

中華民國第四十六屆中小學科學展覽會
作品說明書

國小組 自然科

081550

地底下的秘密

學校名稱：臺中市南屯區黎明國民小學

作者： 小五 羅聖雯 小五 張雅筑	指導老師： 許正昌、李坤霖
-------------------------	------------------

關鍵詞：莖、根

作品名稱：地底下的秘密

摘要

三年級的暑假，學校整修操場被樹根破壞隆起的跑道，當時施做的工人說：樹根的生長是「樹枝長到哪裡，根就長到哪裡」，這句話引起我們的研究興趣。因此，我們著手設計並進行一連串的實驗，透過實地觀察、資料比對與利用綠豆、九層塔、甜椒、青椒的種植實驗，以探討植物莖與根系生長的關係，並作為種植行道樹時參考。

經實驗研究後發現：不同種類的行道樹確實會對人行道造成不同程度的破壞，且樹型越高且樹圍越大者，對人行道的破壞越嚴重；相對的，樹圍越小且長得越矮的行道樹種，其對人行道的破壞力較小。另外，行道樹枝葉的水平生長方向與其破壞人行道的方向相同。而植物根系的水平發展方向與莖的水平發展方向相同，且植物根系的垂直發展方向與莖的生長高度相較之下，有「莖高者根深」的趨勢，即植物的高度越高與其根系發展的越深。

從實驗中，研究小組發現不同樹種的生長情形間有所差異，因此建議能夠在選種路樹時，應該考量樹木的生長情況，應該選擇較矮的樹種種植，以避免路面受到破壞，而需要更多經費維修。而在道路設計方面，由於行道樹的物種枝葉生長較為高大，因此所需要的生長腹地相對較寬，因此建議未來在做道路規劃時，能夠設計更寬廣的生長空間讓樹木生長。

壹、研究動機

三年級的暑假，學校爲了解決樹根侵入操場跑道，造成跑道突起，因此進行整修工程，也造成開學後無法使用操場的不便。另外，五年來，在上學的途中，部份人行道上的行道樹也有將水泥地面撐起來，造成地面隆起裂開的情形。爲什麼樹根會將水泥地面或跑道撐起來呢？爲什麼同種的行道樹有的會造成地面的破壞，而有的不會呢？到底樹的根系是怎樣生長的呢？當時做學校跑道整修工程的叔叔告訴我：「樹枝長到哪裡，根就長到哪裡。」，這句話是真的嗎？如果叔叔的話是對的，那怎樣修剪樹木，可以減少樹根對跑道或人行道的破壞呢？

另外，研究小組在二年級的時候，有過種植蔬菜的實驗課程經驗「校園走一走-學校裡的樹」及「小豆子的祕密-孵豆芽菜」課程中觀察植物與種植蔬菜的經驗(仁林版生活科二下)，或許可以利用種菜的實驗，來解答上述種種疑惑？因此，研究小組想要探討植物的生長型態與其對人行道破壞情形及根系發展的關係，並希望藉由研究結果，做出具體的建議，提供學校或工務局做修剪樹木時的參考。

貳、研究目的

- 一、探討行道樹的生長型態與其對人行道破壞情形的關係。
- 二、探討植物的生長型態與其根系的發展的關係。
- 三、建議適當的樹木修剪方式。

參、研究問題

- 一、行道樹的樹種是否與人行道破壞的情形有關係？
- 二、行道樹的生長型態是否與其對人行道破壞的情形有關係？
 - (一) 行道樹枝葉水平生長的方向是否與人行道破壞的方向有關係？
 - (二) 行道樹垂直生長的高度是否與人行道破壞的情形有關係？
- 三、植物的生長型態是否與其根系的發展有關係？
 - (一) 植物垂直生長的高度是否與其根系垂直生長的深度有關係？
 - (二) 植物水平生長的方向是否與其根系水平生長的方向有關係？

肆、研究設備及器材

數位相機、寶特瓶、透明投影片、熱熔槍(膠)、美工刀、雙面膠、吸管、塑膠托盤、沙土、有機培養土、菜瓜布、綠豆、青椒、甜椒、九層塔、液體肥料液

伍、研究過程與方法

- 一、行道樹的樹種是否與人行道破壞的情形有關係？
 - (一) 研究假設：不同種類的行道樹會對人行道造成不同程度的破壞。
 - (二) 研究方法(實地考察)

利用放學、假日時間，調查學校附近主要道路(圖 1-1)的行道樹種類(表 1-1)，並針對人行道有因爲行道樹生長而造成的非人爲破壞(如：龜裂、隆起)的地點，拍照、整理(附錄 1-1)，並彙整成表 1-2。

表 1-2：行道樹種類與人行道非人為破壞情形調查表(質性說明)

編號	行道樹種	生長情形	破壞情形	破壞程度排名
1	樟樹	高可達 25~40 公尺，壽命甚常，能成巨樹老木。	平均高度約 3-4 層樓高，平均樹圍為 104.6 公分，較高大者破壞較為嚴重。以黎明路二段最多。	2
2	楓香	高可達 40 公尺以上。樹皮年輕時光滑，老時粗糙成暗褐色	僅種植於黎明路二段中華電信訓練所前，平均高度約 3-4 層樓高，平均樹圍為 74.5 公分，破壞人行道路面者不多。	3
3	羊蹄甲	株高 4-6 公尺，枝無毛，分支多而著葉較疏。	平均高度約 2-3 層樓高，樹圍約 30-40 公分，未發現人行道破壞情形。	
4	黑板樹	生長速度快，樹幹挺直俊秀呈灰褐色，枝條水平狀展開，高度可達 25~30 公尺。	平均高度約 4-5 層樓高，平均樹圍為 133.3 公分，人行道地面隆起或龜裂數量多且較嚴重。以大業路最為嚴重。	1
5	刺桐	高可達 6-12 公尺。在樹幹及枝條上可到一些小刺。	平均高度約 2-3 層樓高，樹圍約 40-50 公分，未發現人行道破壞情形。	

