

國立臺灣師範大學文學院地理學系

碩士論文

Department of Geography

College of Liberal Arts

National Taiwan Normal University

Master's Thesis

氣候變遷下臭氧對農業生產影響之探討-以洋香瓜
為例

The influence of ozone on agricultural production under
climate change-The case of melon

周郁欣

Chou, Yu-Hsin

指導教授：翁叔平 博士、郭乃文 博士

Advisor：Weng, Shu-Ping, Ph.D.、

Kuo, Nae-Wen, Ph.D.

中華民國 111 年 6 月

June 2022

謝誌

短短一頁的謝誌放在近兩百頁論文的最前面，正是期許自己或許在久遠的未來，我會忘記這本論文詳細內容，但不能忘記論文的完成，是來自多少人給予幫助。謝謝我的兩位指導教授，翁叔平老師與郭乃文老師，給予我研究的方向，在我卡住時給我很多的建議，多少次兩位老師與我一起關在教師休息室整個下午，可能只為了想出一個更好的研究方法，但老師們都毫無怨言，能有兩位老師共同指導，真的很幸運也很幸福。謝謝我的論文口試委員陳永明博士，提點許多我沒有注意到的細節，讓論文更加完整，同時也給予我鼓勵。

論文能完成要謝謝許多人與我分享自身的經驗，謝謝七股的王老闆、住在東山的老太太與林先生、將軍的郭姓一家人，謝謝你們願意花費自己務農的閒暇時間與我聊聊。謝謝朴子市農會與崙背鄉農會，幫我與產銷班或在地農民聯繫。感謝純羽與她的舅舅，熱心的替我聯絡認識的果農，還怕我餓著熱著，餵食了好多好料。訪談過程雖然辛苦，但每次總是能滿載而歸，不管是研究上，抑或是各種熱情贈送的水果。

謝謝臺南區農業改良場的黃圓滿副研究員，提供我專業的作物資訊，謝謝李彥緯博士給予我資料分析上的建議，讓我在陌生的領域找到適合的方法，謝謝陳嘉惠學姊教我如何快速的處理資料，如果沒有姊姊我這時候大概還在跟成千上萬的資料搏鬥，謝謝李崇恩博士總是替我瞻前顧後留意細節。謝謝教師休息室時常被我占用、陪我去訪談的友人、所有在我研究所期間願意與我交流的朋友們、在我失業期間贊助、支持我念完研究所的家人們，特別感謝芳葶，在可謂論文最難的一部份-謝誌，給予我精闢的建議。

最後謝謝所有讓我決定踏入研究所的人事物，不管是正面或是負面的力量。謝謝我自己，當初勇敢的踏出這一步，許多年前我根本無法想像，自己能夠站在臺上將自己的研究侃侃而談，我好棒。

摘要

氣候變遷使得未來秋、冬季溫度明顯上升，使得臭氧污染有更加嚴重的趨勢。臭氧為二次污染物，透過前驅物質如氮氧化物(NO_x)與揮發性有機物(VOCs)進行光化學反應後生成，高溫則會使光化學反應加劇，增加臭氧生成，而臭氧則會對部分敏感作物如洋香瓜造成傷害。本研究分析臺灣洋香瓜主要種植區，同時也是秋、冬臭氧污染嚴重的雲嘉南地區內氣溫與臭氧之關聯，並推估未來臭氧的變化，以衡量未來洋香瓜受到臭氧危害之風險。

過去觀測資料分析結果顯示，研究區內氣溫與臭氧為正向關係，兩者之相關程度則隨地區與情境而不同。透過前項所得之氣溫與臭氧關係式，並運用未來推估氣溫之降尺度資料，推估研究區未來臭氧之變化，結果表明研究區在未來秋冬氣溫上升的情況下，將使臭氧濃度上升，使種植洋香瓜的臭氧危害風險增加，另透過臭氧暴露指標也顯示當前洋香瓜已然暴露在臭氧危害之下，未來臭氧濃度上升則將導致危害更加嚴重。目前較少關注到臭氧對洋香瓜之危害，然在未來臭氧濃度提高，可能使此類風險更嚴重且不容忽視，因此相關農業輔導、品種改良可將臭氧防治納入考量，後續亦可進行更多相關實驗研究，以期將臭氧危害防患於未然。

關鍵字：氣候變遷、臭氧、洋香瓜

Abstract

Climate change will increase the temperature in autumn and winter in the future, which will make ozone pollution more serious. Ozone is a secondary pollutant. It is generated through photochemical reaction of precursors such as NO_x and VOCs. High temperature will aggravate the photochemical reaction and increase the generation of ozone. Ozone will cause harm to some sensitive crops such as melon. This study analyzed the relationship between temperature and ozone in Yunlin, Chayi and Tainan, the main growing areas of melon, and estimated the change of ozone in the future, so as to measure the risk of exposure to ozone.

The results show that there is a positive relationship between temperature and ozone in research area. However, the degree of correlation between the two was different with region and context. Based on the relationship between temperature and ozone in the preceding section, and the downscaling data of future estimated temperature, the future ozone change were estimated. The result showed that under the condition of rising temperature in the future autumn and winter, the ozone would increase and the ozone hazard risk of melon planting would increase. In addition, the ozone exposure index also shows that the melon is already exposed to the ozone hazard, and the increase of ozone in the future will lead to more serious harm. At present, little attention has been paid to the harm of ozone to melon. However, the increase of ozone risk in the future may make such risk more serious and should not be ignored. Therefore, ozone control can be taken into consideration in relevant agricultural guidance and breed improvement, and more related experimental studies can also be carried out in the future to prevent ozone damage in advance.

Keyword: climate change, ozone, melon

目次

謝誌.....	i
摘要.....	ii
Abstract.....	iii
目次.....	iv
表次.....	vi
圖次.....	vii
附表目錄.....	xi
附圖目錄.....	xii
第一章 緒論.....	1
第一節 研究動機.....	1
第二節 研究目的.....	4
第二章 文獻回顧.....	5
第一節 氣候變遷之未來推估.....	5
第二節 大氣中臭氧之形成原因.....	8
第三節 臺灣地區臭氧之現況.....	10
第四節 臭氧污染之標準.....	12
第五節 臭氧對植物與農作物的危害.....	15
第六節 臭氧對洋香瓜之危害.....	18
第七節 臺灣洋香瓜種植現況.....	21
第三章 研究方法.....	31

第一節	研究流程.....	31
第二節	研究區域簡述.....	33
第三節	資料來源.....	35
第四節	資料概述.....	36
第五節	實地訪談.....	39
第四章	結果與討論.....	41
第一節	過去溫度與臭氧之分析.....	41
第二節	未來情境推估.....	49
第三節	臭氧暴露之分析.....	115
第四節	綜合討論.....	120
第五章	結論與建議.....	121
第一節	結論.....	121
第二節	研究限制.....	123
第三節	建議.....	124
參考文獻.....		125
附錄.....		131

表次

表 2-1 各地臭氧污染標準。	12
表 2-2 針對多種作物以 AOT40 所得產量函數及 3 個月內減產 5%之 AOT40 臨界 值(整理自 MILLS ET AL., 2007)。	14
表 2-3 臭氧對植物之危害方式與影響。	15
表 4-1 安南測站 NOX-LIMITED 情境各函數之參數。	45
表 4-2 安南測站 VOC-LIMITED 情境各函數之參數。	46
表 4-3 各測站世紀末推估(NOX-LIMITED)臭氧濃度最高值與模式表。	94
表 4-4 各測站世紀末推估(VOC-LIMITED)臭氧濃度最高值與模式表。	101



圖次

圖 1-1 超市的洋香瓜禮盒。.....	3
圖 2-1 RCP 情境的輻射強迫力，引用自 TCCIP。.....	6
圖 2-2 臭氧等濃度線與前驅物關係。.....	9
圖 2-3 1997 年至 2019 年，臺灣一般測站臭氧平均濃度(單位：PPB)趨勢。.....	10
圖 2-4 1997 年至 2019 年，雲嘉南空品區一般測站臭氧濃度(單位：PPB)。.....	11
圖 2-5 臭氧在葉面形成大型斑點，引用自植物保護圖鑑。.....	19
圖 2-6 臭氧在葉面形成大型斑點，引用自植物保護圖鑑。.....	19
圖 2-7 臭氧在葉面形成穿孔病徵，引用自植物保護圖鑑。.....	19
圖 2-8 臭氧在葉面形成穿孔病徵，引用自植物保護圖鑑。.....	20
圖 2-9 臺灣洋香瓜平均每公頃收量(公斤)。.....	22
圖 2-10 洋香瓜種植日程(以秋作為例)。.....	23
圖 2-11 種植洋香瓜絕大多數都採 PE 隧道式栽培。.....	26
圖 2-12 未採隧道式栽培之洋香瓜田。.....	27
圖 2-13 受溫差影響的洋香瓜，植株上翹。.....	28
圖 2-14 因高溫而產生不明病害的植株。.....	29
圖 3-1 研究之研究流程圖.....	32
圖 3-2 洋香瓜主要產區及雲嘉南空品區空氣品質一般測站位置圖。(圖資來源： 政府資料開放平台)。.....	33
圖 3-3 臺南測站風玫瑰圖。.....	34
圖 3-4 1984 年至 2019 年，9 月至 1 月溫度每日距平(單位：℃)。.....	36
圖 3-5 1984 年至 2019 年，9 月至 1 月臭氧每日距平(單位：PPB)。.....	37
圖 3-6 1984 年到 2019 年每日溫度與臭氧，標準化後之離散程度散佈圖。.....	38
圖 4-1 安南測站氣溫與臭氧關係圖(NO _x -LIMITED)。.....	42
圖 4-2 安南測站氣溫與臭氧關係圖(VOC-LIMITED)。.....	43

圖 4-3 安南測站氣溫與臭氧(自然對數)關係圖(NOX-LIMITED)。	44
圖 4-4 安南測站氣溫與臭氧(自然對數)關係圖(VOC-LIMITED)。	44
圖 4-5 安南測站 NOX-LIMITED 情境散佈圖與函數比較圖。	45
圖 4-6 安南測站 VOC-LIMITED 情境散佈圖與函數比較圖。	46
圖 4-7 西屯測站氣溫與臭氧關係圖(NOX-LIMITED)。	47
圖 4-8 豐原測站氣溫與臭氧關係圖(NOX-LIMITED)。	47
圖 4-9 盒鬚圖及其代表統計值。	50
圖 4-10 安南測站氣溫之各模式歷史模擬整理圖(單位：°C)。	52
圖 4-11 安南測站臭氧之各模式歷史模擬整理圖(單位：PPB)。	54
圖 4-12 崙背測站臭氧之各模式歷史模擬整理圖(單位：PPB)。	56
圖 4-13 安南測站近未來氣溫距平盒鬚圖。	58
圖 4-14 安南測站近未來氣溫距平，時間為 9-1 月。	59
圖 4-15 安南測站世紀中氣溫距平，時間為 9-1 月。	60
圖 4-16 安南測站世紀末氣溫距平，時間為 9-1 月。	61
圖 4-17 安南未來推估氣溫距平。	62
圖 4-18 安南測站近未來氣溫距平(1 月)。	64
圖 4-19 安南測站世紀中氣溫推估(1 月)。	65
圖 4-20 安南測站世紀末氣溫推估(1 月)。	65
圖 4-21 安南未來推估氣溫距平(1 月)。	67
圖 4-22 安南測站近未來氣溫推估(9 月)。	68
圖 4-23 安南測站世紀中氣溫距平(9 月)。	69
圖 4-24 安南測站世紀末氣溫距平(9 月)。	69
圖 4-25 安南未來推估氣溫距平(9 月)。	71
圖 4-26 安南測站近未來氣溫距平(10~12 月)。	72
圖 4-27 安南測站世紀中氣溫距平(10~12 月)。	73

圖 4-28 安南測站世紀末氣溫距平(10~12 月)	73
圖 4-29 安南未來氣溫推估距平(10-12 月) 。	75
圖 4-30 安南近未來臭氧距平(NO _x -LIMITED) 。	76
圖 4-31 安南世紀中臭氧距平(NO _x -LIMITED) 。	77
圖 4-32 安南世紀末臭氧距平(NO _x -LIMITED) 。	78
圖 4-33 安南未來臭氧(NO _x -LIMITED)推估距平 。	79
圖 4-34 安南近未來臭氧距平(VOC-LIMITED) 。	80
圖 4-35 安南世紀中臭氧距平(VOC-LIMITED) 。	80
圖 4-36 安南世紀末臭氧距平(VOC-LIMITED) 。	81
圖 4-37 安南未來臭氧(VOC-LIMITED)推估距平 。	82
圖 4-38 安南近未來臭氧(NO _x -LIMITED)推估距平 。	83
圖 4-39 安南世紀中臭氧(NO _x -LIMITED)推估距平 。	84
圖 4-40 安南世紀末臭氧(NO _x -LIMITED)推估距平 。	84
圖 4-41 安南未來臭氧(NO _x -LIMITED)推估距平 。	86
圖 4-42 安南近未來臭氧(VOC-LIMITED)推估距平 。	87
圖 4-43 安南世紀中臭氧(VOC-LIMITED)推估距平 。	87
圖 4-44 安南世紀末臭氧(VOC-LIMITED)推估距平 。	88
圖 4-45 安南未來臭氧(VOC-LIMITED)推估距平 。	89
圖 4-46 安南近未來臭氧(NO _x -LIMITED)推估距平 。	91
圖 4-47 安南世紀中臭氧(NO _x -LIMITED)推估距平 。	91
圖 4-48 安南世紀末臭氧(NO _x -LIMITED)推估距平 。	92
圖 4-49 安南未來臭氧(NO _x -LIMITED)推估距平 。	93
圖 4-50 朴子未來臭氧(NO _x -LIMITED)推估距平 。	96
圖 4-51 安南近未來臭氧(VOC-LIMITED)推估距平 。	98
圖 4-52 安南世紀中臭氧(VOC-LIMITED)推估距平 。	98

圖 4-53 安南世紀末臭氧(VOC-LIMITED)推估距平。	99
圖 4-54 安南未來臭氧(VOC-LIMITED)推估距平。	100
圖 4-55 崙背未來臭氧(VOC-LIMITED)推估距平。	102
圖 4-56 崙背測站 9 月份風玫瑰圖。	103
圖 4-57 朴子未來臭氧(VOC-LIMITED)推估距平。	104
圖 4-58 朴子測站 9 月份風玫瑰圖。	105
圖 4-59 安南近未來臭氧(NO _x -LIMITED)推估距平。	106
圖 4-60 安南世紀中臭氧(NO _x -LIMITED)推估距平。	107
圖 4-61 安南世紀末臭氧(NO _x -LIMITED)推估距平。	108
圖 4-62 安南未來臭氧(NO _x -LIMITED)推估距平。	109
圖 4-63 安南近未來臭氧(VOC-LIMITED)推估距平。	110
圖 4-64 安南世紀中臭氧(VOC-LIMITED)推估距平。	110
圖 4-65 安南世紀末臭氧(VOC-LIMITED)推估距平。	111
圖 4-66 安南未來臭氧(VOC-LIMITED)推估距平。	112
圖 4-67 安南測站 AOT40 暴露指數(單位：PPM H)。	116
圖 4-68 臺南測站 AOT40 暴露指數(單位：PPM H)。	117

附表目錄

附表 7-1 嘉義測站 NOX-LIMITED 情境各函數之參數。.....	131
附表 7-2 嘉義測站 VOC-LIMITED 情境各函數之參數。.....	131
附表 7-3 崙背測站 NOX-LIMITED 情境各函數之參數。.....	131
附表 7-4 崙背測站 VOC-LIMITED 情境各函數之參數。.....	131
附表 7-5 朴子測站 NOX-LIMITED 情境各函數之參數。.....	132
附表 7-6 朴子測站 VOC-LIMITED 情境各函數之參數。.....	132
附表 7-7 臺南測站 NOX-LIMITED 情境各函數之參數。.....	132
附表 7-8 臺南測站 VOC-LIMITED 情境各函數之參數。.....	132
附表 7-9 臺南測站 NOX-LIMITED 情境各函數之參數。.....	133
附表 7-10 臺南測站 VOC-LIMITED 情境各函數之參數。.....	133
附表 7-11 善化測站各函數之參數。.....	133
附表 7-12 新港測站各函數之參數。.....	133

附圖目錄

附圖 7-1 嘉義測站風玫瑰圖。	134
附圖 7-2 崙背測站風玫瑰圖。	134
附圖 7-3 朴子測站風玫瑰圖。	135
附圖 7-4 善化測站風玫瑰圖。	135
附圖 7-5 臺南測站風玫瑰圖。	136
附圖 7-6 新港測站風玫瑰圖。	136
附圖 7-7 新營測站風玫瑰圖。	137
附圖 7-8 嘉義測站氣溫與臭氧關係圖(NO _x -LIMITED)。	138
附圖 7-9 嘉義測站氣溫與臭氧關係圖(VOC-LIMITED)。	138
附圖 7-10 崙背測站氣溫與臭氧關係圖圖(NO _x -LIMITED)。	139
附圖 7-11 崙背測站氣溫與臭氧關係圖(VOC-LIMITED)。	139
附圖 7-12 朴子測站氣溫與臭氧關係圖圖(NO _x -LIMITED)。	140
附圖 7-13 朴子測站氣溫與臭氧關係圖(VOC-LIMITED)。	140
附圖 7-14 臺南測站氣溫與臭氧關係圖圖(NO _x -LIMITED)。	141
附圖 7-15 臺南測站氣溫與臭氧關係圖(VOC-LIMITED)。	141
附圖 7-16 善化測站氣溫與臭氧關係圖。	142
附圖 7-17 新港測站氣溫與臭氧關係圖。	142
附圖 7-18 新營測站氣溫與臭氧關係圖圖(NO _x -LIMITED)。	143
附圖 7-19 新營測站氣溫與臭氧關係圖(VOC-LIMITED)。	143
附圖 7-20 嘉義測站 NO _x -LIMITED 情境散佈圖與函數比較圖。	144
附圖 7-21 嘉義測站 VOC-LIMITED 情境散佈圖與函數比較圖。	144
附圖 7-22 崙背測站 NO _x -LIMITED 情境散佈圖與函數比較圖。	145
附圖 7-23 崙背測站 VOC-LIMITED 情境散佈圖與函數比較圖。	145
附圖 7-24 朴子測站 NO _x -LIMITED 情境散佈圖與函數比較圖。	146

附圖 7-25 朴子測站 VOC-LIMITED 情境散佈圖與函數比較圖。	146
附圖 7-26 臺南測站 NOX-LIMITED 情境散佈圖與函數比較圖。	147
附圖 7-27 臺南測站 VOC-LIMITED 情境散佈圖與函數比較圖。	147
附圖 7-28 新營測站 NOX-LIMITED 情境散佈圖與函數比較圖。	148
附圖 7-29 新營測站 VOC-LIMITED 情境散佈圖與函數比較圖。	148
附圖 7-30 善化測站散佈圖與函數比較圖。	149
附圖 7-31 新港測站散佈圖與函數比較圖。	149
附圖 7-32 嘉義測站氣溫推估結果。	150
附圖 7-33 嘉義測站氣溫(1 月).....	150
附圖 7-34 嘉義測站氣溫(9 月)推估結果。	151
附圖 7-35 嘉義測站氣溫(10-12 月)推估結果。	151
附圖 7-36 嘉義測站臭氧推估結果(NOX-LIMITED)。	152
附圖 7-37 嘉義測站臭氧(1 月)推估結果(NOX-LIMITED)。	152
附圖 7-38 嘉義測站臭氧(9 月)推估結果(NOX-LIMITED)。	153
附圖 7-39 嘉義測站臭氧(10-12 月)推估結果(NOX-LIMITED)。	153
附圖 7-40 嘉義測站臭氧推估結果(VOC-LIMITED)。	154
附圖 7-41 嘉義測站臭氧(1 月)推估結果(VOC-LIMITED)。	154
附圖 7-42 嘉義測站臭氧(9 月)推估結果(VOC-LIMITED)。	155
附圖 7-43 嘉義測站臭氧(10-12 月)推估結果(VOC-LIMITED)。	155
附圖 7-44 崙背測站氣溫推估結果。	156
附圖 7-45 崙背測站氣溫(1 月)推估結果。	156
附圖 7-46 崙背測站氣溫(9 月)推估結果。	157
附圖 7-47 崙背測站氣溫(10-12 月)推估結果。	157
附圖 7-48 崙背測站臭氧推估結果(NOX-LIMITED)。	158
附圖 7-49 崙背測站臭氧(1 月)推估結果(NOX-LIMITED)。	158

附圖 7-50 崙背測站臭氧(9 月)推估結果(NOX-LIMITED)。	159
附圖 7-51 崙背測站臭氧(10-12 月)推估結果(NOX-LIMITED)。	159
附圖 7-52 崙背測站臭氧推估結果(VOC-LIMITED)。	160
附圖 7-53 崙背測站臭氧(1 月)推估結果(VOC-LIMITED)。	160
附圖 7-54 崙背測站臭氧(9 月)推估結果(VOC-LIMITED)。	161
附圖 7-55 崙背測站臭氧(10-12 月)推估結果(VOC-LIMITED)。	161
附圖 7-56 朴子測站氣溫推估結果。	162
附圖 7-57 朴子測站氣溫(1 月)推估結果。	162
附圖 7-58 朴子測站氣溫(9 月)推估結果。	163
附圖 7-59 朴子測站氣溫(10-12 月)推估結果。	163
附圖 7-60 朴子測站臭氧推估結果(NOX-LIMITED)。	164
附圖 7-61 朴子測站臭氧(1 月)推估結果(NOX-LIMITED)。	164
附圖 7-62 朴子測站臭氧(9 月)推估結果(NOX-LIMITED)。	165
附圖 7-63 朴子測站臭氧(10-12 月)推估結果(NOX-LIMITED)。	165
附圖 7-64 朴子測站臭氧推估結果(VOC-LIMITED)。	166
附圖 7-65 朴子測站臭氧(1 月)推估結果(VOC-LIMITED)。	166
附圖 7-66 朴子測站臭氧(9 月)推估結果(VOC-LIMITED)。	167
附圖 7-67 朴子測站臭氧(10-12 月)推估結果(VOC-LIMITED)。	167
附圖 7-68 臺南測站氣溫推估結果。	168
附圖 7-69 臺南測站氣溫(1 月)推估結果。	168
附圖 7-70 臺南測站氣溫(9 月)推估結果。	169
附圖 7-71 臺南測站氣溫(10-12 月)推估結果。	169
附圖 7-72 臺南測站臭氧推估結果(NOX-LIMITED)。	170
附圖 7-73 臺南測站臭氧(1 月)推估結果(NOX-LIMITED)。	170
附圖 7-74 臺南測站臭氧(9 月)推估結果(NOX-LIMITED)。	171

附圖 7-75 臺南測站臭氧(10-12 月)推估結果(NOX-LIMITED)。	171
附圖 7-76 臺南測站臭氧推估結果(VOC-LIMITED)。	172
附圖 7-77 臺南測站臭氧(1 月)推估結果(VOC-LIMITED)。	172
附圖 7-78 臺南測站臭氧(9 月)推估結果(VOC-LIMITED)。	173
附圖 7-79 臺南測站臭氧(10-12 月)推估結果(VOC-LIMITED)。	173
附圖 7-80 新營測站氣溫推估結果。	174
附圖 7-81 新營測站氣溫(1 月)推估結果。	174
附圖 7-82 新營測站氣溫(9 月)。	175
附圖 7-83 新營測站氣溫(10-12 月)推估結果。	175
附圖 7-84 新營測站臭氧推估結果(NOX-LIMITED)。	176
附圖 7-85 新營測站臭氧(1 月)推估結果(NOX-LIMITED)。	176
附圖 7-86 新營測站臭氧(9 月)推估結果(NOX-LIMITED)。	177
附圖 7-87 新營測站臭氧(10-12 月)推估結果(NOX-LIMITED)。	177
附圖 7-88 新營測站臭氧推估結果(VOC-LIMITED)。	178
附圖 7-89 新營測站臭氧(1 月)推估結果(VOC-LIMITED)。	178
附圖 7-90 新營測站臭氧(9 月)推估結果(VOC-LIMITED)。	179
附圖 7-91 新營測站臭氧(10-12 月)推估結果(VOC-LIMITED)。	179
附圖 7-92 善化測站氣溫推估結果。	180
附圖 7-93 善化測站氣溫(1 月)推估結果。	180
附圖 7-94 善化測站氣溫(9 月)推估結果。	181
附圖 7-95 善化測站氣溫(10-12 月)推估結果。	181
附圖 7-96 善化測站臭氧推估結果。	182
附圖 7-97 善化測站臭氧(1 月)推估結果。	182
附圖 7-98 善化測站臭氧(9 月)推估結果。	183
附圖 7-99 善化測站臭氧(10-12 月)推估結果。	183

附圖 7-100 新港測站氣溫推估結果。.....	184
附圖 7-101 新港測站氣溫(1 月)推估結果。.....	184
附圖 7-102 新港測站氣溫(9 月)推估結果。.....	185
附圖 7-103 新港測站氣溫(10-12 月) 推估結果。.....	185
附圖 7-104 新港測站臭氧推估結果。.....	186
附圖 7-105 新港測站臭氧(1 月)推估結果。.....	186
附圖 7-106 新港測站臭氧(9 月)推估結果。.....	187
附圖 7-107 新港測站臭氧(10-12 月) 推估結果。.....	188
附圖 7-108 嘉義測站 AOT40 暴露指數(單位：PPM.H)。.....	188
附圖 7-109 崙背測站 AOT40 暴露指數(單位：PPM.H)。.....	188
附圖 7-110 朴子測站 AOT40 暴露指數(單位：PPM.H)。.....	189
附圖 7-111 善化測站 AOT40 暴露指數(單位：PPM.H)。.....	189
附圖 7-112 新港測站 AOT40 暴露指數(單位：PPM.H)。.....	189
附圖 7-113 新營測站 AOT40 暴露指數(單位：PPM.H)。.....	190

第一章 緒論

第一節 研究動機

一、氣候變遷與永續發展

現今人類在追求經濟高度發展的同時，也面臨了發展失衡的危機，尤其在面對氣候變遷所帶來的影響，常使貧窮、弱勢者調適不及。聯合國在 2015 年時提出「永續發展目標」(Sustainable Development Goals，簡稱 SDGs)，期望在 2030 年能達成 17 項核心目標，讓世界邁向永續的平衡發展。其中的第二項「零飢餓」(Zero Hunger)便提到糧食安全與永續農業的重要性，增強各地區農業生產韌性刻不容緩，也是全世界正在努力達成的目標。

氣候變遷對農業生產的影響不僅止於極端的氣候事件，長時間的氣候變化以及對整體環境的影響，也將直接或間接導致農業生產的不穩定，人們開始關注氣候變化對於空氣污染的影響，而空氣污染所造成的農業生產之危機，也逐漸受到矚目，以確保農業的永續發展。國外已有許多研究證實大氣組成的變化以及空氣污染，對於農業生產確實具有危害性，然而在國內，較多的關注與討論在於氣候事件，如颱風、豪雨、乾旱、高溫或寒害對農業所造成的直接災損，以及長期的氣候變化對農業的影響，較少關注到氣候變化對於大氣組成、空氣污染的改變，所間接導致的農業災損，因此若是農民受到這部分的經濟損失，也因此經常被忽略。

二、臺灣的環境變遷與監測

臺灣因應氣候變遷，已有許多氣象單位積極應對，包括在過去、現在及未來整體和局部地區的氣候變化，進行監控與預測。在監測以及預測未來氣溫變化時，我們發現「暖冬」現象在未來氣候變遷會越來越明顯，亦即相較於夏季高溫，秋、冬不若以往寒冷甚至炎熱的現象會越來越明顯，原本應該寒冷的季節變得炎熱，對人體來說是更有感的。

在眾多因素之中，秋、冬溫度的上升除了對人體有感之外，也相當程度地反映在大氣組成的變化，已有許多研究指出，溫度的上升或持續的高溫會造成空氣中氮氧化物(NO_x，包含一氧化氮 NO 及二氧化氮 NO₂)的增加，而這些氮氧化物都是另一項空氣污染成分-臭氧(Ozone)的光化反應來源，而溫度的升高也會加強臭氧光化反應的產生。此部分的環境變遷對秋、冬較乾燥、無風的地區會更加明顯，因為這些地方缺少了強風或降雨可以將空氣中的臭氧或其前驅物質帶離。

現今民眾對於環境與空氣污染的關注上升，也讓相關政府部門更密切的關注以及監測空氣污染的變化，從過去行政院環保署開始在臺灣各地設立空氣品質監測站之後，開始有了各地區的空氣品質監測數據，在初步的檢視資料之後發現，臺灣地區的臭氧在近數十年之間有上升的趨勢，而相較於對肉眼可見的總懸浮微粒(懸浮微粒 PM₁₀ 及細懸浮微粒 PM_{2.5})受到民眾相當程度的關注，臭氧污染反而常常被忽視，但其對生物的危害性並不下於總懸浮微粒的污染。

臭氧對於農作物的危害方面，在國外已對多項農作物進行研究並證實，在國內僅有少部分的研究，而在農委會的植物保護圖鑑中則有特別指出臭氧在洋香瓜(Melon，有多種品種，臺灣消費者常將網紋洋香瓜稱為哈密瓜)的種植上，確實會造成洋香瓜生長上的生理障礙，但仍缺乏較全面以及量化的分析。在臺灣常見瓜類作物中，洋香瓜相較於其他種類，經濟價值較高，若為較稀罕的品種或種植者已做出口碑，單一顆洋香瓜的售價便能上百、千元，因此經常被當作精品或禮盒販售(圖 1-1)，而普遍在果品市場接受度也高，口味受眾多國人喜愛，但在產季上不如另一種其他瓜類作物普遍，較局限於部份季節如秋、冬季，且洋香瓜屬於投資風險高的作物，對於各種環境因素皆很敏感，農民種植時需付出相當投入資本與人力成本加以照護，稍有不慎便容易付之一炬，另其產地多集中於雲嘉南地區，因此若在秋、冬季時，發現雲嘉南空品區因溫度上升而有臭氧濃度有增高的趨勢，洋香瓜極有可能因此受到臭氧污染的危害，對

該種作物的穩定生產以及農民的經濟，必會產生一定的負面影響。



圖 1-1 超市的洋香瓜禮盒。

在此背景之下，本研究期望關注於氣候變遷所導致的秋冬溫度上升與空氣污染物-臭氧之關聯，與臭氧對雲嘉南地區洋香瓜生產方面的影響，為臺灣的永續農業生產以及穩定的食物供應提供助益，同時確保農民生產時的經濟保障。

第二節 研究目的

本研究以雲嘉南空品區為研究範圍，主要關注於氣候變遷下導致秋冬溫度上升，與區域臭氧濃度上升之間的關聯，並且在臭氧濃度上升的同時，所導致洋香瓜之危害之風險，預計探討的主題有三：

(一)了解過去臺灣地區雲嘉南地區秋冬溫度上升與臭氧濃度之關係。

以過去雲嘉南地區 9 月至 1 月之氣溫、臭氧觀測資料，分析兩者之間的關係，進而取得在此地區氣溫與臭氧之關係式。

(二)透過推估未來溫度上升之情境，推估雲嘉南地區臭氧之未來濃度變化。

利用已公開之各氣候模式預測未來溫度降尺度資料，推估雲嘉南各地區 9 至 1 月之氣溫變化，再利用前項之成果，推估各地區之臭氧變化，進而了解未來發生臭氧污染之風險是否增加。

(三)評估未來秋冬高濃度臭氧與臭氧濃度上升對於洋香瓜在產量、品質等之危害，並以臭氧危害的角度提供未來洋香瓜種植上之參考。

透過臭氧暴露指標以及急性傷害數值衡量過去在雲嘉南地區，洋香瓜的臭氧暴露程度為何，了解過去洋香瓜暴露在臭氧危害下的風險程度，並透過臭氧未來推估之結果，評估洋香瓜之臭氧暴露風險是否增加，若位於較高風險的地區或生長季，可以此評估是否在種植的時間、空間及相關調適措施上有所調整。

第二章 文獻回顧

第一節 氣候變遷之未來推估

一、 氣候變遷簡述

氣候變遷是指氣候系統狀態的改變，影響層面包含氣溫上升、降水變化、海溫、冰層等的變化，根據全球氣溫觀測資料顯示，自 1880 年至 2012 年全球平均溫度已經升高 0.85 度，更多充分的證據亦顯示氣候變遷是確實存在且持續發生的，也帶給人類生活極大的影響。

根據聯合國政府間氣候變遷專門委員會(Intergovernmental Panel on Climate Change, 簡稱 IPCC)所提供，在 2014 年所提出，也是最近一次的報告：第五次評估報告(AR5)中提到，過去觀測到的溫度升高，主要來自於人為的溫室氣體排放，而持續的排放也將造成更長期、嚴重且不可逆的影響，因此未來能否減緩氣候變遷帶來的風險，應該關注於溫室氣體的排放是否能夠得到限制(Pachauri et al., 2014)。

二、 氣候變遷未來推估情境

溫室氣體的累積排放會決定 21 世紀末甚至更久以後的全球平均氣溫，而大氣中的溫室氣體濃度與排放量主要受到人為活動包含人口規模、經濟活動、能源利用、生活方式、土地利用以及氣候政策等的影響，因此在進行氣候變遷的未來推估時，必須考慮溫室氣體的濃度。考慮到前述之因素，在 AR5 以及氣候研究上發展出代表濃度路徑(Representative Concentration Pathways, 簡稱 RCPs)，來分析不同的輻射強迫力(radiative forcing)情境之下，未來氣候的變化。目前慣用的 RCPs 有四(Van Vuuren et al., 2011)：

RCP2.6：代表輻射強迫力極低的情境，每平方公尺輻射強迫力在 21 世紀中葉達到約 3.1 瓦，到 2100 年回到 2.6 瓦，是一達到高峰後下降的輻射情境，到了 2100 年，二氧化碳濃度達到 421ppm。

RCP4.5：輻射強迫力較為穩定的情境，在 2100 年後達到穩定，二氧化碳濃度達到 538ppm。

RCP6.0：輻射強迫力較為穩定的情境，在 2100 年後達到穩定，二氧化碳濃度達到 670ppm。

RCP8.5：代表隨著時間的推移溫室氣體排放量增加，代表了溫室氣體濃度較高的情境，到了 2100 年，二氧化碳達到 936ppm。

若將各代表濃度路徑進行比較，由臺灣氣候變遷推估資訊與調適知識平台 (TCCIP) 整理之各情境之輻射強迫力如圖 2-1，淺灰色與深灰色部分則為模式評估之可能範圍，各濃度路徑分別表現出不同的輻射強迫力在不同時間的推移，進而產生不同的未來氣候變遷情境。

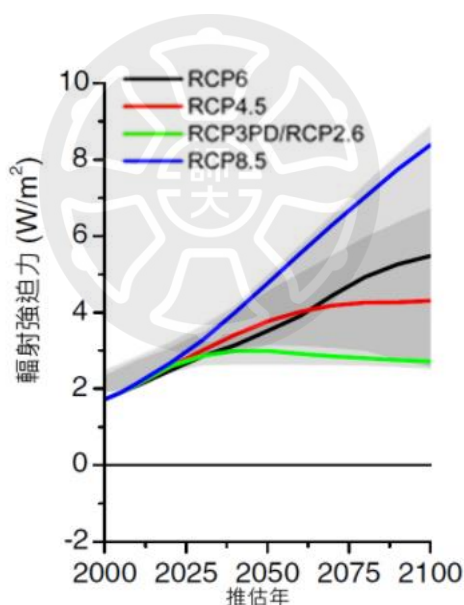


圖 2-1 RCP 情境的輻射強迫力，引用自 TCCIP。

由圖 2-1 可以看出，在未來不同的時段，各濃度路徑的輻射強迫力各有高低：RCP8.5 約自 2025 年開始就明顯高於其他三者，且一路維持到 2100 年；RCP6 在一開始較為平緩的成長，至 2050 年後則上升幅度較快；RCP4.5 一開始高於 RCP6.0，至 2050 年後則上升幅度趨緩，維持平穩的狀態；RCP2.6 則在初期略為上升至高峰後，便維持穩定甚至下降的狀態。

各種 RCPs 情境之間的差異取決於人類面對氣候變遷所採取之減緩與調適行為，而由前述可知，不同 RCPs 代表不同的輻射強迫力，對於氣候變遷的影響程度也不同，因此在進行氣候變遷之未來推估時，必須以 RCPs 進行劃分，以了解不同的溫室氣體濃度所造成的影響，進而提供人類採取行為時的依據。

三、 氣候基期與未來時段

在進行氣候變遷之推估時，除了直接觀察未來各項氣候指標的數值之外，研究上較多是以現在與未來之差異作為整體氣候變化的評估，因此在比較氣候的變化時，通常是與過去氣候的平均狀態(基期)進行比較，衡量各種氣候指標的改變量，在 IPCC AR5 中，用以比較之基期為 1986~2005 年共 20 年之平均，用以與未來推估進行比較。

在未來推估時間中，對於氣候變遷的評估多至 21 世紀末-也就是 2100 年，並將時間劃分為不同的時段，以時段的平均來分析氣候變遷之效應。在 IPCC AR5 中主要的時段有三：一般被視為即將發生的近未來(2016~2035 年)、21 世紀中葉(2046~2065)以及 21 世紀末(2081~2100 年)，並將其時間內平均之變化與氣候基期進行比較，以了解氣候變遷的變化量(Pachauri et al., 2014)。

第二節 大氣中臭氧之形成原因

一、 臭氧之前驅物

大氣中的臭氧可分為存在於平流層中的臭氧與對流層中之臭氧，平流層之臭氧約占了 90%，能夠減少太陽的短波輻射直接進入到地表，避免對生物造成直接的傷害(Stachelin, Harris, Appenzeller, & Eberhard, 2001)。對流層中的臭氧則占剩餘的 10%，一部分可能來自平流層臭氧的向下擴散，但主要還是來自於陽光與臭氧前驅物的光化學反應所產生，與臭氧生成有關的物質包含氮氧化物(NO_x)、甲烷(CH_4)、一氧化碳(CO)、揮發性有機物(VOCs)等，被視為臭氧之前驅物，此類物質可能經由自然現象，例如閃電、土壤或是生物排放，或經由例如化石燃料、生物燃料燃燒等方式產生，其中氮氧化物與揮發性有機物與臭氧的生成直接相關，而由於臭氧壽命短，依賴前述之排放物質而產生，因此在時間與空間上變化很大(Cooper et al., 2014; 空氣品質監測網, 2020a)，由此可知，人類行為對於空氣中的臭氧的產生，有很大的關聯，因此對流層中的臭氧含量會隨著人類活動而增減，而隨著人類的經濟發展，排放的前驅物越來越多，臭氧危害也逐漸受到關注。

二、 氣象因子對臭氧之影響

除了臭氧前驅物影響臭氧增減外，氣象因子也可能影響臭氧的濃度，例如溫度、雲量、日照時數、相對溼度、區域風場等因素，皆會影響地區的臭氧濃度高低(柳中明、蘇維中, 1997)，而溫度與臭氧之關係也是受到關注的，溫度升高與臭氧的濃度升高有著密切之正相關，原因在於高溫可增加臭氧光化學反應的速率，加速臭氧的生成，且高溫有利於臭氧維持高濃度，提供臭氧生成之物質(Hatakeyama, Akimoto, & Washida, 1991; Sillman & Samson, 1995)，全球暖化導致的溫度升高亦有可能造成大氣環流的改變，使臭氧與懸浮微粒停滯在地表附近造成危害(Horton & Diffenbaugh, 2012)，由前述可知，大氣中的臭氧之形成

原因複雜，牽涉因素眾多，但溫度是一種必須考慮的影響因素。

三、 臭氧管制策略

依據前述可知，臭氧並非直接排放，而是尤其前驅物經反應生成，且受氣象因子影響。根據環保署對於光化測站的背景介紹中，對於臭氧的控制主要藉由監測氮氧化物(NO_x)與揮發性有機物(VOCs)，並同時考慮上風、下風之氣象因子作為主要控制手段(空氣品質監測網, 2020a)。

由於光化學機制的影響，控制臭氧之前驅物大致可分為兩種情境： NO_x -limited (氮氧化物控制臭氧生成)以及 VOC-limited (揮發性有機物控制臭氧生成)如圖 2-2(張艮輝, 簡慧貞, & 呂鴻光, 2002)，以 NO_x -limited 情境而言，環境中臭氧之生成由氮氧化物所主導，此時以控制氮氧化物為主，降低揮發性有機物並不能有效控制臭氧生成，反之則亦然，因此不同的環境會有不同的情境，在實務上也多根據此二種不同情境制定控制策略，因此本研究預計將利用此概念，將測站分為此二種情境，以凸顯不同情境之特徵。

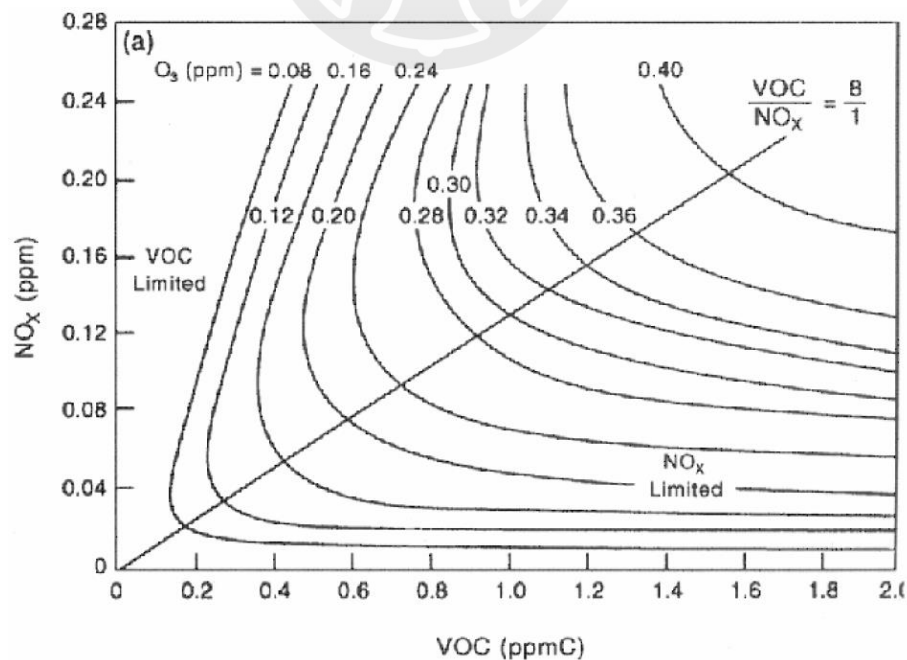


圖 2-2 臭氧等濃度線與前驅物關係。

第三節 臺灣地區臭氧之現況

一、 臺灣地區臭氧近年趨勢

臭氧屬於空氣污染物之一，但相對於其他污染物如懸浮微粒等，因較難以肉眼觀察，受到民眾的關注相對較少。臺灣地區的空气品質主要由行政院環境保護署所架設的空氣品質監測站作為監測，提供各時段監測資料，且每年發布空氣品質年報作為當年空氣品質總結，以 2019 年為例，發布的空氣品質監測報告顯示，在其他空氣污染物質濃度均下降的同時，臭氧濃度卻是上升的，而根據歷年的統計資料顯示(圖 2-3)，自 1997 年開始，每年臭氧濃度雖有起伏，但整體發展呈現上升之趨勢。(行政院環境保護署, 2019)。

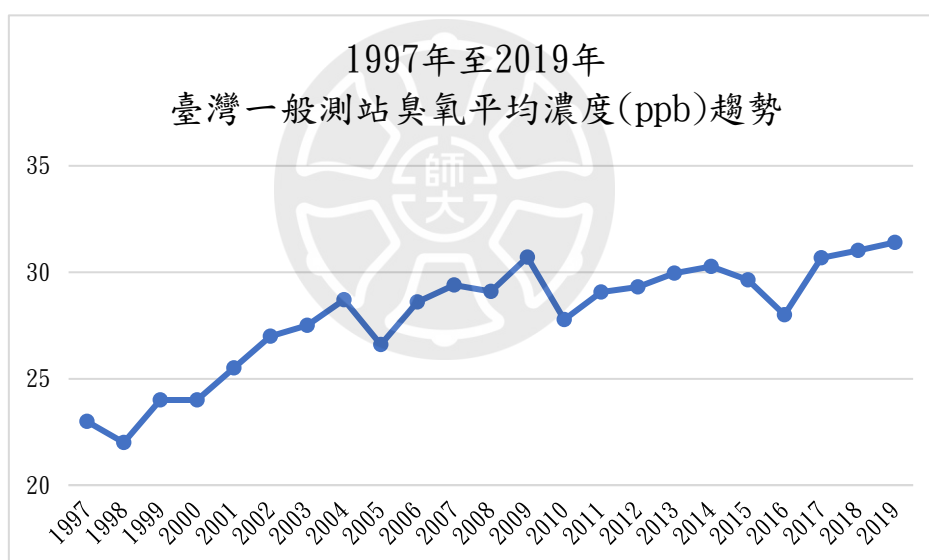


圖 2-3 1997 年至 2019 年，臺灣一般測站臭氧平均濃度(單位：ppb)趨勢。

二、 雲嘉南空品區臭氧趨勢

在各空品區當中，本研究之研究區，雲嘉南空品區之臭氧平均濃度也呈現上升之趨勢，臭氧年平均濃度自 1997 年的 25ppb，至 2019 年上升至 31.07ppb(圖 2-4)，以此時間區間的臭氧平均濃度來看，雲嘉南空品區臭氧平均濃度為 28.78ppb，在所有空品區之中為第二高，僅次於高屏空品區，顯示雲嘉

南空品區的臭氧平均濃度，不管是過去或是近期皆為偏高，也是臺灣較容易發生臭氧污染的地區。

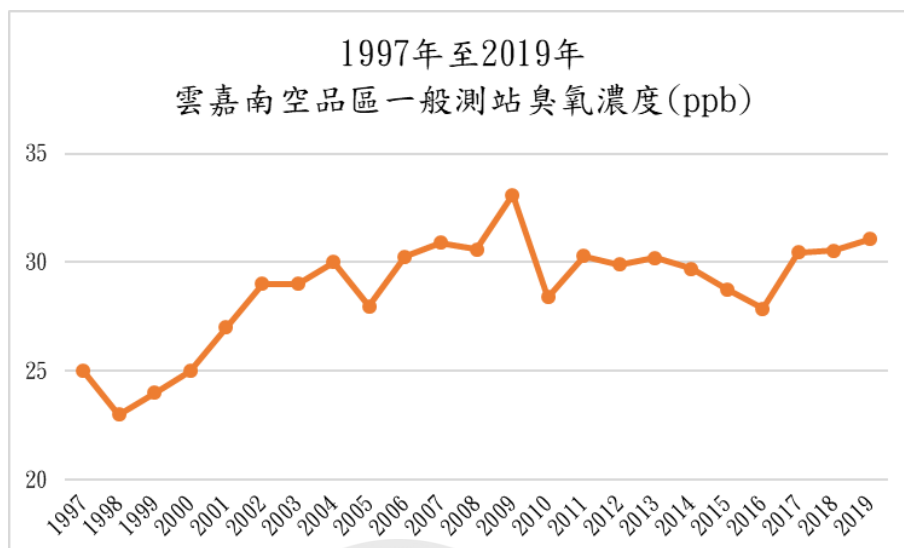


圖 2-4 1997 年至 2019 年，雲嘉南空品區一般測站臭氧濃度(單位:ppb)。

第四節 臭氧污染之標準

一、 臭氧污染之於人類的標準

由於臭氧對於生物具有一定的危害性，許多地區及國家皆有制定相關的污染標準。以美國為例，該國制定的最新的空氣污染標準中，將臭氧污染的主要標準值訂為八小時平均值 0.07ppm，高於該標準值則有可能對敏感族群產生危害(美國國家環境保護署, 2017)；歐盟則於 2010 年時，便將臭氧污染指標訂為八小時平均值 120 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，約等於 0.061ppm(歐洲聯盟委員會, 2010)。而臺灣的臭氧污染標準為每小時平均值 0.12ppm，或是八小時平均值 0.06ppm(空氣品質監測網, 2020b)，顯示世界對於臭氧污染對於人體健康的影響已經有所關注。

表 2-1 各地臭氧污染標準。

	美國	歐洲	臺灣
標準	八小時平均值 0.07ppm	八小時平均值 120 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (約等於 0.061ppm)	每小時平均值 0.12ppm、 八小時平均值 0.06ppm

二、 臭氧對植物影響之標準與指標

臭氧對於植物與農作物的影響標準，由於不同植物對於臭氧的敏感度與耐受性不一，目前並未有統一的數值，但在研究方面則有常用的估算指標，例如在歐洲經常將臭氧濃度轉換成 AOT40(Accumulate exposure over a threshold of 40 ppb)，運用於計算植物生長期間(三個月)，每小時臭氧濃度超過 40ppb 時，每小時的臭氧濃度與 40ppb 之間差值的總和，作為臭氧暴露程度與植物產量關係之

比對，AOT40 的計算方法如下：

$$AOT40 = \sum_{i=1}^n ([O_3]_i - 40), \text{ for } [O_3] \geq 40ppb$$

此指標相較於直接以平均濃度進行估算，更能表達植物生長期間暴露於臭氧所累積造成之傷害(WHO, 2000)，AOT40 的運用範圍廣大，如用於全球尺度，估算因暴露於臭氧所導致的全球主要糧食作物(大豆、玉米、小麥)減產與經濟損失(Avnery, Mauzerall, Liu, & Horowitz, 2011)。或於區域尺度，如在印度用於估算小麥與水稻的減產與經濟損失(Sharma, Ojha, Pozzer, Beig, & Gunthe, 2019)；在歐洲用於估算臭氧對森林造成的風險與對於作物的傷害(Anav et al., 2016; Pleijel, Wallin, Karlsson, Skärby, & Sellden, 1995)。

計算臭氧累積濃度的臨界水平中，亦有研究設定 3ppm h 作為閾值，亦即作物生長期之累積濃度超過 AOT40 達 3ppm h，對臭氧敏感之作物便會產生明顯危害(Hůnová et al., 2011; 廖秀婷、徐慈鴻, 2012)，此可做為對作物在臭氧暴露下之風險的初步估計水平之參考。另外亦有研究針對作物與臭氧之暴露程度以 AOT40 建立統計關係，用以衡量單位暴露的增加導致的作物減產，如研究利用 AOT40 與歐洲多種常見的作物如西瓜、棉花、小麥、葡萄等之相對產量建立線性模型，進而比較產量與臭氧之間的關係，並依照作物對臭氧的敏感程度進行分類(表 2-2)(Mills et al., 2007)，由分類可發現如西瓜對臭氧極為敏感，只要累積達 1.6ppm h 便會產生影響。

表 2-2 針對多種作物以 AOT40 所得產量函數及 3 個月內減產 5%之 AOT40 臨界值(整理自 Mills et al., 2007)。

作物	臨界水準 ^a	函數 ^b	r^2
西瓜	1.6	$y = -0.0321x + 0.97$	0.94
莢豆	3	$y = -0.00165x + 0.96$	0.30
棉花	3.1	$y = -0.0161x + 1.07$	0.69
小麥	3.3	$y = -0.0161x + 0.99$	0.89
燕菁	3.5	$y = -0.0144x + 1.07$	0.70
洋蔥	4.1	$y = -0.0121x + 1.01$	0.60
大豆	4.3	$y = -0.0116x + 1.02$	0.61
萵苣	4.6	$y = -0.0108x + 1.04$	0.33
番茄	6	$y = -0.0083x + 1$	0.48
甜菜	8.6	$y = 0.058x + 1.0$	0.30
油菜	8.9	$y = -0.0056x + 0.9$	0.17
馬鈴薯	8.9	$y = -0.0057x + 0.99$	0.38
菸草	9.9	$y = -0.0055x + 1.04$	0.77
稻米	12.8	$y = -0.0039x + 0.94$	0.20
玉米	13.9	$y = -0.0036x + 1.02$	0.35
葡萄	16.7	$y = -0.003x + 0.99$	0.73
青花菜	20	$y = 0.0025x + 0.91$	0.01
水果(草莓、李子)	62	$y = 0.0008x + 0.94$	0.01
大麥	83.3	$y = 0.0006x + 0.96$	0.00

^a3 個月內累積量，單位 ppm h。

^b y = 相對收量， x = AOT40 累積量(ppm h)。

由該研究可看出部分作物對臭氧呈現高敏感之程度，而部分則可以在高臭氧環境生長而不受影響，使線性模型解釋力偏低，代表臭氧對作物影響程度不一。國內也有學者運用 AOT40 評估過去農作區周邊測站的臭氧累積值，比較臺灣農園作物受臭氧危害之潛勢(廖秀婷、徐慈鴻, 2012)，顯示若以 40ppb 作為評估的依據，臺灣地區部分對於臭氧敏感之農作物已經有受到危害的可能。

第五節 臭氧對植物與農作物的危害

一、 臭氧對植物的危害

空氣中的臭氧對植物的危害已有許多研究證實，對植物的危害機制主要是經過葉片之氣孔進入植物，對植物產生包含破壞細胞膜完整性、影響光合作用、影響蛋白質、酵素活性、改變同化產物的分配、葉綠素分解等危害(俞美如、張育森, 2000)。而危害又可以分為短時間高濃度的急性危害：使植物細胞壞死，並在葉片表面產生褐斑、黃斑或導致葉片壞死，雖不會影響其產量，但可能因賣相不好、生長品質不佳，進而影響其市場價值；另一種則為長時間較低濃度的慢性危害：長期會使植物的細胞衰老，減緩光合作用，導致植物生長受到阻礙，使產量減少造成經濟損失(Benton et al., 2000; Sawada & Kohno, 2009; 楊盛行、朱鈞、盧虎生, 2003)。

表 2-3 臭氧對植物之危害方式與影響。

	急性危害(短時間高濃度)	慢性危害(長時間較低濃度)
危害	植物細胞壞死，並在葉片表面產生褐斑、黃斑或導致葉片壞死。	植物的細胞衰老，減緩光合作用。
影響	雖不會影響其產量，但可能因賣相不好、生長品質不佳，進而影響其市場價值。	植物生長受到阻礙，使產量減少造成經濟損失。

早前國外已有研究發現高濃度臭氧與菸草及其他二十幾種植物葉片上的斑點損傷具有相關性，在容易受臭氧傷害的植物中，最明顯能觀察到的為葉片上的斑狀病徵(Heggestad & Middleton, 1959; Hill et al. 1961)。越來越多的研究證明不只少部分的植物會受到臭氧危害，例如多種植物暴露於急性高濃度(>80ppb，持續數小時至數日)或長時間低濃度(<40ppb，加上週期性或隨機性的高濃度)的

臭氧中，許多植物如菸草、葡萄、小麥、斑豆、棉花、黑櫻桃、黃楊樹、西黃松等木本及草本植物，均能在其葉片上觀察到不同程度的病徵(Krupa et al., 2001)。

在臺灣則有針對臺灣常見之植物如龍葵、野生菸草、小米菊、雙福番茄、劍葉萵苣以及不同品種的紅豆、大豆、四季豆進行人工模擬薰氣試驗，發現經過三小時薰蒸後，部分對臭氧高敏感的植物，葉片在濃度 60-70ppb 即出現臭氧病徵，較不敏感的植物在濃度提高至 100ppb 後也開始出現臭氧病徵(蔡孟君, 1994)，由前述可知，要對植物產生危害，臭氧濃度不需要極高，另外也有研究將急性傷害的數值定在較高的 120nmol mol^{-1} (=ppb)，然該研究也提到急性傷害的閾值是變動的(Ainsworth, Rogers, & Leakey, 2008)。由文獻中可知急性傷害的閾值並沒有一定的數值，而臺灣監測到每小時臭氧濃度 60ppb 以上並不少見，當每小時臭氧達到高峰時也會出現 120ppb 以上的數值，由於急性傷害只需高濃度的臭氧維持數小時便會產生，此顯示臺灣環境中植物確實有可能受臭氧危害，並有可能出現急性的臭氧傷害。另外有研究在歐洲各地種植實驗作物並觀察其受臭氧之影響，研究結果顯示三葉草、豆類、番茄、西瓜等作物均受到不同程度的葉片傷害，顯示除了透過實驗控制之外，在實地環境中也可證明臭氧對於植物的危害(Benton et al., 2000)。亦有研究推測，臭氧可能影響植物在水分與養分的吸收，進而將影響擴大至整座森林或整個生態系(Grulke & Heath, 2020)，顯示臭氧對於植物的危害，不僅侷限於個體，也可能是整個群體、生態系，甚至衝擊人類的經濟。

臭氧除了對植物造成直接的傷害之外，亦有許多研究證實，臭氧會改變植物對於其他危害的敏感性，在相關臭氧對於植物影響的指引中有提到，臭氧會引起植物的一系列變化，使其更容易受到如溫度、病蟲或真菌的侵襲

(WHO, 2000)，顯示臭氧除了對植物造成直接的外部影響之外，也會改變植物承受其他危害的能力，因此在關注臭氧對植物的危害時，不應只觀察其葉片

的外部傷害，也應注意不同傷害之間的交互作用。

二、 臭氧對農作物的危害

臭氧對於植物的危害對人類經濟所產生的影響，也會直接表現在對農作物生產上，許多研究針對臭氧對於農作物的生產影響，例如在歐洲地區對植物進行十年的監測，彙總到了 644 筆明顯可見損傷紀錄，其中 39% 為農作物，包含玉米、馬鈴薯、小麥、大豆等糧食作物，以及葡萄、甜菜、南瓜、柑橘、花生、萵苣、菊苣、蘿蔔、菜豆、櫛瓜等園藝作物，估計歐洲地區因臭氧對農作物的影響，每年損失數十億英鎊(Gina Mills et al., 2011)，顯示有多種作物會受到臭氧不同程度的危害。

我國亦有學者針對我國主要的糧食作物-水稻之各品種，在臭氧薰蒸下的葉片病徵程度，發現葉片出現程度不等的紅褐色斑點符合臭氧損傷的病徵，據此推測彰化部分地區之水稻葉片所觀察到的紅褐色細斑徵狀可能也是來自於臭氧的危害(何笠維、張欽豪、徐慈鴻, 2011)，顯示部分臺灣農作物亦有可能受到臭氧之危害，並且已有相關研究關注於此。

另外亦有研究利用實驗與模型評估在臭氧濃度不斷上升的情況下，預測未來至 2030 年，全球主要的四種糧食作物小麥、大豆、稻米及玉米皆會減產，造成全球經濟損失 14 至 260 億美元(Van Dingenen et al., 2009)，然而建模結果可能也會有地區差異，並不一定適用於所有地區，例如針對亞洲地區主要的糧食作物水稻、小麥、豆類等進行產量損失模擬，發現若利用北美地區之模式來預估，將會低估亞洲地區之災損(Emberson et al., 2001)，顯示不同地區進行的實驗結果以及建立的評估模型可能會有程度上的差異，某些地方受到臭氧的危害更加嚴重，原因可能歸因於實驗條件、環境條件或是品種不同(Emberson et al., 2009)，因此儘管對臭氧的研究非常多，但是否適用於臺灣，仍需考慮更多的因素，並需要進一步評估。臭氧濃度升高對於全球農作物的危害及損失，以及在未來如何因應此類風險，是目前許多研究所關注的。

第六節 臭氧對洋香瓜之危害

國外的研究利用實驗同時將不同品種的西瓜與洋香瓜暴露高濃度臭氧中，並計算臭氧在其葉片上造成病徵所佔的百分比，發現不同品種的瓜類對臭氧的耐受性皆不同，部份品種被危害的程度甚大，進而影響其在生長品質與市場銷售(Simini, Snyder, & Simon, 1986)，另針對西瓜與洋香瓜之臭氧薰蒸研究，說明臭氧可能降低洋香瓜之花量，進而對產量產生影響(Fernandez-Bayon et al. 1993)。

然洋香瓜品種眾多，前述研究提到不同品種可能對臭氧有不同的敏感度，且自引進臺灣後，目前品種亦推陳出新，因此國外之田間研究是否能直接適用於臺灣的臭氧與洋香瓜之危害評估，仍需進一步確認。前述研究時間較早，當時尚未發展出如 AOT40 之等可以量化臭氧暴露程度的評估指標，若能運用相關量化指標來評估，較能明確的比較臭氧暴露程度與產量之關聯。

有關洋香瓜受到臭氧危害之記錄，在臺灣官方出版的農業相關指導文件中則有所紀錄，在臺灣南部所種植的洋香瓜，經常受到高濃度臭氧影響，在葉片產生諸如病斑(圖 2-5、圖 2-6)、穿孔(圖 2-7)、黃葉或乾枯(圖 2-8)等現象，農作物產生生理障礙後，進而導致營養缺乏的現象，並且經常是一陣風帶來高濃度的臭氧後便會觀察到病徵(林正忠, 2009)，但在該文件中並未提到，洋香瓜長期暴露於臭氧中累積而逐漸受到傷害的閾值，抑或是何種程度的短時間高濃度臭氧會立即對葉片產生損害。



