

屏東縣第 66 屆科學展覽會

作品說明書

科別：生物科

組別：國中組



作品名稱：把落葉還給樹木~探討落葉膠囊對樹下生態的影響~

關鍵詞:落葉膠囊、土壤生態、改善土質

編號：B4015

摘要

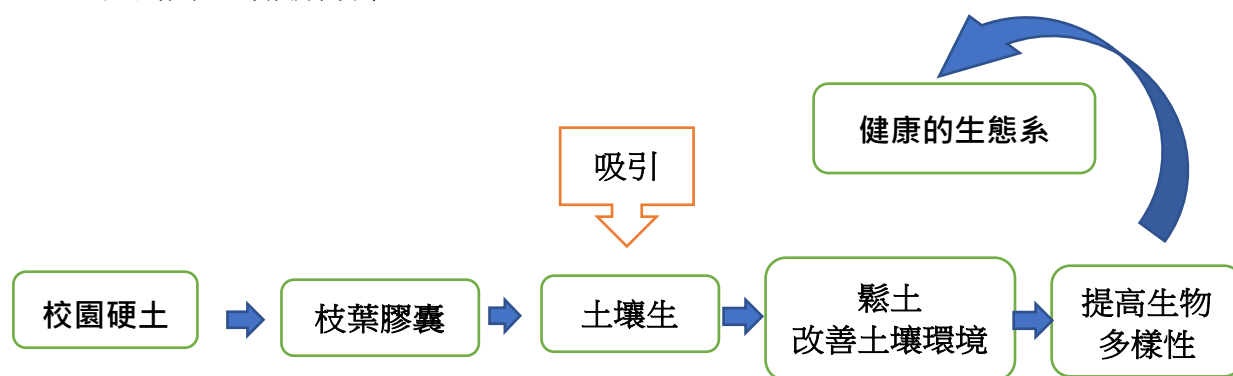
為了了解學校落葉堆積對土壤和生物會有什麼影響，我們使用學校桃花心木的落葉，製成各種大小和堆積密度的落葉膠囊，觀察它們長期堆放在不同的地點的分解情形；另外收集這些落葉膠囊下的土壤，觀察土壤的各種性質在隨時間變化情形；將膠囊中的落葉加到土壤裡，最後用堆積後的土壤種小白菜，觀察小白菜的生長情形。結果顯示初期落葉層對土壤溫度有明顯降溫效果，對土壤的水分、酸鹼值、生物、結構也有影響。1 個月內落葉堆積的土壤和落葉的萃取液會抑制小白菜的發芽，但兩個月後影響不明顯，而且對小白菜的發芽和成長有幫助。將落葉放到膠囊中，不僅可以加速落葉分解、改善土質、廢物利用也可以使環境變得整潔美觀。實驗過後，我們發現沒樹沒草的原土在全部的土壤性質數值都是最高的，土質最肥沃。沒樹有草的原土土壤顆粒較大，對植物生長有幫助。不同環境的落葉膠囊、尺寸對酸鹼值影響不大。有樹有草 25cm 的膠囊對土壤最有顯著的改善；其他環境則是使用 20cm 的膠囊最佳。有樹沒草的環境經過膠囊的改質土壤顆粒最大。沒樹有草的落葉膠囊大多的落葉分解情況最好，尤其是 25cm 的膠囊，可見生物聚集和沒有樹蔭的遮擋和對落葉分解有幫助，落葉堆肥廠若是使用水泥建造則不意落葉分解，所以適合設置在沒樹有草的環境。我們還發現水分和生物會增加落葉分解的速度。沒樹沒草的土壤經過膠囊改良之後發芽率佳，有樹有草的土壤讓植物葉片長度較長。

壹、前言

一、研究動機

校園樹木到了秋冬的季節會產生大量的落葉，葉子落滿地除了沒有美感外，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，希望達到圖一的預期效果。



圖一 落葉膠囊土質改善預計效果圖



圖二 校園圖

二、 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，於是萃取葉子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葉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 6 個：

- 一、 探討學校不同環境的土壤特性
- 二、 探討不同尺寸的落葉膠囊對土壤特性的影響
- 三、 探討不同環境對生物群落的影響
- 四、 探討澆水以及不同環境和尺寸落葉膠囊的對落葉分解的影響
- 五、 探討有土壤的環境與水泥地對落葉分解的影響
- 六、 探討不同尺寸落葉膠囊的土壤對植物生長之影響

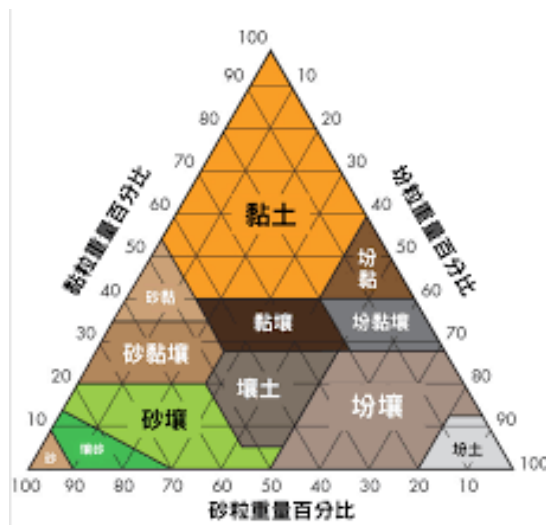
三、文獻探討

土壤固體物質是土壤的主要結構，要了解土壤固態物質需從物理形態及化學成分兩方面探討。

1. 土壤固體物質的粒徑

土壤科學家所指土壤通常指粒徑小於 2 毫米(mm)顆粒者，然而土地中固態物質尚包括粒徑較大的石礫、石塊或岩石。直徑小於 2mm 之顆粒進一步細分為砂、粉粒(0.05-0.002mm)及粘粒(<0.002mm)。在土壤科學家的研究中，砂更細分為極粗砂(2.0-1.0mm)、粗砂(1.0-0.5mm)、中砂(0.5-0.25mm)、細砂(0.25-0.10mm)及極細砂(0.10-0.05mm)，粘粒中更細到小於 0.0002mm 者已達膠體狀態。

土壤因三種粒徑顆粒分配較適當，此種土壤不僅排水較好，肥力也不錯，種一般作物都很適當。砂質土壤雖然土壤排水性好或排水過量，種植不耐浸作物如西瓜、黃瓜、蕃茄、花生等相當好，然而此種土壤因粘粒含量少，保肥力不好比較浪費肥料，而且施肥必須嚴守少量多次，作物才能得高產量。相對的粘土土壤雖然因土粒細保肥力較大，但是通氣性及排水不良而一般旱作作物都較危險。所以砂土及粘土都要多施堆肥 用提高土壤有機質的方法改良之。

