

臺灣鳳梨產業能源效率之研究

賴珮寧¹ 王韋勝² 洪輝煌³ 彭克仲⁴

摘要

能源永續應用是全球共同的目標，農業為能源消費主要部門之一，農業生產與能源消耗息息相關，若提升農業產出需求，勢必將增加能源投入消耗。因此，減少無效率之能源消耗、避免環境衝擊、防止破壞天然資源等目標，即為農產業永續經營之重要課題。故本研究將運用資料包絡分析法 DEA，探討臺灣鳳梨產業 2009 年至 2018 年之各主要地區之能源效率，並運用 Malmquist 生產力指數法分析其變動，再將各決策單位加以做比較。

經實證結果顯示鳳梨生產之能源效率平均最高為南投縣，其次為台南市、嘉義縣、屏東縣及高雄市；而其中最大潛在節能量為化肥能源投入，佔鳳梨總能源潛在節能量 89.6%，其中又以氮肥投入最多，佔鳳梨總能源潛在節能量 80.6%，而動力燃料（汽油、柴油、電力）之能源投入為次之，僅佔鳳梨總能源潛在節能量之 7%。

關鍵字：鳳梨、能源效率、Malmquist 生產力指數

¹ 國立屏東科技大學農企業管理系碩士

² 國立屏東科技大學農企業管理系碩士

³ 高雄市内門區農會總幹事

⁴ 國立屏東科技大學農企業管理系教授，通訊作者(kchung@mail.npust.edu.tw)

壹、緒論

能源是國家經濟發展的命脈，有效的利用能源為促進永續發展之重要條件，提高能源效率是我國六項能源政策方針之一。使用高效率的能源及降低能源需求的技術來抑制二氧化碳的排放，可達成能源節約的目的。農業為能源消費主要部門之一，農業生產與能源消耗息息相關，在未來人口持續增加之時，若增加農業產出，亦會增加能源消耗，而能源消耗的過程中所產生的溫室氣體會對環境造成破壞，加上現今人們非常關注氣候變遷及全球暖化之議題，因此農業生產能源效率之提升，為農業永續發展之重要條件(林龍麒、楊育誠，2012)。

鳳梨為台灣重要的經濟果樹，其鮮果不僅能直接提供食用，亦可加工製成不同成品。依據行政院農業委員會 2016 至 2019 年農業統計資料，臺灣農產品主要出口國家為中國大陸，其中鳳梨出口量排名為前十名，屬於重要之外銷作物。2008 年北京奧運期間，鳳梨被行政院農業委員會選為臺灣代表水果，在北京地鐵、報章雜誌刊登廣告，也讓臺灣鳳梨走向國際化銷售。2009 年全臺灣鳳梨種植面積為 11,236 公頃，以屏東縣、台南市、嘉義縣、高雄市及南投縣等 5 個縣市為主要產區，計 9,300 公頃，占全臺灣鳳梨產業種植面積之 82.76，顯示臺灣鳳梨產地分部相對集中。近年政府積極發展鳳梨外銷市場及國內行銷，並投入經費輔導整體運銷，在過去 2009 至 2017 年間，臺灣鳳梨種植面積逐年增加，年平均約在 10,274 公頃，而到 2018 年臺灣鳳梨種植面積上升達到 11,794 公頃，由種植面積可知，臺灣鳳梨的需求量上升，也代表必定會增加鳳梨產業之能源消耗。

有研究指出農業永續發展之重要條件，其中包括能源有效率的使用，其不僅能將能源消耗對環境的問題最小化亦能防止破壞天然資源並促進農業永續發展(Mohammadi, A., Rafiee, S., Mohtasebi, S. S., Avval, S. H. M., & Rafiee, H.,2011)。為了避免資源耗竭、環境污染及全球暖化等情況，提升能源效率是重要的源頭管制(張民忠，2015)。資料包絡分析方法(Data Envelopment Analysis, DEA)被廣泛應用於各種行業及領域的績效評估上，亦有許多學者將其應用於能源效率之衡量(林龍麒、楊育誠，2012；Banaeian, N., & Zangeneh, M.,2011；Mohammadi, A., Rafiee, S., Mohtasebi, S. S., Avval, S. H. M., & Rafiee, H.,2011；Nabavi-Pelesaraei, A., Abdi, R., Rafiee, S., & Mobtaker, H. G.,2014；Nassiri, S. M., & Singh, S.,2009)，故本研究將探討 2009 年至 2018 年間臺灣鳳梨產業各主要產地之能源效率，運用資料包絡分析 DEA，其能將某一決策單位與所有決策單位逐一比較，接著

