進產業群聚（clustering）之形成。
- (二) 目前農業生技廠商之創新活動規模普遍偏小，其原因可能為專業設施或重要儀器設備普遍不足，而影響研發成效及研究水準。建議相關單位應設法整合，將農試單位或學研機構既有之儀器設備合理提供給業者使用，或設立相關之資源支援中心，以解決廠商各自購置儀器之投入浪費，由政府單位統一購置，並培養儀器操作員，藉由集中服務，分析檢測樣本數，可快速累積經驗，提供正確、快速有公信力之檢測服務。藉此得以大幅降低研發及營運成本之問題。

（收件日期為 95 年 12 月 6 日，接受日期為 96 年 12 月 12 日）

## 參考文獻

### (1)中文部份

#### a. 期刊文章：

1. 邱永和、胡均立、曹嘉麟，2003，「台灣生物科技廠商成本效率分析」，農業與經濟，31：55-77。
2. 楊志海、陳忠榮，2001，「創新活動的投入、產出與效率－科學園區內外高科技廠商的比較」，臺大管理論叢，11（2）：129-153。
3. 萬鍾汶、曾冠彰、徐源清，2006，「台灣農業生物科技廠商技術效率特性」，臺灣銀行季刊，58（1）：141-163。
4. 顏晃平、張靜文，2004，「專利對農業生物科技廠商生產技術效率之影響評估」，農業與資源經濟，2（2）：97-118。

#### b. 研究報告：

1. 吳榮義、林秀英，2002，「台灣產業科技之全球競爭力分析」，2002年亞太地區產業科技創新競爭與區位優勢分析國際研討會，台北：8月15日。
2. 李俊彥、楊永列，2006，「調整環境變數影響與統計干擾後的林業與紙業公司效率」，第七屆全國實證經濟學論文研討會，嘉義：嘉義大學5月27日。
3. 張殿文，2002，「台積電逾百億研發經費的「正向循環」」，e天下雜誌。
4. 萬鍾汶、陸大榮、魯貞、陳吉仲，2004，「農業生物科技廠商與產業產值之調查研究」，國立中興大學應用經濟系。
5. 萬鍾汶、陸大榮、魯貞、黃文星，2005，「農業生物科技產業產值之調查研究」，國立中興大學應用經濟系。

**c. 專書及論文：**

1. 莊立民，2002，「組織創新模式建構與實證之研究－以台灣資訊電子業為例」，國立成功大學企業管理研究所，博士論文。
2. 萬鍾汶、林妙孺，2003，「農業生物科技產業產值統計之研究」，國立中興大學應用經濟系，碩士論文。

**(2)英文部份**

**a. For Periodicals:**

1. Bommer, M. and D. S. Jalajas, 2004, "Innovation Sources of Large and Small Technology-Based Firms," *IEEE Transactions on Engineering Management*, 51(1): 13-18.
2. Deeds, D. L. and C. W. L. Hill, 1996, "Strategic Alliances and the Rate of New Product Development: An Empirical Study of Entrepreneurial Biotechnology Firms," *Journal of Business Venturing*, 11: 41-55.
3. Farrell, M. J., 1957, "The Measurement of Productivity Efficiency," *Journal of the Royal Statistical Society*, 120(3): 253-281.
4. Flor, M. L. and M. J. Oltra, 2004, "Identification of Innovating Firms through Technological Innovation Indicators: An Application to the Spanish Ceramic," *Research Policy*, 33(2): 323-336.
5. Fried, H. O. et al., 2002, "Accounting for Environmental Effects and Statistical Noise in Data Envelopment Analysis," *Journal of Productivity Analysis*, 17: 157-174.
6. Hariolf, G. 1997, "External Effects as a Microeconomic Determinant of Innovation Efficiency," *International Journal of the Economics of Business*, 4(2): 173-87.

7. Jondrow, J. et al., 1982, "On the Estimation of Technical Inefficiency In the Sochastic Frontier Production Function Model," *Journal of Econometrics*, 19: 269-294.
8. Rogers, M., 1998, "The Definition and Measurement of Innovation," Melbourne Institute Working Paper No. 10/98 Melbourne Institute of Applied Economic and Social Research, University of Melbourne.
9. Wakasugi, R. and F. Koyata, 1997, "R&D, Firm Size and Innovation Outputs: Are Japanese Firms Efficient In Product Development?," *The Journal of Product Innovation Management*, 14(5): 383-392.



# The Innovation Efficiency of Agricultural Biotechnology Firm in Taiwan

Shang-Ta Hsieh<sup>\*</sup>, Joyce Jong-Wen Wann<sup>\*\*</sup> Ta-Jung Lu<sup>\*\*\*</sup>

## Abstract

This paper aims to study the innovation efficiency of agricultural biotechnology firms in Taiwan, and gauge the main factors of causing innovation efficiency. At first, we extend the concept of production efficiency to innovative efficiency for analyzing competition potentiality for scientific and technological manufacturers. The optimization model includes two innovation outputs (number of patents obtained and number of new products through research and development stage), and two innovation inputs (R&D expenses and human resources). Three-Stage Data Envelopment Analysis method was applied to estimate the innovation efficiency of Taiwan agricultural biotechnology industry. The survey data with 52 agricultural biotech start-ups in 2005 were used for empirical analysis.

Empirical results found that the average innovation efficiency of agricultural biotechnology firms is 0.816. It means the firms possess high competitiveness. The technical inefficiency of sample firms was mainly resulted from innovative activity scale. In general, the agricultural biotechnology firms having following environmental factor exhibited better innovation efficiency: (1) firm is not independently operated; (2) the age of firm is young; (3) good collaboration networks with universities and research institutions; (4) firm size is small. In addition, better “collaboration networks” is the main influence factor among them.

**Keywords:** Agricultural biotechnology; Innovation efficiency; Three-stage data envelopment Analysis

**JEL Classification:** D24, L65, Q16

---

\* Master, Department of Applied Economic in National Chung-Hsing University.

\*\* Professor, Department of Applied Economic and Graduate Institute of Technology & Innovation Management in National Chung-Hsing University. Corresponding Author.  
Tel: 04-22840152, Email: [jwwann@nchu.edu.tw](mailto:jwwann@nchu.edu.tw).

\*\*\* Professor, Department of Applied Economic and Graduate Institute of Technology & Innovation Management in National Chung-Hsing University.

