



國立臺灣大學生物資源暨農學院生物機電工程學系

碩士論文

Department of Biomechatronics Engineering

College of Bioresources and Agriculture

National Taiwan University

Master Thesis

氣調櫃內裝箱水果環境監測模組之研製

Development of an In-box Environment Monitoring Module
for Fruit-storage Atmosphere Containers

侯守擎

Shou-Ching Hou

指導教授：葉仲基 博士、黃振康 博士

Advisor: Dr.-Ing. Chung-Kee Yeh, Chen-Kang Huang, Ph.D.

中華民國 112 年 6 月

June 2023

誌謝

在研究過程中，特別感謝我的指導老師，葉仲基老師的指導和實驗室同學的幫助，幫助我找出研究問題。感謝家人，提供我學習的機會並時刻鼓勵我。感謝本校園藝系吳俊達老師以及楊宗翰學長的協助和幫忙，讓研究過程中，校正與模擬實驗裝置，以及後續資料的收集和分析。特別感謝漢宇公司提供將裝置送往澳洲的海運實驗機會。



摘要



臺灣是以外貿為主的經濟體系，每年出口貨物都為臺灣帶來巨大的財富。自1966年後，水果以生鮮冷藏的方式出口比例越來越高，但是因水果其生理及生化作用導致水果劣變。近年來氣調貯藏技術的進步，可以控制氣體比例、溫度及濕度來達到減緩水果老化與腐敗。氣調貯藏依靠感測器及其排氣系統來進行主動控制貨櫃環境。但是箱內每個水果都會持續消耗氧氣以及產生二氧化碳，無法準確得知箱內水果所接觸氣體之成分是否與設定環境參數相同。

本研究研製一環境監測裝置，裝置需配有氧氣、二氧化碳、乙烯以及溫溼度對水果老化及腐敗有重大影響之因素，將裝置放入箱中紀錄水果箱內氣體與氣調櫃內的氣體和溫溼度數值是否有符合所設定的數值。

海運實驗為臺灣送往澳洲，其中可以發現氣調櫃內所設定值與水果箱內數值有所差距，導致水果出現發霉、果心產生局部黑斑等情況。

關鍵字：氣調貯藏，環境監測裝置，水果保鮮

ABSTRACT



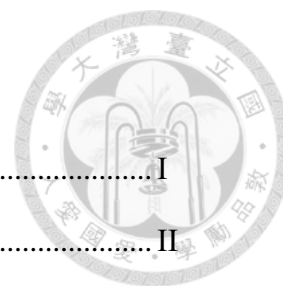
Taiwan has an economy that primarily relies on foreign trade, with annual exports bringing significant wealth to the country. Since the year 2017, the proportion of exporting fruits through fresh refrigeration has been increasing. However, the Physiological and biochemical effects lead to fruit deterioration. In recent years, advancements in controlled atmosphere storage technology have emerged, allowing for the regulation of gas composition, temperature, and humidity to slow down fruit aging and decay. Controlled atmosphere storage relies on sensors and exhaust systems to actively control the container environment. Nevertheless, each fruit within the container continuously consumes oxygen and produces carbon dioxide, making it difficult to accurately determine if the gas composition within the container matches the setting of environmental parameters.

This study aims to develop an environmental monitoring device equipped with sensors for oxygen, carbon dioxide, ethylene, temperature, and humidity. These factors have a significant impact on fruit aging and decay. By placing the device inside the container, it will record the gas composition, as well as temperature and humidity values within the fruit container, and compare them against the setting of parameters.

In a shipping experiment from Taiwan to Australia, it was observed that there were discrepancies between the setting of values in the controlled atmosphere and the actual values within the fruit container. This led to issues such as mold formation and localized black spots in the fruits.

Keywords: controlled atmosphere storage, environmental monitoring device, fruit preservation

目錄



誌謝	I
摘要	II
ABSTRACT	III
圖目錄	VI
表目錄	VIII
第一章 前言	1
第二章 文獻探討	4
2.1 水果儲藏影響因素	4
2.2 氣調保鮮	4
2.2.1 氣變貯藏	4
2.2.2 氣調貯藏	5
2.3 氣體感測器	6
2.3.1 光學式氣體感測器	6
2.3.2 電化學式氣體感測器	6
2.3.3 半導體式氣體感測器	7
2.4 環境監測裝置	7
第三章 研究方法	11
3.1 環境因素	11
3.2 裝置設計	11
3.2.1 電路設計	11
3.2.1.1 二氧化碳感測器	12
3.2.1.2 氧氣感測器	12
3.2.1.3 乙烯感測器	13
3.2.1.4 溫濕度感測器	14

3.2.2 電源系統設計.....	17
3.2.3 外殼設計.....	18
3.3 量測與校正.....	20
3.4 海運實驗設計.....	22
第四章 結果與討論.....	24
4.1 裝置校正結果.....	24
4.1.1 氧氣感測器校正結果.....	24
4.1.2 乙烯感測器校正結果.....	25
4.1.3 二氧化碳感測器校正結果.....	25
4.1.4 溫度感測器校正結果.....	27
4.2 海運試驗結果分析.....	28
第五章 結論與建議.....	34
參考文獻.....	35



圖目錄



圖 1-1 106~110 水果出口金額與生鮮冷藏水果出口占比.....	1
圖 1-2 更年期水果與非更年期水果各時期呼吸速率以及乙烯產生量表現...	2
圖 2-1 大金主動式氣調運作原理 (DAIKIN, 2021).....	5
圖 2-2 二氧化碳吸收波長 (資料來源: NIST CHEMISTRY WEBBOOK).....	6
圖 2-3 乙烯感測器側面結構圖(彭等人, 2008).....	7
圖 2-4 環境監測裝置 (林, 2022).....	8
圖 2-5 環境監測裝置 (高, 2017).....	8
圖 2-6 環境監測裝置 (楊, 2019).....	9
圖 2-7 環境監測裝置 (廖, 2021).....	10
圖 3-1 ARDUINO PRO MINI 3.3V 8MHZ (ARDUINO).....	12
圖 3-2 EXPLORIR®-M (GSS).....	12
圖 3-3 ZE03-O2 (WINSEN).....	13
圖 3-4 ZE03-C2H4 (WINSEN).....	13
圖 3-5 DHT22 溫濕度感測器(奧松).....	14
圖 3-6 電路原理圖以及電路佈局圖.....	15
圖 3-7 電路原理圖以及電路佈局圖.....	16
圖 3-8 電路成品.....	16
圖 3-9 3.3 V 穩壓模組以及 5 V 升壓模組.....	18
圖 3-10 SOLIDWORKS 外殼設計圖.....	18
圖 3-11 SOLIDWORKS 插銷設計圖.....	19
圖 3-12 裝置外殼實體圖.....	19
圖 3-13 程式流程圖.....	20
圖 3-14 氣體校正情形.....	21
圖 3-15 氣相層析儀.....	21

圖 3-16 20°C 恆溫室	22
圖 3-17 環境監測裝置裝入箱中	23
圖 3-18 將鳳梨裝入氣調櫃	23
圖 4-1 氧氣校正結果	24
圖 4-2 乙烯類比訊號轉換結果	25
圖 4-3 二氧化碳校正結果	26
圖 4-4 溫度校正結果	27
圖 4-5 環境監測裝置溫度數值	28
圖 4-6 USB 溫度計(綠色方形物體)安裝於貨櫃尾端	29
圖 4-7 USB 溫度計所讀數值	29
圖 4-8 環境監測裝置濕度數值	30
圖 4-9 鳳梨蒂頭發霉	31
圖 4-10 海運實驗氧氣數值	32
圖 4-11 鳳梨產生局部黑色現象	32
圖 4-12 海運實驗二氧化碳數值	33
圖 4-13 海運實驗乙烯數值	33



表目錄



表 3-1 ZE03-C2H4 交叉影響氣體(WINSEN).....	14
表 3-2 18650 以及 21700 比較(資料來源 : BATEMO).....	17
表 4-1 二氧化碳感測器操作手冊(資料來源 : GSS)	27



第一章 前言

臺灣是以外貿為主的經濟體系，每年出口貨物都為臺灣帶來巨大的財富。臺灣因地裡位置優越且技術進步，因此可種植多種熱帶、亞熱帶甚至溫帶的水果，而這些水果每年也為臺灣帶來巨大的價值。

目前臺灣水果出口方式分為：生鮮冷藏、脫水或乾製、冷凍、果汁、罐頭加工。根據 106~110 年行政農業委員會農業統計資料，除去 110 年最大水果出口國中國政策關係，導致部分水果無法出口關係，可以發現水果以生鮮冷藏方式出口占整體水果及其製品出口比率近年來逐步提高，由 50 % 提升至 66 %，如圖 1-1 所示。

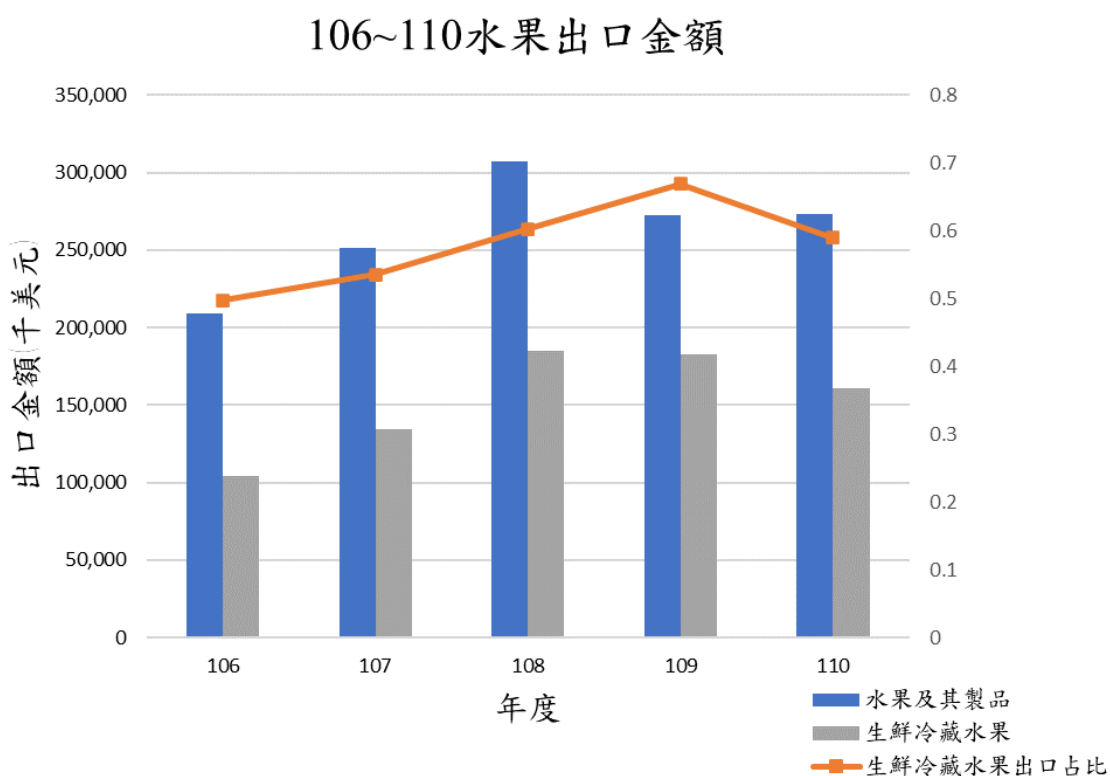


圖 1-1 106~110 水果出口金額與生鮮冷藏水果出口占比
(資料來源：行政農業委員會)

