

臺北市第 45 屆中小學科學展覽會

作品說明書封面

科 別：地球科學

組 別：國小組

作品名稱：草木皆兵

關 鍵 詞：滲水速率、吸水量、蒸發量（最多 3 個）

編 號：



摘要：

每年到了颱風季節時，山區常因為短時間內累積大量的雨水，快速沖刷地表導致土石流發生，造成了嚴重的災害。許多資訊都告訴我們：「樹木和植物具有保持水土的作用」，於是就想瞭解，在短時間內累積大量雨水向下流動的情況下，樹木和地表植被對於地質結構有什麼樣的影響。因此，以代表不同組成的地質土壤模型，分別在乾燥和潮濕的情況下，連續倒入固定體積的水，測量各種不同組成的地質土壤滲水速率和吸水重量的差異，來研究樹木和植物如何對地質土壤產生保護作用。

主題：草木皆兵

壹、研究動機

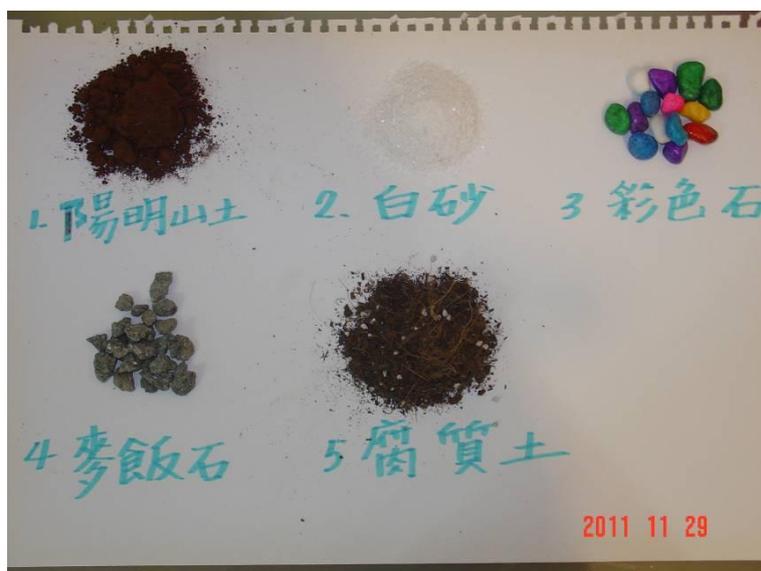
六年級上學期『自然生活與科技』第2單元『大地的奧秘』介紹了雨水累積形成的水流通過各種地形坡度時對於土壤和地表產生了搬運、侵蝕作用，而每年到了颱風季節時，山區常因為短時間內累積大量的雨水，快速沖刷地表導致土石流發生，造成了嚴重的災害。許多資訊都告訴我們：「樹木和植物具有保持水土的作用」，於是就想瞭解，在短時間內累積大量雨水向下流動的情況下，樹木和地表植被對於地質結構有什麼樣的影響？

貳、研究目的

在乾燥和潮濕的情況下，連續倒入固定體積的水，測量各種不同組成的地質土壤滲水速率和吸水重量的差異。

參、研究設備及器材

1. 陽明山土.....一包
2. 腐質土.....一包
3. 細砂.....一包
4. 彩色石（不吸水）..一袋
5. 麥飯石（吸水）.....一包
6. 小樹.....二棵
7. 植被.....一塊
8. 錐形瓶.....五個
9. 可抽氣錐形瓶.....一個
10. 磅秤.....一台
11. 250 cc量杯.....一個
12. 30 cc量杯.....一個
13. 碼表.....一只
14. 紗布.....五片
15. 寶特瓶.....五罐



肆、研究方法及過程

一、步驟 1—製作各種土壤模型：

將寶特瓶倒放，瓶口包覆一層紗布以橡皮筋固定，在 250 cc 容量處作記號，留下約 4 cm 高度的空間，再剪開成爲開口瓶。在五個開口寶特瓶內，分別裝入體積約爲 250 cc 代表不同組成的地質土壤，其中：

