

國立交通大學

環境工程研究所

碩士論文

土壤與堆肥摻合比對綠屋頂植物之影響

Effect of soil and compost amendment on plant growth of green roof

研究生：劉彥均

指導教授：林志高 博士

中華民國一百年六月

土壤與堆肥摻合比對綠屋頂植物之影響

Effect of soil and compost amendment on plant growth of green roof

研究生：劉彥均

Student: Yen-Chun Liu

指導教授：林志高 博士

Adviser: Dr. Jih-Gaw Lin

國立交通大學



Environmental Engineering

June 2011

Hsinchu, Taiwan, Republic of China

中華民國一〇一年六月

土壤與堆肥摻合比對綠屋頂植物之影響

研究生：劉彥均

指導教授：林志高 博士

國立交通大學環境工程研究所

摘要

利用堆肥化過程 (composting) 將有機廢棄物中不穩定之有機物轉化為安定的腐植質成分，不但可有效減少生活中有機廢棄物，亦可用以改善土壤性質，增進作物收益。本研究係添加不同比例之堆肥 (compost) 於土壤，作為綠屋頂 (green roof) 植物之生長介質，透過植物的生長情形評估堆肥與土壤的最適化摻合比例，以達到最佳的堆肥利用率。

本研究以堆肥和土壤混合比例 0%、5%、10%、15%、20%、40%、60%、80% 及 100% (w/w) 進行摻合，實驗始末分別進行土壤性質分析，其項目包括 pH 值、電導度 (EC)、有機質、水溶性氮、水溶性磷、全鉀、全鈣及全鎂含量，並比較不同摻合比之植物生長情形，為維持研究之穩定度與比較性，本研究選用綠屋頂中常見之景天科 (sedum) 植物作為測試標的，植物之生長指標 (growth index) 以植物之重量記錄。

由研究結果顯示，堆肥比 20% 時，僅少數植物之生長不受抑制；且堆肥比大於 20% 時，植物之生長皆受抑制；而堆肥比在 15% 以下時，植物之生長無受抑制情形。由土壤性質分析結果，推論植物生長抑制主要受電導度的影響；因此，本研究建議堆肥與土壤摻合比以不超過 15% 為佳。

關鍵字：堆肥化、堆肥、綠屋頂、電導度、景天科、生長指標

Effect of soil and compost amendment on plant growth of green roof

Student: Yen-Chun Liu

Adviser: Dr. Jih-Gaw Lin

**Institute of Environmental Engineering
National Chiao Tung University**

Abstract

The application of compost could be an effective method in reducing the organic waste by the process of composting, unstable organics convert to stable humus components and that can help to improve the soil properties and, thereby, increase the yield of crops. This research was an application of the compost utilization in green roof. Compost was used as an organic input to the growing medium, and the optimal correct ratio of compost was determined by the performance of plant growth.

In this research, the ratio of compost was controlled to 0%, 5%, 10%, 15%, 20%, 40%, 60%, 80% and 100% (w/w). Factors including pH, EC, organic matter, dissolved N, P, total K, Ca, and Mg contents in the medium were determined in the beginning and at the end of experiment, and the results were compared with the plant growth. Sedum plant, which is normally used in green roof, was used in the experiment, and plant growth index was recorded by plant weight to compare the plant growth.

The results showed that only a small amount of plant in 20% of compost had no inhibition in plant growth; plant growth in all the

experiment was inhibited when the compost ratio was more than 20%. On the other hand, there was no inhibition response when the compost ratio was less than 20%. From the result of growth medium property analysis, it is inferred that the plant growth inhibition was mainly effected by EC value. Therefore, this study suggests that the amendment of soil by compost should not be more than 15%.



Keywords: composting, compost, green roof, EC, sedum, growth index

誌謝

回想剛進來環工所時，還是個懵懵懂懂的菜鳥，不論研究亦或是生活中許許多多的事，還需要靠老師、學長與同學的提醒、幫助與照顧，兩年多了，感覺自己能有所成長，也學到不少知識，需要感謝的人也很多。首先要感謝的是我的指導教授在這段期間的諄諄教導，在學業、研究及生活上能提供許多專業知識與寶貴經驗，使我於學習上及日後人生態度上皆能有所領悟。還要感謝 Dr. Kumar 這段時間於研究上的建議及指正，並使我能多接觸及學習英文。另外，要特別感謝黃郁慈博士及鄭曉芬博士於口試期間百忙中抽空閱讀論文，給予本論文寶貴建議及修正，使本論文更加完善。

在研究過程中，感謝高正忠教授及同窗京澄一起共同研究、提供資訊及研究心得，幫助我對所研究之領域更進一步了解；感謝至誠、人傑、理安及子欽學長於研究及實驗上的建議及解答；感謝同窗維芬、依璇及絃瑩，學弟信翰及南維、學妹茜茹、怡君及珮芸於實驗分析上給予的幫助、建議及信心上的鼓勵。另外，特別感謝新竹市環保局提供本研究所使用之堆肥，高科大陳勝一老師及六堵污水廠提供金屬分析之幫助，竹軒園景觀工程設計植物專家林昌慶及林文烽先生對植物相關方面之解答。

最後，感謝長期一直支持著我的家人及朋友，及曾經給予我幫助的人，由於你們的支持，才能讓本研究順利完成，再次向大家致上最高敬意。

劉彥均 僅誌於交通大學環工所

目錄

摘要	I
ABSTRACT	II
誌謝	IV
目錄	V
表目錄	VIII
圖目錄	IX
第一章 前言	1
1.1 研究背景	1
1.2 研究目的	2
第二章 文獻回顧	3
2.1 綠屋頂	3
2.1.1 綠屋頂效益	4
2.1.2 栽培介質	5
2.1.3 植物選擇	7
2.2 土壤	9
2.2.1 土壤特性	9
2.2.2 土壤肥力	11
2.3 堆肥	15

2.3.1 堆肥特性	15
2.3.2 肥料添加方式	16
2.3.3 有機肥料施用量	17
2.3.4 堆肥應用與效益	17
2.4 生長指標	19
第三章 材料與方法	21
3.1 實驗材料與設備	21
3.2 實驗流程	23
3.3 分析項目及方法	24
3.3.1 採樣	24
3.3.2 堆肥施加法	25
3.3.3 種子發芽測試	25
3.3.4 混合比及含水率選擇實驗	26
3.3.5 土壤 pH 值測定	27
3.3.6 土壤飽和電導度測定	28
3.3.7 土壤含水率及有機質含量	28
3.3.8 土壤密度及孔隙度	29
3.3.9 容器容水量	29
3.3.10 生長記錄	30
第四章 結果與討論	31
4.1 土壤及堆肥混合土樣基本性質	31
4.1.1 土壤基本性質	31
4.1.2 堆肥基本性質	33
4.1.3 混合土樣基本性質	36

4.2 第一階段混合比及含水率選擇實驗	37
4.3 第二階段堆肥混合比實驗	39
4.3.1 第二階段堆肥混合比實驗設計	39
4.3.2 第二階段堆肥混合比實驗植物生長結果	40
4.3.3 介質特性比較	44
4.3.4 酸鹼值變化	45
4.3.5 電導度變化	47
4.3.6 有機質變化	48
4.3.7 養分氮、磷、鉀、鈣及鎂含量變化	49
第五章 結論及建議	55
5.1 結論	55
5.2 建議	55
參考文獻	56



表目錄

表 2.1 綠屋頂系統之比較	4
表 2.2 理想介質基本性質	6
表 2.3 植栽植物及其特性	8
表 2.4 土壤肥力分析報告	12
表 2.5 各文獻中之植物生長紀錄	20
表 3.1 分析項目、方法及儀器	24
表 3.2 混合土樣配製方式	25
表 4.1 土壤及各比例堆肥混合土樣基本性質	32
表 4.2 各式堆肥基本性質	34
表 4.3 植物生長平均重量	38
表 4.4 各堆肥比植物生長覆蓋率	40
表 4.5 植物生長記錄	42
表 4.6 本研究介質與一般常見介質特性	45
表 4.7 實驗後混合土樣性質	46
表 4.8 土壤養分消耗量及消耗率	54
表 4.9 養分理論利用量及利用率	54

圖目錄

圖 2.1 綠屋頂基本單元	3
圖 2.2 土壤質地圖	11
圖 2.3 不同 pH 值下養分的可利用性	13
圖 3.1 植物生長架與軟盆	22
圖 3.2 松葉景天	22
圖 3.3 實驗流程圖	23
圖 3.4 混合土樣成品	26
圖 3.5 混合比及含水率選擇實驗	27
圖 3.6 土壤酸鹼值測定步驟	27
圖 3.7 土壤飽和液之測定步驟	28
圖 3.8 土壤含水率及有機質含量測定步驟	28
圖 3.9 土壤密度及孔隙度測定步驟	29
圖 3.10 容器容水量測定步驟	30
圖 4.1 種子發芽實驗結果	35
圖 4.2 不同含水率下一個月後植物生長情形	37
圖 4.3 不同含水率下三個月後植物生長情形	38
圖 4.4 第二階段混合比實驗	39
圖 4.5 植物生長經三個月後之結果	40
圖 4.6 植物生長結果	41
圖 4.7 植物生長指標 (全部植物)	43
圖 4.8 植物生長指標 (生存植物)	44
圖 4.9 植物生長指標 (無受抑制植物)	44
圖 4.10 土樣酸鹼值變化	47
圖 4.11 土樣電導度變化	48
圖 4.12 土樣有機物變化	49

圖 4.13 土樣 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 含量變化	50
圖 4.14 土樣 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 含量變化	50
圖 4.15 磷含量變化	51
圖 4.16 土樣鉀含量變化	52
圖 4.17 土樣鈣含量變化	52
圖 4.18 土樣鎂含量變化	53



第一章 前言

1.1 研究背景

由於人類長期消耗自然資源，使地球生態環境急速惡化，根據聯合國氣候變遷研究小組 (Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC) 之研究報告指出，全球暖化之現象與大氣中二氧化碳的濃度之上升有關 (IPCC, 2007)。近年來，世界環境的氣候受全球暖化之影響，導致許多變動，如海平面上升、各地之降雨量或降雪量大幅改變，這些變動，可能進而促使一些極端的天氣狀況如洪水、旱災、暴風或暴雨等現象更為頻繁，對人類生存、農業生產、生態系統以及環境衛生等方面造成嚴重的問題。因此，世界各國開始提倡永續環境理念，積極推行生態保育及節能減碳等措施，希望藉由生態工程之發展，達到地球環境永續經營的目的。

目前人類居住的城市中，多為混凝土、柏油及瀝青所覆蓋，這些材料透水及透氣的能力較差，可能造成一些負面的影響，如雨水入滲減少、地表逕流增加及都市熱島效應等，對此，環境的綠化，被認為是有效且可行的策略，且為改善環境的有利工具。在國外，如德國、日本、美國及加拿大等國家，綠屋頂的建造已經相當普及，其發展也相當完善，綠屋頂可帶來之優點包括延遲暴雨逕流、建築物的隔熱降溫、減少熱島效應、改善空氣品質及其他如增進自然環境生物的多樣性等改善環境的功能 (Johnston and Newton, 2004; Banting *et al.*, 2005; Getter and Rowe, 2006)。

為適應綠屋頂特殊之環境，具耐旱及耐日照特性之景天科 (sedum) 植物常被各國選用作為綠屋頂植栽植物。然台灣地理環境特殊，氣候極端，須考慮植物之適應，及植栽介質的合適性。綠屋頂植栽介質一般為有機及無機之混合介質，常見的綠屋頂植栽介質包括泥

炭土、水苔、椰子纖維、蛇木屑、樹皮、真珠石、蛭石及發泡煉石等，有機介質的使用須耗費自然資源，不符合環境生態效益。因此，尋求本土化之替代原料，或以廢棄物利用方式開發新型植栽材料，不但可兼顧良好之生態環境及園藝產業關係，並有助於都市綠化的推動。

有機堆肥為將有機廢棄物經由堆肥化過程，轉化成安定之腐植質成分，其種類包括糞尿肥、農業廢棄物堆肥、污泥及一般堆肥等，根據環保署（2009）資料顯示，台灣每年需處理 220~250 萬噸的廚餘與落葉量，其處理與處置皆需耗費龐大的金錢與能源。因此，如能善用此等有機廢棄物，應用堆肥方式製成肥料，不但能減少生活中有機廢棄物污染環境，亦能改善土壤性質，幫助作物收益。

1.2 研究目的

本研究係將堆肥方法應用於綠屋頂之植栽介質中，經由堆肥及土壤適當之混合，調配適合綠屋頂植物生長之介質，期能將堆肥成品延伸應用至綠屋頂基材，並減少生活中的有機廢棄物，達到廢棄物減量、生態環保及節能減碳之目的；除此之外，藉由最適化堆肥與土壤摻和比之探討，亦可達到土壤改良之效果。因此，本研究主要目的如下：

1. 藉由綠屋頂植物生長之優劣，判定合適之堆肥添加量。
2. 藉由堆肥之添加，達到土壤介質改善之目的。

第二章 文獻回顧

2.1 綠屋頂

綠屋頂 (Green roof) 意指屋頂上種植綠色植物之屋頂系統。綠屋頂多擁有類似之構造，其組成之基本單元如圖 2.1 所示。建構時首先於屋頂上建置一具保護功能之防根層以防植物根部之穿透對屋頂造成傷害；防根層之上為排水層，可排出綠屋頂中過多之水分，若排水層設計不良，造成堵塞及排水問題將影響綠屋頂之使用性；排水層之上為過濾結構，可透過鋪設過濾布料如不織布等，防止介質顆粒堵塞排水層；於過濾結構上可選擇性設保水層，保水層之設計主要根據介質之厚度、種類、植栽植物及降雨型態等有關；介質層提供植物生長環境，其可固定植物，並提供植物生長所需養分；植栽層為綠屋頂中最重要一環，直接影響建構成敗之關鍵，並影響整體美觀 (Getter and Rowe, 2006)。

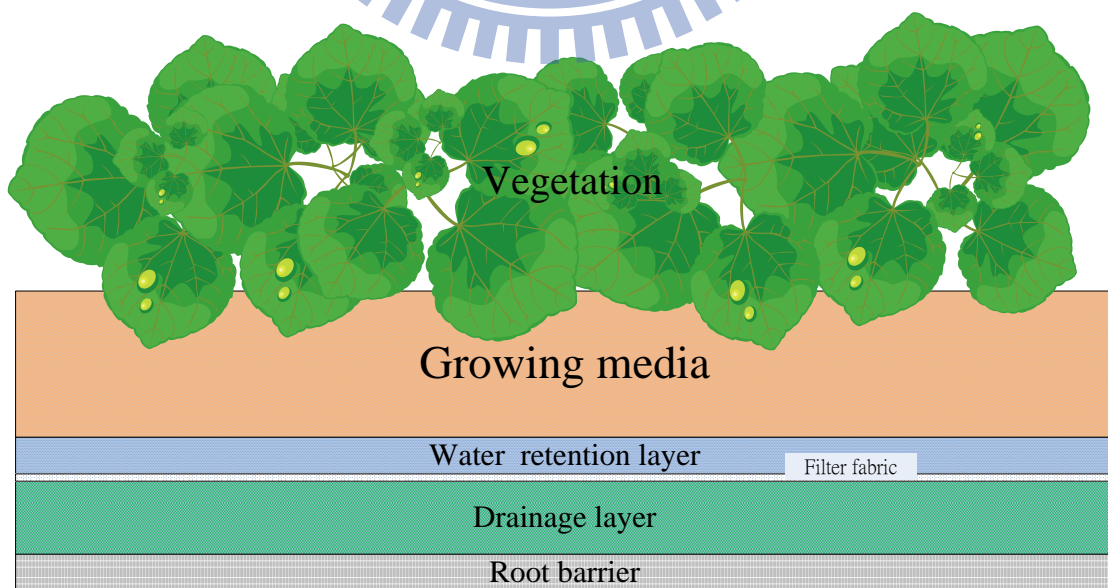


圖 2.1 綠屋頂基本單元

根據介質層之厚度及使用植物種類或使用之目的，綠屋頂可分類為密集式 (intensive) 及開闊式 (extensive) 系統，兩者之比較如表 2.1 所示。密集式綠屋頂名稱來自其密集式的維護，一般作為觀賞及作物種植目的，植栽植物種類繁多，需較深之介質層，及定期維護與管理，由於其屋頂負重及成本一般住宅較難負荷，故多使用於公共、商業及醫院大樓等。一般綠屋頂係指開闊式系統，其介質層通常為輕質薄層介質，故又稱薄層式綠屋頂。薄層式綠屋頂著重低維護性，作為建築物隔熱及雨水截流等改善環境之功能，由於淺層介質及低維護之特性，植物種類較受限制，植栽多以淺根及耐旱性好之植物 (Harris *et al.*, 2006)。