運用 Malmquist 生產力指數法，分析各決策單位之全要素效率變動，並加以深入了解並做比較。

貳、研究方法

一、資料包絡分析法

資料包絡分析法(Data Envelopment analysis, DEA)，為評估一組決策單位(Decision Making Unit, DMU)之相對效率，義大利經濟學家派瑞圖提出了「包絡線分析法」，將所有受評估的單位中，將某一單位與所有其他單位逐一比較。DEA 模式是將現有可觀察到的投入產出向量資料，利用數學線性規劃(linear programming)方法，去建立一個包絡所有決策單位(decision making units, DMUs)的相對最有效率的生產前緣(Product frontier)，以評估個別廠商相對於生產前緣的經營效率程度，並針對弱或無效率者提出改善建議(Pareto,1971)。

本研究根據 Farrell 所提出的理論作為基礎，1878 年由 Charnes, Cooper, Rhodes 等幾位專家學者建立了更一般化的線性規劃模式，主要運用在固定規模報酬(Constant Return to Scale, CRS)，在多項投入及產出下的生產效率(14. Farrell, M. J., 1957)。並延續 Charnes 等專家在 1984 年提出進行修正將效率值區分為衡量純粹技術效率(Pure Technical Efficiency, PTE)及規模效率(Scale Efficiency, SE)。

資料包絡分析法又區分為兩種主要模式，Seiford, L. M. 提到一為 Charnes, Cooper 及 Rhodes (1978)根據 Farrell (1957)之技術效率觀念而發展出來的效率評估模式，其提出 CCR 模式評估各 DMU 的相對效率；二為 Banker, Charnes 及 Cooper (1984)將 CCR 模式中要求規模報酬為固定之限制取消，提 BCC 模式，此二模式被學界公認為是 DEA 領域中最具影響者。

(一) CCR 模式

資料包絡分析法之 CCR 模式假設為固定規模報酬(CRS)，意指每投入一單位就能得到一單位之產出，可分為投入與產出兩種導向(余文德、蔡宜靜，2006)。投入導向(Input-oriented)是指在現有的產出中，應使用多少的投入量才是最有效率的組織，其線性規劃式如下所示：

$$\text{Max } \sum_{r=1}^s U_r Y_{rk} \quad (1)$$

$$\text{s.t.} \left[\sum_{i=1}^m V_i X_{ik} = 1 \quad (2) \right.$$

$$\sum_{r=1}^s [u_r Y]_{rj} - \sum_{i=1}^m V_i X_{ij} \leq 0, j=1, \dots, n \quad (3)$$

$$U_r, V_i \geq 0 \quad (4)$$

式中，

Y_{rj} = 第 j 個決策單位之第 r 項產出項數量；

X_{ij} = 第 j 個決策單位之第 i 項投入項數量；

U_r = 第 r 個產出項權數； V_i = 第 i 個投入項權數。

(二) BCC 模式

Banker, Charnes, and Cooper 提出的 BCC 模式，假設為變動規模報酬 (Variable Return to Scale, VRS)，由 CCR 模式修正，並可衡量純技術效率 (Pure Technical Efficiency, PTE) 及規模效率 (Scale Efficiency, SE)，另 BCC 模式解決了 CCR 模式中無法說明弱效率所形成之原因。規模效率 (Scale Efficiency, SE) $SE = CCR/BCC$ ，技術效率 (TE) = 純技術效率 (PTE) \times 規模效率 (SE)。以投入為導向的線性規劃式如式下所示：

