屏東縣第 65 屆國民中小學科學展覽會

作品說明書

科別：生活與應用科學科(三)

組別：國中組

作品名稱：車內「睏」境—車內二氧化碳濃度探討

關鍵詞：二氧化碳、行車安全、二氧化碳檢測器

編號：B8005

摘要

本研究實測不同狀態下車內二氧化碳濃度變化。在密閉環境下(開啟車上空調的「內循環模式」)，CO_2 濃度隨時間穩定上升。當車內人數增加時，CO_2 累積速度明顯提升，而談話頻繁的情境亦會加速 CO_2 的積累，使二氧化碳濃度提升更快。針對不同條件的比較，我們發現開窗通風對降低 CO_2 濃度具有顯著效果。在開窗的情況下， CO_2 濃度上升速度大幅減緩。此外，開啟車上空調的「外循環模式」，亦能在一定程度上減緩二氧化碳上升速度，並可以維持在未過量的狀態。當車上有後座冷氣出風口，前後座位 CO_2 濃度差異不大。

壹、研究動機

每次坐家人的車出去旅遊時，尤其是長途乘車時，經常會感到困倦，甚至不自覺地打呵欠。然而，這種嗜睡的情況並不穩定，有時會強烈到讓人難以保持清醒，有時則只是輕微的疲倦感。這讓我產生了疑問：為什麼長時間待在車內會導致嗜睡感增加？這種現象是否與車內空氣的成分變化有關？於是便請教老師，開始了這次研究。

我們搜尋了網路資料，從勞動部職業安全衛生署找到了關於二氧化碳中毒認定基準(參考資料 3)曾經看過一篇文章，主要內容是二氧化碳濃度如果過高，可能會導致胸悶、注意力下降、容易疲倦、打哈欠次數增加、頭痛、頭暈、心跳加快、噁心，甚至可能會記憶力衰退、意識模糊，長時間暴露可能導致永久性損害。車內是一個相對封閉的環境，當乘客長時間待在其中，不斷呼吸會釋放二氧化碳，使其濃度逐漸升高。而當車輛靜止或移動時二氧化碳的增加是否有差別？這個問題引發了我的好奇心，因此，我希望透過實驗來驗證這一推測。

我們的主要目標是探討車內二氧化碳濃度與如何降低濃度。我將設計實驗來測量不同條件下車內二氧化碳濃度的變化，並觀察各種狀況下的變化量是否相同。透過數據分析，我們希望能夠甚麼狀況下濃度是最高的，並盡量避免類似的狀狀況發生。此外，我們也想進一步思考，是否能透過改變車內環境，如加強通風或採取其他方法來降低二氧化碳濃度，以改善乘車時的舒適度。我們希望透過這項研究，不僅能解答自己在乘車時的疑問，也期待能為改善車內空氣品質提供一些實用的建議，讓長時間乘車變得更加舒適與安全!

