

知識天地

蛋白質生化與稻米的抗淹水機制

何孟樵助研究員（本院生物化學研究所）

摘要

根據人口成長預測，在未來二十年內農業產量必須增加六成才能確保國際食物安全。然而近年的氣候變遷導致的極端天氣例如：洪水，使得糧食產量的目標越來越難以達到。先前的研究顯示具有轉錄因子SUB1A-1的野生稻種能在長達兩週的減頂之後，依然能夠生存，但其保護機制及一些特殊現象皆尚未釐清。與農生中心施明哲特聘研究員一起努力下，我們提出SUB1A-1的抗淹水保護機制。

糧食危機與氣候變遷

颱風來臨之際，我們引頸盼望何時公布放不放假，能不能在家多休息幾天。然而，狂風暴雨除了外出不便外，對於農夫而言，卻可能是場大災難。就像2015年梅姬颱風來襲，使得二期水稻成為主要受損農作物之一，光是水稻的農損就高達新臺幣一億一千多萬。

除了經濟上的損失，根據全球人口成長預測，在未來二十年之內，全球的糧食需要增產六成以上，才能確保糧食安全。但是近期的氣候變遷，使得原本不會淹水的農作物種植區域，大幅增加淹水的可能，為這增產六成糧食的目標帶來進一步的挑戰。

對於人口暴漲之一的亞洲區域，水稻為我們的主要糧食來源之一。但是，由於其獨特的水耕法，使得稻米往往都種植在易積水的低窪地區，因此更容易因氣候變遷帶來的豪大雨而導致淹水，而減頂的水稻因為缺氧，生長受到限制進而死亡，使得當季的收成就大大減少，這對於一年通常兩作、最多三作的水稻而言，任何一次的豪大雨都可能造成當年的稻米收成銳減。

相較於目前不耐淹水的食用稻種，科學家發現野生的抗淹水稻種，並且從中發現其帶有一重要的抗淹水基因SUB1A-1[1]。這一個特殊的抗淹水基因會在稻米淹水時，藉由抑制其生長，使水稻能夠順利度過這一難關，大大的增加存活率（如右圖），這就好像熊在冬天食物缺乏時，進行冬眠一樣。若能夠瞭解其抗淹水的分子機制，就能夠幫忙改進現有的實用稻種，或是能夠了解找到在其他作物是否有類似的抗淹水機制。

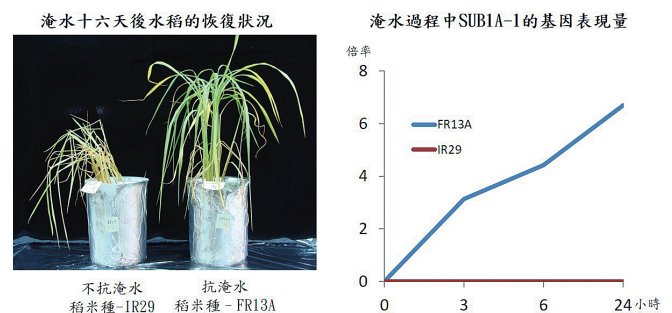
稻米是如何偵測淹水

在了解SUB1A-1如何幫助水稻抗淹水前，你可曾想過「水稻如何得知淹水了？」

動物因為有眼睛有鼻子，能夠「感受」到即將或是正在淹水了，而植物是如何知道正在受到淹水的狀態，進而開始抗淹水的反應呢？當植物因淹水被減頂時，無法進行氧氣的交換，因此進入無氧的狀態，所以淹不淹水，會造成植物細胞內的氧氣含量大幅變化（平常：有氧；淹水：無氧）。植物細胞內有一特定的蛋白群（第七群乙烯反應轉錄因子，ERF-VII），此ERF-VII蛋白群因為位在具有一獨特的降解決定子（N-degron），此特殊的降解決定子因為具有一特定的氨基酸序列能夠因受到氧化（有氧）改變其胺基酸的特性，而此一改變會導致此蛋白群被細胞內的泛素－蛋白酶體系統辨認，並且進行降解[2]。因此ERF-VII蛋白群，在有氧的情況下，一被製造出來就消失，使得其無法在細胞內作用。而在無氧的情況（淹水）ERF-VII蛋白群，因為不被降解，就可以在細胞中開始作用。ERF-VII蛋白群是一類轉錄因子，其功能就像個開關，啟動細胞內相關的蛋白的製造，使其有相對應措施。以水稻的例子，其SUB1A-1作用就是讓稻米進入類似冬眠的狀態，以便在淹水的狀態下存活。

