

乾旱逆境對於玉米生產之影響

Effects of drought stress on maize production

曾一航¹、林如玲¹、邱燕欣²

一、前言

根據相關研究預測 (IPCC, 2021)，氣候變遷將使全球氣溫至少在本世紀中前，呈現持續升高之趨勢。在此情境下，農業更是眾多領域中首當其衝者。玉米為臺灣主要進口大宗作物之一，近 10 年平均進口量約 440 萬公噸/年，國內主要用途係供作飼料使用，而在整體需求上亦呈現增長趨勢 (圖 1)。由於全球增溫所伴隨之降雨模式改變，推估全球玉米年產量減損規模將達 1 千萬噸左右 (Edmeades, 2013)。依 2022 年國內統計資料顯示 (農業部, 2022)，臺灣玉米主要進口自阿根廷、巴西、南非及美國，其中前三者在進口總量佔比即達 82%

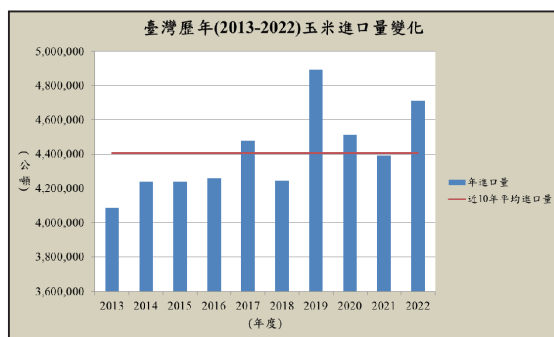


圖 1. 臺灣歷年 (2013-2022 年) 玉米進口量變化

(圖 2)。由於阿根廷、巴西及南非之玉米生產管理係以倚賴雨水灌溉 (rainfed) 方式為主 (圖 3)，若降雨模式發生改變，可能造成玉米最終產量因缺水而減損下滑，進而

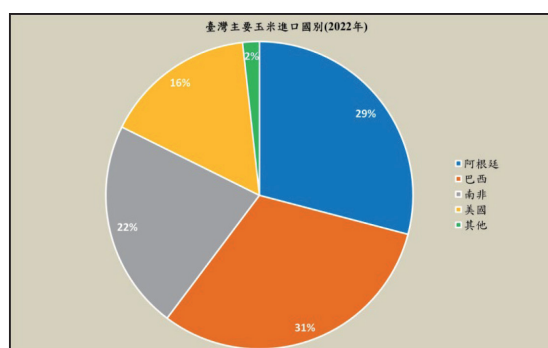


圖 2. 臺灣主要玉米進口國別 (2022 年)

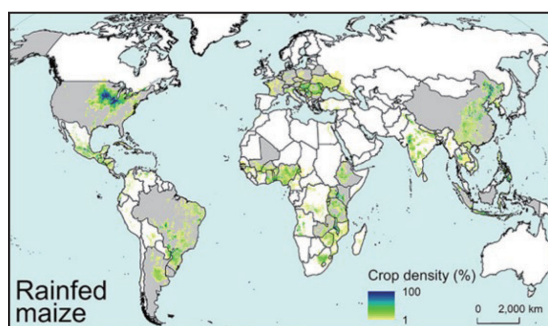


圖 3. 依賴雨水灌溉栽培形式之全球玉米產區分布

資料來源：Rattalino Edreira, J.I., Andrade, J.F., Cassman, K.G. et al. 2021. Spatial frameworks for robust estimation of yield gaps. *Nat Food* 2, 773-779. <https://doi.org/10.1038/s43016-021-00365-y>

¹ 種苗改良繁殖場種苗檢驗科 助理研究員

² 種苗改良繁殖場種苗檢驗科 副研究員兼科長

連帶影響國內畜產相關行業之生產成本上揚。因此，不論就民生需求、產業競爭力或糧食安全等觀點考量，如何運用現代科技(如：精準育種及灌溉體系)提升玉米基本抗旱能力以穩定產量，將會是奠定國內農業永續發展的重要議題之一。

二、乾旱對玉米生長之影響

乾旱逆境會引發玉米植株產生各式反應(表一)，並藉由影響植物營養性狀、苗期發育、光合作用能力、根長、花器發育、開花-吐絲間隔日數、授粉及籽粒充實等層面，造成其產量上的嚴重損失。在苗期階段(seedling stage)，種子生長起始於浸潤作用(imbibition)，透過種子與周邊介質間的滲透濃度(osmotic concentration)差異，讓種子組織重新吸水恢復活性。就玉米種子而言，發芽水分需求約為種子乾重

的35~45%。當種子周邊介質的滲透潛勢(osmotic potential)降低時，將導致其無法自外界獲得發芽所需水分。因此，乾旱逆境將明顯影響玉米種子之整體發芽情形。在營養生長階段(vegetative stage)，玉米植株的許多營養性狀(如：株高、莖徑、生物量、葉面積等)亦同樣受到乾旱逆境所影響。過去相關研究指出，若此階段發生乾旱，會引發植株出現乾物重損失、節間縮短、開花與吐絲延遲等現象，並導致不同程度的產量損失。另分生組織在細胞分裂過程中扮演著重要角色，而乾旱逆境因造成細胞水勢能(water potential)降低，故會導致細胞分裂減少而阻礙植株生長。在生殖生長階段(reproductive stage)，乾旱逆境則會導致玉米植株開花及吐絲發生延遲，並造成二者間因花期配合欠佳而出現

