

旱作灌溉資料

經本會第九屆第二次理監事聯席會議議決，有關旱作灌溉須繼續研究並搜集資料，以供會員參考。旱作灌溉在臺灣近年來正在提倡，本學報擬搜集國外資料，分期刊載，希望對本項有興趣會友賜稿以供其他會員參考。本期第一項「戰後日本旱地灌溉發展史」及第二項「旱作用水法之合理化研究」係由本會會員張玉鑽先生節譯日本畑地農業研究會松原久明事務局局長贈送之資料，第三項「旱作灌溉法」為學術組資料室節譯 Raon W. Israelsen: Irrigation principles and practices P. 115~150 特表謝忱。 編者謹誌

一、戰後日本旱地灌溉之發展

日本畑地農業研究會著 張 玉 鑽 節譯

△1945年，緊急開拓事業計劃中，包括旱地灌溉。

△1946年，1. 成立開拓研究所，其中旱地灌溉列為甚重要之研究項目。2. 農地開發營團（公司）在千葉縣津田沼設置旱地灌溉試驗地。

△1947年，在茨城縣石岡設置旱地灌溉試驗地。

△1948年，1. 農林省關東東山農試場開始舉辦旱地灌溉之研究。2. 着手施工神奈川縣相模原地區之旱地灌溉事業。

△1949年，1. 在神奈川縣相模原設置3個地方之旱地灌溉試驗地。2. 在石川縣農試場開始舉辦旱地灌溉試驗。

△1950年，1. 推想旱地灌溉能發展旱作為唯一之糧食增產途徑起見，在土地改良10年計劃中，預定實施60萬公頃之旱地灌溉。2. 在靜岡縣北濱村開始舉辦旱地灌溉試驗。

△1951年，1. 在北海道農試場開始舉辦小麥之旱地灌溉試驗。2. 開辦農林省木曾川產業水利調查事務所。

△1952年，1. 在農林省之應用研究費用中支出旱地灌溉研究費為255萬日圓，分別在三重大學，宇都宮大學及神奈川、長野、石川、愛知、岡山、鹿兒島之各農試場實施旱地灌溉之研究。2. 在西ヶ原召開第一次旱地灌溉研究會，其結果結束過去之零碎分散研究，而統一在有系統有連繫體制下實施旱地灌溉之研究。3. 設置營農（農業經營）試驗地，（旱地灌溉關係

34個地方。4. 國營及地方政府經營之土地改良事業合併後，大規模推行旱地灌溉事業。5. 設立愛知用水之土地改良區。6. 世界銀行第一次調查團到達日本，就愛知用水事業開發向世界銀行貸款事開始接洽。

△1953年，1. 召開第一次旱地農業改良促進對策會議。2. 由應用研究費下進行旱地灌溉之農業經營方面之研究。3. 為制定旱地農業改良促進法及海岸砂地地帶農業振興臨時措置法，隨之小規模（團體經營）之旱地灌溉事業受到國家之補助對象。4. 開始調查旱地地帶之地下水（本年度21個地區）。5. 土地改良事業非補助區內擴大進行旱地灌溉事業。

△1954年，1. 土地改良地區設置試驗區，全國7個地方，其中旱地灌溉為一個地方。2. 設置土地改良跡地之營農改善試驗地。3. 在應用研究費中追加北海道以外之三個農試場進行旱地灌溉之研究。

△1955年，1. 在應用研究費中開始做噴晒灌溉之研究（宇都宮、三重、鳥取之各大學及群馬縣農試場）。2. 在愛知用水地區（旱地灌溉面積約11,000公頃）開始着手多目的事業，施行方法採用公團（公司）方式。3. 開拓地之旱地灌溉事業得到預算化（補助率2/3）。4. 設置土地改良地區增產對策協議會（旱地灌溉地區也包括在內）。

△1956年，1. 為防止凍霜害而開始進行噴晒灌溉試驗（農業技術研究及應用研究）。2. 在應用研究費中開始研究旱作改善方針。3. 以新農山漁村振興特別助成事業下，實施旱地灌溉事業。4. 為便利推行旱地灌

