

臺灣鳳梨產業能源效率之研究

賴珮寧¹ 彭克仲² 錢玉鳳³ 林榮祥⁴

摘要

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。若農業產出需求增加，勢必將增加能源消耗；然而將能源消耗對環境造成的問題最小化，並防止破壞天然資源，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，探討臺灣鳳梨產業 2008 年至 2017 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、屏東縣、嘉義縣及高雄市；而其中最大潛在節能量為化學肥料能源投入，佔鳳梨總能源潛在節能量之 89.8%，其中又以氮肥投入最多，佔鳳梨總能源潛在節能量之 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研究所碩士，通訊作者，bbboo700@gmail.com

²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

³國立屏東科技大學農企業管理研究所碩士生，通訊作者，mei896452mn@gmail.com

⁴高雄市農會供銷部主任，通訊作者，teddy@mail.kcfa.org.tw

壹、緒論

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。

鳳梨為台灣重要的經濟果樹，2008年北京奧運期間，鳳梨被農委會選為臺灣代表水果，在北京地鐵、報章雜誌刊登廣告，也讓臺灣鳳梨正式走向國際化銷售。根據2007年農業統計年報顯示，2007年全臺灣鳳梨種植面積為12,376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10,466公頃，占全臺灣鳳梨產業種植面積之84.57%，顯示臺灣鳳梨產地分布相對集中。在過去2006至2015年間，臺灣鳳梨採收量年平均約在45萬噸，而到2016年臺灣鳳梨產量上升達到55萬噸，由產量可知，近年來臺灣鳳梨的需求量上升，也顯示出鳳梨產業之能源消耗勢必增加。

Mohammadi et al, (2011)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；而由林龍麒(2012)研究中得知，以資料包絡分析法可利用投入、產出變項，藉此評估各決策單位之效率，再利用Malmquist生產力指數分析衡量各決策單位之效率變動。

故本研究將以資料包絡分析法探討2008年至2017年間臺灣鳳梨產業各主要產地之能源效率。資料包絡分析法能將某一決策單位與所有決策單位逐一比較，接著運用Maimquis生產力指數法，分析各決策單位之全要素效率變動，以深入了解台灣歷年鳳梨產業各主要產區之技術及技術效率變動等情況，並加以比較。

貳、研究方法

一、資料包絡分析法

資料包絡分析法，為評估一組決策單位(Decision Making Unit, DMU)之相對效率，即是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的相對最有效率的生產前緣，以評估個別廠商相對於生產前緣的經營效率程度。

本研究根據 Farrell(1957)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，主要運用在故定規模報酬(Constant Return to Scale, CRS)，在多項投入及產出下的生產效率。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，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 (Seiford, L. M., 1996)。茲將兩種模式簡要介紹如下。

(一) CCR 模式

資料包絡分析法之 CCR 模式假設為固定規模報酬(constant returns to scale, 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。投入導向(input-based efficiency)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(余文德、蔡宜靜，2006)，其線性規劃式如下所示：

$$\begin{aligned} & \text{Max } \sum_{r=1}^s U_r Y_{rk} & (1) \\ & \text{s. t. } \sum_{i=1}^m V_i X_{ik} = 1 \\ & \sum_{r=1}^s u_r Y_{rj} - \sum_{i=1}^m V_i X_{ij} \leq 0, j = 1, \dots, n \\ & U_r, V_i \geq 0 \end{aligned}$$

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)，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) × 規模效率(SE) (余文德、蔡宜靜，2006)。以投入為導向的線性規劃式如式下所示：

$$\begin{aligned} & \text{Max } \sum_{r=1}^s U_r Y_{rk} - U_k & (2) \\ & \text{s. t. } \sum_{i=1}^m V_i X_{ik} = 1 \\ & \sum_{r=1}^s u_r Y_{rj} - \sum_{i=1}^m V_i X_{ij} - U_k \leq 0, j = 1, \dots, n \\ & U_r \geq \varepsilon \geq 0; r = 1, \dots, s \\ & V_i \geq \varepsilon \geq 0; i = 1, \dots, m \end{aligned}$$

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

二、Malmquist 生產力指數分析

由於 DEA 模式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技術變動、技術效率變動等情況。

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。主要是衡量決策單位在不同時期生產力的變化情形。而 Caves 利用 Shephard 距離函數將總要素生產力變動 (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：

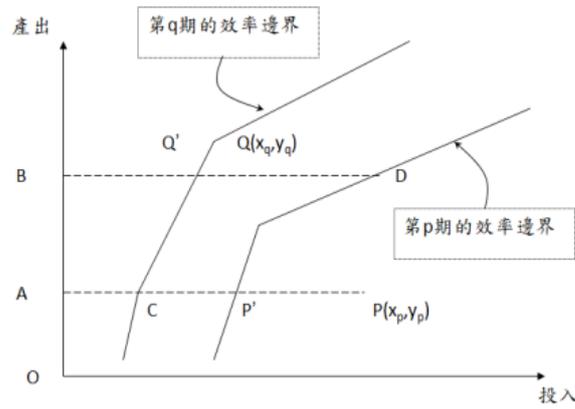


圖 1 投入導向之技術效率變動與技術變動

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。

三、變數處理

能源效率方面，本研究運用行政院農業委員會公布之 2012 至 2017 年之投入產出資料，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)、資本投入(農機具折舊費用)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；本文將能源效率指標定義為 TFEE(Total-factor energy efficiency)，如式(3)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。

$$TFEE(i, t) = \frac{\text{Target Energy Input}(i,t)}{\text{Actual Energy Input}(i,t)} \quad (3)$$

