

整合模糊層級分析和資料包絡分析法進行農業生產效率評估

林君憲

陸軍軍官學校管科系

摘要

全球農業機械產業之間的競爭日益激烈，需要提高生產力、盈利能力和產品部門的效率，然而，人們對全球暖化的情況也越來越擔心，在自然資源的枯竭以及人類健康的影響下，所有會造成環境汙染及危害人類健康的活動都必須考慮，很多產業為了提高盈利能力，往往都會忽略了對生態及環境的破壞，未善盡企業的社會責任；農業機械行業的多準則決策 (Multi criteria decision making, MCDM) 問題通常涉略到權重的考慮，有時候我們會缺少一些專業的數據，本研究整合層級分析法 (Analytic hierarchy process, AHP)、資料包絡分析法 (Data envelopment analysis, DEA) 和模糊理論 (Fuzzy set) 來評估農業機械行業的最佳產品組合，本研究的成果可以顯示在生產時對環境及人類的影響低且有更高獲利能力的產品組合。

關鍵詞：層級分析法、資料包絡分析法、多準則決策、模糊理論、全球暖化、農業機械

壹、緒論

在十九世紀末，美國便開始推動農業機械化，當時已開發出大型的牽引機。1920年代起，農業機械開始普遍推行到各地農場，農業機械的運用加上農業科技的發展，大幅提高了美國的農業生產力，與此同時，共產蘇聯因推行農業集體化運動，對農業機械的需求也日益殷切，因此開始大量進口美國的農業機械，同時請了許多美國工程師到蘇聯指導，提供農業機械的製造技術。過去臺灣農業尚未機械化前，農民必須跪在田裡，彎下腰身，再把一株株的秧苗插進土內。如今不但插秧、收割這類粗重的農活都可外包給擁有曳引機與收割機的代耕農夫處理，利用機械耕作取代獸力與人力，降低耕作勞動的辛勞，成為二十世紀全球農業發展的主要方向。而使用機械生產就會產生污染環境的問題，

所以本研究將採用層級分析法 (Analytic Hierarchy Process, AHP) [1] 及資料包絡分析法 (Data envelopment analysis, DEA) [2] 來探討如何在高生產力下減少環境汙染。

多準則決策 (Multi criteria decision making, MCDM) [3] 是運籌學的一個部分，用於在具有各種指標和相互衝突的目標和標準的複雜組合中尋找最佳結果，不同的評估標準可能會互相衝突，基於問題可能會有權重考慮、專家提供的訊息不明確或是評估的資料不完整，這都會影響最後的評估結果，隨著時代的演進和科學技術的進步，MCDM 涉及到多種方法論研究，無論是在日常生活中還是在商業、農業和醫學等環境中，例如 DEA 方法是常用的 MCDM 評估方法之一，通過同時整合多輸入和輸出來測量決策變數 (Decision making unit, DMU) [4] 的相對效率，DEA 方法可以有效地衡量 DMU 的相對效

率，解決許多決策問題。

層級分析法(AHP)是美國匹茲堡大學教授 Saaty 於 1971 年替美國國防部從事應變計劃問題的研究中所提出，主要應用於不確定性情況下及具有多個評估準則的決策問題上。AHP 可在多目標與多評估準則的不確定情況下，經由匯集專家學者的意見，把複雜的評估問題分析成簡明的因素層級架構，再藉由評量表衡量，將所得資料予以量化作各層級之成對比較矩陣，經運算後求得矩陣之特徵向量，以該特徵值來評定每個成對矩陣之強弱程度，作為決策時之參考資訊。而 AHP 之所以受到廣泛運用，因理論簡單又具實用性，它有系統的分析問題並將各個考慮層面與因素給予層級化的架構，此層級架構有助於決策者對事物的整體瞭解，在工作進行時也易於掌握與達成。AHP 的層級式架構具有彈性、易於瞭解與合乎邏輯的優點，透過層級式架構與量化的方式，將減少決策錯誤的發生機率 [1]。

資料包絡分析法 DEA 模式計算的效率衡量觀念是所謂的相對效率，是利用數學技巧將被決策單位(DMU)區分為有效率與無效率兩種。在 1957 年 Farrell 在生產效率衡量一文提出非預設生產函數代替預設函數來預估效率值觀念，建立數學規劃模式，評估美國 48 州農業之技術效率。其評估方法主要在於相對概念，即在 48 州資料中找出生產最有效率的樣本，組成最有效率平面，其他各州每單位產出投入由最有效率樣本加權平均，找出最佳情況鄰近樣本組合，取其組合係數總和之倒數為效率 [5]。Farrell 的研究建立了 DEA 非預設生產函數方式衡量效率的雛形，也奠立 DEA 理論基礎，然而其處理之問題仍僅限於單一產出的情況，其後 1962 年 Farrell 與 Fieldhouse 又將規模報酬固定

