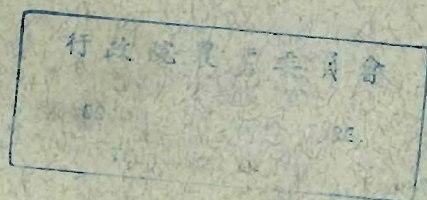


旱地作物灌溉講義

從水分生理研討旱地的合理灌溉法

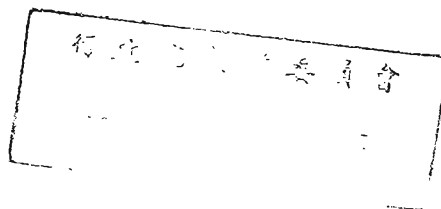
農學博士 玉井虎太郎



中國農村復興聯合委員會編印

中華民國五十三年一月

本講習會承中興大學慨諾借供場地，並荷植物學系主任易希道教授惠助，及同系植物水分生理研究室陳清義副教授、許志超副教授、陳雪貞助教、林惠婉助理等七人，及臺灣省農業試驗所吳振能先生不分晝夜，全力協助辦理講稿翻譯、課程安排、會場佈置等一切會務，得以順利開班，特此敬致謝忱



01425
~~00656~~

目 次

前 言

1. 多雨的臺灣及日本何以仍需旱地灌溉？	(2)
2. 旱地灌溉之效果	(6)
3. 增加旱地灌溉效果應注意事項	(19)
4. 土壤有效水之性質與每次灌溉水量之求法	(22)
5. 旱地需水量計算法	(29)
6. 旱地灌溉時期與作物水分消耗過程及其臨界期	(35)
7. 果樹之水分消耗特性	(51)
8. 果樹需水最大部份	(54)
9. 灌溉時期之決定法	(55)
10. 灌溉方式之選擇	(60)
11. 引用參考文獻	(62)

從水分生理研討旱地的合理灌溉法

愛媛大學農學部教授

農學博士

玉井虎太郎

前 言

筆者曾在九州大學任教十年，以後又在臺灣任教十二年，將其間研究成果整理成文，題目是：

如作用水法の合理化に關する研究（旱地作物合理用水法之研究）——

愛媛大學紀要，農學 2 卷 2 號（1~177）1956。

民國 39 年回日本後，繼續在大學任教。雖任職機關的名稱由松山農科大學改為愛媛大學農學部，但始終在同一研究室從事研究工作。至今已滿 13 年。在此期間，依上述研究成績，繼續研究旱地灌溉之應用。又參加日本農林省主辦之旱地灌溉的研究工作數年，並以旱地作物之水分消耗特性為主要研究對象。

此次應中國農村復興聯合委員會之邀請，經日本政府遣派來臺，曾費將近一個月的時間，除從水分生理之立場觀察臺灣農村之耕種情況外，並訪問各農業研究機關，請教各專家有關灌溉實情與意見獲益良多。

本講習會，除介紹日本及其他國家最近關於旱地灌溉研究成果外，並擬將筆者前發表論文，回日本後之研究成績及此次考察心得，綜合整理成篇，予以報告。惟淺才如筆者，又因旅途缺少參考資料，在時間匆迫中從事編寫，難免掛一漏萬，雖不甚滿意，仍願將此發表，以供同道者之參考。

筆者原欲於完稿後，將此送請同道專家金城教授與鄭仲孚博士賜閱更正。然此兩位專家甫為國遭難別世，致使此願永遠無法達成，深感遺憾。謹祝福臺灣旱地灌溉最優指導者金、鄭兩氏在天之靈，並覺吾人更應繼兩位之宿志，勉力於臺灣旱地灌溉之研究工作。

本研究承蒙中國農村復興聯合委員會及省立中興大學校本部給予甚大援助，謹致表謝忱。筆者來臺蒙日本外務省、農林省、文部省及海外技術協力事業團亦予甚大幫助，又本文譯成中文時，復承中興大學副教授陳清義氏之甚大協助，併表謝意。

1、多雨的臺灣及日本何以仍需旱地灌溉？

臺灣與日本，一年中雨量均甚多，臺灣約在 1700mm 以上，日本在 1200mm 以上的地區亦極多，兩者均屬於濕潤地帶。可認為多雨地域（第 1 表）。

在美國，對於旱地（田間）需要灌溉的規定雨量為年雨量在 381mm 以下的區域，而雨量在 381~762mm 範圍內的地區，雖略需對旱地灌溉，但年雨量在 762mm 以上地區仍無需灌溉。若參照美國的標準，臺灣及日本之年雨量均在不需灌溉之範圍內。然在臺灣及日本之許多旱地，何以旱害常成為嚴重問題？

第 1 表 世界不同降雨地帶之分佈情形（比率）（Smith）

區 域	年降雨量 (mm)	對陸地之比率 (%)
乾 燥 地 帶	< 253	25
半 乾 燥 地 帶	253~506	30
半 濕 地 帶	506~1,120	20
濕 潤 地 帶	> 1,120	25

茲舉其主要原因於下：

- (1) 年雨量雖極豐富，但分佈極不平均，因雨量多集中於夏季（第 2 圖），故有效雨量極少。
- (2) 耕地平坦，大部分作為水田利用，旱地多分布於坡地，尤其果樹園，如第 2 表所示，多屬於坡地。此種立地條件更使有效雨量之比率減少。
- (3) 土壤因多年管理不善，致使表土流失，耕土因之淺薄，此種區域極多。
- (4) 水分保持力較大地區，大部分概作水田利用，剩餘地區其水分保持力概較少。
- (5) 果樹等多年生作物，在集中豪雨情形下，因地下水位急劇上升後，在短時間內水位不能迅速下降，致使阻礙深根之形成。

以上所述可能均為雨水利用率降低之原因。

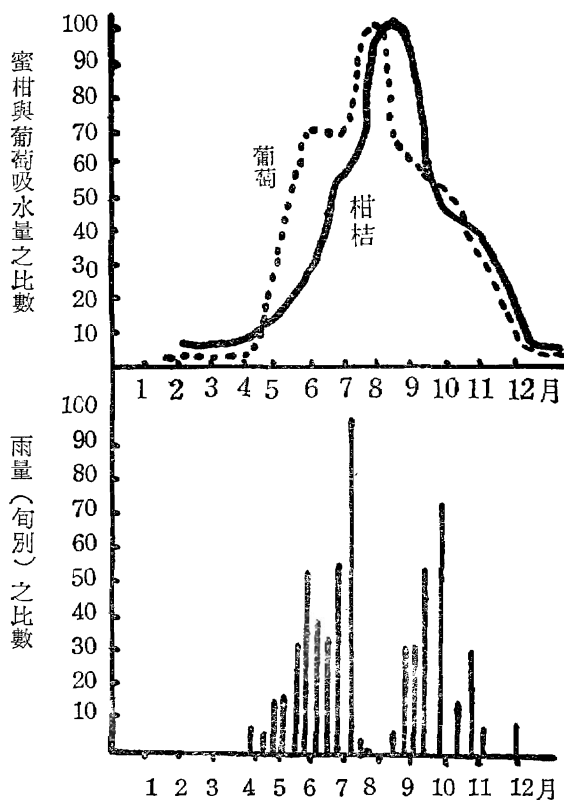
- (6) 上面所舉者可能為臺灣及日本的共同原因，惟作物之需水期與降雨期之關係，臺灣可能與日本之

第 2 表 果樹園之立地條件調查（日本、愛媛縣）

	平 坦 地	坡 地	急 坡 地 (15° 以上)	計
面 積	1429 ha	2987 ha	8047 ha	12.459 ha
全 比	11.4	24.0	64.6	100%

情況迥異。在日本，雨水大部分於六月之梅雨期與九月之異凡期下降，故 7~8 月間發生旱魃可能性極多。此時期巧恰為夏季旱作與果樹需水最多時期（第6圖）。此即夏季需要灌水的的原因。

在臺灣夏季為多雨季，故除地下水位較低的坡地外，夏季田間作物需水最多時期遭遇旱魃期之可能性極少（第 3、5、6 圖）。惟中南部，秋季至春季之乾燥期，為時極長（第 5 圖），在此乾燥期中，秋植與春植雜糧作物栽培面積極大，且此等雜糧作物最大需水時期亦為秋至春之乾燥期，故水分之缺少，可能對在此時期栽植之雜糧作物的生產量有甚大之影響。此種現象如第 4、5、6 圖所示將秋植及春植雜糧作物對於水分之消耗情形畫成曲線即可了解。秋至春為臺灣的

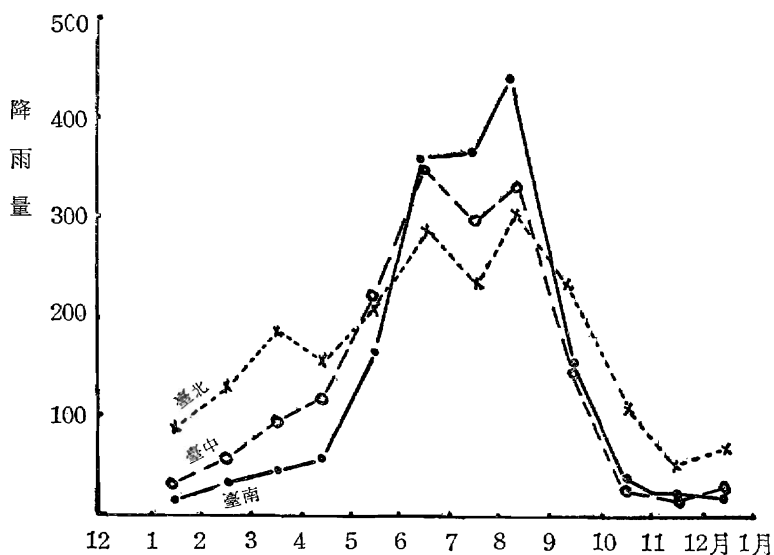


第1圖 果樹最迫切需要水分時期不降雨（在愛媛縣下之實例）

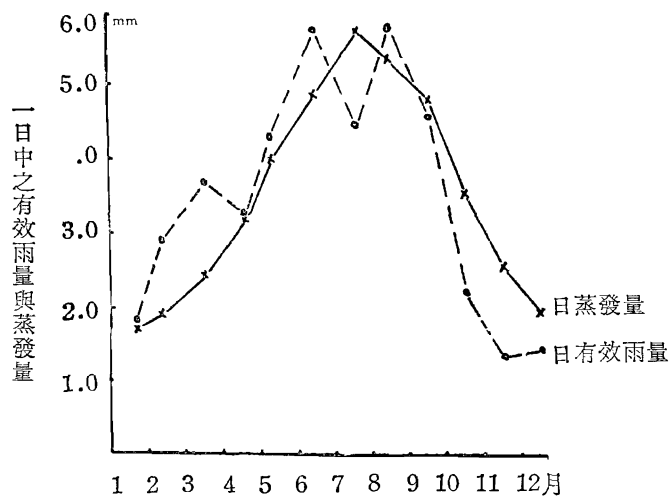
灌溉時期，此趨向雖與日本以夏季為灌水期迥異，然臺灣與日本均屬多雨區域。如上所述，便知旱地區

域需要灌溉之原因極多。

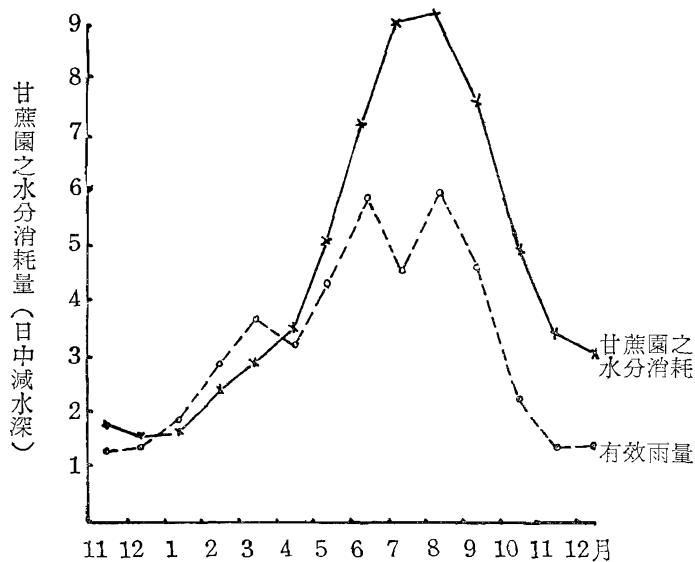
為慎重起見，茲再由不同角度分析此問題。



第2圖 臺灣各地降雨量年中之分佈情形（集中於夏季降雨）

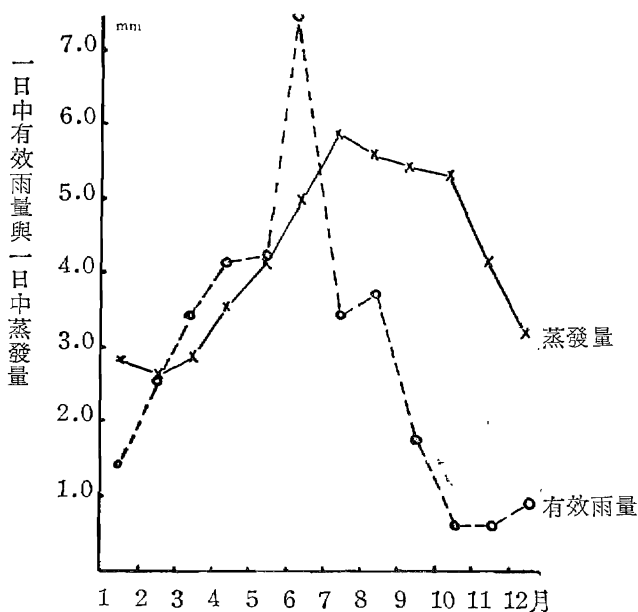


第3圖 雨量分佈較佳的臺北，在秋、冬季，因蒸發多於有效雨量，故植物體內之水分收支亦可能發生混亂。



第4圖 臺北甘蔗園之水分消耗量與有效雨量在年中之變化(玉井)

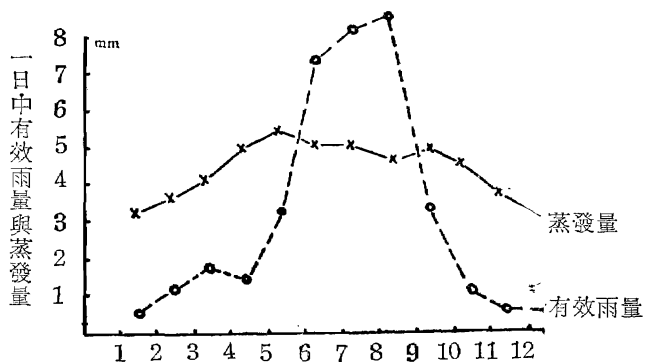
左圖係根據以往發表之灌溉水量計算式(1956)最大需水量實數與需水年中變化曲線等而得。由此圖可知，以需水最多時期之甘蔗而言，正如 Bayer 及 Humbert (1953) 兩氏所說，甘蔗為消耗多水分作物。在臺北，地下水位較高的平地，作物體內之水分收支不致發生混亂；惟在地下水位較低的坡地，除夏期外，秋、冬季，田間之水分收支便可能發生混亂。以此，在砂地淺根的蔬菜類，需時常灌水，更不需贅言。



第5圖 新竹地區之一日中蒸發量與一日中有效雨量在年中之變化。

左圖表示在新竹地區，
4月～6月，田間之水分收支尚能保持平衡，但7月～3月間，水分收支之差異現象極為嚴重。同時長期的強烈季節風遂使該地區對水分之管理更加複雜而困難。

右圖示在臺南區域，秋季至春季，因蒸發量超過有效雨量，故易發生水分收支混亂現象，除6、7、8三個月外，則有發生缺水之可能性。



第6圖 臺南地區之日間有效雨量與日間蒸發量在一年中之變化。

第3表 由各種母岩風化形成的田間土壤在 30cm 土層內之有效貯水量 (日本愛媛縣，玉井)

土 壤	貯 水 量 (mm)
花崗岩系土壤 (砂土—砂壤土)	20.7~28
秩父古生層土壤 (壤土)	21.8~32.0
結晶片岩系土壤 (埴壤土)	24.0~36.2
火山灰系土壤 (埴土)	49.7

上表係日本愛媛縣二十個溫州蜜柑主要產地測定結果。由此可知在同一縣內之同一作物栽培區域內的土壤貯水能亦有顯著差異。

下表係筆者在臺灣任職時測定臺灣數種土壤的結果。由此可知不同土壤對水分之保持力正如愛媛縣測定結果同樣差異顯著。

第 4 表 在臺灣數種田間土壤在 30cm 土層內之有效貯水量。

土 壤 類 別	貯 水 量 (mm)
砂土 1 (高雄縣)	10.0
砂土 2 (淡水)	10.8
砂土 3 (淡水河畔)	20.7
埴質壤土 (臺北)	29.9
火山灰系 (陽明山)	46.6

以上所述之有效貯水能係藉田間容水量求出之土層 30cm 內之貯水量最大值，故雖在大雨後，滲透水已流失，被保持於土壤中之全水量亦不會超過上面所述之數值。日本愛媛縣下蜜柑園之貯水量以火山灰系之音地 (onji) 土壤 49.7mm 最大，此數值略與臺灣之 46.6mm 一致。以此數值係最大值，故雨量雖大，土壤亦無法貯藏更多水分。

其次吾人應考慮上述之貯水量，能供給作物生活多久？

設將甘蔗栽植於貯水量最大的土壤中，栽植時，如給與等於該土壤貯水量 47mm 水量時，在生育初期，每日僅消耗約 2 mm 之水量，以此，即 23 日不下雨，甘蔗亦不發生缺水現象，但至 9 月後，因每日之耗水量將增至 7 mm，故上述的灌水量將於 1 星期內為作物所耗盡。如地下水不能利用時，勢必行灌溉。又如栽植耗水量在甘蔗之一半量作物時，經 2 星期後，灌水亦將被消耗而完全消失，故如灌溉 2 週後不降雨，則必需繼續灌溉。此種情形，可能常發生於日本夏季及臺灣之秋 ~ 春的早魃期。

以上各例，說明多雨地帶的臺灣與日本在早期仍需進行灌溉的理由。除非耕土極深且根系發育良好而能在平時之二倍以上者，雖為多雨地區，旱害仍可能因季節之不同而發生，故為預防旱害或為積極增產對策上言之，灌溉仍為必要措施。

2、旱地灌溉之效果

旱地進行灌溉，可能獲得的效果綜合如下：

- (1) 除防止土壤水分不足所引起之旱害外。
- (2) 將以往依賴氣候之消極的農業經營方式轉為積極的投資農業經營方式，此為積極的增產政策上所

必具的條件。

- (a) 因無旱害之虞，故無需選擇耐旱性作物，而可選擇品質優良，灌溉後增產率較高之作物。
- (b) 可引進以往因旱害而不能引進之優良新作物。
- (c) 播種與施肥等管理工作能在適期進行。
- (d) 以往因恐受旱害而謹慎不敢施肥的地區，亦可自由施肥積極增產。
- (e) 夏季灌水，可防止地溫過度上升，以保護作物不受高溫之阻害，而促進其發育。冬季之灌溉可增加地溫。
- (f) 因灌溉而增加土壤中之 Ca 、 Mg 、及 SiO_2 等成分，並減少可溶性 Al 之量，又能發生土壤反應中和現象，增加土地之生產力。

如上所述，在消極方面有防止旱害之效果，在積極方面，可使農業為科學農業。然實際上，灌溉後之效果如何？茲以灌水效果較為明顯的果樹為例，敘述如下：

果樹灌溉效果之實例

關於果樹灌水效果摘其主要如下：

(1) 促進樹幹之生長

幼樹時代予以適當灌水，可促進植株之生長的事實如第5表。此柑桔園設於河床砂礫混合土壤中。表中之結果係示第一年灌水區與無灌水區之生長情形。

第5表 灌水對溫州蜜柑幼樹之影響（日本愛媛縣，土井 1963）

試驗區	樹之容積	葉數	春枝伸長量	夏枝伸長量	秋枝伸長量	年間枝伸長量之合計
	m^3		cm	cm	cm	cm
灌水區	1.231	1,158	253	945	164	1,364
同 比	(243)	(166)	(204)	(230)	(55)	(210)
無灌水區	0.505	686	125	41	293	648
同 比	(100)	(100)	(100)	(100)	(100)	(100)

(2) 增加果量

果實生產量因灌溉而增加的事實，以臍橙（村松、松尾，1937），溫州蜜柑（藤田1940），和梨（菊池、井口，1953），高有柿（三輪、1946）及葡萄（小林，1957）等早已證明，其他國家亦有同樣的報告。

然灌水效果，因土地與年度不同，程度迥異；例如寺見氏(1946)在美國加州對桃之灌溉試驗，效果極顯著，較無灌水區增產60倍。惟該試驗係於降雨量極少的乾燥地帶進行。臺灣與日本之果樹園，因處

濕潤地區，實難有如此顯著結果。筆者參閱若干文獻，除特殊情形外，一般認定一年間的增產率應為20～40%較為適當。

第 6 表 溫州蜜柑之灌溉效果（日本、山口縣大島）

區 分	年 度	收 量	果實之級別(以果實之直徑表示)%					
			L.L.	L	M	S	S.S.	S.S.S.
灌 水 前	1952~56年 5 個年平均	2,122 ^{kg} (100)	6	14	22	<u>25</u>	21	12
灌 水 後	1957~59年 3 個年平均	3.525 (166)	9	18	<u>26</u>	23	16	8

附註：LL……最大，L……大，M……中，S……較小，SS……小，SSS……極小。
 由上表可知，灌溉開始後三年平均增產率為 66％，而果實大小之等級似有進一級的傾向。此種灌水後果實增大的現象，為一般對於果樹進行灌溉的農民所公認。

在日本寒冷的東北地帶，雖雨量分佈極平均，灌水亦有增產 10～20％的可能(鈴木 1958)。
 惟果樹為多年生作物，某年所得優良環境之影響，不僅出現於當年，並延續影響至翌年，故環境之影響結果可能是累積的，此與生長期較短植物迥異。

第 7 表 示灌溉進行後，梨園之生產量逐漸增加，至 5 年後，其產量增至灌溉前約達 2 倍半。

第 7 表 進行灌水後，梨之產量增加指數（太田，1959）

年 度	1953	1954	1955	1956	1957	1958
收量指數	100	113	160	158	200	240%
備 考	無灌溉	灌溉開始				

上表係太田氏調查福岡縣嘉惠郡小山氏的果園，小山氏之 10a 廿世紀梨園產量原約 2652 kg，在 1954 年進行灌漑後，不僅果實平均重逐年增加，其樹勢亦增強。5 年後其產量增至 5800kg。此種果產逐漸增加，除灌水外，管理法之改善亦有關係，然灌溉效果實為基本原因。日本靜岡縣柑桔試驗場之灌水試驗，於每 5 日灌水 4 mm 連續進行四年後，其產量大於無灌水區 2.36 倍（第 8 表）。

第8表 果樹之灌水效果摘要（玉井編）

地 點	年 度	果 樹 種 類	增產程度	備 考
和歌山縣	1952	溫州蜜柑	27%	Sprinkler灌溉
同上千田東	1961	"	55	
山口縣大島	1957~59	"	66	
靜岡縣	1955~59	"	136	
山形縣砂丘	1958	葡 萄	13	
岡山(倉敷)	1958	"	10	
山 梨	1958	桃(大久保)	114	收入增加 390% 7月下旬~3月上旬5mm 同 上 灌水區符合產品規格者，增加3倍以上
島根縣	1958	桃(倉方早生)	41	
		桃(高倉)	39	
		桃 (罐頭用品種) No. 12	80	
		No. 13	39	
山形縣砂丘	1958	洋 梨	11	7月下旬~8月下旬共8次， 1次 20 mm Sprinkler 灌溉 但其間，有驟雨性之降雨， 無雨為8月中旬約十日
同 上	1962	洋 梨	3.5	

(3) 防止隔年結果

果樹有盛產與不盛產互交來臨的習性。此為果農最感頭痛之事。然進行灌溉，此習性多少可將之矯正。表9示日本和歌山縣之試驗成績。由此表可知灌溉效果極顯著，且灌溉區之隔年結果略被矯正。

第9表 溫州蜜柑之灌水效果（和歌山果樹試驗場 1952）

	26 年 收 量		27 年 收 量		27年對前年之比率	兩 年 之 收 量
	果 數	重 量	果 數	重 量		
無 灌 水 區	844.1	13.96	370.9	9.20	65.00	23.156 (100)
灌 水 區	848.6	16.61	600.1	12.70	84.24	29.307 (127)

