



朝陽科技大學

建築系建築及都市設計碩士班

碩士論文

不同有機肥料的施用對作物及土壤之效益研究

A Study of the Efficacy of Using Different Organic Fertilizer
on Plants and Soil

指導教授：簡仔貞 博士

研究生：吳承頤

中華民國 104 年 10 月 16 日



朝陽科技大學建築系建築及都市設計碩士班
Master Program in Architecture and Urban Design
Department of Architecture
Chaoyang University of Technology

碩士論文

Thesis for the Degree of Master

不同有機肥料的施用對作物及土壤之效益研究

A Study of the Efficacy of Using Different Organic Fertilizer on
Plants and Soil

指導教授：簡仔貞 博士 (Dr. Yu-Chen Chien)

研究生：吳承頤 (Chen-Yi Wu)

中華民國 104 年 10 月 16 日

October 16, 2015



中文摘要

2013 行政院環保署統計，廚餘占總垃圾量 35.04%，而回收廚餘僅占總垃圾量 10.67%，每年仍有 2/3 約 180 萬公噸廚餘混入一般垃圾未做回收，對環境造成衝擊。廚餘中含植物成長所需養分及有機質，經堆肥化處理後，製成有機肥料體積會縮小，若能自行處理，將能有效減少垃圾處理量及減輕環境衝擊，施用於土壤更能夠提升土壤肥力、穩定土壤性質及促進植物生長。

本研究目的以小白菜盆栽試驗探討固體自製與市售有機肥效益之差異，有機肥料效益通常在施用於土壤後，以土壤肥力指標包括營養因素（氮、磷、鉀、氧化鈣及氧化鎂）與化學因素（酸鹼值、電導度及有機質）做評估，而作物生長則由氮、磷、鉀為主導元素，但行政院農業改良場（2004）指出土壤肥力檢測之氮素與施肥量無相關性，故不列入探討。本實驗自製有機肥以朝陽科技大學便當廚餘作為原料，使用 CF-100a 單槽式廚餘機製作，市售有機肥則選用台肥生技有機肥料 1 號；試驗分為自製肥與市售肥兩大組，並各進行去一倍、二倍及四倍施肥量，另以不施肥為對照組，共七組，試驗期間自民國 104 年 4 月 24 日起，至 104 年 5 月 28 日共 35 天，期間以小白菜生長之重要日程，如發芽、疏苗及定植及追肥（播種後第 3、7、10、15、20、25、30 及 35 日）等進行土壤檢測，土壤及肥料樣本送至園農業改良場檢驗（檢驗項目：酸鹼值、電導度、有機質、磷、鉀及氧化鈣）；株高則每日進行測量，後續以 Pearson 相關土壤肥力因子間關聯性。

實驗結果顯示：（一）第 35 天植株收穫後以成長株高排序，最佳為自製肥兩倍組，依序為市售肥一倍組、自製肥四倍組、自製肥一倍組、不施肥組、市售肥二倍組及市售肥四倍組；（二）不施肥之對照組於栽植前期（15 天前），株高生長狀況凌駕於其他組別，在後期（15 天後）小白菜生長趨勢有明顯變化，以自製肥二倍組及市售肥一倍組最為明顯；（三）自製肥三倍組、市售肥二倍及四倍組出現施肥過量，造成肥害，影響作物生長，其中自製肥組因可溶性鹽類含量較高，使土壤電導度提高，造成鹽害，市售肥



組為土壤氧化鉀濃度過高造成肥害；(四)相關性統計結果顯示土壤肥力因子間皆有相關，酸鹼值對有機質、電導度、磷酐及氧化鉀呈負相關，有機質對電導度、磷酐及氧化鉀呈正相關，

本研究指出自製有機肥以兩倍效施肥量益最佳，但廚餘製作之有機肥中，可溶性鹽類較高，施用過量易造成鹽害；市售有機肥以一倍施肥量效益最佳，施用過多易釋放過量養分，造成肥害；本研究證明施用廚餘製作之有機肥能對土壤產生正面效益及有效減少垃圾處理量，建議廣泛推廣。

關鍵字：校園廚餘、有機肥料、土壤肥力



In 2013, according to the statistics of the Environmental Protection Administration of the Executive Yuan, kitchen wastes account for 35.04% of the total amount of wastes, while recyclable kitchen wastes account merely 10.67%. Every year, there are approximately 2/3, that means 1.8 million tonnes, of kitchen waste not recycled and are treated as ordinary wastes cause certain impacts to the environment. Kitchen wastes contain the nutrients and organic matters required for the growth of the plants. After compost formation, they become organic fertilizers which can shrink down in volume. If we can handle it by ourselves, we can effectively reduce the volume of wastes for treatment as well as the environmental impacts. They may also be applied on the soil as they may increase soil fertility and stability, and promote plant growth.

This study aims to explore and test the differences of the efficiency of homemade solid fertilizers and commercially available organic fertilizer using cabbages. The efficiency of the organic fertilizers is usually assessed by soil fertility indicators after its application on the ground. These include the nutritional factors (nitrogen, phosphorus pentoxide, potassium hydroxide, calcium oxide and magnesium oxide) and chemical factors (pH, conductance and organic matters). In terms of the growth of the plants, nitrogen, phosphorus pentoxide, potassium are the leading element. However, the Agricultural Research and Extension Station of the Executive Yuan (2004) pointed out that there is no correlation between nitrogen and the amount of fertilizer in the soil fertility testing, so it shall not be included in our research. The homemade organic fertilizer provided for this experiment used the kitchen wastes of the lunch boxes from Chaoyang University of Technology as the raw materials. Single-slot food waste decomposer CF-100a was used for the manufacturing. Taipei Organic Fertilizer No. 1 was used as the commercial organic fertilizer. The experiment was divided into homemade fertilizer and commercial fertilizer in single, doubled and quadruple amounts of fertilizer respectively. The control group is one without fertilizer, so there were a total of seven groups. The time of the experiment consisted from April 24th, 2015, to May 28th, 2015, a total of 35 days. Soil testing were carried out during key days for the growth of the cabbage, such as the day of germination, seedling thinning, fix planting and top dressing (the 3rd, 7th, 10th, 15th, 20th, 25th, 30th and 35th day of the sowing). The samples of the soil and the fertilizers were sent to Taoyuan District Agriculture Research and Extension Station (Items of examination: PH, conductance, organic matters, phosphorus pentoxide and potassium hydroxide); the height of the plants were measured daily, while the follow-up used Pearson correlation between soil fertility factors.

The results of the experiment show: (1) after the harvest on the 35th day, the plants were placed in the order of the height. The best was the homemade doubled fertilizer group followed by commercial single fertilizer group, homemade quadrupled fertilizer group, homemade single fertilizer group, no fertilizer group, commercial doubled fertilizer group and commercial quadrupled fertilizer group; (2) at the early stage of the planting (the



first 15 days), the growth of the control group without fertilizer was above all the other groups. But at the late stage (the last 15 days), the growth of the cabbages had significant changes having homemade doubled fertilized group and commercial single fertilizer group as the most notable ones; (3) excessive fertilization with collateral fertilizer damages occurred at homemade tripled fertilizer group, commercial doubled fertilizer group and commercial quadrupled fertilizer group affecting the growth of the plant. Among them, the homemade fertilizer group may increase the soil conductance due to the high level of soluble salt content causing salt damages. Fertilizer damages were caused at the commercial fertilizer groups due to the excessive level of potassium concentration; (4) relevant statistics show that there are correlations between the soil fertility factors. The PH value has negative correlation with the organic matters, the conductance, phosphorus pentoxide and potassium hydroxide, while the organic matters have positive correlation with conductance, phosphorus pentoxide and potassium hydroxide.

This research shows that in terms of homemade fertilizer, doubled amount is the best in efficiency. However, during the manufacturing of organic fertilizer with kitchen wastes, there is a higher concentration of soluble salt; an excessive application would cause salt damage. In terms of commercial organic fertilizer, single amount is the best in efficiency. Overdose would release excessive nutrients causing fertilizer damage. This study proves that the application of organic fertilizer manufactured with kitchen wastes have positive efficiency towards the soil and can effectively reduce the amount of wastes, so it is highly recommended for further promotion.

Keywords : School food waste 、 organic Fertilizer 、 soil fertility



感謝我的指導教授簡仔貞老師，從大學時期您就擔任了我們班級導師，相處到現在六年了，與老師相處學到的不僅是邏輯思考及文字的表達能力，而是嚴謹對待每件事的態度，雖然我們溝通上有時還是雞同鴨講，但還是非常感謝老師不厭其煩地指導我，雖然很多次都用全系辦都聽得到的聲音在教導我，但我知道您是以希望我未來能更好更優秀的心情在指導我，並帶領我完成研究所的求學生涯；感謝謝維芳老師在論文寫作期間給予我專業的建議，使本實驗能如期完成。此外感謝東海大學景學系(所)張錦瑜教授，百忙之中抽空審閱我的論文，口試當天給了我的論文諸多的寶貴意見，讓本研究更能展現它對學術界的貢獻。

感謝幫我省下成本的老媽，如果沒有她提供協助，省下實驗中檢測土壤的成本，我可能一出社會就變成負債百萬的新鮮人了；感謝細心的盈如平時總是會提醒老是忘東忘西我該做甚麼事，讓事情都能順利的進行；感謝種中在研究室能跟我講很多廢話，做很多無意義的蠢事，沒有這些廢話蠢事，生活的樂趣肯定會少了許多；謝謝小羽和亞珊，在忙不過來時能夠分擔我的工作；也謝謝研究所生涯期間所有鼓勵支持我的朋友，阿邦、SoSo、巫佩、柏蒼、小哈、Yo、本丸、詩珊、老潘、孟菁、竹君、孟庭、千倚，有你們我的研究所。

也謝謝景都 103 年的孩子們，當你們班的助教很快樂，謝謝你們在我任職助教的這一年都這麼配合我，你們的表現也讓我覺得很驕傲，希望未來能看到你們有不凡的成就。最後再次感謝所有幫助過我的良師益友們，在此致上無限的謝意，這份榮耀是屬於我們的。



中文摘要.....	I
Abstract.....	III
謝誌.....	V
目 錄.....	VI
表目錄.....	X
圖目錄.....	XI
第一章 緒論	1
第一節 研究緣起及動機.....	1
第二節 研究內容及目的.....	2
第三節 研究範圍.....	3
第四節 研究限制.....	3
第五節 研究流程.....	4
第二章 相關理論與文獻探討	4
第一節 土壤肥力.....	5
一、養分因素.....	5
二、化學因素.....	6
第二節 有機肥料.....	9
一、有機肥料的製作.....	10
二、有機肥料之效用.....	12
三、有機肥料對作物及產量的不利影響.....	18



四、有機肥料的施用方式	19
五、肥料相關理論及定律	20
第三章 實驗材料與方法	21
第一節 實驗材料	21
一、有機質肥料	21
二、土壤	23
三、試驗盆栽	24
四、作物	24
第二節 研究限制	25
一、堆肥化副資材	25
二、種植環境	25
三、土壤檢驗	25
第三節 試驗步驟	25
一、試驗流程	25
二、試驗地點	27
三、試驗處理	27
四、施肥量	28
五、試驗時間	29
六、栽培與管理	29



六、採樣	29
七、樣品分析	30
第三節 統計分析	31
第四章 實驗結果與討論	32
第一節 有機肥料的施用對作物的影響	32
一、自製有機肥對小白菜株高之影響	32
第二節 有機肥料的施用對土壤肥力的影響	39
一、對土壤酸鹼值影響	39
二、對土壤電導度影響	41
三、對土壤有機質含量影響	43
四、對土壤磷酐含量影響	45
五、對土壤氧化鉀含量影響	47
第三節 統計與分析	49
一、成長初期與後期各因子相關性分析	49
二、自製肥與市售肥之土壤肥力因子與株高相關性分析	51
第五章 結論與建議	53
一、研究結論	53
二、研究實驗建議	54
三、自製肥料使用建議	55



參考文獻.....	56
一、學術論文.....	56
二、書籍文獻.....	57
三、學術期刊.....	57
四、外文文獻.....	58
五、網路資料.....	61
附件、土壤檢測報告.....	62
附件、土壤檢測報告（續）.....	63
附件、土壤檢測報告（續）.....	64



表 2-1	酸鹼值範圍.....	7
表 3-1	肥料基本性質成分表.....	23
表 3-2	土壤基本性質成分表.....	24
表 3-3	各處理施肥量.....	28
表 3-4	各處理所含養份含量.....	29
表 4-1	作物排序與平均株高.....	32
表 4-2	盆栽試驗期間作物株高紀錄表（單位 mm）.....	33
表 4-3	盆栽試驗期間土壤酸鹼度變化表.....	40
表 4-4	盆栽試驗期間土壤電導度變化表.....	42
表 4-5	盆栽試驗期間土壤有機質含量變化表.....	44
表 4-6	盆栽試驗期間土壤磷酞濃度變化表.....	46
表 4-7	盆栽試驗期間土壤氧化鉀濃度變化表.....	48
表 4-8	成長初期各因子相關性分析.....	50
表 4-9	成長後期各因子相關性分析.....	50
表 4-10	自製肥之土壤肥力因子與株高相關性分析.....	52
表 4-11	市售肥之土壤肥力因子與株高相關性分析.....	52



圖 2-1	各營養素於不同酸鹼度下之有效強度	8
圖 2-2	施用堆肥對土壤效益 (清河, 1976)	15
圖 3-1	副資材-木屑	21
圖 3-2	副資材-糖粉	21
圖 3-3	副資材-酵素	21
圖 3-4	製肥過程-投入木屑	21
圖 3-5	製肥過程-投入糖粉	22
圖 3-6	製肥過程-投入酵素	22
圖 3-7	製肥過程-倒入清水	22
圖 3-8	CF-100 廚餘機	22
圖 3-9	自製有機肥	23
圖 3-10	市售有機肥	23
圖 3-11	塑膠盆(長)	24
圖 3-12	實驗流程圖	26
圖 3-13	試驗場-1	27
圖 3-14	試驗場-2	27
圖 3-15	試驗場-3	27
圖 3-16	電子秤	29
圖 3-17	土壤混和樣本-1	30
圖 3-18	土壤混和樣本-2	30
圖 4-1	小白菜於生長期間株高變化折線圖	34
圖 4-2	不施肥組第 10 天	35
圖 4-3	自製肥一倍組第 10 天	35
圖 4-4	市售肥一倍組第 10 天	35
圖 4-5	自製肥二倍組第 10 天	35
圖 4-6	市售肥二倍組第 10 天	35
圖 4-7	自製肥四倍組第 10 天	35
圖 4-8	市售肥四倍組第 10 天	35
圖 4-9	不施肥組第 15 天	36



圖 4-10	自製肥一倍組第 15 天	36
圖 4-11	市售肥一倍組第 15 天	36
圖 4-12	自製肥二倍組第 15 天	36
圖 4-13	市售肥二倍組第 15 天	36
圖 4-14	自製肥四倍組第 15 天	36
圖 4-15	市售肥四倍組第 15 天	36
圖 4-16	不施肥組第 20 天	37
圖 4-17	自製肥一倍組第 20 天	37
圖 4-18	市售肥一倍組第 20 天	37
圖 4-19	自製肥二倍組第 20 天	37
圖 4-20	市售肥二倍組第 20 天	37
圖 4-21	自製肥四倍組第 20 天	37
圖 4-22	市售肥四倍組第 20 天	37
圖 4-23	不施肥組第 26 天	38
圖 4-24	自製肥一倍組第 26 天	38
圖 4-25	市售肥一倍組第 26 天	38
圖 4-26	自製肥二倍組第 26 天	38
圖 4-27	市售肥二倍組第 26 天	38
圖 4-28	自製肥四倍組第 26 天	38
圖 4-29	市售肥四倍組第 26 天	38
圖 4-30	盆栽試驗期間土壤酸鹼度變化折線圖	40
圖 4-31	盆栽試驗期間土壤電導度變化折線圖	43
圖 4-32	盆栽試驗期間土壤有機質含量變化折線圖	44
圖 4-33	盆栽試驗期間土壤磷酞濃度變化折線圖	46
圖 4-34	盆栽試驗期間土壤氧化鉀濃度變化折線圖	48



第一章 緒論

第一節 研究緣起及動機

2013 行政院環保署統計，廚餘占總垃圾量 35.04%，而回收之廚餘僅占總垃圾量 10.67%，每年仍有 2/3，約 180 萬公噸廚餘未做回收，混入一般垃圾中。而廚餘處理方式為焚化、掩埋、養豬及堆肥，但大部分未回收廚餘是以焚化及掩埋處理，並會對環境造成衝擊。廚餘特性為高含水率、熱值低且體積龐大，以焚化處理則會使焚化爐溫度難以提升，需耗費更大的能源方能正常運轉，不僅浪費能源，更會降低焚化爐壽命，且國人飲食中含有氯鹽，燃燒溫度過低將成為戴奧辛污染之潛在發生源（邱梅玲，2007；吳立全，2012）。廚餘含有機質及低重金屬含量，適合製成肥料，經堆肥處理後體積會縮小，若能加以利用，將能減少垃圾處理量並減輕環境衝擊，而其製成肥料更提供作物栽種使用，提昇景觀管理便利性，使其產生新價值。

影響植物生長之五大要素為日光、溫度、水分、空氣及土壤（孫志浩，1996）。土壤不僅是植物生長的立足點，同時也是供給植物維持生長所需水分、空氣、營養元素，如碳、氫、氧、氮、磷、鉀、鈣、鎂、硫、錳、鐵、銅、鋅、鉬等來源，其中以碳、氫、氧、氮、磷及鉀為需求量最大（孫志浩，1996）。李比希於 1840 年的礦物質營養學說中指出礦物質是植物營養的基礎物質，而土壤是植物獲取礦物質營養物的來源，亦說明土壤才是植物獲取礦物質營養物的來源。（莊愷瑋，2013）。土壤肥力係指土壤中能供給植物生長所需之適量及適當比例的營養物質（國家教育研究院，2002）。一般將土壤肥力細分為養分、物理、化學及生物因素等四個因素，而土壤肥力中養分及化學因素為土壤肥力研究中最廣為探討。種植作物並收成會使土壤肥力下降，進而減少土壤中的養分含量，而要恢復地力就必須以施肥補充土壤養分（莊愷瑋，2013）。長期的施用化學肥料及農藥會破壞生態環境的平衡，人們開始意識到化學物質對於環境所帶來的影響，並致力於有機農業及有機肥料的研究（王和趙，1995；張，1995）。



因此可知肥料為主要控制土壤肥力之因子，故本研究探討廚餘製肥屬有機肥料，故本研究係以有機肥料為探討範圍，而現今對有機肥料效益之研究僅單對自製有機肥及肥料製程作探討，並無研究將自製有機肥料與市售有機肥料以具體數據比較其效益，而有機廢棄物來源及組成成分複雜，製成肥料之效益亦有所不同。本研究在上述背景下試想探討以廚餘製作之有機肥料與市售有機肥料對土壤肥力提升之能力，其中以土壤肥力因子包括酸鹼質、電導度、有機質、磷酐及氧化鉀含量為探討對象，比較有機肥料效益。

