

大專用書

土壤水之理論與利用

陳振鐸編著

國立編譯館出版

土壤水之理論與利用

陳振鐸 編著

國立編譯館出版

中華民國六十九年八月一日台初版

土壤水之理論與利用

版權所有
翻印必究

定價：精裝新台幣壹佰陸拾元
平裝壹佰叁拾元

編著者：陳 振 鐸

出版者：國立編譯館

印行者：國立編譯館

館 址：台北市舟山路二四七號

電 話：三 二 一 六 一 七 一

序

土壤水爲人類社會生活中，尤其是農林建設中最重要的天然資源。就台灣而言，土壤水之最主要來源一雨水一雖屬豐沛，但除在各年的降雨量間有較大的差異外，一年中各月份間雨量分佈上，在南北兩地域間亦有很大的差別。因此，憑各地域的氣候、地形、土壤、作物種類等，在台灣各地域栽培不同的農作物時，依據土壤水之理論應須採取適宜的土壤水管理及利用法。加之，隨人口的增加，農工、商業的發達，各方面用水量都逐年增加，但農業用水量所佔的比率却逐年顯著減低，以致農業用水之缺乏愈趨嚴重。是故處此目前台灣的自然及社會環境中，藉認識土壤水之基本智識，以謀求土壤水或農業用水的合理管理、節約及提高用水效率極爲重要。

本書敘述土壤水的性能、保持、移動等理論及土壤水利用法、灌溉法、灌溉用水量、灌溉水品質、污染等計有十章，以期闡明土壤水的理論與利用法。

恩師，前加州大學土壤物理教授，G.B. Bodman博士曾於1956年夏間蒞臨台灣大學農學院，講授「土壤水分之物理基礎及應用」，並編有講義。承Bodman教授賜許編者以該講義爲藍本，編輯本書之第二、三、四、五章及第八章，至爲銘感。本書除介紹Bodman教授之研究業績外，並增編最近數年間先進學者之若干有關土壤水的研究及編者在台灣大學、農學院、農業化學系進行之若干研究試驗結果。

2 土壤水之理論與利用

本書可供爲大學農學院及農專的有關土壤物理、水利的課程之課本或參考書。本書編輯中難免有所遺漏，尙祈讀者惠予指正。

陳振鐸 謹識

民國六十七年十一月

土壤水之理論與利用

目 錄

第一章 土壤相系中之水·····	1
一、土壤之水相系·····	1
1. 土壤水在自然界中之循環·····	1
2. 土壤相系之構成物·····	1
3. 水相的容積·····	1
4. 合理利用土壤水之重要性·····	2
二、土壤相系的性狀與水的性狀·····	3
1. 外框的固相性狀對水性狀之影響·····	3
2. 固相的質地及構造對水相性狀之影響·····	3
3. 水相·····	6
(1) 水的性狀·····	6
(2) 水溶液的離子種類對水的性狀之影響·····	8
(3) 水中浮懸物質·····	9
三、固相與液相間界面·····	10
1. 土粒表面之水·····	10
2. 土粒與水膜間接觸角度與靜水壓力·····	10
四、土壤氣體·····	11
第二章 土壤保持之水分·····	15
一、水在土粒表面之吸着·····	15
二、土粒保持水分受溫度之影響·····	16

2 土壤水之理論與利用

三、土粒保持水分之性能	17
1.土粒表面的水蒸氣壓—水分含量	17
2.土粒表面的水蒸氣壓—水分含量間關係之測定	18
(1)測定裝置	18
(2)土壤性狀之影響	18
第三章 土壤水之勢能或位能	23
一、土壤水之自由勢能	23
1.理論依據	23
2.土壤水的自由勢能之探測	24
二、自由勢能與靜水壓	27
三、重力力場中之水蒸氣壓及靜水壓	29
四、毛細管水之位能	30
五、自由勢能或位能受滲透壓之影響	31
六、表示土壤水分勢能之若干名詞及說明	32
1.微管位能	32
2.自由勢能	32
3.水分張力	33
4.水分應力	33
第四章 土壤水的勢能、水分性狀及有效水分	35
一、自然界中土壤水之位能	35
二、土壤水的位能之測定	36
三、低的張力或位能與水分含量間關係	36
四、高的張力或位能與水分含量間關係	42
五、低張力至高張力間之水分含量	46

