

淺談作物生長環境之蒸發散

陳令錫

摘要

農業用水占總供水量約72%，然具有涵養水源補注地下水與調整生態環境之功能，工業與民生用水則不然。農業灌溉用水若要減量，除品種改良研究耐旱品種之外，亦必須重視節水灌溉技術之開發、研究與推廣運用。光合作用需要光線、水分與二氧化碳，水分不足植物會萎凋；過度灌溉，水分過多，有浪費水、浪費抽水的動力、環境潮濕容易孳生病害與裂果等缺點。蒸散作用(transpiration)乃由植物葉片氣孔蒸發(evaporation)水分，蒸散作用對植物是有利的，可幫助從根部吸收與傳導礦物營養，晴天陽光照射到葉片因蒸散作用而帶走蒸發潛熱，具有調節冷卻葉片溫度的效果，然而太大的蒸散作用對作物是一種逆境。植物在水分利用上，少部分用於代謝與光合作用，大部分都是藉由蒸散作用經由氣孔排出植物體。植物生長環境受陽光、風速、溫度、濕度、大氣壓力與水分供給等影響，土壤的水分蒸發加上植物葉片的蒸散等於植物的蒸發散(evapotranspiration, ET)；除環境因素之外，植物內因性條件也會影響蒸散作用，包括葉片面積、表皮厚度、氣孔數量、氣孔大小與氣孔位置等。定時器的開回路灌溉策略是可靠的澆水方法，但會消耗過多的水與能源，因為陰雨天若沒有調整，將會過度澆水；蒸發散灌溉技術具有植物訊息直接回饋反映的特性，與定時器相比可減少約50%用水。太陽輻射提供了水分蒸發時最大宗的能量來源，因此當太陽輻射越強時蒸發散量越大，太陽輻射與ET呈比例相關，因此用光積值來控制作物生長環境之操作是可行的方式之一。

前言

台灣地形中央高東西窄，雖然雨量豐沛但是短期間內流入大海，因極端氣候之故，遭逢缺水危機機率增加，節水、提升水資源利用率研究待努力，根據經濟部水利署97年水利統計資料，公務統計報表之水資源供需統計資料顯示，台灣地區總供水量17978百萬立方公尺，其中農業灌溉用水11,212百萬立方公尺，占總供水量72%，生活用水占總供水量19%，工業用水占總供水量9%，然而農業用水具有涵養水源補注地下水與調整生態環境之功能，是不可偏廢的；農業灌溉用水若要減量，除品種改良研究耐旱品種之外，亦必須重視節水灌溉技術之開發、研究與推廣運用。學種蘭花，得先學會澆水。省工省水灌溉一般利用定時器作定時灌溉，但仍不符作物需求。設施介質耕可少量多次、少次大量。所以澆水是技術也是藝術。

內容

一、蒸發散

植物生長需行光合作用製造碳水化合物，光合作用需要光線與水分，水分不足植物會萎凋，過度灌溉水分過多，有浪費水、浪費抽水的動力、環境潮濕容易孳生病害與裂果等缺點。植物在水分利用上，少部分用於代謝與光合作用，大部分都是藉由蒸散作用經由氣孔排出植物體。蒸散作用乃由植物葉片氣孔蒸發水分，蒸散作用對植物是有利的，可幫助從根部吸收與傳導礦物營養，晴天陽光照射到葉片因蒸散作用而帶走蒸發潛熱，具有調節冷卻葉片溫度的效果，然而太大的蒸散作用對作物是一種逆境。

植物生長環境受陽光、風速、溫度、濕度、大氣壓力與水分供給等影響，土壤的水分蒸發加上植物葉片的蒸散等於植物的蒸發散(evapotranspiration, ET)；除環境因素之外，植物內因性條件也會影響蒸散作用，包括葉片面積、表皮厚度、氣孔數量、氣孔大小與氣孔位置等。