第二節 研究內容及目的

本研究將回顧堆肥化過程、肥料使用方法及作物栽種方式以擬定實驗流程及研究架構。由上述背景可知而土壤為植物獲取營養之主要來源，土壤品質又以土壤肥力稱之，其中包括養分、物理、化學及生物因素等四個面向，又以養分及化學最廣為探討；而養分因素中以氮、磷酐、氧化鉀為主要影響作物之三大元素，化學因素則以酸鹼值、電導度及有機質含量為主要影響因子。但根據 2004 桃園農業改良場公布之資料顯示，土壤肥力分析檢測出的氮素含量與氮肥推薦量無太大相關性，目前台灣大部分之農業試驗改良場提供之土壤肥力檢測服務均傾向不檢測氮素，故氮素則不列入探討因子內。

而相關書籍文獻中多以盆栽試驗及田間試驗探討肥料效益，本研究係以盆栽試驗作為實驗方法探討肥料效益，作物選定以種植周期較短之葉菜類作物-小白菜為試驗對象，成長期間以土壤檢測觀察有機肥料對土壤之影響，並以量測株高及拍照記錄作物成長狀況。

在上述文獻推導後，本研究之研究目的如下：

- 1 以盆栽試驗探討校園便當廚餘製成之有機質肥料與市售有機質肥料施肥量，對作物成長期間土壤養分包括土壤肥力指標包括酸鹼值、電導度、有機質、磷酐及氧化鉀含量之影響。
- 2 以盆栽試驗探討作物成長期間土壤肥力指標包括酸鹼值、電導度、有機質、磷酐及氧化鉀含量對葉菜類作物-小白菜株高之影響。



3 以盆栽試驗探討以校園便當廚餘製成之有機質肥料與市售有機質肥料施用量對葉菜類作物-小白菜株高之影響。

第三節 研究範圍

(一) 肥料

市售肥料種類眾多，類型包括有機肥料、化學肥料、微生物肥料。型態包括固態及液態，其養分含量及對作物之影響也有所不同，本研究則以農業改良場所分類，品項屬有機質肥料，且為固體之有機肥料為研究探討範圍。

(二) 作物

作物種類繁多，生長週期、適宜生長之環境與所需養分比例含量也有所不同，本研究考量栽種季節與維護管理，選擇以週期短之葉菜類作物-鳳山小白菜作為研究實驗對象。

第四節 研究限制

(一) 有機肥料副資材

本研究有機肥料製作採用 CF-100 機械式廚餘機，製作有機肥料除校園便當廚餘做為原料之外，還需投入副資材包括木屑、糖粉以及酵素以利堆肥化流程進行，而因儀器及經濟上限制，無法對副資材做成分探討，僅統一廚餘來源及使用同一時間所製作之有機肥料以求實驗條件一致。

(二) 栽種環境

考量本校苗圃試驗場並無溫室、作物管理方便以及作物需相同生長環境條件等因素，本研究選定以盆栽試驗做研究探討，並統一使用苗圃試驗場之土壤作為原始土壤，栽種地點則均於朝陽科技大學設計大樓空中花園，以接受相同氣候環境變化影響。

(三) 作物種類



因碩士研究時程與考量，本研究選定以生長週期較短之葉菜類作物小白菜為試驗對象。

(四) 土壤檢測

由於土壤檢測項目繁多，以及學校儀器材料使用限制等因素，本研究則將土壤樣本統一送至桃園農業改良場進行土壤檢測。

第五節 研究流程

本研究流程之內容分述如下：

(一) 緒論

說明研究動機、目的、探討因子、研究流程以及限制。

(二) 文獻回顧

文獻主要對有機肥料製作、使用、土壤肥力、作物栽種管理之相關文獻以及研究做回顧，以便後續實驗設計以及盆栽試驗進行。

(三) 實驗設計

以文獻回顧以及前人實驗架構，擬定本研究實驗方式、所需儀器與分析方式，本章則對流程、實驗材料以及實驗步驟做詳述。

(四) 研究結果與分析

盆栽試驗過程量測之作物株高數據以及土壤樣本檢驗之數據資料整理至 EXCEL 製作成表格及折線圖，並將原始資料加以整理，以 SPSS 統計軟體做相關分析，以利結果陳述。

(五) 結論與建議

以本研究結過進行後續討論，並對研究所發現進行論述，為未來相關研究提出研究建議。

第二章 相關理論與文獻探討

本章節則對研究所探討之因子及相關理論做論述。



第一節 土壤肥力

土壤是培育作物最自然的基質，所謂「肥沃的土壤」當指能滿足作物生產需求的土壤，它要能充分供應作物所需的「養分」及「水分」(莊愷璋，2013)。土壤對作物生長有直接影響，在園藝學上，影響作物生長之因子有五項，分別為日光、溫度、水分、空氣及土壤，而土壤不僅提供作物生長的环境，更提供作物維持生長所需之水分、空氣及營養元素，如碳、氫、氮、磷、鉀、鈣、鎂及硫等(園藝一，1996)。土壤不僅是植物生長的立足點，同時也是供給植物維持生長所需水分、空氣、營養元素，如碳、氫、氮、磷、鉀、鈣、鎂、硫、錳、鐵、銅、鋅、鉬等來源(孫志浩，1996)。1840年德國科學家李比希(1803)提出了植物礦物質營養學說後，說明了土壤是植物獲取礦物質營養物的來源(莊愷璋，2013)。

土壤除了養分及水分的供應外，提供作物根系充足的氧氣，維持正常的呼吸作用是不可忽略的。再者，土壤還要能提供適當的環境(包括生物性及非生物性)，使植物根部發揮其功能，並且提供根系伸展的孔隙及環境的緩衝性(包括酸鹼度、鹽度及溫度等緩衝性)。影響土壤肥力之因子甚多，依性質可分養分、物理、化學及生物因素四大類別，其分類如下表，以下則對此本研究探討範圍-養分及化學因素做敘述。

土 壤 肥 力			
養分因素	化學因素	物理因素	生物因素
養分儲量	酸鹼度(pH)	質地	微生物種類
養分強度	電導度(EC)	孔隙度	微生物活性
養分容量	陽離子交換量(CEC)	結構	
	氧化還原電位(Eh)	水分	
	其他有毒物質	溫度	
	有機質含量(OM)		

一、養分因素

影響土壤肥力的養分因素包括：土壤中的養分儲量、強度度和容量等因素，而這些因素仍主要取決於土壤礦物及有機質的數量。土壤供應植物



養分的能力並非直接決定於土壤中的養分儲量，而是在於養分的有效性，所謂的有效性則是指能被植物吸收利用的土壤養分，土壤中的養分儲量、強度和容量等因子會同時影響該養分元素的有效性。強度因子就是該養分元素在土壤溶液中的濃度或活度，由於土壤溶液中各元素的濃度均低，它們被植物吸收以後，必須迅速地得到補充，方能使其在土壤溶液中的濃度維持在一個充足的水準。容量因子就是該養分元素吸附在土壤固相，而且能被釋放到土壤溶液中的數量，又稱為可交換性的養分數量。再者，土壤養分的有效性與實際被植物吸收的養分數量，還受土壤養分到植物根系表面的環境狀況所影響，包括植物根系對養分的截獲、質流和擴散等三方面的影響（莊愷璋，2013）。土壤中含有鹽類，亦有含鹽類的有機複合物。其植物不能吸收者為無效狀態，如果鹽類能溶解於土壤水中，成為離子狀態，植物根則可吸收利用，此為礦物元素之有效狀態。植物內部蒸散作用誘使水分吸收時，鹽類一同時被吸收分佈，此為純物理性的作用，亦可稱為被動吸收。另一方面為植物的生理作用，此鹽類吸收作用時必須消耗能量始能進行吸收，此為主動吸收作用。土壤對於磷具有很強的結持和固定能力，施用有機質肥料能降低土壤對磷的吸附並增進磷的有效性（陳仁炫，1995）。

土壤中某些元素離子過多或不足會對土壤肥力產生不利的影響，例如：鈣離子不足可能降低土壤團粒的穩定性，且土壤的透水性也會因而降低；鋁、氫離子過多，會使土壤呈酸性反應和產生鋁離子毒害；鈉離子過多，會使土壤呈鹼性且土壤顆粒分散不易形成團粒，易造成鈉離子毒害且不利於一般作物生長。

二、化學因素

化學因素包括：酸鹼度(pH)、陽離子交換容量(CEC)、導電度(EC)、氧化還原電位(Eh)和其他有毒物質等，其直接影響植物的生長和土壤養分的轉化、釋放及有效性。

土壤酸鹼值（Pondus Hydrogenii）除了影響作物根系的發育及對水分和養分的吸收能力外，它亦控制了養分在土壤中的轉換及養分有效性的高



低，一般而言，過於極端的酸、鹼環境、大量可溶性鹽類、大量還原性物質及其它有毒物質存在的情況下，大多數作物都無法正常生長。土壤陽離子交換容量的大小，是決定土壤保肥性的主要因素，而且通常酸鹼度是反應土壤養分有效性的決定性指標。因此，土壤 pH 為研判土壤肥力的重要指標之一。酸鹼值與土壤性質如下表所示，酸鹼度小於 6.6 之土壤即為酸性土壤，過酸的土壤將有礙土壤中之微生物活動進行。在多雨山坡地的土壤，有機質容易分解，而土壤鹽類容易流失，作物根系由土壤中吸收鹽類，遺留酸性物質於土壤中，都能使土壤產生酸性。土壤酸性越強，其磷之有效性越低。酸性土壤也有礙於土壤微生物的活動，影響故氮細菌生長，間接妨礙有機物質的分解和作物的生長。酸鹼度大於 7.3 之土壤即為鹼性土壤，在乾旱少雨而蒸發強盛的地區、海岸地區及施用鹼性肥料過多的土壤，都能產生鹼性土壤，鹼性甚強的土壤，土壤膠體常被鈉離子所飽和，土壤則因絮散作用而成為不良的粘閉構造，妨礙土壤中水分，空氣的流動和作物的生育（莊愷璋，2013）。有機質肥料的施用會提昇土壤 pH 的原因相關文獻甚多，Bartlett（1988）指出有機資材的添加可增加土壤微生物活性，進而消耗大量氧氣，使土壤氧化還原電位下降，而使土壤中的氧化錳還原成 Mn^{2+} 時消耗質子而釋出 OH^- ，致使酸性土壤的 pH 上昇。Hue 和 Amien(1989) 指出有機質分解時產生的有機陰離子，如蘋果鹽酸（malate）和檸檬鹽酸（citrate）會與酸性土壤中的氫氧化鋁或氫氧化鋁的邊緣 OH^- 進行配位交換（ligand exchange），釋出 OH^- ，致使土壤的 pH 上昇。學者 Pocknee 和 Summer（1997）指出，有機質材的添加可增進土壤中的鹼性陽離子，因而使土壤 pH 值上升。各營養素於不同酸鹼度下之有效強度如下圖 2-1 所示。各營養素於不同酸鹼度下之有效強度亦有所不同，由下圖可知，植物所需元素於 6.0-7.3 能發揮最大效益，在酸鹼值範圍中屬於微酸性至中性範圍，而農業改良場所訂定酸鹼值之適宜範圍為 5.5-6.3。

表 2-1 酸鹼值範圍

pH 範圍	5.1-5.5	5.6-6.0	6.1-6.5	6.6-7.3	7.4-7.8	7.9-8.4	8.5-9.0
土壤反應	強酸性	中酸性	微酸性	中性	弱鹼性	中鹼性	強鹼性

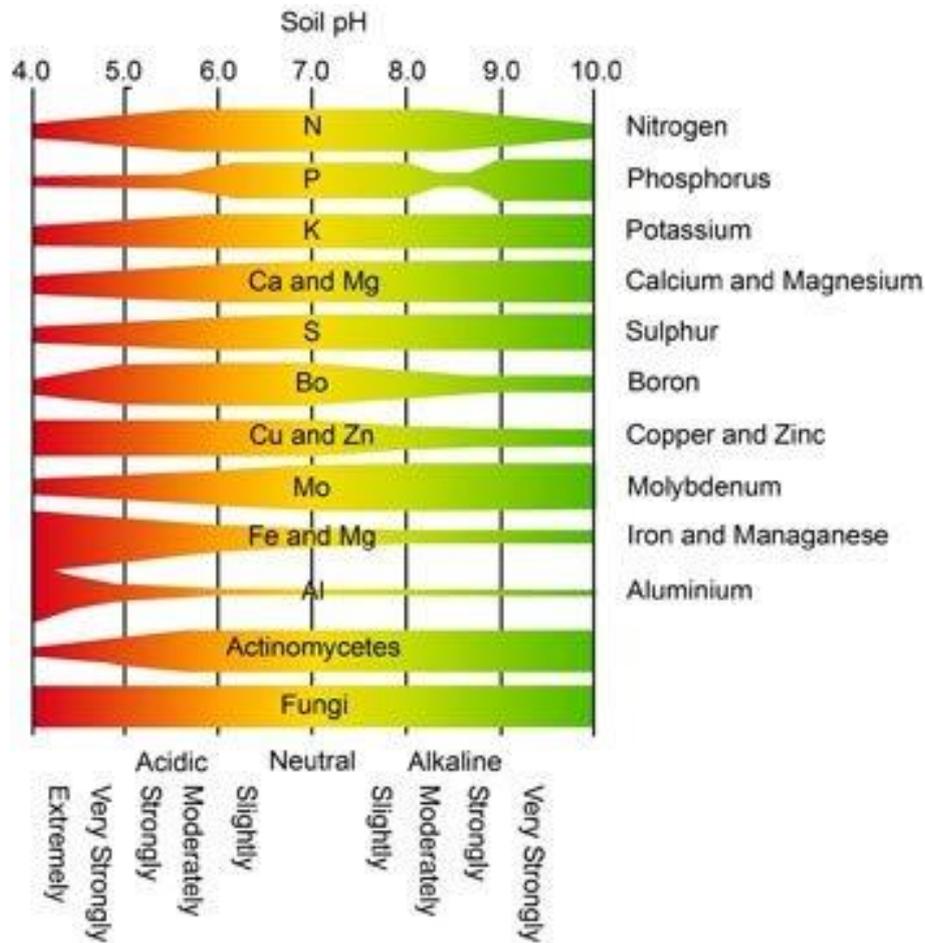


圖 2-1 各營養素於不同酸鹼度下之有效強度
(<http://www.mineralsystems.co.nz/>)

土壤溶液中鹽分的含量受土壤本身所含的鹽類、肥料種類、用量及灌溉水的影響，常以土壤飽和水電導度（Electrical Conductivity）值做為是否有鹽害的指標。EC 值大小代表土壤溶液中可溶性鹽類的多寡，其值愈高表示養分含量愈多，但超過某程度便會對作物生長不利(2003, 吳梅華)。一般定飽和土壤水（土壤與水之比例 1：5）的 EC 值於 0.6 dS/m 為一般作物會發生鹽害的臨界值，超過時其所形成之滲透壓將影響根系對土壤水分的吸取，而不利於作物之生長（2002，徐卉明）。

許多學者指出有機質的添加會同時增加土壤中有機磷與無機磷的含量，且土壤碳、磷與微生物活性亦會隨著有機質施用量的增加而增加（Dormarr and Sommerfeldt, 1986; Khalil and El-shinnawi, 1988）。有機質是



土壤品質之重要指標，土壤有機質(organic matter)含量與土壤肥力(soil fertility)甚至土壤品質密切相關，故缺乏有機質的土壤，將導致保水及保肥力低弱，易受農藥、廢水等污染，在天然環境中對作物生長及品質有不利的影响。探討土壤有機物含量與土壤生產力的關係顯示土壤有機質含量高者的土壤生產力高，認為土壤有機質可藉以評估土壤生產力，即因有機質中有機氮(organic nitrogen)可礦化(mineralization)供作物吸收之故。土壤有機質可改良土壤理化性及生物性，為作物營養要素之貯藏庫，其含量一般被視為土壤肥力的指標（林錦標，2002）。

第二節 有機肥料

有機肥料是利用微生物將有機物質分解或發酵而將有機質中的養分分解釋出，然後將所釋出的養份予植物吸收利用。其中有機質的釋出過程是緩慢、持久的，其原理是先用有機物質供應泥土裡的各類生物，然後它們緩慢分解而穩定地分解釋出各類養份，植物可藉由根部吸收此類養份，由於獲取充足而全面的養份而生長得健康茂盛。同時有機物亦能改善泥土的結構，創造一個排水良好、空氣流通、保水、保肥的有機生存環境，讓泥土中各生物更適合生存（羅秋雄，2004）。

將有機物質轉變為堆肥的過程，即利用存在於自然界中的微生物，調控其生長環境條件，如水分、氧氣、溫度、所需的營養等，營造出適合微生物生長的環境，利用微生物將廚餘中的有機物質轉變成安定的有機質成分，其成品可當作有機肥料或調節土壤性質之用。將廚餘製成堆肥可以減少垃圾量，減輕焚化爐與掩埋場的負擔。廚餘與調整材混合後，經堆肥化處理後，體積會減小，故可達垃圾減量、資源回收之效果，其所製成的有機肥料更可再回歸至農田，以提昇農地肥力及減少過度使用化學肥料的功效，並可減輕環境之負荷（邱梅玲，2007）。市面上有許多不同廠商有機肥料，經調查顯示以不同有機材所製作，成分易有差異，使得有機肥料之研究備受重視。有機肥料益處中處中的最重要一點為緩效性氮肥的供給。不同有機肥料含有不同養分含量，作物不同其所需養分需求也會不同，若能有機肥料與作物相互配合，則將會使有機肥料的效益發揮到最大（Smith and



Hadley, 1989)。有機肥料釋放養分的速率，最好配合作物生長，若是釋放太早或是太晚皆不利作物生長（吳梅華，2003）。養分的含量因堆肥的種類或堆肥原料之不同而有大的差異。添加到土壤中的有機物含有不同的碳化合物而使其分解速率有大的差異。所添加的有機物之生物分解速率與量，視其所含之每一個碳化合物而定。Ajwa 和 Tabataba (1994) 指出，將有機物加至土壤中，起初會使二氧化碳的釋出急速上升，但是此又因有機材質之不同而不同；環境因子之不同也使有機物在土壤中的分解速率不同。其中以氧氣、水分、溫度、pH 值及有效的無機養分含量最重要。不同有機質所製作而成之有機肥料，其特性及成分也亦所不同，以下則對常見三種有機肥料包括禽畜糞堆肥、廚餘堆肥及稻草堆肥做論述。

一、有機肥料的製作

「堆肥化」(Composting)是將有機資材由微生物予以消化、水解，利用這些生質能源進行細胞生長、繁殖和新陳代謝的過程，其間歷經化學和生化過程合成次生成物，再經過氧化聚合作用最終形成腐植質。所謂「堆肥」