特殊的SUB1A-1

ERF-VII蛋白群中的SUB1A-1為水稻中最為抗淹水且最為重要的因子。擁有SUB1A-1的水稻將大大的增加



了其抗淹水的能力，但是令人驚奇的是 SUB1A-1雖然也俱有著可以被氧化的特殊降解決定子（N-degron），但在有氧的情況下，卻不會被泛素－蛋白酶體系統辨認，進而進行降解[3]。SUB1A-1相關研究發現，在大水退後，因氧氣含量的突然增升，產生了大量的有毒性的活性氧化物質（Reactive Oxygen Species，ROS），會造成更多水稻的傷害，進而減低其存活率[4]。而SUB1A-1的存在能夠啟動移除有毒性的活性氧化物質相關蛋白，進而增加水稻在淹水後存活。然而此發現衍生了兩個問題：一、SUB1A-1不因為氧氣含量而有所變化，那麼水稻是如何偵測淹水並且啟動相對應機制？二、SUB1A-1具有可以被氧化的特殊降解決定子，那麼是如何在有氧情況下逃脫，而不被泛素－蛋白酶體系統降解？

尋找水稻的抗淹水開關

具有被氧化的特殊降解決定子ERF-VII蛋白群還是最有可能作為偵測淹水情況，並能夠啟動相關機制的蛋白，因此，在與農生中心的施明哲特聘研究員一同努力下，我們針對水稻一系列的ERF-VII蛋白群進行測試，藉由生物資訊、分子生物、生物化學與生物物理等不同方式，我們發現有兩個水稻的ERF-VII蛋白能被SUB1A-1激活並大量被製造出來。我們進一步發現這兩個ERF-VII蛋白，在有氧情況下，能夠被降解。根據我們的實驗結果，我們推論這兩個ERF-VII蛋白為水稻抗淹水的開關，而SUB1A-1負責大量的激活這兩個ERF-VII蛋白的生產。在有氧環境時，SUB1A-1激活的ERF-VII蛋白會馬上被降解，不會產生任何作用。一旦處於淹水的環境，被SUB1A-1大量激活的兩個ERF-VII蛋白，快速地啟動水稻內抗淹水的功能。藉由我們提出的機制，SUB1A-1可以利用這兩個ERF-VII蛋白啟動淹水的反應（類似冬眠），等大水退後，依然可以啟動對抗高毒性的活性氧化物質，以利於水稻抗淹水後的存活。

探討SUB1A-1在有氧環境下能夠保存的機制

具有與其他ERF-VII蛋白群相同的特殊降解決定子的SUB1A-1，又是如何能夠不被泛素－蛋白酶體系統辨認，使其能夠在有氧環境下，因為不會被降解而能夠啟動對抗高毒性活性氧化物質相關蛋白？藉由著酵素學、生物物理學和分子生物學的方式，我們初步的研究數據推論SUB1A-1是藉由其特殊的3D立體結構，使得其特殊降解決定子被遮蔽起來，因此SUB1A-1所具有的特殊降解決定子並不會被氧化而保持其原有的氨基酸特性，所以就不會被泛素－蛋白酶體系統辨而被降解。目前我們正利用蛋白生化與結構生物學的方式證實此推論，並希望能找到這一遮蔽現象的分子機制，以期在其他經濟作物上找到類似的抗淹水機制。

結語

現今的氣候變遷大大增加了未來糧食危機的可能，先期的研究發現野生稻米種的SUB1A-1可以有效的幫助水稻抗淹水，藉由結合生物資訊、分子生物、蛋白質生化、酵素學與結構生物學，我們與施明哲特聘研究員發現水稻是由另外兩個水稻的ERF-VII蛋白偵測淹水並且激活淹水相關保護措施。而我們也進一步的發現SUB1A-1是在有氧氣的環境下如何逃脫被降解的命運，所以SUB1A-1得以保護淹水中的水稻並且能夠幫助水退後的水稻復原。這一獨特的抗淹水機制，將有助於我們更了解野生水稻是在淹水後的得以存活，甚至可以用來找尋其他經濟作物是否有同樣的抗淹水機制。

延伸閱讀

1. Xu K, Xu X, Fukao T, Canlas P, Maghirang-Rodriguez R, Heuer S, Ismail AM, Bailey-Serres J, Ronald PC, Mackill DJ. (2006) Sub1A is an ethylene-response-factor-like gene that confers submergence tolerance to rice. *Nature* 442(7103), 705-708.
2. Gibbs DJ, Lee SC, Isa NM, Gramuglia S, Fukao T, Bassel GW, Correia CS, Corbineau F, Theodoulou FL, Bailey-Serres J, Holdsworth MJ. (2011) Homeostatic response to hypoxia is regulated by the N-end rule pathway in plants. *Nature*. 479(7373), 415-418
3. Licausi F, Kosmacz M, Weits DA, Giuntoli B, Giorgi FM, Voesenek LA, Perata P, van Dongen JT. (2011) Oxygen sensing in plants is mediated by an N-end rule pathway for protein destabilization. *Nature* 479(7373), 419-422.
4. Fukao T, Yeung E, Bailey-Serres J. (2011) The submergence tolerance regulator SUB1A mediates crosstalk between submergence and drought tolerance in rice. *Plant Cell* 23(1), 412-427.