

國立臺灣大學生物資源暨農學院園藝暨景觀學系

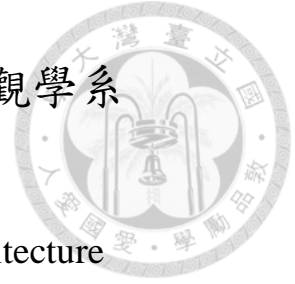
碩士論文

Department of Horticulture and Landscape Architecture

College of BioResources and Agriculture

National Taiwan University

Master Thesis



烏心石間作作物之效益探討

Study on the effects of *Michelia compressa* intercropping
with crops

張富翔

Fu-Hsiang Chang

指導教授：林淑怡 博士、羅筱鳳 博士

Advisor: Shu-I Lin, Ph.D. and Hsiao-Feng Lo, Ph.D.

中華民國 103 年 6 月

June 2014



摘要

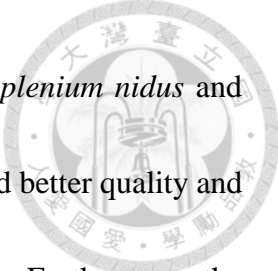
森林的多方面效益日受重視，但臺灣近年來推動「私有地造林」面臨林農參與度低之困境，能否於造林之同時，提昇農民所得，使經濟獲益與環境保育達到平衡，為當前重要議題。混農林業可解決小農經濟之不定性，亦可能加強農業與環境、生態之連結，是維繫農業發展及因應氣候變遷之重要調適策略。作物與林木間作對作物產量與品質、林木生長及總體經濟效益之影響，依施作地區、林木作物組合與栽培方式而不同。系統之種間互動關係為影響系統生產力之關鍵，與實施當地之環境條件有關，故需實地評估。本研究於國立臺灣大學生物資源暨農學院實驗林管理處（以下簡稱：實驗林）及國立臺灣大學生物資源暨農學院附設農業試驗場（以下簡稱：農業試驗場）進行，探討於烏心石 (*Michelia compressa*) 造林初期，以作物與之間作，影響林木與作物之程度，包括各作物之產量與經濟效益，以及烏心石生長情形。於實驗林以作物間作烏心石，其底土氧化鎂濃度下降幅度高於烏心石純林，明日葉 (*Angelica keiskei*) 及糯米團 (*Gonostegia hirta*) 可增加總體淨利，而山蘇 (*Asplenium nidus*)、過溝菜蕨 (*Anisogonium esculentum*) 及糯米團可長期栽培，作物更新頻率較小；實驗林各作物之品質與營養價值較農業試驗場高，作物栽培期間烏心石生長未受影響。於農業試驗場，作物與烏心石間作與否不影響作物產量及品質，亦不影響烏心石生長，顯示於造林初期，物種間互動關係不影響林木生長及作物生產，其中以甘藷葉 (*Ipomoea batatas*)、白鶴靈芝 (*Rhinacanthus nasutus*) 產量較高，甘藷葉、白鶴靈芝及糯米團之產值較高，除過溝菜蕨，其餘作物可有正收益。以上結果顯示，於造林初期以適當作物與烏心石間作有提昇獲益之可能，惟於山坡地執行農作有其相當之困難度。

關鍵字：混農林業、林木生長、作物品質、經濟價值

Abstract



The multi-benefits of forest are more and more emphasized. However, afforestation on private lands in Taiwan has recently faced the difficulty of low participation of forest farmers. At present, how to enhance farmers' income during afforestation to balance the economic benefit and the environmental conservation is an important issue. Applying agroforestry not only resolves the uncertainty of small scale farmers' economy, but also strengthens links of environment, agriculture and ecology. It may be an important adaptive strategy to protect agricultural development and respond to the climate change. The effect of intercropping crops with forest trees on the yield and quality of crops, trees growth and overall income are different in various regions, intercropping combinations and planting methods. Interspecific interaction in the system is the key point to affect the productivity, also relates with the environmental condition of the implemented sites. Thus, the on-site assessment is necessary. This research was executed in the Experimental Forest and Experimental Farm, National Taiwan University, and was aimed on the effect of intercropping crops with *Michelia compressa* on the crop production, tree growth, and economic benefit during the early period of afforestation. The results in the Experimental Forest showed that intercropping enhanced the decrease of magnesium oxide concentration. The intercropping of *Angelica keiskei* and *Gonostegia hirta* with *Michelia compressa* increased the overall



net income. The renewal frequency of *Anisogonium esculentum*, *Asplenium nidus* and *Gonostegia hirta* was low for long-period intercropping. All crops had better quality and higher nutritional contents than those grown in the Experimental Farm. Furthermore, the growth of *Michelia compressa* was not affected by intercropping. The results in Experimental Farm showed that the yield and quality of crops and the growth of *Michelia compressa* were not affected by intercropping. Interspecific interactions did not affect tree growth and crop production in the initial stage of afforestation. During intercropping, the productivities of *Ipomoea batatas* and *Rhinacanthus nasutus* were higher, and output values of *Ipomoea batatas*, *Rhinacanthus nasutus* and *Gonostegia hirta* were higher. Except *Anisogonium esculentum*, the rest of crops could yield positive overall income. It was feasible to increase benefit via intercropping *Michelia compressa* with crops in the initial period of afforestation. However, some difficulties do exist for conducting the agricultural practices on highlands.

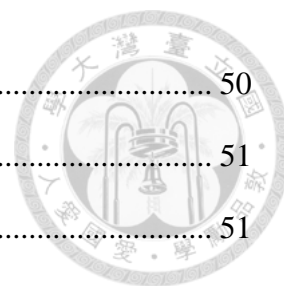
Key word : agroforestry, tree growth, crops production, economic value

內容目錄



摘要	i
Abstract.....	ii
第一章 研究動機	1
第二章 前人研究	5
一、混農林業之定義與範疇	5
二、作物與林木間作對作物產量之影響	8
三、作物與林木間作對作物品質影響	12
四、間作作物對林木之影響	13
五、種間互動對混農林之重要性	14
六、農作物與林木間作之地上部種間互動因子	16
七、農作物與林木間作之地下部種間互動因子	18
八、改善種間競爭方式	20
第三章 研究方法	22
一、試驗地介紹及試驗設計	22
二、試驗作物介紹	24
三、田間管理方式	27
四、取樣及調查頻率	28
五、土樣分析方法	29
六、烏心石生長調查方法	31
七、蔬菜品質及生理指標調查分析方法	32
八、經濟價值及成本估算方法	39
九、統計分析方法	40
第四章 結果	50
一、間作作物對烏心石生長之影響	50

二、間作作物對土壤特性之影響	50
三、實驗林試驗區作物度冬存活率	51
四、間作烏心石對作物產量之影響	51
五、間作烏心石對作物品質及生理指標之影響	52
六、作物與烏心石間作之經濟可行性評估	53
第五章 討論	90
一、間作作物對烏心石生長之影響	90
二、間作作物對土壤特性之影響	90
三、實驗林試驗區作物度冬存活率	91
四、間作烏心石對作物產量之影響	92
五、間作烏心石對作物品質及生理指標之影響	94
六、作物與烏心石間作之經濟可行性評估	94
第六章 結論	96
參考文獻	97



表目錄



表 1. 國立臺灣大學生物資源暨農學院實驗林管理處內茅埔營林區 21 林班 100-20 號造林地試驗區土壤特性。.....	41
表 2. 國立臺灣大學生物資源暨農學院附設農業試驗場試驗區土壤特性。.....	42
表 3. 國立臺灣大學生物資源暨農學院實驗林管理處內茅埔營林區 21 林班 100-20 號造林地試驗區間作前後之土質變化。.....	54
表 4. 2011 年國立臺灣大學生物資源暨農學院實驗林管理處內茅埔營林區 21 林 班 100-20 號造林地試驗區與烏心石間作作物之單次及累積產量	55
表 5. 國立臺灣大學生物資源暨農學院實驗林管理處內茅埔營林區 21 林班 100-20 號造林地間作作物與國立臺灣大學生物資源暨農學院農業試驗場純 作物品質	56
表 6. 國立臺灣大學生物資源暨農學院實驗林管理處內茅埔營林區 21 林班 100-20 號造林地間作作物與國立臺灣大學生物資源暨農學院農業試驗場純 作物抗氧化能力	57
表 7. 國立臺灣大學生物資源暨農學院實驗林管理處內茅埔營林區 21 林班 100-20 號造林地間作作物與國立臺灣大學生物資源暨農學院農業試驗場純 作物生理指標	58
表 8. 國立臺灣大學生物資源暨農學院實驗林管理處內茅埔營林區 21 林班 100-20 號造林地間作作物與國立臺灣大學生物資源暨農學院農業試驗場純 作物逆境指標	59
表 9. 國立臺灣大學生物資源暨農學院實驗林管理處內茅埔營林區 21 林班 100-20 號造林地 2012 年與烏心石間作所需栽培人力及資材成本	60
表 10. 國立臺灣大學生物資源暨農學院實驗林管理處內茅埔營林區 21 林班 100-20 號造林地 2012 年與烏心石間作栽培收益、成本及淨利潤	61
表 11. 國立臺灣大學生物資源暨農學院實驗林管理處內茅埔營林區 21 林班	

100-20 號造林地 2013 年與烏心石間作所需栽培人力及資材成本	62
表 12. 國立臺灣大學生物資源暨農學院實驗林管理處內茅埔營林區 21 林班 100-20 號造林地 2013 年與烏心石間作栽培收益、成本及淨利潤	63
表 13. 國立臺灣大學生物資源暨農學院農業試驗場 2013 年 11 月採收間作與非間 作作物之食用品質	64
表 14. 國立臺灣大學生物資源暨農學院農業試驗場 2013 年 11 月採收間作與非間 作作物之抗氧化能力	65
表 15. 國立臺灣大學生物資源暨農學院農業試驗場 2013 年 11 月採收間作與非間 作作物之生理指標	66
表 16. 國立臺灣大學生物資源暨農學院農業試驗場 2013 年 11 月採收間作與非間 作作物之逆境指標	67
表 17. 國立臺灣大學生物資源暨農學院農業試驗場 2014 年 1 月採收間作與非間 作作物之食用品質	68
表 18. 國立臺灣大學生物資源暨農學院農業試驗場 2014 年 1 月採收間作與非間 作作物之抗氧化能力	69
表 19. 國立臺灣大學生物資源暨農學院農業試驗場 2014 年 1 月採收間作與非間 作作物之生理指標	70
表 20. 國立臺灣大學生物資源暨農學院農業試驗場 2014 年 1 月採收間作與非間 作作物之逆境指標	71
表 21. 國立臺灣大學生物資源暨農學院農業試驗場 2014 年 3 月採收間作與非間 作作物之食用品質	72
表 22. 國立臺灣大學生物資源暨農學院農業試驗場 2014 年 3 月採收間作與非間 作作物之抗氧化能力	73
表 23. 國立臺灣大學生物資源暨農學院農業試驗場 2014 年 3 月採收間作與非間 作作物之生理指標	74




表 24. 國立臺灣大學生物資源暨農學院農業試驗場 2014 年 3 月採收間作與非間 作作物之逆境指標	75
表 25. 國立臺灣大學生物資源暨農學院農業試驗場 2014 年 5 月採收間作與非間 作作物之食用品質	76
表 26. 國立臺灣大學生物資源暨農學院農業試驗場 2014 年 5 月採收間作與非間 作作物之抗氧化能力	77
表 27. 國立臺灣大學生物資源暨農學院農業試驗場 2014 年 5 月採收間作與非間 作作物之生理指標	78
表 28. 國立臺灣大學生物資源暨農學院農業試驗場 2014 年 5 月採收間作與非間 作作物之逆境指標	79
表 29. 國立臺灣大學生物資源暨農學院農業試驗場 2013 年與烏心石間作所需栽 培人力及資材成本	80
表 30. 國立臺灣大學生物資源暨農學院農業試驗場 2013 年與烏心石間作栽培收 益、成本及淨利潤	81


圖目錄



- 圖 1. 102 年試驗地範圍。(a) 國立臺灣大學生物資源暨農學院實驗林管理處內茅埔營林區 21 林班 100-20 號造林地、(b) 國立臺大農業試驗場。.....43
- 圖 2. 試驗期間試驗區之氣象資料，(a) 2011 年國立臺灣大學生物資源暨農學院實驗林管理處內茅埔營林區 21 林班 100-20 號造林地、(b) 2012 年國立臺灣大學生物資源暨農學院實驗林管理處、(c) 2013 年國立臺灣大學生物資源暨農學院實驗林管理處、(d) 2013 年國立臺灣大學生物資源暨農學院農業試驗場。 .44
- 圖 3. 國立臺灣大學生物資源暨農學院實驗林管理處 2011 年內茅埔營林區 21 林班 100-20 號造林地之間作試驗區作物栽培設計。.....45
- 圖 4. 國立臺灣大學生物資源暨農學院實驗林管理處內茅埔營林區 21 林班 100-20 號造林地 2012 年內茅埔營林區 21 林班 100-20 號造林地之間作試驗區作物栽培設計。.....46
- 圖 5. 國立臺灣大學生物資源暨農學院實驗林管理處內茅埔營林區 21 林班 100-20 號造林地 2013 年內茅埔營林區 21 林班 100-20 號造林地之間作試驗區作物栽培設計。.....47
- 圖 6. 國立臺灣大學生物資源暨農學院農業試驗場試驗區一、二區集設計。.....48
- 圖 7. 國立臺灣大學生物資源暨農學院農業試驗場試驗區三、四區集設計。.....49
- 圖 8. 國立臺灣大學生物資源暨農學院實驗林管理處內茅埔營林區 21 林班 100-20 號造林地與作物與間作之烏心石(a) 高度、(b) 基徑。..... 82
- 圖 9. 國立臺灣大學生物資源暨農學院農業試驗場與作物間作之烏心石(a) 高度、(b) 基徑。.....83
- 圖 10. 國立臺灣大學生物資源暨農學院實驗林管理處內茅埔營林區 21 林班 100-20 號造林地與烏心石間作作物於(a) 2011 年 (b) 2012 年 (c) 2013 年之度冬存活率。..... 84
- 圖 11. 國立臺灣大學生物資源暨農學院實驗林管理處內茅埔營林區 21 林班 100-20

	號造林地與烏心石間作作物於(a) 2012 (b) 2013 之單次採收產量。.....	85
圖 12.	國立臺灣大學生物資源暨農學院實驗林管理處內茅埔營林區 21 林班 100-20	
	號造林地各作物與烏心石間作於(a) 2012 (b) 2013 之累積採收產量。.....	86
圖 13.	國立臺灣大學生物資源暨農學院農業試驗場試驗與烏心石間作之(a) 紅鳳	
	菜、(b) 過溝菜蕨、(c) 九層塔、(d) 糯米團、(e) 甘藷葉與(f) 白鶴靈芝的單	
	次採收產量。.....	87
圖 14.	國立臺灣大學生物資源暨農學院農業試驗場與烏心石間作之作物之(a) 累	
	積產量與(b) 累積產值。.....	88
圖 15.	國立臺灣大學生物資源暨農學院實驗林管理處內茅埔營林區 21 林班 100-20	
	號造林地與烏心石間作於(a) 2012 (b) 2013 之作物累積採收產值。.....	89

第一章 研究動機




森林具多層次之功能，包括氣候、水文、景觀等面相，森林可改善水及空氣品質、增加碳吸附、具美學功能，亦可增進國土保安、降低沙漠化、乾旱、水土流失等環境風險 (Führer, 2000)。1992 年聯合國地球高峰會 (Earth Summit) 簽署森林原則 (Forest principles)，強調森林對社會-經濟永續發展具重要影響，並鼓勵各國加強造林及鼓勵林地保育，以維持或增加森林之覆蓋面積，再以永續管理方式維持森林之社會、經濟、文化及精神效益；而在決定森林的保存、管理和開發問題時，需評估林產品的經濟和非經濟價值，並認為造林及長週期作物為增加原始林永續性之重要措施 (United Nations, 1992)，顯示林地不僅具有重要功能，且林地復育、保育及多樣化價值日受重視。

臺灣林業面臨發展困境，因林農平均耕作面積狹小，且林木價格低迷，若單以林業經營無法快速獲得收益，因此將原本應以林地為使用目的之土地改種經濟價值高之農作物、或荒廢疏於管理，同時有違規過度利用或廢耕問題 (羅和林，1992)。

1950 年代起，政府推動『農業上山』政策，山區尤其於道路旁高山農業興盛 (陳和施，2010)，於國立臺灣大學生物資源暨農學院實驗林管理處 (以下簡稱：實驗林) 承租林地之林農違反森林法、水土保持法及竹木造林契約之規範，於承租地違規轉植動作之高經濟作物，甚至有逕行整地搭建棚架，種植茶、高山蔬果、花卉，經問卷方式調查「佔用實驗林契約林地之既有蔬菜栽培作業及資材」顯示契約林農於契約林地主要改植中、短期蔬菜，其中以牛番茄、甘藍及四季豆為最大宗；於調查之 32 戶契約林農中，僅有 5 戶投資搭建栽培設施，其餘皆為露地栽培。林農在栽培中、短期蔬菜期間，需投入大量資材，並深耕翻土，僅於冬季休耕期間較少擾動環境。林農違規轉作高經濟價值作物之林地不僅失去生態功能，其高土地利用強度有危害山坡地水土保持之虞，更加重維護環境保安之成本。


為因應加入 WTO 可能面臨之農地生產不符成本、生產過剩及山坡地保安問題，



政府亦陸續推出多項鼓勵造林政策，平地造林部份每公頃之獎勵金額由最初之私人造林 15 萬元/6 年、綠海計畫 161 萬元/20 年至平地造林計畫 240 萬元/20 年，山坡地之獎勵造林由每公頃 53 萬元/20 年提昇至 60 萬元/20 年；其中，平地之造林獎勵金雖有逐步調升趨勢，但每年新增之造林面積卻下降；參與造林之土地中又以公有地為大宗，私有地之面積僅佔總量 16.8% (林等，2010)，顯示目前獎勵造林之誘因仍不足。政府於 2002 年起推動『平地景觀造林及綠美化計畫』，至 2007 年之執行結果私有地達成率僅 9.51%，對此以問卷調查臺灣造林地之農戶，顯示農戶不踴躍參與之原因包含有獎勵金仍低、造林 20 年後無持續補助、林木之後續處理不確定、造林後土地使用沒有彈性、對附近農田負面影響之疑慮以及造林地最小基地面積限制等 (林，2008)。顯示林木之產銷管道仍受造林戶質疑，且經造林後，無法逕行變更土地之使用目的，其補助與土地可產出的經濟價值具落差，需有更彈性之手段增加參與造林之可能收入以提高林戶參與意願。

再者，全球化單一作物大面積栽培之趨勢，擠壓到小型農戶之收益，使農民收入分配日益不均，依據美國農業部調查，美國農戶年收入低於\$10,000 者之比例，由 1982 年 42.5% 上升為 2007 年 59.8%，但該級距內收入佔總體農業收入之比例，卻由 1.8% 下降至 0.9%，顯示小農所得收益分配逐漸降低，其中又以蔬菜生產的獲利分配最為不均 (MacDonald, 2011)。臺灣之農業結構以小型農戶為主，更有改善農產業內部分配問題之需求。


為因應環境保育及經濟分配問題，2010 年聯合國糧農組織 (Food and Agriculture Organization of the United Nations, FAO) 提出氣候智能型農業 (climate-smart agriculture) 概念，提出多項可同時兼顧農業生產與氣候變遷問題之未來農業調適策略包括：保育型農業 (conservation agriculture)、混農林業 (agroforestry)、都市及市郊農業 (urban and peri-urban agriculture)、多元整合之食物與能源系統 (diversified and integrated food - energy systems) 等 (FAO, 2010)；而世界混農林業中心 (International Centre for Research in Agroforestry, ICRAF) 亦分析



各項氣候智能型農業發展優缺點，認為推廣時不僅應考量環境功能，亦須同時兼顧小農生計與糧食安全問題，其中混農林業因其生產項目多元、具較廣之產品銷售管道與彈性，且林木可加強水土保持、改善田間氣候，亦可增加耕作土地之永續可能 (Neufeldt et al., 2010)，因此混農林業不僅可解決小農經濟之不定性，亦可增加農業與環境、生態之連結，其為未來維繫農業發展及因應氣候變遷調適之重要操作方法。

混農林被認為具有多方功能，但世界各地對混農林業發展之策略目標有所差異。發展中國家針對混農林，著重於經濟面提昇，強調增加收益與多元混合經營，較不重視環境之外部效益，已開發國家則較強調混農林業之生態與環境功能 (Nair, 2008)。臺灣於 1950 年即有倡議實行混農林，謝漢光發表「臺灣山地造林應採行混農林作業制」，強調造林是臺灣林業建設之重要課題，林業與農業結合可保證造林工作成功，主張於緩傾斜地 (5° - 7.5°) 應實施混農林，而在急傾斜地 (17° - 27.5°) 則可於造林最初間作農作物直到造林地成鬱閉狀態。但 1951 年陳振威發表「臺灣經營混農林之商榷」，認為臺灣山高水急、雨量大，為實施混農林業而開墾山坡地，可能造成大量水土流失，且實行混農林經營時，可能因過於重視農作利益，而忽視造林樹之管理工作，間接因混農林導致造林失敗 (羅和林，1992)。雖然是否在臺灣實施混農林仍有爭議，針對當前混農林戶實行混農林業之認同調查，有 71.4%~94.5% 實行農戶認同以混農林改善現有林地耕植問題 (羅和林，1992；羅和林，2002)，亦建議經農地分級與經濟價值考量後，可於林地間混植適當作物，於不同地區以不同組合，可使用農藝、園藝或藥用植物 (羅和林，1992)。另於如何增加造林農戶所得問卷顯示，87.2% 農戶認為於林木下栽種作物可增加所得，且於造林前 3~4 年允許混農林業，可增加管理造林地意願 (林，2008)，顯示雖然混農林實施與否具爭議，但混農林戶高度贊同，且造林農戶認為可增加參與造林意願，因此是否實施混農林已具評估之迫切性。

混農林業不僅可用於改善農地水土保持與增加環境效益，亦可增加林農潛在



農作收入，可能是改善目前林農及造林農戶陷於生態及經濟兩難問題之一解決方式。然而，混農林業具有推展限制，需較長時間建立間作系統、增加栽植林木之投入成本及額外管理時間與技術，如何減少作物與林木間競爭光、水及養分，以達兩者間最少競爭、最大互補關係為混農林業之設計目標，亦成為推行成敗之關鍵 (HDRA, 2001)。據混農林戶之調查結果，既有混農林戶對實施混農林最大疑慮為作物經濟效益及林木與作物間的競爭問題 (羅和林，2002)。國外之問卷調查亦顯示，經濟效益為林農轉型為混農林之一考量因子 (Sirrinc et al., 2010)。臺灣現今同時面臨經濟-提昇林農所得及環境-獎勵造林考量的兩難，如何於經濟及生態兩方面取得平衡是當前重要課題；而影響經濟及生態問題因子又包括栽培作物之產量、品質及造林林木之生長狀況，因此需於實行前評估作物經濟及造林林木生長之成效，以了解達成農戶經濟需求之可行性，有助於政府制定造林策略。

第二章 前人研究



一、混農林業之定義與範疇

混農林業之定義隨時代而演變。最早之定義為結合作物/牲畜與林木/灌木同時或依序生產，並兼容施行地區之生活、文化模式的永續土地管理系統 (Bene et al., 1977)，作物/牲畜與林木在同一區域上有經濟或生物之互動，其組成可為同時或依序的排列，其生產系統由變動及穩定之系統共同組成，其尺度可由單一田區至整個區域，亦可由地方自主維生至商業生產利用層級，目標為多樣性生產、取代控制移牧需求、增加土壤有機物質、固定大氣中氮、回收營養物質及調控微氣候，利用以上特性增加生產力，並結合地方社會-文化習慣，以改善該地區之生活品質 (Somarriba, 1992)。由最初之定義，可以歸納出混農林業特徵為一種複作形式、至少有一種多年生木本植物依照時間或空間排列特性、產品多樣化、組成物種間有顯著之生物或經濟互動 (Somarriba, 1992)。

而後混農林又被定義為一綜合之土地利用系統，將農作或畜牧與林木結合，使之成為一綜合性整體 (Nair, 1985)，亦是一林木與農作或與牧草、牲畜結合，於同一時空或交錯配置，且林木與非林木部份有經濟及生態之互動 (Young, 1988)。亦有定義強調混農林業包括二物種以上，且至少有一種為木本多年生植物，其產出多元，生產週期需超過一年，相較於單一作物系統，其於生態結構、功能及經濟上都較為複雜，且包含顯著互動 (Lundhren and Raintree, 1982)，此階段定義認為混農林業為一複作形式，至少存在二種物種以上，且有一種為多年生木本植物，強調至少有兩種生物間有生物性交互作用 (Somarriba, 1992)。至此混農林系統關注於生物性互動與經濟問題，且未包含木本與非木本作物組成、多年生與多年生作物組合。

然近年來混農林業之定義變為較廣義，為一集約土地利用系統，此系統利用其間之生物性互動，增加單位面積生產量，可同時獲得經濟、生態、環境及文化效益之多方面效益，特別可施作於土壤貧瘠、狹小或林木間之土地 (Reynolds et al.,

2007; Tourjee et al., 1999)。臺灣亦有學者提出類似定義，認為混農林業是一種在永續、生態、保安、經濟及符合當地文化原則下，於土地上同時或間歇栽培林木（竹）與農作物和/或飼養動物，以增加土地生產力之土地經營系統（羅和林，2005），因此混農林之範疇更擴大，不僅訴求生物互動與經濟效益，更擴大至永續、生態及保安等環境效益面向。

混農林具有多元定義，亦具有多種施行方式，加上牽涉範圍廣大，難以單一準則涵蓋其類型，但是可以根據以下準則簡單分類：

- (一) 結構基礎 (structural basis)：於空間上混合經營，包括空間與時間之混合安排。
- (二) 功能基礎 (functional basis)：系統之生產功能，包括食物、飼料、燃料，或保護功能，包括防風林、保護帶等。
- (三) 社會-經濟基礎 (social-economic basis)：依據技術之投入高低及管理強度、尺度及商業目標，分為生存型、商業型及中間型。
- (四) 生態基礎 (ecological basis)：依據適用地區之生態及環境特性加以分類 (Nair, 1985)。


混農林業不僅分類多元，同時亦具備多重功能，相較於單一作物系統，混農林系統藉由多種物種之互動提高田間生產力、改善營養循環、藉物種搭配控制病蟲害，同時亦具有生態多樣性保育、增加土壤及水土保持及碳封存效果 (Malezieux et al., 2009)，可改善田區之環境變動，如土壤之水分變化及環境溫度、濕度等微氣候條件 (Lin, 2007)，調查林地、混農林使用及一般農業使用之山坡地於災害後崩塌比率，發現混農林使用下之山坡地，較一般農業使用山坡地較為改善 (Philpott et al., 2008)，其中碳吸存效果又被認為是已開發國家中至 2030 年最有碳吸存潛力之土地利用方式，未來環境效益之潛力益受重視 (Verchot et al., 2007)，為未來因應氣候變遷之調適策略。雖混農林業在改善土壤肥力結構及微氣候、提高土地生產力、維持較長生產週期及可提供額外價值提昇農民收入具有優勢，生態服務、環

境附加價值及政府可能支持亦是未來成長機會所在；但混農林需較長時間建立系統、增加林木額外投資成本及管理負擔管理、如何分離林木與作物間之競爭等問題是目前混農林業之缺點，仍待進一步研究釐清 (HDRA, 2001; Stainback et al., 2012)。

若由混農林業增加農場獲利及保護增加農場資源之角度切入，可以挑選出以下六種經營方式：

- (一) 防風林 (windbreaks)：將灌木/林木以大間距栽植，以降低過強風力之負面影響，降低風對作物/牲畜之危害、土壤流失，並增加土壤濕度，亦可做為自然之圍籬，隔離農田與道路。
- (二) 林下農作 (forest farming)：於林木樹冠下栽培特用作物，於栽培林木期間，可提供額外之短期間作物栽培收入，特別適用藥用植物及耐蔭之作物。
- (三) 樹籬間栽 (alley cropping)：將林木以單行或雙行栽植，於林木行間栽培農藝、園藝或飼料作物，於初期栽培短期作物賺取收入，或保護蔬菜、果樹等對環境變化敏感作物，可將作物生長條件較差之邊際耕地轉變為高價林地。
- (四) 水岸緩衝林 (riparian forest buffers)：為一多年生植物 (林木/灌木/草坪) 條帶，用以間隔農地、牧地與溪流、湖泊、溼地等，攔阻流失之養分與農藥，降低農用地污染之可能。
- (五) 鑲嵌混合林 (woody crop plantations)：為片狀林木/灌木栽植區域，將所需特性需求加入特定區塊之中，較不考慮混農林傳統上之生物性互動，而是結合大面積林木與多樣化生產之土地利用方式。
- (六) 林下畜牧 (silvopasture)：將林木與牧草結合，並加入畜牧生產，林木降低日照及風對牲畜影響，亦可做為額外收入來源 (Josiah, 2000)。

混農林業系統中以樹籬間栽方式最容易機械化 (Thevathasan and Gordon, 2004)，最接近於自然生態，得以模仿自然界物種間之互動 (Tourjee et al., 1999)，同時具有較長之間作期與高土地利用強度，並有效利用林木與作物互動，增加土




壤肥力及改善微氣候環境之用 (HDRA, 2001), 可用於串連棲息地, 除作物生產外, 更可利用於控制水土流失及增加土壤肥力 (Quinkenstein et al., 2009)。適宜之實行地點為土壤無重要元素缺乏限制因子、主要產季降雨足夠、坡地有土壤流失危險、土地較為稀缺特性之地區 (Sanchez, 1995); 施行後可降低系統中水、肥料及人力投入需求, 在乾燥、缺肥及填海之土地日益受歡迎 (Quinkenstein et al., 2009)。然而樹籬間栽亦是最具不確定結果之混農林業系統, 容易因互動而對產量有高度正向或負向影響 (Sanchez, 1995)。雖然樹籬間栽之特性較適宜臺灣欲獎勵造林及增加農民收入之目標, 但如何分離競爭及有效利用生物性互動以減低此法之不確定性, 進而達到正向結果, 則有賴於推行前仔細評估。

二、作物與林木間作對作物產量之影響

作物產量為林農及造林農戶之一轉型考量, 如何挑選作物或林木種類以增加作物產量及延長作物與林木間作之可行時間, 為重要之課題。而作物與林木間作, 作物產量又受兩物種間配置組合方式、生長時間、空間限制以及外界環境資源如光、水及養分供給充足與否所影響; 組合之內部資源需求棲位, 及資源需求的時間變化亦影響間作作物產量 (Malezieux et al., 2009)。

(一) 作物與林木物種之組合方式對作物產量影響

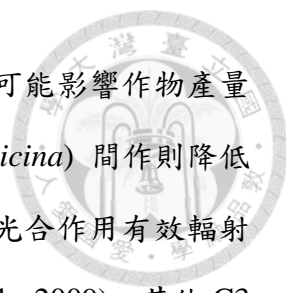
不同種類作物與相同物種林木栽植時, C_4 (C_4 carbon fixation) 作物產量易受遮蔭影響, 產量隨光度之下降呈遞減趨勢, 而 C_3 (C_3 carbon fixation) 作物具較廣之耐陰及高溫適應性, 因此依其本身之耐陰性有不同表現, 例如在乾旱地區將珍珠粟 (*Pennisetum glaucum*)、茄子 (*Solanum melongena*)、辣椒 (*Capsicum annuum*) 及芋頭 (*Colocasia esculenta*) 與大葉巴克豆 (*Parkia biglobosa*) 間作, 雖一般認為 C_4 植物較不受缺水及高溫影響其產量, 但珍珠粟之產量隨光度降低而降低, C_3 植物之茄子、辣椒及芋頭則有不同表現, 於稍遮蔭處產量可上升之辣椒及芋頭,



於大葉巴克豆遮陰下，產量不變或上升，不耐陰之茄子產量下降，顯示 C₃植物之產量與其物種特性有關 (Pouliot et al., 2012)。間作林木可能使作物產量提昇及產期提前，例如將胡椒 (*Piper nigrum*) 與南陽櫻 (*Gliricidia sepium*) 間作，在未施肥或灌溉之狀況下，胡椒之植株生長高度及產量因土壤較為肥沃導致產期提前而顯著上升 (Reyes et al., 2009)。

錯開林木與作物經濟生長時間及減少兩者在地上部或地下部之空間競爭，可獲得較高之作物產量，例如將銀杏 (*Ginkgo biloba*) 與油菜 (*Brassica rapa*)、小麥 (*Triticum vulgare*) 及蠶豆 (*Vicia faba*) 間作，總體產量以銀杏與小麥間作及銀杏與蠶豆間作較高，其原因為銀杏長出新稍時間為四月上旬，與油菜開花、結實之三月上旬至四月下旬最接近；且銀杏高度為 120 cm，油菜高度為 160 cm，相較於小麥及蠶豆，油菜之高度與銀杏最為接近，最具競爭態勢；且油菜之根系較大，為三間作系統中地下部競爭態勢最強者，分析其相對競爭強度 (Relative competition intensity, RCI)，發現銀杏、油菜間作系統產量低是因為地下部及地上部競爭較強所致 (Cao et al., 2012)；若調查各蔬菜物種之間作後表現，蔬菜種類大致以葉菜類產量最高，果菜類次之，將毛葉桉 (*Eucalyptus torillana*) 與各種採收部位及型態之蔬菜間作，發現葉菜類之長蒴黃麻 (*Corchorus olitorius*) 及攀爬型之長豇豆 (*Vigna unguiculata*) 產量較高，而商業栽培之甘藍 (*Brassica oleracea*)、茄子 (*Solanum melongena*)、番茄 (*Lycopersicon esculentum*) 等，產量不佳 (Mercado et al., 2008)。

