

## 第六章 作物與水

### 第一節 水對作物的影響

#### 一、水的重要性

作物體內所需的養分，一部分來自根部水分的吸收，另一部分則由葉部行光合作用形成。影響作物生育的水分，受空氣中的濕度及土壤水分左右，而降雨量為決定空氣濕度及土壤水分的主要原因。

降雨量及降雨日數影響耕地土壤的濕度，土壤濕度不僅影響整地、播種及田間管理作業，甚且影響土壤微生物的活動，病蟲害的發生及土壤理化性質等。

水為植物不能缺少之物質，植物中含水甚多；原生質含有75% 以上之水分，水分參與植物代謝，與植物生命息息相關。水對植物的重要性為：

1. 構成原生質重要成分，維持植物生命狀態。
2. 維持細胞膨壓，使植株直立不倒伏。
3. 利用蒸散作用調節作物溫度。
4. 幫助養份的吸收運輸。
5. 參與植物體內各種生理代謝反應。

#### 二、作物需水量

作物不同的生長階段，所需的水分皆不同；作物生育期間所吸收之水分，大部分用於蒸散作用，少部分為光合作用及其他代謝所需。

作物在一定時間生產一克乾物質所需消耗的水量，可利用蒸散係數（transpiration coefficient），或作物需水量（water requirement content）來表示。作物需水量因作物種類、生長狀況、環境及栽培情形有所不同。

作物需水量受下列因子所影響：

1. 濕度：

空氣中濕度愈大，蒸散作用降低，作物需水量愈小。

2. 氣溫：

夏季需水量大於冬季，高溫較低溫需水量高。

3. 土壤含水量：

當土壤水分增加，則植物蒸散作用增強，故需水量多。

4. 土壤肥力：

愈肥沃的土壤需水量愈小，以乾物質而言，肥沃地乾物質生產多。

5. 栽植期的不同：

秋作較春季需水量少。

6. 肥料要素：

缺氮、磷之作物較缺鉀、硫、鎂、鈣作物需水量多。

7. 風：

2 m/s風速有利於蒸散作用，超過此風速氣孔關閉，作物需水量減少。

8. 作物生長時期：

開花孕穗期，需水量較多，水分多，減數分裂愈旺盛。

9. 作物種類：

C<sub>4</sub>型作物如玉米、高粱較C<sub>3</sub>型作物如甘藷、水稻、小麥需水量少，水份利用效率高。例如大豆307克、玉米94克、水稻254克

## 二、土壤水分的種類與作物的關係

土壤水分大多為稀釋的無機鹽水溶液，可分為四種：

### (1) 化合水(combined water)：

由於化學結合而保持在土粒間的水分稱化合水。在高溫下能除去，植物無法吸收為無效水。

### (2) 吸附水(hygroscopic water)：

將土壤以人為乾燥後，土壤能由空氣中逐漸吸收水分，在土粒周圍逐漸形成極薄的水膜，稱吸著水。植物無法吸收利用亦為無效水。土壤水分的最高吸著係數，因土壤性質有所差異；如砂土，含有機質甚少者，其最高吸著水量僅達1-2%，壤土為 5%，粘土為 7-10% 左右。

### (3) 微管水 (capillary water)：

充滿在土壤粒子周圍的水分，由於水與土壤粒子間的黏著力，水分子間的聚合力 and 地心引力，而留存於土壤中，不能以人力及自然排水法去除，稱為微管水。微管水能在土粒間自由移動，為有效水。當土壤水分因重力水排除後，留存於土壤孔隙，植物可以吸收利用，對作物生長有利。

### (4) 重力水(gravity water)：

為土壤粒子間所保持的水分，土壤水分因地心引力滲漏流失，植物無法吸收利用，為無效水。

植物生長期間不斷進行吸收水分及蒸散作用，當蒸散作用所耗損的水分超過吸收水分時，植物會發生凋萎現象，若供水充足，植物膨壓恢復，再行生長，此時土壤所含水分稱暫時凋萎(temporary wilting point)。若土壤水分繼續缺乏，植物失去膨壓，再予以供水亦無法恢復生長，此時土壤所含水分稱永久萎凋點(permanent wilting point)，此時土壤水勢小於  $-15 \text{ pa}$ 。作物在田間能利用的有效水，通常以田間容水量表示。所謂田間容水量為土壤顆粒被水飽和，經重力排除所保有的含水量，田間容水量在 60%~80% 對作物的生長最佳，有效水的水勢常介於  $-0.3 \sim -15 \text{ pa}$  之間。

