

行政院原子能委員會
委託研究計畫研究報告

新穎性纖維酒精技術及其量產廠成本效益評估

**The Evaluation of Mass Production Cost for the Advanced Cellulosic
Ethanol Technology**

計畫編號：1012001INER051

受委託機關(構)：財團法人台灣經濟研究院

計畫主持人：蘇美惠 組長

聯絡電話：02-2586-5000 分機 808

E-mail address：d11453@tier.org.tw

核研所聯絡人員：張德明 博士

報告日期：101 年 12 月 31 日

目 錄

中文摘要.....	II
ABSTRACT.....	III
壹、計畫緣起與目的.....	1
貳、研究方法與過程.....	7
一、國內生質酒精料源可供應性與酒精潛能.....	8
二、國內酒精工廠設廠潛能評估.....	13
三、酒精生產成本.....	22
四、能源效益評估.....	30
參、主要發現與結論.....	33
一、料源可供應性與酒精潛能分析.....	33
二、成本分析.....	34
(一)情境一：第二代酒精工廠單獨建置生產成本分析.....	34
(二)情境二：第一代與第二代酒精工廠共構生產成本分析.....	35
(三)不同酒精工廠設廠模式之生產成本分析比較.....	36
三、能源效益評估.....	38
肆、結論.....	41
一、研究結論.....	41
二、台灣發展生質酒精推動策略與模式.....	42
伍、參考文獻.....	47

中文摘要

本計畫目的在於從本土料源可供應性、料源生產和集運成本、酒精產製成本及設備成本等構面，依第二代酒精工廠單獨建置與第一代廠共構第二代酒精工廠生產兩種情境完成國內新穎性纖維酒精技術量產廠成本效益評估。本研究先盤點國內各縣市可利用之土地資源，進行本土生質酒精料源潛能調查，從而推估各項料源轉換為生質酒精之潛量，依酒精工廠年產能 5 萬、10 萬、15 萬與 20 萬公秉規模，在料源蒐集最適範圍內，評估台灣第二代酒精工廠單獨設置與第一代酒精工廠共構第二代廠兩種情境之設廠潛能、潛力設置地點、料源加權平均運距、運輸費用及其生產成本，並由估算出之運輸費用和生產成本為基礎推估在一座酒精工廠年產能大於 20 萬公秉之結果。本研究亦結合料源端與酒精產製端之能源投入分析結果，評估台灣第二代酒精工廠單獨設置與第一代酒精工廠共構第二代廠兩種情境之能源投入產出比。

研究結果顯示，在第二代酒精工廠單獨建置之情境下，以一座酒精工廠年產能 25 萬公秉最具規模經濟，國內約有 1 座酒精工廠設廠潛能，最適廠址地點在彰化縣二林鎮，酒精工廠與農場腹地間之加權平均運距分別為 37.15 公里，此時生產成本每公升約為 30.23 元，計算其能源產出與投入之比值約為 2.53。而在第一代與第二代酒精工廠共構時，以一座酒精工廠年產能 20 萬公秉最具規模經濟，最適廠址地點為雲林縣元長鄉與台南市善化區，加權平均運距分別為 34 公里及 21 公里，生產成本每公升約為 28.65 元，與第一代生質酒精生產成本相當，能源效益則為 2.90。

關鍵詞：纖維酒精、一二代酒精工廠共構、廠址評估、效益評估

Abstract

The project aims to perform the cost benefit evaluation of domestic mass production of the advanced cellulosic ethanol technology. The evaluation takes account of two cost scenarios, including the cost from the second generation production technology and the cost from the combinative production technology of the first and the second generation. For each scenario, it considers several substantial perspectives that including the availability of local raw material, the cost of collection and transportation, the cost of ethanol production and the cost of facilities. The methodology comprises a research of foreign development model by way of analyzing the existing cases and related literatures of production plant based on the combinative technology. Moreover, to evaluate the domestic capacity of bioethanol, it involves an investigation of the potential of local raw material and an analysis of the availability of land resources in Taiwan. Based on annual capacity of 50000, 100000, 150000 and 200000 kiloliters, the results are expected to provide an overview of the potential and the cost to construct plants with both the second generation technology and the combinative technology of the first and the second generation, the optimistic location of plants, and the cost of collection and transportation for different raw materials.

Keywords: cellulosic ethanol, co-construction of 1st and 2nd generation ethanol plant, location assessment, cost benefit analysis

壹、計畫緣起與目的

(一)計畫背景

國際上對於生質能利用包含替代車用燃料之生質燃料、生質燃燒供熱及生質能發電等。生質燃料依其使用原料及生產程序可以分成第一代及第二代生質燃料，目前第一代生質酒精與生質柴油已商業化應用，但因所使用之料源與糧食作物重疊性過高，存在著與人爭糧之爭議，2010 年全球使用穀物作為燃料酒精料源已達全球穀物總消費量 7%；若單就美國境內玉米使用概況進行分析，根據美國農業部資料顯示，2010 年美國玉米用於飼料比重為 38%，其次為燃料酒精比重為 37%，由全球穀物酒精發展趨勢可知，纖維料源角色日益重要。第二代生質燃料雖然技術尚未能成熟應用，但由於可利用糧食作物之農業殘留物作為料源，其能源能量產出與二氧化碳減量效果皆較第一代生質燃料為佳，因此已成為各國研發投入之重點項目。

全球於 2005 年至 2030 年的能源使用量預估將增加 55%，其中運輸部門將為全球第二大能源使用者及最大油料使用者；Byrant (2010)推估至 2050 年全球車輛將增加 23 億輛、發展中國家將佔 19 億輛，然而改善里程數行駛效率與開發替代車輛雖可限制但卻無法消除對液體運輸燃料的需求。根據 IEA(2008)評估，2007 年全球生質燃料用量佔運輸燃料 1.5%；近年在各國政府政策支持下，2011 年全球燃料酒精產量已達 1.1 億公秉(F. O. Lichts, 2012)，約佔全球生質燃料 84%，替代 8%汽油使用量，其中巴西取代 50%、美國 9%、中國大陸 2%及歐盟 1%(REN21, 2011)。IEA 在 2011 年報告更預測 2050 年生質燃料將佔全球運輸燃料市場的 27%，顯示生質燃料中長期發展

趨勢已然確立。

現階段尚未有任何纖維酒精廠已發展到實質商業化運轉的階段，其產業化的發展仍處於測試廠及示範廠階段。目前全球至少有 60 座以上的纖維酒精測試廠及示範廠，大部份仍集中於北美地區、歐盟及亞太地區，其中又以美國對於纖維酒精產業發展最為積極，由近期資料可知美國國內至少有 30 座以上設施正在進行運轉測試計畫，加拿大有 8 座、歐盟與亞洲地區亦各有 10 座纖維酒精研發設施。若以製程區分，現有纖維酒精研發設施約有 80% 計畫採用生化製程，但由於熱化學製程所使用技術發展較為成熟，其商轉廠大多已進入建置階段。

第一代生質酒精製程已發展相當成熟，近期主要探討重點已偏向製程整合及能源使用效率改善。第二代生質酒精製程技術通常可區分為生化製程及熱化學製程，目前亦有少數公司開發將合成氣轉化為酒精的生物轉化技術，唯因轉化率仍然偏低，且無大幅的突變，因此目前已非主流的第二代生質酒精製程的發展方向。根據 IEA Bioenergy (2008)，以目前的技術發展而言，以生化製程生產酒精獲得酒精產量較高，採用林業廢棄物每公噸約可生產 125~300 公升酒精，採用農業廢棄物則約為 110~270 公升；至於熱化學製程則因可能會有較高的製程損失，每公噸約可生產 120~160 公升酒精。目前第二代生質燃料如纖維酒精之生產仍無法與玉米酒精及甘蔗酒精相競爭，此乃因高處理成本、需龐大資本投資及自低價值酒精相對低收入(Sathitsuksanoh et al., 2011)。依據國際能源總署(IEA)於 2011 年 4 月公布長程生質燃料技術路徑圖報告，纖維酒精關鍵 R&D 議題包括

微生物與酵素改善、C5 糖使用、及木質素使用作為附加價值能源載體或材料原料。

纖維酒精生產設施與其他設施結合（或稱共構）有助於降低成本，此乃因在同一地之設備與設施可共用，可減少投資成本，資源亦可共享(Bryant, 2011)。巴西以蔗渣為原料生產纖維酒精具有許多優勢，纖維酒精工廠與糖廠共構可使原料蔗渣可以在既有糖廠收集，避免原料收集與運輸成本。由於在同一地方設備與設施可共用，可減少投資成本，資源亦可共用。

纖維酒精廠目前可能的共構運轉模式仍處於探索階段，除了分別與燃煤電廠、生質甲烷廠、糖廠或生質柴油廠共構外，最可能與第一代酒精工廠整合，Abengoa 公司與 Poet 公司之纖維酒精示範廠即採用此發展策。纖維酒精廠與第一代酒精廠共構的優點包括(Black & Veatch, 2008)：

1. 透過製程整合可降低能源需求；
2. 纖維酒精之部分製程設備可使用既有第一代酒精之設備（如蒸餾設備）；
3. 擴大料源來源，如利用農作物或穀物之殘留物（稻稈或乾草）；
4. 共用相同的料源集運網絡；
5. 纖維酒精廠共構後，對於部分的投資費用與人力資源運用可產生規模經濟之效益。

關於國外纖維酒精生產設施與其他設施結合之實例整理如表 1，目前各種形式之共構案例，計有美國 AE Biofuels 公司纖維酒精示範廠、POET 公司商業化生產工廠與玉米酒精工廠結合，丹麥 Inbicon 纖維酒精示範廠與燃煤電廠結合，泰國 Thai Roong Ruang 公司 Saraburi 先導試驗工廠與糖廠結合，日本三井工程與馬來西亞 Sime Darby 合作與生質柴油廠結合，其油料作物經萃取油後殘留大量生質物殘留物，利用棕櫚油空果串來生產纖維酒精。

第一代酒精與纖維酒精技術之共構與整合，最顯著的效益是節約能源之潛力。第一代酒精設備需要顯著的製程水蒸汽與熱需求，而纖維酒精之生物化學程序則可利用水解後，生質物產生之副產物進一步燃燒、進行汽電共生之操作，故第一代酒精與纖維酒精若可適當地整合製程，其衍生之動力與水蒸氣將可運用於整座共構廠(Black & Veatch, 2008)。

