

9 水稻深水灌溉與乾旱期的用水管理

甘俊二

國立臺灣大學生物環境系統工程學系

E-mail:kce@upland.ae.ntu.edu.tw

摘要	106
壹、前言	106
貳、研究方法與結果分析	107
參、深水灌溉的優點	109
肆、乾旱時期用水管理	109
伍、結語與建議	111
陸、參考文獻	113
英文摘要	114

9 水稻深水灌溉與乾早期的用水管理

甘俊二

國立臺灣大學生物環境系統工程學系

E-mail:kce@upland.ae.ntu.edu.tw

摘要

近年來臺灣地區新水源開發日益困難，而非農業用水需求急速增加，可利用的水資源日漸不足。有鑑於此，本文提供一個維持現有灌溉排水渠道的方法—深水灌溉，以期能提高現有水資源的利用率，解決水資源短缺的問題。另外對乾早期之農業用水調配方式作一探討。

關鍵詞：深水灌溉。

壹、前言

近幾年來，由於全球性的不景氣及臺灣地區泡沫經濟雙重影響之下，臺灣地區的經濟情況大幅衰退。爲了促進臺灣地區以高科技爲主的經濟產業蓬勃發展，已於民國九十一年初加入WTO（世界貿易組織）。然而加入WTO必須大量撤除關稅與非關稅貿易障礙，因此對於部分相對於國外較無競爭力的產業而言，原本政府對外課徵較高關稅的保護傘一一消失。這些產業若無法及時調整腳步，轉變經營型態或開發新技術來提升其國際競爭力，便會面臨虧損甚至倒閉的危機。

農業是立國之本，尤其是水田，對國家總體經濟之效益，除卻農家從水稻灌溉「增產」獲致之「私效益」外，平時對「國土永續利用」、「水循環生態方面」，尙兼

具有「調蓄洪水」、「補注地下水」、「綠美之環境」、「水之淨化」、「大氣氣溫之調節」、「氧氣之補給」等「公效益」貢獻；另外在乾旱時期，對缺水地區國民亦可以提供生活用水不足時之「支援用水」貢獻，其存在的價值絕非其產值所呈現的數字可比擬。近年來行政院農業委員會積極推動「種水政策」，希望在未來能將雨季及平時多餘水量引入剩餘的水田面積進行蓄存，強化水田的調蓄洪水功能，提供枯水時期農業甚至其他用水標的儲備用水。水田的蒸發散量亦能補足正常之大氣中水分，創造親水環境空間及穩定大地之適宜氣溫，藉以維持原有水田之生態及生活機能，避免造成水田大量休耕後，形成區域環境的失調。

本研究之主要目的，擬配合上述種水政策之推動，針對有關水稻深水灌溉相關之技術從事研究，深入瞭解並評估臺灣實

施水稻深水灌溉之可行性，並維持原有的糧食生產功能。日本過去之水田灌溉水深亦跟我國一樣約為6公分，然而因其氣候較冷及為了改善農村環境，目前灌溉水深已逐步提高，甚至有達20-30公分之高者。故本研究希望藉由實驗來控制水深，觀察其對水稻生長之影響，以期做為未來實施「種水政策」及推廣深水灌溉之參考。

貳、研究方法與結果分析

本研究為了深入瞭解水稻深水灌溉之技術，特別蒐集了國內外相關文獻資料及報告，在臺大農場滲漏計實驗田(Lysimeter)種植水稻，田區共有三塊；每塊面積6平方公尺(長4公尺、寬 1.5公尺)，田埂以混凝土砌成，形狀規模均勻，坐向呈坐西朝東，田區四周有塑膠布包圍可以不考慮天然的降雨，直接由水龍頭引自來水充作灌溉用水並控制水深的變化。插秧之前先使土壤泡水浸軟一星期左右，開始為期120天左右的生長期距，希望藉由開始種植、觀測，並擬定以下各項之工作項目，藉以完成研