表 2.1 綠屋頂系統之比較

Characteristics	Intensive	Extensive
Maintenance	Regular	Minimal
Substrate depth	>15.2 cm	3~15.2 cm
Purpose	landscaping	Environmental improvement
Plant species	No limited	Limited
Loading	390~735 kg/m ²	60~245 kg/m ²
Drainage	Simple	Complex

2.1.1 綠屋頂效益

人類生活環境受都市化之影響，建築物及路面多為混凝土、柏油及瀝青等不透水材質所覆蓋，因而在降雨時，雨水無法直接被土壤吸收，並直接排入污水下水道系統，在降雨強度大時，常對下水道系統

造成嚴重負擔，癱瘓排水之性能而造成淹水；此外，此等不透水建材對光之反射較差且容易吸熱，使周遭環境溫度上升，造成都市熱島效應等現象。綠屋頂作為建材之一環，除具美觀性，並可帶來許多後續效益，研究顯示，綠屋頂可截流降雨逕流，並保存於介質層及植栽層中 (DeNardo *et al.*, 2005)，水分經呼吸及蒸散作用重回大氣。經測試之日本綠屋頂系統 30 公分厚介質層，可使水分滯留 15~30 分鐘，可有效減少水資源浪費並避免淹水。經台北實地測試，於夏季時綠屋頂可維持表面溫度 32℃，日本綠屋頂冬季可維持表面溫度 12℃，因此綠屋頂可隔熱保溫，減少都市熱島效應現象，並減少空調調節溫度之經費，經研究顯示，4 平方公尺之綠屋頂之降溫效果，約為 1 台冷氣運轉 12 小時 (李等, 2008)。另外，綠屋頂植物可藉由光合作用，吸收二氧化碳，配合室內降溫效果，達到節能減碳之目的；除此之外，綠屋頂亦具有阻絕噪音、增進生物棲地及環境美觀等功能。

2.1.2 栽培介質

介質意指供植物生長之媒介物質，一般常用之植栽介質如土壤，其具備固定植物、提供養分、空氣及水之功能，然薄層式綠屋頂著重低維護性及考慮建築之承載，選用之介質有較嚴格之要求，介質須具備輕質、薄層、穩定及不具危害之特性，一般土壤之載重易造成搬運困難，及屋頂承載問題，而土壤顆粒細，排水及通氣性很差，易造成植物根部腐爛，故一般綠屋頂多採用人工栽培介質 (Friedrich, 2005)。

人工栽培介質可分為有機及無機介質兩種，有機介質如泥炭土、水苔、椰子纖維、蛇木屑、稻殼、鋸木屑、樹皮、堆肥及人造土等，其可提供植物根部生長環境，並提供生長所需營養，一般具較佳的保水性，但有機質易分解，使介質結構不穩定，故其使用量須有所限制；無機介質種類如河砂、真珠石、蛭石及發泡煉石等，其僅提供植物根

部生長環境，無法提供植物生長之營養素。良好之栽培介質須具備保肥、保水、通氣及穩定性佳之特性，一般單一介質，無法同時滿足上述的條件，故植栽時多採用數種不同比例混合之介質，此混合介質之理化性質，通常優於單一介質，可提供植物良好的生長環境。

屋頂植物一般以盆器植栽，介質於盆器中經長期壓密與澆灌，可能造成盆底通氣及排水不良，故須考慮盆底使用介質的排水性，一般可選用粗質地介質，而盆器容量有限，經長期淋洗易造成養分流失，故須選用保水性、保肥性及通氣性佳，並具備足夠強度支撐植物，質輕且穩定性高之介質。理想植栽介質及綠屋頂介質之特性如表 2.2 所示，由表可知，理想綠屋頂介質性質與一般植栽介質略有不同，其 pH 5.5~7.0，EC < 3.5 mS/cm，具備高陽離子交換能力，空氣孔隙度 15~20%，總體密度 0.1~0.8 g/cm³，體積含水百分率 30~50% (李和莊，2008)。

表 2.2 理想介質基本性質

	一般植栽介質 ¹	綠屋頂介質 ²
pH	5.5~6.5	5.5~7.0
EC	0.2~1.1 mS/cm	<3.5 mS/cm
陽離子交換容量 CEC	0.05~0.1 m.e./ml	high
空氣孔隙度	10~50%	15~20%
總體密度	0.3~0.75 g/cm ³	0.1~0.8 g/cm ³
容器容水量	20~60%	30~50%

¹ 李，1987，² 李和莊，2008

德國為發展綠屋頂最成熟之國家，對綠屋頂之建造、方法、材料、設計、維護及管理 etc 皆有完善之規範，其造景與景觀發展學會 (Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau, FLL) 所制定之標準 (FLL, 2003) 為目前世界各國建造綠屋頂之參考依

據。國內目前發展綠屋頂較成熟之單位為台北市錫瑠環境綠化基金會，其根據國外現有之技術及經驗，並結合適合本土化之綠屋頂基材，於台北市吳興國小、松山工農及台北市信義行政中心大樓等地皆設有完善之綠屋頂系統。

2.1.3 植物選擇

植栽層為綠屋頂之主體，影響綠屋頂的成敗及美觀性。由於薄層式綠屋頂著重低維護性，為適應日照、強風、炙熱等天氣環境，一般選擇之植物須具備良好的耐旱、耐日照且能種植於淺層之介質的低矮淺根植物。目前，多肉植物為綠屋頂中使用最多之植栽材料，其中以景天科景天屬 (*Sedum spp.*) 使用最多，其優點為種類多、無性繁殖力強、適應力強並具美觀性，且可生長於薄層的介質 (Jenrick, 2005)。

國內綠屋頂常見的植栽植物及其特性如表 2.3 所示，多肉植物如松葉景天 (*Sedum mexicanum*)、玫瑰景天 (*Sedum spp.*)、圓葉景天 (*Sedum makinoi*)、嬰兒景天 (*Sedum oreganum*)、台灣佛甲草 (*Sedum formosanum*)、萬年草 (*Sedum pallidum*)、斑葉佛甲草 (*Sedum lineare var. variegatum*)、重盆草 (*Sedum sarmentosum*)、馬齒牡丹 (*Portulaca oleracea*)、大松葉牡丹 (*Portulaca grandiflora cv.*)、小松葉牡丹 (*Portulaca gilliesii*) 等，以景天科植物為主。

除多肉植物外，具備低矮、厚葉特性且根部發達之地被植物如翠玲瓏 (*Callisia elegans*)、越橘葉蔓榕 (*Ficus vaccinioides*)、蔓花生 (*Arachis pintoi*)、雷公根 (*Centella asiatica*)、矮筋骨草 (*Ajuga pygmaea*)、花蔓草 (*Aptenia cordifolia*)、穗花木藍 (*Indigofera spicata*)、過江藤 (*Phyla nodiflora*) 等亦適合種植於薄層式綠屋頂。

表 2.3 植栽植物及其特性

多肉植物	特性
松葉景天 (<i>Sedum mexicanum</i>)	葉片狹長，植株生長強健、迅速，夏季開花後生長勢稍退
玫瑰景天 (<i>Sedum spp.</i>)	葉片聚集排列如玫瑰花，全株質感細密，生長勢及速度尚可
圓葉景天 (<i>Sedum makinoi</i>)	葉片小而圓，圓形排列密集，耐旱性強
嬰兒景天 (<i>Sedum oreganum</i>)	葉片小而圓，全株質感細密，生長勢及速度尚可
台灣佛甲草 (<i>Sedum formosanum</i>)	生於濱海地區，葉片肥厚，耐旱性強
萬年草 (<i>Sedum pallidum</i>)	針葉狀，灌溉時生長較迅速
斑葉佛甲草 (<i>Sedum lineare var. variegatum</i>)	葉形似松葉景天但較扁平，質感細緻
重盆草 (<i>Sedum sarmentosum</i>)	莖柔軟匍匐生長，蔓延性佳。葉片常菱形，質地較薄
馬齒牡丹 (<i>Portulaca oleracea</i>)	多年生草本，耐旱性佳，高溫期開花，冬季低溫休眠
大松葉牡丹 (<i>Portulaca grandiflora cv.</i>)	多年生草本，葉針狀，高溫開花，冬季低溫植株縮小休眠
小松葉牡丹 (<i>Portulaca gilliesii</i>)	多年生草本，葉針狀，肥厚，冬季低溫葉片轉紅休眠

經種植結果發現，景天科植物於高溫乾旱時會有生長停滯、節間縮短及葉片聚合等禦旱機制，然台灣氣候夏季濕熱，常有植物因潮濕及根部排水不良而造成腐爛的問題，因此需開發更多植物材料。另外，景天科植物經多年生長後會有老化現象，新生珠數量無法填補缺珠空間，易造成雜草入侵問題，改善方法可以多種植物混合植栽，使物種生長競爭達到一定的平衡。此外，台灣春夏季則會有病蟲害問

題，可定時噴灑藥劑予以預防（李等，2008）。

2.2 土壤

2.2.1 土壤特性

土壤為礦物質與有機物所組成，其功能為支撐植物、提供生長之養分、水分及空氣，土壤之性質分為物理性、化學性及生物性（莊，1997）。土壤物理性質包括土壤質地、土壤構造、比重、孔隙度、空氣含量及溫度，土壤質地描述土壤中礦物粒子的相對大小，其表示土壤由粘粒（Clay）、粉粒（Silt）及砂粒（Sand）組成的百分率，我國援用美國農業部（United States Department of Agriculture, USDA）方式將土壤砂、粉及粘粒之組成劃分如圖 2.2 所示。土壤物理性質一般可由土壤質地判斷，砂質土通稱粗質地土壤，包括砂土及壤質砂土，由於粒子間孔隙大，毛管作用弱，通氣透水佳，內部排水通暢，因此水分不易保持；壤質土通稱中質地土壤，包括壤土、砂質壤土、粉質壤土、粘壤土、砂質粘壤土、粉質粘壤土及粉土，由於砂土及粘土比例適中，兼有砂、粘土之優點，其具一定數量之大孔隙及毛管孔隙，故通氣及透水良好，並具一定保水及保肥性能，為農業生產上質地較理想之土壤；粘質土通稱細質地土壤，包括粘土、粉質粘土及砂質粘土，由於粒間孔隙小，故通氣不良、透水性差，內部排水性差。土壤構造為土壤礦物粒子與有機質及無定形膠結物質相互結集成團粒之情形，相同質地之土壤，土壤結集情形可能受土壤壓實程度而不同，進而影響植物根之生長、土壤水分、通氣和微生物活性等等。土壤組成為土壤固體、液體及空氣三相，土壤固體部分為固相，而液相及氣相部分總和為土壤之孔隙部分，土壤密度可分為總體密度（bulk density）及土粒密度（particle density），其中總體密度又稱為容積比重或假比

重，指單位體積烘乾之土壤重；土粒密度又稱真比重，指烘乾土壤重量與固體物質所占體積之比。土壤孔隙影響土壤空氣含量，土壤空氣來源於大氣，提供植物根部呼吸及微生物呼吸所需，若土壤孔隙太小，可能造成土壤通氣不良而使土壤缺氧，限制根部呼吸，使養分吸收受阻，抑制植物生長。土壤溫度主要影響土壤中之化學反應及生化活性，包含養分轉換及微生物作用。

土壤化學性質包括酸鹼度、電導度、陽離子交換容量及養分含量。酸鹼度影響土壤中生化反應之進行，及化學分子存在形式，進而影響植物對土壤養分之吸收程度。電導度反應土壤中鹽分含量，土壤鹽分過高將造成鹽害，抑制植物生長。土壤陽離子交換容量為土壤可吸附之交換性陽離子量，可判斷土壤保蓄養分之能力。土壤養分為維持植物生長所需，不同植物對各養分需求不同，養分缺乏時將造成植物生長不良。

土壤生物性質指土壤中微生物反應。植物生長所需養分主要來自土壤，養分以無機形式經由根吸收，然許多養分於土壤中主要為有機態，須由礦化作用及微生物作用轉化成無機態，如土壤中之銨可經由硝化作用轉變為亞硝酸及硝酸，此一過程將消耗土壤中氧氣，並釋放氫離子，降低土壤酸鹼值，若微生物活動旺盛但通氣不良之土壤，易造成土壤缺氧情況。微生物亦可與植物共生，如根瘤菌可行固氮作用，供植物可利用之氮素，一般微生物對土壤有正面之影響，土壤微生物代謝產物和土壤中礦物集結形成有機與無機複合膠體，可穩定土壤構造，而一般微生物本身細胞壁帶負電荷，可增進土壤陽離子交換容量，另外有部分微生物如真菌會分泌抗生素，對其他微生物造成毒害，或是某些細菌會轉化出有毒鹽類，對植物造成危害。

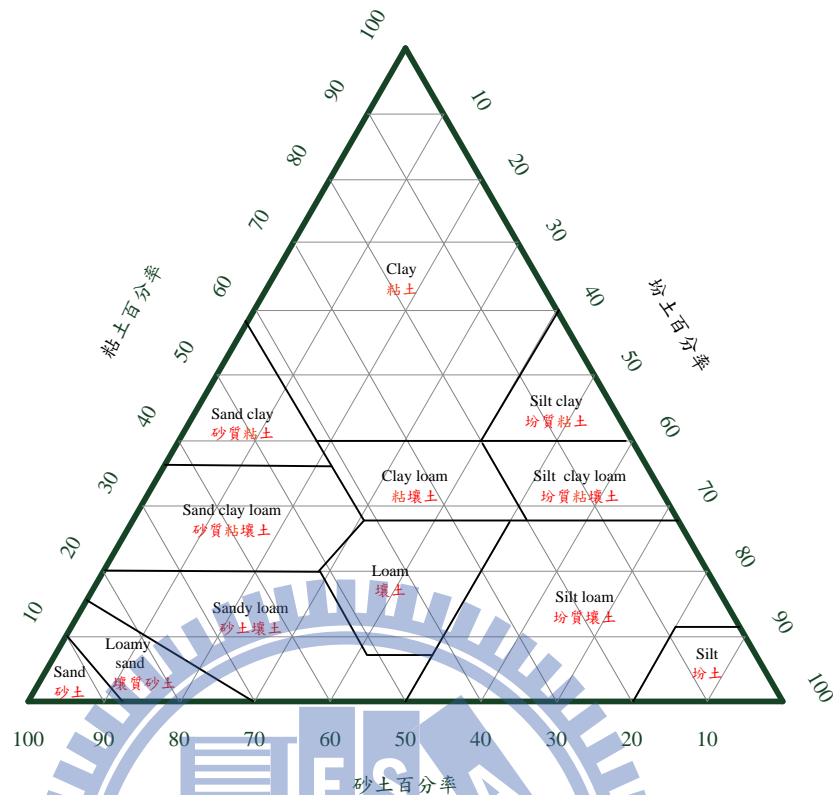


圖 2.2 土壤質地圖

2.2.2 土壤肥力

所謂肥沃的土壤指土壤能充分供應植物生長所需之養分、水分、空氣，及適當之環境如酸鹼度、鹽度及溫度，一般判別地力，可藉由土壤肥力分析以選擇適合生長之作物，或需要添加之營養元素，一般土壤肥力檢測，特定項目包括 pH 值、EC 值、有機質及植物生長主要營養素氮、磷及鉀含量為檢測重點，次要項目為植物生長次要營養素如鈣、鎂及硫含量，其他的項目如鋅、鐵及銅等微量元素含量。表 2.4 顯示一般土壤肥力檢測之結果，土壤氮素來源主要由有機物提供，由有機物高低可略反應土壤含氮情形，但各地土壤所含之有機物的性質，差異甚大，其碳氮比與其所吸附的元素也不同，提供氮素的效果各有不同，故一般無法對氮素含量做有效之建議，須觀察植物生

長情形來調整氮肥的用量。

表 2.4 土壤肥力分析報告

特性	pH (1:1)	EC (mS/cm) (1:5)	有機質 (%)	有效磷 (mg/kg)	有效鉀 (mg/kg)	有效鈣 (mg/kg)	有效鎂 (mg/kg)
表土 ¹	5.68	0.20	2.09	59	239	1681	238
底土	6.87	0.22	1.29	15	72	1895	321
建議值	5.5~6.8	<0.6	>3.0	10~50	30~100	570~1145	48~97
表土 ²	5.74	0.14	0.51	97 (kg/ha)	9 (kg/ha)		
建議值	5.5~6.8	<0.6		26~126	72~240		
表土	5.2	0.45	6.07	76	438	2784	214
建議植	5.5~6.8	<0.45	>3.0	60~290	90~300	2000~4000	200~400

¹ 台南農改場 (柚子), ² 台塑環保公司 (木瓜)

pH 值主要影響土壤中養分的可利用性，不同元素成份在各不同之 pH 值其有效性不同，植物缺乏營養素並不代表土壤中缺少該營養素，可能為 pH 值不在此營養素的可利用範圍內；故觀測養分含量外，尚須測量 pH 值，以確保其有效性 (Whiting *et al.*, 2008)，土壤之養分於不同之 pH 值其有效性如圖 2.3 所示。圖中顯示各養分在特定 pH 值範圍下有各自的有效性，其中氮的有效性範圍較廣，而磷有效性約 pH 6.5~7.5，故須根據不同植物生長所需之營養，來控制其適合的生長環境。

