醣質與澱粉作物品種開發與栽培

賴永昌[1]　羅淑芳[1]　賴瑞聲[2]　蔡武雄[1]

1. 行政院農業委員會農業試驗所嘉義分所
2. 行政院農業委員會農業試驗所生技組

摘　要

經濟發展一直被認為國家發展成功與否之指標，而能源是否能夠充分供應對經濟發展具有重大影響力，石油為世界上各國使用最多的能源，大約佔所有能源供應量之 37%。但對許多國家而言，大部分之石油皆仰賴進口，而所進口之石油大部分 (約 30%) 來自政治動蕩之中東波斯灣國家，而且所進口之石油常常成為各國貿易逆差之主要因素；另外燃燒後之石油所釋放出之二氧化碳造成空氣污染之主因，致使全球氣候改變，最後學者亦發現全世界石油儲藏量已逐漸減少。基於以上原因，世界上各個國家皆積極開發新的替代能源，本文將探討甘蔗、甜高梁、玉米及甘藷等醣質與澱粉作物在臺灣及世界各國之栽培概況，並進一步探討作為能源作物之可行性，以作為我國發展能源政策之參考。

前　言

在過去幾十年來，臺灣之經濟發展一直是許多開發中國家學習榜樣，國民所得從 1990 年每人 8132 美元，2005 年每人國民所得上升為 15291 美元；但在這經濟成長過程中，能源需求量也節節上升，自 1990 年每人能源消耗量從 2.4 公秉，到 2005 年上升為 4.8 公秉；為促進經濟成長而過度使用能源亦為臺灣帶來負面的效果，每人 CO_2 排放量自 1990 年之 5.6 公噸，到 2005 年上升至每人 CO_2 排放量為 13.0 公噸（表一），根據統計臺灣溫室氣體排放量達全球百分之一，是世界第二十二名。另外臺灣是一個能源極度缺乏國家，進口能源在 1990 年為 93.4%，到 2005 年上升為 98.1%，其中石油進口量佔 51.3%，自主能源僅達 1.9%（表二）。有鑑於此，我國於 2006 年 6 月 20 日舉行全國能源會議，會中結議將於 2010 年減少 2,300 萬公噸 CO_2 排放量，2015 年減少 7,100 萬公噸 CO_2 排放量，2020 年減少 12,100 萬公噸 CO_2 排放量。並積極發展自主能源，其中 2010 年將推廣再生能源占總能源之 3-5%。

再生能源種類甚多，太陽能、風力、水力及廢棄物為大常提到的再生能源。從能源作物尋找新能源亦是可行之道，本文將探討甘蔗、甜高粱、玉米及甘藷等醣質與澱粉作物在臺灣及世界各國之栽培概況，並進一步探討作為能源作物之可行性，以作為我國發展能源政策之參考。

表一、自 1990-2005 臺灣地區之環境狀況及能源需求

項目	1990	1995	2000	2005
人口數	20,352,966	21,304,181	22,216,107	22,689,774
人口密度(人/平方公里)	565	592	617	630
GDP(百萬美元)	164,513	273,792	321,230	346,389
每人GDP(美元)	8132	12,906	14,519	15,291
車輛數(輛)	2,905,940	4,684,447	5,586,269	6,648,756
CO_2 排放量 (million metric tons)	132.5	179.4	238.9	295.5
每人 CO_2 排放量(metric tons)	5.6	8.4	10.8	13.0
能源消耗量(10^3 KLOE)	49,665	66,630	87,270	107,939
每人能源消耗量(KLOE)	2.4	3.1	3.9	4.8

(資料來源:Tsai et al., 2007)

表二、自 1990-2005 臺灣地區能源需求結構及種類　　單位:10^3 KLOE

項目	1990	1995	2000	2005
煤	13,682 (23.3%)	20,852 (26.2%)	32,658 (31.1%)	43,160 (31.9%)
石油	32,480 (55.4%)	43,251 (54.3%)	53,499 (50.9%)	69,449 (51.3%)
液態天然氣	941 (1.6%)	3646 (4.6%)	6382 (6.1%)	10,310 (7.6%)
天然氣	1304 (2.2%)	931 (1.2%)	739 (0.7%)	541 (0.4%)
水利發電	2034 (3.5%)	2206 (2.8%)	2203 (2.1%)	1965 (1.5%)
核能	8164 (13.9%)	8772 (11.0%)	9564 (9.1%)	9929 (7.3%)
總計	58,605 (100%)	79,658 (100%)	105,044 (100%)	135,354 (100%)
依賴進口能源比例(%)	93.4	95.8	97.1	98.1