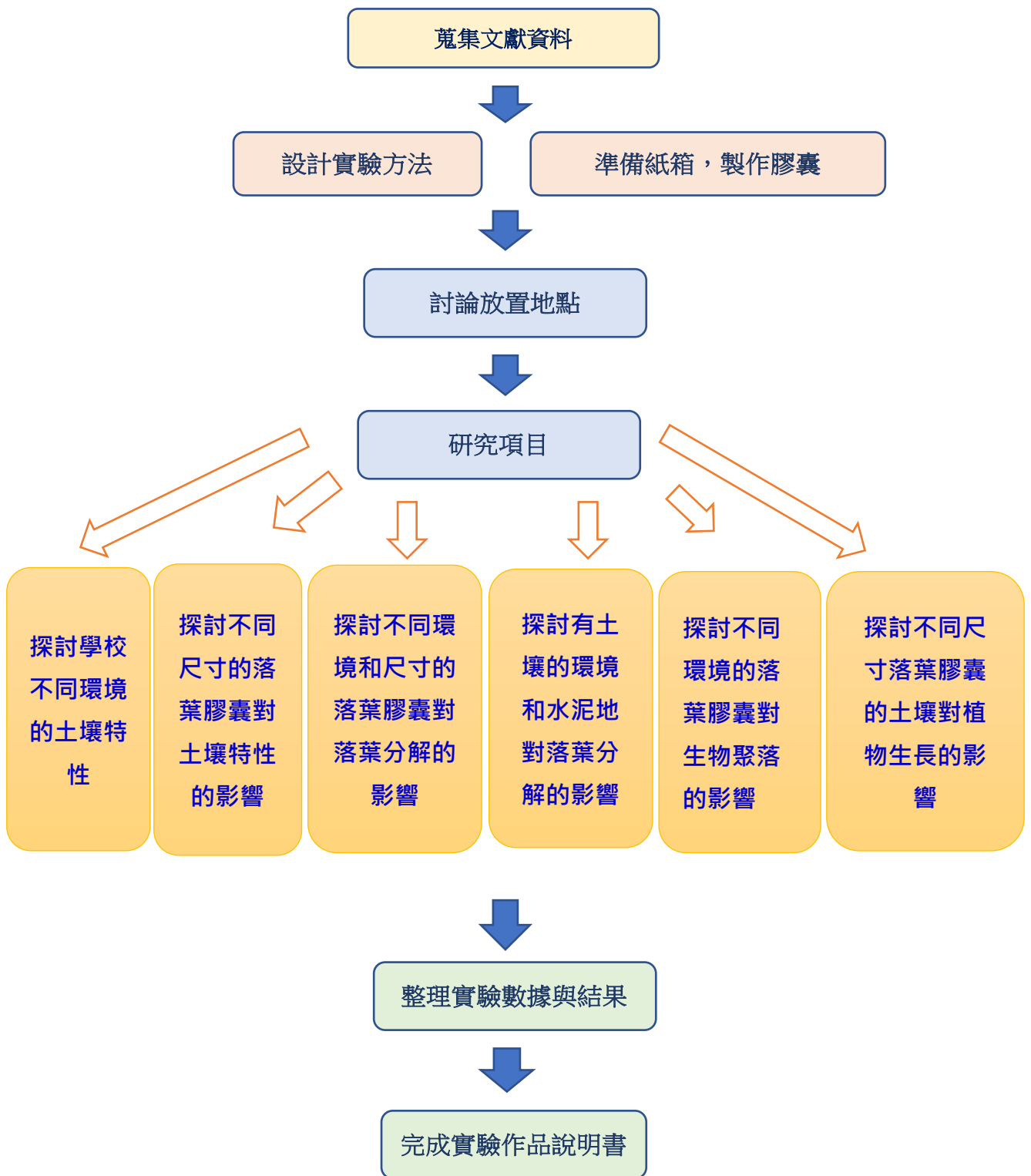


圖三 土壤質地三角座標圖

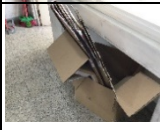
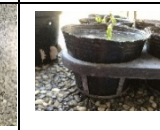
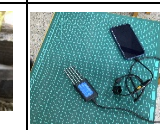
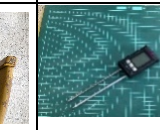
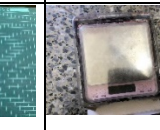
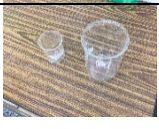
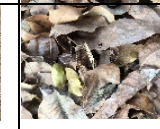
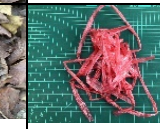
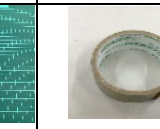
2. 土壤在植物及微生物的固定作用

- (1).微生物的養分固定與「氮飢渴」現象 在土壤生態學中，養分固定作用是指土壤中容易流失的無機態養分（如游離的氮、磷、鉀離子），被土壤微生物或植物根系吸收後，轉化並儲存於其細胞組織（如蛋白質、核酸）中的過程。當土壤中被加入如「落葉」這類高碳氮比（C/N Ratio）的有機質時，微生物為了分解這些豐富的碳源會開始大量繁殖。然而，由於落葉本身的氮、磷等元素不足以應付微生物的生長需求，微生物便會強勢地將周遭土壤中原有的無機養分吸收進自己體內。這個過程被稱為「微生物的養分固定作用」，在農業生態中常被俗稱為「氮飢渴（Nitrogen Starvation）」。
- (2).生物間的養分競爭與長效物質循環 當固定作用劇烈發生時，微生物群落會與植物根系產生強烈的「養分競爭」。由於微生物體積小且數量龐大，其吸收效率遠大於植物幼苗，這會導致植物因缺乏游離態養分而生長受阻，並使土壤在初期的化學檢測上呈現導電度（EC）與肥力下降的現象。然而，從生態保育的角度來看，這並非養分的永久流失，而是養分從「容易被雨水淋溶流失的化學態」，被安全地鎖進了「生物態」之中。待有機質被分解殆盡，微生物因缺乏食物而死亡代謝時，這些被固定的養分便會透過「礦化作用（Mineralization）」再次大量且緩和地釋放回土壤中，完成土壤生態系中最重要物質長效循環。

貳、研究流程



參、實驗物品及器材

小白菜種子	紙箱	澆水器	小花盆	土質檢測器	溫溼度計	電子秤
						
燒杯	篩子	鋤頭	桃花心木樹葉	尼龍繩	膠帶	美工刀
						

表一 器材名稱表

肆、研究方法與過程

一、 探討學校不同環境的土壤特性

1. 取學校不同環境(有樹有草、沒樹有草、有樹沒草、沒樹沒草)500g 的土壤
2. 將 300g 的土利用土壤檢測儀器，檢測土壤的性質(電解度、酸鹼值、氮、磷、鉀、肥力)
3. 利用 200g 的土利用篩子，檢測土壤的顆粒大小
4. 比較學校不同環境土壤的特性，了解其土壤特性的差異

二、 探討不同尺寸的落葉膠囊對土壤特性的影響

1. 製作膠囊和測量 100g 的落葉
2. 將不同尺寸的落葉膠囊放入 100g 落葉，並將它放在學校不同環境(有樹有草、沒樹有草、有樹沒草、沒樹沒草)，放五周後，再取 500g 的土壤(其餘步驟同實驗一步驟(二)~(四))



圖四 膠囊製作流程圖

三、 探討不同環境和尺寸落葉膠囊的對落葉分解的影響

1. 製作膠囊和測量 100g 的落葉
2. 將不同尺寸的落葉膠囊放入 100g 落葉，並將它放在學校不同環境(有樹有草、沒樹有草、有樹沒草、沒樹沒草)
3. 放五周後，秤量剩餘落葉質量，再算出分解質量(g)
4. 比較不同尺寸的落葉膠囊的落葉在學校不同環境的分解情況，了解其樹葉分解的差異

四、 探討不同環境落葉膠囊對生物群落的影響

1. 步驟同實驗三步驟(一)(二)
2. 觀察膠囊中的生物，了解其生物群落的差異

五、 探討有土壤的環境和水泥地對落葉分解的影響

1. 製作膠囊和測量 100g 的落葉
2. 將 15cm 的落葉膠囊放入 100g 落葉，並將它放在學校不同環境(如右圖:有樹有草、沒樹有草、有樹沒草、沒樹沒草、水泥地)
3. 放五周後，秤量剩餘落葉質量，再算出分解質量(g)
4. 比較不同環境的落葉膠囊的落葉內在學校不同環境的分解情況，了解其樹葉分解的差異



校園四種不同環境:
YY:有樹有草、YN:有樹沒草、
NY 沒樹有草、NN 沒樹沒草

圖四 四種土壤環境圖

六、 探討不同尺寸落葉膠囊的土壤對植物生長之影響

1. 製作不同尺寸膠囊和測量 100g 的落葉放在校園不同環境
2. 放五周後，取膠囊下 190g 的土及 10g 的落葉，和 200g 的空膠囊的土
3. 種下 5 顆小白菜種子，每兩天澆一次水，一次 100c.c
4. 兩周後記錄其發芽率
5. 四周後記錄其生長高度



圖五 觀察植物生長

肆、實驗結果與討論

一、探討學校不同環境的土壤特性

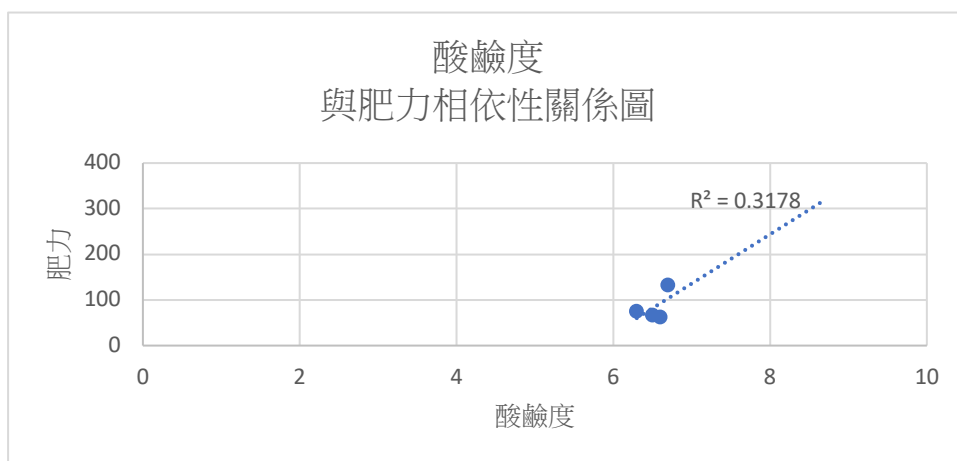
我們發現學校的土地有些很光禿，有些生物很多，也許落葉可以改善這些土壤問題，我們找了校園四個地區分別為有樹有草（YY）、有樹沒草（YN）、沒樹有草（NT）、沒樹沒草（NN）。先進行土壤性質檢測，在日後放落葉膠囊後，才能比較膠囊的有無，是否對土壤的性質有所改善。

首先我們分別使用 PH 計以及土質檢測器，量測實驗前土壤環境的酸鹼度、電解度、酸鹼度，以及氮、磷、鉀各元素在肥力的綜合測量，如表二。並且透過各項指標與肥力間的相依性做圖，如圖六～圖十，可以發現在鉀、磷、氮與電解度這四個指標與肥力的相關係數都大於 0.99。在接下來的實驗中就可以針對這電解度的改善變化作為土壤改善的證據。

