

因應氣候變遷之地區性水稻生產調適策略： 以苗栗地區為例

張素貞¹ 吳以健² 王仁助^{1,3} 盧虎生² 侯鳳舞¹

¹行政院農業委員會苗栗區農業改良場 ²國立臺灣大學農藝系 ³台中市政府農業局

摘 要

氣候變遷情境的極端溫度(以熱浪、低溫)及異常降雨變化(造成乾旱、淹水等結果)等現象，導致了全球糧食供需失調與糧食安全的議題。臺灣糧食以稻米為主，由於飲食習慣的改變及大量雜糧(如黃豆、小麥、玉米等)的進口，而呈現產量供過於求，然而糧食自給率仍僅 33%。惟從穩定糧食供給與提升糧食自給率的策略性考量，國內仍應當針對氣候的快速變遷進行水稻生產的因應調適，諸如加強耐抗逆境品種選育、調整栽培技術(如灌溉管理、水旱田輪作、合理化施肥等)、改進病蟲害綜合管理、評估水田環境效益及宣導促進米食文化多樣性等，皆在現階段重要而值得採行的調適策略。苗栗地區屬日照較低及強風多的稻米生產地區，選育適合的耐抗逆境水稻品種，特性中需加入耐風抗倒伏性。由本區約 60% 稻農在第 1、2 期作採不同栽種株距來看，可見苗栗地區部分稻農因應氣候改變已調整栽培技術。為穩定本區稻米品質讓穀粒充實期避開高溫期，建議插秧第 1 期作提前 15 天及第 2 期作略為延後，使該生長期獲得接近或低於 26°C 之安全日均溫。除此之外，尚可因第 2 期作溫室氣體效應大且產量表現低，而積極推廣第 1 期作栽培水稻、第 2 期作獎勵種植雜糧作物。達到減輕溫室氣體排放，及增加糧食自給率，此栽培模式可作為臺灣北部稻米生產或活化休耕田政策之參考。

關鍵詞：水稻、調適、氣候變遷、苗栗

前 言

全球暖化促成了氣候快速的變遷，出現地表平均溫度上升、降雨形態變化、天氣極端化及海平面上升等情境，

也因此引發糧食供需失調與糧食安全的全球性議題。臺灣糧食以稻米為主，水稻在臺灣栽種面積約 24 萬公頃(行政院農業委員會，2012)，在氣候變遷造成栽培環境改變情境下，如何調整現行生產

*論文聯繫人

e-mail: sujein@mdais.gov.tw

技術以使糧食安全無虞乃當前重要議題。行政院農業委員會(農委會)所屬試驗研究單位並已據此舉辦多次國內、外研討會(吳等, 2011), 期以集思廣益謀求解決之道。

依照聯合國糧農組織(FAO)對「糧食安全」的定義, 係指「所有人在任何時候都能在物質、社會及經濟上獲得充足、安全和富有營養的糧食, 以滿足其健康生活的膳食需求和食物偏好」。惟因氣候變遷、水資源短缺及能源價格波動等因素, 可能使得全球主要糧食作物(如玉米、小麥、稻米等)價格起伏震盪, 而影響了部分地區人民取得必需的糧食。諾貝爾經濟學獎得主蓋瑞貝克(Gary Becker)曾估計, 若糧價增加三分之一, 富國的生活水準只會降低 3%, 但對窮國會降低 20%, 顯見糧價對開發中國家、低所得的民眾衝擊尤甚。臺灣已進入開發國家之林, 主食的稻米價格不, 而且人民所得中上, 加上飲食習慣改變常出現稻米產量供過於求。近 10 年平均栽培面積每年約 26 萬 9 千公頃, 佔總農作物耕地的 32% 以上(行政院農業委員會, 2012)。雖然單位面積稻穀產量, 若以熱量為權數之綜合糧食自給率卻僅 33.0%, 相較於 1998 年降低了 4.3%(行政院農業委員會, 2008; 黃及游, 2008), 其原因在於糧食熱量來源部分出自進口的小麥及其他雜糧。因此, 如何穩定稻作生產及提升糧食自給率, 遂成為臺灣在氣候變遷下調整生產的目標方向, 例如飼料作物的生產即為其中之一。除此之外, 氣候變遷造成作物栽培環境改變, 如何克服在不良氣候下進行稻作生產, 諸如酷熱、乾旱、水災、

