

中華民國第 64 屆中小學科學展覽會

作品說明書

國中組 生活與應用科學(三)科

033001

Old 葉 土積層-落葉堆積對土壤影響

學校名稱： 臺東縣立卑南國民中學

作者： 國二 林亞駿 國二 盧浩偉 國二 李峻羽	指導老師： 蔡効耕
---	------------------

關鍵詞： 落葉、土壤、堆肥

作品名稱 Old 葉 土積層-落葉堆積對土壤影響

摘要

為了了解學校落葉堆積對土壤和生物會有什麼影響，我們挑選學校不同種類的落葉，觀察它們長期堆放地點；另外收集這些落葉堆放到土壤上，在不同時間測量土壤的各種性質，最後對他們拍照和記錄；落葉用水萃取後加到培養皿的土壤裡觀察發芽比率；最後堆積後的土壤種小白菜，觀察有什麼影響。結果顯示初期落葉層對土壤溫度有明顯降溫效果，對土壤的水分、酸鹼質、生物、結構也有影響。1 個月內落葉堆積的土壤和落葉的萃取液會抑制發芽，但兩個月後影響不明顯，而且對小白菜的發芽和成長有幫助。自然落葉堆積對於植物的成長幫助大於壞處。

壹、研究動機

校園樹木到了秋冬的季節會產生大量的落葉，葉子落滿地除了有美感外，我們發現集中的落葉堆下的土壤的性質會改變，除了土壤顏色變深、結塊顆粒變大外還有許多小生物如蚯蚓、蜈蚣...等。查詢網路上有研究收集落葉再添加米飯、果皮、廚餘及豆渣、發酵液...製作落葉堆肥的方法，但我們學校直接堆積這些樹葉等待它們分解。有一次在落葉堆玩耍的時候，我們用腳把葉子踢開，結果腳踩到土壤凹陷下去，仔細一看有落葉堆下面的土壤比旁邊的土還黑，而且有許多小生物在爬，引起我們的興趣。生物課提到生態系的多樣性，落葉提供了靠近土壤的豐富環境，社團老師也說落葉堆的土壤很肥沃。於是我們想探討校園落葉自然堆積對土壤改良的效果，利用校園中已有的自然環境及長時間來觀察土壤及生物生長影響。

貳、研究目的

學校中有許多堆積樹葉的地點可以探討，但由於地點分散在不同地方，有不同厚度的土壤性質、上面的動植物、環境(光照、雨水)不好比較。為了能控制變因於是我們又再選一塊室外空地分成不同區塊進行模擬堆積，而在實驗早期發現土壤有抑制發芽現象，於是萃取葉汁加在土壤中觀察發芽探討是否與葉子成份有關。堆積 3 個月的土壤因為觀察到明顯不同，我們再利用種植小白菜來比較有無落葉或種類之間是否有差別。所以研究的項目與目的分成

4 個:

一、長期堆積樹葉對土壤影響:

因學校校園各處早有一些長期堆放落葉地方，有些是樹葉直接落下，有些是打掃時掃成一堆，堆放的時間長短不一，有些以單一樹葉為主，有些因打掃或風吹有混合別種樹葉，有些僅 1 年，有些超過 3 年，所以較難單純的比較。即使這樣，我們挑選長期沒有樹葉堆積及有長期較多單一樹葉堆積的地方，比較有無樹葉堆積及不同樹葉的差異，我們直接測量這些地方的土壤的特徵能探討較長時間落葉分解對土壤影響。

二、樹葉堆積隨時間的變化:

在土壤上不鋪和鋪 4 種學校常見落葉(菩提樹、木麻黃、小葉欖仁、桃花心木) 及各混合 1/4 組別，想比較 5 種不同處理對土壤的變化有什麼影響。

三、葉子萃取液對土壤種子發芽率的影響:

在培養皿土壤上加上水及 4 種學校常見落葉汁液，想比較 5 種不同處理對土壤上種子發芽是否有影響。

四、堆積後土壤對植物影響:

在平鋪落葉實驗後 3 個月的土壤上種植白菜，觀察土壤對作物的影響，比較有無落葉及不同樹葉的差異。

參、研究設備及器材

電子秤(500g)1 台	10mL 量筒 1 個	滴管 6 支	100mL 燒杯 6 個
培養皿 30 組	玻璃片 6 片	壓克力管柱	果菜汁機 1 台
白菜種子		紅蘿蔔種子	研鉢及杵 1 組
土壤參數速測儀(FDR)		土壤酸鹼度計	

肆、研究過程或方法

實驗的地點生物有很多種類，我們記錄的植物及動物包括香附子、酢醬草、龍葵、蜈蚣、馬陸等，這些都是常出現在實驗地點又能明顯看到的動物和植物(圖 1)。

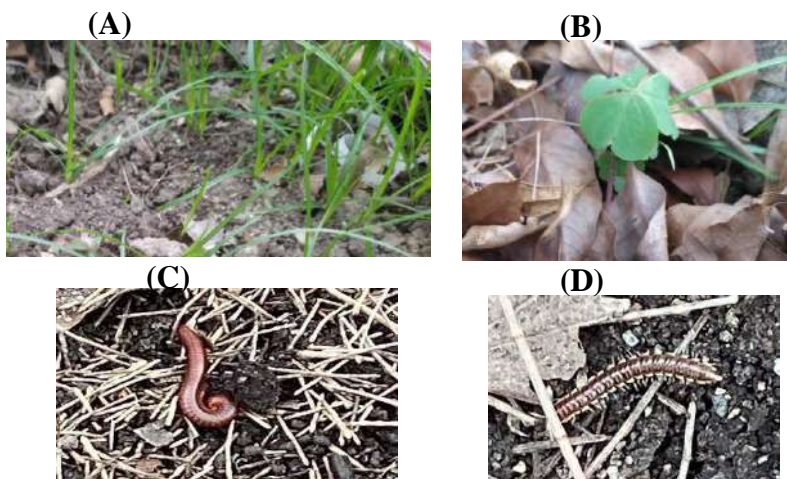


圖 1 實驗中記錄數量的生物 (A)香附子 (B)酢醬草 (C)馬陸 (D)蜈蚣
(照片由作者及指導教師拍攝)

樹種的挑選:因學校主要植物是菩提樹、木麻黃、小葉欖仁及桃花心木，所以實驗的對象也是這4種植物(圖2)。

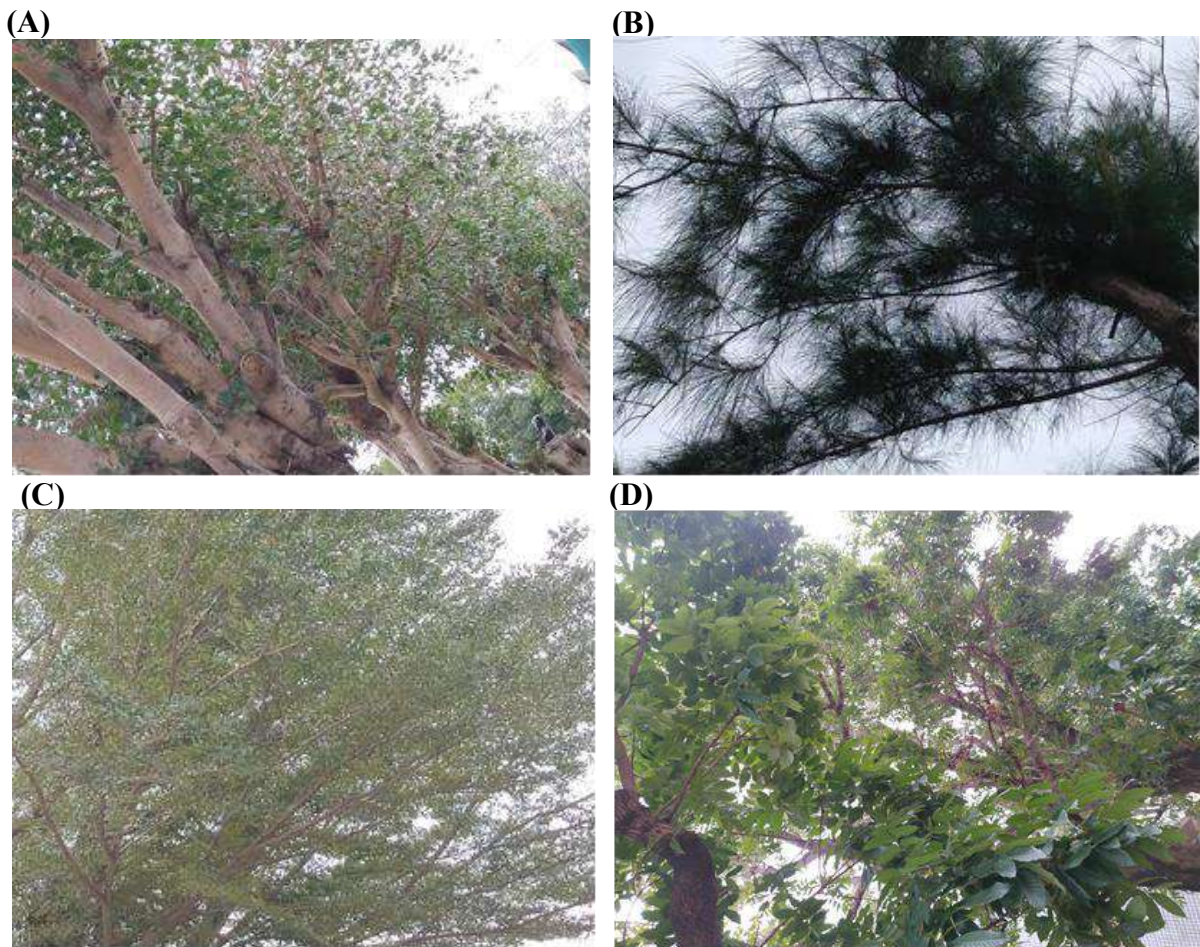


圖2 實驗中使用的樹種

(A) 菩提樹 *Ficus religiosa* 桑科榕屬(無花果屬)植物

乾燥季節落葉，半常青，大型喬木，葉大可達17公分，校樹高約10公尺

(B) 木麻黃 *Casuarina equisetifolia* L. 常綠喬木

灰綠色細軟小樹枝，頗似針葉，多節，每節有極退化的苞片狀葉，後面實驗所稱葉包括小枝，球形果實，學校樹高約5公尺(已修剪)

(C) 小葉欖仁 *Terminalia mantaly*

樹幹挺直、枝條分層水平向四周開展，長滿小葉，4-9月開花，冬季落葉，做為行道樹，校樹植於圍牆12公尺高

(D) 桃花心木 *Swietenia macrophylla* 楝科常綠喬木

學校為大葉品種，樹幹為紅色硬木，有蒴果，木質；具有翅膀的種子。葉大羽狀複葉，3、4月時會快速掉光所有的葉子，學校樹約15公尺

(照片由作者及指導教師拍攝)

土壤的特徵:因儀器限制，我們簡單利用壓克力管柱測量土壤的密度(圖 3(A))。另外土壤基本測定方法需要較多的土量及時間，因需測量數據多，所以我們在網路購買一種能快速測量土壤溫度、含水百分比、pH 及電導度的儀器直接用探針出結果(圖 3(B))。

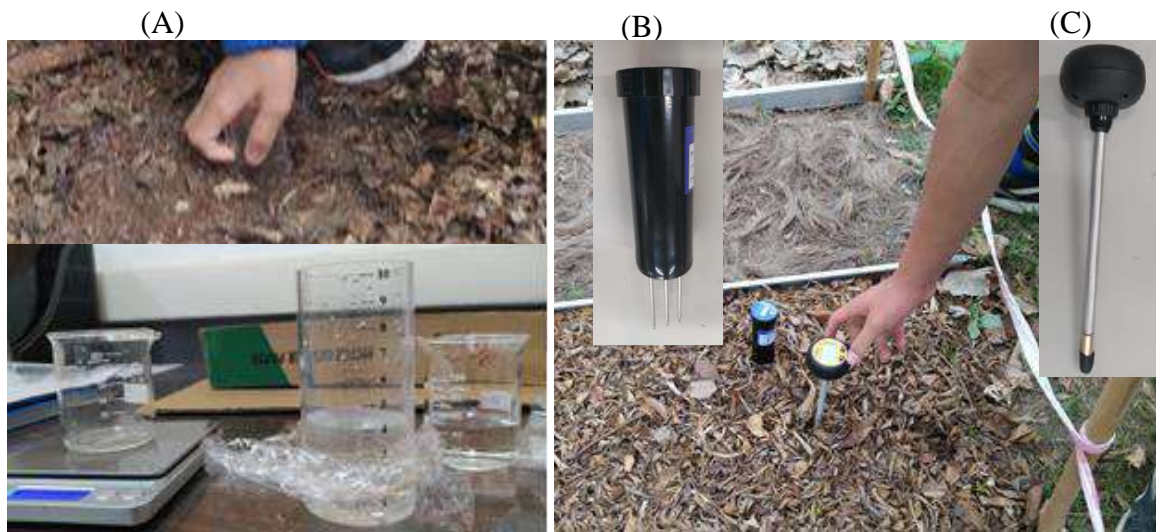


圖 3 實驗中土壤特徵測定的方法

(A)使用壓克力管柱取得土壤，再利用天秤測量質量取得密度

(B)測量土壤溫度、含水百分比、pH 及電導度的儀器(探針式)

(C)測量土壤酸鹼度的土壤參數速測儀(FDR)

(照片由作者及指導教師拍攝)

土壤與生物相關的特徵，我們用 2 種小種子的植物(小白菜:發芽快，約 2-3 天可全部發芽；紅蘿蔔(發芽時間約 7-10 天，可觀察發芽的優勢)來測量發芽的狀況(圖 4 和圖 5)。



圖 4 土壤種子發芽測量(上)小白菜(發芽快，約 2-3 天發芽)；(下)紅蘿蔔(發芽約 7 天)

(照片由作者及指導教師拍攝)



圖 5 小白菜(左)和紅蘿蔔(右)發芽情形 (照片由作者及指導教師拍攝)

各種土壤特徵及生物特徵的實驗方法如下:

土壤特徵-溫度及水份:使用土壤參數速測儀,隨機插入表層土壤約 4 公分,待數據穩定後記錄,一個區塊測量 3 個數據。

土壤特徵-pH(酸鹼度):使用土壤酸鹼度計,隨機插入表層土壤約 4 公分,待數據穩定後記錄,一個區塊測量 3 個數據。

土壤特徵-密度:使用透明壓克力管,不壓實方式壓取到 4 公分,小心將內側土壤取出,測定質量後除以管柱體積。此種方法測量包括土壤水份,與標準土壤總體密度不同。

生物特徵-發芽率及發芽勢:分別取表層土壤 20g 置於培養皿後加入 5mL 水,均勻撒入 25 顆小白菜種子和紅蘿蔔種子,蓋上皿後靜置 3 天計算小白菜發芽及紅蘿蔔籽發根 $>3\text{mm}$ 數量,計算百分比,小白菜發芽比率為發芽率而紅蘿蔔發芽比率為發芽勢。

一、實驗一:長期堆積落葉地點土壤的特徵

在學校挑選長期堆積落葉的地點 4 處及無堆積落葉地點 2 處(操場及校園草地),測量土壤特徵及生物特徵。地點照片如下圖 6:

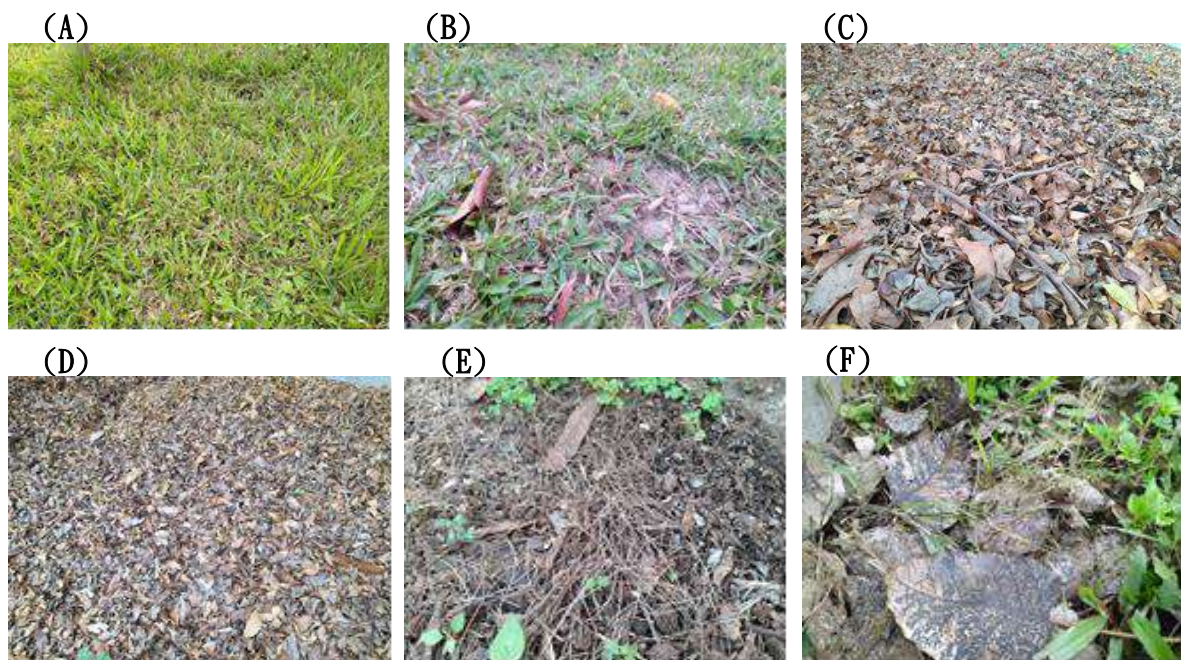


圖 6 實驗一地點現地照片及描述

- (A) 實驗一-1 無落葉，有草地
- (B) 實驗一-2 樹下，但偶有落葉，草地稀疏
- (C) 實驗一-3 樹下，桃花心木葉，落葉層厚，土壤還有大雨沖來的紅土
- (D) 實驗一-4 樹下，主為小葉欖仁部份桃花心木葉，落葉厚，土壤還有掃來的土
- (E) 實驗一-5 牆邊，木麻黃葉，樹已經移除，落葉層薄，土壤有許多石頭
- (F) 實驗一-6 樹下，草地，上有菩提樹葉，落葉層薄(被風吹)，土壤和操場相同
(照片由作者及指導教師拍攝)

二、實驗二: 落葉堆積隨時間增加對土壤影響

收集 4 種學校常見落葉(菩提樹、木麻黃、小葉欖仁、桃花心木)，放置 1 星期乾燥。另外整平土壤再用高約 5 公分鋁板隔出長 100 公分，寬 60 公分的 6 個區塊，上平鋪不同種落葉及各混合 1/4 落葉層 1.2 公斤並保留 1 區塊不鋪落葉作為對照組，因落葉在自然情況下分解緩慢，同時配合有空作實驗的時間，我們用 2 個星期為單位(每隔 14 天)測量土壤特徵及生物特徵，並拔除雜草，撿拾吹散的落葉，記錄區塊上的雜草並拍照，同時每 24 天補充 300 克落葉持續 84 天(約 3 個月)。



圖 7 實驗二實驗步驟說明 (A) 收集落葉 (B) 區塊鋪落葉 (C) 每週區塊整理、測量及實驗 (照片由指導教師拍攝)

三、實驗三: 葉子萃取液對土壤種子發芽率的影響

萃取液的製作: 取 4 種不同落葉 200 克加入 400 克的水, 在果菜汁機攪碎(木麻黃不易打碎改為研磨), 放在燒杯冰在冰箱中沉澱 1 天後吸取澄清的上層液體當成萃取液, 取未鋪葉土壤及水和 4 種萃取液按發芽率及發芽勢實驗, 每組 3 重覆測量發芽百分比。

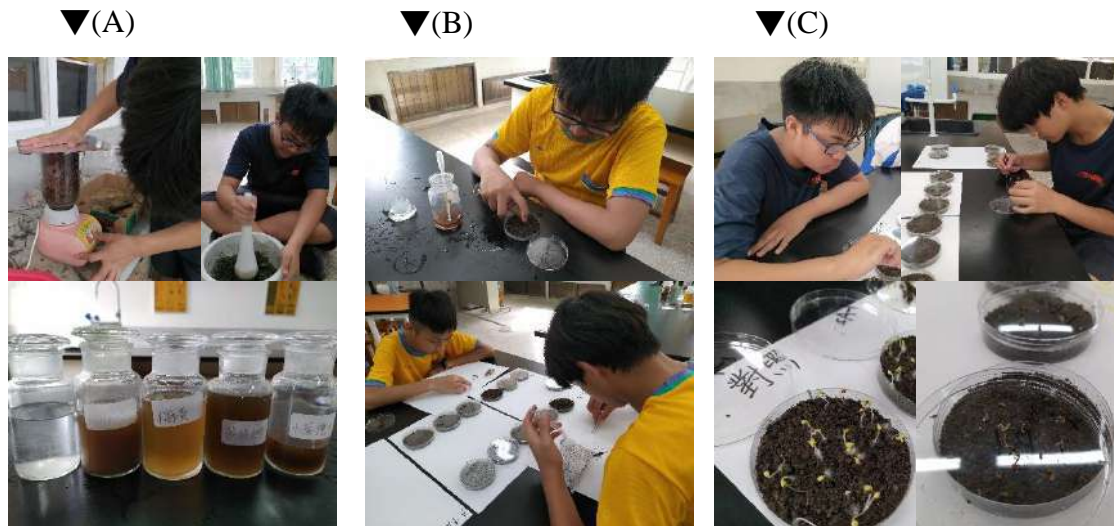


圖 8 實驗三實驗步驟說明 (A)萃取液製作 (B)培養皿加入種子及萃取液 (C)計算發芽數
(照片由指導教師拍攝)

四、實驗四: 落葉堆積後土壤對土壤及植物影響

實驗二的 6 個區塊實驗結束後，觀察落葉層及土壤層的差異；之後將落葉移除後每個區塊均勻撒上 5 毫升的小白菜種子，第 5 天及第 12 天測量後隨機測量 4 棵小白菜葉子的寬度(葉子橫向最寬處)，觀察不同落葉土壤對小白菜生長的影响。

伍、研究結果

一、實驗一: 長期堆積落葉地點土壤的特徵

學校主要堆積落葉的方式主要是學生打掃後直接堆放在樹根下，包括桃花心木、小葉欖仁，木麻黃則是自然落葉後集中在樹下，菩提樹因為易受風吹，大部份會吹到他處與其他種的葉子混合，所以我們採集位於不易打掃的區域土壤，4 種堆積落葉地點及無堆積落葉地點 2 土壤特徵如下表 1。

表 1 校園多處堆積落葉處地表 4 公分的土壤特徵及發芽結果

編號	-1	-2	-3	-4	-5	-6
地點	對照組-操場	對照組 校園草地	桃花心木下 桃花心木葉堆	小葉欖仁下 小葉欖仁葉堆	圍牆旁 木麻黃枝葉堆	菩提樹葉堆
土壤溫度(°C)	25.5 (最高)	25.2 (次高)	24.7	23.9 (次低)	23.3 (最低)	23.3 (最低)
土壤水分(%)	8.4 (次高)	4.3 (最低)	6.5	9.1 (最高)	4.4 (次低)	7.2 (±0.5)
pH (2-8.5)	7.0 (中性)	7.3	7.0 (中性)	7.4	7.7 (弱鹼)	7.7 (弱鹼)
密度(g/cm ³)	1.27	2.04 (次高)	1.20 (次低)	0.42 (最低)	1.66	2.29 (最高)
發芽率 (小白菜 第 3 天) 25 顆種子	92%	100% (最高)	68% (最低)	72% (次低)	100% (最高)	88%
發芽勢 (紅蘿蔔 第 3 天) 25 顆種子	84% (次高)	80%	64% (次低)	56% (最低)	84%	92% (最高)

由實驗結果可看到無落葉堆積的地點土壤溫度可高於有落葉的地點 1~2°C，即使是有樹遮住的一-2 也較其他的地點高。厚實落葉堆的小葉欖仁與操場草地保有較多的土壤水分，草皮與落葉堆有類似的保水效果。總體而言，土壤表層接近中性偏鹼性，並沒有發生土壤變酸的現象。採取土壤時發現小葉欖仁的表層充滿了分解的樹葉細顆粒，有點類似鋸木下來的粉末，推測可能是葉子分解而來的，這也使他有最低的密度。沒有落葉堆的一-2 和菩提樹落葉在草地上一-6 密度最大，可能因為沒法留住分解的物質。由於採集地點大部份在樹下，持續受到樹葉及根的分泌物影響，有可能對於小白菜和紅蘿蔔的發芽產生影響而不容易探討。

二、實驗二：落葉堆積隨時間增加對土壤影響

由落葉堆區塊的外觀長期觀察可以看到葉片的分解現象，因不同的葉子形態也會影響堆積的效果，實驗中葉子堆積的穩定度因為葉子的大小特性而不同，菩提樹葉因葉子薄而且最大受風面積也最大，所以很容易被吹走的，相反的葉子最小的小葉欖仁和葉子較厚的桃花心木沒有這個問題。混合組則因大小葉子都有，能將大葉子留在原處。另外，木麻黃因所採用的葉子實際上是灰綠色細軟小樹枝，過程中遇到白蟻大舉入侵，將其分解。像菩提及木麻黃的現象會影響分解成分的多少，因此實驗過程中每 24 天補充 300 克落葉。實驗過程區塊的外觀如下頁圖 9 和圖 10:

照片為每次整理後的外觀。可看到在自然情況下落葉的分解是一個緩慢的過程，即使經過 3 個月的時間，大部份的葉子外觀仍可看見。在實驗進行中有幾個特殊的狀況，第 1 個是菩提樹的葉子因為實驗時間遇到東北季風，需要撿回原來的區塊所以葉子位置不同(圖 10 (F))。第 2 個是第 60~70 天有東北季風將落葉由區塊 6 吹向 1，所以對照組上下面照片有一些桃花心木的葉片(圖 9(A))。第 3 個是木麻黃區在第 56 天發現有白蟻，將大部份的葉子(實際為軟枝條)消化並留下細粉，這也讓它接近無落葉覆蓋(圖 10 (E))。

初步看起來，考量到天然環境的影響，覆蓋的情形最好的是桃花心木(不易分解)，再來是小葉欖仁，其次依序是混合及木麻黃(被白蟻分解)，最不佳的是菩提樹葉(易飛走)。因此，對照組(圖 9(A))和木麻黃(圖 10 (E))表土雜草的生長與石頭的裸露(雨水的沖刷)最明顯。



圖 9 落葉堆積隨時間增加的變化照片(前 3 組) 同一組拍攝置於同列(照片由作者拍攝)



圖 10 落葉堆積隨時間增加的變化照片(後 3 組) 同一組拍攝置於同列(照片由作者拍攝)

因為有補充葉子，所以觀察葉子堆積表面的變化不明顯，但翻開葉子的裡面，可以推估開始明顯分解的時間:小葉欖仁大約 3 個月，木麻黃和菩提樹大約 2~2.5 個月。我們挑選分解程度低至高的葉子可看到不同葉子分解的差異。