$$\text{Max } \sum_{r=1}^s U_r Y_{rk} - U_k \quad (5)$$

$$\text{s.t. } \left[\sum_{i=1}^m V_i X_{ik} = 1 \quad (6) \right.$$

$$\left. \sum_{r=1}^s [u_r Y]_{rj} - \sum_{i=1}^m V_i X_{ij} - U_k \leq 0, j=1, \dots, n \quad (7) \right.$$

$$U_r \geq \varepsilon \geq 0; r=1, \dots, s \quad (8)$$

$$V_i \geq \varepsilon \geq 0; i=1, \dots, m \quad (9)$$

式中，

ε = 非阿基米得常數，為一極小之正實數，約為 6~10；

U_k ：無正負號限制。

上述兩種模式之基礎，對資料包絡分析法領域具有重大影響。

二、Malmquist 生產力指數分析

由於 DEA 只能針對單一年度各個決策單位予以比較，而無法以連續數個年度作縱斷面的分析，所以本研究採用 DEA 所延伸出之 Malmquist 生產力指數，評估臺灣鳳梨各主要產區歷年的全要素生產力、技術變動、技術效率變動、純粹技術效率變動、規模效率變動等情況。

生產力指數最早由 Caves, D. W., Christensen, L. R. and Diewert, D. W. (1982) 所提出，受 Malmquist (1953) 啟發，以距離函數的比值定義數量指數而命名。主要是衡量受評對象

在不同時期生產力的變化情形。而 Caves 利用 Shephard 距離函數將全要素生產力變動 (Total Factor Productivity Change, TFP-ch) 分解為技術變動 (Technical Change, TECH-ch) 與技術效率變動 (Technical Efficiency Change, TE-ch)，而在 TE-ch 部分又可分解成純粹技術效率變動 (Pure Technical Efficiency Change, PTE-ch) 與規模效率變動 (Scale Efficiency change, SE-ch)。茲將投入導向變動指標的理論基礎與計算方法說明如下：

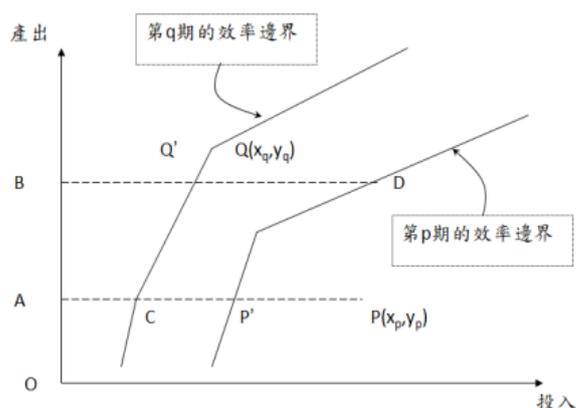


圖 1、投入導向之技術效率變動與技術變動

設 $P(x_p, y_p)$ 代表第 P 期的投入值及產出值， P' 為 P 在第 p 期效率邊界的投射點； $Q(x_q, y_q)$ 代表第 q 期的投入值及產出值， Q' 為 Q 在第 q 期效率邊界的投射點。技術效率變動 $= d_i^q(X_q, Y_q) / d_i^p(X_p, Y_p)$ ，藉由此投入面的 Malmquist 生產力指數，即可處理多項投入與多項產出的情形，進而衡量決策單位於不同期間中之生產力的變動。以下為 Malmquist 生產力指數之名詞定義：

(一) 全要素生產力變動

又稱為總要素生產力變動，意指組織任二期間產出面或投入面之效率變動，總要素生產力成長表示成本降低、產出增加，而總要素生產力係由技術變動與效率變動所構成。

(二) 技術效率變動

又稱追趕效果 (catch-up effect)，意指一個決策單元 (DMU) 的技術效率之改進或衰退的程度。效率進步表示效能改進或資源浪費、誤用的情況有所改善；反之，效率衰退則表示經營無效率或資源浪費情形惡化。然效率變動可區分為純粹技術效率變動及規模效率變動，其純粹技術效率欠佳乃經營技術不如業界平均，可藉管理者提升經營能力予以改善，而規模效率不佳則須藉規模調整方可改善。