導電度與水中總離子數有關，一般鹽類為可溶性，鹽分越高，導電度越高，當土壤鹽分濃度過高，將對植物生長造成傷害，係因濃度過高造成滲透壓上升，植物根部無法吸收水分，以致影響植物生長甚至枯死 (陳，2000)。

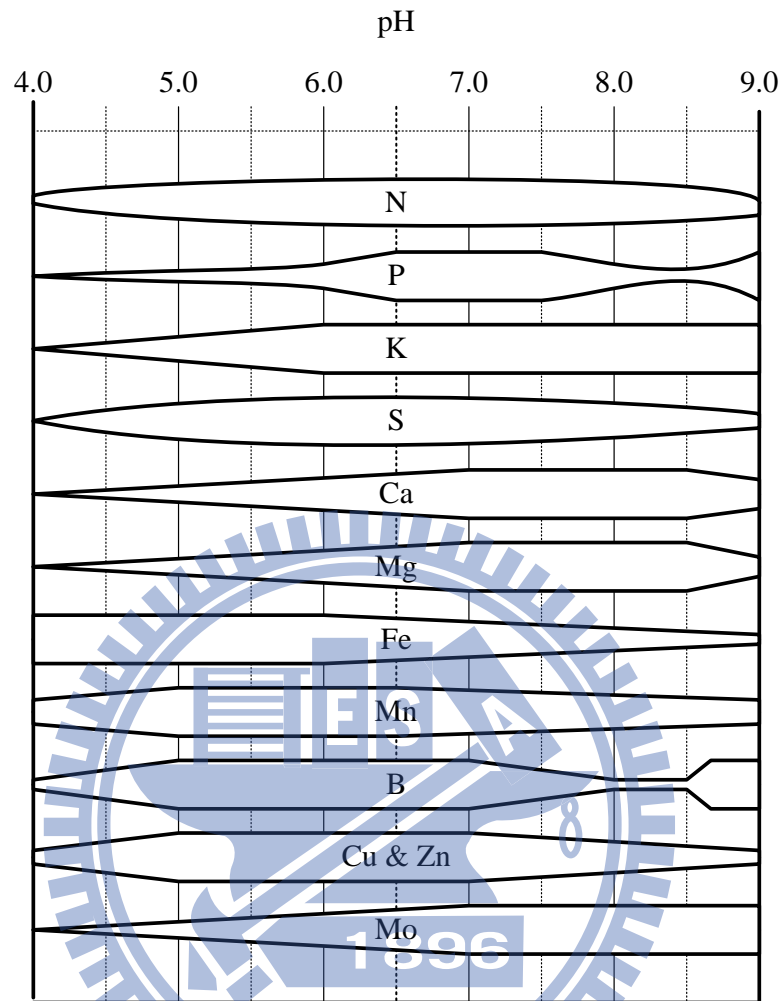


圖 2.3 不同 pH 值下養分的可利用性 (Whiting *et al.*, 2008)

土壤中有機質主要成分為腐植質，土壤有機質對植物生長之影響可透過其對物理性、化學性與生物性效應評估。於物理性效應，其可增進土壤構造，改善通氣性、排水性及保水性並可減少土壤的沖蝕。於化學性效應，其可吸附養分陽離子如鈣離子，增進陽離子吸附能力，提高土壤保肥力，並可儲藏氮、磷及硫等養分，以提供植物生長。於生物性效應，其可作為固氮菌之碳源，促進植物生長、根生成、養分吸收及葉綠素合成和種子發芽 (陳和楊，1993)。

氮為構成胺基酸、核酸及多種輔酶之必要元素，植物生長對氮的

需求一般較其他養分高，氮素主要由土壤中之腐植質提供，缺乏時，蛋白質合成與酵素反應皆會造成影響，導致植物生長受阻，並影響葉綠素合成，故缺氮時葉片會黃化或白化。植物可利用的氮素為土壤中的硝酸態氮 (NO_3^- -N) 和銨態氮 (NH_4^+ -N)，稱為有效氮，銨態氮易轉化為硝酸態氮形式，故養分吸收以硝酸態氮為主。土壤中的氮 90% 以上為有機態氮，無法被植物直接利用，須由微生物礦化後轉變為無機態氮型式才能為植物利用。

磷主要功能作為植物生長代謝時之能量轉化如 ATP、NADP 等攜能化合物，同時亦為核酸、核蛋白及磷脂質之構成分子，故缺乏時，能量的轉化會受影響，許多反應亦無法進行，植物生長也會受到抑制。磷之吸收以二價的磷酸氫根 (HPO_4^{2-}) 與一價的磷酸二氫根離子 (H_2PO_4^-) 為主，酸性土壤中，磷易和鐵或鋁形成難溶性化合物，使植物容易缺磷；但於鹼性土壤中，磷則易和鈣、鎂產生沉澱，一般認為磷之有效性約 pH 6.5 最佳 (莊，1997)。

鉀之功能為調節植物體水分狀況，控制葉片之開闔並可做為許多酵素活化劑，另可促進光合作用，並有利於蛋白質的合成。此外，鉀尚可增強植物之抗逆性，增強植物對不良環境忍受力。鉀之吸收以鉀離子 (K^+) 型態為主，因鉀常積聚於細胞分裂與作物生長活躍部分，故植物生長期間對鉀之需求較大。

鈣為細胞壁組成成分，且能維持細胞膜之功能。缺乏時，會影響到細胞膜之通透性。於土壤中，鈣作為主要之交換性陽離子之一，並可調節植物之生理作用，如鈣能減少銨離子 (NH_4^+) 過多產生的毒害，同時還能加速銨之轉化，於酸性土中，鈣能減少氫離子 (H^+) 和鋁離子 (Al^{3+}) 所造成之毒害；於鹼性土中，鈣能減少鈉離子 (Na^+) 過多造成之毒害。但一般土壤於正常情況下不易缺鈣，唯酸性土壤中較易有鈣質不足之情況。

鎂為葉綠素組成成分，其對植物之光合作用具有重要功用，其為許多酵素之活化劑，如磷酸根之轉化與代謝，許多酵素須靠鎂活化，

其也參與氮之代謝和脂肪之合成。另外，鎂與鈣或鎂與鉀可能會產生拮抗作用，例如大量之鎂吸收而引起鈣或鉀缺乏，又如鎂過量時會產生毒害問題，如有適量鈣成分即可調和毒素。

2.3 堆肥

堆肥程序係藉由微生物反應，在適當的條件下，將有機質材料如禽畜之糞尿、廚餘、植物材及污泥等，透過礦化作用及腐化作用，分解及轉化成安定之腐植質成分，即為腐熟之堆肥（蔡，2008）。藉由堆肥化過程將有機廢棄物製成堆肥可帶來許多益處，其可避免有機廢棄物產生不良有機成分及毒性物質，危害農作生長及人體健康；並可增進地力，幫助農作生長（林等，2002）。一般自製的堆肥可將有機材破碎混合後，並均勻澆水，調節合適之孔隙度及含水率，堆置於以網子或木頭圍住之區塊內，而後蓋上泥土、稻草及落葉等，並以重物壓牢，以防風吹及直接雨淋，堆積約 4~5 天後，堆肥開始反應發熱，觀察溫度之變化，反應良好之堆肥溫度可上升至 55~70°C 能殺死致病菌及害蟲，反應期間須注意補充適量水分以防內部水分乾枯，待 2~3 週後，開始進行翻堆使腐熟均一，翻堆時亦須充分補充水分，定時執行翻堆作業，至堆肥腐熟完全，腐熟之堆肥呈深褐或黑色無臭軟性泥狀物質。

2.3.1 堆肥特性

良好品質之堆肥可經由其外觀、堆肥過程及種子發芽試驗判定其腐熟程度，腐熟堆肥為深黑或棕黑色，具膨鬆感，吸水性強，味道為土味，發酵不良之堆肥顏色為黃色或黃褐色，並具刺鼻臭味（倪，1994）。以堆肥過程而言，主要使堆肥之溫度超過 55°C 以消滅致病

菌。種子發芽實驗為以葉菜種子經由堆肥萃取液及蒸餾水二日後發芽率之對照，用以判別堆肥之腐熟或是否有抑制性，未腐熟完全之堆肥可能有氮素缺乏、氧氣不足而造成雜草、病菌及害蟲等問題。

堆肥中微生物相極為重要，因此，其特性主要受微生物之生長條件影響，包含溫度、含水率及空氣量可影響微生物的活性與反應速率，另外尚包括堆肥材料中碳氮比 (C/N)，影響微生物攝取的養分。正常之好氧性堆肥原料中要求有一定之碳氮比，堆肥前有機材料最佳的碳氮比為 25~35:1 時較利於微生物分解，太高或太低皆會使微生物缺乏碳源或能量源而使生長受抑制，成品的堆肥中一般含約 10~20:1 之碳氮比。

2.3.2 肥料添加方式

肥料的添加方式一般可分為基肥與追肥。基肥為種植植物前，將肥料混合在土壤裡，一般其混合方式有兩種，一種為全層施肥，為將土壤與肥料完全混合均勻；另一種為分層施肥，方法為在底層中先鋪設一層底土，再放上所需肥料使用量，最後在上面蓋上泥土，兩種方法的差別在於全層施肥於各時期，肥料皆提供植物生長的養分，而分層施肥則須等植物的根長到施肥層才能吸收到其養分，故可依種植植物之特性選用適合的方式。追肥之意義為依植物特性，在特定的生長期，如為促進生長旺盛、開花與結果，在不同階段所補充之肥料。通常作為基肥為營養成分較低的緩效性肥料如有機肥料；作為追肥則選用速效性的化學肥料，但由於其養分含量高，使用過量會造成土壤鹽化問題。由於在堆肥中大部分的速效性氮在堆肥化過程中轉變為緩效性氮，若僅施加於表土上其功效不大，故於作物種植前，使用堆肥與土壤充分混合，較能表現出其改良土之功效 (倪，1994)。

2.3.3 有機肥料施用量

有機肥料的施用，過量會對土地造成負荷，使土壤某營養鹽過多之問題，施用過少，則對實質上的土質改善可能效益不大，合理的施用有機肥料，須考慮幾點要素，首先須了解使用之有機堆肥之特性，若為含纖維素量較多如稻穀、樹皮、作物等之堆肥，其氮、磷、鉀三要素含量少，在土壤中分解緩慢，適合長期的土質改善；若為禽畜糞、動物性廢棄物及油粕類等含養分較高之堆肥，則須減少施用量；而部分以污泥做為來源之堆肥，可能含某些毒性物質如酚或重金屬成分，過量施用亦會造成植物毒性而抑制植物生長 (Grigatti *et al.*, 2007)。另外，需考慮所種植物養分的利用情形，短期作物如葉菜類養分需求量大，注重高養分的提供，長期生長植物如樹木等，則著重於長期之土質改善 (王等, 1993)。堆肥添加量亦影響有機質含量，在綠屋頂的介質中，由於著重低的維護性，其介質須有好的穩定性，若有機質成分太高，則土壤結構會因有機質隨時間分解而發生改變 (Friedrich, 2005)。另外，堆肥量過高，將可能使土壤鹽分過高造成植物鹽害，及介質滲出水之氮、磷等營養鹽過高，造成環境的問題。

2.3.4 堆肥應用與效益

有機堆肥的應用，主要顯現出其對環境的效益關係。一般有機廢棄物具資源性，若能妥善處理，將其轉化為農業生產上的養分源與碳源，不僅符合資源再利用的法則，也是生活中有機廢棄物減量的重要方向之一。故此，若將有機廢棄物以堆肥化過程，製成具營養價值的肥料，不但可提升農田地力，也能減少有機廢棄物對環境上的影響。堆肥化過程，目的在於去除廢棄物中不穩定之有機質成分，轉化為安定的腐植質成分，若使用腐熟不完全之堆肥，其不穩定有機物成分可

能於分解中產生有毒的中間產物，降低土壤效能（蔡，2008）。

堆肥施加對土質改善的效益一般認為在施加堆肥後，提高了土壤中腐植質的含量，增進土壤之物理、化學與生物性質，使植物生長環境更佳。根據 Aggelides and Londra (2000) 於應用堆肥於壤土與砂土之研究，其結果顯示，添加有機堆肥後，能改善土壤之飽和與未飽和水力傳導係數、保水能力、體積密度、總孔隙度、孔徑分佈、根的穿透阻抗以及土壤團粒的穩定等物理性質。堆肥之化學效益可直接反應於添加量上，根據 Kowalijow and Mazzarino (2007) 之研究，其結果顯示於添加有機堆肥 12 個月後，土壤之 pH 值、EC 值以及營養素碳、氮、磷含量相較於無添加之土壤明顯的增高，與無機肥料的添加比較，無機肥料可使植物有較佳的生長覆蓋率，但對於土壤之性質則無實質的改善性。另外 Ros *et al.* (2003) 對於有機堆肥提升土壤生物性之研究，其結果顯示，有機堆肥施加之土壤其生物量、基礎代謝以及碳與氮循環的酵素反應皆較無堆肥添加之土壤高，故能提高土壤的生物活性，更利於營養素的礦化作用，顯示出堆肥添加的成效。

堆肥施用對於植物生長，許多文獻有提到其效益。如在萵苣的種植上，研究發現使用廚餘堆肥六至八周後，萵苣在重量增量上，比應用市售之堆肥高出二至三倍 (Lee *et al.*, 2004)；其結果顯示使用廚餘堆肥，土壤性質如 pH 值、EC 值、有機質及鈉含量相較於市售堆肥與無機肥料高，但依然在適合植物生長的合理範圍內，充分顯現出其營養與使用價值。另外於連續施肥狀況，對葉菜類的生長效果影響，研究結果發現各期的葉菜產量，均以施肥處理高於不施肥處理 (劉，2007)；其結果與施用化學性肥料比較，在施肥前六期，施用廚餘堆肥之產量均比施用化學肥料低，主要原因為有機肥料中的有機態氮與有機態磷皆須經微生物的礦化作用轉成無機態型式，才能為植物所利用，故其結果不如化學性肥料之速效性，但在長期施用化學肥料的情況下，化學肥料雖易釋放養分，卻容易使土壤酸化，使產量受到 pH 值改變影響而效果不佳。

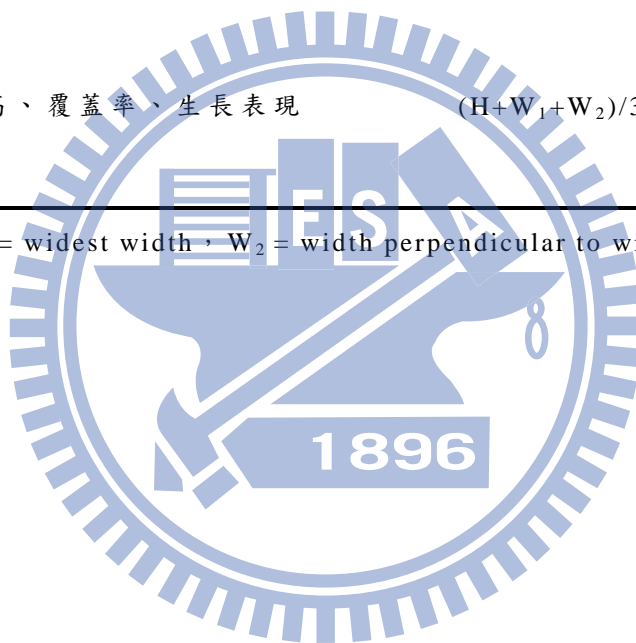
2.4 生長指標 (growth index)

一般文獻對於植物生長反應之記錄方式包含植物株高、根長、重量、覆蓋率與生存率等，部分文獻為表現植物整體性的生長情形，將植物生長狀況以生長指標表示，選用生長指標必須考慮植物本身的特性及生長情形，其指標內容應具有代表植物生長優劣之判定性質。表 2.5 顯示各文獻中對植物生長的紀錄及所選用之生長指標。在分析 Barbara Karst 中，由於此種植物最大特徵為其紫紅色花，其生長記錄對其植株與花有特定之描述，文獻中其將花的表現分為五個等級由數字 1~5 表示，1 為沒有花生長，數字愈大代表花的生長愈繁盛，5 為花長得很茂密，類似此等的分類法，於生長情況如葉子數量或果實產量，部分文獻亦有相關的表現方式。另外在分析三色堇的開花，以開花的數量直接記錄；在灌木類的分析，尚有以植物的重量增加來計算其生長量，而各文獻中植物的生長指標，多與其生長高度 (H) 及覆蓋程度 (W, r) 有關，經由研究討論與比較，分析其原因為生長高度及覆蓋率，可隨時間進行記錄，然植物增重之記錄於實驗期間較難進行，且進行時可能受土壤、水分重量影響觀測，或於進行時，破壞到植物體，影響其生長勢，故僅適合於實驗結束後進行，然通常植體重量顯示較客觀之植物生長，因生長狀況可直接反映於植體產量上，故此方式常用於蔬菜、果實之種植記錄。以植物生長方式分析，一般高莖植物多適合以生長高度、覆蓋程度記錄，而短莖及匍匐植物則較適合以覆蓋率記錄。然匍匐類長莖植物，高度較難以記錄，若分節數量多時，記錄長度可能因枝節大小或粗細不同，造成記錄困難，無法客觀表現出植物生長情形，此時可選擇記錄覆蓋率或植體重量方式，可較容易表現出植物生長狀況。

