

農業灌溉用水管理



簡報人與單位：

陳清田 嘉義大學土木與水資源工程學系

中華民國111年10月07日



大綱

1 農業灌溉用水管理之重要性

2 農業灌溉用水特性與貢獻

3 農田灌溉需水量推估

4 缺水期灌溉用水管理策略

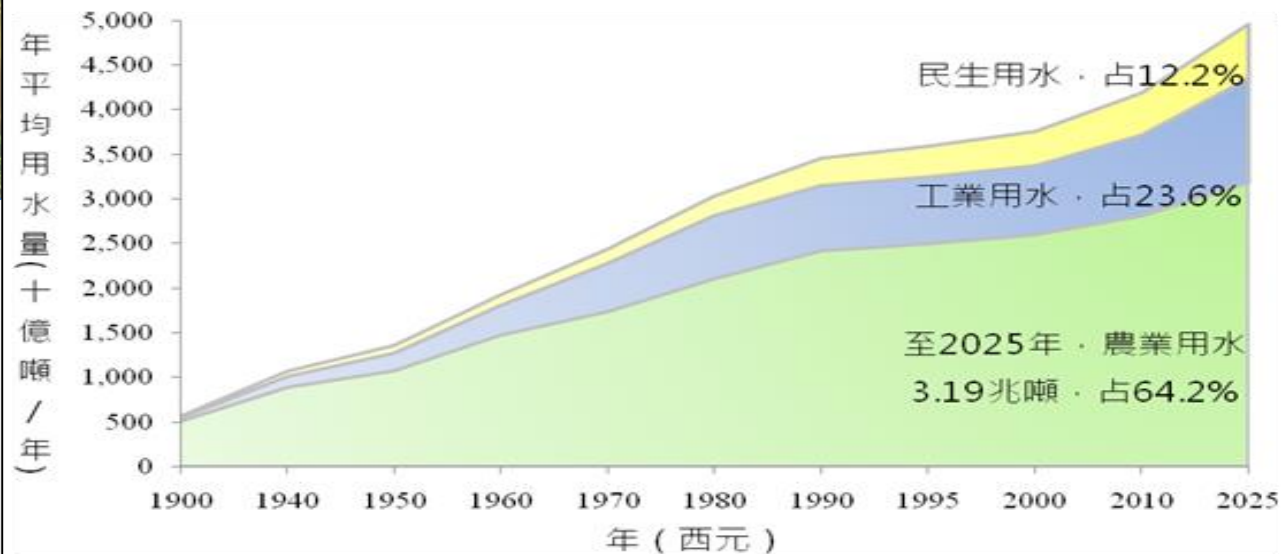
5 結論與建議



01 農業灌溉用水管理之重要性

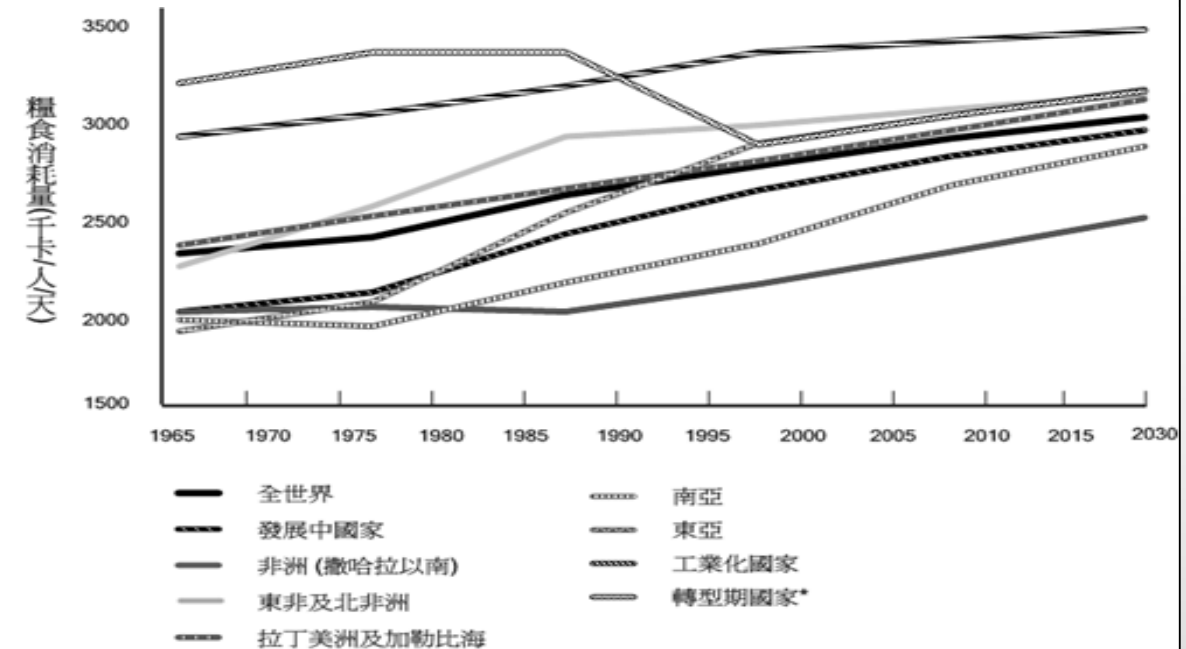
■ 農業灌溉用水管理之重要性

- 根據聯合國環境規劃署(UNEP)的評估，世界各標的用水將持續成長(圖1)，且糧農組織(FAO)推估至2030年，世界各國平均糧食消耗量將成長9%(圖2)。



全球各標的用水成長預估趨勢圖

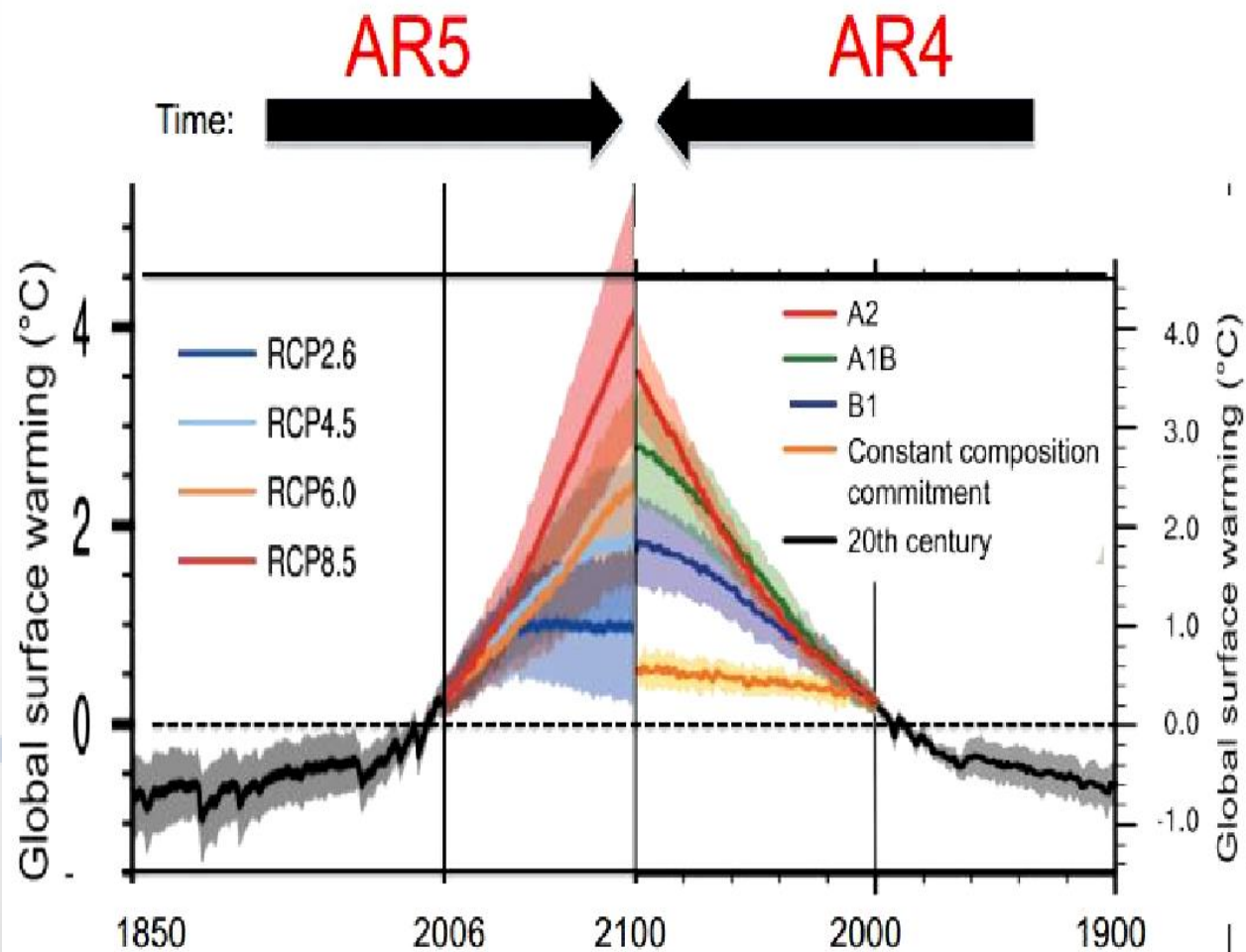
資料來源：UNEP, 2002 DATA: State Hydrological Institute (St.-Petersburg, Russia)
by edition of I. Shiklomanov



全球糧食人均消耗推估量趨勢圖

資料來源：FAO, 2002。

■ 農業灌溉用水管理之重要性



Based on AR5 Fig. ES.15 and AR4 Fig.10.4.

Note: difference in periods used in AR4 and AR5 (which reduces AR4 final 21st C figures by approximately 0.1-0.15°C) neglected in plot above

1.政府間氣候變遷委員會 (IPCC)對全球暖化警告指出「氣候系統的暖化問題已迫在眉睫」。

2.由於氣候變遷會將使降雨、蒸發散、地表逕流與土地濕潤程度的變異度提升，導致水資源及不穩定，**農業水資源所受到的衝擊將相對廣泛。**

3.氣候變遷對農業水資源的影響約可歸納成**供給緊張與需求增加的雙重壓力。**

資料來源:IPCC。

■ 農業灌溉用水管理之重要性

1723年（雍正元年），下埤圳由岸裡社通事張達京採「割地換水」方式獨資興建，圳水八份歸私用，二份歸熟蕃灌溉，以漢八平埔二的比例分水，所謂「割地換水」意即「地權換水權」之意。（葫蘆墩圳）

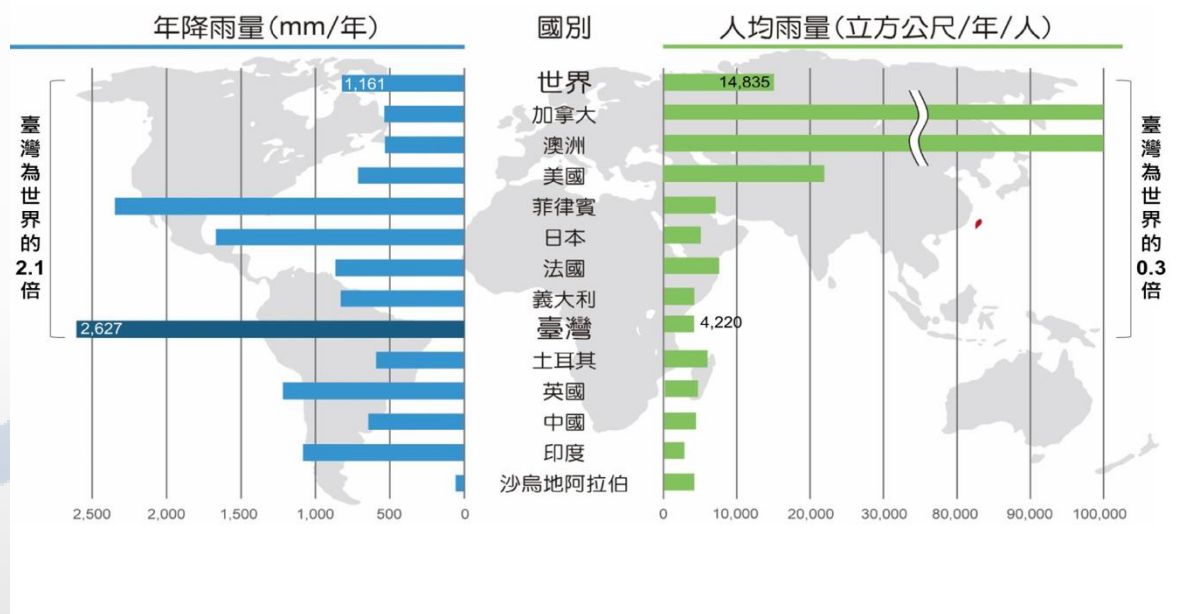
嘉南大圳興工於1920年（大正9年）9月，以灌溉區域涵蓋當時嘉義廳、臺南廳得名（今雲林、嘉義、臺南、高雄等縣市），首先先建造烏山頭水庫，之後開鑿水路溝通曾文溪和濁水溪兩大河流系統。**1930年5月竣工，耗費5,414萬日圓，嘉南平原水田亦大幅增加30倍，而4年後稻獲量亦增加為4倍。**

1913年（大正2年），桃園發生嚴重旱災，**1916年（大正5年）桃園大圳動土，1924年（大正13年）竣工，翌年5月22日舉行通水式，1928年（昭和3年）各蓄水池與給水幹線的工程正式完工。**灌溉區域涵蓋桃園市大溪區、八德區、桃園區、中壢區、楊梅區、新屋區、蘆竹區、觀音區、大園區。

農業灌溉用水管理之重要性

台灣地區受地形地勢與降雨時空分布不均之限制，致水資源之利用常處捉襟見肘，其中以11月至隔年4月之缺水最為嚴重。

- 台灣近十年的平均年雨量為2,627mm，若與FAO所公布176個國家的雨量進行比較，可以排在第13名，雨量可算是相當豐沛，然而由於山高坡陡、河短流急及人口稠密等因素，平均每人可分配到的雨量僅約世界平均值的30%。



世界各國平均年降雨量與每人可分配雨水量圖

註：1. 人口數採用2012年資料 2. 「世界」值為聯合國176個國家之平均值

資料來源:FAO (聯合國世界糧農組織) AUQASTAT 資料庫、

行政院主計處、經濟部水利署水文年報。

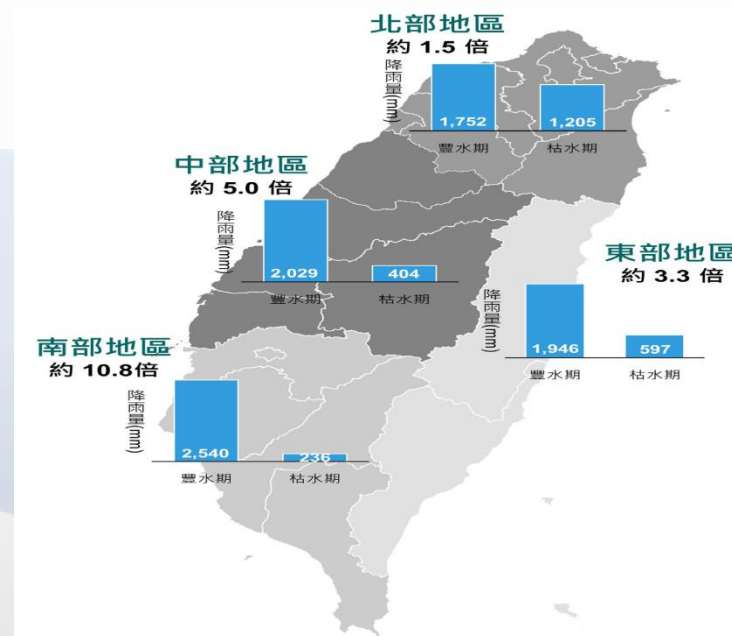


圖2-2 台灣年降雨量時空分布圖

資料來源:經濟部水利署95~104年水文年報。

- 台灣降雨之豐枯季節分明，夏秋兩季有颱風及雷雨帶來豐沛雨量，即5月至10月的豐水期，降雨占台灣地區年總降雨量的78%；冬春兩季氣候則較為乾燥，即11月至翌年4月的枯水期，僅占年總降雨量的22%，此種現象愈往南部地區豐水期的降雨量則約占了全年降雨量的90%。

■ 降雨型態變更



資料來源：行政院經濟部水利署

■ 氣候變遷對農業灌溉用水之衝擊

中國
秦大河
2002

在中緯度地區，氣溫每升高 1°C ，灌溉需水量將增加6%~10%。

英國
2008

在「未來水資源：英國政府水資源策略」中提出氣候變遷將導致夏季高溫與乾旱，可能增加夏季灌溉用水需求，至2020年農業灌溉用水需求推測增加20%，2050年更將提高至30%。

美國
Xie;Eheart
2004

在美國中西部伊利諾州原本屬於旱作，不需要特別的灌溉系統，但據GCMs情境模擬，氣候變遷導致該州降雨逐漸減少，淡水資源逐漸吃緊，河川水位降低使農業極易面臨乾旱，因此更多農民在原本僅仰賴雨水耕作的區域，而必須轉變成為發達的灌溉系統。

台灣
黃文政
2013

未來2046-2065年石門灌區一、二期稻作期間日均溫將分別升高 2.8°C 與 2.1°C ，受溫度提升影響，一、二期作物需水量分別提升210 mm與205 mm。

妥適農業水資源利用之規劃，除可確保糧食安全，更有助於農業生產效能之提升。

■ 農業灌溉用水管理之重要性

國際水轉運項目：北部塞浦路斯土耳其共和國供水項目（TRNC）
INTERNATIONAL WATER TRANSFER PROJECT: NORTHERN
CYPRUS TURKISH REPUBLIC WATER SUPPLY PROJECT
(TRNC)