貳、 研究目的

1.測量並比較車輛行駛與靜止狀態下的二氧化碳，是否會因此有不同的變化量。

2.了解二氧化碳濃度變化影響。

3.分析車輛行駛過程中二氧化碳濃度的變化趨勢，探討是否存在特定條件下濃度上升較快的情況。

4.研究不同環境條件下（如密閉空間、通風狀況）車內各處二氧化碳的累積程度。

5.比較車內開窗與關窗時的二氧化碳濃度變化，評估通風對二氧化碳濃度的影響。

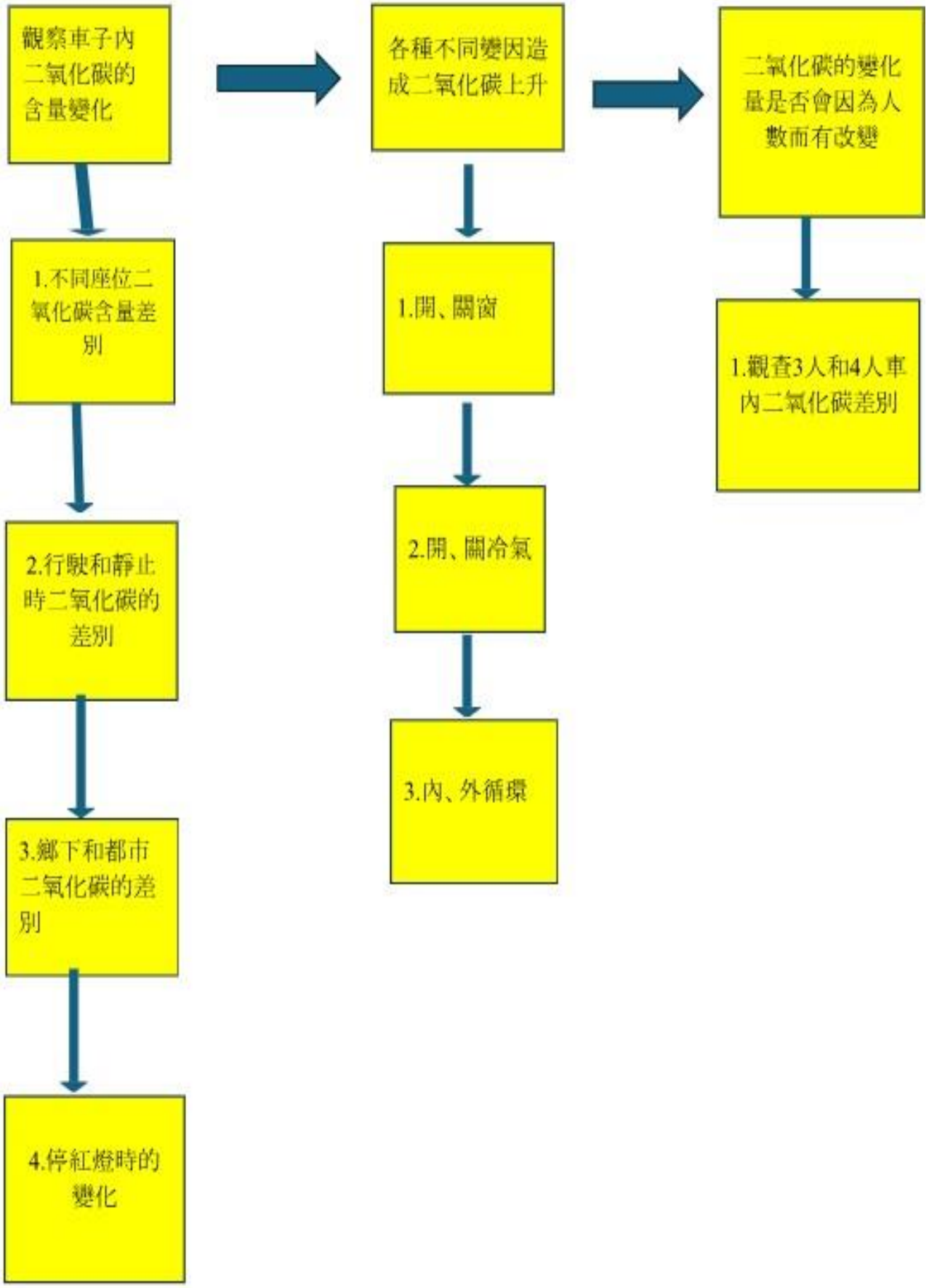
6.探討車內乘客人數變化對二氧化碳濃度的影響，分析人數增加是否加速濃度上升。

7.研究談話頻率對車內二氧化碳濃度的影響，探討是否會加速二氧化碳累積。

8.探討如何有效降低車內二氧化碳濃度，例如透過通風、空氣淨化設備或其他改善措施，以提升乘車舒適度與行車安全性。

參、 研究設備及器材

二氧化碳測量儀 x3(每一分鐘記錄一次)	電腦 x1
計時器 x3	實驗用車 x1


觀察車子內二氧化碳的含量變化
1.不同座位二氧化碳含量差別
2.行駛和靜止時二氧化碳的差別
3.鄉下和都市二氧化碳的差別
4.停紅燈時的變化
各種不同變因造成二氧化碳上升
1.開、關窗
2.開、關冷氣
3.內、外循環
二氧化碳的變化量是否會因為人數而有改變
1.觀查3人和4人車內二氧化碳差別

伍、文獻探討

一、本研究所使用的 CO_2 偵測器係使用 SGP30 MOX Gas Sensor，在使上通常會來回傳 Total VOC（TVOC）和 equivalent CO_2（eCO_2）。

eCO2 的檢測範圍：400～60000 ppm
TVOC 的檢測範圍：0～60000 ppb
因為 SGP30 回傳的等值 CO_2（eCO_2）是經由檢測 H_2 濃度後， IAQ 演算法換算而來的，並非 CO_2 精確值。

如果能經由別的濕度 Sensor 給予 SGP30 RH%（相對濕度），那 SGP30 便能更精準地計算 出 TVOC/eCO2 的值。

二、一般室外 CO_2濃度約為 440 ppm，而在密閉空間，二氧化碳上升的速度會更快。根據大量的文獻可以得知:當 CO_2濃度超過 1000 ppm，可能會導致嗜睡、注意力下降等不適症狀。若濃度持續升高至 2500 ppm 以上，則可能影響大腦運作，進一步降低警覺性與反應能力。

