農業工程學報　第 57 卷第 2 期
中華民國 100 年 6 月出版

Journal of Taiwan Agricultural Engineering
Vol. 57, No. 2, June 2011

專　論

運用 ArcMap 區域統計法及遙測影像分析農地利用及灌溉需水量

Application of ArcMap Zonal Statistic Method and Remote Sensing Imagery to Analyze Agriculture Land Uses and Irrigation Water Needs

高雄農田水利會
二等助理管理師
兼設計股長

盧 建 成

Chien-Chen Lu

國立成功大學
水利及海洋工程學系
教授

詹 錢 登*

Chyan-Deng Jan

摘　要

本文以高雄農田水利會中壇工作站轄區農地爲研究範圍，使用福衛二號多時段衛星影像及地理資訊系統，以逐像元式法及 ArcMap 區域統計法來判釋農地使用情形，將農地地表覆蓋區分爲稻作、非稻作、水體及裸露土壤等四類型。搭配正規化差異植生指數(NDVI 值)，先以逐像元式法判釋各時段衛星影像，進行土地利用分類，再運用 ArcMap 的區域統計(Zonal Statistics)功能進行土地利用區域式分類，藉以探討使用不同時段影像及其 NDVI 值是否有助於提升農地分類判釋之精確度，並比較逐像元式法與 ArcMap 區域統計法對農地利用判釋分類結果的差異性。研究結果顯示，使用二時段影像及其 NDVI 值確實有助於提升農地利用判釋之精確度，而且使用 ArcMap 區域統計法影像判釋分類結果優於逐像元式影像判釋分類結果。準確的農地利用分類結果將有助於提升估算農業灌溉需水量及作物生產量。

關鍵詞：福衛二號影像，地理資訊系統，正規化差異植生指數，逐像元式法，區域統計法。

ABSTRACT

Fousing on the agricultural lands controlled and managed by the Zhangtan Station of the Kaohsiung Irrigation Association, this study used FORMOSAT-II images and GIS

*通訊作者，國立成功大學水利及海洋工程學系特聘教授，70101 台南市東區大學路 1 號，cdjan@mail.ncku.edu.tw

system to differentiate and recognize the spatial and temporal usages of the agricultural lands through the pixel-by-pixel method as well as the zonal statistics method in ArcMap. With the use of the satellite images as well as their spectral responses, the agricultural land uses were classified into rice paddies, non-rice paddies, water bodies, and barren areas. The result shows that the use of NDVI can improve the accuracy of land-use classification from satellite images. The accuracy of land-use recognization by the ArcMap zonal statistics method is better than that by the pixel-by-pixel method. Effective and accurative classification of agricultural land uses is very helpful in effectively estimating the irrigation water requirements and the production of crops.

Keywords: FORMOSAT-II satellite image, Geographic information system (GIS), NDVI, Pixel-by-pixel method, Zonal statistics method.

一、前　言

基層農業管理單位需例行性的進行農地利用調查，掌握農地使用情形，並依據調查結果來辦理後續各項相關業務。然而進行農地利用調查需要投入相當多的人力、物力及時間才能完成。以農田水利會而言，在每年二個期作之間必須農地利用調查工作，用以瞭解農田坵塊土地利用情況，並將調查成果製成圖表，作爲灌溉管理及灌溉用水量調配上之參考使用。本研究利用遙測技術中之波譜特性，並結合地理資訊系統來判釋農地的利用情況，爲配合實務上之需求，將農地利用分類爲稻作、非稻作(旱作)、水體(漁塭)及裸露土壤(休耕無種植)等四類，以經濟、快速的方式來獲取準確的農地利用資料。

由前人的研究經驗可知，以水稻田爲判釋對象者，大多以耕地坵塊爲判釋單元，進行區域式分類。界定耕地坵塊範圍的方法可分爲運用地理資訊系統屬性資料及運用影像萃取邊界技術兩種方式。在原始影像上加入輔助判釋資訊方面，又可分爲加入影像正規化差異植生指數(NDVI)及加入影像紋理資訊(Texture Information)兩種方法。以加入 NDVI 作爲輔助判釋資訊者，係採用多時段的影像及其正規化植生指數差值來突顯水稻與其他分類的差異性，以非監督式分類(Unsupervisd Classification)方法將地表覆蓋區分爲水稻田及非水稻田兩類(鄧敏松，1997；陳益凰，1998；蕭國鑫，1998)。以加入紋理資訊作爲輔助判釋資訊者，須要使用高空間解度的衛星影像，以單時段的影像對各分類來做紋理資訊的提取及訓練，以監督式分類(Supervisd Classification)方法將地表覆蓋分爲水稻田及非水稻田兩類。前人研究結果顯示原始影像加入輔助資訊之分類結果優於僅以原始影像進行分類之結果(陳彥宏，2004；郭秀玲，2003；吳政庭，2004；鄭丁元，2006)。

以土地利用爲判釋對象的研究，大多是以逐像元爲判釋單元，以影像光譜資訊特性爲分析依據，對單時段影像進行監督式的分類或非監督式的分類。以原始光譜爲基礎再配合 NDVI 指數爲輔助資訊進行分析，並以監督式分類者所獲得的分類結果，比單純使用原始光譜者所獲得分類結果好(方彥凱，2004)。呂秀慧(2001)曾經以土地覆蓋植生變遷爲判釋對象，以逐像元爲判釋單元，分別以 NDVI 門檻值及 NDVI 輔助原始光譜二種方法進行非監督式分類，評估植物的分布及變遷，結果顯示以 NDVI 指數能有效輔助區分植物區及非植物區。

爲了掌握農地的使用情形，並依此推估作物灌溉需水量及作物生產量，本研究依農地土地利用及其種植特性，大致上區分爲稻作、非稻作(旱作)、水體(漁塭)及裸露土壤(休耕無種植)等四大分類，並運用衛星影像進行農地利用調查分析。考量影像取得的方便性及價格的經濟性，採用中

高解析度衛星影像度爲分析依據。影像分析的研究方法係以區域爲判釋單元，採用多時段影像及監督式分類法，並且進行輻射校正及 NDVI 指數分析，並藉由 ArcMAP 之區域統計法(Zonal Statistics)進行區域式分類，直接賦予各農地坵塊利用分類屬性，且利用地理資訊系統屬性資料進行分析，以產生符合實務所需的作物產量調查表及灌溉計畫等報表。

本研究流程分成衛星影像及地理資訊系統兩大部分，其研究步驟及流程說明如圖 1 所示。

二、研究區域概況

高雄農田水利會轄下約 2 萬公頃土地，灌溉區域分可爲曹公區、岡山區及旗山區等三個區域，全會一共有十六個工作站負責相關的業務。本研究選定高雄農田水利會旗山灌區之中壇工作站(如圖 2 所示)爲研究對象。該工作站轄區跨越高雄縣旗山鎮及美濃鎮兩鎮，灌溉面積約爲 1,500 公頃，灌溉系統屬於獅子頭圳二幹線，其灌溉水源是由竹子門發電廠取自荖濃溪發電後之尾水。中壇工作站轄區從民國五十九年起歷經三次農地重劃，灌溉及排水路分布完善，主要灌溉系統(如圖 3 所示)爲獅子頭圳二幹線，由二幹線分支出 3 條支線及 28 條分線，再由兩者細分出衆多主給及小給水路，管理上依灌溉系統劃分爲 12 個水利小組及 28 個水利班。美濃溪是中壇工作站轄區內主要河川，爲旗山溪的一支流，夾於荖濃溪與旗山溪之間，發源於九芎林北部風樹林山西北麓，迂迴曲折於獅子頭圳灌溉區內，經美濃鎮至旗山鎮旗尾南測流入旗山溪，流長約爲 28.5 km，流域面積約爲 114 km^2。排水系統則有清水排水、福安排水、旗尾大排、南頭河排水及中壇排水等，最終都匯流入美濃溪內。中壇工作站轄區年平均溫度約爲 25℃，氣候則屬熱帶潤濕