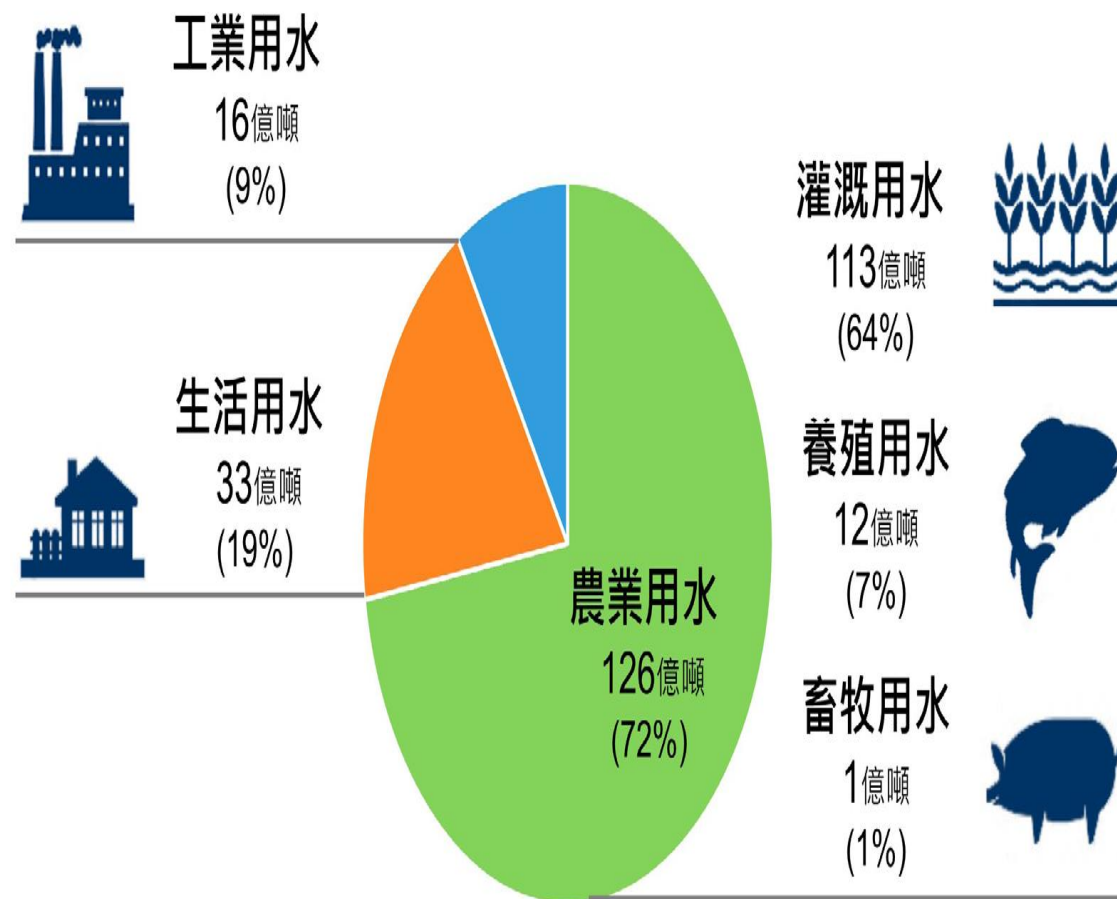
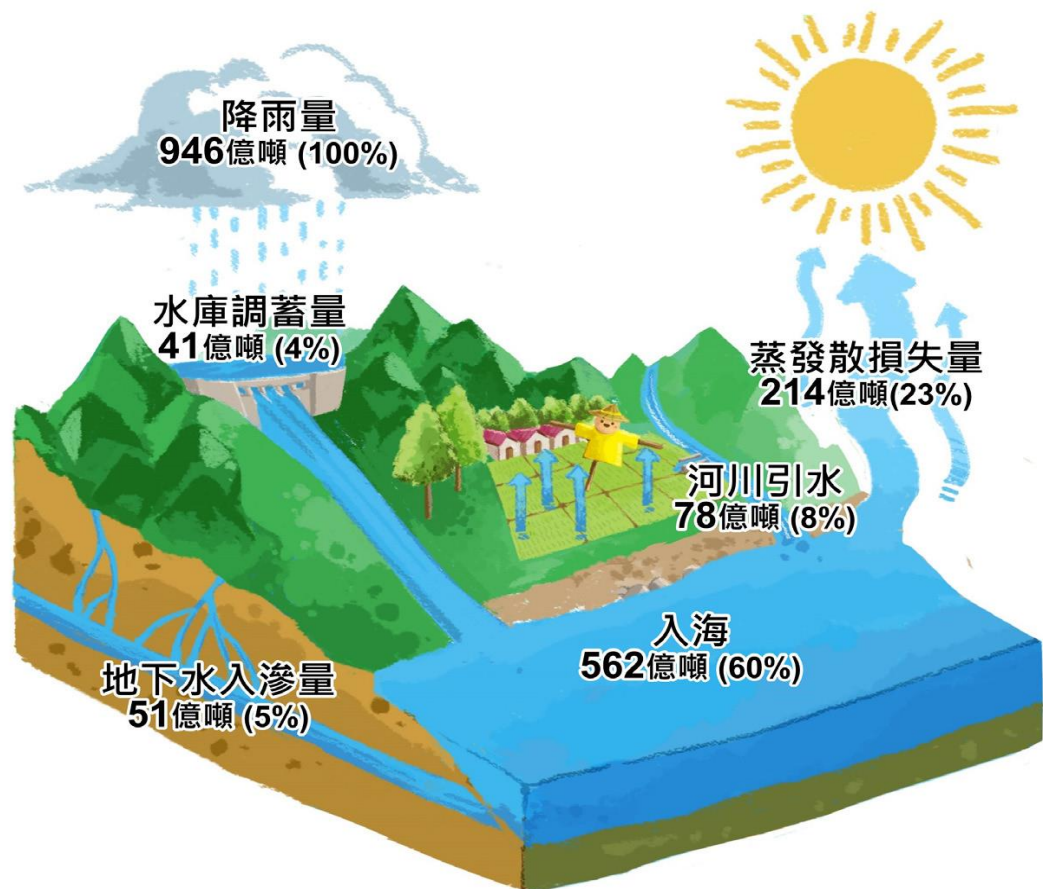
北塞浦路斯土耳其共和國（TRNC）遇到缺水問題。由於雨水分佈不均勻，雨水直接流入地中海，不會滲入，由於氣候變化和高溫，儲水結構的蒸發量也在增加。土耳其政府實施了世界第一次實現的**海底供水工程，解決了TRNC的缺水問題**。該項目旨在通過80公里長的管道從土耳其每年轉移約7500萬立方米水（2.38立方米/秒）。通過這個項目，每年3724萬立方米水將被轉移用於灌溉，每年3776萬立方米水將從土耳其轉移到家庭用水。地中海的所有水壩和管道於2015年竣工。



02 農業灌溉用水特性與 貢獻

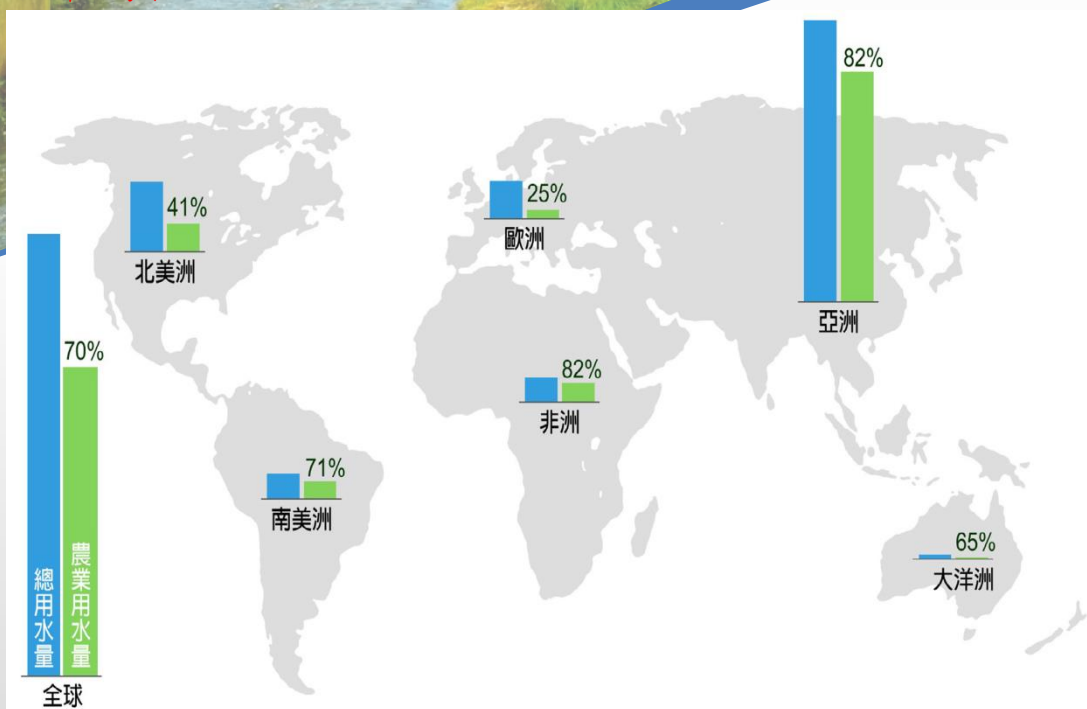
■ 全國各標的用水

年總用水量計175億噸，各標的用水比例如下：



■ 農業灌溉用水特性

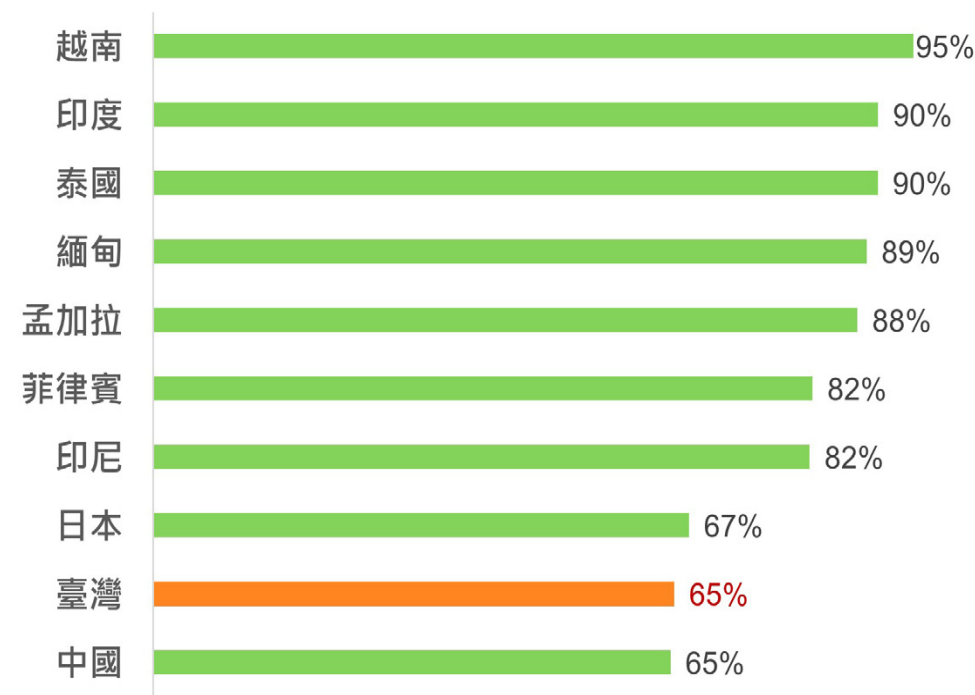
全球的平均農業用水量約占總取水量的**70%**，其中占比最高的為亞洲（82%）。亞洲地區屬於季風氣候區，年降雨量高，其主要種植主食用的稻米，因稻米生長所需的灌溉水量較大，而使得農業用水量比例較全球平均值高；歐洲地區年降雨量低，主要種植小麥、玉米等旱作，其作物需水量較低，因此農業用水比例僅25%。由於全球的農業用水量統計並未包含養殖用水，因此**臺灣的農業用水量為了可與全球的資料進行比較，則須扣除養殖用水量，約為65%**（灌溉用水64%、畜牧用水1%），低於全球平均值。



全球及各大洲農業用水所占比例

資料來源:FAO, AquaStat, 2016、行政院農委會

2016農業灌溉白皮書



主要稻米生產國農業用水比例

資料來源:Pacific Institute, The World's Water Vol.8, 2014、行政院農委會2016農業灌溉白皮書

註：為與國際農業用水統計範圍一致，此處農業用水僅統計灌溉及畜牧用水。

■ 農業灌溉用水特性與貢獻

用水彈性大，灌溉水源較多元：農業在灌溉用水的運用上，因具備水土資源多元涵容之特性，對水量與水質的要求較具彈性，故在水源結構上與生活及工業用水有著截然不同之特性。在總灌溉用水量113 億立方公尺中，有高達76 億立方公尺（67%）來自較不穩定之河川及回歸水，此外亦可直接利用天然降雨；僅37 億立方公尺水源（約33%）來自較穩定之水庫、壩堰及地下水。

水量枯豐差異大、水質受影響風險高

其他標的較難利用的水 共76億噸(67%)

河川直接引水 69億噸 (61%)

區域排水回歸利用 7億噸 (6%)

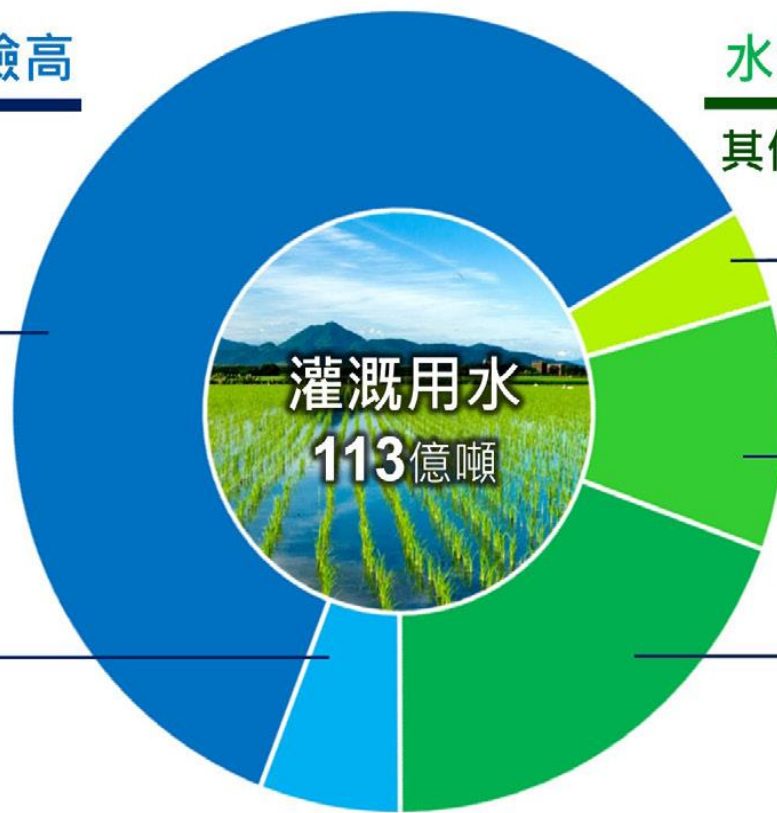
水量、水質較穩定

其他標的亦可利用的水 共37億噸(33%)

地下水 4億噸 (4%)

水庫 11億噸 (10%)

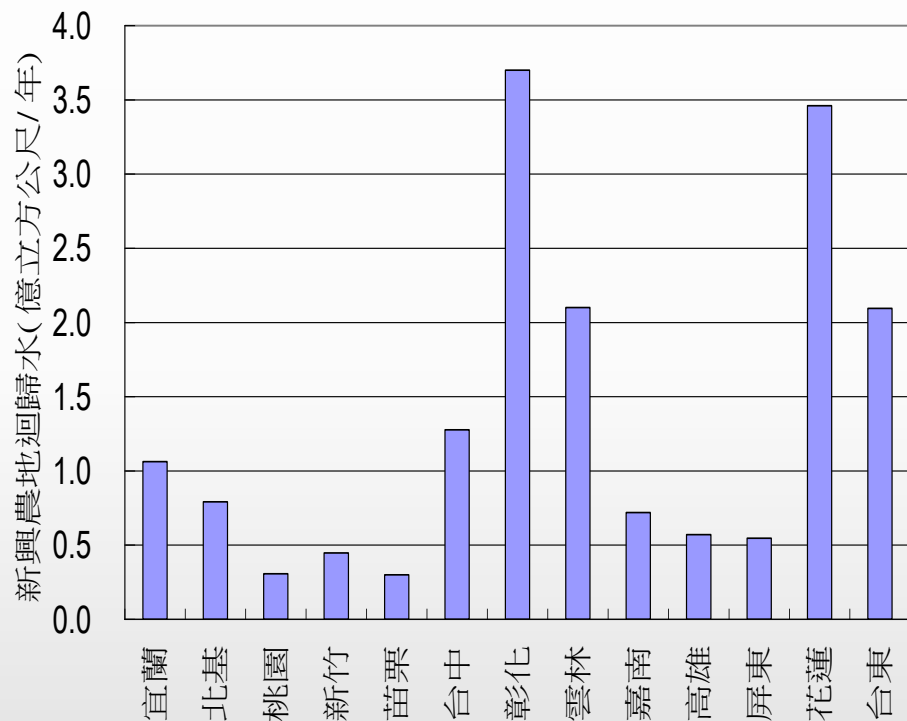
壩堰 22億噸 (19%)



註：回歸利用比例採用至102 年底引自區域排水之有效水權登記量與地面水總水權登記量之比值推估而得
資料來源：經濟部水利署95-104 年蓄水設施統計年報、95-104 年農田水利會資料輯
行政院農委會2016農業灌溉白皮書

4
億噸

噸



各農田水利會農業回歸水水量

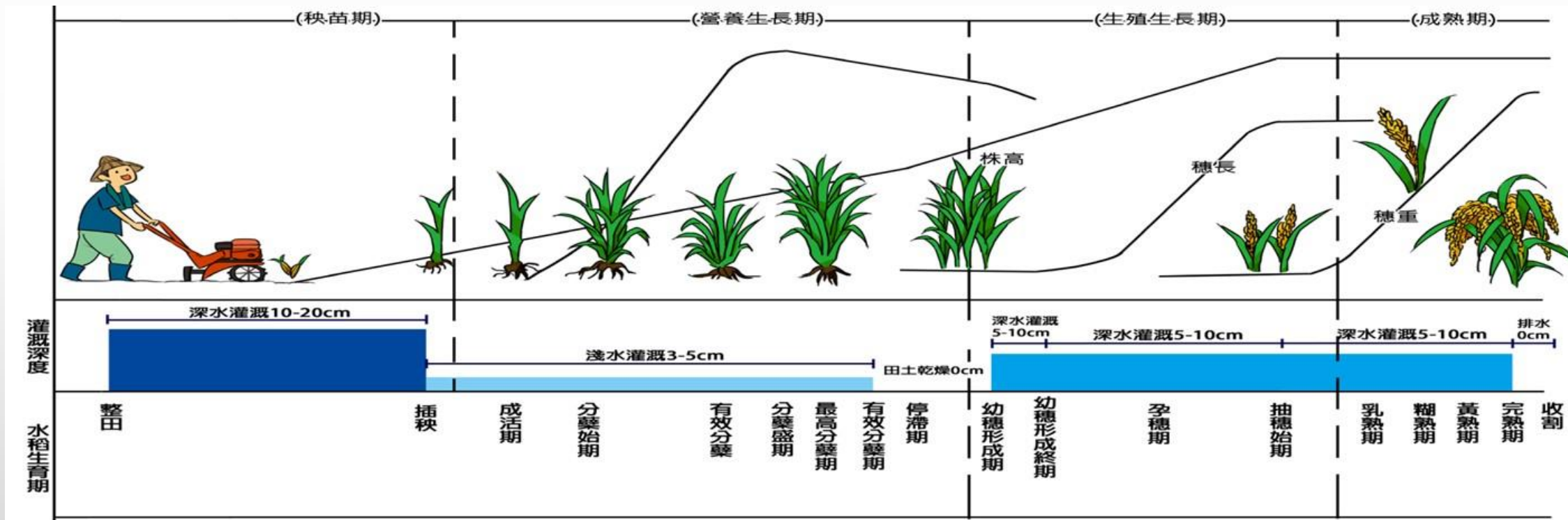
資料來源：經濟部水利署(2009)。



彰化農田水利會回歸水重複利用示意圖

■ 農業灌溉用水特性與貢獻

時間特性:就灌溉用水調配，係依作物不同生長階段之用水需求，適時、適量供灌作物，以確保糧食生產。台灣主要種植作物為水稻，供應水稻生長所需的水量即是灌溉用水主要的目的。而水稻的生長歷程可分為數個階段，其中整田期與稻穗生長階段需水量較高，須使用深水灌溉；而分蘖終期至幼穗形成期則需供給氧氣以促進稻根向下生長，因此期間田區土壤應乾燥並略微龜裂，此時的灌溉需求較低，各管理處會配合水稻生長而調整灌溉水量。



水稻生長歷程與需水量變化

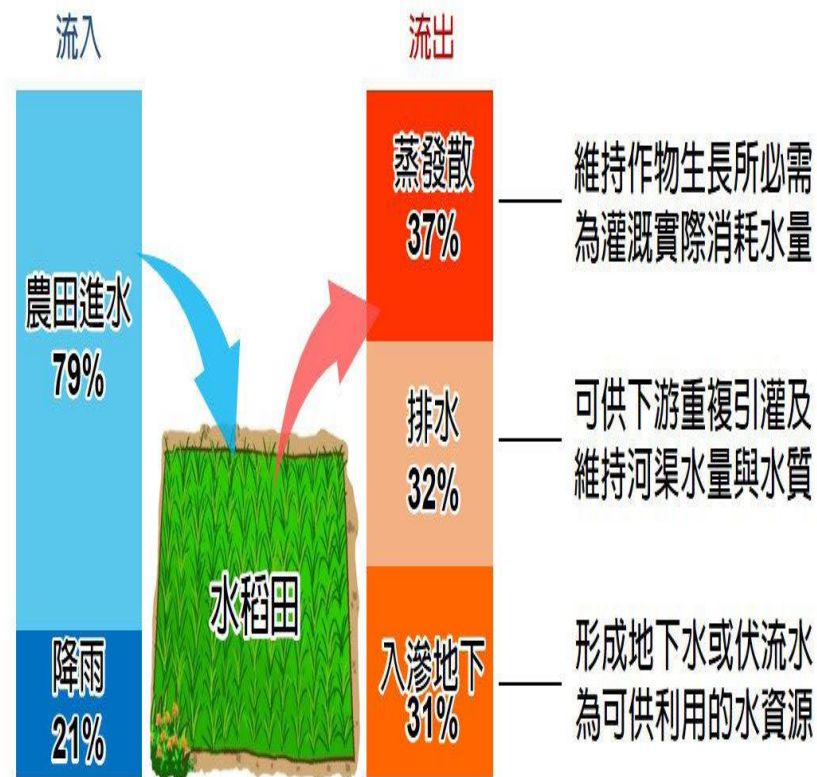
資料來源：行政院農委會2016農業灌溉白皮書

■ 農業灌溉用水特性

作物耗水特性:灌溉用水具有多次重覆迴歸之特性，實際消耗量僅為**作物需水量**，只約占引灌水量的**三分之一**，其餘的三分之二經下排後重複再灌溉或供其他標的使用，此農業灌溉用水具有異於民生用水與工業用水等消耗性用水量之用水特性。

表 8 台灣各地區水稻全生育期累積作物需水量之建議值(mm)

