

高光譜應用於農業與水域的檢測

Hyperspectral Sensing in Agriculture and Water Areas

李龍正、申雍

Long-Jeng Lee, Yuan Shen

由於高光譜影像符合工業 4.0 精神，高光譜影像本身就是大數據，研究人員可憑藉這些光譜影像數據分析達成精準量測、預測，乃至於施作管理。本文以高光譜影像應用在精準農業及水域環境觀測為例，闡述高光譜在生態環境應用。

Since hyperspectral images are in line with the spirit of Industry 4.0, hyperspectral images themselves are big information of data. Researchers can rely on the analysis of these spectral image data to achieve accurate measurement, prediction, and even implementation management. In this article, we take the application of hyperspectral imaging in precision agriculture and water environment observation as examples to illustrate the application of hyperspectral in the ecological environment.

一、前言

依據 2010 文獻⁽¹⁾ 指出，2007 年水污染參數化學氧氣需求量 COD (chemical oxygen demand) 中，由居民及商業行為造成佔 35%，由農業造成佔 42%，可見環境保護及水污染管控，在農業管理及輔導工作非常重要。於 2013 年，德國提出「工業 4.0」的構想與概念，奠立智慧儀控在工業化中的重要作用。於 2015 年「農業 4.0」也被提出，國內也有農業醫生(專家) 這個計畫，利用網路和影像，進行農業施作諮詢，所以有學者提議將「工業 4.0」應用到農業領域，落實農業 4.0 一些政策內容。如圖 1，工業 4.0 利用網路儀控及大數據分析體現智慧儀控，智慧施作及智慧管理。利用網路儀控讓儀器自動化自我管理及施作，利用模擬軟體模擬施作過程，減少施作錯誤且智慧施工可縮短工時，利用儀控自我管理數據及施作狀況，運算大數據分析，以提供更有效智慧管理模式。在精準農業領域很早就有上述的構想基礎，但利用感測器運用於農業施作，於近年逐漸被重視。如高光譜影像應用於精準農業，可預估農作物健康狀態及病蟲害，利用影像中光譜訊息推估農作物含氮量及病蟲害，進而推估農作產量及對農業施作進行改善。

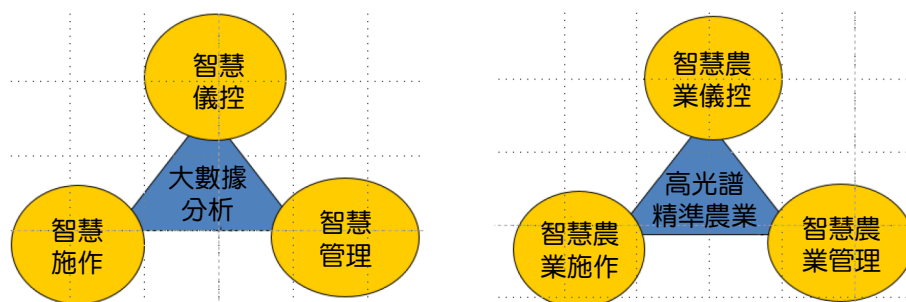


圖 1. 利用高光譜影像為平台，將工業 4.0 理念延伸至精準農業。

在國家科技預算及國家實驗研究院台灣儀器科技研究中心 (以下簡稱儀科中心) 經費支持下，我們也針對沿海地層下陷和其影響沿海濕地關係探討，認為利用濕地生態植被研究，可反推地層下陷危機。另外和學校研究團隊合作精準農業和水質應用，利用紅外線-Red edge 及植被指數—常態化差異植生指標 (normalized difference vegetation index, NDVI) 反推植被健康狀態。在水域水質監控，則利用水庫水面葉綠素在高光譜影像呈現，推估水質分佈。於 2014 年和成功大學合作之水下高光譜儀進行臺澳國際合作計畫，於澳洲電視台播放臺澳雙方合作在海草生長之研究，彰顯國人利用科技合作能量能進行國際外交。

二、農業檢測應用

植物吸收紅光及藍光，然於近紅外光譜區有很好反射率，另外常態化差異植生指標通常是利用衛星遙感光譜影像數據計算，以評估目標地區綠色植被的生長狀況。常態化差異植生指標是一個數值指標，在地面上可用於植物水果成熟度或病害程度鑑別。常態化差異植生指標的計算是利用紅光與近紅外光的反射強度，能顯示出植物生長、生態系的活力與生產力等資訊，數值愈大表示植物生長愈好。常態化差異植生指標的計算方式如下方程式所描述：