圖 2-5 臭氧在葉面形成大型斑點，引用自植物保護圖鑑。



圖 2-6 臭氧在葉面形成大型斑點，引用自植物保護圖鑑。



圖 2-7 臭氧在葉面形成穿孔病徵，引用自植物保護圖鑑。



圖 2-8 臭氧在葉面形成穿孔病徵，引用自植物保護圖鑑。



第七節 臺灣洋香瓜種植現況

一、 洋香瓜栽培歷史

臺灣洋香瓜於 1957 年自美國和日本引進試種，隨後陸續引進新品種及自行改良，1985 年開始推廣 PE 隧道式栽培，現階段則有許多栽培者採用設施栽培以穩定生產品質，種植上逐漸朝向精緻化生產。

目前洋香瓜主要栽種品種有：網紋綠肉的香華、藍寶石；網紋橙肉的天華、七股香，其他如各地農業改良場所推出的新品種，品種多樣且快速更迭，幾乎每一年都會有新的品種出現，但栽種上主要應考量品種對該地環境的適合性，而現階段雖已有改良出可以適應高溫、適合夏季種植的品種，但目前主要產區種植仍以秋冬品種為主(行政院農業委員會，無日期；黃圓滿、黃賢良，2009；黃瑞彰等，2016)。洋香瓜之產值與產量的部分，根據行政院統計以 2018 年為例，洋香瓜的年產值為將近 12 億元，顯示其在臺灣果品生產中佔有一定的地位，每年洋香瓜每公頃收量約在一萬至一萬六千公斤之間(圖 2-9)，收量的增減主要受到瓜類病害影響，近年來均有記錄到受病毒感染，如 1997 年開始檢測到瓜類蚜媒黃化病毒(Cucurbit aphid-borne yellows virus，簡稱 CABYV)，2003~2005 年檢測受到胡瓜嵌紋病毒(Cucumber mosaic virus，簡稱 CMS)及矮南瓜黃化嵌紋病毒(Zucchini yellow mosaic virus，簡稱 ZYMV)感染、2006~2007 年檢測受到甜瓜黃斑病毒(Melon yellow spot virus，簡稱 MYSV)與西瓜銀斑病毒(Watermelon silver mottle virus，簡稱 WsMOV)感染，2008~2009 年則受到南瓜捲葉菲律賓病毒(Squash leaf curl Philippine virus，簡稱 SLCPHV)感染，均造成大面積的田間感染，因此推測與其產量下降有相關(鄧汀欽，2011)。

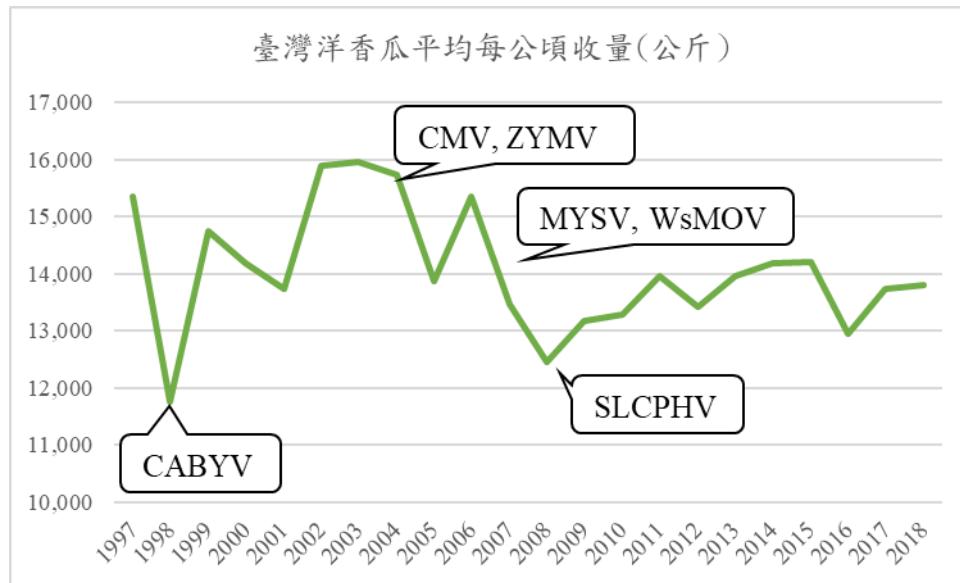


圖 2-9 臺灣洋香瓜平均每公頃收量(公斤)。

然而在受到嚴重病害威脅的同時，並不代表臭氧對洋香瓜生長及產量沒有危害，反而容易使危害不易發覺，因此，未來氣候暖化下加劇的臭氧危害若能列入評估的話，將更有助於洋香瓜品質與產量的管理。近年來洋香瓜已栽培則朝向高品質發展，提高對病害管理與防範的能力，相較於過去要求提高產量，現今反而更重視品質，各鄉鎮開始發展「品牌」以提高競爭力的同時，亦彰顯農委會推廣精緻農業和韌性農業的兩大政策目標(行政院農業委員會農糧署，2019)。

二、 作物特性

洋香瓜栽培上依其作物喜高溫多日照、對低溫敏感，若濕度高或降水量多則會導致果肉甜度降低，採收期若日夜溫差大則會增加果肉甜度，因此一般會在 8 月下旬或 9 月上旬颱風季、雨季過後開始種植，可分為秋作、秋冬作、春作三期種植，以秋作為例如圖 2-10，參考臺南區農業改良場技術專刊繪製(黃瑞彰、黃圓滿、彭瑞菊、黃秀雯、陳昇寬、鄭安秀, 2016)，作物從播種至採收，主要生長期可需時二至三個月，秋冬作及春作則生長期順延，唯播種的時間並

不固定，多仰賴農民的經驗傳承與智慧，因此主要生長期可涵蓋 9 月至翌年 1 月。

洋香瓜種植日程(以秋作為例)					
1. 育苗、播種					
2. 定植					
		3. 開花、結果			
		4. 果實成熟、採收			
八月	九月	十月	十一月	十二月	一月

圖 2-10 洋香瓜種植日程(以秋作為例)。

洋香瓜在種植上具有空間集中的特性，最新的統計資料顯示，以 2018 年為例，八成的洋香瓜收穫集中在雲嘉南地區，在所有縣市當中，種植面積大於 70 公頃的鄉鎮有雲林縣崙背鄉、嘉義縣義竹鄉、朴子市及臺南市東山區、後壁區、白河區、鹽水區、將軍區、北門區、七股區、安南區、下營區(行政院農業委員會農糧署，無日期；黃圓滿、黃賢良, 2009)。洋香瓜屬於高經濟作物，種植上朝向精緻化生產，由前述的生長特性與區位集中性可知，若在 9 月至翌年 1 月生長季時，雲嘉南空品區臭氧濃度升高，勢必會對整體洋香瓜的生長產生品質與產量上的危害，進而造成農民的損失。

由於農業生產注重的是相關經驗的傳承與田間的觀察，為了更了解洋香瓜實際種植之經驗與觀察，讓本研究在開始進行量化分析之前，已經充分了解洋香瓜這種作物，因此透過實地訪談的方式，訪談洋香瓜的種植者，在田間管理中洋香瓜的各種細節，為接下來的量化分析建立基礎

三、 實地訪談

本研究以雲嘉南地區，選擇洋香瓜種植面積及產量較大的行政區之農民作為訪談對象，訪談對象所在地包含臺南市七股區、東山區、北門區、嘉義縣朴子市、雲林縣崙背鄉，訪談時間自 2020 年 10 月至 2021 年 1 月，訪談內容包含

洋香瓜自種植投入、種植時間與田間管理、收成與銷售、包含空氣污染之各項危害因素與管理調適手段等，以完整探討洋香瓜自種植至收成的各項細節，了解實際的農地經驗。同時為了解洋香瓜在官方輔導以及專家的看法，本研究針對部分問題，亦訪問臺南區農業改良場的洋香瓜專家，以獲得其專業之意見。

(一)品種選擇

依據訪談內容，現階段臺灣洋香瓜品種推陳出新，經常推出新品種，而主要研發之技術單位為農友種苗股份有限公司，以及官方之行政院農業委員會臺南農業改良場，農民多數皆透過此兩管道取得洋香瓜種子育苗後種植，而此兩單位也會依據現階段需要作為研發新品種之參考，例如七股王先生所種植的香華品種，是跟農友公司購買來的，「我們種植情況會回饋給農友，農友公司會持續研發新品種來適應氣候或病害，我們也會幫農友試」。另外農民也會依據不同的地理環境選擇適合的品種，例如東山的林先生種植較多品種，其中他認為臺南 13 號便是臺南農改場所研發之較好種之品種，而位於崙背洋香瓜產銷班的李先生與廖先生則表示，當地以種植天華品種為主，其他品種「種不太起來，產量不好也不太甜」。顯見在自然環境不斷變化下，洋香瓜之品種也持續改良以適應，並且也有技術能夠針對不同的田間危害研發能克服之品種，而農民也會運用其種植經驗選擇適合品種，此也說明經驗之重要性。

(二)種植時間

洋香瓜普遍生長期為 2 至 3 個月，過去洋香瓜屬冬季農產品，因此多會與其他作物進行輪作，而隨著新品種的研發，種植時間可遍布三期(臺灣的農業管理中，一般將作物種分為三期：第一期作，指 1 月 1 日起至 4 月 30 日種植且在童年收穫之作物、第二期作：指 5 月 1 日起至 9 月 30 日種植且在同年收穫之作物、裡作指 10 月 1 日起至 12 月 31 日種植，並在隔年收穫之作物。)，各地區地理環境、輪作方式不同，種植時間亦大有不同。例如東山地區夏季便會輪作種植水稻，當地農民多至八月分才開始種植洋香瓜，東山林先生表示「有的人

會不同作物轉換著種，有的人乾脆放著讓土地休養半年，或是種一些綠肥，因人而異」，同一地區也是種植洋香瓜的老太太也說「東山夏天沒有洋香瓜，主要是立秋之後開始種，太熱種不起來，連續種也種不起來，夏天會輪作種水稻」，或如朴子地區的農民表示「大概農曆 2、3 月採收去年 10 月種的，之後可以再種一次，但夏季比較不好」，崙背地區則會在 11 月前種植蔬菜。但也有專注於種植香瓜的農戶，如北門的郭先生則表示「除了七八月不會種植外，因為有颱風，其他時間都會種」，顯示在洋香瓜種植上時間較不若以往受限，主因也與新品種研發有關，如光皮品種：卡蜜拉，此為較適應炎熱天氣的品種，可種植至 4、5 月。但綜合訪談結果可以發現，農民皆較偏向於在秋冬種植，並於春季採收。

(三)種植投入

洋香瓜是高經濟作物，市場上批發價自是不低，亦經常看到單顆數百、數千的價錢，也有許多人選擇作為送禮之選項，然而高價值的背後亦是高投入。根據訪談者們提供的資訊，種植洋香瓜的土地多半是向其他人承租的，另外洋香瓜不如其他果樹長年生長，每次種都需要購買新的種子，越高貴的品種單價也越貴，種植後需要架設 PE 塑膠布棚以達到防風、保溫的效果(圖 2-11)，需要定期噴灑農藥、施肥，這些都是需要投入的資材，並且都需要人力幫忙，也需要每天巡視是否有病害發生。部分農戶若有家庭，則農忙時會全家人一起幫忙，其他則需要雇用工人，如崙背的受訪者李先生與廖先生屬洋香瓜產銷班第八班，便表示支出最多的是「請工人，開銷頗大」。



圖 2-11 種植洋香瓜絕大多數都採 PE 隧道式栽培。

需要大量人力、資本投入的原因在於洋香瓜很難照顧，洋香瓜對環境要求甚高，若未細心照顧便容易死去，例如若在種植時未搭棚架，爛果比率會高許多(

圖 2-12)，七股的王先生受訪時亦提到，附近有位老先生的洋香瓜田，因年邁且獨自一人較難作業，僅晚一天架設隧道棚，便因溫差而整片田報銷。其他如環境因素與病蟲害，也使洋香瓜種植日趨困難。另外也點出臺灣農業普遍面臨到的問題：高齡化的現象，例如前述的老先生便是因為年邁而較無法積極管理洋香瓜田，而其他受訪者也提到，洋香瓜種植是需要有經驗的，而具備經驗的農民多已高齡，加上缺工的問題，也是造成近年來洋香瓜種植面積不若以往的原因之一。



圖 2-12 未採隧道式栽培之洋香瓜田。

(四)氣候因素

根據訪談結果，洋香瓜生長期間，溫度是最重要的因子，洋香瓜對溫度敏感，最忌諱的是溫差過大，如七股王先生接受訪談時表示，「前陣子突然冷又突然很熱，便有幾株的生長狀況不好，溫差大的時候葉子會上翹(圖 2-13)，代表該株可能結果時品質會不好」，其他如東山的兩位受訪者也認為溫差影響最大，而北門的郭先生則認為溫差大發生有好有壞，「如果在裂果(網紋產生)的時期溫差大，會導致裂太開無法癒合，但如果是在採收前溫差大，則會讓果實較甜」。



圖 2-13 受溫差影響的洋香瓜，植株上翹。

除了提到溫差之外，部分受訪者也認為極端的溫度，如高溫或寒流，即使有隧道式棚架保護，也會對洋香瓜栽培產生影響，如北門的郭先生也提到高溫影響蠻大的，「高溫使病蟲害問題多，甚至滋生以前沒有聽過的病毒(圖 2-14)，只能用人工方式補救，有些病蟲害出來時可能藥也還沒研發，只能用其他農法補救，這現象在這個季節(秋冬之際)最嚴重」。東山的林先生也說高溫潮溼，洋香瓜容易生病(炭疽病、黑腐病等)，朴子的受訪者則說天氣太熱的話，洋香瓜植株會「瘋攞」。而低溫的影響則如同大部分農作物，太低溫的話便會停止生長，崙背的受訪者接受訪談則剛好提到前陣子的極端低溫，「前陣子很冷升不起來，有些根部比較弱的就死掉了」。



圖 2-14 因高溫而產生不明病害的植株。

由受訪者提供的資訊可知，不管是高溫、低溫或溫差大，皆會對洋香瓜種植產生不良的影響，而在氣候變遷下，這些極端的溫度因素發生的頻率將會越來越頻繁，此因素有可能是造成近年來洋香瓜種植人數越來越少的因素之一。但受訪者也提供了其他的看法，例如東山的林先生分享其經驗，「原本冬天溫度比較低種不太起來，但暖冬反而更好種，產生很多暴發戶，雖然有霸王及寒流，但只要不要影響太多天都可以撐過去」，面對不同的環境因素，農民的調適行為亦可能將害處轉換為益處。

(五)空氣污染

對於雲嘉南地區洋香瓜農民訪談結果之整理，可以發現農民對於空氣污染造成洋香瓜的危害較偏向於可見的污染物質，如懸浮微粒、細懸浮微粒等，例如七股王先生認為會影響到的多半是工廠排放或是中國境外移入之影響，東山林先生則認為空氣污染的影響來自降雨，或是空氣中的灰塵，會覆蓋在葉片上

影響光合作用，北門郭先生則認為某幾年北方的工業區所帶來的空氣污染是當年度歉收的極大原因。由訪談內容中農民對於空氣污染的敘述，可以發現較少提到空氣污染對於洋香瓜造成直接傷害，但都表示空氣污染可能會影響生長情況，如影響光合作用、植株生長、營養不足等，由此證實空氣污染所造成的傷害可能並非直接的急性傷害，而是如同人類的慢性病，使植株健康狀況變差，進而使其容易生病、產生蟲害等。



第三章 研究方法

第一節 研究流程

本研究欲探討在氣候變遷、秋冬溫度上升的情況下，對臭氧的影響，以及臭氧對於洋香瓜所造成的危害，因此在確立研究目的後，透過文獻回顧確認與釐清溫度、臭氧與洋香瓜之間的基本關聯，並選擇在秋冬溫度上升較明顯、臭氧污染相對嚴重，且為洋香瓜主要種植地區的臺灣雲嘉南地區進行本研究。未達本研究目的，預計針對溫度、臭氧、洋香瓜等相關資料蒐集，後進行量化分析與實地訪談。

為了解研究區秋冬溫度與臭氧之關係與未來洋香瓜面對臭氧之風險，在量化分析的部分將先就研究區秋冬，即9月到1月的溫度與臭氧之歷史觀測資料進行分析以建立溫度與臭氧之模式，並以該模式進行未來推估，同時以臭氧暴露指標衡量研究區內洋香瓜暴露於臭氧危害中的風險。由於農業生產講求經驗的累積，且部分在田間所觀察到的現象難以數據資料進行紀錄，因此研究也針對洋香瓜農友、洋香瓜專家等進行訪談與紀錄。綜合量化分析與實地訪談之結果，進行後續討論，完成本研究之目的，並對未來研究提出建議(圖 3-1)。

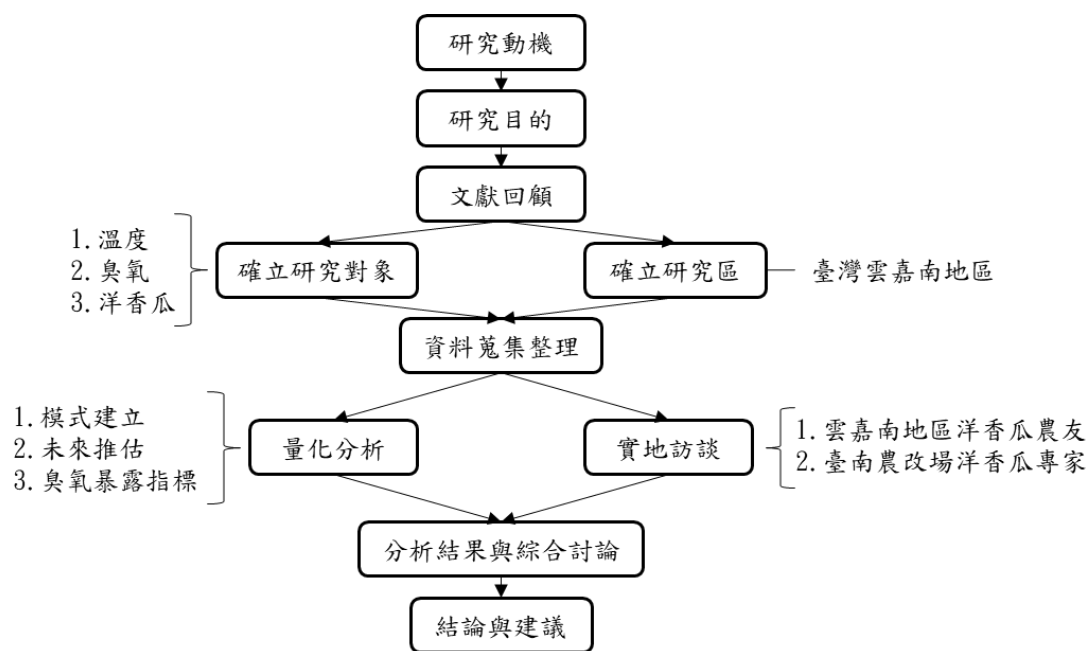


圖3-1 研究之研究流程圖



第二節 研究區域簡述

本研究為完成研究目的，選擇以臺灣的雲林縣、嘉義縣、嘉義市、臺南市地區做為研究區。由於本研究目的欲分析過去溫度與臭氧之間的關聯，以及臭氧對洋香瓜的影響，考量到溫度、空氣資料的正確性與完整性，以及臺灣洋香瓜的主要產地，因此選擇由行政院環保署所劃分的八個空品區中的雲嘉南空品區所涵蓋之雲嘉南地區，作為本研究的研究區域(圖 3-2)。

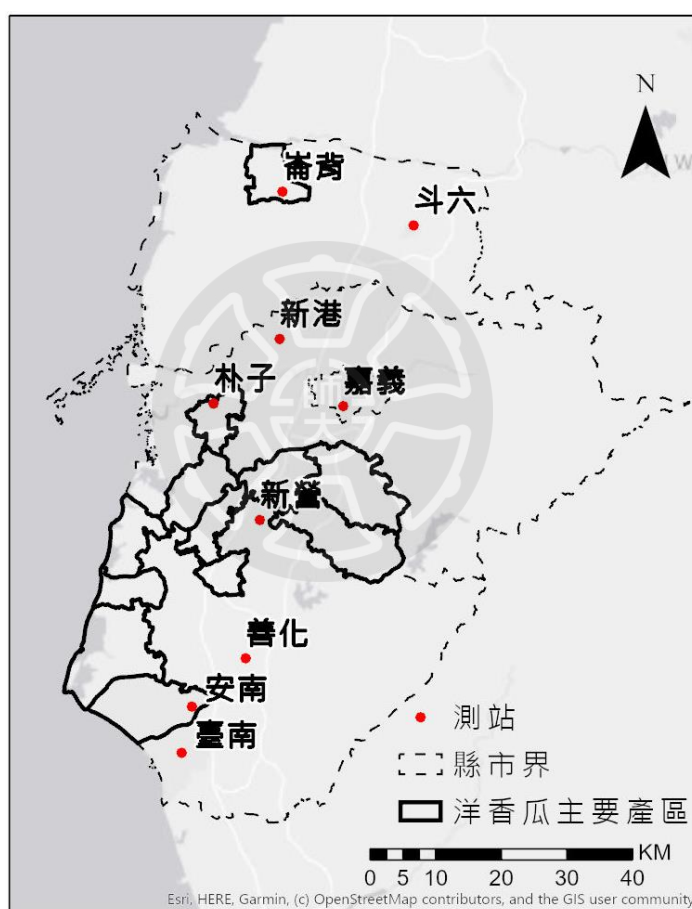


圖 3-2 洋香瓜主要產區及雲嘉南空品區空氣品質一般測站位置圖。(圖資來源：政府資料開放平台)。

由於臭氧之生成來自於前驅物的光化學反應，而前驅物在空氣中的移動與擴散與風有相當大的關係，若一地之平均風速較大，前驅物容易被風帶離，不易在當地形成臭氧，因此為確認研究區受到風之干擾程度，將研究區之環保署

空氣品質監測站共八站，所偵測到之 9 月至 1 月平均風速與風向繪製成風玫瑰圖 (Wind Rose)。

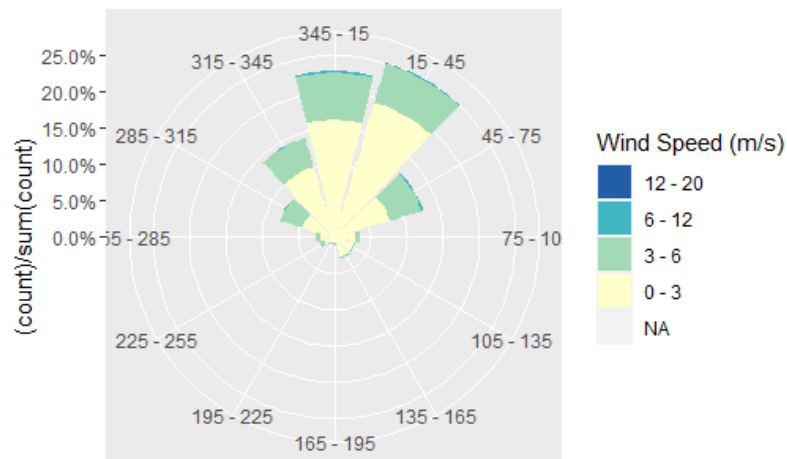


圖 3-3 臺南測站風玫瑰圖。

以臺南測站為例，由圖 3-3 可知，研究區之秋冬季風向大多來自東北風與北風，且大部分時間都屬於風速微弱的狀態，甚至是接近無風的狀態，因此以整個 9 月至 1 月來看的話，臭氧生成受風之影響可能性相較於夏季較低，而受當地地理環境以及在地前驅物質多寡影響較大。

第三節 資料來源

本研究所需資料主要有雲嘉南地區歷年溫度監測資料、歷年臭氧監測資料以及洋香瓜生產相關資料。研究區內由行政院環保署架設之測站共十一站，排除掉因架設位置特殊，而可能導致數值受到不正常干擾的工業測站及交通測站，以及距離洋香瓜主要產地過遠的斗六測站，共有 8 個測站的資料(崙背、嘉義、朴子、新港、安南、善化、新營、臺南)，由於架設年代不盡相同，臺南測站資料選取自 1984 年至 2019 年、嘉義測站資料選取自 1986 年至 2019 年，其他測站則選取自 1993 年至 2019 年(行政院環境保護署，無日期)，同時採取各站所監測之溫度與臭氧資料，以避免因測站地理空間分布不同，所產生在分析上的誤差。

未來推估所需之資料為雲嘉南地區未來的溫度數值，用以推估未來臭氧的變化，此部分所採用之資料為 TCCIP 所提供之氣候模式模擬資料，該資料將氣候模式共 34 個模式進行降尺度處理，以每個網格五公里的空間尺度呈現未來溫度推估結果，並且有提供現在至 2100 年氣候模式每日平均氣溫資料，資料細緻適合本研究進行推估之需求。

洋香瓜有關生產的相關資料，來自行政院農業委員會農糧署的農情報告資源網之公開資料，可蒐集最早自 1997 年至 2018 年各縣市、鄉鎮的洋香瓜種植面積、收穫面積以及收穫量之資料(行政院農業委員會農糧署，無日期)。另外有關洋香瓜田間管理之細節，預計以實地訪談與紀錄得到相關資料。

第四節 資料概述

為完成研究目標，找出過去雲嘉南地區溫度與臭氧之間的關聯，需進行資料比對。以記錄資料時間最長的臺南測站為例，進行 1984 年到 2019 年，9 月至 1 月共 153 日的溫度與臭氧每日的距平，所繪製之熱圖進行初步對照(圖 3-4、圖 3-5)，藍色代表低於平均值，紅色代表高於平均值。

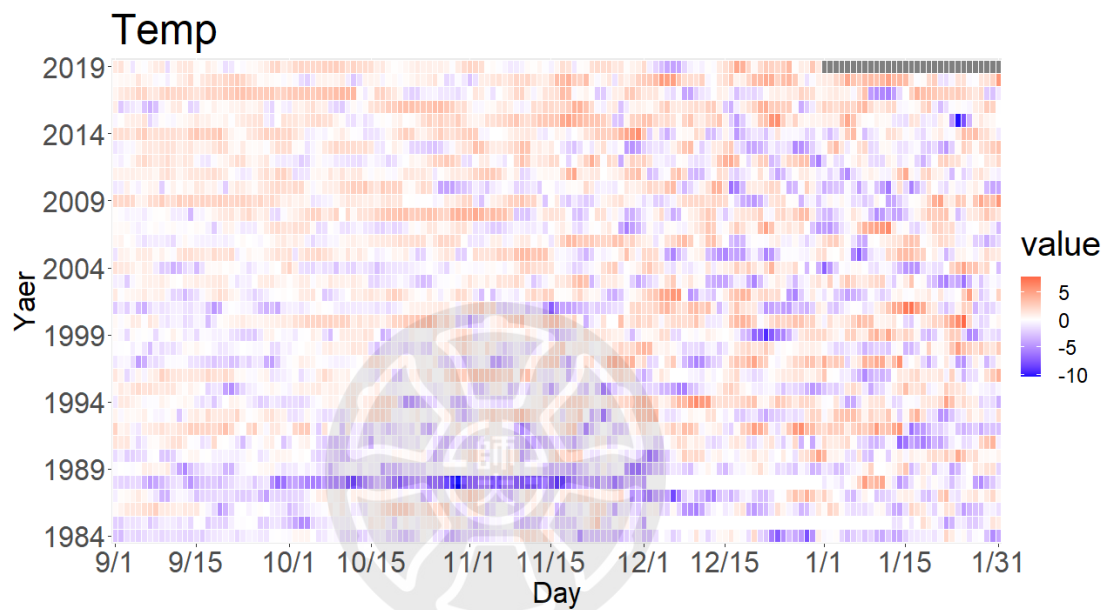


圖 3-4 1984 年至 2019 年，9 月至 1 月溫度每日距平(單位：℃)。

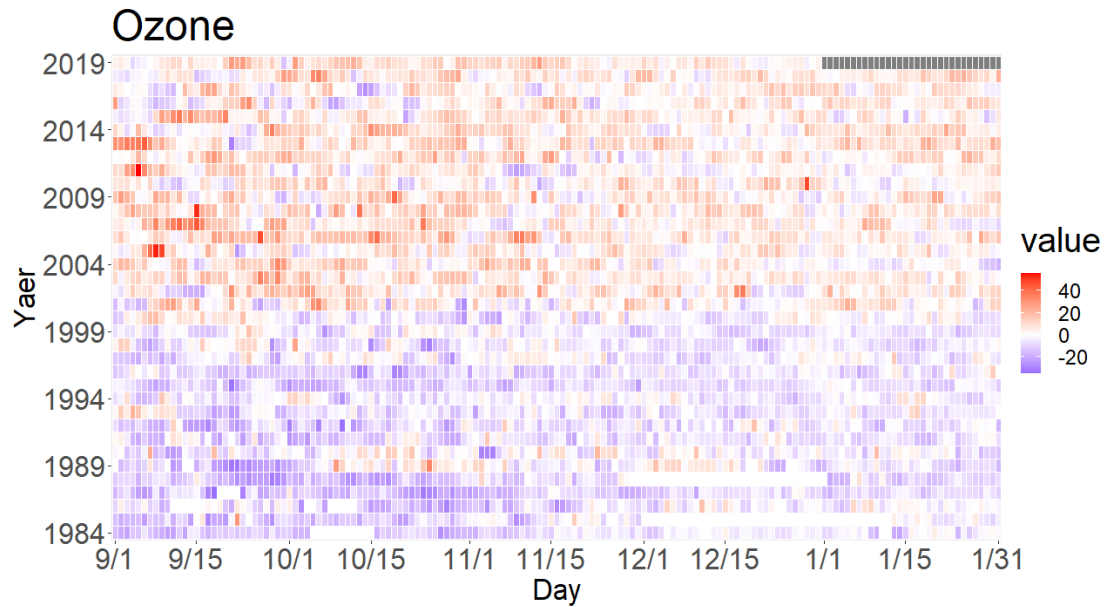


圖 3-5 1984 年至 2019 年，9 月至 1 月臭氧每日距平(單位：ppb)。

由上兩張圖可以發現隨著年份的推進，臭氧逐漸從低於平均變成高於平均，顯示逐年增加的趨勢，而溫度亦同。

為了瞭解溫度與臭氧之間的關聯，同樣以臺南測站為例，將 1984 年到 2019 年每日溫度與臭氧，標準化後之離散程度繪製成散佈圖，以橫軸為溫度、縱軸為臭氧，並以零為基準劃分為四個象限，扣除變異不明顯的值，以 0.7 個標準差作為基準(共 1335 日)，約可以代表臺南測站樣本約一半的離散程度，又可以保留一定數量的樣本，使估計具有代表性。同時為了區分時間的變化，將所有年份的資料分為前半段與後半段，前半段 1984 至 2002 年以藍色表示，後半段 2002 至 2019 年以紅色表示，繪製成圖 3-6。

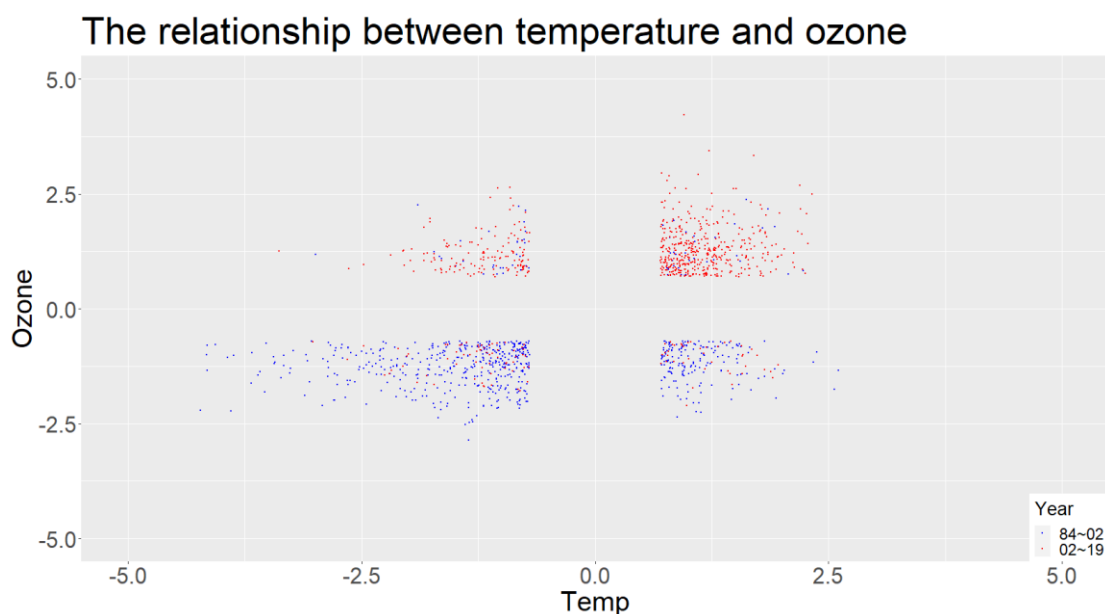


圖 3-6 1984 年到 2019 年每日溫度與臭氧，標準化後之離散程度散佈圖。

由圖 3-6 可以看出以下兩結果

(一)第一與第三象限點之數量(共 954 個樣本)較第二與第四象限(共 380 個樣本)多，顯示雖然臭氧形成的影響因素很多，且溫度與臭氧並非簡單的線性關係，但溫度仍是一個非常重要的影響因素。

(二)前半段的點集中於下半部，後半段的點集中於上半部，顯示現今溫度與臭氧濃度確實較過去升高。

然而不同測站溫度與臭氧的關係可能會因地理因素而有不同的變化，因此本研究預計利用上述初步資料概述之結果，尋找溫度與臭氧之間的變化模式，以完成本研究之研究目的。

第五節 實地訪談

為了解過去臺灣是否發生臭氧危害，以及洋香瓜農民是否對臭氧危害有所感知、預防及調適，除了進行資料的分析之外，亦需要了解農民之實際種植經驗，且農業是一項受當地地理環境影響很大的產業，為因應不同的地理環境，在田間管理中不同地區、甚至不同農戶都有不同的操作技術，面對危害也可能有不同的調適策略，此部分較難以數據分析或文獻回顧得知，因此本研究將對研究區之洋香瓜農民進行訪談，訪談對象則透過網路搜尋並聯絡業已做出口碑之農戶，或聯絡當地農會協助介紹，以訪談之結果作為數據分析前之輔助，並在量化分析之後綜合兩者之結果進行討論，以健全本研究。





第四章 結果與討論

第一節 過去溫度與臭氧之分析

為達成本研究之目的，透過溫度對研究區之臭氧作未來情境之推估，首先必須先了解研究區在過去觀測資料中，溫度變化對臭氧濃度之影響，分析之步驟如下：

一、 資料篩選、異常值去除

為達成分析之目標，首先對資料進行篩選與整理。本階段所採用之資料為行政院環保署所建立之空氣品質監測站所觀測之資料，在研究區共有 8 個測站（崙背、嘉義、朴子、新港、安南、善化、新營、臺南）之臭氧與溫度資料，各測站所監測之時間範圍因其架設年代不同而有所差異，並針對資料缺失、監測失準或異常值進行剔除。而由於大氣中臭氧濃度變化迅速，因此採用資料時間尺度為每小時之資料，以確保能觀察到其瞬間變化。本階段資料為利用 Microsoft Excel 進行資料整理與排列，使每小時之臭氧對應到相對應之溫度值。

臭氧對植物生長的影響，由文獻回顧可知，只要瞬間的濃度偏高便會產生傷害，且大氣中臭氧變化迅速，一天中之臭氧濃度變化頗大，因此本研究選取一天 24 小時中臭氧濃度最高值，作為代表與其相對應之溫度進行比較。另外由於降雨會使大氣中之臭氧濃度受到影響，因此本研究透過降雨資料排除當小時中有降雨現象之資料，但由於研究區之氣候特徵，所排除之資料數並不多，亦能保持資料的完整性。

二、 情境分類

由前述文獻可知，由於光化學氧化機制，大氣中臭氧生成之情境大致可分為兩種情境：NO_x-limited（氮氧化物控制臭氧生成）以及 VOC-limited（揮發性有機物控制臭氧生成）如文獻回顧中圖 2-2 之關係，由於測站與測站之間之地理

環境等皆有所差異，僅以單一之情境分析可能造成資料混雜，無法觀察到實際之情形，因此本研究參考圖 2-2 之劃分，以 $\frac{\text{VOC}}{\text{NO}_x} = 8$ 作為劃分界線，並利用各測站所觀測之現有 VOCs 與 NO_x 資料之比值，將各測站之資料分為兩種情境。

(六)NO_x-limited

本情境為氮氧化物控制臭氧生成之情境，以 $\frac{\text{VOC}}{\text{NO}_x} > 8$ 作為篩選依據，溫度與臭氧之關係呈現如圖 4-1。

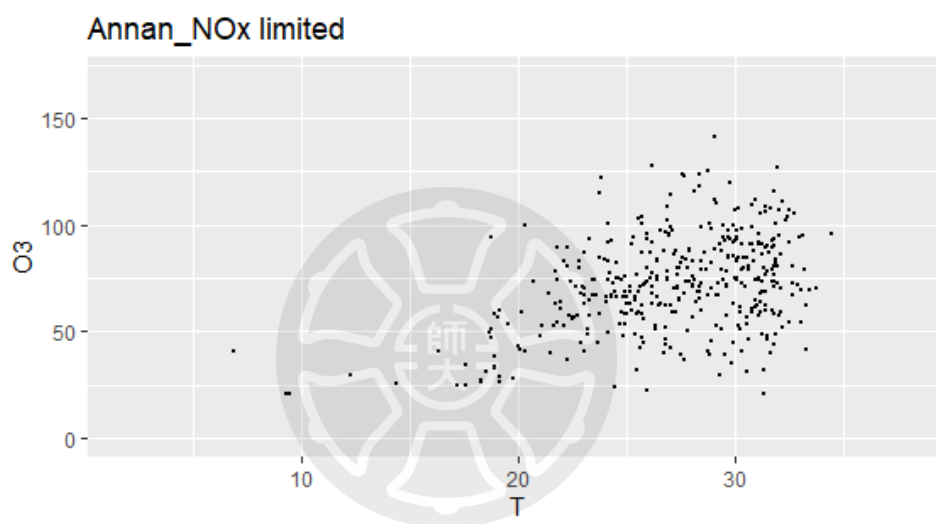


圖 4-1 安南測站氣溫與臭氧關係圖(NO_x-limited)。

(七)VOC-limited

本情境為揮發性有機物控制臭氧生成之情境，以 $\frac{\text{VOC}}{\text{NO}_x} < 8$ 作為篩選依據，溫度與臭氧之關係呈現如圖 4-2。

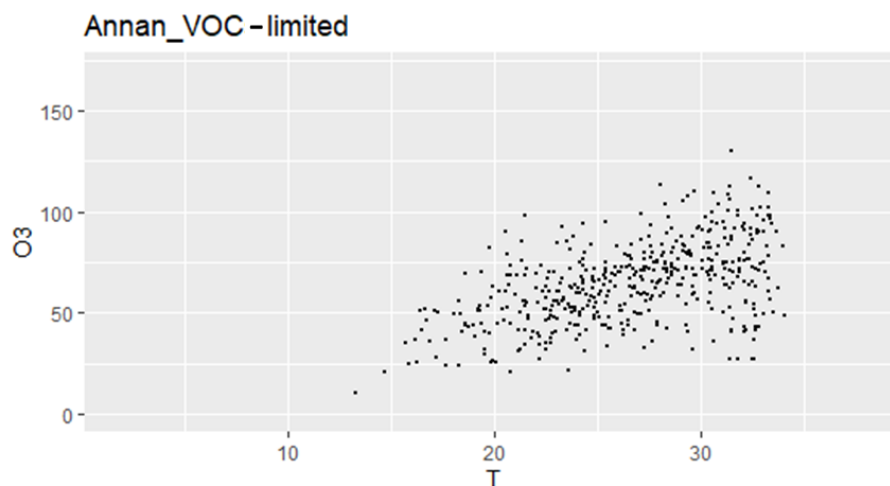


圖 4-2 安南測站氣溫與臭氧關係圖(VOC-limited)。

由兩情境的散佈圖可以觀察到分布略有不同，但尚未進行詳細的分析前較難掌握兩者之間之差異，而此部分的分析將在後續進行。

本研究依據能取得之現有資料進行情境劃分，然受限於測站觀測資料之限制，部分測站對此二項前驅物並沒有觀測、或觀測時間不完全而無法完全分類情境，僅有 6 個測站能夠進行情境分類，則為本研究之限制。

三、 資料整理

臭氧在大氣中屬於光化學氧化之二次污染物，容易因些微之環境變化而使濃度發生明顯差異，因此為使資料中溫度與臭氧之變化關係容易觀察，將臭氧資料取自然對數，標記為 $\ln O_3$ 呈現如圖 4-3、圖 4-4，使臭氧變化更容易觀察到，亦更容易進行分析。

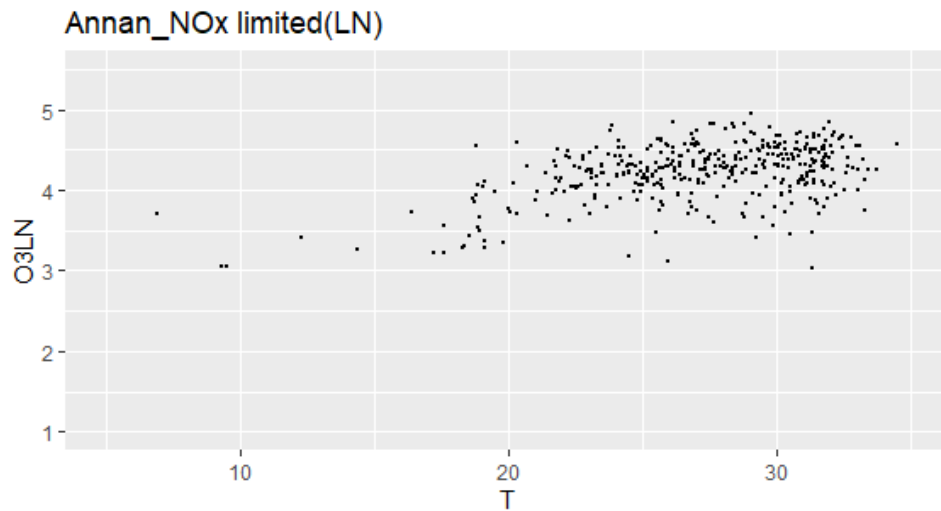


圖 4-3 安南測站氣溫與臭氧(自然對數)關係圖(NO_x-limited)。

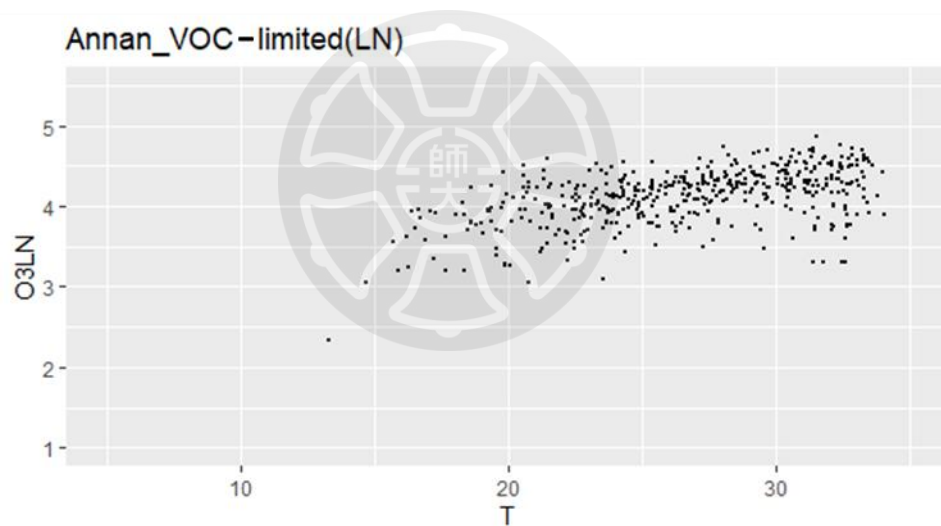


圖 4-4 安南測站氣溫與臭氧(自然對數)關係圖(VOC-limited)。

四、 資料分析

資料在分類情境及整理後，將資料以散佈圖呈現。除了一般的線性函數外，為獲得溫度與臭氧之間更適配之模式，利用統計軟體 R Studio 進行模式之篩選，將兩種情境之散佈圖與函數曲線(以不同顏色代表不同函數之曲線)，以 T(溫度)為自變數，lnO₃ 為依變數測試之函數包含：

- ①簡單線性函數 $y = a + bx$ (黑色)
- ②漸進函數 $y = a + bx^{-1}$ (紅色)
- ③二次函數 $y = a + bx + cx^2$ (藍色)
- ④三參數之漸進函數 $y = a - (a - b)\exp(-cx)$ (綠色)

呈現如圖 4-5、圖 4-6，並將各函數(以代號表示)與其統計值表列如表 4-1、表 4-2(* $p < 0.5$, ** $p < 0.1$, *** $p < 0.01$ 、 $r^2(\text{adj.})$ ：調整後 R 平方、 resid^2 ：殘差平方)，以粗體代表所選取使用之函數，另善化與新港測站因無相關前驅物之監測資料，因此不進行情境分類。

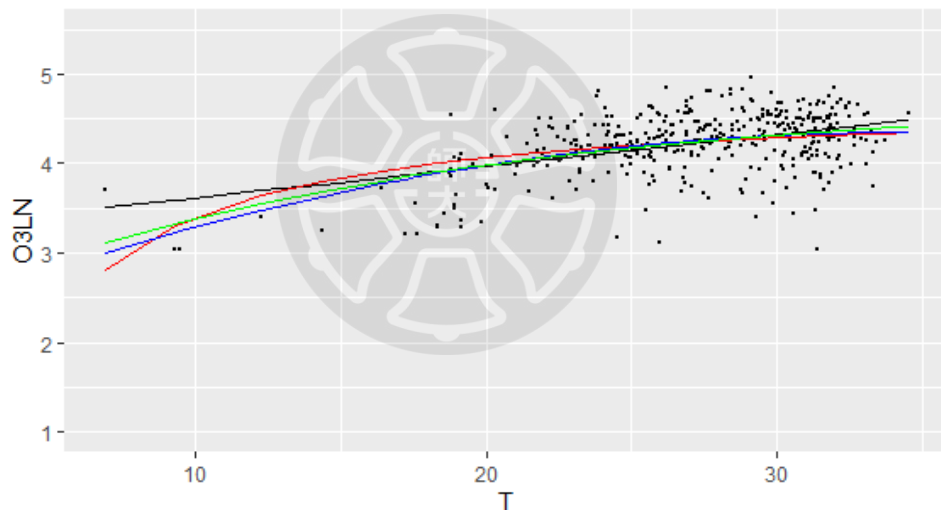


圖 4-5 安南測站 NOx-limited 情境散佈圖與函數比較圖。

表 4-1 安南測站 NOx-limited 情境各函數之參數。

函數	①	②	③	④
a	3.262144***	4.73371***	2.2289277***	4.72959***
b	0.035392***	-13.33031	0.1238543***	2.28635***
c			-0.0018104***	0.05932***
$r^2(\text{adj.})$	0.1956			
resid^2	38.9588	39.8006	37.48208	37.95497

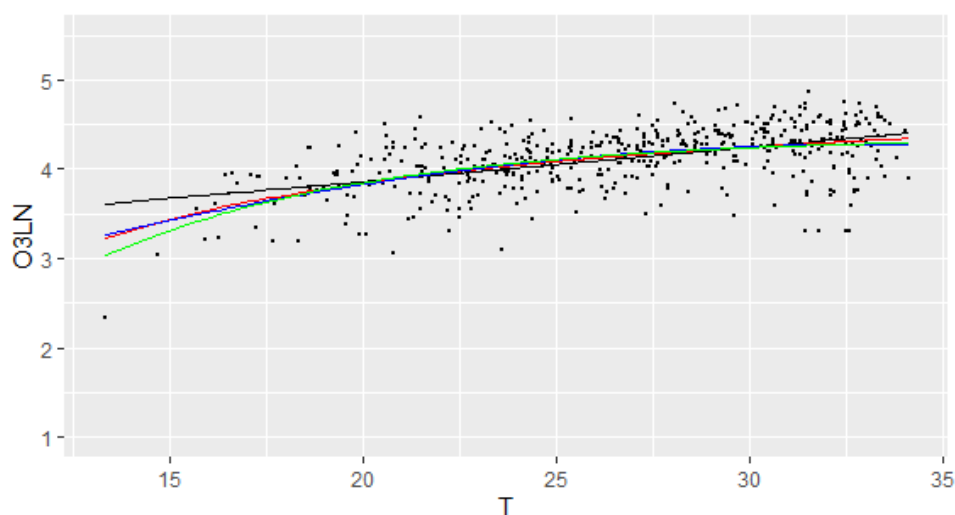


圖 4-6 安南測站 VOC-limited 情境散佈圖與函數比較圖。

表 4-2 安南測站 VOC-limited 情境各函數之參數。

函數	①	②	③	④
a	3.094738***	5.0562***	1.4277515***	4.36959***
b	0.038373***	-24.2240***	0.1720552***	-4.28728
c			-0.0025952***	0.14056***
$r^2(\text{adj.})$	0.2614			
resid ²	40.21118	38.61914	38.6434	38.42798

分析結果表明，溫度的上升大致上對臭氧濃度的提高有著正面的效應，符合文獻回顧以及研究假設，但由各測站散佈圖可以發現，當溫度上升至超過三十度，臭氧濃度似乎皆有下降的情況，下降的之濃度則程度不一。

由於研究區在空氣品質監測上被劃設為雲嘉南空品區，屬於同一空品區，某種程度上具備一定程度的地理相似性，僅觀察研究區較難以比較臭氧生成之特性，因此本研究以其他空品區作為對照組，同樣繪製散佈圖(圖 4-7、圖 4-8)以比較與研究區之差異，進而推論出高溫時臭氧濃度略為下降的可能原因。

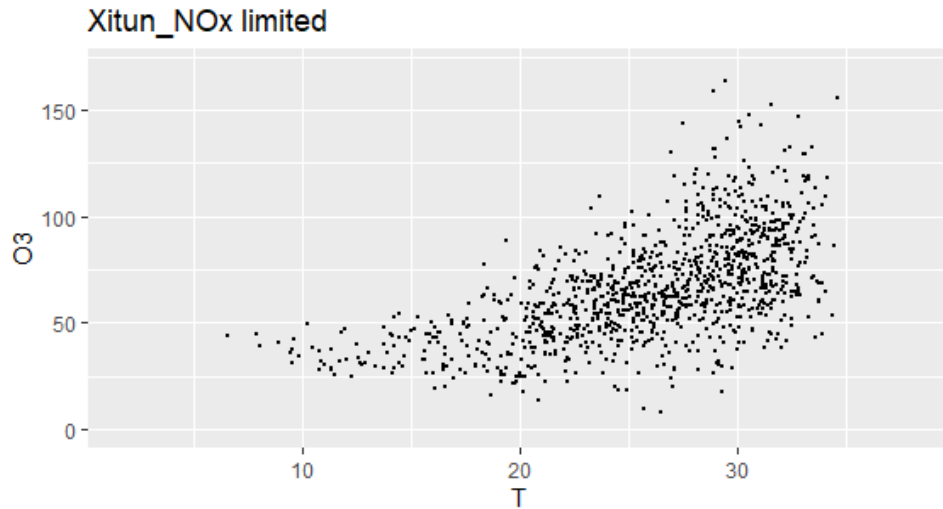


圖 4-7 西屯測站氣溫與臭氧關係圖(NOx-limited)。

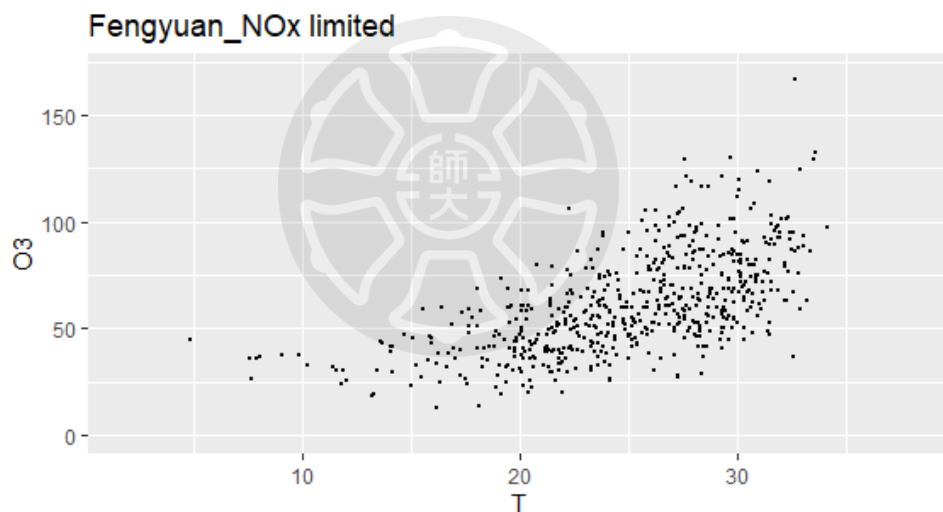


圖 4-8 豐原測站氣溫與臭氧關係圖(NOx-limited)。

以中部空品區的兩個測站：西屯及豐原測站作為比較，可發現此二測站在高溫時臭氧下降的表現較少，臭氧大多隨著溫度提升持續上升，以此與雲嘉南空品作為對照，可以發現臭氧除了受到溫度影響外，亦有其他地理因素之影響，且臭氧之生成亦仰賴前驅物，若該地區之前驅物來源少時，即使在高溫的情況下，缺乏臭氧生成的前驅物，也不會有高臭氧的情況發生。

五、 小結

由研究區過去溫度與臭氧的觀測資料，本研究獲得研究區溫度與臭氧之間的關係，結果顯示在溫度上升的情況下，臭氧確實有上升的情況，兩者之間為正相關。在未來氣候變遷的情況下，透過氣候模式已可預估未來各地的溫度變化，因此透過前項分析所獲得的函數，依據其係數之顯著性以及殘差平方挑選最適配的函數，便可用來推估在未來溫度變化下，臭氧會如何變化。



第二節 未來情境推估

本研究欲探討在未來氣候變遷之下，溫度變化影響臭氧，進而對洋香瓜所產生的影響，因此於前一節所獲得之溫度與臭氧之關係式，將套用於現有氣候模式所推估之未來溫度變化，用以推估未來臭氧的變化。本節將說明本研究所設定之未來情境，包含所採用之資料，以及推估結果之討論。

一、 情境設定

(一)氣候模式與情境

本研究採用之資料為由 TCCIP 所提供之氣候模式降尺度資料，共有 34 個氣候模式，提供現在至 2100 年氣候模式模擬過去與推估未來之日尺度平均氣溫資料，為針對臺灣各地區進行氣候模式之推估結果，較能符合各地之特性。如同文獻回顧所述，目前在推估氣候變遷時，由於未來會根據人類採取的調適行為而有不同的發展，在定義未來情境時以四種 RCPs 來代表不同的人為排放情境，分為 RCP2.6、RCP4.5、RCP6.0 與 RCP8.5，在 TCCIP 所提供之各模式的資料中，並非每個模式皆有四個情境(臺灣氣候變遷推估資訊與調適知識平台, 2021)。

考慮到模式皆有不確定性，可能有高估或低估的情況，較佳的方式為將所有模式的結果取平均值，因此本研究將計算所提供之所有氣候模式以及情境，並將計算結果整合繪製成盒鬚圖(Box plot)，盒鬚圖相關統計值表示方式如圖 4-9，同時亦可比較各濃度路徑之最大值(Max)、最小值(min)、第一四分位數(Q1)、中位數(Q2)、第三四分位數(Q3)與平均數，以及如四分位距(Q3 與 Q1 之差值)、全距(Max 與 min 之差值)等代表樣本之間離散程度的數值，可用以了解其在離散程度上的差異，若離散程度越大，代表模式之間預測之結果差異越大，存在更大的不確定性。以盒鬚圖呈現可以減少以單一模式推估之不確定性，並獲得較穩定之結果。

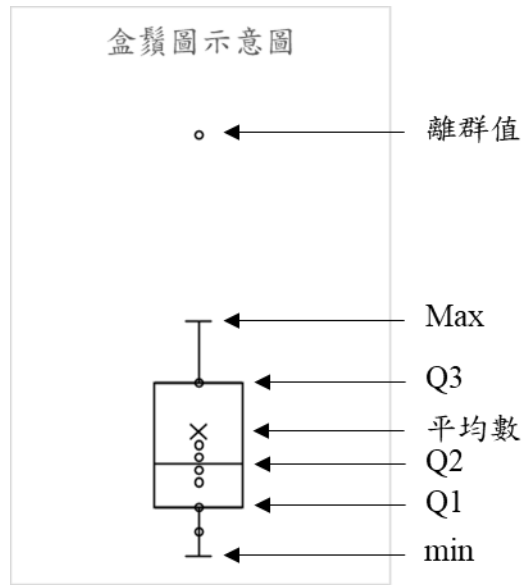


圖 4-9 盒鬚圖及其代表統計值。

(二)推估區域

本研究所選定之研究區為洋香瓜主要之產地：雲嘉南地區，而前一節所分析之溫度與臭氧之資料來源為環保署之八個測站，各測站之間在地理因素上可能有所不同，分析結果亦顯示各測站溫度與臭氧之關係不盡相同，因此本研究將各測站所得之關係式，須個別套用至測站所在之位置所推估之未來溫度變化，以獲得最符合地域特性之推估結果。

為符合上述，本研究採用 TCCIP 所提供之相關溫度降尺度網格資料，該資料特點在於將觀測以及氣候模式推估之溫度，透過降尺度方式將空間尺度縮小至五公里之網格，選用各測站所在地之所在網格，可用於推估更細部的溫度變化差異，符合本研究之需求。

(三)推估時間之尺度

在時間尺度上，採取的資料區間為 9 月到 1 月份的日均溫資料，另為了更了解不同生長季之間在未來氣候變遷的差異，本研究另將時間分為 1 月、9 月及 10 至 12 月，分別代表農業生長季中第一期、第二期及裡期之時間區間，將能更了解不同期之間洋香瓜生產受影響之程度是否有明顯差異，因此共可得到

四個時間區段的推估結果。

二、 基期

如同文獻回顧所述，在推估未來變遷時，多是將結果與氣候基期比較變化量，而各氣候模式在推估未來溫度變化時，所使用的範圍也相同，且各模式所考慮的氣候因子不同，所得之結果亦有所差異，因此推估未來氣候變遷的關鍵在於，模式的未來推估結果與氣候基期之間的差距，以了解在該模式模擬下未來的變化，亦可觀察測站之間是否有所差異。同時為比較過去與未來之臭氧變化，亦將基期的氣溫換算成臭氧，以提供與未來臭氧之距平計算。

(一)歷史氣溫表現

本研究依據 IPCC AR5 之設定，將基期之時段設定為 1986-2005 年，代表各測站過去平均溫度之表現，以此作為模式之氣候基期，以計算與未來之差距，並先將氣候基期結果亦繪製成盒鬚圖圖 4-10，觀察各模式在基期的表現是否有明顯的差異。