林木種類之挑選亦影響作物產量，玉米 (*Zea mays*) 與不同林木間作，林木以豆科落葉樹可顯著提昇玉米產量，豆科常綠樹次之，其中印度田菁 (*Sesbania sesban*) 增產效果較施肥之對照組佳，而生質最大之鐵刀木 (*Senna siamea*)，雖薪材生長快及落葉量大，但因生長速度快競爭較強，第三年間作之玉米相較於未施肥之單一作物玉米，產量僅微幅增加 (Kwesiga et al., 2003)，將玉米與南陽櫻間作，玉米地上部生質量及產量於前 2 年並無顯著影響 (Lott et al., 2000a)。與非豆科樹種間作之結果不同，玉米與蘭考泡桐 (*Paulownia elongata*) 間作，玉米之產量顯著降低，




且於林木旁之栽植行高度、莖徑顯著降低，顯示間作蘭考泡桐可能影響作物產量 (Newman et al., 1998)。與胡桃 (*Juglans regia*)、李樹 (*Prunus salicina*) 間作則降低或不影響玉米產量，主要影響原因為林木造成玉米栽培區域之光合作用有效輻射 (photosynthetic active radiation, PAR) 及土壤濕度下降 (Peng et al., 2009)。其他 C₃ 或耐陰植物與非豆科樹間作之產量結果不同，薑 (*Zingiber officinale*) 與蘭考泡桐間作後，於林木旁之薑地上部之高度較高、節間較長，同時總體產量顯著上升 (Newman et al., 1998)；而菜豆 (*Phaseolus vulgaris*) 與美國紅椴 (*Fraxinus pennsylvanica*)、木麻黃 (*Casuarina equisetifolia*) 及鉛筆柏 (*Juniperus virginiana*) 組成之防風林間作，菜豆產量顯著上升 (Hodges et al., 2004)。

作物物種挑選方面，以具耐陰特性之 C₃ 植物、高度與林木差異大且根系分離者及非商業品種之蔬菜與林木間作之產量較佳；間作林木則選擇生長速度較慢之豆科樹對玉米之增產效果較好，非豆科樹則有不同結果，但若挑選可耐陰之 C₃ 植物，與林木間作亦可使作物產量上升。

(二) 生長時間與空間分配對作物產量之影響

作物與林木於不同時間及不同生長階段其產量又有不同，與豆科樹間作能在初期，因改善土壤物理、化學及生物相而顯著增加玉米產量，但後期豆科樹對玉米之增產效果逐時遞減，將玉米與南洋櫻或與銀合歡 (*Leucaena leucocephala*) 間作，雖初期能有效增加玉米產量，後期因間作林木使玉米產量增加之效果顯著低於種植初期 (Sileshi and Mafongoya, 2006)，玉米與南陽櫻間作前 2 年，間作對玉米生質量及產量無顯著影響，但隨南陽櫻生長，玉米之產量顯著下降，甚至較人工遮陰對照組更低，其原因為林木不僅造成遮陰，亦有水分、養分等地下部競爭所致 (Lott et al., 2000a)。與速生樹間作，玉米產量更迅速逐時遞減，故緩生硬木為長周期間作之林木較佳選擇，例如玉米與速生樹雲南石梓 (*Gmelina arborea*) 與緩生樹彩虹桉 (*Eucalyptus deglupta*) 間作，與雲南石梓間作之玉米第一年仍可維持



產量，但第二年起玉米產量即顯著降低，其中又以方格式栽種林木較樹籬式栽種玉米間作產量下降較顯著；而作物產量下降程度隨單位面積之林木總基徑增加而增加，顯示林木競爭對玉米產量影響隨樹勢漸增，但同總基徑下，與雲南石梓間作之玉米產量下降幅度較大，亦顯示雲南石梓對玉米之競爭較強 (Bertomeu, 2012)。

林木種植方位亦影響作物產量，在北半球地區，位於林木北方之作物因遮陰多，而比位於南方者生長差，但東西向則無顯著差異 (Newman et al., 1998; Nissen et al., 1999)。各類蔬菜與毛葉桉間作，作物產量與林木距離關係依序為降低、上升及持平，與林木與作物之互動關係與距離呈競爭、互補或無互動有關 (Mercado et al., 2008)，若觀察兩林木栽植列間，作物產量與間作林木距離之關係，除第一年可能因養分分佈不均及林木競爭較小而未有互補或競爭之互動關係外，第二年及第三年發現與林木距離較近之作物產量比與林木距離較遠者低，整體產量呈鐘型分佈，且隨樹勢伸展，鐘型分佈趨於平緩 (Bertomeu, 2012)。

栽培密度為重要變因之一，林木種植密度增加，間作物之單位面積產量顯著遞減，但若作物種植密度增加，則作物之單位面積產量可增加至其上限，即林木與作物兩者間之種植密度具有最佳組合比率，例如將小麥與白楊樹 (*Populus spp.*) 間作林木密度上升，小麥產量下降 (Fang et al., 2005)，同樣將油菜、蠶豆及小麥與銀杏間作，調整作物與林木之密度，雖發現作物或林木之密度增加，產量同步增加，但若同時增加作物及林木之密度，總產量反而下降，因此作物及林木需具備最佳化之密度要方能在間作系統內獲得最高利益 (Cao et al., 2012)。

豆科樹雖於間作初期可有效增加產量，但後期亦因生長競爭使效果下降，若要让林農能有較長期間於林木栽植列間栽培作物，緩生樹為較好之選擇；為求作物生長勢整齊，樹列栽培應為南北向；雖然將林木樹列間距加大可增加作物產量，但用於造林用途時應同時考量造林所需之林木密度。



三、作物與林木間作對作物品質影響

與林木間作對作物品質之影響較少被探討，且間作對作物品質影響往往未有定論，但於原本較不適宜栽植作物地區種植，間作後作物品質上升。小麥與白楊樹間作，與林木距離對小麥蛋白質及澱粉濃度無顯著影響，但總體而言，間作之小麥穀粒澱粉及蛋白質濃度上升 (Fang et al., 2005)。香草植物與多樣林木間作，前一至二年生長及精油含量未受影響，第三年香草精油含量比例略微下降，同時亦改變精油之組成份，薄荷 (*Mentha arvensis*) 與三角葉楊 (*populus deltoides*) 間作後，於林間開放處之精油薄荷酮 (menthone) 較多，於遮陰處之精油以薄荷醇 (menthol) 較多 (Rao et al., 2004)。調查與南陽櫻間作之大黍 (*Megathyrus maximus*)，有無鄰近南陽櫻之大黍粗蛋白 (crude protein)、中洗纖維 (neutral detergent fiber)、酸洗纖維 (acid detergent fiber) 及兩段式試管乾物質消化率 (*In vitro* digestibility of dry matter) 無顯著差異。

阿拉比卡咖啡 (*Coffea arabica*) 與林木間作後品質變化則因地而異，將咖啡栽植於次優之咖啡生產地區，間作黃脈刺桐 (*Erythrina poeppigiana*) 後，咖啡豆大小及感官品質上升，其可能原因為遮陰之產量較低，且延遲生產時間，同時因試驗地為高溫地區，適度遮陰可能有降地高溫影響之效果所致 (Muschler, 2001)；但於不同地區，阿拉比卡咖啡與印加屬或刺桐屬林木間作後，咖啡豆的大小無顯著差異，且感官品質顯著下降，可能因此地間作時較 Muschler (2001) 之咖啡遮陰較少，同時亦比較不同試驗地，發現試驗地之海拔及溫度亦為影響因子，於高海拔地區，間作造成降溫及遮陰對咖啡品質負面影響越大 (Bosselmann et al., 2009)。

間作對作物產量之影響變因眾多，於間作初期作物品質變化不大，而後可能因作物產量下降、生長延遲使品質上升，可能改變作物營養或二次代謝物成份，試驗地點之環境特性與間作林木對微氣候影響方向之配合亦是重要變因，於環境條件較差地區間作可能較有機會增進作物品質。



四、間作作物對林木之影響

欲於造林初期間作作物，造林木之存活率、生長情形亦為觀察重點之一。林木高度及胸徑可能因間作作物而上升，例如將雜交白楊樹 (*Populus spp.*) 與大豆 (*Glycine max*) 及大麥 (*Hordeum vulgare*)，或與蕎麥 (*Fagopyrum esculentum*)、冬黑麥 (*Secale cereale*) 及冬小麥 (*Triticum aestivum*) 間作，同時施肥狀況下，雖間作初期雜交白楊樹之高度及基徑未顯著增加，但作物之剩餘肥料可補充予林木生長，使後期白楊樹高度及胸徑顯著上升 (Rivest et al., 2009)；雜交胡桃 (*Juglans nigra x Juglans regia*) 與甜櫻桃 (*Prunus avium*) 與小黑麥、向日葵 (*Helianthus annuus*)、小麥、黑麥間作，同時施用氮肥，相較於噴灑除草劑之對照組，雜交胡桃及甜櫻桃之直徑成長量較高；相較於草生栽培未間作及施肥處理組，未間作且以除草劑除草之對照組直徑成長量又較高，顯示雜草或作物之競爭可能影響林木生長 (Chiffot et al., 2006)。林木與作物間作亦有可能降低林木生長狀況，如將南陽櫻與玉米或南陽櫻與玉米或樹豆 (*Cajanus cajan*) 間作，在不施肥且修剪林木以防止影響作物生產的處理之下，南陽櫻生質量顯著低於未間作時生質量 (Chirwa et al., 2003)。

若所有試驗區皆進行施肥及噴藥處理，結果則不同，例如於三地區將雜交白楊樹與大麥、小麥、蠶豆 (*Vicia faba*) 或與豌豆 (*Pisum sativum*)、白芥 (*Brassica alba*)、小麥、大麥間作，將間作區又分為持續間作及休耕、間作輪耕，發現僅種植林木之對照組林木高度及胸高直徑較大，輪耕組又較持續間作者佳，但間作期間長度亦為變因，第三、四年間作對高度、胸高直徑影響較顯著，而後第四至六年於三試驗地結果各異，與試驗地降水特性有關，可能因新植初期之林木較小、根系亦淺，無法利用深層水分，較易受間作作物競爭之影響 (Burgess et al., 2005)。將南陽櫻與豇豆 (*Vigna unguiculata*) 間作，於除草但未施肥狀況下，間作之前 600 天，南陽櫻之樹高、葉面積及樹幹材積生長量顯著低於未間作處理，但於間作 820 天後其生長量與單植南陽櫻處理相當，但至試驗結束，間作處理之南陽櫻之樹高、

葉面積及樹幹體積仍低於單植之南陽櫻，亦發現後期南陽櫻於乾季時生長不受阻，因此時南陽櫻樹勢大、根系深，已可利用剩餘或深層土壤之水分，較不受間作物競爭之影響 (Lott et al., 2000b)。

間作物對林木生長之影響與操作方法及間作時間有關，間作之林木因可利用作物剩餘肥份，因此生長相對於未施肥之純林較佳；若所有試驗區皆施肥，則反之，間作之作物反而增加競爭可能；若在貧瘠處、修剪林木又未施肥，林木生長最差。間作初期之林木較有受作物生長影響之可能，後期反因棲位趨於分離而不受影響，但初期受影響之生長量無法恢復。因此，要評估間作初期於造林地栽培蔬菜之可行性，林木生長狀況為重要之參考指標。

五、種間互動對混農林之重要性

相較於單一作物系統，實行混農林之農作系統營養轉換率較大，是由林木之固氮作用、林木之生物質分解及林木由深層土壤吸收養分補充於表層之能力所影響，亦對水分循環造成影響 (Nair et al., 1999)，而多作物系統之生產力因系統地上部、地下部或之間之能量、物質流動關係所影響，地上部之互動關係由樹冠結構與特性調控，對光及水分之攔截使光能分佈改變、蒸發散之比率與雨水之攔截及分配，地下部之互動關係由作物與林木之根系型態及生理調適特性及土壤水分、養分之有效性有關，共同影響水及養分之分配 (Malezieux et al., 2009)。以樹籬間栽之混農林方法而言具以下特點：

- (一) 微氣候：可降低風速、緩和氣溫，因降低照度亦改變田區水分狀況（包含雨水緩衝、提高降水量、提高空氣及土壤濕度及降低表土水分蒸散），其作用強度與作物及林木間距離高度相關。
- (二) 養分：林木之生物質散落及田間收穫，大量養分由田區流出，加快養分之循環；然而，養分循環加速特點對混農林系統不一定有益，在貧脊地區此特性反而造成養分缺乏，需施肥補充。另外，林木亦攔截養分，降低養分之流出



(Quinkenstein et al., 2009)。

多物種生態系統之內部關係，兩物種若有分離棲位，預期系統之總產量將高於分別栽培單一作物之產量，但此現象會隨時間而變化，物種間之棲位具變動性，欲維持高生產力，需藉由管理維持之 (Jose et al., 2004)。另外，隨系統建立之物種、時間及管理方式不同，種間互動產生不同結果，可能使兩物種之生質量產生正面或負面影響，其作用結果又可用其向量關係區分為雙方受益系統可行之協同作用 (synergy)，林木需管理或單作物受益之補償作用 (compensation) 及雙方受害系統不可行之拮抗作用 (antagonism)，亦可利用生質量及營養含量間關係行營養診斷，並評估系統之可行性及提出可能之管理方向 (Imo and Timmer, 2000)。

雖然目前有許多實例顯示，混農林系統有利作物生長 (Reyes et al., 2009) 或有利於林木之生長 (Chiffrot et al., 2006)，但其種間互動互利關係具不穩定之特性，例如將大麥或小麥與楊樹間作，不同年度或不同地點與間作對大麥產量或對楊樹生長之效應具變異，與試驗地點之特性及年度間雨量變化有關 (Burgess et al., 2005)。總體而言，互動關係之改變，由資源供給 (光、養分、水) 或濕度等微環境變化之所調控，進而影響生產力 (Medinilla-Salinas et al., 2013)，其高變動特性，反應物種間互動的脆弱關係，特別是隨季節間變動大的環境資源供給 (Dohn et al., 2013)，因混農林系統為非對等之間作系統，其內部關係複雜，與一般間作系統相較，長週期之木本植物易與草本或一年生植物競爭，不易預測，且有年度及季節間之變化 (Rao et al., 1999)，因此如何維持林木與作物間之互利作用，並將競爭減少至最低為混農林系統成敗之關鍵 (Thevathasan and Gordon, 2004)。

雖然種間互動關係複雜，但仍可藉由數學估算瞭解，可利用產量計算土地當量比 (Land equivalent ratio, LER)，瞭解作物互動對作物產量影響方向，或計算總體之正面效益減去負面效益，瞭解系統之互動方向 (Garcia-Barrios and Ong, 2004)，但目前土地當量比或總體效益估算因混農林系統之變異大，無法藉由粗略計算瞭解互動方向，目前仍有應用困難，轉而著重於利用試驗設計將個別互動因子分離、


再加總計算總體互動之方法較可行，也可細部瞭解互動方向及提出管理、改善方式 (Thevathasan and Gordon, 2004)。

雖然混農林系統可能有改善微氣候及營養循環之特點，但其互動關係具大變動性，如何由複雜之內部關係探討可能之影響因子，成為經營管理成敗之關鍵因素，因此，以下將個別因子分離，且將林木影響之互動因子分為地上部之光、溫度、風速及濕度，與地下部之養分、水及相剋作用探討，以期瞭解種間互動關係可能形式及提出相對管理改善方法。

六、農作物與林木間作之地上部種間互動因子

地上部之種間互動因子包括光、溫度、濕度及風速等，其中光之互動關係為最重要影響因子，若作物生長未受水或養分限制時，則由葉面接收之光強度所限制，影響之程度與作物接收之光合作用有效輻射有關 (Jose et al., 2004)。農作物與林木間作時，地上部遮陰不僅減少光強度，也影響光質，樹冠層吸收較多紅光及藍光，而下層之作物接收到較多橘、黃及綠光 (Jose et al., 2004)；而光之比例影響植物生理，因紅光被吸收較多，使紅光/遠紅外光比值下降，藍光/紅光比值上升，隨之影響植物之荷爾蒙調控及生長 (Varella et al., 2011)。

光度降低對 C3 及 C4 植物之影響不同，理論上 C3 植物受遮陰時表現較 C4 植物好，在潮濕且養分充足地區，將 C4 作物玉米與大葉佛來明豆 (*Flemingia macrophylla*) 間作並施肥，比較單純以遮陰網遮陰之玉米，間作處理及人工遮陰處理之玉米生質量與總累積光合作用有效輻射量呈正相關，顯示兩者皆因光度而限制生長 (Friday and Fownes, 2002)；同樣氣候條件下，調查一區域內 C3 作物小果咖啡 (*Coffea arabica* L.) 與多種林木間作於不同遮陰度下產量，當林木遮陰 23%-38% 時，作物產量隨遮陰程度增加而上升，當遮陰度為 38%-48% 時，產量達最高，若高於 48% 產量隨之下降，顯示 C3 植物在適度遮陰時，可能有較高產量，但亦不能過度遮陰 (Soto-Pinto et al., 2000)；但更高之遮陰程度未必對所有作物產




生負面影響，例如於遮陰 50% 下，可降低土溫、作物葉溫及蒸散速率，避免穀類幼苗因高溫死亡 (Sanchez, 1995)。植物與光度之互動對作物影響具環境梯度，調查不同雨量及不同溫度之乾草原牧草之生質量發現，於溫度較高及雨量較低地區，遮陰降低牧草生質量之影響減緩，於乾熱地區林木促進牧草之生質量增長效果較佳 (Dohn et al., 2013)。

但是光亦可能僅扮演微小的競爭角色，將玉米與黑胡桃 (*Juglans nigra*) 或紅橡木 (*Quercus rubra*) 於潮濕地區間作並施肥，發現玉米產量與玉米與間作林木距離有關，若對照同時以塑膠隔板分隔地下部競爭之處理時，發現不同之栽植行之玉米接收之光度雖不同，但玉米產量並無顯著差異，顯示地下部之養分、水份競爭扮演重要角色 (Gillespie et al., 2000)。

間作林木亦影響其他微環境，風向與栽植列呈 45 度角時，可達最大降低風速效果，可降低樹高 20 倍距離內之風速，亦可改變風向 (Cleugh, 1998)，減少水分蒸散，增加農地之水分利用效率及減緩土壤及空氣濕度變動 (Lin, 2007)。間作林木對溫度之影響則因地區而異，於地中海型較為乾熱之氣候區，間作林木區之空氣及土表溫度顯著降低 (Sanchez et al., 2010)；反之於溫帶潮濕地區，間作之林木區日間空氣溫度顯著上升 (Hodges et al., 2004)，但兩地區夜間氣溫一致不受間作林木影響，日間土溫變化雖因地而異，但夜間土溫皆有提昇趨勢 (Hodges et al., 2004; Sanchez et al., 2010)。

空氣濕度上升、風速降低及氣溫上升等微氣候變化有利作物之生產，於多層次防風樹籬美國紅栲、木麻黃及鉛筆柏旁間作大豆 (*Glycine max*)，而顯著增加大豆之產量，調查其原因，認為與風速降低有關 (Ogbuehi and Brandle, 1982)；相同試驗地亦發現，與林木間作之四季豆 (*Phaseolus vulgaris*) 產量及發芽率顯著上升，尤其於乾旱年度間作增產效果又更顯著，與其降低風速、升高土溫及氣溫，使葉片較大、作物早熟有關 (Hodges et al., 2004)。

總結而言，作物間光互動效應影響 C4 植物產量較為顯著，且與光合作用有效



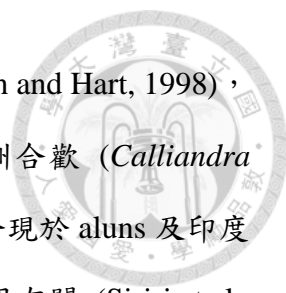
輻射量呈線性關係，C3 植物則因物種而異，略為遮陰可增加咖啡產量，但遮陰過高產量下降。且作物間光互動效應有環境梯度影響，於較冷及潮濕地區，光可能為限制因子，但於養分或水分競爭處，光並非混農林系統中最主要限制因子；作物間微環境互動之日溫變化與氣候條件有關，夜溫差異較不顯著，而風速降低、濕度上升等微環境因子互動有對作物產量呈正面效益傾向。

七、農作物與林木間作之地下部種間互動因子

地下部之種間互動因子包括水、養分及相剋作用，地下部之互動強度與根系分佈及物種對養分需求重疊程度有關，地下根部分佈決定系統對水分及養分的利用關係，根部分佈位置越接近或養分需求組成越類似則特別容易產生競爭關係 (Jose et al., 2006)；作物調適能力亦為影響地下部競爭大小因子，間作之物種間，可藉由改變根部形態以避免競爭，例如棉花 (*Gossypium hirsutum*) 與山胡桃 (*Carya illinoensis*) 間作，與單一作物及地下部競爭阻隔處理相較，間作之棉花根系較淺且短，間作之山胡桃根系較深，同時棉花之 0-30 cm 表土之根系生質量上升，但因競爭總根系生質量下降 (Zamora et al., 2007)；可利用根系分佈改變水分之來源，將西黃松 (*Pinus ponderosa*) 與 *Festuca pallescens* 等多種牧草間作，西黃松於 0-20 cm 表層土壤之根系比率顯著下降，利用同位素追蹤，發現與牧草間作後之西黃松水分來源為較深層之土壤 (Fernandez et al., 2008)。因養分需經由水分運送，因此難已精確區分兩物種間為水分或養分競爭 (Radersma et al., 2005)，但是對水之競爭多發生於乾熱地區，對養分之競爭則多發生於溼涼地區 (Jose et al., 2004)。

農作物與林木間作對水之互動傾向於競爭關係，玉米與軟楓 (*Acer saccharinum*) 間作，靠近林木之玉米行列土壤水勢顯著下降，若將玉米與軟楓之地下部區隔，土壤水勢差異不顯著，玉米產量也顯著提昇，水分之競爭顯著影響林木旁間作之玉米產量 (Miller and Pallardy, 2001)。

林木有將底土水分運送至地表之水力傳導 (hydraulic lift) 能力，可利用給附近



植物使用，對環境之生產力、養分及水分循環有重要意義 (Horton and Hart, 1998)，於林木與作物間作實例中，調查於 *Alnus cuminata*、麗錐美洲合歡 (*Calliandra calothyrsus*) 及印度田菁 (*Sesbania sesban*) 旁之菜豆及玉米，發現於 *aluns* 及印度田菁旁之作物 0-120 cm 土壤剖面濕度較高，可能與水力傳導作用有關 (Siriri et al., 2013)；然有不同案例，早稻 (*Oryza sativa*) 與貓尾木 (*Markhamia lutea*) 間作，與貓尾木根部隔離與未隔離之早稻土壤水分含量差異未達顯著 (Hirota et al., 2004)。出現差異之原因，可能為水力傳導需待林木根部深度突破乾燥土壤區域至儲水層 (Ong and Leakey, 1999)，且於非常乾燥、土壤貧瘠地區，無新生細根且根系與土壤結合不密，可能抑制水利傳導作用，反而於雨季水力傳導現象較明顯 (Ludwig et al., 2003)。

混農林系統可由林木吸收底土養分，再藉落葉或根系分解釋放至表土及根系固定，加上作物與林木充分利用養分，可減少因淋洗 (leaching) 造成養分流失 (Nair et al., 1999)。調查不同雨量及不同溫度之乾草原牧草，分析牧草與林木間作之牧草及土壤的養分，間作地區之牧草植體氮含量、土壤中氮含量及土壤磷含量顯著較高 (Dohn et al., 2013)。此外，*Agrostis curtisii* 等牧草分別與橡樹 (*Quercus ilex*)、*Retama sphaerocarpa* 豆科灌木及岩玫瑰 (*Cistus ladanifer*) 間作，與非豆科樹喬木間作較與灌木間作之牧草生質量高，與豆科灌木間作也較與非豆科灌木間作產量高；分析植體元素發現，與豆科樹間作之牧草氮含量較高，但與三種樹間作結果發現磷為植體中濃度降低最多之元素，顯示混農林系統中磷為養分之限制因子 (Rolo et al., 2012)。然將高粱 (*Sorghum bicolor*) 與乳油木 (*Vitellaria paradoxa*) 或大葉巴克豆間作，於二年度間結果不同，於乾早年處理施加氮、磷或氮與磷肥，對高粱產量增加幅度不如修剪林木，較潮濕年份施肥與修剪皆有增加，可能因乾早年份同時影響肥料之吸收，地上部及地下部之競爭雖可分離探討，但實際經營管理時皆需關注 (Bazie et al., 2012)。

植物可能藉由根部或落葉釋放化學物質影響相鄰之物種，目前以黑胡桃之胡

桃醜 (juglone) 為目前較廣泛討論之相剋作用物質，雖胡桃醜已在水耕試驗中證實可顯著影響大豆或玉米地上及地下部之生長速率，但在土壤環境其濃度未達顯著影響之濃度 (Jose and Gillespie, 1998)。


地下部之種間互動影響較地上部顯著，水分之影響偏向負面作用，水力傳導正面效應因氣候與林木根系深度而異；理想上，間作林木可以促進系統之養分利用效率，以豆科樹之效果較好，但亦可能因競爭導致養分缺乏，磷為較普遍之作物生長限制元素；相剋作用物質雖證實可能影響作物生長，但在自然界中濃度低於顯著影響濃度。

八、改善種間競爭方式

兩物種間之競爭可藉由改善間作設計減緩或避免之，如利用符合當地氣候之原生物種，以符合作物生態特性進行設計，或採用經科學試驗為可行之經濟作物，以符合當地人資源需求設計，皆可良好生產表現 (Malezieux et al., 2009)，而間作豆科樹或深根喬木通常較可避免競爭問題 (Rolo et al., 2012)。

於間作後積極管理，亦可降低競爭程度，如修剪枝條避免地上部競爭 (Bazie et al., 2012; Miller and Pallardy, 2001)，但修剪林木地上部同時，亦促進林木地下部根系之生長，使林木與作物地下部競爭作用加強，僅修剪地上部避免競爭之效果較不顯著，但亦有顯著促進作物生長之案例 (Siriri et al., 2013)。修剪林木根系 (Lott et al., 2009) 或分隔地下根系 (Wanvestraut et al., 2004) 可減少地下部競爭，可顯著增加作物產量，但目前修剪之方法及時機仍有待研究。另外，亦可增加資源以避免競爭，增加作物產量或提昇品質，供給如增加施肥量 (Danso and Morgan, 1993; Kimaro et al., 2009; Moreno et al., 2007; Palada et al., 1992)、充分給水 (Wanvestraut et al., 2004)，可以增加作物產量。

目前混農林系統發展多個數學模式推估間作之可行性 (Jose et al., 2006)，大多之模式為測量地上部或地下部環境因子變化，進而推估作物於此條件下之生長狀



態，目前使用較多為 WaNuLCAS model，此模式考量作物所能接收到之水、養分及光量 (Van Noordwijk and Lusiana, 1998)；另外，也有利用作物及林木生長速率推估後續生長狀態之 CROPGRO model，但此模式較適用於較成熟、建立時間久之混農林間作系統 (Zamora et al., 2009)。目前利用及參數較多之 WaNuLCAS model 經試驗對照發現，於缺磷地區之玉米產量推估結果較實際為低，顯示簡化之數學模式推估仍有未考量之影響因子 (Radersma et al., 2005)。

混農林系統之物種組合及種間互動情形為系統之可行性重要影響因子，然目前仍難以數學模式精確推估間作後物種互動情形及產量，因此無法直接提供管理建議。光、水分及養分競爭為造成作物產量或林木生長之限制因子，於操作時以施肥、澆水、修剪或隔離物種競爭方式為預防之方法，但若於造林使用，間作時加以施肥及澆水為對作物生產及林木生長皆有益之方法。

因作物物種挑選、間作系統實施地區及系統管理方式皆影響混農林系統可行性。本研究將評估將造林密度之烏心石與作物間作時，烏心石之高度及基徑變化，了解烏心石生長是否受間作作物而影響；藉作物產量、品質及生理指標變化及試驗地土質變化，了解作物與烏心石間作之適宜程度，藉作物經濟價值變化評估系統是否可行，並提出可能之管理方向及建議。

第三章 研究方法



一、試驗地介紹及試驗設計

(一) 試驗地點

1、實驗林

實驗林之試驗地位於實驗林管理處內茅埔營林區 21 林班，原編號 322 號之合作造林地 (23°40'5.59"N, 120°49'6.8"E)，該區平均坡度 23 度，坡向朝東，海拔高度約 1250 m。因契約林農擅自改植烏龍茶及擴建茶廠，法院判決於 100 年 5 月 19 至 22 日強制拆除茶園與屋舍。林管處收回林地後新編造林地號 100-20 號 (圖 1a)，包括合作造林地 (5.4 公頃) 與一般林地 (0.65 公頃)，重新種植烏心石 (*Michelia compressa*) 以造林。

試驗期間氣候資料以內茅埔營林區辦公室氣象站為代表，2011 年之試驗期間為 2011 年 9 月至 2012 年 3 月，平均溫度 19.5°C、總降雨量 233.5 mm、濕度 78.7%；2012 年試驗期間為 2012 年 7 月至 2013 年 3 月，平均溫度 21.5°C、總降雨量 205.1 mm、濕度 74.8%；2013 年試驗期間為 2013 年 5 月至 2014 年 3 月，平均溫度 21.5°C、總降雨量 1197.5 mm、濕度 76.4%，試驗期間之氣候變動情形如圖 2a-c 所示。

2013 年試驗時採取土樣分析土質，試驗區土質酸鹼度為中性偏酸，磷、鉀、鈣、鎂偏高，重金屬含量於標準值之內 (表 1)。

2、國立臺灣大學生物資源暨農學院附設農業試驗場 (以下簡稱：農業試驗場)

農場試驗區租用農業試驗場試驗地 (25°00'55.36"N, 121°32'25.77"E)，因用地需求租用二塊試驗田 (圖 1b)，原為草坪學試驗地及高粱育種試驗地，總面積 984 m²，耕除後栽植試驗之烏心石。

試驗期間氣候資料以臺北氣象站為代表，試驗期間為 2013 年 4 月至 2014 年 5 月，平均溫度 23.2°C、總降雨量 3464.5 mm、濕度 70.7%，試驗期間之氣候變動情形如圖 2d 所示。



2013 年試驗時採取土樣分析土質，試驗區一、二區集土質酸鹼度偏酸，鉀、鈣、鎂偏低，重金屬含量於標準值之內；試驗區三、四區集土質酸鹼度微酸，鉀、鎂偏高，重金屬含量於標準值之內（表 2）。

(二) 試驗設計

1、試驗林

規劃有間作試驗區及純林區，間作試驗區於 2011 年造林後於烏心石栽植列間栽培川七 (*Anredera cordifolia*)、落葵 (*Basella rubra*)、赤道櫻草 (*Asystasia gangetica*)、長蒴黃麻 (*Corchorus olitorius*)、甘藷葉 (*Ipomoea batatas*)、過溝菜蕨 (*Anisogonium esculentum*)、山蘇 (*Asplenium nidus*)、龍鬚菜 (*Asparagus schoberioides*)；經篩選後，2012 年改栽培九層塔 (*Ocimum basilicum*)、甘藷葉、紅鳳菜 (*Gynura bicolor*)、過溝菜蕨、山蘇、明日葉 (*Angelica keiskei*)；2013 年除 2012 年之作物外，新增魚腥草 (*Houttuynia cordata*)、番杏 (*Tetragonia tetragonioides*)、糯米團 (*Gonostegia hirta*)、綠薄荷 (*Mentha spicata*)、臺灣藜 (*Chenopodium formosanum*)、白鶴靈芝草 (*Rhinacanthus nasutus*) 等蔬菜或藥草。試驗設計採逢機完全區集設計 (圖 3- 圖 5)，共 4 區集。每 4 株烏心石所圍成之方形面積為 $2.5\text{ m} \times 2.5\text{ m} = 6.25\text{ m}^2$ ，每區集包括 36 個方形區域，面積共 225 m^2 。2011 年及 2012 年每區集內每種作物種植 6 個方形區域，面積為 37.5 m^2 ；2013 年每區集內每種作物種植 3 個方形區域，面積為 18.75 m^2 。栽培作物之烏心石列間鋪設雜草抑制蓆。

純林試驗區：2013 年 1 月挑選蔬林間作試驗區旁、海拔相近處之烏心石造林地作為純林試驗區，共四重複。烏心石株距為 2.5 m。

2、農業試驗場

規劃有純作物區、間作區及純林木區，於 2013 年造林後，於烏心石行列間栽培甘藷葉、紅鳳菜、九層塔、過溝菜蕨、糯米團及白鶴靈芝草。試驗依田區水分分佈及二田區土質不同之特性，採裂區實驗設計 (split-plot design)，每大區中逢機