運用質量守恆定理分析植物根部水分的平衡，

$$P + I + CR + \Delta SF - ET - R - DP = \Delta SW$$

P：降雨

I：灌溉

CR：地底毛細上升

ΔSF ：地下伏流水

ET：蒸發散

R：地表逕流損失

DP：地下深層滲漏

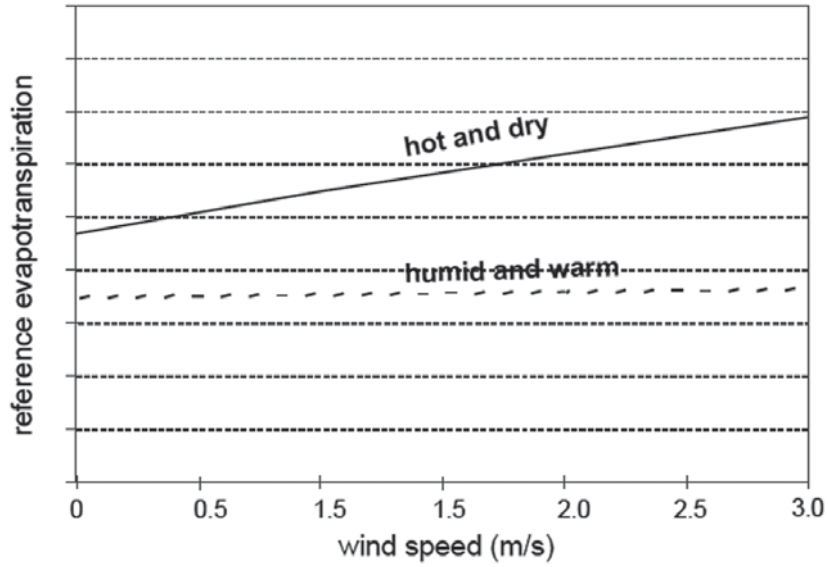
ΔS ：土壤水分含量之變量

對管理良好的溫室介質耕作物，降雨、地底毛細上升、地下伏流水、地表逕流損失與地下深層滲漏均為零，此時，灌溉量等於蒸發散量可讓土壤水分含量之變量保持穩定的範圍(灌溉技術高超與性能優異時灌溉量等於蒸發散量)。

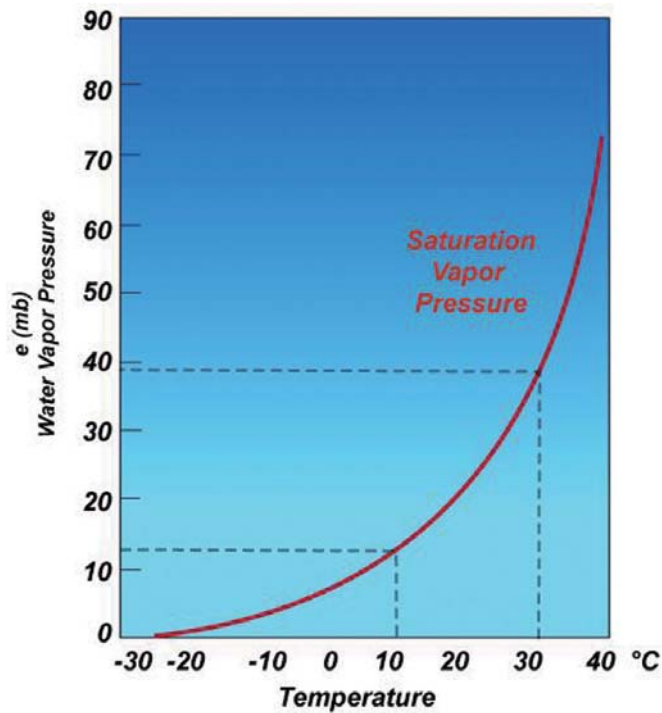
太陽輻射提供了水分蒸發時最大宗的能量來源，因此當太陽輻射越強時蒸發散量越大，而不同緯度不同季節又會有所差異。而考慮光對蒸發散量影響的同時也要考慮到，並不是所有的太陽輻射所產生的能量都是用於水分蒸發，有一部分的太陽光能量會被用於氣溫與土壤的加溫。而溫度對蒸發散量的影響也是在於提供能量讓水分蒸發，而溫度又受到光的影響，所以除了天氣中各因子會影響蒸發散量以外，環境中各微氣候也是有交互的影響。