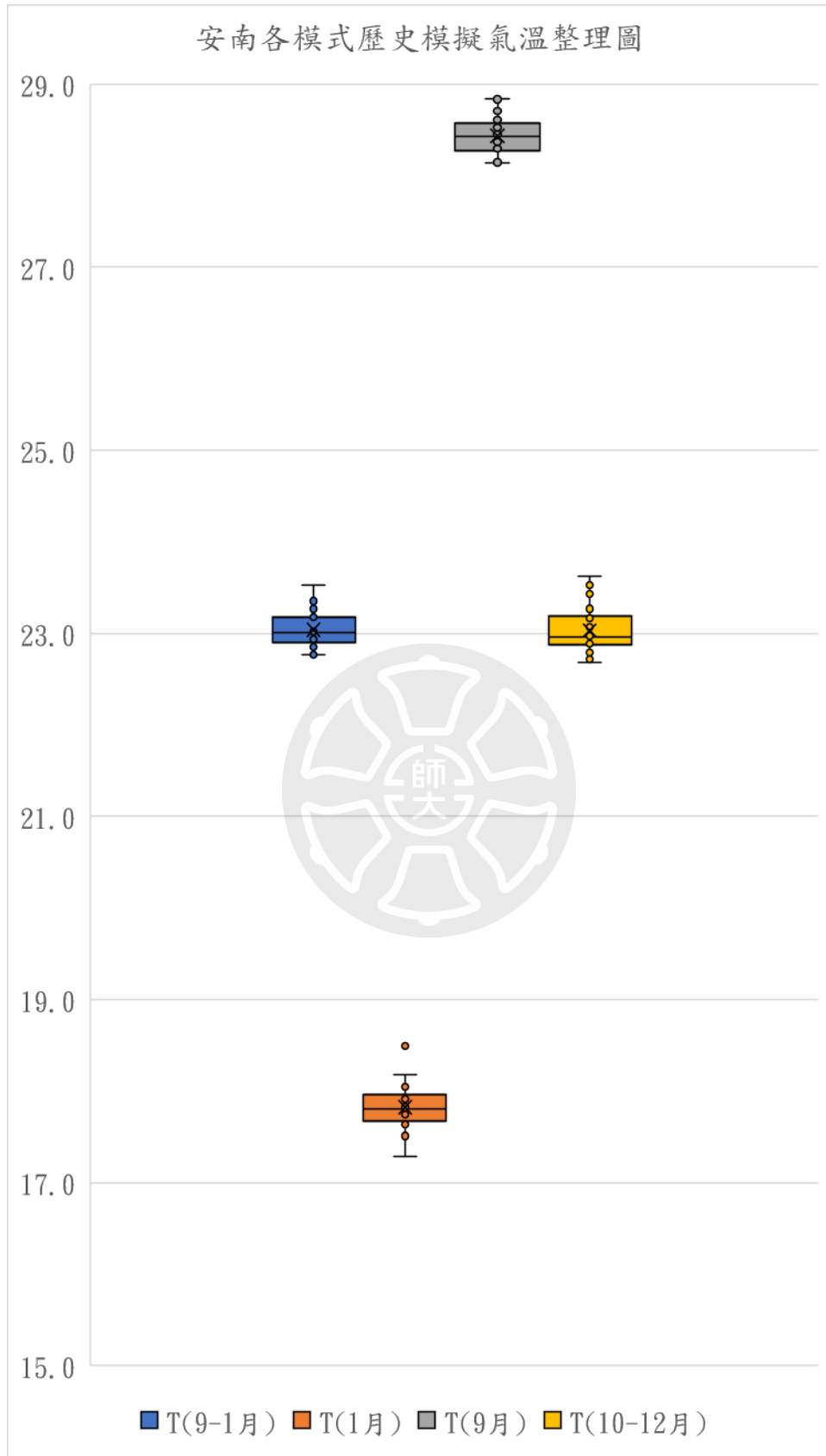


圖 4-10 安南測站氣溫之各模式歷史模擬整理圖(單位：℃)。

以安南測站為例(圖 4-10)，將氣溫之歷史模擬繪製成盒鬚圖後，可從圖觀察到 9-1 月平均氣溫約 23 度，1 月約 17 度，9 月約 28 度，10-12 月則約 23 度，其中較離散的為 1 月，顯示在接近春天時的天氣狀況較不穩定，使氣候模式在模擬時差異較大，但整體而言，各模式在基期的氣溫模擬中差異皆在 1 度以內，彼此之間差距不大，代表不同模式在模擬過去之氣溫時結果相近。

(二)歷史臭氧推估

本研究欲透過氣溫變化計算臭氧變化，因此將每日均溫透過前一節獲得之氣溫與臭氧之關係式換算，計算出在基期時之臭氧濃度，以了解現階段之臭氧概況，同時因臭氧的生成有 NO_x-limited 以及 VOC-limited 兩種情境，兩種情境如前一節所示，有不同的氣溫臭氧關係式，因此透過展現兩情境的臭氧概況，亦可比較情境之間的差異，將計算結果繪製如圖 4-11，以進行比較。



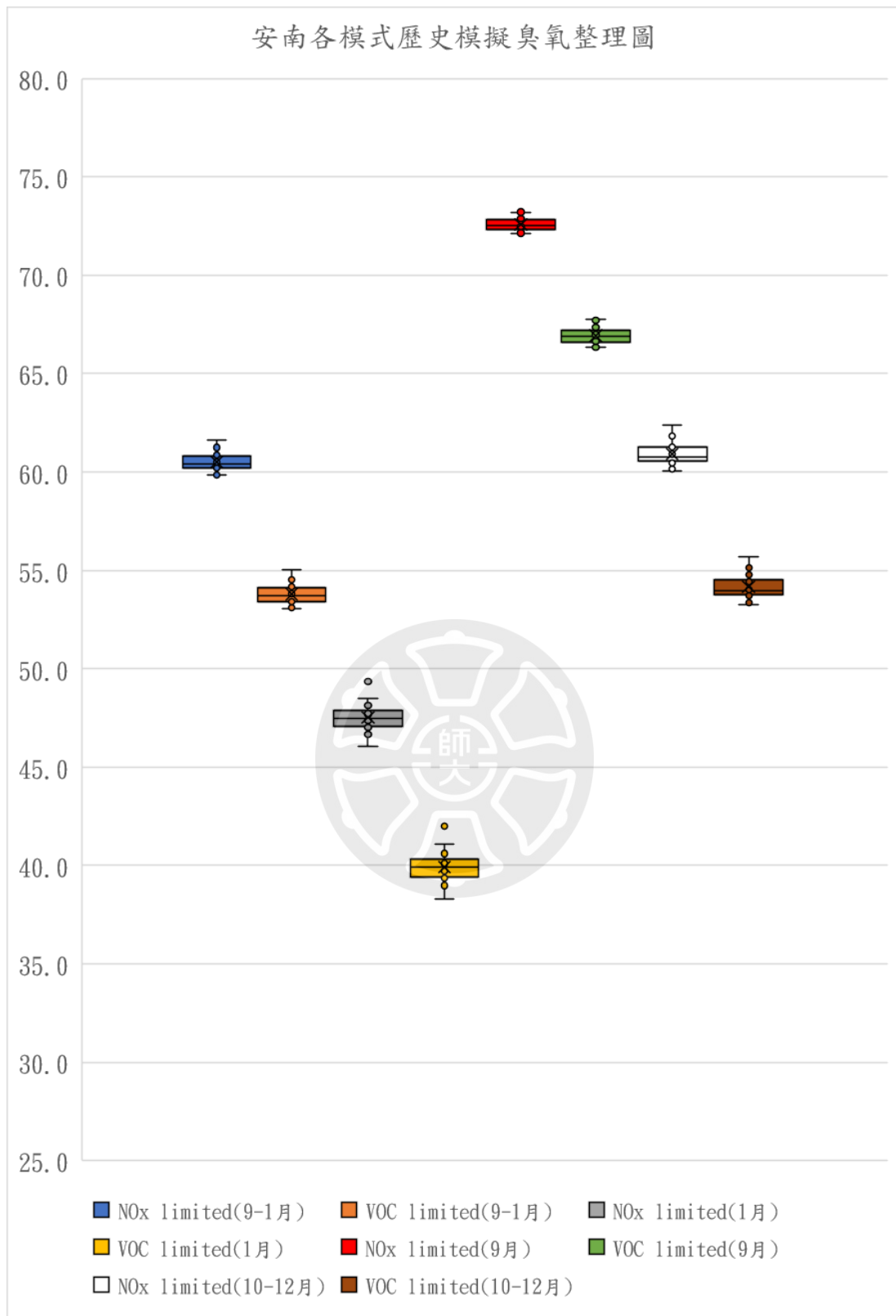


圖 4-11 安南測站臭氧之各模式歷史模擬整理圖(單位：ppb)。

由圖 4-11 可知，臭氧的高低大致隨著氣溫變化，同樣在 9 月氣溫最高時，臭氧濃度也最高，較低溫的 1 月臭氧濃度也相對較低。但相較於氣溫，臭氧的離散程度較大，此結果顯示細微的氣溫變化便會大大的影響臭氧的濃度，亦即臭氧在生成的時候對氣溫的變化是非常敏感的。

另外在圖 4-11 中亦可發現，兩情境中 NO_x-limited 的臭氧濃度明顯高於 VOC-limited，顯示該測站在臭氧生成的的情境中可能偏屬於受到氮氧化物限制的情境，使得臭氧在生成時。若觀察其他測站的話，則可發現測站之間的差異，例如崙背測站臭氧之歷史模擬，由圖 4-12 可以明顯觀察出在崙背測站除了 1 月之外，其餘時間皆是 VOC-limited 高於 NO_x-limited，不僅顯示出測站之間具有地理環境因素之差異，在不同的時間、月份、季節也會有不同的情境與限制因素。



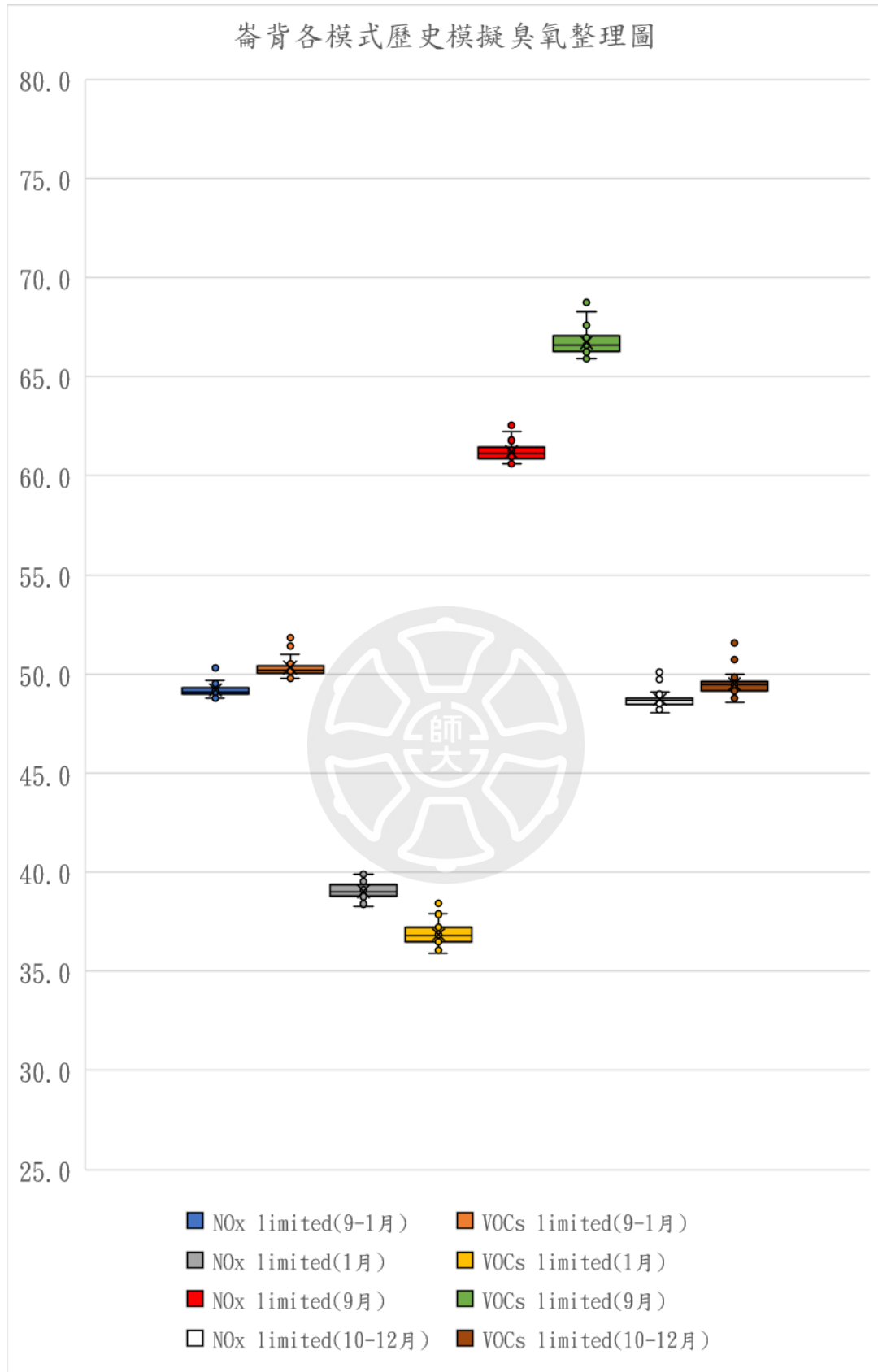


圖 4-12 崙背測站臭氧之各模式歷史模擬整理圖(單位：ppb)。

(三)小結

透過研究區氣溫與臭氧的基期表現，可以發現各測站的表現不盡相同，此部分可解釋為各測站的地理環境因素不同，在氣溫與臭氧的表現上呈現出不同的特徵，顯示在進行未來推估時，將空間上的差異明確區隔出來較佳，且測站之間並不適合直接進行比較，在後續未來推估的結果應先加以調整與處理，使比較更具有意義。

三、 未來推估設定

透過前段的氣候基期比較，說明各測站在氣溫與臭氧的表現上有不同的表現特徵，因此在未來推估時，以距平來呈現會使推估結果更具有意義，距平為將未來推估的數值減去氣候基期的數值，代表未來與現在的差距，以呈現出在氣候變遷下之差距與變化。

氣候模式在未來推估上分有不同的濃度路徑，本研究將各濃度路徑區分，將四個濃度路徑整合為同一張盒鬚圖，以觀察不同的濃度路徑下預測未來變化的差異，並以不同的顏色呈現，由圖所示，將 RCP2.6 為設定綠色、RCP4.5 為黃色、RCP6.0 為橘色、RCP8.5 為紅色，後續皆亦同。

TCCIP 所提供之未來推估的降尺度日資料為現在至 2100 年每年的資料，若將各年結果直接呈現，數據過多且不易看出整體變化，因此在未來推估上，本研究參考 IPCC AR5 中，將 TCCIP 所提供之模式推估數據進行時段劃分，個別資料再扣除氣候基期得到平均後，將資料分為近未來(2020-2035)、世紀中(2046-2065)及世紀末(2081-2100)三時段，各時段之資料為該時段的資料平均，除能達到資料縮減、呈現出更簡潔的結果以觀察出未來更整體的變化，另外亦可比較個別濃度路徑在不同時期的變化。

另外為了確保結果之可信度，需先檢視各模式中是否有特異值或特別離群值，若有特別離群的模式分析結果，將影響整體的分布，經檢視後之結果以安南測站為例如圖 4-13：

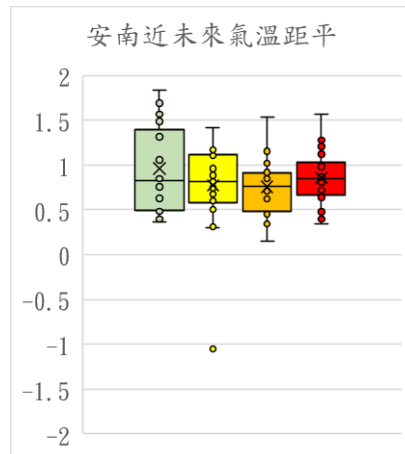


圖 4-13 安南測站近未來氣溫距平盒鬚圖。

從圖中可發現在 RCP4.5 有存在一離群值，與其他模式預測相差甚遠，且在所有模式預測未來氣溫距平為正時，只有此模式為負，此模式為 CMCC-CMS 模式，在 TCCIP 所提供的資料中僅有 RCP4.5 一濃度路徑的資料，且詳細檢視所有測站，該模式皆有離群的現象，使盒鬚圖在呈現時不易觀察各模式的分布情況，為避免影響分析結果，使後續分析更加清晰，決定將此一模式之推估結果移除，後續案例圖呈現皆不包含 CMCC-CMS 模式。

四、 未來氣溫推估結果

本階段之分析結果為將未來推估數值扣除基期數值之結果，以下分別進行分析與討論。

(一) 未來氣溫推估：9-1 月

1. 近未來氣溫推估

近未來為 2020 年至 2035 年之推估結果，顯示在未來幾年最有可能發生的變化，為較立即的變化。

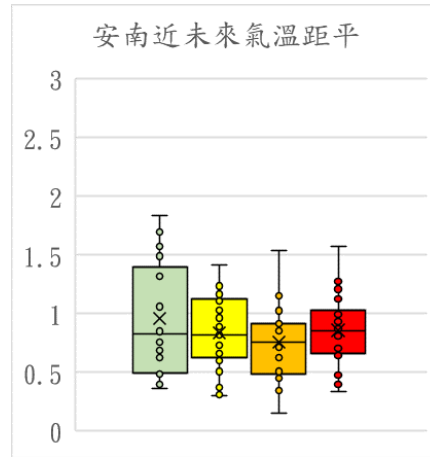


圖 4-14 安南測站近未來氣溫距平，時間為 9-1 月。

從圖 4-14 可以看出各 RCP 與氣候基期的距平之結果，RCP2.6 預測結果之 Q2 與平均數約在+0.8 與+0.9 左右，但離散程度為四個濃度路徑中最大的，代表 RCP2.6 在氣候模式的預測上不確定性較高，其餘 RCP4.5、RCP6.0、RCP8.5 預測結果也與 RCP2.6 類似，三者離散程度較沒有明顯的差異。上述結果顯示在近未來這個時間區段中，不同濃度路徑並沒有太大的差異，氣溫增幅皆為相同，情境間之輻射強迫力差異還沒有很大，也沒有立即的反應在氣溫的變化下，但離散程度則以 RCP2.6 最高，顯示模式在低濃度路徑的預測不確定性較大。

2. 世紀中氣溫推估

世紀中(圖 4-15)為 2046 年至 2065 年之推估結果之平均，顯示在本世紀中在氣候變遷下的變化，相較於近未來，為較久以後的未來所進行的推估。

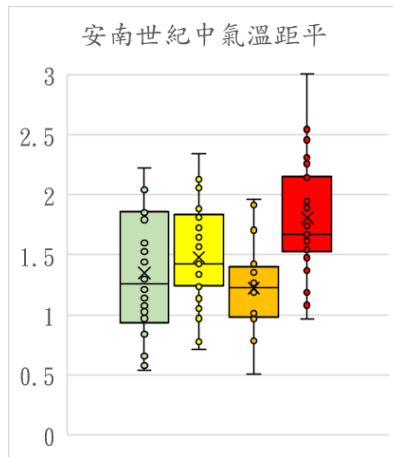


圖 4-15 安南測站世紀中氣溫距平，時間為 9-1 月。

隨著推估時間越久遠，推估的結果與近未來相比也有些許的變化。RCP2.6 所預測氣溫距平的 Q2 約+1.2、RCP4.5 約+1.4、RCP6.0 約+1.2、RCP8.5 約+1.6，四個濃度路徑在平均表現上雖有高有低，但整體差距並不大。

針對 RCP2.6 的預測，其四分位距為四個濃度路徑中之最大，代表模式在預估時有較大的不確定性，使整體模式預估結果的分布較為離散。RCP4.5 之 Q1 與 Q2 較 RCP2.6 略高，但 Q3 與 Max 結果與 RCP2.6 類似，顯示兩濃度路徑在預測氣溫增幅偏高的趨勢類似。RCP6.0 整體而言在四個濃度路徑中預測偏低，且 RCP6.0 之全距較小，預測結果較為集中。RCP8.5 在此時段的預測，相較於其他三個濃度路徑，氣溫距平較為大些，從盒鬚圖亦可明顯觀察出其預測溫度偏高的趨勢，與 RCP6.0 相比較更能明顯看出其預測氣溫明顯偏高之趨勢，而離散程度則與 RCP2.6、RCP4.5 類似。

整體而言在世紀中的氣溫預測結果，RCP2.6、RCP4.5、RCP6.0 差距不大，而 RCP8.5 則有較高的氣溫增幅，如同文獻回顧所提到的，在世紀中時 RCP8.5 之輻射強迫力明顯高於其他三者，也顯示輻射強迫力的效應在世紀中已展現出來。

3. 世紀末氣溫推估

世紀末(圖 4-16)為 2081 年至 2100 年推估結果之平均，一般為目前氣候模

式主要應用之最遠的未來場景，各氣候模式整合結果案例如下圖。

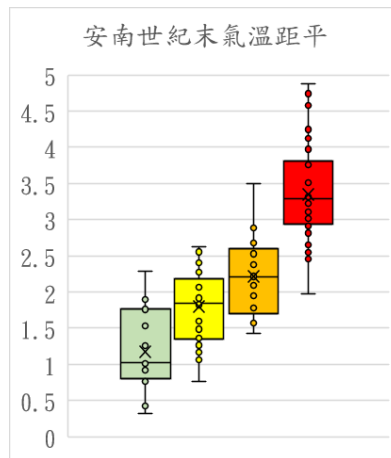


圖 4-16 安南測站世紀末氣溫距平，時間為 9-1 月。

將時間往後推至世紀末，各濃度路徑也有不同的表現。以 Q2 來說 RCP2.6 為+1、RCP4.5 為+1.9、RCP6.0 為+2.2、RCP8.5 為+3.3，此部分可以觀察出，不同的濃度路徑有所區別，同時隨著濃度路徑越高，氣溫的增幅也越大，代表到了世紀末的時候，大氣中的溫室氣體產生的效應已明顯的反映在溫度的上升。

各濃度路徑中之離散程度也可觀察出區別，如 RCP8.5 之全距為 3 左右，其餘三者之全距則在 2 左右，顯示在 RCP8.5 的預測中，模式的預測結果差異更大，具有更高的不確定性。

4. 小結

以安南測站為例，檢視其在氣候變遷下近未來、世紀中與世紀末三階段，9 月至 1 月的氣溫距平變化，不同時段氣溫皆為上升(圖 4-17)，顯示在未來不管何種濃度路徑，溫度皆較氣候基期要高。

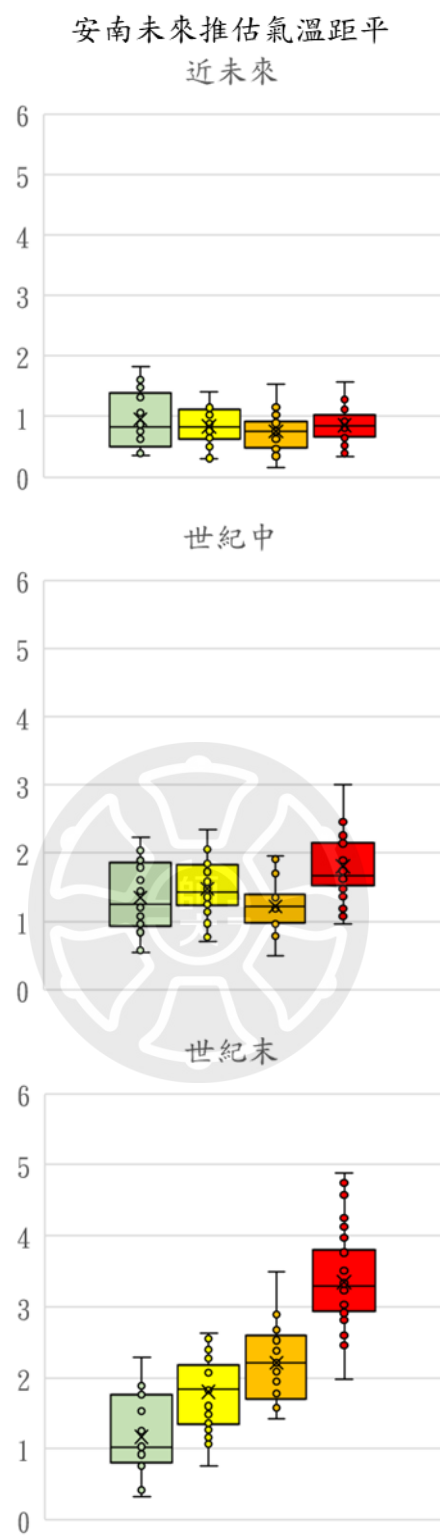


圖 4-17 安南未來推估氣溫距平。

而不同的濃度路徑在各時期之增幅則略有不同，以 RCP2.6 為例，近未來、世紀中與世紀末三個時段的差異並不大，若詳細比較的話則會發現在近未來增溫最小、世紀中時溫度增幅最高，世紀末則又些微下降，此部分也符合 RCP2.6 之大氣幅射強迫力會在本世紀中葉達到高峰地設定；RCP4.5 與 RCP6.0 同為設定上較穩定之濃度路徑，兩者同隨時間推移而上升，但在世紀中時 RCP4.5 氣溫平均較 RCP6.0 高，至世紀末則為 RCP6.0 較高，亦符合兩濃度路徑之幅射強迫力之設定；RCP8.5 則隨著預測的時段越遠，溫度的增幅也愈大，如 RCP8.5 最為明顯，在近未來中四個濃度路徑差異不大，至世紀中 RCP8.5 略高於其他，到了世紀末則明顯看出氣溫增幅受到幅射力高低的影響，低幅射力的增溫低，反之高幅射力的增溫高，代表溫室氣體的效應隨著時間的累積，逐漸表現在氣溫增幅上。

各時段之間也有氣候模式準確性的差異，近未來中模式對於各個濃度路徑預測的差異較小，隨預測的時間越久遠以後差異越大，到了世紀末時四個濃度路徑的離散程度皆大，顯示氣候模式在較近期的未來推估較準，較遠則不確定性增大。

前述之分析結果為安南測站表現出之溫度變化特徵，而詳細檢視研究區其餘七個測站發現，溫度變化的特性非常雷同，並沒有測站展現出不同的氣溫變化，顯示各測站在未來氣候變遷下，9 月至 1 月的氣溫變化趨勢相同，並沒有表現出太大的地理差異。本階段所進行的分析為分析秋冬整體的氣溫變化，為了確認在更小的時間尺度，生長期之間是否會展現出地理上的差異，接下來將嘗試分析 1 月、9 月與 10 至 12 月的氣溫距平，確認是否有不同的分析結果，同時也符合農業生產中，對於產期的區分。

(二) 未來氣溫推估：1 月

本階段將詳細檢視氣候變遷下，各生長期的溫度變化，我國在農業生產期的區分上，分為一期、二期及裡期，其中一期為 1 月至 4 月，而本研究專注於

秋冬季節的溫度變化，也就是 9 月至 1 月，因此以 1 月作為一期的代表，檢視研究區在此月份的未來溫度變化。

1. 近未來氣溫推估

本階段同樣以安南測站為例，其 1 月份氣溫距平如圖 4-18：

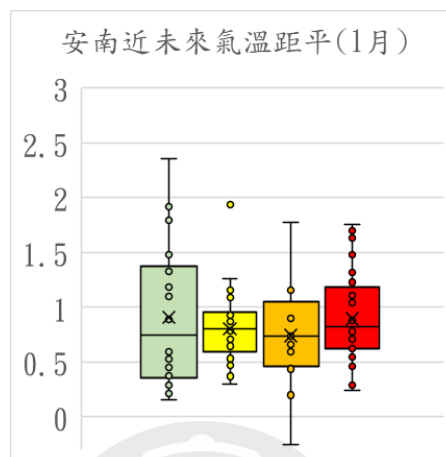


圖 4-18 安南測站近未來氣溫距平(1 月)。

從近未來 1 月份氣溫距平之平均值與 Q2 來看，四個濃度路徑同樣沒有太大的區別，預測皆在+0.7 左右，顯示此時段溫室氣體之效應還未能反映在氣溫變化上。各濃度路徑之離散程度則有明顯之差異，舉例來說 RCP2.6 在此時段氣候模式中推估的距平之四分位距為四個濃度路徑中最大者，Min 為接近 0，Max 則接近+2.4，兩指標顯示 RCP2.6 為四個濃度路徑中離散程度最大者。而 RCP4.5 之四分位距為最小，顯示其模式預測結果較一致，但可以觀察到有單一模式較為離群(IPSL-CM5A-LR 模式)，預測之結果與其餘 28 個明顯不同，比平均值高出許多。另外在 RC6.0 可以發現全距亦大，且較為特別的是出現了模式(MRI-CGCM3 模式)為負值的情況，代表此模式在預測近未來氣溫時是較基期為低。

2. 世紀中氣溫推估

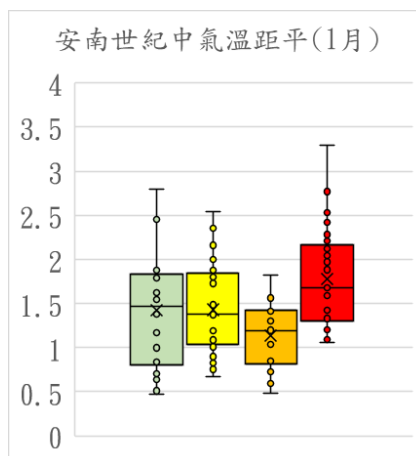


圖 4-19 安南測站世紀中氣溫推估(1月)。

世紀中(圖 4-19)1 月之氣溫增幅，四個濃度路徑中，RCP2.6、RCP4.5 之平均值較相近，皆在+1.5 左右，RCP6.0 略低一點，RCP8.5 則較其他三者略高，但四個濃度路徑平均而言差距不大。而各模式的表現中，RCP6.0 之離散程度最小，其全距最小，RCP2.6、RCP8.5 則最大。

3. 世紀末氣溫推估

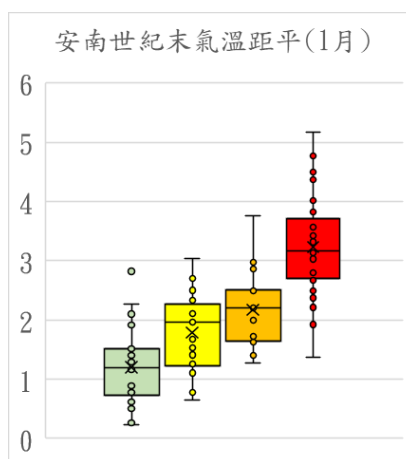


圖 4-20 安南測站世紀末氣溫推估(1月)。

世紀末(圖 4-20)的氣溫距平，表現出隨濃度路徑的增加，溫度增幅也提高

之趨勢，RCP2.6 約+1.2、RCP4.5 約+2、RCP6.0 約+2.3、RCP8.5 約+3.2，在此時段可明顯觀察出四者之不同。各濃度路徑的離散程度，RCP2.6、RCP4.5、RCP6.0 整體離散程度差異不大，但 RCP2.6 有一離群值(GFDL-CM3 模式)預估溫度增加近 3 度，而 RCP8.5 離散程度則明顯大很多，其最低值為增加不到 2 度，最高值則超過 5 度，顯示在世紀末時氣候模式的預估上，不確定性頗大。

4. 小結

此階段以 1 月之氣溫變化作為比較，以各時段之濃度路徑來觀察(圖 4-21)，比較不同時段之變化。

RCP2.6 在不同時段的差異，近未來時為+0.7，世紀中為+1.5，世紀末則為+1.2，亦顯示氣溫增長在世紀中達到高峰的趨勢；RCP4.5 與 RCP6.0 之高低分布如同輻射強迫力之設定；RCP8.5 則隨時間越久，上升的溫度越高，上升的幅度亦受到溫室氣體的影響，例如世紀末時越高的濃度路徑溫度增幅越大，明顯的反映出溫室氣體的影響，且離散程度上越大，代表模式之不確定性越大，此部分則與 9 月至 1 月之預測結果類似。

而比較 9 月至 1 月與 1 月整體之結果，顯示在近未來及世紀末，1 月皆有離散程度更大的情況，此部分或可解釋為氣候變遷使未來冬季的有所變化，容易出現較極端的氣溫(如臺灣 2016 年的霸王級寒流)，因此在氣候上較不穩定，同時氣溫的預測上干擾因素可能較多，因此也影響模式之間的穩定性。

檢視其餘 7 個測站亦雷同，因此此分析結果可由安南測站推論至其他測站。

安南未來推估氣溫距平 (1月)

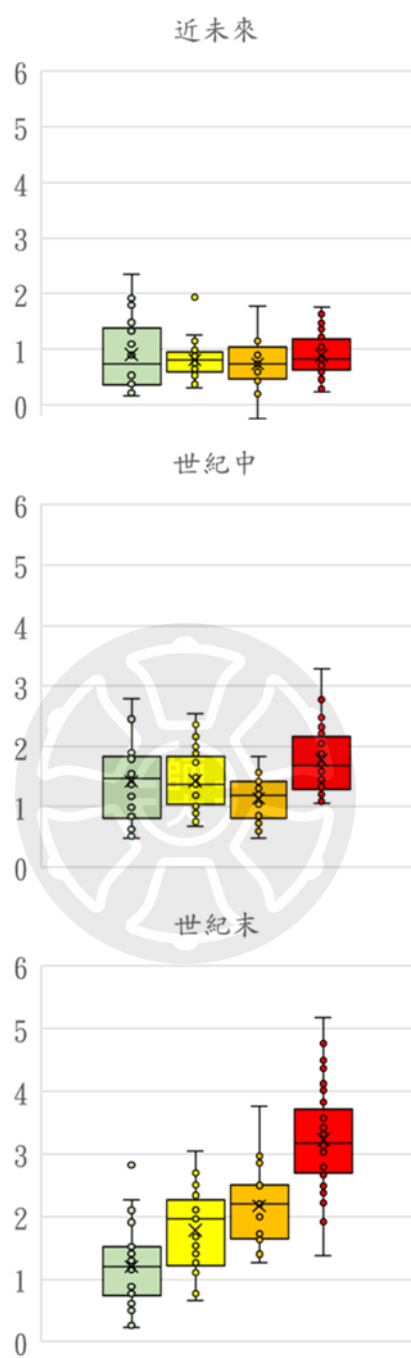


圖 4-21 安南未來推估氣溫距平(1月)。

(三) 未來氣溫推估：9 月

本研究關注未來變遷為 9 月至 1 月的變化，而 9 月在其中屬於氣溫較高且穩定的月份，在未來氣候變遷的情境下，此穩定的月份會有何變化值得關注。另在臺灣農業生長期劃分中，屬於二期之末，而絕大部分的洋香瓜多在 8 月底開始種植，因此 9 月為洋香瓜主要生長的月份，若未來氣候變遷的效應在 9 月明顯的話，影響洋香瓜生長的程度也大，因此值得探討。

1. 近未來氣溫推估

本階段同以安南測站為例，圖 4-22 為安南測站之近未來氣溫距平：

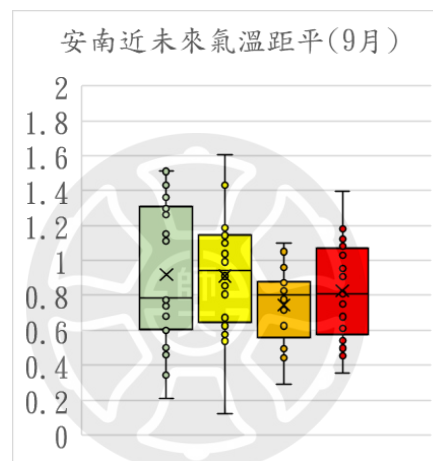


圖 4-22 安南測站近未來氣溫推估(9 月)。

9 月的近未來氣溫變化，RCP2.6 之 Q2 為+0.8、RCP4.5 為+0.9、RCP6.0 為+0.8、RCP8.5 為+0.8，四個濃度路徑之間的差異極小，而四者中離散程度為 RCP2.6 之四分位距明顯大於其他三者，但 RCP4.5 之全距為最大，相較之下 RCP6.0 離散程度較小，顯示模式之間的差異較小。

2. 世紀中氣溫推估

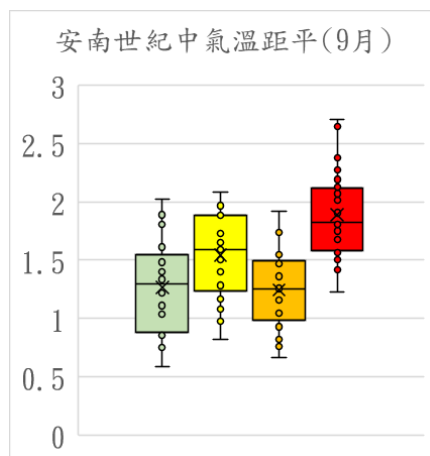


圖 4-23 安南測站世紀中氣溫距平(9月)。

圖 4-23 顯示世紀中 9 月份的氣溫距平之 Q2 與平均值，RCP2.6 約+1.3、RCP4.5 約+1.6、RCP6.0 約+1.3、RCP8.5 則接近+2，RCP8.5 有較明顯的高於其他三者。世紀中的各濃度路徑之模式預估的結果，以 RCP2.6 之四分位距與全距皆大，代表整體模式之預測差異性較大，RCP4.5、RCP6.0、RCP8.5 則較比較不出差異，整體分布而言則以 RCP8.5 較明顯高於其他三者。

3. 世紀末氣溫推估

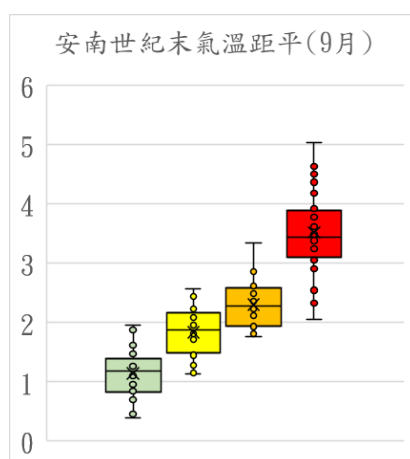


圖 4-24 安南測站世紀末氣溫距平(9月)。

9 月份在世紀末(圖 4-24)的氣溫距平表現，為按照濃度路徑的高低，呈現出不同的氣溫增幅：RCP2.6 約+1.2、RCP4.5 約+1.9、RCP6.0 約+2.4、RCP8.5 約+3.5，顯示出不同的溫室氣體排放量，已經反映在溫度的變化上。而各個濃度路徑中 RCP2.6、RCP4.5、RCP6.0 之離散程度差異不大，而 RCP8.5 則有較大的全距，模式預測結果較為分散，為明顯的不確定性最大，且離散程度與其他三者較為不同。

4. 小結

此階段以 9 月份來看不同時段的不同濃度路徑之表現(圖 4-25)，比較不同時段之氣溫推估差異。

RCP2.6 在近未來同樣在世紀中達到高峰，並維持穩定至世紀末；RCP4.5 在世紀中高於 RCP6.0，世紀末則低於 RCP6.0；RCP8.5 則隨時間持續上升。在離散程度中，RCP2.6 在三時段沒有太大的區別，而 RCP8.5 則在世紀末時不確定性大增，RCP4.5、RCP6.0 之離散程度在世紀末雖增加幅度沒有 RCP8.5 大，但也都更加分散，顯示隨預估時間越久，在 9 月的氣溫預測之不確定性亦有增加的趨勢。

而若與 9 月至 1 月以及 1 月比較，可以發現 9 月不管是在何時段或任何濃度路徑，離散的程度皆較小，顯示氣候模式在預測 9 月的氣溫時，彼此之間的差異較小，此部分結果可能來自於 9 月之特性，如同前述，9 月一般被認為是較高溫且穩定的月份，因此氣候模式在推估未來氣溫的時候，受到其他因素的干擾較少，可以預測較為準確的結果。

安南未來推估氣溫距平 (9月)

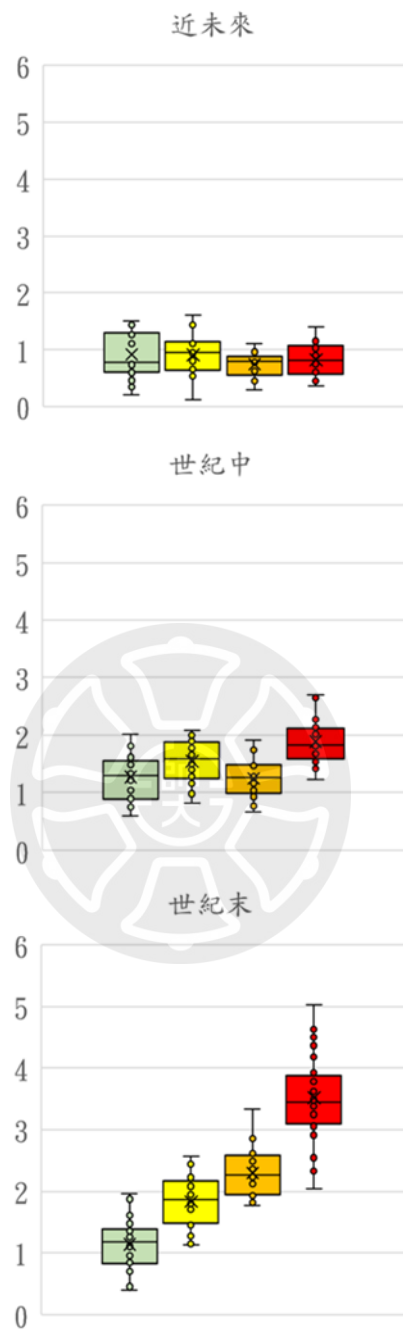


圖 4-25 安南未來推估氣溫距平(9 月)。

(四) 未來氣溫推估：10-12 月

10-12 月以冬季為主，一般來說氣溫較低，若未來氣候變遷下導致冬溫上升與臭氧增加，可在此時期觀察出來，此時期亦為洋香瓜主要的生長季與產季，因此本階段檢視 10-12 月未來氣溫之變化。

1. 近未來氣溫推估

本階段同以安南測站為例，圖 4-26 為安南測站 10-12 月近未來之氣溫距平

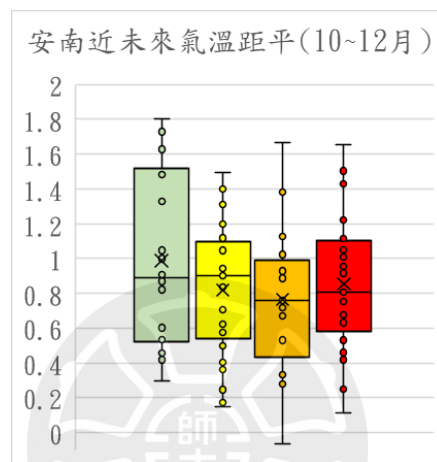


圖 4-26 安南測站近未來氣溫距平(10~12 月)。

由圖 4-26 所示，RCP2.6 與 RCP4.5 之 Q2 約為+0.9、RCP6.0 與 RCP8.5 約為+0.8，四者之平均差異不大。離散程度上已 RCP2.6 之四分位距為最大，且有模式預測至+1.8，為四濃度路徑中最高者，其餘三者之四分位距相差不大，但在 RCP6.0 有模式預測距平為負值(HadGEM2-AO 模式)，顯示比基期更低的氣溫變化。

2. 世紀中氣溫推估

以安南測站為例，圖 4-27 為 21 世紀中 10-12 月之氣溫推估。

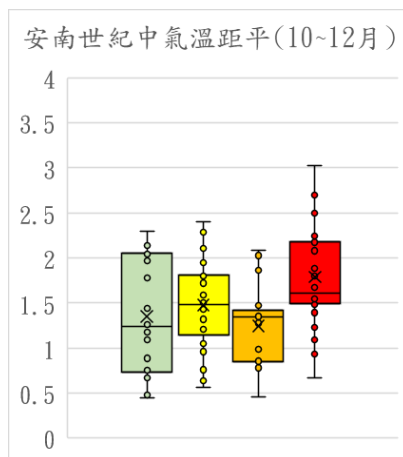


圖 4-27 安南測站世紀中氣溫距平(10~12 月)。

世紀中之氣溫距平表現，RCP2.6 之 Q2 為+1.3、RCP4.5 為+1.5、RCP6.0 為+1.4、RCP8.5 為+1.6，四者之 Q2 差異不大，但可明顯觀察出整體趨勢來說，RCP6.0 分布偏低，RCP8.5 則偏高。離散程度已 RCP2.6 之四分位距最大，而 RCP8.5 為全距最大者。

3. 世紀末氣溫推估

以安南測站為例，圖 4-28 為 21 世紀末 10-12 月之氣溫推估。

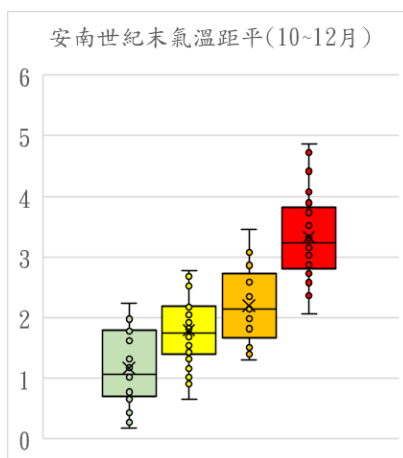


圖 4-28 安南測站世紀末氣溫距平(10~12 月)

世紀末之氣溫距平，RCP2.6 之 Q2 為+1、RCP4.5 為+1.8、RCP6.0 為+2.2、RCP8.5 為+3.3，四濃度路徑之 Q2 高低呈現符合其設定，離散程度的部分以 RCP4.5 之四分位距最小，顯示模式預測較為相近，RCP8.5 全距最大，模式預測結果差異較大。

4. 小結

此階段以 10~12 月之時間區間來看未來推估結果，將未來不同時段整合相比較如圖 4-29。

由圖 4-29 所示，各濃度路徑之表現亦如同其他時間：RCP2.6 在世紀中達到高峰，到世紀末則為最低；RCP4.5 在世紀中高於 RCP6.0，世紀末則小於 RCP6.0；RCP8.5 則隨時間推移上升至最高。整體之離散程度也是隨時間的推移而增大，顯示隨時間越久，模式預測不確定性越高之特性，在 10~12 月亦同。

若與 9 至 1 月、1 月、9 月比較，整體之分布亦類似，整體之離散程度略大於 9 月，而與其他相似。



安南未來推估氣溫距平 (10-12月)

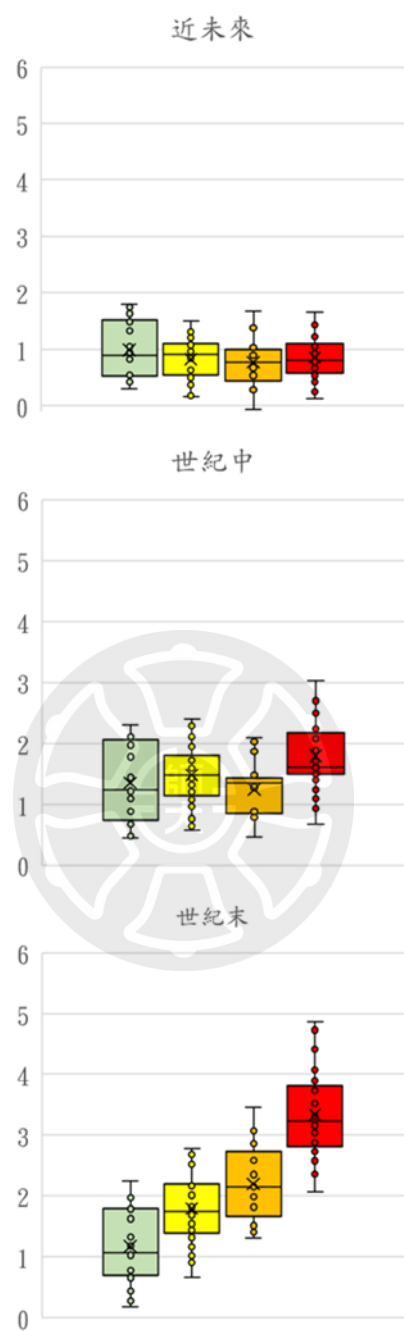


圖 4-29 安南未來氣溫推估距平(10-12 月)。

(五)未來氣溫推估結果與討論

由前述之結果顯示，整體氣溫的變化，大致隨文獻中之代表濃度路徑，輻射強迫力的變化，隨時間呈現高低分布。而不同時間的離散程度略有差異，但推估的方向大致上類似。

本階段以氣溫變化作為探討，顯示未來研究區內的氣溫皆以上升為趨勢，而在未來臭氧的推估上可能會略有不同，除因每個測站氣溫與臭氧之關係式不同外，由前面之基期分析也可知，即使氣溫變化類似，不同情境的變化上也可能會有不同的趨勢，因此接下來將繼續分析未來臭氧推估之結果，並且同樣分為不同月份，同時亦區分 NOx-limited 與 VOC-limited 兩種情境進行分析。

六、 未來臭氧推估結果

本階段為將未來推估之氣溫，分別帶入前一節所得之氣溫與臭氧關係式，並分為 NOx-limited 與 VOC-limited 然後扣除基期得到臭氧之距平，以下分別進行分析與討論。

(一) 未來臭氧推估：9-1 月

1. 近未來臭氧推估(NOx-limited)

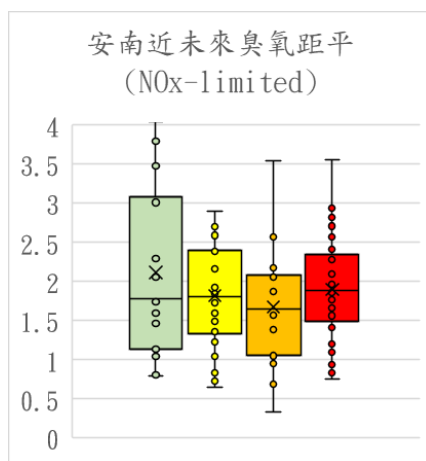


圖 4-30 安南近未來臭氧距平(NOx-limited)。

以安南為例，圖 4-30 顯示近未來之臭氧推估結果，RCP2.6、RCP4.5、

RCP8.5 之 Q2 皆為+1.7 左右，RCP6.0 為+1.6，略比其餘三者低，但差距非常小，顯示在近未來之臭氧推估差異並不大。離散程度方面，RCP2.6 之四分位距為四者最高，顯示其整體之離散程度最大，其餘三者四分位距差異不大，但 RCP6.0 之全距最大，代表有模式預測的較極端。而所有的代表濃度路徑所推估之結果皆為臭氧增加。

2. 世紀中臭氧推估(NOx-limited)

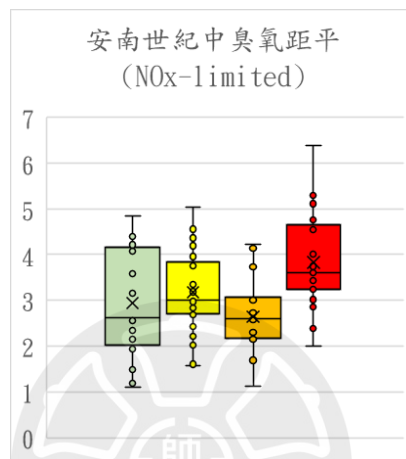


圖 4-31 安南世紀中臭氧距平(NOx-limited)。

圖 4-31 顯示世紀中之臭氧推估結果，RCP2.6 之 Q2 為+2.5、RCP4.5 為+3、RCP6.0 為+2.5、RCP8.5 為+3.5，增加幅度以 RCP8.5 最大，RCP2.6 與 RCP6.0 最小，但差距仍不明顯。RCP2.6 之四分位距為最大，RCP4.5 與 RCP6.0 相差不大，RCP8.5 之全距則較大，整體分布則偏高。在世紀中之臭氧推估結果，可以發現臭氧也是較基期增加的。

3. 世紀末臭氧推估(NO_x-limited)

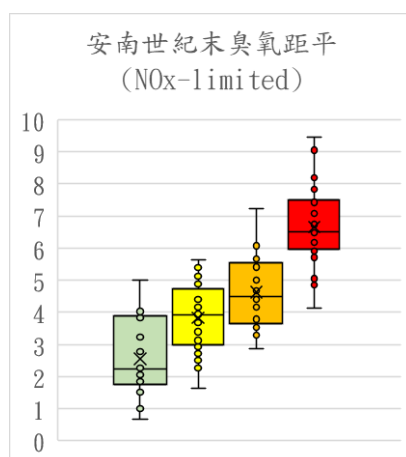


圖 4-32 安南世紀末臭氧距平(NO_x-limited)。

圖 4-32 世紀末之臭氧距平推估，RCP2.6 之 Q2 為+2.1、RCP4.5 為+4、RCP6.0 為+4.5、RCP8.5 為+6.5，此時段可以發現臭氧增加的幅度明顯隨濃度路徑之高低而變化，濃度路徑越高者，臭氧增加幅度也越大。RCP2.6、RCP4.5、RCP6.0 之四分位距與全距類似，RCP8.5 呈現四分位距較小，但全距較大的分布，呈現出不同的模式推估結果。

4. 未來臭氧推估(NO_x-limited)

此階段將未來臭氧推估結果整合，整合結果如圖 4-33。

以未來整體的變化來看，RCP2.6 在世紀中達到高峰，至世紀末則略為下降，RCP4.5 在近未來與世紀中略高於 RCP6.0，世紀末則較低於 RCP6.0，RCP8.5 則隨時間推移而上升，並與其他三者逐漸產生區別。

RCP2.6 在三個時段之離散程度差異不大，顯示不論何時，其不確定性皆類似，而其餘三者則可以較明顯觀察到隨時間的推移，不確定性增大的跡象。

本研究將臭氧生成情境劃分為二，由前述也可發現情境間之表現有所不同，因此接下來將討論另一情境之結果。

安南未來推估臭氧距平 (NO_x-limited)

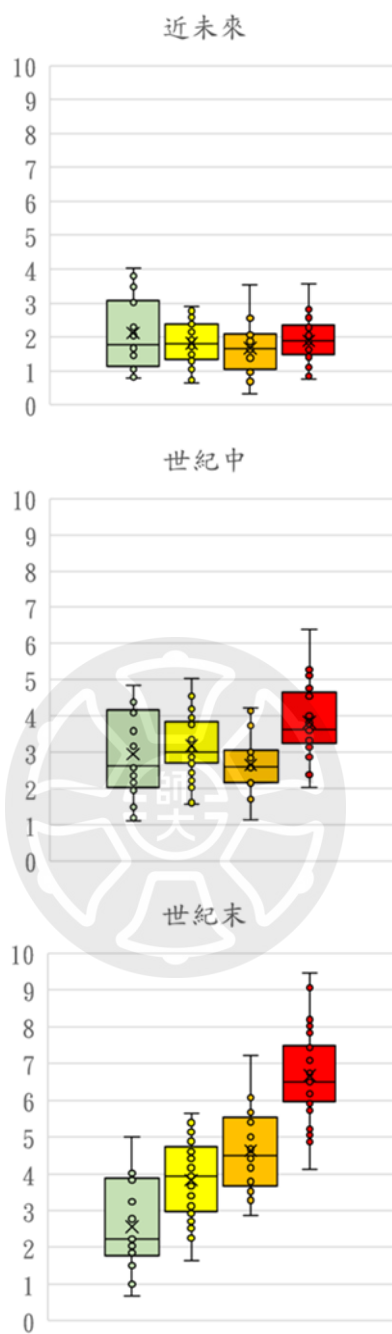


圖 4-33 安南未來臭氧(NO_x-limited)推估距平。

5. 近未來臭氧推估(VOC-limited)

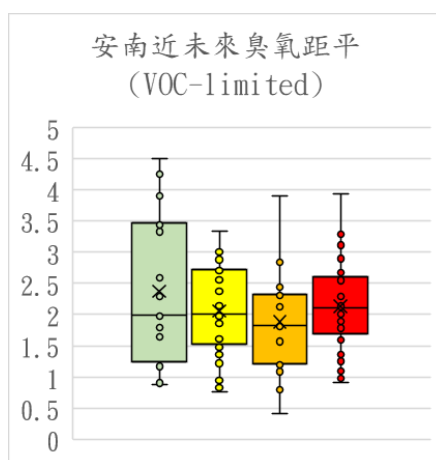


圖 4-34 安南近未來臭氧距平(VOC-limited)。

近未來之臭氧推估以安南為例(圖 4-34)，四個濃度路徑之 Q2 皆在+2 上下，幾乎沒有差異。RCP2.6 呈現最大的四分位距，其餘三者四分位距差異不大，但以 RCP4.5 之全距較小。

6. 世紀中臭氧推估(VOC-limited)

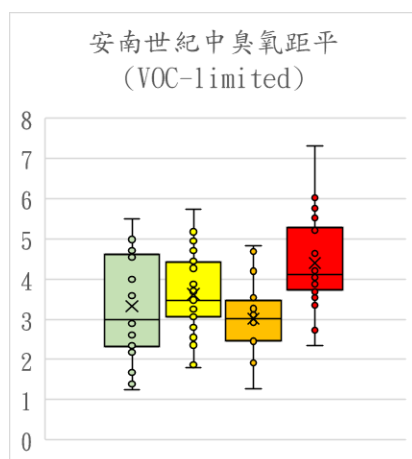


圖 4-35 安南世紀中臭氧距平(VOC-limited)。

世紀中之臭氧推估以安南為例(圖 4-35)，RCP2.6 之 Q2 為+3，RCP4.5 為

+3.4，RCP6.0 為+3，RCP8.5 為+4，在此之中 RCP8.5 較明顯的高於其他三者。RCP2.6 之四分位距為最大，顯示結果較離散，RCP6.0 四分位距最小，顯示結果較集中。

7. 世紀末臭氧推估(VOC-limited)

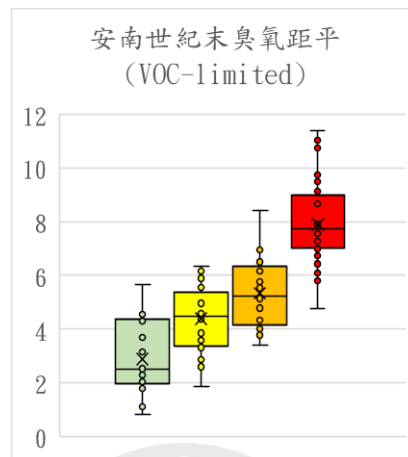


圖 4-36 安南世紀末臭氧距平(VOC-limited)。

世紀末之臭氧推估以安南為例(圖 4-36)，RCP2.6 之 Q2 為+2.2、RCP4.5 為+4.5、RCP6.0 為+5、RCP8.5 為+7.8，臭氧距平的部分大致上已經隨濃度路徑的高低而呈現不同，RCP8.5 整體分布為最高。四者之離散程度相似，但 RCP8.5 之全距較為大些，展現較高的不確定性。

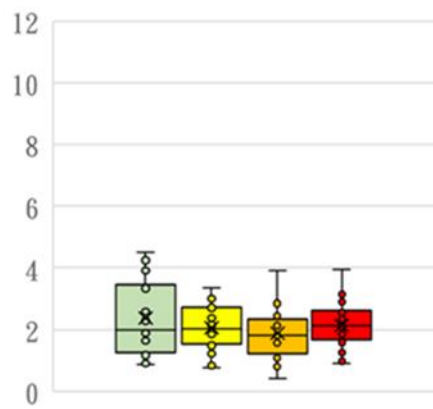
8. 未來臭氧推估(VOC-limited)

此階段將三時段之推估結果整合在一起，結果如圖 4-37。

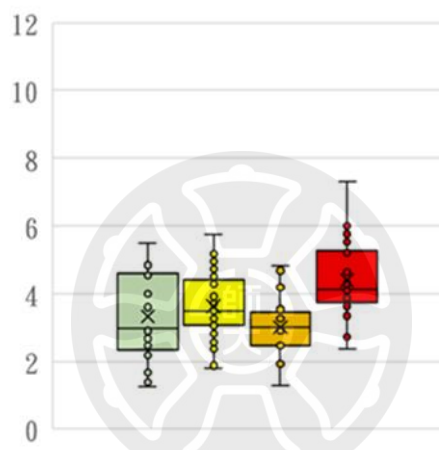
以整體變化來看，RCP2.6 在世紀中達到高峰，至世紀末略為下降，RCP4.5 在近未來與世紀中略高於 RCP6.0，至世紀末則略低，RCP8.5 則隨時間持續上升。離散程度方面除 RCP2.6 之外，其餘三者皆可觀察到，隨時間變化模式預測越來越發散。

安南未來推估臭氧距平
(VOC-limited)

近未來



世紀中



世紀末

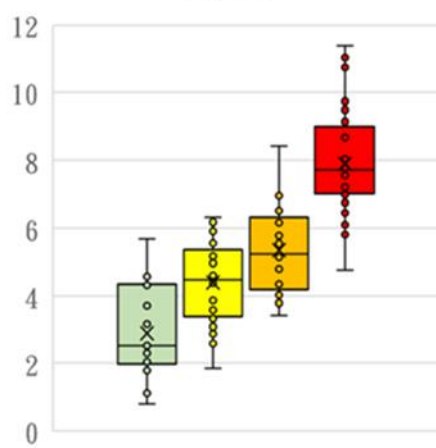


圖 4-37 安南未來臭氧(VOC-limited)推估距平。

9. 小結

透過臭氧未來推估的整理，可以發現不管是 NO_x-limited 與 VOC-limited，其實變化的趨勢非常類似，且很明顯地與氣溫變化方向相同。另外在變化幅度方面，也可以發現氣溫的些微變化，可能使臭氧濃度大增，此也說明臭氧對於氣溫變化之敏感。比較兩情境，在 VOC-limited 情境底下，臭氧上升的幅度大於 NO_x-limited，顯示在同樣的溫度變化下，安南測站在 VOC-limited 情境底下，臭氧的變化更加敏感。

從臭氧之未來推估可以發現，相較於溫度，臭氧有更細微的變化，因此接下來同樣比較不同時間之臭氧未來推估情況，觀察是否有不同之結果。

(二) 未來臭氧推估：1 月

1. 近未來臭氧推估(NO_x-limited)