(資料來源:Tsai et al., 2007)

醣質作物

一、甘蔗

甘蔗在植物分類學上屬於甘蔗屬 (Saccharum) 為禾本科中之一屬，原產於印度，性喜氣候變化大之環境，生育期中需要高溫多雨，以充分發揮其營養體的生長；成熟期則必需低溫乾燥，以利糖分累積，因此世界上主要產糖區皆為乾期與雨期明顯之地區。臺灣中南部主要種植甘蔗地區，冬季東北季風來臨為乾期，而夏季西南季風來臨為雨期，極適合種植甘蔗。

臺灣甘蔗栽培歷史極為悠久，臺灣糖業公司一直是臺灣糖業主要經營單位，在 1960-1980 年間栽培面積一直維持 100,000 公頃左右，自 1980 年以後隨著國際糖價下跌，臺糖為維持公司之營運，開始進行多角經營策略，甘蔗面積也開始逐漸減少，糖之生產量由 1980 年之 829, 639 公噸，到 1999 年下降至 276,409 公噸，而副產品 95% 酒精維持在 25 萬公秉左右 (表三)。而臺糖生產之甘蔗在生育 14 個月下公頃產量為 80-90 公頃，相當於大約年公頃產量為 73 公噸，糖濃度為 16-18%，酒精生產量為 5,000-6,000 公升，約可生產 300 GJ 之能源 (Tsai et al., 2007；楊等, 2006)。

巴西是世界上利用甘蔗生產、消費及輸出汽油酒精主要國家，種植面積為 550 萬公頃，而所生產之甘蔗每噸可產生 138 公斤之葡萄糖及 145 公斤之蔗渣，而 138 公斤之葡萄糖可生產 112 公斤蔗糖或 72 公升之酒精，目前所生產之甘蔗一半用於製糖，另一半用於製造酒精。印度為世界上第二生產

國，種植面積為 436 萬公頃，2005 年甘蔗生產量為 23,232 萬公噸，目前印度為燃料酒精進口國，其酒精生產量為 200 萬公秉 (Moreira and Goldemberg, 1999)。

表三、自 1980-1999 年台糖生產糖及其副產品

年代	糖(噸)	副產品 (公秉)		
		糖蜜	蔗渣	酒精
1980	829,639	240,021	1,725,850	23,600
1985	662,030	215,464	1,488,450	28,351
1990	475,346	188,881	1,258,671	23,616
1995	408,093	148,935	1,021,477	28,726
1999	276,409	108,069	795,342	28,377

(資料來源:Tsai et al., 2007)

二、甜高粱

甜高粱為 C4 作物，學名為 Sorghum bicolor L. Moench，原產地為東非，其後再傳播至整個非洲、亞洲、歐洲、澳洲及美國各地。甜高粱為極度耐旱作物，種子能夠在旱季休眠以等待雨季來臨，依據不同品種及栽培條件，其株高可長到 120-400 公分，故能被種植在氣候條件惡劣地區。甜高粱全株皆可利用，種子可食用或作為飼料，而莖稈除可作為青芻飼料或煉製糖蜜 (syrup) (Nguyen and Prince,1996)。依據 Gnansounou et al., (2005) 估算每公頃甜高粱可生產 1900 公升之糖蜜，但在生長條件差下僅能得到 800-1,200 公升之糖蜜；但因甜高粱產生之糖蜜純度不夠，結晶較困難，故製糖價值不高；若轉作為酒精用途，則具有極佳之潛力。

一般而言，甜高粱全年皆可種植，春作以三月種植最佳，夏作以四-五月種植最佳，秋作以七-八月種植最佳，但不同品種及不同栽培期之產量及含糖量差異極大，其中以春夏作種植最佳，每公頃莖稈產量達 35 公噸以上，而秋作僅約 19 公噸左右。Gnansounou et al., (2005) 以 4 個甜高粱品種於中國遼寧省種植，其中品種 Tianza No.2 之鮮莖稈產量每公頃為 52.1 公噸最高，其於品種皆在 47-50 公噸之間；而榨汁率以 Wray、Tianza No.2 較高，分別為 65.4 及 65.3% ；而糖度以 Keller 之 19.5^{0}BX 最高，其餘品種分別在 16-19^{0}BX 之間；子實產量以 Tianza No.2 最高，每公頃可生產 5 公噸 (表四)。