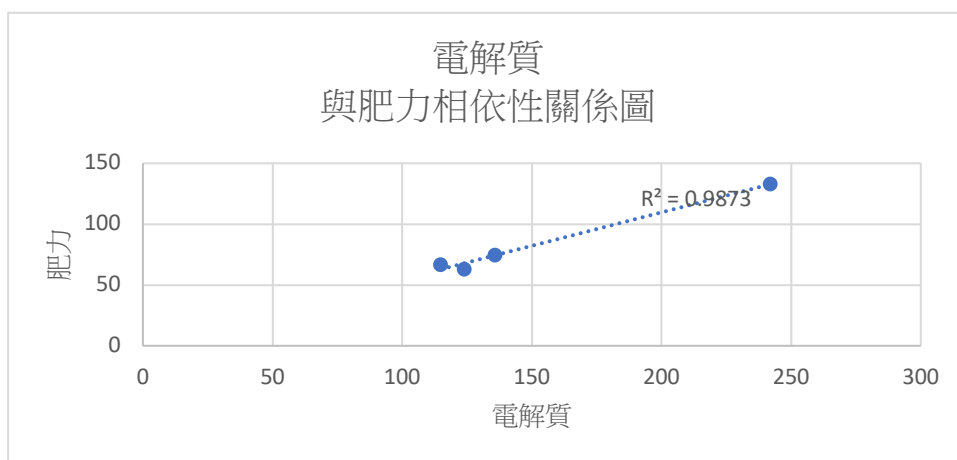
不僅是土壤內容物的檢測，也對環境土壤在物理性上做顆粒粒徑分析，在取相同 200 克的土壤進行粒徑的篩選，共分為 10 目以上、10 目～300 目、300 目以下共三種尺寸如表三，並透過粒徑質量與肥力的相依性做圖如圖十一～圖十三。在 10 目以上相關係數在 0.78，因為植物的出現，在根際的分泌物會使得土壤出現土壤團粒，有較多在 10 目以上的顆粒出現，研判在有大顆粒的情況下可以給予土壤層空隙以利疏水性。再來是 300 目以下更是提升至 0.89，在土壤化學裡，細粒的土壤會有出現「陽離子交換能力（CEC）」，能有效吸附並鎖住大量的陽離子養分，使其不易被水分淋溶流失。因此我們也可透過目數來作為土壤改善的證據。

原土	YY	NY	YN	NN
酸鹼值	6.3	6.6	6.5	6.7
電解度	136	124	115	242
氮	6	5	6	12
磷	9	8	8	16
鉀	21	18	19	38
肥力	75	63	67	133