溉之研究及示範起見，在愛知縣大府町設置旱地灌溉實驗農場。

△1957年，1. 在愛知縣東鄉村設置農林省東海近畿農試場東鄉試驗地，以後改稱為栽培第2部（第2種藝系），是旱地灌溉之研究中心。2. 在地區農試場設置技術連絡室。3. 在技術會議（農林省下）內設置有關旱地土壤生產力之研究協議會，以供充實及擴大旱作研究方針之用。4. 愛知用水公團以應用研究費下實施傾斜地之噴晒灌溉試驗。5. 就噴晒灌溉防止凍霜害之試驗，開始在福島及長野農試場進行之。6. 提倡旱作振興。

△1958年，1. 為充實旱作試驗研究起見，在農林省北海道、關東、九州之各農試場設置旱作部（系）。2. 愛知用水公團在其地區內設置5個地方之實驗農場。3. 積極的實施旱地地帶之深層地下水調查。

△1959年，1. 團體營之旱地灌溉事業之限度標準放寬。2. 水田與旱地輪換下，強調旱地灌溉之末端耕地整理計劃（包括集中化計劃）之必要性，因此在一部份地區中，國家與地方合營下先做推行之示範計劃。

△1960年，1. 為針對農民之旱地灌溉技術指導之目的起見，在主要旱地灌溉事業地區內設置旱地灌溉之營農指導施設。2. 團體經營之旱地灌溉事業補助對象內，也認定果樹園在內（補助率1/3以內）。3. 東海近畿農試場栽培第2部移轉到武豐。

△1961年，1. 愛知用水事業之完成。2. 愛知縣豐川用水事業地區轉移在公團營地區。

（資料來源：畑地農業研究會（1962）畑地かんがいを中心とした戦後農業史年表，畑地かんがい50：24-27）

二、旱作用水法之合理化研究*

第1部土壤有效水分之研究

第1章 蒸散、同化、運動及生長關係與有效水分特性之探討**

畑作用水法の合理化に關する研究 第1部土壤の有効水分に關する研究 第1章蒸散、同化、運動及生長の消長關係から見た有効水分の特殊吟味

玉井虎太郎

（愛媛大學紀要第六部農學 2（2）：159-170**，1956）

利用7種作物及砂土至粘土之10種土壤，隨土壤水分減少時研究其作物蒸散、同化、運動及生長之四種生理作用之結果證實，該四種生理作用對於土壤水分狀態均各有適宜水分之存在，其中生長作用最為敏感，於有效水分中間時即停止作用，就生長停止時之殘留水分言之，是在水分當量之74%，即相當於有效水分為45%處，並指出該處為生長停止點。蒸散作用範圍較大，運動及同化居在兩者之中間，換言之有效水分之多寡能左右該四處生理作用之增減效能，也就是說有效水分效果是不均一的。

第2章 土壤水分保留力之關係與有效水分特性之探討

第2章 土壤水分保留力の消長關係から見た有効水分之特性吟味

（同上 pp. 171-178）

利用4種土壤及 Soil Point 試驗 有效水分在土

壤內之移動困難情形之結果證實，土壤含水量與水分保留力成為反比例之增減關係，而保留力增加顯著點之土壤水分即在水分當量附近，在水分當量與凋萎係數中間時其曲線急上昇，並指出該點為土壤水分移動困難急增點，凋萎係數時之水分移動困難程度，達到水分當量時之數百倍之多，因此土壤有效水分之整個範圍對於作物效果是不均等的。

第3章 煙草之生長與畦內有效水分分佈及生長停止途徑之探討。

第3章 斷水畑に於ける煙草の生長と畦内有效水分の分布並に生長停止機構に就いて

（同上 pp. 179-186）

在砂土田間種植煙草試驗之結果證實，煙草在田間中灌溉後17天就發見完全停止生長，此時以畦內之有效水分之垂直分佈言，根系分佈最多之畦內上層部位之土壤含水量中，尚餘留有土壤有效水分之後半部，而下層土中則尚留有極多之有效水分。又看其煙草生長停止之直接原因並不是有效水分之減少本身之問題，而為隨土壤水分減少所引起之關係與生長成為相對情形之土壤水分保留力之急增（又稱水分供給力之急減）所致，其急增點即發生在凋萎係數與水分當量之中間，因此隨之打破作物之水分移動平衡，而缺少體內水分，終於停止生長，並指出有效水分後半部為難動有效水分。而前半部稱為易動有效水分，是與作物生長直接有關係之水分標準。

