

農業工程與農業節能生產

盧福明

國立台灣大學生物產業機電工程學系教授

摘 要

農業生產作業過程如能節省能源消耗量即有減碳效果。目前農業生產依賴石油產品之比重高，提高農業生產效益方式之一為在節省能源消耗量原則下追求高產量、高品質及高經濟價值農產品。選用能源種類及能源應用技術皆會影響農業生產效益。在節能減碳政策及油源日漸枯竭之大環境之下，行政院農業委會已於2010年6月提出農業節能減碳因應政策。本文僅就農業工程與農業節能生產面向探討因應措施。農業生產除了改善及提升現在使用傳統能源之效率之外，勢必積極研發或推廣採用最合適之節能方式和尋找其他替代能源。台灣農機在節能方面仍存有寬廣改善空間，可透過改變操作方或裝設節能輔助設備達到節能效果。

關鍵詞：節能、減碳、農業、農業機械

一、前 言

台灣農業發展重點以稻作為主逐漸擴及其他雜糧、蔬果和畜產等領域。台灣農業機械化之發展亦配合稻作之需求而邁出第一步。台灣農業機械化之發展歷程約可分為四個階段。在初始起步階段(1950~1970年)由政府引進耕耘機推廣使用及大力輔導設立耕耘機製造廠商之後，即進入第二階段的農機發展時期(1971~1980年)。在第二階段，政府制定推動加速農業機械化方案並成立各地代耕中心，農業機械在稻作生產之使用由示範點擴散到各個鄉鎮。第三階段(1981~1990年)全面推動農業機械化，包括園藝、畜牧、雜糧和漁業生產機械和加工處理機具。第四階段(1991年至今)推動農業自動化和農業電子化及資訊化作業。在現有農業發展要確保生產、生活、生態的平衡政策和節能減碳目標之下，下一階段的農業機械發展將走向節能減碳導向之農業機械化。

為因應全球油源日益枯竭及油價高漲趨勢，農業追求節能生產技術，提高使用石化能源效率和探討利用替代能源之可行性。降低石化能源消耗量可以減少二氧化碳排放量，降低大氣溫室效應而減緩地球暖化現象。大氣的成分包含78%的氮氣、21%的氧氣、稀有氣體包括0.93%的氫氣、0.04%的二氧化碳及其

他氣體(包括氫氣、氮氣、甲烷、氫氣、氫氣)。稀有氣體含量雖低，但對溫室效應與地球暖化的影響頗大，產生溫室效應的氣體包括水氣、二氧化碳、甲烷、氧化亞氮、臭氧和六氟化硫。除了溫室氣體之外，大氣中也漂浮一些懸浮微粒例如粉塵、有機粒子、硫酸鹽粒子和火山灰。粉塵來源包括土壤犁耕作業和車輛行駛泥地所產生之土壤微粒、燃燒化石燃料與生質材料或使用噴霧劑。

二氧化碳為產生溫室效應的主力，於 2000 年，溫室氣體之 70%皆因人類活動所衍生出的二氧化碳，人類每年產生的二氧化碳量高達 250 億噸，其中由使用石油而產生的二氧化碳量達 101 億噸(Parkinson, 2010; Energy Information Administration, 2010)。在 200 年前工業革命時，大氣中二氧化碳濃度約 280ppm，到 2008 年其濃度已達 386ppm，相當於每年增加 0.5ppm。在 2000 年到 2008 年之間，大氣中二氧化碳濃度的增加率約為每年 2.1ppm，較 200 年來的平均增加率高出 4 倍。政府的政策訂定在 2020 年將溫室氣體排放量降到 2008 年水準。過去 30 年來，因為溫室氣體效應所導致之地球表面平均氣溫增加率約為每 10 年增加 0.18°C，臺灣平地平均氣溫上升 0.12°C。海平面高度每年平均約升高 0.17 公分。溫室效應所產生的地球暖化現象導致作物提早開花及影響動物交配時期等副作用及增加蒸發現象增加缺水危機及土壤鹽一化程度而不利於農作物之生產。地球暖化亦有其有利的一面，例如減緩冬天暖氣之消耗及動植物凍死或霜害之程度。