美國 Aemetis 公司(原為 AE Biofuels 公司)採用的程序使用具有多活性低成本酵素以降低生產成本，酵素可有效地將纖維素與半纖維素轉化成可直接發酵成酒精的還原糖。美國 Aemetis 公司將纖維酒精生產整合至澱粉基酒精生產程序，以降低酒精生產成本及增加總酒精生產效率，整合程序導致較低投資成本、較高酒精濃度、降低能源消耗及水消耗較少。整合程序關鍵是該公司發展的常溫澱粉水解(ATSH)程序，ATSH 程序在常溫下將粗澱粉轉化成糖，消除傳統玉米酒精生產程序的蒸煮步驟。利用 ATSH 技術將纖維酒精生產整合至玉米酒精生產工廠，可增加酒精生產容量及降低酒精生產成本，同時增加能源效率。

表 1、纖維酒精生產設施與其他設施結合實例

程序整合	採用的公司
與玉米酒精 工廠結合	美國 AE Biofuels 公司示範廠、 POET 公司商業化生產工廠
與燃煤電廠結合	丹麥 Inbicon 示範廠
與生質甲烷結合	丹麥 Maxifuel 先導型試驗工場
與糖廠結合	泰國 Thai Roong Ruang 公司 Saraburi 先導型試驗工場
與生質柴油廠結合	日本三井工程與馬來西亞 Sime Darby 合作 利用棕櫚油空果串生產纖維酒精

資料來源：邱太銘(2012)。

對我國而言，除了可以甘蔗進行第一代酒精之產製外，為加強料源之多元性、生產週期之考量與土地多元活化利用之政策推動，則可利用農林殘留物、使用邊際土地種植多年生草類作物或林木供應料源，進行第二代纖維酒精之產製。台灣目前一年兩期單一期作休耕的土地面積高達 21 萬公頃，雖然適度的讓土地休養生息有其必要性，但雙期作長期休耕的土地卻將近 5 萬公頃，其中 54% 集中於中南部地區，這些土地資源皆具備推廣能源作物種植之潛力。以我國主要種植作物之農業廢棄物，如稻稈、玉米稈、香蕉假莖，及甘蔗壓榨後之蔗渣等，推估用於生產纖維酒精約可年產 42 萬公秉。

由此，2011 年度台經院承接核研所委託「第一代及第二代酒精工廠共構生產效益評估計畫」，分析國內一二代酒精工廠共構潛能，假設當酒精潛量達可滿足年供應量 15 萬公秉，即可劃分成一個料源區，料源蒐集範圍從北至南，逐步累計收集至各縣市之料源潛能與可產製酒精潛量。假設酒精工廠與農場腹地半徑距離，以 50 公里篩選

出經濟性料源區，以高速公路交流道和平面道路之距離作為運距估算，初步評估在第二代酒精工廠單獨建置情境下，在纖維酒精生產效率可達每公噸乾稻稈產製 220 公升酒精，國內約有 1 座酒精工廠潛能，料源蒐集範圍在台中縣市、彰化縣、雲林縣、南投縣，建議廠址在彰化縣。若生產效率可達每公噸乾稻稈可產製 260 公升酒精以上，則國內也約有 1 座酒精工廠潛能，但隨著酒精轉換率提高，料源蒐集範圍可縮小。

若在一、二代酒精工廠共構情境下，假設只用 70% 土地面積種植甘蔗，並搭配區域內台糖自約耕甘蔗，在酒精生產效率每公噸乾稻稈可產製 220 公升酒精下，國內一、二代酒精工廠共構約有 2 座廠之潛能，最適設廠區域在彰化縣和台南縣。若假設台灣雙期連休土地全用來推廣種植甘蔗且纖維酒精生產效率每公噸乾料源可生產 260 公升酒精，則國內有 3 座酒精工廠潛能，建議廠址在台中、嘉義和台南縣。

(二) 計畫目的

由前述背景分析，本研究將探討以第一代酒精工廠為基礎下、發展第二代酒精工廠之相關議題：由本土料源可供應性、料源生產與集運成本、酒精產製成本、設備成本與酒精生產技術等構面，依第二代酒精工廠單獨建置與第一代酒精工廠共構第二代酒精工廠兩種情境，完成國內新穎性纖維酒精技術量產廠成本與能源效益評估；最終提出國內具潛能之發展規劃、推動目標、時程及效益之結論。

貳、研究方法與過程

本研究由國內可能作為第一代及第二代生質酒精之潛在能源作物及纖維料源進行探討，盤點國內可利用之土地資源，推估各項料源轉換為生質酒精之潛量，評估適合發展生質酒精料源區與酒精工廠腹地，並藉由收集國外酒精工廠共構案例與相關共構文獻，分析國外纖維酒精生產設施與其他設施結合實例，作為分析國內共構之研究數據基礎，評估國內第二代纖維酒精與第一代酒精工廠共構之料源生產與集運成本、酒精產製成本及設備成本等議題，並依第二代酒精工廠單獨建置與第一代酒精工廠共構第二代廠兩種情境進行分析。最終完成國內新穎性纖維酒精技術量產廠成本效益評估與國內發展生質酒精推動模式和策略建議。研究流程詳如圖 1。

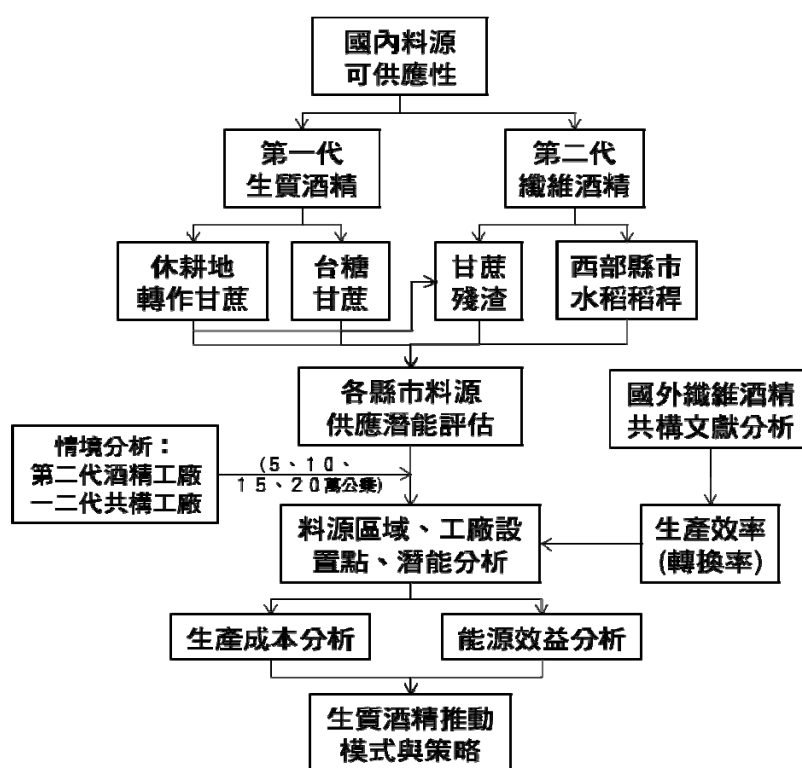


圖 1、研究流程

一、國內生質酒精料源可供應性與酒精潛能

為著眼於農業資源的有效利用、不與糧爭地之考量，左峻德等(2010)盤查國內可用來發展能源作物的土地資源包含休耕地、台糖自營農場（目前仍在種蔗）及目前與台糖契作甘蔗之蔗田等，台灣自加入 WTO 之後，一年兩期休耕面積已成長至 21 萬公頃，其中雙期連休面積達 6 萬公頃。Su et al.(2011)評估台灣使用本土玉米、甘藷、甘蔗和甜高粱為料源發展生質酒精在能源、環境及經濟上的效益，評估最適發展第一代能源作物為甘蔗，因此本研究設定國內第一代酒精能源作物來源為甘蔗，進行國內料源可供應性和酒精潛能評估。為估算國內第一代生質酒精潛能，考量單期休耕面積仍有在進行耕作，為不影響現有糧食作物土地使用為前提，本研究以雙期連休土地搭配台糖自營農場蔗田和現有台糖契作蔗田等，為用於推廣甘蔗能源作物之土地資源，土地面積依據農糧署與台糖公司統計資料如表 2，以推估國內發展甘蔗酒精之潛能。為了避免影響目前農民耕作，本研究未將目前屬於台糖自有農場但已出租之農作土地列入分析。

表 2、國內可利用發展能源作物土地資源

土地來源	面積(公頃)
雙期連休土地面積 ¹	48,343
台糖契作蔗田 ²	1,095
台糖自有蔗田 ²	12,121
台糖出租農作土地 ²	1,080

資料來源：農糧署、台糖公司。

註： 1.休耕面積為 2012 年統計數據；

2.台糖相關土地利用為 2010/2011 年期數據。

因此，本研究評估國內可獲得甘蔗產量為台糖自營甘蔗與約耕甘蔗產量以及以雙期連休土地種蔗之潛能，如式子(1)。其中，本研究假設 80%的休耕地可用以種植甘蔗，甘蔗單位面積產量平均每公頃為 80 公噸。甘蔗酒精潛量將依國內可供應甘蔗產量進行推估，本研究依甘蔗酒精轉換率每公噸甘蔗可生產 70 公升酒精進行計算(式子(2))。

$$\text{甘蔗生產潛量} = \text{台糖自耕甘蔗產量} + \text{台糖約耕甘蔗產量} + \text{休耕地} * \text{休耕地種植比例} * \text{單位面積產量} \quad (1)$$

$$\text{甘蔗酒精潛量} = \text{甘蔗生產潛量} * \text{甘蔗酒精轉換率} \quad (2)$$

至於國內第二代纖維酒精潛能評估將以農業廢棄物為主要料源，並依國內主要作物種植面積推估，評估國內可供應酒精潛能。左峻德等(2010)調查國內主要農業廢棄物有稻稈、稻殼、蔗渣、玉米稈、香蕉假莖和廢木材，台灣每年約產生 130~150 萬噸稻稈，為農業廢棄物最大宗，佔了 80%以上，因此本研究第二代纖維酒精料源將以稻稈為主，並搭配甘蔗於廠內壓榨完後的蔗渣作為料源，依 2011 年農業統計年報取得國內稻米作物種植面積，依產量推估農業廢棄物潛能，如式子(3)~(4)。稻稈之產量可與稻米採收量做等比例計，稻米產量與稻稈產量為 1:1，稻稈採收比假設 100%；蔗渣來自於甘蔗壓榨後之剩餘物，本研究以蔗渣用於汽電共生後之剩餘量，每公噸甘蔗可產生 65 公斤蔗渣，作為蔗渣產生率。

$$\text{稻稈生產潛量} = \text{稻米產量} * \text{稻稈採收比} \quad (3)$$

$$\text{蔗渣潛量} = \text{甘蔗產量} * \text{蔗渣產生率} \quad (4)$$

因此，國內纖維酒精依據稻稈和蔗渣產量，依酒精轉換率進行推估，如式子(5)~(6)，稻稈酒精和蔗渣酒精之轉換率依目前理論最佳值：每公噸料源可生產 260 公升酒精進行計算。

$$\text{稻稈酒精潛量} = \text{稻稈生產潛量} * \text{稻稈酒精轉換率} \quad (5)$$

$$\text{蔗渣酒精潛量} = \text{蔗渣潛量} * \text{蔗渣酒精轉換率} \quad (6)$$

根據農糧署最新統計，台灣各縣市雙期連休之休耕地分布，全國合計約 48,343 公頃，主要集中於中南部地區（如所示），約占全國雙期連休土地 54%。假設將台灣所有可利用土地（含 20 萬公頃休耕地及雲彰高鐵沿線地層下陷土地）全數用於推廣第一代生質酒精甘蔗能源作物，則國內生質酒精最大潛能一年約可生產 142.8 萬公秉甘蔗酒精。

