

臺灣完全人工光型植物工廠 之產業關聯分析

黃與旂^{*}、林幸君^{**}、張靜貞^{***}、方煒^{****}、徐世勳^{*****}

面對全球氣候變遷、可耕地減少、農業就業人口高齡化等問題，植物工廠的興起帶來契機。本文以完全人工光型植物工廠為分析對象，應用 2011 年臺灣產業關聯表，新增「植物工廠設備」與「植物工廠作物」兩部門進行情境設計，計算此產業未來可能創造出附加價值。本文由作物生產角度，考慮以專業生產萵苣類生菜取代進口做為潛在內銷市場，並分別假設 50% 與 100% 進口替代率，加上每公克生菜零售價為 0.5 與 0.8 元，建立兩種假設情境。另一方面同時考慮整廠輸出的潛在市場，並分別以內銷及外銷設計模擬情境。根據模擬結果發現，植物工廠的作物生產搭配整廠輸出，可創造總產出約 1,514 至 3,111 億元，提升 406 至 842 億元附加價值，創造近 3,000 至 6,500 人就業機會。未來臺灣發展機會可藉由大眾對食品安全日益重視及提倡永續發展概念推廣，但仍需考慮日本、中國、韓國等對手規模化發展所可能形成的價格競爭。

關鍵詞：植物工廠、產業關聯分析、產業價值鏈

* 臺灣大學農業經濟學系碩士。

** 嘉義大學應用經濟學系教授。本文之通訊作者。Email: hclin@mail.ncyu.edu.tw。

*** 中央研究院經濟所研究員暨臺灣大學農業經濟學系教授。

**** 臺灣大學生物產業機電工程學系教授。

***** 臺灣大學農業經濟學系教授。

本文感謝行政院科技部專題研究經費的補助（計畫編號：MOST 103-2410-H-001-013-S33）及本刊匿名審查人的寶貴意見。文中若有疏失之處，悉由作者負責。

農業經濟叢刊 (Taiwanese Agricultural Economic Review), 23:1(2017), 75-118。

臺灣農村經濟學會出版

I、前 言

依據聯合國人口基金會 (United Nations Population Fund, 以下簡稱 UNFPA) (2014) 估計, 2013 年全球 72 億人, 將於未來 12 年增加近 10 億人口, 至 2050 年增加至 96 億, 屆時糧食需求將比現在增長 70%。此外, 2013 年聯合國氣候變遷小組 (Intergovernmental Panel on Climate Change, 以下簡稱 IPCC) 預測, 全球暖化現象依然持續, 將使全球高溫日數增加, 海平面持續上升, 極端氣候加劇。受全球氣候變遷影響, 土地沙漠化使土地喪失價值, 又農村城鎮化, 都市建設等環境汙染造成可耕地減少, 水資源及土壤質量下降, 這些環境變化將使未來農業深受影響。

伴隨世界人口持續增長, 氣候變遷將對世界糧食產量和供應帶來巨大威脅, 面對糧食不足問題, 植物工廠興起帶來契機。根據方煒 (2001; 2011a) 臺灣植物工廠策略主要是透過水與 LED 燈照設備建置, 於室內進行立體化栽培, 在環保意識抬頭下, 不需要增加額外土地開發, 又可有效利用日漸匱乏水資源, 且透過室內環控恆溫裝置, 可定質定量栽培作物, 全年均可供應超市與都會地區消費市場所需。此外, 張舜翔 (2012) 認為植物工廠生產過程能節省高達 70% 用水, 不須使用農藥與除草劑, 沒有化學藥劑殘留問題, 若設置在都會地區, 將節省農產品運輸費用、降低碳足跡, 提供安全健康農產品。

1957 年北歐國家最早在室內以補光方式栽培植物, 為植物工廠之雛形, 至 1960 年代美國首先發展完全人工光控制型植物工廠, 日本亦於 1983 年開發首座商業化完全人工光控制植物工廠, 惟早期植物工廠經營面臨成本過高問題, 近來隨著光電科技進步所賜, 經營上逐漸存在獲利空間, 引起經營熱潮, 擴展至臺灣、中國、新加坡及韓國等地區。由於植物工廠可於建築物內進行計畫性生產, 使得資本技術充裕惟資源匱乏國家, 在因應未來氣候

變遷迫切性下帶來契機，為農業發展帶來新的思維與創新技術（方煒，2011b）。

近年臺灣植物工廠快速發展，相關投入者涵蓋學研界、企業界及行政單位。由新興產業發展角度觀察，植物工廠與建築、設備、環境控制、生長材料相關，臺灣擁有許多配置植物工廠設備優勢，包含農業改良技術、LED 產業等，其產出不只是生鮮蔬果，尚有相關加工產品如食品、凍膜、柔膚皂等，硬體設備及技術如農業栽培技術、種苗與生長資材設備的軟硬體、恆溫廠房建置、營運管理及綠能科技等，甚至可進行整廠輸出。

植物工廠設備需要由各個不同產業一起結合而成產物，其中以光源最為關鍵，根據光電科技工業協進會（Photonics Industry & Technology Development Association，以下簡稱 PIDA）於 2015 統計，目前臺灣植物工廠產值約占全球 5%，預估至 2016 年在光源及環控市場全球產值約可達 40 億美元。另由賴寧恩（2013）指出，2013 年 LED 植物燈成本已較 2010 年大幅下滑，每一流明約當新臺幣 0.38 元，相較 2010 年為 1.8 元，進而帶動 Philips、Osram、Mitsubishi 及 Panasonic 等國際大廠投入 LED 植物工廠創新應用。

在面臨氣候變遷及資源有限條件下，發展植物工廠同時能兼具產業經濟發展以及提升能源使用效率等特色，目前植物工廠相關研究多為技術及生產面，缺少探討臺灣植物工廠建置與發展對總體經濟影響，因此，本文擬分析植物工廠產業對國內所帶來經濟影響，並利用產業關聯模型分析植物工廠產業生產對國內上下游相關產業關聯影響效果，並評估植物工廠相關周邊產業產值對總體經濟與就業貢獻。

本文架構除前言及結論外，另分為三部分，首先，說明植物工廠定義與各國發展現況；第二為文獻回顧，彙整植物工廠技術及經濟文獻；第三為產業關聯分析與實證結果，說明臺灣植物工廠產業鏈及實證分析結果。

II、植物工廠定義與發展概況

本文說明主要國家及臺灣植物工廠整體發展過程，藉由各階段發展歷史背景，探討其定義。

2.1 定義與歷史發展

傳統農業種植主要靠農夫勞動力與技術，因與自然環境高度結合，往往受制於地理環境、氣候、作物本身特性等因素影響。相對於土壤種植，1925 年美國開始將水耕栽培運用於農業生產，解決土壤結構、肥力、鹽類累積與病蟲害頻繁的困擾。1930 年代美國加州州立大學戴維斯分校 William Frederick Gericke 率先將水耕栽培商業化，並正式命名為水耕植物，此種作物可不再藉由土壤種植，而以營養液浸泡植物根部吸取養分。此類種植方法近來被廣泛運用於高科技溫室種植系統，且隨著特定光譜、高效能 LED 成長燈及電腦控制系統出現，使植物成長環境得以有效控制並可種植於都市區域內 (Despommier, 2013)。

植物工廠概念最早由日本提出，「植物工廠」一詞出現於 1985 年筑波科學技術萬國博覽會植物工廠展，根據日本植物工廠學會定義，植物工廠為透過設施內高精度環境控制使農作物周年連續生產系統，利用電腦對植物生育溫度、濕度、光照、二氧化碳濃度以及營養液等環境條件進行自動控制，使設施內植物不受或很少受自然條件限制的省力型生產 (楊其長、張成波, 2005)。

方燁 (2001) 指出廣義植物工廠係指「在一定生產管理下全年無休的植物生產系統」，狹義植物工廠則指「在完全人工環境下全年無休的植物生產系統」。植物工廠生產過程為在設施內透過控制植物之生長環境 (包括：光、環境、濕度、二氧化碳濃度、養分、水分等) 進行栽培，配合高度環境控制及生育預測，使蔬菜等植物可進行全年、計畫性生產的栽培設施。

依作物生育所需光源供給方式，植物工廠類型可分為完全人工光型、太陽光型及人工光太陽光併用型三類（高德錚，2012）。其中完全人工光型係在封閉環境中不使用太陽光照射且控制環境進行全年計畫性生產，植物生長所需光源直接來自螢光燈、冷光燈、高壓鈉燈或 LED 燈等人工光源。太陽光型為植物工廠內光源來自太陽光，如玻璃溫室或塑膠布溫室外加裝各種自動化環境，不受大氣氣溫或日光影響，可進行室內的溫度、濕度及光度等因素調控。人工光太陽光併用型為植物工廠在白天直接利用太陽光，一方面給植物生長，一方面將太陽能儲存起來。雨陰天時則進行人工補光，並利用控制夏季高溫等技術進行全年計畫性生產。

根據上述定義，植物工廠可藉由控制植物生長環境穩定量產，而環境控制設備需結合各不同產業，包含燈源、風扇、空調、營養液、二氧化碳供應等設備，其中完全人工光型植物工廠能準確控制作物生長環境，為狹義植物工廠，近年熱門植物工廠以研究規模的完全人工光型植物工廠為主，企業與學界合作進行也多是此類型設施，故本文將針對完全人工光型植物工廠進行分析。

1957 年丹麥農場生產水芹嫩芽為最早溫室內以補光方式栽培作物，1960 年代初期奧地利擁有首座立體式自動化植物工廠，但是這些農場一般不被稱為「植物工廠」，惟若以目前分類則僅歸屬為太陽型植物工廠。1960 年代美國開始研究植物工廠，首先發展完全人工光型植物工廠，但終因無法達收支平衡而放棄。1980 年代靜岡縣之蘿蔔嬰太陽光型植物工廠為日本首座商業化植物工廠，1983 年首座完全人工光型植物工廠才開始營業，採用高壓鈉燈補光（方煒，2011a）。

1990 年代植物工廠蔬菜受到食品服務業高度評價，2000 年代植物工廠開始導入植物苗商業化產品，如水果、蔬菜、花卉及觀賞植物，且在多層栽培系統內以高頻螢光燈替代氣體放電式燈，提高電能轉換為光能效率，後來 LED 燈也引入植物工廠，降低成本及照射溫度。至 2000 年代晚期植物工廠