設有純作物區、間作區及純林區試驗區，而純作物區及間作區內之作物則隨機排列 (圖 6 - 圖 7)，共四區集。每 4 株烏心石所圍成之方形面積為 $2.5\text{ m} \times 2.5\text{ m} = 6.25\text{ m}^2$ ，每大區集包括 18 個方形區域，面積共 112.5 m^2 ；每小區集包括 6 個方形區域，面積共 37.5 m^2 。每小區集內每種作物種植 1 個方形區域，面積為 6.25 m^2 ，所有處理皆鋪設雜草抑制蓆。

二、試驗作物介紹

(一) 林木

林木採用原生於臺灣、海拔分佈範圍廣，且生長直立、不易劈裂，具有高經濟價值及發展為能源之潛力之烏心石 (余等，2008)，依照林務局公告之獎勵造林標準中，一般林地及農牧用地木材利用及景觀造林標準之每公頃 1500 棵為標準栽植，以行株距 $2.5\text{ m} \times 2.5\text{ m}$ 栽培 (行政院農委會林務局，2011)。實驗林試驗區於 2011 年 6 月定植，農業試驗場試驗區於 2013 年 4 月定植。

(二) 作物

選適合陰性環境、較抗病蟲害、可粗放栽培、長期間採收、且在臺灣有長久栽培歷史、具有地方適應力之作物，希望可減少更新需求、頻率及降低操作強度，與林木烏心石間作。各作物適合之行株距、栽種方式及設計如下所示：

1、過溝菜蕨：加蹄蓋蕨科，多年生，可連續採收，行株距 $80\text{ cm} \times 80\text{ cm}$ (張，1997)。

實驗林於 2011 年 9 月 22 日定植，農業試驗場於 2013 年 4 月 26 日定植。

2、山蘇：鐵角蕨科，多年生，可連續採收，行株距 $80\text{ cm} \times 80\text{ cm}$ (林等，2000)。

實驗林於 2011 年 9 月 22 日定植。

3、龍鬚菜：天門冬科，可連續採收，行株距 $125\text{ cm} \times 125\text{ cm}$ (張，1997)。實驗林於 2011 年 10 月 27 日種植果實。

4、川七：落葵科，可多年連續採收，行株距 $50\text{ cm} \times 50\text{ cm}$ (陳等，1992)。實驗林



- 於 2011 年 10 月 27 日扦插。
- 5、甘藷葉：旋花科，可連續採收，2011 年行株距採 25 cm × 25 cm (龔和姜，2007)，2012 及 2013 年因生長旺盛更改定植行株距為 50 cm × 60 cm (賴，2008)。實驗林於 2011 年 9 月 22 日、2012 年 7 月 5 日及 2013 年 5 月 11 日扦插 25 cm 嫩莖，農業試驗場於 2013 年 4 月 26 日定植。
 - 6、赤道櫻草：爵床科，可連續採收，於 2011 年 5 月 12 日繁殖扦插苗，行株距 35 × 30 cm (林等，2007)，夏季採收嫩葉，冬季可賞花，實驗林於 9 月 22 日扦插。
 - 7、落葵：落葵科，可連續採收，夏季採收嫩葉，冬季可留數株剪扦插苗，行株距 75 cm × 25 cm (楊，1995)。實驗林於 2011 年 9 月 22 日扦插 15 cm 嫩梢。
 - 8、長蒴黃麻：田麻科，夏季採收嫩葉，行株距 1.25 m × 2.5 m (張，1997)。實驗林於 2011 年 5 月 24 日播種，2011 年 9 月 22 日移植至田間。
 - 9、明日葉：繖形花科，可連續採收。行株距採用 60 × 60 cm (劉和賴，2005)。實驗林於 2012 年 5 月 28 日移植 128 格穴盤苗至 3 吋軟盆，2012 年 7 月 5 日定植於試驗區。
 - 10、九層塔：唇形科，可多年連續採收。行株距採用 60 cm × 60 cm (Cassel et al., 2009)。實驗林於 2012 年 7 月 4 日及 2013 年 5 月 11 日定植；農業試驗場於 2013 年 4 月 27 日定植。
 - 11、紅鳳菜：菊科，可連續採收。行株距採用 40 cm × 50 cm (臺南區農業改良場蔬菜作物技術文獻，<http://www.tndais.gov.tw/Veggie/E7.htm>)。實驗林於 2012 年 7 月 4 日及 2013 年 5 月 11 日定植；農業試驗場於 2013 年 4 月 27 日定植。
 - 12、糯米團：蕁麻科，可連續採收。行株距採用 60 cm × 30 cm。實驗林於 2013 年 5 月 11 日定植；農業試驗場於 2013 年 4 月 26 日定植。
 - 13、臺灣藜：藜科，半年成熟，可採取嫩葉供蔬菜用。行株距 40 cm × 50 cm (王，2012)。實驗林於 2013 年 5 月 11 日定植。
 - 14、番杏：番杏科多年生，可連續採收。行株距 80 cm × 60 cm (UFL IFAS : extension

<http://edis.ifas.ufl.edu/pdffiles/MV/MV13900.pdf>)。實驗林於 2013 年 5 月 11 日定植。

15、綠薄荷：唇形科多年生，可連續採收，行株距 60 cm × 30 cm (張，2000)。實驗林於 2013 年 5 月 11 日定植。

16、白鶴靈芝草：爵床科多年生，可連續採收。行株距 50 cm × 30 cm (劉等，1995)。實驗林於 2013 年 5 月 11 日定植；農業試驗場於 2013 年 4 月 26 日定植。

17、魚腥草：三白草科多年生，可連續採收。行株距 60 cm × 30 cm (謝，2006)。實驗林於 2013 年 5 月 11 日定植。

(三) 作物之採收方式

各年度作物以商業栽培之採收標準進行採收，採收標準如下：

- 1、過溝菜蕨：嫩芽尚未全開時，取葉梗鮮綠、長約 15 cm、易折斷之嫩芽 (楊，1998)。
- 2、山蘇：嫩葉稍有捲曲，展開全葉三分之一前，中肋褐色部份以上約 1 cm 處取下，同時去除剩餘之老葉，以利新葉抽出 (全，2001)。
- 3、紅鳳菜：自離地 5 cm 處切除，取下約 15 cm 長之嫩枝 (高，2011)。
- 4、九層塔：選擇花序尚未抽出之枝條，由上而下約 2-3 節處折下 (張和王，2000)。
- 5、甘藷葉：蔓長約 30 cm 時開始採收，採收枝條前端約 15 cm 之嫩梢，採收後稍加修剪老舊枝條促進更新 (龔和姜，2007)。
- 6、明日葉：栽植後約 60 天始得採收，由最下方之本葉開始採收 (余，2002)。
- 7、糯米團：採取地上部 5 cm 左右嫩莖葉，亦可促進節間萌生新芽 (<http://hdais.coa.gov.tw/view.php?catid=3997>)。
- 8、台灣藜：台灣藜之採收無制式標準，因此摘取未抽穗之嫩稍約 15 cm 長之枝條。
- 9、番杏：採取莖頂約 5-10 cm 之嫩莖葉，同時兼具促進基部新芽萌發之功用

(<http://hdais.coa.gov.tw/view.php?catid=3840>)。

- 10、綠薄荷：採收尖端未開花、長 10 cm 之枝條 (張, 2000)。
- 11、白鶴靈芝草：春至秋季，花、葉盛開時，自基部以 10 cm 採收全株 (曾, 2013)。
- 12、魚腥草：一年採收 2 次，分別於 5-6 月及 9-10 月，將全株由基部割取 (李和劉, 2005)。
- 13、赤道櫻草：定植後約 7-8 週採收，採收地上部約 5 公分長嫩稍 (全, 2010a)。
- 14、落葵：採收時保留 2-3 葉，其餘嫩稍部份均採收為產量 (楊, 1995)。

三、田間管理方式

(一) 實驗林試驗區

間作試驗區 2011 年於田間裝設手動噴灌設備，定植後定時於每週二、五給水 3-4 小時，唯旱季 (10 月 - 隔年 2 月) 當地水源缺乏，颱風或地震亦破壞噴灌設備，期間給水較不穩定。純林試驗區無噴灌設備不給水，亦不修剪。

間作試驗區於 2012 年每月田間除草、每公頃噴灑已稀釋 1000 倍之苦楝油 2000 L；2013 年每月田間除草、每公頃噴灑已稀釋 1000 倍之苦楝油 2000 L 與亞磷酸溶液 2000 L (1:1000, KOH:H₃PO₃=1:1)。純林試驗區於 2012 年 12 月起，每三個月除草一次，但不噴灑苦楝油或亞磷酸溶液。

間作試驗區於 2011 年及 2012 年每三個月每公頃施用 2000 kg 福壽牌洽發 9 號肥 (5-2-1, 全氮 3.0%、全磷酐 2.0%、全氧化鉀 1.5%、有機質 75.0%)，2013 年改為每月施用，施用量一樣是每公頃 2000 kg。

(二) 農業試驗場試驗區

間作試驗區、純林試驗區、純作物試驗區於表層土壤乾燥時，以溝灌方式給水約 3-4 小時，每月田間除草、每公頃噴灑已稀釋 1000 倍之苦楝油 2000 L 與亞磷酸溶液 2000 L (1:1000, KOH:H₃PO₃=1:1)。每個月於間作試驗區及純作物試驗區每



公頃施用 2000 kg 福壽牌洽發 9 號肥，純林試驗區則不施肥亦不修剪。

四、取樣及調查頻率

(一) 土壤特性

為了解間作作物是否影響土壤特性，臺灣大學試驗林試驗區於 2013 年 6 月及 2014 年 3 月於純林試驗區及間作試驗區採集土樣，移除地被物後，以移植蔓挖取 V 形深溝，再依表土 0-15 cm 及底土 15-30 cm 二深度採樣 (黃, 2008a)，每區集採樣二點，每二區集之四樣點混合為一分析樣本，每樣本重至少 600 g，共 16 個樣本。

農業試驗場試驗區於 2013 年 6 月採集土樣，移除地被物後，以移植蔓挖取 V 形深溝，再依表土 0-15 cm 及底土 15-30 cm 二深度採樣 (黃, 2008a)，每大區集之純林、純作物及間作試驗區各採樣一點，三採樣點混合為一分析樣本，每樣本重至少 600 g，共 8 個樣本。

(二) 間作作物產量、品質及生理指標

2012、2013 年每月採收一次作物產量，白鶴靈芝草每三個月採收一次，採收後於田間秤重視為當月產量。實驗林試驗區於 2013 年 11 月採樣分析品質及生理指標，農業試驗場試驗區於 2013 年 11 月、2014 年 1、3、5 月各採樣一次分析品質及生理指標。

採樣時將樣區之作物依作物於每一區集中之栽種數量，分為 9-40 個方格樣區，於每方格中隨機各採一符合採收標準之枝條 (Newman, 1984)，以免區集內不均影響分析結果。

(三) 烏心石生長指標

實驗林試驗區於 2013 年 1、4、7、10 月及 2014 年 1 月測量烏心石之高度及

基徑；農業試驗場試驗區於 2013 年 5、8、11 月及 2014 年 2、5 月測量烏心石之高度及基徑。



五、土樣分析方法

(一) 土樣前處理

土樣於採集後將內部殘餘之石塊及植物殘渣挑出並風乾，風乾後以研砵敲碎，再以孔徑 2 mm 篩網過篩，過篩後將土樣裝於塑膠夾鍊袋中，置於乾燥陰涼處保存，供後續分析取樣使用 (黃，2008a)。

(二) 土壤酸鹼值

參考環保署公告之土壤酸鹼值 (pH 值) 測定方法-電極法 (NIEA S410.62C) (行政院環境保護署，2008)。將風乾土樣過篩 (20 mesh, 孔徑 0.84 mm) 處理，稱取 20 g 過篩土樣，置於燒杯中，加入 20 mL 去離子水，若為複雜基質土壤則分多次添加去離子水，以攪拌器攪拌 5 分鐘，再靜置約 1 小時，以 pH meter 測量水相層之 pH 值。

(三) 土壤導電度

取 200 g 過篩後土樣置於 500 mL 燒杯中，加入去離子水於土樣中，並紀錄加入水量，以玻璃棒攪拌至飽和土糊狀，靜置 4 小時以上，土樣表面不可有積水或乾裂情形，將此土樣倒入置入 Advanced NO.2 濾紙之抽氣漏斗中，以電導度計測量過濾液 EC 值 (Rhoades, 1982)。

(四) 土壤有機質

將風乾之土樣過篩 (35 mesh, 孔徑 0.5 mm) 後，取 0.5 g 過篩樣品，置於錐形瓶中，加入 10 mL 1N $K_2Cr_2O_7$ (49.04 g $K_2Cr_2O_7$ 加入 1L 去離子水中，避光保存) 搖

晃混合均勻，再加入 20 mL 濃硫酸搖晃均勻，若溶液呈青綠色，酌量加入 1N $K_2Cr_2O_7$ 至不呈青綠色為止，置入 90°C 水浴 30 分鐘，再加入 200 mL 去離子水，靜置至冷卻，加入 3-4 滴 Ferroin 指示劑 [2.97 g Phenanthroline ($C_{12}H_8N_2 \cdot H_2O$) 及 1.39 g $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ 溶解定量至 200 mL，置於 4°C 閉光保存] 後，以 0.5 N $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ (140 g $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ 溶於 15 mL 濃硫酸中，再以去離子水定量至 1 L) 滴定至溶液轉為深紅棕色，紀錄使用之 0.5 N $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ 毫升數，另外將加入上述土樣之 0.5 N $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ 及濃硫酸量均勻混和，以上述方法滴定之，計為空白試驗所需之毫升數 (陳，2008)。

$$\text{有機碳 (\%)} = \frac{(1 \times V_1) - (1 \times V_1 \times V_2 / V_3)}{W_t \times R} \times 0.003 \times 1.3 \times 100$$

$$\text{有機質 (\%)} = 1.724 \times \text{有機碳 (\%)}$$

V_1 ：加入 1N $K_2Cr_2O_7$ 毫升數

V_2 ：滴定樣品所消耗之 0.5 N $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ 毫升數

V_3 ：滴定空白樣品所消耗之 0.5 N $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ 毫升數

W_t ：風乾土壤樣品重 (g)

$$R：\text{水分校正係數}, R = \frac{100}{100 + w_{H_2O}}$$

(五) 磷

採用白雪式第一法 (Bray-1 method)，稱取風乾後土樣 2 g 置入 50 mL 錐形瓶中，加入 20 mL 萃取液 (0.3N NH_4F 和 0.025N HCl) 中，震盪 5 分鐘後以濾紙 (Whatman NO.42) 迅速過濾，再以 Murphy 和 Riley 法測定，方法為吸取適量之萃取液，加入 5 滴 0.25% p-nitrophenol，以 5N $NaOH$ 調整 pH 值至中性，再添加 4 mL 維生素 C [1.056 g 維生素 C (L-ascorbic acid) 加入 200 mL 鉬酸銨 (Ammonium paramolybdate) 溶液 (12 g $(NH_4)_6MoO_{24} \cdot H_2O$) 250mL 加入 0.2908 g 酒石酸銻氧基鉀 (Antimony potassium tartrate, $K(SbO)C_4H_4O_6 \cdot 1/2H_2O$) 再加入 1000 mL 5N 硫酸，

以去離子水定量至 2000 mL]，以去離子水定量至 25 mL，靜置 30 分鐘後，以分光光度計測量 882 nm 吸光值，再對照已知濃度之磷酸標準液檢量線 (陳，2008)。



(六) 鉀、鈣、鎂

稱取 5 g 風乾之土樣加入 50mL 1M 中性醋酸胺 (77.1 g 醋酸胺溶於 800 mL 去離子水中，定量至 1000 mL，再以 3M 氨水或 3M 醋酸溶液調整至 pH 7.0)，震盪 160 rpm 30 分鐘後，取出以濾紙 (Whatman NO.42) 過濾，即可使用感應耦合電漿原子發射光譜分析儀 (Inductively coupled plasma with atomic emission spectroscopy, ICP-AES) 分析，再對照已知濃度之鉀、鈣、鎂標準品檢量線 (黃，2008b)。

(七) 銅、鋅、鎘、鉻、鎳、鉛

將風乾之土樣過篩 (18 mesh, 0.039 mm) 後，稱取 3 g 土樣，置入 250 mL 具迴流冷凝管之反應瓶中，加入 1 mL 水濕潤樣品，再加入 21 mL 濃鹽酸及 7 mL 濃硝酸，於室溫下靜置 16 小時，緩慢加熱溶液至回流溫度，於沸騰狀態維持約 2 小時，再將樣本冷卻至室溫，以 10 mL 0.5 M 硝酸沖洗冷凝管，收集至反應瓶內，再以 0.5 M 沖洗反應瓶，將沖洗液定量至 100 mL，再以濾紙 (Whatman No. 40) 過濾，即可使用感應耦合電漿原子發射光譜分析儀分析，再對照已知濃度之銅、鋅、鎘、鉻、鎳、鉛標準品檢量線 (行政院環境保護署，2003)。

六、烏心石生長調查方法

(一) 高度

以捲尺測量烏心石基部至頂端生長點之垂直高度。

(二) 基徑

以電子游標尺測量烏心石基部膨大部位以上約 1 cm 處之直徑。



七、蔬菜品質及生理指標調查分析方法

(一) 絕對含水量

將採樣葉片先秤取鮮重後裝入信封袋中，置入 80°C 烘箱中烘乾 48 小時後取出秤取乾重 (Garnier and Laurent, 1994)。

$$\text{絕對含水量\% (leaf water content)} = \frac{\text{鮮重}-\text{乾重}}{\text{鮮重}} \times 100$$

(二) 相對含水量

採取成熟部位之葉片，剪取葉圓片約 1 g，葉片過小之作物則以全葉片代替，先秤取鮮重，避光置入信封袋中，浸入蒸餾水中約 4 小時，以吸水紙巾吸取葉片表面之水分並秤重，此時重量為葉片膨潤重，再置入 80°C 烘箱中烘乾至恆重，此時重量為葉片乾重 (Smart, 1974; Weatherley, 1950)。

$$\text{相對含水量\% (Relative water content, RWC)} = \frac{\text{鮮重}-\text{乾重}}{\text{膨潤重(turgid weight)}-\text{乾重}} \times 100$$

(三) 葉片厚度

以測微厚薄計 SM-112 (TECLOCK, Japan) 測量成熟葉片之厚度，測量時避免任何可見之葉脈部位 (糯米團及過溝菜蕨葉片較小無法避免之) (Lin and Lin, 2010)，以每區集每作物測量三點之平均為區集之代表值。

(四) 常態化差異植生指標 (normalised difference vegetation index, NDVI)

NDVI 為一無單位之葉綠素含量及葉片生質量 (初級生產力) 之估計指標，以 NDVI 300 (PlantPen, Czech Republic) 測量第一片完全展開葉之 NDVI 值 (Chytyk et al., 2011)，測量時避免按壓葉脈位置，以每區集每作物測量三點之平均為區集之代表值。



$$NDVI = (R_{740} - R_{660}) / (R_{740} + R_{660})$$

R_{660} : 660 nm 之反射光 ; R_{740} : 740 nm 之反射光

(五) 葉綠素螢光指標 (Fv/Fm)

為黑暗狀態下，PSII 反應之最大螢光值，使用 Pocket PEA (Hansatech, United Kingdom) 測量葉綠素螢光，挑選第一片完全展開葉，以葉夾或鋁箔紙包起避光 40 分鐘後測量 (Giorio et al., 2012)，測量時避免按壓葉脈位置，以每區集每作物測量三點之平均為區集之代表值。

(六) 葉綠素計讀值

測量植物葉綠素之相對含量，以 SPAD-502 Plus (Spectrum, United States) 測量作物未缺損之第一片完全展開葉 (Sibley et al., 1996)，測量時避免按壓葉脈位置，以每區集每作物測量三點之平均為區集之代表值。

(七) 採收後處理及分裝

於每區集每作物採樣之枝條，隨機於各部位摘取 10 g 葉片組織，以液態氮冷凍後，置於 -80°C 冰箱保存，測定前使用均質機 (SH-100 sample homogenizer, KURABO, Japan) 以 1600 rpm 均質 20 秒後 (Chen et al., 2010)，再充分混和分裝為品質及逆境物質含量測定之樣品。

(八) 可溶性糖

以蒽酮比色法 (anthrone method) 測定，取 0.3 g 均質後樣本，加入 7.5 mL 去離子水後充分混和，於 5,000 rpm 常溫離心 10 分鐘，取 0.2 mL 上清液，再加入 0.8 mL 去離子水稀釋後充分混和，再加入蒽酮試劑 [1 g 蒽酮 (anthrone, Alfa Aesar) 加入 50 mL 乙酸乙酯 (ethyl acetate, Sigma)]，混和後加入 2.5 mL 濃硫酸 (sulfuric

acid, Sigma), 充分震盪後, 置入 95°C 水浴 10 分鐘, 再取出冷卻至室溫, 以分光光度計 (u-5100, Hitachi) 測量 630 nm 之吸光值, 再對照已知濃度之蔗糖 (glucose, Sigma) 標準品檢量線求得可溶性糖含量 (Wicks and Kliever, 1983)。

(九) 可溶性蛋白質

以 Bradford method 測定樣品之可溶性蛋白質濃度, 取 0.3 g 均質後樣本, 加入 7.5 mL 去離子水後充分混和, 於 5,000 rpm 常溫離心 10 分鐘, 取 0.5 mL 上清液加入 4.5 mL 去離子水後充分混和, 取 0.5 mL 稀釋混和之萃取液加入 1 mL Coomassie blue reagent [0.1g Coomassie brilliant blue G-250, Sigma 加入 50 mL 95% 酒精中, 再加入 100 mL 85% (w/v) 磷酸 (phosphoric acid, Sigma), 以去離子水定容至 1 L, 於室溫可保存一個月] 充分混和, 靜置 2 分鐘後, 以分光光度計測量 595 nm 之吸光值, 再對照已知濃度之牛血清蛋白 (Bovine serum albumin, Sigma) 標準品檢量線求得可溶性蛋白質含量 (Spector, 1978)。

(十) 可溶性固形物

取 1 g 均質後樣本, 加入 10 mL 去離子水後充分混和, 再取其上清液以糖度計 (PR-1, Atago) 測量 (Koukounaras et al., 2007), 再推算原液之總可溶性固形物。

(十一) 纖維素

取 1 g 均質後樣本, 加入 3 mL 醋酸/硝酸溶液 [將 200mL 80% 醋酸 (acetic acid, Sigma) 與 20 mL 硝酸 (nitric acid, Sigma)] 後充分混和, 置入 100°C 沸水中水浴 30 分鐘, 取出後充分混和震盪, 以 5,000 rpm 離心 10 分鐘, 緩慢倒出上清液避免沈澱物流出, 加入 10 mL 去離子水充分混和, 以 5,000 rpm 離心 10 分鐘, 再緩慢倒出上清液, 再加入 67% 硫酸充分混和沈澱物, 於室溫靜置 1 小時, 取 0.5 mL 加入 4.5 mL 去離子水中充分混和, 再從中取出 0.2 mL 加入 0.8 mL 去離子水稀釋,

將此樣品稀釋液置入冰浴中，於冰浴中加入 2 mL 蔥酮試劑 (0.1 g 蔥酮加入 100 mL 濃硫酸後混和，需新鮮配製，若轉色則丟棄)，將樣品充分混和後，置入 100°C 沸水中水浴 16 分鐘，取出樣品馬上冰浴 2-3 分鐘後，取出回溫至室溫，以分光光度計測量 620 nm 之吸光值，再對照已知濃度之纖維素 (cellulose, Sigma) 標準品 (需加入少許 67% 硫酸稍加熱後放置約 1 小時，再加入去離子水稀釋) 檢量線求得纖維素含量 (Updegraff, 1969)。

(十二) 維生素 C

取 1 g 均質後樣本，加入 10 mL 去離子水後充分混和，再將試紙 (Reflectoquant, Merck) 浸入混和液中 2 秒，以反射式光度計 (RQflex reflectometer, Merck) 測量 (Koukounaras et al., 2007)，再推算原樣本中之維生素 C 含量。

(十三) 葉綠素 a、b 及胡蘿蔔素

取 0.2 g 均質後樣本，加入 12 mL 95% 乙醇，於 68°C 水浴 2 小時，取出後充分搖晃，以 5000 rpm 離心 10 分鐘，取上清液以分光光度計分別測定 665 nm、649 nm 及 470 nm 之吸光值，萃取液中葉綠素 a、b 及胡蘿蔔素濃度 ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$) 計算如下 (Jensen and Bassham, 1966; Porra, 2002)。

$$\text{葉綠素 a (Ca)}=13.95A_{665} - 6.88A_{649}$$

$$\text{葉綠素 b (Cb)}=24.96A_{649} - 7.32A_{665}$$

$$\text{胡蘿蔔素}=(1000A_{470}-2.05Ca-114.8Cb)/245$$

(十四) 硝酸鹽

取 0.2 g 均質後樣本，加入 1.2 mL 去離子水混和後，以 13300rpm 離心 15 分鐘，取 0.1 mL 上清液加入 0.4 mL 5% (w/v) 水楊酸溶液 [5g 水楊酸(salicylic acid, J. T. Baker) 溶於 100 mL 濃硫酸中，保存於棕色瓶可冰存一星期] 混和均勻，於室溫

靜置 20 分鐘，再加入 9.5 mL 2N 氫氧化鈉溶液 [40 g 氫氧化鈉 (sodium hydroxide, J. T. Baker) 加入 500 mL 去離子水中] 混和均勻，於室溫靜置 30 分鐘，以分光光度計測量 410 nm 之吸光值，再對照已知濃度之硝酸鉀 (potassium nitrate, Sigma) 標準品檢量線求得硝酸鹽含量 (Cataldoab et al., 1975)

(十五) 花青素

取 0.2 g 均質後樣本，加入 1 mL 萃取緩衝液 [丙醇 (propanol, Sigma)：鹽酸 (Hydrogen chloride, Sigma)：水= 18:1:18] 充分混和後，置入 100°C 水浴 1.5 分鐘，取出後置於冰浴中 3 分鐘，再以 13,300 rpm 離心 5 分鐘，取上清液，以分光光度計測量 535 nm 及 650 nm 之吸光值，花青素相對含量計算方式如下 (Lange et al., 1971)。

$$\text{花青素} = A_{535} - (2 \times A_{650})$$

(十六) 丙二醛 (malondialdehyde, MDA)

取 0.1 g 均質後樣本，加入 1 mL 5% (w/v) 三氯乙酸溶液 [5g 三氯乙酸 (trichloroacetic acid, J. T. Baker) 加入 100 mL 去離子水] 中充分混和，以 13,300 rpm 離心 5 分鐘，取 0.5 mL 上清液加入 2 mL 0.5% (w/v) TBA 溶液 [0.5 g 硫代巴比妥酸 (thiobarbituric acid, Sigma) 加入 100 mL 20% 三氯乙酸溶液中] 均勻混和，置於 95°C 水浴 30 分鐘，再置於冰浴中中止反應，以 5000 rpm 離心 10 分鐘，取上清液，以分光光度計測量 532 nm 及 600 nm 之吸光值，丙二醛濃度計算方式如下 (Du and Bramlage, 1992)。

$$\text{丙二醛 (nmol}\cdot\text{g}^{-1}) = ((A_{532} - A_{600}) / 155000) \times 10^6 \times 2 (\text{稀釋倍數}) / \text{鮮重}$$

(十七) 過氧化氫

取 0.2 g 均質後樣本，加入 3 mL 50mM pH 6.8 磷酸鈉緩衝溶液 (23.15 mL 1M

Na₂HPO₄加 26.85 mL 1M NaH₂PO₄後以去離子水定容至 1 L) 充分混和，以 5,000 rpm 4°C 離心 25 分鐘，取 3 mL 上清液加入 1 mL 0.1% (v/v) 四氯化鈦溶液 [0.1 mL 四氯化鈦 (titanium chloride, Sigma) 加入 100 mL 20% 硫酸中] 充分混合，以 5,000 rpm 離心 15 分鐘，取上清液，以分光光度計測量 410 nm 之吸光值，過氧化氫濃度計算方式如下 (Tsai and Kao, 2004)。

過氧化氫 ($\mu\text{mol}\cdot\text{g}^{-1}$)= $A_{410}/0.25/\text{鮮重}$

(十八) 脯胺酸

取 0.5 g 均質後樣本，加入 5 mL 3% (w/v) 磺基水楊酸 [3 g 磺基水楊酸 (sulfosalicylic acid, Sigma) 加入 100 mL 去離子水] 充分混和，置於 100°C 水浴 10 分鐘，取出後以 5000 rpm 離心 5 分鐘，取上清液 1 mL 加入 1 mL 冰醋酸 (glacial acid, Sigma) 及 1 mL 二氫節三酮試劑 [ninhydrin reagent (2.5g 二氫節三酮 (ninhydrin, Sigma) 加入 60 mL 冰醋酸 (glacial acetic acid, Sigma) 及 40 mL 6 M 磷酸溶液，稍加攪拌，可於 4°C 冰存 24 小時] 混和均勻，置入 100°C 水浴 1 小時，取出後冰浴以終止反應，加入 2 mL 甲苯 (toluene, J. T. Baker) 震盪 15 至 20 秒後於室溫靜置，待呈色物質分離至甲苯層，吸取甲苯層，以甲苯為空白對照，利用分光光度計測量 520 nm 之吸光值，再對照已知濃度之脯胺酸 (proline, Sigma) 標準品檢量線求得脯胺酸含量 (Bates et al., 1973)。

(十九) 無機磷 (inorganic phosphate, Pi)

取 30 mg 均質後樣本，加入 300 μL 1% 冰醋酸後充分混和，以 13300 rpm 離心 15 分鐘，取 10 μL 上清液再加入 50 μL 1% 冰醋酸稀釋萃取液，置入 42°C 培養箱中 30 分鐘，再加入 140 μL 反應液 [2.1 g 鉬酸銨 (ammonium molybdate tetrahydrate, Sigma) 加入 14.3 mL 濃硫酸，以去離子水定容至 600 mL，使用前每 7 mL 混和液加入 0.1 g 維生素 C (ascorbic acid, Sigma)] 充分混和，置於 42°C 生長箱 30 分鐘，

利用分光光度計 (EnSpire Multimode Plate Readers, PerkinElmer) 測量 820 nm 之吸光值，再對照已知濃度之磷酸氫二鉀 (potassium phosphate dibasic, J. T. Baker) 標準品檢量線求得無機磷含量 (Ames, 1966)。



(二十) 抗氧化能力、總酚及總類黃酮之萃取

取 2.5 g 均質後樣本，加入 6 mL 80% 甲醇 (methyl alcohol, Macron) 充分混和，於 25°C 200 rpm 震盪 30 分鐘，於 5,000 rpm 4°C 離心 30 分鐘，取上清液冷藏於 -20°C 供後續試驗使用 (Kang and Saltveit, 2002)。

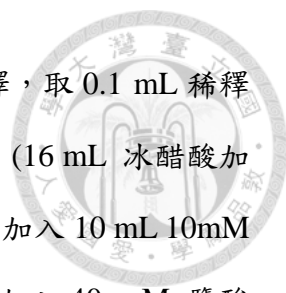
(二一) 總酚類含量之測定

取上述 0.5 mL 萃取液以 9.5 mL 去離子水稀釋，再取出 1 mL 稀釋液，加入 2.5 mL 10% 福林試劑稀釋液 [10 mL 福林試劑 (Folin-Ciocalteus agent, Sigma) 加入 90 mL 去離子水]，再加入 2 mL 7.5% 碳酸鈉溶液 (7.5 g 碳酸鈉 (sodium carbonate, Sigma) 加入 100 mL 去離子水) 充分混和，置於室溫避光 20 分鐘待其反應，利用分光光度計測量 765 nm 之吸光值，再對照已知濃度之沒食子酸 (gallic acid, Sigma) 標準品檢量線，以 $\text{mg GAE}\cdot\text{g}^{-1}$ 表示總酚類濃度 (Javanmardi et al., 2003)。

(二十二) 總類黃酮含量

取上述步驟二十之 0.1 mL 萃取液以 0.4 mL 80% 甲醇稀釋，加入 1 mL 2% 氯化鋁溶液 [2 g 氯化鋁 (trichloroaluminum hexahydrate, J. T. Baker) 溶於 100 mL 甲醇] 充分混和，置於室溫避光 10 分鐘待其反應，利用分光光度計測量 430 nm 之吸光值，再對照已知濃度之槲皮素 (quercetin, Sigma) 標準品檢量線，以 $\mu\text{g quercetin}\cdot\text{g}^{-1}$ 表示總類黃酮濃度 (Quettier-Deleu et al., 2000)

(二十三) 三價鐵離子還原抗氧化力 (ferric ion reducing antioxidant power, FRAP)



取上述步驟二十之 0.1 mL 萃取液加入 0.9 mL 去離子水稀釋，取 0.1 mL 稀釋液加入 0.9 mL FRAP reagent [80 mL 300 mM pH 3.6 醋酸緩衝液 (16 mL 冰醋酸加 3.1 g 醋酸钠 (sodium acetate trihydrate, Sigma) 定容至 500 mL)]，加入 10 mL 10mM TPTZ 溶液 [(0.031 g TPTZ (2,4,6-Tripyridyl-s-Triazine, Sigma) 加入 40 mM 鹽酸 (1.46 mL 濃鹽酸以去離子水定容至 1 L) 加熱至 50°C)]，再加入 20 mM 氯化鐵溶液 [0.054 g 氯化鐵 (ferric chloride hexahydrate, J. T. Baker) 加入 10 mL 去離子水中) 混和後置於 37°C 10 分鐘] 均勻混和，於室溫下靜置 4 分鐘待其反應，利用分光光度計測量 593 nm 之吸光值，再對照已知濃度之硫酸鐵 (ferrous sulfate heptahydrate, sigma) 標準品檢量線求得三價鐵離子還原抗氧化力 (Kang and Saltveit, 2002)。

八、經濟價值及成本估算方法

作物採收後，於現場挑選、秤重，以臺北第一及第二果菜市場當日之批發售價的平均值評估蔬菜經濟價值，藉此比較各類蔬菜收益，但明日葉及番杏以市售鮮葉售價 180 元/公斤及 200 元/公斤計算經濟價值，魚腥草、白鶴靈芝及薄荷以萬華青草巷之市價以乾重 167 元/公斤、133 元/公斤及 167 元/公斤計算經濟價值，糯米團及台灣藜並無市場或市售通路，經詢問花蓮區農業改良場後暫以一般新興蔬菜最低之零售價 83 元/公斤計算。

栽培成本以市價計算育苗、定植、栽培成本及管理及採收所需之人力。雜草抑制蓆之成本以三年折舊攤提，山蘇及過溝菜蕨苗木成本則以五年折舊攤提，其餘作物則以當年度苗木花費 (種子、種苗、培養土及穴盤) 計算，肥料及農藥成本以實際使用量平均分攤至各作物，人力成本 (定植、管理、設備維護及採收) 以每人每日 1000 元計算，平均分攤至各作物。但試驗區與銷售市場間之運輸成本不納入計算。

九、統計分析方法

作物及林木指標四重複及土壤品質二重複之數據以平均表示，圖為四重複之平均±標準差。以 CoStat Version 6.4000 (CoHort) 之最小顯著差異性測驗 (Fisher's protected least significant difference test, LSD test) 行組內差異比較， $P < 0.05$ 視為差異達顯著水準。各處理平均附加之英文字母相同，表示差異未達顯著水準。

表 1. 國立臺灣大學生物資源暨農學院實驗林管理處內茅埔營林區 21 林班 100-20 號造林地試驗區土壤特性。

Table 1. Soil properties of experimental plots in No. 100-20 afforested land, 21 Forest Compartment, Neimaopu, the Experimental forest, National Taiwan University.