資料來源：實地觀察；台北植物園數位導覽資訊網(<http://tpbg.tfri.gov.tw/>)

(三) 我們的發現：

由表 1-2 可知：不同種類的行道樹確實會對人行道造成不同程度的破壞，在五種行道樹中，依破壞程度而言，以黑板樹最為嚴重，其次是樟樹，再其次是楓香，而羊蹄甲與刺桐均未發現破壞情形。

再進一步比對其生長的高度及樹圍對人行道的破壞程度，發現樹型越高且樹圍越大者，對人行道的破壞越嚴重。

此外，研究小組發現，就樹種而言，黑板樹在大業路對人行道的破壞之所以會比在河南路四段嚴重，以及樟樹在黎明路二段對人行道的破壞之所以會比在干城街嚴重，其原因乃河南路四段於 93 年拓寬新植與干城街人行道整修所影響，導致差異存在。

二、行道樹枝葉水平生長的方向是否與其對人行道破壞的方向有關係？

(一) 研究假設：行道樹枝葉水平生長方向與其對人行道破壞的方向有關係。

(二) 研究方法(文件分析、實地觀察)

根據附錄 1-1 中的行道樹照片，分析其枝葉水平生長的方向與人行道破壞的方向(以行道樹為中心面向道路觀察)，並彙整成表 2-1。

(三) 我們的發現：

由表 2-1 可知：行道樹枝葉的水平生長的方向與其破壞人行道的方向有關係，而且行道樹枝葉的水平生長方向與其破壞人行道的方向相同。

進一步探討枝葉生長方向與人行道破壞方向的規律性，樟樹及黑板樹的生長與破壞多為「左右」方向，其因可能是因為行道樹前側興建水溝，阻擋了根系的發展，且靠近馬路中間的枝葉常被修剪，因而影響根系向馬路中間發展所致。

表 2-1：行道樹枝葉的水平生長方向與其破壞人行道方向對照表

樹種	編號	枝葉生長方位	人行道破壞方位	是否相同
樟樹	1	左右	左右	<input checked="" type="checkbox"/> 相同 <input type="checkbox"/> 不相同
	2	左右	左右	<input checked="" type="checkbox"/> 相同 <input type="checkbox"/> 不相同
	3	左前	左前	<input checked="" type="checkbox"/> 相同 <input type="checkbox"/> 不相同
	4	左右	左右	<input checked="" type="checkbox"/> 相同 <input type="checkbox"/> 不相同
	5	左前、右前	左前、右前	<input checked="" type="checkbox"/> 相同 <input type="checkbox"/> 不相同
	6	左右	左右	<input checked="" type="checkbox"/> 相同 <input type="checkbox"/> 不相同
	7	右	右	<input checked="" type="checkbox"/> 相同 <input type="checkbox"/> 不相同
	8	左後	左後	<input checked="" type="checkbox"/> 相同 <input type="checkbox"/> 不相同
	9	後	後	<input checked="" type="checkbox"/> 相同 <input type="checkbox"/> 不相同
	10	左前、右前	左前、右前	<input checked="" type="checkbox"/> 相同 <input type="checkbox"/> 不相同
黑板樹	1	右前	右前	<input checked="" type="checkbox"/> 相同 <input type="checkbox"/> 不相同
	2	左前	左前	<input checked="" type="checkbox"/> 相同 <input type="checkbox"/> 不相同
	3	左前	左前	<input checked="" type="checkbox"/> 相同 <input type="checkbox"/> 不相同
	4	左右	左右	<input checked="" type="checkbox"/> 相同 <input type="checkbox"/> 不相同
	5	左右	左右	<input checked="" type="checkbox"/> 相同 <input type="checkbox"/> 不相同
	6	左右	左右	<input checked="" type="checkbox"/> 相同 <input type="checkbox"/> 不相同
	7	左右	左右	<input checked="" type="checkbox"/> 相同 <input type="checkbox"/> 不相同
	8	左右	左右	<input checked="" type="checkbox"/> 相同 <input type="checkbox"/> 不相同
	9	左右	左右	<input checked="" type="checkbox"/> 相同 <input type="checkbox"/> 不相同
	10	右前	右前	<input checked="" type="checkbox"/> 相同 <input type="checkbox"/> 不相同
	11	左右	左右	<input checked="" type="checkbox"/> 相同 <input type="checkbox"/> 不相同
楓香	1	後	後	<input checked="" type="checkbox"/> 相同 <input type="checkbox"/> 不相同
	2	後	後	<input checked="" type="checkbox"/> 相同 <input type="checkbox"/> 不相同

三、行道樹垂直生長的高度是否與其對人行道破壞的情形有關係？

- (一) 研究假設：行道樹垂直生長的高度與其對人行道破壞的情形有關係。
- (二) 研究方法(文件分析、實地觀察)

由表 1-2 的調查結果中，蒐集並比較各樹種的生長資料，分析其垂直生長的高度與人行道破壞的情形，並彙整成表 3-1。

表 3-1：行道樹的垂直生長高度與其破壞人行道情形比較表

樹種	編號	樹圍 (公分)	生長高度 (樓層)	平均樹圍 (公分)	平均高度 (樓層)	破壞程度 (由高到低)
樟樹	1	102	3-4	104.6 公分	3-4 樓層	2
	2	95	2-3			
	3	87	3-4			
	4	97	3-4			
	5	105	3-4			
	6	116	3-4			
	7	91	3-4			
	8	83	3-4			
	9	133	4-5			
	10	137	4-5			
黑板樹	1	126	4-5	133.3 公分	4-5 樓層	1
	2	140	4-5			
	3	133	4-5			
	4	138	4-5			
	5	124	4-5			
	6	126	4-5			
	7	121	4-5			
	8	148	4-5			
	9	151	4-5			
	10	130	4-5			
	11	129	4-5			
楓香	1	78	3-4	74.5 公分	3-4 樓層	3
	2	71	3-4			

