

中華民國第四十四屆中小學科學展覽會

作品說明書

國中組 地球科學科

030503

新竹縣立自強國民中學

指導老師姓名

謝彩凡

陳美如

作者姓名

彭宸

葉怡庭

許文龍

呼風喚雨

作品說明書

科別：地球科學科

組別：國中組

編號：

關鍵詞：人造雨、凝結核

呼風喚雨

壹、摘要

「大雨大雨一直下」

想要讓天空中的水掉下來(降水)，可不容易！首先，一定要使空氣中的水氣達到**飽和**。但不是飽和的水氣，就會凝結而降水，往往還需要空氣中的小微粒(例如：灰塵、煙、花粉) 附著，才能形成小水滴或冰晶，而這些小微粒就是我們所要研究的對象-**凝結核(condensation nuclei)**。

凝結核的種類非常多，我們可運用人工的方式，將**凝結核**散佈在空氣中，除了讓小水滴附著外，也可降低溫度，增加凝結的效果，達到降水(圖 A)的目的，這就叫做「**人造雨**」(rain making)。

期望我們的實驗能找到最佳造雨的條件，除了解決缺水的問題，還能兼顧自然環境的保護。此外，古代人們擺設香案，祭天求雨，其實是以燒出來的煙飄到空中，做為**凝結核**，達到下雨的目的，這是有科學根據，與神蹟無關喔！

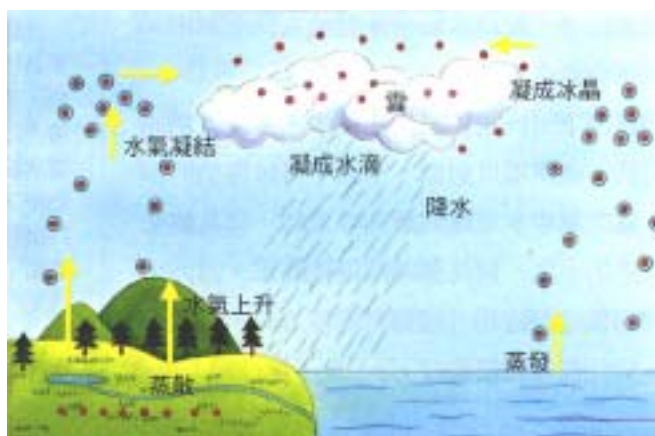


圖 A 雲的形成與降水示意圖

貳、研究動機

2001 年，台灣地區發生水災，但 2002 年卻發生嚴重的旱災，這樣異常的氣候，引起了我們的注意……。

台灣山高坡陡河道短，無法有效蓄水，以致台灣年雨量雖高達 2500 mm，但仍被國際評估為全球第 18 個缺水地區。我們在新聞報告中，偶然發現了人造雨，如此響亮的名稱，浮現在我們的腦海中，這真的能幫我們打贏這場人水之戰嗎？於是，我們展開了一場「人造雨探索」之旅，藉由各種方法製造人造雨，探討人造雨對增加降水量有多大的幫助？人類的科技及智慧真的能夠戰勝大自然嗎？請跟我們一起來瞧一瞧！

參、研究目的

- 一、了解降水的原因。
- 二、了解人造雨的原理和方法。
- 三、研究各種凝結核造雨的效果並找出最有效的人造雨方法。
- 四、評估人造雨對環境的影響。
- 五、知道祭天求雨的科學根據。

肆、研究設備及材料

- 一、研究設備：霧化器、保特瓶、燒杯、電子天平、酒精燈、三角架、陶瓷纖維網、溫度計、溼度計、研鉢。
- 二、材料：水、食鹽(氯化鈉， NaCl)、氯化鉀(KCl)、市售健康低鈉鹽(主要成份為氯化鈉和氯化鉀)、氯化鈣(CaCl_2)、氫氧化鈉(NaOH)、氫氧化鈣 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 、氧化鈣(CaO)、克潮靈(主要成份為氧化鈣)、藍色硫酸銅晶體(CuSO_4)、白色硫酸銅粉末(CuSO_4)、碳酸氫鈉(NaHCO_3)、碳酸鈉(Na_2CO_3)、碘化銀(AgI)、溴化銀(AgBr)、碘化鉛(PbI_2)、香灰、灰塵。