試驗區 土壤深度 參數	間作試驗區		純林試驗區	
	0-15 cm	15-30 cm	0-15 cm	15-30 cm
酸鹼值 (pH)	5.00	4.55	5.55	4.45
電導度 (ds·m ⁻¹)	0.40	0.15	0.22	0.12
有機質 (%)	12.50	6.65	10.50	9.25
磷酐 (kg·ha ⁻¹)	809.50	491.00	630.00	1,101.50
氧化鉀 (kg·ha ⁻¹)	492.00	276.50	443.50	229.50
氧化鈣 (kg·ha ⁻¹)	13,327.00	3,192.50	1,4653.00	4,641.00
氧化鎂 (kg·ha ⁻¹)	1,006.50	241.00	782.50	224.50
銅 (mg·kg ⁻¹)	3.00	2.00	3.00	2.50
鋅 (mg·kg ⁻¹)	45.50	5.50	36.50	10.00
鎘 (mg·kg ⁻¹)	0.14	0.02	0.13	0.03
鎳 (mg·kg ⁻¹)	1.15	0.75	1.00	0.85
鉻 (mg·kg ⁻¹)	0.60	0.30	0.55	0.35
鉛 (mg·kg ⁻¹)	2.15	3.25	2.55	3.10

*於 2013 年六月取樣自實驗林內茅埔營林區 100-20 號造林地試驗區。

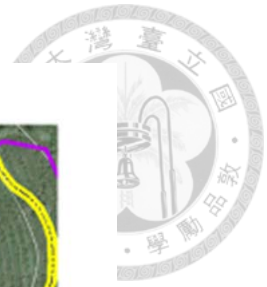


表 2. 國立臺灣大學生物資源暨農學院附設農業試驗場試驗區土壤特性。

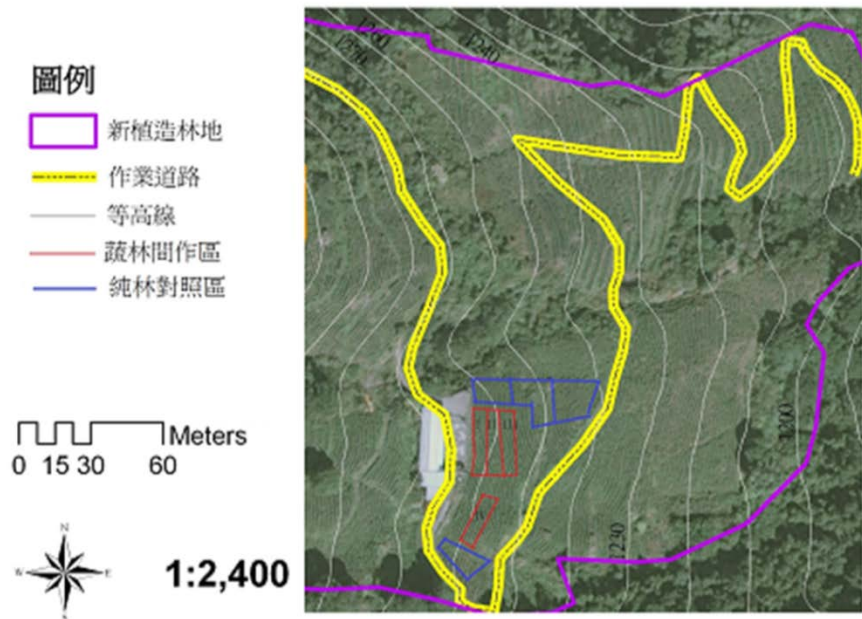
Table 2. Soil properties of experimental plots in the Experimental Farm, National Taiwan University.

試驗區	農場試驗區一、二區集		農場試驗區三、四區集	
土壤深度	0-15 cm	15-30 cm	0-15 cm	15-30 cm
參數				
酸鹼值 (pH)	4.55	4.65	5.85	5.55
電導度 ($\text{ds}\cdot\text{m}^{-1}$)	0.04	0.04	0.09	0.06
有機質 (%)	1.25	1.80	4.40	2.60
磷酐 ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$)	118.00	225.50	322.50	268.50
氧化鉀 ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$)	54.50	130.50	378.50	360.50
氧化鈣 ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$)	363.50	7120	4,278.00	3,032.50
氧化鎂 ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$)	127.00	178.00	498.50	434.50
銅 ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)	1.00	3.50	5.00	3.50
鋅 ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)	2.00	2.50	5.00	3.00
鎘 ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)	0.03	0.01	0.04	0.02
鎳 ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)	0.15	0.35	0.40	0.30
鉻 ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)	0.10	0.00	0.10	0.00
鉛 ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)	2.95	6.45	6.00	4.60

*於 2013 年六月取樣自農業試驗場試驗區。



(a)



(b)



圖 1. 102 年試驗地點。(a) 國立臺灣大學生物資源暨農學院實驗林管理處內茅埔營林區 21 林班 100-20 號造林地、(b) 國立臺灣大學生物資源暨農學院農業試驗場。

Figure 1. Scope of experimental plots in 2013. (a) the Experimental forest, National Taiwan University, (b) the Experimental Farm, National Taiwan University.

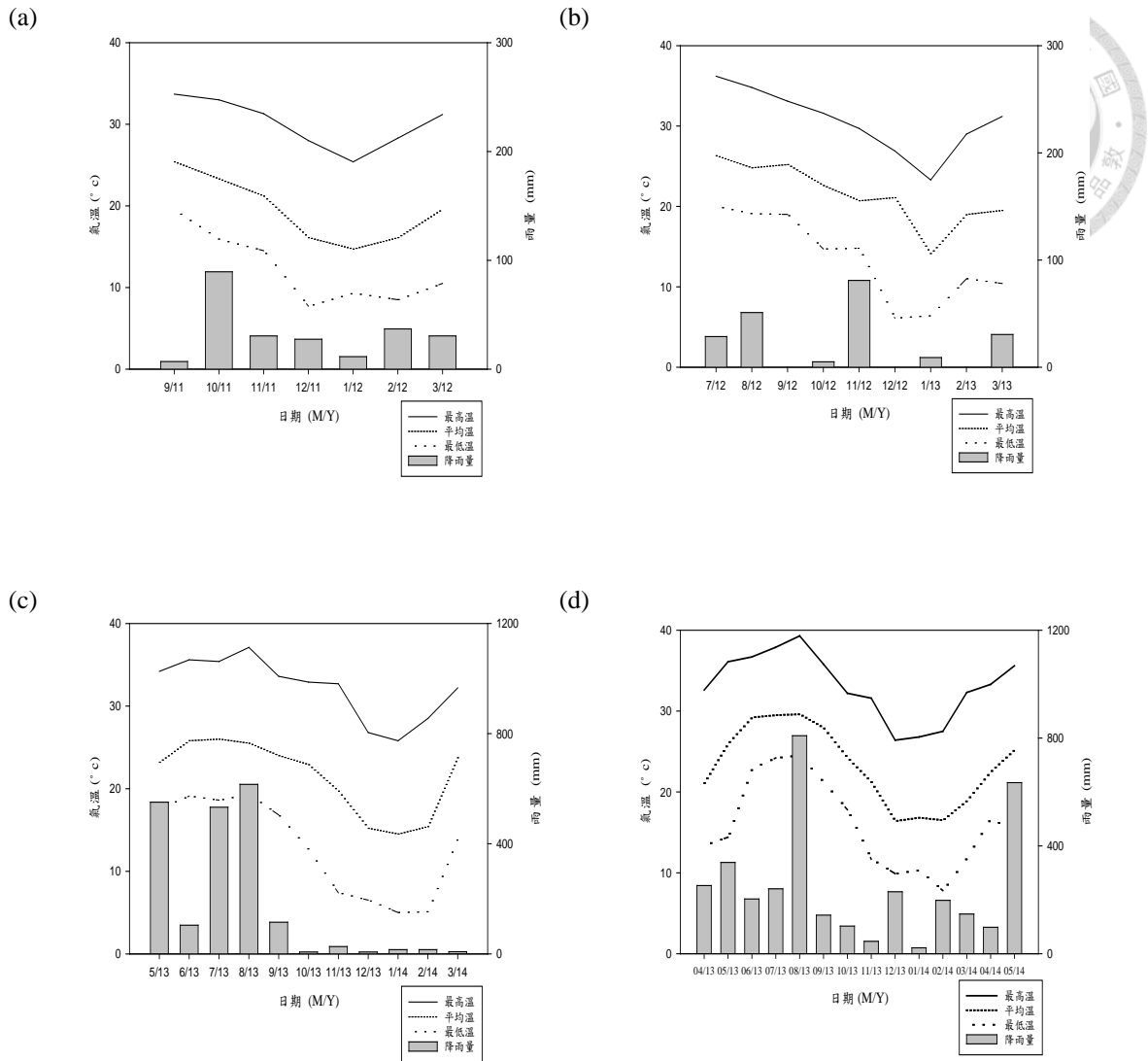


圖 2. 試驗期間二試驗區之氣象資料, (a) 2011 年國立臺灣大學生物資源暨農學院實驗林管理處內茅埔營林區 21 林班 100-20 號造林地、(b) 2012 年國立臺灣大學生物資源暨農學院實驗林管理處內茅埔營林區 21 林班 100-20 號造林地、(c) 2013 年國立臺灣大學生物資源暨農學院實驗林管理處內茅埔營林區 21 林班 100-20 號造林地、(d) 2013 年國立臺灣大學生物資源暨農學院農業試驗場。

Figure 2. Meteorological data in 2 experimental plots during experiments (a) 2011 in the Experimental forest, National Taiwan University , (b) 2012 in the Experimental forest, National Taiwan University , (c) 2013 in the Experimental forest, National Taiwan University , (d) 2013 in the Experimental Farm, National Taiwan University.

區集 I

長蒴黃麻 2x3	長蒴黃麻 2x3	川七 5x5	川七 5x5	落葵 9x9	落葵 9x9	過溝菜蕨 3x3	過溝菜蕨 3x3	龍鬚菜 2x2	龍鬚菜 2x2	山蘇 3x3	山蘇 3x3
長蒴黃麻 2x3	長蒴黃麻 2x3	川七 5x5	川七 5x5	赤道櫻草 7x8	赤道櫻草 7x8	過溝菜蕨 3x3	過溝菜蕨 3x3	龍鬚菜 2x2	龍鬚菜 2x2	山蘇 3x3	山蘇 3x3
長蒴黃麻 2x3	長蒴黃麻 2x3	川七 5x5	川七 5x5	甘藷葉 10x10	甘藷葉 10x10	過溝菜蕨 3x3	過溝菜蕨 3x3	龍鬚菜 2x2	龍鬚菜 2x2	山蘇 3x3	山蘇 3x3

區集 II

山蘇 3x3	山蘇 3x3	過溝菜蕨 3x3	過溝菜蕨 3x3	龍鬚菜 2x2	龍鬚菜 2x2	落葵 9x9	落葵 9x9	川七 5x5	川七 5x5	長蒴黃麻 2x3	長蒴黃麻 2x3
山蘇 3x3	山蘇 3x3	過溝菜蕨 3x3	過溝菜蕨 3x3	龍鬚菜 2x2	龍鬚菜 2x2	赤道櫻草 7x8	赤道櫻草 7x8	川七 5x5	川七 5x5	長蒴黃麻 2x3	長蒴黃麻 2x3
山蘇 3x3	山蘇 3x3	過溝菜蕨 3x3	過溝菜蕨 3x3	龍鬚菜 2x2	龍鬚菜 2x2	甘藷葉 10x10	甘藷葉 10x10	川七 5x5	川七 5x5	長蒴黃麻 2x3	長蒴黃麻 2x3

區集 III

川七 5x5	川七 5x5	龍鬚菜 2x2	龍鬚菜 2x2	長蒴黃麻 2x3	長蒴黃麻 2x3	山蘇 3x3	山蘇 3x3	落葵 9x9	落葵 9x9	過溝菜蕨 3x3	過溝菜蕨 3x3
川七 5x5	川七 5x5	龍鬚菜 2x2	龍鬚菜 2x2	長蒴黃麻 2x3	長蒴黃麻 2x3	山蘇 3x3	山蘇 3x3	赤道櫻草 7x8	赤道櫻草 7x8	過溝菜蕨 3x3	過溝菜蕨 3x3
川七 5x5	川七 5x5	龍鬚菜 2x2	龍鬚菜 2x2	長蒴黃麻 2x3	長蒴黃麻 2x3	山蘇 3x3	山蘇 3x3	甘藷葉 10x10	甘藷葉 10x10	過溝菜蕨 3x3	過溝菜蕨 3x3

區集 IV

過溝菜蕨 3x3	過溝菜蕨 3x3	落葵 9x9	落葵 9x9	山蘇 3x3	山蘇 3x3	川七 5x5	川七 5x5	長蒴黃麻 2x3	長蒴黃麻 2x3	龍鬚菜 2x2	龍鬚菜 2x2
過溝菜蕨 3x3	過溝菜蕨 3x3	赤道櫻草 7x8	赤道櫻草 7x8	山蘇 3x3	山蘇 3x3	川七 5x5	川七 5x5	長蒴黃麻 2x3	長蒴黃麻 2x3	龍鬚菜 2x2	龍鬚菜 2x2
過溝菜蕨 3x3	過溝菜蕨 3x3	甘藷葉 10x10	甘藷葉 10x10	山蘇 3x3	山蘇 3x3	川七 5x5	川七 5x5	長蒴黃麻 2x3	長蒴黃麻 2x3	龍鬚菜 2x2	龍鬚菜 2x2

圖 3. 國立臺灣大學生物資源暨農學院實驗林管理處內茅埔營林區 21 林班 100-20

號造林地 2011 年內茅埔營林區 21 林班 100-20 號造林地之間作試驗區作物栽培設計。

Figure 3. Experimental design of Michelia-agroforestry system in No. 100-20 afforested land, 21 Forest Compartment, Neimaopu, the Experimental forest, National Taiwan University.



區集 I

明日 葉 4x4	明日 葉 4x4	紅鳳 菜 6x5	紅鳳 菜 6x5	甘藷 葉 5x4	甘藷 葉 5x4	過溝 菜蕨 3x3	過溝 菜蕨 3x3	九層 塔 4x4	九層 塔 4x4	山蘇 3x3	山蘇 3x3
明日 葉 4x4	明日 葉 4x4	紅鳳 菜 6x5	紅鳳 菜 6x5	甘藷 葉 5x4	甘藷 葉 5x4	過溝 菜蕨 3x3	過溝 菜蕨 3x3	九層 塔 4x4	九層 塔 4x4	山蘇 3x3	山蘇 3x3
明日 葉 4x4	明日 葉 4x4	紅鳳 菜 6x5	紅鳳 菜 6x5	甘藷 葉 5x4	甘藷 葉 5x4	過溝 菜蕨 3x3	過溝 菜蕨 3x3	九層 塔 4x4	九層 塔 4x4	山蘇 3x3	山蘇 3x3

區集 II

山蘇 3x3	山蘇 3x3	過溝 菜蕨 3x3	過溝 菜蕨 3x3	九層 塔 4x4	九層 塔 4x4	甘藷 葉 5x4	甘藷 葉 5x4	紅鳳 菜 6x5	紅鳳 菜 6x5	明日 葉 4x4	明日 葉 4x4
山蘇 3x3	山蘇 3x3	過溝 菜蕨 3x3	過溝 菜蕨 3x3	九層 塔 4x4	九層 塔 4x4	甘藷 葉 5x4	甘藷 葉 5x4	紅鳳 菜 6x5	紅鳳 菜 6x5	明日 葉 4x4	明日 葉 4x4
山蘇 3x3	山蘇 3x3	過溝 菜蕨 3x3	過溝 菜蕨 3x3	九層 塔 4x4	九層 塔 4x4	甘藷 葉 5x4	甘藷 葉 5x4	紅鳳 菜 6x5	紅鳳 菜 6x5	明日 葉 4x4	明日 葉 4x4

區集 III

紅鳳 菜 6x5	紅鳳 菜 6x5	九層 塔 4x4	九層 塔 4x4	明日 葉 4x4	明日 葉 4x4	山蘇 3x3	山蘇 3x3	甘藷 葉 5x4	甘藷 葉 5x4	過溝 菜蕨 3x3	過溝 菜蕨 3x3
紅鳳 菜 6x5	紅鳳 菜 6x5	九層 塔 4x4	九層 塔 4x4	明日 葉 4x4	明日 葉 4x4	山蘇 3x3	山蘇 3x3	甘藷 葉 5x4	甘藷 葉 5x4	過溝 菜蕨 3x3	過溝 菜蕨 3x3
紅鳳 菜 6x5	紅鳳 菜 6x5	九層 塔 4x4	九層 塔 4x4	明日 葉 4x4	明日 葉 4x4	山蘇 3x3	山蘇 3x3	甘藷 葉 5x4	甘藷 葉 5x4	過溝 菜蕨 3x3	過溝 菜蕨 3x3

區集 IV

過溝 菜蕨 3x3	過溝 菜蕨 3x3	甘藷 葉 5x4	甘藷 葉 5x4	山蘇 3x3	山蘇 3x3	紅鳳 菜 6x5	紅鳳 菜 6x5	明日 葉 4x4	明日 葉 4x4	九層 塔 4x4	九層 塔 4x4
過溝 菜蕨 3x3	過溝 菜蕨 3x3	甘藷 葉 5x4	甘藷 葉 5x4	山蘇 3x3	山蘇 3x3	紅鳳 菜 6x5	紅鳳 菜 6x5	明日 葉 4x4	明日 葉 4x4	九層 塔 4x4	九層 塔 4x4
過溝 菜蕨 3x3	過溝 菜蕨 3x3	甘藷 葉 5x4	甘藷 葉 5x4	山蘇 3x3	山蘇 3x3	紅鳳 菜 6x5	紅鳳 菜 6x5	明日 葉 4x4	明日 葉 4x4	九層 塔 4x4	九層 塔 4x4

圖 4. 國立臺灣大學生物資源暨農學院實驗林管理處內茅埔營林區 21 林班 100-20

號造林地 2012 年內茅埔營林區 21 林班 100-20 號造林地之間作試驗區作物栽培設計。

Figure 4. Experimental design of Michelia-agroforestry system in No. 100-20 afforested land, 21 Forest Compartment, Neimaopu, the Experimental forest, National Taiwan University.

區集 I

薄荷 8x4	臺灣 藜 6x5	明日 葉 4x4	魚腥 草 6x5	甘藷 葉 5x4	紅鳳 菜 6x4	過溝 菜蕨 3x3	白鶴靈 芝草 8x5	九層 塔 4x4	糯米 團 8x4	山蘇 3x3	番杏 4x3
薄荷 8x4	臺灣 藜 6x5	明日 葉 4x4	魚腥 草 6x5	甘藷 葉 5x4	紅鳳 菜 6x4	過溝 菜蕨 3x3	白鶴靈 芝草 8x5	九層 塔 4x4	糯米 團 8x4	山蘇 3x3	番杏 4x3
薄荷 8x4	臺灣 藜 6x5	明日 葉 4x4	魚腥 草 6x5	甘藷 葉 5x4	紅鳳 菜 6x4	過溝 菜蕨 3x3	白鶴靈 芝草 8x5	九層 塔 4x4	糯米 團 8x4	山蘇 3x3	番杏 4x3

區集 II

山蘇 3x3	紅鳳 菜 6x4	過溝 菜蕨 3x3	臺灣 藜 6x5	薄荷 8x4	九層 塔 4x4	白鶴靈 芝草 8x5	魚腥 草 6x5	番杏 4x3	甘藷 葉 5x4	糯米 團 8x4	明日 葉 4x4
山蘇 3x3	紅鳳 菜 6x4	過溝 菜蕨 3x3	臺灣 藜 6x5	薄荷 8x4	九層 塔 4x4	白鶴靈 芝草 8x5	魚腥 草 6x5	番杏 4x3	甘藷 葉 5x4	糯米 團 8x4	明日 葉 4x4
山蘇 3x3	紅鳳 菜 6x4	過溝 菜蕨 3x3	臺灣 藜 6x5	薄荷 8x4	九層 塔 4x4	白鶴靈 芝草 8x5	魚腥 草 6x5	番杏 4x3	甘藷 葉 5x4	糯米 團 8x4	明日 葉 4x4

區集 III

魚腥 草 6x5	番杏 4x3	九層 塔 4x4	白鶴靈 芝草 8x5	明日 葉 4x4	糯米 團 8x4	紅鳳 菜 6x4	山蘇 3x3	甘藷 葉 5x4	臺灣 藜 6x5	薄荷 8x4	過溝 菜蕨 3x3
魚腥 草 6x5	番杏 4x3	九層 塔 4x4	白鶴靈 芝草 8x5	明日 葉 4x4	糯米 團 8x4	紅鳳 菜 6x4	山蘇 3x3	甘藷 葉 5x4	臺灣 藜 6x5	薄荷 8x4	過溝 菜蕨 3x3
魚腥 草 6x5	番杏 4x3	九層 塔 4x4	白鶴靈 芝草 8x5	明日 葉 4x4	糯米 團 8x4	紅鳳 菜 6x4	山蘇 3x3	甘藷 葉 5x4	臺灣 藜 6x5	薄荷 8x4	過溝 菜蕨 3x3

區集 IV

過溝 菜蕨 3x3	糯米 團 8x4	甘藷 葉 5x4	薄荷 4x8	山蘇 3x3	臺灣 藜 6x5	魚腥 草 6x5	紅鳳 菜 6x4	白鶴靈 芝草 8x5	明日 葉 4x4	番杏 4x3	九層 塔 4x4
過溝 菜蕨 3x3	糯米 團 8x4	甘藷 葉 5x4	薄荷 4x8	山蘇 3x3	臺灣 藜 6x5	魚腥 草 6x5	紅鳳 菜 6x4	白鶴靈 芝草 8x5	明日 葉 4x4	番杏 4x3	九層 塔 4x4
過溝 菜蕨 3x3	糯米 團 8x4	甘藷 葉 5x4	薄荷 4x8	山蘇 3x3	臺灣 藜 6x5	魚腥 草 6x5	紅鳳 菜 6x4	白鶴靈 芝草 8x5	明日 葉 4x4	番杏 4x3	九層 塔 4x4

圖 5. 國立臺灣大學生物資源暨農學院實驗林管理處內茅埔營林區 21 林班 100-20

號造林地 2013 年內茅埔營林區 21 林班 100-20 號造林地之間作試驗區作物栽培設計。

Figure 5. Experimental design of Michelia-agroforestry system in No. 100-20 afforested land, 21 Forest Compartment, Neimaopu, the Experimental forest, National Taiwan University.

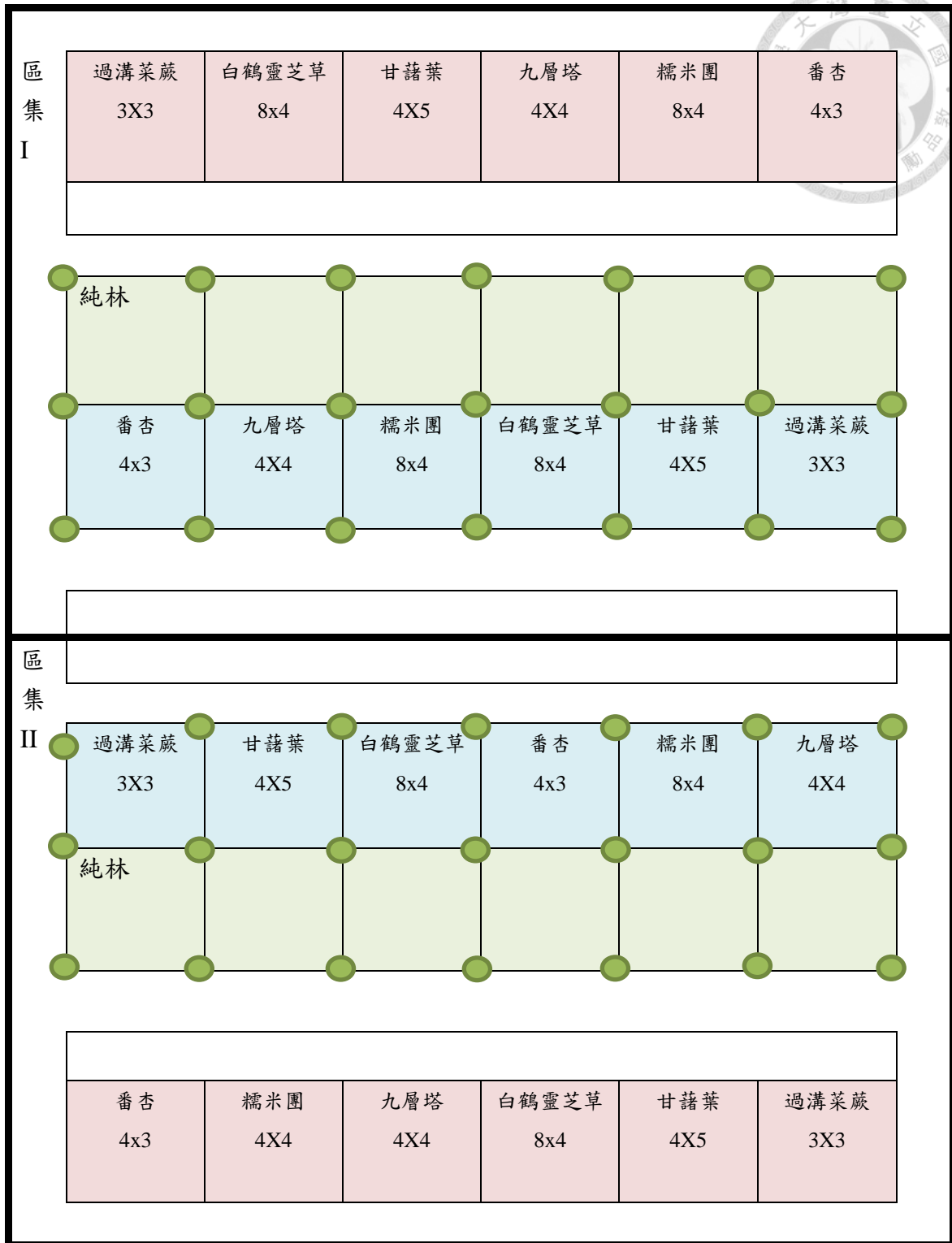


圖 6. 國立臺灣大學生物資源暨農學院農業試驗場試驗區第一、二區集作物栽培設計。

Figure 6. Experimental design of plot I and II in the Experimental Farm, National Taiwan University.

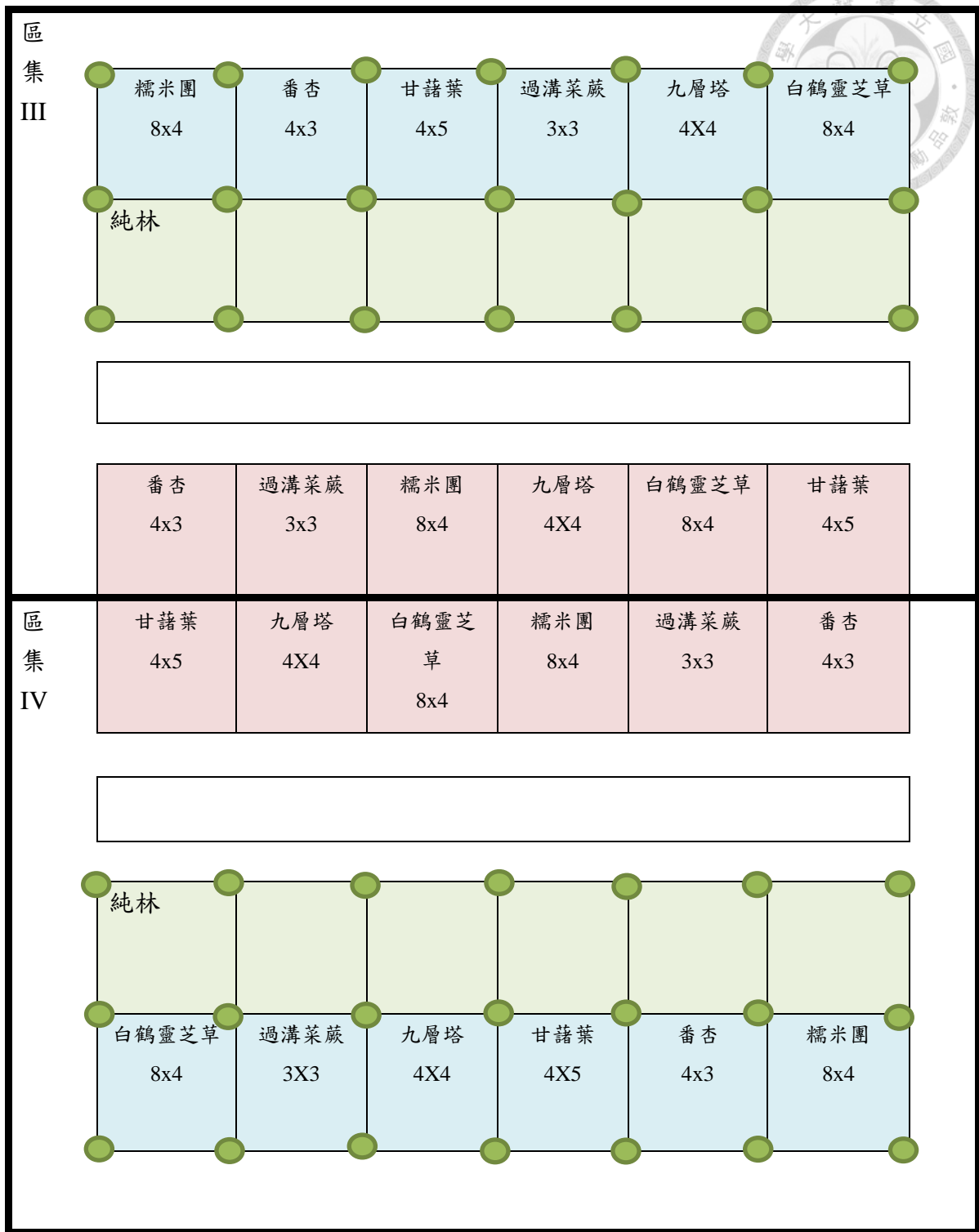


圖 7. 國立臺灣大學生物資源暨農學院農業試驗場試驗區第三、四區集作物栽培設計。

Figure 7. Experimental design of plot III and IV in the Experimental Farm, National Taiwan University.

