

臺灣二〇〇四年國際科學展覽會

科 別：地球與太空科學科

作品名稱：雨水衝擊和土壤滲透速率關係之探討

得獎獎項：地球與太空科學科第一名
香港第卅七屆聯校科學展覽會正選代表

學 校：高雄市立高雄女子高級中學

作 者：康鈺玫

作者簡介



我出生在一個平凡美滿的家庭，父母民主開放，我和姊姊從小就培養出獨立自主的處世態度和對生活問題追根究底的精神。受到父母的鼓勵，我常參加各類比賽：投稿文學作品、英文文章、畫畫、演講比賽和全國科展比賽。這次參加國際科展，我在研究過程中學到了很多知識、研究的態度和處理報告的方法，謝謝評審們能給我這個機會學習新事物。

Abstract

This research is devoted to researching the influence of rain-drop impact on the rate of infiltration. Rain-drop simulators 160cm tall drip water into a transparent container (14 x 10 x 4) of three kinds of soil (quartz sandstone, loess, sand soil) Through the manipulation of factors such as rain impact (raindrop diameter, raindrop descendent height, frequency of impact) and soil property, we experiment the different possibilities of infiltration and its rate under various conditions. Through this comparison we aim to discover the relation between rain impact and infiltration rate.

This research concludes the following:

1. The larger the diameter of the raindrop, the quicker the infiltration rate.
2. The greater the descendent height, the greater the speed of infiltration due to collected descending speed.
3. In the early stage of rain, the greater the frequency of rain impact, the faster the rate of infiltration.
4. Under controlled raining conditions, the larger blank sand soil allows greater infiltration speed.
5. In the later stage of rain impact, a blanket of water accumulates on the surface of the soil, reducing the impact force and thus affecting the rate of infiltration.

作品摘要

本研究試探究雨滴撞擊對土壤入滲速度所造成的影響，針對此問題設計下列方法，以進行探討。我們採用高 160cm 的自製雨滴模擬器來滴濺長 14cm，寬 10cm、高 4cm 的透明實驗盒裝入三種土樣（石英砂、黃土與黑砂壤），接著改變各種雨水衝擊因子（不同直徑的水滴、不同的落下高度、不同的撞擊頻率）和土壤條件（土壤性質…）等變因，讓滴濺過程產生不同的情形，滴濺過後再行滲透作用，比較各情況所造成的滲透速率快慢的差異，尋找出雨滴衝擊和土壤滲透速率的關係。

本研究有以下幾點結論：

1. 雨滴粒徑愈大，對於土壤的入滲速率愈快。
2. 雨水落下高度愈大時，因水滴動能的增加，土壤的入滲速率也愈快。
3. 在水滴撞擊的初期，當水滴滴落頻率愈大時，土壤的入滲速率也會愈快。
4. 當雨滴條件相同時，平均粒度較大的黑砂壤其入滲速率較快。
5. 在雨滴撞擊後期，因表層土壤產生的水膜造成雨滴撞擊能量的變化。當水膜厚度愈大時，撞擊產生的能量有減少的趨勢而影響了土壤的入滲速率。

雨水衝擊和土壤滲透速率關係之探討

Investigating the relation between lash of rain and infiltration of soil

壹、前言

台灣地區的降雨強度大，不論是春雨、午後雷陣雨或是颱風來臨，常隨之帶來可觀的雨水，其衝擊常造成嚴重的土壤沖蝕，使土體損害、土粒流失；大雨過後的土質往往劣化，並導致農業生產力大幅減低、水土保持的破壞，甚至土石流等等…，造成許多土地不堪利用的問題，令我們十分頭疼。本實驗即由此現象出發，藉由簡單的器材和數值分析，尋找下列雨滴衝擊土壤和土壤滲透的關係。

- 一、雨滴衝擊土壤的末速變化。
- 二、討論雨滴粒徑對土壤滲透速率的影響。
- 三、討論水滴衝擊高度對土壤滲透速率的影響。
- 四、討論雨滴衝擊頻率對土壤滲透速率的影響。
- 五、討論土壤性質對土壤滲透速率的影響。
- 六、土壤受雨滴撞擊初期和末期之入滲速度比較。
- 七、探討水滴撞擊水膜之情形。