伍、研究過程或方法

- 一、將兩個 2000c.c 的保特瓶與兩個 600c.c 的保特瓶連接在一起，形成實驗裝置，如圖 B。
- 二、把霧化器放入 600c.c 的保特瓶底部，加入自來水，啟動霧化器，使之產生小水滴(煙霧狀)，即成我們實驗所需之「人造雲」。
- 三、取同質量的凝結核置入 100ml 的燒杯中，並將凝結核均勻分佈在燒杯底部，放入步驟(一)之實驗裝置中，靜置二分鐘後，測量其增加的重量，即為吸收的水份。
- 四、依序改變各種「**操縱變因**」(雲的溼度、凝結核顆粒粗細、凝結核的重量、雲層溫度、凝結核在雲層中的停留時間、凝結核分散程度)，測量並紀錄其結果。

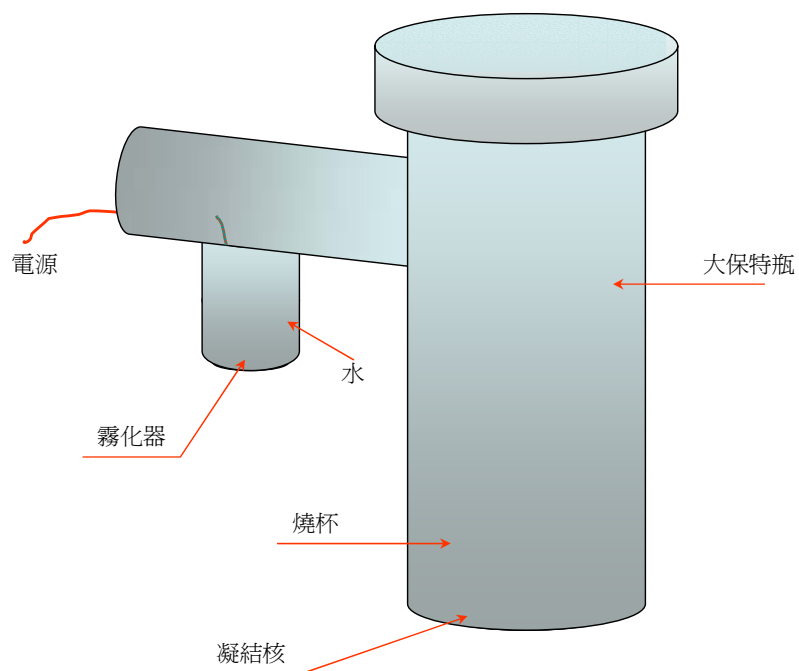


圖 B 實驗裝置示意圖

實驗一：凝結核的種類對降水的影響

操縱變因	凝結核的種類	
控制變因	(1)雲的溼度：95% (3)凝結核重量：1 公克 (5)凝結核在雲層中的時間：2 分鐘	(2)凝結核顆粒粗細 (4)雲的溫度：20°C (6)凝結核分散程度：表面積為半徑 2.25 公分的燒杯
應變變因	水量增加的多寡	

實驗二：雲的溼度對降水的影響

操縱變因	雲的溼度	
控制變因	(1)凝結核的種類：NaCl 加 KCl(1 : 1) (3)凝結核重量：1 公克 (5)凝結核在雲層中的時間：2 分鐘	(2)凝結核顆粒粗細 (4)雲的溫度：20°C (6)凝結核分散程度：表面積為半徑 2.25 公分的燒杯
應變變因	水量增加的多寡	

實驗三：凝結核顆粒粗細對降水的影響(用研鉢將實驗的凝結核磨成粉狀)

操縱變因	凝結核顆粒粗細	
控制變因	(1)凝結核的種類：NaCl 加 KCl(1：1) (3)凝結核重量：1 公克 (5)凝結核在雲層中的時間：2 分鐘	(2)雲的溼度：95% (4)雲的溫度：20℃ (6)凝結核分散程度：表面積為半徑 2.25 公分的燒杯
應變變因	水量增加的多寡	

實驗四：凝結核重量對降水的影響

操縱變因	凝結核重量	
控制變因	(1)凝結核的種類：NaCl 加 KCl(1：1) (3)凝結核顆粒粗細 (5)凝結核在雲層中的時間：2 分鐘	(2)雲的溼度：95% (4)雲的溫度：20℃ (6)凝結核分散程度：表面積為半徑 2.25 公分的燒杯
應變變因	水量增加的多寡	

實驗五：雲的溫度對降水的影響

操縱變因	雲的溫度	
控制變因	(1)凝結核的種類：NaCl 加 KCl(1：1) (3)凝結核顆粒粗細 (5)凝結核在雲層中的時間：2 分鐘	(2)雲的溼度：95% (4)凝結核重量：1 公克 (6)凝結核分散程度：表面積為半徑 2.25 公分的燒杯
應變變因	水量增加的多寡	

