

農業水資源節餘的推廣與實踐

甘俊二 台大農工系教授/吳淑敏 整理

何謂農業節水他用？

何謂農業節水他用？即包括農業本身的節水，含配水技術、營運成本及相關的政策法令；另外則是如何將農業節水做其他用途，除了與政策法令習習相關以外，必須考量未來的替代水源，有獨佔市場的問題。

利用前述 3 種不同調配技術來節約用水，在台灣都有實際的例子。在豐水期，以 80%來操作，就可充分供應農用，並節餘 20%來支援工業用水，雲林水利會就利用此術巧 1 年賺進 7 千萬。農民要不要灌溉，有其實際的考量，若能及時反映，用水量就可以扣掉、節餘下來，一般來說約有 3 分之 1；困難度就在能夠及時反映，須要投入人力資源，適時反應。在我們協助實際例子中，以 240 個小時的實施過程中，只有 0.5 小時的誤差。

在條件更差的印尼，因為坵塊大小不同，作物不同，形狀大小不同，效益不同，灌溉條件不同，但是在 15 天的實施操作下，只有 15 分鐘的誤差。因此只有做與不做的差異，沒有可行性的問題。工業用水不能斷水，農業用水卻可以計劃性供水來滿足。

前文曾提到，印尼 Jatihulur 水庫只用了 8,000 多噸，灌溉面積超過 30 萬公頃，運作非常好；台灣卻用了 13,000 噸，只灌溉了不到 7 萬公頃的農田，還有農業補償的問題要解決。可見農業用水一定要有更彈性、更前瞻的作法。

鼓勵農業節約用水的誘因

農業節約用水的課題，除了為什麼，就是如何做的問題。前述提到技術的解決方案(豐水期、缺水期、極端缺水期)，接下來要談到的是如何去回饋，提供誘因，使農民、水利會、水公司，願意一起來參與節約工作。

以烏山頭灌區為例說明，它是一個十分龐大的供水系統，含南北兩幹線，再分 27 支線，供水灌溉範圍含 2,022 輪區、275,319 個坵塊，供應農田灌溉面積達 69,732 公頃。水資源的調配技術須動員水利會、農民，有賴系統建立，以及相關人力、物力的投入；因此不同的調配技術，也影響它的成本(參考圖 1)。在豐水期，用幹線來調配不難，10 個人以內，在辦公室開個會可能就能達到目標；

但要利用支線調配，則動員管理處 7 處、27 條支線、百人以上人力，要到輪區調配，涉及了 68 個工作站 2,022 輪區調度就需更多資源，至於調度坵塊成

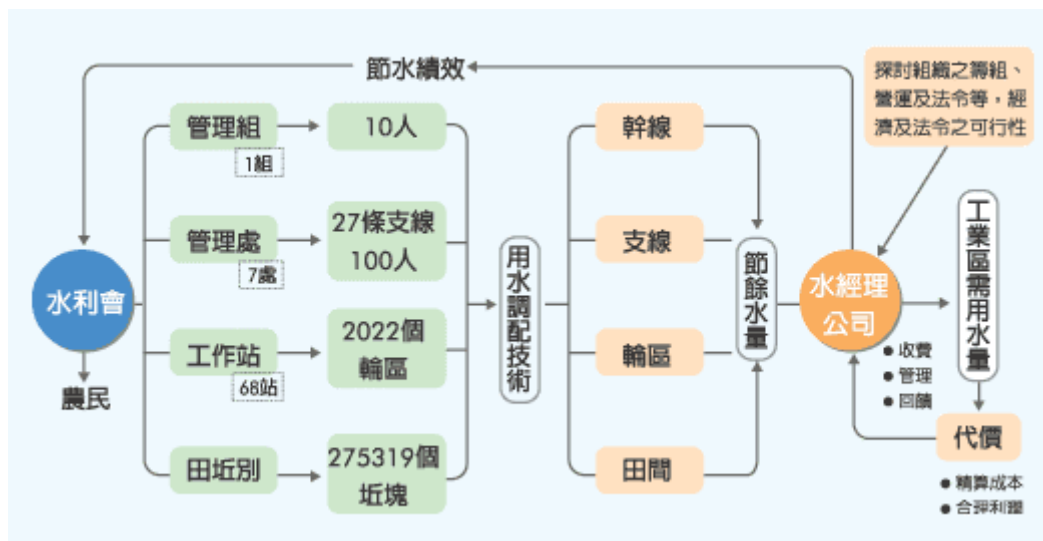
本很高，非常不容易。在節約用水過程中，原則是儘量不要影響農民用水的習慣。

在缺水期，水量降低下來後，必須有另一個界面可以供應工業用水，在透過軟硬體的配合下，達成節約，而這些配合成本的合理反映，就是一個「用水的代價」。接下來，將節餘水供應工業的績效，回饋給願意配合節約輪區的農民，而灌溉效益較差的農民，則不能分享這個節水績效。希望在影響最小的情況下，形成誘因，充足供應工業區用水，就是這個計畫的目標。