陸、　研究步驟與流程

1.選擇測量設備：準備二氧化碳探測器、計時器、記錄表格等必要設備。

2.設置探測器：在車內三個不同位置放置 CO_2探測器(副駕駛座、後座左側與後座右側)，以確保數據的全面性。

3.確認探測器運作正常：檢查探測器的電池電量、校準狀況及數據穩定性，以確保測量結果的準確性。

4.校正二氧化碳濃度：打開車門與窗戶，使車內 CO_2濃度與外界相同，並確認探測器顯示的數值與外界一致。

5.基準數據記錄：在車門與窗戶完全開啟的狀態下，記錄車內初始 CO_2濃度，作為比較基準。

6.密閉車內測試：關閉車門與窗戶，讓車輛靜置，測量車內 CO_2濃度的變化，每分鐘記錄一次數據，觀察濃度上升趨勢。

7.人數變化影響測試：依序測試不同人數（3 人、4 人）對 CO_2濃度變化的影響，確保每次測試時的活動狀態相同（如保持安靜或進行談話）。

8.談話頻率影響測試：測試靜默狀態與持續交談狀態下的 CO_2濃度變化，分析談話對車內空氣品質的影響。

9.行駛與靜止測試：分別測量車輛行駛與靜止時的 CO_2濃度變化，記錄行駛速度、時間長度對濃度的影響。

10.開窗與封閉環境比較：測試車窗全關、半開時的 CO_2濃度變化，評估通風效果。

11.恢復初始狀態：每次測試後，重新打開車門與窗戶，使車內 CO_2濃度回到室外水平，再進行下一次測試。

12.重複測試：為確保數據的準確性，每個測試條件需至少進行 3 次，取平均值作為最終數據。

柒、研究結果

1.車內二氧化碳濃度的變化趨勢

1.在車內完全密閉的情況下，二氧化碳（CO_2）濃度會隨著時間顯著上升。

2.前幾分鐘的上升速度最快，顯示車內空間有限，乘客呼吸排出的 CO_2 很快累積。

3.約 10~15 分鐘後，濃度上升趨勢開始放緩，可能與車內空氣的緩慢交換或 CO_2 分布均勻化有關。

2.車輛行駛與靜止時 CO_2 濃度變化的比較

4.靜止時，開引擎、關窗戶、關冷氣 CO_2含量最高，上升的幅度也是所有數據中最高的，高達 2000ppm。

5.行駛時，開窗戶是最有效可以減緩 CO_2上升的速度的方式。根據實驗的數據顯示只要是行駛中開窗，不論是開內循環還是外循環 CO_2上升的速度有明顯的降低。

6.如果要在車內睡午覺的話，我們也建議可以關著引擎但是打開窗戶，也是可以讓 CO_2不要上升那麼快。

8.遇到天氣較炎熱時，也可選擇開著窗戶並且開冷氣，這也是 CO_2相對不會增長那麼快速的辦法。

3.車內人數對 CO_2 濃度的影響

9.多人乘車時，CO_2 濃度上升速度顯著加快，當 4 人乘坐時，10 分鐘內 CO_2 濃度上升超過 1600 ppm，顯示呼吸排放的 CO_2 影響很大。

10.談話對 CO_2 濃度的影響：在多人環境下，持續談話的情況比安靜乘坐時 CO_2 濃度更高，可能是安靜時 CO_2排放量較少，而講話時排出的較多，導致在多人環境下 CO_2 含量較高。

機器1(4人) 機器2(4人) 機器3(4人) 機器1(3人) 機器2(3人) 機器3(3人)