為因應溫室效應影響農業生產之程度，世界各國已擬定各項因應措施及研究解決方案。台灣在這方面的研究起步不晚，成果豐碩，在政策方面也多有因應措施。為加強宣導及執行節能減碳政策，行政院農業委員會在 2010 年 6 月召開「因應氣候變遷農業調適政策會議」檢討過去及策劃未來在農業方面之節能減碳措施(農委會, 2010)。農業生產作業過程如能節省能源消耗量即有減碳效果。本文僅就農業工程與農業節能生產面向探討因應措施並以農業機械化角度提出構想，拋磚引玉就教於農業先進。

二、農業生產與能源應用

農業生產過程中所需之原料生產或作業例如種子、肥料、水資源、犁耕、栽培管理和收穫加工處理等大都仰賴石化油能源。地球能源消耗量及成本日增，每一美元可購置能源量由 1995 年之 2,354 千卡降為 2005 年之 2,026 千卡，10 年間之降幅約 14%，如表 1 所示。產油國家每一美元可購置能源量居高，換言之，其能源較便宜，因此在工業化且自有油源之國家的農產品生產成本較低。

近年來使用能源導致大氣碳排放量加速增加、溫室氣體效應造成地球暖化現象愈形嚴重，世人不得不面對事實提出對策，節能減碳運動成為各行各業永續

發展策略。農業愈現代化的國家其生產機具及設施亦多，因之石油消耗量亦高。亞洲國家在 1980 到 2006 年之 26 年間，每年消耗石油所排放之二氧化碳量如圖 1 所示。台灣在 1995 年之後每年消耗石油所排放之二氧化碳量增加不多，約維

表1. 單位美元購置能源量(Wenger等, 2009)

地區/國家	1995 年 (千卡/美元)	1995 年 指數(%)	2005 年 (千卡/美元)	2005 年 指數(%)
全球	2,354	82	2,026	88
美國	2,863	100	2,298	100
中南美洲	1,653	58	1,713	75
歐洲	2,046	71	1,810	79
前蘇聯	5,239	183	3,702	161
中東	3,568	125	3,792	165
非洲	1,756	61	1,605	70
中國	2,462	86	1,994	87
印度	1,315	46	1,009	44

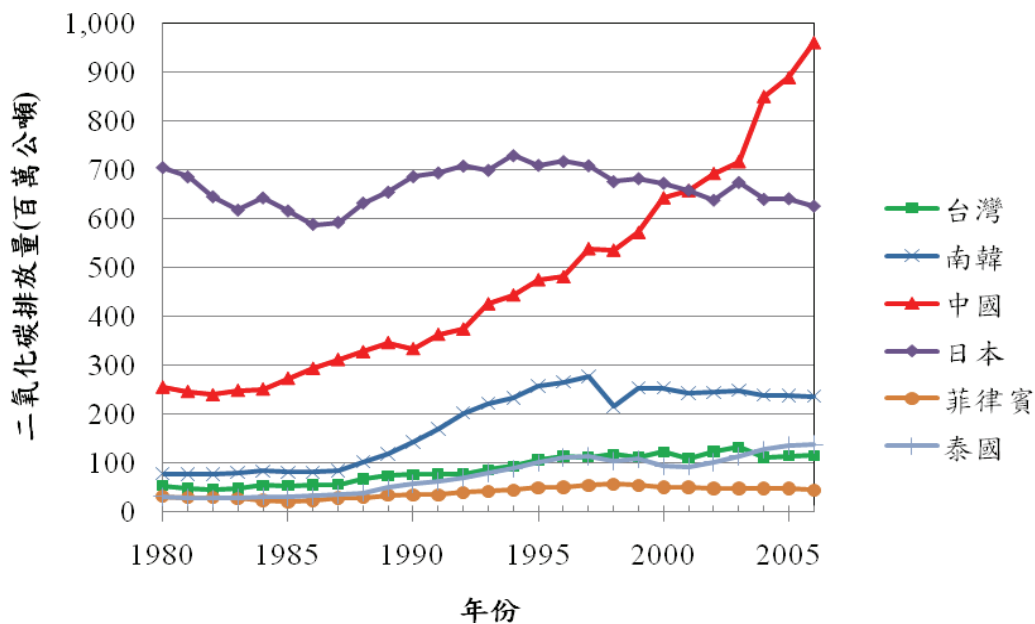


圖 1. 亞洲國家每年消耗石油所排放之二氧化碳量(Energy Information Administration, 2010)