(三) 技術變動

技術變動乃因時間改變，所引起生產邊界的變動，為產業整體生產技術產生變化，又稱移動效果(frontier-shift effects)，或創新效果(innovation effects)。而生產邊界外移表示業者生產技術進步；而生產邊界向原點移動表示業者生產技術衰退。其中技術進步，係通常係因技術的發明或創新所致之成本節省或生產力提高，而技術衰退則因技術退步，須加速創新方可改善。

綜上，本研究採用 Malmquist 生產力變動指數分析，以比較臺灣鳳梨產業各主要產地之經營效率變動。

三、資料來源與轉換

本研究運用行政院農業委員會公布之 2009 至 2018 年之鳳梨（台農 17 號）投入產出資料，將肥料能源投入（氮肥、磷肥、鉀肥）、汽油能源投入、柴油能源投入、電力能源投入、勞動能源投入（女工、男工）以及產出（產量），進行變數轉換。並基於 Hu, J. L. and S Wang, S. C. (2006)所建構出的全要素能源效率指標，將一個地區的能源投入的目標水準作為實際能源投入的最小水準，期使能源效率最佳化之觀念進行研究；本文參考林龍麒(2012)研究將能源效率指標定義為 TFEE(Total-factor energy efficiency)，如式(10)表示，其中 TFEE(i,t)代表第 i 個縣市以及第 t 年之能源效率指標。

$$TFEE(I,t)=(Target\ Energy\ Input(i,t))/(Actual\ Energy\ Input(i,t)) \quad (10)$$

以下茲將變數之轉換及意義分別進行說明（表 1、表 2）；另將農產品生產成本調查報告資料透過能源投入產出單位熱值表（表 3）之數值，轉換為能源投入單位。

表 1、能源效率變數之轉換

變數	內容
化學能源投入	依照農產品生產成本調查報告資料中將氮肥、磷肥及鉀肥之每公頃施用量轉乘熱值單位，其中分別為氮肥能源投入 F(N)、磷肥能源投入 F(P) 及鉀肥能源投入 F(K)。
汽油能源投入	依照農產品生產成本調查報告資料中，將每公頃消耗之汽油費透過經濟部能源局油價資訊管理與分析系統查詢歷年之汽油平均價格，進而轉換當年度之耗用量，再依據能源平衡表公式轉換為熱值單位。
柴油能源投入	依照農產品生產成本調查報告資料中，將每公頃消耗之柴油費透過經濟部能源局油價資訊管理與分析系統查詢歷年之柴油價格，進而轉換當年度之耗用量，再依據能源平衡表公式轉換為熱值單位。

電力能源投入	依照農產品生產成本調查報告資料中，將每公頃消耗之電費透過台電公司查詢歷年之電力價格，進而轉換成單年度耗用量，再依據能源平衡表公式轉換為熱值單位。
勞動能源投入	依照農產品生產成本調查報告資料中每公頃之男工(Lm)及女工(Lw)時數，再透過熱值轉換為能源單位。
產出變數	農產品生產成本調查報告資料中之產量代表產出變數。

資料來源：林龍麒(2012)，本研究整理

表 2、能源效率變數意義與衡量

變數	單位	熱值單位(MJ)	參考文獻
投入			
氮肥	公斤	64.4	(Ozkan et al.,2004)
磷肥	公斤	11.96	(Ozkan et al.,2004)
鉀肥	公斤	6.7	(Ozkan et al.,2004)
汽油	公斤	32.63	能源局-能源平衡表熱值單位轉換
柴油	公斤	34.81	能源局-能源平衡表熱值單位轉換
電力	千瓦 小時	3.6	電力公司-能源單位轉換
女工	小時	1.96	(Banaeian et al.,2006)
男工	小時	1.57	(Banaeian et al.,2006)
產出			
鳳梨	公斤	2.09	本研究計算

資料來源：本研究整理

表 3.能源投入產出單位熱值表

變數	衡量方式	熱值單位
氮肥	F(N)	每公頃氮肥能源投入
磷肥	F(P)	每公頃磷肥能源投入
鉀肥	F(K)	每公頃鉀肥能源投入
汽油	O	每公頃汽油能源投入
柴油	F	每公頃柴油能源投入
電力	E	每公頃電力能源投入
男工	Lm	每公頃生產男性勞動能源投入
女工	Lw	每公頃生產女性勞動能源投入
產出	Q	每年度產量轉換之能源產出