表 3、台灣各縣市雙期連休休耕地分佈

單位：公頃

縣市別	面積
基隆市	21
新北市	1,097
台北市	282
桃園縣	6,998
新竹縣	1,711
新竹市	270
苗栗縣	2,280
南投縣	270
台中市	714
彰化縣	3,325

縣市別	面積
雲林縣	5,157
嘉義縣	4,262
嘉義市	164
台南市	12,571
高雄市	1,986
屏東縣	947
宜蘭縣	1,356
花蓮縣	3,579
台東縣	1,354
合計	48,343

資料來源：2012 年農糧署統計全年各縣市雙期連休休耕地面積。

台灣第二代纖維酒精潛能，以國內常見之農業殘留物或纖維作物而言，若以我國 2011 年稻稈年產約 134 萬公噸，稻稈酒精轉化以每公噸 260 公升進行推估，稻稈酒精潛能約為 35 萬公秉，香蕉假莖 8.56 萬公秉，蔗渣酒精 0.9 萬公秉(表 4)；此外，根據環保署統計全國廢木材約有 6.5 萬公噸，約可產製 0.91 萬公秉纖維酒精；因此，若以目前國內農業殘留物產生量全數作為纖維酒精料源，推估約可產製約 49 萬公秉纖維酒精，其中以稻稈為料源就佔了國內纖維酒精潛能的 71%。

表 4、國內纖維酒精之潛能分析

料 源	國內 2011 年各種 作物種植面積 (公頃)	農殘物產量 (乾公噸/ 公頃)	作物燃料 轉化量 (公升/公噸)	預估酒精產量 (萬公秉)
稻稈	254,292	5.30	260	35
蔗渣	9,352	2.53	260	0.97
玉米稈	18,195	6.40	300	3.69
香蕉假莖	13,788	6.00	280	8.56
廢木材	65,257 公噸		140	0.91
農業殘留物合計				49.13

註：作物燃料轉化量係以乾燥後料源估算。

資料來源：

1. 農委會農糧署農情報告資源網，http://agr.afa.gov.tw/afa/afa_frame.jsp。
2. 97 年度「農業廢棄物及纖維作物產製生質能源技術與效益及政策配套研析」研究報告，農委會農糧署委託，國立中興大學生物產業機電工程學系，2009 年 6 月。
3. 環保署事業廢棄物管制資訊，<http://waste.epa.gov.tw/prog/IndexFrame.asp>。

將國內發展纖維酒精潛能就分佈區域來看(表 5)，雲嘉南地區纖維酒精潛能最高，每年約可生產 26.5 萬公秉，約占全國潛能地 54%，其次為中彰投約 6.2 萬公秉，桃竹苗 3.2 萬，花東 5.1 萬，高高屏約 2.9 萬，大台北及宜蘭地區約 3.6 萬公秉。

表 5、主要農殘作物之纖維酒精潛能分佈

單位：萬公秉

地區別	纖維酒精潛能
北北基	2.0
桃竹苗	3.2
中彰投	6.2
新竹市	2.7
雲林縣	7.5

地區別	纖維酒精潛能
嘉義縣市	6.8
台南市	4.3
高高屏	2.9
宜蘭縣	1.6
花蓮縣	2.9
台東縣	2.2
合計	4.8

資料來源：2011 年農業統計年報；本研究計算整理。

二、國內酒精工廠設廠潛能評估

本研究透過不同的情境假設，探討在不同世代酒精工廠的運作條件下，國內酒精工廠潛在設置區域及可能數目。情境區分為第二代酒精工廠單獨建置，及第一代與第二代酒精工廠共構；而在兩種情境下，分別考量不同的工廠年產能 5 萬公秉、10 萬、15 萬及 20 萬公秉下之酒精工廠設廠潛能與潛在設廠位址，以此分析在設定不同年產能的工廠規模下，料源區的劃分與運距變動及成本分析，據以尋求可能之最適配置。

料源選定部分，第二代酒精工廠單獨設置使用稻稈、第一代共構第二代酒精工廠使用甘蔗、蔗渣及稻稈；土地資源部分，本研究以中南部為酒精工廠主要料源區進行分析，稻稈來自台中市、彰化縣、雲林縣、嘉義縣市、台南市及高雄市之種植田地，此即為料源區域，

並以加權運距求解工廠設置地。甘蔗則來自彰化縣、雲林縣、嘉義縣市及台南市之現行雙期連休休耕地面積之 80%轉作甘蔗，搭配區域內台糖公司自營農場蔗田與契作農場蔗田甘蔗產量，以此為料源區域，同樣以加權運距求解工廠設置地。在酒精轉換率方面，甘蔗酒精轉換率以每公噸甘蔗可產製 70 公升酒精計算；纖維酒精部分，以每公噸稻稈或蔗渣可產製 260 公升酒精計算。本研究分析中南部相關縣市之總甘蔗產量與酒精潛能分析評估如表 6，彰化縣、雲林縣、嘉義縣市與台南市之甘蔗產量即可供應約 15 萬公秉之甘蔗酒精。

表 6、國內甘蔗酒精潛能分析

縣市	台糖自營農場甘蔗產量 (公噸)	台糖約耕蔗農甘蔗產量 (公噸)	雙期連休耕地面積 (公頃)	休耕地種植甘蔗產量 (公噸)	酒精潛量 (公秉)
彰化縣	56,891	5,676	3325	275,382	19,277
雲林縣	173,399	29,007	5157	532,428	37,270
嘉義縣市	175,696	24,048	4426	483,008	33,811
台南市	77,930	35,098	12571	917,571	64,230

註：1. 假設以 80% 之休耕地種植甘蔗。
 2. 甘蔗之年平均產量為 80 公噸/公頃。
 3. 甘蔗酒精轉換率為 70 公升/公噸。

至於第二代纖維酒精料源以稻稈和蔗渣為主，以雲嘉南各縣市之水稻稻稈及該區域內種植甘蔗所產生之蔗渣進行估算，相關料源與酒精潛能如表 7。

表 7、國內纖維酒精潛能分析

縣市	稻稈產量 (公噸)	蔗渣產量 (公噸)	酒精潛能 (公秉)
台中市	177,607	0	46,178
彰化縣	312,706	17,900	85,958
雲林縣	309,442	34,608	89,453
嘉義縣市	218,104	31,396	64,870
台南市	103,075	59,642	42,307
高雄市	31,935	0	8,303

註：稻稈和蔗渣之酒精轉換率為 260 公升/公噸。

不論設立的酒精工廠為第二代或一二代共構，廠址設定及料源區之圈選，皆為關鍵之考量。此乃因酒精工廠之運作，須具備商業可行性，而廠址與料源腹地範圍之設定皆對成本有重大之影響。首先，酒精工廠之生產過程以「地產地用」為原則最具經濟效益，故廠址必須具備設立在具足量之料源腹地中；其次，料源區內必包含多處料源生產地，各生產地各自將其產生之料源集運至工廠，所有生產地集運距離之加總，即為該工廠之總運距。然而一料源區內各生產地之產量分佈不盡相同，若廠址能靠近大產量之產地，有助於降低總集運成本，故本研究採加權平均原理，亦即高產量之區域，給予較高之權重，使一料源區域內之廠址，可反映此一變數。

本研究在評估國內酒精工廠設廠潛能之研究方法為依據國內各縣市之鄉鎮區的料源潛能和酒精潛能，由北至南依序圈選符合酒精工廠年產能之區域範圍，估算此一範圍內之加權運距，以運距最小之中

心點做為工廠廠址。再分別探討一座酒精工廠年產能在 5 萬公秉、10 萬公秉、15 萬公秉與 20 萬公秉規模下，第二代纖維酒精工廠單獨設置，及第一代酒精工廠共構第二代酒精廠之設廠潛能。分析結果說明如下：

1. 列出各鄉鎮區之料源，計算酒精潛能；
2. 依照酒精工廠年產能 5 萬、10 萬、15 萬、20 萬公秉規模，由北至南依序圈選，直到符合酒精工廠目標年產能之區域範圍為止；
3. 於此範圍內之鄉鎮區中，估算加權運距為最小之中心點，設為工廠廠址，加權運距為該工廠範圍內所有鄉鎮區至工廠之距離，與各自料源產量之乘積，並於加總後除以總產量，即可求得加權運距。

$$\text{加權運距} = \sum(\text{料源產量} * \text{運距}) / \text{總料源產量} \quad (7)$$

於式子(7)中，運距為各鄉鎮料源區至酒精工廠的運輸距離，本研究以 Google Map 進行距離之量測。藉由其路線規劃之功能，逐一找尋料源區內各鄉鎮區至工廠之距離、並選取最短路線；求得各鄉鎮區之料源運距後，再進行加權平均之處理：以其料源產量與運距之乘積逐一加總，最終除以總料源產量。以第二代酒精工廠單獨設置和第一代與第二代酒精工廠共構兩種情境為分析目標，搭配一座酒精工廠年產能 5 萬、10 萬、15 萬及 20 萬公秉規模下進行分析。