水果在採收後生理與生化活動仍會持續進行，如：呼吸作用、蒸發作用、乙烯釋放、以及有發芽、發根、萎凋、老化及腐爛等現象(林，2001)。水果採收後到完熟期間，依其熟成特性可分為更年性水果(Climacteric)及非更年性水果(Non-climacteric)。更年性水果熟成期間，水果呼吸速率(respiratory rate)以及乙烯產生率會突然上升，形成一高峰，再下降，此現象稱為呼吸躍變(Respiratory climacteric)，如圖 1-2。臺灣出口水果當中釋迦及芒果屬於更年性水果。更年性水果因其特性，使得水果在運輸途中易造成劣變，如：水果箱通風口設計不良，會導致乙烯累積加速水果熟成，亦或是水果呼吸速率加速，水果持續消耗體內醣類，導致過熟；而非更年性水果則不會有此現象，採收後呼吸速率與乙烯產生量緩慢下降。臺灣出口水果當中鳳梨、蓮霧及葡萄屬於非更年性水果。臺灣出口水果只以低溫冷藏處理，更年性水果可以保存 14~21 天，而非更年性水果則可以保存 28~35 天(謝，2009)。

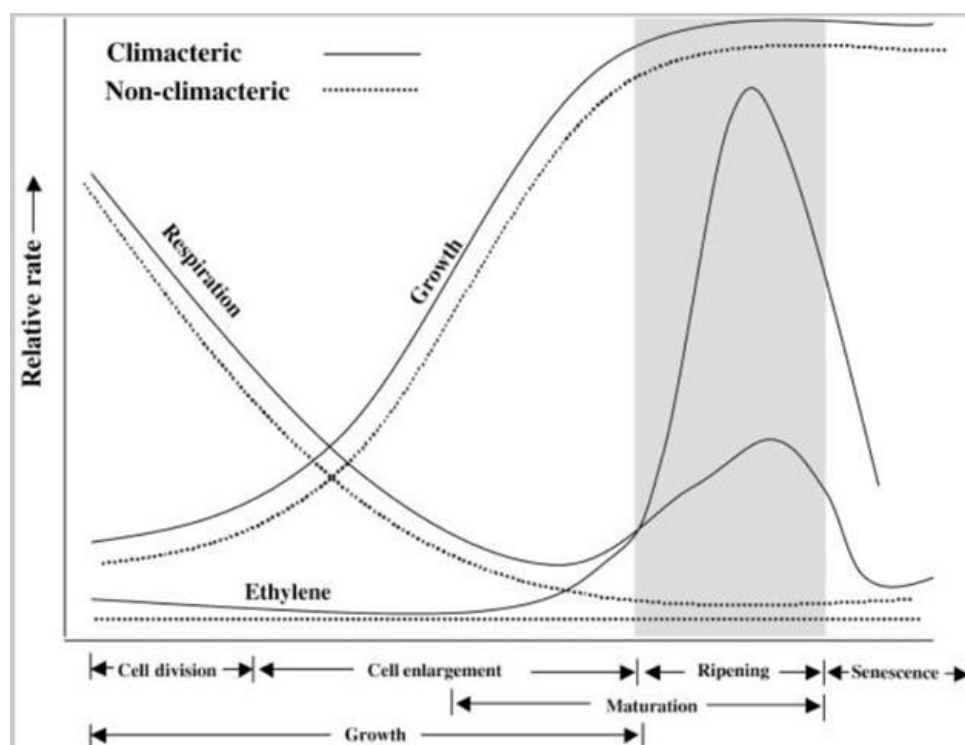



圖 1-2 更年性水果與非更年性水果各時期呼吸速率以及乙烯產生量表現

(Wills *et al.*, 2007)



近年來因氣調保鮮技術進步，水果儲藏期限已經能大幅延長，目前氣調保鮮技術分為氣變貯藏 (Modified Atmosphere Storage) 和氣調貯藏 (Controlled-Atmosphere Storage)。氣變貯藏根據不同種類水果挑選不同空氣滲透率之薄膜用以包裝，使其被動控制水果所接觸氣體成份；而氣調貯藏依靠感測器及其排氣系統來進行主動控制貨櫃環境。但是每顆水果都會持續消耗氧氣以及產生二氧化碳，並且裝入箱中之後，無法準確得知箱內水果所接觸氣體之成分是否與設定環境參數相同，而導致無法有效控制其接觸空氣成份達到延長儲藏期限之目的。市面上所售氣體監測裝置偵測功能單一且裝置體積較大，會佔據大量箱內原本放置水果的空間。

本研究針對使用氣調貯藏之貨櫃(以下簡稱氣調櫃)進行研究，研製一環境監測裝置用於監測箱內水果所接觸之空氣成份，並比較氣調櫃所設定參數。因此環境監測裝置其感測器包含氧氣、乙烯、二氧化碳，並考慮到裝置位於海上貨櫃，船內無法使用網路進行傳輸與雲端儲存資料，因此使用 MicroSD 卡進行數據紀錄。



第二章 文獻探討

2.1 水果儲藏影響因素

水果採收後生理與生化活動仍會持續進行，而這些活動都會使水果老化、腐敗，因此抑制生理及生化活動可以延長水果儲藏期限。儲藏時影響的因素可以分為四項：空氣中的組成成份、乙烯、溫度及濕度(謝，2009)。在儲藏期間，適量的減低氧氣及增加二氧化碳濃度可以減少呼吸作用速率。二氧化碳為乙烯的競爭抑制劑，可以減少乙烯產生速率(Bower *et al.*, 2002)，低氧環境亦可減少乙烯生成(Qi *et al.*, 1999)。乙烯是水果所釋放的植物賀爾蒙，刺激水果生理作用使其加速老化、腐爛，因此水果所儲藏位置之通風也很重要。儲藏溫度的降低可以減少水果的生理活性，水果大多數生理活性都與生物酶有關，而溫度的降低可以使酶活性下降，但須注意水果是否寒害。儲藏濕度需保持一定程度，濕度可以降低植物蒸散作用速率，減少體內水份流失，但是濕度太高將會導致水果腐爛發霉等情況。

2.2 氣調保鮮

目前氣調保鮮技術分為氣變貯藏(Modified Atmosphere Storage, MA) 和氣調貯藏(Controlled Atmosphere Storage, CA)，這兩種技術主要原理是改變水果接觸的空氣成份來達到延長水果貯藏期限。

2.2.1 氣變貯藏

氣變貯藏是會將一定比例氣體一起包裝，並利用包裝材料對於空氣不同的空氣滲透率，材料氧氣滲透率小於所包裝的水果的呼吸作用所消耗的氧氣，經過一段時間水果的呼吸作用會使袋子內的氧氣逐漸減少而二氧化碳逐漸上升。因二氧化碳的上升使呼吸作用速率下降，直到材料氧氣滲透率與所包裝的水果的呼吸作用所消耗的氧氣相等，此時包裝袋空氣成份會形成低氧並含有二氧化碳。此貯藏方法為被動控制包裝袋的氣體成份。



正常環境下草莓只能儲存 4 天，草莓使用氣變包裝 (Modified Atmosphere Packaging)，使用 48 mm 厚 PVC 包裝袋並搭配 2.5% O₂ 和 15% CO₂ 的氣體組成，保質期延長了 4~6 天(Xiao *et al.*, 2004)。

2.2.2 氣調貯藏

氣調貯藏是利用氣調櫃對所裝箱的水果控制氣體成份，氣調櫃內有氣體感測器、溫溼度感測器及排氣系統等，用於控制氣調櫃氣體成份。圖 2-1 所示為大金主動式氣調(DAIKIN Active CA)工作原理。大金主動式氣調使用礦物吸附劑從空氣中獲取大量氮氣，當貨物放置完成於氣調櫃並密封後，這些氮氣將轉移至氣調櫃內迅速降低氧氣含量至設定值，氣調櫃內保持為正壓，防止外部氣體進入。氣調櫃內之氣體感測器開始偵測貨櫃內情況，當氣調櫃內因水果呼吸作用產生二氧化碳濃度高於設定值，將會開啟排氣系統排出。

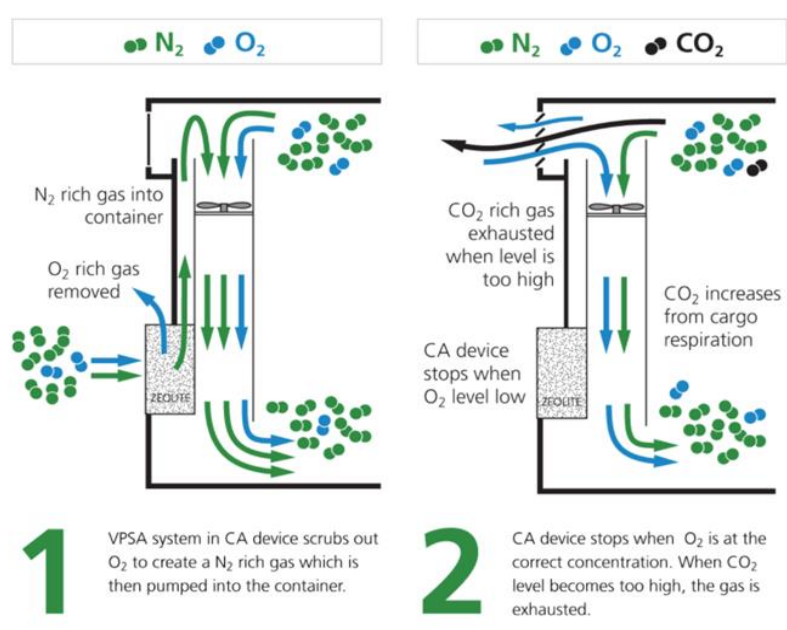


圖 2-1 大金主動式氣調運作原理 (DAIKIN, 2021)