附註：灌水量第1年每株為 594 l（分三次灌溉）

灌水量第2年每株為 284 l

(4) 改善品質

灌溉效果試驗中，發現有些果實品質變優，亦即灌溉後，果肉軟化，舌觸良化而多汁。據三輪氏說，此係石細胞與纖維減少所致。

第 10 表係示日本西南地域瀨戶內海一帶，雨水最少區域之柑桔灌水效果。表中不關灌溉方法如何，灌水區之果實，果汁中糖分及酸度均較無灌水區為多，果味亦較濃。實值得吾人注意。其他分析試驗亦獲一致的結果，惟酸度反有減少的報導，故酸度與灌水之關係，須待日後之研究。

又於旱魃時，因果實內水分移至枝葉，致果形縮少，此係葉之滲透壓高於果實所致。惟據葦澤氏之研究謂：果實成熟期遭遇旱魃時，水及糖分，可由果實移至葉部，故品質降低。但此現象，可以灌溉防止。

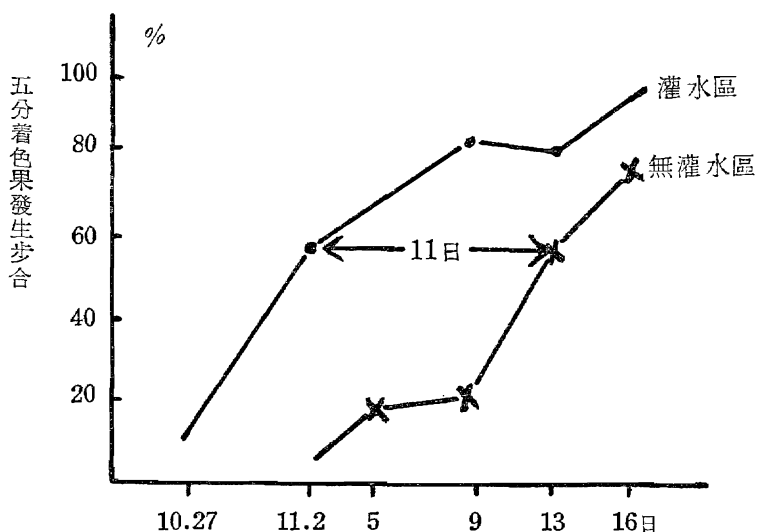
第10表 溫州蜜柑之灌水效果（愛媛縣果樹試驗場）

區 別	灌水 面積比	灌 水 量	着 色 程 度					果汁100cc中之重		糖 度
			完 全	九 分	七 分	五 分	三 分	枸橼酸	固形物	
全面灌水區	100	540	39.3%	27.5%	17.6%	13.6%	2.0%	1.300g	11.46%	9.9%
輪狀灌水區	50	270	27.7	26.6	30.2	13.7	1.8	1.190	11.46	10.2
局部灌水區	17	90	20.7	33.0	31.5	12.8	2.3	1.146	10.38	9.3
無 灌 水 區	0	0	15.7	20.8	35.0	24.7	3.9	1.102	10.38	9.0

又如廿世紀和梨遭遇旱魃，果皮將失去原有之光滑而變為粗糙。通稱此現象為「柚肌」。據林（鳥取縣）與太田（福岡縣）兩氏報告，此現象經灌溉後，將顯著減少。據太田氏說 1958 年福岡縣因旱魃，許多梨果形成為柚肌果實，尤其類似廿世紀之新世紀品種，柚肌果發生特多，發生率竟達 60~80 %，而灌水區僅 13 %，可知灌溉效果極顯著。

(5) 促進果實之成熟

經多數學者證明灌水能促進果實成熟。例如安藤，岩垣（1936~37），三輪（1946）等氏以和梨，藤原（1927）以蘋果，Johns（1932）以桃，三輪（1946）以柿。最近小林，太田以葡萄之試驗報告均是。又據太田氏（1958）於旱魃年調查葡萄發育情形，獲悉灌水區之果實着色較無灌水區提早 5 日。



第7圖 灌水對溫州蜜柑成熟之效果 (玉井, 赤松, 水谷 1957)

圖7為1957年筆者等在愛媛大萼果園,以溫州蜜柑為材料,每株於夏季乾燥時期,灌以360l水分,並與無灌水區比較果實之着色情形。由此可知灌水區之成熟早於無灌水區達10日。果實如能較一般提早10日出

現於市場,其商品價格當必較高,農民獲益良多。第10表之試驗結果與筆者試驗所得者完全一致。

(6) 防止落果,落葉與日燒

旱害較烈時,果實因脫水收縮終發生落果現象。若旱害繼續惡化,最後將導致落葉現象。落葉當示旱害已極嚴重,樹勢亦因此而衰弱。

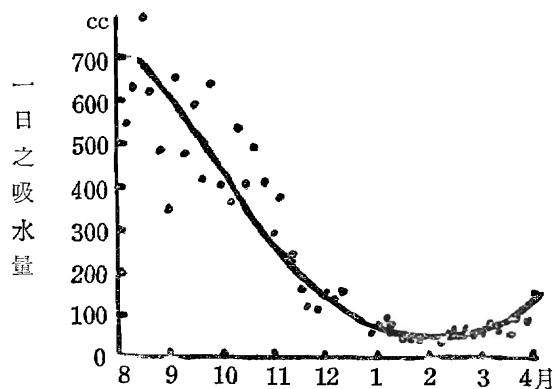
落果與落葉,除發生於夏季旱魃嚴重時之外,在秋冬期之常綠果樹,尤其晚生柑桔,因根之吸水力弱(第8圖)而葉之面積並不減小,在寒冷或有寒冷的強風時,植物受寒害之外,體內水分收支便混亂,亦造成落果與落葉之原因。以此如利用泉水灌溉,不僅可防止落果與落葉,據報告且有助長次年枝條伸長。這可能因根經保溫後,導致根之活動性能,並保持水分收支平衡所致。

此外果樹常因日燒,即表面受高溫之影響後,樹幹組織由變質而致該部分枯死。此現象亦與水分有關,如經灌水,得以緩和。

附記:柑橘園進行灌溉之經濟效果(價值)

關於灌溉之經濟效果,日本靜岡縣柑桔試驗場高木技師曾將其調查結果發表於伊予路園藝18卷8號(1963),茲摘其要點介紹於下。

蜜柑經灌溉後,不僅產量增加,品質轉優,更重要的效果為能使果樹之生理機能發揮至最大限度,且能保持樹勢安定,故可長期栽培隔年結果性較少的果樹。一



第8圖 秋冬期夏柑吸水過程 (玉井、赤松1958)

附註:以五日平均值示之

般灌水效果隨着樹體之增強而逐漸增加。依此，綜合上述雙方效果，將果樹園之灌溉經濟價值計算如第11表。由此可知，約10萬圓（日幣）之設備費，將於第6年全部償還完畢，而10年後之利益為11萬圓，為純益矣。於此計算，灌溉增收率之估價極為保守；並僅以生產量之增加率作為增產之根據。然實際上，品質之改進，成熟期之提早，對收益之影響亦極為明顯。故筆者認為農民之實際收益不止於如上數值。又於此計算所列之設備費，因考慮水源之困難，而作較高的估計，如果水源方便而不需花費多額的金錢於抽水機時，該設備費將顯著減少。實際上亦有僅花2~3萬日圓的農戶。如此灌溉設備，可於3年內償還完畢，而實際上亦有2年內償還完畢的農戶。

第11表：柑桔園之灌溉設備費與經濟價值之比較（高木1963）

年 度	灌水增產率 (%)	增 產 量 (kg)	增產金額 (日圓)	所需經費 (日圓)	累積金額 (日圓)	對投資10萬圓 之償還與利益 金額 (日圓)
初 年 度	10	200	12,000	1,500	10,500	89,500
2 年 度	10	200	12,000	1,500	21,000	79,000
3 年 度	15	300	18,000	1,500	37,500	62,500
4 年 度	15	300	18,000	1,500	54,000	46,000
5 年 度	20	400	24,000	1,500	76,500	23,500
6 年 度	20	400	24,000	1,500	99,000	1,000
7 年 度	23	460	27,600	1,500	125,100	+25,100
8 年 度	23	460	27,600	1,500	151,200	+51,200
9 年 度	26	520	31,200	1,500	180,900	+80,900
10 年 度	26	520	31,200	1,500	210,600	+110,600
合 計	平均18.8%	3,760	215,600	15,000	210,600	110,600

計算之根據：

- 、(1) 灌溉前之基本收量 10 a 為 2 噸。
- (2) 蜜柑每公斤單價為 60 日圓。
- (3) 增收率年平均為 18.8%，並以每 2 年倍增作為累積效果。
- (4) 所需經費，以和歌山千田東之實例除去償還費。
- (5) 投資金額 10 萬日圓為 Sprinkler 灌溉所需各種設備費，此數值係參考靜岡市，有田市，10 a 實際使用金額。

至於每年所需經費，據高木氏報告（和歌縣山田東爲例），每 10a 爲2583~3060日圓，其中40~46%爲灌溉設備費，13~15%爲燃料費，10~15%爲工資（灌溉工資）。同氏特別指出 10a 之灌水工資僅需260~450日圓，實值得注意。

上述各種灌溉所需之經費，如設備能共同利用，當更能減少。

普通田間灌溉效果便覽表

旱地之灌溉效果，因灌溉法，施肥量，栽植密度及其他栽培條件不同而發生差異。茲爲明瞭何種作物在何種地區，經灌溉後能增產的程度，將各試驗成績中，效果明顯者總錄如下。

在普通旱地，灌溉效果之實況，因果樹不同而異，篇幅所限，恕不多贅。

第12表 普通旱作之灌溉效果（灌溉與無灌溉產量比較）（玉井編）

試 驗 場 所	作 物	10 a 當 收 量		增收率 %	年 次	摘 要
		無 灌 溉	灌 溉			
關 東 東 山 農 試	陸 稻	1.964 石	2.671 石	135	1951	7日每次60mm
神 奈 川 農 試	"	0.925	2.557	276	"	
神 奈 川 農 試	"	1.250	1.900	152	"	
長 野 農 試 (桔 棟 原)	"	1.050	2.750	262	1955	
東 北 農 試	"	1.219	2.160	177	1953	
合 志 開 拓 地	"	0.840	1.900	226		
神 奈 川 相 模 原	"	0.830	2.040	246		
神 奈 川 農 試	"	1.530	3.250	214	1958	
神奈川相模原(市古山)	"	1.00	2.400	240	1951	
神 奈 川，澁 谷	"	1.700	3.000		1951	
臺 北、臺 大、農 工 系	"	412 gr	761 gr	185	1961	
關 東 東 山 農 試	旱作水稻		2.400 石		1958	尾花澤 6 號
神 奈 川 農 試	"		3.310		1958	尾花澤 6 號 早期栽培
神 奈 川 農 試	"		3.530		"	初錦（早期栽培）
東 海 近 畿 農 試	"	10 kg	367 kg	3670	1958	尾花澤 6 號 5日45mm
北 海 道 茅 部 郡 森 町	玉 米	41.200	117.000	284		趙，鄭（1962） 雄花抽穗期噴灌
Cornel Exp. Sta.	"	3.923 lb	4.865 lb	124	1943	
臺 北 農 業 改 良 場	"	291.7 kg	408.5 kg	140	1961	

臺南、學甲	玉米	407 kg	477.5 kg	117	1962	
鳥取農試(砂丘)	甘藷	kg 1780	kg 4031	266	1951	
石川農試(砂丘)	"	1120	1970	176	1954	
關東東山農試	"	2140	2430	114	1956	太白
關東東山農試	"	2760	3390	123	1956	沖繩100號
關東東山農試	"	1740	1670	96	1957	太白
關東東山農試	"	2690	2780	103	1957	Yakeshirazu
愛知農試豐橋分場	"	3008	3413	114		
愛知縣知多半島	"	1760	2160	123		
臺灣嘉義農試	"	2650	4259	160	1941	
臺北、臺大農工系	"	1927	2061	107	1961	平均地下水位44cm
臺北農業改良場	"	1031	1450	141	1961	肥大型噴灌
東京、八王子	大豆	1.800 石	3.750 石	203	1955	
長野縣桔楨原農試	"	209 kg	226 kg	108	1953	開始始後
臺北、臺大農工系	"	342.1 gr	428.0 gr	126	1962	有效水區
花蓮港、鳳林	"	116.75	134.5	115	1963	{ 有效水60% 灌水40mm 2次
花蓮港、瑞穗	"	116.75	132.6	114	1963	
臺北農業改良場	"	86.1	115.9	135	1961	結蕾開花期噴灌
臺南農業改良場	"	98.8	129.9	131	1961	秋作全期濕潤
臺南、學甲	"	97.7	104.0	106	1962	秋作 60mm 2次
臺南農業改良場	落花生	kg 155.8	kg 182.9	117	1958	春作
"	"	257.0	321.8	125	1959	春作有效水60% 灌水50mm
"	"	288.3	350.6	122	1959	秋作有效水60% 灌水40mm
花蓮港、鳳林	"	235.7	278.7	118	1963	{ 夏作有效水60% 灌水40mm 2次
"	"	224.4	276.4	117	1963	
臺北農業改良場	"	121.4	166.5	137	1961	開花期噴灌
臺南農業改良場	"	186.9	245.6	131	1960	春作 { 有效水60% 秋作 { 每次40mm
"	"	160.4	276.7	173	1960	
臺南、學甲	"	218.1	262.5	120	1961	秋作70mm 3次
臺南、水林	"	218.5	248.7	114	1962	春作70mm 3次

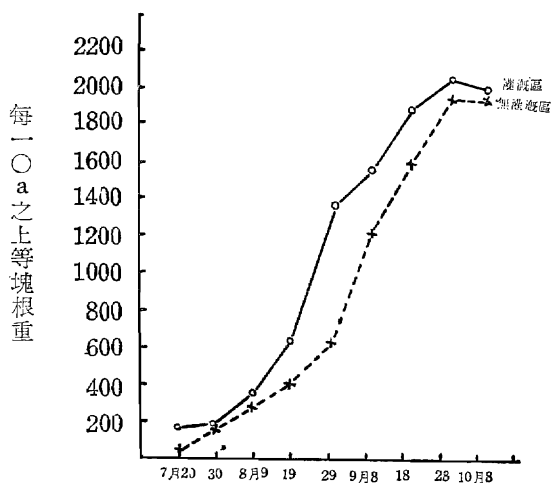
臺南糖試所*	甘蔗	11.44 ton	13.90 ton	121	1956~59	新植25日一回>灌水
"	"	7.45	9.35	125	1957~58	50日一回>灌水
夏威夷告哈那糖廠*	"	8.93	10.63	119	1946	水分計有效水35%
臺中農業改良場	亞麻	316.0 kg	700.5 kg	222	1938	* 趙、鄭編，灌溉對旱地作物影響資料
"	"	497.0	635.0	129	1939	每30日灌溉至開花
"	"	327.0	475.0	143	1940	每20日灌溉至成熟
"	亞麻(種子)	21.8	57.8	265	1938	每20日灌溉至開花
"	"	26.0	46.8	180	1939	每10日灌溉至成熟
愛知用水	甜菜*	192g	235 g	123	1959	每20日灌溉至開花
臺南糖試所	"	2942 kg	3966 kg	135	1958	* 平均根重
"	"	466.6 g	669.1	143	1958	原料重
臺大農工系	小麥	610	732 g	120	1962	砂糖產量
臺中農業改良場	"	112.8 kg	218.4 kg	193		有效水低於25%

作物種類與灌溉效果

由第 12 表可知灌溉效果雖因年度與立地條件不同，灌溉效果迥異，然就作物而言，作物間之差異亦極顯著。灌溉效果最著為陸稻。即經灌溉後，陸稻之產量增加率最低達 35 %，最高竟達 176% (第 12 表)。

最近旱地利用灌溉栽培水稻，技術大見改善；此即可用較水田用水為少，而在 10a 的面積中產量可達 3 石以上，深值吾人注意。

在日本，甘藷被認為灌溉效果不顯著。此可能係甘藷耐旱性極強，雖於生育期中遭受旱魃而生育遲延，但至初秋遇雨後即能迅速恢復所致 (第 9 圖)。



第 9 圖 早期收穫之效果較顯著，但至後期收穫時，灌水區與無灌水區間之差異縮少，故灌溉效果不顯著。係至發育後期，能迅速恢復所致。

然日本砂丘或砂質土壤，灌溉後其增產率有時可達 2 倍。在臺灣，地下水位較高之土壤，灌溉效果可能不顯著，然乾燥期極長的中南部，若發育後期不加以灌溉，必影響其恢復能力，故灌水效果可能極為明顯。

大豆：因耐旱性極強，故灌溉效果不如陸稻顯著。據中山、竹村兩氏 1951 年~1954 年之試驗報告，在各試驗場所進行 58 個例中，減收者 8 個，增產 10 % 以下 22 個，增產 10~20 % 15 個，20 % 以上者 13 個，而以增產率 10~20 % 最多。但砂丘地區之增產率極高。在臺灣之試驗結果，增

產率約在 15 %以上，此乃顯示臺灣之灌溉效果略高於日本。

落花生：在日本，關於此植物之灌溉試驗極少，據海野（1959）氏研究，在神奈川試驗場之火山灰土壤所作試驗結果，其增產率約為 10 ~ 15 %，而山形縣下之砂土試驗地，一年平均增產率約為 30 ~50%。第 12 表所列數值，均為臺灣之測定結果；此亦顯示灌水效果略較日本之試驗結果為著，其中尤以臺北農業改良場，在砂質壤土試驗之結果，特為明顯，此雖係預料中之現象，却極有價值。

甘 蔗：甘蔗為深根性作物，且耐旱性極強，故灌溉效果可能不顯著，然將各試驗結果整理後，却知灌溉後之增產率為 20~25 %，即灌溉效果為中等程度（第 12 表）

甜 菜：灌溉之增產率均在 20 %以上，可知效果極佳。尤以糖之增收率，較原料重之增收率為顯著，此可能係灌溉促進體內之糖類合成作用之結果，實堪吾人注意。

亞 麻：亞麻為臺灣冬季水田主要作物。如 12 表所示，灌溉後增產甚明。因亞麻為淺根作物，而地上部無耐旱性的結構，此種形態上之特徵，可能為灌溉效果特著原因之一。今姑且不論，其原因何在。但在臺灣，亞麻却為灌溉效果最明顯作物之一種，故從事灌溉之人員實不可忽視之。綜上所述，各種灌溉效果，可知在臺灣較日本為高。

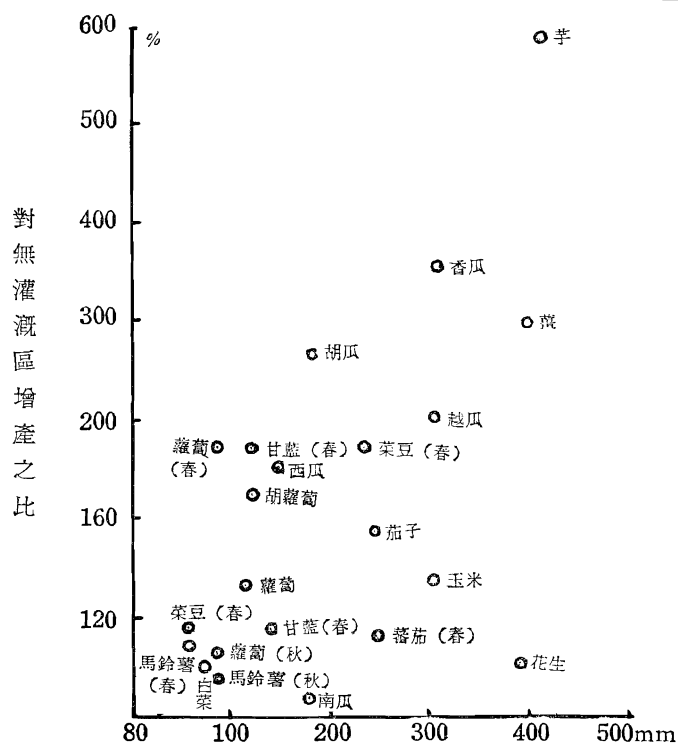
至於灌溉對蔬菜之影響，筆者曾於所編著作物生理講座(全 5 冊)之水分生理篇(朝倉書店 1961)介紹此方面的結果。茲將拙著中之資料及日本最近之研究成果並參閱臺灣之研究報告綜合整理如第 13 表

第 13 表 蔬菜之灌溉效果（玉井編）

試 驗 場 所	種 類	灌溉區收穫量對 無灌溉區收穫量 之百分率	年 度	摘 要
靜 岡 農 試	芋	167	1961	雞糞施用多 大湖播 火山灰土 花岡岩砂質土以下同樣
福 岡 農 試	"	152	1961	
神 奈 川 農 試	"	156	1954	
愛 媛 農 試	"	596	1958	
靜 岡 農 試	薑	125	1961	
愛 媛 農 試	"	310	1958	
愛 媛 農 試	"	273	1957	
神 奈 川 農 試	"	145	1954	
東 海 近 畿 農 試	茄子	148	1961	
愛 媛 農 試	"	159	1958	豐 橋 分 場
愛 知 農 試	"	121	1961	

神奈川農試	茄子	132	1950	
關東東山農試	"	138	1951	
東海近畿農試	蕃茄	138	1961	
愛媛農試	"	112	1958	
神奈川農試	"	122	1961	抑制蕃茄
靜岡農試	西瓜	185	1961	砂丘高畦 5 日後 30mm
愛媛農試	"	183	1958	
和歌山農試	"	142	1961	
東海近畿農試	"	132	1961	灑水灌溉
神奈川試	胡瓜	120	1954	
東海近畿農試	"	195	1961	
愛媛農試	"	120	1957	
愛媛農試	"	374	1958	
大阪府農試	"	188	1961	夏胡瓜
愛媛農試	香瓜	209	1956	
愛媛農試	"	359	1958	
山形農試	香瓜 (melon)	146	1961	露地香瓜，砂丘地下灌水
愛媛農試	越瓜	205	1958	
"	南瓜	89	1958	
"	菜豆	104	1957	
"	"	191	1958	
"	馬鈴薯	109	1958	春作
"	"	98	1958	秋作
東海近畿農試	蘿蔔	761	1961	發育最盛期 1 個月以上無雨
愛媛農試	不時 美濃 早生 蘿蔔	186	1961	春播
"		137	1961	"
"		109	1957	"
"		106	1957	秋播
關東東山農試		168	1951	播種期灌水
愛媛農試	胡蘿蔔	125	1957	
"	"	174	1958	
臺北農業改良場	"	104	1961	

神奈川農試	甘藍	126	1950	春播
愛媛農試	"	113	1957	"
"	"	189	1958	"
臺北農業改良場	"	122	1961	
鹿兒島農試	"	206	1961	春播
愛媛農試	白菜	109	1957	"
臺北農業改良場	小白菜	165	1961	
愛媛農試	花菜	98	1957	冬作
"	"	180	1958	
臺北農業改良場	葱	119	1961	
愛媛農試	洋葱	127	1958	
臺北農業改良場	萵苣	163	1961	
"	胡荽	212	1961	



第 10 圖 蔬菜之灌溉效果與灌水量 (愛媛農試, 岩城分場 1598)

蔬菜灌溉效果顯著與否因蔬菜種類而異，又與灌水量多寡有關，所以在輪作制度下應特別注意。

圖10為愛媛農業試驗場，在 1957—1958 年之灌水試驗結果，係以灌水量不同劃分。由此圖可知，在該環境中，最需要灌水且效果最顯著之作物為芋，薑與香瓜。芋與薑均為好濕地作物，灌溉效果顯著自為預料中之事，其他地方之試驗結果亦然。香瓜與胡瓜均為大葉片需水量極多之作物。具有類似形態之白瓜與西瓜，其灌水效果亦極顯著。惟南瓜之

灌水效果並不明顯，原因何在，今尚無資料可供研討。

同種蔬菜春播夏作之灌溉效果較秋播冬作為明顯，此可能因日本之夏季為旱魃期，而冬期氣溫較低

，且雨量分佈較佳之故。

上圖值得注意者，落花生灌溉效果不顯著。落花生種於砂質土中無何不可，然效果不顯著之因，可能與灌水量有關。

如第 13 表，第 10 圖所示蔬菜灌溉效果有者亦不顯著，此與一般旱作類似。臺灣的蔬菜灌溉試驗，除臺北外，各地未見報告，故無法與日本試驗結果比照。

3、增加旱地灌溉效果應注意事項

據上所述，可知各種作物有其各別之灌溉效果，但此現象並非如表中所載者一致不變，灌溉法之改進至為重要，容後詳述。現僅就灌溉法以外，列舉實例，討論支配灌溉效果之其他因素。