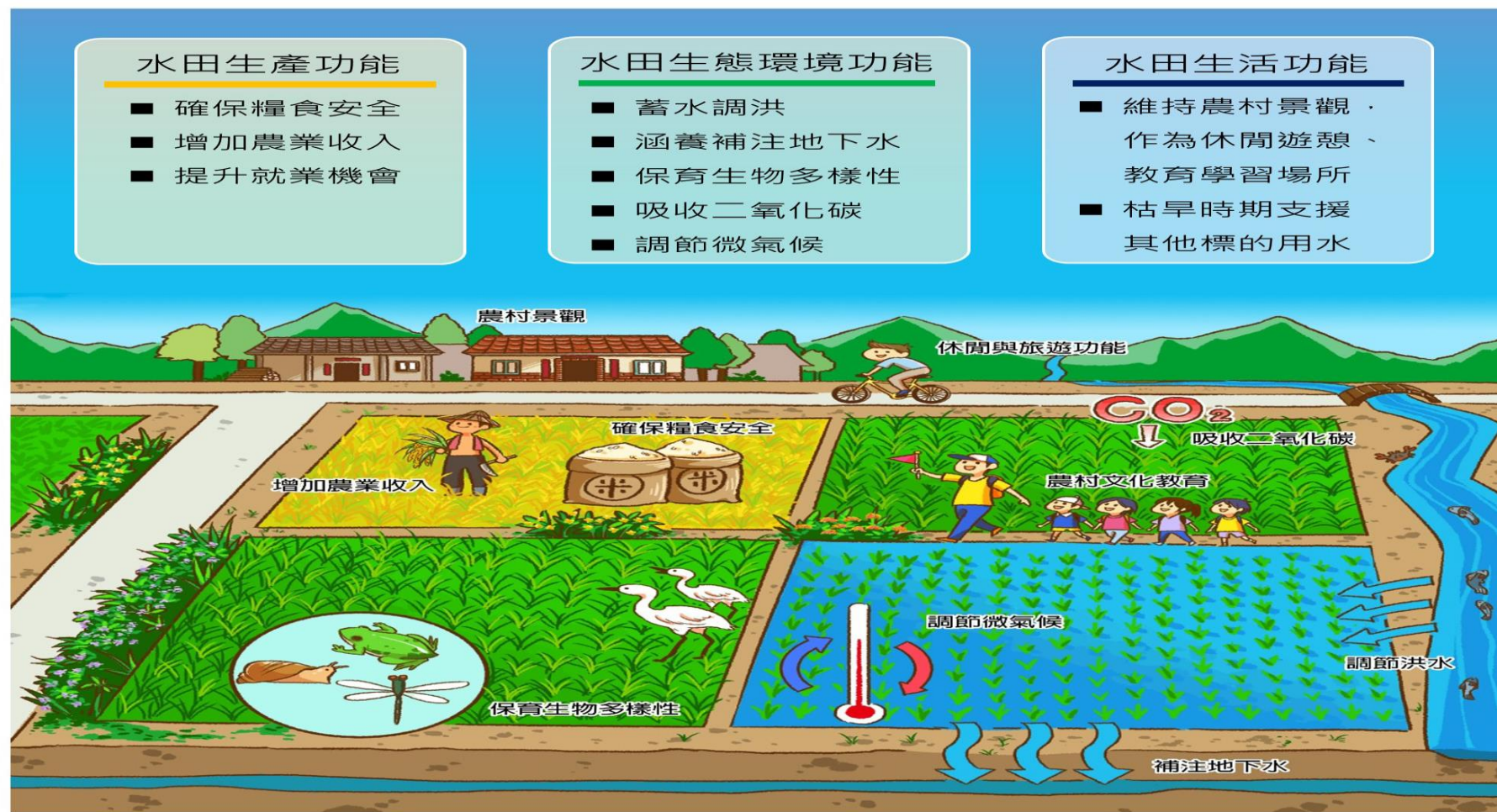
區 域		台 北 地 區			新 竹 地 區	台 中 地 區	台 南 地 區		高 雄 地 區		東 部 地 區
期 作	作 物 需 水 量	宜 蘭	基 隆	台 北	新 竹	台 中	嘉 義	台 南	高 雄	恆 春	花 蓮
第 一 期 作	最小值	403	404	460	482	510	305	440	430	494	430
	平均值	427	445	491	514	545	327	473	455	517	458
	最大值	450	486	523	545	581	350	505	481	540	486
	範 圍	403 ~ 523					305 ~ 505		430 ~ 540		
第 二 期 作	最小值	721	629	686	820	787	721	854	786	840	660
	平均值	757	664	728	863	832	755	897	833	883	696
	最大值	793	700	770	907	877	789	941	881	927	733
	範 圍	629 ~ 793					721 ~ 941		786 ~ 927		



上述一、二期作水稻作物需水量推估之種植日期皆以120天計算。

■ 農業灌溉用水之貢獻

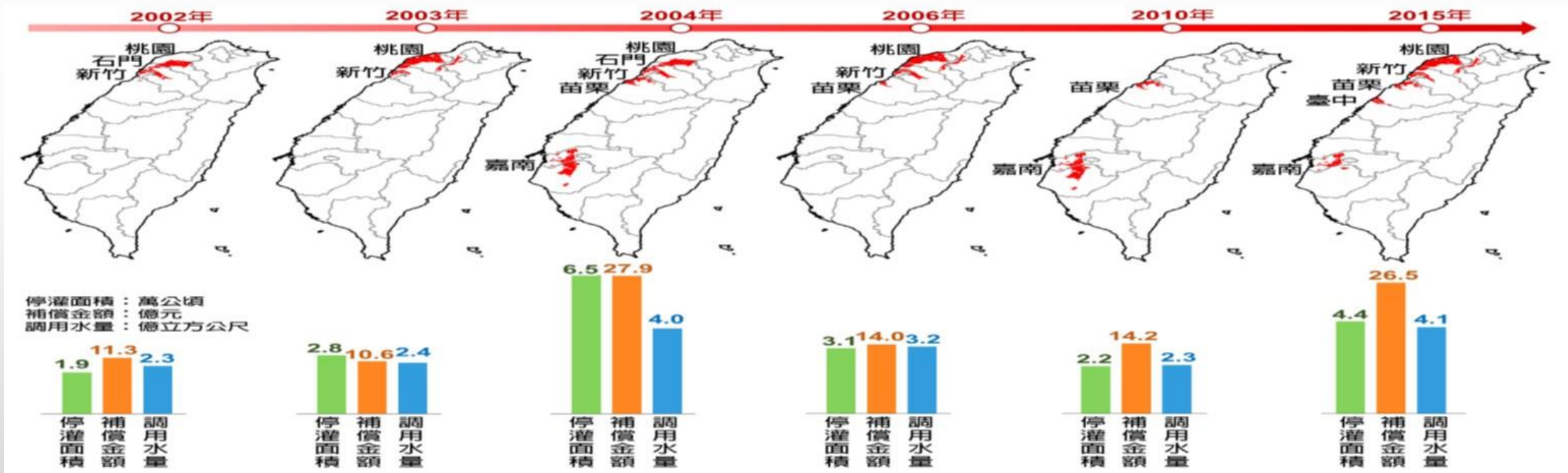
三生功能:灌溉用水不只是農業生產的重要基礎，水田湛水更具有涵養地下水源、調蓄暴雨洪水、保育生物多樣性及調節微氣候等生態機能，甚至在枯旱時期扮演支援生活與公共用水的重要角色。而水田所建構的農村景觀也提供了休閒旅遊與環境教育的生活功能。



■ 農業灌溉用水之貢獻

乾旱缺水時期的支援水源

近年來隨著工商業發展，工業及生活用水量增加，但在蓄水設施供水情形已達飽和的現況下，這些用水缺口往往需仰賴各農田水利會在不影響農民權益下移用水量支援。惟農業用水仍應以農用為優先，調用農業用水僅為短暫性權宜措施，長遠之計應規劃能符合國家發展所需之水資源開發計畫，待新水源開發完成後中止調用。



近年大規模停灌事件



03 農田灌溉需水量之推估

■ 灌溉需水量推估模式之建立

$$q_{jk}^{\text{FIR}} = q_{jk}^{\text{CWR}} + q_{jk}^{\text{P}} - q_{jk}^{\text{ER}}$$

q_{jk}^{FIR} : 第j作物第k灌溉期之田間灌溉需水量

q_{jk}^{CWR} : 第j作物第k灌溉期之田間作物需水量

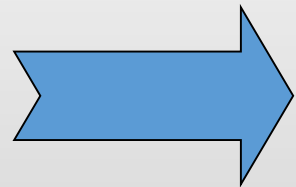
q_{jk}^{P} : 第j作物第k灌溉時期之田間滲漏量

q_{jk}^{ER} : 第j作物第k灌溉期之有效雨量

■作物需水量

FAO推估作物需水量之流程

- 參考作物需水量 (ET_k^{refer})
- 作物係數之決定 (CC_{jk})
- 作物需水量 (q_{jk}^{CWR})


$$q_{jk}^{\text{CWR}} = CC_{jk} \times ET_k^{\text{refer}}$$

1. Penman-Monteith(ICID , 1994)

結合了能量平衡與空氣動力學之基處理論，且可將繁多的氣象因子加入考慮而被廣泛使用，其估算式如(3-3)所示

$$ET_t^{\text{reference}} = \frac{0.408\Delta_t(R_t^n - G_t) + \gamma_t \frac{900}{T_t + 273} U_2(e_a - e_d)}{\Delta_t + \gamma_t(1 + 0.34U_2)}$$

式中：

R_t^n = 第t時期淨輻射量(MJ/m²/day)

Δ_t = 第t時期飽和蒸氣壓力曲線斜率(KPa/°C)

γ_t = 第t時期濕度常數(KPa/°C)

U_2 = 2公尺高所量測之風速(m/s)

T_t = 第t時期之平均溫度(°C)

$e_a - e_d$ = 飽和蒸汽壓力差(KPa)

G_t = 第t天之土壤熱通量(MJ/m²/day)

■ 參考作物需水量之計算

2.Modified Blaney-Criddle法

$$ET_0 = c[p(0.46T + 8)]$$

3.Radiation法

$$ET_0 = c(W \times R_s)$$

4.Pan Evaporation法

$$ET_0 = K_p \times E_{pan}$$

■ 台灣地區作物需水量之推估

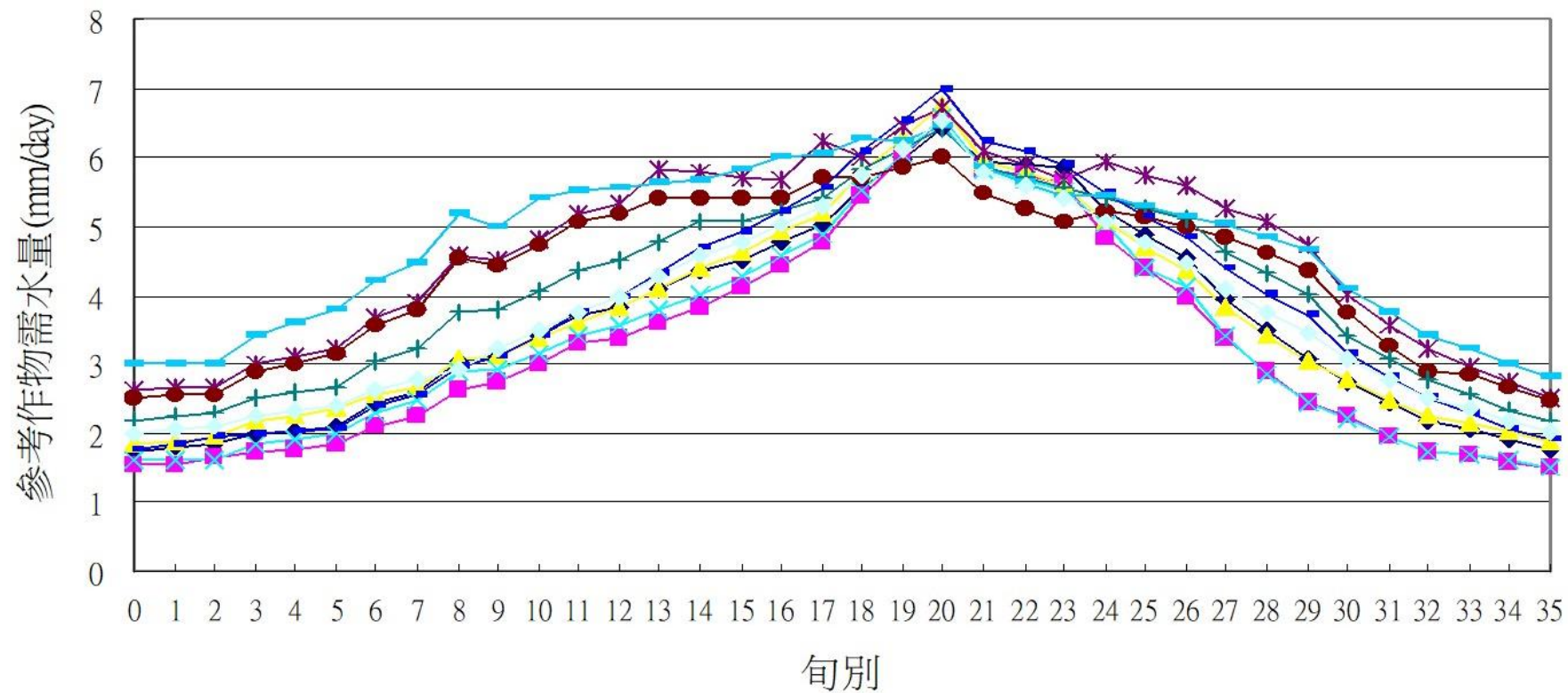
- 應用上述所建立之區域性參考作物需水量，配合FAO及甘氏(1978)所推薦之水稻作物係數 C_{jk} 值，並選定各區域之主要種植作物與栽適種植期距，即可推出台灣各地區不同作物於不同生育時期之旬別作物需水量與全生育期累積作物需水量。

臺灣地區實驗所得一、二期作水稻Kc之值

生育天數	1-15	16-30	31-45	46-60	61-75	76-90	91-105	106-120
生育期	插秧期	分蘗初期	分蘗末期	開花初期	開花末期	成熟初期	成熟中期	成熟末期
一期作	0.5	0.8	1.2	1.3	1.3	1.2	1.0	0.7
二期作	0.9	1.2	1.5	1.6	1.5	1.3	1.0	0.6

資料來源：甘俊二，灌溉系統配水技術之分析與研究，1979年。

■台灣地區參考作物需水量之推估



—◆— 台北 —■— 基隆 —▲— 花蓮 —×— 宜蘭 —*— 台南
—●— 高雄 —+— 台中 —■— 新竹 —— 恆春 —●— 嘉義

■ 台灣地區作物需水量之推估-以台中為例

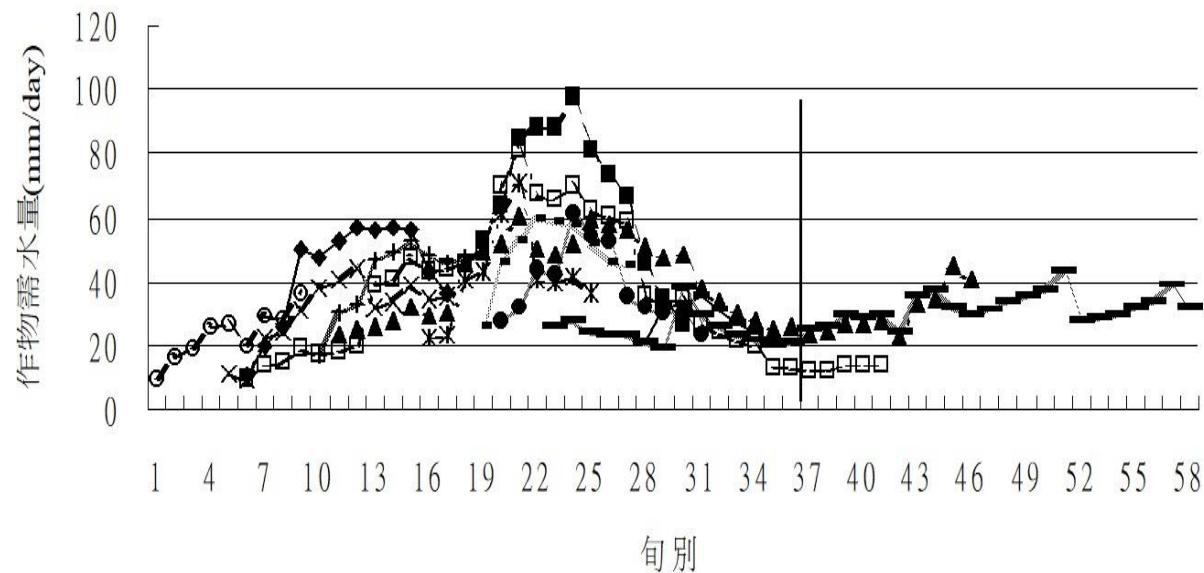
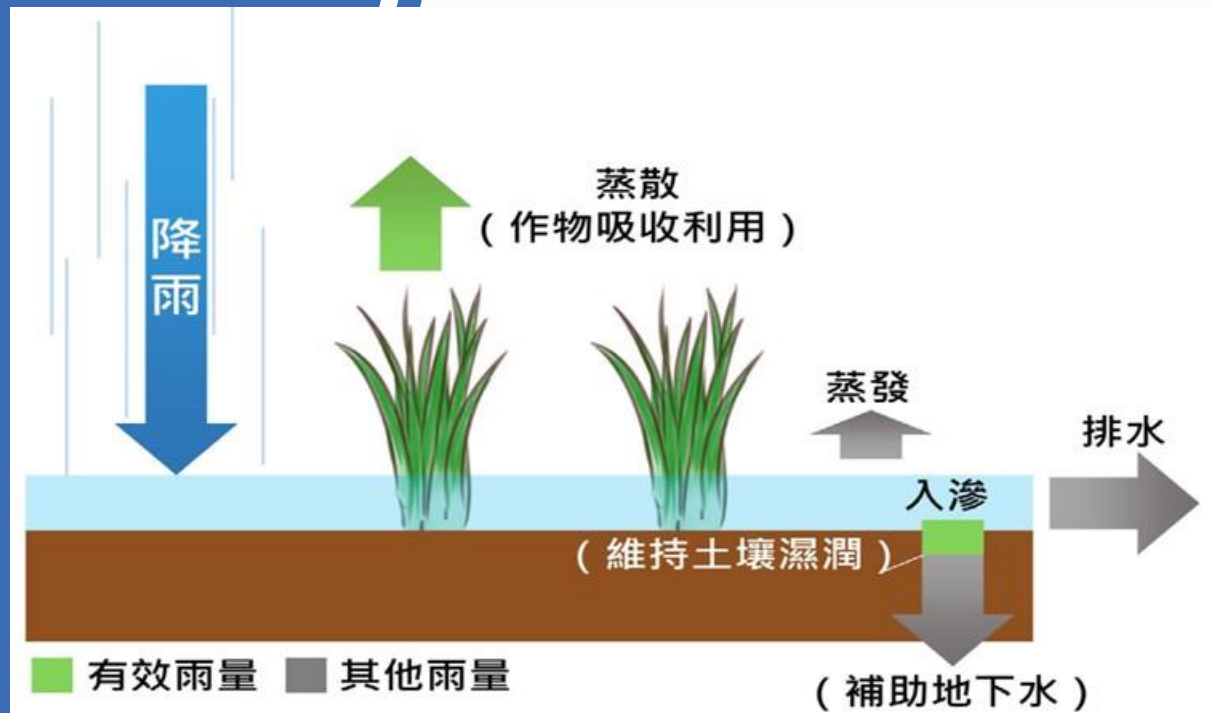


圖 3.9 台中地區主要作物旬別需水量之建議值

依國土綜合開發計劃之區域劃分，可將水資源區域劃分為北、中、南、東等四區，則各地區主要作物一、二期作水稻之累積作物需水量之範圍分別為：北部地區438～505mm、644～677mm，中部地區525～553mm、746～765mm，南部地區353～547mm、728～813mm，東部地區474mm、634mm，此結果可供農業水資源之規劃利用。

■ 有效雨量(effective rainfall)

臺灣部分的農田水利會於制定灌溉計畫用水量時，會預先考量有效雨量的部分，各農田水利會為充分利用有效雨量及避免田間水量過多，常依現地降雨情形適度開關水門來調節湛水深度。將其於灌溉計畫中扣除，然而近年來，因氣候變遷影響，極端氣象事件頻發，降雨的時空分布也日漸不均，很難確保有效雨量如預期能提供足夠的灌溉水量。

