

## 台灣生物技術廠商之共同邊界效率研究

胡均立\*、裘家寧\*\*、林育辰\*\*\*

### 摘要

本文以資料包絡分析法 (DEA) 為基礎、運用方向性距離函數 (DDF) 和 Battese et al. (2004) 的共同邊界法 (Metafrontier) 來分析與衡量從 2006 年至 2015 年台灣 99 家上市、櫃的生技產業之公司。生技產業為產品週期長且資本密集度高的產業，因此在面臨全球化的競爭下，提升廠商之經營效率，為當務之急。本研究將決策單位 (DMU) 分為三個子群體：應用生技產業、製藥產業與醫療器材產業，以各子群體之技術落差比例 (TGR) 來比較並分析其經營效率。其實證結果顯示：(1) 在共同邊界下，應用生技產業之平均純粹技術效率高於製藥產業與醫療器材產業。(2) 在三個次產業中，製藥產業技術落後程度相對較小，反之另兩個次產業應用生技產業和醫療器材產業技術落後程度較多。

**關鍵詞：**生物科技產業、方向性距離函數、共同邊界法、技術落差比例

**JEL 分類代號：**D24、L65

---

\* 作者為國立交通大學經營管理研究所教授，E-mail:jinlihu@mail.nctu.edu.tw。作者感謝兩位匿名審查人及本刊副執行編輯對拙作初稿所提供的寶貴意見。第一作者感謝科技部之研究經費補助 (MOST105-2410-H-009-043)。

\*\* 國立宜蘭大學休閒產業與健康促進學系助理教授。

\*\*\* 國立交通大學經營管理研究所碩士。

## 一、前言

二十一世紀是生物科技的時代；生物科技是被廣泛運用的一項技術，既是知識密集型的創新產業又具龐大商機（程樹森，2002）。全球第一家生技公司於 1976 年成立，同年美國生物學家 Herbert Boyer 與 Stanley Cohen 發明了基因重組（recombinant DNA）的技術，並開啓了現代生物科技產業的大門（劉依蓁與林彥宏，2015）。而我國生技醫藥產業的發展始於 1982 年，政府也於 1995 年起，陸續推動多個生物技術產業發展方案；例如：「加強生物技術產業推動方案」、「台灣生技起飛鑽石行動方案」以及「台灣生技產業起飛行動方案」等。而這些方案也奠定了台灣生技產業發展的基礎。到了 2015 年，行政院頒布「台灣生物經濟產業發展方案」，為我國未來九年生物科技產業的發展確立了方向（台灣生物經濟發展方案，2016）。政府除積極推動生技相關的經濟發展方案外，同時也與全國大專院校及相關研究機構成立育成生技中心，藉以扶植新創生技公司並提供相關服務，以加速新創公司的發展。我國除了面臨人口老化的問題外，近年來中國紅色供應鏈崛起，台灣在科技產業的發展上，勢必會有所趨緩。因此，生技產業將是下個極具潛力發展的產業。

相較於其他高科技產業，生技產業不僅開發的產品週期長，且所需的成本相當可觀；本國不僅內需市場以及廠商規模皆較小，且原物料自主性低，還須面對中國及印度等國家低成本產品的競爭、可見我國對於生技產業的投入，需耗費相對高的成本。再加上生技產業屬資本高度集中的產業，因而資本的投入對於生技廠商不但相對重要，且廠商更應審慎其資源的配置及運用（Fildes, 1990）。在此前提下，我國如欲加速生技產業發展，廠商間成本投入與資金運用效率的衡量，即為首要考量的條件。

根據行政院第二十二次科技顧問會議之定義，將生技產業細分為三：應用生技產業、製藥產業及醫療器材產業，然而這三個次產業雖同屬生技產業，存有相同的產業特性，但產業間不論是營業模式、成本投入、資金的運用，甚至發展程度上仍有差異之處。因此，本研究最主要的貢獻為就目前台灣生技產業間之差異，運用適合於跨產業間績效評估的方式，以衡量生技產業之

經營績效。同時，在共同邊界下，比較分析三個次產業間技術落後比率及共同邊界效率，最後提供其改善效率的建議；以敦促我國生技產業發揮最大的競爭優勢，達資源最有效的配置。

## 二、文獻探討

### (一) 生技產業績效評估

生技產業在台灣產官學界三方長期努力耕耘下，產業規模逐漸擴張，使許多學者相繼用各種效率等相關方法來對整個生技產業深入探討，以尋求更有效率的營運方式；如邱永和等（2003）運用隨機邊界模型、以員工人數、營業成本、固定資產及研究發展費用作為投入、營業收入作為產出來衡量台灣 33 間上市、櫃生技廠商的成本效率，研究結果顯示研發支出與成本效率呈正相關，若廠商規模能適度提升，則可使成本更有效率地被運用。Chen et al. (2005) 運用資料包絡分析法及麥氏生產力模型來評 31 家台灣上市、櫃生技公司在 1998 到 2001 年間之效率及生產力。Tobit 迴歸分析生技食品方面的廠商比其他廠商有較高的規模效率，而麥氏生產力指數顯示生技食品和生化相關的廠商比其他廠商有較低的技術效率且其總要素生產力從 1998 年一路成長直到 2001 年開始下滑；也表示生技廠商有更大的進度改善空間。同樣也運用資料包絡分析法和麥氏生產力指數進行生產力分析的研究還有李俊彥等(2012)以投入面及成本面來探究更多台灣的生技廠商，其研究顯示生技廠商之成本生產力呈衰退現象，主因為純粹技術效率變動的大幅衰退所致。謝尚達等(2007)進一步以三階段資料包絡分析法來推估台灣 2005 年農業生物科技之創新效率，研究發現雖然我國農業生物科技廠商蘊藏高度的競爭力，但因廠商規模過小，造成無效率的情況發生。Liang et al. (2008) 則延伸探討生技廠商在合併前後之生產效率，運用資料包絡分析法模型，以員工人數、總資產和研發費用作為投入變數，邊際利潤和營業收入作為產出變數，藉此衡量與哪一家廠商策略合併將會帶來最大的效益。林灼榮等（2010）以

台灣生技製藥廠商來了解內部的效率結構、外在市場力量與其獲利能力之關係；由於研究發現台灣生技製藥產業無法藉由專利、研發、廣告與出口等進入障礙及國際化策略，顯著地提升獲利績效，因此林灼榮等人建議須藉由更有效的資源配置率來提高我國生技製藥產業競爭力。

除了以台灣的生技廠商為研究對象外，李揚與李曉娟（2008）把研究族群拓展到整個亞洲的生技廠商，運用隨機邊界模型以固定資產、研發費用與員工人數作為投入變數，產出變數則為營業淨額分析 2000 年至 2005 年間其總要素生產力成長率。研究結果除了發現該生技廠商可透過技術效率的改善來提升總要素生產力外，還了解到生技廠商技術效率逐年改善且生產技術呈規模報酬遞增等現象。Saranga and Phani (2009) 運用非參數型之資料包絡分析法衡量印度製藥產業之營運績效，並用參數型之模型，如迴歸分析等，藉以探討哪些變數會影響藥廠之營運績效。研究結果顯示，印度國內家族治理之製藥廠，經營績效通常高於跨國製藥廠。但在控制廠商規模及初始績效水準等變數下，卻發現研發集中度越高，該廠商的創造力也越高。而相對於年輕的藥廠，老牌的藥廠會有較高的效率。還有些學者是針對歐美和全球各地的生技相關廠商，如：Graves and Langowitz (1993) 針對美國 16 間製藥廠商進行 19 年的研究，其實證結果顯示若研發支出或是廠商規模擴大時，廠商之創新生產力會隨之遞減。Hall and Bagchi-Sen (2002) 針對加拿大 74 間生物科技公司，探討研發的集中度和創新的程度與公司績效之間的關係。研究結果顯示，新產品的上市與公司績效有所相關。另外，研發集中度不僅與專利權相關，且對於生技產業的創新有很大的關聯。González and Gascón (2004) 運用麥氏生產力指數 (Malmquist Productivity Index, MPI)，衡量 1994 年至 2000 年西班牙 80 間藥廠生產模式之改革。研究結果顯示，研究期間內生產力因純粹技術效率變動而有所成長。Lu et al. (2015) 應用共同邊界法與麥氏生產力指數來探討從 2001 年到 2007 年間，12 個國家、總計 356 家生技廠商之生產效率。研究結果顯示，全球的生物技術發展普遍屬 X 無效率，且不同企業與地區其技術水準差異甚大。此外，由 gMMPI 可以看出生物技術廠商生產力的成長是由每年 20.64% 的效率改變率所驅動。