的限制放寬至規模報酬可變動之情形，計算方式依然複雜 [6]。直到 1978 年 Charnes, Cooper 和 Rhodes 三人依據 Farrell 在 1957 年提出的效率衡量觀念，建立了一般化之數學模式，使正式定名為 DEA [2]。

模糊理論(Fuzzy)是一門以量化方法處理模糊概念的學問，起源於 1965 年美國加州柏克萊大學(Berkeley)的扎德(L.A. Zadeh)教授，在資訊與控制(Information and control)學術期刊上所發表的論文：模糊集合(Fuzzy set) [7]。一般數學上所謂的集合稱為明確集合(Crisp set) [8]，係以特徵函數(Characteristic function) [9]描述個體與集合的隸屬關係，採用非 0 即 1 的二分法，不存在任何模糊地帶，為當代二值邏輯和二進位電腦的科學基礎。電腦強於人類的地方在於計算能力，對於無法以有效的計算法則解決的問題，如概念、思考、推理、識別等，表現就不如人類了。因此 Fuzzy 理論就是針對人腦對於模糊的訊息或不完全的資料，其不需經過精密繁雜的計算過程，仍能做出正確判斷的特色而發展出來。模糊集合以所謂的歸屬函數(Membership function)來定義個體與集合的歸屬程度，其值是介於 0 到 1 之間的任何值：當個體屬於集合的程度越大時，其歸屬程度就越接近於 1，反之則越接近於 0 [10]。

本研究是 MCDM 的問題，要去探討如何在減少成本的情況下，也不會增加環境汙染，選擇最有效的生產方案，進而減少環境破壞和提高營利，而伴隨科技進步與社會變遷，全球農業產業結構亦隨之逐步轉型，不管是在製造的技術進步還是設備的更新，導致各農業機械行業上的競爭加劇，各製造商為了尋求更高的製造效率、生產率和產品品質，為了避免農業機

械行業下滑的狀況，必須使生產線更佳靈活，在淡季期間更需要注意生產線的規劃，所以在生產計劃與物料控制需要嚴格的管控，通常注重兩個標準：一是生產線的排序，二是平衡生產線，這兩個標準是為了讓我們更好地利用生產線上的工作時間，而不是分析製造技術對環境的影響，簡單來說我們能把重點放在規劃生產組合的標準上，例如：工作時間、生產力、盈利能力。而為了在生產過程中尋求更高的效率，其中提高生產力和盈利能力是決策

貳、文獻探討

一、層級分析法(AHP)

層級分析法(AHP)是匹茲堡大學教授 Saaty 於 1971 年所發研發出的一套決策方法，主要應用於在不確定情況下及具有多數個評估準則的決策問題上。起初為美國國防部的應變計畫問題及埃及政府從事研究經濟、政治及軍事狀況，並於 1972 年在美四國家科學基金會協助下進行各項研究。在研究過程中，Saaty 開始將有關聯的判斷指標尺度化，後於 1973 年為蘇丹從事運輸研究後，整個理論才越加成熟。層級分析法主要是將一複雜問題逐步分解、分析、計算，建構成一個層級架構，研究者可明確分析問題及從中得到相關資訊以利選擇最佳方案 [1]。

求解步驟分為以下幾點：

1. 確認問題

首先要釐清問題之所在，針對問題下明確的定義後，方能清楚瞭解決策目的。尤其是在應用層級分析法時，充分掌握問題方向，才能對評估要素分層。擴大問題所處的系統，可能影響的要素均需納入問題中，同時成立規劃群，對問題的內涵加以界定。在此階段有收集資訊，及確認問題和方案等兩步驟；前者可採用文獻探討

的主要標準。而在提高標準時，很多廠商為了降低生產成本，通常會發生問題，例如：設備的損壞和環境的影響，但在設備損壞的情況越來越多時，反而成本就會增加，這樣也就沒有辦法降低成本。在環境的影響上，因為大量的生產，造成能源消耗和碳排放量較大，進而影響了人類的健康，若想要減少污染，在成本的使用也會增加，所以本研究要去探討能否將成本壓低也能同時降低對環境的污染。

腦力激發等方法，蒐集可供確認問題性質、範圍、影響因素、可用資源等資訊；後者係確定問題和分析目的，並視需要去構思可能待選的方案。

2. 列舉評估要素

在列舉各項評估要素時，首在專家及決策者意見之整合、籍由其專業知識與實務經驗對決策所面臨之問題的評估要素，填重列舉各評估要素，此時毋須考慮決策因素的順序及關聯性。有關專家及決策者意見之採用可用腦力激盪法 (Group brainstorming) 或德菲爾法 (Delphi method) 以收匯整之效。假若問題有 n 個要素則需

作 $\frac{(n^2-n)}{2}$ 個判斷，而在最大要素個數為七個的前提下。較能進行合理的比較並同時可保證其一致性之層級數為 $\frac{n}{7}$ 。如此