2.3 氣體感測器

根據氣體感測器偵測氣體濃度方式，可以分為光學式感測器、電化學式感測器及半導體感測器等。

2.3.1 光學式氣體感測器

利用紫外線、可見光、紅外線等光波長方式對與偵測氣體產生吸收或激發等作用來判別氣體濃度。

非色散式紅外線(Non-Dispersive Infrared, 以下簡稱 NDIR)二氧化碳感測器的原理是利用二氧化碳可以吸收紅外線輻射波長的特性，而吸收量與氣體濃度成正比之特性，得以偵測二氧化碳濃度。由圖 2-2 可發現二氧化碳在波長為 $4.3\mu\text{m}$ 左右，對於紅外線輻射波長吸收程度最好。

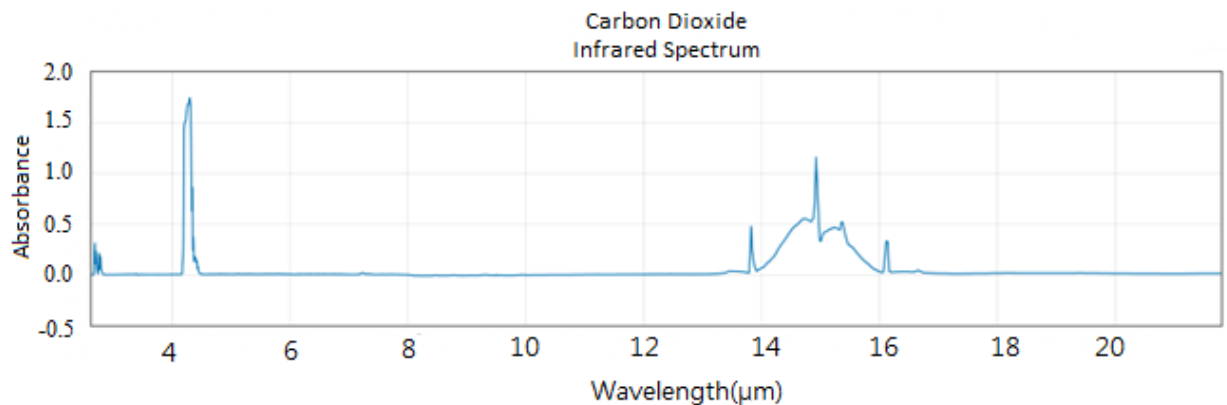


圖 2-2 二氧化碳吸收波長 (資料來源: NIST Chemistry WebBook)

2.3.2 電化學式氣體感測器

電化學式氣體感測器的運作原理係待測氣體會與特定電解質產生氧化還原反應，並由氧化還原反應得到的電壓或是電流大小，以判斷氣體實際濃度。因為此特性此種感測器應用極為廣泛，只需要替換不同電解液，就可製作出不同氣體感測器，有靈敏度高、輸出線性及較不受其它氣體影響的優點。

2.3.3 半導體式氣體感測器

半導體感測器是利用半導體金屬氧化物的電阻值會隨著待測氣體濃度改變，根據電阻值變化可以得出目前待測氣體濃度。彭等人(2008)設計半導體乙烯感測器(圖 2-3)採五層架構，以氧化錫(SnO_2)為基材做第一層電極，第二層電極添加鈀(Pd)作為觸媒。便可以低廉的成本精準量測 10~100 ppm 之乙烯含量。

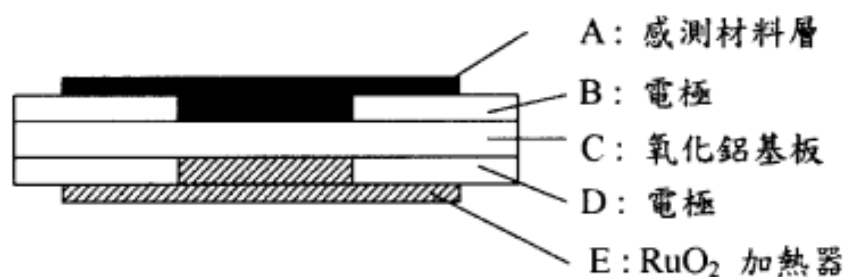


圖 2-3 乙烯感測器側面結構圖(彭等人，2008)

2.4 環境監測裝置

在製作環境監測裝置之前，參考市面上以及他人如何研製環境監測裝置。發現市面上環境監測裝置通常應用於監測工廠作業區、室內以及監測可能存在易爆氣體超標區域。監測範圍通常是以人體能忍受氣體濃度或是工業安全規定範圍為主。

林(2022)開發一環境監測裝置(圖 2-4)，其目的用以監測室內空氣品質，包含溫濕度、 $\text{PM}_{2.5}$ 、 PM_{10} 、TVOC 以及二氧化碳濃度，再藉由 TFT LCD 顯示數值，使用 SD 卡進行紀錄數據。外殼由 SOLIDWORKS 軟體進行設計，以雷射切割，材料為壓克力板，圖 2-4 為環境監測裝置實際成品。



圖 2-4 環境監測裝置 (林，2022)

高(2017)建立環境監測系統(圖 2-5)，其目的用以防止有害氣體以及火災災害所造成的災害發生以及將低災害發生的傷亡。利用甲烷、一氧化碳、煙霧、硫化物、溫度感測器配合 Arduino Mega 2560 進行控制，圖 2-5 為環境監測裝置實際成品。



圖 2-5 環境監測裝置 (高，2017)

第一代環境監測裝置(圖 2-6)由楊(2019)所製其主要有氧氣感測器(ME2-O2- Φ 20)、二氧化碳感測器(ExplorIR 20%)、MicroSD 卡讀寫模組、時鐘量測模組 DS3231、Arduino Mini Pro 3.3V/8MHz、松下 18650 鋰電池及 BLE 藍牙 4.0 模組 HC-08，並以麵包板接線，外殼為保鮮盒並打孔用以通風，其長寬高為 18 cm \times 14 cm \times 10 cm，圖 2-6 為環境監測裝置實際成品。

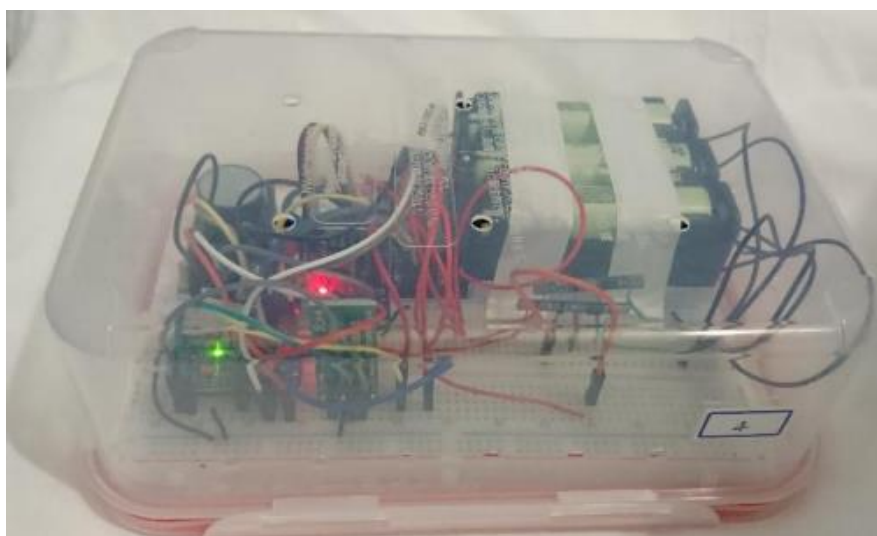


圖 2-6 環境監測裝置 (楊，2019)

第二代環境監測裝置(圖 2-7)由廖(2021)所研製，主要有氧氣感測器(ME2-O2- Φ 20)、二氧化碳感測器(ExplorIR 20%)、時鐘量測模組 DS3231、Arduino Mini Pro 3.3V/8MHz 及松下 18650 鋰電池。第二代環境監測裝置將原本 SD 卡讀寫模組更改為體積更小的 MicroSD 卡讀寫模組、移除 BLE 藍牙 4.0 模組 HC-08、並新增乙烯感測器用以偵測乙烯是否有累積情形。將先前之麵包板接線改為使用設計好的電路板以減少電路接線，減少因海運搖晃造成線路脫線，提升裝置穩定度。外殼由原本打孔保鮮盒改為使用 3D 列印進行製作，提升外殼強度，圖 2-7 為環境監測裝置實際成品。



圖 2-7 環境監測裝置 (廖，2021)

而本研究將著重於縮小裝置體積，並更換成更加方便、數值讀取更加準確的感測器，並且提升裝置電池容量，增加其續航能力。



第三章 研究方法

3.1 環境因素

在製作環境監測裝置之前，首先要了解氣調櫃環境內存在哪些氣體以及氣體濃度範圍，根據氣調櫃工作原理可得知。氣調櫃內空氣成份大致可分為保存水果所設定的氧氣以及二氧化碳、用以填充氣調櫃的氮氣以及水果所釋放的乙烯，可以發現氣調櫃環境所存在之氣體幾乎不會產生交叉影響，因此選用氣體感測器量測範圍將以適合大部分水果保存氣體濃度為主。

3.2 裝置設計

根據氣調櫃環境因素可以得知環境監測裝置需要氧氣感測器、二氧化碳感測器、乙烯感測器及溫溼度感測器。並且海運貨櫃結算金額以貨櫃容積為單位，重量提高不會對運送產生額外金額，而體積卻能減少將環境監測裝置裝入水果箱中移除水果的數量，因此設計方面將會以體積大小為重點考慮而重量為次要考慮範圍。關於環境監測裝置設計可以分為電力系統、電路、外殼以及程式設計。