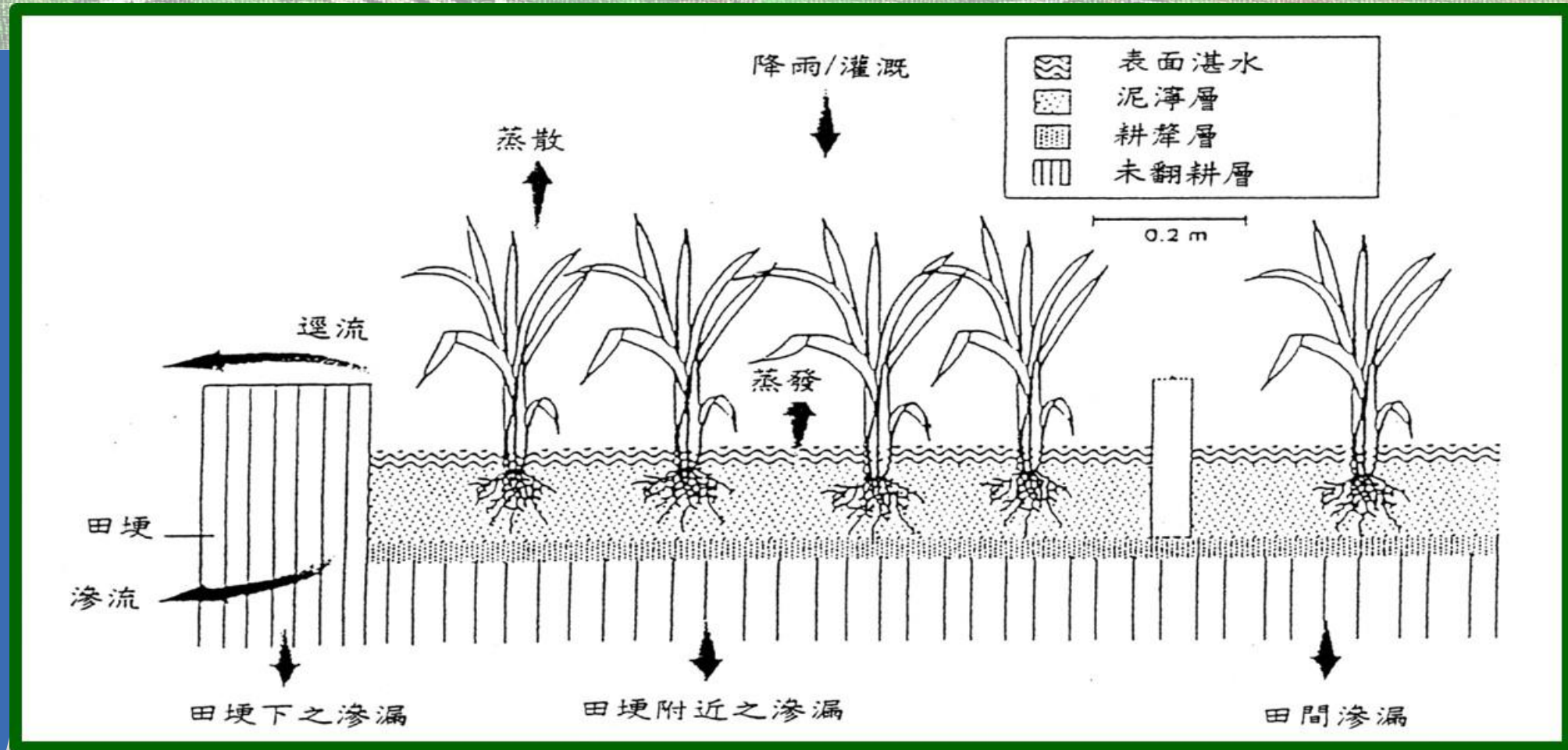


有效雨量示意圖

常見的有效雨量的估算方式為五年平均日雨量法，一般採用每日30mm以下的降雨量為有效雨量（30mm以上的降雨量即紀錄為30mm的有效雨量），將每日的有效雨量依月份加總後，再將五年各月份有效雨量進行平均（例如將每年的一月加總再除以五），便可得五年平均日雨量。

■以水稻為主之耕作制度下之灌溉需水量

水田系統剖面及水收支平衡圖

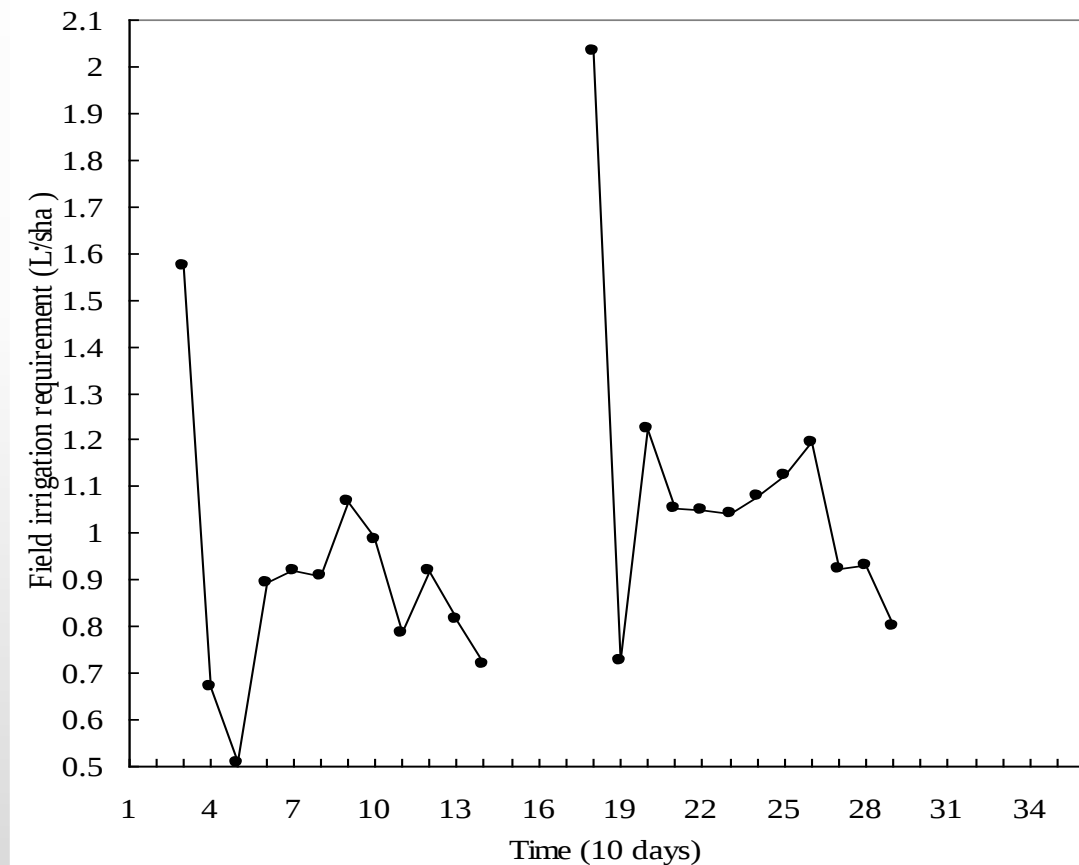


以水稻為主之耕作制度下之灌溉需水量

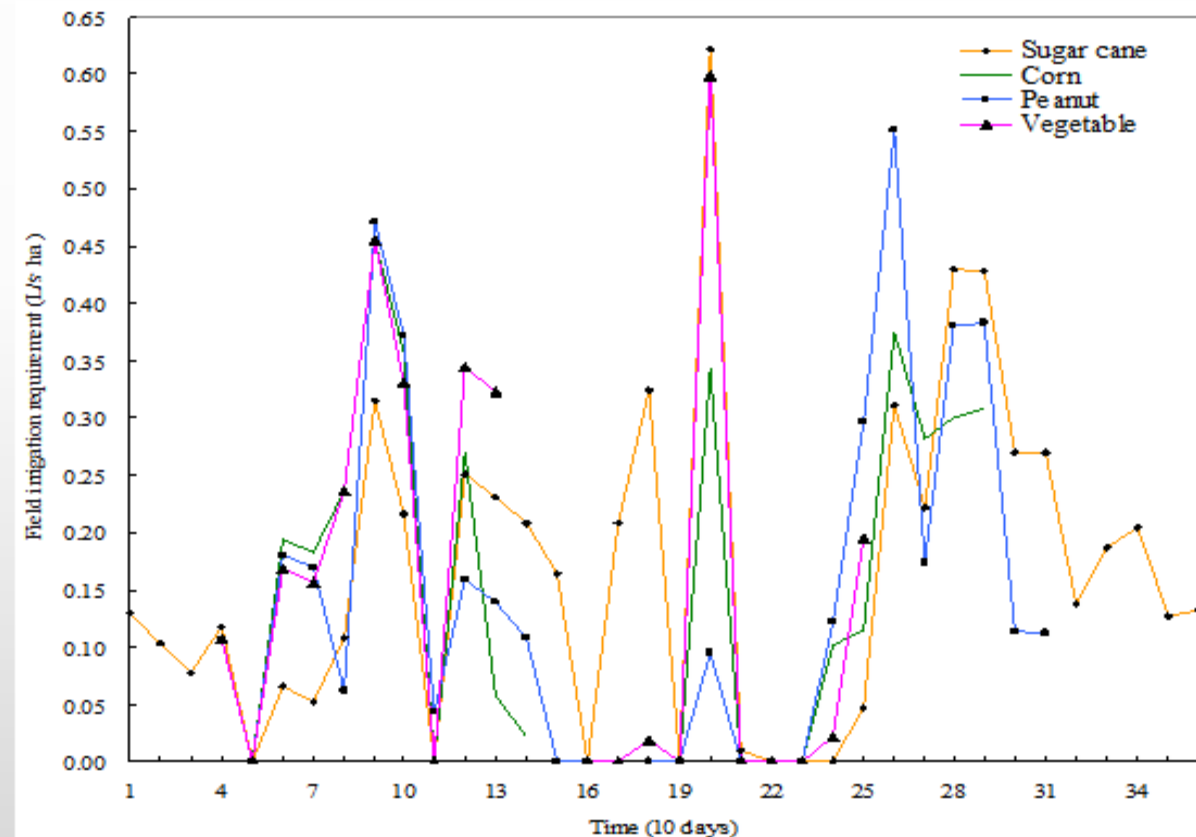
水稻淨灌溉需水量是由作物之蒸發散量， ET_{rice} ，扣除有效雨量 P_e ，除此之外尚須考慮到田間之滲漏損失 PERC。當水稻開始種植之前，必須提供一相當大之水量，讓作物根系之土壤成飽和狀態，稱為整田，其用水量稱為整田用水量 SAT，其量之大小約為 200 公厘。最後，由於水稻之生長過程中，田面需經常保持湛水狀態，因而有湛水深 WL，其水深在台灣約為 60 公厘。因此對於水稻田之淨灌溉需水量之決定公式可以下式表示：

$$IN_{\text{net, rice}} = ET_{\text{rice}} + SAT + PERC + WL - P_e (\text{mm} / \text{month})$$

Field irrigation requirement per unit area for paddy rice crops



Field irrigation requirement per unit area for various upland crops



■ 用水計畫

用水標準

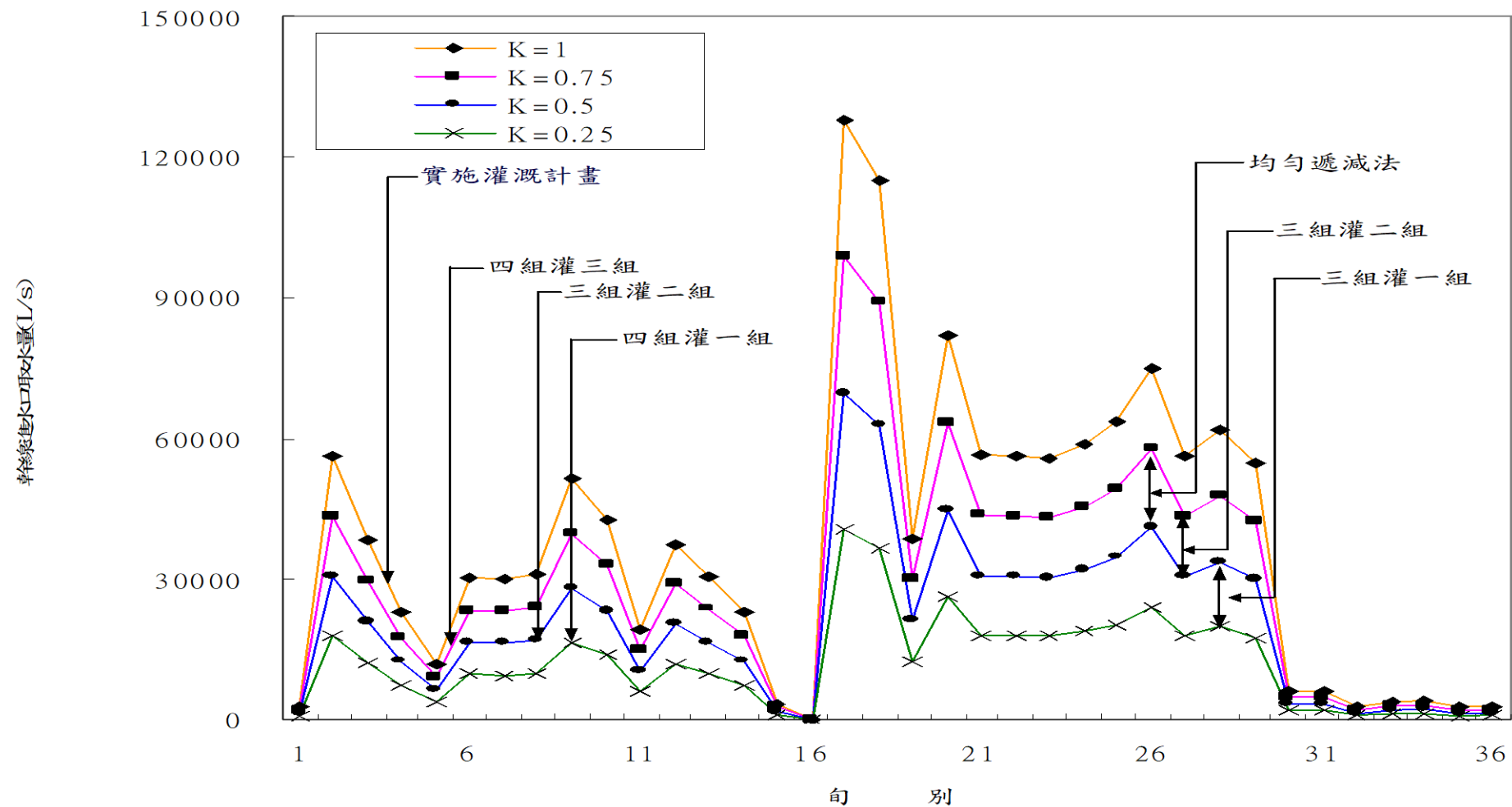
$$FIR_j = CWR_j + P - AR_j$$

輪區用水

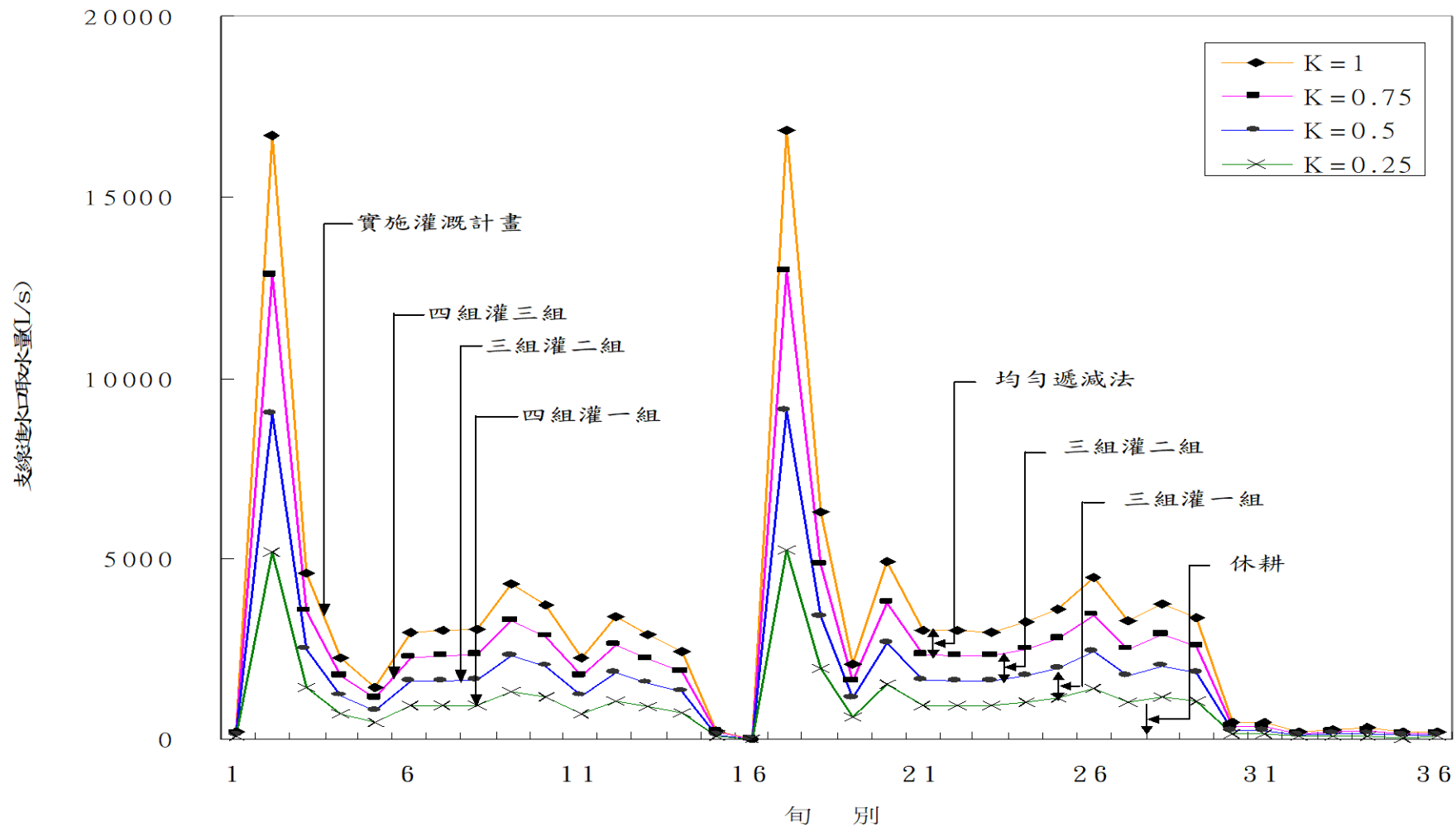
$$Q_{tij} = FIR_j \times A_i \times L_{ti}$$