的層級結構可達到下列益處：

- (1) 易進行有效的成對比較
- (2) 獲得較佳的一致性

3. 建立層級結構圖

層級的層次可以視問題的需要衍生很多不同的多層次，每一層級與上一層級之關係要自然，不可過於勉強和不符合邏輯，層級的建構沒有一定的建構方法，亦無一

定的建立程序。

4. 設計成對比較訪談表格

每一層及要素在上一層級某一要素作為評估基準下，進行兩兩比較，在 1 到 9 的尺度下，讓受訪者填寫(勾畫每一成對要素間的比較尺度)，問卷必須明白且清楚的設定每一成對比較的問題，並附上詳細的操作說明。

表 1：層級分析法之評估尺度及說明

評估尺度	定義	說明
1	同等重要	兩因素同等重要
3	稍重要	經驗判斷上稍偏向某因素
5	頗重要	經驗判斷上偏向某因素
7	極重要	經驗判斷上極偏向某因素
9	絕對重要	絕對喜好某因素
2、4、6、8	相鄰尺度中間值	折衷值

5. 進行專家問卷調查

成對比較矩陣的元素數值，全部由上述的步驟結果所得，將每人之判斷值予以幾何平均即可建立成對比較矩陣。

6. 建立成對比較矩陣

成對比較矩陣求得後，使用數值分析中的特徵值解法求取特徵向量，再根據此最佳的向量計算最大特徵值。(1)求取優勢向量 (2)求取最大特徵值。

7. 檢定一致性(Consistence index)

為確保問卷內容的正確性，必須依照特徵向量進行一致性檢定，亦即計算各層級一致性比率，和整層級一致性比率。一致性比率值必須小於 0.1 才是可接受的範圍，否則表示層級的要素關聯有問題，分析進行重新比對。

(1) 一致性指標(CI)：

$$CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} \quad (1)$$

(2) 一致性比例(CR)：

$$CI = \frac{CI}{RI} \quad (2)$$

二、資料包絡分析法(DEA)

資料包絡分析法之理論基礎主要來自 1957 年 Farrell 提出，其概念為在生產函數中將所有的投入資料包絡至生產邊界的凸集合之內，並利用數學線性規劃的方式，給予參數最適的客觀權重，進而求出效率前緣(Efficiency frontier)曲線。Charnes 等人在 1978 年將它擴展為多投入與多產出之模型，一般稱為 CCR 模式。到了 1984 年 Banker, Charnes 和 Cooper 再將 CCR 模式延伸為變動規模報酬(Variable return to scale, VRS)之模式，一般稱為 BCC 模式 [11]。

1. CCR 模式

由 Charnes, Cooper 和 Rhodes 三位學者利用在 1978 年提出的多項投入及多項產出效率衡量的概念，將 DMU 之各項產出與投入因素分別加以線性組合，線性組合的結果即為受評估單位之技術效率值，而各單位之效率值介於 0 跟 1，效率值越接近 1，其效率的程度越高 [2]。

假設單位 j ($j=1, \dots, n$) 使用第 i ($i=1, \dots, m$) 項投入量為 x_{ij} ，其第 r ($r=1, \dots, s$) 項產出量為 y_{ri} ，則單位 k 之效率如下：

$$\text{Max } Z = \sum_{r=1}^s u_r y_{r0} \quad (3)$$

Subject to :

$$\sum_{r=1}^s u_r y_{ri} - \sum_{i=1}^m v_i x_{ij} \leq 0 \text{ for } j = 1, 2, \dots, n$$

$$\sum_{i=1}^m v_i x_{i0} = 1 \quad (4)$$

$$u_r, v_i > \epsilon > 0, i = 1, 2, \dots, m, r = 1, 2, \dots, s$$

(5)

2. BCC 模式

Banker, Charnes 和 Cooper 三人在 1984 年進一步釋放固定規模報酬 (Constant returns to scale, CRS) 的假設, 將技術效率再分為純技術效率與規模效率, 稱為 BCC 模式假設變動規模報酬 (variable returns to scale, VRS), 即部分投入增加, 不會使產出項有相對一部分的增加。Banker, 引用距離函數觀念, 導出能夠衡量純技術效率、規模效率及規模報酬之模式 [11]。

$$MAX \quad h_k = \frac{\sum_{r=1}^s u_r y_{rk} - u_0}{\sum_{i=1}^m v_i x_{ik}} \quad (6)$$

2.1 投入、產出項之選取

以資料包絡分析法評估效率係建立在各單位之投入、產出項目資料上, 若選擇了不適當的投入、產出項, 將扭曲效率評估之結果, 因而如何選取投入、產出項, 實為此方法成敗之關鍵。投入與產出項之選取至少需考慮組織目標、資料性質、投入因子與產出項目之關係, 以及投入、產出項之個數等。