(Compost)就是堆肥化過程產生的穩定產物，主要包含菌體、二次代謝產物及未分解轉化的生質資材。微生物的參與是影響堆肥化成敗最重要的因素，利用微生物將有機廢棄物中不穩定的有機物質加以分解，轉換為安定的腐植質成分，即腐熟的堆肥。堆肥化進行的主要條件乃提供自然界或接種的微生物群生長繁衍的最適環境，其中包括溫度、濕度、通氣量、酸鹼度(pH 值)的控制、有機質材的營養種類與性狀等(2000, 林殿琪)。

堆肥過程中常被探討的影響因子包括副資材、材料的調配、溫度、pH 值、水分、通氣量及碳氮比(邱梅玲, 2007)。文獻中常見針對不同配方、比例、通氣量、菌種應用進行對堆肥成品影響與作物生長的研究(翁震忻 1998, 楊盛行 1995, 鍾仁賜 1998), 堆肥在原料的調整最為重要, 需將其含水率、碳氮比經其他副資材(例如木屑、穀糠、太空包、蔗渣等)調配至水份含量約 60-65%, 碳氮比介於 20-30 之間以利堆肥化的進行, 未來



在含水量約 85-90% 的廚餘進行大規模化時，勢必與農業廢棄物調配以調整其原料狀態以利堆肥進行（2000，林殿琪）。

堆肥化過程係由不同微生物所主導過程，並將有機物質分解，故微生物的活動環境對堆肥化過程極為重要，以下則對適合微生物生長及活動之相關因子，如材料的調配、碳氮比及水分做論述。

（一）材料

調整有機質的粒徑大小（禽畜廢棄物適當粒徑約在 10-20 公釐），粒徑太大造成微生物接觸表面積較小，分解速度較慢，粒徑太小造成孔隙太小，氧氣供應不順暢，不利好氣分解進行，應適當添加副資材以維持孔隙大小。

（二）碳氮比 (C/N)

廚餘堆肥化過程中，碳主要為提供微生物生命活動能源，而氮則用於合成細胞（黃裕銘，2005）。由於微生物作用將有機物分解轉化為 CO_2 ，適合於微生物作用之有機物碳氮比介於 20:1 至 30:1 範圍內（曾國力，1997）。廚餘與其他堆肥原料如木屑、稻草、蔗渣等相比，其碳氮比較低，因此可加入碳氮比較高的調整材來調整至適當的碳氮比。若製作堆肥前之有機物的碳氮比太高時，會因氮缺乏，致使微生物無法大量繁殖，導致堆肥化過程緩慢；若碳氮比太低時，微生物分解出過多的氮，易在堆肥過程中散失，導致氮的損失。因此視其資材特性需做適當調配，通常以稻殼、木屑做調配居多（許芳晴，2008）。

（二）水分

一些含水量較高的資材，例如未經固液分離的豬糞尿、或廚餘含水比例過高（含水率達 65%-90%），需以吸水效果好的資材調配，以控制其含水量。打碎的稻殼的吸水率為 136%，木屑吸水率亦佳，但其屬較難分解之有機質，需較長時間。因此當廚餘中含水量及碳氮比過高情形下，需添加一些副資材以幫助其調整孔隙度、含水量及碳氮比。副資材一般堆肥過程中較常用之副資材含木屑、稻殼及落葉等，且副資材使用目的是因堆肥過



程中需要一些不易分解、產酸物質支撐堆肥反應，並與水分搭配使反應物料中有適當的孔隙率與通氣性（許芳晴，2008）。

二、有機肥料之效用

近世紀來堆肥已被視為一有價值之土壤改良劑。大部分人認為使用堆肥為一有效增進健康植物產量、節省金錢、減低化學肥料使用及保存環境中自然資源的方法。堆肥提供一穩定之有機質，不僅可改善土壤物理、化學和生物性質，且可增進土壤品質和作物產量（陳仁炫，2005）。有機肥之施用於土壤之功效可分改善土壤物理性質、化學性質及生物性質三部分（莊麗津等，2005）。肥料可提供微生物營養，含氮素較少之腐植質可增進土壤固氮菌之作用，將空氣的氮轉化成供生物使用之氮素化合物，並增加土壤有益微生物，抑制有害菌之生長。有機肥料大多由有機物質，經堆肥化過程後所製造出來（吳梅華，2003）。有機肥料在土壤中分解或是礦化過程中，會釋放不同的養分如氮、磷、鉀等供作物生長，且可改善土壤理化性質。自有機質肥料再次受到重視以來，便有許多學者研究有機質對土壤與作物的影響，關於有機質肥料施用對作物生長和土壤性質（物理、化學、生物）的有利報導甚多。

國內學者楊秋忠(2003)提出，有機肥料的功效如下：

1. 改善土壤構造：有機肥料的顆粒或斷片可混入土壤中使土壤變鬆，有機質可增加微生物產物，促進土壤團粒化作用，使土壤構造變好。
2. 增進土壤通氣性：土壤構造變好，可增加土壤間隙，增加土壤的通氣量，同時使根系間之二氧化碳易於擴散出去。
3. 增加土壤保水力：有機肥料本身具有很強的吸水性，混在土壤之間，可以直接幫助土壤中水分的保持；或間接來自土壤構造的改善而提升土壤保力。
4. 增加土壤溫度：有機肥料之顏色較深，能吸收較多的日照熱量，而提高土壤溫度。
5. 經分解可提供植物的營養及能量：有機物質分解時，能產生無機營養分及有機營養分，並放出二氧化碳，部分養份可供作物光合作用的應用基質。



6. 增加土壤貯存營養分：土壤中之營養元素在有機質表面貯存，形成可交換性的形式，尤其對含粘粒少之土壤更為重要。
7. 有機物質之分解產物可以促使無機營養轉移及增加其有效性。
8. 提供微生物的營養及能量：大量有機物質進入土壤中，可促進微生物之活動，也加速有機物質之分解，間接提供作物所需之營養元素。
9. 有機物質進入土壤中，可以讓土壤中益菌增生，土壤有益菌增生時，可達到制衡有害菌之作用。

本研究將有機肥料對土壤之影響整理為直接優點及間接優點，直接優點包括物理改善、化學改善和養分供應及生物改善，間接優點包括緩效性施肥、緩和土壤侵蝕、協助生態棲地之復育、草坪修正與景觀管理、地景園藝設計使用，以下則列出上述項目並詳述。

(一) 直接優點

1. 物理改善

有機質的施用具(1)增進土壤團粒構造；(2)增進土壤通氣性；(3)調節土壤溫度；及(4)降低土壤總體密度而避免排水不良和表面沖蝕等效果，因而使作物根系之發育，伸展以及對養分和水分的吸收均得以增進，及作物的品質得以提昇(陳仁炫，2005)。施用有機質肥料能夠改善土壤物理特性(Fortun et al., 1989；蔡，1999)。有機肥料屬緩效性施肥，此特性在能減少化肥之污染：由於堆肥可改善土壤保水能力，並利用腐植質將無機養分固定化之緩效性釋肥，減緩速效性化學肥料造成之非點污染現象與河川水體之優養化，並抑制植物病蟲害而減少肥料、殺蟲劑使用量，間接降低環境與人體健康之風險。透過有機物質的施用以疏鬆密實之土壤，可直接降低土壤總體密度和改善土壤結構，且間接藉由堆肥中的腐植質穩定團粒。將堆肥混入密實土壤可改善根系穿透能力，尤其有助於草皮之建立。適量的施用有機物質亦可直接地增進土壤保水能力且間接地改善土壤結構，進而增進水分在土壤中的移動及吸收，因此可降低灌溉及需水量。堆肥中含有真菌、放線菌菌絲有助於結合土壤粒子以形成團粒構造，並增加土壤



對水及風力侵蝕之穩定性，調整土壤之孔隙度以改善土壤保水力，有助於緩和土壤溫度且避免土壤溫度的快速驟變，因此使植物根系生長在較佳環境下，堆肥作為表土覆蓋物尤其具有此功能，改善土壤孔隙度亦能影響土壤通氣性，以供應足夠之氧氣予根系且排除根圈過量之二氧化碳。腐熟完全的堆肥的顏色較深，可促進土壤吸收熱能進而增加土壤溫度並間接改善土壤結構。(陳仁炫，2005)。堆肥能增進土壤的物理性質：堆肥增加土壤的保水能力、土壤好氧性、結構穩定性、抵抗風力及水力對土壤的侵蝕、促進植物根部生長、增進土壤溫度的穩定性(林殿琪，2000)。有機肥料能緩和土壤侵蝕，土壤侵蝕屬自然現象，但人為活動加劇水土流失，經人工移除表土及覆蓋物後之土壤易遭受風雨侵蝕而流失。堆肥的施用可藉由改善土壤結構、緩和土壤壓實，增進土壤結構之保水能力而減少因表面徑流造成之損失與侵蝕。以美國為例，每年因土壤侵蝕所造成山坡及農田表土流失約有 2 億公噸，除造成營養素的損失，亦使河川、水體因承受過量沈積物(可能含有大量化肥或重金屬)威脅水體生物健康。

由圖 2-1 可知，有施用堆肥之土壤可軟化土壤、供給養分，亦可防止低溫與保持水分，乃因土壤腐植質增加與土壤團粒結構改善，不僅有益於土壤物理性質，亦因腐植酸增加，有促進植物發根之功效，間接促進作物增產。

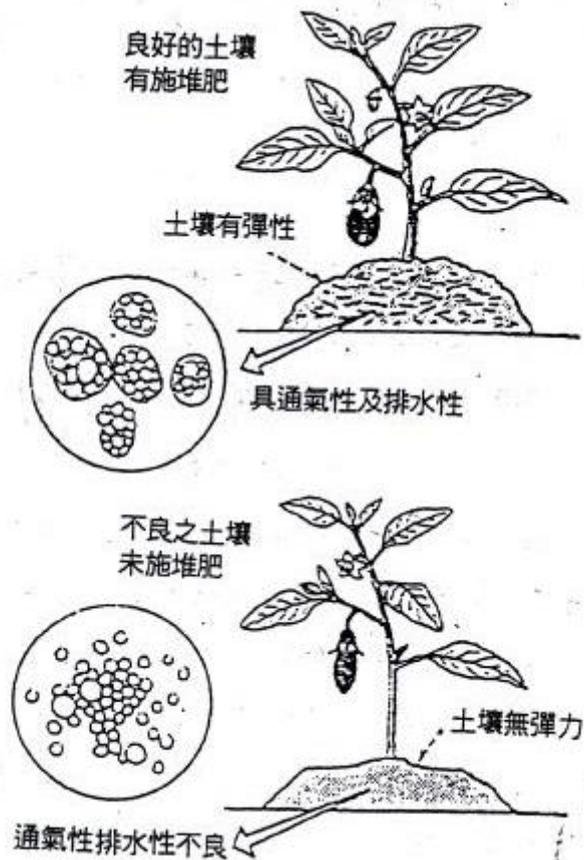


圖 2-2 施用堆肥對土壤效益 (清河, 1976)

2.化學改善和養分供應

土壤有機質具有高量的陽離子交換能量。有機質肥料的施用可增加土壤有機質的含量，進而增進土壤的保肥能力而減少養分的淋失，同時增強土壤對於酸度(acidity、鹽害、殺虫劑、有毒重金屬及其他逆境的抵抗力，因而減輕作物蒙受上述問題之傷害程度。有機肥料在土壤之分解過程或礦化作用中，可釋放不同種類的植物養分予作物吸收利用，如氮、磷、鉀、硫和其他的次要及微量元素。由於有機質肥料幾乎可提供植物生長的所需的養分種類，因此較不易發生類似長期施用同種化學肥料所出現的養分不平衡及養分缺乏的問題 (陳仁炫, 2005)。施用有機肥料能使土壤所含的有效養分如磷、鉀、鈣、鎂量增加，而有效性錳、銅、鋅等元素亦會累積 (王和趙, 1995; 蔡, 1999)。長期施用廐肥會增加土壤中有機質的含量，且土壤氮量亦會有累積 (王和趙, 1995; 蔡, 1999)。不論在水田或是旱田，施



用有機質後會增加土壤中有機質含量(Marchesini, 1988; 莊和楊, 1992), 亦能降低酸性土壤中對鋁和錳等重金屬物質的吸收(鍾等人, 1994), 土壤腐植質可減低對生物有害之重金屬的吸收(Frances, 1991)。

3. 生物改善

有機質肥料的施用可提供土壤微生物族群生長所需之能源, 因此能促進土壤微生物的族群和活性且維持生態環境之平衡。有機質肥料施用對土壤有益生物(如蚯蚓、固氮菌、菌根菌、溶磷菌、硝化菌...等)族群和活性的增進, 在作物生產和品質的改善上實功不可沒。同時, 微生物生長時, 能分泌有利於植物生育的氨基酸、核酸、維他命、生長素及有機酸等物質(陳仁炫, 2005)。實驗指出有機質肥料的施用能增加土壤微生物與活性(鄧與黃, 1993)。

(一) 間接優點

1. 緩效性施肥

由於堆肥可改善土壤保水能力, 並利用腐植質將無機養分固定化之緩效性釋肥, 減緩速效性化學肥料造成之非點污染現象與河川水體之優養化, 並抑制植物病蟲害而減少肥料、殺蟲劑使用量, 間接降低環境與人體健康之風險。譚增偉(2005)亦指出有機肥料的好處中最重要一點為緩效性氮肥的供給

2. 緩和土壤侵蝕

土壤侵蝕乃自然現象, 但人為活動加劇水土流失, 經人工移除表土及覆蓋物後之土壤易遭受風雨侵蝕而流失。堆肥的施用可藉由改善土壤結構、緩和土壤壓實, 增進土壤結構之保水能力而減少因表面徑流造成之損失與侵蝕。以美國為例, 每年因土壤侵蝕所造成山坡及農田表土流失約有 2 億公噸, 除造成營養素的損失, 亦使河川、水體因承受過量沈積物(可能含有大量化肥或重金屬)威脅水體生物健康。因此在容易產生土壤侵蝕之處, 例如陡坡、路基之沿坡, 施用堆肥較一般護根物質有效, 在坡地施用 2-3



英吋的堆肥覆蓋於表層，可形成厚實、永久、保濕的植物生長基質，並可減緩表面徑流之速度，雨水下滲進入地下水層，進而達成防止土壤侵蝕與表土流失之目的。

3. 協助生態棲地之復育

依美國環保署對於堆肥創新用途之開發研究中，於林地、集水區、濕地與棲地的復育上使用堆肥具極大的功用。以美國濕地為例，三個世紀以來土壤中之有機質持續下降，超過 1 億英畝的濕地乾涸，集水區土壤中有機質亦僅剩 17 世紀時含量之半，導致每年洪氾情況每況愈下，地表水質惡化，然而堆肥可提供種子與幼芽良好生長環境以幫助造林及棲地復育，經試驗得知使用堆肥進行林地復育三年後，土壤侵蝕情況停止。而在濕地復育方面 29、經由美國華盛頓州 1994 年至 1996 年之濕地本地種復育研究顯示，含有堆肥之土壤與當地天然的濕地基質相似，且植物生長率提高 20%，存活率亦增加 10-15%，並且可以緩衝 1996 年的冬季豪雨而不產生洪氾。

4. 草坪修正與景觀管理

在娛樂用途之經濟利益上，美國亦多使用堆肥於高爾夫球場、足球場、及其他需要單一草面之場地。由於該類場地草皮經常遭受磨損與劇烈使用，因此在疾病、蟲害與土壤壓實上管理不易，長期使用化學肥料、殺蟲劑、除草劑等，亦導致經營成本提高，對環境造成負面影響。如今開始有業者使用堆肥以替代表土層下之泥煤以成功控制植物病害。或在土壤長期遭壓實地區，例如公園、動物園、運動場、遊憩場所等使用堆肥及其他改良物質（例如木屑、碎橡皮）之混用，皆有良好的成效並為符合成本經濟之替代方案。

5. 地景園藝設計使用

都市景觀設計行業中對物美價廉的表土需求量十分大，堆肥便可扮演自家的或商業用途之園藝盆栽或景觀設計之替代角色，因堆肥不需經常施



肥或翻動以增加曝氣，是良好之替代品。堆肥景觀使用上良好之護根物，可保持水分及土壤溫度。

三、有機肥料對作物及產量的不利影響

然而有機質肥料施用不當而造成土壤養分失調的研究也不少，有機肥料施用過多或是長期施用同一種類肥料，亦會造成土壤養分過多或是缺乏，則會對作物產生負面影響，進而減少產能。Harada (1990) 及 Chang (1991) 指出長期施用單一有機肥料，易造成土壤中某些養分比例的失衡，一次施用過量，也可能造成養分在土壤中累積及分解釋出過多的硝酸態氮，而不利作物生長或造成二次污染 (Jacobs, 1990; Vivckanandan and Fixen, 1990)

有機質肥料的施用對作物生長並非絕對有利，若不予以有效的管理及確保其品質，則亦會產生負面的效應，如污泥或動物廐肥可能含有病原菌，而危害作物的生長及家畜和人類的健康。而部分有機質肥料，可能含有重金屬 (如鎘、銅、鎳、鉻、鋅、砷、汞、鉛等)。這些金屬元素部分為植物生長所需，而其他非為作物所需，若用量過多常會聚積在作物體內而進入食物鏈中，因此不但會抑制作物的生長且會危害人類的健康。有機質經未完全之堆肥化過程容易產生未腐熟之堆肥，若施用未腐熟之動物廐肥或堆肥於土壤中，其繼續發酵所產生的熱及有毒之揮發性氣體將傷害植物根系，而使作物生長受到抑制，進而對作物生長產生不利的影響。肥料應以不同比例或特性互相搭配使用，若長期施用單一有機質肥料可能會破壞土壤中之養分平衡，造成少數養分比例過高，而產生單一養分過剩情形發生。有機質肥料所含養分的量及養分間的比例常因有機質肥料種類不同而異。若長期只施用同一種有機質肥料，恐會或多或少破壞土壤中養分的平衡。同時，有機質肥料的養分釋放速率較慢，使用初期常無法滿足作物生長，故產量常不如理想。含鹽量高的有機質肥料雖能快速影響土壤性質，但長期施用可能造成土壤鹽害而抑制作物的生長及養分的吸收，且造成土壤物理性質劣化，其中包括土粒之分散作用致使土壤的通氣性和透水性變壞。



有機質肥料之製作原料成分複雜，所製作出之有機質肥料的成分變異亦有所不同，若未掌控其品質或成分，施用的效果常參差不齊。(陳仁炫，2005)