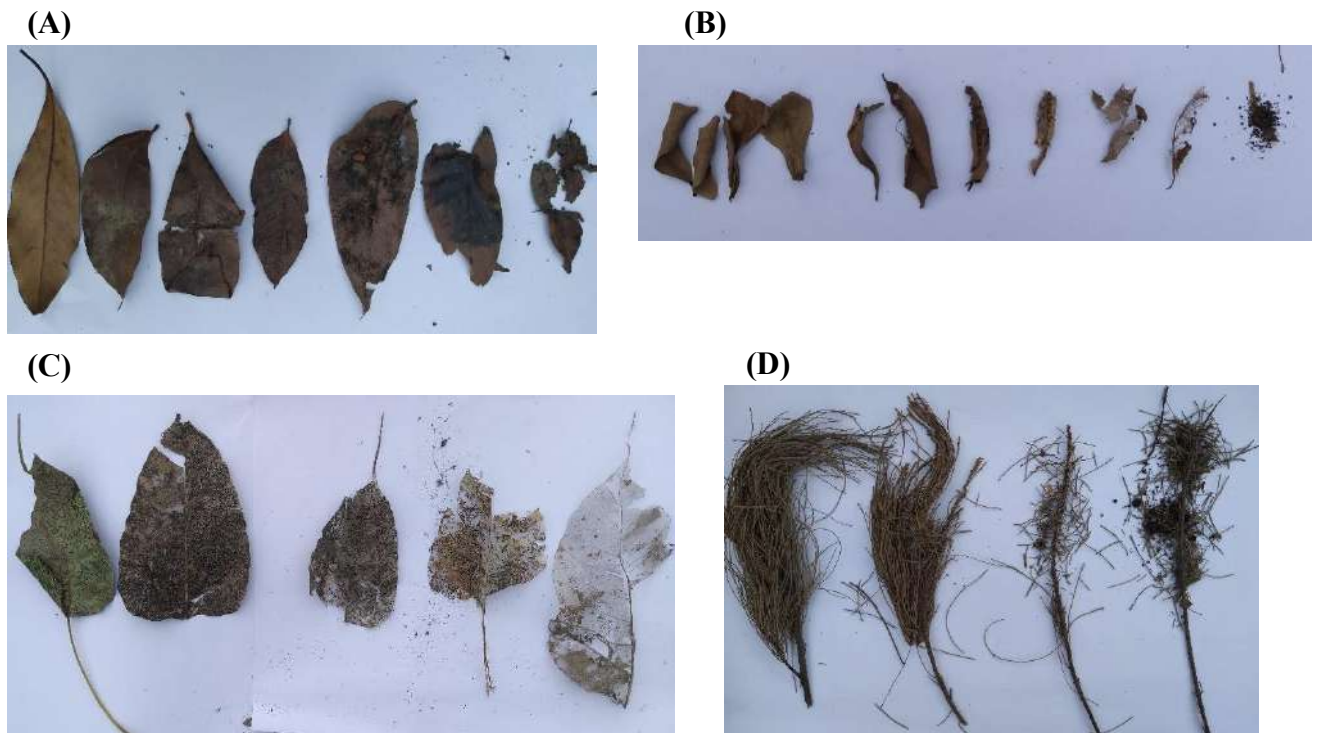


圖 11 四種葉子堆積分解方式 (A) 桃花心木葉 (B) 小葉欖仁葉 (C) 菩提樹葉 (D) 木麻黃葉 (照片由作者拍攝)

桃花心木葉(圖 11(A))主要是由葉心開始變黑分解，最後碎裂，分解慢，大部分外觀完整；小葉欖仁葉(圖 11(B))則由葉肉開始分解，但最後葉脈不完整，留下細小顆粒，如粉末狀。菩提樹葉(圖 11(C))則是先變褐色後有黑點，然後由葉葉肉開始分解，最後留下明顯葉脈。木麻黃葉(圖 11(D))因成份偏向枝幹，分解由軟枝開始脆裂，白蟻可加速分解後留下較粗枝條。

各區塊土壤溫度的測量圖表如下圖，土壤溫度及水份搭配中央氣象署氣候資料服務系統 (<https://codis.cwa.gov.tw/>) 氣溫與前 3 天降水資料可探討土壤與環境的差異。

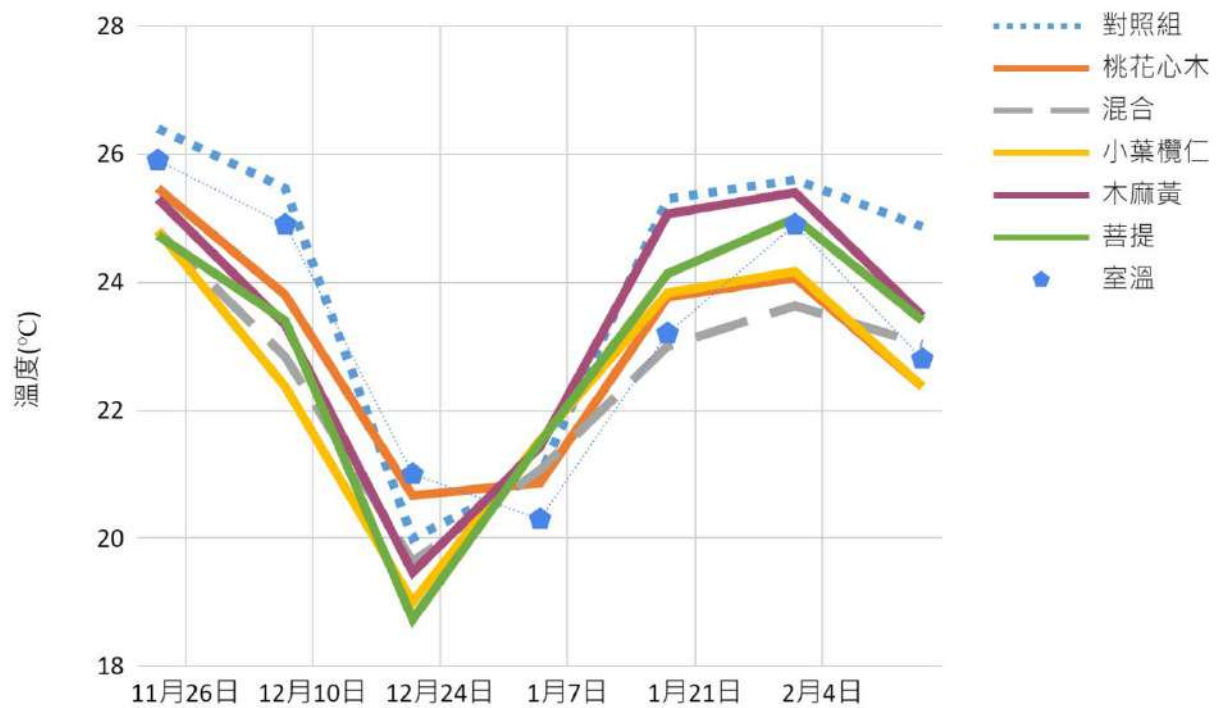


圖 12 落葉堆積下，地表下 4 公分土壤溫度變化

土壤溫度變化(圖 12)可以發現土壤地表下 4 公分的溫度大致和氣溫變化趨勢相同。有落葉的土壤在氣溫高於 24°C 時最大能降溫 1.5°C。12/21-1/4 寒流的低溫也使地表溫度下降。實驗前面幾次沒有落葉的地表溫度和氣溫差異不大，但後面差異加大。在正常氣溫時，對照組的溫度較有落葉的土壤高出約 1~2°C，這也和實驗甲結果有些類似。小葉欖仁與桃花心木因分解慢覆蓋較完整，一開始保持較好的降溫效果，但木麻黃則因白蟻分解葉子，1/18 和 2/1 溫度幾乎和沒有葉子的對照組相同。混合組的降溫效果與桃花心木及小葉欖仁差不多。實驗中(1/4、1/18)似乎土壤溫度較氣溫高一點點，但不明顯。也有可能是厚度不夠保溫，在其他落葉堆肥實驗中所看到的溫度上升的現象，並沒有在自然落葉土壤上觀察到。

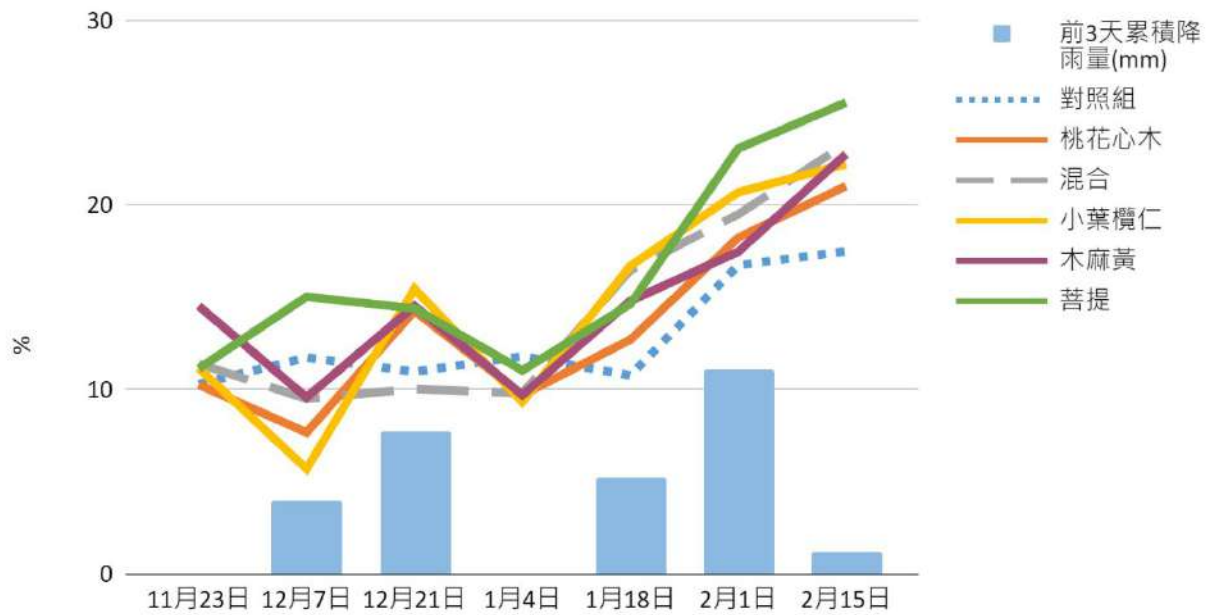


圖 13 落葉堆積下，地表下 4 公分土壤含水量變化

土壤含水量可以看到圖 13，不管是有落葉或沒有落葉大致上趨勢是向上，因實驗過程中，除了採土及測量外，我們都沒有翻動土壤，實驗中雖有時降小雨，有時出太陽，但可能土壤或落葉能累積水份而能持續增加，在不翻動土壤 2 個月後，土壤含水量就開始上升，而且有落葉的土壤水份有較明顯的增加。此時反而較完整覆蓋的桃花心木及小葉欖仁水份沒有比菩提多，雨水可能留存在落葉層中而較慢才流到土壤層中。前 3 天的的降雨量也會影響土壤水份，由 12/21 資料可以推測至少增加 4%含水量。

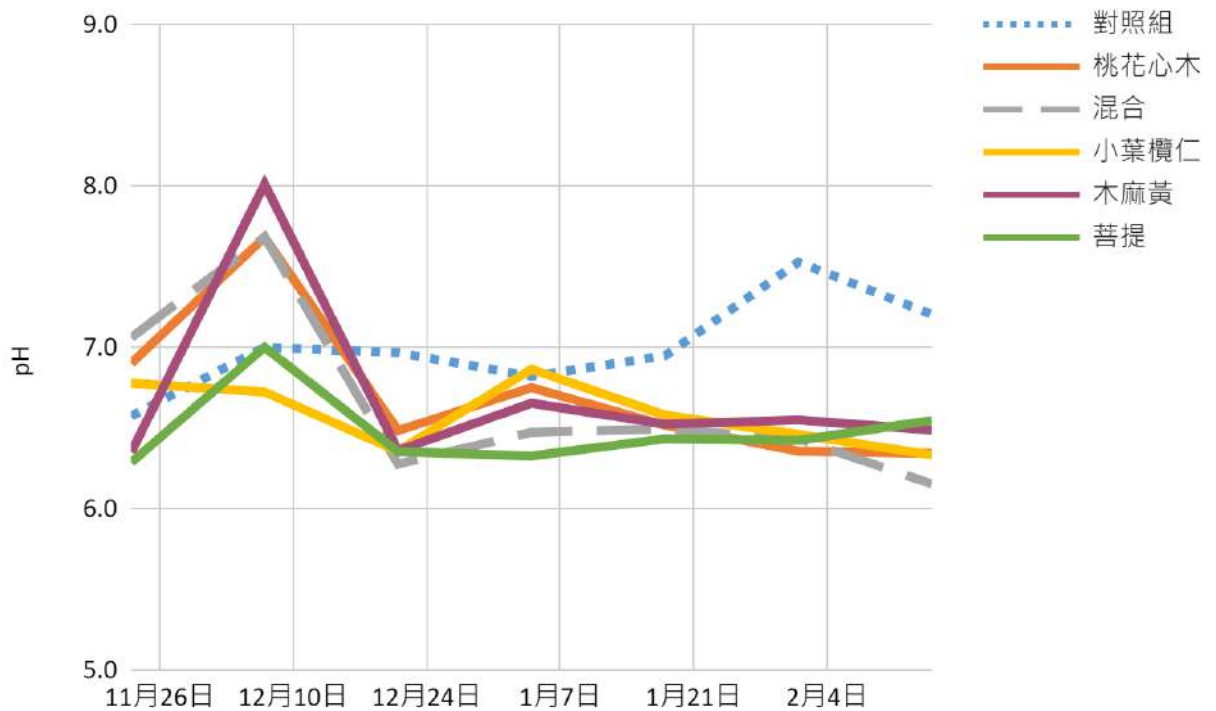


圖 14 落葉堆積下，地表下 4 公分土壤酸鹼的變化

酸鹼值(pH)是我們八年級才學到的，土壤酸鹼的概念可能和課本的水溶液不太一樣，但儀器是用 pH 的數值判斷土壤的酸鹼程度，7 是中性，大於 7 是愈鹼性，小於 7 愈是酸性。地表下土壤的變化結果(圖 14)顯示一開始各區塊的土壤都接近中性，但 12 月 7 日突然木麻黃、桃花心木及混合組別突然高於 7，是否和剛加入葉子或原始土壤中的否些物質有關，於是我們利用萃取方法測量發芽率(下一個實驗-實驗三)來探討；另外，老師也有提到有些植物會產生植物鹼或其他物質(毒他作用)，但真正的原因不知道。但從短期來看似乎與它有關，但長期看起來，在 3 個月內覆蓋落葉的土壤會變微酸，可能與落葉分解物質有關，老師認為些應該是與長期分解後的酸性有機物進入到土壤有關，但因為實驗只進行約 3 個月，所以無法得知這些酸性物質會讓土壤變多酸，而且由實驗甲，長期堆積落葉的土壤並沒有明顯變酸，我們推測這些鹼性或酸性物質讓土壤變酸鹼的程度有限，會持續的被產生又分解吧。