實驗六：凝結核在雲層中的時間對降水的影響

操縱變因	凝結核在雲層中的時間	
控制變因	(1)凝結核的種類：NaCl 加 KCl(1：1) (3)凝結核顆粒粗細 (5)雲的溫度：20℃	(2)雲的溼度：95% (4)凝結核重量：1 公克 (6)凝結核分散程度：表面積為半徑 2.25 公分的燒杯
應變變因	水量增加的多寡	

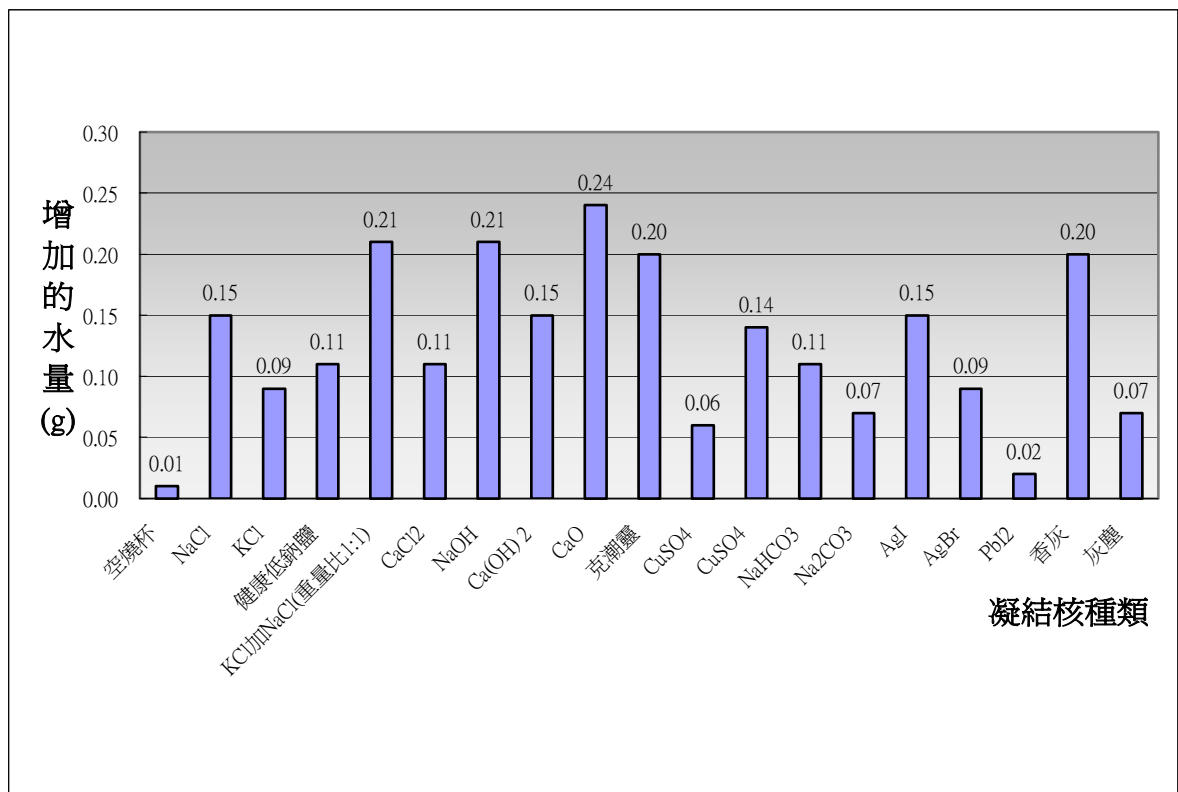
實驗七：凝結核分散程度對降水的影響

操縱變因	凝結核分散程度	
控制變因	(1)凝結核的種類：NaCl 加 KCl(1：1) (3)凝結核顆粒粗細 (5)雲的溫度：20℃	(2)雲的溼度：95% (4)凝結核重量：1 公克 (6)凝結核在雲層中的時間：2 分鐘
應變變因	水量增加的多寡	

