淺談氣象(候)資源在農業生產上的利用 以水稻為例

國立中興大學農藝學系 林姿廷
農試所作物組 楊純明

一、前言

農業耕作最大的目的即是生產足夠的糧食以餵養人民，然而糧食生產所選擇的時間、地點及當時氣象(候)變化決定了當期作產量的豐欠。自古以來，陽光的強弱、空氣中的二氧化碳濃度、氣流的溫度高低、水資源中的降水狀況及土壤的肥力程度等皆為作物生產的天然資源。近年來「生態農耕(eco-farming)」強調的永續性農業(agriculture sustaining)或永續農業(sustainable agriculture)，即以不迫害到自然資源為出發點，強調妥適利用天然資源的循環與平衡，來達成農業永續經營的目標。儘管因為生產的需要使用人為資材(如肥料、農藥、能源、設施等)，亦不宜過度投入或遺留於土壤、水源之中，造成環境污染與生態破壞。過去兩百餘年來逐年增強的溫室效應，即肇因於各種人類活動長期產生的大量溫室氣體導致，而各種衍生的環保問題更是操作農業所產生的負面結果之一。增強的溫室效應加速了大氣系統的變化，形成全球平均氣溫的暖化，引發氣象的不穩定和氣候的快速變遷，更促使農業氣象環境渾沌失序。頻率升高的異常氣候與極端氣象事件，不僅破壞了天然資源的分佈、循環與平衡，也混亂了農作物的生產時序，影響了農業永續經營的步調。

通訊作者：楊純明研究員
連絡電話：04-23302301-7117

二、何謂氣象(候)資源？

氣象(候)資源包含前述陽光、空氣、水、溫度等影響農作物生產的天然資源，以及光輻射、光照時間、氣溫、降水、濕度、風速與風向等氣象因子的變化。隨著科技的進展，氣象因子量測技術及天氣預報方法已有大幅精進，國內民眾已可從中央氣象局獲得短期天氣和長期氣候的預報資訊，並得知未來的氣象發展。對於農業生產而言，各個作物栽植地區各有其特定的農業氣象環境，而其特殊的氣象資源不但關係到合適栽植的農作物種類(與品種)，也限制了作物的生長、發育、產量與品質的表現。然而，特定地區的氣象條件也會受到鄰近區域的氣象甚至大氣系統的影響，因此所謂的氣象(候)資源利用應當考量時空分佈，無論係短期或長期、當地或鄰地的條件，都應該同時納入評估。農業生產者必須從各種管道收集氣象(候)變化資訊，追蹤氣象(候)的發展，來進行作物的生產管理與栽培措施的調整，以因應氣象(候)資源的時空改變及高低起伏。

本文即以水稻的栽培為例，簡介農業氣象(候)資源的利用作法，以提醒農業工作者氣象的重要性及正確利用氣象

(候)資源的必要性。首先，適栽農作物的選擇係依照其生產地點(區)的氣象特性而定，所謂的「適地適作」就是這個道理。雖然凡是氣候溫暖潮濕的地區都可以栽植水稻，但是該地區特定的氣象(候)循環則左右耕作的時機。台灣地區‘在地’的氣候型態加上頻繁發生的颱風，造就了兩期稻作的合理性，於是將水稻的栽培分為一期稻作及二期稻作栽植來減低風險。前人的智慧善用了本地區的光輻射量、氣溫及降水(雨)等氣象資源，也考慮了季節之間氣候差異，以減少或避免氣象風險造成的傷害。光輻射量控制了稻株光合作用的固碳速率，氣溫高低影響了光呼吸與暗呼吸的反應大小，降水(或灌溉)多寡則決定了生長與生產效率。因此，低日照(如蘭陽地區)、低溫(如冬季)及雨水不足期間(如北部乾旱)等氣象狀況，皆不適合二期水稻栽培與生長，也解釋了氣象(候)資源的利用重點。

三、氣象因子對水稻生產的影響關鍵

本文再進一步就構成氣象(候)資源的三項個別氣象因子作簡要介紹，以說明其等對作物(以水稻為例)生產的影響關鍵。

（一）光輻射（光照）

可利用於農作物生產的光輻射來源可概分為太陽光輻射及人為光源，尤以充沛而免費的太陽光輻射乃地球上農作物生產最主要的光能來源。太陽光輻射提供了作物進行光合作用所需的能量，其強弱影響作物碳水化合物的生成與分配，甚至於生質量的累(蓄)積。光輻射利用效率適用於作物的生長分析及生長模式建立，其中截取光能的植株葉片(光輻射通量)與供作生產材料的二氧化碳(二氧化碳通量)是舞台主角，兩者具有高相關性，由此亦顯示出光合作用與光輻射量、葉面積、二氧化碳等之間的緊密互動。