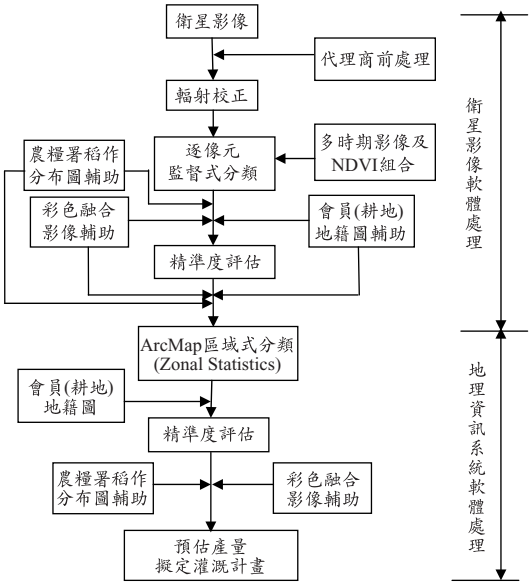


圖 1　本研究農地利用判釋分析流程圖

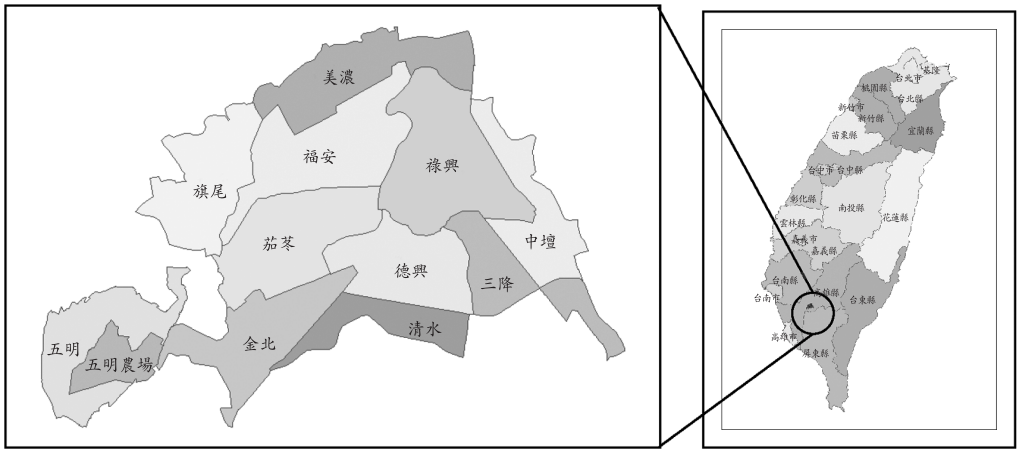


圖 2　研究區位置圖

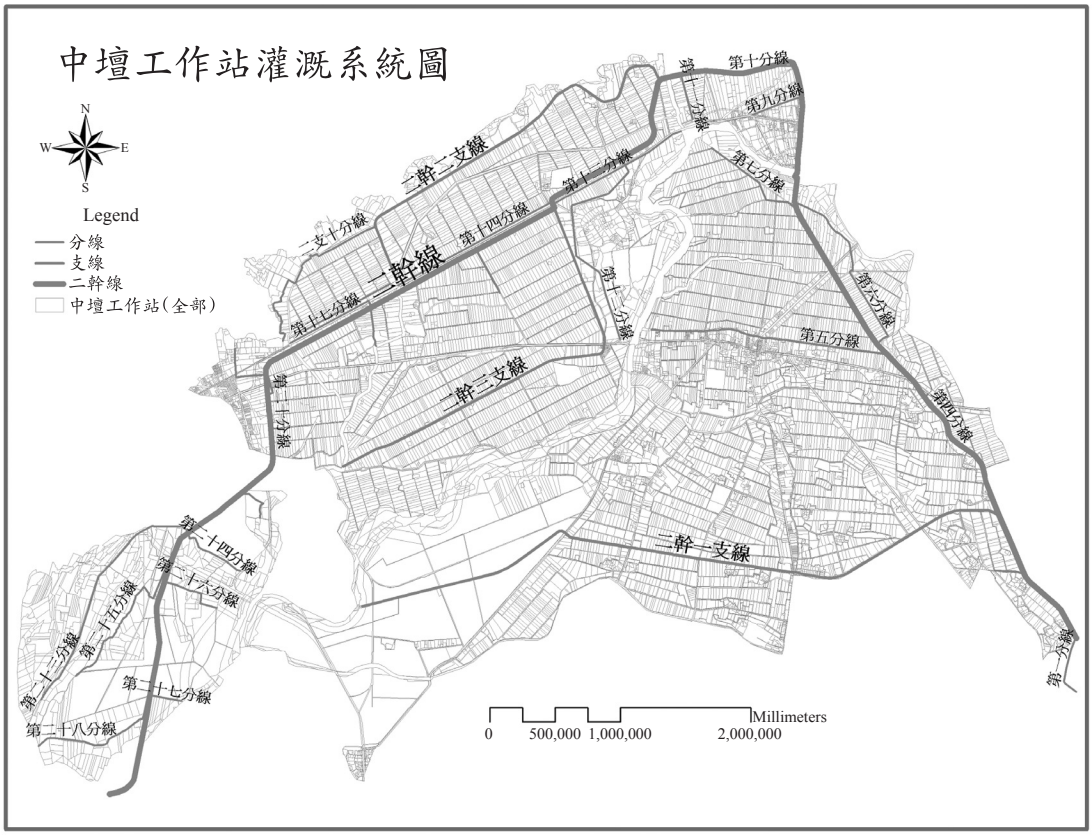


圖 3　中壇工作站主要灌溉系統圖

型，年雨量約 3,000 mm，每年 5、6 月是梅雨季節，相對溼度約爲 85%。每年 5 月至 10 月爲豐水期，降雨量約佔全年 90%。本區由於氣溫高日照強，蒸發量頗大，年蒸發量約在 1,000~2,000 mm 之間。研究區內耕作方式爲雙期作稻田及旱作田兩種，主要作物有水稻、香蕉、蔬菜、果樹、瓜類、豆類、玉米、甘藷等；在第二期作和第一期作之間種植菸葉也很盛行；農田中也有不少闢爲池塘，以養殖蝦子、石斑、吳郭魚等佔多數。研究區位氣候較暖和，水稻插秧的時間也比起中、北部地區較早一些，第一期作插秧時間約在 1 月中旬至 2 月上旬之間，第二期作插秧時間約在 6 月下旬至 7 月上旬之間。

三、研究材料及方法

本研究結合衛星影像及地理資訊系統，進行判釋農地坵塊的利用情況，將農地使用區分爲稻作、非稻作(旱作)、水體(漁塭)及裸露土壤(休耕無種植)等四類。茲將所採用的研究材料及方法分別敘述如下：

3.1 衛星影像資料

本研究使用福衛二號衛星影像進行分析，與其他衛星影像相較，其優勢在於色彩眞實(4 波段)、高空間(全色態 2 m、多光譜 8 m)、高時間(每日再訪)解析度且價格合理。衛星影像購買自成功大學福爾摩沙衛星二號應用推廣中心，等級爲 Level 4 的多光譜影像及彩色融合影像，座標爲 TWD67 (TM2)左上座標(194707, 2535790)，右下座標(203701, 2527866)。此多光譜影像已經過各項嚴格的處理程序，包括加入地面控制點(GCP)及數值地形模型(DTM)資料，修正影像幾何變形