↑ 儀器一覽

貳、研究方法與過程

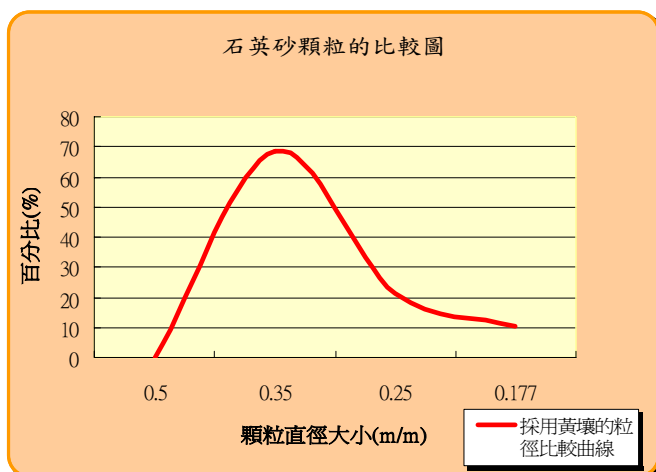
我的研究方法敘述如下：

一、定義土樣

本實驗所使用的基本土樣有三大類：石英砂、黃土和黑砂壤。

在做每個實驗以前，先將各種土樣利用分析篩分析出顆粒大小的分配，數據作圖如下：

石英砂

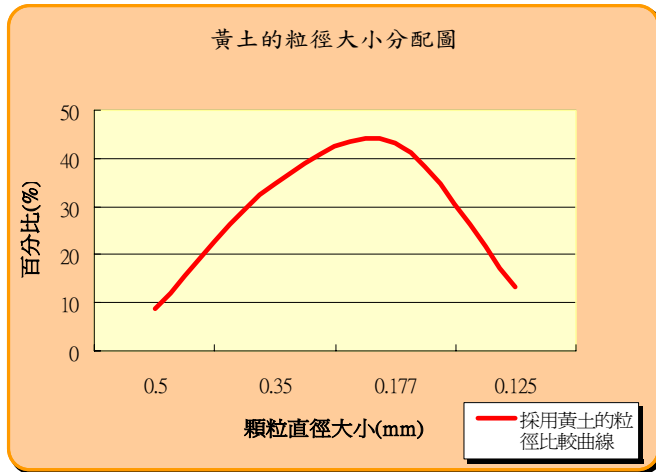


此樣土直接由向儀器行購買，土樣粒徑分布均勻，集中於0.25mm~0.35mm。

粒徑大小 (mm)	百分比 (%)
0.5	0
0.35	68.5
0.25	21.3
0.177	10.2

平均粒徑： 0.311mm

黃土

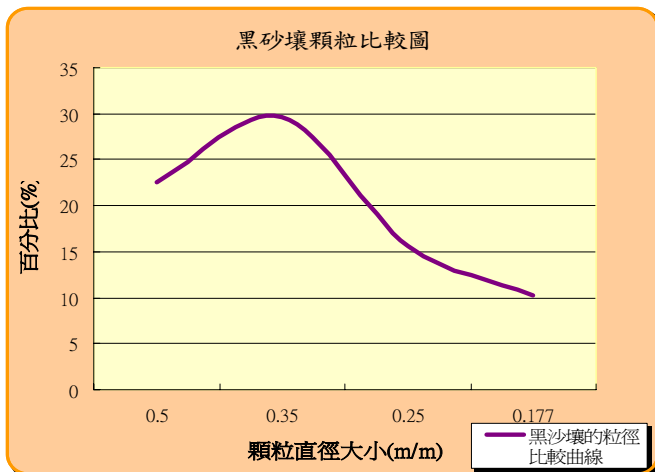


利用分析篩分析此土樣後，依各粒徑大小所分布的百分率進行作圖。

粒徑大小 (mm)	百分比 (%)
0.5	8.7
0.35	34.7
0.177	43.3
0.125	13.3

平均粒徑： 0.258mm

黑砂壤



利用分析篩分析此土樣後，依各粒徑大小所分布的百分率進行作圖。

粒徑大小 (mm)	百分比 (%)
0.5	28.9
0.35	38
0.25	19.9
0.177	13.2

平均粒徑： 0.350mm



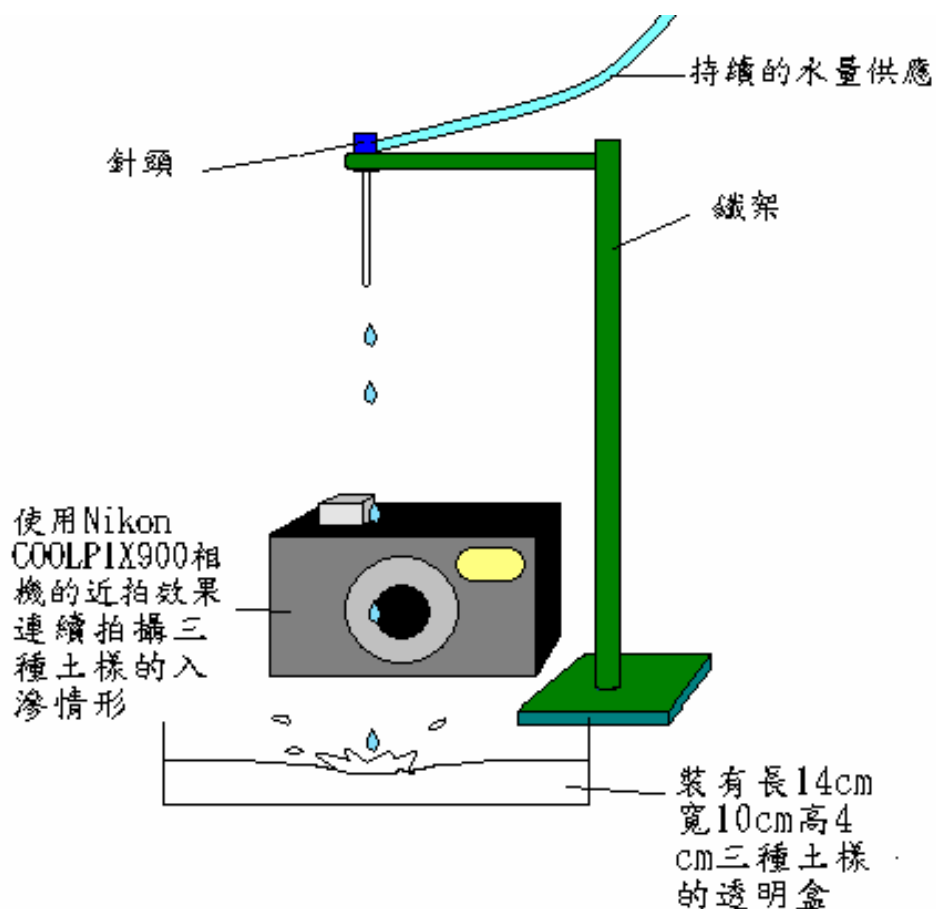
← 分析篩



↑ 每層粒徑秤重圖

二、實驗儀器設計圖

研究的設計圖如下：



三、雨滴粒徑大小的計算：

本研究在改變雨水衝擊因子實驗中，使用到兩種粗細不同的針頭，於是先加以定義雨滴粒徑的大小，利用定壓幫浦讓大小針頭各滴出50滴雨水，算出1滴雨水的體積。由於水滴在滴出時體積接近球體，代入球體積 $V = \frac{4}{3} \pi r^3$ ，重複三次實驗，實際算出大小針頭所推出雨滴的平均半徑大小，計算結果如下表：

小針頭	1滴體積ml	雨滴半徑mm
第一次	0.0188	1.65
第二次	0.02	1.68
第三次	0.0202	1.69

平均雨滴粒徑： 3.34mm

大針頭	1滴體積ml	雨滴半徑mm
第一次	0.069	2.54
第二次	0.0692	2.55
第三次	0.0712	2.57

平均雨滴粒徑： 5.1mm

四、雨滴在不同高度撞擊的末速

使用光電計時器，利用水滴感應電管會改變電壓的特性，使用電腦軟體進行捕捉兩個感應電管間相隔的時間，代入公式 $V = \Delta d / \Delta t$ ，求出雨滴在距離樣土高度不同的情況下，雨滴的末速。



← 光電計時器

五、實際裝置：



↑ 實際裝置

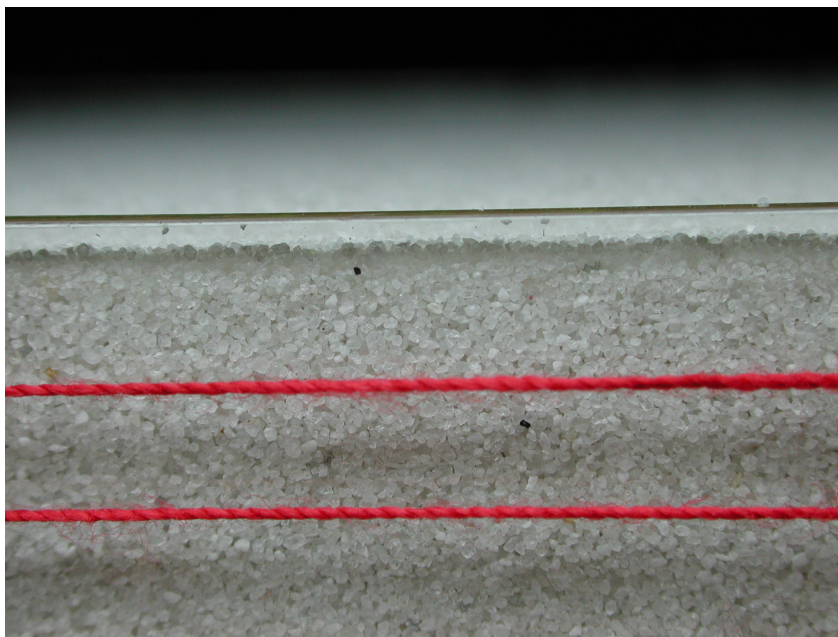
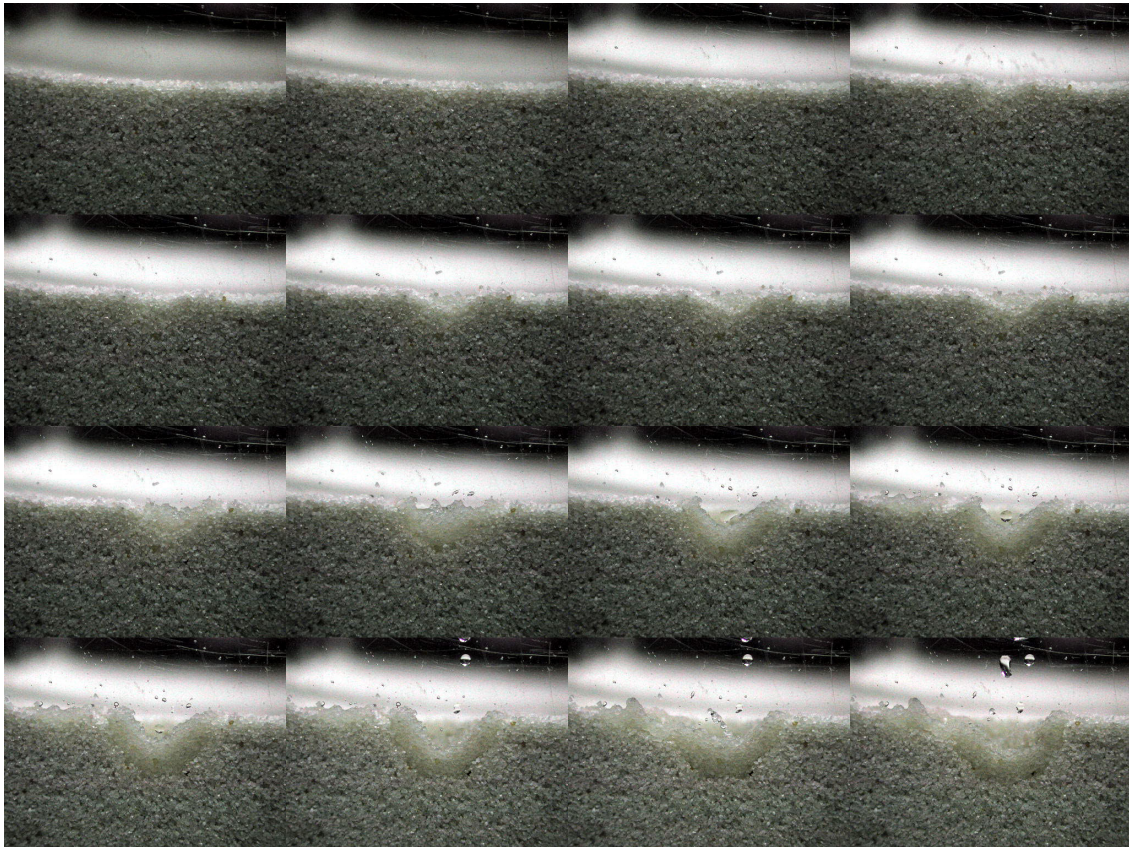