(三) 我們的發現：

由表 3-1 可知：實際調查行道樹的垂直生長高度與其破壞人行道的情形有關係。而且樹圍越寬且長得越高的行道樹種，其對人行道的破壞力較大；相對的，樹圍越小且長得越矮的行道樹種，其對人行道的破壞力較小。

四、植物水平生長的方向是否與其根系水平發展的方向有關係？

(一) 研究假設：植物水平生長方向與其根系水平發展的方向有關係。

根據前述研究過程(研究過程與方法「伍-二」)中，研究小組發現：行道樹之所以會破壞人行道，可能是因為其根系發展所導致，因此，本實驗假設植物的水平生長方向與其根系水平發展的方向有關係，藉以驗證「研究二」的發現。

(二) 研究方法(實驗操作)

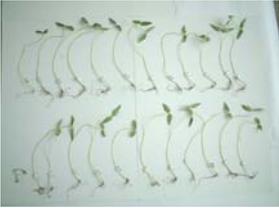
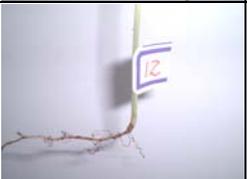
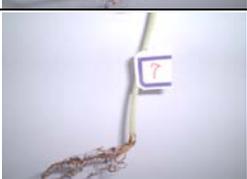
1. 試探性實驗(種植綠豆-限制生長方向)

根據研究目的，研究小組利用托盤及培養土，並運用回收之影印紙盒蓋設計控制莖生長方向的工具(利用植物的趨光性)，種植綠豆作為初步的試驗，探究其結果，並做成觀察紀錄(如表 4-1)，最後將各株編號，並比較其莖的生長方向與根系發展的方向做比較(如表 4-2)。

表 4-1：綠豆生長情形(限制莖生長方向)觀察紀錄表

裝置日期	95 03 24 (五)			
	觀日	95.03.27(一)	95.03.29(三)	95.03.31(五)
生長情形 (側面)				
生長情形 (俯視)				

表 4-2：綠豆莖的生長方向與根系發展的方向比較表

全部植株								
編號	生長情形	根莖方向	編號	生長情形	根莖方向	編號	生長情形	根莖方向
1		<input checked="" type="checkbox"/> 相同 <input type="checkbox"/> 不同	9		<input checked="" type="checkbox"/> 相同 <input type="checkbox"/> 不同	17		<input checked="" type="checkbox"/> 相同 <input type="checkbox"/> 不同
2		<input checked="" type="checkbox"/> 相同 <input type="checkbox"/> 不同	10		<input checked="" type="checkbox"/> 相同 <input type="checkbox"/> 不同	18		<input checked="" type="checkbox"/> 相同 <input type="checkbox"/> 不同
3		<input checked="" type="checkbox"/> 相同 <input type="checkbox"/> 不同	11		<input checked="" type="checkbox"/> 相同 <input type="checkbox"/> 不同	19		<input checked="" type="checkbox"/> 相同 <input type="checkbox"/> 不同
4		<input checked="" type="checkbox"/> 相同 <input type="checkbox"/> 不同	12		<input checked="" type="checkbox"/> 相同 <input type="checkbox"/> 不同	20		<input checked="" type="checkbox"/> 相同 <input type="checkbox"/> 不同
5		<input checked="" type="checkbox"/> 相同 <input type="checkbox"/> 不同	13		<input checked="" type="checkbox"/> 相同 <input type="checkbox"/> 不同	21		<input checked="" type="checkbox"/> 相同 <input type="checkbox"/> 不同
6		<input checked="" type="checkbox"/> 相同 <input type="checkbox"/> 不同	14		<input checked="" type="checkbox"/> 相同 <input type="checkbox"/> 不同	22		<input checked="" type="checkbox"/> 相同 <input type="checkbox"/> 不同
7		<input checked="" type="checkbox"/> 相同 <input type="checkbox"/> 不同	15		<input checked="" type="checkbox"/> 相同 <input type="checkbox"/> 不同	23		<input checked="" type="checkbox"/> 相同 <input type="checkbox"/> 不同
8		<input checked="" type="checkbox"/> 相同 <input type="checkbox"/> 不同	16		<input checked="" type="checkbox"/> 相同 <input type="checkbox"/> 不同	24		<input checked="" type="checkbox"/> 相同 <input type="checkbox"/> 不同

2.正式實驗(種植九層塔、青椒、甜椒)

根據表 4-1 的初步試探結果，發現：透過植物趨光性的特性控制莖生長的方向，綠豆的根生長方向與莖同方向。爲了進一步確定這種現象的普遍性，研究小組在指導老師的協助下，到農業資材行選定具有明顯分枝生長的蔬菜三種(九層塔、青椒、甜椒)作爲實驗觀察對象，利用學校會議後回收的透明寶特瓶空瓶及透明投影片製作培養裝製，分別種植於泥土(3 株)、培養土(3 株)、沙土(1 株)與水耕(2 株)，並測量其生長情形，做成觀察紀錄(附錄 4-1)，最後就觀察紀錄整理成表 4-3。

