

行政院農業委員會林務局委託研究計畫系列 98-00-5-20

遙測技術應用於平地造林碳匯計量之研究



委託機關：行政院農業委員會林務局（造林生產組）

執行機關：國立台灣大學森林環境暨資源學系

中華民國 98 年 12 月

章節目錄

圖目錄.....	III
表目錄.....	V
摘要.....	1
壹、計畫目標.....	2
貳、工作成果.....	3
一、建置造林地 GIS 資料庫.....	3
1. 初期收集資料.....	3
(1) 造林地範圍圖框.....	3
(2) 台糖公司造林地基本資料.....	4
2. 造林小區境界測量.....	6
二、收集多期衛星影像.....	10
三、光譜資訊抽取與分析.....	14
1. 光譜均質區分析.....	14
2. 雙光譜分析.....	15
四、地面樣區設置規劃.....	17
1. 樣區設置方式.....	17
(1) 光譜樣點.....	17
(2) 光譜均質區.....	20
(3) 樣區設置.....	20
(4) 現場樣區定位.....	21
2. 調查項目.....	21
五、地面樣區調查結果與分析.....	24
六、光譜資訊與林分參數迴歸分析.....	28
1. 樹冠覆蓋率與光譜資訊迴歸分析結果.....	28

2. 單位面積材積與光譜資訊迴歸分析結果.....	29
3. 成活率與光譜資訊迴歸分析結果.....	30
4. 最佳光譜迴歸模式.....	32
七、林分參數估算與比較.....	34
1. 估算結果.....	34
(1) 林分樹冠覆蓋率.....	34
(2) 林分蓄積量.....	34
(3) 林分成活率.....	35
2. 像元光譜值頻度圖.....	36
3. 空間分布圖.....	38
4. 林分碳量估算結果.....	45
參、結論與建議.....	47
一、建立樣區規劃的作業模式.....	47
二、林木栽植與生長狀況差異大.....	47
三、光譜資訊能夠有效結合林分參數.....	48
四、建議以光譜資訊為基礎的林分蓄積量推估模式.....	48
參考文獻.....	49
附錄一.....	51
附錄二.....	52
附錄三.....	55
附錄四.....	56
附錄五.....	57

圖目錄

圖 1	研究流程圖.....	1
圖 2	花蓮縣壽豐鄉、鳳林鎮、光復鄉及瑞穗鄉平地造林範圍.....	2
圖 3	台糖公司造林地基本屬性資料節錄.....	4
圖 4	現場地位情形.....	5
圖 5	造林小區基本資料紀錄表.....	6
圖 6	造林小區屬性資料表.....	6
圖 7	造林小區樹種分布圖.....	7
圖 8	台灣櫟與光臘樹純林分布圖.....	8
圖 9	光復鄉地區各期衛星影像.....	11
圖 10	造林範圍圖框與衛星影像之位移.....	13
圖 11	變異係數 0.03、0.04、0.05 之均質區比較.....	14
圖 12	2006 年各季節雙光譜圖.....	15
圖 13	2009 年 2 期雙光譜圖.....	16
圖 14	台灣櫟與光臘樹光譜樣點分布圖.....	17
圖 15	光譜樣點與均質區.....	19
圖 16	樣區設置情形.....	19
圖 17	每木調查紀錄表.....	20
圖 18	樣區現地狀況調查及四角位置定位紀錄表.....	20
圖 19	使用 GPS 儀器定位樣區四角點位之作業情形.....	21
圖 20	台灣櫟與光臘樹樣區分布圖.....	23
圖 21	部分樹冠覆蓋率與光譜資訊迴歸圖.....	29
圖 22	部分單位面積材積與光譜資訊迴歸圖.....	30
圖 23	部分成活率與光譜資訊迴歸圖.....	31
圖 24	衛星影像 pixel 數值之頻度圖.....	36

圖 25	林分參數空間分布圖.....	38
圖 26	成活率與像元蓄積量空間分布圖比較.....	41
圖 27	空照圖與空間分布圖之比對.....	43

表目錄

表 1	台糖與非台糖造林地面積.....	3
表 2	台糖公司造林地三鄉鎮面積.....	3
表 3	光復鄉造林地範圍座標.....	3
表 4	光復鄉各樹種栽植面積.....	4
表 5	造林小區境界測量與現地調查日期與工作進度表.....	6
表 6	SPOT-5 衛星資料空間解析度與多光譜模式.....	9
表 7	光復鄉地區可用衛星影像接收時間清單.....	10
表 8	已購買衛星影像之基本資料.....	11
表 9	台灣櫟與光臘樹 R、NIR、NDVI 值之範圍.....	16
表 10	台灣櫟(A)與光臘樹(B)光譜樣點之各波段光譜值.....	18
表 11	樣區設置工作進度表.....	23
表 12	樣區調查結果.....	25
表 13	2009 年 2 期衛星影像光譜資訊與林分參數迴歸之 R^2	32
表 14	最佳光譜迴歸模式公式表.....	33
表 15	光譜模式與樣區調查估算之比較.....	35
表 16	樣區林分參數回推之光譜值.....	36
表 17	台灣櫟與光臘樹碳量估算表.....	46

摘要

本研究旨在結合遙測與地面調查技術。利用不同植物的光譜反射特性，使用遙測技術建立不同樹種精確且大規模林分蓄積量的光譜估算蓄積量模式，以期能夠快速且正確掌握平地造林現況及固碳量。本計畫研究以花蓮光復鄉為研究區域，樹種對象為櫟樹與光臘樹。地面調查方面，首先調查並繪製造林小區分布圖，建立造林地 GIS 資料庫，將櫟樹與光臘樹純林抽取出來，與 2006 年四季影像光譜值作對照分析，挑選出春、夏二季影像進行 2009 年度之分析，並製作光譜均質區與雙光譜圖，選出光譜樣點於地面設置樣區進行每木調查。將調查之各項林分參數與光譜值進行迴歸分析，發現林分參數與 R 波段光譜值及 NDVI 值有較高迴歸關係，因此本研究使用 R 與 NDVI 值建立估算模式。2009 年春季 R 光譜值模式估算之全林分總蓄積量，櫟樹為 403.2 m^3 ，光臘樹為 1536.2 m^3 ；2009 年春季 NDVI 值模式估算之全林分總蓄積量，櫟樹為 434.29 m^3 ，光臘樹為 1543.03 m^3 ；樣區估算全林分總蓄積量，櫟樹為 $469.48 \pm 205.67 \text{ m}^3$ ，光臘樹為 $1668 \pm 355.99 \text{ m}^3$ ，光譜推估值皆落於樣區推估值 95 %信賴區間內，但稍微低估。本研究之光譜模式已能適用於大部分不同生長狀況之林分，將所有林分之衛星影像像元之林分參數計算出得到空間分布圖，可由分布圖看出不同林分之生長狀況，未來可利用分布圖資訊，加強立地條件之地面調查，以提升光譜資訊與林分參數連結性，得到更為精準之光譜估算模式。

關鍵詞：遙測、碳匯、蓄積量、NDVI、雙光譜圖。

壹、計畫目標

結合遙測與地面調查技術，發展適用於估算大面積平地造林地碳匯數量的作業模式，以期快速且正確掌握平地造林現況及固碳量。

計畫研究以花蓮光復、壽豐、鳳林、瑞穗等四鄉鎮為研究區域，整體研究流程如圖 1 所示，主要分為造林地 GIS 資料庫建置、收集多期衛星影像、光譜特性分析、現場生長調查、光譜資訊與林分參數迴歸分析及林分參數推估等六項重要工作。

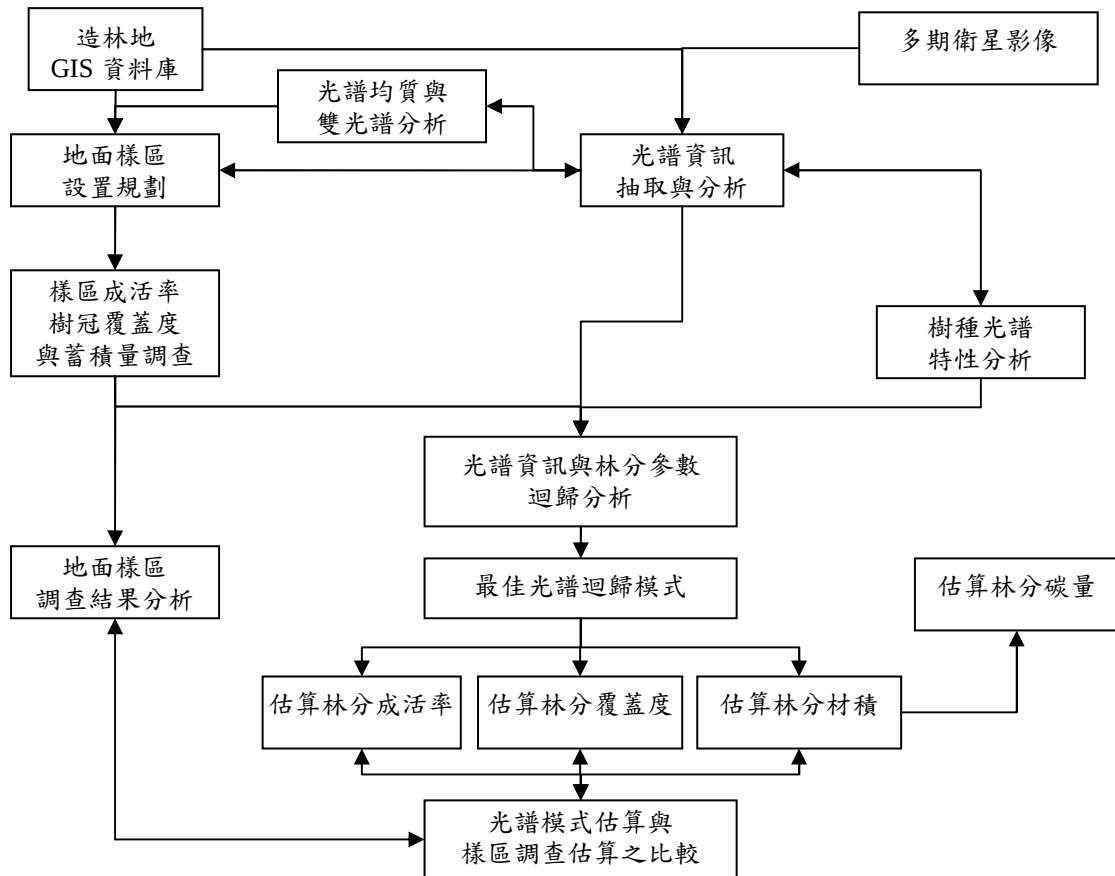


圖 1 研究流程圖

貳、 工作成果

一、 建置造林地 GIS 資料庫

1. 初期收集資料：

(1) 造林地範圍圖框

花蓮壽豐鄉、鳳林鎮、光復鄉與瑞穗鄉平地造林範圍圖框。範圍內大部分造林地屬台糖公司所有，其餘則為私有林地，如圖 2：

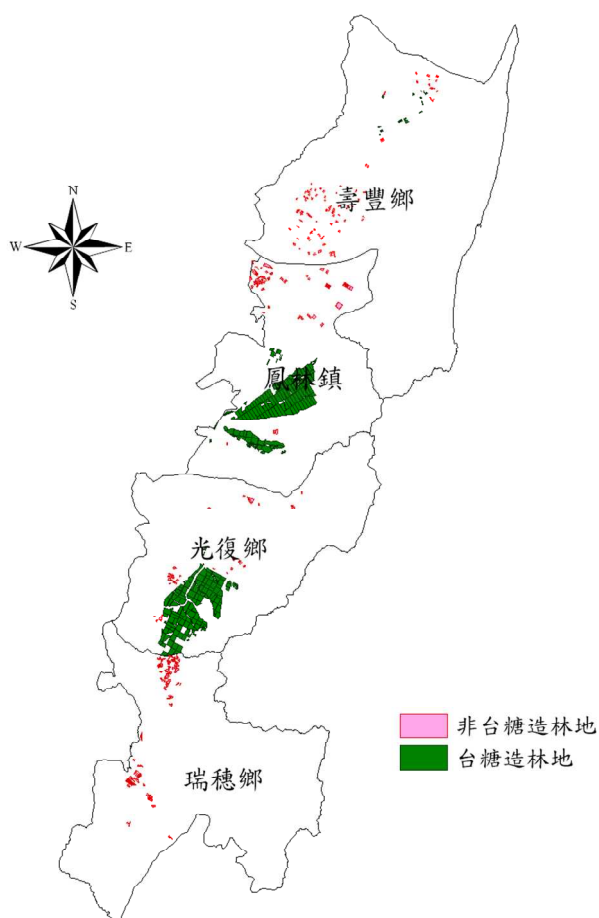


圖 2 花蓮縣壽豐鄉、鳳林鎮、光復鄉及瑞穗鄉平地造林範圍

由圖 2 可看出台糖公司造林地範圍廣大，排列整齊，邊界清楚，造林地主要集中於台糖公司所屬範圍。而台糖公司造林地與非台糖公司造林地面積統計如表 1：

表 1 台糖與非台糖造林地面積

年度\鄉鎮	壽豐鄉		鳳林鎮		光復鄉		瑞穗鄉		合計 (ha)		總計 (ha)
	非台糖	台糖	非台糖	台糖	非台糖	台糖	非台糖	台糖	非台糖	台糖	全部
91	33.48	-	29.03	-	-	491.46	44.96	-	107.47	491.46	598.93
92	10.34	13.91	4.93	1029.73	19.67	317.48	11.66	-	46.60	1361.11	1407.71
93	9.35	-	40.73	5.50	7.05	184.10	35.27	-	92.40	189.60	564.00
94	8.95	-	13.46	-	15.07	-	7.28	-	44.76	-	44.76
合計(ha)	62.12	13.91	88.15	1035.23	41.79	993.04	99.17	-	291.23	2042.17	2333.40

台糖公司造林地共有 2042.17 公頃，其餘造林地共有 291.23 公頃，台糖公司造林地佔全部造林地之 87.5%，台糖公司造林地範圍廣大，排列整齊，基本屬性資料完整，因此選用台糖公司造林地為試驗地區極為理想。為提高作業效率，本研究未來將以台糖所屬的造林地為主，因台糖公司並未在瑞穗鄉造林，光復鄉之造林地面積達 993.04 公頃，佔全部台糖造林地之 49%。顧及地面調查工作量，本研究集中在光復鄉之台糖造林地作為研究試驗區。表 2 為花蓮地區台糖公司造林地各鄉鎮之面積統計：

表 2 台糖公司造林地三鄉鎮面積

年度\鄉鎮	壽豐鄉	鳳林鎮	光復鄉	總計 (ha)
91	-	-	491.46	491.46
92	13.91	1029.73	317.48	1361.11
93	-	5.50	184.10	189.60
94	-	-	-	-
總計(ha)	13.91	1035.23	993.04	2042.17

光復鄉造林地範圍之座標如表 3，座標系統為 TWD97 二度分帶。

表 3 光復鄉造林地範圍座標

造林地範圍	X	Y
左上	288760	2619840
右下	298940	2605660

(2) 台糖公司造林地基本資料

台糖公司造林地基本屬性資料完整，包含地籍資料、申請年度、土地面積、樹種、樹種面積、造林株數等，如圖 3。

91-94年台糖公司資料(平地).xls								
	E	F	H	I	M	R	S	T
1	91-94年台糖公司平地景觀造林基本資料							
2	序區號	造林地點名稱	申請年度	地號	土地面積	樹種名稱	樹種面積	種苗株數
704	001	光復鄉	91	大富	0.81	台灣樟	0.81	1215
705	001	光復鄉	91	大富	0.04	楓香	0.04	60
706	001	光復鄉	91	大富	8.6	台灣赤楊	8.5	12900
707	001	光復鄉	91	大富	0.26	楓香	0.26	390
708	001	光復鄉	91	大富	0.71	台灣樟	0.71	1065
709	001	光復鄉	91	大富	0.02	楓香	0.02	30
710	002	光復鄉	91	大富	0.25	台灣樟	0.25	375
711	002	光復鄉	91	大富	0.05	台灣樟	0.05	75
712	002	光復鄉	91	大富	0.53	台灣樟	0.53	795
713	002	光復鄉	91	大富	0.34	台灣赤楊	0.34	510
714	002	光復鄉	91	大富	0.23	台灣赤楊	0.23	345
715	002	光復鄉	91	大富	0.31	楓香	0.31	465
716	002	光復鄉	91	大富	1.14	楓香	1.14	1710
717	003	光復鄉	91	大富	0.1	台灣樟	0.1	150
718	003	光復鄉	91	大富	8.25	楓香	8.25	12375
719	003	光復鄉	91	大富	1.59	台灣樟	1.59	2385
720	003	光復鄉	91	大富	1.1	楓香	1.1	1650

圖 3 台糖公司造林地基本屬性資料節錄

由台糖公司造林地基本屬性資料之樹種面積部份，可統計出各樹種所栽植之面積，光復鄉各樹種所栽植之面積如表 4。

表 4 光復鄉各樹種栽植面積

樹種名稱	大全	大富	光復	富田	總計	所佔面積 (%)
水黃皮	-	-	-	5.76	5.76	0.58
台灣肖楠	-	3.84	-	-	3.84	0.39
台灣赤楊	-	25.55	-	16.87	42.42	4.28
欖樹	-	43.57	31.52	56.60	131.69	13.28
台灣欖樹	-	33.33	23.14	39.50	95.97	9.68
光臘樹	-	101.18	57.85	36.15	195.18	19.68
印度紫檀	-	-	-	7.10	7.10	0.72
肉桂類	7.63	30.72	10.20	48.12	96.67	9.75
杜英	-	32.44	-	15.73	48.17	4.86
青楓	-	1.00	0.67	-	1.67	0.17
苦楝	-	0.60	-	28.35	28.95	2.92
茄苳	0.46	45.05	5.69	65.13	116.33	11.73
烏心石	-	19.20	-	12.99	32.19	3.25
烏柏	-	-	8.25	-	8.25	0.83
無患子	-	20.07	2.02	-	22.09	2.23
楠木類	-	4.35	-	6.79	11.14	1.12
楓香	-	47.60	-	33.89	81.49	8.22
樟樹	3.44	41.72	2.19	15.29	62.64	6.32
合計(ha)	11.53	450.22	141.53	388.27	991.56	100.00

光復鄉之光臘樹栽植面積 195.18 公頃，佔全部面積 19.68%；檫樹栽植面積 131.69 公頃，佔全部面積 13.28%。由於光臘樹及檫樹栽植面積較大，為配合未來的光譜分析，因此先選定此二樹種作為調查對象。

