

烏山頭水庫灌區耕作制度與配水量之探討

Discussion of Crop Patterns and Water Distribution in the Area of Wushantou Reservoir

臺大農業工程學系講師

吳 銘 塘

Ming-Tarng Wn

一、引言

本文為筆者獲得國科會補助，於 60 年 7 月完成之作。鑒於政府正積極加強推展加速農村建設之重大政策；又施工六年，耗費六十億元新臺幣之曾文水庫亦建造完成，且已開始蓄水準備發揮灌溉功能，為趁此農業建設運動正如火如荼，深為各界矚目關懷之時，敘述個人所持之管見藉以響應此一運動，爰特刪增已丟棄三年之舊作，藉本期農工學報發表，尚祈農工諸先進斧正是幸。

二、烏山頭水庫灌區的農業環境和灌溉制度

烏山頭水庫灌區跨及臺灣省之嘉義、臺南三縣市，東西自中央山脈至臺灣海峽，南北自北港溪至二仁溪止，總灌溉面積約 8 萬公頃。本區氣候溫和，日照充足，土地平坦而肥沃，故適種各類農作物，產量豐富，主產稻米、甘蔗、甘藷、蔬菜及各種雜作物如落花生、玉米、高粱、大豆、小麥等等，佔臺灣農作物產量之大宗。

惟因嘉南地區降雨多集中於夏季，冬春兩季氣候乾燥，非賴灌溉作物仍無法維持正常生長。但灌溉水源極有限，烏山頭水庫有效蓄水量才僅一億四千萬立方公尺。由於水量不足，故自水庫建造完成後，四十餘年來皆實施所謂「三年輪作灌溉」制度，亦即依據水路系統，將區內農田約以 150 公頃之面積劃分為一給水輪區，每一給水輪區再以約 50 公頃之面積劃分為三小區，其中一小區於夏季栽種一作水稻（每三年僅種一作），一小區種植甘蔗，另一小區種植雜作物。水庫放水灌溉則以輪種水稻之小區為優先，甘蔗小區視其生育上需要，全生長期施灌 2~3 次。至於雜作小區，須視水庫蓄水量有否餘剩而定，一般不施行灌溉，多賴降雨而生長。如此，各小區就水稻、甘蔗

、雜作三類作物輪流耕種，三年為一週期，是謂「三年一作輪灌」制度。除此之外，本區內尚有少數地域，因另有其他水源，故除按三年輪作方式給水外，配合其另有可利用之水源水量，施行單期作或雙期作灌溉，此種灌區稱為「併用區」，其面積共約 8,000 公頃，故除去併用區，三年一作之灌區大約有七萬公頃。

三、三年輪作灌溉制度之討論

三年輪灌制度不失為一獨特之節水良法。實施 1 年來，對本地區之糧食生產和農民生活之改善，均有輝煌昭著之成果，無須贅述。本灌區在水庫建造之前，僅能依靠天雨栽種旱作，民生迫切需要的稻作根本無成活的機會，糧食極端缺乏農民生活困苦。但自從水庫建造完成後，一向缺乏而迫切需要的稻作乃特別受到保護，於是不惜傾注全庫蓄水量加以灌溉，但水庫容量必竟有限，年蓄水總量祇能供應全灌區之面積，栽種一作夏季水稻之用。因而各輪區也必須等候三年才有機會栽種一作夏季水稻，同時獲得充分灌溉，三年輪灌制度就在這種情況之下，順水推舟地產生。

早年的旱作物由於未經改良，產良低，品質亦劣，其產品在市場上價值不高，故不受重視。旱作物的生產既不被重視，則水庫有限的蓄水量自然不能惠及旱作，除甘蔗之外，一般旱作物幾無機會獲得灌溉，即甘蔗灌溉而言，全生育期 18 個月之中，也祇給 2~3 次之灌溉。此種次數如與今日糖試所對曾文水庫計劃所訂之甘蔗灌溉次數**（七次）相比，相距頗遠。

三年輪灌制度業已渡過 40 個寒暑，40 年的成長，人口早已迅速地膨脹，社會經濟結構和民生需要等等，也均隨時間產生急劇的變化，同時過去許多產量低，品質劣和不受重視的雜作物，經過長年的改良

** 新港輪作灌溉示範實驗，糖試所制定之甘蔗灌溉次數如下：(1)10月~11月雨水不足時灌溉一次，每次60mm。

(2)翌年3月~6月，每月灌溉一次，每次60mm。(3)7月~11月視乾旱情形灌溉兩次，每次90mm。

，如今已不復存在。某些雜作物將來的生產效益，甚至可能超出水稻和甘蔗之上，尤其近年來工商業和科學技術快速之發展，此種變化與四十年前的社會環境相比，簡直已成了兩個不同的世界，所以 40 高齡的三年輪灌制度，在目前的环境下是否尚值得存在，似有商榷餘地。儘管此種制度過去確有優點，但今日其相對缺點所產生的損失，已不容再忽視：

1. 三年輪灌制度祇重視水稻的灌溉，而忽視旱作灌溉的增產收益——三年輪灌制度在 36 個月的耕作期間，僅顧及 4 個月生育期的水稻灌溉，而忽視其餘 32 個月耕作期間，其他旱作物的灌溉與不灌溉間生產收益之差額。依據表 1 統計，民國 51 年至 57 年

間，水庫可利用的年蓄水量平均約四億六百萬 (406×10^6) 公噸，其中約有 84 % ($343 \times 10^6 \text{ m}^3$) 的蓄水量，施用於灌溉之灌溉面積之一作夏季水稻，其餘 16 % ($63 \times 10^6 \text{ m}^3$) 之蓄水量施用於全灌區之面積之其他作物，用水量僅佔水稻之 $\frac{1}{4}$ 。此種結果，使耕作期間達 32 個月之久的各期旱作物，在水量分配不合理的劣勢之下，無法發揮其應可發揮的生產力。所有應增產的旱作灌溉效益，在此種用水量懸殊對比之下全部遭受犧牲。整個農場收益之損失，實非耗去 6 倍水量的水稻，全部獲得的效益所能補償。此一事實從表 2 所列資料可窺知梗概，從表 2 中知：

表 1. 烏山頭水庫歷年灌溉用水量統計表

年 別	總 用 水 量 (m^3)	用 水 量 (m^3)			灌溉面積 (ha.) (4)	公 頃 用 水 量 (m. m.)	
		用 水 (1)	輸 水 損 失 (2)	小水門用水量 (3)		(1)/(4)	(3)/(4)
30~34 平 均	531,268,100	水 稻 425,228,000 甘 蔗 106,040,100 雜 作	168,400,000 61,822,200	256,828,000 34,900,094 9,316,806	27,879 36,428 9,442	1,525 231	921 96 99
51	397,379,261	水 稻 337,329,533 甘 蔗 60,049,728 雜 作	124,743,111 — —	212,586,422 31,789,152 —	26,727 29,335 —	1,262 — —	795 108
52	373,778,237	水 稻 289,588,176 甘 蔗 84,190,061 雜 作	104,033,203 — —	185,554,973 54,028,426 —	26,238 53,748 —	1,103 — —	707 101 —
53	446,289,264	水 稻 352,261,296 甘 蔗 93,661,968 雜 作	121,836,211 41,896,397	230,425,058 51,589,526 182,045	26,550 54,325 107	1,529 172	868 95 170
54	437,033,893	水 稻 376,141,333 甘 蔗 60,892,560 雜 作	119,030,139 18,633,258	257,111,194 32,923,091 9,336,211	27,504 30,827 10,863	1,367 146	935 107 86
55	404,590,118	水 稻 335,883,888 甘 蔗 68,706,230 雜 作	103,862,962 19,905,955	232,521,926 31,662,403 17,137,872	27,963 23,823 17,891	1,201 165	832 133 96
56	378,747,015	水 稻 355,250,362 甘 蔗 23,496,653 雜 作	119,731,738 —	235,518,624 16,763,328 —	28,784 15,526 —	1,234 —	818 108 —
57	—	水 稻 353,971,469 甘 蔗 — 雜 作	110,563,143 —	243,408,326 — —	27,503 — —	1,287 —	885 — —
51~57 平 均	406,302,694	水 稻 342,918,008 甘 蔗 — 雜 作	114,757,215 —	228,160,935 —	27,324 —	1,283 —	834 —