第四章 結果



一、間作作物對烏心石生長之影響

實驗林試驗區自 2013 年 1 月劃設間作試驗區及純林試驗區，烏心石生長狀況如圖 8 所示，2013 年 4 月二試驗區烏心石基徑成長量為 1.74 mm、1.77 mm，2013 年 7 月成長量為 4.69 mm、3.90 mm，2013 年 10 月成長量為 6.29 mm、5.84 mm，2014 年 1 月成長量為 2.96 mm、3.19 mm；2013 年 4 月二試驗區烏心石高度成長量為 11.22 cm、10.86 cm，2013 年 7 月成長量為 16.13 cm、24.02 cm，2013 年 10 月成長量為 25.38 cm、21.51 cm，2014 年 1 月成長量為 24.35 cm、20.21 cm。結果顯示二試驗區烏心石皆持續生長，且調查期間二試驗區烏心石高度、基徑及材積無顯著差異，於烏心石造林地間間作作物後，不影響烏心石生長。

農業試驗場試驗區於自 2013 年 5 月劃設間作試驗區及純林試驗區，烏心石生長狀況如圖 9 所示，2013 年 8 月二試驗區烏心石基徑成長量為 1.58 mm、2.63 mm，2013 年 11 月成長量為 2.53 mm、1.62 mm，2014 年 2 月成長量為 2.63 mm、2.06 mm，2014 年 5 月成長量為 6.46 mm、4.98 mm；2013 年 8 月二試驗區烏心石高度成長量為 3.83 cm、4.70 cm，2013 年 11 月成長量為 4.28 cm、4.82 cm，2014 年 2 月成長量為 5.86 cm、4.91 cm，2014 年 5 月成長量為 29.15 cm、24.46 cm。結果與實驗林相似，二試驗區之烏心石皆持續生長，且調查期間之烏心石高度、基徑及材積無顯著差異，於烏心石造林地間間作作物後，不影響烏心石生長。

二、間作作物對土壤特性之影響

僅於實驗林試驗區調查間作前後土質變化，如表 3 所示，有無間作未影響土壤 0-15 cm 表土中之酸鹼值、電導度、有機質及磷酐、氧化鉀、氧化鈣、氧化鎂等必須營養物質及銅、鋅、鎘、鉻、鎳、鉛之濃度變化量；同樣有無間作未影響土壤 15-30 cm 底土中之酸鹼值、電導度、有機質及磷酐、氧化鉀、氧化鈣等必須營養物質及銅、鋅、鎘、鉻、鎳、鉛之濃度變化量，僅底土氧化鎂濃度變化量顯著



差異，以間作作物試驗區下降較多 ($P=0.349$)。

三、實驗林試驗區作物度冬存活率

2011 年間作作物度冬存活率如圖 10a 所示，間作區之作物以甘藷葉 (95%)、山蘇 (85%) 及過溝菜蕨 (71%) 之存活率大於 70%，且顯著大於落葵 (39%)、龍鬚菜 (18%)、赤道櫻草 (0%) 及長蒴黃麻 (0%)，因此繼續做為 2012 年之試驗材料。川七於越冬後成活率雖達 56%，與過溝菜蕨差異不顯著，但其與龍鬚菜同具攀爬林木習性，有危害林木生長及影響噴灌系統之虞，不建議於造林地栽培。龍鬚菜越冬後存活率在各區集間變異大，可能因有動物啃食所致。落葵有明顯蟲害，且存活率偏低。赤道櫻草及長蒴黃麻無法越冬。

2012 年間作作物之度冬存活率如圖 10b 所示，其中過溝菜蕨 (96%)、紅鳳菜 (89%) 及山蘇 (87%) 度冬之存活率均高，甘藷葉 (78%) 及明日葉 (72%) 雖次之，但其存活率仍偏高 (大於 70%)，僅九層塔 (0%) 之度冬存活率低，九層塔度冬存活率雖低，但 2012 年度九層塔於夏季產量高 (圖 11a)，有連續生產之潛力，因此 2013 年度仍繼續選用九層塔作為其中之一間作蔬菜。

2013 年間作作物之度冬存活率如圖 10c 所示，其中過溝菜蕨 (98%)、山蘇 (91%) 及糯米團 (83%) 度冬之存活率均高，薄荷 (82%) 及白鶴靈芝 (71%) 次之，皆大於 70%，為可長期間作之作物。但本年度其餘作物紅鳳菜、魚腥草、明日葉、台灣藜、番杏、九層塔度冬存活率均偏低，而甘藷葉因動物破壞而無存活植株。

四、間作烏心石對作物產量之影響

實驗林試驗區 2011 年度種植之過溝菜蕨和山蘇，雖度冬存活率高 (圖 10a)，但生長緩慢，無法於當年度收穫，其餘蔬菜或遭動物啃食或生長情形不佳，因此 2011 年度 9 月種植之蔬菜中，最終僅有甘藷葉、赤道櫻草及落葵得於當年度 10-11



月採收 (表 4)。雖然落葵與赤道櫻草可於短期內採收，但落葵與赤道櫻草之度冬存活率低且可採收時間較短，因此若要鼓勵造林地轉型，建議選擇甘藷葉作為可在短期內有收益之蔬菜。

實驗林試驗區 2012 年度各作物單次採收產量與累積產量如圖 11a 與圖 12a 所示。夏季產量以甘藷葉及九層塔較高，冬季產量以明日葉較高。各蔬菜累積產量由高至低依序為明日葉、紅鳳菜、甘藷葉、九層塔、過溝菜蕨及山蘇 (圖 12a)。

實驗林試驗區 2013 年各作物單次採收產量與累積產量如圖 11b 與圖 12b 所示，夏季之採收量以糯米團及甘藷葉最高，冬季產量以糯米團、過溝菜蕨及明日葉較高 (圖 11b)。各作物之累積產量依序為糯米團、甘藷葉、紅鳳菜、過溝菜蕨、明日葉、番杏、薄荷、白鶴靈芝、臺灣藜、九層塔、山蘇及魚腥草 (圖 12b)。

農業試驗場試驗區各作物之分次採收產量如圖 13，顯示各作物全年度之產量皆不受間作烏心石之影響，於季節及時間前後亦無顯著差異，但甘藷葉、九層塔及白鶴靈芝夏季產量較高，紅鳳菜、糯米團及過溝菜蕨於冬季產量較高。累積產量 (圖 14) 部份以甘藷葉產量最高，白鶴靈芝次之，但間作與否對作物累積產量亦無顯著影響。

五、間作烏心石對作物品質及生理指標之影響

實驗林之作物品質與平地未與烏心石間作之作物有差異，如表 5 - 表 8 所示，主要差異實驗林有較高可溶性糖、可溶性固形物較高且纖維素濃度較高，總酚、總類黃酮等抗氧化物質濃度及三鐵還原之抗氧化能力較高，相對水分含量較低，而逆境物質過氧化氫及脯胺酸濃度則較高。

農業試驗場試驗區於 2013 年 11 月、2014 年 1 月、3 月及 5 月調查作物品質，如表 13 - 表 28，發現間作烏心石與否不影響作物品質，亦不影響生理及逆境指標，顯示此間作系統第一年於養分、水分或光照間競爭不影響作物生產。



六、作物與烏心石間作之經濟可行性評估

實驗林試驗區各作物採收累積產值如圖 15 所示。2012 年各作物產值以明日葉、紅鳳菜、甘藷葉較高 (圖 15a)；2013 年以糯米團、明日葉及番杏較高 (圖 15b)。

2012 年各作物栽培人力及各項資材成本如表 9 所示，顯示主要之栽培支出為人力、苗木及雜草抑制蓆。2012 年栽培作物在扣除人力及各項資材花費之後，僅有明日葉每公頃有 116 萬元·ha⁻¹之淨利 (表 10)，其餘蔬菜皆為虧損。明日葉淨利高乃因其苗木成本低但最終售價高之故。

2013 年各作物栽培人力及各項資材成本如表 11 所示，本年度為控制成本，苗木以自行選育為主，僅明日葉購買苗木，山蘇及過溝菜蕨苗木與雜草抑制蓆延續上年度之折舊，但人力成本因栽培期較長較上年度增加，施肥由原本 3 個月施用一次改為 1 個月施用一次，亦使肥料支出較高。2013 年度栽培作物在扣除人力及各項資材花費後，淨利如表 12 所示，糯米團及明日葉淨利分別為 53 萬元·ha⁻¹及 8 萬元·ha⁻¹，其餘作物仍維持虧損。

農業試驗場試驗區作物累積經濟價值如圖 15，各作物之累積除過溝菜蕨外，均較實驗林試驗區為高，與烏心石間作與否對作物總產值無顯著影響，總產值以甘藷葉 (263 萬元·ha⁻¹)、糯米團 (201 萬元·ha⁻¹) 及白鶴靈芝 (176 萬元·ha⁻¹) 較高。除過溝菜蕨虧損，甘藷葉、糯米團、白鶴靈芝、九層塔及紅鳳菜皆有獲利 (表 30)。

表 3. 國立臺灣大學生物資源暨農學院實驗林管理處內茅埔營林區 21 林班 100-20 號造林地試驗區間作前後之土質變化。

Table 3. Changes in soil qualities before and after the implementation of intercropping in No. 100-20 afforested land, 21 Forest Compartment, Neimaopu, the Experimental forest, National Taiwan University.

土壤深度 試驗區 參數	0-15 cm		15-30 cm	
	間作試驗區	純林試驗區	間作試驗區	純林試驗區
酸鹼值 (pH)	-0.40 a	-0.25 a	-0.25 a	0.20 a
電導度 (ds·m ⁻¹)	-0.33 a	-0.13 a	-0.10 a	-0.05 a
有機質 (%)	-1.50 a	0.50 a	1.50 a	-0.65 a
磷酐 (kg·ha ⁻¹)	42.50 a	202.50 a	256.00 a	-159.00 a
氧化鉀 (kg·ha ⁻¹)	-152.00 a	-148.00 a	-104.50 a	-7.50 a
氧化鈣 (kg·ha ⁻¹)	-2,976.00 a	-4,335.50 a	-1080.50 a	732.50 a
氧化鎂 (kg·ha ⁻¹)	-588.50 a	16.50 a	-116.50 b	111.00 a
銅 (mg·kg ⁻¹)	1.00 a	1.50 a	0.50 a	2.50 a
鋅 (mg·kg ⁻¹)	-16.00 a	-13.50 a	-1.00 a	0.50 a
鎘 (mg·kg ⁻¹)	-0.04 a	-0.03 a	-0.01 a	0.00 a
鎳 (mg·kg ⁻¹)	-0.20 a	0.00 a	-0.15 a	-0.15 a
鉻 (mg·kg ⁻¹)	-0.10 a	-0.15 a	0.05 a	0.00 a
鉛 (mg·kg ⁻¹)	0.60 a	-0.15 a	0.40 a	-0.25 a

*Means within columns followed by the same letters are not significantly different by least significant difference (LSD) test at P=0.05 level.

表 4. 2011 年國立臺灣大學生物資源暨農學院實驗林管理處內茅埔營林區 21 林班
100-20 號造林地試驗區與烏心石間作作物之單次及累積產量

Table 4. Yield and cumulative yields of intercropping crops in No. 100-20 afforested
land, 21 Forest Compartment, Neimaopu, the Experimental forest, National Taiwan
University in 2011.

蔬菜種類	甘藷葉		赤道櫻草		落葵	
	產量 (kg·ha ⁻¹)	產值 (NT\$·ha ⁻¹)	產量 (kg·ha ⁻¹)	產值 (NT\$·ha ⁻¹)	產量 (kg·ha ⁻¹)	產值 (NT\$·ha ⁻¹)
採收日期						
2011/10/04	2,293	21,040			3,525	90,853
2011/10/21	6,907	77,627			4,080	123,173
2011/10/27	1,307	13,173			1,120	25,547
2011/11/10	2,400	19,840			2,747	54,400
2011/11/24	3,120	32,267	800	19,733	2,853	176,027
累計	16,107	163,947	800	19,733	14,325	470,000

*2011 年 9 月至 2012 年 3 月間作期間。

表 5. 國立臺灣大學生物資源暨農學院實驗林管理處內茅埔營林區 21 林班 100-20

號造林地間作作物與國立臺灣大學生物資源暨農學院農業試驗場純作物品質

Table 5. Qualities of crops in No. 100-20 afforested land, 21 Forest Compartment, Neimaopu, the Experimental forest, National Taiwan University and the Experimental Farm, National Taiwan University.

作物 名稱	試驗地	絕對 含水 量 (%)	可溶性 糖 (mg·g ⁻¹ FW)	可溶性 蛋白 (mg·g ⁻¹ FW)	可溶性 固形物 (°brix)	纖維素 (mg·g ⁻¹ FW)	硝酸鹽 (mg·g ⁻¹ FW)
紅鳳 菜	實驗林	87 a	13.97 a	7.97 a	6.64 a	24.48 a	1.41 a
	農業試驗場	89 a	6.90 b	8.62 a	4.43 b	16.04 b	1.59 a
九層 塔	實驗林	79 a	13.57 a	9.68 a	10.38 a	30.26 a	0.92 a
	農業試驗場	83 a	5.07 b	11.64 a	7.25 b	22.68 b	1.29 a
過溝 菜蕨	實驗林	82 a	17.24 a	12.25 a	7.61 a	25.78 a	1.35 a
	農業試驗場	85 a	3.17 b	14.25 a	4.79 b	19.39 b	1.24 a
糯米 團	實驗林	83 a	12.54 a	4.78 b	6.24 a	41.02 a	1.50 a
	農業試驗場	86 a	8.75 a	12.68 a	4.77 a	23.81 b	2.59 a
白鶴 靈芝	實驗林	72 b	12.56 a	12.25 a	19.82 a	50.36 a	2.07 a
	農業試驗場	78 a	10.93 a	14.47 a	11.37 b	29.56 b	1.50 a

*Means within column within crop followed by the same letters are not significantly different by least significant difference (LSD) test at P=0.05 level.

* 2013 年 11 月國立臺灣大學生物資源暨農學院實驗林管理處內茅埔營林區 21 林班 100-20 號造林地間作作物與國立臺灣大學生物資源暨農學院農業試驗場未間作作物之比較。

表 6. 國立臺灣大學生物資源暨農學院實驗林管理處內茅埔營林區 21 林班 100-20 號造林地間作作物與國立臺灣大學生物資源暨農學院農業試驗場純作物抗氧化能力

Table 6. Antioxidant capacities of crops in No. 100-20 afforested land, 21 Forest Compartment, Neimaopu, the Experimental forest, National Taiwan University and the Experimental Farm, National Taiwan University.

作物名稱	試驗地	維生素 C (mg·g ⁻¹ FW)	胡蘿蔔素 (μg·g FW)	總酚 (mg·g ⁻¹ FW)	總類黃酮 (μg·g ⁻¹ FW)	鐵還原抗氧化能力 (mg·g ⁻¹ FW)
紅鳳菜	實驗林	1.35 a	97.3 a	1.48 a	246.4 a	2.73 a
	農業試驗場	1.50 a	77.5 a	0.36 b	137.4 b	0.29 b
九層塔	實驗林	3.61 a	131.2 a	6.85 a	282.7 a	19.26 a
	農業試驗場	2.69 a	114.6 a	1.50 b	124.1 b	3.49 b
過溝菜蕨	實驗林	1.36 a	135.2 a	4.16 a	469.0 a	6.69 a
	農業試驗場	1.41 a	83.0 b	1.25 b	157.7 b	2.07 b
糯米團	實驗林	1.32 a	164.8 a	4.24 a	417.7 a	9.20 a
	農業試驗場	2.00 a	134.7 a	2.24 b	444.7 a	5.91 b
白鶴靈芝	實驗林	5.64 a	228.2 a	7.94 a	1068.1 a	16.03 a
	農業試驗場	4.63 a	214.1 a	3.45 b	1060.4 a	16.61 a

*Means within column within crop followed by the same letters are not significantly different by least significant difference (LSD) test at P=0.05 level.

* 2013 年 11 月國立臺灣大學生物資源暨農學院實驗林管理處內茅埔營林區 21 林班 100-20 號造林地間作作物與國立臺灣大學生物資源暨農學院農業試驗場未間作作物之比較。

表 7. 國立臺灣大學生物資源暨農學院實驗林管理處內茅埔營林區 21 林班 100-20 號造林地間作作物與國立臺灣大學生物資源暨農學院農業試驗場純作物生理指標



Table 7. Physiological indicators of crops in No. 100-20 afforested land, 21 Forest Compartment, Neimaopu, the Experimental forest, National Taiwan University and the Experimental Farm, National Taiwan University.

作物名稱	試驗地	總葉綠素 ($\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$ FW)	葉綠素 a/b	花青素 ($(A_{535}-A_{650})\cdot\text{g}^{-1}$ FW)	Pi ($\text{nmol}\cdot\text{mg}^{-1}$ FW)
紅鳳菜	實驗林	0.80 a	2.07 a	1.54 b	3.33 a
	農業試驗場	0.83 a	2.36 a	2.77 a	2.64 a
九層塔	實驗林	0.89 a	2.50 a	0.94 a	14.58 a
	農業試驗場	0.98 a	2.63 a	0.16 b	7.71 b
過溝菜蕨	實驗林	0.57 a	2.50 a	0.20 a	16.93 a
	農業試驗場	0.59 a	2.22 b	0.20 a	14.71 a
糯米團	實驗林	1.31 a	2.41 a	0.54 a	8.37 a
	農業試驗場	1.16 a	2.89 a	0.41 a	9.81 a
白鶴靈芝	實驗林	1.26 a	2.16 a	1.26 b	11.56 a
	農業試驗場	1.37 a	2.29 a	2.37 a	9.25 b

*Means within column within crop followed by the same letters are not significantly different by least significant difference (LSD) test at P=0.05 level.

* 2013 年 11 月國立臺灣大學生物資源暨農學院實驗林管理處內茅埔營林區 21 林班 100-20 號造林地間作作物與國立臺灣大學生物資源暨農學院農業試驗場未間作作物之比較。

表 8. 國立臺灣大學生物資源暨農學院實驗林管理處內茅埔營林區 21 林班 100-20 號造林地間作作物與國立臺灣大學生物資源暨農學院農業試驗場純作物逆境指標



Table 8. Stress indicators of crops in No. 100-20 afforested land, 21 Forest

Compartment, Neimaopu, the Experimental forest, National Taiwan University and the Experimental Farm, National Taiwan University

作物 名稱	試驗地	丙二醛 (nmol·g ⁻¹ FW)	相對水分 含量(%)	H ₂ O ₂ (μmol·g ⁻¹ FW)	Proline (μg·g ⁻¹ FW)
紅鳳 菜	實驗林	56.9 a	81 b	17.93 a	237.0 a
	農業試驗場	41.3 a	93 a	19.99 a	73.1 b
九層 塔	實驗林	32.4 a	89 a	15.24 a	403.8 a
	農業試驗場	24.4 a	90 a	7.37 b	89.6 b
過溝 菜蕨	實驗林	100.9 a	72 b	18.69 a	186.6 a
	農業試驗場	106.4 a	88 a	4.82 b	63.5 b
糯米 團	實驗林	59.0 a	81 b	48.54 a	173.9 a
	農業試驗場	52.9 a	92 a	24.36 a	73.7 b
白鶴 靈芝	實驗林	103.0 a	81 b	119.19 a	395.2 a
	農業試驗場	64.4 b	87 a	71.36 b	305.1 a

*Means within column within crop followed by the same letters are not significantly different by least significant difference (LSD) test at P=0.05 level.

* 2013 年 11 月國立臺灣大學生物資源暨農學院實驗林管理處內茅埔營林區 21 林班 100-20 號造林地間作作物與國立臺灣大學生物資源暨農學院農業試驗場未間作作物之比較。

表 9. 國立臺灣大學生物資源暨農學院實驗林管理處內茅埔營林區 21 林班 100-20

號造林地 2012 年與烏心石間作所需栽培人力及資材成本

Table 9. The cost of manpower and agricultural materials of crops intercropping with *Michelia compressa* in No. 100-20 afforested land, 21 Forest Compartment, Neimaopu, the Experimental forest, National Taiwan University in 2012.

項目 作物 名稱	*人力成 本	資材					總花費 (NT\$·ha ⁻¹)
		肥料	苗木	苗木育 苗培養 土	有機農 藥	雜草抑 制劑及 抑制釘	
明日葉	366,625	32,000	34,133	34,133	2,074	85,531	554,496
山蘇	366,625	32,000	192,000	0	2,074	85,531	678,230
過溝菜 蕨	366,625	32,000	157,200	0	2,074	85,531	643,430
甘藷葉	366,625	32,000	0	42,667	2,074	85,531	528,897
紅鳳菜	366,625	32,000	375,467	0	2,074	85,531	861,697
九層塔	366,625	32,000	187,733	0	2,074	85,531	673,963

*2012 年 7 月至 2013 年 3 月間各作物之平均人力成本。

表 10. 國立臺灣大學生物資源暨農學院實驗林管理處內茅埔營林區 21 林班 100-20 號造林地 2012 年與烏心石間作栽培收益、成本及淨利潤

Table 10. The incomes, costs and net benefits of crops intercropping with *Michelia compressa* in No. 100-20 afforested land, 21 Forest Compartment, Neimaopu, the Experimental forest, National Taiwan University in 2012.

蔬菜名稱	收益 (NT\$·ha ⁻¹)	成本 (NT\$·ha ⁻¹)	淨利 (NT\$·ha ⁻¹)
明日葉	1,715,867	520,264	1,161,371
山蘇	52,278	635,464	-625,952
過溝菜蕨	72,818	582,664	-570,612
甘藷葉	193,843	477,597	-335,054
紅鳳菜	212,899	818,931	-648,798
九層塔	61,515	631,197	-612,448

*2012 年 7 月至 2013 年 3 月間各作物之收益、成本及淨利。

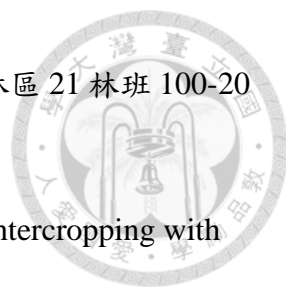


表 11. 國立臺灣大學生物資源暨農學院實驗林管理處內茅埔營林區 21 林班 100-20 號造林地 2013 年與烏心石間作所需栽培人力及資材成本

Table 11. The cost of manpower and agricultural materials of crops intercropping with *Michelia compressa* in No. 100-20 afforested land, 21 Forest Compartment, Neimaopu, the Experimental forest, National Taiwan University in 2013.

項目 作物 名稱	*人力成 本	資材					總花費 (NT\$·ha ⁻¹)
		肥料	苗木	苗木育 苗培養 土	有機農 藥	雜草抑 制劑及 抑制釘	
糯米團	480,000	115,200	0	38,933	9,800	85,531	729,464
明日葉	480,000	115,200	34,133	38,933	9,800	85,531	763,597
番杏	480,000	115,200	0	38,933	9,800	85,531	729,464
過溝菜 蕨	480,000	115,200	157,200	0	9,800	85,531	847,731
紅鳳菜	480,000	115,200	0	38,933	9,800	85,531	729,464
甘藷葉	480,000	115,200	0	38,933	9,800	85,531	729,464
臺灣藜	480,000	115,200	0	38,933	9,800	85,531	729,464
山蘇	480,000	115,200	192,000	0	9,800	85,531	882,531
薄荷	480,000	115,200	0	38,933	9,800	85,531	729,464
白鶴靈 芝	480,000	115,200	0	38,933	9,800	85,531	729,464
九層塔	480,000	115,200	0	38,933	9,800	85,531	729,464
魚腥草	480,000	115,200	0	38,933	9,800	85,531	729,464

*2013 年 5 月至 2014 年 3 月間各作物之平均人力成本。

表 12. 國立臺灣大學生物資源暨農學院實驗林管理處內茅埔營林區 21 林班 100-20 號造林地 2013 年與烏心石間作栽培收益、成本及淨利潤

Table 12. The incomes, costs and net benefits of crops intercropping with *Michelia compressa* in No. 100-20 afforested land, 21 Forest Compartment, Neimaopu, the Experimental forest, National Taiwan University in 2013.

作物名稱	收益 (NT\$·ha ⁻¹)	成本(NT\$·ha ⁻¹)	淨利 (NT\$·ha ⁻¹)
糯米團	1,256,147	729,464	526,683
明日葉	843,927	763,597	80,330
番杏	720,131	729,464	-9,333
過溝菜蕨	330,979	847,731	-516,752
紅鳳菜	336,232	729,464	-393,232
甘藷葉	326,069	729,464	-403,395
臺灣藜	265,479	729,464	-463,985
山蘇	228,274	882,531	-654,257
薄荷	131,187	729,464	-598,277
白鶴靈芝	131,409	729,464	-598,055
九層塔	96,507	729,464	-632,957
魚腥草	29,371	729,464	-700,093

*2013 年 5 月至 2014 年 3 月間各作物之收益、成本及淨利。

表 13. 國立臺灣大學生物資源暨農學院農業試驗場 2013 年 11 月採收間作與非間作物之食用品質

Table 13. Eating qualities of crops intercropping with *Michelia compressa* or not in Nov 2013 at the Experimental Farm, National Taiwan University.

作物名稱	處理	絕對含水量 (%)	葉片厚度 (0.01m m)	可溶性糖 (mg·g ⁻¹ FW)	可溶性蛋白 (mg·g ⁻¹ FW)	可溶性固形物 (°brix)	纖維素 (mg·g ⁻¹ FW)	硝酸鹽 (mg·g ⁻¹ FW)
甘藷葉	間作	86 a	34.50a	6.22a	9.14 a	7.33a	23.17a	0.83 a
	純蔬菜	86 a	34.69a	5.82a	8.76 a	7.02a	23.76a	0.83 a
紅鳳菜	間作	89 a	53.00a	6.34a	10.55a	4.60a	16.24a	1.48 a
	純蔬菜	89 a	52.06a	6.90a	8.62a	4.43a	16.04a	1.59 a
九層塔	間作	82 a	42.92a	5.89a	12.07a	7.58a	20.11a	1.47 a
	純蔬菜	83 a	41.15a	5.07a	11.64a	7.25a	22.68a	1.29 a
過溝菜蕨	間作	86 a	46.50a	2.82a	13.74a	4.96a	16.24a	1.13 a
	純蔬菜	85 a	47.17a	3.17a	14.25a	4.79a	16.04a	1.24 a
糯米團	間作	87 a	42.94a	9.39a	13.17a	5.32a	24.62a	2.26 a
	純蔬菜	86 a	43.92a	8.75a	12.68a	4.77a	23.81a	2.59 a
白鶴靈芝	間作	79 a	46.50a	11.66a	15.06a	12.14a	30.18a	1.57 a
	純蔬菜	78 a	48.25a	10.93a	14.47a	11.37a	29.56a	1.50 a

*Means within column within crop followed by the same letters are not significantly different by least significant difference (LSD) test at P=0.05 level.

表 14. 國立臺灣大學生物資源暨農學院農業試驗場 2013 年 11 月採收間作與非間作物之抗氧化能力

Table 14. Antioxidant capacities of crops intercropping with *Michelia compressa* or not in Nov 2013 at the Experimental Farm, National Taiwan University.

作物名稱	處理	維生素 C (mg·g ⁻¹ FW)	胡蘿蔔素 (μg·g ⁻¹ FW)	總酚 (mg·g ⁻¹ FW)	總類黃銅 (μg·g ⁻¹ FW)	鐵還原抗 氧化能力 (mg·g ⁻¹ FW)
甘藷葉	間作	2.44 a	83.36 a	0.89 a	123.5 a	1.49 a
	純蔬菜	2.17 a	89.90 a	0.79 a	104.2 a	1.06 a
紅鳳菜	間作	1.80 a	80.11 a	0.36 a	147.0 a	0.35 a
	純蔬菜	1.50 a	77.50 a	0.36 a	137.4 a	0.29 a
九層塔	間作	2.90 a	122.16 a	1.64 a	116.2 a	3.89 a
	純蔬菜	2.69 a	114.61 a	1.50 a	124.1 a	3.49 a
過溝菜蕨	間作	1.37 a	68.52 a	1.20 a	166.7 a	1.50 a
	純蔬菜	1.41 a	82.96 a	1.25 a	157.7 a	2.07 a
糯米團	間作	1.96 a	127.18 a	2.27 a	480.9 a	5.47 a
	純蔬菜	2.00 a	134.67 a	2.24 a	444.7 a	5.91 a
白鶴靈芝	間作	3.80 a	192.19 a	3.32 a	967.7 a	14.89 a
	純蔬菜	4.63 a	214.13 a	3.45 a	1060.4 a	16.61 a

*Means within column within crop followed by the same letters are not significantly different by least significant difference (LSD) test at P=0.05 level.

表 15. 國立臺灣大學生物資源暨農學院農業試驗場 2013 年 11 月採收間作與非間作作物之生理指標

Table 15. Physiological indicators of crops intercropping with *Michelia compressa* or not in Nov 2013 at the Experimental Farm, National Taiwan University.

作物名稱	處理	葉綠素計 讀值	總葉綠素 ($\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$ FW)	葉綠素 a/b	花青素 ($(A_{535}-A_{650})\cdot\text{g}^{-1}$ FW)	Pi ($\text{nmol}\cdot\text{mg}^{-1}$ FW)
甘藷葉	間作	30.86 a	0.81 a	2.68 a	0.15 a	7.74 a
	純蔬菜	31.71 a	0.91 a	2.50 a	0.15 a	7.01 a
紅鳳菜	間作	49.68 a	0.87 a	2.28 a	2.77 a	2.71 a
	純蔬菜	48.53 a	0.83 a	2.36 a	2.77 a	2.64 a
九層塔	間作	41.38 a	0.52 a	2.25 a	0.15 a	15.13 a
	純蔬菜	40.56 a	0.98 a	2.63 a	0.16 a	7.71 a
過溝菜蕨	間作	41.38 a	0.52 a	2.25 a	0.15 a	15.13 a
	純蔬菜	41.89 a	0.59 a	2.22 a	0.20 a	14.71 a
糯米團	間作	35.47 a	1.10 a	2.87 a	0.45 a	10.21 a
	純蔬菜	35.45 a	1.16 a	2.89 a	0.41 a	9.81 a
白鶴靈芝	間作	46.64 a	1.43 a	2.22 a	2.31 a	10.67 a
	純蔬菜	46.46 a	1.37 a	2.29 a	2.37 a	9.25 a

*Means within column within crop followed by the same letters are not significantly different by least significant difference (LSD) test at P=0.05 level.

表 16. 國立臺灣大學生物資源暨農學院農業試驗場 2013 年 11 月採收間作與非間作作物之逆境指標

Table 16. Stress indicators of crops intercropping with *Michelia compressa* or not in Nov2013 at the Experimental Farm, National Taiwan University.

作物名稱	處理	Fv/fm	NDVI	丙二醛 (nmol·g ⁻¹ FW)	相對水分含量 (%)	H ₂ O ₂ (μmol·g ⁻¹ FW)	Proline (μg·g ⁻¹ FW)
甘藷葉	間作	0.83 a	0.74 a	44.31a	91 a	69.42a	21.16 a
	純蔬菜	0.82 a	0.71 a	24.62a	93 a	92.46a	6.08 a
紅鳳菜	間作	0.83 a	0.74 a	44.31a	91 a	69.42a	21.16 a
	純蔬菜	0.82 a	0.75 a	41.31a	93 a	73.05a	19.99 a
九層塔	間作	0.83 a	0.68 a	22.21a	89 a	95.81a	6.47 a
	純蔬菜	0.82 a	0.69 a	24.44a	90 a	89.56a	7.37 a
過溝菜 蕨	間作	0.79 a	0.70 a	119.92a	89 a	58.72a	5.05 a
	純蔬菜	0.80 a	0.70 a	106.37a	88 a	63.47a	4.82 a
糯米團	間作	0.81 a	0.70 a	49.26a	92 a	65.84a	27.38 a
	純蔬菜	0.80 a	0.70 a	52.93a	92 a	73.74a	24.36 a
白鶴靈 芝	間作	0.76 a	0.72 a	64.16a	88 a	280.36a	69.66 a
	純蔬菜	0.77 a	0.72 a	64.41a	87 a	305.09a	71.36 a

*Means within column within crop followed by the same letters are not significantly different by least significant difference (LSD) test at P=0.05 level.

表 17. 國立臺灣大學生物資源暨農學院農業試驗場 2014 年 1 月採收間作與非間作作物之食用品質

Table 17. Eating qualities of crops intercropping with *Michelia compressa* or not in Jan 2014 at the Experimental Farm, National Taiwan University.

作物名稱	處理	絕對含水量(%)	葉片厚度 (0.01m m)	可溶性糖 (mg·g ⁻¹ FW)	可溶性蛋白 (mg·g ⁻¹ FW)	可溶性固形物 (°brix)	纖維素 (mg·g ⁻¹ FW)	硝酸鹽 (mg·g ⁻¹ FW)
甘藷葉	間作	88 a	31.58a	4.12 a	6.58a	4.82a	20.57a	1.24 a
	純蔬菜	87 a	31.33a	3.84 a	7.93a	4.07a	22.73a	1.37 a
紅鳳菜	間作	84 a	54.33a	21.92a	6.17a	4.59a	11.95a	1.44 a
	純蔬菜	85 a	54.33a	22.45a	5.50a	4.89a	10.48a	1.59 a
九層塔	間作	85 a	45.83a	7.66a	4.39a	6.41a	17.41a	1.09 a
	純蔬菜	84 a	45.92a	6.91a	4.68a	6.47a	16.90a	1.27 a
過溝菜蕨	間作	84 a	46.50a	7.17a	3.12a	6.18a	16.67a	0.83 a
	純蔬菜	83 a	47.17a	7.90a	3.73a	6.31a	17.48a	0.79 a
糯米團	間作	83 a	39.41a	6.49a	5.86a	5.36a	23.96a	2.45 a
	純蔬菜	84 a	41.75a	6.47a	6.40a	5.80a	26.38a	2.55 a
白鶴靈芝	間作	77 a	44.17a	8.62a	10.37a	11.61a	31.61a	2.56 a
	純蔬菜	78 a	43.75a	8.09a	11.02a	11.36a	31.43a	2.75 a

*Means within column within crop followed by the same letters are not significantly different by least significant difference (LSD) test at P=0.05 level.