強風等逆境, 均是未來必須面對的生產難題。

本文綜合近年來專家學者針對臺灣因應氣候變遷的水稻生產調整策略建言, 農政單位推動稻米產業方向, 以及苗栗區農業改良場(苗栗場)與臺灣大學過去 5 年在苗栗地區合作探討與說明溫度對稻米品質與微調插秧時期試驗結果, 以苗栗地區為例綜合論述因應氣候變遷之水稻生產調適策略。

一、開發耐抗逆境水稻品種

苗栗地區屬日照較低及強風多的稻米生產地區, 盧及劉(2007)指出未來生產環境會經常遭受異常氣候的影響, 應對策略首要在選育適合的耐抗逆境水稻品種, 如耐熱、耐旱及抗病蟲害之品種, 對於本區而言尚需加入耐風抗倒伏之特性。國際水稻研究所(International Rice Research Institute, IRRI)於 2000 年提出通氣稻(aerobic rice; Wang and Tang, 2000), 即指對於水分需求較低的旱稻或陸稻(Yang *et al.*, 2005)。對於水資源有限的地區如臺灣輪作限水地區, 頗適合好氧的旱稻選育及栽種, 此種低水分需求與偏好氧氣的稻種也是提升農業用水效率的另一項選擇。農委會自 2008 年成立良質米研究團隊, 針對全球暖化問題上, 在稻米品質、抽穗期及病蟲害抵抗性方面引入分子輔助育種篩選技術(陳等, 2010), 另加強蟲害族群遷移變動及預測/偵測等相關研究, 期以臨界經濟水平之防治觀念, 作為病蟲害管理策略(黃等, 2009)。

二、調整栽培技術

財團法人農業工程研究中心於 2009 年的一項研究指出，可藉由調整稻作栽植期距，找出最合適之栽植日期(財團法人農業工程研究中心，2009)，以調適氣候變遷的 溫期對米質變劣影響及避開病蟲喜好的 溫 濕環境。

(一)調整栽培期：

苗栗場和臺灣大學農藝系自 2007 年開始合作進行栽培期調整與栽植密度相關試驗。2007 年與 2008 年在苗栗場試驗田分別完成 8 個與 9 個栽培期，結果顯示，抽穗後氣溫影響以抽穗後 15 日內最為顯著，同時影響產量、穀粒外觀與食味品質。氣溫上升導致單株有效穗數、稔實率與單株穗重的降低。另外，早期插秧者會遭受最 之全生育期 溫累加積溫(超過 26°C 者)，導致其單株有效穗數最低。不同栽培期之穀粒充實期的累加積溫逐漸增加，單株穗重隨栽培期延後逐漸下降，而單位面積產量亦呈現相似趨勢。綜合試驗結果，使第 1 期作的穀粒充實期略為提前，將可獲得接近或低於 26°C 之安全日均溫；將第 2 期作略為延後(15~21 天)，可使該期作之穀粒充實期落於 26°C 之安全日均溫以下 (Kondo and Lur, 2009; Lur *et al.*, 2009)。邱(2011)經由水稻生長模式 ORYZA2000 模擬，並採用每月氣象資料，預估臺灣 部未來本世紀末期(2080-2099)水稻之產量以 4 月中旬插秧者產量增加最多(38%)，而以 7 月中旬插秧者減少最多(23%)。