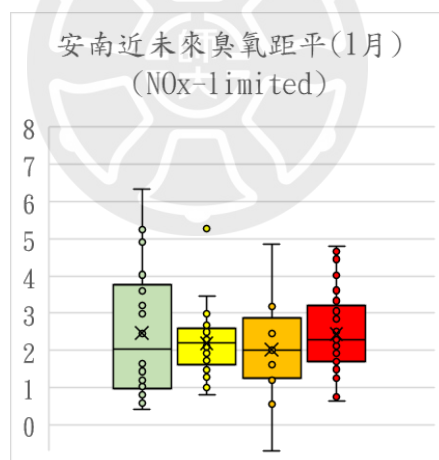


圖 4-38 安南近未來臭氧(NO_x-limited)推估距平。

圖 4-38 表明近未來臭氧推估中所有濃度路徑之 Q2 差異不大，皆為+2 左右。RCP2.6 呈現出最大的不確定性，RCP4.5 不確定性最小，但有一離群值 (IPSL-CM5A-LR 模式)，RCP6.0 全距較大且有一負值 (MRI-CGCM3 模式)，RCP8.5 則分布在+0.5~+5 之間。

2. 世紀中臭氧推估(NOx-limited)

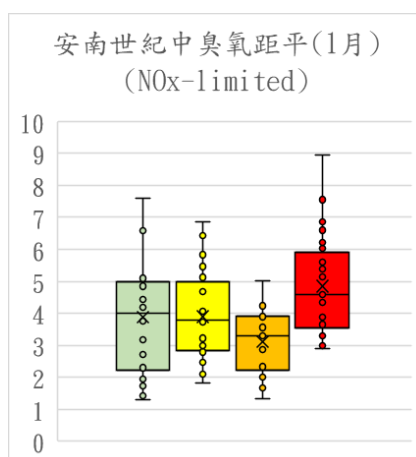


圖 4-39 安南世紀中臭氧(NOx-limited)推估距平。

圖 4-39 表明世紀中臭氧推估中 RCP2.6 之 Q2 為+4、RCP4.5 為+3.8、RCP6.0 為+3.4、RCP8.5 為+4.6，整體來說 RCP2.6 與 RCP8.5 之不確定性較大，RCP6.0 不確定性最小，RCP8.5 則有明顯與其他相比有偏高的趨勢。

3. 世紀末臭氧推估(NOx-limited)

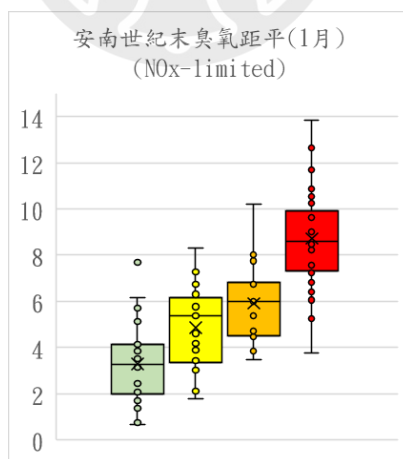


圖 4-40 安南世紀末臭氧(NOx-limited)推估距平。

由圖 4-40 之世紀末臭氧推估，RCP2.6 之 Q2 為+3.3、RCP4.5 為+5.5、RCP6.0 為+6、RCP8.5 為+8.7，呈現出高低不同的趨勢。在 RCP2.6 有一離群值

(GFDL-CM3 模式)，所有路徑中以 RCP8.5 最為離散。

4. 未來臭氧推估(NO_x-limited)

整體變化來看臭氧推估在 RCP2.6 於世紀中達到高峰後於世紀末略為下降，RCP4.5 於世紀中較 RCP6.0 高，於世紀末較 RCP6.0 低，RCP8.5 則持續上升至世紀末。RCP2.6 離散趨勢差異不大，但在世紀末出現離群值，其餘三者皆隨時間而不確定性增加。



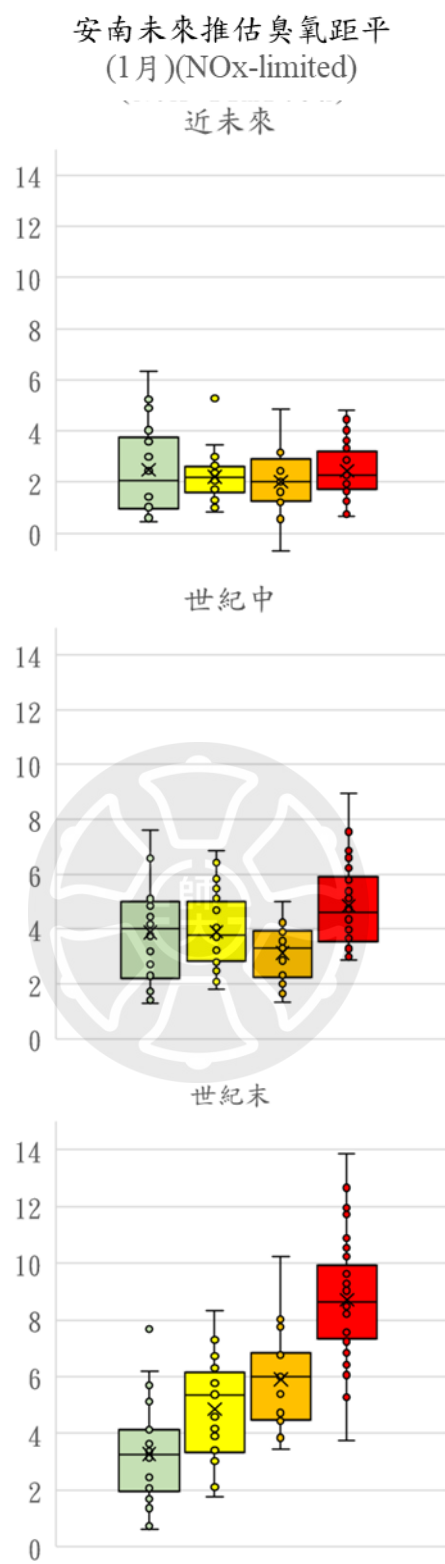


圖 4-41 安南未來臭氧(NO_x-limited)推估距平。

5. 近未來臭氧推估(VOC-limited)

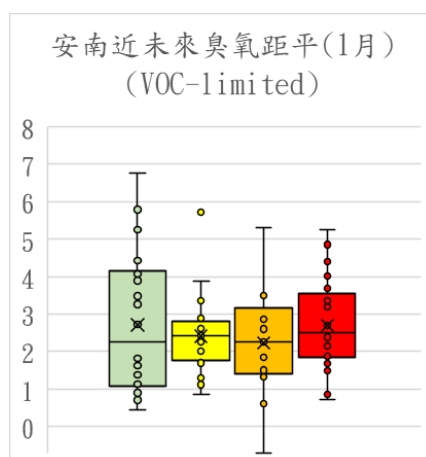


圖 4-42 安南近未來臭氧(VOC-limited)推估距平。

圖 4-42 之近未來臭氧推估中，四個濃度路徑之 Q2 差異不大，皆在+2.5 左右。RCP2.6 之離散程度最大，RCP4.5 離散程度最小，但有一離群值(IPS�-CM5A-LR 模式)，RCP6.0 則全距較大且有一負值(MRI-CGCM3 模式)，RCP8.5 則分布於+0.5~+5.5 之間。

6. 世紀中臭氧推估(VOC-limited)

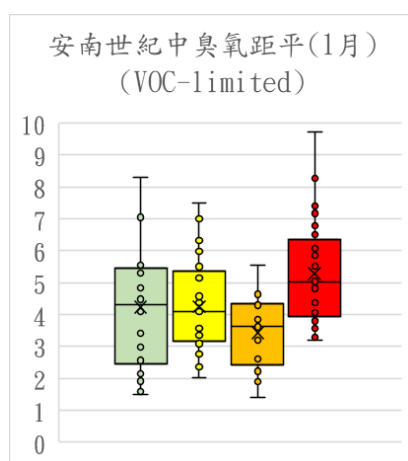


圖 4-43 安南世紀中臭氧(VOC-limited)推估距平。

圖 4-43 之世紀中臭氧推估中，RCP2.6 之 Q2 為+4.2、RCP4.5 為+4.1、RCP6.0 為+3.6，RCP8.5 為+5，不同濃度路徑逐漸產生區別。以 RCP2.6 之離散程度最大，RCP6.0 模式預測較為集中，RCP8.5 則有少數模式預測值極高。

7. 世紀末臭氧推估(VOC-limited)

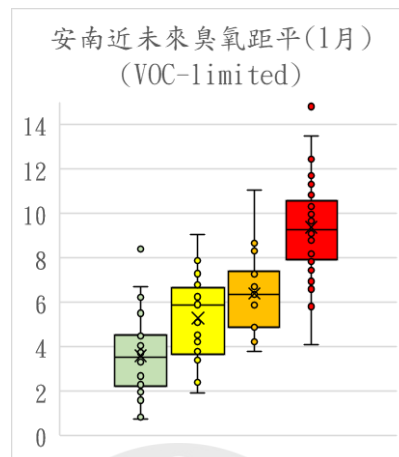


圖 4-44 安南世紀末臭氧(VOC-limited)推估距平。

圖 4-44 之世紀末臭氧推估中，RCP2.6 之 Q2 為+3.5、RCP4.5 為+5.8、RCP6.0 為+6.4、RCP8.5 為+9.1，RCP2.6 較集中，但有一離群值(GFDL-CM3 模式)偏高，RCP8.5 最為離散，且亦有一離群值(GFDL-CM3 模式)，觀察兩路徑之離群值皆為相同之模式，顯示該模式在推估時，容易有高估的情況出現。

8. 未來臭氧推估(VOC-limited)

比較不同時段的臭氧推估結果(圖 4-45)，RCP2.6 在世紀中達到高峰後略微下降，RCP4.5 於世紀中超過 RCP6.0，於世紀末則小於 RCP6.0，RCP8.5 則持續上升。RCP2.6 在世紀末的四分位距有略為縮小，代表大部分模式預測結果較相近，但其全距也增加且有離群值，代表少部分模式預測結果偏差較大，其餘三者之離散程度則隨時間變化而增大。

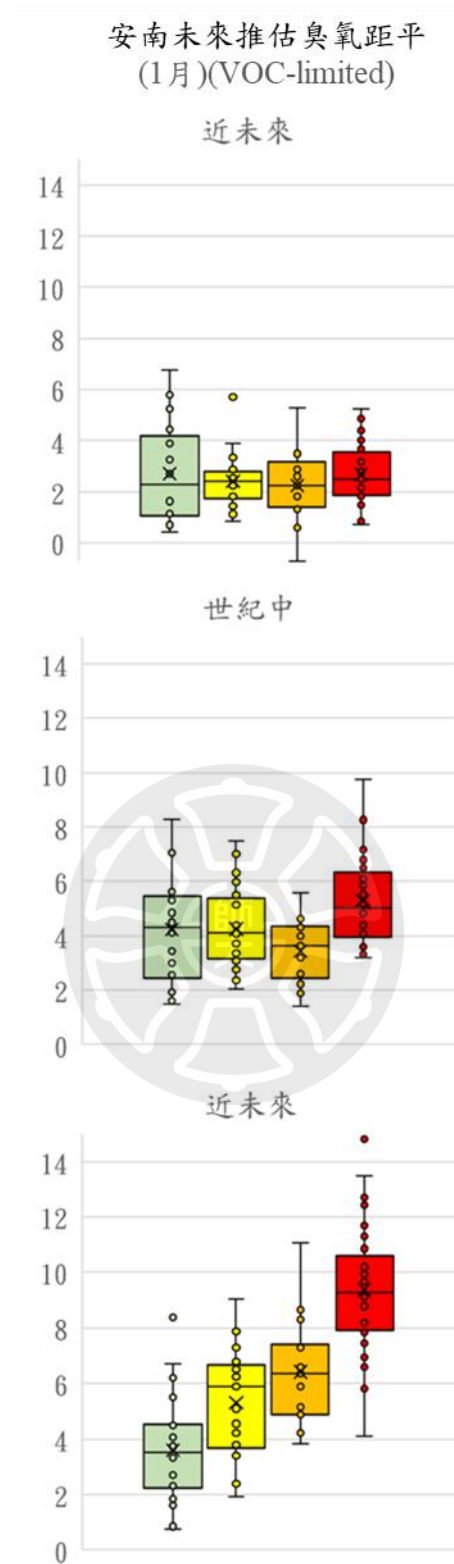


圖 4-45 安南未來臭氧(VOC-limited)推估距平。

9. 小結

比較兩臭氧情境的推估結果，可以發現兩者變化趨勢同樣類似，且也與溫度的變化趨勢相同，但在溫度所導致的臭氧變動在 VOC-limited 更為明顯，例如在 RCP8.5 中，GFDL-CM3 模式因氣溫偏高，推估之臭氧也偏高，在 NO_x-limited 情境仍在整體分布範圍內，但在 VOC-limited 情境則高到成為離群值，顯示相同的溫度變化，在不同情境下有不同的臭氧推估結果。

(三) 未來臭氧推估：9 月

本研究在此部分接續進行 9 月的臭氧推估距平之分析，同時由基期模擬之臭氧數值可以發現，9 月在所有的月份中是臭氧濃度最高的月份，即使未來推估只增加一點點，也會是所有月份中濃度最高的月份，而從文獻回顧中亦可得知，立即性的高濃度臭氧會對作物產生急性的危害。為了解洋香瓜在種植上受到高濃度臭氧急性危害的風險，本研究在 9 月未來臭氧推估中，除關注臭氧推估的距平、變化量之外，同時也會檢視未來臭氧的總量，以衡量臭氧對於作物的立即衝擊與危害。由於各濃度路徑、模式呈現的數值不一，同時為呈現出最危險的情況，本研究將各測站 9 月之推估結果中，最糟糕的情境：RCP8.5 中，在世紀末推估臭氧濃度最高的模式挑出，藉以突顯臭氧問題在未來田間管理是不容忽視的。

1. 近未來臭氧推估(NOx-limited)

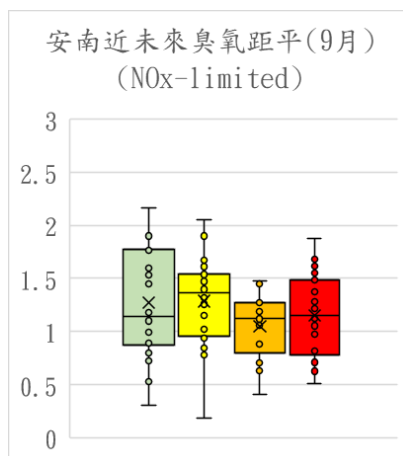


圖 4-46 安南近未來臭氧(NOx-limited)推估距平。

近未來推估中(圖 4-46)，RCP2.6 之 Q2 為+1.2、RCP4.5 為+1.3、RCP6.0 為+1.2、RCP8.5 為+1.2，四者中以 RCP4.5 最高。RCP2.6 之離散程度最大，RCP4.5 有較大的全距分布、RCP6.0 則較集中。

2. 世紀中臭氧推估(NOx-limited)

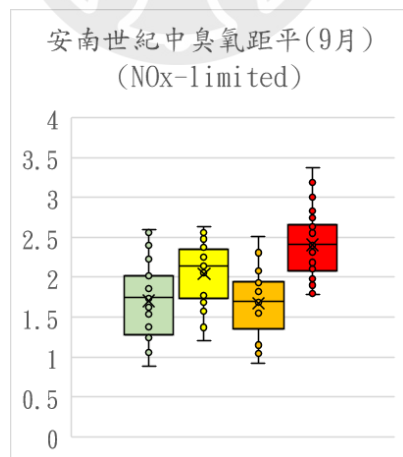


圖 4-47 安南世紀中臭氧(NOx-limited)推估距平。

世紀中之推估(圖 4-47)，RCP2.6 之 Q2 為+1.7、RCP4.5 為+2.2、RCP6.0 為+1.7、RCP8.5 為+2.4，比較結果中 RCP2.6 與 RCP6.0 之整體分布與離散程度較

為相近，RCP4.5 與 RCP8.5 則偏高，RCP8.5 之整體分布又略高於 RCP4.6。

3. 世紀末臭氧推估(NOx-limited)

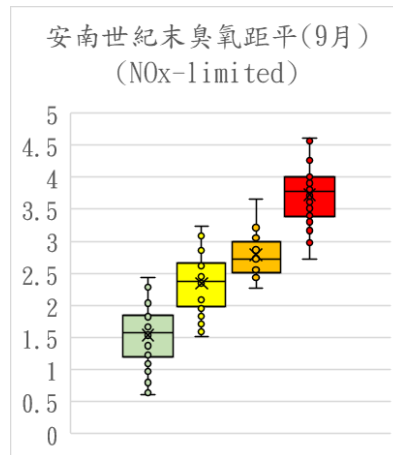


圖 4-48 安南世紀末臭氧(NOx-limited)推估距平。

世紀末之推估(圖 4-48)，RCP2.6 之 Q2 為+1.6、RCP4.5 為+2.4、RCP6.0 為+2.7、RCP8.5 為+3.8，預測結果以 RCP6.0 最為集中，其餘三者則差異不大。

4. 未來臭氧推估(NOx-limited)

比較未來不同時段的臭氧推估結果(圖 4-49)，RCP2.6 在世紀中達到高峰後略微下降，RCP4.5 於近未來與世紀中超過 RCP6.0，於世紀末則小於 RCP6.0，RCP8.5 則持續上升。另外在未來整體變化中，此情境的個排放路徑之離散程度差異極小，皆在±1 左右，且臭氧增加的幅度很小，與距平之差異最大者僅+4.6 左右，顯示與基期的差異不大。

安南未來推估臭氧距平
(9月)(NO_x-limited)

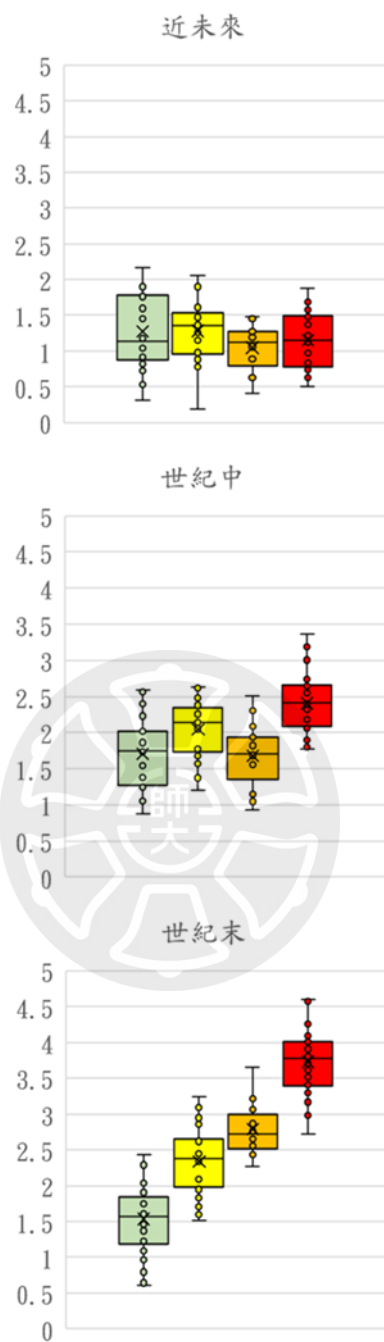


圖 4-49 安南未來臭氧(NO_x-limited)推估距平。

5. 未來臭氧推估總量(NO_x-limited)

如同前述，本研究除分析 9 月臭氧推估距平之分析外，另將 9 月臭氧推估之總量加以進行討論。由於善化、新港為區分情境，因此在此部分先不列入討論，將剩餘的六個測站，於 NO_x-limited 情境下，RCP8.5 中於世紀末推估臭氧濃度最高者呈現如

表 4-3 各測站世紀末推估(NO_x-limited)臭氧濃度最高值與模式表。

測站	安南	嘉義	崙背	朴子	臺南	新營
臭氧濃度(ppb)	77.02	81.90	75.86	71.25	80.79	78.63
模式	GFDL-CM3	GFDL-CM3	GFDL-CM3	FGOALS-g2	CanESM2	IPSL-CM5A-LR

由

表 4-3 可知，未來推估臭氧最惡劣的情況可以高至 75ppb 或更高，若單以 AOT40 所設定之 40ppb 為門檻，已經遠遠超過許多。因此除了慢性的、累積的危害之外，在未來 9 月分也應關注急性的、立即性的危害。前述之 9 月臭氧變化特徵，於大多數的測站皆為類似之表現，惟在檢視朴子測站時發現有不一樣的變化情形，因此此部分除以安南測站作為舉例說明外，特別將朴子測站也提出討論。

6. 未來臭氧推估(NO_x-limited)：朴子

首先由朴子近未來臭氧推估距平結果(圖 4-50)，各濃度路徑中模式推估的 Q2，RCP2.6 約-0.6、RCP4.5 約-0.5、RCP6.0 約-0.4、RCP8.5 約-0.6，各自有些微的高低差距，以 RCP2.6 之四分位距最大，代表預測結果較離散，而 RCP4.5

則全距較大，且有一離群值。世紀中的臭氧推估結果中，RCP2.6 之 Q2 約-1、RCP4.5 約-1.2、RCP6.0 約-1、RCP8.5 約-1.7，其中以 RCP8.5 最為突出，其最為離散，且模式推估之結果明顯與其餘濃度路徑有差異，預估之臭氧濃度平均比其他濃度路徑都要低許多。世紀末的推估結果，各濃度路徑有明顯的差異，以 Q2 來說，RCP2.6 為-0.9、RCP4.5 為-1.5、RCP6.0 為-2.6、RCP8.5 為-4.3，以濃度路徑最高的 RCP8.5 所推估之臭氧濃度為最低。離散程度的部分也可看到隨著濃度路徑的高低，呈現出不同的差異，RCP2.6 預測結果較為集中，RCP8.5 則具有最大的不確定性。



朴子未來推估臭氧距平
(9月)(NO_x-limited)

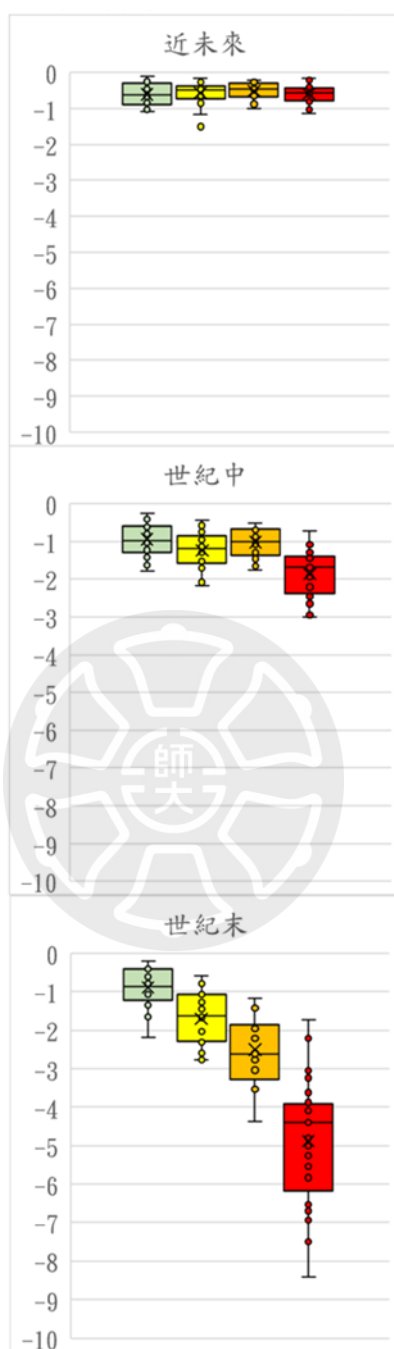


圖 4-50 朴子未來臭氧(NO_x-limited)推估距平。

此部分與其他測站不同的結果是，從圖中可以發現所有濃度路徑的所有模式推估結果均為負值，代表臭氧數值較氣候基期要低，雖然在近未來中臭氧變化數值非常小，但隨著推估時間越來越久以後，與氣候基期的差異也越來越大。並且在後期隨濃度路徑越高，輻射強迫力越大，臭氧濃度反而越下降。

由前段發現朴子測站與其他測站之不同，為釐清差異之由來，特別回頭檢視朴子測站的氣溫推估之表現，結果表明氣溫推估與其他測站並無明顯的差異：氣溫距平皆為正值，代表未來氣溫較氣候基期是上升的，且也隨著時間表現出各濃度路徑的特徵，在世紀末輻射強迫力的作用下，使濃度路徑越高者有越高的氣溫。離散程度亦隨著時間有越來越大的趨勢。

而對照之下臭氧的推估之表現卻是與氣溫相反：臭氧距平皆為負值，代表未來臭氧之推估比基期之臭氧濃度為低。雖然相同的隨時間越久遠，濃度路徑呈現出各自的特徵，但從比較圖可以發現，氣溫推估結果越高者，臭氧濃度反而越低，如在世紀末之 RCP8.5 在氣溫推估平均為最高，但在臭氧推估結果則為最低。此意味著在朴子測站，越高溫反而會導致越低的臭氧濃度。

朴子測站之臭氧推估在 NO_x-limited 情境產生截然不同的結果，經前述比較後確認原因並非未來氣溫下降所導致。而由於未來推估結果是由過去觀測資料所得出的模式推估，因此更往前檢視朴子站之模式計算，則發現相較於其他的測站，朴子站之樣本數偏少，雖然數量高於計算函數的最低限制，但越少的樣本可能造成越大的不確定性，因此有可能推估結果一不是那麼的穩定。

另外由於臭氧在生成時受到許多因素的影響，例如前驅物質的多寡，這樣的結果也有可能說明在高溫的時候，該測站因特殊的地理因素，或缺乏某些臭氧生成的必要因素，導致臭氧在生成時受到阻礙，使得更高溫的情況下，臭氧濃度反而較低，但此部分目前也仍未可知。

7. 近未來臭氧推估(VOC-limited)

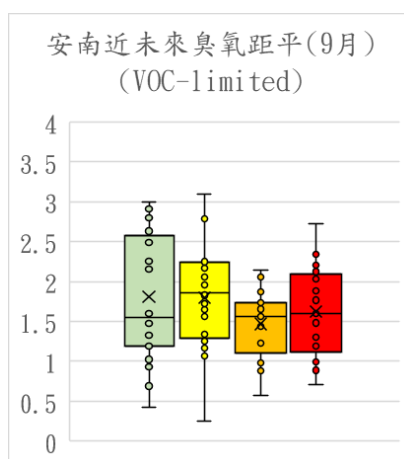


圖 4-51 安南近未來臭氧(VOC-limited)推估距平。

近未來推估中(圖 4-51)，RCP2.6 之 Q2 為+1.5、RCP4.5 為+1.8、RCP6.0 為+1.5、RCP8.5 也為+1.5，四者中 RCP2.6 模式預測結果分布較廣，RCP4.5 則全距最大，RCP6.0 最為集中，RCP8.5 則分布於+0.7~+2.7 之間。

8. 世紀中臭氧推估(VOC-limited)

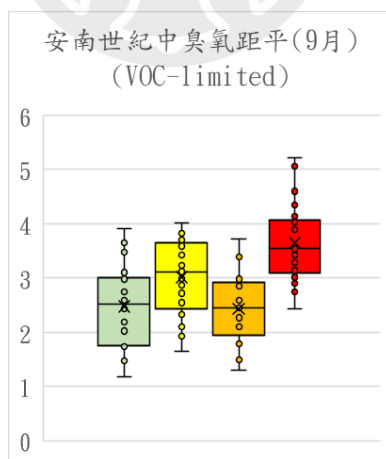


圖 4-52 安南世紀中臭氧(VOC-limited)推估距平。

世紀中之推估(圖 4-52)，RCP2.6 之 Q2 為+2.5、RCP4.5 為+3、RCP6.0 為+2.5、RCP8.5 為+3.5，RCP2.6 與 RCP6.0 之整體分布與離散程度較為相近，但

RCP6.0 更為集中，RCP4.5 則偏高，RCP8.5 之整體分布為最高。

9. 世紀末臭氧推估(VOC-limited)

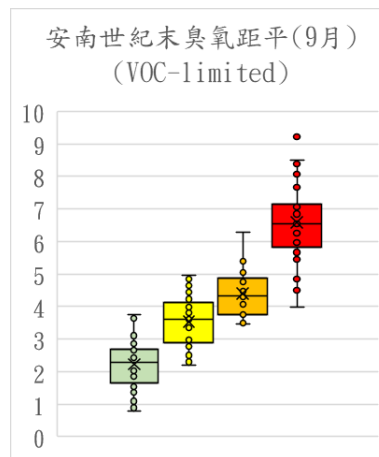


圖 4-53 安南世紀末臭氧(VOC-limited)推估距平。

世紀末之推估(圖 4-53)，RCP2.6 之 Q2 為+2.3、RCP4.5 為+3.6、RCP6.0 為+4.3、RCP8.5 為+6.9，預測結果以 RCP2.6、RCP4.5、RCP6.0 較為集中，RCP8.5 則差異較大，且有一離群值(GFDL-CM3 模式)。

10. 未來臭氧推估(VOC-limited)

比較三時段的臭氧變化(圖 4-54)，RCP2.6 在世紀中達到高峰，世紀末則下降、RCP4.5 在近未來與世紀中大於 RCP6.0，於世紀末則低於 RCP6.0，RCP8.5 則隨時間而上升。另外在離散程度上 RCP2.6 與 RCP4.5 隨時間之變化不大，而 RCP6.0、RCP8.5 則較明顯有隨時間而更離散的趨勢。

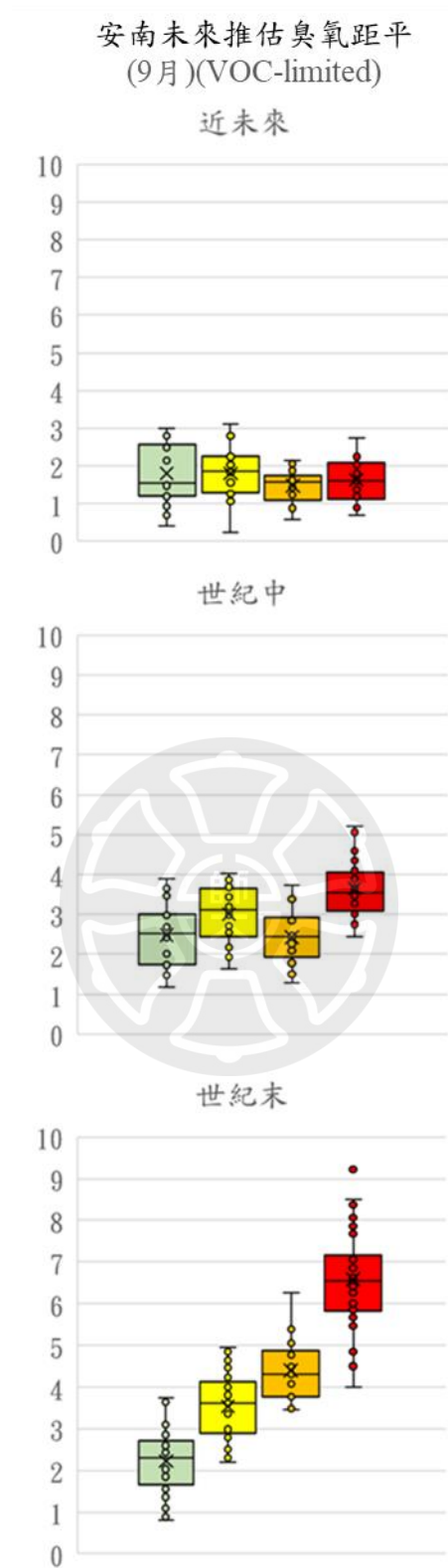


圖 4-54 安南未來臭氧(VOC-limited)推估距平。

11. 未來臭氧推估總量(VOC-limited)

比較完在 VOC-limited 情境中臭氧濃度的距平之後，此階段亦仿照前述，將 9 月在未來推估臭氧之總量，濃度最高者列出，同時亦排除善化、新港兩個未區分情境的測站，將 RCP8.5 於世紀末推估臭氧濃度最高者列表 4-4 如下。

表 4-4 各測站世紀末推估(VOC-limited)臭氧濃度最高值與模式表。

測站	安南	嘉義	崙背	朴子	臺南	新營
臭氧濃度 (ppb)	75.99	83.07	88.79	111.23	80.13	81.28
模式	GFDL- CM3	GFDL- CM3	GFDL- CM3	GFDL- CM3	GFDL- CM3	GFDL- CM3

由表 4-4 可以發現，未來推估臭氧最高濃度也在 75ppb 以上，其中如崙背、朴子兩測站之數值更是偏高，顯示在世紀末的臭氧危害有可能非常惡劣，對於洋香瓜種植時臭氧所帶來的風險必須要考量。由於可以觀察到崙背、朴子兩測站之濃度偏高，因此為確定兩測站是否有不同的分析結果，後續將特別討論此二站。

12. 未來臭氧推估(VOC-limited)：崙背

首先，從崙背的各個濃度路徑在各個時間區段中(圖 4-55)，各模式預測的綜合結果與其他測站並沒有太大的差異，唯一比較突出的便是在世紀末的時候，RCP8.5 中有部分的模式預估的臭氧濃度較基期高出 20ppb 以上，顯示在世紀末時，有部分預測結果表明，在最悲觀的排放路徑之下，臭氧增幅可能比基期高出 20 以上。

為確認是否為溫度偏高所導致，特地回頭檢視崙背的未來溫度推估在 9 月的表現，結果表明在溫度的推估上，並沒有特別偏高的趨勢。

崙背未來推估臭氧距平
(9月)(VOC-limited)

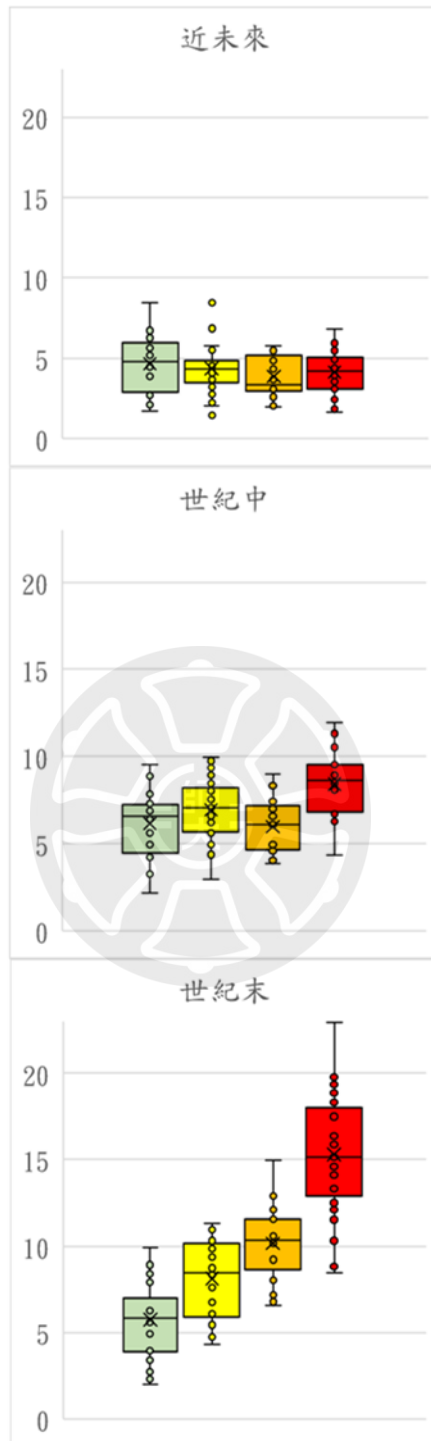


圖 4-55 崙背未來臭氧(VOC-limited)推估距平。

另一個可能為在 9 月份時，該地區的臭氧前驅物較多，使更多的臭氧生成，而由於 VOC-limited 代表該地區的臭氧主要由 VOCs 控制，此類揮發性有機物可能由特定的工業生產製程排放，因此若鄰近地區有相關的工業，並由特定風向將揮發性有機物帶來，便有可能使臭氧反應強化。為釐清該地區是否有此現象，本研究檢視崙背地區在 9 月份的風向觀測結果，並將其繪製成風玫瑰圖如圖 4-56。

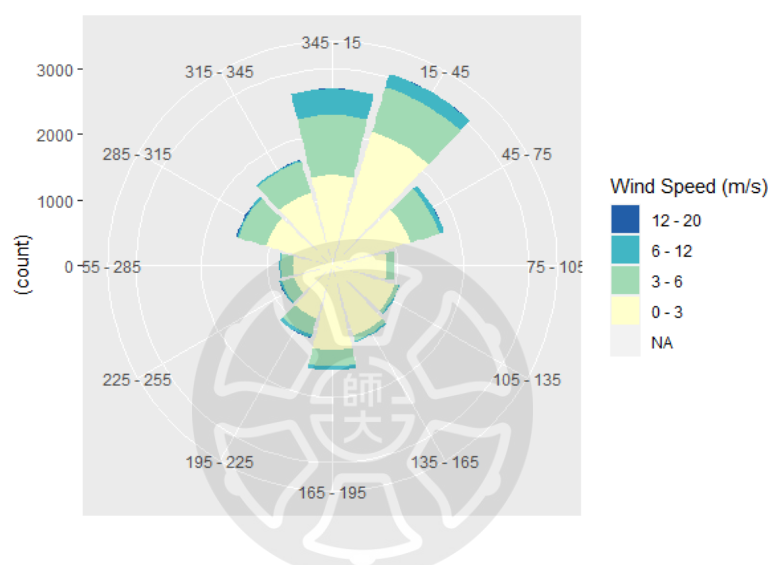


圖 4-56 崙背測站 9 月份風玫瑰圖。

由圖 4-56 可以發現，相較於整個秋冬的風向，9 月的風向雖仍以北風、東北風為主，但其他的風向比例有增高，如偏西北風、西北風，對照其地理位置，顯示有較大的可能是，風將沿海地區的揮發性有機物帶到此處來。

13. 未來臭氧推估(VOC-limited)：朴子

朴子測站在 9 月分，臭氧的未來推估中，綜合結果與其他測站也無相異，但整體推估的結果相較其他測站更高，尤其 RCP8.5 在世紀末的推估中，有模式推估的結果較基期高出 35，為所有測站中數值最高者。

朴子未來推估臭氧距平
(9月)(VOC-limited)

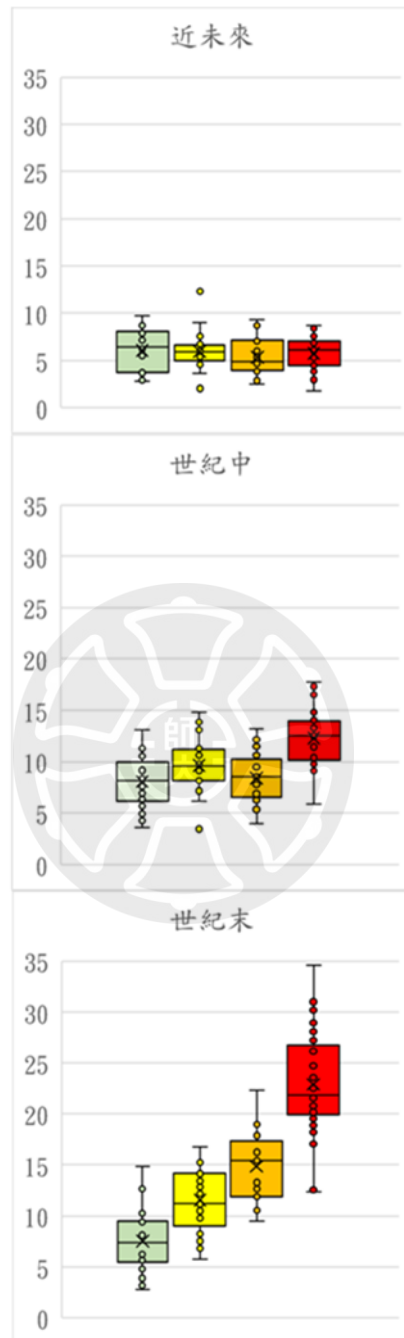


圖 4-57 朴子未來臭氧(VOC-limited)推估距平。

同樣檢視該測站在溫度的推估並無特別之處後，而如同該測站的 NO_x-limited 情境表現與眾不同，該測站 VOC-limited 也呈現出非常特別的結果：臭氧濃度明顯高於其他測站，此部分之可能原因之一也如同 NO_x-limited 情境，因為該測站樣本數相對來說偏少，因而使模式與推估結果產生較大的不確定性。

除了模式本身的不確定性外，亦推測其偏高的原因不排除如同崙背測站：由較多的前驅物所導致，因此同樣將該測站所觀測之 9 月份的風向繪製成風玫瑰圖如圖 4-58，以確認原因。

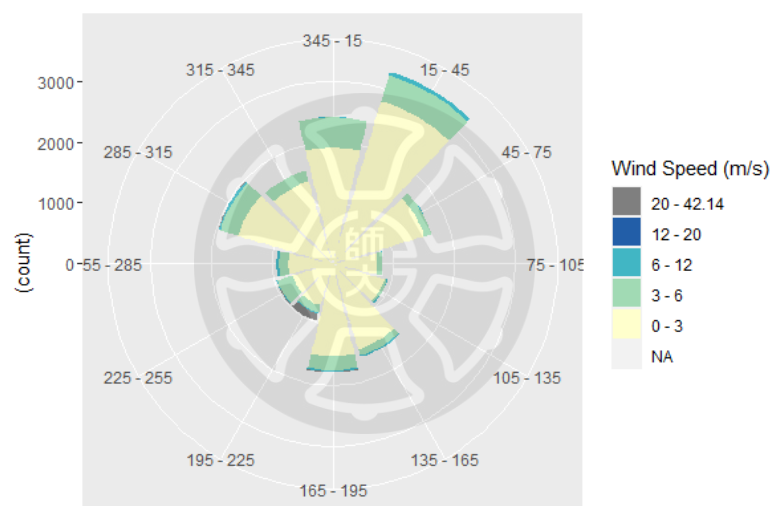


圖 4-58 朴子測站 9 月份風玫瑰圖。

由圖 4-58 可以發現，雖然主要風向仍為東北風，但相較於整個秋冬季。有更高比例的偏西北風、西北風，同時對照其地理位置，推測也有可能是這樣的風向，將沿海地區的揮發性有機物帶至此處。

14. 小結

比較兩情境之 9 月臭氧推估結果，兩者變化趨勢與氣溫相同，但在此中可以發現，NO_x-limited 增加幅度很小，VOC-limited 增加的幅度較大，且有出現離群值，代表在相同的溫度變化下，VOC-limited 更敏感。整體數值來說 NO_x-

limited 是較小的，代表在該情境下，臭氧的變化與目前基期差異不大。

另外在增加幅度較大的 VOC-limited 情境中，崙背、朴子兩測站的數值更是偏高。經分析推測崙背測站可能是因當地 9 月的風向特性，由於測站位置較為靠近沿海地區，而在臺灣的中部沿海恰好有較多的沿海工業區，不排除是因風將沿海生成的揮發性有機物帶來此處。

朴子測站除了不排除是風向原因，使其在 9 月有較為偏高的臭氧總量外，另外也有可能是來自於過去觀測資料的樣本數偏少，使建立的模型有較大的不穩定與不確定性，使其在 VOC-limited 情境極高，此部分受限於觀測資料限制，無法建立較穩定之推估模式。

另外檢視 9 月的臭氧總量，可以發現兩情境在世紀末的臭氧濃度，均有可能達到非常高的數值，目前雖未對洋香瓜的臭氧急性危害設定閾值，但從文獻中對於其他種類作物的臭氧危害研究可以發現，此濃度之臭氧已經達到會造成急性危害與病徵的濃度，而洋香瓜屬於對臭氧較敏感之作物，因此可推測在此高濃度的臭氧中，洋香瓜極有可能產生相關病徵，因此在未來的田間管理中，對於臭氧的防範必須加以考慮。

(四) 未來臭氧推估：10-12 月

1. 近未來臭氧推估(NOx-limited)

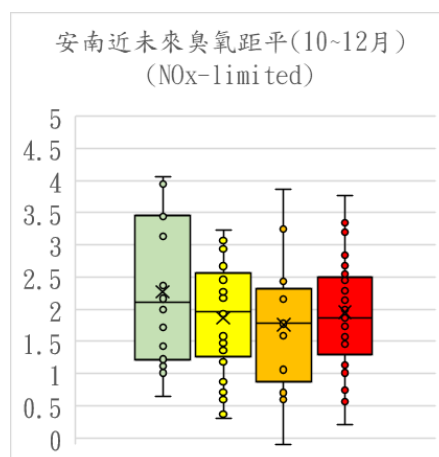


圖 4-59 安南近未來臭氧(NOx-limited)推估距平。

近未來臭氧推估中(圖 4-59)，RCP2.6 之 Q2 為+2.1、RCP4.5 為+1.8、RCP6.0 為+1.7、RCP8.5 為+1.8，四者當中為濃度路徑最低的 RCP2.6 有最高的推估結果，但彼此之間差異不大。RCP2.6 之四分位距最大最為離散，RCP4.5 較為集中，RCP6.0 之全距最大，且有一負值(HadGEM2-AO 模式)。

2. 世紀中臭氧推估(NO_x-limited)

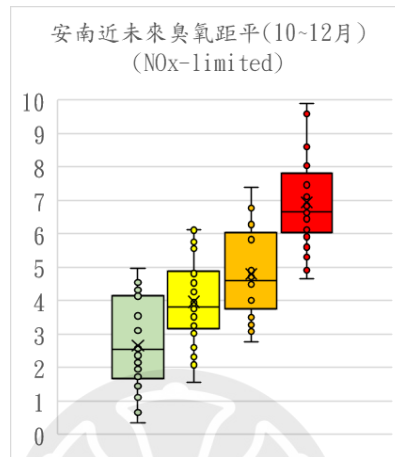


圖 4-60 安南世紀中臭氧(NO_x-limited)推估距平。

世紀中臭氧推估中(圖 4-60)，RCP2.6 之 Q2 為+2.9、RCP4.5 為+3.5、RCP6.0 為+2.9、RCP8.5 為+3.6，RCP2.6 有最大的四分位距，顯示其較為離散，RCP8.5 則有最大的全距。

3. 世紀末臭氧推估(NOx-limited)

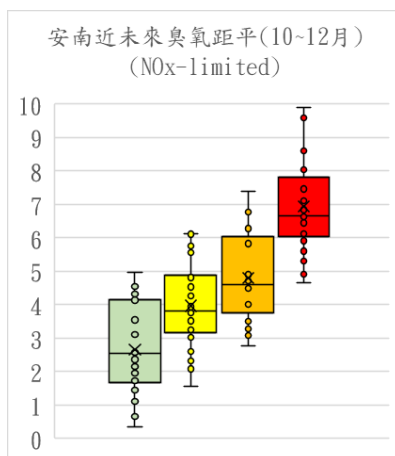


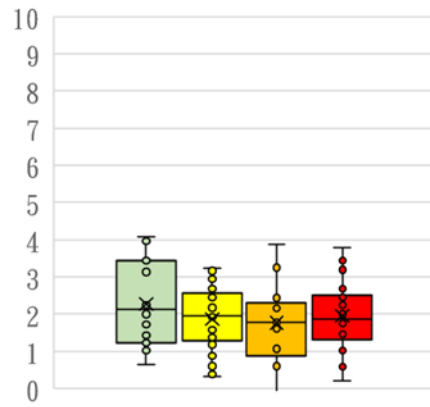
圖 4-61 安南世紀末臭氧(NOx-limited)推估距平。

世紀末的臭氧推估中(圖 4-61)，RCP2.6 之 Q2 為+2.5、RCP4.5 為+3.8、RCP6.0 為+4.7、RCP8.5 為+6.6，彼此之間高低差異已可觀察出來。離散程度上 RCP2.6 之四分位距為最大，但 RCP8.5 之全距為最大，呈現不同的離散情形。

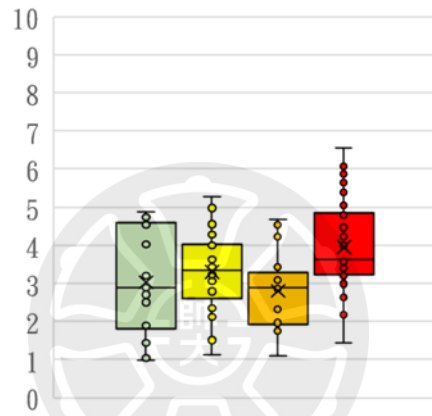
4. 未來臭氧推估(NOx-limited)

比較三時段之臭氧推估結果(圖 4-62)，RCP2.6 在世紀中達到高峰，於世紀末下降、RCP4.5 在近未來與 RCP6.0 類似，世紀中時超越之，世紀末則低於之，RCP8.5 則隨時間持續上升。離散程度方面 RCP2.6 三個時段皆有較離散的結果，其餘三者則隨時間增加其離散的程度。

安南未來推估臭氧距平
(10-12月)(NO_x-limited)
近未來



世紀中



近未來

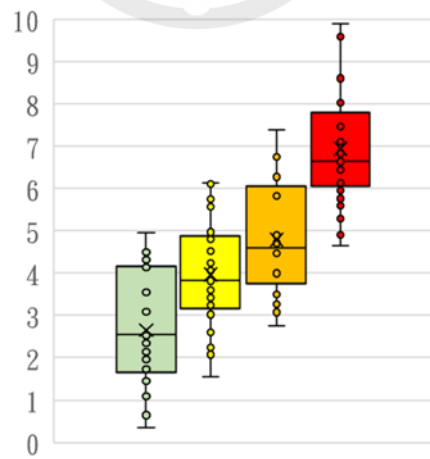


圖 4-62 安南未來臭氧(NO_x-limited)推估距平。

5. 近未來臭氧推估(VOC-limited)

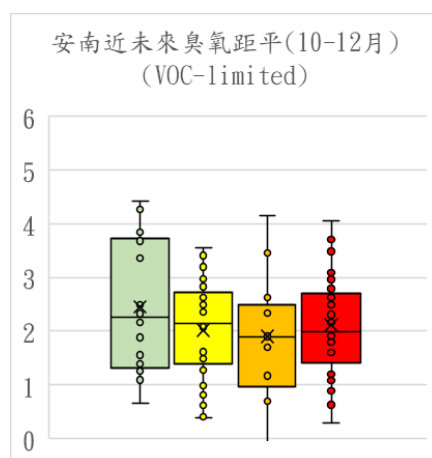


圖 4-63 安南近未來臭氧(VOC-limited)推估距平。

近未來之臭氧推估結果(圖 4-63)，RCP2.6 之 Q2 為+2.3、RCP4.5 為+2.2、RCP6.0 為+1.8、RCP8.5 為+2，四者差異在 0.5 之間，差異較小。RCP2.6 較為離散，有最大的四分位距，RCP4.5 較為集中，RCP6.0 之全距為最大，且有一負值(HadGEM2-AO 模式)。

6. 世紀中臭氧推估(VOC-limited)

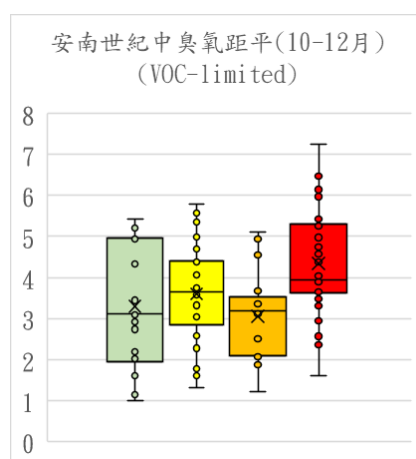


圖 4-64 安南世紀中臭氧(VOC-limited)推估距平。

世紀中之臭氧推估中(圖 4-64)，RCP2.6 之 Q2 為+3.1、RCP4.5 為+3.6、RCP6.0 為+3.2、RCP8.5 為+4，有較無明顯的差異。RCP2.6 之四分位距明顯大於其他三者，顯示結果較為離散，RCP8.5 則有最大的全距，顯示模式預測之高值與低值差異很大。

7. 世紀末臭氧推估(VOC-limited)

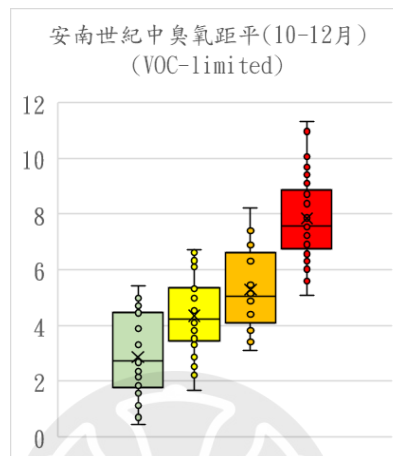


圖 4-65 安南世紀末臭氧(VOC-limited)推估距平。

世紀末之推估結果中(圖 4-65)，RCP2.6 之 Q2 為+2.8、RCP4.5 為+4.3、RCP6.0 為+5.1、RCP8.5 為+7.3，四濃度路徑之差異已趨明顯。離散程度上 RCP2.6 有最大的四分位距，RCP8.5 則有較大的全距。

8. 未來臭氧推估(VOC-limited)

比較三時段之差異，可以發現 RCP2.6 在世紀中達到高峰後在世紀末下降，RCP4.5 在近未來與世紀中大於 RCP6.0，世紀末則小於之，RCP8.5 則隨時間上升。RCP2.6 一直維持於較大的四分位距，而其餘三者則隨時間而增大。

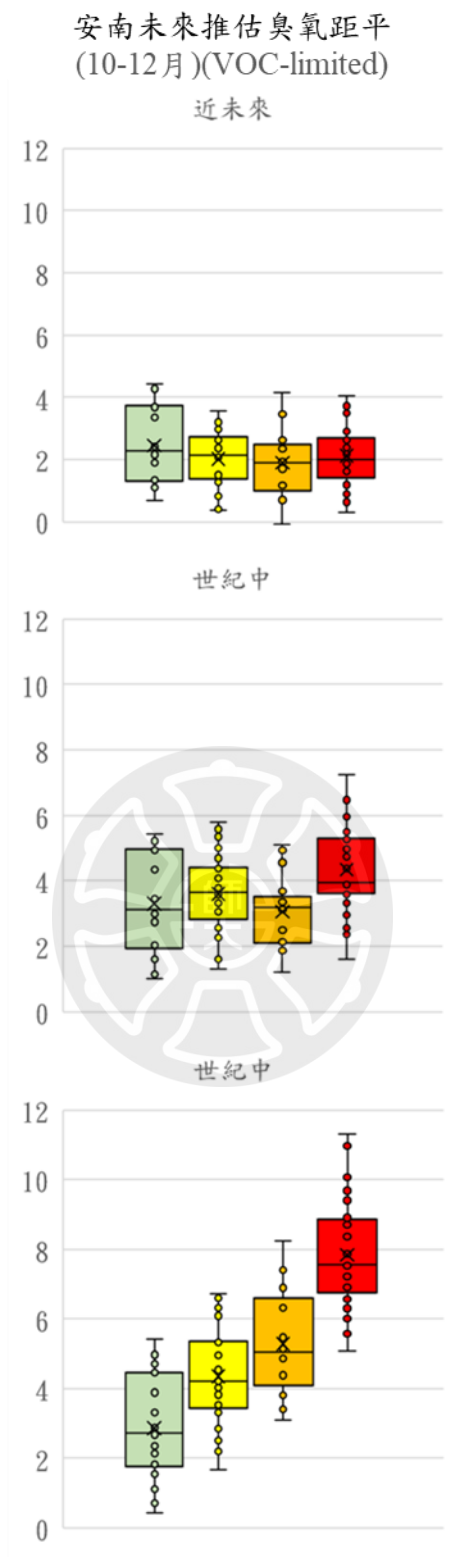


圖 4-66 安南未來臭氧(VOC-limited)推估距平。

9. 小結

比較兩情境之臭氧推估，變化趨勢相似，且符合氣溫推估的變化方向，兩情境在此時間差異較不明顯。另外在原本的氣溫推估中有一模式有預測到氣溫為負值(HadGEM2-AO 模式)，而在臭氧推估中，此模式同樣也推估出負值的臭氧，顯示與氣溫相同的推估方向。

(五)未來臭氧推估結果與討論

本研究利用氣溫推估臭氧在未來的變化，所得之結果可以發現，除了9月份的朴子測站在 NO_x-limited 呈現出較基期低的推估結果之外，其餘測站不管在哪一個月份、情境，臭氧的未來推估之變化幅度與各模式之間的離散程度皆與氣溫的未來推估相似，同時亦符合個濃度路徑在未來輻射強迫力上的設定，而呈現出不同的臭氧數值之高低。此結果可以視為未來臭氧的變化基本上是隨著氣溫變化而變化，當氣溫上升時亦會導致較高的臭氧濃度，反之則較低，代表在未來氣候變遷下，溫度上升的同時，也會使臭氧濃度上升。

在所有臭氧推估結果中較特別的朴子測站，9月份的兩種情境之結果呈現極端的分布：NO_x-limited 偏低但 VOC-limited 偏高，原因除了地理因素之外，亦有可能來自於因觀測資料偏少所導致的模式不穩定。但在同樣的時間同時有兩種截然不同的推估，需要判斷該地區未來較有可能出現兩情境中的何者。在臭氧生成情境的劃分中，不同的城市會呈現出不同的情境，是依據其前驅物質之特性所劃分，因此同一地方也有可能隨不同的時間而有不同的情境，通常會偏向其中一者，檢視朴子測站之觀測資料，並比較 NO_x-limited 與 VOC-limited 兩情境在過去發生的比例，結果顯示有較多的樣本來自於 NO_x-limited(105 個)，大於 VOC-limited(27 個)，可以說明朴子測站過去有較多的時間是處在 NO_x-limited 情境，此雖然在未來仍要注意朴子測站短時間高濃度臭氧的現象，但以發生的比例來看，VOC-limited 情境中發生的極高臭氧濃度較不容易出現。

臭氧未來的推估中，可以發現在較小的氣溫變化下，會產生較大的臭氧數

值變化，此說明了臭氧生成對於溫度的敏感性，使得在未來臭氧推估的波動較氣溫更大。另外比較兩情境之臭氧推估結果，會發現在同樣的氣溫下，VOC-limited 情境臭氧距平會大於 NOx-limited 情境，顯示在未來氣候變遷下，在 VOCs 主導下所生成的臭氧濃度會更高。



第三節 臭氧暴露之分析

一、 臭氧暴露指標

在評估一農作物受某因素的危害程度時，通常可以透過其品質與產量作為衡量，然而就公開數據資料方面較難以判斷其品質是否受到影響，而產量之影響因素更是眾多，若非在能夠控制相關變數的實驗田中所得之產量數據，很難證明其與某個因素之間的關聯。臺灣的洋香瓜在數據資料方面也受限於前二項原因，較難將產量直接與臭氧危害進行連結，因此本研究參考過去文獻，將運用臭氧暴露指標，衡量現今研究區內洋香瓜受臭氧危害之風險，同時評估未來風險將會增加或減少。

(一) 臭氧暴露指標應用

本研究透過文獻回顧，發現在評估作物的臭氧暴露指數中有數種指標，其中 AOT40 用於衡量作物生長季中累積的臭氧暴露程度，以了解臭氧對植物的影響，為較常見、較多研究所採用，故本研究採用該指標作為衡量洋香瓜在生長季時受臭氧暴露的程度。其計算原理如文獻回顧所述，公式如下：

$$AOT40 = \sum_{i=1}^n ([O_3]_i - 40), \text{ for } [O_3] \geq 40 \text{ ppb}$$

(二) 評估方式

利用各測站所觀測之臭氧濃度，帶入 AOT40 之公式，以獲得期間內之臭氧暴露程度。由於該指標所衡量之時間長度以三個月為主，同時依據本研究所探討之主題：秋冬之臭氧變化，因此將時間劃分為三：9~11 月、10~12 月以及 11~1 月，以符合指標之特性。

前項計算結果需與作物的忍受上限或門檻進行比較，以了解種植區之臭氧濃度是否超過作物的忍受能力，然目前在文獻上並無針對洋香瓜設定臭氧暴露門檻或閾值，因此此部分選擇以同為瓜類的作物：西瓜之暴露門檻做為替代，經前人研究顯示西瓜之暴露門檻為 1.6ppm h，代表在生長期間，AOT40 之值若