技術廣泛應用於全球，尤其是在亞洲國家（Goto，2012）。

2.2 臺灣植物工廠發展

臺灣農業生產從傳統戶外栽培、簡易防護設施、環控溫室，發展到植物工廠生產，最早應屬方煒實驗室，1993 年以可行性探討臺灣精密溫室與植物工廠，1998 年協助日昇公司成立兩層樓植物工廠，各樓層有七層立體式床架，以自走式人工光源進行淹灌栽培，為蝴蝶蘭種苗量產；2001 年進行番茄種苗植物工廠研究，確立以側芽育苗的系統。之後亦進行雙效空調熱泵與無隔膜電解水機產製次氯酸滅菌水等研究與跨領域應用。2010 年臺北花博展示以往 LED 作為植物栽培人工光源基礎研究與相關設備開發成果（方煒，2011b）。

根據光電科技工業協進會（2015）統計，臺灣目前植物工廠經營業者分布狀況如圖 1，約有 90 家廠商數，大多分布於中北部。臺灣具備工業優勢，建構植物工廠所需相關設備如空調、無塵室、隔熱資材、節能燈具、控制系統、滅菌技術、機電設備等廠商眾多，各家廠商紛紛投入植物工廠領域，相關學術單位也進行研究。如臺灣大學生物資源暨農學院於 2010 年組成橫跨十個系所研究團隊（方煒，2012）。

企業方面較具代表性的廠商，如庭茂農技有限公司於 2008 年成立，2012 年開始設立自有品牌 NICE GREEN，以健康與環保為理念從事植物工廠產業及相關餐飲、休閒觀光、農業體驗等。庭茂於桃園市觀音區植物工廠約 1,000 坪，日產 3,000 到 3,500 株，為國內唯一擁有從栽培系統研發建置、專業研發團隊、至自有品牌通路發展的專業大廠。

2010 年起太平洋建設積極推展綠色事業，導入現代高端科技農業「植物工廠」為企業核心，做為發展綠色經濟基礎平臺，其建案「太平洋盛宴」是全世界第一個把植物工廠引進社區個案，使植物工廠走入社區。此外，於臺北東區開設第一家綠色概念店「太平洋鮮活 SOFR3SH」，打造全臺第一座

都會型植物工廠，占地約 190 平方公尺，其中植物工廠生產區為多層式立體栽培，其裁培育成面積為 140 平方公尺，透過 LED 燈取代傳統日照，每月產值約 13,500 株生菜。

新金寶集團 2010 年創立金寶生物科技，成立宗旨為植物工廠技術開發並量產無毒蔬菜，2011 年一期植物工廠正式啟用，達成月產能 3,000 株目標，2012 年 6 月順利啟用二期植物工廠，可達月產能 30,000 株，兩座植物工廠，占地面積高達 200 多坪，栽種作物除一般萵苣、羅勒、香菜外，也嘗試冬蟲夏草高級產品，商品僅以網路會員制方式販賣。

2013 年起行政院宣布將投入 33 億元，在彰化雲林高鐵沿線農業用地約 8,766 公頃農地，打造一條節水、節能「農業黃金廊道」，區內將設置 5 座太陽能示範性植物工廠，利用 LED 做輔助光源，種植葉菜、中藥、菇類及草莓，每座工廠 30 至 100 坪不等。從產業人才培育、植物工廠投資最適規模設計、建立企業參與農業生產產業鏈等方向進行植物工廠發展輔導。

政府及相關單位的介入，多屬於人才培育之支持，如雲林縣政府將仿照日本貨櫃型植物工廠成功模式，建立第一個貨櫃型植物工廠，結合西螺、虎尾、北港等三所國立農工職校，加速培養植物工廠人力資源；工研院與臺灣植物工廠產業推動協會合開辦先進溫室與植物工程培訓班，協助業界解決植物工廠面臨高經濟成本與跨領域整合困難兩大課題（國家發展委員會，2013）。

III、文獻回顧

鑑於過去文獻對於植物工廠研究多屬於技術上研究，缺少經濟面分析，故本文採用蔬菜、設施農業及溫室為參考對象，整理國內外植物工廠經營評估及成本結構文獻，再與前文植物工廠現況結合，探討過去關於植物工廠之研究。



資料來源：光電科技工業協進會（2015）。

圖 1 臺灣植物工廠分布狀況

栗安琪（2011）採個案研究方法，選擇國內某家植物工廠為研究對象，分析植物工廠創業初期各階段歷程，分析完全人工光植物工廠經營理念、營運模式、財務分析，探討植物工廠在臺灣環境是否具體可行。研究結果顯示植物工廠為未來農耕新趨勢，業者面臨最大瓶頸為經營成本和栽植技術問題，需政府經費支持。

根據 Hu、Chen 與 Huang（2014）分析臺灣植物工廠在不同競爭廠商數時成本與收益狀況，試算廠商數分別由 2 家至 10 家情況下收益、成本與利潤，也進一步計算消費者剩餘、生產者剩餘及總剩餘。表 1 為收益、成本及利潤狀況，當臺灣市場存在 10 家植物工廠時，其每家收益約為新臺幣 18.91 億元，總成本（不包含運輸成本）約為 9.67 億元，利潤則約 9.24 億元。

表 1 臺灣植物工廠生產市場均衡模擬狀況

單位：百萬元

廠商數	收益	生產成本	利潤
2	15,965	3,548	12,417
3	9,645	2,661	6,984
4	6,599	2,129	4,470
5	4,878	1,774	3,104
6	3,801	1,520	2,281
7	3,076	1,330	1,746
8	2,562	1,183	1,380
9	2,182	1,064	1,117
10	1,891	967	924

資料來源：Hu、Chen 與 Huang（2014）。

哥倫比亞大學教授提出面對未來環境變化潛在的解決方案，認為垂直工廠為可行構想。研究人員估計僅僅 1 英畝植物工廠即可生產與 20 英畝傳統種植等量作物，且一個 30 層樓高植物工廠能夠養活 5 萬人，此外，透過美國航空航天局最新技術，植物工廠發展是指日可待。建設成本部分，因沒有可參考編製項目，故成本估計上較為困難，若依據現有建築成本為摩天大樓估計一可行成本，則可計算植物工廠成本結構。

Ellis 與 Zandri（2012）根據上述概念計算結果如表 2，植物工廠總建造成本約 83.7 百萬美元，若加上營運與維護成本，一個 60 公頃植物工廠成本將超過 100 萬美元。其它成本如辦公室租金，視所在城市不同，每平方公尺 880 至 1,850 美元；栽培一作物的光照成本約為 15 美元；加熱之燃料成本每公頃 200,000 美元。Banerjee 與 Adenaeuer（2014）假設在為能供應 15,000 人有足夠糧食，需要 0.93 公頃，37 樓高植物工廠，在成本支出方面，可概分為固定成本與變動成本。固定成本為建築物與設備，變動成本則為人力、電力、植物種子、營養液及魚飼料，單位時間為一年，各成本比重如表 3。

表 2 美國植物工廠成本結構

項目名稱	金額 (美元)	比重 (%)
變色玻璃	25,000,000	29.87
地熱空調	2,500,000	2.99
冷水機與冷卻塔	500,000	0.60
沼氣燃料熱電聯產設施	11,000,000	13.14
太陽能板	500,000	0.60
照明系統	2,000,000	2.39
能源基礎設施和自動化系統	35,000,000	41.82
水循環系統	500,000	0.60
浮動水耕系統	1,700,000	2.03
辦公室和實驗室設施	5,000,000	5.97
總計	83,700,000	100.00

資料來源：Ellis 與 Zandri (2012)。

表 3 德國植物工廠成本結構

項 目	成本金額 (歐元)	比 重		
		全 含 (%)	不含建築物成本 (%)	不含固定成本 (%)
建築物	111,581,994	86.73	-	-
設備	9,038,219	7.03	52.93	-
人力	2,050,000	1.59	12.01	25.51
電力	5,390,941	4.19	31.57	67.07
植物種子	44,406	0.03	0.26	0.55
營養液	424,919	0.33	2.49	5.29
魚飼料	127,020	0.10	0.74	1.58
總計	128,657,499	100.00	100.00	100.00

資料來源：Banerjee 與 Adenacuer (2014)。

Biernbaum (1998) 針對溫室所列出以下五種成本類型，並舉例說明結構，如表 4。其中結構成本包括地產、建築物、環境控制、設備、房產稅、保險等，材料費包含植物材料、容器（托盤、盆）、介質、化肥、化工、標籤等，勞動力成本為管理、種植者、工人、店員、送貨員等工資稅、保險、福利，能源或公用事業費用則為煤氣、電、燃油、水等，市場營銷（包裝和運輸）成本包括袖套、覆蓋用品、紙箱、卡車、廣告等。

表 4 溫室成本結構

項 目	金額（美元）	比重（%）
溫室及地產貸款利息	41,000	27.33
財產稅	6,000	4.00
保險	2,000	1.33
電力	2,500	1.67
天然瓦斯	6,000	4.00
卡車租借及運送成本	5,000	3.33
生產及運送人員	75,000	50.00
管理及文書人員	10,000	6.67
辦公室營運	2,500	1.67
總計	150,000	100.00

資料來源：Biernbaum (1998)。

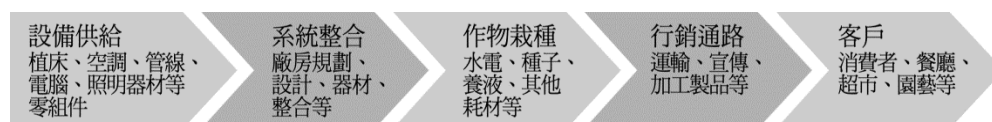
植物工廠所生產蔬菜特色為健康且安全，生產過程完全不使用農藥，符合環保概念也不傷害人體健康，為未來發展趨勢。植物工廠相關產業包括 LED 產業、電子電機產業、園藝產業等，臺灣具有上述產業競爭力，尤其照明設備在完全人工光型植物工廠中扮演重要角色，LED 未來發展及植物燈應用實為重要。除技術外，植物工廠所生產的作物可透過銷售管道，提供餐飲、食品加工、醫療保健等，使植物工廠產品加值，若將上述產業組合起來，結合六次產業概念，進行高度整合性、提高附加價值，必然能再創造另

一個新農業生技產業，為臺灣未來高科技與農業發展趨勢。植物工廠帶來經濟效益於過去文獻中較少探討，故本文應用產業關聯分析，透過蒐集各國溫室、植物工廠成本結構，陳列各成本項目比重以供後續分析。