(二)調整栽植密度：

苗栗場自 2009 年起與臺灣大學及日本農業生物資源研究中心環境氣象研究所共同合作，執行有關「多層氣象偵測應用於自然植冠與環境關係之研究」(Multilayered Implementation for Natural Canopy-Environment Relation)計畫，針對不同栽植密度微氣象與品質之關係進行探討。初步結果顯示， 密度栽培者(行株距 30 cm × 15 cm)，其冠層日溫較 夜溫較低；密度低者(30 cm × 30 cm)，其冠層截光率及葉綠素計測值顯示獲得較佳的光合效率，穀粒充實期亦較長，穀粒外觀如糙米之完整粒數率、白米完全透明率則以密度小者較 。利用同一期作內不同插秧日期，形成穀粒充實期溫度不同之處理，發現生殖生長期越 溫者，白米的完全粉狀質粒比、半粉狀質粒比、背腹白粒比等均較 。

綜合上述，調整栽植密度可以緩解 溫造成的不利影響。第 1 期作栽植密度 20 cm × 30 cm 及 30 cm × 30 cm 處理的稻米黏度及平衡度較 ，食味表現較佳；然而，第 2 期作該等處理抽穗後期積溫太低，導致熟飯硬度較 、食味品質下降。可見栽培密度對穀粒品質的影響，尚受栽培期、積溫及其他田間環境因子所影響。依本研究初步推薦第 1 期作栽植行株距 20 cm × 30 cm 以上，第 2 期作則可在 20 cm × 30 cm 以下(李，2011)。又經苗栗地區 30 位農民田間行株距調查，約 40% 稻農採取第 1 期作與第 2 期作相同株距，而餘者第 1、2 期作栽種株距則不同，第 1 期作栽植行株距 25 cm × 30 cm ~ 22 cm × 30 cm 之間，第

2 期作則為 16 cm × 30 cm ~ 22 cm × 30 cm 之間(朱盛祺資料提供，未發表)，可見苗栗地區部分稻農因應氣候改變已調整栽培技術。

(三) 妥善灌溉管理：

水田溫室氣體排放方面，其中最大部份在於甲烷的逸釋。研究指出，水田在還原狀態時，也就是在湛水情況下，容易增加甲烷生成菌的活性，進而導致甲烷釋放的增加(黃等，2000)。因此，在不影響稻株正常生長的前提下，合理進行田間水分管理，例如在分蘖期進行間歇性灌水、分蘖後期確實執行曬田等，皆可有效降低甲烷的釋放，並可節省灌溉水的使用。此一做法在水資源日趨珍貴的未來，亦有助於減少栽植水稻所需的灌溉水量。同時考量乾旱缺水對水稻生產的問題，以通氣式及乾濕交替式灌溉管理(楊，2010)及栽種耐旱品種(Yang *et al.*, 2005)，可以減少灌溉用水，同時也可以為減少水田溫室氣體排放。

(四) 水旱田輪作：

一如前述，在湛水情況下田間將會釋放大量甲烷，而旱田的甲烷釋放量將顯著少於水田(黃等，2000)。除此之外，另有研究指出由於生育期溫度較低，第2期作的甲烷排放低於第1期作。因此，若在水稻產量較低的第2期作期間轉作旱作(如大豆、玉米或綠肥作物等)，將可降低田間之甲烷排放(林等，2005)。

(五) 合理化施肥：

田間施用的氮肥，將在製造端產生了大量的碳足跡，因此如能減少氮肥的使用量，必可減少製造端非必要的碳足跡(林及陳，2007)。此外，彭及黃(1998)指出，甲烷的釋放與氮肥施用量成正比，施加過多的氮肥不僅會滲漏至地下水域造成污染，亦會轉為溫室氣體而增加碳足跡，因此合理肥料用量是值得推廣。再者，合理化施肥也可降低栽培成本及田間作物病蟲害的發生(黃，2004)，因此是栽培調整上的重要措施。

