

專 論

水稻機械整田用水試驗研究報告

Experiment and Study on Water Requirement of Paddy Land Preparation with Mechanized Operation

臺灣大學農工系教授兼主任

臺灣大學農工系副教授

臺灣大學農工系研究助理

施 嘉 昌

葉 政 秀

徐 玉 梅

ABSTRACT

Agricultural mechanization has been carried out in Taiwan. Paddy land preparation before transplanting by machine is much different from which prepared with animal plowing, the differences between the two are plowing speed, water requirement, the capacity of irrigation ditch, the days of land preparation etc. In order to study this problem, an experiment was carried out at second irrigation area in Tun-shih district with 30 ha clay soil in Chia-nan Irrigation System during Dec. 1976 to Dec. 1977. The results are listed as below:

1. Plowing depth is about 16cm both in tractor and power tiller, but the depth is only 10cm with animal plowing. Water requirement is about 160mm and 140mm with machine and animal plowing respectively. Land preparation speeds of power tiller, tractor and animal are about 8 hr/ha, 7.7 hr/ha, 26.6 hr/ha respectively. The tractor is inconvenient when turing and slipped by wheels, so that power tiller is suggested for paddy land preparation.
2. If rice planting by machine after land preparation is used, it must be waited for depositing the mud, drain the clean water from field surface and shining the field two to three days until the surface become little firm, then supply water about 20mm before machine planting, so that 6 days is needed from land preparation to transplanting.
3. In order to consider the speed of land preparation and number of machine, the conditions of sufficient discharge and average capacity in the ditches must be provided. The days of land preparation can be shorted 3 to 5 days in a 50 ha. irrigation area compare with animal plowing.
4. The data reported in this paper are suitable to apply in the area of clay soil, if it will be used machine plowing for paddy land preparation in whole Chia-nan area, more experiments in another soil texture will be taken is suggested.

一、引言

近年來由於工業發達，農村勞力短缺，政府大力推行農業機械化，以機械耕作代替傳統的牛耕與人力。水稻種植時期，以整地用水為最多，過去用牛犁整地地區，視土壤種類不同，整田用水約120~200公厘，為配合渠道輸水容量及插秧速度，每輪區（約50公頃）20至25天輪流分配整地用水；如改為機械整地，犁田速度較快，完成每輪區供水日數減少甚多，因受給水渠道容量之限制，未能配合機械整地配水工作。筆者有鑒於此，特向農復會提出「水稻田機械整田用水試驗研究」計劃，在不改變給水渠道系統之原則下，如何改變機械整田與插秧速度，故本計劃主要研究項目有下列四點：

1. 研究機械整田與插秧所需水量，包括機械整田的耙平及插秧用水。
2. 研究現有給水渠道可輸送之最大流量。
3. 研究一輪區之灌溉管理與供需情況。
4. 研究改進灌溉日程表，以符合機械耕作之需要。

以往水田整地工作均採用牛耕，其程序為翻土（牛犁）→碎土（割刀）→平土（手耙與木板）。機械整田乃先由耕耘機翻土與碎土，再由耕耘機拖一塊木板平土。整地灌溉通常在耕犁前先灌溉一次，耕犁中如水不足再行補灌，插秧前灌水與否視田面情況而定，只要田面濕潤，在田區耙平後即可立即人工插秧。如採用插秧機插秧，因整地後田面鬆軟，並有甚多泥水，插秧機在前進時所引起之波浪及機身之重量，易使已插之秧苗倒伏。必須等耙平後表面泥漿沉澱，清水排除晒田數日，田面呈乾涸狀態，再在插秧前補給部份水，即可操作。因此，採用機械整地插秧機插秧時有水量浪費的現象。在機械整田本身言之，可提高工作效率，整田時間可大為縮短而增大用水尖峰，使用目前之渠道無法容納。故本試驗之目的，在求得機械整田需水量後，適當調節配水計劃，以改善今後整田灌溉之營運與管理，使目前之渠道系統在農業機械化後尚能正常營運。

欲完成本計劃之最終目的，應求出不同土壤之整田用水量，本計劃在嘉南農田水利會六甲東社區第二小區選定約30公頃黏土地進行田間試驗，收集土壤入滲率，土壤物理性及整田灌溉前後之土壤水分資料，求得機耕整田用水，機耕工作效率及機械插秧前後之補給水深，再應用溫氏公式(2)計算出

每一輪區（約50ha）整田灌溉所需時間，配合現有渠道容量訂出整田配水方法，使嘉南渠道系統在水稻整田機械化後能供最佳之配水。

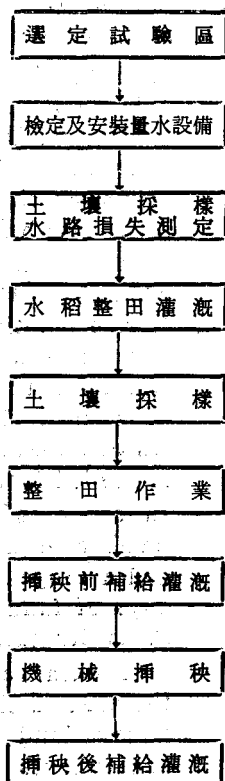
本計劃研究經費由國科會及農復會資助，合作機構為臺大農工系及嘉南農田水利會，現場參加試驗工作人員，水利會方面有曾金億灌溉股長，徐欣忠，楊明風及王錦鈺諸先生；臺大方面除作者外有湯松義先生。試驗完畢後葉政秀副教授辭去臺大職務，故部分資料分析工作由該校甘俊二副教授指導，在此一併致謝。