四、有機肥料的施用方式

有機肥料的施用量係以土壤及植體分析、作物營養特性、土壤條件、肥料特性及配合有機質肥料估算，欲合理化的施肥，需先由土壤和植體分析所得的數據中，瞭解土壤中養分的有效性的高低和作物體內的營養狀況，再配合作物對養分需求的特性去評定肥料的管理方式(包括用量、施肥方式及施肥時期)，方能達到高產的目的，且不會因肥料施用不恰當而造成環境生態的污染。簡言之，適當的施肥乃為適地、適時、適作的肥料管理方式，即必需完全配合作物和土壤的需求。適當的施肥應包括：(1) 添加真正需要的養分；(2) 施用正確的肥料和用量；(3) 施用在正確的位置；以及(4) 在正確的時間內添加。

(一) 基肥

固態有機肥料通常當作基肥於種植前施用，一般葉菜類以全園撒施後整地播種或定植，行植蔬菜可按既定行距條施後整地作畦後定植(莊愷璋，2013)。一般基肥是指在作物播種或移植之前施入土中的肥料，其效用主要在供給作物生長初期的養分需求；但如果是長期性的作物，其基肥的施用則有維持果樹周年生育的基本需肥效益。因此，其施用時機應特別考量該作物的開花生理習性，以不影響花芽分化與形成為最大前提；再據以調控肥料種類的選擇及其施用量的配置，以各生育階段能穩定生長為主要目的(邱禮弘，2013)。基肥通常都採行於種植前施下，葉菜類採全面撒施，再整地栽培。瓜果類或根菜及結球菜類可以按一定距離條施，再以耕耘機或培土機作畦後種植，或於畦中央開溝施下有機肥，覆土後種植於畦的兩邊。另外，為避免有機質肥料醱酵不完全，影響種子發芽，有機質肥料施入土中後，如果時間允許，應等到5~15天後再進行種植或移植為宜。(王鐘和，2010)。

(二) 追肥



短期性作物多數施用基肥即足夠其全期生長之需要，但長期性作物，如胡瓜、菜豆、蕃茄、南瓜、蘿蔔等，應施追肥，才能得到理想之收穫。追肥的用量與施用次數視作物種類和生長時期而不同，一般採取撒施方法施在地面，距離蔬菜基部約 10cm 左右。如果使用油粕液肥採行部分噴施及部份直接灌施入土壤中則可獲得較快效果。液態有機肥可自行泡製，材料選用高氮之豆粕類，加水泡軟後製成豆漿裝於塑膠桶中，再添加其他材料例如奶粉、黑糖、米糠、魚精、海藻、有益微生物、及適量之清水等，經通氣攪拌數天後，即可使用。液肥使用前先加水稀釋，稀釋倍數應視液肥養分濃度而定，一般氮素濃度不宜超過 200ppm，若原液無機氮濃度為 10,000ppm，則約需稀釋 50 倍以上，才不會引起肥傷，以電導度計之測定值以不超過 0.8ms/cm 為宜，一般用量，每分地約灌施 300~600 公升左右，施用次數視作物生長之期間長短與生育狀況而定。(王鐘和，2010)

五、肥料相關理論及定律

(一) 最低因數限制律

植物生育所需每種礦物質養分，各有一定比率，若某些成分不足時，植物生理即受到最小之養分量支配，其他較多量養分之作用亦被限制，此最低因素限制律通稱 Liebig 氏之最少養分律；換言之，即植物之生產量受最不足之養分限制，例如氮、磷、鉀及鈣等要素，例如某植物需氮素 3kg，磷酐、氧化鉀即氧化鈣需 2kg，可收穫 50kg 產物，若氮素僅提供 2kg，雖其他元素在 2kg 以上時，植物生產量僅得相當於 2kg 之產量(盛澄淵,1956)

(二) 報酬漸減律

依照最低因數限制律，若增加某種植物之養分量，在其他養分充足時可增加產量，然對於一定量之養分之增產律至某限度以上時，則漸次減低，此稱報酬漸減律。其意義與最少養分律略同，換言之，因增加肥料之施用量，收穫量意漸次增加，然而施肥超過一定程度，收穫量則漸次減少，即施肥量越大，其增產值越小。若在施更多量，將產生負數生產值(盛澄淵，1956)。



第三章 實驗材料與方法

第一節 實驗材料

一、有機質肥料

(一) 廚餘肥料

本試驗所使用之有機質肥料分為廚餘自製有機肥（以下均稱自製有機肥）與市售有機肥。

自製有機肥原料來源為朝陽科技大學行政大樓之便當廚餘，使用CF-100 機械式廚餘機製作成有機肥料，性狀為固態，投入廚餘前須先加入副資材包括木屑 1800g、糖粉 180g 及酵素 180g 等一併投入，以利微生物活動，將有機物質分解。為調整堆肥化過程之水分及物體大小，投入前須將廚餘做瀝乾與切碎等動作，以利堆肥化過程進行。副資材副資材如下圖 3-1 及 3-2 所示。



圖 3-1 副資材-木屑



圖 3-2 副資材-糖粉



圖 3-3 副資材-酵素



圖 3-4 製肥過程-投入木屑



圖 3-5 製肥過程-投入糖粉



圖 3-6 製肥過程-投入酵素



圖 3-7 製肥過程-倒入清水



圖 3-8 CF-100 廚餘機

(二) 市售有機質肥料

市售有機質肥料廠牌以肥料市場市佔率最高之台灣肥料股份有限公司為主，並選定性狀相同為固態有機肥之台肥生技有機肥料 1 號作為培栽試驗施肥使用。肥料成分則由桃園農業改良場分析，其基本成分如下表 3-1 所示。

(三) 有機質肥料性質比較

由下表可知自製有機肥與市售有機肥酸鹼值均呈弱酸性，自製有機肥較市售有機肥高出 0.4 個單位，而電導度則相差甚多，以自製有機肥為最高，推測受原料本身所含鹽類影響，有機質含量自製有機肥較市售有機肥高 6%，無太大差異，所含養分則差異較大，以市售有機肥所含養分為最高，自製有機肥之氮、磷及鉀含量均低於市售有機肥，而養分比例上，自製有機肥之磷酞及氧化鉀亦較市售肥低，表示施以自製肥之作物較易受到磷酞及氧化鉀含量而限制養分吸收比例。



表 3-1 肥料基本性質成分表

項目	廚餘堆肥	台肥生技 1 號	單位
酸鹼度 pH	6.7	6.3	-
電導度 EC	5.7	3.7	dS/m
有機質 OH	87	81	%
全氮	1.3	5	%
磷酐	0.21	2.5	%
氧化鉀	0.3	2.5	%



圖 3-9 自製有機肥



圖 3-10 市售有機肥

二、土壤

試驗土壤取自朝陽科技大學苗圃試驗場，取約 320kg 土壤，並將土壤樣本送至桃園農業改良場分析，土壤性質與參考建議值如表 3-2 所示。由下表可知原土壤，有酸鹼值偏高情形，檢測值高出建議範圍 0.3 個單位，但範圍仍屬於中性，對作物並無負面影響，而電導度則遠低於危險值 0.6d s/m，表示土壤並無鹽害問題，可溶性鹽類含量亦偏低，磷酐與氧化鉀含量則偏低，但仍於建議範圍內，。



表 3-2 土壤基本性質成分表

項目	檢測結果	建議值	單位
酸鹼度 pH	7.1	5.5-6.8	-
電導度 EC	0.06	<0.6	dS/m
有機質 OH	3.24	>3.0	%
磷酐	65	60-290	kg/ha
氧化鉀	148	90-300	kg/ha

三、試驗盆栽

本試驗長型塑膠盆為設施做盆栽試驗，塑膠盆尺寸為，18*60*18 公分，底部有兩個排水孔，每盆所用土重約有 15kg，盆器如下圖 3-1 所示。



圖 3-11 塑膠盆(長)

四、作物

盆栽試驗所用之作物種子購自農友種苗公司，品種為鳳山 (Fongshan) 白菜。在台灣，不結球白菜主要的品種有鳳山白菜、黃金白菜、青菜（包含青梗白菜、白光 F1、農友二號 F1、高腳白菜、矮腳白菜）、油菜心、紫菜苔及烏塌菜之分（黃與洪，1988）。小白菜 (*Brassica campestris* L. *Chinensis* Group) 屬不結球白菜之一種，是國人偏好之重要短期葉菜類蔬菜，為十字花科芸苔屬一、二年生草本作物，鬚根發達、根系淺，再生力強。莖短縮，但高溫或過渡密植時會伸長，葉生於短縮莖上，為食用部位，葉色淺綠到墨綠，葉多光滑，也有皺縮者，目前種類很多，全台都有栽培。



最適宜小白菜生長之環境條件為 pH 值介於 5.5-6.0 之間，養分需求參照黃裕銘(2000)蔬菜施肥的推薦量，將施肥推薦量訂為 $N-P_2O_5-K_2O = 200-60-100$ kg/ha

第二節 研究限制

一、堆肥化副資材

機械式堆肥化過程需加入副資材以利堆肥化過程進行，本研究所使用之酵素為堆肥機械公司之專利產品，屬生物科技，故公司方面無法提供內容物詳細成分內容。

二、種植環境

以維護管理及觀察記錄方便，本研究將盆栽試驗地點選在校園內開放空間，故環境因子則無法控制，會受氣候影響，僅能將盆栽試驗之所有組別配置在同一區域以統一環境。

三、土壤檢驗

由於校園設備使用流程與本實驗無法配合，本研究將土壤樣本交由桃園農業改良場代為檢驗，確保樣本能於同一時間進行檢驗，但土壤樣本須以包裹寄送，無法控制運送流程中之任何影響。

第三節 試驗步驟

一、試驗流程

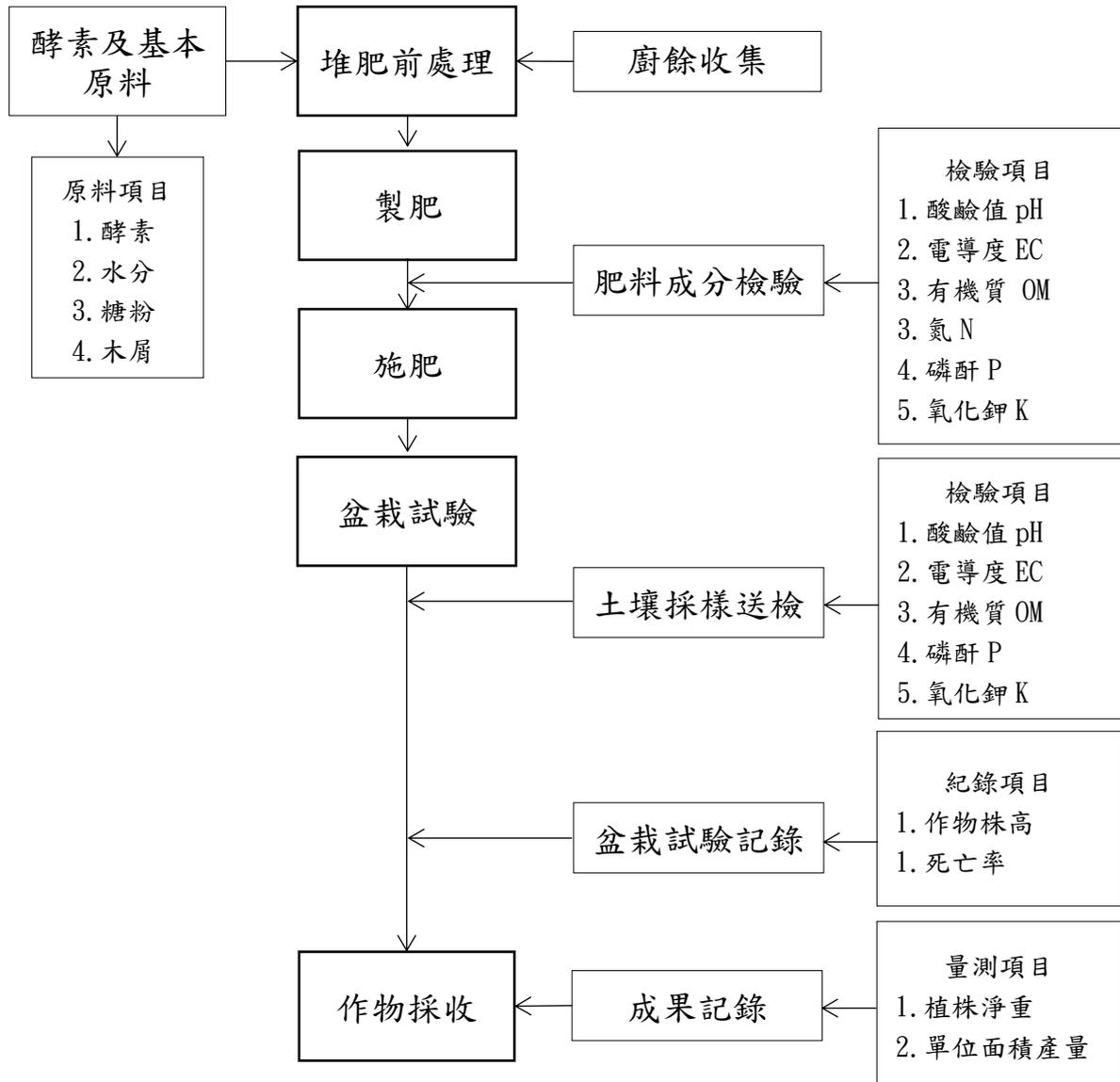


圖 3-12 實驗流程圖



試驗共分為不施肥、廚餘肥及市售肥三組，每種肥料做一倍、兩倍及四倍施肥量，七種處理，三重複，共二十一盆，每盆種植三株，共六十三株。試驗之處理及代號如下：

1. 對照區 (NF)：不施用任何肥料。
2. 自製肥料區 (FW-1)：施用一倍推薦量之自製有機肥料。
3. 自製肥料區 (FW-2)：施用二倍推薦量之自製有機肥料。
4. 自製肥料區 (FW-3)：施用四倍推薦量之自製有機肥料。
5. 市售肥料區 (CP-1)：施用一倍推薦量之市售有機肥料。
6. 市售肥料區 (CP-2)：施用二倍推薦量之市售有機肥料。
7. 市售肥料區 (CP-3)：施用四倍推薦量之市售有機肥料。

四、施肥量

參照黃裕銘 (2000) 蔬菜施肥的推薦量，將施肥推薦量訂為 $N-P_2O_5-K_2O = 200-60-100 \text{ kg ha}$ ，施肥量則依照台南區農業改良場之施肥量公式計算，算式為肥料量(公斤)=要素量(公斤) $\times 100$ / 肥料的要素含量(%), 換算每盆面積 0.108m^2 之容器需施肥 2.16g 氮。施用時以電子秤測得其肥料量，電子秤如下圖 3-2 所示，各處理施肥量如 3-2 所示。通常施肥是以氮素為基準領導元素進行計算，而相關研究進行過一倍、二倍及四倍試驗，但於第四倍，但部分實驗結果在施以第四倍時有正面影響，部分則否，故本研究亦以一倍、二倍及四倍進行盆栽試驗施肥。

表 3-3 各處理施肥量

	一倍	兩倍	四倍
不施肥(NF)	-	-	-
廚餘自製肥(FW)	166g	332g	665g
台肥生技 1 號(CP)	43g	86g	172g



表 3-4 各處理所含養份含量

	氮(g)	磷(g)	鉀(g)
小白菜所需含量	2.16	0.65	1.08
自製肥一倍 (FW-1) 組	2.16	0.35	0.5
自製肥二倍 (FW-2) 組	4.32	0.70	1.0
自製肥四倍 (FW-3) 組	6.48	1.05	1.5
市售肥一倍 (CP-1) 組	2.16	1.1	1.1
市售肥二倍 (CP-2) 組	4.32	2.2	2.2
市售肥四倍 (CP-3) 組	6.48	3.3	3.3



圖 3-16 電子秤

五、試驗時間

於 104 年 4 月 24 日開始進行盆栽試驗，至 5 月 23 日採收，共計 30 天。

六、栽培與管理

盆栽試驗時間為民國 104 年 4 月 24 日至 104 年 5 月 23 日，於民國 104 年 4 月 24 日播種開始栽種，作物栽培的行株距約為 20cm，維護管理以每日供水為主，參照行政院農業改良場小白菜館之維護管理方法，每日供水量為盆栽 70%水量，每日二次，如遇雨天則統一不供水；並於播種後第三日做疏苗剷除發芽狀況較差之植株以利實驗進行，第七日挑選生長狀況正常之植株做定植，定植後則正常維護管理直至第 30 天收成。

六、採樣

(一) 土壤



土壤採樣方法以行政院農業委員會農業試驗所所公布作物病蟲害及土壤肥力診斷服務採樣注意事項之土壤採樣方法，以小白菜生長之重要日程，如發芽、疏苗及定植等進行取土，取土時間分別為播種開始後第 3、7、10、15、20、25 及 30 日，包括原始土壤檢測共檢測 8 次，取土後將土壤包裝，並送至園農業改良場（327 桃園縣新屋鄉後庄村 16 號）檢驗土壤成分。期間生長紀錄項目包括作物株高、日照時數及每日雨量，以利與植栽生長狀況做對照資料分析。

採樣工具：土鏟或移植鏟、塑膠袋、紙盒。採樣深度：表土層 0~15 或 0~20 公分。

採樣方法：

1. 採樣位置

以種植間距 15cm 外之土壤採取，並採隨機位置採樣。

2. 採取方法

除去土壤作物殘株(桿)，用土鏟或移植鏟將表土掘成 V 形空穴，深約 15 公分，取出約 1.5 公分厚，上下齊寬的土。

3. 混合樣本

由前述每點所採土樣，稱為小樣本，將此等小樣本，置于塑膠盆或桶等容器中，充分混合均勻後稱為混合樣本，約取出 600 公克，裝于塑膠袋中後密封。本研究則由每組三盆盆栽中各取約 200g 土壤混和，每組試驗組別取共 600g 做為混和樣本，樣本以塑膠袋包裝並於包裝編號，如下圖所示。



圖 3-17 土壤混和樣本-1



圖 3-18 土壤混和樣本-2

七、樣品分析



(一) 土壤

取土時間分別為播種開始後第 3、7、10、15、20、25 及 30 日，取土後將土壤包裝，土壤成分分析係將樣本包裝送至桃園農業改良場（327 桃園縣新屋鄉後庄村 16 號）代為檢驗，檢驗項目酸鹼度（pH 值）、電導度（EC）、有機質、磷酐、氧化鉀、氧化鈣、氧化鎂及重金屬（銅、鋅、鎳、鉛、鎘及鉻）含量。實驗包括原始土壤共九次檢測值。探討項目其中包括酸鹼度（pH 值）、電導度（EC）、有機質、磷酐及氧化鉀。在變化多端的田間情況下，土壤肥力分析檢測出的氮素含量與氮肥推薦量無太大相關性，目前台灣大部分之農業試驗改良場提供之土壤肥力檢測服務均傾向不檢測氮素（行政院農業委員會桃園區農業改良場，2004）。故氮素亦不在本研究探討範圍內。