*本研究全部內容自該期第 159 頁至第 333 頁止，即達 177 頁之多，內容包括 5 部分為 23 章，有關本文概要介紹，譯者曾節譯刊載在水利通訊 8 (7) : 23-24。(科學畫報轉載於 2 (5) : 725-726 中，(譯者附註)。

旱地保留水分之消耗途徑研究第一報

畑地保留水之消費機構 (I)

椎名乾治、竹中肇

(農業土木研究別冊 2 : 49-55, 1961)

利用 Floating Lysimeter，照田間情形裝入平塚砂壤土，於 1959 年種植陸稻研究之結果證明，作物生長有效水分範圍，自灌水後 24-48 小時至 PF 3.2 附近之水分量，而根毛佔有 50 % 之土層中水分量，若降低到 PF 3.2 附近時，就會阻礙作物之正常生育。又下層之含水比率較大土壤而種植有淺根作物環境下，根系層為主之消耗層以下數 10 公分中尚存在有補給層，而該層常向消耗層發生水分之移動，其移動量即補給量，以夜間言，達全消耗水量之 30 % 左右。

旱地保留水分之消耗途徑研究第二報

畑地保留水之消費機構 (II)

椎名乾治、竹中肇

(農業土木研究別冊 4 : 24-30, 1962)

續第一報仍利用 Floating Lysimeter，照田間情形裝入平塚砂壤土，於 1960 年種植陸稻研究結果，

第一試驗證明，作物之蒸發散量自田間含水量起到某一種水分分佈止，不會減少，其水分分佈限界於根系層之上半部為 PF 3.0-3.3，下半部約為 PF 2.7 之水分量。而第二試驗也證明，土壤水分在 PF 3.3 附近時已經完全失去供給能力，而下層土壤尚有充分水分時，該水分經證實能供作物之利用，且該下層土壤水分在 PF 2.7 附近以前時，不會阻礙作物之正常生育。又土壤水分在田間含水量以下狀態時，在根系層以下之下層(補給層)水分甚明顯向上層(消耗層)發生水分移動，而其移動限界點相當於 PF 2.7 之水分量。

旱地用水量合理化之研究

第一報 土壤有效水分下限點之探討

畑地用水量決定之合理化に關する研究 (I)

有效土壤水分の下限界について

富士岡義一、西出勤

(農業土木研究別冊 5 : 10-16, 1963)

用砂土、砂壤土、壤土、粘壤土及粘土之五種不同土壤質地下，就植鉢中於 1958、1959、1960 年種植陸稻試驗之結果證實，以陸稻之正常生育最低土壤水分，正常生產限界點及單位收量之灌溉水有效利用言，無論何種土壤質地均在水分當量，若其土壤水分低於水分當量或接近凋萎係數附近時，作物之生育受抑制，收量急降之，因此灌溉開始點之土壤水分，應採取水分當量最為適當

三、旱作灌溉方法

旱作灌溉法分漫灌法 (Flooding)、畦灌法 (Furrow)、地下灌溉法 (Sub-irrigation) 與噴洒灌溉法 (Sprinkling) 等四種，茲分述如下：

1. 漫灌法：

(1) 田間溝渠之普通漫灌法：流經田間溝渠之水流未用堤岸導引或限制其流動者稱為普通漫灌法，適用於田區平坦及灌溉用水豐沛而甚低廉之處。此法常于施行灌溉水漫溢地面時可滲入土壤表層數尺之深度。如漫溢水流流速過大，則滲入土壤之水量不足，反之如水流停留過久，則水可滲入深層底土而浪費水量。故如何平衡水量之施灌使能達到較高之效率實為一重要而困難之問題，至於所用水量之多寡，流經地面之水深以及滲入土壤中之水流下滲率，均足影響施灌之平衡。故應用此法灌溉時，用水量及灌溉者之注意力與技巧雖全力以赴亦甚難達到高效率。水流經渠道