資料來源：嘉南農田水利會民國 57 年業務成果檢討案 (58年 1 月)

* 51年~56年平均値

表 2 嘉南區域主要輪作制度間各種作物有無灌溉產量及純收益比較調查表

輪作制度	作物類別	耕作時期	灌溉別	收入					支												總純		月平均
				產量 (kg/ha)	價值 (元)	副產 (kg/ha)	價值 (元)	合計 (元)	勞力				水租 (元)	田賦 (元)	戶稅 (元)	肥料 (元)	種子 (元)	農藥 (元)	其他 (元)	合計 (元)	收益 (元)		
									耕耘機	牛工	男工	女工										合計	
三年一作制	水稻	第1年6月至10月	輪灌	3,820	14,554	3,420	1,026	15,580	—	576	1,680	960	3,216	307	260	133	2,676	300	160	—	7,052	8,528	2,132
	甘藷	第1年10月至第2年5月	不灌	17,092	8,546	14,032	2,104	10,650	600	—	—	780	1,380	383	325	167	1,860	760	105	—	4,980	5,670	945
			灌溉	22,220	11,110	21,204	3,180	14,290	600	160	100	780	1,640	383	325	167	1,860	760	105	—	5,240	9,050	1,538
	大豆	第2年5月至9月	不灌	724	4,633	3,853	770	5,403	—	600	360	900	1,860	230	195	100	650	450	480	—	3,965	1,438	479
			灌溉	905	5,782	4,453	890	6,672	—	600	440	900	1,940	230	195	100	650	450	484	—	4,045	2,627	876
甘蔗	第2年9月至第4年2月	不灌	97,680	27,525	12,360	1,854	29,379	—	1,266	2,365	1,612	5,243	1,380	1,170	600	4,399	450	—	—	12,742	16,637	924	
		灌溉	122,350	34,406	15,450	2,317	36,723	—	1,266	3,165	1,612	6,043	4,380	1,170	600	4,399	570	—	210	14,372	22,351	1,242	
	綠肥	第4年2月至5月	不灌	700	4,585	4,124	412	4,997	600	—	100	10	710	474	260	133	—	280	—	—	1,610	3,387	847
			灌溉	840	5,492	4,948	494	5,986	600	—	200	10	810	474	260	133	—	280	—	—	1,950	4,029	1,343
三年二作制	水稻	第1年6月至10月	輪灌	3,820	14,554	3,420	1,026	15,580	—	576	1,680	960	3,216	400	260	133	2,676	300	160	—	7,145	8,435	2,108
	甘藷	第1年11月至第2年5月	不灌	17,092	8,546	14,032	2,104	10,650	600	—	—	780	1,380	600	325	167	1,860	760	105	—	5,197	5,453	910
			灌溉	22,220	11,110	21,204	3,180	14,290	600	160	100	780	1,640	600	325	167	1,860	760	105	—	5,457	8,833	1,467
	水稻	第2年6月至10月	輪灌	3,820	14,554	3,420	1,026	15,580	—	576	1,680	960	3,216	400	260	133	2,676	300	160	—	7,145	8,435	1,406
	甘蔗	第2年10月至第4年1月	不灌	97,680	27,525	12,360	1,854	29,279	—	1,266	2,365	1,612	5,243	1,800	1,170	600	4,399	450	—	—	13,662	15,717	873
灌溉			122,350	34,406	15,450	2,317	36,723	—	1,266	3,165	1,612	6,043	1,800	1,170	600	4,399	570	—	210	14,792	21,931	1,218	
花生	第4年2月至5月	不灌	2,040	12,117	3,134	470	12,587	—	310	125	2,107	2,542	307	260	133	905	1,075	40	—	5,262	7,325	1,831	
		灌溉	2,448	14,540	3,760	564	15,104	—	310	225	2,107	2,632	307	260	133	905	1,075	40	—	5,362	9,742	2,435	
旱田二年五作制	花生	第1年8月至12月	不灌	1,599	15,990	3,040	456	16,446	—	1,000	300	1,300	2,600	307	260	133	955	1,170	150	—	5,575	10,871	12,718
			灌溉	1,884	18,840	3,091	533	19,423	—	1,000	700	1,300	3,000	307	260	133	955	1,170	150	—	5,975	13,448	3,337
	玉米	第2年2月至6月	不灌	4,070	16,280	6,135	613	16,893	—	1,000	300	1,300	2,600	307	260	133	2,375	308	140	—	6,123	10,770	2,694
			灌溉	4,775	19,106	6,297	629	19,739	—	1,000	700	1,300	3,000	307	260	133	2,375	308	140	—	6,523	13,206	3,304
	大豆	第2年7月至10月	不灌	977	7,816	1,615	323	8,139	—	1,200	300	1,240	2,740	230	195	100	1,015	420	150	—	4,850	3,289	1,095
甘藷	第2年10月至翌年4月	不灌	1,040	8,320	1,665	333	8,653	—	1,200	700	1,240	3,140	230	195	100	1,015	420	150	—	5,250	3,403	1,134	
		灌溉	10,100	10,100	5,910	1,773	11,873	—	1,520	—	400	1,920	383	325	167	1,860	600	100	—	5,355	6,518	1,303	
	黃麻	第3年4月至8月	不灌	16,540	16,540	11,063	3,302	19,842	—	1,520	800	400	2,720	383	325	167	1,860	600	100	—	6,155	13,687	2,738
			灌溉	1,743	14,989	3,143	943	15,932	—	1,000	450	900	2,350	368	312	160	3,140	660	210	—	7,200	87,321	1,940
			灌溉	2,584	22,224	4,465	1,340	23,564	—	1,000	1,250	900	2,350	368	312	160	3,140	660	210	—	8,000	15,664	3,150
單期作田	水稻	第1年6月至10月	輪灌	3,820	14,554	3,420	1,026	15,580	—	576	1,680	960	3,216	307	260	133	2,676	300	160	—	7,052	8,528	2,132
雙期作田	第一期作水稻	第1年2月至6月	輪灌	4,520	19,255	3,100	930	20,185	—	680	1,330	1,680	3,690	632	260	133	3,652	300	154	90	9,411	10,774	2,694
	第二期作水稻	第1年7月至10月	輪灌	2,991	11,395	2,678	803	12,198	—	680	1,470	1,460	3,610	632	260	133	2,140	300	140	—	8,015	4,183	1,046
	綠肥	第1年11月至翌年1月	不灌	700	4,585	4,124	412	4,997	—	600	100	10	710	474	260	133	—	200	—	—	1,777	3,220	1,073
			灌溉	840	5,492	4,948	494	5,986	—	600	200	10	810	474	260	133	—	280	—	—	1,957	4,029	1,343