表四、不同甜高粱品種之性狀

	品種			
	Keller	Wray	Rio	Tianza No.2
鮮莖稈產量(公噸/公頃/年)	49.5	49.8	47.4	52.1
榨汁率(%)	62.2	65.4	59.0	65.3
糖度(^{0}BX)	19.5	18.5	17.5	16.1
子實產量(公噸/公頃)	2.8	1.8	3.4	5.0

Mamma et al., (1994) 將甜高粱品種 Kelly 收穫後，以 70 bar 之壓力壓榨鮮莖桿成汁液及壓縮莖桿塊，再比較鮮莖桿、壓榨汁液及壓縮莖桿塊之成分，結果發現鮮莖桿及壓縮莖桿塊水分含量最多分別為 67.2 及 55.8% ；而糖分主要為蔗糖，鮮莖桿及壓縮莖桿塊分別含 14.8 及 8.7%，而壓榨汁液含 19.9%，另外三者葡萄糖含量皆不高，其餘成分包含纖維素、半纖維素及木質素 (表五)。而將壓榨汁液及壓縮莖桿塊分別以 1 種及 2 種菌種發酵後，分別在 100 公克之鮮莖桿下製成 4.8 及 5.1 公克之酒精。

表五、甜高粱鮮莖桿、壓榨汁液及壓縮莖桿塊 (press cake) 之成分組成

成分	鮮莖桿	壓榨汁液	壓縮莖桿塊
水分 (%)	67.2		55.8
蔗糖 (%)	14.8	19.9	8.7
葡萄糖 (%)	1.5	1.9	1.0
纖維素 (%)	6.4		12.3
半纖維素 (%)	5.0		9.7
木質素 (%)	4.6		8.8

農試所於 94 年引進美國 7 個甜高粱種原，進行繁殖與觀察，甜高粱於 94 年 7 月初育苗，7 月 16 日移植至田間，9 月 5 日（移植後 50 天）開始取樣調查，結果如表 6 及 7。7 個觀察品系株高都已超過 150 ㎝，莖徑約 1.9～2.5 ㎝，莖桿基部、中間間先端段固形物差異不大。移植後 107 天調查結果如表 7，株高 （含結實穗） 超過 230 ㎝，汁液固形物 (Brix） 含量以 SOR007、SOR004 及 SOR003 較高，達 18% 以上。生育期間固形物含量變化如圖一 ，

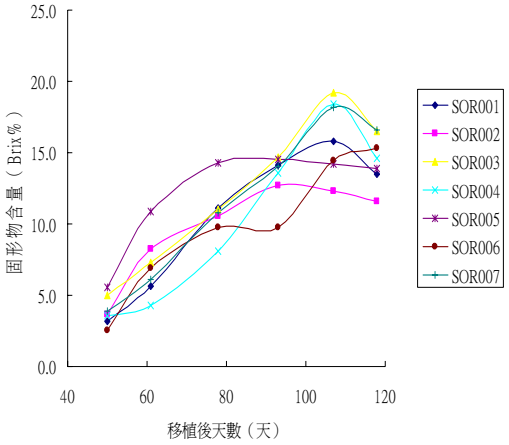
其中 SOR002 及 SOR005 在移植後 93 天達最高，分別為 12.7 及 14.6%，應該屬於早熟品種系（以莖桿為採收標的），其餘品系固形物含量最高值則表現於移植後 107 天。生育期間之單株固形物產量（汁液重x固形物含量）變化如圖二，以 SOR004 含量最高。