持在 110 百萬公噸左右(台灣於 2005 年之全部二氧化碳排放量為 276 百萬公噸，其中農業生產佔 0.44%)。反之中國則加速升高二氧化碳排放量，於 2006 時達到 970 百萬公噸左右。泰國和菲律賓二氧化碳排放量與台灣之差異不大。工業大國例如美國於 1985 年至 2000 年間每年消耗石油所排放之二氧化碳量約由 2000 百萬公噸增加到 2,500 百萬公噸左右，每年排放之二氧化碳量約為台灣 23 倍。雖然農業生產之碳排量遠低於其他產業，例如日本農林水產業之二氧化碳排放量約只佔全國之 1.0% (其中農林業佔 64%，約 8,865 千噸)，農業生產仍須注重節能減碳(日本農林水產省, 2008)。

目前農業生產依賴石油產品之比重高，提高農業生產效益方式之一為在節省能源消耗量原則下追求高產量、高品質及高經濟價值農產品。選用能源種類及能源應用技術皆會影響農業生產效益。各式能源及技術之優劣勢比較如表 2 所示。田間農業生產耕作機具及設施生產的能源以石油為主，近年來則有少部份改用生質燃料。在節能減碳政策及油源日漸枯竭之大環境之下，農業生產除了改善及提升現在使用傳統能源之效率之外，勢必積極研發或推廣採用最合適之節能方式和尋找其他替代能源，例如太陽能、風能、生質能、燃料電池和天然氣等。農業生產必須隨著評估能源應用之結果做出正確調適才能達到永續經營的效果。

行政院農業委會提出擴大農業節能減碳方案指出海洋、土壤、森林生態系具強大碳吸附能力，換言之，農業生產之碳吸存量大於排放量，具有減緩全球暖化的現象。農委會提出之因應措施要點如下(農委會, 2010)。

1. 發展節能減碳新技術及設施：開發低耗能與節能農漁機具與設施，運用太陽能等多元再生能源，推動農業節能環控生產模式；改善畜牧業經營與廢水循環利用，降低溫室氣體排放。
2. 推行「農產品碳足跡」制度：發展低碳農業，鼓勵消費低碳農產品，並建立農業碳排放量盤查制度。推廣合理化施肥、低投入之栽培模式，研發稻桿等在地農業廢棄資材再利用。
3. 強化農業碳匯功能：發動全國造林與加強護林，充分利用公私有地，鼓勵公民營機關團體參與，適度提高山坡地獎勵金；並推展海洋植藻、農田保育耕犁，研發增加森林、海洋及土壤碳匯之技術。

上述三要點所列之事項有些部份已在國內推動，但仍有大部份尚待落實。其中與農業工程包括農機直接相關聯者諸如低耗能與節能農機具、節能環控生產模式、廢水循環利用、農業廢棄資材再利用、農田保育耕犁、造林與護林和土壤碳匯等項目。為達到上述節能目標可由材料、設計和操作管理三方面來推

表2. 各式能源及技術之優劣勢(Wenger等, 2009)

能源及技術	優勢	劣勢
增加效率	新能源具方便性、使用費用低	投資大、省能源效率高反而可能增加能源使用量
石油	較其他能源便宜、技術普及且使用方便、採用固碳技術可防止環境污染	油源枯竭、產生溫室氣體效應、石油生產國易有專制及腐敗現象
天然氣	產量豐富、環境衝擊較石油小、可以液態方式行銷全球	生產國多為專制國家、產生溫室氣體、鑽探及運輸投資大、天然氣輸送管線維護不易
煤	產煤國家蘊藏量豐富且便宜	採礦危險度及污染性高、產生多量溫室氣體
生質燃料	可再生且具有地域性能源特點、第二代生質燃料能量高於第一代	利用玉米為生質能源會增加糧食價格、土地使用面積增大加速環境衝擊、未達經濟使用效益
地熱	可再生、發電便宜	必須配合高效率管理制度、當作居家熱源之使用成本高
核能	低價且不產生溫室氣體	設置成本高、有輻射廢料處理及外洩問題、冷卻用水會加熱河水或海水溫度
太陽能	供給充裕、不會產生溫室氣體	較一般傳統發電貴、夜間無法作業、必須增加日光收集效率和能源儲存方式、太陽能板之生產過程會產生有毒廢棄物
風能	油價每桶超過美金 40 元時風力發電才具有優勢	風機影響景觀、對野生動物具有危險性、佔用農地
重油、頁岩油與焦油砂	產地侷限於美國、加拿大、澳洲、巴西、中國、委內瑞拉與蘇俄，具有擴大儲油量的優勢	生產方式較石油貴約 10 倍、生產過程耗能又耗水、產生高量溫室氣體、環境衝擊大
海浪	能量量大於風能 900 倍	採集能量之經費過高
藻類	可轉換為生質柴油或噴射燃料油、較生質能源作物生長快速且占地小、可設置於任何地點、可解決環境汙染問題	生產成本高(1 加侖美金 20 元)、多年後才可商業運轉
燃料電池(結合氫與氧產生電力)	可管控二氧化碳之排放、可應用於汽車與住家、效率高於一般電池	成本特別昂貴