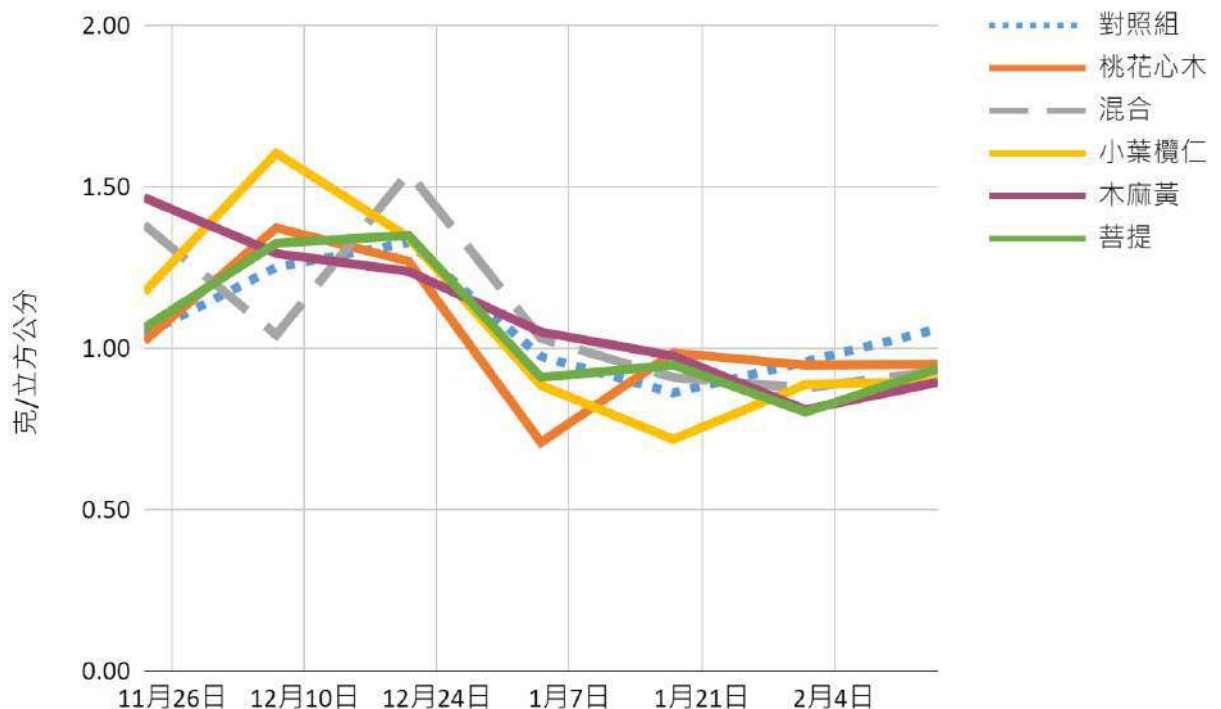


圖 15 落葉堆積下，地表下 0-4 公分土壤密度變化

土壤密度可以顯示土壤的緻密程度，我們查到一般土壤的密度測法要去掉水份才算，但考量實驗烘乾的器材及所花時間，我們僅測量含水份的土壤，這種方法會受水分多少而影響。由土壤密度的實驗圖中(圖 15)可以看到，與土壤水份相反，土壤密度長期是持續下降的，顯示即使扣除水分，土壤的密度應該也是持續下降，密度的下降在 56 天就有十分明顯。雖然實驗最後顯示沒有覆蓋落葉的土壤密度大於有覆蓋的，但在圖裡看起來，有沒有落葉沒有很明顯的差異。我們在用壓克力管柱採土時施力可以明顯感覺到每一組有落葉的土壤較沒有落葉的鬆軟許多，密度應該要較低才對，但實驗結果卻沒有這樣，我們推測可能是因為鬆軟的土感覺可能與含水有關，水分多容易採土，而且水分也佔有質量，所以如果能扣除水份，應該

可以看到較符合我們期待-含有落葉的土壤密度較小的結果，難怪土壤密度測量要烘乾。同樣的，不同種落葉在密度上並沒有太多不同。

土壤對生物影響十分重要，我們在實驗的區塊中看到許多蜈蚣及馬陸，也長出許多雜草，但這些不容易測量與描述，但大致上生物種類與數量是愈來愈多-多樣性增加了(表 2)。為了知道與生物的關係所以我們另外利用種子發芽率及發芽勢來得到區塊間的比較。

表 2 落葉堆積時地表動植物的記錄

生物性描述 (蚯蚓、蜈蚣、雜草)	實驗二- 1	實驗二- 2	實驗二- 3	實驗二- 4	實驗二- 5	實驗二- 6
	對照組	桃花心木	混合	小葉欖仁	木麻黃	菩提
11月23日						
12月7日	馬陸(死)×2 雜草	無	雜草 ×2	雜草 ×3	馬陸(死)×1 馬陸(活)×1	馬陸(死)×2 馬陸(活)×1
12月21日	香附子 ×5 其他雜草 ×4	香附子 ×8 酢醬草 ×2	香附子 ×15 酢醬草 ×7 龍葵 ×2	馬陸(死)×1 香附子 ×11 龍葵 ×5	馬陸(死)×1 香附子 ×12	香附子 ×1 其他雜草 ×3
1月4日	馬陸×1 其他雜草×3 雞母蟲 ×1	香附子 ×6 龍眼 ×1	香附子 ×10 酢醬草 ×5	香附子 ×7 龍葵 ×1	香附子 ×12 酢醬草 ×7 龍葵 ×4	香附子 ×6
1月18日	香附子 ×18 酢醬草 ×5 龍葵 ×8 其他雜草×2	香附子 ×2 酢醬草 ×1 土壤潮濕	香附子 ×6 酢醬草 ×5	香附子 ×5 酢醬草 ×3 其他雜草×2	香附子 ×9 酢醬草 ×8 其他雜草×3 白蟻將葉吃光	香附子 ×8 酢醬草 ×4
2月1日	香附子 ×24 酢醬草 ×4 蟻窩 ×1	香附子 ×2 酢醬草 ×1	香附子 ×5 酢醬草 ×8	香附子 ×5 酢醬草 ×2 日日春 ×1	香附子 ×16 酢醬草 ×6 其他雜草×1 白蟻消失	香附子 ×6 酢醬草 ×3 測出電導度 6、2
2月15日	香附子 ×44 酢醬草 ×8 其他雜草>100 蟻窩 洞×3	香附子 ×3	香附子 ×8 酢醬草 ×5	香附子 ×16 酢醬草 ×2	香附子 ×16 酢醬草 ×18	香附子 ×15 其他雜草×12

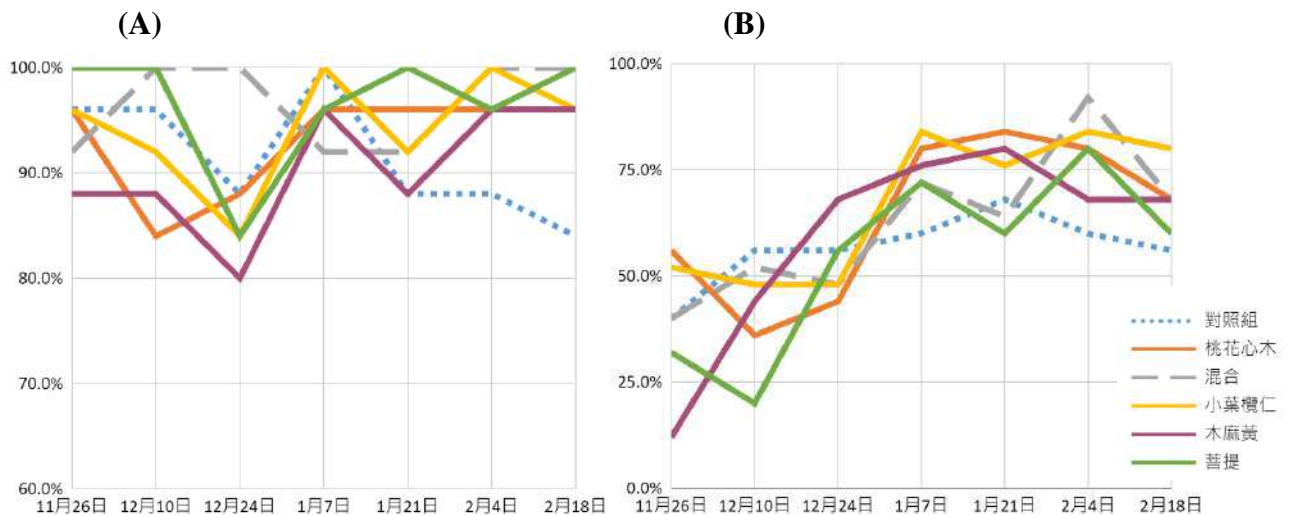


圖 16 落葉堆積土壤，地表 4 公分內土壤小白菜種子及紅蘿蔔種子 3 天後發芽比率
(A) 小白菜種子(發芽率) (B) 紅蘿蔔種子(發芽勢)

發芽勢用大約 1/3 期間內種子發芽數佔百分比來表示，發芽勢高的組別代表發芽較一致。我們先將白菜發芽率及紅蘿蔔發芽勢放在一起看，這兩種都是利用種子發芽現象來描述生物初期的生長情形。由圖 16(A)可看到發芽率的結果上上下下較不一致，我們推想主要是我們

沒有好好控制好環境(溫度、光線及濕度)。12/24 及 1/21 的組別有兩次低溫(不是取樣的日期，而是在開始測量的 3 天內)，而對發芽率沒有一致的結果。由圖中可以看到 1/21 的低溫對於沒有落葉覆蓋的對照組及木麻黃組(被白蟻吃光)有很大的影響，我們猜想落葉中的有機物質可能對發芽有些保護作用，另外對照組的發芽率最後明顯較有落葉堆積的低，表示 3 個月的堆積後土壤可以增加發芽率。而在發芽勢圖 16(B)可以看到有落葉的實驗組別發芽勢較對照組高而且持續增加，有趣的是，落葉堆積早期(大約是 1 個月)產生的有機物對的發芽勢有害，較長期的落葉堆積(大約是 2~3 個月)產生的有機物對發芽勢有幫助，但可能要更詳細的實驗。這兩種發芽的實驗都顯示有落葉堆積的土壤長期可幫助種子發芽。

三、實驗三: 葉子萃取液對土壤種子發芽率的影響

由實驗二的早期堆積土壤對發芽的抑制作用，我們想到與植物毒他現象有關(楊萱[3])，早期的物質與原來的落葉成份應該較接近，於是我們將這些不同的葉子打成汁液加在土壤的培養皿中觀察萃取液對發芽的影響(表 3)。

實驗結果可以看到落葉萃取液對土壤上小白菜種子的發芽率影響較小，而對紅蘿蔔種子發芽勢影響較大，特別是桃花心木和木麻黃的汁液，可以減少 20%的發芽勢，這也許就是實驗二(圖 16(B))紅蘿蔔發芽率早期較低的原因。

表 3 不同的葉子萃取液對土壤上種子發芽的影響

萃取液	實驗 三-1	實驗 三-2	實驗 三-4	實驗 三-5	實驗 三-6
操作變因	對照組 水	桃花心木 (乾葉)	小葉欖仁 (乾葉)	木麻黃 (新枝)	菩提 (新葉)
小白菜(發芽率)	96%	98%	95%	89%	91%
紅蘿蔔(發芽勢)	56%	38%	46%	36%	54%

四、實驗四: 落葉堆積後土壤對土壤及植物影響

在進行種植小白菜之前，我們先觀察落葉堆積區塊的葉片堆積層及土壤表層，主要看葉片的堆疊情形、葉片腐爛分解情形、葉片大小變化以及土壤的顏色、保水性及土壤的結塊(表 4)。

表 4 落葉堆積後土壤和葉片的觀察

實驗編號	變因	葉片堆積層	土壤表層描述
四-1	對照組	無	土壤顏色較淺、保水性較差、土壤形成大小不一的團塊
四-2	桃花心木	葉片堆疊較平整。葉片最大腐爛程度高已經腐爛成纖維、葉片由於水分流失和葉片纖維化導致葉片逐漸變小	土壤顏色較深、土壤保水性較強、土壤形成大小不一的團塊，可見到蜈蚣及蟑螂
四-3	混合	葉片大小不同，互相找空隙疊在一起	顏色排第 3 深
四-4	小葉欖仁	小葉欖仁的腐爛差異大，表層只有乾燥現象但下層非常明顯、甚至有些都變成像土的小顆粒了	顏色最深，有許多葉子腐爛物質
四-5	木麻黃	因是實驗過程中再加上去的，葉堆略平，腐爛程度不易觀察(沒有看到白蟻了)。	表面殘腐爛木麻黃、土表面塊狀偏多、水分適中。普遍蟲與雜草最多。
四-6	菩提	葉堆凹凸不平，且腐爛程度皆不相同。	土壤表面較乾燥、土壤顏色較淺、塊狀較小。幾乎沒有生物，只有些許雜草

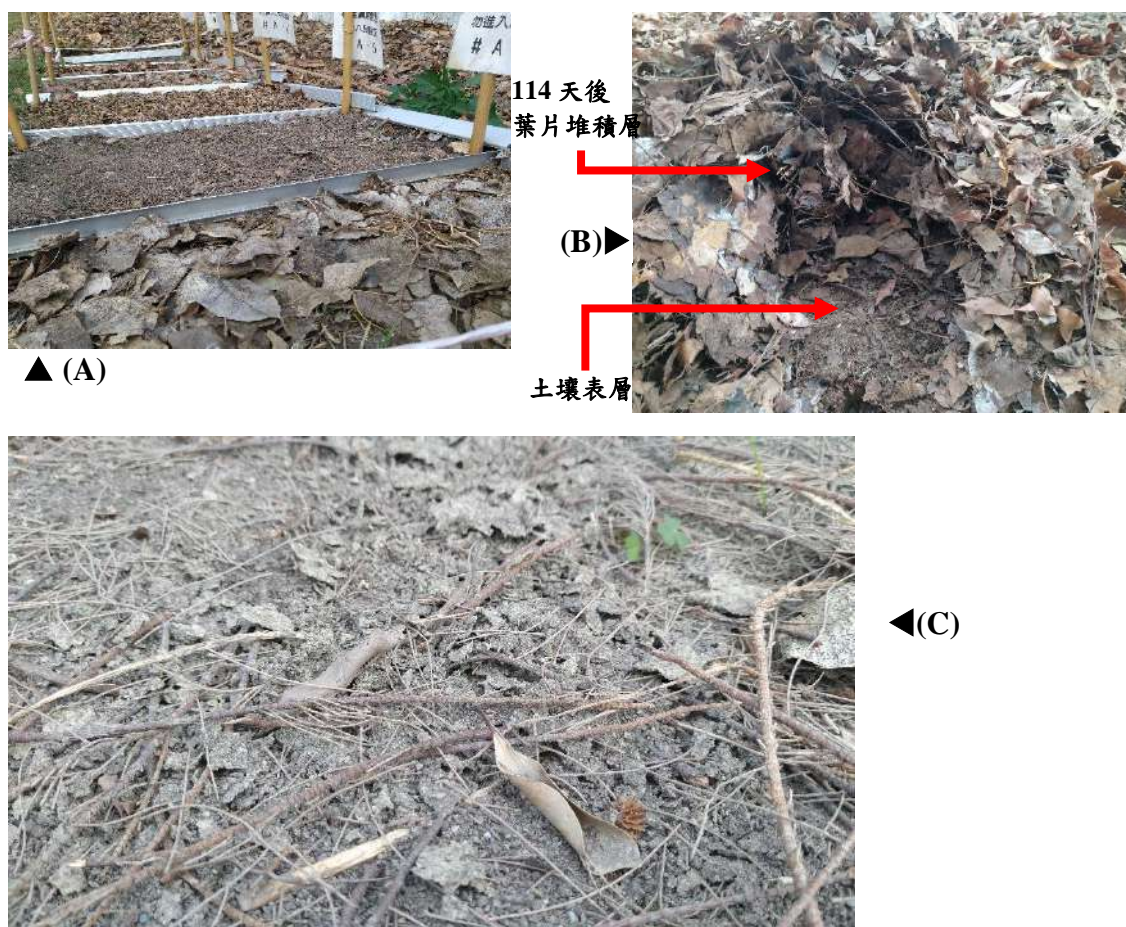


圖 17 土壤堆積後的照片(A)實驗區塊 (B)分層說明 (C)白蟻分解木麻黃後表土
(照片由作者及指導教師拍攝)