(一)情境一：第二代酒精工廠單獨建置

為分析第二代酒精工廠單獨建置之可行廠址，本研究分別探討

在不同年產能下，可行廠址之評估。若以 5 萬公秉做為年產能規劃，約有 6 座設廠潛能，其廠址分別位於台中市清水區、彰化縣秀水鄉、雲林縣西螺鎮、雲林縣元長鄉、嘉義縣新港鄉與台南市善化區，運距在 13.2 公里至 18.14 公里之間，其料源區域與廠址、加權運距如表 8 所示。於此情境下，所有工廠之料源加權運距皆小於 20 公里，比對台糖公司對於甘蔗工廠之採收運距規劃以 30 公里為上限，此 6 座潛在廠址之運輸經濟效益均更佳。

表 8、纖維酒精工廠年產能 5 萬公秉之設置潛能評估

料源區域	纖維酒精 (萬公秉)	加權運距 (公里)	運費 (萬元)	工廠廠址
台中市	4.6	17.3	2,535	台中市 清水區
彰化縣	5.9	14.2	2,707	彰化縣 秀水鄉
彰化縣、雲林縣	5.5	13.2	2,371	雲林縣 西螺鎮
雲林縣	6.1	17.4	2,918	雲林縣 元長鄉
嘉義縣市	6.4	13.9	2,619	嘉義縣 新港鄉
台南市、高雄市	5.1	18.14	2,769	台南市 善化區

資料來源：本研究試算整理。

註：加權運距為酒精工廠與料源蒐集範圍內各鄉鎮區之間，將運距以料源重量進行加權處理後之結果。

若將年產能規畫提高至 10 萬公秉，則約有 3 座廠設廠潛能，位處於彰化縣秀水鄉、雲林縣虎尾鎮、嘉義縣新港鄉，加權運距落在 17 公里至 32.9 公里之間。其中，南部廠因料源區採收橫跨嘉義縣市、台南市、高雄市，因此該區運距達 32.9 公里；以 10 萬公秉之酒精廠而言，運距較長、成本將提高。料源區域與廠址、加權運距詳如表 9。

表 9、纖維酒精工廠年產能 10 萬公秉之設置潛能評估

料源區域	纖維酒精 (萬公秉)	加權運距 (公里)	運費 (萬元)	工廠廠址
台中市、彰化縣	10.4	24.0	7,082	彰化縣 秀水鄉
彰化縣、雲林縣	11	17.0	5,844	雲林縣 虎尾鎮
嘉義縣市、台南市、高雄市	11.4	32.9	7,999	嘉義縣 新港鄉

資料來源：本研究試算整理。

註：加權運距為酒精工廠與料源蒐集範圍內各鄉鎮區之間，將運距以料源重量進行加權處理後之結果。

若將年產能規畫提高至 15 萬公秉，則約有 2 座廠設廠潛能，位處於彰化縣秀水鄉、嘉義縣新港鄉，加權運距落在 27.2 公里至 30.1 公里之間。相較於 10 萬公秉廠之試算結果，可發現其運距實際上位於同一區間，顯示 15 公秉的規劃可展現較 10 萬公秉為佳的經濟效益。料源區域與廠址、加權運距詳如表 10。

表 10、纖維酒精工廠年產能 15 萬公秉之設置潛能評估

料源區域	纖維酒精 (萬公秉)	加權運距 (公里)	運費 (萬元)	工廠廠址
台中市、彰化縣、 雲林縣	15.6	27.2	11,500	彰化縣 秀水鄉
雲林縣、嘉義縣 市、台南市、高雄 市	17.1	30.1	12,240	嘉義縣 新港鄉

資料來源：本研究試算整理。

註：加權運距為酒精工廠與料源蒐集範圍內各鄉鎮區之間，將運距以料源重量進行加權處理後之結果。

若以 20 萬公秉為設廠標準，則僅有 1 座工廠潛能可達到 20 萬公秉，剩餘之潛能只可支持一座約 10 萬公秉之工廠，且該廠運距達 32.9 公里。整體而言，以年產能 20 萬公秉進行規劃，其結果較 10 萬公秉、15 萬公秉之規劃較不理想。料源區域與廠址、加權運距詳如表 11。

表 11、纖維酒精工廠年產能 20 萬公秉之設置潛能評估

料源區域	纖維酒精 (萬公秉)	加權運距 (公里)	運費 (萬元)	工廠廠址
台中市、彰化縣、 雲林縣	21.4	30.9	17,474	彰化縣埤頭鄉
嘉義縣市、台南 市、高雄市	11.4	32.9	7,999	嘉義縣新港鄉

資料來源：本研究試算整理。

註：加權運距為酒精工廠與料源蒐集範圍內各鄉鎮區之間，將運距以料源重量進行加權處理後之結果。

整體而言，以中南部作為第二代纖維酒精工廠之生產腹地，其潛量約為 30 萬公秉，本研究分析在一座酒精工廠年產能 5 萬、10 萬、15 萬及 20 萬公秉之設廠規劃下，可能之料源區域及運輸距離。以年產能 5 萬公秉而言，加權平均運距在 13.2 公里至 18.14 公里之間；年產能 10 萬公秉下，加權平均運距在 17 公里至 32.9 公里之間；年產能 15 萬公秉下，加權平均運距在 27.2 公里至 30.1 公里之間；年產能 20 萬公秉下，加權平均運距提高至 30 公里左右。

(二)情境二：第一代與第二代酒精工廠共構

由於纖維酒精產製技術尚未達商業化成熟階段，實務上國內發展生質酒精最可能從第一代生質酒精工廠著手，待纖維酒精產製技術成熟，再擴建為一二代共構廠。此處估算方式，先以第一代酒精工廠之年產能（5 萬公秉、10 萬公秉及 15 萬公秉）為基礎，訂定可能之共構廠廠址，而此工廠之料源區內，所有甘蔗、稻稈和蔗渣之總採收量即為其擴建後之產能與潛量，可將潛在料源充分利用。以總量而言，西部地區共可提供約 42 萬公秉之一二代酒精工廠共構。以下分析由不同年產能之一代廠發展為一二代共構廠之情境。

若由原先年產能 5 萬公秉之一代廠，進行一二代共構廠之擴建，則三座工廠之產能將會有不同之增長，分別成為 22 萬公秉、13 萬公秉、7 萬公秉之工廠，潛在廠址分別位於彰化縣埤頭鄉、嘉義縣水上鄉與台南市善化區；其中以年產能 22 萬公秉工廠之加權運距最具經濟效益，顯示其區域內纖維料源之潛量較高，貢獻高密度之料源；而年產能 7 萬公秉之工廠，則因區域內纖維料源稀少，使工廠之產能未顯著增加，仍保持低加權運距。

表 12、由年產能 5 萬公秉之一代廠擴建為共構廠之設置潛能評估

料源區域	擴廠前產能 (萬公秉)	擴充後產能 (萬公秉)	加權運距 (公里)	運費 (萬元)	工廠廠址
彰化縣、 雲林縣	5.6	22.4	26.5	27,866	彰化縣 埤頭鄉
嘉義縣市、 台南市	5	13.2	23.5	17,632	嘉義縣 水上鄉
台南市	4.7	7.2	18.1	10,821	台南市 善化區

資料來源：本研究試算整理。

註：加權運距為酒精工廠與料源蒐集範圍內各鄉鎮區之間，將運距以料源重量進行加權處理後之結果。

若由原先 10 萬之年產能規模進行擴建，潛在工廠廠址分別位於雲林縣元長鄉、台南市善化區；而第一座工廠將成為 30 萬公秉級之大型廠，其加權運距符合經濟效益、約為 34 公里；而原先不足 10 萬年產能之第二座廠，則增加至 10.6 萬公秉，但相對地加權運距之表現較差、超過 20 公里，使該廠較不具備經濟效益。

表 13、由年產能 10 萬公秉之一代廠擴建為共構廠之設置潛能評估

料源區域	擴廠前產能 (萬公秉)	擴充後產能 (萬公秉)	加權運距 (公里)	運費 (萬元)	工廠廠址
彰化縣、雲林 縣、嘉義縣市	9	32.2	34.3	50,609	雲林縣 元長鄉
台南市	6.4	10.6	21.0	16,797	台南市 善化區

資料來源：本研究試算整理。

註：加權運距為酒精工廠與料源蒐集範圍內各鄉鎮區之間，將運距以料源重量進行加權處理後之結果。

若由原先涵蓋彰、雲、嘉、南之一代廠進行擴建，則其年產能由 15 萬公秉增為 42 萬，潛在廠址位於嘉義縣水上鄉；以一座大型廠而言，其運距逼近 50 公里。

表 14、由年產能 15 萬公秉之一代廠擴建為共構廠之設置潛能評估

料源區域	擴廠前產能 (萬公秉)	擴充後產能 (萬公秉)	加權運距 (公里)	運費 (萬元)	工廠廠址
彰化縣、雲林縣、嘉義縣市、台南市	15.4	42.7	45.2	94,119	嘉義縣水上鄉

資料來源：本研究試算整理。

註：加權運距為酒精工廠與料源蒐集範圍內各鄉鎮區之間，將運距以料源重量進行加權處理後之結果。

以總量而言，在第一代酒精工廠共構第二代之情境下，西部地區共可提供約 42 萬公秉之潛量。以年產能 5 萬公秉之一代廠進行擴建，其加權運距在 18 公里至 26 公里之間；以年產能 10 萬公秉之一代廠進行擴建，其加權運距在 21 公里至 34 公里之間；以年產能 15 萬公秉之一代廠進行擴建，其加權運距為 45 公里。

三、酒精生產成本

對一座生質酒精工廠而言，其酒精生產成本結構可分為料源端和製造端兩方面。第一代酒精在種植成本上可分為農業操作和原物料投入兩大項，除了種植成本外，還包括料源的採收費和運輸費。第二代酒精的料源採用過去視為農業殘留物的稻稈和蔗渣，以稻稈而言，