動節能減碳措施。例如改良品種(耐熱、耐旱及耐鹽)、研發新栽培方式(播種期、肥培、灌溉、輪作)、調整施肥方式(淺層或深層、條施或散施)、應用新材料加強改善農機減重設計、提升農機保養維修效率和改善田間耕犁方式(不整地耕犁、深耕)等。

三、 節能耕作生產方式

不同耕作方式之能源需求確有改善空間。Borin 等(1997)比較一般犁耕方式、畦溝犁耕方式和不整地耕犁方式等不同耕作方法在栽培玉米、黃豆與大麥所需能量和碳平衡的研究中指出，畦溝犁耕方式和不整地耕犁方式較傳統犁耕方式節省能源量分別為 10%和 32%，二氧化碳排放量分別減少 1190 m³/ha/year 與 1553 m³/ha/year，如表 3 所示。

不整地耕犁方式係不用犁具翻土而將種子直接植入土壤中的耕作方式，具有減少土壤過度細碎流失、有機碳流失的效果及涵養水分和抑制雜草的作用。不整地耕犁作業方式讓田間殘留作物在土壤中分解腐爛，土壤表面或土壤內的有機質之分解緩慢而限制二氧化碳的排放量，大部分碳成分可貯存於土壤內。自然界中，動物吸氧排二氧化碳，但植物吸二氧化碳排氧。植物吸收二氧化碳行使光合作用轉換為有機質，促進植物成長。原本貯存在作物內的碳成分會在收穫及食用之階段轉換成二氧化碳釋放到大氣中，也有部分碳成分會轉換為有機質貯存於土壤內。因之農民耕作方式會影響作物內的碳成分的轉換方式。

犁耕時土壤表面有機質混入內層並與空氣混合之後可加速微生物反應，促使有機質快速分解釋放二氧化碳而增加大氣中二氧化碳含量。雖然農民必須費時及增加投資之後才可有效執行不整地耕犁作業模式，在美國和歐洲皆認為在旱地將傳統犁耕作業轉換為不整地耕犁或最小耕作農業型態具有顯著的土壤固碳作用(Van Oost 等, 2004)。雖然不整地耕犁或最小耕作(保育耕作)方法被肯定具

表3. 不同耕作方式單位面積及單位產量(玉米、黃豆與大麥)所需能源消耗量之比較(Borin等, 1997)

耕作方式	單位面積所需能源 (MJ/ha)	單位產量所需能源 (MJ/ton)
一般犁耕方式	6,546	1,206
畦溝犁耕方式	3,676	748
不整地耕犁方式	2,541	618

有省能及增加土壤固碳效果，但亦有人對其固碳效果的顯著性提出保守觀點 (Van Oost 等, 2004; Charles 等, 2010)。

Lal (2004) 提出增加土壤固碳的方針包括土壤改良、地面造林、不整地耕耘作業、覆蓋作物、營養管控、施用固態與液態堆肥、改善放牧方式、開闢及保護水資源、有效灌溉及農業造林、在空地栽植能源作物。減少二氧化碳量排放之效果，例如土壤每固定一噸碳約可增加小麥產量 20~40 kg/ha，玉米 10~20 kg/ha，豇豆 0.5~1 kg/ha。全世界可耕地增加土壤固碳量一公噸，即可抵銷每年全球石化油所產生的二氧化碳量 4~12 億噸或相當於 5~15% 全球石化油氣體排放量。