等，故無須再另外進行幾何校正之程序。影像日期的選取，除了配合水稻之生長特性以及水利會例行性的現場期查日期，另外還需考慮氣候的影響。本研究以 2007 年第二期作進行影像土地利用判釋實驗，選定購買影像的日期分別爲 2007 年 6 月 30 日及 2007 年 8 月 16 日。前者之影像約爲水稻田之整田期及秧苗期，而後者之影像則約爲水稻田之最高分蘗期至幼穗形成期。

購買之解析度 8 m 多光譜影像爲實際進行判釋分類用，而 2 m 彩色融合影像則配合會員地籍圖及農糧署稻作分布圖來作爲輔助工具，進行監督式分類之選取訓練區及檢核區。

3.2 地理資訊系統資料

本研究採用之地理資訊系統資料包括研究區地籍圖資料及農糧署的稻作分布圖資料。地籍圖資料取自高雄農田水利會，內容包括土測局地籍圖地段 SHP 檔、工作站轄區及水利小組範圍數化圖、水利會會員資料 dBASE 檔等(陳榮松、李源泉、張煜權，2003)。使用之農糧署 2007 年第二期作稻作分布圖(1/5000 基本圖紙面資料)，再依據分布圖標示的稻作坵塊地號，逐筆於地理資訊地籍圖點選存成 SHP 檔，此 SHP 檔資料可供爲後續作爲稻作檢核及輔助選取訓練區之基本資料。

3.3 輻射校正

不同時段的衛星影像會受到大氣狀況的影響，導致各期間輻射的不等量偏差。輻射校正的方法可分爲絕對性校正及相對性校正，絕對性校正可精確的去除輻射偏差，但是操作不易，需要當期影像的大氣、氣候與地形資料；相對性校正相較之下比較簡易。相對性校正是假設不同時段的影像之中，一定有存在某地物的反射值不隨時間變動，但是大氣狀況的變動卻會造成這些不變地物的反射值呈現線性的改變(Ding and Elvidge, 1996)。假設大氣爲均質狀況下，選取這些不變的地物之反射值，利用回歸公式來推估其他影像與參考影像間輻射亮度值之關係。本研究採用 ENVI 衛星影像軟體所提供之經驗線性率定法進行輻射校正，此方法屬於相對校正法之一種(Roberts *et al*., 1985; Conel *et al*., 1987; Kruse *et al*., 1990)。經驗線性率定法的原理是使待校正的影像光譜資料與被選擇的地面現場反射光譜互相匹配，運用線性迴歸的方式使每個波段中的 DN 值和反射率相等。使用這種的方法需要二個或更多的地面現場已知反射率，通常至少必須包含一個亮的地區及一個暗的地區，以兩點光譜資料可以決定出一迴歸線。當沒有現場反射率的量測資料時，可以選擇一影像當成參考之基底影像，以該影像中之一亮點及一暗點作爲現場已知的反射率，藉由這些光譜值來校正其他的影像。本研究選取 96 年 8 月 16 日之影像爲基底參考影像，96 年 6 月 30 日之影像爲待校正之影像，由 ENVI 功能中之 Empirical Line Calibration 模組，選取兩張影像相同位置的一亮點及一暗點，經輸入及配對後自動依線性迴歸校正各波段產生新影像。

3.4 正規化差異植生指數(NDVI)

植生指數是一種反應地表植被種類、分布與密度的指數，不同的植被會反映不同的光譜特性。植生指數的種類繁多，包括簡單比植生指數(Simple Ratio Vegetation Index, SR)、植生指數(Vegetation Index, VI)、正規化差異植生指數(Normalized Difference Vegetation Index, NDVI)等。其中較廣泛被應用的是由 Rouse 等於 1973 年所提出的正規化差異植生指數 NDVI (Rouse *et al*., 1973)，其原理爲健康的綠色植物會強烈吸收紅光(波長約 0.6 μm~0.7 μm)以及強烈反射近紅光(波長約 0.7 μm~1.1 μm)，所以利用此一特性適合來判斷土壤、水體及植生間的差異及陰影所造成的干擾。NDVI 的定義爲：

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED} \quad (1)$$

其中 NIR=近紅外光波段反射強度；RED=紅光波段反射強度。NDVI 值介於±1 之間。

3.5 多時段衛星影像

不同種類的植生在單一時段之影像光譜特

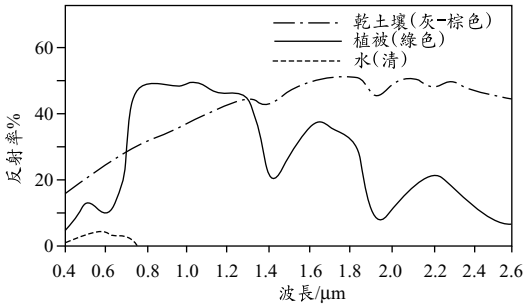


圖 4　標準的波譜反射率曲線圖(Lillesand & Kiefer, 2004)

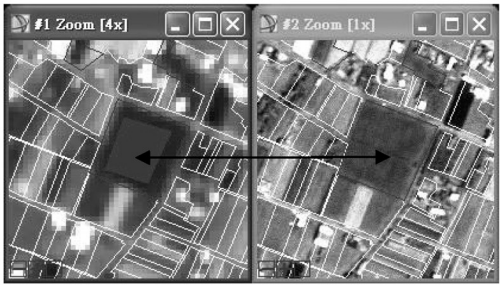
性上不是很容易區分，因而利用水稻的生長特性來選定多時段的影像，以期有效的從植生中來區分出水稻及非水稻的作物。水稻從插秧前 2~3 週一直到插秧前，所呈現出來的地表覆蓋爲水體或含豐富水分的土壤；而後水稻田插秧，田中的土地覆蓋變爲植被與水體的組合；從最高分蘗期一直到收割前，水稻的生長使得水稻田的地表大部分被植被所覆蓋；直到收割後，水稻田才又露出土壤，爲乾燥的裸露地(鄧敏松，1997)。由水稻全生育期曲線可決定出兩個較低 NDVI 的時段(整地育苗期及收穫期)，及一個較高 NDVI 的時段(最高分蘗期至黃熟期)，這樣以較高 NDVI 爲一時段，另外兩個兩個較低 NDVI 爲另二時段，由此可利用三個時段的影像來有效區分出水稻與其它作物，唯在實務上及前人的研究結果顯示，採用曲線之前二個時期之 NDVI 差值爲佳。依據標準波譜反射率曲線(如圖 4 所示)，三種典型的地物(健康的綠色植物、乾燥的土壤及透明的水體)在可見光波段(0.40 μm~0.7 μm)已可區分出來，在近紅光波段(0.70 μm~1.10 μm)更是加大三種典型地物之區分，由此可知在光譜的特性上目前已經可以有效判釋非植生裸露土壤及水體。但是依據標準波譜反射率曲線圖，尚未能將植生情形再予以細項分類。因此，利用二時段的影像時，不僅需要利用原始光譜之波段來進行區分非植生的部份，更需加入 NDVI 波段來輔助區分稻作使用及非稻作使用，進而將農地的利用區分出稻作使用、非稻作使用、水體及裸露土壤之四種不同的分類。

