

洗乾坤污穢：好聽水看山— 談「空氣污染的檢驗與防治」

高中組化學科第一名

北一女中

作者：林艷宜、林佳賢
林佳宜、陳怡真

一、實驗動機

指導教師：黃進松

每天上下學，常望著「滿街生煙」的馬路興歎，又看到行道樹生長在煙塵之中，不禁引發了我們的疑惑：空氣污染對植物的影響究竟有多大？因此我們設計了空氣污染對植物影響的實驗，又從實驗中發起了我們對整個空氣污染的問題之興趣，因而我們又設計了此一連串的實驗。

另外，在寒假期間，我們到環保局進行檢驗空氣及污染物的防止消除實驗，得而完成全部實驗。

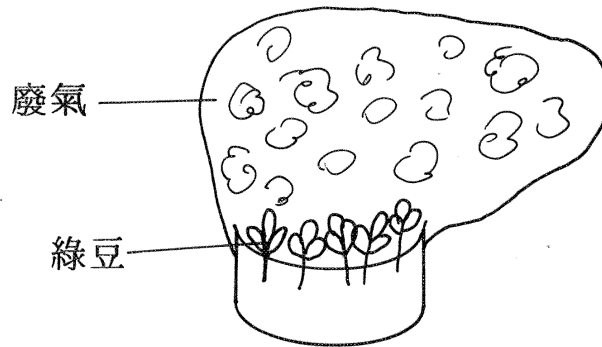
二、實驗目的

- (一)以綠豆引證空氣污染及酸雨對植物的影響。
- (二)求知 CO_2 對大氣溫度的影響。
- (三)檢驗污染空氣中 SO_2 及 NO_2 的含量。
- (四)探討空氣污染的防治與污染物的消除。

三、實驗過程

實驗一：污染物對植物的影響

- (1)將已發芽的綠豆以水耕法栽培；分爲六小缸。
- (2)滴入 H_2SO_4 ，使其中四小缸之酸鹼值分別爲 $\text{pH} = 2$ ， $\text{pH} = 4$ ， $\text{pH} = 5$ ， $\text{pH} = 6$ ；另置一小缸爲對照組。
- (3)取 $\frac{1}{2}$ 大垃圾袋的機車廢氣，混合 $\frac{1}{2}$ 大袋的正常空氣，罩在一小缸上。裝置如下圖：



(4) 觀察記錄不同環境下綠豆的生長情形。

實驗二：溫室效應：

- (1) 分別以 15ml，30ml，45ml 的 HCl 與 CaCO_3 作用，生成 CO_2 於錐形瓶中。
- (2) 將溫度計插於錐形瓶中，以軟木塞封閉。
- (3) 用紅外線電熱器於每日 7:30 ~ 16:30 照射。
- (4) 每日定時測量溫度的變化。

實驗三：檢驗空氣

爲了實驗的準確與標對，我們設計了幾組實驗。首先配製藥品：

- (1) 配製 1000 ppm 之 HNO_3 。
- (2) 配製 2500 ppm 之 H_2SO_4 。
- (3) 稀釋調配標準待測液：

於 10 個 250ml 之定量瓶中，將 2500 ppm 之 H_2SO_4 與 1000 ppm 之 HNO_3 稀釋配製爲 (H_2SO_4 之 ppm 值 / HNO_3 之 ppm 值) 10/1，25/2.5，50/5，100/7.5，150/10，200/12，250/14，300/16，350/18，400/20。

- (4) 配製待測液 A：

於 10 個 250ml 之定量瓶中，將 1000 ppm 之 HNO_3 分別稀釋爲 1 ppm，2.5 ppm，5 ppm，7.5 ppm，10 ppm，12 ppm，14 ppm，16 ppm，18 ppm，20 ppm。

- (5) 調配待測液 B：

於 10 個 250ml 之定量瓶中，將 2500 ppm 之 H_2SO_4 分別稀釋

爲 10 ppm, 25 ppm, 50 ppm, 100 ppm, 150 ppm, 200 ppm, 250 ppm, 300 ppm, 350 ppm, 400 ppm。

(6) 調配待測液 C :

於 11 個 250ml 之定量瓶中，將 2500 ppm 之 H_2SO_4 與 1000 ppm 之 HNO_3 分別稀釋爲 (H_2SO_4 之 ppm 值 / HNO_3 之 ppm 值) 10 / 16, 25 / 16, 50 / 16, 100 / 16, 150 / 16, 150 / 5, 200 / 5, 250 / 5, 300 / 5, 350 / 5, 400 / 5。

(7) 配製標準滴定液 :

取	{	$Ba(CH_3COO)_2$	0.55g	} 加水至 100ml, 再加異丙醇 [$CH_3CH(OH)CH_3$] 至 500ml
		$Pb(CH_3COO)_2$	0.2g	
		CH_3COOH	1.5ml	

(8) 調配滴定液 A :

取	{	$Ba(CH_3COO)_2$	0.55g	} 加水至 500ml
		$Pb(CH_3COO)_2$	0.2g	
		CH_3COOH	1.5ml	

(9) 配製滴定液 B :

取	{	$Ba(CH_3COO)_2$	0.55g	} 加水 100ml, 再加異丙醇至 500ml
		CH_3COOH	1.5ml	

(10) 配製指示劑 :

取 砷 萘 紫 III 指示劑 0.2g, 加水至 100ml

我們將實驗分三小組, 以做比對 :

{	實驗組	—— 標準滴定液。
	對照組(一)	—— 無異丙醇之滴定液 —— 滴定液 A —— (待測液之異丙醇亦以 H_2O 代替)
	對照組(二)	—— 無 $Pb(CH_3COO)_2$ 之滴定液 —— 滴定液 B

{	實驗組	—— 標準待測液
	對照組(三)	—— 待測液只含 HNO_3 —— 待測液 A
	對照組(四)	—— 待測液只含 H_2SO_4 —— 待測液 B

- 〔實驗組 ——無HNO₃ 待測液
- 〔對照組(五)——待測液為各種不同濃度的H₂SO₄與5ppm
及16 ppm之HNO₃ ——待測液C

以下是操作過程：

- (1)取10 ml 的待測液於燒杯中
- (2)加入 { 40ml 的異丙醇
1ml CH₃COOH
0.1ml 砷荼紫Ⅲ指示劑
- (3)先以比導電度計測各待測液的導電率。
- (4)以微量滴定器加滴定液至滴定終點。
(當待測液呈藍色並維持一分鐘)
- (5)記錄滴定液之滴定量。
- (6)以比導電度計測滴定後之待測液的導電率。
- (7)標對(3)與(6)之導電率及其差與HNO₃ 濃度間之關係。

另外，針對NO₂的檢驗，我們也做了一連串有關蛋白質與H₂SO₄ 及HNO₃ 反應的實驗，步驟如下：

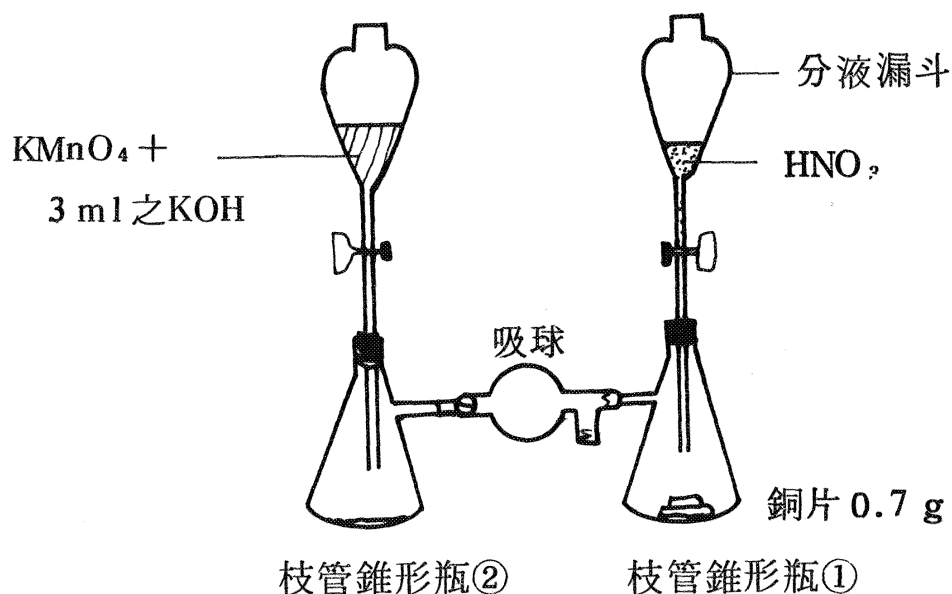
- (1)分別將 { lactose broth
lactose broth (加Brom Thymol
Blue)
EMB
proteose peptone NO. 3
endo agar } 取0.5 g
加入20 g
H₂O再取
5ml