(二) 植株

紀錄項目包括植株株高及外觀，株高資料收集方式以小白菜生長期間每日進行作物株高測量，株高為最長葉柄之長度（黃登軒，2007）。外觀則以相機拍照記錄。

第三節 統計分析

本研究數據以 SPSS 統計軟體，以盆栽試驗期間之檢測數據包括酸鹼度（pH 值）、電導度（EC）、有機質、磷酐、氧化鉀及株高進行相關分析。

而本試驗所選用作物小白菜為短期作物，依行政院農業改良場所公告之種植方法中，小白菜在成長階段可分初期與後期，初期僅需適量養分以供作物成長，後期則需較大量之養分以供植株成長，故本研究之數據資料以成長初期（播種後 15 天前）與成長後期（播種後 15 天後）兩部分做相關分析。



第四章 實驗結果與討論

第一節 有機肥料的施用對作物的影響

一、自製有機肥對小白菜株高之影響

盆栽試驗成果以自製肥兩倍 (FW-2) 為最佳，其次依序為市售肥一倍 (CP-1)、自製肥四倍 (FW-3)、自製肥一倍 (FW-1)、不施肥 (NF) 及市售肥二倍 (CP-2)，成長結果最差為市售肥四倍 (CP-3)。各組平均株高由最佳至最低如下表所示。

表 4-1 作物排序與平均株高

組別名稱	株高 (mm)
自製肥兩倍 (FW-2)	230.3
市售肥一倍 (CP-1)	204.8
自製肥四倍 (FW-3)	202.9
自製肥一倍 (FW-1)	197.4
不施肥 (NF)	185.9
市售肥二倍 (CP-2)	144.2
市售肥四倍 (CP-3)	34.7

下表 4-2 與圖 4-1 為小白菜成長期間株高紀錄與株高變化折線圖。由下圖可知作物在成長初期，株高皆低於不施肥 (NF) 組，成長速率並無太大的變化，而市售肥四倍 (CP-3) 組在成長初期已出現植株死亡情形；盆栽試驗後期，除市售肥四倍 (CP-3) 組外，其餘組別之成長速率均有明顯提升，作物株高均陸續超過不施肥 (NF) 組，而不施肥 (NF) 組成長初期與後期之成長速率則無明顯變化，市售肥二倍 (CP-2) 組於後期則有兩株作物死亡。



表 4-2 盆栽試驗期間作物株高紀錄表(單位 mm)

天數	日期	NF	FW-1	FW-2	FW-3	CP-1	CP-2	CP-3
1	4/24	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2	4/25	2.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
3	4/26	4.3	2.3	1.8	1.3	1.7	1.3	0.1
4	4/27	8.3	4.8	4.7	2.7	3.6	2.3	1.1
5	4/28	12.7	7.6	7.1	4.0	5.8	5.0	2.2
6	4/29	16.9	11.0	11.0	5.6	10.0	7.0	4.0
7	4/30	22.4	13.8	15.1	7.8	12.8	8.6	5.0
8	5/1	27.9	16.3	18.1	9.4	14.7	10.2	6.2
9	5/2	34.1	19.0	21.8	11.9	16.4	11.7	7.0
10	5/3	38.9	22.1	24.1	13.4	18.7	13.6	8.0
11	5/4	44.1	24.9	26.9	14.7	20.6	15.4	9.1
12	5/5	48.4	28.1	30.1	18.1	23.0	18.8	9.1
13	5/6	53.7	31.6	35.2	21.4	25.8	23.2	9.2
14	5/7	58.6	33.0	38.1	25.4	28.2	27.2	10.1
15	5/8	63.2	40.6	50.1	30.9	35.3	34.1	10.4
16	5/9	67.2	47.0	59.3	38.2	47.4	40.0	10.7
17	5/10	71.4	54.9	71.1	49.7	58.3	44.4	10.7
18	5/11	75.2	63.2	82.4	61.1	71.6	48.9	11.4
19	5/12	80.0	71.3	92.4	72.3	83.0	53.2	11.9
20	5/13	83.2	79.2	103.2	78.2	90.2	63.2	14.2
21	5/14	86.1	86.2	111.3	85.8	96.7	72.9	15.3
22	5/15	88.8	94.4	119.8	94.2	100.9	83.6	16.9
23	5/16	90.9	104.2	124.7	102.9	103.9	88.3	17.6
24	5/17	93.7	113.3	130.6	112.2	110.3	94.2	18.0
25	5/18	95.8	120.7	134.4	119.6	116.7	100.2	18.8
26	5/19	99.1	128.3	137.0	126.7	124.2	104.8	19.0
27	5/20	104.6	139.8	161.8	141.6	140.2	121.9	22.4
28	5/21	111.9	152.1	182.8	160.8	158.0	140.1	26.6
29	5/22	118.7	168.0	204.6	182.0	177.2	160.1	29.6
30	5/23	127.9	179.0	210.0	190.7	189.4	172.0	31.0

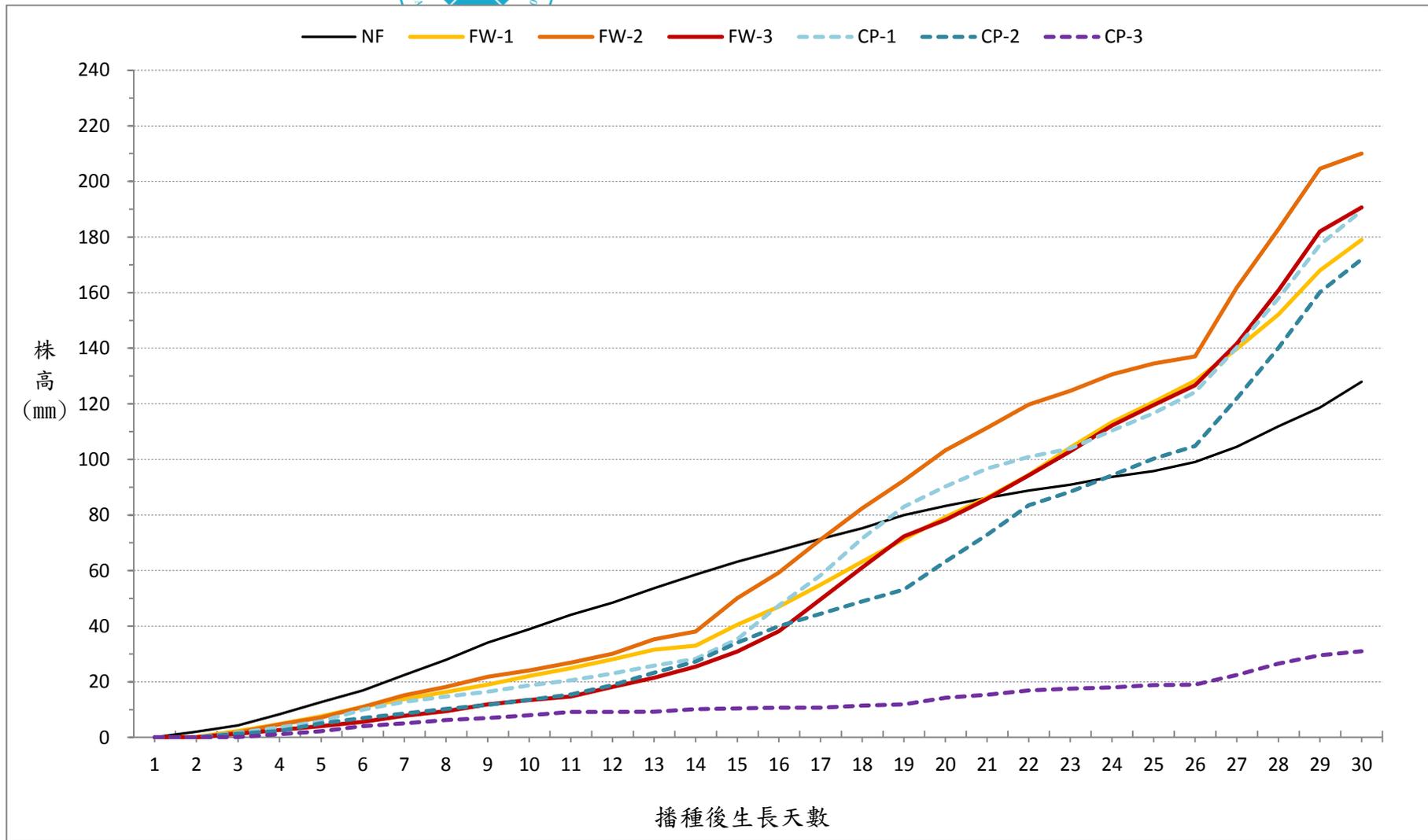


圖 4-1 小白菜於生長期間株高變化折線圖



圖 4-2 不施肥組第 10 天



圖 4-3 自製肥一倍組第 10 天



圖 4-4 市售肥一倍組第 10 天



圖 4-5 自製肥二倍組第 10 天



圖 4-6 市售肥二倍組第 10 天



圖 4-7 自製肥四倍組第 10 天



圖 4-8 市售肥四倍組第 10 天



圖 4-9 不施肥組第 15 天



圖 4-10 自製肥一倍組第 15 天



圖 4-11 市售肥一倍組第 15 天



圖 4-12 自製肥二倍組第 15 天



圖 4-13 市售肥二倍組第 15 天



圖 4-14 自製肥四倍組第 15 天



圖 4-15 市售肥四倍組第 15 天



圖 4-16 不施肥組第 20 天



圖 4-17 自製肥一倍組第 20 天



圖 4-18 市售肥一倍組第 20 天



圖 4-19 自製肥二倍組第 20 天



圖 4-20 市售肥二倍組第 20 天



圖 4-21 自製肥四倍組第 20 天



圖 4-22 市售肥四倍組第 20 天



圖 4-23 不施肥組第 26 天



圖 4-24 自製肥一倍組第 26 天



圖 4-25 市售肥一倍組第 26 天



圖 4-26 自製肥二倍組第 26 天



圖 4-27 市售肥二倍組第 26 天



圖 4-28 自製肥四倍組第 26 天



圖 4-29 市售肥四倍組第 26 天



第二節 有機肥料的施用對土壤肥力的影響

研究於 104 年 4 月 24 日開始進行盆栽試驗，至 5 月 23 日採收，共計 30 天，期間採集播種後第 3、7、10、15、20、25 及 30 日包括原始土壤檢測土壤肥力指標包括酸鹼度 (pH 值)、電導度 (EC)、有機質、磷酐及氧化鉀之數值，共檢測 8 次，以下則將檢測結果製成表格及折線圖以敘述試驗結果。

一、對土壤酸鹼值影響

土壤酸鹼值是土壤肥力重要指標之一，酸鹼值的高低會影響土壤中植物所需養分的轉換及其有效性、根圈有益微生物活性。圖為作物生長期間土壤酸鹼值變化。由圖 4-30 可知對照組 (NF)、自製肥試驗組 (FW-1、FW-2、FW-3) 及市售肥試驗組 (CP-1、CP-2、CP-3)，酸鹼度均有隨生長期遞增之情形，至播種後 15 天酸鹼值開始下降。不施肥 (NF) 組普遍高於其他組別，尤其於播種後 15 天，酸鹼值提升至 8.0 呈現強鹼性狀態，至第 35 天下降至 7.7。自製肥一倍 (FW-1) 組酸鹼值呈現穩定提升狀態，由原始土壤酸鹼值 7.1，至生長中期第 15 天提升到 7.6，收成土壤酸鹼值呈現 7.7 鹼性狀態，而平均值較不施肥 (NF) 組低 0.2。自製肥二倍 (FW-2) 組第 3 天檢測之酸鹼值較原始土壤低 0.1，第 3 天後酸鹼值穩定維持在 7.3 至 7.5，最後檢測之酸鹼值為 7.5 呈現弱鹼性，酸鹼度平均值較不施肥 (NF) 組低 0.4。自製肥四倍 (FW-3) 組第 3 天檢測之酸鹼值較原始土壤低 0.9，第 3 天後酸鹼值於第 15 天提升到 7.8，第 15 天后開始下降，至第 25 日下降至 6.9，最後檢測之酸鹼值為 7.0 呈現中性，酸鹼度平均值較不施肥 (NF) 組低 0.6。市售肥一倍 (CP-1) 組酸鹼度均較原始土壤高，播種後酸鹼度以第 7 天 7.3 為最低，以第 22、35 天酸鹼值為 7.7 為最高，最後檢測之酸鹼值為 7.7 呈現鹼性，酸鹼度平均值較不施肥 (NF) 組低 0.2。市售肥二倍 (CP-2) 組酸鹼度於第 3 天提升至 7.5，為生長期間最高數值，第 10 天下降至最低 7.0，其他期間均維持在 7.2 至 7.3 呈現弱鹼，最後檢測之酸鹼值為 7.3 呈現弱鹼性，酸鹼度平均值較不施肥 (NF) 組低 0.5。市售肥四倍 (CP-3) 組酸鹼度結果與市售肥二倍 (CP-2) 組相似，於第 3 天提升至 7.7，為生長期間最高數值，第 7、25 天



下降至最低 7.0，其他期間均維持在 7.1 至 7.3 呈現弱鹼，最後檢測之酸鹼值為 7.3 呈現弱鹼性，酸鹼度平均值較不施肥(NF)組低 0.5。

X

表 4-3 盆栽試驗期間土壤酸鹼度變化表

播種後 天數	母土	3	7	10	15	20	25	30	35
NF	7.1	7.5	7.6	7.7	8.0	7.9	7.8	7.7	7.4
FW-1	7.1	7.4	7.5	7.6	7.6	7.5	7.6	7.7	7.3
FW-2	7.1	7.0	7.4	7.3	7.3	7.5	7.3	7.5	7.2
FW-3	7.1	6.2	7.5	7.5	7.8	7.1	6.9	7.0	7.0
CP-1	7.1	7.6	7.3	7.6	7.5	7.7	7.4	7.7	7.5
CP-2	7.1	7.5	7.3	7.0	7.2	7.3	7.2	7.3	6.9
CP-3	7.1	7.7	7.0	7.1	7.1	7.3	7.0	7.3	6.6

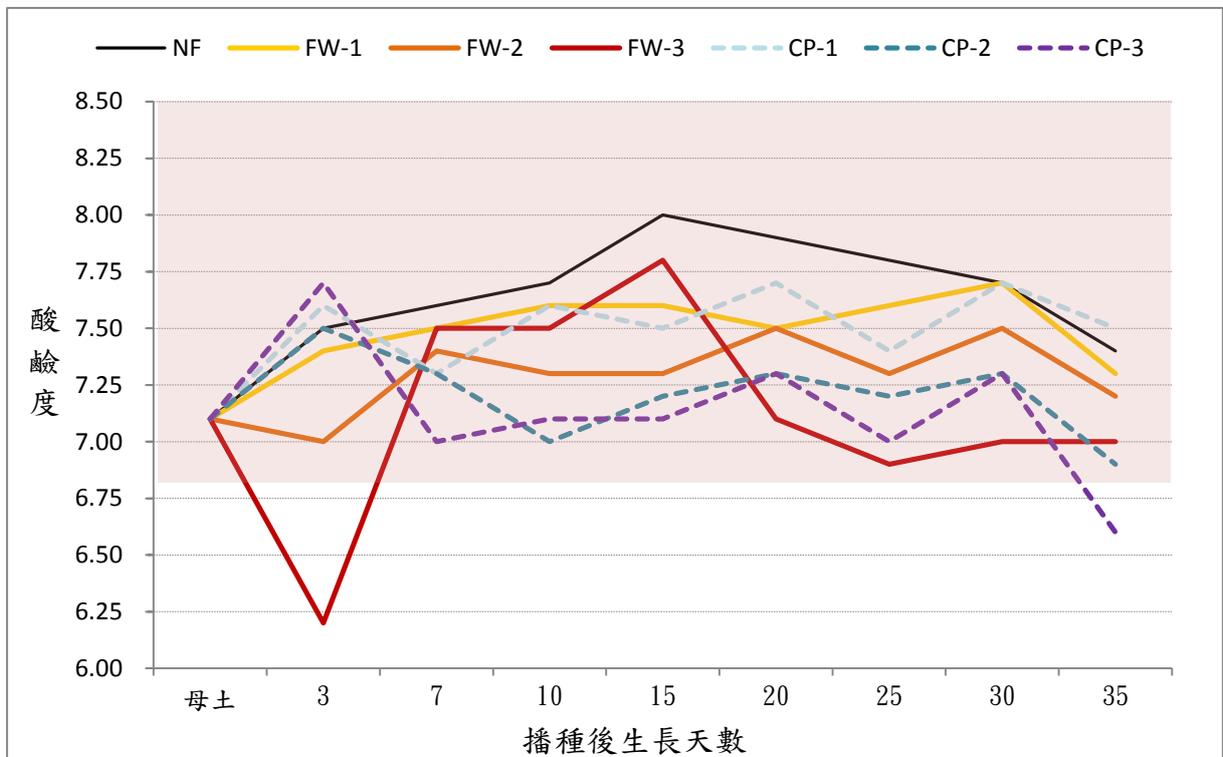


圖 4-30 盆栽試驗期間土壤酸鹼度變化折線圖



二、對土壤電導度影響

土壤溶液中鹽分的含量受土壤本身所含的鹽類、肥料種類、用量及灌溉水的影響，常以土壤飽和水導電度(EC)值做為是否有鹽害的指標。EC 值大小代表土壤溶液中可溶性鹽類的多寡，其值愈高表示養分含量愈多，但超過某程度便會對作物生長不利，農業改良場檢定土壤 EC 值以土壤及水分比例 1:5 小於 0.6 dS/m 為一般作物會發生鹽害的臨界值。

由圖 4-31 可知有機肥料的施用對土壤電導度有明顯影響，尤其以自製肥一倍(FW-1)影響最大。不施肥(NF)組以播種後第 15 天電導度為 0.15 ds/m 為最高，其他檢測結果均穩定維持在 0.06 至 0.12 ds/m，收成後檢測結果為 0.09 ds/m，仍遠低於危險值 0.6 ds/m。自製肥一倍(FW-1)組之電導度在生長前期呈現持續提高狀態，至播種後第 10 天上升到 0.34 ds/m 為最高，第 10 天後開始下降，最後下降至 0.1 ds/m，僅高出不施肥(NF)組 0.01 ds/m，平均電導度則高於不施肥(NF)組 0.09 ds/m。自製肥二倍(FW-2)組電導度自施肥後不斷提升，至第 15 天電導度提升至 0.51 ds/m 為最高，第 20 天檢測數值則大幅下降至 0.15 ds/m，試驗結束前則維持在 0.15 至 0.19 ds/m，最後檢測結果為 0.19 ds/m，平均電導度則高於不施肥(NF)組 0.18 ds/m。自製肥四倍(FW-3)組電導度於第 3 天提升到 0.66 ds/m 為最高，亦超過危險值 0.6 ds/m，之後則開始下降，於第 10 天至第 15 天下降 0.29 ds/m 變化最大，最後檢測結果為 0.21 ds/m，平均電導度則高於不施肥(NF)組 0.30 ds/m。