表 4-3：植物水平生長方向與其根系水平生長的方向比較表

植物種類	培養環境	編號	根系發展情形(總生長量，單位：公分)		根系水平長度比較(以莖的生長方向爲基準)		
			與莖同方向	與莖反方向	同向>反向	同向=反向	同向<反向
九層塔	培養土	1	3.5	2.3	*	-	-
		2	5.5	3.7	*	-	-
		3	4.3	4.0	*	-	-
	水耕	1	尙未發現	尙未發現	-	-	-
		2	尙未發現	尙未發現	-	-	-
	沙土		6.3	5.5	*	-	-
甜椒	培養土	1	尙未發現	尙未發現	*	-	-
		2	12.5	6.7	*	-	-
		3	7.0	尙未發現	*	-	-
	水耕	1	尙未發現	尙未發現	-	-	-
		2	尙未發現(菜瓜布較厚)	3.5	-	-	*
	沙土		3(4/28)	尙未長出	*	-	-
青椒	培養土	1	16.5	15.2	*	-	-
		2	16.3	15.1	*	-	-
		3	15.7	10.0	*	-	-
	水耕	1	尙未發現	尙未發現	-	-	-
		2	3.0	尙未發現	*	-	-
	沙土		尙未發現	尙未發現	-	-	-

(三) 我們的發現：

由表 4-1、4-2、4-3 可知：在可以觀察到根系的植栽中，除了水耕甜椒可能因爲與莖同方向部分的菜瓜布較厚而生長不易之外，使得其「與莖同方向<與莖反方向」外，其餘各株的生長情況均爲「與莖同方向>與莖反方向」，證明實驗假設「植物水平生長方向與其根系水平發展的方向有關係」成立，且根系發展的方向與莖相同。

五、植物垂直生長的高度是否與其根系垂直發展的深度有關係？

(一) 研究假設：植物垂直生長的高度與其根系垂直發展的深度有關係。

根據前述研究過程(研究過程與方法「伍-三」)中，研究小組發現：行道樹的垂直生長高度與其破壞人行道的情形有關係。而且長得越瘦高的行道樹種，其對人行道的破壞力較小；相對的，長得越矮的行道樹種，其對人行道的破壞力較大。因此，本實驗假設植物垂直生長的高度與其根系垂直發展的深度有關係，藉以驗證「研究三」的發現。

(二) 研究方法(實驗操作)

1. 試探性實驗(種植綠豆-限制根生長深度)

根據研究目的，研究小組利用長短不同的試管(控制根系發展的深度)及培養土，種植綠豆作為初步的試驗，探究其結果，並做成觀察紀錄(如表 5-1)，最後將各株編號，並比較其莖的生長高度與根系發展的深度做比較。

表 5-1：綠豆生長情形(限制根發展深度)觀察紀錄表

部位	觀 察 時 間			
	95.03.27	95.03.29	95.03.31	95.04.03
側面				
俯視				

限制根發展深度	組 別		高度(公分)		組 別	高度(公分)		組 別	高度(公分)		
	個 別	平 均	個 別	平 均		個 別	平 均		個 別	平 均	
高	1	23.7	22.15	中	1	23.5	24.33	低	1	19.5	18.75
	2	20.6			2	26.5			2	18.0	
	3	未發芽			3	23.0			3	9.0	
	中高	1	15.4	25.70	中低	1	6.5	24.75			
		2	25.7			2	25.5				
		3	未發芽			3	24				

初步發現	1.除了「低」組明顯較矮，而「高」組次之外，其餘各組平均達 24-25 公分。 2.«高»組可能因為根的長度還無法吸取更多水份而導致生長高度較「中高、中、中低»組矮。 3.在生長的過程中可以發現，吸管較深的綠豆，其生長高度較高。
------	--

2. 正式實驗(種植九層塔、青椒、甜椒)

根據表 5-1 的初步試探結果，到農業資材行選定具有枝葉發展的蔬菜三種(九層塔、青椒、甜椒)作為實驗觀察對象，利用學校會議後回收的透明寶特瓶空瓶及透明投影片製作培養裝置，分別種植於泥土(4 株)、培養土(4 株)、水耕(3 株)，並測量其生長情形，做成觀察紀錄(附錄 5-1)，最後就觀察紀錄整理成表 5-2。

表 5-2：限制根發展深度觀察結果比較表

植物種類	培養環境	編號	生長情形(可見)		植物種類	培養環境	編號	生長情形(可見)		植物種類	培養環境	編號	生長情形(可見)						
			部位	公分(日期)				部位	公分(日期)				部位	公分(日期)	部位	公分(日期)			
九層塔	泥土	高	莖高	17.5(5/12)	甜椒	泥土	高	莖高	10.2(5/03 殆)	青椒	泥土	高	莖高	15.0(5/12)					
			根深	21.0(5/8)				根深	11.5(4/14)				根深	無法觀察					
		中高	莖高	14.8(5/12)			中高	莖高	12.1(5/12)			中高	莖高	19.1(5/12)					
			根深	21.0(5/12)				根深	11.5(5/12)				根深	20.0(4/28)					
		中低	莖高	13.1(5/12)			中低	莖高	15.5(5/12)			中低	莖高	19.5(5/12)					
			根深	12.0(4/13)				根深	12.5(5/12)				根深	13.2(4/28)					
		低	莖高	10.5(5/12)			低	莖高	13.8(5/12)			低	莖高	18.5(5/12)					
			根深	7.5(4/11)				根深	8.2(5/12)				根深	9.0(4/14)					
		培養土	高	莖高			12.5(5/12)	甜椒	培養土			高	莖高	13.5(5/12)	青椒	培養土	高	莖高	19.1(5/12)
				根深			尚未發現						根深	7.5(5/12)				根深	8.1(5/12)
			中	莖高			11.4(5/12)					中	莖高	13.0(5/12)			中	莖高	13.3(5/12)
				根深			尚未發現						根深	2.5(5/12)				根深	尚未發現
	低		莖高	7.4(5/12)	低	莖高	16.2(5/12)			低	莖高	12.1(5/12)							
			根深	尚未發現		根深	6.0(5/12)				根深	2.0(4/24)							
	水耕	高	莖高	11.3(5/12)	甜椒	水耕	高	莖高	14.0(5/12)	青椒	水耕	高	莖高	12.0(5/12)					
			根深	12.5(5/12)				根深	尚未發現				根深	12.8(5/12)					
		中	莖高	9.5(5/12)			中	莖高	11.0(5/12)			中	莖高	11.5(5/12)					
			根深	尚未發現				根深	尚未發現				根深	9.5(5/12)					
		低	莖高	8.2(5/12)			低	莖高	10.4(5/12)			低	莖高	11.5(5/12)					
			根深	尚未發現				根深	尚未發現				根深	11.2(5/12)					

