

水田不同湛水深度之水溫與 周遭環境溫度之互動關係

◎ 農試所農藝組 陳倩如 李裕娟 楊純明
嘉義分所 陳榮坤

一、前言

臺灣是一個典型的海島，在氣候分類上歸屬於亞熱帶季風氣候區，氣候溫暖潮濕、多雨，年平均雨量可以達到2510公釐，係世界平均值的2.6倍。儘管擁有如此豐沛的雨量，由於雨量在時間及空間上的分配不平均，而且地表水逕流量未能妥善存留於地面集水域(區)及地下水層，加上農、工、商產業和民生用水的大量需求，造成了水源分配不均及用水量不足問題。通常每年五月至十月期間的雨量就佔了全年的78%，雨量的過度集中使得枯水期長達六個月。再者，臺灣的河川多坡陡流急、腹地狹隘，逕流量被攔蓄而可利用的只佔全年逕流量的18%，往下滲漏至地下水層的水量也遠不及超抽量。在長年用多存少情境下，形成水資源短缺而不敷使用的結果並不令人意外，卻因此影響到臺灣地區水資源的全盤運用與配置。

據統計在水資源的支出上，農業用水佔最大宗，大約是70%。因而當乾旱發生時，為顧及民生和工商業用水的需求，政府往往要求農民休耕以重分配有限水源，於是乎水資源的利用與分配一直以來都是每年必然爭論的議題。水稻是臺灣地區民眾的主要糧食，以2003年為例，農作物佔了農產品生產總值的41.15%，水稻就佔了其中7.92%；耕地總面積佔臺灣土地的23.44%，栽種水稻的面積就達耕地的32.24%，足見水稻的重要性及不可取代性。但是，「水」稻，顧名思義也就是需要大量灌溉水的作物。水對於水稻的效用主要分為二方面來論述，第一是生理的水分，也就是水在植株體內所產生的效果，直接關係到植株的生存狀態；第二是湛

水，也就是環境因子對植株的影響。以現行的水稻栽培品種，若無足量的灌溉水源，預料將難以維持滿意的質量。

湛水的水田主要由三方式來供給氧氣，其一是由大氣溶入水中的氧氣，藉由擴散作用進入土壤；其二是溶於灌溉水中的氧氣，經由灌溉水滲透進入土壤中；其三是透過水田中生育的藻類或雜草的光合作用釋出氧氣進入土壤。水田的通氣，不但可以提供適當氧氣濃度促進稻株的生長，亦可幫助土壤中微生物的繁殖，促進有機物、肥料的分解而供給稻株營養元素。除此之外，灌溉水另有一項重要的功能，就是保持湛水層及土壤的溫度。一般認為栽培水稻之最適土(水)溫約在32℃左右，藉著土壤上方湛水層的水分高比熱來調節溫度及保持穩定溫度變異，是最簡便易行也是最快速的方法，也對水稻生長助益良多。

臺灣現行水稻栽培多採湛水方式，湛水深度約在3~5公分。偶見的深水栽培(國外亦有)並不是一次就加足湛水深度，而是採循序漸進、逐步加高的作法。從插秧到成活期時，水深維持在3公分左右即可，若見不適應或是枯死的秧苗則予以補植。幼株分蘖之初，開始控制水深，從主稈第三葉開始使水深至葉耳分蘖處，以便抑制分蘖芽的生長。接著持續控制水深在新分蘖芽上2公分處或展開葉之葉耳下緣，直到主稈第八葉生長為止。自主稈第九葉開始生長後，多不再增加水深，且保持水位在第八葉(或第九葉)葉耳上2~3公分即可，直到分蘖完全結束時。從深水栽培的案例中，常見的湛水層深度最高可達25公分，也有高至約30公分者。

作者：楊研究員純明
聯絡電話：04-23302301-135

深水栽培的優點，根據日本的試驗結果，可分為以下幾點來討論。不論是在每穗粒數、每平方公尺之穗數、千粒重、每公頃產量上，深水栽培均高於一般湛水栽培。又灌水深度的提高可抑制分蘖，減少無效分蘖的產生，增加穀粒的收穫量。由於水的熱容量高，深水栽培對水溫的調節能力較佳，在低溫的時候可以保護穗孕育在溫度變化較小的環境下，避免寒害的發生；同樣的，在高溫環境下，也可以避免溫度過高而使稻株發生熱傷害。當強風發生時，深水提供稻株一絕佳的緩衝，避免強風所產生的倒伏現象。另深水具有防治雜草的功效，例如水田中一般均廣泛使用2,4-D來除草，但對於稗草之效果不佳，利用深水可使稗草溺死而消除其競爭干擾。水稻不受影響而稗草會溺死之原因，據信在於兩者對淹水本質上的差異。稗與稻的種子中貯藏養分量不同，因為稗在發芽之初生育較遲，深水使得生長於水表的藻類遮蔽日光而抑制其生育，達到防治稗草的目的。如此也可以節省除草的人力支出，水稻亦能排除稗草競爭吸收更多養分。另外，由於水田的面積廣大，長時間的維持湛水狀態對地下水的補注將有所幫助。平日水田就好比一個大型蓄水池，在降水時作為蓄積的場所，避免降水直接逕流入河川大海，達到增加可用水資源的效果。