市售肥一倍(CP-1)組電導度於播種後穩定維持在 0.09 至 0.14 ds/m，折線圖走勢與不施肥(NF)組相似，以第 7 天電導度為 0.14 ds/m 為最高，最後檢測結果為 0.11 ds/m，平均電導度則高於不施肥(NF)組 0.02 ds/m。市售肥二倍(CP-2)組電導度以播種後第 7 至 15 天電導度維持在 0.18 至 0.20 ds/m 為成長期間最高，其他檢測結果則維持在 0.10 至 0.15 ds/m，最後檢測結果為 0.12 ds/m，平均電導度則高於不施肥(NF)組 0.05 ds/m。市售肥四倍(CP-3)組電導度於播種後不斷提升，於播種後第 15 天電導度提升至 0.41 ds/m 為最高，最後檢測結果則下降至 0.15 ds/m，，平均電導度則高



於不施肥(NF)組 0.13 ds/m。而自製肥一倍(FW-1)組平均電導度則高於市售肥一倍(CP-1)組 0.07，自製肥二倍(FW-2)組平均電導度則高於市售肥二倍(CP-2)組 0.13，自製肥四倍(FW-3)組平均電導度則高於市售肥四倍(CP-3)組 0.17，以此可知在相同施肥量下，隨施自製肥與市售肥施肥量的提高，平均電導度差異越大。

表 4-4 盆栽試驗期間土壤電導度變化表

電 導 度 (ds/m)	播種後 天數	母土	3	7	10	15	20	25	30	30
	NF		0.06	0.07	0.11	0.08	0.12	0.09	0.11	0.09
FW-1		0.06	0.15	0.30	0.34	0.19	0.12	0.14	0.10	0.13
FW-2		0.06	0.29	0.34	0.40	0.51	0.15	0.19	0.18	0.24
FW-3		0.06	0.66	0.56	0.58	0.29	0.44	0.32	0.21	0.33
CP-1		0.06	0.11	0.14	0.10	0.13	0.09	0.12	0.11	0.10
CP-2		0.06	0.10	0.18	0.19	0.20	0.12	0.15	0.12	0.14
CP-3		0.06	0.14	0.27	0.24	0.41	0.17	0.30	0.15	0.28

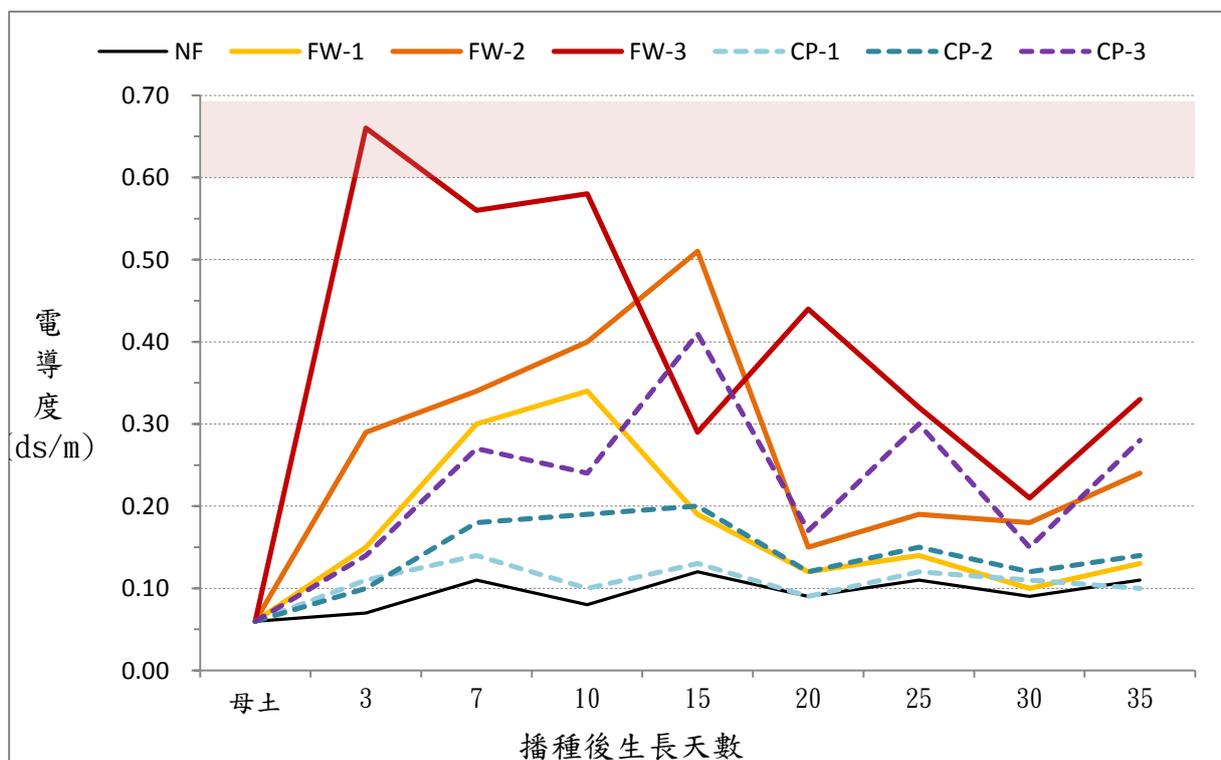




圖 4-31 盆栽試驗期間土壤電導度變化折線圖

三、對土壤有機質含量影響

土壤有機質含量之增加可促進土壤團粒構造的生成、改善土壤通氣性、保水性、增進土壤中生物活性，以利作物生長，故土壤有機質亦是土壤肥力指標之一。下圖為作物生長期間有機質濃度變化。由圖可知有機肥料施用對土壤有機質含量有所影響，而自製肥（FW-1、FW-2、FW-3）組平均有機質濃度高於市售肥組（CP-1、CP-2、CP-3），施用自製肥之組別當中又以四倍施肥量（FW-3）之有機質濃度最高。

不施肥(NF)組於播種後，有機質濃度維持在 2.72 至 3.78%，並無較為明顯變化。自製肥一倍(FW-1)組之有機質含量於播種後第 7 天上升至 4.56% 為生長期間最高，其他檢測結果則維持在 2.82 至 4.16%，最後檢測結果為 3.06%，平均有機質含量高於不施肥(NF)組 0.23%。

自製肥二倍(FW-2)組之有機質含量於第 15 天前呈持續提升狀態，至第 15 天提升至 4.68% 為最高，最後檢測結果為 4.04%，平均有機質含量高於不施肥(NF)組 0.74%。自製肥四倍(FW-3)組之有機質含量以第 20 天檢測結果 7.42% 為最高，最後檢測結果為 6.34%，平均有機質含量高於不施肥(NF)組 2.8%，亦為所有組別中平均有機質含量最高之實驗組別。

市售肥一倍(CP-1)組有機質含量於收成前維持在 3.24 至 3.60%，最後則提升至 4.64%，但平均值仍高於不施肥(NF)組 0.14%。市售肥二倍(CP-2)組有機質含量呈現持續提高，有機質含量以最後一次檢測 5.12% 為最高，平均有機質含量高於不施肥(NF)組 0.92%。市售肥四倍(CP-3)組有機質含量於第 7 天 4.88% 為最高，最後檢測結果為 4.70%，平均有機質含量高於不施肥(NF)組 1.03%。而自製肥一倍(FW-1)組平均有機質含量高於市售肥一倍(CP-1)組 0.09%。自製肥二倍(FW-2)組平均有機質含量低於市售肥二倍(CP-2)組 0.06%。自製肥四倍(FW-3)組平均有機質含量高於市售肥四倍(CP-3)組 1.16%，以此可知在相同施肥量下，隨施自製肥與市售肥施肥量的提高，平均有機質含量差異越大。有機肥料的施用對土壤有機質有明顯的



影響，而有機質濃度與肥料施用有密切關係，圖中可知隨著不同盆栽試驗組施肥量提高，有機質濃度亦有上升之情形。

表 4-5 盆栽試驗期間土壤有機質含量變化表

有機質 (%)	播種後天數	母土	3	7	10	15	20	25	30	35
	NF	3.24	3.40	3.50	2.72	3.00	3.34	3.32	3.78	3.10
FW-1	3.24	3.36	4.56	3.50	3.48	2.82	4.16	3.06	2.90	
FW-2	3.24	4.02	4.02	4.56	4.68	3.38	4.34	4.04	4.00	
FW-3	3.24	5.50	4.80	6.14	4.18	7.42	5.36	6.34	4.42	
CP-1	3.24	3.24	3.20	3.14	3.60	3.04	3.32	4.64	2.68	
CP-2	3.24	3.66	3.66	4.08	3.80	4.42	4.78	5.12	4.16	
CP-3	3.24	4.38	4.88	4.22	4.82	3.54	3.86	4.70	4.70	

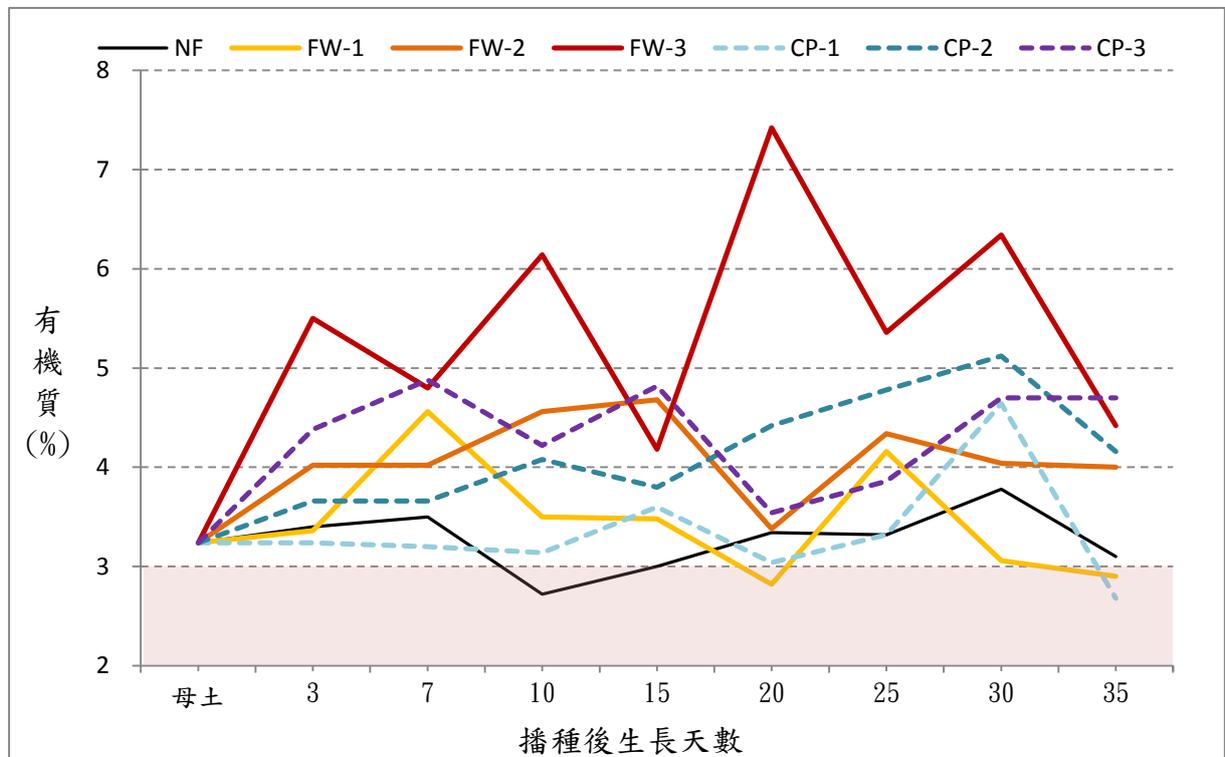


圖 4-32 盆栽試驗期間土壤有機質含量變化折線圖



四、對土壤磷酐含量影響

磷為作物生長所需元素之一，土壤中磷的有效性高低，對作物磷吸收、產量和品質影響大。磷肥的有效性，受土壤酸鹼值的影響甚大，酸鹼值低時易形成溶解度低的磷酸鋁和磷酸鐵；酸鹼值高，尤其是石灰質土壤易形成磷酸鈣；酸鹼值接近中性時磷有效性最高。下圖 4-33 為作物生長期間磷酐含量變化，由下圖 4-5 可知自製有機肥料的施用對土壤磷酐含量有明顯影響，但施用同種肥料而施肥量不同之組間差異並不明顯。自製肥一倍(FW-1)組磷酐濃度以播種後第 15 天 120 kg/ha 為最高，最後檢測結果為 70kg/ha，平均磷酐濃度高於不施肥(NF)組 42.88 kg/ha。自製肥二倍(FW-2)組磷酐濃度以播種後第 15 天 105 kg/ha 為最高，最後檢測結果為 88 kg/ha，平均磷酐濃度高於不施肥(NF)組 37.25 kg/ha，但平均值卻較自製肥一倍(FW-1)組低 5.63 kg/ha。自製肥四倍(FW-3)組磷酐濃度以最後一次檢測結果 160 kg/ha 為最高，平均磷酐濃度高於不施肥(NF)組 69.38 kg/ha，平均值為所有組別中最高。

市售肥一倍(CP-1)組磷酐濃度於第 20 天前維持在 78 至 107 kg/ha，最後兩次檢測結果則大幅提升，以第 25 天檢測結果 195 kg/ha 為最高，亦為單次檢測結果中最高之紀錄，而平均磷酐濃度高於不施肥(NF)組 59.13 kg/ha。市售肥二倍(CP-2)組磷酐濃度折線圖走勢與市售肥一倍(CP-1)組相似，於第 20 天前維持在 60 至 95 kg/ha，以第 20 天檢測結果 60 kg/ha 為盆栽試驗期間最低，而最後兩次檢測結果則大幅提升，以第 25 天檢測結果 169 kg/ha 為最高，而平均磷酐濃度高於不施肥(NF)組 44.63 kg/ha，但平均值卻較市售肥一倍(CP-1)組低 14.5 kg/ha。

市售肥四倍(CP-3)組磷酐濃度變化較其他組別相異之處為第 15 天磷酐濃度明顯較其他組別高，但仍在安全值 60-290 kg/ha 內，磷酐濃度以最初檢測結果 66 kg/ha 為最低，以第 15 天檢測結果 163 kg/ha 為最高，最後檢測結果為 157 kg/ha，平均磷酐濃度較不施肥(NF)組高 55.38 kg/ha，但平均值卻較市售肥一倍(CP-1)組低 3.75 kg/ha。



而自製肥一倍(FW-1)組平均磷酞濃度低於市售肥一倍(CP-1)16 kg/ha，自製肥二倍(FW-2)組平均磷酞濃度低於市售肥二倍(CP-2)組 8 kg/ha，而自製肥四倍(FW-3)組平均磷酞濃度卻高於市售肥四倍(CP-3)組 14 kg/ha。

表 4-6 盆栽試驗期間土壤磷酞濃度變化表

播種後 天數	母土	3	7	10	15	20	25	30	35	
	NF	65	52	48	49	64	38	60	48	52
磷 酞 (kg/ha)	FW-1	65	91	113	111	120	83	114	70	63
	FW-2	65	96	92	104	105	72	100	88	91
	FW-3	65	152	114	111	103	142	132	160	119
	CP-1	65	91	107	103	101	78	195	157	97
	CP-2	65	68	84	89	95	60	169	151	132
	CP-3	65	66	100	100	163	68	148	157	159

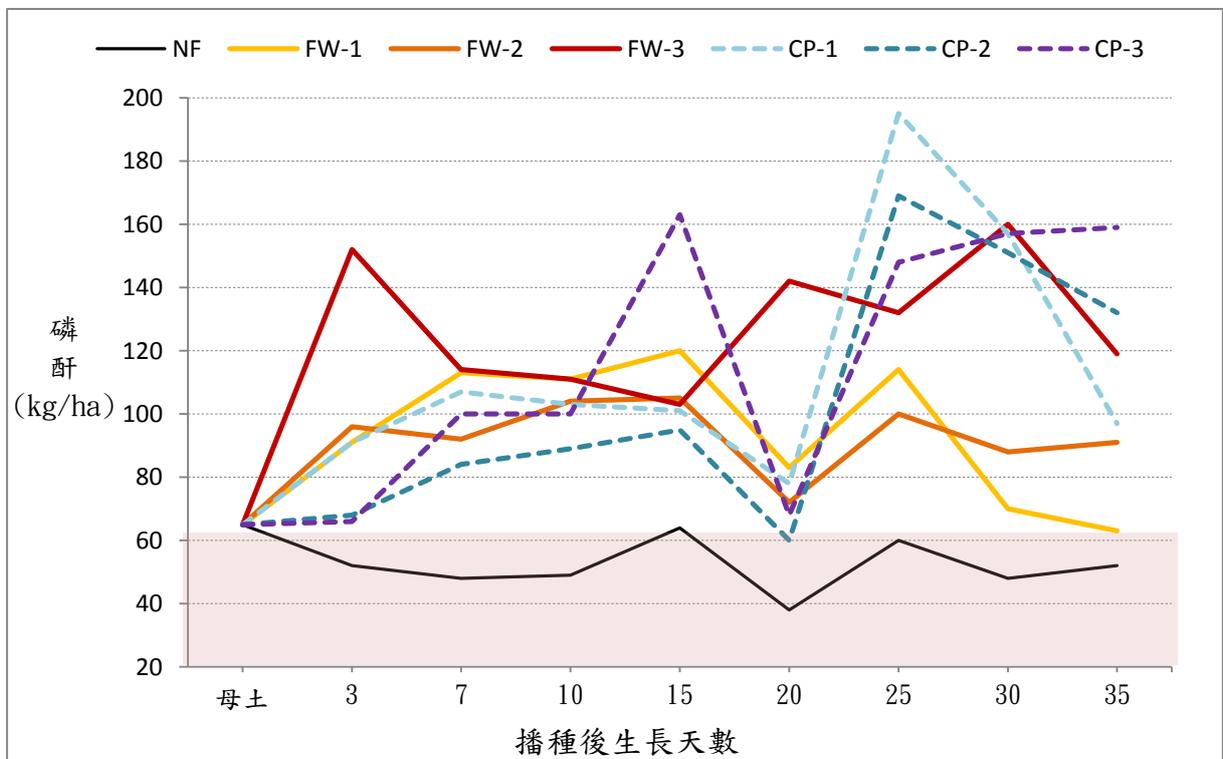


圖 4-33 盆栽試驗期間土壤磷酞濃度變化折線圖



五、對土壤氧化鉀含量影響

鉀主要控制植物代謝機能，以利植物進行物質代謝或是葉綠素生成等植物生理作用進行。由下圖 4-34 可知施肥對土壤氧化鉀濃度有明顯影響，而氧化鉀濃度亦有隨著施肥量的提升而相對提高之情形，而氧化鉀安全值範圍為 90-300 kg/ha。不施肥(NF)組氧化鉀濃度自盆栽試驗開始後穩定維持在 128 至 210 kg/ha，最後檢測結果為 128 kg/ha。自製肥一倍(FW-1)組氧化鉀濃度於第 20 天前維持在 196 至 253 kg/ha，且均高於不施肥(NF)組，第 25、30 天檢測結果則較不施肥(NF)組分別低 48 與 16 kg/ha，氧化鉀平均濃度則高於高於不施肥(NF)組 34 kg/ha。自製肥二倍(FW-2)組僅第 25 天檢測結果低於不施肥(NF)組，其餘檢測數值均高於不施肥(NF)組，其中以第 15 天檢測結果 331 kg/ha 為最高，最後檢測結果為 269 kg/ha，氧化鉀平均濃度則高於高於不施肥(NF)組 80 kg/ha。自製肥四倍(FW-3)組檢測結果均高於不施肥(NF)組，盆栽試驗期間以第 20 天檢測結果 500 kg/ha 為最高，最後檢測結果為 320 kg/ha，氧化鉀平均濃度則高於不施肥(NF)組 182 kg/ha。市售肥一倍(CP-1)組氧化鉀濃度均高於不施肥(NF)組，其中以第 30 天檢測結果 319 kg/ha 為最高，最後檢測結果為 319 kg/ha，超出安全值 19 kg/ha，氧化鉀平均濃度則高於不施肥(NF)組 63 kg/ha。市售肥二倍(CP-2)組氧化鉀濃度均高於不施肥(NF)組，其中以第 3 天檢測結果 432 kg/ha 為最高，最後檢測結果為 312 kg/ha，氧化鉀平均濃度則高於不施肥(NF)組 155 kg/ha，而檢測結果除第 1、7、20 天之外，其餘檢測結果均超出安全值。市售肥四倍(CP-3)組氧化鉀濃度均高於不施肥(NF)組，其中以第 3 天檢測結果 643 kg/ha 為最高，最後檢測結果為 327 kg/ha，氧化鉀平均濃度則高於不施肥(NF)組 282 kg/ha，而檢測結果除第 1 天之外，其餘檢測結果均超出安全值。而自製肥一倍(FW-1)組平均氧化鉀濃度低於市售肥一倍(CP-1)組 29 kg/ha，自製肥二倍(FW-2)組平均氧化鉀濃度低於市售肥二倍(CP-2)組 78 kg/ha，自製肥四倍(FW-3)組平均氧化鉀濃度低於市售肥四倍(CP-3)組 100 kg/ha。