↑ 定壓幫浦
和供水器



↑ 局部放大圖
(左上) 實驗拍攝儀器 (右上) 定率
針頭 (左下) 控制速率的調整器

以石英砂作為標本的相片拍攝中，以連續拍攝觀察土體受雨滴撞擊之情況如下：



←以相機所拍攝的石英砂表面，紅線為每隔0.5 cm就作一標誌，以方便記錄。

六、實驗方法：

1. 使用鐵架，在固定的高度提供一穩定的水源（在供水器上方加設穩定水滴滴出速度的幫浦）。
2. 在鐵架上裝設透明水管和針頭，連結於上面的穩定水源。
3. 取一長14cm、寬10cm、高4cm的透明實驗盒，其上於每0.5cm標示一條紅線以便觀察。
4. 分別將前述三種土樣裝置於透明實驗盒內。
5. 固定相機（Nikon COOLPIX990）的位置及焦距，並在四周打以強光。
6. 將水以固定速率（2.5滴/秒）滴下。
7. 用相機連續以側面拍攝土表的撞擊過程及滲透情形（2張/1秒）。
8. 依照片中的滲透情形量取刻度並行作圖。
9. 改變各種變因進行操作。

參、研究結果與討論

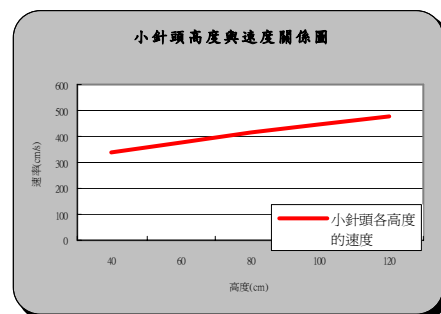
一、雨滴撞擊土壤的末速測量

使用光電計時器，利用水滴感應電管會改變電壓的特性，使用電腦軟體進行捕捉兩個感應電管間相距的時間，代入公式 $V = \Delta d / \Delta t$ ，求出雨滴在距離樣土高度不同的情況下，雨滴的末速，計算結果如下：

小針頭	距離(cm)	時間間距(s)	平均速度(cm/s)
第 1 光柵~第 2 光柵	40	0.062	335.4839
第 2 光柵~第 3 光柵	60	0.051	376.4706
第 3 光柵~第 4 光柵	80	0.048	416.6667
第 4 光柵~第 5 光柵	100	0.045	444.4444
第 5 光柵~第 6 光柵	120	0.042	476.1905

由於針頭滴出水滴時初速=0，則光柵與光柵之間的中點，其速度十分接近光柵之間的平均速度。所以可以藉這個實驗推得：

高度100cm水滴落下的末速：444 cm/s
高度80cm水滴落下的末速：417 cm/s
高度50cm水滴落下的末速：356 cm/s



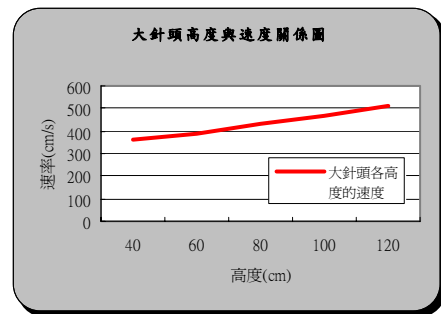
大針頭	距離(cm)	時間間距(s)	平均速度(s)
第 1 光柵~第 2 光柵	40	0.058	358.6207
第 2 光柵~第 3 光柵	60	0.049	391.8367
第 3 光柵~第 4 光柵	80	0.046	434.7826
第 4 光柵~第 5 光柵	100	0.043	465.1163
第 5 光柵~第 6 光柵	120	0.039	512.8205

由於針頭滴出水滴時初速=0，則光柵與光柵之間的中點，其速度十分接近光柵之間的平均速度。所以可以藉這個實驗推得：

高度100cm水滴落下的末速：465 cm/s

高度80cm水滴落下的末速：435 cm/s

高度50cm水滴落下的末速：375 cm/s

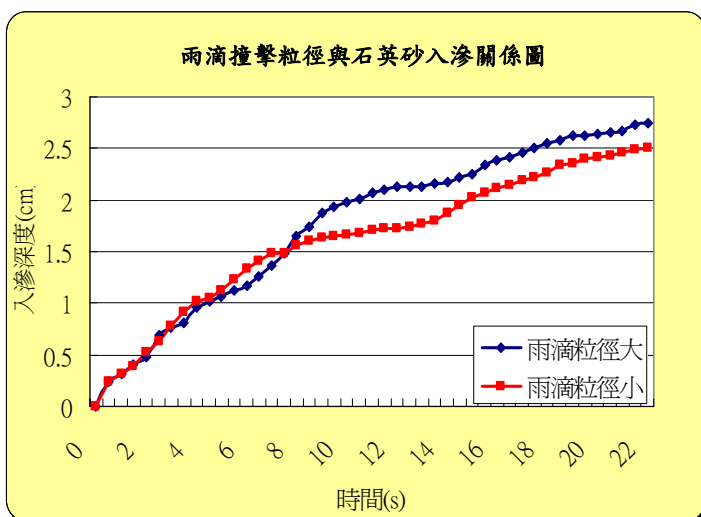


二、雨水的粒徑大小對土壤滲透速率的影響？

台灣地區降雨強度在不同的時域中各有不同，其中降雨強度除了單位面積水量以外，雨滴的粒徑大小對土體破壞的程度也有所差異，本實驗由此現象出發，欲探討雨水的直徑大小對土壤滲透速率所造成的影響。

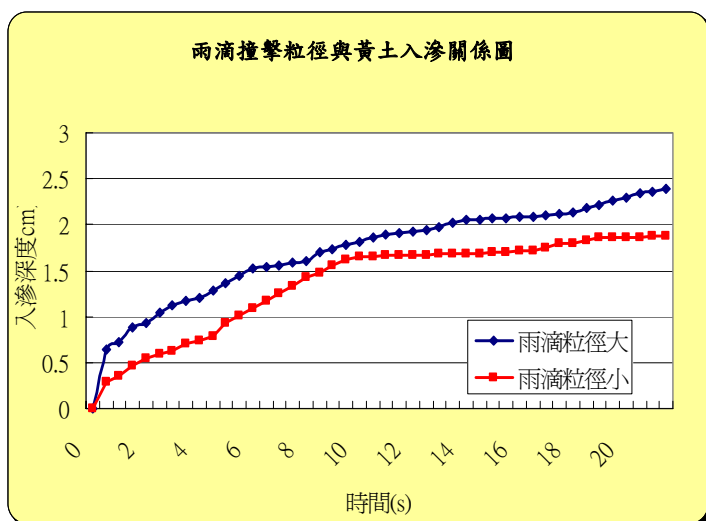
取一長14cm、寬10cm、高4cm的透明實驗盒，分別裝入前述三種土樣。固定相機（Nikon COOLPIX990）的位置及焦距，並在四周打以強光。將水以固定速率（2.5滴/秒）、高度160cm滴下，改變雨水滴出的針頭口徑（已計算出雨滴粒徑分別為3.34mm和5.1mm）。並用數位相機連續以側面拍攝石英沙土表的撞擊過程及滲透情形（2張/1秒）。依照照片中的滲透情形量取刻度並行作圖。

所得的數據，做出以下的圖形：



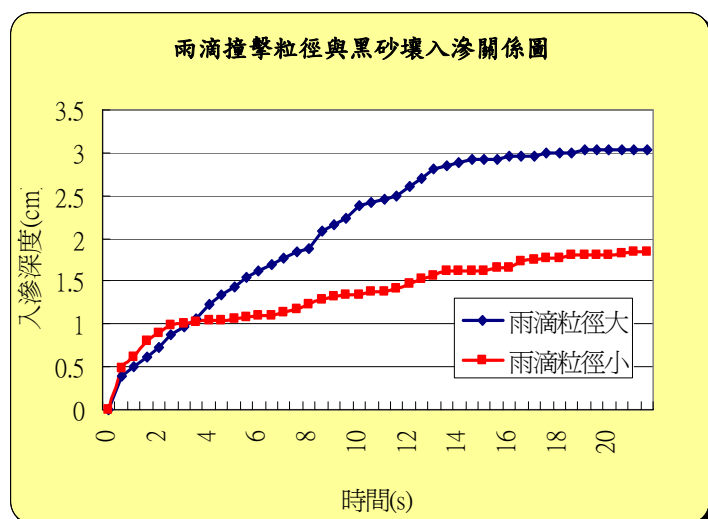
討論：

- 1.由圖形可知，兩條入滲的曲線都是由快而減緩凹向下曲線。
- 2.雨滴撞擊初期，粒徑大小不同的水滴對石英砂的入滲情形差異不大，但約自第九秒後，大粒徑水滴之入滲速度較快，小粒徑水滴之入滲速度較慢。
- 3.在初期尚未產生積水時，粒徑大小對於土壤幾乎無差異。但到了中後期，石英砂表層隨著時間的延長漸產生積水，水膜的出現雖然對於大小粒徑的水滴都會造成影響，但對粒徑小的雨滴較大的有影響，導致滲透速率明顯減小。