系統用水

$$Q_{sij} = Q_{tij} \times L_{si}$$



幹線進水口各旬別於不同取水量下之輪灌分組示意圖

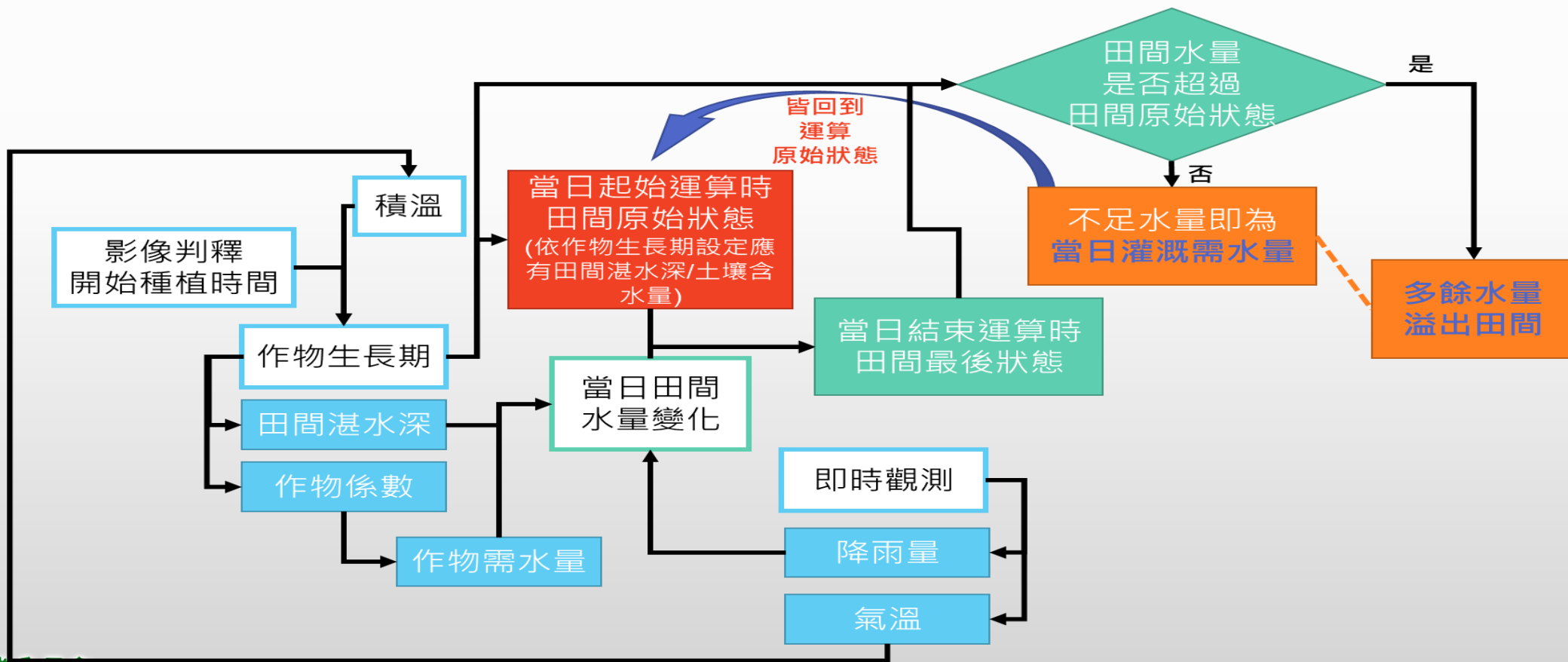


善化支線進水口各旬別於不同取水量下之輪灌分組示意圖

- 依據遙測判釋面積、相關參數之經驗公式及作物生長期程等，建立作物需水量推估方法

作物需水量推估方法建立

- 即時作物需水量推估→以坵塊為單位



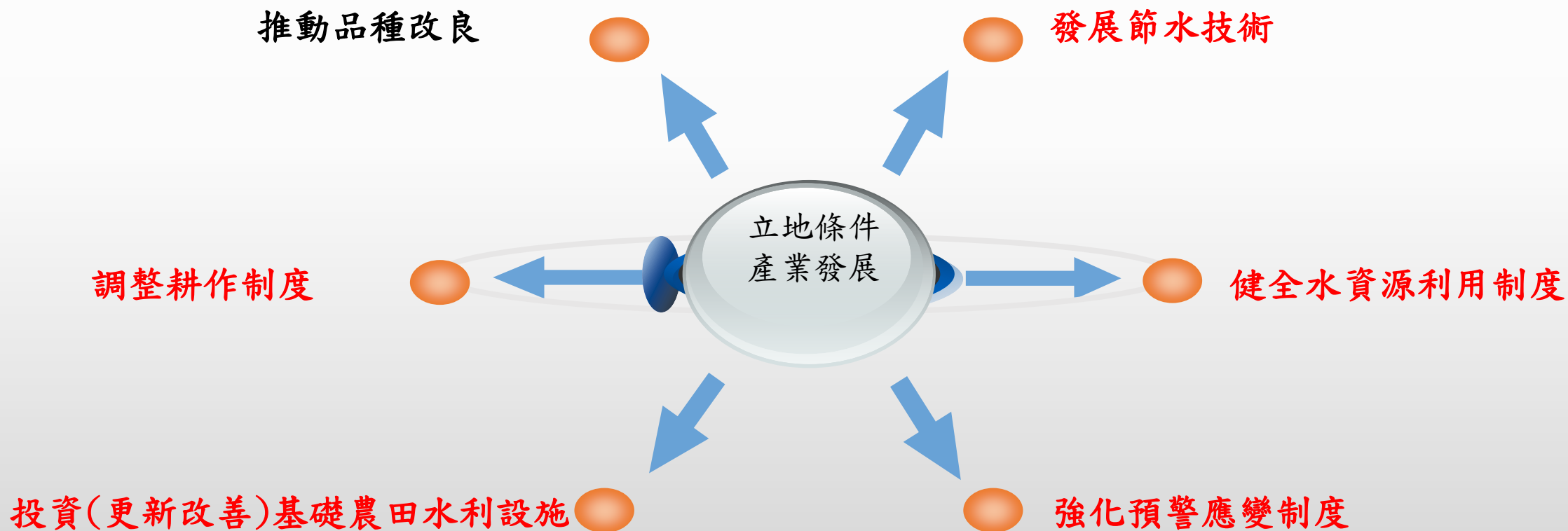


04

缺水期灌溉用水 管理策略

■ 缺水期農業灌溉用水管理策略

- ❖ 由於世界各國受到缺水影響程度有所差異，且國情、立地條件及產業發展不同，各國在農業水資源的調適策略上，大多由下述六個策略方向規劃推動，其策略類型及方案內容簡要如下。



農業水資源因應不同乾旱程度之抗旱機制





4.1發展節水技術

加強灌溉管理

依作物生長階段加強(輪流)灌溉

乾溼間斷灌溉

推廣旱作管路灌溉設施

■ 缺水期農業灌溉用水管理策略-發展節水技術

1. 輪流灌溉

➤ 國內

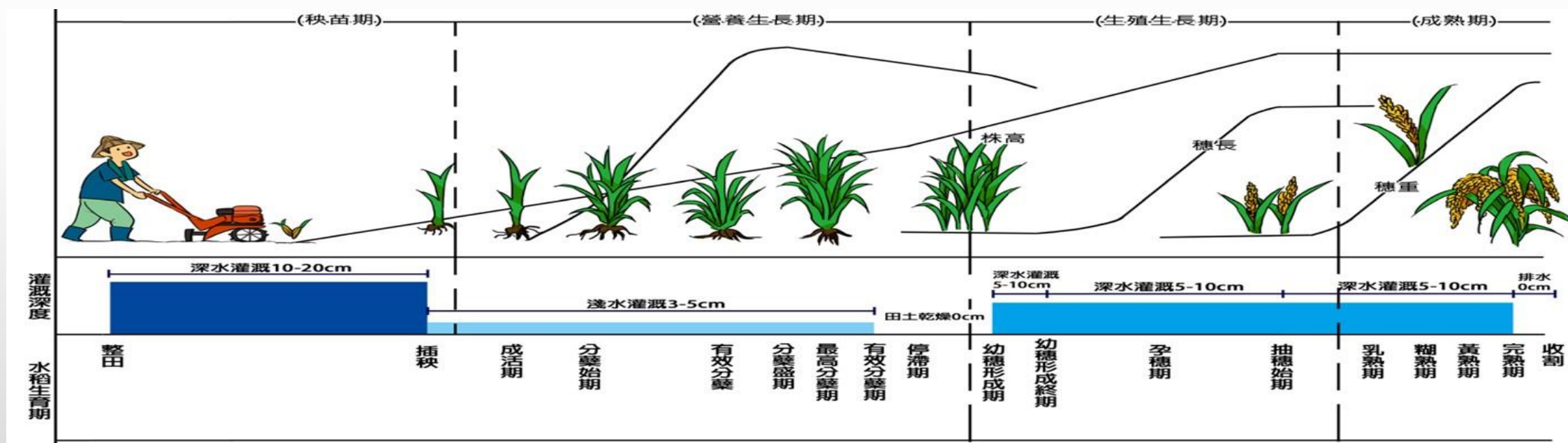
台灣省輪流灌溉推進委員會推行小組(1961)，為因應乾旱事件之發生，以期降低農業生產之衝擊，於民國四十三年期間，便邀集了農復會、水利局、水利會等農業水利方面之專家學者共同研討，決定於台南縣中營、台中農林改良場、桃園、台北等地區分別設置實驗田，以定水量（一次灌溉水深皆為45mm）之灌溉方式，輔以6日、8日、10日、15日等不同輪灌期距之處理加以試驗，探討不同之節水灌溉方式，其對水稻生產之影響。

➤ 國外

Abou et al., (2006)亦在埃及尼羅河三角洲，進行輪灌期距為3日、6日、9日、12日之水稻田間試驗，研究結果顯示台灣與埃及地區分別在輪灌期距8天與6天時，對產量影響不大，惟隨著輪灌期距愈長其節水效能愈佳，對產量影響亦愈大。

■ 缺水期農業灌溉用水管理策略-發展節水技術

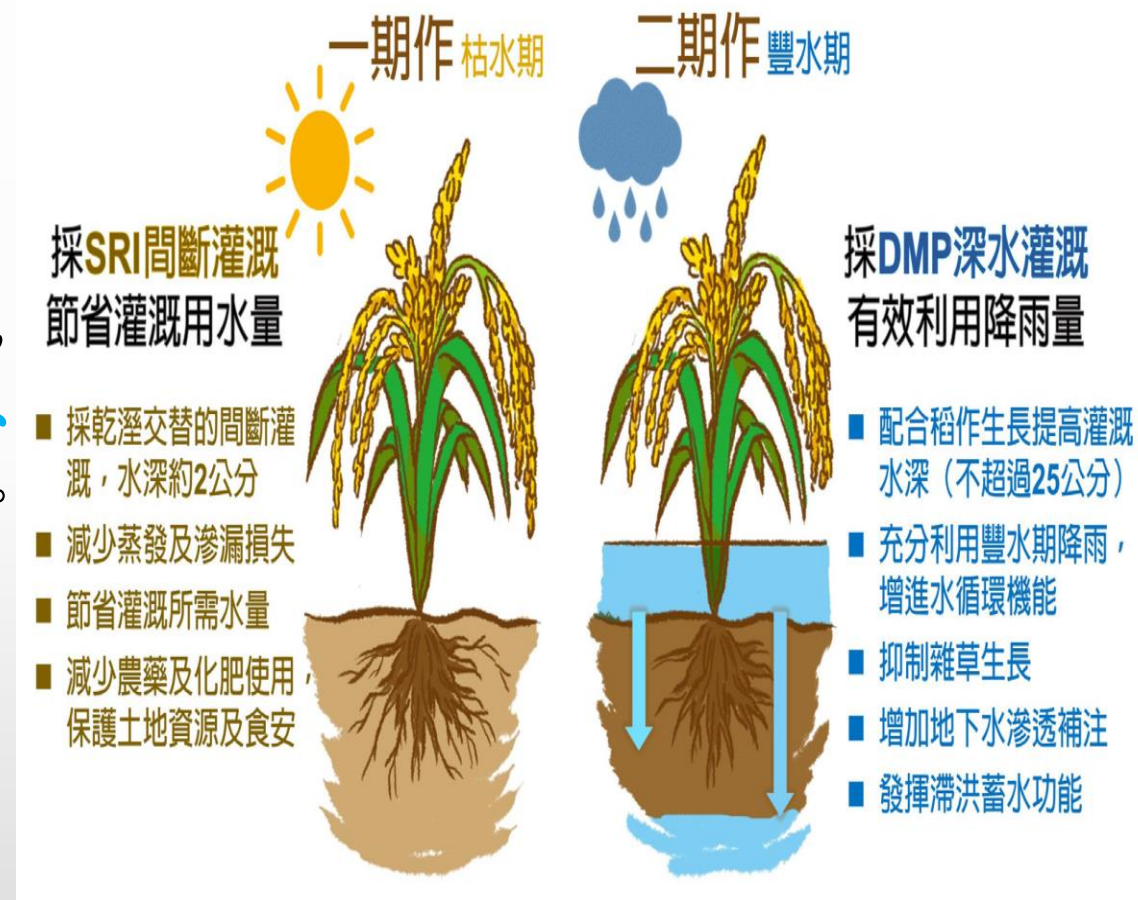
➤ 應用區域降雨及作物生長特性，調整稻作種植日期結合作物生長階段用水需求實施輪灌，亦即將一期作水稻種植日期往後調整，並於非重要生長階段(如分蘗期)實施輪灌灌溉，如此將更機動且有效提升灌溉用水調配效能，以因應氣候變遷及春季嚴重缺水問題。



資料來源:行政院農委會2016農業灌溉白皮書

■ 缺水期農業灌溉用水管理策略-發展節水技術

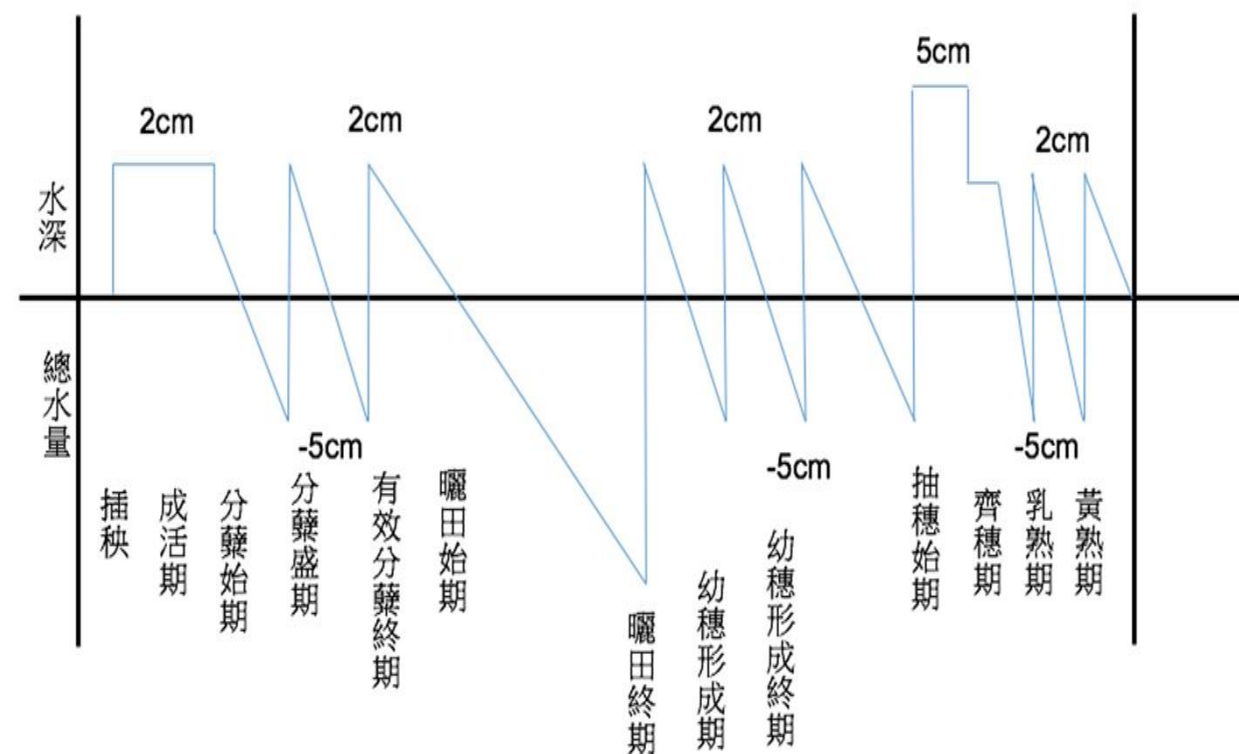
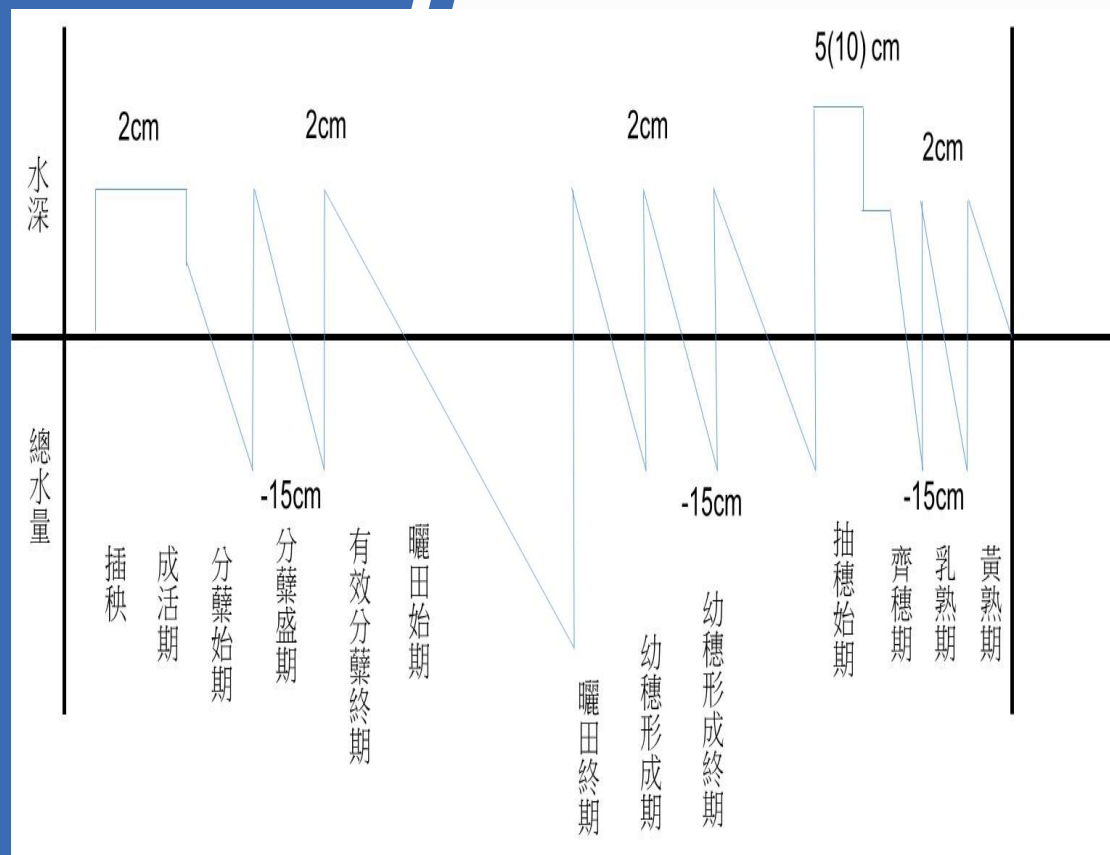
- 乾濕交替的間斷灌溉(乾溼間斷灌溉 (Alternative Wet and Dry, AWD):目前全世界已有48 個國家有實施SRI 成功的經驗，而台灣也於2011 年成為第45 個成功實施SRI 之國家。臺灣在地化的強化稻作栽培體系，除省水增產以外，亦重視整體農業環境的保育，其原則為「三多四少」，即多曬田、多中耕、多有機，與少苗、少農藥、少化肥、少湛水。
- 未來若能在降雨量少或地下水抽用區推廣SRI，則應能更顯示出SRI省水的效果。台灣稻作強化體系應可發展出一期作透過SRI淺水管理以全面減供灌溉取代停灌休耕，避免任意農地廢耕對農業生產環境的傷害。



資料來源:行政院農委會2016農業灌溉白皮書

■強化稻作栽培體系(SRI)及IRRI-用水示意圖

IRRI (國際稻米研究中心) 用水管理：採用乾溼交替灌溉(Alternative Wet and Dry, AWD)，**開花末期(孕穗期)**前水深不得高於**2公分**，不需另行排水；進入**開花末期(孕穗期)**之後水深不得高於**5公分**，不需另行排水。如遇不降雨日時，必須等到穿孔豎管內水位在地面下**5公分**以後方能執行灌溉。開花末期田面水深不超過**5公分**。



■ 缺水期農業灌溉用水管理策略-發展節水技術

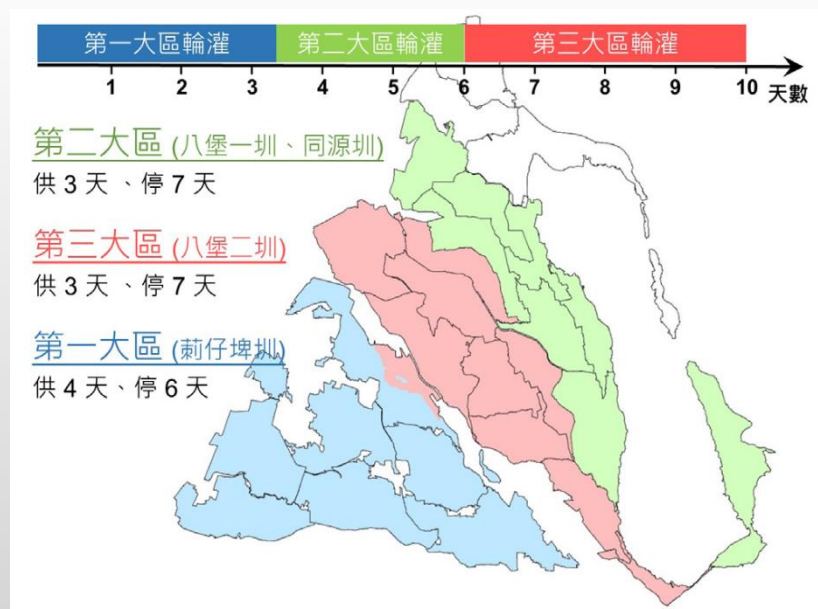
- **持續推廣旱作管路灌溉**，係應用管路直接將水及肥料送至作物的根系，可精確地供給作物所需的水量及營養，因此使用管路灌溉每公頃平均約可較傳統漫灌節省0.5萬立方公尺的水。滴灌則僅需0.15萬立方公尺的水。管路灌溉系統若搭配溫網室使用，還兼具迴避天然災害、增加農產品品質與產值及節省人力資源等效益。面對旱澇頻發能提升灌溉用水運用效能及作物產值。
- **研發本土化之管路器材及提升設施補助比例**，以增加水利產業傷及農民之使用意願。
- 棉花和冬小麥是土耳其種植的主要農作物。**滴灌是棉花最大產量和節水最有效的方法。在土耳其東南部地區，噴灌灌溉的產量低於溝灌。噴灑在棉花和葉子上的影響。**了解氣候變量對作物的影響可以使用有效的灌溉調度和避免過量的肥料。