(三) 我們的發現：

由表 5-1、5-2 可知：在可以觀察到根系的植栽中，各株植栽的生長情況均有「莖高且根深」的趨勢，證明實驗假設「植物垂直生長的高度與其根系垂直發展的深度有關係」成立。

陸、研究結果

由上述的實驗過程中，本研究獲得結果如下：

- 一、不同種類的行道樹確實會對人行道造成不同程度的破壞，在五種行道樹(樟樹、楓樹、羊蹄甲、黑板樹、刺桐)中，除了羊蹄甲與刺桐未發現破壞人行道路面的情形之外，依破壞程度而言，以黑板樹最為嚴重，其次是樟樹，再其次是楓香。再進一步比對其生長的高度及樹圍對人行道的破壞程度，發現樹型越高且樹圍越大者，對人行道的破壞越嚴重。
- 二、行道樹枝葉的水平生長的方向與其破壞人行道的方向有關係，而且行道樹枝葉的水平生長方向與其破壞人行道的方向相同。
- 三、行道樹的垂直生長高度與其破壞人行道的方向有關係。而且樹圍越寬且長得越高的行道樹種，其對人行道的破壞力較大；相對的，樹圍越小且長得越矮的行道樹種，其對

人行道的破壞力較小。

四、在實際實驗操作方面發現：不論是綠豆、九層塔、甜椒或是青椒，他們莖的水平生長方向與其根系的水平發展的方向有關係，且根系發展的方向與莖相同。此外，植栽的生長情況均有「莖高且根深」的趨勢，即植物的高度越高與其根系發展的越深。

柒、討論

由上述研究的過程與研究發現中，研究者認為，對於行道樹的選擇應該加以重視，就破壞人行道路面最嚴重的黑板樹而言，其生長速度明顯比其他四種樹種快，導致需要時常修剪，往往在颱風過境時，都會造成樹枝斷裂，阻礙車輛行走。因此，建議能夠在選種路樹時，應該考量樹木的生長情況，應該選擇較矮的樹種種植，以避免路面受到破壞，而需要更多經費維修。

另外，在道路設計方面，在實際調查時亦發現，黎明路二段的樟樹與大業路的黑板樹的生長與破壞多為「左右」方向，其因可能是因為行道樹前側與後側興建水溝，阻擋了根系的發展，且靠近馬路中間與住(店)家的枝葉常被修剪，因而影響根系向馬路中間發展所致。因此，在道路設計時，應該留給更多的生長空間給行道樹，使他們能夠均衡的生長；此外，在修剪行道樹時，不要太早攔腰砍斷，避免因枝節提早橫生，而導致破壞的情形加劇。

在觀察綠豆生長情形實驗方面，「利用植物趨光性的原理限制其的莖生長方向」方法中，研究者也進一步體會到在黎明路二段中華電信訓練所前的楓樹，之所以會朝向後「非馬路方向」生長，是因為中華電信的圍牆裡，有一片空地，而馬路旁還有一排樟樹，以至於楓樹為獲得充分的光照量，因此生長方向較為特殊。

而在觀察綠豆生長情形，「限制根發展深度」的實驗中，研究者在著手試探性實驗時，仍一項疑慮：即利用吸管深度從事實驗，是否會因為培養土量的差異，而影響實驗結果。為了避免這一項變因的影響，研究者利用重複澆水(流經吸管而落在托盤上的水)的方式來縮短培養土中營養的差異性。

在種植九層塔、甜椒與青椒的過程中，發現甜椒與青椒時常枯萎而亡，經過向興農資材行老闆諮詢後才知道：椒類的植物不喜歡潮濕的土壤，且植栽的根也需要呼吸，因此才逐漸減少澆水次數，而在水耕方面，也在第一、二層菜瓜布間，留下一些空隙，不裝滿水或減少水量以利生長。

捌、結論與建議

一、結論

- (一) 不同種類的行道樹確實會對人行道造成不同程度的破壞，且樹型越高且樹圍越大者，對人行道的破壞越嚴重；相對的，樹圍越小且長得越矮的行道樹種，其對人行道的破壞力較小。
- (二) 行道樹枝葉的水平生長方向與其破壞人行道的方向相同。因此在修剪枝葉時，宜注意其生長的方向
- (三) 植物根系的水平發展方向與莖的水平發展方向相同，且植物根系的垂直發展方向與莖的生長高度相較之下，有「莖高者根深」的趨勢，即植物的高度越高與其根系發展的越深。

二、建議

根據研究結果、討論與結論，本研究有下列幾項建議：

(一) 在行道樹樹種選擇方面

由於不同樹種的生長情形間有所差異，因此建議能夠在選種路樹時，需考量樹木的生長情況，應該選擇較矮的樹種種植，以避免路面受到破壞，而需要更多經費維修。

(二) 在道路設計方面

由於行道樹的樹種枝葉生長較為高大，因此所需要的生長腹地相對較寬，因此建議未來在做道路規劃時，能夠設計更寬廣的生長空間讓樹木生長。

(三) 在未來探究方面

本研究的實驗所選用的植栽為九層塔、甜椒、青椒，均為較畏水的物種，且礙於容器大小，無法做較大規模的實驗。雖然如此，不過已略見其生長趨勢，但效果有限，未來應該可以利用多年生木本植物，利用較大的容器，做更長久的實驗。