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

其中， R_{NIR} 為近紅外光的反射率， R_{Red} 為紅光的反射率，常態化差異植生指標之值介於 -1 到 1 之間，當紅光的反射為零時，有最大值 1；反之，當近紅外光的反射為零時，有最小值 -1。

以上參數是以常用常態化差異植生指標影像做演繹，並不一定適用於大豆病蟲害，一些國際研究文獻有整理 30 幾項光譜參數供作分析，在與實際植病進行比對，最具線性結果才是最佳光譜參數，在農業施作可選取幾項作比對，以解算速度最佳為優先考量。以下就整理所得列表如表 1 分項說明。

高光譜數據光譜範圍 400—1000 nm，常見上百個波段，研究人員可以上述數據運算推估植作氮含量，植作發育狀況，最佳採收期及預估產量，這些數據搭配老農經驗就可整理出量化的生產及管理模式，如果不如預期，就選擇其它農作，譬如有些田地土壤層太少，下方都是石頭，若種水稻，水和肥料無法有效吸收，排到石頭區，污染水域，且稻作產量低，建議改旱作。國內中興大學從事精準農業研究⁽²⁻⁴⁾，以高光譜或多光譜配合水稻成長觀測，如圖 2，不同時期拍攝高光譜，評估水稻含氮量，並推估預期產量。

表 1. 農作光譜指 標 應用各項檢測應用。

比值	R(800)/R(550), R(750)/R(550), R(695)/R(420)	發育狀態，病蟲害
比值	R(800)/R(1660), R(1660)/R(550) , R(900)/R(970)	水傷指數，水含量
比值	R(800)/R(635) 葉綠素含量, R(800)/R(500) 胡蘿蔔素含量	
比值	R(515)/R(570), R(515)/R(570), R(520)/R(500)	胡蘿蔔素指數
比值	R(750)/R(710)	紅位移指數，發育進度
正規比	$(R(800)-R(670))/(R(800)+R(670))$	NDVI
正規比	$(R(700)-R(670)-0.2*(R(700)-R(550)))/(R(700)/R(670))$	葉綠素吸收指數
正規比	$(R(755)-R(444))/(R(755)+R(444))$	含水量指數素
正規比	$(R(515)-R(531))/(R(515)+R(531))$	光合作用指數