究。

一、相關資料之蒐集與分析

(1)蒐集國內外對水田灌溉之時態資料及文獻。

(2)從水稻栽培之自然環境、灌溉用水型態、歷史背景，分析水田灌溉之各種可能機能。就其功能及貢獻藉由實驗輔助，達到有力的宣導效果。

二、探討深水灌溉對水稻生長之影響

(1)規劃包含A區(機耕深水)、B區(正條密植深水)及C區(機耕淺水)，以進行實驗比較之。

(2)實驗、觀測深水灌溉後對水稻不同生長期之影響。

(3)觀察、比較深水灌溉對稻米之品質及產量之影響。

以下為試驗期間幾項重要數據：

根據表1，三區產量推算之結果，以產量而言，由A、C區可看出深水明顯比淺水少了20%，而由A、B區則可看出正條密植產量又比機械耕種少了15%。再以品質來

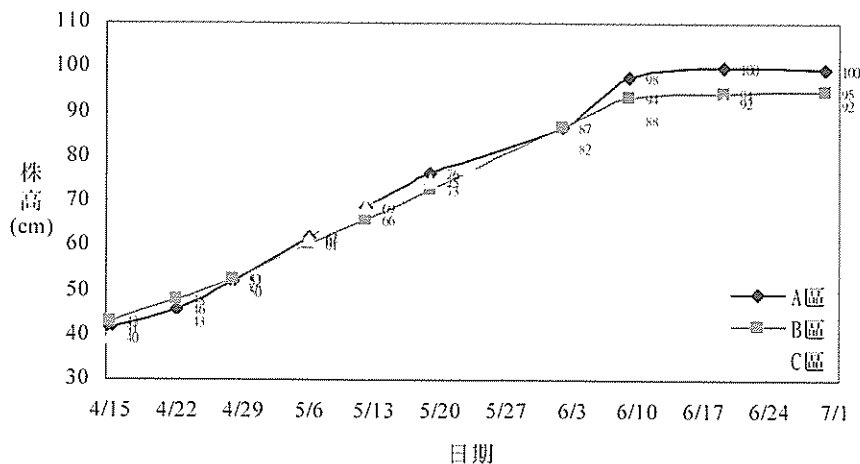


圖1. 三區不同生長期之平均株高圖。

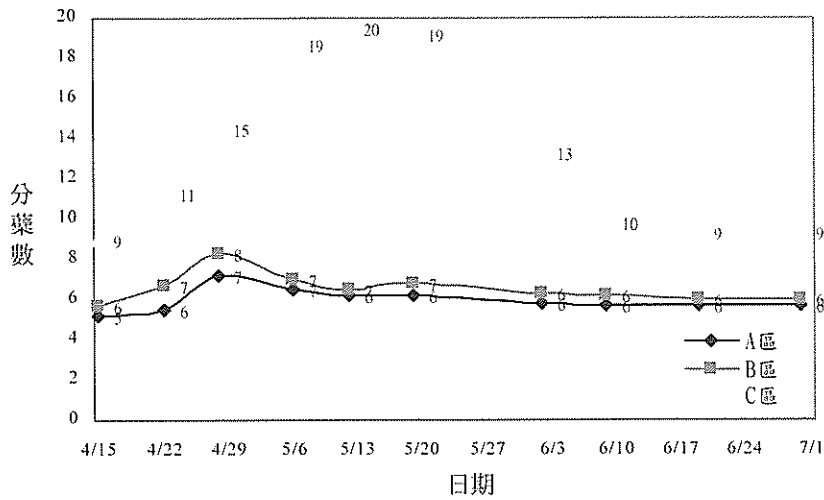


圖2. 三區不同日數的平均分蘗數圖。

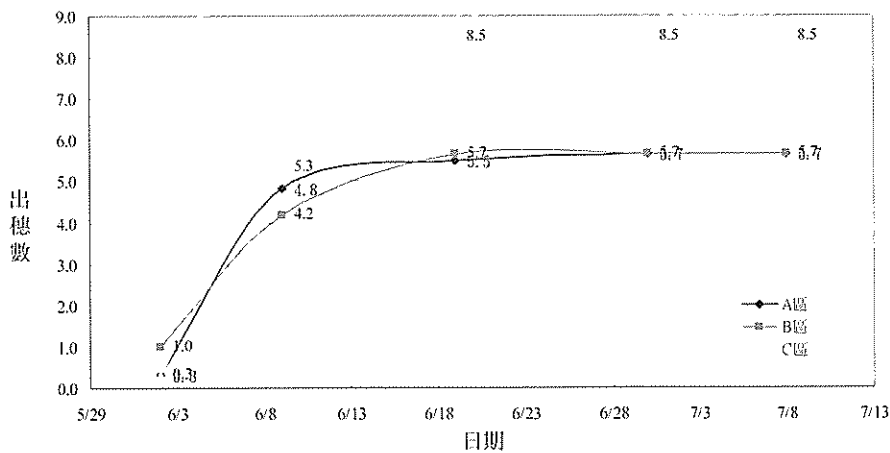


圖3. 三區不同日數的平均出穗數圖。

表1. 三區個別之產量。

編號	名稱	A區	B區	C區
(1)	成熟穗數(支)	5.33	5.50	7.00
(2)	每成穗之粒數(粒)	70.20	70.10	68.40
(3)	千粒重(克)	25.69	25.25	25.52
(4)	每平方公尺之株數(叢)	20.00	17.00	20.00
(5)	每平方公尺之重量(公斤)	0.1923	0.1655	0.2444
(6)	每公頃之重量(公斤)	1923	1655	2444

註：(5)=(1)×(2)×(3)×(4)÷(106)，(6)=(5)×10000。

觀察，A、B、C三區不論在千粒重或飽實粒百分比均無明顯差異。這樣的推估結果可以發現深水灌溉後及一般淺水灌溉除了產量之外其餘差異不大。原因可能是深水灌溉抑制分蘖，使得分蘖數過少，出穗數自然也就跟著變少。此點或許可以在稻作分蘖期時多加留意水深的控制來改善。

參、深水灌溉的優點