綜合上述文獻，在衡量生技廠商之經營效率或生產力時，學者們多基於相同技術假設下探討整個生技產業，或單一的次產業。如：製藥產業或是新興生技產業。然雖同屬於生技產業，但製藥產業或醫療器材產業等產業間仍存在資源條件、法規限制或技術等差異。因此，本文將依整個生技產業分為三個次產業去衡量當存在生產技術與經營模式異質性時，各個次產業間之效率值及其技術落後程度。

## (二) 方向性距離函數和共同邊界法

Shephard (1970) 首先以距離函數來衡量技術效率值，接著 Shephard and Färe (1974) 提出共同生產 (Joint Product) 產出的優劣之概念。隨後 Chambers et al. (1996) 藉著探討 Shephard (1970) 所提出的距離函數 (Distant Function) 與 Luenberger (1992) 的福利函數 (Benefit Function) 之間的關係，使方向性距離函數因而建構出來。而該模型擁有可同時縮減投入與擴張產出的運算模式，因此用其來衡量廠商的績效以契合廠商真實之營運狀況。另外，Chung et al. (1997) 認為意欲產出多數將伴隨著非意欲產出，其中非意欲產出將會造成衡量生產力的困難。藉由上述想法，Chung et al. (1997) 提出以方向性距離函數求得生產力指標，以解決出現非意欲產出之問題，遂以瑞典 1986 年至 1990 年 39 間造紙廠與紙漿廠為研究對象，因當時他們的研究模型只同時調整意欲產出與非意欲產出，並未縮減投入，故 Chung et al. (1997) 所提出的模型實為方向性產出距離函數。然 Färe et al. (2005) 修正後，運用二元方向性產出距離函數，同時縮減投入且擴張產出，衡量總計 209 座電力設備之技術效率值，研究結果發現，若降低電力設備的無效率，可以減少 4000 至 6000 噸二氧化硫的排放量。此後，Färe et al. (2005) 的方向性距離函數被廣泛地運用在計算能源效率或衡量各產業等領域；如 Zhang et al. (2013) 運用方向性距離函數，探討 2011 年韓國共 62 個發電廠之效率、採共同邊界法，將發電廠分為，煤炭火力發電及原油火力發電二個子群體。實證結果顯示，煤炭火力發電廠之總要素能源效率以及二氧化碳的排放皆優於原油的發電廠、而在共同邊界下，煤炭的發電廠技術效率值也較原油的發電廠高。綜合

上述文獻，可以得知較少文獻運用方向性距離函數探討生技產業之效率。生技產業屬高度研發之科技業，不僅其研發期較長，且廠商需投入大量的資金；在此前提下，廠商的營運目標仍是追求利潤極大，遂本研究將採方向性距離函數之資料包絡分析法，以同時縮減投入與擴張產出的模型來計算出生技廠商之效率。

而共同邊界的概念，最初源於 Hayami (1969) 爲了比較已發展與低度發展區域之農業生產力，所提出的共同生產函數。然 Mundlak and Hellinghausen (1982) 與 Lau and Yotopoulos (1989) 相繼將其運用於跨國分析，比較國與國間之農業生產力。近年爲解決轉換因子無法估計之問題， Battese and Rao (2002) 採用線性與非線性規劃法估計共同生產函數，以計算出組別間之技術缺口與技術效率比率。藉此可以發現哪一組別在產業中有最佳效率。而後 Battese et al. (2004) 更進一步的運用生產邊界函數與該模型，計算出產業及廠商之技術落後比率。O'Donnell et al. (2008) 爲衡量跨國農業的效率，運用共同邊界的概念，比較在不同群組之技術效率值。研究發現，無論參數式或非參數式均可以用以估計共同邊界模型，即是共同邊界法可用資料包絡法進行分析。Battese et al. (2004) 研究將共同邊界模型應用於研究印尼於 1990 年至 1995 年間，共 1,958 家成衣廠，並依地區將該成衣廠分爲 5 區。研究結果顯示，雅加達之成衣廠在共同邊界的模型下，具有最高平均技術效率、東爪哇島的成衣廠在區域性之隨機邊界模型下，具有最高的平均技術效率，但其技術缺口比率是落後當年度的整體技術效率；Battese et al. (2004) 也由此建構了共同邊界模型，並應用隨機邊界法來進行技術上之差異的研究。由於資料包絡分析法不需假設函數，且不受決策單位數量限制，因此本文選擇以資料包絡分析納入 Battese et al. (2004) 所提出共同邊界的概念進行研究，再搭配方向性距離函數，透過變動規模報酬之資料包絡分析模型來探討台灣生技產業各個次產業間之經營效率與技術落差比率。

### 三、研究方法及資料來源

本研究針對台灣目前 104 家上市、櫃生技廠商，依其營業項目分為三個子群組。運用 Färe et al. (2005) 方向性距離函數並採 Battese et al. (2004) 提出之共同邊界法來分析在不同技術水準下的每一家廠商之技術效率，藉此計算並比較廠商間技術落差比率，以找出技術落差是否為無效率之原因。研究主要分為三個步驟：步驟一，利用資料包絡分析法之方向性距離函數為基礎，分析整體決策單位之效率。步驟二，利用與程序一相同的模型為基礎，進行各子群體效率分析。步驟三，將計算出各決策單位之技術落差比率，加以分析並探討。

#### (一) 資料包絡分析法—BCC 模型

Farrell (1957) 率先以生產邊界的概念來衡量效率；在固定規模報酬下，利用線性規劃求解的方式，得出效率前緣，以衡量效率水準，將總生產效率分為技術效率與配置效率。Charnes et al. (1978) 發揚 Farrell (1957) 的概念，提出可求解個別決策單位之效率值的模型，並納入可衡量多投入與多產出之變數，建構出 CCR 模型。在建構生產函數的過程中因所有變數皆被包絡於生產函數之中，因此統稱此一方法為「資料包絡分析 (Data Envelopment Analysis, DEA)」。由於 Farrell (1957) 及 Charnes et al. (1978) 所提出之模型，皆基於固定規模報酬的假設下，因此 Banker et al. (1984) 於 CCR 模型限制式中，加入了凸性限制式 ( $\sum \lambda = 1$ )，使其成變動規模報酬，BCC 模型遂誕生。

Banker et al. (1984) 假設 I 間廠商、各有 N 個投入及 M 個產出。對於第 i 間廠商， $x_i$  是第 i 家廠商 N×1 的投入向量， $q_i$  則是第 i 家廠商 M×1 的產出向量。X 表示 N×I 的投入向量矩陣，Q 則表示 M×I 的產出向量矩陣。則產出導向之變動規模報酬模型表示如下：

$$\begin{aligned} & \text{Max}_{\phi, \lambda} \phi & (1) \\ \text{s.t.} & -\phi q_{mi} + Q\lambda \geq 0 & m = 1, 2, \dots, M & (1a) \end{aligned}$$

$$x_{ni} - X\lambda \geq 0 \quad n = 1, 2, \dots, N \quad (1b)$$

$$\lambda \geq 0 \quad (1c)$$

$$\sum \lambda = 1 \quad (1d)$$

其中， $\phi$ 為第  $i$  家廠商技術效率之倒數， $\lambda$ 則為常數向量。限制式中，第一個限制函數表示實際產出不得大於目標產出；第二個限制函數表示實際投入不得小於目標投入；第三個限制式表示每一區域的權重不得為負值；第四個則表示所有權重相加為 1。而式中  $i$  表示為第  $i$  家廠商； $n$  表示為第  $n$  個投入； $m$  表示為第  $m$  個產出。