流至田間後，分流於 15~45 公尺之小溝中，水溝之間距視灌地之坡度、土壤組織與深度、水量之多寡及作物之性質而定。

(2) 田埂漫灌法：將田間以低堤或土埂分成若干長條，其寬度不超過 10 至 20 公尺，長度不超過 100 至 400 公尺者稱為田埂法，水流自給水溝流入徐徐流向較低一端，沿路濕潤土壤。田埂間之地面必須水平，俾使進行之水面可覆蓋條形之全寬，但田埂縱向地面坡度須按土地之天然坡度而定，其坡度最好為 $\frac{1}{500}$ 至 $\frac{1}{250}$ ，惟低至 $\frac{1}{1000}$ 高至 $\frac{1}{15}$ 之坡度在不得已時使用之。在較大坡度時應特別注意土壤冲刷問題。流入單一土埂之流量自 $0.014 \sim 0.28 \text{ m}^3/\text{sec}$ 視土壤種類、土埂尺寸及作物性質而定。此法適用於組織差異甚大之土壤。在堅實壟埂覆蓋於相當不透水之底土上，可作較長之條形土埂，而疏鬆土壤則反之。

(3)分區漫灌法：此法係將相當大之流量流入應用田埂圍繞較平坦之地區，對於具有滲透性極高之土壤甚為適合，惟此種土壤必須迅速施灌，以免在給水溝附近經由深層滲漏而發生過量損失。此法亦適用於黏質土壤，因由於水流滲透緩慢，在溢流水層經地面時未能使土壤充分浸潤，故必需用水灌注停留地面使其充分滲入土中。分區漫灌法有時係沿等高線造堤，其垂直間距為6至12公分，並於適當地點以橫堤連接之。應用此法灌溉具有大量灌溉水可以利用之處及灌溉計劃係直接利用水流變化甚大之水源者較為適宜。在坡度極為平緩之土地，每區面積可達1公頃餘，一般言之，面積0.2~0.8公頃較適。

(4)水盤漫灌法：此法原屬分區法，適用於菓園灌溉，亦有每樹作一水盤者，惟在良好土壤與地面適宜坡度之處，每盤可種植2~5株或以上之菓樹。自給水渠輸水至水盤係流經水盤至另一水盤，或建造水溝使水可直接從小水溝至每一水盤。

2. 畦灌法：以上所述之灌溉方法，皆將地面全部浸潤，此法僅需濕潤地面一部份（自 $\frac{1}{2}$ 至 $\frac{1}{5}$ ），可減少蒸發損失及黏質土壤之形成泥黏，且在灌溉後即可耕種。近年來所有行排旱作幾均用此法，甘蔗、甘藷等作物均係應用所謂波形小畦間灌溉，通常適於灌溉可用水量甚少及地形成一均勻坡度之處，但不適於陡坡。

畦溝長度以採用90至150公尺者較為普遍，然短至30公尺長至800公尺亦可使用，惟須視坡度與土壤種類而定，不使冲刷及滲漏過度為原則。坡度以 $\frac{1}{100}$ ~ $\frac{1}{100}$ 較為適合，亦有大於 $\frac{6}{100}$ 之坡度者。

畦溝之間距與深度亦有規定，普通間距可為1~2公尺，具有極優良之毛管作用與不透水底土之土壤，果園畦溝間距可達3~4公尺。畦溝深度自20~30公分為適，如淺根作物以8~12公分為佳，灌溉時水量使其不觸及作物。

3. 地下灌溉法：少數地區天然土壤及地形條件適於地面下直接施水於土壤，此種設施稱為地下灌溉。凡不透水之底土深度在2公尺以上而具有高度透水性之礫母或砂質礫母表土與均勻地形及平緩坡度者均可適用地下灌溉，惟在此種情形，應作特殊之用水控制，以免鹼之積聚及過度阻水（excess water logging）之現象。如於較小面積上生產高價作物，應將供水管系安設於地面下，利用不同種類之水管或其他管路在地面下施行灌溉稱為人工地下灌溉。良好土壤可使水向旁側自由流動及使根帶土壤產生較迅速