品種之選擇：

在灌溉旱地中，產量最高作物最適合於旱地之灌溉栽培。旱作在未行灌溉時，產量最高之品種，行灌溉後未必為產量最高者。故在灌溉普及之地區，陸稻之品種應選擇因灌溉而能發揮豐產之品種。除陸稻外，對水稻新品種之選擇亦應留意，近年來，旱生種之栽培逐漸普及，下表乃依同一目的在神奈川農試場所作適於旱地灌溉栽培品種之選拔試驗結果。

第 14 表 旱地灌溉下，早期栽培用品種選擇試驗（神奈川農試所 1958）

品 種 名	水陸稻之別	10 a 之糙米重量	10 a 之糙米重	全 比 率
農 林 15 號	陸	90.4 貫	339 kg	76.2%
農 林 22 號	〃	100.4	376	84.6
藤 金		97.8	368	82.4
農林糯18號	〃	100.4	376	84.6
農林糯20號	〃	105.7	396	89.0
農 林 12 號	〃	118.7	445	100.0
初 錦	水稻	126.8	476	106.8
尾 花 澤	〃	122.5	460	103.2

註：播種期為 4 月 23 日（臺灣第 1 期稻作平均收穫量 10 a 為 308kg）

由上表可知，不同品種之陸稻，在旱地灌溉下所得之效果不同，因之適合於灌溉耕地品種之選擇對提高灌溉之效果甚為重要。又在旱地灌水試驗中，發現若干新水稻品種較陸稻品種產量尤高，此乃以往陸稻之選擇均在少施肥料之情形下進行。在灌溉下充分施肥後，陸稻莖葉茂盛，植株易於倒伏，故影響產量。水稻原於多肥狀態下選種，其耐肥性高，莖幹強，在多肥狀態下能充分發揮其性能之品種極多，

所以在旱地灌水下，其產量當較陸稻高，就品質而言，水稻亦較陸稻為優。今後灌溉之旱地以水稻代替陸稻之可能性甚大。

由上所述之情形，1962 年舉行之旱地灌溉研究發表會（在東海近畿農試所栽培第 2 部）上，作物方面之講題 56 篇中，有關水稻者 17 篇（品種 6，栽培法 8，用水量 3）蔬菜 20 篇，飼料 9 篇，果樹 5 篇，其他 4 篇。由此可知旱作水稻之被重視，但蔬菜種類繁多，相同者甚少，因此以單種作物而言，旱作水稻方面之報告佔極大之分量，可知關於旱地灌溉之研究，及早作水稻之研究最引人關心。以往常見之關於大豆，小麥，大麥等之研究報告竟無一篇，而穀類方面之研究均集中於旱作水稻之研究，實感興趣之事。

概言之，不論陸稻或水稻均應選擇適宜旱地灌溉之品種，並依其特性繼續努力研討最佳之栽培法及灌溉方法。

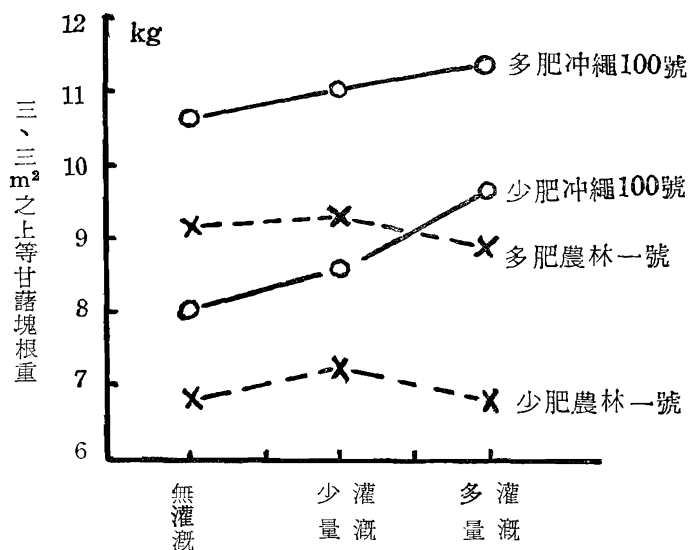
適宜之品種因地域而略有不同：

關東地區	尾花擇 6 號，アキバエ，トワダ
中部地區（長野）	デドクワセ，シナノワセ
東海近畿（愛知）	ヤチコガネ，トワダ
九州（鹿兒島宮崎）	尾花擇 6 號，トワダ，ひ系 46，タガネ錦

旱地灌溉之適宜水稻品種

以上列舉之品種被認為適合於該地之栽培。

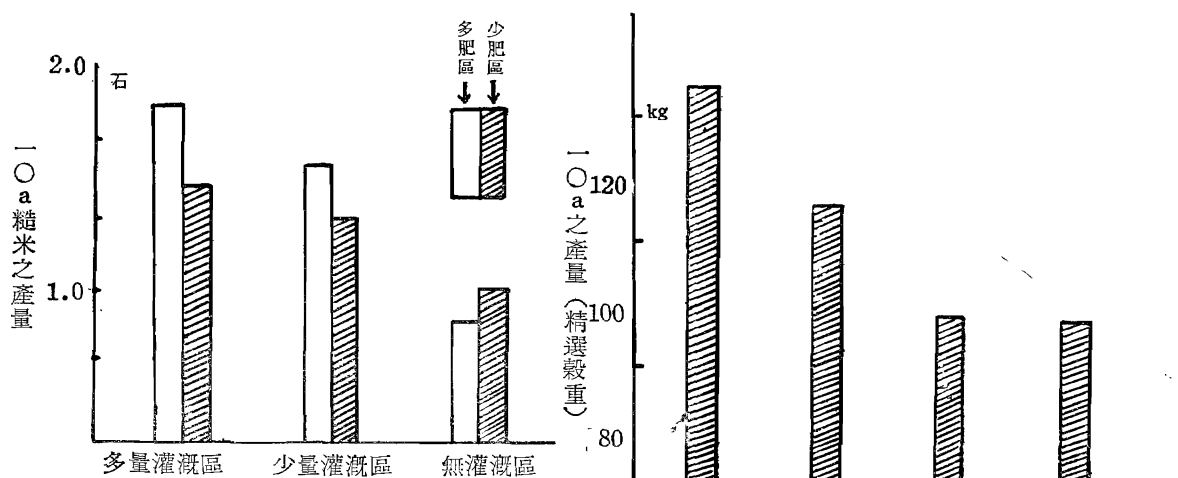
上面所述結果係在旱地灌溉下之不同水稻品種生產力之差異。然同此現象亦可能發生於甘藷及其他作物間，圖 11 可證實此種趨向。



第11圖 甘藷不同品種對不同灌水量之反應（引用關東東山農試1953，由太白之成績）。選拔適於灌溉與多肥栽培之品種最重要。

施肥量之增加與施肥法之改善

旱地灌水後，產量必然增加，地力之消耗亦因此而增大，故此時不僅需增加施肥量，亦應留意腐植質之補充。實際上，未行灌溉以前，雖欲施肥，又恐旱魃為害，而未敢增肥。進行灌溉，應積極施肥，以促進增產最為上策。



第12圖 充分表示灌溉栽培需要多肥，如施肥不充分，灌溉效果必不能充分發揮。

第13圖 顯示多肥栽培時，如將肥料作追肥施與者，其灌溉效果為更明顯。

栽植密度與畦間問題

日本北方栽培水稻，多行密植。南方因發育良好，株距略見寬大。近年因機械播種與除草機之進步，狹小之畦亦可耕作，而陸稻、水稻之狹畦多肥栽培，被認為對增產極有效果。

第15表 陸稻旱地灌溉栽培 10a 之施肥量(1)

肥料名稱 農試名稱	堆 肥	硫 安	過 磷 酸 灰	氯 化 鉀
關 東 (鴻 巢)	750 kg	38 kg	30 kg	19 kg
神 奈 川 (相 摸 原)	750	38	45	11
愛 知 (豐 橋)	750	38	35	9
長 野 (桔 梗ヶ 原)	1,125	45	45	18
鹿 兒 島 (鹿 屋)	1,125	45	30	8

(1) 長谷川 (1962) 氏說，旱地之水稻栽培，如給與灌溉並施較陸稻略多之肥料 (增加20~40%)，又將畦寬縮小 (20~30cm) 情形下，10a 之產量將可保持在 400kg 以上。

4、土壤有效水之性質與每次灌溉水量之求法

要實施合理的灌溉，先決條件是將每次灌水量予以確定。欲確定每次灌水量須先要明瞭土壤有效水之特性，以下就有效水之特性分述之。

(1) 有效水之研究略史

土壤水分有無效水，有效水，剩餘水三態，現已為吾人所熟知，關於有效水與無效水問題，是在19世紀末葉，植物生理學家 Sachs 觀察於草凋萎時，土中殘水量開始。Sachs 發現無效水殘水量因土壤性質而有顯著的差異；砂土只含 1.5%而壤土則有 8%。

以後，由於無效水之發現而引起對有效水之濃厚興趣，並定以水分當量為有效水之上限，凋萎係數為有效水之下限，這些水分常數之測定法，經 Briggs 等氏於 1907~1921 年間以直接測定法及間接測定法而相繼確立。

第16表係依 Briggs 等氏所測得之水分當量及凋萎係數，以及有效水範圍 (Available water range) 因土壤性質不同之差異。

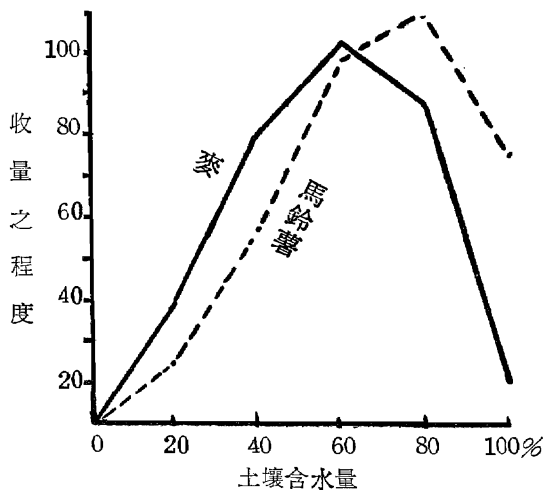
此表顯示，土壤性質不同貯水力即有效水之全量亦顯著不同。

如此，一方面可明瞭因土壤性質不同有效水量發生極大差異之事實，另一方面予吾人決定有效水之常數及開始灌溉之目標，此與每次灌水量有密切關係在焉 (Harding 1919)。此不僅對提高有效水分範圍及水分常數之關心。且對有關有效水本身之性質亦逐漸引起學術界之注意。

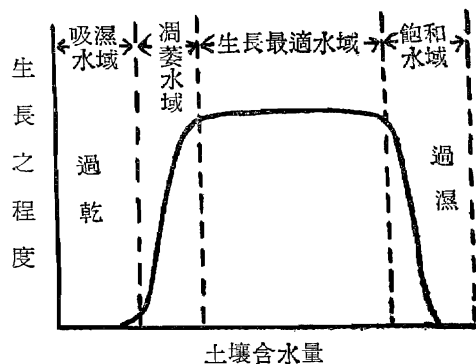
第16表 土性之有效水 (Briggs 及 Shantz 1912)

			水分當量 (%)	凋萎係數 (%)	有效水域 (%)
粗	砂		1.6	0.9	0.7
細	砂		6.7	3.6	3.1
砂	壤	土	11.9	6.3	5.6
壤		土	18.9	10.3	8.6
埴	壤	土	30.2	16.3	13.9

關於土壤水分，以往已有最適水分之理論 (參照第14圖)



第14圖 土壤含水量與黑麥、馬鈴薯收量之關係 (Lundegardh 1930) 顯示有最適宜水分之曲線。



第15圖 土壤含水量與生長量之關係 (Israelson 1932) 否認最適水分存在之曲線

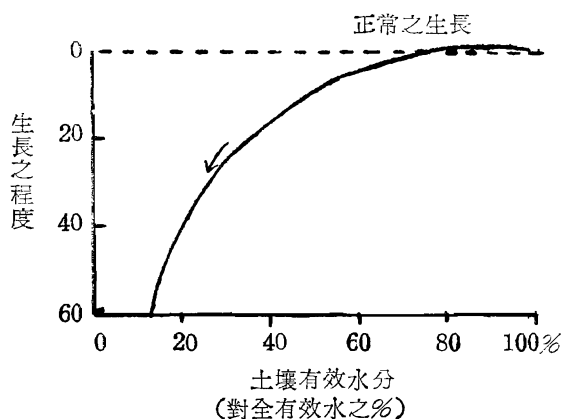
第14圖刊載於 Lundegardh (1931) 之書中，表示雖作物不同但其曲線位置却有差異，即各種作物均有最適宜之水分狀態，過多或過少，其生長均受抑制，僅其最適宜水分之幅度比較狹窄。惟生長曲線與土壤水分曲線關係極值注意。即生長度隨土壤之乾燥度而減少，但直至土壤水分為 0 時始停止。

1927年美國加州大學教授 Veihmeyer 及 Hendrickson 等氏，否認土壤有適水分之存在，使有效水特性作重大反調之言論。即提倡所謂有效水均一效果，而與從前主張不同有效水分對作物生長有不同效果之理論完全對立。此種理論之存在，多年來仍在爭論之中。

(2) 有效水特性之爭論

Veihmeyer 等氏之有效水效果均一說係根據他在加州大學之砂質土落葉果樹園進行者。即果樹生長度是隨土壤水分之減少而變化之結果而得之。Veihmeyer 等氏說除果樹之生長在土壤水分減少至凋萎係數時始開始減少之外，並說有效水之效果與其量之多少無關，而生長現象是在有效水缺乏之後始受抑制，故行灌溉，在土壤水分到達凋萎係數值前施行即可。

依據理論，灌溉專家 Israelson 氏曾將土壤水分與生長之關係劃成曲線如第15圖。即土壤水分及生長曲線之特徵為頂部平坦而如第14圖所示無最適水分之存在，同時土壤水分減少至凋萎點以下時，生長始受抑制，且生長停止後，土壤中尚有水分存在，又其曲線不如第14圖通過原點。此最後之特徵，即對生長無用之水分存在，在當時因已有無效水之理論，故未曾有異議，但(1)最適水分被否定，(2)有效水完全消失以前生長不減少，(3)有效水任何部分對生長效果相等，此三主張予水分之研究者甚大之衝擊，為研究此問題，水分學者曾作許多有關此項試驗。因在美國本土有 Israelson (1932)，Boynton (1936)，在夏威夷則有 Wadsworth 及 Das (1930) 均贊成此理論，故此種理論曾被採納於灌溉技術上。Israelson 氏更基於此種觀念，提出如下每次灌溉水量之計算式。



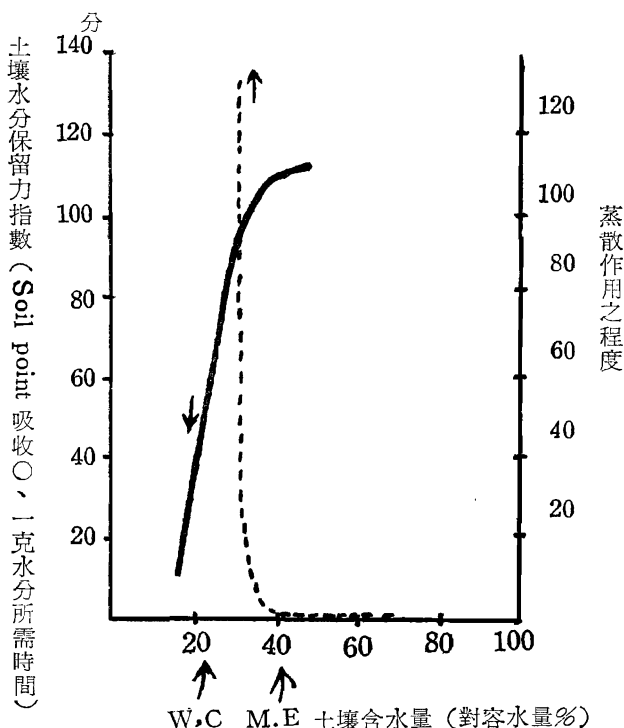
第16圖 表示梨園耕土3呎內有效水量之減少與果樹生長量之減少情形 (Lewis等1935)

漸發生凋萎，但仍能吸取大氣中之濕氣不致陷於所謂完全凋萎，故乃以生長停止點之土中殘水量充之。在此場合，並探究隨着土壤有效水分減少之甘蔗生長過程，獲悉未達到上面測定法所定之凋萎係數前，甘蔗之生長未見受抑制而證實 Veihmeyer 氏理論之不謬。

如此所述，Veihmeyer 等氏之有效水效果均一說雖得不少人採用，但唱反論亦不乏人。Lewis (1935)，Aldrich, Furr 及 Taylor (1939)，Martin (1940)，Davis (1940)等氏為當時之主要反論者。現介紹 Lewis 氏之實驗結果如下。Lewis 等氏對於 Veihmeyer 等氏試驗土以重粘土代砂質土，果樹仍為梨，探究其生長與有效水分之關係，其所得結果與 Veihmeyer 氏等之結果顯著不同。即梨在土壤尚含有全有效水70%時，其生長即開始被抑制，此為有效水效果均一說所未預料之結果。第16圖為當時之部分實驗結果，即在土壤有效水分未減至70%時，梨之生長正常，然低於70%時其生長將隨着有效水之減少而急劇被抑制。（參照第16圖）。

每次灌溉水深 $d = \frac{Pw \cdot As \cdot D}{100}$ ， Pw 為灌溉應補充水分%， As 為土之假比重， D 為需潤濕之根層深。但 $Pw = (\text{田間容水量}) - (\text{凋萎係數})$ ，即以有效水之全量對生長有用而將全有效水量充為灌水補充量。但田間容水量被視為與水分當量近似值。

又在夏威夷，為使甘蔗灌溉合理化，曾根據 Veihmeyer 等氏之理論實行測定各農場之土壤水分常數，以求應用上面公式所需之田間容水量與凋萎係數。惟甘蔗耐旱性極強，雖逐漸發生凋萎，但仍能吸取大氣中之濕氣不致陷於所謂完全凋萎，故乃以生長停止點之土中殘水量充之。



第17圖 土壤水分減至水分當量 (M.E) 時，其移動速度更形困難，減少至水分當量與凋萎係數 (W.C.) 中間時移動之困難程度急劇增加。

註：實線表示蒸散量，虛線表示土壤水分保留力。

作物生長被抑制時，土壤中尚殘有有效水在。Martin, Taylor, Furr 及 Davis 等氏之試驗結果是一致的。Davis 氏 (1946) 以玉米為試驗材料之實驗結果為當全有效水減少 2~3 成時，玉米之生長，即開始受抑制。而於凋萎係數之 2~3 % 前停止生長。即在約有 20 % 之有效水分時停止生長，此現象與 Lewis 之梨的實驗完全一致。

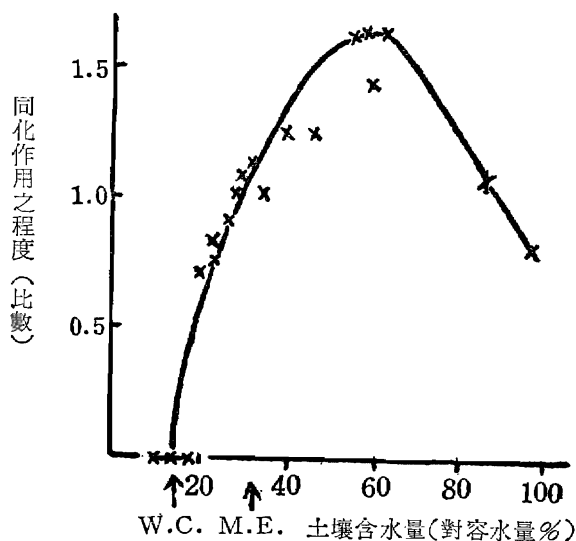
反對有效水之效果均一性的實驗結果日增。日本對有效水之性質亦逐漸引起濃厚之興趣，筆者與西田，岩隈等氏亦在 1943~1944 年間，曾調查甘蔗，菸草及黃麻之生長與砂土、粘質土之有效水量之關係，並發現此等作物之生長，在水分當量與凋萎係數中間，留下多量之有效水分而停止生長之事實。為期此種生長試驗之正確性，特使用自記生長計進行觀察，以明何以土壤中尚有多量有效水分，而生長已停止？筆者於此方面的探討，曾發現如圖 17 所示現象，即土壤中水分移動之困難程度，在土壤水分減至水分當量時即急劇增加之事實，此事實並為有效水分之性質提供新資料。

此後寺見氏 (1946) 以桃 (在美國進行試驗)，小林氏 (1947) 以葡萄為試驗材料相繼獲得同樣結果，即生長停止發生於土中尚有有效水分之情形下，此與筆者之研究結果完全一致。如上所述，反對 Veihmeyer 之試驗結果相繼出現，然何以砂土有效度幾乎高至能利用到最後程度？而在粘土得到許多相反結果？其理由當未能單以 Lewis (1935) 氏所述之根的分佈疏密而得充分之說明。

(3) 以後關於有效水之性質的研究成績摘要

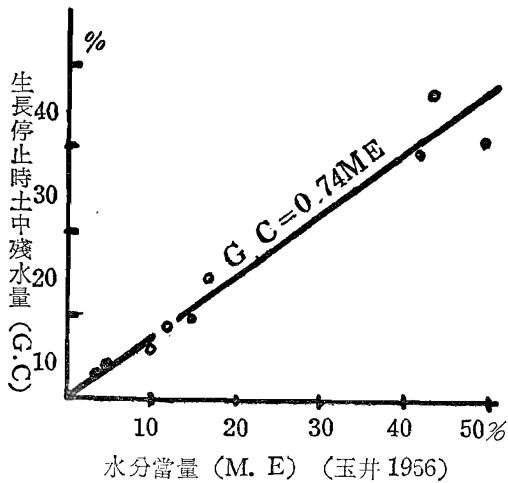
如上所述，土壤有效水之性質的研究，一部份已被發現，但尚有許多不明白者。因此筆者乃利用自砂土至埴土計 9 種土壤，以菸草、甘蔗及黃麻等計五種植物，並用自記生長計精密研究有效水與生長之關係試驗外，對於蒸散，同化及運動之三生理作用與有效水量之關係亦一併研究之。並且以此四種生理作用之消長為尺度而再檢討有效水效果之均一性。其結果從任何生理作用之消長觀之，均未得到肯定有效水之均一效果之結果，而發現各有所謂最適水分含有量之事實 (玉井, 1956)。

第18圖為上述試驗成績之一部份，係示菸草之同化作用與土壤含水量之關係，由此可知最適水分遠較水分當量為高，菸草之同化作用在高於有效水之上限，水分當量 (W.E.) 之水分狀態下，開始被抑制，而在水

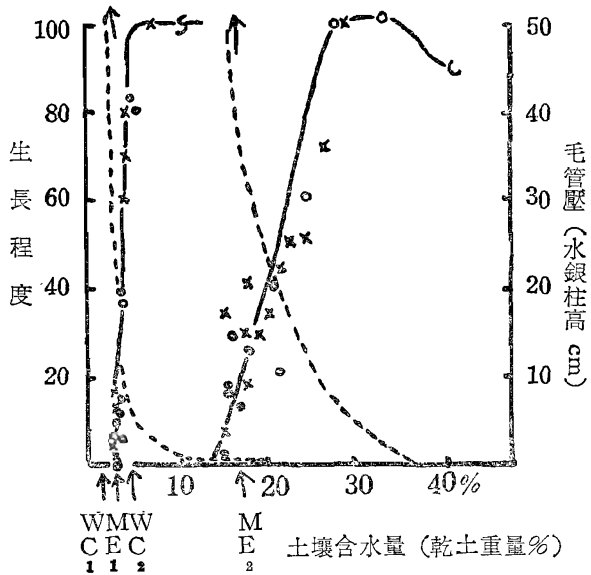


第18圖 菸草之同化作用在有效水豐富時則已開始減少其作用，隨着有效水之減少其作用急劇衰退 (玉井, 1956)。

分當量以下之有效水分範圍，隨着有效水之減少，其作用急速減退，至凋萎係數（W. C.）時殆全停止。
 。亦即從同化作用方面證明有效水之效果，因部份而不均一之事實。



第19圖 生長停止時之土中殘留水量與土之貯水力成正比例增減。



第20圖 土壤含水量與生長關係曲線之趨向，因土壤性質而有顯著差異，但與各個水分保留力之消長曲線成相對形態均相同。圖中實線為生長，土壤水分曲線，S為砂土，C為粘質土。虛線表示不同土質之水分保留力（玉井，1956）。