茲將變數之轉換(表 1)及定義(表 2)彙整如下表。

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成熱值單位，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。
資本投入	農產品生產成本調查報告資料中每公頃生產農機具之折舊費用。
產出變數	農產品生產成本調查報告資料中之產量。

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

	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

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 2008-2017 年農產品生產成本調查年報資料可知，臺灣鳳梨五大產地(屏東縣、高雄市、台南市、嘉義縣、南投縣)之生產成本資料，以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

本文採用 DEA-SOLVER5.0 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，藉由 CCR 模式得出各主要產地間之能源效率。

由表 3 得知，臺灣鳳梨產業之年度平均效率都有達到 94% 以上，其中 2009、2010、2014、2015 及 2017 年之平均能源效率高達 1，代表臺灣鳳梨產業各主要產地，在這些年都能將投入能源做最有效的運用。從各決策單位角度看，以南投縣的平均能源效率為最高，達到 99.9%，近乎於 1，後依序為台南市 99.4%、屏東縣 98.65%、嘉義縣 98.4% 及高雄市 98.18%。另，2012 年平均能源效率為 94.37% 最低，究其原因為 2012 年韋森特颱風的肆虐，造成各主要產地之投入能源浪費，鳳梨產出損失，導致各地區能源效率皆下降。

表 3 鳳梨產業能源效率分析表

	屏東縣	台南市	高雄市	嘉義縣	南投縣	平均
2008	0.984	1.000	0.913	1.000	1.000	0.979
2009	0.998	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
2010	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
2011	1.000	1.000	1.000	0.950	1.000	0.990
2012	0.936	0.942	0.936	0.904	1.000	0.944
2013	0.948	1.000	0.969	1.000	1.000	0.983
2014	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
2015	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
2016	1.000	1.000	1.000	0.990	0.994	0.997
2017	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
平均	0.987	0.994	0.982	0.984	0.999	0.989

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

本文藉由 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。

由表 4、表 5 可得知，2008 年至 2017 年鳳梨產業各主要產地之技術效率變動、純技術變動及規模變動等，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。其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。

值得注意的是，2013 年至 2014 年各主要地區之全要素生產力指數平均表現為最佳，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 2013 年至 2014 年各主要地區之鳳梨產業都呈現進步的趨勢；另，南投縣 9 年間有 6 年都呈現進步之趨勢，其中 2016 至 2017 年為南投縣鳳梨產業之全要素效率變動之最高點，相較其他縣市，呈現大幅進步之趨勢，而相較其他縣市，表示南投縣在能源投入之決策上表現較為良好。

表 4 各決策單位之能源效率變動(2008-2012 年)

	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
屏東縣	2008-2009	1.000	1.072	1.000	1.000	1.072
	2009-2010	1.000	0.985	1.000	1.000	0.985
	2010-2011	1.000	0.956	1.000	1.000	0.956
	2011-2012	0.990	0.919	1.000	0.990	0.910
	2012-2013	1.010	0.980	1.000	1.010	0.990
台南市	2008-2009	1.000	0.945	1.000	1.000	0.945
	2009-2010	1.000	0.946	1.000	1.000	0.946
	2010-2011	1.000	0.969	1.000	1.000	0.969
	2011-2012	1.000	1.100	1.000	1.000	1.100
	2012-2013	1.000	1.291	1.000	1.000	1.291
高雄市	2008-2009	1.000	1.055	1.000	1.000	1.055
	2009-2010	1.000	0.967	1.000	1.000	0.967
	2010-2011	1.000	0.959	1.000	1.000	0.959
	2011-2012	1.000	0.967	1.000	1.000	0.967
	2012-2013	1.000	0.983	1.000	1.000	0.983
嘉義縣	2008-2009	1.000	0.656	1.000	1.000	0.656
	2009-2010	1.000	0.943	1.000	1.000	0.943
	2010-2011	1.000	0.935	1.000	1.000	0.935
	2011-2012	1.000	1.256	1.000	1.000	1.256
	2012-2013	1.000	1.129	1.000	1.000	1.129
南投縣	2008-2009	1.000	1.108	1.000	1.000	1.108
	2009-2010	1.000	1.078	1.000	1.000	1.078
	2010-2011	1.000	1.532	1.000	1.000	1.532
	2011-2012	1.000	0.650	1.000	1.000	0.650
	2012-2013	1.000	0.986	1.000	1.000	0.986