3.6 ArcMap 區域統計法

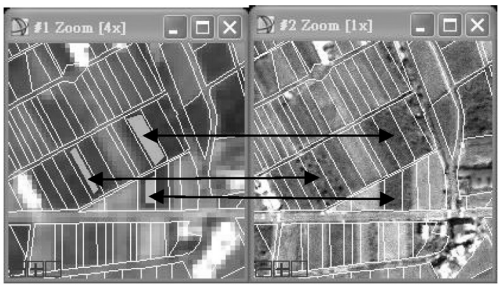
利用衛星影像進行判釋地表覆蓋類別，大致上可分爲逐像元式分類及區域式分類二種。每一個像元依其空間的解析度範圍反映出地面覆蓋特性，但若是地表覆蓋有確切的邊界，如農地的坵塊的邊界範圍之內，則可能會發生不同的分類結果。本研究區域已經有地理資訊系統的地籍圖檔，可提供明確的區塊範圍，其中屬性資料含有會員資料，可進一步縮小過濾出農地的使用範圍，並除去道路、建地、建物等非判釋目標，以減少影像在判釋上的干擾。

一般而言，區域分類的方法主要爲分類修飾法及區域統計法二種，此二種方法都在衛星影像軟體內操作。而本研究嘗試直接使用 ArcMap 的區域統計法(Zonal Statistics)進行區域式分類，ArcMap 所提供的區域統計法採取的統計性質也都幾乎涵蓋一般的統計性質。其原理是利用地圖代數程式(Map Algebra Function)來運算，可將資料分爲三個圖層來說明: 第一個圖層爲輸入圖層(Zone layer)，該圖層的資料可以是網格式(Raster)或圖徵(Feature)資料，用以決定要進行統計的區域範圍；第二個圖層爲網格式的數值資料圖層(Value layer)，以 Zone 圖層的值爲運算單元，而同一單元內的網格點值會相互運算；第三個圖層爲結果圖層(Input Zone layer)，根據運算結果輸出爲同一個值，也就是結果圖層中如果同屬一個 Zone 的，其網格值都相同，並且可以產生包含每一個區域(Zone)的屬性表資料。

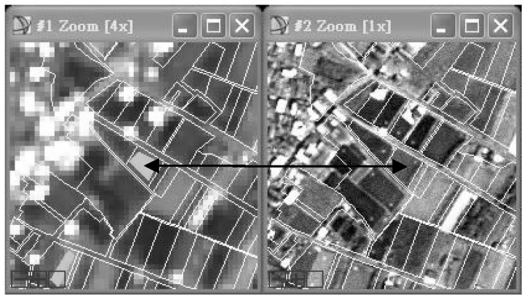
ArcMap 區域統計法之處理過程類似傳統的分類修飾法，但不需將向量式之區域範圍先編碼後再網格化成小格，也不需將逐像元分類成果去對應已編碼的小格後而再去統計歸類，以決定網格化前該區域之分類屬性。傳統的方法不僅操作過程繁瑣而且必須注意轉換的方法，而轉換的方法必須依分析方式而異，經過轉換的過程後才能在影像軟體中做後續的分析。而本方法是由向量式區域範圍去操作 ArcMap 區域統計功能，直接讀取該區域內逐像元分類成果，並依所採用之統計性質自動決定每個區域的類別，分析完成後每個區域範圍仍能保持原先向量式的格式，並且在



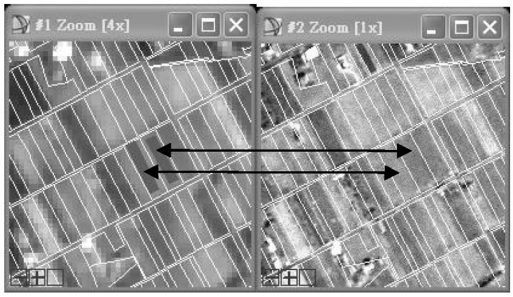
稻作(8 m多光譜影像及2 m融合影像)



非稻作(8 m多光譜影像及2 m融合影像)



水體(8 m多光譜影像及2 m融合影像)



裸露土壤(8 m多光譜影像及2 m融合影像)

圖 5　以多光譜影像藉由融合影像動態連結選取訓練區及檢核區

每一個區域自動加入分類屬性。本研究所採取的統計性質爲多數(Majority)，用此統計性質分析以決定該區域的分類屬性，即爲一筆地號(區域)內若多數像元分類爲水稻，則這一筆地號的土地利用屬性資料即判定爲水稻。本研究範圍內每一筆地號大多數爲單一種土地利用情形，如果有某區域有二種或二種以上的土地利用時，可先於該區域內編輯(Editor)分割後再進行區域統計。

四、農地利用判釋結果與比較

4.1 逐像元式法判釋結果

一幅福衛二號多光譜影像含有 4 個波段，疊合二時段影像則計有 8 個波段，若再加上二時段之 NDVI 則總共有 10 個波段。本研究進行「單時段影像」、「二時段影像」及「二時段影像配合二時段 NDVI」等三種不同的判釋方法之結果比較。所選用二時段影像日期分別爲 96 年 6 月 30 日及 96 年 8 月 16 日。採用監督式分類法中的最大概似法(Maximum Likelihood Classifier)進行分類，分類成果之精準度評估則使用誤差矩陣法(Error Matrix)進行評估前述三種組合的判釋結果。對於前述三種不同組合的判釋方法，皆採用相同的訓練區及檢核區，並在相同條件下進行判釋結果的精準度評估。本研究所採用的訓練區有 80 個點位及檢核區有 172 個點位，共計 252 個點位(共計有 4,427 個像元)。對於訓練區及檢核區的選擇，力求平均分布於研究區內，而且訓練區及檢核區內土地利用包含有稻作、非稻作(旱作)、水體(漁塭)及裸露土壤(休耕無種植)四種類別。

訓練區及檢核區以會員地籍圖、融合影像(解析度 2 m)及農糧署稻作分布圖來作爲輔助工具與多光譜影像進行動態連結選取(如圖 5 所示)。其中融合影像有利於目視，由影像中很容易區分出水體及裸露土壤，惟稻作及非稻作難以目視加以區別，但加以搭配農糧署稻作分布圖後就可輕易分判出上述兩類別。至於會員地籍圖的功用則是提供判釋區域的範圍，更在後續進行區域式判釋時可自動加入各地號之分類結果，配合其屬性表中原有的資料便可呈現產量及灌溉用水量之推估。

檢核區之選定之原則爲人員現場調查確認或以不亞於待檢驗影像解析度之航照相片或衛

表 1　逐像元式分類法對於農地利用之判釋結果之精確度比較

類　別	判釋方式 1：單時段影像		判釋方式 2：二時段影像		判釋方式 3：二時段影像配合其 NDVI 值	
	生產者精度%	使用者精度%	生產者精度%	使用者精度%	生產者精度%	使用者精度%
水稻田判釋精度	67.2	82.3	87.9	73.8	85.3	83.9
旱作判釋精度	87.4	73.7	71.4	87.3	84.9	86.12
漁塭判釋精度	89.1	100	84.0	100	87.6	98.6
休耕裸地判釋精度	100	95.8	99.3	91.8	100	90.3
整體判釋精度%	83.2		84.3		87.8	
Kappa 精度指標	0.763		0.781		0.830	

表 2　ArcMap 區域統計法分類法對於農地利用判釋結果精確度之比較

類　別	判釋方式 1：單時段影像		判釋方式 2：二時段影像		判釋方式 3：二時段影像配合其 NDVI 值	
	生產者精度%	使用者精度%	生產者精度%	使用者精度%	生產者精度%	使用者精度%
水稻田判釋精度	55.1	96.3	89.3	87.8	87.0	99.0
旱作判釋精度	96.4	56.2	78.9	84.2	98.6	83.2
魚塭水池判釋精度	93.3	100	88.1	100	88.1	100
休耕裸地判釋精度	100	90.1	100	79.5	100	82.8
整體判釋精度%	74.3		86.7		91.7	
Kappa 精度指標	0.605		0.779		0.866	