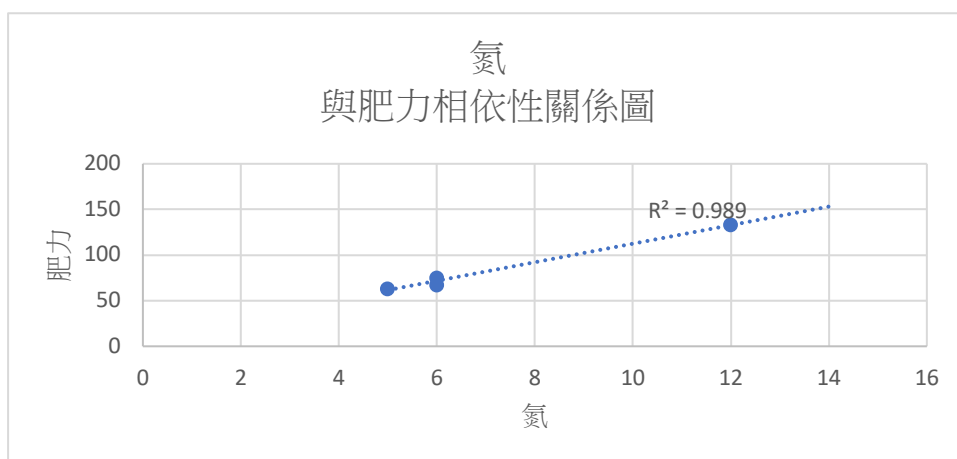
表二、不同環境原土的電解度、酸鹼值、肥力等一覽表



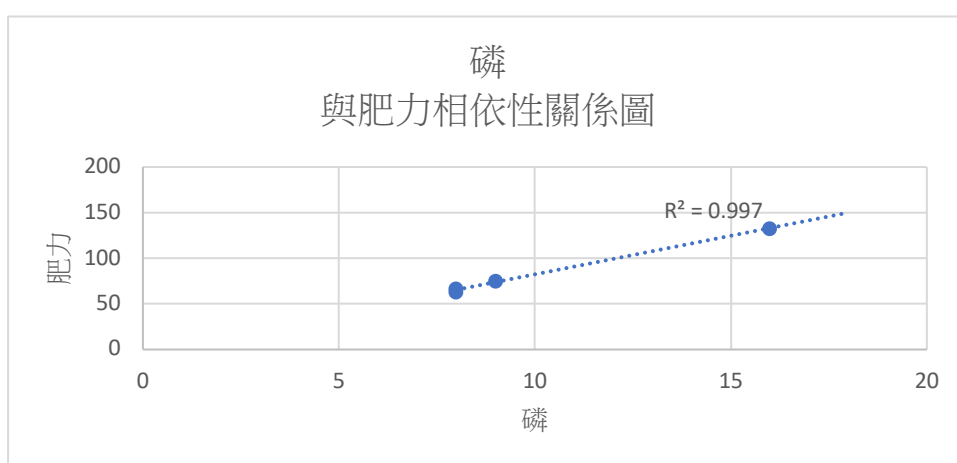
圖六



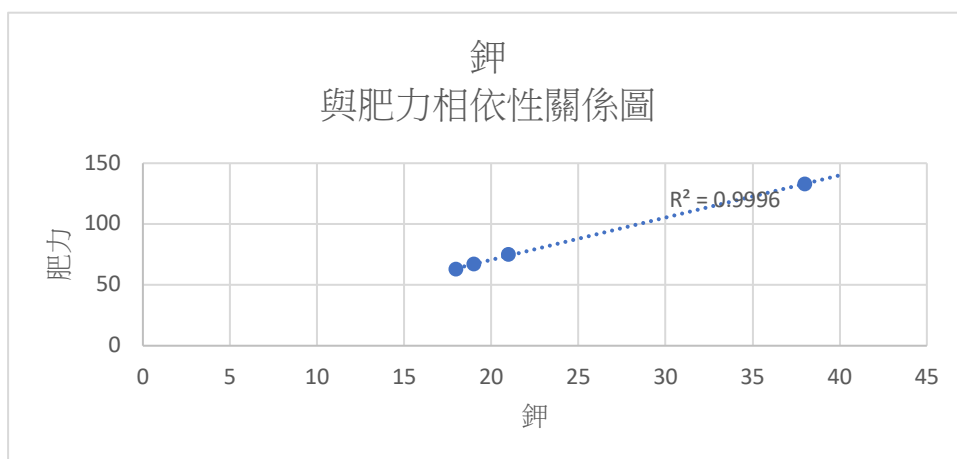
圖七



圖八



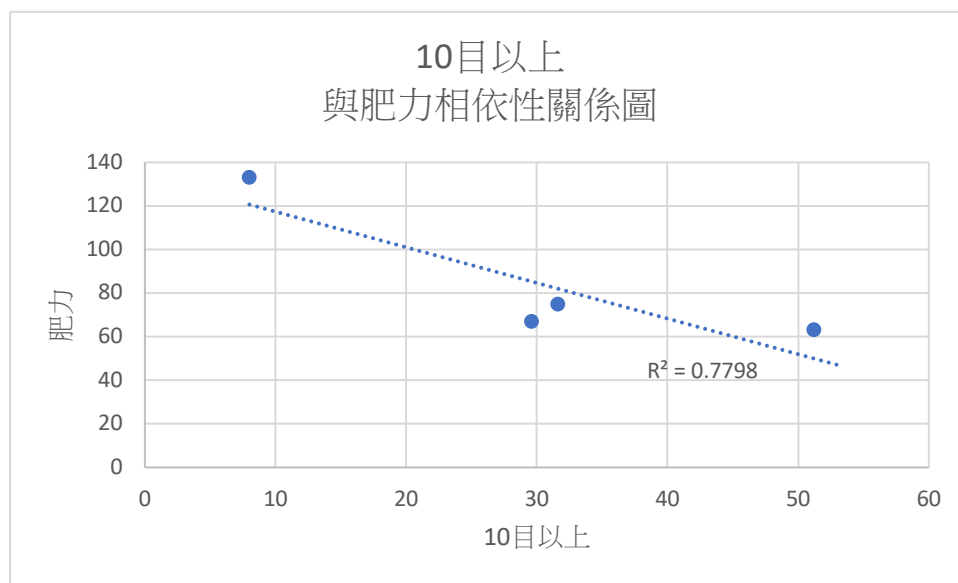
圖九



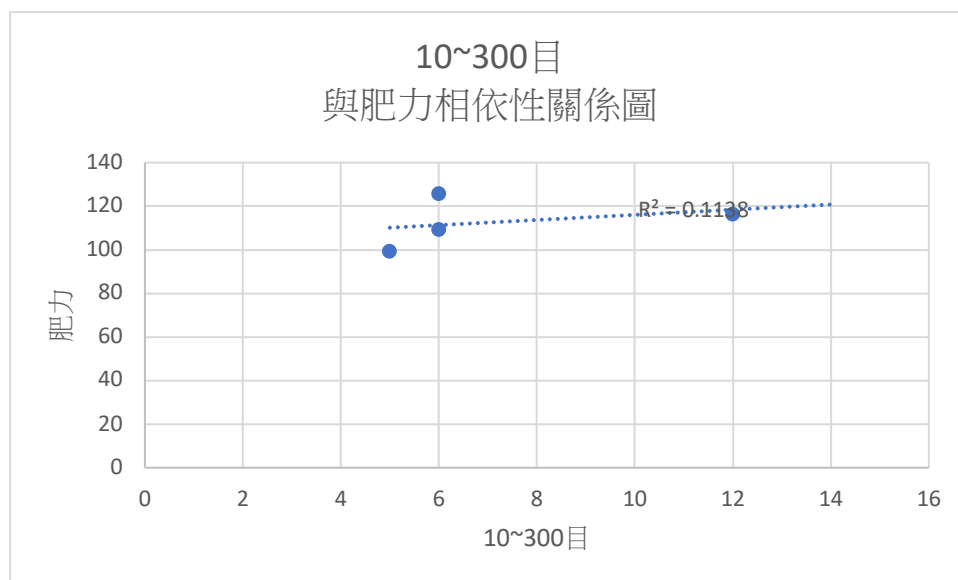
圖十

原土	YY	NY	YN	NN
10 目以上(g)	31.6	51.2	29.6	8
10~300 目(g)	109.5	99.3	125.8	116.6
300 目以下(g)	58.9	49.5	44.6	75.4

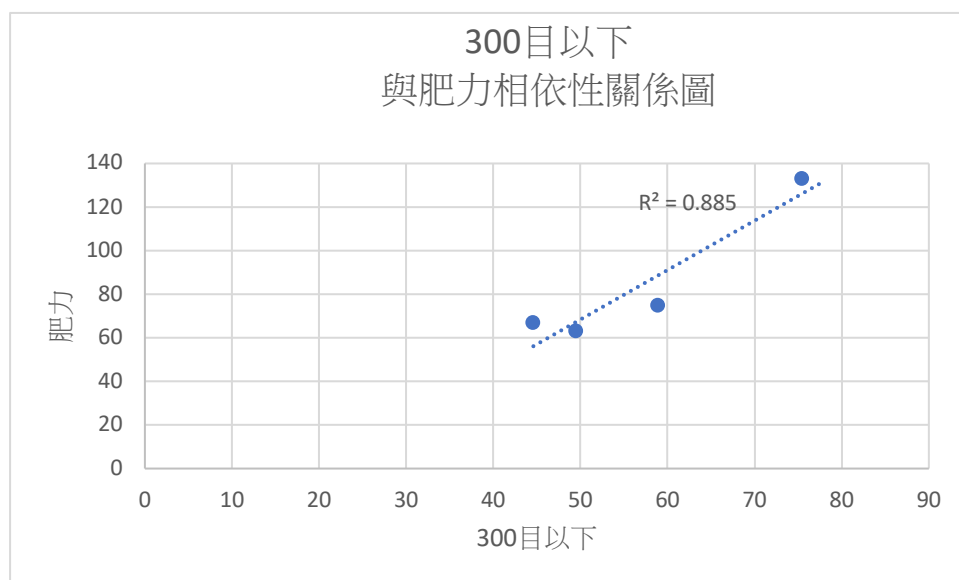
表三 不同環境原土的土壤顆粒大小



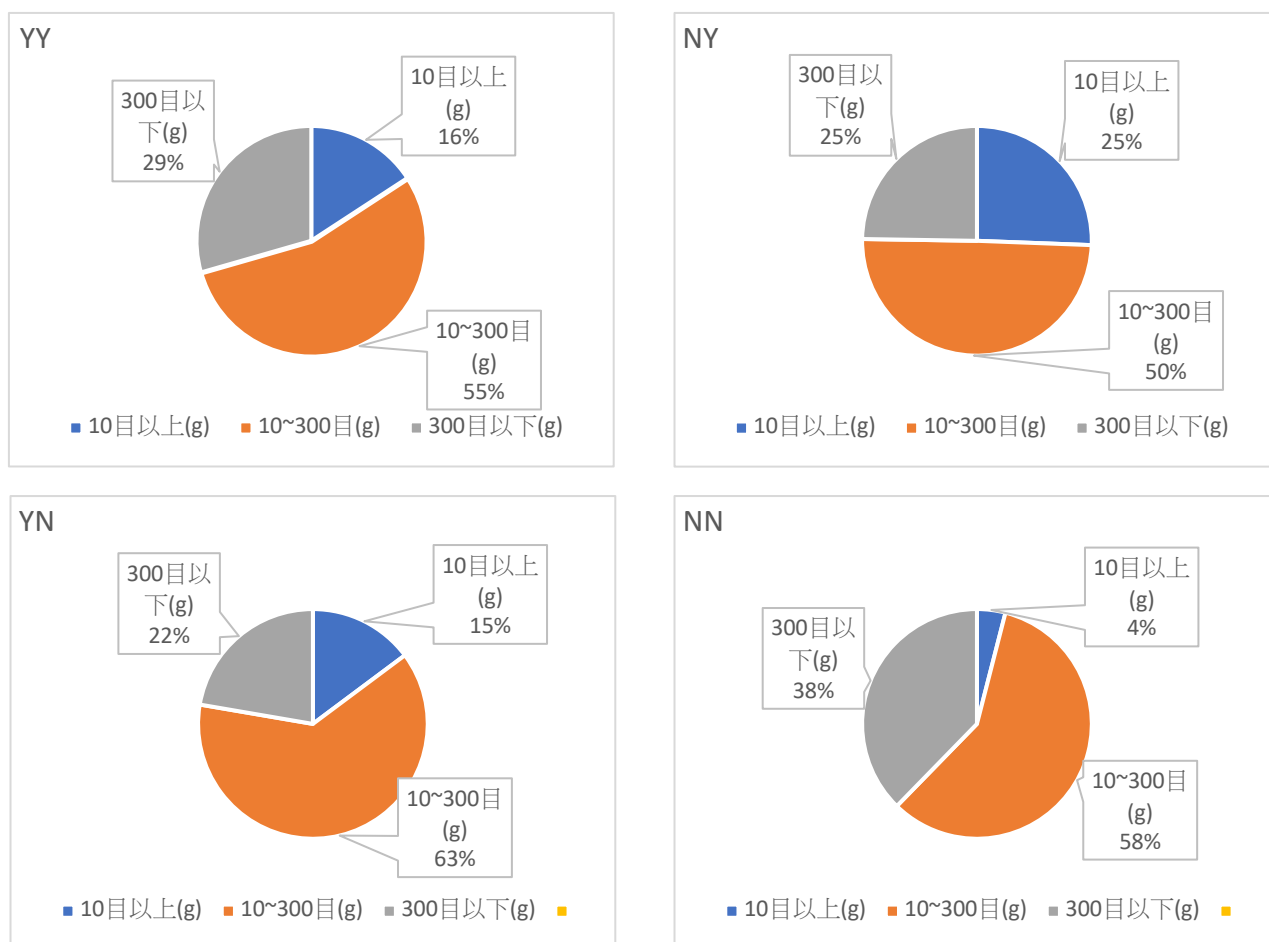
圖十一



圖十二



圖十三



圖十四

二、 探討不同尺寸的落葉膠囊對土壤特性的影響

由研究目的(一)我們了解原土土壤的性質，接著透過不同尺寸的膠囊，來對土質進行改善，我們將分別製作 15 cm、20 cm、25 cm 三種尺寸的膠囊。在四種不同的土質環境裡，測量結果如表四～表七。

在研究目的(一)裡我們得到可以從肥力以及粒徑大小的質量數來做土質改善的依據分析，從肥力的比較上發現，YY 雖無顯著變化，但與 YN 中有隨著膠囊尺寸的增加，有肥力增加的趨勢，但與原土壤相比，卻是呈現下降的，代表圖如中的氮、磷、鉀等因素造成的肥力其實是減少的。NN 當中也是整體肥力是下降，甚至並未依照尺寸呈有序變化，在 20 cm 有最高值，但隨即在 25 cm 中下降至比 15 cm 時還低。僅有 NY 是有如預期的對土質逕行改善，但肥力變化的趨勢也與 NN 相同。