深水灌溉的優點很多，以下針對稻作本身、灌溉管理及生態環境等三大項目分別說明：

一、對稻作本身的優點

1. 抑制分蘖：水深高過分蘖點，可抑制分蘖長出新芽，增加收穫量。

2. 水溫的變化少：深水水體保溫能力佳，每日溫差變化小，對於寒冷時期有利水稻生長。

3. 寒害的防止：氣溫偏低的环境，深水有助於保溫，因而幼穗在深水被完全蓋住，比較不易受到冷害。

4. 強風之影響：深水灌溉對於整株水稻有保護作用，不容易被強風吹垮產生倒伏現象。

5. 雜草少：深水可以抑制雜草的生長，水深高雜草無機會著床滋生，因此水稻吸收養分多，收穫自然增加。

二、對灌溉管理形成的優點

1. 減少掌水工人力：由於灌溉水深的提高，使得灌溉期距拉長，灌溉次數自然而然隨著減少，掌水工工作負擔大大降低，人力需求跟著減少。

2. 降低除草人力：深水可以抑制雜草的

生長，水深高雜草無機會著床滋生，除草人力物力需求自然減少。

3. 降低缺水期的風險：若將水稻田比喻成一輛車，則田間儲水量即是汽車的油箱，油箱越大，所能裝載的油料便越多，發生車子因為沒油而無法行駛的機會便越小。

三、對生態環境形成的優點

1. 調節微氣候：由於水的比熱大，不容易隨著環境氣溫的改變而改變，若能大面積實施深水灌溉，對於緩和周遭環境溫度避能有極大助益。

2. 提高地下水位：提高灌溉水深後，由於水壓提高，故入滲至地底下的水必然增加，久而久之必能為地下水位逐年降低的地區解決困擾，減少地層下陷的危機。

3. 降低稻作無水可用的風險：由於灌溉期距拉長，於兩次灌溉期間下雨的機會越大，田面無水的情況便越少。

4. 保育濕地：由於深水灌溉，使得水田長期處於湛水狀態，能夠提供多樣物種棲息及繁衍的空間，亦能給予附近居民一個免費享受田園之美的親水空間。

5. 降低水田下游淹水的機會（圖4）：現階段臺灣地區農民每逢颱風入侵之前，均會預先將田間之檔水隔板去除，讓田裡面的水流掉，以避免颱風所挾之龐大雨量淹沒稻田。實施深水灌溉後，遇颱風來臨，非但不用將隔板去除，反而還可將隔板加高至40cm，蓄存至少15cm的雨水，再加上原有之 $23\text{L s}^{-1}\text{ha}^{-1}$ 排水能力，預料應可以大大減少水田下游淹水的次數。