2.2. 評估模式之選擇

應用 DEA 時, 其分析模式的選取, 須依研究的分析目的、需求、投入與產出項的屬性等而予以決定, 也就是說, 並非每一種模式都能適用於任何狀況, 必須視實際情形而定。

CCR 模式的先決假設為固定規模報酬 (Constant return to scale, CRS) 其所求出之效率值代表整體技術效率, 而 BCC 模式則為變動規模報酬 (variable return to scale; VRS), 其所求出之效率模式代表純技術效率; 由此二者效率值得比值可得規模效率。一般而言, 為了兼顧決策單位的技術效率與規模效率, 通常都將二種模式合併使用。

另外, 要考慮的是導向模式之選擇,

投入導向模式為對投入量可以操控的, 亦將現有產出值固定, 計算所需投入要素最少的量 (投入量可以縮減之部份)。產出導向模式則對產出量可加以操控, 亦即以現有固定的投入來計算可獲得最大產出的量。

2.3 結果分析與解釋

DEA 之分析一般可由效率分析、參考集合分析、差額變數分析與敏感性分析等面向, 對受評的決策位 (DMU) 來進行分析結果的探討, 茲分述如下:

2.3.1 效率分析:

評估各 DMU 的整體效率、技術效率與規模效率等三種效率值, 藉以判斷受測單位是否具有效率, 並探討相對無效率 DMU, 其無效率的原因是來自技術效率或規模效率。

2.3.2 參考集合分析:

DEA 的分析方法是藉由相對有效率的單位而建構出效率前緣, 而相對無效率的單位則根據此效率前緣計算其相對效率, 因此, 有些無效率單位必然有其相對的參照對象, 也就是說, 有效率的單位都有機會成為無效率單位參考的對象, 而被參考的次數愈多, 即代表該 DMU 越是真正具有效率, 所以, 透過參考集合分析的次數統計, 可對效率值為 1 的有效率單位進一步區分其相對效率。

2.3.3 差額變數分析:

DEA 是由衡量對象中最有效率的單位形成效率前緣, 再以效率前緣作為效率衡量標準, 差額變數分析即是以效率前緣為標準, 針對被評為相對無效率之 DMU 進行分析, 以清楚了解各組織在目前經營情況下資源使用狀態及可改善的方向與幅度。

2.3.4 敏感性分析:

減少或增加一投入產出項時對原有

DMU 之效率值有何改變，至於當投入產出項之數值改變時，重新檢視 DEA 其對於所有 DMU 之效率值之影響。

三、模糊理論(Fuzzy set)

模糊數在應用上有多種模式，包括三角模糊數、梯形模糊數、常態分布模糊數……等，其中使用最為廣泛的用法是三角模糊數。模糊化的原理在於使單一數值(特別是指標類評估數)具有跨度，形成一個範圍區間，區間內的數值皆為代表意見的可能結果，可以使受測人或專家表達意

見時可以更加仔細表達個人對事件的看法與見解，或是使結果以溫和公平的方式呈現。依據模糊數的性質及擴張原理，假設有二模糊數 $A = (l_1, m_1, u_1)$ 、

$B = (l_2, m_2, u_2)$ ，則其運算加、減、倒數運算如下所示：

$$A + B = (l_1 + l_2, m_1 + m_2, u_1 + u_2) \quad (7)$$

$$A - B = (l_1 - l_2, m_1 - m_2, u_1 - u_2) \quad (8)$$

$$(l_1, m_1, u_1)^{-1} = (1/u_1, 1/m_1, 1/l_1) \quad (9)$$

解模糊化

運用重心法將剛才已經模糊化的成對比較矩陣解模糊化，目的在重新尋回模糊集合中的表達結果。其公式如下：

$$W_i = \frac{[(\tilde{W}_M - \tilde{W}_L) + (\tilde{W}_U - \tilde{W}_L)]}{3} + \tilde{W}_L \quad (10)$$

參、研究方法

一、研究規劃

通過層級分析法獲得的結果可以確定一個單一的替代方案是最好的，而資料包絡分析法方法確定了兩種最有效率的替代方案，本研究室一項 MCDM 研究問題，來去評估位於巴西南部的一家農業機械製造商，而該製造商是巴西最大的農業機械製造商之一，評比指標之間的權重以及指標本身的性質及衡量單位顯得尤為重要，本次研究問題在於 4 項指標之權重取用對於計算結果的差異性，為了進行比較，考慮了每個產品的單位，如果單位量不符合，就不會單獨考慮與每種產品相關的能源消耗，而得到數據後先用 AHP 把數值標準化，接著先使用 Fuzzy AHP 得到權重，確定最佳替代方案再來去算 DEA 方法，而在計算的過程中工作時間、生產力和盈利能力的標準必須最大化，環境影響標準必須最小化，值得注意的是，在 DEA 中，