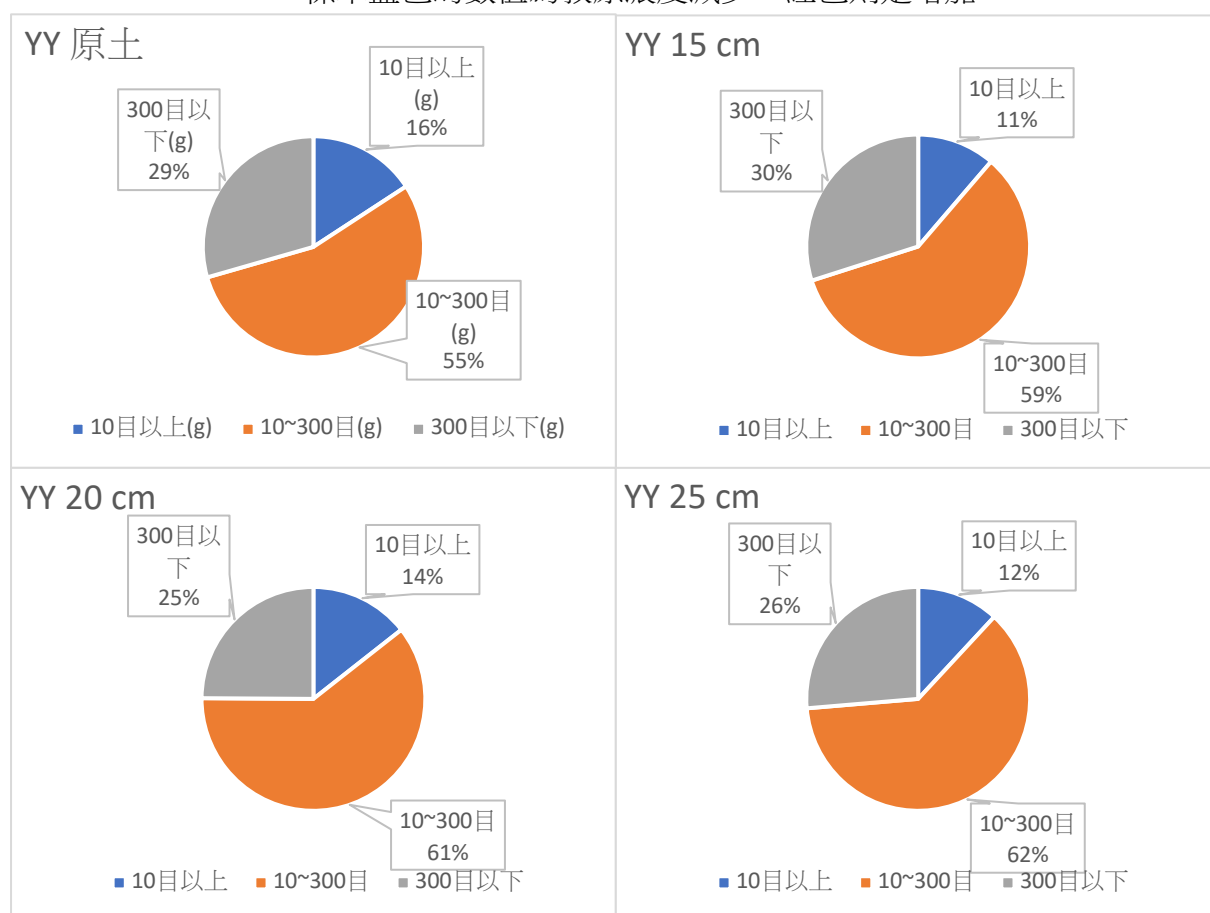
但這並不代表對土壤改值得失敗，而是當落葉進行分解時，會引入微生物進行分解，在這當中微生物會需要消耗大量環境中的養分行程俗稱氮飢渴的「微生物養分固定作用」，不僅是氮元素，對於磷以及鉀消耗也是如此。這對我們的土壤改質添增了另一項機制，那就是從化學肥力(氮磷鉀的電解質指標)轉為「生物態養分」。

在土壤顆粒上的表現，當微生物出現時，也會出現植物根際分泌物類似的造粒作用，使得 300 目以下顆粒量減少，形成更大的顆粒。為了驗證此物理轉化機制，我們將各環境中施放膠囊後的 300 目以下與 10 目以上質量進行分析。從圖十九～圖二十二中可明顯觀察到，四組環境的趨勢線皆呈現標準的右下傾斜（強烈負相關）。其決定係數（ R^2 ）均呈現極高的數值，其中 NY 區高達 0.9905，NN 區達 0.9402，YN 與 YY 區分別也有 0.8733 與 0.7332。雖然消耗了游離的細粒導致整體肥力下降，卻成功疏鬆了土壤，大幅增加了大孔隙與透氣性。

YY	15cm	20cm	25cm	原濃度
酸鹼值	6.7	6.5	6.2	6.3
肥力	68	61	74	75
10 目以上	22.6	28.8	23.9	31.6
10~300 目	117.6	121.4	124	109.5
300 目以下	59.9	49.8	52.9	58.9
導電度	125	110	135	136
N	6	5	6	6
P	8	7	9	9
K	20	17	21	75

表四 不同尺寸的落葉膠囊放在 YY 的各項數值

※標示藍色的數值為教原濃度減少，紅色則是增加

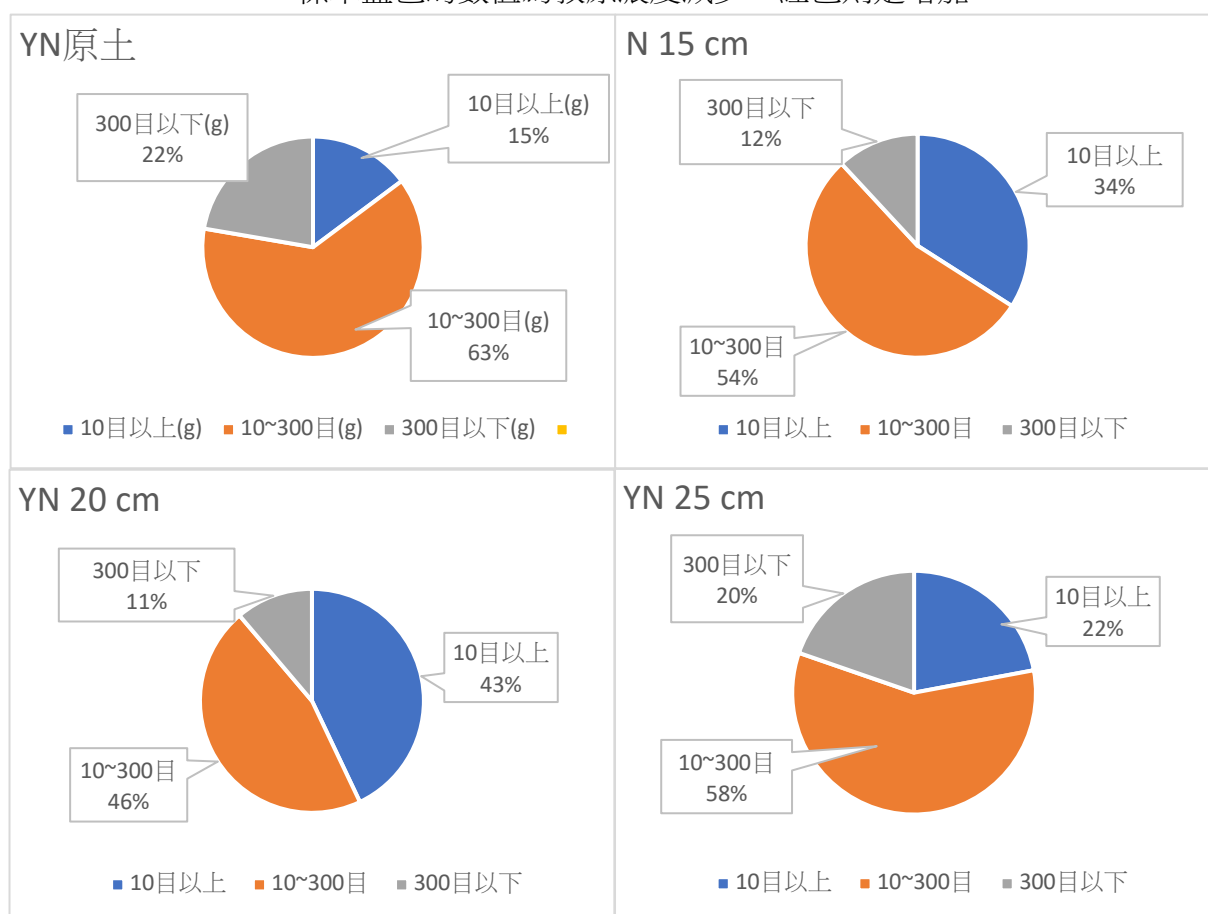


圖十五

YN	15cm	20cm	25cm	原土
酸鹼值	6.3	6.4	6.2	6.5
肥力	47	58	56	67
10 目以上	68.1	85.9	44.1	29.6
10~300 目	108.1	91.7	116.5	125.8
300 目以下	23.8	22.4	39.4	44.6
導電度	87	104	102	115
N	4	5	5	6
P	7	7	6	8
K	13	16	16	19