三、水田環境效益評估及宣導

水稻田具有生產、生態、生活三生的功能性。其中，在生態方面除了具有水資源涵養及溫度調節作用外，尚可吸收二氧化碳而降低溫室效應。如將二氧化碳的暖化效應定為 1，則在相同質量之下，甲烷的暖化效應為 23，氧化亞氮更達 310(IPCC, 2001)，所以若一個產品的生命週期總計排放了 100 g 的二氧化碳、15 g 的甲烷、0.6 g 的氧化亞氮，則該產品的碳足跡達 $100 + 15 \times 23 + 0.6 \times 310 = 631$ g 的二氧化碳當量，即相當於排放了 631 g 的二氧化碳。由以上計算分析可知，除了二氧化碳，甲烷與氧化亞氮的暖化效應也不容忽視，而且在相同質量之下，甲烷與氧化亞氮的效應更。在臺灣，農業活動排放的甲烷占全國排放的 16%，氧化亞氮更，幾達全國排放的 87%，其中水稻栽培即佔了 6.7%(姚及陳，2008)。

如何降低農業生產過程對氣候以至於生態環境的影響，係全球農業學者與環境學者最關注的重要課題之一。就臺

灣水田溫室氣體釋放相關研究指出栽種品種、施用肥料型態(銨態氮及硝酸態)及期作間影響效應排序，以期作>施用肥料型態>品種種類，而以第2期作釋放量的結果最為顯著(李，1994)；再以臺灣南部之水田-水田、水田-旱作與旱田-旱田耕作制度之土壤甲烷排放係數比較，分別為 59.6、0.29 與 0.39 kg ha⁻¹ season⁻¹(林等，2005)。總之相比較下，考量第2期作溫室氣體效應大且產量表現低，則應積極推廣第1期作栽培水稻、第2期作獎勵種植雜糧作物。如此一來，既可減輕溫室氣體排放，又可增加糧食自給率，當可作為臺灣南部稻米生產或活化休耕田政策之參考。

四、加強米食文化多樣性及宣導

國內2010年每人可供消費白米46.2公斤，較上年減少4%，較10年前降低了12.3%；每人可供消費麵粉32.5公斤，較上年減少9.5%，較10年前增加了0.5%(行政院農業委員會，2010)。相較於我國的低糧食自給率，法國的糧食自給率達300%以上，美國則在120%以上，中國大陸官方宣稱超過九成，而鄰近的日、韓約在40%(OECD and FAO, 2008)。國內在2009年以每人每日熱量供給量計算僅32%，其中以穀類所佔比例最為25.8%，穀類中稻米約佔96.9%(行政院農業委員會，2010)。但資料顯示每人每年白米消費量逐年減少，因此有學者憂心的指出，依此趨勢自給率偏低難保臺灣未來糧食安全不會出現問題(任，2012)。

全球的糧食市場目前仍是以賣方市

場為主，當糧食自給率低，被迫在國際市場「購買」糧食時，就必需付出更多成本才能夠買到足夠糧食，恐怕物價將會飆升的更快。因此，100年5月間農委會召開的全國糧食安全會議中決定，將2015年的糧食自給率目標提至40%。因此，加強米食文化多樣性以提供消費者更多選項機會是必要的做法。例如，近幾年嘗試以米粉末製作麵包，發展米冰淇淋及爆米香，舉辦受歡迎米加工產品展示會，以及辦理十大經典好米競賽、米博覽會及創意米禮盒等活動，期以鼓舞國人愛吃飯的動機。依據資料調查結果，該等活動的宣傳確實增加米消費量，每日碗飯平均增加率為10~50%。除此之外，宣導消費在地生產的臺灣米，不僅節能減碳，也能增加農民收益，更具體的是讓孩子從體驗「與稻共舞」中學習知足感恩，進而樂於消費米產品(黃，2011)。