討論：

- 1.由圖形可知，兩條入滲的曲線都是由快而減緩凹向下曲線。
- 2.粒徑較大的雨滴對黃土的入滲速率較大，粒徑較小的雨滴的滲透速率較小。在初期兩者差異拉大，後期則各自有相似的入滲情形。
- 3.討論其原因，是因為平均粒徑小的黃土滲透率較差，導致在剛開始的時候就產生積水，水膜的出現對大小粒徑的雨滴皆有影響，導致兩條曲線的滲透速率皆減小。



討論：

- 1.由圖形可知，兩條入滲的曲線都是由快而減緩凹向下曲線。
- 2.雨滴撞擊初期，粒徑大小不同的水滴對黑砂壤的入滲情形差異不大，但約自第3秒後，大粒徑水滴之入滲速度較快且明顯，而小粒徑水滴之入滲速度較為緩慢。
- 3.作用類似石英砂的作圖，在初期尚未產生積水時，粒徑大小對於土壤幾乎無差異。但到了中後期，黑砂壤表層隨著時間漸產生積水，水膜的出現對粒徑小的雨滴較粒徑大的雨滴有影響，導致滲透速率明顯減小。

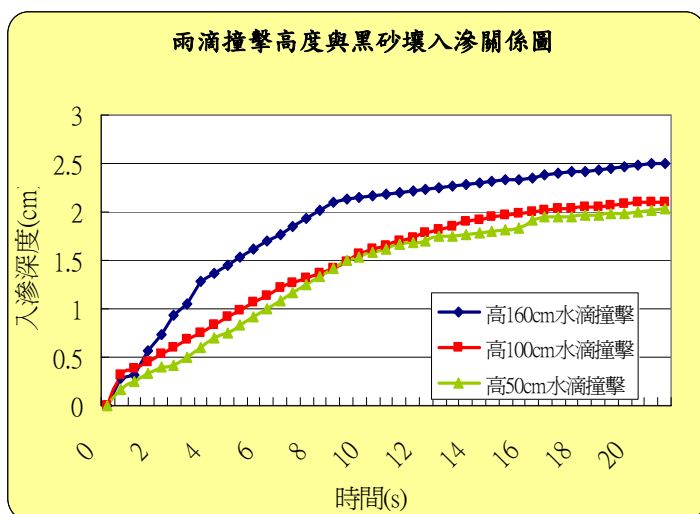
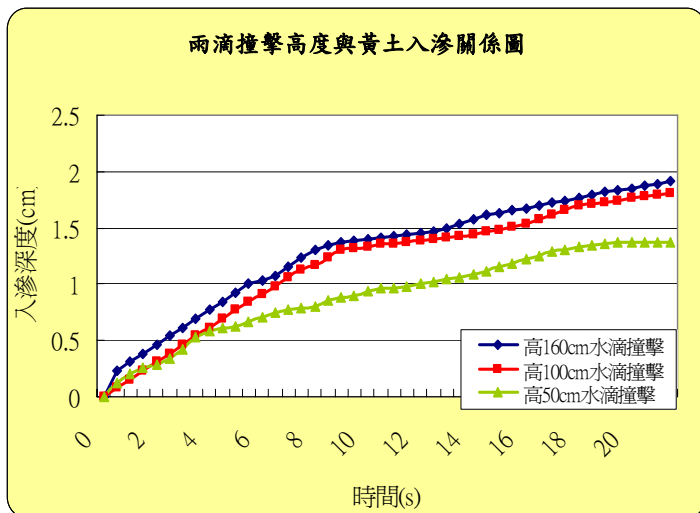
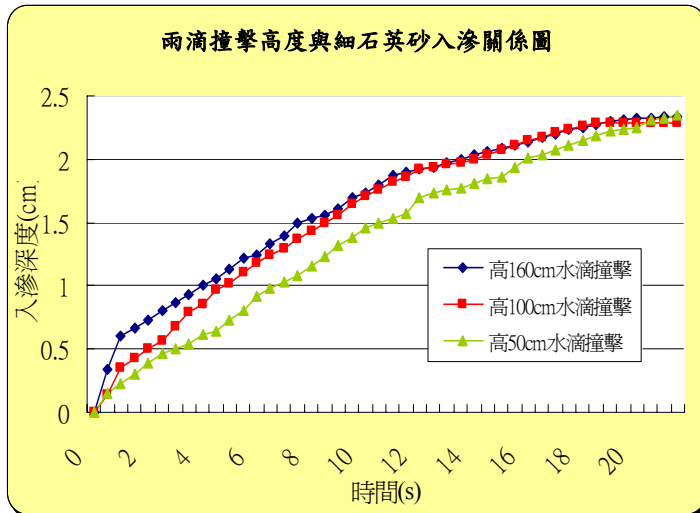
三、雨水落下的高度對土壤滲透速率的影響？

雨水落下高度不同，會造成雨水撞擊衝力的不同。本實驗由此現象出發，欲探討雨水落下的高度對土壤滲透速率所造成的影響。

取一長14cm、寬10cm、高4cm的透明實驗盒，分別裝入前述三種土樣。固定相機

(Nikon COOLPIX990) 的位置及焦距，並在四周打以強光。將水以固定速率(2.5滴/秒)、粒徑為5.1mm滴下，改變雨水滴出的高度(分別為160cm、100cm、50cm高)。並用相機連續以側面拍攝石英沙土表的撞擊過程及滲透情形(2張/1秒)。依照片中的滲透情形量取刻度並行作圖。

所得的數據，做出以下的圖形：



討論：

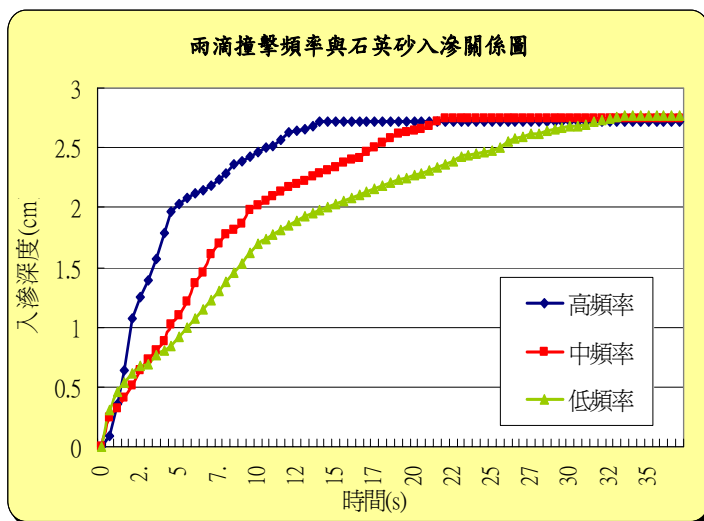
1. 由三圖可知，三條入滲的曲線皆是由快而慢的凹向下曲線。
2. 比較後發現，高 160cm 水滴所撞擊各土樣的滲透率最高，其次是 100cm，再其次是 50cm。
3. 推測其原因，是因為雨滴在下落中，本身所具備的位能轉變為動能，而離土樣表面越高，所轉換成的動能越大，落下的末速也越大，造成入滲較為明顯，滲透速率較快。
4. 黃土樣本中高 50cm 撞擊的曲線，有滲透速率明顯減慢的狀況，推測這是因為黃土的平均粒徑小，又因為高 50cm 撞擊的動能小，導致黃土表面積了一層水膜，而且水膜厚度越來越厚。水膜越厚，導致滲透速率明顯減慢。而其他兩條高 160cm 和高 100cm 撞擊的曲線，由於動能仍大，較無 50cm 撞擊滲透速率明顯減慢的現象。
5. 黑砂壤樣本中高 160cm 撞擊的曲線，有滲透速率明顯大於同圖中高 100cm 和高 50cm 撞擊的曲線的狀況，這是因為水滴高 160cm 撞擊的末速大，動能也大，加上黑砂壤的平均粒徑大，滲透佳。所以黑砂壤樣本中高 160cm 撞擊的曲線，滲透速率明顯偏大。

四、雨水衝擊的頻率對土壤滲透速率的影響？

台灣地區降雨強度在不同的時域各有不同，其中降雨強度是決定一地土壤入滲的重要關鍵。本實驗由此現象出發，欲探討雨水的撞擊頻率對土壤滲透速率所造成的影響。

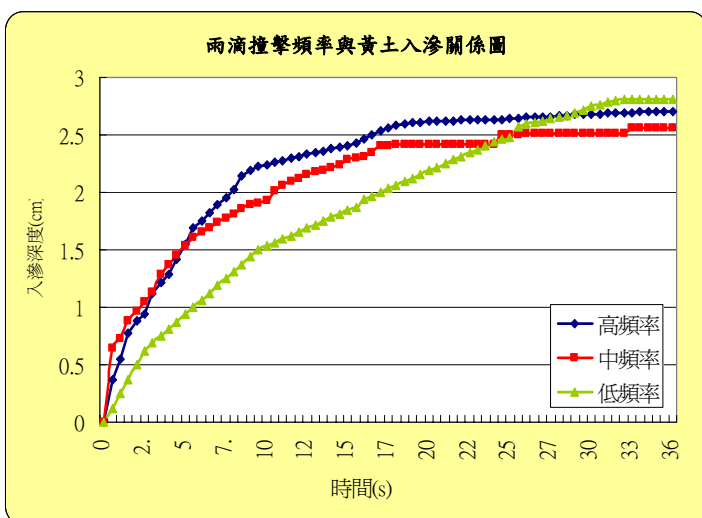
取一長14cm、寬10cm、高4cm的透明實驗盒，分別裝入前述三種土樣。固定相機（Nikon COOLPIX990）的位置及焦距，並在四周打以強光。將水以固定粒徑（5.1mm）、高度160cm滴下，改變雨水滴出頻率的高低（3.8滴/秒、2.5滴/秒、1.3滴/秒）。並用相機連續以側面拍攝石英沙土表的撞擊過程及滲透情形（2張/1秒）。依照片中的滲透情形量取刻度並行作圖。