(一) 1 號瓶：陽明山土

(二) 2 號瓶：陽明山土（約 125 cc）+ 白砂（約 125 cc）

(三) 3 號瓶：陽明山土（約 170 cc）+ 白砂（約 170 cc）+ 彩石、麥飯石（約 170 cc）

(四) 4 號瓶：陽明山土（約 125 cc）+ 白砂（約 125 cc）+ 彩石、麥飯石（約 125 cc）+ 小樹根部（約 125 cc）

(五) 5 號瓶：陽明山土（約 100 cc）+ 白砂（約 100 cc）+ 彩石、麥飯石（約 100 cc）+ 小樹根部（約 100 cc）+ 植被根部、腐質土（約 100 cc）

二、步驟 2—將裝有不同土壤的五罐寶特瓶在乾燥狀態下分別秤重後，依序每瓶每次倒入 500 cc 水，紀錄：

(一) 滲出 200 cc 水量時間

(二) 400 cc 水量時間

(三) 停止滲水後的重量

每罐寶特瓶連續操作 3 次，每罐寶特瓶共計倒入 1500 cc 水量。

三、步驟 3—實驗開始 24 小時後，先測量五罐寶特瓶的重量，再重覆步驟 2。

四、步驟 4—實驗開始 48 小時後，先測量五罐寶特瓶的重量，再重覆步驟 2。

五、步驟 5—實驗開始 72 小時後，先測量五罐寶特瓶的重量，再重覆步驟 2。

六、步驟 6—實驗開始 96 小時後，不倒入水，只量測五罐寶特瓶的重量。

七、步驟 7—實驗開始 120 小時後，不倒入水，只量測五罐寶特瓶的重量。

八、步驟 8—實驗開始 144 小時後，不倒入水，只量測五罐寶特瓶的重量。

九、步驟 9—實驗開始 168 小時後，先測量五罐寶特瓶的重量，再重覆步驟 2。



圖 1 左：1 號瓶開始倒水，圖 1 右：1 號瓶滲出第 3 次 500 cc 水



圖 2 左：2 號瓶開始倒水，圖 2 右：2 號瓶滲出第 3 次 500 cc



圖 3 左：3 號瓶開始倒水，圖 3 右：3 號瓶滲出第 3 次 500 cc 水



圖 4 左：4 號瓶開始倒水，圖 4 右：4 號瓶滲出第 3 次 500 cc



圖 5 左：5 號瓶開始倒水，圖 5 右：5 號瓶滲出第 3 次 500 cc 水

伍、研究結果

一、紀錄表 1

	乾燥重量	實驗次數	200 cc.時間 (秒)	400 cc.時間 (秒)	停止滲水後 的重量
1 號瓶	280g	(1)	50	110	330g
		(2)	80	170	330g
		(3)	90	195	330g
2 號瓶	330g	(1)	70	135	390g
		(2)	85	135	390g
		(3)	90	170	390g
3 號瓶	360g	(1)	70	160	410g
		(2)	70	140	410g
		(3)	70	140	410g
4 號瓶	280g	(1)	120	235	330g
		(2)	110	240	330g
		(3)	250	460	330g
5 號瓶	210g	(1)	190	420	260g
		(2)	220	450	260g
		(3)	270	555	260g

二、紀錄表 2

	24 小時後 重 量	實驗次數	200 cc.時間 (秒)	400 cc.時間 (秒)	停止滲水 後的重量
1 號瓶	320g	(1)	90	175	330g
		(2)	110	200	330g
		(3)	110	205	330g
2 號瓶	380g	(1)	90	180	390g
		(2)	100	205	390g
		(3)	105	210	390g
3 號瓶	400g	(1)	160	310	410g
		(2)	140	290	410g
		(3)	140	295	410g
4 號瓶	320g	(1)	200	375	330g
		(2)	110	240	330g
		(3)	250	460	330g
5 號瓶	260g	(1)	280	545	260g
		(2)	280	555	260g
		(3)	300	585	260g

三、紀錄表 3

	48 小時後 重 量	實驗次數	200 cc.時間 (秒)	400 cc.時間 (秒)	停止滲水後 的重量
1 號瓶	320g	(1)	130	260	330g
		(2)	180	320	330g
		(3)	170	350	330g
2 號瓶	380g	(1)	110	220	390g
		(2)	120	240	390g
		(3)	140	300	390g
3 號瓶	400g	(1)	180	370	410g
		(2)	210	400	410g
		(3)	200	380	410g
4 號瓶	320g	(1)	290	570	330g
		(2)	310	630	330g
		(3)	380	760	330g
5 號瓶	260g	(1)	270	540	260g
		(2)	270	550	260g
		(3)	280	560	260g