資料來源：本研究整理

本文採用 DEA-SOLVER 5.0 軟體進行分析，將轉換後之投入熱值單位及產出熱值單位進行分析，選用 Window 模式之投入導向，並藉由 CCR 模式得出各主要產地間之能源效率，藉此探討各產地的能源運用。接著採用 DEAP Version 2.1 之 Malmquist 模式得

出技術變動、技術效率變動、純技術效率變動、規模變動及全要素效率變動，以探討各地區之能源效率變動情形。

參、實驗結果與分析

本研究採用行政院農業委員會農糧署發布之 2009 至 2018 年農產品生產成本調查年報資料，依其所提供之臺灣鳳梨五大產地（南投縣、嘉義縣、台南市、高雄市、屏東縣）之生產成本資料，進行各產地之資料包絡分析，藉此探討臺灣鳳梨產業各產地的能源運用，並用 Malmquist 生產力指數分析來探討各地區之能源效率變動。

一、臺灣鳳梨產業各主要產地之能源效率分析

2009 至 2018 年臺灣鳳梨產業各主要產地能源效率如表 4 所示，據表所知，各年度之平均能源效率皆達到 98% 以上，其中 2017 年之平均能源效率更高達 100%，代表鳳梨產業各主要產地於這幾年都能將投入能源做最有效的運用；而部分年份平均能源效率偏低狀況，究其原因可能為遭遇豪雨或颱風的肆虐，造成各主要產地之投入能源浪費，鳳梨產出損失，使各產地之能源效率皆下降。

若從各決策單位角度看，以南投縣的平均能源效率為最高，達 99.9%，後依序為台南市 99.7%、嘉義縣 99.4%、屏東縣 99.2% 及高雄市 97.5%。南投縣僅 2014 年能源效率未達 1，顯示鳳梨產業較其他縣市投入低、產出高；高雄市年平均排名最後，且 10 年間效率多次未達 1，於 2012 年效率最低(92.4%)，應再參酌其他產地縣市經營管理模式。

表 4.臺灣鳳梨產業能源效率分析表

年度	南投縣	嘉義縣	台南市	高雄市	屏東縣	平均
2009	1.000	0.967	0.989	0.958	1.000	0.983
2010	1.000	1.000	1.000	1.000	0.994	0.999
2011	1.000	1.000	1.000	0.951	0.960	0.982
2012	1.000	1.000	1.000	0.924	1.000	0.985
2013	1.000	1.000	1.000	1.000	0.970	0.994
2014	0.991	1.000	0.981	0.940	1.000	0.983
2015	1.000	0.973	1.000	1.000	1.000	0.995
2016	1.000	1.000	1.000	0.974	1.000	0.995
2017	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
2018	1.000	1.000	1.000	1.000	0.993	0.999

平均	0.999	0.994	0.997	0.975	0.992	0.991
----	-------	-------	-------	-------	-------	-------

資料來源：本研究整理

二、臺灣鳳梨產業各主要產地之能源效率變動分析

本研究藉由 Malmquist 模式得出技術變動、技術效率變動、純技術效率變動、規模變動及全要素效率變動。

由附表 1 可得知，2009 至 2018 年鳳梨產業各主要產地之技術效率變動、純技術效率變動及規模效率變動等，都無明顯變化，代表臺灣鳳梨產業各主要產地之運用能源規模比例較一致，而影響全要素效率變動的主要因素都來自技術變動。又各決策單位之純技術效率變動都為 1，代表這 10 年間臺灣各主要產地之鳳梨產業技術方面表現良好並穩定。

其中 2014 至 2016 年各主要地區之全要素生產力指數平均表現突出，其中南投縣、台南市、高雄市全要素效率變動達 10 以上，表示減少投入成本、提高鳳梨產量；惟查前開年份生產成本調查投入變數之資料，柴油及電力成本下降幅度大，甚至為零，判斷可能是統計調查過程產生之遺漏值，造成明顯變動。