超過 1.6 ppm h，則會對作物產生危害(產量減少 5%)，此部分則同理用以推估洋香瓜之暴露風險。

(三)觀測期間臭氧暴露程度之結果

經計算各測站之臭氧暴露程度後，以安南測站為例，結果如圖 4-67：

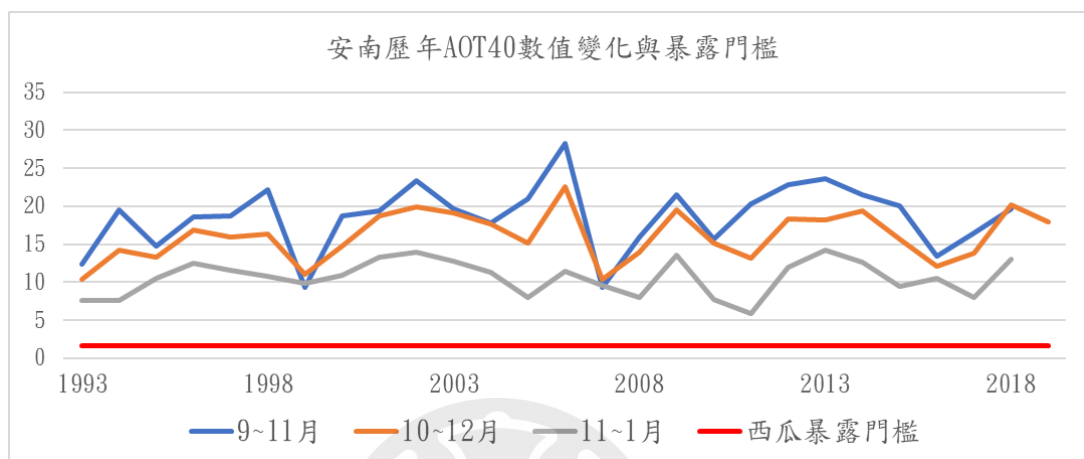


圖 4-67 安南測站 AOT40 暴露指數(單位：ppm h)。

由圖 4-67 可以看出，儘管數值有高有低，但皆超過門檻值 1.6ppm h 許多，顯示在過去的秋冬時期洋香瓜的種植上，可能已經受到臭氧危害許久。而比較秋冬時期，三個生長區間的數值又可發現，以 9-11 月之數值更為偏高，而 11-1 月的數值較低一些，顯示在秋冬種植期間，若以 9-11 月為主要生長期之洋香瓜，可能受到臭氧的危害更大一些。

本研究同時將其餘 7 個測站之臭氧暴露程度進行 AOT40 分析，分析結果顯示，雖然各測站在過去的觀測中，歷年臭氧濃度皆已超過暴露門檻，但測站之間仍有些差異，部分測站如臺南(圖 4-68)在近年臭氧數值攀高的趨勢較明顯，顯示臭氧危害的情況可能在近年有趨嚴重的趨勢，而部分測站則從有觀測紀錄到現在維持平穩，較難觀察出年份之間的差異。另外在三個生長季中，所有測站皆同樣以 9-11 月之臭氧濃度為最高，顯示雖然各測站之歷年臭氧暴露濃度有地理上的差異，但單就測站本身而言，9-11 月皆為臭氧危害風險最高之月份。

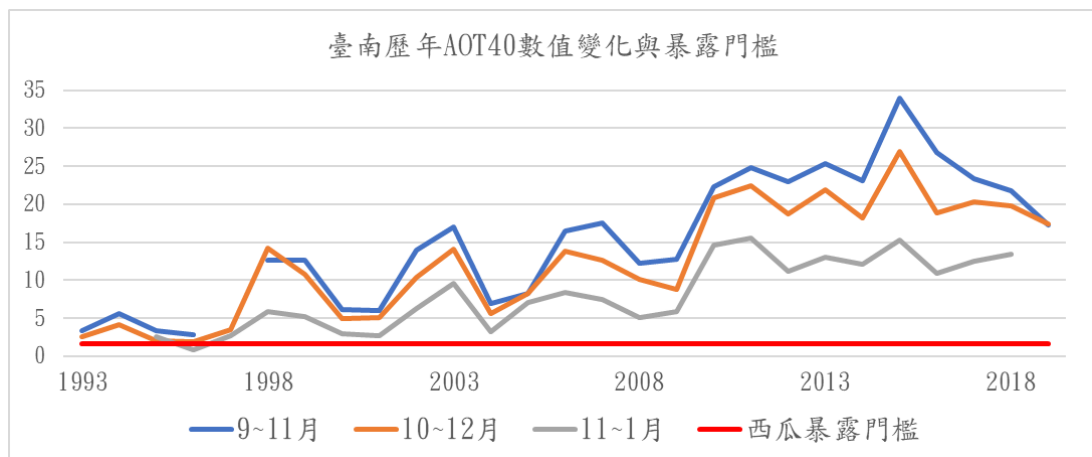


圖 4-68 臺南測站 AOT40 暴露指數(單位：ppm h)。

(四)小結

由前項分析可知，在過去的洋香瓜種植上可能已經受到臭氧的危害，或是暴露在臭氧危害之風險下，不同的生長季、不同之測站之表現略有不同，但若以前述之西瓜之暴露門檻 1.6ppm h 而言，過去研究區皆已處於臭氧危害之風險中，但在不同生長季、測站之間，仍具有程度上的差異，而根據未來推估的結果顯示，未來研究區之臭氧皆是上升的，顯示未來洋香瓜受到臭氧危害之風險將會提高。

二、 高濃度臭氧之影響

由文獻回顧中可得知，臭氧危害除了前述之長時間累積所造成的慢性傷害之外，還有短時間高濃度的急性傷害，因此後續將關注於洋香瓜受高濃度臭氧之影響。

(一)急性傷害之數值

臭氧對植物的傷害除了長時間累積之慢性傷害之外，另也有短時間高濃度對植物所造成的急性傷害，由文獻回顧可知高濃度的臭氧能在數小時內對植物產生危害，並且容易在葉片上觀察到病徵，如在國外研究觀察到當臭氧濃度高

於 80ppb 時，許多高敏感植物便會在葉片上觀察到病徵，在臺灣則有研究發現，在臭氧濃度達 60-70ppb 左右的，對臭氧最敏感的農作物便會產生病徵。由文獻可知，針對臭氧的急性傷害數值，雖然不同作物可能有不同的數值，但較敏感的作物約在 60ppb 以上便有可能產生病徵，數值越高則急性傷害的可能便會越大。

文獻顯示雖然此類的葉片急性傷害並不一定能反映在產量的減少上，但由於傷害常產生在葉片上，勢必會造成作物在生長上產生阻礙，如造成作物收成時品質受到影響，或是在生長時面對其他病害的抵抗力下降等。

(二)洋香瓜受急性危害之可能

由文獻回顧可知，不同的作物可能也會有不同的急性傷害數值，而洋香瓜在過去的研究中，並沒有被特別關注到多少濃度的臭氧會對其造成急性傷害，因此受此限制，本研究目前暫無法詳細評估當前，以及推估未來洋香瓜受到臭氧急性傷害的確切程度，但從文獻亦有提到，當臭氧濃度超過 60ppb，甚至更高至 70、80ppb 時，許多高敏感的作物便會產生葉片病徵，而洋香瓜也屬於對臭氧敏感度較高之作物，因此可以推論當臭氧濃度高於前述之數值時，洋香瓜理論上已經產生相關病徵了。

依據本研究所做之未來推估，各測站秋冬的臭氧推估值平均約在 55 至 70ppb 左右，各測站與各情境略有高低，例如 9 月份之臭氧推估較為偏高，部分測站平均濃度達到 80ppb 以上，但綜觀各月份、各情境推估的結果皆在 55ppb 以上，顯示不管在近未來、世紀中或世紀末，秋冬的臭氧濃度平均至少會在 55ppb 以上。以臭氧之生成特性來說，一天當中的臭氧較不可能維持穩定的平均量，而是隨著時間有低有高，如在夜間數值較低，到午後數值上升至極高，因此若以平均 55ppb 來看的話，一天當中之臭氧高峰可能已經達到會造成洋香瓜傷害的程度，而部分測站甚至出現臭氧推估平均值 60、70ppb 的情況，更顯示在這些測站附近，洋香瓜之臭氧傷害風險極高。

(三)小結

本研究針對雲嘉南地區臭氧數值之分析，結果表明在研究區平均臭氧濃度提高的情況下，一日的臭氧高峰之數值勢必也會提高，與文獻中針對農作物之臭氧急性傷害數值之對照，每小時臭氧濃度達到急性傷害數值的可能性也會增加，代表在未來洋香瓜受到臭氧造成急性傷害的風險也會增加，受到傷害的嚴重程度也將會提高。

如同前述，臭氧之急性傷害多是以葉片傷害來做判斷，較難以產量來衡量，因此此部分較難以洋香瓜之產量資料來分析洋香瓜是否遭受到急性危害。臭氧之急性傷害通常出現在葉片上，並可能反映在作物的品質上，此部分必須是作物之管理者較能發現之現象，因此本研究接下來欲以實地訪談的方式，訪談洋香瓜的種植者，在田間管理中是否有觀察到相關的現象，若在現階段已能觀察到臭氧的病徵，在未來臭氧濃度上升、情況更惡劣時，洋香瓜受到臭氧危害之程度也勢必提升。



第四節 綜合討論

本研究同時採用實地訪談與量化分析進行有關氣候變遷下臭氧對洋香瓜生產之影響，從訪談內容可以發現，洋香瓜在田間管理可能面對的風險非常多元，舉凡自然因素如氣溫、空污、病害、蟲害，或人為因素如資本投入、人力、種植經驗等，都會影響洋香瓜是否有良好的品質與收成，單一年的歉收可能是眾多因素的綜合結果，因此不能僅僅從該年的單位面積產量來判斷是否受到臭氧的危害，而應該更關注洋香瓜在田間管理所受到的各項危害中，臭氧污染可能在其中所扮演的角色。

而量化分析中的未來推估結果則表明，研究區不管是在近未來、世紀中、世紀末，均有程度不等的臭氧上升的現象，隨著發展時間越久，情況會越危險，臭氧危害的風險也會越大。另外有關臭氧暴露之分析也表明，過去不管是慢性傷害或是急性傷害，洋香瓜接暴露於其中，因此綜合量化分析之結果可以說明，未來臭氧暴露將比現在更嚴重、風險更高。

在田間管理中，如同訪談的結果所提到的，農民需要面對非常多樣的危害，且危害經常是相互伴隨而來，加上洋香瓜較難照顧，在危害發生的當下若未及時處理，便有可能將心血付之一炬，也使得農民在處理這些危害已經應接不暇，較難有餘裕去顧慮其他風險尚小，抑或是隱形、較不顯著的危害，此部分可能是臭氧危害尚未受到關注的原因。然而從未來推估結果顯示，臭氧危害在未來會有逐漸明顯且嚴重的趨勢，現階段應開始積極面對，以利於及早因應，避免危害擴大至難以挽救的地步。

另外在面對各項風險當中，可以發現農民皆會有一套調適的方法，如品種改良、官方技術輔導、民間業者合作、以及嘗試新的種植型態與農法等，以面對各種田間危害，足以見臺灣的洋香瓜農民是具備調適能力的，也因此未來臭氧問題逐漸嚴重之時，若能及早提醒農民們有此類的風險須多加防範，必定能將危害程度降到最低。

第五章 結論與建議

第一節 結論

本研究透過量化的數據分析以及實地訪談，分析在未來氣候變遷下，溫度上升對於雲嘉南地區臭氧之影響，進而造成對於洋香瓜之危害，所獲研究成果為：

一、 溫度與臭氧存在正向關係

本研究透過研究區過去之觀測資料，分析溫度與臭氧之關係，結果表明雖然臭氧之形成受到許多因素影響，然而溫度確實與臭氧有正向的關係，亦即在過去溫度上升的同時，容易有高臭氧的現象。此結果同時代表，若未來氣候變遷下平均溫度上升，確實有可能會使臭氧污染更嚴重，進而影響研究區之洋香瓜種植。

二、 未來推估存在地理差異

由未來溫度與臭氧之推估結果表明，當未來氣溫升高，臭氧濃度亦會提高，而增加幅度則有地理差異。在相同的溫度上升幅度中，會導致程度不一的臭氧濃度，其結果會受到當地之氮氧化物、揮發性有機物，甚至是風向的影響，各項因素可能與當地之地理位置或產業特性等有關。

三、 臭氧危害既存且可能加劇

在農作物受到臭氧危害之程度衡量中，本研究採用臭氧暴露指標：AOT40來衡量研究區中洋香瓜受到臭氧危害的程度大小，而臭氧暴露指標結果表明，過去洋香瓜生長可能已經暴露在臭氧危害之下，而在未來臭氧上升的情況之下，臭氧超過暴露門檻的幅度將會更大，代表洋香瓜受到臭氧危害之頻率、嚴重程度都可能會增加，臭氧風險將不容忽視。

四、 田間管理之應對

本研究透過實地訪談，了解研究區中種植洋香瓜之農民過去洋香瓜之田間管理中，是否有對於臭氧危害的相關因應措施，而訪談結果表明目前農民在洋香瓜之田間管理中，並未著重於臭氧防治之上，但從臭氧暴露指標與訪談內容亦可發現，過去洋香瓜的種植中，可能已經受到臭氧之影響，尚未受到農民關注的可能原因為臭氧危害不易察覺、屬於慢性危害，抑或是其為間接性的危害，而田間對於病害的管理多著重於消除直接性的因素如病蟲、細菌等。而未來氣候變遷的情境下，臭氧濃度上升，危害可能轉變為顯著的、急性的危害，因此在洋香瓜之田間管理上應多加留意，並評估可能風險。



第二節 研究限制

本研究結果表明了溫度與臭氧之正向關係，進而對洋香瓜產生危害，而在研究進行時，所遇之研究限制如：

一、 部分觀測資料不足

本研究根據文獻回顧中，臭氧形成受到不同前驅物限制之差異，將分析之情境分為 NO_x-limited 與 VOC-limited 兩種情境，結果亦顯示在不同情境下，同一位置的溫度上升所導致的臭氧上升幅度亦不同。然而在過去的觀測資料中，善化、新港兩測站對於氮氧化物或揮發性有機物的觀測資料不足，致使兩測站無法劃分臭氧限制情境。而朴子測站雖然對氮氧化物與揮發性有機物有進行觀測，但由於觀測數量上偏少，致使朴子測站所建立的模式有較大的不穩定性。

二、 未有洋香瓜之臭氧暴露門檻

針對農作物承受臭氧的能力以及對於臭氧的敏感性，由文獻回顧結果顯示不同的農作物都有不同的耐受能力，部分農作物可能對臭氧是更加敏感的。然而在過去的研究中，不論是長期暴露於臭氧的慢性累積傷害，抑或是短時間高濃度的臭氧急性傷害，都未有相關門檻值之研究。本研究分析所採用之暴露門檻為同為瓜類之西瓜之門檻值，其同為瓜類作物，對於臭氧之耐受程度可能類似；而急性傷害閾值則參考文獻中針對眾多其他作物之實驗所得之數值，未來若有洋香瓜之門檻值，研究結果將更精準，而此部分之數值則需農藝相關之研究或實驗才能達成，。

第三節 建議

本研究針對氣候變遷下溫度變化與臭氧之關係，進而對洋香瓜種植之影響之分析，根據研究結果提供以下建議：

一、 洋香瓜種植建議

根據分析結果，顯示在未來的情境中，研究區內有程度不一的臭氧上升幅度，如在崙背測站的 VOC-limited 情境之臭氧上升的幅度相較之下較高，意味著未來這些地方有可能有較高的臭氧危害風險，因此若種植時無可避免必須選擇這些地方，可避開臭氧濃度容易飆高，如 9 月份，以避免未來洋香瓜在種植時受到臭氧的危害，或是採取更積極的方式，例如採用特定農法以減緩臭氧傷害、或是發展出較能抵抗臭氧的新品種，雖然可能需要部份的時間、金錢成本，也需要各方一同努力，卻也是最有效的防治手段。

二、 洋香瓜臭氧危害之後續研究

本研究結果表明，臭氧對於洋香瓜可能產生之危害，在未來氣候變遷情境下，臭氧危害將更加嚴重，因此對於臭氧危害之研究應該有更多的關注。而後續研究可進行更細部的研究，如利用實驗取得臭氧對洋香瓜的慢性與急性危害之確切數值、臭氧對於洋香瓜所造成的危害與病徵，使其在田間管理中，可以更精確、迅速地辨別是否受到臭氧之傷害。

三、 洋香瓜臭氧防治技術之研究

本研究結果針對未來情境之研究，確認未來臭氧危害有趨於嚴重的趨勢，亦即在未來洋香瓜的田間管理中，臭氧危害已經不容忽視，然而隨著農業相關技術之精進，只要提早進行防治措施，都能有效避免危害，因此相關單位可針對洋香瓜的臭氧防治上研究對策，如品種改良、肥料與農法之運用，幫助農民盡早因應，將危害降到最低。

參考文獻

中文文獻

行政院農業委員會.(無日期). 洋香瓜主題館-農業知識入口網. Retrieved from

<https://kmweb.coa.gov.tw/subject/index.php?id=61>

行政院農業委員會農糧署.(2019). 農產品生產量值. 農業統計年報.

行政院農業委員會農糧署.(無日期). 農情報告資源網. Retrieved from

https://agr.afa.gov.tw/afa/afa_frame.jsp

行政院環境保護署.(2019). 中華民國空氣品質監測報告. 臺北市: 張子敬

行政院環境保護署.(無日期). 環境資源資料庫. Retrieved from

<https://erdb.epa.gov.tw/Subjects/MetaSubject.aspx?topic1=%E5%A4%A7%E6%B0%A3&topic2=%E7%92%B0%E5%A2%83%E5%8F%8A%E7%94%9F%E6%85%8B%E7%9B%A3%E6%B8%AC&subject=%E7%A9%BA%E6%B0%A3%E5%93%81%E8%B3%AA>

何笠維、張欽豪、徐慈鴻.(2011). 臭氧對水稻不同品種葉片為害之比較. 植物保護學會會刊, 53(2), 47-55.

林正忠.(2009). 甜瓜保護：臭氧危害 (Vol. 19:04-12): 行政院農業委員會動植物防疫檢疫局.

空氣品質監測網.(2020a). 光化背景介紹. Retrieved from

<https://airtw.epa.gov.tw/CHT/TaskMonitoring/Photochemical/PhotochemicalBack.aspx>

空氣品質監測網.(2020b). 空氣品質標準. Retrieved from

<https://airtw.epa.gov.tw/CHT/default.aspx>

俞美如、張育森.(2000). 臭氧對植物生育之影響. 科學農業, 48:5/6, 136-141.

柳中明、蘇維中.(1997). 區域氣象環境與高臭氧之相關分析. 大氣科學, 25-1(1), 27-50.

- 美國國家環境保護署. (2017). 國家環境空氣質量標準. Retrieved from <https://www.epa.gov/criteria-air-pollutants/naaqs-table#3>
- 張艮輝, 簡慧貞, & 呂鴻光. (2002). 臭氧污染控制物種與空氣污染防治策略之分析. 環境保護, 25(2), 95-116.
- 黃圓滿、黃賢良. (2009). 甜瓜保護：作物簡介 (Vol. 19:01-01): 行政院農業委員會動植物防疫檢疫局.
- 黃瑞彰、黃圓滿、彭瑞菊、黃秀雯、陳昇寬、鄭安秀. (2016). 設施洋香瓜健康管理技術 (Vol. 105-5(NO.166)): 臺南區農業改良場.
- 楊盛行、朱鈞、盧虎生. (2003). 大氣臭氧濃度及其對水稻生長之影響. 全球變遷通訊雜誌, 40, 130-139.
- 廖秀婷、徐慈鴻. (2012). 應用 AOT40 (Accumulate exposure over a threshold of 40 ppb) 評估農園作物受臭氧為害之潛勢. 行政院農業委員會農業藥物毒物試驗所技術專刊, 216(107), 1-13.
- 臺灣氣候變遷推估資訊與調適知識平台. (2021). 資料說明. Retrieved from https://tccip.ncdr.nat.gov.tw/ds_02_06.aspx
- 歐洲聯盟委員會. (2010). 空氣品質標準. Retrieved from <https://ec.europa.eu/environment/air/quality/standards.htm>
- 蔡孟君. (1994). 臭氧對臺灣地區植物之影響. 國立臺灣大學植物病蟲害學研究所碩士論文.
- 鄧汀欽. (2011). 三十年來台灣瓜類病毒病害的流行趨勢演變. 農作物害蟲及其媒介病害整合防治技術研討會專刊, :, 147-163.

外文文獻

- Ainsworth, E. A., Rogers, A., & Leakey, A. D. (2008). Targets for crop biotechnology in a future high-CO₂ and high-O₃ world. *Plant physiology*, 147(1), 13-19.
- Anav, A., De Marco, A., Proietti, C., Alessandri, A., Dell'Aquila, A., Cionni, I., . . .

- Paoletti, E. (2016). Comparing concentration-based (AOT40) and stomatal uptake (PODY) metrics for ozone risk assessment to European forests. *Global change biology*, 22(4), 1608-1627.
- Avnery, S., Mauzerall, D. L., Liu, J., & Horowitz, L. W. (2011). Global crop yield reductions due to surface ozone exposure: 1. Year 2000 crop production losses and economic damage. *Atmospheric Environment*, 45(13), 2284-2296.
- Benton, J., Fuhrer, J., Gimeno, B., Skärby, L., Palmer-Brown, D., Ball, G., . . . Mills, G. (2000). An international cooperative programme indicates the widespread occurrence of ozone injury on crops. *Agriculture, ecosystems environment*, 78(1), 19-30.
- Cooper, O. R., Parrish, D., Ziemke, J., Cupeiro, M., Galbally, I., Gilge, S., . . . Naik, V. (2014). Global distribution and trends of tropospheric ozone: An observation-based review.
- Emberson, L., Ashmore, M., Murray, F., Kuyslenstierna, J., Percy, K., Izuta, T., . . . Liu, C. (2001). Impacts of air pollutants on vegetation in developing countries. *Water, Air, Soil Pollution*, 130(1-4), 107-118.
- Emberson, L., Büker, P., Ashmore, M., Mills, G., Jackson, L., Agrawal, M., . . . Jamir, C. (2009). A comparison of North American and Asian exposure–response data for ozone effects on crop yields. *Atmospheric Environment*, 43(12), 1945-1953.
- Fernandez-Bayon, J., Barnes, J., Ollerenshaw, J., & Davison, A. (1993). Physiological effects of ozone on cultivars of watermelon (*Citrullus lanatus*) and muskmelon (*Cucumis melo*) widely grown in Spain. *Environmental Pollution*, 81(3), 199-206.
- Grulke, N. E., & Heath, R. L. (2020). Ozone effects on plants in natural ecosystems. *Plant Biology*, 22, 12-37.

- Hatakeyama, S., Akimoto, H., & Washida, N. (1991). Effect of temperature on the formation of photochemical ozone in a propene-nitrogen oxide (NO_x)-air-irradiation system. *Environmental science & technology*, 25(11), 1884-1890.
- Heggstad, H. E., & Middleton, J. T. (1959). Ozone in high concentrations as cause of tobacco leaf injury. *Science*, 129(3343), 208-210.
- Hill, A. C., Pack, M., Treshow, M., Downs, R., & Transtrum, L. (1961). Plant injury induced by ozone. *Phytopathology*, 51.
- Horton, D. E., & Diffenbaugh, N. S. (2012). Response of air stagnation frequency to anthropogenically enhanced radiative forcing. *Environmental Research Letters*, 7(4), 044034.
- Hůnová, I., Livorová, H., & Ostatnická, J. (2003). Potential ambient ozone impact on ecosystems in the Czech Republic as indicated by exposure index AOT40. *Ecological Indicators*, 3(1), 35-47.
- Krupa, S., McGrath, M. T., Andersen, C. P., Booker, F. L., Burkey, K. O., Chappelka, A. H., . . . Zilinskas, B. A. (2001). Ambient ozone and plant health. *Plant Disease*, 85(1), 4-12.
- Mills, G., Buse, A., Gimeno, B., Bermejo, V., Holland, M., Emberson, L., & Pleijel, H. (2007). A synthesis of AOT40-based response functions and critical levels of ozone for agricultural and horticultural crops. *Atmospheric Environment*, 41(12), 2630-2643.
- Mills, G., Hayes, F., Simpson, D., Emberson, L., Norris, D., Harmens, H., & Büker, P. (2011). Evidence of widespread effects of ozone on crops and (semi-) natural vegetation in Europe (1990–2006) in relation to AOT40-and flux-based risk maps. *Global Change Biology*, 17(1), 592-613.
- Pachauri, R. K., Allen, M. R., Barros, V. R., Broome, J., Cramer, W., Christ, R., . . . Dasgupta, P. (2014). Climate change 2014: synthesis report. Contribution of

- Working Groups I, II and III to the fifth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change: Ipcc.
- Pleijel, H., Wallin, G., Karlsson, P., Skärby, L., & Selldén, G. (1995). Gradients of ozone at a forest site and over a field crop consequences for the AOT40 concept of critical level. *Water, air, soil pollution*, 85(4), 2033-2038.
- Sawada, H., & Kohno, Y. (2009). Differential ozone sensitivity of rice cultivars as indicated by visible injury and grain yield. *Plant Biology*, 11, 70-75.
- Sharma, A., Ojha, N., Pozzer, A., Beig, G., & Gunthe, S. S. (2019). Revisiting the crop yield loss in India attributable to ozone. *Atmospheric Environment: X*, 1, 100008.
- Sillman, S., & Samson, P. J. (1995). Impact of temperature on oxidant photochemistry in urban, polluted rural and remote environments. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 100(D6), 11497-11508.
- Simini, M., Snyder, R. G., & Simon, J. E. (1986). Differential sensitivity of muskmelon and watermelon cultivars to ozone-induced foliar injury. Paper presented at the Proceedings of the Indiana Academy of Science.
- Staehelin, J., Harris, N., Appenzeller, C., & Eberhard, J. (2001). Ozone trends: A review. *Reviews of Geophysics*, 39(2), 231-290.
- Van Dingenen, R., Dentener, F. J., Raes, F., Krol, M. C., Emberson, L., & Cofala, J. (2009). The global impact of ozone on agricultural crop yields under current and future air quality legislation. *Atmospheric Environment*, 43(3), 604-618.
- Van Vuuren, D. P., Edmonds, J., Kainuma, M., Riahi, K., Thomson, A., Hibbard, K., . . . Lamarque, J.-F. (2011). The representative concentration pathways: an overview. *Climatic change*, 109(1), 5-31.
- WHO. (2000). Effects of ozone on vegetation: critical levels: World Health Organization Regional Office for Europe Copenhagen.



附錄

附表 7-1 嘉義測站 NOx-limited 情境各函數之參數。

函數	①	②	③	④
a	2.627172***	5.26319***	0.9673462***	5.00989***
b	0.057749***	-28.26529***	0.1963636***	0.80458
c			-0.0027889***	0.06175***
$r^2(\text{adj.})$	0.3435			
resid ²	151.3966	154.0968	144.3573	146.381

附表 7-2 嘉義測站 VOC-limited 情境各函數之參數。

函數	①	②	③	④
a	2.480194***	5.47870***	0.0459827	4.71788***
b	0.061764***	-34.78877***	0.2637051***	-1.57580
c			-0.0040320***	0.09232***
$r^2(\text{adj.})$	0.3799			
resid ²	131.6588	124.4008	121.0285	123.1359

附表 7-3 崙背測站 NOx-limited 情境各函數之參數。

函數	①	②	③	④
a	2.995736***	4.78303***	2.6171847***	5.36170***
b	0.040552***	-18.07060***	0.0742584***	2.59969***
c			-0.0007071	0.02912
$r^2(\text{adj.})$	0.3404			
resid ²	51.88453	53.64879	51.5864	51.62758

附表 7-4 崙背測站 VOC-limited 情境各函數之參數。

函數	①	②	③	④
a	2.715443***	5.16009***	2.659e+00***	2.094e+01
b	0.053847***	-26.41669	5.868e-02*	2.666e+00***
c			-9.964e-05	3.183e-03
$r^2(\text{adj.})$	0.3703			
resid ²	63.42943	66.54398	63.42579	63.42629

附表 7-5 朴子測站 NOx-limited 情境各函數之參數。

函數	①	②	③	④
a	3.563321***	4.8133***	1.462618*	4.38811***
b	0.025898***	-14.5599	0.207825***	-0.17211
c			-0.003810***	0.13700
$r^2(\text{adj.})$	0.1139			
resid ²	9.2502	8.873641	8.29433	8.773559

附表 7-6 朴子測站 VOC-limited 情境各函數之參數。

函數	①	②	③	④
a	2.46501***	5.3130***	4.087051**	3.32393***
b	0.06795***	-28.7880***	-0.083936	3.37584***
c			0.003435	-0.10937
$r^2(\text{adj.})$	0.577			
resid ²	1.3928	1.611703	1.313053	1.310246

附表 7-7 臺南測站 NOx-limited 情境各函數之參數。

函數	①	②	③	④
a	2.835652***	5.3895***	0.6367556*	4.71930***
b	0.051829***	-30.4198***	0.2316750***	-0.72171
c			-0.0035706	0.09219
$r^2(\text{adj.})$	0.2682			
resid ²	237.6687	231.73	227.8015	230.2513

附表 7-8 臺南測站 VOC-limited 情境各函數之參數。

函數	①	②	③	④
a	2.446896***	5.4235***	-0.5760081	4.54782***
b	0.061472***	-34.6612***	0.3139478***	-3.24601
c			-0.0050980	0.11018***
$r^2(\text{adj.})$	0.2959			
resid ²	50.78625	47.7962	46.50526	47.30686

附表 7-9 臺南測站 NO_x-limited 情境各函數之參數。

函數	①	②	③	④
a	3.090581***	5.1158***	1.2106539***	4.64412***
b	0.041806***	-23.3163***	0.1954567***	0.50855
c			-0.0030259***	0.08756
$r^2(\text{adj.})$	0.2171			
resid ²	110.2744	107.3429	104.4625	106.0907

附表 7-10 臺南測站 VOC-limited 情境各函數之參數。

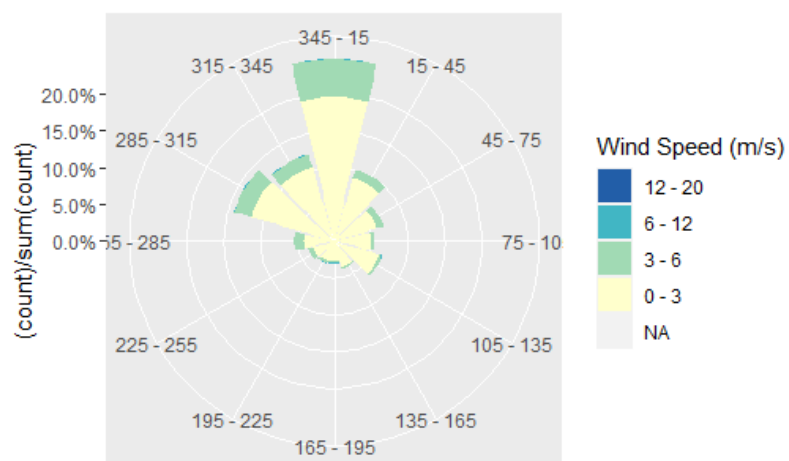
函數	①	②	③	④
a	2.657382***	5.06199***	1.8544908***	5.72740***
b	0.054343***	-24.56057***	0.1208072***	1.96809***
c			-0.0013245***	0.03196**
$r^2(\text{adj.})$	0.3684			
resid ²	110.3246	120.7094	108.8683	109.3081

附表 7-11 善化測站各函數之參數。

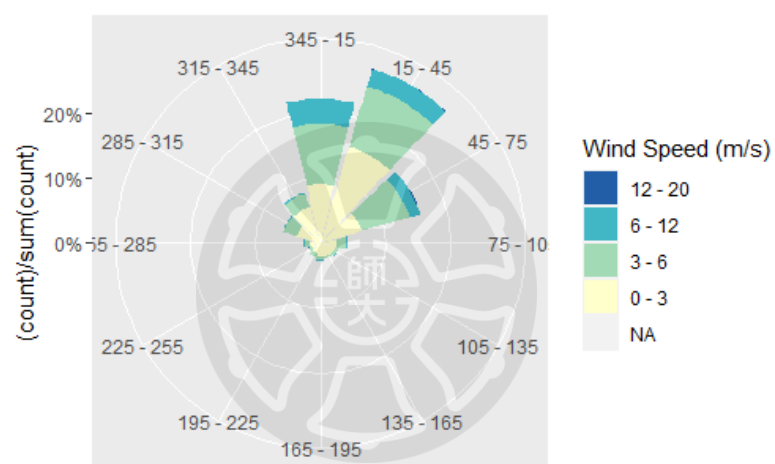
函數	①	②	③	④
a	2.523685***	5.52390***	0.553452**	4.956698***
b	0.061392***	-34.97187***	0.220253***	-0.254658
c			-0.003095***	0.072713***
$r^2(\text{adj.})$	0.3595			
resid ²	321.3404	313.9639	305.2237	308.2547

附表 7-12 新港測站各函數之參數。

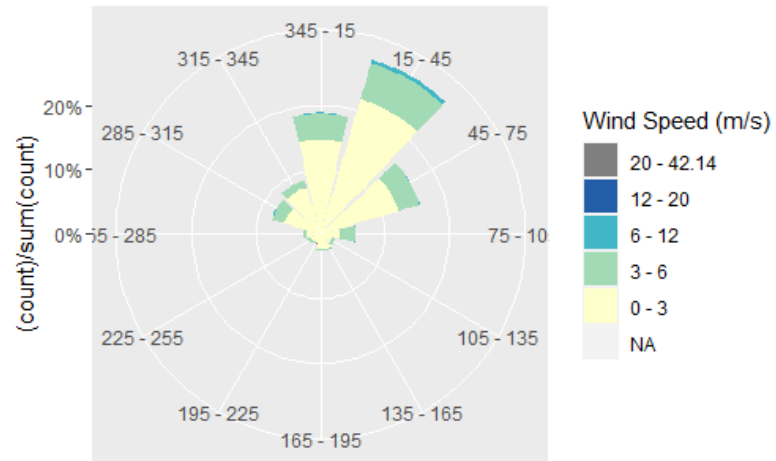
函數	①	②	③	④
a	2.95418***	4.94125***	2.3459430***	5.514076***
b	0.04567***	-19.96240***	0.0975935***	2.416899***
c			-0.0010627***	0.031740***
$r^2(\text{adj.})$	0.3228			
resid ²	246.0873	261.9793	243.7063	244.3712