■ 缺水期農業灌溉用水管理策略-加強灌溉管理

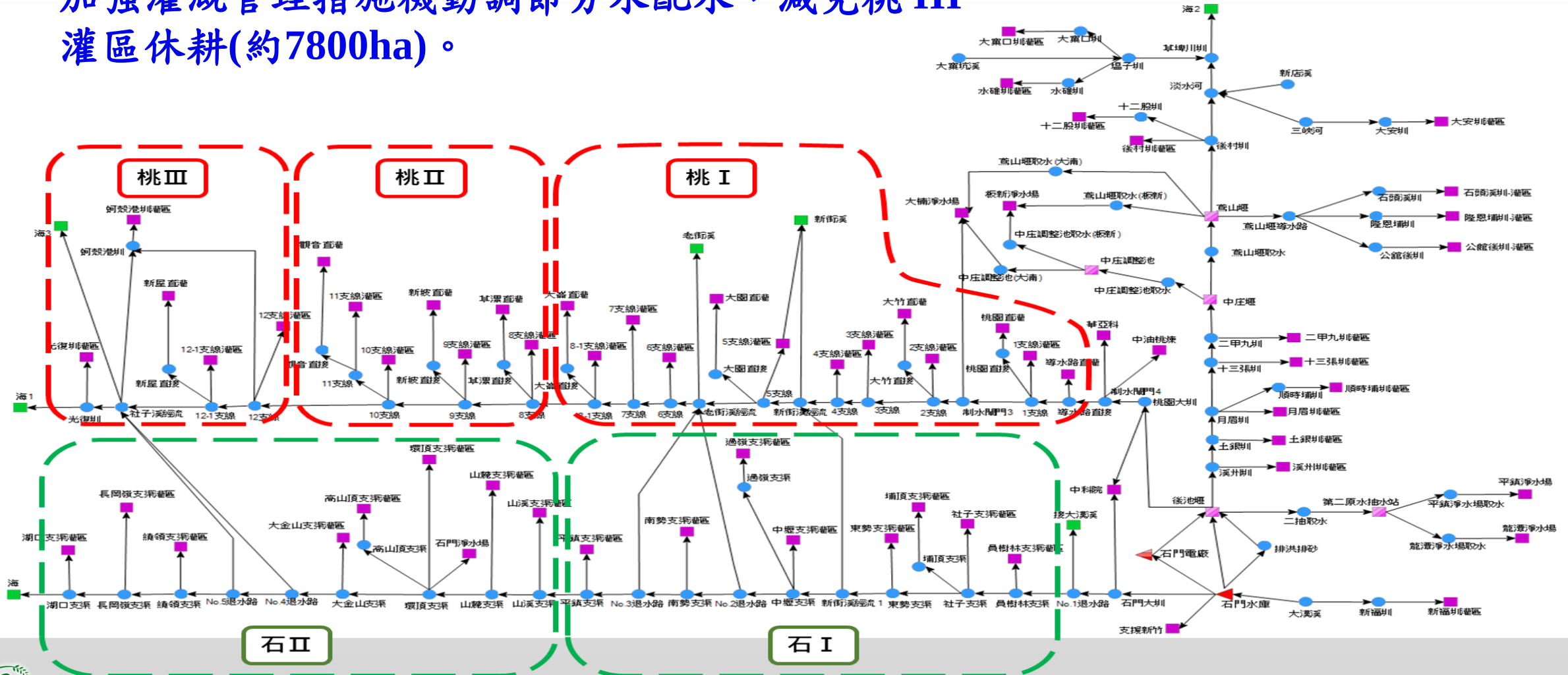
- 依據灌區用水供需情勢，考量時間與空間分配之輪流灌溉方法。包括：以**期作別規劃**可輪流灌溉區域，滿足各個灌區用水需求之灌溉制度、以**小組別規劃輪區**，在田間推動**掌水工配水制度**，全天候精密調配灌溉用水、以**灌溉系統規劃來執行大區輪灌制度**，在作物可容忍範圍內進行大區輪灌，以因應整體供水不足問題。節省之水量便可供相對缺水之灌區進行供灌，以減抽地下水。
- 嘉南農田水利會為因應嘉南灌區9年來嚴重乾旱，**2018年春作採取加強灌溉管理措施，加強運用掌水工日夜間機動調節分水配水。**
- **2018年春耕雜作(一期作及一次雜作)實際用水量**為18020萬立方公尺，較計畫用水量30448萬立方公尺節省約1億248萬立方公尺，**節水效率達40.8%**。

期作別	計畫灌溉 用水量 (萬立方公尺)	管控灌溉 用水量 (萬立方公尺)	實際灌溉 用水量 (萬立方公尺)	節省灌溉 用水量 (萬立方公尺)
第一期作水稻	23,566	18,000	15,920	2,080
春季第一次甘蔗、雜作	6,882	3,000	2,100	900
合計	30,448	21,000	18,020	12,428



■ 缺水期農業灌溉用水管理策略-加強灌溉管理

桃園管理處為因應110年桃園灌區56年來嚴重乾旱，
加強灌溉管理措施機動調節分水配水，減免桃 III
灌區休耕(約7800ha)。





4.2作物耕作制度調整

種植區位及耕種期距調整
水稻轉作或休耕

缺水期農業灌溉用水管理策略-調整作物耕作制度

稻米生產過剩及糧食自給率不足，一直是這幾年來台灣與日本所面臨的共同問題。如何提高農作物的多元化及減少稻米生產量之政策，是必須且迫切的，鼓勵稻農實施輪作，不僅可以增加農民收益，並能讓土壤在適應不同作物的微生物環境中得到修復，減少農民對農化肥藥的依賴，降低生產成本。

水稻屬高耗水作物，當地面水源無法滿足灌溉用水需求時，則常抽用地下水以補灌溉用水之不足，因長期超抽致有影響國土保安之虞。因此，依作物生理、土壤環境及氣候等因素，運用灌溉用水管理操作策略與技術-水稻與政策作物（如玉米、大豆、小麥等）輪作方式，以期降低水稻灌溉用水量，提升政策作物產量及品質，以達節省農業水資源及提升糧食自給率之目標。

■ 缺水期農業灌溉用水管理策略-調整作物耕作制度

馬家齊、吳瑞賢等人(2016)

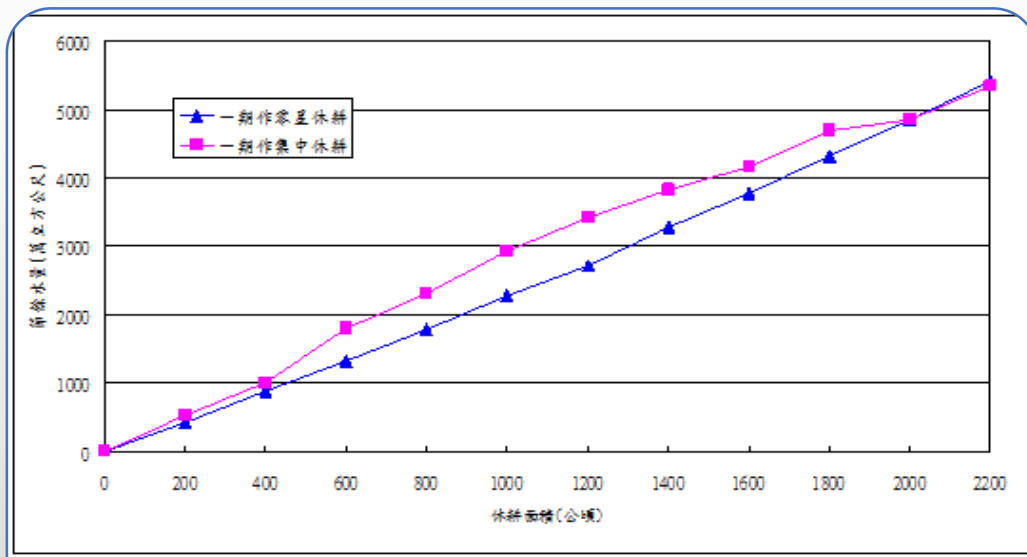
利用氣候模式及作物模式，模擬數種未來氣候變遷情境下，稻作產量及生育日數變化，作為耕期調整的依據。再依耕期調整方案及石門水庫水文情境模擬枯水期的水庫運轉情形，評估稻作停灌決策時間對用水管理影響，**分析發現延後一旬至二週明顯改善現況，且枯水期總供水量僅略為減少，對農業用水管理單位衝擊不大**，建議可再深入評估配套措施後試辦。

林盈君、陳清田(2006)

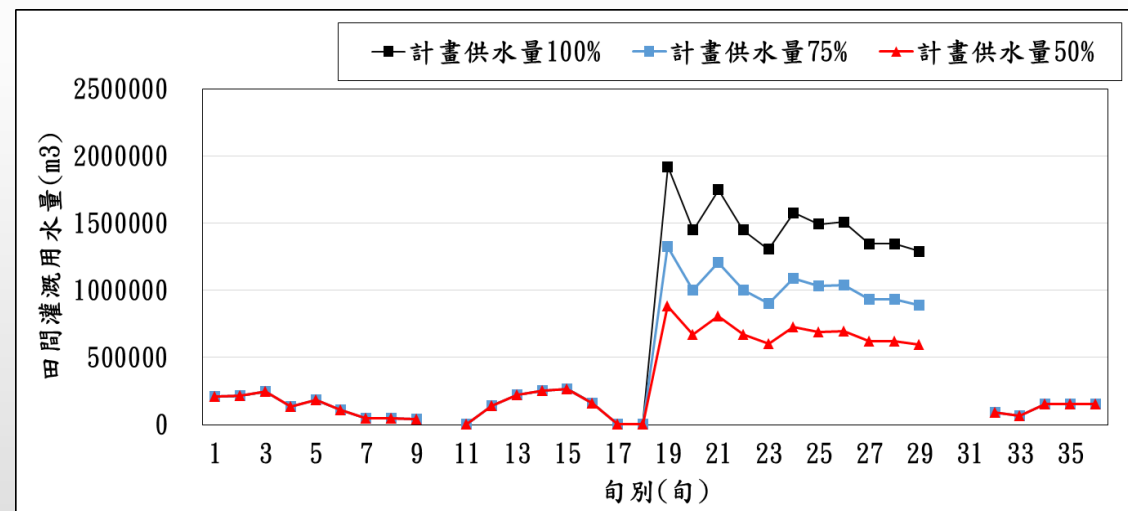
以嘉南農田水利會學甲灌溉試驗站之田間試驗設計，探討一期作水稻分別於1/16、2/1、2/16、3/1及3/16及二期作水稻分別於8/1、8/11、8/21、9/2及9/11等十種不同起始種植日期之灌溉處理時，研究結果顯示，**當一期作水稻種植日期往後調整，則田間灌溉用水量可節餘230 mm~605 mm，惟於產量亦有減少之影響趨勢**；二期作種植期往後調整無節水效能且其產量亦相對減少，由8/1移至8/11或8/21，對其產量無明顯影響。**建議缺水時水稻種植期之調整，一期作以2/16為優先考量。**

■ 缺水期農業灌溉用水管理策略-調整作物耕作制度

- 調整水稻種植區位及日期與收穫期，以因應缺水問題。
- 調整作物耕作制度，以「提升灌溉用水調配利用效能與糧食生產自給率」。於水庫灌區將**雙期作田調整為單期作田及配合政策作物**等不同耕作方式調整情境下，以提升灌溉用水調配效能與糧食自給率，因應春季及極端氣候缺水衝擊，冀以紓緩乾旱缺水壓力。



八掌溪支線灌溉系統一期作集團及零星休耕節餘水量趨勢圖

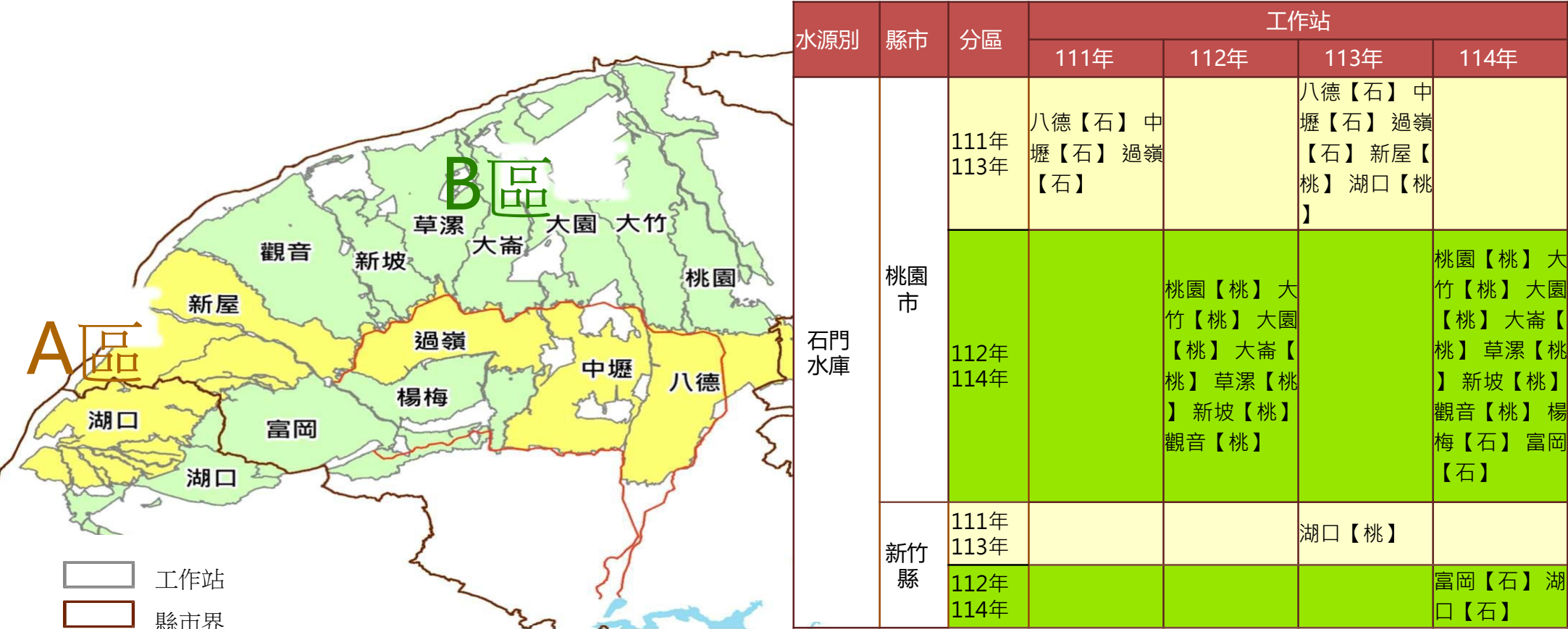


稻麥輪作制度下旬別灌溉配水計畫趨勢圖

缺水期農業灌溉用水管理策略-

水資源競用區耕作制度調整方案2.0 (大區輪作) – 石門水庫

石門水庫灌區規劃推動共15個工作站，分兩區實施。



註1：新屋(桃)、湖口(桃)小分區已於109年實施，故折抵□次。 註2：楊梅(石)、富岡(石)、湖口(石)小分區已於108年實施，故折抵□次。

備註：石門水庫包含桃園、石門管理處灌區

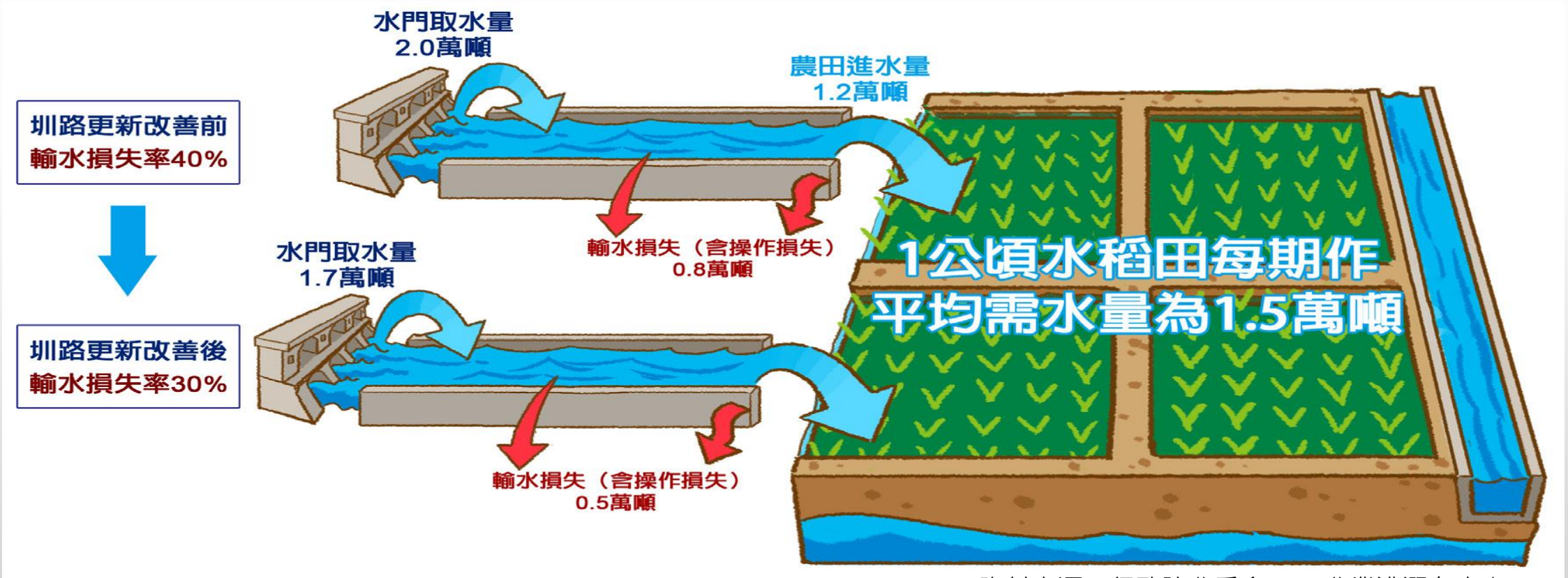


4.3 農田水利工程設施

持續辦理農田水利設施更新改善
廣設調蓄設施及妥設抗旱水井
水文自動測報系統建置

■ 缺水期農業灌溉用水管理策略-農田水利設施更新及改善

臺灣擁有廣大綿密的農業灌溉排水系統，不同材質的渠道有不同的滲漏率，加上部分灌溉圳路因年久失修或天然災害而破損、水頭取水的損失及水面蒸發，平均而言灌溉用水於輸送的過程中約會損失35%的水量，因此政府大力推動「加強農田水利建設計畫」，補助各農田水利會進行灌溉系統的更新改善，假設圳路經修繕後能改善10%的輸水損失率，則每公頃水田單一期作約可節省0.3萬噸之灌溉用水，可顯著提升灌溉用水效率。



資料來源：行政院農委會2016農業灌溉白皮書

■ 缺水期農業灌溉用水管理策略-廣設調蓄設施

廣設調蓄設施:農田水利會灌溉水源以**河川取水為主**（約占70%），經統計豐水期（5~10月）降雨量約占全年之78%，而豐水期（5~10月）之灌溉用水量則約占全年之59%。由此可見，**若能進一步增建農塘、人工湖及蓄水池等調蓄設施，將有助於豐水期河川水量之蓄存與運用。**

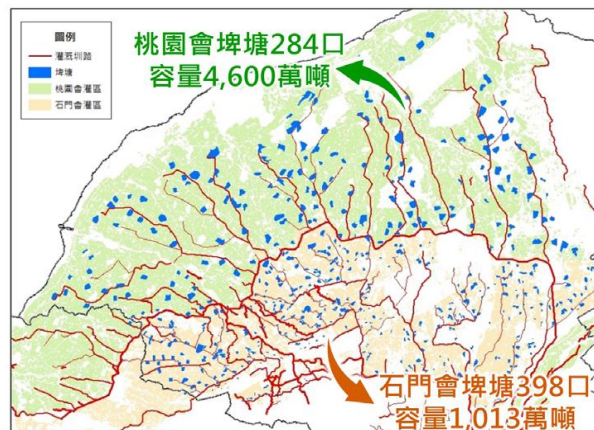
夜間離峰可結餘灌溉水量之計算，據研究顯示4，以夜間（20:00-04:00）灌溉水量之50%，蓄存於人工湖等調蓄設施，其餘50%之水量作為下游渠道之基流量。故**夜間灌溉餘水**可約以總灌溉水量之1/6為估計值。