陸、研究結果

實驗一：凝結核的種類對降水的影響

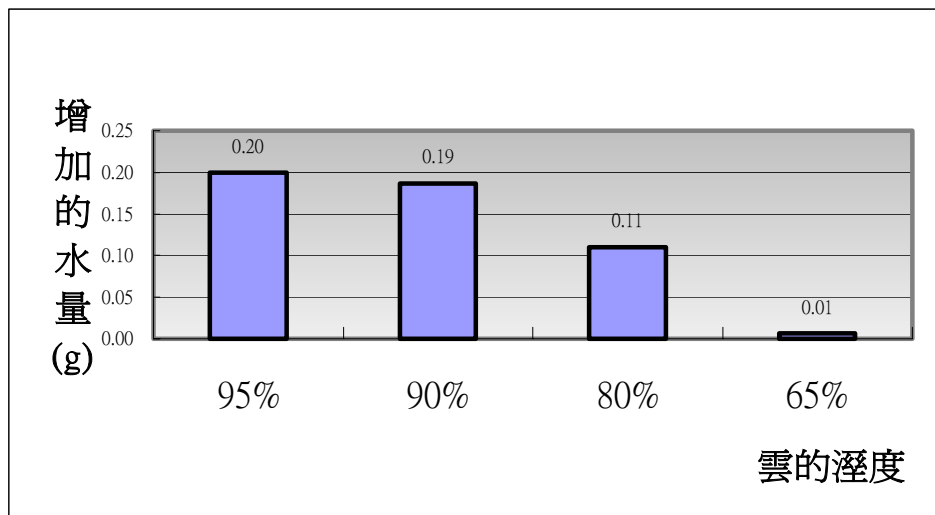
凝 結 核 的 種 類	增加的水量(公克)			平均 水量	吸水 排名
	第 1 次	第 2 次	第 3 次		
空燒杯	0.02	0.01	0.01	0.01	19
氯化鈉(NaCl)	0.15	0.15	0.15	0.15	6
氯化鉀(KCl)	0.10	0.08	0.08	0.09	13
市售健康低鈉鹽	0.11	0.10	0.12	0.11	10
氯化鉀(KCl)加氯化鈉(NaCl)(重量比 1:1)	0.20	0.20	0.23	0.21	2
氯化鈣(CaCl ₂)	0.11	0.12	0.11	0.11	10
氫氧化鈉(NaOH)	0.23	0.20	0.21	0.21	2
氫氧化鈣 Ca(OH) ₂	0.17	0.12	0.15	0.15	6
氧化鈣(CaO)	0.24	0.24	0.24	0.24	1
克潮靈	0.21	0.19	0.20	0.20	4
藍色硫酸銅晶體(CuSO ₄)	0.05	0.07	0.07	0.06	17
白色硫酸銅粉末(CuSO ₄)	0.15	0.13	0.13	0.14	9
碳酸氫鈉(NaHCO ₃)	0.11	0.11	0.11	0.11	10
碳酸鈉(Na ₂ CO ₃)	0.07	0.07	0.07	0.07	15
碘化銀(AgI)	0.15	0.15	0.15	0.15	6
溴化銀(AgBr)	0.09	0.09	0.10	0.09	13
碘化鉛(PbI ₂)	0.02	0.03	0.02	0.02	18
香灰	0.19	0.19	0.21	0.20	4
灰塵	0.07	0.08	0.06	0.07	15



圖一 凝結核的種類對降雨的影響

實驗二：雲的溼度對降水的影響

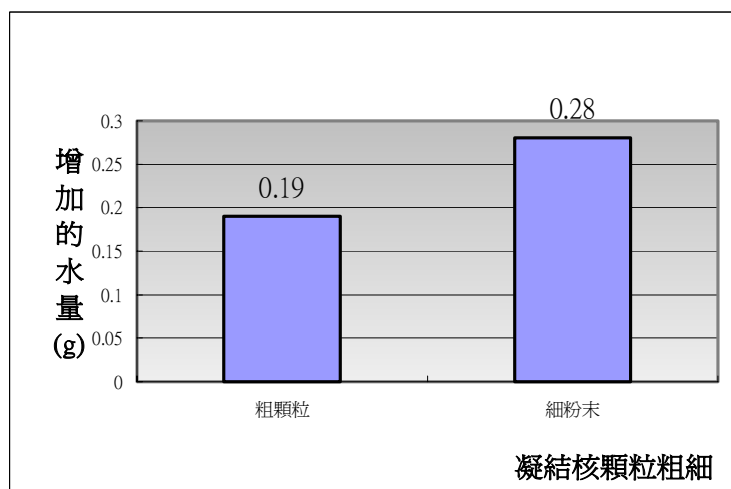
雲的溼度	增加的水量(公克)			平均 水量	吸水 排名
	第 1 次	第 2 次	第 3 次		
95%	0.20	0.20	0.21	0.20	1
90%	0.19	0.18	0.19	0.19	2
80%	0.10	0.12	0.11	0.11	3
65%	0.01	0.00	0.01	0.01	4