之毛管運動以及在底土處向下流動極為緩慢等現象皆為地下灌溉成功之主要條件。應用此法灌溉所需費用常極高昂。

4. 噴洒灌溉：此種灌溉系統應用於潤濕區域作為補助灌溉，大多均為高架鑽孔水管之安設與固定高架系統附有轉動噴洒器，裝置費用甚大。此法可應用於各種土壤及地形坡度變化甚劇栽植密植作物土地。噴灌法尤適於滲透率較高之土壤及淺薄土層受地形限制未能整平及應用地面灌溉法暨坡度過陡易冲刷土壤地區。其型式分鑽孔水管，附于水管之固定噴嘴，轉頭噴洒器及定頭噴洒器四種。噴灌系統所需用之壓力範圍較大約自5至10磅平方吋或以上，應視動力成本，噴灌面積及噴灌系統所用之噴洒器型式暨噴洒灌溉之作物而定，低壓自5至20磅平方吋，中壓自51至100磅平方吋，壓力在100磅平方吋以上時稱為水力（hydraulic）噴洒。適用於低壓範圍之噴洒器，其噴灌面積甚小，惟如按照規定之噴洒間距裝設，噴灌率較高，通常多應用於施灌時而土壤滲透率在每小時12mm以上者。中壓力可噴較大面積，噴灌之範圍較大，高壓者更大。

噴洒灌溉系統成功之主要因素第一為正確之設計，其次為設計系統之有效運用。設計農田灌溉系統所需之基本資料，即土壤、供給水源、灌溉作物及氣候四項。有關土壤資料包括土壤種類、深度、組織、滲透性及根層地帶可用蓄水量。至于所需之供水來源對於分水點與田間之位置，水量及輸配程序均有關係。每日最大耗用水量，根層地帶深度與灌溉系統所應考慮之灌溉特性，均可從種植作物所需條件之有關資料求得。氣象包括天然降水量、風速風向。所有此項有關資料在開始設計前，均應彙編成一種或多種表式。噴灌系統實施條件包括：(1)在運用噴灌系統時，應設計使施灌率不至在施灌區域上發生逕流。(2)施灌時應使施灌率可得較高效率。所需最小噴灌率，係根據葉面蒸散與植物截留量決定之，噴灌率各地不同。(3)設計面積任一部份所施灌水深之差異不宜大於10%，此項差異可藉保持噴灌系統內之壓力使其均在20%內以控制之。(4)噴洒型式約為圓錐型，最大施灌量係在噴洒器之附近，逐漸減小至施灌面積之邊緣。如噴洒器間距不大於施灌直徑之百分之55至60時，則可獲得相當均勻之施灌。

噴洒灌溉之頻度一般認為在根系土層中的水分減少到有效水分量的 $\frac{1}{2}$ ~ $\frac{3}{4}$ 時，即應開始灌溉。例如設有一作物其每日最大需水量為7.6公厘，其根系假定

在土層中深為 1 公尺，以普通情形，砂壤土每公尺的有效水分約有 4 至 6 公分，平均設 5 公分，則一次應施灌水分為 $5 \times \frac{1}{2} = 2.5$ 公分，或 $5 \times \frac{3}{4} = 3.7$ 公分，故一次灌水所能供給作物吸收耗用的時間為 $25 \div 7.6 = 3.3$ 或 $37 \div 7.6 = 5$ 天，即每隔 3~5 天應灌溉一次。由上例可知，要想求得合理的灌溉頻度，對土壤之有效水分容量與作物需水量及根系深度必須先調查清楚。每次所灌

水量實際被作物吸收者僅能算為 70%，故實際 3~5 天應灌水量為 $25 \div 0.7 = 36$ 公厘或 $37 \div 0.7 = 53$ 公厘，此外尚要加一部安全的餘裕水量作為實際的設計容量。