IV、產業關聯分析

4.1 植物工廠產業價值鏈

Porter (1990) 認為產業價值鏈為一連串價值活動所構成，其以某一特定生產環節為核心，形成上游供應商，如提供所需原料、零件、設備和採購等服務至下游完成價值鏈活動，如行銷通路與最終客戶，形成以各不同廠商所組成的一個完整鏈條關係，鏈中各環節價值創造活動的總合為產業價值鏈。植物工廠產業鏈結構可概分為上游各設備提供、中游工廠系統整合及作物栽培、下游行銷通路及客戶，其產業鏈結構如圖 2。



資料來源：本研究。

圖 2 植物工廠產業鏈概況

本文依據行政院主計總處 (2015) 2011 年臺灣產業關聯表部門分類範圍及說明，將植物工廠上下游相關產業對應於 166 部門分類。依照定義植物工廠為在完全人工環境下全年無休植物生產系統，一般而言並沒有將植物工廠特別區分為設備生產或作物生產，然而軟硬體設備的生產與作物栽培投入內容存在差異，且目前植物工廠參與企業也非一條龍生產，而是企業各專注於專業領域研發，再與其他領域以夥伴關係進行合作，故本文將植物工廠依主

要產出項目差別，分為植物工廠設備與植物工廠作物兩類，其產業結構分別說明如下：

4.1.1 植物工廠設備

此類產業結構為廠商整合上游設備供應，即由上游購入各項生產所需設備，如塑膠、家用電器、木材、鋼鐵製品、鋁、塑膠製品、照明設備及電腦相關設備等作為中間投入，中游提供整廠專案規劃與系統整合，以整廠設備或以植物生長箱形式銷售予下游客戶，而銷售對象可為欲從事植物工廠作物量產企業，也可為研究機構、店鋪展示及一般消費民眾。此類產業結構如附錄 1，上游為各設備供應商，中游為系統整合與設計廠商，下游為企業、餐飲或民間消費，即此類植物工廠產出為整廠設備。

4.1.2 植物工廠作物

此類產業結構為營運廠商擁有建築物中某樓層空間，由上游提供植物工廠設備整合，透過其他廠商設計與規劃，營運廠商以資本方式購入整廠設備，投入其他成本如燈管、營養液、量測儀器、水電、勞動等進行作物栽種，收成後再經由包裝、加工、運銷管道，將產品銷售於下游客戶，如餐廳、超市、消費者。此類產業結構如附錄 2，上游為整廠設備供應商，中游為營運廠商從事作物栽種，下游為餐飲、零售業及民間消費，即此類植物工廠產出為作物。

4.2 投入產出模型

依據 Miller 與 Blair (2009) 產業關聯模型可分為需求面以及供給面投入產出模型。需求面投入產出模型為以某一產業部門最終需求變動，如消費、投資及出口等，透過每單位產出投入係數矩陣計算產業關聯程度矩陣，可考慮直接及間接誘發效果下，計算對於其他產業所創造的產出結果。供給

面投入產出模型則以某一產業部門中間投入原物料價格或數量、原始勞動投入成本或產出變動，透過每單位產出產品銷售分配係數矩陣計算產業關聯程度，可考慮直接及間接誘發效果下，計算對其他產業的產出影響效果，本文分別採用需求面、供給面新增產業之產業關聯模型，計算所創造之產出、附加價值及就業等產業關聯效果。

4.2.1 需求面模型

以需求面為例，產業關聯模型可表示如下：

總產出 = 中間需要 + 最終需要

$$\begin{aligned} X_1 &= (Z_{11} + Z_{12} + \cdots Z_{1n}) + F_1 \\ X_2 &= (Z_{21} + Z_{22} + \cdots Z_{2n}) + F_2 \\ &\vdots \\ X_n &= (Z_{n1} + Z_{n2} + \cdots Z_{nn}) + F_n \end{aligned} \quad (1)$$

也可簡寫為：

$$X = Z + F \quad (2)$$

其中， X_i ：第 i 個產業產出； Z_{ij} ：第 j 產業生產 X_j 必須使用第 i 產業產品作為投入數額，為中間需要矩陣； F_i ：表示經濟體系內對 i 產業產品之最終需要，包含家計部門、民間投資、政府支出、淨出口等。

中間需要和最終需要（不含進口的部分）又可再細分為對國產品（ Z^D ， Y^D ）及進口品（ Z^M ， Y^M ）需要，故(2)式可改寫如下：

$$X = (Z^D + Z^M) + (Y^D + Y^M) - M \quad (3)$$

其中 $Z^M + Y^M = M$ ，為輸入向量，進一步修正上式為：

$$X = Z^D + Y^D \quad (4)$$

由前述簡單產業關聯模型假設，生產每一種產品所需生產要素間比例是固

定，說明投入與產出之技術關係，定義如下：

$$a_{ij}^D = \frac{Z_{ij}^D}{X_j} \quad (5)$$

式中 a_{ij}^D 稱為「國內直接投入係數」。將(5)式等號兩邊同乘 X_j 並改寫成：

$$Z^D = A^D X \quad (6)$$

其中 A^D 代表國產品投入係數矩陣，其元素為 a_{ij}^D 。將(6)式代入(4)式，可寫為：

$$(I - A^D)X = Y^D \quad (7)$$

$(I - A^D)$ 為國內里昂鐵夫矩陣。當其為非奇異矩陣（nonsingular）時，經運算可得：

$$X = (I - A^D)^{-1} Y^D \quad (8)$$

其中 $(I - A^D)^{-1}$ 為國內產業關聯矩陣，為直接加間接（direct plus indirect requirements）係數矩陣（Miller & Blair, 2009）。

令 $B = (I - A^D)^{-1}$ ，且以 b_{ij} 代表該矩陣內的元素，則 b_{ij} 表示第 j 產業為滿足一單位 j 產品國內最終需要，必須向第 i 產業直接和間接購買 i 產品數額，亦即為滿足一元 j 產品最終需要，第 i 產業必須生產 i 產品總值。 b_{ij} 又稱為直接加間接需要係數，其值越高表示 i 與 j 兩產業間關聯程度越高。

當求出產業關聯矩陣後，若最終需要向量發生變動時，可依據(8)式解出新的均衡產出向量，如下式：

$$\Delta X = (I - A^D)^{-1} \Delta Y^D \quad (9)$$

式中 Δ 代表變動量， ΔX 向量內所有元素之和即為最終需要發生變動後，對整個經濟體系所產生總產出效果。若再令各產業附加價值係數向量為 v ，就業需要係數向量為 l 為固定且已知時，則由上式所求出產出效果即 ΔX 可分

別轉換為附加價值效果 ΔV 與就業需要效果 ΔL ：

$$\Delta V = v\Delta X \quad (10)$$

$$\Delta L = l\Delta X \quad (11)$$

4.2.2 供給面模型

供給面模型參考張燿雪、林幸君與徐世勳（2012）研究，將前述 $B = (I - A^D)^{-1}$ 矩陣展開可得：

$$B = (I - A^D)^{-1} \begin{bmatrix} b_{11} & b_{12} & \cdots & b_{1i} & b_{1j} & \cdots & b_{1n} \\ b_{21} & b_{22} & \cdots & b_{2i} & b_{2j} & \cdots & b_{2n} \\ & & & \vdots & & & \\ b_{i1} & b_{i2} & \cdots & b_{ii} & b_{ij} & \cdots & b_{in} \\ b_{j1} & b_{j2} & \cdots & b_{ji} & b_{jj} & \cdots & b_{jn} \\ & & & \vdots & & & \\ b_{n1} & b_{n2} & \cdots & b_{ni} & b_{nj} & \cdots & b_{nn} \end{bmatrix} \quad (12)$$

其中 b_{ij} 為最終需求對產出乘數， b_{ii} 為里昂鐵夫反矩陣中第 i 欄對角線元素，令 b_{ij}^* 為 b_{ij} 對 b_{ii} 比率，則 b_{ij}^* 可被稱為產出對產出乘數，以數學式表達為：

$$b_{ij}^* = \frac{b_{ij}}{b_{ii}} \quad (13)$$

將(13)式代入(12)式，可轉化為：

$$B^* = (I - A^D)^{-1} = \begin{bmatrix} \frac{b_{11}}{b_{11}} & \frac{b_{12}}{b_{22}} & \dots & \frac{b_{1i}}{b_{ii}} & \frac{b_{1j}}{b_{jj}} & \dots & \frac{b_{1n}}{b_{nn}} \\ \frac{b_{21}}{b_{11}} & \frac{b_{22}}{b_{22}} & \dots & \frac{b_{2i}}{b_{ii}} & \frac{b_{2j}}{b_{jj}} & \dots & \frac{b_{2n}}{b_{nn}} \\ & & & \vdots & & & \\ \frac{b_{i1}}{b_{11}} & \frac{b_{i2}}{b_{22}} & \dots & \frac{b_{ii}}{b_{ii}} & \frac{b_{ij}}{b_{jj}} & \dots & \frac{b_{jn}}{b_{nn}} \\ \frac{b_{j1}}{b_{11}} & \frac{b_{j2}}{b_{22}} & \dots & \frac{b_{ji}}{b_{ii}} & \frac{b_{jj}}{b_{jj}} & \dots & \frac{b_{jn}}{b_{nn}} \\ & & & \vdots & & & \\ \frac{b_{n1}}{b_{11}} & \frac{b_{n2}}{b_{22}} & \dots & \frac{b_{ni}}{b_{ii}} & \frac{b_{nj}}{b_{jj}} & \dots & \frac{b_{nn}}{b_{nn}} \end{bmatrix} \quad (14)$$

$(I - A^D)^{-1}$ 矩陣即為 $(I - A^D)^{-1}$ 矩陣每欄元素除以每欄對角線元素，再進一步改寫成：

$$B^* = (I - A^D)^{-1} = \begin{bmatrix} 1 & b_{12}^* & \dots & b_{1i}^* & b_{1j}^* & \dots & b_{1n}^* \\ b_{21}^* & 1 & \dots & b_{2i}^* & b_{2j}^* & \dots & b_{2n}^* \\ & & & \vdots & & & \\ b_{i1}^* & b_{i2}^* & \dots & 1 & b_{ij}^* & \dots & b_{in}^* \\ b_{j1}^* & b_{j2}^* & \dots & b_{ji}^* & 1 & \dots & b_{jn}^* \\ & & & \vdots & & & \\ b_{n1}^* & b_{n2}^* & \dots & b_{ni}^* & b_{nj}^* & \dots & 1 \end{bmatrix} \quad (15)$$