結語

水稻是臺灣最重要的糧食作物，氣候變遷的許多負面效應預料將對稻米生產造成不利影響，如中南部的年雨量將減少、灌溉用水將受到限制。大氣中溫改變作物的生長環境，促進病蟲害的發生而擴大損失。因應氣候變遷的調適策略中，生產方式的調整可確保生產量，健康多元米食的發展，則可提消費量。因此，必須透過栽培管理的改進來減少稻作栽培的碳足跡，亦當發展低氮需求的稻作品種來減少氮肥的施用量，強化病蟲害的監測、預報及改良整合性防治(IPM)技術來強化病蟲源的管理。此外，改採對植物、環境及人類都

更健康友善的農作方式，可以確保臺灣整體稻作生產的量與質，並助益於稻作永續發展。當然，要找回失去的米食消費市場，重要的關鍵在於生產或製造出更優質、多元、特色及方便的產品，才能真正增加米食消費及間接減少稻田休耕面積，進而逐漸提升我國的糧食安全自主能力。

引用文獻

- 任耀廷。2012。世界糧食危機與國際的共同因應。國際關係學報 33 67-101。
- 邱尚沅。2011。氣候變遷對臺灣 部土壤性質及水稻產量之衝擊 估及因應策略。國立臺灣大學農業化學研究所 士論文。台 。
- 林佳谷、陳叡瑜。2007。善待氮氣 哈伯氮肥、氮循環與氮反撲。工業安全衛生 11 47-56。
- 林經偉、黃山內、陳文雄、劉瑞美、陳世雄。2005。水稻連作與綠肥輪作制度下甲烷氣體之釋放及減量研究。行政院農業委員會臺南區農業改良場研究彙報 46 1-9。
- 行政院農業委員會。2012。糧食供需年報。
- 行政院農業委員會。2010。稻米生產。農業年報 p.4。
- 吳東鴻、陸明德、曾東海、王怡玓、蕭巧玲。2011。因應氣候變遷作物育種及生產環境管理研討會專刊，214pp。農業試驗所特刊第 156 號，台中。
- 李宜錦。2011。栽培密度與栽培期對水稻產量及品質的影響。臺灣大學農藝學研究所 士論文。94pp。
- 李慧雅。1994。水稻土壤對氧化亞氮生成之影響。國立中興大學土壤環境科學系 士論文。台中。
- 姚銘輝、陳守泓。2008。全球溫暖化趨勢對臺灣地區溫室氣體排放量之影響。作物、環境與生物資訊 5 52-59。
- 陳正昇、陳榮坤、金漢煊、林彥蓉。2010。以分子輔助選種導入 *hd1*、*Hd6* 和 *ehd1* 抽穗期基因導入水稻越光品種。作物、環境與生物資訊 7 1-20。
- 財團法人農業工程研究中心。2009。利用田坵蓄水及稻作調整以豐沛桃竹地區水資源之可行性研究。經濟部水利署 區水資源局。283pp。
- 彭德昌、黃山內。1998。臺灣東部水田土壤甲烷氣體之釋放及其影響因子。花蓮區研究彙報 16 35~45。
- 黃山內。2004。合理化施肥之展望。果樹合理化施肥技術專刊，p.115-117。台中。
- 黃山內、林經偉、劉瑞美。2000。全期湛水與間歇灌溉處理對臺灣水稻田甲烷釋放之影響。土壤與環境 3:217-226。
- 黃守宏、鄭清煥、陳秋男、吳文哲。2009。臺灣水稻害蟲發生趨勢與防治展望。臺灣水稻保護成果及新展望研討會專刊，p.131-147，農業試驗所特刊第 138 號，台中。
- 黃金燦。2011。大山社區與稻共舞體驗記。苗栗區農業專訊 54 19-23。