玖、參考文獻

一、參考書籍

仁林版生活科二下課本

二、網路資料

M 地圖：<http://www.cs.nyu.edu/~ysc212/cgi-bin/add2geo11.pl>

台中市珍貴老樹、公園及行道樹查詢管理系統：<http://month.tccg.gov.tw/tree>

台北植物園數位導覽資訊網：<http://tpbg.tfri.gov.tw/>

附錄 1-1：行道樹破壞人行道情形觀察紀錄

附錄 1-1-1 樟木(黎明路二段：公益路口至市政路口、干城街)

編號	實地觀察照片		編號	實地觀察照片			
1		樹高 (層樓)	樹圍 (公分)	6		樹高 (層樓)	樹圍 (公分)
		3-4	102			3-4	116
		枝幹 方向	破壞 方向			枝幹 方向	破壞 方向
		左右	左右			左右	左右
2		樹高 (層樓)	樹圍 (公分)	7		樹高 (層樓)	樹圍 (公分)
		2-3	95			3-4	91
		枝幹 方向	破壞 方向			枝幹 方向	破壞 方向
		左右	左右			右	右
3		樹高 (層樓)	樹圍 (公分)	8		樹高 (層樓)	樹圍 (公分)
		3-4	87			3-4	83
		枝幹 方向	破壞 方向			枝幹 方向	破壞 方向
		左前	左前			左後	左後
4		樹高 (層樓)	樹圍 (公分)	9		樹高 (層樓)	樹圍 (公分)
		3-4	97			4-5	133
		枝幹 方向	破壞 方向			枝幹 方向	破壞 方向
		左右	左右			後	後
5		樹高 (層樓)	樹圍 (公分)	10		樹高 (層樓)	樹圍 (公分)
		3-4	105			4-5	137
		枝幹 方向	破壞 方向			枝幹 方向	破壞 方向
		左前 右前	左前 右前			左前 右前	左前 右前

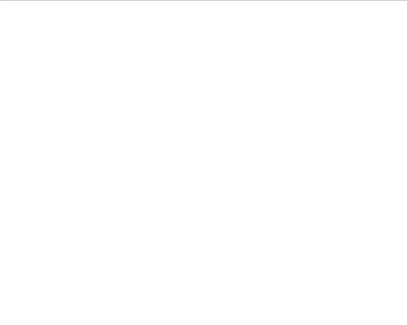
附註：向上手勢為主要枝幹生長方向、向下手勢為人行道破壞方向(面對馬路為基準)

附錄 1-1-2-1 黑板樹(大業路：黎明路口至惠文路口)

編號	實地觀察照片		編號	實地觀察照片			
1		樹高 (層樓)	樹圍 (公分)	6		樹高 (層樓)	樹圍 (公分)
		4-5	126			樹高 (層樓)	樹圍 (公分)
		枝幹 方向	破壞 方向			樹高 (層樓)	樹圍 (公分)
		右前	右前			枝幹 方向	破壞 方向
						左右	左右
2		樹高 (層樓)	樹圍 (公分)	7		樹高 (層樓)	樹圍 (公分)
		4-5	140			樹高 (層樓)	樹圍 (公分)
		枝幹 方向	破壞 方向			樹高 (層樓)	樹圍 (公分)
		左前	左前			枝幹 方向	破壞 方向
						左右	左右
3		樹高 (層樓)	樹圍 (公分)	8		樹高 (層樓)	樹圍 (公分)
		4-5	133			樹高 (層樓)	樹圍 (公分)
		枝幹 方向	破壞 方向			樹高 (層樓)	樹圍 (公分)
		左前	左前			枝幹 方向	破壞 方向
						左右	左右
4		樹高 (層樓)	樹圍 (公分)	9		樹高 (層樓)	樹圍 (公分)
		4-5	138			樹高 (層樓)	樹圍 (公分)
		枝幹 方向	破壞 方向			樹高 (層樓)	樹圍 (公分)
		左右	左右			枝幹 方向	破壞 方向
						左右	左右
5		樹高 (層樓)	樹圍 (公分)	10		樹高 (層樓)	樹圍 (公分)
		4-5	124			樹高 (層樓)	樹圍 (公分)
		枝幹 方向	破壞 方向			樹高 (層樓)	樹圍 (公分)
		左右	左右			枝幹 方向	破壞 方向
						右前	右前

附註：向上手勢為主要枝幹生長方向、向下手勢為人行道破壞方向(面對馬路為基準)

附錄 1-1-2-2 黑板樹(大業路：河南路口至惠文路口)

編號	實地觀察照片		編號	實地觀察照片			
11		樹高 (層樓)	10		樹高 (層樓)		
		4-5			129	樹圍 (公分)	
		枝幹 方向			破壞 方向	枝幹 方向	破壞 方向
		左右			左右		
附註：向上手勢為主要枝幹生長方向、向下手勢為人行道破壞方向(面對馬路為基準)							

附錄 1-1-3 楓香(黎明路二段中華電信訓練所前：干城東街口至市政南二路口)

編號	實地觀察照片		編號	實地觀察照片			
1		樹高 (層樓)	2		樹高 (層樓)		
		3-4			78	樹圍 (公分)	
		枝幹 方向			破壞 方向	枝幹 方向	破壞 方向
		後			後	後	後
附註：向上手勢為主要枝幹生長方向、向下手勢為人行道破壞方向(面對馬路為基準)							

