

國立臺灣大學生物資源暨農學院園藝暨景觀學系

碩士論文

Department of Horticulture and Landscape Architecture

College of Bioresources and Agriculture

National Taiwan University

Master Thesis

冬春季氣溫波動對藍莓產量分佈與產期之影響

Effects of temperature fluctuation in winter and spring
on blueberry yield distribution and harvest period

鄭揚曦

Yang-Xi Zheng

指導教授：李國譚 博士

Advisor: Kuo-Tan Li, Ph.D.

中華民國 112 年 2 月

February, 2023

國立臺灣大學碩士學位論文
口試委員會審定書

MASTER'S THESIS ACCEPTANCE CERTIFICATE
NATIONAL TAIWAN UNIVERSITY



冬春季氣溫波動對藍莓產量分佈與產期之影響

Effects of temperature fluctuation in winter and spring on
blueberry yield distribution and harvest period

本論文係鄭揚曦君（R09628127）在國立臺灣大學園藝暨景觀學系完成之碩士學位論文，於民國 111 年 12 月 28 日承下列考試委員審查通過及口試及格，特此證明。

The undersigned, appointed by the Department of Horticulture and Landscape Architecture on 28 December 2022 have examined a Master's thesis entitled above presented by Yang-Xi Zheng (R09628127) candidate and hereby certify that it is worthy of acceptance.

口試委員 Oral examination committee:

李國譚
(指導教授 Advisor)

Handwritten signature of Li Guotang in black ink.

李金龍

Handwritten signature of Li Jintong in black ink.

張哲嘉

Handwritten signature of Zhang Zhejia in black ink.

謝辭

首先要感謝李國譚老師在這兩年半的諄諄教誨，老師總是能精確點出研究中的不足以及盲區，並適時的給予協助引導到正確的方向，更教導我要以嚴謹的態度看待研究，獲益良多。也感謝兩位口試委員李金龍老師與張哲嘉老師在論文上提供的建議以及修正。除此之外，感謝大氣系林博雄老師與觀測坪管理者傅七寶先生提供詳細的氣象資料並指導我如何使用，使在計算論文數據時能更加精確。

感謝在大學時期認識並幫助過我的學長姐與同學：徐筱晴、李祖賢、蔡志勇、邱冠融、余竹君、周伶蔓、吳辰茲、許懷文、林楷博、游正琳、嚴郁虹、王秉鋒、陳思霖、張鎔麟、林鼎泰、柯鈺庭。感謝果樹生理實驗室 123 的學長姐：張嵐雁、昌佳致、楊士藝、林意親、譚智丞、李育全、林永城、大森真史、曾暉哲，同學：王穎澄、陳越予、柳沐真，學弟妹：陸宣涵、陳品睿、李德祥、吳迦勒、陳弘明、黃偉俊、鄔瑞琪、呂愉寧、陳冠廷、翁彰健使我研究所的生活更加豐富有趣。而其中特別感謝呂嘉彬學長在大學與研究所階段給予非常多的協助。

感謝三姨丈、三阿姨在研究所初期尚未候補到宿舍時提供住所給我，柳育彰表姐指導我 Python 的使用，節省許多整理資料的時間。最後感謝我的父母及家人與女友在就學期間的所有支持與幫助，讓我在物質上不虞匱乏，能放心的讀書。上述所提及之所有人皆或多或少促成了這本論文的誕生，感謝有你們。

鄭揚曦 2023/02/06

於台大園藝系四號館 123 室

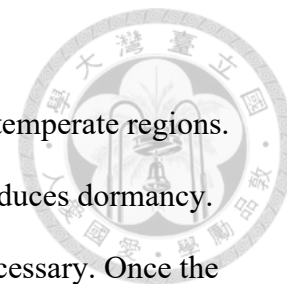
摘要



藍莓(*Vaccinium* spp.)為原生於溫帶地區之落葉性果樹，秋、冬季環境日長與溫度誘導植株進入休眠。打破休眠則依賴低溫的累積，休眠解除後另需累積足量的積熱，方能使花芽開花並進入果實發育階段。臺北位處於亞熱帶地區，冬季低溫不足與春季氣溫波動大，對果實產期具有明顯影響。因此本研究分析自 2018 年 9 月至 2022 年 7 月之氣溫資料，並利用低溫單位模型(chill units model)以及透過不同基礎溫度計算積熱(heat units)，觀察南方高叢藍莓(*Vaccinium* hybrid)、兔眼藍莓(*Vaccinium virgatum*)品種以及 NTU 兔眼藍莓品系產期的變化。2018/19 年低溫累積量為 4 個年份中最少，2019/20 年與 2020/21 年累積量相近並高於 2018/19 年，而 2021/22 年累積量為 4 個生產期中最高的一期。積熱則以 4 個基礎溫度進行計算，分別設定為 0 °C、5 °C、10 °C、15 °C。以 15 °C 的標準計算下，全期累積積熱以 2021 年最高為 42151.6 °Ch，其次為 2020 年 41306.4 °Ch 與 2019 年 39763 °Ch，而 2022 年最低為 37210 °Ch。結果顯示，南高叢藍莓在低溫累積最少與最多的兩個年份，產期開始日明顯延後，需較高積熱量產期才開始，而兔眼藍莓與 NTU 兔眼品系則是在低溫累積最多的年份產期明顯延後，在 2021/22 年產期開始前累積最多。南高叢藍莓在低溫累積量最低及最高的年份，產期集中，總產期明顯縮短，產期開始至結束累積之積熱最少，兔眼藍莓與 NTU 藍莓總產期與低溫累積量較無關。而不同品種間產量達總產量 50%之日期區間，在不同生產期間並無明顯的變化趨勢。整體上，南高叢藍莓產期較容易受氣溫變化所影響，而兔眼藍莓與 NTU 藍莓受影響程度不如南高叢藍莓明顯。

關鍵字:氣候變遷、低溫單位、熱單位、南高叢藍莓、兔眼藍莓、物候期

Abstract



Blueberry (*Vaccinium* spp.) is a deciduous fruit tree native to temperate regions. In autumn and winter, environmental daylength and temperature induces dormancy. To break the dormancy, accumulation of chilling temperature is necessary. Once the dormancy is released, accumulation of enough heat is required for bloom and fruit development. Taipei is in the subtropical region, insufficient chilling temperature in winter and great temperature fluctuations in spring have a significant impact on the harvesting date and harvest windows. This study analyzed the temperature data from September 2018 to July 2022, using chill unit (CU) models and calculates heat units ($^{\circ}\text{Ch}$) through different base temperatures to evaluate the response of several southern highbush blueberry (*Vaccinium* hybrid), rabbiteye blueberry (*Vaccinium virgatum*) varieties and NTU rabbiteye blueberry lines. Among the four years, accumulated chilling units in 2018/19 was the least; CU of 2019/20 was similar to that of 2020/21 and was higher than 2018/19, while CU of 2021/22 was the highest. The accumulated heat was calculated based on four base temperatures, which were set at 0 $^{\circ}\text{C}$, 5 $^{\circ}\text{C}$, 10 $^{\circ}\text{C}$, and 15 $^{\circ}\text{C}$. Calculated on the basis of 15 $^{\circ}\text{C}$, 2021 had the highest accumulated heat at 42151.6 $^{\circ}\text{Ch}$, followed by 41306.4 $^{\circ}\text{Ch}$ in 2020 and 39763 $^{\circ}\text{Ch}$ in 2019, and the lowest in 2022 was 37210 $^{\circ}\text{Ch}$. The results showed that in the year with either less or high accumulated CU, the initial harvesting date of southern highbush blueberry significantly delayed, and the accumulated heat until prior the initial harvesting date was higher. The initial harvesting date of rabbiteye blueberry and NTU rabbiteye blueberry were significantly delayed in 2021/22 with the highest chill unit accumulation and most of the varieties and lines were accumulated the most heat units in 2021/22. The harvest windows of southern highbush blueberry were significantly shortened in years with relatively high or low accumulated chilling units and the

accumulated heat units during the harvest window were less. However, the accumulative yield reaching 50% of total yield among different varieties had no obvious difference in different years. Overall, the harvest windows of southern highbush blueberry were more sensitive to temperature changes in winter and spring, while rabbiteye blueberry and NTU blueberry line were less affected.

Keywords: climate change, chill unit, growing degree hour, southern highbush blueberry, rabbiteye blueberry, phenological phase

目 錄



口試委員審定書.....	i
謝辭.....	ii
摘要.....	iii
Abstract.....	iv
目錄.....	vi
表目錄.....	x
圖目錄.....	xi
附錄.....	xiv
第一章 總論-前人研究與試驗假說.....	1
1.1. 前言.....	1
1.2. 臺北地區氣候型態與氣候變遷.....	2
1.3. 氣候變遷對藍莓生長之影響.....	2
1.4. 藍莓品種特性.....	3
1.5. 氣溫對藍莓生殖生長之影響.....	4
1.6. 藍莓休眠期與低溫需求.....	5
1.7. 低溫單位計算.....	5
1.7.1. 低溫時數模型 (chill hours model).....	6
1.7.2. 猶他模型 (Utah model)	6
1.7.3. 北卡羅萊納模型 (North Carolina model)	7
1.7.4. 低需冷性模型 (low chilling model)	7
1.7.5. 動態模型 (dynamic model)	7
1.7.6. 均溫模型 (mean temperature model)	8
1.7.7. 臺灣模型 (Taiwan model)	8
1.7.8. 應用於藍莓之低溫模型.....	8

1.8. 植物之熱需求.....	9
1.8.1. 作物之基礎溫度.....	9
1.8.2. 生長度日 (growing degree days, GDD) 之計算.....	9
1.8.3. 生長度時 (growing degree hours, GDH) 之計算.....	10
1.8.4. 生長度分 (growing degree minutes, GDM) 之計算.....	10
1.9. 試驗假說.....	10
 第二章 材料與方法.....	 12
2.1. 試驗地點與材料.....	12
2.2. 氣象資料紀錄.....	12
2.3. 開花期紀錄.....	13
2.4. 果實採收紀錄.....	13
2.5. 統計分析.....	14
 第三章 試驗結果.....	 15
3.1. 氣溫變化觀察.....	15
3.1.1 第一年度(2018 年 9 月至 2019 年 7 月)	15
3.1.2 第二年度(2019 年 9 月至 2020 年 7 月)	15
3.1.3 第三年度(2020 年 9 月至 2021 年 7 月)	16
3.1.4 第四年度(2021 年 9 月至 2022 年 7 月)	16
3.2. 低溫單位變化.....	16
3.3. 積熱變化.....	17
3.4. 降雨量變化.....	17
3.5. 生產紀錄 (2018-2019)	17
3.5.1. 南高叢藍莓產量與產期.....	17

3.5.2. 兔眼藍莓產量與產期.....	17
3.5.3. NTU 品系產量與產期.....	18
3.6. 生產紀錄 (2019-2020)	18
3.6.1. 南高叢藍莓產量與產期.....	18
3.6.2. 兔眼藍莓產量與產期.....	18
3.6.3. NTU 品系產量與產期.....	19
3.7. 生產紀錄 (2020-2021)	19
3.7.1. 南高叢藍莓產量與產期.....	19
3.7.2. 兔眼藍莓產量與產期.....	19
3.7.3. NTU 品系產量與產期.....	20
3.8. 生產紀錄 (2021-2022)	20
3.8.1 南高叢藍莓產量與產期.....	20
3.8.2 兔眼藍莓產量與產期.....	20
3.8.3 NTU 品系產量與產期.....	21
3.9 花期紀錄 (2021-2022)	21
3.10. 低溫累積量與產期開始日期之相關性.....	22
3.10.1. 南高叢藍莓.....	22
3.10.2. 兔眼藍莓.....	22
3.10.3. NTU 藍莓.....	22
3.11. 低溫累積量與總產期之相關性.....	23
3.11.1. 南高叢藍莓.....	23
3.11.2. 兔眼藍莓.....	23
3.11.3. NTU 藍莓.....	23
3.12. 積熱與產期開始日期之相關性.....	24
3.12.1. 南高叢藍莓.....	24

3.12.2. 兔眼藍莓.....	24
3.12.3. NTU 藍莓.....	24
3.13. 積熱與總產期之相關性.....	25
3.13.1. 南高叢藍莓.....	25
3.13.2. 兔眼藍莓.....	25
3.13.3. NTU 藍莓.....	25
第四章 討論.....	73
4.1. 天氣變化與種植於臺北地區之藍莓.....	73
4.2. 低溫單位與積熱的計算.....	74
4.3. 氣溫變化對開花期之影響.....	75
4.4. 氣溫變化對產期開始日與總產期之影響.....	75
4.5. 氣溫變化對產量集中程度之影響.....	77
4.6. 綜合討論.....	78
第五章 結論.....	79
參考文獻.....	80
附錄.....	92

表目錄



表1. 試驗區之大氣每月最高溫、最低溫，與平均溫度.....	27
表2. 試驗區大氣每小時平均氣溫大於 25°C 以及介於 24°C 至 22°C 及 18°C 至 15°C 與 15°C 至 5°C 之時數，並轉換為低溫單位.....	28
表3. 試驗區大氣每小時平均氣溫介於 18°C 至 15°C 與 15°C 至 5°C 之時數，並轉換為低溫單位.....	29
表4. 試驗區大氣每小時平均氣溫每小時最高溫與最低溫計算積熱，基礎溫度分別為 0 °C、5°C、10 °C、15°C.....	30
表5. 試驗區之大氣累積降雨量.....	31
表6. 7 個南高叢藍莓品種之低溫需求以及 4 個生產週期(2018/19 年, 2019/20 年, 2020/21 年, 2021/22 年)之產期紀錄.....	32
表7. 13 個兔眼藍莓品種之低溫需求以及 4 個生產週期(2018/19 年, 2019/20 年, 2020/21 年, 2021/22 年)之產期紀錄.....	33
表8. 9 個 NTU 品系之低溫需求以及 4 個生產週期(2018/19 年, 2019/20 年, 2020/21 年, 2021/22 年)之產期紀錄.....	34
表9. 2021/22 年 7 個南高叢藍莓品種花期、開花數達到總數量之 50%與達到開花之積熱.....	35
表 10. 2021/22 年 13 個兔眼藍莓品種花期、開花數達到總數量之 50%與達到開花之積熱	36
表 11. 2021/22 年 9 個 NTU 藍莓品系花期、開花數達到總數量之 50%與達到開花之積熱	37

圖目錄



- 圖 1. 南高叢藍莓(A) ‘暖地’、(B) ‘Sharpblue’、(C) ‘Sunshineblue’、(D) ‘Misty’、(E) ‘Gulfcoast’、(F) ‘Georgiagem’、(G) ‘O’Neal’於四個生產週期中產期分佈與產量達總產量 50%之區間.....38
- 圖 2. 兔眼藍莓(A) ‘Aliceblue’、(B) ‘Beckyblue’、(C) ‘Bonita’、(D) ‘Brightwell’、(E) ‘Climax’、(F) ‘Austin’、(G) ‘Delite’、(H) ‘Powderblue’、(I) ‘Fukuberry’、(J) ‘Gloria’、(K) ‘Menditoo’、(L) ‘Pinklemonade’於四個生產週期中產期分佈與產量達總產量 50%之區間.....39
- 圖 3. NTU 藍莓(A) NTU009、(B) NTU025、(C) NTU031、(D) NTU032、(E) NTU043、(F) NTU54、(G) NTU103、(H) NTU104、(I) NTU108 於四個生產週期中產期分佈與產量達總產量 50%之區間.....42
- 圖 4. 低溫單位值與南高叢藍莓 (A) ‘暖地’、(B) ‘Sharpblue’、(C) ‘Sunshineblue’、(D) ‘Misty’、(E) ‘Gulfcoast’、(F) ‘Georgiagem’、(G) ‘O’Neal’產期開始日之相關性.....44
- 圖 5. 無受高溫影響之低溫單位值與南高叢藍莓 (A) ‘暖地’、(B) ‘Sharpblue’、(C) ‘Sunshineblue’、(D) ‘Misty’、(E) ‘Gulfcoast’、(F) ‘Georgiagem’、(G) ‘O’Neal’產期開始日之相關性.....45
- 圖 6. 低溫單位值與南高叢藍莓 (A) ‘暖地’、(B) ‘Sharpblue’、(C) ‘Sunshineblue’、(D) ‘Misty’、(E) ‘Gulfcoast’、(F) ‘Georgiagem’、(G) ‘O’Neal’總產期之相關性.....46
- 圖 7. 無受高溫影響之低溫單位值與南高叢藍莓 (A) ‘暖地’、(B) ‘Sharpblue’、(C) ‘Sunshineblue’、(D) ‘Misty’、(E) ‘Gulfcoast’、(F) ‘Georgiagem’、(G) ‘O’Neal’總產期之相關性.....47
- 圖 8. 自 1 月 1 日累積至產期開始日之積熱與南高叢藍莓 (A) ‘暖地’、(B) ‘Sharpblue’、(C) ‘Sunshineblue’、(D) ‘Misty’、(E) ‘Gulfcoast’、(F) ‘Georgiagem’、(G) ‘O’Neal’產期開始日相關性.....48
- 圖 9. 產期開始至結束累積之積熱與南高叢藍莓 (A) ‘暖地’、(B) ‘Sharpblue’、(C) ‘Sunshineblue’、(D) ‘Misty’、(E) ‘Gulfcoast’、(F) ‘Georgiagem’、(G) ‘O’Neal’產期開始日相關性.....49

圖 10. 低溫單位值與兔眼藍莓 (A) ‘Aliceblue’、(B) ‘Beckyblue’、(C) ‘Bonita’、(D) ‘Brightwell’、(E) ‘Climax’、(F) ‘Austin’、(G) ‘Delite’、(H) ‘Powderblue’、(I) ‘Fukuberry’、(J) ‘Gloria’、(K) ‘Menditoo’、(L) ‘Pinklemonade’產期開始日相關性.....	50
圖 11. 無受高溫影響之低溫單位值與兔眼藍莓 (A) ‘Aliceblue’、(B) ‘Beckyblue’、(C) ‘Bonita’、(D) ‘Brightwell’、(E) ‘Climax’、(F) ‘Austin’、(G) ‘Delite’、(H) ‘Powderblue’、(I) ‘Fukuberry’、(J) ‘Gloria’、(K) ‘Menditoo’、(L) ‘Pinklemonade’產期開始日相關性.....	51
圖 12. 低溫單位值與兔眼藍莓 (A) ‘Aliceblue’、(B) ‘Beckyblue’、(C) ‘Bonita’、(D) ‘Brightwell’、(E) ‘Climax’、(F) ‘Austin’、(G) ‘Delite’、(H) ‘Powderblue’、(I) ‘Fukuberry’、(J) ‘Gloria’、(K) ‘Menditoo’、(L) ‘Pinklemonade’總產期相關性.....	52
圖 13. 無受高溫影響之低溫單位值與兔眼藍莓(A) ‘Aliceblue’、(B) ‘Beckyblue’、(C) ‘Bonita’、(D) ‘Brightwell’、(E) ‘Climax’、(F) ‘Austin’、(G) ‘Delite’、(H) ‘Powderblue’、(I) ‘Fukuberry’、(J) ‘Gloria’、(K) ‘Menditoo’、(L) ‘Pinklemonade’總產期相關性.....	53
圖 14. 自 1 月 1 日累積至產期開始日之積熱變化與兔眼藍莓 (A) ‘Aliceblue’、(B) ‘Beckyblue’、(C) ‘Bonita’、(D) ‘Brightwell’、(E) ‘Climax’、(F) ‘Austin’、(G) ‘Delite’、(H) ‘Powderblue’、(I) ‘Fukuberry’、(J) ‘Gloria’、(K) ‘Menditoo’、(L) ‘Pinklemonade’產期開始日相關性.....	54
圖 15. 積熱變化與兔眼藍莓 (A) ‘Aliceblue’、(B) ‘Beckyblue’、(C) ‘Bonita’、(D) ‘Brightwell’、(E) ‘Climax’、(F) ‘Austin’、(G) ‘Delite’、(H) ‘Powderblue’、(I) ‘Fukuberry’、(J) ‘Gloria’、(K) ‘Menditoo’、(L) ‘Pinklemonade’總產期相關性.....	55
圖 16. 低溫單位值與 NTU 兔眼藍莓 (A) NTU009、(B) NTU025、(C) NTU031、(D) NTU032、(E) NTU043、(F) NTU54、(G) NTU103、(H) NTU104、(I) NTU108產期開始日相關性.....	56
圖 17. 無受高溫影響之低溫單位值與 NTU 兔眼藍莓 (A) NTU009、(B) NTU025、(C) NTU031、(D) NTU032、(E) NTU043、(F) NTU54、(G) NTU103、(H) NTU104、(I) NTU108 產期開始日相關性.....	57

圖 18. 低溫單位與 NTU 兔眼藍莓 (A) NTU009、(B) NTU025、(C) NTU031、(D) NTU032、(E) NTU043、(F) NTU054、(G) NTU103、(H) NTU104、(I) NTU108 總產期相關性.....	58
圖 19. 無受高溫影響之低溫單位值與 NTU 兔眼藍莓 (A) NTU009、(B) NTU025、(C) NTU031、(D) NTU032、(E) NTU043、(F) NTU054、(G) NTU103、(H) NTU104、(I) NTU108 與總產期變化相關性.....	59
圖 20. 自 1 月 1 日至產期開始累積之積熱與 NTU 兔眼藍莓 (A) NTU009、(B) NTU025、(C) NTU031、(D) NTU032、(E) NTU043、(F) NTU054、(G) NTU103、(H) NTU104、(I) NTU108 產期開始日相關性.....	60
圖 21. 自產期開始至結束累積之積熱與 NTU 藍莓 (A) NTU009、(B) NTU025、(C) NTU031、(D) NTU032、(E) NTU043、(F) NTU054、(G) NTU103、(H) NTU104、(I) NTU108 總產期變化相關性.....	61
圖 22. 低溫單位值與南高叢藍莓產期開始日相關性.....	62
圖 23. 無受高溫影響之低溫單位值與南高叢藍莓產期開始日相關性.....	63
圖 24. 低溫單位值與南高叢藍莓總產期相關性.....	64
圖 25. 無受高溫影響之低溫單位值與南高叢藍莓總產期相關性.....	65
圖 26. 1 月 1 日至產期開始累積之積熱與南高叢藍莓產期開始日相關性.....	66
圖 27. 產期開始至結束累積之積熱與南高叢藍莓總產期之相關性.....	67
圖 28. 低溫單位值與兔眼藍莓產期開始日之相關性.....	68
圖 29. 無受高溫影響之低溫單位值與兔眼藍莓產期開始日相關性.....	69
圖 30. 1 月 1 日至產期開始日累積之積熱與兔眼藍莓產期開始日之相關性.....	70
圖 31. 低溫單位值與 NTU 藍莓產期開始日相關性.....	71
圖 32. 無受高溫影響之低溫單位值與 NTU 藍莓產期開始日相關性.....	72

附錄

附錄 1. 試驗田區植株擺放示意圖.....	92
------------------------	----



第一章 總論-前人研究及試驗假說

1.1. 前言

藍莓為原生於北美洲，為杜鵑花科(Ericaceae)、越橘屬(*Vaccinium*)、青液果亞屬(*Cyanococcus*)之落葉或常綠性多年生灌木(Luby et al., 1991)。常見之栽培種可分為四大類：矮叢藍莓(lowbush blueberry; 以 *V. angustifolium* 為主)、北高叢藍莓(northern highbush blueberry; *V. corymbosum* L.)、南高叢藍莓(southern highbush blueberry; *V. hybrid*)及兔眼藍莓(rabbiteye blueberry; *V. virgatum* Ait.)(Retamales and Hancock, 2012)。由於藍莓果實中含有多種維他命、有機酸以及酚類化合物等對人體有益之成分，伴隨著近年來人們對健康的重視，藍莓成為熱門的小果類作物，使全世界對藍莓的需求大幅增加(Druice and Percival, 2003)。產地也從原生的北美洲地區拓展至中南美洲、歐洲、澳洲、紐西蘭、智利、中國及日本等地(Retamales and Hancock, 2012)，甚至在熱帶地區都有成功栽種藍莓的紀錄(Darnell and Williamson, 1996)。數十年來，氣候變遷這項議題廣受討論，狹義上氣候變遷指的是 20 世紀中期至今全球平均氣溫逐漸上升的趨勢(Rummukainen, 2012)。而在這樣的情況下，不同於溫帶氣候原生栽培地，較低緯度的區域栽種需冷性較高之藍莓品種經常會因為冬季低溫量供給不足，導致藍莓植株面臨無法開花或是隔年產量低落等情形發生(Jackson et al., 1983)。在適當的栽培條件以及日照時數情況下，以上情形的發生可能與溫帶落葉果樹之低溫需求(chilling requirement)無法滿足有關(Erez and Lavee, 1971)。

藍莓在臺灣栽培歷史甚短，2007 年臺灣大學果樹生理研究室引進數種藍莓品種，於台北平地進行栽培試驗與育種，大部分兔眼藍莓與南高叢藍莓生長勢、開花及結實狀況良好(Li, 2009)。不過至今臺灣仍鮮少有大規模商業栽培，亦尚未了解冬季低溫、春季溫度變化對於各品種開花期以及產量與產期分佈之影響，本論文旨在透過紀錄不同年份間種植於臺北地區藍莓植株之物候期，並與歷年氣溫資料進行比對分析，未來可依照每年天氣狀況不同，對藍莓花期與產期進行預估，並可作為商業栽培與育種之參考。

1.2. 臺北地區氣候型態與氣候變遷

臺灣本島位處北回歸線，以北為副熱帶季風氣候，以南為熱帶季風氣候，依據柯本氏氣候分類法(Köppen-Geiger climate classification)，臺北地區屬於溫暖濕潤氣候(Cfa)，降雨量集中夏季且全年有雨，並無明顯乾季(Wang, 2021)。氣候變遷是全球性或是區域性長期氣候型態的轉變，不僅是一段時間內天氣的均值變化，也包含極端的天氣事件。自 19 世紀初期至今，全球平均溫度明顯上升，且夏季極端高溫與冬季低溫減少，短時間強降雨或是乾旱發生的頻率升高(Olivier et al., 2017)。過去百年來，全島性的暖化現象與全球暖化趨勢一致，然而氣溫上升速率卻遠大於全球平均值(Liu et al., 2007)。臺灣都市地區冬季的暖化趨勢雖與北半球相同，但在春、夏、秋季的溫度上升趨勢則分別為 2 倍、3 倍及 4 倍，顯示臺灣長期暖化趨勢較全球平均值高(Chen and Wang, 2000)。

1.3. 氣候變遷對藍莓生長之影響

藍莓為原生於溫帶冷涼地區的溫帶果樹，環境氣溫會顯著影響植株生殖生長(Retamales and Hancock, 2012)。2012 年美國密西根州不正常的暖冬，使藍莓的花芽過早開始發育，因此當春季回復往年正常水準時，多數花朵遭遇霜害，使該年產量低落；太平洋西北地區於 2012 年的夏季經歷了不尋常的高溫，導致藍莓果實在採收時質地過於柔軟，採後儲架壽命降低；在智利，秋季與冬季的平均溫度有逐年上升的趨勢，造成南高叢藍莓‘O’Neal’、‘Snowchaser’與‘Misty’開花的時間明顯提前，果實採收期與多數品種落差過大，造成額外人力付出(Lobos and Hancock, 2015)。Medeiros 等人(2017)在巴西 Pinhais-PR 地區，透過紀錄 2013 至 2015 年之氣溫變化，觀察 8 個兔眼藍莓品種，以及 2 個南高叢藍莓品種在 2013/14 與 2014/15 年兩個生產週期中植株開花期與產期之差異。由於 2014/15 年異常的暖冬，冬季氣溫明顯較 2013/14 年高許多，因此 2014/15 年的開花期明顯提前，且產期也有提前之趨勢。Zheng 等人(2017) 將 6 個藍莓品種‘Bluecrop’、‘Duke’、

‘Brigitta’、‘Gulfcoast’、‘O’Neal’與‘Blue Ridge’置於溫度 25 °C、30 °C、35 °C、40 °C之溫室模擬高溫氣候，結果顯示，兩個南高叢藍莓‘Gulfcoast’與‘O’Neal’隨著環境溫度上升，生長勢會明顯降低，因此在環境暖化的情況下種植藍莓時，不僅須考慮植株低溫需求，也應考慮各品種是否適應該地氣候環境。

1.4. 藍莓品種特性

美國北美州地區為藍莓之原生地，常見商業栽培之藍莓主要可分為三種，分別為矮叢藍莓、高叢藍莓及兔眼藍莓 (Retamales and Hancock, 2012)，高叢藍莓可進一步分為北方高叢藍莓以及透過種間雜交選育出的南方高叢藍莓 (Camp, 1945)。南高叢藍莓為北高叢藍莓與低溫需求較低或耐高溫之原生種如 *V. darrowii* camp、*V. tenellum* Aiton、*V. angustifolium* Ait.、*V. ashei* Reade 和 *V. constablaei* Gray 等雜交而來，可種植於較為溫暖的美國南方地區(Lang, 1993)，高叢藍莓果實成熟較快，使產期較早開始(Retamales and Hancock, 2012)。兔眼藍莓原生於美國密西西比州(Mississippi)、喬治亞州(Georgia)東南部、佛羅里達州(Florida)北部及阿拉巴馬州(Alabama)東南部之原始森林周邊的河谷地帶(Ballington et al., 1993; Galletta and Ballington, 1996)。兔眼藍莓首次商業種植紀錄是在 1893 年位於於佛羅里達西部，當時種植的許多品種皆是未經選育的野生植株，雖產量高，但果實顏色較深、種子數量多，造成口感與風味不佳，並且兔眼藍莓果實成熟期較高叢藍莓長，因此較不受栽培者喜愛(Spiers, 1990)。兔眼藍莓原生於美國東南部較為溫暖之區域，早期文獻表示其最適合營養生長之溫度與高叢藍莓相似約介於 20 °C 至 25 °C (Moon et al., 1987)。不過在昌(2016)研究中，當氣溫超過 30 °C 時兔眼藍莓仍保持良好光合作用速率，且並未使植株產生逆境或是生長停滯的現象。而兔眼藍莓低溫需求較低、葉片較耐熱及耐乾旱、對土壤酸鹼度適應性較廣等特性適合種植於具有溫和的冬季低溫，且夏季炎熱的區域，這也使栽培地向較溫暖的低緯度地區拓展(Luby et al., 1991)。

1.5. 氣溫對藍莓生殖生長之影響

藍莓植株的開花日期、果實成熟時間、果實產期，不論是在高叢藍莓或是兔眼藍莓，品種間變異都相當大(Lyrene, 1985; Hancock et al., 1991)，且與環境氣溫有高度關聯性(Carlson and Hancock, 1991)。休眠期的低溫會影響藍莓植株能否滿足低溫需求，低溫不充足會使花芽生長停滯或是開花時間不一致(Darnell et al., 1992)。春天時，較高的溫度會使藍莓開花的時間提前，開花後，花朵也會較快凋謝進入果實生長階段(Carlson and Hancock, 1991)。藍莓果實生長過程呈現雙 S 型曲線(double sigmoid curve)，可分為 3 個時期，青果期(Phase I)，此階段細胞快速分裂，不過果實尺寸不會有明顯的增大，約持續 25 至 35 日；轉色期(Phase II)，隨著果實顏色產生變化，果實直徑通常會增加 50%，此階段果實細胞分裂停止，約持續 30 至 40 日，而兔眼藍莓果實在此階段會比南高叢持續更久。接下來成熟期(Phase III)果實的增長是細胞膨大所造成，在轉色完成後直徑仍可繼續增長約 20%，同時風味與甜度也會增加，此三生長階段的速率皆與氣溫有關(Eck, 1988)。高溫對藍莓果實生長具負面影響，Williamson 等人(1996)的研究中，觀察兔眼藍莓種植於夜溫 10°C 與 21°C 的環境下，較低的夜溫使著果率較高外，果實成熟時尺寸也會較大。高叢藍莓種植於環境氣溫較低的溫室(8-24°C)，著果率與果實重量會高於環境溫度較高的溫室(16-27°C) (Knight and Scott, 1964)。

果實成熟時間依品種不同，北高叢藍莓大約為 42-90 日，南高叢藍莓為 55-60 日，兔眼藍莓則是 60-135 日(Darnell, 2006)。以種植於美國佛羅里達州中北部之兔眼藍莓為例，植株於休眠期滿足低溫需求後，3 月花芽萌發，進入開花期。4 月至 6 月為果實發育成熟期，6 月至 10 月則為果實採收期以及主要營養生長期。至 10 月進入秋季後，植株感應光週期及溫度之變化，營養生長停滯，花芽分化開始。至 12 月，生殖及營養生長皆停滯，植株進入休眠期，直至次年春季(Darnell et al., 1992)。兔眼藍莓種植在緯度較低的臺灣臺北地區時其花期約介於

3 月中至 4 月底，果實採收期則是介於 5 月中至 7 月底較佛羅里達地區早(蔡，2016)。



1.6. 藍莓休眠期與低溫需求

原生於溫帶地區的落葉果樹在冬季皆有休眠的特性，在演化上主要是為了避免植株的芽體在寒冷的季節過早萌發導致霜害或凍傷(Flinn and Ashworth, 1994)。當植株因秋季低溫使分生組織停止分裂，或是細胞、器官的運作暫停時，可認定為進入休眠期(Rohde and Bhalerao, 2007)。在進入休眠期的過程中，植株體內的荷爾蒙濃度會改變，例如降低促進生長的激勃素與增加引導休眠的離層酸濃度，在抑制生長的同時並促進休眠(Faust et al., 1997)。亞熱帶地區經常有冬季低溫供給量不足的現象，會使植株開花不穩定、著果率下降、果實品質較差，進而導致產量顯著減少(Byrne and Bacon, 1992; Campoy et al., 2011)。如同多數落葉果樹，藍莓的內生性休眠需要透過低溫的累積來打破，不同的品種具有低溫需求上的差異，北高叢藍莓低溫需求介於 800-1000 小時，南高叢藍莓通常小於 550 小時，兔眼藍莓為 600 小時以內(Retamales and Hancock, 2012)。而藍莓對低溫的需求並不是一個絕對數值，舉例來說，在美國佛羅里達州冬季平均氣溫低於 7.2°C 的時數通常可達 100 個小時以上，在這樣的情況下可以使南高叢藍莓‘Jewel’與‘Emerald’這兩個南高叢藍莓品種正常開花(Lyrene, 2008)，不過在巴西的皮拉西卡巴市(Piracicaba, Brazil)冬季時的低溫並未達到與美國佛羅里達州相同的水準卻也能使南高叢藍莓‘Jewel’與‘Emerald’正常開花(Medina et al., 2018)。臺灣位處於亞熱帶，目前以臺北地區氣候對藍莓物候評估之相關研究仍有限。