表五 不同尺寸的落葉膠囊放在 YN 的各項數值

※標示藍色的數值為教原濃度減少，紅色則是增加

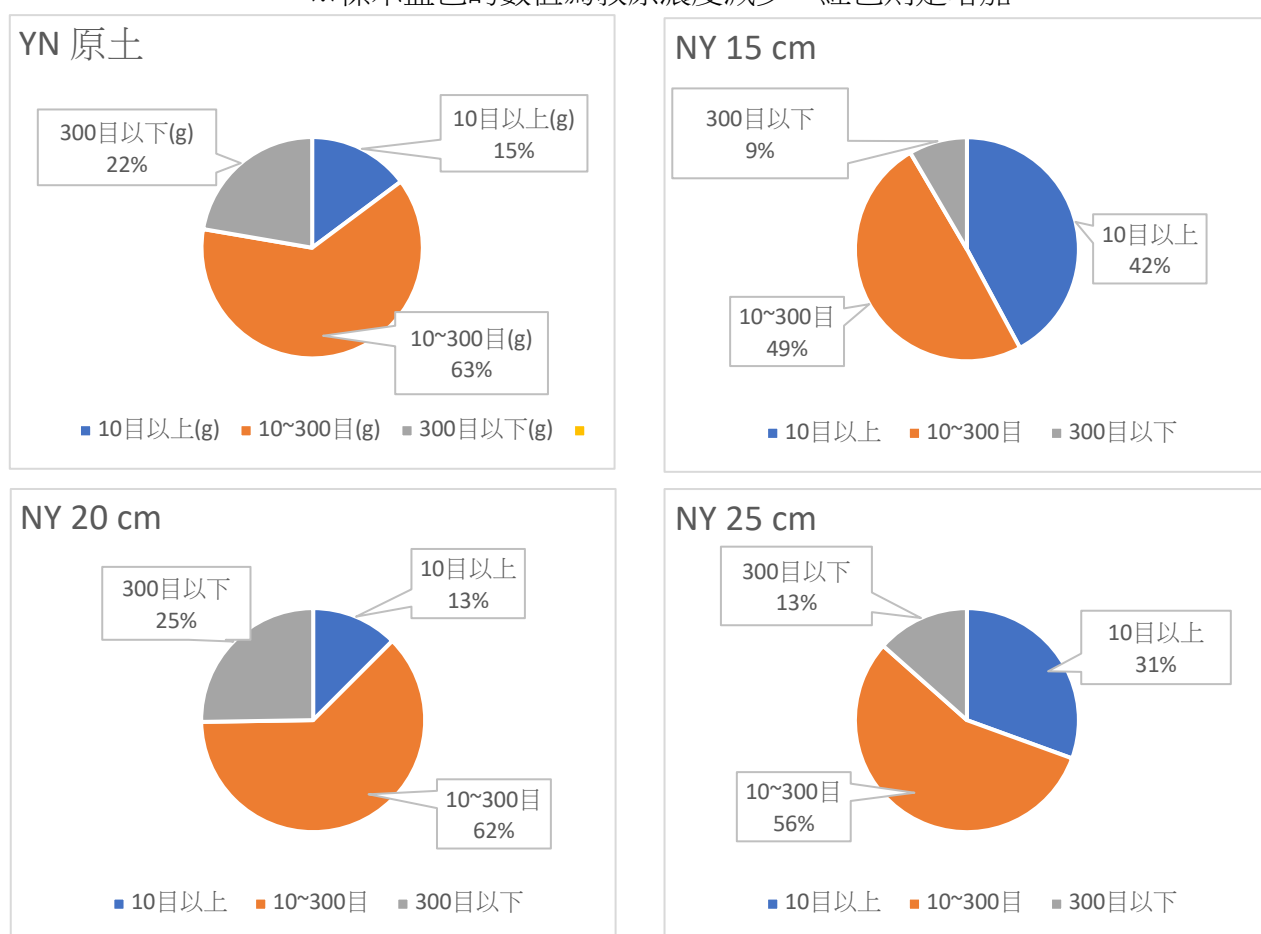


圖十六

NY	15cm	20cm	25cm	原土
酸鹼值	6.8	6.2	6.6	6.6
肥力	106	156	96	63
10 目以上	83.9	25	61.1	51.2
10~300 目	98.4	124.5	112	99.3
300 目以下	16.8	50.5	26.9	49.5
導電度	190	285	176	124
N	9	14	8	5
P	13	19	12	8
K	30	45	28	18

表六 不同尺寸的落葉膠囊放在 NY 的各項數值

※標示藍色的數值為教原濃度減少，紅色則是增加

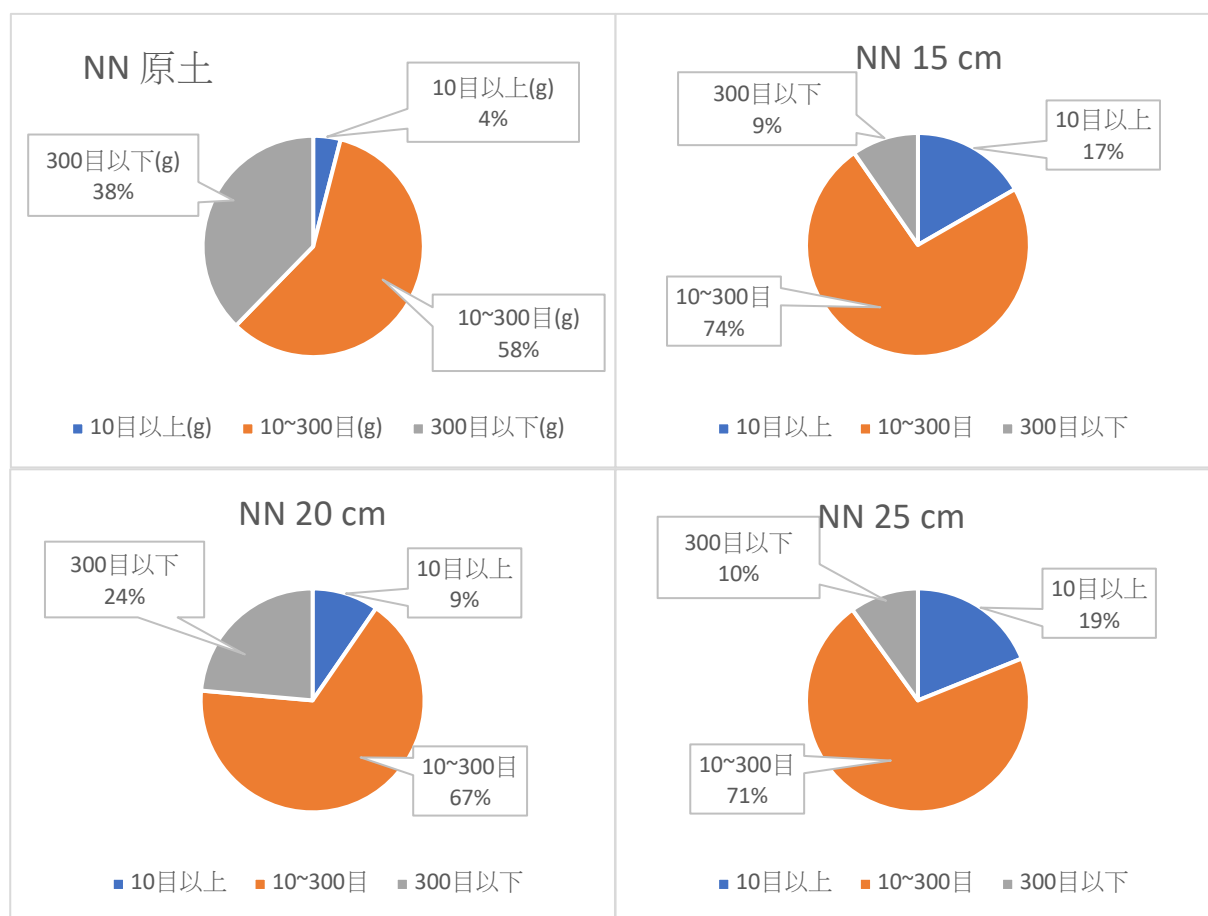


圖十七

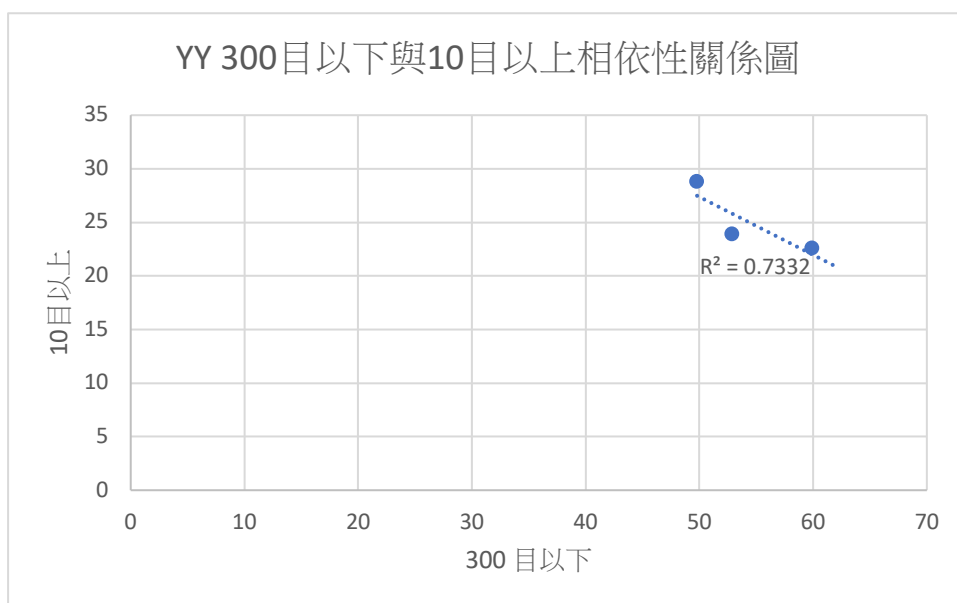
NN	15cm	20cm	25cm	原土
酸鹼值	6.7	6.6	6.7	6.7
肥力	64	103	57	133
10 目以上	33.4	19.2	37.8	8
10~300 目	147.3	133.6	142.3	116.6
300 目以下	19.3	47.2	19.9	75.4
導電度	118	186	104	242
N	5	9	5	12
P	8	13	7	16
K	18	29	16	38