四、紀錄表 4

	72 小時後 重 量	實驗次數	200 cc.時間 (秒)	400 cc.時間 (秒)	停止滲水後 的重量
1 號瓶	320g	(1)	175	350	330g
		(2)	220	440	330g
		(3)	150	305	330g
2 號瓶	380g	(1)	200	375	390g
		(2)	185	375	390g
		(3)	185	380	390g
3 號瓶	400g	(1)	200	410	410g
		(2)	230	470	410g
		(3)	250	480	410g
4 號瓶	320g	(1)	440	925	330g
		(2)	420	740	330g
		(3)	390	745	330g
5 號瓶	260g	(1)	270	540	260g
		(2)	270	550	260g
		(3)	280	560	260g

五、紀錄表 5

	96 小時後重量	120 小時後重量	144 小時後重量
1 號瓶	320g	320g	320g
2 號瓶	380g	380g	370g
3 號瓶	400g	390g	380g
4 號瓶	320g	310g	310g
5 號瓶	260g	250g	240g

六、紀錄表 6

	168 小時後重量	實驗次數	200 cc.時間 (秒)	400 cc.時間 (秒)	停止滲水後的重量
1 號瓶	320g	(1)	100	190	330g
		(2)	370	740	330g
		(3)	240	440	330g
2 號瓶	380g	(1)	390	770	380g
		(2)	310	605	380g
		(3)	310	610	380g
3 號瓶	400g	(1)	350	665	400g
		(2)	320	650	400g
		(3)	315	615	400g
4 號瓶	310g	(1)	570	1,155	310g
		(2)	1,010	1,875	310g
		(3)	930	1,850	310g
5 號瓶	240g	(1)	210	435	250g
		(2)	220	460	250g
		(3)	230	470	250g

七、紀錄表 7—第 1 次倒入 500 cc 流出 200 cc 的平均時間 (秒)

	第 1 天	24 小時後	48 小時後	72 小時後	168 小時後
1 號瓶	55	87	130	175	145
2 號瓶	67	90	110	187	385
3 號瓶	80	157	185	205	332
4 號瓶	117	187	285	462	577
5 號瓶	210	272	270	270	217

八、紀錄表 8—第 2 次倒入 500 cc 流出 200 cc 的平均時間（秒）

	第 1 天	24 小時後	48 小時後	72 小時後	168 小時後
1 號瓶	85	100	160	220	370
2 號瓶	72	102	120	187	302
3 號瓶	70	145	200	235	325
4 號瓶	120	120	315	370	937
5 號瓶	225	277	275	275	230

九、紀錄表 9—第 3 次倒入 500 cc 流出 200 cc 的平均時間（秒）

	第 1 天	24 小時後	48 小時後	72 小時後	168 小時後
1 號瓶	97	102	175	152	220
2 號瓶	85	105	150	190	305
3 號瓶	70	147	190	240	307
4 號瓶	230	230	380	370	925
5 號瓶	277	292	280	280	235

陸、討論

一、滲水速率測量結果：

1 號瓶、2 號瓶、3 號瓶代表了各種不同組成的土壤，4 號瓶的土壤比 3 號瓶多了樹的根部，5 號瓶又比 4 號瓶多增加了腐質土層和土壤表面植被的根部。從兩個方面來比較實驗的滲水速率測量結果：

(一) 不同寶特瓶在同一天相同順序的滲水速度。

雖然 1 號瓶、2 號瓶、3 號瓶的滲水速率有些不同，但是，大約算是都在相同範圍裡：第 1 天約 100 秒；24 小時後約 150 秒；48 小時後約 200 秒；72 小時後約 250 秒；靜置 96 小時不加水，168 小時後滲水速率變成約 300 秒~350 秒。

4 號瓶的變化比較大，第 1 天和 24 小時後約 100 秒~200 秒；48 小時後約 350 秒；72 小時後約 400 秒；靜置 96 小時不加水，168 小時後滲水速率增加成 900 秒。