由產出導向之 BCC 模型作為線性規劃模型，將所有投入及產出資料投在該空間中。找出於投入要素固定下之最大投入要素，藉以導出生產可能曲線（Production Possibility Curve, PPC），亦即為「效率前緣」。所謂效率前緣亦可稱作其他受評單位之包絡線。若受評單位落在效率前緣上，代表其在投入要素固定下，產出是最具效率，此時稱之為柏拉圖最適單位。且該受評單位將成為其他單位之標竿。

## （二）方向性距離函數

為符合生技廠商實際營運狀況，因此本文運用方向性距離函數，得以同時考量縮減投入並擴張產出。Färe et al. (2005)所定義之方向性距離函數如下：

$$\bar{D}(x, q; -g_x, g_q) = \max\{\beta: (x - \beta g_x, q + \beta g_q) \in P(x)\} \quad (2)$$

據上述函數表示，其中  $q$  表示投入向量，而  $y$  表示為產出向量，則  $P(q)$  為生產可能集合。 $G = (-g_x, g_q)$  為一方向性之向量。綜合而言， $\bar{D}(x, q; -g_x, g_q)$  表示投入向  $g_q$  方向縮減，產出向  $g_y$  方向擴張。而當  $\bar{D}(x, q; -g_x, g_q) = 0$ ，表示該決策單位位於效率前緣上，其生產具有效率。反之，若當  $\bar{D}(x, q; -g_x, g_q) > 0$  時，則表示該決策單位在效率前緣的內側，而該決策單位存在技術無效率。換言之，當  $\beta$  值越高，表該決策單位離效率前緣越遠，其技術則越無效率。本文採資料包絡分析衡量效率，方向性距離函數可運用線性規劃求解，如下列公式：



$$\bar{D}(x, q; -g_x, g_q) = \max \beta \quad (3)$$

$$\text{s.t.} \quad \sum \lambda_i x_{ni} \leq x_{ni} - \beta g_{xi} \quad n = 1, 2, \dots, N \quad (3a)$$

$$\sum \lambda_i q_{mi} \geq q_{mi} + \beta g_{qi} \quad m = 1, 2, \dots, M \quad (3b)$$

$$\sum \lambda = 1 \quad (3c)$$

其中式 (3a) 與 (3b) 表示產出向量與投入向量皆具有強可拋性，式 (3c) 為凸性限制式，表示該模型為變動規模報酬模式。其中  $i$  表示為第  $i$  家廠商； $n$  表示為第  $n$  個投入； $m$  表示為第  $m$  個產出。

### (三) 共同邊界模型

Battese et al. (2004) 採用隨機邊界法，進行評估共同邊界、組別邊界及計算技術落差比率。其模型假設有  $R$  群廠商，每群廠商的生產技術不同，因此隨機邊界生產函數可定義為：

$$q_{it(j)} = f(x_{it(j)}, \beta_{(j)}) e^{V_{it(j)} - U_{it(j)}} \quad (4)$$

$$i = 1, 2, \dots, N_j \quad t = 1, 2, \dots, T \quad j = 1, 2, \dots, R \quad (4a)$$

其中  $q_{it(j)}$  代表第  $j$  群的第  $i$  家廠商在第  $t$  期的產出變數、 $x_{it(j)}$  則是第  $j$  群的第  $i$  家廠商在第  $t$  期的投入變數向量、 $\beta_{(j)}$  為投入變數相對應的參數向量、 $V_{it(j)}$  假設為相同且獨立的常態分配隨機變數、 $U_{it(j)}$  則為相同且獨立的半常態分配隨機變數。

共同邊界模型如下所示：

$$q_{it}^* \equiv f(x_{it}, \beta^*) = e^{x_{it}\beta^*} \quad i = 1, 2, \dots, N = \sum_{j=1}^R N_j \quad t = 1, 2, \dots, T \quad (5)$$

其中  $\beta^*$  代表共同邊界生產函數的參數向量、且滿足以下限制條件

$$x_{it}\beta^* \geq x_{it}\beta_{(j)} \quad (6)$$

表示共同邊界生產量不低於第  $j$  群組邊界之生產量，即共同邊界曲線是一條包

絡不同生產技術群組的曲線。

$$q_{it(j)} = e^{-U_{it(j)}} \frac{e^{x'_{it(j)}\beta(j)}}{e^{x'_{it(j)}\beta^*}} e^{x'_{it(j)}\beta^* + V_{it(j)}} \quad (7)$$

$$TE_{it(j)} = \frac{q_{it(j)}}{e^{x'_{it(j)}\beta(j) + V_{it(j)}}} = e^{-U_{it(j)}} \quad (8)$$

$$TGR_{it} = \frac{e^{x'_{it}\beta(j)}}{e^{x'_{it}\beta^*}} \quad (9)$$

爲使共同邊界與組別邊界具有曲度，本研究以變動規模報酬之資料包絡分析投入模型爲研究架構，操作說明程序如下：

步驟一：共同邊界（Metafrontier）

針對整體生技產業之投入與產出資料，利用方向性距離函數，以進行資料包絡分析。藉此計算所有決策單位的共同邊界技術效率值。本研究在共同邊界下，第*i*家廠商在第*t*期之技術效率值，以 $TE_{it}^*$ 表示。以單一投入 *x* 與單一產出 *q* 爲例，如圖 1 所示：將各決策單位分爲三個子群體，各該子群體會形成各自的組別邊界，且會被最外圍的共同邊界包絡。若各子群體透過技術交流與合作，則該子群體之組別邊界得以與共同邊界縮小差距，甚至得以成爲共同邊界中最具效率的一部份。

步驟二：組別邊界（Group frontier）

將生技產業所有決策單位區分爲三個子群體，再利用上述模型，進行資料包絡分析。藉以計算該子群體中，組別邊界下決策單位的技術效率值。本研究在組別邊界下，第*i*家廠商在第*t*期之技術效率值，以 $TE_{it}$ 表示之。如圖 1，群組 1 至群組 3 表示該各子群體之組別邊界。

步驟三：技術落差比率（Technology Gap Ratio；TGR）

該程序爲衡量每一決策單位之技術落差比率，第*i*家廠商在第*t*期之技術效率值表述如下：

$$TE_{it}^* = TE_{it(j)} \times TGR_{it} \quad (10)$$

其中，在（4）式 $TE_{it}^*$ 爲共同邊界下之技術效率， $TE_{it}$ 爲組別邊界下之技

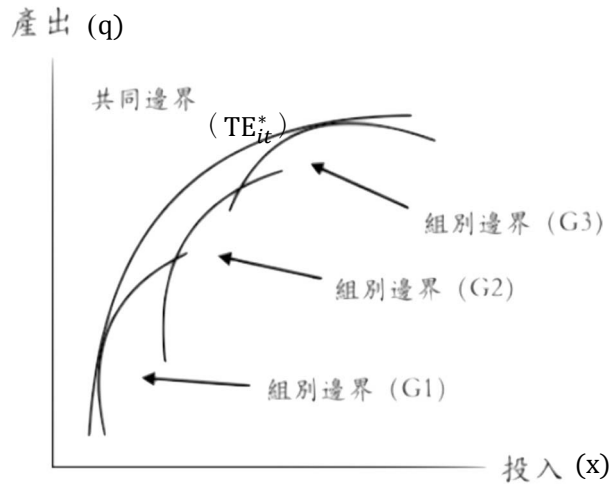


圖 1：單一投入、單一產出下之共同邊界模型

註：圖中 G 表示群組 (Group)