資料來源：嘉南地區及臺大旱作灌溉試驗報告（53年6月）

(1)三年一作制中有灌溉處理的作物總收益，年平均為 15,528 元，不灌溉處理的作物年總收益為 11,887 元，相差 3,641 元。三年應為 10,923 元，而水稻全期之總收益僅為 8,528 元，和灌溉增產之早作收益差額為 2,395 元，若以全灌區七萬公頃面積計，損失遠超過億元新臺幣。

(2)旱田兩年五作制之灌溉處理，年平均收益為 29,659 元，不灌溉處理之年平均收益為 20,090 元，相差 9,569 元，遠超過栽種一期水稻之總收益。

(3)以施用於三年一作制的同量水量，施用於兩年五作之早作栽培，其總收益為 168,177 元，較三年一作制的總收益 (83,717 元) 增加一倍以上，且耕作時間反又縮短一年。足見三年一作制的輪灌制度，以其他不同方式取代，可產生更高的收益。

2. 水稻用水量分配過多，早作物缺水灌溉，以致作物複作指數降低——作物複作指數係指某年內，某一耕地栽種之各期作物面積總和與原來耕地面積之百分比，例如某耕地一年栽種作物兩作，該耕地栽種作物面積之總和為原耕地之兩倍，故複作指數為 200，又如栽種三作，複作指數為 300。正常情形，複作指數愈高，收益愈大。在三年輪灌之下，早作物的灌溉不受保障，故農民即使提高複作指數，也無把握可以增加收益。因此作物的複作指數無法提高。從表 3、4、5 各表中可看出，民國 55、56、57 各年作物栽種面積分別為 101,400、103,474 及 105,034 公頃，但獲得灌溉者分別各為 59,080、65,896 及 37,735 公頃。三年平均僅佔作物栽種總面積之 53%，表示每

年約有半數的作物面積得不到灌溉，故作物複作指數不能提高乃理所當然，表中所示民國 55、56、57 三年複作指數平均僅達 169。而正常情形，某一耕地在一年中即使連種三作，使複作指數提升到 250 以上，也並非不可能，但因三年輪灌之限制，無法分到合理的灌溉用水，農民即使很願意提高作物的複作指數，也祇能望水興嘆。設如能把複作指數提升到 200，則本灌區七萬公頃耕地，每年將較目前增多兩萬公頃期作以上之作物生產收益，此種原應可得而不能獲得的收益，在今日農業企業化經營途徑中，絕不應再令其繼續存在。

四、農業經營現代化和耕地與水量最佳分配之構想

臺灣的農業建設過去雖亦曾獲致輝煌的成果，但近年來由於工商業的迅速擴展，相形對比之下，農業成長率於是顯得特別緩慢，因此促進農業現代化的經營，以提高農村的收益和福利，乃政府目前一項重大的政策；58 年行政院頒佈之「農業政策檢討綱要」及執政黨二中全会通過之「現階段農村經濟建設綱領」，都是針對此一問題所擬定，行政院蔣院長為徹底解決臺灣農業問題，特在 61 年 9 月間宣佈加速農村建設九項新措施，同時決定撥助 20 億元新臺幣，另以 18 億 2 千萬元的貸款，期在兩年內完成九大措施及廿三個細部執行計劃，足見建設農業之運動正是如火如荼，受到政府之重視。茲簡錄九大措施中之第 6. 7. 8. 三項要點如下：

表 3. 烏山頭水庫三年輪作田民國 55 年灌溉實績調查表

單位：千公頃

小區別	灌溉地面積	季別	灌溉種別	實際灌溉面積	作物種植面積	複作指數	實灌面積與作物面積比
1	23,012	春夏秋冬	甘蔗灌區及臺糖農場土地改良	22,851 681 —	甘蔗 ^(55/56) 15,340 水稻 4,530 其他 13,540	* 145 (235)	0.704
2	23,145	春夏秋冬	臺糖農場灌溉 水稻灌區灌溉	1,512 20,632 —	甘蔗 ^(55/56) 1,760 水稻 20,850 其他 11,790	* 149 (153)	0.645
3	23,417	春夏秋冬	雜作灌區灌溉	11,740 1,664 —	甘蔗 ^(55/56) 5,010 水稻 6,068 其他 22,500	* 144 (155)	0.399
合計	69,575	春夏秋冬		36,103 22,977 —	甘蔗 ^(55/56) 22,110 水稻 31,460 其他 47,830	* 146 (167)	0.584

資料來源：嘉南水利會民國 56 年業務中心工作计划暨 55 年業務成果檢討案 (56 年 1 月)

* () 內數字係不含甘蔗種植面積。

表 3-a 第一小區 (甘蔗灌區)

管理處別	灌溉地面積	實際灌溉面積	作物種植面積	複作指數	實際灌溉面積與作物面積比
臺南	1,399	1,141	2,140	160	0.535
新化	2,849	2,775	3,800	133	0.730
佳里	3,797	3,846	6,170	163	0.625
麻豆	2,262	2,314	3,730	165	0.620
新營	3,957	4,295	5,140	130	0.837
嘉義	2,175	2,304	3,280	151	0.704
朴子	6,634	6,857	9,150	138	0.749
合計	23,012	23,532	33,410	145	0.704

表 3-b 第二小區 (水稻灌區)

管理處別	灌溉地面積	實際灌溉面積	作物種植面積	複作指數	實際灌溉面積與作物面積比
臺南	1,448	1,448	2,390	165	0.606
新化	2,840	2,661	3,720	131	0.716
佳里	3,722	3,645	5,430	146	0.672
麻豆	2,433	2,335	3,750	154	0.623
新營	4,064	3,852	4,790	118	0.805
嘉義	2,241	2,093	3,880	175	0.540
朴子	6,398	6,110	10,440	164	0.586
合計	23,146	22,144	34,400	149	0.645

6. 加速推廣綜合技術栽培：①優先辦理水稻及其他糧食作物，改良生產技術，提高單位面積產量，②加速推行農業機械化，積極輔導小農實施共同作業。

7. 倡導農業生產專業區：依作物分佈、地理環境條件及市場需要，分設各類專業區，如①雜糧作物生產區——推廣飼料作物如玉米、高粱之增產，並施行保證價格收購。②特用外銷作物生產區——如蘆筍、蔬菜等採用契約計劃生產，統一聯營外銷等。

8. 加強農業試驗研究與推廣工作。

行政院宣佈執行的每項措施要旨，都在積極促使農業經營早日邁向科學化、企業化的途徑，以提高農民收益。如重視水稻之外，尚重視其他雜糧作物

表 3-c 第三小區 (雜作區)

管理處別	灌溉地面積	實際灌溉面積	作物種植面積	複作指數	實際灌溉面積與作物面積比
臺南	1,447	1,134	2,170	150	0.524
新化	2,782	1,558	4,560	164	0.342
佳里	3,854	1,566	6,070	157	0.258
麻豆	2,359	1,822	3,630	162	0.476
新營	4,132	2,555	5,120	124	0.499
嘉義	2,267	2,271	3,100	137	0.733
朴子	6,576	2,498	8,740	133	0.285
合計	23,417	13,404	33,590	144	0.399

