



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

採收時果實性狀對‘黑美人’及‘紅嬌’酪梨

後熟品質之影響

Effects of Fruit Characteristics at Harvest on the Ripening
Qualities of ‘Black Beauty’ and ‘Red Fairy’ Avocado

蔡志嘉

Steve Tsai

指導教授：林書妍 博士

Advisor: Shu-Yen Lin, Ph.D.

中華民國 112 年 8 月

August, 2023



誌謝

感謝我的指導老師 林書妍副教授兩年半來在學業上和生活上給予的教導和支持，謝謝老師當初願意讓對果樹和茶葉幾乎毫無認識的我進入研究室學習，您對學生的著想和付出讓我點滴在心。此篇論文能夠順利完成也要由衷地感謝 沈世政先生，除了您對酪梨樹的悉心照料外，您對學生的信任與開放更是這項研究得以順利進行的最大原因。

完成論文的喜悅想必不久後就會伴隨著對果特研究室的懷念，謝謝助理美美和美玲姐平時一手包辦研究室的大小事務，好讓我們可以心無旁騖地讀書做實驗，也想念平常和你們一起吃吃喝喝、談天說地的時光，你們讓這裡有像家一樣的氛圍。謝謝剛進入碩班時帶我認識研究室的學長姊們，最早帶我做實驗的秉文、教我認識各種植物的育清、以及向我介紹酪梨的祖賢，你們的身影在碩班期間一直是鼓勵我的動力。更感謝是學長更像同儕的東翰，在我想要進入果特時為我引路，也是陪我度過研究所初期茫然的暖男。還有教我打網球和聊各種事物的創元，你開放的胸襟和不畏嘗試的態度是我學習的榜樣。感謝同窗秉霖和俊翔兩年來一起出過各種任務，能在這裡和你們互相砥礪、扶持、學習，是我在果特最大的收穫。也感謝學妹昱蓁和謹安平時樂於協助研究上和實驗室的大小事，有你們在讓人相當放心。

感謝兩位口試委員 陳柏安研究員和官彥州助理教授對於論文寫作的建議及結果探討的啟發。感謝吳俊達老師和處理室同學們每次慷慨借予儀器、感謝林淑怡老師出借凍箱，也感謝蔬菜室助理勇翰對於實驗方法的建議。同時特別感謝農科院的劉婕怡助理每一次實驗的協助，還有親切又可靠的侑橋學長給予的口頭建議和藍莓鼓勵。最後感謝康華禮拜堂的家人從我北上求學後不曾停歇過的關懷，也謝謝學青團契包容我常常在你們中間缺席，感謝親愛的盼惟在這段期間的體貼和陪伴，想和你繼續體會知識與生活的美好。

中文摘要



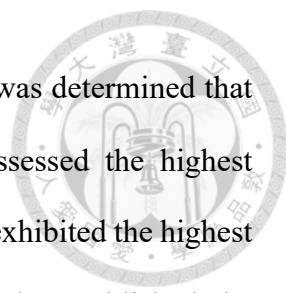
酪梨果實為典型的更年性類型，且需要完全後熟才具有食用價值，然而果實採收狀態會影響果實的後熟品質，因此本研究欲探討臺灣本地早生種‘黑美人’和中生種‘紅嬌’酪梨果實於不同採收時期的性狀差異，而後進一步了解果實採收時性狀對果實後熟期間品質的影響。早生種‘黑美人’於 2022 年 5 月 7 日開始調查果實的生長發育情形，並於 6 月 20 日開始採收果實進行後熟試驗；中生種‘紅嬌’於 2022 年 5 月 30 日起調查果實生長發育情形，並於 9 月 12 日起採收果實進行後熟試驗。兩品種果實於發育期間果長、果寬及果肉粗脂肪含量皆有顯著提升，然而‘黑美人’的果肉乾物質含量維持在 12% 上下，‘紅嬌’果肉乾物質含量則在 10 月 3 日後累積至 16% 以上。‘黑美人’果實採收後約在 5 到 7 天內完成後熟，其中最早採收的果實後熟所需天數最長，果皮轉色和蒂頭萎凋的速度也最慢，但完熟後果肉生理障礙與病害的發生情形最為嚴重，可能與其果肉總酚含量最高有關。‘紅嬌’果實約在 8 到 10 天內完成後熟，各批次果實的後熟所需天數、果皮轉色及蒂頭萎凋速度並無明顯差異，完熟後同樣屬最早採收的果實果肉生理障礙與病害的發生最為嚴重，應為其果肉總酚含量及多酚氧化酵素活性最高所造成。果實採收時的性狀，‘黑美人’的果長、果寬、重量和果肉率與果肉生理障礙嚴重程度呈現中度負相關，表示該品種較大的果實採收後品質較佳；‘紅嬌’果實各性狀與果肉後熟品質之關係則較不顯著。而透過 DPPH 和 ABTS 兩種抗氧化力分析，‘黑美人’與‘紅嬌’的果實，皆以最早採收的果實果肉抗氧化力最高，‘紅嬌’果實果肉的過氧化酵素和過氧化氫酵素活性，亦以最早採收的果實最高。本研究結果初步建立了‘黑美人’與‘紅嬌’採收時果實性狀與內容物之關係，並持續追蹤果實後熟過程的表現，兩品種的表現差異，說明以果實性狀作為採收判斷指標時，需更一步考慮各品種的果實發育特性，以建立更適合的參考依據。