表七 不同尺寸的落葉膠囊放在 NN 的各項數值

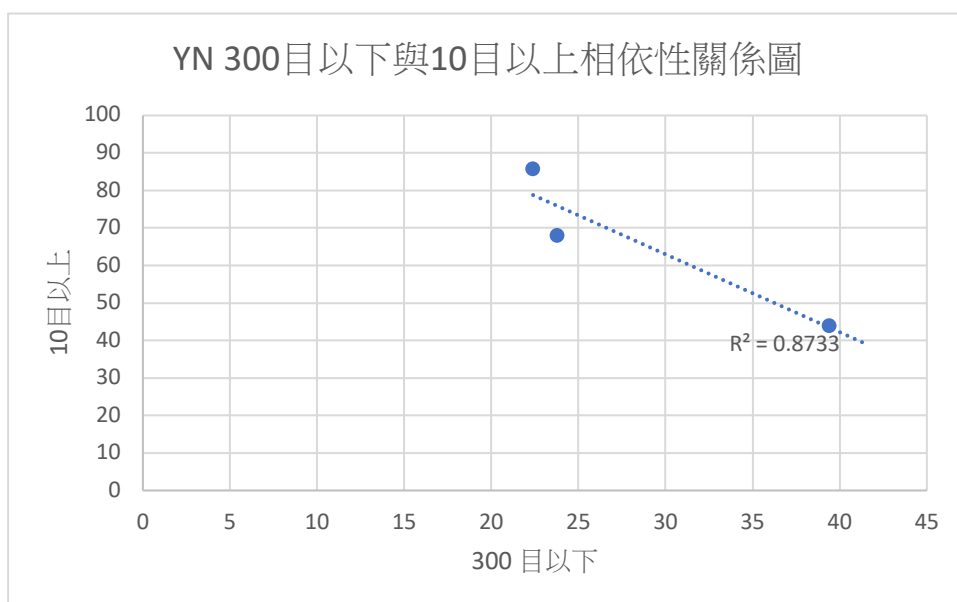
※標示藍色的數值為教原濃度減少，紅色則是增加



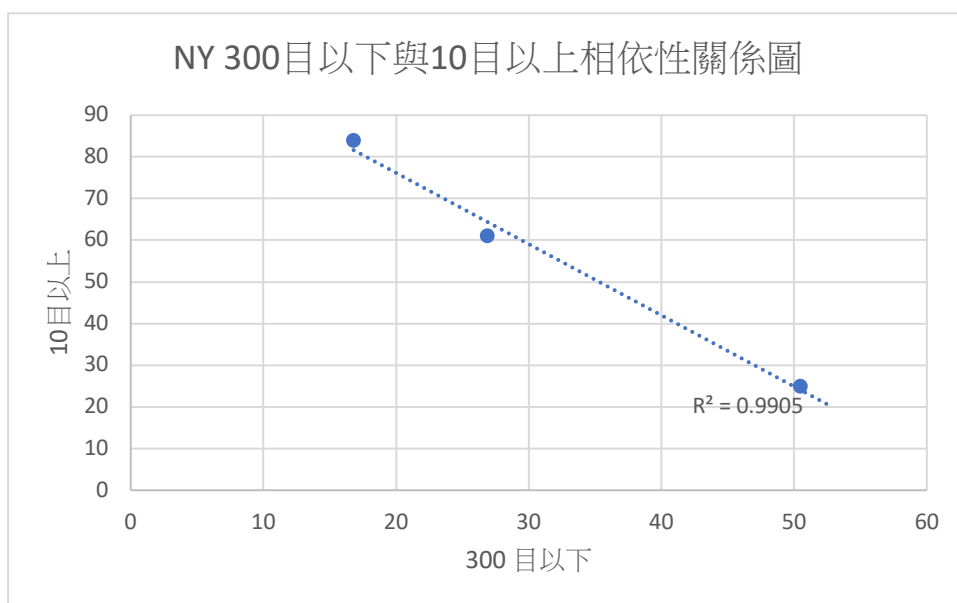
圖十八



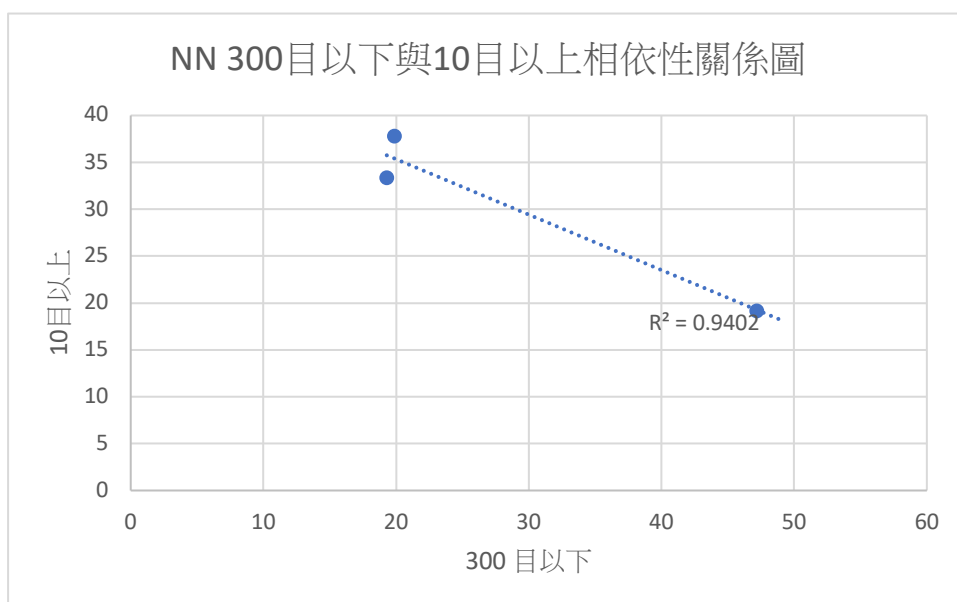
圖十九



圖二十



圖二十一



圖二十二

三、 探討不同環境對生物群落的影響

由於我們發現膠囊中開始出現一些生物，我們想知道不同尺寸的膠囊生物群是否有差異？在 NY 根祭環境吸引了全場最多的大型分解者如雞母蟲與螞蟥。這些大型碎食者快速啃食落葉膠囊，並排泄出大量富含游離態氮、磷、鉀的蟲糞代謝物。這種「生物急速礦化作用」，直接將大分子有機質轉化為極易溶於水的速效養分。這種生物性爆發釋放的離子濃度，完全覆蓋並超越了因 CEC 下降而流失的保肥力限制，成為拉抬導電度與肥力的絕對主力。也能合理解釋透過昆蟲對於土質粒徑的破壞，在 NY 20 cm 中的 10 目以上數據的下降反常得到解釋。



圖二十三不同環境的生物聚落

	甲蟲	蜘蛛	蜈蚣	雞母蟲	螞蟥	備註
YY	++	++	X	X	++	物種多 生物數量中等
YN	X	+	X	X	+++	物種中等 生物數量多
NY	X	+	++	+++	+++	物種多 生物數量多
NN	X	++	X	X	+	物種較少 生物數量較少

(+++多、++中、+少、X 無)

表八 不同環境的生物聚落分布情形

四、 探討澆水以及不同環境和尺寸落葉膠囊的對落葉分解的影響

在探討落葉膠囊如何改善土壤，我們也須先確認膠囊是否能有效分解落葉。本討論透過在 15 cm 控制水分作為討論以及膠囊尺寸 15 cm、20 cm、25 cm，來量化落葉的分解，探討不同環境下的物質循環速率，如表九。可以將植物發芽所需的土壤養分來源視為以下

$$\text{土壤養分} = (\text{土壤 CEC} + \text{膠囊釋放養分}) - (\text{原環境植物競爭} + \text{微生物分解造成的養分競爭})$$

我們統一落葉在總量 100g 不變下，直徑越小（15 cm）代表接觸面積越小、厚度越厚且保濕度越高；直徑越大（25 cm）則代表接觸面積最大、厚度最薄且水分易蒸發。