1.7. 低溫單位之計算

為了使秋季與冬季低溫量化，開發低溫單位模型(chill accumulation model)作為評估工具，透過將低溫時數(chilling hours)轉換為低溫單位(chill unit)計算後，

可作為植株低溫需求是否滿足判斷的依據，並且可作為對氣候變化觀察的依據。在多項研究中皆有提及低溫單位並無絕對的標準，應依照當地氣候型態做出適當的調整，因此也隨之開發出不同低溫模型(Weinberger, 1950; Richardson et al., 1974; Linvill, 1990; Shaulout and Unrath, 1983; Gilreath and Buchanan, 1981; Fishman et al., 1987; Byrne and Bacon, 1992; Ou and Chen, 2000; Norvell and Moore, 1982; Spiers, 1976)。

1.7.1. 低溫時數模型 (chill hours model)

低溫時數模型為早期計算低溫需求最為廣泛使用的方式，透過調查大量桃樹品種得知，打破桃樹休眠最有效溫度約為攝氏 7.2°C，因此定義每小時平均氣溫若低於 7.2°C 或是平均氣溫介於 0-7.2°C 累積一個低溫時數(chill hours, CH) (Weinberger, 1950; Luedeling et al., 2009)。

1.7.2. 猶他模型 (Utah model)

猶他州介於北緯 37°至 42°，此模型適用於美國山間地區(intermountain region)之氣候，用於評估兩個桃樹品種‘Redhaven’以及‘Elberta’滿足低溫需求後打破內生性休眠之時間點。Richardson 等人(1974)觀察到高溫會將累積的低溫抵銷。猶他模型計算方式為，每小時平均溫度低於 1.5°C 時無低溫單位(CU)之累積單位，1.5-2.4°C 每小時累積 0.5 CU，2.5-9.1°C 每小時累積 1CU，9.2 至 12.4°C 每小時累積 0.5CU，12.5-15.9°C 則無法累積 CU，16-18°C 每小時抵銷 0.5CU，超過 18°C 時每小時抵銷 1CU。Linvill(1990)對原始的猶他模型進行調整，建立 Modified Utah model(MUM)，將溫度計算區間擴大，氣溫介於 0-14°C 為低溫累積範圍，高於 14-21°C 則抵銷前累積的 CU。後續 Linsley-Noakes 等人(1994)為了使種植於南非地區果樹低溫計算更加精確，提出累加猶他模型(positive Utah model, PUM)，平均

氣溫介於 1.4-12.4°C 時每小時累積一個單位，且所累積之 CU 並不因後續高溫而抵銷，可運用於冬季較溫暖之區域。



1.7.3. 北卡羅萊納模型 (North Carolina model)

北卡羅來納州緯度約介於北緯 34°至 36.5°，該模型透過評估該地氣候使其能更精確預估‘Starkrimson Delicious’ (*M. xdomestica* Borkh.)蘋果的低溫需求。計算方式為，平均溫度低於 1.5°C 時無累積單位，1.6-7.1°C 每小時累積 0.5CU，7.2-12.9°C 每小時累積 1CU，13-16.4°C 每小時累積 0.5CU，16.5-18.9°C 無累積單位，19-20.6°C 每小時抵銷 0.5CU，20.7-22°C 每小時抵銷 1CU，22.1-23.2°C 每小時抵銷 1.5CU，23.3°C 以上每小時抵銷 2CU，溫度計算區間較廣(Shaultout and Unrath, 1983)。

1.7.4. 低需冷性模型 (low chilling model)

開發於美國緯度較低之佛羅里達州地區，定義為平均溫度小於或等於 1.7°C 無累積低溫單位，介於 1.8-7.9°C 每小時累積 0.5CU，介於 8-13.9°C 每小時累積 1CU，14-16.9°C 每小時累積 0.5CU，17-19.4°C 無累積低溫單位，19.5-21.4°C 每小時抵銷 0.5CU，大於或等於 21.5°C 每小時抵銷 1CU(Gilreath and Buchanan, 1981)。

1.7.5. 動態模型 (dynamic model)

加州相較於美國其他高緯度地區氣候較為溫暖，冬季若以高緯度地區開發之低溫模型進行計算，常會有無法累積低溫單位的情況發生，且與植株實際生長狀況不相符。為了調整不足之低溫單位，以加州地區氣候為基礎所開發出的動態模型，用於計算該地種植櫻桃之需冷量。自當年 9 月份即可開始計算，將攝氏溫度(°C)轉換克氏溫度(K)後，取平均溫度做為基準值，高於基準值的部分視為負累積，低於基準值的部分視為正累積，並透過公式轉換為 chill portion(CP)，加總後可得

當地的低溫供給量，轉換後的(CP)不會因高溫所抵消(Fishman et al., 1987a ; Fishman et al., 1987b)。



1.7.6. 均溫模型 (mean temperature model)

開發於美國德克薩斯州(Texas)，可以應用於環境相對較溫暖之美國東南方區域，計算方式為使用該年冬季最冷的 1 個月或是 2 個月，例使用 12 月或是 12 月與 1 月份相加之月均溫來計算低溫供給量，月均溫於 7°C 時可累積 1200 個低溫單位，12.2°C 時可累積 600 個單位，於 18.9°C 時則無單位累積(Byrne and Bacon, 1992)。在氣象資料不齊全時可以作為簡易的估算工具，但準確度與其他低溫模型相比誤差較大(Milech et al., 2018)。

1.7.7. 臺灣模型 (Taiwan model)

歐(1992)在桃樹低溫需求的研究中，透過計算花芽數量、花期以及套用不同低溫模型評估臺灣低需冷性桃樹品種之最適低溫需求，隨之發展出臺灣模型，定義為，平均溫度低於 7.2°C 每小時累積 1CU 位，介於 7.3-15°C 每小時累積 0.5CU，15.1-26.6°C 無累積低溫單位，26.7-27.8°C 每小時抵銷 0.5CU，大於 27.8°C 時每小時扣除 1CU(Ou and Chen, 2000)。

1.7.8. 應用於藍莓之低溫模型

如前述大多數低溫模型是以核果類(Stone Fruit)果樹作為研究對象，例如而 Norvell 與 Moore(1982)、Spiers(1976)研究中，分別對北高叢藍莓以及兔眼藍莓的有效低溫進行研究，結果顯示北高叢藍莓在平均溫度 2.4°C 以下每小時仍可以累積 0.5CU，介於 2.5-9.1°C 每小時累積 1CU，介於 9.2-12.4°C 每小時累積 0.5CU，高於 12.5°C 時則無累積低溫單位。而兔眼藍莓在平均溫度低於 3°C 時每小時即無法累積低溫單位，介於 6-15°C 時每小時可累積 1CU，介於 15-18°C 時每小時

仍可累積 0.5CU，直到溫度高於 19°C 時才無法累積低溫單位，上述結果顯示，即使是不同種藍莓同樣存在植株對低溫感應上的差異，兔眼藍莓有效低溫範圍較高，適合種植於較溫暖之地區。



1.8. 植物之熱需求

多數落葉果樹於冬季休眠期結束後，進入春季時，環境氣溫達到植株生長最低溫度門檻(閾值)後才會開始生長，以基礎溫度(temperature base, T_{base})來表示，此類對溫度的需求稱為熱積溫或者是積熱(McMaster and Wilhelm, 1997)。藍莓產期與植株的積熱有一定程度的關係，在 Medeiros 等人(2018)之研究中，調查巴西塞魯阿蘇爾地區(Cerro Azul, PR, Brazil)不同年份之氣溫差異，並對數個南高叢與兔眼藍莓品种植株花期與產期進行紀錄，以評估氣溫變化對其造成之影響，在春季較溫暖之年份，多數品種產期會提早開使且產量較為集中。

1.8.1. 作物積熱之基礎溫度

基礎溫度會因不同地區或是作物種類有所調整(Anstey, 1966 ; Rom and Arrington, 1966)。目前透過積熱評估南高叢藍莓與兔眼藍莓果實成熟期之相關研究仍較少，在美國喬治亞州當地氣候環境常利用 7°C 作為基礎溫度(Carlson and Hancock, 1991)。不過在佛羅里達州南部(北緯 29°、西經 82°)較溫暖地區的研究中嘗試使用 0°C、7.5°C、10°C 與 15.0 °C 作為計算，研究結果顯示當地氣候適合以 15°C 做為基礎溫度，理由為若是與高緯度地區使用相同基礎溫度計算，積熱之數值會與植株實際生長狀況不相符(Sater et al., 2021)。

1.8.2. 生長度日(growing degree days, GDD)之計算

生長度日為最廣泛使用於計算植物積熱之方式，計算公式為，當日觀測最高溫(T_{max})與最低溫(T_{min})，相加後除以 2，並減去基礎溫度(T_{base})，可得當日之積熱

(°Cd), $GDD = [(T_{min} + T_{max})/2] - T_{base}$ 。優點為方便計算，因每日溫度波動較大，因此僅使用當日最高溫以及最低溫估算較不精確(McIntyre et al., 1987)。



1.8.3. 生長度時(growing degree hours, GDH)之計算

使用生長度時(GDH)計算熱單位會更加精確(Snyder et al., 1999 ; Gu, 2016)，計算方式為當日每個小時觀測之高溫與最低溫相加後除以 2 扣除基礎溫度後，可得該日累積之積熱(°Ch)， $GDH = [(T_{min} + T_{max})/2] - T_{base}$ 。

1.8.4. 生長度分(growing degree minutes, GDM)之計算

由於較少文獻討論時間尺度小於 1 小時的溫度變化是否能使積熱在計算上更精確，Gu (2016)的研究中，嘗試以每分鐘之溫度變化帶入模型中做計算，結果顯示，使用每分鐘之氣溫資料與使用每小時之氣溫資料，所得出的誤差不大可忽略，因此作者建議使用每小時氣象資料即可，可減少處理資料之時間。計算公式為當日每分鐘觀測最高溫與最低溫相加後除以 2 並扣除基礎溫度後，可得知該日累積之積熱(°Cm)， $GDM = [(T_{min} + T_{max})/2] - T_{base}$ 。

1.9. 試驗假說

前人研究指出，低溫供給較不足的情況下使植株開花期分散且產量高峰分佈有延後之趨勢。而春季積熱累積的速率較快使花芽達開花以及後續果實成熟的時間縮短。臺灣位處於緯度較低之亞熱帶地區，除冬季寒冷程度不及溫帶地區，春季氣溫的波動也較大。並且氣候變遷下暖化的跡象相較於高緯度地區更加明顯(Liu et al., 2007)。目前臺北地區歷年氣溫變化對南高叢與兔眼藍莓花期、產期與產量分佈之影響尚未明瞭，因此本研究透過紀錄不同採收期中數個藍莓品種與品系植株之產量、產期以及開花期並利用近 5 年氣溫資料進行比對觀察其變化。未

來依每年紀錄之天氣資料，可對藍莓花期與產期預估，並可作為商業栽培與育種之參考。



第二章材料與方法



2.1. 試驗地點與材料

本試驗以位於臺灣大學生物資源暨農學院附設農業試驗場園藝分場藍莓園（東經 121.5°、北緯 25.0°、海拔 15m）為試區，試驗所用的 7 個南方高叢藍莓 (southern highbush blueberry, SH) 品種分別為商業栽培品種暖地、‘Sharpblue’、‘Sunshineblue’、‘Misty’、‘Gulfcoast’、‘Georgiagem’、‘O’Neal’；13 個兔眼藍莓 (rabbiteye blueberry, RB) 品種分別為‘Aliceblue’、‘Beckyblue’、‘Bonita’、‘Brightwell’、‘Climax’、‘Austin’、‘Delite’、‘Powderblue’、‘Gloria’、‘Menditoo’、‘Myers’、‘Pinklemonade’、‘Fukuberry’；9 個 NTU 藍莓品系分別為 NTU009、NTU025、NTU031、NTU032、NTU043、NTU054、NTU103、NTU104、NTU108。所有植株皆種植於直徑 48cm 高 45cm 之美植袋，使用酸性泥炭苔、珍珠石、稻殼(體積比 1:1:1)為栽培介質，表層覆蓋 8 公分厚稻殼，並每半年添加一次。試驗期間水分供應充足，植株受光均勻，於營養生長期每週施用稀釋 1000 倍之台肥 43 號即溶複合肥料(N:P₂O₅:K₂O:MgO=15-15-15-4，台灣肥料股份有限公司)水溶液及酸性肥料(FeSO₄·7H₂O 0.02M + EDTA-2 Na 0.01M+(NH₄)₂SO₄0.2M+0.94M 濃硫酸水溶液)，每株澆灌 1 公升，結果期改為使用獅馬牌甜果精(N:P:K=8-12-24+4 MgO+12 S+TE, Basfoliar® SP)，取代台肥 43 號。依病蟲害不同，分別噴灑蘇力菌、矽藻土及苦楝油等防治資材。田區掛上藍、黃色黏蟲紙防治薊馬等昆蟲，果實採收期使用甲基丁香油誘殺東方果實蠅(*Bactrocera dorsalis*)，全區覆蓋防鳥網以防果實遭受鳥類啄食。冬季植株休眠期，噴施稀釋 95 倍的夏油以及稀釋 200 倍的石灰硫磺合劑抑制病蟲害。

2.2. 氣象資料紀錄

試驗期間氣溫、日照、降雨量等數據使用國立臺灣大學大氣學系觀測坪所記錄之資料，區間為 2018 年 9 月至 2022 年 7 月，若當日因停電或其他不可抗拒之

因素造成紀錄遺失則以中央氣象局資料作為使用。每期低溫單位計算由當年 9 月 1 日計算至隔年 3 月 31 日參考 Spiers(1976)計算低溫單位，每小時平均溫度大於 25 °C 時扣除 1 個低溫單位；每小時平均溫度介於 22 °C 至 24 °C 扣除 0.5 個單位；每小時平均溫度介於 19 °C 至 21 °C 無累積單位，每小時平均溫度介於 15 °C 至 18 °C 時累積 0.5 個低溫單位；每小時平均溫度介於 15 °C 至 5 °C 累積 1 個單位，每小時平均溫度介於 5 °C 至 2 °C 累積 0.5 個低溫單位。參考 Snyder (1999)計算積熱公式為，當日每小時之平均最高溫與平均最低溫相加後除以二並減去基礎溫度， $GDH = [(T_{max} + T_{min})/2] - T_{base}$ 。基礎溫度分別設定為(0, 5, 10, 15)，南高叢與兔眼藍莓相關研究中，積熱多於 1 月計算，較寒冷地方由於回暖速率較慢會延後於 2 月才開始計算，因此研究中以 1 月 1 日為基準開始計算積熱。除了計算每個月所累積之積熱。另分別計算 1 月 1 日累積至各品種產期開始日以及產期開始至結束日累積之積熱。

2.3. 開花期紀錄

2021/2022 產季調查植株開花情形，每品种植株隨機標記五個枝條，紀錄花期開始之日期、花期結束之日期、開花數量達到總開花量 50%之日期與累積至開花之積熱。間隔 1-2 天調查一次，當日開花數量達總開花數之 3%視為花期開始，低於 3%則視為花期結束。

2.4. 果實採收紀錄

根據密西根州立大學藍莓果實成熟度指引，當植株一個果串上具 10%果實達到完全轉色時即開始採收，頻率為每 7 天一次。採收時挑選完熟之果實，放入寫好品種名稱以及位置編號的塑膠袋中並置入裝填冰塊的冰桶，目的為去除田間熱以防果實受到熱傷害。使用計數器紀錄果實數量，並秤重以計算單果重。當枝條上僅剩不具經濟價值(例：發育不良、熱傷害)之果實，該品种植株即停止採收。

當日採收量達到總產量 3%時即判定產期開始，當日採收量小於 3%值即判定產期結束，將此段時間紀錄即為產期長度。產期中，計算當週產量佔該期總產量之百分比，並記錄產量累積至總產量之 50%時視為產量高峰，觀察不同採收期之間是否有向前或向後集中之趨勢。

2.5. 統計分析

當單一品種有超過 3 棵植株有採收時，先以統計軟體 R 4.0.2 software (Systat. Software Inc, Boston Mass., USA)進行離群值檢定，同品種中，若有植株總產量為離群值則去除。藍莓產期記錄與不同年度之低溫單位、積熱以 Microsoft Excel 進行彙整，進行一次或二次回歸曲線之相關性分析，Microsoft Office Word 製表，Sigma Plot 13.0 software (Systat. Software Inc, San Jose Calif., USA) 製圖。

第三章 試驗結果



3.1. 氣溫變化觀察

3.1.1. 第一年度 (2018 年 9 月至 2019 年 7 月)

2018 年 9 月田間 T_{max} 為 32.9°C ， T_{min} 為 24.4°C ， T_{mean} 為 24.4°C 。10 月起氣溫明顯降低， T_{max} 為 25.8°C ， T_{min} 為 20.28°C ，而 T_{mean} 降為 22.9°C 。11 月與 10 月份趨勢相近差異不大。冬季 12 月至 1 月整體氣溫表現相近，其中 1 月為最低溫之月份。3 月溫提升幅度不大，略高於 2 月。4 月後氣溫明顯上升， T_{max} 為 28.03°C ， T_{min} 為 20.39°C ， T_{mean} 為 24.08°C 。5 月份 T_{max} 略降低為 27.46°C ， T_{min} 4 月和 5 月間差異不大。入夏後氣溫明顯上升，6 月與 7 月 T_{max} 皆達 32°C 以上，而 T_{min} 則高於 24°C (表 1)。

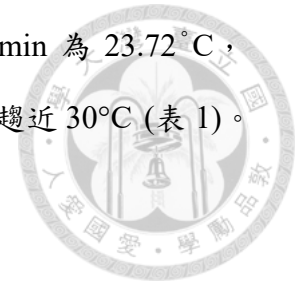
3.1.2. 第二年度 (2019 年 9 月至 2020 年 7 月)

2019 年 9 月田間 T_{max} 為 30.13°C ， T_{min} 為 24.08°C ， T_{mean} 為 26.84°C 。10 月起氣溫開始下降， T_{max} 、 T_{min} 與 T_{mean} 均降低約 2°C 。11 月 T_{max} 下降幅度較明顯降為 24.55°C ， T_{min} 為 19.01°C ，而 T_{mean} 為 21.55°C 。冬季 12 月至 1 月氣溫趨勢大致相同，12 月 T_{mean} 較 1、2 月略高。3 月起開始回溫，4 月 T_{max} 略為降低為 23.58°C ， T_{min} 和 T_{mean} 與 3 月差異不大。5 月後氣溫大幅提升 T_{max} 達 30.45°C ， T_{min} 為 23°C ， T_{mean} 為 26.1°C 入夏後 6 月與 7 月 T_{mean} 接近 30°C ，且 T_{max} 上升至約 35°C (表 1)。

3.1.3. 第三年度 (2020 年 9 月至 2021 年 7 月)

2020 年 9 月田間 T_{max} 為 31.49°C ， T_{min} 為 24.06°C ， T_{mean} 為 27.14°C 。10 月氣溫開始明顯下降， T_{max} 、 T_{min} 與 T_{mean} 約下降 3°C 。10 月與 11 月氣溫趨勢相近。入冬後氣溫明顯下降，12 月至 2 月 T_{mean} 介於 15 至 18°C ，1 月為最低溫之月份 T_{max} 為 18.98°C ， T_{min} 僅 12.72°C 。2 月與 3 月氣溫趨勢相似，

氣溫隨月份增加持續上升，至 5 月 T_{max} 已達 30°C 以上， T_{min} 為 23.72°C ， T_{mean} 為 28.2°C 顯著高於 4 月。入夏後 6 月與 7 月 T_{mean} 則趨近 30°C (表 1)。



3.1.4. 第四年度 (2021 年 9 月至 2022 年 7 月)

2021 年 9 月田間 T_{max} 為 33.96°C ， T_{min} 為 25.57°C ， T_{mean} 為 28.95°C 氣溫仍炎熱。10 月氣溫開始下降， T_{max} 與 T_{mean} 下降幅度較 T_{min} 明顯。11 月氣溫趨勢已與冬季相近。入冬後 12 月至 2 月 T_{mean} 約介於 18 至 16°C ，2 月為氣溫最低之月份 T_{max} 為 18.51°C ， T_{min} 為 14.34°C 。3 月氣溫大幅回升 T_{max} 達 25.39°C ， T_{min} 為 16.99°C ， T_{mean} 為 20.76°C 。3 月至 5 月氣溫提升趨勢不大。入夏後氣溫 T_{max} 升高趨勢較 T_{min} 顯著，6 月與 7 月 T_{max} 分別為 32.37°C 與 35.63°C ， T_{min} 為 23.85°C 與 25.88°C ，而 T_{mean} 在 7 月達 30.8°C (表 1)。

3.2. 低溫累積變化

低溫單位(CU)之累積量隨每年秋季與冬季低溫氣溫變化而有所增減。若將高溫之負面影響計入，2018/19 年低溫累積量僅 472 CU，為所有年份中最低，2019/20 年為 637 CU，而 2020/21、2021/22 兩年低溫單位相近，分別為 758 CU 與 708 CU，大多數低溫累積於 12 月至 2 月間，以 1 月份累積量最高。另一方面，若不考慮高溫影響，2018/19 低溫累積量仍最少，為 829 CU，2019/20 與 2020/21 年分別為 925 CU 與 959 CU，2021/22 則有最高累積量，達 1147 CU，大多數低溫累積於 12 月至 3 月，2018/19 年與 2020/21 年主要低溫累計月份為 1 月，而 2021/22 則是 2 月(表 2, 表 3)。

3.3. 積熱變化

積熱以每年 1 月 1 日開始，並以 4 個基礎溫度分別進行計算。在以 0°C 為基準下，全期累積積熱在 11 萬 $^{\circ}\text{Ch}$ 左右，以 2019 年與 2021 年最高，2020 年次之，2022 年最低。以 5°C 為基準計算全期累積積熱介於 8 萬至 9 萬 $^{\circ}\text{Ch}$ ，以 2020

年最高，2019 年與 2021 年相近，2022 年為最低。以 10°C 為基準計算，全期累積積熱約為 6 萬至 7 萬°CCh，2019 至 2021 三年之累積積熱相近，並大幅高於 2022 年。以 15°C 為基準計算全期累積積熱介於 3 萬至 4 萬°CCh，以 2021 年最高，與 2019、2020 年相近，2022 年為最低(表 4)。

3.4. 降雨量變化

試驗期間全期雨量以 2021/22 年最高，與 2019/20 年相近，其次為 2018/19 年，2020/21 年為降雨量最少的一期。整體上 5、6 月之梅雨季與 7 月至 9 月之颱風季為主要的降雨月份，冬季降雨量則相對較少(表 5)。

3.5. 生產紀錄 (2018-2019)

3.5.1. 南高叢藍莓產量與產期

因‘暖地’與‘Gulfcoast’尚未種植，故本期採收 5 個南高叢藍莓(SH)品種，分別為‘Georgiagem’1 株，‘Misty’4 株，‘O’Neal’7 株，‘Sharpblue’4 株，‘Sunshineblue’4 株。整體產期始於 5 月 21 日至 5 月 27 日，結束於 6 月 12 日至 7 月 10 日，總產期分別為 17 至 50 日，其中僅‘Georgiagem’產期較晚開始，且總產期維持 17 日即結束，與其餘品種差異較大。各品種分別介於第 1 次至第 5 次採收產量始達總產量之 50%，趨勢較不一致(表 6, 圖 1)。

3.5.2. 兔眼藍莓產量與產期

本期共採收 12 個兔眼藍莓品種(RB) ‘Aliceblue’1 株，‘Austin’2 株，‘Beckyblue’6 株，‘Bonita’1 株，‘Brightwell’10 株，‘Climax’4 株，‘Delite’1 株，‘Powderblue’9 株，‘Fukuberry’3 株，‘Gloria’2 株，‘Menditoo’1 株，‘Myers’5 株，‘Pinklemonade’1 株。整體產期始於 5 月 21 日至 6 月 5 日，結束於 7 月 3 日至 7 月 16 日，總產期分別為 29 至 57 日。其中‘Aliceblue’與‘Pinklemonade’分別持續

29 日與 30 日為最短之品種，且於第 1 次採收即達到本期總產量之 50%。其餘品種於第 2 週或第 3 週始達到總產量之 50% (表 7, 圖 2)。



3.5.3. NTU 品系產量與產期

本期共採收 8 個 NTU 藍莓品系分別為 NTU009(4 株), NTU025(4 株), NTU031(2 株), NTU032(7 株), NTU043(1 株), NTU054(11 株), NTU103(14 株), NTU104(1 株), NTU108(4 株)。整體產期始於 5 月 27 日至 6 月 12 日, 結束於 7 月 3 日至 7 月 16 日, 總產期分別為 35 至 51 日, 其中 NTU025 與 NTU103 較長為 51 日。所有品系於產期第 2 週或第 3 週始達到總產量之 50%(表 8, 圖 3)。

3.6. 生產紀錄 (2019-2020)

3.6.1. 南高叢藍莓產量與產期

本期共採收 6 個南高叢藍莓(SH)品種分別為‘暖地’1 株, ‘Georgiagem’5 株, ‘Gulfcoast’1 株, ‘Misty’3 株, ‘O’Neal’5 株, ‘Sharpblue’4 株, ‘Sunshineblue’4 株。整體產期始於 4 月 7 日至 4 月 28 日, 結束於 5 月 25 日至 6 月 22 日。總產期分別為 37 至 65 日, 其中‘暖地’維持 37 日, 明顯較短, 且於產期第 2 週即達本期總產量之 50%, 其餘品種則介於第 3 至第 5 週(表 6, 圖 1)。

3.6.2. 兔眼藍莓產量與產期

本期共採收 12 個兔眼藍莓(RB)品種‘Aliceblue’1 株, ‘Austin’4 株, ‘Beckyblue’4 株, ‘Bonita’3 株, ‘Brightwell’6 株, ‘Climax’4 株, ‘Delite’1 株, ‘Powderblue’9 株, ‘Fukuberry’3 株, ‘Gloria’3 株, ‘Menditoo’1 株, ‘Myers’3 株, ‘Pinklemonade’1 株。整體產期始於 5 月 4 日至 6 月 16 日, 結束於 6 月 16 日至 7 月 6 日。總產期介於 21 至 57 日, 其中‘Delite’, ‘Fukuberry’, ‘Pinklemonade’明

顯較短，皆少於 30 日。除‘Pinklemonade’於第 1 次採收即達到本期總產量之 50%；其餘品種則是於產期第 2 或第 3 週採收達到總產量之 50% (表 7, 圖 2)。



3.6.3. NTU 品系產量與產期

本期共採收 8 個 NTU 藍莓品系分別為 NTU009(4 株)，NTU025(4 株)，NTU031(2 株)，NTU032(7 株)，NTU043(1 株)，NTU054(9 株)，NTU103(12 株)，NTU104(1 株)，NTU108(4 株)。整體產期始於 5 月 18 日至 6 月 16 日，結束於 6 月 22 日至 7 月 6 日。多數品系總產期介於 21 至 36 日，僅 NTU025 明顯較長共持續 51 日。其中 NTU104 與 NTU108 於產期第 1 週與第 2 週始達到總產量之 50%，其餘品系則是介於第 3 至第 4 週(表 8, 圖 3)。

3.7. 生產紀錄 (2020-2021)

3.7.1. 南高叢藍莓產量與產期

本期共採收 6 個南高叢藍莓(SH) 品種分別為‘暖地’1 株，‘Georgiagem’1 株，‘Gulfcoast’1 株，‘Misty’3 株，‘O’Neal’5 株，‘Sharpblue’4 株，‘Sunshineblue’4 株。整體產期始於 4 月 19 日至 5 月 14 日，結束於 5 月 19 日至 6 月 19 日。總產期僅‘Gulfcoast’較短，維持 31 日，其餘品種則介於 37 至 55 日。品種間產量集中趨勢較不一致，產量達本期總產量之 50%，分別介於產期第 1 週至第 4 週(表 6, 圖 1)。

3.7.2. 兔眼藍莓產量與產期

本期共採收 12 個兔眼藍莓品種‘Aliceblue’4 株，‘Austin’2 株，‘Beckyblue’6 株，‘Bonita’4 株，‘Brightwell’6 株，‘Climax’4 株，‘Delite’1 株，‘Powderblue’9 株，‘Fukuberry’3 株，‘Gloria’3 株，‘Menditoo’1 株，‘Pinklemonade’1 株。整體產期始於 4 月 19 日至 5 月 14 日，結束於 5 月 19 日至 6 月 19 日。‘Gulfcoast’總產期明

顯最短，僅維持 31 日，其餘品種介於 37 至 55 日。其中‘Climax’與‘Pinklemonade’分別於產期第 2 週與第 1 週始達本期總產量之 50%，其餘品種則在第 3 週或第 4 週始達到(表 7, 圖 2)。



3.7.3. NTU 品系產量與產期

本期共採收 8 個 NTU 藍莓品系分別為 NTU009(4 株)，NTU025(8 株)，NTU031(2 株)，NTU032(6 株)，NTU043(1 株)，NTU054(8 株)，NTU103(11 株)，NTU104(1 株)，NTU108(4 株)。整體產期始於 5 月 19 日至 6 月 16 日，結束於 6 月 30 日至 7 月 20 日。總產期僅 NTU104 較短，維持 35 日，其餘品系則介於 43 至 61 日。NTU031 於產期第 2 週始達總產量之 50%，其餘品系分別於第 3 週與第 4 週始達到(表 8, 圖 3)。

3.8. 生產紀錄 (2021-2022)

3.8.1. 南高叢藍莓產量與產期

本期共採收 6 個南高叢藍莓(SH)品種分別為‘暖地’1 株，‘Gulfcoast’1 株，‘Misty’3 株，‘O’Neal’5 株，‘Sharpblue’1 株，‘Sunshineblue’4 株。整體產期始於 4 月 29 日至 5 月 6 日，結束於 6 月 3 日至 6 月 10 日，所有(SH)中，總產期以‘Sunshineblue’最長，開始於 5 月 6 日結束於 7 月 8 日，共維持 64 日顯著較高，其餘品種則介於 29 至 36 日。所有品種分別於產期第 1 週至第 4 週產量始達總產量之 50%，趨勢差異較大。

3.8.2. 兔眼藍莓產量與產期

本期共採收 11 個兔眼藍莓品種‘Aliceblue’1 株，‘Austin’5 株，‘Beckyblue’4 株，‘Bonita’3 株，‘Brightwell’4 株，‘Climax’3 株，‘Delite’1 株，‘Powderblue’8 株，‘Fukuberry’2 株，‘Gloria’3 株，‘Menditoo’1 株。整體產期始於 6 月 3 日至 6 月 23

日，結束於6月3日至7月29日，所有(RB)中，總產期以‘Delite’最短，僅維持21日顯著較低，其餘品種介於36至50日。多數(RB)品種於產期第2週或第3週產量始達總產量之50%，僅‘Brightwell’於產期第4週始達到(表7, 圖2)。

3.8.3. NTU 品系產量與產期

本期共採收8個NTU藍莓品系分別為NTU009(1株)，NTU025(8株)，NTU031(1株)，NTU032(5株)，NTU043(1株)，NTU054(6株)，NTU103(4株)，NTU108(3株)。整體產期始於6月3日至6月23日，結束於7月8日至7月29日，總產期則是介於30至50日，其中NTU043最短，共維持30日。多數品系於產期第2週或第3週產量始達總產量之50%，僅NTU025於產期第4週始達到(表8, 圖3)。

3.9. 花期紀錄 (2021-2022)

以2021/22冬季(12月至2月)與春季(3月至5月)溫度為基礎，觀察南高叢、兔眼藍莓品種與NTU品系藍莓之開花期與累積至開花之積熱，該年全期共累積708個低溫單位。(SH)品種整體花期介於33至43日，‘暖地’為最早開花的品種，花期於1月18日即開始，積熱僅累積631.7°C_h。‘Misty’花期晚9日開始，累積積熱1441.5°C_h。4個(SH)品種‘Sharpblue’、‘Sunshineblue’、‘Georgiagem’、‘O’Neal’花期相近，於2月18至25日開始，累積積熱介於2166.7至2234.3°C_h。‘Gulfcoast’為花期最晚開始的(SH)品種，始於3月7日，累積積熱為3300.9°C_h。(RB)品種整體花期介於16至31日，‘Bonita’、‘Climax’、‘Pinklemonade’為3個較早開花的(RB)品種，花期相近，始於3月19至21日，累積積熱為5124.9至5492.7°C_h。其餘9個(RB)品種花期始於3月28至4月7日，累積積熱為6065.3至7085.6°C_h。(NTU)品系花期介於13至49日範圍較大，NTU103與NTU025花期開始日期分別為2月25、27日，為最早開花之品系累積積熱分別為2234.3°C_h與2385.8°C_h。

5 個(NTU)品系花期始於 3 月 13 日至 3 月 25 日，累積積熱介於 4072.8-5842.4°C_h。NTU032 與 NTU009 花期較晚開始分別為 4 月 1 日與 4 月 7 日，累積積熱較高，分別為 6554°C_h 與 7085.6°C_h。(NTU)整體開花期趨勢與(RB)較為相似(表 9, 表 10, 表 11)。

3.10. 低溫累積量與產期開始日期之相關性

由於實驗材料中，兔眼藍莓‘Myers’僅 2018/19 與 2019/20 年沒有採收數據，因此樣本數量不足以進行相關性分析，故去除此品種。

3.10.1. 南高叢藍莓

(SH)中，雖‘暖地’、‘Gulfcoast’、‘Georgiagem’僅有三年採收記錄，所有品種變化趨勢相同。2018/19 年累積 CU 最少，產期最晚開始，2019/20 與 2020/21 年累積 CU 較高，約分別為 700 及 1000CU，兩年份產期亦較早開始，2021/22 年之累積 CU 最多約為 900 與 1100CU，產期雖較 2018/19 早，但較 2019/20 及 2020/21 晚(圖 4, 5)。將所有品種整合後再行相關性分析，依有無扣除高溫影響下所得相關係數為分別為 0.8014 與 0.7682 (圖 22, 23)。

3.10.2. 兔眼藍莓

(RB)中共有 83%品種呈開口向上之二次曲線回歸。低溫單位較低時產期開始日隨 CU 增加而提前，約至 758 及 959CU 時最早開始，在達 892 及 1125CU 後逐漸變晚，不過‘Delite’並未觀察到此趨勢。此外‘Pinklemonade’在 2021/22 未採收，因此曲線趨勢也不同，不過同樣可觀察到產期開始日隨著低溫單位增加而有提前之趨勢(圖 10, 11)。將‘Delite’去除後，剩餘品種再行相關性分析，依有無扣除高溫影響下所得相關係數則分別為 0.5143 與 0.6386(圖 28, 29)。