						初始	0.5min	1min	2min	3min	4min	5min	6min	7min	8min	9min	10min	11min	12min	13min	14min	差值
靜止	開引擎	開窗戶	開冷氣	內循環	講話	440	629	756	937	723	750	893	822	913	948	1003	976	1067	1248	1174	1132	808
					不講話	440	574	712	658	778	844	959	844	844	844	910	932	833	657	618	444	519
				外循環	講話	440	574	717	492	443	635	690	778	558	525	772	662	442	701	1003	1009	569
					不講話	440	446	444	448	448	444	446	481	444	481	470	492	558	552	530	552	118
			關冷氣		講話	440	679	728	646	833	932	844	833	750	673	789	800	706	800	445	464	492
					不講話	440	444	441	441	444	446	442	530	536	602	492	844	690	756	662	668	404
		關窗戶	開冷氣	內循環	講話	440	585	596	668	717	761	783	816	800	893	981	987	981	1031	1141	1157	717
					不講話	440	541	541	629	695	739	767	866	893	981	987	1069	1069	1069	1058	1091	651
				外循環	講話	440	519	574	585	635	552	684	684	640	679	591	624	684	679	602	679	244
					不講話	440	838	970	1020	1003	915	948	948	1064	937	1322	1542	1542	1531	1344	1366	1102
			關冷氣		講話	446	540	662	921	1229	1449	1614	1806	1944	2087	2153	2290	2362	2483	2587	2774	2328
					不講話	450	734	915	1234	1504	1707	2037	2191	2323	2477	2571	2741	2835	2939	3044	3176	2726
	關引擎	開窗戶			講話	440	446	459	778	943	981	446	444	446	442	712	1113	1306	1201	1262	1366	926
					不講話	444	445	446	569	750	662	613	486	441	596	486	536	750	569	794	948	504
		關窗戶			講話	441	569	712	893	1042	1278	1432	1614	1663	1806	1894	1971	2114	2175	2246	2197	1805
					不講話	442	481	706	1058	1317	1504	1889	2114	2180	2229	2285	2334	2362	2461	2560	2686	2244
行駛		開窗戶	開冷氣	內循環	講話	440	448	585	574	541	442	441	444	446	470	481	519	445	446	442	444	145
					不講話	440	446	444	443	442	446	444	486	481	569	569	446	442	441	444	442	129
				外循環	講話	440	442	442	442	470	470	444	444	446	442	444	446	446	441	441	444	30
					不講話	440	444	441	442	486	486	486	486	486	486	503	503	441	441	486	486	63
			關冷氣		講話	440	450	480	497	558	607	569	569	552	503	613	580	591	607	629	442	189
					不講話	440	444	446	475	446	514	475	602	690	624	607	723	646	794	640	629	354
		關窗戶	開冷氣	內循環	講話	440	514	547	591	723	767	800	932	855	910	1031	1042	1119	1152	1196	1130	756
					不講話	440	728	760	904	1014	1185	1350	1454	1478	1625	1619	1680	1625	1735	1586	1806	1366
				外循環	講話	480	717	838	1020	1273	1289	1460	1460	1537	1597	1619	1647	1768	1674	1790	1812	1332
					不講話	440	657	733	833	833	833	981	1097	1003	981	1036	1058	1097	1097	1113	1185	745
			關冷氣		講話	450	750	800	976	1152	1339	1454	1520	1630	1713	1795	1850	2065	1971	1982	2048	1598
					不講話	520	660	717	932	1064	1207	1322	1421	1509	1597	1614	1680	1790	1861	1949	1977	1457

機器1(4人) **機器2(4人)** 機器3(4人) 機器1(3人) 機器2(3人) 機器

工作
關閉

						初始	0.5min	1min	2min	3min	4min	5min	6min	7min	8min	9min	10min	11min	12min	13min	14min	差值
靜止	開引擎	開窗戶	開冷氣	內循環	講話	446	446	446	569	613	646	723	706	629	580	640	442	508	618	701	668	277
					不講話	442	446	442	503	525	558	673	673	596	569	673	673	673	673	673	673	231
				外循環	講話	442	446	442	657	541	618	541	541	503	446	453	448	446	441	442	444	215
					不講話	446	442	444	442	446	486	470	442	558	530	445	448	508	446	441	442	116
			關冷氣		講話	536	635	690	700	761	822	701	739	772	778	723	695	700	695	695	609	286
					不講話	442	444	448	448	497	448	446	508	552	596	580	596	596	640	684	596	242
		關窗戶	開冷氣	內循環	講話	440	690	761	866	899	745	926	981	1031	1113	1152	1141	1179	1240	1333	1355	915
					不講話	442	574	657	805	877	948	970	1058	1124	1124	1124	1135	1152	1185	1234	1234	792
				外循環	講話	440	558	662	739	739	444	674	756	937	937	959	1000	932	1003	932	525	563
					不講話	481	838	998	1086	1058	998	1097	1102	1234	926	1190	1190	1124	1113	1190	1108	709
			關冷氣		講話	440	503	613	871	1058	1306	1410	1531	1674	1845	1916	2037	2142	2202	2308	2334	1894
					不講話	444	552	750	1058	1267	1487	1641	1801	1966	2114	2224	2334	2430	2549	2670	2774	2330
	關引擎	開窗戶			講話	444	558	739	987	987	1080	1273	1438	1509	1438	1526	1526	1570	1751	1696	1608	1307
					不講話	440	464	464	629	673	728	728	816	816	827	833	822	860	651	541	728	420
		關窗戶			講話	440	552	613	860	987	1724	1300	1454	1515	1652	1697	1828	1856	1960	1993	1999	1559
					不講話	440	789	932	1289	1515	1801	1993	2081	2180	2301	2340	2433	2021	2582	2697	2780	2340
行駛		開窗戶	開冷氣	內循環	講話	440	536	657	552	536	444	442	446	441	453	486	585	446	448	481	514	145
					不講話	440	446	446	459	444	448	441	444	446	530	574	486	444	446	530	447	134
				外循環	講話	440	444	446	444	446	442	447	444	580	441	723	618	761	803	475	448	363
					不講話	440	475	580	954	657	646	618	640	761	816	580	442	444	442	441	519	514
			關冷氣		講話	440	442	442	453	651	613	585	443	441	444	613	525	446	536	536	444	173
					不講話	440	442	453	448	444	552	442	441	475	445	444	497	772	734	558	519	332
		關窗戶	開冷氣	內循環	講話	440	591	701	833	915	1036	1108	1146	1179	1190	1218	1218	1190	1405	1405	1405	965
					不講話	440	580	816	1097	1333	1417	1569	1603	1647	1735	1801	1779	1740	1790	1801	1927	1487
				外循環	講話	440	651	926	1250	1498	1636	1845	1966	2076	2120	2175	2235	2340	2296	2241	2241	1900
					不講話	440	772	693	1146	1207	1278	1278	1317	1410	1344	1405	1410	1410	1493	1487	1454	1053
			關冷氣		講話	440	585	706	915	1163	1339	1410	1526	1630	1652	1718	1773	1806	1894	1911	1960	1520
					不講話	440	547	695	954	1196	1350	1531	1619	1696	1768	1817	1960	2054	2131	2230	2267	1827