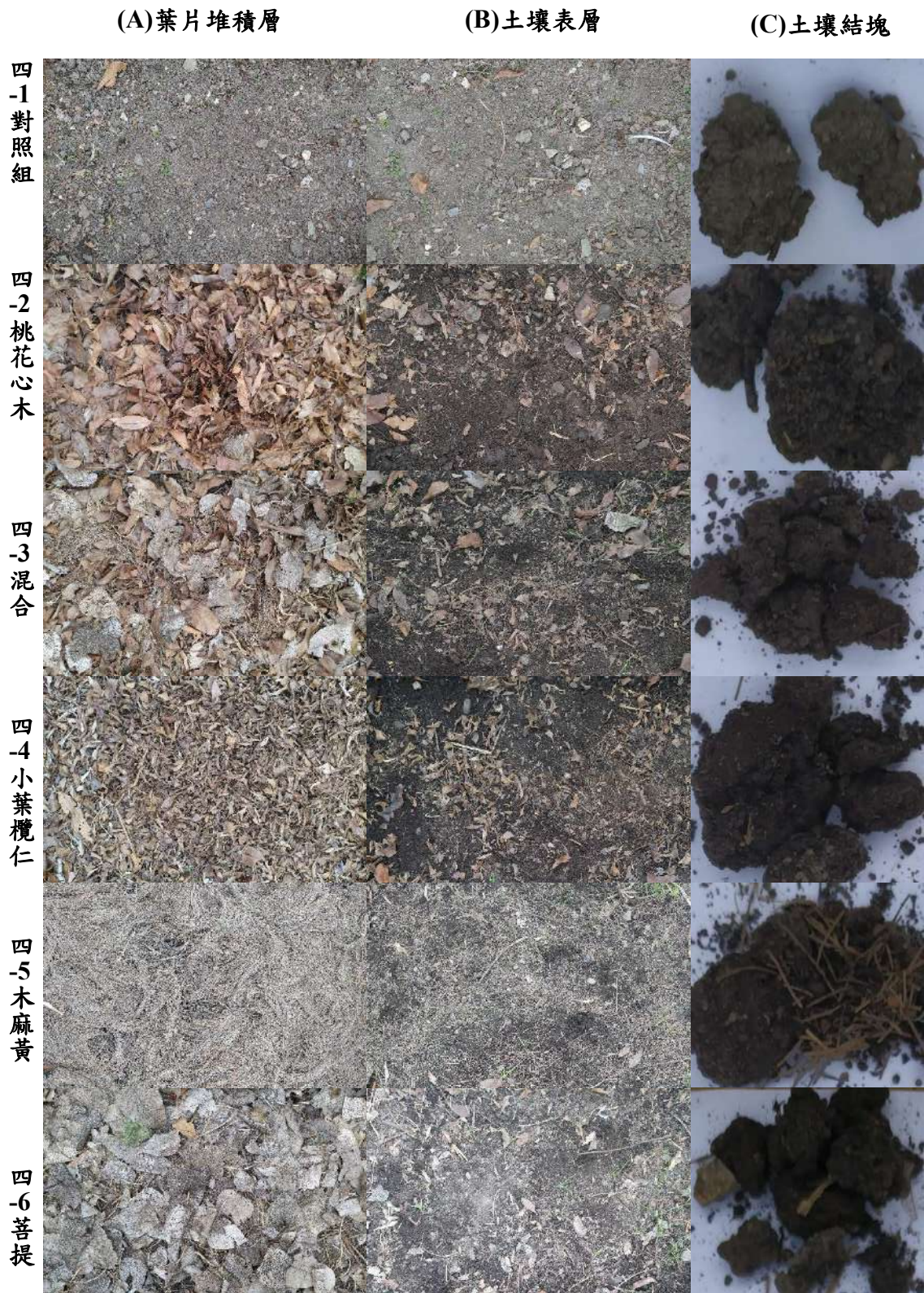


圖 18 堆積 114 天後葉片層及土壤表層和土壤結塊的照片 (照片由作者及指導教師拍攝)

由圖 18(C) 可以看到小葉欖仁土壤的結塊最大溼潤度也最好，圖 18(B) 土壤表層顏色也是最深的。而沒有落葉層的對照組雖然也有結塊，但十分鬆散，顏色也較淡。白蟻快速分解後的木麻黃土壤結塊中還是看的到許多小細枝條。菩提樹葉堆最然結塊沒有最大，但結構十

分堅固。

小白菜種植實驗(圖 19)，由外觀照片(分布情形)及測量葉寬(個別生長)都可以看到沒有葉片堆積的對照組土壤小白菜的生長情形都較不佳，而且在後期不只長出來的棵數與大小顆都有明顯不同，有放葉子堆積的區塊小白菜都較大株。

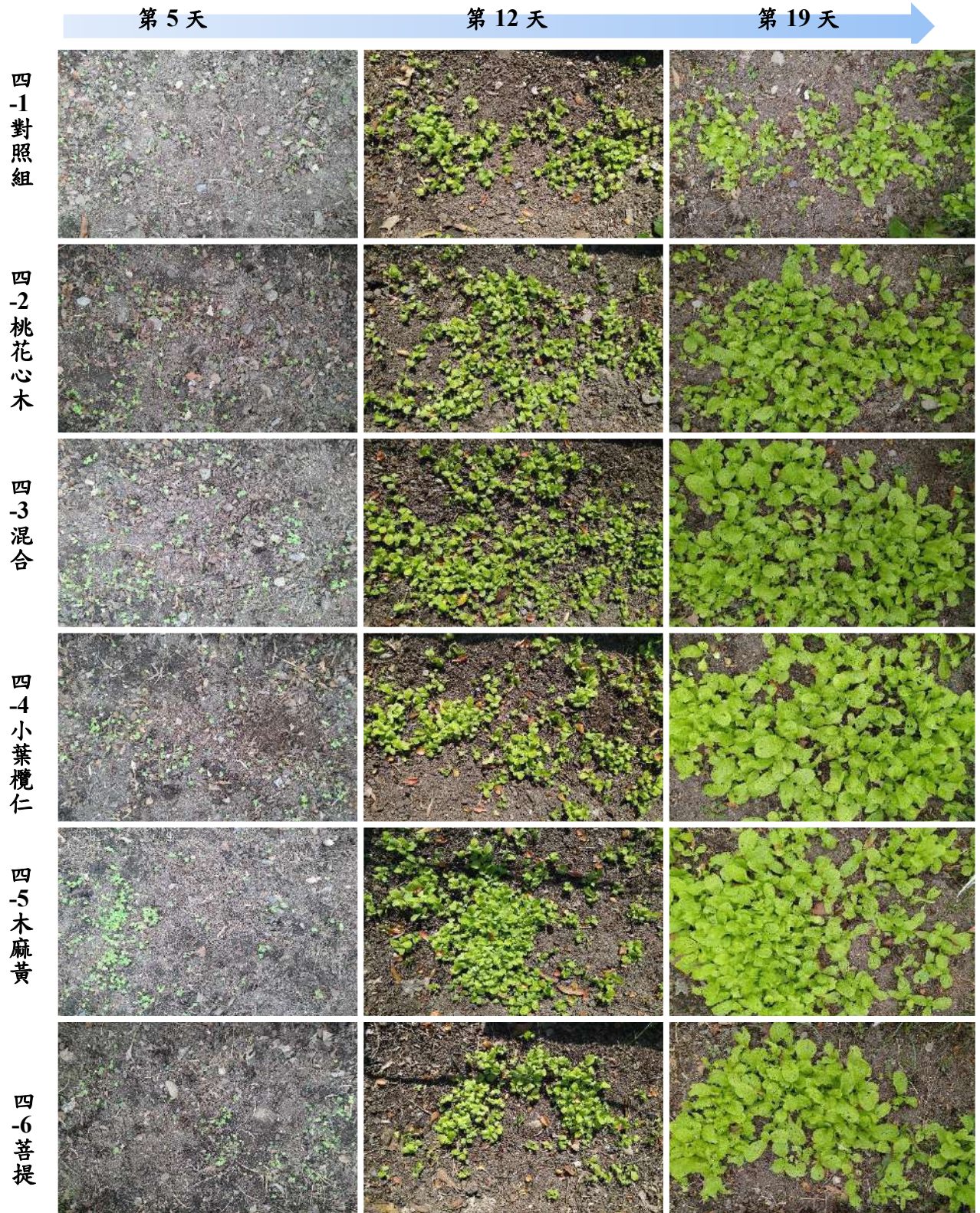


圖 19 落葉堆積後土壤種植小白菜的照片 (照片由作者及指導教師拍攝)

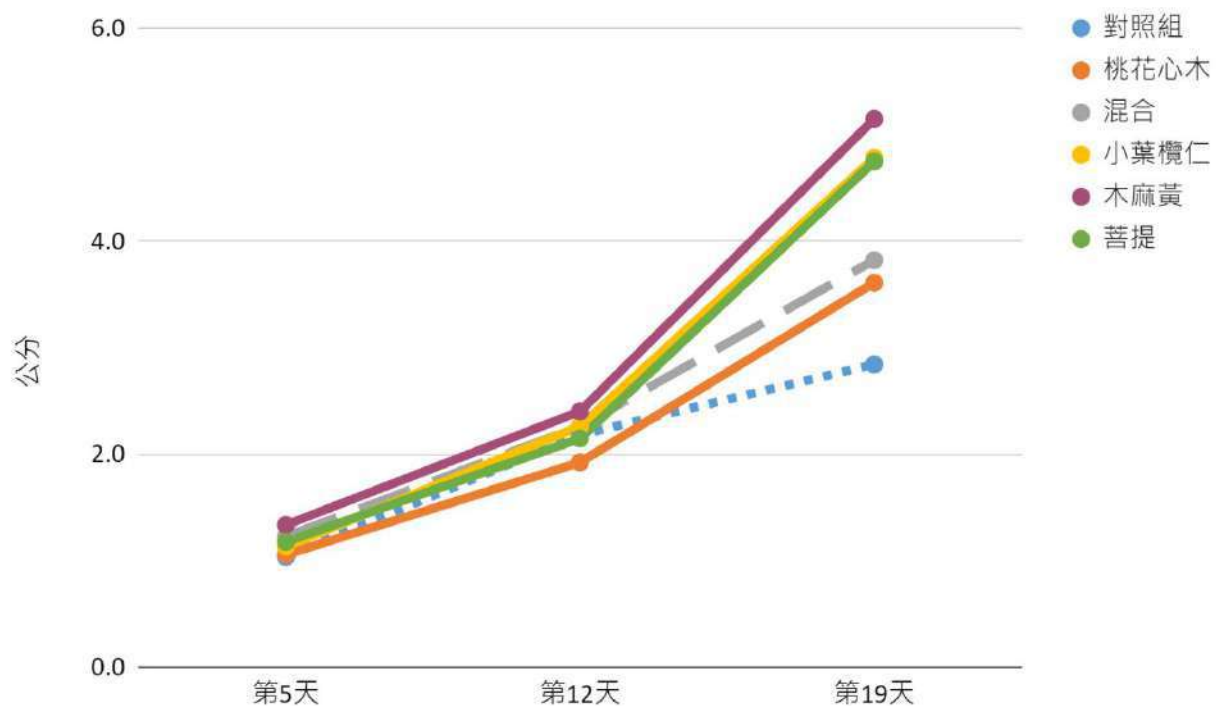


圖 20 落葉堆積後土壤種植小白菜的葉寬變化

測量小白菜的葉寬的結果也可以看得出明顯的差異，由圖 20 可以知道對照組(沒有樹葉堆積)的它的葉寬是最小的，平均的葉寬比較:木麻黃、小葉欖仁和菩提都大於對照組 1.5-2 公分，也與照片有相似的結果。也許是因為葉子堆積分解後的養分給了小白菜的關係。

陸、討論

長期堆積落葉的土壤因為土壤本身就不太相同，所以堆積落葉後的特性也會受到影響，但落葉堆積和長草一樣，都有降溫的效果。由實驗一及二都可看到落葉對土壤溫度有明顯降溫效果，這與其他實驗落葉堆肥發酵時溫度上升(林筱凡 [1])的現象不同，可能是落葉的厚度與反應的快慢的關係。

由實驗二結果也可以知道落葉堆積會對下面土壤的特性產生明顯的影響，用快速方法測量的數據與標準方法有一些差異，與雖然土壤會較鬆軟但對於含水的土壤密度影響不大，未來可改由烘乾土壤來說明土壤密度，而且我們只測量到 4 公分的地方，對於較深的土壤影響還要再研究。葉片堆積對土壤的生物的(需要對植物及昆蟲熟悉的人協助)，也是另一個可以研究的地方。

一些研究有指出有些植物對發芽有不好的作用，例如有部份的研究顯示木麻黃的土壤對小白菜萌芽抑制率最高(盧喬[2])，桃花心木會造成土壤酸化，我們實驗 1 個月內也可以看到

這個現象，但若長期堆積樹下的土壤與種植小白菜實驗的方法的土壤並沒有看到這個現象，可能和葉片堆積的量與實驗中設計(棉花對比土壤)有關。

實驗設計上，因為有的葉子會被風吹走，有的會被白蟻吃掉，可能擋板要加高一點或加網子的方式來避免。為了觀察時間的變化，用每次拍照的方式可能會有色差或移動位置的問題，也許未來可以用縮時攝影來記錄葉子堆積和小白菜成長的過程。