表 2.5 各文獻中之植物生長紀錄

分析植物	生長記錄	生長指標	參考文獻
Barbara Karst	花、株高、生長表現	$\{H+[(W_1+W_2)/2]/2\}^a$	James <i>et al.</i> (1996)
灌木類	株高、生長表現	$(H+W_1+W_2)/3$	Kessler and Keever (1997)
灌木類	株高、重量、生長表現、生存率	$(H+W_1+W_2)/3$	Wilson <i>et al.</i> (2006)
三色堇	花、株高、重量、生長表現	$\pi \cdot r^2 \cdot H^b$	Sloan <i>et al.</i> (2003)
景天科	株高、覆蓋率、生長表現	$(H+W_1+W_2)/3$	Gibbs <i>et al.</i> (2006)

^a H = height, W₁ = widest width, W₂ = width perpendicular to widest width, ^b r² = (((W₁ + W₂)/2)/2)²



第三章 材料與方法

3.1 實驗材料與設備

(1) 培育盆與生長架

本研究所用之培育盆為一般種菜、花卉所用之圓形軟盆，軟盆高 10 公分，上圓直徑為 11 公分，下圓直徑 7 公分，使用生長架來固定之，一生長架可固定 12 盆軟盆，材料內容如圖 3.1 所示。

(2) 植物

本研究係根據生長時間的適合度，採用景天科之松葉佛甲草，又名松葉景天 (*Sedum mexicanum Britt.*)，原產於墨西哥之多年生肉質草本植物，葉為肉質針形，於春季時開花。其特性為耐旱強，性喜光照、半乾燥環境，具備良好之生長勢，生長速度佳；但耐寒性弱，生長環境溫度需大於十度，材料內容如圖 3.2 所示。

(3) 土壤

採用竹北市現地農業種菜用途之土壤。一般綠屋頂使用輕型無土介質培育植物，本研究主要目的為探討堆肥之可利用性，使用土壤做為介質中礦物質成分，而堆肥作為有機質成分，選用土壤之優點為取用方便且低成本，一般大眾能容易取得。

(4) 堆肥

採用新竹市環保局提供之市售堆肥成品，材料為雞糞。



圖 3.1 植物生長架與軟盆



圖 3.2 松葉景天

3.2 實驗流程

本研究之實驗流程如圖 3.3 所示。實驗材料包括植物、土壤及堆肥，實驗前，將選購之實驗植物移植於兩個槽中，經數週適當之照顧，觀察植物生長情形是否良好，本階段目的在於觀察購得植物適應實驗之環境情況。土壤及堆肥分別進行基本性質分析及堆肥種子發芽率實驗後，將不同比例 (0~100%) 土壤及堆肥混合，並測量混合介質之基本性質。

第一階段混合比及含水率試驗，設計 6 組堆肥比 (0、20、40、60、80、100%) 共 72 盆培育盆，每組分別設計 2 種含水率 (25 及 35%)，於植物之生長期間定期做水分之控制，數週後觀察植物生長情形，此階段之目的為決定本研究中堆肥添加量之範圍及含水量。

第二階段混合比試驗將依照第一階段實驗之結果，控制堆肥混合比之範圍及含水率，做進階之不同堆肥混合比之植物生長實驗，以得最佳之堆肥可利用率。實驗方式如第一階段方法進行，各組設計 1 組控制組，植物生長期間做定期之水分控制，約經 2 至 3 個月之植物生長期，分析實驗結果。

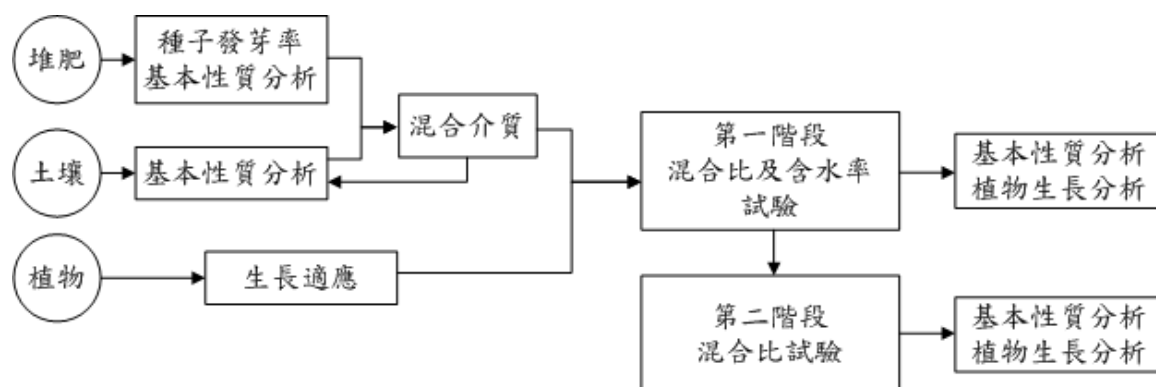


圖 3.3 實驗流程圖

3.3 分析項目及方法

本研究分析項目包含土壤密度、孔隙度、含水率、種子發芽測試、pH 值、EC 值、有機質、氮、磷、鉀、鈣、鎂以及植物之生長指標。樣品分析項目、方法及分析儀器如表 3.1 所示。

表 3.1 分析項目、方法及儀器

分析項目	方法	儀器	儀器型號
pH	NIEA S410.62C	pH meter	SUNTEX SP2200
EC	NIEA W447.20C	EC meter	WTW tetra con 325
水分	NIEA S280.61C	烘箱 (105°C)	CHANNEL DV620
有機質	NIEA R212.01C	烘箱 (550°C)	Nabertherm
NO ₃ ⁻ -N	NIEA W419.51A	分光光度計	HITACHI U-3010
PO ₄ ³⁻ -P	NIEA W427.52B	分光光度計	HITACHI U-3010
K、Ca、Mg	NIEA M111.00C	火焰式原子吸收光譜儀	
Weight		電子天平	Sartorius BP-221S

3.3.1 採樣

於種植植物前對土壤、堆肥及混合土樣做基本性質分析，採樣方法為各土樣均勻混合後，取適量土樣分析；待實驗結束時，選取各比例土樣中，植物生長最佳之 3 盆，採集其植物根部附近，深度 3~5 公分之適量土樣分析。

3.3.2 堆肥施加法

本研究使用之堆肥添加法為全層施肥法，為土壤與堆肥依特定之重量比例以混合均勻的方式供作植物生長，用於實驗之混合土樣配製方式如表 3.2 所示，混合土樣成品如圖 3.4 所示。

3.3.3 種子發芽測試 (Seed germination test)

取堆肥萃取液 10 ml 滴入內襯有 WHATMAN#1 濾紙之培養皿中，將 100 顆葉菜種子平均置於濾紙上，於 25°C 之恆溫箱中培養 48 小時，觀察其生長情形，另取 10 ml 蒸餾水以相同方法作測試，用以作為對照組比較。

表 3.2 混合土樣配製方式

Content per pot	Ratio of compost (w/w)								
	0%	5%	10%	15%	20%	40%	60%	80%	100%
Soil (kg)	0.60	0.57	0.54	0.51	0.40	0.27	0.16	0.07	0.00
Compost (kg)	0.00	0.03	0.06	0.09	0.10	0.18	0.24	0.28	0.29
Total weight (kg)	0.60	0.60	0.60	0.60	0.50	0.45	0.40	0.35	0.29

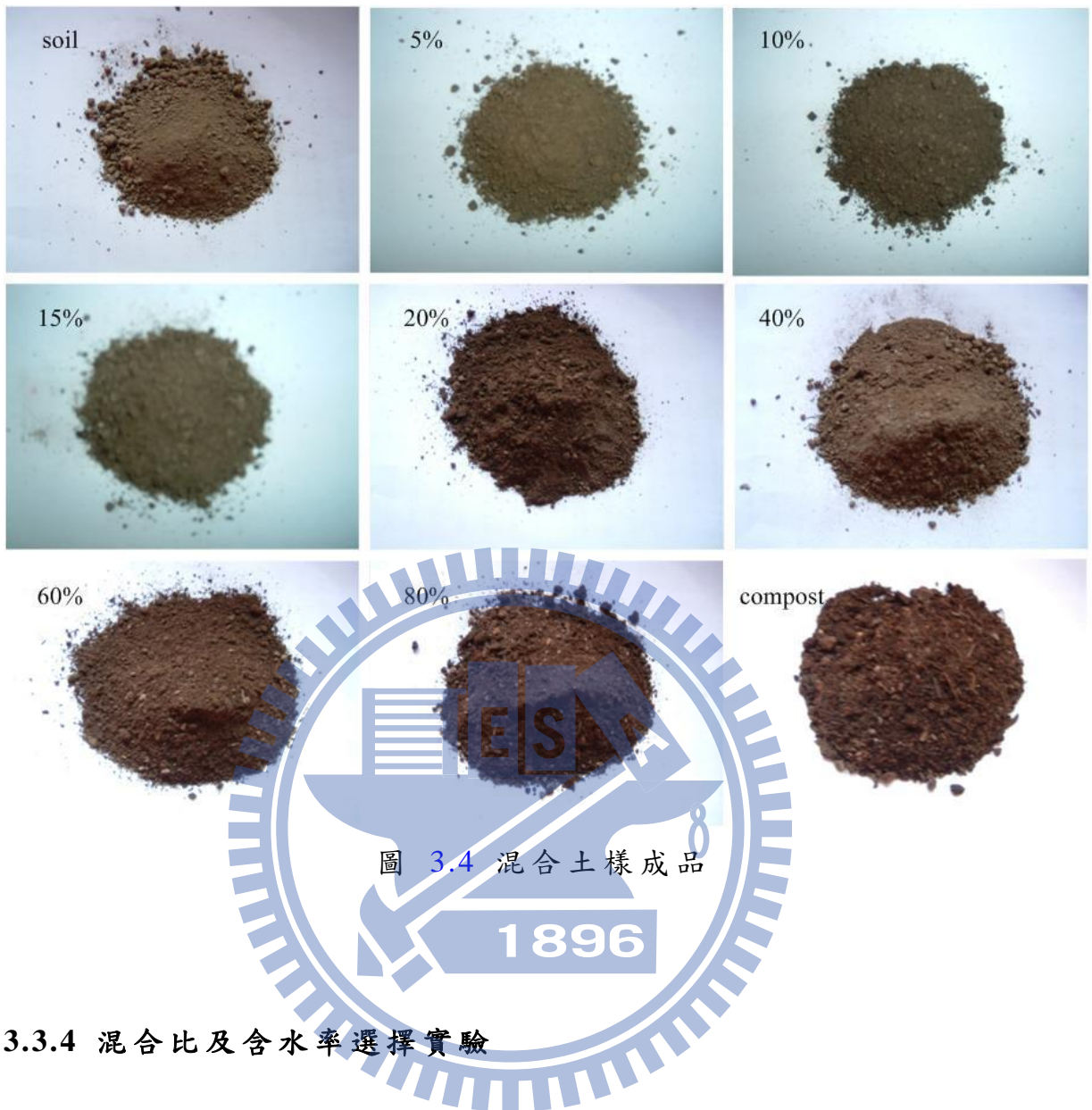


圖 3.4 混合土樣成品

3.3.4 混合比及含水率選擇實驗

本實驗設計如圖 3.5 所示，以扦插方式將植物植入 6 種混合土樣 (0、20、40、60、80、100%)，初始植物為單株長 5 公分，植入土下 1 公分處，每組分別設計兩種含水率，圖中上方區塊及下方區塊分別代表 25 及 35% 之含水率，並各設置 1 盆控制組為無植栽，於固定時間觀察植物生長情形。

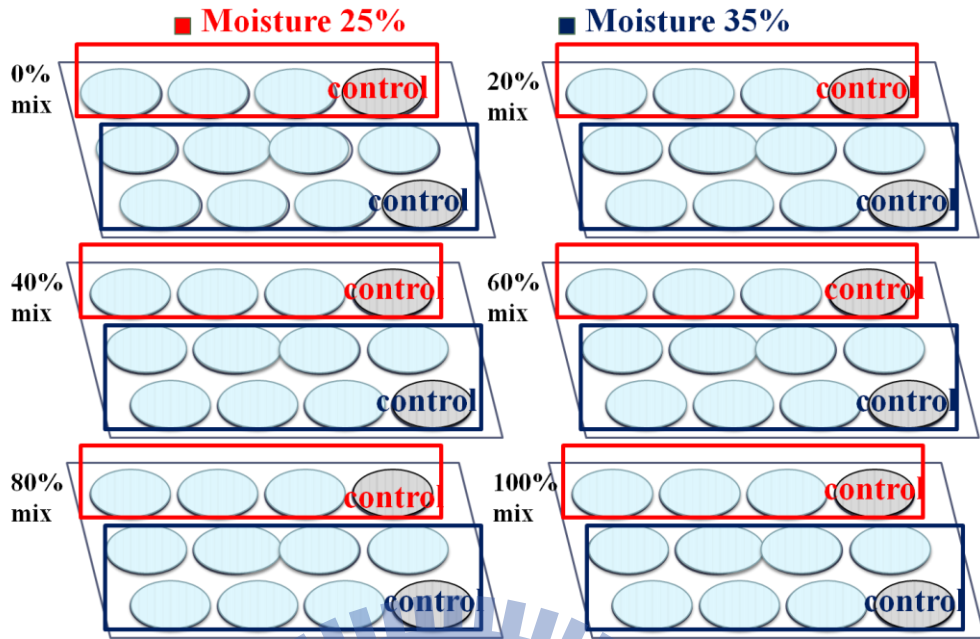


圖 3.5 混合比及含水率選擇實驗

3.3.5 土壤 pH 值測定

土壤酸鹼值測定步驟圖 3.6 所示，土壤酸鹼值一般以 1:1 土水比測定，即土樣與去離子水依 1:1 (w/v dry weight basis) 比例混合，經由震盪、離心及過濾後，測量所得濾液之酸鹼度。