又詳細探討生長與有效水之關係獲悉下面的結果；

① 在土壤水缺少作物停止生長時，土壤中仍殘留有有效水分，但其數量之多寡極少受作物種類不同之影響，而受土性之影響極大；尤以土壤貯水能力之影響最著。即砂土少，粘質土多。

② 然此僅對有效水之絕對值而言，若以殘留之有效水與全有效水百分率表示，多數土壤，在全有效水消失半數左右時，作物之生長即被抑制。

此現象為筆者首先發現。即原知溢液停止點（Kramer 等 94）及初期凋萎點（Furr 等 1945）均在有效水分區域中央部分，現筆者又發現生長停止點亦在有效水範圍中央部分。

此外，筆者曾使用 Soil point 就各種土壤，研究土中水分移動速度之急減點，結果獲悉水分移動速度之急減點亦在有效水分範圍中央部分。

上所述者均否認 Veihmeyer 等氏所說，任何部分之有效水效果相等之佐證。

如上項(1)所述，因土壤水分減少而作物之生長停止時，土中仍殘留有有效水分在，而此絕對值依土壤之不同而有劇變，此仍表示有效水分量本身非生長停止之直接原因，實值注意。然以殘留有效水分與

全有效水百分率表示，各種土壤之數值相近似為50%，真正使作物停止生長之原因可能存在於此，而此原因在土壤間可能為一致。因此可推測為在有效水分範圍中央部分之水分移動速度劇減的結果。

真正抑制生長或生長之停止原因為何？與此有關而有興趣的實驗結果如圖20所示。

第20圖示兩種性質顯著不同之砂土與粘質土之含水量與生長之關係曲線的趨向，並示土壤含水量與水分保留力之變化情形。值得注意者為(1)隨着含水量之增減，在兩種不同土壤中之作物，其生長情形顯然迥異。即生長曲線之趨向性質各有不同，(2)含水量及生長關係曲線各與含水量及水分保留力之關係曲線完全相反。即隨水分保留力之增加，首先生長逐漸被抑制，而後乃停止。砂土之水分保留力，在含水量極少時始發生，故含水量，生長曲線之頂部較為平坦（鈍頭），而在含水極豐富情形下逐漸產生保留力之粘質土，其含水量、生長曲線為尖頭狀。此種土壤水分保留力之消長可能為影響生長之直接因子。此現象表示土壤水分保留力為影響作物生長之重要因素，又任何土壤，作物之生長停止發生於土壤內水分移動速度急劇減少之有效水分範圍中央部分之事實一致。

據 Veihmeyer 在砂質土所作之試驗結果為植物之生長在土壤有效水分未完全消失以前，並不發生異常，而其含水量，生長曲線之頭部為平坦鈍頭狀（第15圖）。又據 Lewis 氏在重粘土之調查結果為土壤中有有效水分雖尚極豐富，但植物之生長已開始被抑制，其生長、土壤水分曲線為銳頭狀（第16圖）。事實上，此兩種不同土壤之水分保留力及生成過程（第20圖），兩氏之試驗結果均具有相當理由。

有效水分之新性質

上面曾多方面探討土壤有效水分之特性，並述及有關有效水分與作物生理現象之關係，現摘要說明有效水分之特性（性格）如下：

(1) 有效水分為水分當量與凋萎係數間之毛細管水，作物之根可將其全部吸收，此點與以往之理論相符。但有效水分範圍內之水分，雖可全為植物吸收，惟吸收與有效水分之效果均一之意義全然迥異。接近水分當量附近之有效水分，其在土壤中之移動極容易，但凋萎係數附近者，移動則甚困難。筆者利用 Soil point 所測得之結果為凋萎係數附近之有效水分，其移動速度僅為水分當量附近者之 1/600。

(2) 因此，作物之蒸散，同化，運動及生長等四生理作用，便隨有效水分之減少而減少。即不同部分之有效水分對上述四種生理作用之效果不均等，而愈接近於凋萎係數，其效果更見減少（玉井，1956）

筆者於敘述有效水分效果不均等時，曾述及根可吸收任何部分之有效水分，但吸水速度因有效水分部位之不同而發生顯著差異，故植物體內水分收支之動的平衡關係亦隨有效水分之部位不同而迥異，故有效水對植物生長，並不一致。

(3) 上述四種生理作用中，有效水分對生長之效果最不均等。即當有效水分上半部（約50%）被消耗時，生長即告停止。

(4) 據筆者就九種土壤五種作物之調查，植物停止生長約在水分當量之75%時（玉井，1956）。

(5) 在生長停止點附近，尚有溢液停止點 (Kramer, 1941) 與初期凋萎點 (Furr, 1945) 存在。此等現象均可證明有效水分之效果不均等。

(6) 因有效水分中央部分有，①水分移動急減點，②生長停止點在，故筆者乃將上半部之有效水分稱為易動性有效水，而下半部稱為難動性有效水以示區別 (玉井, 1956)。

其後，關於生長與有效水分之關係，在日本亦引起各方面之注意，如長谷川 (1962) 氏報告表土 0~15cm 內之有效水分消失 40% 時，陸稻即停止生長。又椎名氏 (1963) 之報告，不僅證明有效水分之效果不均等，且 P^F 的觀念亦導入此問題，而由量的方面研究其有效水分與生長之關係。

第17表 溫州蜜柑在愛媛縣不同母岩栽培主要產地之一次灌溉水量與計算之基本數值。

場 所	母 岩	圃場容水量	假 比 重	根 深	一 次 灌 溉 水 量	
					水 深	一 英 畝
船 谷	花 岡 岩	12~19%	1.20~1.38	30 ^{cm}	20.4~29.4	114~162
潮 見	"	18~24	1.132~1.20	38	36.0	198
小 西	"	7~21	1.13~1.30	45	31.0	171
中 島	"	9~19	1.32~1.38	20~30	14.6~17.8	80~975
丹 源	洪 積 層	3~16	1.16~1.57	30	15.4	85
關 前	秩 父 古 生 層	15~23	1.16~1.37	30	21.8~32.2	120~177
眞 穴	結 晶 片 岩	18~30	0.996~1.341	30	30.2~36.2	167~198
上 灘	"	22~23	0.716~1.31	30	24.0~35.3	132~195
喜 多 灘 ₁	"	27	1.06~1.087	20	23.0	127
砥 部	中 生 白 亞 岩	19~28	1.06~1.26	20~30	25.0~32.4	138~178
喜 佐 方	和 泉 砂 岩	21~35	0.785~1.200	30	30.2~42	167~232
上 灘 ₂	安 山 岩	43~51	0.84~1.27	30	49.7	274

有效水分之新性質與旱地灌溉用水量之關係

如上所述，關於有效水分效果不均等之研究報告極多。近來有許多研究報告，強調有效水分應區別為上半部與下半部。因此隨有效水分性質改變，以往旱地用水法勢將有所更改。筆者有感於此，現就灌水時期之判斷法及 1 次灌水量之計算法分述如下。

(a) 灌溉開始期之新判斷法

以往關於灌溉開始期之決定，多依據作物之外部形態 (外觀)，生長情形，土壤顏色等直覺決定。然此法於今實欠客觀，而應在有效水分範圍中點即行開始灌溉。

(b) 一次適量灌溉水量之計算法

灌溉開始期由有效水量 0 % 提高至 50 %，故每次灌溉應補充之水分百分比，不能以田間容水量與凋萎係數之差數為準。有見於此，筆者乃作如下之公式：

$$\begin{aligned}\text{一次適正灌溉水深mm} &= \frac{(\text{田間容水量} - 0.6 \text{田間容水量}) \times \text{土壤假比重} \times \text{根層深 mm}}{100} \\ &= \frac{0.4 \text{ 田間容水量} \times \text{土壤假比重} \times \text{根層深 mm}}{100}\end{aligned}$$

田間容水量略較水分當量為高，在多種土壤中，其數值較水分當量約多 2 成。

0.6 田間容水量係保持等於有效水 50 % 之含水量時以對田間容水量之比率所示者。

第 17 表係愛媛縣下屬不同母岩之廿個溫州蜜柑主要產地之田間容水量、土壤假比重及根深為實測數值，代入上式，便求得不同產地之一次灌溉所需水深。此外並附演變該公式所需之參考資料。

以往該縣柑橘園一次灌溉所需之水深，乃依栽培者之經驗決定之。但據上式求出之一次灌溉水深為 15.4mm 至 49.7mm 間，此乃顯示一次灌溉水深係因土壤不同而有差異，故若非依土壤而決定一次灌溉水深，勢必引起灌水量過多或不足之現象，實值得注意。然上述之一次灌水深度僅為一縣內單種作物之測定實驗結果，但若對全國之旱作地域加以測定，所得數值之變幅料必極大。

第 17 表所列數值，雖尚欠充分，但可為以前非科學的估計法提供較有科學根據；並為各種果樹一次適宜灌水量之參考，且期此法對柑桔園灌溉合理化有所助益。

此項測定值，係筆者研究室，愛媛縣果樹試驗場以及青果連合會有關灌溉水之研究者相互研討而得，現已逐漸為該縣及鄰近柑桔園所採用。

5、旱地需水量計算法

旱地水分消耗除作物之蒸散外，又有土面蒸發及滲透流失。故滲透水流失後，土壤含水量達田間容水量。此時耕地之水分又為作物與土面所蒸發所消耗，兩者合計值，稱為蒸發散量 (Evapotranspiration)，此數值亦可稱為用水量 (Consumption use) 用水量雖可分為蒸散量 (Transpiration) 與土面蒸發 (Soil surface evaporation)，實際上區分研究常有困難。實用上兩者之合計值即足以應用。

需水量之求法可大別為(1)依計算之方法及(2)實測法兩種，現將具有代表性者，簡述如下。

(1) 以計算求用水量之方法

利用與蒸發散量相關最著因子組成之公式計算者，有如下數種：

i) Blaney-Criddle 法

兩氏認為蒸發散量為①月平均溫度，②晝間長，及③作物種類三因子所組成，紹介並公

式如次： $U = K \cdot F$ U 為蒸發散量。

$F = \Sigma t \cdot p$ ，即蒸發散量有關之外界因子 (t.p) 之總和。

t 為月平均氣溫或旬 (10日) 平均氣溫。

p 為白天時間之百分率。 K 為依作物而不同的係數

此式可以依當地平均氣溫與日照時間為基數，計算作物蒸發散量，故甚為便利，美國極為推重。然在日本多雨潮濕地帶，因上式未考慮日照量，故應用範圍有其界限。

ii) Thornthwaite法

Thornthwaite 認為蒸發散量與月平均氣溫（°C）之間可成立下式：

$$e = ct^a$$

e : 月別之蒸發散量 (cm)
 t : 月平均氣溫 a : 地區係數

此法所求之蒸發散量，係以日長 12 小時，一個月 30 日所求得之標準數值。若依該地之季節，緯度之影響，將此標準數值略加修正即可得符合該地要求之數值。如此以月平均氣溫及緯度所求得之蒸發散量，在北美洲大部地區，此數值因與其作物覆蓋情形，土壤類型及土地利用狀況等無關，故能符合當地之應用。

在日本，因礙於地勢之複雜，區域間之氣象與時期之變異甚大，且土地利用情形複雜處此法認為疑題頗多。

iii) 種田氏法

種田氏在滋賀農科大學農場，設一直接測定蒸發散量儀器以研究實測值與外界因子之關係，發現牧草之蒸發散量與外界因子有如下公式之關係在：

$$\text{蒸發散量 } e = c_1 t m^{1.37} \quad e = c_2 t$$

t : 月平均氣溫 (°C)
 tm : 月平均最高氣溫 (°C)
 c_1, c_2 : 被作物之生育狀況或氣象因子 (尤以 6~7 月累積氣溫) 支配之係數。

如欲利用牧草之蒸發散量，計算他種作物之蒸發散量，需再測定各種作物之蒸發散量與牧草蒸發散量之比率係數。據同氏之研究，此比率係數均在 0.3~1.0 之間。

此種計算法之特徵是將作物之特性考慮在內，惟作物之蒸發散量除受溫度之影響外，尚強受日照之支配，故此計算法之應用範圍亦受限制。臺灣糖業試驗所，曾利用此方法計算甘蔗之蒸發散量，再由此計算灌溉次數，然計算結果與實測值有極大差異。

iv) 甘蔗需水量計算式 (玉井試案)

此式並不適用於所有旱作用水量計算法。筆者曾利用下述方法測定甘蔗根之吸水量與外界因子之相關，並調查土面蒸發量與其支配因子之關係。下式係根據此調查之結果，並參酌以往關於滲透試驗資料而設立。

$$\begin{aligned} \text{甘蔗之灌水量} &= (\text{甘蔗之吸水量} + \text{土面蒸發量} + \text{滲透量}) - \text{有效雨量} \\ &= (0.36aE + 0.5bE + 0.25cR) - 0.6R \end{aligned}$$

此式係以一公頃生產蔗莖十萬臺斤為準。

係數 a：此係數依產量不同而異，若生產量自五萬臺斤增至二十萬臺斤時 $a=0.5 \rightarrow 2.0$ 。

係數 b：此係數示土面蒸發與土質之關係。如土壤由砂土變為腐植土時 $b=0.3 \rightarrow 1.0$ 。

係數 c：表示滲透與土質之關係。土壤由砂土變為腐植土時 $c=1.0 \rightarrow 3.0$

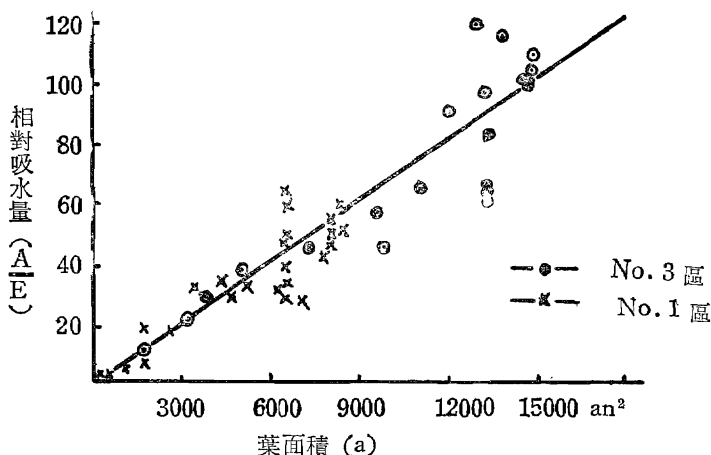
E. 在生育期間蒸發計之蒸發量 mm。

R. 生育期間降雨量 mm。

上式原目的以需水量減有效雨量求灌水量 (mm)。但因前二項 (a.b) 相當於前面所述之蒸發散量。故如利用此式之前二項，亦可求得甘蔗全生育期之蒸發散量之近似值。即

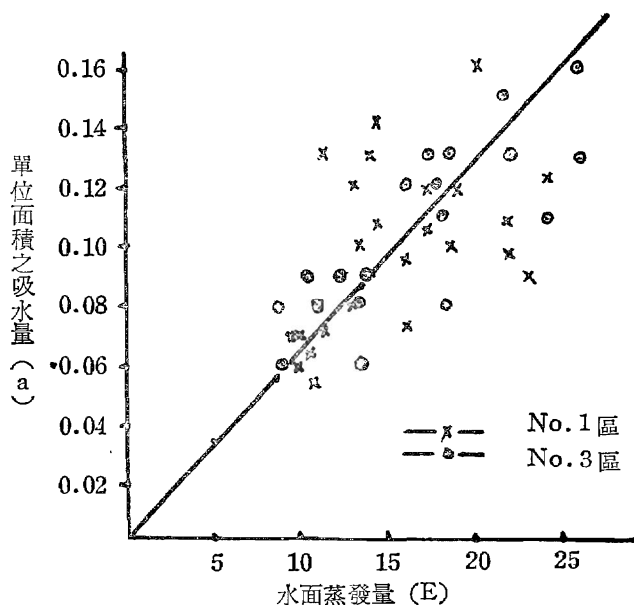
甘蔗之蒸發散量 $= 0.3aE + 0.5bE$ 。

此係根據“植物體之大小，大氣之蒸發量及土壤性質等三因子均能支配蒸發散量”之理論而求得者。植物體之大小與大氣之蒸發量影响作用甚大，其他作物亦有相同之結論。(參照第 21~22 圖)。至於未採用氣溫因子，乃因蒸發量包括有氣溫、濕度、風及日照等外界因子在，為外界因子之綜合。實際上蒸發計測得蒸發量與甘蔗根之吸水量（相當於蒸散量）關係極密切；兩者相關係數 $r = +0.7$ 。



第21圖 煙草根之吸水量依葉面積之增加而發生之變化

由上圖可知，除甘蔗外他種作物之根吸水量亦受作物體積(收穫量與葉面積)之支配。



第22圖 煙草之吸水量與水面蒸發量之關係

根之吸水量與大氣蒸發量有密切關係。不僅煙草，甘蔗如此，其他作物亦有如上圖之現象。

第 18 表所示之灌水量，係以上述之觀念為基礎，再加滲透水量，由此總和而減去有效雨量，即為全灌水量與單位面積用水量。此數值與臺南、臺北及日本鹿兒島水稻灌水實際對照結果是極為一致。

第18表 在三種不同氣候區所求得之甘蔗灌水量與該地水稻需水量 ※

地 名	平均一日灌水 深 (mm)		單位面積灌水 量 (町秒尺)		全 灌 水 量 (mm)		蒸發量 (mm)	降雨量 (mm)	備 考
	甘 蔗 (水稻)		甘 蔗 (水稻)		甘 蔗 (水稻)				
臺南	實 數	6.17 13.6	0.025 0.056		1501 1836		2040	1779	甘蔗產量 15萬斤/一畝甲 灌溉期間8個月
	比 數	1 : 2.2	1 : 2.2						
臺北	實 數	3.24 10.5	0.013 0.041		789 1412		1591	2475	
	比 數	1 : 3.2	1 : 3.2						
鹿 兒 島	實 數	2.5 1.50	0.01 0.06		221 1380		1030	1633	甘蔗收數7.5萬斤 灌溉期間3個月
	比 數	1 : 6.0	1 : 6.0						

※ 係依照以往沿用水稻灌水量 = $(1.5E + 0.45E + 1.95E) - 0.8R$ 而求得。E. R 與甘蔗者同義，係表示蒸發計之蒸發量與降雨量。

由上表觀之，甘蔗之灌水深度以熱帶乾燥期較長之臺南區最大，溫帶濕潤之鹿兒島最小，臺北則居其中。但以水稻灌水量比率而言，則臺南最少，鹿兒島最大。據牧氏 (1944) 調查，印度、埃及及美國等乾燥地區，水田對旱田單位面積灌水量之比為 2 : 1 者居多。在爪哇，據田町氏 (1938) 與牧氏 (1944) 之調查，其比率為 4 : 1 至 4 : 1.5 之間，意大利之雨量分佈較佳，其比值為 7 : 1。日本亦為 6 : 1 至 10 : 1 之間。上表中鹿兒島之水田對旱田單位面積灌水量之比值為 6 : 1，正與上述灌溉專家之見解一致。

唯須注意者，此計算式雖可求得全灌水量，而不能求出各月之灌水量。即雖有各月之蒸發量與雨量，却未能顧及作物各月之生長變化情形。因之，以此公式無法求得甘蔗各月之吸水量（蒸散量），而各月之蒸發散量亦無法由此公式求得。為補救此缺點，茲述各月蒸發散量之簡便計算法；此法係利用前述蒸發散量之公式： $0.36aE + 0.5bE$ 首先計算前項 ($0.36aE$)，再參照另行測定之甘蔗全生育期間月別之根吸水量變化表（第19表），依每月之比率計算出每月吸水量後，再加計上式後項之土面蒸發即求得每月之蒸發散量。

又上式中之前項亦可利用一枝蔗莖之平均吸水量或需（要）水量（water requirement）來計算（玉井，1956）。第4圖所示甘蔗一日中之耗水量在年中之變化情形，係以後者之方法計算者。

第19表 以兩種灌水法求得甘蔗全生育期間之吸水量變化情形（玉井1956）

測定年月	自動灌水法（以一株計）			間歇灌水法（以一株計）		
	一月吸水量	一日吸水量	同 比 數	一月吸水量	一日吸水量	同 比 數
1940年11月	750 ^{c.c.}	25 ^{c.c.}	0.16 [%]	1,050 ^{c.c.}	35 ^{c.c.}	0.14 [%]
12月	2,015	65	0.40	2,480	80	0.32
1941年 1月	3,295	110	0.68	4,973	151	0.60
2月	3,802	136	0.84	5,084	179	0.72
3月	6,805	220	1.36	8,438	272	1.09
4月	8,968	299	1.86	17,011	567	2.27
5月	23,917	772	4.78	50,170	1,618	6.47
6月	47,150	1,572	9.72	82,625	2,754	11.01
7月	81,577	2,532	15.66	126,511	4,081	16.32
8月	91,002	2,965	18.34	145,159	4,682	18.73
9月	77,371	2,579	15.95	112,376	3,746	14.98
10月	65,401	2,109	13.04	102,512	3,307	13.23
11月	45,580	1,519	9.39	58,494	1,750	7.80
12月	22,747	1,263	7.81	28,497	1,583	6.33
合 計	480,375	16,166	100	745,080	25,005	100

依兩種不同方法測定之甘蔗平均莖數：自動灌水區為4枝，間歇灌水區為6枝。兩者於一定時間內之吸水量雖不同，但全年之變化情形極相近似。在7、8、9三個月間之吸水量均佔全生育期之50%，此係表示夏季為作物最大需水期。

（v） 以蒸發計之蒸發量計算蒸發散量法：

日照，日長，氣溫，濕度及風等因子影響蒸發散量為眾所熟知。因之，單依據氣溫求蒸發散量，實際上其應用範圍受限制。故以包括上述日照等氣象因子之水面蒸發量作計算蒸發散量之依據，可能為最有效之方法。

上述甘蔗蒸發散量之計算式，筆者乃根據此觀念，以蒸發計求蒸發散量為主要因子而創立者。譬如，種田氏曾將牧草之蒸發散量與蒸發量之關係表示如次：

$$e = (0.5 \sim 1.5) E \text{ 或 } e = (0.9 \sim 1.5) E \text{ (此式1~3月不計) 。}$$

e ：月別蒸發散量。

E ：月別之蒸發計蒸發量。

橫井氏 (1963) 最近更具體地求得各種作物在不同生育期之係數：

第20表 蒸發散量與蒸發計蒸發量之比 (橫井、1963)。

	蒸 發 散 量 / 蒸 發 量			
	旱 作 水 稻	陸 稻	春刈玉蜀黍	春刈玉蜀黍
七 月 中 旬 以 前	0.59	0.55	0.77	0.98
七月下旬至八月中旬	0.96	0.95	1.15	1.55 *

* 至八月上旬

此類基本實驗累積後，自蒸發計之蒸發量推算同一時期之作物蒸發散量之正確性定能提高。尤其在臺灣，旱地作物之種類繁多，且同一種作物可春植亦可秋播的地區更需分別測定，並求得不同作物，不同季節及不同生育時期之蒸發散量與蒸發計蒸發量間之係數。

(2) 實際測定法

蒸發散量之實際測定法中，最古老方法為秤量盆栽作物之減輕量，即所謂 (1)重量法外，尚有 (2) Lysimeter法，(3)Floating lysimeter，(4)Autoirrigator法及(5)利用蒸發散室以收集水分，或測定其濕度之變化法。今就其原理簡述如下：

(i) Lysimeter 法

在普通之 lysimeter 下部置砂礫，計量其地下灌水量，同時測定降雨量及滲透水量，再以下式求得一個月間之蒸發散量。

月蒸發散量 = 月雨量 + 月地下灌水量 + 最初之土壤含水量 - (流失水量 + 最後之土壤含水量)。

烏瀉氏 (1963) 介紹記錄 Lysimeter 地下灌水量之方法為：地下水位降低時水源之電磁瓣自動開啓，而補給一定之水量後電磁瓣自閉，如是即能保持一定之水位，亦可量出被使用之水量。此法原為測定果樹蒸發散量而設計。可適用於月蒸發散量之測定。對一日中支配蒸發散量時時刻刻都在變化之因子分析，則需利用下法自記式之 Floating lysimeter。