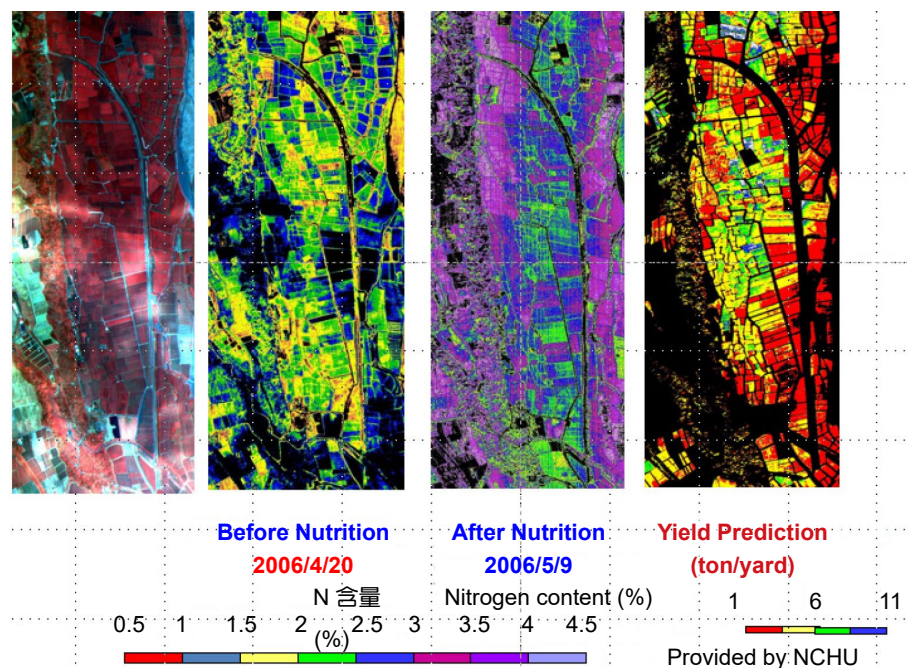


圖 2. 高光譜在水稻不同成長時期拍攝，依光譜參數推估植作含氮量，並推估產量。

三、水域檢測應用

在儀科中心數年對高光譜在水域方向研究可分成：1. 水庫水質、2. 濕地保育、3. 水下環境監測。

1. 水庫水質

水中水質可由水中葉綠素 A 得知，而水面葉綠素 A 可由高光譜影像估算⁽⁵⁾：

$$\text{葉綠素 A} = a * (705/675 \text{ nm}) - b, \text{ 其中 } a \text{ 及 } b \text{ 為地真資料線性回歸數據} \quad (2)$$

$$\text{濁度 NTU} = a * (710 - 740 \text{ nm}) - b, \text{ 其中 } a \text{ 及 } b \text{ 為地真資料線性回歸數據} \quad (3)$$

水庫水質關係民生用水，濁度提昇不僅縮短水庫壽命，且影響水質，所以濁度污染源觀察極為重要，常用濁度單位為 NTU (nephelometric turbidity unit)，從圖 3 觀看濁度來源，一為進水口，另一為大埔垃圾掩埋場。

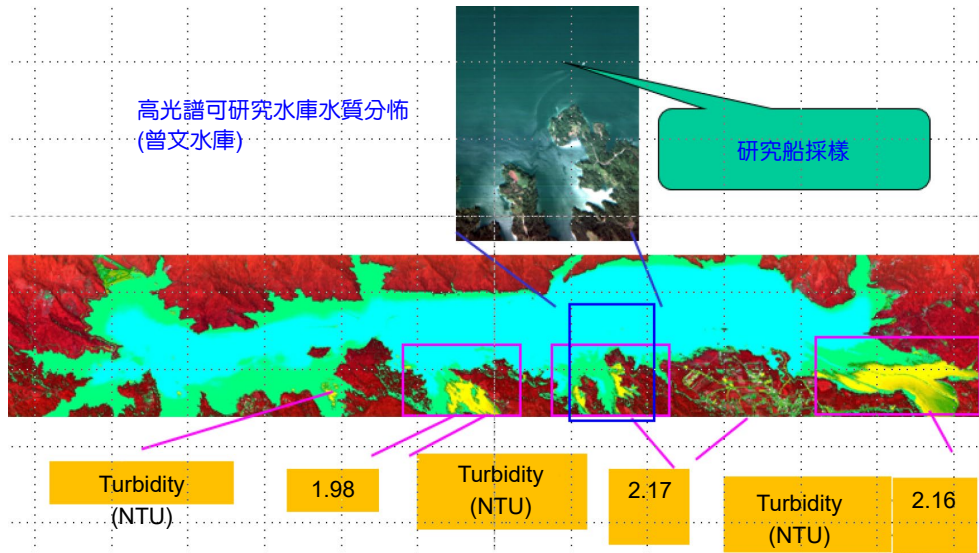


圖 3. 利用高光譜影像推估水庫水域濁度。

2. 濕地保育

濕地保育是研究碳匯，也是研究地層下陷之重要課題。碳匯是透過植物光合作用並利用呼吸行為，濕地中的生態系得以和大氣進行碳的交換。濕地維管束植物和非維管束植物 (如藻類)，進行光合作用吸收空氣中二氧化碳，將碳保存在濕地底層分解速率之最低土壤中，濕地能將碳貯存起來，這有助於空氣碳量減少進而緩和全球暖化的速度。然臺灣沿海濕地保育不易，一是由於超抽地下水，地層下陷，鹽份不斷侵損濕地，另一是農業施用農藥，造成一些動物及微生物死亡，間接影響植物生存。於 2006 年筆者從台中港沿著海岸航拍高光譜至六輕，高光譜影像如圖 4⁽⁶⁾，除了芳苑濕地在大排灌注淡水，植物成長健康，其餘周遭作物皆呈現亞健康，其餘海岸植作很少。濕地除了吸收碳外，還可吸收廢水污染物和農作氮肥及磷肥。濕地植作之紅位移光譜，除了記錄植作健康外，尚可觀察地層下陷及鹽份侵入狀況。