目前臺灣使用之噴灑灌溉設備有穿孔管式與旋轉式二種，前者臺灣機械公司已有製造，噴徑為 8~12 公尺，所需水壓力為每方吋 2~20 磅，每小時灌水量為 18~20 公厘。

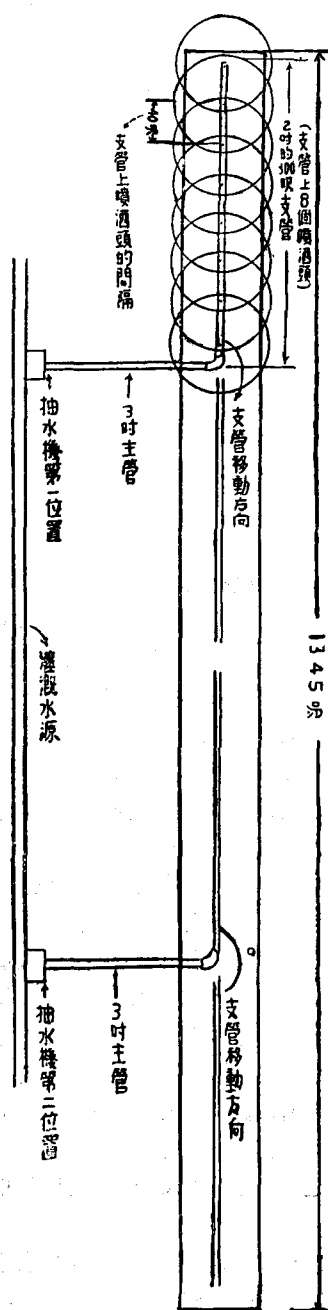


圖 1.：帶狀地形田間佈置圖

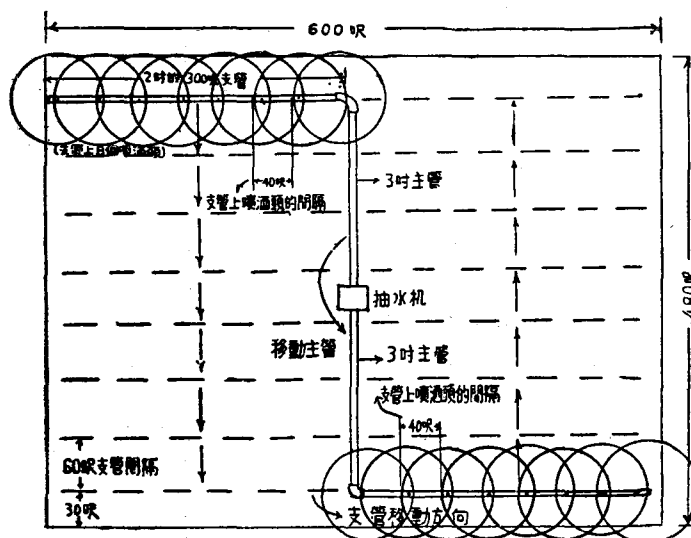


圖 2.：農田為正方形或長方形而水源在農地中央田間佈置圖

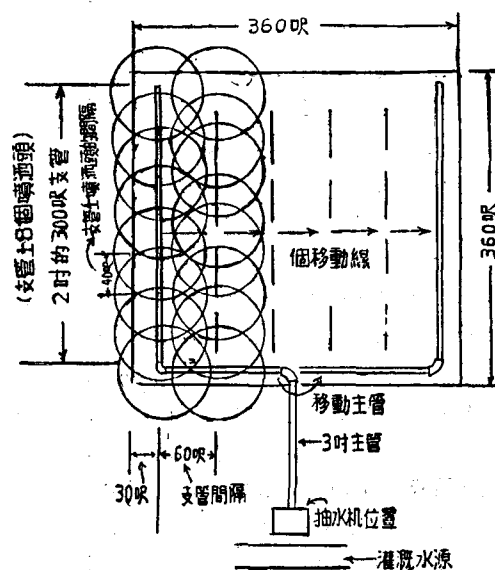


圖 3.：農田為正方形而水源在田區一隅田間佈置圖