術效率，因此第  $i$  家廠商在第  $t$  期亦可表述如下：

$$TGR_{it} = \frac{TE_{it}^*}{TE_{it}} \quad (11)$$

此外，於本研究中之 TE 為方向性距離函數之資料包絡分析模型的技術效率值。由此可知，相較於過去的研究，本研究採用方向性距離函數(DDF)和 Battese et al. (2004) 的共同邊界法(Meta-frontier)能適用多投入的特色且能因應個別廠商在不同技術效率下和分屬於不同技術群組的廠商間技術效率差異，來估算技術效率以及其相對應的技術落後率(TGR)，使得生物技術廠商的共同邊界效率技術分析與概念的運用更為完整與適切。

#### (四) 研究對象與範圍

本研究實證期間為 2006 年至 2015 年，共計十年的資料。資料來源以台灣經濟新報、「生物技術產業白皮書」及「生物技術產業年鑑」等為主，而以經濟部工業局提供其他相關生技產業的資訊為輔。

本研究以台灣 2016 年上市、櫃生技產業共 99 家廠商（已排除資料不齊

全之廠商)為研究對象、應用 Battese et al. (2004) 之共同邊界分析，並依據行政院第二十二次科技顧問會議之定義，將台灣上市、櫃生技產業分為，應用生技產業、製藥產業以及醫療器材產業等三個子群體，以比較其技術落差比率。廠商分別如下(依股票號碼排序)：

應用生技產業：葡萄王、美吾華、和康生、麗豐-KY、龍燈-KY、佐登、訊聯、進階、穆拉德加捷、中天、晶宇、馬光-KY、康樂、創源、醴聯、久裕、雙美、基因、立康、科懋、大樹、中美、大江、達爾膚。

製藥產業：中化、生達、杏輝、中化生、神隆、景岳、懷特、旭富、亞諾法、國光生、康聯、台耀、康友、南光、生泰、美時、基亞、佰研、永日、濟生、健喬、友華、晟德、天良、健亞、太景、智擎、展旺、瑞基、安成藥、杏國、永昕、合一、強生、德英、藥華藥、順藥、生展、東生、東洋。

醫療器材產業：岱宇、必翔、五鼎、喬山、科妍、佳醫、雁博、承業、華廣、精華、祺驊、合世、杏昌、易威、寶利徠、大學光、百略、邦特、明基醫、優盛、太醫、曜亞、鈺緯、聿新科、鏡鈦、杏一、環瑞醫、豪展、泰博、合富-KY、醫揚、盛弘、金可、商之器、聯合。

#### 四、實證結果分析

本文在投入與產出項目的選取上，以員工人數、營業成本及固定資產等三變數，作為投入變數，而產出項則以營業收入作為產出變數。茲將投入及產出變數的選擇詳述如下：

##### (一) 投入與產出變數

本研究根據對生技廠商衡量效率之相關文獻進行整理，選取對廠商經營績效具重大影響之投入變數作為實證分析之用。由於生技產業所販售之產品，須經由多數的人力研發與製造，產品才屬完成。因此員工人數屬相當重要之投入因素。除員工人數的投入外，由於生技產業屬高度研發之產業，因此固定資產與營業成本對於該產業的經營，皆存有相當程度的影響。本研究

另也參考邱永和等（2003）、González and Gascón (2004)、Chen et al. (2005)、Liang et al. (2008)、李揚與李曉娟（2008）等衡量生技廠商經營績效之文獻，選取以「總員工人數」、「固定資產」、「營業成本」作為本研究的投入項變數。三項投入變數，整理如下：

1. 員工人數 ( $x_1$ )：以公司年報所揭露之「員工人數」衡量之。
2. 固定資產 ( $x_2$ )：以資產負債表上「固定資產總額」項衡量之。
3. 營業成本 ( $x_3$ )：以損益表上「營業成本」項衡量之。

產出變數：

因生技產業屬高度研發產業，且於研發期間須投入大量成本，再加上多數廠商於創業階段，本期淨利為零亦或是為負。故本研究參考邱永和等（2003）、González and Gascón (2004)、李揚與李曉娟（2008）等文獻，以「營業收入」作為產出變數。選取之產出變數如下：

1. 營業收入 ( $y$ )：以損益表上「營業收入淨額」項衡量之。

表 1 為本研究整理投入變數與產出變數之定義及說明。另一方面，由於本研究以縱斷面資料進行分析，因此需考量物價變動的影響。故本研究在考量名目與實質變數問題中，以 2006 年為基期將所有名目變數之資料轉換為實質變數進行分析。於本研究中，台灣生技產業之應用生技產業、製藥產業與醫療器材產業等三次產業，其各投入與產出項之樣本敘述統計列於表 2。針對應用生技產業、製藥產業以及醫療器材產業等三次產業，以敘述性分析，探討研究對象之狀況。由表 2 可以發現，各次產業之投入與產出項的標準差均非常大，可見產業中，廠商間的經營狀況亦或規模皆存在甚大的差距。

除此之外，表 2 中可以發現，投入變數方面醫療器材產業的員工人數較其他兩個產業多出甚多。本研究認為，是因醫療器材產業所生產販售之產品，需要大量的人力以製造，因此需要較多的人力。另外在固定資產方面，製藥產業之平均固定資產總額屬三個次產業中最高。本研究認為因製藥產業屬高度研發產業，因此產業中需持較多儀器、設備等固定資產。則醫療器材產業如上所述，屬製造類別，故其亦需持較多之固定資產。因此醫療器材產業之固定資產總額於三次產業中，排名第二，且其與製藥產業皆和應用生技產業

表 1：投入產出變數說明

變數	單位	定義
員工人數	人	年報所揭露之「總員工人數」
固定資產	新台幣千元	提供營業上使用，且使用年限在一年以上，非以出售為目的之有形資產。
投入項 營業成本	新台幣千元	銷貨時該出售商品的成本即稱之。
產出項 營業收入	新台幣千元	因經常營業活動而銷售商品或提供勞務所獲，減去銷貨退回及折讓。

資料來源：台灣經濟新報資料庫

註：貨幣單位之基期為 2006 年

表 2：投入與產出變數之敘述統計

		應用生技產業	製藥產業	醫療器材產業
員工人數	平均數	266	310	712
	標準差	314.7517803	325.2396075	1091.71016
	最大值	1,670	1,546	6,984
	最小值	24	13	21
投入變數 固定資產	平均數	370,231	824,521	695,640
	標準差	552576.835	1064961.768	848769.7586
	最大值	5,596,702	5,170,714	4,671,616
	最小值	2,856	31	1,739
營業成本	平均數	629,467	644,490	1,289,818
	標準差	1053700.103	813264.7985	1623496.922
	最大值	6,506,526	4,379,806	13,031,716
	最小值	142	311	6,138
產出變數 營業收入	平均數	1,013,171	962,259	1,760,362
	標準差	1509322.835	1140351.843	2314192.728
	最大值	8,363,355	5,123,173	13,946,780
	最小值	5,250	633	5,684

註：貨幣單位為新台幣千元，以 2006 年為基期進行物價調整；人數單位為每人

之固定資產總額存在甚大的差距。

另一方面，因本研究以資料包絡分析法進行研究，基於此方法之投入與產出變數必須符合單調性原則。當投入增加時，產出不得減少，亦即是投入項與產出項須呈現正相關。因此本研究以各投入產出變數進行相關係數分析，結果如表 3。由表 3 可發現，投入項與產出項均呈現正相關性，亦說明了本研究所擇之研究變數皆有選取的必要。