$B^* = (I - A^D)^{-1}$ 可視為將第 j 欄對角線元素標準化後李昂鐵夫反矩陣，用以表示當 j 部門產生一單位變動時，列部門產出所變動數額。供給面產業關聯模型可表示為：

$$\Delta X = (I - A^D)^{-1} \Delta \bar{X} \quad (16)$$

其中， $\Delta \bar{X}$ 表各部門增加產出，亦即假設各部門增加產出為 $\Delta \bar{X}$ 向量，再以

$(I - A^D)^{-1}$ 乘之，即可求出變動向量 $\Delta \bar{X}$ 之總產出變動。 $\Delta \bar{X}$ 向量內所有元素和即為當經濟體新增一產業後對國內經濟體系所產生總產出效果。

4.3 資料來源與處理

4.3.1 新增植物工廠相關部門

本文使用行政院主計總處 (2015)「2011 年臺灣地區產業關聯表部門分類」中 166 部門為資料來源。由於 2011 年臺灣產業關聯表未包含植物工廠產業部門，行政院農業委員會農糧署統計蔬菜產值也未列入植物工廠作物產值，故本文新增兩部門如表 5 所示，包含植物工廠設備及植物工廠作物部門。

表 5 本文新增產業部門

部 門	說 明
植物工廠設備	主要產出為整廠設備，依照工廠環境設置生產器材；投入主要包含照明設備、塑膠製品、鋼鐵製品、電器、電腦產品、發配電設備等。
植物工廠作物	主要產出為蔬菜；投入主要包含基本化學、水電、照明設備、運輸等。

資料來源：本研究整理。

4.3.2 情境假設說明

植物工廠所栽培的作物種類主要為萵苣，臺灣近五年進口萵苣重量逐年上升，至 2014 年進口量達 19,368 公噸，歷年變化如表 6。根據方煒教授提供的資訊，植物工廠的推動層次首先為進口替代，次而發展養生產業及出口擴張，故本文中「植物工廠作物」部門情境設計主要為假設國內萵苣生產可替代進口，假設臺灣植物工廠作物可替代萵苣進口 50% 及 100% 兩種情境，

且產出價格又分為每公克 0.5 及 0.8 元（註 1）兩種情境，在此四種情境下分析產業關聯效果（黃與旂，2015）。

「植物工廠設備」部門情境設計主要為臺灣植物工廠設備出口市占率差異，選定出口對象國家為美國、加拿大、英國、法國、韓國、新加坡、香港、澳門、馬來西亞、越南、印尼、菲律賓、泰國、中國等 14 國，情境假設為臺灣可達到上述國家植物工廠設備市占率 25% 與 50% 兩種狀況。「植物工廠設備」部門另一銷售對象為臺灣國內需求，主要依據萵苣替代率比重不同換算所需植物工廠廠數，故設備內需情境又可分為兩種，此部分總計四種情境下分析產業關聯效果。將上述情境分別以代號命名，整理成表 7，情境以 AE 及 AF 為例說明如下，其餘以此類推：

AE：植物工廠萵苣產出可替代進口萵苣 50%，且價格為每公克 0.5 元；植物工廠設備外銷可占 14 國市場 25%，內銷方面為在進口替代 50% 下臺灣植物工廠設備所需總量。

AF：植物工廠萵苣產出可替代進口萵苣 50%，且價格為每公克 0.5 元；植物工廠設備外銷可占 14 國市場 50%，內銷方面為在進口替代 50% 下臺灣植物工廠設備所需總量。

表 6 臺灣近五年萵苣進口量值

年	重量（公噸）	價值（千美金）
2010	14,651	7,798
2011	15,502	8,339
2012	17,444	9,954
2013	18,741	11,556
2014	19,368	12,117

資料來源：行政院農業委員會（2015）。

表 7 情境設計與代號說明

代號	情境內容					
	植物工廠作物				植物工廠設備輸出	
	進口替代 50%		進口替代 100%		全球市占率 25%	全球市占率 50%
	0.5 元／公克	0.8 元／公克	0.5 元／公克	0.8 元／公克		
AE	✓				✓	
AF	✓					✓
BE		✓			✓	
BF		✓				✓
CE			✓		✓	
CF			✓			✓
DE				✓	✓	
DF				✓		✓

資料來源：本研究計算。

4.3.3 產值

首先計算「植物工廠作物」部門產值時，因政府未統計此部門產出資料，故植物工廠作物部門產值為假設替代萵苣進口 50% 與 100% 情境下產值。依據行政院農業委員會貿易統計，2011 年臺灣進口萵苣 15,502 公噸，若未來植物工廠萵苣產出可替代進口 50%，並每公克在售價 0.8 元，產值可達 6,200.8 百萬元，當價格再降至每公克 0.5 元時，產值則為 3,875.5 百萬元；若未來植物工廠萵苣可完全替代進口萵苣，在售價每公克 0.8 元，產值為 12,401.6 百萬元，價格降至每公克 0.5 元時，產值則為 7,751 百萬元。

「植物工廠設備輸出」部門產值計算方面，假設臺灣將設備外銷至國外市場（註 2），如已開發國家中的美國、加拿大、英國、法國、韓國、新加坡、香港、澳門，以及可能開發的東南亞國家如馬來西亞、越南、印尼、菲

律賓、泰國、中國，經由聯合國糧食及農業組織（Food and Agriculture Organization of the United Nations，以下簡稱 FAO）糧食平衡表查詢蔬菜部門，2011 年上述國家糧食毛供給量如表 8，表示一國家國內蔬菜供給量扣除飼料用量、種用量、損耗量後消費量，糧食毛供給量總計 548 百萬公噸。另因 FAO 未統計新加坡資料，查詢 2011 年新加坡共消費蔬菜 494,126 公噸，總計上述國家共消費 548.522 百萬公噸蔬菜。

表 8 2011 年各國糧食（蔬菜）平衡表

單位：千公噸

國別	國內供給				國內供給量	國內使用				
	國內生產量	進口量	存貨變動量	出口量		糧食毛供給量	飼料用量	種用量	損耗量	其它使用
加拿大	2,303	2,813	1	937	4,180	3,931	-	19	234	-
香港	36	886	-	42	880	802	-	-	58	20
澳門	-	55	-	-	55	54	-	-	-	-
中國	561,453	474	-	13,527	548,400	462,696	37,799	-	47,906	-
印尼	10,098	850	-	87	10,861	10,073	-	-	793	-
馬來西亞	1,314	1,029	-	311	2,031	1,956	-	-	97	1
菲律賓	6,208	173	-	23	6,358	6,078	-	-	279	-
南韓	11,175	1,291	-	97	12,370	10,803	-	-	1,566	-
泰國	3,778	430	-	594	3,615	3,266	-	-	349	-
英國	2,581	4,108	-	256	6,432	5,896	66	-	471	-
美國	34,670	8,371	-	5,056	37,984	35,612	192	-	2,227	-
越南	7,575	314	-	281	7,608	6,861	-	-	747	-
總計	641,191	20,794	1	21,211	640,774	548,028	38,057	19	54,727	21

資料來源：Food and Agriculture Organization of the United Nations (2012)。

本文進一步假設各國消費植物工廠蔬菜量約為一般蔬菜 1%（註 3），故植物工廠蔬菜總消費量為 5.485 百萬公噸。假設一家日產 1,000 株 100 公克蔬菜工廠，年產出約可達 36 公噸，對應至植物工廠作物部門產出量，需要

有 152,367 家植物工廠生產，且此類植物工廠每廠建造需投入 1,500 萬，經計算可知植物工廠設備輸出產值約為 22,855 億元，若假設臺灣可占市場 25% 或 50%，則「植物工廠設備」部門在外銷部分產值分別可達 5,714 億元及 11,428 億元。

「植物工廠設備」部門在內銷部分，在假設可替代萵苣進口 50% 下，需生產 7,751 公噸，需要日產 1,000 株 100 公克蔬菜工廠，年產出約可達 36 公噸植物工廠約 215 家；在替代萵苣進口 100% 下，需生產 15,502 公噸，則需建造約 430 家植物工廠。假設每廠建造需投入 1,500 萬，則產值分別為 3,225 百萬元及 6,450 百萬元。

「植物工廠設備」部門無論設備外銷或內銷，本文皆假設每廠建設成本為 1,500 萬元，且各國皆有能力建設所需廠數，並於 10 年內完成建設，故此部門產值需以 10 年建設中每年產值計算，經換算各情境下兩部門產值，整理如表 9。

表 9 各情境產值

單位：百萬元

代號	情境內容					
	植物工廠作物				植物工廠設備輸出	
	進口替代 50%		進口替代 100%		全球市占率 25%	全球市占率 50%
	0.5 元／公克	0.8 元／公克	0.5 元／公克	0.8 元／公克		
AE	3,875.5	-	-	-	57,460.1	-
AF	3,875.5	-	-	-	-	114,597.8
BE	-	6,200.8	-	-	57,460.1	-
BF	-	6,200.8	-	-	-	114,597.8
CE	-	-	7,751.0	-	57,782.6	-
CF	-	-	7,751.0	-	-	114,920.3
DE	-	-	-	12,401.6	57,782.6	-
DF	-	-	-	12,401.6	-	114,920.3

資料來源：本研究估算。

4.3.4 投入結構

植物工廠設置部門成本結構可概分為光照系統、水耕栽培系統、空調系統、建築物、運費及管理費、安裝工程、遙控監視系統、冰槽、栽培面板、消毒系統及二氧化碳供應系統，以上各項設置成本為中間投入，各比重分配如表 10 左方欄，若對照於主計總處 2011 年產業關聯表 166 部門分類，則可將其細分至各相關部門，如表中右方欄。原始投入部門是產業支付生產所得之基本對象，支付總額即為產業附加價值，按支付性質可分為勞動報酬、營業盈餘、固定資本消耗、生產及進口稅淨額。因植物工廠設備輸出企業多為半導體、光電、電腦週邊等生產，故原始投入結構參考上述部門分配，植物工廠設備輸出總投入成本如表 10。

植物工廠作物產出部門雖生產蔬菜，但其栽種方式與傳統蔬菜有所不同，成本結構也會有所差別。表 11 為 2011 年 166 部門生產者交易表中蔬菜部門投入成本結構整理，可發現農業產品投入為傳統蔬菜生產重要投入項目，如農事服務及園藝作物投入，農藥及環境用藥投入比重也顯示傳統土耕種植需要使用大量農藥，照明設備僅需 0.01%。