表六、移植後 50 天莖桿產量及固形物含量調查

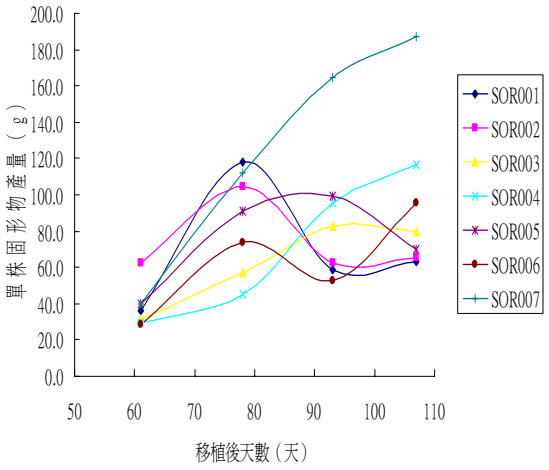
品系	株高（cm）	莖徑（mm）	莖桿總重（g）	分蘗數	Brix（%）			
					基部	中間	先端	平均
SOR001	155.4	25.72	1,491	4.8	3.1	3.2	3.2	3.2
SOR002	171.8	23.01	1,600	4.6	3.6	3.5	3.9	3.7
SOR003	186.8	20.71	1,140	4.4	5.1	4.8	5.1	5.0
SOR004	164.6	22.06	1,338	4.2	3.7	3.3	3.9	3.6
SOR005	189.8	19.13	1,154	4.6	5.5	5.2	5.8	5.5
SOR006	166.6	19.21	1,534	6.8	2.8	2.3	2.5	2.5
SOR007	150.4	22.39	1,350	4.6	4.2	3.6	3.9	3.9

表七、移植後 107 天單株莖桿固形物含量及產量調查

品系	株高（cm）	莖徑（mm）	莖桿總重（g）	汁液重（g）	榨汁率	Brix（%）	固形物產量（克/株）
SOR001	255.4	23.93	1,046	402	38.4%	15.8	63.52
SOR002	237.8	17.49	1,212	532	43.9%	12.3	65.65
SOR003	273.6	21.10	1,168	416	35.6%	19.2	80.04
SOR004	320.6	17.98	1,472	634	43.1%	18.4	116.91
SOR005	230.6	18.15	1,112	494	44.4%	14.2	70.05
SOR006	304.4	23.58	1,574	662	42.1%	14.4	95.59
SOR007	264.0	22.43	2,256	1030	45.7%	18.2	187.05



一、甜高粱品系生育期間之固形物含量變化。



圖二、甜高粱品系生育期間之單株固形物產量變化。

95 年度春作挑選其中 2 品系於臺南學甲地區進行試種，高產品系 SOR004 產量估算可達 60 公噸/公頃，單次榨汁率約 40%，汁液 Brix 16%，預估可轉換 2000 公升酒精/公頃，其殘渣纖維約 17 公噸/公頃，約可轉換 4700 公升纖維酒精（表八）。

表八、甜高粱地上部取樣調查

品系及取樣日期	莖桿及葉片鮮重（g）[z]	汁液重（g）	榨汁率（%）[y]	固形物含量 Brix(%)	渣鮮重（g）	渣乾重（g）	渣含水率（%）	穗重（g）
SOR004-2006 年 6 月 15 日	2364.31	784.71	33.23	11.78	1579.60	-	-	144.07
SOR004-2006 年 6 月 28 日	7777.23	3106.83	39.95	16.05	4670.00	2040.00	56.20	252.20
SOR005-2006 年 6 月 15 日	1114.63	432.91	38.57	13.65	681.72	-	-	113.10
SOR005-2006 年 6 月 28 日	4328.09	1682.71	38.88	16.90	2645.00	1005.00	62.11	271.70

[Z]：取樣點 2M 長，行距 0.6M。

[Y]：採用三軸式小型榨汁機。

澱粉作物

一、玉米

玉米為禾本科，為世界上最重要之糧食及飼料作物。在 1955 年以前臺灣玉米年產量約 10,000 公噸，可以自給自足。其後經濟結構發展發生改變，臺灣開始往畜牧業發展，玉米作為飼料之需求增加，因臺灣種植玉米面積不足，開始由國外大量進口。1984 年起實施稻田轉作計畫，玉米栽培面積開始快速成長，1982 年種植面積為 39,110 公頃，1988 年達最高為 82,183 公頃，其後面積開始下降，至 2005 年為 21,150 公頃 (表九) 。臺灣玉米生產可於裏作、一期作及二期作進行，可分成食用玉米及飼料玉米兩種，以 1991 年為例，飼料玉米在裏作、一期作及二期作分別種植 52.6、24.4 及 3.4%，其中以雲林縣之 5089 公頃最多，佔 34.5%；而飼料玉米在裏作、一期作及二期作分別為 52.6、24.4 及 23.0%，其中以臺南縣之 18531 公頃最多，佔 30.0%。玉米成分主要以澱粉為主，在乾燥完整玉米粒中澱粉含量為 73.4%，蛋白質含量為 9.1%，糖含量為 1.9% (盧, 1994)。