## (二) 共同邊界實證結果

本步驟之研究，主要是針對 2006 年至 2015 年，台灣上市、櫃之生物技術廠商進行研究、以變動規模報酬之方向性距離函數進行效率分析，計算出共同邊界下各廠商之技術效率值、再分別依據應用生技產業、製藥產業、醫療器材產業等三個子群組進行運算。因此，2006 年至 2015 年應用生技產業、製藥產業及醫療器材產業之平均技術效率值的結果如表 4 所示。

在共同邊界下，台灣生技廠商 2006 年至 2015 年之平均技術效率值，彙整如圖 2 所示。而由圖 2 可以看出台灣生技廠商平均純粹技術效率，最高值是 2006 年的 0.867。之後整體之平均技術效率值，呈現逐漸遞減的狀況。直至 2011 年平均純粹效率達 0.604 最低值後，才有緩慢上升的趨勢。十年間台灣生技產業衰退幅度為 24%。

由表 4 及圖 3 所得之結果，可得知在共同效率前緣下，台灣整體生技產業 2006 年至 2015 年間，其平均技術效率值為 0.691。若以子群組分別討論，不論是應用生技產業、製藥產業亦或是醫療器材產業，其 2006 年至 2015 年間之平均純粹技術效率最高值皆在 2006 年。各平均效率值則分別為：0.887、0.858 以及 0.855。而各產業之平均純粹技術效率最低值，也皆發生於 2011 年。其值依序：應用生技產業、製藥產業與醫療器材產業，分別為：0.624、0.542 與 0.645。但於隔年 2012 年，醫療器材產業之平均技術效率值仍為最低點的 0.645，並沒有上升。由表 4 中顯示，共同邊界下各產業間十年之平均技術效率值，最高的為應用生技產業，其次為醫療器材產業，最後則為製藥產業。另外由資料整理顯示，三個次產業之平均技術效率值的波動方向一

表 3：投入產出變數之同向性分析

	營業收入 (y)	員工人數 (x <sub>1</sub> )	固定資產 (x <sub>2</sub> )	營業成本 (x <sub>3</sub> )
營業收入 (y)	1.000			
員工人數 (x <sub>1</sub> )	0.817	1.000		
固定資產 (x <sub>2</sub> )	0.506	0.427	1.000	
營業成本 (x <sub>3</sub> )	0.953	0.747	0.443	1.000

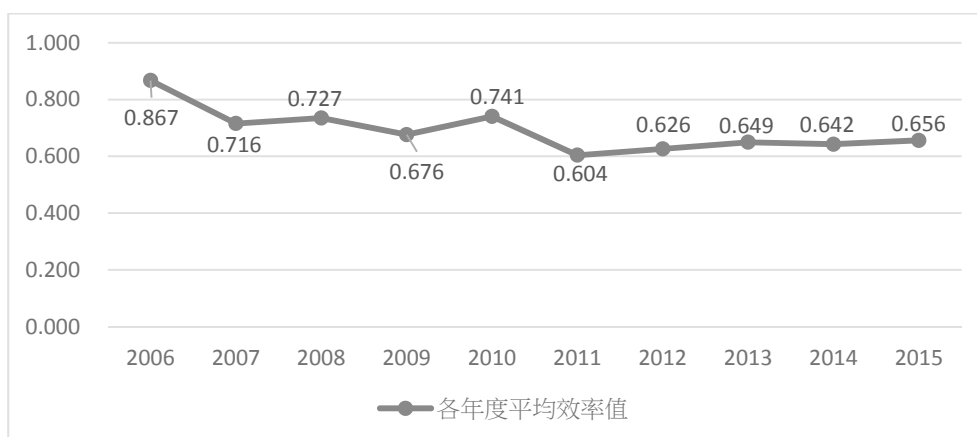


圖 2：台灣生技公司 2006 年至 2015 年之平均效率值

致。雖然近年來有緩升的趨勢，但整體仍呈現遞減狀，其中以製藥產業之平均技術效率值降幅 36% 為最大。

### (三) 組別邊界實證結果

本步驟之研究，依據台灣上市、櫃之生物生技廠商之營業項目，將各廠商區分為應用生技產業、製藥產業以及醫療器材產業等三個子群體。並以變動規模報酬之方向性距離函數進行效率分析，計算出組別邊界下各廠商之技術效率值，本研究將組邊界下各產業彙整如表 5 及圖 4 所示，比較各產業間平均技術效率值。就應用生技產業而言，於組別邊界下，其平均技術效率值波動方向大致如共同邊界；主要的差異在於應用生技產業在組別邊界下，平均技術效率的最低值發生在 2013 年，且之後有很明顯的成長趨勢；就製藥



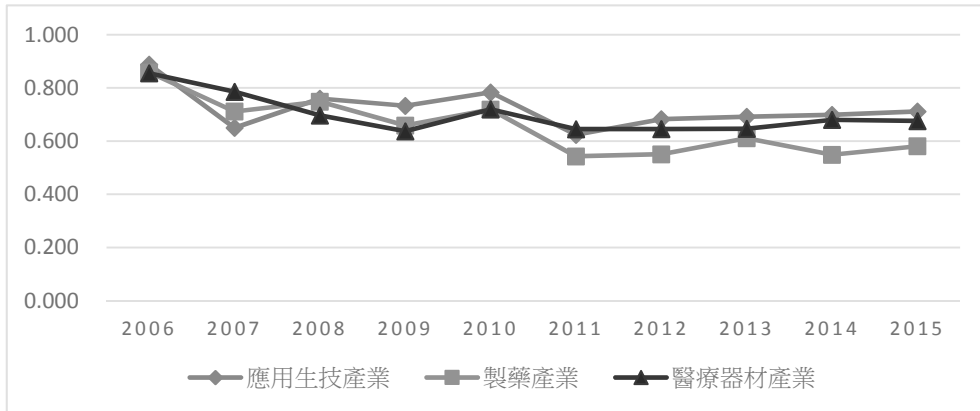


圖 3：共同邊界下各產業 2006 年至 2015 年之平均技術效率值

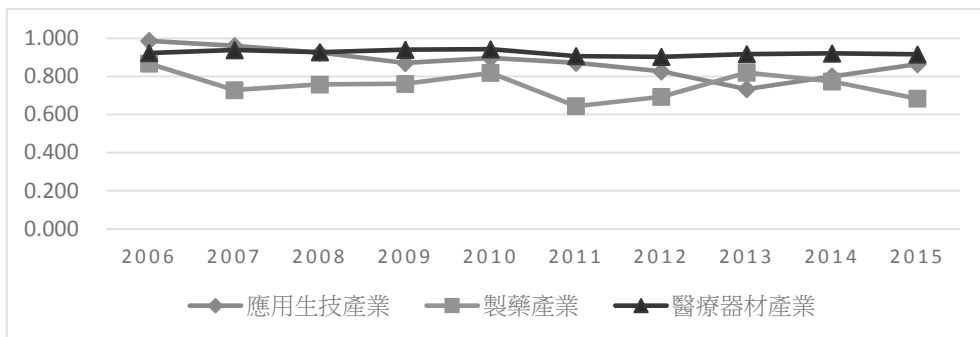


圖 4：組別邊界下各產業 2006 年至 2015 年之平均技術效率值

產業而言，在組別邊界下，其整體平均技術效率值波動方向，並未如共同邊界時不斷呈衰退的趨勢。於 2010 年及 2013 年時，該產業平均技術效率值有明顯的成長；就醫療器材產業而言，於組別邊界下與共同邊界下存在著甚大的差異。在組別邊界下，該產業十年間之平均技術效率值皆維持在 0.9 以上、且十年之平均技術效率值高達 0.923，與其他兩個次產業存在明顯的差距。

