

知識天地

水稻耐淹水的故事

分生所余淑美特聘研究員

長久以來，大家都稱稻子(rice)為水稻，且把種稻子的田稱為水田。但是，可能沒好好想過為何水稻需要淹水？或者為何是唯一可以淹水的穀類作物？對農民而言，需取得水源才能為水稻淹水，應該很麻煩，但是農民似乎又樂於種水稻而不見得喜歡種其他作物。其中，的確暗藏著我們老祖先一個重要的發現與智慧的發揮，也是東方國家走向農業社會，可以養起眾多人口，造成經濟、政治、文化發展的一個重要源頭契機。

大約 40 億年前，地球上的氣體絕大部份是二氧化碳(CO₂) (98%)，只有極少量的氮氣(N₂)(1.9%)，卻完全無氧氣(O₂)。但是在地球演化的過程中，氧氣及氮氣逐漸增加，而二氧化碳減少，變成今日二氧化碳：氮氣：氧氣=0.03：79：21的比例。如今所有高等生物及許多微生物都必需吸收氧氣來氧化碳化合物產生能量(ATP)。氧氣在水中的溶解度極低，濃度只有空氣中的1/33，因此，能在水中生活的生物必須有一套有效吸收氧氣的能力。

絕大部分的植物在水中無法生長，原因是在半淹水的情況下，根部無法獲得足夠的氧氣；而在全淹水的情況下，則因為葉片也無法得到足夠的二氧化碳及光線，使光合作用製造糖的能力降低，植物因此受到氧氣及糖雙重缺乏而加速死亡。

水稻很特殊，因為它是唯一種子可在水中發芽及植株耐淹水的主要作物。尤其是水稻、玉米、小麥，這三種全球前三大主要作物，具有表兄弟姐妹的關係，血緣相近，但是為何仍只有水稻耐淹水，是一個有趣的問題。我們的祖先在幾千年前就發現野生水稻可在水中生長而獨佔地盤，很少其他植物可在水中與它競爭，而水稻又可長出穀粒當食物，因此聰明的祖先利用淹水的方式種植水稻，可以有效防除雜草。經過幾千年來的經驗與育種，目前全球有80%的水稻田就以灌溉的方式種植，養活了全球近一半的人口。

其實水稻不怎麼喜歡淹水，因為根部泡在水裡還是有缺氧的問題，發育是會受到影響，進而降低肥料養分的吸收。農民在種植水稻的過程中，有多次的灌水及排水(曬田)，其中兩個關鍵時期是水稻開花及幼穗開始生長之前一定要曬田，如此根部有足夠的氧氣才能生長良好，有效吸收肥料來增進開花數目及讓種子開始發育，如此才能得到最多的飽滿穀粒，達到最高產量。

我小時候，就看到祖父很辛苦常在半夜去水稻田裡灌水或排水，因為大家的農田在一起，有水必須輪流共享，經常輪到半夜才能引水。當時不懂為什麼，現在終於理解到很多種水稻的道理。由於水稻耐淹水，農民就利用淹水的方式來防除絕大部分不耐淹水的雜草，以免與水稻競爭養分、空間與陽光，而且省了不少除雜草的工夫。所以，重複灌水、排水種植水稻的方式，是一個作物生長與雜草防治取得平衡點以獲得最高產量的方法。

水稻為何耐淹水是一個長期以來極為引人注目，而且一再被研究的重要問題。水稻可以有幾個不同的策略來達到耐淹水的目的，例如隨著水面上升而拼命長高，但是一旦水退之後卻有太高易倒伏的問題；或是在全淹水情況下不生長，以貯存能量到水退為止，但必須是一、二星期之內短期間。

最近我的研究團隊清楚呈現「蛋白激酶」(CIPK15)為調控水稻耐淹水很上游關鍵的基因。我們發現，當水稻種子在淹水狀態下，將缺氧訊息傳遞到CIPK15，接著再調控細胞內具有監測能量多寡及感應逆境的多功能蛋白激酶(SnRK1A)，然後透過糖訊息傳遞途徑在水稻種子內大量製造澱粉水解酶(amylase)將澱粉轉化成糖，同時大量製造酒精脫氫酶(alcohol dehydrogenase)將糖醱酵產生能量(ATP)，使種子有足夠碳水化合物及能量而能夠在水中發芽。俟小苗快速生長至水面可以吸收更多氧氣及進行光合作用之後，將氧氣送至根部以類似原理製造碳水化合物及能量，而使植株可在半淹水稻田中生長。其他穀類作物及絕大部份的雜草並無這些能力，因此無法在水中發芽及生長。

台灣糧食自足率僅約 30%，大概是全球非城市國家中自足率最低的國家。而全球人口又行將由目前的67 億增加到90 億，對全球人口快速增加、而糧食增產難以跟上的問題而言，水稻的研發及增產是一個非常重要的課題。台灣雖然沒有大耕地，但能掌控水稻重要的研發及增產技術，才有餘地和外國有耕地的國家談條件，為我國取得未來必將極為缺乏的糧食。

淹水是一個全球性的重大災害，每年固定伴隨颱風等不良氣候而至，經常性地導致作物缺氧而停止生長甚至死亡，因此造成嚴重的農業損失。如果我們對水稻耐淹水的分子機制有更深入的瞭解，可以育成更耐淹水的水稻，以及使其他作物也耐淹水，就可以顯著提高水稻及其他作物的產量。

此外，「水稻直播」是利用水稻種子可在水中發芽的特性而改進的新式水稻種植方法，直接將種子播入淹水的田土中發芽生長，而不經過耗費人工的插秧過程，在水稻快速生長佔有地盤之後，即不再淹太多的水，是所有主要水稻種植國家（歐、美、日、韓、中國、東南亞）開始採用的方式，不但節省用水，而且也減少土壤中微生物因淹水進行無氧呼吸而產生大量的溫室氣體—甲烷(其溫室氣體效應是二氧化碳的22倍)。「水稻直播」可解決台灣中南部農田經常因缺水而必須休耕的問題，及達到減少溫室氣體、保護環境的目的。

我們發現CIPK15 是水稻耐淹水關鍵的基因，揭開長期以來所有穀類作物中，只有水稻種子可在水中發芽及成長的秘密。同時，也讓我們更加瞭解水稻耐淹水的分子機制，預期這個新發現將在國際間引發另一波研究水稻耐淹水及增進其他作物耐淹水的熱潮。

圖一：水稻必須有正常的 CIPK15 基因，才能夠耐淹水。

圖右的 CIPK15 基因突變水稻，在淹水情況下長不大。

圖二：Science Signaling 的封面特別介紹關於水稻耐淹水基因 CIPK15 的研究報告。

從一位藝術家的眼光來想像水中之水稻種子快速發芽，小苗也快速生長，以便到達水面吸收氧氣及進行光合作用。此種特性使水稻可生長於背景所示全球80%的水稻生產地區。圖設計：實踐大學時尚與媒體設計研究所研究生趙安玲小姐。