早期研究資料即已指出，作物截取的光能與其生長有密切線性關係，1977年英國學者Monteith建立了生質能量累積和截取輻射量之間的實測與理論基礎，並將兩者比值稱為輻射利用效率(radiation-use efficiency；RUE)。又發現在良好生長環境大多數的作物可得到1.4g MJ^{-1}(即固定值)的RUE，而當光合作用速率偏低時RUE值將呈現敏感變化。此後長期的氣象研究發現，二氧化碳通量、光合作用和生質量累積之間具有正相關性，而且證實RUE並非固定值。RUE值會受到作物品種、肥料施用及周遭環境的影響，也會因為生育時期而異，因此人工控制環境和田間測量結果未必相同，營養生長期與生殖生長期的反應常有差別。另外，高溫將會使得光輻射利用效率明顯下降，也使得葉片水分利用效率減低，但是前者降低幅度高於後者。又提高大氣中的二氧化碳濃度，因為促進了氣體通量而提升了葉片固碳作用的來源，對於增加稻株的光輻射利用率和水分利用效率將有助益。

（二）氣溫

溫度即冷熱程度，一地區之氣溫受到天氣的調控而逐時逐日變化，因而有每日、季節、年度的差異和週期變化。台灣屬於副(亞)熱帶的海洋島嶼，可滿足水稻性喜高溫多雨(濕)的特性，然而冬季期間常有寒流(潮)來襲而不適合於冬季種植，否則將有嚴重寒害。稻株在生育過程中有三個對低溫敏感的生育期，分別為孕穗期(小孢子初期)、出穗開花期及成熟期，這三個時期的任一時期若逢低溫

侵襲，將顯著降低結實率與稔實率。因此欲栽種水稻時，必須考慮到栽植期間的季節氣候，特別是插秧時間必須判斷正確，不可過早或延遲，才能避免遭逢寒害。

（三）降水

我國在水資源的分配權重，因為水權歸屬在名義上以農業用水為優先，惟因工商業用水的經濟產出遠高出農業用水許多，因此實務上多以工商業需求為主。農業現在已面臨必須要逐步釋出水權的壓力，更由於水稻栽培用水佔農業用水約76%，如何提升稻株水分利用效率來減少稻田用水量成為重要農業用水課題。總體來看，除了改變長期湛水狀態及防止土層過度滲漏等考量之外，水稻品種之耐旱性篩選、栽植陸稻及採用節水栽培技術等也是節水栽培的選擇。

水分利用效率是由作物的固碳作用能力決定，在大面積的估測係以植冠(canopy)上方二氧化碳通量和水汽通量的比值表示。通常葉面積指數較高之植冠，其水分利用效率亦較高。對稻田而言，稻株冠層量測之二氧化碳通量受到太陽光輻射量直接影響，植冠之水汽通量則為土壤水分蒸發量及葉片蒸散量的總和。在水稻生育初期湛水環境下，水汽通量主要為土壤水面蒸發所致，隨著生育進展葉面積的增加形成的冠層覆蓋，水汽通量改以葉片蒸散量為主。

有研究顯示水稻種植期間若能保持田區5～10cm湛水深度，最適合水稻生長。另有研究指出，深水栽培具有減少灌溉水量的潛力。然而，從氣候變遷或水資源調度管理觀點，在國內農業用水並不充裕前提下(尤其一期作)，此種湛水深度似乎必須酌予調整。節水栽培是因應水源不充足的調整方式之一，文獻指出降低水稻田湛水深度，即保持土壤水分飽和但未達湛水，或以乾濕狀態互相更換，能夠在不影響水稻產量下節省30～75%的用水量。但是當乾旱真正發生時，增加灌溉頻率所提高的勞動成本，以及當時實際可以調配的水量，都會影響節水操作的結果與效益。再者，目前農業用水基本上仍不需付費，且農民普遍存著仰賴政府救助(濟)的心態，實際的節水行動恐難達成，尚待相關單位拿出一套務實可行的政策來合理化水資源的利用。同時，農業研究單位可針對節水栽培措施與策略研擬對策，強化相關試驗研究以為必要時之因應。