2. 造林小區境界測量

由於既有的造林地資料係由造林登記卡為基本，主要以地籍單元為主，在此區域內可能混植不同樹種，其混植情形可能為單一樹種小區栽植，亦可能為多樹種混合栽植的情形，此種栽植的差異會造成日後進行樹種光譜分析時的誤差，所以有必要在地面上配合實際之樹種栽植情形進行地面的造林小區境界測量。此處所指造林小區為基本的造林單元，為單一造林樹種或均勻多樹種混植的造林地範圍。

進行現地境界測量時使用之儀器為(A) Leica GS5+ 公分級 GPS 接收器搭配 HP iPAQ PDA，使用軟體為 Superpad 及(B) Sokkia Axis³ 公吋級 GPS 接收器搭配 HP iPAQ PDA，使用軟體為 Imap。調查人員先於造林地調查不同造林小區範圍後，利用 GPS 儀器將每一個造林小區之四個角落定位，如圖 4：



圖 4 現場定位情形

同時將此造林小區之基本屬性資料，即林分高、鬱閉度、地表植被高等記錄於野帳記錄表，如圖 5 所示：

	A	B	C	D	E	F	G
1	造林小區編號	樹種	林份高(m)	鬱閉度(%)	地表植被高	地表植被種類	備註
2							
3							
4							
5							
6							
7							
8							
9							
10							

圖 5 造林小區基本資料紀錄表

再由內業處理將定位資料繪製成各造林小區之 Polygon 範圍並將各小區屬性資料加入，如圖 6：

FID	Shape *	小區編號	AREA	地類	年度	樹種	林份高	鬱閉度	地表植被高	地表植物	調查日期
0	Polygon	020107902	14982.617632	光復	92	光臘椿	6.5	80	50	成豐草 無	2009.05.08
1	Polygon	020107903	16282.347882	光復	92	光臘椿	4.7	60	50	成豐草 無	2009.05.08
2	Polygon	020107904	16160.451155	光復	92	光臘椿	5	55	50	成豐草 無	2009.05.08
3	Polygon	020107905	15997.617714	光復	92	台灣樟	4.5	50	60	成豐草 禾本科	2009.05.08
4	Polygon	020107906	15574.448669	光復	92	台灣樟	4.5	65	70	成豐草 昭和草	2009.05.08
5	Polygon	020107901	19932.020191	光復	92	光臘椿	6.5	65	30	成豐草 無	2009.05.08
6	Polygon	020107907	108990.878909	光復	92	光臘椿	6.8	85	0	無	2009.04.30
7	Polygon	020107908	107592.969723	光復	92	台灣樟	4	35	60	成豐草 雜草? 雜草	2009.05.08
8	Polygon	020107909	92922.940734	光復	92	光臘椿	8.5	60	40	成豐草 禾本科	2009.05.08
9	Polygon	020107910	68190.157896	光復	92	光臘椿	6	30	40	成豐草	2009.05.08
10	Polygon	020801901	37901.594296	大富	91	台灣樟	6.9	85	70	成豐草 台灣木	2009.05.09
11	Polygon	020801902	42892.408786	大富	91	肉桂	6.9	75	0	無	2009.05.09
12	Polygon	020801903	4768.188955	大富	91	茄冬	5	55	0	無	2009.05.09
13	Polygon	020801905	5560.292026	大富	91	肉桂	5.5	80	0	無	2009.05.09
14	Polygon	020801906	6778.111204	大富	91	茄冬	5.1	35	0	無	2009.05.09
15	Polygon	020801908	8285.533229	大富	91	肉桂	5.5	65	0	無	2009.05.09
16	Polygon	020801909	7991.086008	大富	91	茄冬	4.8	90	0	無	2009.05.09

圖 6 造林小區屬性資料表

表 5 為造林小區境界測量與現地調查工作日期。

表 5 造林小區境界測量與現地調查日期與工作進度表

調查日期	工作項目	完成進度
2009/4/29-30	造林地探勘	
2009/5/8-10	造林小區調查 光復段，大全段，大富段 13、14、31、32、33、34	
2009/5/15-17	造林小區調查 大富段 11、15、16、17、18、27、28	
2009/5/25-27	造林小區調查 大富段 36、37、39、44、45、46、53、57、58、63、64	
2009/7/22-24	造林小區調查 大富段 01、02、08、09、10、56、67、68、69、70	
2009/7/29-30	造林小區調查 大富段 03-07、19、36、37、39、44-46、53、57、58、63、64	
2009/8/24-28	造林小區調查 富田段，大富段 12、20、26、29、41	

共完成 900 餘公頃造林地之調查與樣區設置，區分完成之造林小區總計有 1076 區。造林小區樹種分布圖如圖 7 所示。

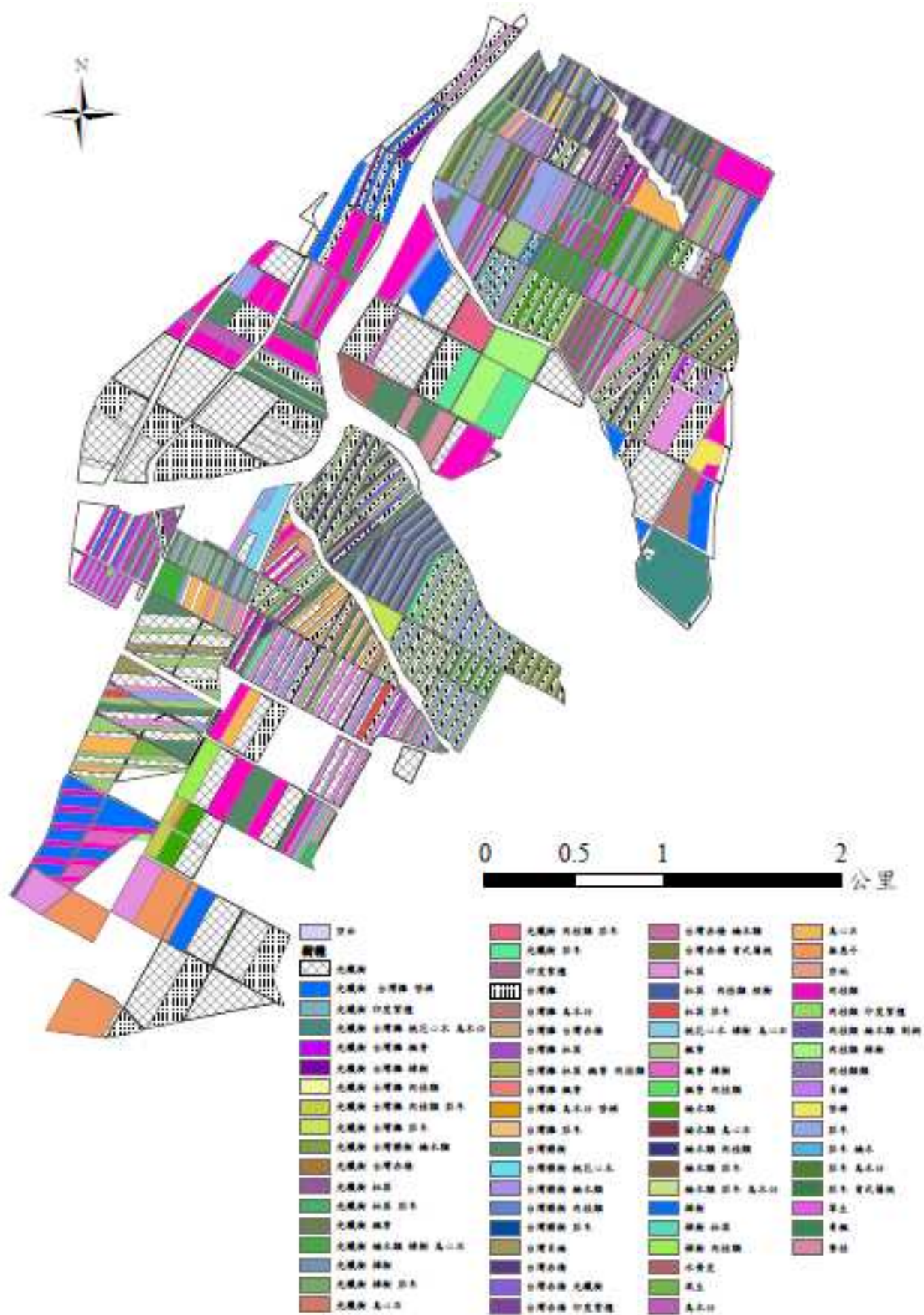


圖 7 造林小區樹種分布圖

利用調查完成之造林小區樹種分布圖層，將檫樹與光臘樹純林分別抽取出來，如圖 8。因 SPOT-5 衛星影像之空間解析度為 10 m，故此圖刪去寬度小於 10 m 之小區，以避免鄰近小區林分影響光譜值抽取結果，未來光譜分析皆以此範圍為基礎進行。抽取出之檫樹純林面積為 61.45 公頃，光臘樹純林面積為 99.94 公頃。



圖 8 檫樹與光臘樹純林分布圖

二、 收集多期衛星影像

研究使用法國 SPOT-5 衛星之衛星影像進行分析。SPOT-5 衛星之感測器可記錄綠光(G)、紅光(R)、近紅外光(NIR)及短波紅外光(SWIR)波段，各波段光譜值可推算植生指數，進行光譜特性分析，進而了解植物生長情形及表現(曾仁鍵，2004)。

表 6 SPOT-5 衛星資料空間解析度與多光譜模式

感測器	多光譜態 (HI)
波段	綠光(G)：0.50~0.59 μm
	紅光(R)：0.61~0.68 μm
	近紅外光(NIR)：0.79~0.89 μm
	短波紅外光(SWIR)：1.58~1.75 μm
空間解析度	10m

SPOT-5 衛星影像由國立中央大學遙測中心購買。首先進入中央大學遙測中心產品查詢網頁，指定衛星影像範圍及條件，再篩選適合本研究之衛星影像。

中央大學遙測中心之衛星影像標準產品幾何改正處理等級分為三大類：原始影像（等級 1A、1B）、系統改正影像（等級 2A），以及精密幾何改正影像（等級 2B、3），本計劃購買之衛星影像皆為等級 3，詳細說明如下：

製作時，首先利用全台灣地面控制點(Ground Control Point, GCP)資料庫選取相對應之影像控制點，求得精確方位參數。再利用農委會全台灣 40 公尺網格數值地形模型(Digital Terrain Model, DTM)資料進行高差位移修正，並將結果投影在使用者所指定之地圖座標系統上，產生正射影像(Ortho-Image)，是為等級 3 之產品。等級 2B 之產品則未使用數值地形模型，改以控制點平均高度來進行幾何糾正。而影像重新取樣方式，選擇最鄰近法(Nearest Neighborhood, NN)（中央大學遙測中心，2009）。

篩選衛星影像基礎原則為：入射角絕對值不超過 30° ，平均最大雲量百分比不超過 30%。經由產品查詢後，列出之可用衛星影像清單如附錄一、二。

植物生長情形因四季變換而略有不同，一般說來植物在夏季生長情況良好，冬季則可能有落葉情況(Jensen, 2000)。因此需要瞭解四季之光譜特性變化，

選出能確實反應植物生長情形之季節，進而進行雙光譜分析。選取衛星影像時，時間尺度上希望能在同一年度中選出代表四季之衛星影像，選定季節後再對今年度 2009 之衛星影像進行光譜分析。可用衛星影像清單之各影像接收時間如表 7。2006 年度可使用影像數量最多，四季影像皆有；2007 年及 2008 年度之可用衛星影像數量相對較少，且沒有適合代表四個季節之衛星影像。2007 年度雖有四季影像，但秋季及冬季時間距離過短，不適合作為代表。篩選過後選出之衛星影像日期為 2006/02/22、2006/04/11、2006/07/19 及 2006/11/10。利用 2006 年四季影像進行雙光譜分析後，選定春季及夏季之衛星影像做為分析對象，選定衛星影像過程將於後段雙光譜分析中說明。

2009 年夏季氣候不佳，尤其在莫拉克颱風（2009/08/05~08/10）之後，光復地區衛星影像平均最大雲量皆大於 30%，無法用作分析。截至 2009 年 11 月為止，可用衛星影像僅有 2009/05/13、2009/06/03 以及 2009/06/24 三張衛星影像，因此選用 2009/05/13 與 2009/06/24 時間距離較長之二張衛星影像。

表 7 光復鄉地區可用衛星影像接收時間清單

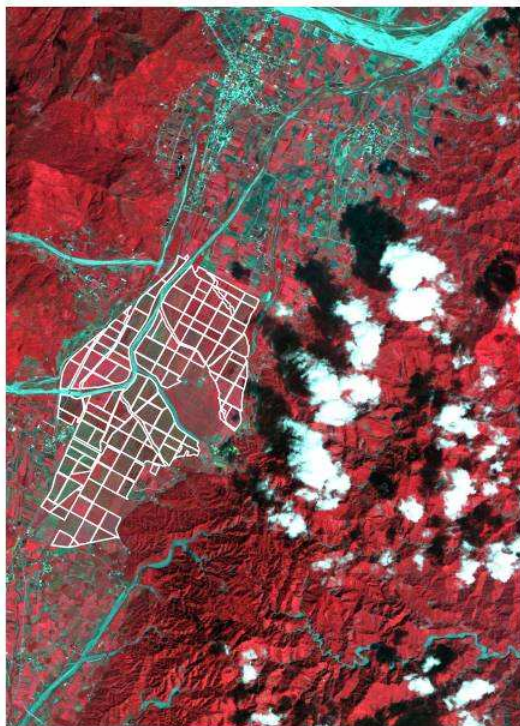
2006		2007		2008		2009	
影像日期	季節	影像日期	季節	影像日期	季節	影像日期	季節
2006/12/6	冬	2007/1/26	冬	2008/3/13	春	2009/5/13	春
2006/2/22	冬	2007/4/20	春	2008/12/3	冬	2009/6/3	夏
2006/4/5	春	2007/7/2	夏			2009/6/24	夏
2006/4/11	春	2007/7/23	夏				
2006/7/19	夏	2007/8/23	夏				
2006/8/14	夏	2007/11/30	秋				
2006/10/5	秋						
2006/11/10	秋						

註：灰色區塊代表已購買之衛星影像

光復地區之衛星影像共 6 張，鳳林地區之衛星影像共 4 張，詳細資訊如表 8。光復地區衛星影像圖示如圖 9。

表 8 已購買衛星影像之基本資料

地區	接收時間	感測器	入射角 (°)	方位角 (°)	高度角 (°)	平均雲量 (%)	絕對校正係數			
							G	R	NIR	SWIR
光復	2006/02/22	G2J	23.84	148.34	50.69	25	2.14	2.85	1.74	13.90
	2006/04/11	G2J	-19.14	123.37	63.36	14	1.22	1.63	1.31	8.23
	2006/07/19	G2J	-26.58	91.44	67.30	11	1.22	1.63	1.31	8.23
	2006/11/10	G2J	-12.57	156.14	46.16	21	2.14	2.85	1.74	13.90
	2009/5/13	G2J	-4.7	101.67	70.16	10	1.19	1.62	1.29	8.18
	2009/6/24	G2J	-19.19	86.12	68.49	14	1.19	1.62	1.29	8.18
鳳林	2006/02/22	G2J	23.84	148.34	50.69	25	2.14	2.85	1.74	13.90
	2006/04/11	G1J	-19.84	122.56	63.44	28	1.33	2.20	1.32	8.26
	2006/07/19	G2J	-26.58	91.44	67.30	11	1.22	1.63	1.31	8.23
	2006/11/10	G2J	-12.57	156.14	46.16	21	2.14	2.85	1.74	13.90



20060222



20060411



20060719



20061110



20090513



20090624

圖 9 光復鄉地區各期衛星影像

三、 光譜資訊抽取與分析

1. 光譜均質區分析

衛星影像雖經過精密幾何校正過，仍有其極限，每張衛星影像之間存在不同的位移誤差，衛星影像與造林地範圍圖框也存在位移誤差，如圖 10。

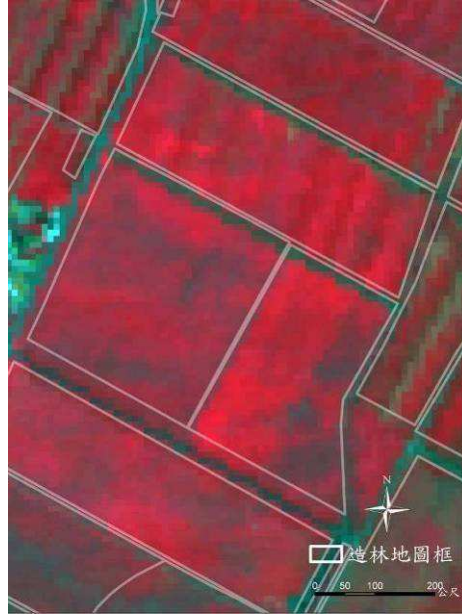


圖 10 造林範圍圖框與衛星影像之位移

如果直接抽取目標樣區之光譜值，可能會因為平移誤差而取到非目標樣區之光譜值，而無法作準確之特性比較。為避免平移誤差，可利用光譜分析方法建立均質區，作為篩選預定樣區之依據。將樣區設置於光譜均質區內，即使有不可避免之平移誤差，仍可確保該區域之光譜特性之一致性。

此外因為造林地內有生育地條件較差之林地，含有巨石或整片河床砂石等，造成林分孔隙過大，露出地表土壤背景，影響光譜值抽取結果。因此建立均質區不僅可以避免平移之誤差，亦可篩選出不適當之造林地研究區，確保光譜分析結果適用於全區之造林地。

光譜均質區之建立方法，其原理在於應用紋理分析（Texture）的技術，篩選出光譜差異小的相鄰區域，係利用移動視窗法（Moving Window Method）計算單一波段光譜值之變異係數，來篩選均質區範圍（Jiang *et. al.*, 2002）。綠色植物會因葉肉構造層數越多，越加反射近紅外光(NIR)，平均值皆高於紅光(R)值，是為明顯的光譜反射特性（Myers, 1970），因此使用近紅外光波段進行上述紋理

分析。

變異係數為移動視窗內光譜值之標準差（Standard Deviation）除以平均值（Mean）所得之比值，其結果如圖 11 所示。比較不同變異係數標準均質區，變異係數小於 0.05 之均質區域過大，不足以作為標準；變異係數小於 0.03 之均質區域為可篩選樣區之最低限，因此選擇變異係數小於 0.03 者為均質區。