六、滯後現象·····	50
七、水分性狀曲線及其利用·····	51
八、土壤水分係數·····	52
1. 土壤水分係數之意義·····	52
2. 各種土壤水分係數值的測定·····	54
(1) 永久凋萎點·····	54
(2) 水分當量·····	56
(3) 田間容水量·····	58
(4) 正常水分容量·····	60
3. 凋萎點與田間容水量之理論依據·····	62
九、土壤水之利用性與勢能間關係·····	65
十、土壤的有效水分·····	65
1. 土壤有效水分之範圍·····	65
2. 土壤性狀與有效水分量間關係·····	68
3. 增加有效水分量之土壤管理法·····	69
第五章 有關土壤水流動之原理·····	75
一、土壤水流動之型式·····	75
1. 流線型流動·····	75
2. 洶湧型流動·····	75
二、土壤水的流動型式·····	76
三、土壤水流動中勢能的損失·····	77
四、靜水勢能或水頭·····	79
1. 靜水勢能或水頭之表示法·····	79
2. 平均靜水壓斜率·····	81

4 土壤水之理論與利用

五、土壤水的傳導度	82
1.水固有的傳導度與流量	82
2.Darcy公式	82
3.Poiseuille—Hagen公式	82
六、土壤水之流動方向及流量	83
1.張力計之構造及使用	83
2.土壤水流動方向之查定	85
七、滲入	86
1.滲入水量隨時間之變化	86
2.滲入水量與滲入速度之測定	88
八、水滲入土層後之水分分佈	91
1.水之移動層與濕潤層	91
2.田間容水量之理論依據	94
第六章 土壤中之水流動	97
一、土壤中飽和水之流動	97
1.有關傳導度之因子	97
2.土壤中大小孔隙之分佈	97
3.其他土壤性質	98
二、流動水與土粒間之交感作用	99
三、灌溉水質對水傳導度之影響	103
1.灌溉水質及灌溉期間	103
2.灌溉水之限制濃度	106
3.灌溉水質對土壤滲透性之影響	110
四、水田土壤之滲透度	113

1. 水田土壤之滲透度測定	113
(1) 田間試料滲透度之直接測定法	114
(2) Flannery 法之修正	115
2. 水田土壤滲透度與理化性質、生產力間關係	116
(1) 滲透度與生產力	116
(2) 滲透度與若干理化性質	120
五、滲透水	123
1. 植物營養料隨滲透水之流失	123
六、不飽和土壤中之水流動	128
1. 土壤水分張力與水傳導度	128
2. 不飽和土壤的水傳導度測定法	132
(1) Richard 法	132
(2) Gardher 法及 Miller-Elrick 法	134
第七章 擴散及其應用	145
一、擴散	145
1. 擴散係數	145
2. 土壤水之擴散	147
3. 由擴散誘致之土層中水分移動	148
(1) 恆率乾燥期間	148
(2) Krischer 的模型	149
(3) Krischer 的解釋	149
(4) 減率乾燥間內之水分移動	151
(5) 擴散係數及水分移動	151
二、應用擴散理論測定土層的水分傳導度	152

6 土壤水之理論與利用

1. Arya 法	153
(1) 理論	153
(2) 測定方法	154
2. Ehlers 法	157
第八章 灌溉用水量之查定	163
一、灌溉用水量查定法	163
1. 有效水分之範圍內利用效率為均等之學說	163
2. 依據利用效率均等學說之灌溉用水量	163
3. 依據利用效率不均等學說之灌溉用水量	170
二、依據氣象資料探測灌溉用水量	173
1. 理論及試驗	173
2. Penman 與 Schofield 學說	177
3. 蒸發、蒸散量之計算	180
4. 輻射能與蒸發率間關係	183
6. Blaney、Criddle 之灌溉用水量查定法	185
三、本省之灌溉用水量試驗	188
1. 試驗方法	188
2. 勢能均衡公式及其利用	188
3. 土面葉面蒸發量	189
(1) 土面葉面蒸發量與排水量	189
4. 土壤性狀	192
四、台灣若干地區之作物需水量	198
第九章 土壤水分含量之測定	209
一、重量法	209