表 4. 烏山頭水庫三年輪作田民國 56 年灌溉實績調查表

單位：千公頃

小區別	灌溉地面積	季別	灌溉種別	實際灌溉面積	作物種植面積	複作指數	實灌面積與作物面積比
1	22,937	春夏秋冬	臺灣農場 水稻灌區	1,198 22,032 —	甘蔗 ^(56/57) 1,788 水稻 20,706 其他 13,329	35.823 156 (161)	0.648
2	23.12	春夏秋冬	雜作灌區及臺糖農場 土地改良及特別灌溉	18,992 1,354 —	甘蔗 ^(56/57) 3,847 水稻 7,388 其他 22,554	33.789 146 (155)	0.601
3	23,364	春夏秋冬	甘蔗灌區及臺糖農場	21,522 798 —	甘蔗 ^(56/57) 13,862 水稻 5,614 其他 14,386	33.590 145 (210)	0.659
合計	69,421	春夏秋冬		41,712 24,184 —	甘蔗 ^(56/57) 19,497 水稻 33,708 其他 50,269	103.474 149 (168)	0.637

資料來源：嘉南水利會民國 56 年業務成果檢討案 (57年 1 月)

表 4-a 第一小區 (水稻灌區)

管理處別	灌溉地 面積	實際灌 溉面積	作物種 植面積	複 作 指 數	實際灌溉 面積與作物 面積比
臺 南	1,333	1,345	2,195	165	0.613
新 化	2,840	2,530	3,897	137	0.649
佳 里	3,786	3,978	6,868	181	0.579
麻 豆	2,248	2,602	3,860	172	0.674
新 營	3,959	3,837	4,868	123	0.788
嘉 義	2,169	1,915	3,604	166	0.531
朴 子	6,602	7,033	10,531	160	0.667
合 計	22,937	23,230	35,823	156	0.648

表 4-b 第二小區 (雜作區)

管理處別	灌溉地 面積	實際灌 溉面積	作物種 植面積	複 作 指 數	實際面積 與作物面 積之 比
臺 南	1,446	1,090	2,059	142	0.530
新 化	2,831	2,392	4,363	154	0.548
佳 里	3,728	2,670	6,006	161	0.444
麻 豆	2,441	2,695	4,157	170	0.649
新 營	4,051	4,312	5,668	140	0.760
嘉 義	2,238	2,042	3,199	143	0.639
朴 子	6,385	5,144	8,337	131	0.617
合 計	23,120	20,345	33,789	146	0.602

之生產，實施保證價格收購、契約計劃生產、統一聯營內外銷等，阻礙進步和農業機械化之小農經營，也積極輔導參加共同栽培作業，並按照各項環境條件分設各類生產專業區。相信小農經營制不久即將全部淘汰。農民並進而可再聘用農業專門技術人員，配合政府農業政策，負責經營專業區農場。專業技術人員將必能應用最新技術，調配勞力及動力，統一耕種、除草、除蟲、除害、施肥、灌溉排水以及收穫運銷等等，使農業經營徹底成為「專業化」和「企業化」型態。

農業經營既可望發展成為企業化之型態，所有投施於生產計劃的各項限制資源，均可應用各種技巧或

表 4-c 第三小區 (甘蔗灌區)

管理處別	灌溉地 面積	實際灌 溉面積	作物種 植面積	複 作 指 數	實際面積 與作物面 積之 比
臺 南	1,462	1,389	2,095	144	0.663
新 化	2,771	2,487	3,272	118	0.764
佳 里	3,840	3,859	6,476	169	0.596
麻 豆	2,328	2,347	3,870	166	0.607
新 營	4,121	3,996	5,852	147	0.684
嘉 義	2,267	1,934	3,443	152	0.562
朴 子	6,575	6,308	8,854	125	0.714
合 計	23,364	22,320	33,862	145	0.659

表 5. 烏山頭水庫三年輪作田民國 57 年灌溉實績調查表

單位：千公頃

小區別	灌 溉 地 面 積	季 別	灌 溉 種 別	實 際 灌 溉 面 積	作 物 種 植 面 積	複 作 指 數	實灌面積與 作物面積比
1	22.816	春 夏 秋 冬	臺糖農場及糊仔甘蔗 土地改良及特別灌溉 臺糖農場及甘蔗灌區	1.266 1.327 —	甘蔗 3.830 水稻 8.109 其他 21.579 } 33,518	147 (156)	0.077
2	23.061	春 夏 秋 冬	臺糖農場及甘蔗灌區 臺糖農場	12.156 563 —	甘蔗 12.717 水稻 6.338 其他 15.521 } 34,576	150 (193)	0.368
3	23.298	春 夏 秋 冬	水稻灌區 臺糖農場及糊仔甘蔗	1.314 21.109 —	甘蔗 2.163 水稻 20.521 其他 14.256 } 36,940	158 (164)	0.610
合 計	69.175	春 夏 秋 冬		14.736 22,999 —	甘蔗 18.710 水稻 34.968 其他 51.360 } 105,034	152 (171)	0.359

資料來源：嘉南水利會民國 58 年業務中心工作计划暨 57 年業務成果檢討案 (58年1月)

表 5-a 第一小區 (雜作區)

管理處別	灌溉地面積	實際灌溉面積	作物種植面積	複作指數	實際灌溉面積與作物面積比
臺南	1,325	0,069	1,980	149	0.035
新化	2,834	0.216	4,137	146	0.052
佳里	3,784	0.355	6,070	160	0.058
麻豆	2,240	0.382	3,700	165	0.103
新營	3,886	0.557	5,818	150	0.096
嘉義	2,149	0.461	3,116	145	0.148
朴子	6,587	0.553	8,697	132	0.064
合計	22,816	2.591	33,518	147	0.077

表 5-b 第二小區 (甘蔗灌區)

管理處別	灌溉地面積	實際灌溉面積	作物種植面積	複作指數	實灌面積與作物面積之比
臺南	1,460	0.353	2,030	139	0.174
新化	2,810	1.352	4,177	149	0.326
佳里	3,734	1.709	6,522	175	0.262
麻豆	2,404	1.076	3,868	161	0.278
新營	4,074	2.489	5,655	139	0.440
嘉義	2,232	2.527	3,469	155	0.729
朴子	6,347	3.312	8,855	140	0.362
合計	23,061	12.719	34,576	150	0.368

表 5-c 第三小區 (水稻灌區)

管理處別	灌溉地面積	實際灌溉面積	作物種植面積	複作指數	實灌面積與作物面積之比
臺南	1,459	1.445	2,297	157	0.63
新化	2,743	2.713	3,667	134	0.74
佳里	3,927	3.686	7,082	185	0.52
麻豆	2,334	2.271	3,797	163	0.60
新營	4,112	3.956	5,304	129	0.75
嘉義	2,263	2.121	3,912	173	0.54
朴子	6,360	6.231	10,881	171	0.57
合計	23,298	22.423	36,940	158	0.61

數學方法，尋求最經濟的分配與運用。水和耕地就是這些生產因子中比較重要的兩項限制資源，有水而沒有耕地，則無作物生產可言，有耕地而缺水，也不能使耕地發揮正常的生產力，但耕地作物對水的需求量亦有一定的限度，過少固然不適，太多亦無好處，因此必須把有限的水量適當地分配於各灌區，使各灌區的耕地作物都能發揮最大的生產力，以達最高收益的

目的。近廿餘年來，有關此類問題常藉所謂數學規劃 (Mathematical Programming) 的技術謀求解答。本文即應用動態規劃和線型規劃兩種方法討論上述問題。

五、動態規劃 (Dynamic Programming)