相對濕度跟風速是透過影響水蒸汽從蒸發表面移除的能力進而影響蒸發散量，而相對濕度會影響風速的蒸發散量，圖一虛線高相對濕度下風速增強但是蒸發散量變化小，即當相對濕度高時同樣的風速下蒸發散量會較少，由於在潮濕的

氣候下蒸發表面以外的空氣其飽和程度只比蒸發表面的空氣低一點點，因此同樣的風速下，兩者進行氣體交換或對流時它能夠帶走的水氣較少，故蒸發散量較低。也就是說蒸發表面附近若沒有持續地被乾空氣取代的話，其蒸發散量下降。



圖一、不同天候下風速與蒸發散量之關係



圖二、飽和蒸汽壓隨溫度增加而改變

二、LAI & VPD

而植物蒸發與蒸散的比例與其生長程度有關，當作物還在剛播種的時期大部份蒸發散的比例都在土壤蒸發的部份，但當他越長越大葉子越來越多的時候蒸散的比例就會越來越高，作物蒸散、土壤蒸發與葉面積指數(leaf area index, LAI, 為單位面積的土壤所含的葉面積多寡)之間具有消長關係，當葉面積指數越大，作物蒸散佔整個蒸發散水氣的比例越高，植物蒸散與LAI具有比例關係。

蒸汽壓差(vapor pressure deficit, VPD)為飽和蒸汽壓減空氣蒸汽壓，空氣蒸汽壓隨空氣溫度呈曲線變化，飽和蒸汽壓隨溫度增加而改變情形如圖二。探討微氣候是如何影響蒸發散量應從供給蒸發水氣的能量及水蒸汽從蒸發表面移除的能力這兩個角度去思考。

蒸滲儀是一種量測實際蒸發散量的裝置，紀錄某一面積接收的降水量及從土壤損失的水量，蒸滲儀有重量式與非重量式二種。對灌溉而言，直接量測植物反應的技術，可減少灌溉水量。使用定時器的開回路灌溉策略是可靠的澆水方法，但會消耗過多的水與能源，因為陰雨天若沒有調整，將會過度澆水；蒸發散灌溉技術具有植物訊息直接回饋反映的特性，與定時器相比可減少約50%用水。

三、生物計量學

Biometrics生物計量學在20世紀初期就被採用，該領域為發展統計與數學方法來分析生物科學的問題。生物計量學分析人體特徵包括指紋、臉孔、手型、簽名、瞳孔、聲音等；生物計量學檢測與評估作物逆境包括水果成長率、莖直徑、樹液流率、植物組織溫度如葉溫、葉片濕度、光合作用速率等。用電子鼻監測番茄作物健康狀態，發展電子鼻的靈感來自人體嗅覺系統，曾經廣泛用於食物品質控制與人類疾病監測，電子鼻是番茄植株健康監測、疾病與蟲害檢測有潛力的設備。

廖宜健等(2011)做過植物莖流量與土壤體積含水率(volumetric water content, VWC)之研究，利用莖流分析儀研究土壤含水量對植物蒸散之影響，植物莖流量在13點左右來到高峰，當土壤含水量下降時，最大莖流亦隨之降低，夜晚時，植物莖流將呈現穩定且低流量狀態，不易受土壤含水狀況影響，土壤水含量在8.4%為金柑最低需水量。