資料來源:本研究整理

表 5 各決策單位之能源效率變動 (2013-2017 年)

	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
屏東縣	2013-2014	1.000	1.155	1.000	1.000	1.155
	2014-2015	1.000	0.995	1.000	1.000	0.995
	2015-2016	1.000	1.134	1.000	1.000	1.134
	2016-2017	1.000	0.934	1.000	1.000	0.934
台南市	2013-2014	1.000	0.977	1.000	1.000	0.977
	2014-2015	1.000	1.319	1.000	1.000	1.319
	2015-2016	1.000	0.896	1.000	1.000	0.896
	2016-2017	1.000	1.204	1.000	1.000	1.204
高雄市	2013-2014	1.000	1.014	1.000	1.000	1.014
	2014-2015	1.000	1.348	1.000	1.000	1.348
	2015-2016	0.952	0.927	1.000	0.952	0.883
	2016-2017	1.050	1.034	1.000	1.050	1.086
嘉義縣	2013-2014	1.000	1.485	1.000	1.000	1.485
	2014-2015	1.000	0.745	1.000	1.000	0.745
	2015-2016	1.000	0.972	1.000	1.000	0.972
	2016-2017	1.000	1.027	1.000	1.000	1.027
南投縣	2013-2014	1.000	1.127	1.000	1.000	1.127
	2014-2015	1.000	1.029	1.000	1.000	1.029
	2015-2016	1.000	0.856	1.000	1.000	0.856
	2016-2017	1.000	1.963	1.000	1.000	1.963

資料來源:本研究整理

由表 6 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，以南投縣的平均全要素效率變動為最高，達到 114.7%，後依序為台南市 107.1%、高雄市 102.9%、嘉義縣 101.6% 及屏東縣 101.4%。另，屏東縣為最大產區，但 2008 年至 2017 年間，屏東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；反之，南投縣為山多之地形，種鳳梨不易，但能源效率表現為最佳，表示南投縣有相當好的能源投入決策。建議屏東縣應參考南投縣之能源投入決策，減少過多能源投入浪費的情況。

表 6 各決策單位之能源效率變動年平均表 (2008-2017 年)

	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
屏東縣	1.0000	1.0144	1.0000	1.0000	1.0146
台南市	1.0000	1.0719	1.0000	1.0000	1.0719
南投縣	1.0000	1.1477	1.0000	1.0000	1.1477
高雄市	1.0002	1.0282	1.0000	1.0002	1.0291
嘉義縣	1.0000	1.0164	1.0000	1.0000	1.0164

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 2008 年至 2017 年之能源效率及其變動。在能源效率方面，分析結果顯示，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 99.4%、屏東縣 98.65%、嘉義縣 98.4% 及高雄市 98.18%，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。

在能源變動方面，分析結果顯示，臺灣鳳梨產業之年平均都已達 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，以南投縣 114.7% 為最高，後依序為台南市 107.1%、高雄市 102.9%、嘉義縣 101.6% 及屏東縣 101.4%。

其影響臺灣各主要產地的能源效率，最主要的原因來自於技術方面的不同，代表各主要產地投入的能源投入必須適當，切勿投入過多造成浪費，才能達到最好的效果。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之 89.8%，其中又以氮肥投入最多，佔鳳梨總能源潛在節能量之 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%。

參考文獻

1. 行政院農業委員會，2008-2017，農業統計年報。
2. 行政院農業委員會農糧署，2008-2017，農產品生產成本年報。
3. 余文德、蔡宜靜，2016，「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。
4. 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。
5. 林龍麒，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。
6. 郭芫卉、羅竹平、雷立芬，2013，「臺灣縣市稻米生產效率及生產力分析」，台灣農學會報，16(1)：18-33。
7. Burhan, O., H. Akcaoz, and F. Karadeniz, 2004, "Energy Requirement and Economic Analysis of Citrus Production in Turkey," *Energy Conversion and Management*, 45(11):1821-1830.
8. Caves, D. W., Christensen, L. R., and Diewert, D. W., 1982, "The Economic Theory of Index Numbers and the Measurement of Input, Output, and Productivity," *Econometrics*, 50:1393-1414.
9. Farrell, M. J., 1957, "The Measurement of Productive Efficiency," *Journal of Royal Statistical Society*, 120(3):253-290.
10. Hu, J. L., and Wang, S. C., 2006, "Factor Energy Efficiency of Regions in China," *Energy Policy*, 4(17): 3206-3217.
11. Malmquist, S., 1953, "Index numbers and indifference surfaces. *Trabajos de Estadisticay de Invest Operativa*," 4:209-242

12. Pareto, Vilfredo, orig. 1906 in Italian; 1927 in French ; 1971 translation Ann S. Schwier.,
Manual of Political Economy. New York: Augustus M. Kelley.
13. 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.

A Study on Energy Efficiency of Taiwan Pineapple Industry

Pei-Ning Lai Ke-Chung Peng Yu-Feng Chien Rong-Xiang Lin

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