可以看到澆水的有無，無論在何中環境下都可得到，澆水會有助於落葉的分解，因此也對所有尺寸都澆以定量的水來探討不同環境的分解量。而水分是礦化作用的重要關鍵，YY、NY 在有植被、擁有良好保濕的保水環境中，接觸面積變成對大的因素，能讓最多生物同時分解，因此在大尺寸有最高分解量。而 YN 則是因為樹木深根強力競爭水分，膠囊攤得太薄容易乾燥，反而厚度最高、最能保水的 15 cm 膠囊成為該區分解量最高的尺寸。至於 NN 缺乏植被遮蔽的裸土環境，25 cm 蒸發過快導致微生物活性受阻，唯有 20 cm 膠囊取得了厚度保水與面積接觸的最佳物理平衡，達到該區最高分解量。值得注意的是，高分解量代表大量碳源被消耗，同時也意味著極高強度的「微生物養分競爭」，這將直接影響下一階段的植物生長。

落葉分解量	15 cm	20 cm	25 cm	沒澆水
YY	36.5	36.3	46.6	29.7
YN	42	36.8	34	29.9
NY	35	47.6	49.6	22
NN	26.9	35.7	25.1	15.8

表九 不同尺寸和環境落葉膠囊的落葉分解情況

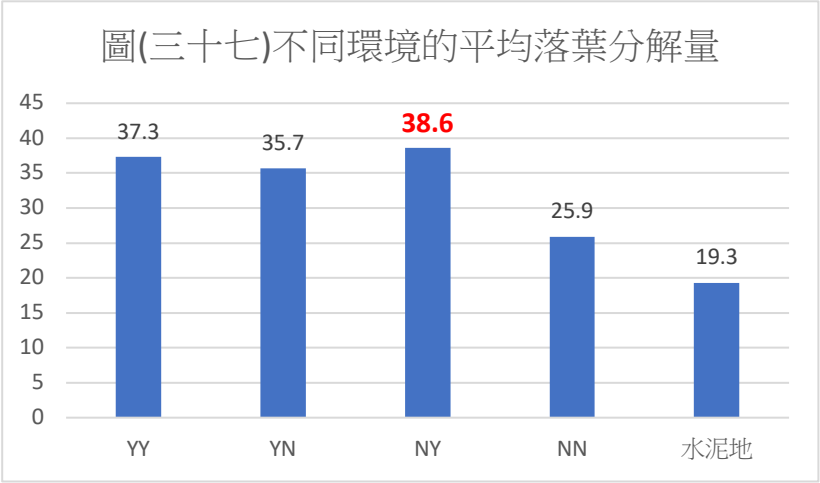
五、 探討有土壤的環境與水泥地對落葉分解的影響

為了進一步驗證落葉膠囊在校園環境改善上的實際推廣價值，我們將各環境中不同尺寸膠囊的落葉分解量進行平均，並與學校的水泥地進行對照比較。數據顯示如表十，植被區的平均分解量表現優異，NY 區平均高達 38.6g，YY 與 YN 區亦分別有 37.3g 與 35.7g；即便是缺乏保水力的 NN 裸土區也有 25.9g。反觀水泥地上的落葉，其平均分解量僅有 19.3g，為全場最低。

水泥地不僅無法保水，更造成了嚴重的生態斷層。集中堆置在水泥地上的落葉，完全阻斷了與底層土壤微生物及昆蟲的接觸途徑。同時，落葉腐熟後釋放的少量養分，也無法進入土壤的陽離子交換系統中被儲存，僅會隨雨水流失在柏油與水泥縫隙中。證明了將落葉以膠囊形式埋入土中的分解效率遠勝於現行的水泥地堆置。

不同環境	平均
YY	37.3
YN	35.7
NY	38.6
NN	25.9
水泥地	19.3

表十



圖二十四

六、 探討不同尺寸落葉膠囊的土壤對植物生長之影響

透過討論一～討論四，可以知道在土質改善上受土壤粒徑影響肥力，而粒徑又受微生物以及昆蟲族群進駐影響，三者之間都有著交互作用影響。因此我們想知道這些改值得結果，最終是如何對小白菜的發芽率和生長有影響。以下是小白菜種在不同性質的土壤發芽率的變化的改變情形，如表十一。

首先未施放膠囊的原土對種子極為嚴苛，YY 與 NY 區的發芽率僅有 20%。但在加入 15 cm 與 20 cm 膠囊後，各區發芽率顯著提升至 60% 甚至 100%，這證明膠囊創造的粗團粒結構，為日後在膠囊下方土壤進行栽種時，成功為脆弱的種子提供了穩定且保濕的發芽緩衝區。

接著是葉片長度，探討不同環境的最佳生長尺寸，如表十二。在高植物競爭環境（YY、YN、NY）中，原先已有植物在搶奪養分，若使用分解最快的 25 cm 大膠囊，會引爆強烈的微生物繁衍，導致嚴重的「氮飢渴」。在原植物與微生物的雙重搶奪下，小白菜根本搶不到養分，例如 NY 區 25 cm 葉片僅有 1.3 cm。反之，接觸面積最小的 15 cm 膠囊因分解較慢，在物理面向粗團粒結構所獲得的優勢，並未受到為生物爆量造成養分競爭的生物面向而影響，因此這三個植被區皆在 15 cm 處種出了最長的葉片。至於在零植物競爭的裸土區的 NN 中，小白菜生長完全取決於分解速率與保水極限。如同第四部分所述，20 cm 膠囊在裸土中達到了分解與保水的環境平衡，留下最多的微粒與土壤養分，因此小白菜種植在 20 cm 處理的土壤中能吸收最多養分，獲得最佳的生長表現。

至於在無澆水時，NN 與 YY 反而讓小白菜長出極佳的葉片。因為期間沒澆水，代表微生物無法進行分解，微生物的養分競爭即歸零。代表該區的土壤並未經歷「氮飢渴」的養分競爭，完整保留了原土底層豐富的化學肥力，比如在 NN 原土高達 133 的肥力。因此，當我們取用這批土壤來栽種時，小白菜在毫無前置微生物搶肥的情況下，直接吸收了土壤原有的高養分而逆勢成長。但並不意味著就落葉

膠囊的無用性，如果在未來能經過長時間的實施，以長時間趨勢來看當落葉膠囊完全腐熟、龐大的微生物群落完成階段性任務並進入死亡代謝後，那些被暫時鎖在生物體內的「生物態養分」，將會透過礦化作用大量且穩定地釋放回土壤中，迎來真正的「肥力回饋」，未來我們也計畫在膠囊中進行「碳氮比（C/N Ratio）」的調控測試，例如混入富含氮素的綠葉、枯草或果皮，藉此減緩初期的養分競爭壓力。透過拉長時間軸與優化膠囊配方，我們深信落葉膠囊不僅能提供短期的物理保濕，更能成為校園荒地復育與永續農業中，最溫和且長效的終極土壤改良方案。

發芽率 (%)	原土	15cm	20cm	25cm	沒澆水
YY	20	60	60	20	100
YN	80	100	100	20	20
NY	20	60	60	100	40
NN	80	80	80	80	40

表十一 不同膠囊改變土質之後的植物生長高度

葉片長度 (cm)	原土	15cm	20cm	25cm	沒澆水
YY	1.5	3.8	3.3	4.1	4.3
YN	2.8	3.2	3.0	2.1	1.7
NY	3.1	3.3	1.6	1.3	1.1
NN	2.2	2.4	2.7	2.1	3.1

表十二 不同膠囊改變土質之後的植物生長高度



圖二十五

伍、結論

本研究透過探討不同環境與尺寸的落葉膠囊對土壤改良之成效，綜合化學、物理、生物與植物生長等面向，得出以下結論：

- 一、 土壤的肥力受氮、磷、鉀等可形成陽離子電解質元素影響，呈正相關。
- 二、 土壤的肥力在 300 目以下的顆粒約多時，呈正相關。
- 三、 植物與微生物對土壤粒徑有造粒作用，能活或土壤的保水的環境。
- 四、 昆蟲群集的進駐，其蟲糞代謝物有助於提升土壤肥力。
- 五、 落葉膠囊的使用有助於落葉分解、生物進駐
- 六、 在植被競爭區(YY 有樹有草、YN 有樹沒草、NY 沒樹有草)，15 cm 膠囊最適合。
- 七、 在裸土區域(NN 沒樹沒草)，20 cm 膠囊最適合。

陸、參考資料:

一、土壤質地簡易測定方法/苗栗農業專訓第 109 期

https://www.mdares.gov.tw/files/mdares/web_structure/6906/A01_1.pdf

二、落葉膠囊/里山里海工作室

<https://www.facebook.com/SatoyamaEducation/posts/>

三、<https://sites.google.com/view/soil-geography/>土壤理化性質

四、<https://agritech-foresight.atrri.org.tw/article/contents/1499>

五、臺中區農業改良場-微生物肥料在作物生長的作用機制-楊秋忠著

六、https://kmweb.moa.gov.tw/theme_data.php?theme=pedia&sub_theme=km&id=1450