上列日本方面的研究文獻，深水栽培似有這些優越特點，然而品種遺傳及栽植環境上的差異，在不同栽培地區未必會出現如此明顯的正面表現。所以，在特定地區若欲進行水稻的深水栽培，仍然需要廣泛的試驗研究，確定各種正、負向的結果，擬定最佳的栽培管理措施與策略。綜合以上陳述，為求瞭解深水栽培時不同湛水深度的水溫變化趨勢，作者乃進行一項簡單試驗，探討分析周遭環境溫度與不同厚度湛水層水溫之間的互動關係，以部分解釋深水栽培之水溫對水稻生長的可能影響。

二、試驗之摘要說明

這項簡單田間試驗係於臺中縣霧峰鄉之行政院農業委員會農業試驗所農場設置PEP塑膠布覆蓋之簡易設施，以長1.1公尺、寬

1.0公尺、高0.65公尺的大型黑色塑膠盆栽種水稻臺農67號(*Oryza sativa* L. cv. Tainung 67)，計有2003年二期作(2003年7月25日插秧)及2004年一期作(2004年2月23日插秧)。將3葉齡的秧苗植於塑膠盆內，每一盆種植35株，行株距0.15 m × 0.15 m。湛水層厚(深)度分為5 cm、10 cm、15 cm、20 cm、25 cm及30 cm等六種處理，每一處理重複3次，共18盆。植後一日每盆施用臺肥39號22 g為基肥，植後14日及34日時分別施用臺肥39號33 g及38.5 g為追肥，50日時同樣施用臺肥39號16.5 g為穗肥。為了防治瘴野螟，於植後二十日及五十六日施用好年冬3%粒劑5.5 g。將長度10公分之PT100型溫度測針平置於各湛水層下緣臨土壤處，選固定時期量測水溫，以連續記錄方式每分鐘測取一次而每五分鐘取一平均值為量測時間單位，連續72時。收穫前一週各處理均排水，因此收穫前係量測土表溫度，將測針平行埋入土表，上方覆土約0.5公分。周遭環境溫度亦同，惟將溫度測針置於塑膠盆旁之設施陰涼處，未加任何遮蔽及覆蓋。各量測時間單位均取三重覆平均值之均值為代表值，記錄水溫及周遭環境溫度。

三、周遭環境溫度與水溫在一、二期作之三不同時期的互動變化

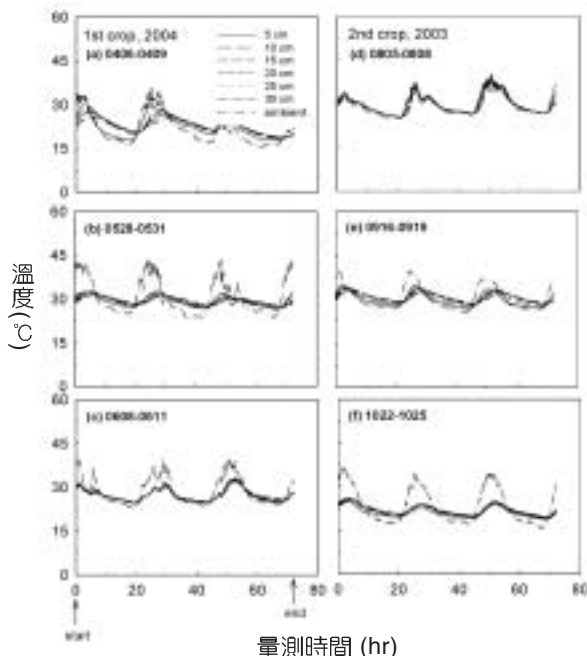
周遭環境溫度與水溫均會直接影響水稻的生長，主要在於對植株生長點的影響，植株各器官(如根、莖、葉、穗等)之生長點對溫度變化的反應通常是十分敏感的，溫度的升降將牽動生長機制的活動與代謝。其次，作物之生理生化作用亦明顯受到溫度控制，將間接影響植株的生長行為。對稻株而言，不同湛水層厚度將有不同器官包容其中，一直到植株伸長至遠超過湛水深度，多數器官才脫離水溫的直接效應，改受周遭環境溫度直接控制，然而根部則長期受到水溫影響。在本試驗中，最高水深為30公分，顯然在穗始原體出現後(約抽穗前30天之後)，葉、分蘖及穗的生長發育才不再受到水溫直接影響，反而是周遭環境溫度將明顯且直接的控制穗的生長、發育與成熟過程。因此，周遭環境溫度和水溫對水稻生育與生產的影響依