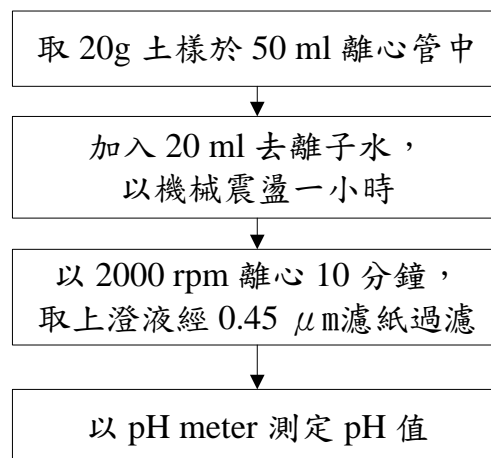


圖 3.6 土壤酸鹼值測定步驟

3.3.6 土壤飽和電導度測定

根據李及陳 (2007)，土壤飽和液之測定步驟如圖 3.7 所示：

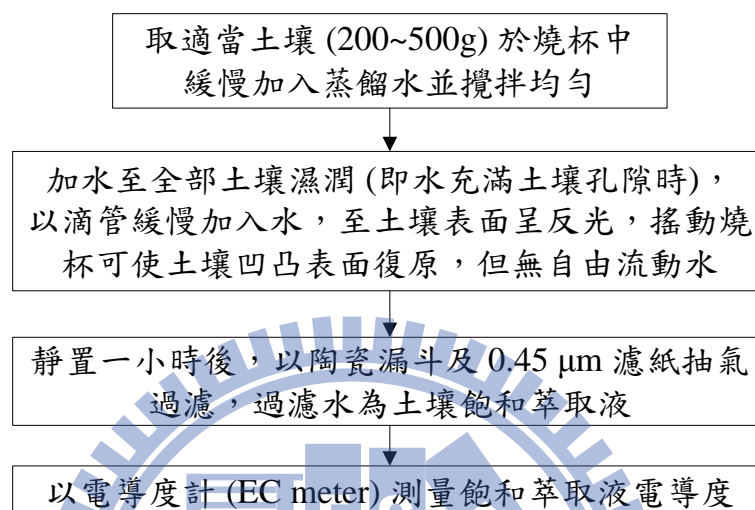


圖 3.7 土壤飽和液之測定步驟

3.3.7 土壤含水率及有機質含量

土壤含水率及有機質含量測定方法如圖 3.8 所示：

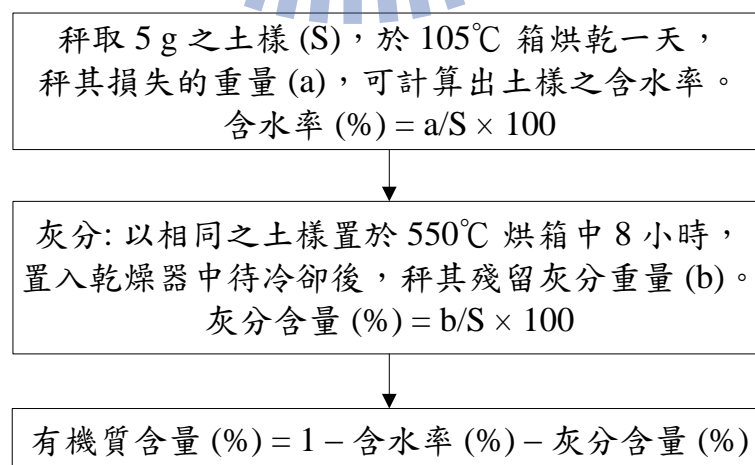


圖 3.8 土壤含水率及有機質含量測定步驟

3.3.8 土壤密度及孔隙度

根據李及陳 (2007)，土壤密度及孔隙度以量筒法測定其步驟如圖 3.9 所示：

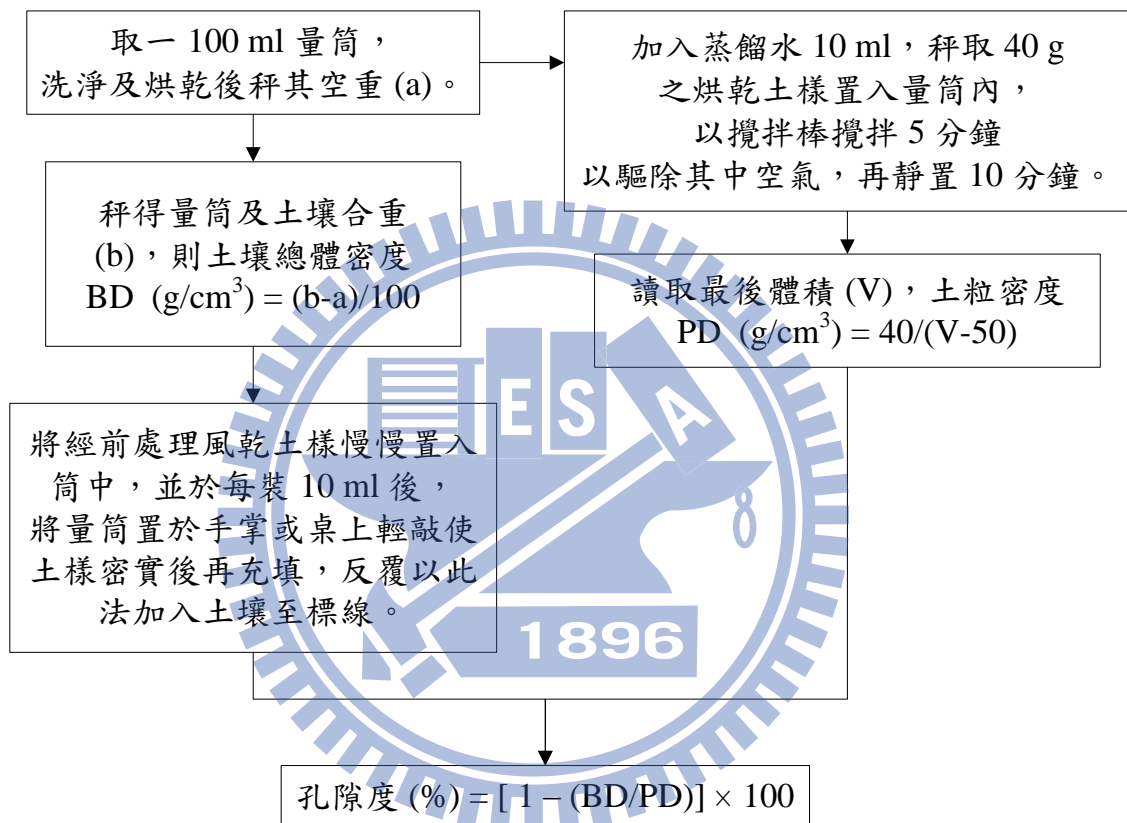


圖 3.9 土壤密度及孔隙度測定步驟

3.3.9 容器含水量

容器含水量之測定係參考 Bragg and Chambers (1988) 方法設定，其步驟如圖 3.10 所示：

選擇一適當容器如花盆，將土樣倒入盆內，將水倒入盆內使水面高於盆土，使各層土樣能充分吸水後，使花盆自然排水 10 分鐘，重複此步驟 3 次。

再將水倒入盆中，使水淹過土樣後，待盆內平均充滿水，將花盆移出，靜置 30 分鐘使其自然排水，量測其排水之體積 (v)

將排水後之土樣稱重 (a)，並置於 105°C 烘箱中烘乾 24 小時，取出後稱重 (b)

$$\text{容器容水量 CC (\%)} = (a-b)/(\gamma_{\text{water}} \times v) \times 100\%$$

γ_{water} ：室溫下水之比重

圖 3.10 容器容水量測定步驟

3.3.10 生長記錄

本研究對植物之生長記錄包括植物重量、植物總長度及覆蓋率。重量測量以植物於試驗結束後，輕輕施力將其拔出土壤，勿對植物體及根部造成傷害，以水洗方式將根部清洗並擦拭乾淨後，以電子天秤記錄其重量。植物總長度之測量以植物體主枝體及各分枝以量尺量測其長度總和。植物生長覆蓋率以軟體 Image J. 計算植物生長面積及盆栽面積相除而得。

第四章 結果與討論

4.1 土壤及堆肥混合土樣基本性質

4.1.1 土壤基本性質

土壤及各比例堆肥混合土樣基本性質如表 4.1 所示。根據譚等 (2005) 台灣耕地土壤一般肥力狀況，台灣西部土壤受高溫多雨影響，多為酸性土質，平均 pH 4.5~6.5，由於淋洗程度大，養分含量不足，有機物易分解，有機物一般含量 2~3%，有效磷小於 20 mg/kg，有效鉀含量小於 35 mg/kg。根據表 2.4 一般土壤肥力分析報告可知，一般適合植物生長之土壤 pH (1:1) 為 5.5~6.8，電導度 (1:5) 小於 0.6 mS/cm，有機質含量大於 3%，由於不同作物生長所需養分不同，其養分亦有不同建議值。根據表 4.1 結果顯示，本研究選用之土壤 pH 5.9 為酸性土、飽和電導度 0.5 mS/cm、有機物含量 4%、水溶性氮 16 mg/kg、水溶性磷 0.09 mg/kg、全鉀含量 1,379 mg/kg、全鈣及全鎂含量分別為 741 mg/kg 及 651 mg/kg，與一般土壤比較，含較高有機質、氮及鎂含量，而有效磷含量較低。根據圖 2.3 各養分於不同酸鹼值下之可利用性可推論，於此土壤種植時，氮、鈣及鎂之利用性較低，於植物生長時較易缺乏。

表 4.1 土壤及各比例堆肥混合土樣基本性質 (n=3)

Content	Ratio of compost to soil								
	0% (soil)	5%	10%	15%	20%	40%	60%	80%	100% (compost)
pH (1:1)	5.9	7.2	7.3	7.3	7.5	7.5	7.6	7.7	7.7
EC (mS/cm)	0.5	1.8	3.1	3.9	6.3	11.0	12.5	16.4	17.5
OM (%)	4.2	5.7	7.3	8.8	10.4	16.5	22.6	28.8	35
Density (g/cm ³)	1.06	0.98	0.95	0.92	0.89	0.80	0.69	0.60	0.52
Porosity (%)	19	24	28	33	38	45	53	58	61
CC (%)	33	33	32	32	31	29	26	24	23
NO ₃ ⁻ -N (mg/kg)	16	27	37	50	59	101	146	190	233
PO ₄ ³⁻ -P (mg/kg)	0.09	0.09	0.10	0.10	0.10	0.11	0.13	0.14	0.15
K (mg/kg)	1,189	1,475	1,756	1,848	1,909	2,220	2,677	3,016	3,606
Ca (mg/kg)	541	866	1,220	1,580	1,929	2,722	3,700	4,772	7,700
Mg (mg/kg)	651	683	711	749	780	910	1,028	1,170	1,395

4.1.2 堆肥基本性質

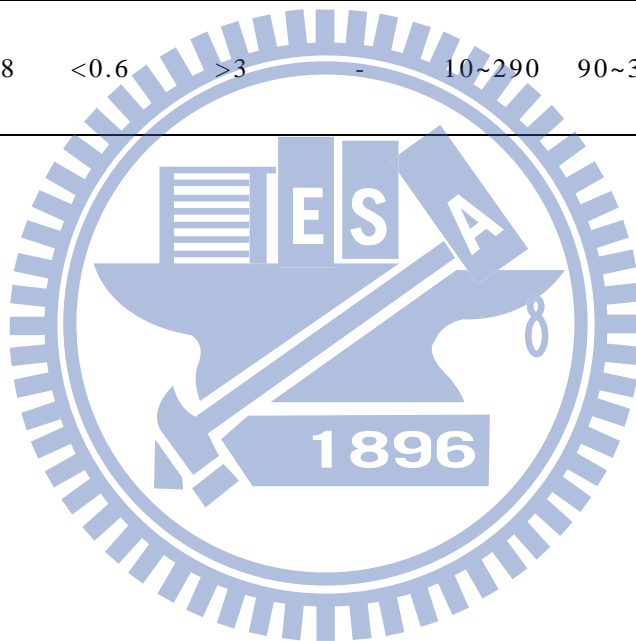
腐熟堆肥之 pH 一般接近中性，如為雞糞肥則 pH 可達 9.0，本研究選用之堆肥主要成分為雞糞，基本性質如表 4.2 所示，堆肥 pH 7.7，呈微鹼性，有機質含量 35%、水溶性氮 235 mg/kg、水溶性磷 0.15 mg/kg、全鉀含量 3,606 mg/kg、全鈣及全鎂含量分別為 7,700 及 1,395 mg/kg，根據一般土壤肥力檢測建議可知，此堆肥富含養分可供植物生長所需。林等 (2002) 指出，雞糞堆肥相較其他有機堆肥，其氮、磷、鉀養分含量較高，但使用時須考慮其高電導度對植物生長之影響。本研究之堆肥飽和電導度為 17.5 mS/cm，超過一般植物可生長之臨界電導度 4 mS/cm，其總體密度及孔隙度分別為 0.52 g/cm³ 及 61%，由實測結果顯示其土質構造強度不足，受淋洗程度大時，可使整體構造崩毀，無法支撐植物體，根據以上結果可知，土壤及堆肥須以適當比例調理，並避免堆肥之過量使用。

堆肥品質可藉由外觀、氣味及種子發芽實驗判斷其腐熟程度。由圖 3.4 可知，堆肥外觀呈黑褐色，其氣味無臭如土味，圖 4.1 為其種子發芽實驗結果。本實驗係採敏感性佳之小白菜種子，對堆肥進行兩次之種子發芽率測試，其實驗組（堆肥 1:10 萃取液）之種子發芽率分別為 93 及 97%，而對照組（蒸餾水）之種子發芽率分別為 91 及 95%，根據簡等 (2005) 以種子發芽率測定法判斷堆肥品質所述，當試驗組種子發芽率達對照組發芽率 90% 以上，且根之伸長不受抑制，則試驗堆肥為已達腐熟程度。由實驗結果可知，本研究採用為已達腐熟之堆肥。

表 4.2 各式堆肥基本性質

	pH	EC	OM	N	P	K	Ca	Mg
	(1:1)	(1:5)	(%)			g/kg		
研究堆肥	7.7	17.5	35	233	0.15	3,606	7,700	1,395
雞糞 ¹	8~9	11~13	36	195	630	330	2,100	160
牛糞 ¹	-	3.5	56	220	230	160	91	130
豬糞 ¹	-	4.0~4.5	62	250	290	100	830	90
樹皮 ¹	-	<1	-	190	22	67	-	-
污泥 ¹	-	-	54	240	1,510	84	1,250	183
一般土壤	5.5~6.8	<0.6	>3	-	10~290	90~300	570~4,000	50~400
肥力建議								

¹ 林等 (2002)



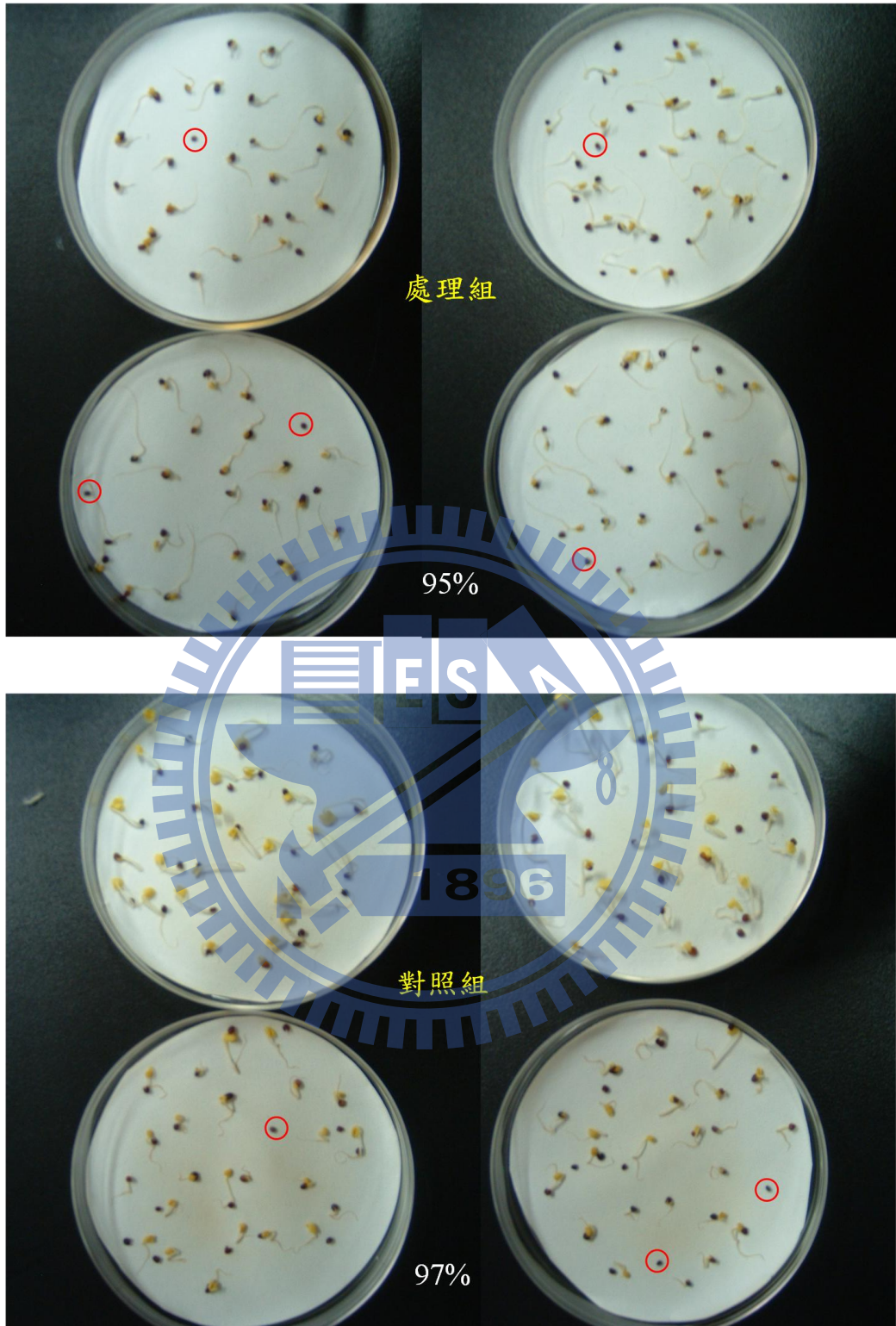


圖 4.1 種子發芽實驗結果

4.1.3 混合土樣基本性質

林等 (2002) 的研究指出，良好之植栽介質須具備特性如提供均衡營養、緩衝力佳、pH 中性、電導度 0.2~1.1 mS/cm、總體密度 0.3~0.6 g/cm³、孔隙度 10~50% 以及容器含水量 20% 以上之特性。表 4.1 顯示各混合土樣之基本性質，由結果可知，本研究之堆肥為微鹼性，於土壤添加少量堆肥後，可使 pH 達中性，顯示其具良好之 pH 調節能力；一般土壤分析報告建議土壤有機物含量 3% 以上，由結果顯示混合介質含足量有機物供植物生長，於堆肥比 15% 時，飽和電導度可達一般植物生長之臨界值 4 mS/cm，高溶解鹽顯示混合介質含足量營養鹽，但添加過量可能將對植物生長造成抑制，一般堆肥若含鹽度過高可進行預先淋洗，再添加至土壤，可防其對植物造成鹽害及氮、磷對河川造成優養化現象；由營養鹽氮、磷、鉀、鈣及鎂之分析結果可知，經由添加堆肥後明顯提高土壤養分；由結果顯示混合介質總體密度介於 0.52~1.06 g/cm³，可知以土壤作為介質原料具有荷重之缺點，由結果顯示土壤經由添加堆肥後，可降低土壤之密度，並增加土壤之孔隙度，改善土壤結構；比較表 2.2 理想綠屋頂介質性質可知，混合土樣 pH 值、孔隙度及容器含水量接近於建議範圍，而混合比 15% 以上之土樣 EC 值高於建議值 3.5 mS/cm，混合比 40% 以下之土樣其總體密度高於建議值 0.8 g/cm³，顯示堆肥含鹽度過高及土壤荷重的問題。綜合以上結果可知，經由添加堆肥，可調節土壤之酸鹼值，提供土壤不足養分，並增進土壤構造，以達改善土質之目的 (Aggelides and Londra, 2000; Ros *et al.*, 2003; Kowalijow and Mazzarino, 2007)。