關鍵字: 酪梨、果實發育、乾物質、粗脂肪、總酚、酵素活性、抗氧化力

Abstract



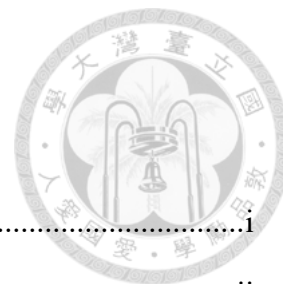
Avocado is a climacteric fruit renowned for consumption upon reaching full ripeness. However, the harvest date significantly influences fruit ripening quality. Therefore, this study aims to examine the fruit characteristics of the early-season cultivar 'Black Beauty' and the mid-season cultivar 'Red Fairy' on different harvest date. Furthermore, it seeks to comprehend how these fruit characteristics impact fruit quality during the ripening. Growth measurements for 'Black Beauty' began on May 7, 2022, with the ripening experiment starting on June 12. As for the 'Red Fairy' cultivar, growth measurements and ripening experiments commenced on May 30 and September 12, respectively. Both cultivars exhibited substantial increases in fruit length, diameter, and oil content during the fruit development. However, while the dry matter content of 'Black Beauty' remained consistent at around 12%, that of 'Red Fairy' notably increased to over 16% after October 3. The 'Black Beauty' fruits ripened within 5 to 7 days. The initial harvest of 'Black Beauty' took the longest time to ripen, displaying slower changes in peel color and pedicel wilting. Nevertheless, this harvest exhibited the severest occurrence of physiological disorders and rots. This phenomenon could be attributed to the highest polyphenol content in the mesocarp. Similarly, the 'Red Fairy' fruits ripened within 8 to 10 days. While the days to ripen, color changes, and pedicel wilting speeds did not significantly differ between harvests, the earliest harvest displayed the most pronounced physiological disorders and rots, also likely due to elevated polyphenol content. Among the harvested fruit characteristics, the fruit length, diameter, weight, and flesh ratio of 'Black Beauty' displayed a low-to-medium correlation with the degree of physiological disorders, indicating that larger fruits generally exhibited better quality. Conversely, the fruit characteristics of 'Red Fairy,' excluding days to ripen, did not exhibit a significant



correlation with fruit quality. Using the DPPH and ABTS assays, it was determined that the earliest harvests of both ‘Black Beauty’ and ‘Red Fairy’ possessed the highest antioxidant capacity in the mesocarp. Notably, the ‘Red Fairy’ fruits exhibited the highest peroxidase and catalase activity in the earliest harvests. This study established the relationship between the fruit characteristics at harvest and the chemical contents of ‘Black Beauty’ and ‘Red Fairy’ avocado. Through tracking the fruit ripening performance, the different ripening patterns of these two cultivars showed that it was necessary to consider the feature of fruit development of each avocado cultivar before using fruit characteristics as harvest maturity indices.

Keywords: avocado (*Persea americana* Mill.), fruit development, dry matter content, oil content, total phenol content, enzyme activity, antioxidant capacity.

目錄



誌謝.....	i
中文摘要.....	ii
Abstract.....	iii
目錄.....	v
圖目錄.....	viii
表目錄.....	xi
第一章、文獻回顧.....	1
第一節 酪梨果實的採收與品質.....	1
(一) 酪梨簡介.....	1
(二) 酪梨果實的品質評估.....	2
(三) 酪梨果實的採收成熟度及採收時性狀.....	3
第二節 採收時性狀對酪梨果實品質的影響.....	5
(一) 採收時性狀對酪梨果肉風味的影響.....	5
(二) 採收時性狀對酪梨果實後熟表現的影響.....	6
(三) 採收時性狀對酪梨果實生理障礙與病害的影響.....	7
(四) 採收時性狀對酪梨果實抗氧化能力的影響.....	9
第三節 研究動機.....	11
第二章、材料方法.....	12
第一節 試驗材料.....	12
第二節 試驗設計與流程.....	12
(一) 果實發育期間的生長調查.....	12
(二) 果實後熟試驗.....	12
第三節 試驗方法.....	13