肆、乾旱時期用水管理

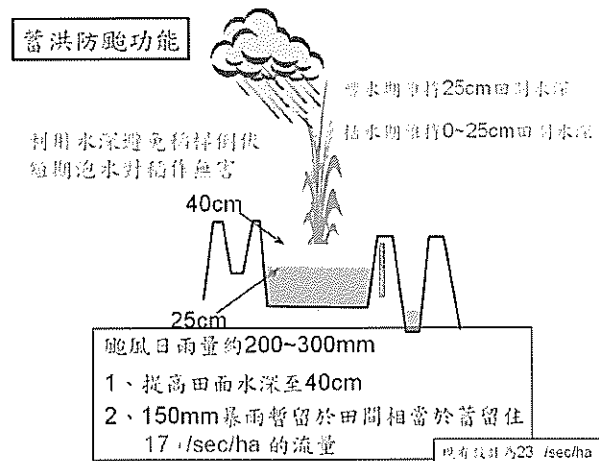


圖4. 深水灌溉之蓄洪防颱功能。

臺灣地區雖然擁有2,500mm的年雨量，但時空分配極為不均，故時常有旱災產生；再加上農業產值遠比工業為低，水量不足時往往第一個被犧牲的就是農業，更別提要其他標的支援農業用水了。所以農業必定要有一套自救的辦法，希望能在有限的水資源下，獲取最佳的收益。以下便提出數種農業在乾旱時期之對應方式：

一、輪流灌溉

簡稱為“輪灌”。為根據用水計畫，在適時適量依序供水之灌溉方法。多用於水稻灌溉，依實驗其用水量將較自古以來所習用之繼續灌溉方法節省用水17%-50%，而不減少水稻之單位面積產量。輪灌是間歇灌溉法的一種。輪灌法任何地區均可實行，惟輪區單區有明確劃分，且種植作物別統一，種植之時期應配合供水計畫。

二、非常灌溉

非常灌溉是一種臨時的灌溉方法，又稱“間歇灌溉”。當灌溉水源枯減至灌溉需

水量40%以下，既不能全面續灌供水，亦無法按輪區單區順序依時供水時，為減輕災害損失，採用這種臨時的灌溉方法，依據臺灣省灌溉事業管理規則第十七條規定，其供水順序為：

- (一)農作物生長期間迫切需水之田地。
- (二)用水少而生產量多之田地。
- (三)接近水源而圳路滲透損失最少之田地。

其方法又分為下列三種：

(一)減水深法：

視水源水量實際減少程度，依照配水比率減少各系統之配水量，至於田間灌溉則仍維持原訂輪距，以減少水深執行之。例如某系統原計畫灌溉水深12公厘/日，輪距五日，若水源減少30%時，灌溉水深應減為8公厘，輪距仍維持五日。

(二)輪距延長法：

視作物生育階段，在不影響作物生長之原則下，維持原一次灌溉水深，延長輪距實施配水。如原輪距五日，延長輪距為

八日。灌溉一次之水深不變。

(三)減少灌區面積法：

水源銳減至上述方法無法執行時，則停止部分農田配水，其處理方式可分二種：

1.集中法：將水量集中灌溉於滲漏最小，效率最大灌區。

2.平均分配法：停止供灌面積，依水源水量減少程度，按配水比率分配於各支分線系統。

伍、結語與建議

一、結語

1. 本實驗之水深除曬田外長期處於灌水狀態，淺水灌溉之水深與深水灌溉之水深兩者對照下，以不考慮排水而言，兩者水深之差距在有效分蘖結束至黃熟期這段期間可高達10至19cm左右，換算成蓄存於水田面積內，表示田間可再多蓄存之水量。以現階段臺灣地區水田面積35萬公頃而言，灌溉水深提高至25公分，田間有效蓄水容量達8億7千5百萬噸，可增加調蓄雨水的容量。

2. 近藤氏之報告指出，分蘖期最適水溫32-34度、穀粒形成最適水溫30度。此次實驗生長期內平均水溫少有超過30度，尤其在分蘖的時期，溫度都在20-25度左右及環境地力之影響，的確對水稻分蘖比較不利，以致於分蘖數不是很多。而分蘖的開始有延後發生的現象，本來一期作一般是在第20天左右必須分蘖，北部的天氣因為適逢溫度處於比較偏低狀態，平均來說分蘖還是延後幾天之現象。平均分蘖數以C區最多9支、A區6支、B區6支，對於深水灌