不同生長階段而異，當然對產量構成因素的影響也因不同時間而展現不等程度差異。此外，不同品種的遺傳組成也是另一變因，基因表現上的明顯差別是可以預期的。

圖一，由一(a)至一(f)，為周遭環境溫度與水溫在一、二期作之三不同時期的互動變化圖示，一般言之，白天之周遭環境溫度高於水溫，夜間則反之，但是每日最高溫及最低溫出現的時間並不一致。由圖續可看出湛水深度愈高者，其最高及最低溫度的落後現象愈明顯，而且湛水處理的最高水溫確實低於周遭環境溫度的最高溫，最低水溫則高於周遭環境溫度的最低溫。隨著生育進展的植被覆蓋增加時(如圖一(b)及一(e))，不論一、二期稻作，周遭環境溫度與水溫的互動關係將相對的不敏銳，即兩者在同一時間點的測值差距加大，且達到最高及最低水溫的時間延遲現象更為明顯。當稻株接近收穫的成熟老化階段時(如圖一(c)及一(f))，由於葉片凋萎造成植被覆蓋的減少，周遭環境溫度與水溫的互動關聯則又相對的加強。此結果說明了由於水的高熱容量，對於溫度具有極佳的調節功能，這種緩衝能力將可以保護植株減

輕受到低溫冷害或是高溫熱害的機會，降低驟然升降溫度帶來的危害。一般植物受到低溫影響時，容易發生無法發芽、遲延苗的出土、植株矮化、葉片白化、花序退化、產生不完整的花序、不稔程度高和成熟不整齊等表徵。過高溫度若發生在營養生長期時，有葉尖白化、帶狀白化、白色帶狀與斑點、分蘗數目減少、植株高度減低等徵狀，若發生在生殖生長期則會產生白色小穗、白色花序、小穗數目減少等結果；開花期的高溫則會形成不稔，成熟期則有米粒充實減少等情形。

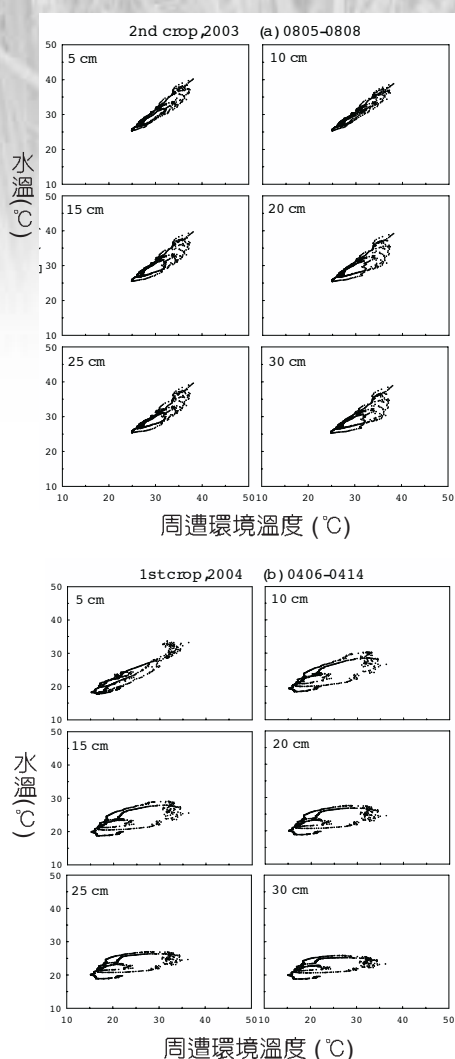
作者在分析試驗數據時，另發現部分周遭環境溫度有偏高傾向，當是因為此項試驗係在塑膠布簡易設施中進行。在有降雨之虞或邁入穀粒充實期時，設施將拉上罩覆於稻株上方2.5~3.0m 距離，輕度的溫室現象可能使得周遭環境溫度偏高，高於應有的溫度測值(設施內溫度平均高於設施外約5°C)。欲使設施內溫度下降，方法之一可將設施屋簷高度提高，擴大設施空間，甚至加裝風扇調和設施內外的溫差。方法之二係將水噴灑於設施屋頂上，藉著蒸散作用帶走設施內較高溫度釋放的輻射熱量。改善被覆資材也是一項良好方法，有些材質塑膠布可以吸收或反射高能紫外光，有些則可反射長波的紅外光。另外也發現部分最低周遭環境溫度與水溫出現時間並不是在日出之前，而是凌晨，推測可能是由於入夜後降雨以致於整個環境溫度下降，日出前天氣轉好再使溫度上升之故。