3. 水下環境監測

利用高光譜進行水下環境觀測可分為國內珊瑚觀測及澳洲水草觀測。水下高光譜在水下拍攝，需須有穩定航行載具，國研院海洋中心依魷魚在水下行動仿製滑行載具如圖 5⁽⁷⁾。

自 1940–2000 年，南澳阿德雷德附近海域海草消失超過 50 平方公里⁽⁸⁾，南澳政府及研究人員認為是由於居民在海上活動及經濟環境對海域污染所造成，依研究人員 Seddon (2002) 認為水的濁度不利海草光合作用。於 2014 年，國立成功大學、國研院儀科中心及澳洲自來水公司獲得澳州政府補助，利用水下高光譜進行海域海草研究如圖 8，本次研究主要利用光譜訊息探知影響海草生長之未知因素。

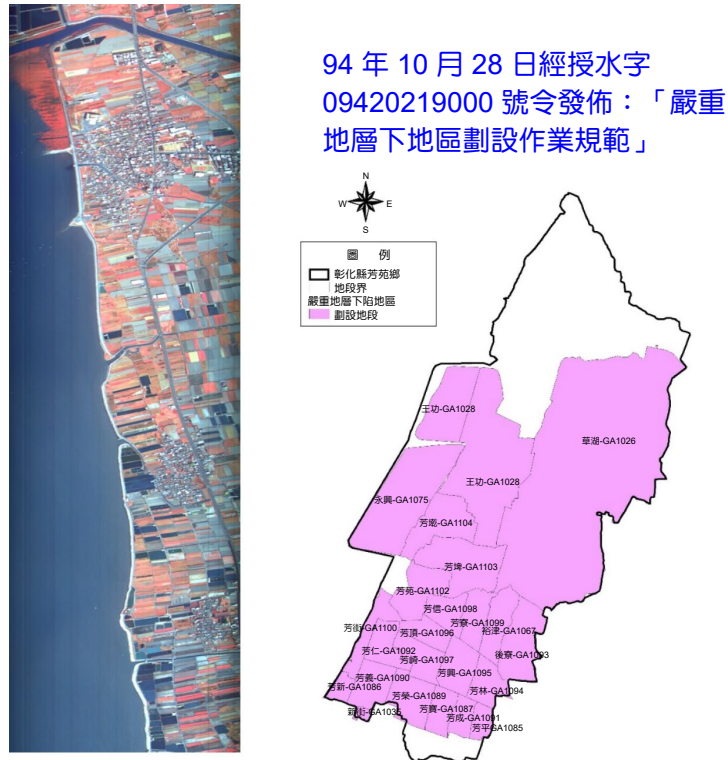


圖 4. 沿海高光譜航拍及經濟部水利署嚴重地層下陷區域。

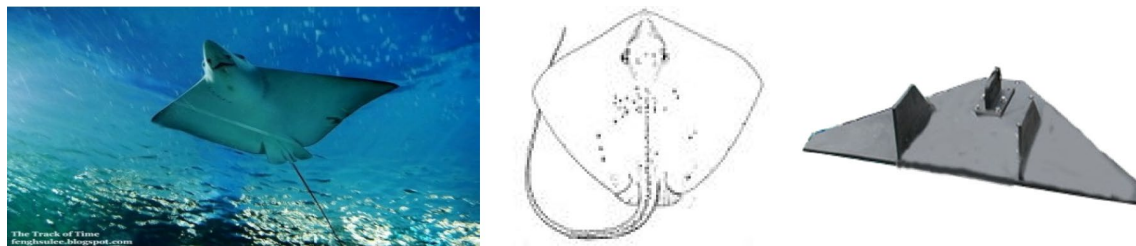


圖 5. 水下高光譜載具依魟魚仿制而成。

如圖 9 所示，儘管我們的高光譜儀設計在 400–800 nm 進行了優化，但我們發現存在一定量 400 nm 以下的紫外線，特別是在海底的沙子處。可能是紫外線對海底的海洋生物造成傷害，導致魚類和海草之間的營養圈消失，海草向海底更深處移動，這是本次研究新發現，事實上最近研究人員已在離海更遠更深及發現了海草⁽⁹⁾。