加入純H₂SO₄ 與HNO₃ 及純水中

- (2)仔細觀察每一試劑與H₂SO₄，HNO₃，純水的反應後顏色之變化。
- (3)取步驟(2)中，顏色鮮明互異的作用試劑，再加入稀釋為10 ppm 的H₂SO₄，HNO₃ 及純水中。
- (4)觀察顏色變化。

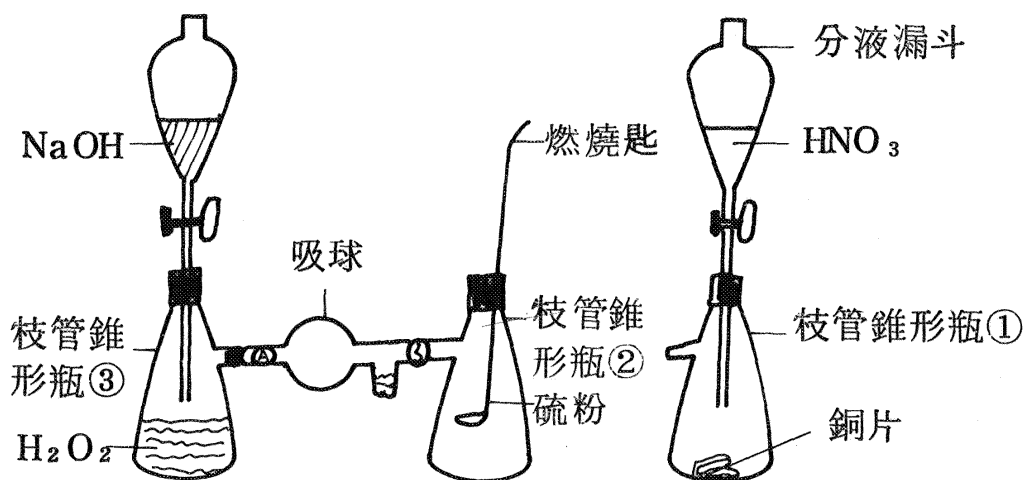
實驗四：空氣污染的防治與污染物的消除

實驗裝置如下圖：



- (1) 在枝管錐形瓶①中以 HNO_3 與 Cu 作用，使其產生 NO_2 。
- (2) 以吸球將枝管錐形瓶①中之 NO_2 吸至枝管錐形瓶②。
- (3) 在枝管錐形瓶②中，加入 KMnO_4 與 3ml 之 KOH 溶液，使產生 KNO_3 與沈澱的 MnO_2 。
- (4) 將枝管錐形瓶②中之液體過濾，使 MnO_2 存留於濾紙上。
- (5) 將濾紙送進烘乾機烘乾。
- (6) 將殘餘溶液置於加熱板上加熱。

以下是採酸鹼中和的原理消除 SO_2 及 NO_2 ：



- (1)在枝管錐形瓶③中，加 H_2O_2 。
- (2)在枝管錐形瓶①中，以 HNO_3 與Cu作用，產生 NO_2 ；將 NO_2 以吸球吸至枝管錐形瓶③中。
- (3)在枝管錐形瓶②中，以S燃燒產生 SO_2 ，將 SO_2 亦以吸球吸至枝管錐形瓶③中。
- (4)將枝管錐形瓶③略為搖晃，使 NO_2 及 SO_2 全溶於 H_2O_2 中。
- (5)在枝管錐形瓶③中以分液漏斗加入NaOH。

五、實驗結果

實驗一：污染物對植物的影響：

觀察記錄綠豆的生長情形如下表：

表(一)酸性程度對植物生長之影響

日期 pH 值	四 天 後			七 天 後			十 天 後		
	莖 長	葉 長	莖 寬	莖 長	葉 長	莖 寬	莖 長	葉 長	莖 寬
pH=2	1.35cm	1.35cm	2.1 mm	1.37cm	0.89cm (腐爛)	2.70mm	(死亡)		
pH=4	6.40	2.16	2.1	8.77	2.33	2.24	8.43cm	2.08cm (枯萎)	2.40mm
pH=5	6.75	2.49	2.1	9.6	2.49	2.13	10.34	2.52	2.34
pH=6	9.21	2.49	1.4	14.19	2.63	2.0	13.53	2.80	2.31
正 常	7.59	2.36	1.87	9.80	2.65	1.87	12.74	2.70	1.87

表(二)空氣污染對植物的影響

日期 環 境	二 天 後			四 天 後			六 天 後		
	莖 長	葉 長	莖 寬	莖 長	葉 長	莖 寬	莖 長	葉 長	莖 寬
正 常	7.59cm	2.36cm	1.87mm	9.45cm	2.2 cm	1.87mm	9.80cm	2.65cm	1.87mm
污 染	2.04	1.63	3.47	3.47	1.84	2.9	2 (莖上端皆枯死)	1.77	3.0

(上表之值皆為十五棵豆芽所量得數據之平均值)

酸性程度對植物影響之生長狀況記錄表：

四 天 後	pH值	生 長 狀 況
	2	葉未張，莖發紫，根有點爛。
	4	根細短，其餘皆與正常環境相同。
	5	根短小，其餘正常。
	6	正常。
	正常	正常。

七 天 後	pH值	生 長 狀 況
	2	△根已腐爛 △莖粗呈紫色 △葉多已腐爛 △葉僅八株 未腐爛
	4	有四株植物下垂，莖軟弱無力，葉子軟化。
	5	△有一株莖細軟下垂 △大部分葉向內彎，有三株的葉末 梢呈褐色枯掉。
	6	有四株的葉帶褐斑點，餘皆正常。
	正常	皆很健康。

十 天 後	pH值	生 長 狀 況
	2	枯死、腐爛、發霉。
	4	有五株葉已枯萎，莖軟弱無力，一株已長滿黴菌。
	5	一株枯死，大部分軟弱無力。
	6	有四株葉捲曲且有褐色斑點。
	正常	繼續生長，無任何異狀。

“正常環境”與“空氣污染環境”之生長狀況記錄表：

二 天 後	環境	生 長 狀 況
	正常	生長良好。
	污染	根彎曲畸形，莖明顯變粗。

四	環境	生長狀況	況
天	正常	繼續生長。	
後	污染	莖末端略呈黑色。	

六	環境	生長狀況	況
天	正常	葉略下垂，莖很正常。	
後	污染	葉下垂、枯死，植物。	

實驗二：溫室效應：

於每日上午 7：30 測量 4 個錐形瓶的溫度如下：

參與反應之 HCl 量 \ 日期	17 / 11	18 / 11	21 / 11	22 / 11	23 / 11	24 / 11
15 ml	21 °C	21 °C	22 °C	22 °C	22.5 °C	20.5 °C
30 ml	21 °C	21 °C	22 °C	22 °C	22.5 °C	22 °C
45 ml	21 °C	21 °C	22 °C	23 °C	23.5 °C	23 °C
0 (一般空氣)	21 °C	18 °C	20 °C	20 °C	20.5 °C	19 °C

實驗三：檢驗空氣

(-) 將各待測液所需之滴定液量列表如下：

(以下數據皆為三或四次數值之平均數)

[註]：H₂SO₄ 與 HNO₃ 之標準量表示法為 H₂SO₄ / HNO₃ 之 ppm 值。
若為“無 HNO₃ 之待測液”時，則 H₂SO₄ / HNO₃ 之 ppm 值
依序為 10 / 0，25 / 0，50 / 0，……。

組別 \ H ₂ SO ₄ 與 HNO ₃ 之標準量 (ppm)	10	25	50	100	150	200	250	300	350	400
	1	2.5	5	7.5	10	12	14	16	18	20
實驗組一 標準待測液 (ml)	0.325	0.695	1.8	2.31	3.65	4.06	4.7	6.1	7.26	7.4
對照組(四)一 無 HNO ₃ 之待測液	0.34	0.70	1.58	2.46	3.67	4.83	5.88	6.2	7.66	8.03
對照組(三)一 無 H ₂ SO ₄ 之待測液	0.047	0.045	0.043	0.055	0.043	0.045	0.052	0.053	0.037	0.05

組別	H ₂ SO ₄ /HNO ₃ ppm值		10	25	50	100	150	200	250	300	350	400	
			1	2.5	5	7.5	10	12	14	16	18	20	
實驗組—— 無HNO ₃ 待測液(ml)			0.34	0.70	1.58	2.46	3.67	4.83	5.88	6.2	7.66	8.03	
對照組(五)—— H ₂ SO ₄ 與不同量之HNO ₃			0.24	0.53	0.91	1.69	1.74	3.57	3.97	5.84	6.75	8.38	7.36
組別	H ₂ SO ₄ / HNO ₃ ppm值		10	25	50	100	150	150	200	250	300	350	400
			16	16	16	16	16	5	5	5	5	5	5