- 黃瓊瑤、游勝鋒。臺灣糧食供需狀況與確保臺灣糧食安全之政策措施。農情與農政 196 。
- 楊純明。2010。因應氣候變遷水資源短缺情境下之水稻田灌溉策略—論通氣式及乾濕交替式水稻栽培策略。作物、環境與生物資訊 7 212-220。
- 楊盛行、楊鈞凱、劉清標、賴朝明。2012。1990年至2010年臺灣水稻田甲烷和氧化亞氮排放量推估。臺灣農業化學與食品科學 50 153 - 164。
- 盧虎生、劉韻華。2007。臺灣優質水稻栽培之環境挑戰與因應措施。作物、環境與生物資訊 3 297-306。
- OECD and FAO. 2008. OECD-FAO Agricultural Outlook 2008-2017.
- Kondo, M. and H. S. Lur. 2009. Current research status of the effects of climate change on rice production in Taiwan. Agric. Hort. 84: 36-41.
- Lur, H. S., C. L. Hsu, C. W. Wu, C. Y. Lee, C. L. Lao, Y. C. Wu, S. J. Chang, C. Y. Wang, and M. Kondo. 2009. Changes in temperature, cultivation timing and grain quality of rice in Taiwan in recent years. Crop, Environment & Bioinformatics 6: 175-182.
- Wang, H. Q. and S. X. Tang. 2000. Upland rice production in China: its past, today and future. Paper presented at the Aerobic Rice Workshop, 7-8 September 2000, International Rice Research Institute, Los Banos, Philippines.
- Yang, X., B. A. M. Bouman, H. Wang, Z. Wang, J. Zhao, and B. Chen. 2005. Performance of temperate aerobic rice under different water regimes in North China. Agricultural Water Management 74: 107-122.

收件日期 101年07月16日

接受日期 102年03月05日

Adaptation of Regional Rice Production to Cope with Climate Change: A Case Study in Miaoli

Su-Jein Chang¹, Yi-Chieh Wu², Ran-Ju Wang^{1,3}, Hu-Shen Lur², and Fong-Wu How¹

¹Miaoli District Agricultural Research and Extension Station, Council of Agriculture, Executive Yuan, Miaoli, Taiwan, R. O. C.

²Department of Agromony, National Taiwan University, Taipei, Taiwan, R. O. C.

³Ministration of Agriculture, Taichung City Government, Taichung, Taiwan, R. O. C.

ABSTRACT

Weather phenomena, such as extreme temperatures (heat waves and low temperatures) and abnormal rainfall levels (droughts and floods) caused by climate change, have called international attention to imbalances in the supply and demand of food and food security. The supply of food in Taiwan is based on rice, but changes in dietary habits and the large-scale import of grains (e.g. soybeans, wheat, and corn) have caused excess supply, even though only 33% of the food supply is produced domestically. To conform to domestic policies ensuring a steady food supply and increasing the ratio of food self-sufficiency, domestic rice production should be adjusted in response to rapid climate changes. Cultivating stress-resistant varieties, adjusting cultivation techniques (e.g., irrigation management, crop rotation in paddies and upland fields, and sensible use of fertilization), improving integrated pest management, evaluating the environmental benefits of paddies, and promoting the diversification of rice diets are all critical strategies that are worth pursuing. Miaoli lacks abundant sunshine and experiences strong winds; thus, lodging resistance should be a target characteristic in the selective breeding of stress-resistant rice. Approximately 60% of rice farmers in Miaoli adjust their plant spacing in the first season and the second season, respectively, indicating that Miaoli farmers have already adjusted their cultivation techniques to adapt to climate change. To stabilize the quality of rice crops in the area, it is suggested that rice seedlings be transplanted 15 days earlier in the 1st season of cultivation and slightly delayed in the 2nd season, so that the grain filling period occurs when the average daily temperature is safely at or below 26 °C. Because greenhouse gas emissions are high and the rice yield is low in the 2nd season, rice cultivation in the 1st season should be actively promoted and cultivation of other crops in the 2nd season should be incentivized. This cultivation method can reduce greenhouse gas emissions, increase the percentage of food self-sufficiency, and serve as a paradigm for rice production and the re-activation of fallow fields in Northern Taiwan.

Key words: rice, adaptation, climate change, Miaoli.

*Corresponding author, e-mail: sujein@mdais.gov.tw