表 18. 國立臺灣大學生物資源暨農學院農業試驗場 2014 年 1 月採收間作與非間作物之抗氧化能力

Table 18. Antioxidant capacities of crops intercropping with *Michelia compressa* or not in Jan 2014 at the Experimental Farm, National Taiwan University.

作物名稱	處理	維生素 C (mg·g ⁻¹ FW)	胡蘿蔔素 (μg·g ⁻¹ FW)	總酚 (mg·g ⁻¹ FW)	總類黃 銅 (μg·g ⁻¹ FW)	鐵還原抗 氧化能力 (mg·g ⁻¹ FW)
甘藷葉	間作	2.01 a	135.81 a	0.99 a	76.50a	1.36 a
	純蔬菜	1.82 a	131.07 a	0.83 a	75.22a	1.48 a
紅鳳菜	間作	1.82 a	110.49 a	0.37 a	25.91a	0.55 a
	純蔬菜	1.37 a	111.85 a	0.48 a	31.85a	0.57 a
九層塔	間作	2.93 a	129.62 a	1.43 a	34.00a	4.13 a
	純蔬菜	2.41 a	120.13 a	1.32 a	34.64a	3.89 a
過溝菜蕨	間作	1.23 a	116.82 a	0.84 a	89.26a	1.08 a
	純蔬菜	1.46 a	111.68 a	0.72 a	97.50a	1.03 a
糯米團	間作	1.71 a	88.02 a	0.99 a	132.62a	2.00 a
	純蔬菜	1.45 a	88.89 a	1.00 a	116.07a	1.94 a
白鶴靈芝	間作	3.11 a	164.45 a	2.90 a	405.85a	18.09 a
	純蔬菜	3.02 a	168.43 a	2.52 a	405.70a	22.37 a

*Means within column within crop followed by the same letters are not significantly different by least significant difference (LSD) test at P=0.05 level.



表 19.國立臺灣大學生物資源暨農學院農業試驗場 2014 年 1 月採收間作與非間作物之生理指標

Table 19. Physiological indicators of crops intercropping with *Michelia compressa* or not in Jan 2014 at the Experimental Farm, National Taiwan University.

作物名稱	處理	葉綠素計 讀值	總葉綠素 (mg·g ⁻¹ FW)	葉綠素 a/b	花青素 ((A ₅₃₅ -A ₆₅₀)·g ⁻¹ FW)	Pi (nmol·mg ⁻¹ FW)
甘藷葉	純蔬菜	26.69 a	0.73 a	3.06 a	0.00 a	4.43 a
	間作	27.23 a	0.71 a	3.08 a	0.00 a	5.13 a
紅鳳菜	純蔬菜	55.97 a	0.78 a	2.50 a	2.72 a	2.67 a
	間作	55.00 a	0.80 a	2.44 a	1.99 a	3.69 a
九層塔	純蔬菜	39.38 a	0.66 a	2.68 a	0.59 a	7.71 a
	間作	40.47 a	0.69 a	2.86 a	0.56 a	7.88 a
過溝菜蕨	純蔬菜	37.79 a	0.76 a	2.07 a	0.03 a	14.46 a
	間作	39.84 a	0.81 a	2.07 a	0.05 a	14.67 a
糯米團	純蔬菜	41.07 a	0.87 a	2.53 a	0.51 a	5.12 a
	間作	41.17 a	0.94 a	2.53 a	0.47 a	5.29 a
白鶴靈芝	純蔬菜	34.85 a	0.91 a	2.35 a	1.32 a	21.99 a
	間作	36.23 a	0.90 a	2.38 a	1.27 a	17.58 a

*Means within column within crop followed by the same letters are not significantly different by least significant difference (LSD) test at P=0.05 level.

表 20. 國立臺灣大學生物資源暨農學院農業試驗場 2014 年 1 月採收間作與非間作物之逆境指標

Table 20. Stress indicators of crops intercropping with *Michelia compressa* or not in Jan 2014 at the Experimental Farm, National Taiwan University.

作物名稱	處理	Fv/fm	NDVI	丙二醛 (nmol·g ⁻¹ FW)	相對水分含量 (%)	H ₂ O ₂ (μmol·g ⁻¹ FW)	Proline (μg·g ⁻¹ FW)
甘藷葉	間作	0.83 a	0.65 a	19.48a	92 a	17.71 a	58.46a
	純蔬菜	0.84 a	0.67 a	19.60a	93 a	17.09 a	46.36a
紅鳳菜	間作	0.84 a	0.73 a	42.03a	91 a	25.81 a	21.37a
	純蔬菜	0.84 a	0.72 a	39.76a	93 a	20.67 a	22.95a
九層塔	間作	0.84 a	0.62 a	23.29a	94 a	9.03 a	48.33a
	純蔬菜	0.85 a	0.61 a	21.38a	94 a	9.37 a	42.21a
過溝菜 蕨	間作	0.79 a	0.64 a	127.62a	82 a	12.74 a	110.21a
	純蔬菜	0.79 a	0.62 a	130.19a	82 a	13.41 a	120.61a
糯米團	間作	0.84 a	0.69 a	40.37a	92 a	31.60 a	31.94a
	純蔬菜	0.82 a	0.69 a	41.69a	91 a	31.31 a	36.87a
白鶴靈 芝	間作	0.79 a	0.65 a	43.35a	91 a	86.25 a	203.97a
	純蔬菜	0.80 a	0.66 a	47.03a	91 a	83.55 a	228.50a

*Means within column within crop followed by the same letters are not significantly different by least significant difference (LSD) test at P=0.05 level.

表 21. 國立臺灣大學生物資源暨農學院農業試驗場 2014 年 3 月採收間作與非間作物之食用品質

Table 21. Eating qualities of crops intercropping with *Michelia compressa* or not in Mar 2014 at the Experimental Farm, National Taiwan University.

作物名稱	處理	絕對含水量(%)	葉片厚度(0.01m m)	可溶性糖(mg·g ⁻¹ FW)	可溶性蛋白(mg·g ⁻¹ FW)	可溶性固形物(°brix)	纖維素(mg·g ⁻¹ FW)	硝酸鹽(mg·g ⁻¹ FW)
甘藷葉	間作	85 a	29.38a	4.96 a	10.61a	5.66a	25.13a	0.59 a
	純蔬菜	85 a	29.44a	4.76 a	9.87a	5.94a	25.86a	0.59 a
紅鳳菜	間作	86 a	43.00a	13.23a	7.11a	5.60a	18.30a	0.90 a
	純蔬菜	86 a	42.71a	12.62a	6.81a	5.74a	17.03a	0.93 a
九層塔	間作	84 a	41.33a	7.82a	6.81a	7.18a	22.37a	0.90 a
	純蔬菜	84 a	37.94a	8.02a	5.99a	6.86a	21.76a	0.86 a
過溝菜蕨	間作	83 a	37.67a	10.60a	8.92a	5.92a	27.50a	0.57 a
	純蔬菜	83 a	37.44a	10.52a	8.68a	5.89a	28.26a	0.52 a
糯米團	間作	82 a	43.67a	11.02a	10.14a	5.64a	33.95a	0.85 a
	純蔬菜	81 a	33.67a	10.44a	10.05a	5.70a	32.70a	0.81 a
白鶴靈芝	間作	78 a	43.04a	11.63a	14.26a	10.06a	36.67a	0.99 a
	純蔬菜	77 a	42.50a	11.20a	13.94a	9.13a	40.04a	1.00 a

*Means within column within crop followed by the same letters are not significantly different by least significant difference (LSD) test at P=0.05 level.

表 22. 國立臺灣大學生物資源暨農學院農業試驗場 2014 年 3 月採收間作與非間作物之抗氧化能力

Table 22. Antioxidant capacities of crops intercropping with *Michelia compressa* or not in Mar 2014 at the Experimental Farm, National Taiwan University.

作物名稱	處理	維生素 C (mg·g ⁻¹ FW)	胡蘿蔔素 (μg·g ⁻¹ FW)	總酚 (mg·g ⁻¹ FW)	總類黃銅 (μg·g ⁻¹ FW)	鐵還原抗 氧化能力 (mg·g ⁻¹ FW)
甘藷葉	間作	1.62 a	156.4 a	3.17 a	362.2 a	4.64 a
	純蔬菜	1.70 a	162.5 a	2.90 a	299.0 a	4.73 a
紅鳳菜	間作	1.24 a	109.2 a	1.48 a	181.9 a	2.05 a
	純蔬菜	1.12 a	116.6 a	1.51 a	196.6 a	1.94 a
九層塔	間作	2.47a	142.9 a	4.30 a	117.7 a	11.29 a
	純蔬菜	2.55 a	126.6 a	4.29 a	105.8 a	10.59 a
過溝菜蕨	間作	1.03 a	120.0 a	2.85 a	368.8 a	1.96 a
	純蔬菜	1.00 a	126.7 a	2.78 a	354.4 a	1.41 a
糯米團	間作	1.30 a	120.5 a	2.78 a	448.5 a	5.01 a
	純蔬菜	1.21 a	136.2 a	2.91 a	447.1 a	5.13 a
白鶴靈芝	間作	5.85 a	202.2 a	6.17 a	1552.2 a	12.19 a
	純蔬菜	5.37 a	197.6 a	6.18 a	1523.0 a	11.72 a

*Means within column within crop followed by the same letters are not significantly different by least significant difference (LSD) test at P=0.05 level.

表 23. 國立臺灣大學生物資源暨農學院農業試驗場 2014 年 3 月採收間作與非間作物之生理指標

Table 23. Physiological indicators of crops intercropping with *Michelia compressa* or not in Mar 2014 at the Experimental Farm, National Taiwan University.

作物名稱	處理	葉綠素計 讀值	總葉綠素 (mg·g ⁻¹ FW)	葉綠素 a/b	花青素 ((A ₅₃₅ -A ₆₅₀)·g ⁻¹ FW)	Pi (nmol·mg ⁻¹ FW)
甘藷葉	間作	28.47 a	1.60 a	2.26 a	0.14 a	5.65 a
	純蔬菜	27.65 a	1.59 a	2.31 a	0.13 a	5.46 a
紅鳳菜	間作	51.80 a	1.16 a	2.03 a	1.83 a	2.95 a
	純蔬菜	51.64 a	1.14 a	2.04 a	1.96 a	2.40 a
九層塔	間作	40.16 a	1.15 a	2.41 a	0.35 a	10.81 a
	純蔬菜	38.83 a	1.15 a	2.11 a	0.19 a	10.04 a
過溝菜蕨	間作	36.94 a	1.08 a	2.09 a	0.10 a	12.10 a
	純蔬菜	35.83 a	1.01 a	2.04 a	0.04 a	12.47 a
糯米團	間作	39.43 a	1.45 a	2.22 a	0.52 a	5.11 a
	純蔬菜	38.16 a	1.39 a	2.33 a	0.45 a	5.40 a
白鶴靈芝	間作	51.42 a	1.43 a	2.03 a	1.01 a	7.34 a
	純蔬菜	52.54 a	1.35 a	2.02 a	1.36 a	7.37 a

*Means within column within crop followed by the same letters are not significantly different by least significant difference (LSD) test at P=0.05 level.

表 24. 國立臺灣大學生物資源暨農學院農業試驗場 2014 年 3 月採收間作與非間作物之逆境指標

Table 24. Stress indicators of crops intercropping with *Michelia compressa* or not in March 2014 at the Experimental Farm, National Taiwan University.

作物名稱	處理	Fv/fm	NDVI	丙二醛 (nmol·g ⁻¹ FW)	相對水分含量 (%)	H ₂ O ₂ (μmol·g ⁻¹ FW)	Proline (μg·g ⁻¹ FW)
甘藷葉	間作	0.83 a	0.69 a	57.17a	89 a	8.29 a	154.19a
	純蔬菜	0.83 a	0.70 a	58.63a	88 a	8.16 a	165.72a
紅鳳菜	間作	0.83 a	0.73 a	69.49a	89 a	18.81 a	74.45a
	純蔬菜	0.84 a	0.73 a	70.45a	91 a	20.91 a	72.53a
九層塔	間作	0.83 a	0.64 a	41.47a	96 a	6.35 a	115.80a
	純蔬菜	0.83 a	0.63 a	44.59a	94 a	5.07 a	117.23a
過溝菜 蕨	間作	0.81 a	0.65a	240.87a	80 a	12.75 a	177.25a
	純蔬菜	0.80 a	0.65 a	250.96a	78 a	12.87 a	182.18a
糯米團	間作	0.82 a	0.73 a	68.36a	87 a	37.20 a	157.23a
	純蔬菜	0.81 a	0.72 a	74.43a	87 a	37.14 a	155.16a
白鶴靈 芝	間作	0.74 a	0.66 a	104.15a	90 a	79.86 a	229.66a
	純蔬菜	0.75 a	0.66 a	98.51a	87 a	76.90 a	236.16a

*Means within column within crop followed by the same letters are not significantly different by least significant difference (LSD) test at P=0.05 level.

表 25. 國立臺灣大學生物資源暨農學院農業試驗場 2014 年 5 月採收間作與非間作物之食用品質

Table 25. Eating qualities of crops intercropping with *Michelia compressa* or not in May 2014 at the Experimental Farm, National Taiwan University.

作物名稱	處理	絕對含水量(%)	葉片厚度(0.01m m)	可溶性糖(mg·g ⁻¹ FW)	可溶性蛋白(mg·g ⁻¹ FW)	可溶性固形物(°brix)	纖維素(mg·g ⁻¹ FW)	硝酸鹽(mg·g ⁻¹ FW)
甘藷葉	間作	86 a	34.42a	5.35a	9.28 a	6.85a	21.48a	0.66 a
	純蔬菜	86 a	35.17a	6.06a	10.44a	6.62a	20.87a	0.66 a
紅鳳菜	間作	89 a	53.83a	10.30a	5.68a	6.77a	11.16a	0.79 a
	純蔬菜	89 a	52.25a	9.19a	6.67a	6.61a	10.60a	0.97 a
九層塔	間作	83 a	39.67a	10.81a	7.08a	7.78a	19.80a	0.95 a
	純蔬菜	84 a	41.11a	10.16a	6.76a	7.12a	23.44a	0.99 a
過溝菜蕨	間作	82 a	38.75a	15.79a	10.41a	7.62a	22.86a	0.85 a
	純蔬菜	82 a	39.42a	15.28a	10.17a	8.11a	25.37a	1.04 a
糯米團	間作	83 a	40.58a	10.24a	5.82a	6.56a	27.12a	0.81 a
	純蔬菜	82 a	40.11a	11.05a	5.71a	6.36a	26.38a	0.76 a
白鶴靈芝	間作	79 a	44.89a	13.03a	13.98a	9.34a	32.61a	1.11 a
	純蔬菜	78 a	44.17a	12.58a	12.03a	9.09a	31.64a	1.02 a

*Means within column within crop followed by the same letters are not significantly different by least significant difference (LSD) test at P=0.05 level.

表 26. 國立臺灣大學生物資源暨農學院農業試驗場 2014 年 5 月採收間作與非間作物之抗氧化能力

Table 26. Antioxidant capacities of crops intercropping with *Michelia compressa* or not in May 2014 at the Experimental Farm, National Taiwan University.

作物名稱	處理	維生素 C (mg·g ⁻¹ FW)	胡蘿蔔 素(μg·g ⁻¹ FW)	總酚 (mg·g ⁻¹ FW)	總類黃銅 (μg·g ⁻¹ FW)	鐵還原抗 氧化能力 (mg·g ⁻¹ FW)
甘藷葉	間作	1.79 a	147.38 a	3.10 a	179.8 a	5.51 a
	純蔬菜	1.68 a	133.47 a	3.52 a	216.2 a	5.62 a
紅鳳菜	間作	1.30 a	79.91 a	1.37 a	160.5 a	3.11 a
	純蔬菜	1.36 a	90.46 a	1.41 a	162.3 a	3.66 a
九層塔	間作	2.11 a	146.92 a	2.99 a	107.4 a	8.25 a
	純蔬菜	2.08 a	137.61 a	2.89 a	107.6 a	8.19 a
過溝菜蕨	間作	0.77 a	133.04 a	3.56 a	354.6 a	4.23 a
	純蔬菜	0.75 a	125.10 a	3.85 a	428.2 a	4.80 a
糯米團	間作	1.97 a	85.44 a	3.22 a	533.7 a	8.45 a
	純蔬菜	2.03 a	88.82 a	3.20 a	481.9 a	8.72 a
白鶴靈芝	間作	4.95 a	157.85 a	6.44 a	1176.8 a	21.67 a
	純蔬菜	4.91 a	159.39 a	6.34 a	1210.3 a	23.22 a

*Means within column within crop followed by the same letters are not significantly different by least significant difference (LSD) test at P=0.05 level.

表 27. 國立臺灣大學生物資源暨農學院農業試驗場 2014 年 5 月採收間作與非間作物之生理指標

Table 27. Physiological indicators of crops intercropping with *Michelia compressa* or not in May 2014 at the Experimental Farm, National Taiwan University.

作物名稱	處理	葉綠素計 讀值	總葉綠素 ($\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$ FW)	葉綠素 a/b	花青素 ($(A_{535}-A_{650})\cdot\text{g}^{-1}$ FW)	Pi ($\text{nmol}\cdot\text{mg}^{-1}$ FW)
甘藷葉	間作	31.66 a	1.03 a	2.56 a	0.13 a	6.45 a
	純蔬菜	30.27 a	1.00 a	2.50 a	0.11 a	6.57 a
紅鳳菜	間作	50.16 a	0.87 a	2.15 a	1.61 a	3.61 a
	純蔬菜	49.42 a	1.00 a	2.14 a	1.67 a	2.98 a
九層塔	間作	43.68 a	1.23 a	2.63 a	0.23 a	11.45 a
	純蔬菜	45.41 a	1.16 a	2.40 a	0.17 a	10.41 a
過溝菜蕨	間作	38.43 a	0.95 a	2.01 a	0.19 a	15.97 a
	純蔬菜	37.09 a	0.85 a	2.03 a	0.24 a	16.01 a
糯米團	間作	35.26 a	1.44 a	2.04 a	0.52 a	7.93 a
	純蔬菜	36.52 a	1.40 a	2.03 a	0.42 a	8.06 a
白鶴靈芝	間作	46.74 a	1.46 a	2.00 a	0.97 a	6.64 a
	純蔬菜	47.70 a	1.40 a	1.94 a	1.01 a	6.78 a

*Means within column within crop followed by the same letters are not significantly different by least significant difference (LSD) test at P=0.05 level.

表 28. 國立臺灣大學生物資源暨農學院農業試驗場 2014 年 5 月採收間作與非間作物之逆境指標

Table 28. Stress indicators of crops intercropping with *Michelia compressa* or not in May 2014 at the Experimental Farm, National Taiwan University.

作物名稱	處理	Fv/fm	NDVI	丙二醛 (nmol·g ⁻¹ FW)	相對水分含量 (%)	H ₂ O ₂ (μmol·g ⁻¹ FW)	Proline (μg·g ⁻¹ FW)
甘藷葉	間作	0.81 a	0.74 a	24.85 a	91 a	3.75 a	175.19a
	純蔬菜	0.81 a	0.75 a	24.71 a	91 a	3.28 a	173.53a
紅鳳菜	間作	0.81 a	0.76 a	58.82 a	95 a	26.63 a	48.69a
	純蔬菜	0.82 a	0.74 a	57.69 a	94 a	27.68 a	49.97a
九層塔	間作	0.80 a	0.70 a	28.03 a	95 a	4.82 a	85.78a
	純蔬菜	0.79 a	0.70 a	29.91 a	95 a	4.42 a	93.57a
過溝菜 蕨	間作	0.78 a	0.69 a	208.12a	78 a	9.01 a	64.38a
	純蔬菜	0.78 a	0.70 a	224.10a	79 a	9.85 a	66.34a
糯米團	間作	0.82 a	0.78 a	72.34 a	95 a	25.16 a	40.23a
	純蔬菜	0.81 a	0.76 a	84.67 a	95 a	22.07 a	46.16a
白鶴靈 芝	間作	0.69 a	0.78 a	101.11a	93 a	151.18a	120.52a
	純蔬菜	0.69 a	0.77 a	105.81a	93 a	133.63a	109.83a

*Means within column within crop followed by the same letters are not significantly different by least significant difference (LSD) test at P=0.05 level.

表 29. 國立臺灣大學生物資源暨農學院農業試驗場 2013 年與烏心石間作所需栽培人力及資材成本

Table 29. The cost of manpower and agricultural materials of crops intercropping with *Michelia compressa* in the Experimental Farm, National Taiwan University in 2013.

項目 作物 名稱	* 人力 成本	資材					總花費 (NT\$·ha ⁻¹)
	肥料	苗木	苗木育 苗培養 土	有機農 藥	雜草抑 制劑及 抑制釘		
糯米團	422,500	149,760	0	38,933	12,740	85,531	611,193
白鶴靈	422,500	149,760	34,133	38,933	12,740	85,531	645,326
芝							
九層塔	422,500	149,760	0	38,933	12,740	85,531	611,193
過溝菜	422,500	149,760	157,200	0	12,740	85,531	729,460
蕨							
紅鳳菜	422,500	149,760	0	38,933	12,740	85,531	611,193
甘藷葉	422,500	149,760	0	38,933	12,740	85,531	611,193

*2013 年 4 月至 2014 年 4 月間各作物之平均人力成本。

表 30. 國立臺灣大學生物資源暨農學院農業試驗場 2013 年與烏心石間作栽培收益、成本及淨利潤

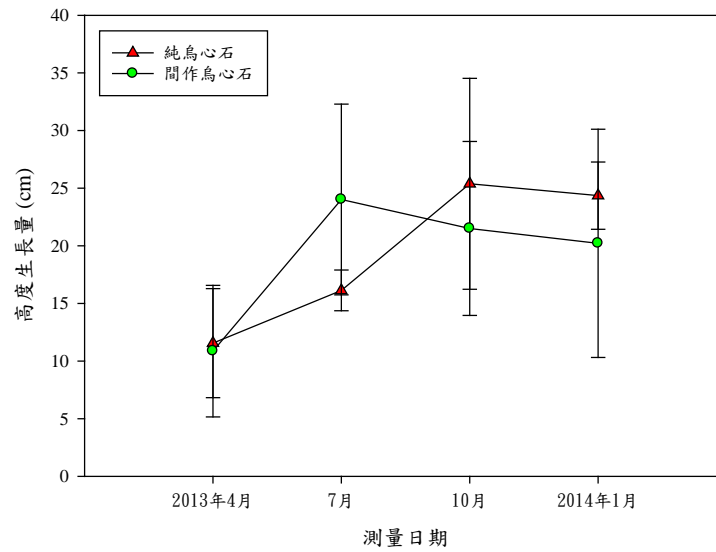
Table 30. The incomes, costs and net benefits of crops intercropping with *Michelia compressa* in the Experimental Farm, National Taiwan University in 2013.

作物名稱	收益 (NT\$·ha ⁻¹)	成本(NT\$·ha ⁻¹)	淨利 (NT\$·ha ⁻¹)
糯米團	2,072,543	611,193	1,461,350
白鶴靈芝	1,701,596	645,326	1,056,270
九層塔	950,048	611,193	338,855
過溝菜蕨	48,372	729,460	-681,088
紅鳳菜	795,588	611,193	184,395
甘藷葉	2,472,940	611,193	1,861,747

*2013 年 4 月至 2014 年 4 月間各作物之收益、成本及淨利。



(a)



(b)

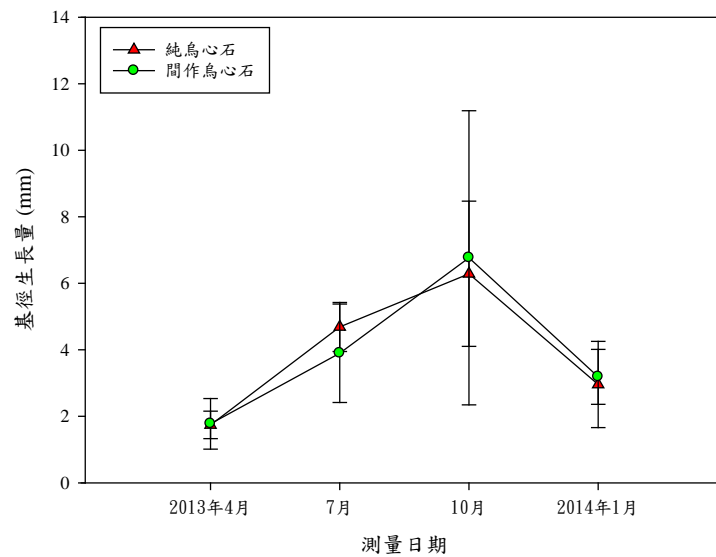
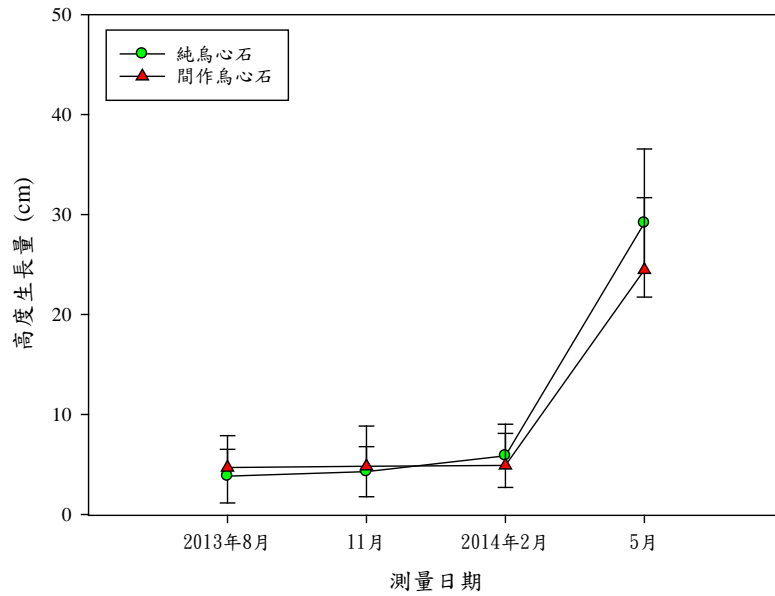


圖 8. 國立臺灣大學生物資源暨農學院實驗林管理處內茅埔營林區 21 林班 100-20 號造林地與作物間作之烏心石(a) 高度、(b) 基徑。

Figure 8. Growth of (a) height, (b) basal diameter of *Michelia compressa* intercropping with crops in No. 100-20 afforested land, 21 Forest Compartment, Neimaopu, the Experimental forest, National Taiwan University.



(a)



(b)

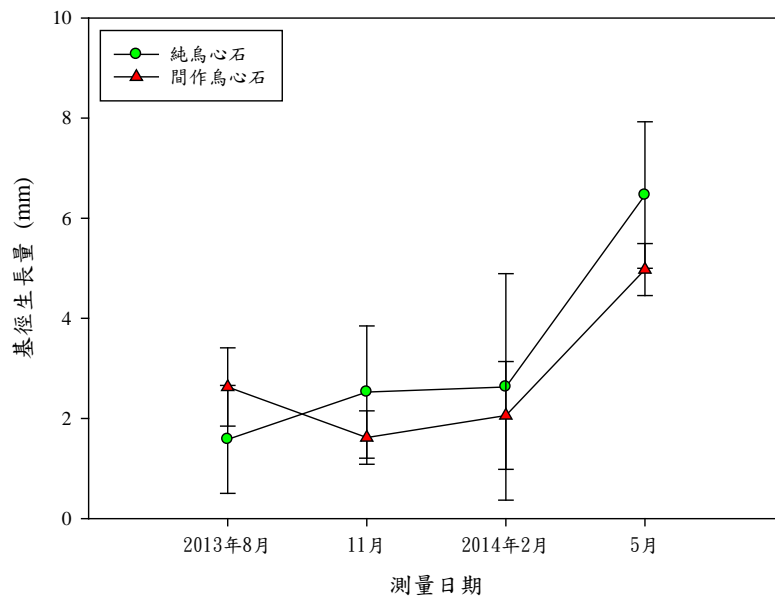


圖 9. 國立臺灣大學生物資源暨農學院農業試驗場與作物間作之烏心石(a) 高度、
(b) 基徑。

Figure 9. Growth of (a) height, (b) basal diameter of *Michelia compressa* intercropping with crops in No. 100-20 afforested land, 21 Forest Compartment, Neimaopu, the Experimental forest, National Taiwan University

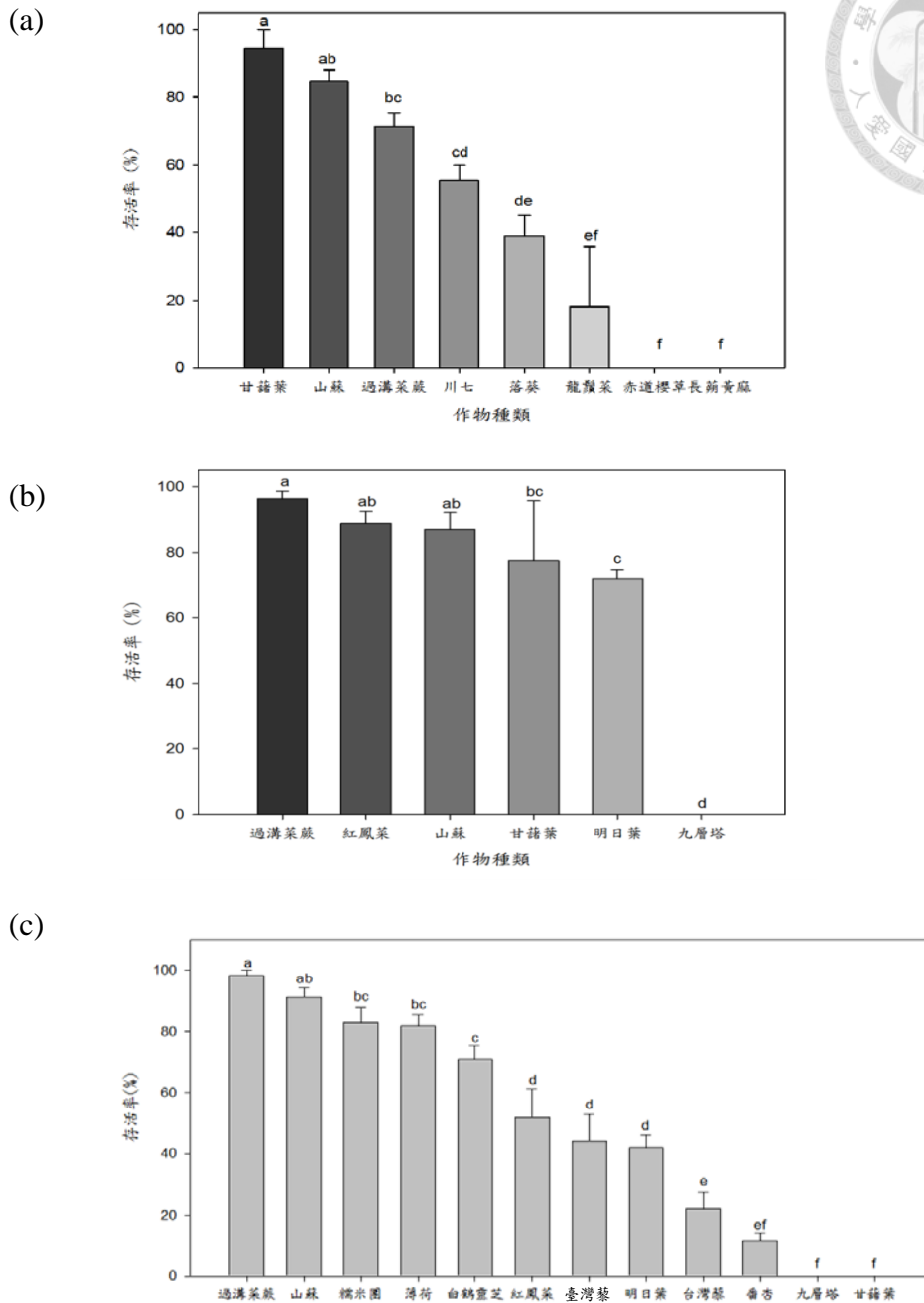
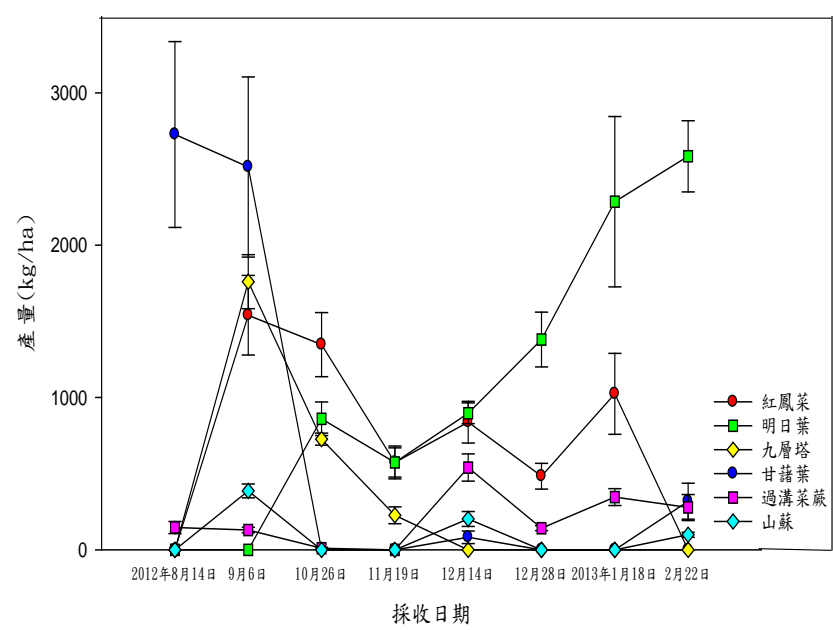


圖 10. 國立臺灣大學生物資源暨農學院實驗林管理處內茅埔營林區 21 林班 100-20 號造林地與烏心石間作作物於(a) 2011 年 (b) 2012 年 (c) 2013 年之度冬存活率。

Figure 10. Winter survival rates of planting crops intercropping with *Michelia compressa* in No. 100-20 afforested land, 21 Forest Compartment, Neimaopu, the Experimental forest, National Taiwan University in (a) 2011, (b) 2012, (c) 2013.