星影像爲之。本文所採用之檢核區在稻作部份採用農糧署稻作分布圖，其製作係由人工依據航照圖所製作；在非稻作部份則由耕地範圍之植生去除農糧署稻作分布圖；在水體部份由融合影像目視便可選定，如圖 5 可看出水體區域內有白色的小點(水車) ；在裸露土壤部份亦可由融合影像目視便可選定。

本文研究之目標爲農地之利用型態，當進行判釋分類時，以研究區域的行政範圍及農地範圍爲遮罩(Mask)，排除研究目標外的地表覆蓋參與判釋分類，如此不僅可以節省電腦運算的時間，分類成果也易於目視來觀察。

本研究先以逐像元式法針對「單時段影像」、「二時段影像」及「二時段影像配合其 NDVI 值」等三種不同的方法進行判釋，判釋成果列於表 1。表 1 列出水稻田、旱作、漁塭及休耕裸地之判釋精度，並列出整體判釋精度及 Kappa 精度指標。在三種影像判釋組合中，以「二時段影像配合其 NDVI 值」分類結果的精準度最高，其整體精準度可達 87.8%及 Kappa 指標爲 0.830。

4.2 ArcMap 區域統計法判釋結果

在 ArcMap 中將逐像元式判釋分類成果之影像檔套疊耕地地籍圖後，再以區域統計的功能賦予每筆耕地唯一的分類屬性。精準度評估的方法相同採用誤差矩陣，由區域式分類成果之分類屬性與各分類之檢核區比對，精準度之產生將採由面積來計算。在區域式分類的檢核區，其中有三分類檢核區採取與逐像元式相同的區域，唯水稻部份因有農糧署的稻作資料，將採取全水稻面積檢核。即在本研究區內有 160 筆水稻的資料，全數拿來當作檢核用，其餘三分類檢核區則由逐像元之 ROI 轉成 SHP 檔，再經由套疊地籍圖後點選，並賦予各類檢核的屬性，製作而成區域式各分類的檢核區。

以 ArcMap 區域式分類法針對「單時段影像」、「二時段影像」及「二時段影像配合其 NDVI 值」等三種不同方式之判釋成果列於表 2。表 2 列出水稻田、旱作、漁塭及休耕裸地之判釋精度，並列出整體判釋精度及 Kappa 精度指標。在三種影像判釋組合中，以二時段影像配合其

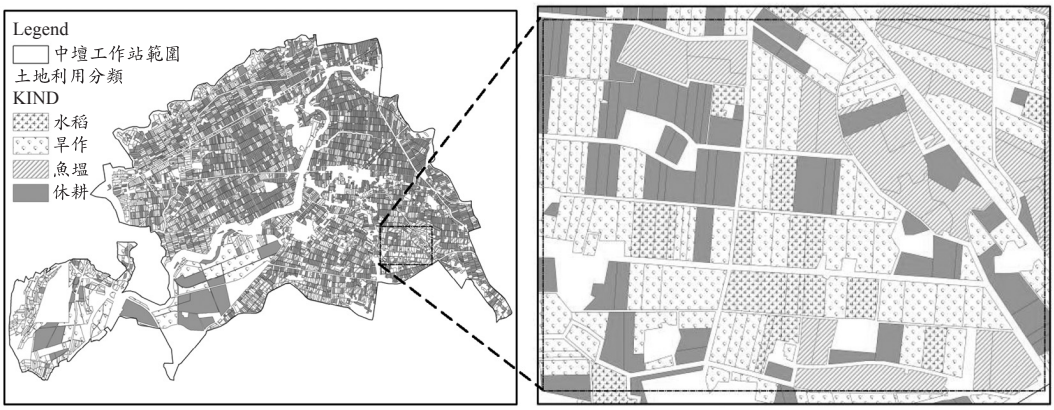


圖 6　二時段影像配合二時段 NDVI 輔助資訊以 ArcMap 區域統計法之分類結果

NDVI 值作爲輔助資訊之分類結果的精準度最高，其整體精準度可達 91.7%及 Kappa 指標爲 0.866。圖 6 爲二時段影像配合二時段 NDVI 輔助資訊以 ArcMap 區域統計法之分類結果。

4.3 逐像元法與 ArcMap 區域統計法判釋結果討論

由表 1 及表 2 中顯示，判釋結果之整體精準度及 Kappa 指標呈現出一致趨勢，在三種不同影像判釋方式中，若以精準度較差的單時段影像而言，區域統計法判釋結果的精準度反而比逐像元式判釋結果的精度差。反之，採用精準度較佳的「二時段影像配合二時段 NDVI 輔助資訊」方式時，區域式判釋結果的精準度則是比逐像元式判釋結果的精準度好的很多，此說明區域式判釋結果對於判釋精準度有放大的效果。本研究將農地利用劃分爲四大類，其中可分爲植生(稻作及非稻作)與非植生(水體及裸露土壤)兩大部分，由判釋成果顯示，無論在逐像元式分類或是 ArcMap 區域式分類過程中，在各種影像組合判釋成果上呈現出一相同的特性，此可由表 1 及表 2 來觀察，植生間之精準度(生產者與使用者精度)會互相消長，同樣的情況也發生於非植生間，這也證明在光譜特性上植生與非植生有明顯之區分，只會在同屬植生或非植生間發生混淆的現象。又在地理資訊系統進行區域式分類過程中，以向量地籍圖檔讀取逐像元之網格式分類成果時，僅消失了小部分的面積。本研究區域面積約爲 1,500 公頃，讀取網格式分類成果所消失的面積小於 0.1 公頃，由本研究實驗成果初步顯示，以 ArcMap 區域統計法配合衛星影像來判釋農地利用情形是可行的。

五、產量及灌溉用水量推估

5.1 計算灌溉用水量之主要因子

農地的土地利用調查結果，對於農業可提供間接估算灌溉用水量，灌溉用水量的推估必須先擬定灌溉計畫，再依此計畫視田間實際情況來配水。茲將計算灌溉計畫相關的幾個重要因子說明如下：

5.1.1 蒸發散量(Evapotranspiration, ET)

任何灌溉計劃之擬定，均以供應並滿足作物之蒸發散量(ET)爲目的，蒸發散量又稱作物需水量(Consumptive Use)，乃包括作物體之蒸散量及耕地面之蒸發量之總和。水稻之蒸發散量值不論一、二期作均在 650 mm 上下。在旱作的部分，台灣目前由於各地氣象站之蒸發量記錄相當完全，因此較常採用蒸發皿法進行推估。

5.1.2 滲漏量(Percolation)

水田之田間耗水量係指蒸發散量(ET)與滲漏量(P)之和。滲漏量之測定，可利用田間與滲漏計(Lysimeter)同時觀測分離出滲漏量。

5.1.3 有效雨量(Effective Rainfall)

有效雨量之估算較爲複雜，就水田之有效雨量(ER)而言，續灌田與輪灌田之有效性全然不

同。輪灌田按期距分成數組不同之灌溉單位，各組別之田間水深因灌溉日期之先後，而有高低之差，故同樣之降雨對坵塊別之截留水深顯示不同之有效性，至於續灌田之田面已呈滿水溢流狀態，對降雨之最大特性，僅能估算蒸發散量(ET)及滲漏量(P)之和。不過降雨之強度及分佈亦可影響田面逕流之速率，故降雨量之有效性往往小於(ET+P)值。