環境影響值被視為輸出標準。在層次分析法中，對該值進行了協調和標準化，考慮到該值越低越好。因此，最低的環境影響值被賦予最高的權重。從這個意義上說，DEA 中的最終結果表明該值已最大化，但由於該值已被協調和標準化，因此可以解釋如何最小化環境影響。在層次分析法中，可以包括專家的主觀評價。可靠性通過一致性指數 (CI) 和一致性比率 (CR) 進行驗證。一致性比率由 CI/RI 比率計算，其中 CI 是一致性指標，RI 是隨機指標，其值取決於被比較的標準數量。如果 CR 小於 0.1，則對之間的比較被認為是一致的。如果 CR 值超過 0.1，則說明判斷不一致。在這種情況下，專家需要檢查成對比較矩陣中的值。

二、研究步驟

權重及效率值

步驟 1:收集本研究相關數據

步驟 4:建立 Fuzzy AHP 成對比較矩陣

步驟 2:使用 DEA 以投入為導向的 CRS 方法求得效率值

步驟 3:使用相同權重的 AHP、DEA 求得

表 2、三角模糊數語意尺度表

語意變數	三角模糊數	三角模糊數倒數
同等重要	(1,1,1)	(1,1,1)
	(3/2, 2, 5/2)	(2/5, 1/2, 2/3)
稍重要	(5/2, 3, 7/2)	(2/7, 1/3, 2/5)
	(7/2, 4, 9/2)	(2/9, 1/4, 2/7)
頗重要	(9/2, 5, 11/2)	(2/11, 1/5, 2/9)
	(11/2, 6, 13/2)	(2/13, 1/6, 2/11)
極重要	(13/2, 7, 15/2)	(2/15, 1/7, 2/13)
	(15/2, 8, 17/2)	(2/17, 1/8, 2/15)
絕對重要	(17/2, 9, 19/2)	(2/19, 1/9, 2/17)

步驟 5:使用三角模糊數將數值模糊化

步驟 7:列出以上三個方法的產品組合進行比較

步驟 6:將 Fuzzy AHP 求得之權重計算 DEA 求得最後的權重及效率值

肆、數值分析

一、概述

隨著製造、基礎設備和技術的進步，這導致公司之間的競爭加劇，製造商不斷尋求更高的生產率、產品質量和製造效率，為避免銷量下滑的影響，農業機械行業製造了多種產品組合，使生產線更加靈活。但除了有廣泛產品組合外，在產品生產上的標準也很重要，例如：工作時間、生產力和盈利能力，然而，公司在生產過程中尋求更高的效率外，還須考慮到如何

降低生產成本及減少破壞環境問題；本節研究應用於位於巴西南部的一家製造商，該製造商是該國最大的農業機械製造商之一，評估該製造商所生產的五種型號的穀物拖車，從生產率、工作時間及盈利能力、環境影響等為標準，在使用模糊層級分析法(Fuzzy AHP)和資料包絡分析法(DEA)進行分析，而決策出最適合的產品組合。

表 3、Fuzzy AHP 成對比較矩陣

	工作時間(小時)	生產率	盈利能力(美元)	環境影響
工作時間	(1,1,1)	(5/2, 3, 7/2)	(2/7, 1/3, 2/5)	(2/7, 1/3, 2/5)
生產率	(2/7, 1/3, 2/5)	(1,1,1)	(2/7, 1/3, 2/5)	(2/7, 1/3, 2/5)
盈利能力	(5/2, 3, 7/2)	(5/2, 3, 7/2)	(1,1,1)	(2/5, 1/2, 2/3)
環境影響	(5/2, 3, 7/2)	(5/2, 3, 7/2)	(3/2, 2, 5/2)	(1,1,1)

表 4、替代品的標準值

	工作時間(小時)	生產率	盈利能力(美元)	環境影響
方案 1	0.7211	3.00	151.64	0.229
方案 2	0.8587	3.00	173.76	0.162
方案 3	0.9390	3.00	200.70	0.124
方案 4	1.0476	3.00	202.69	0.116
方案 5	0.9100	3.00	180.57	0.146
方案 6	1.0193	3.00	227.65	0.101
方案 7	0.8817	3.00	205.53	0.123

二、典型 DEA 方法的應用

表 5、生產組合的投入與產出

產品組合	投入(Inputs)		產出(Outputs)	
	工作時間(小時)	生產率	盈利能力(美元)	環境影響
方案 1	0.7211	3.00	151.64	0.229
方案 2	0.8587	3.00	173.76	0.162
方案 3	0.9390	3.00	200.70	0.124
方案 4	1.0476	3.00	202.69	0.116
方案 5	0.9100	3.00	180.57	0.146
方案 6	1.0193	3.00	227.65	0.101
方案 7	0.8817	3.00	205.53	0.123