4.2 第一階段混合比及含水率選擇實驗

植物於不同堆肥混合比及含水率下之生長情形如圖 4.2 及圖 4.3 所示，結果顯示當介質之堆肥混合比為 40% 以上時，植物之生長皆受抑制，於三個月後皆枯萎，而堆肥混合比為 20% 時，多數之植物生長皆受抑制，僅一盆植物生長良好，未添加堆肥的土壤實驗組，植物之生長不受抑制；不同含水率下植物生長結果如表 4.3 所示，結果顯示不論於土壤或堆肥添加介質，植物生長情形皆以含水率 35% 較佳。由此可知，過量之堆肥添加，將對植物生長造成抑制，並須維持植物適當之生長條件。根據結果，本研究將合理之堆肥添加量控制為 0~20%，而初始含水率控制為 35%。

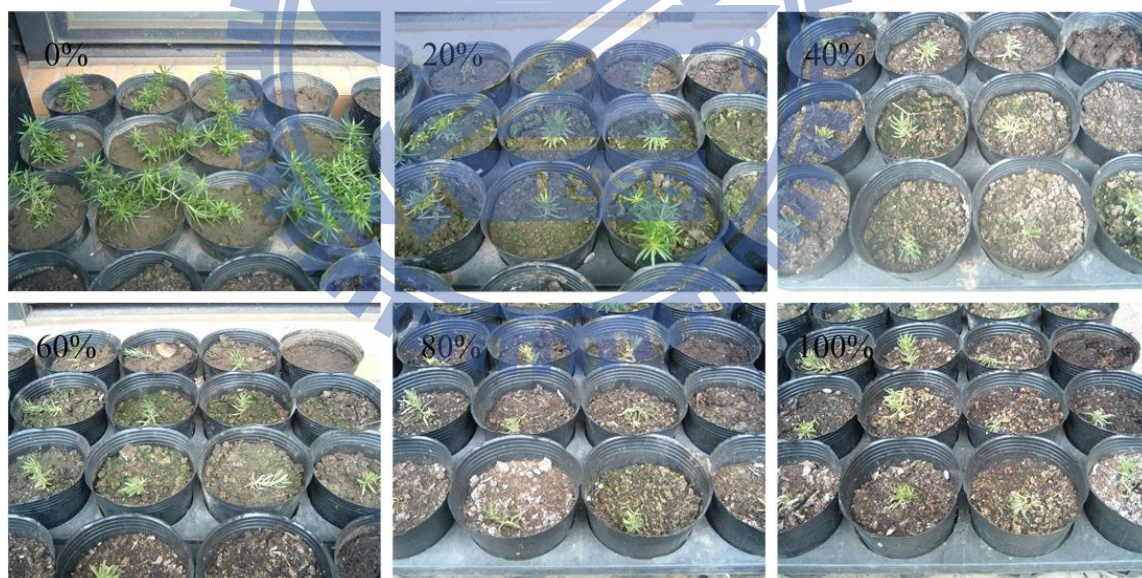


圖 4.2 不同含水率下一個月後植物生長情形

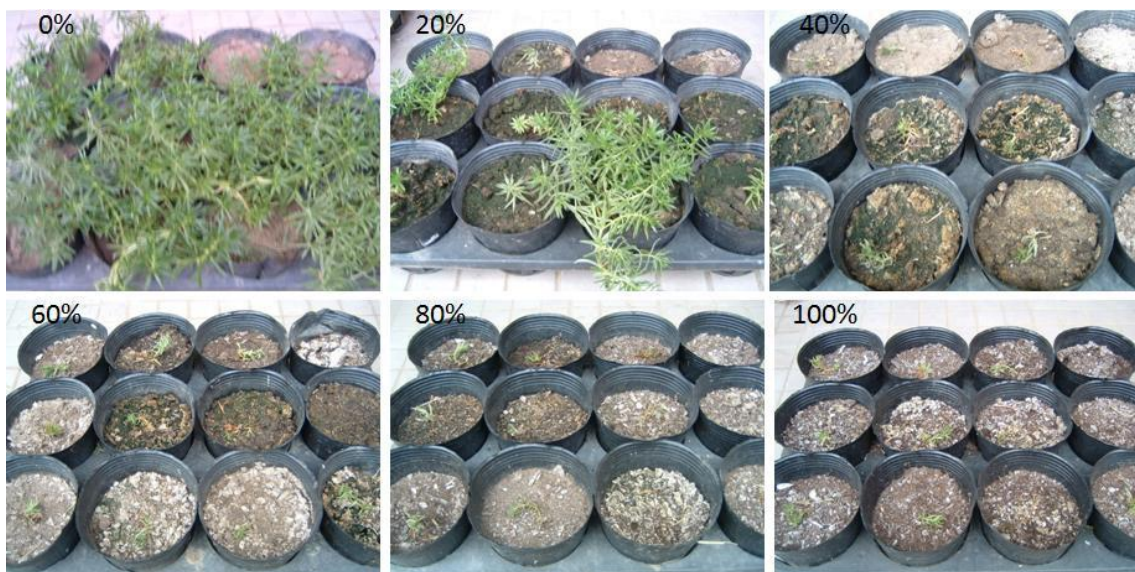


圖 4.3 不同含水率下三個月後植物生長情形

表 4.3 植物生長平均重量

Moisture	Ratio	0%	20%	40%	60%	80%	100%
25%		16.7g	- ¹	- ¹	- ¹	- ¹	- ¹
35%		30.5g	16.1g	- ¹	- ¹	- ¹	- ¹

¹ dead

4.3 第二階段堆肥混合比實驗

4.3.1 第二階段堆肥混合比實驗設計

第二階段堆肥混合比實驗設計如圖 4.4 所示，設計堆肥混合比 0、5、10、15、20% 共五種比例，以扦插法將植物植入土下一公分，初始植物長度為五公分，每組分別有 11 盆種植植物（實驗組）及 1 盆無種植（控制組），初始實驗含水率為 35%，實驗期間定時做含水率檢測，將各組含水率維持近似於 35%，實驗地點選於無受陽光直接照射之閣樓下，使其受日照、雨水之影響較小，由於供給之水量造成之滲水情形幾乎可忽略，故於本研究過程不考慮滲出水導致氮、磷污染之問題。

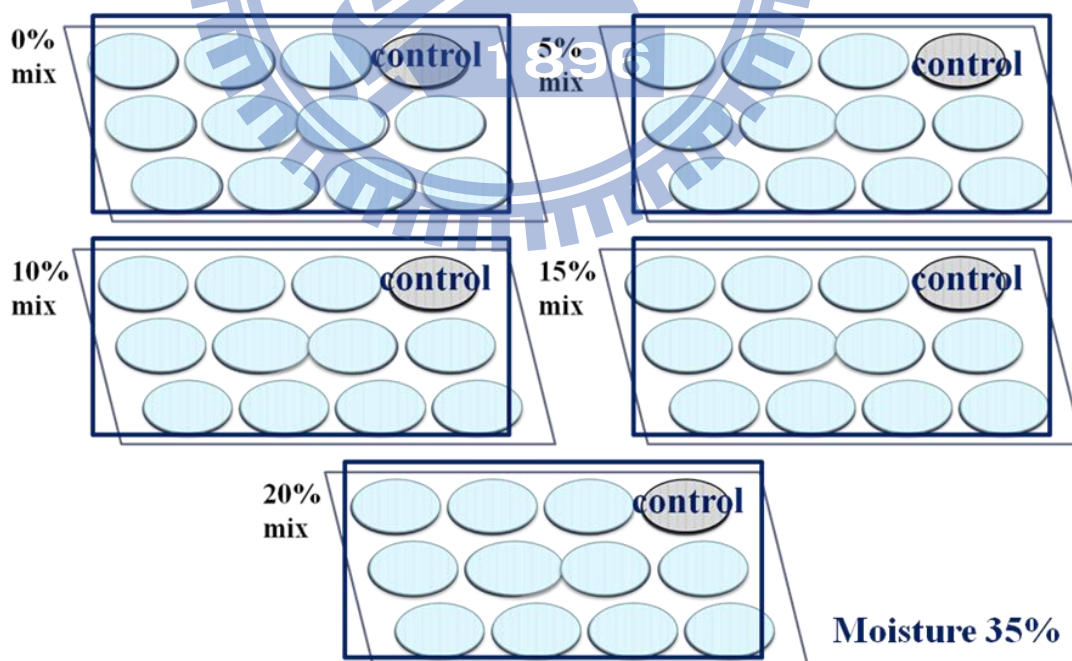


圖 4.4 第二階段混合比實驗

4.3.2 第二階段堆肥混合比實驗植物生長結果

第二階段試驗植物生長結果如圖 4.5 所示，根據圖 4.5 實驗結果，可計算得各堆肥比例植物生長之覆蓋率如表 4.4 所示，由結果可知，於原土壤中松葉景天之生長情況良好，顯示土壤含足夠此類植物生長所需之基本養分，而適量堆肥之添加，可利於植物生長，根據結果，堆肥比 15% 時，有最佳之覆蓋率，植物之最佳生長情形約介於堆肥比 10~15%，而堆肥比為 20% 時，植物受高電導度之影響其生長有明顯的抑制情形，與預期結果相符，覆蓋率僅 34%。

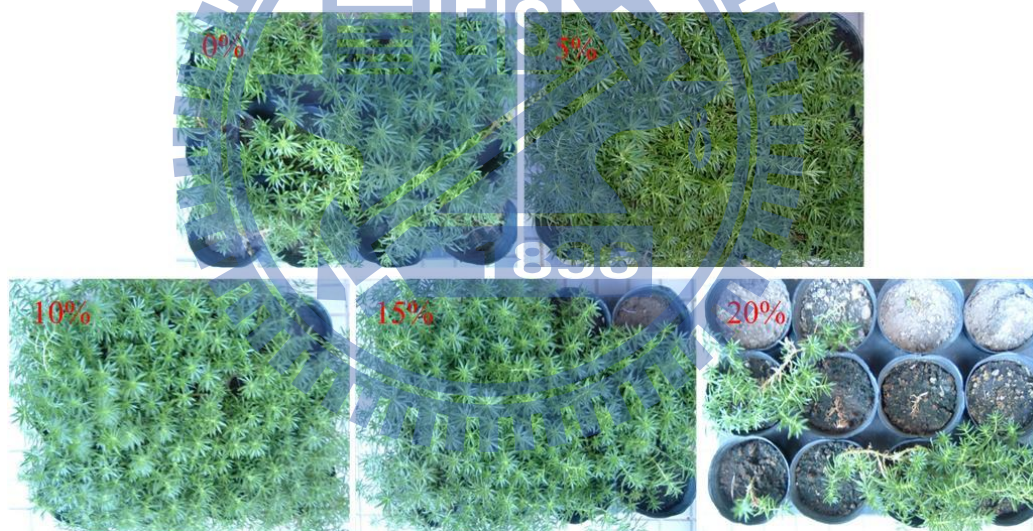


圖 4.5 植物生長經三個月後之結果

表 4.4 各堆肥比植物生長覆蓋率

Ratio	0%	5%	10%	15%	20%
Coverage (%)	83	88	93	91	34

植物經去除表面土壤及水分其結果如圖 4.6 所示，並於各植物旁附上初始大小之植物以供比較，由圖 4.6 可知，混合比為 15% 中有



圖 4.6 植物生長結果

兩植物生長較差 (4, 11)，而於 20% 中僅兩盆植物正常生長 (3, 5)，其餘植物之生長皆受抑制。

圖 4.6 各植物之重量及總長度測量結果如表 4.5 所示，由表可知，植物重量及長度無正相關性，乃因部分植物分枝量少，但擁有較粗重之枝幹，而部分植物為小枝幹但擁有較多分支，由於重量可客觀表示植物之產量，故本研究植物生長指標主要以重量討論。由表 4.5 可知，植物於混合比 20% 時，有明顯之生長抑制，共有 7 盆植物死

表 4.5 植物生長記錄

No.	Ratio of compost				
	0%	5%	10%	15%	20%
1	13.8 (94)	15.6 ² (76)	32.1 (142)	43.1 (251)	1.6 ² (8)
2	14.4 (75)	39.3 (120)	49.3 (238)	30.5 (180)	- ¹
3	8.0 ² (21)	25.9 (161)	4.9 ² (14)	9.1 ² (32)	36.3 (281)
4	7.6 ² (27)	29.2 (149)	54.1 (312)	- ¹	6.2 ² (21)
5	18.5 (89)	40.5 (265)	46.2 (256)	52.3 (291)	20.4 (64)
6	20.0 (72)	31.4 (182)	44.9 (257)	43 (261)	- ¹
7	37.2 (230)	39.7 (206)	66.6 (297)	50.4 (335)	- ¹
8	21.2 (97)	41.9 (266)	48.6 (231)	53.9 (355)	- ¹
9	17.1 (95)	34.1 (261)	27.8 (105)	37.3 (189)	- ¹
10	28.2 (76)	41.3 (220)	48.1 (192)	50.5 (241)	- ¹
11	21.4 (87)	13.7 ² (66)	22.3 (79)	0.9 ² (5)	- ¹
Avg. 1 ³	18.9 (88)	32.1 (179)	40.4 (193)	33.7 (195)	5.9 (34)
Avg. 2 ⁴	18.9 (88)	32.1 (179)	40.4 (193)	41.1 (214)	16.1 (94)
Avg. 3 ⁵	21.3 (102)	35.9 (203)	44.0 (211)	45.5 (263)	28.4 (173)

¹dead, ²growth inhibition, ³the average weight of all plants, and the dead plant was regarded as 0, ⁴the average weight of viable plants, ⁵the average weight of viable plants, but not including the inhibited one

亡及 2 盆生長不佳。個別植物生長情形可能受初始植物剪裁、剪裁部位、環境適應等因子影響而有不同，於各比例介質皆有部分植物相對於其他植物有生長不佳情形。由表 4.5 之 Avg. 1 及圖 4.7 植物生長指標圖顯示，整體植物生長情形以堆肥比 10% 最佳，而 20% 最差，此部分結果包含各比例介質中生長受抑制及死亡之植物。

表 4.5 之 Avg. 2 及圖 4.8 顯示各組存活植物之生長指標，此部分結果包含生長受抑制之植物，但不包含死亡之植物，結果顯示，堆肥比 10~15% 時，有最佳之植物生長情形。

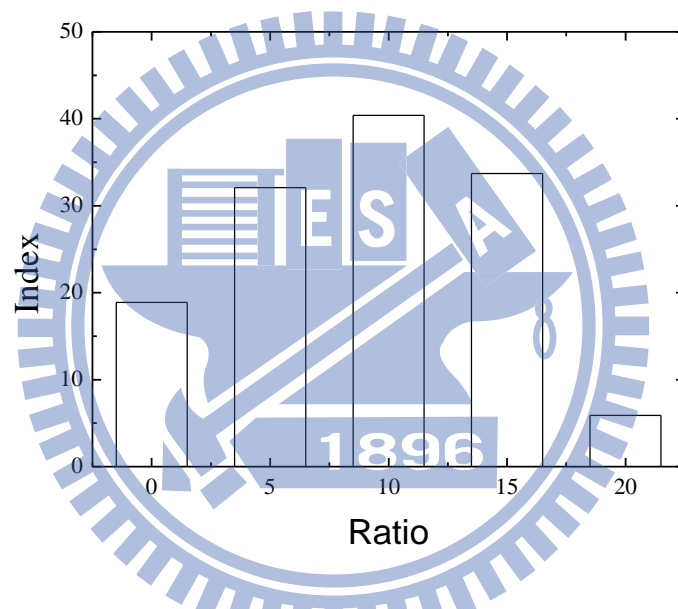


圖 4.7 植物生長指標 (全部植物)

表 4.5 之 Avg. 3 及圖 4.9 顯示各比例中無受抑制之植物生長指標，由圖及表可看出，於不受抑制情形下，植物生長以 10~15% 最佳，而堆肥比 20% 顯示僅少數植物生長不受抑制，且其生長情形較原土壤佳，由此可知堆肥之添加，在植物生長無受到抑制之情形下，可幫助植物之生長。