其成本不包括種植成本，只有集運成本；而蔗渣直接來自工廠製程中之副產物，本研究假設無種植成本與集運成本。除料源端、產製端成本外，本研究將工廠利潤納入考量，因此酒精生產成本為料源端成本、產製端成本與工廠利潤之總和(式子 8)。

$$\text{生產成本} = \text{料源端成本} + \text{產製端成本} + \text{工廠利潤} \quad (8)$$

本研究假設公廠利潤為 5%，以下分別說明料源端成本與產製端成本。

料源成本方面，本研究甘蔗料原來源主要以休耕地轉作甘蔗，因此甘蔗收購成本依左峻德等(2011)考量農民與酒精工廠皆有利可圖且具備經濟性誘因下，假設農民淨收益與稻農相當，每年每公頃 10 萬元，且政府比照目前休耕地種植綠肥給予每公頃 4.5 萬元環境補貼推估，蔗農甘蔗收購價平均約為每公斤 1.47 元；而蔗渣是甘蔗壓榨後於廠內之製程殘餘物，故本研究假設蔗渣料源無需考量收購成本或集運成本；至於稻稈部分，本研究訪談台灣最大規模之雲林集草業者，以現行市場行情估算，每公斤稻稈售價約為 4.5 元。

第二代纖維酒精單獨設置下，料源採用過去視為農業殘留物的稻稈，稻稈成本每公斤為 4.5 元，至於蔗渣是甘蔗壓榨後於廠內之剩餘物，故蔗渣收購價為 0 元。第一代與第二代酒精工廠共構下，料源部分採甘蔗及過去視為農業殘留物的稻稈和蔗渣，料源成本依共構後料源使用比例進行計算，其式子為甘蔗收購成本乘以甘蔗料源使用比例加上稻稈收購成本乘以稻稈料源使用比例，如式子(9)。

$$\text{第一代酒精工廠共構第二代酒精廠料源成本} = \text{甘蔗收購成本}^*$$

甘蔗料源使用比例 + 稻稈收購成本*稻稈料源使用比例 (9)

集運成本之運費設計參考台糖公司現行甘蔗運費模式訂定，起始運輸距離於 5 公里以內，每公噸為 80 元；5 公里以上至 11 公里區間，每公噸每公里為 7 元；12 公里以上，每公噸每公里為 5.5 元(如表 15)。因此，運費的算式如下所示：基礎運費(5 公里以內)=基礎運費 80(元/公里)* 料源運送量(公噸)；中程運費(5~12 公里)=「基礎運費 80(元/公里)+ (運距(公里)-5)*7(公里/元)」*料源運送量(公噸)；長程運費(12 公里以上)=「基礎運費 80(元/公里)+ (12-5)*7(元/公里)+(運距(公里)-12)*5.5(公里/元)」*料源運送量(公噸)。

表 15、料源運費

運輸距離	運費
基本運費(5 公里內)	80(元/公噸)
中程運費(5~12 公里)	7(元/公里公噸)
長程運費(12 公里)	5.5(元/公里公噸)

資料來源：台糖公司

考量酒精工廠共構下在不同產能下有不同的運費，第二代酒精工廠單獨建置情境下，在年產能 5 萬公秉與 10 萬公秉時，料源成本(收購價+運費)每公升為 15.37 元與 15.41 元，在年產能 15 萬公秉與 20 萬公秉時，料源成本(收購價+運費)分別為每公升 15.48 與 15.55 元，並以評估一座酒精工廠年產能在 5 萬公秉、10 萬公秉、15 萬公秉及 20 萬公秉之結果為基礎，推估大於 20 萬公秉之成本(如圖 2)。至於一二代酒精工廠共構在年產能 5 萬公秉與 10 萬公秉下，料源成本(收購價+運費)每公升為 16.65 與 16.69 元，在年產能 15 萬公秉與 20 萬

公秉時，料源成本(收購價+運費)分別為每公升 16.76 與 16.83 元，並以評估一座酒精工廠年產能在 5 萬公秉、10 萬公秉、15 萬公秉及 20 萬公秉之結果為基礎，推估大於 20 萬公秉之成本(如圖 3)。

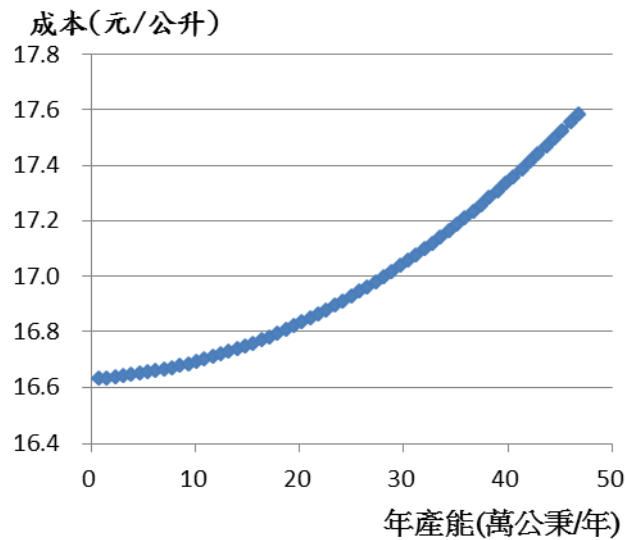


圖 2、第二代纖維酒精料源成本(含運費)

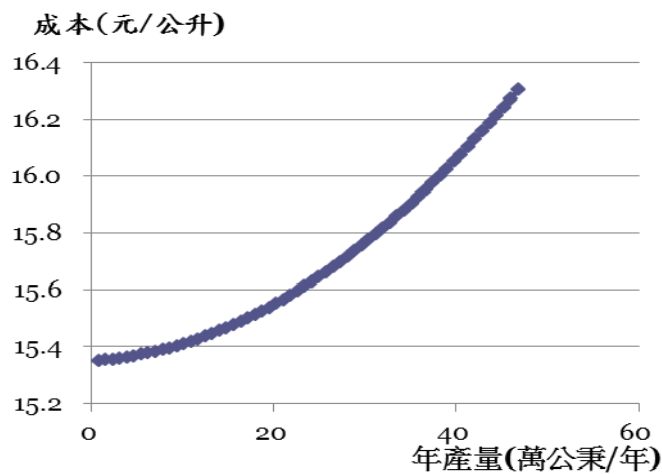


圖 3、第一代與二代酒精工廠共構料源成本(含運費)

酒精產製端成本包含固定成本及操作成本，酒精產製操作成本部份，第一代甘蔗酒精產製操作成本參考台糖公司投資計畫，每公升約 4.13 元(包含剩餘蔗渣汽電共生副產品利用)；纖維酒精製程操作

成本依核研所之試驗生產數據，推估每公升酒精約 11.19 元。在副產品部分，利用剩餘蔗渣等木質素作為汽電共生燃料，可產生電力作為製程所需能源，推估每公升酒精可扣抵 1.57 度電力，若每度電以 2 元計算，副產品之電力扣抵每公升可達 3.14 元。

第二代纖維酒精單獨設置下，操作成本項目包含前處理、水解與發酵、酵素、蒸餾、副產品與其他成本，因此每公升第二代纖維酒精操作成本約 11.19 元。第一代與第二代酒精工廠共構下，操作成本依共構後操作使用比例進行計算，即第一代生質酒精產製操作成本乘以甘蔗料源使用比例加上第二代纖維酒精產製操作成本乘以稻稈和蔗渣料源使用比例，如式子(10)。

$$\text{第一代與第二代酒精工廠共構下操作成本} = \text{第一代生質酒精產製操作成本} * \text{甘蔗料源使用比例} + \text{第二代纖維酒精產製操作成本} * \text{稻稈和蔗渣料源使用比例} \quad (10)$$

酒精工廠之固定成本係估算建廠投資設備成本折舊攤提加上管銷維修費用及其他成本。建廠投資設備成本本研究參考 NREL(2011) 評估美國利用玉米稈作為料源，在每日進料量乾重 2000 噸(年產能 18 萬公秉)之規模下，其設備成本為 2.32 億美元(如表 16)，考慮殘值(設備使用年限 20 年)攤提下，第二代酒精工廠酒精設備成本每公升酒精 1.84 元。因此加上管銷維修費用每公升酒精 0.12 元及其它成本每公升酒精 0.17 元，則第二代酒精工廠固定成本為每公升酒精 2.13 元。

表 16、美國纖維酒精工廠設備成本

設備項目	成本(百萬美元)	成本(新台幣萬元)
前處理	29.9	89,700
中和/調理	3.0	9,000
糖化與發酵	31.2	93,600
廠內酵素生產	18.3	54,900
蒸餾及固體物回收	22.3	66,900
廢水處理	49.4	148,200
貯存	5.0	15,000
汽電共生系統	66.0	198,000
公用設備	6.9	20,700
總設備成本	232.0	696,000

資料來源:NREL(2011)；本研究試算整理。

註：美元對台幣以 1:30 計算，並考慮折舊費用。

本研究為了探討國內最適生產經濟規模，分析不同產能下酒精工廠生產成本的變化。NREL(2011)指出酒精工廠年產能與建廠設備投資成本具關連性，其產能越大，建廠設備投資成本越大，NREL 提出設備規模成本在不同規模下的計算公式，如式子(11)，其中 n 為特性縮放指數，文中指出 n 係數介於 0.6 至 0.7 之間，本研究特性縮放指數採 0.7。

$$\text{新設備成本} = \text{原設備成本} * (\text{新設備產能} / \text{原設備產能})^{(n)} \quad (11)$$

第二代酒精工廠單獨建置下，依 NREL 提出設備規模成本在不同規模下的計算公式式子(11)，其酒精工廠設備成本與酒精工廠產能關係如圖 4，在一座酒精工廠年產能 5 萬公秉與 10 萬公秉時，酒精工廠設備成本分別為每公升 2.63 與 2.19 元，在年產能 15 萬公秉與 20 萬公秉下，其酒精工廠設備成本分別為每公升 1.92 與 1.78 元，並