所得的數據，做出以下的圖形：



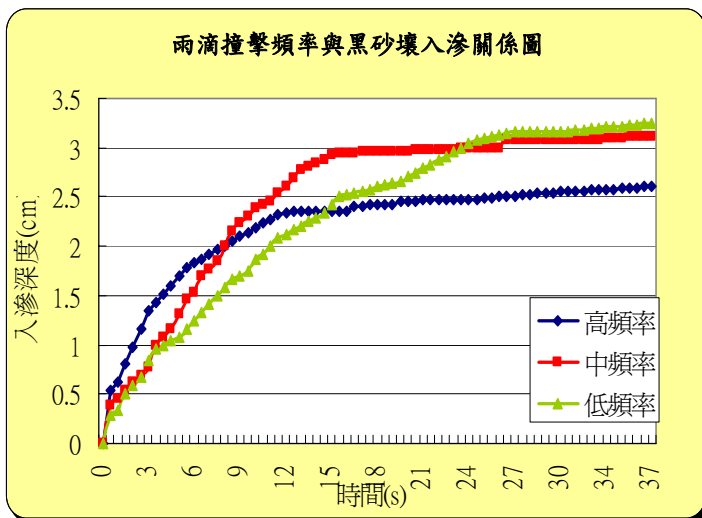
討論：

1. 由石英砂的滲透速率圖可以發現在初期的滲透速率比較為：高頻率 > 中頻率 > 低頻率，末期的滲透速率幾乎差不多。
2. 在末期三條曲線的最終入滲深度相同，這可能是因為石英砂的粒徑集中而且單純，比較沒有其他土壤因子的干擾，導致末期三條曲線趨勢較為一致。



討論：

1. 由黃土的滲透速率圖可以發現在初期的滲透速率：高頻率約等於中頻率而大於低頻率，末期的滲透速率比較為：低頻率 > 中頻率和高頻率。
2. 推測其原因，是因為黃土的平均粒徑為三者中最小，滲透較不易，當雨水在短時間滴下一定雨量時，雨水容易在黃土的表面產生一層積水，隨著積水越來越厚，雨滴落下衝擊土壤的力量也隨著減少，導致高頻率的滲透速率減低，和黃土滲透圖中中頻率的滲透曲線較為類似。



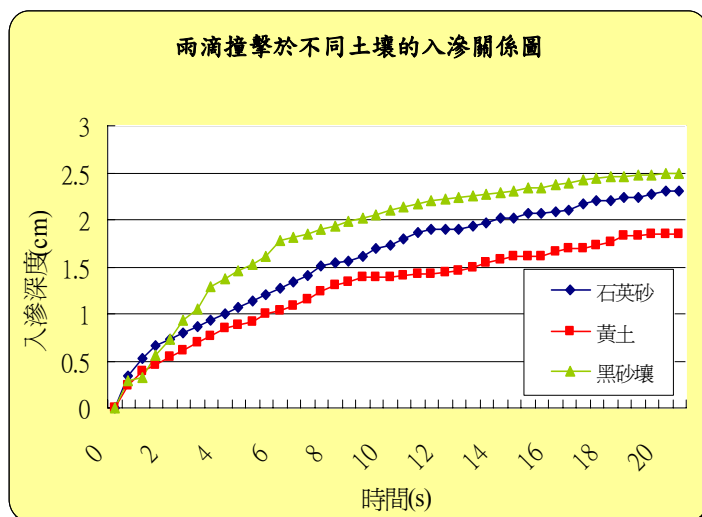
討論：

- 1.此圖較上頁的兩圖不同，由此圖可以看出，在滲透初期，滲透速率是高頻率>中頻率>低頻率，但是在滲透末期，滲透速率是低頻率>中頻率>高頻率。
- 2.此種現象是因為高頻率的降水，使得黑砂壤在來不及滲透前就在表層形成了一層積水，而積水使得接下來落下的雨滴對土壤的衝擊力減小，造成後期黑砂壤滲透速率明顯的減低。
- 3.討論其原因，在低頻率供給水量下，供應同量的雨水而把給予的時間拉長，而由於黑砂壤的平均粒徑是三種土樣中最大的，所以此土樣來的及在下一滴雨水到達土表以前，就先把前一滴的雨水吸入土中，比較不會造成積水的結果，在同圖三曲線中，滲入作用是最好的。

五、土壤性質對土壤滲透速率的影響？

土壤性質的差異決定土壤的細密度和膠結能力，是造成各地區降雨過後現象不同的主要因素，於是以三種土樣（石英砂、黃土、黑砂壤）互為對照，欲找出土壤性質對土壤滲透速率的影響。

取一長14cm、寬10cm、高4cm的透明實驗盒，分別裝入前述三種土樣。固定相機（Nikon COOLPIX990）的位置及焦距，並在四周打以強光。將水以固定速率（2.5滴/秒）且固定高度（高160cm）滴下。用相機連續以側面拍攝三種土樣土表的撞擊過程及滲透情形（2張/1秒）。依照片中的滲透情形量取刻度並行作圖。

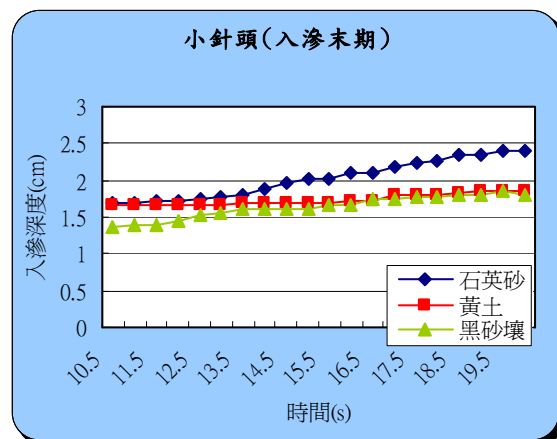
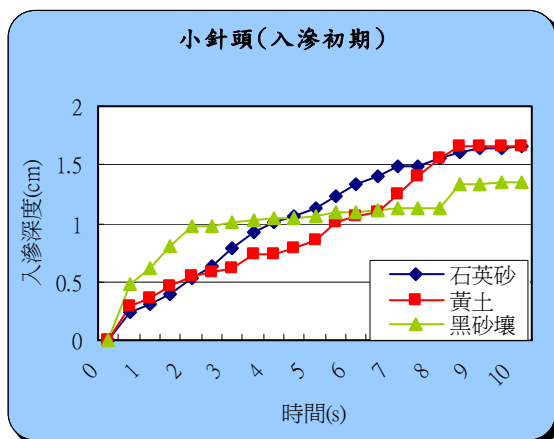
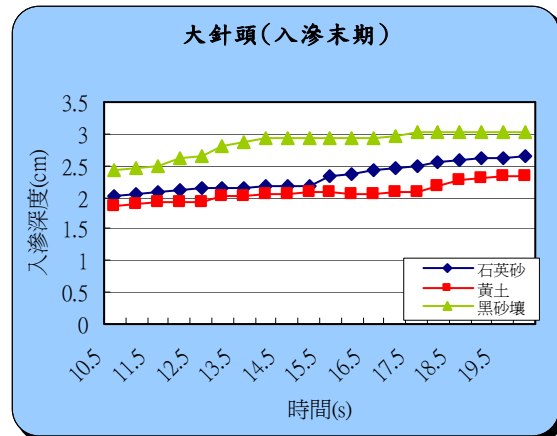
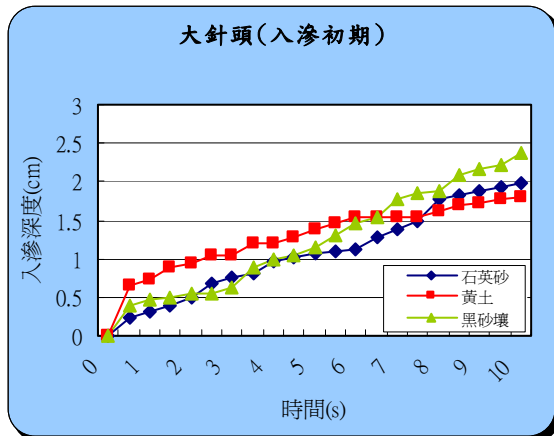