(二)以下為各待測液在滴定前後之導電率 ($\mu\text{S}/\text{cm}$) :

組別	H ₂ SO ₄ 與HNO ₃ 之ppm值		10	25	50	100	150	200	250	300	350	400
			1	2.5	5	7.5	10	12	14	16	18	20
滴 定 前	實驗組—— 標準待測液 ($\mu\text{S}/\text{cm}$)		10.03	10.1	10.35	15.27	19.75	24.15	26.6	31.65	31.95	38.85
	對照組(四)—— 無HNO ₃ 之待測液		9.3	9.35	12.33	15.37	17.07	22.4	24.9	27.3	31.00	32.77
	對照組(三)—— 無H ₂ SO ₄ 之待測液		8.9	8.58	8.40	9.87	9.65	9.1	8.58	8.55	8.97	9.3
滴 定 後	實驗組—— 標準待測液		10.37	10.13	9.90	13.57	15.35	18.2	20.15	21.85	21.47	25.50
	對照組(四)—— 無HNO ₃ 之待測液		10.60	11.23	11.45	12.95	14.33	16.17	18.75	18.25	20.4	22.95
	對照組(三)—— 無H ₂ SO ₄ 之待測液		9.75	9.45	8.93	9.05	9.63	9.75	9.35	9.58	9.75	10.15

組別	H ₂ SO ₄ / HNO ₃ ppm值		10	25	50	100	150	200	250	300	350	400	
			1	2.5	5	7.5	10	12	14	16	18	20	
滴 定 前	實驗組—— 無HNO ₃ 待測液		9.3	9.35	12.33	15.37	17.07	22.4	24.9	27.3	31.00	32.77	
	對照組(五)—— H ₂ SO ₄ 與不同 量之HNO ₃		10.2	11.0	12.0	13.75	14.35	21.0	24.7	29.7	33.65	39.03	36.95
	組別	H ₂ SO ₄ / HNO ₃ ppm	10/ 16	25/ 16	50/ 16	100/ 16	150/ 16	150/ 5	200/ 5	250/ 5	300/ 5	350/ 5	400/ 5

滴	組別	H ₂ SO ₄ / HNO ₃ ppm 值	10	25	50	100	150	200	250	300	350	400	
			1	2.5	5	7.5	10	12	14	16	18	20	
定	實驗組 - 無 HNO ₃ 待測液		10.60	11.23	11.45	12.95	14.33	16.17	18.75	18.25	20.4	22.95	
	對照組(五)-H ₂ SO ₄ 與不同量之 HNO ₃		10.55	10.9	11.4	13.0	12.83	17.05	18.77	20.95	22.05	24.0	23.7
後	組別	H ₂ SO ₄ / HNO ₃ ppm 值	10	25	50	100	150	150	200	250	300	350	400
			16	16	16	16	16	5	5	5	5	5	5

(二)以下為無 Pb(CH₃COO)₂ 滴定液與標準滴定液所滴定量：

組別	H ₂ SO ₄ / HNO ₃ ppm 值	10 / 1	150 / 10	400 / 20
實驗組一標準滴定液		0.325 (ml)	3.65	7.4
無 Pb(CH ₃ COO) ₂ 之滴定液		0.636	4.62	10.63

(四)以下為(二)之導電率：

組別	H ₂ SO ₄ / HNO ₃ ppm 值	10/1	150/10	400/20
滴 定 前	實驗組一標準滴定液	10.03(100 μS/cm)	19.75	38.85
	無 Pb(CH ₃ COO) ₂ 之滴定液	10.74	21.45	42.2
滴 定 後	實驗組一標準滴定液	10.37	15.35	25.50
	無 Pb(CH ₃ COO) ₂ 之滴定液	10.82	15.63	25.27

(五)當以純水代替滴定液和待測液的異丙醇時，所需加入滴定的量，均比同濃度的標準液大出許多。

(六)以下為各種培養基與純 H₂SO₄，純 HNO₃，純水反應的顏色：
當採取③及⑤與 10 ppm 之 H₂SO₄，HNO₃ 純水三者反應時，其顏色變化極稀微，與純水幾乎相同。

培養基	參與反應物質		
	純 水	HNO ₃	H ₂ SO ₄
① lactose broth	土黃色	黃 色	棕 色
② lactose broth(加Brom Thymol Blue)	橘 色	黃 色	肉 色
③ EMB	粉紅色	綠 色	褐 色
④ proteose peptone NO. 3	黃 色	黃 色	棕紅色
⑤ endo agar	淡紫色	黃 色	深褐色
⑥混合以上五種	橄綠色	翠綠色	褐 色

實驗四：防治與消除：

(1) MnO₂ 回收法：

- ① 當 HNO₃ 與 Cu 作用時，會產生紅棕色的 NO₂ 及被解離之藍色銅離子。
- ② NO₂ 與 KMnO₄ 及 KOH 作用，會產生黑褐色的 MnO₂ 與 KNO₃。
- ③ 當 MnO₂ 經過濾分離後，送入烘乾機烘乾，即能得到黑褐色 MnO₂ 粒子。
- ④ KNO₃ 最後會結晶析出。