作物在田間生長常以灌溉彌補田間水量的不足，澆灌用水量以下列公式計算：

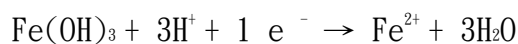
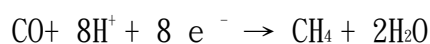
澆灌用水量=田間需水量（作物蒸散量+田面蒸散量+土壤滲透量）-有效雨量

## 第二節 土壤水分過多對作物的影響

### 一、作物發生濕害的原因：

一般土壤體積的 30% 左右為土壤空隙，通常可維持15~20% O<sub>2</sub> 濃度，足可供應根的生長所需。植物生長在湛水、低濕地，或在排水不良地區遇到雨季，作物根部生長的耕土層，土壤空隙充滿水分，氧化還原電位降低，易有硫化氫、二價鐵、低脂肪酸、CO<sub>2</sub>及 CH<sub>4</sub> 生成，土壤通氣性不良，引起根部吸水能力降低，發生營養失調，病蟲害感染，土壤微生物死亡。除少數水生植物外，植物則會發生濕害。

土壤在湛水下，嫌氣性微生物以無氧呼吸將下列物質還原：



植物在淹水下，會影響呼吸作用、光合作用、水分和無機元素的吸收、固氮作用、促進植物體內離層酸(abscisic acid, ABA)含量的增加，引起荷爾蒙不平衡及脯胺酸(proline) 累積。

一般而言，濕地作物例如水稻、筴白筍、蓮藕、水蘆菜等之抗濕強，而旱地作物例如麥類、豆科植物、玉蜀黍、棉花、甘蔗及韭菜等抗濕性弱。

### 二、作物抗濕性：

一些生長在濕地的作物，其根部能分泌或排出一些有毒代謝物；例如水稻根部通氣組織，莖部皮孔隙常是揮發性乙醛、乙醇排除植物體外的孔道。

作物抗濕性較強的生理原因：

#### (1)植株構造：

植株莖幹及根部成熟的皮層細胞破裂，或細胞排列疏鬆細胞間隙大，形成通氣組織(aerenchyma)，呈連續狀的細胞間隙，有利於地上部空氣運送至根部，此為植物避淹性。一些早生的作物如黃瓜、番茄、菜豆和水稻均有此種避淹性的構造。