水經理公司角色

水利產業未來的角色是很重要的。我們可以透過水經理公司來負責調配技術的進行與運作，包括工業收費與農民回饋的工作。一旦水公司成立以後，利益可以分享，有雙向的機制就可以來規劃推動；甚至未來工業界若要用農業用水，也會要求一定的品質，水經理公司就可以來要辦理這些事務，如引進技術、設備來做處理，不一定是透過傳統的自來水公司進行。這些工作與台灣電力供應多元化的政策相近，可以帶動另一個產業課題。因為電力資源開發之後，輸送仍是最重要的問題。水利多元化之後，農田的水利幹線仍是最重要的輸送系統，否則再多元化也是推不動，因為現在絕對是買不起輸送系統。

水利事業水經營公司也不排除其他人集資成立。目前國內節水技術的角色是由水利會來執行；如果未來水利事業是由一向與農民聯繫密切的水利會執行，困難就更低了。



▲圖 1 水資源調配之績效：以烏山頭灌區為例

農業節水他用的代價

農業節水他用包括農業本身的節水，及如何將節水供做其他用途，除了與政策法令習習相關以外，未來有沒有替代水源？是不是獨佔市場？「水價」正是以上問題的構成。

農業節水他用的代價到底應是如何才合理？從上述我們可看到，在不影響農業產量的情形下，透過配水技術來做節水管理，而不同的配水技術動員量不同，因此所節餘出來供工業原水使用的水量，有一個營運的成本（operation & maintains cost; O&M Cost），這個成本還必須包括在極端缺水期，需補償農民休耕的風險。管理成本的基礎必須合理計算出來，做為一個合理的定價基礎。這個過程中，工業界若能參與，就可以更能合理、更有彈性。

目前工業用水的價格可以說是漫天喊價，從 1 度 1.8 元、南部水利會喊價 24 元，到台塑淡化海水的 30 元，這種情形對工業發展相當不利也不合理。從農用節餘的水價應該由中立的機構，依據實際情形分析訂定一個合理的營運成本，再透過交易雙方共同協定利潤倍數，而訂定水價。



▲ 圖 2 嘉南地區農業節水他用計畫範圍圖

以目前嘉南水利會的營運現況來看，在平常豐水期，由於他運用配水技術，只須 70% 的水就可以供應農用，而節餘給工業，但是，他的營運成本(人員動員)就比其他不做配水的水利會高；再者，在枯水期，他必需另外再付出更大的代價，做支線配水工作，來支援工業用水。因此不同的時期，營運成本差異很大。以豐水期，農用的滿足水量是 10 億噸，實際只供應 7 億噸；而在枯水年水量的節餘上，就帶來救旱的成本。在其他的供水標的，如工業用水、民生用水，水源均需穩定供應；因此農業用水在節餘他用的過程中，會將發生乾旱的風險轉移到水利會，而使營運成本提高，因此保證價格應考量枯早期的保險金，即反映在節水的代價裡。

嘉南地區農業節水他用方案

嘉南地區(含嘉南水庫及其上下游)因為大型工業區的開發(圖 2：計畫範圍圖)，如大慶工業區南科、濱南工業區，使得單單工業區的用水供應必需增加約 6 倍，從每日 2.7 萬噸工業用水，增為 18.5 萬噸。(詳圖 3:嘉南地區用水預估成長量)。

從嘉南地區用水預估成長量,可以看到,農用以外的用水標的(含:工業用水、生活用水及其他),在嘉義地區及台南地區都是大幅成長的趨勢。預計 10 年後的整體需求(不含農業用水量)將是今年需求量的 3.54 倍,從每日 22.4 萬噸,增為 79.3 萬噸。