另，2009 至 2018 年間，南投縣、嘉義縣及台南市超過一半時間，全要素效率變動達 1 以上，代表能源運用技術相對進步。2014 年臺灣鳳梨出口外銷大幅度成長，表示各地區鳳梨需求增加、種植規模擴大，再加上適當的能源投入，讓 2014 年各主要地區之鳳梨產業都呈現進步的趨勢。

由表 5 可得知，臺灣鳳梨產業之年平均全要素效率變動均有達到 1 以上，表示各主要產地之能源運用都呈現進步的趨勢，從各決策單位角度看，以台南市的平均全要素效率變動為最高，達到 140.5%，後依序為高雄市 132.5%、南投縣 127.1%、嘉義縣 107.8%及屏東縣 100%。然而屏東縣為最大鳳梨產區，但 2009 年至 2018 年間能源效率變動大部分呈現退步的趨勢，表示屏東投入能源相對較不適當，亦或是沒有檢討修正不適宜之經營管理模式，建議屏東縣應參考其它縣市能源投入決策，減少過多能源投入浪費的情況。

表 5. 2009-2018 年各決策單位之能源效率變動年平均表

	技術效率變動	技術變動	純技術效率變動	規模效率變動	全要素效率變動
南投縣	1.000	1.271	1.000	1.0000	1.271
嘉義縣	1.000	1.078	1.000	1.0000	1.078
台南市	1.000	1.405	1.000	1.0000	1.405

高雄市	1.000	1.325	1.000	1.0000	1.325
屏東縣	1.000	1.000	1.000	1.0000	1.000

資料來源：本研究整理

肆、結論與建議

本研究以 5 個臺灣鳳梨產業之主要產地做為決策單位，探討 2009 至 2018 年之能源效率及其變動。能源效率分析方面，結果顯示，以南投縣的平均能源效率為最高，達到 99.9%，後依序為台南市 99.7%、嘉義縣 99.4%、屏東縣 99.2% 及高雄市 97.5%，其各產地之效率值都近乎於 1，代表臺灣鳳梨產業各主要產地都能善用投入之能源。南投縣地形多屬山區，耕作管理較受限制，但於 2009-2018 年間，連續九年能源效率達 100%，足以證明在鳳梨生產投入方面，相對於其他縣市更能有效率運用能源，值得進一步分析其管理栽培模式。另能源效率年平均於 2014 年低點後，2015-2018 年都維持固定或上升趨勢，代表近年臺灣鳳梨雖然不斷擴大種植面積，增加能源投入，但能源運用效率亦不斷提升。

能源效率變動分析方面，結果顯示，臺灣鳳梨產業各主要產地之年平均都已達 1 以上，表示臺灣鳳梨產業各主要產地之能源運用都呈現進步的趨勢，從各決策單位角度看，以台南市 140.5% 為最高，後依序為高雄市 132.5%、南投縣 127.1%、嘉義縣 107.8% 及屏東縣 100%。於 2009-2018 年間，主要影響全要素效率變動原因為技術變動，顯示臺灣近年不斷投入提升鳳梨產業技術，且具有成效。

其影響臺灣各主要產地的能源效率，最主要的原因就來自技術方面的不同，代表各主要產地投入的能源投入必須適當，以相對有效率之生產模式，避免無效率之資源浪費及環境汙染，並減少溫室氣體的排放。而各產地之平均投入之能源，其中最大潛在節能量為化肥能源投入，佔鳳梨總能源潛在節能量 89.6%，其中又以氮肥投入最多，佔鳳梨總能源潛在節能量 80.6%，而動力燃料（汽油、柴油、電力）之能源投入為次之，僅佔鳳梨總能源潛在節能量之 7%。

本研究係分析行政院農業委員會農糧署公告之鳳梨生產成本調查數據，惟影響鳳梨生產之因素尚包含生產者之耕作方式、生產環境等。故後續研究建議納入相關資料，以健全鳳梨產業之經營策略。