圖二 雲的溼度對降雨的影響

實驗三：凝結核顆粒粗細對降水的影響

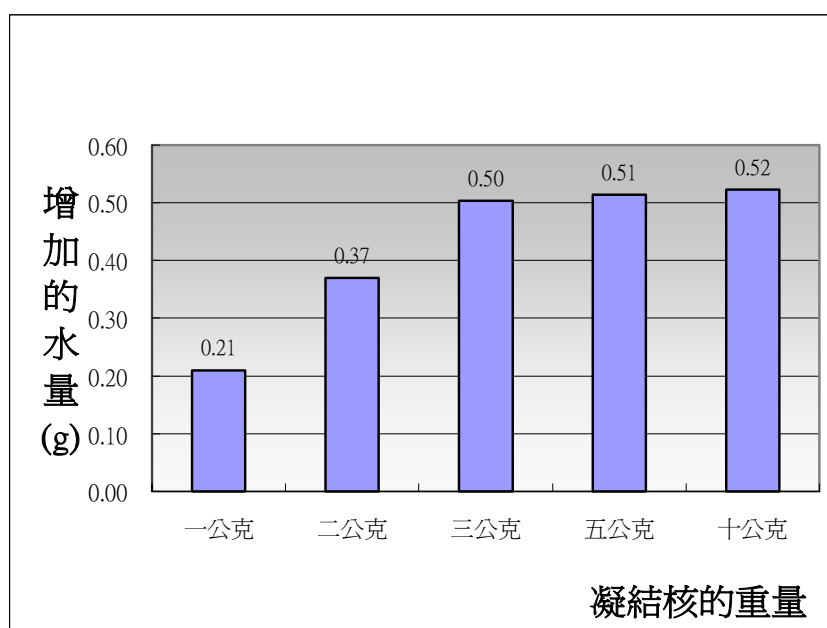
凝結核顆 粒粗細	增加的水量(公克)			水量 平均	吸水 排名
	第 1 次	第 2 次	第 3 次		
粗顆粒	0.20	0.20	0.17	0.19	2
細粉末	0.28	0.30	0.26	0.28	1



圖三 凝結核顆粒粗細對降水的影響

實驗四：凝結核重量對降水的影響

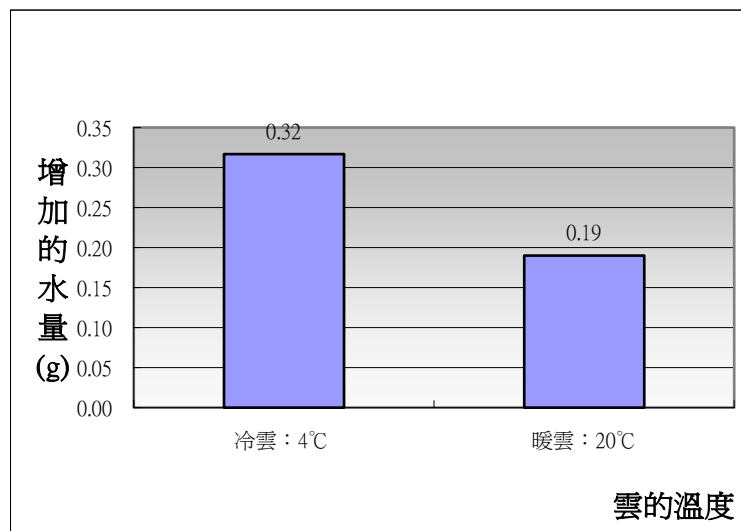
凝結核重量	增加的水量(公克)			水量平均	吸水名次
	第 1 次	第 2 次	第 3 次		
一公克	0.20	0.20	0.23	0.21	5
二公克	0.40	0.38	0.33	0.37	4
三公克	0.51	0.50	0.50	0.50	3
五公克	0.53	0.51	0.50	0.51	2
十公克	0.54	0.51	0.52	0.52	1



圖四 凝結核重量對降水的影響

實驗五： 雲的溫度對降水的影響

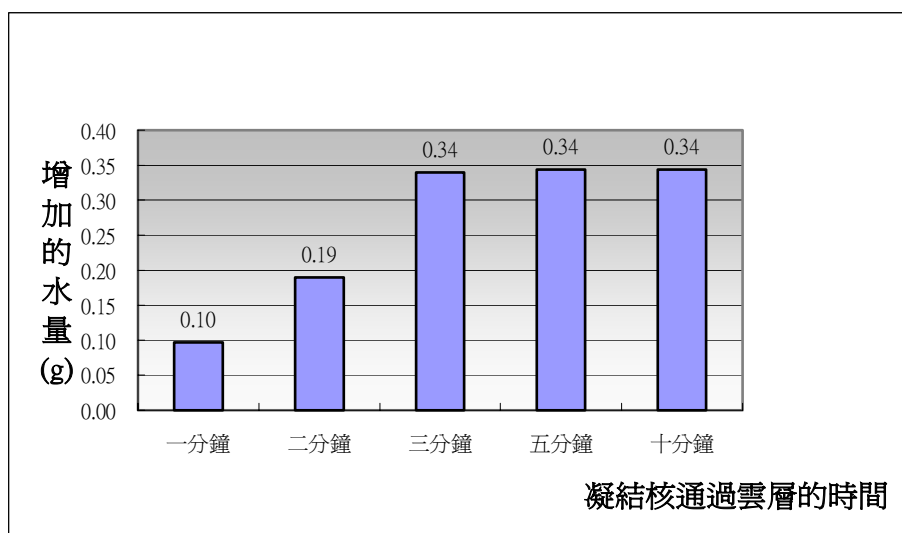
雲的溫度	增加的水量(公克)			平均 水量	吸水 排名
	第 1 次	第 2 次	第 3 次		
冷雲：4	0.30	0.30	0.35	0.32	1
暖雲：20	0.20	0.20	0.17	0.19	2