相較於植物工廠作物產出部門，完全人工光型植物工廠則需要使用大量電力，燈具設備及營養液為重要投入，植物工廠作物產出部門成本結構可概分為水電、物流、照明設備、種子、營養液、勞動及折舊攤提，其比重參考日本 STANLEY 電器株式會社（黃與旂，2015），並將其對應到 166 部門進行調整，各部門比重如表 12。

4.3.5 產出結構

產出結構為說明產品流向，可分為中間需要與最終需要。植物工廠設備輸出部門產出不作為中間投入而為將來產生利益用增加之資產毛額，列為最終需要固定資本形成。植物工廠作物產出部門產出結構則可分為中間需要之

表 10 植物工廠設備部門投入成本結構

投入成本	設置成本項目	比重 (%)	部門編號	部門名稱	比重 (%)
中間投入	光照系統	28.20	094	照明設備	22.56
			064	塑膠製品	2.00
	水耕栽培系統	25.00	091	發電、輸電及配電設備	12.00
			071	鋼鐵初級製品	3.00
			072	鋁	3.00
			099	通用機械	15.44
	空調系統	19.03	146	建築、工程及相關技術檢測	4.08
			120	其他營造工程	4.08
	運費及管理費	10.00	128	運輸輔助服務	8.00
			109	產業用機械設備修配及安裝	2.16
	安裝工程	2.70	085	電腦週邊設備	0.60
			137	電腦系統設計服務	0.60
	遙控監視系統	1.50	099	通用機械	1.04
			044	合板及組木材	0.40
	冰槽	1.30	064	塑膠製品	0.40
			090	輻射及電子醫學設備、光學儀器	0.48
	栽培面板	1.00	051	基本化學材料	0.16
			小計		80.00
原始投入	消毒系統	0.60	167	勞動報酬	4.80
			168	營業盈餘	3.36
	二氧化碳供應系統	0.20	169	固定資本消耗	11.71
			170	生產及進口稅淨額	0.13
	小計	100.00	小計		20.00

資料來源：中間投入由工研院臺灣植物工廠產業協會林意雀博士提供；原始投入取自行政院主計總處（2014）。

表 11 蔬菜部門 2011 年投入成本結構

投入成本	投入項目	產值（百萬元）	比重（%）
中間投入	農業產品	9,759	17.55
	農藥、化學用品	3,484	6.26
	物流、通路	1,761	3.17
	耗材	681	1.22
	其他	381	0.69
	水電	65	0.12
	建築工程	29	0.05
	機械設備	11	0.02
	照明	4	0.01
	小計	16,175	29.09
原始投入	勞動報酬	16,133	29.01
	營業盈餘	24,897	44.77
	固定資本消耗	802	1.44
	生產及進口稅淨額	-2,395	-4.31
	小計	39,437	70.91
總計		55,612	100.00

資料來源：行政院主計總處（2015）；本研究估算。

表 12 植物工廠作物產出部門之投入成本結構

投入成本	經營成本名稱	比重（%）	部門編號	部門名稱	比重（%）
中間投入	水電；能源支出	27	110	電力及蒸氣	13
			112	自來水	2
			125	其他陸上運輸	20
	物流成本	19	064	塑膠製品	1
			094	照明設備	8
	種子	1	006	其他園藝作物	1
	營養液	6	051	基本化學	5
	小計				
原始投入	勞動人力成本	20	167	勞動報酬	30
	折舊；設施攤提	17	169	固定資本消耗	20
總投入		100			100

資料來源：彭張紘（2014）。

餐飲服務及零售，最終需要家計消費。餐飲服務部門活動內容為從事飲食品之烹飪、調製供應顧客之營業活動，如中西式餐廳（包括旅館附設餐廳）、速食店、小吃店、飲料店、咖啡館等服務。零售部門如百貨公司、超級市場、便利商店、零售式量販店、消費合作社、雜貨店等業務。民間消費為本國居民購買家居生活所需一切商品與服務。新增兩部門產出結構如表 13 所示。

表 13 新增部門產出銷售結構

單位：%

部門名稱及編號	中間需要		最終需要		國內生產總額
	123	132	167	169	
	零售	餐飲服務	民間消費	固定資本形成	
植物工廠設備	-	-	-	100	100
植物工廠作物	20	50	30	-	100

資料來源：本研究估算。

4.4 實證結果分析

本文以需求面產業關聯模型分析植物工廠設備部門最終需求改變後對其他產業的影響，另外，以供給面產業關聯模型分析植物工廠作物產出部門產出變動，對其他產業產出效果影響。

4.4.1 關聯效果分析

4.4.1.1 向後關聯效果

在投入產出模型中，向後關聯代表某個生產部門與供給其投入原料的其他生產部門間關係，總向後關聯效果（直接加間接）為國內產業關聯矩陣縱欄元素相加，如表 14 所示，就植物工廠設備部門而言，總向後關聯效果為 2.5132，植物工廠作物部門總向後關聯效果為 1.7952，顯示設備輸出部門帶

動上游產業效果較作物產出部門高，若將之標準化後稱為影響度，即將國內產業關聯矩陣植物工廠設備部門縱欄元素相加，除以逆矩陣各列元素合平均可得植物工廠設備部門影響度 1.4198，作物部門影響度 1.0142，其值大於 1 表示植物工廠設備部門影響度大於全體平均值。

表 14 新增植物工廠兩部門帶動上游產業效果

部門編號	植物工廠設備輸出		部門編號	植物工廠作物產出	
	帶動部門	向後關聯		帶動部門	向後關聯
167	植物工廠設備輸出	1.0000	168	植物工廠作物產出	1.0000
094	照明設備	0.2427	125	其他陸上運輸	0.2027
099	通用機械	0.1856	110	電力及蒸汽	0.1565
091	發電、輸電及配電設備	0.1457	094	照明設備	0.0861
071	鋼鐵初級製品	0.1135	049	石油煉製品	0.0763
128	運輸輔助服務	0.0875	051	基本化學材料	0.0549
122	批發	0.0702	112	自來水	0.0271
072	鋁	0.0542	122	批發	0.0184
070	生鐵及粗鋼	0.0497	064	塑膠製品	0.0151
146	建築、工程及相關技術檢測	0.0479	123	零售	0.0127
其他部門合計		0.5163	其他部門合計		0.1455
總計		2.5132	總計		1.7952

資料來源：本研究計算。

若進一步探討新增部門最終需要增加或減少一單位時，各部門受直接與間接影響必須增產或減產數量，可發現植物工廠設備部門最終需求變動，造成照明設備部門變動值為最大，表示為滿足 1 元植物工廠設備最終需要，照明設備部門必須生產總值 0.2427 元，其次為通用機械 0.1856，發電、輸電及配電設備 0.1457；植物工廠作物部門則以其他陸上運輸變動最大，為滿足 1 元植物工廠作物產出產品最終需要，其他陸上運輸需生產總值 0.2027 元，其次為電力及蒸汽 0.1565，照明設備 0.0861。表 10 列出新增植物工廠兩部門最終需要變動後，其他受影響較大前十大部門。

總向後關聯效果由直接向後關聯效果與間接向後關聯效果組成，其中直接向後關聯效果為投入係數表中各欄元素相加。表 15 列出新增植物工廠兩部門直接、間接、總向後關聯效果，可發現間接向後關聯效果比直接關聯效果還大，此反映植物工廠產業需要經濟系統中其他部門支持。

表 15 新增植物工廠兩部門向後關聯比較

部 門	直接向後關聯效果	間接向後關聯效果	總向後關聯效果
植物工廠設備輸出	0.8000	1.7010	2.5132
植物工廠作物產出	0.5000	1.2952	1.7952

資料來源：本研究估算。

4.4.1.2 向前關聯效果

向前關聯為每一產業部門最終需要皆變動一單位時，對特定產業部門產品需求之總變動量。總向前關聯效果（直接加間接）為國內對角線元素標準化後產業關聯矩陣橫列元素相加。本文僅針對植物工廠作物產出部門分析，故隨產出部門產值情境不同，總向後關聯稍有差異，如表 16 所示，依情境不同，總向前關聯效果介於 1.0089 至 1.0285，將之標準化後稱為感應度，即將國內產業關聯矩陣植物工廠作物產出部門橫列元素相加，除以逆矩陣各列元素合平均可得 0.0036，其值小於 1 表示植物工廠設備部門感應度小於全體平均值。

若進一步探討每一產業部門最終需要改變，對新增部門受直接與間接影響必須增加或減少供應數量影響大小，可發現餐飲服務部門與零售部門最終需要變動對植物工廠作物產出部門影響較大，如餐飲服務之最終需求增加 1 單位，在情境 AE 下使植物工廠作物產出部門受直接與間接影響必須增加 0.0032 單位，其次為零售部門 0.0006。

表 16 解析植物工廠作物產出部門支援下游產業效果

部門編號	部門名稱	AE、AF	BE、BF	CE、CF	DE、DF
168	植物工廠作物產出	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
132	餐飲服務	0.0032	0.0052	0.0065	0.0065
123	零售	0.0006	0.0009	0.0012	0.0012
162	人民團體及其他社會服務	0.0002	0.0004	0.0005	0.0005
160	居住照顧及其他社會工作服務	0.0001	0.0002	0.0002	0.0002
其他部門合計		0.0047	0.0076	0.0095	0.0152
總計		1.0089	1.0142	1.0178	1.0285

資料來源：本研究估算。

4.4.2 乘數效果分析

4.4.2.1 產出乘數效果

植物工廠設備部門產出乘數效果，主要差異為情境設計中臺灣達 14 國設備市占率 25% 及 50% 兩類，當臺灣設備市占率 25% 時，同時也供給臺灣設備內需，植物工廠設備輸出部門產值約為 575 至 578 億元，透過乘數效果，此部門產出增加可創造國內約 1,440 至 1,452 億元總產出；當臺灣設備市占率為 50%，植物工廠設備部門產值約為 1,146 至 1,149 億元，透過乘數效果，此部門產出增加可創造國內約 2,880 至 2,888 億元總產出。