Lal 等(2004) 深入探討不整地耕耘方式的固碳效果指出不妥善的農耕方式在美國造成土壤固碳量減少 40 ± 10 億噸，在全世界的土壤固碳量約減少 780 ± 120 億噸。土壤固碳減少的量大部分多排到大氣中。土壤含碳量的損失主要來自犁耕時翻轉土壤所造成的風化作用和水力侵蝕作用。收穫後將植株殘梗放置田間會增加土壤含碳量並減少土壤流失，但植株殘梗等生質材料若被犁耕入土壤內，則會因為微生物的作用而快速分解為二氧化碳排入大氣中。農業永續經營可採用省能之不整地耕耘方式配合作物覆蓋和輪作方式以增加土壤有機碳含量。

全球可耕地約 1,379 百萬公頃，其中僅有 5% 採用不整地耕耘方式。殘留植株置於田間雖有利於土壤固碳作用，但可能減少飼料來源及生質燃料原料，且有可能導致病蟲害的發生。在不顯著減少產量和影響品質之原則之下，如能改良台灣水稻或其他作物的傳統栽培作業方式或減少作業層次即可達到節能生產之效益，例如水稻直播、無畦或淺畦栽培、田區選擇性除草及施肥等。

四、農業機械節能方式

日本農林水產省(2008)提出日本稻米生產過程二氧化碳排放量如表 4 所示。每公頃二氧化碳排放量為 796.1 kg/公頃，其中以育苗、犁耕、水田整平、乾燥、插秧、收穫等作業較高，其中以乾操作業佔 47% 為最高，此可解讀為乾操作業耗能最多。因此在耗能較大的農作業仍具有較大節能空間。謝(2003)調查台灣農機耗油量的平均值結果為：動力插秧機 268c.c./ps-h、中耕管理機 259 c.c./ps-h、動力割草機 412 c.c./ps-h、動力噴霧機 530c.c./-h、農地搬運車 233c.c./ps-h。其調查之多台同型機的個別耗油量之差距廣，顯示各型農機之操作仍存有節能省油之空間。

表4. 日本稻米生產過程二氧化碳排放量(日本農林水產省, 2008)

	二氧化碳排放量 (kg/公頃)	比例(%)
育苗	81	10.2
土壤改良	8.5	1.1
犁耕	95.2	12.0
水田整平	88.1	11.1
插秧	65.6	8.2
施肥	4.8	0.6
病蟲害防治	4.2	0.5
除草	2.4	0.3
收穫	67.7	8.5
乾燥	373.9	47.0
碾米加工	4.7	0.6
合計	796.1	100.0

在節能機械的推展工作上，日本農林水產省提出之發展措施包括採用低燃料費型之農業機械(省能源機構、高燃燒效率機構等)、低電力型農業機械、生產工程省力型農業機械、高效率型農業機械(高速化、寬度大等)、代替燃料對應型農業機械。後藤等(2010)研究曳引機上之省能指示裝置以協助操作者達到省油節能的效果。該裝置可提醒操作人員適當操控曳引機，例如控制排檔、引擎轉速、動力傳動軸(PTO)轉速和行走速度等來減少油耗量。其實驗採用 24 馬力曳引機在稻田(12 公頃)及早田(大豆及小麥田 8 公頃)之作業結果，指出有設置省能裝置者較傳統方式用油量(160.8 公升/公頃)節省油料量為 18.4 公升/公頃，相當於減少 11.4% 耗油量，二氧化碳排放量減少 452 公斤/年。

日本農林水產省(2009)指出農業機械節能方針為正確與妥善的保養或改善機構形式與作業方式。各機構包括引擎、動力傳動部、行走部、作業部、空調、乾燥機燃燒爐等。例如乾燥機採用遠紅外線乾燥方式可使其燃料消費量比一般熱風乾燥方式減少 3~10%，電力消耗量減少 5~30%；曳引機在田間之作業速度提高 20~30%時，單位面積的燃料消耗量可減少 15%。田間長距離移動大型聯合收穫機應採用貨車搬運，而非直接駕駛農機到另一地點，例如 30 馬力 3 行式和 40 馬力 4 行式收穫機最高速度約 7.5 km/hr 及 9.5 km/hr，其耗油量為 1.5~2 公里/公升，但中小型卡車耗油量為 5~6 公里/公升。台灣農機在節能方面仍存有寬廣改善空間，可透過改變操作方或裝設節能輔助設備達到節能效果。