時間作為投入數據，生產力、盈利能力和環境影響作為產出數據。

表 5 顯示了生產組合的投入與產出，工作

表 6、以投入為導向的 CRS 模式結果

產品組合	工作時間	生產率	盈利能力	環境影響	效率值
方案 1	0	0	0	0	1
方案 2	0.0717	0	0	0.023	0.92
方案 3	0.0717	0	0	0.008	0.92
方案 4	0.1744	0	0	0.013	0.83
方案 5	0.1027	0	0	0.026	0.89
方案 6	0.0427	0	0.32	0.035	0.96
方案 7	0	0	0	0	1

從表 6 可以看出方案 1 和方案 7 效率值最高，而方案 4 的效率值為最低，其他變數分析上觀察到不必改變盈利能力就可

以得到最大效率值，但必須減少工作時間(方案 2 到 6)。

三、AHP-DEA 方法

表 7、相同標準權重的比較矩陣

指標	工作時間	生產率	盈利能力	環境影響	權重
工作時間	1	1	1	1	0.250
生產率	1	1	1	1	0.250
盈利能力	1	1	1	1	0.250
環境影響	1	1	1	1	0.250

表 7 顯示了每個標準的權重。在所有標準的權重相同的情況下，得到了

CI=0，顯示標準的權重之間的一致性。

表 8、最終結果的權重及效率

產品組合	工作時間	生產率	盈利能力	環境影響	最終的權重	效率值
	0.250	0.250	0.250	0.250		
方案 1	0.113	0.143	0.113	0.229	0.149	1
方案 2	0.135	0.143	0.129	0.162	0.142	4
方案 3	0.147	0.143	0.149	0.124	0.141	6
方案 4	0.164	0.143	0.151	0.116	0.143	2
方案 5	0.143	0.143	0.134	0.146	0.142	5
方案 6	0.160	0.143	0.170	0.101	0.143	3
方案 7	0.138	0.143	0.153	0.123	0.139	7

透過表 8 的分析，產品組合在工作時間和盈利能力中方面發生了變化，但生產率對產品組合沒有變化。考慮到三位專家的意見，對標準進行了比較：維護協調員、

工業經理和 PPC 協調員。考慮到這些專家的評估，得到的 $CI=0.153$ ，除以 RI 得出 CR 值為 0.17 ，由於其不一致，有必要進行新一輪的評估。

四、FAHP-DEA 方法

表 9、生產標準的比較矩陣

指標	工作時間	生產率	盈利能力	環境影響
工作時間	1	3	1/3	1/3
生產率	1/3	1	1/3	1/3
盈利能力	3	3	1	1/2
環境影響	3	3	2	1

表 10、解模糊化矩陣及權重

指標	工作時間	生產率	盈利能力	環境影響	權重
工作時間	1	3	0.340	0.340	0.166
生產率	0.340	1	0.340	0.340	0.095
盈利能力	3	3	1	0.5	0.308
環境影響	3	3	2	1	0.431

表 10 顯示的生產標準的權重，是使用表 9 的數值帶入公式(10)而得出 $CI = 0.079$ ，導致可接受的 $CR = 0.088$ ，所得到

的權重帶入 DEA 中，而算出表 11 的效率值，在進行最後的分析及排名。

表 11、最終結果的權重及效率

產品組合	工作時間	生產率	盈利能力	環境影響	最終的權重	效率值
	0.166	0.095	0.308	0.431		
方案 1	0.113	0.143	0.113	0.229	0.1662	1
方案 2	0.135	0.143	0.129	0.162	0.1456	2
方案 3	0.147	0.143	0.149	0.124	0.1374	4
方案 4	0.164	0.143	0.151	0.116	0.1369	5
方案 5	0.143	0.143	0.134	0.146	0.1416	3
方案 6	0.160	0.143	0.170	0.101	0.1354	7
方案 7	0.138	0.143	0.153	0.123	0.1368	6

從表 11 看來，環境影響的比例最高，這跟可持續發展有相當大的關係，可持續

發展目前是國內外很重要的政策方向，目前疫情也持續嚴峻，所以賦予權重會受到當前的狀況影響。

表 12、各項方法產品組合的排名

產品組合	DEA 方法	AHP-DEA 方法	FAHP-DEA 方法
方案 1	1	1	1
方案 2	4	4	2
方案 3	3	6	4
方案 4	6	2	5
方案 5	5	5	3
方案 6	2	3	7
方案 7	1	7	6