然而目前規劃中的新水源,只有敦化水庫二期可以供應嘉南地區,且已經完工,而每日供應量只有 44 萬噸,與預估 80 萬噸相較,還有一半水源尚未找到,根本不敷需求,至於北水南調的方法困難度仍是相當高。因此,如果以目前的供水方式運作、不開發新水源的情況下,工業區一定要遭遇到缺水的困難。

依照省政府 74 年的水利法的規定,在法定的用水順序:是民生、農業、工業,以曾文地區烏山頭灌區的分配水量是:農業用水 9 億噸、民生用水是 1.2 億噸、工業用水是 0.27 億噸,但在實際的用水情形是民生達 1.46 億噸,必須農業節餘供應,而工業用水目前亦已飽和,但是新開發的工業區仍在進行。我們可以預見未來狀況,民生需求的用水也會在工業區發展後加大,工業區也極需開發新水源。不足的部份目前仍由自來水公司支應,但是自來水公司是以民生為主,因此從農業節用來供應,仍是未來最可行、最重要的來源。

在 WTO 效應之後,農田會減少,用水量也會減少,與其讓這些水源流失入海,不如引回,由水利會投入,運用運水技術、耐旱救旱等措施應用,將節餘水量經由調配來供應其他標的,而節水代價則透過水利會回饋給農民。這是相當有利用空間的資源,如果在豐水期就能準備,在枯水期有不同的措施,實際推動,因應不同狀況,那麼要穩定地供應工業用水是可能的。

嘉南農田水利會投入

嘉南水利會的投入節水工作,設法保障工業安全供水,不論降水量從豐沛到枯水,都納入營運體系去規劃。

嘉南農田水利會的作法是,在豐水期,納入水利會正常營運體系單元。在缺水期的營運,則視降水量與正常用水之間的差距,採取不同的調配技術:

- 當降水量達正常用水的 75%以上,以幹線系統配水。
- 當降水量在正常用水的 50%--75%之間,以支線系統配水。
- 只有正常用的 25%--50%時,採輪區調配技術,若低於 25%,則全面休耕。至於在極端缺水時期,則以備用深水井緊急抽用,來維持工業區的供水。

推動方法與步驟

在眾多的輸水設施中仍需進行選擇規劃，由水利會根據需求來提出用水計畫及取水點；在硬體建設上，進行水路瓶頸改善、設置取水設施都是必要的工作，在軟體上則是透過水量調配技術來運作。當工業區鄰近灌溉水路時，則可利用水利會的水路系統來就近供水；若工業區離開灌溉水路，附近無現成水路，則工業區就必須花較高成本來設管路。

另外，就加入 WTO 的影響評估，發現影響用水量最大的因素包括：耕種的作物為何？與水源的距離如何，以及是第幾期作物(參考圖 4)。因此改變農民習慣與教育節約水是十分重要的工作。

要精確推展農業用水的節餘工作，對農民的耕種經驗、耕種地形及稻田能否穩定供水等等資訊，必須詳加調查。透過「輪區調查表」收集完整的資訊，包括對農民本身的基本資料、輪區的條件（如：地形、土壤、供水條件）、耕作條件（如水稻或旱作、作物期別、灌溉水深、次數及旬別）、用水管理等等資料，就可以將不同農民的耕種的改變即時反映到支線、幹線、反映到水庫，即可有效的供水與節水。

單位：萬噸/日

地區別	用水標的	90年	95年	100年
嘉義地區	工業用水	2.7	10.9	18.5
	生活用水	2.0	3.7	5.0
	其他	1.9	1.9	2.0
	小計	6.6	16.5	25.5
台南地區	工業用水	19.7	56.1	60.8
	生活用水	10.7	16.1	20.6
	其他	0.1	0.7	0.8
	小計	30.5	72.9	82.2
工業用水量合計		22.4	67.0	79.3