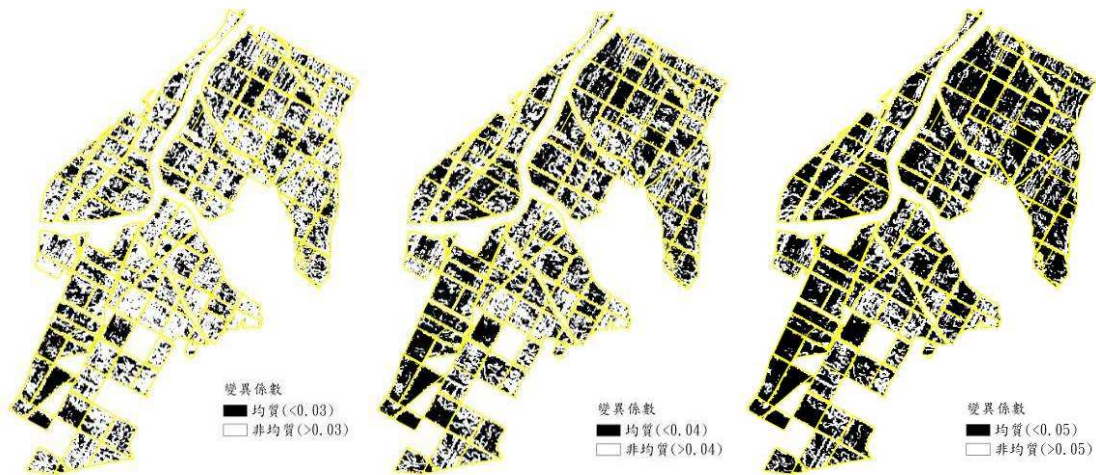


圖 11 變異係數 0.03、0.04、0.05 之均質區比較

2. 雙光譜分析

利用 2006 年四季衛星影像進行分析，隨機選取樣點將檳樹與光臘樹純林區域之四季紅光值及近紅外光值抽取出來，計算常態化差異植生指數(Normalized Difference Vegetation Index, NDVI)。NDVI 常被用來分析綠色植物之光合作用、植物覆蓋率及生物量等，計算公式如下（Rouse *et. al.*, 1973）：

$$NDVI = (NIR - R) / (NIR + R)$$

NIR：近紅外光反射值

R：紅光反射值

所求得之值越大表示地表植物生育越旺盛，植被覆蓋佳，也可藉由此數值看出樹種間的差異。將光譜值製作成雙光譜圖，X 軸顯示為 R 值，Y 軸顯示為 NIR 值，斜線為 NDVI 線，結果如圖 12。因檳樹純林面積較光臘樹純林面積小，因此光譜樣點較少。

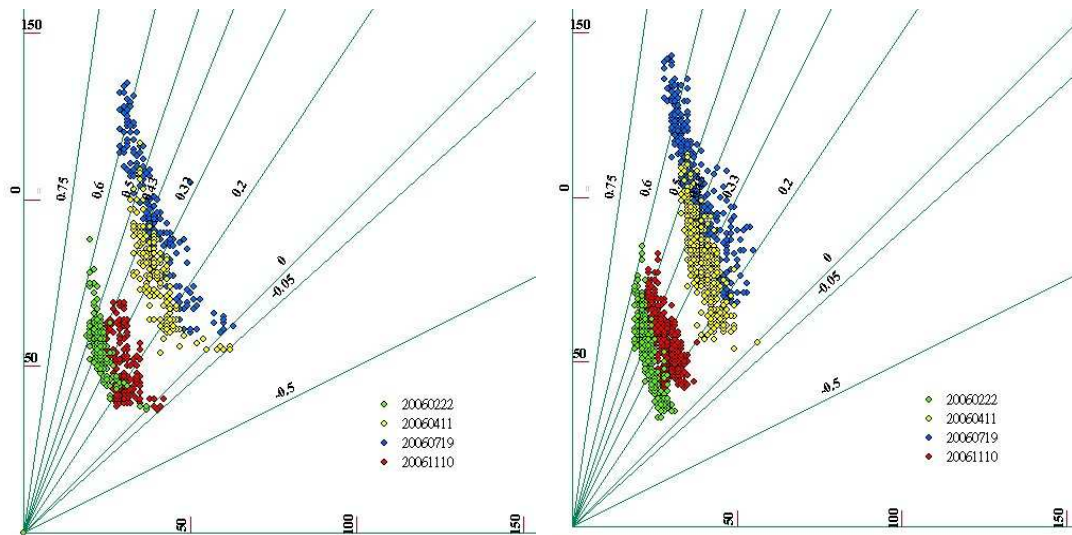


圖 12 2006 年各季節雙光譜圖，左為檳樹，右為光臘樹。

由雙光譜圖可以看出不同季節的光譜變異趨勢在不同的樹種皆大致相同。春季與夏季光譜的部分，在近紅外光(NIR)部分普遍較高，而紅光部分(R)在季節上並無明顯的差別。因此若從亮度的觀點來看，春季與夏季亮度值數較大，NDVI 數值分布較廣，顯示在春季及夏季不同林分之間的生長差異較大，我們可以分析之林分參數與光譜值範圍較廣，因此選定春季及夏季之衛星影像做為本研究分析的對象。

四、 地面樣區設置規劃

1. 樣區設置方式

(1) 光譜樣點

本研究旨在建立大面積林分參數估算之光譜模式，期能適用於各種生長狀況之林地，因此在選擇樣區位置時，將光譜資訊作為選取地面樣區的參考依據。首先，利用先前所建立的造林 GIS 資料庫，將特定單一樹種的造林小區抽取出來。本次因考量野外作業工作量負荷，僅挑選樟樹與光臘樹兩種樹種的純林林分做為分析對象。其次，當樹種分布的區域抽取出來之後，在衛星影像上抽取出範圍內不同波段之光譜值，並依其紅光(R)與近紅外光(NIR)值繪製雙光譜圖，做為展現其光譜分布的情形，如圖 13：

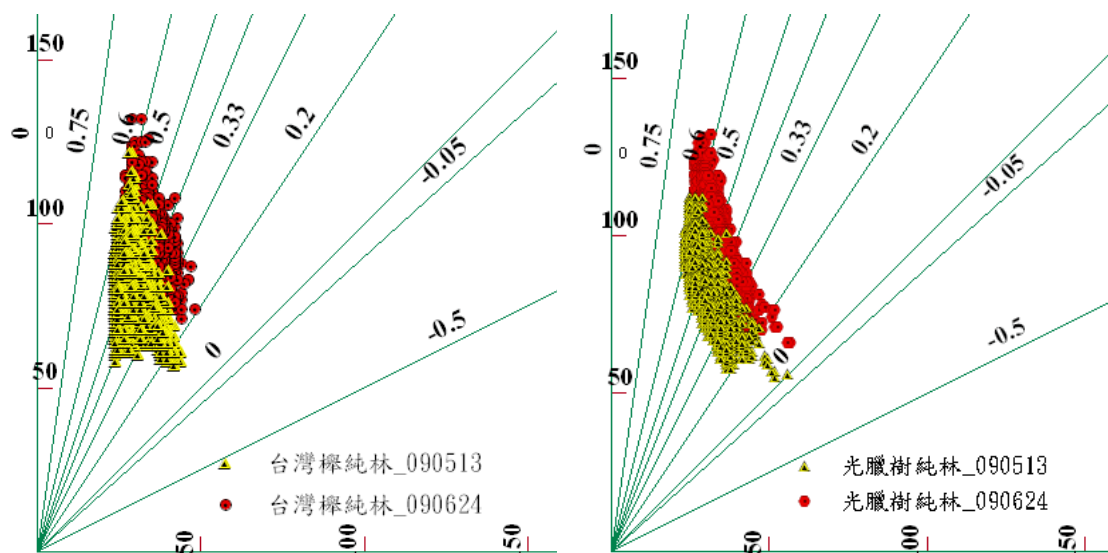


圖 13 2009 年 2 期雙光譜圖，左為樟樹，右為光臘樹

由上圖中可以看出：雖然同是樟樹或光臘樹的造林地，但其光譜上的差異甚大，R、NIR 與 NDVI 值範圍如表 9。

表 9 樟樹與光臘樹 R、NIR、NDVI 值之範圍

樹種	光譜值	R		NIR		NDVI	
		2009/5/13	2009/6/24	2009/5/13	2009/6/24	2009/5/13	2009/6/24
樟樹	Max	24	26	57	65	0.14	0.21
	Min	44	48	112	132	0.63	0.64
光臘樹	Max	24	27	55	66	0.00	0.07
	Min	56	57	112	132	0.64	0.64

藉由此種光譜的差異情形，可以選擇具有代表性的光譜樣點，來充分涵蓋其光譜的變異情形。隨機選取 13 個光譜樣點，其光譜特性分布如下圖 14 所示：

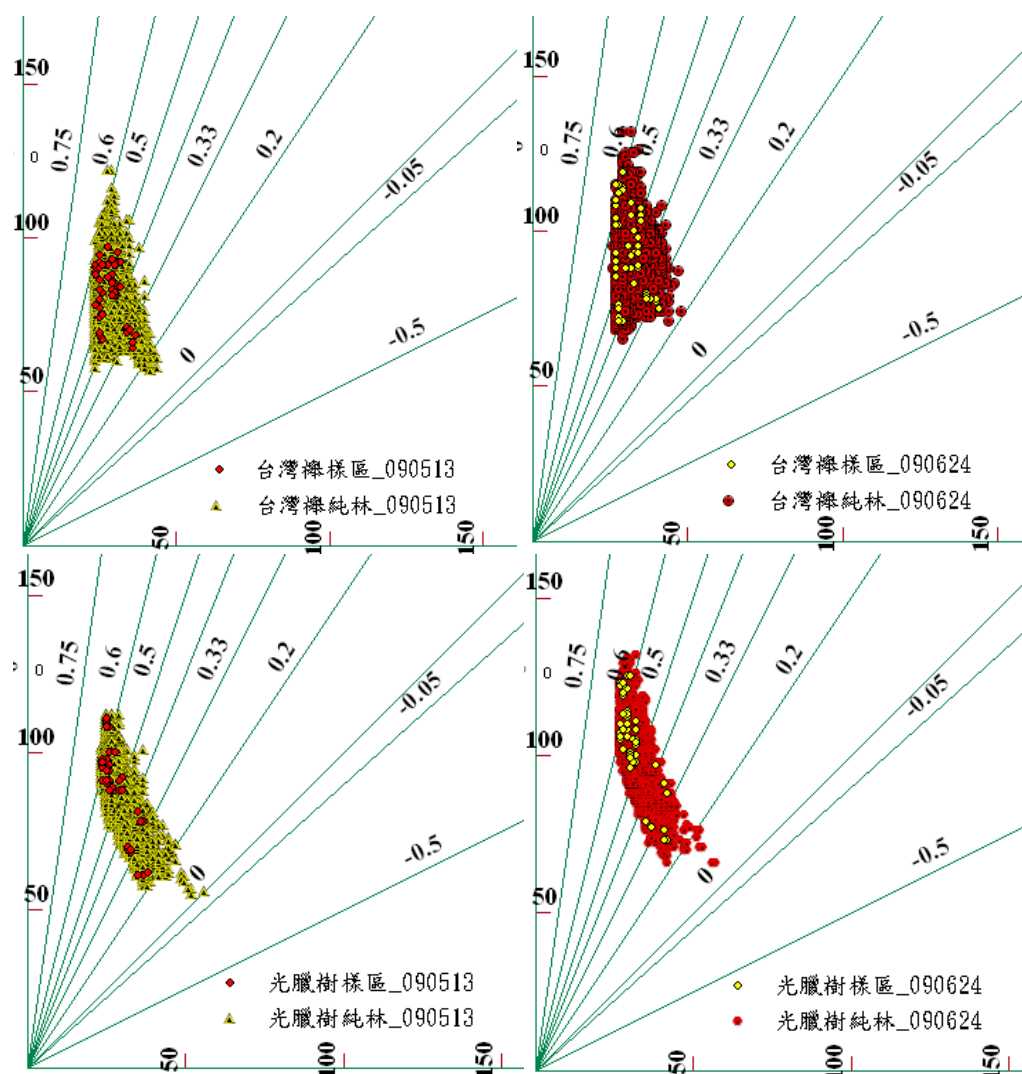


圖 14 樺樹與光臘樹光譜樣點分布圖

各樣點的光譜值如下表 10：

表 10 檳樹(A)與光臘樹(B)光譜樣點之各波段光譜值

編號	G_090513	G_090624	R_090513	R_090624	NIR_090513	NIR_090624	SWIR_090513	SWIR_090624	NDVI_090513	NDVI_090624
A01	51.00	55.75	30.25	33.50	83.25	92.00	13.00	14.00	0.47	0.47
A02	50.50	54.50	30.75	30.75	82.00	84.50	13.00	14.00	0.46	0.44
A03	51.17	56.17	30.50	34.50	92.00	101.00	13.83	15.00	0.50	0.49
A04	48.50	52.75	26.75	26.75	82.75	89.50	14.00	15.00	0.47	0.46
A05	50.25	52.75	28.75	29.00	87.50	115.00	13.00	14.00	0.51	0.60
A06	43.25	47.75	25.25	28.25	68.00	71.75	13.00	14.00	0.46	0.44
A07	45.75	48.00	25.25	28.00	79.00	74.25	12.00	14.00	0.52	0.45
A08	43.00	48.75	24.00	27.50	89.50	106.50	11.50	13.25	0.58	0.59
A09	48.40	55.60	27.20	31.60	85.80	99.40	12.40	14.00	0.52	0.52
A10	44.00	47.50	24.75	27.00	82.50	89.00	12.50	13.50	0.54	0.53
A11	44.60	49.80	25.20	27.20	92.20	111.40	13.00	14.00	0.57	0.61
A12	52.50	58.00	36.25	40.25	66.00	76.75	13.00	15.00	0.29	0.31
A13	53.00	57.75	34.25	37.25	70.00	78.75	12.00	13.50	0.34	0.36
B01	46.50	53.00	25.75	29.00	91.50	108.50	13.00	14.00	0.52	0.54
B02	47.50	54.25	27.75	31.50	88.00	105.75	13.00	14.00	0.51	0.52
B03	46.50	52.00	28.25	31.25	88.00	98.00	13.00	14.25	0.51	0.53
B04	48.50	54.50	29.50	31.75	90.50	104.00	13.00	14.00	0.55	0.54
B05	46.50	53.00	26.00	30.00	89.75	100.25	12.00	13.00	0.25	0.28
B06	54.00	61.33	36.67	41.33	61.33	74.00	13.00	14.00	0.60	0.62
B07	46.67	53.33	25.67	28.30	102.00	120.00	12.75	14.00	0.59	0.59
B08	45.00	52.50	25.00	28.75	96.25	113.00	12.00	14.00	0.60	0.60
B09	43.75	49.50	24.25	27.25	97.00	107.75	12.00	13.75	0.61	0.63
B10	48.20	53.80	25.60	28.60	107.20	124.00	12.80	14.00	0.63	0.63
B11	48.00	53.00	25.00	27.40	109.80	122.60	12.25	15.00	0.36	0.38
B12	50.00	55.25	32.50	35.50	69.00	78.50	12.00	13.00	0.57	0.59
B13	45.60	51.40	24.80	27.20	91.20	104.60	13.67	15.00	0.37	0.39

(2) 光譜均質區

光譜樣點選取之後，為求能在地面上精確定位到該 pixel 的位置，可以利用光譜均質區之概念，讓該光譜樣點落在周圍光譜反射值差異非常小的光譜均質區，以免除精確定位的困擾，如圖 15。

在上階段所選取的光譜樣點中，發現有 5 個樣點並未落在均質區內，故仍維持其光譜值，但另尋求別個落在光譜均質區之光譜樣點，直到所有光譜樣點均落在光譜均質區之範圍內，即完成樣區預定位置。

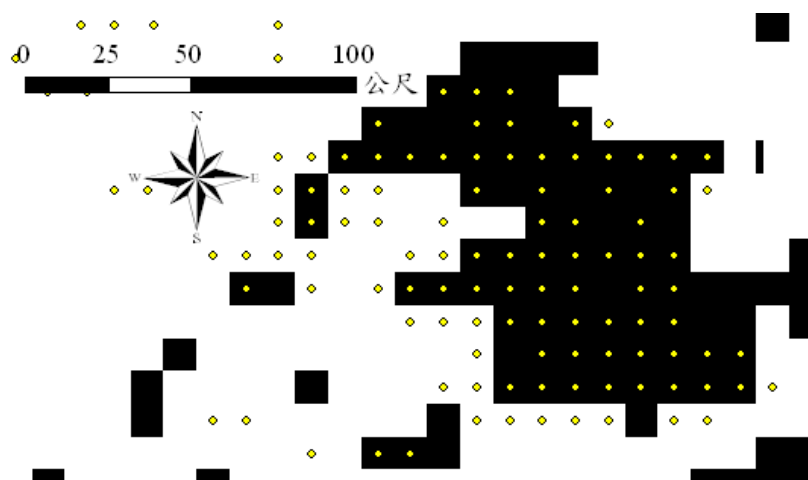


圖 15 光譜樣點與均質區

(3) 樣區設置

樣區依照樹木栽植方向設置，並利用塑膠繩圍出面積 $20\text{ m} \times 20\text{ m}$ 的範圍，於樣區內明顯處掛上寫有樣區編號之標誌牌，並將樣區內每株樣木編號並掛牌，若遇萌櫟之分枝，且其樹高大於 2 米，則將其另行編號進行調查。現場調查情形如圖 16。



圖 16 樣區設置情形。左為拉樣區繩之作業情形。右為調查胸徑之作業情形。

(4) 現場樣區定位

事先將光譜樣點與均質區之圖層載入 GPS 儀器中，再至造林地使用 GPS 儀器尋找樣區位置，並且在現場確定該樣區位置落在光譜均質區內，即能以該林分的生長表現代表該光譜樣點的生長表現。

2. 調查項目

樣區設置後，調查的項目分為(A)每木調查、(B)現地狀況調查及(C)樣區四角位置定位等三項，記錄表格如圖 17、18 所示。



	A	B	C	D	E	F	G	H	I
	編號	樹種	胸徑(cm)	樹高(m)	冠幅一(m)	冠幅二(m)	平均冠幅	備註	
1									
2	001								
3	002								
4	003								
5	004								
6	005								
7	006								
8	007								
9	008								
10	009								
11	010								
12	011								

圖 17 每木調查紀錄表



	A	B	C	D	E	F	G
1	小區編號：	_____	樣區編號：	_____	調查日期：	_____	
2	樹種：	_____	樣區面積：	____ × ____			
3	主要地號：	_____	次要地號：	_____	地號高：	_____	
4	西北	X：	_____	東北	X：	_____	
5		Y：	_____		Y：	_____	
6	西南	X：	_____	東南	X：	_____	
7		Y：	_____		Y：	_____	

圖 18 樣區現地狀況調查及四角位置定位紀錄表

每木調查的項目包括：樹種、胸徑、樹高、長與短邊冠幅等，備註欄位記錄是否為枯立木、萌櫟、合生等。樹冠測定法為隨機選取一個方向的直徑，

再測定其成直角方向的第二直徑（楊榮啟、林文亮，2003），重疊處不重複測量，只測量至重疊處之中心線，且量測不超過樣區界線。

現地狀況調查的項目包括：主要地被物、次要地被物與地被植物高，以及栽植行距、株距，樣區照片編號，以及樣區四角點位座標等。

樣區之四角定位利用 GPS 儀器 TOPCON GMS-2，定位情形如圖 19。



圖 19 使用 GPS 儀器定位樣區四角點位之作業情形

現場樣區調查後，將資料輸入電腦，計算各林分參數如平均胸徑、樹冠覆蓋率、栽植株數、成活株數、成活率、分叉率、單位面積材積(m^3/ha)、總平均生長量($\text{m}^3 \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{y}^{-1}$)、林分蓄積量(m^3)等。