3.10.3. NTU 藍莓

(NTU)中，89%品系呈開口向上之二次曲線回歸。低溫單位之變化對 2018/19 至 2020/21 年影響較小，產期開始日較相近。而較高的(CU) 892 及 1125 使 2021/22 年產期開始日明顯延後。其中，NTU031 隨著低溫單位增加產期開始日有提早之趨勢呈一次線性回歸(圖 16, 17)。將 NTU031 去除後，剩於品系再行相關性分析，依有無扣除高溫影響下所得相關係數則分別為 0.4117 與 0.5323(圖 31, 32)

3.11. 低溫累積量與總產期之相關性

3.11.1. 南高叢藍莓

(SH)中，86%品種趨勢相似，相關係數介於 0.5987 至 0.9824，四個生產期之間，低溫累積量較低的年份，總產期較短，隨 CU 增加產期延長，增加至約 700 及 1000CU 時有最長的產期，隨低溫單位持續增加至約 900 及 1100CU，產期趨於縮短。(SH)總產期 2018/19 年與 2021/22 年相近，而 2019/20 與 2020/21 年近，所有(SH)中僅‘Sunshineblue’趨勢不同，該品種總產期隨著低溫單位增加而延長(圖 6, 7)。將‘Sunshineblue’去除後，剩於品種再行相關性分析，依有無扣除高溫影響下所得相關係數則分別為 0.5143 與 0.6386(圖 24, 25)。

3.11.2. 兔眼藍莓

(RB)趨勢較為不一致，其中 42%品種趨近無相關，相關係數介於 0.0017 至 0.1198，33%品種呈開口向下之二次曲線，相關性介於中度至高度，相關係數為 0.5338 至 0.942。而‘Beckyblue’為一次線性關係，總產期隨(CU)增加而縮短，‘Climax’則為開口向上之二次曲線，相關係數為 0.563 呈中度相關，與‘Pinklemonade’趨勢相同(圖 12, 13)。

3.11.3. NTU 藍莓

低溫累積量與(NTU)產期相關性低，分析顯示不論 CU 之多寡，對產期的長度並無太大的影響。除 NTU108 隨低溫單位增加，總產期有逐漸延長之趨勢，相關係數為 0.4116，而 NTU104 在 2021/22 年無採收記錄，不過趨勢也與其餘品系相近(圖 18, 19)。

3.12. 積熱與產期開始日期之相關性

3.12.1. 南高叢藍莓

所有(SH)中，趨勢皆相同，積熱變化與產期開始日呈正相關，相關係數介於 0.8952 至 0.9743。在 2018/19 年最晚開始，自 1 月 1 日累積至產期開始日之積熱約為 18000 °Ch，明顯高於其於三個年度。2019/20 至 2021/22 年累積至產期開始日之積熱則較為相近，約介於 8000-12000 °Ch，其中 2019/20 年最少，2020/21 年次之，2021/22 年較多(圖 8)。將所有品種整合後行相關性分析，相關係數為 0.9443 (圖 26)。

3.12.2 兔眼藍莓

所有(RB)中積熱變化與產期開始日呈正相關，相關係數介於 0.7904 至 0.998。2021/22 年多數(RB)產期開始日最晚，自 1 月 1 日累積至產期開始日之積熱較多，約介於 20000-24000 °Ch。而 2018/19 年與 2019/20 年則較為相近並較 2021/22 年提早，累積量次之。而在 2020/21 年多數品種最早開始，累積最少約介於 14000-18000 °Ch。(RB)中‘Aliceblue’在 2018/19 與 2019/20 年累積積熱落差相當大。而‘Delite’，在 2021/22 年產期非最晚開始，其早於 2019/20 年，並與 2018/19 年相近，上述二品種趨勢較為不同(圖 14)。將趨勢相同之品種整合後再行相關性分析，相關係數為 0.9183(圖 30)。

3.12.3 NTU 藍莓

所有(NTU)中積熱變化與產期採收日呈正相關，相關係數介於 0.5531 至 0.9594。86%品系於 2021/22 年產期最晚開始，不過累積積熱並非皆為最高，介於 20000-24000°C_h。在 2020/21 年產期 78%品系產期開始日最早，累積積熱最少 18000-22000°C_h。其中 NTU031 在 2021/22 年累積積熱最少產期即開始，與其於品系趨勢不同。2018/19 與 2019/20 年無明顯趨勢變化(圖 20)。

3.13. 積熱與總產期之相關性

3.13.1. 南高叢藍莓

積熱與產期長度呈正相關，皆為一次線性相關，相關係數介於 0.6519 至 0.9909。多數品種在 2021/22 年總產期最短，產期開始至結束累積之積熱最少約 6000 至 8000°C_h。2019/20 年多數品種總產期最長，累積積熱最多約 16000 至 18000°C_h。而‘Sunshineblue’，在不同採收期之間總產期差異較小，累積積熱較為相近，趨勢與其他品種不同(圖 9)。將‘Sunshineblue’去除後其餘品種再行相關性分析，相關係數為 0.9443(圖 27)。

3.13.2. 兔眼藍莓

(RB)中，‘Climax’與‘Powderblue’趨勢呈開口向上二次曲線回歸，其於品種則為一次線性回歸，相關係數介於 0.6281 至 0.9723。2020/21 年 75%(RB)總產期為最長的一期，產期開始至結束累積之積熱最高約為 16000 至 20000°C_h，其餘採收期無觀察到明顯變化趨勢(圖 15)。

3.13.3. NTU 藍莓

積熱與產期長度呈正相關，皆為一次線性回歸，相關係數介於 0.5845 至 0.9814。(NTU)中 89%品系在 2020/21 年總產期較長，約為 14000 至 20000，僅 NTU108 不是。2019/20 年全數品系產期最短，累積積熱最少，約為 10000 至 12000

°Ch。2018/19 與 2021/22 年無明顯趨勢變化。而 NTU054 在不同採收期之間，總產期變化與累積積熱較相近，與其他品系明顯不同(圖 21)。





表 1. 試驗區之大氣每月最高溫、最低溫，與平均溫度。

Table 1. Monthly maximum (Tmax), minimum (Tmin) and mean (Tmean) temperatures of the experimental field^z.

Month	2018/2019			2019/2020			2020/2021			2021/2022		
	Tmax	Tmin	Tmean	Tmax	Tmin	Tmean	Tmax	Tmin	Tmean	Tmax	Tmin	Tmean
-----°C-----												
Sep	32.9	24.4	27.84	30.13	24.08	26.84	31.49	24.06	27.14	33.96	25.57	28.95
Oct	25.8	20.28	22.9	28.38	21.97	24.73	26.62	21.99	23.98	28.43	23.36	25.4
Nov	25.38	20.12	22.16	24.55	19.01	21.55	25.92	20.54	22.89	23.93	18.7	20.93
Dec	22.36	16.1	19.08	21.77	16.23	18.73	20.25	16.55	18.04	23.85	15.82	18.1
Jan	21.23	15.8	17.99	21.12	14.85	17.47	18.98	12.72	15.6	19.51	14.25	16.95
Feb	21.8	16.06	18.34	22.24	14.36	17.73	23.58	15.11	18.69	18.51	14.34	16.27
Mar	22.91	16.38	19.33	24.44	17.04	20.22	23.09	16.5	20.3	25.39	16.99	20.76
Apr	28.03	20.39	23.53	23.58	17.09	20.08	25.89	19.44	22.4	26.26	18.92	22.5
May	27.46	20.96	24.08	30.45	23	26.1	32.93	23.72	28.2	26.33	20.93	23.4
Jun	32.08	24.63	27.72	34.76	25.66	29.49	33.13	24.79	29.3	32.37	23.85	28.1
Jul	34.69	26.06	29.4	35.7	25.61	29.8	35.1	26.57	29.82	35.63	25.88	30.8

^zData were obtained from a nearby meteorological station at Department of Atmospheric Science, National Taiwan University (121°53'E, 25°01'N, Alt. 15m).

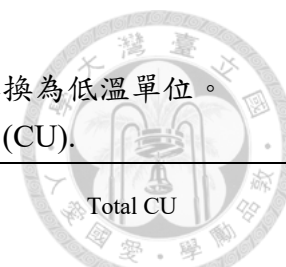


表 2. 試驗區大氣每小時平均氣溫大於 25°C 以及介於 24°C 至 22°C 及 18°C 至 15°C 與 15°C 至 5°C 之時數，並轉換為低溫單位。

Table 2. Monthly hours temperature of the experimental field^z from 18°C to 15°C and 15°C to 5°C, convert into chill unit (CU).

Month	CH<25 ^z				22<CH<24				15<CH<18				5<CH<15				Total CU			
	18/19	19/20	20/21	21/22	18/19	19/20	20/21	21/22	18/19	19/20	20/21	21/22	18/19	19/20	20/21	21/22	18/19	19/20	20/21	21/22
	----- h -----																			
Sep	557	502	532	696	149	181	113	19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Oct	121	285	214	400	348	358	428	180	9	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0
Nov	113	65	129	61	248	252	280	260	18	56	10	123	0	0	0	27	0	0	0	0
Dec	116	23	0	14	69	58	18	16	265	246	322	244	93	67	59	106	99	149	211	206
Jan	18	14	16	5	42	20	42	15	282	218	172	415	104	219	352	119	206	304	401	314
Feb	26	54	14	6	60	70	59	21	306	222	195	326	63	146	92	198	163	184	146	344
Mar	93	66	71	51	166	132	49	96	233	152	143	158	60	46	35	42	4	0	0	28
Total	1044	1009	976	1233	1082	1071	989	607	1113	894	842	1259	324	478	538	517	472	637	758	892

^zData were obtained from a nearby meteorological station at Department of Atmospheric Science, National Taiwan University (121°53'E, 25°01'N, Alt. 15m).

Hourly mean temperature over 25°C offset 1 unit, in 22°C to 24°C offset 0.5 unit, in 19°C to 21°C accumulate 0 unit, in 18°C to 15°C accumulate 0.5 unit, in 15°C to 5°C accumulate 1 unit, in 5°C to 2°C accumulate 0.5 unit.

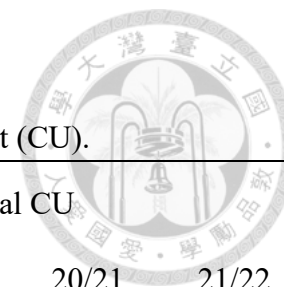


表 3. 試驗區大氣每小時平均氣溫介於 18°C 至 15°C 與 15°C 至 5°C 之時數，並轉換為低溫單位。

Table 3. Monthly hours temperature of the experimental field^z from 18°C to 15°C and 15°C to 5°C, convert into chill unit (CU).

Month	15<CH<18 ^z				5<CH<15				Total CU			
	18/19	19/20	20/21	21/22	18/19	19/20	20/21	21/22	18/19	19/20	20/21	21/22
	----- h -----											
Sep	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Oct	9	0	0	0	4	0	0	0	9	0	0	0
Nov	18	56	10	123	0	0	0	27	9	28	5	88
Dec	265	246	322	244	35	67	59	106	168	190	220	228
Jan	282	218	172	415	104	219	352	119	245	328	438	327
Feb	306	222	195	326	63	146	92	198	221	257	190	361
Mar	233	152	143	158	60	46	35	42	177	122	106	121
Total	1113	894	842	1259	266	478	538	517	829	925	959	1125

^zData were obtained from a nearby meteorological station at Department of Atmospheric Science, National Taiwan University (121°53'E, 25°01'N, Alt. 15m).

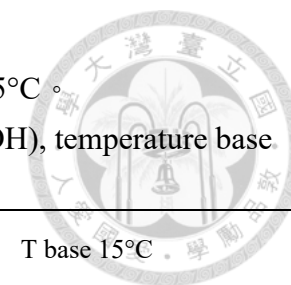


表 4. 以試驗區之大氣每小時平均氣溫每小時最高溫與最低溫計算積熱，基礎溫度分別為 0 °C、5°C、10 °C、15°C。

Table 4. Monthly hours highest and lowest temperature of the experimental field^z to calculate growing degree hours (GDH), temperature base set at 0°C, 5°C, 10 °C, 15°C.

Month	T base 0 °C				T base 5°C				T base 10°C				T base 15°C			
	2019	2020	2021	2022	2019	2020	2021	2022	2019	2020	2021	2022	2019	2020	2021	2022
	----- h -----															
Jan	13466.1	12906.4	10519.2	12372	9746.1	9182.4	7137.6	8671.2	6024	5512.1	3758.4	4970.4	2306	1742.4	1327.1	1461.6
Feb	12240	12508.8	12381.6	10696.8	8899.2	9100.8	9076.8	7358.4	5551.2	5629.6	5773.6	4032	2201	2140.8	2640.7	1044.4
Mar	14388	10519.2	13742.4	15045.6	10668	11299.2	10281.6	11361.6	6948	7579.2	6823.2	7656	3228	3859.2	3362.4	4029.8
Apr	16888.8	14517.6	15499.2	15633.7	13300.8	10927.2	11988	12058.7	9710.4	7343.9	8479.2	8483.7	6120	3748.8	4968	4951.6
May	16087.2	19461.6	20373.6	17154.9	12746.4	15746.4	16701.6	13464.9	9408	12031.2	13008	9774.9	6067.2	8316	9312	6084.9
Jun	19953.6	21225.6	20217.6	18385.7	16353.6	17630.4	16675.2	15019.7	12753.6	14035.2	13154.4	11653.7	9153.6	10442.4	9636	8287.7
July	21801.6	22216.8	21914.4	22300.2	18098.4	18496.8	18244.8	18650.2	14361.6	14776.8	14575.2	15000.2	10687.2	11056.8	10905.6	11350.2
Total	114825.3	113356	114648	111589	89812.5	92383.2	90105.6	86585	64756.8	66908	65572	61571	39763	41306.4	42151.6	37210

^zData were obtained from a nearby meteorological station at Department of Atmospheric Science, National Taiwan University (121°53'E, 25°01'N, Alt. 15m).

表 5. 試驗區之大氣累積降雨量(mm)。

Table 5. Monthly precipitation of the experimental field^z



Month	2018/2019	2019/2020	2020/2021	2021/2022
	-----mm-----			
Sep	125 ^z	404.5	160.5	181.5
Oct	66.5	106	57.5	245
Nov	67	37.5	36	70
Dec	38.4	143.5	210.5	51
Jan	61.5	38.5	64	138.5
Feb	64.5	38.5	61	292.5
Mar	182.5	270	77.5	211.5
Apr	132.5	91.5	60	109
May	303	423	119.5	504
Jun	405	180	316.5	234.5
Jul	420	281.5	288	113.5
Total	1865.9	2014.5	1451	2151

^zData were obtained from a nearby meteorological station at Department of Atmospheric Science, National Taiwan University (121°53'E, 25°01'N, Alt. 15m).

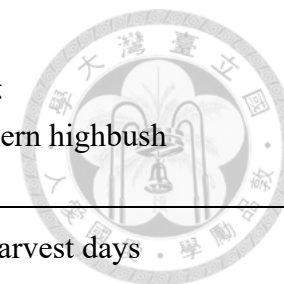


表 6. 7 個南高叢藍莓品種之低溫需求以及 4 個生產週期(2018/19 年, 2019/20 年, 2020/21 年, 2021/22 年)之產期紀錄

Table 6. Chilling requirement and harvest data in four production cycle (2018/19, 2019/20, 2020/21, 2021/22) with 7 Southern highbush blueberry (SH) varieties.

Variety	Chilling Requirement (hours)	Start harvest				End harvest				Harvest days			
		2019	2020	2021	2022	2019	2020	2021	2022	2019	2020	2021	2022
‘暖地’	-	-	4/19	4/26	5/6	-	5/25	6/9	6/3	-	37	45	29
‘Sharpblue’	150	5/21	4/13	4/23	5/6	7/10	6/16	6/16	6/10	51	65	55	36
‘Sunshineblue’	150	5/21	4/13	4/26	5/6	7/10	6/8	6/9	7/8	51	57	45	64
‘Misty’	200	5/21	4/7	4/19	4/29	6/26	6/18	6/9	6/3	37	63	52	36
‘Gulfcoast’	200-300	-	4/28	4/19	5/6	-	6/16	5/19	6/3	-	50	31	29
‘Georgiagem’	350	5/27	4/19	5/4	-	6/12	6/16	6/9	-	17	59	37	-
‘O’Neal’	400-500	5/21	4/19	4/23	4/29	6/19	6/22	6/1	6/3	30	65	40	36

表 7. 13 個兔眼藍莓品種之低溫需求以及 4 個生產週期(2018/19 年, 2019/20 年, 2020/21 年, 2021/22 年)之產期紀錄。

Table 7. Chilling requirement and harvest data in three production cycle (2018/19, 2019/20, 2020/21) with 13 Rabbiteye blueberry (RB) varieties.

Variety	Chilling Requirement (hours)	Start harvest				End harvest				Harvest days			
		2019	2020	2021	2022	2019	2020	2021	2022	2019	2020	2021	2022
‘Aliceblue’	300-400	6/5	5/4	5/4	6/10	7/3	6/29	6/23	7/22	29	57	51	43
‘Beckyblue’	300-400	5/21	5/18	5/11	6/10	7/16	7/6	6/30	7/15	57	50	51	36
‘Bonita’	350-400	5/21	5/18	5/4	6/16	7/3	7/6	6/23	7/22	44	50	51	37
‘Brightwell’	350-400	5/21	5/25	5/11	6/10	7/16	7/6	7/14	7/29	57	43	65	50
‘Climax’	400-500	5/21	5/18	5/4	6/3	7/16	6/29	6/23	7/22	57	43	51	50
‘Austin’	450-500	5/27	5/18	5/4	6/10	7/16	7/6	7/7	7/15	51	50	65	36
‘Delite’	500	6/5	6/16	5/19	6/10	7/16	7/6	7/7	6/30	42	21	50	21
‘Powderblue’	550-650	5/27	6/1	5/19	6/23	7/16	7/6	7/14	7/29	51	36	57	37
‘Fukuberry’	-	6/5	6/8	5/25	6/23	7/13	7/6	7/14	7/29	39	29	51	37
‘Gloria’	-	5/27	5/25	5/19	6/16	7/3	7/6	7/14	7/29	38	43	57	44
‘Menditoo’	-	5/27	6/1	5/19	6/23	7/10	7/6	7/14	7/29	45	36	57	37
‘Myers’	-	5/21	5/18	-	-	6/26	7/6	-	-	37	50	-	-
‘Pinklemonade’	-	5/21	5/25	5/4	-	6/19	6/16	6/9	-	30	23	37	-

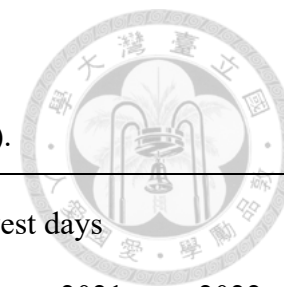


表 8. 9 個 NTU 品系之低溫需求以及 4 個生產週期(2018/19 年, 2019/20 年, 2020/21 年, 2021/22 年)之產期紀錄。

Table 8. Harvest data with 9 NTU blueberry lines in four production cycle (2018/2019, 2019/2020, 2020/2021 2021/2022).

Variety	Start harvest				End harvest				Harvest days			
	2019	2020	2021	2022	2019	2020	2021	2022	2019	2020	2021	2022
NTU009	5/27	5/25	5/19	6/10	7/3	6/22	6/30	7/15	37	29	43	36
NTU025	5/27	5/18	5/19	6/10	7/16	7/6	7/14	7/29	51	51	57	50
NTU031	6/12	6/8	5/25	6/3	7/16	7/6	7/14	7/8	35	29	51	36
NTU032	6/5	6/8	6/2	6/23	7/16	7/6	7/20	7/29	42	29	49	37
NTU043	5/27	6/8	5/19	6/16	7/3	6/29	6/30	7/15	38	22	43	30
NTU054	6/5	6/1	6/2	6/23	7/16	7/6	7/14	7/29	42	36	43	37
NTU103	5/27	6/8	5/19	6/16	7/16	7/6	7/20	7/29	51	29	63	44
NTU104	6/12	6/16	6/16	-	7/16	7/6	7/20	-	35	21	35	-
NTU108	6/12	6/8	5/19	6/16	7/16	7/6	6/30	7/29	35	29	43	44

表 9. 2021/22 年 7 個南高叢藍莓品種花期開始、結束、開花數達到總數量之 50%與達到開花之積熱。

Table 9. 7 Southern highbush blueberry varieties start flowering, end flowering, days flowering reach 50% of total flower, accumulate growing degree hours (GDH) to flowering.

Variety	Start	50% Bloom	End	Period	GDH
‘暖地’	1/18	2/3	2/23	36	631.7 ^z
‘Sharpblue’	2/23	3/11	3/28	33	2199.2
‘Sunshineblue’	2/25	3/17	3/30	33	2234.3
‘Misty’	1/29	3/1	3/11	41	1441.5
‘Gulfcoast’	3/7	3/24	4/19	43	3300.9
‘Georgiagem’	2/25	3/17	4/7	40	2234.3
‘O’Neal’	2/18	3/13	3/23	33	2166.7

^zGrowing degree hours calculate from January 1st to flowering (Tbase 15°C).

表 10. 2021/22 年 13 個兔眼藍莓品種花期開始、結束、開花數達到總數量之 50%與達到開花之積熱。

Table 10. 13 Rabbiteye highbush blueberry varieties start flowering, end flowering, days flowering reach 50% of total flower, accumulate growing degree hours (GDH) to flowering.

Variety	Start	50% Bloom	End	Period	GDH
‘Aliceblue’	3/30	4/9	4/15	16	6403 ^Z
‘Beckyblue’	3/30	4/7	4/18	19	6403
‘Bonita’	3/19	3/30	4/13	25	5124.9
‘Brightwell’	4/1	4/11	4/22	21	6554
‘Climax’	3/21	4/7	4/18	29	5492.7
‘Austin’	3/28	4/11	4/28	31	6065.3
‘Delite’	4/7	4/21	5/2	25	7085.6
‘Powderblue’	4/5	4/19	5/10	35	6808.7
‘Fukuberry’	4/7	4/21	5/2	25	7085.6
‘Gloria’	4/7	4/13	4/30	23	7085.6
‘Menditoo’	4/3	4/11	4/30	27	6569
‘Myers’	-	-	-	-	-
‘Pinklemonade’	3/19	4/7	4/15	27	5124.9

^ZGrowing degree hours calculate from January 1st to flowering (Tbase 15°C).

表 11. 2021/22 年 9 個 NTU 藍莓品系花期開始、結束、開花數達到總數量之 50%與達到開花之積熱。

Table 11. 9 NTU blueberry lines start flowering, end flowering, days flowering reach 50% of total flower, accumulate growing degree hours (GDH) to flowering.

Variety	Start	50% Bloom	End	Period	GDH
NTU009	4/7	4/11	4/20	13	7085.6 ^Z
NTU025	2/27	3/7	3/25	26	2385.8
NTU031	3/19	4/3	4/13	25	5124.9
NTU032	4/1	4/7	4/18	17	6554
NTU043	3/25	4/7	4/18	24	5842.4
NTU054	3/13	4/7	4/15	33	4072.8
NTU103	2/25	3/15	4/5	49	2234.3
NTU104	3/13	3/30	4/13	31	4072.8
NTU108	3/19	4/5	4/20	32	5124.9

^ZGrowing degree hours calculate from January 1st to flowering (Tbase 15°C).

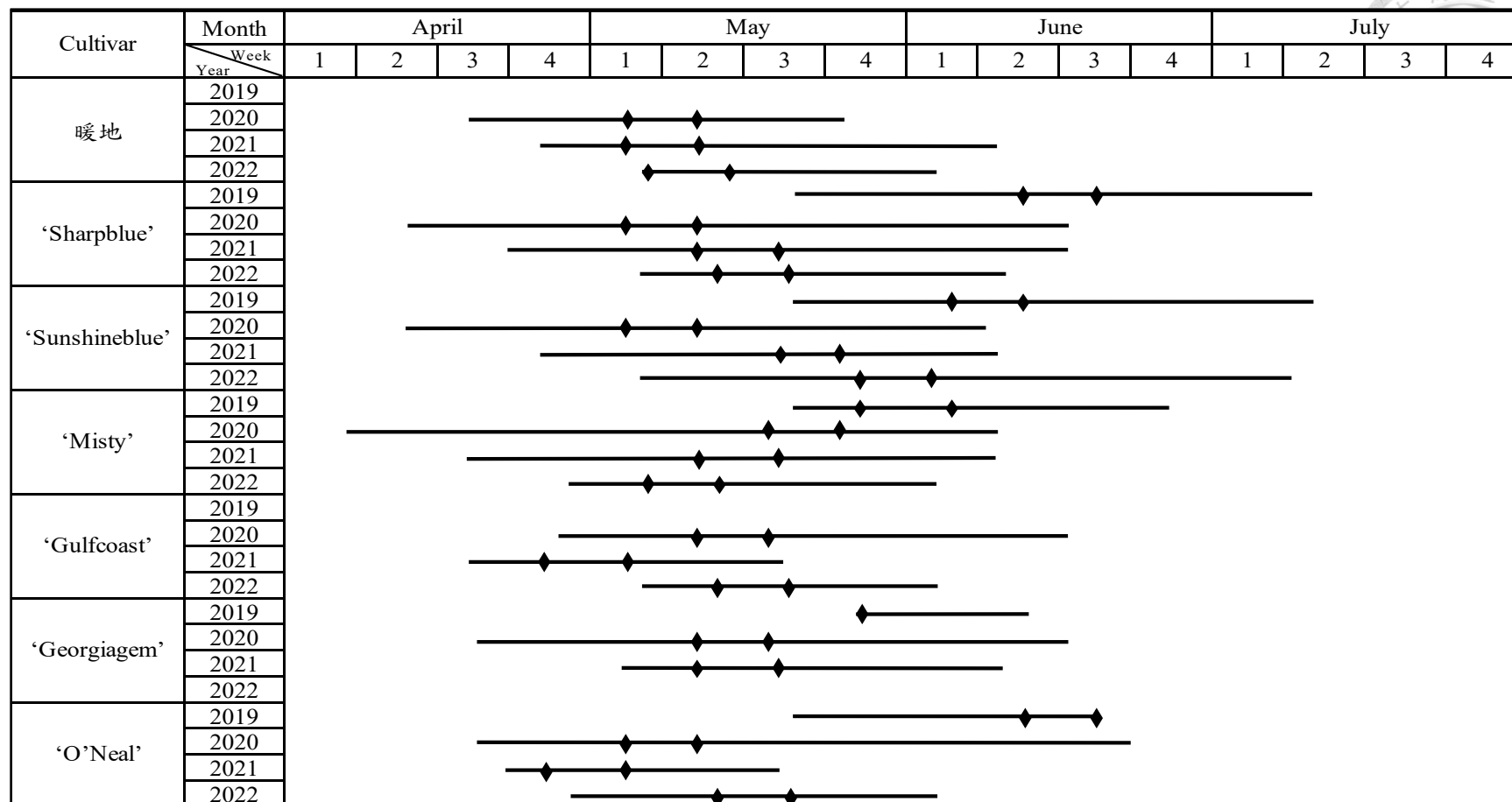


圖 1. 南高叢藍莓(A) '暖地'、(B) 'Sharpblue'、(C) 'Sunshineblue'、(D) 'Misty'、(E) 'Gulfcoast'、(F) 'Georgiagem'、(G) 'O'Neal'於四個生產週期中產期分佈與產量達總產量 50%之區間

Figure 1. The harvest window (black line) and accumulative yield reaching 50% to total yield (period between two ◆) of 7 southern highbush blueberry cultivars in 2019-2022.

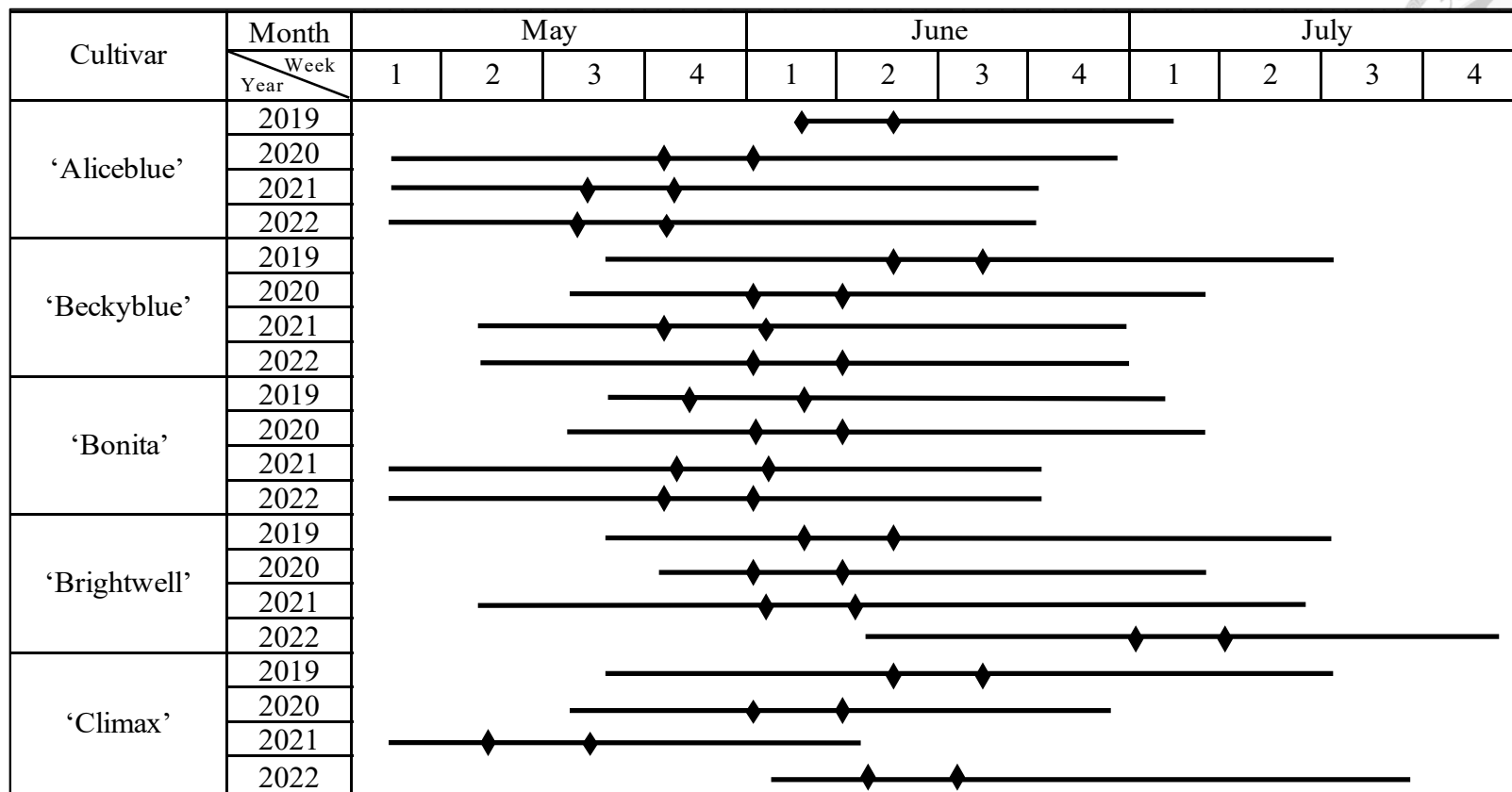


圖 2. 兔眼藍莓(A) 'Aliceblue'、(B) 'Beckyblue'、(C) 'Bonita'、(D) 'Brightwell'、(E) 'Climax'、(F) 'Austin'、(G) 'Delite'、(H) 'Powderblue'、(I) 'Fukuberry'、(J) 'Gloria'、(K) 'Menditoo'、(L) 'Pinklemonade'於四個生產週期中產期分佈與產量達總產量 50%之區間。

Figure 2. The harvest window (black line) and accumulative yield reaching 50% to total yield (period between two ◆) of 13 rabbiteye blueberry cultivars in 2019-2022.

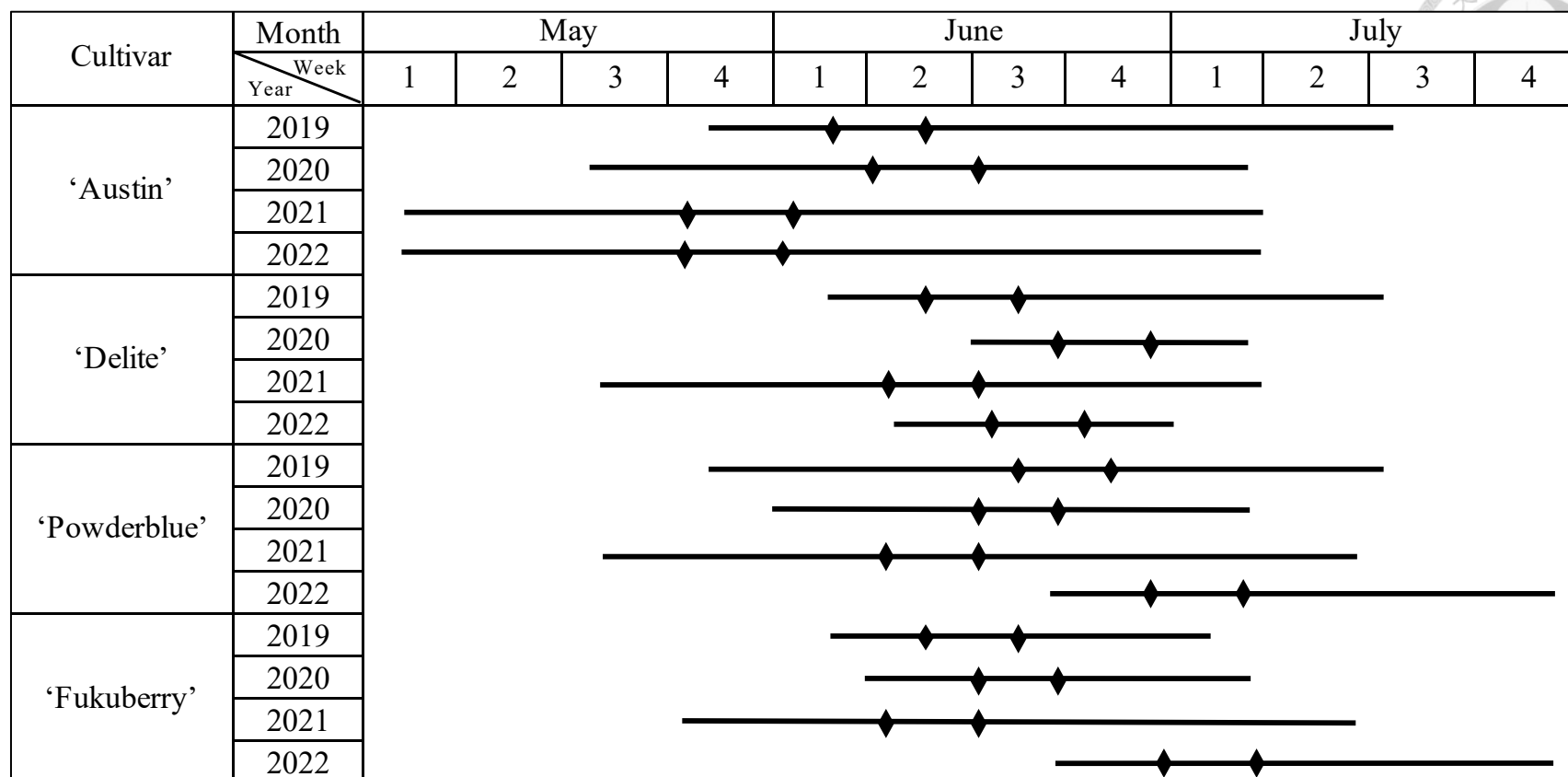


圖 2(續). 兔眼藍莓(A) 'Aliceblue'、(B) 'Beckyblue'、(C) 'Bonita'、(D) 'Brightwell'、(E) 'Climax'、(F) 'Austin'、(G) 'Delite'、(H) 'Powderblue'、(I) 'Fukuberry'、(J) 'Gloria'、(K) 'Menditoo'、(L) 'Pinklemonade'於四個生產週期中產期分佈與產量達總產量 50%之區間。

Figure 2. The harvest window (black line) and accumulative yield reaching 50% to total yield (period between two ◆) of 13 rabbiteye blueberry cultivars in 2019-2022.