二、試驗步驟

本計劃之田間試驗步驟如圖一所示，詳細內容說明如下：

(一)試驗前準備

1. 在嘉南農田水利會六甲東社區第二小區選定約30公頃粘土地為試驗區，如圖二所示。此試驗區分7組，其中1，7組不參加試驗，第二、四、六組田區以17匹馬力耕耘機耕犁，另第三、五組田區以27匹馬力曳引機耕犁，再在第六組田區中



圖一 田間試驗步驟流程圖

2. 以水流法觀測小給水路輸水損失。

3. 採土樣觀測土壤假比重，機械分析及水分當量，樣品為測入滲率後之濕土，自地表 0~80 cm 每隔 10 或 20 cm 採一樣本。

4. 測定灌前土壤水分，共觀測 29 點平均分佈於試驗區中，自地表 0~80cm 每隔 10 或 20cm 採一樣本，在灌溉前 2, 3 天採樣。

5. 第一期作機械整田灌溉，水深之處處理有 120, 130, 140, 150, 160, 170 及 180 mm 七種，每種水深均分耕耘機與曳引機兩組，每一組有 6, 7 塊田區，灌溉日期為 65 年 12 月 17 日至 12 月 31 日，由第二組田區灌起，自上往下，若為雙方灌溉水路，則面向水流前進方向先灌右邊，再由下往上灌左邊，依號碼順序施灌。

6. 測定灌後土壤水分，其處理方法與測定灌前土壤水分同，惟在灌後一天左右採樣。

7. 在灌後整田前須泡田使土軟化，以利耕犁，其時間之長短隨氣候及稻根腐爛之情形而定。一期作約須一天左右。

8. 整田可分為翻土、碎土及平土三個步驟，機耕組乃由耕耘機或曳引機縱橫耕犁兩次完成翻土碎土工作，平土工作由牛拖着手耙（俗稱施水耙）與木板（俗稱蓋板）整平田區。牛耕對照組先用犁翻土，割刀碎土，平土步驟與機耕組同。在翻土後每一坵塊均測數點耕犁深度求取平均值，並記錄耕犁時間。

9. 機械插秧之步驟：插秧前先行補給灌溉。插秧後再補灌一次，然後實施本田輪灌。傳統之手插秧可在田區耙平後立即作業，但機械插秧時則因插秧機在前進時所引起之波浪及機身重量，甚易使已插之秧苗倒伏、浸水，故在田區耙平後不能即刻用機械插秧，須等表面泥漿沉澱，並將表面清水排除後，然後晒田使呈乾涸狀態，再在插秧前補給灌溉，插完後亦須立即灌溉，為使機械操作順利，插秧前不能灌太多水。至於晒田之長短與日照有關，一期作約須晒田三天。機械插秧時田面水深須保持 20 mm 左右為佳。

二期作水稻之試驗原預定於 66 年 6 月 1 日通水，然因天旱缺水一再拖延，及之 6 月中旬後降雨

不停，整田用水已不需要灌溉，故二期作之試驗無法進行，本報告僅一次試驗資料。

三、資料分析與初步結果

(一) 土壤及水路輸水損失資料分析

土壤資料分析包括機械分析，水分當量、假比重、入滲率及整田灌溉前後土壤水分之測定，測定結果經分析後分別說明如下：

1. 土質與水分當量：以全區土質而言，上層土質較粘，在 10 至 40 公分為粘土至粘質壤土；60 至 80 公分漸成為粘質壤土至壤土，由此可知上層之水分當量較高，其平均值約 25 %（重量比）。但第四組田區 1714，40 公分以上為粘土，60 至 80 公分為坩質粘壤土至坩質壤土，其平均水分當量高至 29.56 %；而同組田區 1711 除 10 公分以上為粘質壤土外，20 至 80 公分為壤土至砂質壤土，水分當量為 17.99 %，由此可知第四組土質與水分當量較不平均，第五組次之，其餘各組尚稱平均。

2. 土壤假比重：此試驗區之土壤假比重尚稱均勻，一般言之表土之假比重較低約在 1.3 至 1.4 之間。至土層 80 公分之平均值約在 1.5~1.6 之間。

3. 入滲率：灌前土壤累積入滲率變化較大，此乃因粘土乾燥時易龜裂，有無龜裂處之入滲率差異大。以各組而言以第二組最平均，其累積入滲公式為 $D = 149.67T^{0.5364}$ 次之為第五組 $D = 206.52T^{0.3270}$ ，其餘第三、四、六組均不平均有小至 $D = 30.55T^{0.1755}$ （第三組）大至 $D = 193.3T^{0.220}$ （第六組）。

4. 灌溉前後之土壤水分：每組以逢機選取 3 至 6 坵塊自表土每隔 10 至 20 公分深採取灌溉前後之土壤水分至土層深 80 公分，灌溉採取土樣時田面乾燥有裂縫，地表土壤水分平均在 12 % 至 13 %，已在凋萎點，其中第六組坵塊較乾，第五小組次之，其他各組坵塊居中。土壤水分依土層深度遞增，至 80 公分深時平均約 18 %，乾濕程度與地表有同樣趨勢。各組灌溉前後之土壤水分差列如表一，以第六小組最大平均為 12.6%，第五小組次之為 10.2%，其他各小組在 9.0 % 至 7.5 %，因此第六小組平均灌溉水量達 158 公厘，第五小組次之為 120 公厘，其他各組均在 111 至 104 公厘之間，灌溉後各坵塊之土壤水分均達飽和狀態。