(a)



(b)

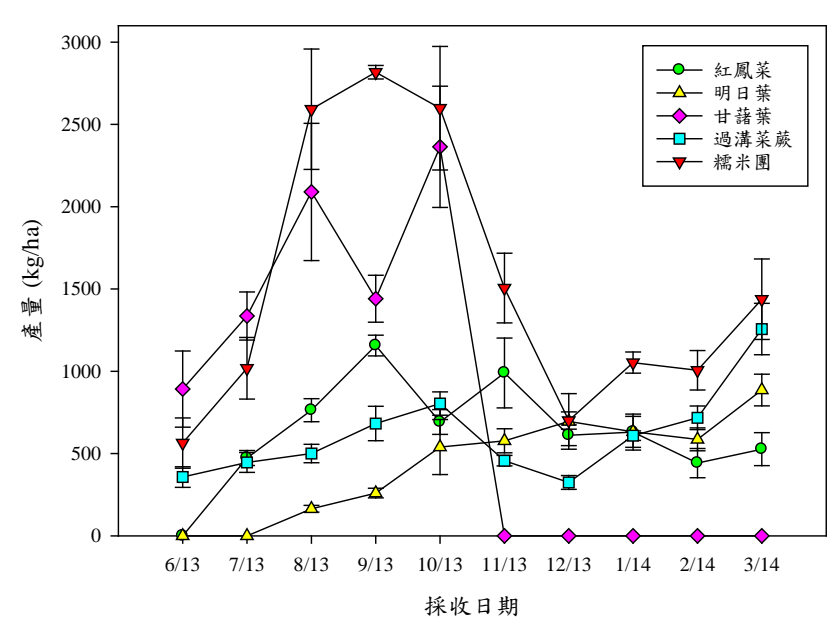
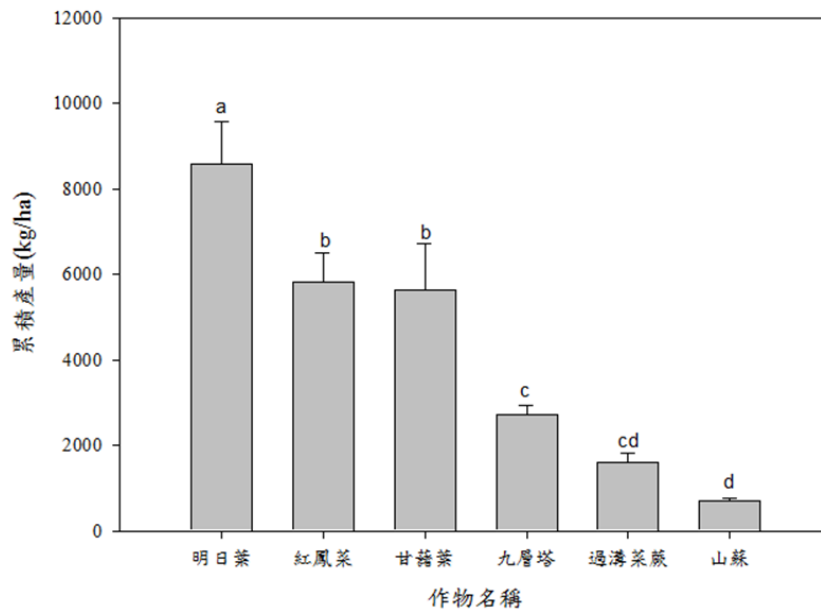


圖 11. 國立臺灣大學生物資源暨農學院實驗林管理處內茅埔營林區 21 林班 100-20 號造林地與烏心石間作作物於(a) 2012 (b) 2013 之單次採收產量。

Figure 11. Yields in each harvest of planting crops intercropping with *Michelia compressa* in No. 100-20 afforested land, 21 Forest Compartment, Neimaopu, the Experimental forest, National Taiwan University in (a) 2012, (b) 2013.



(a)



(b)

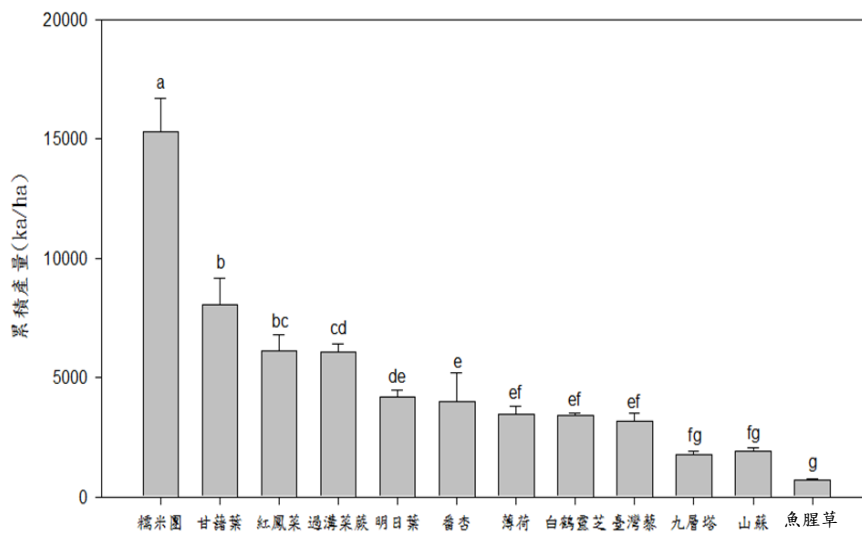


圖 12. 國立臺灣大學生物資源暨農學院實驗林管理處內茅埔營林區 21 林班 100-20 號造林地各作物與烏心石間作於 (a) 2012 (b) 2013 之累積採收產量。

Figure 12. Cumulative yields of crops intercropping with *Michelia compressa* in No. 100-20 afforested land, 21 Forest Compartment, Neimaopu, the Experimental forest, National Taiwan University in (a) 2012, (b) 2013.

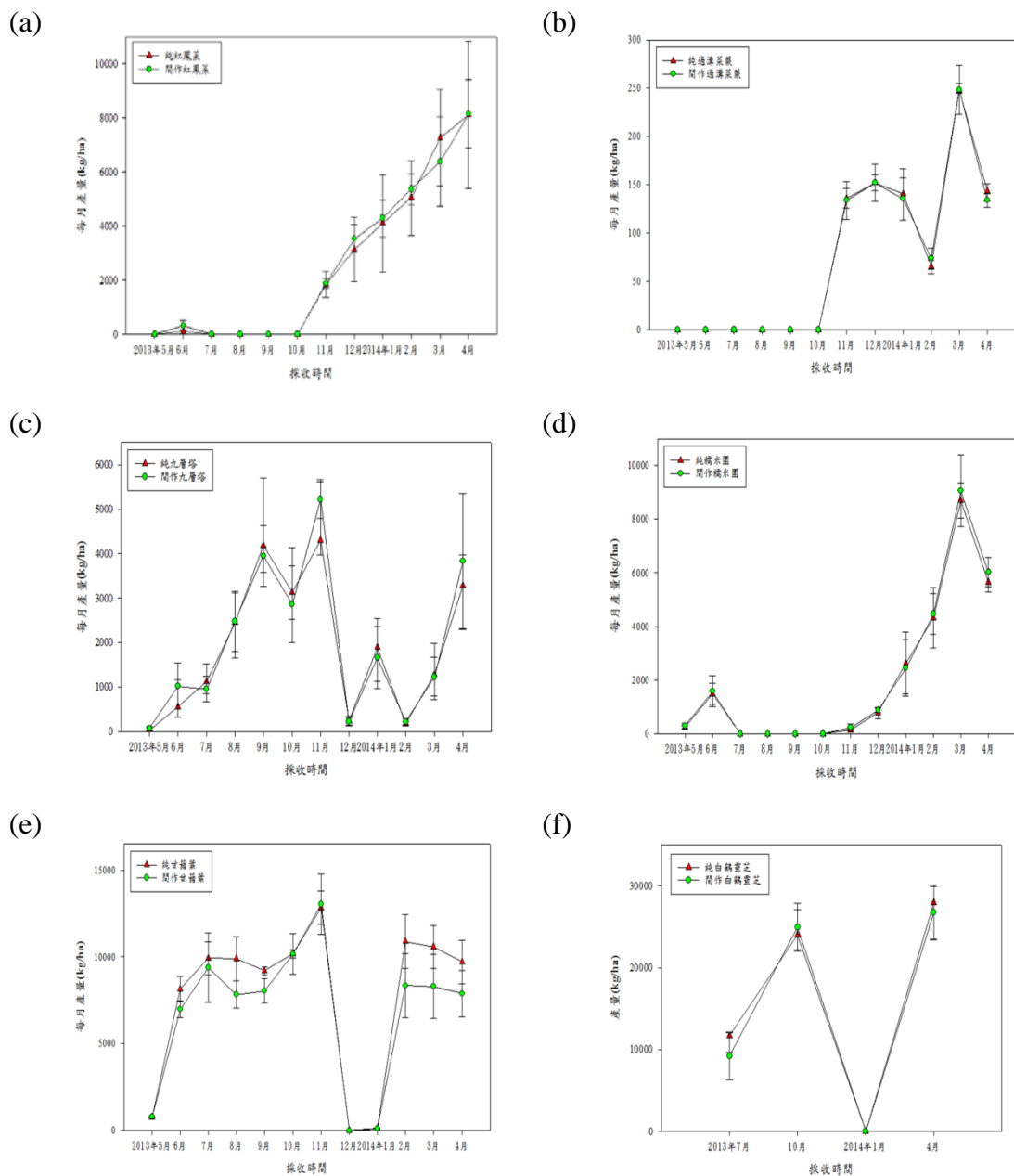
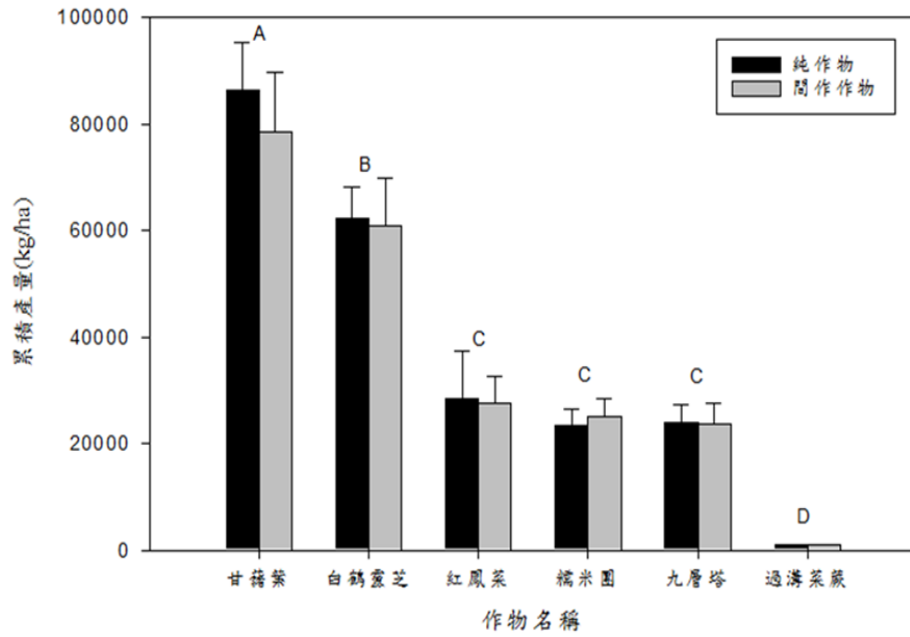


圖 13. 國立臺灣大學生物資源暨農學院農業試驗場與烏心石間作之(a) 紅鳳菜、(b) 過溝菜蕨、(c) 九層塔、(d) 糯米團、(e) 甘藷葉與(f) 白鶴靈芝的單次採收產量。

Figure 13. Yields in each harvest of (a) *Gynura bicolor*、(b) *Anisogonium esculentum*, (c) *Ocimum basilicum*, (d) *Gonostegia hirta*, (e) *Ipomoea batatas*, (f) *Rhinacanthus nasutus* intercropping with *Michelia compressa* in the Experimental Farm, National Taiwan University.



(a)



(b)

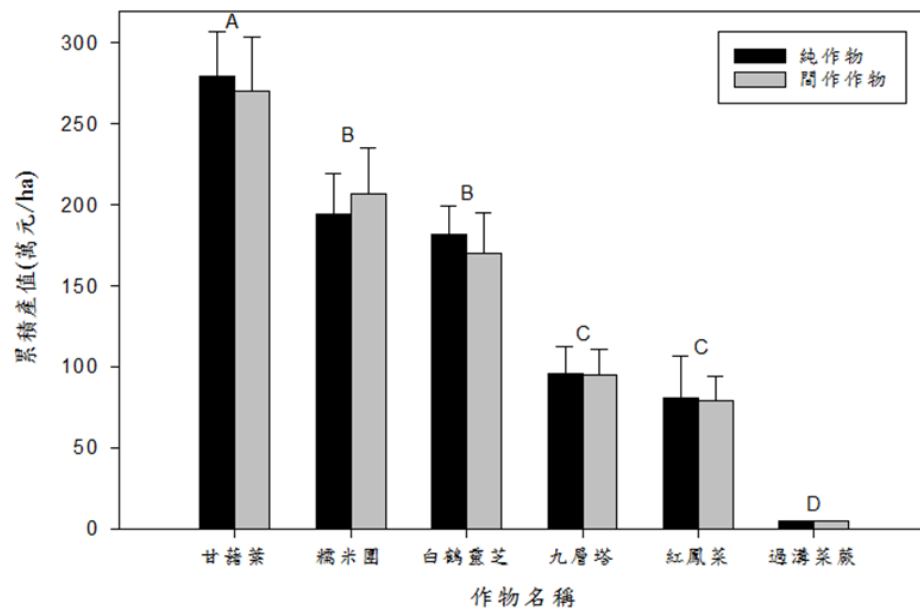
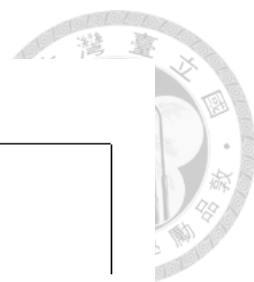
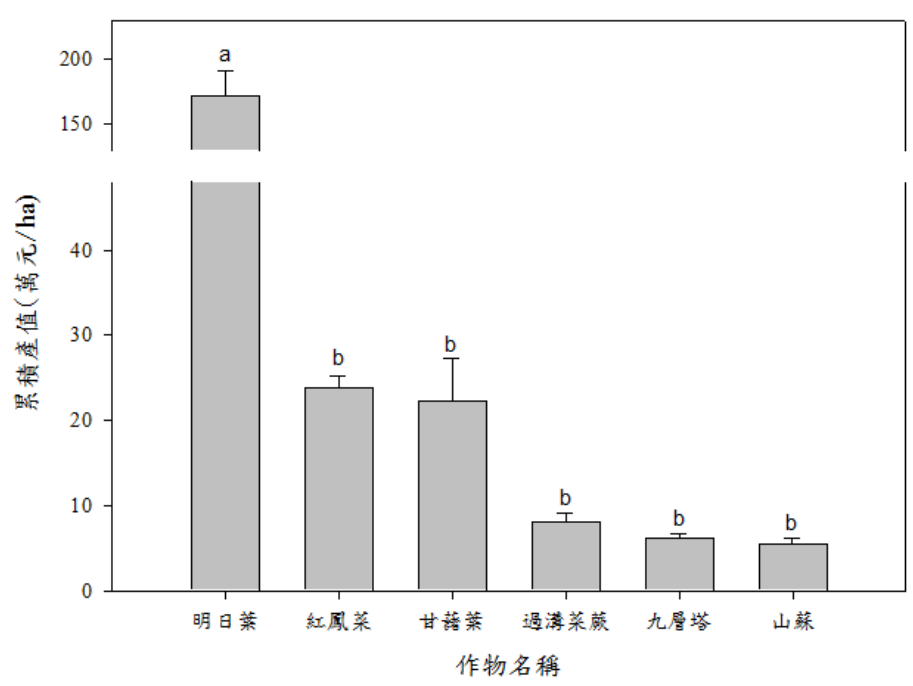


圖 14. 國立臺灣大學生物資源暨農學院農業試驗場與烏心石間作之作物之(a) 累積產量與(b) 累積產值。

Figure 14. (a) Cumulative yields and (b) cumulative economic values of crops intercropping with *Michelia compressa* in the Experimental Farm, National Taiwan University.



(a)



(b)

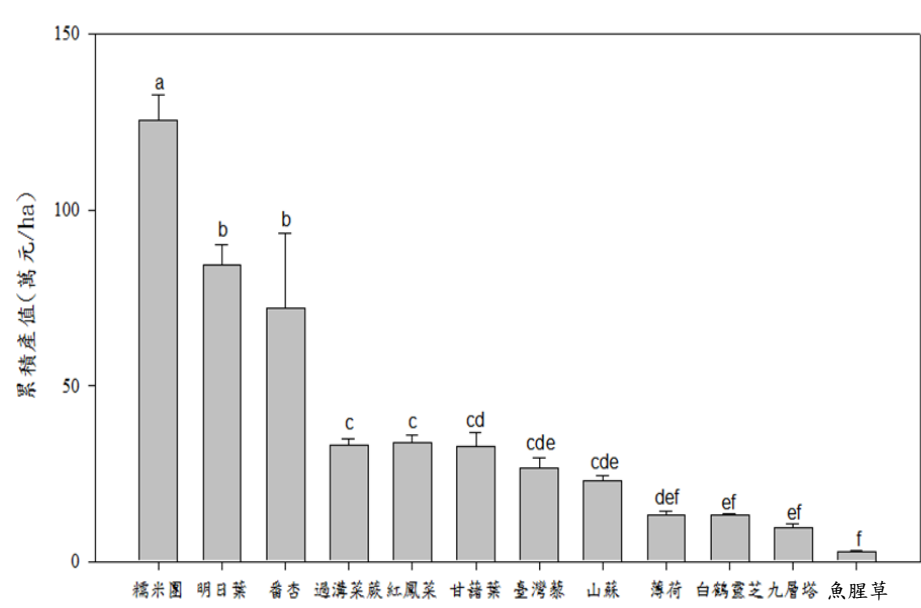


圖 15. 國立臺灣大學生物資源暨農學院實驗林管理處內茅埔營林區 21 林班 100-20 號造林地與烏心石間作於 (a) 2012 (b) 2013 之作物累積採收產值。

Figure 15. Cumulative economic values of planting crops intercropping with *Michelia compressa* in No. 100-20 afforested land, 21 Forest Compartment, Neimaopu, the Experimental forest, National Taiwan University in (a) 2012, (b) 2013.

第五章 討論



一、間作作物對烏心石生長之影響

本試驗結果顯示於二試驗地造林時間作作物，不影響造林烏心石之生長情形(圖 8-9)，於造林初期短暫間作作物為可行之作法。

雖其他案例顯示，間作作物可能影響林木生長，楊樹與農藝作物於未施肥除草的狀況下間作，於間作 3.5 年後，楊樹生長量僅為未間作之 75-83%，認為與地區性之水分限制有關 (Burgess et al., 2005)；另一研究顯示，間作 4 年之楊樹生長量顯著高於未間作之楊樹，與施肥提供氮肥供給有關 (Rivest et al., 2009)，然此試驗結果顯示，本試驗於間作試驗區加以施肥與灌溉對烏心石生長無顯著影響，可能與間作初期林木根系淺較易與作物競爭養分 (Lott et al., 2000b)，使施肥與灌溉之效果降低，或因烏心石生長速度慢，未能即時反應作物與之競爭態勢有關。

二、間作作物對土壤特性之影響

間作試驗區 0-15 cm 表土土壤酸鹼值略低於純林試驗區 (表 1)，且間作後表土 0-15 cm 與 15-30 cm 酸鹼值下降幅度略高於純林試驗區 (表 3)，可能因為植體吸收養分釋放出 H^+ 、正離子吸收利用 [間作試驗區間作後氧化鉀、氧化鈣、氧化鎂濃度下降(表 3)] 作用減緩、有機質分解釋放出有機酸及二氧化碳或硝化作用導致，而這些作用又與根系之分佈有關，本試驗為間作初期，根系集中於土表，因此表土之酸鹼值下降程度較大 (Binkley and Richter, 1987)。

本試驗有機質變化無一致性，且間作與否無顯著差異 (表 3)，雖前人研究顯示沼生櫟 (*Quercus palustris*) 與玉米及大豆間作後 16 年採樣其土壤有機質顯著上升，並改善土質，但土壤有機質非短期間間作即改變之指標 (Udawatta et al., 2009)，於本試驗中有機質比例及土質未有顯著變化，與間作時間短有關。

一般混農林系統之養分限制因子為磷 (van Noordwijk and Ong, 1999)，為林木磷之吸收量大於落葉補充量所致 (Harcombe, 1980)。本試驗間作與否並不顯著影響


磷酞濃度變化，但磷酞濃度因間作而提高 (表 3)，可能與施肥補充植體所需之磷有關，且間作作物大多為葉菜類蔬菜，對磷之需求量相對較低，因此土壤磷酞濃度增加。前人研究經植體分析發現間作白楊樹之植體鎂濃度顯著下降 (Rivest et al., 2009)，與本試驗結果氧化鎂於間作試驗區顯著下降之結果類似 (表 3)，但植體鎂濃度顯著下降並非顯著影響白楊樹生長之主因，而為氮素之缺乏 (Rivest et al., 2009)，雖土壤氧化鎂濃度降低較純烏心石試驗區顯著，間作試驗區烏心石生長不受影響，推測因二試驗區之氧化鎂濃度仍充足所致。

三、實驗林試驗區作物度冬存活率

2011 年赤道櫻草、長蒴黃麻及龍鬚菜度冬存活率低，赤道櫻草為原生於東南亞、南亞之熱帶作物，遇低溫植株黃化生長勢差 (全, 2010)，長蒴黃麻原生於熱帶，以夏季長日照時生長快速，日照變短、夜溫下降時，將轉為生殖生長，無產量 (張, 1997)，龍鬚菜喜溫暖多雨， 12°C 以下生長停滯，且不耐乾燥，於溫暖多雨處為多年生 (倪和全, 2009)。顯示度冬存活率與作物之耐旱及耐低溫特性有關。

2012 年度九層塔之度冬存活率低，與九層塔適合溫暖潮濕地方有關 (黃, 2000)。明日葉存活率稍低，乃因植株陸續進入開花期後凋亡 (余, 2002)。過溝菜蕨及山蘇維持 2011 年度高度冬存活率之特性。甘藷葉度冬存活率與去年度相較落差大，且有較大標準差，乃因本年度有猴子啃食之外力干擾，扣除明顯受破壞植株後，存活率僅 41.7%。

2013 年間作之紅鳳菜及明日葉存活率較 2012 年低，可能因此二作物適合冷涼氣候，但 2013 年定植時間較早，夏季逆境時間較長有關。九層塔仍因不耐冷涼而死亡，但甘藷葉之存活率低乃因動物破壞所致，因此於實驗林試驗區間作需注意動物之侵擾。新增作物中，糯米團及薄荷度冬率較高，糯米團雖適合生長於海拔 1500 公尺以下之陰濕山溝中，但其具耐高溫淹水、耐旱特性，適應範圍極廣 (全, 2013)；薄荷為耐高溫之多年生宿根植物 (Ram et al., 2006)，因此存活率較高。番




杏原生於海岸，於高溫時生長較佳，低溫、日照時數短促使其進入生殖生長，更低溫即導致黃化萎凋，無法續行生產（行政院農業委員會花蓮區農業改良場，2012）；魚腥草為多年生宿根植物，於冬季低溫（ $<12^{\circ}\text{C}$ ）時生長受阻，且喜陰暗潮濕之處，因此度冬存活率低（蘇等，2008）。

三年度之結果顯示，原產於熱帶地區及適合溫暖潮濕氣候之赤道櫻草（全，2012）、長蒴黃麻（林和張，2005）及九層塔（張和王，2000），若於臺灣山區冬季較冷涼地區栽種，需年年更新，有影響山區水土保持之疑慮。攀緣型蔬菜如長豇豆，雖產量表現佳（Mercado et al., 2008），但本試驗採用之川七、龍鬚菜、落葵可能有覆蓋或攀附樹苗現象，樹苗受攀附植物覆蓋生長勢將受影響，例如前人研究指出新植之橡樹（*Quercus* spp.）及鵝掌楸（*Liriodendron tulipifera* L.）間作在第五年即有 22% 之試區遭到攀藤植物嚴重覆蓋，第十年則上升至 52%，造成造林地林木嚴重受損，因此攀爬性蔬菜可能有類似林間攀附植物造成林木幼苗嚴重傷害疑慮（Beck and Hooper, 1986）。紅鳳菜度冬存活率雖高，但菊科蔬菜有連作障害（Baldwin, 2006），若採用則需多種蔬菜搭配輪作。若要降低林間之土地擾動，又能長期有蔬菜採收，以過溝菜蕨和山蘇之生長最為穩定，但此二種蔬菜皆需較多遮陰（陳，2008；彭和林，1984），於造林初期栽培，遮陰不足，因此本試驗結果顯示此二種蔬菜越冬雖能存活，但需後續觀察產量及經濟價值。

造林初期於實驗林栽培之作物，若要能長期間作作物，且減少更新翻動土壤之頻率，以多年生、宿根型作物、較耐低溫及乾燥逆境作物較為可行。

四、間作烏心石對作物產量之影響

依據單次採收產量（圖 11），甘藷葉及九層塔產量集中於夏季，與其生長喜高溫特性符合（胡，2012；張及王，2000），甘藷葉後期產量偏低乃因 9 月 14 日後受多次外力破壞所致；而明日葉、紅鳳菜產期集中於冬季或略偏冬季，與其生長習性較適合冷涼環境相符（余，2002；楊，1997）；過溝菜蕨產期應集中於 5-10 月（楊，



1997)，但 2012 年度產量卻集中 12 月至 1 月，可能與 11 月份施肥、2012 年度冬季 12 月份較為溼暖、或冬季光照量少有關，較適合需遮陰栽培之過溝菜蕨；山蘇葉片黃化且產量不佳，可能造林初期遮陰少、光度過高，無法符合山蘇需求光度 $210.3 \mu\text{mole}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 之栽培環境所致 (陳，2008)。

台灣藜雖然於定植初期產量高，但植株衰老後無可採收之嫩稍，產量下降，但若於蔬林間作時延長栽培時間，例如將生長週期延長至 85-95 天 (郭，2008)，將可生產穀粒並販售以獲得額外收益。番杏、山蘇、魚腥草及明日葉總產量則偏低，2012 年度明日葉之總產量高，但 2013 年度產量偏低，與夏季逆境較強，其適合之溫度為 $18-24^{\circ}\text{C}$ 有關 (劉和賴，2005)；番杏雖可耐旱、貧瘠、高溫、高溼，但於實驗林夏季之產量偏低，可能與其生長於海灘，需較高溫才有較高產量，同時山區低溫亦可能使其進入生殖生長 (行政院農業委員會花蓮區農業改良場，2012) 有關；山蘇葉片黃化且產量不佳，可能造林初期遮陰少、光度過高，無法符合山蘇需求光度 $210.3 \mu\text{mole}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 之栽培環境所致 (陳，2008)；魚腥草有不耐乾旱喜歡陰濕環境之特性 (李和劉，2005)，亦可能為造林初期遮陰少致使產量偏低。

綜合三年度之採收狀況，定植後以甘藷葉及糯米團可較快獲得收益，夏季以甘藷葉、九層塔及糯米團之產量較佳，冬季以糯米團、明日葉及紅鳳菜產量較佳，山蘇及魚腥草等需高遮陰之作物，於間作初期產量偏低。

農業試驗場試驗區栽培之作物產量及產值結果顯示，間作烏心石不影響作物產量及產值 (圖 14)。

雖然將作物與林木間作，C3 植物 (Pouliot et al., 2012) 或較耐逆境之非商業蔬菜 (Mercado et al., 2008) 之表現可能較好，但於此試驗可能因林木較小，無特殊之影響趨勢，間作初期作物產量高低，仍與作物本身特性與栽培地環境之契合程度相關。



五、間作烏心石對作物品質及生理指標之影響

實驗林作物相較於農業試驗場作物之營養價值及逆境指標較高 (表 5-8)，相對水分含量較低顯示實驗林作物可能處於水分逆境狀態 (Irigoyen et al., 1992)，同時可溶性糖增加亦顯示可能處於水分逆境下，可溶性糖增加以維持植體膨壓或於多肽極性殘基 (polypeptide polar residues) 及磷脂磷酸基 (phospholipid phosphate groups) 間形成氫鍵，作為穩定蛋白質和膜之滲透保護者 (osmoprotectors) (Sánchez et al., 1998)，而脯胺酸亦是植物細胞中之滲透勢調節物質，其顯著增加亦可能由乾旱造成 (Delauney and Verma, 1993)，與採樣期間之雨量偏低 (實驗林試驗區 11 月雨量為 26.5 mm) 及早季缺乏灌溉水源有關。但同時亦可能因實驗林溫度較低所致，將菠菜 (*Spinacia oleracea*) 由 25°C/25°C 移至 5°C/5°C，其游離糖 (free sugar) 可大幅增加 10-20 倍 (Guy et al., 1992)，且脯胺酸之累積亦與低溫有關 (Hare and Cress, 1997)。纖維素濃度與蔗糖濃度有關，為合成纖維素之前驅物 (Amor et al., 1995)。抗氧化能力與總酚類含量及總類黃酮含量有關，酚類及類黃酮越多抗氧化能力越高 (Katalinic et al., 2006; Liu et al., 2002)，而抗氧化能力與過氧化氫濃度成正相關，抗氧化能力提高代表田間之逆境較嚴重 (Wang and Zheng, 2001)。

農業試驗場之作物與烏心石間作與否不影響作物之品質、生理及逆境指標 (表 13-28)，亦顯示於造林初其間作作物，作物之品質不受影響，為可行之生產方式；另外，雖間作可能造成作物與林木間之競爭，但生理及逆境指標之結果顯示作物不受烏心石之影響，於造林初期間作作物仍不需考量其種間競爭，造成作物生長不佳之狀況。

六、作物與烏心石間作之經濟可行性評估

實驗林試驗區間作之作物僅明日葉、糯米團及番杏具獲利可能，於乾燥、或是貧瘠地方於造林初期間作作物，可能造成虧損更多，但是若於其中環境較佳區域間作，仍可增加產值 (Cubbage et al., 2012)，因此若於環境較不適宜之地區，可

細分出間作區與造林區，以增加總體獲益之可行性。

農業試驗場試驗區之間作經濟效益除過溝菜蕨外，大多較實驗林高，即使是較適合陰濕、冷涼之糯米團（全，2012），可能因農業試驗場之水管理較為方便，能於全年皆有可用之灌溉水源所致，因此要提高總體經濟價值，挑選操作方便、土地肥沃及具穩定之水源之地區，為較可行之生產區域。

相較於實驗林試驗區，於平地農業試驗場之操作成本較低、收益亦較高，較有獲利之可行性，於實驗林試驗區造林初期將林木與作物間作，雖具可行性，但獲利誘因及可行性可能仍不足。

第六章 結論

於造林時將烏心石與作物間作，烏心石之高度及基徑不受影響，作物之產量及品質亦不受影響，顯示將烏心石間作作物以提高農民收益具可行性。


於實驗林試驗區，間作期間土壤特性大致無變化，僅間作試驗區底土氧化鎂濃度下降幅度顯著高於純烏心石試驗區。間作作物之存活率，以過溝菜蕨較佳，可多年採收，對林地干擾亦少。作物種類挑選為影響間作是否可有獲利之關鍵，糯米團及明日葉，可獲得較佳收益。九層塔、落葵與長蒴黃麻，度冬成活率低，春季需更新，耕作擾動林地。攀緣型蔬菜如龍鬚菜則有為害林木之虞。總體淨利益以明日葉與糯米團最高，其餘蔬菜尚為虧損。

相較於實驗林試驗區，間作甘藷葉、白鶴靈芝產量較高，甘藷葉、糯米團及白鶴靈芝總產值較高，亦有獲益之可行性。未來若欲推廣，仍需考量於實驗林間作作物之市場競爭力。

參考文獻



- 王柏容. 2012. 臺灣藜栽培模式探討. 臺東區農業專訊. 80 : 1-3.
- 全中和. 2001. 山蘇蕨菜栽培技術. 花蓮區農業改良場農技報導. 56 : 1-3.
- 全中和. 2012. 好種、好吃野菜—赤道櫻草. 花蓮區農業專訊. 74 : 15-17.
- 全中和. 2013. 耐水性佳的野菜-糯米團. 花蓮區農業專訊. 86:13-14.
- 余德發. 2002. 花蓮地區明日葉栽培技術. 花蓮區農業專訊. 40 : 10-12.
- 余瑞珠、鄭森松、王亞男、鄒裕民、劉玲華、蔡僑隆、蔡景洲、江博能. 2008. 土壤化學性質對烏心石生長之影響. 臺灣大學生物資源暨農學院實驗林研究報告. 22 : 187-196.
- 李興進、劉新裕. 2005. 魚腥草. 臺灣農家要覽增訂三版. 行政院農委會. 臺北. pp. 303-306.
- 林添枝、張惠真. 2005. 埃及野麻嬰新興蔬菜栽培試驗. 臺中區農業改良場研究彙報. 54 : 9-13.
- 林俊成、王培蓉、柳婉郁. 2010. 臺灣獎勵造林政策之實施及成效. 林業研究專訊. 17 : 16-21.
- 林俊義、蕭吉雄、沈百奎. 2000. 新興蔬菜栽培及烹調法. 行政院農委會農業試驗所專刊. 79 : 13-18.
- 林學詩. 2007. 蔬菜農業氣象災害與因應策略. 作物、環境與生物資訊. 4 : 23-34.
- 林麗珠、蕭芸殷、黃玉霞、盧秀鑾、郭忠吉. 2007. 熱帶原生蔬菜之開發與推廣(下) 赤道櫻草 鄉間小路. 33 : 64-67.
- 胡正榮. 2012. 健康安全的平民蔬菜—葉菜甘藷. 花蓮區農業專訊. 79 : 10-12.
- 倪禮豐、全中和. 2009. 龍鬚菜有機栽培管理. 花蓮區農業改良場專刊. 63 : 6-13.
- 高德錚. 2012. 臺中區農業改良場農業專業訓練講義. http://tdares.coa.gov.tw/files/web_articles_files/tdares/7241/2265.pdf。
- 曾樹城. 2013. 白鶴靈芝 (*Rhinacanthus nasutus* (L.) Kurz). 中榮醫訓. 185 : 22.