溉來說抑制其分蘖數的生長是這次滿重要的關鍵，顯然深水的高度有抑制分蘖的可行性。由此，若能利用深水抑制分蘖數的特性，適量控制水稻分蘖數目，集中水中營養成分給各個分蘖，盡量使每個分蘖皆成為有效分蘖，如此應可以增加水稻的品質與產量。

3. 日本是屬於中高緯度的國家，環境氣溫自然比臺灣偏低，而在日本水稻生長期長只有一期作，所以日本強調深水有保溫作用乃在於保護稻株避免受凍害，而我們的數據是取其平均數值，水溫差異不大也屬正常，但單就寒冷天氣做觀測時，也不難發現深水的保溫效應也是合理的。

4. 在實驗田A區(機耕深水)、B區(正條深水)、C區(機耕淺水)，我們有分別擺置了量測水深變化的標尺，雖不是很精密的儀器，所以也只能概估水深變化量；我們所觀測是以看水面下降多少做紀錄，而觀測誤差在合理範圍內可以忽略不計，而觀測的資料換算成一期作平均120日生長期的需水量，A區439.5mm、B區453.0mm、C區399.0mm，深水灌溉頂多需要再多40-50mm的需水量。如果扣除人為觀測所佔的誤差，所得的結果實屬合理。

5. A區在每成熟穗的平均粒數是70.2粒，B區在每成熟穗的平均粒數是70.1粒，C區在每穗成熟的平均粒數是68.4粒。而依稻穀千粒重的資料，我們也是就剛才提到區分飽實的顆粒及未飽實的顆粒，因為生育調查株數所結穗的穀粒並沒有完全超過1000粒，所以每區調查部分以亂數方式挑出100粒秤重，共秤三次取其平均值，就當作我們量測穀粒的千粒重；A區平均25.69克、B區平均25.25克、C區平均25.52克，平均粒數及千粒重變化雖然只是有些微的

差距，結果差異不大。

6. 本實驗之結果顯示，深水灌溉的情形和比淺水灌溉差異性不大，經過長期深水浸泡不僅雜草減少，減少不必要的人工，而排水是滿重要的問題，沒有在適當時機放水促進土壤空隙養分的交換，但如果排水又造成無法抑制分蘖數，所以處理過程的拿捏是要多花心思研究。考慮到是深灌的條件下，完全依照自訂灌溉水深不減水的情況，一來分蘖數可以有效控制不置於產生太多無效分蘖，二來水深高，雜草被覆蓋過難以生存，對低產值水稻可以減少不必要的開支。

7. 深水灌溉有關雜草的防治分為兩個階段，一為剛插秧水深尚未提高時田面所長的『陸草』，水深的提高後即被水淹沒而死去；另一為水深提高後所長的『水草』，收割時期田面無水自然死亡。兩者皆提供了部分有機肥料的來源。

8. 目前臺灣地區水稻栽培成本相當高，原因當然很多，灌溉次數過多亦為主要原因之一。若能實施深水灌溉，則灌溉期距可大幅拉長至20天以上，大大減少了灌溉時所需的掌水工人力。大幅降低灌溉成本，以減少加入WTO後外國低價米大量傾銷的影響。

9. 休耕田挖溝蓄水亦為本研究的新概念之一，本研究試驗結果雖不盡理想，卻也得到部分結論。以挖溝方式破壞部分水田牛踏層來加強滲漏的想法間接獲得應證、提高水頭壓力以加快入滲速度等。若能於豐水期時大量引入餘水置於休耕田中，並加速其地下水補注的功能，除了減緩超抽地下水所造成的弊端外，遇缺水時，尚可抽取地下水以應燃眉之急。

二、建議

1. 本研究證明了臺灣地區深水灌溉的水稻得以存活，但此類型的試驗應持續進行，在不影響水稻生產之前提下，若要獲得更佳之水稻產量則必須結合農改場專家深入研究探討，經過反覆試驗始能得到合理之效果。

2. 這次水稻深水栽培之實驗滲漏計試驗田模擬，由於研究執行只是第一期作，除了種植經驗並不甚多，而且在環境地域上的選擇並不是一般農民實際耕作的田地，所以在灌溉管理操作上恐有疏漏之處。未來相關計畫研究之推行最好能配合大區域的栽培為目標，並推廣給農民水稻深水灌溉的概念，相信對於未來水田面積減少，在生產供給面的維持還是可以有穩定的水準。