結語

1. 農業用水具有涵養水源補注地下水與調整生態環境之功能，工業與民生用水則不然。
2. 光合作用需要光線、水分與二氧化碳，水分不足植物會萎凋；過度灌溉，水分過多，有浪費水、浪費抽水的動力、環境潮濕容易孳生病害等缺點。
3. 蒸散作用乃由植物葉片氣孔蒸發水分，蒸散作用對植物是有利的，可幫助從根部吸收與傳導礦物營養，晴天陽光照射到葉片因蒸散作用而帶走蒸發潛熱，具

有調節冷卻葉片溫度的效果，然而太大的蒸散作用對作物是一種逆境。

4. 植物生長環境受陽光、風速、溫度、濕度、大氣壓力與水分供給等影響，土壤的水分蒸發加上植物葉片的蒸散等於植物的蒸發散。
5. 太陽輻射提供了水分蒸發時最大宗的能量來源，因此當太陽輻射越強時蒸發散量越大，太陽輻射與ET呈比例相關，因此用光積值來作控制作物生長環境是可行的。
6. 定時器的開回路灌溉策略是好的方法，能可靠的澆水，但可能消耗過多的水與能源，因為陰雨天若沒有調整，將會過度澆水。
7. 蒸發散灌溉技術具有植物訊息直接回饋反映的特性，與定時器相比可減少約50%用水。

參考文獻

1. 台灣環境資訊中心。2009。http://e-info.org.tw/node/45918。
2. 經濟部水利署。2010。97年水利統計--公務統計報表--水資源供需統計 http://www.wra.gov.tw/ct.asp?xItem=20062&ctNode=5292&comefrom=lp#5292
3. 廖宜健、林連雄、張允瓊。2011。利用莖流分析儀研究土壤含水量對植物蒸散之影響。生機與農機論文發表會論文集 p.80
4. Allen, R. G., L. S. Pereira, D. Rase, and M. Smith 1998 Crop evapotranspiration: Guidelines for computing crop water requirements. FAO Irrigation and Drainage Paper 56. Rome, Italy:United Nations FAO.
5. Campbell N. A. and J. B. Reece 2005 Photosynthesis P.181-198 In Biology, 7ed, Pearson Education, Inc.US.
6. Definition of Biometrics http://www.biometrics.tibs.org
7. Fu Fu Zhang 2011 Tomato Plant Health Monitoring:An Electronic Nose Approach. In Intelligent Systems for Machine olfactory. http://www.igi-global.com/chapter/tomato-plant-health-monitoring/52455.
8. Griffith-elder 2011 Lysimeter http://www.griffith-elder.com/scales/lysimeter.php.
9. Intrinsic factor of transpiration http://www.scribd.com/doc/61048806/Transpiration上網日期：2012/06/15.
10. Prenger J. J., P. P. Ling, R.C. Hansen and H. M. Keener 2005 Plant response-based irrigation control system in a greenhouse: system evaluation. Trans. of the ASAE Vol.48(3):1175-1183.
11. Ross A. and A. Jain 2003 Information Fusion in Biometrics. Pattern Recognition Letters, Vol. 24(13):2115-2125.
12. Ton, Y., Nilov, N. and Kopyt, M. 2001. Phytomonitoring: The New Information Technology for Improving Crop Production. Acta Hort.(ISHS) 562:257-262. http://

www.actahort.org/books/562/562_29.htm

13. Tracy M. Sterling 2004 Text for Transpiration - Water Movement through Plants <http://www.sciencemag.org/site/feature/misc/webfeat/vis2005/show/transpiration.swf> 上網日期：2011/11/01.
14. Wan Fazilah Fazlil Ilahi 2009 Evapotranspiration Models in Greenhouse. Irrigation and Water Engineering Group. Wageningen University.
15. William G. Hopkins & Norman P. A. Huner 2009 Introduction to Plant Physiology (4th Edition ed.) WILEY.
16. 16. Wikipedia 2011 Lysimeter. <http://en.wikipedia.org/wiki/Lysimeter>.