表 17 為各情境植物工廠設備部門產出增加之主要部門產出效果，其中照明設備部門產出為最大，其次為通用機械（如中央空調、冷凍設備）、發電、輸電及配電設備等。植物工廠作物部門產出乘數效果，主要依據 A、B、C、D 四種情境不同而有所差異，A、B 情境為臺灣可替代進口萵苣 50%，每公克分別為 0.5、0.8 元，產值分增 3,876、6,201 百萬元；C、D 情境為臺灣可替代進口萵苣 100%，每公克分別為 0.5、0.8 元，產值分增 7,751、12,402 百萬元。透過乘數效果，各情境下總產出約增加為兩倍，可創造國內約 70 至 223 億元總產出，如表 18，主要為陸上運輸、電力及蒸汽、及照明設備部門。

表 17 新增植物工廠設備部門產出效果

單位：百萬元

部門 編號	部 門 名 稱	AE	AF	BE	BF	CE	CF	DE	DF
167	植物工廠設備	57,460.10	114,597.80	57,460.10	114,597.80	57,782.60	114,920.30	57,782.60	114,920.30
094	照明設備	13,946.23	27,814.21	13,946.31	27,814.36	14,024.63	27,892.74	14,024.79	27,893.06
099	通用機械	10,663.37	21,266.91	10,663.37	21,266.91	10,723.22	21,326.76	10,723.22	21,326.77
091	發電、輸電及配電設備	8,373.55	16,700.11	8,373.55	16,700.12	8,420.55	16,747.12	8,420.56	16,747.13
071	鋼鐵初級製品	6,523.68	13,010.76	6,523.69	13,010.77	6,560.30	13,047.39	6,560.32	13,047.41
128	運輸輔助服務	5,025.99	10,023.79	5,026.00	10,023.79	5,054.21	10,052.00	5,054.21	10,052.01
122	批發	4,030.98	8,039.34	4,031.00	8,039.37	4,053.63	8,062.02	4,053.66	8,062.09
072	鋁	3,112.18	6,206.89	3,112.18	6,206.90	3,129.65	6,224.37	3,129.66	6,224.39
070	生鐵及粗鋼	2,853.23	5,690.44	2,853.23	5,690.45	2,869.24	5,706.47	2,869.25	5,706.48
146	建築、工程及相關技術檢測	2,753.46	5,491.48	2,753.47	5,491.48	2,768.92	5,506.94	2,768.92	5,506.94
其他部門合計		29,664.95	59,163.45	29,666.47	59,166.48	29,833.99	59,335.01	29,837.04	59,341.07
總計		144,407.72	288,005.18	144,409.35	288,008.43	145,220.95	288,821.12	145,224.23	288,827.64

資料來源：本研究估算。

表 18 新增植物工廠作物部門產出效果

單位：百萬元

部門編號	部門名稱	AE、AF	BE、BF	CE、CF	DE、DF
168	植物工廠作物	3,875.50	6,200.80	7,751.00	12,401.60
125	其他陸上運輸	785.52	1,256.83	1,571.04	2,513.66
110	電力及蒸汽	606.40	970.25	1,212.81	1,940.49
094	照明設備	333.59	533.75	667.19	1,067.50
049	石油煉製品	295.70	473.11	591.39	946.23
051	基本化學材料	212.65	340.25	425.31	680.49
112	自來水	105.06	168.09	210.11	336.18
122	批發	71.33	114.13	142.66	228.26
064	塑膠製品	58.45	93.52	116.90	187.04
123	零售	49.19	78.71	98.38	157.41
其他部門合計		563.74	901.99	1,127.48	1,803.97
總計		6,957.14	11,131.42	13,914.28	22,262.84

資料來源：本研究估算。

4.4.2.2 所得（附加價值）乘數效果

將產出變動轉換成所得的變動效果，表 19 為新增植物工廠設備部門，計算產出變動後所得效果。將植物工廠設備部門臺灣設備市占率分為 25% 及 50% 兩情境，當臺灣市占率為 25%，最終需要增加約 575 至 578 億元，可使國內生產毛額增加 381 至 383 億元，若以 2015 年國民所得統計全國實質生產毛額（gross domestic product，以下簡稱 GDP）40,407.6 億元為基準計算，在產業關聯效果可以完全實現的假設前提下，經濟成長率可提高 0.95 個百分點。當臺灣市占率為 50% 時，最終需要增加約 1,146 至 1,149 億元，可使國內生產毛額增加約 760 至 762 億元，其中以創造照明設備部門附加價值為最多，約達 36 至 72 億元，其次為運輸輔助服務 30 至 60 億元，批發則為 28 至 56 億元。

表 19 新增植物工廠設備部門所得（附加價值）效果

單位：百萬元

部門編號	部 門 名 稱	AE	AF	BE	BF	CE	CF	DE	DF
167	植物工廠設備	11,492.02	22,919.56	11,492.02	22,919.56	11,556.52	22,984.06	11,556.52	22,984.06
094	照明設備	3,618.86	7,217.41	3,618.88	7,217.45	3,639.20	7,237.79	3,639.25	7,237.87
128	運輸輔助服務	3,011.07	6,005.24	3,011.07	6,005.25	3,027.97	6,022.15	3,027.97	6,022.15
122	批發	2,819.29	5,622.76	2,819.30	5,622.78	2,835.13	5,638.62	2,835.15	5,638.66
099	通用機械	2,450.02	4,886.30	2,450.02	4,886.30	2,463.77	4,900.05	2,463.77	4,900.05
091	發電、輸電及配電設備	1,945.90	3,880.87	1,945.90	3,880.87	1,956.82	3,891.80	1,956.82	3,891.80
146	建築、工程及相關技術檢測	1,829.17	3,648.07	1,829.17	3,648.07	1,839.44	3,658.34	1,839.44	3,658.34
123	零售	1,070.35	2,134.69	1,070.35	2,134.70	1,076.37	2,140.72	1,076.38	2,140.75
120	其他營造工程	788.98	1,573.53	788.98	1,573.53	793.41	1,577.96	793.41	1,577.96
071	鋼鐵初級製品	616.24	1,229.02	616.24	1,229.02	619.70	1,232.48	619.70	1,232.48
其他部門合計		8,474.60	16,901.65	8,475.14	16,902.72	8,523.07	16,951.01	8,524.15	16,953.17
總計		38,116.48	76,019.09	38,117.06	76,020.26	38,331.39	76,234.97	38,332.57	76,237.31

資料來源：本研究估算。

植物工廠作物部門所得效果部分，當植物工廠作物部門產出依據 A、B、C、D 四種情境分別增加 3,876、6,201、7,751 及 12,402 百萬元，可使國內生產毛額分別增加 2,492、3,987、4,983 及 7,973 百萬元，其中以創造其他陸上運輸部門附加價值 411 至 1,314 百萬元最多；其次為電力及蒸汽 120 至 383 百萬元；照明設備可創造 87 至 277 百萬元，新增植物工廠作物部門產出變動後帶動其他部門所得效果，如表 20 所示。

表 20 新增植物工廠作物部門所得效果

單位：百萬元

部門編號	部門名稱	AE、AF	BE、BF	CE、CF	DE、DF
168	植物工廠作物產出	1,433.94	2,294.30	2,867.87	4,588.59
125	其他陸上運輸	410.51	656.82	821.02	1,313.63
110	電力及蒸汽	119.52	191.24	239.05	382.47
094	照明設備	86.56	138.50	173.13	277.00
051	基本化學材料	61.00	97.59	121.99	195.19
112	自來水	55.37	88.60	110.75	177.20
122	批發	49.89	79.82	99.78	159.65
123	零售	35.55	56.89	71.11	113.77
049	石油煉製品	26.25	41.99	52.49	83.99
006	其他園藝作物	24.58	39.33	49.16	78.65
其他部門合計		188.48	301.57	376.96	603.14
總計		2,491.65	3,986.64	4,983.30	7,973.28

資料來源：本研究估算。

4.2.2.3 就業乘數

就業乘數為當產出變動，整體產業部門須增加的就業數量。就業係數向量（即就業人口／產出）為參考林幸君（2013）估計，新增植物工廠設備輸出部門就業係數則參考其中光電部門；植物工廠作物產出部門則以農產品相關部門為參考。表 21 為新增植物工廠設備部門就業效果，即創造就業機會，依據情境不同，當臺灣市占率 25%，植物工廠設備部門產出增加後，其

表 21 新增植物工廠設備部門就業效果

單位：人

部門編號	部門名稱	AE	AF	BE	BF	CE	CF	DE	DF
094	照明設備	4,344	8,664	4,344	8,664	4,369	8,689	4,369	8,689
167	植物工廠設備	2,873	5,730	2,873	5,730	2,889	5,746	2,889	5,746
091	發電、輸電及配電設備	2,512	5,011	2,512	5,011	2,527	5,025	2,527	5,025
122	批發	1,821	3,633	1,821	3,633	1,832	3,643	1,832	3,643
128	運輸輔助服務	1,771	3,532	1,771	3,532	1,781	3,542	1,781	3,542
123	零售	1,424	2,841	1,424	2,841	1,432	2,849	1,432	2,849
120	其他營造工程	1,133	2,259	1,133	2,259	1,139	2,266	1,139	2,266
099	通用機械	947	1,888	947	1,888	952	1,894	952	1,894
146	建築、工程及相關技術檢測	873	1,741	873	1,741	878	1,745	878	1,745
064	塑膠製品	789	1,573	789	1,573	793	1,577	793	1,577
其他部門合計		6,232	12,429	6,233	12,431	6,269	12,467	6,271	12,472
總計		24,719	49,300	24,720	49,302	24,860	49,443	24,862	49,447

資料來源：本研究估算。

本身部門創造約 2,873 至 5,746 個就業機會，帶動其他產業共創造 24,719 至 24,862 個就業機會；若市占率提升至 50%，則本身需要 5,730 至 5,746 就業人口，也可創造整體經濟約 49,300 至 49,447 就業機會。若以 2016 年 9 月底人力資源統計全國總勞動力 1,127.6 萬人為基準計算，在就業需求效果可以完全實現的假設前提下，失業率可降低 0.44 個百分點。其中以照明設備為最大，各可創造約 8,600 至 8,689 人就業機會，其次為發電、輸電及配電設備、批發及運輸輔助服務部門。

植物工廠作物部門產出增加，依情境 A、B、C、D，分別需要植物工廠作物產出就業 3,876、6,201、7,751 及 12,402 人，且分別在整體經濟中共可創造 4,846、7,753、9,691 及 15,506 就業機會，如表 22，除本身部門人力需求，也創造其他陸上運輸 451 至 1,444 人、其他園藝作物 128 至 409 人、照明設備 104 至 333 人等相關產業就業機會。