附錄 4-1

附錄 4-1-1-1：植物水平生長方向與其根系水平生長的方向觀察紀錄表(九層塔)																							
植物種類	培養環境	編號	植栽裝置照片	根系發展情形	觀察紀錄(單位：公釐)														附註				
					4 月																		
					10	11	12	13	14	1	18	19	20	21	24	25	26	27		28			
九層塔	培養土	1		與莖同方向												-	-	-	-	-	-	-	
				與莖反方向														-	-	-	-	-	-
		2		與莖同方向													-	-	-	-	-	-	-
				與莖反方向														-	-	-	-	-	-
		3		與莖同方向													-	-	-	-	-	-	-
				與莖反方向														-	-	-	-	-	-
	水耕	1		與莖同方向	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
				與莖反方向	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		2		與莖同方向	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
				與莖反方向	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	沙土	1		與莖同方向	5.2	-	-	-	5.3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
				與莖反方向	2.3	-	-	3.0	-	-	3.6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

附錄 4-1-1-2：植物水平生長方向與其根系水平生長的方向觀察紀錄表(九層塔-5月)

植物種類	培養環境	編號	植栽裝置照片	根系發展情形	觀察紀錄(單位：公分)														附註	
					5月															
					1	2	3	4	5	8	9	10	11	12	15	16	17	18		19
九層塔	培養土	1		與莖同方向	3.3	3.3	-	-	3.5	-										
				與莖反方向	2.2	2.2	-	-	2.3	-										
		2		與莖同方向	5.3	5.4	-	-	5.5	-										
				與莖反方向	3.3	3.5	-	-	3.7	-										
		3		與莖同方向	4.1	-	-	-	4.3	-										
				與莖反方向	-	4.0	-	-	4.0	-										
	水耕	1		與莖同方向	-	-	-	-	-	-										
				與莖反方向	-	-	-	-	-	-										
		2		與莖同方向	-	-	-	-	-	-										
				與莖反方向	-	-	-	-	-	-										
	沙土	1		與莖同方向	5.6	5.9	-	6.2	6.3											
				與莖反方向	4.2	4.7	-	-	5.5											

附錄 4-1-2-1：植物水平生長方向與其根系水平生長的方向觀察紀錄表(甜椒-4月)

植物種類	培養環境	編號	植栽裝置照片	根系發展情形	觀察紀錄(單位：公釐)														備註					
					4月																			
					10	11	12	13	14	17	18	19	20	21	24	25	26	27		28				
甜椒	培養土	1		與莖同方向											-	-	-	-	-	-	-	-	-	
				與莖反方向													-	-	-	-	-	-	-	-
		2		與莖同方向												-	-	-	-	-	9.3	10.3		
				與莖反方向													-	-	-	-	-	5.0	5.2	
		3		與莖同方向												-	-	-	-	-	4.2	4.6		
				與莖反方向													-	-	-	-	-	-	-	-
	水耕	1		與莖同方向	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
				與莖反方向	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		2		與莖同方向	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
				與莖反方向	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	沙土	1		與莖同方向	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
				與莖反方向	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

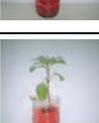
附錄 4-1-2-2：植物水平生長方向與其根系水平生長的方向觀察紀錄表(甜椒-5月)

植物種類	培養環境	編號	植栽裝置照片	根系發展情形	觀察紀錄(單位：公分)														備註	
					5月															
					1	2	3	4	5	8	9	10	11	12	15	16	17	18		19
甜椒	培養土	1		與莖同方向	-	-	-	-	-											
				與莖反方向	-	-	-	-	-											
		2		與莖同方向	11.1	-	-	12.0	12.5											
				與莖反方向	6.1	-	-	6.6	6.7											
		3		與莖同方向	5.0	-	-	7.0	7.0											
				與莖反方向	-	-	-	-	-											
	水耕	1		與莖同方向	-	-	-	-	-											
				與莖反方向	-	-	-	-	-											
		2		與莖同方向	-	-	-	-	-											
				與莖反方向	-	-	-	-	-											
沙土	1		與莖同方向	-	-	-	-	-												
			與莖反方向	-	3.1	-	3.4	3.5												

附錄 4-1-3-2：植物水平生長方向與其根系水平生長的方向觀察紀錄表(青椒-5月)

植物種類	培養環境	編號	植栽裝置照片	根系發展情形	觀察紀錄(單位：公分)														備註	
					5月															
					1	2	3	4	5	8	9	10	11	12	15	16	17	18		19
青椒	培養土	1		與莖同方向	-	15.0	-	15.7	16.5											
				與莖反方向	-	14.1	-	15.0	15.2											
		2		與莖同方向	-	13.9	-	15.9	16.3											
				與莖反方向	-	13.7	-	14.7	15.1											
		3		與莖同方向	-	14.6	-	15.3	15.7											
				與莖反方向	-	9.0	-	9.3	10.0											
	水耕	1		與莖同方向	-	-	-	-	-											
				與莖反方向	-	-	-	-	-											
		2		與莖同方向	-	2.3	-	2.8	3.0											
				與莖反方向	-	-	-	-	-											
	沙土	1		與莖同方向	-	-	-	-	-											
				與莖反方向	-	-	-	-	-											

附錄 5-1-1-2：限制根發展深度觀察紀錄表(九層塔-5 月)

植物種類	培養環境	編號	植栽裝置照片	生長情形	觀察紀錄(單位：公釐)														備註	
					5 月															
					1	2	3	4	5	8	9	10	11	12	15	16	17	18		19
九層塔	泥土	高		莖的高度	167	167	-	169	170	173	173	-	174	175						
				根的深度	-	-	-	203	210	210	-	-	-	-						
		中高		莖的高度	142	142	-	143	143	146	146	-	147	148						
				根的深度	-	-	-	200	201	-	-	-	-	210						
	中低		莖的高度	130	130	-	130	130	131	131	-	131	131							
				-	-	-	-	-	-	-	-	-	-							
	低		根的深度	105	105	-	105	105	105	105	-	105	105							
				-	-	-	-	-	-	-	-	-	-							
	培養土	高		莖的高度	115	120	-	122	122	124	124	-	125	125						
				根的深度	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-						
		中		莖的高度	108	109	-	110	110	113	113	-	114	114						
				根的深度	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-						
低			莖的高度	74	74	-	74	74	74	74	-	74	74							
			根的深度	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-							
水耕	高		莖的高度	107	107	-	110	110	112	112	-	113	113							
			根的深度	123	125	-	125	125	125	125	-	125	125							
	中		莖的高度	89	90	-	92	92	93	93	-	94	95							
			根的深度	-	-	-	-	-					-							
	低		莖的高度	82	82	-	82	82	82	82	-	82	82							
			根的深度	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-							