四、結論

高光譜影像是含空間訊息和光譜訊息，是研究生態系之一把利器。於本文中介紹了儀科中心對精準農業及水域監測的研究工作，包括精準農業之各項關鍵光譜指標，水下高光譜訊息除了在可見光外，未來可提昇到紫外光區，了解水下植物在微許紫外光產生高價值營養。另外在碳匯研究，盤點固碳植物，減緩全球暖化時程的研究上，高光譜影像也極具應用潛力。

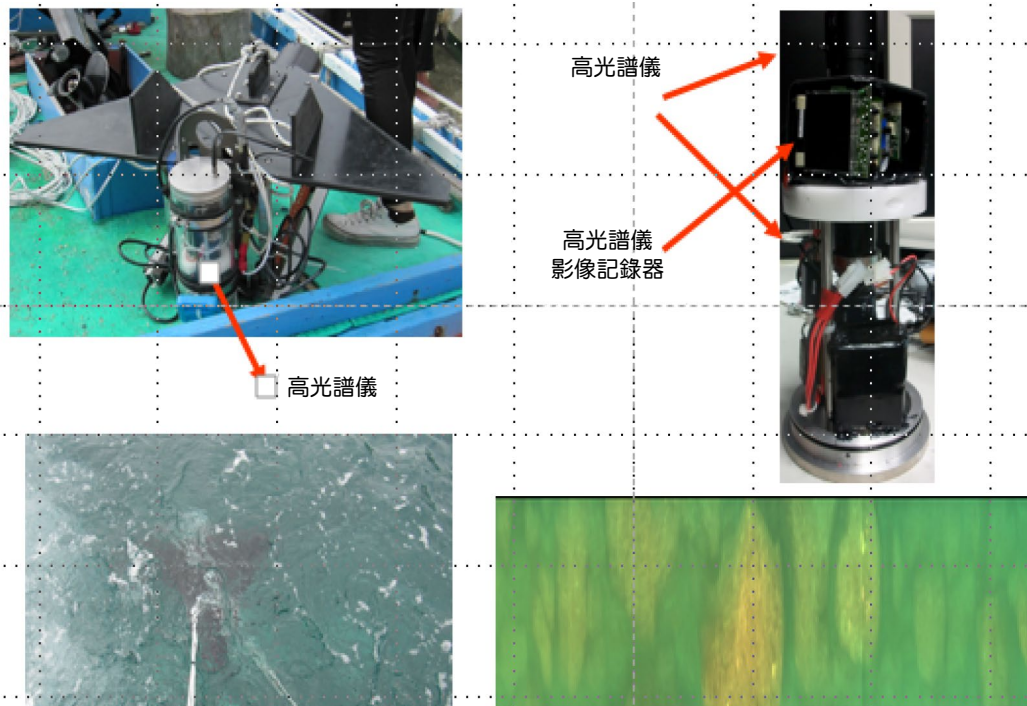


圖 6. 水下高光譜組立 3D 圖與航行及岩岸拍攝高光譜影像圖。

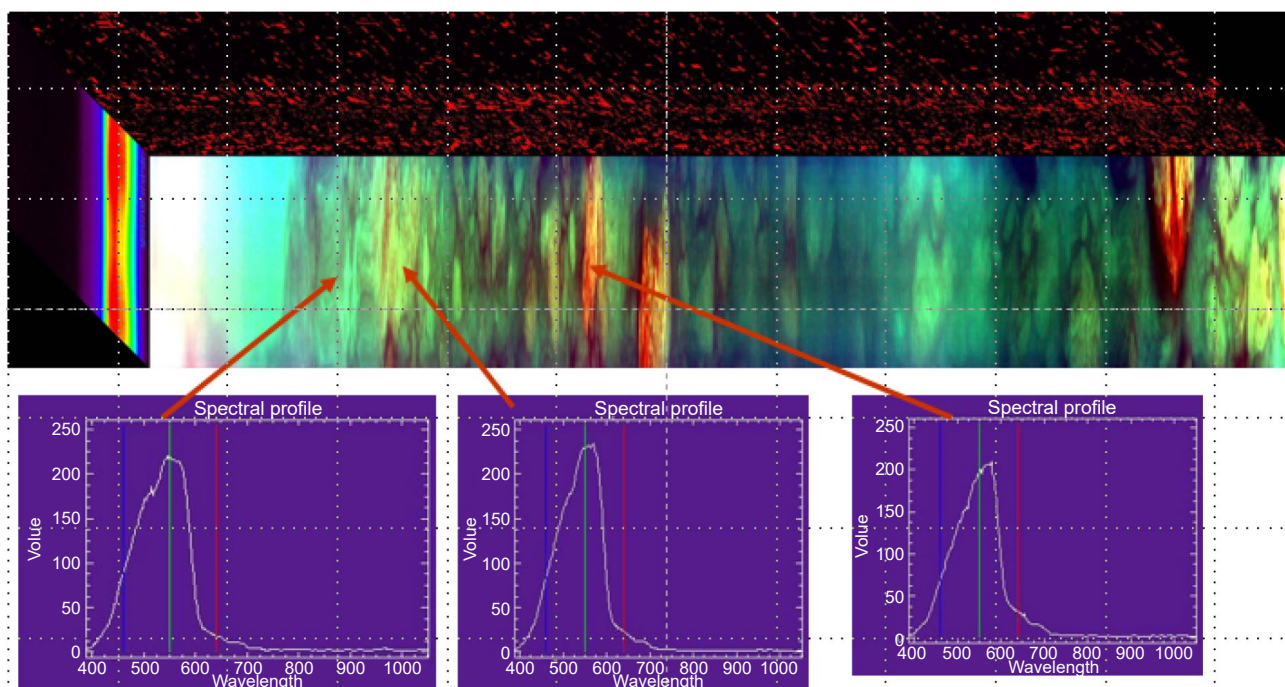
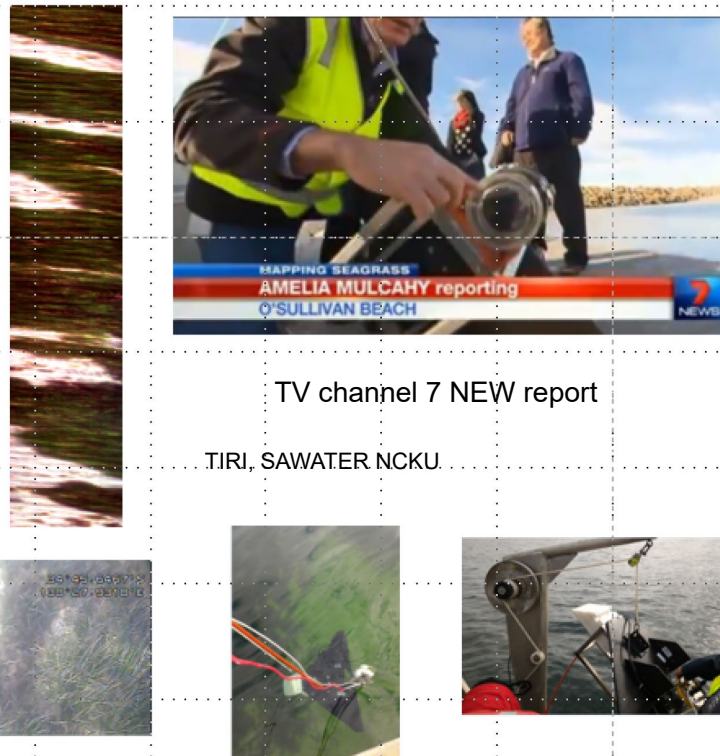