表一 試驗區灌溉前後土壤水分測定結果

組別	地號	灌溉前後 土壤水分差 (%)	假比重	灌溉水深 (mm)
2	1773	10.5	1.44	120
2	1761	6.0	"	119
	1753	6.0	"	69
小計或平均	3	7.5	1.44	86
3	1721	8.2	1.59	104
3	1723	16.2	"	205
3	1738	9.5	"	120
3	1741	4.6	"	58
3	1747	5.5	"	70
小計或平均	5	9.0	1.59	111
4	1749	11.3	1.52	137
4	1718	7.1	"	86
4	1714	13.3	"	160
4	1705	3.9	"	47
4	1702	10.4	"	126
4	1698	6.6	"	80
小計或平均	6	8.8	1.52	106
5	1673	7.7	1.53	
5	1678	9.6	"	117
5	1684	9.8	"	120
5	1687	15.1	"	185
5	1690	11.9	"	146
5	1594	7.1	"	87
小計或平均	6	10.2	1.53	120
6	1668	13.1	1.56	164
6	1663	9.5	"	119
6	1660	13.1	"	164
6	1655	12.8	"	160
6	1651	13.8	"	173
6	1647	13.0	"	163
小計或平均	6	12.6	1.56	158

5. 小給水路平均輸水損失：小給2-2號12.6%，2-3號8.0%，2-4號7.2%，與整個烏山頭水系之小給水路損失比較略顯偏低，其理由甚為明顯，因此地區為粘土，滲透率較其他土質小，但給水路應保持濕潤狀態，方可減少輸水損失。欲使讀者了解烏山頭水系之小給水路輸水損失，特將其資料列於表二，本次試驗之水路損失均在表二第一項之範圍內即自6%至10%，占全輪區之1.16%。

表二 烏山頭水系各輪區估計水路損失調查表

水路損失 (%)	輪區個數 (個)	百分比 (%)
6—10	23	1.16
11—15	136	6.89
16—20	520	26.33
21—25	585	29.62
26—30	375	18.99
31—35	175	8.86
36—40	74	3.75
41—45	46	2.33
46—50	26	1.32
51—55	7	0.35
56—60	6	0.30
61—65	2	0.10
合計	1975	100.00

* 資料摘自甘俊二等之報告(3)

(二) 整田灌溉水深

上節所述灌後之土壤水分，僅將各坵塊土壤補充水分至飽和程度，可視為基本之灌水量，而本試驗整田灌溉水深之處理由120~180mm。有些田區在翻土後因水太少而無法繼續碎土，則須第二次補充灌溉，每次灌10公厘，直至能夠耕犁為止。碎土後有些田區尚須第三次灌溉，方能進行平土工作灌溉水深之決定與第二次灌溉同，資料請參看表三，經統計後適合各種耕犁機具之整田用水量為：

耕耘機 (17 匹馬力)	153.5 公厘
曳引機 (27 匹馬力)	155.7 公厘
牛 犁	132.3 公厘

由以上整田用水量觀之，耕耘機與曳引機之整田用水量相同而與牛耕整地者約差20公厘，其原因為耕犁深度用實側資料顯示，耕耘機約15.7公分，曳引機15.8公分及牛犁10公分。雖曳引機之馬力比耕耘機為大，然曳引機之耕犁深度可調節至適當位置，因此兩者之耕犁深度幾乎一樣。由此可知，耕犁深度與整田用水量成正比，同時機械耕犁後實施插秧機插秧前，必須預先沉澱淤泥，排除地表清水，經晒田加水後方可實施，因此排除之水亦為實施機械耕犁增加整田用水之原因。

表三 試驗區機械整田之基本資料分析結果

地 號	面 積 (ha)	整田用水		耕犁 方式	耕犁 工作 效率 (hr/ha)	施手耙 工作 效率 (hr/ha)	蓋板 工作 效率 (hr/ha)	揮秧前 補給 灌溉 (mm)	揮秧後 補給 灌溉 (mm)
		第一次加第 二次灌深 (mm)	第三次 灌深 (mm)						
1774	0.22	165		耕耘機	9.3	10.6		6	10
1773	0.23	165		"	9.3	10.7		6	27
1772	0.21	165		"	6.6	10.7		12	10
1776	0.20	150		"		6.6	7.7	13	14
1775	0.24	150		"		6.6	7.7	13	14
1767	0.51	123		"				33	
1766	0.51	123		"					
1765	0.26	123		"				15	
1764	0.2	123		"					
1771	0.23	108		"	8.3	4.7	3.5	7	21
1763	0.14	133		"				24	44
1761	0.15	153		"	8.3			25	28
1760	0.15	119	32	"	8.9	7.8		28	24
1759	0.10	159		"				13	8
1758	0.24	151		"		8.3	8.7	20	26
1757	0.33	85	47	"				30	18
1756	0.22	98	41	"	8.1	6.1		20	6
1755	0.22	147		"				19	26
1754	0.27	119		"			5.9	16	14
1753	0.22	114		"	9.1			18	13
1719	0.30	234		"	7.1			8	
1714	0.33	127	15	"	6.7				
1662	0.26	178		"	8.3			29	
1661	0.28	177		"	7.4			80	
1660	0.23	164	7	"					
1659	0.24	164	7	"					
1655	0.18	133	25	"	7.4		4.6		
1654	0.26	126		"	7.3				
1649	0.18	110		"	7.2	4.8			
1648	0.20	110		"	7.2	4.8			
1647	0.19	105		"	10.5				
1646	0.24	105	26	"	9.0				
1713	0.32	144	22	"					
1711	0.19	152	41	"	8.8				
1703	0.29	147	10	"	8.0	5.2		28	
1702	0.30	146	18	"	8.1			30	
1701	0.15	132		"	8.9			17	
1670	0.32	151		"	7.3				
1669	0.32	164		"					21
1667	0.32	163	14	"	7.3				5