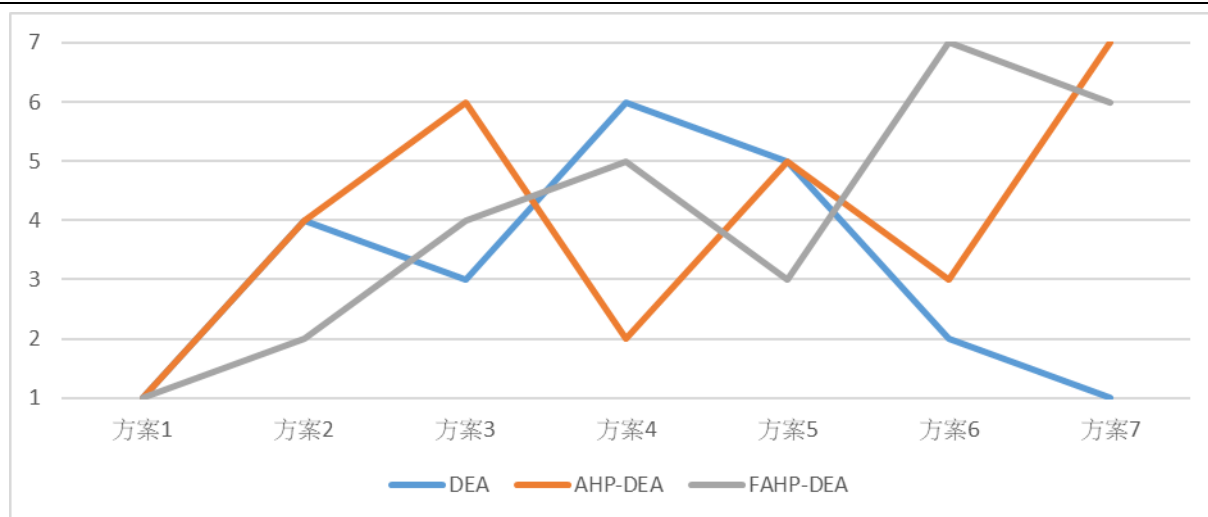


圖 1.依據表 12 的數據圖

在以上三次評估後，考量到工作時間、生產率、盈利能力和環境影響等標準，方案 1 是規劃生產組合的最佳選擇，考慮到具有相同權重和 DEA 的 AHP，方案 2 和方案 5 顯示出相同的狀況。與 DEA 方法相比，Fuzzy AHP 方法的方案 2 到方案 7 中在排名上存在了差異，此外，在方案

中顯示出矛盾的狀況，很難將盈利能力結果與環境影響相結合的作為最佳解決方案，因為人們普遍認為越高的盈利能力必然會導致更高的環境影響，因此，為了降低對環境的影響，有必要降低生產率和盈利能力。

伍、結論

在以上三項評估中，考慮到工作時間、生產力、盈利能力和環境影響的標準，而生產組合中的最佳選擇上，須考慮到具有相同權重的 DEA 和 AHP，還有專家權重的 Fuzzy AHP，但人們普遍認為，在生產行業中，更高的盈利能力必然會導致更高的環境影響。因此，為了降低對環境的影響，有必要降低生產率和盈利能力，但本研究考慮的是可持續性的生產組合，該組合可以令人滿意地解決環境、經濟和社會方面

的問題。本研究使用資料包絡分析法及層級分析法來定義巴西農業機械行業生產計劃中的最佳產品組合，在四種標準下，選擇最有效率的產品組合，除了提高生產力及盈利能力但最重要的還是必須減少環境汙染，這是現代許多企業後期應該盡的社會責任。未來期望不管在農業機械行業或是其他行業中，在提高各項生產的方面上，都可以使用這項評估方法，不論是在企業或是社會上的角度，都會是雙贏的局面。