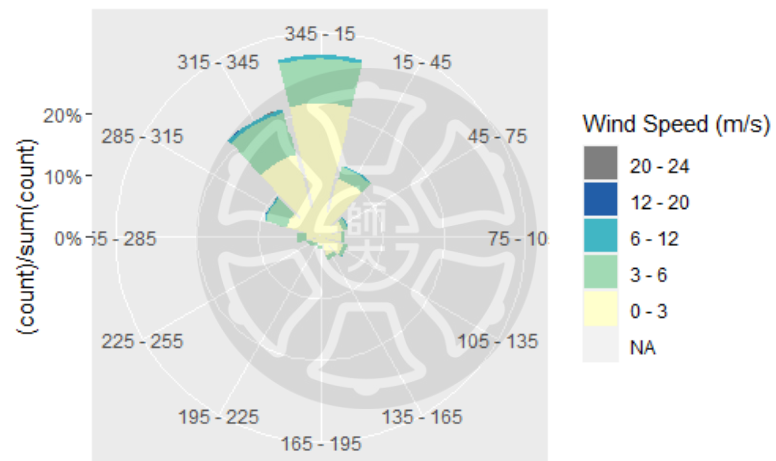
附圖 7-1 嘉義測站風玫瑰圖。



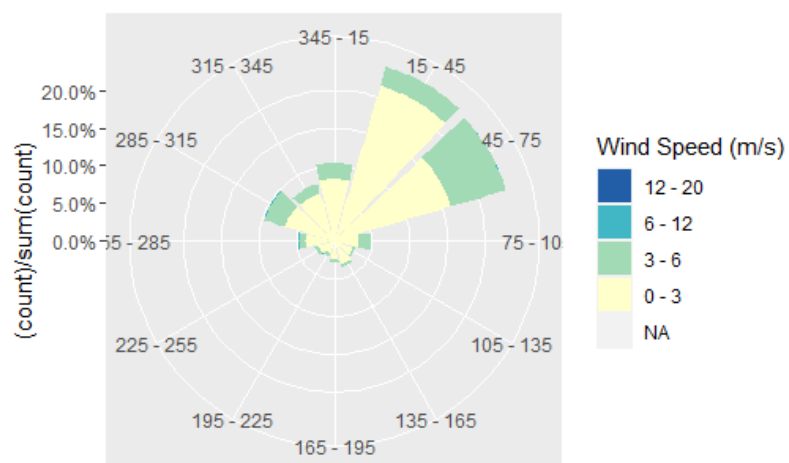
附圖 7-2 崙背測站風玫瑰圖。



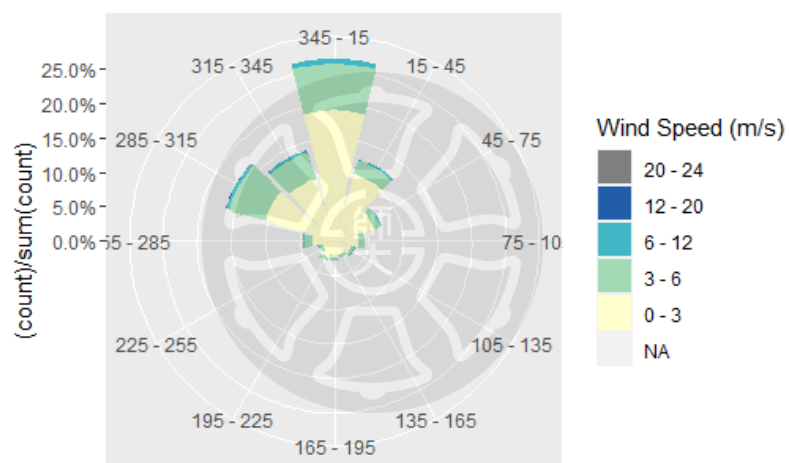
附圖 7-3 朴子測站風瑰圖。



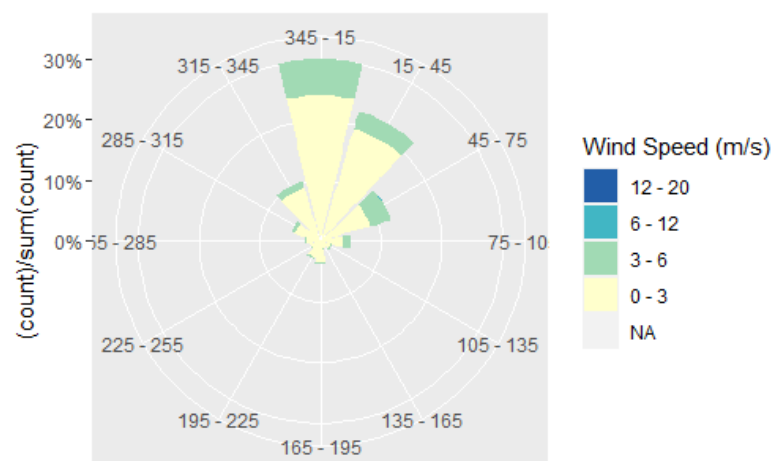
附圖 7-4 善化測站風瑰圖。



附圖 7-5 臺南測站風瑰圖。

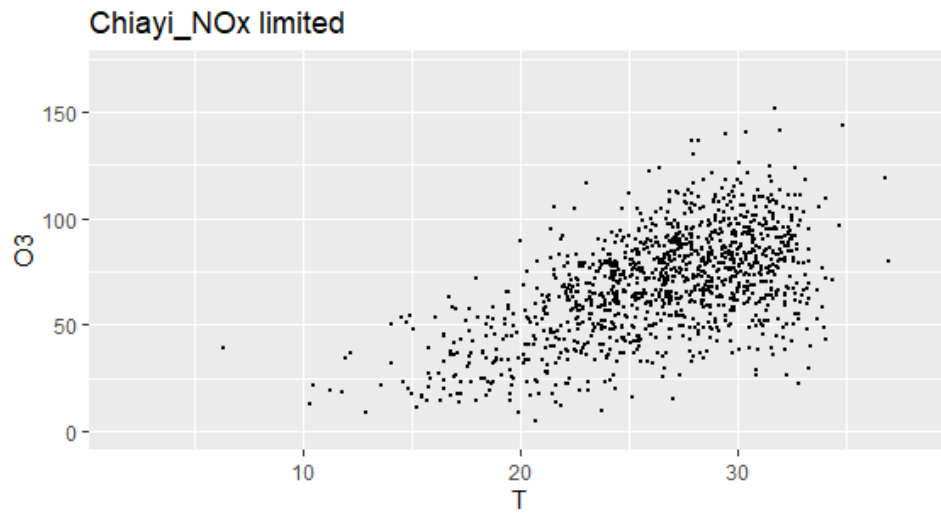


附圖 7-6 新港測站風瑰圖。

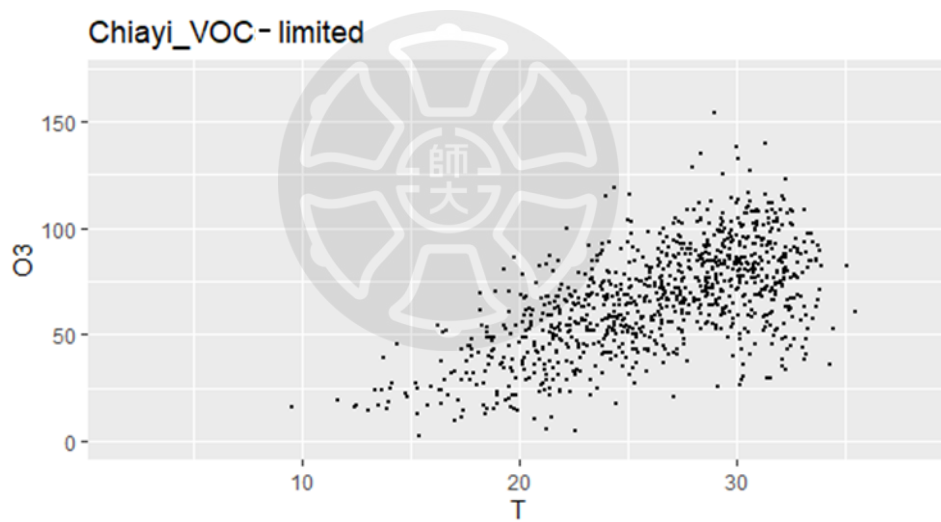


附圖 7-7 新營測站風玫瑰圖。

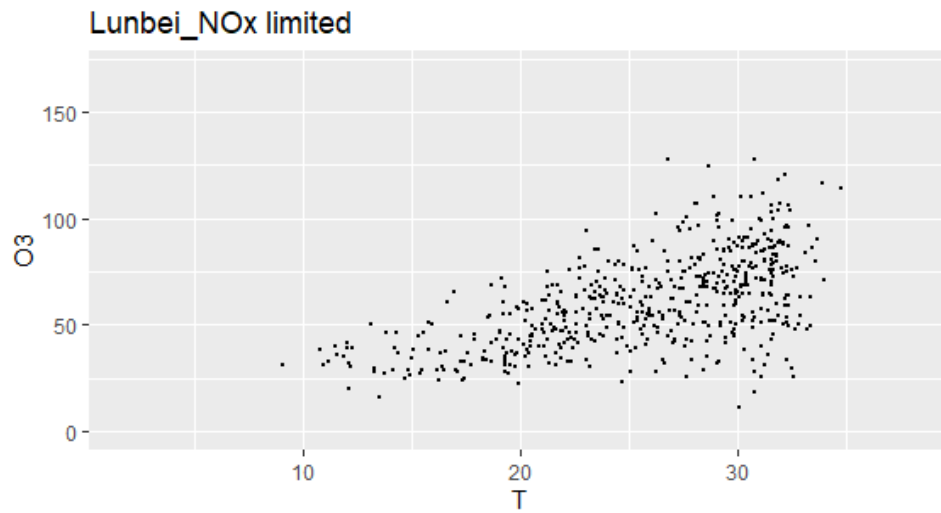




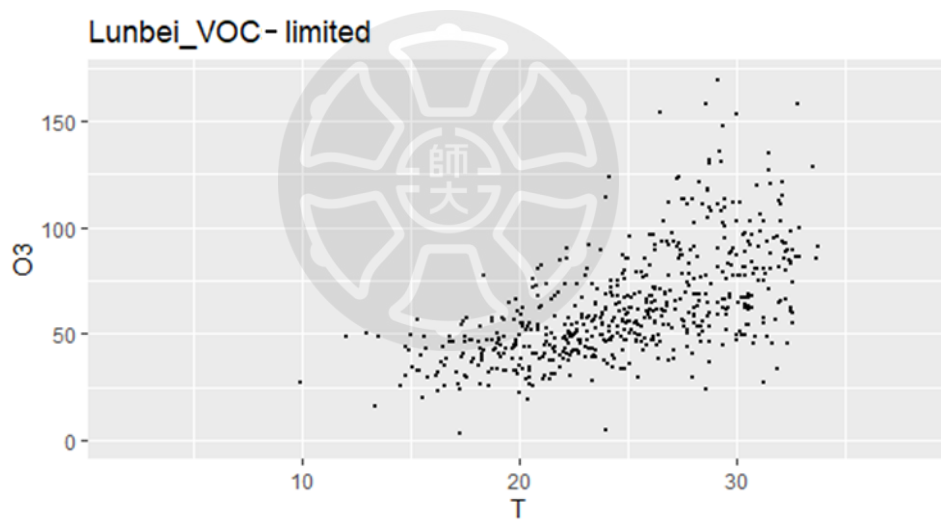
附圖 7-8 嘉義測站氣溫與臭氧關係圖(NOx-limited)。



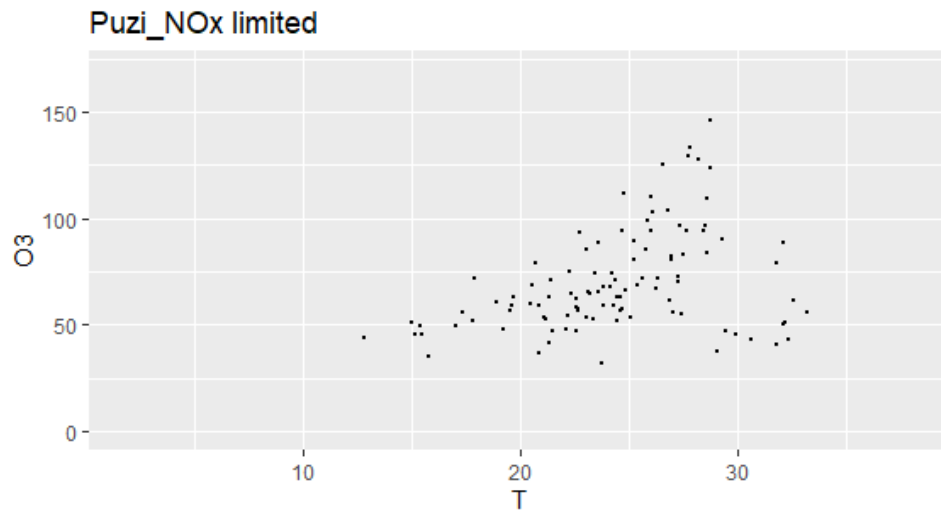
附圖 7-9 嘉義測站氣溫與臭氧關係圖(VOC-limited)。



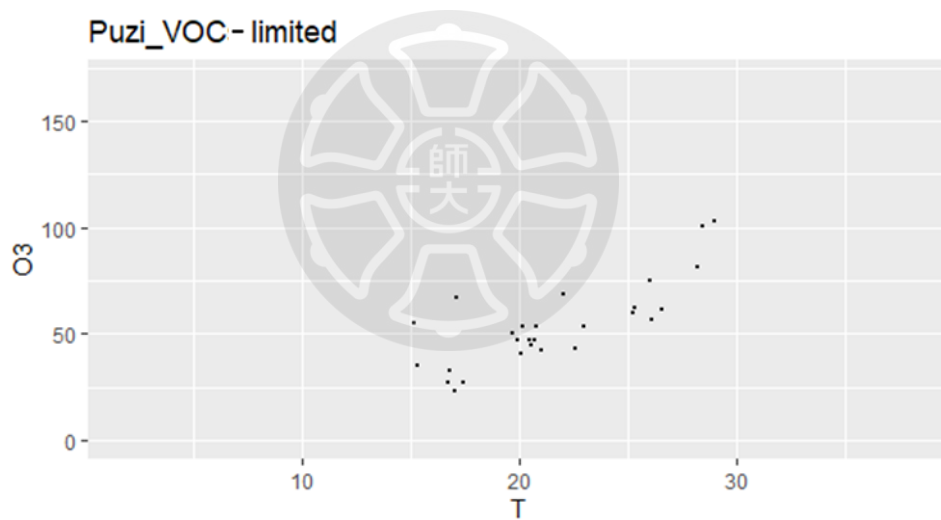
附圖 7-10 崙背測站氣溫與臭氧關係圖圖(NO_x-limited)。



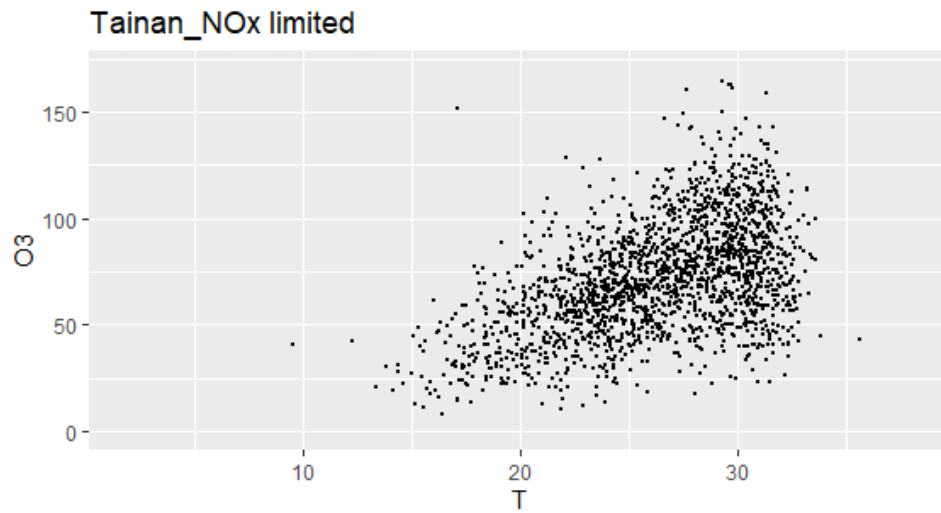
附圖 7-11 崙背測站氣溫與臭氧關係圖(VOC-limited)。



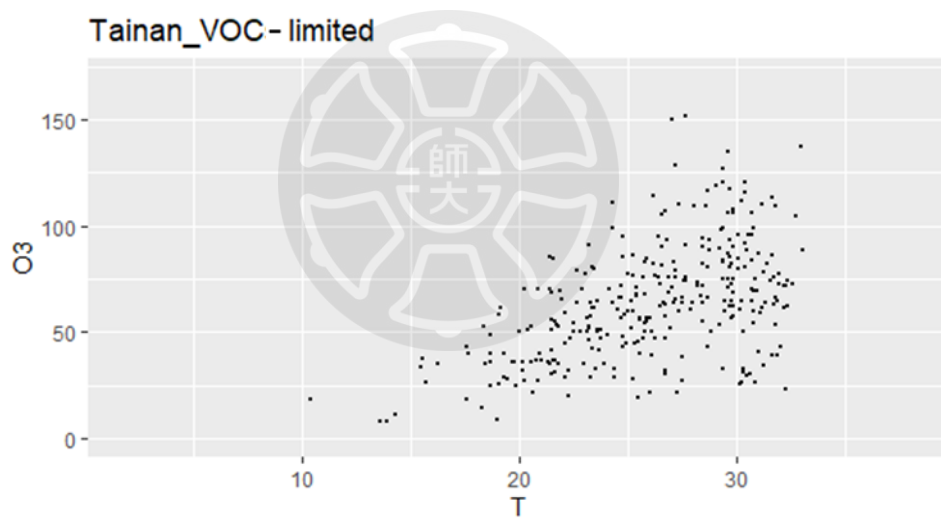
附圖 7-12 朴子測站氣溫與臭氧關係圖圖(NOx-limited)。



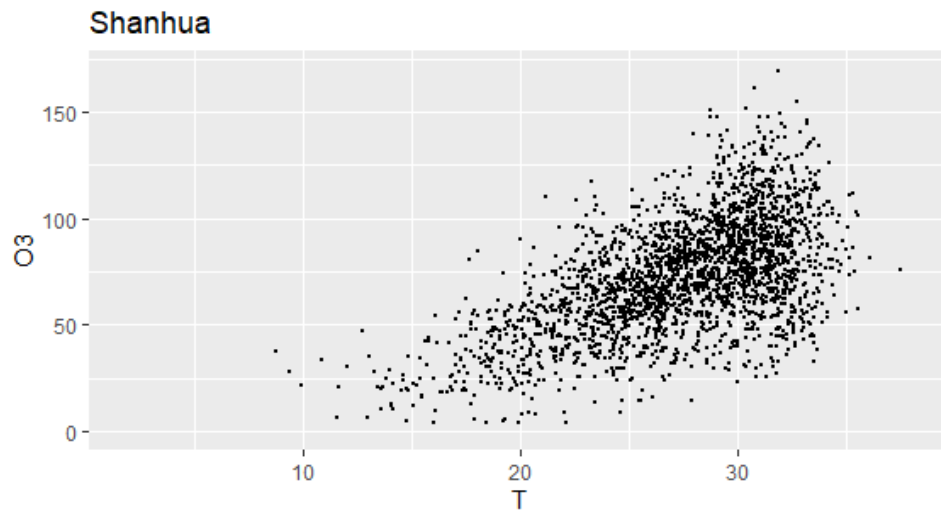
附圖 7-13 朴子測站氣溫與臭氧關係圖(VOC-limited)。



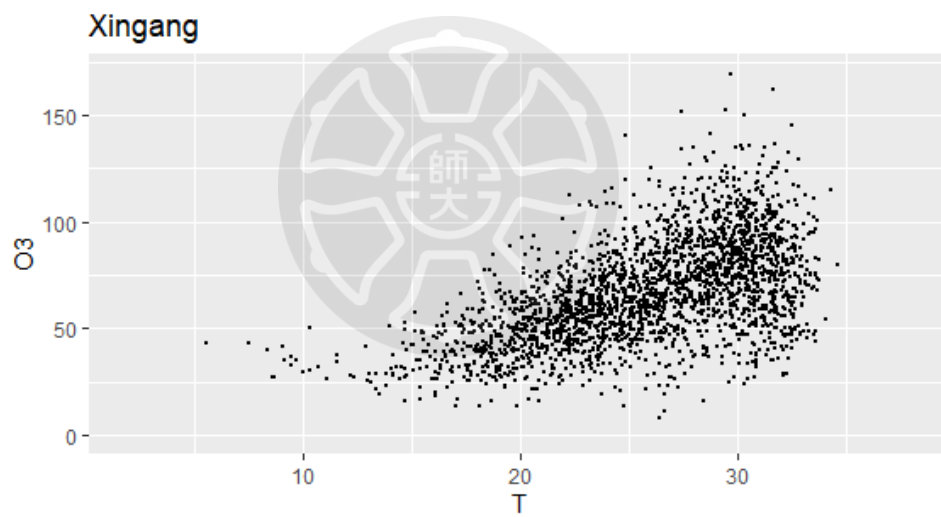
附圖 7-14 臺南測站氣溫與臭氧關係圖圖(NOx-limited)。



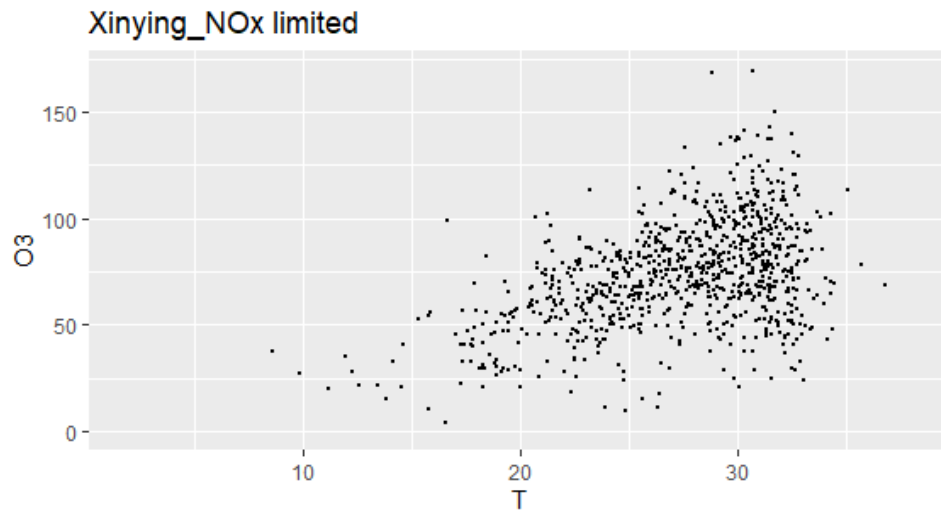
附圖 7-15 臺南測站氣溫與臭氧關係圖(VOC-limited)。



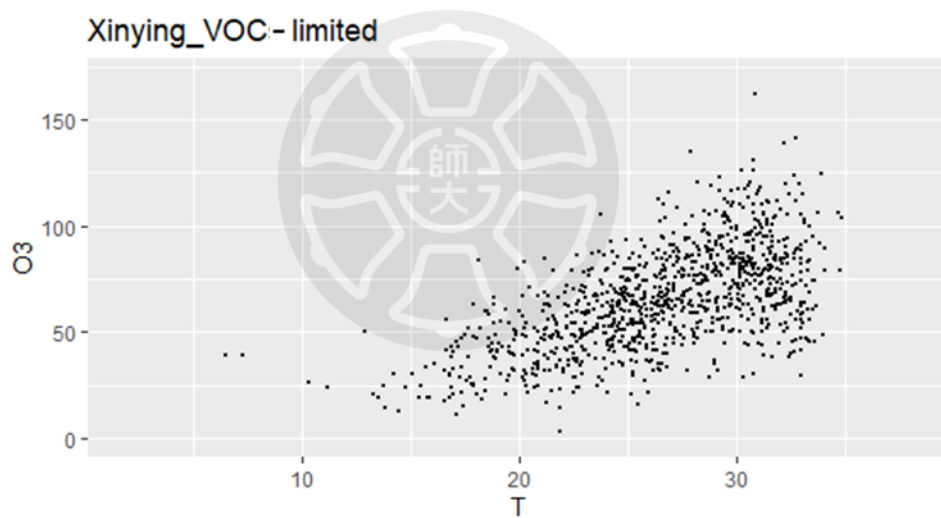
附圖 7-16 善化測站氣溫與臭氧關係圖。



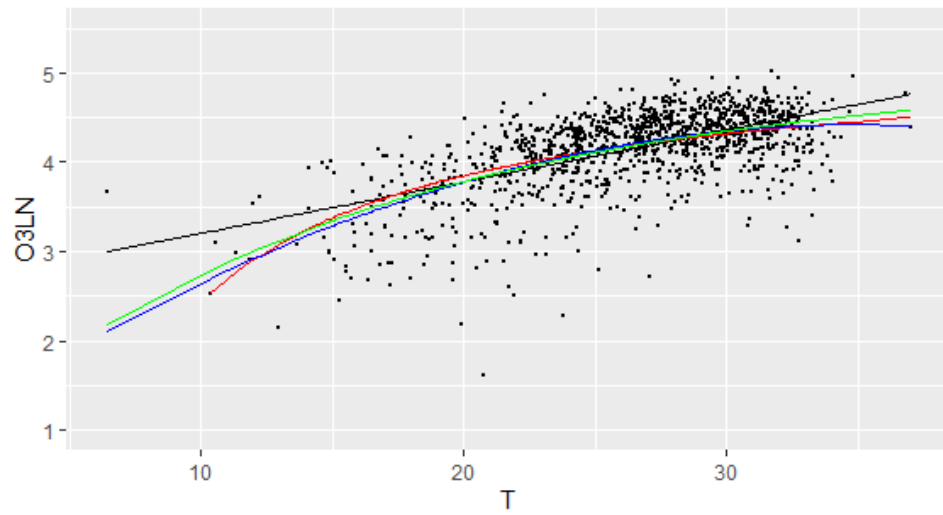
附圖 7-17 新港測站氣溫與臭氧關係圖。



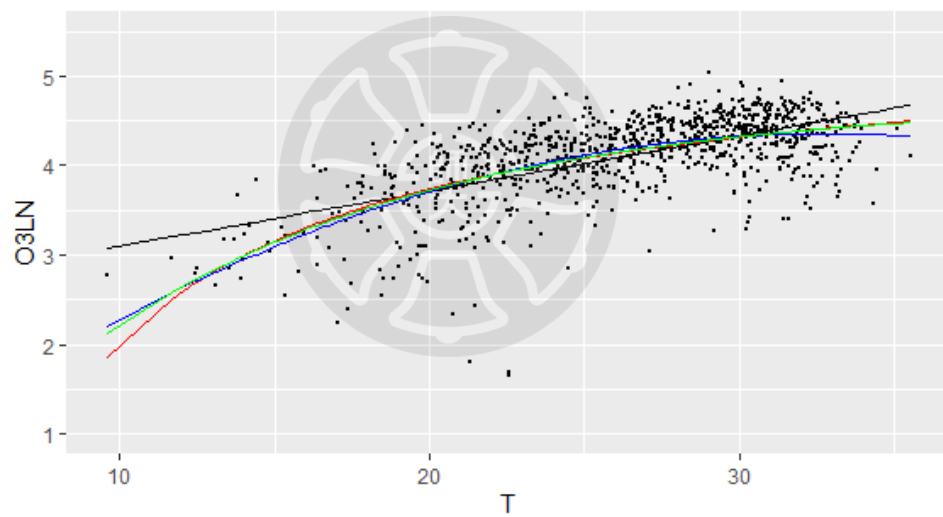
附圖 7-18 新營測站氣溫與臭氧關係圖圖(NOx-limited)。



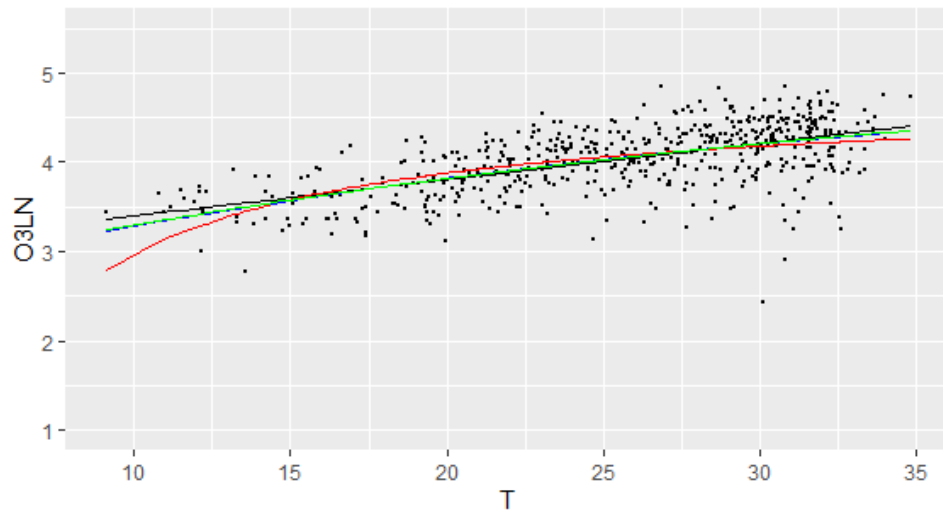
附圖 7-19 新營測站氣溫與臭氧關係圖(VOC-limited)。



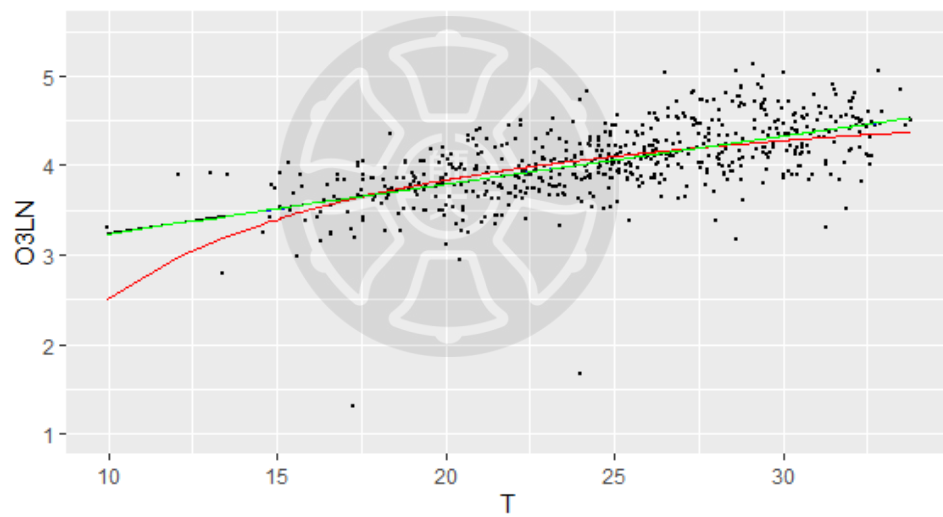
附圖 7-20 嘉義測站 NO_x-limited 情境散佈圖與函數比較圖。



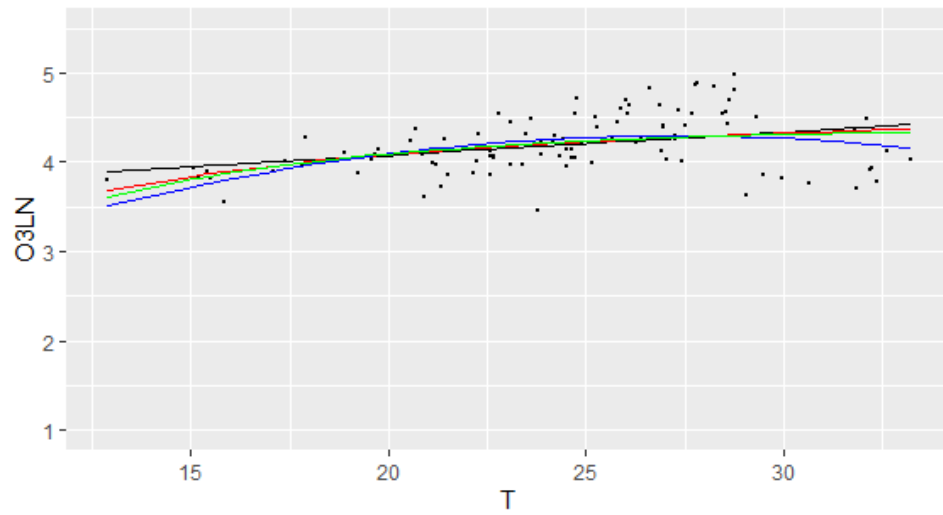
附圖 7-21 嘉義測站 VOC-limited 情境散佈圖與函數比較圖。



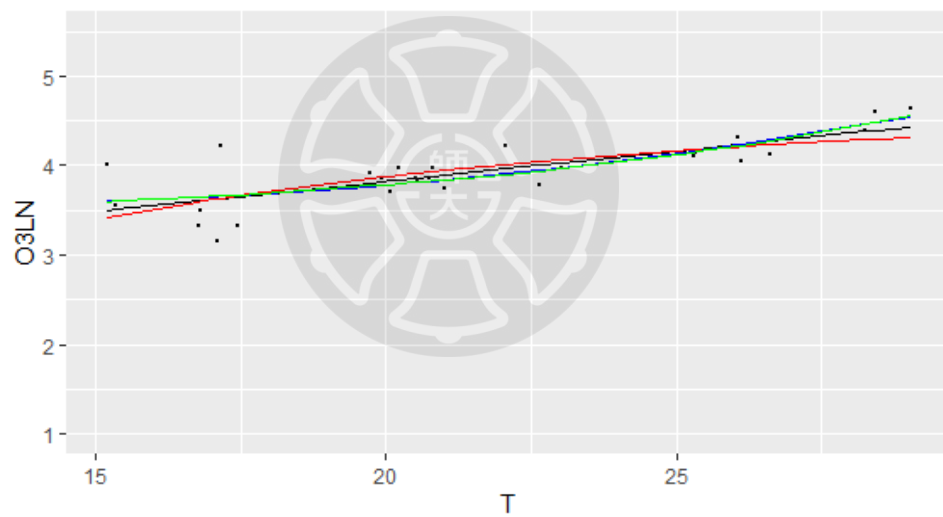
附圖 7-22 崙背測站 NO_x-limited 情境散佈圖與函數比較圖。



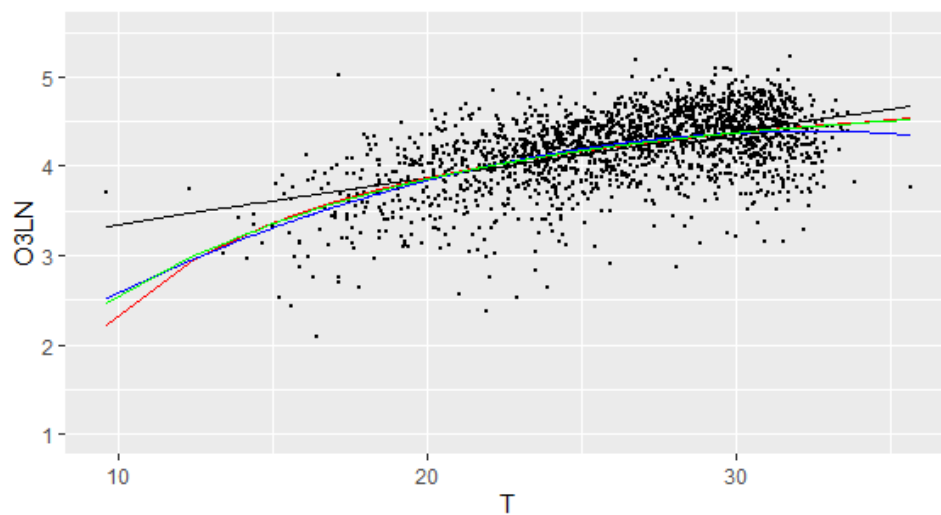
附圖 7-23 崙背測站 VOC-limited 情境散佈圖與函數比較圖。



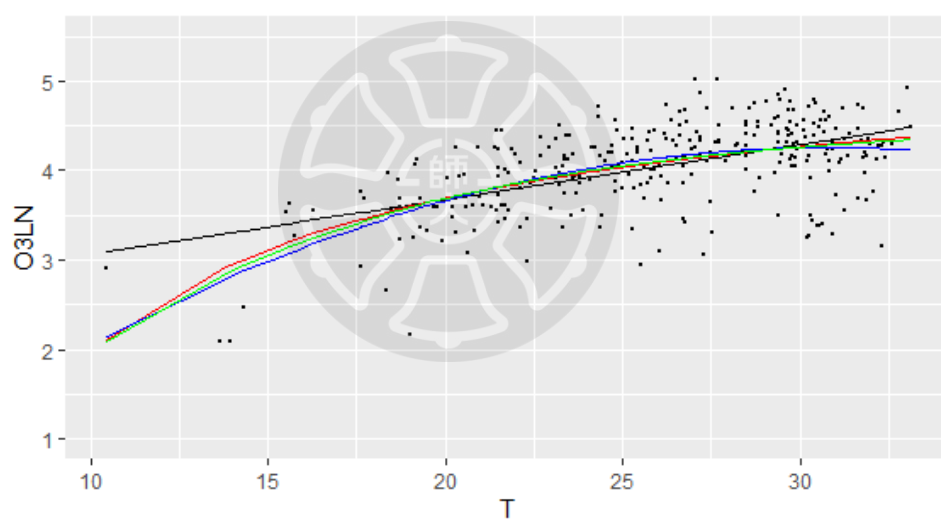
附圖 7-24 朴子測站 NO_x-limited 情境散佈圖與函數比較圖。



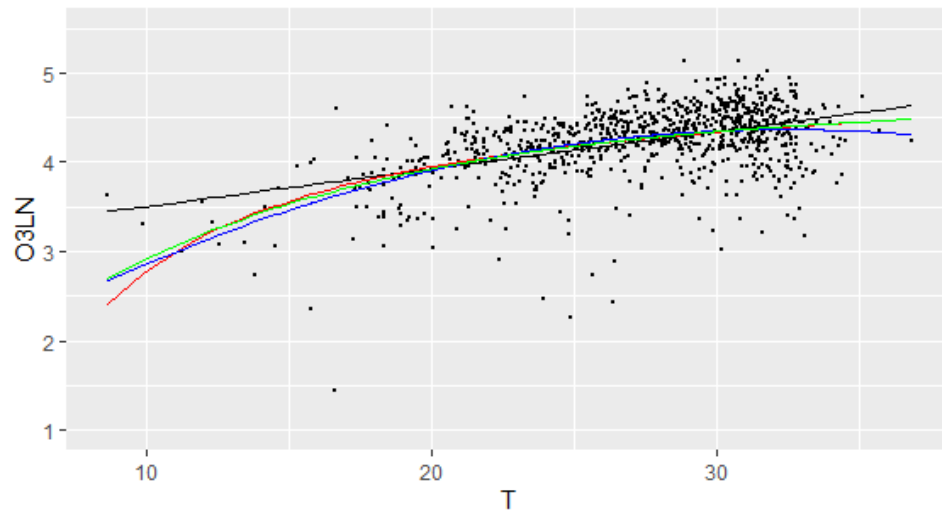
附圖 7-25 朴子測站 VOC-limited 情境散佈圖與函數比較圖。



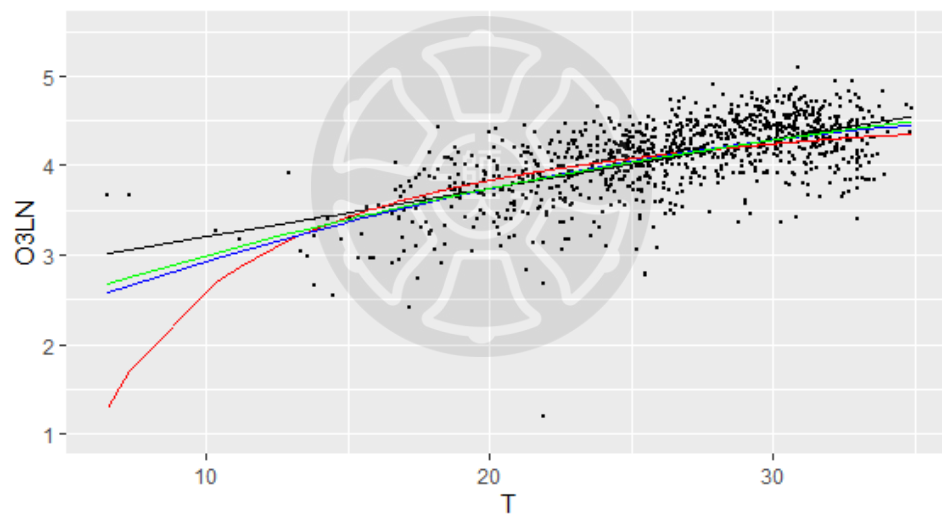
附圖 7-26 臺南測站 NO_x-limited 情境散佈圖與函數比較圖。



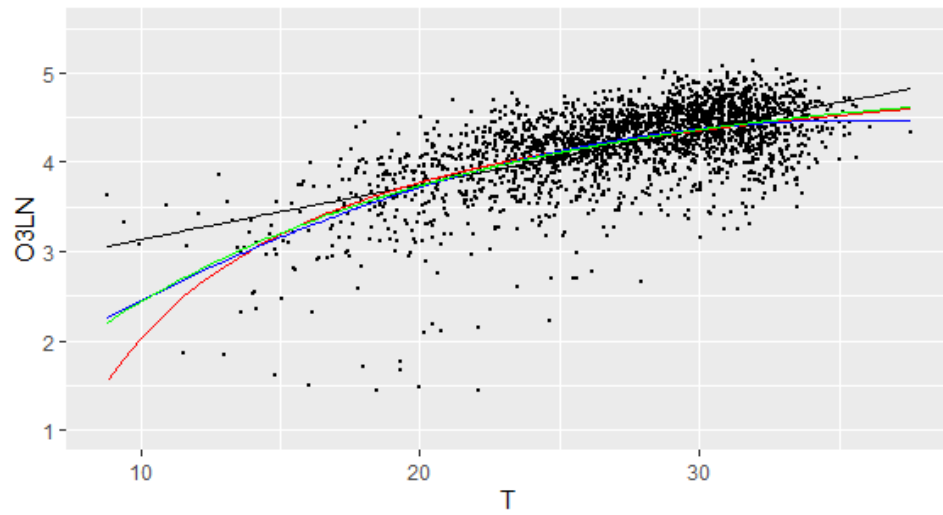
附圖 7-27 臺南測站 VOC-limited 情境散佈圖與函數比較圖。



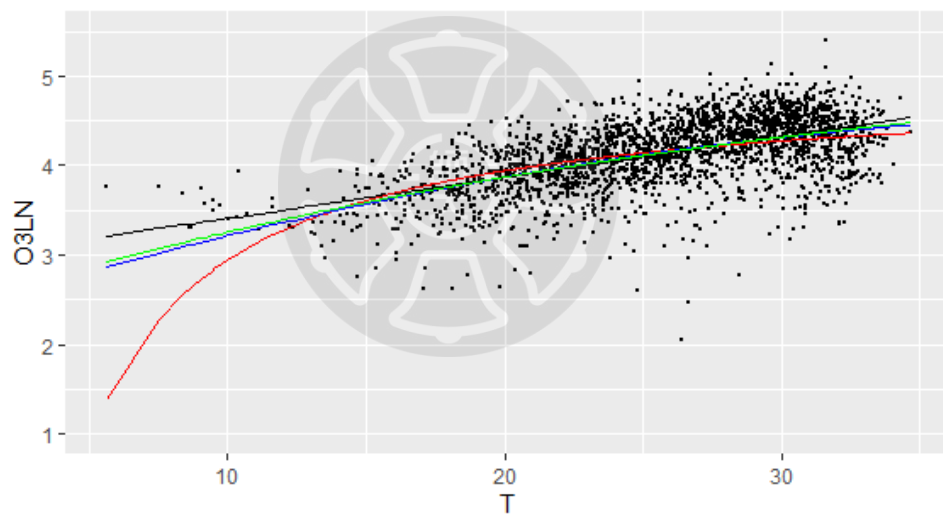
附圖 7-28 新營測站 NO_x-limited 情境散佈圖與函數比較圖。



附圖 7-29 新營測站 VOC-limited 情境散佈圖與函數比較圖。

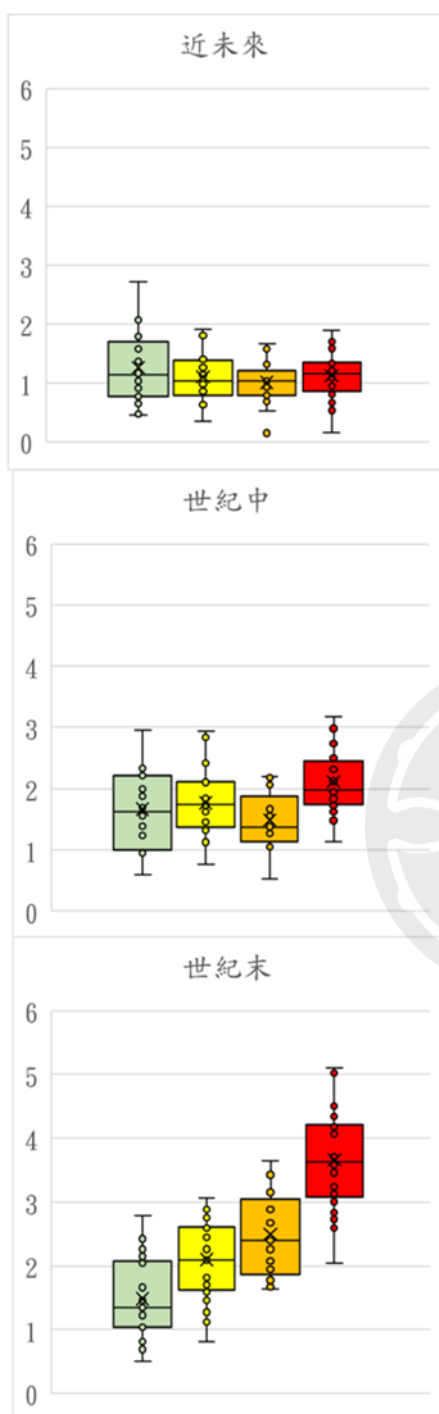


附圖 7-30 善化測站散佈圖與函數比較圖。



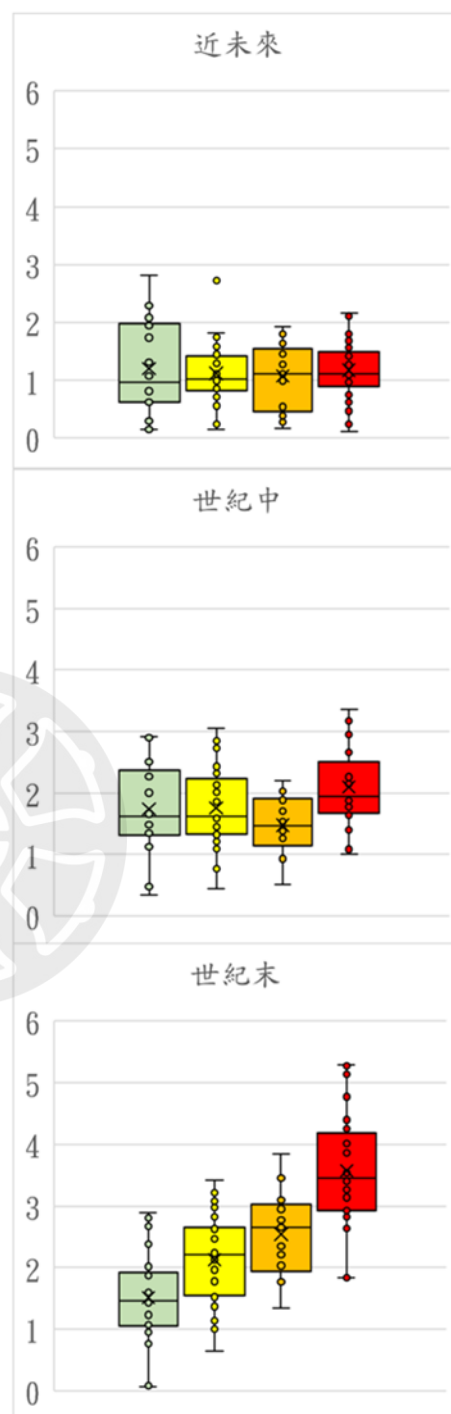
附圖 7-31 新港測站散佈圖與函數比較圖。

嘉義未來推估氣溫距平



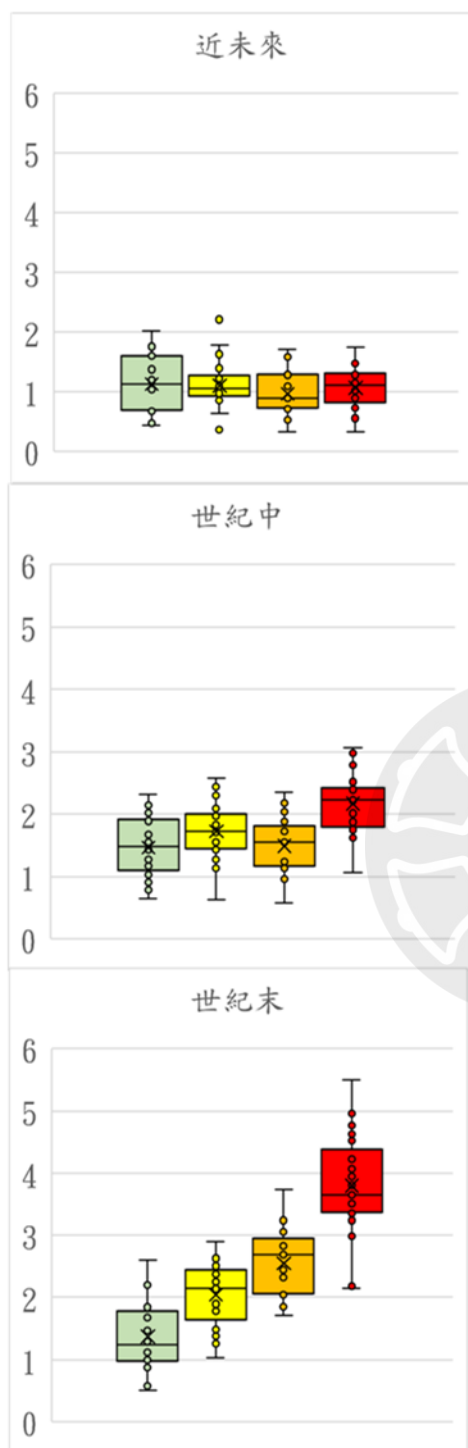
附圖 7-32 嘉義測站氣溫推估結果。

嘉義未來推估氣溫距平(1月)



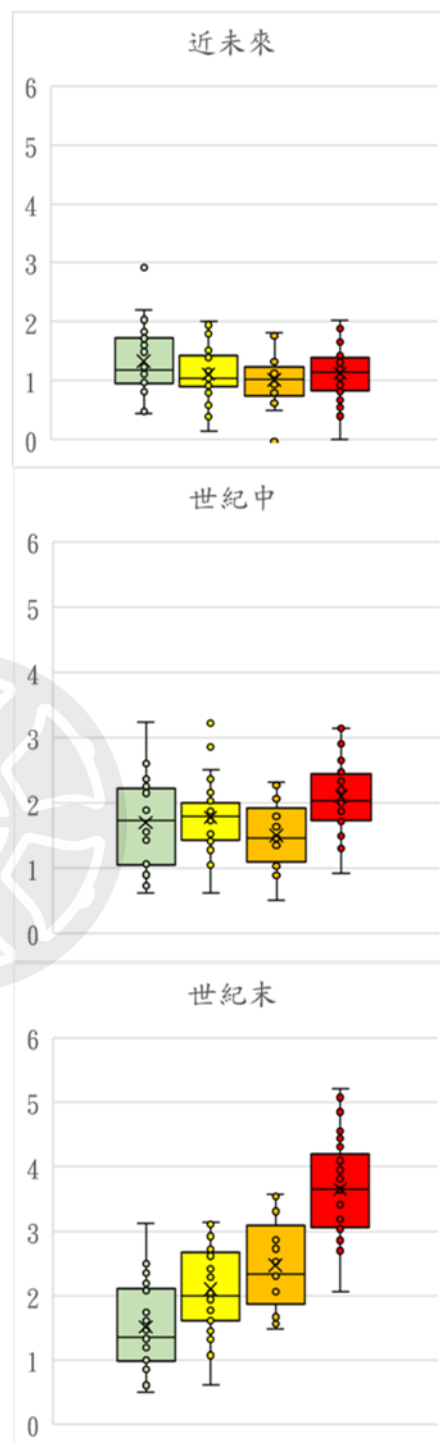
附圖 7-33 嘉義測站氣溫(1月)
推估結果。

嘉義未來推估氣溫距平(9月)



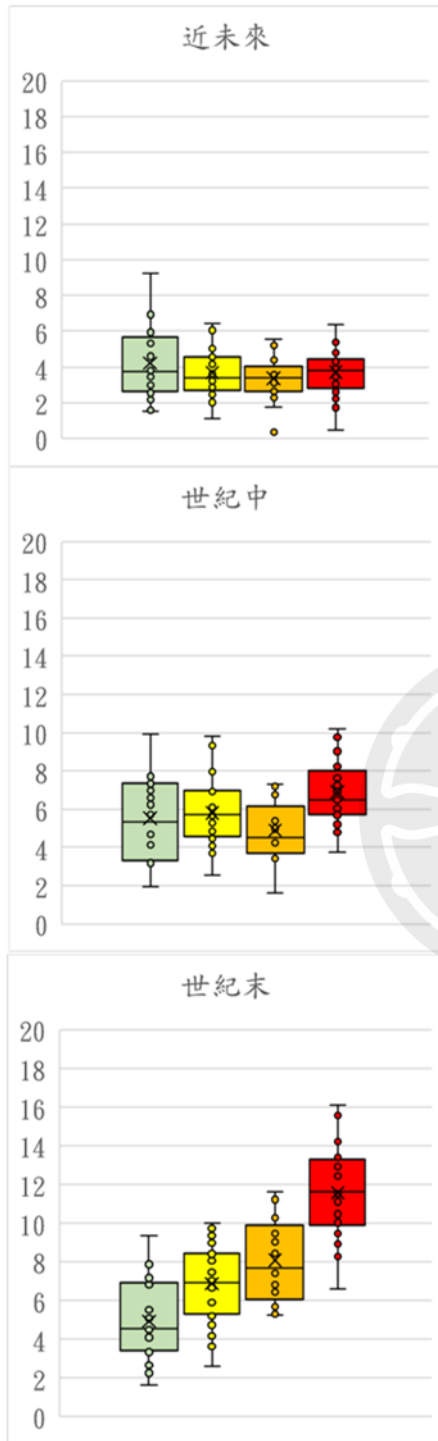
附圖 7-34 嘉義測站氣溫(9月)推估結果。

嘉義未來推估氣溫距平
(10-12月)



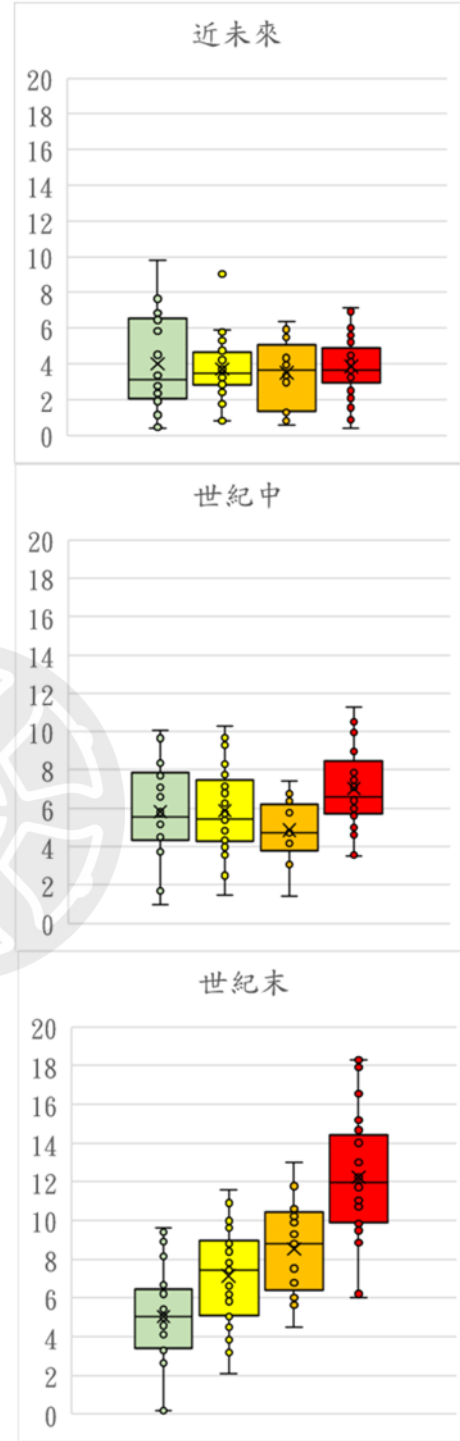
附圖 7-35 嘉義測站氣溫(10-12月)推估結果。

嘉義未來推估臭氧距平
(NO_x-limited)



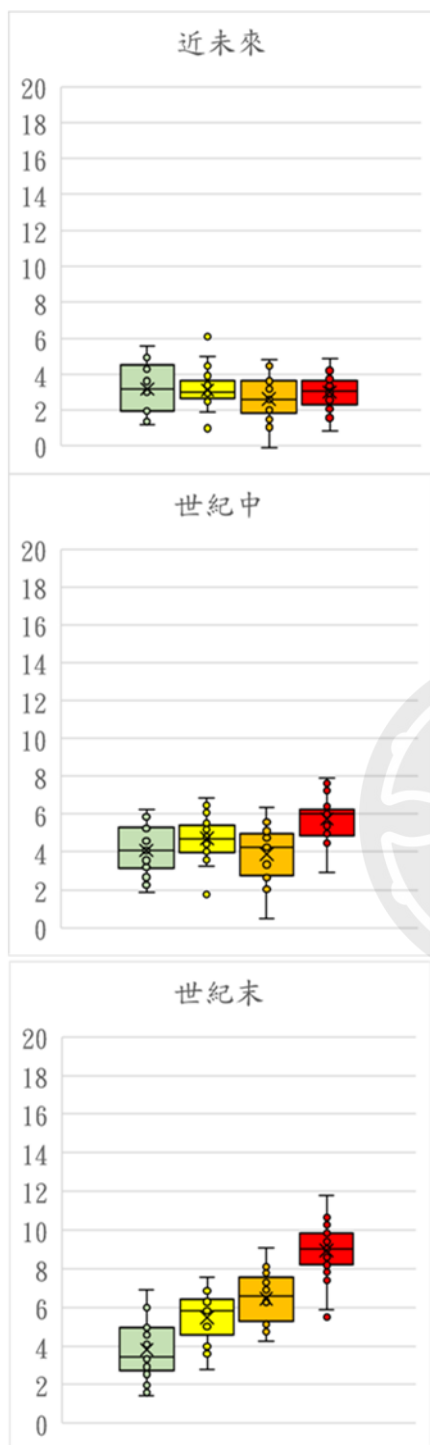
附圖 7-36 嘉義測站臭氧推估結果
(NO_x-limited)。

嘉義未來推估臭氧距平
(1月)(NO_x-limited)



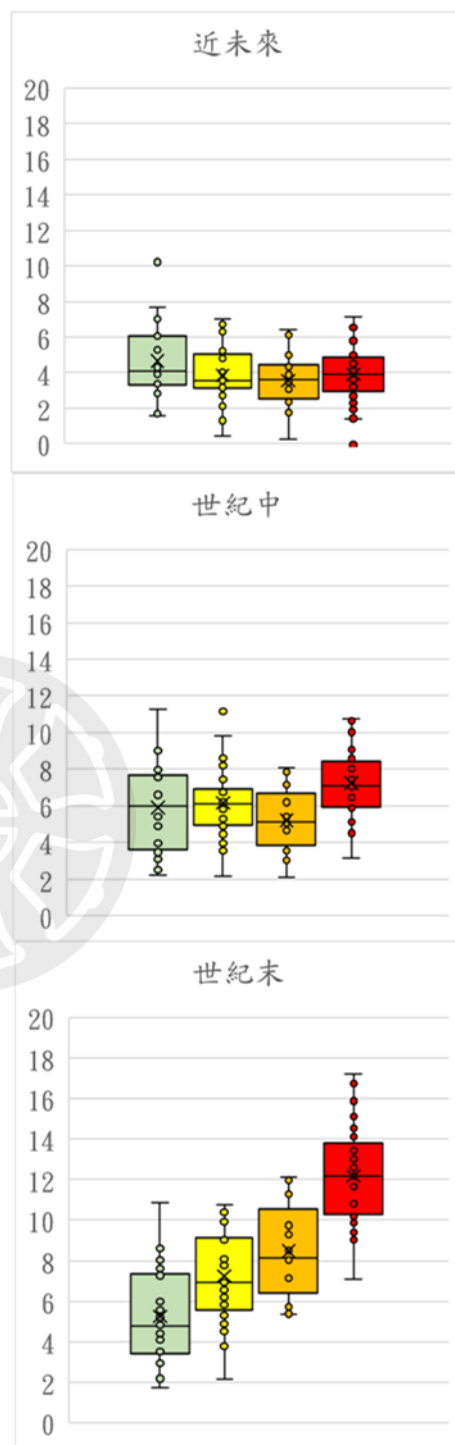
附圖 7-37 嘉義測站臭氧(1月)推估結
果(NO_x-limited)。

嘉義未來推估臭氧距平
(9月)(NO_x-limited)



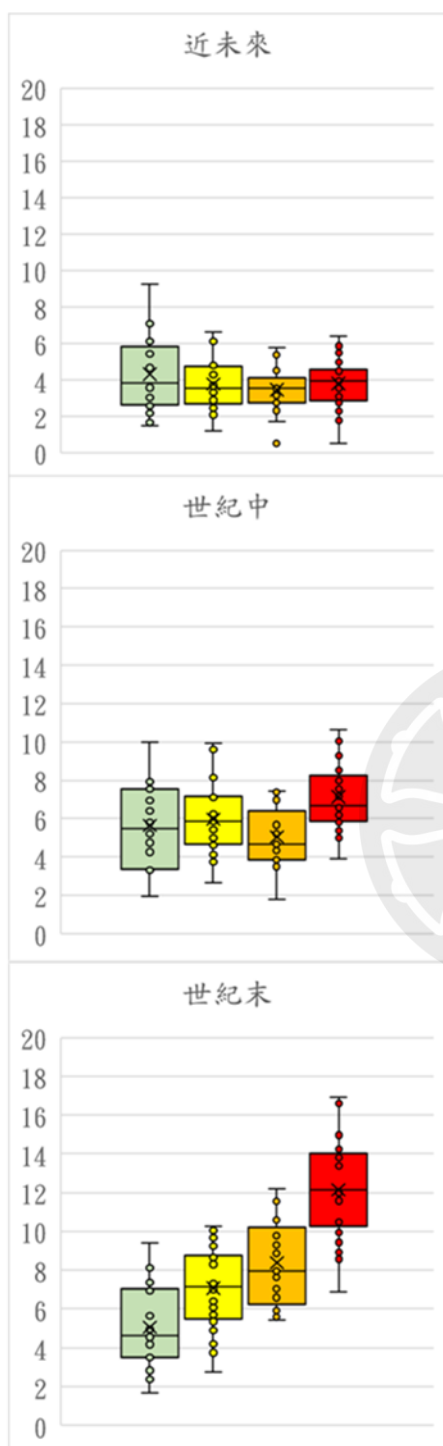
附圖 7-38 嘉義測站臭氧(9月) 推估
結果(NO_x-limited)。

嘉義未來推估臭氧距平
(10-12月)(NO_x-limited)



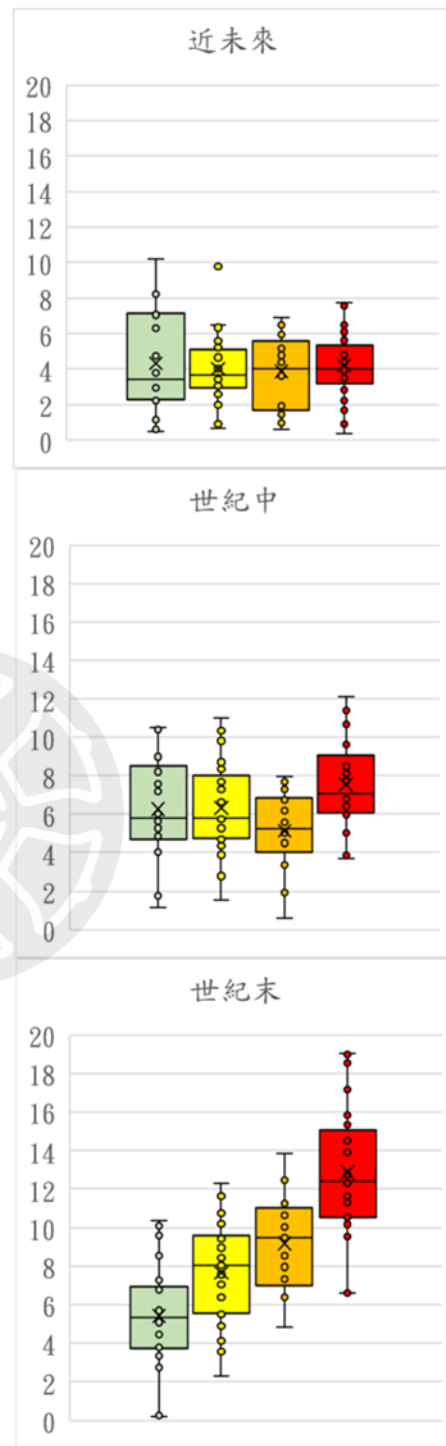
附圖 7-39 嘉義測站臭氧(10-12月)
推估結果(NO_x-limited)。

嘉義未來推估臭氧距平
(VOC-limited)



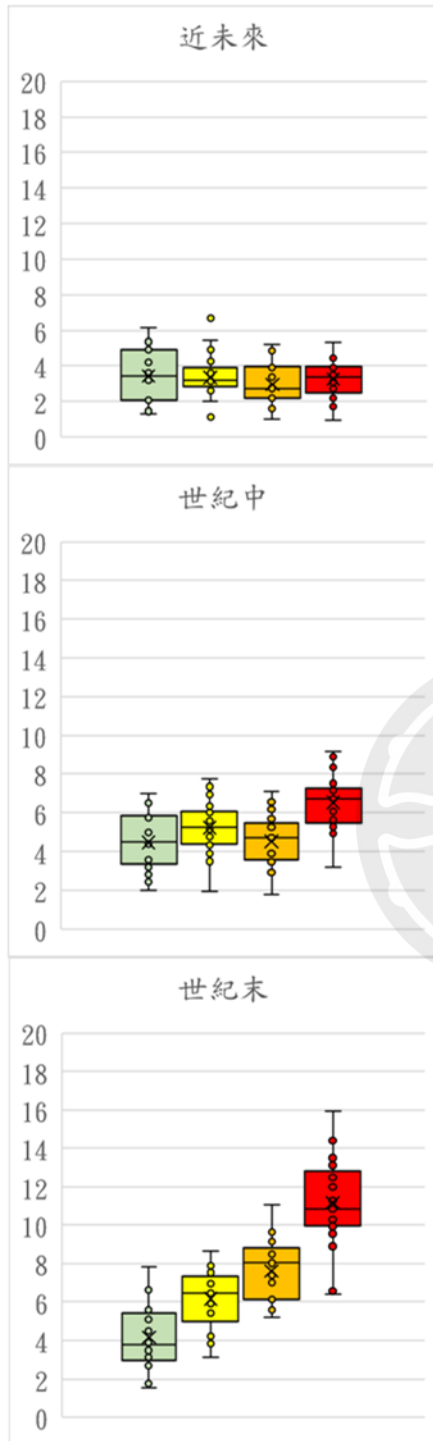
附圖 7-40 嘉義測站臭氧推估結果
(VOC-limited)。

嘉義未來推估臭氧距平
(1月)(VOC-limited)



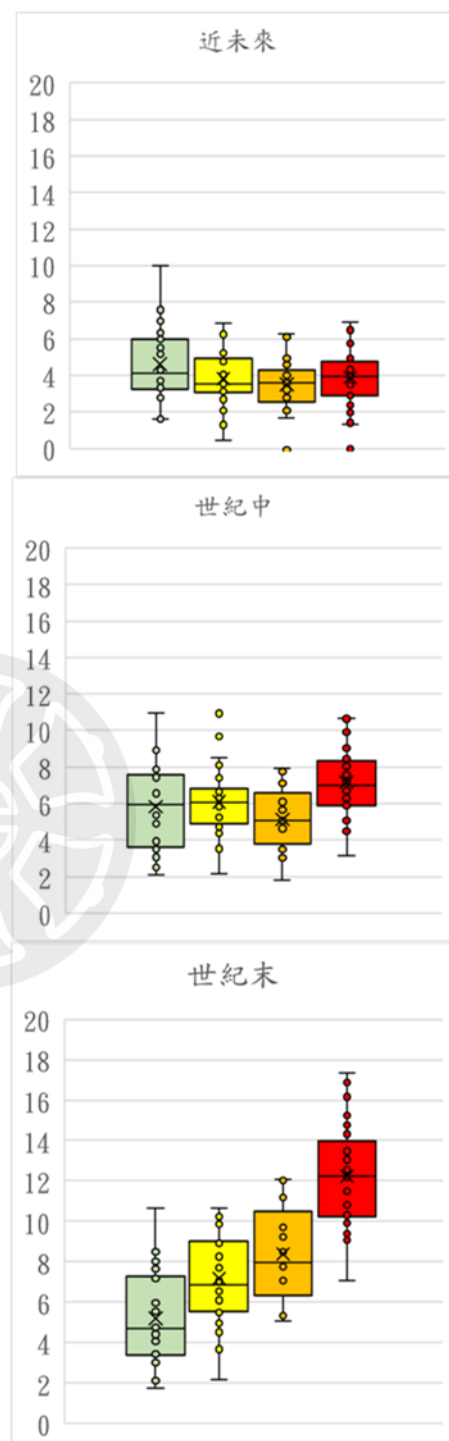
附圖 7-41 嘉義測站臭氧(1月)推估結
果(VOC-limited)。

嘉義未來推估臭氧距平
(9月)(VOC-limited)



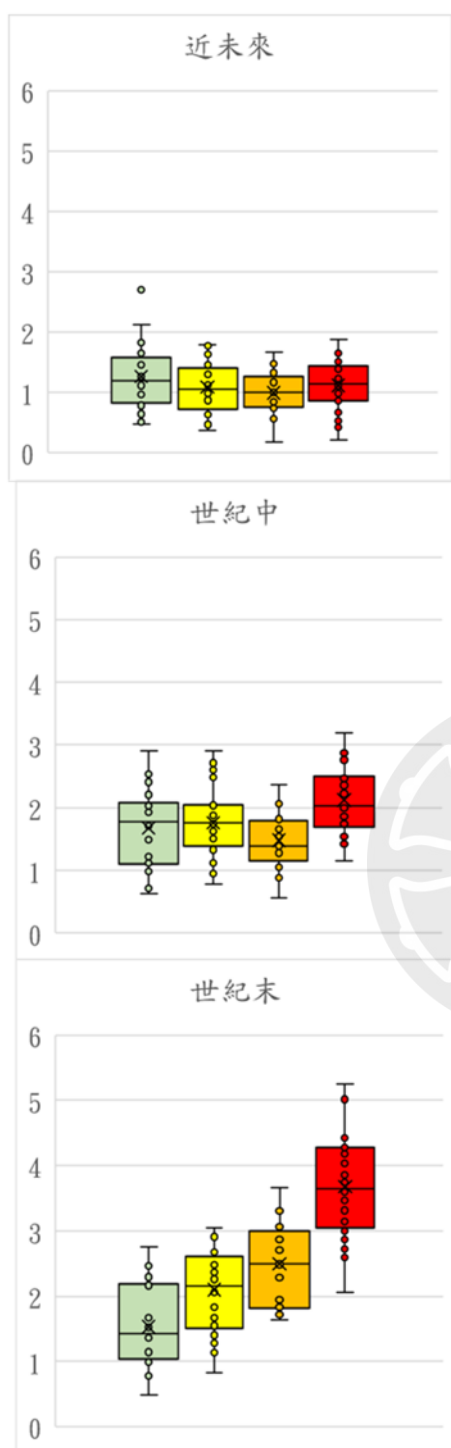
附圖 7-42 嘉義測站臭氧(9月)推估結果(VOC-limited)。

嘉義未來推估臭氧距平
(10-12月)(VOC-limited)



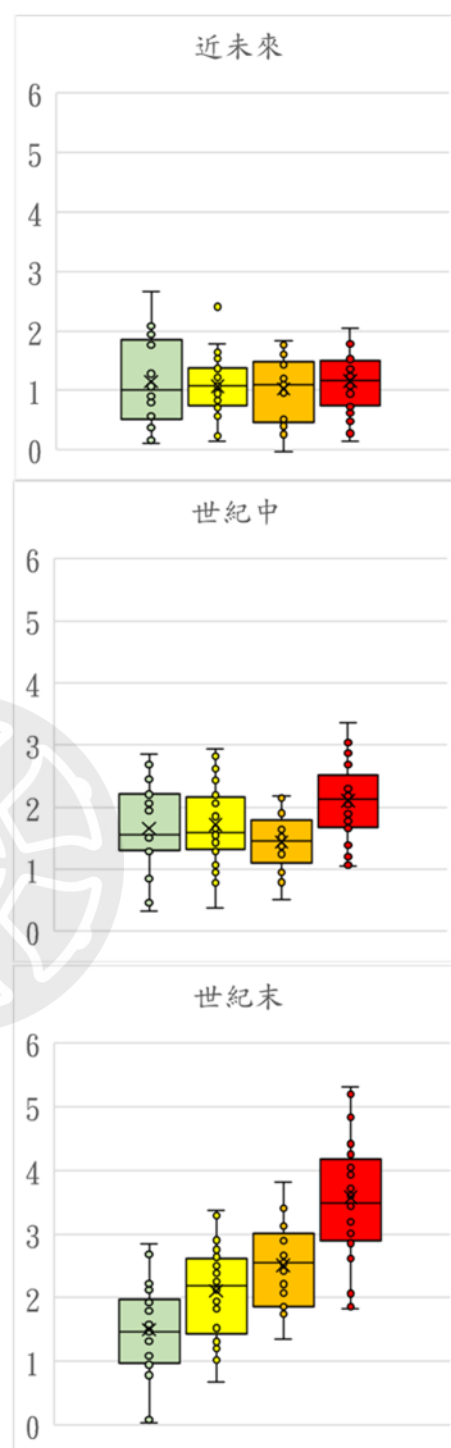
附圖 7-43 嘉義測站臭氧(10-12月)推估結果(VOC-limited)。

崙背未來推估氣溫距平



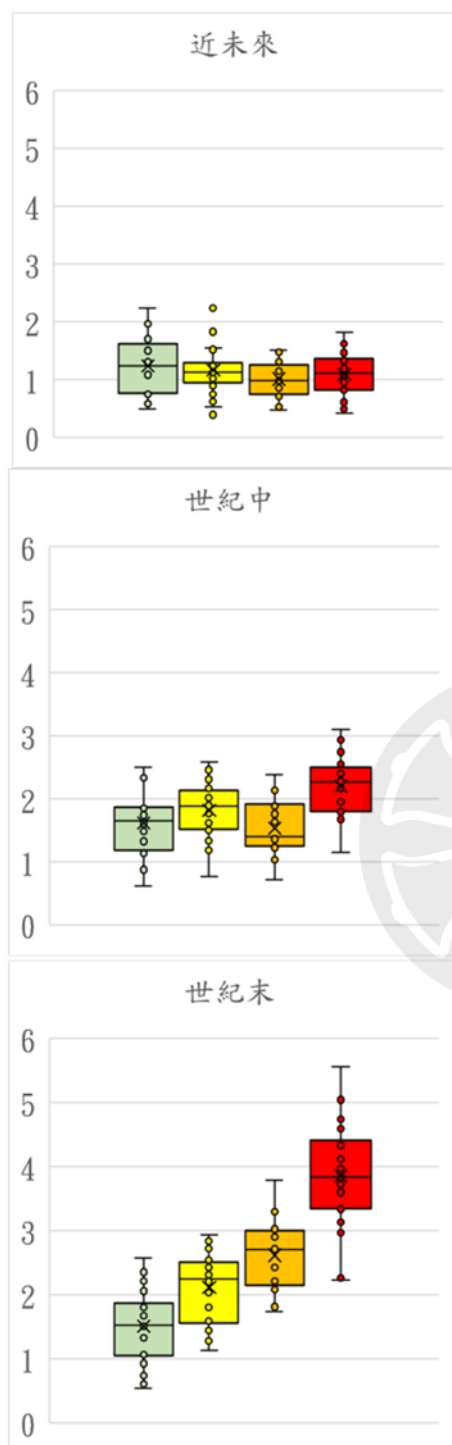
附圖 7-44 崙背測站氣溫推估結果。

崙背未來推估氣溫距平(1月)



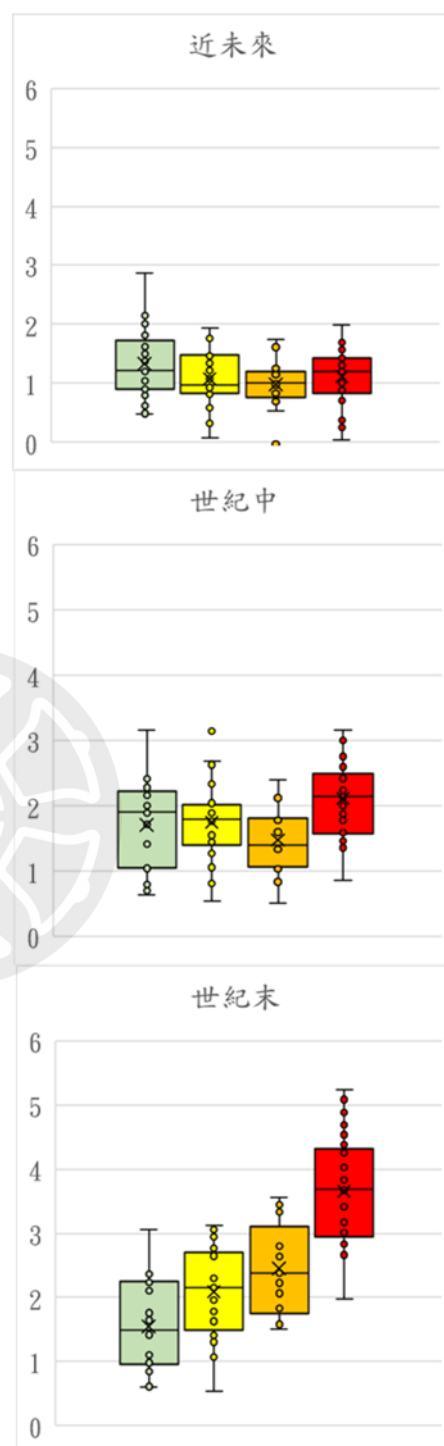
附圖 7-45 崙背測站氣溫(1月)推估結果。

崙背未來推估氣溫距平(9月)

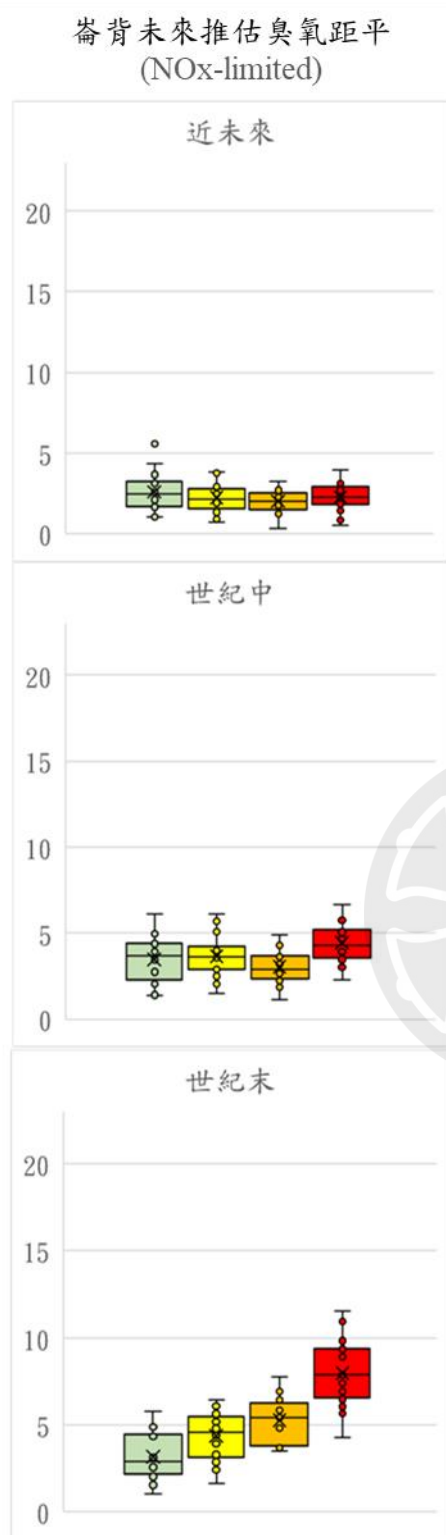


附圖 7-46 崙背測站氣溫(9月)推估結果。

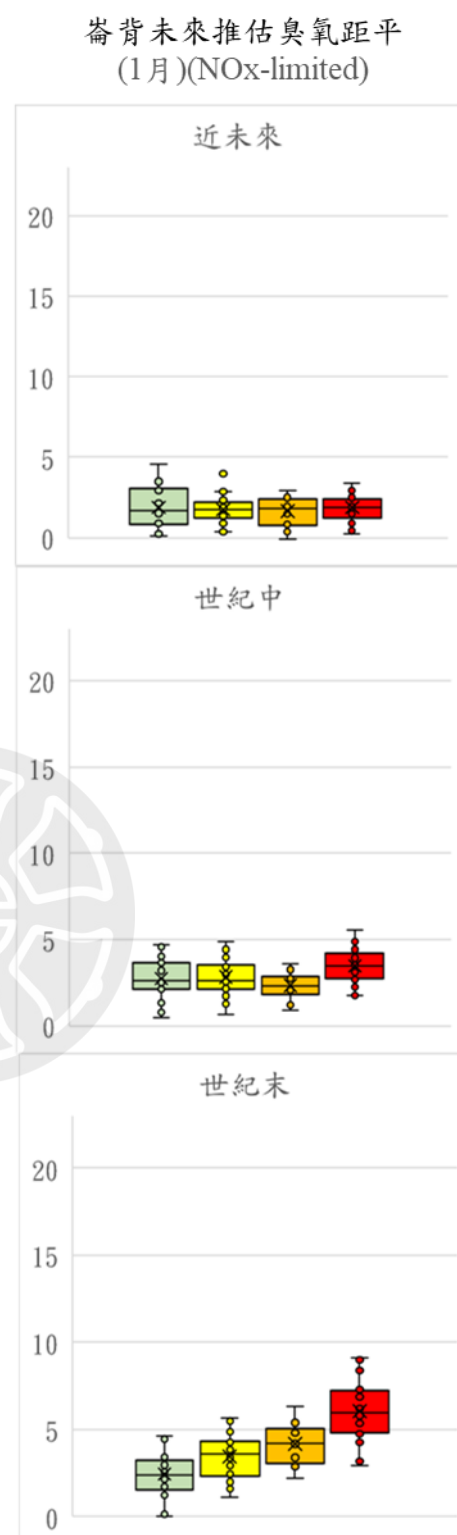
崙背未來推估氣溫距平
(10-12月)



附圖 7-47 崙背測站氣溫(10-12月)推估結果。

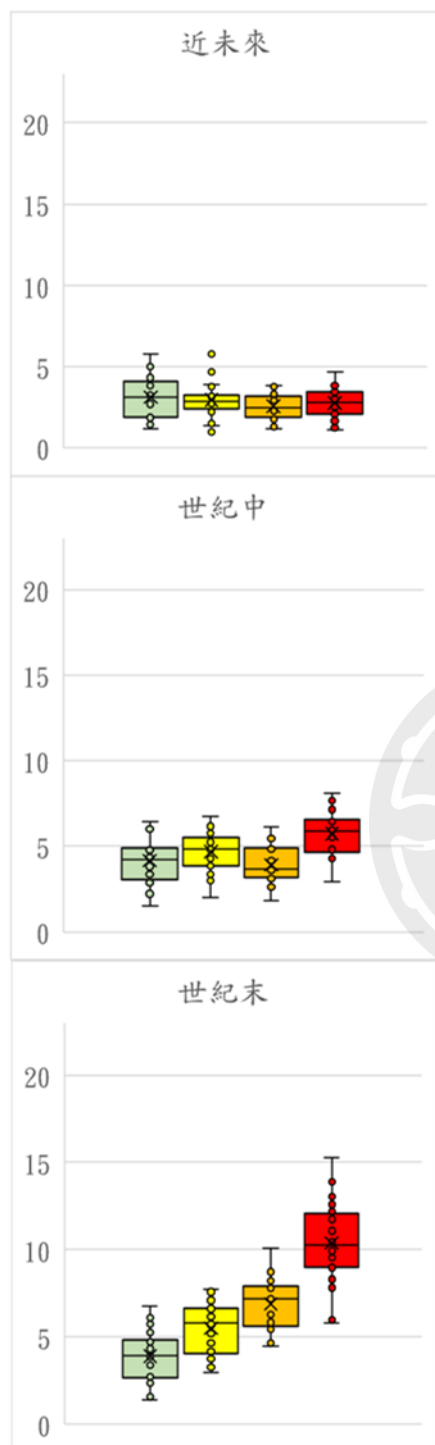


附圖 7-48 崙背測站臭氧推估結果
(NO_x-limited)。



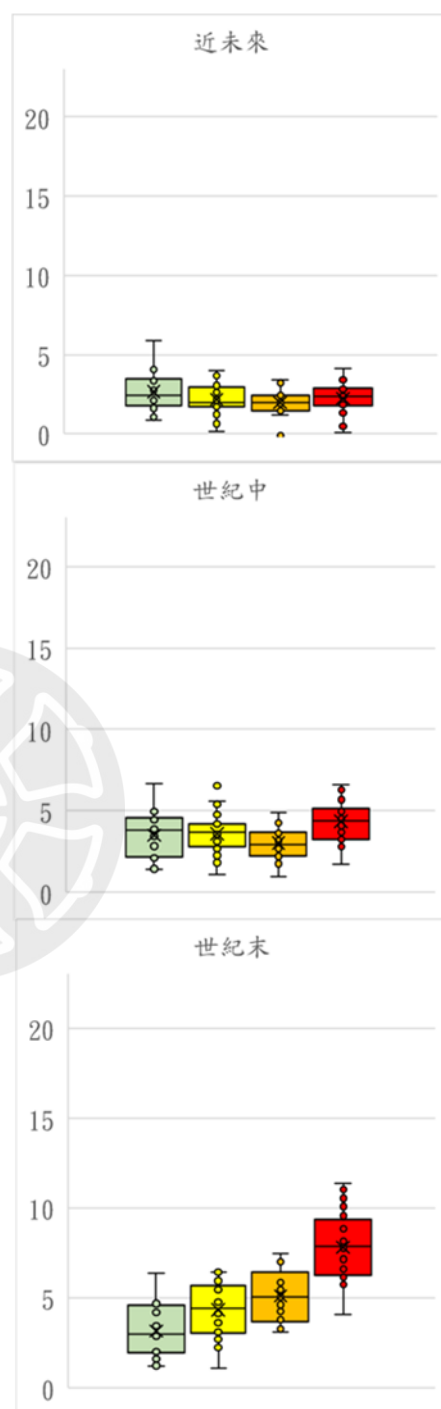
附圖 7-49 崙背測站臭氧(1月)推估結
果(NO_x-limited)。

崙背未來推估臭氧距平
(9月)(NO_x-limited)