落葉堆積大約 2 個月後的土壤明顯對於小白菜的發芽及後面的成長有幫助，與一般堆肥的效果類似，可能僅有分解速度上的差別，考慮成本及效果，是否有需要為了加速分解採用酵素，或集中方法來處理落葉是可以思考的，如果地夠大是不需要再用堆肥發酵方法來增加土壤的養份的。

柒、結論

落葉堆積對高溫時的土壤有顯降溫效果，而且會對下面土壤表層(4 公分內)的水分、酸鹼、生物、結構有明顯的影響。因為葉子中某些物質，早期堆積可能因部份落葉特性有抑制作用，但超過 3 個月的堆積對小白菜、紅蘿蔔發芽率及對小白菜葉子生長是好的，自然堆積對植物抑制作用也不明顯。對比堆肥需要容器、添加微生物種、廚餘等，如果有自然且足夠的土壤空地，自然堆積落葉方法也是種對之後要種植作物有明顯幫助的選項之一。

捌、參考資料及其他

1. 林筱凡(2009)、林祺銘(2011) • 「堆」出生機—落葉變黃金、落葉變黃金—創造永續生活 • 第 49、51 屆中小學科學展覽。
2. 盧喬(2012) • 『剋』敵致勝—植物的相剋作用 • 第 52 屆中小學科學展覽。
3. 楊萱、陳姿樺、李佳樺(2019) • 無往不「剋」—毒他作用對外來種的影響 • 第 59 屆中小學科學展覽。
4. 維基百科 • 桃花心木、菩提樹、木麻黃、小葉欖仁 • <https://zh.wikipedia.org/zh-tw/>

【評語】 033001

本作品設計實驗了解落葉堆積對土壤和生物的影響，並採用堆積後的土壤對小白菜、紅蘿蔔發芽率的評估。研究動機由生活觀察引發好奇，進而設計實驗嘗試理解成因。本研究的變異性大廚重複多組實驗外也需採用統計分析變異性大小。建議採用顯微鏡觀察微生物相、落葉混和比例可參考實際狀況。每兩週檢測分析一次土壤特徵，12月7號有三組 pH 飆高，是否有重複試驗，以確認檢測的準確性？建議可說明研究結果的未來應用。

作品簡報



土積層

葉

Old

落葉堆積對土壤的影響

研究動機

校園的落葉堆可以觀察到土壤的變化，還可看到小生物活動
 腳踩葉子堆的土壤會凹陷下去，土壤外觀較黑，還有許多小生物在爬
 網路上有收集落葉製作落葉堆肥的方法，但和自然慢慢分解的環境不同
 落葉堆積會對土壤有什麼樣的改變

研究目的

長期堆積樹葉會對土壤和生物有什麼影響？
 樹葉堆積時葉子與土壤會隨時間有什麼變化？
 這些變化與葉子成份有關嗎？
 不同葉子對土壤、植物發芽和生長會有不同嗎？

研究設備及器材

圖1 電子秤 (500g)



量筒、燒杯

壓克力管柱



白菜種子、紅蘿蔔種子

培養皿、玻璃片



土壤速測儀



土壤酸鹼度計



果菜汁機、研鉢杵



其他整地採集工具及乘裝容器 (如滴管、稱量紙、藥勺、夾子...等)

研究過程或方法

圖2 樹種的挑選



菩提樹 *Ficus religiosa*
 桑科榕屬(無花果屬)植物，乾燥季節落葉，平常青，大型喬木，葉大可達17公分，樹高約10公尺



木麻黃 *Casuarina equisetifolia* L.
 常綠喬木，灰綠色細軟小樹枝，類似針葉，多節，每節有極退化的苞片狀葉，後面實驗所採葉包括小枝，球形果實，學校樹高約5公尺(已修剪)



小葉欖仁 *Terminalia mantaly*
 樹幹挺直，枝條分層水平向四周開展，長滿小葉，4-9月開花，冬季落葉，做為行道樹，校樹植於圍牆12公尺高



桃花心木 *Swietenia macrophylla*
 棟科常綠喬木樹下，學校為大葉品種，樹幹為紅色硬木，有藥用，木質；具有翅狀的種子。葉大羽狀複葉，3、4月時會快速掉光所有的葉子，學校樹約15公尺

圖3 記錄的植物及動物



香附子



酢醬草



馬陸



蜈蚣

土壤溫度、水份、pH(酸鹼度)：

土壤參數速測儀及酸鹼度計(圖1)，隨機插入表層土壤4公分(3個數據)

土壤密度:透明壓克力管(圖4)，不壓實壓取4公分，測定質量後除以管柱體積。

發芽率及發芽勢：(圖5)

表層土壤20g置於培養皿，加5mL水，25顆種子靜置3天

計算小白菜發芽及紅蘿蔔籽發根>3mm數量

小白菜發芽比率為發芽率而紅蘿蔔發芽比率為發芽勢。

實驗一：

長期堆積落葉地點土壤的特徵

圖6



一-1 操場
 無落葉，有草地



一-2 校園草地
 樹下，但仍有落葉，草地稀疏



一-3 桃花心木葉
 樹下，桃花心木葉，落葉層厚，土壤還有大雨沖來的紅土



一-4 小葉欖仁葉
 樹下，主為小葉欖仁葉，少部份桃花心木葉，落葉層厚，土壤還有掃來的土



一-5 木麻黃葉
 樹下，木麻黃葉，樹已經移除，落葉層薄，土壤有許多石頭



一-6 菩提樹葉
 樹下，原有草地，上有菩提樹葉，落葉層薄(易被風吹)，土壤源與操場相同

圖4 土壤特徵的測定



土壤密度

使用壓克力管柱取得土壤，測量質量計算求取



土壤溫度、含水、酸鹼(pH)

利用土壤參數速測儀(FDR)及土壤酸鹼度計快速測量土壤溫度、含水量百分比、pH及電導率的儀器(探針式)

圖5 發芽的狀況



發芽率

發芽勢

用小白菜(上)(發芽快，約2-3天發芽)；紅蘿蔔(下)(發芽約7天)來測量發芽狀況



小白菜(左)發芽；紅蘿蔔(右)發芽

實驗二：落葉堆積隨時間增加對土壤影響

圖7 ▼收集落葉 ▼區塊鋪落葉 ▼每2週整理、測量及實驗



6個區塊 (100cm×60cm) 平鋪1.2公斤落葉、混合及對照組

實驗三：葉子萃取液對土壤種子發芽率的影響

圖8 ▼4種萃取液製作 ▼培養皿加萃取液及種子 ▼計算發芽數



萃取液 (200克葉和400克水攪碎取上清液) 5毫升加到20土壤測發芽

實驗四：落葉堆積後土壤對土壤及植物影響

6個區塊觀察落葉層及土壤層的差異；之後將落葉移除後每個區塊均勻撒上5毫升的小白菜種子，第5天及第12天測量後隨機測量4棵小白菜葉子的寬度



研究結果

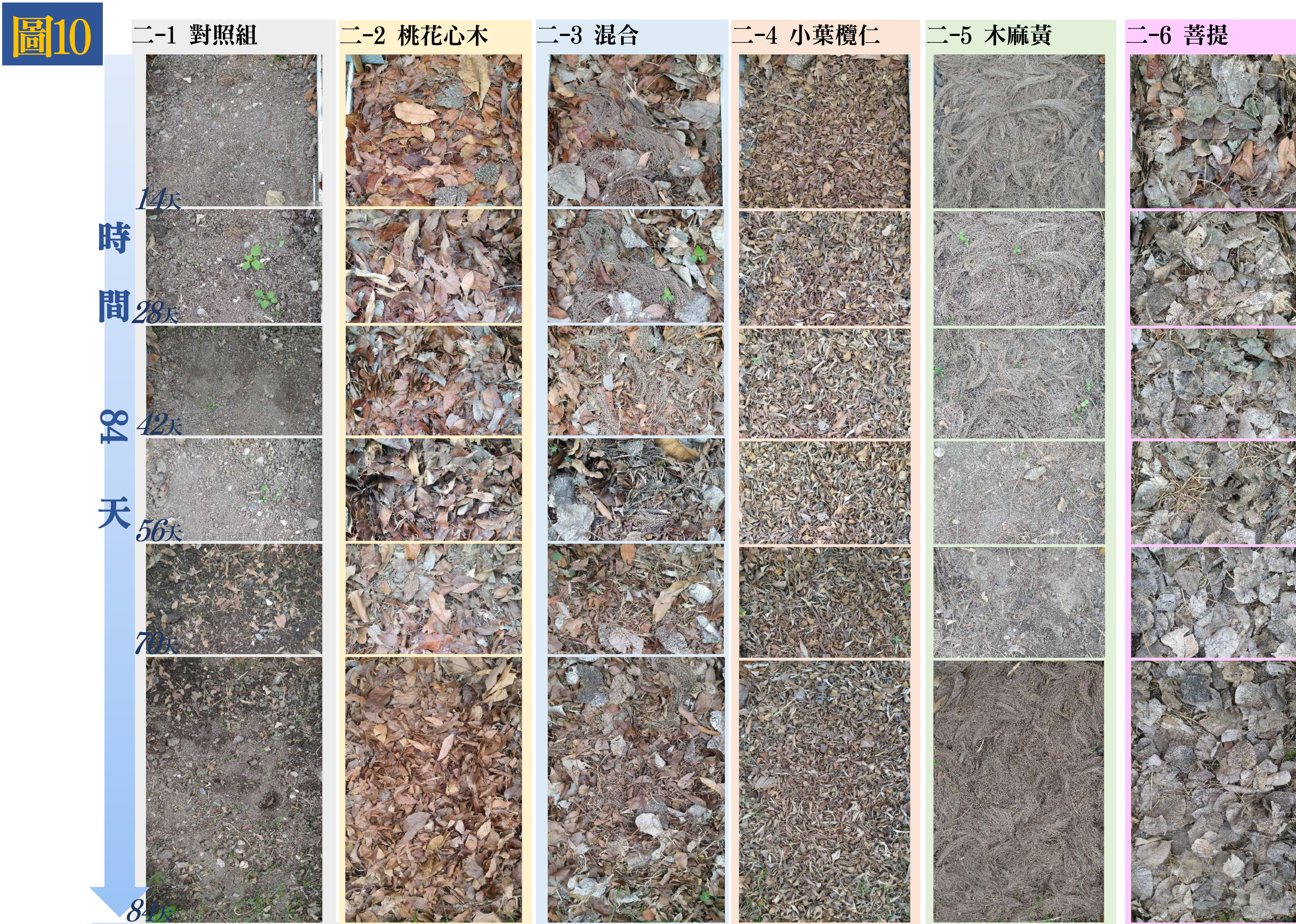
實驗一：校園不同地點長期堆積落葉土壤的特徵

實驗甲編號	—1	—2	—3	—4	—5	—6
地點	對照組 -操場	對照組 -校園草地	桃花心木下 桃花心木葉堆	小葉欖仁下 小葉欖仁葉堆	圍牆旁 木麻黃枝葉堆	菩提樹葉堆
土壤溫度 (°C)	25.5 (最高)	25.2 (次高)	24.7	23.9 (次低)	23.3 (最低)	23.3 (最低)
土壤水分 (%)	8.4 (次高)	4.3 (最低)	6.5	9.1 (最高)	4.4 (次低)	7.2
pH (2-8.5)	7.0 (中性)	7.3	7.0 (中性)	7.4	7.7 (弱鹼)	7.7 (弱鹼)
密度 (g/cm ³)	1.27	2.04 (次高)	1.20 (次低)	0.42 (最低)	1.66	2.29 (最高)
發芽率 (小白菜)	92%	100% (最高)	68% (最低)	72% (次低)	100% (最高)	88%
發芽勢 (紅蘿蔔)	84% (次高)	80%	64% (次低)	56% (最低)	84%	92% (最高)



落葉堆積土壤表層溫度可低1~2°C。
 厚實落葉堆 (小葉欖仁) 與操場土壤表層有較多的水分
 長期堆積土壤表層pH接近中性。
 小葉欖仁表土樹葉分解成粉末，有最低的密度。
 一-2和一-6密度最大 (無法留住分解的物質)
 落葉堆積後土壤對於小白菜和紅蘿蔔的發芽有些抑制。

