

稻作生產氣象因子風險評估

作者：張素貞（研究員兼課長）
電話：(037) 222111 # 350

作者：賴巧娟（助理研究員）
電話：(037) 222111 # 351

前言

臺灣水稻生產每年兩期作且生產環境條件迥異，第一期作由低溫到高溫，第二期作由高溫到低溫，兩期作栽種時期所面臨的生產環境迥異，而因所面對的生產風險也不同，如第一期作育苗常有低溫的風險，而第二期作則有插秧初期的颱風淹水或北部後期抽穗遇低溫的風險。本文針對稻作生產環境中氣象因子來評估可能的環境風險與可能應對的措施。

稻作最適生產環境

生產環境風險係指水稻最適栽培環境外的狀況，且會影響生長發育、產量或品質。茲就水稻栽培所需的六個環境條件，包括：溫度、水份/降雨、光輻射能、氣體（氧/二氧化碳）、土壤，以及肥料，以下主要針對溫度、水份供給及光輻射能簡述如下：

一、溫度

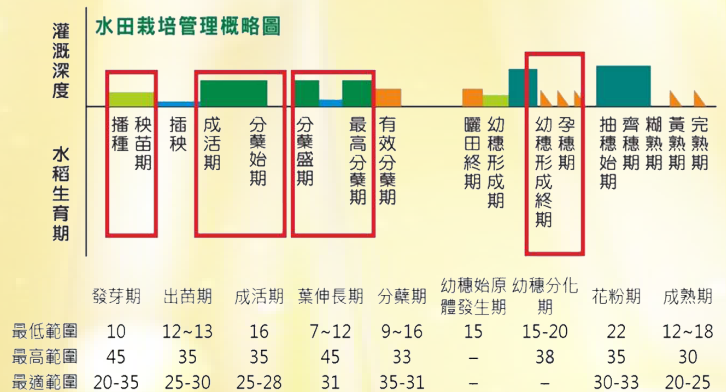
水稻是一種熱帶或亞熱帶作物，生長季節最適平均氣溫為 20°C 至 30°C，最低溫度不應低於 15°C，因為在此溫度以下水稻許多生長會緩慢或停滯。稻米的生長適溫是隨生長階段而不同，且與品種、臨界溫度持續時間、日溫度變化及植株生理狀態有關。依日本吉田博士 (Yoshida, 1978, 1981) 水稻基礎科學一書，指出水稻不同的生長階段有其臨界溫度與最適溫度（圖一）。除了時間點的溫度對作物生長重要外，從生長到收穫期間累積熱量，此累積熱量稱為“積溫”。以往農民習慣以日曆天數 (calendar day) 進行計算水稻生育的情形，但因氣候變遷忽冷忽熱的日子愈來愈多，以插秧後天數估算農式操作的方式愈來愈不可靠。因而，許多試驗改良場所的水稻專家建議

利用 Raumur (1735) 提出熱單位 (heat unit) 累積評估作的生育階段期間，其基於作物發育速率與有效溫度 (effective temperature) 呈正的關係，且每個生育期當溫度累積到某個特定的溫度就可以完成該生育期而進入稻下一個生育期，此稱為積溫 (thermal unit requirement) 或生育度數 (growing degree days, GDD)，計算方法為日均溫減去基礎溫度 (base temperature, T_b) 後，以逐日加總計算：

$$\sum [(\text{日高溫} + \text{日低溫}) / 2 - T_b] \text{ 水稻 } T_b = 10^\circ\text{C}$$

積溫會影響作物收穫期，通常累積溫度以度日數 (degree day) 來估算，亦即作物於生長期間超過最低溫度之度數的累積；例如水稻生長最低溫度為 10°C，如某天平均溫度為 28°C，則當日之度日數為 28°C - 10°C = 18°C，將整個生育過程度日數的累積即為溫度。不同作物的積算溫度皆不相同；例如水稻從播種到成熟時的熱量總和為 3,654°C 時，則需要度日數 (GDD) 為 3,654，作物的積算溫度會因生長地區或品種等因素略不同。