機器1(4人) 機器2(4人) **機器3(4人)** 機器1(3人) 機器2(3人) 機器3(3人)

						初始	0.5mi	1min	2min	3min	4min	5min	6min	7min	8min	9min	10min	11min	12min	13min	14min	差值
靜止	開引擎	開窗戶	開冷氣	內循環	講話	444	443	442	558	446	441	445	536	486	441	445	444	446	662	444	444	221
					不講話	441	441	444	563	448	602	580	574	536	475	514	441	442	444	453	444	139
				外循環	講話	441	442	508	446	475	445	459	585	646	591	673	651	519	446	657	663	222
					不講話	448	443	480	446	464	444	503	446	443	536	446	630	607	706	624	624	263
			關冷氣		講話	448	613	827	1014	1042	1097	1152	1152	1234	1284	1284	1240	1240	1278	1306	1240	858
					不講話	444	442	442	446	441	464	446	442	441	441	446	441	444	464	536	470	95
		關窗戶	開冷氣	內循環	講話	444	448	446	446	442	486	591	569	651	734	734	838	926	926	1064	998	622
					不講話	444	459	673	767	800	717	811	893	921	893	926	1042	1196	1267	1289	1152	845
				外循環	講話	444	444	446	444	446	514	574	444	492	475	444	441	701	486	441	569	260
					不講話	442	442	444	443	486	497	552	668	591	486	444	492	723	662	792	492	350
			關冷氣		講話	444	580	646	866	1190	1328	1432	1548	1702	1801	1900	1900	2076	2109	2208	2246	1802
					不講話	444	558	739	932	1223	1399	1575	1702	1883	1966	2054	2219	2323	2340	2455	2587	2143
	關引擎	開窗戶			講話	444	563	739	739	706	745	1267	1102	998	926	926	569	734	904	745	728	823
					不講話	442	446	475	497	475	486	442	486	514	536	402	448	492	441	446	441	134
		關窗戶			講話	440	489	618	794	970	1185	1311	1454	1570	1674	1806	1861	1982	2027	2024	2037	1597
					不講話	440	899	1069	1383	1586	1944	2224	2433	2472	2609	2741	2813	2862	2890	2906	3000	2560
行駛		開窗戶	開冷氣	內循環	講話	440	459	492	475	475	446	444	444	453	541	662	739	662	563	486	470	299
					不講話	440	446	442	446	444	464	441	444	446	591	750	536	536	448	448	446	310
				外循環	講話	440	446	444	446	448	459	446	442	547	475	514	441	444	446	442	441	35
					不講話	440	541	558	756	739	574	563	508	563	563	569	552	441	475	569	569	134
			關冷氣		講話	440	442	441	444	547	657	596	486	486	442	486	443	443	486	475	444	217
					不講話	440	442	442	470	444	552	446	508	475	475	446	481	695	662	481	481	255
		關窗戶	開冷氣	內循環	講話	440	481	662	662	750	838	921	970	998	992	1102	1146	1306	1190	1190	1190	866
					不講話	440	492	657	844	992	1102	1146	1190	1196	1332	1322	1361	1361	1454	1416	1460	1020
				外循環	講話	440	585	750	866	1014	1141	1146	1278	1278	1289	1278	1278	1394	1284	1321	1366	954
					不講話	440	580	580	668	712	756	855	893	794	778	783	772	794	888	904	910	470
			關冷氣		講話	440	778	838	998	1168	1306	1355	1526	1713	1834	1608	1438	1603	1526	1581	1603	1394
					不講話	440	530	580	838	965	1102	1234	1273	1317	1355	1432	1465	1542	1669	1713	1806	1366

機器1(4人)　機器2(4人)　機器3(4人)　**機器1(3人)**　機器2(3人)　機器3(3人)