圖五 雲的溫度對降水的影響

實驗六： 凝結核在雲層中的時間對降水的影響

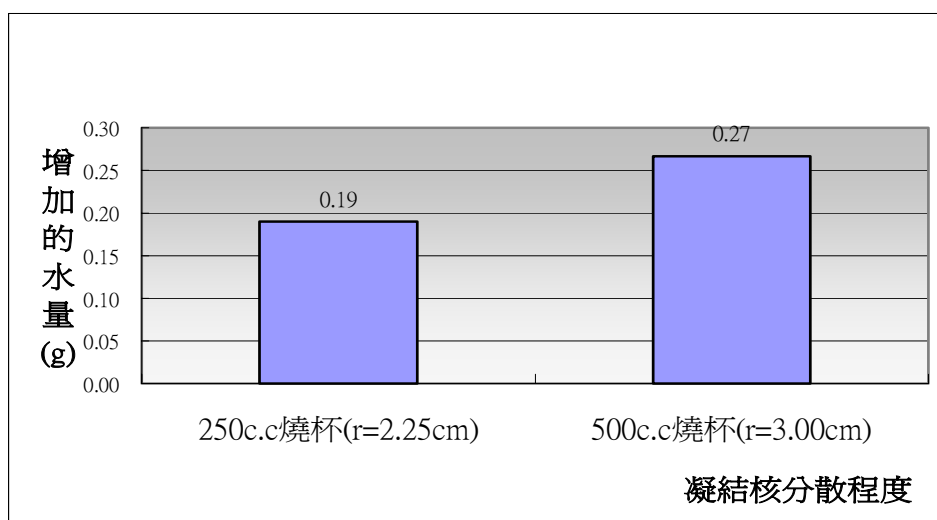
凝結核通過 雲層的時間	增加的水量(公克)			平均 水量	吸水 排名
	第 1 次	第 2 次	第 3 次		
一分鐘	0.08	0.10	0.11	0.10	5
二分鐘	0.20	0.20	0.17	0.19	4
三分鐘	0.34	0.35	0.33	0.34	1
五分鐘	0.34	0.35	0.34	0.34	1
十分鐘	0.35	0.34	0.34	0.34	1



圖六 凝結核在雲層中的時間對降水的影響

實驗七： 凝結核分散程度對降水的影響

凝結核分散程度 (圓盤半徑)	增加的水量(公克)			平均 水量	吸水 排名
	第 1 次	第 2 次	第 3 次		
100c.c 燒杯 (r=2.25cm)	0.20	0.20	0.17	0.19	2
250c.c 燒杯 (r=3.00cm)	0.30	0.25	0.25	0.27	1



圖七 凝結核分散程度對降水的影響

柒、討論

一、人造雨所需的條件

- (一) 雲的存在是人造雨的首要條件，且雲層的厚度至少要五百到一千五百公尺。
- (二) 低空中的空氣不可太乾燥，否則雨點與乾空氣接觸會蒸發，自然不會下雨。
- (三) 雲層中小水滴要多且密，不可太小。
- (四) 要有吸水性強的化學物品當做凝結核放在雲層中。
- (五) 降低雲層的溫度(如：撒乾冰)，使水蒸氣凝結成水。
- (六) 人造雨之時機必須與氣象條件互相配合，亦即有鋒面、低氣壓或颱風接近時，是造雨的最佳時機。

二、人造雨的原理

人造雨有兩種方式，一種為冷雲人造雨，另一種為暖雲人造雨。

(一) 冷雲人造雨 (雲的溫度低於 0°C ，由冰晶或過冷水滴所組成，稱為冷雲)