據評估各管理處之**灌溉迴歸水**之潛能水量，每年約為30億噸，其潛在用水對象包括生活次級用水、工業用水以及地下水補注用水等。

埤塘串聯運用及新設小型蓄水設施

以連結水路與埤塘之「順藤結瓜」方式，調蓄穩定灌溉供水

- 桃園及石門農田水利會埤塘共計達**682**口，蓄水容量約**5,600**萬噸
- 透過埤塘與灌溉系統**串聯運用**，可提升灌溉水資源調蓄利用效能，更是抗旱時期重要備援水源之一



- 雲林農田水利會已完成之濁幹線調整池，透過蓄存夜間離峰水量，每年可增供**400**萬噸水量



資料來源:行政院農委會2016農業灌溉白皮書

■ 缺水期農業灌溉用水管理策略-水文自動測報系統建置

設置農田水利水文自動測報系統結合控制操作設備，其核心目的在於有效掌控有限的水資源，達到精確且合理分配灌溉水量及提高用水效率之目標，並提供灌溉用水調配之科學化操作依據，有效於枯旱時期節省灌溉用水量，並於颱風豪雨期間迅速反應以降低災損，應予持續推動辦理。



4.4強化預警應變制度

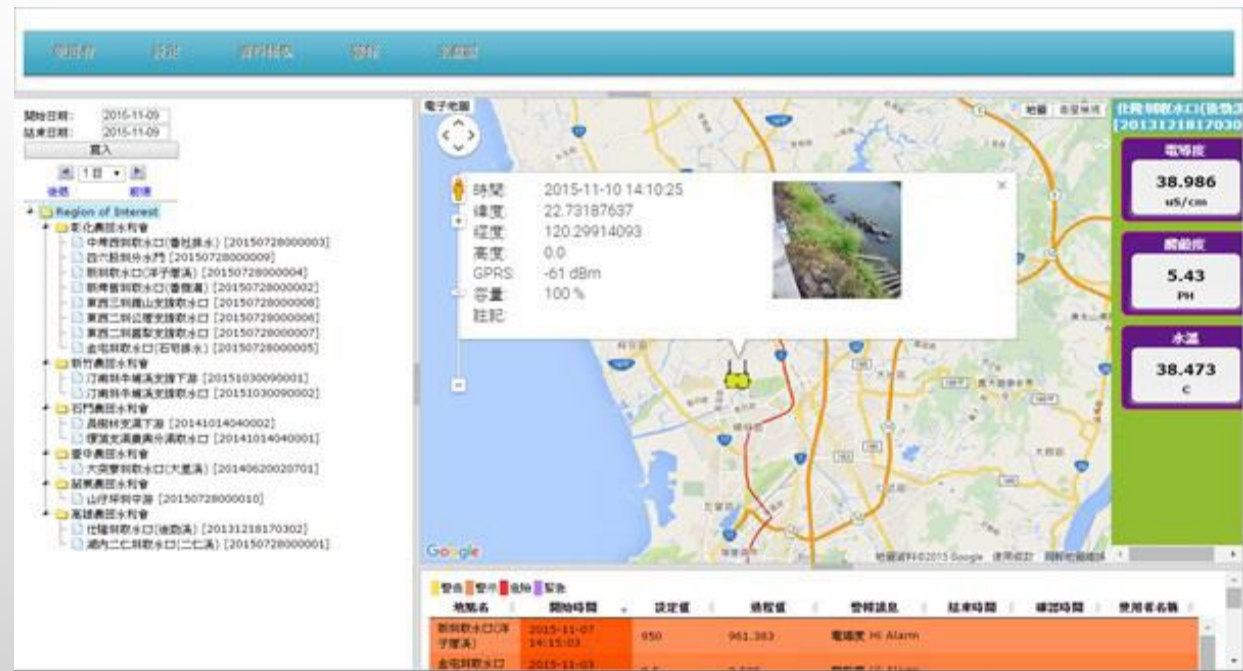
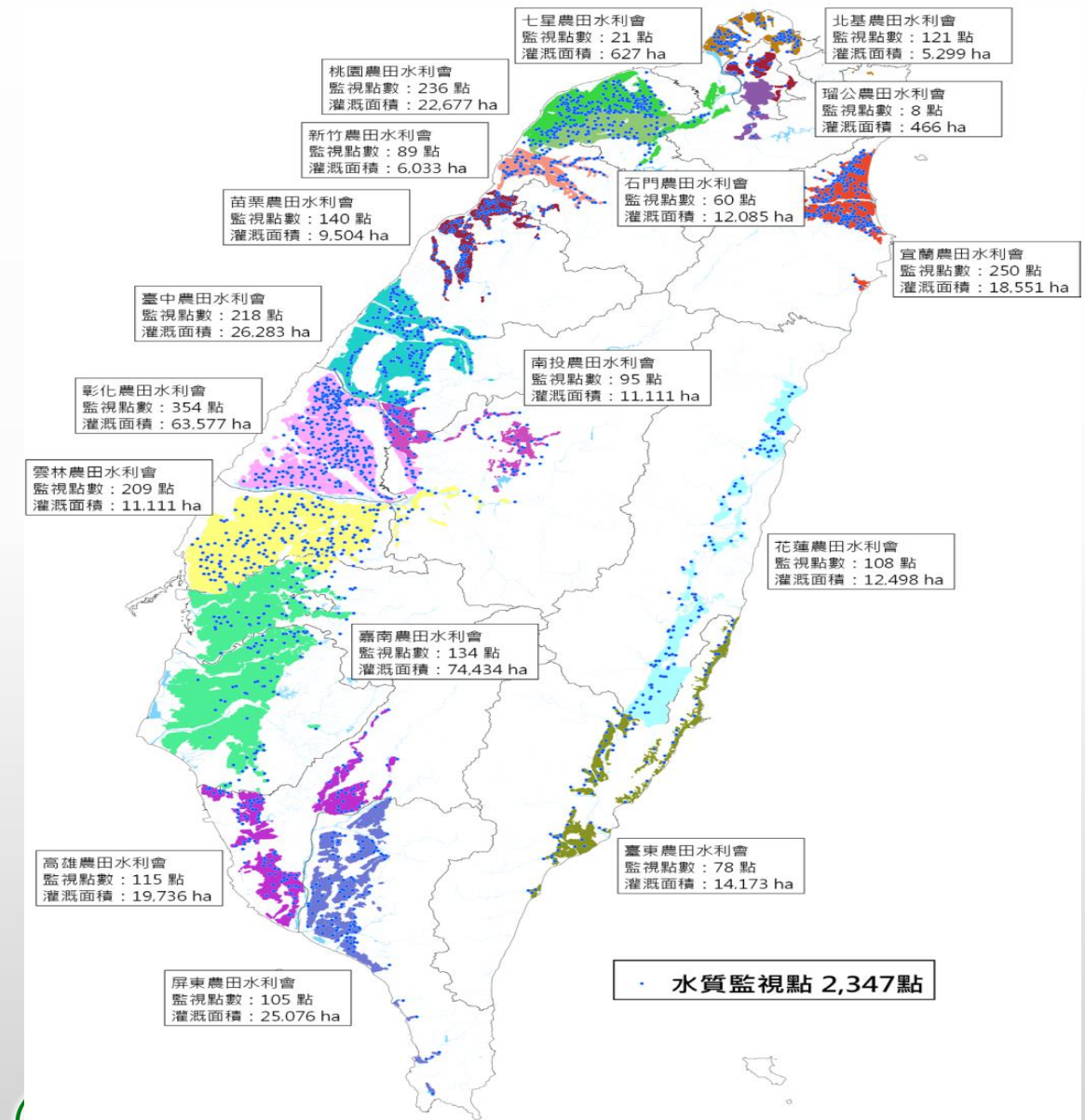
水資監測與水質改善

建構農業灌溉水資源智慧管理技術

農業乾旱預測和預警系統之研發

強化預警應變制度-水質監測與水質改善

(1/8)