5.1.4 整地用水量

整田期間之灌溉係將田區土壤水分自乾田轉換爲飽和水田狀況，尤其在短暫之時間內必須消耗大量之用水，田間一次灌溉水深往往高達 120 至 200 mm。依照各水利會之營運、經驗以及水路設施條件。本研究區實際採用的整田用水量依不同期作有所差異，分別爲一期作採用 139 mm，二期作則採用 152 mm。

5.2 灌溉水深與期距

5.2.1 灌溉水深

一次之施灌水量(灌溉水深)之多寡，是指目前一次施灌後所消耗之水量而言。在此指的灌溉水深爲本田的灌溉水深，研究區依不同的期作及不同的作物有不同的灌溉水深。依據高雄農田水利會歷年灌溉計畫資料表，整理出研究區域內水稻溉水深如表 3 所列；另外，旱作之灌溉水深在一期作爲 138 mm，在二期作則爲 160 mm。

5.2.2 灌溉期距

稻作生長之最適土壤水分範圍在飽和水分與田間容水量之間。續灌法之田面經常保持一定水深，其土壤水分呈過飽和狀態，灌溉係指經常性之補充作業；輪灌法則一次補充至定水深及行中斷給水，待田面水深經由蒸發散量及滲漏而消失，及之土壤水分遞減至相當於田間容水量時再行補充灌溉。兩次灌溉日數之間距稱爲灌溉期距，灌溉期距可由下式表示：

$$\text{灌溉期距(日)} = \frac{(\text{一次灌溉水深})/(\text{灌溉效率})}{(\text{日蒸發散量} + \text{日滲漏量})} + 2(\text{日}) \quad \text{.....(2)}$$

上式之二日，係指土壤充分灌溉經 48 小時以遞減成田間容水量之時間。在旱作的部分，在不影響產量之範圍內，儘量拉長期距以減少灌溉次數，以求灌溉成本之降低，同時較多之水深亦較容易實施田間灌溉。研究區水稻的部份採用的灌溉期距，在一期作及二期作都是採用 5 天一次；旱作的部份採用的灌溉期距，在一期作爲 15 天一次，二期作則是 6 月至 8 月時 20 天一次、9 月時 15 天一次。

表 3 研究區水稻灌溉水深

一期作水稻灌溉水深(mm)			二期作水稻灌溉水深(mm)		
1 月	中旬	18.0	6 月	中旬	17.6
	下旬	16.4		下旬	17.6
2 月	上旬	15.7	7 月	上旬	17.8
	中旬	15.4		中旬	16.6
	下旬	14.1		下旬	15.8
3 月	上旬	13.7	8 月	上旬	15.8
	中旬	13.7		中旬	19.9
	下旬	14.1		下旬	18.5
4 月	上旬	23.0	9 月	上旬	18.9
	中旬	23.0		中旬	17.6
	下旬	23.0		下旬	13.3
5 月	上旬	17.2	10 月	上旬	16.8
	中旬	15.7		-	-
	下旬	15.7		-	-

附註：本研究依據高雄農田水利會歷年灌溉計畫整理而得。

5.3 產量及灌溉用水量推估

5.3.1 產量推估

依目前的作業情形是在產量推估前須以人工的方式到現場調查，由各水利小組區域負責人員將水稻、漁塭及休耕的面積調查作成紀錄，旱作的部分因種類繁多且種植面積分散，其面積是由總耕地面積扣除上述現場調查之三種面積而得。內業的部份再將調查紀錄分地段及灌溉系統加以歸類統計，所得的數據再填入規定之報表完成作物產量調查表。產量的推估大致上分爲水稻、旱作及魚塭等三類，其推估計算公式爲：

面積(公頃)×單位產量(公斤/公頃)
＝總產量(公斤)..... (3)

合計總產量(公斤)/合計總面積(公頃)
＝平均產量(公斤/公頃)..... (4)

表 4　研究區作物灌溉時間表

類別 / 期作別	整 田		本 田		斷 水	
	期間	日數	期間	日數	期間	日數
一期作	1 月 11 日~2 月 10 日	31 日	1 月 11 日~4 月 30 日	110 日	5 月 1 日~5 月 31 日	31 日
二期作	6 月 21 日~7 月 10 日	20 日	6 月 21 日~9 月 30 日	102 日	10 月 1 日~10 月 20 日	20 日

附註：本研究依據高雄農田水利會歷年灌溉計畫整理而得。

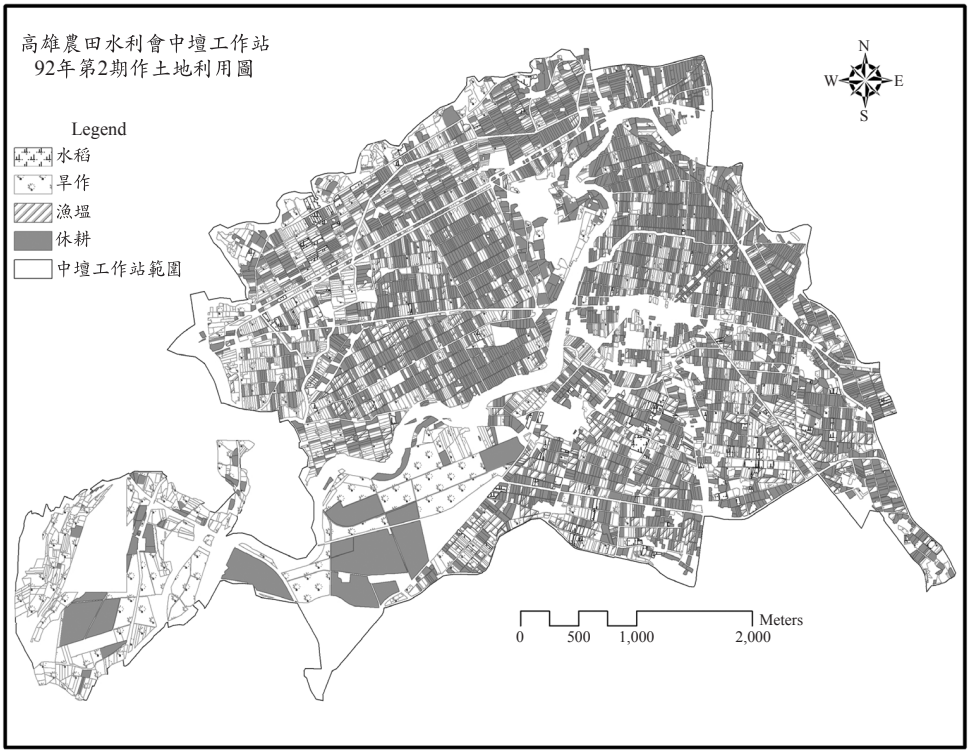


圖 7　研究區判釋分類之土地利用圖

單位產量是由經驗及實地訪問農民而決定的，因此每個地段所的地單位產量並非一定的數值。利用本研究分類的成果可以快速的製作物產量調查表，其方法可由土地利用圖(如圖 7 所示)之屬性表進行篩選，即可建立出以灌溉系統區分之地段別分類的總計表格，依上述之統計表的面積填入水利會既有的表格製作完作物產量調查表(如表 5 所示)。

5.3.2 灌溉用水量推估

作物灌溉用水量推估需由擬定灌溉計畫來進行，而擬定灌溉計畫先要知道作物灌溉的時間表(如表 4)。所謂的灌溉計畫只是一個預先的推估，在作物還沒有種植前就要先擬定，因此作物的種植面積也是一個預估值，例如我們已經完成了 96 年 2 期作的作物種植面積調查，於 97 年 2 期作種植前先以 96 年 2 期作的作物種植面積調查爲參考，再依據當時的情況來做調整，以此預估的作物種植面積來擬定 97 年 2 期的灌溉計畫。