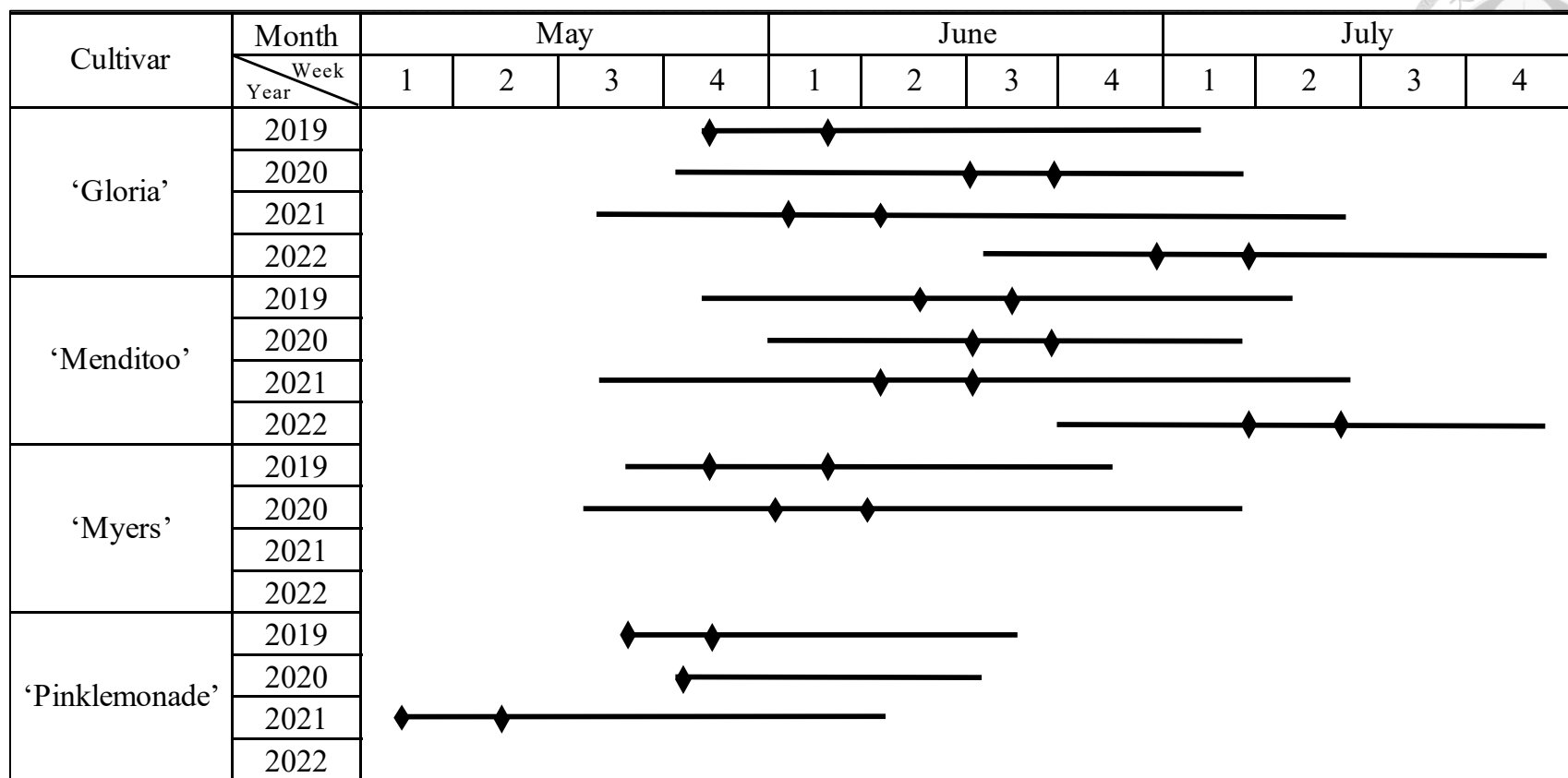


圖 2(續). 兔眼藍莓(A) 'Aliceblue'、(B) 'Beckyblue'、(C) 'Bonita'、(D) 'Brightwell'、(E) 'Climax'、(F) 'Austin'、(G) 'Delite'、(H) 'Powderblue'、(I) 'Fukuberry'、(J) 'Gloria'、(K) 'Menditoo'、(L) 'Pinklemonade'於四個生產週期中產期分佈與產量達總產量 50%之區間。

Figure 2. The harvest window (black line) and accumulative yield reaching 50% to total yield (period between two ◆) of 13 rabbiteye blueberry cultivars in 2019-2022.

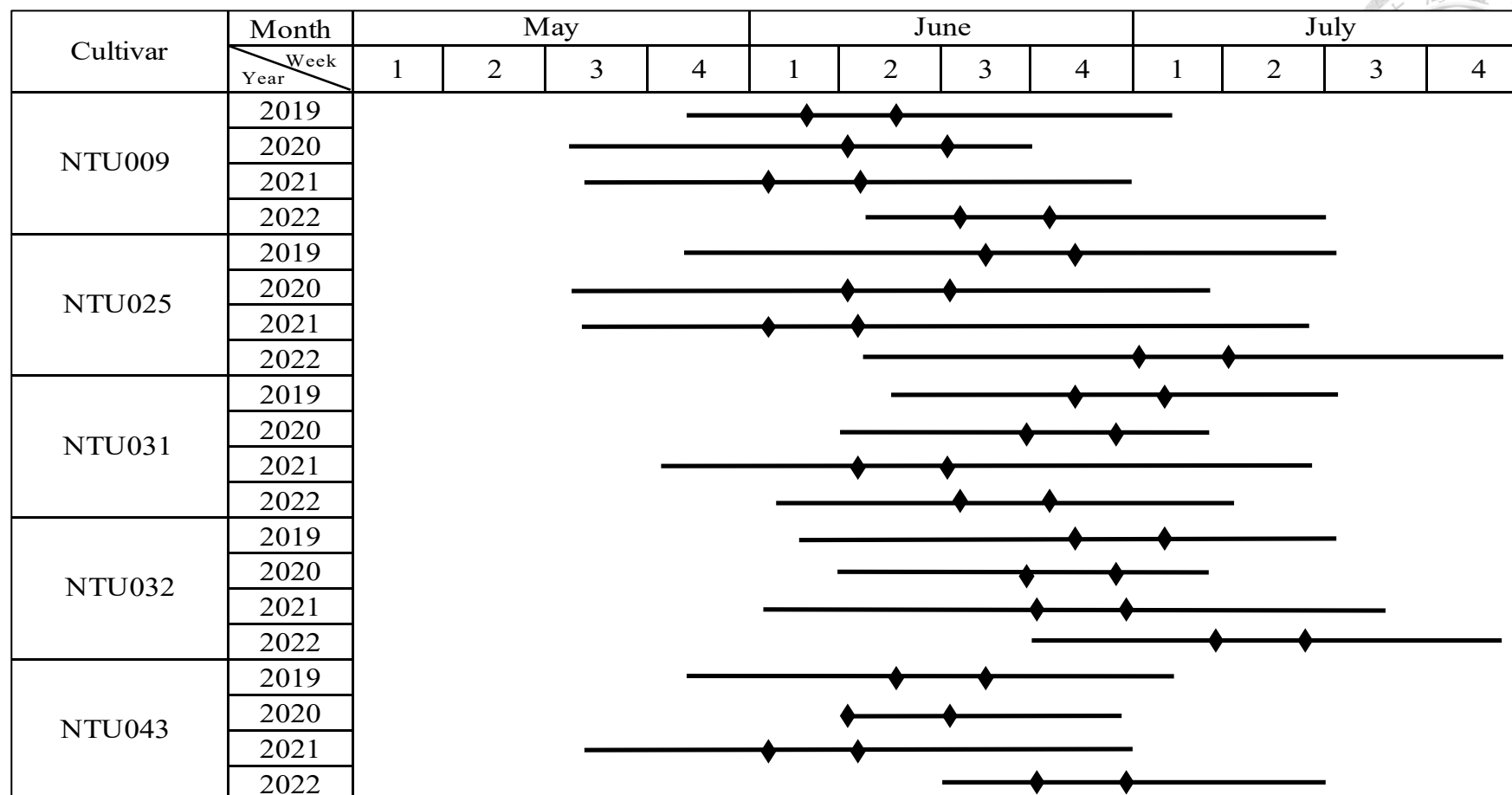


圖 3. NTU 藍莓(A) NTU009、(B) NTU025、(C) NTU031、(D) NTU032、(E) NTU043、(F) NTU54、(G) NTU103、(H) NTU104、(I) NTU108 於四個生產週期中產期分佈與產量達總產量 50%之區間。

Figure 3. The harvest window (black line) and accumulative yield reaching 50% to total yield (period between two ♦) of 9 NTU blueberry lines in 2019-2022.

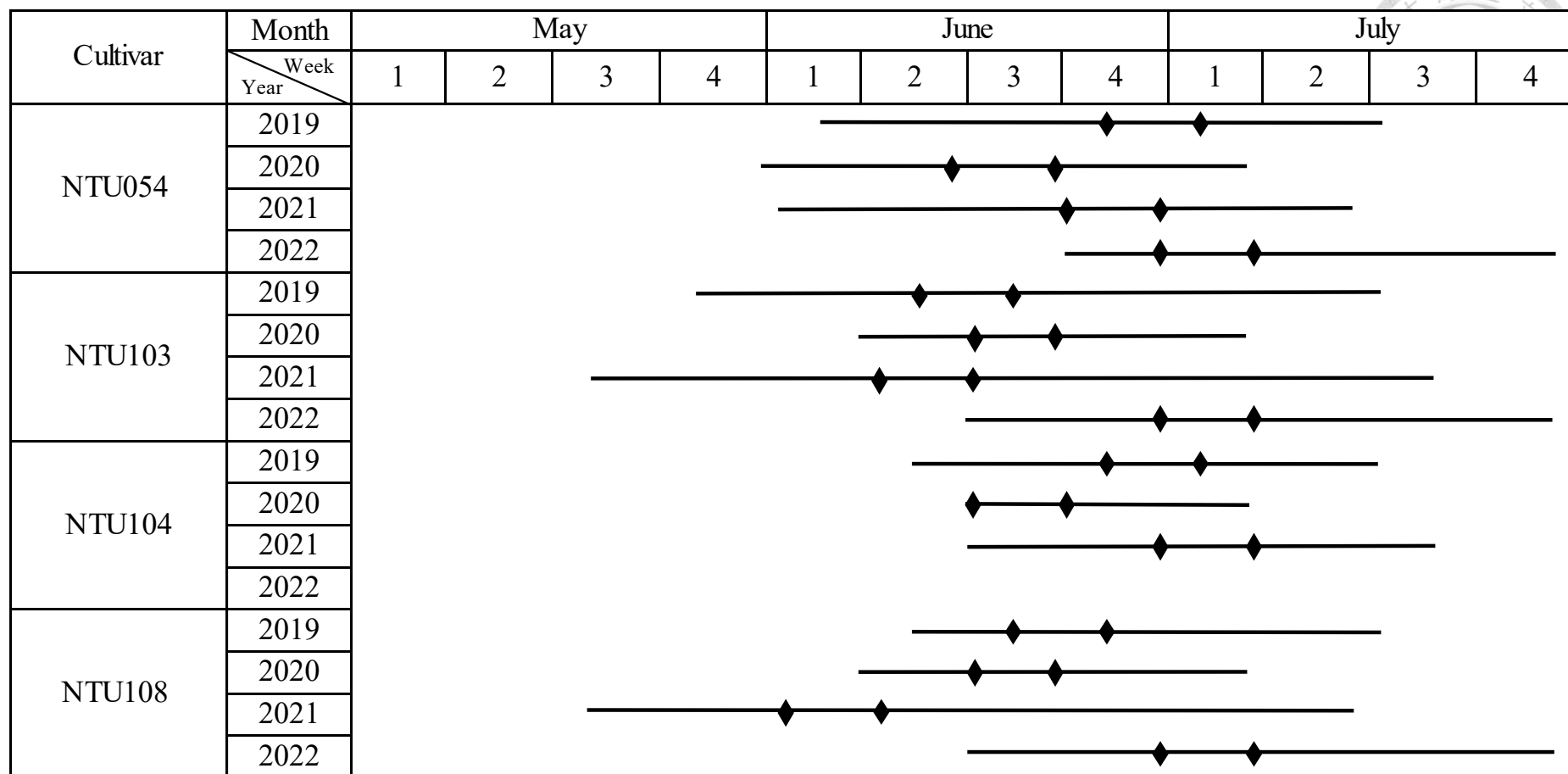


圖 3(續). NTU 藍莓(A) NTU009、(B) NTU025、(C) NTU031、(D) NTU032、(E) NTU043、(F) NTU54、(G) NTU103、(H) NTU104、(I) NTU108 於四個生產週期中產期分佈與產量達總產量 50%之區間。

Figure 3. The harvest window (black line) and accumulative yield reaching 50% to total yield (period between two ◆) of 9 NTU blueberry lines in 2019-2022.

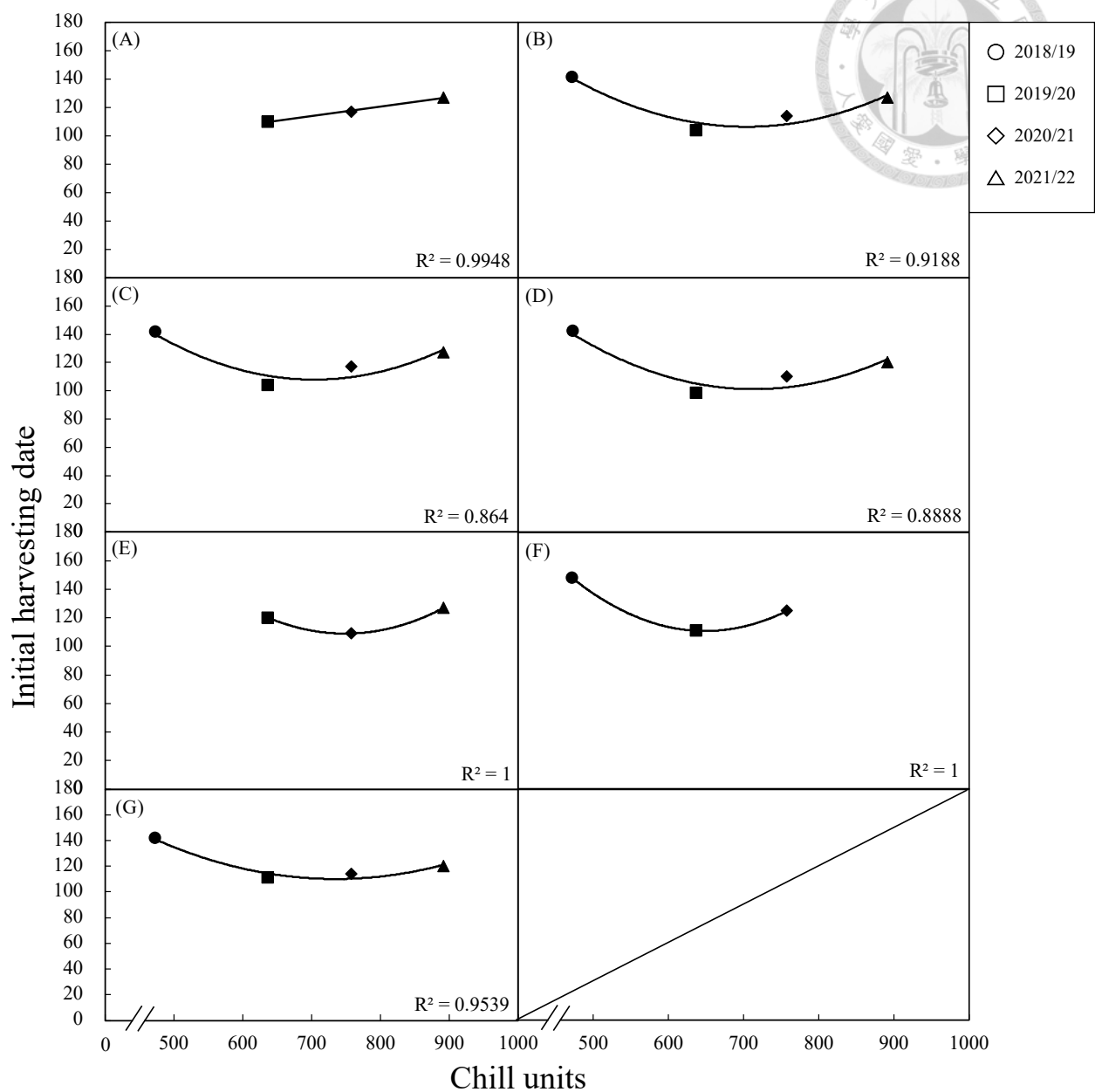


圖 4. 低溫單位值與南高叢藍莓 (A) '暖地'、(B) 'Sharpblue'、(C) 'Sunshineblue'、(D) 'Misty'、(E) 'Gulfcoast'、(F) 'Georgiagem'、(G) 'O'Neal' 產期開始日之相關性，所有圖除(A)之外皆為二次曲線迴歸。

Fig 4. Correlation between chilling units and the initial harvesting date of southern highbush blueberry cultivars. Chilling units were calculated from September 1st to March 31st.

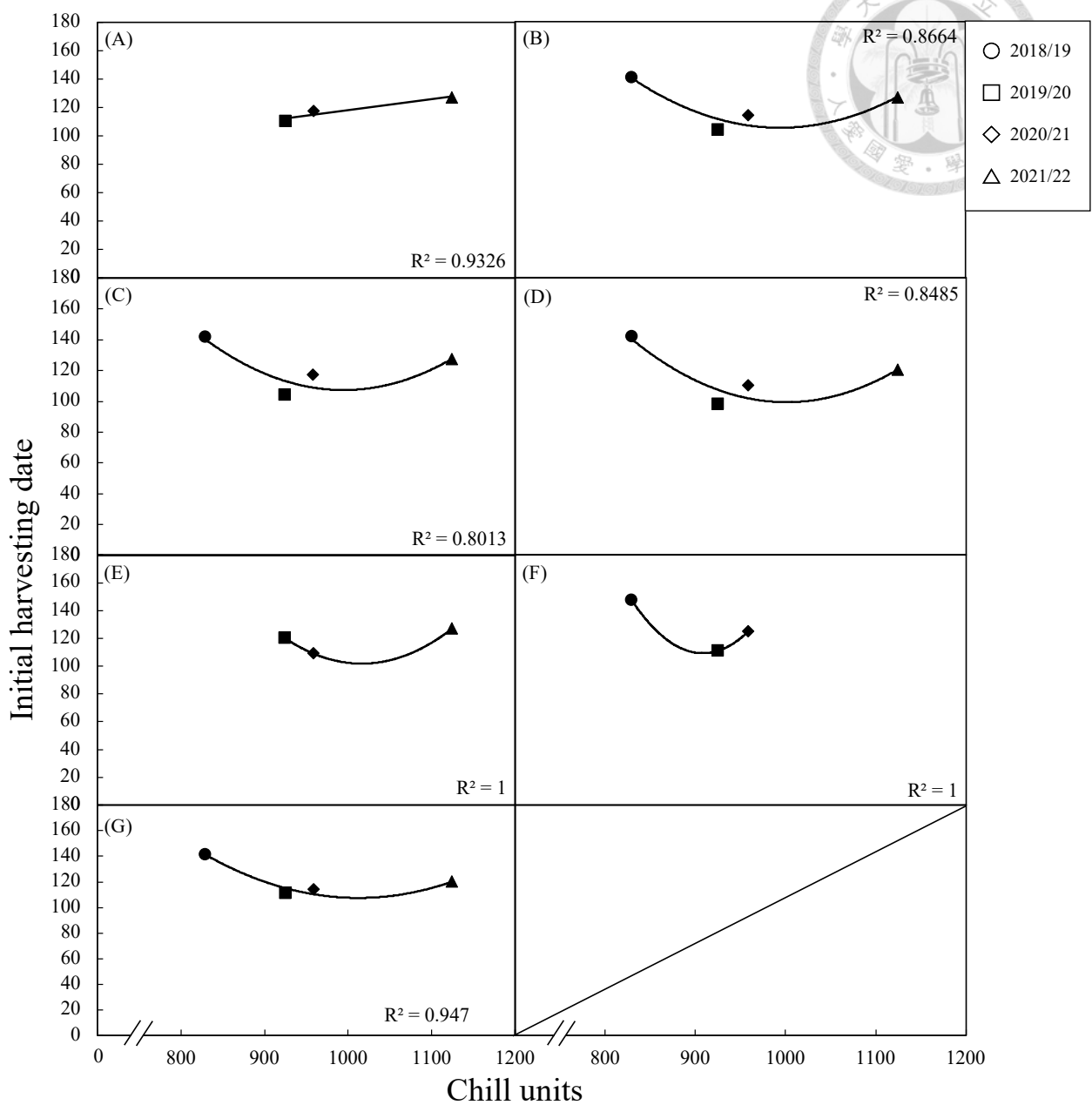


圖 5. 無受高溫影響之低溫單位值與南高叢藍莓 (A) ‘暖地’、(B) ‘Sharpblue’、(C) ‘Sunshineblue’、(D) ‘Misty’、(E) ‘Gulfcoast’、(F) ‘Georgiagem’、(G) ‘O’Neal’產期開始日之相關性，所有圖除(A)之外皆為二次曲線迴歸。

Fig 5. Correlation between chilling units and the initial harvesting date of southern highbush blueberry cultivars. Chilling units were calculated from September 1st to March 31st.

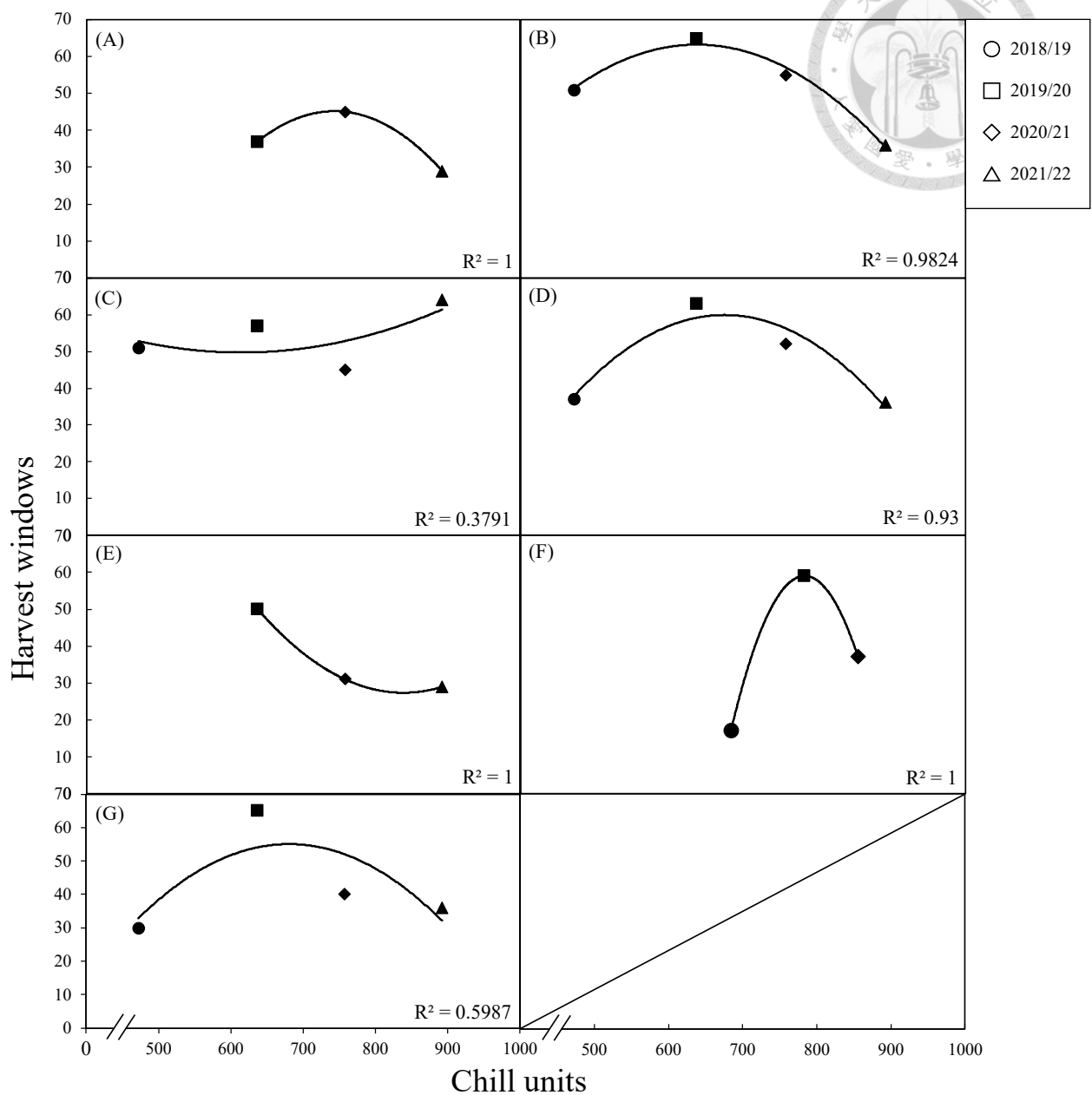


圖 6. 低溫單位值與南高叢藍莓 (A) '暖地'、(B) 'Sharpblue'、(C) 'Sunshineblue'、(D) 'Misty'、(E) 'Gulfcoast'、(F) 'Georgiagem'、(G) 'O'Neal'總產期之相關性，所有圖皆為二次曲線迴歸。

Fig 6. Correlation between chilling units and harvest windows of southern highbush blueberry cultivars. Chilling units were calculated from September 1st to March 31st.

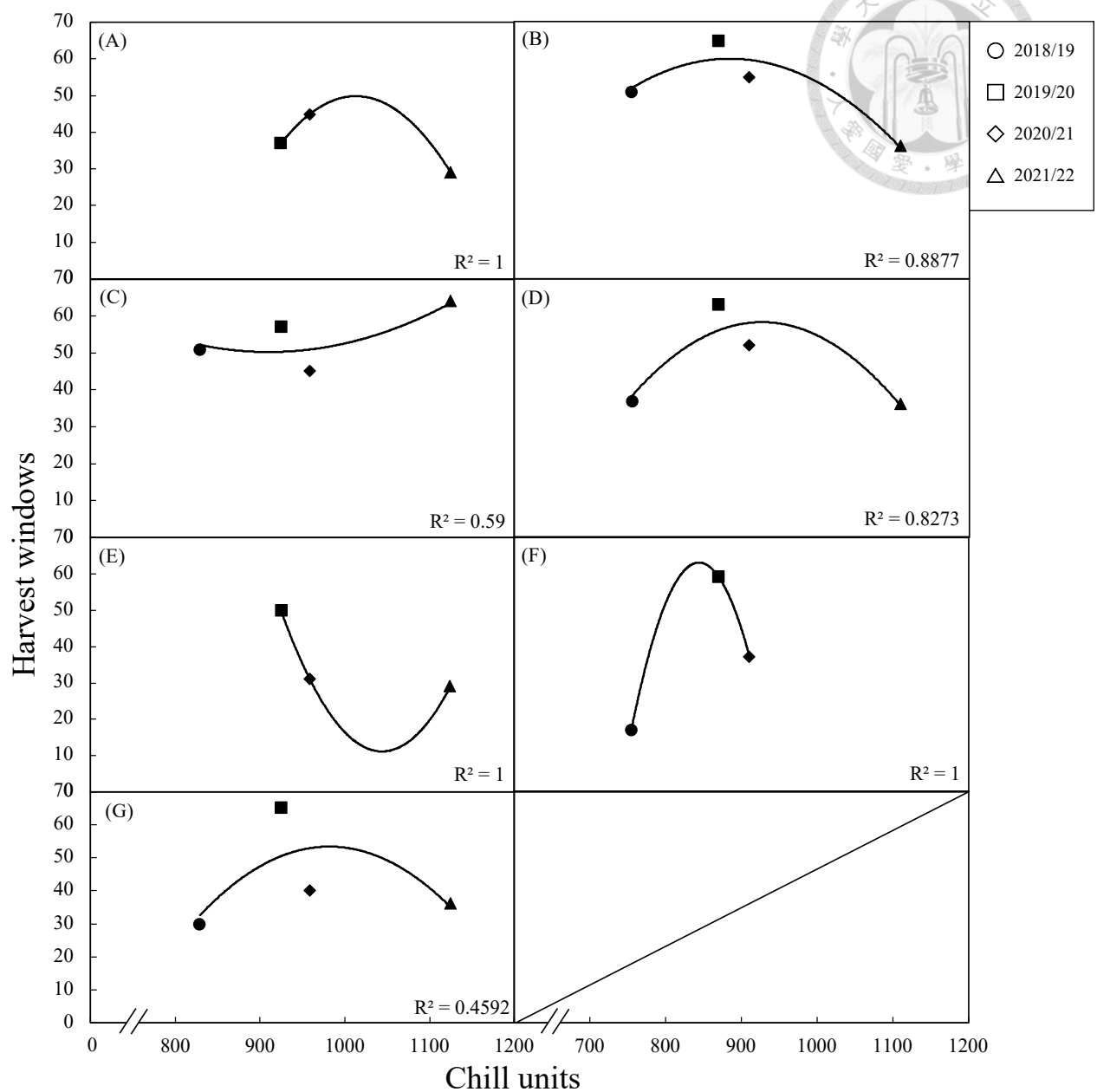


圖 7. 無受高溫影響之低溫單位值與南高叢藍莓 (A) ‘暖地’、(B) ‘Sharpblue’、(C) ‘Sunshineblue’、(D) ‘Misty’、(E) ‘Gulfcoast’、(F) ‘Georgiagem’、(G) ‘O’Neal’總產期之相關性，所有圖皆為二次曲線迴歸。

Fig 7. Correlation between chilling units and harvest windows of southern highbush blueberry cultivars. Chilling units were calculated from September 1st to March 31st.

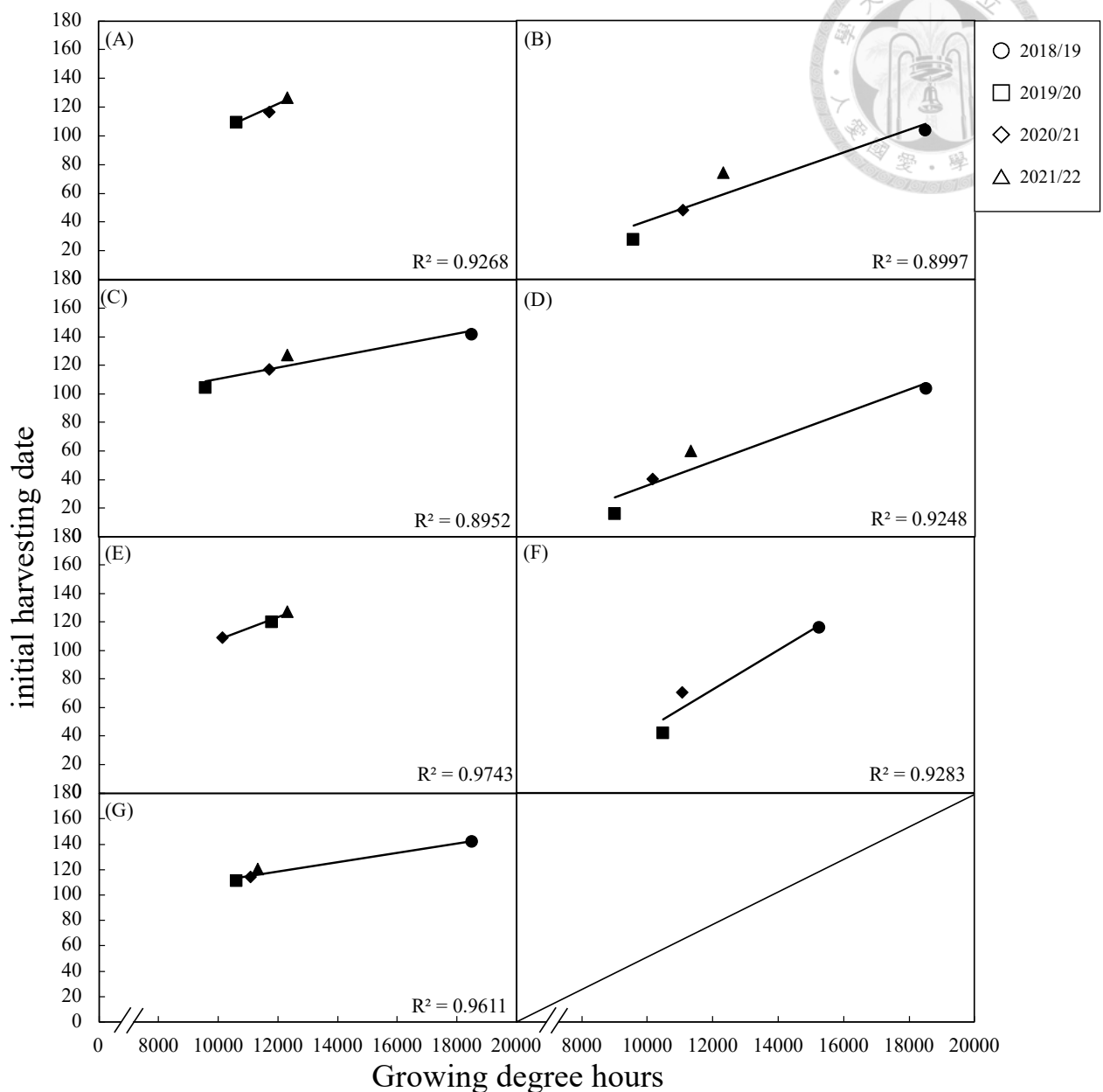


圖 8. 自 1 月 1 日累積至產期開始日之積熱與南高叢藍莓 (A) ‘暖地’、(B) ‘Sharpblue’、(C) ‘Sunshineblue’、(D) ‘Misty’、(E) ‘Gulfcoast’、(F) ‘Georgiagem’、(G) ‘O’Neal’產期開始日相關性，所有圖皆為一次線性迴歸。

Fig 8. Correlation between accumulated growing degree hours (GDH) and the initial harvesting date of highbush blueberry cultivars. GDH was calculated from January 1st to the initial harvesting date with a base temperature of 15 °C.