參考文獻

一、中文部分

- 行政院農業委員會，2009-2018，「農業統計年報」。
- 行政院農業委員會農糧署，2009-2018，「農產品生產成本年報」。
- 余文德、蔡宜靜，2006，「資料包絡分析法應用於評估知識管理效率之初步探討」，中華技術季刊，70：80-85 頁。
- 李俊霖、柯立祥、顏昌瑞，2016，「鳳梨產業之經營績效分析-以 A 農場為例分析」，國立屏東大學農園生產研究所碩士論文。
- 李應圻、戴劍鋒、李婕寧、彭克仲，2016，「臺灣荔枝產業經營績效分析」，台灣農學會報，17(2)：192-214 頁。
- 林龍麒、楊育誠，2012，「應用資料包絡分析法衡量台灣果品生產之能源效率-以柑橘為例」，中興大學應用經濟學系碩士論文。
- 高子荃、陳振遠、周建新，2003，「台灣地區產險業經營效率之研究-資料包絡法與 Malmquist 生產力指數之應用」，國立臺灣科技大學財務金融研究所碩士論文。
- 張民忠，2015，「能源效率的衡量與演進—以波羅的海地區國家為例」，綠色經濟期刊，1：55-63 頁。
- 郭芄卉、羅竹平、雷立芬，2015，「臺灣縣市稻米生產效率及生產力分析」，臺灣農學會報，16(1)：18-33 頁。
- 陳陵援、高惠蓉，2004，「能與能源」，科學發展，373：76-81 頁。

二、外文部分

- Banaeian, N., & Zangeneh, M.(2011), “Study on energy efficiency in corn production of Iran, Energy, 36(8), 5394-5402.
- Burhan Ozkan, Handan Akcaoz and Feyza Karadeniz(2004), “Energy Requirement and Economic Analysis of Citrus Production in Turkey,” Energy Conversion and Management, 45(11),1821-1830.
- Caves , D. W.,Christensen, L. R. and Diewert, D. W.(1982), “The Economic Theory of Index Numbers and the Measuremnt of Input, Output, and Productivity, Econometrica, 50, 1393-1414.
- Farrell, M. J.(1957) “The Measurement of Productive Efficiency, Journal of Royal Statistical Society, 120(3),253-290.
- Hu, J. L. and S Wang, S. C.(2006), “Total-Factor Energy Efficiency of Regions in China”, Energy Policy, 34(17), 3206-3217.
- Malmquist(1953), S.“Index numbers and indifference surfaces,”Trabajos de Estadística y de Invest Operativa, 4, 209-242.
- Mohammadi, A., Rafiee, S., Mohtasebi, S. S., Avval, S. H. M., & Rafiee, H.(2011), “Energy efficiency improvement and input cost saving in kiwifruit production using Data

- Envelopment Analysis approach,”*Renewable Energy*,36(9), 2573-2579.
- Nabavi-Pelesaraei, A., Abdi, R., Rafiee, S., & Mobtaker, H. G.(2014), “Optimization of energy required and greenhouse gas emissions analysis for orange producers using data envelopment analysis approach,”*Journal of Cleaner Production*, 65, 311-317.
- Nassiri, S. M., & Singh, S.(2009), “Study on energy use efficiency for paddy crop using data envelopment analysis (DEA) technique,”*Applied energy*, 86(7-8), 1320-1325 .
- Pareto, Vilfredo, orig. 1906 in Italian; 1927, French; (1971) translation Ann S. Schwier., *Manual of Political Economy*, Augustus M. Kelley, New York.
- Seiford , L. M.(1996), “Data Envelopment Analysis: the Evolution of the State of the Art (1978-1995)”, *Journal of Pharmaceutical Analysis*, 7(2-3), 99-137.