以此計算結果推估當一座酒精工廠年產能大於 20 萬公秉之成本。

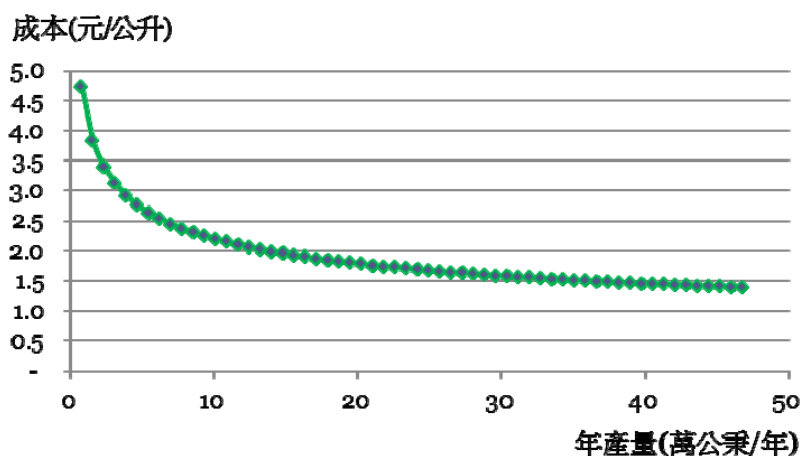


圖 4、第二代酒精工廠單獨建置固定成本

第一代與第二代酒精工廠共構下，固定成本包含設備費用、管銷維修費用及其它成本，其中設備成本依據 NREL(2011)指出是會隨著產能不同而做改變，如何計算一、二代共構下各設備成本如何縮放，本研究以 NREL(2011)纖維酒精廠設備成本為基準，並假設一、二代酒精工廠共構後年產能 15 萬公秉為例，其中第一代甘蔗酒精 5 萬公秉，佔總產能 1/3；第二代纖維酒精 10 萬公秉，佔總產能 2/3。一、二代料源生產排程錯開，共構時大多數設備可避免重複投資。評估一二代酒精工廠共構後，設備項目成本變化的情形如表 17。

表 17、一二代酒精工廠共構下，設備項目成本變化情形

設備項目	共構後成本變化	備註
前處理	縮小	共構後纖維酒精年產能由 18 萬公秉降低至 10 萬公秉，規模縮小，因此前處理設備成本會降低
中和/調理	縮小	共構後纖維酒精年產能由 18 萬公秉降低至 10 萬公秉，規模縮小，因此設備成本會降低

設備項目	共構後成本變化	備註
糖化與發酵	不變	共有設備成本項目，共構後年產能不變，因此成本不變
廠內酵素生產	縮小	共構後纖維酒精年產能由 18 萬公秉降低至 10 萬公秉，規模縮小，因此酵素生產設備成本會降低
蒸餾及固體物回收	不變	共有設備成本項目，共構後年產能不變，因此成本不變
廢水處理	不變	共有設備成本項目，共構後年產能不變，因此成本不變
貯存	縮小	因不同料源生產排程錯開，甘蔗用完再使用稻稈與蔗渣，因稻稈儲存空間較甘蔗大，儲存空間以稻稈為基準，但共構後纖維酒精產能規模縮小，因此儲存成本降低
汽電共生設備	縮小	因為與年產能 18 萬公秉之纖維酒精廠比較，共構後纖維酒精年產能由 18 萬公秉降低至 10 萬公秉，因此規模縮小。第一代酒精廠雖也會有 boiler，但因蔗渣都給第二代酒精廠用，留下的可用來發電之生質物量自然較少，因此，此項設備之容量考慮第二代之剩餘生質物即可
公用設備	不變	共有設備成本項目，共構後年產能不變，因此成本不變

註：縮小成本計算方式：原設備成本*(10萬公秉/18萬公秉)^(0.7)。

至於第一代與第二代酒精工廠設備成本與酒精工廠產能關係如圖 5，在第一代與第二代酒精工廠共構下年產能 5 萬公秉與 10 萬公秉時，酒精工廠設備成本分別為每公升 1.62 與 1.35 元，在年產能 15 萬公秉與 20 萬公秉下，其酒精工廠設備成本分別為每公升 1.18 與 1.09 元。

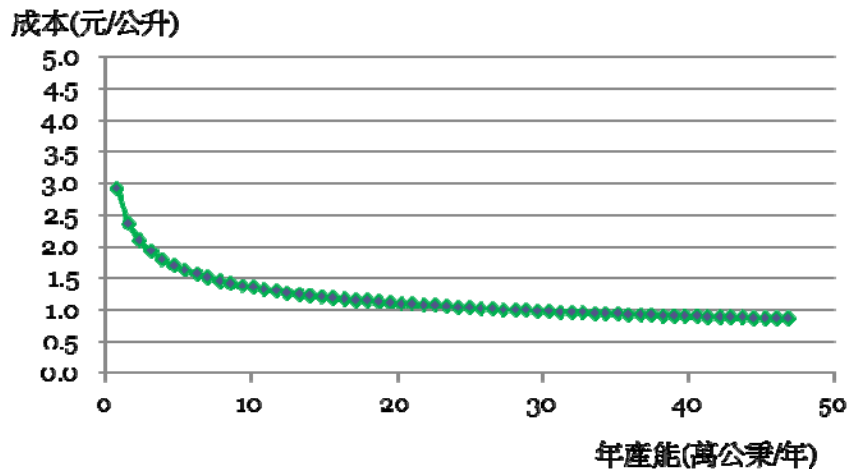


圖 5、第一代與第二代酒精工廠共構固定成本

由以上分析，式子(8)之生產成本可拆解為料源收購成本、集運成本、操作成本、固定成本、管銷維修與其它成本做分析，如式子(12)。

$$\text{生產成本} = (\text{料源收購成本} + \text{集運成本}) + (\text{操作成本} + \text{設備折舊成本} + \text{管銷維修} + \text{其它成本}) + \text{工廠利潤} \quad (12)$$

其中工廠利潤假設為5%。

四、能源效益評估

能源效益之評估係根據能源產出投入比計算，分別估算第二代酒精工廠與一二代共構工廠之能源產出與能源投入之比值(式子(13))。能源投入計算料源端種植與集運和酒精產製端所投入之能源；能源產出以無水酒精熱值進行計算，本研究以高熱值和低熱值之平均(每公升 22.3MJ) 作為無水酒精能源產出之熱值。

$$\text{能源產出投入比} = \text{能源產出} / \text{能源投入} \quad (13)$$

屬於第一代技術之甘蔗生質酒精能源投入參考左峻德等(2012)研究數據，運用 LCA 研究方法計算甘蔗種植端至酒精產製端能源投

入，料源端計算甘蔗從種植、採收與搬運至工廠階段，每公噸約 308.70MJ，依酒精轉換率每公噸甘蔗可產製 70 公升酒精換算，每公升 4.41MJ；酒精產製端參考國外量產廠數據，每公升 0.57MJ，合計約 5.52MJ，依據式子(13)，甘蔗酒精能源產出投入比為 4.48，亦即投入 1 單位能源約可產出 4.5 單位能源。

屬於第二代纖維酒精料源端透過實際田野調查所得，稻稈集運為本研究詳細記錄集草作業過程之能資源投入，計算集運過程能源投入每公噸約 625.60MJ，依酒精轉換率每公噸料源可生產 260 公升換算，料源端每公升酒精 2.51 MJ；蔗渣由於為廠內剩餘物，無須集運，本研究假設無能源投入。至於纖維酒精產製端部分，稻稈與蔗渣酒精製程端能源投入依現行核研所生產試驗數據模擬推估，每公升酒精投入 31.82MJ(表 18)，副產品用來汽電共生可帶來每公升 25.5MJ 之電力扣抵。結合稻稈酒精由集運至酒精產製端生命週期能源投入，在纖維酒精生產效率每公噸料源可產製 260 公升酒精下，計算其能源產出投入比為 2.53。

表 18、纖維酒精產製能源投入

單位：MJ/公升

製程階段	能源投入
前處理	17.00
電力	4.73
蒸氣	12.18
硫酸	0.09
糖化與發酵	9.89
電力	8.74

製程階段	能源投入
纖維素酶	1.13
酵母菌	0.02
蒸餾與脫水	4.93
蒸餾(電力)	0.23
蒸氣	4.38
水(冷卻水)	0.17
廢水處理(電力)	0.11
脫水	0.03
副產品(電力扣抵)	25.50

資料來源：核研所生產試驗推估，本研究整理。

第一代酒精廠共構第二代廠之能源投入，本研究透過第一代酒精工廠和第二代酒精工廠生產試驗每個階段之能源投入，依第一代酒精料源與第二代酒精料源使用比例推估共構後之能源投入(式子(14))。

$$\begin{aligned}
 \text{能源投入} &= \text{料源端能源投入} + \text{產製端能源投入} \\
 &= (\text{甘蔗種植能源投入} * \text{甘蔗酒精產能比例} + \text{稻稈集運能源投入} * \text{稻稈酒精產能比例} + \text{蔗渣能源投入} * \text{蔗渣酒精產能比例}) + (\text{甘蔗酒精產製能源投入} * \text{甘蔗酒精產能比例} + \text{纖維酒精產製能源投入} * \text{纖維酒精產能比例})
 \end{aligned}
 \tag{14}$$

參、主要發現與結論

一、料源可供應性與酒精潛能分析

國內生質酒精料源可供應性假設將台灣可利用土地(含 20 萬公頃休耕地及雲彰高鐵沿線地層下陷土地)全數用於推廣甘蔗能源作物，則國內生質酒精最大潛能一年約可生產 169 萬公秉甘蔗酒精，未來纖維酒精技術加入後，可進一步將甘蔗廠內壓榨剩餘之蔗渣與國內最大纖維料源稻稈納入使用，酒精年產能更可提升至 232 萬公秉。由於中南部為酒精料源最主要集中區域，若以利用 80% 中南部彰雲嘉南縣市雙期連休之休耕地、台糖自耕與約耕蔗田為實際最易執行方案來看，即可供應年產 15 萬公秉甘蔗酒精，纖維酒精技術加入後供應量更可提升至 40 萬公秉以上(表 19)。因此，國內本土料源已可支持國內推動 E3 至 E10 所需生質料源。

表 19、國內推廣生質酒精潛能分析

情境		最大供應量	CO ₂ 減量
最大潛能 (全數休耕地、台糖契作蔗田、台糖自營蔗田與出租農田、雲彰高鐵沿線)	一代酒精	169 萬公秉	235 萬噸
	一、二代酒精	232 萬公秉	456 萬噸
最易執行 (80% 中南部雙期連休土地、台糖契作蔗田、台糖自營蔗田)	一代酒精	15 萬公秉	21 萬噸
	一、二代酒精	42 萬公秉	115 萬噸

註：1. 第一代酒精係指甘蔗生質酒精；第二代生質酒精包含蔗渣及稻稈纖維酒精。

2. 最易執行方案是指利用彰雲嘉南 80% 雙期連休土地共約 2.5 萬公頃，搭配台糖契作蔗田和自營蔗田之產量。

3.國產甘蔗酒精溫室氣體減量以 1.39 公斤/公升計算(2006~2011 年國產蔗農甘蔗酒精替代汽油溫室氣體減量平均值)，纖維酒精酒精溫室氣體減量以 3.5 公斤/公升計算(Alexander et al., 2006)。