討論：

1. 由此圖形可知，滲透速率是黑砂壤>石英砂>黃土。
2. 探討其原因是土壤的平均粒徑為黑砂壤>石英砂>黃土，平均粒徑大的孔隙率也較大，導致滲透作用較為明顯。

六、土壤受雨滴撞擊初期和末期之入滲速度比較

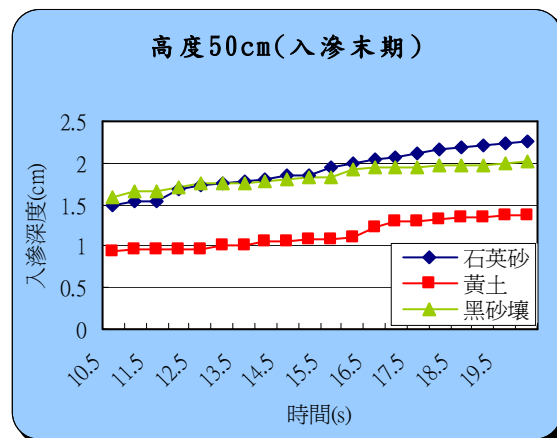
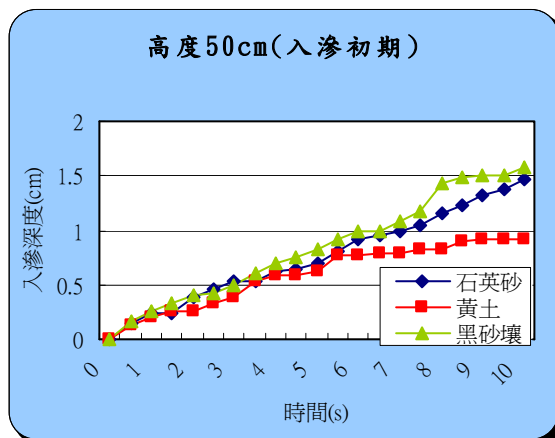
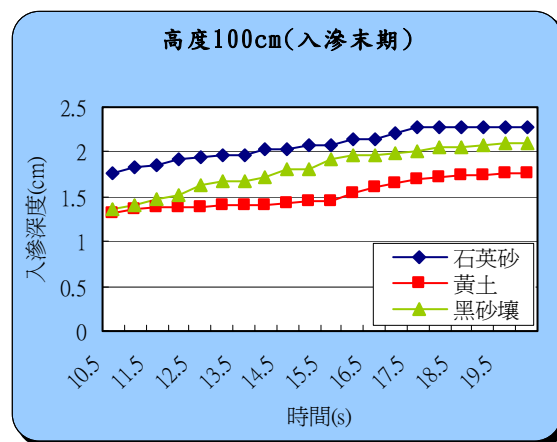
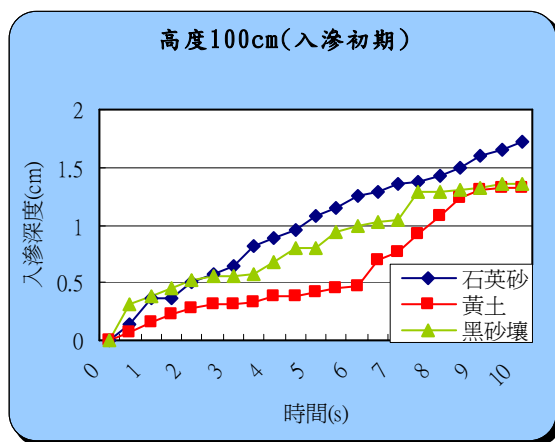
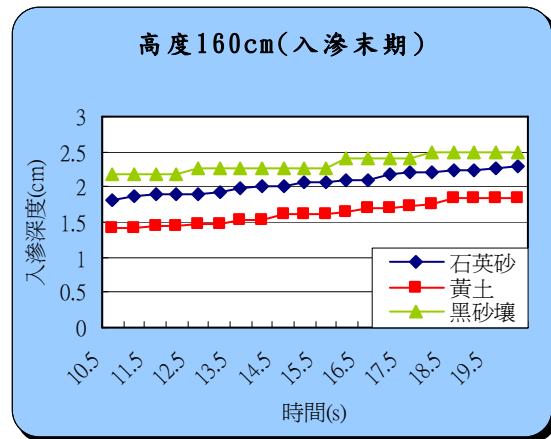
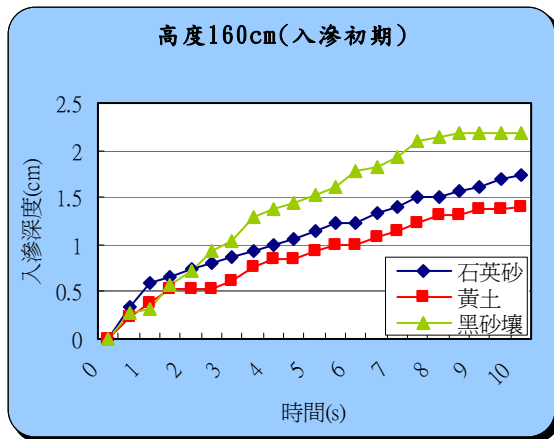
1. 改變雨水粒徑大小的土壤滲透速率初期和末期的比較



討論：

整體而言，入滲初期的速率皆比後期為快，尤其以大粒徑的水滴，此變化由為明顯。

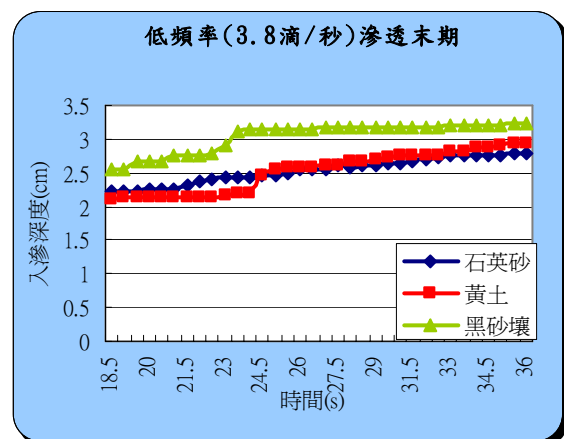
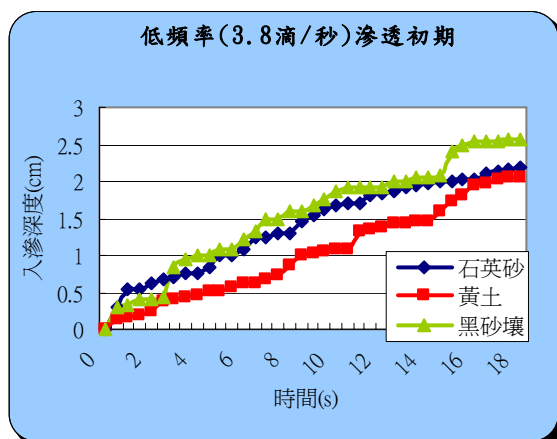
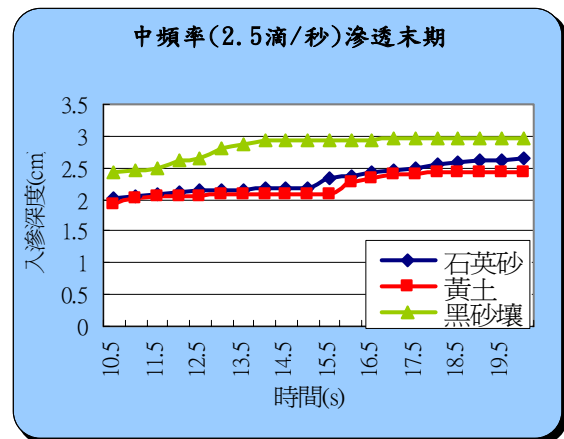
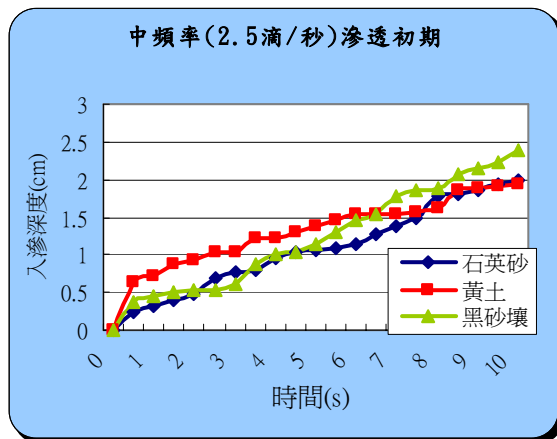
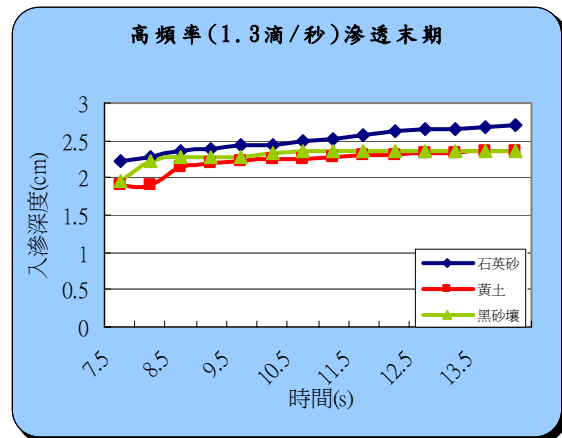
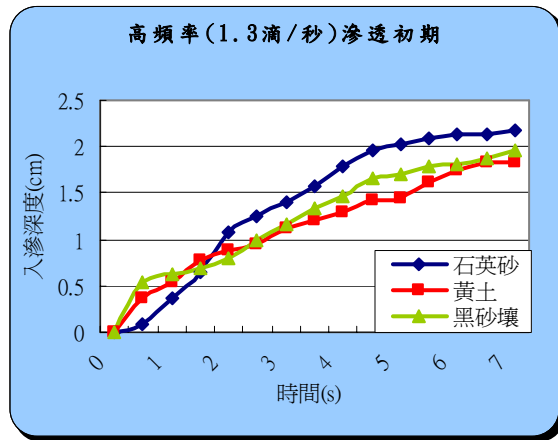
2. 改變雨水落下高度的土壤滲透速率初期和末期的比較