(ii) Floating lysimeter 係吉良氏之提案 (1958)

即于大水槽中置一具有浮力之栽植槽 (此槽之周圍充滿空氣以增其浮力)。蒸發散結果，栽植槽重量改變，大水槽之水位亦隨之而改變，並可將此水位之改變擴大於自錄計上。降雨產生之滲透水則集存於栽植槽底之礫石層，以附設之塑膠管吸出計量之。此法原為調查陸稻之蒸發數量之實況而設計者，其功效極佳，現為日本東海近畿農試所所採用。惟此法欲擴大一區之面積時，其設備費相當高，而有不便之感。

(iii) Autoirrigator 法

即自動灌水法。最初爲 Livingston (1908) 將 Atmometer 之素燒埋於土中，與貯水槽之水連結，而水之供給僅依作物之需求量連續由貯水槽經玻璃管送入。最近於素燒與貯水槽間，增設量水計，而以電動自錄器不時記錄植物之吸水情形。此係現任臺灣大學，高坂教授所設計之自錄計 (1941) 而經筆者 (1953) 改善者。最近筆者曾將多數素燒埋於長形之畦床，而栽種作物於畦上，以求接近室外群落狀態之蒸發散量，並介紹適合於此種裝置之自記量水計 (玉井，高須賀 1958)。

以上係地下灌水式之自記裝置，此外亦有地表自動灌水式自記蒸發計 (玉井，1956)。此係將 Tensionmeter 與水源之電磁瓣連結。當土壤水分乾燥，tension 升至一定高度時，接點關閉而啓開電磁瓣，補給一定量之水分，同時亦可記錄灌溉次數。又陳清義氏最近亦介紹更進步之擬案 (陳清義 1962)。

此自動灌水法之優點爲供試面積不受限制而可依照希望面積作栽植用 Bench，僅需連接埋設「素燒給水管」便可測定多數個體之蒸發散量，無需如重量法因增加供試面積而爲高價的秤量計煩惱，且自記量水計可以自製，材料費不高。至於此法或有根粘着素燒的麻煩，此乃附設於素燒之貯水槽位置過低所致，祇需將予適當提高即可。但貯水槽之水位必須比素燒之底面低，如水位超過限度，尚感不足時，即素燒之給水能力不能滿足作物的需要。此時必須加設素燒之數目，依筆者經驗，在 10cm 直徑，60cm 長度的給水用素燒圓筒，如種植水稻即以 10 株最適當，如超過則認爲不合理。

(iv) 利用蒸發散室收集水分或測定濕度變化法

此法乃加藤氏 1960 年之擬案，以塑膠布的透明蒸發散室覆蓋供試作物 (單株或群落狀態) 通以一定流速之空氣，以自記裝置測定室內出入口之濕度。爾後，依照計算求得作物之蒸發散量。或有以吸濕劑代替測定濕度，以所吸收蒸發散之水分而求之。吸濕劑通常使用 Silikagel。

此法較重量法測定之蒸發散量可能有 2~10 % 之誤差。然所用蒸發散室愈小則精確度愈高

此法之優點：不論植物爲個體抑或群落狀態，均能連續自記其蒸發散量之變化。此外尚可測定作物體不同部份之蒸散量。譬如水稻之葉片、葉鞘、穗等各部份可分別測定，以比較各部份之水分消費情形，此爲上述任一法所無之特徵。

此外亦有將水分計插入土壤內，以其讀數之變化，調查土壤水分的消耗量，由此累計月別之蒸發散量者。然降雨時，必須加算有效雨量。此法僅能求出月別蒸發散量，而難以紀錄短時間之變化情況，故不適於某作物之蒸發散作用特性之基礎研究。

以上介紹各法，各有其特徵，應用時須依研究目的選擇之。

6、旱地灌溉時期與作物水分消耗過程及其臨界期

旱作灌溉應在何時，應灌溉多久最爲適當，須依作物需水情形而定。換言之，至少要考慮，(1)作物水分消耗過程，(2)降雨量之分佈情形，(3)作物耐旱力最弱時期，即臨界期 (Critical period) 等三項事宜。

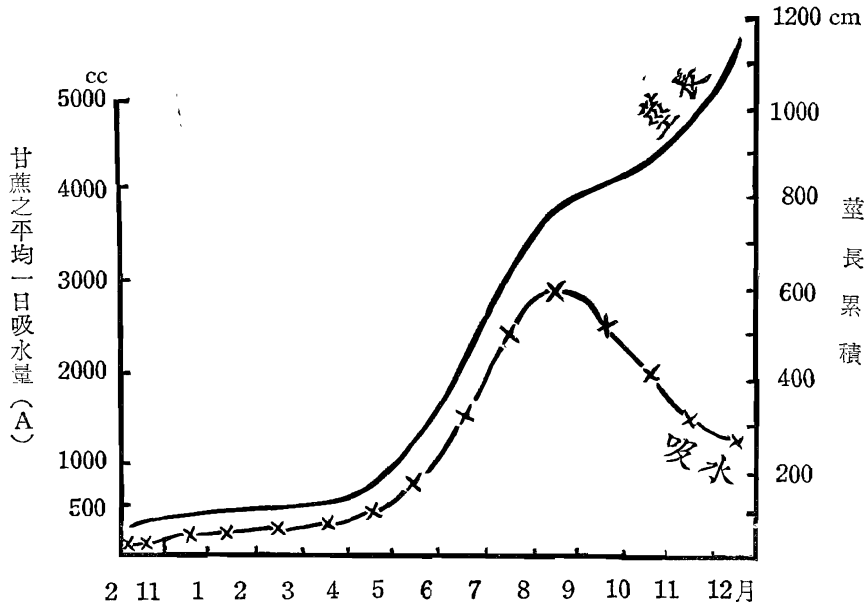
臨界期與最大需水期並不一致。又作物不同，有時臨界期與最大需水期亦不同。即使同一種作物，因栽植期不同，最大需水期亦可能有很大變動。故必須在事先調查臨界期，最大需水期及其前後之變化過程，以爲推測灌溉時期之參考。

茲介紹筆者自1940年迄今二十餘年中研究甘蔗等主要旱作物之水分消耗過程爲主，及有關臨界期等資料。惟此等資料，除甘蔗外均在日本研究者，恐難完全符合臺灣之實況，然對其水分消耗特性（何種因素支配旱作物水分之消耗）之理解，相信有所助益。至於臺灣各地旱作物之蒸發散量及年變化之實況，則寄望於貴地研究者今後之努力。

(1) 甘蔗全生育期蒸發散量之變化過程及其灌溉時期

如前所述，筆者任職于臺北之時，曾利用自動灌水法及 Tentionmeter 法實測甘蔗全生育期（自種植至收穫共計十四個月）之吸水量（蒸散量），結果如第19表。再以此爲基礎加計土面蒸發而求得全生育期的蒸發散量之變化過程，如第4圖所示。

在未敘述灌溉時期之前擬先討論佔蒸發散量最大部份之蒸散量爲何有如第23圖之變化，係受何種因子之支配？此乃爲求蒸發散計算式時所必之基本資料。



第23圖 甘蔗吸水量與發育（莖長）之關係（玉井，1956）
至發育中期止，吸水量與生長呈平行關係。

多年來筆者立於此觀點，經常對甘蔗及其他旱作物吸水量之變化及其支配要因加以注意。茲以甘蔗為例敘述其結論如次：

- (i) 根之吸水量大部份受地上部之大小而決定。因此根之吸水量通常隨地上部之生長而增加。即地上部之大小，對作物從土壤吸收水分具有極重要之效用，如第 23 圖所示，甘蔗吸水量過程中自栽植至翌年八月間，生長與吸水量保持平行關係。
- (ii) 其後（生長中、後期）莖部雖繼續生長，但吸水量反而減少。此乃除由於下部葉片枯萎外，外界因子中之蒸發力，隨日照之減少及氣溫降低而減少，同時其他葉片衰老，蒸散能力隨之減退，又因地溫下降，根本身之吸水能力亦減少之綜合結果。

總之，支配根吸水量之內在因素中，最大因子為作物之體積，年齡亦有若干關係。日照量，大氣之蒸發力（以蒸發量代之）及濕度為外在因素。內在因素中，作物體積最具影響力。除甘蔗外，前述之煙草（第2圖）及後述各種旱作物之吸水過程均明顯可見。

支配根吸水量之外在因素，日照量為其主要因；此現象從甘蔗在正常日與日蝕日之根吸水量之變化及氣象因素變化之比較研究而證實（玉井，1943，1956）。其他作物與甘蔗相同，比較根部吸水自錄計記錄與氣象因素自錄計記錄便可獲得此現象之資料；如西洋香瓜（玉井，1956），桃、夏柑、香料 *Geranium*，牧草 *Fescue*（玉井、赤松、藤川 1955），大豆與陸稻（玉井、高須賀 1958），旱作水稻（玉井、上堂、高須賀、今西 1958），煙草等皆是。尚有陳清義（1961）亦用自記裝置研究各種植物之吸水特性而獲知：除虎耳草，仙人掌及落地生根等特殊植物之外，甘蔗、香蕉、玉米及含羞草等普通植物之吸水對日照反應極為銳敏；發生日蝕時日照激變，吸水作用亦因之急減，日蝕恢復後，吸水亦隨之迅速復元。此觀測與筆者之實驗結果吻合。

如此日照量對作物之水分消耗具有極大影響力，然其量隨時均在變化，欲實際測得一日累積量，或一月累積量，當需很多工作時間。因此曾提倡以蒸發量（與日照量關係頗深而且與作物之蒸散作用性質相近）為蒸散量（吸水量）乃至蒸發散量之指標因子（玉井，1956）。最近在 Hawaii 及臺灣亦盛行此研究，筆者引以為幸。期望不久能求得可供實用之每種作物生育期別之蒸發散量與蒸發計之蒸發量間之相關係數。

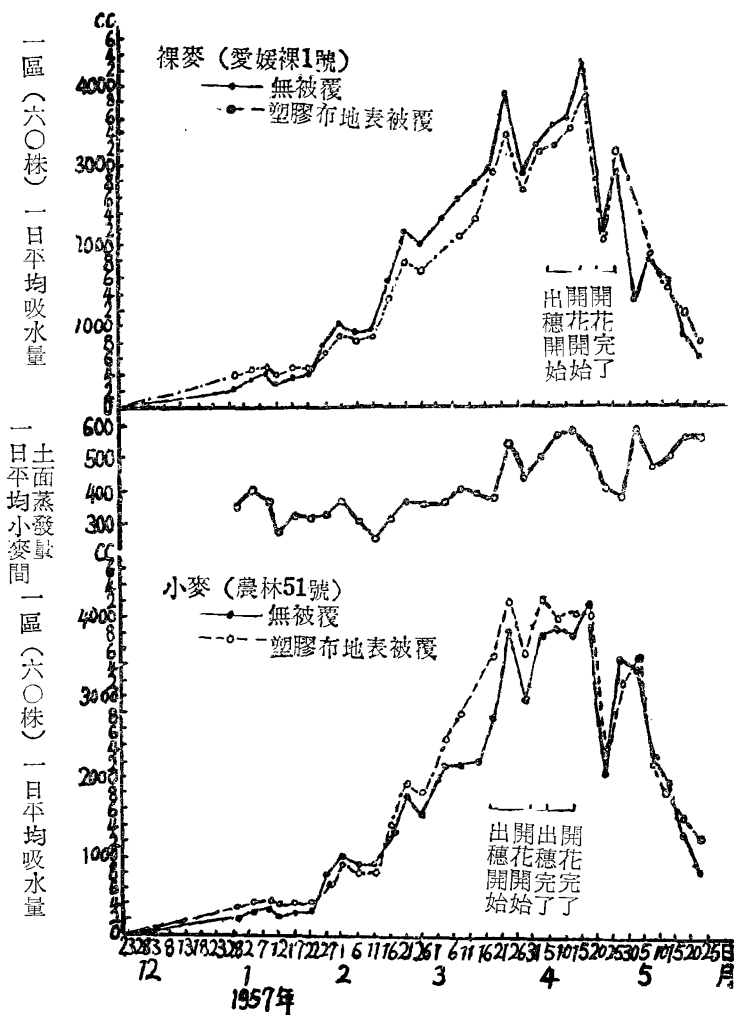
甘蔗之臨界期與灌溉期

在日本甘蔗之栽培僅限於南部地區。日本之乾旱期在七、八月，此時期正逢甘蔗之最大需水期，因之夏季必需灌溉。田邊氏（1949）在宮崎縣，試驗結果證實其灌溉效果。臺灣雨量分佈與甘蔗需水量（蒸發散量）之關係，與日本之情形大有不同。此可由第 4 圖及第 23 圖覺察之。臺灣甘蔗秋植後至冬季間有一段缺水時期，次年夏末至翌春之間又有顯著旱季。中南部秋冬時水分不足更甚。另以甘蔗之生長與水分之關係而言，藍等認為臺灣南部夏季是多雨季節，在立地因子不利之場合，此時之雨對甘蔗之

收穫有時反而不利。倘無負效果，則因地下水位上昇，使甘蔗增加利用地下水之機會，因此夏季平地對灌溉之需求低。山地因土層較淺，地下水位在雨後立刻下降，忽略夏季灌溉是不智之舉。

藍及高木（1943）謂，臺灣南部甘蔗收穫量受冬季，尤以二月之雨量影響甚大。又據孫及劉（1952）之報告，甘蔗之分蘗大部份於種植翌年二月前形成。以此情形，臺灣南部在種植當年的秋天至次年春天之乾燥期為一重要之灌溉時期（劉及張 1958）。從上述諸氏研究之結果或自有效雨量及蒸發散量對照之結果觀之，可說此時之灌溉為甘蔗未來生長之根基。實際上嘉南大圳的配水即針對此時期之要求而努力。（嘉南農田水利會，輪灌標準圖）。

又據岡田（1941）之研究結果，臺南在五月至十月為甘蔗生長期，在此時如給水充分，生長旺者，至秋天乾燥期水分不足時，莖之內部組織發生脫水現象，而呈海綿狀，更甚者莖內部沿其縱軸抽空，形成所謂空心狀態，而顯著影響蔗莖品質，收穫量亦減少。



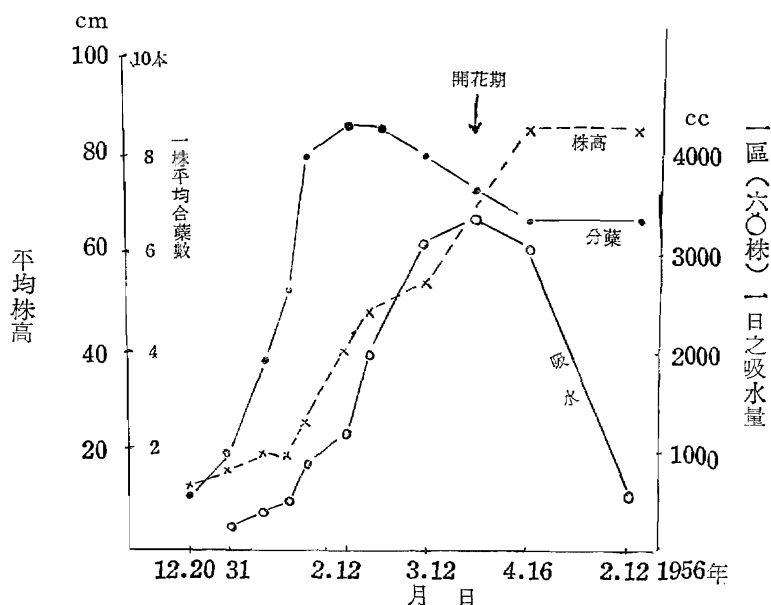
第24圖 小麥及裸麥全生育期之吸水量變化情形 (吸水量之變化與土面蒸發量有相當密切關係)

連續灌溉之甘蔗發生空心之比率較低，約 15 %；反之在秋季斷水而陷入缺乏水分狀態者，則可發生 56 % 高率。事實上，臺灣南部之甘蔗在收穫年之秋天，不行灌溉者為多。然而地下水位低或土壤保水力較差之地區，因甘蔗需水量仍大，在旱天持久之時，尤需灌溉。

最近參觀嘉南農田水利會管轄區域時，據該會蔡管理組長說，嘉南輪作灌溉實驗區委員會已成立，並設實驗農場。在農復會輔導之下，由農林廳，臺灣大學，糖業試驗所，臺南區農業改良場以及嘉南農田水利會等機關，指派專家密切合作下，依照九年計劃進行基本試驗，俾使將來白河及曾文兩水庫完成之後，於有餘水時可供水田以外分配利用計劃，其計劃中之甘蔗部份，有於插植當初之灌溉以及在收穫年之夏秋季灌溉計劃，頗感興趣，筆者期待該委員會今後之活動，並祝成功。

(2) 小麥及裸麥生育期間蒸發散量之變化及其臨界期與灌溉時期

小麥與裸麥，在臺灣及日本均為冬季作物。但因臺灣氣溫較高，日照亦較強，而與需水量之關係至為密切的開花期較早，故收穫期較日本早達 1~2 個月。是以二作物在日本之吸水變化研究資料，對臺灣有多少參考價值尚屬疑問。但略可看出麥類之吸水特性，故特示於下圖以供參考（第24、25圖）



第25圖 裸麥（愛媛裸1號）在全生育期之吸水量、分蘗及株高之變化關係（玉井，1957）

迄開花期吸水量與株高保持平衡關係。

小麥與裸麥共同之吸水特性有如下三點：

- (i) 迄一月下旬之分蘗期，吸水量極少，至二月，地上部開始伸長，吸水量隨此遞增（第25圖）。
- (ii) 吸水最多是在出穗開花期。
- (iii) 開花後，即隨成熟程度，吸水量遞減。因此麥類之最大需水期為時甚短是其特徵。

麥類耐旱性最弱時期一臨界期，據 Enverry (1945) 研究結果，時在孕穗期。時政氏 (1952) 之意見亦大致相同。據時政報告說：小麥及裸麥之耐旱性，孕穗至開花之間最弱，其次是成熟前半期。此結論與第 24 圖所示吸水曲線比較，則其耐旱力最弱時期，相當於吸水量激增時期至最大吸水期，而此時期僅占全生育期之一小段時間，故可說臨界期為時甚短。

在日本之灌溉時期，一般在幼苗期（冬季）之灌溉無效。灌溉效果顯著時期為初春三月後，即於伸長時期遭遇之乾燥期。

臺灣小麥灌溉試驗成績，據山口氏於 1938 年在嘉義試驗結果極為顯著，即灌溉區較無灌溉增產達 2—4 倍之多，其中以播種後 40 日起灌溉四次區為最佳。但在日本冬季小麥灌溉被認為無效。

在日本麥田冬季灌溉效果不佳之原因，乃因灌溉引起土壤之凍結及發生霜柱。臺灣南部冬季氣溫仍高且此時為早期，故小麥灌溉效果甚為顯著。此乃理所必然，但與日本比較適相反，似示臺灣旱作灌溉更有意義與價值。

（3）陸稻及早作水稻全生育期蒸發散量之變化及其臨界期與灌溉時期

最近日本旱地灌溉地區，正努力由水稻代替陸稻。其理由不僅稻作水稻品質較陸稻為優，如前章「灌溉效果」所述水稻耐肥性高，在灌溉情形下多施肥料不像陸稻莖葉茂盛容易倒伏而減產。且旱作水稻在水分生理方面而言，亦不較陸稻略差，並已知具有下述優點所致。

（i）旱作水稻需水量（生產 1 克乾物質所需之水量）與在水田栽培者無何差異（長谷川，1957）；換言之，若給予適當水量，旱作水稻仍具有與一般水稻相等之有機質合成能力。

（ii）最近發現旱作水稻需水量比陸稻略少（長谷川，1957，玉井，1958，東海近畿農試場 1958）。此表示旱作水稻合成一定量有機物所需之水量略較在同一狀態下之陸稻少；換言之，其有機物之合成效力略較陸稻為優（參照第 21 表）。

（iii）旱作水稻之每日蒸發散水量，即一日減水深亦比陸稻少（玉井，1958）由此可知，以陸稻所需水量，可栽植產量較高品質較佳之旱作水稻。

但因旱作水稻之根系較陸稻稍淺，故每次灌溉水量及灌溉間隔應加調整，因水稻習慣於湛水栽培，栽培於旱地時務使其能充分發揮機能，此尤待於品種徹底改良；又為推廣農民樂於採用之灌溉方法，當有不少技術問題尚待研究。

將來水稻進入旱地灌溉區域栽培之可能性頗大，筆者特將旱作水稻與陸稻之生育期別蒸發散量之變遷情形及臨界期之研究結果介紹於後，以作灌溉參考。

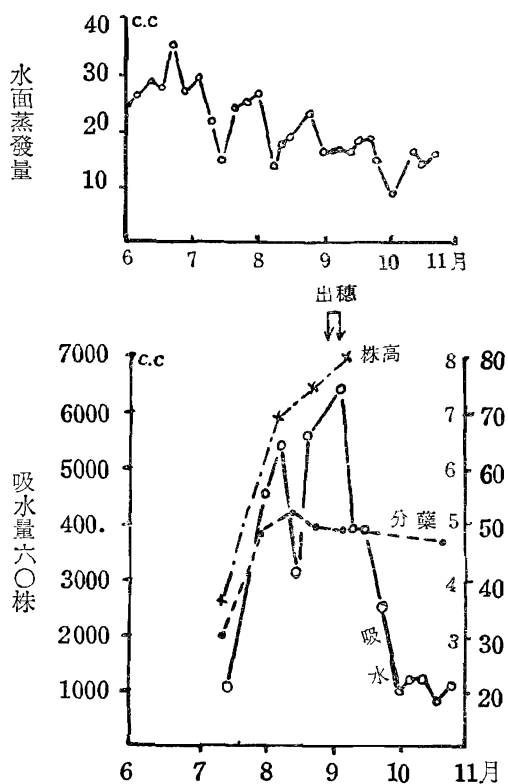
第 21 表 主要旱作物之要水量

作物名	要水量	研究者	試驗年度	備考
禾本科	玉 米	94	四 國 農 試 場	1958
	燕 麥	149	長 谷 川	1955~1956
	大 麥	175	" "	" "
	裸 麥	170~188	玉 井	1957~1958
	小 麥	{ 191	長 谷 川	1955~1956
		{ 164~191	玉 井	1957~1958
	甘 蔗	{ 203~212	松 林	1940
		{ 242	玉 井	1953
	牧 草 (Fescue)	307	" "	1958
	水 稻	{ 211~258	佐 藤	1932~1938
		{ 254	高 田 、 田 邊	1948
		{ 295~300	長 谷 川	1957~1958
		{ 301~310	" "	1957
	旱作水稻	{ 279~339	玉 井	1958
		{ 375~387	" "	1958
		{ 328~335	東海近幾農試場	1958
		{ 307~323	" "	1958
		{ 309	長 谷 川	1954~1957
	陸 稻	{ 347~364	東海近幾農試場	1958
		{ 350	四 國 農 試 場	1958
		{ 404~433	玉 井	1958
油 菜	227	長 谷 川	1955~1958	
豆 科	蠶 豆 Common vetch	230	長 谷 川	1957~1958
		247	" "	" "
		429	" "	" "
	大 豆	{ 335~368	玉 井	1957~1958
		{ 307	四 國 農 試 場	1958
甘 甜 菜	諸 菜	{ 248	長 谷 川	1954~1957
		{ 251~264	玉 井	1957~1958
		{ 205~215	" "	1960

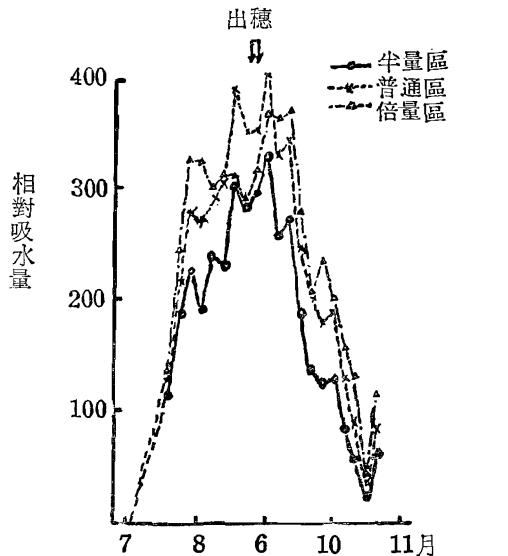
※以作物之總乾量（地上部及地下部）除生育期間總用水量而得之。

綜覽上表（第21表）得知，主要旱作物要水量在100至400之間，可知差異頗大。在100單位者有玉

米及燕麥。200單位爲大麥，小麥，裸麥，甘蔗及油菜等。300單位爲水稻(水田及旱田)及Fescue。陸稻及大豆即屬於400或400單位左右。就水稻與陸稻而言，水稻之水分利用效率較陸稻爲高已如前述。