3.2.1 電路設計

環境監測裝置所使用的微控制器為 Arduino pro mini 3.3V 8MHz(圖 3-1)，擁有 14 個數位 I/O 端口、8 個類比輸入端口、以及支援 SPI、I2C、UART 等通訊協定以及低功耗的運作，可以支援感測器之間溝通以及長時間的運作。感測器偵測範圍根據氣調儲藏水果大部分所使用的氧氣、二氧化碳之範圍進行選擇，乙烯感測器零件則根據市面上可買到 ppm 等級為主。搭配 microSD 以及時鐘模組進行記錄與控制。



圖 3-1 Arduino pro mini 3.3V 8MHz (Arduino)

3.2.1.1 二氧化碳感測器

選用 Gas Sensing Solutions(GSS)公司生產之 ExplorIR®-M 二氧化碳感測器(圖 3-2)，此感測器使用 NDIR 方式量測二氧化碳氣體濃度。該感測器量測範圍在 0%~20%，誤差值為 $\pm(70\text{ppm}+5\%\text{讀取值})$ 。此感測器擁有低功耗、體積小以及壽命長等優點。此感測器使用 UART 通訊協定，並且有自動校正等功能。相較於前幾代環境監測裝置，此感測器可以更加自由的使用，不必連同模組電路板。



圖 3-2 ExplorIR®-M (GSS)

3.2.1.2 氧氣感測器

選用 Winsen 公司生產 ZE03-O2 氧氣感測器(圖 3-3)，此感測器使用電化學方式量測氣體濃度。感測器可以量測 0%~25%，解析度為 0.1%，誤差值為 $\pm 2\%$ 讀取值，內置溫度感測器進行溫度補償，可準確檢測氣體濃度。相較於前幾代環境監測裝置，此感測器可以更加自由的使用，不必連同模組電路板。



圖 3-3 ZE03-O2 (Winsen)

3.2.1.3 乙烯感測器

選用 Winsen 公司生產 ZE03-C2H4 乙烯感測器(圖 3-4)，此感測器使用電化學方式量測氣體濃度。感測器可以測量 0~100 ppm，解析度為 0.1ppm，誤差值為 $\pm 2\%$ 讀取值。相較於前幾代環境監測裝置，此感測器可以更加自由的使用，不必連同模組電路板。



圖 3-4 ZE03-C2H4 (Winsen)

表 3-1 為 Winsen 乙烯感測器手冊所提供會對此感測器影響之氣體，以下交叉影響氣體皆沒有在氣調櫃中出現。



表 3-1 ZE03-C2H4 交叉影響氣體(Winsen)

Gas	Concentration	ZE03-C2H4
H ₂ S	100ppm	0ppm
SO ₂	20ppm	0ppm
H ₂	200ppm	100ppm
NO	35ppm	9ppm
NO ₂	5ppm	2ppm

3.2.1.4 溫濕度感測器

溫濕度感測器使用奧松 DHT22 感測器(圖 3-5)。因其體積小、功耗低且內含電容式感濕元件和一個 NTC 測溫元件。溫度誤差值為 $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ ，濕度誤差為 $\pm 2\%$ 。



圖 3-5 DHT22 溫濕度感測器(奧松)

電路方面使用 EasyEDA 進行設計。EasyEDA 為電路板設計網站並配有雲端伺服器進行電路佈局，可大幅減少開發時間。使用板厚為 1.6 mm 電路板、線路寬為 2.54 mm 進行印刷。圖 3-6 及圖 3-7 為電路原理圖顯示各元件所連接情況與電路佈局情況。圖 3-8 為電路板及各元件組裝成品圖。

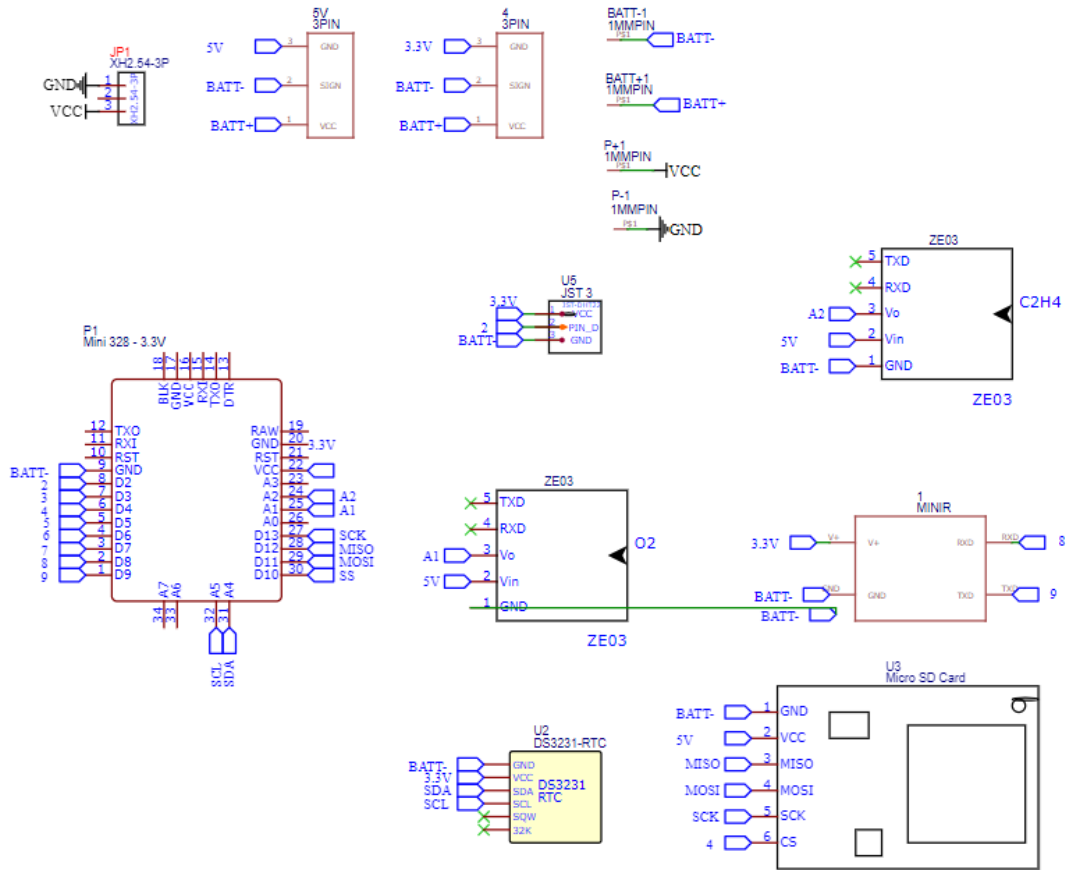


圖 3-6 電路原理圖以及電路佈局圖

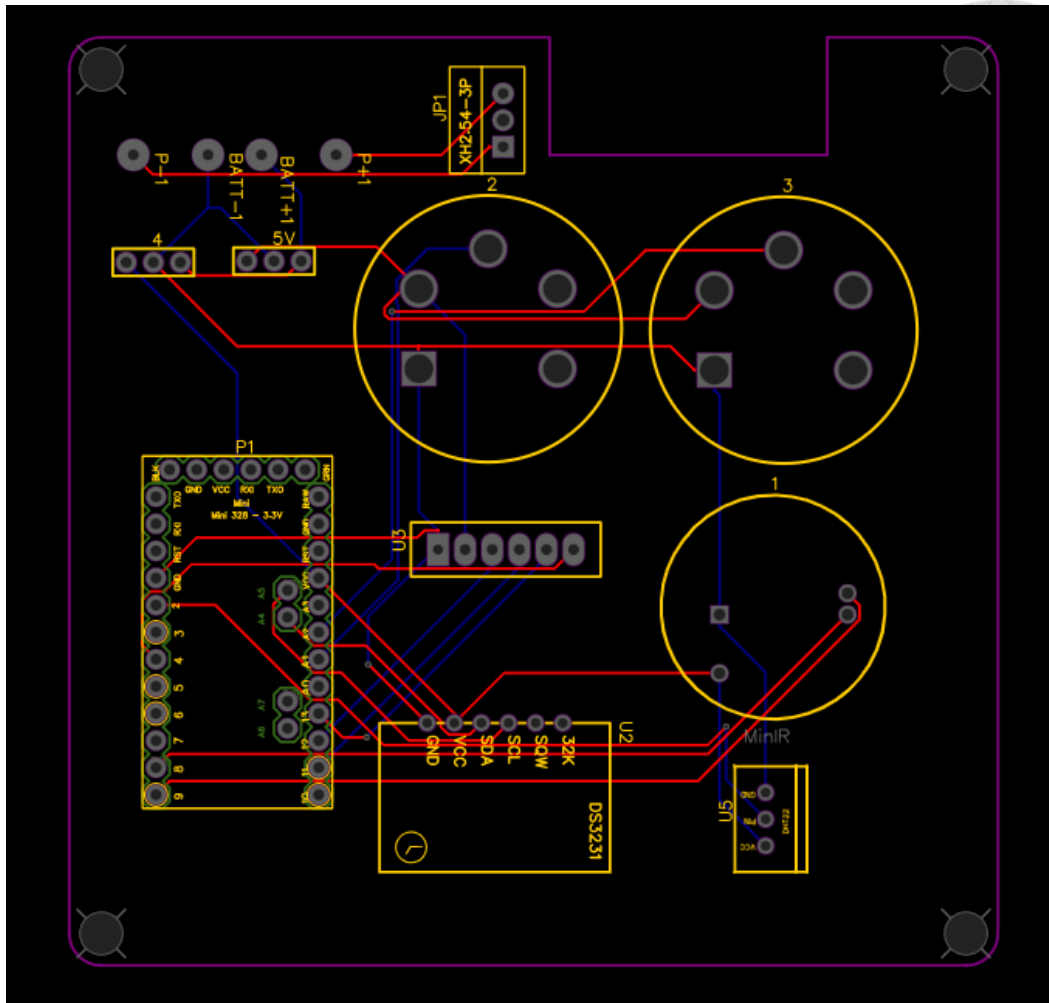


圖 3-7 電路原理圖以及電路佈局圖



圖 3-8 電路成品



3.2.2 電源系統設計

裝置總電容量方面根據前一代環境監測裝置(廖，2021)所使用電量進行評估。根據表 3-2 可得知，前一代使用 8 顆松下 18650 電池，單顆電池電容量為 2980 mAh，總電容量為 23840mAh、總重 358.4g、所佔體積 133.18cm³。而此次設計使用能量密度更高的三星 INR21700 50E 電池，裝置六顆。總電容量為 29580mAh、總重 414g、所佔體積 148.33cm³。相較於 8 顆 18650，6 顆 21700 電池電容量提升 5740mAh，體積增加 11%。對於重量提高 55.6g，每顆電池能量密度提高 12%。