1666	0.16	131		"	9.4				
1965	0.24	189	45	"	8.0	6.9	3.5		
1664	0.40	166	29	"	8.3				
1663	0.40	166	29	"	8.3				
平均		153.5							
1695	0.20	140	11	曳引機	10.0		5.4		
1694	0.36	135	26	"	7.4				
1693	0.24	156	9	"	7.3	7.2	6.2		
1692	0.31	156		"	7.3	7.2	6.2		
1691	0.32	195	18	"	6.8				
1689	0.26	168	12	"	7.7		6.4		
1688	0.18	148	13	"	8.8				
1687	0.18	157	11	"	7.9				
1686	0.21	134	26	"	私耕				
1685	0.26	134	15	"	"				
1684	0.52	129		"	"				
1683	0.52	129		"	"				
1682	0.20	183	29	"	7.0	7.5	5.8		
1651	0.17	250		"	7.0	6.9	4.9		
1680	0.15	157		"	6.7	4.4	3.3		
1679	0.28	203	43	"	7.1	6.5	3.0		
1678	0.32	184		"	私耕	6.3	5.7		
1677	0.25	197		"	"	8.1	5.3		
1674	0.21	171		"	7.9	9.4	6.0		
1750	0.41	117		"	7.8			45	
1749	0.41	117		"	7.8			45	
1748	0.16	167		"	"				
1747	0.25	129		"	私耕			51	
1746	0.13	206		"	"			0	
1744	0.22	169		"	6.0			0	
1743	0.16	100		"	"			25	
1742	0.13	122		"	"			17	
1741	0.15	133		"	"			11	
1737	0.79	127		"	私耕				
1736	0.79	127		"	私耕				
1735	0.79	127		"	私耕				
1733	0.27	112		"	8.6				
1724	0.41	139		"	私耕			14	
1723	0.31	187		"	私耕			11	
1722	0.29	149		"	私耕				
平均		155.7							
1657	0.15	135		牛耕	22.8	7.2	3.3		
1656	0.11	136		"	12.9	9.1	3.8		
1650	0.17	120		"	27.0	12.3	3.9		
1668	0.24	138		"	19.8	10.1	6.9	12	
平均		132.3			20.6				
平均 (以上三種平均)						7.5	5.2	21.37	19.0

註：①施手把及蓋板皆用牛操作故其工作效率為全部資料之平均。

②此次試驗採機插秧，故插秧前後補給水深已為全部資料之平均。

(三) 耕犁工作效率

1. 耕耘機：由試驗時觀察得知，如灌水至機械能操作之程度後，水量增加至某限度內，耕作效率可提高。現在最適之整田水量既經決定，機械耕作效率可用(1)式決定，故以實例之耕作效率與整田水量可用最小二乘方法分析，求得式中係數 A 與 B。

$$P_{pt} = A + BI \dots\dots\dots (1)$$

式中 P_{pt} = 耕耘機之耕犁工作效率，hr/ha

I = 整田灌溉水深 mm

A, B 為待求之兩係數，其求法如下：

$$A = \frac{\Sigma I^2 \Sigma P'_{pt} - \Sigma I \Sigma (I \cdot P'_{pt})}{n \Sigma I^2 - (\Sigma I)^2} \dots\dots\dots (2)$$

$$B = \frac{n \Sigma (I \cdot P'_{pt}) - \Sigma I \Sigma P'_{pt}}{n \Sigma I^2 - (\Sigma I)^2} \dots\dots\dots (3)$$

式中 P_{pt} 為田間試驗資料

n 為資料之數目，將表三各資料代入後，求得

A=9.89, B=-0.012, 代入(1)式得

$$P_{pt} = 9.89 - 0.012 I \dots\dots\dots (4)$$

當 I=160mm 時， $P_{pt}=7.97$ hr/ha，如一天實際操作 8 小時計，一天可耕犁一公頃，由式(4)可得知在適當整田用水耕犁之情況下，單位面積之耕犁時數與灌溉水深成反比，即田區之水多至某限度越易耕犁，此乃非常合理之現象。

2. 曳引機：同理將曳引機之耕犁工作效率(hr/ha)對整田灌溉水深之資料亦可用最小二乘方法分析，得其方程式如下：

$$P_t = 9.96 - 0.014 I \dots\dots\dots (5)$$

引中 P_t = 曳引機之耕犁工作效率，hr/ha

I = 整田灌溉水深，mm

由式(5)可知曳引機之耕犁工作效率與灌溉水深之關係。

當 I=160mm 時， $P_t=7.72$ hr/ha，較耕耘機快 3%，而當 I=70mm 時，兩者之耕犁速率幾乎相同。

3. 牛耕：將 4 坵塊牛耕區之資料平均後所得之耕犁工作效率為 20.6hr/ha，施割耙工作效率為 6 hr/ha，以牛犁翻土加上割耙碎土相當於用耕耘機或曳引機翻土及碎土，故與機耕比較牛耕區耕犁一公頃須 26.6 小時，如一天以 6 小時(牛的工作時速較機械少)操作時數計，則一公頃約須耕犁 4、5 天。

四其他工作效率：

1. 施手耙工作效率：將資料平均後，得施手耙工

作效率為 7.5hr/ha，資料列於表三。

2. 蓋板工作效率：將資料平均後，得蓋板工作效率為 5.2hr/ha，資料列於表三。

3. 機械插秧工作效率：將田間記錄資料經平均後，機械插秧工作效率為 14 hr/ha，與甘俊二等(3)調查所得每臺每天可插 0.6 公頃(每天約工作 9~10 小時)。