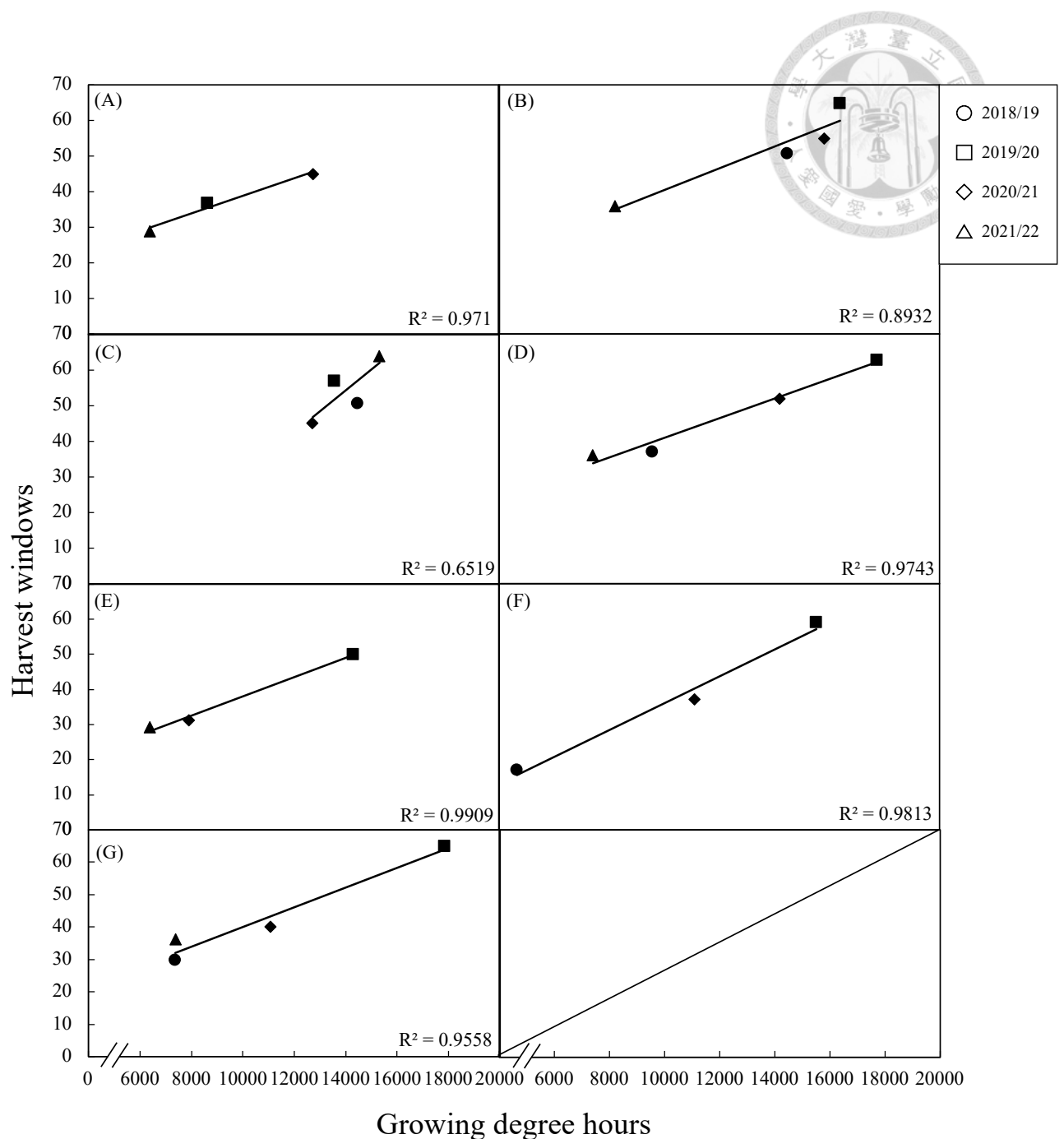


圖 9. 產期開始至結束累積之積熱與南高叢藍莓 (A) '暖地'、(B) 'Sharpblue'、(C) 'Sunshineblue'、(D) 'Misty'、(E) 'Gulfcoast'、(F) 'Georgiagem'、(G) 'O'Neal'產期開始日相關性，所有圖皆為一次線性迴歸。

Fig 9. Correlation between accumulated growing degree hours (GDH) and harvest windows of highbush blueberry cultivars. GDH was calculated from the beginning to the end of harvest windows with a base temperature of 15 °C.

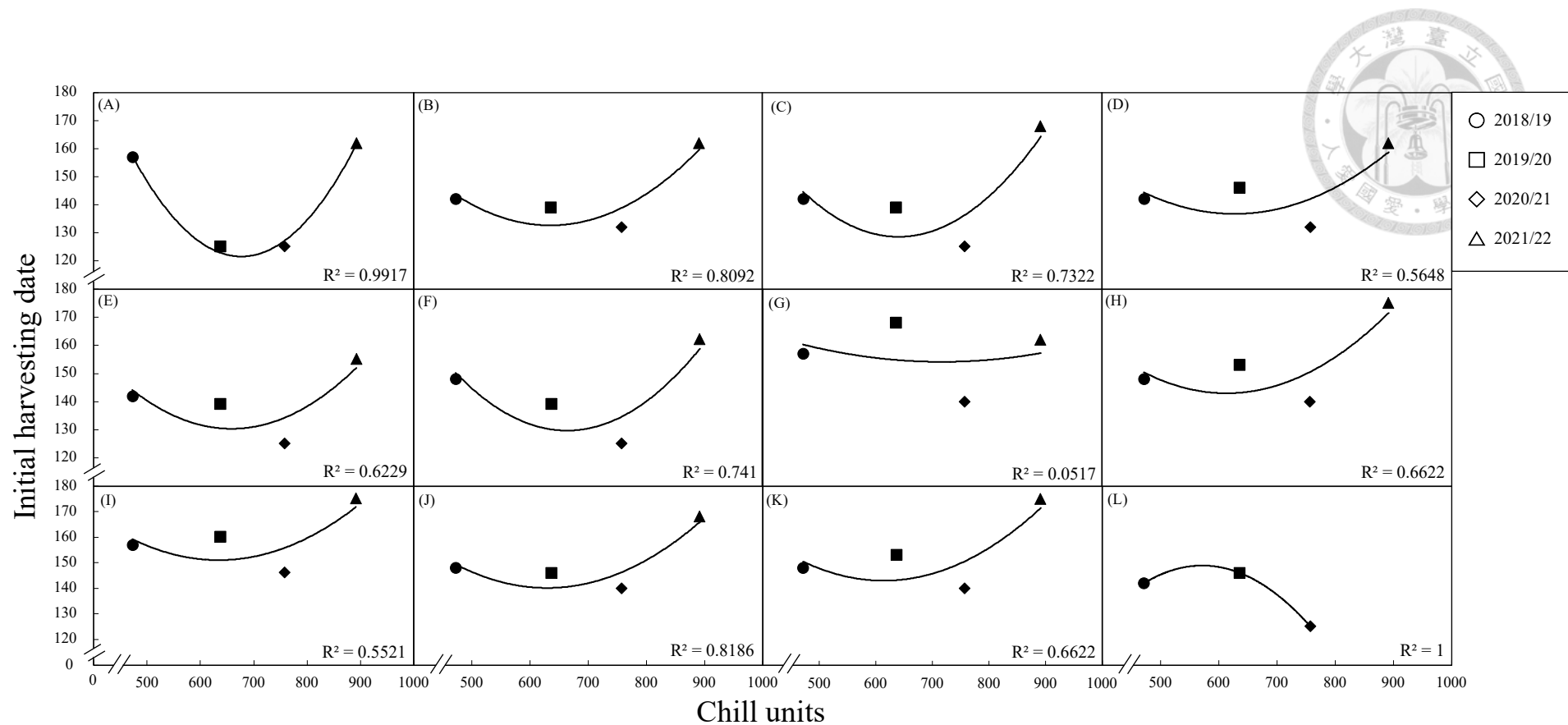


圖 10. 低溫單位值與兔眼藍莓 (A) 'Aliceblue'、(B) 'Beckyblue'、(C) 'Bonita'、(D) 'Brightwell'、(E) 'Climax'、(F) 'Austin'、(G) 'Delite'、(H) 'Powderblue'、(I) 'Fukuberry'、(J) 'Gloria'、(K) 'Menditoo'、(L) 'Pinklemonade'產期開始日相關性，所有圖皆為二次曲線回歸。

Fig 10. Correlation between chilling units and the initial harvesting date of rabbiteye blueberry cultivars. Chilling units were calculated from September 1st to March 31st.

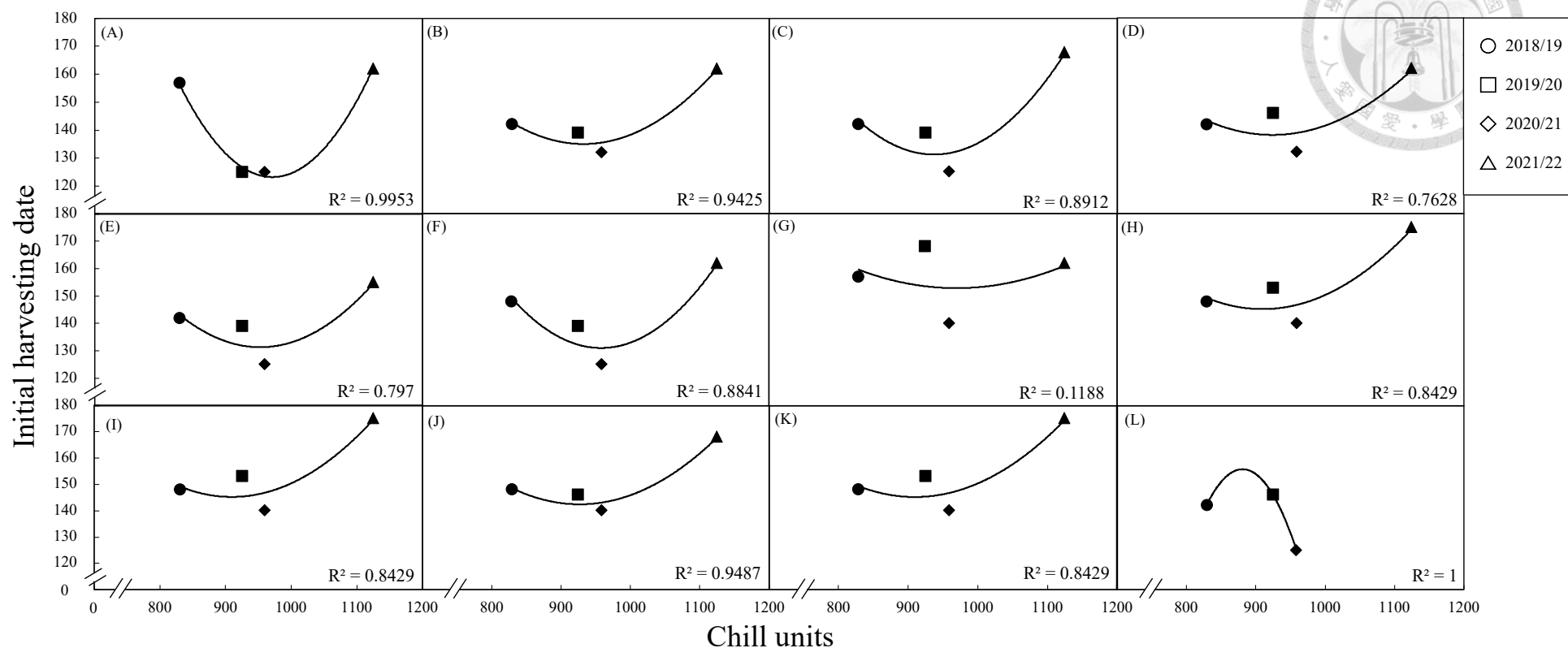
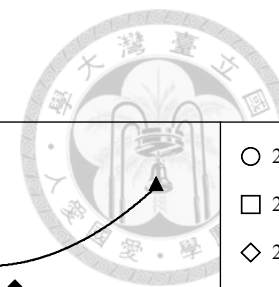


圖 11. 無受高溫影響之低溫單位值與兔眼藍莓 (A) 'Aliceblue'、(B) 'Beckyblue'、(C) 'Bonita'、(D) 'Brightwell'、(E) 'Climax'、(F) 'Austin'、(G) 'Delite'、(H) 'Powderblue'、(I) 'Fukuberry'、(J) 'Gloria'、(K) 'Menditoo'、(L) 'Pinklemonade'產期開始日相關性，所有圖皆為二次曲線回歸。

Fig 11. Correlation between chilling units and the initial harvesting date of rabbiteye blueberry cultivars. Chilling units were calculated from September 1st to March 31st.

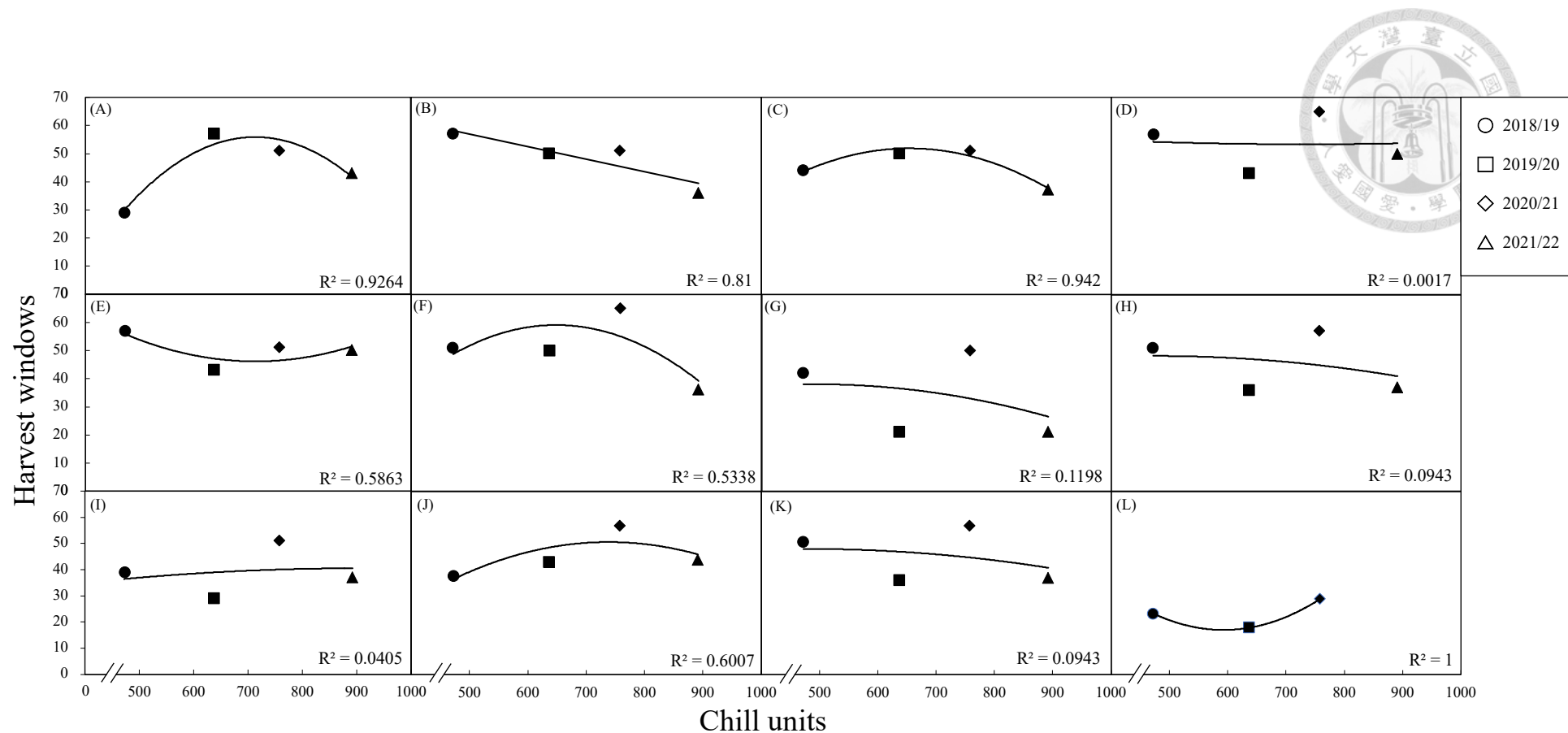


圖 12. 低溫單位值與兔眼藍莓 (A) 'Aliceblue'、(B) 'Beckyblue'、(C) 'Bonita'、(D) 'Brightwell'、(E) 'Climax'、(F) 'Austin'、(G) 'Delite'、(H) 'Powderblue'、(I) 'Fukuberry'、(J) 'Gloria'、(K) 'Menditoo'、(L) 'Pinklemonade'總產期相關性，所有圖除(B)之外皆為二次曲線回歸。

Fig 12. Correlation between chilling units and harvest windows of rabbiteye blueberry cultivars. Chilling units were calculated from September 1st to March 31st.

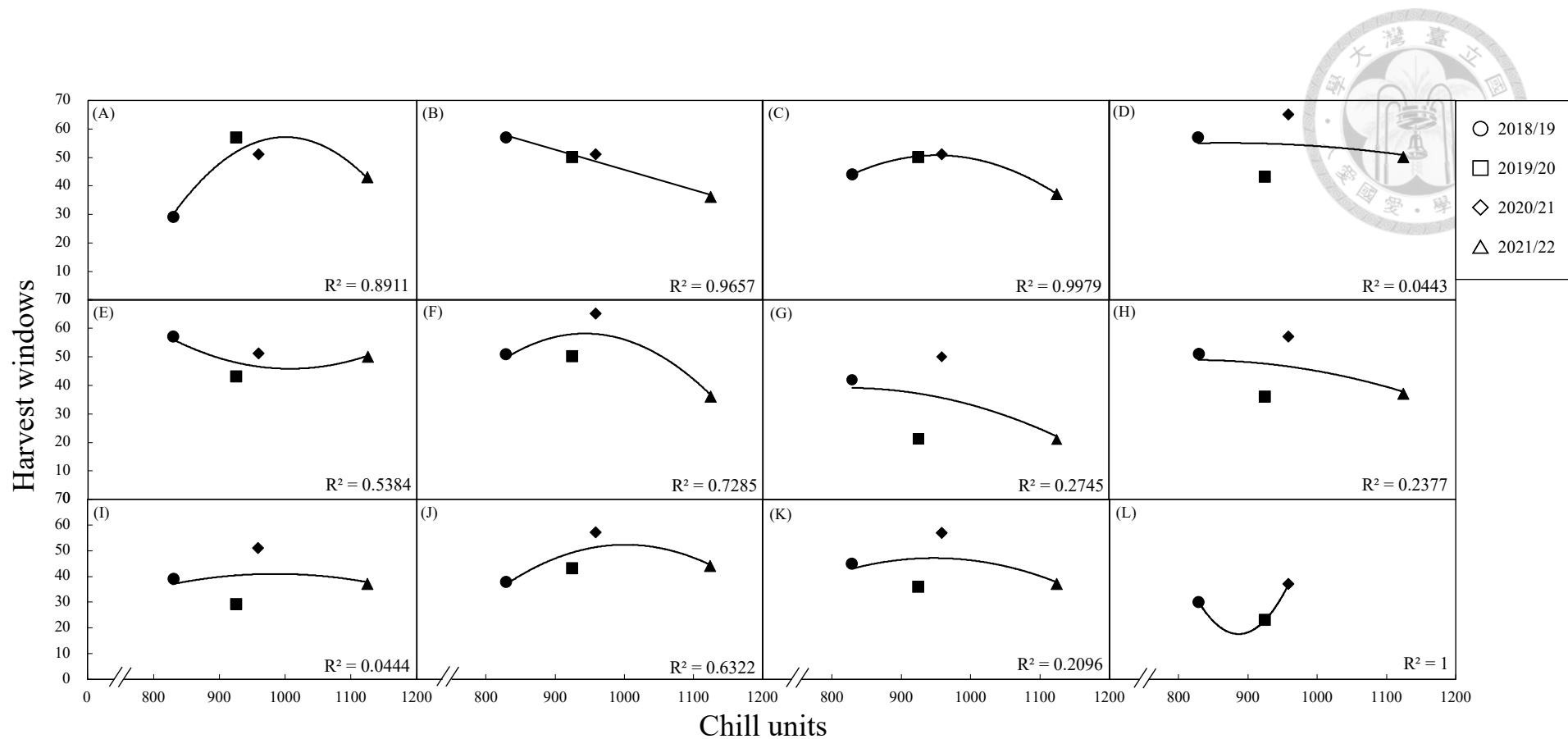


圖 13. 無受高溫影響之低溫單位值與兔眼藍莓(A) ‘Aliceblue’、(B) ‘Beckyblue’、(C) ‘Bonita’、(D) ‘Brightwell’、(E) ‘Climax’、(F) ‘Austin’、(G) ‘Delite’、(H) ‘Powderblue’、(I) ‘Fukuberry’、(J) ‘Gloria’、(K) ‘Menditoo’、(L) ‘Pinklemonade’總產期相關性，所有品種除(B)之外皆為二次曲線回歸。

Fig 13. Correlation between chilling units and harvest windows of rabbiteye blueberry cultivars. Chilling units were calculated from September 1st to March 31st.

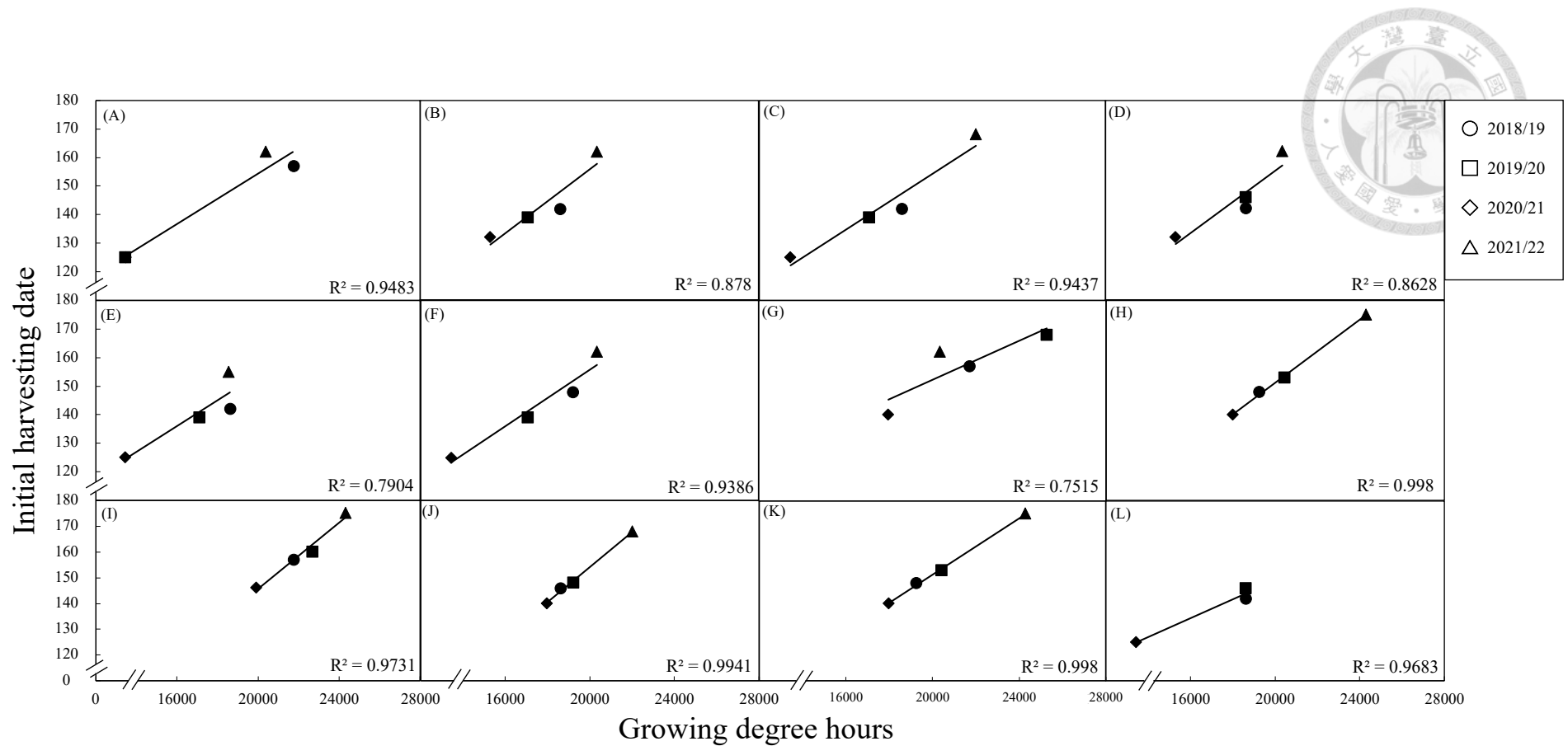


圖 14. 自 1 月 1 日累積至產期開始日之積熱變化與兔眼藍莓 (A) 'Aliceblue'、(B) 'Beckyblue'、(C) 'Bonita'、(D) 'Brightwell'、(E) 'Climax'、(F) 'Austin'、(G) 'Delite'、(H) 'Powderblue'、(I) 'Fukuberry'、(J) 'Gloria'、(K) 'Menditoo'、(L) 'Pinklemonade' 產期開始日相關性，所有品種皆為一次線性回歸。

Fig 14. Correlation between accumulated growing degree hours (GDH) and the initial harvesting date of rabbiteye blueberry cultivars. GDH was calculated from January 1st to the initial harvesting date with a base temperature of 15 °C.

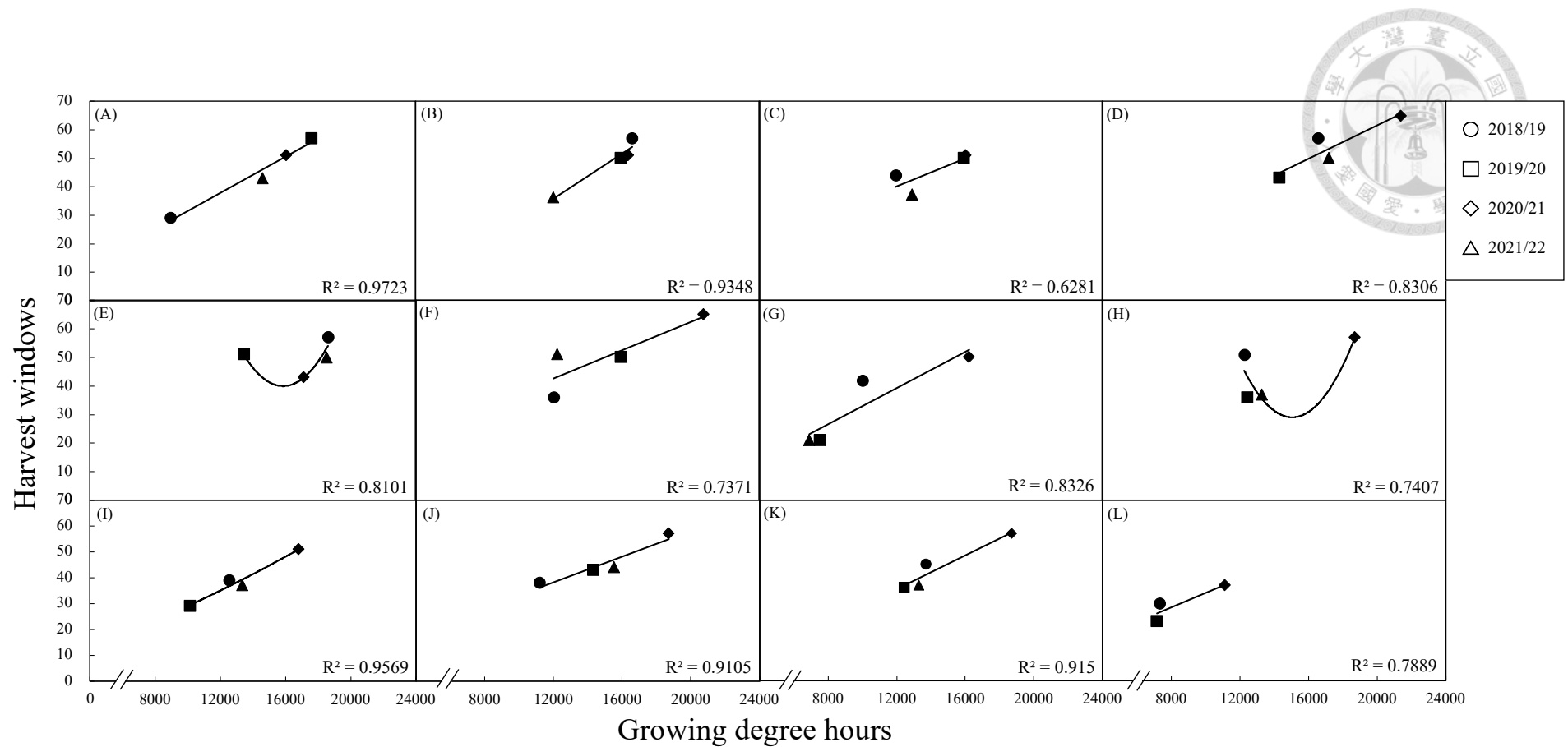


圖 15. 積熱變化與兔眼藍莓 (A) ‘Aliceblue’、(B) ‘Beckyblue’、(C) ‘Bonita’、(D) ‘Brightwell’、(E) ‘Climax’、(F) ‘Austin’、(G) ‘Delite’、(H) ‘Powderblue’、(I) ‘Fukuberry’、(J) ‘Gloria’、(K) ‘Menditoo’、(L) ‘Pinklemonade’總產期相關性，除(E) (H)以外皆為一次線性回歸。

Fig 15. Correlation between accumulated growing degree hours (GDH) and the harvest winodws of rabbiteye blueberry cultivars. GDH was calculated from the beginning to the end of harvest windows with a base temperature of 15 °C.

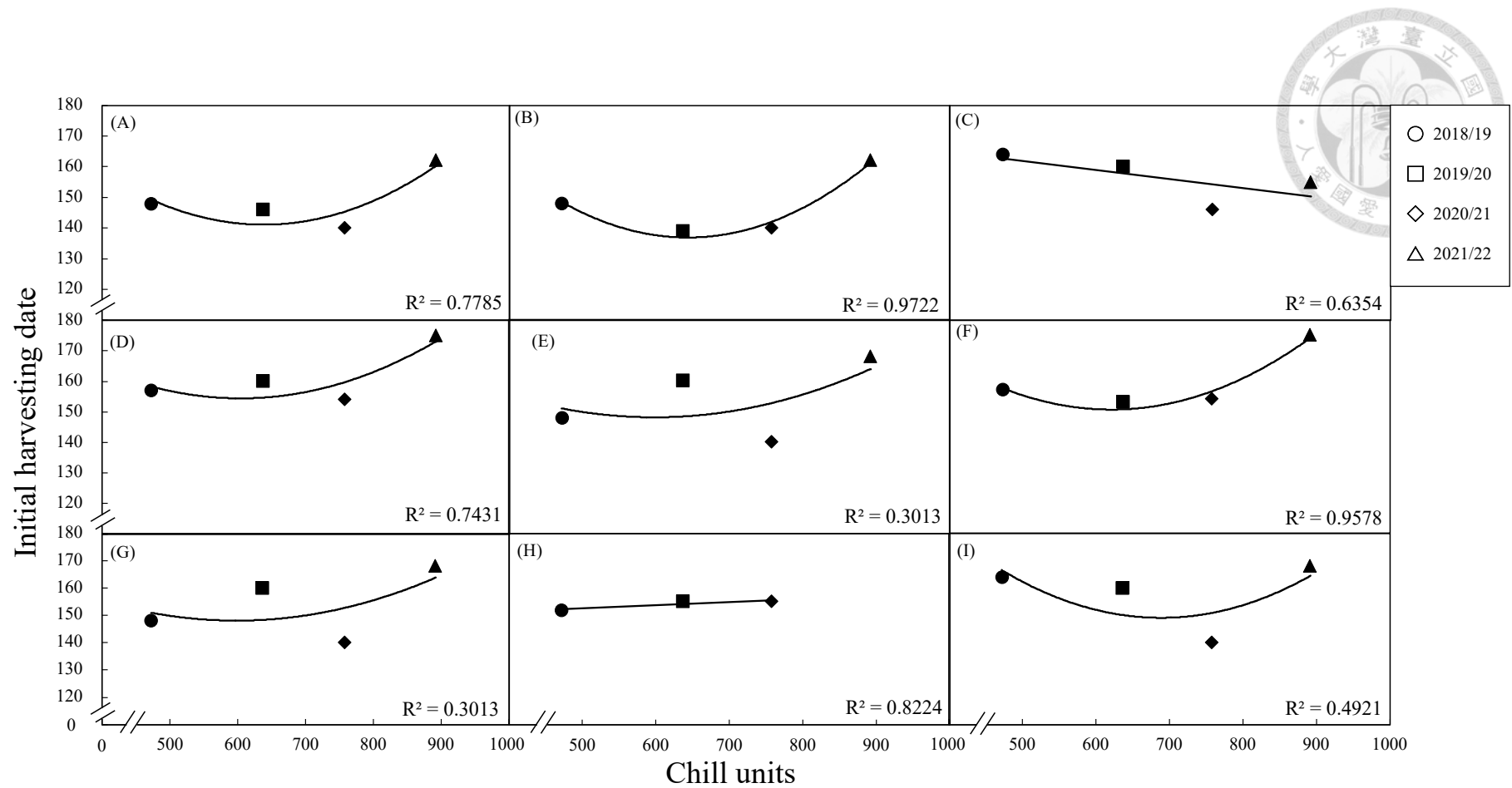


圖 16. 低溫單位值與 NTU 兔眼藍莓 (A) NTU009、(B) NTU025、(C) NTU031、(D) NTU032、(E) NTU043、(F) NTU54、(G) NTU103、(H) NTU104、(I) NTU108 產期開始日相關性，除 (H) 之外所有圖皆採二次曲線回歸。

Fig 16. Correlation between chilling units and the initial harvesting date of NTU blueberry lines. Chilling units were calculated from September 1st to March 31st.