美國為世界上第二大酒精生產與消費國家，僅次於巴西。美國液態生質燃料以生質酒精為主，主要原料為玉米，美國酒精用玉米的消費近幾年增加非常快，酒精生產消費的玉米量已經超過了澱粉行業，成為美國工業用玉米消費的主體。 燃料酒精將成為未來玉米酒精加工的主要方向(Gulati et.al., 1996；Kwiatkowski et al., 2006；Rask, 1998；Solomon et al., 2007)。

表九、臺灣玉米生產概況

年代	總計		
	收穫面積(公頃)	公頃產量(公斤)	產量(公噸)
1982	39,110	3,028	118,419
1985	61,636	3,667	226,010
1990	81,369	4,172	339,436
1996	73,099	6,104	395,412
2000	30,283	5,995	178,315
2005	21,150	6,084	133,653

(資料來源:臺灣農業年報)

二、甘藷

甘藷在植物學分類上為旋花科 (convolvucaceae)，甘藷屬 (Ipomoea)，原產地是以墨西哥為中心的熱帶美洲。據臺灣文獻記載在17世紀初，明末荷蘭占領臺灣時期，由福建傳入臺灣栽培，距今已有400多年歷史。臺灣位於

熱帶和亞熱帶之間，環境條件適合甘藷生長，又具有食糧、輔食糧、飼料、工業及食品加工用等用途，加工及生產較其他食糧作物高，故甘藷成為臺灣主要食量作物之一。臺灣甘藷栽培面積及生產量，據臺灣農業年報統計，在民國 35 年以後至民國 62 年各年間，因農村多以甘藷為養豬的主要飼料，生產和需要量很大，栽培面積保持在 20一24 萬餘公頃，年生產量為 200一340 餘萬公噸，是臺灣甘藷生產和利用上最高峰的時期。但自民國 62 年以後，養豬事業逐漸趨向企業經營，又因家畜飼養方法的改善，甘藷作為飼料用途逐漸為進口玉米所替代，以致甘藷需要量銳減，故栽培面積及生產量逐年大幅減少。目前甘藷則以食用、食品加工用及葉菜用為主要用途。據民國 94 年農業年報統計，全臺灣省栽培面積為10,231公頃，年生產量為 21萬3仟餘公噸，臺灣甘藷種植面積已開始上升 (表十) 。臺灣甘藷之栽培遍及各縣市，以中南部的雲林、臺南、屏東、高雄及嘉義縣等地區栽培最多，東部之花蓮及臺東縣等地區為最少。臺灣甘藷栽培季節可分為春作 (即一期作，2～4月種植)、夏作 (即二期作，5～7月間種植)、秋作 (8～9月間種植) 及裡作或晚秋作 (10～11月間種植)，以秋作及夏作種植者最多，春作種植者最少 (李1994)。甘藷塊根主要含有澱粉，在秋裡作每公頃塊根產量約 30 公噸以上，每公頃生產酒精量為 3,750 公升以上。

表十、臺灣甘藷生產概況

年代	總計		
	收穫面積(公頃)	公頃產量(公斤)	產量(公噸)
1945	135,000	8,700	1,165,000
1960	224,000	12,700	2,979,000
1980	62,000	16,900	1,055,000
1990	12,000	17,000	200,000
2000	9,331	21,314	197,837
2005	10,231	20,918	21,991

(資料來源:臺灣農業年報)

95 年度農試所嘉義分所執行農糧署委託之計畫，以種植甘藷進行「生質酒精小型量產計畫與成本分析」，分別於義竹鄉、水林鄉及新化鎮等三地預計各種植約 10 公頃，並以臺農 10 號、17 號、31 號、57 號及 66 號進行不同時期的種植及生產成本的評估，所採收之甘藷運送至臺灣菸酒公司屏東酒廠及臺灣糖業公司利用濕