1. 土壤試料之用量	209
2. 乾燥時間	211
3. 水分含量之表示法	211
(1) 容量單位	211
(2) 重量單位	211
(3) 容量單位表示法	211
(4) 重量單位表示法	211
4. 混合液體燃燒法	212
二、間接法	212
1. 電傳導度或電容量之測定	212
(1) 利用孔質石膏或纖維物質	213
(2) 電阻—水分含量標準曲線	213
2. 張力計	216
3. 中子緩和法	217
4. γ 射線或中子減弱法	218
第十章 灌溉用水之品質	221
一、灌溉用水之重要性	221
二、灌溉用水品質之評定	221
1. 有關灌溉用水品質之因素	222
(1) 電導度	223
(2) 鈉對其他陽離子之相對比率	223
(3) 硼及其他有毒離子	227
(4) 有關灌溉水品質之其他化學成分	228
三、灌溉用水品質之等級	229

8	土壤水之理論與利用	
1.	灌溉用水品質分級圖及說明	229
2.	灌溉用水品質之等級及說明	230
四、	台灣灌溉用水之品質	231
1.	總鹽分	231
2.	鈉吸收率	232
3.	灌溉水中陽離子及陰離子含量	232
4.	台灣各山脈系之河流、溪水的品質	232
五、	灌溉用水品質之污染	234
索 引		237

第一章 土壤相系中之水

一、土壤之水相系

1. 土壤水在自然界中之循環

土壤除供給地球上生物保持生命上所需的水分及營養料外，尚供應生物的生活環境，俾使生存繁殖。土壤水分來自雨、雪、霜、露及冰雹等。就中一部分被植物及動物利用，另一部分則歸還於大氣中，而剩餘部分則流入土壤剖面中被土壤物質吸收而保持，或由湧泉或經地下水排出流入溪川而達於河海。

2. 土壤相系之構成物

土壤相系中有固體相、液相及氣相。此外可包括生物體（動物及植物）。固體相中有無機及有機物質。無機固體相中包括原生及次生礦物，而其中並混合以各種活的或死亡的有機體。液相部分則由水及水中溶解的各種無機及有機物質等而組成。溶解物質的種類與濃度則視其在土壤孔隙（包括其中氣相與液相部分）中所在的部位而稍有不同。氣相部分的組成分係與大氣略同，但在水蒸氣、氮氣、二氧化碳及有機蒸發性物質等含量比率上頗有差異。

3. 水相的容積

土壤容積中固相容積約佔一半，另一半為容納氣體與液體部分，即為孔隙。雨水降落土壤中後、經土壤吸收而保持於孔隙中，另一部分則經由植物根部吸收而從葉莖部蒸發於大氣中，或由地面直接蒸發至大氣中。據示多數土壤在深度100cm土層中可保持約 25cm 深的水量，植物則可利用約其一半之水分。在若干地域，土壤在相當長久期間內

2 土壤水之理論與利用

可貯存來自雨水或灌溉水之80—90%水量，如是可保持相當的水量以供為作物長期發育之用。例如某土壤中倘貯存水量 $0.1-0.4\text{cm}^3/\text{cm}^3$ （或100cm土層中10—40cm深的水量），取其平均值30cm深的水量以計算每公頃農地中水量，則該水量是相當於 3000m^3 （320,000gal, acre^{-1} ）。由此可知土壤貯藏水分之容量是相當的大。

4. 合理利用土壤水之重要性

據查在無灌溉地區經由地面及葉面所蒸發損失的水量，雖視氣候、季節、作物種類與栽培方法等而有不同，但每日大約為0.1—1.0cm左右。通常一期作玉米的吸收水量為30cm水深，可生產6,000—8,000kg/Hec乾物量。但在灌溉地區，以同樣方法栽培玉米，則玉米吸收35—50cm深的水量，可生產8,000—12,000kg/Hec乾物量。將此生產玉米需要之水量與每人、每日消耗的水量，即189kg（50 gal）相比較，則可知以每人、每日消耗的水量（期間為玉米的生長期）可供應45—74 m^3 （0.0045—0.0074hec）栽培面積中玉米之需要，並可生產27—54kg乾物量。此即示藉人類社會的用水的妥善管理，可移用其節餘水量於農業生產上，以增加糧食。此外，目前在世界各處，常因水的浪費與廢水處理的不妥，或在土壤中添加若干污染物質，如農藥、工場廢棄物等而誘致土壤污染及缺少純水的供應。雖然土壤為地球上水分循環中之重要淨化因子，可以消除滲透水中之污染物質，但倘不採取適當處理辦法，則可嚴重影響及人類生活及動植物之生育。