表 22 新增植物工廠作物部門就業效果

單位：人

部門編號	部門名稱	AE、AF	BE、BF	CE、CF	DE、DF
168	植物工廠作物產出	3,876	6,201	7,751	12,402
125	其他陸上運輸	451	722	903	1,444
006	其他園藝作物	128	204	255	409
094	照明設備	104	166	208	333
123	零售	47	76	95	151
122	批發	32	52	64	103
110	電力及蒸汽	22	35	44	70
064	塑膠製品	19	31	39	62
112	自來水	16	25	32	51
163	汽車維修服務	14	23	28	45
其他部門合計		136	218	273	436
總計		4,846	7,753	9,691	15,506

資料來源：本研究估算。

V、結論與建議

本文新增「植物工廠設備」及「植物工廠作物」兩部門後，透過八種情境假設，計算出產出、所得、就業乘數效果。其中情境 A、E 為兩部門產值假設最低者，假設植物工廠作物部門可替代萵苣進口 50%，且植物工廠設備部門市占率為 25%；情境中 DF 為兩部門產值假設最高者，假設植物工廠作物部門可完全替代進口萵苣，且植物工廠設備部門市占率達 50%，藉由產業關聯表進行計算，可得知兩部門共可增加總產出 1,514 至 3,111 億元，創造 406 至 842 億元附加價值，也創造約 3,000 人至 6,500 個就業機會。本文假設產出部門目標為替代進口萵苣，若替代率越高、單位售價越高，則可創造較高經濟效果。目前市面植物工廠作物種類多為萵苣類，售價約每公克 0.5 至 1.2 元且呈下降趨勢，未來若能大量生產並獲消費者廣泛接受，生產單位價格較低產品但大量銷售，也可以提升經濟效果。

其次，針對未來產業化之發展策略，本文另外透過業者訪談及參與光電產業協會舉辦之專家論壇，蒐集目前臺灣植物工廠經營狀況、競爭優勢、發展瓶頸及建議等資料，透過 SWOT 分析臺灣植物工廠發展狀況及未來發展路徑，結果顯示臺灣具有產業技術上的優勢，發展劣勢方面則為植物工廠蔬菜內需市場小、大眾並未普遍接受植物工廠蔬菜、以及缺少貸款優惠或投資等獎勵誘因。經彙整業界意見與本文之產業關聯分析後，得到建議如下：

一、開拓內需市場方面：目前植物工廠販售的種類多為萵苣等葉菜類，基本上仍屬一般性的料理食材，與一般有機蔬菜難以區隔，加上國內消費者對植物工廠蔬菜的生產過程與安全性並無充分資訊，或是對其營養含量仍有所疑慮。建議植物工廠應研發具特色、高辨識率之經濟作物，如中草藥或機能性產品，以提升產品附加價值。也應重視市場調查，針對消費偏好、購買族群、願付價格等進行分析，找出植物工廠蔬菜之目標客

戶與銷售通路。

- 二、產品分級認證方面：植物工廠類型分為完全人工光、太陽光、太陽光與人工光併用型，各種環境所栽培的作物等級不同，應建立植物工廠蔬菜之分級認證。各生產者也可設立自家品牌，結合銷售端，使消費者容易辨識產品之特性，於購買植物工廠產品時可有所依據。植物工廠建設成本雖然較高，但為維護密閉環境該有的品質，應避免節省成本而簡化系統設備，影響作物成長環境，使植物工廠產品價值下降。
- 三、整廠輸出方面：植物工廠產業鏈複雜，從各零組件組合至作物栽培、銷售，跨越許多產業領域，就如同日本的六次產業，為各領域間之結合。在此冗長的產業鏈中，各領域應專注於本業專業，以合作的方式進行生產，非以包攬整個生產過程理念來經營。設備輸出商與其他企業合作時，須提供客觀看法，避免誇大設備功能，也必須衡量作物產出後的銷售通路，甚至可提供作物收購保障，在企業購買設備生產後，提供保障收購無法銷售產品，或進行技術輔導。
- 四、政府制度方面：政府對於植物工廠電力、融資、輔導等問題，應建立專責單位來進行評估，一方面針對廠房設備及產品標示的認證制度建立法規制度，對栽培及研發技術上給予專利保護，鼓勵及保障企業研發。另一方面為帶動企業投資這種兼具內需市場與外銷潛力創新產業，也可參考國外作法提供補助與融資，如日本政府為鼓勵植物工廠的產業化，展開跨部會合作，朝向農工商合作，凡設廠者政府便補助一半的設備費用，也提供低利貸款，讓企業能專注於發展商業模式與擴充經營規模，創造農學院畢業生就業機會。韓國政府則是提供電費補助九成與設廠優惠，並投資 30 億韓元研發植物工廠核心技術和配件。

最後，基於產業關聯分析之內涵與假設，本文模擬假設植物工廠原料投入、設備並無其他替代來源，如有可替代之農業投入，則產業關聯效果會縮小。其次，國內植物工廠產業目前仍屬初期萌芽階段，在政府統計尚未臻完

備的限制下，本文對於該產業產出、整廠輸出價值、成本結構等數據，主要是透過彙整國內外文獻之數據再輔以個別廠商訪談後作合理推算，建議未來政府統計單位能夠針對此種跨領域創新產業的銷售通路、成本投入結構進行較完整的抽樣調查，提供學術研究與政策制訂使用。

投稿日期：105 年 9 月 22 日

接受日期：106 年 3 月 08 日

附註

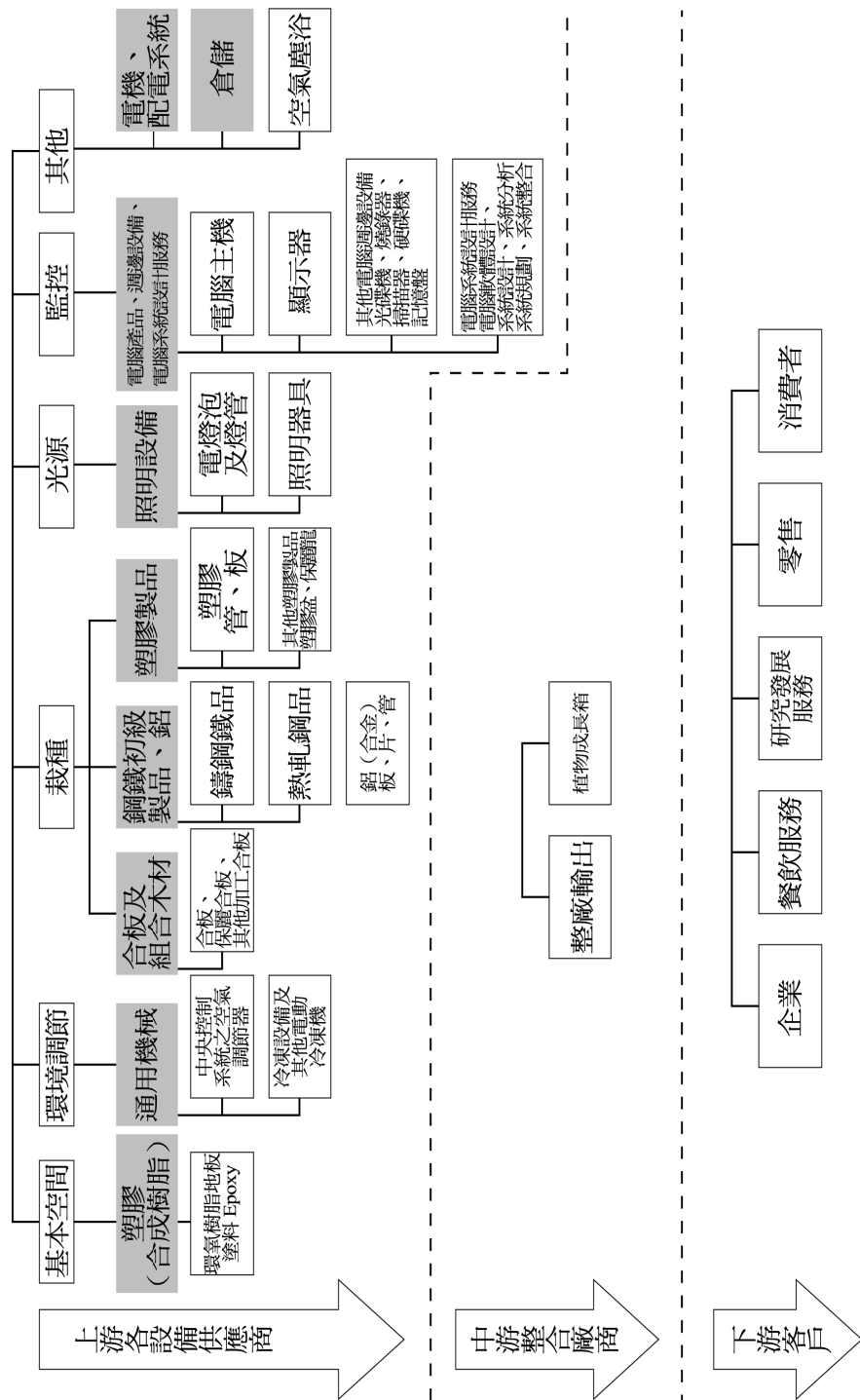
1. 根據目前經營植物工廠業者網頁資訊，一般萵苣市售價格如庭茂每公克約 1.25 元，新鮮圃及映鮮約為每公克 1 元，臺灣大學植物工廠萵苣銷售價格每公克約 0.5 元，故於情境設計上，參考方煒教授建議，設計每公克 0.5 元與 0.8 元。
2. 外銷市場主要藉由業者訪談及訪問「2015 年臺北國際光電週系列研討會」展覽業者得知。
3. 方煒教授估計臺灣市場植物工廠蔬菜消費量，假設臺灣 1% 人口吃植物工廠蔬菜，或是植物工廠競爭到市售蔬菜 1% 市場，每人每天食用植物工廠蔬菜 200 公克；故在此估算外國消費市場時，也採用消費植物工廠蔬菜的量約為一般蔬菜 1%。