甘藷產製生質酒精，試驗結果顯示在義竹鄉種植之春作甘藷生產成本為每公頃63,690元，每公斤甘藷生產成本為8元；在水林鄉種植之秋作甘藷生產成本為每公頃85,579元，每公斤甘藷生產成本為2.4元；臺灣菸酒公司屏東酒廠利用甘藷作為原料，估算其產率為2.8公秉/公頃，生產成本為43~45元/公升，而臺糖公司利用甘藷產製酒精，其成本為27.5元 (表十一)，兩者差異極大。

表十一、臺糖公司利用甘藷產製酒精之成本評估

項目	成本(元/公升)
淨原料成本	23.44
操作成本(包括：能源、化學品、保養、經常費用、稅金與保險、其他費用及管理費	4.06
合計	27.5

巴西發展酒精能源成功的故事

巴西是世界上最大的甘蔗、糖和酒精生產國，同時亦是使用生質能源比例最高的國家。巴西發展酒精作為生質能源亦歷經了不同階段興盛、衰竭、後又復興的艱難歷程，目前已被世界公認為酒精生產和出口第一大強國，佔全球酒精總產量（約400億升）的三分之一強，佔全球酒精貿易量（約40億升）的50%。事實上巴西從1925年已開始進行在汽油中摻加酒精的試驗工作，但最初僅是小規模的試驗階段，到1973年中東戰爭阿拉伯國家對西方的石油禁運引發世界第一次石油危機，到1974年1月分國際市場上的石油價格從1973年12月份時的每桶3美元暴漲到12美元，巴西因進口石油外匯由1972年時的4.89億美元猛增到1974年時的28.4億美元，相當於當年外債總額的16% (Rosillo-Calle and Cortez,1998)。當時聯邦政府(1964-1985年）有鑑於此，於1975年11月14日成立“全國酒精計劃（Proálcool）”(Moreira and Goldemberg, 1999)，在此計畫下，政府補貼農民開始大量種植甘蔗，給予投資設立酒精工廠所得稅減額，鼓勵汽車製造業重新設計適合酒精為燃料之汽車引擎，政府提供經費建立巨大分銷網路，使酒精燃料順利到達加油站；同時維持低價酒精以鼓勵消費者使用，政府亦要求石油公司所生產汽油必需混合酒精。在政府及民間共同努力下，在1980年無水酒精及有水酒精銷售量分別為2萬253公秉及約429公秉，1985年增加至202萬公秉及593萬公秉，1996年達395及977萬公秉(表十二)。

另外巴西自 1979 年第一輛無水酒精汽車問世後，1980 年酒精汽車在市場佔有率為 27%，1985 年更達成 95.8% 之酒精汽車佔有率（表十三）；但 1989 年以後政府遇到財政困難，難以維持對酒精生產的補貼，行業生產性投資減少，酒精生產量減少，1989 年 1 月份，酒精和汽油的價格分別上調 30.48%和 19.88%，兩者的價差由 31% 減少到 25%，同時出現酒精供應短缺問題，使得酒精汽車之數量大幅度減少，1996 年酒精汽車佔有率僅為 0.8%（表 13）；從 2002 年開始，巴西加大了酒精生產的投入和利用技術的開發，使酒精車的銷售在當年微增到 4.1%。特別是在 2003 年 3 月份巴西大眾汽車公司率先開發出可單獨使用汽油或酒精、或兩種燃料混用的多功能引擎汽車，隨後，巴西通用汽車公司、福特公司、菲亞特汽車公司也相繼加入了多功能引擎車的市場競爭，這樣給消費者多提供一種選擇的權利，即在一種燃料短缺或價格不能接受的時候，可以選擇另外一種燃料。截至 2005 年 10 月份的統計，國內市場銷售的汽油、酒精雙燃料汽車從 2006 年 5 月份開始已連續 6 個月超過汽油汽車（Rivera, 2006）。

表十二、自 1975-1996 巴士國內汽油、無水酒精及有水酒精銷售量

年度	汽油(10^3 公升)	無水酒精(10^3 公升)	有水酒精(10^3 公升)
1975	14,618,813	0	0
1980	13,690,912	2,253	429,179
1985	9,721,127	2,120,764	5,932,015
1990	10,123,512	1,217,548	10,211,578
1995	15,882,244	3,525,312	9,889,615
1996	19,508,504	3,959,643	9,772,097