二、成本分析

酒精生產成本可分為料源端和酒精產製端兩部分，其中料源成本為酒精工廠向農民或業者收購之料源成本與料原運輸費用，產製端分為固定成本與操作成本，其中固定成本包含設備折舊攤提成本、管銷費用與其它成本，並假設廠商利潤為 5%。關於國內建置第一代生質酒精工廠，已有詳盡研究探討第一代酒精工廠之相關數據(左峻德等，2012)，因此本研究以探討第二代酒精工廠單獨建置、第一代與第二代酒精工廠共構兩種情境下之酒精生產成本。

(一)情境一：第二代酒精工廠單獨建置生產成本分析

利用第二代酒精工廠生產成本與一座酒精工廠年產能之關係進行分析，在纖維酒精轉換率每公噸料源可生產 260 公升酒精之理論最佳值下，在一座第二代酒精工廠年產能 5 萬公秉與 10 萬公秉下，酒精工廠生產成本每公升為 30.96 與 30.53 元，年產能在 15 萬公秉與 20 萬公秉下，第二代酒精工廠生產成本每公升分別為 30.32 與 30.25 元，並以此分析模式之結果推算當一座酒精工廠年產能大於 20 萬公秉下之成本，如圖 6，由年產量變動造成生產成本之推移，當酒精工廠規模增加，生產成本可降低，當第二代酒精工廠年產能約 25 萬公秉下，其生產成本最低，為最適生產規模；若達最適生產規模後，隨著酒精工廠產能增加，料源需求量提高，料源區擴大，運距和運費也增加，使其成本達最適規模後呈現上揚之趨勢。

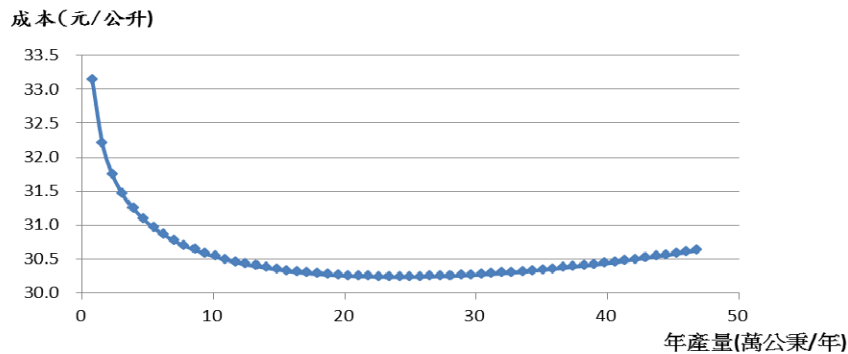


圖 6、纖維酒精生產成本

第二代酒精工廠單獨建置之可行廠址，若以 5 萬公秉做為年產能規劃，約有 6 座設廠潛能，其廠址分別位於台中市清水區、彰化縣秀水鄉、雲林縣西螺鎮、雲林縣元長鄉、嘉義縣新港鄉與台南市善化區。若將年產能規畫提高至 10 萬公秉，則約有 3 座廠設廠潛能，位處於彰化縣秀水鄉、雲林縣虎尾鎮、嘉義縣新港鄉。若將年產能規畫提高至 15 萬公秉，則約有 2 座廠設廠潛能，位處於彰化縣秀水鄉、嘉義縣新港鄉。因此在最適規模，一座第二代纖維酒精工廠年產能 25 萬公秉下，約有 1.2 座設廠潛能，其廠址分別位於彰化縣二林鎮與台南市後壁區，酒精工廠生產成本每公升為 30.23 元。

(二)情境二：第一代與第二代酒精工廠共構生產成本分析

利用第一代與第二代酒精工廠共構下生產成本與年產能之關係進行分析，在甘蔗酒精轉換率每公噸甘蔗可生產 70 公升酒精，且纖維酒精轉換率達理論值每公噸料源可生產 260 公升酒精，在第一代與第二代酒精工廠共構下年產能 5 萬公秉與 10 萬公秉時，酒精工廠生產成本每公升分別為 29.02 與 28.77 元，在年產能 15 萬公秉與 20 萬公秉下，酒精工廠生產成本每公升分別約為 28.67 與 28.65 元，並以

此分析模式之結果推算當一座酒精工廠年產能大於 20 萬公秉下之成本，可得出下列結果如圖 7，由年產量變動造成生產成本之推移，由小規模之工廠開始，其生產成本高，因其必須分攤設備之折舊高；而隨著料源的增加，在第一代與第二代共構酒精工廠年產能約 20 萬公秉下，其生產成本最低，為最適生產規模。

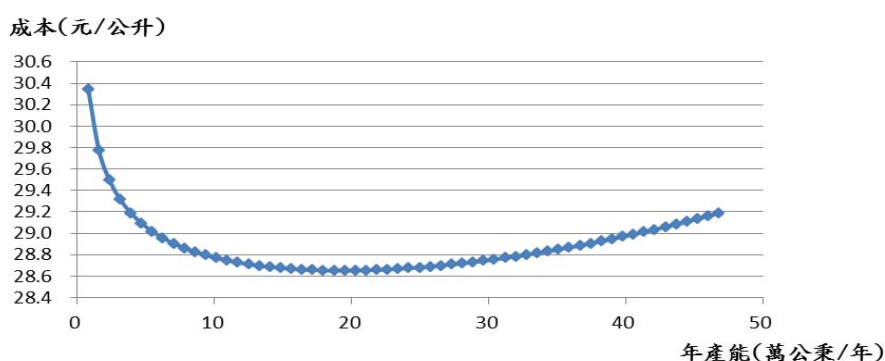


圖 7、第一代與第二代酒精工廠共構生產成本

因此當第一代與第二代酒精工廠共構下，其一座酒精工廠最適生產規模之年產能為 20 萬公秉，則依據國內料源潛能評估結果，國內有兩座一、二代酒精工廠共構之潛能，潛在設廠廠址在雲林縣元長鄉與台南市善化區。

(三)不同酒精工廠設廠模式之生產成本分析比較

生質酒精之單位固定成本將隨著工廠產能規模擴大而降低，但由於料源之體積蓬鬆，運費為重要成本項目，當酒精工廠規模擴大後與料源區之運距增長，將使運費迅速增加，連帶使整體生產成本增

加。研究結果顯示，當第二代酒精工廠年產能達 25 萬公秉時，其生產成本最低，可達最適生產經濟規模每公升 30.23 元；而採取第一代酒精工廠共構二代酒精廠，其最適生產規模則為年產能 20 萬公秉，此時生產成本每公升約為 28.65 元，可與目前第一代生質酒精生產成本相當。另一方面，研究發現在纖維酒精轉換率每公噸料源可生產 260 公升酒精下，第一代與第二代酒精工廠共構之生產成本比第二代酒精工廠單獨建置之生產成本低。茲將前述情境下，不同年產能之工廠在各項成本之結果，綜整如表 20。

表 20、不同設廠模式之生產成本分析

單位：新台幣元/公升

成本項目	一代酒精廠 ¹	二代酒精廠單獨設置					一、二代酒精工廠共構			
		5	10	15	20	25	5	10	15	20
年產能	10	5	10	15	20	25	5	10	15	20
料源成本	21.00~29.31	15.37	15.41	15.48	15.55	15.66	16.65	16.69	16.76	16.83
產製成本	5.6	14.11	13.67	13.40	13.26	13.13	10.82	10.71	10.54	10.45
操作成本	4.13	11.19	11.19	11.19	11.19	11.19	9.07	9.07	9.07	9.07
固定成本	1.47	2.92	2.48	2.21	2.07	1.96	1.75	1.64	1.47	1.38
副產品	殘渣發電收益已於操作成本中扣除									
工廠利潤	1.33~1.75	1.47	1.45	1.44	1.44	1.44	1.38	1.37	1.37	1.36
總生產	27.93~36.66	30.96	30.53	30.32	30.25	30.23	29.02	28.77	28.67	28.65

資料來源：1.左峻德等(2012)；2.本研究計算整理。

三、能源效益評估

甘蔗酒精能源使用效率而言，投入 1 單位能源可產出 4.5 單位能源(左峻德等，2012)；在第二代酒精工廠單獨設置下，由於第二代纖維酒精尚未達商業化量產，稻稈與蔗渣酒精其能源產出投入比，依現行核研所生產試驗數據推估約 2.53。但若一、二代酒精工廠共構，其能源產出投入比依第一代酒精料源與第二代酒精料源之使用比例，分別為 30%和 70%進行推估，能源產出投入比約 2.90 (表 21)。分析一、二代酒精工廠共構下之能源效益表現不如第一代甘蔗酒精，可能原因之一為目前一、二代酒精工廠共構廠，尚無法取得較精細之參數，僅以其中甘蔗、纖維之使用料源比例來計算有關。

表 21、各種設廠條件之能源效益分析

項目	一代廠	二代廠	一二代共構廠
料源端	4.41	2.51	3.08
酒精產製端	0.57	6.32	10.67
前處理	0.64	17.00	12.09
電力	0.07	4.73	3.33
傳統能源(柴油)	0.57	-	0.17
蒸汽	-	12.18	8.52
硫酸	-	0.09	0.06
糖化與發酵	0.03	9.89	6.93
電力	0.03	8.74	6.13
纖維素酶	-	1.13	0.79
酵母菌	-	0.02	0.01
蒸餾與脫水	0.55	4.93	3.62
電力	0.01	0.23	0.17
傳統能源	0.54	-	0.16

項目	一代廠	二代廠	一二代共構廠
蒸汽	-	4.38	3.07
水(冷卻水)	-	0.17	0.12
廢水處理(電力)	-	0.11	0.08
脫水	-	0.03	0.03
副產品(電力扣抵)	-0.65	-25.50	-18.04
總能源投入	4.98	8.83	7.68
總能源產出	22.30	22.3	22.3
能源產出投入比	4.48	2.53	2.90