表 3-2 18650 以及 21700 比較(資料來源：BATEMO)

	18650	21700
圓柱直徑*柱高(mm*mm)	18.1*64.7	21.1*70.7
重量(g)	44.8	69.0
能量密度(Wh/L)	649	730
電容量(mAh)	2980	4930

電力方面 21700 鋰電池所提供電壓為 3.7 V，而元件所需電壓為 3.3 V 及 5 V，因此使用 3.3 V 穩壓模組以及 5 V 升壓模組(圖 3-9)提供環境監測裝置感測及控制元件所需額定電壓。

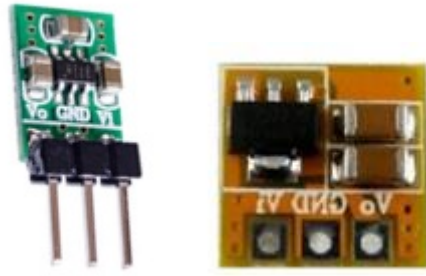


圖 3-9 3.3 V 穩壓模組以及 5 V 升壓模組

3.2.3 外殼設計

外殼使用 SOLIDWORKS 軟體設計，最終設計為圖 3-10 外殼長寬高為 86 mm*86 mm*109.6 mm。此裝置分為三層，前兩層各放置三顆 21700 電池，第三層為電路系統。外殼四周採圓角設計，此設計可以在海上貨運運送時，減少裝置因搖晃水果撞擊造成的碰撞傷害。有別於第二代環境監測裝置，此裝置採用插銷的設計(圖 3-11)，以方便拆取環境監測裝置取得 MicroSD 卡，不再需要使用螺絲起子。裝置使用 3D 列印以光固化方式進行製作，選用線材為 ABS 樹脂，最終成品為圖 3-12。

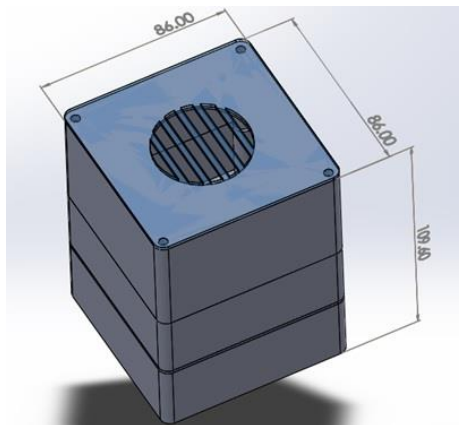


圖 3-10 SOLIDWORKS 外殼設計圖

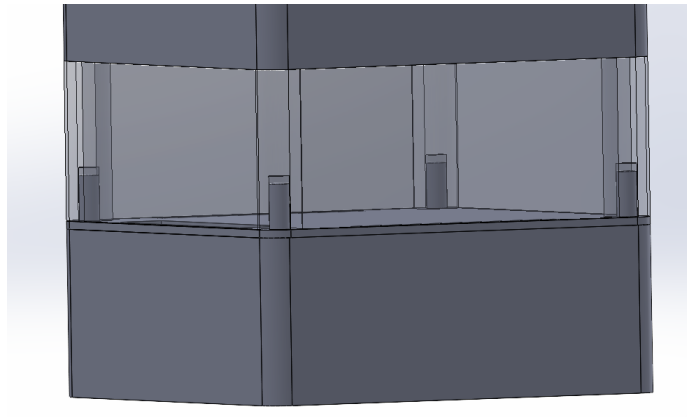


圖 3-11 SOLIDWORKS 插銷設計圖



圖 3-12 裝置外殼實體圖

3.2.4 程式設計

裝置啟動後，氣體感測器以及溫溼度感測器開始運作，當感測器讀取完成後，DS3231 時鐘模組提供紀錄時間，經由 microSD 卡讀寫模組紀錄。流程如圖 3-13。

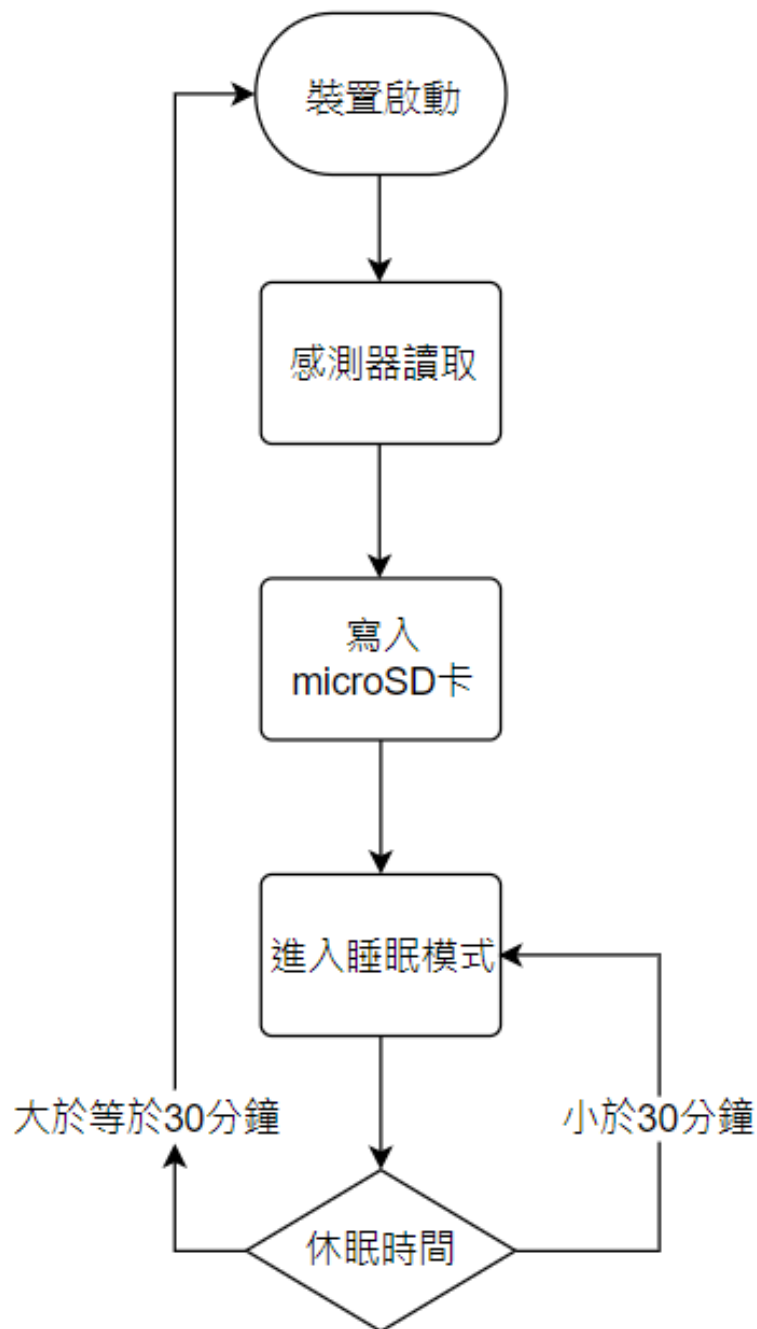


圖 3-13 程式流程圖

3.3 量測與校正

先將環境監測裝置裝入開有兩通風口之罐中，並用膠帶將罐子密封，接著將以配好氣體由塑膠管插入一通風口將氣體持續灌入罐中，另一通風口插入一塑膠管使罐中氣體流出至水中，如圖 3-14。水中有冒氣泡現象產生，代表氣體可順利

進入罐中再流出，並持續 30 分鐘。並使用針筒抽取輸入之塑膠管，經由圖 3-15 氣相層析儀(gas chromatography, GC)，進行更進一步確認氣體濃度。環境監測裝置放入氧氣濃度 5%、7%、8% 以及 20.9%，二氧化碳濃度 0.04%、0.6%、1.4%、3% 以及 8%，乙烯濃度 0 ppm 以及 100 ppm 進行校正。



圖 3-14 氣體校正情形



圖 3-15 氣相層析儀

至於溫度方面的校正，將裝置放進不同溫度恆溫室，如圖 3-16。放置於恆溫室 15 分鐘確保裝置得到穩態溫度數值，並與恆溫室所設置溫度計進行比對。環境監測裝置放入 5°C、8°C、10°C、15°C 以及 20°C 恆溫室進行校正。



圖 3-16 20°C 恆溫室

3.4 海運實驗設計

此次海運實驗由臺灣於 4 月 11 日出發至澳洲雪梨，貨櫃裝載內容為金鑽 17 號鳳梨。氣調櫃所設定環境參數為氧氣 5%、二氧化碳 5% 及溫度 15°C。鳳梨先經由旺來包裝場進行分類與裝箱。將環境監測裝置與 9 顆鳳梨放入箱中如圖 3-17 所示，其餘箱中為 10 顆鳳梨。



圖 3-17 環境監測裝置裝入箱中

鳳梨總計 1200 箱，每箱 10 公斤，分為 20 棧板，每棧板 6 箱一層，疊高 10 層。接著將鳳梨箱堆疊成棧送入預冷室進行預冷，預冷能快速降低水果果心溫度以達到減少水果呼吸速率，延長儲藏期限。將水果裝入氣調櫃如圖 3-18，之後進行密封，此時氣調櫃會根據設定數值對貨櫃氣體進行控制。



圖 3-18 將鳳梨裝入氣調櫃



第四章 結果與討論

4.1 裝置校正結果

4.1.1 氧氣感測器校正結果

氧氣感測器使用電化學式感測器，因此偵測氣體得出為類比訊號，經由得出類比訊號與實際氧氣濃度繪圖，可以對其進行線性擬合得到一條直線，圖 4-1 虛線為擬合結果，如此便可得知類比信號所對應真實氧氣濃度。擬合線性方程式為式(4-1)， x 為感測器所得類比訊號， y 為實際氧氣濃度(%)， $R^2= 0.9988$ 。