表一、乾旱逆境對於玉米植株之影響

特徵類別	影響結果
外表層級	1. 降低葉片大小、莖部生長及根系擴張。 2. 增加授粉期間發生籽實敗育之頻度。 3. 葉片捲曲及氣孔關閉。 4. 開花、葉片數、生物量及種子重量降低。 5. 吐絲期延後。 6. 早花 (premature flowering)。 7. 開花 - 吐絲間隔日數 (Anthesis-Silking Interval : ASI) 延長。
生物層級	1. 細胞膜受損及各類酵素活性受干擾。 2. 抑制光合作用、碳水化合物代謝及能量代謝。
生理層級	1. 植物水分失衡及水分利用效率降低。 2. 光合作用速率受明顯抑制。 3. 葉片的 CO ₂ 同化作用降低【主要因葉片氣孔關閉所致，特別是 CO ₂ 固定及 ATP 合成等部分】。
生化層級	1. 丙二醛 (Malondialdehyde : MDA) 累積【一種遭遇氧化逆境的生物標誌】。 2. 抗氧化物質累積、活性氧類 (reactive oxygen species : ROS) 清除，以及相關轉錄作用活化。 3. 脯胺酸 (proline) 累積。 4. 較高活性的非酶類抗氧化物質 (如： β -carotene, ascorbate, α -tocopherol, reduced glutathione, carotenoid) 及 酵素 (如：superoxide dismutase, peroxidase, ascorbate peroxidase, catalase, polyphenol oxidase, glutathione reductase)。

資料來源：Hasibuzzaman et al., 2021. <https://doi.org/10.5772/intechopen.91197>

授粉不良情形。此外，玉米在雄穗 (tassel) 生長、小穗 (spikelet) 發育及花粉活性等方面，均會因乾旱逆境而產生明顯負面影響 (Li et al., 2022)。

三、乾旱對玉米產量之影響

乾旱為影響玉米產量的重要限制因子之一。根據過去研究結果 (Daryanto, 2016)，在缺水條件 (約正常水分供應量 60%) 下，會造成玉米最終產量下降 39.3% 左右。由於玉米各生育階段之水分需求程度不同，故其受乾旱影響程度亦隨生育階段而異。一般而言，玉米每日水分需求隨營養生長階段逐漸提高，並在開花吐絲期

左右達到高峰，而進入籽實充實階段後則會逐步下降。玉米在營養生長階段早期 (V9 階段前)，植株雖易因乾旱而產生枯萎，然對乾旱逆境仍具有相當耐受性 (Larson, 2017)；而當玉米植株逐漸由營養生長轉為生殖生長時，其對乾旱逆境的敏感性亦會隨之升高。相較於營養生長期而言，自「開花前 (pre-anthesis)」至「籽粒充實 (grain-filling)」這段期間，乾旱逆境對於玉米植株之影響更為明顯，其所致產量降幅程度可達 50% 左右 (圖 4)。在管理操作上，則建議應確保植株於「開花前 1 週至後 3 週」期間之水分充足供應。

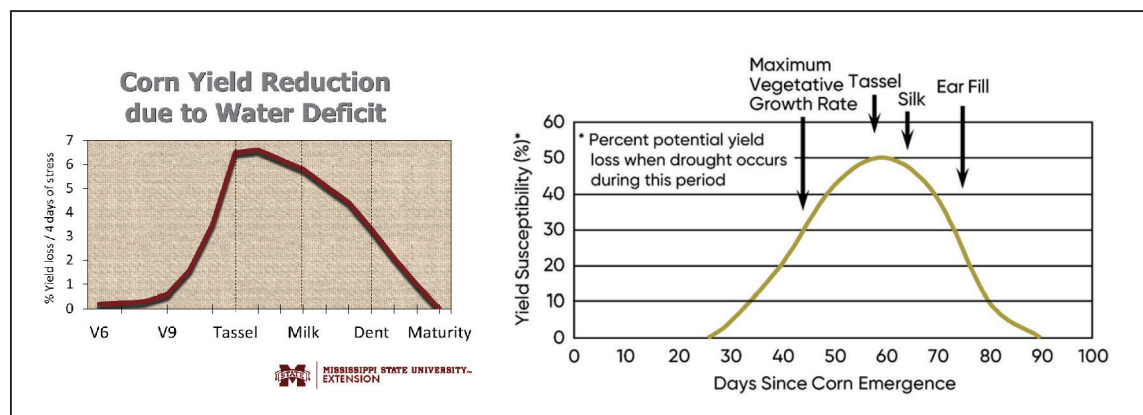


圖 4. 缺水逆境對於玉米各生育階段之產量降幅影響

資料來源：

- (1) Larson. 2017. When is the Right Time to Start Irrigating your Corn? (<https://www.mississippi-crops.com/2017/05/19/when-is-the-right-time-to-start-irrigating-your-corn/>)
- (2) Dan Berning and Mark Jeschke. 2021. Corn Water Use. (<https://www.pioneer.com/us/agronomy/corn-water-use.html>)

四、未來展望

在全球氣候變遷及人口增加的情境下，未來水資源缺乏、分布不均及分配運用限制等問題，勢將逐步影響玉米栽培生產及其產量表現，進而衝擊全球飼料、生質燃料及糧食供應鏈之穩定性。臺灣在玉

米需求上雖高度仰賴進口，但未來若需提高糧食自給率，宜及早運用現代科技增進整體農業用水效能，並加速相關遺傳資源之引進及耐旱育種材料篩選，以強化國內玉米產業之韌性永續發展。