討論：

當雨滴落下高度變小時，因為動能的減少，使得撞擊初期與末期的土壤入滲速率差距較小。

3. 改變雨水衝擊頻率的土壤滲透速率初期和末期的比較



討論：

隨著雨滴頻率的減少，滲透初期與末期的入滲速率的差距也會變小。

七、探討分析水滴撞擊力量對土壤滲透速率之影響。

1. 水滴撞擊模型的製作

爲了了解雨滴對土壤滲透的影響，於是設計此實驗，以細部探討一滴、兩滴和三滴水在不同高度下對土壤的影響，並比較其差異。

本實驗設計在三種高度下(160cm、100cm、50cm)，以黑砂壤作爲土樣，將其裝入長 14cm、寬 10cm、高 4cm 的透明實驗盒，並固定水的頻率(2.5 滴/s)及粒徑(5.1mm)。

以下爲操作步驟：

- (1) 在高度 160cm 的情況下，在黑砂壤土樣上分別滴入一滴、兩滴和三滴的水。
- (2) 靜置待其不再變化後，放上比例尺以 CCD 數位照相機拍攝各個的擴散情形。
- (3) 把這三個受一滴、兩滴和三滴水滴撞擊後的濕黑砂壤挖出。
- (4) 在各個角度對這三個挖出來的土樣噴上固著劑，
- (5) 待其乾燥後，即得一滴、兩滴和三滴水滴撞擊黑砂壤的土樣模型。
- (6) 高度 100cm 及 50cm 的模型亦同此法製作。



↑ 實驗模型

(上排)高 50cm、粒徑 5.1mm

由左而右爲 3 滴、2 滴、1 滴

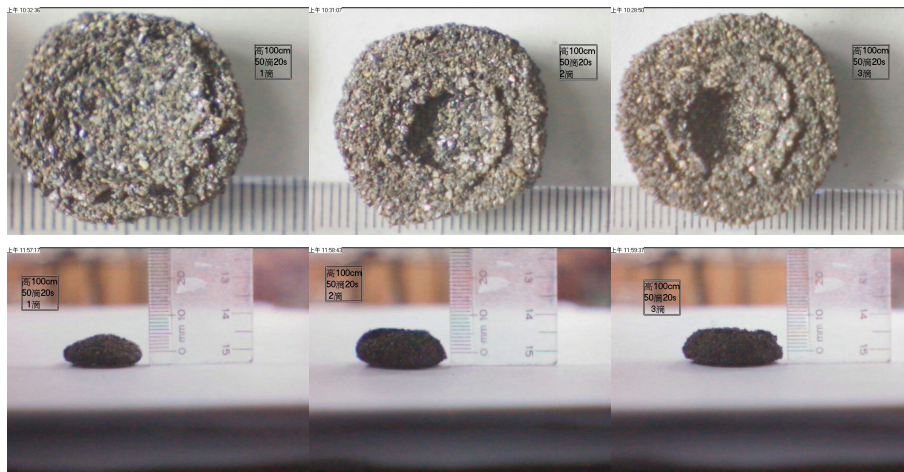
(中排)高 100cm、粒徑 5.1mm

由左而右爲 3 滴、2 滴、1 滴

(下排)高 160cm、粒徑 5.1mm

由左而右爲 3 滴、2 滴、1 滴

實驗結果如下：



↑ 雨滴衝擊土壤模型之部分影像

滴數 高度	1 滴		2 滴		3 滴	
	模型寬度	模型高度	模型寬度	模型高度	模型寬度	模型高度
160cm	24mm	10.29mm	28.5mm	10.55mm	30mm	12.22mm
100cm	23.6mm	9.4mm	26.75mm	11.11mm	27.5mm	11.11mm
50cm	21.6mm	8mm	26.75mm	10.4mm	28mm	10.53mm

討論：

- (1) 由上述的實驗大致可知，當滴數增加時，水滴模型的寬度和高度皆會增加。
- (2) 當滴數相同時，高度增加則水滴模型的寬度和高度亦會增加。
- (3) 觀察 3 滴的模型，其模型寬度和高度的比值在 160cm 時為 2.45，100cm 時為 2.47，50cm 時為 2.6，似乎可假設當高度愈小時，水滴的滲透橫向愈比縱向明顯。

2 · 水滴撞擊水膜之實驗

實驗設計如下：

- (1) 利用玻璃皿分別置放 2mm，5mm 與 8mm 厚度的水膜，接著分別在距離水膜 100cm，80cm 與 50cm 的高度，利用幫浦控制只讓單一水滴自由撞擊在水膜表面，利用數位 CCD 捕捉撞擊之影像，並以 Video Studio 軟體分析單一畫格影像。大小粒徑之水滴分別重複步驟實驗之。
- (2) 單一畫格影像分析發現水滴撞擊水膜之後，會在水膜上方形成飛濺的水冠，利用 Motic 軟體分析水冠的高度 h 與水冠的寬度 b ，將水冠視為一圓柱體，求出水冠的質量。接著利用 $v = 0.5 \times b \div 0.033$ 秒（兩畫格之時間差為 0.033 秒）求出水冠飛濺之平均側向速度。

- (3) 利用水滴撞擊水膜前之末速與單一水滴質量可以求出水滴撞擊前之動能，在撞擊時產生的能量使水冠形成，估計水冠的位能 $=m \times g \times h/2$ ，水冠側向動能 $=1/2 \times m \times v \times v$ ，算出後，再將兩者相加得其水冠總能。

實驗結果如下：

● 大針頭

水滴高度 (cm)	水膜厚度 a(mm)	水冠高度 h(mm)	水冠寬度 b(mm)	水冠質量 m(g)	側向速度 v(mm/s)	水滴撞擊 前動能 (mj)	撞擊後水 冠位能 (mj)	撞擊後水 冠動能 (mj)	撞擊後總 能(mj)
100	2	5.22	14.37	0.8462	217.73	0.1975	0.0216	0.0201	0.0417
	5	4.82	13.11	0.6503	198.64	0.1975	0.0154	0.0128	0.0282
	8	3.11	9.87	0.2378	149.55	0.1975	0.0036	0.0027	0.0063
80	2	5.09	14.87	0.8835	225.30	0.1736	0.0220	0.0224	0.0445
	5	4.21	12.82	0.5432	194.24	0.1736	0.0112	0.0102	0.0215
	8	3.08	10.54	0.2686	159.70	0.1736	0.0041	0.0034	0.0075
50	2	4.78	13.71	0.7053	207.73	0.1264	0.0165	0.0152	0.0317
	5	4.24	12.23	0.4978	185.30	0.1264	0.0103	0.0085	0.0189
	8	2.58	9.13	0.1688	138.33	0.1264	0.0021	0.0016	0.0037