表 4-7 盆栽試驗期間土壤氧化鉀濃度變化表

氧化鉀 (kg/ha)	播種後 天數	母土	3	7	10	15	20	25	30	35
	NF	148	155	210	142	151	130	178	128	160
FW-1	148	231	237	253	202	196	130	112	171	
FW-2	148	251	256	321	331	136	167	269	144	
FW-3	148	465	366	381	303	500	216	320	230	
CP-1	148	265	266	165	180	196	206	319	179	
CP-2	148	432	279	354	380	251	347	312	215	
CP-3	148	643	406	563	579	337	492	327	277	

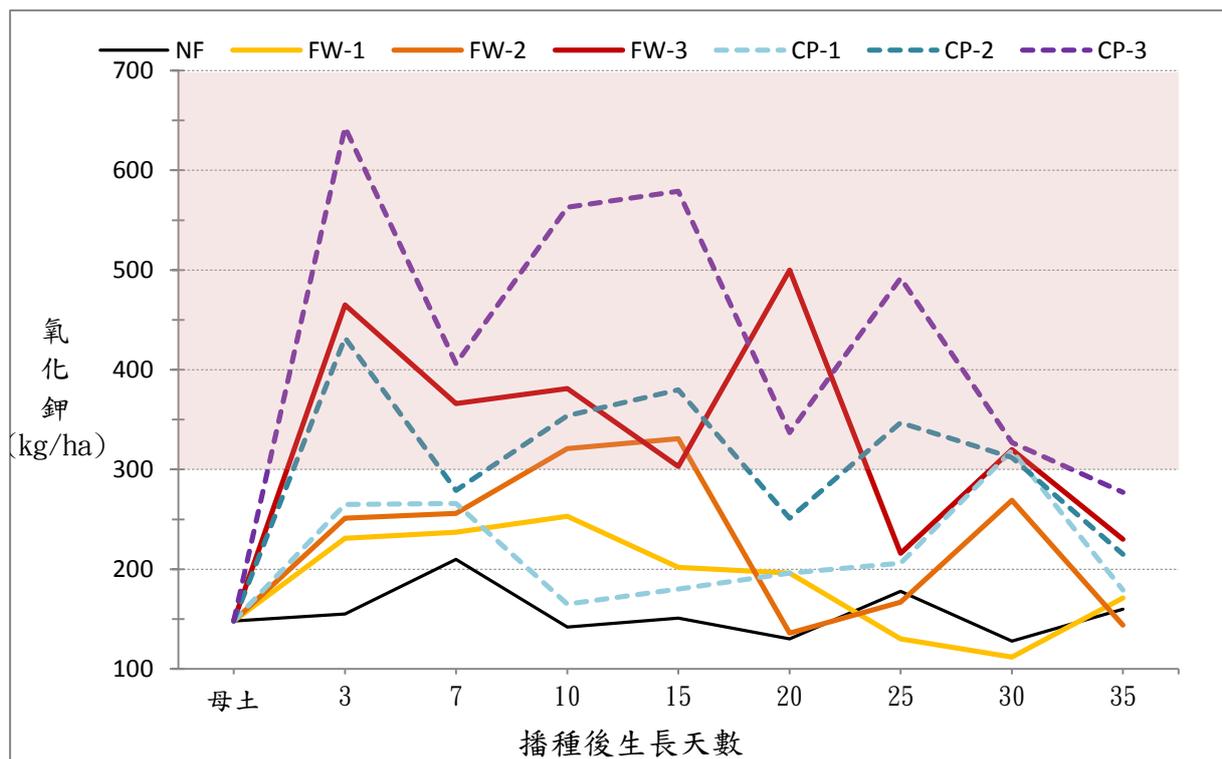


圖 4-34 盆栽試驗期間土壤氧化鉀濃度變化折線圖



第三節 統計與分析

一、成長初期與後期各因子相關性分析

而本研究依行政院農業改良場所公告之種植方法中，將小白菜在成長階段分作初期與後期，故本研究先將數據資料以成長初期(播種後 15 天前)與成長後期(播種後 15 天後)兩部分做相關分析，證明初期以及後期之土壤肥力相關因子之關聯性，再做進一步分析。

下表 4-8 及表 4-9 為各因子在成長初期以及後期之相關性分析，由下表可知成長初期與成長後期之相關性分析結果相同，且各因子均呈現相關。統計結果顯示酸鹼值與其他土壤肥力因子均呈現負相關，證明在酸鹼值提高的情形下，其他數值會有下降情形，故推論酸鹼值的提高會使抑制土壤養分釋放，影響土壤肥力，而土壤酸鹼值的提升則是受到有機質的添加而影響 (Bartlett, 1988)；電導度則與有機質、磷酐及氧化鉀之分析結果則呈現正相關，證明電導度的提升則連帶此三項因子的變化，而由行政院農業試驗所之合理化施肥手冊中提到，有機質為土壤營養元素的來源，有機質的分解能釋出養分，以及有機質的分解會提高土壤可溶性鹽類 (Horton et al., 1981)，故本研究推論電導度、磷酐及氧化鉀濃度均係受到有機質的增加而影響。而磷酐與氧化鉀呈現正相關則是由於養分來源均為有機質的分解而釋出養分而提升。



表 4-8 成長初期各因子相關性分析

		酸鹼值	電導度	有機質	磷酐	氧化鉀
酸鹼值	相關係數					
	顯著性					
電導度	相關係數	-0.516**				
	顯著性	0.01				
有機質	相關係數	-0.511*	0.877**			
	顯著性	0.011	0.000			
磷酐	相關係數	-0.614**	0.723**	0.637**		
	顯著性	0.001	0.000	0.001		
氧化鉀	相關係數	-0.416*	0.763**	0.625**	0.458*	
	顯著性	0.043	0.002	0.001	0.024	

** 在顯著水準為 0.01 時 (雙尾), 相關顯著。

* 在顯著水準為 0.05 時 (雙尾), 相關顯著。

表 4-9 成長後期各因子相關性分析

		酸鹼值	電導度	有機質	磷酐	氧化鉀
酸鹼值	相關係數					
	顯著性					
電導度	相關係數	-0.516**				
	顯著性	0.01				
有機質	相關係數	-0.511*	0.877**			
	顯著性	0.011	0.000			
磷酐	相關係數	-0.614**	0.723**	0.637**		
	顯著性	0.001	0.000	0.001		
氧化鉀	相關係數	-0.416*	0.739**	0.625**	0.458*	
	顯著性	0.043	0.003	0.001	0.024	

** 在顯著水準為 0.01 時 (雙尾), 相關顯著。

* 在顯著水準為 0.05 時 (雙尾), 相關顯著。



二、自製肥與市售肥之土壤肥力因子與株高相關性分析

本研究將自製肥與市售肥土壤檢測結果數據與株高資料做相關統計分析，交叉比較兩種不同肥料之土壤肥力因子對株高影響。

而統計結果顯示自製肥與市售肥的土壤肥力因子中，僅氧化鉀對株高呈現負相關，而在前述統計結果已知，肥料的施用能提升土壤中氧化鉀濃度，而由土壤檢測結果已知施以四倍量盆栽組別之氧化鉀濃度有過高超過建議值情形，故本研究推論氧化鉀與株高呈現負相關係由於養分釋放過量，而對生長造成抑制，甚至使植株呈現負成長情形。此情形亦與盛澄淵(1956)於肥料學中提到之報酬漸減率相符，即施肥量越大，其增產值越小，若在施更多量，將產生負數生產值。

土壤酸鹼值與株高呈現無明顯相關，本研究推論為酸鹼值變化量過小，故對株高無明顯影響，由前文檢測結果可知，土壤酸鹼值雖均逾建議值範圍外，但數據顯示酸鹼值維持在中性及弱鹼性之間，對照圖 2-1 各營養素於不同酸鹼度下之強度分佈可知，養分有效強度仍在安全酸鹼度範圍內，此結果亦證明酸鹼值未對小白菜生長造成影響。

電導度在自製肥統計結果中可發現對株高有呈現負相關情形，在前文土壤檢測結果中可知，自製肥施四倍組織電導度有過高情形，而生長狀況亦不如自製肥二倍組佳，本研究推論係受到可溶性鹽類含量過高影響，而使株高生長受到抑制；而電導度於市售肥組中雖亦有提升情形，但均未高過建議範圍，故統計結果呈現無相關。

有機質對株高呈現無相關部分則由於土壤有機質係對土壤物理性及生物性改善，並為作物營養要素之貯藏庫，故作為土壤肥力的指標(林錦標，2002)，而前述已證明有機質與營養元素濃度間有正相關，但作物成長較受到土壤養分及化學性質影響養分吸收，故統計分析結果呈現無相關。

磷酐對株高影響呈現無相關，推論為本研究所選擇之作物為葉菜類作物，而葉菜類作物所需養分比例以氮素及鉀為多(黃裕銘，2000)，對磷酐需求較少，較不易受到磷酐濃度影響，故統計結果呈現無相關。



表 4-10 自製肥之土壤肥力因子與株高相關性分析

		酸鹼值	電導度	有機質	磷酐	氧化鉀
株高	相關係數	-0.033	-0.524**	-0.108	-0.184	-0.464*
	顯著性	0.878	0.009	0.614	0.389	0.022

** 在顯著水準為 0.01 時 (雙尾), 相關顯著。

* 在顯著水準為 0.05 時 (雙尾), 相關顯著。

表 4-11 市售肥之土壤肥力因子與株高相關性分析

		酸鹼值	電導度	有機質	磷酐	氧化鉀
株高	相關係數	-0.130	-0.403	0.031	0.391	-0.446*
	顯著性	0.546	0.051	0.855	0.059	0.029

** 在顯著水準為 0.01 時 (雙尾), 相關顯著。

* 在顯著水準為 0.05 時 (雙尾), 相關顯著。



第五章 結論與建議

一、研究結論

(一) 酸鹼值

文獻回顧中酸鹼度均指出酸鹼度對於作物養分吸收有直接影響，而酸鹼度的提升是由於有機質肥料中，有機質的分解增加土壤中生物活性，開始分解土壤礦物，進而消耗大量氧氣，使氧化還原電位下降，而使氧化錳還原成錳離子消耗質子而釋出氫氧根離子，進而使酸鹼度上升，但本研究之土壤酸鹼度並無太明顯之變動，以及受限於檢測設備資源等，故較難測量出酸鹼度對作物養分吸收之影響。

(二) 電導度

而自製有機質肥料的施用對電導度數值得提升有明顯相關，本研究認為此與原料來源以及性質相關，由於國人飲食習慣的原因，習慣烹煮食物時加入調味料，使原物料廚餘中含有較高之鈉含量，製成肥料後施入於土壤，在土壤中分解，形成可溶性鹽類，使電導度檢測值提高，尤其以施用自製肥四倍用量最為明顯，而在中期後，電導度有大幅下降，本研究認為此與土壤水的淋洗有關，盆栽試驗並非於是內溫室中進行，無法控制氣候因素，而在試驗中期有較大的降雨量，土壤經水分淋洗作用，降低土壤中可溶性鹽類，使後期電導度開始下降。

(三) 有機質

在相關性統計分析中顯示有機質的含量與養分濃度有直接相關，證明有機質中含有作物所需之養分，而有機質的分解能增加土壤中養分濃度，進而使作物吸收，有機物質的含量在盆在試驗前的檢測中已知，自製肥與市售肥兩者均含有較高有機質含量，而濃度相差甚較小，但自製肥與市售肥之土壤檢測結果顯示養分含量有所差異，故推估釋出養分之速率有所不同。

(三) 肥傷



肥料施用故多易造成土壤鹽害，使電導度以及養分含量過高，此與盆栽試驗中所使用之市售肥料四倍（CP-3）組中可明顯看出，市售肥料之養分含量已明顯高於自製肥料，在同樣施以四倍施肥量情況下，市售肥料能提供較高的土壤養分，但市售肥料所提供之養分濃度過於快速，濃度亦相對較高，故造成植株死亡，本研究認為此與肥料學中所提到之報酬漸減律有關，報酬漸減律為作物在一定量之養分增產率至某限度以上時，則逐漸減低產量。養分濃度磷酐與氧化鉀含量之變化，在施用自製肥與市售肥之組別中均能觀察到差異，統計亦顯示施肥量與養分含量間為正相關，氧化鉀與株高之間亦為正相關，顯示施肥確實能提高土壤中養分含量，進而影響作物生長。

二、研究實驗建議

本研究針對實驗流程以及結果分別提出以下研究建議

1. 以溫室進行盆栽試驗

本研究所進行之盆栽試驗係於校園戶外空間，對於環境因子無法做出完善的控制，致使實驗易受環境因子影響，進而使研究信度降低，而於溫室內，環境因子能得到妥善控制，維護管理也能相對便利且準確，故本研究建議於進行盆栽試驗時，能以溫室進行試驗。

2. 檢驗項目增加作物之植體分析

本研究所進行之盆栽試驗僅對土壤以及作物外觀進行測量分析，應對植體作成分分析，方能得知作物養分吸收狀況，在說明土壤肥力與作物間關係時較能有資料能夠證明及之支持研究結果。

3. 增加盆栽試驗之週期

本研究僅進行一次作物周期之盆栽試驗，而研究指出有機質肥料所帶來的作用為長期效應，在本研究中較難觀察出此影響，故建議後續相關之有機質肥料研究，應增加作物試驗周期。

4. 增加盆栽試驗之樣本數量



本研究盆栽試驗每組施肥處理僅作 3 重複，每組施肥處理共有 9 株作物，建議後續相關研究應增加作物數量及盆栽數量，方能使基礎資料產生較大差異。

5. 縮短土壤檢測時程

本研究盆栽試驗因設備及經濟條件限制，土壤檢測係將土壤樣本為送至桃園農業改良場進行檢測，檢測時程約為兩周，建議後續研究能以校園設備或附屬實驗室之植栽試驗場進行盆栽試驗，縮短土壤檢驗時程以及控制檢驗流程，確保土壤於運送期間能不受環境或是人為干擾，進而影響檢測結果。

三、自製肥料使用建議

本節針對實驗結果提出以下對自製肥料使用之建議。

1. 施用倍數

在實驗中結果中可知以廚餘作為原料所製作之有機肥料對土壤施用後，於土壤中分解出較多可溶性有機鹽，造成電導度過高，進而對土壤造成鹽害，並使植株生長受到抑制情形，且施用量四倍之試驗組作物生長狀況較施用兩倍之試驗組差，而施用自製肥料之作物生長狀況均較不施肥組佳，並以施用量倍量之試驗組為最佳，可知最佳施用量接近兩倍量，建議自製肥料施用能以兩倍量為基準做其他施肥量之試驗。

2. 施用時間

在前述土壤檢測結果可知，自製有機肥料的施用於前期對土壤影響較大，尤其以電導度的提升最為明顯，在盆栽試驗後期電導度有逐漸穩定情形；有機質含量的提升對土壤有正面影響，而有機質含量則是於後期出現提升情形，故本研究建議自製有機肥料的施用，可於種植前 15 天施用，帶有機肥料於土壤中性質穩定後再進行播種或定植作物等流程。



參考文獻

一、學術論文

1. 吳立全，2012，”廚餘桶裝堆肥化最適條件之研究”，碩士論文，嘉南藥理科技大學環境工程與科學系。
2. 吳梅華，2003，”用小白菜為指標作物究明廚餘-禽畜糞-及稻草堆肥的肥效”，碩士論文，國立臺灣大學農業化學研究所。
3. 邱梅玲，2007，”三種不同製程的廚餘堆肥之成分及養分釋出特性研究”，碩士論文，國立中興大學土壤環境科學系。
4. 林殿琪，2000，”論台灣家庭廚餘堆肥現況與未來發展探討”，碩士論文，國立臺灣大學環境工程學研究所
5. 林錦標，2002，”有機質肥料中氮、磷、鉀含量分析方法之評估研究，碩士論文”，朝陽科技大學應用化學系
6. 陳佑任，2009，”不同副資材對食品廢棄物堆肥之影響”，碩士論文，國立高雄第一科技大學環境與安全衛生工程系。
7. 徐卉明，2002，”有機肥料不同的施用量對溫室蔬菜生長與養分吸收的影響”，碩士論文，國立臺灣大學農業化學研究所。
8. 莊麗津等，2005，”廚餘堆肥臭味程序控制策略之研究”，碩士論文，國立臺灣大學農業化學研究所。
9. 張照陽，2004，”三種不同性質土壤的有機質肥料管理策”，碩士論文，國立中興大學土壤環境科學系。
10. 許芳晴，2008，”油脂成份對食品廢棄物堆肥過程之影響”，碩士論文，國立高雄第一科技大學環境與安全衛生工程系。
11. 黃森源，2001，”肥料種類與施肥時間對茶葉產量影響之比較”，碩士論文，亞洲大學經營管理學系
12. 黃登軒，2007，”育苗溫度、照光及 GA3 對芹菜穴盤苗及移植後植株生長之影響”，碩士論文，國立嘉義大學農學研究所。
13. 曾國力。1997。”施用有機複合肥料對水稻玉米輪作產量土壤肥力及養分吸收之影響”，碩士論文，中興大學土壤環境科學研究所。