- 
- 張元聰、王仕賢. 2000. 香草栽培與食譜利用. 臺南區農業改良場技術專刊. 89-11.
- 張德慈. 1997. 新興蔬菜之開發及利用. 臺灣省農業試驗所專刊. 72: 44-45.
- 黃裕銘. 2008a. 土壤採樣與前處理. 土壤與肥料分析手冊(一) 土壤化學性質分析. 臺北. pp.1-3. 中華肥料土壤學會. 臺北.
- 黃裕銘. 2008b. 交換性鉀、鈉、鈣及鎂. 土壤與肥料分析手冊(一) 土壤化學性質分析. pp54-58. 中華肥料土壤學會. 臺北.
- 陳仁炫. 2008. 磷. 土壤與肥料分析手冊(一) 土壤化學性質分析. pp43-53. 中華肥料土壤學會. 臺北.
- 陳俊仁、謝桑煙、黃山內. 2000. 山蘇花之品種、習性及繁殖. 台南區農業專訊 34: 1-4.
- 陳榮五、王仕賢、周明燕. 1992. 新興蔬菜”藤三七”之栽培及利用. 臺南區農業專訊. 1: 13-14.
- 陳建元、施志昌. 2010. 中橫公路復建政策變遷之分析:公共選擇的觀點. 10: 221-240。
- 陳進芬. 2008. 蕨類栽培技術-以劍葉鳳尾蕨、筆筒樹及山蘇為例. 臺東區農業改良場技術專刊 <特 10 輯> 行政院農業委員會臺東區農業改良場. 臺東.
- 陳鴻基. 2008. 有機質含量. 土壤與肥料分析手冊(一) 土壤化學性質分析. pp19-23. 中華肥料土壤學會. 臺北.
- 彭德昌、林妙娟. 1984. 蕨菜. 花蓮區農業推廣簡訊. 1: 1-2.
- 楊紹榮. 1995. 臺灣鄉土蔬菜系列介紹—落葵. 臺南區農業專訊. 13: 12-14.
- 楊紹榮. 1997. 鄉土蔬菜栽培與利用. 臺南區農業改良場技術專刊. 86-6.
- 劉新裕、賴瑞聲. 2005. 明日葉. 臺灣農家要覽增訂三版. pp. 289-291. 行政院農委會. 臺北.
- 劉新裕、王昭月、徐原田、王長發. 1995. 保健植物之生產促進與白鶴靈芝之加工研究. 中醫藥雜誌. 6: 47-57.




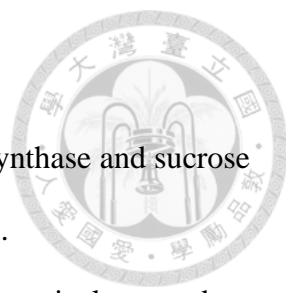
- 賴永昌、李忠田、鄭統隆、蔡武雄. 2008. 甘藷新品種臺農 73 號之育成. 臺灣農業研究. 57 : 279-294.
- 謝進來. 2006. 草生栽培與生物防治. 【雜草利用與管理】草生栽培研習會. pp.14-31.
- 羅紹麟、林喻東. 2002. 混農林業永續發展的初探. In “森林生態系永續經營研討會”, Vol. 1, pp. 41-63 森林生態系永續經營研討會論文集.
- 蘇炳鐸、蔡文仁、黃秋蘭. 2008. 魚腥草之栽培利用. 台東區農業改良場技術專刊. 25:1-2.
- 龔財立、姜金龍. 2007. 甘藷栽培管理技術. 桃園區農業專訊. 60 : 16-19.
- 林務局法規資料庫. 2011. 獎勵造林實施要點.
<http://www.forest.gov.tw/ct.asp?xItem=935&ctNode=249&mp=1> [2014.6.16]
- 行政院環境保護署. 2008. 土壤酸鹼值 (pH 值)測定方法—電極法. <http://www.niea.gov.tw/niea/SOIL/S41062C.htm> [2014.6.16].
- 行政院環境保護署. 2003. 土壤中重金屬檢測方法—王水消化法. <http://www.niea.gov.tw/niea/SOIL/S32163B.htm> [2014.6.16].
- 行政院農業委員會花蓮區農業改良場. 2012. 來吃海邊野菜-番杏. <http://hdais.coa.gov.tw/view.php?catid=3171> [2014.6.16].
- 高德錚. 2011. 臺中區農業改良場農業專業訓練講義.
http://tdares.coa.gov.tw/files/web_articles_files/tdares/7241/2265.pdf
[2014.6.16].
- Ames, B.N. 1966. [10] Assay of inorganic phosphate, total phosphate and phosphatases, p. 115-118. In: V. G. Elizabeth F. Neufeld (eds.). Methods in Enzymology. Vol. 8. Academic Press.
- Amor, Y., C.H. Haigler, S. Johnson, M. Wainscott, and D.P. Delmer. 1995. A membrane-associated form of sucrose synthase and its potential role in synthesis




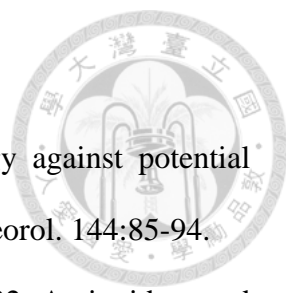
- of cellulose and callose in plants. PNAS. 92:9353-9357.
- Baldwin, K.R. 2006. Crop rotations on organic farms. North Carolina A&T State University.
- Bates, L.S., R.P. Waldren, and I.D. Teare. 1973. Rapid determination of free proline for water-stress studies. Plant Soil 39:205-207.
- Bazie, H.R., J. Bayala, G. Zombre, J. Sanou, and U. Ilstedt. 2012. Separating competition-related factors limiting crop performance in an agroforestry parkland system in Burkina Faso. Agroforest. Syst. 84:377-388.
- Beck, D.E. and R.M. Hooper. 1986. Development of a southern Appalachian hardwood stand after clearcutting. South J. Appl. For. 10:168-172.
- Bene, J.G., H.W. Beall, and A. Côté. 1977. Trees, food and people - land management in the tropics. IDRC, Ottawa, Canada.
- Bertomeu, M. 2012. Growth and yield of maize and timber trees in smallholder agroforestry systems in Claveria, northern Mindanao, Philippines. Agroforest. Syst. 84:73-87.
- Brinkley, D. and Richter, D. 1987. Nutrient cycles and H⁺ budgets of forest ecosystems. Adv. Ecol. Res. 16:1-51.
- Bosselmann, A.S., K. Dons, T. Oberthur, C.S. Olsen, A. Raebild, and H. Usma. 2009. The influence of shade trees on coffee quality in small holder coffee agroforestry systems in Southern Colombia. Agr. Ecosyst. Environ. 129:253-260.
- Burgess, P.J., L.D. Incoll, D.T. Corry, A. Beaton, and B.J. Hart. 2005. Poplar (*Populus spp.*) growth and crop yields in a silvoarable experiment at three lowland sites in England. Agroforest. Syst. 63:157-169.
- Cao, F.L., J.P. Kimmins, and J.R. Wang. 2012. Competitive interactions in ginkgo and crop species mixed agroforestry systems in Jiangsu, China. Agroforest. Syst.


- 84:401-415.
- Cataldoab, D.A., M. Maroona, and L.E. Schradera. 1975. Rapid colorimetric determination of nitrate in plant tissue by nitration of salicylic acid. *Commun Soil Sci. Plan.* 6:71-80.
- Chen, C. C., C.S. Liang, A. L. Kao, and C. C. Yang. 2010. HHP1, a novel signalling component in the cross-talk between the cold and osmotic signalling pathways in *Arabidopsis*. *J. Expt. Botany* 61:3305-3320.
- Chiffot, V., G. Bertoni, A. Cabanettes, and A. Gavaland. 2006. Beneficial effects of intercropping on the growth and nitrogen status of young wild cherry and hybrid walnut trees. *Agroforest. Syst.* 66:13-21.
- Chirwa, P.W., C.R. Black, C.K. Ong, and J.A. Maghembe. 2003. Tree and crop productivity in gliricidia/maize/pigeonpea cropping systems in southern Malawi. *Agroforest. Syst.* 59:265-277.
- Chytky, C., P. Hucl, and G. Gray. 2011. Leaf photosynthetic properties and biomass accumulation of selected western Canadian spring wheat cultivars. *Can J. Plant Sci.* 91:305-314.
- Cleugh, H.A. 1998. Effects of windbreaks on airflow, microclimates and crop yields. *Agroforest. Syst.* 41:55-84.
- Cubbage, F., V. Glenn, J. Paul Mueller, D. Robison, R. Myers, J.-M. Luginbuhl, and R. Myers. 2012. Early tree growth, crop yields and estimated returns for an agroforestry trial in Goldsboro, North Carolina. *Agroforest. Syst.* 86:323-334.
- Danso, A.A. and P. Morgan. 1993. Alley cropping maize (*Zea mays* Var Jeka) with Cassia (*Cassia Siamea*) in the Gambia - crop production and soil fertility. *Agroforest. Syst.* 21:133-146.
- Delauney, A.J. and D.P.S. Verma. 1993. Proline biosynthesis and osmoregulation in

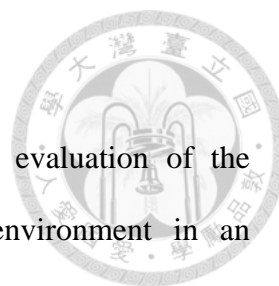
- 
- plants. *The Plant Journal* 4:215-223.
- Dohn, J., F. Dembele, M. Karembé, A. Moustakas, K.A. Amevor, and N.P. Hanan. 2013. Tree effects on grass growth in savannas: competition, facilitation and the stress-gradient hypothesis. *J. Ecol.* 101:202-209.
- Du, Z.Y. and W.J. Bramlage. 1992. Modified thiobarbituric acid assay for measuring lipid oxidation in sugar-rich plant-tissue extracts. *J. Agr. Food Chem.* 40:1566-1570.
- Führer, E. 2000. Forest functions, ecosystem stability and management. *Forest Ecol Manag.* 132:29.
- Fang, S., X. Xu, X. Yu, and Z. Li. 2005. Poplar in wetland agroforestry: a case study of ecological benefits, site productivity, and economics. *Wetlands Ecol. Manage.* 13:93-104.
- Fernandez, M.E., J. Gyenge, J. Licata, T. Schlichter, and B.J. Bond. 2008. Belowground interactions for water between trees and grasses in a temperate semiarid agroforestry system. *Agroforest. Syst.* 74:185-197.
- Friday, J.B. and J.H. Fownes. 2002. Competition for light between hedgerows and maize in an alley cropping system in Hawaii, USA. *Agroforest. Syst.* 55:125-137.
- Garcia-Barrios, L. and C.K. Ong. 2004. Ecological interactions, management lessons and design tools in tropical agroforestry systems. *Agroforest. Syst.* 61-2:221-236.
- Garnier, E. and G. Laurent. 1994. Leaf anatomy, specific mass and water content in congeneric annual and perennial grass species. *New Phytologist* 128:725-736.
- Giorio, P., V. Nuzzo, G. Guida, and R. Albrizio. 2012. Black leaf-clips of a commercial fluorometer increased leaf temperature during dark adaptation under high solar

- 
- radiation. *Photosynthetica* 50:467-471.
- Guy, C.L., J.L.A. Huber, and S.C. Huber. 1992. Sucrose phosphate synthase and sucrose accumulation at low-temperature. *Plant Physiol.* 100:502-508.
- Harcombe, P.A. 1980. Soil nutrient loss as a factor in early tropical secondary succession. *Biotropica*. 12:8-15.
- Hare, P.D. and W.A. Cress. 1997. Metabolic implications of stress-induced proline accumulation in plants. *Plant Growth Regul.* 21:79-102.
- HDRA. 2001. *Agroforestry in the tropics*. HDRA - the organic organisation, Coventry, UK.
- Hirota, I., T. Sakuratani, T. Sato, H. Higuchi, and E. Nawata. 2004. A split-root apparatus for examining the effects of hydraulic lift by trees on the water status of neighbouring crops. *Agroforest. Syst.* 60:181-187.
- Hodges, L., M.N. Suratman, J.R. Brandle, and K.G. Hubbard. 2004. Growth and yield of snap beans as affected by wind protection and microclimate changes due to shelterbelts and planting dates. *HortScience* 39:996-1004.
- Horton, J.L. and S.C. Hart. 1998. Hydraulic lift: a potentially important ecosystem process. *Trends Ecol. Evol.* 13:232-235.
- Irigoyen, J.J., D.W. Einerich, and M. Sánchez-Díaz. 1992. Water stress induced changes in concentrations of proline and total soluble sugars in nodulated alfalfa (*Medicago sativa*) plants. *Physiologia. Plantarum* 84:55-60.
- Javanmardi, J., C. Stushnoff, E. Locke, and J.M. Vivanco. 2003. Antioxidant activity and total phenolic content of Iranian *Ocimum* accessions. *Food Chem.* 83:547-550.
- Jensen, R.G. and J.A. Bassham. 1966. Photosynthesis by isolated chloroplasts. *P. Natl. Acad. Sci. USA* 56:1095-1101.

- 
- Jose, S. and A.R. Gillespie. 1998. Allelopathy in black walnut (*Juglans nigra* L.) alley cropping. I. Spatio-temporal variation in soil juglone in a black walnut-corn (*Zea mays* L.) alley cropping system in the midwestern USA. *Plant Soil* 203:191-197.
- Jose, S., A.R. Gillespie, and S.G. Pallardy. 2004. Interspecific interactions in temperate agroforestry. *Agroforest. Syst.* 61-2:237-255.
- Jose, S., R. Williams, and D. Zamora. 2006. Belowground ecological interactions in mixed-species forest plantations. *Forest Ecol. Manag.* 233:231-239.
- Josiah, S.J. 2000. Discovering profits in unlikely places: agroforestry opportunities for added income. MISA, St. Paul, MN.
- Kang, H.M. and M.E. Saltveit. 2002. Antioxidant capacity of lettuce leaf tissue increases after wounding. *J. Agr. Food Chem.* 50:7536-7541.
- Katalinic, V., M. Milos, T. Kulisic, and M. Jukic. 2006. Screening of 70 medicinal plant extracts for antioxidant capacity and total phenols. *Food Chem.* 94:550-557.
- Kimaro, A.A., V.R. Timmer, S.A.O. Chamshama, Y.N. Ngaga, and D.A. Kimaro. 2009. Competition between maize and pigeonpea in semi-arid Tanzania: Effect on yields and nutrition of crops. *Agr. Ecosyst. Environ.* 134:115-125.
- Koukounaras, A., A.S. Siomos, and E. Sfakiotakis. 2007. Postharvest CO₂ and ethylene production and quality of rocket (*Eruca sativa* Mill.) leaves as affected by leaf age and storage temperature. *Postharvest Biology and Technology* 46:167-173.
- Kwesiga, F., F.K. Akinnifesi, P.L. Mafongoya, M.H. McDermott, and A. Agumya. 2003. Agroforestry research and development in southern Africa during the 1990s: Review and challenges ahead. *Agroforest. Syst.* 59:173-186.
- Lange, H., W. Shropshire, and H. Mohr. 1971. An analysis of phytochrome-mediated anthocyanin synthesis. *Plant Physiol.* 47:649-55.
- Lin, B.S. and Y.J. Lin. 2010. Cooling effect of shade trees with different characteristics

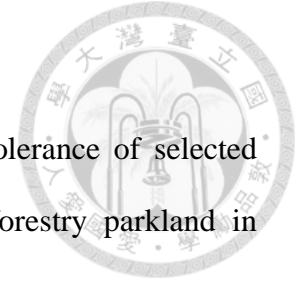
- 
- in a subtropical urban park. *HortScience* 45:83-86.
- Lin, B.B. 2007. Agroforestry management as an adaptive strategy against potential microclimate extremes in coffee agriculture. *Agr. Forest Meteorol.* 144:85-94.
- Liu, M., X.Q. Li, C. Weber, C.Y. Lee, J. Brown, and R.H. Liu. 2002. Antioxidant and antiproliferative activities of raspberries. *J. Agric. Food Chem.* 50:2926-30.
- Lott, J.E., S.B. Howard, C.K. Ong, and C.R. Black. 2000a. Long-term productivity of a *Grevillea robusta*-based overstorey agroforestry system in semi-arid Kenya - II. Crop growth and system performance. *Forest Ecol. Manag.* 139:187-201.
- Lott, J.E., S.B. Howard, C.K. Ong, and C.R. Black. 2000b. Long-term productivity of a *Grevillea robusta*-based overstorey agroforestry system in semi-arid Kenya: I. Tree growth. *Forest. Ecol. Manag.* 139:175-186.
- Lott, J.E., C.K. Ong, and C.R. Black. 2009. Understorey microclimate and crop performance in a *Grevillea robusta*-based agroforestry system in semi-arid Kenya. *Agr. Forest Meteorol.* 149:1140-1151.
- Lundgren, B.O. and J.B., Raintree. 1982. Sustained agroforestry. In: Nestel, B. (ed.). *Agricultural research for development: potentials and challenges in Asia*, pp. 37-49. ISNAR, The Hague, The Netherlands.
- Ludwig, F., T.E. Dawson, H. de Kroon, F. Berendse, and H.H.T. Prins. 2003. Hydraulic lift in *Acacia tortilis* trees on an East African savanna. *Oecologia* 134:293-300.
- MacDonald, J.M. 2011. Why are farms getting larger? the case of the U.S. In "German Association of Agricultural Economists", Halle, Germany.
- Malezieux, E., Y. Crozat, C. Dupraz, M. Laurans, D. Makowski, H. Ozier-Lafontaine, B. Rapidel, S. de Tourdonnet, and M. Valantin-Morison. 2009. Mixing plant species in cropping systems: concepts, tools and models. A review. *Agron. Sustain Dev.* 29:43-62.

- 
- Medinilla-Salinas, L., M.D. Vargas-Mendoza, S. Lopez-Ortiz, C. Avila-Resendiz, W.B. Campbell, and M.D. Gutierrez-Castorena. 2013. Growth, productivity and quality of *Megathyrus maximus* under cover from *Gliricidia sepium*. *Agroforest. Syst.* 87:891-899.
- Mercado, J.A.R., G. Arcinal, C. Duque, M. Palada, and M. Reyes. 2008. Vegetable-agroforestry (VAF) system: Understanding vegetable-tree interaction is a key to successful farming enterprise. Claveria, Misamis Oriental, Philippines: ICRAF-Claveria - World Forestry Centre, Lantapan, Bukidnon, Philippines.
- Miller, A.W. and S.G. Pallardy. 2001. Resource competition across the crop-tree interface in a maize-silver maple temperate alley cropping stand in Missouri. *Agroforest. Syst.* 53:247-259.
- Moreno, G., J.J. Obrador, and A. Garcia. 2007. Impact of evergreen oaks on soil fertility and crop production in intercropped dehesas. *Agr. Ecosyst. Environ.* 119:270-280.
- Muschler, R.G. 2001. Shade improves coffee quality in a sub-optimal coffee-zone of Costa Rica. *Agroforest. Syst.* 51:131-139.
- Nair, P.K.R. 1985. Classification of agroforestry systems. *Agroforest. Syst.* 3:97-128.
- Nair, P.K.R. 2008. Agroecosystem management in the 21st century: It is time for a paradigm shift. *J. tropical agr.* 46:1-12.
- Nair, P.K.R., R.J. Buresh, D.N. Mugendi, and C.R. Latt. 1999. Nutrient cycling in tropical agroforestry systems: myths and science, p. 1-31. *Advances in Agroecology*. Lewis Publishers Inc., Boca Raton.
- Neufeldt H, P. Kristjanson, T. Thorlakson, A. Gassner, M. Norton-Griffiths, F. Placeand and K. Langford. 2011. ICRAF Policy Brief 12: Making climate-smart agriculture work for the poor. Nairobi, Kenya. World Agroforestry Centre



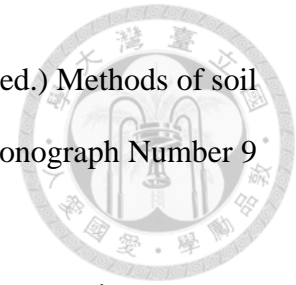
(ICRAF).

- Newman, S.M. 1984. The use of vegetable phytometers in the evaluation of the potential response of understorey crops to the aerial environment in an interculture system. *Agroforest. Syst.* 2:49-56.
- Newman, S.M., K. Bennett, and Y. Wu. 1998. Performance of maize, beans and ginger as intercrops in Paulownia plantations in China. *Agroforest. Syst.* 39:23-30.
- Nissen, T.M., D.J. Midmore, and M.L. Cabrera. 1999. Aboveground and belowground competition between intercropped cabbage and young *Eucalyptus torelliana*. *Agroforest. Syst.* 46:83-93.
- Ogbuehi, S.N. and J.R. Brandle. 1982. Influence of windbreak-shelter on soybean growth, canopy structure, and light relations. *Crop sci.* 22:269-273.
- Ong, C.K. and R.R.B. Leakey. 1999. Why tree-crop interactions in agroforestry appear at odds with tree-grass interactions in tropical savannahs. *Agroforest. Syst.* 45:109-129.
- Palada, M.C., B.T. Kang, and S.L. Claassen. 1992. Effect of alley cropping with *Leucaena leucocephala* and fertilizer application on yield of vegetable crops. *Agroforest. Syst.* 19:139-147.
- Peng, X.B., Y.Y. Zhang, J. Cai, Z.M. Jiang, and S.X. Zhang. 2009. Photosynthesis, growth and yield of soybean and maize in a tree-based agroforestry intercropping system on the Loess Plateau. *Agroforest. Syst.* 76:569-577.
- Philpott, S.M., B.B. Lin, S. Jha, and S.J. Brines. 2008. A multi-scale assessment of hurricane impacts on agricultural landscapes based on land use and topographic features. *Agr. Ecosyst. Environ.* 128:12-20.
- Porra, R.J. 2002. The chequered history of the development and use of simultaneous equations for the accurate determination of chlorophylls a and b. *Photosynth.*



- Res. 73:149-156.
- Pouliot, M., J. Bayala, and A. Rabild. 2012. Testing the shade tolerance of selected crops under *Parkia biglobosa* (Jacq.) Benth. in an agroforestry parkland in Burkina Faso, West Africa. *Agroforest. Syst.* 85:477-488.
- Quettier-Deleu, C., B. Gressier, J. Vasseur, T. Dine, C. Brunet, M. Luyckx, M. Cazin, J.-C. Cazin, F. Bailleul, and F. Trotin. 2000. Phenolic compounds and antioxidant activities of buckwheat (*Fagopyrum esculentum* Moench) hulls and flour. *J. Ethnopharmacology* 72:35-42.
- Quinkenstein, A., J. Wollecke, C. Bohm, H. Grunewald, D. Freese, B.U. Schneider, and R.F. Huttl. 2009. Ecological benefits of the alley cropping agroforestry system in sensitive regions of Europe. *Environ. Sci. Policy* 12:1112-1121.
- Radersma, S., B. Lusiana, and M. van Noordwijk. 2005. Simulation of soil drying induced phosphorus deficiency and phosphorus mobilization as determinants of maize or growth near tree lines on a Ferralsol. *Field Crop Res.* 91:171-184.
- Ram, D., M. Ram, and R. Singh. 2006. Optimization of water and nitrogen application to menthol mint (*Mentha arvensis* L.) through sugarcane trash mulch in a sandy loam soil of semi-arid subtropical climate. *Bioresource technol.* 97:886-893.
- Rao, M.R., P.L. Mafongoya, F.R. Kwesiga, and J.A. Maghembe. 1999. Nutrient cycling in agroforestry systems of the semi-arid tropics of Africa. *Ann. arid zone* 38:275-307.
- Rao, M.R., M.C. Palada, and B.N. Becker. 2004. Medicinal and aromatic plants in agroforestry systems. *Agroforest. Syst.* 61-2:107-122.
- Reyes, T., R. Quiroz, O. Luukkanen, and F. de Mendiburu. 2009. Spice crops agroforestry systems in the East Usambara Mountains, Tanzania: growth analysis. *Agroforest. Syst.* 76:513-523.

Rhoades, J. D. 1982. Soluble salts. p. 167-179. In: A. L. Page et al. (ed.) *Methods of soil analysis: Part 2: Chemical and microbiological properties. Monograph Number 9* (Second Edition). ASA, Madison, WI.



Rivest, D., A. Cogliastro, and A. Olivier. 2009. Tree-based intercropping systems increase growth and nutrient status of hybrid poplar: A case study from two Northeastern American experiments. *J. Environ. Manage.* 91:432-440.

Rolo, V., M.L. Lopez-Diaz, and G. Moreno. 2012. Shrubs affect soil nutrients availability with contrasting consequences for pasture understory and tree overstory production and nutrient status in Mediterranean grazed open woodlands. *Nutr. Cycl. Agroecosys.* 93:89-102.

Sánchez, F.J., M.a. Manzanares, E.F. de Andres, J.L. Tenorio, and L. Ayerbe. 1998. Turgor maintenance, osmotic adjustment and soluble sugar and proline accumulation in 49 pea cultivars in response to water stress. *Field Crop Res.* 59:225-235.

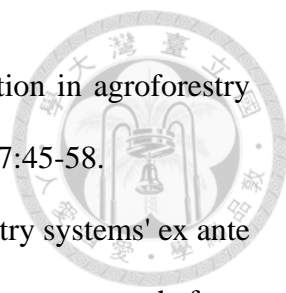
Sanchez, I.A., L. Lassaletta, D. McCollin, and R.G.H. Bunce. 2010. The effect of hedgerow loss on microclimate in the Mediterranean region: an investigation in central Spain. *Agroforest. Syst.* 78:13-25.

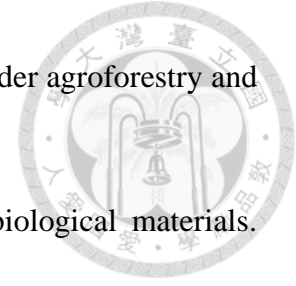
Sanchez, P.A. 1995. Science in agroforestry. *Agroforest Syst* 30:5-55.

Sibley, J.L., D.J. Eakes, C.H. Gilliam, G.J. Keever, W.A. Dozier, and D.G. Himelrick. 1996. Foliar SPAD-502 meter values, nitrogen levels, and extractable chlorophyll for red maple selections. *HortScience* 31:468-470.

Sileshi, G. and P.L. Mafongoya. 2006. Long-term effects of improved legume fallows on soil invertebrate macrofauna and maize yield in eastern Zambia. *Agr. Ecosyst. Environ.* 115:69-78.

Siriri, D., J. Wilson, R. Coe, M.M. Tenywa, M.A. Bekunda, C.K. Ong, and C.R. Black.

- 
2013. Trees improve water storage and reduce soil evaporation in agroforestry systems on bench terraces in SW Uganda. *Agroforest. Syst.* 87:45-58.
- Sirrine, D., C. Shennan, and J.R. Sirrine. 2010. Comparing agroforestry systems' ex ante adoption potential and ex post adoption: on-farm participatory research from southern Malawi. *Agroforest. Syst.* 79:253-266.
- Smart, R.E. 1974. Rapid estimates of relative water content. *Plant Physiol* 53:258-60.
- Somarriba, E. 1992. Revisiting the past - an essay on agroforestry definition. *Agroforest. Syst.* 19:233-240.
- Soto-Pinto, L., I. Perfecto, J. Castillo-Hernandez, and J. Caballero-Nieto. 2000. Shade effect on coffee production at the northern Tzeltal zone of the state of Chiapas, Mexico. *Agr. Ecosyst. Environ.* 80:61-69.
- Spector, T. 1978. Refinement of the Coomassie blue method of protein quantitation: A simple and linear spectrophotometric assay for ≤ 0.5 to 50 μg of protein. *Analytical Biochemistry* 86:142-146.
- Stainback, G.A., M. Masozera, A. Mukuralinda, and P. Dwivedi. 2012. Smallholder agroforestry in Rwanda: A SWOT-AHP analysis. *Small-Scale For.* 11:285-300.
- Thevathasan, N.V. and A.M. Gordon. 2004. Ecology of tree intercropping systems in the north temperate region: Experiences from southern Ontario, Canada. *Agroforest. Syst.* 61-2:257-268.
- Tourjee, K.R., J.M. Shopland, and M. Warmund. 1999. Agroforestry, horticulture, and the evolution of cropping systems. *HortScience* 34:22-24.
- Tsai, Y.C. and C.H. Kao. 2004. The involvement of hydrogen peroxide in abscisic acid-induced activities of ascorbate peroxidase and glutathione reductase in rice roots. *Plant Growth Regul.* 43:207-212.
- Udawatta, R.P., R.J. Kremer, H.E. Garrett, and S.H. Anderson. 2009. Soil enzyme



- activities and physical properties in a watershed managed under agroforestry and row-crop systems. *Agr. Ecosyst. Environ.* 131:98-104.
- Updegraff, D.M. 1969. Semimicro determination of cellulose in biological materials. *Analytical Biochemistry* 32:420-424.
- Van Noordwijk, M. and B. Lusiana. 1998. WaNuLCAS, a model of water, nutrient and light capture in agroforestry systems. *Agroforest. Syst.* 43:217-242.
- van Noordwijk, M. and C.K. Ong. 1999. Can the ecosystem mimic hypotheses be applied to farms in African savannahs? *Agroforest. Syst.* 45:131-158.
- Varella, A.C., D.J. Moot, K.M. Pollock, P.L. Peri, and R.J. Lucas. 2011. Do light and alfalfa responses to cloth and slatted shade represent those measured under an agroforestry system? *Agroforest. Syst.* 81:157-173.
- Verchot, L., M. van Noordwijk, S. Kandji, T. Tomich, C. Ong, A. Albretch, J. Mackensen, C. Bantilan, K. Anupama, and C. Palm. 2007. Climate change: linking adaptation and mitigation through agroforestry. *Mitig. Adapt. Strat. Gl.* 12:901-916.
- Wang, S.Y. and W. Zheng. 2001. Effect of plant growth temperature on antioxidant capacity in strawberry. *J. Agric. Food. Chem.* 49:4977-82.
- Wanvestraut, R.H., S. Jose, P.K.R. Nair, and B.J. Brecke. 2004. Competition for water in a pecan (*Carya illinoensis* K. Koch) - cotton (*Gossypium hirsutum* L.) alley cropping system in the southern United States. *Agroforest. Syst.* 60:167-179.
- Weatherley, P.E. 1950. Studies in the water relations of the cotton plant. *New Phytologist* 49:81-97.
- Wicks, A.S. and W.M. Kliwer. 1983. Further investigations into the relationship between anthocyanins, phenolics and soluble carbohydrates in grape berry skins. *American J. Enology and Viticulture* 34:114-116.

Young, A. 1988. Agroforestry and its potential to contribute to land-development in the tropics. *J. Biogeogr.* 15:19-30.

Zamora, D.S., S. Jose, and P.K.R. Nair. 2007. Morphological plasticity of cotton roots in response to interspecific competition with pecan in an alleycropping system in the southern United States. *Agroforest. Syst.* 69:107-116.

Zamora, D.S., S. Jose, and K. Napolitano. 2009. Competition for N-15 labeled nitrogen in a loblolly pine-cotton alley cropping system in the southeastern United States. *Agr. Ecosyst. Environ.* 131:40-50.

United Nations. 1992. A/CONF.151/26 (Vol. III) Forest Principles. <http://www.un.org/documents/ga/conf151/aconf15126-3annex3.htm> [2014.6.6]