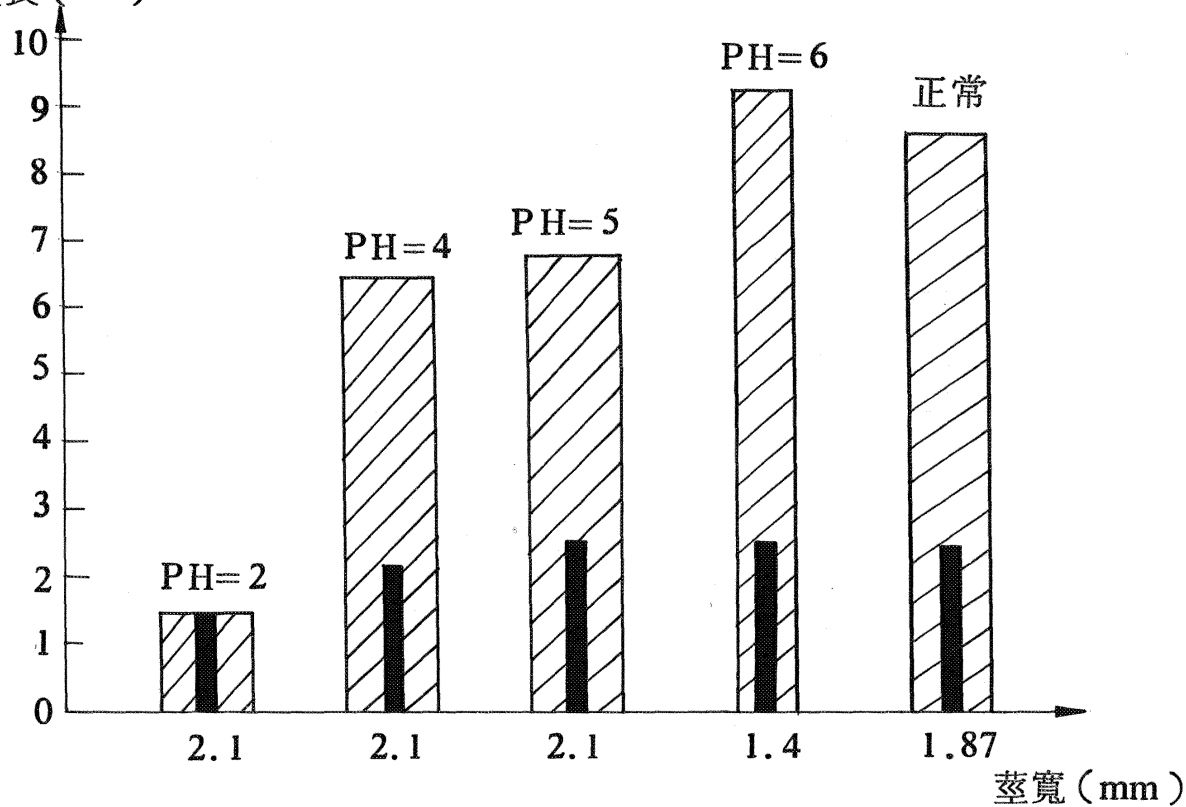
六、討論

實驗一：污染物對植物的影響

將所記錄的數據（綠豆的莖長、葉長、莖寬）繪圖如下：
（柱形圖的長表莖長、寬表莖寬，中心之實心柱長表葉長）

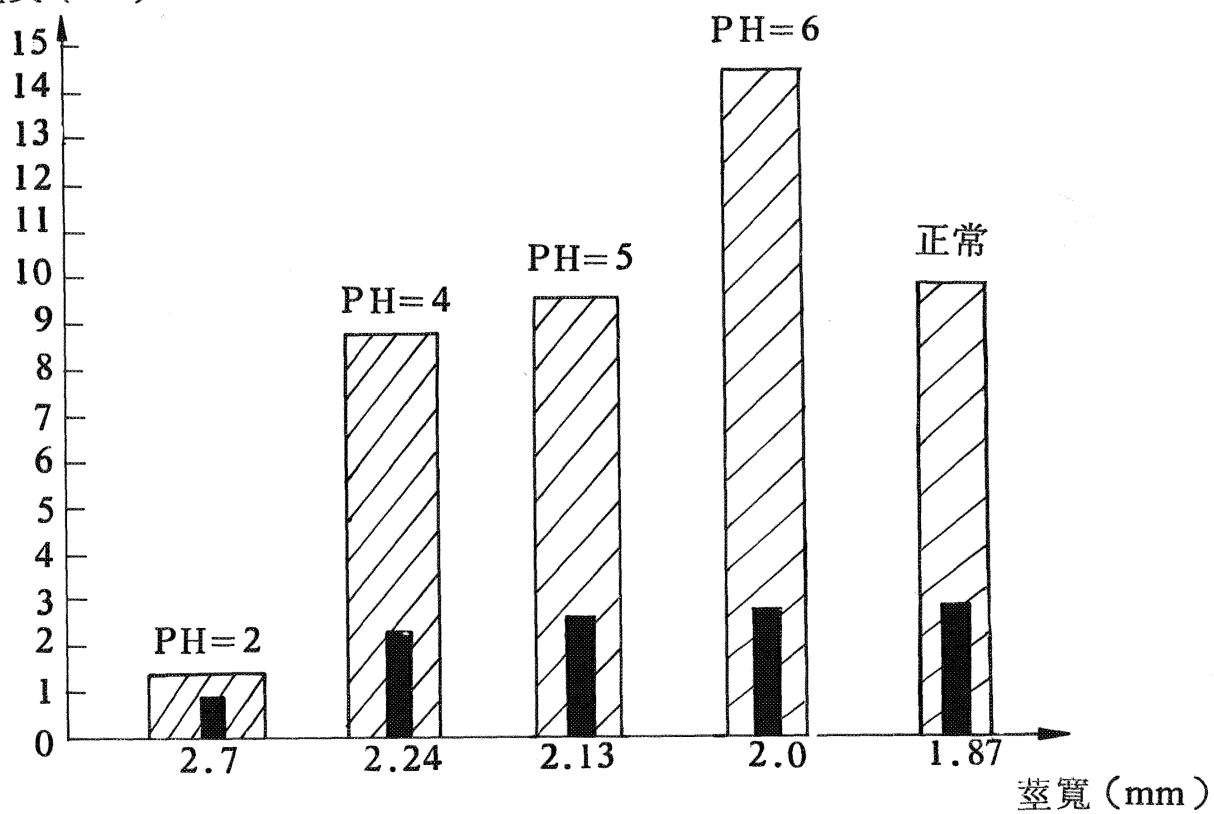
四天後：

莖長 (cm)



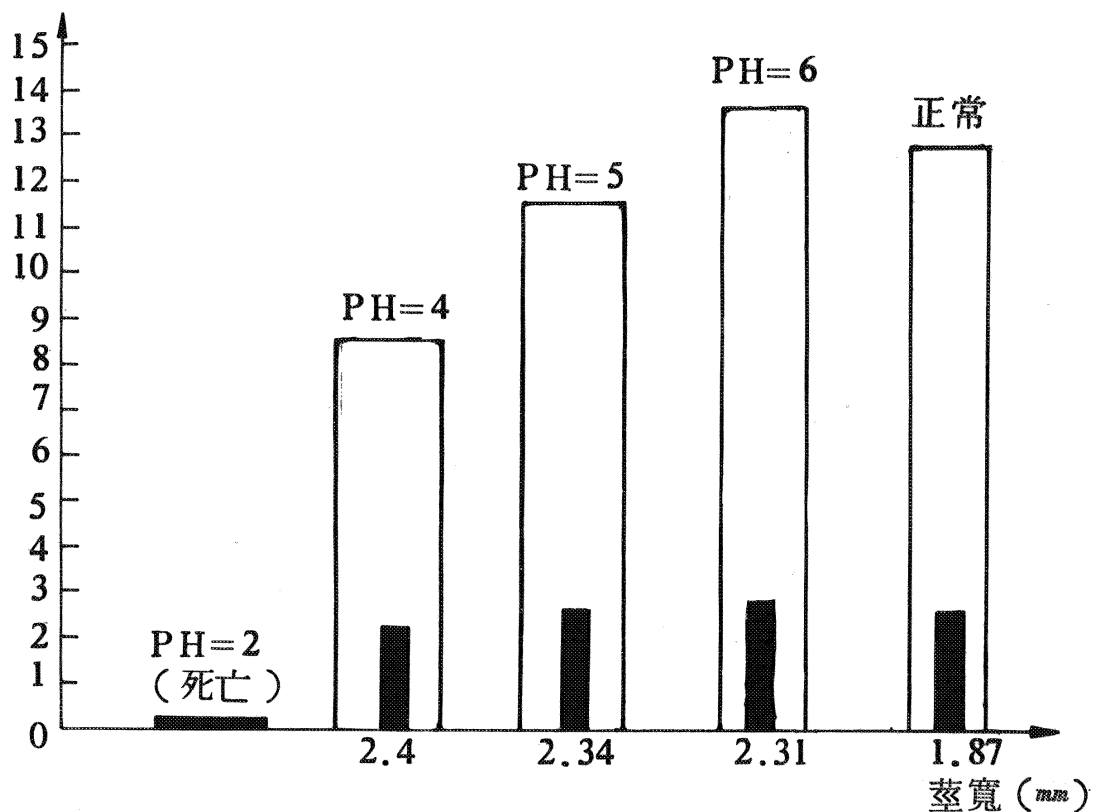
七天後：

莖長 (cm)



十天後：

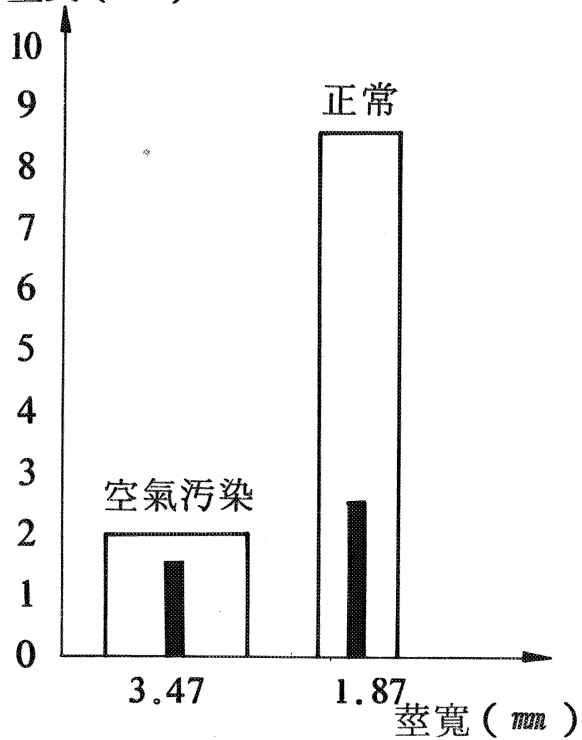
莖長 (cm)



以下為機車廢氣之環境與正常環境下的比較圖形：

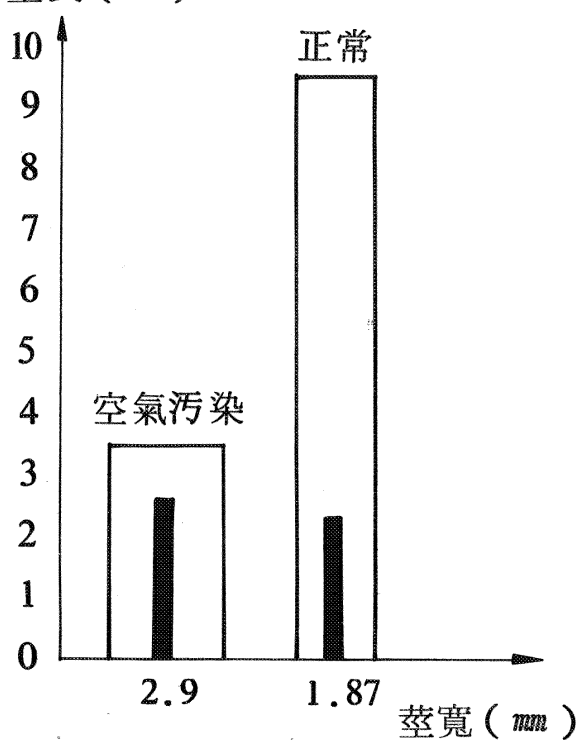
二天後：

莖長 (cm)