樹冠覆蓋率計算之方法為：假設樹冠投影形狀為橢圓形，將長與短邊冠幅資料代入橢圓形面積公式，計算出樣區內成活木之樹冠面積，加總後除以樣區面積 0.04 公頃，轉換為百分比後即為樹冠覆蓋率。

原始栽植株數之計算方法為：將樣區邊長 20 m 除以樣區內林木栽植的行距與株距，可得樣區內一行與一列應栽植之林木數量，相乘後即可得樣區內應栽植之林木數量。成活株數之計算方法為：

1. 將樣區調查野帳紀錄之林木刪去合生之分枝林木資料，留下主幹資

料並計算總量，即可得成活株數。

2. 將成活株數除以前述計算出的原始栽植株數後即可得成活率。

分叉率的計算要先定義出分叉的樹所指為何，本研究所指分叉樹係指在 1.3 公尺樹高以下有分叉，且分叉之枝幹高超過 2 公尺。一般而言，林木若有分叉的話，大約分叉 2~5 枝(含主幹)。分叉率是有分叉的林木株數除以樣區內所有成活株數。

參考林務局（1997）之材積計算方法，採用一般樹種（形數 0.45）連皮立木材積求積式如下：

$$\text{材積} = (\text{DBH})^2 \times 0.79 \times H \times 0.45$$

式中

DBH：胸高直徑 (m)

H：樹高 (m)

將樣區內所有林木的材積加總後除以樣區面積 0.04 公頃，即可得樣區之單位面積材積(m^3/ha)。

根據台糖公司造林台帳之造林年度，可以得到各個林分的林齡，將上述計算出的樣區單位面積材積除以林齡後，即可得總平均生長量($\text{m}^3 \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{y}^{-1}$)。

分別計算檳樹與光臘樹樣區平均單位面積材積(m^3/ha)，乘以檳樹純林總面積 61.45 公頃、光臘樹純林面積 99.94 公頃，即可得純林之蓄積量(m^3)。

五、 地面樣區調查結果與分析

表 11 為設置樣區之日期，共設置欖樹 13 個樣區及光臘樹 14 個樣區，共 27 個樣區。

表 11 樣區設置工作進度表

調查日期	工作項目	完成進度
2009/6/24-26	樣區設置	欖樹 A01-5、光臘樹 B01-05，共 10 個樣區
2009/11/4-6	樣區設置	欖樹 A06-13、光臘樹 B06-14，共 17 個樣區

欖樹與光臘樹各 13 個樣區分布圖如圖 20 所示。



圖 20 欖樹與光臘樹樣區分布圖

將設置之欖樹與光臘樹各 13 個樣區之現地照片如附錄四。樣區資料彙整後，整理如表 12 所示。

表 12 樣區調查結果

編號	樹種	造林 年度	平均胸徑 (cm)	平均樹高 (m)	平均冠幅 (m)	樹冠覆蓋率 (%)	栽植株數	栽植密度 (株/公頃)	成活株數	成活率(%)	分叉率(%)	單位面積材積 (m ³ /ha)	總平均生長量 (m ³ *ha ⁻¹ *y ⁻¹)
A13	欖樹	93	3.22	3.10	1.50	13.14	60	1500	26	43.33	26.92	1.16	0.23
A12		93	3.27	3.11	1.63	25.03	61	1525	44	72.13	9.09	1.76	0.35
A03		93	6.26	3.22	2.97	24.84	65	1625	14	21.54	0.00	1.83	0.37
A02		92	3.78	3.57	2.13	37.26	84	2100	40	47.62	37.50	3.04	0.51
A01		92	3.47	3.90	2.11	41.69	84	2100	45	53.57	33.33	3.42	0.57
A05		92	4.73	3.85	1.97	37.18	54	1350	46	85.19	0.00	4.27	0.71
A04		93	6.15	3.85	2.85	32.90	81	2025	20	24.69	15.00	4.85	0.97
A07		92	6.81	4.15	2.37	53.56	50	1250	42	84.00	11.90	8.49	1.42
A08		91	6.01	4.70	2.15	47.36	59	1475	52	88.14	7.69	10.29	1.47
A09		91	6.49	4.73	2.06	45.76	55	1375	51	92.73	7.84	10.54	1.51
A06		92	6.97	6.12	2.87	60.78	65	1625	38	58.46	7.89	11.96	1.99
A10	光臘樹	92	6.02	6.25	2.69	81.87	72	1800	53	73.61	33.96	18.75	3.13
A11		92	8.36	6.49	3.44	82.75	59	1475	34	57.63	11.76	18.96	3.16
B06		92	3.22	2.36	1.62	16.91	67	1675.00	29	43.28	20.69	0.97	0.16
B04		93	7.05	4.30	2.56	28.63	67	1675.00	20	29.85	0.00	5.18	1.04
B02		92	5.41	3.94	2.28	46.00	70	1750.00	43	61.43	4.65	5.89	0.98
B03		92	5.24	4.73	2.46	54.92	74	1850.00	45	60.81	11.11	7.94	1.32
B12		93	4.88	5.78	2.44	61.55	56	1400.00	51	91.07	21.57	9.17	1.83
B01		92	6.28	5.70	2.68	69.67	51	1275.00	49	96.08	12.24	12.85	2.14
B05		93	6.96	5.55	2.72	62.96	98	2450.00	42	42.86	28.57	18.56	3.71
B10		92	6.57	8.16	2.48	73.21	61	1525.00	59	96.72	0.00	20.81	3.47
B09		92	7.28	5.38	2.41	59.34	75	1875.00	51	68.00	13.73	21.87	3.65
B11		92	6.41	9.50	2.48	70.41	53	1325.00	58	100.00	3.45	24.88	4.15
B07		92	7.19	6.75	2.42	67.02	48	1200.00	59	100.00	15.25	25.48	4.25
B08		92	6.73	5.24	2.62	66.28	68	1700.00	51	75.00	17.65	25.50	4.25
B13		92	8.46	7.12	2.43	66.31	57	1425.00	55	96.49	18.18	37.89	6.32

從表 12 顯示研究區域內不論檫樹或光臘樹，其生長表現相差非常的大。先就成活率來說，因為造林地內原始的栽植株數並非每個區域都一致的，而是有些差異的，所以有必要先根據實地調查行距與株距換換成樣區內應有的株數，或其所對應的原始栽植密度（每公頃株數）。從原始栽植密度可以發現在栽植時可能宥於局部地形的關係，致使其每公頃株數最密者高達 2450 株，最疏者為 1200 株，相差達一倍之多，由此可見其原始栽植密度在局部地區的差異非常的大。若以所有樣區的原始栽植密度來求算平均，可以得到平均原始栽植密度檫樹為 1633 株、光臘樹為 1625 株，因此推算當時該造林地應是以每公頃 1500 為栽植密度，但因局部變異造成推算上有所出入。當然我們所進行的是局部樣區的調查，若放大到整個造林地來看，也許這種局部的差異性可以被忽略，而僅以所有的樣區調查結果平均來看，此時可以如一般平地造林檢測計算的方式，取成活株數的平均值，做為整塊造林地成活率計算的依據，表 12 中可以進一步計算得到檫樹平均成活株數為 38.85 株，光臘樹為 47.089 株。若以原始栽植密度每公頃為 1500 株，換算至樣區原始株數有 60 株來看，檫樹平均成活率為 64.75 %，光臘樹為 78.47 %，光臘樹的成活狀況應比檫樹較佳。如將各個樣區的原始疏密情況列入考量時，檢視各樣區成活率時，發現樣區間差異非常大，有成活率達 100 %，也有低到 21 % 左右的樣區，顯示成活率確有受到樣區立地條件影響的可能，值得未來進一步探討此種立地影響的多寡。此外若同時檢視原始栽植密度與成活率關連來看，大致有原始栽植密度較高者，其成活率有較低的傾向，原始栽植密度較低者，其成活率有較高的傾向，雖然其不同樹種兩者間的決定係數（ R^2 ）均在 0.2 以下，但依據密度高者枯死易較多的競爭現象，此關連應會隨生長年度越多，應會有越明顯的趨勢，值得未來進一步加以關注。當然此種樣區間原始栽植密度不同的情形，就另外一個層面來說，也提供我們一個比較不同栽植密度枯死與生長的機會，可以長期監測此種不經意所造成的不同栽植密度的樣區生長的結果。

在林木分叉情形方面，從調查資料顯示有些樣區其林木的分叉情況相當嚴重，有的已經有高達 30 % 或以上的林木已經分叉，如檫樹 A02、A01、A10 與光臘樹 B05 等樣區，平均分叉率檫樹達 15.61 %，光臘樹達 12.85 %，這表

示在所有調查的林木當中檫樹約有 1/7、光臘樹約有 1/8 的林木有分叉情形，其比例應算是相當高的，追究其原因應在苗木篩選與後續撫育可以加以改善的，這也是未來在苗木培育與林木撫育上，應該要如何減少此分叉比率過高的課題。

在林木生長方面，由於研究範圍的造林年度由 91-93 年，所對應的調查期間約為 7 至 5 年生，且以 6 年生樣區為多數（檫樹為 7/13；光臘樹為 9/13），因此可以 6 年生造林地視之。綜觀其單位面積的蓄積量檫樹介於 1.16~18.96 m^3/ha ，平均為 7.64 m^3/ha ，光臘樹介於 0.97~37.89 m^3/ha ，平均為 16.69 m^3/ha ，顯示其生長差異確實很大。在比較其他地區的生長情形方面，廖述惠與王亞男（2002）於苗栗獅潭和興村針對位於海拔高 510 m，3 年生的檫樹調查結果顯示平均樹高達 4.03 m，平均胸徑達 4.1 cm。比較本區調查 6 年生所得平均樹高 4.39 m，平均胸徑達 5.50 cm，相差並不太大，顯示本區檫樹生長狀況並不佳。若以固定的碳量來說，以擴展係數 1.9、基礎密度 0.5 與碳含量轉換係數 0.48 計算，6 年平均固定碳量約 3.45 ton/ha 或 12.67 ton/ha 的 CO_2 量，相較於林俊成等（2002）推算的 6 年生檫樹可固定約 96.91 ton/ha 的 CO_2 ，更是明顯偏低。若進一步比較林業試驗所 2008 年的調查報告（附錄三），結果顯示相較於台灣其他地區同是約 6 年生的檫樹生長情形，本區檫樹的生長情形還算相當不錯，僅次於台南地區的一個樣區的生長。在光臘樹方面本區生長平均樹高 5.73 m，平均胸徑 6.28 cm，生長情形雖比檫樹好，但進一步比較林業試驗所 2008 年的調查報告（附錄三），結果顯示相較於台灣其他地區同是約 6 年生的光臘樹生長情形，本區的光臘樹生長僅能算是中等，並無特別良好的情形。

六、 光譜資訊與林分參數迴歸分析

由 SPOT-5 衛星影像抽取出之光譜資訊有 G、R、NIR 及 SWIR 光譜值，與使用 R 及 NIR 計算出之 NDVI 值。欲估算之樣區調查林分參數有成活率、樹冠覆蓋率和單位面積材積。其中樹冠覆蓋率係假設樹冠型為橢圓型，由平均冠幅計算而得。

迴歸分析的過程中發現不同波段之光譜值或林分參數有出現極端值之情形，導致迴歸相關性降低，因此本研究依不同極端之情況刪除異常資料點，目的在於使迴歸關係更為明確。刪除之資料點將在以下各項模式中說明。

1. 樹冠覆蓋率與光譜資訊迴歸分析結果

樹冠覆蓋率與光譜資訊迴歸結果顯示檫樹之 R 反射值與樹冠覆蓋率有較佳之 R^2 值，與 2009/5/13 之光譜值 $R^2=0.59$ ，與 2009/6/24 之光譜值 $R^2=0.50$ 。光臘樹之 R 反射值之 R^2 皆高於 0.6，NDVI 值之 R^2 皆高於 0.5。樹冠覆蓋率與光譜資訊較佳迴歸結果如圖 21。

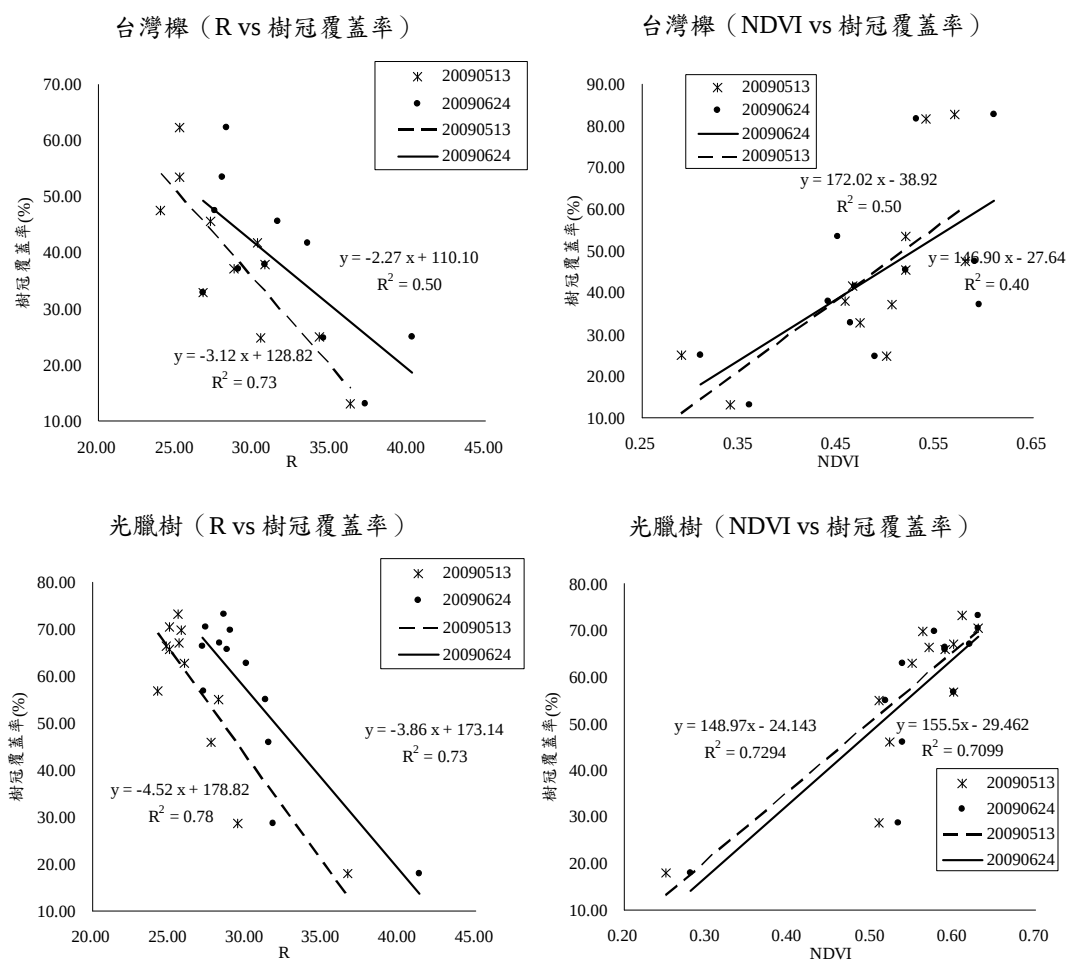


圖 21 部分樹冠覆蓋率與光譜資訊迴歸圖

2. 單位面積材積與光譜資訊迴歸分析結果

單位面積材積與光譜資訊迴歸結果顯示檫樹之 R 反射值與 NDVI 值與單位面積材積相關性最高， R^2 值皆高於 0.3，而 2 期迴歸趨勢線皆有單位面積材積低於負值之部分。光臘樹亦是 R 反射值與 NDVI 值與單位面積材積相關性最高， R^2 值皆高於 0.48，呈負相關。單位面積材積與光譜資訊較佳迴歸結果如圖 22。

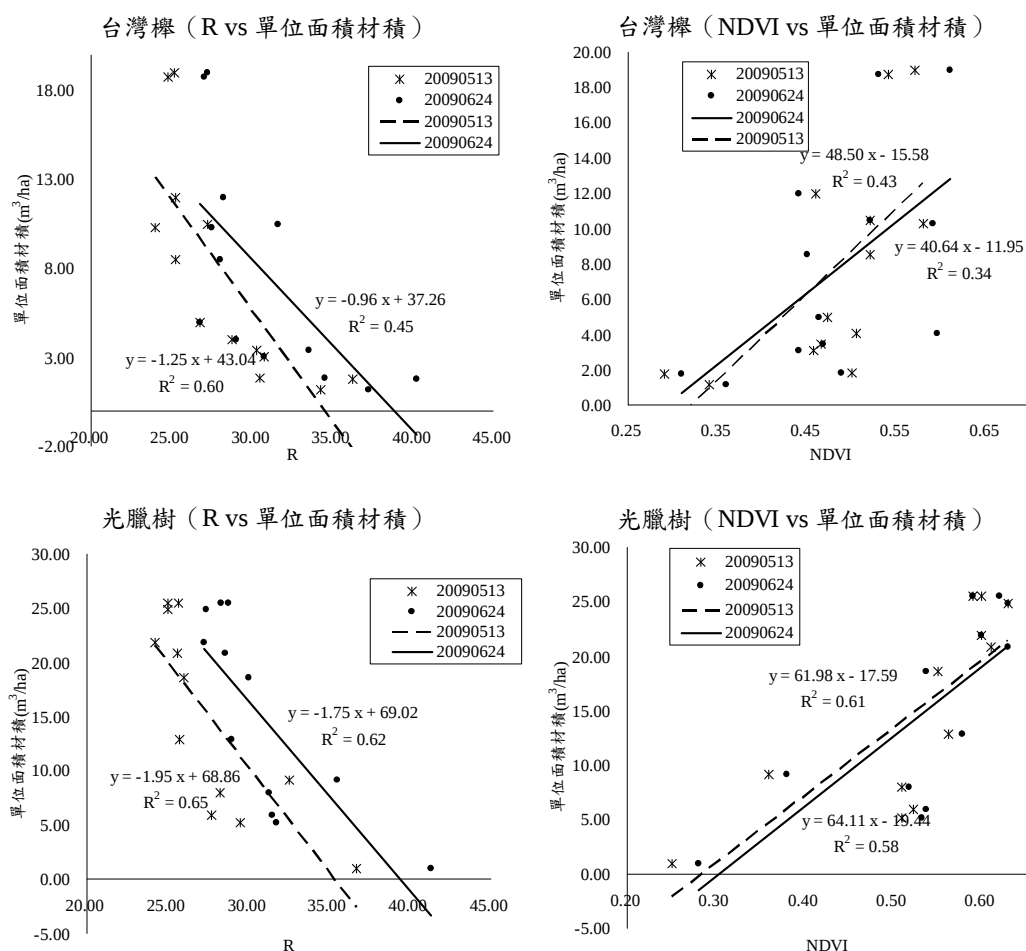


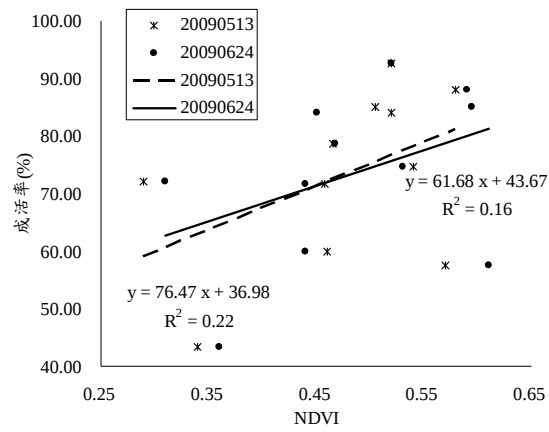
圖 22 部分單位面積材積與光譜資訊迴歸圖

3. 成活率與光譜資訊迴歸分析結果

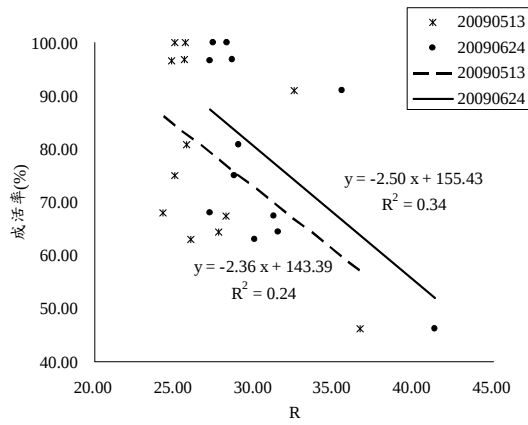
檫樹部分，R、NIR 波段與 NDVI 迴歸分析中刪除樣區 A03、A04 之資料點，因其成活率皆過低。