肆、結論

一、研究結論

近幾年政府透過小地主大佃農、活化休耕地租賃措施等獎勵措施，鼓勵休耕地活化；但從執行成效來看，農民復耕往往從最熟悉的水稻著手，形成政府公糧收購莫大壓力，在我國稻米自給率已達 90% 以上，這些稻米去化又將成為另一個農經議題。然而，休耕地活化應該可以有另一種不同的思維。台灣過去曾經是蔗糖輸出國，甘蔗對於農民而言是相當熟悉的作物，整體甘蔗的產銷作業體系都已相當成熟、機械化程度高，同時又是相當節水的作物。如果能將中南部地區雙期連休的休耕地優先活化，推廣種植甘蔗，這樣不但可以做為製糖的來源，也可以作為生產生質酒精的料源；酒精工廠也得以視國際糖價和油價走勢進行生產調控，大幅降低營運風險；對於農業部門來說，農地不但可以扮演確保糧食安全角色，更可以延伸至能源供應的角色。

台灣糧食自給率約為 32%、但能源自給率僅 0.7%。利用 80% 中南部雙期連休耕地，搭配台糖自營與現有約耕蔗田，已可支持兩座生質酒精工廠料源供應；未來隨著纖維酒精技術成熟，更可以直接在第一代酒精工廠共構第二代酒精工廠，台灣最大宗的農業廢棄物稻稈或蔗渣，也都可以加入料源供應。若政府利用現有休耕給付制度輔導種蔗，以中南部為生產基地，每年 25 億元即可生產 50 萬公秉生質酒精，替代 0.69% 原油進口，這樣的能源供應量，幾乎是提高目前我國能源自給率的一倍，並且還可以創造 1.08 萬農業就業，而年產值更可高達 167 億元；隨著國際油價走高，產值將會更加擴大。

承前述，本次研究由本土料源進行供應性、潛量、運輸成本、生產成本等議題進行分析，分別就兩種情境：第二代酒精工廠單獨建置、第一代廠共構第二代酒精工廠進行比較分析，並評估年產能 5 萬、10 萬、15 萬與 20 萬公秉之最佳規劃。結果顯示，若發展第二代酒精廠單獨設置，在年產能 20~25 萬公秉之間，成本約為 30 元左右，且其能源投入產出比為 2.53；若發展一二代共構工廠，在年產能 20 萬公秉之條件下其成本可與目前第一代生質酒精生產成本相當（為 28.65 元），且其能源投入產出比 2.90 亦顯示可行性。建議國內可先發展一座年產 10 萬公秉第一代生質酒精工廠，將相關產業供應鏈完成建置；待纖維酒精產製技術成熟，即可擴充為一、二代酒精工廠共構，以年產能 20 萬公秉最具經濟規模，配合中南部料源區將可成為完整之供應體系。

二、台灣發展生質酒精推動策略與模式

第一代生質酒精技術在國際上已相當成熟，目前一座具經濟規模之第一代生質酒精廠年產能約為 10 萬公秉。至於第二代纖維酒精技術，由於技術尚未成熟生產成本仍然偏高。因此，建議國內可先發展一座年產 10 萬公秉之第一代生質酒精工廠，將相關產業供應鏈完成建置；待纖維酒精產製技術成熟，即可擴充為一二代酒精工廠共構，以年產能 20 萬公秉最具經濟規模，分析其生產成本將比直接建置第二代纖維酒精工廠低。若從 2013 年開始啟動設置酒精工廠，其生質酒精推動模式建議 2016 年即可從南部具豐沛料源地區優先供應 E3，設定使用量 10 萬公秉，於南部地區設立一座甘蔗酒精工廠即可

供應所需。中期一、二代工廠共構加入供應體系，建議以 2020 年「全面供應 E3」為目標，使用量 30 萬公秉；長期 2030 年則可推行「全面供應 E5」，使用量 42 萬公秉。

從國內現有車輛對於酒精汽油適用性角度來看，以對於 E3 適用性最高可優先推動。進一步分析酒精汽油產業供應鏈建置時程（圖 8），由於酒精建廠從規劃設計、建廠至試運轉約需 3 年時間；而甘蔗種苗培育約需一年時間，第一次種植（稱之為新植）需於 7 月開始，種植 18 個月後可收穫供應酒精工廠所需；配銷體系新建酒精儲槽約需兩年，一座加油站之地下儲槽清洗一週內即可完成。整體而言，酒精建廠為整體時程分析中之關鍵要項應優先推動。



圖 8、生質酒精產業供應鏈發展時程分析

若酒精工廠設置可如期於 2013 年啟動，相關產業鏈亦配合建置，則 2016 年即可推動「綠色鄉鎮供應 E3」，但同時仍需供應無鉛

汽油給不適用車輛使用。以目前國內車輛汰換生命週期約 13~15 年，保守估計至 2020 年所有老舊車輛將可全部替換，2020 年即可於所有汽油中「全面供應 E3」。而為配合較高比例之酒精汽油使用，車輛部份零組件需進行調整，以汽機車開發約需 2 年、改款約需 2 年推估，政府於 2013 年前宣布 2017 年以後上市之車輛需適用 E10，車輛業者即可有緩衝與調適期間。若政府提出鼓勵汰換 E10 車輛方案加速車輛更新，2030 年即可推動「全面供應 E5」。

2012 年台經院因執行國科會「纖維酒精能源、環境及經濟效益研析計畫」推動「台南仁德生質酒精示範計畫」，已成功完成產業供應鏈整合示範，並釐清產業鏈整合銜接之關鍵議題。因此對於台灣發展生質酒精推動策略，建議應可從以下幾個構面進行研議：

1. 優先設定推廣目標與期程

建議以地產地用為前提進行規劃，短期可以「台南仁德生質酒精示範計畫」為基礎，2016 年啟動「綠色城鄉 E3 計畫」，推動南部具豐沛料源地區優先供應 E3，設定使用量 10 萬公秉，於台南設立一座甘蔗酒精工廠即可供應所需。中期建議以 2020 年「強制添加 E3」為目標，使用量 30 萬公秉；長期 2030 年則可推行「全面供應 E5」，使用量 40 萬公秉。

2. 推廣甘蔗能源作物兼顧糧食與能源安全

甘蔗為國內最適合發展之能源作物，已有成熟機械化作業系統及產銷模式。參考巴西發展經驗，酒精工廠與糖廠為共構型態共用甘蔗料源，可依據國際糖價與酒精價格進行生產調控，避免糖價與酒精

價格市場波動；推廣甘蔗作物將可使農業成為兼具糧食生產與能源供應之重要產業。

3.由台糖公司優先建置國內第一座酒精工廠

運用國內中南部 80%雙期連休耕地，搭配台糖自營與現有約耕蔗田，已可支持第一座生質酒精工廠所需料源；利用現行休耕給付推廣能源作物，甘蔗將有機會發展成為中南部具特色的農業經濟產業。台糖公司為國內甘蔗產銷供應體系運作最為成熟公司，建議由台糖公司輔導農民種蔗契約收購，投資建置國內第一座生質酒精工廠。

4.提供經濟性誘因鼓勵消費者使用

為鼓勵優先使用國產料源，輔導自產酒精逐步建立產銷體系及競爭力，建議給予由自產能源作物提煉之酒精免徵貨物稅與空污費，未來如果開徵能源稅酒精汽油亦應隨著酒精含量依比例減免。在未能充分運用雙期連休耕地及農業殘留物生產酒精前(約有 40 萬公秉供應量)，不宜開放進口；此外，酒精工廠應給予投資抵減與租稅獎勵，未來若開放進口酒精，關稅應依循目前工業酒精關稅課徵 20%以上，並且比照進口石油課徵石油管理基金。此外，為加速不是用酒精汽油車輛之汰換，建議可提供購車補助及適用生質燃料車輛給予燃料稅減免。

伍、參考文獻

- Bryant, C., "How Brazil can Capitalize on Cellulosic Ethanol", 7th F.O. Licht annual Sugar and Ethanol Conference, Sao Paulo, Brazil, March 28-30, 2011
- Dias, M.O.S., A.V. Ensinas, S.A. Nebra, R. Maciel Filho, C.E.V. Rossell and M.R.W. Maciel, 2009. "Production of bioethanol and other bio-based materials from sugarcane bagasse: integration to conventional bioethanol production process," *Chemical Engineering Research and Design.* 87 : 1206–1216.
- Dias, M.O.S., M.P. Cunha, C.D.F. Jesus, G.J.M. Rocha, J.G.C. Pradella, C.E.V. Rossel, R.M. Filho, A. Bonomi, 2011. "Second generation ethanol in Brazil: Can it compete with electricity production?" *Bioresource Technology.* 102: 8964–8971.
- F.O.Lights, Strange Brew-Europe's Quest for a Common Fuel Ethanol Standard, *World Ethanol and Biofuels Report*, Vol.9 No.12, 2011.
- National Renewable Energy Laboratory (NREL), 2011. *Process Design and Economics for Biochemical Conversion of Lignocellulosic Biomass to Ethanol, Dilute-Acid Pretreatment and Enzymatic Hydrolysis of Corn Stover.* Accessed from <http://www.nrel.gov/docs/fy11osti/47764.pdf>.
- Perlack, R.D., A.F. Turhollow, 2002, *Assessment of options for the collection, handling, and transportation of corn stover.* Oak Ridge National Laboratory, Tennessee. ORNL/TM-2002/44.

Sathitsuksanoh, N., Z. Zhu, S. Wi and Y.H.P. Zhang, "Cellulose Solvent-Based Biomass Pretreatment Breaks Highly Ordered Hydrogen Bonds in Cellulose Fibers of Switchgrass", *Biotechnology and Bioenergy*, Vol.108, pp.521-529, 2011

Su, Mei-hui, Chia-hui Huang, Chun-to Tso, The Benefit Evaluation for Co-constructed and Co-Production by the First and Second Generation Ethanol Plants, 7th Dubrovnik Conference on Sustainable Development of Energy , Water and Environment Systems, Croatia, 2012.

邱太銘，「液體生質燃料生產技術發展」，台灣生質能源產業協會成立大會暨第一屆理監事會議專題演講，2012。

左峻德、蘇美惠、黃佳慧，「第一代及第二代酒精工廠共構生產效益評估計畫」，行政院原子能委員會核能研究所委託計畫，1002001INER091，2011。

左峻德、蘇美惠、黃佳慧，「纖維酒精能源、環境及經濟效益研析計畫(1/2)」期末報告，國家科學委員會委託計畫，NSC100-3113-P-301-002，2011。

左峻德、蘇美惠、黃佳慧，「纖維酒精能源、環境及經濟效益研析計畫(3/3)」期中成果效益報告，國家科學委員會委託計畫，NSC101-3113-P-301-007，2012。

蘇美惠，「建置國產酒精汽油產業供應鏈之可行策略與效益評估」，台經月刊，2012。