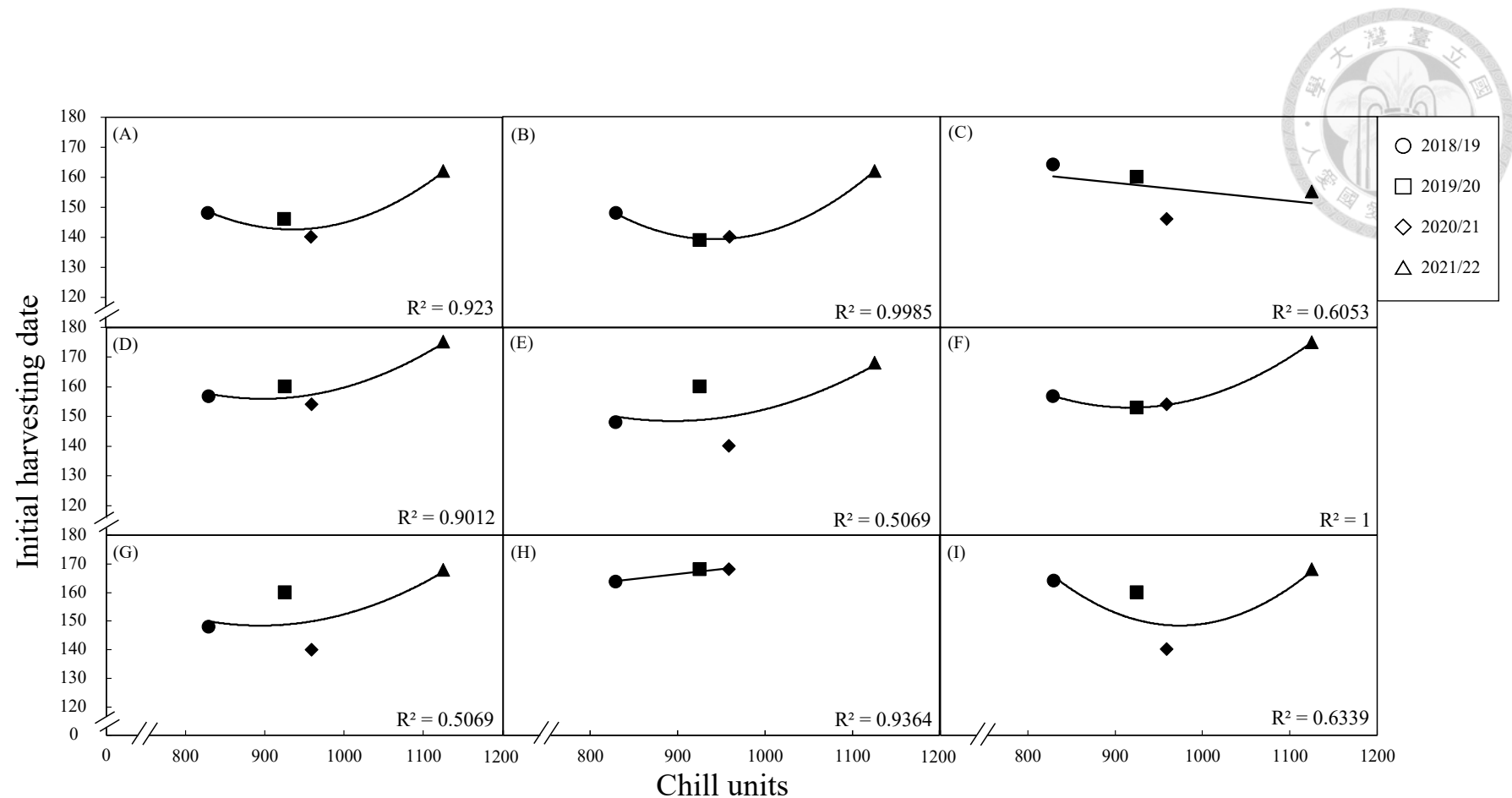


圖 17. 無受高溫影響之低溫單位值與 NTU 兔眼藍莓 (A) NTU009、(B) NTU025、(C) NTU031、(D) NTU032、(E) NTU043、(F) NTU54、(G) NTU103、(H) NTU104、(I) NTU108 產期開始日相關性，除 (H) 之外所有圖皆採二次曲線回歸。

Fig 17. Correlation between chilling units and the initial harvesting date of NTU blueberry lines. Chilling units were calculated from September 1st to March 31st.

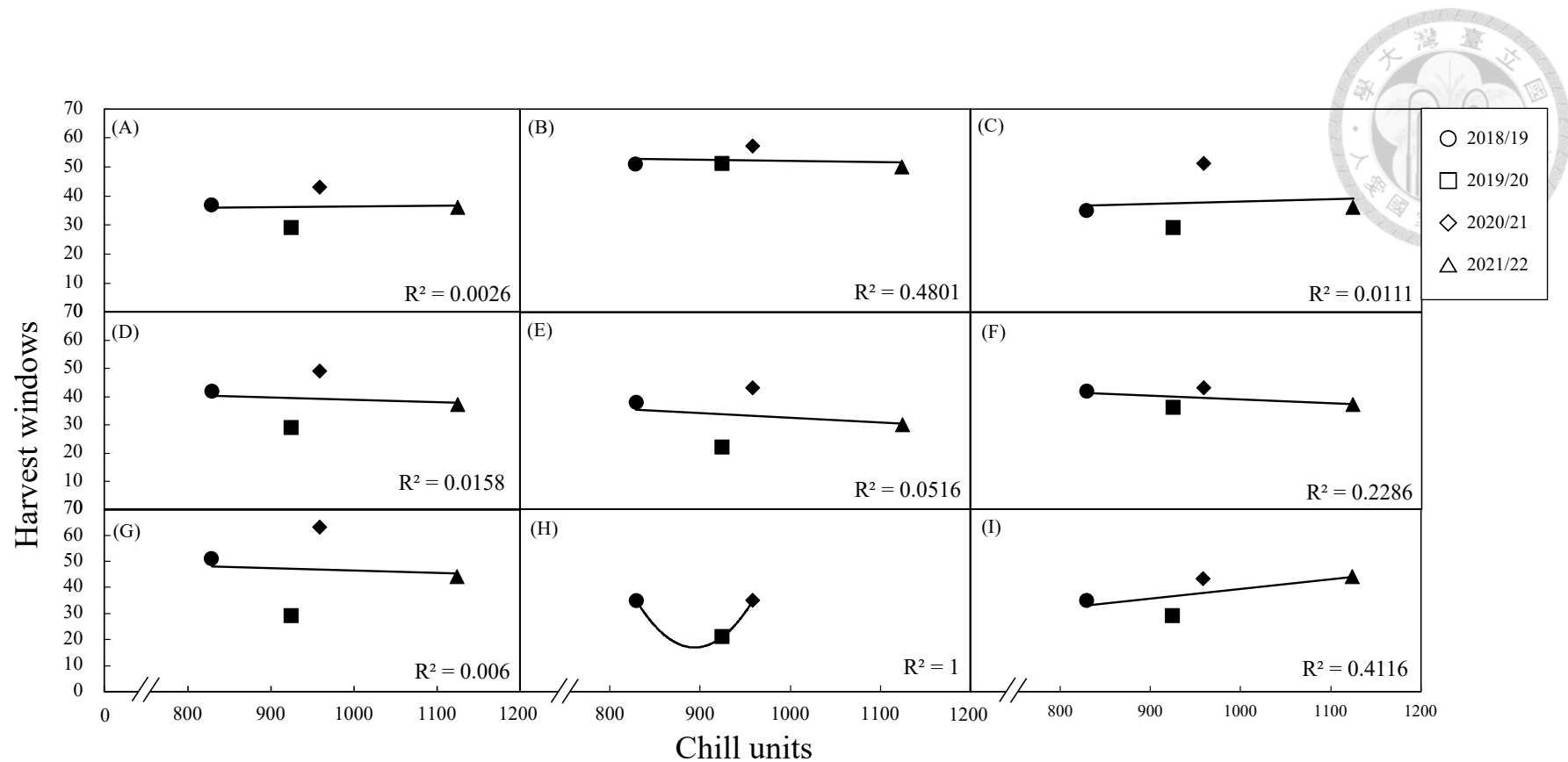


圖 18. 低溫單位與 NTU 兔眼藍莓 (A) NTU009、(B) NTU025、(C) NTU031、(D) NTU032、(E) NTU043、(F) NTU054、(G) NTU103、(H) NTU104、(I) NTU108 總產期相關性，除 (H) 之外所有圖皆採一次線性回歸。

Fig 18. Correlation between chilling units and harvest windows of NTU blueberry lines. Chilling units were calculated from September 1st to March 31st.

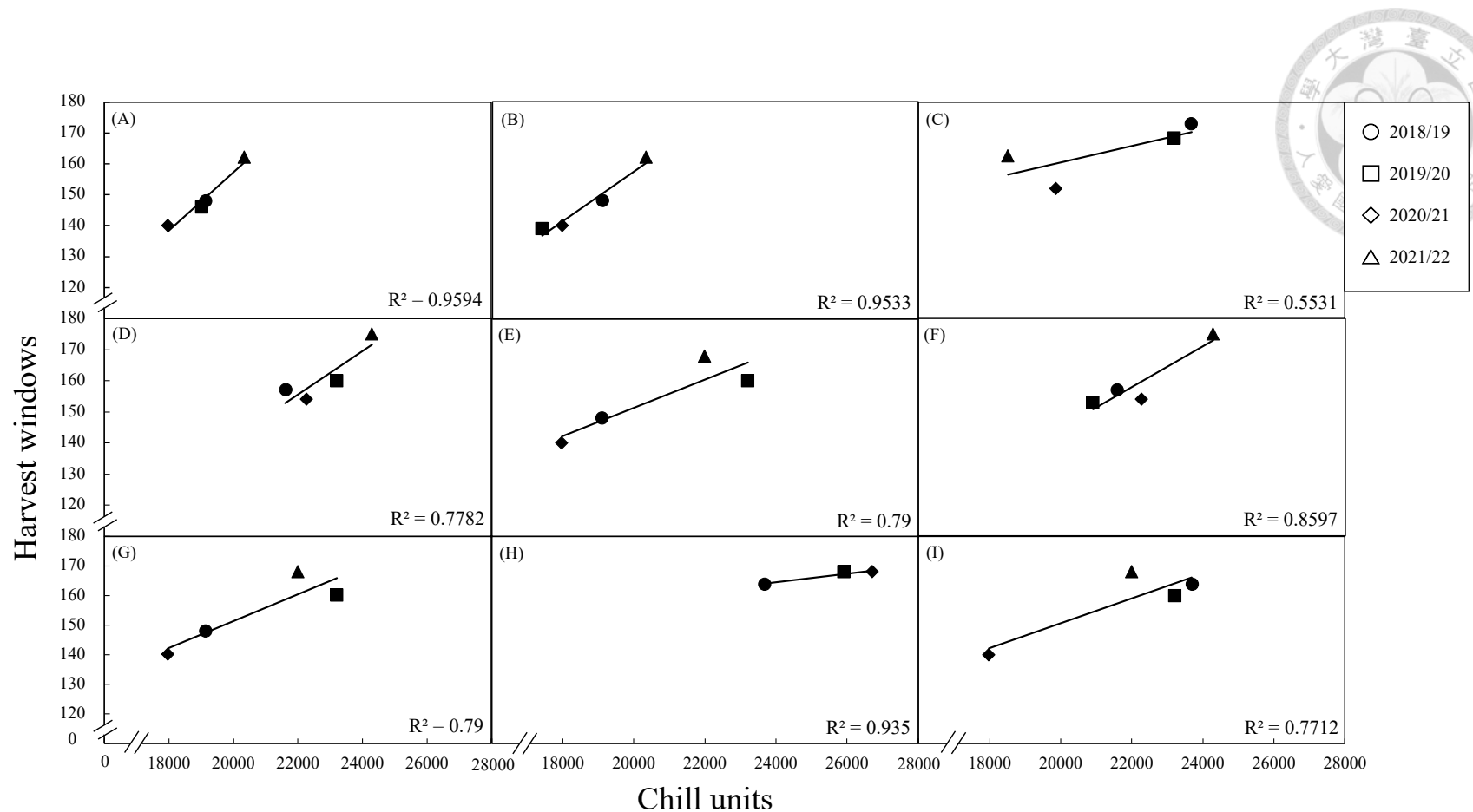


圖 19. 無受高溫影響之低溫單位值與 NTU 兔眼藍莓 (A) NTU009、(B) NTU025、(C) NTU031、(D) NTU032、(E) NTU043、(F) NTU054、(G) NTU103、(H) NTU104、(I) NTU108 與總產期變化相關性，除 (H) 之外所有圖皆採一次線性回歸。

Fig 19. Correlation between chilling units and harvest windows of NTU blueberry lines. Chilling units were calculated from September 1st to March 31st.

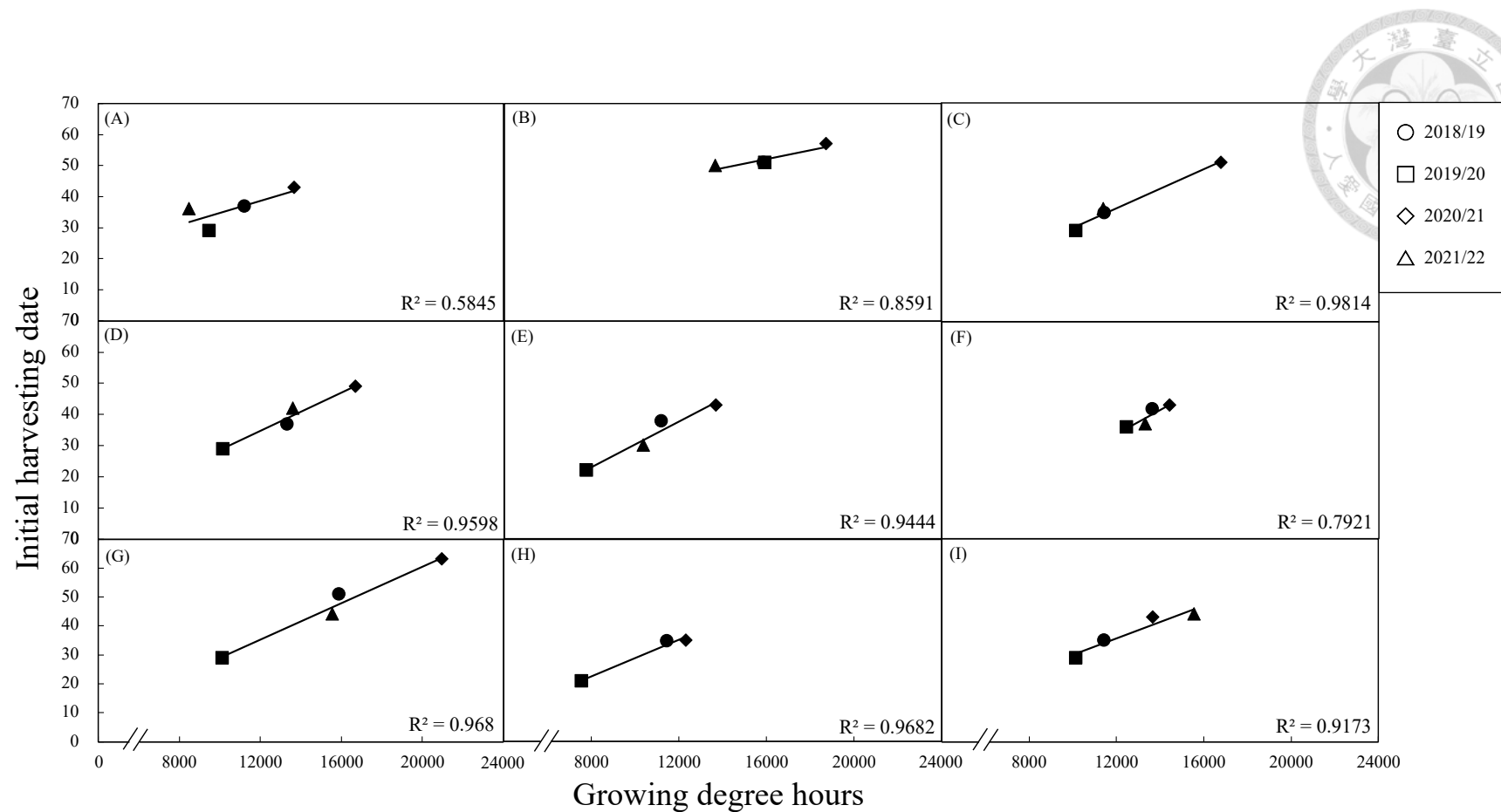


圖 20. 自 1 月 1 日至產期開始累積之積熱與 NTU 兔眼藍莓 (A) NTU009、(B) NTU025、(C) NTU031、(D) NTU032、(E) NTU043、(F) NTU054、(G) NTU103、(H) NTU104、(I) NTU108 產期開始日相關性，所有圖皆為一次線性回歸。

Fig 20. Correlation between accumulated growing degree hours (GDH) and the initial harvesting date of NTU blueberry lines. GDH was calculated from January 1st to the initial harvesting date with a base temperature of 15 °C.

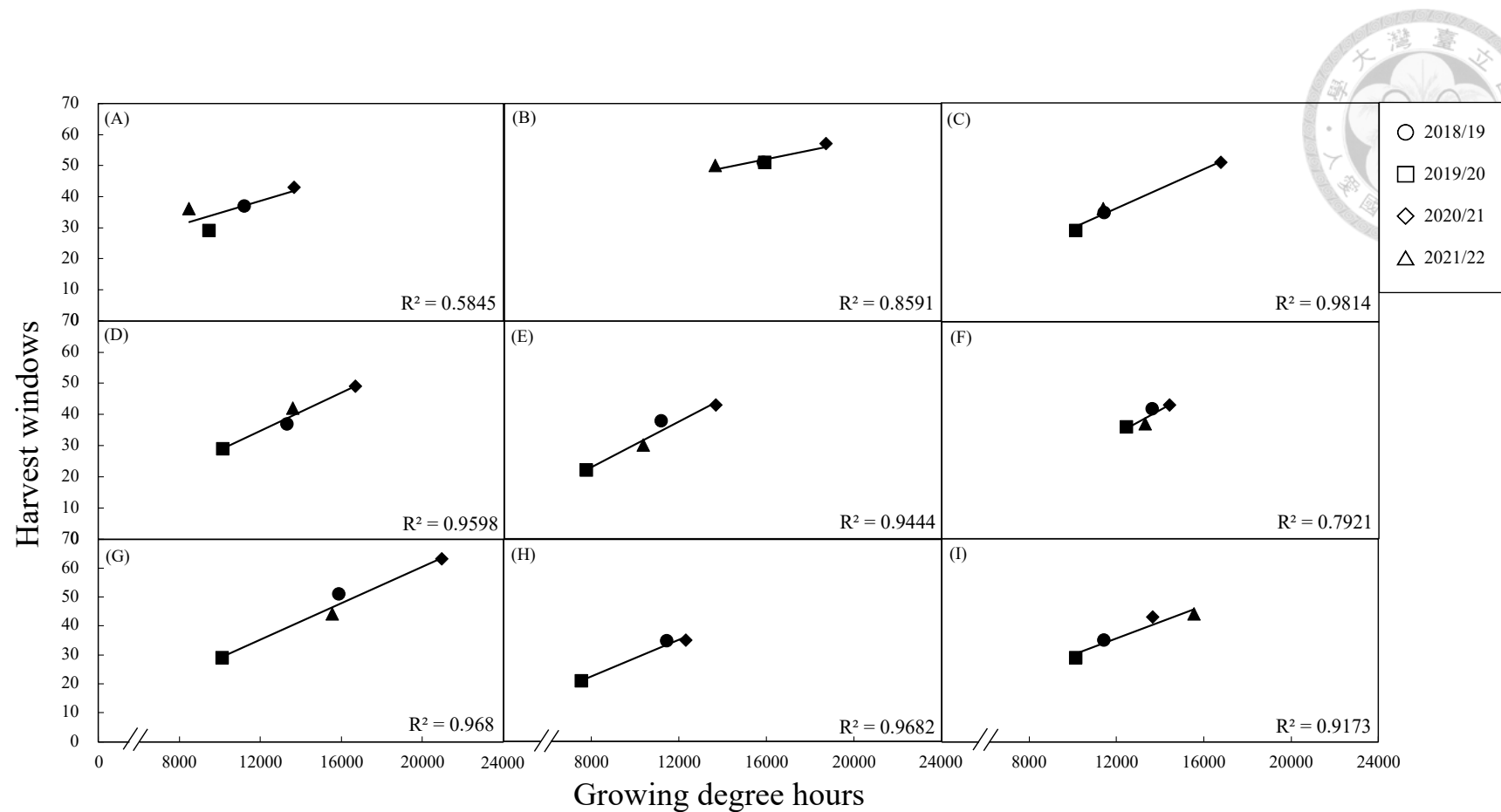


圖 21. 自產期開始至結束累積之積熱與 NTU 藍莓 (A) NTU009、(B) NTU025、(C) NTU031、(D) NTU032、(E) NTU043、(F) NTU054、(G) NTU103、(H) NTU104、(I) NTU108 總產期變化相關性，所有圖皆為一次線性回歸。

Fig 21. Correlation between accumulated growing degree hours (GDH) and harvest windows of NTU blueberry lines. GDH was calculated from the beginning to the end of harvest windows with a base temperature of 15 °C.

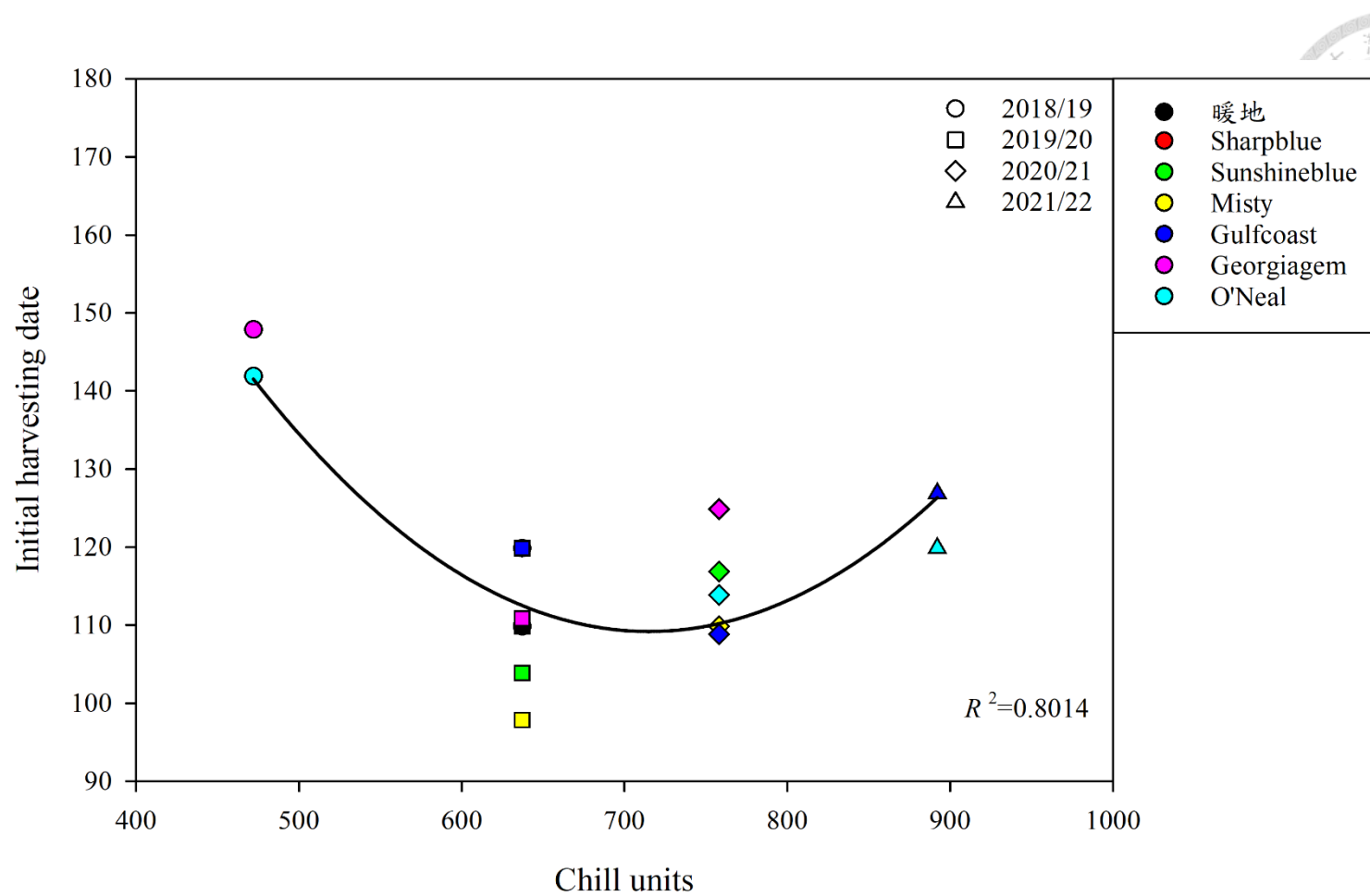


圖 22. 低溫單位值與南高叢藍莓產期開始日相關性。

Fig 22. Correlation between chilling units and the initial harvesting date of southern highbush blueberry cultivars. Chilling units were calculated from September 1st to March 31st.

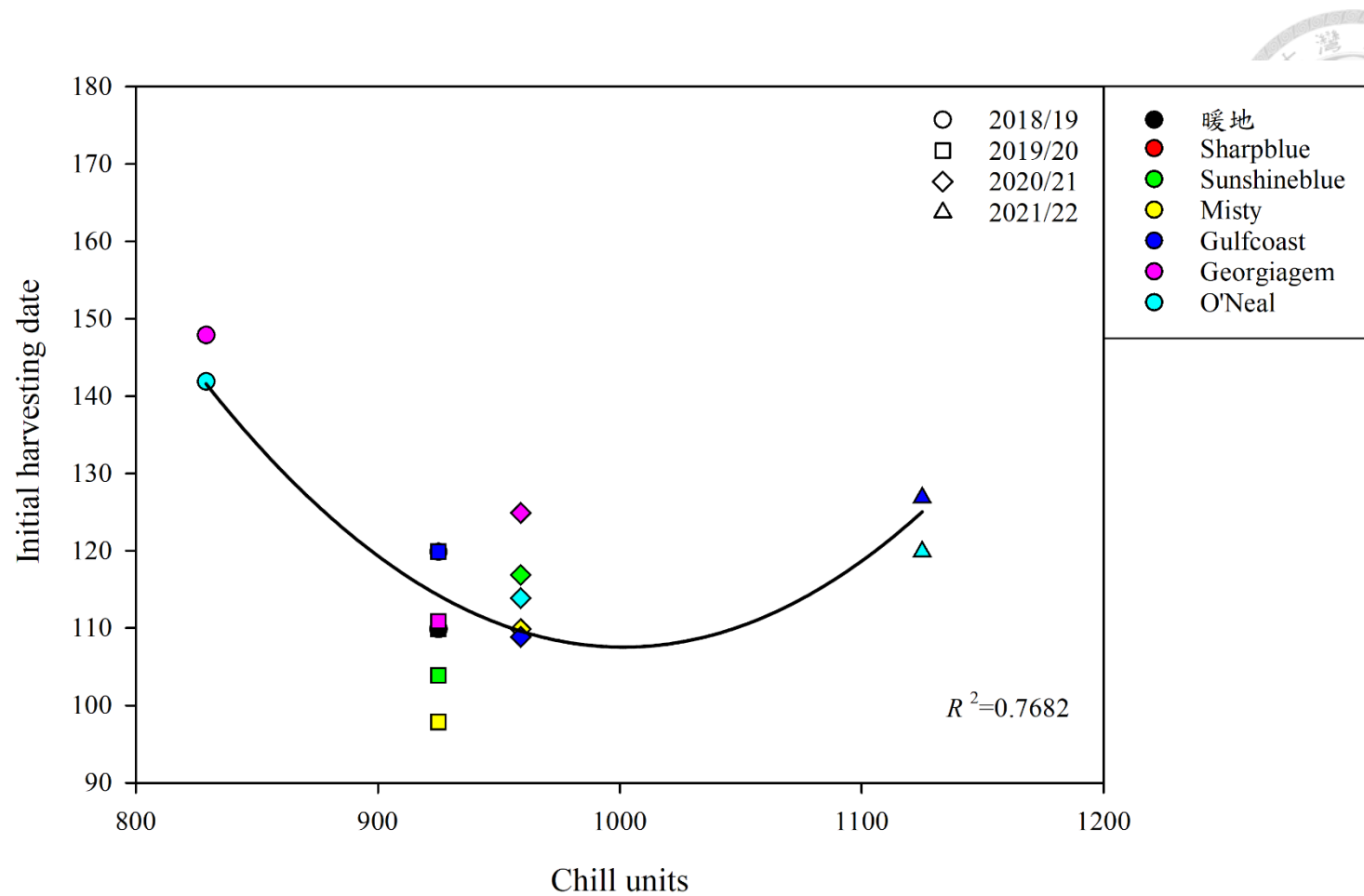


圖 23. 無受高溫影響之低溫單位值與南高叢藍莓產期開始日相關性。

Fig 23. Correlation between chill units and the initial harvesting date of southern highbush blueberry cultivars. Chilling units were calculated from September 1st to March 31st.

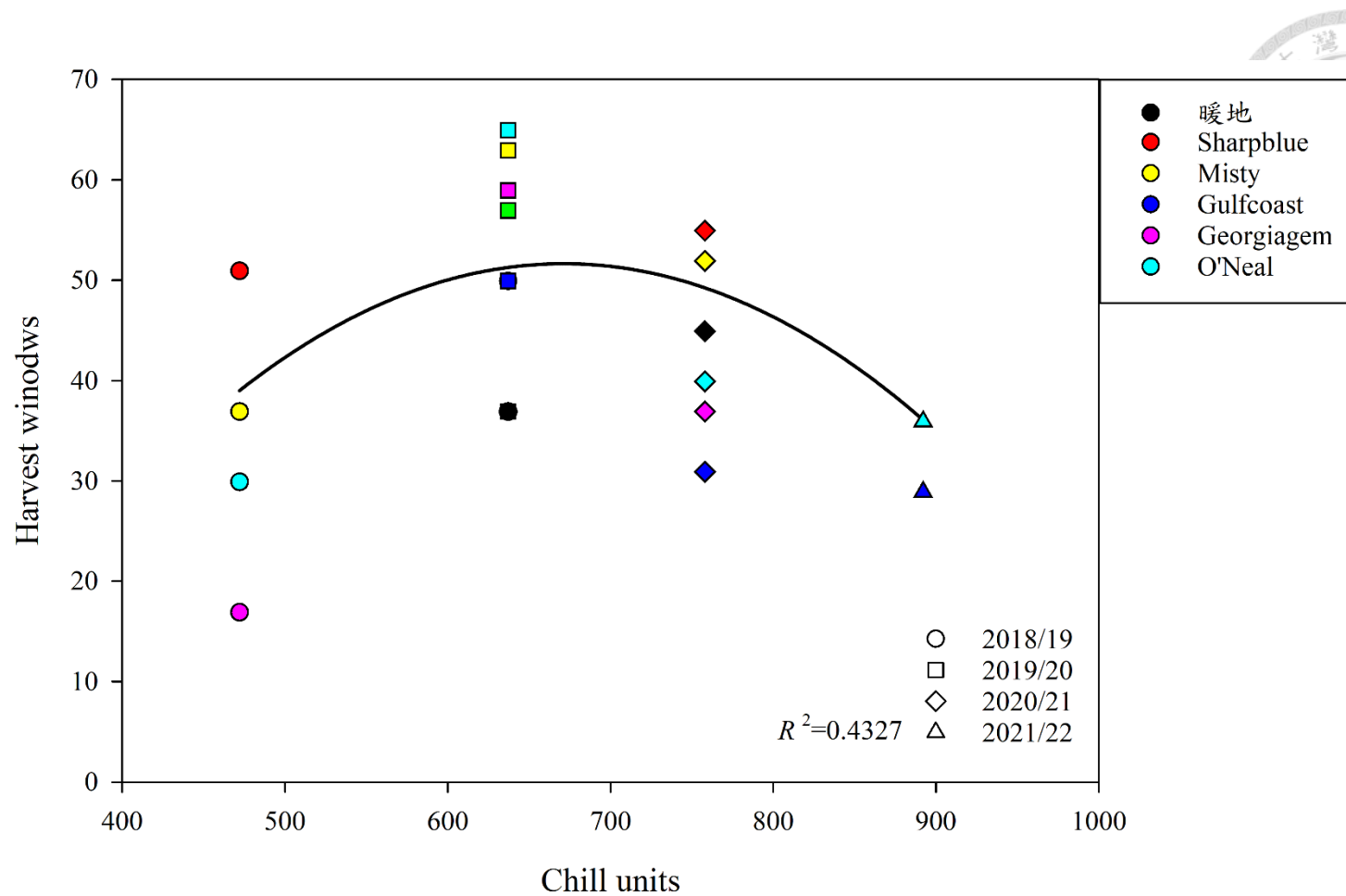


圖 24. 低溫單位值與南高叢藍莓總產期相關性。

Fig 24. Correlation between chilling units and harvest windows of southern highbush blueberry cultivars. Chilling units were calculated from September 1st to March 31st.