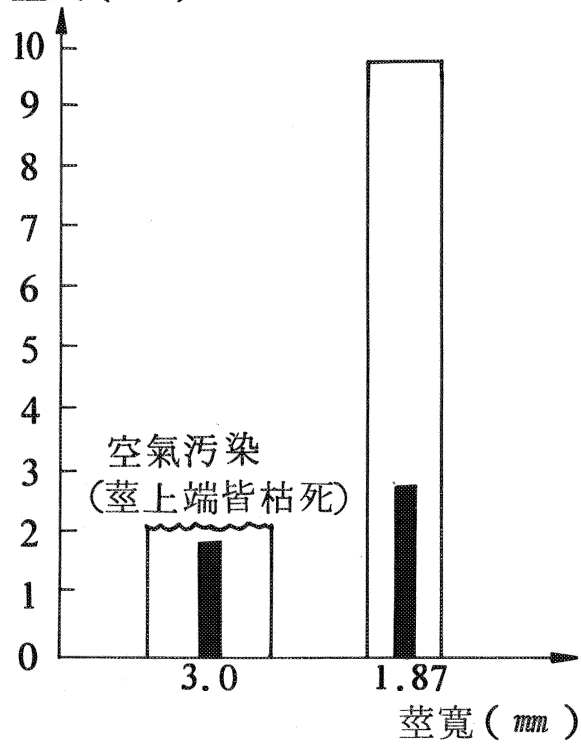
四天後：

莖長 (cm)



六天後：

莖長 (cm)



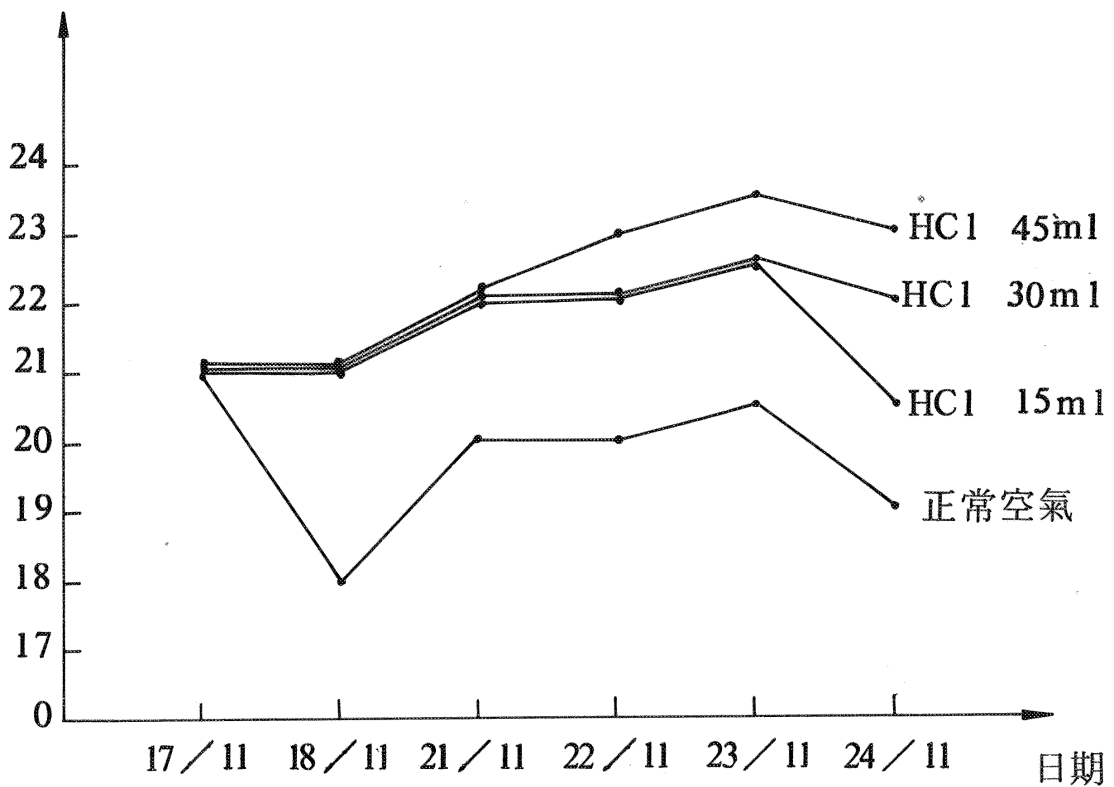
根據以上資料，數據與圖形，我們得知：酸性越大，會使植物的莖變得越粗，根越短，葉枯萎，即抑制其生長；最後使植物萎縮而死。

而生活在機車廢氣中的植物，則根捲曲，莖顯然增粗變色；最後仍然枯萎，萎縮而死。

實驗二：溫室效應

將每天定時測得的溫度數據製成曲線圖。

溫度 (°C)



此數據皆為早晨 7 : 30 所測得，即 CO_2 在經過半天紅外線照射及半天的冷卻後所測得。換言之，此數據即表示了不同量 CO_2 的保溫能力；又由上曲線圖，我們顯然得知： CO_2 之量越多，保溫能力就越好，——此正是所謂「溫室效應」的作用。而今日地球 CO_2 的不斷增加，使氣溫不斷上升，也可由此實驗一窺而知了。

又單一曲線會因實際氣候的影響而起伏；因此在分析此圖表時，我們應特別注意的是：同一天中，四組數據的差異。

在此實驗中 CO_2 在瓶中並無完全封閉，因此在瓶中之 CO_2 只能說有量之多少的區分，而或許不成很準確的倍數關係。

實驗三：檢驗空氣：

(一)因沈澱滴定法部分乃取自環境法令中，中央公布的標準檢驗法之精粕與簡要處；因此對一些藥品用途我們特別做了以下的推論：

- ① $\text{Pb}(\text{CH}_3\text{COO})_2$ ：促進反應，使顏色變化快速而較易觀察。
- ② 異丙醇：造成適當環境，使 BaSO_4 易於沈澱。或使 Ba^{2+} 易與砷萘紫結合。
- ③ CH_3COO^- ：我們將砷萘紫 III 指示劑 + 異丙醇 \Rightarrow 變為藍紫色，若再加 CH_3COOH 即變為紫紅色。
因此我們推判：砷萘紫呈色範圍有一定 pH 值而加入之 CH_3COO^- 即在造成此 pH 值範圍。
- ④ 砷萘紫：會與 Ba^{2+} 及 Pb^{2+} 產生錯化合物，而使顏色由紫紅色變為藍色。

以下是此實驗的原理：

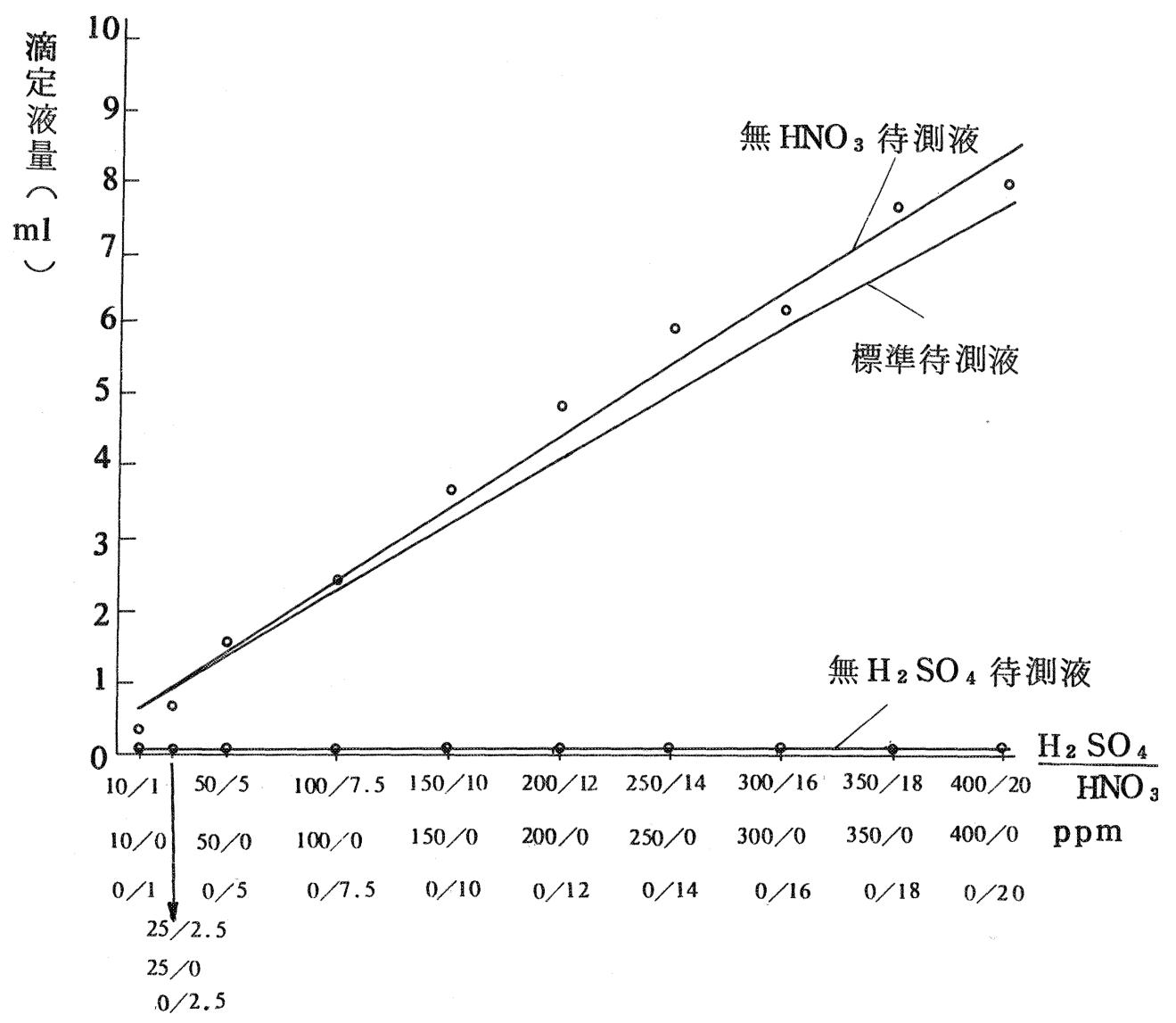
- ① 滴定液中加入 $\text{Ba}(\text{CH}_3\text{COO})_2$ ，因此當滴定液加入待測液時， Ba^{2+} 會與 SO_4^{2-} 產生 BaSO_4 沈澱。
- ② 當 SO_4^{2-} 全與 Ba^{2+} 反應完全後，再加滴定液時，其中 Ba^{2+} 多餘，便會與砷萘紫反應變色，使原本的紫紅色變為藍色，此時即表示已達到滴定終點。
- ③ 記錄滴定液量，與 H_2SO_4 的濃度比對，畫出關係圖形。