成活率與光譜資訊迴歸之結果發現，檫樹之成活率與 NDVI 值有較高的相關性，與 2009/5/13 期之光譜值 $R^2=0.20$ ，2009/6/24 期之光譜值 $R^2=0.18$ 。光臘樹之成活率與 R 值、NDVI 值有較高之相關性，R 光譜值與 2009/5/13 期之值 $R^2=0.21$ ，2009/6/24 期之值 $R^2=0.24$ ；NDVI 值與 2009/5/13 期之值 $R^2=0.18$ ，2009/6/24 期之值 $R^2=0.21$ 。成活率與光譜資訊較佳之迴歸結果如圖 23。

台灣櫟 (NDVI vs 成活率)



光臘樹 (R vs 成活率)



光臘樹 (NDVI vs 成活率)

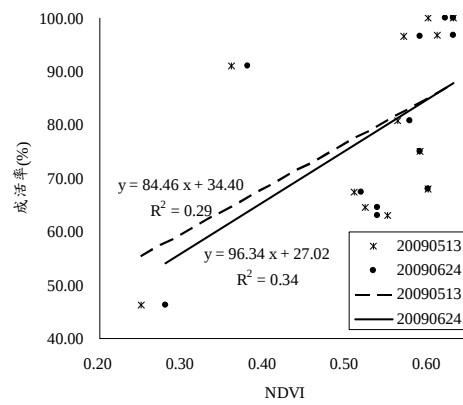


圖 23 部分成活率與光譜資訊迴歸圖

4. 最佳光譜迴歸模式

植物因含有葉綠素，會反射綠光(G)，有利於綠色植物的分辨，但 G 波段反射易受到其他地被物之影響。水對短紅外光有強烈的吸收作用，因此缺乏水分的植物體或地區，其短紅外光反射率較高 (Hoffer, 1978)。光復地區各期衛星影像之 SWIR 反射值範圍介於 11~15 間，相異不大，可見光復地區之土壤含水量及植物含水量並無太大差別。因此在本研究中，G 波段與 SWIR 波段光譜反射值並不適合作為林分參數估算之依據，但仍能反映光復地區林地之相關狀況，故本研究仍有進行 G 與 SWIR 波段之迴歸分析，以供作參考。

將前文所有光譜資訊與林分參數迴歸分析之 R^2 結果整理如表 13。灰色框內之 R^2 是為本研究選擇作為估算模式之最佳光譜迴歸關係。最佳光譜迴歸模式之估算公式整理後如表 14。

表 13 2009 年 2 期衛星影像光譜資訊與林分參數迴歸之 R^2

樹種	光譜 資訊	樹冠覆蓋率 (%)		單位面積材積 (m^3/ha)		成活率 (%)	
		2009/5/13	2009/6/24	2009/5/13	2009/6/24	2009/5/13	2009/6/24
檫樹	G	0.72	0.69	0.84	0.60	0.08	0.07
	R	0.73	0.50	0.60	0.45	0.12	0.08
	NIR	0.08	0.03	0.07	0.04	0.23	0.13
	SWIR	0.02	0.16	0.06	0.19	0.40	0.29
	NDVI	0.50	0.40	0.43	0.34	0.22	0.16
光臘樹	G	0.38	0.45	0.4	0.39	0.07	0.16
	R	0.78	0.73	0.65	0.62	0.24	0.34
	NIR	0.68	0.62	0.61	0.57	0.35	0.34
	SWIR	0.00	0.05	0.01	0.05	0.05	0
	NDVI	0.73	0.71	0.61	0.58	0.29	0.34

表 14 最佳光譜迴歸模式公式表

林分參數	光譜 資訊	檫樹		光臘樹	
		2009/5/13	2009/6/24	2009/5/13	2009/6/24
樹冠覆蓋率 (%)	R	$y = -4.18x + 163.50$	$y = -3.39x + 149.63$	$y = -3.68x + 158.21$	$y = -3.30x + 158.55$
	NDVI	$y = 167.58x - 35.52$	$y = 136.59x - 20.87$	$y = 114.29x - 3.18$	$y = 118.52x - 6.86$
單位面積材積 (m ³ /ha)	R	$y = -1.25x + 43.03$	$y = -0.96x + 37.26$	$y = -2.24x + 78.24$	$y = -2.05x + 79.31$
	NDVI	$y = 48.63x - 15.63$	$y = 41.00x - 12.12$	$y = 67.97x - 19.20$	$y = 71.79x - 22.09$
成活率 (%)	R			$y = -3.13x + 159.85$	$y = -3.05x + 167.20$
	NDVI	$y = 85.52x + 27.97$	$y = 77.23x + 31.47$	$y = 97.98x + 22.23$	$y = 111.57x + 13.70$

七、 林分參數估算與比較

光譜資訊估算林分參數之方法為：1.先計算出純林範圍內各光譜數值之 pixel 數量。2.將抽取出之各光譜值分別帶入迴歸式中，可得該光譜值所對應之林分參數。3.所得之值分別乘以對應之 pixel 數，加總後除以總 pixel 數，即可得全區純林之林分參數。4.第 3 步驟加總後之單位面積材積數值(m^3/ha)，換算單位後即可得全部純林之蓄積量(m^3)。SPOT-5 衛星影像 1 個 pixel 之面積為 $10\text{ m} \times 10\text{ m}$ ，因此加總之值除以 100 後，即為蓄積量。

1. 估算結果

(1) 林分樹冠覆蓋率

檳樹部分，依據樣區參數估算結果為 44.93 %；使用 R 波段之 2009 年 2 期估算模式與 NDVI 值之 2009 年 2 期估算模式，得到結果分別為 40.80 %與 40.46 %，42.38 %與 43.85 %。其中 2009/5/13 之 R 與 NDVI 模式，因為有趨勢線範圍以外之光譜值，外差推估出之數值有小於 0 之部分，顯然不合理，將其去除後得到結果為 41.30 %與 40.50 %，42.62 %與 43.85 %，更為接近樣區參數估算出之數值。

光臘樹部分，依據樣區參數估算結果為 57.17 %；使用 R 波段之 2009 年 2 期估算模式與 NDVI 值之 2009 年 2 期估算模式，得到結果分別為 54.53 %與 54.45 %，54.99 %與 54.55 %。去除小於 0 之數值後得到結果分別為 54.76 %與 54.50 %，55.00 %與 54.55 %，更為接近樣區參數估算出之數值。

(2) 林分蓄積量

檳樹部分，依據樣區參數估算結果為 469.48 m^3 ；使用 R 波段之 2009 年 2 期估算模式與 NDVI 值之 2009 年 2 期估算模式，得到結果分別為 389.13 m^3 與 389.68 m^3 ， 428.43 m^3 與 448.79 m^3 。去除小於 0 之數值後得到結果分別為 403.20 m^3 與 393.92 m^3 ， 434.29 m^3 與 448.95 m^3 ，更為接近樣區參數估算出之數值。NDVI 估算模式之結果較 R 估算模式為佳。

光臘樹部分，依據樣區參數（刪除 B13 之資料點），得到結果為 1668.00 m^3 ；使用 R 波段之 2009 年 2 期估算模式與 NDVI 值之 2009 年 2 期估算模式，

得到結果分別為 1512.20 m³ 與 1463.30 m³，1538.70 m³ 與 1509.82 m³。去除小於 0 之數值後得到結果分別為 1536.20 m³ 與 1478.45 m³，1543.03 m³ 與 1512.71 m³，更為接近樣區參數估算出之數值。R 估算模式之結果較 NDVI 估算模式為佳。

(3) 林分成活率

櫟樹部分，依據樣區參數（刪除 A03、A04 之資料點）估算結果為 68.76 %；使用 NDVI 值之 2009 年 2 期估算模式，得到結果為 67.73 %與 68.07 %。

光臘樹部分，依據樣區參數（刪除 B04 之資料點）估算結果為 73.97 %；使用 R 波段之 2009 年 2 期估算模式與 NDVI 值之 2009 年 2 期估算模式，得到結果分別為 71.66 %與 70.98 %，72.10 %與 71.51 %。NDVI 估算模式之結果較 R 估算模式為佳。

林分參數估算模式結果與樣區調查估算比較如表 15。

表 15 光譜模式與樣區調查估算之比較

樹種	估算依據	樹冠覆蓋率		蓄積量		成活率		
		(%)		(m ³)		(%)		
		2009/5/13	2009/6/24	2009/5/13	2009/6/24	2009/5/13	2009/6/24	
櫟樹	樣區		44.93		469.48		68.76	
	R	a	40.80	40.46	389.13	389.68	-	-
		b	41.30	40.50	403.20	393.92	-	-
	NDVI	a	42.38	43.85	428.43	448.79	67.73	68.07
		b	42.62	43.85	434.29	448.95	67.73	68.07
	光臘樹	樣區		57.17		1668.00		73.97
R		a	54.53	54.45	1512.20	1463.30	71.66	70.98
		b	54.76	54.50	1536.20	1478.45	71.69	71.00
NDVI		a	54.99	54.55	1538.70	1509.82	72.10	71.51
		b	55.00	54.55	1543.03	1512.71	72.10	71.51

註：(a)包含負值，(b)不包含負值。

以上林分參數估算結果皆低估，此與光譜值之 pixel 數量分布頻度圖有關，原因後述。

將樣區參數代回估算模式，得到之光譜值結果整理如表 16。

表 16 樣區林分參數回推之光譜值

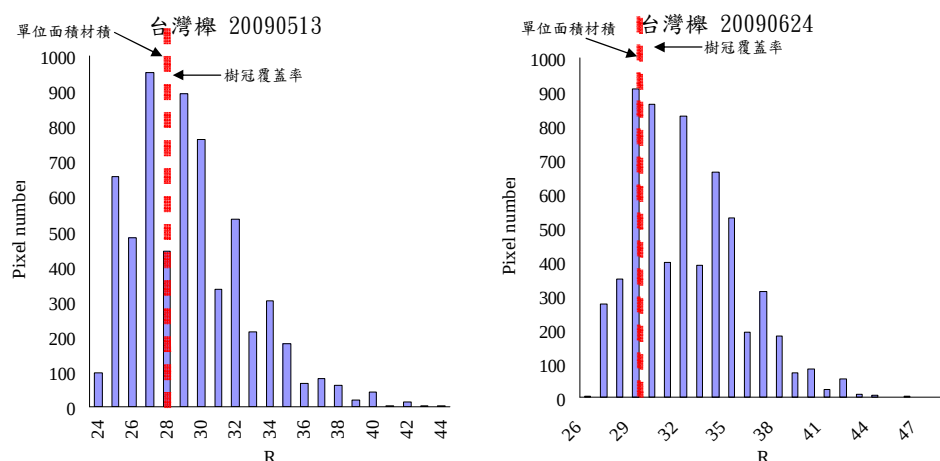
林分參數	光譜 資訊	檺樹		光臘樹	
		2009/5/13	2009/6/24	2009/5/13	2009/6/24
樹冠覆蓋率 (%)	R	28.37	30.88	27.46	30.63
	NDVI	0.48	0.48	0.53	0.54
單位面積材積 (m ³ /ha)	R	28.31	30.85	27.48	30.55
	NDVI	0.48	0.48	0.53	0.54
成活率 (%)	R	-	-	27.44	30.57
	NDVI	0.48	0.48	0.53	0.54

2. 像元光譜值頻度圖

檺樹與光臘樹各波段、各時期 pixel 數量之頻度圖如圖 27。R 波段之頻度圖皆右偏，NDVI 值之頻度圖皆左偏。紅色線是為樣區參數回推之光譜值，皆落在高峰之附近。

在迴歸關係中，R 值與各項林分參數皆為負相關，NDVI 值與各項林分參數皆為正相關。每項估算結果皆低估，因為由林分參數回推之光譜值，皆落在峰值附近，大部分 pixel 數值比樣區高，代入負相關之之模式中，估算出來的結果會低估。

而與 NDVI 值作回推之林分參數光譜值皆落在峰值附近，大部分 pixel 數值比樣區高，代入正相關之模式中，估算之結果會低估。



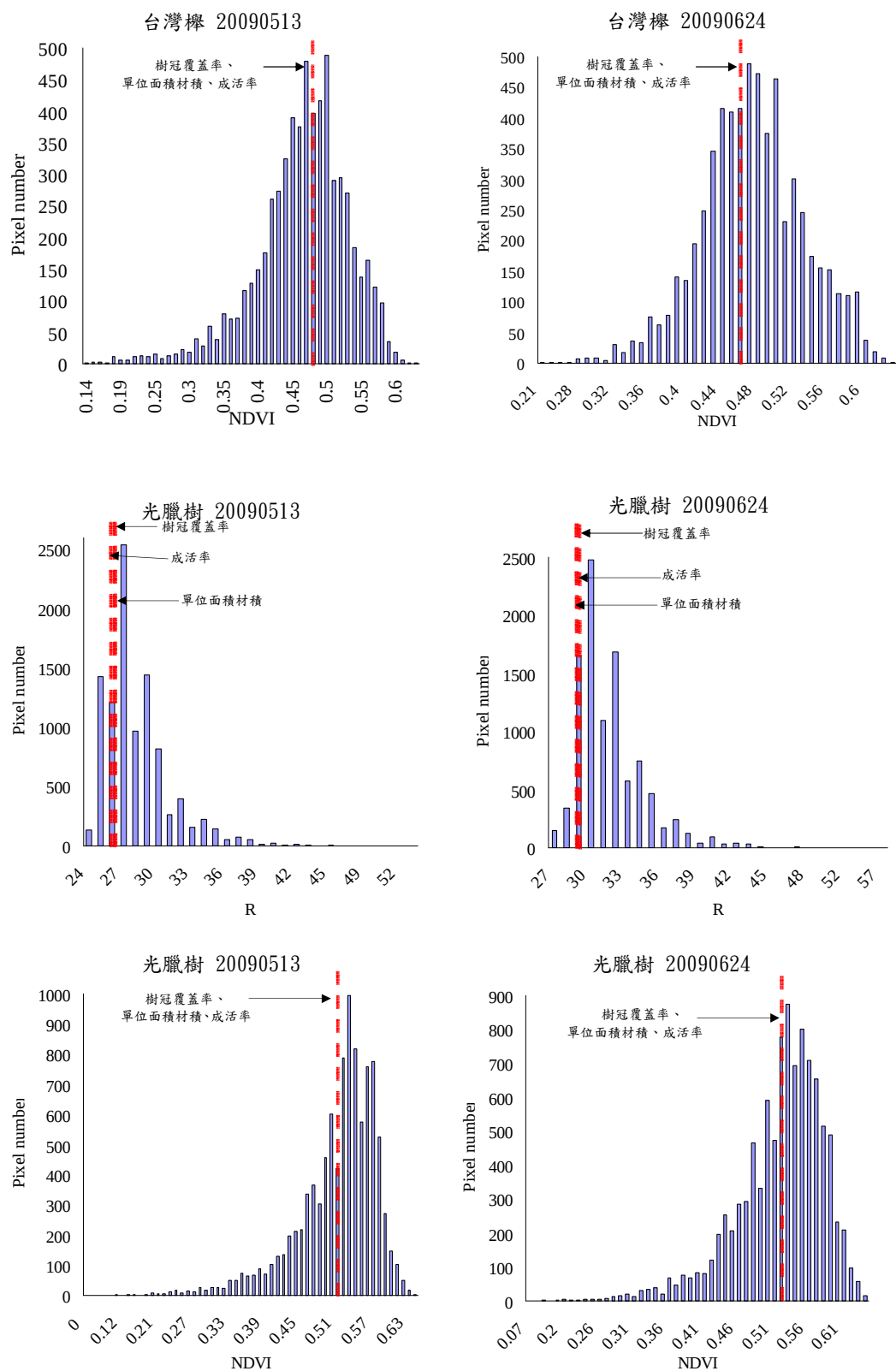


圖 24 衛星影像 pixel 數值之頻度圖

3. 空間分布圖

利用上述建立之光譜估算模式，將每個像元的光譜值帶進模式中，估算出每個像元對應的林分參數值，繪製為林分參數空間分布圖如圖 25。藉由空間分布圖的展示，可以看出林分生長狀況之紋理，樹冠覆蓋率、像元蓄積量及成活率的空間分布圖紋理相近，樹冠覆蓋率與像元蓄積量值較低者，成活率也較低。圖 26 為成活率與像元蓄積量空間分布圖之對照比較，將成活率小於 70 % 與像元蓄積量不足 5 m^3 之像元表示為紅色，清楚呈現林分出現孔隙處，可能代表該處立地條件較差，未來可利用此空間分布圖至狀況特殊之林分進行更進一步的地面調查，以期得到更精確之地面調查資料與光譜值相關性，以及改善立地條件，增加蓄積量。