我們利用衛星影像及地理資訊系統的運用，已得到研究區的土地利用情形，由上述知道今年實際的作物種植面積，調整後當成明年的預定的作物種植面積。假設實際及預定的作物種植面積相同，本研究即以此來推估灌溉用水量，其作法說明如下：

表 5　作物產量調查表

發文編號 民國 94 6月 6日 中站 字第 299 號

高雄農田水利會中壇工作站

民國 96 年 2 期作物產量調查表

埤圳系統別	鄉鎮	段別＼作物別	水稻			甘蔗			青果			魚塭			休閒面積			備註
			面積	單位產量	總產量	面積	單位產量	總產量	面積	單位產量	總產量	面積	單位產量	總產量				
獅子頭圳第二幹線	美濃鎮	龍中段	0.60	6,100	3,640				4.58	31,500	144,295	4.75	6,400	30,390	14.91			
獅子頭圳第二幹線	美濃鎮	中壇段	2.08	6,200	12,926				55.13	32,000	1,764,282	6.58	6,400	42,105	117.32			
獅子頭圳第二幹線	美濃鎮	中興段	2.77	6,000	16,614				21.88	32,000	700,301	12.26	6,400	78,457	39.11			
獅子頭圳第二幹線	美濃鎮	崇雲段	-	-	-				1.39	31,000	43,044	-	-	-	0.84			
獅子頭圳第二幹線	美濃鎮	合和段	-	6,100	-				0.61	32,000	19,574	-	-	-	2.15			
獅子頭圳第二幹線	美濃鎮	美中段	-	6,100	-				7.16	31,500	225,685	-	6,400	-	9.72			
獅子頭圳第二幹線	美濃鎮	美濃段	0.48	6,150	2,982				73.42	32,000	2,349,350	6.45	6,400	41,297	135.28			
獅子頭圳第二幹線	美濃鎮	瀰濃段	-	6,000	-				5.27	31,500	165,967	-	-	-	14.53			
獅子頭圳第二幹線	美濃鎮	美光段	0.58	6,100	3,536				1.69	32,000	53,997	-	-	-	9.26			
獅子頭圳第二幹線	美濃鎮	福安段	-	6,000	-				15.94	31,500	502,019	0.26	-	-	25.83			
獅子頭圳第二幹線	旗山鎮	旗尾段	5.23	6,000	31,365				175.25	31,000	5,432,883	1.66	6,400	10,609	57.82			
獅子頭圳第二幹線	旗山鎮	手巾寮段	-	-	-				-	31,500	-	-	-	-	-			
獅子頭圳二幹一支線	美濃鎮	中興段	6.66	6,100	40,641				28.07	31,000	870,018	7.84	6,400	50,170	29.74			
獅子頭圳二幹一支線	美濃鎮	德興段	8.29	6,200	51,415				36.33	31,500	1,144,382	21.46	6,400	137,366	58.44			
獅子頭圳二幹一支線	美濃鎮	金瓜寮段	-	-	-				71.31	31,500	2,246,218	0.20	-	-	74.29			
獅子頭圳二幹一支線	美濃鎮	美濃段	-	-	-				0.37	31,500	11,778	-	-	-	1.72			
獅子頭圳二幹一支線	美濃鎮	吉東段	1.42	6,100	8,687				5.75	31,500	180,968	5.29	6,400	33,879	11.25			
獅子頭圳二幹一支線	美濃鎮	清水段	4.34	6,150	26,660				23.37	32,000	747,782	10.43	6,400	66,771	18.16			
獅子頭圳二幹二支線	美濃鎮	美濃段	0.95	6,100	5,807				13.79	32,000	441,267	4.04	6,400	25,843	24.92			
獅子頭圳二幹二支線	美濃鎮	福美段	1.42	6,000	8,548				12.82	31,500	403,685	0.08	-	-	7.11			
獅子頭圳二幹二支線	旗山鎮	旗尾段	3.66	6,000	21,980				21.83	30,000	654,912	-	-	-	11.28			
獅子頭圳二幹三支線	美濃鎮	美濃段	2.10	6,150	12,896				45.16	31,500	1,422,386	19.56	6,400	125,171	71.23			
		合計	40.59	6,102	247,697				621.11	31,435	19,524,793	100.86	6,366	642,057	734.91			

高雄農田水利會民國96年第2期作各埤圳(灌區)水稻及早作灌溉計劃表

埤圳別	耕地面積(公頃)	土質貧地	灌溉面積(公頃)	整田 起訖(日)	整田 水深(mm)	本田 起訖(日)	本田 水深(mm)			灌溉日數(日)	水路消失(%)	灌溉期距(日)	旱作灌溉 面積(公頃)	旱作灌溉 起訖(日)	旱作灌溉 水深(mm)	旱作灌溉 次數(次)		用水別 / 月 / 旬 / 項目	整(浸)田用水 6月 下	整(浸)田用水 7月 上	本田用水 6月 中	6月 下	7月 上	7月 中	7月 下	8月 上	8月 中	8月 下	9月 上	9月 中	9月 下	10月 上	10月 中		用水量合計 C.M.S	M³	MM	備註
獅子頭第二幹線	1582		水稻41公頃	6/11至6/30	152	6/11至9/20 (102天)	6月	中	17.6	102天	20%	5天						面積(公頃)	20.50	20.50		10.25	30.75	41.00	41.00	41.00	41.00	41.00	41.00	41.00	30.75	10.25					暫停及休閒735公頃
								下	17.6									有效雨量(mm)																			
							7月	上	17.8									灌溉率(田間)	56.8	56.8		491	491	485	520	547	547	434	467	457	491	650	514					
								中	16.6																												
								下	15.8																												
						斷水9/21至10/10 (30天)	8月	上	15.8									日間用水量C.M.S	0.036	0.036		0.021	0.063	0.085	0.079	0.075	0.075	0.094	0.088	0.090	0.084	0.047	0.020		9.093	785,635	1,916	
								中	19.9																												
								下	18.5																												
							9月	上	18.9																												
								中	17.6																												
								下	13.3																												
							10月	上	16.8									水門用水量C.M.S	0.045	0.045		0.026	0.079	0.106	0.099	0.094	0.094	0.118	0.110	0.113	0.105	0.059	0.025		11.384	983,578	2,399	
													旱作621公頃	6/11至10/10	160	6-8月灌一次	20天	面積(公頃)				310.50	310.50	310.50	310.50	341.55	310.50	310.50	341.55	414.00	414.00	414.00	414.00					
																		有效雨量(mm)																			
																		灌溉率(田間)				54.0	54.0	54.0	54.0	54.0	54.0	54.0	54.0	54.0	54.0	54.0	54.0					
																9月灌一次	15天	日間用水量C.M.S				0.575	0.575	0.575	0.575	0.575	0.575	0.575	0.575	0.767	0.767	0.767	0.767		77.830	6,724,512	1,083	
																		水門用水量C.M.S				0.719	0.719	0.719	0.719	0.719	0.719	0.719	0.719	0.959	0.959	0.959	0.959		97.318	8,408,275	1,354	
合計	1397		41										621					面積(公頃)																				
																		有效雨量(mm)																			
																		灌溉率(田間)																			
																		日間用水量C.M.S	0.036	0.036		0.596	0.638	0.660	0.654	0.650	0.650	0.669	0.663	0.857	0.851	0.814	0.787		86.923	7,510,147	2,999	
																		水門用水量C.M.S	0.045	0.045		0.745	0.798	0.825	0.818	0.813	0.813	0.837	0.829	1.072	1.064	1.018	0.984		108.702	9,391,853	3,753	
																		面積(公頃)																				
																		有效雨量(mm)																			
																		灌溉率(田間)																			
																		日間用水量C.M.S																			
																		水門用水量C.M.S																			