④以後便可藉此關係圖形，求知滴定液之量後，比對得知 H_2SO_4 的濃度。

⑤另外我們查閱許多資料，發現許多污染物均可以導電率測得其含量；因此我們決定以導電率來測 NO_2 的含量。

(二) 將 { 標準待測液——實驗組
無 HNO_3 待測液——對照組(四)
無 H_2SO_4 待測液——對照組(三) } 滴定時所需滴定液之量

繪成曲線圖如下：



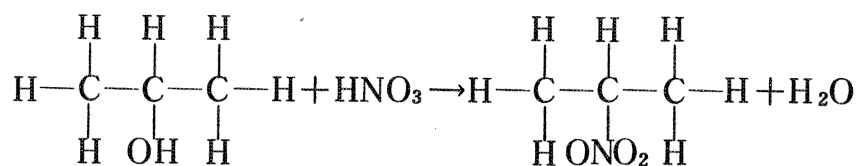
1. 依據資料上指出（環境法令）：氮氧化物在10 ppm以上時，將會對實驗結果造成干擾；而從曲線圖中亦顯示：HNO₃ 在10 ppm 以下時，H₂SO₄與HNO₃ 混合液（即標準待測液）所需滴定液之量將無HNO₃ 待測液（即對照組四）無多大差異。

但因為我們尚未在10ppm 左右作精確之測量。所以，無法確知10 ppm是否真的為干擾界線。

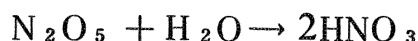
2. 又由曲線圖看出：當待測液中只含HNO₃ 時，HNO₃ 濃度的大小並不會影響所需滴定液之量。亦即表示：HNO₃ 與Ba²⁺ 不會產生沈澱物，即不消耗Ba²⁺ ；因此所加入Ba²⁺ 之量只用於使全部的砷萘紫反應變色，所以所加入滴定液之量近乎相同。（當待測液不含H₂SO₄、HNO₃ 時，所需之滴定液量與“待測液只含HNO₃”同）

3. 在“標準待測液”與“無HNO₃ 之待測液”兩斜直線中，我們發現：當H₂SO₄ 之量一定時，無HNO₃ 待測液所需滴定液之量均大於待測液中加入有HNO₃ 時（即標準待測液），而造成此現象的原因究竟是什麼？我們做了以下的推論：

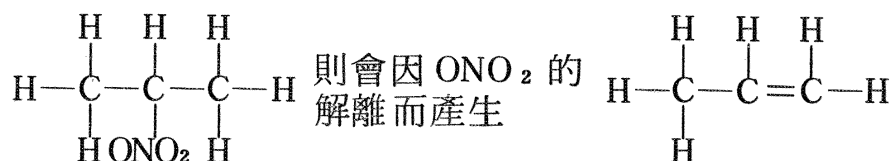
(1) 異丙醇會與HNO₃ 作用，反應式為：



在此反應中，ONO₂ 並不穩定，會繼續反應生成N₂O₅ 而N₂O₅ 又與H₂O作用產生HNO₃ 。



亦即表示HNO₃ 的量在此反應中並無消耗；而產物



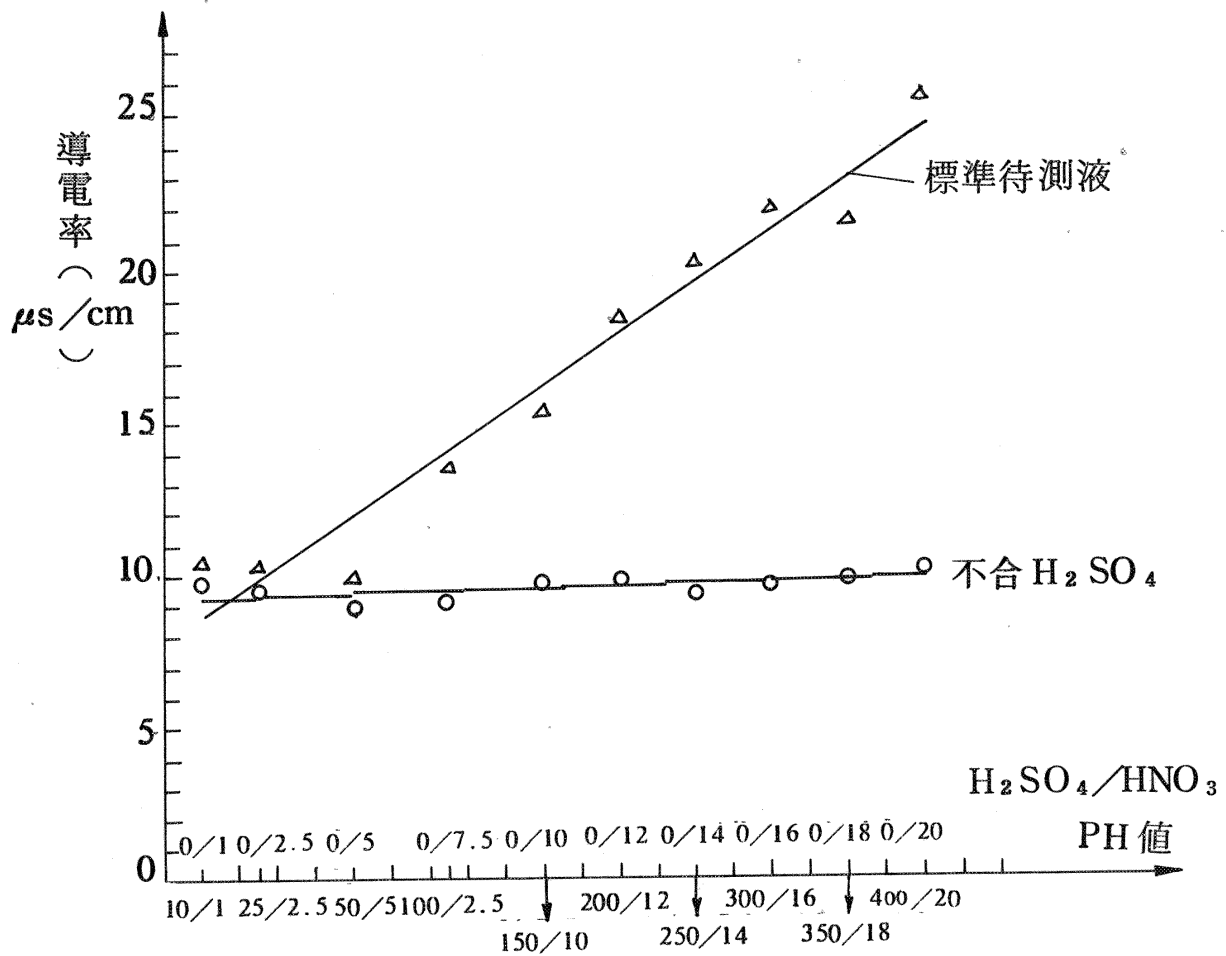
此物質為烯類，較穩定，且極性比異丙醇大。因此，就在異丙醇不斷地消耗而烯類物質不斷地產生下，使整個環境極性增大；而極性的增大將使 Ba^{2+} 易解離在水中，也就是溶液中 Ba^{2+} 增多；則會較易與砷萘紫反應，所以所加入之滴定液量便減少了。