附表 1. 2009-2018 年各決策單位之能源效率變動

年度	技術效率變動	技術變動	純技術效率變動	規模效率變動	全要素效率變動
2009-2010	1.000	0.065	1.000	1.000	0.065
2010-2011	1.000	0.987	1.000	1.000	0.987
2011-2012	1.000	1.115	1.000	1.000	1.115
南 2012-2013	0.990	1.029	1.000	0.990	1.029
投 2013-2014	1.010	0.861	1.000	1.010	0.861
縣 2014-2015	1.000	19.632	1.000	1.000	19.632
2015-2016	1.000	11.739	1.000	1.000	11.739
2016-2017	1.000	1.028	1.000	1.000	1.028
2017-2018	1.000	0.578	1.000	1.000	0.578
2009-2010	1.000	1.258	1.000	1.000	1.258
2010-2011	1.000	1.129	1.000	1.000	1.129
2011-2012	1.000	1.485	1.000	1.000	1.485
嘉 2012-2013	1.000	0.745	1.000	1.000	0.745
義 2013-2014	1.000	0.972	1.000	1.000	0.972
縣 2014-2015	1.000	1.028	1.000	1.000	1.028
2015-2016	1.000	1.184	1.000	1.000	1.184
2016-2017	1.000	0.999	1.000	1.000	0.999
2017-2018	1.000	1.059	1.000	1.000	1.059
2009-2010	1.000	1.100	1.000	1.000	1.100
2010-2011	1.000	1.291	1.000	1.000	1.291
2011-2012	1.000	0.977	1.000	1.000	0.977
台 2012-2013	1.000	1.319	1.000	1.000	1.319
南 2013-2014	1.000	0.896	1.000	1.000	0.896
市 2014-2015	1.000	1.208	1.000	1.000	1.208
2015-2016	1.000	12.353	1.000	1.000	12.353
2016-2017	0.952	1.035	1.000	0.952	1.035
2017-2018	1.050	0.839	1.000	1.050	0.839
2009-2010	1.000	0.971	1.000	1.000	0.971
2010-2011	1.000	0.976	1.000	1.000	0.976
2011-2012	1.000	1.006	1.000	1.000	1.006
高 2012-2013	1.000	1.317	1.000	1.000	1.317
雄 2013-2014	0.952	0.927	1.000	0.952	0.883
市 2014-2015	1.050	10.309	1.000	1.050	10.824
2015-2016	1.000	0.946	1.000	1.000	0.946
2016-2017	1.000	1.150	1.000	1.000	1.150
2017-2018	1.000	0.967	1.000	1.000	0.967

附表 1. 2009-2018 年各決策單位之能源效率變動 (續)

年度	技術效率變動	技術變動	純技術效率變動	規模效率變動	全要素效率變動
2009-2010	1.000	0.912	1.000	1.000	0.912
2010-2011	1.000	0.957	1.000	1.000	0.957
2011-2012	1.000	1.153	1.000	1.000	1.153
屏東縣 2012-2013	1.000	0.987	1.000	1.000	0.987
2013-2014	1.000	1.134	1.000	1.000	1.134
2014-2015	1.000	0.939	1.000	1.000	0.939
2015-2016	1.000	1.074	1.000	1.000	1.074
2016-2017	1.000	1.115	1.000	1.000	1.115
2017-2018	1.000	0.793	1.000	1.000	0.793

資料來源：本研究整理

A Study on Energy Efficiency of Taiwan Pineapple Industry

Pei-Ning Lai¹ Wei-Sheng Wang² Hui-Huang Hung³ Ke-Chung Peng^{4*}

Abstract

Agriculture is one of the main sectors of energy consumption, agricultural production is closely related to energy consumption. If the demand for agricultural output increases, it will definitely increase energy consumption. What agriculture needs most now is to solve the environmental damage caused by energy consumption. This study will use data envelopment analysis to explore the energy efficiency of the major regions of Taiwan's pineapple industry from 2008 to 2017, and analyze the energy efficiency changes using the Malmquist Productivity Index Method.

The results show that the highest energy efficiency of pineapple production is Nantou County, the second is Tainan County, arranged in order is Pingtung County, Chiayi County and Kaohsiung City. The largest potential energy savings is the input of fertilizer energy, accounting for 89.8%, the second is power energy (gasoline, diesel and electric), accounting for 7%.

Key words : Pineapple, Energy Efficiency, Malmquist Index

¹Master, Department of Agribusiness Management, National Pingtung University of Science and Technology.

²Master, Department of Agribusiness Management, National Pingtung University of Science and Technology.

³General Manager, Neymen District Farmers' Association.

⁴Professor, Department of Agribusiness Management, National Pingtung University of Science and Technology. Corresponding Author (kchung@mail.npust.edu.tw)