表6 灌溉計畫表

由全區土地利用圖(如圖 7 所示)之屬性表進行篩選，即可建立出稻作、旱作、休耕及漁塭各分類的統計表，再以前三者分類面積填入水利會既有的表格及作物灌溉需水量等公式製作完成灌溉計劃表(如表 6 所示)。

六、結論與建議

6.1 結論

(1) 本文以高雄農田水利會中壇工作站轄區農地爲研究範圍，使用福衛二號多時段衛星影像及地理資訊系統，以逐像元式法及 ArcMap 區域統計法來判釋農地使用情形，將農地地表覆蓋區分爲稻作、非稻作、水體及裸露土壤等四類型。結果顯示運用衛星影像結合地理資訊系統進行農地利用調查及土地利用屬性更新，並據以快速推估灌溉用水量及作物生產量，可有效節省大量人力及時間，是值得繼續推廣的農地利用調查方法。

(2) 本研究比較「單時段影像」、「二時段影像」及「二時段影像配合 NDVI 值」等三種不同農地土地利用判釋方式的結果顯示，無論是逐像元式法及 ArcMap 區域統計法，都以「二時段影像配合 NDVI 值」的判釋方式所得結果具有較佳的精準度。建議爾後以「二時段影像配合 NDVI 值」方式進行農地利用判釋。

(3) 研究結果也顯示使用 ArcMap 區域統計法影像判釋分類結果優於逐像元式影像判釋分類結果。以「二時段影像配合 NDVI 值」的判釋方式所得結果爲例，在整體精度(O.A)方面，逐像元式判釋結果精度爲 87.8%，ArcMap 區域統計法判釋結果精度提升至 91.7%；在 Kappa 指標方面，逐像元式判釋結果爲 0.830，ArcMap 區域統計法判釋結果提升至 0.866。此外，除了精準度較佳之外，ArcMap 區域統計法分類是以農地坵塊爲判釋分類單元，較符合農地現場實際情況，在後續實務應用上也較爲靈活方便。

(4) 傳統的區域式分類都是在衛星影像軟體中來進行，本研究嘗試直接以地理資訊系統來進行區域式的分類，初步結果顯示此方式是可行的。以地理資訊系統來進行區域式分類，可省去以往的影像格式轉換時必須考慮網格大小及採行方法的問題。若以 8 公尺空間解析度的福衛二號多光譜影像而言，在地理資訊系統中以向量式的地籍圖進行讀取網格式的分類成果時，僅消失小部分的地籍圖面積。

6.2 建議

(1) 本研究是以融合影像及農糧署稻作分布圖來輔助訓練區及檢核區之選取，該方法是以已知的成果來實驗及驗證，但實務上爲爭取時效，建議可由水利會工作站之區域管理人員，現地選取幾個訓練區及檢核區坵塊，再藉由本研究之方法即可快速的將全灌區內作物的產量及實際灌溉用水量估算出來。

(2) 本研究影像之逐像元式判釋分類是由衛星影像軟體來進行，而區域式判釋分類是由 GIS 軟體來完成，建議後續研究可嘗試兩者皆採用由 GIS 軟體來進行。若由 GIS 軟體來進行影像逐像元式的判釋分類作業，可藉由 ArcGIS 空間分析工具(Spatial Analyst Tools)之 Multivariate 功能，選用適當之分類法(監督式或非監督式等)來讀取圖層(Layers)或各波段(Bands)，輸入各項參數後可得到判釋分類之網格式成果圖，由此分類成果套疊地籍圖再進行區域式分類，同樣的可以賦予地籍圖之各地號分類屬性。因此使用 GIS 軟體分類功能進行影像判釋具有很好的便利性，但是這並不意味 GIS 軟體分類功能能夠完全取代衛星影像軟體的所有分類功能。

誌 謝

本研究承蒙財團法人曹公農業水利研究發展基金會研究計畫經費補助，使本研究得以順利完成，特此致謝。

參考文獻

1. 方彥凱，“常態化植生指數標準差於土地利用分類之應用-以美濃中壇工作站爲例”，國立屏東科技大學土木工程系研究所碩士論文，

(2004)。
2. 吳政庭，“多元尺度影像與半變異元紋理法於都市水稻田分類之研究”，逢甲大學土地管理學系碩士論文，(2004)。
3. 呂秀慧，“頭前溪流域植生覆蓋變遷之研究”，國立交通大學土木工程學系研究所碩士論文，(2001)。
4. 陳彥宏，“運用紋理資訊輔助高解析度衛星影像於都會區水稻田萃取 之研究”，逢甲大學土地管理學系碩士論文，(2004)。
5. 陳益凰，“應用多時段衛星影像辨識水稻田之研究”，國立成功大學測量工程研究所碩士論文，(1998)。
6. 陳榮松、李源泉、張煜權，“地理資訊系統應用於美濃地區中壇工作站灌溉管理研究計劃”，財團法人中興土木科技發展文教基金會，(2003)。
7. 郭秀玲，“紋理分析於農地利用判釋之研究-以苗栗縣大湖鄉爲例”，逢甲大學土地管理學系碩士論文，(2003)。
8. 鄭丁元， “高解析度衛星影像於水稻田坵塊萃取之研究”，逢甲大學土地管理學系碩士論文，(2006)。
9. 鄧敏松， “結合多時段遙測影像、耕地坵塊與領域知識之區域式影像辨識法於水稻田耕作調查之應用”，國立成功大學測量工程研究所碩士論文，(1997)。
10. 蕭國鑫， “多時遙測光學與雷達資料於水稻田辨識之研究”，國立交通大學土木工程學系碩士論文，(1998)。
11. Conel, J. E., Green, R. O., Vane, G., Bruegge, C. J., Alley, R. E., and Curtiss, B., J., “Airborne imaging spectrometer-2, radiometric spectral characteristics and comparison of ways to compensate for the atmosphere.” Proceedings, SPIE, Vol. 834, pp. 140 -157, (1987).
12. Ding, Y. and Elvidge, C. D., “Comparison of Relative Radiometric Normalization Techniques.” *Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, Vol. 51, No. 3, pp. 117-126, (1996).
13. Kruse, F. A., Kierein-Young, K. S., and Boardman, J. W., “Mineral mapping at Cuprite,Nevada with a 63 channel imaging spectrometer.” *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, Vol. 56, No. 1, pp. 83-92, (1990).
14. Lillesand, T. M. and Kiefer, R. W., “*Remote Sensing and Image Interpretation*.” John Wiley & Sons, Inc., Fifth Edition, (2004).
15. Roberts, D. A., Yamaguchi, Y., and Lyon, R. J. P., “Calibration of airborne imaging spectrometer data to percent reflectance using field measurements.” Proceedings of the Nineteenth International Symposium on Remote Sensing of Environment, (1985).
16. Rouse, J. W., Hass, R. H., Schell, J. A., and Deering, D. W., “Monitoring Vegetation Systems in the Great Plain With ERTS”, In Third ERTS Symposium, NASA SP-351, NASA, Washington, DC., Vol. 1, pp. 309-317, (1973).

收稿日期：民國 99 年 6 月 9 日
修正日期：民國 99 年 9 月 30 日
接受日期：民國 99 年 10 月 5 日