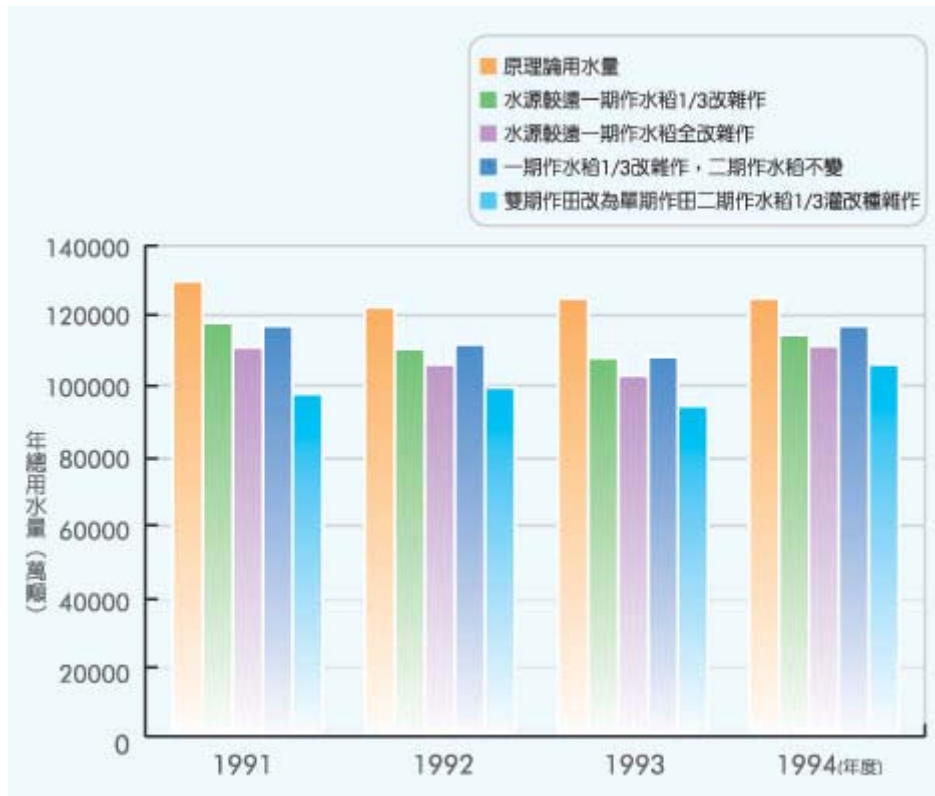
註：不含農業用水量。

資料來源：水資源「南部地區水資源綜合發展計畫書暨附屬圖」

▲ 圖 3 嘉南地區用水預估成長量

由於農業用水的單位是以 CMS 計算，1 CMS 就是 18 萬噸的用水量，是相當有發展空間的。我們計畫從布袋、南科、八輕、科技、濱南、東石特區依序推動。

- 第 1 年的計畫目標：針對嘉南灌區水資源使用實況之掌握（已於 89 年 7 月到 89 年 12 月間完成）。
- 第 2 年(即今年) 的計畫目標：以布袋智慧型工業園區進行實際調配案例



▲ 圖 4 作物制度改變對年總用水量的影響

- 模擬。明年起 3 年內(91 年 1 月至 93 年 12 月)：希望可以做到嘉南地區全面調配案的實現，能滿足布袋、南部科學園區、八輕、台南科技園區、濱南工業區、東石特區等工業區的需求。

農工互惠用水調配展望

台灣要做到農工互惠的水資源運用，可以說是可能性極高。前瞻未來，嘉南地區是：

一、工業用水的需求增加：

嘉南地區工業用水量在民國 90 年約為 2.6CMS，預估民國 100 年將達 9.3 CMS，佔烏山頭水系最大供水流量 65 CMS 的 15%。

二、農業用水之彈性：

嘉南水利會有足夠的經驗與能力，利用灌溉管理技術的加強，達到節水目的。

三、水利會有意願從事多角化經營：

水利會有意願加強實施配水管理，設法節餘水量，從事多角化經營。

四. 技術面可行性有把握：

台灣研發多年的灌溉用水調配模式，經國內外多年的實施經驗，驗證其可行性。綜上所述，未來 10 年的用水所增加的需求，絕對是有辦法可以獲得解決。

布袋智慧型園區替代水源方案

本區需求水量達每日 4.5 萬噸(CMD)，自來水嘉義供水系統只能提供 1.5 萬噸，尚待尋求的 3 萬噸水源，解決方案包括海水淡化、回收水再利用、雨水貯蓄利用、河海岸人工湖及灌溉用水來支應（成本評估表參考圖 5）。本計畫詳細評估後，規畫以利用八掌溪支線、利用現有水路系統來執行較適當。

岡山地區水資源綜合應用策略

民國前到 36 年以前，岡山地區主要利用低窪圍籬或墊高田埂來蓄水，供應農業用水，以小型、小面積的農業水源設施為主。民國 36 年到 58 年間，改由水利會灌溉為主。阿公店水庫完成後，灌溉面積大幅增加，58 年後就漸漸穩定上軌道，在民國 66 年達到高峰，供灌面積達 5,200 公頃（指土壤合適且存在水路的地区）。