						初始	0.5min	1min	2min	3min	4min	5min	6min	7min	8min	9min	10min	11min	12min	13min	14min	差值
靜止	開引擎	開窗戶	開冷氣	內循環	講話	440	536	624	684	624	530	536	624	624	541	441	444	441	481	475	486	243
					不講話	440	441	442	442	442	445	481	443	486	530	569	530	486	492	446	444	128
				外循環	講話	440	543	607	651	673	706	734	690	712	734	860	849	827	827	761	745	317
					不講話	440	662	838	783	739	800	838	827	882	728	778	833	673	783	876	871	220
			關冷氣		講話	440	662	763	882	1003	965	1014	1097	921	899	954	1053	1058	1058	1058	1069	435
					不講話	440	448	453	497	558	629	673	690	525	624	541	629	541	530	486	508	242
		關窗戶	開冷氣	內循環	講話	440	580	618	668	756	877	921	949	970	1020	1102	1064	1091	1086	1196	1234	654
					不講話	440	563	701	739	750	833	926	1014	1091	1091	1080	1119	1119	1185	1267	1234	704
				外循環	講話	440	481	574	662	838	877	838	833	871	838	838	855	759	778	794	833	396
					不講話	440	441	444	444	446	441	446	446	442	442	444	446	446	441	444	446	5
			關冷氣		講話	440	497	629	668	778	937	1020	1047	1289	1339	1372	1399	1465	1548	1707	1861	1364
					不講話	440	481	541	690	844	921	1097	1185	1251	1306	1405	1485	1537	1603	1619	1707	1226
	關引擎	開窗戶			講話	440	446	446	525	651	530	629	525	514	459	635	558	514	446	519	446	205
					不講話	440	549	613	640	739	618	613	657	640	673	822	651	619	497	486	441	381
		關窗戶			講話	440	552	811	1281	1586	1773	2048	2136	2296	2376	2466	2571	2653	2663	2866	2835	2314
					不講話	440	756	1042	1526	1740	1806	1944	2004	2120	2164	2257	2329	2373	2472	2510	2604	1848
行駛		開窗戶	開冷氣	內循環	講話	440	446	446	446	453	442	446	476	441	446	519	441	442	442	574	574	133
					不講話	440	442	446	444	444	446	444	464	497	444	442	441	444	442	441	441	56
				外循環	講話	440	453	508	443	508	508	635	475	446	475	441	446	446	453	574	486	189
					不講話	440	442	442	453	446	596	530	446	441	444	446	444	446	553	574	811	369
			關冷氣		講話	440	444	444	453	442	445	446	442	441	455	470	446	530	444	443	443	60
					不講話	440	444	446	441	441	446	442	442	470	508	486	519	662	508	547	690	249
		關窗戶	開冷氣	內循環	講話	440	442	585	445	734	827	926	778	1009	910	987	1102	921	1003	1102	1146	704
					不講話	440	443	563	591	701	475	618	673	679	833	789	816	811	871	750	833	428
				外循環	講話	440	464	444	613	624	871	1075	1086	1119	1014	1075	1130	1218	1135	1119	1141	697
					不講話	440	618	580	580	756	761	844	849	844	822	888	888	580	580	492	530	396
			關冷氣		講話	440	569	844	1108	1273	1438	1548	1652	1726	1812	1916	1971	1988	2054	2125	2280	1711
					不講話	440	547	745	1014	1174	1317	1449	1542	1663	1784	1801	1894	1889	2032	2109	2164	1617

機器1(4人) 機器2(4人) 機器3(4人) 機器1(3人) **機器2(3人)** 機器3(3人)