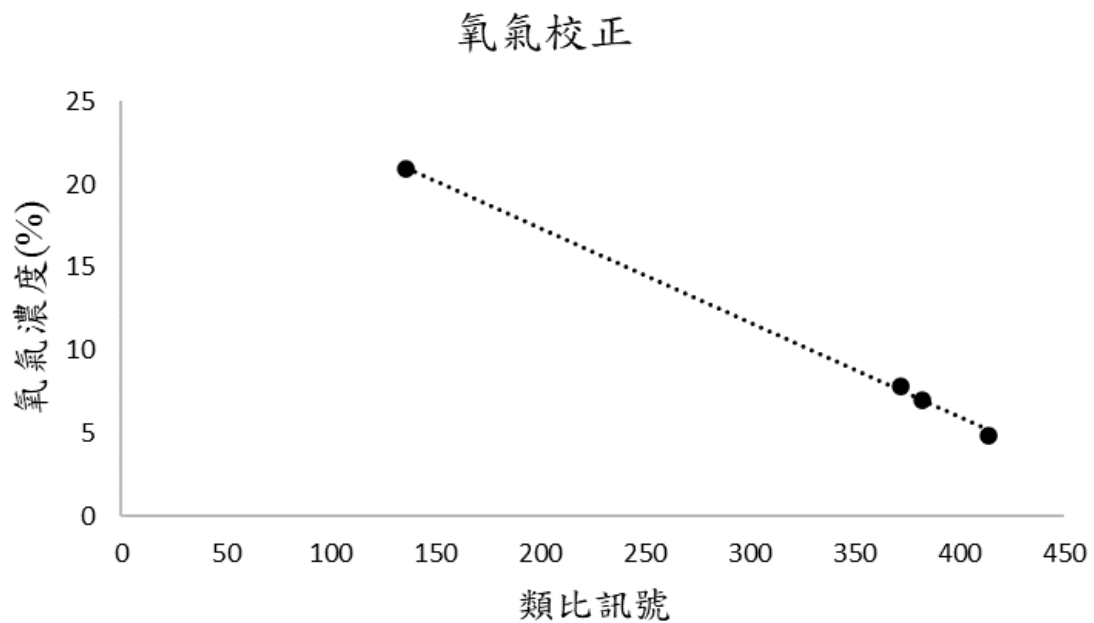


圖 4-1 氧氣校正結果

$$y = -0.0568x + 28.676 \quad (4-1)$$

4.1.2 乙烯感測器校正結果

乙烯感測器使用電化學式感測器，必須先經由已知氣體濃度測定類比訊號，轉換後才能得知其數值。由於氣相層析儀對於 10 ppm 等級之氣體測定較為困難，因此僅使用 100 ppm 與 0 ppm 進行繪製直線(圖 4-2)用以對應真實乙烯濃度，最終得出方程式為式(4-2)，x 為感測器所得類比訊號，y 為實際乙烯濃度(ppm)。

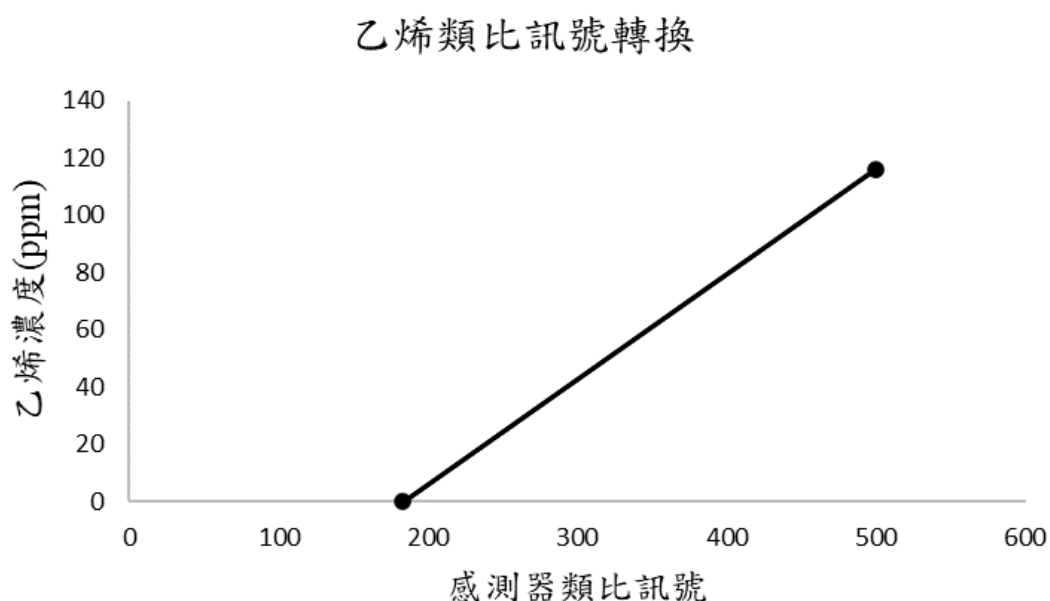


圖 4-2 乙烯類比訊號轉換結果

$$y = 0.3659x - 66.965 \quad (4-2)$$

4.1.3 二氧化碳感測器校正結果

二氧化碳感測器使用於 NDIR 方式進行量測，與氣相層析儀進行對比，發現感測器量測數據與實際濃度約大於兩倍。

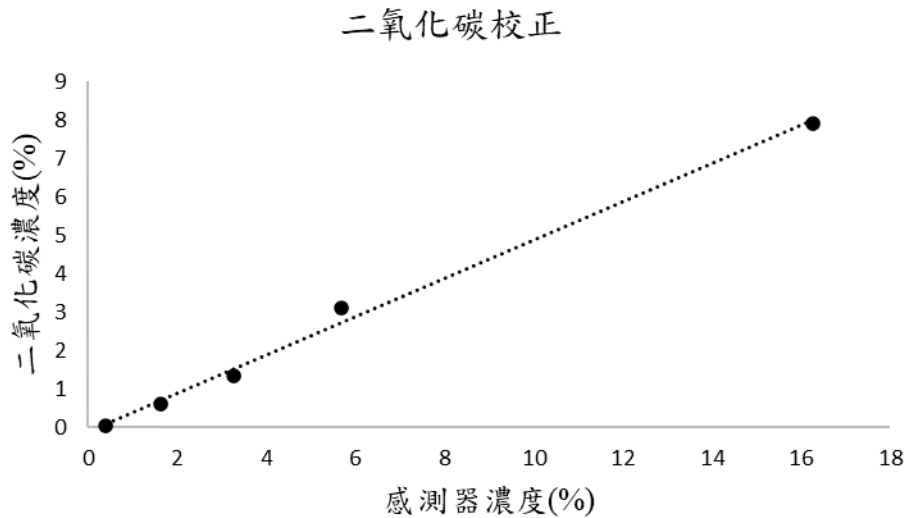


圖 4-3 二氧化碳校正結果

$$y = 0.4989x - 0.117 \quad (4-2)$$

擬合線性方程式為式(4-3)， x 為感測器二氧化碳濃度(%), y 為實際二氧化碳濃度(%), $R^2=0.9952$ 。

造成此現象原因推測為此感測器內部參數輸入錯誤導致，根據表 4-1 所示為 GSS 公司此款感測器所提供操作手測，可以發現當感測器量測範圍不同時所採計單位也有所不同。當感測器量測範圍為 0~100%時，單位為 ppm/100，因此由感測器所得數據須乘上 100 才為實際濃度(ppm)，而量測範圍在 0~60%時，單位為 ppm/10，只須乘 10 倍，其中數值相差 10 倍。本研究所使用感測器量測範圍為 0~20%，根據手冊指令查詢發現感測器所採用單位為 ppm/10，可在大氣濃度(CO₂ 約 0.04%)之下量測二氧化碳之值約為 0.4%，差距 10 倍。內部晶片以錯誤值作為運算基準，導致感測器內部晶片在不同氣體濃度運算下，得出錯誤數值。

表 4-1 二氧化碳感測器操作手冊(資料來源 : GSS)

Measurement	CO ₂ Measurement	CO ₂ Measurement
Range of Sensor	Scaling Factor (Z)	Output Units
0 – 60%	10	ppm/10
0 – 100%	100	ppm/100



4.1.4 溫度感測器校正結果

此感測器出廠前都在極為準確的溫濕度校正室中進行校正。校正係數以程式的形式儲存在 OTP 記憶體中，感測器內部在進行運作過程中都會調用這些校正係數，因此與恆溫室溫度相差不大。

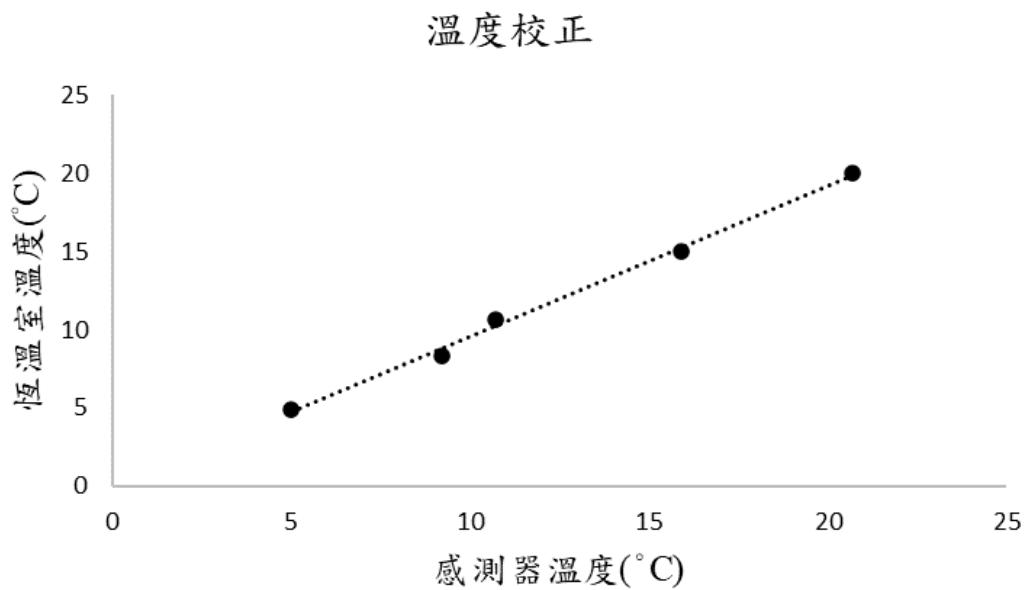


圖 4-4 溫度校正結果

$$y = 0.9635x - 0.0909 \quad (4-3)$$

擬合線性方程式為式(4-4)，x 為感測器所測溫度，y 為恆溫室溫度， $R^2 = 0.9966$ 。

4.2 海運試驗結果分析

海運實驗由臺灣於 4 月 11 日，出發 5 月 5 日抵達澳洲雪梨，時間為 23 天。運輸及預冷溫度設定為 15°C 。在預冷方面，預冷可以有效地幫助水果以低溫控制其呼吸，來延長水果貯藏期限，根據感測器數據得知，如圖 4-5 所示，在 4 月 13 日預冷溫度有達到 15.8°C 為理想溫度。但在運輸過程，水果箱內所量測到的溫度平均為 18°C ，如圖 4-5。