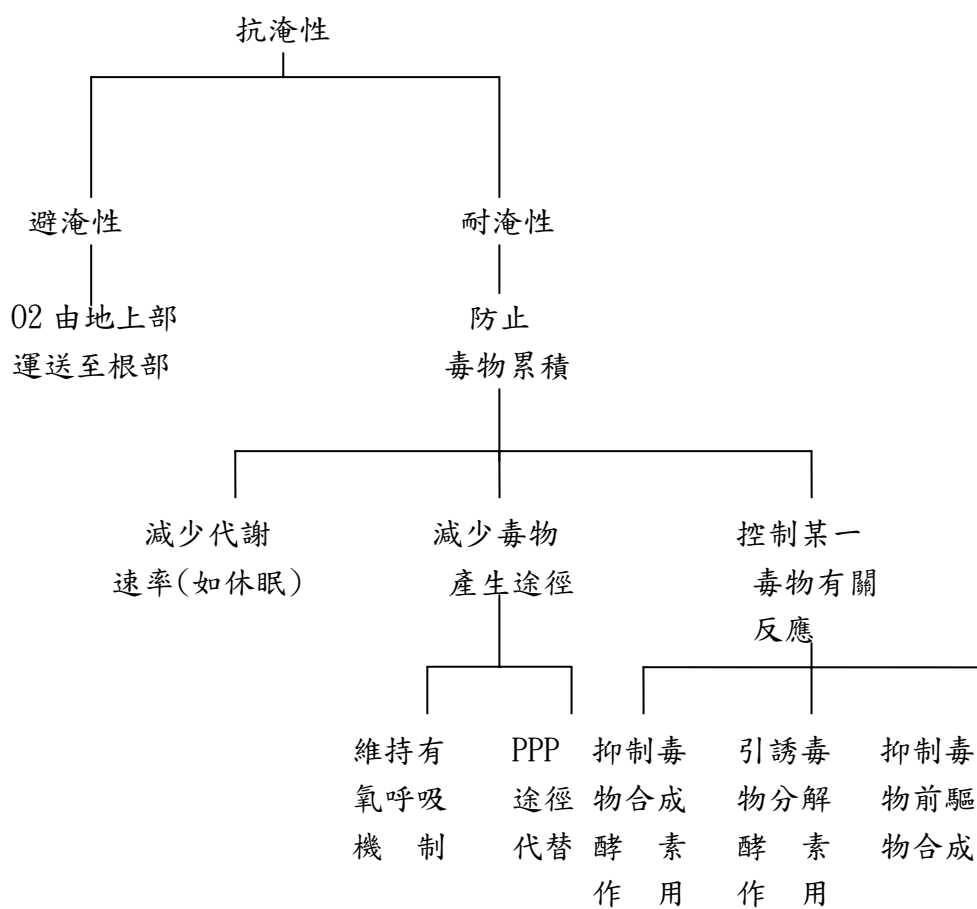
(2)進行乙醇酸途徑(glycolate pathway)代謝：

水稻的根部細胞有許多過氧化體分散於細胞質中，進行乙醇酸途徑(glycolate pathway)，會產生多量的過氧化氫，過氧化體的過氧化酵素會將根圈的還原性物質、芳香族化合物氧化，過氧化氫經催化酶分解成水與氧。

(3)植物在淹水下，利用耐淹性方式來避免濕害，諸如減少組織有氧呼吸的速率，以戊糖磷酸鹽途徑(pentose phosphate pathway, PPP)取代解糖作用(glycolysis)，抑制有毒物質的累積。

(4)植物以增加不定根、通氣組織及代謝上改變適應淹水。

土壤在淹水下利用排水以保持土壤正常生理狀態，排水的好處有改良土壤物理性、增加耕地深度、提高土壤溫度、減低病蟲害、改善鹽鹼土、有利土壤風化作用進行及方便耕作作業。



植物對淹水抵抗性的可能方式

資料來源：Levitt, J. 1980 Responses of plants to Environmental Stresses. Academic Press, N.Y. PP. 219

圖一、植物對淹水抵抗性的可能方式

### 第三節 作物的缺水與耐旱性

土壤水分來自天空降水(包括雪、雨、霜、冰雹，其中雨水量佔最大比例)及田間灌溉。水分自植物枝葉的蒸發、地形傾斜造成流失，由地下水滲漏排出、淋溶等而失去。土壤水分含水量受雨量蒸發速率，土壤性質，植物所影響。作物在生育期間若遇久旱不雨，又缺乏灌溉設施，土壤水分不足，將危害作物生長。

#### 1. 作物缺水原因

缺水是指植物的細胞或組織失去膨潤(turgid)的狀態，引起植株缺水的原因有暫時性凋萎(temporary wilting)及永久性凋萎(permanent wilting)。

植物暫時性的凋萎常見於夏季中午，當植株蒸散作用大於根部之吸收水分作用時會造成暫時性的凋萎現象，這種凋萎現象是暫時性的，至傍晚以後根部的吸收水分作用與蒸散作用達到平衡，將逐漸恢復正常。然而土壤中水分含量降低或土壤中溶質濃度增加，使得植株根部吸水不足，而影響植株水分的吸收，此時土壤中水分含量在永久凋萎點(permanent wilting point)以下，稱永久性凋萎。

植物缺水的指標通常可以下列公式表示：

#### (1)水分缺失量(water deficit, WD)

植物水分缺失量或稱為飽和缺水量(saturation deficit, SD)

$$\text{水分缺失量} = \frac{\text{膨壓重} - \text{田間鮮重}}{\text{膨壓重} - \text{烘箱乾重}} \times 100\%$$