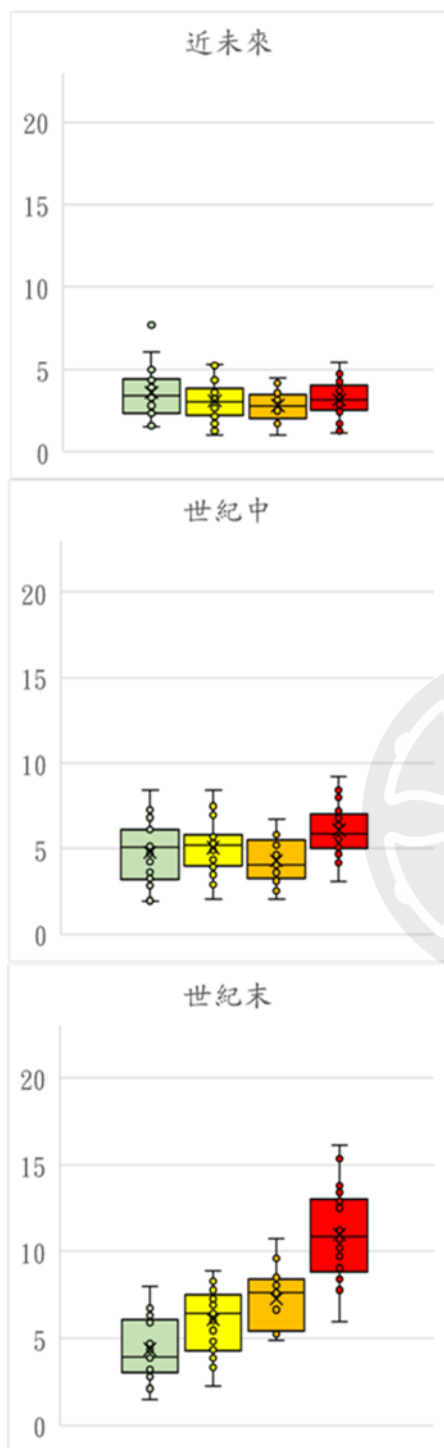
附圖 7-50 崙背測站臭氧(9月)推估結果(NO_x-limited)。

崙背未來推估臭氧距平
(10-12月)(NO_x-limited)



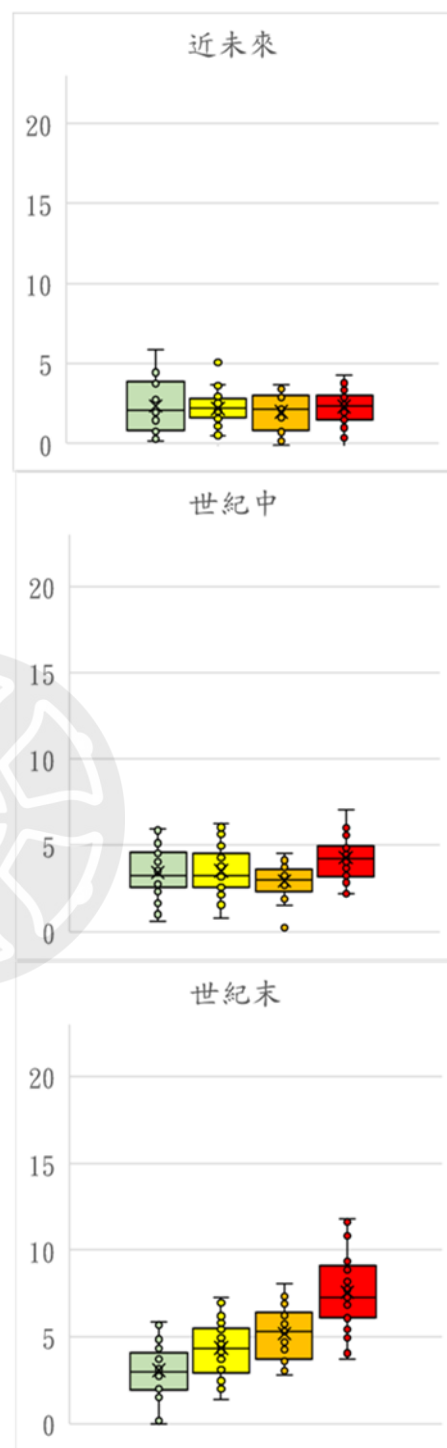
附圖 7-51 崙背測站臭氧(10-12月)推估結果(NO_x-limited)。

崙背未來推估臭氧距平
(VOC-limited)



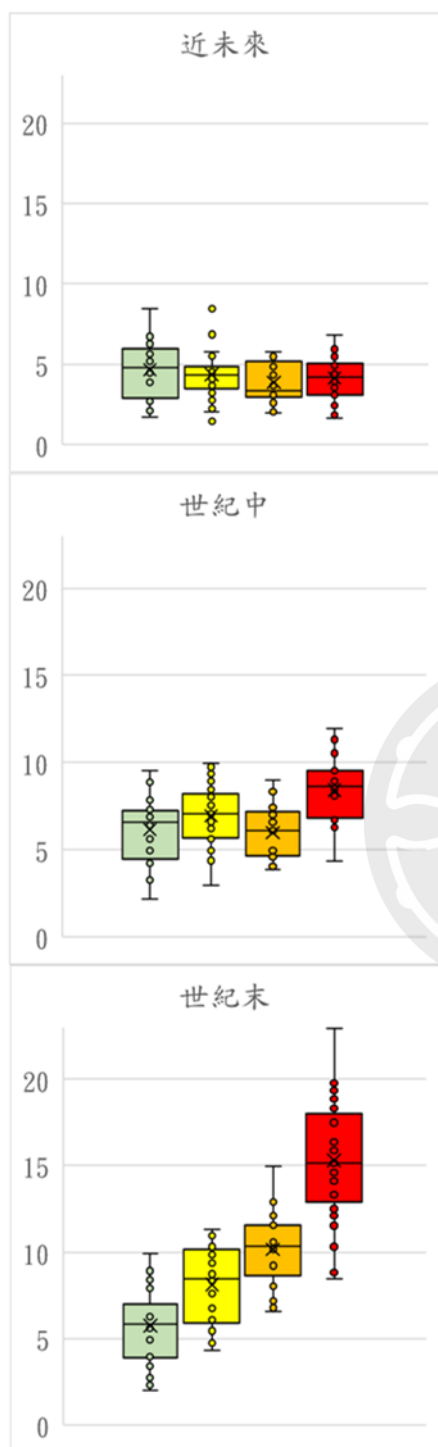
附圖 7-52 崙背測站臭氧推估結果
(VOC-limited)。

崙背未來推估臭氧距平
(1月)(VOC-limited)



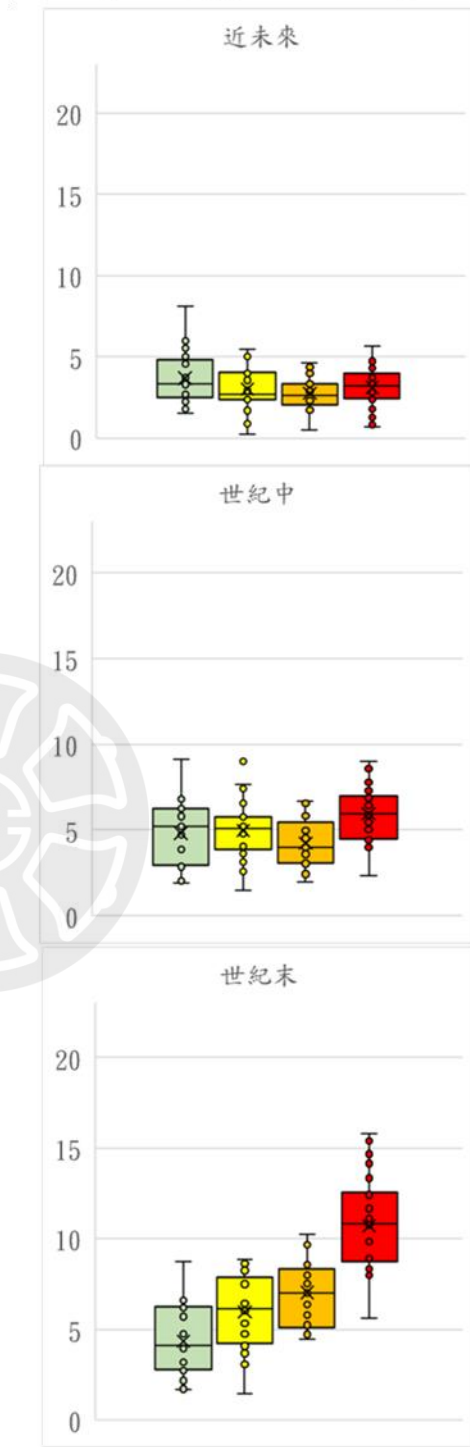
附圖 7-53 崙背測站臭氧(1月)推估結
果(VOC-limited)。

崙背未來推估臭氧距平
(9月)(VOC-limited)



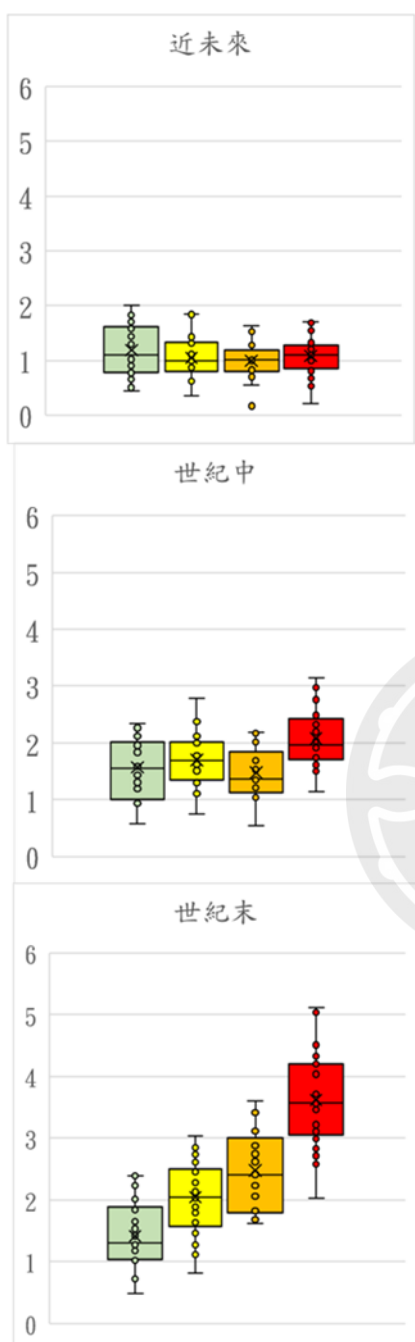
附圖 7-54 崙背測站臭氧(9月)推估結果(VOC-limited)。

崙背未來推估臭氧距平
(10-12月)(VOC-limited)



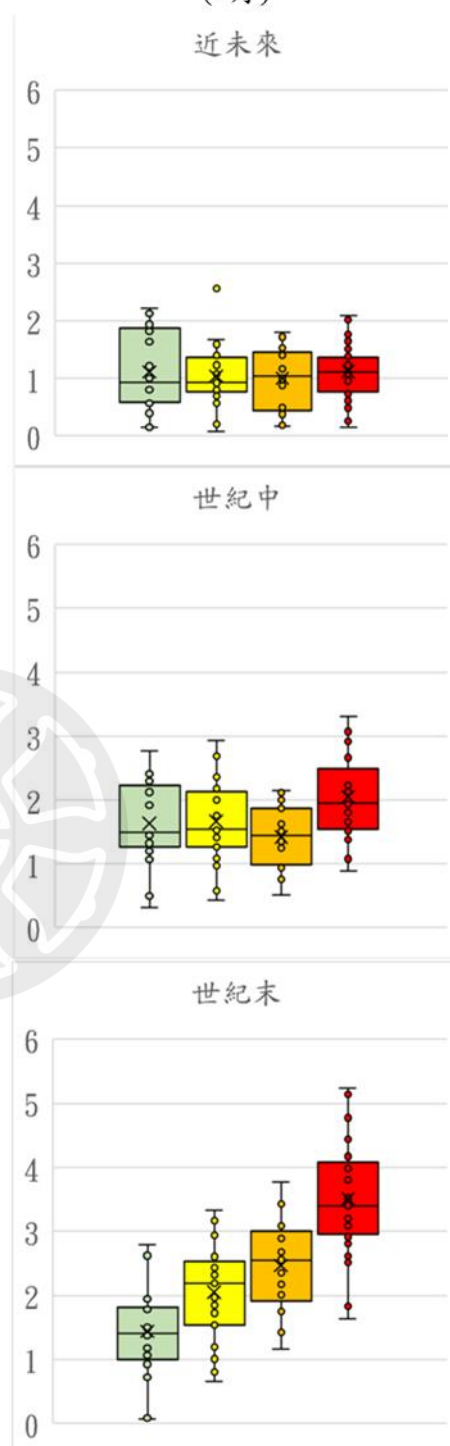
附圖 7-55 崙背測站臭氧(10-12月)推估結果(VOC-limited)。

朴子未來推估氣溫距平



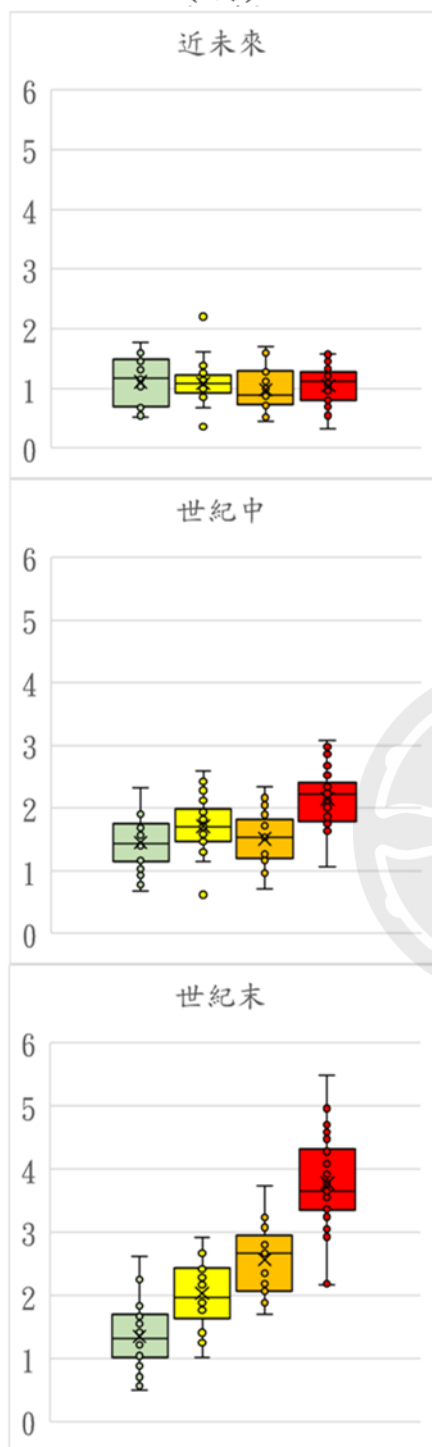
附圖 7-56 朴子測站氣溫推估結果。

朴子未來推估氣溫距平
(1月)



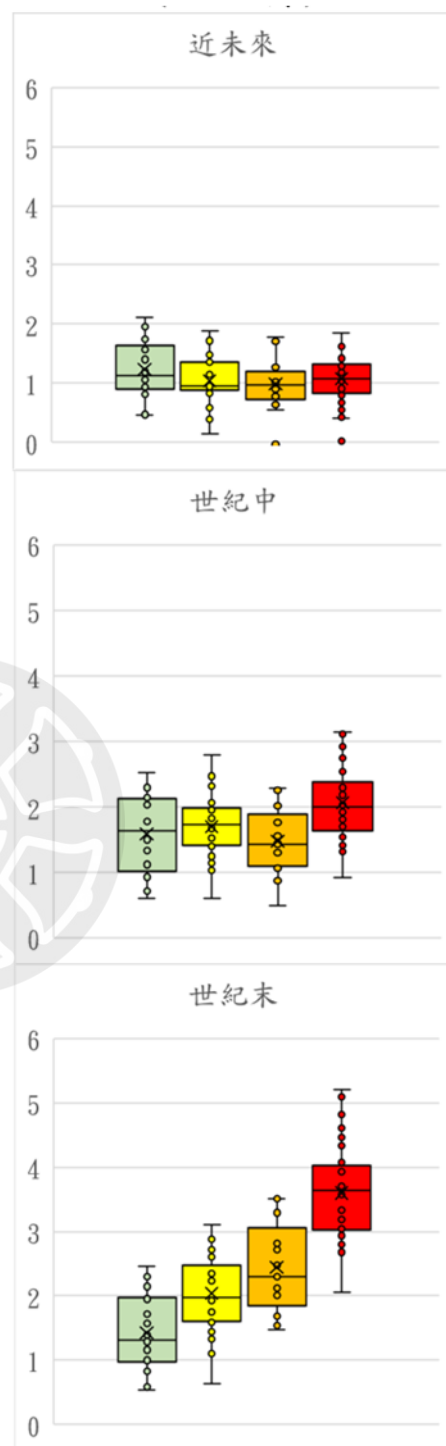
附圖 7-57 朴子測站氣溫(1月)推估結果。

朴子未來推估氣溫距平
(9月)

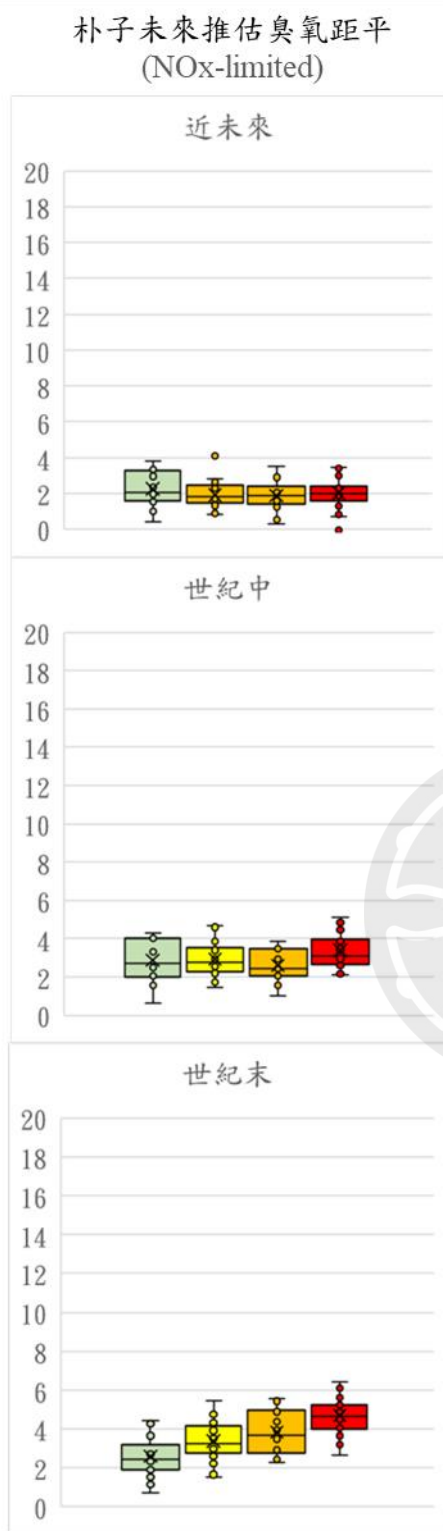


附圖 7-58 朴子測站氣溫(9月)推估結果。

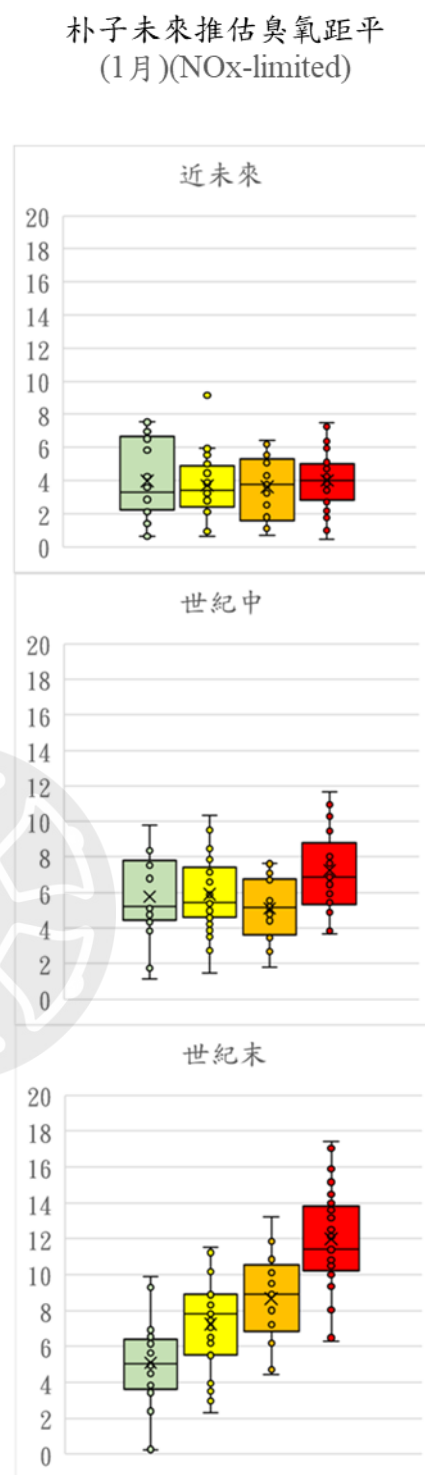
朴子未來推估氣溫距平
(10-12月)



附圖 7-59 朴子測站氣溫(10-12月)推估結果。

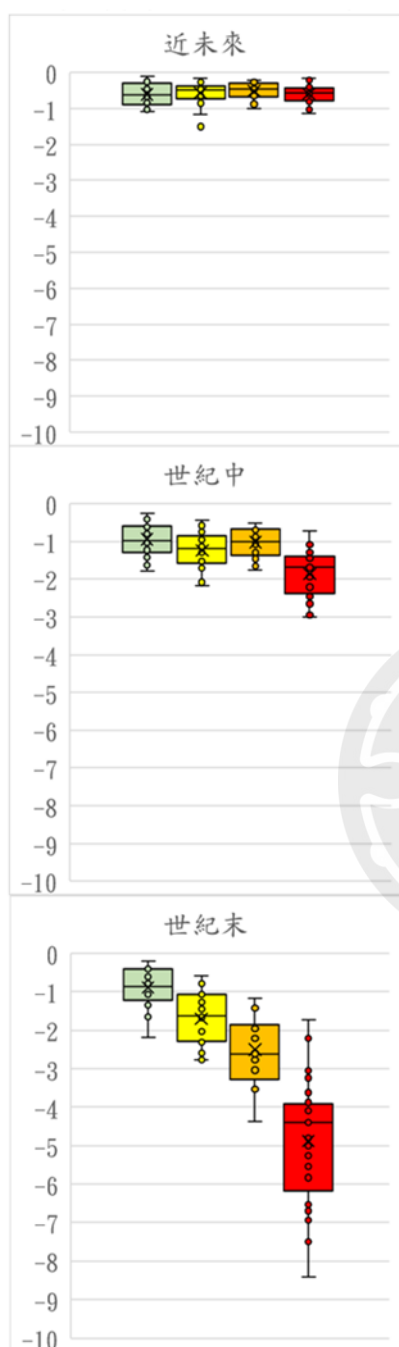


附圖 7-60 朴子測站臭氧推估結果
(NO_x-limited)。

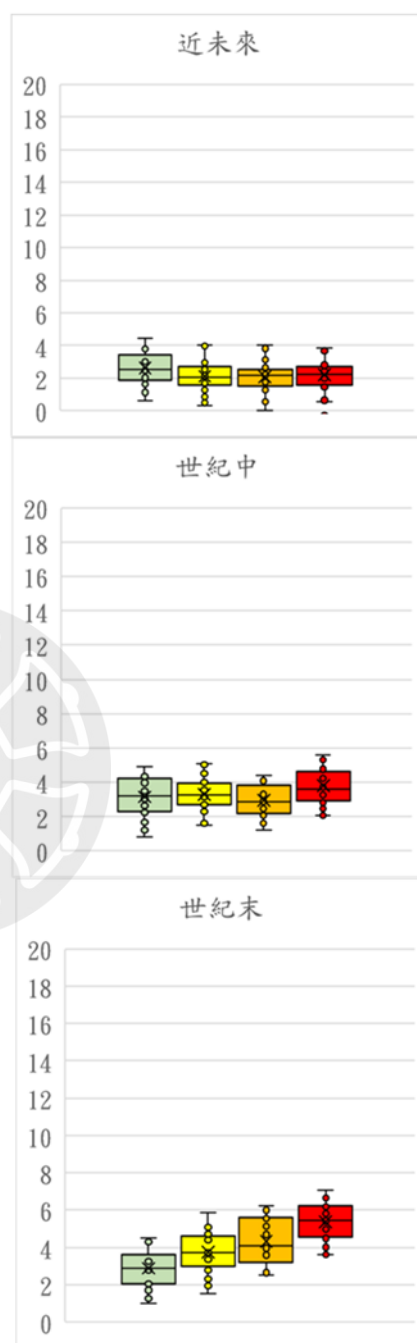


附圖 7-61 朴子測站臭氧(1月)推估結
果(NO_x-limited)。

朴子未來推估臭氧距平
(9月)(NO_x-limited)



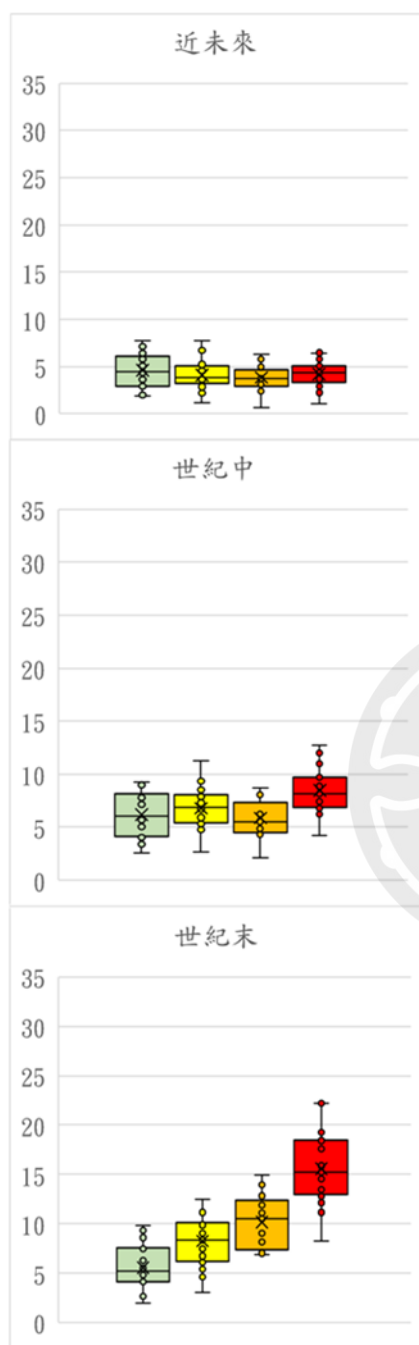
朴子未來推估臭氧距平
(10-12月)(NO_x-limited)



附圖 7-62 朴子測站臭氧(9月)推估結果(NO_x-limited)。

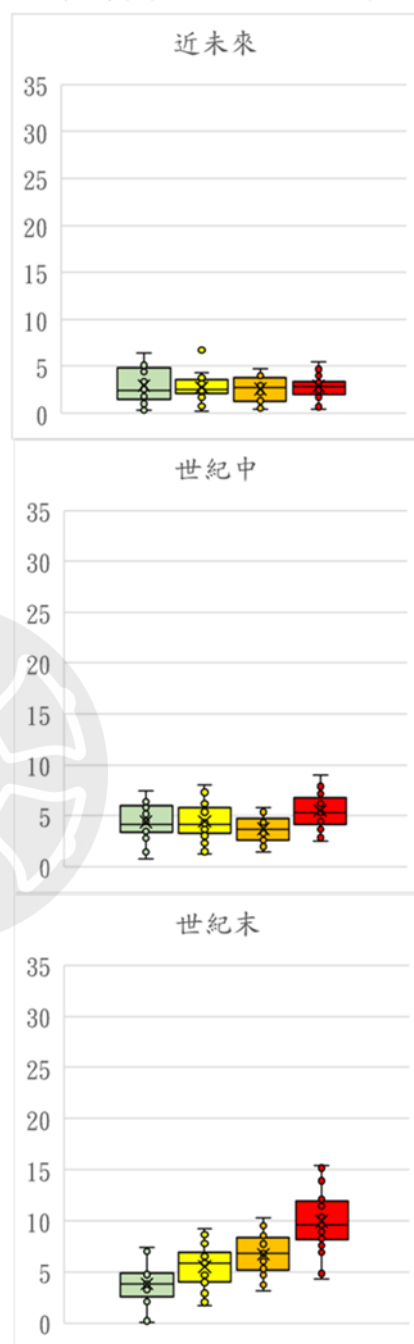
附圖 7-63 朴子測站臭氧(10-12月)推估結果(NO_x-limited)。

朴子未來推估臭氧距平
(VOC-limited)



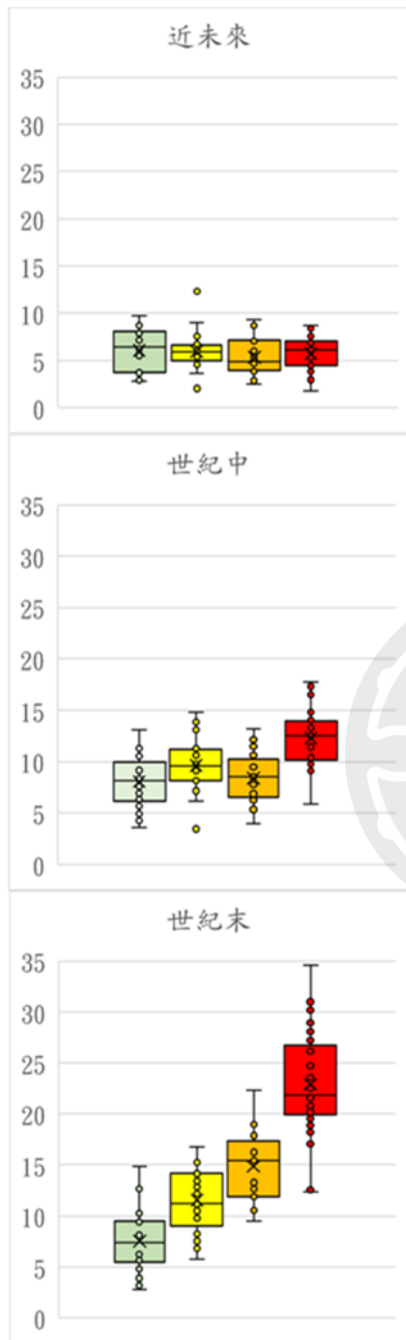
附圖 7-64 朴子測站臭氧推估結果
(VOC-limited)。

朴子未來推估臭氧距平
(1月)(VOC-limited)

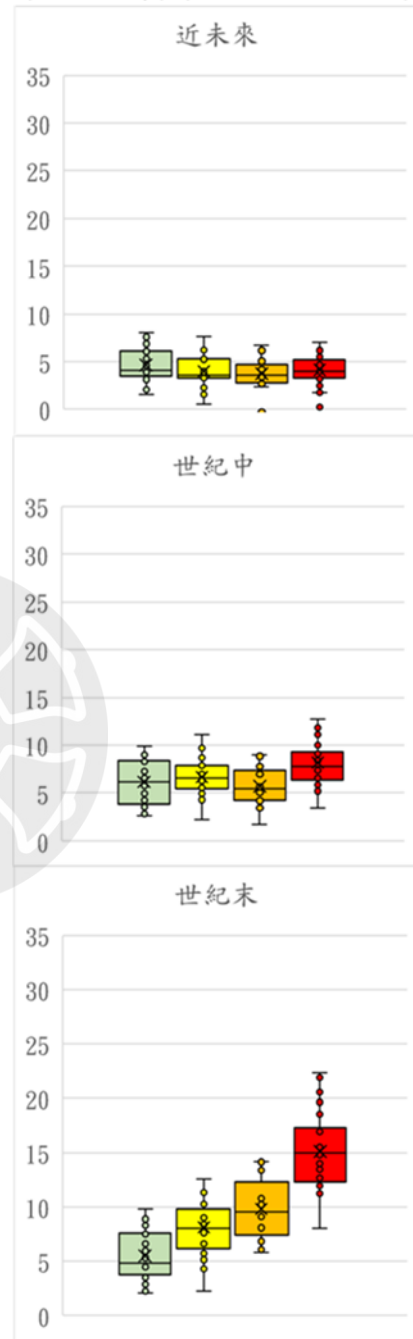


附圖 7-65 朴子測站臭氧(1月)推估結
果(VOC-limited)。

朴子未來推估臭氧距平
(9月)(VOC-limited)



朴子未來推估臭氧距平
(10-12月)(VOC-limited)

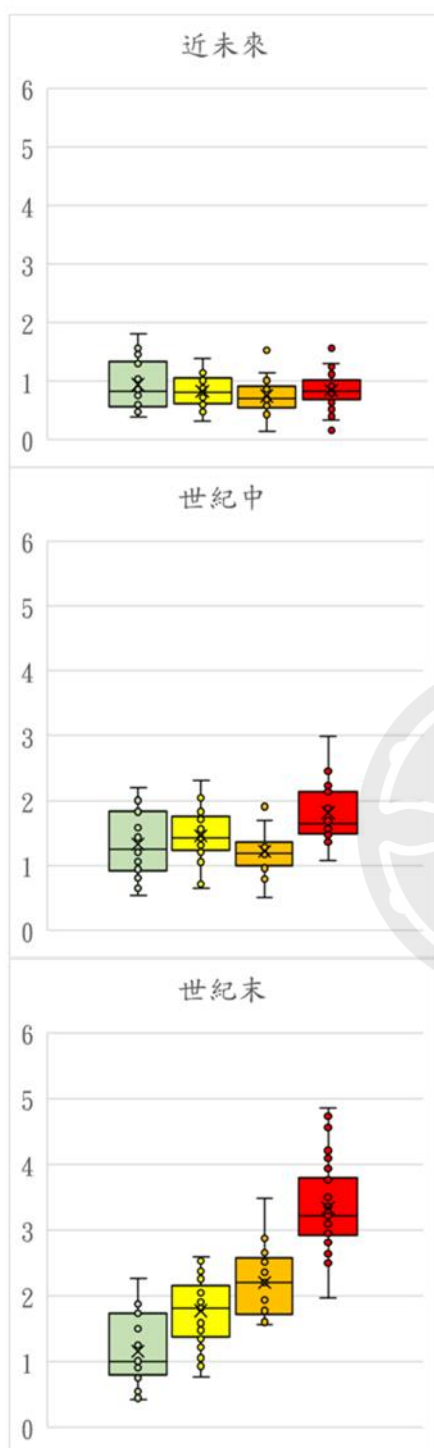


附圖 7-67 朴子測站臭氧(10-12月)

附圖 7-66 朴子測站臭氧(9月)推估結
果(VOC-limited)。

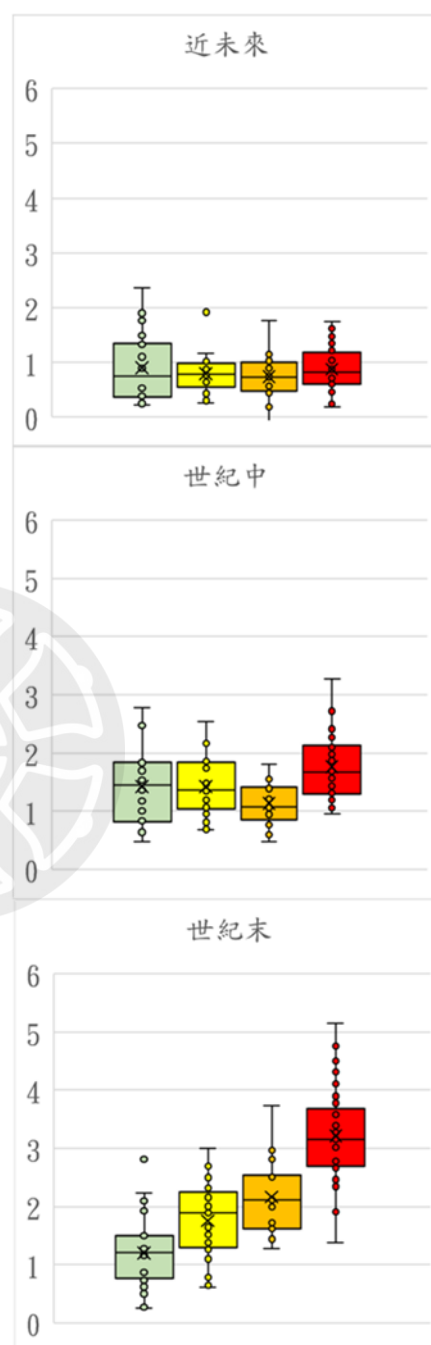
推估結果(VOC-limited)。

臺南未來推估氣溫距平



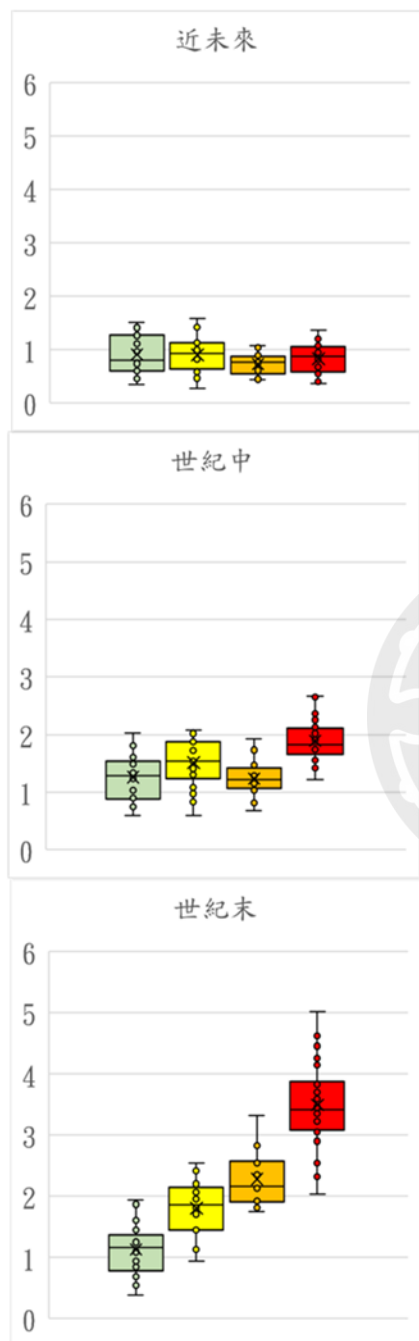
附圖 7-68 臺南測站氣溫推估結果。

臺南未來推估氣溫距平
(1月)



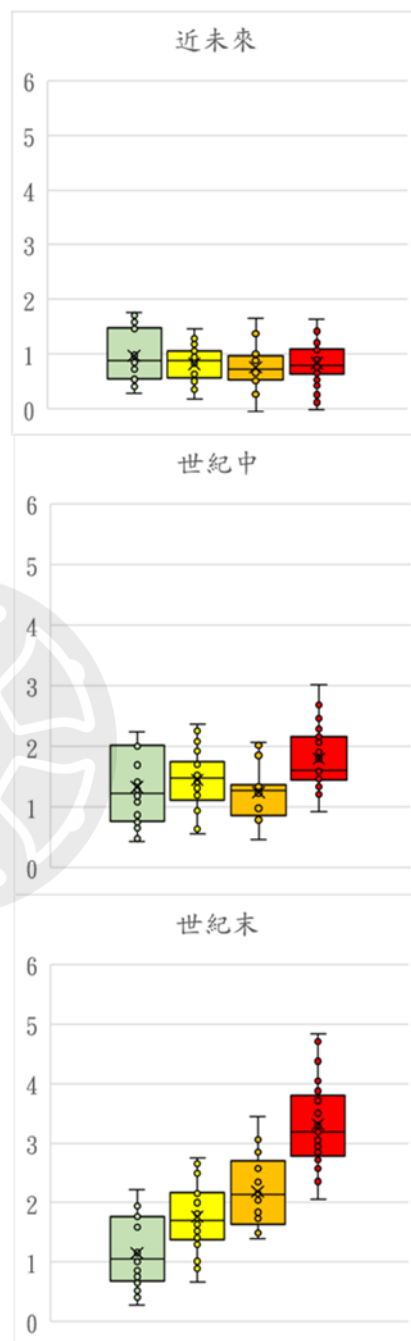
附圖 7-69 臺南測站氣溫(1月)推估結果。

臺南未來推估氣溫距平
(9月)



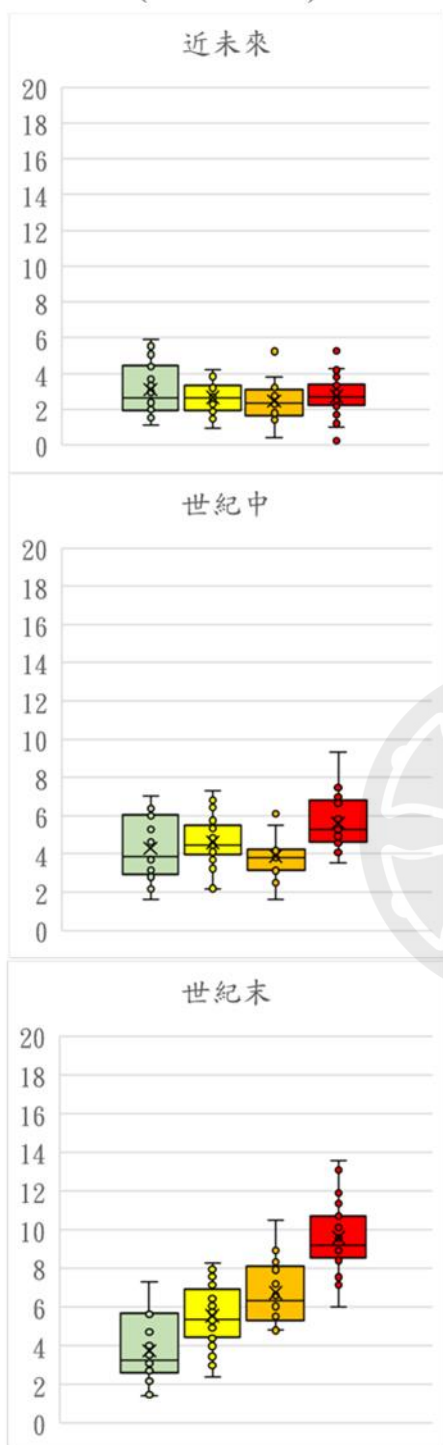
附圖 7-70 臺南測站氣溫(9月)推估結果。

臺南未來推估氣溫距平
(10-12月)



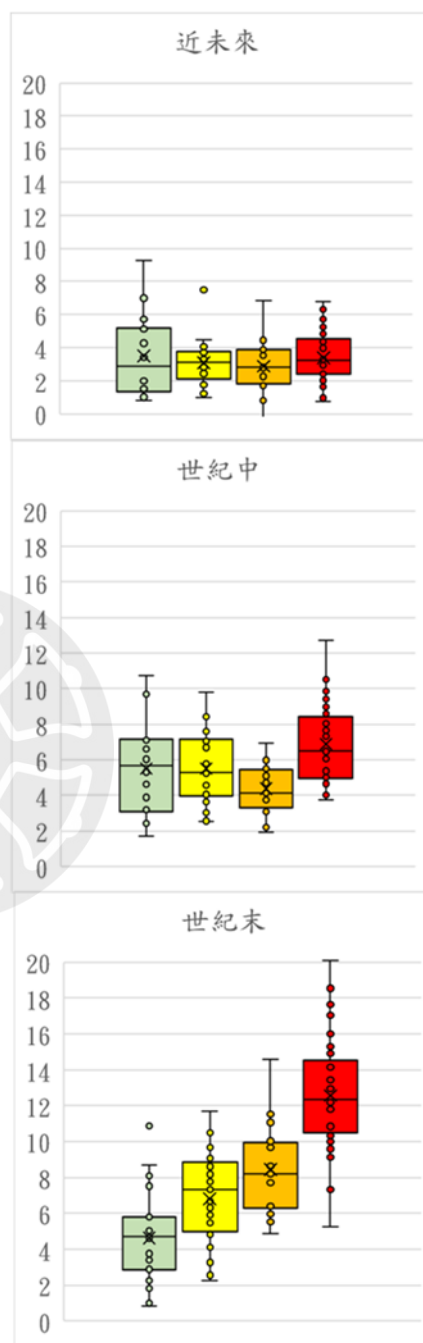
附圖 7-71 臺南測站氣溫(10-12月)推估結果。

臺南未來推估臭氧距平
(NO_x-limited)



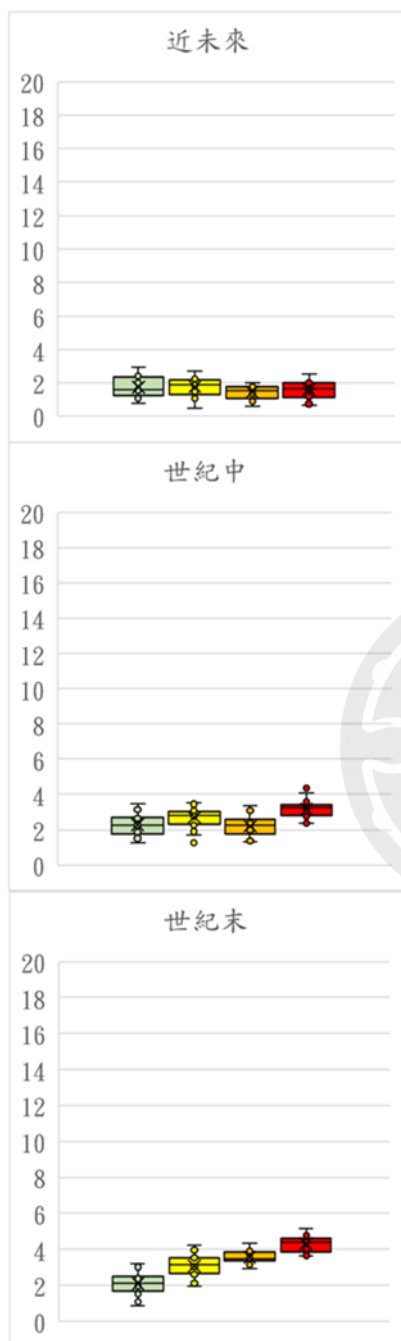
附圖 7-72 臺南測站臭氧推估結果
(NO_x-limited)。

臺南未來推估臭氧距平
(1月)(NO_x-limited)



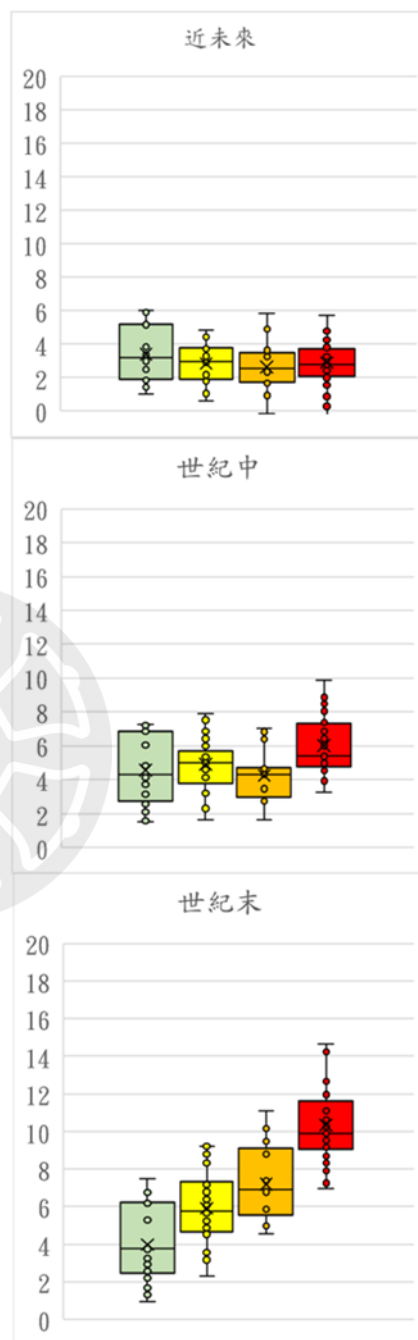
附圖 7-73 臺南測站臭氧(1月)推估結
果(NO_x-limited)。

臺南未來推估臭氧距平
(9月)(NO_x-limited)



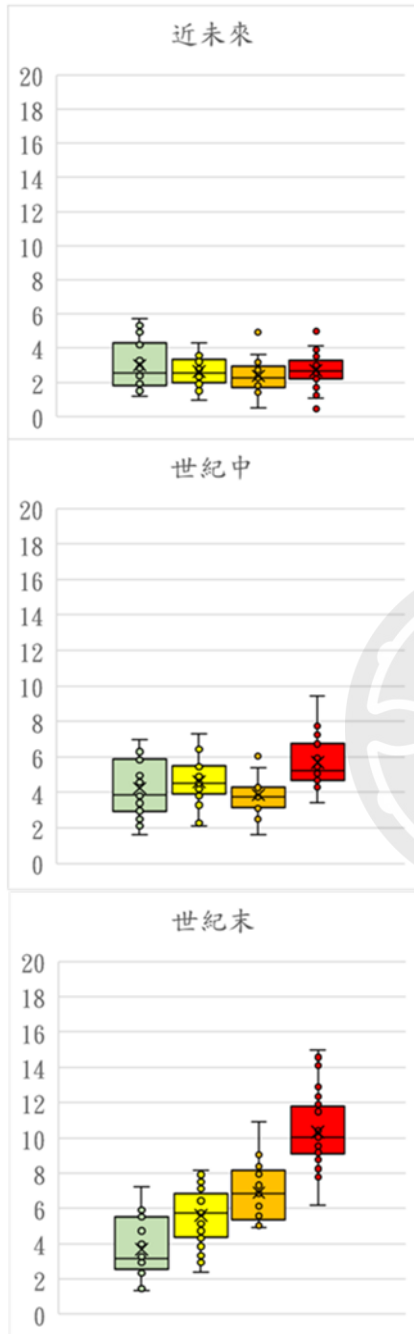
附圖 7-74 臺南測站臭氧(9月)推估結果(NO_x-limited)。

臺南未來推估臭氧距平
(10-12月)(NO_x-limited)



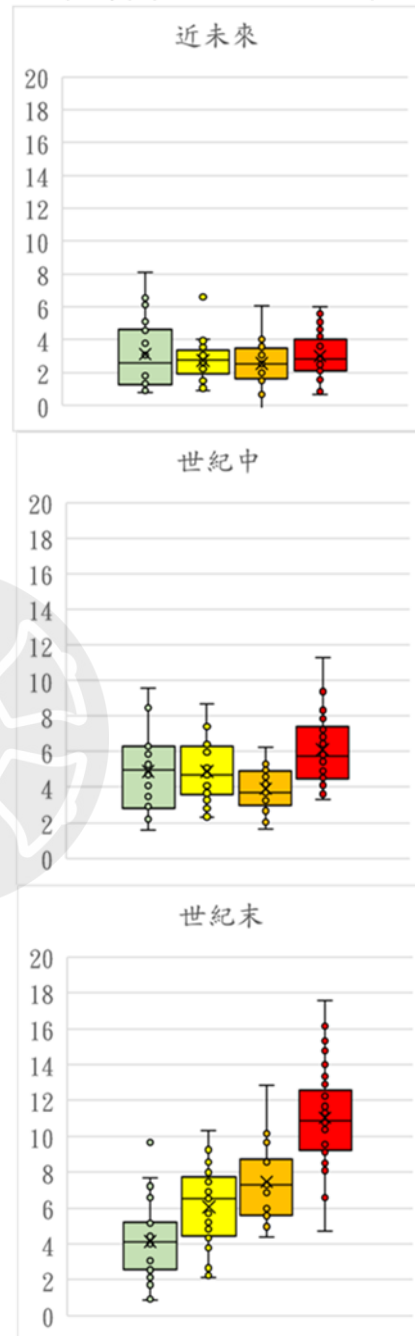
附圖 7-75 臺南測站臭氧(10-12月)推估結果(NO_x-limited)。

臺南未來推估臭氧距平
(VOC-limited)



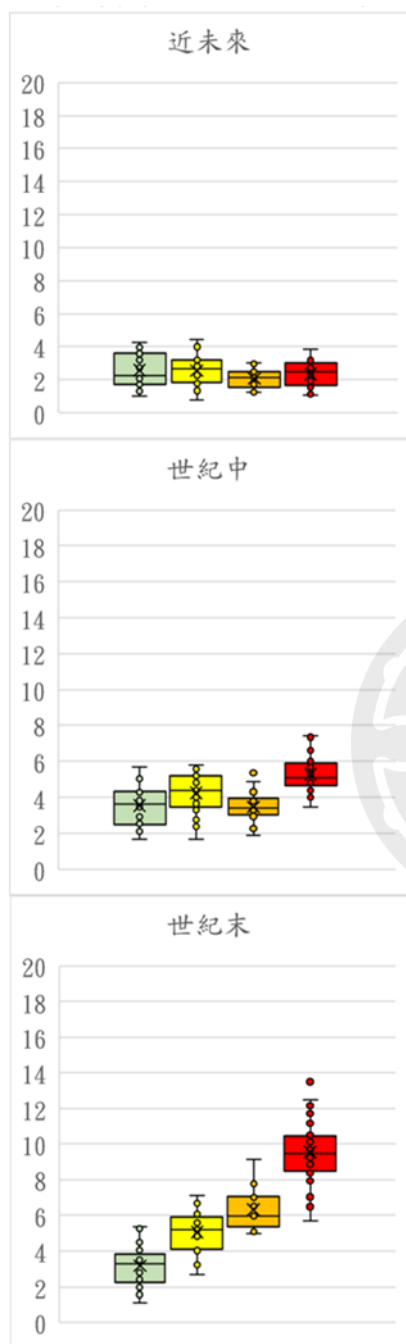
附圖 7-76 臺南測站臭氧推估結果
(VOC-limited)。

臺南未來推估臭氧距平
(1月)(VOC-limited)



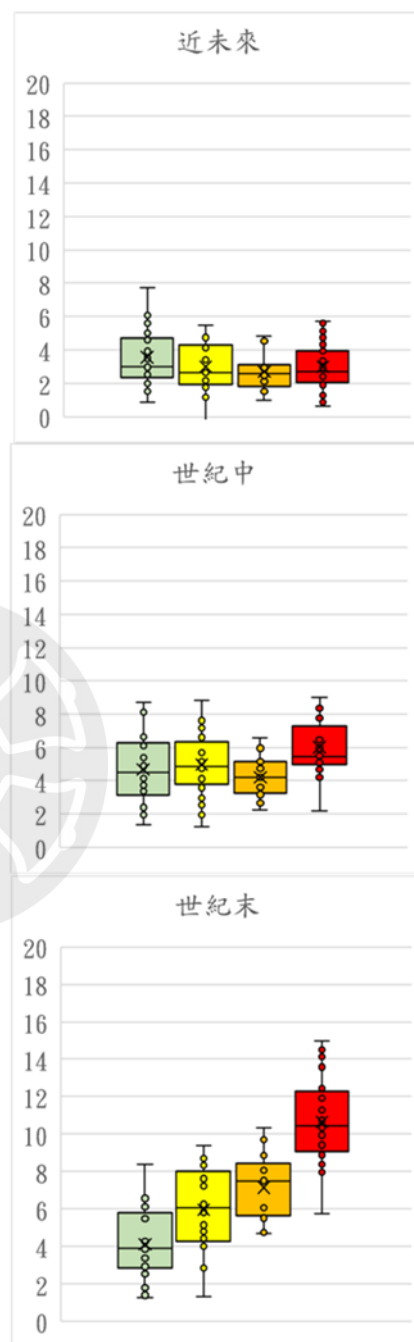
附圖 7-77 臺南測站臭氧(1月)推估結
果(VOC-limited)。

臺南未來推估臭氧距平
(9月)(VOC-limited)



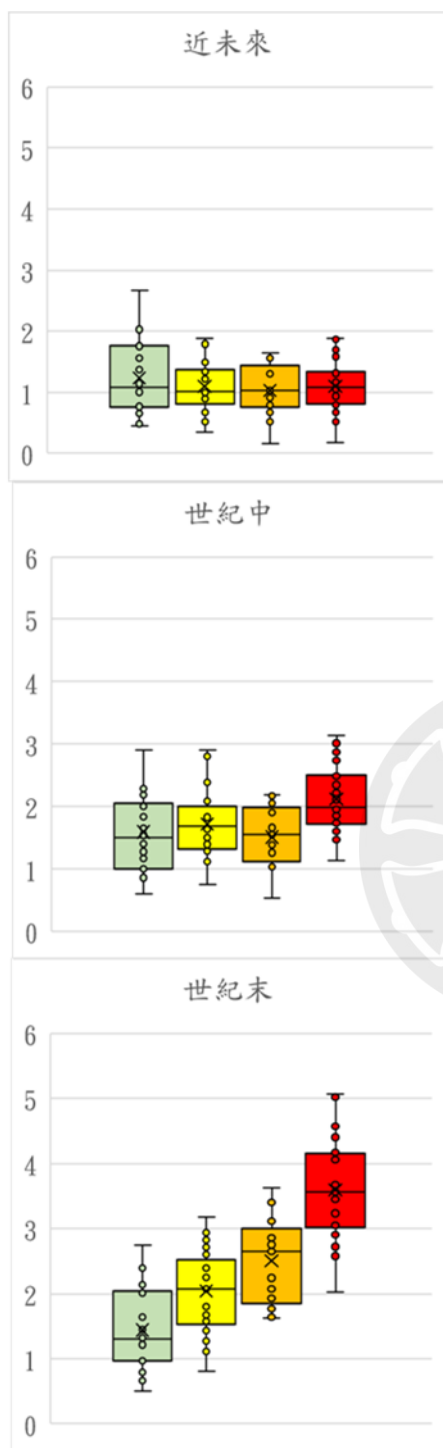
附圖 7-78 臺南測站臭氧(9月)推估結果(VOC-limited)。

臺南未來推估臭氧距平
(10-12月)(VOC-limited)



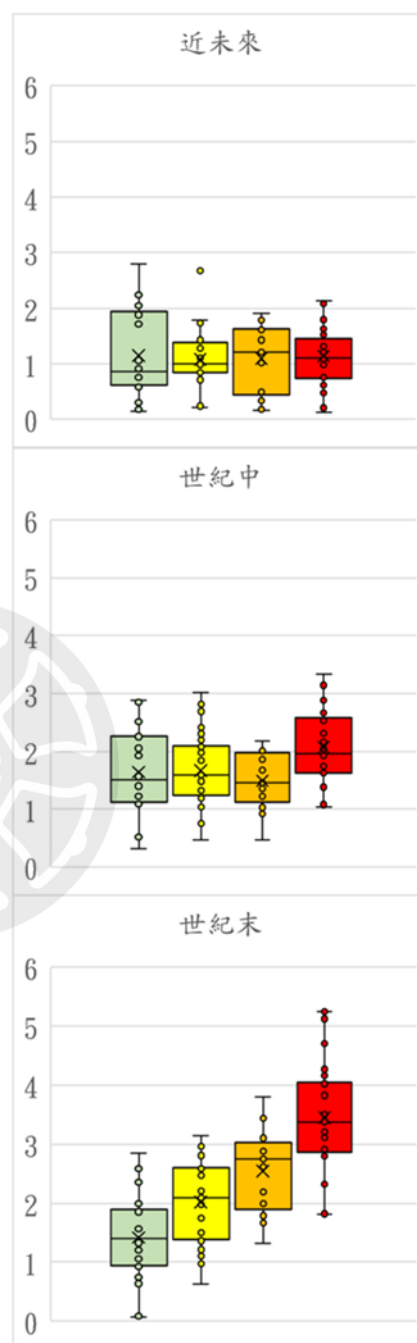
附圖 7-79 臺南測站臭氧(10-12月)推估結果(VOC-limited)。