人為操作影響冷雲降水的方法，常用播撒乾冰和碘化銀。乾冰使周圍空氣的溫度急劇下降，讓水氣凝結成小水滴而降水。而碘化銀的分子結構類似冰晶，只要其溫度達 -5°C 時，水汽便以其為核心，凝華成冰晶而降水。若以地面燃燒碘化銀溶液的人造雨方式，最高平均約可增加 10% 的降水。

(二) 暖雲人造雨 (雲的溫度高於 0°C ，稱為暖雲)

人為操作影響冷雲降水的方法有：在雲中噴灑水滴、吸溼性藥粉與鹽水。鹽的吸濕性強，當它吸收水分後，可以迅速變成大水滴，再經「碰撞」、「合併」的過程，不斷地「併吞」水滴，終至成為雨滴掉下來。根據美國氣象協會的研究，將 NaCl 和 KCl 混合使用效果更好。

三、「奈米」粒子凝結核是人造雨的明日之星

科學家推測「奈米微粒」比一般凝結核有更好的降水效果，原因是奈米級材料之表面積大幅增加，表面化學活性也增加，使得效果加倍。主要開發的奈米材料有：

1. 二氧化矽(SiO_2)、高嶺土(Kaolinite)或金屬氧化物(如： MgO 、 CaO)
2. 米粒(粉)與吸水性高分子
3. 高分子電解質(Poly-electrolyte)

四、影響人造雨的因素

吸水效果愈好，人造雨的效果愈好，根據本研究影響人造雨的因素有七個：

(一) 凝結核的種類

1. 依據實驗一的結果，氧化鈣(CaO)吸水效果最好，這個實驗結果與(討論三)中所提到的奈米材料不謀而合，可見， CaO 是一個值得開發的人造雨材料。
2. 依據實驗一結果，吸水性第二名的是氯化鉀(KCl)加氯化鈉(NaCl) (重量比 1:1)。這樣的結果也證實了(討論二)中， KCl 加 NaCl 效果佳的說法。

(二) 雲的溼度

依據(圖二)的實驗結果，雲的溼度愈高，效果愈好，溼度低於 65%時難以做出人造雨。

(三) 凝結核顆粒粗細

依據(圖三)的實驗結果，雨種顆粒細的效果好。

(四) 凝結核重量

依據(圖四)的實驗結果，凝結核多的吸水效果佳，但增加到一定值之後就不再增加了，而且我們發現下層的凝結核是乾的，且過多的凝結核，造雨不成反而會將空氣中的水氣吸乾了。

(五) 雲的溫度

依據(圖五)的實驗結果，雲的溫度愈低，效果愈好。科學家們常用乾冰來製造人造雨，就是利用降低溫度的原理。

(六) 凝結核在雲層中的時間

依據(圖六)的實驗結果，凝結核通過雲層的時間長，效果較好。

(七) 凝結核分散程度

依據(圖七)的實驗結果，當雲的溼度及量均足夠時，凝結核分散的愈均勻，效果愈好。

捌、結論

一、短時間內人造雨最有效的方法

- (一) 凝結核的種類：氧化鈣(CaO)、氯化鉀(KCl)加食鹽(NaCl)、碘化銀。
- (二) 凝結核的量：雲濕度 95%時，最佳使用量為 100ml 燒杯中，加入 3 克凝結核。
- (三) 凝結核顆粒大小：凝結核粉末較粗粒較果佳。
- (四) 凝結核通過雲層的時間：凝結核通過雲層的時間長，效果較好，但吸收到飽和之後就不再增加了。
- (五) 凝結核分散程度：凝結核分散的愈均勻，效果愈好。
- (六) 雲的溼度：雲的溼度愈高，效果愈好。
- (七) 雲的溫度：雲的溫度愈低，效果愈好。

二、凝結核可以造雨也可以防止下雨

乾冰和碘化銀，是造雨的良方，也是防止下雨的小尖兵。只是用量不同罷了。適量使用，能幫助雲層中的水份結成雨；倘若**用量太多**，就得不到雨。此乃過多的凝結核，如同僧多粥少，雲層中的水分有限，不夠分配，水點長不大，自然就無法落下。

三、古人祈雨儀式的科學根據

「在山之巔、營火生煙、對流升天、核起冰晶、聚雲造雨、普降甘霖」

- (一) 古人呼風喚雨，所以能『呼風』有賴於高溫燃燒木材與稻草等形成**空氣熱對流**，帶動超微粒子(黑煙與白煙)升到高空。『喚雨』則是因為燃燒過程產生超細碳粒子(黑煙)與二氧化矽粒子(白煙)，經由碰撞、合併，小水滴不斷成長，等大到無法利用空氣浮力承受自身重量，便往下掉落，就是人造雨。
- (二) 所以，古人祈雨儀式是隱藏著因燃燒而生成奈米粒子的現代科技喔！