(資料來自: Rosillo-Calle and Cortez, 1998)

表十三、自 1975-1996 巴西國內石油汽車及酒精汽車銷售量

年度	石油汽車(台)	酒精汽車(台)	酒精汽車佔有率(%)
1975	778,920	0	0
1980	626,467	240,638	27.0
1985	28,653	645,551	95.8
1989	26,082	397,734	60.4
1990	542,740	81,650	13.1
1996	1,585,000	12,000	0.8

(資料來自: Rosillo-Calle and Cortez, 1998)

至今巴西已成為全球最大酒精生產、消費及輸出國，2004 年與 2005 年燃料酒精生產量分別為 1,540 萬公秉及 1,680 萬公秉，預估 2010 年可達 2,600 萬公秉。2005 年所生產之酒精中 1,430 萬公秉供應巴西境內所需，其餘 250 萬公秉外銷。目前巴西有 320 座糖/酒精生產工廠，興建中有 51 座(Rivera, 2006)。巴西之全國酒精計劃在經歷近 30 年發展後，已產生多項具體成就，現就其中幾項已被世人認同之成果來詳加說明:

一、農業及工業上之成就

由於巴西政府全力投入甘蔗之種植，有關甘蔗新品種之研發、栽培管理之改良、酒精生產技術改良等皆獲得重大成果。甘蔗每公頃收穫量從 1985 年之 79 公噸至 1993 年之 85 公噸 (Moreira and Goldemberg, 1999)，而酒精生產量亦由每公頃生產 2400 公升增加至每公頃 5000 公升 (Moreira and Goldemberg, 1999)，而在農業生產成本下降 19.0%，酒精生產成本下降 6.4% (表十四)。另外甘蔗種植及酒精生產提供約 100 萬個直接及 50 萬個間接就業機會，大大的降低巴西國內之失業率 (Moreira and Goldemberg, 1999)。

表十四、酒精生產之生產成長降低量

項目	降低量(%)
甘蔗生產(農業部分)-包括品種改良、肥料施用、雜草防治等	19.1
酒精生產(工業部分)-包括發酵、能源等	6.4

(資料來自: Moreira and Goldemberg, 1999)

二、對環境上之影響

1980 年以前巴西車輛使用汽油作為燃料，一氧化碳 (CO) 排放量高達 54 g/km，1980 年以後開始使用汽酒精油 (gasohol) 或酒精作為燃料，一氧化碳排放量開使大幅度下降，1990 年使用車輛汽酒精油 (gasohol) 及酒精之一氧化碳排放量分別下跌至 13.3 及 10.8 g/km，到 1995 下跌至 4.7 及 4.6 g/km，其他廢氣排放量亦極速下跌 (表十五)。

而種植甘蔗對二氧化碳減量亦有明顯影響，表十六顯示巴西種植甘蔗每年所生產甘蔗製成酒精以取代石化石油每年可減少 913 萬公噸之二氧化碳；而種植甘蔗以吸收二氧化碳，每年可減少 899 萬公噸之二氧化碳。總計種植甘蔗以生產能源酒精每年可減少 1,798 萬公噸之二氧化碳，對環境保護之貢獻甚大 (表十六)。

表十五、巴西輕型車輛使用汽油及汽酒精油 (gasohol) 後廢氣排放量

年代	油種類	廢氣排放量(g/km)			
		CO	HC	NO_X	Aldehydes
1980 之前	汽油	54	4.7	1.2	0.05
1986	汽酒精油	22	2	1.9	0.04
1986	酒精	16	1.6	1.8	0.00
1990	汽酒精油	13.3	1.4	1.4	0.04
1990	酒精	10.8	1.3	1.2	0.11
1995	汽酒精油	4.7	0.6	0.6	0.025
1995	酒精	4.6	0.7	0.7	0.042

(資料來自: Moreira and Goldemberg, 1999)

表十六、巴西全年甘蔗生產之淨 CO_2 釋放量

項目	釋放量 (10^6ton carbon/year)
農用能源	+0.82
甲烷釋放量(甘蔗燃燒)	+0.04
N_2O 釋放量	+0.15
蔗渣取代石油(食品及化學工業)	-0.87
酒精取代石油	-9.13
甘蔗 CO_2 吸收量	-8.99

(資料來自: Moreira and Goldemberg, 1999)