五、農業生產節能方法

IPCC (政府間氣候變遷委員會 Intergovernmental Panel on Climate Change)係由世界氣象組織(WMO)和聯合國環境計畫(UNEP)於 1988 年成立的機構，該委員會在第四次的報告中(IPCC, 2007)指出過去 100 年來世界平均氣溫上升 0.74°C ，但過去 50 年來氣溫的上升速率為 100 年來的 2 倍，此表示近年來地球暖化有加速的現象。若大氣平均溫度增加 $2\sim 3^{\circ}\text{C}$ 則穀物生產量在低緯度國家會減少，但在中高緯度國家則會增加，因此溫室效應造成地球暖化的結果，對開發中國家的影響最大。高溫的害處例如稻株高熱損傷(例如在成熟期溫度超過 27°C 會產生白粉質粒米及胴裂米)、果實著色異常及增加病蟲害發生機率。精準施肥和調整栽植密度可減少稻米白粉質粒米，延後播種及避免過早排水和妥善的收穫方式可減少稻米胴裂(MAFF, 2007)。

在探討穩定世界糧食危機的報告中(Charles 等, 2010; Fedoroff 等, 2010)提出的方案具有節能減碳概念，其方案包括：

1. 有效結合生產鏈：作物生產過程從種子、水源、肥料、蟲害防治、土壤及地域性與耕作技術等環節都必須有妥善配合，才可確保作物產量與品質。
2. 提升產量限度：改善現有的農作方式，盡力提高產量，方法包括耕作方式的改變和種植具有耐逆境之基因轉殖作物。
3. 減少廢棄物：改善收穫後處理方式，減少農作物在田間收穫及加工貯藏過程中產生的新鮮廢棄物或儲藏損耗。
4. 改變飲食習慣：減少肉食，增加素食習慣以減少畜產業所消耗的能源及排出的廢棄物量。
5. 擴展整合農業與養殖漁業系統。

Charles 等(2010)也指出減低溫室氣體排放的方式包括改變農耕作業方式、採用病蟲害綜合防治方法、採用畜牧廢棄物綜合處理方式、推廣農業造林。在農業生產方面，建議採用不整地耕耘方式或少耕制度及採用精準農業。精準農耕作業方式係依據田間作物及土壤差異性分別施用合理的農藥及肥料量，以降低農業資材施用量。

配合農業生產之農機節能措施可採取選用下列幾種機具或作業模式即具減少能源浪費和提升作業效率之優勢，諸如加強舊農機整修、少量精準噴藥、高精度施肥、高精度中耕除草、糙米乾燥、粗糠爐乾燥稻米、遠紅外線乾燥機取代熱風乾燥、油電混合動力機、廢棄能源回收再利用、太陽能動力取代農業機械少部分動力、合理化施肥方式和不整地耕耘播種方式等。另外在石油能源之外亦可採用電力、水力和風力。例如採用下列設備：

1. 電動機械：在小型割草機、噴霧機、剪枝機或大型機械上之低動力機構(例如插秧機插植機構)上配置小型電動馬達取代汽油引擎。陳令錫等(2008)曾研發全電力驅動的噴霧機具，採用四只電動車專用電瓶 6V 225AH 供應 DC24V 電力，在電瓶充飽電力下之作業時間約為 6 hrs。2010 年 10 月在雲林縣虎尾鎮之全國農機展中已有國產小型電動割草機和噴霧機參展。
2. 田間電氣化：設置架空電纜(臨時性及移動性設施提供農機具動力來源，可應用於電動曳引機、電動插秧機和露天型育苗場機械設備等田間農機具之動力源)。
3. 水力機械：在水位落差大地點裝置引水管路到加工場、直接利用水位落差動力或利用水力發電。
4. 風力機械：導引自然風力進行穀倉通風降溫、畜舍通風降溫換氣、或於養殖漁塭裝設風力水車進行曝氣作業改善水質。