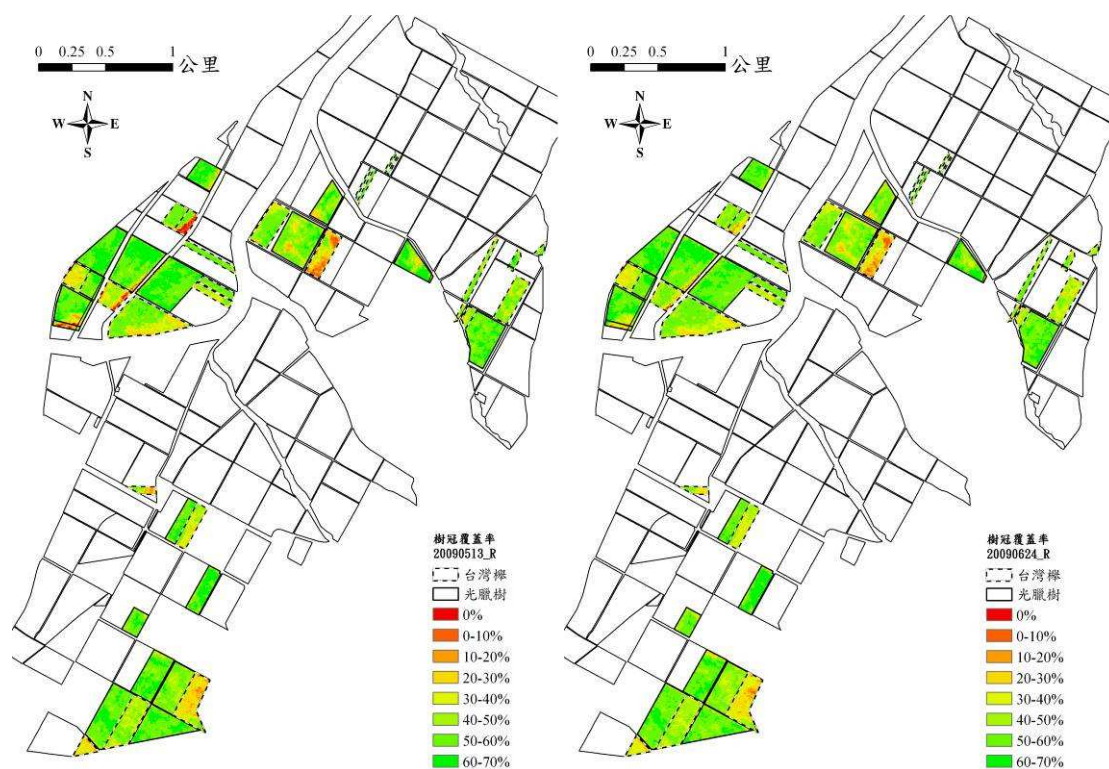


圖 25-1 R 模式推估之樹冠覆蓋率 (左：20090513，右：20090624)

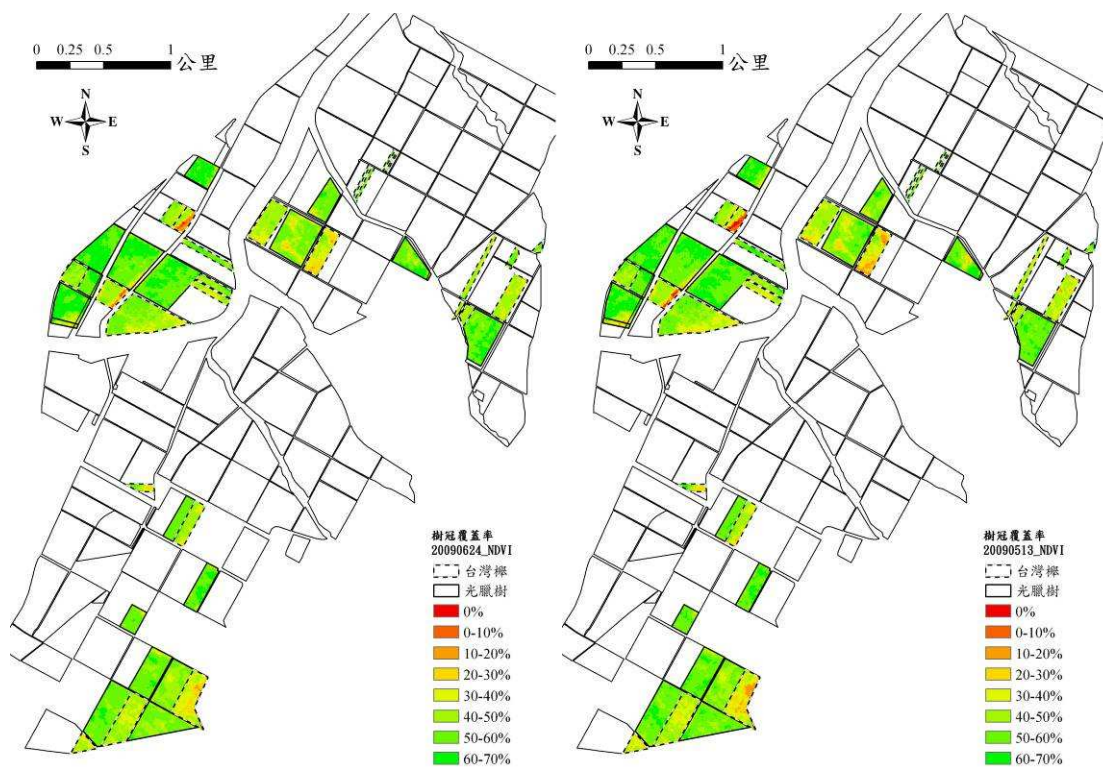


圖 25-2 NDVI 模式推估之樹冠覆蓋率 (左：20090513，右：20090624)

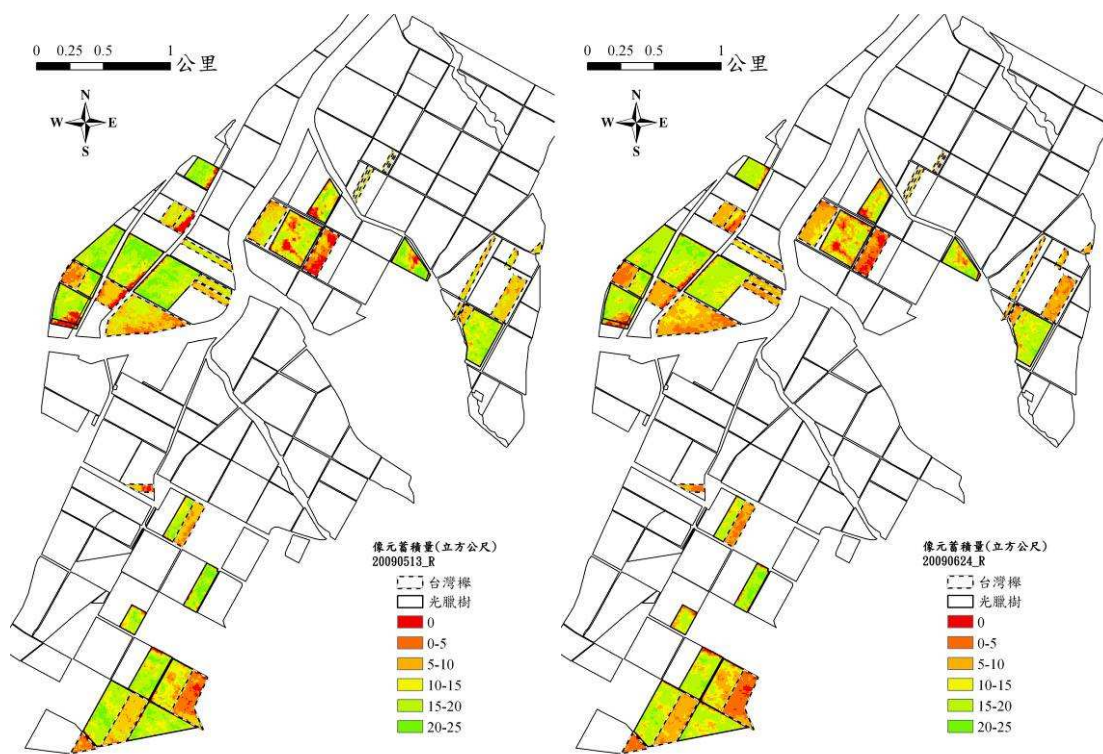


圖 25-3 R 模式推估之像元蓄積量 (左：20090513，右：20090624)

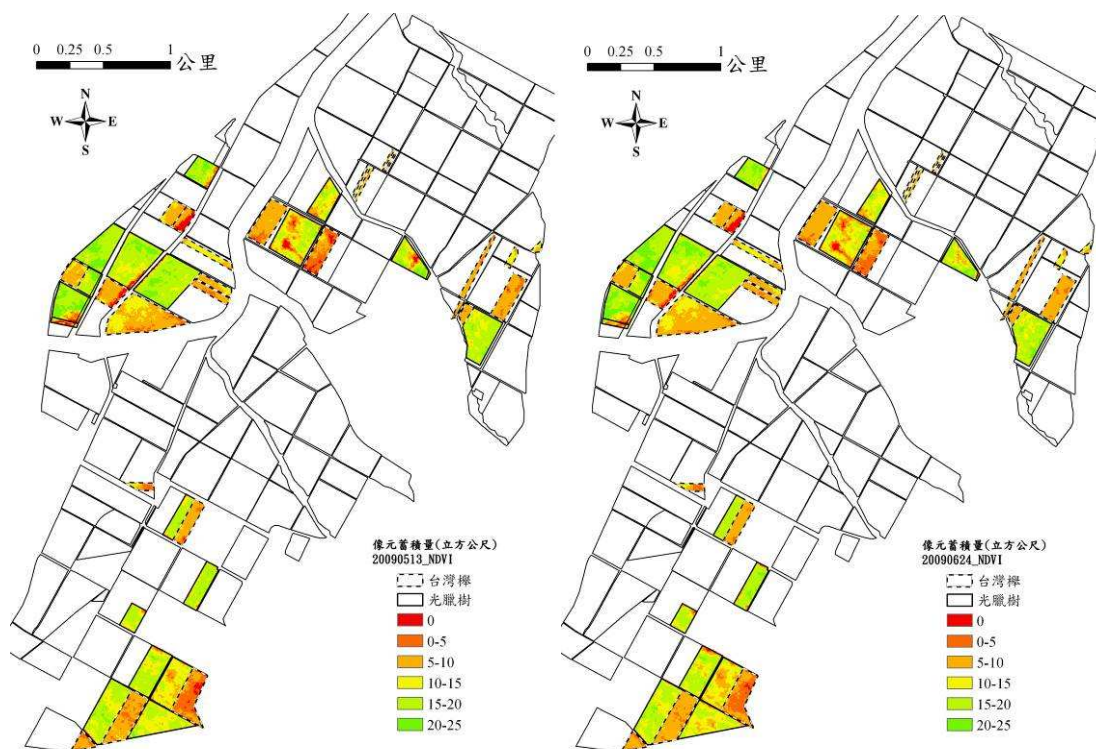


圖 25-4 NDVI 模式推估之像元蓄積量 (左：20090513，右：20090624)

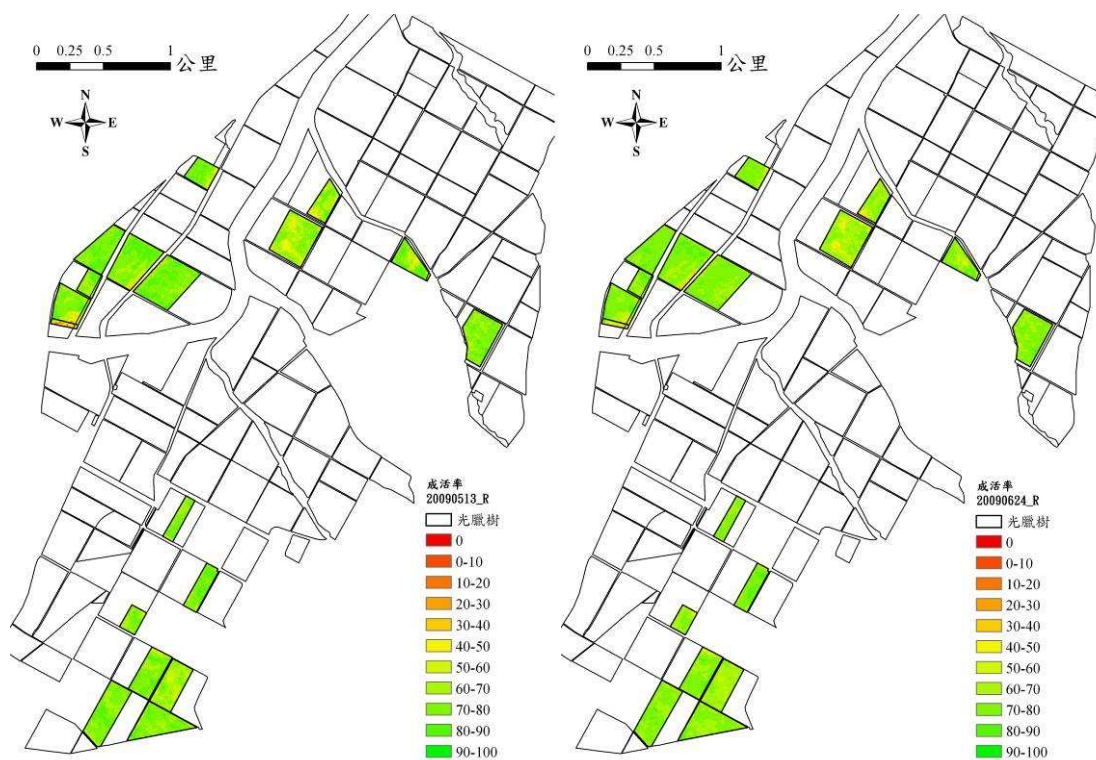


圖 25-5 R 模式推估之成活率 (左：20090513，右：20090624)