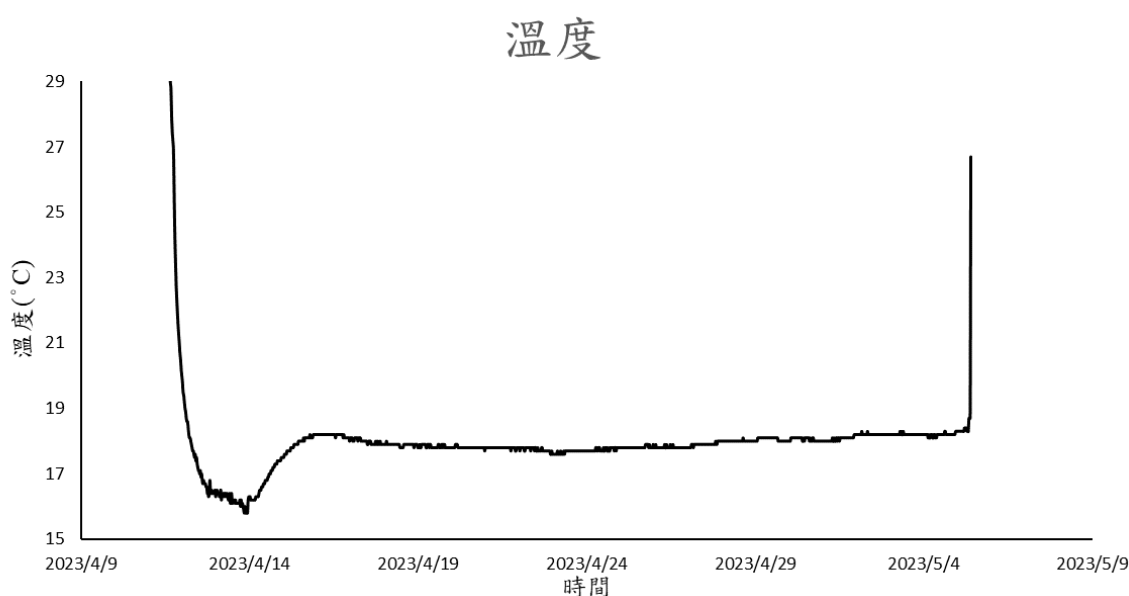


圖 4-5 環境監測裝置溫度數值

氣調櫃內 USB 溫度計(圖 4-6)安裝位置為貨櫃尾端，其數值為圖 4-7，溫度平均 16.8°C 。可以發現水果箱內溫度高於箱外，推測原因為水果呼吸作用所產生的呼吸熱以及因堆積方式導致無法有效散熱。根據兩個溫度感測器都顯示，此次海運實驗氣調櫃溫度沒有控制在原本設定溫度。



圖 4-6 USB 溫度計(綠色方形物體)安裝於貨櫃尾端

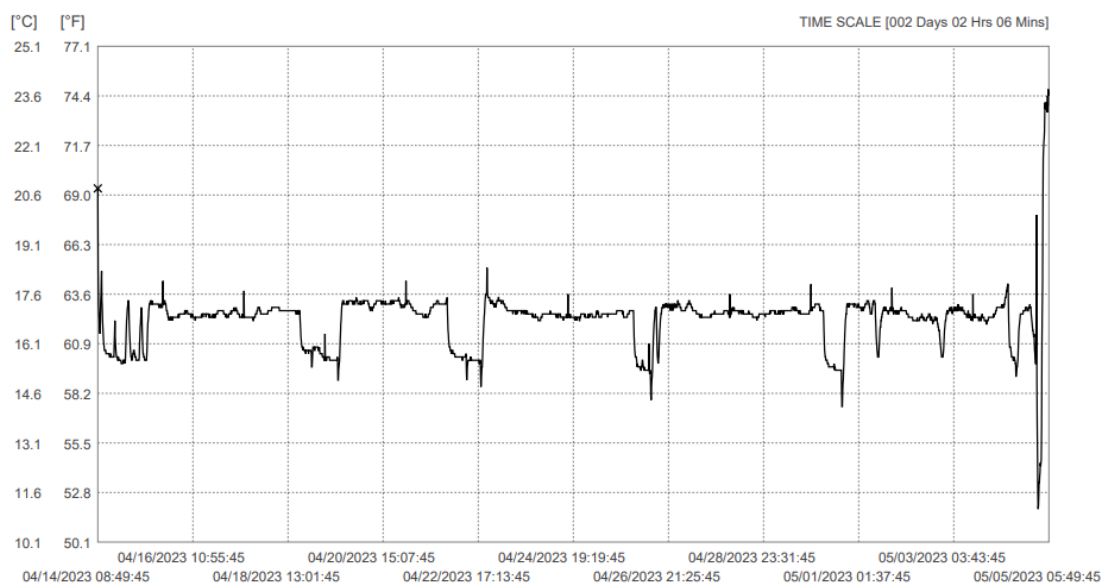


圖 4-7 USB 溫度計所讀數值



如圖 4-8 所示，濕度在海運運送過程為 99%，在海運結束後，水果箱內部分鳳梨可以明顯發現蒂頭發霉現象，如圖 4-9 所示，海運過程濕度增加主要來源於水果蒸散作用，可以清楚發現此次實驗氣調櫃沒有有效控管濕度。

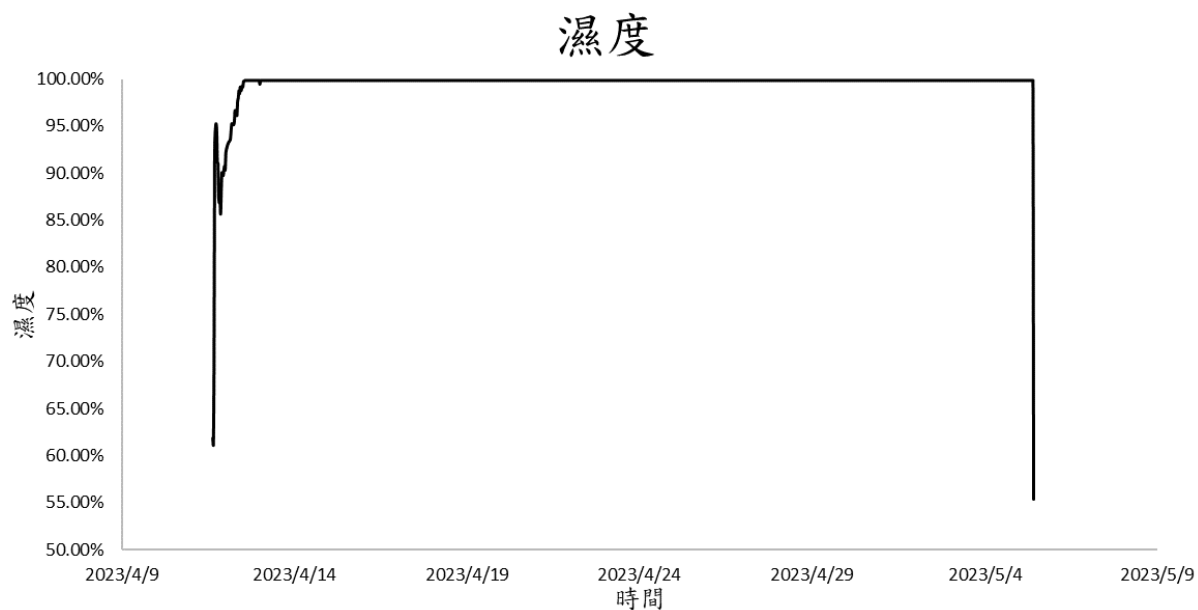


圖 4-8 環境監測裝置濕度數值



圖 4-9 鳳梨蒂頭發霉

圖 4-10 可以看到水果箱內氧氣濃度運送過程平均在 6.3%，氣調櫃所設定氧氣濃度為 5%。過高的氧氣濃度會加速水果呼吸作用速率，造成縮減水果貯藏期限。根據推斷，氣調櫃在偵測氣體時無有效地根據箱內氧氣含量開啟循環系統來降低。並且與上述提到溫度過高與氧氣兩種原因而導致部分鳳梨局部呈黑色的現象，如圖 4-11 所示。

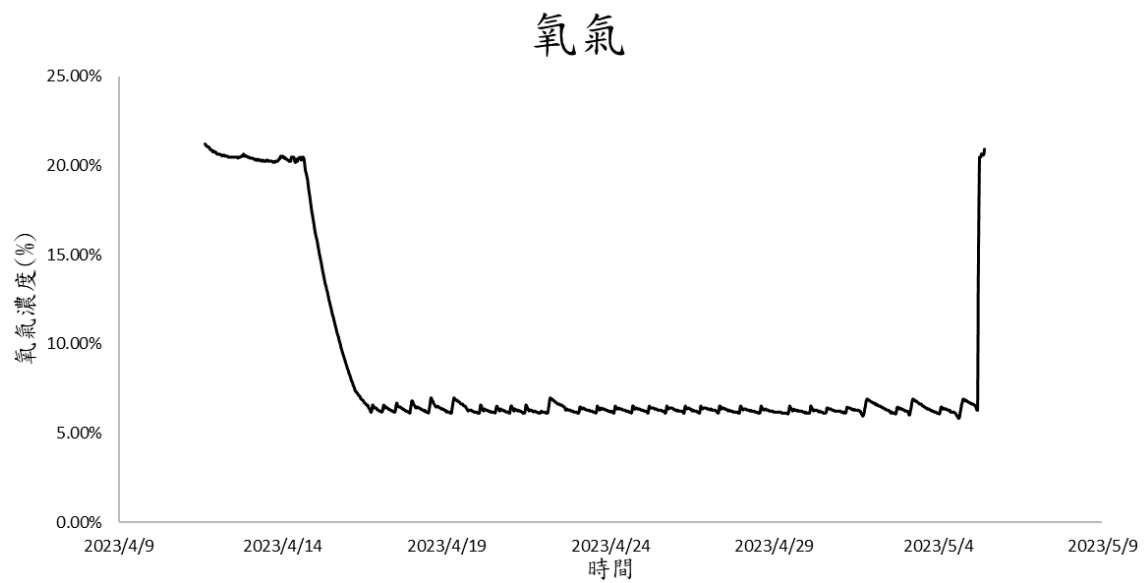


圖 4-10 海運實驗氧氣數值



圖 4-11 鳳梨產生局部黑色現象

圖 4-12 二氧化碳濃度運送過程在 4%~5%，氣調櫃所設定二氧化碳濃度為 5%。箱內二氧化碳含量來自於水果呼吸作用後的產物，而適當的二氧化碳能有效地降低水果呼吸作用速率。