四、氣象(候)資源與水稻田的三生功能

農業的多樣功用及水田的三生功能，皆奠基於氣象(候)資源的有效開發與管理利用。農業具有多功能性(multi-functionality)，包括了國土保安、水資源涵養、環境保育、地理景觀形成、農業文化傳承、休閒娛樂、社區活絡、糧食安全等多面向。而水稻田的「生產、生活、生態」三生功能，亦對於生態與環境的具有宏遠貢獻，謹列舉三點分述如下：

（一）二氧化碳減量的功能

台灣目前的二氧化碳排放量位居全球第二十二名，約占0.92%。儘管我國並非「京都議定書」締約國之一，但是若持續未採取有效降低二氧化碳排放量的措施，未來各國可能將透過貿易途徑來抵制生產過程中大量製造溫室氣體的產品，如此將會嚴重影響台灣在國際上的競爭力。農委會經費支持的研究顯示，關渡地區水稻田之二氧化碳全年總吸收量達63,000公噸，換言之每公頃水稻田

每日平均約等同於可吸收3,200輛汽車行駛一公里所排放的二氧化碳量。若以臺北市北投焚化廠二氧化碳減量目標來估算，單僅關渡地區水稻田即可達成焚化廠全年之減量目標。因此，維持國內稻田面積可以在水稻生育期間發揮二氧化碳減量效果，同時透過稻株的碳固定轉生成可食用的稻米。

（二）微氣候調節的功能

根據衛星影像分析顯示，水田溫度較都會區低約7℃，顯示水田確實能夠平均化區域性溫度，使得周遭地區的平均溫度低於鄰近人造土地型態(即都會區)的溫度，具有降低熱島效應(heat island effect)的功用。水田全數廢耕或改變為人工構造物之地區，將會造成區域溫度顯著的上升，而影響民眾居住的生活品質。這是充分應用水具有高熱容量的結果，都會區的湖泊、森林與綠地也有類似效能。

（三）豐富生態多樣性的功能

生物的存活需要水源，人類的生存與生活亦如是，這也正是為何早期文明的發源地多位於河流兩岸的緣故。水田的存在吸引了不同生物聚集於週邊繁衍世代，因此其多樣化的生物遠大於乾旱地區，形成生態多樣的生物社區。這項功能亦活化了社區景觀和生活情趣，讓生命的多樣化滿足了人類對大自然的親近與親切感，以及對未來充滿光明前景的人生觀。

五、氣候變遷對氣象資(候)源的影響

自從工業革命以來，經年累積的大量溫室氣體導致溫室效應的升高，增加了全球氣候的變遷速率，也產生了溫暖化現象。氣候變遷對氣象(候)資源的影響絕對不容忽視，因為在溫暖化趨勢之下，全球的平均氣溫逐漸上升，規律的氣候型態轉為難以捉摸。氣候與農業生產息息相關，兩者的關係互為因果。農業的生產過程會釋出溫室氣體，成為氣候快速變遷的原因之一。農耕主要排放的溫室氣體為二氧化碳、甲烷及氧化亞氮，畜牧業則以甲烷為最大宗。相反的，氣候變遷對農業生產的影響亦是非常廣泛而深遠，逐漸上升的氣溫即可威脅作物植株的生長環境，加速改變的水文循環更是重大逆境與災害根源，晴陰不定的光輻射也不利於生產。據評估，降雨型態將朝向極端化，分佈不均的雨量使得乾旱發生機率大增，旱田將因此隨之增多。颱風、暴風雨、大冰雪等極端氣象事件頻率的增加，也是關係糧食生產的不定時炸彈，隨時都可能帶來毀滅性的農業災情。

六、結語

農業上所謂「效率」係指產出和投入的比值，而農作物的產出部分多以收獲的生質量(乾物質)或產量為衡量基準，投入部分則較為複雜，包括了作物本身的遺傳特性(種類及品種)、人為資材及天然資源等。其中，促進或減緩作物生長的因子主要為氣象資源與氣象環境，包括光輻射、氣溫、降水、濕度、風速與風向等，尤以光輻射、氣溫與降水為關鍵氣象變數。大自然提供了天然氣象資源，係賜給生物的恩典，吾人應該珍惜並妥善利用，避免過度的人類活動破壞了資源的循環與平衡，導致大自然的反撲。這是人類應當學習的功課，是選擇順應自然的規律得以生生不息，抑或是選擇盲目不加限制污染破壞而造成無法挽回的後果。