5 號瓶則不論在乾燥或潮濕狀態，滲水速率變化範圍不大，大約在 250 秒上下。

我們無法完整的看到水在土壤裡流動時對土壤所造成的改變，但是藉由滲透速率的變化，我們還是可以間接知道『土壤組成和水量大小』相互之間所產生的影響。

以 4、5 號瓶來對比 1、2、3 號瓶：土壤裡有樹木的根部時，確實會減低水的滲透速率。

以 4 號瓶與 5 號瓶相比：有地表植被和腐質層的 5 號瓶土壤內部在大量水流沖刷的狀況下，比同樣有樹木根部的 4 號瓶穩定。

(二) 相同寶特瓶在不同一天相同順序的滲水速度。

觀察瓶子裡面可以發現，乾燥狀態的陽明山土，除了有細土，也有許多大大小小的土塊，剛開始做實驗時，瓶子裡的土壤不是很緊實結構中有很多空隙，所以水流滲透速率很快。等到一些細土逐漸被水流帶往向下層堆積，以及一些土塊吸水變得鬆軟，空隙由大變小之後，土壤裡各種成份的細小顆粒之間形成『毛細管』吸附水份，這些被吸附的水份就會減慢水流向下滲透的速率。另外，位在潮濕土壤中、下層空隙裡的空氣遇到水會變形成氣泡，除非水流的力量足以擠出氣泡，否則這些氣泡也會改變水向下流動的路徑和速率。

從實驗結果可以瞭解土壤的顆粒大小和潮濕程度會影響水滲透速率，也就是土壤越緊實越潮濕，滲水的速率就會越慢，地表就容易積水。

二、吸水重量測量結果：

(一) 吸水量

實驗數據裡有一項『停止滲水後的重量』，是因為在實驗的過程裡發現，每次倒入 500 cc 的水量通過潮濕的土壤流出大約 490 cc 後，剩下 10 cc 水的滲透速率變得非常緩慢，所以，剛做完滲水速率的瓶子重量比放置 24 小時後的瓶子多了約 10g 的重量，在放置寶特瓶 24 小時後的錐形瓶內可以蒐集到 5 cc~10 cc 的水。

以（加水後放置 24 小時的重量）－（實驗開始時的乾燥重量）＝土壤吸水量

1 號瓶：320g－280g＝40g

2 號瓶：380g－330g＝50g

3 號瓶：400g－360g＝40g

4 號瓶：320g－280g＝40g

5 號瓶：260g－210g＝50g

1. 吸水量佔體積比：

因為 1 cc 體積的水就相當於 1g 重量，就相同 250 cc 的瓶子體積來看，不同成份的土壤吸水量相差不大，都在 40 cc～50 cc 之間， $40 \text{ cc} \div 250 \text{ cc} = 0.16 = 16\%$ ； $50 \text{ cc} \div 250 \text{ cc} = 0.2 = 20\%$ ，也就是吸水量佔體積比的比值大約在 15%～20% 之間。

2. 吸水量佔重量比：

就各瓶不同土壤的重量來計算比值，不同土壤的吸水重量比的差異就比較明顯。

1 號瓶： $40\text{g} \div 280\text{g} = 0.14 = 14\%$

2 號瓶： $50\text{g} \div 330\text{g} = 0.13 = 15\%$

3 號瓶： $40\text{g} \div 360\text{g} = 0.1 = 11\%$

4 號瓶： $40\text{g} \div 280\text{g} = 0.14 = 14\%$

5 號瓶： $50\text{g} \div 210\text{g} = 0.24 = 24\%$

3. 由上面的結果可知道：

土壤裡混雜有體積佔 1/3 彩石（不吸水）＋麥飯石（吸水）的 3 號瓶，吸水量佔重量比最低；混有土＋紗＋石＋樹木根部的 4 號瓶、全部是土的 1 號瓶、1/2 土＋1/2 細紗的 2 號瓶，3 種土壤的吸水量佔重量比大致相同；具有地表植被和腐質層的 5 號瓶吸水量佔重量比最高。

（二）蒸發量

另外觀察不加水靜置 96 小時的實驗過程，超過 24 小時後，各個土壤瓶不再滴出水，之後各寶特瓶所減少的重量主要是因為水份的蒸發作用，以最大吸水重量－靜置 96 小時後（實驗開始 168 小時）再次做滲水實驗前的重量來計算，