但是，後來阿公店水庫逐漸淤積，民國 74 年只剩下 70% 的蓄水量，到了民國 84 年只剩下原來的 9%！其他部份都淤積掉了。因此，民國 85 年的統計，因為水源不足，它的供灌面積只剩下約 3,000 公頃。

水田面積減少，致使水田本身的蓄水能力也因此下降，造成的影響十分嚴重：雨季流量大，往往造成低窪地區淹水問題，旱季則又是無水可用的窘境，而使得岡山地區下游淹水及旱象交替出現，頻傳災情。換句話說，岡山地區現有水資源所遭遇的三大問題有如下：

1. 雨季中下游淹水。
2. 平時環境污染衛生惡化。
3. 枯水期缺水嚴重。

造成雨季中下游淹水的原因很多，比如阿公店水庫淤積，蓄水功能差，使水往下游排放；而岡山地區地勢低窪，灌區高程約有 3 公尺，水位最高時達 5 公尺，內水無法外排；加上缺水期地下水超抽，雖沒有地層嚴重下陷的情形，但是低窪地區又因此再擴大。

平時環境污染衛生惡化的情形也是相當嚴重。由於社區發展迅速，卻沒有獨立的排水系統，都市廢污水排放而造成供水渠道的污染與淤積，蓄水功能也降低。淤積與污染問題嚴重，就帶來了環境污染及衛生惡化。

岡山地區由於幹線水路老化，滲漏損失極大，加上工業及民生用水增加，而水質污染又帶來蓄水容量的降低，因此在枯水期，缺水十分嚴重，造成供需失調。

要解決上述問題，我們的建議方案是從農田水利事業永續經營的觀點，來採取必要的措施。包括：

1. 基本上，必須保障農民灌溉應有的水權，維持農民生存的權利。
2. 枯水期增設抽水設施，利用迴歸灌溉渡過難關。
3. 若能適當截留豐水期的餘水，可以是有效的水資源，提供下游其他標的使用，促進用水效益。

整體改善計畫

岡山整體水資源的改善如下：

- 上游旗山灌區：採取充分引灌，使得農田的用水量得到滿足，那麼它的水質可以比較乾淨，也可以對供水渠道有沖刷的效果，減少淤積。
- 中下游地區：則採加高田埂、挖塘蓄水、將排水再利用進行。如墊高低窪地，改為旱作。將池塘挖深，將都市廢污水做分離排放，淨化再利用。這些挖深的水塘則築水

替代水源	水源成本 (元/噸)	計畫之評估	
自來水	8-12	水源穩定單價仍低唯水源並未增加水量受區域民生用水排擠	
海水淡化	25-35	水源穩定可就近處理唯成本高且隨水質要求遞增	
回收水	30-60	工業用水	由工業區廠內自行回收或統一回收
再利用		生活用水	水量少
雨水貯蓄利用	10-20	該地區雨量少且須相當面積之場地	
河海岸人工湖	-	僅能用於環境保護	
灌溉用水	3-10	水利會協商 (不包含輸水成本)	