參考文獻：

- [1]Saaty, T. L., "The Analytic Hierarchy Process", McGraw-Hill, New York, NY, USA, 1980.
- [2]Charnes, A., Cooper, W. W., & Rhodes, E., "Measuring the efficiency of decision making units", 1979.
- [3]Kumar, A., Sah, B.; Singh, A.R., Deng, Y., He, X.N., Kumar, P., & Bansal, R.C., "A review of multi criteria decision making (MCDM) towards sustainable renewable energy development", 2017.
- [4]Chang, K. H., "A novel risk ranking method based on the single valued neutrosophic set", 2022
- [5]Farrell, M. J., "The Measurement of Productive Efficiency", 1957.
- [6]Farrell, M. J., & Fieldhouse, M., "Estimating Efficient Production Functions under Increasing Returns to Scale", 1962.
- [7]Zadeh, L. A., "Fuzzy sets", 1965.
- [8]Pawlak, Z., "Rough Sets Theoretical Aspects of Reasoning about Data", 1991.
- [9]Lukacs, E., "Characteristic Functions", 1970.
- [10]Goguen, J, A., "L-fuzzy sets", 1967.
- [11]Banker, R. D., Charnes, A., & Cooper, W. W., "Some Models for Estimating Technical and Scale Inefficiencies in Data Envelopment Analysis", 1984.
- [12]Hoose, A., Yepes, V., & Kripka, M., "Selection of Production Mix in the Agricultural Machinery Industry Considering Sustainability in Decision Making", MDPI, 2021.
- [13]Corominas, A., Lusa, A., & Pastor, R., "Planning Annualised Hours with a Finite Set of Weekly Working Hours and Joint Holidays", 2004.
- [14]Butov, A., "Agricultural Machinery Market, Mordor Intelligence: Hyderabad, India", 2016.
- [15]Pakkar , M. S., "Using DEA and AHP for Hierarchical Structures of Data", 2016.
- [16]Hu, K. C., Liu, B. F., & Hu, F. C., "A Hybrid Fuzzy DEA/AHP Methodology for Ranking Units in a Fuzzy Environment", 2017.
- [17]Hoose, A., & Kripka, M., "Correlational Investigation of Manufacturing Technology and Environmental Impact in an Agricultural Machinery Industry", 2021.
- [18]Chung, S. H., Lee, A. H. I., & Pearn, W. L., "Product mix optimization for semiconductor manufacturing based on AHP and ANP analysis", International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2005.
- [19]Younger, M., Morrow-Almeida, H. R., Vindigni, S. M., & Dannenberg, A. L., "The built environment, climate change, and health: Opportunities for co-benefits", American Journal of Preventive Medicine, 2008.
- [20] Zhu , Z., Yang, Y., Wang, D., Cai, Y., & Lai, L., "Energy Saving Performance of Agricultural Tractor Equipped with Mechanic-Electronic-Hydraulic Powertrain System", 2022.
- [21]Gutiérrez, E., & Lozano, S., "Cross-Country Comparison of the Efficiency of the European Forest Sector and Second Stage DEA Approach", 2022.
- [22]Chung, Y. H., & Chang, H. K., "A Novel General Data Envelopment Analysis

Based Approach for MCDM Issues of Hydrogen Energy under a Fuzzy Environment”, 2022.

[23]Kumar, A., Sah, B., Singh, A. R., Deng, Y., He, X., Kumar, P., & Bansal, R.C., ”A review of multi criteria decision making (MCDM) towards sustainable renewable energy development”, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2017.

[24]Gupta, P., Mehlawat, K. M., & Grover, N., ”Intuitionistic Fuzzy Multi-Attribute Group Decision-Making with an Application to Plant Location Selection Based on a New Extended VIKOR Method”, 2016.

[25]Zamarrón-Mieza, I.; Yepes, V.; & Moreno-Jiménez, JM. ”A systematic review of application of multi-criteria decision analysis for aging-dam management. Journal of Cleaner Production”, 2017

[26]Zilla, S. S., Mehrez, A., & Yossi , H., ”An AHP/DEA Methodology for Ranking Decision Making Units”, 2000.

[27]Wang chen, M. H., Chou, Y. S., Luu, D. Q., & Yu, hui kuang Tiffany., ”A Fuzzy MCDM Approach for Green Supplier Selection from the Economic and Environmental Aspects”, 2016.

[28]王仕賢、黃明雅、黃欣釗，”農業機械科技研發政策及方向”，2019.

[29]林哲宇、胡均立，”NBA 球員薪資與場上效率分析:以 2018-19 賽季為例”，2019.

[30]劉介宇，”資料包絡分析法(Data Envelopment Analysis)簡介與應用”，2012.

[31]黃乾怡、蔡明峰、黃匯華，”應用資料包絡分析法(DEA)於六標準差專案之績效評估”，技術學刊，24(2):pp.117-130，2009.

[32]褚志鵬，”Analytic Hierarchy Process Theory 層級分析法(AHP)理論與實作”，2009.

[33] 沈昱，”以 AHP 層級分析法探討行銷策略影響通路績效之研究 - 以傢飾布企業為例”，2020.

Integrating Fuzzy Hierarchy Analysis and Data Envelopment Analysis to Evaluate Agricultural Production Efficiency

Jiun-Shian, Lin

Department of Management Sciences, R.O.C. Military Academy

Abstract

The increasing competition among the global agricultural machinery industry requires increasing the productivity, profitability and efficiency of the product sector, however, there is also growing concern about the situation of global warming, under the depletion of natural resources and the impact on human health, all activities that cause environmental pollution and endanger human health must be considered. In order to improve profitability, many industries often ignore the damage to the ecology and the environment, and fail to fulfill their corporate social responsibilities; the multi-criteria approach of the agricultural machinery industry (Multi Criteria decision making (MCDM) problems usually involve weight considerations, and sometimes we lack some professional data. This study integrates Analytic Hierarchy Process (AHP) and Data Envelopment Analysis (DEA) Using Fuzzy Set and Fuzzy Set to evaluate the optimal product mix in the agricultural machinery industry, the results of this study can show the product mix with low impact on the environment and human beings and higher profitability during production.

Keywords: analytic hierarchy process, data envelopment analysis, multiple criteria decision making, fuzzy set, global warming, product portfolio, agricultural machinery