四、解決水荒最好的方法是造林

「造林」可以貯存雨水，涵養水源。若不缺水，當然就不必大費周章的造雨，所以，節約用水、不破壞大自然生態環境的習慣，才是最根本、有效，又兼具環保的方法喔！

玖、參考資料

(一) 書籍資料及論文：

1. 自然與生活科技第一冊。台南市：南一書局。(民 92)。
2. 國民中學理化第一冊。台北市：國立編譯館 (民 91)。
3. 國民中學理化教師手冊第一冊。台北市：國立編譯館 (民 91)。
4. 和天空對話 氣象。台北市：秋雨文化事業有限公司(2003)。
5. 柳中明、許晃雄、童慶斌、陳明業(2002)：2002 年臺灣乾旱之省思。

(二) 網路資料：

1. 人造雨小站
At <http://home.pchome.com.tw/enjoy/vivian940/rainy/page1.htm> (2004)。
2. 中國科普博覽
At <http://science.yam.com/index.html> (2004)。
3. 中央氣象局(氣象衛星中心)，人造雨網頁。
At <http://mscweb.cwb.gov.tw/rainmaking.html> (2004)。
4. 雨
At http://sun.cmgsh.tp.edu.tw/~s1350729/new_page_32.htm (2004)。
5. 物理小站，人造雨網頁
At <http://netcity2.web.hinet.net/UserData/tleo9999/> (2004)。
6. 地理入門
At <http://ihouse.hkedcity.net/~hm1203/settlement/water-manmade.htm> (2004)。
7. 科學小芽子，人造雨網頁。
At <http://www.bud.org.tw/Hu/hu12.htm> (2004)。
8. 國立臺灣大學大氣科學系網站。
At http://hsu.as.ntu.edu.tw/cyber_course/ (2004)。



【說明】實驗裝置設計的過程：此裝置失敗，煙霧無法轉彎進入保特瓶中。



【說明】實驗裝置設計的過程：此裝置失敗，煙霧無法轉彎進入保特瓶中。



【說明】此裝置再度失敗，煙霧進入保特瓶中的量過少。



【說明】改良後效果增加，但保特瓶會漏水。



【說明】使用新的黏膠，漏水問題改善，但煙霧仍不夠多。



【說明】我們將保特瓶斜接，煙霧產生後，會直接進入大保特瓶中，裝置成功。☺

實驗過程照片



【說明】利用濕度計測量濕度。



【說明】利用濕度計測量濕度。



【說明】電子天平秤量藥品。



【說明】將凝結核黏在泡棉膠上實驗。觀察並測量其吸水效果。



【說明】自製香灰



【說明】完美的煙霧，95%溼度，實驗中。

實驗過程照片



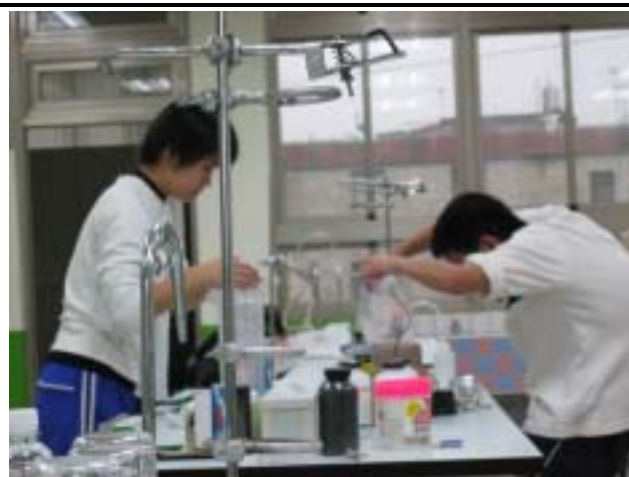
【說明】硫酸銅為藍色固體，溴化銀為橄欖綠色固體。



【說明】碘化銀為黃色固體。



【說明】自製無水硫酸銅粉末。



【說明】趕數據中。



【說明】她說：「我覺得這個實驗很好玩。」



【說明】合作無間。

評 語

030503 國中組地球科學科 佳作

呼風喚雨

1. 本作品人造雨為研究主題，符合鄉土性及實用性之價值。
2. 作品中有提出人造雨所需的條件，及影響人造雨的因素及「奈米」粒子作為凝結核之良好條件，作為製作人造雨之參考，具學術及應用價值。
3. 作者對濕度之學科知識尚待充實，若能對絕對濕度，相對濕度等能有更清楚的了解，對整個研究當更為圓滿。