						初始	0.5min	1min	2min	3min	4min	5min	6min	7min	8min	9min	10min	11min	12min	13min	14min	差值
靜止	開引擎	開窗戶	開冷氣	內循環	講話	440	608	558	446	441	444	446	441	519	574	574	574	446	475	444	442	167
					不講話	444	444	470	444	444	443	446	448	446	442	446	446	441	441	446	441	29
				外循環	講話	444	503	679	624	624	618	618	618	609	701	717	728	712	783	756	761	258
					不講話	446	442	492	536	519	525	519	596	541	607	607	646	602	569	756	574	204
			關冷氣		講話	514	563	778	921	970	1086	1058	817	849	970	1102	1135	1141	1168	1141	1113	605
					不講話	442	481	475	525	481	525	569	525	441	442	464	475	441	444	444	470	128
		關窗戶	開冷氣	內循環	講話	442	530	596	574	657	706	728	756	746	816	854	888	926	943	1009	1009	479
					不講話	442	712	756	811	794	1059	1146	1196	1140	1185	1322	1322	1322	1178	1410	1432	720
				外循環	講話	541	530	470	541	640	624	514	503	618	475	492	448	441	441	486	514	183
					不講話	444	441	446	442	444	446	446	464	530	541	530	519	486	459	442	442	100
			關冷氣		講話	470	481	530	607	756	833	932	1064	1124	1195	1295	1372	1916	1944	1922	1966	1485
					不講話	453	530	701	1069	1300	1410	1504	1636	1729	1839	1916	1971	2015	2092	2169	2186	1639
	關引擎	開窗戶			講話	459	446	446	574	697	640	673	858	635	629	690	607	617	481	481	442	416
					不講話	459	552	833	838	1091	1141	970	1262	1212	1317	1344	1174	1179	1223	1190	1201	649
		關窗戶			講話	444	580	745	1190	1542	1757	1900	2098	2235	2318	2373	2499	2582	2550	2510	2769	2189
					不講話	441	574	811	1278	1581	1801	2015	2072	2191	2323	2362	2406	2557	2598	2675	2252	2101
行駛		開窗戶	開冷氣	內循環	講話	442	446	444	445	492	503	514	651	662	651	739	739	591	596	662	750	306
					不講話	446	441	446	442	441	445	446	442	475	441	444	441	442	441	444	446	34
				外循環	講話	444	470	470	442	614	635	717	552	442	444	444	446	508	574	635	624	273
					不講話	442	441	446	446	442	441	444	441	444	446	453	563	569	569	613	717	276
			關冷氣		講話	441	442	446	444	444	443	442	441	441	442	444	444	530	547	574	563	133
					不講話	446	441	444	446	442	444	444	446	552	445	446	475	481	442	481	446	40
		關窗戶	開冷氣	內循環	講話	446	536	536	547	624	712	866	783	1273	1124	1625	1498	1553	1295	1454	1630	1094
					不講話	441	442	662	783	1102	613	1278	1256	1278	1443	1465	1542	1542	1537	1498	1537	1100
				外循環	講話	444	519	441	470	530	508	657	563	563	541	745	585	541	569	552	739	304
					不講話	513	745	849	444	1031	1158	1158	1190	1355	1470	1355	1443	1322	1355	1355	1355	1026
			關冷氣		講話	441	701	871	1223	1465	1625	1861	1905	1520	1531	2180	2257	2340	2384	1499	2532	1831
					不講話	470	706	849	1190	1388	1564	1713	1806	1938	1999	2070	2142	2235	2290	2323	2313	1607

機器1(4人) 機器2(4人) 機器3(4人) 機器1(3人) 機器2(3人) **機器3(3人)** •••

						初始	0.5min	1min	2min	3min	4min	5min	6min	7min	8min	9min	10min	11min	12min	13min	14min	差值
靜止	開引擎	開窗戶	開冷氣	內循環	講話	481	470	442	444	441	444	503	519	486	519	470	508	503	497	442	444	66
					不講話	444	442	441	444	442	445	441	444	453	441	446	442	441	530	574	497	133
				外循環	講話	530	530	492	444	444	444	446	481	470	475	678	701	706	706	750	706	306
					不講話	441	535	629	668	668	580	625	608	668	756	745	739	712	668	613	651	221
			關冷氣		講話	486	712	657	750	794	827	816	1124	1108	811	921	976	959	970	893	805	412
					不講話	444	442	574	706	706	811	789	783	706	662	745	717	706	662	662	734	369
		關窗戶	開冷氣	內循環	講話	442	442	444	591	508	591	635	635	591	618	657	690	676	756	811	767	369
					不講話	443	486	490	635	723	888	1103	1052	1201	1102	1234	1058	1190	1234	1108	1317	831
				外循環	講話	442	448	585	629	662	679	669	669	640	673	706	706	673	651	629	629	258
					不講話	445	444	441	444	442	441	445	497	444	444	441	444	444	442	475	486	56
			關冷氣		講話	442	446	470	618	794	926	998	1124	1278	1132	1427	1498	1586	1650	1630	1740	1294
					不講話	536	624	723	1042	1240	1383	1449	1581	1724	1845	1905	1944	2043	2109	2153	2252	1628
	關引擎	開窗戶			講話	442	486	486	673	706	728	673	629	607	505	629	629	662	536	569	492	242
					不講話	519	580	761	954	948	1036	1179	943	1020	1064	1054	926	1020	1036	1020	1064	484
		關窗戶			講話	530	536	833	1080	1410	1592	1729	1878	2026	2125	2208	2301	2417	2461	2659	2552	2123
					不講話	441	492	662	1013	1240	1460	1614	1695	1801	1900	1988	2059	2054	2164	2164	2717	2225
行駛		開窗戶	開冷氣	內循環	講話	442	444	446	459	486	530	541	574	574	530	569	486	444	446	591	607	163
					不講話	446	441	444	444	446	442	444	444	446	442	441	442	446	442	441	444	5
				外循環	講話	530	559	662	734	712	739	926	926	767	657	486	492	514	486	613	607	440
					不講話	446	442	444	444	446	657	657	657	536	445	446	442	441	444	712	970	529
			關冷氣		講話	444	444	444	442	441	444	446	441	486	547	470	492	660	530	558	475	219
					不講話	446	441	448	446	442	441	444	446	497	446	442	444	481	442	475	574	133
		關窗戶	開冷氣	內循環	講話	446	695	541	921	1108	992	1284	1207	1041	844	976	1064	1064	844	1064	1240	743
					不講話	442	444	446	613	745	1190	767	712	734	706	778	965	800	948	778	877	577
				外循環	講話	444	443	519	497	563	446	701	728	789	772	855	921	800	789	838	811	478
					不講話	492	558	464	976	558	646	646	684	734	859	772	734	646	684	618	646	512
			關冷氣		講話	446	607	695	904	1042	1141	1240	1355	1421	1499	1575	1652	1718	1757	1790	1883	1276
					不講話	503	679	778	921	1075	1207	1289	1388	1421	1465	1581	1586	1614	1641	1729	1779	1100