此外，表 5 之結果也顯示，應用生技產業在 2006 年至 2015 年間，平均技術效率最高為 2006 年的 0.986，而最低則為 2013 年的 0.734。與共同效率

前緣之實證結果（表 4）比較，組別邊界之效率前緣下該產業是具經營效率的。但在共同邊界效率前緣下，該產業則相對缺乏效率。因此可推斷應用生技產業是存在技術上的落差（即技術落差比例小於 1）。

就製藥產業而言，在 2006 年至 2015 年間，平均技術效率最高為 2006 年的 0.867，最低則為 2013 年的 0.644。與共同效率前緣之實證結果（表 4）比較，顯示該產業組別邊界之經營效率，與共同邊界效率前緣之經營效率較為接近。因此可推斷製藥產業較無存在技術上的落差（即技術落差比例接近 1）。

最後，就醫療器材產業而言，在 2006 年至 2015 年間，平均純粹技術效率最高為 2006 年的 0.923，最低則為 2013 年的 0.903。與共同效率前緣之實證結果（表 4）比較，顯示該產業組別邊界之經營效率，與共同邊界效率前緣之經營效率存在較大的差距。因此可推斷製藥產業存在較高技術上的落差（即技術落差比例明顯小於 1）。

表 4：共同邊界下各產業 2006 年至 2015 年之平均技術效率值

產業別	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	平均
應用生技產業	0.8875	0.6499	0.7428	0.7328	0.7832	0.6239	0.6825	0.6914	0.6987	0.7114	0.7323
製藥產業	0.8583	0.7112	0.7397	0.6585	0.7189	0.5425	0.5385	0.6108	0.5488	0.5808	0.6525
醫療器材產業	0.8574	0.7855	0.6965	0.6398	0.7190	0.6444	0.6426	0.6436	0.6769	0.6774	0.6960
產業總平均	0.8677	0.7156	0.7263	0.6770	0.7404	0.6036	0.6212	0.6486	0.6415	0.6565	0.6936

表 5：組別邊界下各產業 2006 年至 2015 年之平均技術效率值

產業別	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	平均
應用生技產業	0.9864	0.9599	0.9192	0.8709	0.8963	0.8715	0.8267	0.7339	0.8001	0.8646	0.8637
製藥產業	0.8674	0.7283	0.7492	0.7608	0.8188	0.6441	0.6852	0.8197	0.7736	0.6832	0.7566
醫療器材產業	0.9250	0.9392	0.9289	0.9416	0.9428	0.9079	0.9037	0.9187	0.9230	0.9180	0.9263
產業總平均	0.9263	0.8758	0.8657	0.8578	0.8859	0.8078	0.8052	0.8241	0.8322	0.8219	0.8488

表 6：共同邊界下具有完全效率之台灣生技公司

產業別	公司名稱	十年平均效率值	排名
應用生技產業	葡萄王	1.000	1
應用生技產業	龍燈-KY	1.000	1
應用生技產業	達爾膚	1.000	1
製藥產業	智擎	1.000	1
醫療器材產業	喬山	1.000	1

由表 7 之實證結果分析，顯示應用生技產業、製藥產業及醫療器材產業，以各別之子群組效率前緣比較各別廠商的相對效率值。應用生技產業中，平均純粹技術效率最具效率之廠商分別為：葡萄王、龍燈-KY、醕聯、久裕、達爾膚等廠商。與在共同邊界效率前緣之實證結果（表 6）比較，顯示葡萄王、龍燈-KY、達爾膚等三間廠商，在技術上具明顯之領先優勢（技術落差比例接近 1）；製藥產業中，平均純粹技術效率最具效率之廠商分別為：康聯、友華、智擎、東洋等廠商。與在共同邊界效率前緣之實證結果（表 6）比較，顯示只有智擎在技術上具明顯之領先優勢（技術落差比例接近 1）；醫療器材產業中，平均純粹技術效率最具效率之廠商分別為：喬山、佳醫、百略、合富-KY、醫揚、金可等廠商。與在共同邊界效率前緣之實證結果（表 6）比較，顯示只有喬山在技術上具明顯之領先優勢（技術落差比例接近 1）。

#### （四）技術落差比例實證結果

此程序之研究，主要是將共同邊界與組別邊界所估出的技術效率值，代入式 5 中。並計算其技術落差比例，藉以進行分析。其結果彙整如表 8 及圖 5 所示，比較各產業平均技術落差比例值。由表 8 結果顯示，就應用生技產業而言，2006 年至 2015 年間，平均技術落差比例最高值為 2013 年之 0.949，最低值則為 2007 年之 0.670。顯示應用生技產業的組別邊界，距離共同邊界是存在著差距。這也表示該產業之技術不及共同邊界上之技術，但仍高於整

表 7：組別邊界下具效率之台灣生技公司

產業別	公司名稱	十年平均效率值	排名
應用生技產業	葡萄王	1.000	1
應用生技產業	龍燈-KY	1.000	1
應用生技產業	醣聯	1.000	1
應用生技產業	久裕	1.000	1
應用生技產業	達爾膚	1.000	1
製藥產業	康聯	1.000	1
製藥產業	友華	1.000	1
製藥產業	智擎	1.000	1
製藥產業	東洋	1.000	1
醫療器材產業	喬山	1.000	1
醫療器材產業	佳醫	1.000	1
醫療器材產業	百略	1.000	1
醫療器材產業	合富-KY	1.000	1
醫療器材產業	醫揚	1.000	1
醫療器材產業	金可	1.000	1

表 8：2006 年至 2015 年各產業之平均技術落差比例

年度	應用生技產業	製藥產業	醫療器材產業	全體
2006	0.899	0.990	0.924	0.938
2007	0.670	0.983	0.835	0.829
2008	0.793	0.990	0.746	0.843
2009	0.842	0.857	0.674	0.791
2010	0.873	0.869	0.759	0.834
2011	0.712	0.842	0.704	0.752
2012	0.821	0.791	0.707	0.775
2013	0.949	0.728	0.696	0.791
2014	0.873	0.715	0.733	0.774
2015	0.816	0.843	0.730	0.796
平均值	0.825	0.854	0.751	0.812

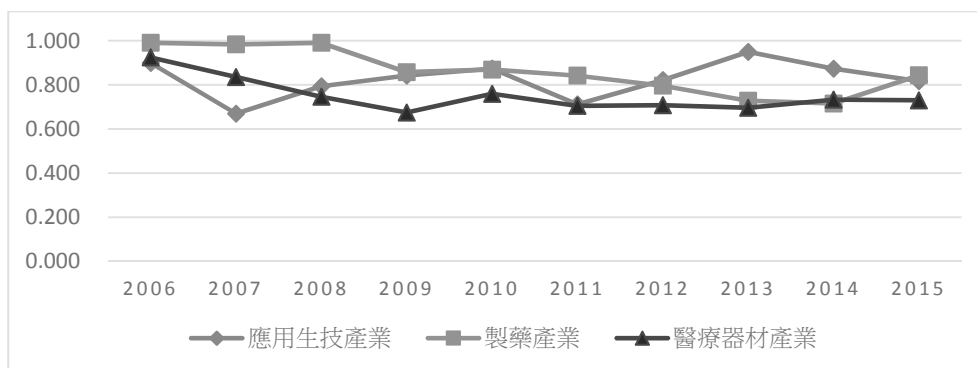


圖 5：2006 年至 2015 年各產業之技術落差比例值

體產業的平均值；關於製藥產業，2006 年至 2015 年間，平均技術落差比例最高值為 2006 年與 2008 年的 0.990，最低值則為 2014 年之 0.715。結果顯示出製藥產業同樣存在與共同邊界上的技術落差，但是落差的幅度小於應用生技產業，表示製藥產業對於應