三、對國家財政方面

巴西自 1976 年開始使用酒精取代石化石油作為車輛能源，至 1996 年共使用 141329 萬公秉之酒精，共節省約 255 億美元之外匯 (Moreira and Goldemberg, 1999)，對財政困難之巴西政府而言，酒精能源之發展帶來極大之助益，也使巴西不受世界能源危機之影響，而能獨立自主地發展國內經濟。

結　語

經濟發展一直被認為國家發展成功與否之指標，而能源是否能夠充分供應對經濟發展具有重大影響力，石油為世界上各國使用最多的能源，大約佔所有能源供應量之 37%。但對許多國家而言，大部分之石油皆仰賴進口，而所進口之石油大部分 (約 30%) 來自政治動蕩之中東波斯灣國家，而且所進口之石油常常成為各國貿易逆差之主要因素；另外燃燒後之石油所釋放出之二氧化碳造成空氣污染之主因，致使全球氣候改變，最後學者亦發現全世界石油儲藏量已逐漸減少。基於以上原因，世界上各個國家皆積極開發新的替代能源，酒精作為新能源已被美國、巴西、中國、俄羅斯等十個國家採用，而美國、巴西為採用酒精作為新能源之前二名領先國家 (Solomon et.al., 2007)；反觀臺灣，尋求新替代能源僅是起步階段，但以我國超過 98%以上之能源皆仰賴進口，故發展新能源政策為當務之急。至於發展何種新能源？酒精是否為適當新能源？皆需要進一步加上研究。

參考文獻

李良。1994。甘藷、雜糧作物各論Ⅲ根及莖類。pp.1329-1477. 臺灣省區雜糧發展基金會 臺北。臺灣。

楊金興、林俊義、陳甘澍、賴瑞聲、劉新裕、賴永昌。2006。適合臺灣栽培之能源作物的研究方向。生物技術與綠色農業研討會專刊。行政院農業委員會農業試驗所特刊 127 號 pp.37-56。

盧煌勝。1994。玉米、雜糧作物各論 I.禾穀類。pp.169-330. 臺灣省區雜糧發展基金會 臺北。臺灣。

Gnansounou,E. , A.Dauriat, and C.E.Wyman. 2005. Refining sweet sorghum to ethanol and sugar : economic trade-offs in the context of North China. Bioresource Technology 96:985-1002.

Gulati,M. , K.Moholmann , M.R.Ladisch , R.Hespell and R.J.Bothast. 1996 . Assesment of ethanol production options for corn products. Bioresource Technology 58:253-264.

Kwiatkowski , J.R. ,A.J.Mcaloon , F.Taylor and D.B.Johnston. 2006 . Modeling

the process and costs of fuel ethanol production by the corn dry-grind process.Industrial Crops and Products 23:288-296.

Mamma, D. ,P.Christakopoulos, D.Koullas , B.J.Macris and E.Koukios. 1995 . Alternative approach to the bioconversion of sweet sorghum carbohydrates to ethanol. Biomass and Bioenergy 8(2):99-103.

Moreira,J.R. and J.Goldemberg. 1999. The alcohol program.Energy Policy 27:229-245.

Nguyen,M.H. and R.G.H.Prince. 1996. A simple rule for bioenergy conversion plant size optimization:bioethanol from sugar cane and sweet sorghum.Biomass and Bioenergy 10:361-365.

Rask,K.N. 1998. Clean air and renewable fuels:the market for fuel ethanol in the US from 1984to1993.Energy Economics 20:325-345.

Riveras,I.,「US may learn from Brazil ethanol sector？analysts」,February 3,2006.(Available in http:planetark.com/dailynewsstory.cfm/newsid/34851/story.htm),2006.

Rosillo-Calle, F. and L.A.B.Cortez. 1998. Toward proalcool Ⅱ-A review of the brazilian bioethanol programme. Biomass and Bioenergy 14:115-124.

Solomon, B.D., J.R.Barnes and E.Halvorsen. 2007. Grain and cellulosic ethanol:History , economics ,and energy policy. Biomass and Bioenergy 31:416-425.

Tsai,W.T. , H-F.Lan and D-T.Lin. 2007 . An analysis of bioethanol utilized as renewable energy in the transportation sector in Taiwan.Renewable and Sustainable Energy Review:1-19.