綜之，為維持人類社會進步與農業生產，了解有關土壤與水相系的基礎觀念，以期土壤水分之合理利用，是為至要。

二、土壤相系的性狀與水的性狀

1. 外框的固相性狀對水性狀之影響

土壤相系之固體部分，係由大小及形狀不同的礦物粒子作不同排列並以少量有機物混合其中而構成者。礦物粒子的大小大約在 mm^3 至 μ^3 之間。其大小、形狀及排列皆能影響及孔隙的大小、形狀與分佈，隨而影響及水在孔隙中容量及分佈。同時土壤中水分量的消長及水分運動會產生固體粒子的膨脹、收縮及粒子位置的移動等。加之，水的凍結、冰的融解、根部壓力的變化等亦可改變孔隙的排列，因而影響及水分容量與運動。

當兩個土壤的孔隙排列 (Geometry) 相同，而孔隙壁膜也由相同礦物所形成，則此兩個土壤將表現相同的靜水性狀 (Hydraulic properties)。但當兩土壤皮膜的表面電荷密度 (Surface charge density) 及吸附離子種類不同時，則在水分運動上將不免發生變化。其他，土壤外框一架子 (Frame) 的物質種類、性狀及周圍環境，如吸附的離子種類、含量等均對水分容量與運動發生作用。

2. 固相的質地及構造對水相性狀之影響

固相性狀中質地、構造及有機物含量等與土壤水分間有密切關係。唯質地與構造兩者對土壤水之關係較為密切，故就兩者與土壤水間關係須加以討究。

土壤質地係土壤中大小土粒的含量比率，即視砂粒、粉粒及粘粒等含量比率而定。質地之檢定中通常多採用機械分析及三角形圖法。三角形圖法雖為方便，但不免有缺點，如(1)忽視各級土粒，由細小至粗大者間之連續性。即同一級粒子（如砂粒）中，包括有大小不同的

4 土壤水之理論與利用

粒子。如粗砂、細砂、極細砂等。但在三角形法中係將此大小級砂粒，歸屬爲一類砂粒。(2)兩土壤之砂、粉粒、粘粒等含量百分率若相同，歸屬於同一質地的土壤。但若兩土壤之砂、粉粒、粘粒等在各級粒級中大小粒子的分佈爲不同，則雖屬於同一質地的土壤，但因兩土壤的各粒級中大小粒子的分佈不同，故在物理性狀上應屬於不同類的土壤。這是應加以區別的。爲補救如上使用三角形法在理論及實用上之缺點，土壤學者乃採用綜合曲線法 (Summation curve)，以曲線直接表示某土壤中大小粒子的分佈。其一例示於圖1—1中。惟此曲線之是否能符合需要，須視分級大小粒子的粗細或分級次數的多少之影響

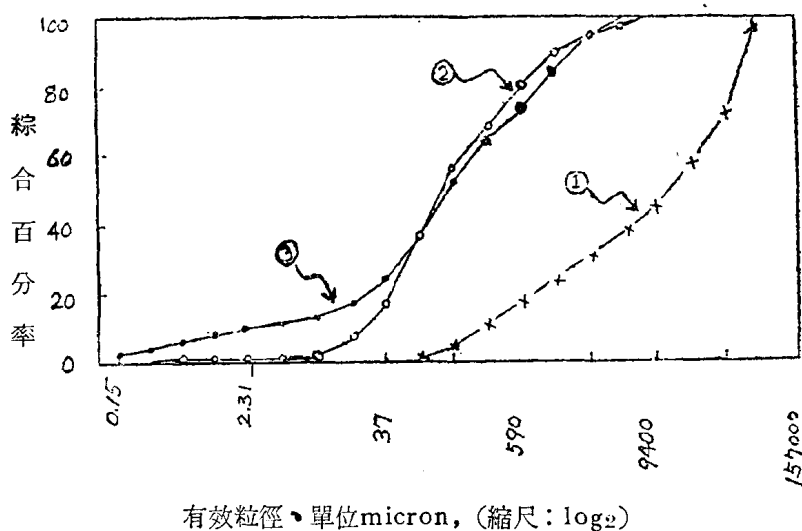


圖 1—1 綜合曲線 (綜合百分率對有效粒徑之關係曲線)

曲線①：搖動 2 分鐘後，在乾燥狀態下，行團粒分析

曲線②：搖動 2 分鐘後在溫濕狀態下，行團粒分析

曲線③：經 Sodium hexametaphosphate 分散後之機械分析