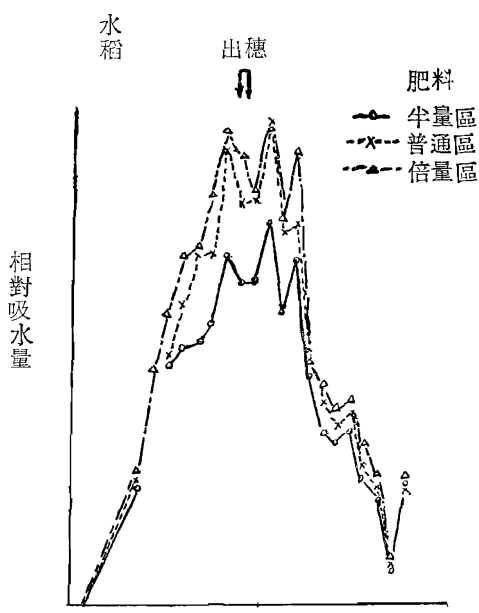


第26圖 旱作水稻吸水量及水面蒸發量，與株高及分蘗之關係 (玉井，1959)
普通栽培，7月上旬，標準施肥



第26圖係普通期栽培之旱作水稻，在不同生長期別之吸水量變化與株高，分蘗及水面蒸發量之比較。由此圖可知自插秧至抽穗，與株高作平行關係，約在抽穗前一個月，水稻伸長速度減退，爲時約一個半月，水稻之吸水量對氣候變化之反應較爲銳敏，又與水面蒸發量之變化有密切相關之趨勢。陸稻亦有此種現象。故不論水稻或陸稻，在出穗期前後之吸水情形，受當年氣候影響之可能性較大。故僅以吸水量之變化情況，似難把握水稻之吸水特性。於是將吸水量 (A) 除以同時測定之蒸發量 (E)，然後解消氣候因子之影響後之吸水量 (能力) 相對吸水量 (A/E)，繪成第27圖。

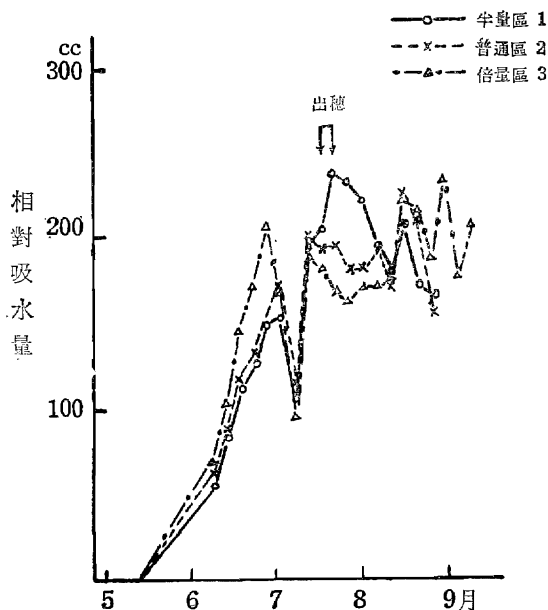
第27圖所示，雖不同施肥量區間之吸水



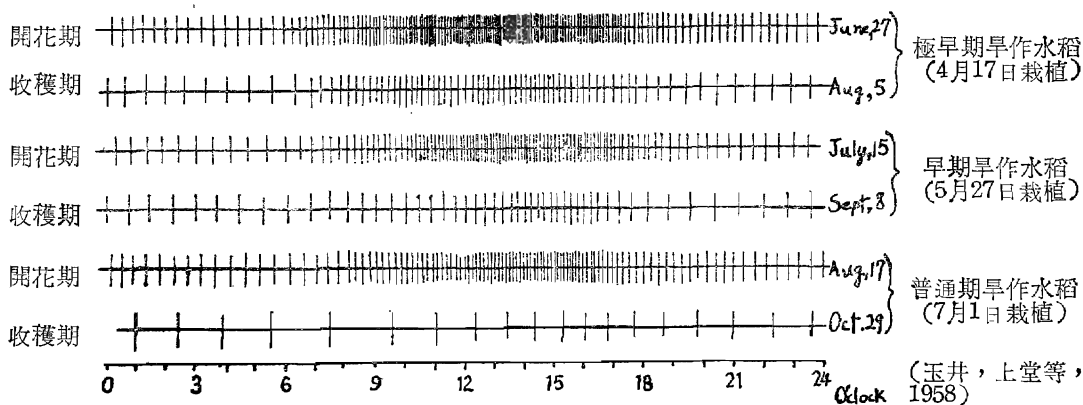
第27圖 陸稻及旱作水稻全生育期相對吸水量之變化 (玉井，1959)

量稍有差異，但各區之吸水過程均相似，即最大需水期是在開花期前後，此與麥類（第 16 圖）相同。至 10 月下旬，植株進入成熟期，普通期栽培之水稻及陸稻之吸水能力減至抽穗期數分之一。此現象頗值吾人注意；因最近發現早期栽培水稻在成熟期之吸水能力，不亞於開花抽穗之最大需水期，如第 28 ~29圖所示。

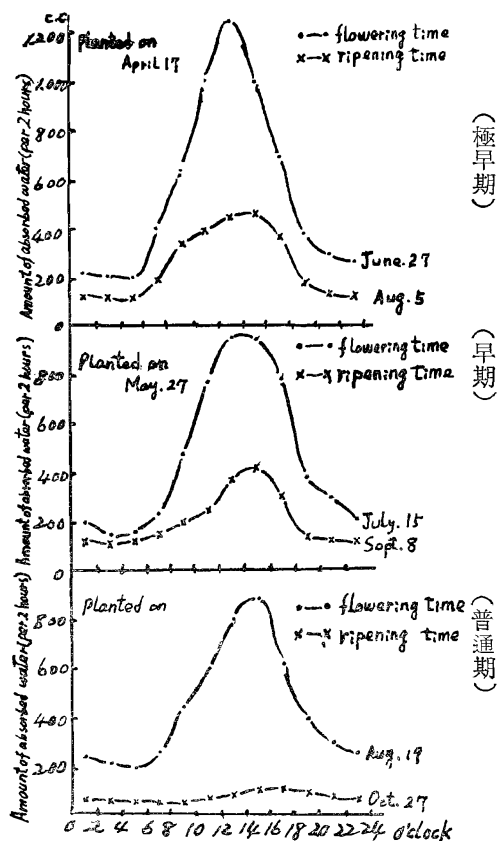
第 28 圖係於第 27 圖實驗之前年試驗結果。其目的在比較旱作水稻不同栽培期之抽穗期，開花期及成熟期，在一日中晝夜氣候變化所受之影響對需水程度之反應，其結果為：普通期（七月一日插秧）栽培者，在收穫期之需水量，對日夜氣候變化之反應並無不同，但於極早期（四月十七日插秧）及早期（五月廿七日插秧）者，在收穫期需水量則有不同之反應，示此時稻根當具旺盛吸水能力。



第28圖 早期旱作水稻（ヤチコガネ）相對吸水量（A/ E）之變化情形
早期水稻至收穫期，其部仍有極強吸水力。



第29圖 本圖為吸水自動記錄計之記錄結果。作物每吸收一定量之水，即自動劃一縱線，若同一時間內劃線愈多，當示吸水量亦愈多。在一日內劃線密粗差異顯著者，示稻根吸水能力對日夜氣候因子之變化有銳敏反應。第30圖係以此記錄劃成之曲線。



第30圖 不同栽植期旱作水稻在開花期與收穫期吸水量一日間之變化比較 (由第29圖自動記錄改繪者)

為明瞭日本早期栽植水稻，在收穫期根部吸水能力仍極強之原因，當先求各栽培期之抽穗開花期（最大吸水期），對收穫期之吸水量之比率，然後比較其差異（第22表），以探求其原因。

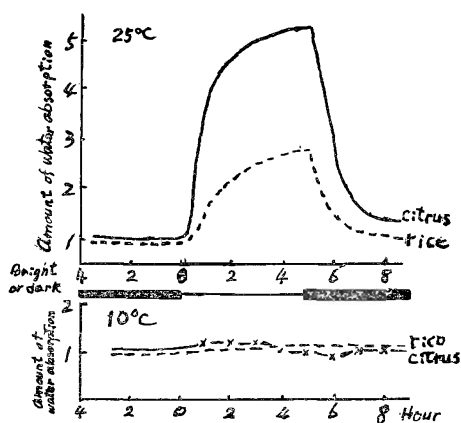
第22表之數值亦示：極早期及早期旱作水稻在收穫期之根部吸水能力大於普通期數倍。

因此，如將盛夏至初秋收穫之早期旱作水稻灌溉管理法，觀同晚秋收之普通期水稻灌水管理法當屬不妥。故在旱作水稻推廣之前，應予先研究以謀對策。

至於影響旱作水稻及陸稻需水過程之內在因子，仍與甘蔗，裸麥及小麥等作物相同，即作物體積大小影響需水過程極大（第26圖）。東海近畿農試場加藤氏（1963）（研究水稻葉面積對蒸散量之相關，獲得 $r = +0.871$ 之

由第30圖可知，在開花期，根部吸水量在一日中之變化，不論栽植期如何，對日夜氣候因子之變化均有顯著反應。但成熟至收穫期，則有明顯差別：普通期栽植者，其吸水作用對日夜氣候因子無何反應，但極早期及早期栽植者日夜反應甚顯明，此示根部之吸水能力尚健全。

上述現象，普通期水稻之收穫期，在日本約在10月下旬，此時氣溫降低，可能因此導致根部之機能大為衰弱，或葉之機能衰老所致。然利用 Growtt Cabinet (koitotron)，人工氣象室之一種，將夏期抽穗開花之早期水稻置於 10°C 之低溫下，獲得下述結果：即水稻根之吸水作用對明暗不示反應。亞熱帶果樹夏柑亦發生同樣現象（第31圖）由上述實驗結果推想；普通栽培期水稻，在收穫時，其根部機能已形衰退，此可能與氣溫之降低有顯著關係。此原因之探究，尤待今後之研究。



第31圖 溫暖時水稻及夏柑根之吸水作用，對明暗所呈反應，於移置 10°C 的環境後幾完全消失（玉井，上堂，1965）

第22表 不同栽植期旱作水稻及陸稻之出穗開花期與收穫期之吸水比率

		出穗期吸水量/收穫期吸水量
旱作水稻	極 早 期 (4月17日插秧)	0.36~0.61
	早 期 (5月27日插秧)	0.46~0.52
	普 通 期 (7月1日插秧)	0.10~0.14
陸 稻 普 通 期	(4月1日栽種)	0.10~0.12

數值，即示顯著正相關。

再以影響水稻需水過程之外在因素言之；由於對明暗反應頗敏感，故可認為與甘蔗相同，主要為日照量。最近加藤等（1963）用另一方法測定結果，亦證實此事實。至於溫度，在生長某一階段亦為重要因素之一。此點可從第 29，30 圖看出。

蒸發量可說由於各種氣候因子之綜合。此對水稻需水過程影響亦極強，其影響程度與甘蔗、麥類情形相似。橫井氏（1963）亦就水稻，陸稻及玉米各生長階段，研究蒸發散量與蒸發量之間有一定關係。此情形已在蒸發散量之測定法討論矣（第 20 表）。

其次是水稻及陸稻之臨界期：有關耐旱性之臨界期，據和田，馬場，古谷等氏（1940）以及山本（1943）等氏研究報告謂，水稻與陸稻在不同生長期有不同臨界期，如分蘗期，幼穗分化期，花粉母細胞減數分裂期～抽穗期，胚乳成熟期均為耐旱性最弱時期。其中以減數分裂期（出穗前約 11 日）及出穗開花期最為嚴重，其次為胚乳成熟期。

據馬場氏（1951）報告，在減數分裂期與幼穗形成期，有時尚未能看出凋萎現象之輕度水分缺乏時，便嚴重影響稻穗稔實，而發生所謂「旱青立」現象。此二期不但抗旱力最弱，對其他各種不良條件之抵抗力亦甚弱（寺屋、大谷、土中、泉 1948，岩城，1956。）

水稻及陸稻之灌溉時期：灌溉時期應依當年雨量分佈情形而異，自不待言，但又得視作物臨界期，作物需水過程，以及常年雨量分佈情形而定。

水稻之臨界期大致與需水最大期相一致，亦即普通栽培期水稻之旱魃期，故自出穗前三十日起即應注意灌溉；開花期以後亦有耐旱較弱期，故直至成熟初期均不應忽視。第22表便證實此等期間灌溉效果極高。

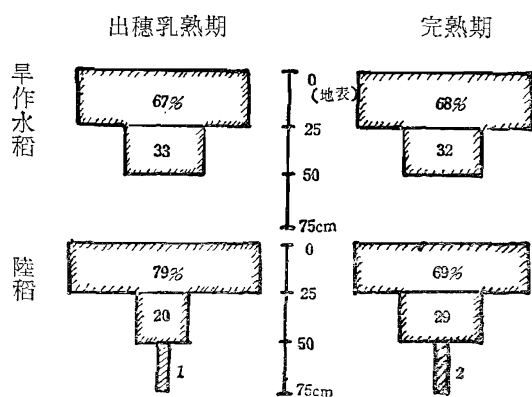
最近日本陸稻早期栽培已逐漸普遍，農民極希此灌溉技術能早確立。在此方面值得參考者，有神奈川農試場之早期水稻及陸稻灌溉試驗成績。其灌溉期為五月下旬至八月下旬。計自五月下旬至六月下旬灌水三次，每次灌 20mm。自七月上旬至八月下旬灌水五次，每次灌 30mm。計八次，共灌水 210mm。此試驗播種期為四月廿三日，供試品種：陸稻以農林 15 號等七品種。旱作水稻以初錦及尾花澤 6 號二品種。此結果，已列於適合灌溉品種之選擇試驗成績中（第 14 表）。在如此少量灌溉下，水稻產量較

陸稻爲優一節，實值吾人注意。

第23表 陸稻灌溉時期試驗成績（神奈川農試場 海野，1951）

試 驗 區	每 10a 糙 米 產 量	
	容 積	比 率
全 穗 灌 溉 區	1.771石	139%
孕 穗 抽 穗 期	1.542	121
自幼穗形成期至抽穗期	1.853	146
無 灌 溉 區	1.272	100

本試驗係以旱作水稻及陸稻，在同一灌溉管理下栽培。據最近研究結果，水稻之根系較陸稻爲淺（玉井 1960，長谷川 1962）。因此認爲：旱作水稻可能消耗淺層土壤水分較快，而較早發生水分缺乏。以此觀之，長谷川（1962）乃對普通期旱作水稻，自七月下旬至九月上旬間各區灌溉四次，即每區共灌水 160mm；陸稻於七月下旬灌水一次各區灌水 40mm 結果，陸稻四品種每 10a 產量爲 210~430kg，水稻爲 289~407kg。在此生育期間之總降雨量爲 796mm，惟未測得有效雨量之百分比。普通期旱作水稻之灌溉期自七月下旬至九月上旬。上述神川縣農試場之早期旱作水稻即自五月下旬至八月上旬。但各地之灌溉期，灌溉量仍待商榷確立。



第32圖 旱作水稻與陸稻根吸水活動層分佈之比較（玉井，1960）數字以全層吸水量爲 100 時各層之吸水量百分比示之

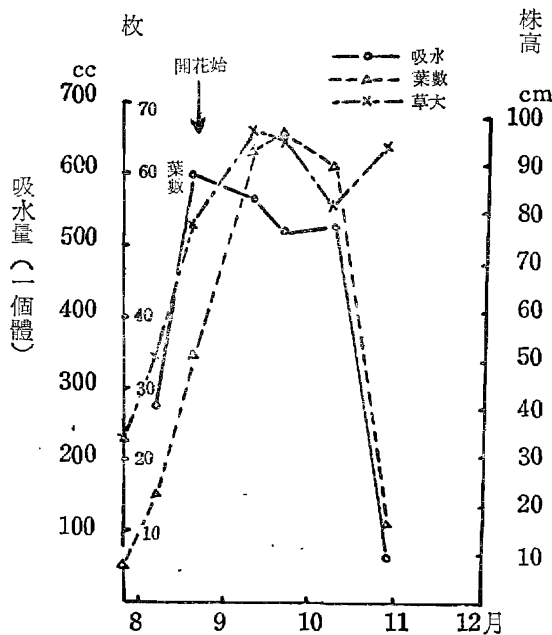
(4) 大豆及甘藷之全生育期需水過程、臨界期及灌溉時期

大豆與甘藷，在生態上差異甚大，同列於一項討論似不合理，但在日本此二作物均栽培於夏季，在臺灣之栽培時期雖較複雜，但亦可在同一時期栽培之。然需水過程二者差異頗大，因此以二者互相對照，則更便於說明其特徵。

第33及34圖，係就大豆及甘藷全生育期間之需水過程，各與其葉

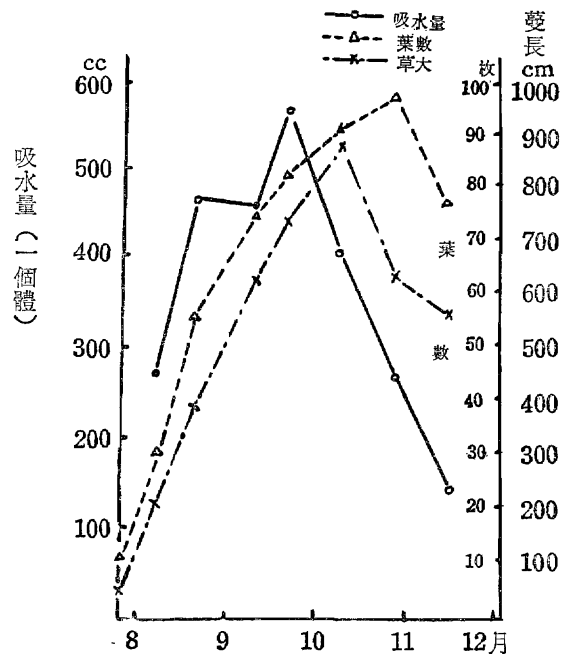
數及株高之變化對照者。先就大豆吸水過程說明其特徵於下：

- (i) 關於根部之吸水作用受地上部之大小支配，有如甘蔗，麥類及稻等所說，然至生育中期，吸水量隨作物體積（葉數，株高）增大而增加，即保持平衡關係。
- (ii) 因夏作大豆，不如冬作小麥及裸麥在生育初期吸水之緩慢，即大豆吸水量在較早時期則急劇增多。



第33圖 大豆全生育期之吸水與葉數及株高之關係

品種：玉錦，草大示株高



第34圖 甘薯全生育期之吸水與葉數及蔓長之關係

品種：護國，草大示蔓長

(iii) 大豆保持最大吸水期為時甚長，亦與麥類相反；自八月中旬至九月中旬，其吸水能力均高，此時吸水量為全期吸水量之 80 %。

(iv) 其後吸水能力之衰退頗為急激，即隨葉之黃化凋落而減弱，換言之吸水量始終與作物體積保持平行關係。

(v) 氣候因子對吸水量之影響最顯著時期，在八月中旬至十月中旬，即吸水能力最高時期。其前後之影響小。此趨向與稻類及麥類相似。

甘藷吸水過程之特徵如下（第34圖）：

(i) 根部吸水量，自生育初期急激增加；此與大豆相似。

(ii) 但吸水能最高時期甚短，此與大豆顯然不同；即到達最高吸水期不久則逐漸減低。

(iii) 在生育後期其吸水漸減，不如大豆之與葉數有密切關係，即九月中旬以後，葉數尚在增加，吸水量却漸減。

(iv) 氣候因子對吸水量最具影響之時期，與大豆相似，但吸水最高期為生育中期。

以上就大豆及甘藷之吸水過程，從各方面比較說明之。其中大豆之最大吸水期甚長；反之甘藷則較短。在旱作灌溉管理上，二者間之差異，實不可相提並論。

大豆與甘藷之臨界期：

今先敘述大豆之臨界期。據福井，伊藤（1950）之報告，因花芽分化至開花的期間甚長，故對種實生產所受旱害期亦較長，各種生育期的旱害各有不同的現象產生，主要者如下：

- (1) 花芽分化後 15 天之旱害最顯著，即莖葉的生長及花數之減少，結莢數及 100 粒重之減少，落花生數的增大等。
- (2) 開花始期後 15 天之旱害，其受害程度僅次於上述時期，而發生開花數及結莢數的減少，落花，落莢數等之增加等現象。
- (3) 開花末期 15 天之旱害亦可減少後期花數並引起落莢數，以及不結實百分率之增大受害程度居第三位。
- (4) 成熟期之旱害為子粒不充實，100 粒重之減低。

據福井，伊藤兩氏之調查結果，得知夏季之二個月間，易受旱害，此需加以注意。

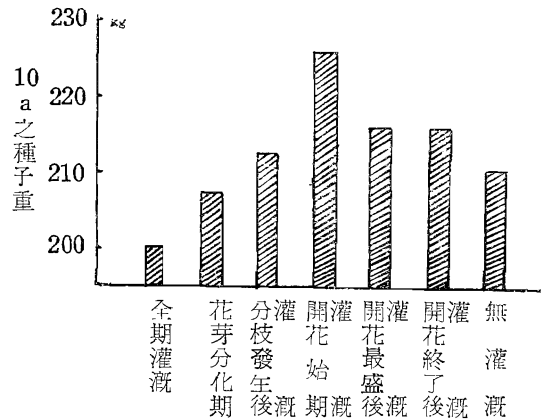
筆者之研究室所調查結果，得知此二月間自土壤吸收的水分相當於陸稻或較之為多。由此可知大豆的灌溉期較長。下列第 35 圖長野農試所浦野等（1953）之灌溉時期試驗亦得同一結果。

在述說甘藷臨界期之前，必需先就土壤水分與甘藷之關係加以說明，甘藷細根對土壤水分之適應性較塊根為大，能生長於飽和土壤水分之90%以上之土壤或水中（玉井，1941）。但塊根之適應性較低，通常被認為生長於飽和土壤水分之70~75%（野口，1950）。但水分降至20%以下就無法產生塊根（信田，1950）。因之地下水位之高低及土壤水分之含量，對於形成塊根有重要的關係（玉井、吳振能 1949，施嘉昌，1963）。

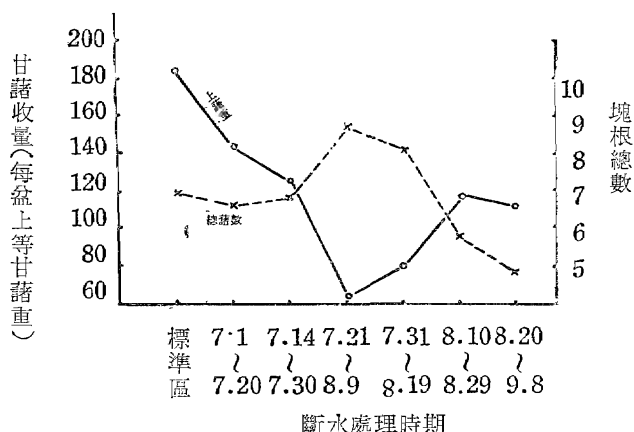
甘藷的幼根能漸次分化為細根，塊根及梗根係受第一次形成層的活動與中心柱細胞的木質化

程度而決定。形成塊根最重要者：木質化要少而第一次形成層之活動力旺盛（戶荊，1957）。此種塊根分化之趨向，在普通栽培環境下，被認為係在生長第三週至第四週間，其後聚積某種程度之養分而被固定。戶荊氏將塊根肥大過程為如下三期：

- (1) 塊根肥大初期 —— 播植後 25 日
- (2) 塊根肥大中期 —— 播植後 25~60 日
- (3) 塊根肥大後期 —— 播植後 60~140 日



第35圖 大豆收穫量與灌溉時期之關係
(長野農試所，桔梗ヶ原1956)