實驗二：落葉堆積隨時間增加對土壤影響



葉子的分解

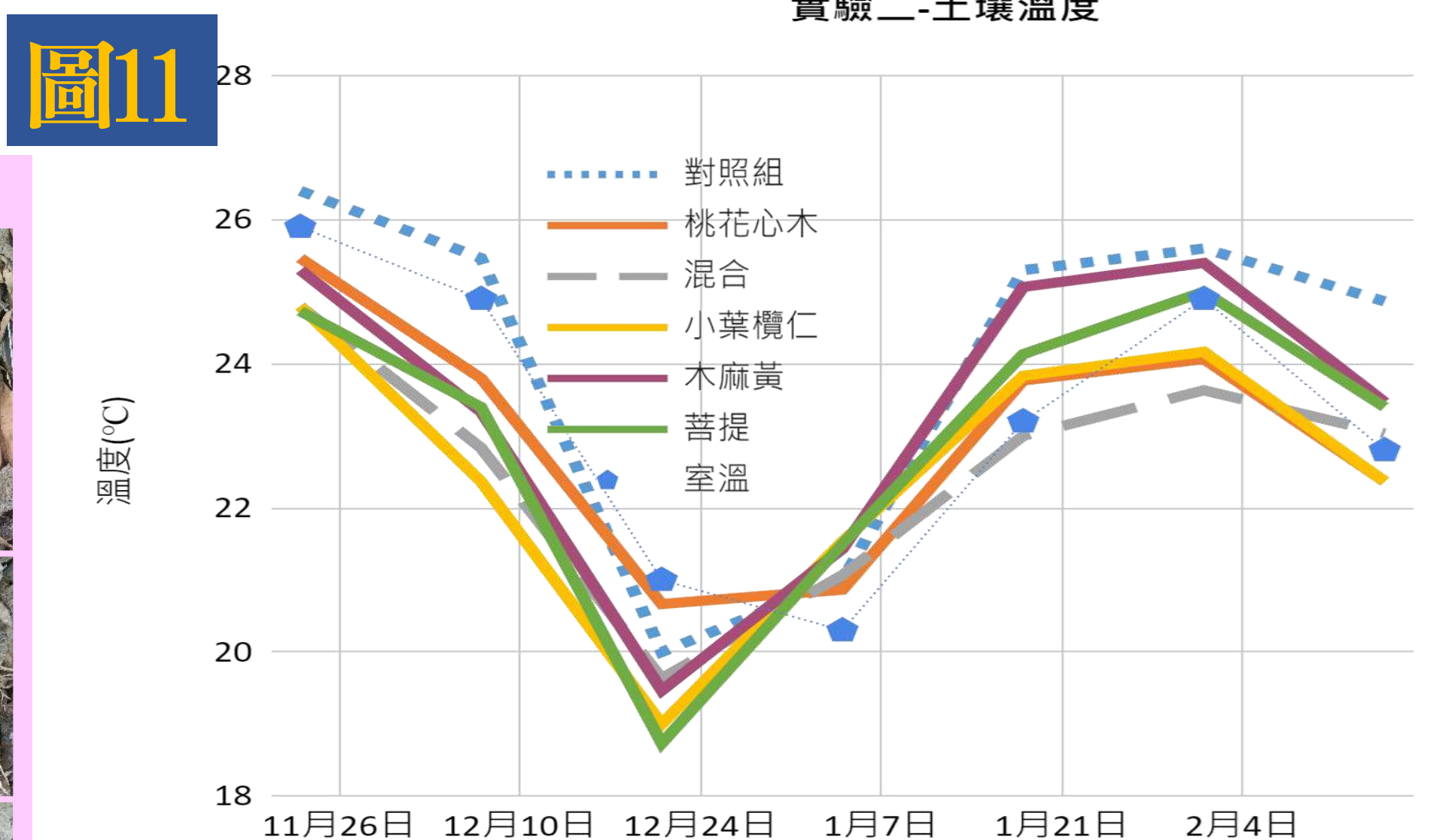


桃花心木葉
由葉心開始變黑分解，最後碎裂，分解後大部分外觀完整

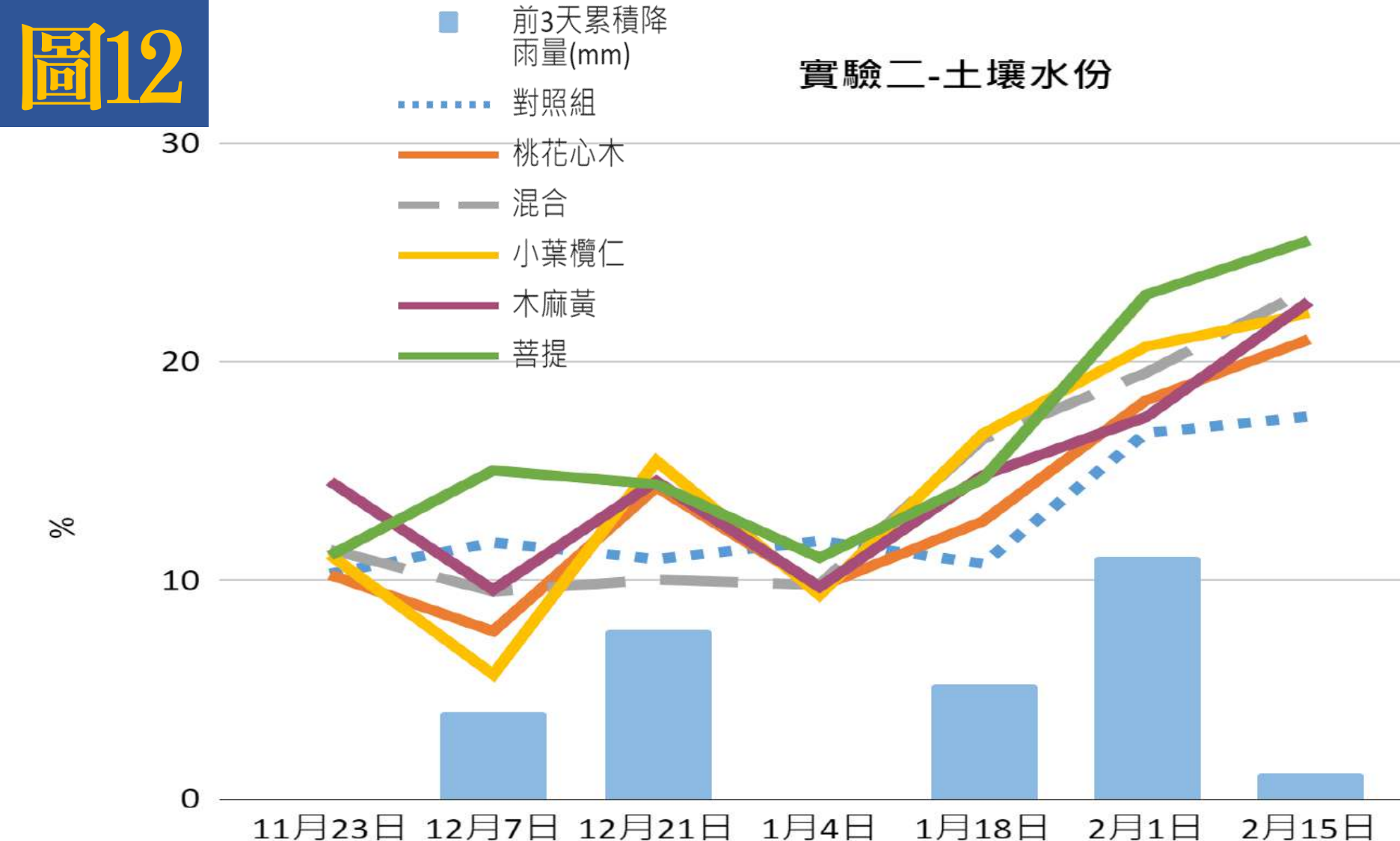
小葉欖仁葉
由葉肉開始分解，但最後葉脈不完整，留下細小顆粒，如粉末狀

木麻黃葉
由軟枝開始脆裂，白蟻可加速分解後留下較粗枝條

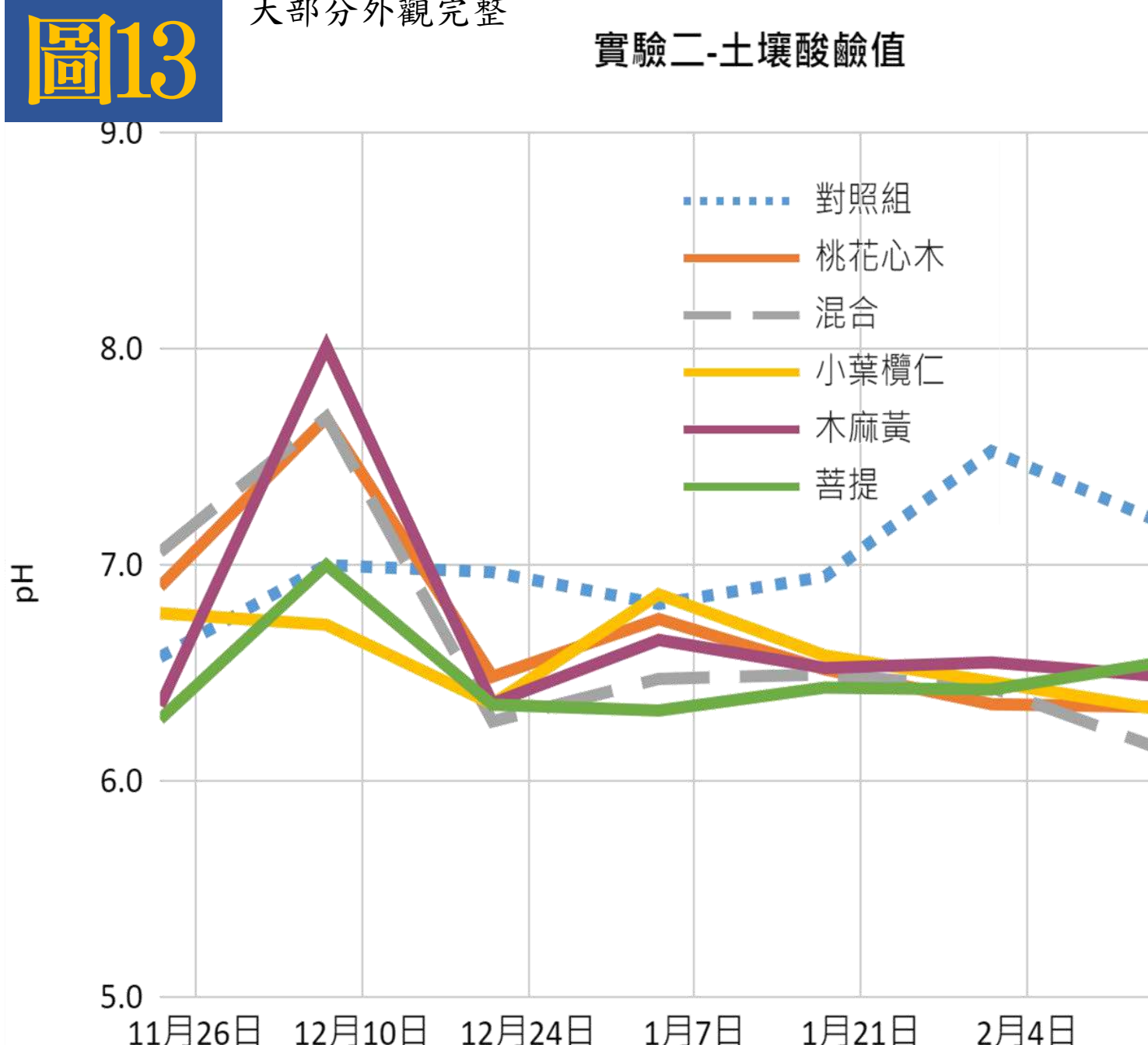
菩提樹葉
先變褐色後有黑點，然後由葉葉肉開始分解，最後留下明顯葉脈



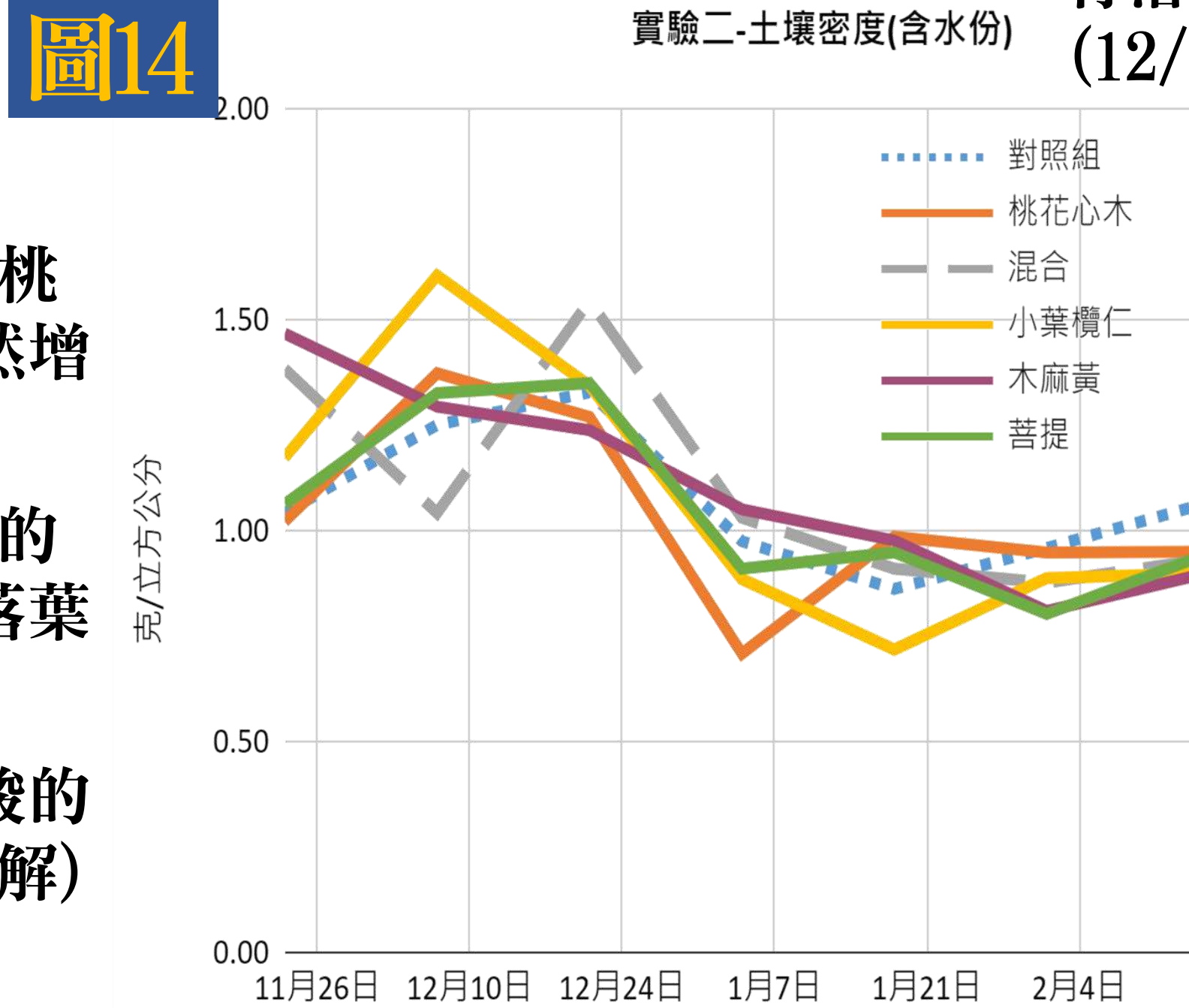
土壤表層溫度與和氣溫趨勢相同 (12月21日寒流) 有落葉的土壤表層在高溫 (高於24°C) 能降溫1.5°C
 對照組的較有落葉的土壤溫度高出約1~2°C
 小葉欖仁與桃花心木 (分解慢覆蓋較完整)，降溫效果好，木麻黃 (因白蟻分解葉子)，1月18日及2月1日溫度幾乎和沒有葉子的對照組相同。
 落葉堆肥實驗溫度上升的現象，在自然落葉土壤上觀察不到。