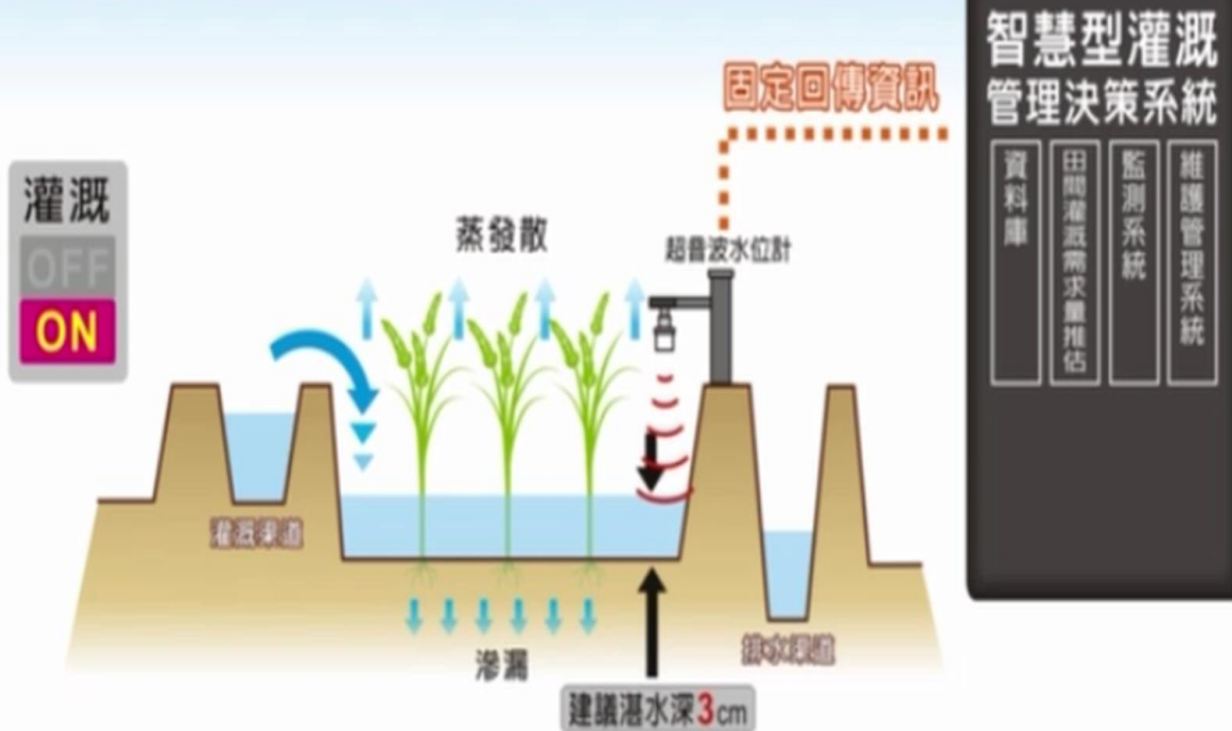


強化預警應變制度-農業灌溉水資源智慧管理技術

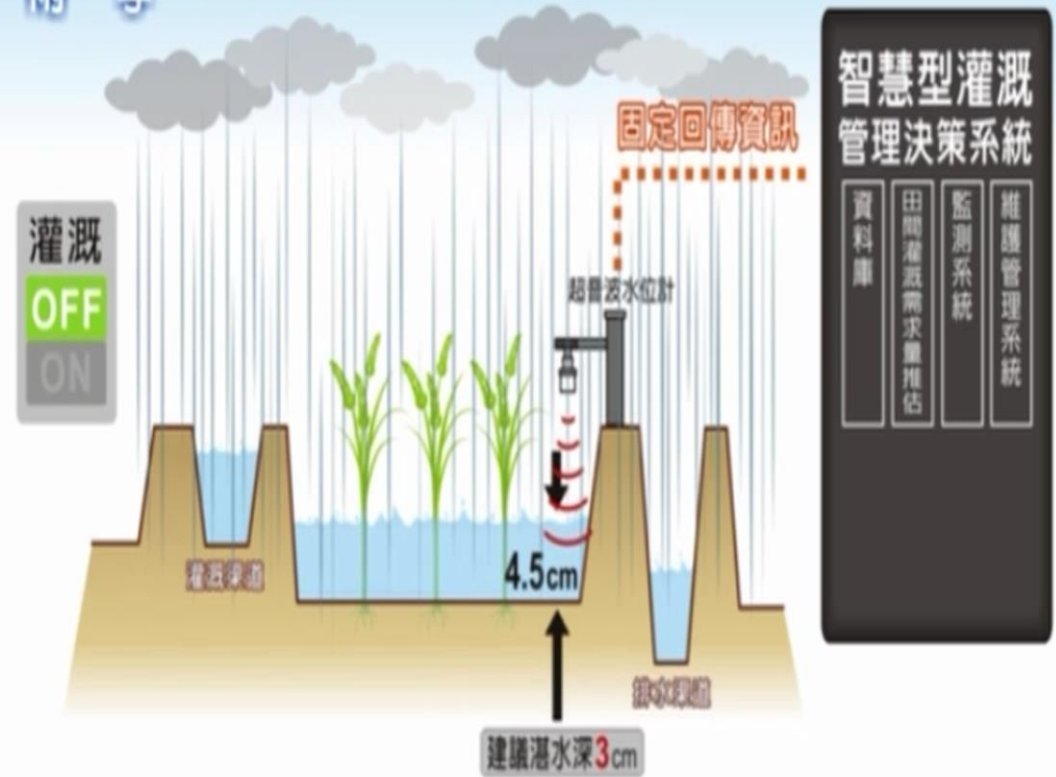
智慧用水管理--智慧灌溉之概念

- Paddy field

正常氣候



雨季

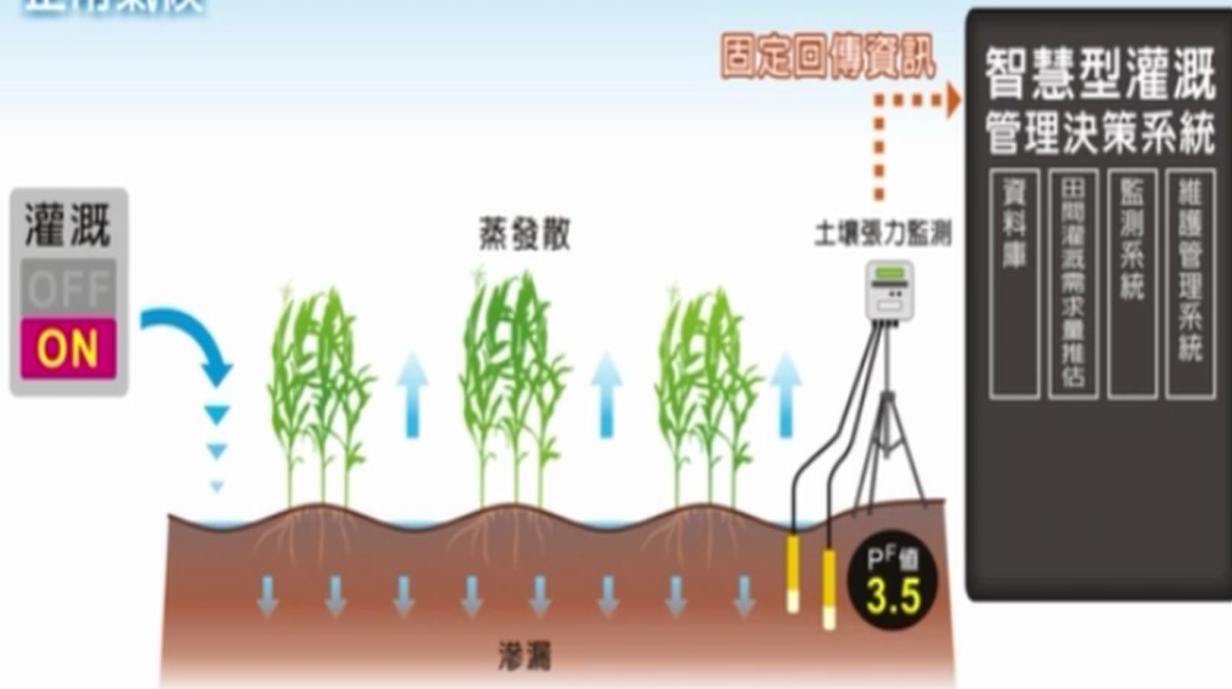


強化預警應變制度-農業灌溉水資源智慧管理技術

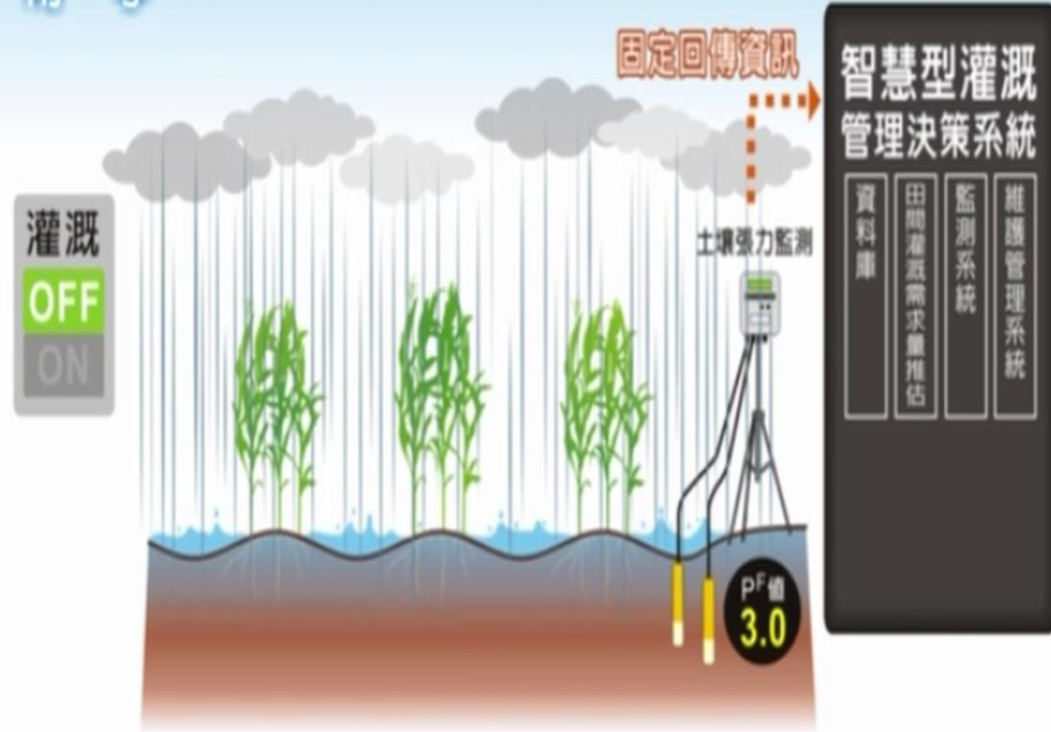
智慧用水管理-智慧灌溉之概念

- Upland crop

正常氣候



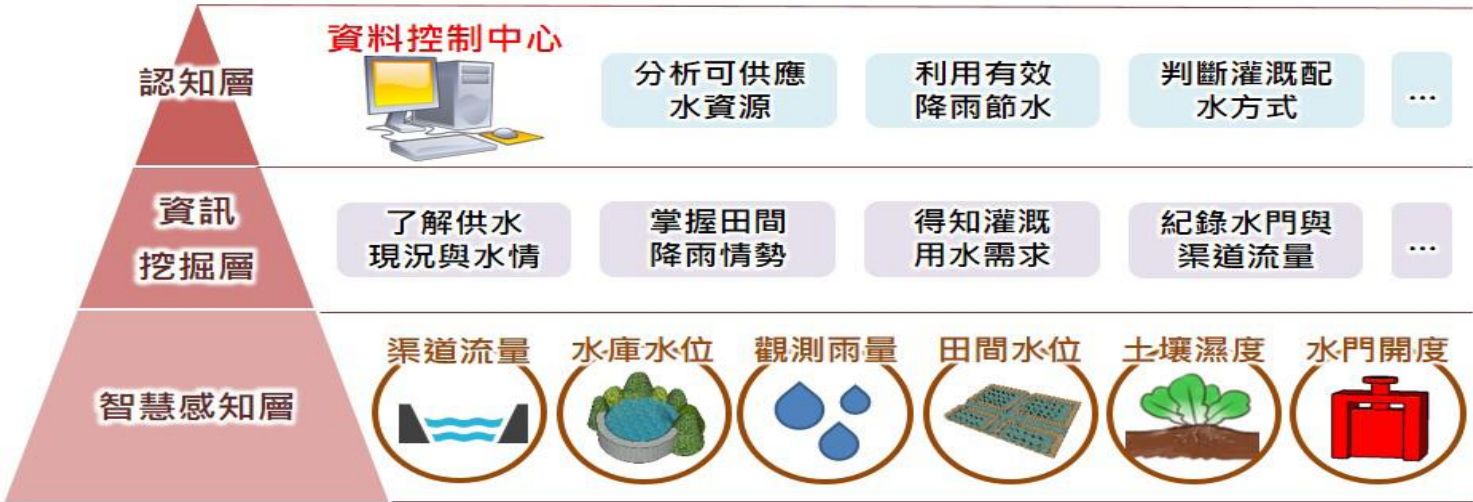
雨季



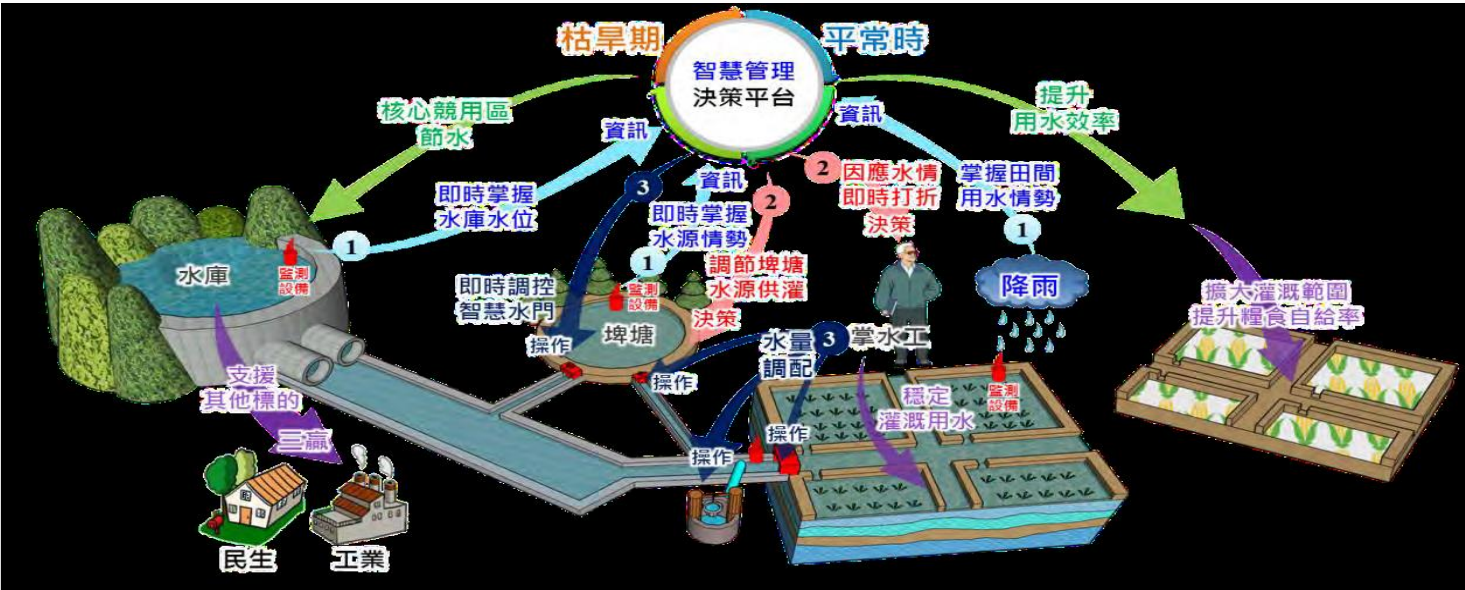
強化預警應變制度-農業灌溉水資源智慧管理技術

智慧灌溉技術研發及示範推動

智能化灌溉管理已為國際灌溉發展趨勢，台灣擁有完善之灌溉排水設施及管理組織，若結合農田水利自動測報與智慧控制設施，來輔助灌溉管理與決策，將可有效提並活用資通訊（ICT）、物聯網（IoT）與雲端技術升灌溉配水效能，降低缺水風險，**建議於水庫型灌區示範辦理。**



田間感測輔助智慧配水系統運作原理



以智慧灌溉系統進行科學化之智慧配水

強化預警應變制度-農業灌溉水資源智慧管理技術

➤ 國外

a) 日本物聯網水田灌溉應用--利用IT監控用於日本水稻強化系統IT field monitoring in a Japanese system of rice intensification (J-SRI)

一、現地說明

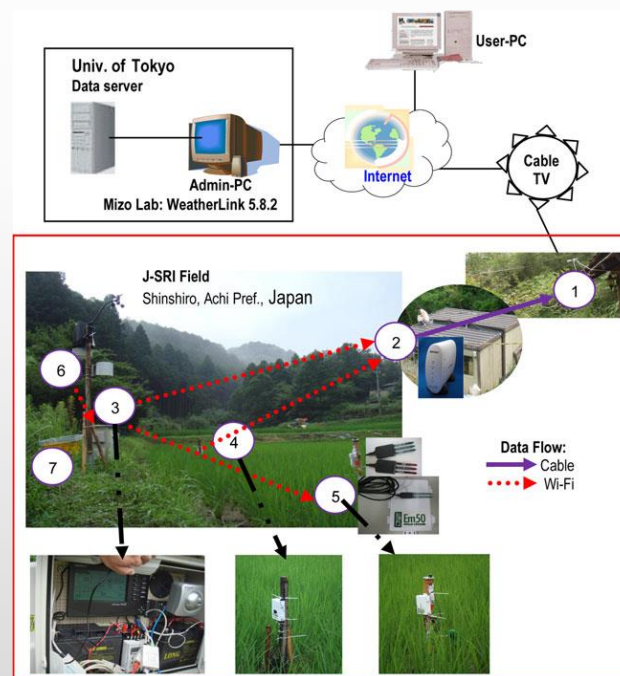
研究示範田在天然環境下進行，試驗面積為600m²，地點位在日本愛知縣新城市進行實驗。水稻生長季節為5~9月

二、IT監控系統的組成

如圖.1表示IT監控系統的組成，

透過現場的監控系統來收集實驗田的土壤和氣象資料。利用設置在東京大學的研究站來遠端獲得資料並記錄。

如圖所示，現場的基礎設施如下：1.有線電視、2.連接阜、3.連接氣象站阜、4.土壤濕度傳感器、5.Em50數據儀、6.氣象資料站、7.太陽能蓄電池。



強化預警應變制度-農業灌溉水資源智慧管理技術

三、節水效益與成本分析

由表1可以看出傳統與SRI的輸水量及節水百分比，研究的觀察其在開花階段終止，因此，預計從開花到成熟階段水量的投入來計算**SRI灌溉水量及節水率分別為650mm和25.71%**，節水率是根據傳統灌溉水量和SRI灌溉水量之間的差異來計算，對於傳統的灌溉水深是設定定值5cm水深，而SRI的灌溉水量是利用AWD方法，以水收支觀點動態調配水量，需考量因子為日作物蒸發散量、降雨量、土壤含水量等。

Table 1 Water input and percent of water saved

Stage of growth	Traditional water input (mm)	Sri water input (mm)	Percent of water saved
Nursery	30	30	
Land preparation	170	170	
Planting to panicle initiation	300	366	25.71
Panicle initiation to flowering	285		
Flowering to maturity	90*	84*	
Total	875	650	

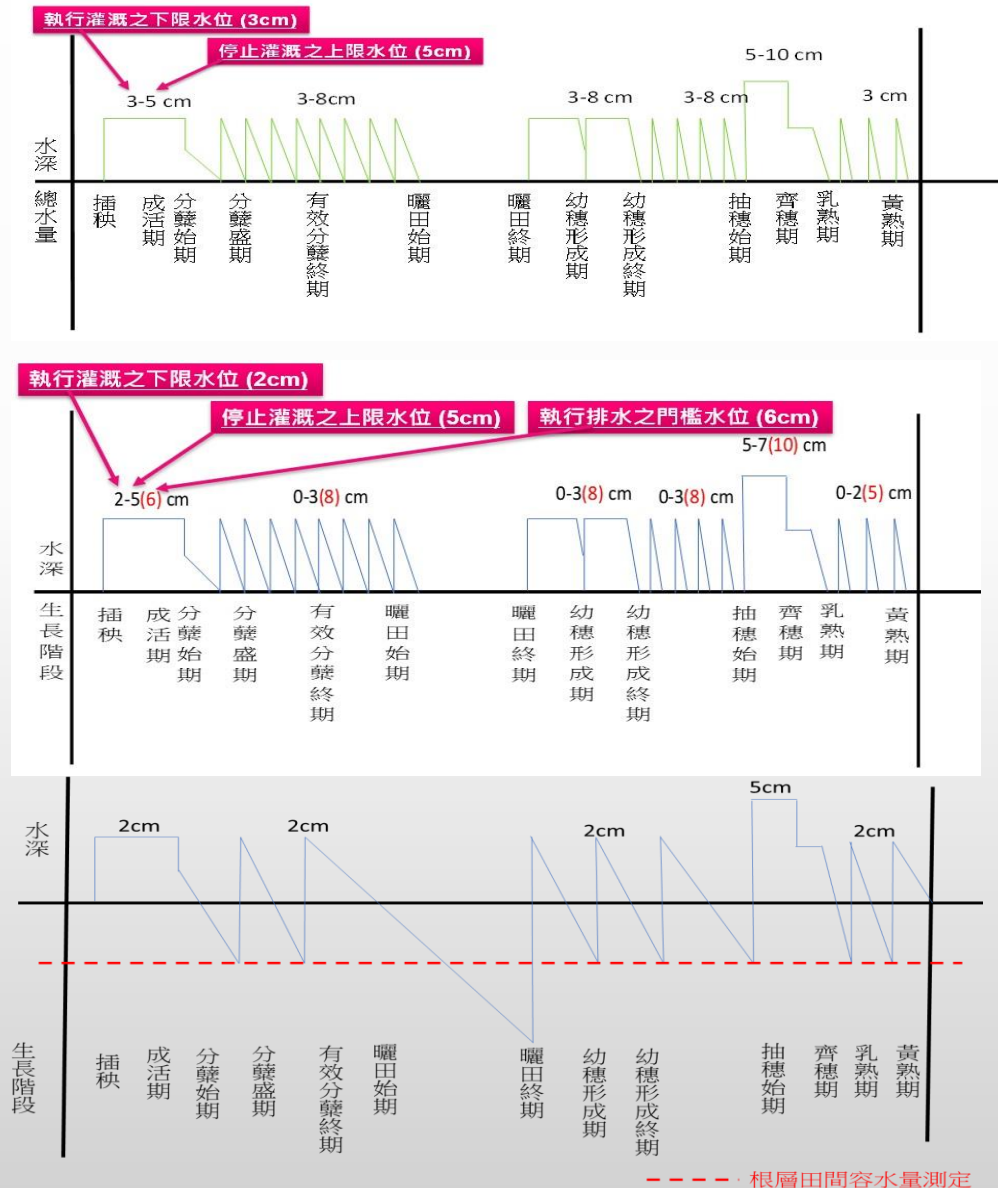
* Projected values

根據實驗的結果，該系統在偏遠的稻田環境下進行土壤的水分監測及氣象資料是有效且可靠的，透過即時圖像與數據結合，確實可有效掌控現地之灌溉用水情形。且**採用此種乾濕灌溉方式可以節省約25.71%的灌溉用水量**，根據研究期間的當前市場價格，監測系統的總成本約為2000美元。然而，預計監測系統的成本將會隨著時間的推移而下降，這將歸功於較大規模的生產和技術改進。對這種精心管理水資源的投資來說，將在經濟上變得更加可行。

強化預警應變制度-農業灌溉水資源智慧管理技術

智慧決策平台_水田電動閘閥啟閉控制決策邏輯--田區坵塊灌溉取水策略

- ❖ 以作物生理用水需求、有效雨量觀點，依水稻各生長階段用水需求試驗設計水田灌溉管理用水調控策略，希冀於確保作物產量下提升水資源利用
- ❖ 以修正生育度數法(MGDD)計算累積生長溫度，用以判斷水稻生長階段



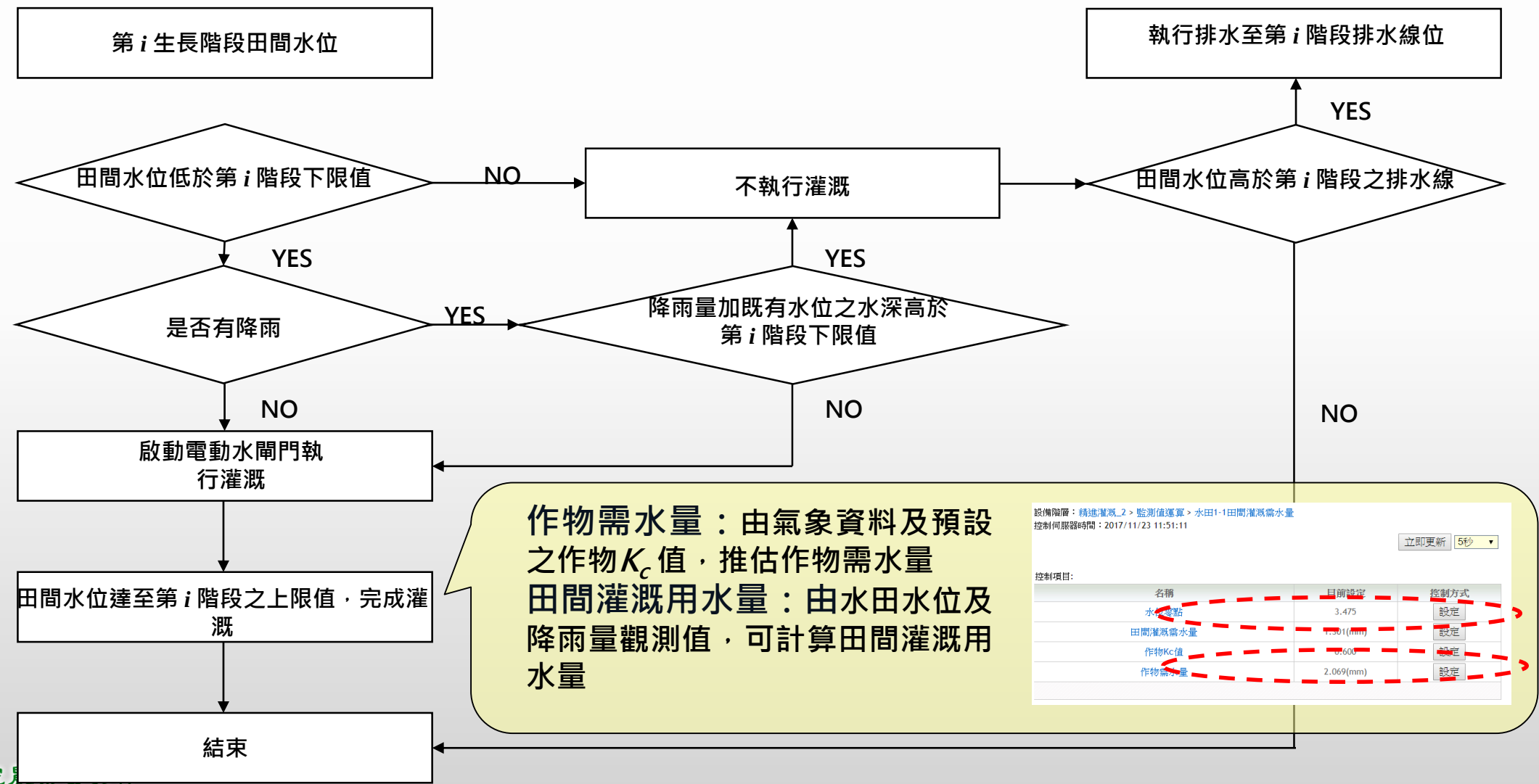
慣行農法下水稻各階段灌溉用水管理示意圖

修正式慣行農法水田灌溉取水策略

SRI水田灌溉取水策略:依作物與土壤等實際需水量設計水田灌溉管理策略。

智慧灌溉田區坵塊灌溉取水策略

❖ 田區水田閘門調控策略



強化預警應變制度-農業灌溉水資源智慧管理技術
智慧灌溉決策系統及APP系統



強化預警應變制度-農業乾旱預測和預警系統之研發

台灣因農業乾旱造成的損失有逐漸擴大趨勢，且因受氣候變遷之影響，乾旱頻率和強度也有所增加，研發農業乾旱預測和預警系統已為當務之急。

利用農業乾旱地圖與乾旱災害相關的預測資訊和灌溉設施的乾旱相關應對能力，評析乾旱之衝擊程度。農業乾旱預測和預警系統之建置，可提供當前和未來的乾旱情境評估，提供決策者即時之應變作為，將乾旱農業災損降至最低。

強化預警應變制度-戰情室灌溉供配水系統之研發

插秧後

支線別進水口計畫需水量 $Q_d(p, g1, g2)$

灌溉期支線別河川、埤塘、水庫水源水量 $Q_s(p)$

計算分組平均需水量 $i \cdot Q_d(p)$

輸入輪灌組數 n ·
 $n=1,2,3,4$ · $i=1/n$

Yes
No
 $0.75 \cdot Q_s(p) \geq i \cdot Q_d(p)$

Yes

No
Yes
 $0.75 \cdot Q_s(p) \geq Q_d(p, i, j)$

計算 i 分組各分組需水量
 $Q_d(i, j)$ · j 為 i 分組之各組編號

灌溉期分為 n 階段

$n=1$

正常配水、啟動補助水源

$n=2$

兩區輪灌、啟動補助水源

$n=3$

三區輪灌、啟動補助水源

$n=4$

四區輪灌、啟動補助水源

最佳化

公平合理
適時適量
保障供灌
較低成本



4.5健全水資源利用制度

- 乾旱時期農業灌溉用水原本就已不足，此時若加以移用，以農業本身立場而言，對糧食生產結構定然會構成威脅，就國家總體生存環境而言，因農業灌溉用水具有生產、生活及生態之三生功能，若遭破壞，則無形中必須付出鉅大之社會成本。
- 配合國家政策調度農業用水作為民生與工業用水之支援，應秉持農業用水以農用為優先，以短期及暫時性為原則。
- 避免長期調用農業用水；應仿效美國與日本等國不因工商業的發展而忽視了農業需求，尊重農業歷史水權的作法；加速本國「水利法」與相關法規之修訂，不要隨意削減農業水權，務實處理水量問題，讓管理處可透過加強灌溉管理模式節約農業用水支援其他標的使用。
- 建議將農業用水調度要點提升至法令層級，健全農業用水調度整體機制，應可提高農田水利會節水誘因及確保農民權益。

水-糧食-能源(W-F-E)

-水庫至水稻田間供水的能耗相關性分析

- 由於氣候變化、人口增長、城市化和資源枯竭，對水、能源和糧食等基本資源的需求不斷增加，全球資源安全危機正在出現，這些資源的供求不平衡。因此，必須持續地保障和利用有限的資源，以應對未來的環境變化，不僅是東南亞國家，亦是全球性議題，包括韓國也在內，而且在世界上有70%以上的水供農業使用，約15%的能源被農業所消耗。
- 透過W-F-E Nexus進行永續性水管理，其目標是通過水、糧食和能源之間的平衡提高用水的可持續性。
- 開發“水-糧食-能源Nexus平臺”(Smart Nexus for Agriculture in Korea, SNAK)，SNAK建立的Nexus系統動力學由糧食生產系統、水資源、能源供應系統和碳排放類比資源使用等組成，針對該模型，分析重力與抽水灌溉系統供應的農業用水，藉以評析糧食生產與能耗之關聯性。



05 | 結論與建議

結論與建議(1/2)

- 農業灌溉用水應就「水—糧食—能源」觀點，配合國家整體發展、「全民農業」政策及農業結構調整作整體綜合規劃管理，永續利用管理農業水資源，符合國家發展需要及世界先進發展理念趨勢。
- 糧食安全與農田永續利用為國際重要議題，尤其在極端氣候發生頻率與強度增加下，台灣亦不能免於嚴重乾旱之威脅，如何在既有專業灌溉基礎下善用科技技術，強化缺水期水資源調配與利用效能，乃為現階段國際灌溉發展趨勢。
- 強化地面水與地下水聯合運用，增加區域供水能力，以提升農業灌溉供水穩定度，確保農業生產及糧食安全。
- 確保水田之水權，兼顧生產、生態及生活，並建立合理移用農業水資源制度。

結論與建議(2/2)

- 強化更新改善老舊灌溉設施及水路巡查維護，減少輸配及漏水損失。改善取水設施及蓄水設施，提昇取水能力及蓄水能力，穩定水源供應。
- 持續推廣省水管路灌溉技術及研發本土化管路灌溉器材(噴、滴灌)，配合精緻農業發展，。
- 加強灌溉用水水質維護，確保農業生產環境安全與農產品品質。
- 廣設調蓄設施，有效調配利用水稻灌溉之節餘水及因應氣候變遷。
- 強化抗旱應變措施，建立農田水利災害預警系統，落實因應氣候變遷之水資源分區風險管理；建立用水、儲水及調度機制，增進農業水資源運作效能。



簡報完畢

敬請指教