捌、結論

一、本研究透過測量車內不同條件下的二氧化碳（CO_2）濃度變化。結果顯示，在密閉車內環境下，CO_2 濃度會隨時間迅速上升，特別是在多人乘坐或談話頻繁的情況下，CO_2 的累積速度更快。

二、CO_2 濃度的影響因素：

本研究發現，車內 CO_2 濃度的變化受多種因素影響，包括：

1.車輛密閉程度：當車窗緊閉時，CO_2 濃度會快速上升，特別是在密閉狀態下超過 10 分鐘後，CO_2 濃度就會超過 1500。

2.車內人數：乘客越多，CO_2 濃度上升越快，當 4 人乘坐時，10 分鐘內 CO_2 濃度可增加 1200 ppm 以上，顯示呼吸作用對 CO_2 累積的影響顯著。

3.談話頻率：在多人乘坐並頻繁談話的情況下，CO_2 濃度上升速率比安靜乘坐時更快，可能因為談話會增加呼吸頻率，進一步提升 CO_2 排放量。

4.行駛與靜止狀態：車輛靜止時，CO_2 濃度上升最快，而在車輛行駛時，由於車內可能存在些微的空氣流動，CO_2 濃度上升速度相對較慢。特別是在高速行駛時，即使未開窗，CO_2 累積速度仍較低速行駛時緩慢。

5.通風對 CO_2 濃度的影響實驗結果顯示，開窗通風是降低 CO_2 濃度最有效的方法。

完全開窗：CO_2 濃度幾乎與室外相同，可長時間維持在 450－500 ppm，顯示通風效果最佳。

半開窗：CO_2 濃度上升速率約為完全密閉時的一半，能有效減緩 CO_2 的累積。

三、建議與應用

根據本研究結果，我們建議：

定期開窗換氣：長途行車時，每隔 30~60 分鐘開窗通風 5~10 分鐘，可有效降低 CO_2 濃度。

使用車內通風系統：若無法開窗，可適時開啟車內通風裝置，促進空氣流動，減緩 CO_2 累積。

避免長時間密閉車內：當乘客較多或談話頻繁時，應更頻繁地通風，以避免 CO_2 過度累積。

駕駛與乘客的警覺性：長途駕駛時，應注意自身與乘客的精神狀態，避免因 CO_2 濃度過高影響行車安全。綜合以上結果，我們得出結論：車內 CO_2 濃度過高確實會導致嗜睡與專注力下降，而適當的通風與空氣交換能有效降低 CO_2 濃度，提升乘車舒適度與安全性。

玖、參考文獻

1. SGP30：TVOC/eCO2 Gas Sensor 簡介
   樹莓派 | SGP30 使用教學：MOX Gas Sensor - 看我所見
2. 二氧化碳機工作原理(文獻)
   PM2.5 感測器和 CO2 感測器的工作原理。
3. 二氧化碳中毒之認定基準
   https://www.osha.gov.tw/media/eczhmwsp/6a4a0783a02b55ef4dd84bbaddd7d33f.pdf?mediaDL=true
4. 科學文章:開車想睡覺?當心二氧化碳超標
   https://www.careonline.com.tw/2018/08/cabin-air-quality.html#google_vignette

5. 科學文章:長途開車只切內循環?恐致駕駛嗜睡與降低警覺！
   https://c.8891.com.tw/news/9261

6. 科學文章:恐怖實驗《汽車內的二氧化碳濃度》使用內循環比較容易出車禍？
   https://news.gamme.com.tw/1597209

7. ET 新聞網:一開車就想睡？專家示警：恐是慢性中毒上車先做 1 件事
   https://health.ettoday.net/news/2387694

8. 維基百科:二氧化碳

   https://zh.wikipedia.org/zh-tw/%E4%BA%8C%E6%B0%A7%E5%8C%96%E7%A2%B3

9. 為什麼會打哈欠？——哈欠的千年之謎

   https://pansci.asia/archives/146475

10. 車內空調開室內循環二氧化碳(CO2)濃度紀錄(影片)

    https://www.youtube.com/watch?v=6F1ZYKEfkoU

11. 車內睡覺二氧化碳超標了 通風很重要(影片)

    https://www.youtube.com/watch?v=21zK-MFaM2c