(五) 插秧前後補給灌溉水深：

1. 插秧前補給水深：將田間記錄之資料平均後，得插秧前補給灌溉水深約 20 mm，灌完後之田面水深約為 15 mm，資料列於表三。

2. 插秧後補給灌溉深 (I_{st})：將資料平均後得插秧後補給灌溉深約 20 mm，資料列於表三。

四、基本資料之應用與整田規劃

基本資料之應用可分為兩方面來考慮，一方面乃在給水路容量可容納之原則下，整田工作緊跟在灌後一天執行，在開始插秧後，由於本田灌溉用水隨插秧面積之增加而加大，水路供水將逐漸提高，當水路無法容納時須降低整田及本田之灌溉速度，同時須減少耕作機械之數目，但機械須為整數，故灌溉速度之遞減依機械耕犁臺數與其工作效率而定。另一方面在固定水路供水流量之原則下，隨着本田用水之提高，整田灌溉速度亦隨之逐漸降低，以維持水路流量之固定，因此，耕作機械甚難與之配合。因機械可能有小數出現，補救之法可調整灌溉後與整田前之泡田日數。茲利用本計劃試驗資料，將上列二情況分別說明如下：

(一) 給水路容量可容納之原則下，整田工作在灌溉一天執行情況：整田之程序為整田灌溉泡田一天整田作業晒田三天插秧前補給灌溉→插秧→插秧後補給灌溉→本田灌溉。如考慮整田灌溉與整田作業共須時兩天，至晒完田須時 6 天，第 7 天開始插秧，本田灌溉每天需水約 6 公厘，以六甲東社區第二小區為計算例，其已知資料如下：

機械整田灌溉水深 I=160mm

插秧前補給水深 $I_{st}=20$ mm

插秧後補給水深 $I_{st}=20$ mm

本田耗水量 $D_t=6$ mm/day

東社區第二小區分南、北線，其小給水路與面

積之分配如下：

北 線		南 線	
小給線名	面積 (ha)	小給線名	面積 (ha)
2-1	3.90	2-6	6.41
2-2	5.70	2-7	7.42
2-3	11.82		
2-4	9.61		
2-5	2.88		

北線 $Q_{max}=0.054\text{cms}$ ，平均輸水損失 $L_s=0.10$ ，

南線 $Q_{max}=0.030\text{cms}$ ， $L_s=0.15$

有以上資料後，茲將東社區第二小區整田用水量規劃如下：

1. 小給 2-1

設二臺耕耘機操作，一天耕作 8 小時，則一天可耕 2 公頃，則灌溉速度亦須為一天 2 公頃，3.90 公頃需 1.95 天耕完，在此階段其用水量為：

$$\begin{aligned} \text{總灌水深度 } D_s &= I = 160\text{mm} = 0.16\text{m} \\ \text{每天灌溉面積 } R_1 &= 2\text{ha/day} = 2 \times 10^4 \text{ m}^2/\text{day} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \therefore Q' &= 0.16 \times 2 \times 10^4 / 86400 = 0.03\text{cms} \\ Q &= Q' / (1 - L_s) = 0.037 / (1 - 0.1) = \\ &0.041\text{cms} < Q_{max} \end{aligned}$$

2. 小給 2-2

如以一天兩公頃之灌溉速度前進，灌完小給 2-2 之累積日數為 4.8 天，尚未開始插秧，故流量與小給 2-2 同亦為 0.041cms。用二臺機械操作。

3. 小給 2-3

同樣以一天兩公頃之灌溉速度前進，灌完小給 2-3 之累面日數為 10.71 天，必須考慮插秧及本田用水。

$$\begin{aligned} \text{整田至插秧總灌水深度 } D_s &= 0.16 + 0.02 + \\ &0.02 = 0.2\text{m} \end{aligned}$$

$$D_s + D_i = 0.2 + 0.006(10.71 - 6) = 0.228\text{m}$$

$$Q' = 0.228 \times 2 \times 10^4 / 86400 = 0.053\text{cms}$$

$$\begin{aligned} Q &= Q' / (1 - L_s) = 0.053 / (1 - 0.1) = \\ &0.059\text{cms} > Q_{max} \end{aligned}$$

由以上情況用二臺機械操作時，速度過快，水量無法供應，因此此小給路供水時減用機械一臺，因此渠道之流量為 0.034 cms 已敷用。同理本區其他各小給水路所管轄面積之整田規劃，可得結果

如下表：

	小給路名	面積 (ha)	耕耘機臺數	累積整田日數	小給流量 Q (cms)
北線	2-1	3.90	2	1.95	0.046
	2-2	5.70	2	4.80	0.045
	2-3	11.82	1	16.62	0.034
	2-4	9.61	1	26.23	0.041
	2-5	2.88	1	29.11	0.043
南線	2-6	6.41	1	6.41	0.022
	2-7	7.42	1	13.83	0.033

本試驗區小給水路之南、北兩線可同時取水，故可同時灌溉，因此東社區第二小區整田日數應為 29.11 天。

(二) 固定水路供水流量之情況：

以溫理仁 (2) 1974 年發表之整田流量計算公式略作修改後應用於本試驗區，其公式為：

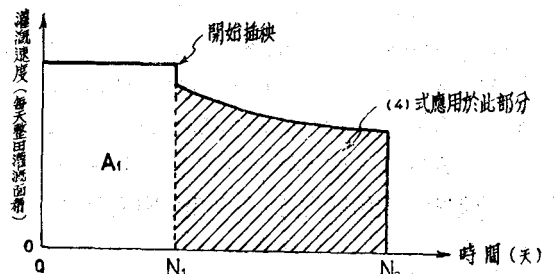
$$Q = \frac{AD_i}{1 - e^{-(D_i/D_s)N}} \dots\dots\dots (3)$$