1 號瓶： $320\text{g} - 310\text{g} = 10\text{g}$ ， $10\text{g} \div 40\text{g} = 0.25 = 25\%$ ，蒸發 20% 水分

2 號瓶： $380\text{g} - 360\text{g} = 20\text{g}$ ， $20\text{g} \div 50\text{g} = 0.4 = 40\%$ ，蒸發 40% 水分

3 號瓶： $400\text{g} - 370\text{g} = 30\text{g}$ ， $30\text{g} \div 40\text{g} = 0.75 = 75\%$ ，蒸發 75% 水分

4 號瓶： $320\text{g} - 310\text{g} = 10\text{g}$ ， $10\text{g} \div 40\text{g} = 0.25 = 25\%$ ，蒸發 25% 水分

5 號瓶： $260\text{g} - 240\text{g} = 20\text{g}$ ， $20\text{g} \div 50\text{g} = 0.4 = 40\%$ ，蒸發 40% 水分

3 號瓶可能是因為在水流沖刷的過程將細土與細沙帶往瓶子下層，較大的土石留在上層，因此產生較多的空隙與孔道，使得水分容易蒸發；5 號瓶則是因為樹木與植被葉片的蒸散作用，水分的流失比 1、4 號瓶快。

同時，我們也可以從實驗觀察到，由於水流的沖刷作用會將土壤裡細小的顆粒填入空隙，當土壤反覆經過乾燥→潮溼→乾燥的過程，土壤會變得緊實，除了滲水速率會變慢，最大吸水量也會因此稍為減少。

柒、結論

我們從課本裡學習到大量的雨水或水流對於土壤的作用，其中分為：如果大量的水快速集中往土壤的空隙向下滲透就會產生『侵蝕作用』；如果坡度很大，大量的水在地表快速流動就會產生『搬運作用』。

像實驗裡所設計的 3 號瓶，代表著山區地質裡面可能有的組成：土、沙、吸水石、不吸水石，這樣的土壤組成，不容易保存水分，經過長期的乾燥氣候水分蒸發，從表面到裡層有很多空隙和孔道，如果突然降下豪大雨，山的坡度又大，土石就容易被水侵蝕鬆動發生崩落。即使坡度不大，當降雨量和降雨速率超過土壤的吸水量與滲透速率，土壤表面就會積水，積水會產生『搬運作用』，地表的泥土和細沙逐漸流失，使得土壤裡的岩石和石塊裸露，沒有泥土和細沙固定的岩石和石塊，如果再降下大雨，就容易發生土石流造成嚴重的災害。

所以，根據發生這兩種作用的原因，要降低山區發生土石流的可能性就要 **1.減緩水在土壤各個方向的流速；2.分散水在土壤各個方向的流量。**

大家都知道『種植樹木』可以保持水土，防止山區發生土石流，可是，比較 4 號瓶和 5 號瓶的實驗結果，只有樹木的根部穩定土壤的 4 號瓶比不上具有地表植被和腐質層的 5 號瓶。根據植物專家的研究，山區森林裡地表的植被，逐漸累積樹木和植被的落葉產生腐質層，即使山區降下集中性豪大雨，降雨量和降雨速率超過土壤的吸水量與滲透速率，土壤表面積水，因為植被和腐質層會減緩地表水流動的速度，保存樹木和植被生長所需要的土壤。植被、樹木生長所需要的養份就在樹木→植被→腐質層→土壤→樹木之間循環不易流失。除此之外，這些植被和腐質層也是許多昆蟲的棲息地，有昆蟲棲息就會引來小動物，形成完整的動、植物生態，完整的生態產生良性循環，讓樹木和植被生長更好，健康、密集著生的植物根部更能穩固土石。這也是為什麼近年來，我們可以看見各地森林遊樂區的管理單位大多都增設了『木棧步道』不再讓遊客直接踩踏森林地面，主要目的就是要保護地表植被不被破壞。所以，不要小看大樹底下不起眼的小草，森林裡的一草、一木都是保護我們美麗家園的環保小尖兵呢！

捌、參考資料

植物趣味問答題，原著：春田俊郎，翻譯：宋碧華，大樹文化 1995 年出版