水稻生育期與溫度對應關係



圖一、水稻生育期與所需溫度應對關係圖，溫度參考日本吉田博士 (Yoshida, 1978, 1981)。

二、水份 / 降雨

水稻比其他任何作物都需要更多的水，基本上要浸水條件才能生長的好，每年雨量需在 1,000mm 以上，然在雨量不足之區，須用充分水分灌溉，才可得相同之豐富產量。依據報告僅在最小降雨量為 115 至 120mm 的地區才適宜進行水稻種植，年平均降雨量在 1,750 至 3,000mm 之間是最合適的。生長期每月必須降雨 100 至 200mm，否則需要人工的灌溉，而在整個生長季節則要約 125mm。尤其在成熟階段需要有水，不然產量或品質均會受到影響。

三、光輻射能

陽光所有植物生命必不可少的能源，在水稻生長的四個月中，充足的陽光甚關重要。在最後的 35 至 45 天的成熟期中，陽光最大程度地提高了產量。2016 年位於長沙湖南農業大學南方區域糧油作物協同創新中心的黃民博士經研究提出水稻截獲的輻射範圍從 365 至 2,566MJm⁻²，平均為 1,104 MJm⁻²；過去 3 年臺灣年平均日射量 4,196 至 5,586 MJm⁻²，非常符合水稻生長需求。水稻屬於短日作物，孕穗開花抽穗黑暗時間不可過長，也就是說需要在日長短的時候才進行花序花芽分化，因此路燈下因延長日長導致花芽分化延遲或受阻。臺灣目前改良品種已適合一年兩期作日照時數，僅有少部分品種會有光敏感的現象，如在路燈之下常有不抽穗品種如台梗 2 號及越光等，栽種此品種最好避免再有路燈旁的田栽種。

稻作生產氣象環境風險的描述

最適環境以外的狀況影響到水稻生產與產量均可視為稻作生產環境的風險，茲就溫度、水份 / 降雨，以及陽光 / 日照時數，簡述如下：

一、溫度

不同水稻生長時期所面臨的氣象風險有所不同，如苗期遇低溫，秧苗容易黃化，尤其秈型稻（圖二）。在花粉母細胞減數分裂時（抽穗前 12 天左右），將植株置於 20°C 下，通常造成高的穀粒不稔性。但品種間不同，在這個



圖二、水稻苗期或插秧初期遇低溫，秧苗容易黃化，尤其秈型稻（上）；插秧後進入成活期田間秧苗也容易黃化（下）。（照片由高雄區農業改良場胡智傑助理研究員提供）

階段對低溫的反應也不同。低溫引起不稔，主要是受夜間低溫的影響，因而在夜間如何維持田間的微氣溫成為重要的應對措施。一般可採用流水灌溉。穀粒成熟期間若遇溫度適宜（20 至 25°C）且陽光充沛有助於穀物中碳水化合物的合成與儲藏。介於臨界高溫與臨界低溫之間的溫度，藉著它對分蘗、穎花的形成和成熟的影響而影響穀粒的產量。另，國立臺灣大學盧虎生教授 2014 年研究報告指出，平均氣溫高過 26°C 對稻米品質產生負面的影響，如何藉由栽培管理技術降低影響程度，是我們目前已在積極尋求解決的方法，其如選育耐熱品種、增加灌流設施降低溫度、調整栽種期避開穀粒充實期遇到高溫等應對措施。

二、水份／降雨

雨水過多或過少對作物生長均會造成威脅，正常雨對水稻生長無礙，會產生風險的狀況係指霪雨、暴雨或強雨等。在抽穗開花期長期霪雨會影響稔實率，一般在抽穗開花期5天以下的霪雨尚可忍受，超過5天霪雨就會影響到水稻授粉率，進而降低結實率，最後就是有減產情形，減產約在10至50%不等。暴雨或強雨或颱風（強雨加強風），在水稻抽穗期至成熟期影響最大，尤其近成熟期，常會導致脫粒數增加及倒伏情形發生。還有一種情形，在成活期至分蘗初期，雨量過多導致田間淹水，如2000年的莫拉克風災，高屏地區第2期作稻作剛進入分蘗初期，雨勢過大造成水田淹沒。雨水過少即所謂的乾旱，乾旱造成作物水份不足，作物重要的生理作用如光合作用及呼吸作用均

會受阻，導致水稻生長與重要分化生育發生異常，如花粉母細胞分化時若遇嚴重乾旱，會導致日後穀粒不稔的現象。

三、陽光／日照時數

在水，溫度和含氮營養素不是限制因素的地方，太陽輻射的影響就會呈現出來。低日照與時數時，水稻生長緩和，光合成物質減少，整體生物量會減少；若在穀粒充實期發生，會明顯降低產量與品質。