用生技產業，具有技術上領先的優勢；最後就醫療器材產業而言，2006 年至 2015 年間，平均技術落差比例最高值為 2006 年的 0.924，最低值則為 2009 年的 0.674；由結果可總結醫療器材產業的組別邊界，距離共同邊界存在一段差距、且平均技術效率值是小於全體之平均值；這也代表醫療器材產業的技術是落後於應用生技產業與製藥產業。

綜上所述，雖製藥產業平均技術落差比例呈衰退趨勢，但其整體平均值皆高於其他兩個次產業。亦即，製藥產業為台灣整體生技產業中，技術程度最高之次產業。對醫療器材產業來說，至 2009 年後，該產業之平均技術落差比例就一直落在較低迷的水準。雖然應用生技產業之平均技術落差比例波動，皆較其二產業都來得大，但其技術成長幅度皆高於其他兩個次產業。

## 五、結論與建議

### (一) 結論

本研究以台灣上市、櫃生物技術產業共 99 間廠商做為研究對象。有文獻指出，近年來我國生技產業之整體生產力均呈衰退趨勢。因此本研究利用 Battese et al. (2004) 之共同邊界法，欲進一步探討我國生技產業各個次產業之效率、分析並比較 2006 年至 2015 年共 10 年間，台灣生物技術廠商之經營效率及技術落差比例。根據本研究之實證結果，可以得出以下結論：

第一，本研究採用員工人數、固定資產與營業成本作為投入變數，以營業收入作為產出變數。上述所選取之變數皆符合同向性分析，且對生技廠商之經營效率衡量皆具重大影響，藉此以佐證本研究之實證結果。

第二，本研究採 Battese et al. (2004) 之共同邊界法，衡量我國應用生技產業、製藥產業、醫療器材產業等三生技次產業之技術效率，並進一步找出我國生技產業經營效率低迷的原因，而此為本研究與過去文獻之貢獻差異之處。

第三，關於應用生技產業，根據實證結果顯示，至 2011 年後，其不僅在共同邊界下平均技術效率值均呈上漲趨勢，且該產業之平均技術落差比例均維持在 0.8 以上，漲幅達 12%。關於應用生技產業的成長由資料顯示，主要是因食品生技廠商與特化生技廠商的經營效率穩定且持續成長，如：葡萄王、龍燈-KY、大江、麗豐-KY、佐登等廠商。食品生技領域屬台灣本土化的中、下游產業，且一直是台灣生技產業中發展較完整的產業。另外，關於同屬中、下游產業的特化生技領域，醫學美容的興起可以解釋其近年來成長的趨勢。

第四，就製藥產業而言，根據實證結果顯示，該產業技術效率值且技術落差比例較高之廠商，均屬西藥製劑工業，如：康聯、智擎、杏國、東洋等廠商。而我國西藥製劑工業仍多以開發學名藥的中、下游廠商為主，研發及開發新藥的廠商較少；中藥製劑工業至 2012 年起，其平均技術效率值呈上升趨勢，近年來預防醫學的興起可以解釋如此趨勢；另外中藥製劑工業屬本土化的產業，且根據其平均效率值高於整體製藥產業可以發現，該產業屬製

藥產業中穩定發展的產業。根據實證結果顯示，製藥產業不論在共同邊界或組別邊界下平均技術效率值皆未有突出表現，但該產業之平均技術落差比例，卻為整體產業之冠。

第五，關於醫療器材產業，由實證結果顯示，該產業在共同邊界下之平均技術效率值，整體均呈現較為低迷之趨勢。其中由資料顯示，屬中、下游廠商的喬山位居醫療器材產業之首；該產業之十年平均技術效率值與技術落差比例皆為 1.000。另外在組別邊界下，醫療器材產業十年之平均技術效率值高達 0.923；這顯示醫療器材產業若單就產業本身而言，是具有很高的經營效率。但若就整體生技產業方面看來，其具有相對的弱勢，且技術程度也相對於其他兩個次產業低。

綜上所述，就台灣生技產業現況而言，雖說 2011 年後廠商之經營效率有小幅上漲的態勢，但自 2006 年起整體產業均呈現下降且較低迷的狀態；就上述結果可知，目前台灣生技產業中效率值較高的廠商或發展較好的領域，皆偏向以中、下游廠商、本土化產業為主。亦說明，若能有效提升以研發為主之上游廠商的經營績效，勢必能強化我國生技產業的競爭力。雖然我國醫療器材產業規模及營業額均有逐漸擴大的趨勢，但其整體效率值均呈現較低迷的狀態。換言之，若醫療器材產業之廠商能提升其經營效率與技術程度，對我國生技產業的發展可能會有正向的影響。

## （二）經濟與管理意涵

相較於過去的研究，本研究的實證結果對於生物技術產業內部的管理階層、外部的投資者、政府單位或研究機構，皆具有一定程度的貢獻與經濟和管理意涵；譬如，對於內部的管理階層而言，可進一步了解自身公司在該產業的定位與特性以及三個次產業：應用生技產業、製藥產業、醫療器材產業間的差異，如此可作為強化該公司營運決策與競爭策略的依據。相較於應用生技產業與製藥產業，醫療器材產業之技術距離共同邊界較遠，因此可作為醫療器材產業內公司管理階層在營運模式或策略規劃上的參酌。

對於外部投資者或利害關係人而言，製藥業不論在共同邊界或組別邊界



下的平均技術效率均低於其它兩個產業：應用生技產業和醫療器材產業；因此，在三個產業中，應用生技和醫療材料產業較具投資性優勢。以政府單位的角度來看，這三個產業皆有很大的進步空間，因此可以運用政策獎勵和引導之方式來改善與提高其技術效率值，同時也縮小技術落差。另外，過去學術文獻中，雖談及生技產業，但甚少將屬性相似但技術有別的整個產業分成三個次產業來深入探討進行效率評估與衡量各技術落差率，本研究不但提供共同邊界下三個次產業效率比較外，也針對組別邊界下各次產業的效率值比較分析，進而得出技術較落後之產業，使得本研究之實證結果補過去之缺、也為未來的研究奠定豐富的基礎。

### （三）建議與未來研究方向

本研究利用方向性距離函數模型進行分析。該模型同時縮減投入且擴張產出，較符合廠商真實之營運狀況。此外，本研究運用共同邊界法，將整體生技廠商分為三個以群體，藉以探討各群體廠商之相對經營效率與其技術程度。關於本研究仍有需注意之部分，以下提出建議，供未來研究參考：

首先，因應用生技產業的廠商規模皆較小，且多數為新進廠商。受限於此，使得多數可供分析之廠商，其存續期間不夠長。因此期望未來應用生技產業廠商發展較完全、資料較為完備時，後續研究可以持續追蹤且研究。第二，食品生技領域之廠商，於 2011 年後技術效率有成長之趨勢。本研究推測是因塑化劑、黑心奶粉等食安事件所影響。因此建議未來研究得以 2011 年為時間切點，進一步探討食安危機與生技產業的關聯性。

第三，多數關於生技廠商之研究，多著重於整體產業或是製藥產業。但由本研究資料顯示，我國醫療器材產業其經營效率不佳，且技術程度相對較低。故建議未來研究可以多著重於醫療器材產業的研究，並探討其缺乏效率之原因。最後，生技產業屬產品與研發週期較長之產業，但本文僅就 2006 年至 2015 年為分析期間，故後續研究應該繼續對此議題進行更深、更廣的研究。