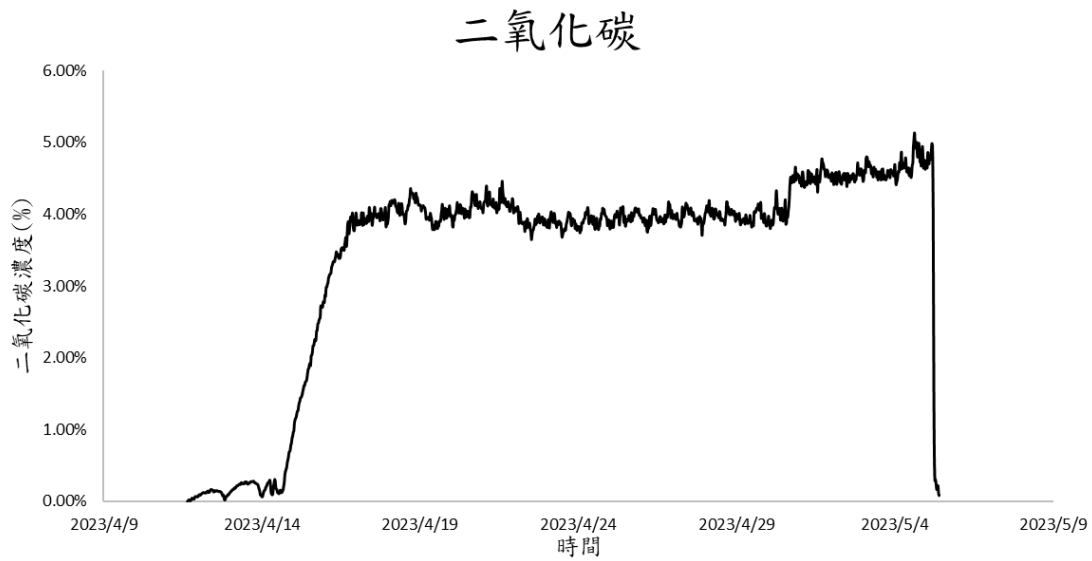


圖 4-12 海運實驗二氧化碳數值

乙烯方面因使用的感測器為電化學式氣體感測器，當不同濃度的待測氣體進入感測器，感測器會與待測氣體產生氧化還原反應並輸出與待測氣體濃度成正比之電壓，而此次研究因乙烯氣體感測器的電解液耗盡無法與乙烯產生氧化還原反應並輸出電壓，所以無法判斷是否箱內乙烯是否有堆積裝況以及其數值，根據 4-13 圖，前三天乙烯量固定在 200 類比訊號左右，根據公式計算大約在 6.2ppm。

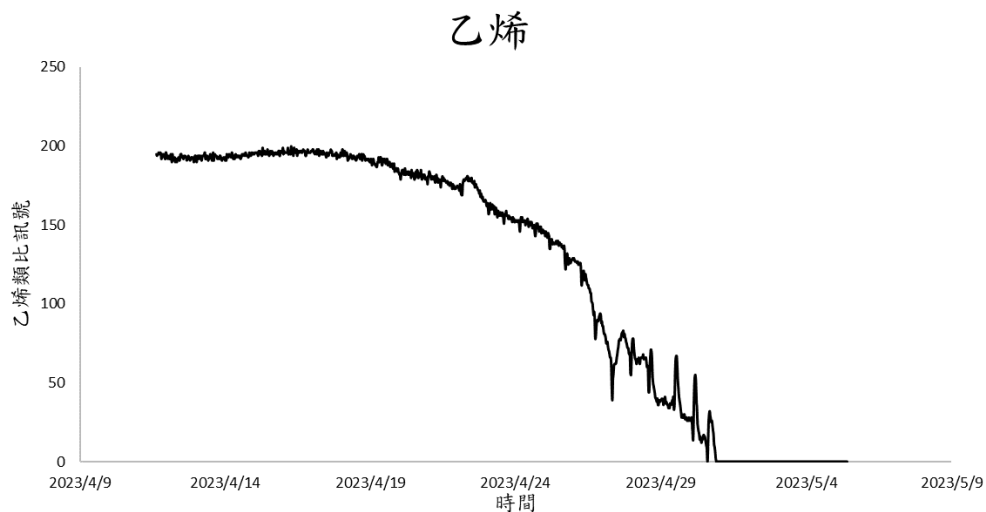


圖 4-13 海運實驗乙烯數值



第五章 結論與建議

本研究成功研製一套環境監測裝置，相較於前一代裝置，此裝置增加以提供更持久續航力，改變前一代所使用的氧氣、二氧化碳及乙烯感測器模組以達到減少體積，相比之下減少，外殼使用插銷設計，方便裝置拆卸達到更換電池與取得資料。

海運實驗成功經歷 23 天海上運輸及記錄氣體數據，在此次實驗結果發現氣調櫃所設定氧氣濃度 5%、二氧化碳濃度 5% 以及溫度 15°C 與環境監測裝置放入箱中所量測到之氧氣濃度、二氧化碳濃度以及溫度有著明顯的差距，而放置於氣調櫃內 USB 溫度計也與所設定值有所差距。氧氣濃度與溫度過高於設定值導致鳳梨運送至澳洲雪梨後，鳳梨內部產生局部黑色的現象，且有發霉之現象。

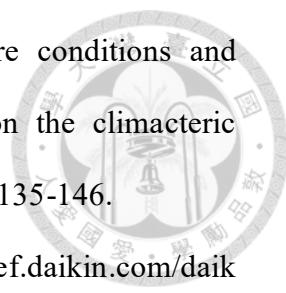
實驗當中乙烯感測器遇到電解液耗盡而無法全程偵測乙烯含量，希望未來可將電化學式氣體感測器替換成半導體式氣體感測器。

未來應用多組裝置放置於不同堆疊位置箱內，可進一步探討堆疊位置的影響。希望能將本環境監測裝置擺放於運送更年性水果之氣調櫃與非更年性水果所測乙烯之數值比較。此海運實驗將環境監測裝置放入箱中導致原本能夠放置 10 顆鳳梨的水果箱，取出一顆作為放置裝置空間，希望未來能更換獲得能量密度更高的電池有助於減少環境監測裝置之體積。

參考文獻



- 行政院農業委員會。2011。農產品別(COA)資料查詢。網址：
<https://agrstat.coa.gov.tw/sdweb/public/trade/TradeCoa.aspx>。上網日期：2023-3-15。
- 吳仁彰。2004。奈米材料應用於氣體感測器之發展。科儀新知 26(3)：88-94。
- 林棟樑。2001。真空預冷技術原理及應用。台南區農業專訊(35)：15-18。
- 林亨峯。2022。多物理量智慧家庭環境感測器之開發。碩士論文。高雄。國立樹德科技大學電腦與通訊系。
- 高敏魁。2017。以 Arduino 及 ARM6410 實現有害氣體無線監控系統之研究。碩士論文。高雄。國立高雄海洋科技大學微電子工程研究所。
- 楊朝喻。2019。氣調櫃環境監測系統之研製。碩士論文。臺北。國立臺灣大學生物機電工程學系。
- 廖偉成。2021。開發環境監測裝置應用於鳳梨釋迦海運氣調櫃。碩士論文。臺北。國立臺灣大學生物機電工程學系。
- 彭清勇、聶方佩、孫明輝、鄭明得、留馨嵐、林英才。2008。低溫型水果熟度感知器的開發。台灣海洋技術學院學報 2(1)：115-122。
- 謝慶昌。2009。水果品質劣變及損耗之原因。興大農業 68：1-5。
- 謝慶昌。2009。水果之貯運條件。興大農業 68：6-7。
- Batemo. 2023. Samsung INR21700-50E. Available at: <https://www.batemo.de/products/batemo-cell-library/samsung-inr21700-50e/>. Accessed 17 May 2023.
- Batemo. 2023. Panasonic NCR18650-A. Available at: <https://www.batemo.de/products/batemo-cell-library/panasonic-ncr18650-a/>. Accessed 17 May 2023.

- 
- Bower, J., P. Holford, A. Latche and J.C. Pech. 2002. Culture conditions and detachment of the fruit influence the effect of ethylene on the climacteric respiration of melon. *Postharvest Biology and Technology* 26: 135-146.
- DAIKIN. 2022. Daikin Active CA. Available at: <https://www.ref.daikin.com/daikin-active-ca>. Accessed 20 December 2022.
- Fang, Y. and M. Wakisaka. 2021. A Review on the Modified Atmosphere Preservation of Fruits and Vegetables with Cutting-Edge Technologies. *Agriculture* 11(10): 992.
- Gas Sensing Solutions. 2023. ExplorIR®-M CO2 Sensor. Available at: <https://www.gassensing.co.uk/products/products/ExplorIR---M-CO2-Sensor>. Accessed 20 January 2023.
- NIST Chemistry WebBook. 2021. Carbon dioxide. Available at: <https://webbook.nist.gov/chemistry/>. Accessed 11 June 2023.
- Qi L., T. Wu and A.E Watada. 1999. Quality changes of fresh-cut Honeydew melons during controlled atmosphere storage. *Journal of food Quality* 22: 513-521.
- Postharvest Management of Vegetables. Modifying the atmosphere. Available at: <https://www.postharvest.net.au/postharvest-fundamentals/atmosphere/modifying-the-atmosphere/>. Accessed 10 February 2023.
- Winsen. 2022. Electrochemical Detection Module ZE03. Available at: <https://www.winsen-sensor.com/product/ze03.html>. Accessed 17 May 2022.
- Winsen. 2021. Electrochemical Ethylene Gas Sensor ME3-C2H4. Available at: <https://www.winsen-sensor.com/c2h4-sensor/me3-c2h4.html>. Accessed 17 July 2022.

Xiao G., Z. Min, L. Guoxiang and P. Jian. 2004. Effect of modified atmosphere packaging on the preservation of strawberry and the extension of its shelf-life. *International Agrophysics* 18(2): 992.