綜合上簡述同時參考農林氣象災害風險指標建置及災害調適策略之研究所得，針對臺灣在不同月份的情況下，提出水稻生育期面臨的氣象風險與栽培管理調適的方法供農民參考（圖三、表一）。



圖三、水稻防災栽培曆。(105農科-17 1 1-科-a3(2)_105年度研究報告)

表一、根據農林氣象災害風險指標建置及災害調適策略之研究，建置可能發生環境氣象風險及防範措施：

月份	生育期	氣象風險與栽培管理調適
1 至 3 月	一期作秧苗期和營養生長初期	若有 3 至 5°C 之低溫，會造成植株生長遲緩、秧苗黃化，甚至枯萎、分蘗數減少。若達寒害預警條件 (3 至 5°C)，綠化中秧苗應覆蓋塑膠布並灌水進行保溫。已插秧之幼苗應灌水提高水位進行保溫防範。若已遭受寒害，需加強補植，減少缺株，同時視幼苗生長情形酌施氮肥。
5 至 6 月	第一期作生殖生長後期及穀粒充實期	<ol style="list-style-type: none"> 1. 若連續 3 天以上雨量大於 200mm 之梅雨，易造成已結穗植株倒伏，成熟穀粒穗上發芽或空殼。若達雨害預警條件 (>200mm, 3 天)，應確保田間水溝之清潔，加強排水進行防範。若以遭遇雨害，應及時排水或抽水、扶正倒伏植株，避免植株泡水導致穗上發芽。 2. 若溫度大於 35°C 之高溫，易造成開花期植株不稔而產生空殼，充實中穀粒形成白蠶質。若達高溫預警條件 (>35°C)，切實曬田減少無效分蘗進行防範。若以遭遇雨害，應及時排水或抽水、扶正倒伏植株，避免植株泡水導致穗上發芽。若以遭遇高溫，需加高灌水水位，或以輪灌降低溫度。 3. 夏季期間須注意濕度小於 50%，氣溫大於 38°C 之焚風，易造成葉片焦枯、穗上空殼，若達焚風預警條件 (濕度 <50%，>38°C)，須有完善防風設施，若以受害，田間應立即灌水降溫，並慎防水稻白葉枯病為害。
7 至 10 月	為臺灣颱風發生盛期	若風速大於 9m/s 之強風，易造成秧苗枯死、葉片破損、黃化、增加病蟲害發生率，若達風害預警條件 (9m/s)，須有完善防風設施，若以受害，可扶正倒伏植株、酌施肥料、加強病蟲害管理。同時須注意雨量大於 150mm 之豪雨，易造成植株倒伏、穗上發芽、空殼，若達雨害預警條件 (>150mm)，須有完善排水設施。若已受害，則及時排水或抽水、扶正倒伏植株。
11 月底至 12 月底	第二期作穀粒充實期	若氣溫低於低於 15°C 之低溫，易造成幼穗死亡、稔實率降低若達寒害預警條件 (<15°C)，須於抽穗開花期深水灌溉保溫，若以受害，可酌施氮肥。

註：資料來自 105 農科 -17 1 1- 科 -a3(2)_105 年度研究報告。

結語

水稻喜高溫多雨氣候，每年雨量需在 100 cm 以上，然在雨量不足之區，須用充分水分灌溉，亦可得相同之豐富產量。氣溫在水稻之生長上與水同等重要，生長期間所需總溫約在 3,000 至 3,700°C，其生長最適宜溫度為 25 至 30°C。本文針對水稻生產環境、氣候現象、及栽培方式等進行初步的稻作生產環境風險之評估，以利生產者在面對環境風險發生時，可

以事先防範或立即採取應對措施，將環境風險降到最低。如溫度過高雨水缺乏造成乾害、溫度過低造成生長發育受阻、尤其最敏感期幼苗及幼穗分化期 (< 17°C)、開發授粉期 (< 17 或 > 38 或 35°C)，或在氣溫高過 26°C 對稻米品質產生負面的影響之下，如何藉由栽培管理技術降低影響程度，是我們未來所需面對且儘快尋求已決方法，如選育耐熱品種、增加灌流設施降低溫度、調整栽種期避開穀粒充實期遇到高溫等應對措施。