第36圖 乾旱時期對甘藷產量之影響（關東東山農試1954）

影響產量最大（第 36 圖）。以灌溉效果而言，大部份的試驗結果均以此期及八月中旬灌溉之產量最高（長谷川1957）。

第 24 表係平間氏（1941）在嘉義試驗之結果，與上述現象相同，但插植後一～三月間灌溉者效果較高，生育前半期乾旱，而後半期灌溉者其效果較低。

第 24 表 甘藷收量與灌溉時期之關係（臺灣省農試所嘉義分所，平間，1941，兩年平均）

試 驗 區	塊根收量	同 比 數	塊 根 數	生蔓葉收	乾物收量	灌 溉 實 施 時 期	
	kg/ha	%	指數%	量指數%	指數%	1939年	1940年
適濕區（二次灌溉）	42,593	161	117	160	156	11月7日 1月7日	10月7日 12月7日
插植直前灌溉	31,070	117	106	124	117	10月6日	9月6日
一次灌溉	插 植 後 "	31,133	117	105	124	10月7日	9月7日
	" 第一個月 "	35,566	134	112	136	11月7日	10月7日
	" 第二個月 "	34,937	132	110	131	12月8日	11月7日
	" 第三個月 "	33,876	130	110	130	1月7日	12月7日
	" 第四個月 "	30,675	116	106	124	2月7日	1月7日
	" 第五個月 "	29,435	111	102	112	3月7日	2月7日
無 灌 溉	26,500	100	100	100	100	—	—

臺灣南部的氣候如前述，從秋季至翌春為乾旱期，嘉義農試分所曾做過灌溉試驗，其灌溉有效期間較日本為長，而日本之甘藷旱害均在七月下旬至八月底之間，此期為塊根肥大期。筆者之研究室多年來調查其根吸水過程，所得結果亦以八月間為最大吸水期者居多。

日本之氣候通常九月以後雨量增加，故受乾旱甘藷秋季以後可能立即恢復良好之生育，此亦為減低

灌溉效果及縮短灌溉必要期之原因，近來甘藷的灌溉均以生產早熟甘藷為目的，此趨向在早生溫州蜜柑（早熟種）之灌溉效果亦已相當顯著，收穫期較晚之普通溫州蜜柑之效果則較少，該現象與甘藷極相似。

在此未能一一介紹臺灣雜糧作物如大豆、花生、甘藷等之水分消耗經過，唯上列作物的試驗已由中興大學理工學院植物系陳清義副教授之研究室，正依種植季節之不同與土壤之類別調查水分消耗過程，預定近日編印成冊發表。

至於蔬菜及飼料作物之吸水過程及臨界期之記述，因篇幅的關係暫予省略。

臺灣目前亦有陸稻及雜糧作物灌溉時期之試驗，水利局駱安華工程師參考過去之試驗成果製定下表（25表）之灌溉計劃。此表係筆者根據駱氏民國五十二年之報告「臺灣雜糧作物之灌溉方式」摘錄者。

第 25 表 臺南地區雜糧作物生育期與灌溉日程。

月 物		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
陸稻 (春)	生育期	播種 分蘗 孕穗 抽穗 成熟 全左 (在蓬來)											
	灌水	水 ₁ 水 ₂ 水 ₃ 、											
甘藷	生育期	插塊形 諸伸 塊肥 植 根成 莖長 根大											
	灌水	水 ₁ 水 ₂ 水 ₃											
花生 (春)	生育期	播種 分枝 開花 結實 成熟											
	灌水	水 ₁ 水 ₂ 水 ₃											
花生 (秋)	生育期	成熟 播種 分開枝 結實											
	灌水	水 ₁ 水 ₂ 水 ₃											
大豆 (春)	生育期	播種 開花 結莢 成熟											
	灌水	水 ₁ 水 ₂ 水 ₃											
小麥 (秋)	生育期	孕抽開 成穗花 熟 播種 有效分蘗											
	灌水	水 ₁ 水 ₂ 水 ₃											
										//////////			
每隔10日灌溉													

7、果樹之水分消耗特性

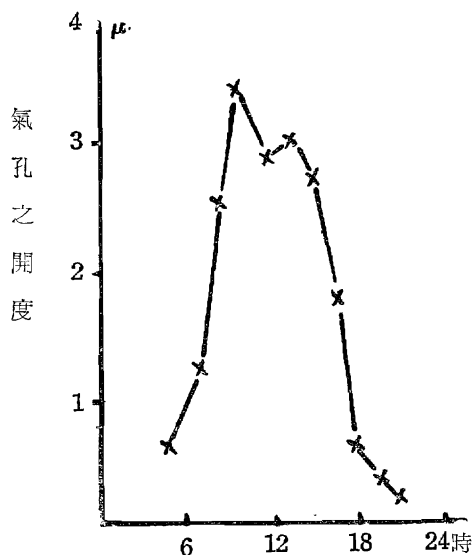
(1) 水分消耗之門戶氣孔

果樹以水溶液狀態，吸收土壤中之肥料成分，並將此輸送至體內各部分；水分在其體內除供有效使用外，大部分由葉面蒸散於空中。水分自葉面之蒸發，除極少部份由果皮層進行外，大部分均經氣孔發散。故氣孔為水分蒸散之主要門戶。在果樹，氣孔幾全部分佈於葉背（參照第37圖及第26表）

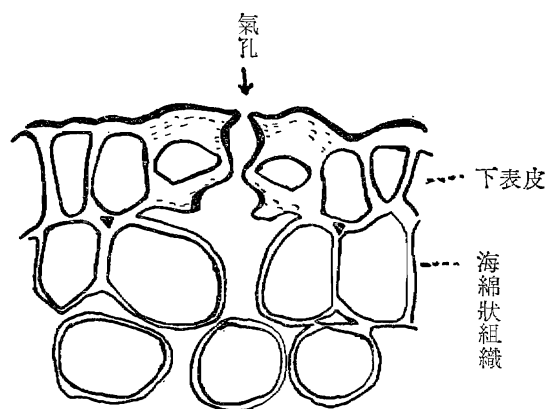
第26表 果樹氣孔之分佈（一平方公厘）

果 樹 類 別	表 面	背 面
梨	0	253 ^個
蘋 果	0	246
醋 栗	0	145

氣孔在體內水分充足時，對光線反應極為銳敏。通常白天開啓，而夜間關閉。第 38 圖示梨之氣孔在一日中之開閉情形。柑桔氣孔之開閉與梨很相似。然在晝間如天氣變壞時，雖一度完全展開的氣孔，亦多由光度而改變其開度。



第38圖 梨葉之氣孔在一日中之變化（由杉山氏之報告）



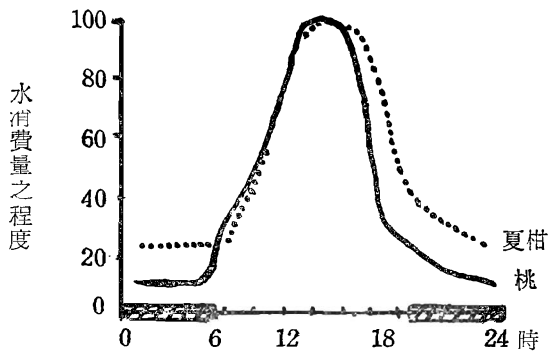
第 37 圖 柑桔之氣孔及其周圍組織

此外土壤水分減少或遭遇極端之乾燥氣候時，即使在白天，氣孔亦可見關閉。在以色列即利用此性質，以氣孔之開度作為決定灌水時期之標準。

(2) 果樹一日中耗水量之變化

因氣孔之開閉，已顯著受光度之支配，故果樹一日中耗水量之變化與光度有相當密切的關係在，這立可想而知，此推想與實際測定之結果大致相符合。

第39圖係桃及夏柑一日中耗水量之變化情形。此



第39圖 桃及夏柑水分消耗量在一日中之變化
(玉井)

與上面之推想吻合。但在此圖應注意的，桃較夏柑對光線之反應尤為銳敏，而耗水量之日夜差異較大，且桃在早晨活動開始亦較夏柑為早。第 27 表亦可為此證明。葡萄亦類似桃。

果樹之耗水情形，具有強為日照影響之性質外又受溫度影響。此因水分由根部吸收而根之吸收活動

第27表 桃夏柑及葡萄耗水量最高及最低時刻

	最 低 時 刻	最 高 時 刻
桃	4時	10時35分~14時
夏 柑	6時	13時~15時
葡 萄	4時	13時

機能與溫度有密切關係在所致。溫度可為莖葉蒸發面之溫度，而對水分之運輸與蒸散有密切關係，此亦不可忽視者也。據報告，柑桔約在 25°C 時最適於吸收。又報告謂地溫降低至 0°C 時根之吸水顯著減少，僅 25°C 時之三分之一弱。然而柑橘根在 12°C 左右時便停止生長，此乃一般公認之事實。

空氣濕度與果樹耗水情形亦有很大關係，因此果樹耗水情形多受所謂飽差之支配。風亦支配果樹水分消耗。

所謂方風林向風處之樹葉含水量較背風處者為低，此係風之關係。而乾風之影響更激烈。

3) 果樹一年中水分消耗之變化

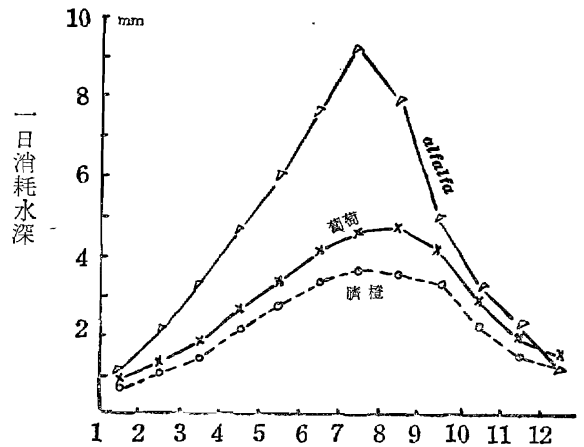
日照，溫度，濕度及風等為支配果樹耗水量之外在因子。考慮支配一年中果樹耗水量之變化條件，則不可忽視樹體之大小及葉面積等之內在因子。

葉面積的大小影響果樹耗水量極大，此可由摘葉後之耗水量急減，僅為摘葉前之數分之一至十幾分之一之事實證明。此外葉齡亦有密切關係，即面積相等之幼葉較老葉耗水量為高。

果樹之葉面積一般在夏季較冬季為大，因之蒸散面積亦較大、況在強光高溫之環境下乎。實際測定果園之耗水量年變化之結果，證明夏季耗水量大。第 40 圖係美國就葡萄，脐橙及苜蓿 (Alfalfa) 等一年中耗水量實際測定結果。

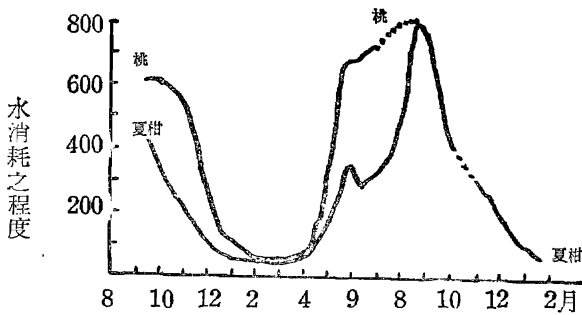
此耗水量除果樹或牧草之蒸散量外，還包括土面蒸發量。但冬季與夏季耗水量，仍有顯著差異，夏季較冬季耗水量多出數倍。

又此圖需注意者：一年之耗水總量及一天之耗水量，最高為苜蓿（Alfalfa），次為葡萄，最低為臍橙，即作物種類不同，耗水量亦異。此外各作物之最大耗水期亦異：臍橙與苜蓿耗水量最多在七月，葡萄則在八月。



第40圖 美國阿里桑那州之葡萄，臍橙及牧草 Alfalfa 一年中耗水量之變化

以上係就美國南部熱帶地測定實例。第41圖是在日本測定實例，但此處之耗水量不包括土面蒸發量，其目的在比較桃與夏柑本身一年中耗水量變化之差異。



第41圖 桃及夏柑一年中耗水量變化之差異（玉井）

據第 41 圖 桃因秋季落葉，故此時耗水量較夏柑大為減少。又在春季，因葉面積急劇增加，此時耗水量亦較夏柑大為增加，尤以四、五月間為甚。

故桃如栽植於砂丘等貯水力低的土壤，在四、五月間砂丘能否充分供水，當先予考慮。在此種地區栽培果

樹，除夏季旱魃期之外，五月間小旱魃期亦需加以灌水。夏柑最大耗水期，據多年測定結果，多在八月。水分最大消耗時期，除多受葉面積之影響外，亦與該地氣候變化有關，自不待言。據第 41 圖所示夏季耗水量大於冬季達 10 倍以上（土面蒸發量不計），如加計土面蒸發量，春冬之差可略縮小。

夏季最大耗水期在八月，日本瀨戶內海地帶歷年碰到旱魃期，故該地區多數果園，在此期間均需灌水，勢所必然。但冬季是否需要灌水？常綠柑桔之冬季耗水量亦顯著地減少，故非就各地土壤連續測定其有效水之殘留程度，則難下斷言。依土壤性質之不同可能得相反之結論。多數人贊成柑桔在冬季灌水，但其普遍決定仍有待今後之研討。

(4) 以一日耗水深論果樹在旱作上之位置

作物一日需消耗多少水量。換言之，一次灌溉水量可維持幾天，此為計算灌溉間隔上極為重要之數字及灌溉計劃之基本數值，亦即筆者日夕探求之數值。此值為果樹之蒸散量（即吸水量）加計土面蒸發

量，再除以蒸發之土面積，而換算為水深者。相當於旱作水稻之一日減水深。

此值即在同一緯度亦多受該地氣候條件及立地因子之影響。

第 28 表可顯示之。乾燥氣候地帶之作物較濕潤氣候地帶一日耗水深為大。在此尚需請注意者，耗水深最大為落葉果樹，柑桔最小，幾與蔬菜同值或更小。

第28表 美國暖地之不同氣候下，柑桔，落葉果樹及蔬菜一日耗水深之比較

	乾燥氣候地帶	濕潤氣候地帶
	mm	mm
柑 桔	4.8	3.3
蔬 菜	4.8	3.8
落 葉 果 樹	6.3	5.1

第29表 美國不同地區之果樹及旱作物耗水量比較表

作 物	南部太平洋	加 州 中 部	中部乾燥地帶	平 均 比
	in.	in.	in.	
Alfalfa	0.27 (100)	0.30 (100)	0.4 (100)	(100)
蕃 茄	0.20 (74)	0.20 (67)	—	(71)
穀 類	.22 (82)	0.22 (74)	0.25 (63)	(73) 100
蘋 果	0.20 (74)	—	—	(74) 101
桃	0.20 (74)	0.22 (73)	—	(74) 101
柑 桔	0.18 (67)	0.18 (60)	0.19 (48)	(58) 80
胡 桃	0.25 (93)	0.22 (73)	—	(83) 113
葡 萄	—	0.25 (84)	0.27 (68)	(76) 104

*穀類指小麥及大麥。不包括玉蜀黍。

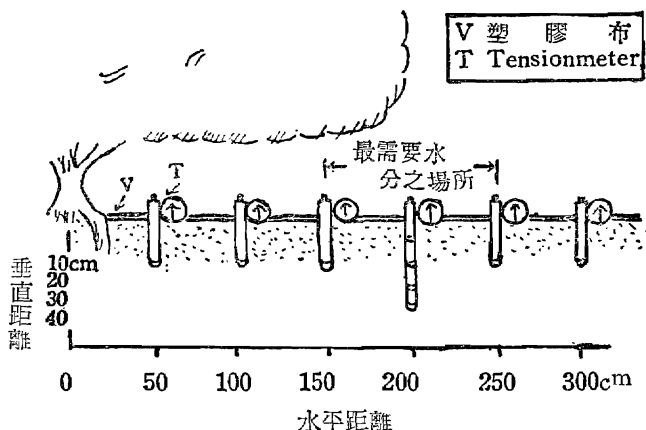
第 29 表詳列數字，並增穀類及牧草 Alfalfa。據此表可知耗水深最大者為 Alfalfa。柑桔最小，且較蕃茄穀類低，實值得注意。由美國之實測結果，略可知由耗水量觀測之果樹在旱作內之位置。

樹木體積較草本植物為大，故易誤為其蒸發散量必多，然却不然，尤以柑桔為著，此可於第 3.4 表觀之。

8、果樹需水最大部位

水量豐富時可行全面灌水，水源缺乏時則應行重點灌水，即應明瞭各種作物主要吸水部分何在。但日本從來就缺乏這方面之知識。筆者研究室人員利用如第 42 圖之 Tensionmeter 進行調查，結果得

知；溫州蜜柑之根最需水分之位置非靠樹幹附近。而在樹枝末梢下一公尺左右範圍。此僅以根之活動使土壤乾燥之因子，而測定土壤乾燥程度者，實際上果園應加計土面蒸發，故此範圍可能增大。據椎名氏（1963）在平塚之梨園調查之結果：樹幹附近一日蒸發散量為 55.6mm 距樹幹二公尺及四公尺處，各為 10.6mm 及 10.7mm。



第42圖 以調查蜜柑根需水最大部位為目的，如上圖配置Tensionmeter 調查其 gauge 上指針之變動

利用 Tensionmeter 測知溫州蜜柑之根層吸水活動範圍為地下 30 公分左右，或較淺土層處。此現象與根系調查結果相符合，椎名氏（1963）在梨園調查獲得之結果，亦復如是。據其報告：梨園在 20 公分深處之土壤其蒸發散量約為全土層之半數。

9、灌溉時期之決定法

前節述及耕地合理灌溉一次灌水量之計算方法。現為明瞭在灌溉適當水量後，能維持多久，下一次之灌水應於幾日後開始，方為合理等問題應加以探究。

灌溉時間之決定法，以往均視作物生長狀態與土壤乾燥程度憑經驗而行。欲使灌溉用水合理運用，應與前述之灌溉時期及一次灌水量等，採取同樣科學化的探究與實施。此問題之探討有關水分生理之基礎甚多，故單獨提出討論。

灌溉計劃之擬定，一次適當灌水深度應視耕地而定，且所灌水量以不得生成滲透水為度，故耕地水分之消耗，地下滲透水不予考慮，而祇包括作物之蒸散及土面蒸發兩種。此兩者合計稱為蒸發散量（Evapotranspiration）。此值一日之最大量，日本稱為「一日最大減水深」，以此值除「一次灌水深度」即可求得灌水間歇之最短日數。此值可作灌溉計劃之原始資料；因之所謂「一日最大減水深」之數值，係擬定灌溉計劃不可缺少者。日本研究灌溉旱地之歷史尚短，此方面之資料甚少。但最近欲擬定灌溉計劃之耕地增多，筆者之研究室近數年中受農林省之委託試驗、測定所得之結果如下第 30 表。

第 30 表之「一日最大減水深」之作物係栽植於自動灌水之長畦上，觀測其全生育期之吸水量及土面蒸發量，求出最大值。合計吸水量及全畦土面蒸發量，而以供試面積除之，即為一日最大減水深。此值易受作物產量所左右，而影響作物產量之主要因子為肥料，故表上所記載為一般標準之施肥量者。

第30表 旱作一日最大減水深與最大吸水期（玉井）

作物種類	一日最大減水深		最大吸水期	
	1958年	1959年	1958年	1959年
小麥（農林51號）	3.4 ^{mm}	3.6 ^{mm}	4月14日	4月17~21日
裸麥（愛媛裸1號）	4.4	3.5	4月20日	5月2~6日
甜菜（G.W.359）	—	3.6	—	10月27日
甘藷（護國）	7.0 *	5.7	7月13日	9月18~19日
水稻（ヤチコガネ）	極早期 6.2	—	6月19日	—
	早 期 6.2	6.1	7月23日	7月 5 日
	普通期 6.7	6.7	7月31日	8月 5 日
陸稻（農林モチ1號）普通期	8.7 *	7.8	7月31日	8月 5 日
Fescue	8.4	—	5月31日	—
大 豆（玉錦）	10.2 *	8.5	8月27日	8月27日

註：* 因施肥料多，數字大。

第 31 表 果樹一日最大減水深

果 樹 種 類	一日最大減水深	測 定 地 點 或 研 究 者
柑 橘	3.3 ^{mm}	濕潤氣候 } 美國南部 乾燥氣候 }
“	4.8	
“	3~4	土壤水分少，名古屋大學，烏潟
“	4.3	愛媛大學，玉井（1963）
葡 萄	5.7	東海近畿農試所，加藤等（1963）
蘋果	2.93	長野，園淺，田中（1959）
梨（長十郎）	3.88	名古屋大學，烏潟（1963）
落 葉 果 樹	5.1	濕潤氣候 } 美國南部 乾燥氣候 }
“	6.3	

在亞洲，果實之水分消耗特性，尤以一日最大減水深之實測研究最缺乏，故茲將美國之一、二試驗結果與最近所得之資料，整理於表 31。由此表可知：

- （1）在美國測得落葉果樹之一日蒸發散量較常綠果樹多，在日本之測定結果，與此迥異。
- （2）蘋果最少，葡萄最多，梨及柑橘可能位於兩者之間。
- （3）一般而言，普通旱作物，例如荳科牧草，大豆及陸稻等之蒸發散量均較果樹為多。

第 31 表之數值，因測定例少，準確數值須待日後研究，惟略可資參考。

在臺灣有大面積之熱帶果樹——香蕉與鳳梨，其灌溉之必要性最近已為有關方面所注意；陳清義首先在臺灣，利用自記吸水裝置研究香蕉之吸水特性，並將其部分結果發表，而就水分生理方面介紹香蕉之特性（陳清義1963）。筆者期待此方面的研究能擴展於實用，而對熱帶果樹之灌溉提供基本資料。

依第 30 表觀之，一日最大減水深最小者為小麥及裸麥，僅有 3.5~4.4mm。甜菜之最大需水期為 11 月，與在春季需水最多的麥類有相近值。一日最大減水深最大者，為大豆及陸稻。次為 Fescue。水稻只 6~7mm，殊出意外。旱作水稻之需水量所以較陸稻為少，可能由於陸稻之莖葉較大；此現象在需水量一章中業已述及（第21表）。水田中一日減水深為 20~30mm，此可能由於水分多量滲透流失故也。甘藷一日最大減水深應當在陸稻與麥類之間。

減水深之數字可能因地域不同而異。將日本較乾燥之地帶所測得之數值，與不同作物在同一環境下所測得之數值製成一便覽表，料必對擬定灌溉計劃有相當之價值。

此表如與17表對照，並假設根深相同，即可得土質，作物種類不同之灌水間隔之大概數值，譬如陸稻在花崗岩土壤一次灌水水深平均為 25 mm；一日最大減水深視為 8.3 mm 時，則可得最短灌溉間隔期為 3 日。又如在保水力高之火山灰系之音地（Onji）土壤一次灌水水深約 50mm；如栽植陸稻需 6 日灌溉一次。若栽植一日減水深約為 3.5mm 之小麥，則約14日灌水一次。後者之灌水間隔比陸稻延長 2~3 倍。

第 32 表係收集已被旱地灌溉機構或砂土地區之砂質丘陵地所採用之資料。表中數值以陸稻一日減水深對照觀之，大約在 5~10 mm 之間。然被採用之一日最大減水深為 9 ~10 mm，此值較筆者所測得之數值為大，係因其為高溫乾燥之砂地丘陵地帶所應有之結果。而灌溉間隔僅為 2~4 日，此亦為砂質丘陵地帶之特徵也。

第 32 表 砂質丘陵之灌水水深，一日減水深及灌水間隔

砂 丘 地 名	一 次 灌 水 深	一 日 減 水 深	灌 溉 間 隔
靜 岡 池 新 田	20 mm	5mm	4 日
“ “ 三 保	20	5	2
“ “ 白 羽	20	10 (最大需水期)	4
“ “ 白 羽	20	5.0	4
鳥 取 北 條 濱	18.6	6.2	3
“ “ 濱 坂	27	9.0(最大需水期)	3
石 川 宇 ノ 氣	33	6.6	5
“ “ 農試宇ノ氣分場	20	6.6	3
山 形 袖 浦	27	9.0	3

下表係摘錄自火山灰系土壤地帶之灌溉設計機關及農業試驗所之一次灌水深度，一日減水深及灌水間隔日數。

第 33 表 在山灰系土壤地帶之灌水深度，日減水深，灌溉間隔

		一次灌水深度	1 日減水深	灌溉間隔日數
		mm	mm	日
神奈川	相模原	38	7.6	5
神奈川	農試場	50~60	65~ 6	10
群 馬	東 村	40	5.7	7
		45	6.4	7
長 野	桔梗原	7.	5.7	7

總觀上表，火山灰地區，一次灌水深度為 40~50mm，一日減水深為 5~6mm，因之約 7 天左右灌水一次，即較砂質丘陵地區長 2~3 倍之時間。表中一日減水深為全部灌水期之平均值，最大減水深則在日本關東亦為 8mm 左右（長谷川 1957，中山、竹村 1959），此與筆者在實驗室內測得之第 33 表陸稻之最大減水深之數值相近。