附錄 5-1-2-2：限制根發展深度觀察紀錄表(甜椒-5 月)

植物種類	培養環境	編號	植栽裝置照片	生長情形	觀察紀錄(單位：公釐)														備註
					5 月														
					1	2	3	4	5	8	9	10	11	12	15	16	17	18	
甜椒	泥土	高		莖的高度	102	102	-	枯萎											
			根的深度	沒入	沒入	-													
		中高		莖的高度	112	120		120	120	121	121	-	121	121					
			根的深度	-	-	-	110	-	-	-	-	-	115						
		中低		莖的高度	146	150	-	146	153	154	154		154	155					
			根的深度	-	-	-	-	-	-	-	-	-	125	125					
		低		莖的高度	133	136	-	138	138	138	138		138	138					
			根的深度	沒入	沒入	-	沒入	沒入	82	到底	-	-							
	培養土	高		莖的高度	116	118	-	121	124	130	131	-	133	135					
			根的深度	-	75	-	-	-	-	-	-	-	-	-					
		中		莖的高度	111	115	-	111	115	125	126	-	130	130					
			根的深度	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	25					
低			莖的高度	141	143	-	148	150	156	157		160	162						
		根的深度	-	-	-	-	-	-					-						
水耕	高		莖的高度	138	139	-	140	140	140	140		140	140						
		根的深度	-	-	-	-	-	-					-						
	中		莖的高度	102	103	-	105	105	108	108		110	110						
		根的深度	-	-	-	-	-	-					-						
	低		莖的高度	103	103	-	104	104	104	104		104	104						
		根的深度	-	-	-	-	-	-					-						

附錄 5-1-3-1：限制根發展深度觀察紀錄表(青椒-4 月)

植物種類	培養環境	編號	植栽裝置照片	生長情形	觀察紀錄(單位：公釐)														備註		
					4 月																
					10	11	12	13	14	17	18	19	20	21	24	25	26	27		28	
青椒	泥土	高		莖的高度	-	122	-	115	104	114	116	-	122	124	116	117	-	123	130		
			根的深度	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	水多	水多	
		中高		莖的高度	-	135	-	145	145	151	151	-	157	157	162	163	-	165	165		
			根的深度	-	118	-	129	129	129	133	-	142	146	-	-	-	-	-	200		
		中低		莖的高度	-	165	-	166	166	168	168	-	170	170	174	175	-	180	182		
			根的深度	-	85	-	105	112	103	105	-	105	沒入	沒入	沒入	-	沒入	132			
		低		莖的高度	-	159	-	159	159	160	161	-	168	173	173	178	-	180	183		
			根的深度	-	90	-	87	90	到底	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
	培養土	高		莖的高度	-									145	145	146	146	-	148	150	
			根的深度	-											-	-	-	-	42	44	
		中		莖的高度	-										104	93	98	95	-	113	130
			根的深度	-											-	-	-	-	-	-	-
低			莖的高度	-										102	128	139	143	-	150	150	
		根的深度	-											-	2.0	到底	-	-	-	-	
水耕	高		莖的高度	-	100	-	100	100	100	100	-	100	100	103	104	-	104	105			
		根的深度	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	82	100	102	-	103	104			
	中		莖的高度	-	91	-	91	91	92	92	-	92	94	99	99	100	-	101			
		根的深度	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	62	-	70			
	低		莖的高度	-	101	-	101	103	103	104	-	105	105	106	107	107	-	108			
		根的深度	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	52	62	-	75			

附錄 5-1-3-2：限制根發展深度觀察紀錄表(青椒-5 月)

植物種類	培養環境	編號	植栽裝置照片	生長情形	觀察紀錄(單位：公釐)														備註	
					5 月															
					1	2	3	4	5	8	9	10	11	12	15	16	17	18		19
青椒	泥土	高		莖的高度	144	144	-	146	147	149	149	-	150	150						
				根的深度	水多	水多	-	水多	水多	水多	水多	-	水多	水多						
		中高		莖的高度	165	170	-	172	175	184	188	-	190	191						
				根的深度	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-						
	中低		莖的高度	184	185	-	188	189	192	192	-	193	195							
			根的深度	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-							
	低		莖的高度	176	178	-	180	181	184	185		185	185							
			根的深度	90	到底	-	-	-	-	-	-	-	-							
	培養土	高		莖的高度	159	164	-	167	170	176	179	-	188	191						
				根的深度	44	49	-	49	沒入	沒入				81						
		中		莖的高度	102	113	-	117	120	129	130	-	132	133						
				根的深度	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-						
低			莖的高度	111	111	-	112	115	118	120	-	121	121							
			根的深度	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-							
水耕	高		莖的高度	109	110	-	113	114	119	120	-	120	120							
			根的深度	104	105	-	105	107	119	122	-	126	128							
	中		莖的高度	104	107	-	111	113	115	115	-	115	115							
			根的深度	73	73	-	82	86	89	91	-	93	95							
	低		莖的高度	109	110	-	110	111	113	115	-	115	115							
			根的深度	92	94	-	94	98	112	112	-	112	112							

評 語

081550 地底下的秘密

1. 取材生活化，能實際調查。
2. 驗證假設的實驗題材不適合，如綠豆、青椒無法推論到木本植物的行道樹。
3. 結論有矛盾，破壞的樹，除了形態和種類也很有關係。