圖一、2003 年二期稻作及 2004 年一期稻作期間之不同量測期間周遭環境溫度與不同深度湛水層水溫之互動變化

四、不同湛水層厚(深)度之水溫與周遭環境溫度的關係

圖二(a)及二(b)顯示出不同湛水層厚度之水溫與周遭環境溫度的關係，二者呈現正相關，當白天周遭環境溫度上升時水溫相對升高，而當夜間周遭環境溫度下降時水溫相對降低。又由圖示，湛水深度愈深，斜率愈小，顯示水溫受到湛水層厚度的調節，厚度愈大則水溫受到周遭環境溫度變化的影響幅度愈小。又隨著稻株生育的進展，當植被覆蓋增加時(資料未列出)，周遭環境溫度與水溫的關係式斜率將相對降低，即周遭環境溫



圖二、(a)2003年二期稻作之08/05/2003至08/08/2003期間量測之不同深度澆水層水溫與周遭環境溫度間之關係。(b)2004年一期稻作之04/06/2004至04/14/2004期間量測之不同深度澆水層水溫與周遭環境溫度間之關係

度的改變造成水溫的相對變化率下降，使得兩者在同一時間點的測值差距加大，兩期稻作皆然。當稻株接近收穫的成熟老化階段時(資料未列出)，由於植被覆蓋的減少，周遭環境溫度與水溫的關係式斜率將相對升高，顯示出受到植被吸附熱輻射攔截的減少，使得兩者之互動關聯性又相對的增強。

又由兩期稻作分蘗期量測之每日00:00及12:00時間測值，及繪製之周遭環境溫度與各

深水栽培處理水溫測值之迴歸線。在當地時間12:00時，周遭環境溫度概高於各澆水層的水溫，且有隨著灌水深度增加而水溫下降的趨勢；反之，在00:00時，周遭環境溫度低於各澆水層的水溫，且有灌水愈深而水溫愈高的趨勢。顯示深水栽培的水溫變異小於周遭環境溫度，澆水層確有調節溫度升降的效果，而且調節能力與灌水深度成正比。而當植被覆蓋隨生育進展增加時(資料未列出)，直線迴歸斜率的上升反應了周遭環境溫度與各深水栽培處理水溫差距的擴大，此結果在高溫的中午時分及低溫的午夜時刻表現一致，且趨勢雷同。

五、結語

本文說明了模擬深水栽培試驗時水溫受到澆水深度不同所產生的結果，也陳述了周遭環境溫度與水溫的互動關係。水分具有的高熱容量性質，乃自然界中熱容量最高的天然物質，可利用於調節農作物栽培的水溫及土壤溫度，避免過低及過高溫度發生時對植株造成的損傷(害)。當澆水愈深時，相對的整個水溫及土溫就可以保持在一個較穩定的情況下，對植株的生育當有加分效果，有其值得應用的優點。此項簡單試驗之結果顯然符合理論邏輯，深水栽培的澆水層確實能夠調節水溫的高低變化幅度，不至於如周遭溫度般敏銳的隨著氣溫改變。這種現象將有助於避免栽培作物在一日當中受到大幅溫度變化的潛在作用，引起明顯起伏的生理代謝，並緩和維持呼吸(maintenance respiration)的速率及急劇的消耗差異，減少對生長干擾及可能造成的混亂。從此一觀點而言，深水栽培提供了周遭環境震盪(尤其氣溫因子)劇烈地區一項作物栽培可行措施，減輕環境帶給作物生育的高度衝擊，亦排除了短暫時間內溫度驟然升降的機會。惟水資源問題仍尚待政府當局的妥善安排與解決，水源短缺及分配問題無法改善，縱使深水栽培的優點多多，對於栽種者依舊不能產生吸引力。而有關深水栽培下水稻之實際生長與生產表現，亦需要多方試驗探討才能肯定是否具有可行性與應用性，非一蹴可及。