烏山頭水庫在某期間內可以安全蓄存的水量，可依照三年一作，三年兩作，單期作或雙期作等灌溉方式分配於各灌區。但年年都依照上述固定的計劃從事生產，未免過於呆板。各種不同作物生產量的目標，宜配合政府農業政策，並依經濟原則時時作最合適的機動生產計劃，然後分配水量於各灌區，使各灌區作物發揮最大生產力，達到最高收益的預期目的。從水源的有限及經濟收益的觀點而言，所有的耕地既不可能全部栽種水稻，也不可能全部栽種旱作，然則究應栽種多少面積的水稻或多少面積的旱作，才算不浪費資源及合乎經濟原則，是一件值得討論的問題。動態規劃就是以一種有系統的步驟，決定適當的分配，使整體計劃獲得最大收益的一種技巧，最適應用於解決上述難題，茲將本法應用於烏山頭水庫配水之方法，說明如下：

設全灌區耕地依照現行管轄區別，分成臺南、麻豆、佳里、新營、新化、嘉義及朴子七個灌區，又設 n 為參加分配水量灌區總數目 (此處已分為七個灌區，故 $n=7$)

x_i 為決策變數 (Decision Variable)，亦即各灌區配到的水量 (M^3)

$p_i(x_{n+1-i})$ 為預期收益 (Expected Profit)，各灌區配到 x_{n+1-i} 水量灌溉作物後之預期收益。

Q 為水庫在某期間內能安全供應的灌溉總水量 (M^3)

$q = Q/m$ ， m 為任意正整數，視實際需要而定。

S 為可能配到的各種水量， $S=0, 1, 2, 3, \dots, m(q M^3)$

水庫蓄水量欲以最佳的比例輸配於各灌區，而獲得最佳的生產收益，須滿足下列兩式：

$$\textcircled{1} \quad \sum_{i=1}^n p_i(x_{n+1-i}) \text{ 須為最大} \dots\dots\dots \text{標的函數式}$$

$$\textcircled{2} \quad \sum_{i=1}^n x_i \leq Q \quad \dots\dots\dots \text{限制方程式}$$

各灌區獲配 S 水量後，可得之預期收益 (Expected Profit) 如表 6：

表 6. 各灌區對各種不同灌溉水量之預期收益表 (元)

S (qM ³)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
灌 區											
1 臺 南	G ₁₀	G ₁₁	G ₁₂	.....	.....	...					G _{1, 10}
2 新 化	G ₂₀										
3 佳 里	⋮				G ₁₁						
4 麻 豆	⋮										
5 新 營	⋮										
6 嘉 義	⋮										
7 朴 子	G ₇₀	.....	...								G _{7, 10}

本表 G 值依農耕經驗及由線型規劃計算而得

如設 $f_i(s, x_i)$ 表示 S 之水量依反次序，由最後的一個灌區逐次分配至第 i 灌區，而尚有 (n-i) 個灌區未曾參加分配時，獲配水量各灌區之預期總收益。s 有 0, 1q, 2q, ..., mq 等不同水量，故 $f_i(s, x_i)$ 亦有若干不同的收益，以 $f_i^*(s)$ 表示該不同收益中之最大值，則

$$\textcircled{3} \quad f_i^*(s) = \max_{x_i=0, 1, \dots} f_i(s, x_i)$$

$$\textcircled{4} \quad f_i(s, x_i) = p_{n+1-i}(x_i) + f_{i-1}^*(s - x_i)$$

合併上兩式得

$$\textcircled{5} \quad f_i^*(s) = \max_{x_i=0, 1, \dots} \{P_{n+1-i}(x_i) + f_{i-1}^*(s - x_i)\}$$

$$i=2, 3, \dots, n$$

當 i=1 時，上式成為

$$f_1^*(s) = \max_{x_1=0, 1, \dots} P_n(x_1)$$

茲以假定數值列述其運算步驟及計算結果如下：

表 7. 各灌區對各種不同灌溉水量之預期收益表 (10³元)

S (qM ³)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
灌 區											
1 臺 南	0	5	6	8	12	16	18	18	18	18	18
2 新 化	0	4	7	9	11	14	17	20	20	20	20
3 佳 里	0	4	5	7	13	17	19	23	27	30	30
4 麻 豆	0	3	7	10	13	18	20	22	23	23	23
5 新 營	0	4	8	10	17	20	24	27	30	32	32
6 嘉 義	0	3	7	9	11	17	19	20	20	20	20
7 朴 子	0	2	4	9	12	15	21	26	29	31	36

註：本表之 G 值全部均為假定，假定 $m=10$ $Q=mq=10q$ (m³)

表 8-1 朴 子 灌 區 (i=1)

s (q M ³)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$f_1^*(s) = p_7(x_1)$	0	2	4	9	12	15	21	26	29	31	36
x_1^*	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

表 8-2 嘉 義 灌 區 (i=2)

x_2 $s(qM^3)$	$f_2(s, x) = p_0(x_2) + f_1^*(s - x_2)$											$f_2^*(s)$	x_2^*
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
0	0											0	0
1	2	3										3	1
2	4	5	7									7	2
3	9	7	9	9								9	0, 2, 3
4	12	12	11	11	11							12	0, 1
5	15	15	16	13	13	17						17	5
6	21	18	19	18	15	19	19					21	0
7	26	24	22	21	20	21	21	20				26	0
8	29	29	28	24	23	26	23	22	20			29	0, 1
9	31	32	33	30	26	29	28	24	22	20		33	2
10	36	34	36	35	32	32	31	29	24	22	20	36	0, 2

表 8-3 新 營 灌 區 (i=3)

x_3 $s(qM^3)$	$f_3(s, x_3) = p_5(x_3) + f_2^*(s - x_3)$											$f_3^*(s)$	x_3^*
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
0	0											0	0
1	3	4										4	1
2	7	7	8									8	2
3	9	11	11	10								11	1, 2
4	12	13	15	13	17							17	4
5	17	16	17	17	20	20						20	4, 5
6	21	21	20	19	24	23	24					24	4, 6
7	26	25	25	22	26	27	27	27				27	5, 6, 7
8	29	30	29	27	29	29	31	30	30			31	6
9	33	33	34	31	34	32	33	34	33	32		34	2, 4, 7
10	36	37	37	36	38	37	35	36	37	35	32	38	4

表 8-4 麻 豆 灌 區 (i=4)

x_4 $s(qM^3)$	$f_4(s, x_4) = p_4(x_4) + f_3^*(s - x_4)$											$f_4^*(s)$	x_4^*
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
0	0											0	0
1	4	3										4	0
2	8	7	7									8	0
3	11	11	11	10								11	0, 1, 2
4	17	14	15	14	13							17	0
5	20	20	18	18	17	18						20	0, 1
6	24	23	24	21	21	22	20					24	0, 2
7	27	27	27	27	24	26	24	22				27	0, 1, 2, 3
8	31	30	31	30	30	29	28	26	23			31	0, 2
9	34	34	34	34	33	35	31	30	27	23		35	5
10	38	37	38	37	37	38	37	33	31	27	23	38	0, 2, 5

表 8-5 佳 里 灌 區 (i=5)

$s(qM^3)$	$f_5(s, x_5) = p_5(x_5) + f_4^*(s - x_5)$											$f_5^*(s)$	x_5^*
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
0	0											0	0
1	4	4										4	0, 1
2	8	8	5									8	0, 1
3	11	12	9	7								12	1
4	17	15	13	11	13							17	0
5	20	21	16	15	17	17						21	1
6	24	24	22	18	21	21	19					24	0, 1
7	27	28	25	24	24	25	23	23				28	1
8	31	31	29	27	30	28	27	27	27			31	0, 1
9	35	35	32	31	33	34	30	31	31	30		35	0, 1
10	38	39	36	34	37	37	36	34	35	34	30	39	1