## 參考文獻

### 中文部分

- 行政院第二十二次科技顧問會議 (2001)，《行政院第二十二次科技會報》，臺北：行政院。
- 經濟部生技醫藥產業發展推動小組 (2015)，《生物技術產業白皮書》，臺北：經濟部工業局。
- 行政院科技會報辦公室 (2016)，《台灣生物經濟產業發展方案》，臺北：行政院。
- 經濟部生技醫藥產業發展推動小組 (2016)，《2017 中華民國生物技術與醫藥產業簡介》，臺北：經濟部工業局。
- 李揚、李曉娟 (2008)，〈亞洲生技產業之總要素生產力解析-應用隨機邊界模型〉，《農業與資源經濟》，5(1)，頁 55-76。
- 李俊彥、鍾孟鋼、盧永祥 (2012)，〈臺灣生物科技廠商成本效率與成本生產力指數之分析〉，《農業經營管理年刊》，18，頁 1-16。
- 邱永和、胡均立、曹嘉麟 (2003)，〈台灣生物科技廠商之成本效率分析〉，《農業與經濟》，31，頁 55-78。
- 林灼榮、黃琛瑞、施雅琴、張正忠 (2010)，〈台灣生技製藥產業效率結構、市場力量與獲利能力之攸關性探討〉，《生物產業科技管理叢刊》，1(2)，頁 41-61。
- 程樹森 (2002)，《基因世紀》，臺北：知識風出版社。
- 劉依蓁、林彥宏 (2015)，《生技新藥產業發展趨勢前瞻》，臺北：生物科技產業研究中心。
- 謝尚達、萬鍾汶、陸大榮 (2007)，〈臺灣農業生物科技廠商創新效率之分析〉，《應用經濟論叢》，82，頁 1-25。
- 譚中岳、陳秋玲、鄭宇婷、陳玲玉、陳怡蓁 (2015)，《生物技術產業年鑑》，臺北：財團法人生物技術開發中心。

外文部分

- Banker, R. D., A. Charnes and W. W. Cooper (1984), "Some Models for Estimating Eechnical and Scale Inefficiencies in Data Envelopment Analysis," *Management Science*, 30(9), 1078-1092.
- Battese, G. E. and D. P. Rao (2002), "Technology Gap, Efficiency, and a Stochastic Metafrontier Function," *International Journal of Business and Economics*, 1(2), 87.
- Battese, G. E., D. P. Rao and C. J. O'donnell (2004), "A Metafrontier Production Function for Estimation of Technical Efficiencies and Technology Gaps for Firms Operating under Different Technologies," *Journal of Productivity Analysis*, 21(1), 91-103.
- Chambers, R. G., Y. Chung and R. Färe (1996), "Benefit and Distance Functions," *Journal of Economic Theory*, 70(2), 407-419.
- Charnes, A., W. W. Cooper and E. Rhodes (1978), "Measuring the Efficiency of Decision Making Units," *European Journal of Operational Research*, 2, 429-444.
- Chen, M. F., J. L. Hu and C. G. Ding (2005), "Efficiency and Productivity of Taiwan's Biotech Industry," *International Journal of Biotechnology*, 7, 307-322.
- Chung, Y. H., R. Färe and S. Grosskopf (1997), "Productivity and Undesirable Outputs: A Directional Distance Function Approach," *Journal of Environmental Management*, 51, 229-240.
- Färe, R., S. Grosskopf, D. W. Noh and W. Weber (2005), "Characteristics of a Polluting Technology: Theory and Practice," *Journal of Econometrics*, 126, 469-492.
- Farrell, M. J. (1957), "The Measurement of Productive Efficiency," *Journal of the Royal Statistical Society, Series A*, 120, 253-290.
- Fildes, R. A. (1990), "Strategic Challenges in Commercializing Biotechnology," *California Management Review*, 32, 63-72.
- Graves, S. B., and N. S. Langowitz (1993), "Innovative Productivity and Returns to Scale in the Pharmaceutical Industry," *Strategic Management Journal*, 14, 593-605.
- González, E. and F. Gascón (2004), "Sources of Productivity Growth in the Spanish Pharmaceutical Industry (1994–2000)," *Research Policy*, 33, 735-745.
- Hall, L. A. and S. Bagchi-Sen (2002), "A Study of R&D, Innovation, and Business Performance in the Canadian Biotechnology Industry," *Technovation*, 22, 231-244.

- Hayami, Y. (1969), "Sources of Agricultural Productivity Gap among Selected Countries," *American Journal of Agricultural Economics*, 51, 564-575.
- Lau, L. J. and P. A. Yotopoulos (1989), "The Meta-production Function Approach to Technological Change in World Agriculture," *Journal of Development Economics*, 31, 241-269.
- Liang, S. K., J. L. Jiang and C. T. Lai (2008), "Effects of Integrative Strategies on the Production Efficiency of Biotech Firms: A Data Envelopment Analysis," *International Journal of Management*, 25, 140-148.
- Lu, Y. H., K. H. Chen and C. C. Wu (2015), "Cross-country Analysis of Efficiency and Productivity in the Biotech Industry: an Application of the Generalized Metafrontier Malmquist Productivity Index," *Agric. Econ.-Czech*, 61, 116-134.
- Luenberger, D. G (1992), "Benefit Functions and Duality," *Journal of Mathematical Economics*, 21, 461-481.
- Mundlak, Y. and R. Hellinghausen (1982), "The Intercountry Agricultural Production Function: Another View," *American Journal of Agricultural Economics*, 64, 664-672.
- O'Donnell, C. J., D. P. Rao and G. E. Battese (2008), "Metafrontier Frameworks for the Study of Firm-level Efficiencies and Technology Ratios," *Empirical Economics*, 34, 231-255.
- Saranga, H., and B. V. Phani (2009), "Determinants of Operational Efficiencies in the Indian Pharmaceutical Industry," *International Transactions in Operational Research*, 16, 109-130.
- Shephard, R. W. (1970), *Theory of Cost and Production Functions*, New Jersey: Princeton University Press.
- Shephard, R. W. and R. Färe (1974), "The Law of Diminishing Returns," *Journal of Economics*, 34, 69-90.
- Zhang, N., P. Zhou and Y. Choi (2013), "Energy Efficiency, CO<sub>2</sub> Emission Performance and Technology Gaps in Fossil Fuel Electricity Generation in Korea: A Metafrontier Non-radial Directional Distance Function Analysis," *Energy Policy*, 56, 653-662.

# A Metafrontier Efficiency Analysis of Bio-technology Companies in Taiwan

Jin-Li Hu\*, Chia-Ning Chiu\*\*, Yu-Chen Lin\*\*\*

## Abstract

The bio-technology industry in Taiwan is a capital-intensive industry with longer product life cycles. Facing global competition in the industry, these bio-technology companies have to improve their managerial efficiency. This study applies the directional distant function and the metafrontier definition by Battese et al. (2004) to analyze the efficiency and technology gap ratio of 99 Taiwanese biotechnology listed companies from 2006 to 2015. The bio-technology market includes medical, agricultural, environmental, etc. This study divides bio-technology market into three groups: applied biotechnology industry, pharmaceutical industry, and medical device industry. The efficiency scores and technology gap ratios (TGR) are then computed by the data envelopment analysis (DEA). Our major empirical findings are as follows: (1) The average metafrontier efficiency score of applied biotechnology industry is higher than those of pharmaceutical industry and medical device industry. (2) The pharmaceutical industry has a smaller technology gap than the other two industries.

**Keywords:** Bio-technology industry, Data Envelopment Analysis (DEA), Directional Distance Function (DDF), Metafrontier Analysis, Technology Gap Ratio (TGR)

---

\* Professor and Dean, Institute of Business and Management, National Chiao Tung University, E-mail: jinlihu@mail.nctu.edu.tw. The authors thank two anonymous referees and an associate executive editor of this journal for valuable comments. The first author thanks Ministry of Science and Technology for financial support (MOST105-2410-H-009-043).

\*\* Assistant Professor, Department of Leisure Industry and Health Promotion, National Ilan University.

\*\*\* MBA, Institute of Business and Management, National Chiao Tung University.