六、結 語

農業節能減碳生產方式並非回歸到工業革命前以人畜力為主之農耕作業方式，而是要善用自然能源，減少應用多加工層次的能源並提升現有能源使用效率。配合國內節能減碳重點政策，在農業方面可改善努力之空間包括品種改良、研發新型栽培方式、調整灌溉及施肥方式等面向。農業工程基本上包括環境、水利和機械等領域，在節能減碳方面各有其發揮的空間。農作物栽培過程可採用節水型灌溉方式與適量施肥方式。在農機方面除了可改善農機設計與操作方式減低能源消耗之外，也可採用替代性能源作為動力源。另外在農耕方面採用不整地耕耘方式，除了可節省能源消耗之外，也具有增加土壤固碳的效果，減少溫室氣體的排放。

因應國際農機發展趨勢及節能減碳目標，在農機領域可採行之對策，在省力化方面包括生產及使用高效率及經濟型農業機械，例如在移植機、管理機、收穫機、曳引機和植物工場設施加入自動化控制導引、智慧型感應、機器人化作業系統以達到省力化效果(比傳統機械節省一半人力)。在節能減碳方面可採用低燃料費用之農業機械(回收能源、節能機構與材料、高效率機具等)、低電力型電動農業機械、多重功能型農業機械、高效率型農業機械(高速化、作業寬幅化等)和替代性燃料(生質能源)農業機械。國內在農業機械的研究與推廣方面，未來除了鼓勵節能機械的開發研究之外，也應檢討改善慣行犁耕方式以達到節能和增加土壤固碳能力的效果。在農業節能生產之管理層面應有配套措施來落實節能技術，例如訂定或推動獎勵制度、節能標準、產品節能標章和教育推廣。

參考文獻

1. 日本農林水産省。2008。農業機械の省エネ性能を巡る情勢について。農林水産省生産局生産技術課編印。
2. 日本農林水産省。2009。農業機械の省ネ利用マニュアル。農林水産省生産局編印。
3. 後藤隆志、手島司。2010。トラクタ用省エネ運轉指示装置の効果。農業機械學會誌 72(5)：500-508。
4. 陳令錫、田雲生、張旭志、何榮祥。2008。電動自走鼓風噴霧機之開發。臺中區農業改良場研究彙報 99:51-59。
5. 農委會。2010。因應氣候變遷農業調適政策會議總報告。行政院農業委員會。
6. 謝華偉。2003。台灣主要汽油類農業機械耗油量、使用年限與更新壽命之探討。國立屏東科技大學碩士論文。
7. http://www.coa.gov.tw/show_hot_news.php?id=coa_webuser1_20100617163826
8. Borin, M., C. Menini, and L. Sartori. 1997. Effect of tillage systems on energy and carbon balance in north-eastern Italy. *Soil & Tillage Research* 40: 209-226.
9. Charles, H. et al. 2010. Food security: the challenge of feeding 9 billion people. *Science* 327: 812-818.
10. Energy Information Administration. 2010. International Energy Annual Report 2006. http://www.eia.doe.gov/emeu/iea/Notes%20for%20Table%20H_1co2.html
11. Fedoroff, N. V. et al. 2010. Radically rethinking agriculture for the 21st century. *Science* 327:833-834.
12. IPCC. 2007. <http://www.ipcc.ch/>
13. Lal, R. 2004. Soil carbon sequestration impacts on global climate change and food security. *Science* 304: 1623-1627.
14. Lal, R., M. Griffin, J. Apt, L. Lave, and M. G. Morgan. 2004. Managing soil carbon. *Science* 304: 393.
15. MAFF. 2007. Impact of global warming on agriculture, forestry and fisheries and possible countermeasures in Japan. Report on research and development in agriculture, forestry and fisheries No. 23(2007). Agriculture, Forestry and Fisheries Council, Ministry of Agriculture, Forestry and Fisheries, JAPAN.
16. Parkinson, C. L. 2010. Coming climate crisis? Consider the past, beware the big fix. Roman & Littlefield Publishers, Inc., New York.
17. Van Oost, L., G. Govers, T. A. Quien, and G. Heckrath. 2004. Comment on “Managing soil carbon” (I). *Science* 305: 1567.
18. Wenger, A., R. W. Orttung, and J. Perovic. 2009. Energy and the transformation of international relations: toward a new producer-consumer framework. Oxford University Press.