表 8-6 新 化 灌 區 (i=6)

$s(qM^3)$	$f_6(s, x_6) = p_6(x_6) + f_5^*(s - x_6)$											$f_6^*(s)$	x_6^*
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
0	0											0	0
1	4	4										4	0, 1
2	8	8	7									8	0, 1
3	12	12	11	9								12	0, 1
4	17	16	15	13	11							17	0
5	21	21	19	17	15	14						21	0, 1
6	24	25	24	21	19	18	17					25	1
7	28	28	28	26	23	22	21	20				28	0, 1, 2
8	31	32	31	30	28	26	25	24	20			32	1
9	35	35	35	33	32	31	29	28	24	20		35	0, 1, 2
10	39	39	38	37	35	35	34	32	28	24	20	39	0, 1

表 8-7 臺 南 灌 區 (i=7)

$s(qM^3)$	$f_7(s, x_7) = p_7(x_7) + f_6^*(s - x_7)$											$f_7^*(s)$	x_7^*
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
10	39	40	38	36	37	37	35	30	26	22	18	40	1

以上從表 8-1 至 8-7，計算結果，最合適之解答計有下列三組：

表 9. 各灌區最合適的配水量與最大預期收益

灌 區 別	1 x_7^*	2 x_6^*	3 x_5^*	4 x_4^*	5 x_3^*	6 x_2^*	7 x_1^*	合 計 Σ	
	x_1	1	0	1	2	4	2	0	$10q = Q (M^3)$
第 1 組	$p_{n+1-1}(x_1)$	5	0	4	7	17	7	0	$40 \times 10^8 (元)$

第2組	x_1	1	0	0	5	4	0	0	$10q = Q (M^3)$
	$p_{n+1-1} (x_1)$	5	0	0	18	17	0	0	$40 \times 10^8 (元)$
第3組	x_1	1	0	1	2	4	2	0	$10q = Q (M^3)$
	$p_{n+1-1} (x_1)$	5	0	4	7	17	6	0	$40 \times 10^8 (元)$

由於可供應的水量有限，有些灌區在生產條件較差，收益較低之劣勢下，可能配不到水量，例如上例第一組之解答，臺南、佳里各得 $1q(M^3)$ 之水量，麻豆與嘉義各得 $2q(M^3)$ ，新營獨得 $4q(M^3)$ 之水量，其餘新化、朴子兩灌區因收益較低，故配水量為 0。上述計算步驟，可藉電腦程式求得，本例引用之各項數值均為假定值，無具體與實際之含義，實際資料運算結果及電腦運算程式，容後另文續報。

六、線型規劃 (Linear Programming)

一般線型規劃模型之基本型式如下：求 x_j 之值，使線性函數

$$Z = \sum_{j=1}^n c_j x_j$$

中之 Z 值成為最大（或最小），但須滿足下列各不等式：

- | | | | | | | | |
|-------------------------|----------|----------|----------|----------|----------|-------|----------------|
| a. 作物種類 | CR_j | 1 | 2 | 3 | 4 | ..... | n |
| b. 作物栽種面積 (ha.) | x_j | x_1 | x_2 | x_3 | x_4 | ..... | x_n (未知數) |
| c. 作物毛收益 (10^3 元/ha) | c_j | c_1 | c_2 | c_3 | c_4 | ..... | c_n (已知數) |
| d. 作物灌溉用水深 (M) 及其他設施因子 | a_{ij} | a_{i1} | a_{i2} | a_{i3} | a_{i4} | ..... | a_{in} (已知數) |

① Maximize $Z = \sum_{j=1}^n c_j x_j$ 標的函數

② Subject to

$$\left\{ \begin{array}{l} \sum_{j=1}^n x_j \leq b_1 \text{ 栽種作物面積} \leq \text{可耕地總面積} (b_1 \text{ ha.}) \\ \sum_{j=1}^n a_{1j} x_j \leq b_2 \text{ 生育期所需之灌溉用水量總和} \leq \text{可供應水量} (b_2 \text{ M}^3) \\ \sum_{j=1}^n a_{ij} x_j \leq b_i (i=3, 4, \text{.....}, m) \text{ 其他限制條件} \\ x_j \geq 0 \text{ 耕地面積無負值。} \end{array} \right.$$

$$\sum_{j=1}^n a_{ij} x_j \leq b_i (i=1, 2, \text{.....}, m)$$

$$x_j \geq 0$$

式中 a_{ij} , b_i 及 c_j 均為已知常數， Z 值稱為標的函數 (Objective function)，各不等式中，所須求解的變數 (即 x_j) 稱為決策變數 (Decision Variable)。依此定義，應用於討論限量水源之分配時，可設 x_j 為欲求解之各類作物最佳栽種面積 (公頃)。作物如獲得水量灌溉，便能獲得穩定產量，單位面積之生產收益便可計算求得。設已知各作物生育期所需之用水量，灌溉面積，水庫可供應之總灌溉水量以及其他限量因子等，應用本法便可解出在所有限制條件之下，各種作物允許栽種之面積，獲配水量和該作物能獲得之最大預期收益。

烏山頭水庫灌區現有六百餘塊輪灌區，可依照行政院推行之九大措施要點，實施大農場之集團專業栽培，如將目前各工作站所轄管之灌區面積組成一集團農場，則各作物最適之栽種面積及其最大預期收益，可設計如下：

應用單純法(Simplex Method)，並寫成電腦程式，可解上列各式，而求出 x_j 與 Z 值。茲列舉簡例計算如下。設某集團農場耕地面積為 2,110 公頃，已知可供應之灌溉總水量全年共為 $10^7 M^3$ 。根據灌區環境及耕作資料，其限制條件如下：

表 10. 生產資源限制條件

耕地土壤類別	面積 (10^3 ha.)	第一期作		第二期作		裡作
		水稻(I)	雜作(I)	水稻(II)	雜作(II)	
壤土(L)	1.532	$d_1=0.75$ $x_1=$ $c_1=8.725$	$d_2=0.20$ $x_2=$ $c_2=5.678$	$d_3=0.50$ $x_3=$ $c_3=5.878$	$d_4=0.15$ $x_4=$ $c_4=5.313$	$d_{12}=0.2$ $x_{12}=$ $c_{12}=4.575$
粘土(C)	0.448	$d_5=0.70$ $x_5=$ $c_5=8.846$	$d_6=0.25$ $x_6=$ $c_6=4.711$	$d_7=0.45$ $x_7=$ $c_7=5.831$	$d_8=0.20$ $x_8=$ $c_8=4.479$	
砂土(S)	0.130		$d_9=0.25$ $x_9=$ $c_9=4.128$	$d_{10}=0.60$ $x_{10}=$ $c_{10}=4.261$	$d_{11}=0.2$ $x_{11}=$ $c_{11}=5.059$	

註：(1)耕地總面積 $\sum x_j$ 為 $1.532+0.448+0.130=2.11 \times 10^3$ (ha.) (2)適合裡作之耕地僅 1,000ha. (3) d_j 為作物灌溉用水深 (M) (4)可安全供應之水量為 $b_2 \geq \sum d_j x_j$ (M^3) (5) c_i 為作物單位公頃毛收益 (10^6 元) 即作物總收益減去直接成本。 (6)耕作計劃：水稻(I) → 水稻(II) → 裡作(一年三作)
雜作 雜作