● 小針頭

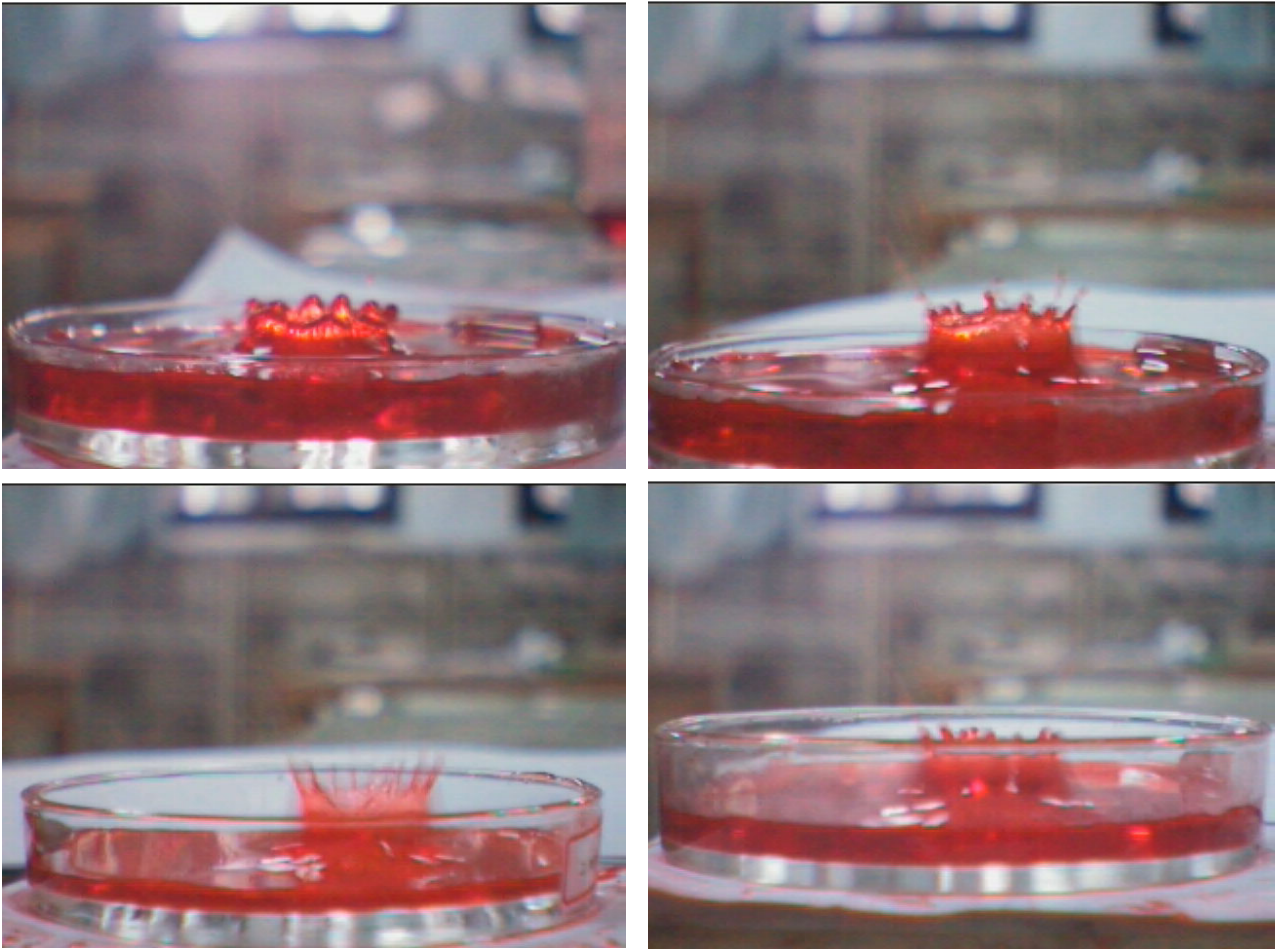
水滴高度 (cm)	水膜厚度 a(mm)	水冠高度 h(mm)	水冠寬度 b(mm)	水冠質量 m(g)	側向速度 v(mm/s)	水滴撞擊 前動能 (mj)	撞擊後水 冠位能 (mj)	撞擊後水 冠動能 (mj)	撞擊後總 能(mj)
100	2	6.60	18.90	1.85	286.36	0.7572	0.0599	0.0759	0.1357
	5	6.55	17.67	1.61	267.73	0.7572	0.0515	0.0575	0.1091
	8	5.84	18.20	1.52	275.76	0.7572	0.0435	0.0577	0.1012
80	2	5.91	20.32	1.92	307.88	0.6616	0.0555	0.0908	0.1463
	5	5.84	19.08	1.67	289.09	0.6616	0.0478	0.0697	0.1175
	8	5.55	14.67	0.94	222.27	0.6616	0.0255	0.0232	0.0487
50	2	5.61	19.81	1.73	300.15	0.4938	0.0475	0.0778	0.1254
	5	5.70	15.38	1.06	233.03	0.4938	0.0296	0.0287	0.0583
	8	4.42	18.09	1.14	274.09	0.4938	0.0246	0.0427	0.0672

討論如下：

- (1) 當水滴落下高度相同時，水膜愈厚，水冠獲得能量愈小。
- (2) 對 2mm 的水膜而言，水滴落下的高度大小變化，似乎對撞擊能量的多寡影響較小。但當水膜厚度增至 5mm、8mm 時，水滴落下的高度愈高，則撞擊產生的能量有較明

顯的增加趨勢。

(3)對小粒徑的水滴撞擊而言，因水膜厚度的增加而造成撞擊能量減少之現象，比起大粒徑的水滴撞擊更為明顯。



↑ 利用數位 CCD 捕捉單一水滴自由撞擊在水膜表面撞之部分影像

(左上) 高 50cm 水滴撞擊 8mm 厚的水膜

(右上) 高 100cm 水滴撞擊 8mm 厚的水膜

(左下) 高 100cm 水滴撞擊 2mm 厚的水膜

(右下) 高 80cm 水滴撞擊 5mm 厚的水膜

肆、結論及應用

- 一、當雨滴撞擊裸露的土壤時，當雨滴掉落的高度愈高，則其由位能轉換成的動能也愈大，因此雨滴的末速會因高度的增加而愈大。
- 二、改變雨滴的粒徑大小，其對土壤的入滲速率也會有影響。當雨滴的粒徑愈大時，其入滲的速率亦愈大。
- 三、經過文獻的搜集與比較，觀察前面實驗所做的圖形，水對於土壤的垂直滲透作用主要影響，為土壤的吸力和水分重力聯合作用。當土樣是乾燥時，土壤吸力大，隨著滲透作用

的進行，土表層濕潤的厚度不斷增加，土壤吸力就不斷地減低，到最後就只會剩下重力梯度使水分繼續下降。因而導致剛開始的滲透速率大，經過時間的延長，滲透速率快速減低，其圖形成為平緩且凹向下的曲線。

四、高度 160cm 的水滴所撞擊各土樣的滲透速率最高，其次是高度 100cm，再其次則是高度 50cm。其原因是當雨滴下落的高度增高，其末速增大，對土壤的衝擊力亦增大，造成入滲較為明顯，滲透的速率也較快。因此雨滴落下的高度愈大，其入滲的速率亦愈大。

五、在雨滴撞擊土壤的初期，當雨滴滴落的頻率愈大時，土壤滲透的速率也愈快。但到了後期，由於土壤表層的積水會減小雨滴對土壤的衝擊力，因此末期三條曲線差異並不明顯。

六、土壤性質的差異決定土壤的細密度和膠結能力，更是決定土壤滲透速率的重要因素。平均粒徑愈大的土樣，其孔隙率也愈大，受雨滴撞擊後的入滲情形也會愈明顯。由實驗我們可知當雨滴條件相同時，三種土樣中（黑砂壤、黃土、石英砂），平均粒徑較大的黑砂壤其雨滴撞擊的入滲速率為最大。

七、觀察雨滴衝擊土壤的模型，可推論當雨滴撞擊土壤的高度愈小，其滲透速率橫向愈比縱向明顯，所以知道前面實驗所做的圖形在初期時的滲透速率大，然而經過時間的延長，滲透速率減低，其圖形成為平緩且凹向下的曲線。

八、水滴落下高度相同時，水膜愈厚，水冠獲得能量愈小。對 2mm 的水膜而言，水滴落下的高度大小變化，似乎對撞擊能量的多寡影響較小。但當水膜厚度增至 5mm、8mm 時，水滴落下的高度愈高，則撞擊產生的能量有較明顯的增加趨勢。對小粒徑的水滴撞擊而言，因水膜厚度的增加而造成撞擊能量減少之現象，比起大粒徑的水滴撞擊更為明顯。

伍、參考文獻

- 一、石再添、張瑞津、黃朝恩：河流與地下水，幼獅文化事業公司發行，P.63~P.81，(民80)。
- 二、朱鈞、蔡金川、姚銘輝、盧虎生（民88）：人工雨滴衝擊力量測系統之研究，中華農業氣象研究報告。
- 三、林春宏，水滴撞擊過程剪應力之估算，屏東科技大學水土保持系碩士論文，P.1~P.81
- 四、陳振鐸：基本土壤學，徐式基金會出版，(民81)。

評語及建議事項

本作品利用雨水衝擊(在不同的大小、速度與頻率下)觀察與土壤滲透率之關係，當雨滴條件相同時，平均程度較大的黑砂壤之入滲速率較快，本作品具有創意，富科學精神，實驗過程完整。