上述係在無雨環境下所求得之灌溉間隔，惟日本在灌溉期中常稍有雨，偶或有陰天，在此種情形下，灌溉間隔當亦隨之有所變化。因此何時舉行灌溉最為適當，應參酌實情詳細探討。即希望探究出判定適當灌溉時期之合理指標。

判定灌溉時期之指標，大別分為下列四點：

- (1) 土壤水分狀態。
- (2) 氣候狀況。
- (3) 作物之生理反應。
- (4) 綜合以上數點為基礎之綜合指標。

依據土壤含水狀態判定方法為 (a) 測定有效水分消失情形，(b) 測定因土壤水分之消失而產生之土壤保水力，測定方法；有 (1) Tensionmeter (Richards 1936~1952)，(2) 電氣抵抗法（即電阻測定法）(Bouyoucos 1947~1951，山田 1950)，(3) 調查水在土中移動速度變化情形之 Soil point 法 (Livingston & Koketsu 1920；玉井 1936，Mason 1922) 等各法容後詳述。然上列各法中，筆者對有效水分之特性加以探究，結果得知作物之生育僅限於有效水分上半部之水分存在時發生，且在土壤保水力較低之情形下作物之生長始旺盛，而Tentionmeter 對土壤保水力較低之測定，反應甚靈敏，故可謂最佳之指示灌溉時間之儀器。此儀器市上有成品可購，且構造簡單，可以自製，甚為便利。

現在市上販賣之 Tensionmeter 為指示灌溉時期之指標（請參照拙著伊予路園藝 10 卷 7 號）

此方法係將 Tensionmeter 之吸濕體（感濕部）素燒槽插入於田園根層底部即可。附設錶將隨着土壤水分之減少而逐漸移動，當達到危險點即可行灌溉。此方法與吾人利用體溫計測定體溫，若發現體溫，在 37 度以上，即知身體在發燒，吾人應採取適當的處置相同。

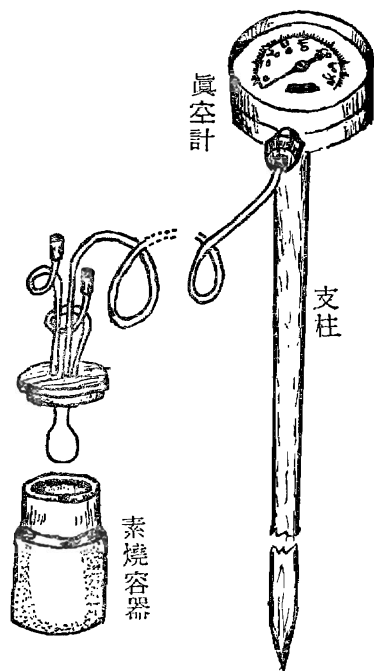
第 43 圖爲此類測定器之構造圖。與在日本之市販品——寺田式者同一原理，其所用感濕部爲素燒容器；筆者認爲測定器錶上之指針到 40 ~ 50cm 時，爲灌水之適宜期。

此外尚有利用土壤之電抗隨着土壤之減少而增加的性質，作成之 Bouyoucucos moisture meter。該儀器以有效水分量代替土壤之電抗，並以有效水分消失 50% 時爲灌溉標準。若將石膏感濕體分別埋在田間之主要地區，即可準確判斷適當灌溉期，故極爲方便。根據研討有效水分生理特性的經驗，筆者完全贊同此理論。

以氣候爲判定之條件，則需使用蒸發計。從其蒸發量推算灌溉後耕地之耗水情形，故須先作推算之實驗。譬如夏威夷之蔗園，甘蔗的灌溉時期判斷之標準，依所謂 “day-degree” 之累積溫度達 350°F 時開始灌溉之方法。此 “day-degree” 係每日最高溫度與 70°F 之差之累積數，此值與甘蔗之生長有極密切之相關 (Das 1963, Shaw & Swezey 1937)，但並未考慮日照之時間因素，故實用價值有不甚理想之說 (Baver 1954)。

從作物生理上之反應辨識法：則須分別注意氣孔之開度，蒸散及生長等之變化。在土壤水分缺乏時氣孔在白天大部分均閉合，有人認爲利用此性質在室外以浸潤法觀測極容易做到 (Oppenheimer 1941)。與此同理，蒸散量之變化亦有利用價值。蘆澤氏 (1958) 取一定葉數之柑橘枝條，套以塑膠袋，然後收集測定袋內蒸散之水，得知在蒸散量減少至正常時之二分之一，便需灌溉。另一法即切取葉而利用 Torsion balance 測定比較其蒸散能力。又如對 Cobalt paper 法之操作熟練，亦很便利。生長方面之變化則測量其枝條，株高之伸長度；亦有測量果實直徑及重量增加之變化，以推知土壤水分之缺乏程度。惟作物生理現象之變化，不祇受土壤含水量之影響。基此缺點，故須與上述之土壤水分狀態之調查同時進行，方可探出合理之灌溉時期。

以上所述旱地灌溉之要領，係就植物水分生理以外之條件討論，一年中之灌溉時期應在春季？夏季？春夏兩季或於其他時期？當依上述之作物消耗水分之特性，臨界期以及年雨量之分布型等斟酌實情而



第43圖 Tensionmeter之一種

10、灌溉方式之選擇

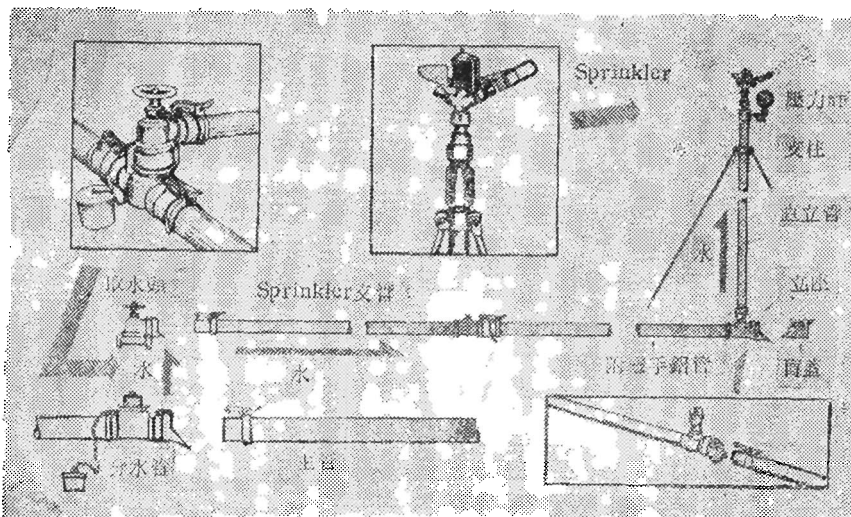
(1) 地面灌溉 (利用重力灌溉法)

- (ii) 畦間灌溉：溝灌法

(3) 灑水灌溉：

- (4) 地下灌溉：

- 上述各法中，臺灣及日本之旱地灌溉可利用者，在平地有畦間灌溉，溢流灌溉及撒水灌溉三法。而畦間灌溉，又為以往普遍利用者，故不贅述。現介紹最近漸普及之灑水灌溉法，尤以 Sprinkler 灌溉及溢流灌溉法於下。



最近已有容易使用的給水接續用裝配零件且因多為鋁製，故極輕便。

所謂 Sprinkler 灌溉法係如第 44 圖所示，將加壓力之水經 Nozzle 先端以回轉噴射法作成人工雨，平均噴灑於地面，此方法有下述之優點。

- ① 地形不平時無需整地，故可節省整地費。
- ② 不受地勢坡度影響，且侵蝕土壤亦少。
- ③ 灌溉量容易調節，滲透流失率低，可節省用水量。
- ④ 因均勻灑水於全耕地，故灌溉效果亦高。
- ⑤ 給水管係埋於地下，故不需水道，無水道崩潰之慮。
- ⑥ 節省灌溉勞力。自配管後開始灌水，至次期配管移動時，均不需工作人員在旁操作，僅依賴機械行之，故可將所餘勞力轉作促進經營科學化之工作。
- ⑦ 可將肥料混入灌溉水，平均撒佈供給於土壤。在坡地施用液體肥料，需極多勞力，若採用 Sprinkler 灌溉，即可將水溶性化學肥料或牛馬尿與灌溉水混合以後再行加壓噴水撒布，如此不僅可省勞力，並可保持液體肥料之形態，故有提高肥料效果之可能性。
- ⑧ 在冬季降霜前灑水，可預防霜害。

Sprinkler 灌溉亦有缺點：

- ① 灌水設備費較高。
- ② 給水所需動力費多。
- ③ 水之分佈易受風之影響，

關於設備費較高一點，因最近能大量生產，故所需成本費亦逐漸減低，若由數家農戶合作分擔，問題當不嚴重。至於上列②③項之缺點，亦可由上述多種效果彌補之。今後因受其他產業之影響，農業勞力不足時，勞資隨時有提高之可能；在此種地區，因無人灌溉，故此設備之利用，可能具有重大意義。加之栽培收益高之作物，數年之內，便可償還設備費。此義已於灌溉經濟價值（第11表）述及。

溢流灌溉（Border method）法：

在旱地栽培陸稻或水稻時需立即進行灌溉，此比 Sprinkler 灌溉法較為有利，但此法亦需負擔若干設備費。如用溢流灌溉法，有 Sprinkler 法之優，並可減少費用。其法首先應使田面傾斜約 100 分之 1，而由其前端，按所要灌水量與滲透力以適當流量施行灌溉。此方法應用於陸稻或旱作水稻之灌溉。

根據吉良（1957）報告，在神奈川縣平塚，於寬度 3.5 間（日本面積單位），長度 10 間，坡度 1/100 之地區，以 8 l P. S. 之流量，每 2~3 日進行灌溉一次時，約在 10 分鐘內，可完成灌溉工作。此乃相當於 40mm 之灌溉。

栽植法採取與水稻略似方式，而僅將植畦切斷，即可使水易於分佈全區；此不僅可節省灌溉勞力，產量亦較一般畦間灌溉為優，故水源豐富地域，將來不僅為陸稻為旱作，即於水稻之灌溉亦值得採用。

除上述者外，在臺灣，使用多孔金屬管噴水之灌溉方法，在臺北農業改良場已與 Sprinkler 灌溉法一併研究，並有報告刊出（周福祥，1958~62）。此亦為今後值得考慮方法之一。

上述多種旱地灌溉究竟應採用何法？當視地形條件，勞力供應，作物種類及供水來源等，多方考慮選擇最有利者為之。

最後考慮作物全生育期，灌溉所需水量多寡問題。此問題應視作物全生育期蒸發散量之變化過程，及在此期間有效雨量之變化情形，互相對照求之。實際上每次給與準確灌水量，並利用適當的土濕計，以決定適宜灌溉時期，如此重複實行而計算灌溉所需水量，並以其總量求平均值，即可得各地區及不同作物灌溉所需總水量。然至今臺灣及日本，均未能將不同氣候地域之多種作物灌溉所需總水量求出，此正急待今後之研究。

11、引用參考文獻

- 1) 安孫子考一，(1957) 農業改良，7。
- 2) 馬場 赴，(1951) 農業技術研究所報告，D1。
- 3) BAVER, L. D., (1954) Hawai. Pl. Rec., 54。
- 4) BAVER, L.D. and HUMBERT R. P., (1953) I. S. S. C. T. Proc. 8 th Congress。
- 5) BOUYOUCOS, G. J. & MICK, A. H., (1947) Soil Sci., 63。
- 6) 張建助，徐玉標，(1962) 自科學農業 10 卷. 5. 6 號
- 7) CHANG. K. E. and SHU Y. P., (1962) .Upland crop irrigation Experiments in Taiwan
- 8) 陳清義，(1962) 科學教育 8 卷 11 號。
- 9) 陳清義，(1961) 農林學報 9~10 卷。
- 10) 中國農工學會 51 年旱作灌溉試驗專題討論綱要 P. 10。
- 11) 長谷部次郎，河野宏，橫井肇，(1963) 東海近畿農試研究報告，栽培 2 部 4 號。
- 12) 長谷川新一，(1957) 農業改良，7。
- 13) 長谷川新一，八田貞夫，(1958) 畑地灌溉に關する研究集錄 V。
- 14) 長谷川新一，(1932) 農業試驗場研究報告 1 號，農林省農業試驗場。
- 15) 平間惣三郎，(1941) 臺灣農年報 37 (11)。
- 16) 池畑勇作，(1952) 日作紀，20~21。
- 17) 伊藤健次，(1958) 傾斜地農業。
- 18) 岩城鹿十郎，(1956) 愛媛大學紀要農 2. (1)

- 19) 徐玉標,甘俊仁, (1963) 自科學農業 11 卷 9~10 號。
- 20) 嘉南水利會, 學甲農作物灌溉實驗區「大豆灌溉成果報告」。
- 21) 嘉南水利會 嘉南旱作灌溉試驗及鹽分改良試驗計劃報告 P. 11~13。
- 22) 加藤一郎, 內藤文男, 谷口利策, 鴨田福世, (1963)
東海近畿農試 栽培 2 部 4 號。
畑地灌溉に関する研究集録, VII. P.68~73.
- 23) 金城, (1956) 水稻之灌溉用水量與灌溉之方法 (臺灣省輪流灌溉推進委員會刊)
- 24) 吉良芳夫, (1957) 畑地における導水及び灌水の方法, 農業改良 7 號。
- 25) 小林 章, (1947) 園藝學雜誌 18 。
- 26) KOKETSU, R., (1956) Jour. Dept. Agr. Kyushu Imp. Univ. ,I 。
- 27) 高山卓爾, 丸山吉雄, (1930) 日作紀 2 。
- 28) KRAMER, P. J., (1949) Plant and soil water relationships 。
- 29) 牧隆泰, (1940) 熱地農業水利學。
- 30) 中川恭二郎, 丸山惠三, (1963) 東海近畿農試、栽培 2 部 4 號。
- 31) 中川恭二郎, (1960) 農業及園藝, 35 (6)
- 32) 錦織英夫, 森秀男, (1959) 畑作改良講座 2 。
- 33) 仁木巖雄, (1957) 農業改良, 7 。
- 34) 野口彌吉監修, マクシーモフ著, (1959) 植物と水。
- 35) 野口彌吉, 菅原友太, (1940) 農業及園藝, 15 。
- 36) 農業技術協會, (1954) 畑地灌溉に関する研究集録, (1955) 同Ⅲ 。
- 37) 農林省振興局, (1957) 畑地灌溉に関する研究集録Ⅳ, (1958) 同Ⅴ 。
- 38) 農林水產技術會議, (1963) 畑地灌溉に関する研究集録Ⅶ 。
- 39) 岡田萬人, (1941) 臺灣蔗作研究會報 19 (1) 。
- 40) OPPENHEIMER, H. R. & ELZE, (1941) D. L., Palestine Jour. Bot. R. series.
IV, No. 1 。
- 41) 駱安華, (1963) 臺灣雜糧作物之灌溉方式。
- 42) RICHARDS, L. A. & WADLEIGH, L. H., (1952) Soil water and plant growth
(SHAW, B. T., Soil physical conditions and plant growth) 。
- 43) 劉步達, 張玉鑽, (1959) 臺灣糖業試驗所研究試驗報告。
- 44) “, 孫蓬吉, (1954) 臺灣糖業試驗所研究彙報, 12 。

- 45) SCHLEUSENER, P. E., PEIKERT, F. W. & CAROLUS, R. L., (1949) Michigan Agr. Exp. Sta. Quarterly Bulletin. 31, No. 3。
- 46) 椎名乾治, (1963) 農業土木試験場報告 1 號。
- 47) 椎名乾治、豐田久承, (1963) 畑地灌溉に關する研究集錄Ⅶ P 307~310。
- 48) 施嘉昌, (1962) 自科學農業 10 卷 1~2 號。
- 49) 施嘉昌, (1963) 中國農業工程學報 9卷1 號。
- 50) 施嘉昌, (1963) 自科學農業 11 卷 7~8 號。
- 51) 四國農業試驗場土地利用部, (1959) 昭和 33 年度, 暖地傾斜地における牧草導入に關する研究。
- 52) 清水 茂, (1957) 農業改良, 7
- 53) 周福祥, (1958) 臺北農業改良場專報 1 號。
- 54) 周福祥, (1960) 臺北農業改良場專報 2 號。
- 55) 周福祥, (1962) 臺北農業改良場專報 3 號。
- 56) 趙致康、鄭仲孚 (1963) 灌溉對旱地作物影響資料 農復會植物生產組。
- 57) 杉山直儀, (1959) 農業及園藝 34 (5)。
- 58) TAGAWA. T., (1934) Jap. Jour. Bot., 7。
- 59) 高木良平, (1963) 何予路の園藝 18卷8號。
- 60) 田町正譽, (1933) 農業土木研究 10 卷。
- 61) 玉井虎太郎, 片山廣, (1943) 臺灣農事報 39 卷 8 號。
- 62) 玉井虎太郎, (1943) 臺北帝大附農專學術報告 4 號。
- 63) 玉井虎太郎, 陳清義, (1949) 甘蔗研究 3 (7)。
- 64) " 劉俊臣, (1949) 甘蔗研究 3 (5)。
- 65) 玉井虎太郎, 吳振能 (1949) 臺灣農林月刊。
- 66) " 泊功, (1952) 日本作物學會, 四國地域談話會紀事 6。
- 67) " (1956) 果樹研究, 第 1 集。
- 68) " (1954) 日作紀 23 卷。
- 69) " (1956) 日作紀 25卷 2 號。
- 70) " 山本恒久, 水谷恒雄, 赤松秘理, (1956) 果樹園藝 9 (8)。
- 71) " (1956, 57, 58, 59) 畑地灌溉栽培法確立に關する研究 I, II, III, IV
- 72) " (1956) 愛媛大學紀要, 第 6 部農學 2,(2)。

- 73) " (1957) 果樹 12 (9)。
- 74) " 赤松秘理 (1958) 四國農業研究, 3 號。
- 75) " 藤川泰弘, 篠原潔 (1958) 全上誌。
- 76) " 高須賀信 (1958), 日作紀, 27。
- 77) " 上堂秀一郎, 高須賀忠篤, 今西岱土, (1958) 日作紀 27。
- 78) " (1960) 畑地灌溉栽培法の確立に関する研究成績書。
- 79) " (1959) 果樹園の灌水法 (農林省研究部篇, 園藝全篇)。
- 80) " (1960) 作物水分生理實驗法 (續作物試驗法)。
- 81) " (1960) 葉たばこ研究 26 號。
- 82) " (1961) 畑地かんがい講座 VI 畑地かんがい研究會。
- 83) " (1961) 作物生理講座 3 卷 (水分生理篇) P.33~102。
- 84) " 上堂秀一郎 (1961) 日作物學會紀事 29 卷 2 號。
- 85) " (1962) てん菜の生育と土壤水分との關係 愛媛大學、農、栽培育種研究室。
- 86) " (1963) 果樹 17 卷 2 號。
- 87) 田村猛, 船戶忠壽 (1955) 農業及園藝 30 卷 9~10 號。
- 88) 臺灣省農林廳雜糧作物試驗研究簡報 (1960). (49年期) P.64。
- 89) 臺灣省農林廳, 雜糧作物試驗研究簡報 (1961) (50年期) P. 117。
- 90) 東海近畿農業試驗場栽培第二部 (1963) 畑地かんがい營農に関する調査研究 (綜合抄録)。
- 91) 全上, 經營研究室 (1962) 畑地かんがい利用形態に関する研究。
- 92) 戸荊義次, 菅六郎, (1957) 食用作物。
- 93) 鳥瀉博高 (1963) 農業及園藝 38 卷 7 號~8 號。
- 94) TSAI TSUI-YUAN (1963) Rotational Irrigation Practice Chia-Nan Irrigation Association。
- 95) 海野佐一, (1959) 畑作と水, 畑作改良講座 2 號
- 96) 山崎不二夫, 長谷川新一, (1959) 畑地かんがい。
- 97) 藥師寺清司, 奥地進, 丹木忠志, 宮口和喜, (1957) 果樹研究第二集。
- 98) 藥師寺清司, 山本恒久, 奥地進, (1957) 果樹園の草生栽培に関する研究, 愛媛縣果樹試驗場。
- 99) 山田 登, (1951) 農業及園藝 26。
- 100) 山口尚夫, (1938) 臺灣總, 中, 研, 農業, 報, 141。

旱作灌溉講習會紀要

本會鑒於臺灣旱地作物經近十數年來之改進雖已獲相當成果，然欲謀今後之再次增產，必須解決能適量適時供給旱作生長所需水分之基本問題，故除呼籲各有關機關對於旱地作物之灌溉問題予以重視，並加強本省旱作需水基本研究及灌溉試驗外，特聘請日本旱作灌溉生理專家玉井博士來臺，假中興大學植物學系視聽教室，於民國五十三年一月十三日至十七日，舉行為期五日之旱作灌溉講習會，以各農業試驗機關之作物灌溉試驗執行人及各水利會灌溉工作者為主要講習對象，正式參加聽講者共為44位。每日上午除由玉井博士主講有關作物需水及灌溉基本問題外，下午則邀請省內學者專家作專題演。

一、主辦單位：中國農村復興聯合委員會

協辦單位：臺灣省立中興大學

二、主講人

從水分生理研討旱地的合理灌溉法

玉井虎太郎博士：日本愛媛大學農學部教授（曾任臺灣省立農學院教授）

三、專題演講人

本省農田水利概況及灌溉方法之介紹

劉如松：中國農村復興聯合委員會水利組正工程師

Irrigation Practices

張建勛：國立臺灣大學農學院農業工程系系主任

植物營養與微量元素

易希道：省立中興大學理工學院植物學系系主任

作物需水與灌溉配水

秦立德：中國農村復興聯合委員會水利組工程師

本省旱地作物灌溉之展望

蘇匡基：臺南區農業改良場技正兼農業課課長

臺灣雜糧作物之栽培現狀，改良成果及其發展趨向

趙致康：中國農村復興聯合委員會植物生產組技正

四、講習會主辦人：

趙致康：全上

陳清義：兼翻譯，省立中興大學理工學院植物學系副教授

五、聽講學員

- | | |
|---------------------|--------------------|
| 1. 楊世芳：臺灣省政府農林廳 | 23. 甘俊二：臺灣大學農學院 |
| 2. 吳振能：臺灣省農業試驗所 | 24. 沈堯鑫：臺灣省苗栗農田水利會 |
| 3. 簡金寬：嘉義農業試驗分所 | 25. 蔡崔源： " 嘉南 " |
| 4. 王兆全：鳳山熱帶園藝試驗分所 | 26. 曾金億： " " |
| 5. 陳梯全：省農試所臺南棉麻試驗分所 | 27. 柯成傳： " 彰化 " |
| 6. 賴銘立： " " | 28. 呂周昌： " 桃園 " |
| 7. 常照鳴：平鎮茶業試驗分所 | 29. 潘秋貴： " 花蓮 " |
| 8. 陳永盛：省農試所魚池茶業試驗分所 | 30. 莊精銳： " 高雄 " |
| 9. 林明仁：臺北區農業改良場 | 31. 莊志忠：輔導會苗栗合作農場 |
| 10. 洪再傳：新竹區農業改良場 | 32. 楊奇星： " 屏東 " |
| 11. 劉阿浪： " " | 33. 黃清江： " 桃園 " |
| 12. 洪武澄：臺中區農業改良場 | 34. 郭天保： " 高雄 " |
| 13. 陳中山： " " | 35. 沈正義： " 壽豐 " |
| 14. 林再發： " " | 36. 吳木生： " 池上 " |
| 15. 陳春齡：臺南區農業改良場 | 37. 李振歐： " 彰化 " |
| 16. 吳泰龍： " " | 38. 唐近和： " 宜蘭 " |
| 17. 施宗禮： " " | 39. 戚光燭： " 見晴農場 " |
| 18. 鄒運豐：高雄區農業改良場 | 40. 連樹民： " 福壽 " |
| 19. 王魯滌：臺東區農業改良場 | 41. 劉禮光：新竹青果合作社 |
| 20. 鐘發光：花蓮區農業改良場 | 42. 賴玉新：臺中青果合作社 |
| 21. 詹國顯： " " | 43. 陳榮連：高雄青果合作社 |
| 22. 張玉鑽：臺灣糖業試驗所 | 44. 詹昌元：農林廳種苗繁殖場 |

行政院農委會圖書室



0001425