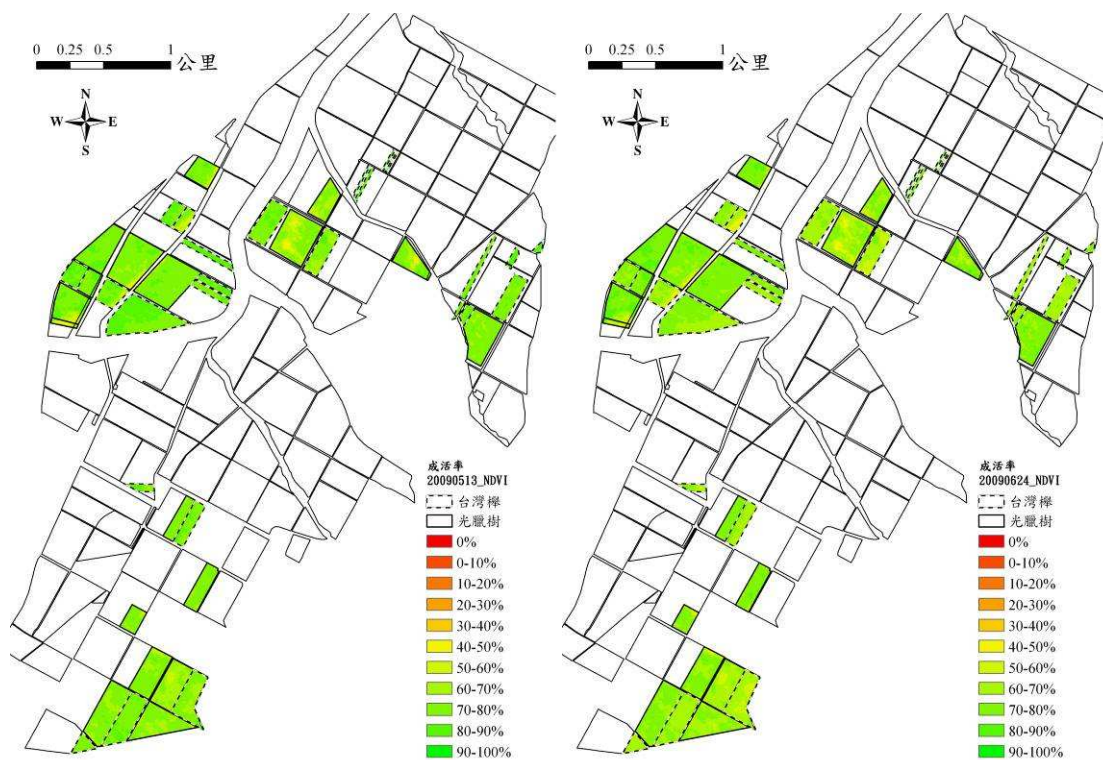


圖 25-6 NDVI 模式推估之成活率（左：20090513，右：20090624）

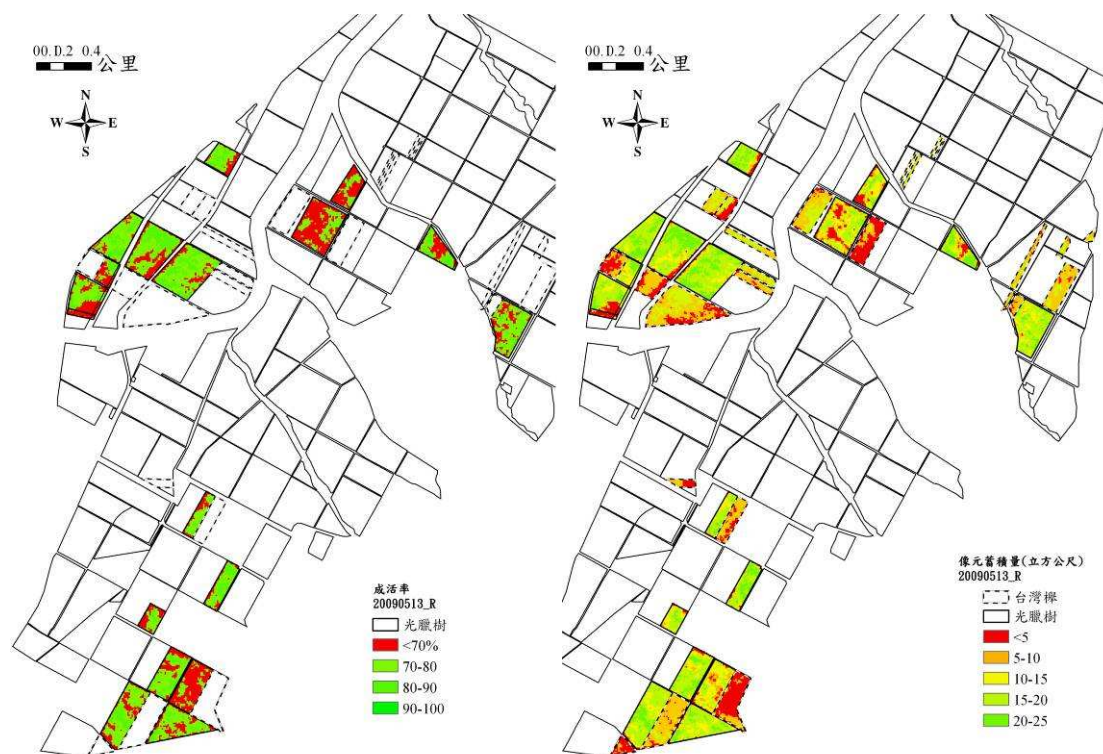


圖 26-1 20090513_R（左：成活率，右：像元蓄積量）

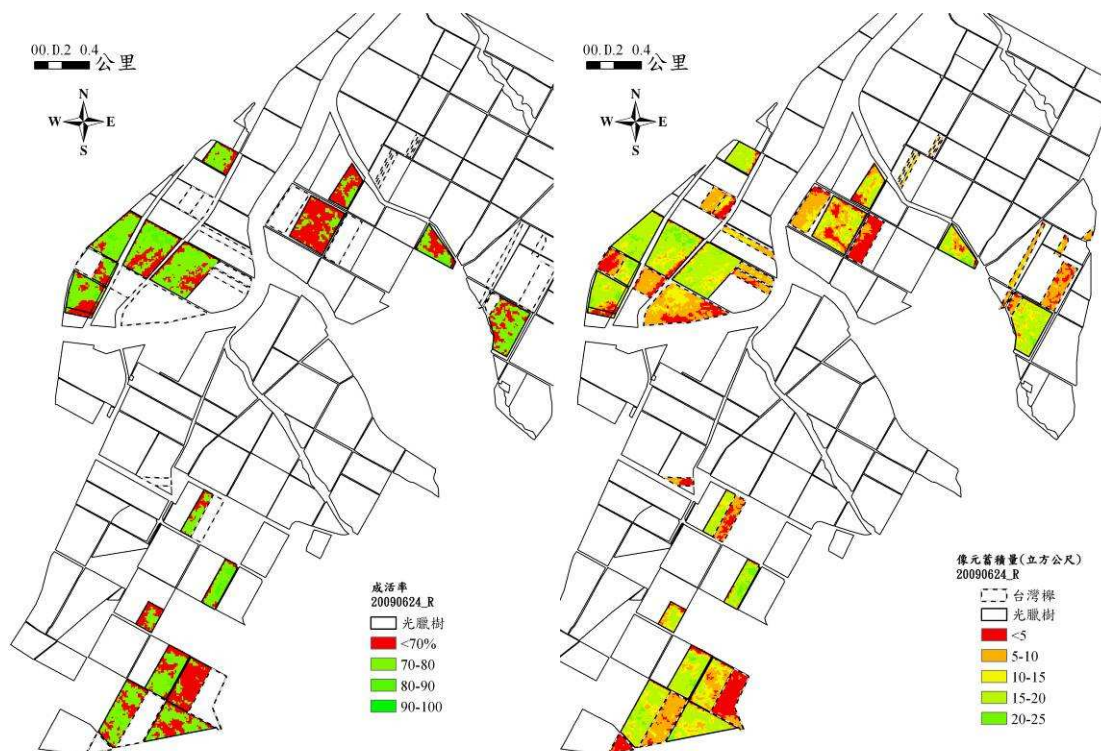


圖 26-2 20090624_R (左：成活率，右：像元蓄積量)

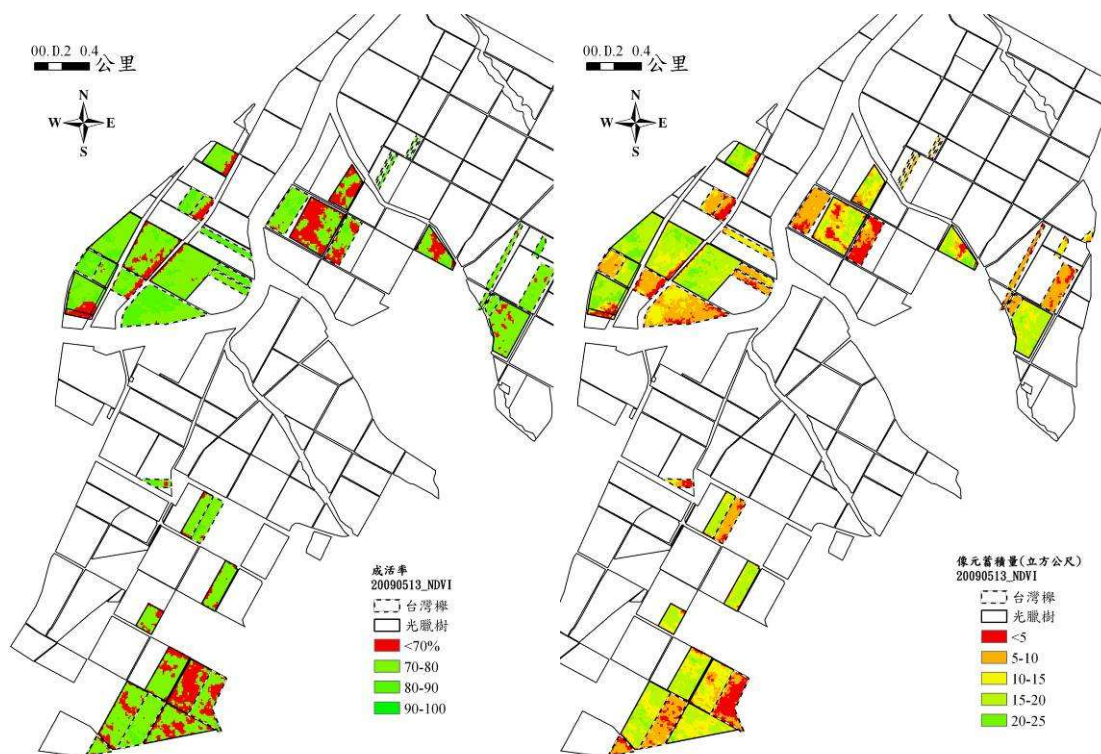


圖 26-3 20090513_NDVI (左：成活率，右：像元蓄積量)

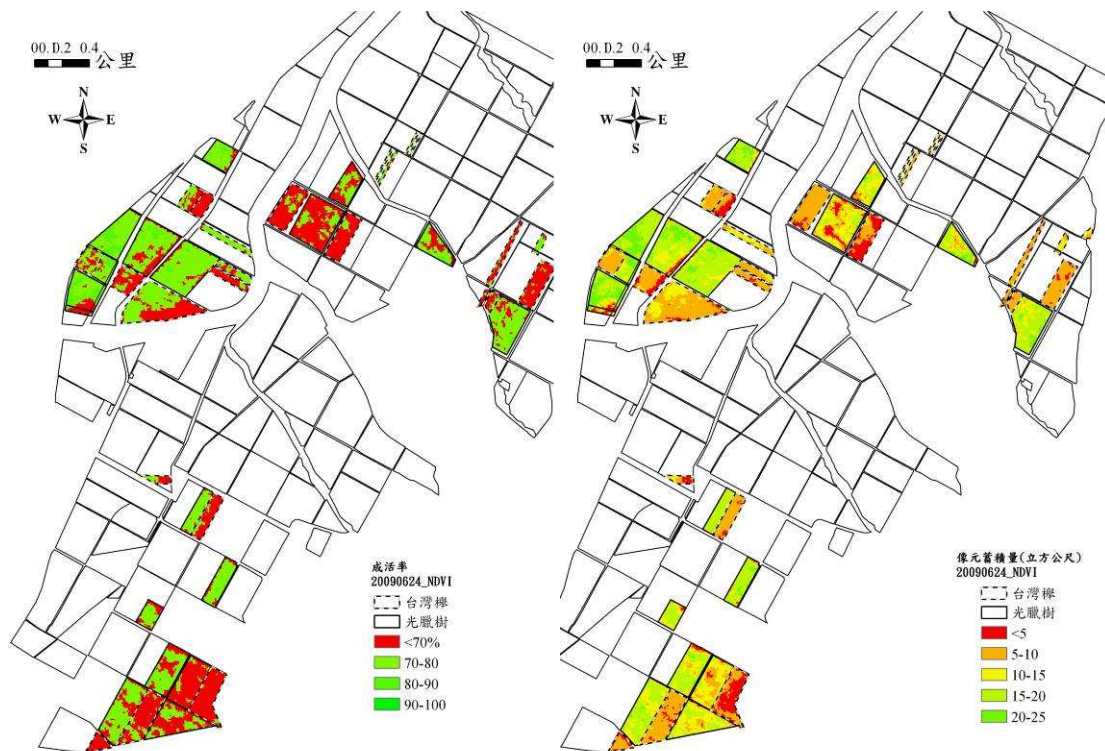


圖 26-4 20090624_NDVI (左：成活率，右：像元蓄積量)

將空間分布圖與 2009 年 9 月 21 日拍攝之光復地區空照圖作比對如圖 27，發現空間分布圖之紋理與實際情況極為接近，林分有孔隙處之樹冠覆蓋率、像元蓄積量及成活率皆低；林分靠近道路之邊緣各項林分參數也較低；林分較鬱閉處之空間分布圖顯示林分參數明顯較高，

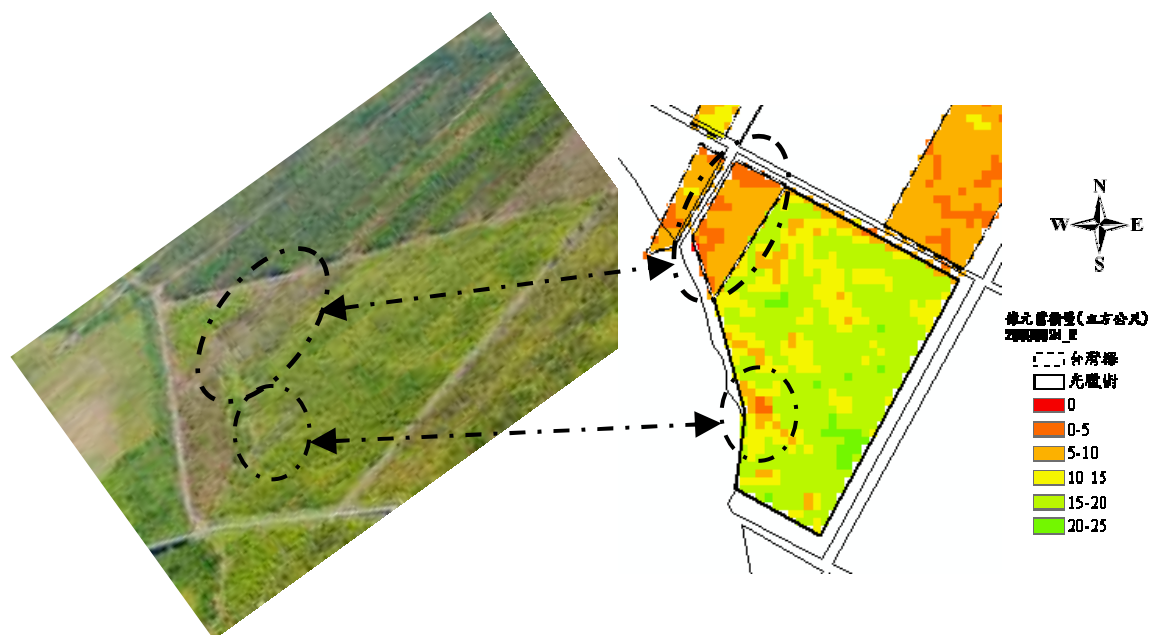


圖 27-1 空照圖與空間分布圖之比對

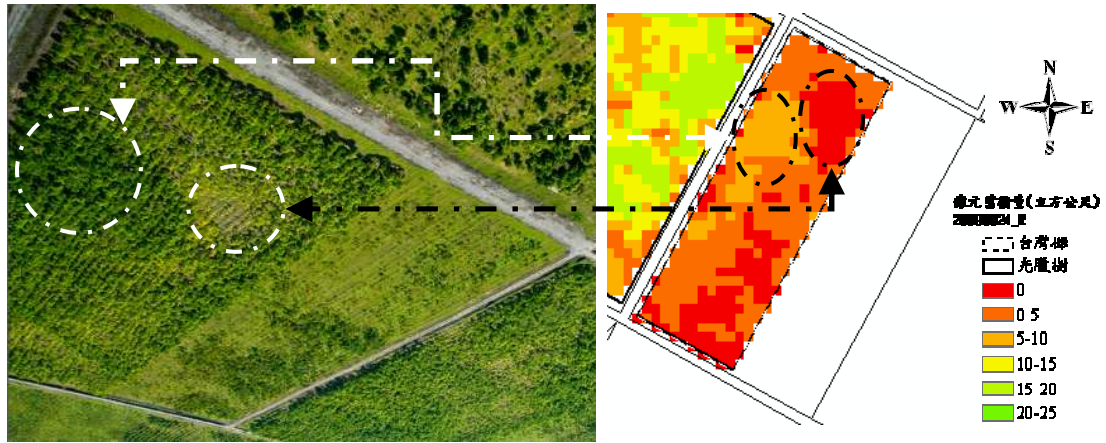


圖 27-2 空照圖與空間分布圖之比對

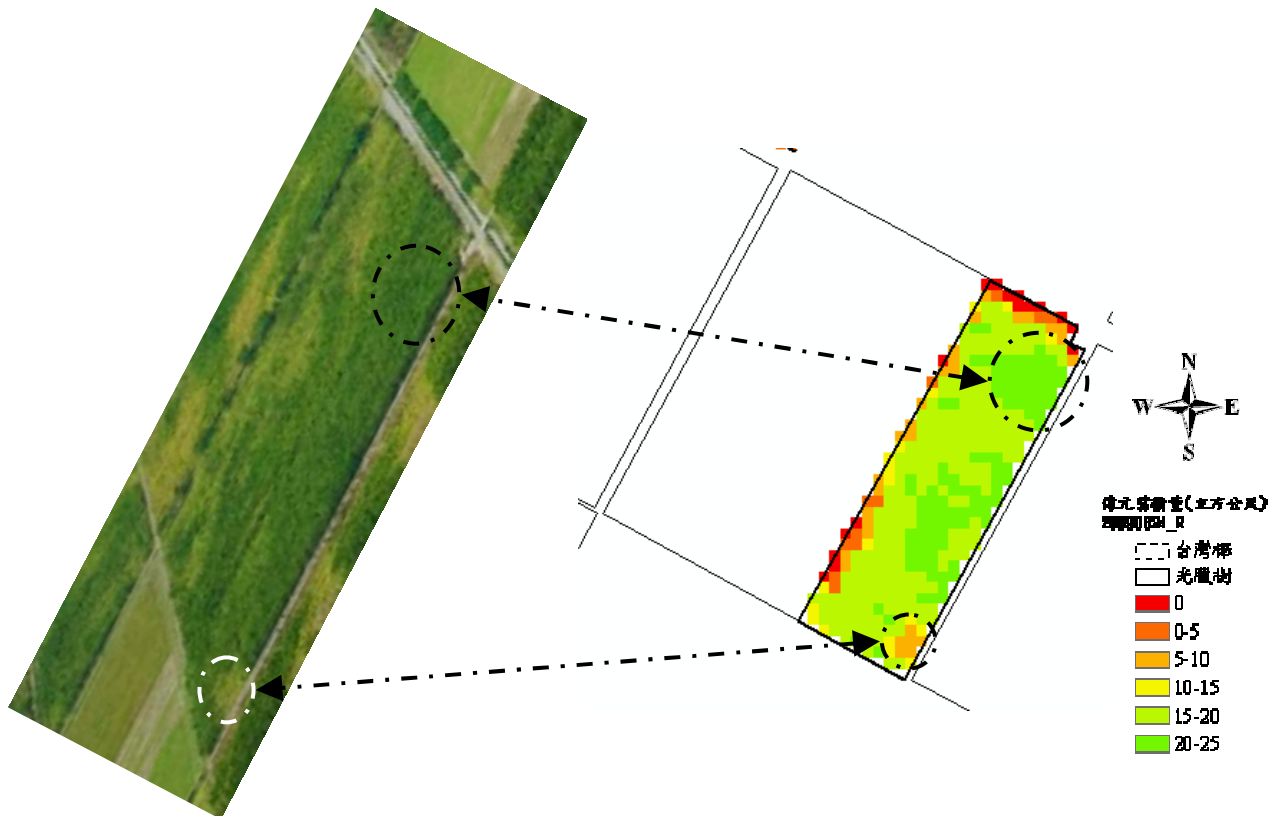


圖 27-3 空照圖與空間分布圖之比對

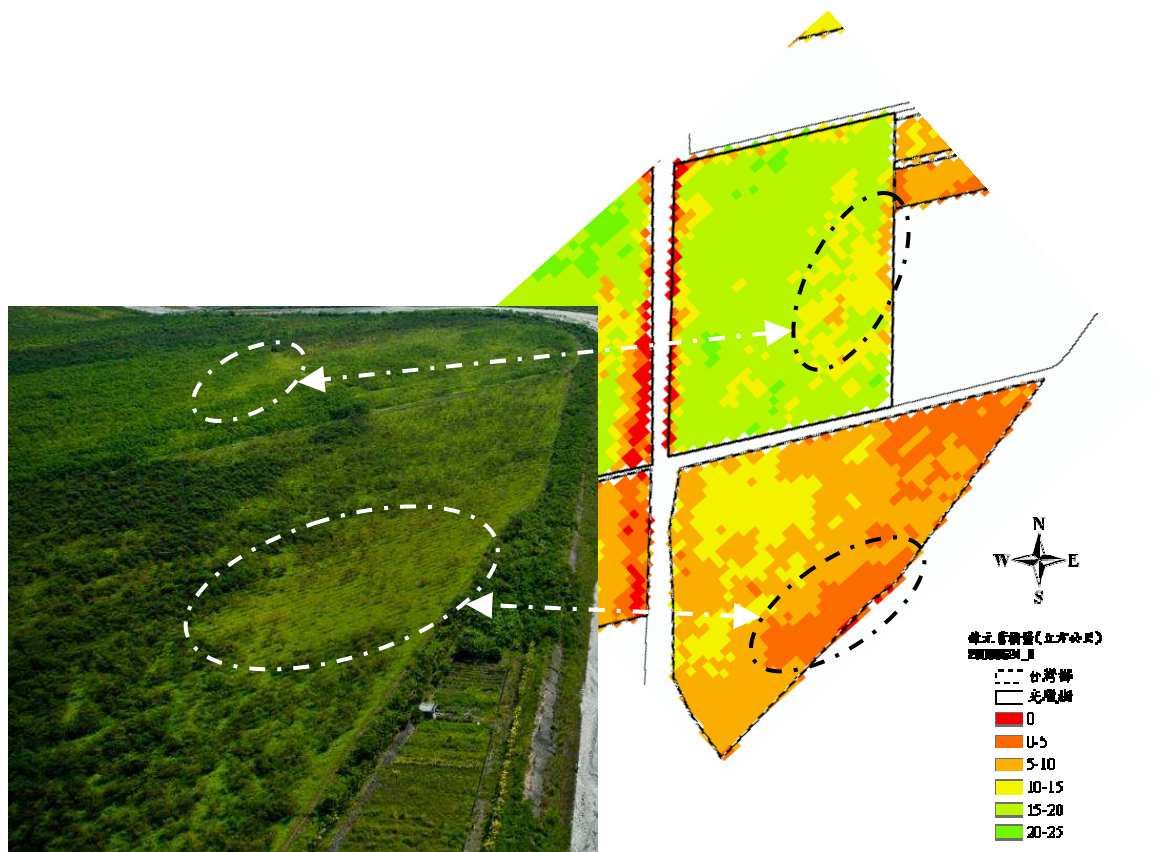


圖 27-4 空照圖與空間分布圖之比對

4. 林分碳量估算結果

根據 IPCC (1997) 估算森林林木碳量之方法與試算原則，推估林木碳量有兩個重要步驟：1.藉由林木平均平均比重將林木單位面積材積換算成林木生物量。2.再利用林木生物量與碳含量轉換係數估算出碳量。依此原則，森林林木碳量的基本估測模式如下（李國忠等，2000）：

$$C_s = A \times V \times EF \times D \times CF$$

式中

C_s ：森林林木碳量

A ：林分面積 (ha)