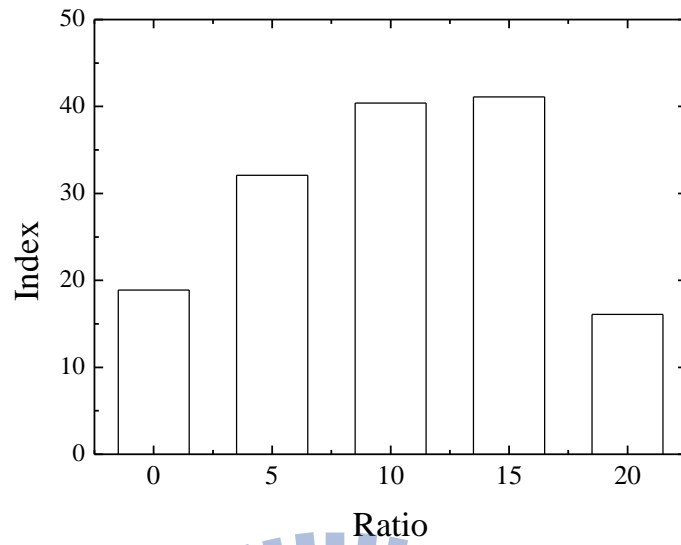


圖 4.8 植物生長指標 (生存植物)

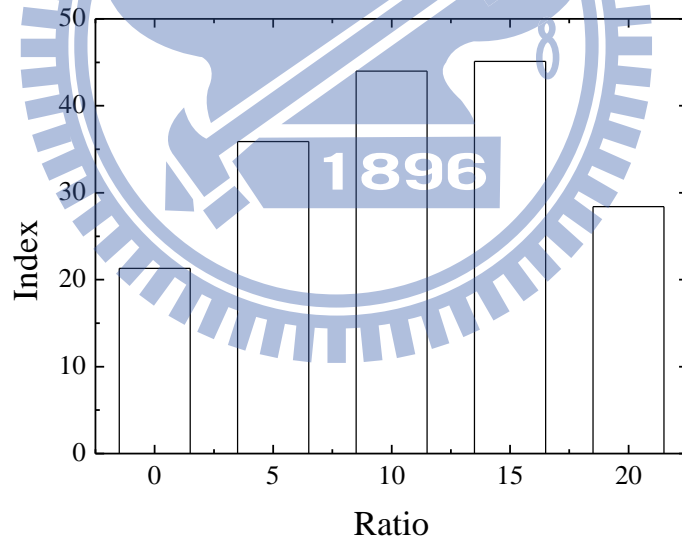


圖 4.9 植物生長指標 (無受抑制植物)

4.3.3 介質特性比較

根據結果顯示植物生長以堆肥比 10~15% 為佳，表 4.6 顯示本

研究中堆肥比 15% 介質及一般常見植栽介質之特性比較，由表可知，堆肥比 15% 介質之特性可接近一般常見介質，僅總體密度較於其他介質高，顯示以土壤作為植栽介質有荷重之問題。另外，綠屋頂介質一般使用多種介質混合，故單一特性較極端介質如具有高電導度之污泥堆肥須少量與其他介質搭配使用，粗椰纖與細椰纖或與其他細質介質條配合適孔隙。

表 4.6 本研究介質與一般常見介質特性

Component	pH (1:1)	EC (mS/cm)	Density (g/cm ³)	Porosity (%)	CC (%)
15% compost ¹	5.9	3.9	0.92	33.0	32
Peat moss ¹	5.3	0.9	0.10	15.4	74.6
Rice husk ¹	9.3	2.3	0.09	27.6	53.7
Bark compost ¹	5.8	4.9	0.54	5.98	65.6
Bagasse ¹	5.2	0.4	0.10	15.6	32.2
Coconut fiber (coarse) ¹	5.3	0.8	0.08	44.0	34.5
Coconut fiber (fine) ¹	4.9	3.9	0.09	14.7	51.5
Sludge compost ¹	5.7	10.0	0.34	16.1	57.3
Green roof ²	5.5~7.0	<3.5	0.1~0.8	15~20	30~50

¹ 林和黃 (2003)，² 李和莊 (2008)

4.3.4 酸鹼值變化

酸鹼值為土壤肥力重要指標，係由於其可決定養分之可利用性。表 4.7 顯示實驗後各混合介質之性質，介質酸鹼值變化如圖 4.10 所示。由結果可知，實驗後介質之酸鹼值無太大變化，處理組（植物種植）較控制組（無植物種植）之酸鹼值略高，推論可能由於植物於澆

灌時，可截流部分水量，受淋洗程度較小，而植物的根可固定土壤，使土分較不易流失。

表 4.7 實驗後混合土樣性質

Content		Ratio of compost to soil				
		0%	5%	10%	15%	20%
pH	C ¹	5.9	7.1	7.3	7.5	7.5
	T ²	6.3	7.4	7.5	7.5	7.5
EC (mS/cm)	C	0.3	1.6	2.6	4.1	6.3
	T	0.6	0.9	1.2	3.2	4.3
OM (%)	C	4.2	5.7	7.2	8.5	10.1
	T	4.1	5.4	7.0	8.1	9.5
NH ₄ ⁺ -N (mg/kg)	C	0.050	0.121	0.121	0.130	0.160
	T	0.043	0.066	0.073	0.095	0.142
NO ₃ ⁻ -N (mg/kg)	C	13.0	20.5	48.8	62.9	85.8
	T	6.0	13.0	11.9	19.5	36.0
P (mg/kg)	C	0.065	0.078	0.074	0.083	0.095
	T	0.053	0.040	0.038	0.056	0.073
K (mg/kg)	C	1221	1430	1526	1650	1822
	T	1145	1337	1421	1610	1727
Ca (mg/kg)	C	412	740	1154	1137	1488
	T	310	553	1016	763	1256
Mg (mg/kg)	C	434	590	672	530	502
	T	378	383	441	217	407

¹control (n=1), ²treatment (n=3)

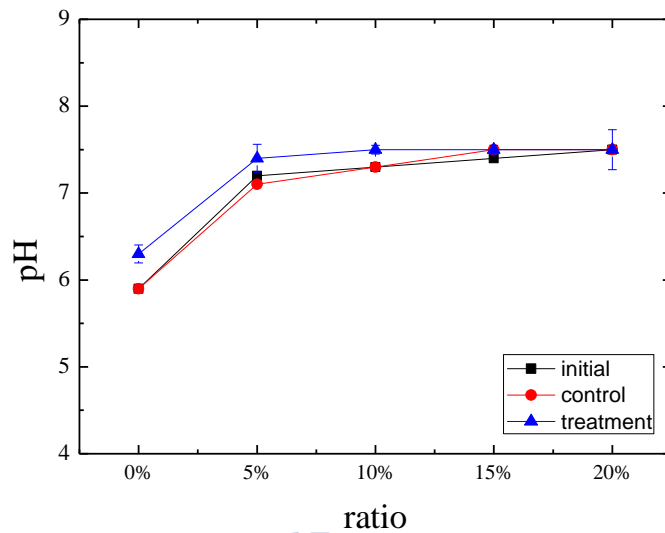


圖 4.10 土樣酸鹼值變化

4.3.5 電導度變化

介質之飽和電導度變化如圖 4.11 所示，電導度值可用來表示土壤溶液中溶解性鹽類含量。研究結果顯示，控制組電導度無明顯變化，而處理組電導度則有明顯下降之情形，電導度下降主要原因可能為土壤中養分為植物所利用，及受淋洗時造成養分由表土滲入底土。由結果顯示，於堆肥比例為 15% 中，電導度值下降最大，由此推論植物整體之養分利用量，以堆肥混合比 15% 最多。根據植物生長結果顯示，堆肥混合比 20% 時，植物生長受明顯抑制，由表 4.1 可知，堆肥混合比 15% 時，初始電導度為 3.9 mS/cm，而於混合比 20% 時，電導度為 6.3 mS/cm，此結果與一般土壤飽和電導度之建議值相近，即當土壤飽和電導度大於 4 mS/cm 時，大多數植物生長將受影響。飯島及近藤 (2000) 曾以同種之植物做耐鹽度測試，研究結果經海水處理過之松葉景天，於一日後皆死亡，另外於土壤中及植體區分別做濃度 1~3% 食鹽水處理，其結果顯示無論做土壤或植體處理，植

物生長皆受抑制，此結果顯示松葉景天並無具備良好之耐鹽性，於添加高鹽度堆肥時，需注意控制適宜之電導度，德國造園與景觀發展研究學會制定標準 (FFL Guideline, 2002) 建議綠屋頂介質所含之溶解鹽濃度需在 3.5 g/L 以下，根據一般溶解鹽與電導度關係換算後其電導度值約為 5.5 mS/cm。

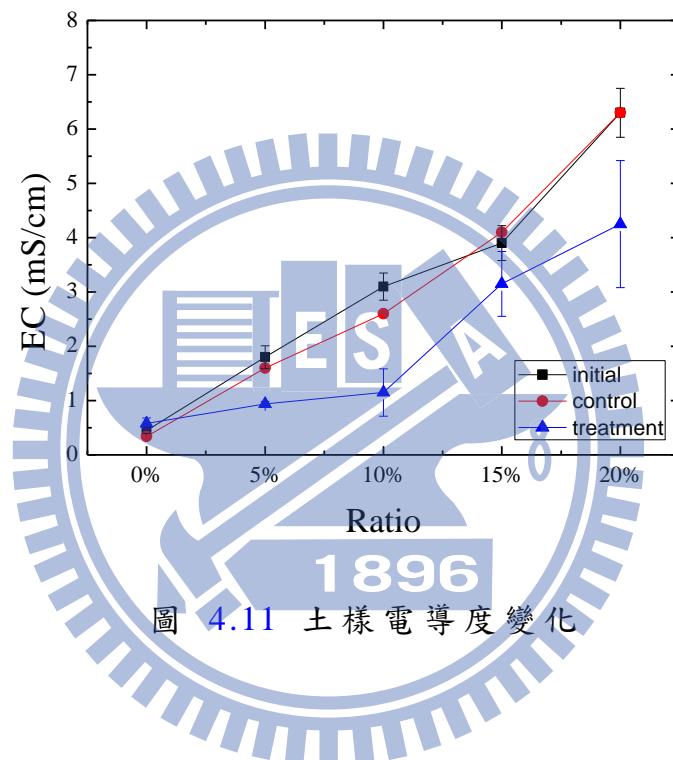


圖 4.11 土樣電導度變化

4.3.6 有機質變化

介質之有機質含量變化如圖 4.12 所示，結果顯示有機質含量經種植後有減少之趨勢，其原因為土壤中有機物於潮溼環境之地區易分解，在綠屋頂中，若有機物含量過大，於有機物分解後將會改變土壤構造，於潮溼環境有機物含量不宜超過 10~20% (Friedrich, 2005)，根據德國造景與景觀發展學會之建議 (FLL, 2003)，綠屋頂介質中有機物濃度約 4%。

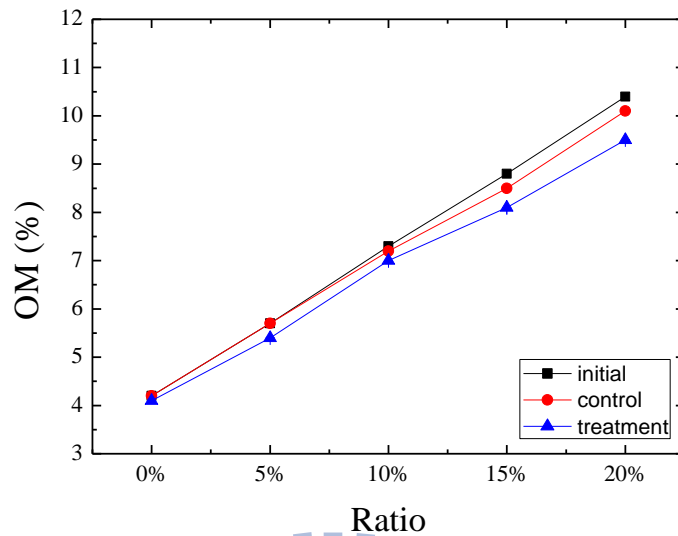


圖 4.12 土樣有機物變化

4.3.7 養分氮、磷、鉀、鈣及鎂含量變化

介質之溶解性氮含量如圖 4.13 及圖 4.14 所示，結果顯示控制組硝酸態氮實驗後 (13~85 mg/kg) 較實驗初始時 (16~59 mg/kg) 高，推論主要原因為土壤中之銨態氮，會經由微生物隨時間轉換成硝酸態氮之型式。由圖 4.13 及圖 4.14 結果可發現，總氮含量於實驗後較高，推論原因為土壤中銨態氮較易被土壤吸附，故於分析結果僅顯示較小之含量 (初始 0.1~0.5 mg/kg)；而硝酸鹽氮移動性大，易隨著環境水分而流失，於水溶液量測時變動性大 (楊，1991；陳，1999；陳，2000)。

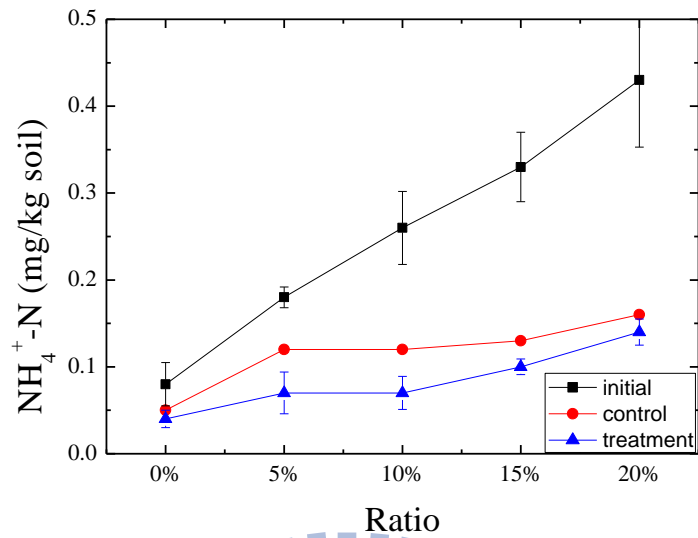


圖 4.13 土樣 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 含量變化

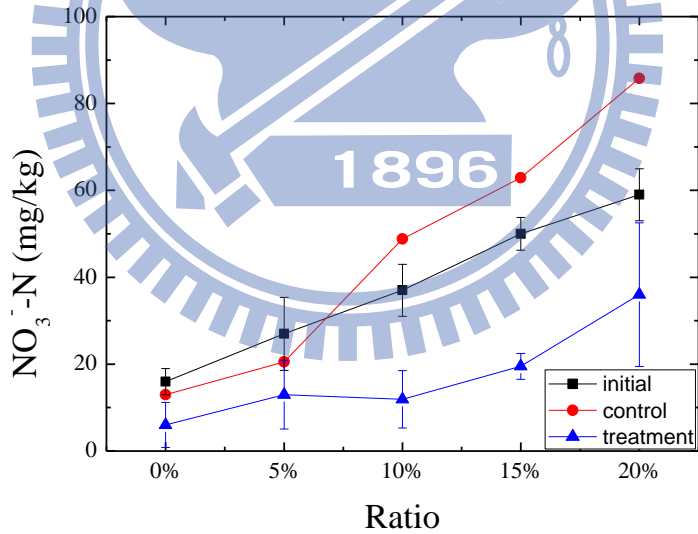


圖 4.14 土樣 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 含量變化

介質溶液之磷含量變化如圖 4.15 所示，結果顯示水溶性磷含量低，初始時土樣濃度 0.09~0.10 mg/kg；濃度變化小，介於 0.03~0.06 mg/kg，推論其原因為磷在土壤中的移動性差，易受土壤固定，故於水溶液之分析僅表現土壤部分磷之含量（陳，2000）。

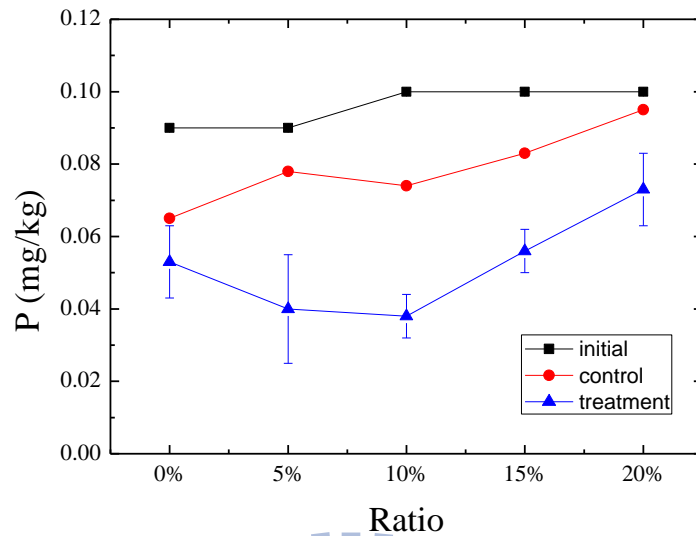


圖 4.15 磷含量變化

介質之全鉀含量變化如圖 4.16 所示，由結果顯示，測量初始含量可能因實驗稀釋倍數大而造成誤差，初始含量較小。鉀可被土壤吸附，但亦可於土壤溶液中形成水溶性鉀離子，其移動性介於氮及磷之間，可經淋洗流失，由結果可知介質鉀含量高 (1189~1909 mg/kg)，可能造成其變動性高，故須考慮淋失量。