依據上表資料，可列成線型規劃之目標函數式與限制條件式如下：

- ① $\dots C_1x_1 + C_2x_2 + C_3x_3 + C_4x_4 + C_5x_5 + C_6x_6 + C_7x_7 + C_8x_8 + C_9x_9 + C_{10}x_{10} + C_{11}x_{11} + C_{12}x_{12} = Z$ (最大)
- ② $\dots d_1x_1 + d_2x_2 + d_3x_3 + d_4x_4 + d_5x_5 + d_6x_6 + d_7x_7 + d_8x_8 + d_9x_9 + d_{10}x_{10} + d_{11}x_{11} + d_{12}x_{12} \leq b_2$ (可供應之灌溉水量)
- ③ $\dots x_1 + x_2 \leq 1.532$ (水稻 IL 及雜作 IL 栽種面積之限制)
- ④ $\dots x_3 + x_4 \leq 1.532$ (水稻 IIL 及雜作 IIL 栽種面積之限制)
- ⑤ $\dots x_5 + x_6 \leq 0.448$ (水稻 IC 及雜作 IC 栽種面積之限制)
- ⑥ $\dots x_7 + x_8 \leq 0.448$ (水稻 IIC 及雜作 IIC 栽種面積之限制)
- ⑦ $\dots x_9 \leq 0.130$ (水稻 IS 栽種面積之限制)
- ⑧ $\dots x_{10} + x_{11} \leq 0.130$ (水稻 IIS 及雜作 IIS 栽種面積之限制)
- ⑨ $\dots x_{12} \leq 1.000$ (裡作栽種面積之限制)
- ⑩ $\dots x_1 \geq 0, x_2 \geq 0, \dots, x_{12} \geq 0$ (栽種面積無負數)

應用電腦 (digital computer) 計算結果得：

表 11-1 灌溉面積 (10^3 ha)

第一期作	第二期作	裡作
x_1 (水稻L) = 0 x_5 (水稻C) = 0.0082 x_2 (雜作L) = 0.5320 x_6 (雜作L) = 0.4398 x_9 (雜作L) = 0.1300	x_3 (水稻L) = 0 x_7 (水稻C) = 0 x_{10} (水稻S) = 0 x_4 (雜作L) = 1.5320 x_8 (雜作C) = 0.4480 x_{11} (雜作S) = 0.1300	x_{12} (裡作) = 1,000
合計 2.1100	2.1100	1.000

$$\sum x_j = 2.11 + 2.11 + 1.00 = 5.22 \times 10^3 \text{ ha.}$$

表 11-2 需水量 ($10^7 M^3$)

$0.0082 \times 0.70 = 0.0057$	$1.532 \times 0.15 = 0.2298$	$1,000 \times 0.2 = 0.2000$
$1.5320 \times 0.20 = 0.3064$	$0.448 \times 0.20 = 0.0896$	
$0.4398 \times 0.25 = 0.1100$	$0.130 \times 0.20 = 0.0260$	
$0.1300 \times 0.25 = 0.0325$		
合計 0.4546	0.3454	0.200

$$\sum d_j x_j = 0.4546 + 0.3454 + 0.2000 = 10^7 M^3$$

表 11-3 毛收益 (10^6 元)

第 一 期 作	第 二 期 作	裡 作
$0.0820 \times 8.846 = 0.728$	$1.532 \times 5.313 = 8.1395$	$1,000 \times 4.575 = 4.575$
$1.5320 \times 5.678 = 8.6987$	$0.448 \times 4.479 = 2.0066$	
$0.4398 \times 4.711 = 2.0718$	$0.130 \times 5.059 = 0.6577$	
$0.1300 \times 4.128 = 0.5366$		
合計 11.3799	10.8038	4.575

$$Z = 11.3799 + 10.8038 + 4.5750 = 26.7587 \times 10^6 \text{元}$$

如將供應水量由 $10^7 (M^3)$ 增加為 $1.2 \times 10^7 (M^3)$ ，根據表 10 條件，再送入電腦計算結果得：

表 12-1 灌溉面積 (10^3ha)

第 一 期 作	第 二 期 作	裡 作
x_1 (水稻L) = 0.0038 x_5 (水稻C) = 0.4480 x_2 (雜作L) = 1.5282 x_6 (雜作C) = 0 x_9 (雜作S) = 0.1300	x_3 (水稻L) = 0 x_7 (水稻C) = 0 x_{10} (水稻S) = 0 x_4 (雜作L) = 1.532 x_8 (雜作C) = 0.448 x_{11} (雜作S) = 0.130	x_{12} (裡作) = 1.000
合計 2.1100	2.110	1.000

$$\sum x_j = 2.11 + 2.11 + 1.00 = 5.22 \times 10^3 \text{ha.}$$

表 12-2 需 水 量 ($10^7 M^3$)

第 一 期 作	第 二 期 作	裡 作
$0.0038 \times 0.75 = 0.0029$	$1.532 \times 0.15 = 0.2298$	$1,000 \times 0.2 = 0.2000$
$0.4480 \times 0.70 = 0.3136$	$0.448 \times 0.20 = 0.0896$	
$1.5282 \times 0.20 = 0.3056$	$0.130 \times 0.20 = 0.0260$	
$0.1300 \times 0.25 = 0.0325$		
合計 0.6546	0.3454	0.2000

$$\sum d_j x_j = 0.6546 + 0.3454 + 0.2000 = 1.2 \times 10^7 M^3$$

表 12-3 毛 收 益 (10⁶元)

$0.0038 \times 8.723 = 0.0333$	$1.532 \times 5.313 = 8.1395$	$1.000 \times 4.575 = 4.575$
$0.4490 \times 8.842 = 3.9630$	$0.448 \times 4.479 = 2.0066$	
$1.5282 \times 5.678 = 8.6770$	$0.130 \times 5.059 = 0.6577$	
$0.1300 \times 4.128 = 0.5367$		
合計 13.2100	10.8038	4.575

$$Z = 13.2100 + 10.8038 + 4.5750 = 28.5888 \times 10^6 \text{元}$$

計算結果，可知增加 $(1.2 - 1.0) \times 10^7 = 2 \times 10^6 \text{M}^3$ 之水量，可再增加 $(25.5888 - 26.7687)10^6 = 1.8201$ 百萬元之收益。

以不同的 b_2 （灌溉總水量）值，可分別再計算不同之 Z （最大收益）值。結果可製成如表 13 所示之 b_2 與 Z 值表。

表 13 $\times \times$ 灌區不同灌溉水量之預期收益表

農場別 灌溉水量 b_2 (q M ³)	1	2	3	.....	.....	.....	.....	r
1	Z_{11}	Z_{12}	Z_{13}	.....	.....	.....	.....	Z_{1r}
2	Z_{21}	Z_{22}	Z_{23}	.....	.....	.....	.....	Z_{2r}
3	Z_{31}	Z_{32}	Z_{33}	.....	.....	.....	.....	Z_{3r}
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
k	Z_{k1}	Z_{k2}	Z_{k3}	.....	.....	.....	.....	Z_{kr}

如將烏山頭水庫全部輪作田劃分為臺南、新化、佳里、麻豆、新營、嘉義和朴子七個灌區，則表 13 共須印製七份。應用動態規劃技術將七灌區的 $Z-b_2$ 表（表 13），分別套入表 6 或表 7 之 $G-s$ 表，依據表 8 的方法分別計算各灌區之 $G-s$ 值，最後便能印製表 6 或表 7 之資料。