V ：單位面積材積 (m^3/ha)

EF ：擴展係數 (carbon factor)

D ：基礎密度 (density)

CF ：碳含量轉換係數 (carbon fraction)

本研究中，櫟樹純林林分面積為 61.45 公頃，光臘樹純林林分面積為 99.94 公頃。根據樣區資料推算，櫟樹純林平均單位面積材積為 $7.63 \text{ m}^3/\text{ha}$ ，光臘樹純林平均單位面積材積為 $16.69 \text{ m}^3/\text{ha}$ 。擴展係數根據 IPCC (1997) 的建議，天然林之擴展係數 (EF) 為 1.75、人工林為 1.90、竹林為 2.00，因此本研究採用之擴展係數 (EF) 為 1.90。基礎密度 (D) 是為原木連皮之密度，一般採用 0.5 (IPCC, 1997)。而碳含量轉換係數 (CF) 根據林裕仁等 (2002、2005) 的研究，闊葉樹方面，櫟樹為 0.4766、光臘樹為 0.4683。

本研究之碳量估算為表 17。櫟樹純林分碳含量為 212.57 噸，光臘樹純林分碳含量為 742.07 噸，光臘樹的碳含量高於櫟樹。

表 17 櫟樹與光臘樹碳量估算表

樹種	純林面積 (ha)	單位面積材積 (m^3/ha)	擴展係數	基礎密度 (g/cm^3)	碳含量 轉換係數	碳含量 (ton)
櫟樹	61.45	7.64	1.90	0.50	0.4766	212.57
光臘樹	99.94	16.69	1.90	0.50	0.4683	742.07

參、 結論與建議

一、 建立樣區規劃的作業模式

由於林地地形的變化加上立地條件的差異，讓林分中林木的生長，並非均勻一致的。因此，傳統上以設置樣區方式來進行蓄積量調查時，最讓調查者難以抉擇的是樣區設置的位置。由於樣區位置設置的好壞，就像取樣時樣本選取的好壞一樣，嚴重影響到推估林分蓄積量的可靠性。基於此，本研究所發展利用衛星光譜特性的分布情形，做為選取樣區時的參考，讓所選取的樣區能涵蓋到整個林分生長好與生長差的區域，充分反映出林分的生長差異，並可避免因主觀設置所造成的偏差。因此，本研究所建立的樣區規劃作業模式能夠有效結合光譜資訊與地面樣區的規劃，提供樣區設置時一個良好的作業流程，相信可以做為未來樣區設置規劃的重要依循模式。

二、 林木栽植與生長狀況差異大

根據本研究的調查結果顯示，本區檳樹與光臘樹於栽植時，原始栽植密度可能因地形或作業需要，原始栽植密度從 1200 至 2450 不等，在空間分布上並不均勻。另外，因此種原始栽植密度不均質的情形，某種程度也影響其林木成活率的高低，目前雖然尚無非常明顯的關連，但仍值得未來持續加以監測。此外，調查結果也發現，林木生長在生長過程中，檳樹每 7 株有 1 株分叉，光臘樹約每 8 株有 1 株分叉，顯示分叉情形有偏高的現象，亦是值得未來撫育與監測作業關切的課題。

樹冠覆蓋率調查結果顯示，兩種樹種林分樹冠覆蓋率均僅有 45 與 57 % 左右，均尚未鬱閉。由於林分鬱閉的前後對於林地微氣候的影響有明顯的差異，尤其是對於對地表植物的生長與土壤濕度的影響更是明顯，而這些都會直接或間接影響林地的光譜反射特性，因此有必要持續監測其鬱閉的時期，及其對於林地植被、土壤濕度與林地光譜反射的影響。

林木生長的調查顯示，不同樣區的林木生長差異非常的大，顯示立地的條件嚴重影響到林木的生長，所以未來應可針對立地條件進行研究，以掌握影響立地條件的重要因子，例如是土壤性質、土壤養分、地勢低窪淹水或其他因素，方便

我們研擬適當的改善措施，以改善立地條件，提高林木的生長。總體而論，檳樹的生長雖較光臘樹差，但相較於其他地區光臘樹的生長，雖遜於山區的生長，但在平地的生長還算中上。至於光臘樹生長情形相較於台灣其他地區的生長，僅可列為中等，並非生長特別良好。

三、 光譜資訊能夠有效結合林分參數

研究結果指出在特定的時間與特定的光譜反射狀態下，衛星影像所提供的光譜資訊，確實能夠連結林分參數的變動情形，做為推估林分參數的基礎。研究中雖然光譜資訊對連結林分參數的有效性仍有待進一步加強，但初步已證實此一方向確實具有其可行性與發展性，為未來的研究奠立良好的基礎。未來在連結光譜資訊與林分參數，可能需要加入一些非光譜資訊的輔助變數，例如林齡、立地條件與林分鬱閉程度等因子，來提高光譜資訊與林分參數的連結性。

四、 建立以光譜資訊為基礎的林分蓄積量推估模式

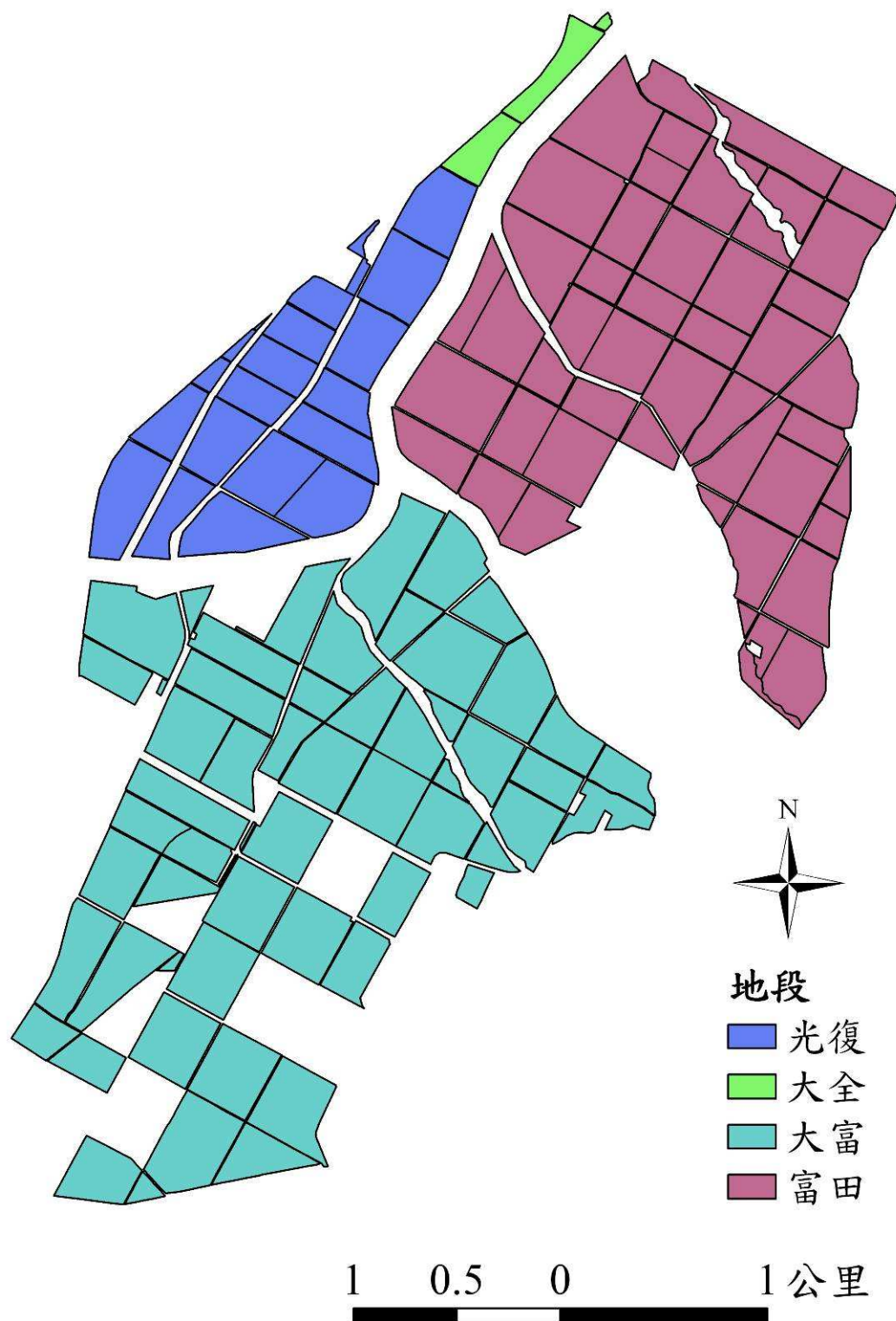
由於研究證實光譜資訊能夠有效結合林分參數，同時也讓推估整個林分的蓄積量的方式，可以擺脫以往僅靠幾個樣區的平均單位面積材積，直接乘以面積就可以得出整個林分材積的傳統作法。因為這種推算林分材積的方式，無法顧及林地上林木生長不均勻的事實，僅能期望於樣區的平均能夠平衡此種影響。而本研究透過光譜資訊與林分參數所建立的迴歸模式之後，可以以像元為基礎，逐一推算像元的材積量，最後加總而成林分材積。此種方式不但可以提供林分內細部材積量空間分布的狀態，間接也能呈現出林木生長的情況，提供我們檢視林分內更細部的林木生長資訊。當然，目前這種林分蓄積量推估模式尚屬初步建立，仍有許多改進及需要進一步檢核的地方，未來應可配合至少一公頃以上的大樣區調查結果，來真正驗證此模式的有效性。

參考文獻

1. 行政院農委會林業試驗所 (2008) 科技計畫期末報告。
2. 李國忠、林俊成、陳麗琴 (2000) 台灣杉人工林碳吸存潛力及其成本效益分析。台灣林業科學15 (1): 115-123。
3. 林俊成、鄭美如、劉淑芬、李國忠 (2002) 全民造林運動二氧化碳吸存潛力之經濟效益評估。台灣林業科學17 (3): 311-321。
4. 林裕仁、林俊成、劉瓊霏 (2005) 台灣地區木材之含碳量與比重測定。森林經營對二氧化碳吸存之貢獻研討會論文集: 266-278。
5. 林裕仁、劉瓊霏、林俊成 (2002) 台灣地區主要用材比重與碳含量測定。台灣林業科學17 (3): 291-299。
6. 林務局 (1997) 台灣林產物處分調查用立木材積表。行政院農業委員會林務局。台北。
7. 洪富文、程煒兒、陳正豐 (1996) 六年生檫樹與台灣赤楊混合人工林的生長與相關的土壤性質。台灣林業科學11 (1): 103-108。
8. 柯淑惠 (2006) 檫樹人工林生物量與碳儲存量之研究。國立中興大學森林學系研究所碩士論文。
9. 國立中央大學太空及遙測研究中心 (2009) 資源衛星接收站使用者手冊。第五版。
10. 曾仁鍵 (2004) 衛星影像於大度山地區植被光譜變遷之監測。國立臺灣大學森林學系研究所碩士論文。
11. 楊榮啟、林文亮 (2003) 森林測計學。國立編譯館。
12. 廖述惠、王亞男 (2002) 樟樹與檫樹於林下栽植二氧化碳固定效益之研究。中華林學季刊35 (4): 361-373。
13. Hoffer, R.M. (1978) Biological and Physical Consideration in Applying. Computer-Aided Analysis Techniques to Remote Sensor Data. In "Remote Sensing: The Quantitative Approach" Chapter 5, edited by Swain, P.H. and S.M.Davis McGraw-Hill International Book Co.
14. IPCC (1997) Revised 1996 IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories. IPCC/OECD/IEA. Paris, France.
15. Jensen, J.R (2000) Remote sensing of the environment—An earth resource perspective. Prentice Hall. pp. 333-378.
16. Jiang, J.H., James Berry, Heinz W. Siesler, and Yukihiro Ozaki (2002) Wavelength Interval Selection in Multicomponent Spectral Analysis by Moving Window Partial Least-Squares Regression with Application to Mid-Infrared and Near-Infrared Spectroscopic Data. *Analytical Chemistry* Vol 74, pp. 3555-3565.
17. Myers, V.I. (1970) Soil, Water, and Plant Relations. In "Remote Sensing with Special Reference to Agriculture and Forestry" National Academy of Sciences, Washington, DC, pp. 253-297.

18. Rouse, J.W., Haas, R.H., Schell, J.A., Deering, D.W., (1973) Monitoring vegetation systems in the great plains with ERTS. Proceedings of the 3rd ERTS Symposium, Goddard Space Flight Center, Greenbelt, MD, Washington, DC, pp. 48-62.

花蓮縣光復鄉地段分區圖



附錄二

照區照片



A01



A02



A03



A04



A06



A07



A09



A10



A11



A12



A13



B01



B02



B03



B04



B05



B06



B07



B10



B11



B12

附錄三

平地造林台灣櫟與光臘樹調查結果摘要表（許原瑞，2008）

樣區	造林年度	區位	樹種	株數(n)	DBH(cm)	H(m)
35	92	屏東	台灣櫟	7	2.3	3
26	93	屏東	台灣櫟	50	4.4	3.8
23	93	台南	台灣櫟	31	4.6	3.9
11	92	雲林	台灣櫟	68	4.4	4.1
19	92	台南	台灣櫟	49	5.1	4.1
18	91	台南	台灣櫟	44	7.3	4.9
10	94	雲林	光臘樹	47	6.1	4.3
14	92	台南	光臘樹	8	2.7	2.2
36	92	台東	光臘樹	3	2.8	2.4
31	94	屏東	光臘樹	25	3	3.2
28	93	屏東	光臘樹	53	3.4	3.3
20	93	台南	光臘樹	30	3.7	2.8
15	92	台南	光臘樹	34	4.4	3.2
29	91	屏東	光臘樹	68	4.8	4.3
21	94	台南	光臘樹	3	5.1	3.1
40	93	花蓮	光臘樹	2	6	5.5
40	93	花蓮	光臘樹	2	6	5.5
12	92	雲林	光臘樹	77	6.6	5.2
37	91	花蓮	光臘樹	71	7.4	6.9
38	92	花蓮	光臘樹	73	7.6	5.6
41	93	花蓮	光臘樹	65	8.6	6.2
17	91	台南	光臘樹	59	10.4	10.2

附錄四

遙測技術應用於平地造林碳匯計量之研究 期中審查意見回應及說明表

審查意見	回應及處理情形
1. 本研究探討花蓮光復、瑞穗平地造林林分之碳匯計量。	顧及地面調查工作量，本研究集中在光復鄉之台糖造林地作為研究試驗區。
2. 已建立基礎光譜特性資料，期中成果良好。	謝謝委員的鼓勵。
3. 本計劃對未來平地造林碳匯計量甚為重要。	謝謝委員的鼓勵。
4. 本計畫相當不錯，未來可協助林務局進行大面積存活率、林分材積和碳量等估算。	謝謝委員的指導。本研究目前仍侷限於單一樹種的純林林分，如有樹種混生的情形，仍有待加以研究。
5. 以遙測影像與光譜分析技術應用於空間尺度之造林效益與碳固量推估，建立基礎操作技術，可進一步解析現場樹種區塊空間與林分背景之影響，以提供實際應用。	謝謝委員的指導。本研究希望能建立林分參數空間分布圖資訊，幫助加強瞭解地面林分的背景，以發展良好的光譜資訊估算模式。

附錄五

遙測技術應用於平地造林碳匯計量之研究 期末審查意見回應及說明表

審查意見	回應及處理情形
1. 缺乏摘要與討論。	遵照辦理，已將摘要部分補足。討論則穿插於「貳、工作成果」之「地面樣區調查結果與分析」、「光譜資訊與林分參數迴歸分析」、「林分參數估算與比較」，與「參、結論與建議」各章節之中。
2. 應將「台灣櫟」改稱為「櫟」、「櫟樹」或「櫟木」，因為鄰近國家如韓國也有櫟樹。	遵照辦理。已將「台灣櫟」改稱為「櫟樹」。
3. 結論是光臘樹每公頃碳含量高於櫟樹。	遵照意見將加入結論中。
4. 已有相當的成果應用於覆蓋度、材積及碳量的計量，甚為難得。	謝謝審查委員的指教。
5. 在參數相關性分析如何將光譜資訊異常性去除，提高其信度，可進一步研究。	謝謝審查委員的指教，目前本研究限於第一年執行，地面樣區數目仍有不足，尚無法確定光譜資料的異常情況，未來等地面樣區數目增加時，將進一步探討光譜資訊異常分析，確定異常資訊，以提升光譜資訊與林分參數連結性。
6. 本計畫在於結合遙測影像與地面調查技術估算大面積造林地碳匯數量，以花蓮地區為研究區域，所得之結果具體，可供作為估算林木固碳量之參考。	謝謝審查委員的指教，但目前研究成果仍僅侷限於單一樹種的純林林分，如有樹種混生的情形，仍有待加以研究。
7. 內容之相關流程清晰，架構完整，在建議的部分也提出立地影響林木生長，這部分值得深入研究。	謝謝審查委員的鼓勵，本研究未來確實計畫利用林分參數空間分布資訊，提供目前林木生長好及不好的地區，配合立地環境的調查，探討立地影響林木生長的重要機制，做為未來判斷立地影響林木生長好壞的參考依據。