3. 因應加入WTO後，歐美等國外大量低價米傾銷，國內水稻灌溉管理方式勢必有所改變。研究國外米價能如此低廉的原因，主要是農田規模相當大，機械及灌溉管理效率相當的高。若能搭配深水灌溉有機良質米及擴大農田規模兩方案，既可大幅減少耕種成本，也能提高稻米品質與價格。如此，WTO對國內稻農的衝擊必能降到最低。

4. 本研究提倡之深水灌溉主要目的，是為減少包括農、工、民生各種標的用水短缺的情況。而日本方面提高灌溉水深的目的則是為減少水稻受寒害的影響、增加產量及促進品質的提昇。雖然本次試驗結果深水灌溉產量明顯減少，但若與日本農業多加交流，一定可以兼顧水稻產量、品質及增加水資源利用率等多個優點，希望有關單位能重視此一問題。

5. 水稻田除了涵養地下水源、調蓄洪水、減低下游排水尖峰流量之外，其他尚

有生態及生活性功能，如淨化水質、調節微氣候等效益，應加以深入研究並予以重視。

6. 由於農業產值較低，乾旱時期往往是釋出水源的一方，更別提要其他標的支援，故如能利用極少水量灌溉大面積的方法，一方面能不影響農作物收成，另一方面甚至可以支援其他標的的用水。

7. 任何節水灌溉的方法，皆會使土地漸漸鹽鹼化，對於農業之永續生存而言是一大傷害，需要更多的水加以淋洗才能加以回復，不宜經常使用。

陸、參考文獻

- 張建勛。1970。臺灣之水稻灌溉。水資會，臺北市。
- 臺灣之水稻灌溉。1970。中國農村復興聯合委員會水利工程組及國立臺灣大學農學院農業工程學系，臺北市。
- 臺灣之水稻灌溉。1970。水資會，臺北市。
- 盛澄淵。1971。肥料學。
- 莊精銳。1971。灌溉管理。
- 汪呈因。1974。稻作學與米。
- 施嘉昌。1976。水稻清、濁水淹浸損失試驗研究總報告。
- 陳買。1977。水稻栽培灌溉排水管理。
- 張正賢。1988。稻作學精要。
- 星川清親。1994。水稻增收技術，家之協光會。
- 吳富春、許銘熙。1995。水稻田之生態與環境。農工學報。
- 甘俊二、張煜權。1995。三生水田利用。農工學報。
- 吳淑麗。1996。水田對三生功能效益估算模式之研究。
- 施嘉昌、徐玉標、曹以松、甘俊二。1996年。灌溉排水原理。
- 中國農業工程學會。1996年。超量灌溉對環境影響之研究。
- 林啓超。1997。水田灌溉用水之迴歸利用。農工學報。1997。永續農業—三生水田灌溉之芻議。
- 游文俊。1998年。日本農業政策對水稻田經營規模之影響。淡江大學日本研究所碩士論文。
- 水稻灌溉用水。1998年。農田水利教材—水田灌溉。
- 水稻栽培。1998年。農田水利教材—水田灌溉。
- 湯松義。1999。灌溉排水實習手冊。
- 湯松義、謝騰輝。2000。水稻栽培新技術之探討。
- 詹錢登、周乃昉、蔡長泰。2000。水稻田地下水涵養及調蓄洪水功能評估。東亞2000雨水儲蓄利用研討會論文集。嘉南地區農業用水他利用之研究。
- 黃昱舜。2001。水田深水灌溉可行性之研究。
- 經濟部水資源局。2001。岡山地區農業節水方案之擬定。

Deep-water Irrigation and Water Management During Drying Period in Rice

Chun-E. Kan

Department of Bio-environmental System Engineer, National Taiwan University,
Taipei, Taiwan (ROC)

Abstract

As the development of new water sources in Taiwan is becoming more difficult in recent years, while the demand for non-agricultural water sectors is increasing rapidly, the availability of water resources is thus becoming insufficient. In order to make more efficient use of the limited water resources, a deep-water irrigation system, which can be applied under current irrigation and drainage ditches, is proposed in this study. We also discuss the way to allocate agricultural water during the drought season in this study.

Key words: Deep-water irrigation.