14. 楊盛行，2003，”廚餘堆肥製作及品質之探討”，碩士論文，國立臺灣大學農業化學研究所。
15. 魏匡立，2011，”施用不同性質有機質肥料對茶樹生長及土壤之影響”，碩士論文，國立屏東科技大學農園生產系。
16. 蘇立賢，2002，”廚餘堆肥及禽畜糞堆肥對小白菜栽培的肥料效果”，碩士論文，國立臺灣大學農業化學研究所。

二、書籍文獻

1. 行政院農委會，2010，《作物合理化施肥專輯》。
2. 易希道，1984，《植物生理學》，環球書社，台北市。
3. 胡昌熾，1966，《蔬菜學各論》，臺灣中華書局，台北市。
4. 孫志浩，1996，《園藝（一）》，格致圖書有限公司，台北市。
5. 盛澄淵，1956，《肥料學》，國立編譯館，台北市。
6. 黃涵、洪立，1988，《台灣蔬菜彩色圖說》，國立台灣大學園藝系，台北市。
7. 黃裕銘，2000，”蔬菜合理化施肥原則與推薦量”，《合理化施肥推廣手冊。》行政院農業委員會與臺灣省政府農林廳出版。
8. 新田伸三，1990，《植栽理論與技術》，詹氏出版社，台北市。

三、學術期刊

1. 王銀波、趙震慶，1995，《有機與化肥法下土壤環境及養分收支比較有討會論文集》，pp. 149-160，中華生質能源學會出版，台北。
2. 王銀波、林滄澤，1994，有機物與堆肥之分解。《堆肥技術及其利用研機物使用技術改進研究試驗報告》p. 197-234，台北。
3. 吳正宗，2005，”認識化學肥料”，《臺南區農業改良場技術專刊》，pp. 24-62
4. 吳三和，2000，《2000年台北國際綠色環保研討會論文集》，pp. 73-87。行政院環保署。
5. 陳仁炫，1995，”有機質肥料的添加對土壤有效磷及礦化作用的影響”，《中國農業化學會誌》，pp. 533-549。



6. 陳仁炫，2005，”不同有機質材之磷釋出特性及對土壤性質的影響”，《有機肥料之施用對土壤與作物品質之影響研討會論文集》，pp. 19-46。
7. 翁震炘，1998，”送風供氧技術在禽畜糞堆肥處理之應用”，《第一屆畜牧廢棄資源再生利用推廣研究成果研討會論文集》，臺灣省政府農林廳。
8. 張淑賢，1995，有機資材利用之試驗研究現況與展望，《有機肥料合理施用技術研討會專刊》，pp. 1-14。
9. 張志展，2003，”熱風循環系統風乾土壤樣本可行性之評估”，《桃園區農業改良場研究彙報》，54期，pp. 42-51。
10. 莊作權、楊明富，1992，”水稻-田菁-玉米輪作制度下施用堆肥對土壤肥力的影響”，《中國農業化學會誌》，33: 553-568。
11. 湯雪溶，2004，”協助「聖克里斯多福及尼維斯蔬果及雜糧作物品質與產品安全改進計畫」返國報告”，《行政院農業委員會桃園區農業改良場》，pp. 12-13。
12. 鄧耀宗、黃伯恩，1993，《台灣永續農業之現況與展望。永續農業研討會專集》。
13. 楊盛行、魏嘉碧、鐘仁賜，1994，『果菜廢棄物之產出及其堆肥化』，《堆肥技術及其利用研討會論文集》。
14. 廖慶樑，2005，”合理化施肥理念”，《合理化施肥理念》pp. 15-23
15. 蔡宜峰，2001，”長期施用肥料對土壤肥力特性之影響”，《台中區農業改良場一〇〇年專題討論專集》，pp. 157-162。
16. 蔡宜峰，1999，禽畜糞堆肥對作物生長及土壤特性之影響，《農業有機廢棄物處理與應用》，pp. 75-87。中華生質能源學會出版，台北，台灣。
17. 鍾仁賜、葉美雲、張則周，1994，《酸性土壤中施用有機物對作物生長之影響及鋁、錳解毒作物。台灣東部問題土壤改良研討會論文集》。

四、外文文獻



1. Abbott, 1995, "Quality and Competition", New York, Columbia University Press.
2. Aoshima, M., Pedro, M. S., Haruta, S., Ding, L., Fukada, T., Kigawa, A., Kodama, T., Ishiii, M. and Igarashi, Y, 2001, "Analyses of microbial community within a composter operated using household garbage with special reference to the addition of soybean oil".
3. Buchanan, M., and S.R. Gillesman. 1991. How compost fertilization affects soil nitrogen and crop yield. *Biocycle* 32:72-76.
4. Chang, C., T. G. Sommerfeldt, and T. Entz. 1991. Soil chemistry after eleven annual application of cattle feedlot manure. *J. Environ. Qual.* 20:475-481.
5. Chang, C., T. G. Sommerfeldt, and T. Entz. 1991. Soil chemistry after eleven annual application of cattle feedlot manure. *J. Environ. Qual.* 20:475-480.
6. Dormmar, J.F., and T.G. Sommerfeldt. 1986. Effect of excess feedlot manure on chemical constituents of soil under nonirrigated and irrigated management. *Can. J. Soil Sci.* 66:303-313.
7. Garcia, C., T. Hernandez, F. Costa, and M. Ayuso. 1992. Evaluation of the maturity of municipal waste compost using simple chemical parameters. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 23:1501 - 1512.
8. Golueke, C.G. 1973. *Composting - A study of the process and its principles.* Rodale press, Emmaus, PA.
9. Harada, Y. 1990. *Composting and application of animal wastes.* ASPAC/FFTC Extension Bulletin No. 311:19-31.



10. Haynes, R. J. 1986. The decomposition process: Mineralization, immobilization, humus formation, and degradation. pp. 52-109. In "Mineral Nitrogen in the Plant-Soil System" Haynes (ed.), Academic Press, New York.
11. Jacobs, L. W. 1990. Potential hazards when using organic materials as fertilizers for crop production. ASPAC/FFTC Extension Bulletin No. 313:1-29.
12. Khalil, R. A., and M. M. El-shinnawi. 1988. Humification of organic matter is soil affecting availability of phosphorus from its mineral compounds. *Arid Soil Research*. 3:77-84.
13. Marchesini, A., L. Allievi, E. Coomoto, and A. Ferrari, 1988, "Long-term effects of quality-compost on soil"
14. Pedro, M. S., Haruta, S., Hazaka, M., Shimada, R., Yoshida, C., Hiura, K., Ishii, M. and Igarashi, Y. , 2001, "Denaturing gradient gel electrophoresis analyses of microbial community from field-scale composter" .
15. Schmidt, E. L. 1982. Nitrification in soil. pp. 253-288. In "Nitrogen in Agricultural Soil" F. J. Stevenson (ed.), American Society of Agronomy, Madison, Wisconsin.
16. Smith, S. R. and P. Hadley. 1989. A comparison of organic and inorganic nitrogen fertilizers: Their nitrate-N and ammonium-N release characteristics and effects on the growth response of lettuce (*Lactuca sativa* L. cv. Fortune). *Plant Soil* 115: 135-144.
17. Schlegel, A. J. 1992. Effect of composted manure on soil chemical properties and nitrogen use by grain sorghum. *J. Prod. Agric.* 5:153-157.



18. Vivckanandan, M., and P. E. Fixen. 1990. Effect of large manure applications on soil P intensity. Commun. In Soil Sci. Plant Anal. 21:287-297.
19. Wilson, G.B., and D. Dalmat. 1986. Measuring compost stability. Biocycle27:34-37.
20. Wu, S. H. and Loisel, P, 2001, "The composting of table scraps and its applications in organic agriculture".

五、網路資料

1. 行政院農業委員會桃園區農業改良場，
http://tydares.coa.gov.tw/show_index.php。
2. 國家教育研究院，<http://www.naer.edu.tw/bin/home.php>。
3. 楊秋忠(2003)，有機質肥料的功效及應用要領，
<http://www.green188.com.tw/news/shownews.asp?num=108&page=&lan=%B7%A8%AC%EE%A9%BE%B1M%C4%E6>。



附件、土壤檢測報告

行政院農委會桃園區農業改良場檢測報告

農戶姓名: 周秀賢 農戶編號: 7881 樣品編號: 47278
 樣品種類: 土壤 樣品代號: NF-2 作物:
 檢驗員: 呂修芳 經辦人: 湯雪溶 負責人: 莊浚釗
 送件日期: 2015-05-07 寄件日期: 2015-05-29 服務電話: 03-4768216轉335

檢測項目	酸鹼度 (1:1)	電導度 (1:5)(dS/m)	有機質 (%)	磷酐 (公斤/公頃)	氧化鉀 (公斤/公頃)	氧化鈣 (公斤/公頃)
檢測值	7.6	0.11	3.5	48	210	5432
參考值	5.5 - 6.8	< 0.6	> 3.0	60 - 290	90 - 300	2000 - 4000
檢測項目	氧化鎂 (公斤/公頃)	銅 (ppm)	鋅 (ppm)	鎘 (ppm)	鎳 (ppm)	鉻 (ppm)
檢測值	930	2.62	7.21	0.06	1.12	0.16
參考值	200 - 400	< 20	< 50	< 0.39	< 10	< 10
檢測項目	鉛 (ppm)					
檢測值	2.67					
參考值	< 15					

建議: 鹼性, 停用石灰資材及鹼性肥料。增加磷肥施用。鈣含量偏高, 減少投入。鎂含量偏高, 減少投入。

註(1): 本資料僅供施肥參考, 不作任何證明文件。nd表示未檢出。
 註(2): 磷使用白雷式第一法測定, 鉀鈣鎂使用孟立克氏法測定, 重金屬使用0.1N鹽酸萃取法測定。

<http://172.21.0.3/soillab/detail.php?id=47278>

2015/5/29

行政院農委會桃園區農業改良場檢測報告

農戶姓名: 周秀賢 農戶編號: 7881 樣品編號: 47272
 樣品種類: 土壤 樣品代號: FW1-2 作物:
 檢驗員: 呂修芳 經辦人: 湯雪溶 負責人: 莊浚釗
 送件日期: 2015-05-07 寄件日期: 2015-05-29 服務電話: 03-4768216轉335

檢測項目	酸鹼度 (1:1)	電導度 (1:5)(dS/m)	有機質 (%)	磷酐 (公斤/公頃)	氧化鉀 (公斤/公頃)	氧化鈣 (公斤/公頃)
檢測值	7.5	0.3	4.56	113	237	4176
參考值	5.5 - 6.8	< 0.6	> 3.0	60 - 290	90 - 300	2000 - 4000
檢測項目	氧化鎂 (公斤/公頃)	銅 (ppm)	鋅 (ppm)	鎘 (ppm)	鎳 (ppm)	鉻 (ppm)
檢測值	734	2.53	7.15	0.06	1.56	0.17
參考值	200 - 400	< 20	< 50	< 0.39	< 10	< 10
檢測項目	鉛 (ppm)					
檢測值	3.0					
參考值	< 15					

建議: 鹼性, 停用石灰資材及鹼性肥料。鈣含量偏高, 減少投入。鎂含量偏高, 減少投入。

註(1): 本資料僅供施肥參考, 不作任何證明文件。nd表示未檢出。
 註(2): 磷使用白雷式第一法測定, 鉀鈣鎂使用孟立克氏法測定, 重金屬使用0.1N鹽酸萃取法測定。

<http://172.21.0.3/soillab/detail.php?id=47272>

2015/5/29



附件、土壤檢測報告 (續)

作物營養診斷

頁 1 / 1

行政院農委會桃園區農業改良場檢測報告

農戶姓名: 周秀賢 農戶編號: 7881 樣品編號: 47274
 樣品種類: 土壤 樣品代號: FW2-2 作物:
 檢驗員: 呂修芳 經辦人: 湯雪溶 負責人: 莊浚釗
 送件日期: 2015-05-07 寄件日期: 2015-05-29 服務電話: 03-4768216轉335

檢測項目	酸鹼度 (1:1)	電導度 (1:5)(dS/m)	有機質 (%)	磷酐 (公斤/公頃)	氧化鉀 (公斤/公頃)	氧化鈣 (公斤/公頃)
檢測值	7.4	0.34	4.02	92	256	3871
參考值	5.5 - 6.8	< 0.6	> 3.0	60 - 290	90 - 300	2000 - 4000
檢測項目	氧化鎂 (公斤/公頃)	銅 (ppm)	鋅 (ppm)	鎳 (ppm)	鎳 (ppm)	鉻 (ppm)
檢測值	686	2.85	7.03	0.08	1.68	0.21
參考值	200 - 400	< 20	< 50	< 0.39	< 10	< 10
檢測項目	鉛 (ppm)					
檢測值	3.68					
參考值	< 15					

建議: 弱鹼性, 不宜施用石灰資材及鹼性肥料。鎂含量偏高, 減少投入。

註(1): 本資料僅供施肥參考, 不作任何證明文件。nd表示未檢出。

註(2): 磷使用白雷式第一法測定, 鉀鈣鎂使用孟立克氏法測定, 重金屬使用0.1N鹽酸萃取法測定。

<http://172.21.0.3/soillab/detail.php?id=47274>

2015/5/29

作物營養診斷

頁 1 / 2

行政院農委會桃園區農業改良場檢測報告

農戶姓名: 周秀賢 農戶編號: 7881 樣品編號: 47276
 樣品種類: 土壤 樣品代號: FW3-2 作物:
 檢驗員: 呂修芳 經辦人: 湯雪溶 負責人: 莊浚釗
 送件日期: 2015-05-07 寄件日期: 2015-05-29 服務電話: 03-4768216轉335

檢測項目	酸鹼度 (1:1)	電導度 (1:5)(dS/m)	有機質 (%)	磷酐 (公斤/公頃)	氧化鉀 (公斤/公頃)	氧化鈣 (公斤/公頃)
檢測值	7.5	0.56	4.8	114	366	4791
參考值	5.5 - 6.8	< 0.6	> 3.0	60 - 290	90 - 300	2000 - 4000
檢測項目	氧化鎂 (公斤/公頃)	銅 (ppm)	鋅 (ppm)	鎳 (ppm)	鎳 (ppm)	鉻 (ppm)
檢測值	885	2.48	6.53	0.06	1.58	0.18
參考值	200 - 400	< 20	< 50	< 0.39	< 10	< 10
檢測項目	鉛 (ppm)					
檢測值	3.29					
參考值	< 15					

建議: 鹼性, 停用石灰資材及鹼性肥料。鉀含量偏高, 酌量減少。鈣含量偏高, 減少投入。鎂含量偏高, 減少投入。

註(1): 本資料僅供施肥參考, 不作任何證明文件。nd表示未檢出。
 註(2): 磷使用白雷式第一法測定, 鉀鈣鎂使用孟立克氏法測定, 重金屬使用0.1N鹽酸萃取法測定。

<http://172.21.0.3/soillab/detail.php?id=47276>

2015/5/29



附件、土壤檢測報告 (續)

作物營養診斷

頁 1 / 2

行政院農委會桃園區農業改良場檢測報告

農戶姓名: 周秀賢 農戶編號: 7881 樣品編號: 47266
 樣品種類: 土壤 樣品代號: CP1-2 作物:
 檢驗員: 呂修芳 經辦人: 湯雪溶 負責人: 莊浚釗
 送件日期: 2015-05-07 寄件日期: 2015-05-29 服務電話: 03-4768216轉335

檢測項目	酸鹼度 (1:1)	電導度 (1:5)(dS/m)	有機質 (%)	磷酐 (公斤/公頃)	氧化鉀 (公斤/公頃)	氧化鈣 (公斤/公頃)
檢測值	7.3	0.14	3.2	107	266	5212
參考值	5.5 - 6.8	< 0.6	> 3.0	60 - 290	90 - 300	2000 - 4000
檢測項目	氧化鎂 (公斤/公頃)	銅 (ppm)	鋅 (ppm)	鎘 (ppm)	鎳 (ppm)	鉻 (ppm)
檢測值	1125	2.27	6.99	0.05	1.19	0.16
參考值	200 - 400	< 20	< 50	< 0.39	< 10	< 10
檢測項目	鉛 (ppm)					
檢測值	2.41					
參考值	< 15					

建議: 弱鹼性, 不宜施用石灰資材及鹼性肥料。鈣含量偏高, 減少投入。鎂含量偏高, 減少投入。

註(1): 本資料僅供施肥參考, 不作任何證明文件。nd表示未檢出。

註(2): 磷使用白雷式第一法測定, 鉀鈣鎂使用孟立克氏法測定, 重金屬使用0.1N鹽酸萃取法測定。

<http://172.21.0.3/soillab/detail.php?id=47266>

2015/5/29

作物營養診斷

頁 1 / 1

行政院農委會桃園區農業改良場檢測報告

農戶姓名: 周秀賢 農戶編號: 7881 樣品編號: 47268
 樣品種類: 土壤 樣品代號: CP2-2 作物:
 檢驗員: 呂修芳 經辦人: 湯雪溶 負責人: 莊浚釗
 送件日期: 2015-05-07 寄件日期: 2015-05-29 服務電話: 03-4768216轉335

檢測項目	酸鹼度 (1:1)	電導度 (1:5)(dS/m)	有機質 (%)	磷酐 (公斤/公頃)	氧化鉀 (公斤/公頃)	氧化鈣 (公斤/公頃)
檢測值	7.3	0.18	3.66	84	279	3715
參考值	5.5 - 6.8	< 0.6	> 3.0	60 - 290	90 - 300	2000 - 4000
檢測項目	氧化鎂 (公斤/公頃)	銅 (ppm)	鋅 (ppm)	鎘 (ppm)	鎳 (ppm)	鉻 (ppm)
檢測值	765	2.39	7.61	0.05	1.21	0.15
參考值	200 - 400	< 20	< 50	< 0.39	< 10	< 10
檢測項目	鉛 (ppm)					
檢測值	2.52					
參考值	< 15					

建議: 弱鹼性, 不宜施用石灰資材及鹼性肥料。鎂含量偏高, 減少投入。

註(1): 本資料僅供施肥參考, 不作任何證明文件。nd表示未檢出。

註(2): 磷使用白雷式第一法測定, 鉀鈣鎂使用孟立克氏法測定, 重金屬使用0.1N鹽酸萃取法測定。

<http://172.21.0.3/soillab/detail.php?id=47268>

2015/5/29