介質之全鈣及全鎂含量變化如圖 4.17 及圖 4.18 所示，土壤中鈣、鎂易受淋洗作用而缺乏，由圖 4.17 顯示，介質中鈣含量以混合比例 15% 及 20% 時，變化程度最大。圖 4.18 顯示鎂於介質中，受淋洗及經由植物吸收變動性大，主要因鎂之吸收，易受鈣及鉀離子影響。

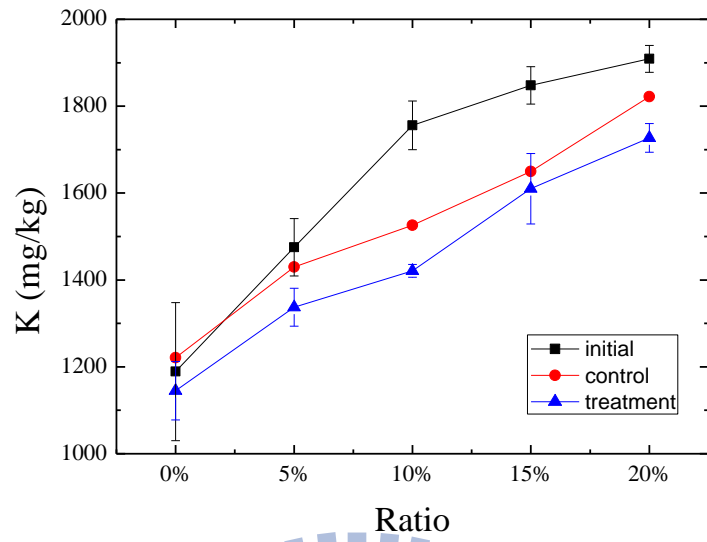


圖 4.16 土樣鉀含量變化

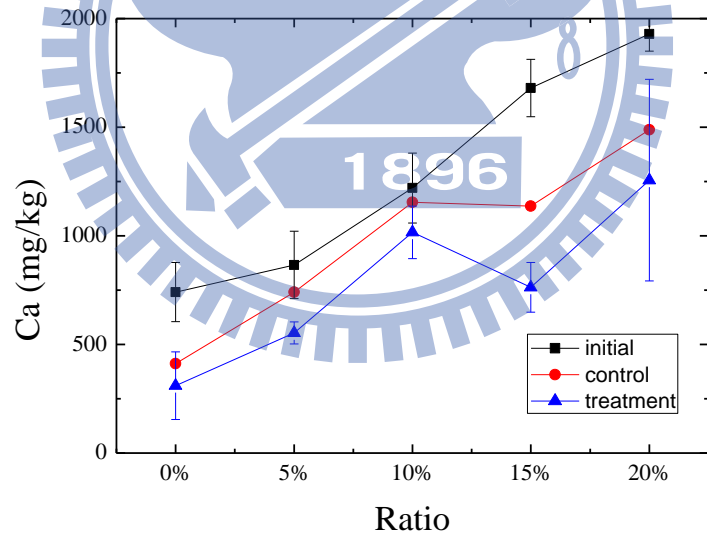


圖 4.17 土樣鈣含量變化

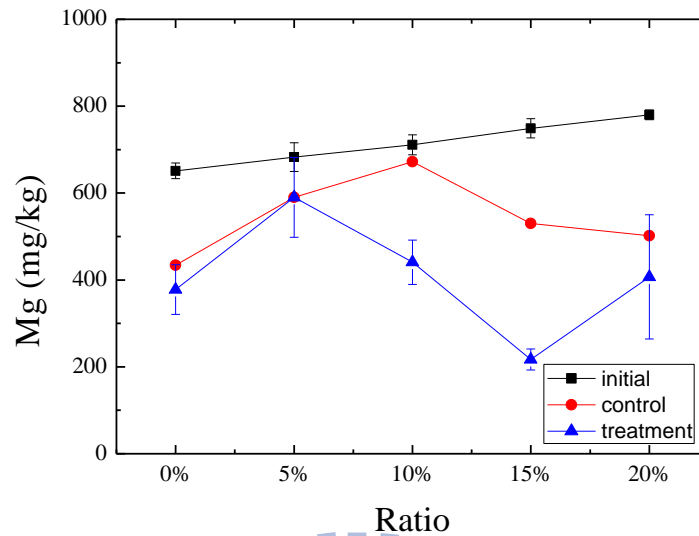


圖 4.18 土樣鎂含量變化

表 4.8 顯示土壤養分消耗量及消耗率，由表可知，最大之養分消耗多集中於 10%~15%，根據養分消耗量，可評估介質養分消耗情形，並於養分不足前適時予以補充固定養分或堆肥，以達最佳堆肥之使用性。植物對養分之吸收程度，一般以莖或葉進行植體養分分析，根據研究顯示，在植物生長不受抑制之情況下，植體內養分於較高養分之土壤中具較高含量之趨勢，顯示植物於養分較高之土壤利用了較多之養分量 (Akanbi and Togun, 2001)。本研究中僅以土壤養分含量之變化探討，由控制組及處理組間之關係，推論土壤養分之消耗情形。控制組與初始值之間差值推論為土壤養分經時間之分解及水分淋洗所造成之流失量，而控制組與處理組之間差值推論為由植物所利用之養分量。表 4.9 顯示理論之土壤養分利用量及利用率，由表可知不同養分最大之利用率，並無特定於固定之堆肥比例，推論由於本研究以各比例土樣中生長最佳三盆植物做土樣分析，在植物可生長良好之情況下，有相近的養分利用量，使結果無特定趨勢。

表 4.8 土壤養分消耗量及消耗率

Item	Ratio of compost to soil				
	0%	5%	10%	15%	20%
OM (%)	0.1 (2) ¹	0.3 (5)	0.3 (4)	0.7 (8)	0.9 (9)
NH ₃ -N (mg/kg)	0.04 (46)	0.11 (63)	0.19 (72)	0.24 (71)	0.29 (67)
NO ₃ -N (mg/kg)	10.0 (63)	13.8 (52)	25.6 (68)	30.9 (61)	22.6 (39)
P (mg/kg)	0.04 (41)	0.05 (57)	0.06 (61)	0.04 (43)	0.03 (28)
K (mg/kg)	44 (4)	138 (9)	335 (19)	238 (13)	180 (9)
Ca (mg/kg)	431 (58)	313 (36)	204 (17)	917 (55)	573 (31)
Mg (mg/kg)	273 (42)	300 (44)	270 (38)	532 (71)	373 (48)

¹ 消耗率 (%) = 消耗量 / 初始量

表 4.9 養分理論利用量及利用率

Item	Ratio of compost to soil				
	0%	5%	10%	15%	20%
OM (%)	0.1 (2.4) ¹	0.3 (5.3)	0.2 (2.8)	0.5 (5.8)	0.6 (5.9)
NH ₃ -N (mg/kg)	0.007 (13.5)	0.055 (45.1)	0.048 (39.8)	0.035 (27)	0.018 (11)
NO ₃ -N (mg/kg)	7.01 (53.9)	7.46 (36.5)	36.96 (75.8)	43.36 (69.0)	49.73 (58.0)
P (mg/kg)	0.012 (18.5)	0.038 (49.1)	0.036 (49.1)	0.027 (32.1)	0.022 (22.8)
K (mg/kg)	76.3 (6.2)	93.3 (6.5)	104.7 (6.8)	40.0 (2.4)	93.3 (5.1)
Ca (mg/kg)	102 (25)	187 (25)	138 (12)	374 (33)	232 (16)
Mg (mg/kg)	56 (13)	207 (35)	231 (34)	313 (59)	95 (19)

¹ 利用率 (%) = 利用量 / 初始量

第五章 結論及建議

5.1 結論

1. 植物於未添加堆肥之土壤中生長情況良好，顯示土壤含足夠植物生長所需養分並適合植物生長。
2. 根據種子發芽實驗及基本性質分析，本研究採用之堆肥為腐熟堆肥並具高養分，原土中添加堆肥可幫助改善土壤性質，並能促進植物生長。
3. 根據結果堆肥比 15% 之介質特性可接近一般植栽介質，僅總體密度大顯示以土壤為介質具荷重大之問題。
4. 綜合本研究植物生長之覆蓋率、長度、及重量結果，最佳之植物生長堆肥比為 10~15%，而過量之堆肥添加，對植物生長會造成抑制，本研究建議堆肥之添加量不宜超過 15%。

5.2 建議

1. 本研究所採用為雞糞堆肥，營養鹽含量偏高，若堆肥中鹽度過高可採預先淋洗再施肥，以避免植物鹽害及河川氮、磷營養鹽污染。
2. 本研究介質亦可搭配其他介質使用以改善其荷重及電導度高之問題，若改採用其他有機堆肥如廚餘、落葉堆肥等，可使堆肥比例增加，唯須考慮採用之堆肥不宜含過多之有機物，避免有機物隨時間分解造成介質層結構破壞。

參考文獻

- Aggelides, S. M. and Londra, P. A. (2000) Effects of compost produced from town wastes and sewage sludge on the physical properties of a loamy and a clay soil. *Bioresource Technology* 71, 253-259.
- Akanbi, W.B. and Togun, A.O. (2001) The influence of maize-stover compost and nitrogen fertilizer on growth, yield and nutrient uptake of amaranth. *Scientia Horticulturae* 93, 1-8.
- Banting, D., Doshi, H., Li, J., Missios, P., Au, A., Currie, B. A. and Verrati, M. (2005) Report on the environmental benefits and costs of green roof technology for the city of Toronto. Ryerson University, Toronto.
- Bragg, N. C. and Chambers, B. J. (1988) Interpretation and advisory applications of compost air-filled porosity (AFP) measurement. *Acta Hort* 221, 35-44.
- DeNardo, J.C., Jarrett, A.R., Manbeck, H.B., Beattie, D.J. and Berghage, R.D. (2005) Stormwater mitigation and surface temperature reduction by green roofs. *Trans. ASAE* 48, 1491-1496.
- FLL (Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau) (2002) Guidelines for the planning, execution and upkeep of green-roof sites. Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau, Bonn, Germany.
- Friedrich, C. R. (2005) Principles for selecting the proper components for a green roof growing media, Carolina Stalite Company, Carolina.
- Getter, K. L. and Rowe, D. B. (2006) The role of extensive green roofs in sustainable development. *Hortscience* 41(5), 1276-1285.
- Gibbs, J., Lockett, K., Jost, V., Morgan, S., Yan, T. and Retzlaff, W. (2006) Evaluating performance of a green roof system with different

growing mediums, sedum species and fertilizer treatments. Southern Illinois University Edwardsville.

Grigatti, M., Giorgioni, M.E. and Ciavatta, C. (2007) Compost-based growing media: Influence on growth and nutrient use of bedding plants. *Biosource Technology* 98, 3526-3534.

Harris, R., Robasch, A., Stull-Lane, C. and Jackson, P. (2006) Green roof. The St. Olaf College Science Complex, Minnesota.

IPCC (2007) Summary for policymakers. *Climate change 2007: The physical science basis. Contribution of working group I to the Fourth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Solomon, S., Qin, D., Manning, M., Chen, Z., Marquis, M., Averyt, K. B., Tignor, M. and Miller, H. L. (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

James, H., Aldrich and Jeffrey, G. (1996) Effect of plant growth regulations on growth of Barbara Karst Bougainvillea. *Florida State Horticultural Society* 109, 3-4.

Jenrick, K. (2005) Green roofs: a horticultural perspective. Royal Botanic Gardens, Kew, London.

Johnston, J. and Newton, J. (2004) Building green, a guide for using plants on roofs, walls and pavements. The London Ecology Unit, London.

Kowaljow, E. and Mazzarino, M. J. (2007) Soil restoration in semiarid Patagonia: chemical and biological response to different compost quality. *Soil biology and Biochemistry* 39, 1580-1588.

Kessler, J. R. and Keever, G. J. (1997) Plant growth retardants affect growth and flowering of coreopsis verticillata 'Moonbeam'. University of Georgia Coastal Plain Experiment Station, *SNA Research Conference*, Vol. 42, 280-285.

- Lee, J. J., Park, R. D., Kim, Y. W., Shim, J. H., Chae, D. H., Rim, Y. S., Sohn, B. K., Kim, T. H. and Kim, K. Y. (2004) Effect of food waste compost on microbial population soil enzyme activity and lettuce growth. *Bioresource Technology* 93, 21-28.
- Ros, M., Hernandez, M. T. and Carcia, C. (2003) Soil microbial activity after restoration of semiarid soil by organic amendments. *Soil Biology and Biochemistry* 35, 463-469.
- Sloan, R. C., Harkness, S. S. and Harkness, R. L. (2003) Effect of supplemental organic amendments on ornamental plant growth. North Mississippi Research and Extension Center publications, Mississippi State University.
- Soumare, M., Tack, F. M. G. and Verloo, M. G. (2003) Effects of a municipal solid waste compost and mineral fertilization on plant growth in two tropical agricultural soils of Mali. *Bioresource Technology* 86, 15-20.
- Wilson, S. B., Mecca, L. K., Danielson, H. E., Graetz, D. A. and Stoffella, P. J. (2006) Container and field evaluation of three native shrubs grown in compost-based media. *Compost Science and Utilization* 14(3), 178-183.
- Whiting, D., Card, A., Wilson, C. and Breeder, J. (2008) Soil pH. Colorado Master Gardener GardenNotes 222, Colorado State University.
- 飯島健太郎 and 近藤三雄 (2000) セダム属数種の塩ストレスについて, ランドスケープ研究 63(5), 439-442. The Japan Institute of Landscape Architecture.
- 李咩 (1987) 花卉之無土培養, 花卉生產改進研討會專集, 頁 18-26。
- 楊秋忠 (1991) 土壤與肥料, 農世股份有限公司, 台中。
- 王鐘和, 磷毓雯, 邱麗蓉, 黃維廷 (1993) 有機質肥料合理施用技術,

- 台東地區作物合理化施肥研討會專刊，行政院農業委員會台中區農業改良場。
- 倪禮豐 (1994) 有機質肥料之分類及品質判斷，花蓮區農業專訊第50期，頁2-5，行政院農業委員會花蓮區農業改良場。
- 莊作權 (1997) 土壤肥料，三民書局，台北。
- 陳立夫，楊秋忠 (1993) 土壤晶華 - 腐植質，科學月刊雜誌 277 期，國立台灣大學教育發展中心，台北。
- 陳仁炫 (1999) 合理化施肥的要領和對策，農作物合理化施肥手冊，頁 18-26，行政院農委會花蓮區農業改良場。
- 陳鴻堂 (2000) 合理化施肥的意義與措施，合理化施肥技術特刊 44 號，頁 1-10，行政院農委會台中區農業改良場。
- 林晉卿，黃瑞彰，林經偉 (2002) 堆肥品質及其應用於介質之調製，農業專訊 40 號，行政院農委會台南區農業改良場。
- 林晉卿，黃山內 (2003) 利用豬場污泥堆肥調配觀葉植物盆栽介質之研究，台南區農業改良場研究彙報 41 號，頁 1-16，行政院農委會台南區農業改良場。
- 譚增偉，劉禎棋，陳桂暖 (2005) 土壤肥力與合理化施肥，合理化施肥技術特刊 121 號，頁 43-62，行政院農委會台中區農業改良場。
- 簡宣裕，張明暉，劉禎棋 (2005) 堆肥品質之判斷，合理化施肥技術特刊 121 號，頁 279-288，行政院農委會台中區農業改良場。
- 李芳胤，陳士賢 (2007) 土壤分析實驗手冊，新文京開發股份有限公司，台北。
- 劉毓娉 (2007) 連續施用不同廚餘堆肥對葉菜生育及土壤性質的影響，國立屏東科技大學熱帶農業暨國際合作系碩士論文。
- 李衛東，莊志勇 (2008) 屋頂綠化系統的介質栽培研究，湖南農業科學 2008-1 期，頁 136-138。
- 蔡宜峰 (2008) 有機質肥料的研發與應用，有機作物栽培技術研討會專刊，頁 165-178，行政院農業委員會台中區農業改良場。

李中原，張育森，王銘琪，陳坤燦，余有終，方智芳，許榮輝 (2008)

綠屋頂推廣交流討論會資料，台北市錫瑠環境綠化基金會。

行政院環境保護署 (2009) 中華民國環境保護統計年報 98 年。