#### (2)相對水分含量(relative water content, RWC)

$$\text{相對水分含量} = \frac{\text{田間鮮重} - \text{烘箱乾重}}{\text{膨壓重} - \text{烘箱乾重}} \times 100\%$$

$$\text{相對水分含量}\% = 100\% - \text{水分缺失量}$$

#### 2. 植物缺水的生理反應

植物缺水對生理反應會降低光合作用、呼吸作用及氮素代謝，造成植物葉片



中澱粉含量減少，糖分含量增加，改變糖類代謝的途徑，由於蛋白質合成受阻，或蛋白質分解增加，使得全蛋白質含量、可溶性蛋白質含量及核酸含量顯著減少。此外，游離性脯氨酸大量的累積及大量甜菜鹼(betain)累積。在禾本科、莧科、藜科中大量甜菜鹼(betain)累積。滲透調節作用(osmotic adjustment)與荷爾蒙代謝亦發生改變。影響細胞分裂、伸長與細胞壁合成。養分輸送、分配減少，酵素活性與含量發生變化。

植物的滲透調節作用發生在植物缺水時，體內水分潛勢降低，葉片失去膨壓，細胞溶質的增加，滲透潛勢降低，而發生調節作用。在缺水下，即使植物的水分潛勢很低，植物滲透調節作用很大，足以維持膨壓。細胞溶質包括可溶性糖類，脯氨酸、鉀離子、甜菜鹼、糖醇(sugar alcohol)和一些有機酸。

此外，細胞滲透調節尚具有維持細胞生長、維持氣孔的張開、維持光合作用、增加植物生存的能力的作用。

### 3. 細胞滲透調節作用(osmotic adjustment)

許多作物對水分逆境的反應，常因溶質累積造成滲透勢降低，此過程稱為滲透勢調節作用。滲透調節過程會造成溶質濃度增加，使葉片水勢產生更低的負值，使得水分能流向葉片。

滲透勢調節的時期，常慢慢的累積溶質，滲透調節可幫助葉片在半凋萎的情形重新維持膨壓，幫助植物氣孔打開，持續進行光合作用。

與滲透調節有關的溶質包括無機離子、糖類和胺基酸，當作物在水分逆境時，膨壓減少，但脯氨酸(proline)快速累積，使膨壓快速恢復。此外山梨醇(sorbitol)及甜菜鹼(betaine)也是常見可作為滲透調節的溶質。

### 4. 離層酸 (ABA) 對缺水作物的影響:

氣孔的關閉有二種情形：

#### (1)主動關閉(active stomatal closure)：

是葉片水分潛勢降低引起，受代謝作用影響，控制保衛細胞的溶質(solute)與膨壓。離層酸被認為在於控制葉片氣孔的主動關閉，會干擾細胞膜上的質子幫浦，影響鉀離子吸收；或促使鉀離子自保衛細胞流出，導致氣孔的關閉。

(2)被動關閉(passive stomatal closure)：

保衛細胞因直接回應葉片與空氣的蒸氣壓梯度，將水分直接蒸發，不經由代謝過程的控制。

在缺水植物組織內離層酸大量的累積。離層酸影響氣孔關閉可能有二種過程：

1. 離層酸間接影響氣孔的開閉。

2. 離層酸直接作用在氣孔運動機制。離層酸抑制保衛細胞 (guard cells) 內  $\alpha$ -澱粉分解酶 ( $\alpha$ -amylase) 的活性，促進澱粉的合成及鉀離子自保衛細胞流出，改變滲透潛勢，進而控制氣孔的關閉。