七、討論和結論

(1) 印製表 6 或 7 的資料必須根據各灌區 $Z-b_2$ 資

料（表 13），應用動態規劃方法藉電腦運算而求得。而各灌區的 $Z-b_2$ 表必須根據如表 10 設定的各種限制條件應用線型規劃及電腦運算求出。所以一份合適的 $G-s$ 表須應用動態與線型兩種數學規劃交互計算，並須藉用電腦操作方能求出。又如表 10 中之 d （用水深）與 c （毛收益）各值，因有多年的作物需水量試驗資料，長年的作物栽培經驗以及保證價格收購政策等措施，故均不難計算設定。

(2) 設計線型規劃問題，如新發現各項限制條件未臻完美，仍可再增列所需之限制條件式加以修正，直到所有限制因子全部考慮完畢為止。但限制條件愈多，則相對地降低收益。例如表 12-1 中之第二期作水稻全部均為雜作物所取代，第一期作水稻栽種的面積又嫌過少。基於某種需要，可能必須保留若干水稻面積，此時可再增列限制式，令水稻栽種的總面積不得小於某一特定數值。假定此一數值，第一期作與第二期作各分別為 400 公頃（亦即 $X_1 + X_5 \geq 400$, $X_3 + X_7 + X_{10} \geq 400$ ），新列入此二項限制後，電腦於是必須再以新資料重新運算新的 Z 值，計算結果如表 14 所示。顯示為保留 800 公頃的稻作面積，必須使 $(5,220 - 4,683) = 537$ 公頃期作的雜作物犧牲灌溉而減產，預期總毛收益也必須由 28.5888 百萬元降低為 26.5189 百萬元，損失額達 2.0699 百萬元之鉅。同理，如發現水庫無法於第一期作供應 $0.4546 \times 10^7 \text{M}^3$ （表 11-2）或 $0.6546 \times 10^7 \text{M}^3$ （表 12-2）之總灌溉水量時，均可隨時增列限制條件式加以修正。

表 14 灌 溉 面 積

x_5 (水稻 I C) = 0.400 x_2 (雜作 I L) = 1.532	x_7 (水稻 II C) = 0.400 x_4 (雜作 II L) = 1.532 x_{11} (雜作 II S) = 0.130	x_{12} (裡作) = 0.689
1.932	2.062	0.689

$$\Sigma x_j = 1.932 + 2.062 + 0.689 = 4.683 \times 10^6 \text{ha.}$$

$$Z = 12.2371 + 11.1296 + 3.1522 = 26.5189 \times 10^6 \text{元}$$

3. 上述所舉各例，因全部採用假定數值，故許多細則問題，如輸水損失，有效雨量與地下毛管水之利用，土壤肥力與其保水能力，以及設施於生產的各項成本計算等，均暫予省略。因此運算過程比較單純，實際加入考慮時必然十分複雜。但此等細則問題，都不足以構成應用數學規劃方法的任何阻力。目前正在積極推展作物集團栽培及保證價格收購等新措施；此時此際，正好是採用上述數學規劃方法最適機會，但願此項構想能早日獲得重視。

4. 曾文水庫新耕作方式現已由政府宣佈採用三年兩作制度，不知應用數學規劃計算結果，水稻與其他作物栽種面積的比值如何，如果計算結果，此種比值與三年兩作的新制度並無太大差別，那就預祝新耕作制度的順利成功；但若計算結果，新制度被其他耕作方式取代，則在積極推展加速農村建設聲中，這是一件值得重視和必須研討的問題。

5. 近年來，由於工業發展迅速，農業生產受到自然條件限制，相形之下顯得緩慢與落後，政府於是下定決心全面協助農村各項建設，蔣院長昭示農民，必須學習採用新的生產技術和科學化經營的觀念，農復會李主任委員說，作物的選擇應以國內外市場需要量大，具有發展潛力者為優先，不可漫無計劃地生產，造成穀賤傷農的後果。九大新措施目前正在積極加強推展之中，說明今後的農業經營已非邁向科學化、企業化的新途徑不可。過去實施的三年一作制和現在即將實行的三年兩作制度，是否會產生穀賤傷農的後果，是否符合當前的農經政策與實際需要，是否會迫令特定專業區栽種的經濟作物發生灌溉缺水，以致無法發揮其最大的生產潛力。凡此種種都是我們應時刻提出研討的問題。設能應用數學規劃的方法計劃生產，非但不致發生上列各種問題，而且相信尚可在最短期間之內看到預期的增產效果。

6. 數學規劃技術必將成為現代化農業經營不可缺少的生產計劃工具，乃是時間的遲早問題。現代的農業生產，如欲使能和工業生產一競長短，則在管理經營各方面均非藉重數學規劃和其他作業研究的新技術不可。事實上，嘉南水利會目前已有若干準備，正欲採取實施計劃之行動；不久之前該會柯海生工程師，應農復會與夏威夷大學梁桐博士之邀請，前往夏大與梁博士等共同研討電腦與系統分析的若干技術性問題，此乃該會正擬實施上述構想之先聲，筆者深盼本文之登出能獲得農工同好共鳴，並迅速引起農政當局重視，而後付諸實施。如此則農村的再繁榮，農民收益

的再增加，將必呈現一片美麗的遠景。

八、摘要

1. 由於工業的成長迅速，農業生產受到自然環境的限制，相形對比之下，顯得緩慢與落後。政府有鑒於此，除撥出巨款用以改良農業生產環境外，並宣佈實施九大新措施，期使農業經營邁向企業化途徑，促進農村早日繁榮，提高農民收益和福利。

2. 三年輪作制的耕種方式業已實施四十餘年，此種耕作制度在目前工業急劇成長的環境之下是否仍值得存在，實有商榷餘地。

3. 曾文水庫的新耕作方式即將開始執行，將來執行結果是否會造成穀賤傷農的後果，是否符合當前的農經政策與實際需要，是否會迫令特定專業區農場栽種的經濟作物發生缺水灌溉，以致不能發揮應可發揮的生產潛力，凡此種種均是我們應時時提出研討的問題。

4. 政府目前正在積極推展作物集團栽培及保證價格收購的新措施，這是採用數學規劃計劃生產最合適的機會。如果本法能被採用而付諸實施，非但不致產生上述各項值得商榷和應研討的諸問題，同時尚可在最短期間內看到預期的增產效果。

5. 數學規劃的技術乃是現代農業科學化，企業化經營所不能缺少的生產計劃工具，現代的農業生產如欲使能和工業生產一競長短，則在管理和經營各方面均非藉重數學規劃和其他作業研究的新技術不可。

九、誌謝

本文之完成承國家科學發展委員會之補助，謹誌謝忱。

十、參考書籍

1. Hillier, F. S. and Liebexman: "Introduction to Operations Research", 1967.
2. Kuo, S. S.: "Numerical Methods and Computers", 1965.
3. Hall and Dracup: "Water Resources Systems Engineering", 1970.
4. 陳鴻基：「經略學概論」58年3月。
5. 嘉南農田水利會「民國55~58年業務中心工作計劃暨54~57年業務成果檢討案」55~58年共4冊。
6. 易任：「烏山頭水庫運用之研究」59年4月。
7. 臺大農工系：「旱作灌溉十年文獻」60年5月。
8. 蔡崔源：「灌溉管理」，民國60年1月。