式中 Q 為流量 (定值)， A 為整田面積， N 為整田日數， D_i 為本田每天耗水量， D_s 為整田總用水量 (包括插秧)，在此式中流量為定值，且假定插秧緊跟在整田之後，即在 N 天中每天均需本田灌溉，因流量固定，故整田灌溉速度越來越慢，以配合逐日遞增之本田灌溉水量。但在本試驗中，情形略有不同，插秧第 7 天開始，故此公式適用於開始插秧後 (下圖之斜線部分)，茲將 (3) 式改寫成

$$Q = \frac{A_2 D_i}{1 - e^{-(D_i/D_s)N_2}} \dots\dots\dots (4)$$

$$\text{或 } N_2 = -\frac{D_s}{D_i} \ln \left(1 - \frac{A_2 D_i}{Q} \right) \dots\dots (5)$$

式中 A_2 為開始插秧後之整田灌溉面積， N_2 為自插秧日算起之整田灌溉日數，見下圖。



N_2 之求法如下：先決定一 Q 值 ($Q \leq Q_{max}$ 、 L_1, L_2 為輸水損失)， N_1 及 I (整田水深) 為已知，則 $A_1 = QN_1/I$ ， $A_2 = A - A_1$ ，再將 A_2, R, D_1 及 D_2 代入式 (5)，可解 N_2 ，則 $N = N_1 + N_2$ 。已知總面積 A 及整田灌溉日數 N ，則理想之整田速度 ($R_m, \text{ha/day}$) 為

$$R_m = A/N \dots\dots\dots (6)$$

一臺機械之耕犁工作效率約為 8 hr/ha，相當於一公頃之地需耕作一天，但 R_m 值不可能恰為整數，而耕犁機臺數必須為整數，如 $R_m = 2.6 \text{ ha/day}$ ，而選用三臺機械，則降低其耕犁工作效率，由經濟之觀點，為甚不經濟之操作，因此作者建議以下補救方法：由機械臺數決定整田日數 N' 則 $N' = A/\text{耕犁機數}$ ，且 $N' \leq N$ ，再延後開始整田之時間 ($N = N'$)，即延長泡田時間，如此，又須考慮，深層滲漏與田面蒸發量之損失水量，其考慮之方法請參看下節。但如 $R_m = 2.2 \text{ ha/day}$ ，可採用二臺機械，則每臺一天須耕犁 $8 \times 2.2/2 = 8.8$ 小時。作者建議如機耕之工作效率介於一天耕犁 7—10 小時尚稱合理。再以六甲東社區第二小區為例說明如下：

六甲東社區第二小區已知資料如下：

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{北線 } A = 34 \text{ ha}, Q_{max} = 0.054 \text{ cms}, \\ \hspace{15em} L_s = 0.10 \\ \text{南線 } A = 14 \text{ ha}, Q_{max} = 0.030 \text{ cms}, \\ \hspace{15em} L_s = 0.15 \end{array} \right.$$

$$\begin{aligned} N_1 &= 6 \text{ day} \\ I &= 160 \text{ mm} = 0.16 \text{ m} \\ I_{b_1} &= 20 \text{ mm} \\ I_{a_1} &= 20 \text{ mm} \\ D_1 &= 6 \text{ mm/day} \end{aligned}$$

北線：設以小給水路之最大流量供給整田用水，則

$$Q = Q_{max} \cdot (1 - L_s) = 0.054 \times (1 - 0.1) = 0.049 \text{ cms}$$

$$N = N_1 + N_2 = 6 + N_2$$

$$A_1 = QN_1/I = 0.049 \times 86,400 \times 6/0.16 = 15.876 \times 10^4 \text{ m}^2 = 15.88 \text{ ha}$$

$$A_2 = A - A_1 = 34 - 15.88 = 18.12 \text{ ha}$$

自第七天開始插秧後，插秧用水亦須考慮，則

$$D_s = I + I_{b_1} + I_{a_1} = 0.16 + 0.02 + 0.02 = 0.2 \text{ m}$$

$$N_2 = -\frac{D_s}{D_1} \ell_n \left(1 - \frac{A_2 D_1}{Q} \right)$$

$$= -\frac{0.2}{0.006} \ell_n \left(1 - \frac{18.12 \times 10^4 \times 0.006}{0.049 \times 86400} \right)$$

$$= 9.89 \text{ day}$$

$$\therefore N = N_1 + N_2 = 6 + 9.89 = 15.89 \text{ day}$$

$$\text{整田速度 } R_m = A/N = 34/15.89$$

$$= 2.14 \text{ ha/day}$$

因此可用二臺機械整田，整田日數為 15.89 天。

南線：

$$Q = Q_{max} (1 - L_s) = 0.030 (1 - 0.15) = 0.026 \text{ cms}$$

$$N = N_1 + N_2 = 6 + N_2$$

$$A_1 = QN_1/I = 0.026 \times 86400 \times 6/0.16 = 8.42 \times 10^4 \text{ m}^2 = 8.42 \text{ ha}$$

$$A_2 = A - A_1 = 14 - 8.42 = 5.58 \text{ ha}$$

$$N_2 = -\frac{D_s}{D_1} \ell_n \left(1 - \frac{A_2 D_1}{Q} \right) = -\frac{0.2}{0.006} \ell_n \left(1 - \frac{5.58 \times 10^4 \times 0.006}{0.026 \times 86400} \right) = 5.38 \text{ day}$$

$$N = 6 + 5.38 = 11.38 \text{ day}$$

$$\therefore R_m = A/N = 14/11.38 = 1.23 \text{ ha/day}$$

如用一臺耕犁機，一天須工作 $8 \text{ hr} \times 1.23 = 9.8 \text{ hr}$ ，南北線可同時整田，北線之整田日數為 15.89 天大於南線，因此東社區第二小區之整田日數可定為 15.89 天。