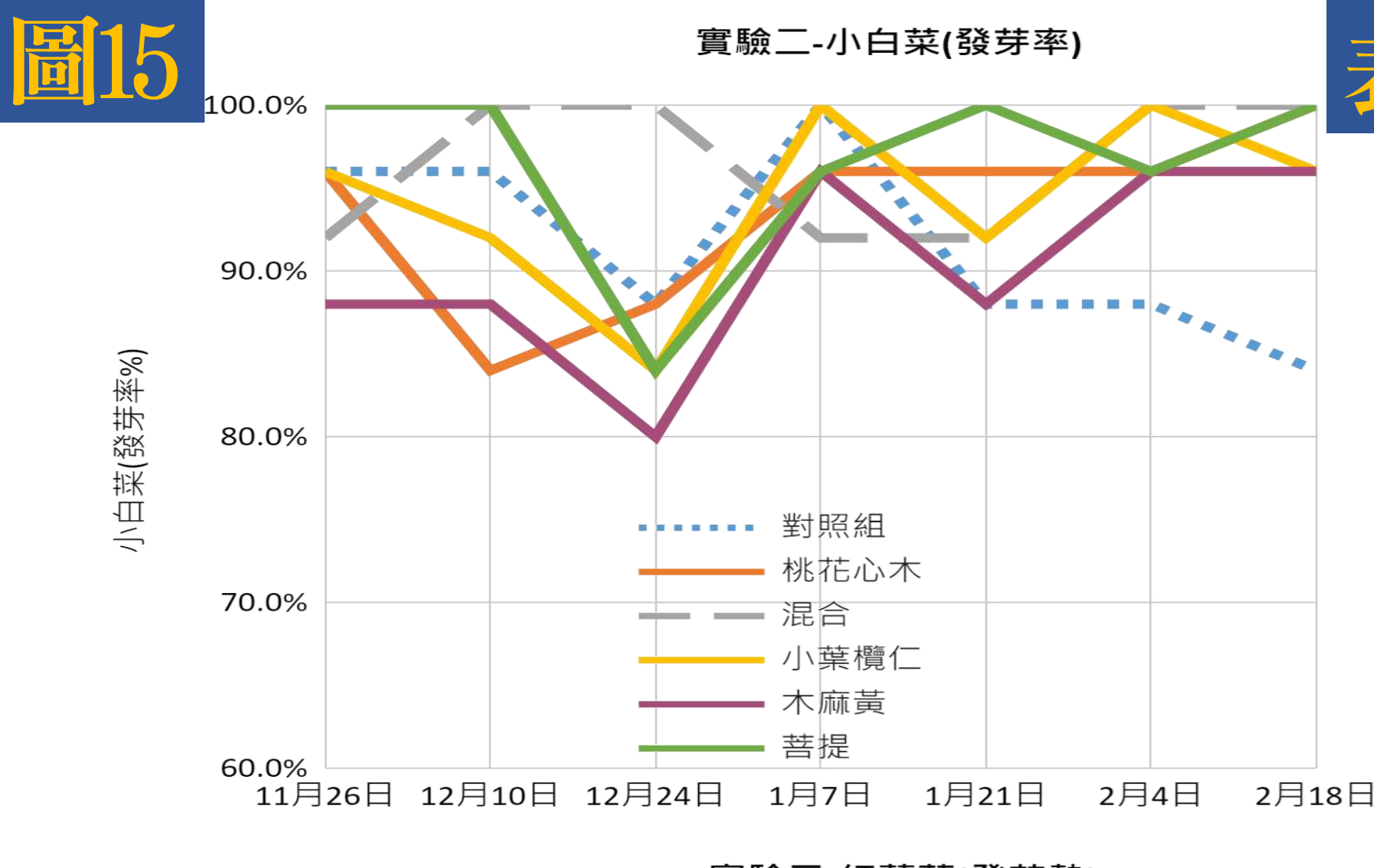
土壤水份 (有落葉或沒有落葉) 大致趨勢向上 (除了採土及測量外，我們都沒有翻動土壤) 土壤或落葉都能累積水份而能持續增加。
 有落葉堆積土壤推測至少增加4%含水量 (12/21資料)



一開始土壤都接近中性
 短期 (12月7日) 木麻黃、桃花心木及混合組初期突然增加鹼性物質。
 長期 (3個月) 內覆蓋落葉的土壤會變微酸，可能與落葉分解物質有關
 推測酸性物質讓土壤變酸的程度有限 (長期可能被分解)



我們土壤的密度測法沒有去掉水份
 土壤密度長期持續下降 (扣除水分也是下降)
 密度的下降在1個半月最明顯。
 有落葉的較沒有落葉的土壤鬆軟許多，但密度結果和鬆軟不一致。
 (可能鬆軟的土含有更多水)
 不同種落葉密度並沒有太多不同。



生物性描述	實驗二 1	實驗二 2	實驗二 3	實驗二 4	實驗二 5	實驗二 6
	對照組	桃花心木	混合	小葉欖仁	木麻黃	菩提
12月7日	馬陸(死) X2 雜草	無	雜草 X2	雜草 X3	馬陸(死) X1 馬陸(活) X1	馬陸(死) X2 馬陸(活) X1
12月21日	香附子 X5 其他雜草 X4	香附子 X8 酢醬草 X2	香附子 X15 酢醬草 X7 龍葵 X2	馬陸(死) X1 香附子 X11 龍葵 X5	馬陸(死) X1 香附子 X12	香附子 X1 其他雜草 X3
1月4日	馬陸 X1 其他雜草 X3 雞母蟲 X1	香附子 X6 龍眼 X1	香附子 X10 酢醬草 X5	香附子 X7 龍葵 X1	香附子 X12 酢醬草 X7 龍葵 X4	香附子 X6
1月18日	香附子 X18 酢醬草 X5 龍葵 X8 其他雜草 X2	香附子 X2 酢醬草 X1 土壤潮濕	香附子 X6 酢醬草 X5	香附子 X5 酢醬草 X3 其他雜草 X2	香附子 X9 酢醬草 X8 其他雜草 X3 白蟻將葉吃光	香附子 X8 酢醬草 X4
2月1日	香附子 X24 酢醬草 X4 蟻窩 X1	香附子 X2 酢醬草 X1	香附子 X5 酢醬草 X8	香附子 X5 酢醬草 X2 日日春 X1	香附子 X16 酢醬草 X6 其他雜草 X1 白蟻消失	香附子 X6 酢醬草 X3
2月15日	香附子 X44 其他雜草 X8 蟻窩 洞 X3	香附子 X3	香附子 X8 酢醬草 X5	香附子 X16 酢醬草 X2	香附子 X16 酢醬草 X18	香附子 X15 其他雜草 X12

土壤堆積不翻動可以增加生物數量和種類(表2)
發芽勢用大約1/3期間內種子發芽百分比來表示，發芽勢高的組別代表發芽較一致。
發芽過程中(12月21日及1月18日)兩次低溫
長期(2個半月後)堆積落葉的表層土壤對小白菜發芽率有幫助。(圖15)
有落葉堆積的實驗組別短期(1個半月)發芽勢較對照組低；長期(2個月)較對照組高
長期堆積落葉土壤對於發芽現象(發芽率和發芽勢)都是有幫助。

實驗三：葉子萃取液對土壤種子發芽率的影響

萃取液	實驗 三-1	實驗 三-2	實驗 三-4	實驗 三-5	實驗 三-6
操作變因	對照組 水	桃花心木 (乾葉)	小葉欖仁 (乾葉)	木麻黃 (新枝)	菩提 (新葉)
小白菜(發芽率)	96%	98%	95%	89%	91%
紅蘿蔔(發芽勢)	56%	38%	46%	36%	54%

短期土壤物質與原來的落葉成份應該較接近，推測與植物毒他現象有關(楊萱[3])
我們將這些不同的葉子打成汁液加在土壤的培養皿中觀察
萃取液對發芽的影響
與實驗二的初期相同(圖15)，植物的某些成份(存在萃取液中)會降低發芽率。
萃取液對土壤上小白菜種子的發芽率影響較小，而對紅蘿蔔種子發芽勢影響較大(表3)

實驗四：落葉堆積後土壤對土壤及植物影響

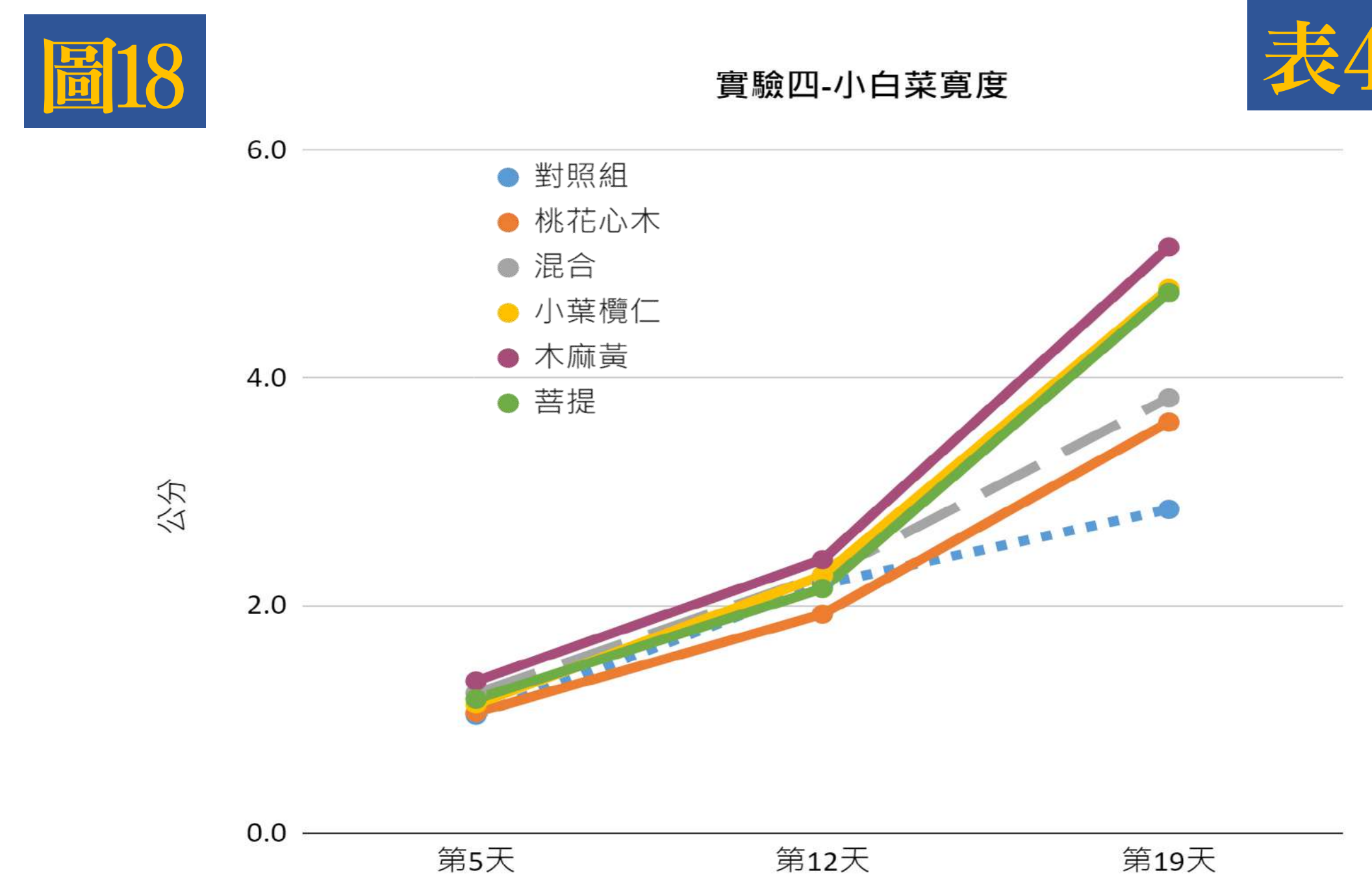
圖16 葉片堆積及土壤觀察

	葉片堆積層	土壤表層	土壤結塊
對照組 1			
桃花心木 2			
混合 3			
小葉欖仁 4			
木麻黃 5			
菩提 6			

小白菜種植

	第5天	第12天	第19天
對照組 1			
桃花心木 2			
混合 3			
小葉欖仁 4			
木麻黃 5			
菩提 6			

白蟻吃光後的粉土



實驗編號	變因	葉片堆積層	土壤表層描述
四-1	對照組	無	土壤顏色較淺、保水性較差、土壤形成大小不一的團塊
四-2	桃花心木	葉片堆疊較平整。葉片最大腐爛程度高已經腐爛成纖維。葉片由於水分流失和葉片纖維化導致葉片逐漸變小	土壤顏色第2深、土壤保水性較強、土壤形成大小不一的團塊，可見到蜈蚣及螞蟻
四-3	混合	葉片大小不同，互相找空隙疊在一起	顏色排第3深
四-4	小葉欖仁	小葉欖仁的腐爛差異大，表層只有乾燥現象但下層非常明顯、甚至有些都變成像土的小顆粒了	顏色最深，有許多葉子腐爛物質
四-5	木麻黃	因是實驗過程中再加上去的，葉堆略平，腐爛程度不易觀察(沒有看到白蟻了)。	表面殘腐爛木麻黃、土表面塊狀偏多、水分適中。普遍蟲與雜草最多。
四-6	菩提	葉堆凹凸不平，且腐爛程度皆不相同	土壤表面較乾燥、土壤顏色較淺、塊狀較小。幾乎沒有生物，只有些許雜草

小葉欖仁土壤的結塊最大溼潤度也最好，顏色也是最深的。(圖16)
白蟻快速分解後的木麻黃土壤結塊中還是看的到許多小細枝條。
對照組小白菜葉寬及生長情形都較不佳
木麻黃、小葉欖仁和菩提組的葉寬19天後都大於對照組1.5-2公分(圖18)(也許是葉子堆積分解後的養分)

討論與結論

- 自然落葉堆積和長草的土壤表層可降溫1-2°C，而且沒有落葉堆肥發酵時溫度上升(林筱凡 [1])的現象。
- 落葉堆積改變土壤的特性，土壤較鬆軟、增加含水量。短期(3個月)可影響4cm的土壤表層，較深的土壤影響還可再研究。
- 短期(1個月)可以看到植物對發芽的抑制現象，但長期(3個月後)沒有看到木麻黃對小白菜萌芽抑制(盧喬[2])和桃花心木土壤酸化現象[維基百科]，而且這些土壤還對發芽和小白菜生長有幫助。
- 落葉自然堆積3個月後就可以觀察到對小白菜發芽和生長有幫助，與堆肥有類似效果(分解速度上的差別)，考慮時間和其他成本，可以用來直接替代落葉堆肥或發酵方法。

參考資料及其他

林筱凡(2009)、林祺銘(2011)。「堆」出生機—落葉變黃金、落葉變黃金—創造永續生活。第49、51屆中小學科學展覽。
 盧喬(2012)。「剋」敵致勝—植物的相剋作用。第52屆中小學科學展覽。
 楊萱、陳姿樺、李佳樺(2019)。「無往不剋」—毒他作用對外來種的影響。第59屆中小學科學展覽。
 維基百科。桃花心木、菩提樹、木麻黃、小葉欖仁。zh.wikipedia.org

*本海報的照片由作者及指導教師拍攝

原始照片



實驗