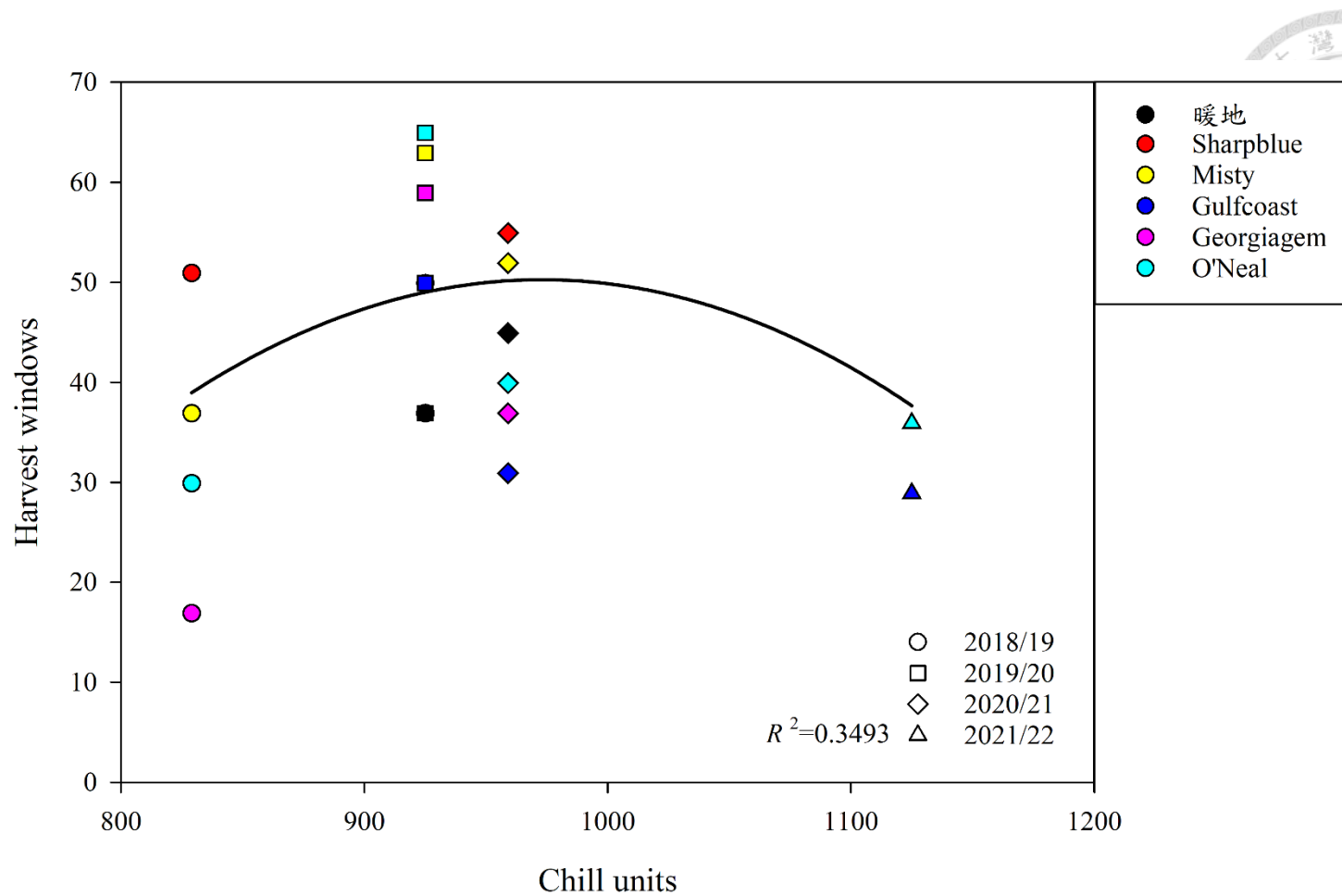


圖 25. 無受高溫影響之低溫單位值與南高叢藍莓總產期相關性。

Fig 25. Relationship between chill units and harvest windows of southern highbush blueberry cultivars. Chilling units were calculated from September 1st to March 31st.

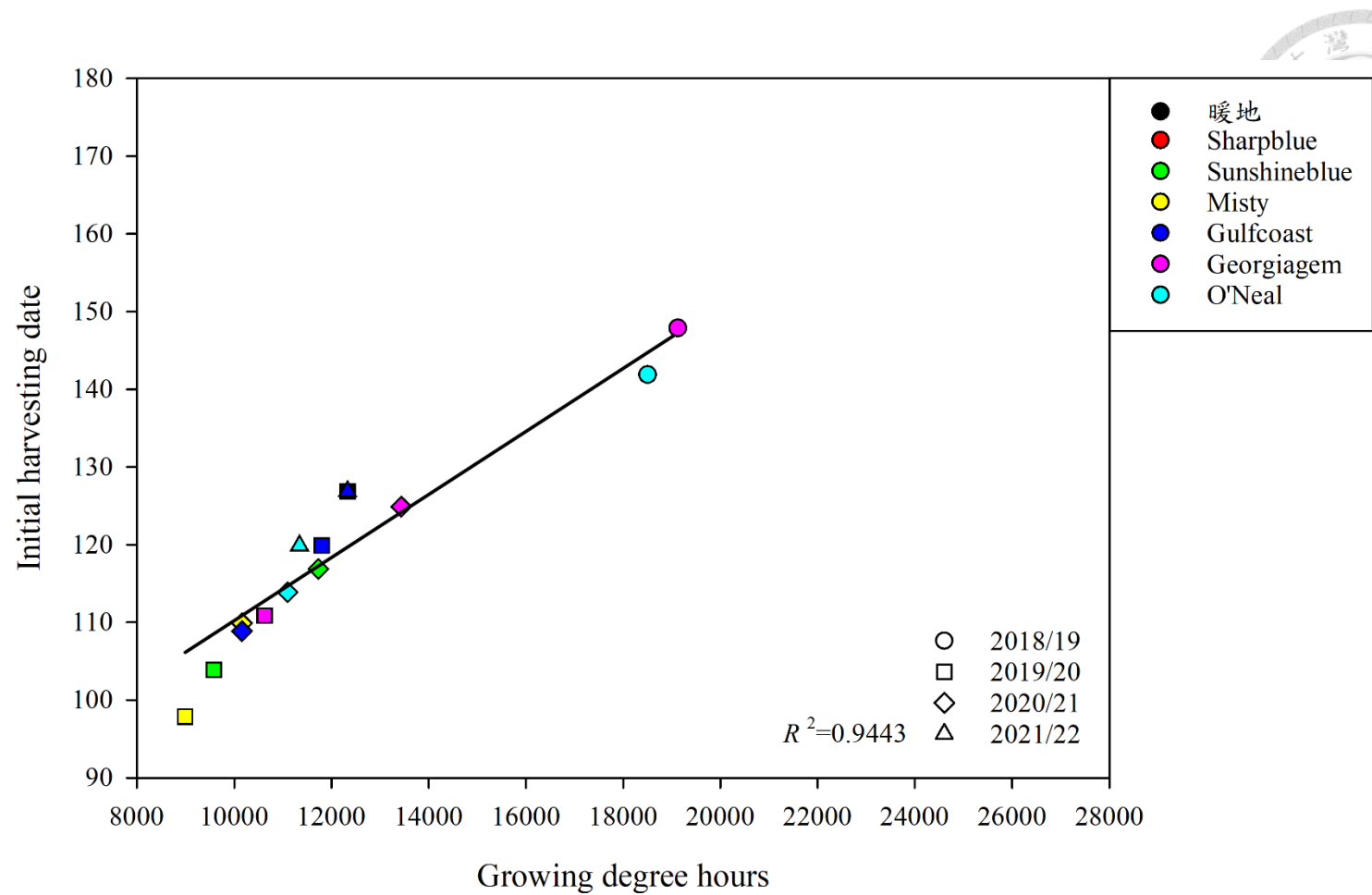


圖 26. 1 月 1 日至產期開始累積之積熱與南高叢藍莓產期開始日相關性。

Fig 26. Correlation between accumulated growing degree hours from 1/1 to the date begin harvest and the date begin harvest of southern highbush blueberry cultivars.

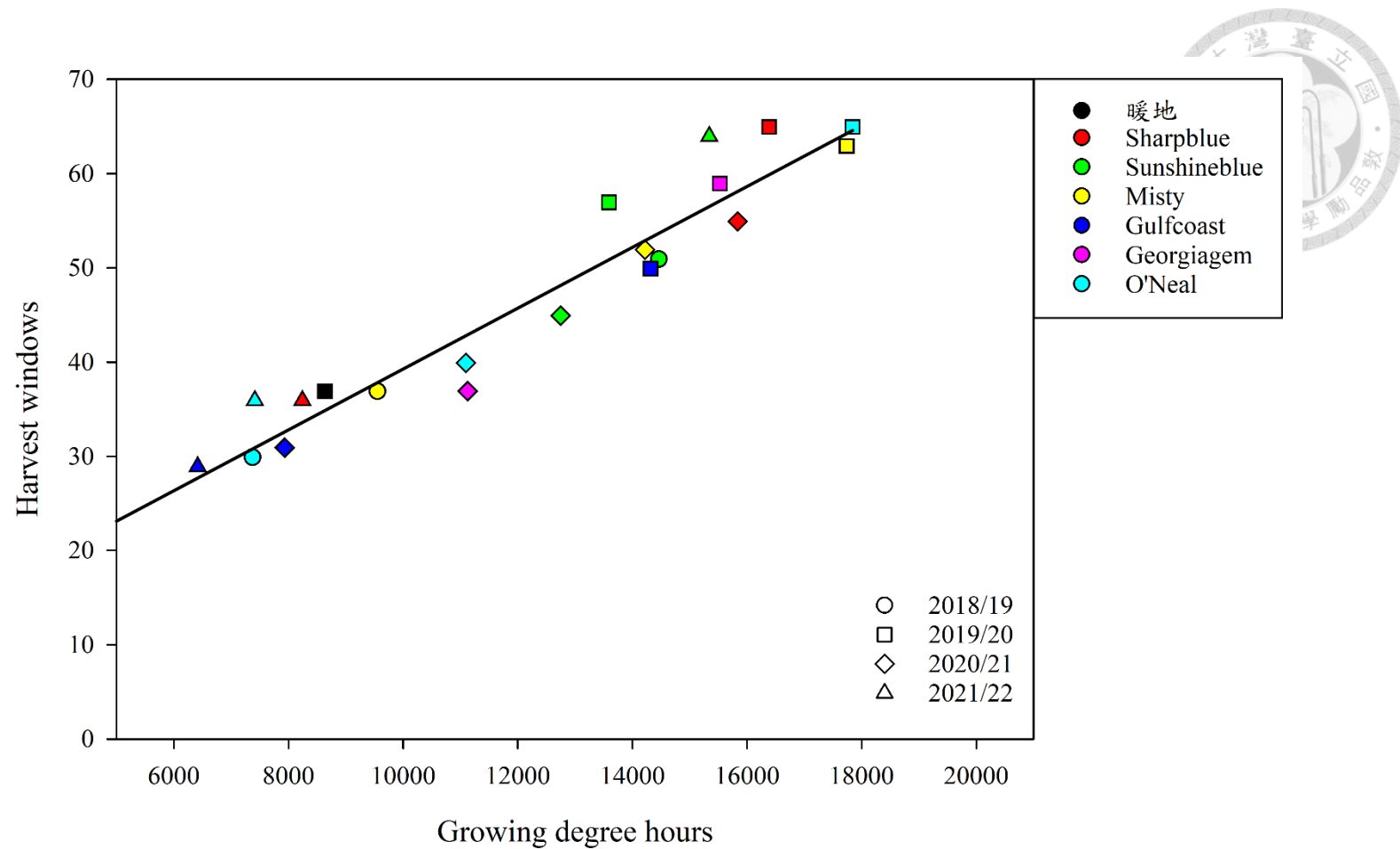


圖 27. 產期開始至結束累積之積熱與南高叢藍莓總產期之相關性。

Fig 27. Correlation between accumulated growing degree hours (GDH) and harvest windows of NTU blueberry lines. GDH was calculated from the beginning to the end of harvest windows with a base temperature of 15 °C.

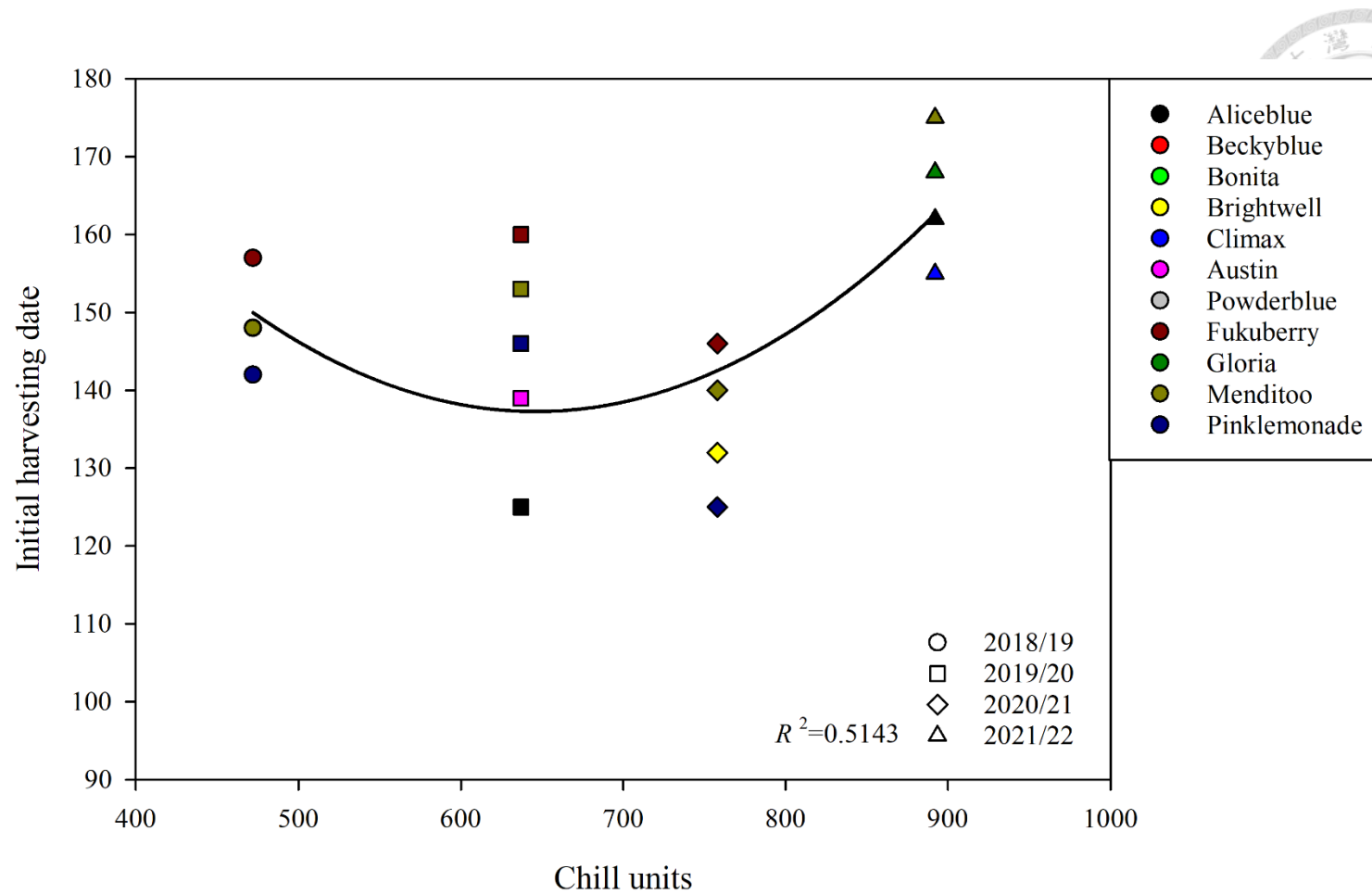


圖 28. 低溫單位值與兔眼藍莓產期開始日之相關性。

Fig 28. Correlation between chilling units and initial harvesting date of rabbiteye blueberry cultivars. Chilling units were calculated from September 1st to March 31st.

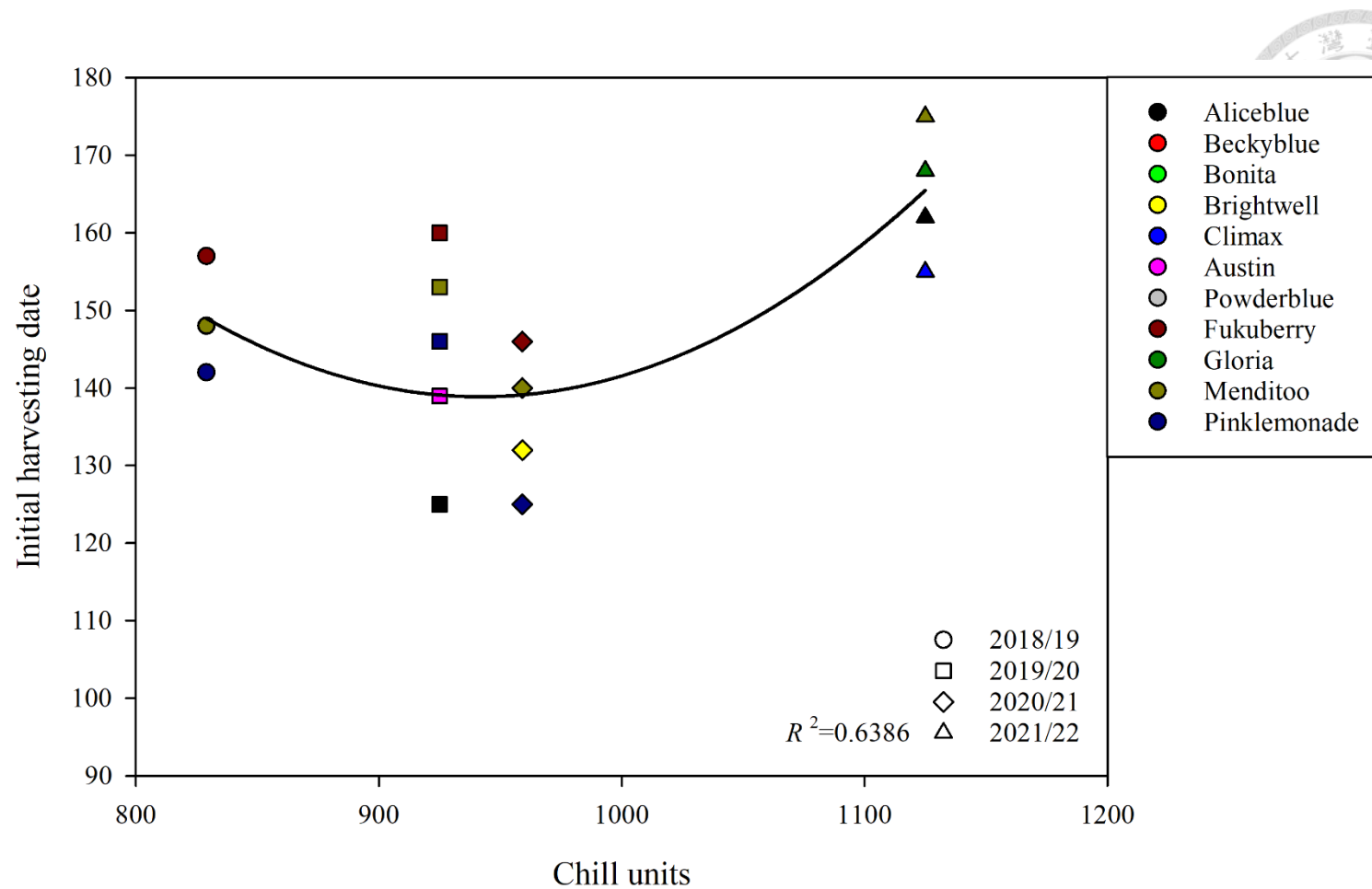


圖 29. 無受高溫影響之低溫單位值與兔眼藍莓產期開始日相關性。

Fig. 29. Correlation between chilling units and initial harvesting date of rabbiteye blueberry cultivars. Chilling units were calculated from September 1st to March 31st.

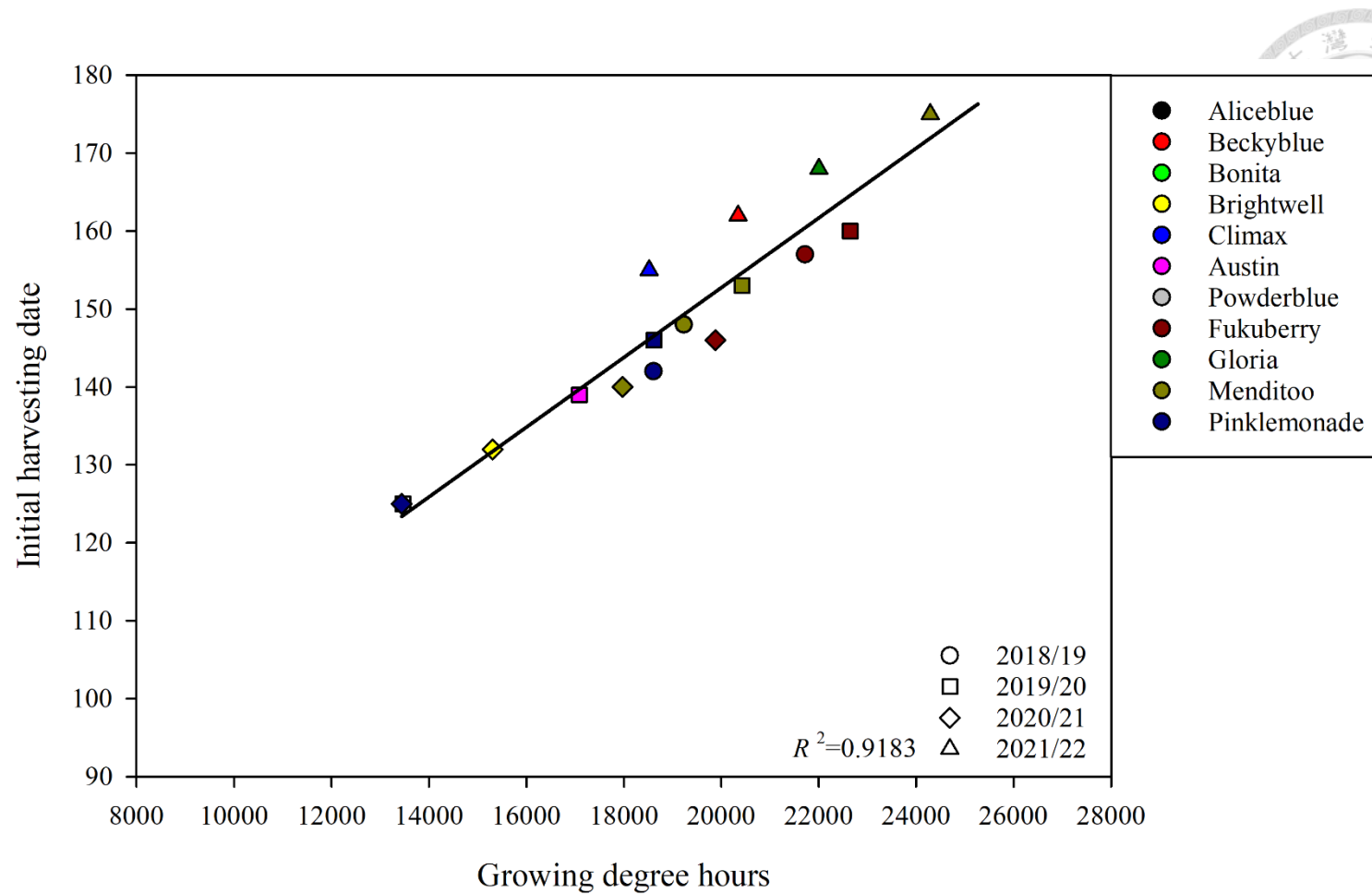


圖 30. 1 月 1 日至產期開始日累積之積熱與兔眼藍莓產期開始日之相關性。

Fig. 30. Correlation between accumulated growing degree hours (GDH) and the initial harvesting date of rabbiteye blueberry cultivars. GDH was calculated from January 1st to initial harvesting date with a base temperature of 15 °C.

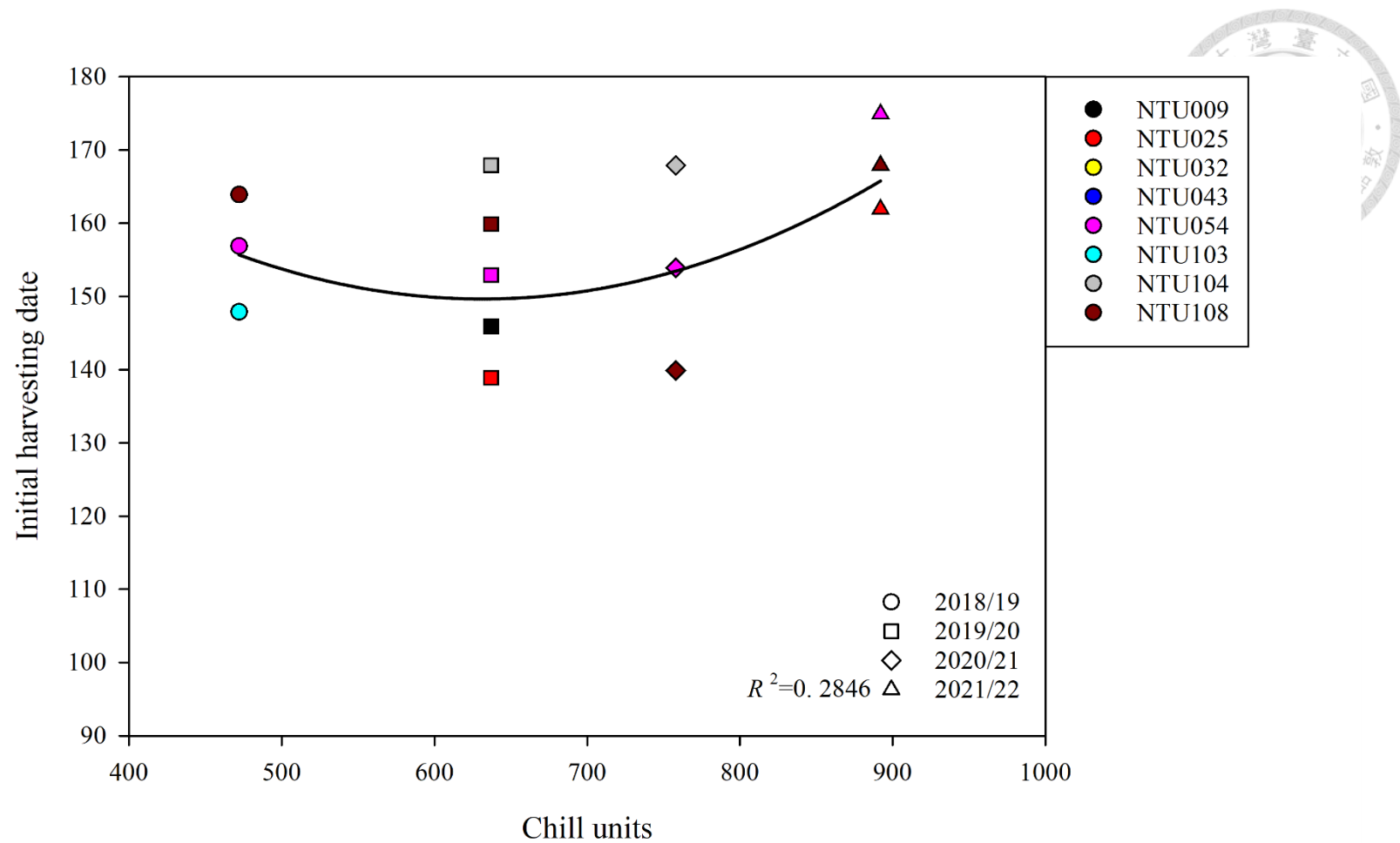


圖 31. 低溫單位值與 NTU 藍莓產期開始日相關性。

Fig. 31. Correlation between chilling units and the initial harvesting date of NTU blueberry lines. Chilling units were calculated from September 1st to March 31st.

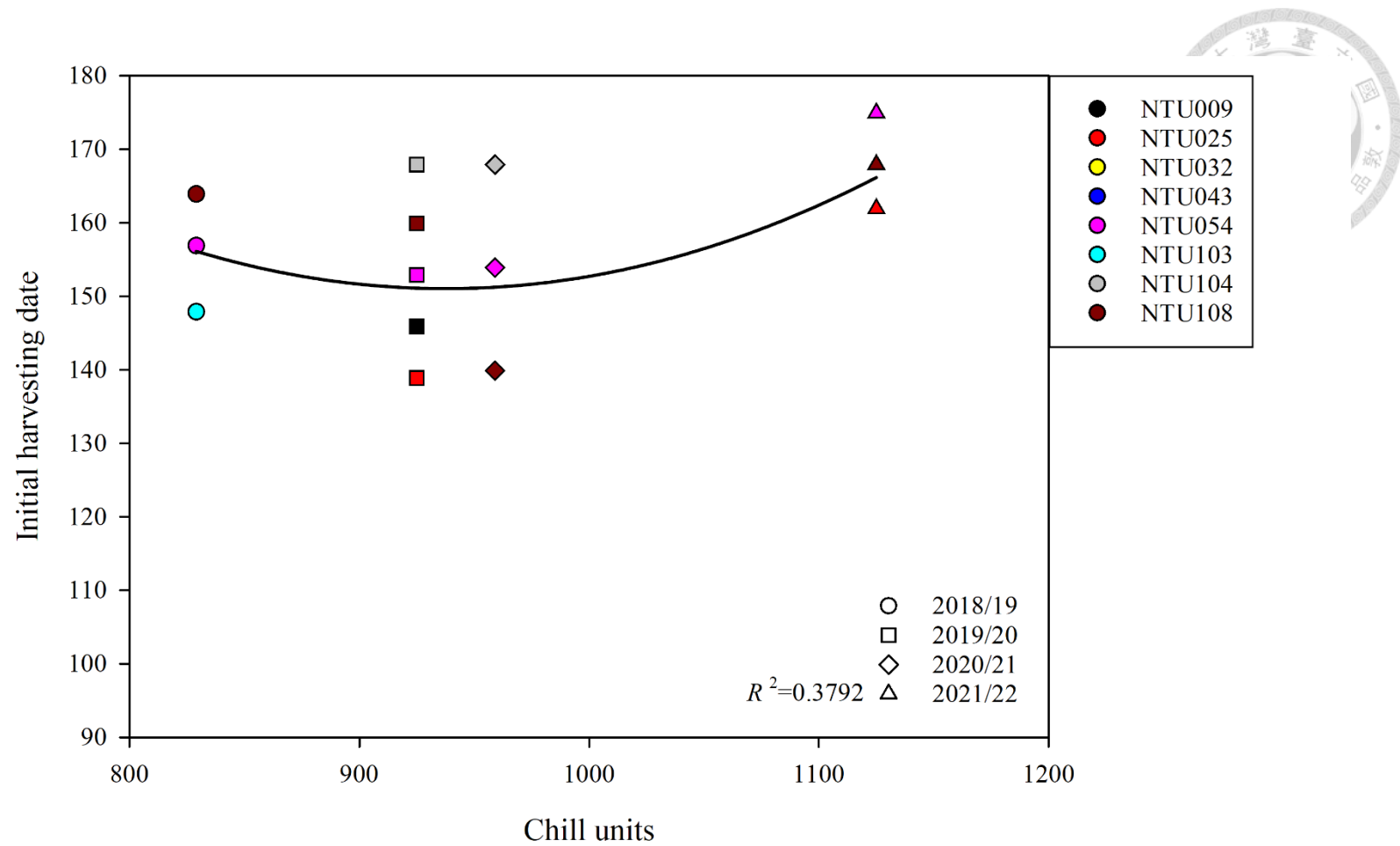


圖 32. 無受高溫影響之低溫單位值與 NTU 藍莓產期開始日相關性。

Fig. 32. Correlation between chilling units and the initial harvesting date of NTU blueberry lines. Chilling units were calculated from September 1st to March 31st.