參考文獻

- 方煒，2001。「自動化植物工廠」，『農業自動化叢書』。11 輯，103-112。
- 方煒，2011a。「話說『植物工廠』」，『農業推廣手冊』。67 輯，1-46。
- 方煒，2011b。「植物工廠發展沿革與其在東亞的發展現況」，發表於節能減碳與民生科學發展—從教育、心理、環境美學及餐飲營養觀點探討研討會。嘉義：稻江科技暨管理學院。3 月 26 日。
- 方煒，2012。「台灣植物工廠發展現況與展望」，發表於精密設施工程與植物工場實用化技術研討會。臺南：臺南區農業改良場。取自 <http://book.tndais.gov.tw/Other/2012machinery/speech2.pdf>。
- 光電科技工業協進會，2015。「2015 國際植物工廠農業設施暨作物培育論壇研習講義」，2015 年臺北國際光電週系列研討會。臺北：光電科技工業協進會。
- 行政院主計總處，2015。『2011 年產業關聯表編製報告』。臺北：行政院主計總處。
- 林幸君，2013。「兩岸農產品貿易對臺灣產業及整體經濟影響之探討—區域投入產出分析」，『農業經濟叢刊』。19 卷，1 期，81-127。
- 高德錚，2012。「臺灣發展植物工廠之契機」，『臺中區農業改良場一零一年專題討論專集』，119-122。臺中：行政院農業委員會台中區農業改良場。
- 國家發展委員會，2013。「政府積極發展植物工廠」。取自 http://www.ndc.gov.tw/News_Content.aspx?n=C90548F2DB23E8B9&sms=AB593F5AE64A02BE&s=09829EB7D6B2BE6A。
- 張舜翔，2012。「植物工廠 2.0 (beta)」。IEK 產業情報網。取自 http://ieknet.iek.org.tw/iekrpt/rpt_more.aspx?actiontype=rpt&rpt_idno=522334905。
- 張燿雪、林幸君、徐世勳，2012。「利用油桐籽作為生質柴油料源之經濟可行性評估」，『農業經濟叢刊』。18 卷，1 期，111-136。
- 黃與旂，2015。「臺灣完全人工光型植物工廠之產業關聯分析」。碩士論文，臺灣大學農業經濟研究所。
- 栗安琪，2011。「植物工廠創業初期評估準則之研究」。碩士論文，交通大學管理學院經營管理學程。

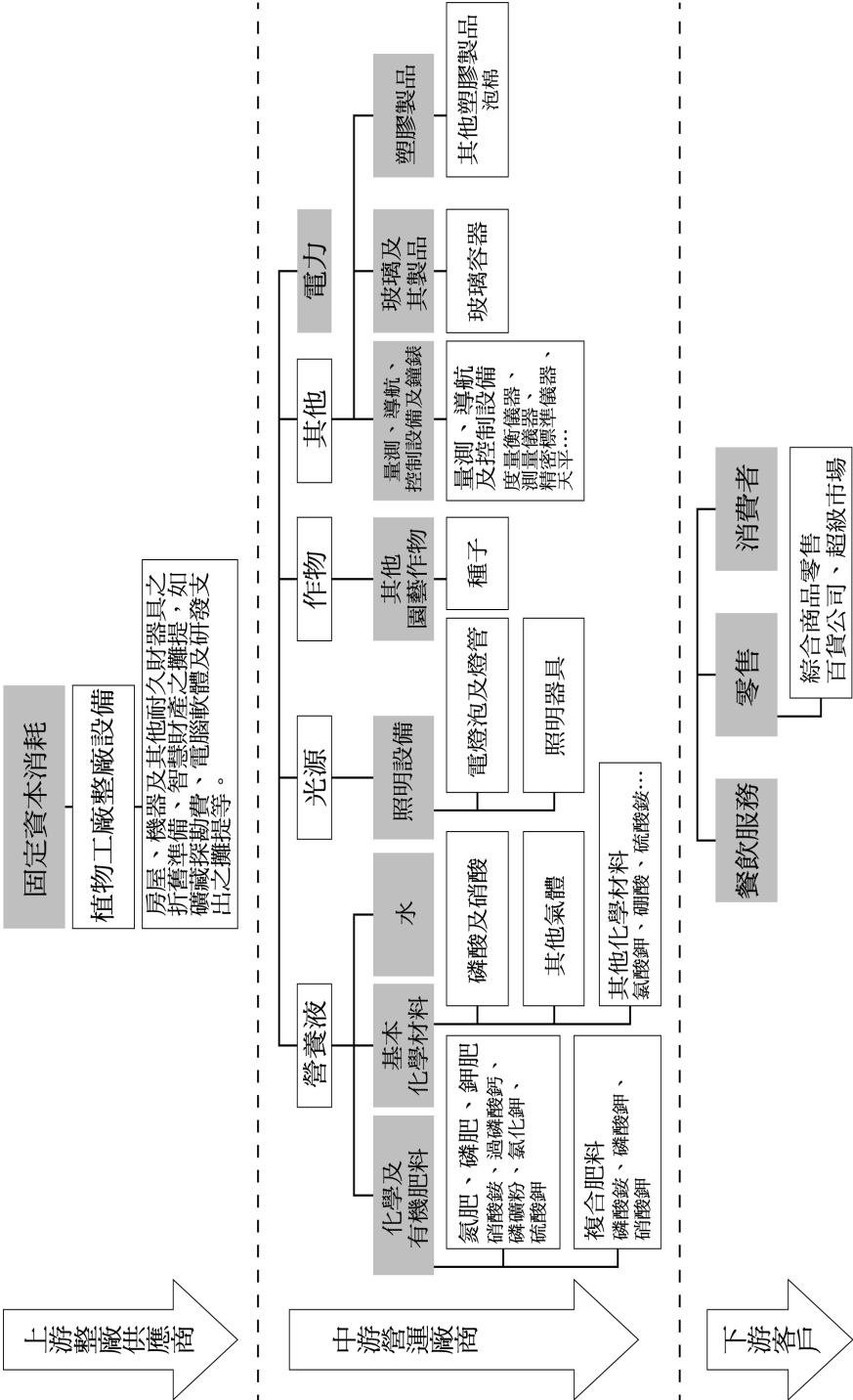
- 彭張紘, 2014。「當前『植物工廠』經營現況—以日本與臺灣為例」。中國生產力中心管理知識中心網頁。取自 <http://mymkc.com/articles/contents.aspx?ArticleID=21957>。
- 楊其長、張成波, 2005。「植物工廠系列談(二)—植物工廠研究現狀及其發展趨勢」,『農村實用工程技術(溫室園藝)』。6期, 38-39。
- 賴寧恩, 2013。「植物工廠帶動全球 LED 植物燈 3 億美元商機」,『光連雙月刊』。107期, 22。
- Banerjee, C. and L. Adenauer, 2014. "Up, Up and Away! The Economics of Vertical Farming," *Journal of Agricultural Studies*. 2(1): 40-60.
- Biernbaum, J. A., 1998. *Greenhouse Crop Production: Counting the Costs and Making Cents*. Department of Horticulture, Michigan State University.
- Despommier, D., 2013. "Farming Up the City: The Rise of Urban Vertical Farms," *Trends in Biotechnology*. 31(7): 388-389.
- Ellis, L. and V. Zandri, 2012. "What It Costs for Vertical Farming," What It Costs.取自 http://gogreen.whatitcosts.com/vertical-farm-pg2.htm#disqus_thread.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2012. *Food Balance Sheet*. 取自 <http://www.fao.org/faostat/en/#data>.
- Goto, E., 2012. "Plant Production in a Closed Plant Factory with Artificial Lighting," *Acta Horticulturae* (ISHS). 956: 37-49.
- Hu, M. C., Y. H. Chen, and L. C. Huang, 2014. "A Sustainable Vegetable Supply Chain Using Plant Factories in Taiwanese Markets: A Nash-Cournot Model," *International Journal of Production Economics*. 152: 49-56.
- Intergovernmental Panel on Climate Change, 2013. *Summary for Policymakers*.取自 http://www.climatechange2013.org/images/report/WG1AR5_SPM_FINAL.pdf.
- Miller, R. E. and P. D. Blair, 2009. *Input-Output Analysis: Foundations and Extensions*, Englewood Cliff, New Jersey: Prentice Hall Press.
- Porter, M. E., 1990. *The Competitive Advantage of Nations*, New York: Free Press.
- United Nations Population Fund, 2014. *World Population Trends*. 取自 <http://www.unfpa.org/world-population-trends>.

附錄 1 產業結構圖－植物工廠設備輸出



資料來源：本研究。

附錄 2 產業結構圖－植物工廠作物產出



資料來源：本研究。

Artificial Light-Type Plant Factory in Taiwan-An Application of Input-Output Analysis

Yu-Ci Huang^{*}, Hsing-Chun Lin^{**}, Ching-Cheng Chang^{***},
Wei Fang^{****}, Shih-Hsun Hsu^{*****}

The main purpose of this study is to analyze the network effect of the plant factory production system and to measure the economic values of promoting the plant factory industry by applying the Input-output model. Two new activities, "plant-factory vegetable production" and "plant factory equipment production" are added into the 2011 Taiwan Input-Output table. Interviews with the operators of the existing plants are used to collect the cost and revenue information and to identify the strength and weakness of plant factories in Taiwan. Several scenarios were developed under the assumptions that plant factory production can substitute up to 50% or 100% of the imported lettuce, the prices of lettuce are 0.5 and 0.8 NT dollars per gram, and the plant factory equipments can be exported and

* Yu-Ci Huang is Master graduate, Department of Agricultural Economics, National Taiwan University.

** Hsing-Chun Lin is Professor, Department of Applied Economics, National Chiayi University. Corresponding Author. Email: hclin@mail.ncyu.edu.tw

*** Ching-Cheng Chang is Research Fellow, Institute of Economics, Academia Sinica and Professor, Department of Agricultural Economics, National Taiwan University.

**** Wei Fang is Professor, Department of Bio-industrial Mechatronics Engineering, National Taiwan University.

***** Shih-Hsun Hsu is Professor, Department of Agricultural Economics, National Taiwan University.

We also thank the financial support from Ministry of Science and Technology (Research number: MOST103-2410-H-001-013-SSS) and the anonymous referees for the valuable comments. The authors are fully responsible for all remaining errors and mistakes.

take up 25% and 50% of the world market shares. Using Leotief inverse matrix, we find that the plant factor industry can increase annual gross output by around 151.4 to 311.1 billion NT dollars, and the resultant value-added creation effect can reach 40.6 to 84.2 billion NT dollars per annum, as well as creating nearly 3,000 to 6,500 job opportunities. In the future, as consumers in Taiwan are willing to pay more attention and higher prices to ensure food safety and sustainable development, the opportunities for plant factories to grow will be much greater. However, price competition from the rapid expansion in Japan, China and Korea will become a challenge for the long-term development.

Keywords: Plant Factory, Input-Output Analysis, Industrial Value Chain