以上東社區第二小區由第一種情況所得之整田日數為 29.11 天，第二種情況為 15.89 天，前者之優點為整田緊跟在灌溉完後一天進行，整田進度恰比灌溉進度晚一天，缺點為機械臺數與田間給水路之流量皆非定值，對機械之調配與效益言之，似有缺失；對水路流量而言經常變動，在管理上甚不方便且通水時間越久，水路輸水損失越大，對用水管理而言，亦不經濟。第二種情況所得之結果似較為理想，因其水路流量固定，在管理上較為方便，如以給水路最大流量供水，較第一種情況可縮短通水時間二分之一，此法之缺點為整田灌溉進度隨時間而遞深，而機械耕犁速度有一定範圍，因此剛開始整田時機耕速度將會略為落後，後來會慢慢追上，到最後機耕將超過灌溉速度，其最大優點為機械數目自始至終不變，對管理與經濟觀點甚為適合。

再解釋溫氏公式所計算之機械非為整數一點以本試驗區資料說明如下：

已知資料：

$$A = 34 \text{ ha}, Q_{m.r} = 0.054 \text{ cms}, L_s = 0.25$$

$$N_1 = 6 \text{ day}, I = 160 \text{ mm},$$

$$I_{s1} = I_{s2} = 20 \text{ mm} \quad D_s = 6 \text{ mm/day}$$

設以小給水路之最大流量供水，則

$$Q = Q_{m.r}(1 - L_s) = 0.054(1 - 0.25) \\ = 0.041 \text{ cms}$$

$$A_1 = QN_1/I = 0.041 \times 6/0.16 = \\ 13.12 \times 10^4 \text{ m}^2 = 13.12 \text{ ha}$$

$$A_2 = A - A_1 = 34 - 13.12 = 20.88 \text{ ha}$$

第七天後須考慮插秧用水，則

$$D_s = I + I_{s1} + I_{s2} = 160 + 20 + 20 \\ = 200 \text{ mm} = 0.2 \text{ m}$$

$$N_2 = -\frac{D_s}{D_s} \ell_n \left(1 - \frac{A_2 D_s}{Q}\right) \\ = -\frac{0.2}{0.006} \ell_n \left(1 - \frac{20.88 \times 10^4 \times 0.006}{0.041 \times 86400}\right) \\ = 14.55 \text{ day}$$

$$\therefore N = 6 + 14.55 = 20.55 \text{ day}$$

$$R_m = A/N = 34/20.55 = 1.65 \text{ ha/day}, \text{需} \\ \text{二臺機械}$$

$$\text{整田日數} = 34/2 = 17 \text{ 天}$$

因此整田作業較正常情況延後 3 天 (20.55 - 7 = 3.55 day)，深層滲漏與田面蒸發量因之增加，但整田作業只在剛開始時落後三天，爾後將逐漸趕上灌溉速度，繼而超過之，如最後一坵塊在灌完一天後整田，深層滲漏與田面蒸發僅考慮在開

始插秧前所灌之面積 (即 A_1 部分)。由濁幹線系統應用電子計算機處理灌溉配水之可行性研究報告 (6)，得知粘土之深層滲漏約為 4 mm/day，田面蒸發為 6 mm/day。

$$N_1 = 6 + 3 = 9 \text{ 天}$$

$$I' = 0.16 \text{ m} + (0.004 \text{ m} + 0.006 \text{ m}) \times 3 \\ = 0.19 \text{ m}$$

$$A_1 = 0.041 \times 86400 \times 9/0.19 = 16.78 \text{ ha}$$

$$A_2 = 34 - 16.78 = 17.22 \text{ ha}$$

$$N_2 = -\frac{0.2}{0.006} \ell_n \left(1 - \frac{17.22 \times 10^4 \times 0.006}{0.041 \times 86400}\right) \\ = 11.50 \text{ day}$$

$$N = 9 + N_2 = 9 + 11.50 = 20.50 \text{ day}$$

$$\sim 20.55 \text{ day}$$

因此在開始整田灌溉後泡田 4 天 (加上原先之泡田一天) 再開始機械整田，雖浪費都分深層滲漏與田面蒸發量，但在考慮機械成本與效益上尚稱合算。

(三) 六甲支線管區整田規劃：

六甲支線絕大部分為粘土區，灌溉面積 444 公頃，流量為 0.832 cms，水路輸水消失為 0.060 cms。六甲支線所管轄灌區皆在支線兩旁，不經中給水路即可直接輸送至小給水路。支線容量大，每一小給水路皆可以最大流量供給田區。應用溫氏公式計算後所得之整田灌溉日數，整田日數及機械數列於表四：

表 4. 應用溫氏式換算六甲支線管區整田、灌溉日數及機械數表

給水區別	水門別	小區別	面積 (ha)	小給容量 (cms)	平均水路損失 %	流量 ^a (cms)	灌溉日數 ^b	整田日數 ^c	耕耘機數
西六甲	西六甲北線 西六甲南線	一、二	31	0.050	15	0.043	16.8	16.8	2
		三	3	0.015	10	0.014	4.0	3.0	1
		一	46	0.070	20	0.056	20.1	20.1	2
東社	東社北線 東社南線 東社北線 東社南線 東社北線	一	19	0.049	15	0.042	9.2	9.2	2
		二	34	0.054	10	0.049	15.9	15.9	2
		二	14	0.030	15	0.026	11.4	11.4	1
		三	38	0.060	22	0.047	19.7	19.7	2
		三	9	0.024	15	0.020	8.8	8.8	1
青埔	一 二 三	一	21	0.036	20	0.029	16.9	16.9	1
		二	41	0.063	20	0.048	21.1	21.1	2
		三	45	0.064	20	0.051	22.3	22.3	2
羅水	一 二 三	一	39	0.068	23	0.052	17.7	17.7	2
		二	40	0.075	25	0.056	16.6	16.6	2
		一	30	0.051	30	0.036	21.2	15.0	2
路橋	一 二	一	34	0.054	25	0.041	20.5	17.0	2