新營未來推估氣溫距平



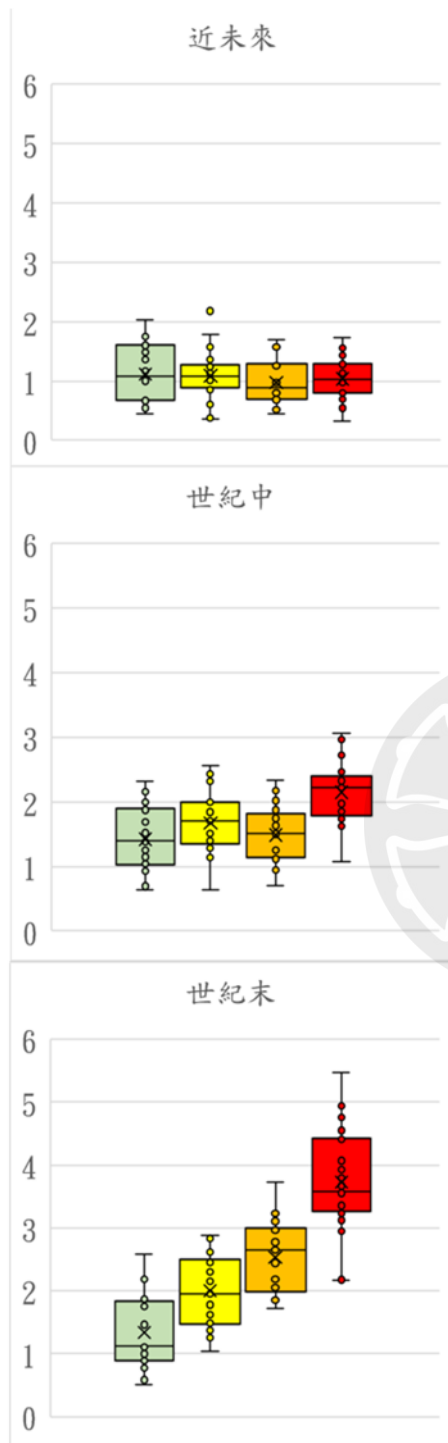
附圖 7-80 新營測站氣溫推估結果。

新營未來推估氣溫距平
(1月)



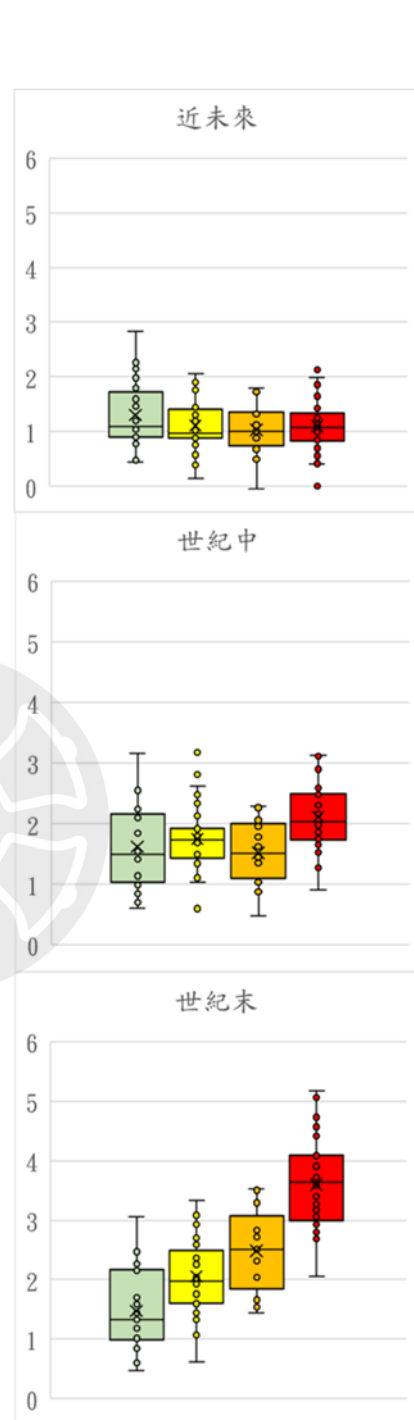
附圖 7-81 新營測站氣溫(1月)推估結果。

新營未來推估氣溫距平
(9月)



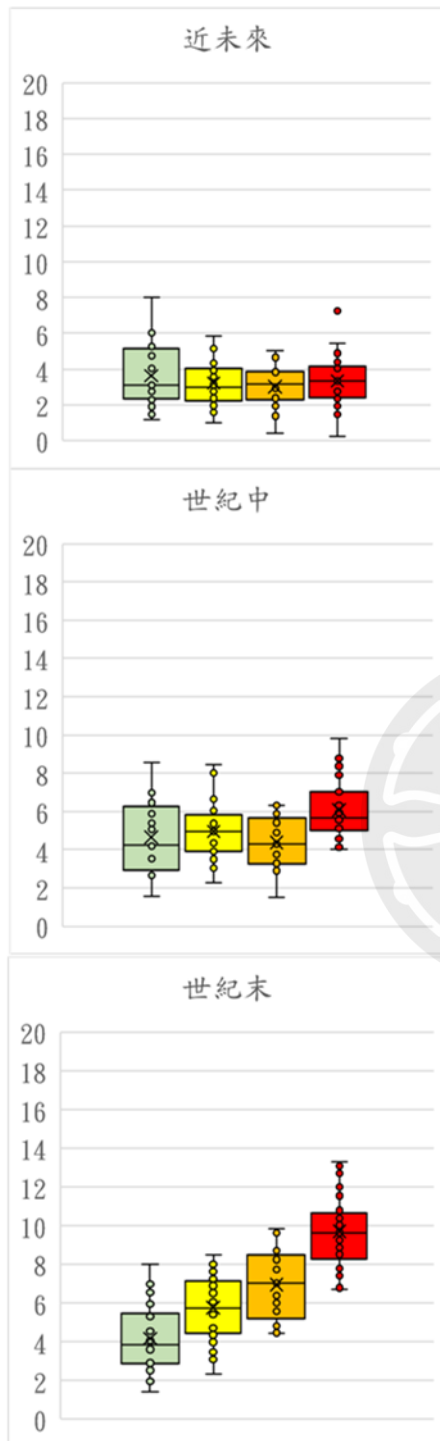
附圖 7-82 新營測站氣溫(9月)

新營未來推估氣溫距平
(10-12月)



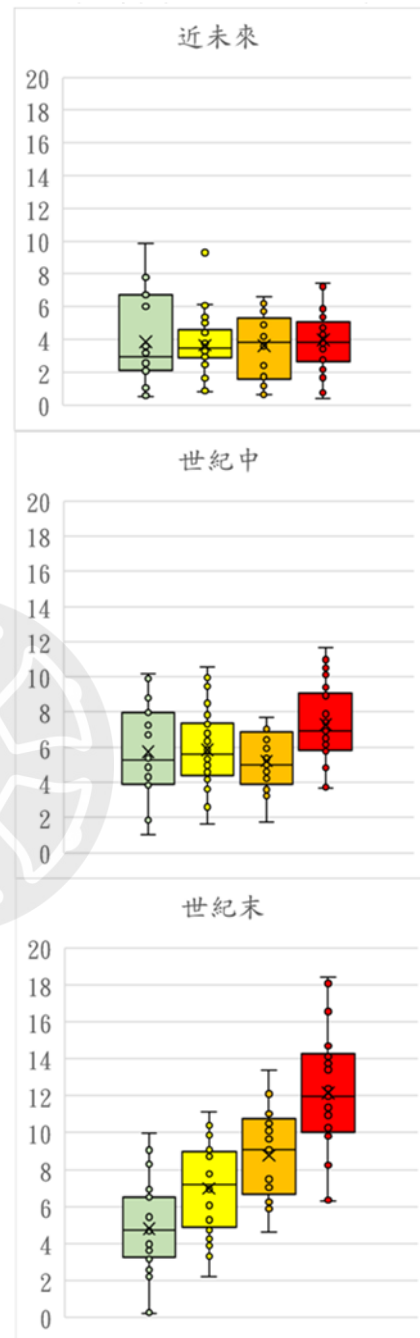
附圖 7-83 新營測站氣溫(10-12月)推
估結果。

新營未來推估臭氧距平
(NO_x-limited)



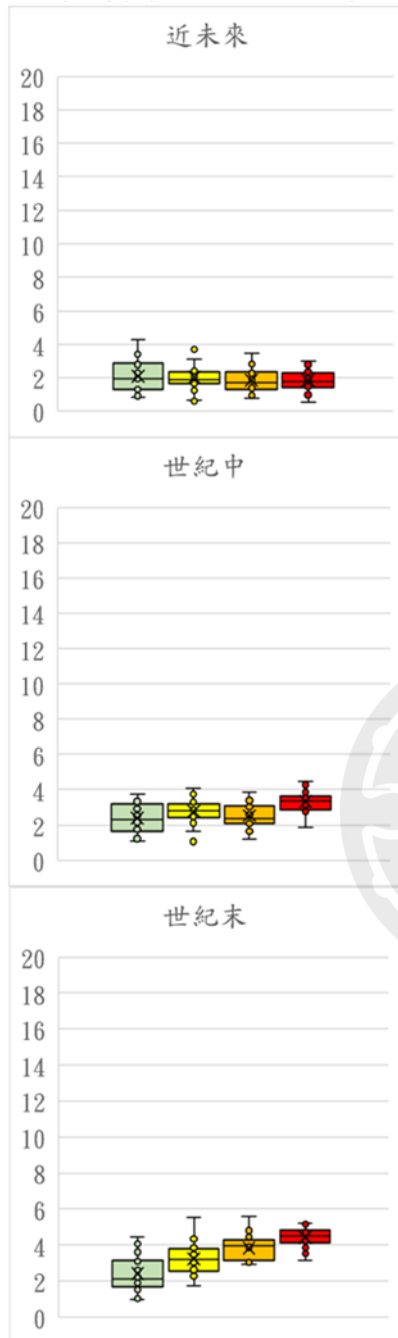
附圖 7-84 新營測站臭氧推估結果
(NO_x-limited)。

新營未來推估臭氧距平
(1月)(NO_x-limited)

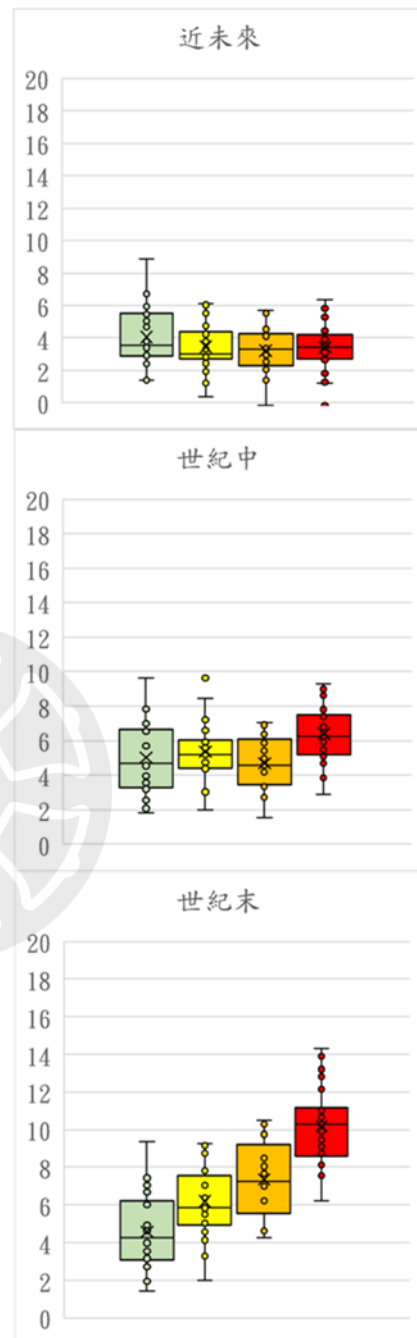


附圖 7-85 新營測站臭氧(1月)推估結
果(NO_x-limited)。

新營未來推估臭氧距平
(9月)(NO_x-limited)



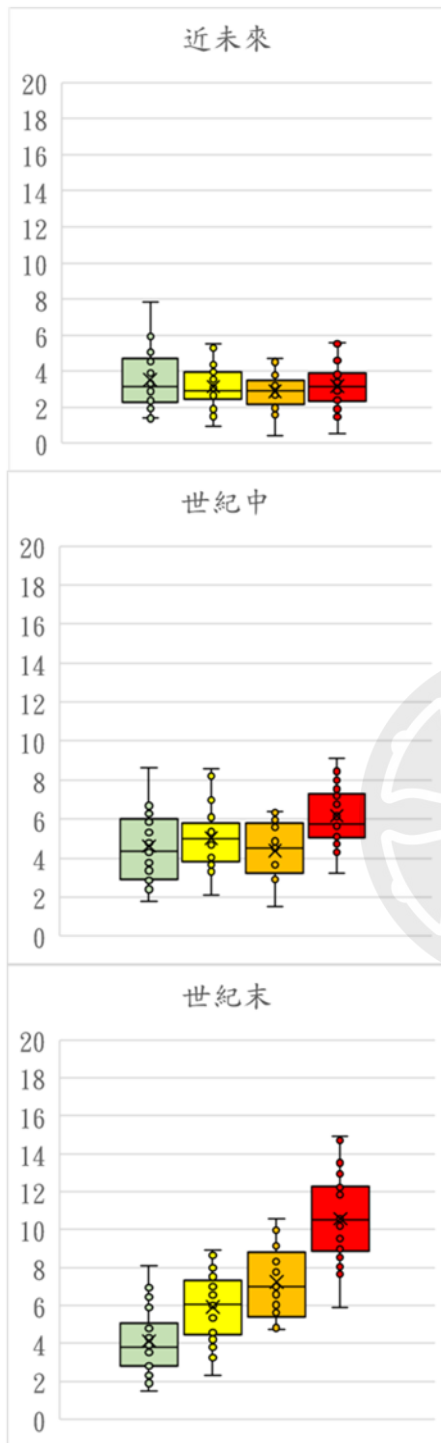
新營未來推估臭氧距平
(10-12月)(NO_x-limited)



附圖 7-86 新營測站臭氧(9月)推估結果(NO_x-limited)。

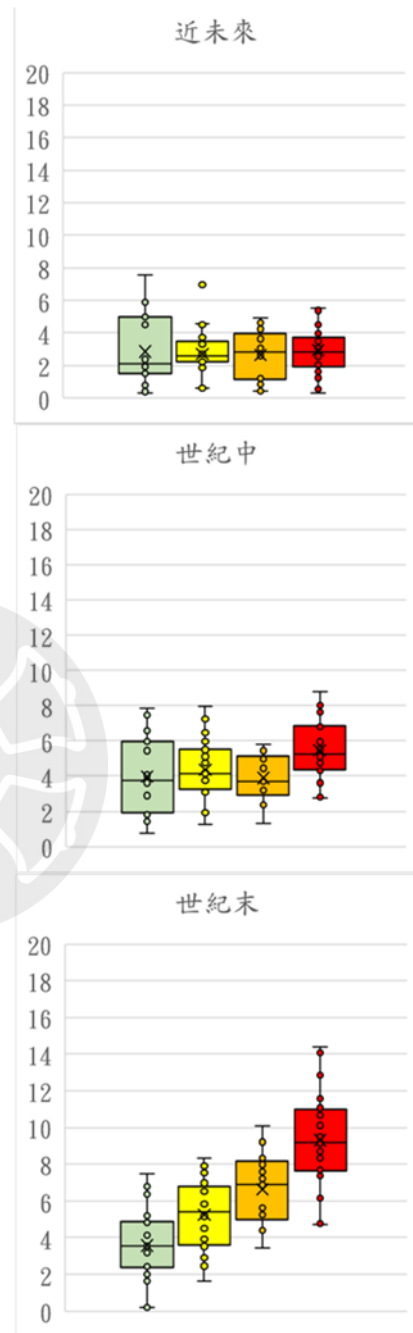
附圖 7-87 新營測站臭氧(10-12月)推估結果(NO_x-limited)。

新營未來推估臭氧距平
(VOC-limited)



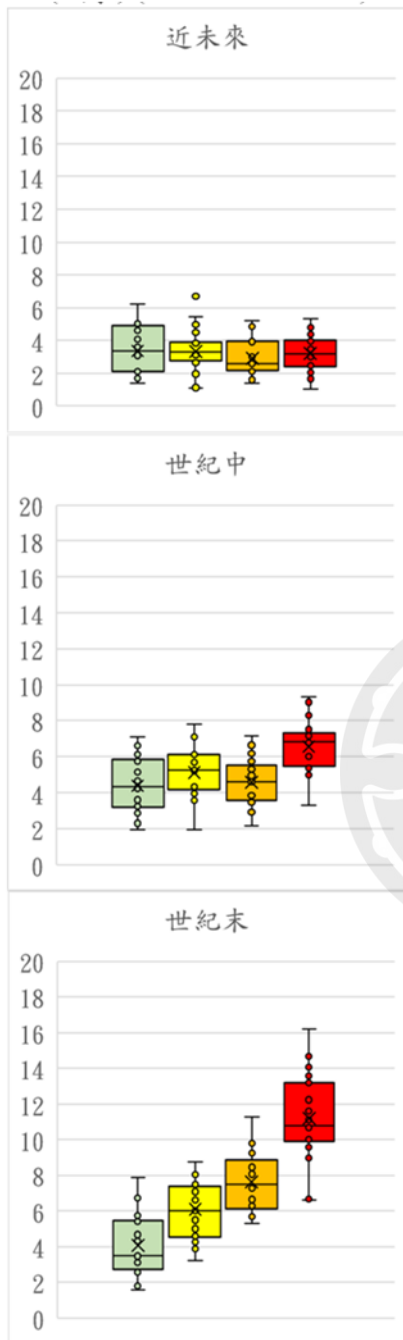
附圖 7-88 新營測站臭氧推估結果
(VOC-limited)。

新營未來推估臭氧距平
(1月)(VOC-limited)



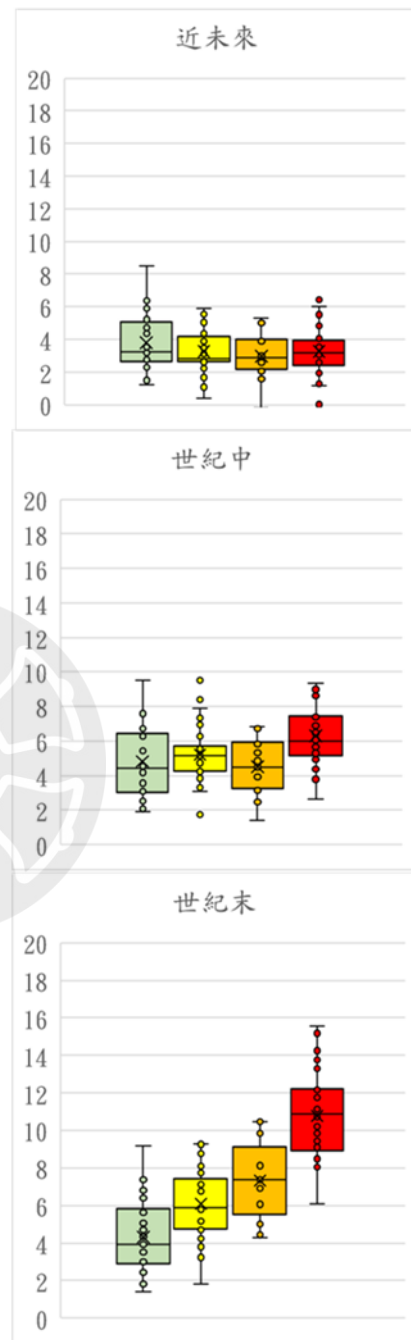
附圖 7-89 新營測站臭氧(1月)推估結
果(VOC-limited)。

新營未來推估臭氧距平
(9月)(VOC-limited)



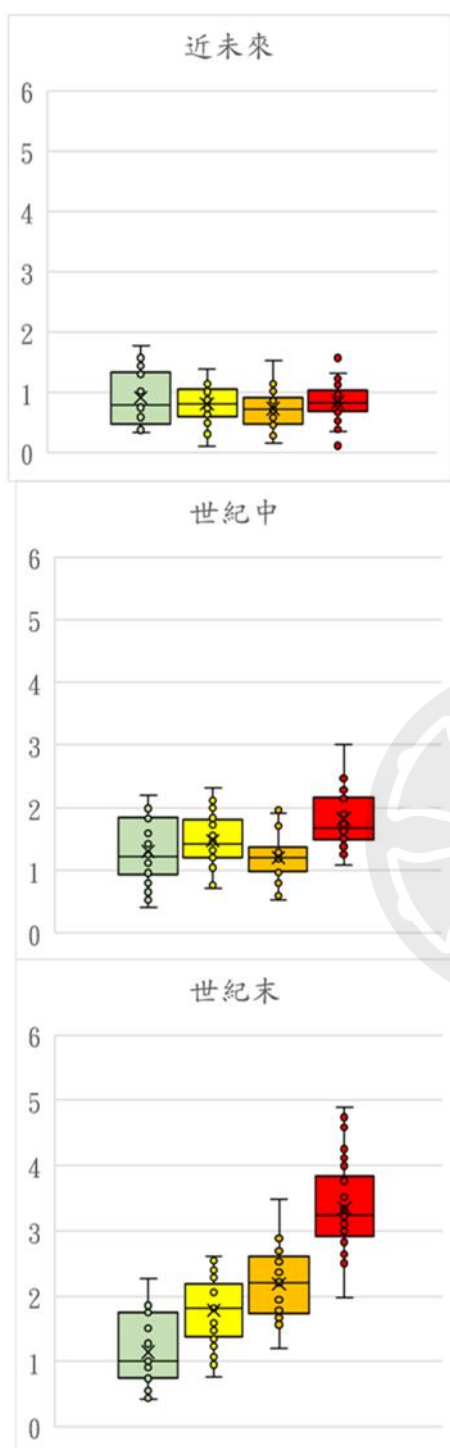
附圖 7-90 新營測站臭氧(9月)推估結果(VOC-limited)。

新營未來推估臭氧距平
(10-12月)(VOC-limited)



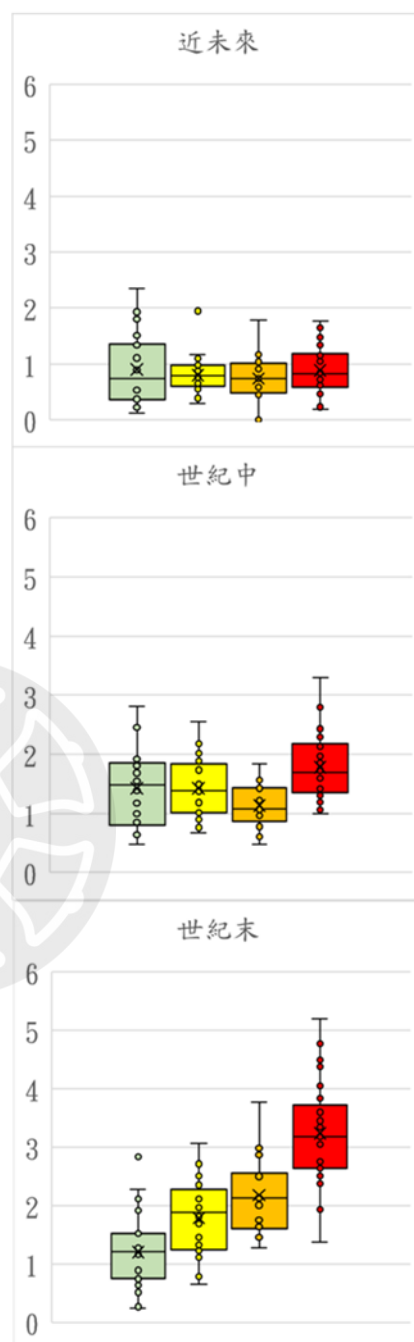
附圖 7-91 新營測站臭氧(10-12月)推估結果(VOC-limited)。

善化未來推估氣溫距平



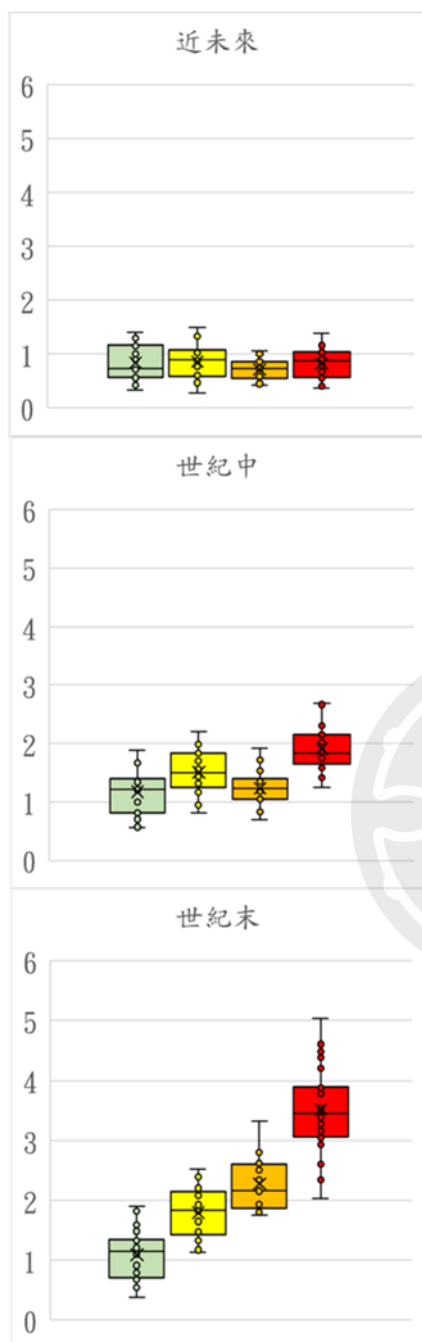
附圖 7-92 善化測站氣溫推估結果。

善化未來推估氣溫距平
(1月)



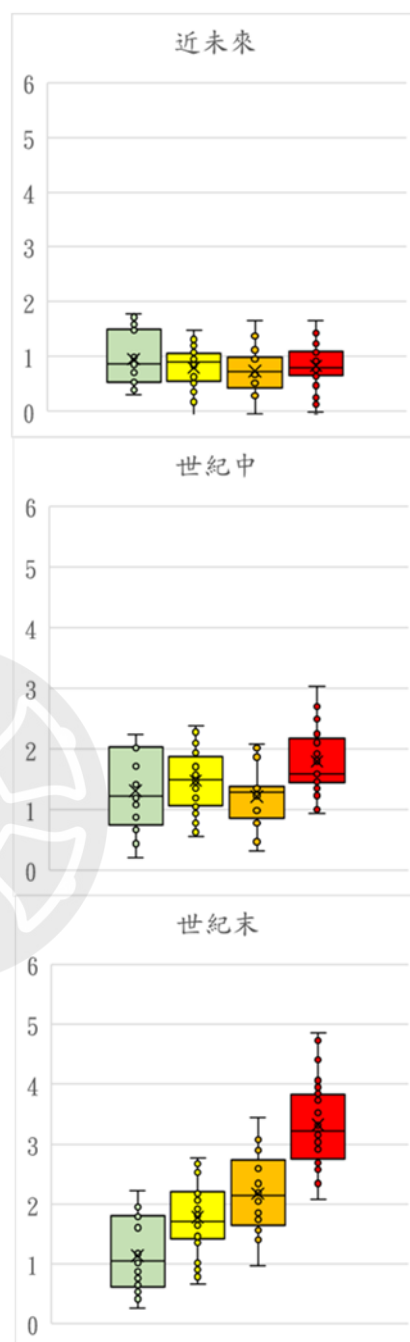
附圖 7-93 善化測站氣溫(1月)推估結果。

善化未來推估氣溫距平
(9月)



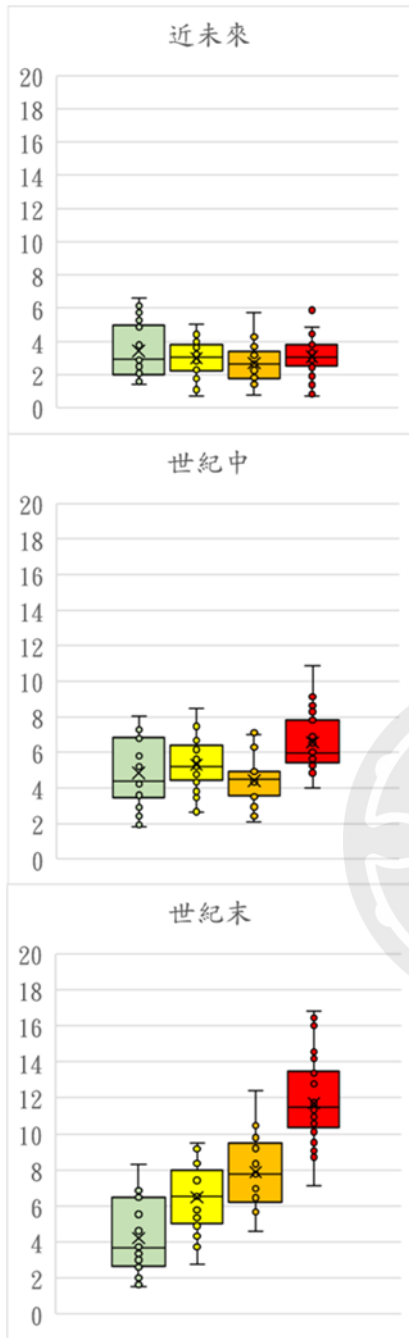
附圖 7-94 善化測站氣溫(9月)推估結果。

善化未來推估氣溫距平
(10-12月)

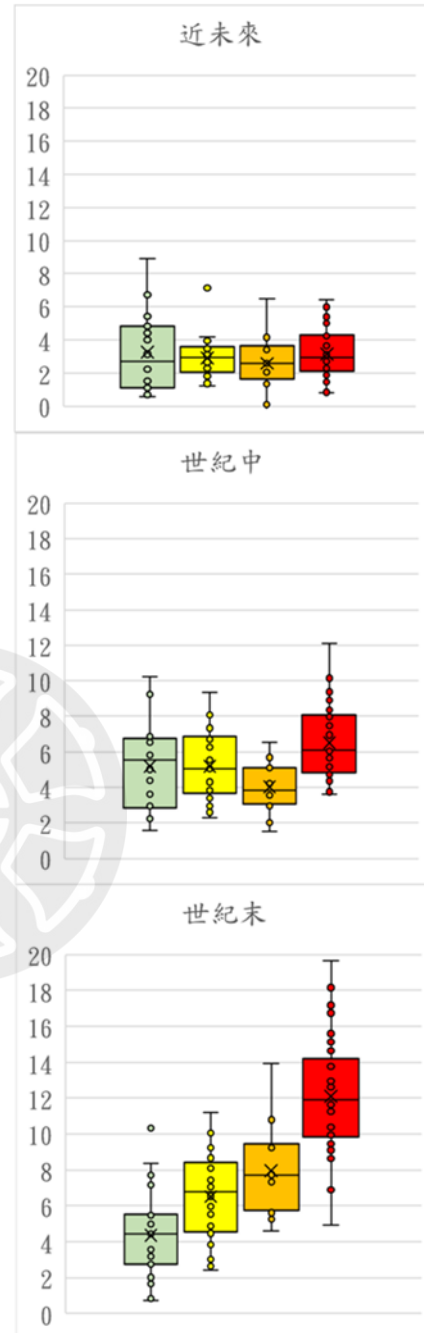


附圖 7-95 善化測站氣溫(10-12月)推估結果。

善化未來推估臭氧距平



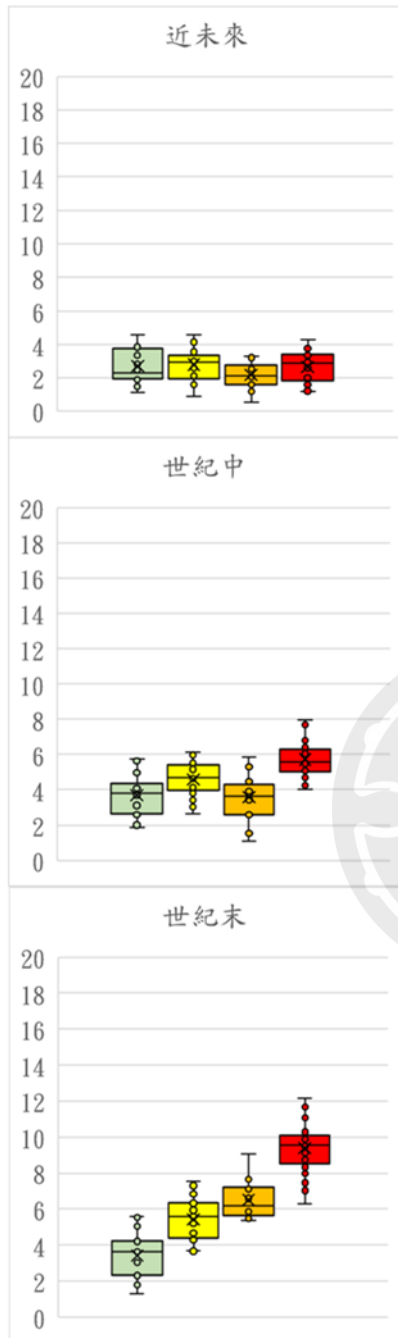
善化未來推估臭氧距平
(1月)



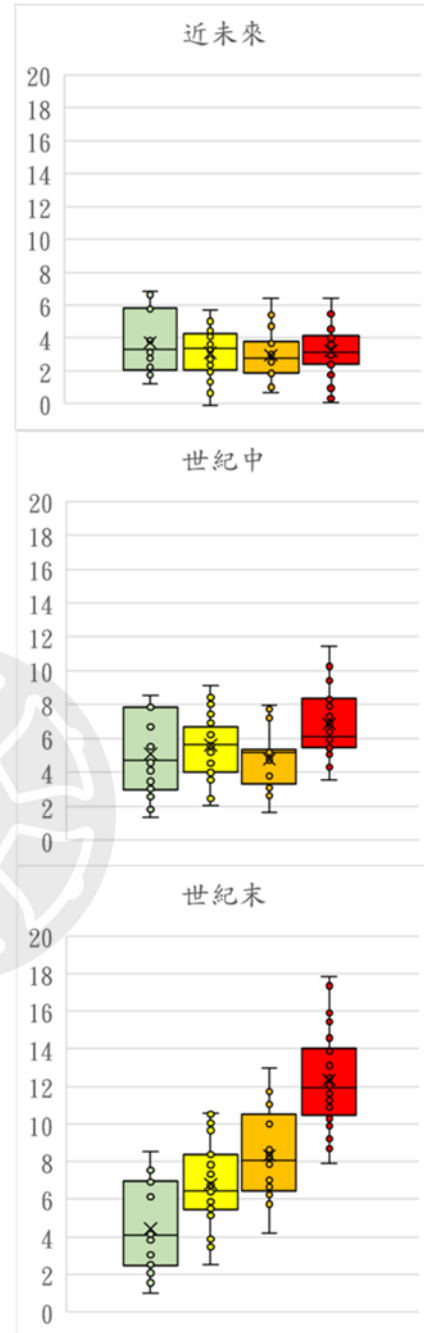
附圖 7-96 善化測站臭氧推估結果。

附圖 7-97 善化測站臭氧(1月)推估結果。

善化未來推估臭氧距平
(9月)



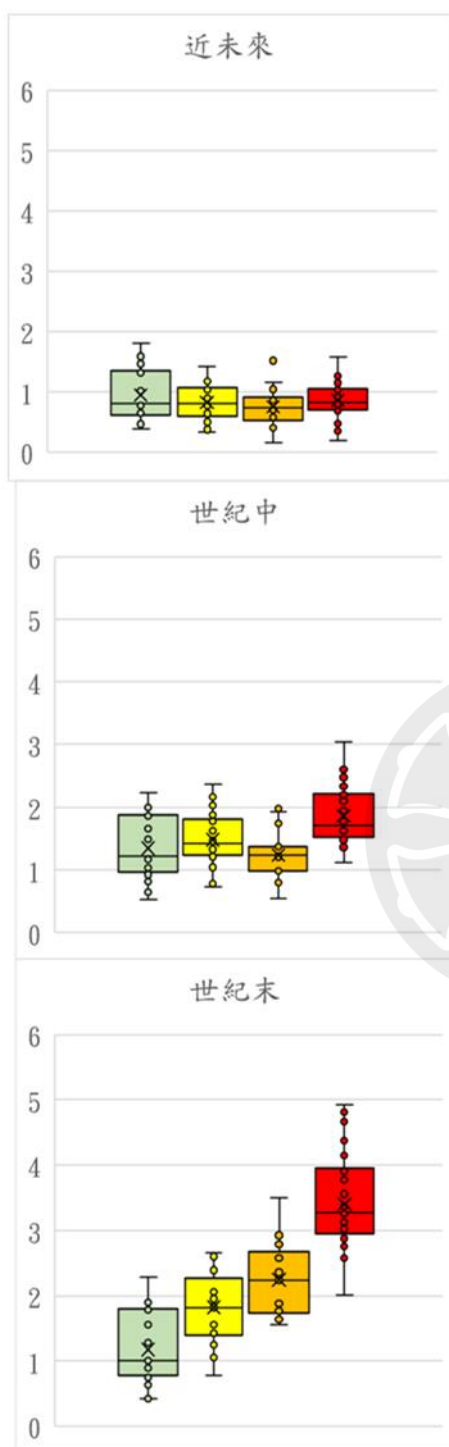
善化未來推估臭氧距平
(10-12月)



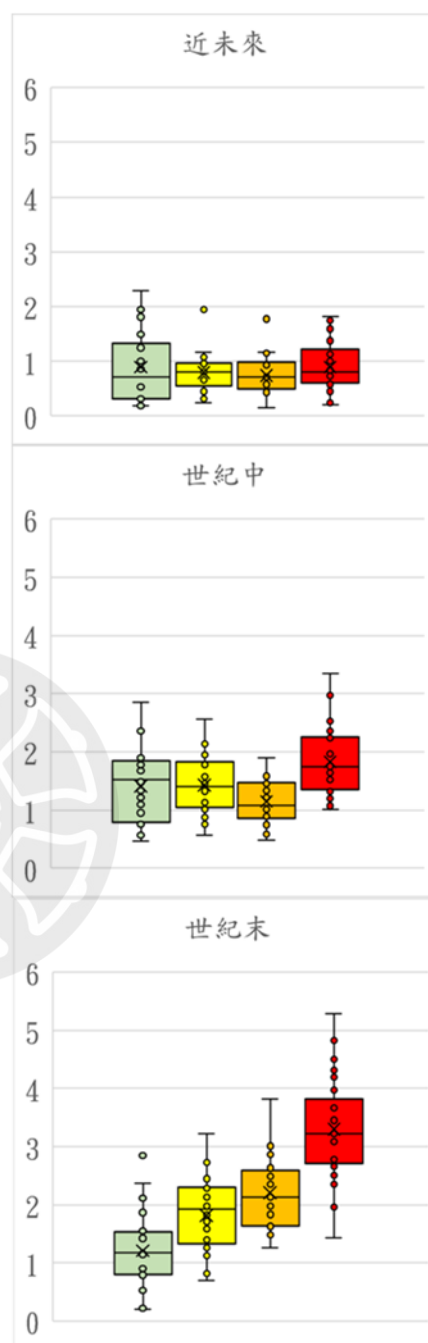
附圖 7-98 善化測站臭氧(9月)推估結果。

附圖 7-99 善化測站臭氧(10-12月)推估結果。

新港未來推估氣溫距平



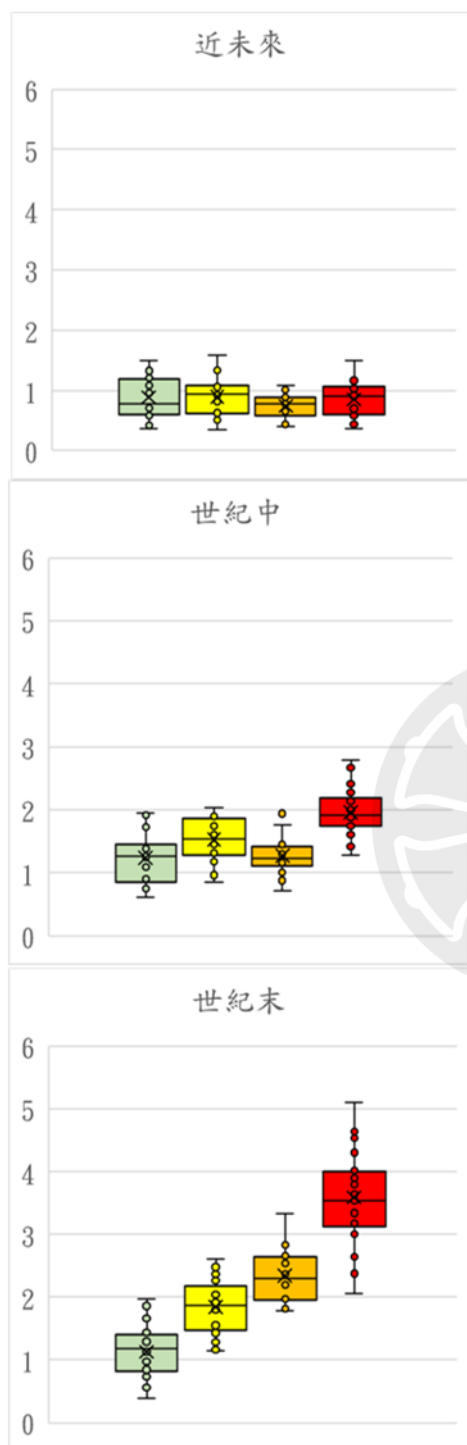
新港未來推估氣溫距平
(1月)



附圖 7-100 新港測站氣溫推估結果。

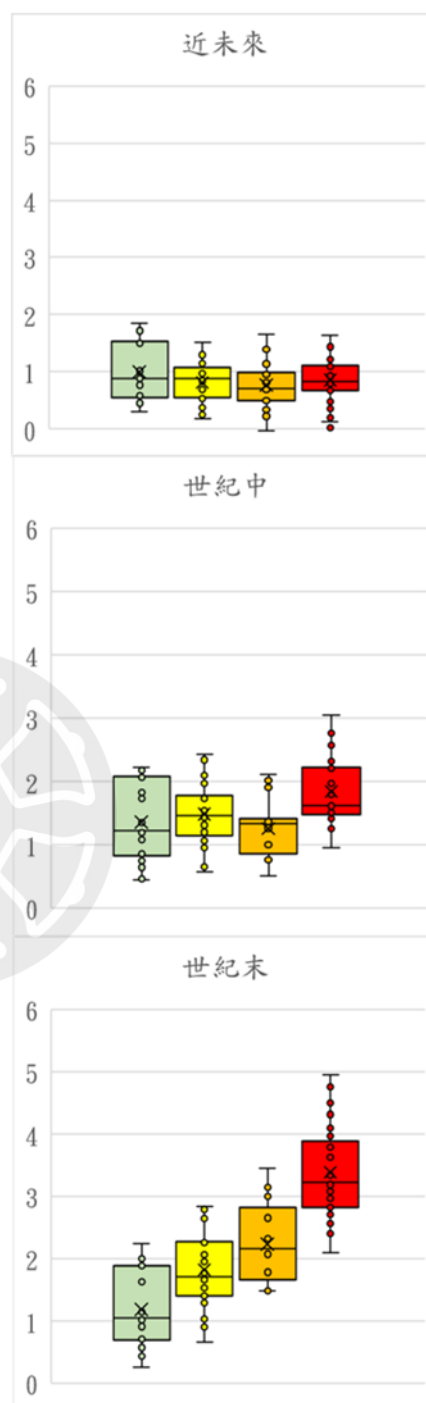
附圖 7-101 新港測站氣溫(1月)推估結果。

新港未來推估氣溫距平
(9月)



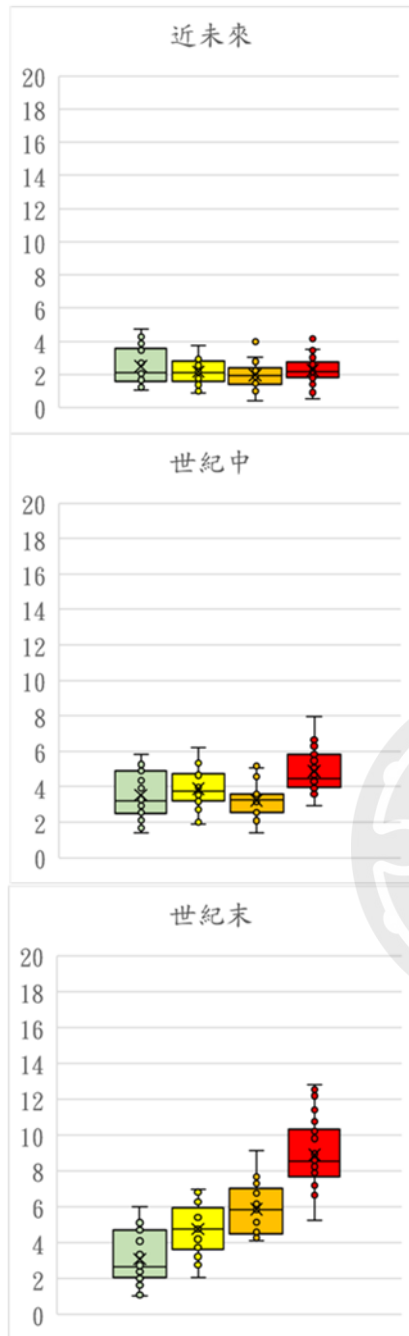
附圖 7-102 新港測站氣溫(9月)推估
結果。

新港未來推估氣溫距平
(10-12月)

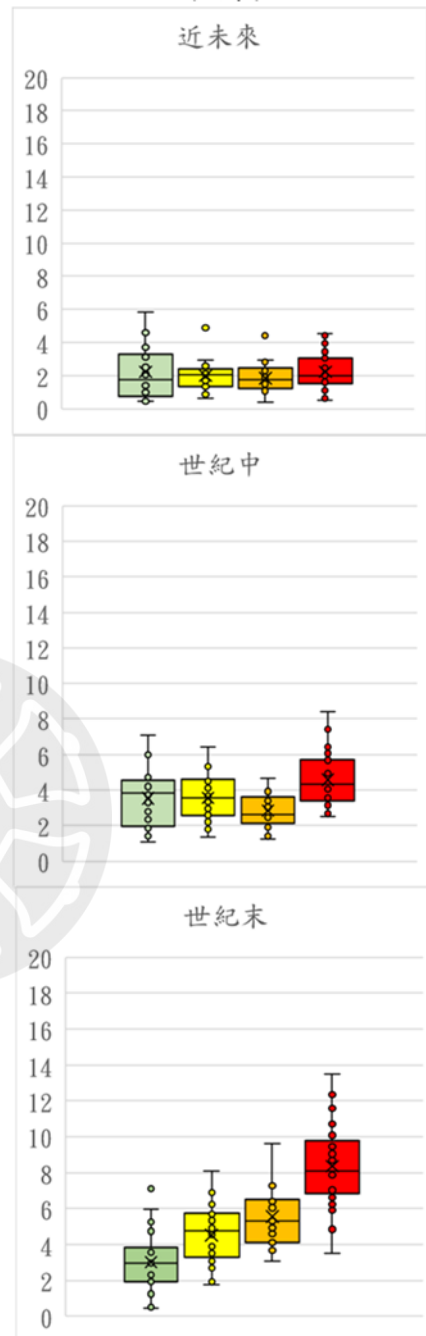


附圖 7-103 新港測站氣溫(10-12月)
推估結果。

新港未來推估臭氧距平



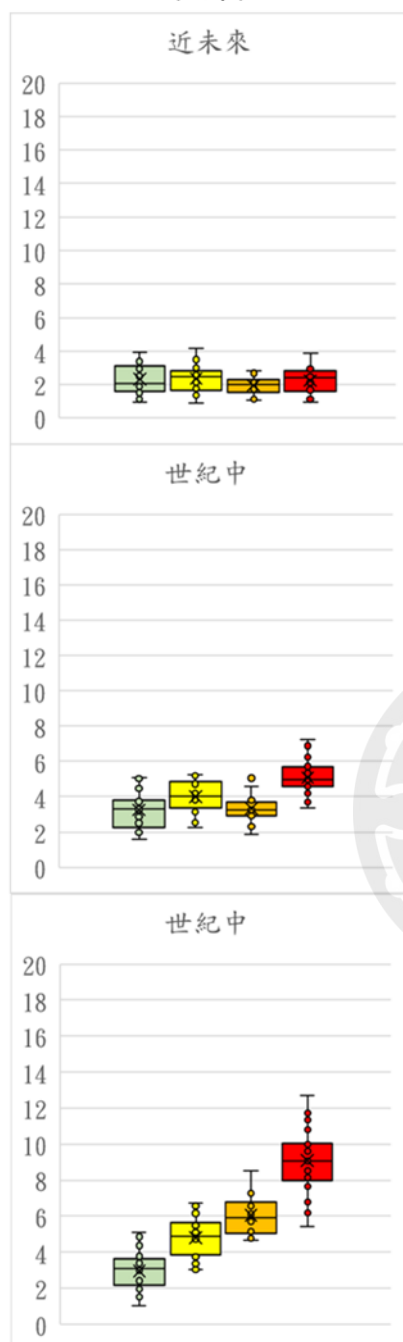
新港未來推估臭氧距平
(1月)



附圖 7-104 新港測站臭氧推估結果。

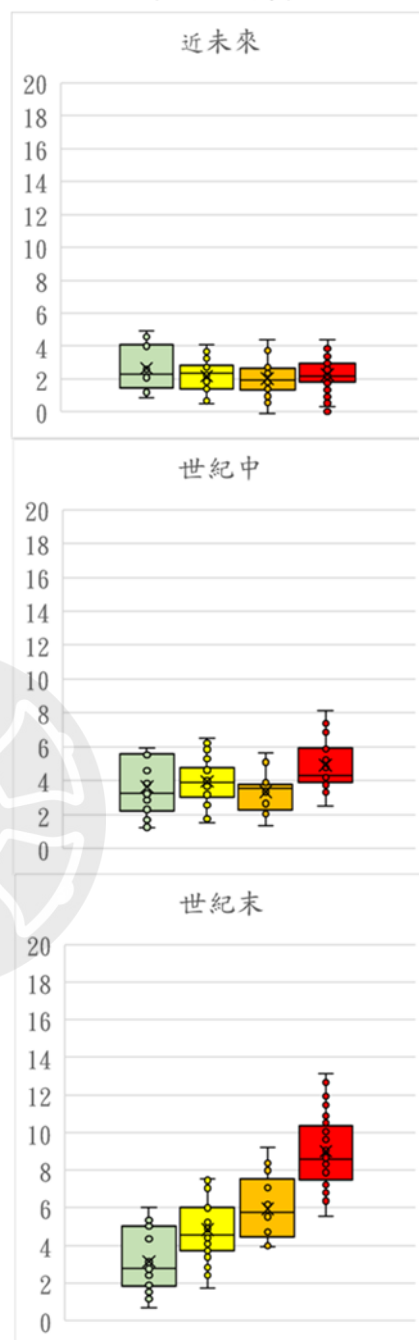
附圖 7-105 新港測站臭氧(1月)推估結果。

新港未來推估臭氧距平
(9月)

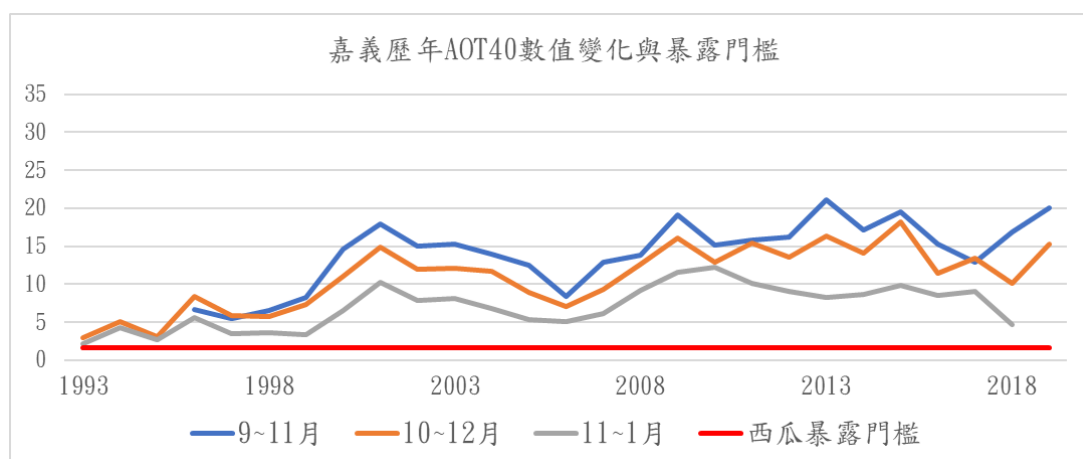


附圖 7-106 新港測站臭氧(9月)推估
結果。

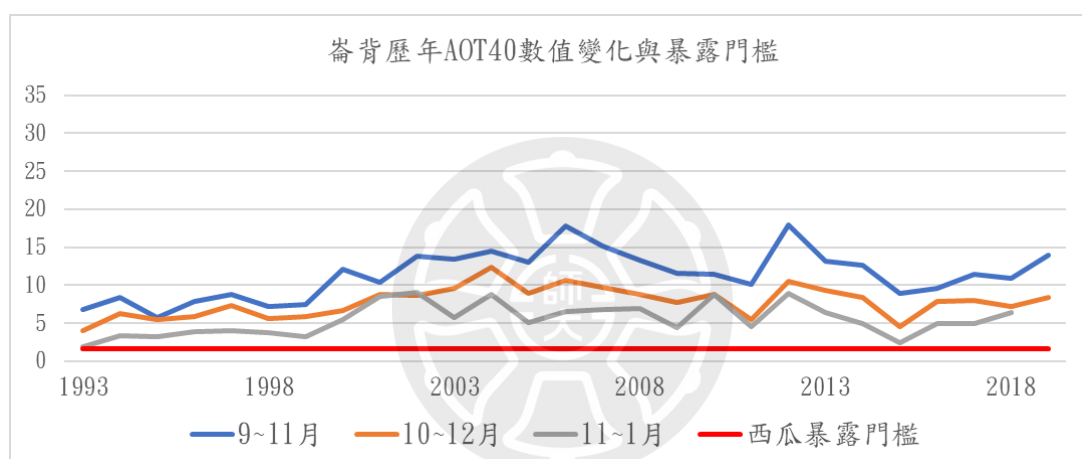
新港未來推估臭氧距平
(10-12月)



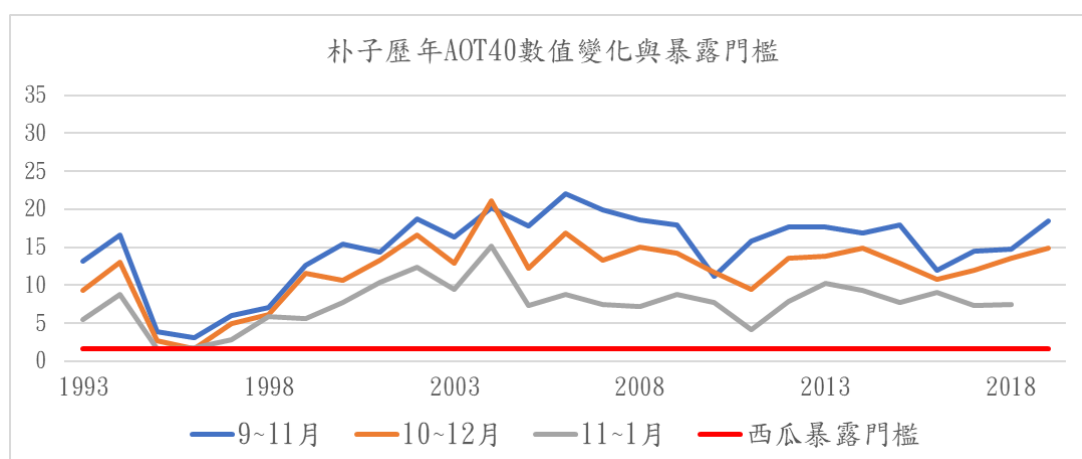
附圖 7-107 新港測站臭氧(10-12月)
推估結果。



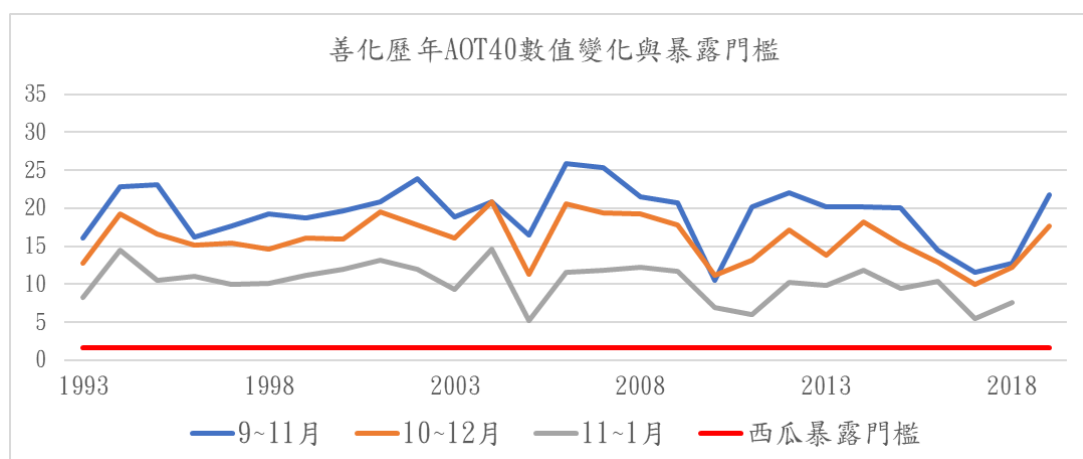
附圖 7-108 嘉義測站 AOT40 暴露指數(單位：ppm.h)。



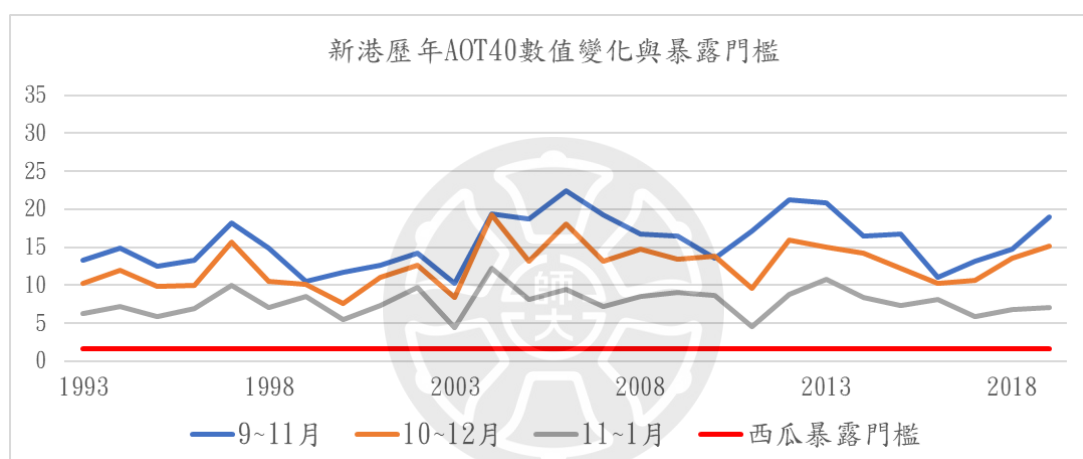
附圖 7-109 崙背測站 AOT40 暴露指數(單位：ppm.h)。



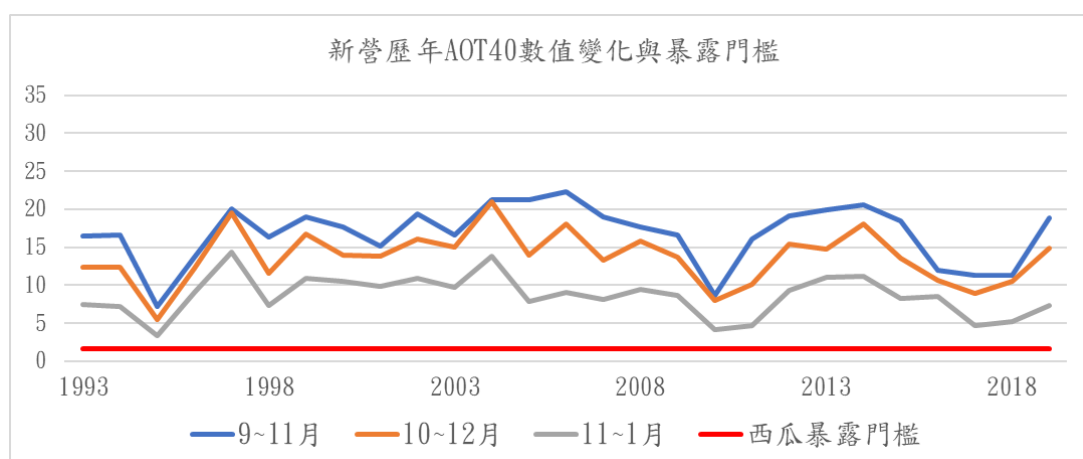
附圖 7-110 朴子測站 AOT40 暴露指數(單位：ppm.h)。



附圖 7-111 善化測站 AOT40 暴露指數(單位：ppm.h)。



附圖 7-112 新港測站 AOT40 暴露指數(單位：ppm.h)。



附圖 7-113 新營測站 AOT40 暴露指數(單位：ppm.h)。