(2) 另一影響溶液中 Ba^{2+} 濃度的原因為： $BaSO_4$ 的解離度 k_{sp} 會受 pH 值影響？

其實不論如何，會造成如此結果必因其作用的環境有所改變；是極性的改變？pH 值的改變？或是離子間作用力的變化？……；都需要更多的假設與進一步的實驗才能得證了。

(三) 將 { 標準待測液 } 滴定後的導電度繪圖如下：
 { 待測液只含 HNO_3 }

在導電率的單位—— S/cm 中，“S” 代表歐姆的倒數；“cm” 代表兩電極之間的距離。



1. 原本我們預測 HNO_3 的導電率應隨著濃度的增大而增大，因之能藉此測量 HNO_3 的含量。

結果在實驗中，從「無 H_2SO_4 」的曲線發現： HNO_3 的導電率並不隨著濃度的增大而增大。因此我們做了兩個推測：

- (1) HNO_3 的濃度間隔太小，不易看出兩值間真正的差異；而實驗做出的數據跳動不穩，亦有可能為實驗上人為的誤差所致。
- (2) 因此值為滴定後所測之導電率，所以 HNO_3 之導電率可能會受滴定液中所加入之異丙醇 $\text{Ba}(\text{CH}_3\text{COO})_2$ ， $\text{Pb}(\text{CH}_3\text{COO})_2$ ， CH_3COOH 影響。

因此我們又做了兩個小實驗：

- (1) 任何環境皆相同，只加大 HNO_3 濃度。
- (2) 不加任何滴定液，只測純 HNO_3 之導電率。

2. 兩結果分別如下：

(1)	HNO_3 ppm值	0 / 40	0 / 60	0 / 80
	導電率 ($\mu\text{s}/\text{cm}$)	15.4	16.5	18.4

(2)	純 HNO_3 之 ppm	0 / 10	0 / 25	0 / 50	0 / 100	0 / 150	0 / 200
	導電率 ($\mu\text{s} / \text{cm}$)	55	144	261	539	672	1090
	純 HNO_3 之 ppm	0 / 250	0 / 300	0 / 350	0 / 400	0 / 1000	
	導電率 ($\mu\text{s} / \text{cm}$)	1290	1770	1940	2080	5650	

3. 在(A)與(B)的結果中，我們明顯得知： HNO_3 仍適用於導電率，只是必須在無其它離子的干擾下，否則其值將會大受影響。
4. 而我們在此實驗中，原欲由滴定前及滴定後的導電率差求得 HNO_3 之含量。但現看來，滴定前 HNO_3 導電率受

SO_4^{2-} 影響；而在滴定後 SO_4^{2-} 雖除去，但卻加入了 $\text{Ba}^{2+} \cdot \text{Pb}^{2+} \cdot \text{CH}_3\text{COO}^-$ 離子的影響。因此除了純 HNO_3 外，溶液中另有其它離子都將造成干擾。

5.至此，此實驗中檢定 NO_x 的導電法正式宣告失敗；而我們也只好另尋新法。

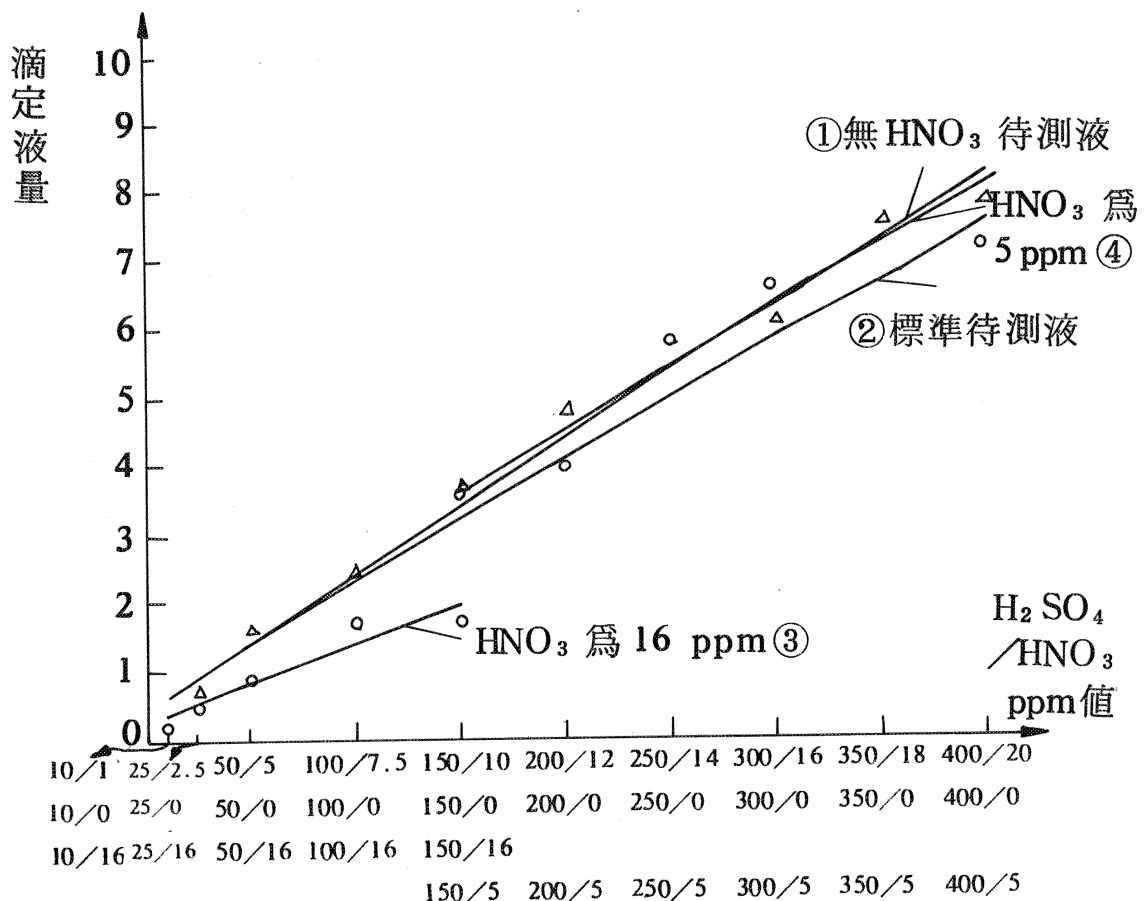
(四)將 { 標準滴定液
滴定液不含 $\text{Pb}(\text{CH}_3\text{COO})_2$ } 之實驗結果比較後發現：

“無 $\text{Pb}(\text{CH}_3\text{COO})_2$ ” 之滴定終點較不明顯，因此需加入較多的滴定液，以使顏色變化穩定。

(五)將 { 無 HNO_3 之待測液
各 H_2SO_4 濃度與 5 ppm 及 16 ppm 之 HNO_3 的待測液 } 滴定時所需滴定液量，繪圖如下：

①我們做此實驗的目的，是在藉此探討 HNO_3 對 H_2SO_4 的干擾。

②在環境法令中公佈的干擾界線為 HNO_3 10 ppm 以上因此我們以一組無 HNO_3 干擾的 H_2SO_4 為標準，而另調配一組 H_2SO_4 濃度受 HNO_3 干擾及不受干擾的溶液。



③由圖形中，很明顯看出：HNO₃ 濃度在16 ppm時，將對 H₂SO₄干擾極大；而當 HNO₃ 濃度等於 5 ppm 時，其對 H₂SO₄所造成之干擾將極微乎。

由此得知 5 ppm ~ 16ppm 之間必有一干擾界線。

④若將誤差考慮於此曲線圖中，則滴定液量應與“無HNO₃之待測液”的濃度成正比；因此其圖形應如上圖所示為一斜直線。或許我們可藉著其成直線關係，以滴定液量由外插法測得更高的H₂SO₄值呢！

⑤當斜線②的HNO₃ 濃度在10ppm 以下時，其誤差較③小；而當斜線②的HNO₃ 濃度在10ppm 以上時，其誤差卻較④大；由此再度證明：HNO₃ 濃度在10ppm 以下時，其誤差極小。

(六)由胺基酸測 NO₂：

①在「由導電率測HNO₃ 濃度」的方法失敗後，我們便另尋方法來測得 NO₂ 的含量。

又記得國中時曾做過「蛋白加 HNO₃，會使蛋白呈黃色凝固」的實驗。因此我們便朝著蛋白的組成成分——胺基酸著手，試欲找出一種能與 HNO₃ 及 H₂SO₄有不同變化的培養基，以做為指示劑。