圖 7. 岩岸拍攝高光譜影像光譜 3D 圖。

Seagrass investigation



TV channel 7 NEW report

TIRI, SAWATER NCKU

圖 8. 水下高光譜儀在水下 20 公尺拍攝高光譜影像及澳洲媒體報導。

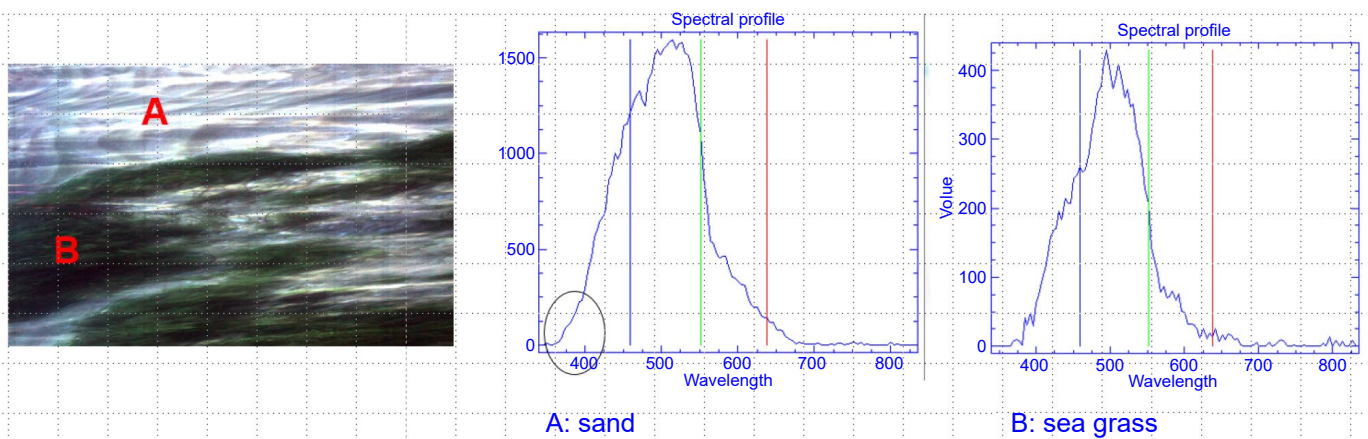


圖 9. 海草及沙地高光譜資料，特別在 400 nm 以下之光譜值。

參考文獻

1. "Communique on First Pollution Census" February 6, (2010).
2. 王淑姿, 吳振記, 申雍, 高光譜影像儀在精準農業之應用研究, 科儀新知, **29** (3): 22 (2007).
3. 王淑姿, 陳守泓, 姚銘輝, 申雍, 應用高光譜影像探討水稻產量與生育性狀空間變異之研究, 2007 數位地球研討會論文集, (2007).
4. Wang, S.Z., C.C. Wu, Y. Shen, "Detection of nitrogen over fertilization by hyperspectral imager and its applications", International Symposium of Sustainable Water and Soil Environment. Taichung, Taiwan, 137-144 (2008)

5. Naseer A. Shafique, Florence Fulk, Bradley C. Autrey, Joseph Flotemersch, *Environmental Science*, 216 (2003)
6. Long-Jeng Lee, Jen-Yu Wen, Shenq-Tsong Chang, Cheng-Fang Ho, Ting-Ming Hung, “Airborne Test of Hyperspectral Imager and Study on the Wetland along the Coast”, *The 4th Taipei International Conference on Digital Earth*, May 25, (2006).
7. Long-Jeng Lee, Chih-Hua Chang, Sheng-Wei Huang, Wen-Chang Yang, Cheng- Chien Liu, “The Preliminary Test of Hyperspectral imager for Under water Monitor and Its Studied on the Coral Reef”, *International Symposium on Remote Sensing (ISRS)*, April Busan, Korea, (2014).
8. Seddon S. 2002. “Issues for seagrass rehabilitation along the Adelaide metropolitan coast: An overview”, in: Seddon S. and Murray-Jones S. Eds. *Proceedings of the seagrass restoration workshop for Gulf St Vincent 15-16 May 2001*. Department of Environment and Heritage and SARDI Aquatic Sciences, Adelaide, pp. 1-8.
9. Long-Jeng Lee, Charnsmorn Hwang, Chih-Hua Chang, Michael Burch and Milena Fernandes, “The study of UV Effect on the Seagrass by Underwater Hyperspectral Image”, *International Symposium on Remote Sensing (ISRS)*, May 17~19, Nagoya, Japan, (2017).

作者簡介

李龍正先生為國立清華大學化學博士，現為國家實驗研究院台灣儀器科技研究中心研究員。

Long-Jeng Lee received his Ph.D. in Chemistry from National Tsing Hua University. He is currently a Researcher at Taiwan Instrument Research Institute, NARLabs.

申雍先生為美國威斯康辛大學土壤博士。

Yuan Shen received his Ph.D. in Soil Science from the University of Wisconsin-Madison, USA.