5. 植物在缺水時的適應性：

植物在缺水時形態上常發生明顯的改變，常見的為葉片脫落、減少葉片的面積、改變葉片生長的角度、改變植物莖/根比率減少等。

(1)耐旱植物的外觀特徵為：

(a)葉片有角質層或葉變灰白色，可反射光線，使蒸散作用降低。

(b)植物多茸毛，增加水氣環繞的表面積。

(c)氣孔下陷可保持水氣。

(d)葉內細胞變為液泡，貯水功能增大。

(e)根系發達，鬚根多，可擴大吸收面積。

(f)葉針狀，減少葉片的面積，使蒸散作用降低。

(g)葉片會捲起，減少蒸散作用。

(2)作物的避旱性與耐旱性：

植物體遇缺水時產生許多適應能力 (adaptative ability)，以應付不良的乾旱生長環境。在農業上，作物在缺水下仍然能夠生長，且能有產量的表現，一

般稱為抗旱性(drought resistance)。生態上抗旱性定義為植物在缺水時的生存能力。因此，作物抗旱性=避旱性 + 耐旱性。

作物避旱性亦稱為逃旱性 (drought escape)，意即作物在嚴重缺水前已完成其生活史(life cycle)。沙漠性的短命植物 (ephemeral) 當雨季來臨時已完成生活史。一些夏季短命植物相當低具有滲透潛勢，可以忍受乾旱。

在缺水環境下，大多數植物耐旱性分為：

(a)高水分潛勢組織的耐旱性：

可用二種方法，一為維持水分的吸收，包括植物可生成較深及較密的根系吸收土壤深層的水分。二為減少水分損失即在高度蒸散作用下，植物亦要增加氣孔和角質層阻力減少根部與莖、葉部水流阻力(water flow resistance)，減少太陽輻射能的吸收、減少蒸散面積。

(b)低水分潛勢組織的耐旱性：

可藉由增加組織彈性、溶質累積調節滲透潛勢來維持膨壓；或在其生活史中某一時期利用細胞原生質耐旱性(protooplasmic tolerance)容忍很低的水分潛勢。

## 6. 缺水與作物的產量

一般有限生長型(determinate growth type)作物，以花芽分化期及開花期對缺水最敏感，種子或果實形成期次之。無限生長型(indeterminate growth type)作物因各生長期有互疊的情形，故對缺水的反應較不敏感。

許多水果及蔬菜是以鮮重或果實大小在市場上出售。在水果及蔬菜生長過程的乾重停止後其鮮重仍持續增加，故此時缺水對果實的大小及鮮重的影響較大。

缺水亦能影響作物生殖生長和發育，而且影響產量的品質。缺水可以增加穀類作物子實中氮的含量；如抽穗前五週小麥給予缺水處理，可增加穀粒內氮含量。甘蔗在收穫前給予適當缺水，可以防止開花和增加莖內糖分含量。

水分利用效率(water use efficiency, WUE)常用來表示作物的需水量有各種不同單位表示，最常用的單位為使用1公升水分所能生產乾物質的重量。

## 7. 乾旱地區的耕作方法：

### (1)在乾旱地區採用下列栽培耕作方法：

(a)栽植耐旱作物：例如燕麥、小麥、稗子、甘蔗、三葉草等。

(b)深耕：

深耕的好處為：

a. 保持水分。

b. 乾性植物可擴展面積。

c. 深耕後，心土翻犁，。經同化，可增加表土利用厚度。

d. 深耕可使土壤疏鬆。

e. 秋冬之季地下土經日照，可慢慢氧化。

(c)淺中耕：

下雨後實行主要為破壞毛細管，減少水份蒸散。

(d)覆蓋稻草。

(e)鋪土。

(f)除草（以免消耗水份）。

(g)灌溉。

(h)執行旱農制度

## 8. 旱農制度之耕作法：

年平均雨量在500公釐以下者必須施行灌溉，作物始能獲得滿意的產量，在此地區栽培抗旱作物有較好的收穫。此種耕作的旱農制度，採用下列方式：

(1)種植耐旱作物：

栽培根系寬的作物，例如燕麥、小麥、三葉草及深根系的玉米、高粱等。

(2)苗床以疏播為主：

可節省水分，並配合水分供給能力。

(3)利用秋耕方法：

加強作物土壤風化，保持土壤水分。秋耕為作物收穫後，土壤進行翻耕手續，可促進風化作用進行。利用翻耕把土壤毛細管打斷，減少蒸發保持土壤水分。下雨、下霜後進行翻耕，可增加土壤顆粒與水的表面積，保持水分。