資料來源：由南丁工程顧問公司，布袋智慧型工業園區雨水計畫，2020

▲ 圖 5 布袋智慧型工業園區替代水源評估

路將他們串連起來，又可以成為另一個多元水源再運用。

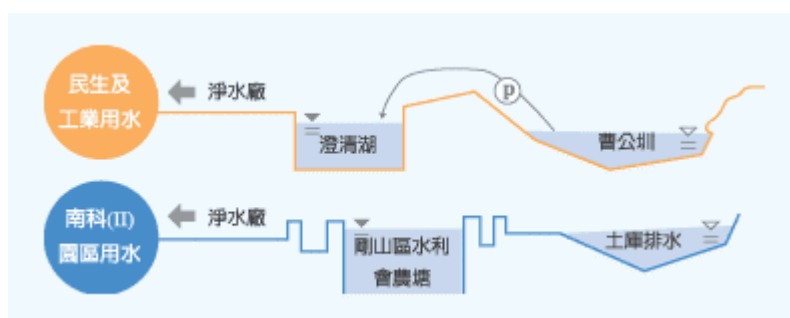
路竹科學園區供水方案

從路竹的觀點，來看南部科學園區中程擴展計畫供水方案，設法由農業直接供應園區用水，以下以澄清湖供水模式為例說明。

澄清湖供水模式基本上是參考萊茵河的做法。萊茵河上游流經瑞士與奧地利，「黑森林」是雪水，水質相當好；到了中游則流經德國，由於是工業區，因此在使用後，就有水質污染的問題。荷蘭地處萊茵河的下游，由於地層較低，所以他們就採用的方法是：挖較深的蓄水池，再抽起來淨化，供應民生及工業等等使用。(參考圖 6)澄清湖也是同樣的原理，由岡山水利會興建的曹公圳做為蓄水池，再抽上來入澄清湖，透過淨水廠處理後，供應工業與民生用水。

南科園區的用水可以採同樣的模式，將土庫的排水，透過岡山水利會農塘來蓄水，經淨水廠處理後供應。

再者，阿公店水庫本身的更新、改善淤積計畫亦須加緊進行。另外此區農塘鄰近地下水位平均為 4 到 6 公尺左右，可以再適度挖深，在避免下陷的前提下(不超過 10 公尺)，透過水路建設來串連，水源就能計畫運用。



▲ 圖 6 澄清湖供應公共給水系統

供水計畫

路竹科學園區預定的需水量是每日 10 萬噸。目前自來水公司同意供水 7.4 萬噸，不足的 2.6 萬，則必須設法由農業節餘方式來提供。2.6 萬噸等於是 0.3CMS，應該是一定辦得到的。

農業節餘水可靠性初步分析：

一、上游部份：以保障農民灌溉權利為前提，充分提供灌溉用水，將水量盡量蓄存於田間，讓流量可以穩定，以做為下游的供水來源。

二、中游部份：利用土庫排水溝沿線挖平行水路截留回歸水。

三、下游部份：利用蓄水池，挖深水利會農塘，收集上、中游農業地區灌溉後所產生的地下伏流水，作為調配儲蓄水源之用。

若以地下伏流水可取用量為 7 成計算，農塘的蓄水位必須達到 10 米才能滿足每日 2.6 萬噸的需求。另外水田的逕流系數與農田的蓄水高度也有反向相關，因此計畫中也建議將田間的蓄水高度由原先 20 公分再加高 20 公分，逕流水量可以慢慢抑制下來，而做管理他用。

由於從農塘深度與可供水量的研究分析中，發現超過 10 公尺以上，需環境評估且供水量的增加也有限，因此仍以 10 公尺以內為宜。

農業節水他用的水量與水質穩定性考量

這裡所指的水質主要是指水的物理性質。台灣農業水資源的調配權責是以水利主管單位進行，包括：透過深井開挖做為蓄水設施，乃至計量做為農業節水他用的原水；但是，在供應其他標的(如民生、工業)使用前，可能需要一些淨化與處理的工作，則產生水利事業的工作與環保主管單位的管理權責之事宜。

水利會農塘多樣化應用在路竹鄉都可以看到。先挖深水塘再進行串連利用，是平常的集水設施，也是預防海水入侵的方法。平常農塘穩定的水質及水量促成了岡山地區新的觀光景點，再利用運河串連農塘，以水牆避免內外水干擾。

穩定用水水質及水量技術相當多，如將收集的廢污水經過淨化處理再進入人工湖，或利用分隔牆、間隔矮堰，來分隔內外水...等等。在枯水期或水質惡化

時，經由水質淨化循環，可維持池塘活水；在一般時期，維持他一定的水位，這些池塘就可發揮親水功能，供划船、戲水，美化生活環境。

既有農塘的改善及利用

另外，利用插板來有效分隔及運用水資源是可行方案。乾旱時利用插板提高水頭，大量收集排水，加以淨化處理就可供應用水。平時或豐水期則截留雨水、各灌區的伏流水供下游標的使用。在乾旱期則可抽用排水，來節水抗旱---方法是利用抽水設施，把水從農塘往回頭抽，透過排水溝、灌溉渠道供應灌區。

結論：水效率的多元化利用

上游農業區有充足豐富的水量，可以蓄水及支援生產；中游市鎮則以生活需用為目標，強調質與量的監控，再適當的建設水路，創造親水環境，則可強化水資源的運用。下游工業用水透過淨化再處理，將利用過程中所產生的污泥解決再運用。那麼台灣水資源就可以有效率而多元化的利用，農業、工業與民生都獲得發展的空間。