$$a. \text{流量} = \text{小給容量} \times \left(1 - \frac{\text{平均水路損失}}{100}\right)$$

b. 如水門分南北線可同時取水灌溉者，同一小區中，灌溉日數大者為該區之灌溉日數。

c. 整田日數之計算方法請參看本節(三)。

五、結論與討論

經由水稻一期作之整田試驗，得粘土區之機械整田用水約為 160 公厘，牛耕約為 140 公厘，如用機械插秧，在插秧前後須各補給 20 公厘之水。一臺耕耘機縱橫耕犁兩次每天可耕犁一公頃，牛犁約須 4.5 天。機械犁之深度約為 16 公分，牛犁約為 10 公分。機械整田用水雖較牛耕略多，但在工作效率上，機耕快速甚多；在另一方面，機耕深度較牛犁為深，可使水稻發育良好，並提高產量。故在牛工與人工短拙與工資高昂之際，以機械取代牛犁無論在工作效率與經濟價值上均甚為有利。

此次試驗分別以 17 匹馬力之耕耘機與 27 匹馬力之曳引機耕犁，結果發現曳引機因機身龐大轉彎緩慢，致使其耕犁效率較耕耘機者僅快 3%，且水過深時曳引機輪子容易打滑，為經濟起見以用耕耘機較優。

嘉南灌區大都經過重劃，田區規劃，易實行機械化，目前機械插秧已日漸普遍，其育苗方式與傳統之播種完全不同，即先於大小約 $2 \times 1 \times 0.5$ ft 無蓋之木盒中請育苗中心育苗，因此育苗中心須與之密切配合方可達機械插秧之效。

因六甲支線容量大，任一小給水路均可供應足額流量，因此六甲支線雖因機耕整田而加大用水量，亦不致發生問題。而所發生之問題為小給水路之容量大小不一，最大者有 0.07cms，而最小者僅 0.015cms，本研究在計算時已用耕犁機械數來調整，即大者可供二臺，小者僅供給一臺機械操作，如此流量小的小給水路所管轄之田區，尚不能充分利用機械，而使工作效率減低，因此如不加大小給水路容量，縱使實施機械耕犁，亦無法縮短整田日數，六甲支線所轄灌區因在支線近旁水路短，輸水損失也較小，所得之整田日數最多者為 22 天，最小者為 3 天，嘉南其他灌區是否相同情況，需作進一步之試驗研究。

烏山頭灌溉系統所管轄之幹、支線均有內面工，不易修改其輸水容量，但田間小給水路大部分為土渠，加大其輸水容量並不困難，在擴大水路容量以前須考慮下列各點：

1. 輸水容量加大，可縮短整田灌溉日數，繼而縮短整田日數，因此同時整地及插秧所需之機械勢必增加。同時自整田與插秧可全面機械化，農民可委託機耕隊耕作，所餘時間可從事其他工作。

2. 小給水路容量加大，可能造成幹、支線容量不足無法同時全面供水，而須輪流配水，如此或許不須增加機械數目，即犁完 A 區再犁 B 區，如此每一田區之整田日數同樣可縮短，農民不須長期照顧田區，同樣可從事其他工作。

欲完成整個烏山頭系統水稻田機械整田配水研究，須先作各種不同土壤之田間試驗，本研究僅考慮粘土區，其他土壤有待進一步之試驗研究。

中文摘要

在全面農業機械化聲中，利用機械作水稻田之整田工作日漸普遍，以往牛犁整田方法有重新研究之必要。機械整田與牛犁整田之最大區別，為前者進行快速，整田用水之供應亦應密切配合，在目前之給水路供水系統能否適應，整田日數與機耕數目應如何估計等問題亟待研究。因此本計劃為針對以上問題在嘉南農田水利會管轄之東社區第二小渠粘土地選取約 30 公頃作試驗研究，在不修改渠道系統與容量之原則下，如何訂定配水方法以緩和及適應因機耕所加大之用水尖峰。本次試驗選用耕耘機與曳引機二種機械整地並與牛耕者比較，其結果摘錄如下：

1. 曳引機耕犁深度可調整至與耕耘機耕犁深度同，均為 16 公分，牛犁者為 10 公分。整田用水量採用機械耕犁者均約 160 公厘，牛犁者約 140 公厘，耕耘機耕犁效率為 8 hr/ha，曳引機為 7.7 hr/ha，牛犁者為 26.6 hr/ha。採用曳引機時，體大轉彎不便，輪子易打滑，以採用耕耘機為優。

2. 機械整田後如欲用插秧機插秧，須等泥漿沉澱，清水排除，晒田數日再加水 20 公厘後方可實施，因此開始整地至插秧至少需要 6 天，同時須與育苗中心密切配合。

3. 為考慮整田速度與機械數目配合，給水路應供應充分流量，同時某小區各給水路之容量不致過大或過小，如具備以上條件，每小區（約 50 公頃）之整田日數可較牛犁整田者減短 3 至 5 天。

4. 本次試驗資料適用於粘土地之整田規劃，如欲在嘉南灌區全部實施，應在其他土質先作試驗研究，以作全面整田規劃之依據。

主要參考文獻

1. 農復會、臺大農工系合編，臺灣之水稻灌溉，民國 59 年 11 月。

(下轉第 2 頁)