②在加入六種培養基（其中一種為混合其它）於 HNO₃ 及 H₂SO₄後，我們發現混合太多培養基會使變因太多而無法討論，因此先刪去。

而剩下五組中，就以“EMB”及“endo agar”對純 H₂SO₄純 HNO₃ 及純水三者反應的顏色較明顯而鮮明。只是在微量情況下，EMB 及 endo agar 是否亦能維持其顏色變化呢？

③因此我們又將 EMB 及 endo agar 加入 10ppm 的 HNO₃ 及 H₂SO₄中，結果發現其顏色變化極微乎，幾與純水相同。至此，以我們的能力，已無法分辨太相近的顏色了。

(七)最後討論誤差：

①因我們是利用滴定液的量求得 H_2SO_4 的含量，而指示劑的顏色變化又是在一瞬間，且此一瞬間不好控制微量滴定器的量；因此有時會造成滴定量的誤差。

②配製、稀釋 H_2SO_4 及 HNO_3 時，可能會有誤差。

③燒杯、定量瓶若有殘餘物，亦會影響結果。

(八)給個小建議：

①洗任何儀器及實驗時，一定要使用純水。

②實驗所使用之儀器或吸管，必丟棄或洗淨，否則必會影響微量的所測值。

實驗四：防治與消除：

(一) KMnO_4 法：

由方程式 $4\text{HNO}_3 + \text{Cu} \rightarrow 2\text{NO}_2 + 2\text{H}_2\text{O} + \text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ 製造出 NO_2 ，再與 KMnO_4 反應，

方程式 $3\text{NO}_2 + \text{KMnO}_4 + 2\text{KOH} \rightarrow 3\text{KNO}_3 + \text{MnO}_2 + \text{H}_2\text{O}$ 使 NO_2 轉變成為 MnO_2 及 KNO_3 ；而 KNO_3 結晶後可當肥料，再次資源回收，同時達到防治污染的功效，而且不會造成二次污染。

(二) NaOH 法：

①我們曾到南僑化工廠參觀，發現回收物雜質多，生成物少，經濟利益極小；因此我們決定採用最簡便的方法—酸鹼中和。

②其實，工廠應視本身所產生的 SO_2 及 NO_2 而決定是否需用酸鹼中和法。若產生的 SO_2 及 NO_2 少，即可使其與 H_2O_2 生成 H_2SO_4 、 HNO_3 而直接排出。

③又滴定时必須注意的是：為防止 pH 值變化過速 NaOH 的濃度不能太高。

④為防止 H_2O_2 的消耗量過大，可使其不斷循環，直至飽和為止。

七、結論

(一)由植物的實驗及 CO_2 對大氣溫度的影響得知，空氣污染對生態環境的影響已非同小可。

(二)現在我們的實驗全在實驗室中模擬進行；而實際上我們必須到工廠以採樣器採樣，再帶回實驗室檢驗 H_2SO_4 及 HNO_3 的濃度，使樣品溫度、壓力能一定。但此測出的濃度是為 SO_4^{2-} 的濃度，必須換算成爲大氣中 SO_2 的含量。以下是我們換算的公式：

$$\text{SO}_2 \text{ 含量 } (\mu\text{g}/\text{m}^3) = \frac{\text{ppm} \times V(\ell) \times 1000}{Q \times t} \times \frac{64}{96}$$

ppm： SO_4^{2-} 的濃度

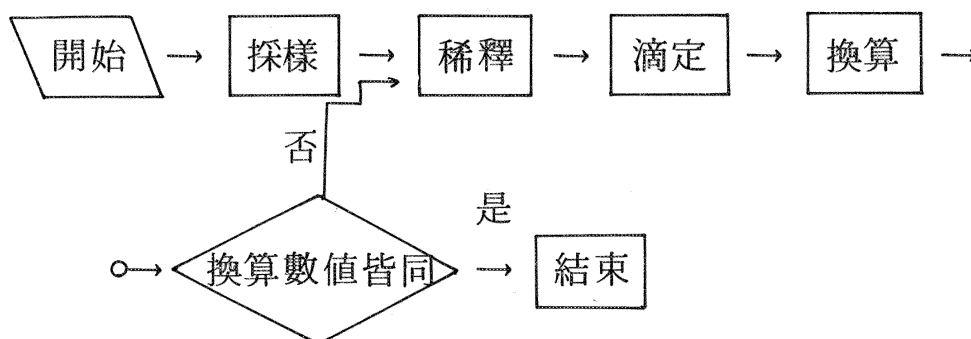
V：全溶液的體積（ ℓ ）——吸收液爲 H_2O_2

Q：待測氣體之流量（ m^3/sec ）

t：取樣時間（sec）

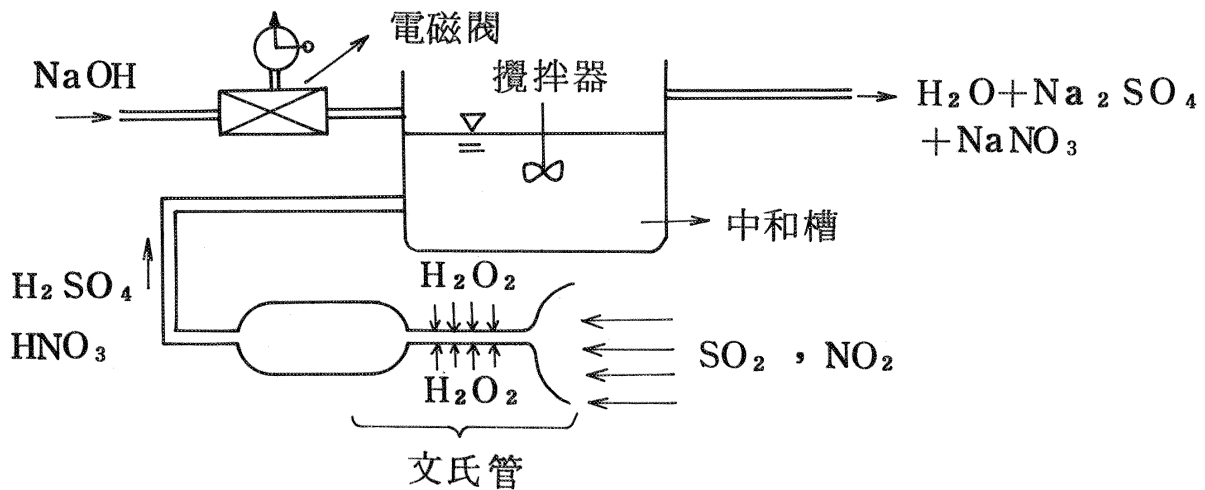
(三)爲了防止採樣中有大量 HNO_3 干擾；必須將同一待測液稀釋爲不同濃度之待測液；待檢驗出的 SO_2 濃度數值皆相近時，表示其已不受 HNO_3 干擾，始能確定 SO_2 正確濃度。

(四)完成實驗後，我們將檢驗 SO_2 的步驟繪成以下流程：



(五)最後，我們在通風櫥中燃燒硫，製造 SO_2 ；再以採樣器採集40分。我們將採集之待測液，一部分送入環保局之「離子層析儀」檢定；一部分則以我們自己實驗的方法測出 SO_4^{2-} 的濃度。離子層析儀測出之實際值爲53ppm，而我們測出之值爲60ppm左右；兩值之差，實不爲多。

(六)另外，在消除及防治污染方面，我們自行設計了一套“酸鹼中和”反應的模型如下：



1. 文氏管：以漏斗形之一端收集 SO_2 ， NO_2 使之與壁面碰撞流速減弱；同時使之進入狹長細窄的管內，強迫與 H_2O_2 反應，產生 H_2SO_4 及 HNO_3 ；再進入中和槽中。
2. 電磁閥：自動控制中和槽中 pH 值用。當中和槽中 pH 值 < 7 時，自動滴入 NaOH 中和 H_2SO_4 及 HNO_3 ；使中和槽內之 pH 值維持於 $\text{pH} = 7 \sim 9$ 之間。
3. 當中和槽內之液面高於排水口，則中和後之液體便自動流出排走。
4. 此反應裝置中，將原先的 SO_2 ， NO_2 最後轉換成無毒之 NaNO_3 ， Na_2SO_4 水溶液排走；將不會造成任何污染。

評 語

本件作品作者模擬空氣污染的環境探討對植物生長的影响，並以滴定法定量檢定硫酸根及以胺基酸法檢定硝酸根離子，同時提出防治與消除的一種方法。

本件作品雖仍有待改進，但作者極具研究精神，值得鼓勵，尤其是在這環境意識高漲及環境污染嚴重的現況下，更有獎勵的必要。