第四章 討論

4.1. 天氣變化與種植於臺北地區之藍莓

研究中紀錄 2018 年 9 月至 2022 年 7 月之氣溫變化，四個採收期 1 月平均氣溫分別為 17°C；7 月氣溫分別為 30°C(表 1)。而美國佛羅里達州蓋恩斯維爾市(Gainesville, Florida)的藍莓栽培地區(北緯 29 °) 1 月分平均氣溫約為 13.1 °C，與台北地區相比氣溫表現類似，不過整體略低一些(Lyrene and Sherman, 2000)。氣溫為影響藍莓植株生長之重要因素，冬季低溫不足，以及春季氣溫變化大，為低緯度地區落葉果樹生產上主要面臨的問題(Darnell and Williamson 1996；Erez, 2000)。昌(2015)研究中，在不同氣溫下對數個藍莓品種進行觀察，結果顯示(SH)與(RB)能良好適應高溫，於 30°C 至 36°C 間仍可保持良好光合作用速率，其中(RB)品種表現較佳，對溫度耐受高，適應力佳。以目前臺北地區夏季氣溫適合藍莓營養生長，不會造成抑制(表 1)。因此，冬季氣溫相較於夏季，為決定藍莓生產的重要因素(Erez, 2000)。根據紀錄，臺灣現今不論是夏季或冬季氣溫，均明顯較近 30 年之平均值高，且每年平均溫度約增加 0.02 °C(中央氣象局，2021)。不過在這 5 年中氣溫並未觀察到持續上升的趨勢，且冬季累積低溫自 2018/19 年至 2021/22 年間逐年增加(表 2, 表 3)。惟依聯合國政府間氣候變遷專門委員會(IPCC)對未來氣候進行模擬，預估在溫室氣體高度排放之情形下(RCP8.5)，臺灣夏季氣溫高於 30 °C 的天數將會大幅增加，反之冬季小於 15 °C 的日數會明顯減少(Chen et al., 2021)，冬季氣溫上升趨勢較夏季更為明顯(Chen et al., 2006)，意即冬季低溫單位累積應會隨氣候變遷逐漸減少，此現象將不利於臺灣地區需冷性較高之溫帶果樹栽培。

根據 2022 年所紀錄各(SH)及(RB)品種與品系藍莓之花期，1 月底至 3 月中為南高叢藍莓(SH)開花期(表 9)，3 月中至 4 月底為兔眼藍莓(RB)與(NTU)藍莓之開花期 (表 10, 表 11)。而(SH)產期約介於 4 月中至 6 月底(表 6)，(RB)與(NTU)

產期約介於 5 月初至 7 月中(表 7, 表 8)。此期間降雨主要與東北季風帶來的鋒面雨、春季時滯留鋒面所產生的梅雨季以及夏季午後雷陣雨。Witcher(2011)研究中指出, 藍莓果實於青果期容易因為降雨造成落果現象, 此外, 在果實轉色後至完熟期間, 短時間之強降雨會使果實過度吸收水分, 造成果皮破裂、果實良率降低, 並可能是影響產期與產量分佈的原因。

4.2. 低溫單位與積熱的計算

在前人研究中提及數個低溫單位模型與其計算方式, 而每小時平均氣溫轉換為低溫單位的閾值通常是參考當地的氣溫所訂定, 此類模型在應用時會有區域上的限制。除此之外, 模型通常是依照特定作物進行開發, 如常見的有桃、蘋果等(Richardson et al., 1974; Linvill, 1990; Shaulout and Unrath, 1983)。因此在本研究選用 Spires(1987)依照兔眼藍莓開花期所開發出的模型, 在 15 至 18 °C 的涼溫環境下仍可累積 0.5 個低溫單位(表 2), 可利用於臺北氣候環境(表 1)。由於臺灣冬季與春季的氣溫變化較不穩定, 有時仍會出現高溫, 因此在計算低溫單位時, 以原始方式與不考慮高溫影響之方式, 分別進行計算(表 2, 表 3)。

積熱的部分, 基礎溫度可以依照品種或是當地緯度而調整。Carlson 與 Hancock(1991)研究指出, 北高叢藍莓(*Vaccinium corymbosum* L.)依照品種不同基礎溫度可設定為-7°C、2°C、4°C, 或是 7°C, 而南高叢與兔眼藍莓則可以設定為 10 °C (Bryla et al., 2009)。在美國紐約州(北緯 40°)的研究以 3 °C 作為標準 (Gough, 1994), 而緯度較低的佛羅里達州(北緯 29°)則使用 15 °C (Sater et al., 2021)。以臺北地區氣溫與美國喬治亞州(北緯 30°)對兔眼藍莓‘Tifblue’開花期相關研究進行比對(NeSmith and Bridges, 1992), 可觀察到若以相同基礎溫度計算, 達開花時累積積熱量明顯較高, 與實際情況不符, 若以 15 °C (T base 15) 計算則較為相近(表 4), 因此基礎溫度之設定應考慮當地氣候環境與種植的品種。

4.3. 氣溫變化對開花期之影響

以 2022 年紀錄藍莓之開花期(表 9, 表 10, 表 11)與高緯度栽培地區相比 (Gough, 1997), 雖整體較晚開始, 不過花期也較快結束並進入果實生長階段。NeSmith (2004)的研究中紀錄美國喬治亞州(北緯 30°)不同年份氣溫變化, 並對藍莓開花期進行觀察, 單一品種花期最多會提前或延後達 24 日, 變異相當大, 而低溫的累積以及春季溫度為兩個主要影響的因素。較多的冬季低溫量可促使植株較早打破休眠(Gilreath and Buchanan, 1981; Spiers and Draper, 1974), 而休眠期結束後的氣溫與開花日期呈高度正相關($P < 0.0001$) (Kira and Isaacs, 2012)。Kira 與 Isaacs(2012)研究中, 高叢藍莓同時種植於溫室與戶外環境, 雖冬季皆可充分滿足植株之低溫需求, 但戶外低溫量較多的年份, 藍莓開花時間提前, 差距約 100 個生長度日(GDD) (Tbase 7 °C)。反之, 在亞熱帶地區因冬季較溫暖, 難以滿足植株低溫需求, 花芽打破休眠遲, 不過因環境累積積熱較快, 使整體開花期較短, 氣溫為主要因素(Carlson and Hancock, 1991)。

4.4. 氣溫變化對產期開始日與總產期之影響

2018/19 與 2021/22 年(SH)產期開始日明顯較其餘 2 個生產期晚(表 6), 而 (RB)與(NTU)在 2021/22 年產期開始日明顯較其餘 3 個生產期晚(表 7, 表 8)。雖在 2018/19 與 2021/22 年皆觀察到有延後開始採收的現象, 不過(SH)與(RB)、(NTU)的成因似有不同。在 Mainland(1984)研究中以不同低溫量對兔眼藍莓 'Tifblue' 進行觀察, 即使在無低溫處理的組別, 植株仍會開花, 不過花芽需累積更多積熱, 因而花期明顯延後且開花數量明顯減少, 進而延後產期開始時間。多數藍莓品種果實呈典型雙 S 型(double-sigmoid)成長曲線, 氣溫較低的狀態下會使果實在停滯期(Stage II)持續較長的時間, 使整體成熟時間延長(Godoy and Tognetti, 2008), 高溫環境下則會加速果實呼吸速率並提高生長速率(DeJong and Goudriaan, 1989)。2018/19 年為累積低溫量相對不足之年份(表 2, 表 3), 藍莓可能會無法或

較晚才滿足低溫需求，並且需要累積更多積熱方能使植株打破休眠，且當期春季偏低，積熱累積較慢的情況下，果實生長至成熟時間延長，因此所有(SH)品種採收開始日延後至該年5月中下旬(表6)，因此果實成熟前之累積積熱為4個生產期中最高(圖8)。由於該年3月份之後氣溫恢復往年平均水準(中央氣象局, 2019)，積熱累積速率增加，(RB)與(NTU)產期始於5月中下旬至6月初，雖受影響程度不如(SH)，但多數品種仍較2019/20、2020/21年略晚一些(表7, 表8)。不過低溫需求較低的(RB) 'Aliceblue'(Retamales and Hancock, 2012)則與(SH)具有相同趨勢(圖10, 圖11)。2021/22年為累積低溫單位最高的一期(表2, 表3)，應較可滿足藍莓植株之低溫需求，不過由於春季之均溫為4個生產期中最低的一年，多數(RB)與(NTU)產期開始前之積熱累積最慢(圖14, 圖20)，使所有品種與品系開始採收的日期均明顯延後。上述結果可觀察到藍莓生產期延後的現象應與低溫單位不足及積熱累積較慢有關，與Medeiros等人(2018)和Antunes等人(2008)觀察之情況相似。在適量低溫單位的年份中，(SH)藍莓有最早的採收日並且累積較少積熱採收期即開始，不過低溫累積過多或是不足均會使產期有延後的現象(圖8)，而在(RB)與(NTU)藍莓的部分，累積低溫量為產期開始日之主要影響(圖10, 圖11)。此現象可能的原因是(SH)果實生長期適逢冬季至春季的季節轉換，此階段氣溫變化波動較大，而(SH)相對於(RB)低溫需求較低，果實成熟期較短，且累積至成熟所需之積熱較少(Retamales and Hancock, 2012)，因此短期的氣溫變化則較容易對(SH)的產期開始日造成影響。

在總產期的部分，低溫累積量的變化對(SH)及(RB)與(NTU)有不同的影響。低溫累積不足或是偏高的年份，多數(SH)產期長度縮短，產期開始至結束時累積積熱較少，僅'Sunshineblue'趨勢不同，隨低溫累積量的增加，總產期也隨之延長(圖6, 圖7)。在(RB)部分趨勢較不一致，約42%品種呈現無相關，33%品種隨累積量的增加而延長，在累積量的較高的年份又縮短，與(SH)趨勢相似，而

‘Beckyblue’產期隨累積量的增加而縮短，‘Climax’與‘Pinklemonade’則隨著累積低溫單位增加，產期縮短，在累積低溫量多的年份則又延長(圖 12, 圖 13)。(NTU)品系之產期則幾乎與累積低溫無相關，除了 NTU108 隨著低溫單位的增加產期有些微增長的趨勢(圖 18, 圖 19)。從結果來看，多數(SH)具有明確的趨勢變化，但在(RB)與(NTU)部分產期長度與低溫單位較無關，且基本上對(NTU)完全無影響，因此積熱開始至結束累積的積熱量，在(RB)與(NTU)中也未觀察到明確的變化趨勢(圖 21)。

在計算低溫單位時，是否將高溫納入考量，在本次研究結果中並無差異。相關性分析中，不論是以低溫單位和產期開始日或是總產期進行相關性分析，相關係數差距普遍約介於 0.01-0.2。不過(SH)以模型原始計算方式下所得相關係數較無扣除之情況高一些，而(RB)與(NTU)則相反，意即有扣除的計算方式在(SH)上解釋力較高。相關係數越高代表兩個變數之間的關係越強，離散程度較低(Taylor, 1990)。

4.5. 氣溫變化對產量集中程度之影響

一般來說藍莓約生長 6 至 8 年後可視為成熟(Gough, 1997)。在 Ciordia 等人(2000)的研究中，連續調查 3 年藍莓的產量變化，可見總產量隨植株年齡增加而提升，與氣溫因素較無關。一般而言，藍莓株齡經歷 6 個生產週期後才能夠有穩定產量(Gough, 1997)。本研究多數品種總產量隨 2018/19 至 2021/22 年呈現遞增之趨勢，株齡的影響可能較大，因此並未將總產量納入討論。

(SH)中除了在 2018/19 年‘O’Neal’與 2019/20 年‘Misty’較晚達到產期高峰時間明顯延後之外，其餘(SH)品種產量集中程度皆差異不大。而在(RB)中，2018/19 年觀察到有 62%品種產期高峰較早達到，在 2019/20 年僅‘Gloria’達產量高峰時間明顯延後，其餘品種在 3 個生產週期中產量集中程度無明顯變化趨勢。(NTU)品系在 2018/19 年僅 NTU009 產期達高峰時間提前；而 2019/20 年，NTU031、

NTU032、NTU054 延後，NTU043 與 NTU104 提前，其餘品系在不同生產期之間無明顯趨勢變化。在 Medeiros 等人(2021)的研究指出，相較於低溫量較不足的年份，在低溫量較多的年份產量有向產期前端集中之趨勢，不過由上述可知，隨低溫量增加，並未觀察到產量高峰前移的情形(圖 1, 圖 2, 圖 3)。

4.6. 綜合討論

本研究中，僅有使用 4 個生產期之氣溫變化與採收資料作為比較可能略有不足。在多數研究中，常見至少 10 年至 20 年甚至是更長時間累積的資料來進行分析(Luedeling et al., 2009)，其結果也較能夠呈現長期氣候變化所對不同藍莓品種物候期帶來的影響(Retamales et al., 2015)。雖氣溫波動對藍莓生殖生長階段具顯著影響，不過在前人研究中已有化學性方式可以改善植株在溫暖環境中枝條開花的數量或是結果率增高之現象。(黃，2014)研究中指出，於秋冬季對兔眼藍莓植株施用氮肥能使隔年開花數量增加進而使後續果實產量增加。(李，2017)研究指出，於藍莓休眠期時對其噴施適當濃度的尿素(urea)，可使隔年開花期與果實生產期提前開始的效果。上述應用可作為在暖冬或是低溫不足情況下之改善方式。

目前藍莓在臺灣仍屬於新興作物，進行學術研究的時間並不算長，雖累積數據仍無法至做出精確的模型，不過本研究的目的主要在於透低溫單位與積熱估算並將其作為藍莓物候期的比較標準，在未來每一年有新的生產紀錄，即可以加入計算並進行比對，累積 20 年後該模型的準確性及可信度應會大幅提高，藉由此方式觀察氣候變化的同時，並可提供栽培者做為種植與育種上的參考。

第五章 結論



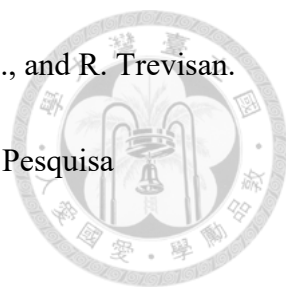
因藍莓果實中富含多種對人體有益之成分而廣受消費者歡迎(Druice and Percival, 2003)。全球總產量自 2010 年的 439,000 公噸至 2019 年成長為接近 100 萬公噸，栽培地區從原生的高緯度地區，逐漸往亞熱帶甚至是熱帶拓展，且原先非栽培產地之南半球國家目前產量已占全球之 40 % (Protzman, 2021)，顯示其栽培潛力大，具高度商業價值。南高叢與兔眼藍莓對環境適應力廣，在前人研究中已證實(昌，2016；蔡，2016) 臺灣臺北平地地區露天種植的情況下，營養生長狀況良好。不過臺灣地區易有冬季低溫不足之現象使產期明顯受影響。研究中利用低溫單位模型與積熱模型做為量化環境氣溫的工具以利觀察藍莓之物候期。觀察植株的物候期的目的在於幫助栽培者了解該品種對於當地氣候的適應性，或是在培育新品種的過程中可以做為篩選的依據。相關性分析結果顯示，氣溫變化在本研究中對南高叢及兔眼藍莓品種與 NTU 藍莓品系之產期均有影響。而氣溫變化對(SH)物候期影響相對較顯著，低溫單位值過多或不足皆會有影響，而(RB)與(NTU) 僅在過多的低溫單位值才會受到較明顯的影響，且氣溫變化對(NTU)影響更不顯著。顯示(RB)與(NTU)藍莓種植於臺北氣候環境生產期會較(SH)更為穩定。不過產量達總產量 50%的日期區間在各品種間並未觀察到明顯變化的趨勢，可能為果實成熟階段，氣溫變化與降雨所影響。

以現階段來說，氣候變遷已是既定的事實，且平均氣溫的增加，與不規律的降雨量，在未來有加劇的趨勢(Rummukainen, 2012)。上述變化會對藍莓的生產週期有明顯影響。不過若有歷年氣象數據以及物候期的記錄便可觀察其變化趨勢並做為未來在臺灣藍莓育種與商業栽培的方向與參考。

參考文獻

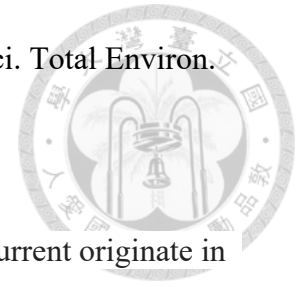


1. 中央氣象局. 2019. 中央氣象局 108 年氣候年報.
<https://www.cwb.gov.tw/Data/service/notice/download/publish_20200506114401.pdf>
2. 中央氣象局. 2021. 中央氣象局 110 年氣候年報.
<https://www.cwb.gov.tw/Data/service/notice/download/Publish_20220826110436.pdf>
3. 黃舜歆. 2014. 氮及磷肥對兔眼藍莓光合作用、生長與開花之影響. 國立臺灣大學園藝學系碩士論文. 台北.
4. 昌佳致. 2016. 高溫環境之兔眼及高叢藍莓生理及型態觀察. 國立臺灣大學園藝學系碩士論文. 台北.
5. 蔡明軒. 2016. 葉片顏色與人為遮陰對兔眼藍莓葉片氣體交換及植株生長之生理影響. 國立臺灣大學園藝學系碩士論文. 台北.
6. 李岱耘. 2017. 葉面噴施尿素對‘Tifblue’兔眼藍莓休眠期落葉及其後續生長之影響. 國立臺灣大學園藝學系碩士論文. 台北.
7. 歐錫坤. 1992. 臺灣本地種桃樹的低溫需求量評估. 中華農業研究. 41(3):251–260.
8. Anstey, T.H. 1966. Prediction of full bloom date for apple, pear, cherry, peach and apricot from air temperature data. Proc. Amer. Soc. Hortic. Sci. 88:57-66.

- 
9. Antunes, L. E. C., E. D. Gonçalves, N. C. Ristow, S. Carpenedo., and R. Trevisan. 2008. Phenology, production and quality of blueberry cultivars. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 43:1011–1015.
10. Ballington, J.R., S.D. Rooks, R.D. Milholland. W.O. Cline, and J.R. Meyers. 1993. Breeding blueberries for pest resistance in North Carolina. *Acta Hort.* 346:87–94.
11. Bryla, D.R., B. Yorgey, and A.D. Shireman. 2009. Irrigation management effects on yield and fruit quality of highbush blueberry. *Acta Hort.* 810:649–656.
12. Byrne, D. H. and T.A. Bacon. 1992. Chilling estimation: its importance and estimation. *Texas Horticulturist* 18(8):5–8.
13. Camp, W.H. 1945. The North American blueberries with notes on other groups of *Vacciniaceae*. *Brittonia* 5:203–275.
14. Campoy, J.A., D. Ruiz, and J. Egea. 2011. Dormancy in temperate fruit trees in a global warming context: a review. *Scientia Hort.* 130(2):357–372.
15. Carlson, J.D. and J.F. Hancock. 1991. A methodology for determining suitable heat-unit requirements for harvest of highbush blueberry. *J. Amer. Soc. Hortic. Sci.* 116(5):774–779.
16. Chen, C. C., Y. R. Wang, Y. C. Wang, S. L. Lin, C. T. Chen, M. M. Lu, and Y. L. L. Guo. 2021. Projection of future temperature extremes, related mortality, and

adaptation due to climate and population changes in Taiwan. *Sci. Total Environ.*

760(143373):1–13



17. Chen, C. T. A. and D. D. Sheu. 2006. Does the Taiwan warm current originate in the Taiwan Strait in wintertime. *J. Geophysical Research: Oceans.* 111:1–8.

18. Chen J.M. and F.R. Wang. 2000. The long-term warming over Taiwan and its relationship with the Pacific SST variability. *Atmos. Sci.* 28(3):221–241.

19. Ciordia, M., M. Díaz, and J. C. García. 2000. Blueberry culture both in pots and under Italian-type tunnels. *VII Intl. Symp. Vaccinium Cult.* 574:123–127.

20. Darnell, R.L., G.W. Stutte, G.C. Martin, G.A. Lang, and J.D. Early. 1992. Developmental physiology of rabbiteye blueberry. *Hort. Rev.* 13:339–405.

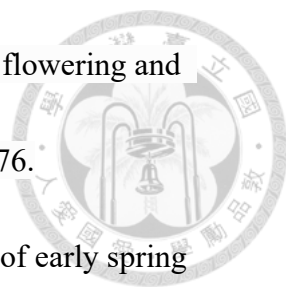
21. Darnell, R.L. and Williamson, J.G. 1996. Feasibility of blueberry production in warm climates. *VI Intl. Symp. Vaccinium Cult.* 446. p. 251–256.

22. Darnell, R.L. 2006. Blueberry botany/environmental physiology. *Blueberries*, p. 5–13. In: Childers, N.F and P.M Lyrene (eds). *Blueberries for growers, gardeners and promoters.* Dr. Norman F. Childers Publ., Gsinesville, Florida

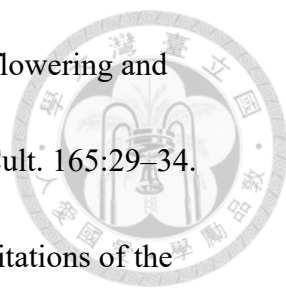
23. DeJong, T. M. and J. Goudriaan. 1989. Modeling peach fruit growth and carbohydrate requirements: reevaluation of the double-sigmoid growth pattern. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 114(5):800–804.

- 
24. Druice, J. and D. Percival 2003. Trends in lowbush blueberry cultivar development. *J. Amer. Pomol. Soc.* 57(2):63-69.
25. Eck, P. 1988. *Blueberry science*. Rutgers University Press. New Brunswick, USA.
26. Erez, A., S. Lavee, and R.M. Samish. 1971. Improved methods for breaking rest in the peach and other deciduous fruit species. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 96:519–522.
27. Erez, A. 2000. Bud dormancy; phenomenon, problems and solutions in the tropics and subtropics. In *Temperate fruit crops in warm climates*. Springer, Dordrecht. 17–48.
28. Faust, M., A. Erez, L.J. Rowland, S.Y. Wang, and H.A. Norman. 1997. Bud dormancy in perennial fruit trees: physiological basis for dormancy induction, maintenance, and release. *HortScience* 32(4):623–629.
29. Fishman, S., A. Erez, and G.A. Couvillon. 1987a. The temperature dependence of dormancy breaking in plants: Mathematical analysis of a two-step model involving a cooperative transition. *J. Theor. Biol.* 124:473–483.
30. Fishman, S., A. Erez, and G.A. Couvillon. 1987b. The temperature dependence of dormancy breaking in plants-Computer simulation of processes studied under controlled temperatures. *J. Theor. Biol.* 126:309–321.

- 
31. Flinn, C.L. and E.N. Ashworth. 1994. Seasonal changes in ice distribution and xylem development in blueberry flower buds. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 119(6):1176–1184.
32. Galletta, G.J. and J.R. Ballington, 1996. Blueberries, cranberries and lingonberries. Plant Breed. 2:1–107.
33. Gilreath, P. R. and D. W. Buchanan. 1981. Temperature and Cultivar Influences on the Chilling Period of Rabbiteye Blueberry¹. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 106(5): 625–628.
34. Godoy, C., G. Monterubbianesi, and J. Tognetti. 2008. Analysis of highbush blueberry (*Vaccinium corymbosum* L.) fruit growth with exponential mixed models. Scientia Hort. 115(4):368–376.
35. Gough, R.E. 1994. The highbush blueberry and its management. Food Products Press, New York, NY.
36. Gough, R. E. 1997. Blueberries-North and south. J. Small Fruit Viticulture 4(1-2): 71–106.
37. Gu, S. 2016. Growing degree hours-a simple, accurate, and precise protocol to approximate growing heat summation for grapevines. Int. J. Biometeorol. 60(8): 1123–1134.

- 
38. Hancock J.F., M. Sakin, and P.W. Callow. 1991. Heritability of flowering and harvest dates in *Vaccinium corymbosum*. *Fruit Var. J.* 45:173–176.
39. Jackson, J.E., P.J.C. Hamer, and M.F. Wickenden. 1983. Effect of early spring temperatures on the set of fruit Cox's Orange Pippin apple and year-to-year variation in its yields. *Acta Hort.* 139:75–82.
40. Kirk, A. K. and R. Isaacs. 2012. Predicting flower phenology and viability of highbush blueberry. *HortScience* 47(9):1291–1296.
41. Knight Jr, R.J. and Scott, D.H. 1964. Effects of temperatures on self and cross-pollination and fruiting of four highbush blueberry varieties. *J. Am. Soc. Hortic. Sci.* 85:302–306.
42. Lang, G.A. 1993. Southern highbush blueberries: Physiological and cultural factors important for optimal cropping of these complex hybrids. VI Intl. Symp. *Vaccinium Cult.* 346:72–80.
43. Linsley-Noakes, G.C., P. Allan., and G. Matthee. 1994. Modification of rest completion prediction models for improved accuracy in South African stone fruit orchards. *J. S. Afr. Soc. Hort. Sci.* 4(1):13–15.
44. Linvill, D.E. 1990. Calculating chilling hours and chill units from daily maximum and minimum temperature observations. *HortScience* 25(1):14–16.

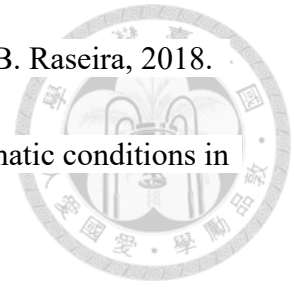
- 
45. Li, K.T. 2009. BLUE FORMOSA-a blueberry initiative program in Taiwan. HortScience 44:1122.
46. Liu, S.C., C.J. Shiu, and J.P. Chen. 2007. Climate change in Taiwan-The regional and global effects. Cent. Advis. Commit. Acad. Sin. Newslet. 15(2):72–75
47. Lobos, G. A. and J.F. Hancock. 2015. Breeding blueberries for a changing global environment: a review. Front. Plant Sci. 6(782):1–14.
48. Luby, J.J., J.R. Ballington, A.D. Draper, K. Pliszka, and M.E. Austin. 1991. Blueberries and cranberries (*Vaccinium*). Genetic Resources Temp. Fruit Nut Crops. 290:393–458.
49. Luedeling, E., M. Zhang, V. Luedeling, and E.H. Girvetz. 2009. Sensitivity of winter chill models for fruit and nut trees to climatic changes expected in California’s Central Valley. Agr. Eco-syst. Environ. 133:23–31.
50. Lyrene, P. M. and W.B. Sherman. 1985. Breeding blueberry cultivars for the central Florida peninsula. Proc. Annu. Meet. Fla. State Hort. Soc. 98:158–161.
51. Lyrene, P. M. and W. B. Sherman. 2000. ‘Star’ Southern Highbush Blueberry. HortScience 35(5):956–957.
52. Lyrene, P. M. 2008. ‘Emerald’ southern highbush blueberry. HortScience 43(5):1606–1607.

- 
53. Mainland, C. M. 1984. Some problems with blueberry leafing, flowering and fruiting in a warm climate. III International Symp. Vaccinium Cult. 165:29–34.
54. McIntyre G.N., W.M. Kliewer, and L.A. Lider. 1987. Some limitations of the degree day system as used in viticulture in California. Amer. J. Enol. Vitic. 38:128–132.
55. McMaster, G.S. and W.W. Wilhelm. 1997. Growing degree-days: one equation, two interpretations. Agric. For. Meteorol. 87(4):291–300.
56. Medeiros, J.G.S., C.M. De Bona, F.L. Cuquel, and L.A. Biasi. 2017. Performance of blueberry cultivars under mild winter conditions. Cienc. Rural. 47(9):1–8.
57. Medeiros, J.G.S., L.A. Biasi, C.M.D. Bona, and F.L. Cuquel. 2018. Phenology, production and quality of blueberry produced in humid subtropical climate. Rev Bras Frutic. 40(3):1–10.
58. Medeiros, J. G. S., L. A. Biasi, C. M. de Bona, and F. L. Cuquel. 2021. Production of blueberries in subtropical climate of altitude. Comunicata Scientiae, 12:1–8.
59. Medina, R. B., T. E. Cantuarias-Avilés, S. F. Angolini, and S.R.D. Silva. 2018. Performance of ‘Emerald’ and ‘Jewel’ blueberry cultivars under no-chill incidence. Pesqui. Agropecu. Trop. 48:147–152.

60. Milech, C.G.C., S. Scariotto, M. Dini, F.G. Herter, and M.D.C.B. Raseira, 2018.

Models to estimate chilling accumulation under subtropical climatic conditions in

Brazil. Rev. Bras. Climatol. 23:106–115.



61. Moon Jr, J.W., J.A. Flore, and J.F. Hancock Jr. 1987. A comparison of carbon and

water vapor gas exchange characteristics between a diploid and highbush

blueberry. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 112(1):134–138.

62. NeSmith, D. S., and D. C. Bridges. 1992. Modeling Chilling Influence on

Cumulative Flowering: A Case Study Using Tifblue Rabbiteye Blueberry. J.

Amer. Soc. Hort. Sci. 117(5):698–702.

63. NeSmith, D. S. 2004. Fruit development period of several rabbiteye blueberry

cultivars. VIII Intl. Symp. Vaccinium Cult. 715:137–142.

64. Norvell, D. J. and J.N. Moore. 1982. An evaluation of chilling models for

estimating rest requirements of highbush blueberries (*Vaccinium corymbosum*

L.). J. Amer. Soc. Hortic. Sci. 107(1):5–56.

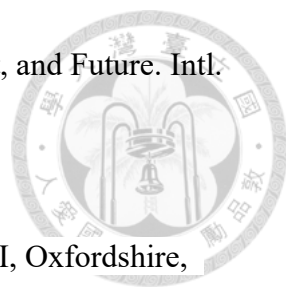
65. Olivier, J.G., K.M. Schure, and J.A.H.W. Peters. 2017. Trends in global CO₂ and

total greenhouse gas emissions. Netherlands Envi. Assessment Agy. 5:1–11.

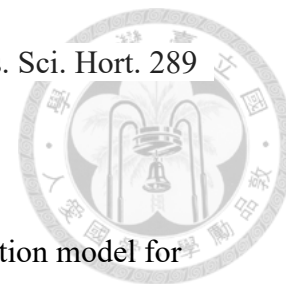
66. Ou, S. and C. Chen. 2000. Estimation of the chilling requirement and

development of a low-chill model for local peach trees in Taiwan. J. Chinese Soc.

Hort. Sci. 46(4):337–350.

- 
67. Protzman, E. 2021. Blueberries Around the Globe—Past, Present, and Future. Intl. Agricultural Trade Report. USDA.
68. Retamales, J.B. and J.F Hancock(eds.). 2012. Blueberries. CABI, Oxfordshire, U.K.
69. Retamales, J. B., C. Mena, G. Lobos, and Y. Morales. 2015. A regression analysis on factors affecting yield of highbush blueberries. *Scientia Hort.* 186:7–14.
70. Richardson, E.A., Seeley, S.D. and Walker, D.R. 1974. A model for estimating the completion of rest for ‘Redhaven’ and ‘Elberta’ peach trees. *HortScience* 9(4):331–332.
71. Rohde, A. and R.P. Bhalerao. 2007. Plant dormancy in the perennial context. *Trends Plant Sci.* 12(5):217–223.
72. Rom, R.C. and E.H. Arrington. 1966. The effect of varying temperature regimes on degree-days to bloom in the Elberta peach. *Proc. Amer. Soc. Hort. Sci.* 88:239–244.
73. Rummukainen, M. 2012. Changes in climate and weather extremes in the 21st century. *Wiley Interdiscip. Rev. Clim. Change* 3(2):115–129.
74. Sater, H., L.F.V. Ferrão, J. Olmstead, P.R. Munoz, J. Bai, A. Hopf, and A. Plotto. 2021. Exploring environmental and storage factors affecting sensory, physical and

chemical attributes of six southern highbush blueberry cultivars. *Sci. Hort.* 289 (110468):1–10.



75. Shaulout, A.D. and C.R. Unrath. 1983. Rest completion prediction model for Starkrimson delicious apples. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 108:957–961.
76. Snyder R.L., D. Spano, C. Cesaraccio, and P. Duce. 1999 Determining degree-day thresholds from field observations. *Int. J. Biometeorol.* 42:177–182.
77. Spiers, J. M. and A. D. Draper. 1974. Effect of Chilling on Bud Break in Rabbiteye Blueberry. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 995:398–399.
78. Spiers, J.M. 1976. Chilling regimes affect bud break in ‘Tifblue’ rabbiteye blueberry. *J. Amer. Soc. Hortic. Sci.* 101(1):84–86.
79. Spiers, J.M. 1990. Rabbiteye blueberry. *Fruit Var. J.* 44(2):68–72.
80. Taylor, R. 1990. Interpretation of the correlation coefficient: a basic review. *J. Diagn. Med. Sonogr.* 6(1):35–39.
81. Wang, K. M. 2021. Enhancing Energy Efficiency with Insulation Materials in Taipei, Taiwan Residential Redevelopment. Doctoral dissertation, University of Washington. USA.
82. Weinberger, J. H. 1950. Chilling requirements of peach varieties. *J. Amer. Soc. Hortic. Sci.* 56:122–28.

83. Williamson, J.G., R.L. Darnell, G. Krewer, J. Vanenvegen, and S. NeSmith. 1996.

Gibberellic acid: A management tool for increasing yield of rabbiteye blueberry.

J. Small Fruit Vitic. 3(4):203–218.

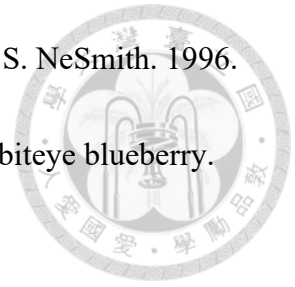
84. Witcher, C. L., K. J. Curry, D. A. Marshall-Shaw, and J. Spiers. 2011. Blueberry

Fruit Dev. Splitting. Hortscience 45(4):496.

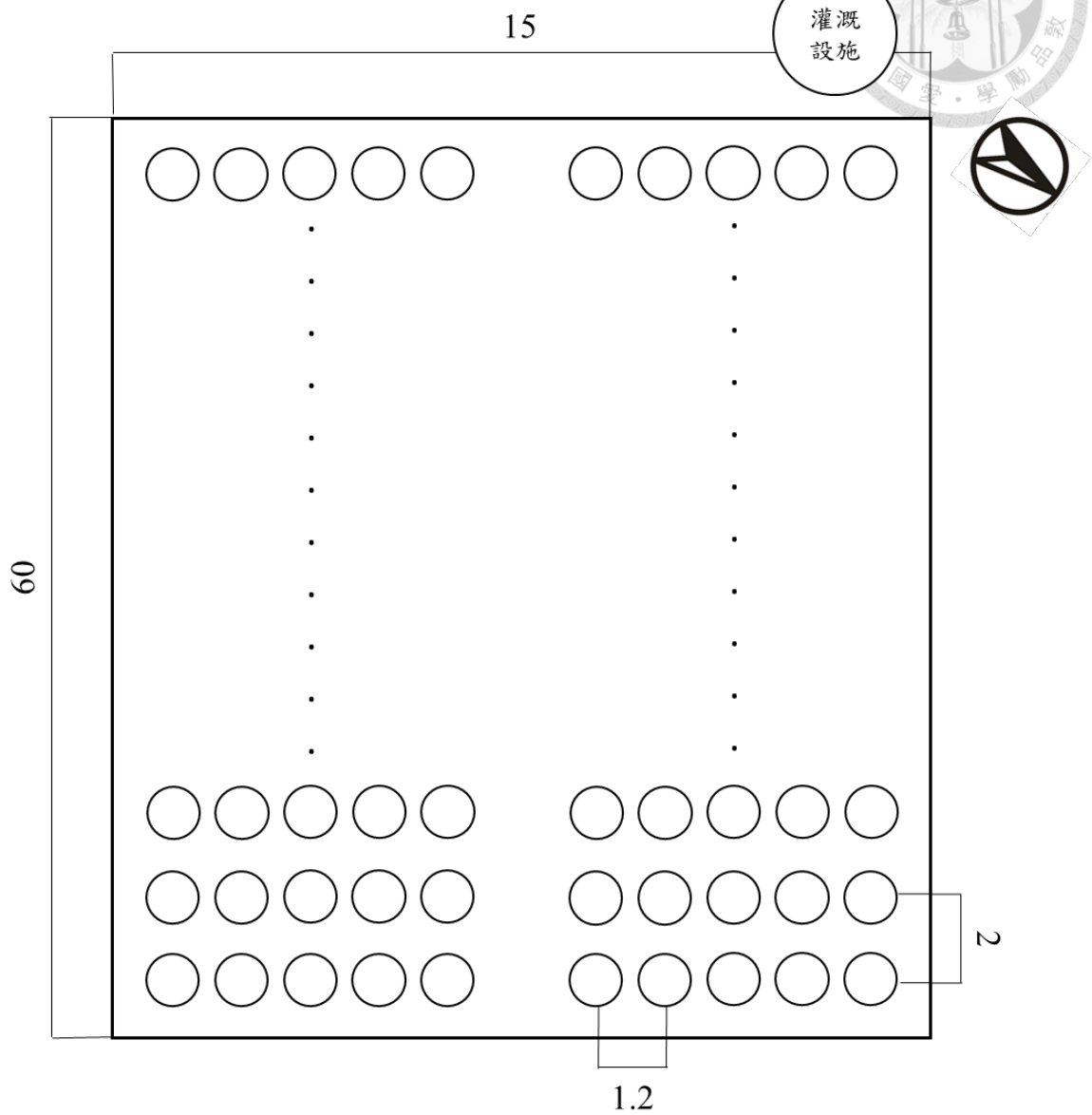
85. Zheng, Y., R. Li, Y. Sun. M. Xu, H. Zhang, L. Huang, and X. Zhang. 2017. The

optimal temperature for the growth of blueberry (*Vaccinium corymbosum*

L.). Pak. J. Bot. 49(3):965–979.



附錄



附錄 1. 試驗田區植株擺放示意圖，圖中數字單位為公尺。

Appendex. 1. Experimental field illustration. The unit in the illustration was meter.