(一) 果實後熟期間性狀調查	13
(二) 果肉乾物質含量測定	14
(三) 果肉分析樣品製備	14
(四) 果肉粗脂肪含量分析	14
(五) 果肉總酚含量分析	15
(六) 果肉抗氧化能力分析	16
(七) 果肉酵素活性分析	17
第四節 試驗藥品與儀器	19
(一) 試驗儀器	19
(二) 樣品萃取溶劑	20
(三) 果肉總酚分析藥品	20
(四) 果肉抗氧化能力分析藥品	20
(五) 果肉酵素活性分析藥品	21
第五節 數據分析	21
第三章、結果與討論	22
第一節 早生種‘黑美人’與中生種‘紅嬌’果實之生長發育	22
(一) 早生種‘黑美人’的果實發育、粗脂肪及乾物質含量	22
(二) 中生種‘紅嬌’的果實發育、粗脂肪及乾物質含量	23
第二節 採收時性狀對‘黑美人’果實後熟表現之影響	25
(一) 不同採收期的‘黑美人’果實性狀差異	25
(二) ‘黑美人’酪梨果實後熟期間的性狀變化	26
1. 果實硬度、重量及蒂頭萎凋程度變化	26
2. 果實表皮顏色變化	27
3. 果肉顏色之變化	28
第三節 採收時性狀對‘紅嬌’果實後熟表現之影響	28

(一) 不同採收期的‘紅嬌’果實性狀差異.....	28
(二) ‘紅嬌’果實後熟期間的性狀變化.....	29
1. 果實硬度、重量及蒂頭萎凋程度變化.....	29
2. 果皮顏色變化.....	30
3. 果肉顏色之變化.....	30
第四節、採收時性狀對‘黑美人’與‘紅嬌’果肉生理障礙與病害發生之影響....	31
第五節、不同採收時期對‘黑美人’與‘紅嬌’果肉總酚含量之影響.....	32
第六節、不同採收時期對‘黑美人’與‘紅嬌’果肉抗氧化力之影響.....	33
第七節、不同採收時期對‘紅嬌’果肉酵素活性之影響	34
(一) 多酚氧化酵素 (polyphenol oxidase, PPO).....	34
(二) 過氧化酵素 (peroxidase, POD) 和過氧化氫酵素 (catalase, CAT) ...	34
第四章、結論.....	36
參考文獻.....	84
附錄.....	92

圖目錄



圖 1. 2022 年度‘黑美人’果實長度變化與二次迴歸曲線	37
圖 2. 2022 年度‘黑美人’果實寬度變化與二次迴歸曲線	37
圖 3. 2022 年度‘黑美人’果肉乾物質含量與粗脂肪含量變化	38
圖 4. 2022 年度‘黑美人’果肉乾物質含量與粗脂肪含量之關係	38
圖 5. 2022 年度‘紅嬌’果實長度變化與二次迴歸曲線	39
圖 6. 2022 年度‘紅嬌’果實寬度變化與二次迴歸曲線	39
圖 7. 2022 年度‘紅嬌’果肉乾物質含量與粗脂肪含量變化	40
圖 8. 2022 年度‘紅嬌’果肉乾物質含量與粗脂肪含量之關係及線性迴歸曲線	40
圖 9. 2023 年度‘黑美人’果肉乾物質含量與粗脂肪含量變化	41
圖 10. 不同採收期之‘黑美人’果實後熟期間的手觸硬度等級變化	42
圖 11. 不同採收期之‘黑美人’果實後熟期間的果肉硬度變化	42
圖 12. 不同採收期之‘黑美人’果實後熟期間的蒂頭萎凋等級變化	43
圖 13. 不同採收期之‘黑美人’果實於後熟期間的失重變化	43
圖 14. 不同採收期之‘黑美人’果實於後熟期間的果色指標變化	44
圖 15. 不同採收期之‘黑美人’果實後熟期間果皮(A) a^* 、(B) b^* 和(C) L^* 值變化....	45
圖 16. ‘黑美人’果實後熟期間的果色指標和果皮 a^* 值之關係	46
圖 17. 不同採收期之‘黑美人’果實後熟期間的果肉(A) a^* 、(B) b^* 和(C) L^* 值變化	47
圖 18. 不同採收期之‘黑美人’果實完熟後發生生理障礙及病害的果肉面積比例 .	48
圖 19. 不同採收期之‘黑美人’果實後熟期間 (A)第 1、(B) 5、(C) 7 和 (D) 9 天切開 後 0、15、45 分鐘的果肉 a^* 值變化	49
圖 20. 不同採收期之‘黑美人’果實後熟期間(A)第 1、(B) 5、(C) 7 和 (D) 9 天切開 後 0、15、45 分鐘的果肉 b^* 值變化	50

圖 21. 不同採收期之‘黑美人’果實後熟期間(A)第 1、(B) 5、(C) 7 和 (D) 9 天切開後 0、15、45 分鐘的果肉 L^* 值變化	51
圖 22. 不同採收期之‘紅嬌’果實後熟期間手觸硬度變化	52
圖 23. 不同採收期之‘紅嬌’果實於後熟期間的果肉硬度變化	52
圖 24. 不同採收期之‘紅嬌’果實於後熟期間的失重比例變化	53
圖 25. 不同採收期之‘紅嬌’果實於後熟期間的蒂頭萎凋等級變化	53
圖 26. 不同採收期之‘紅嬌’果實後熟期間果色指標變化	54
圖 27. 不同採收期之‘紅嬌’果實後熟期間果皮的(A) a^* 、(B) b^* 和(C) L^* 值變化....	55
圖 28. ‘紅嬌’果實後熟期間果色指標和果皮 a^* 值之關係.....	56
圖 29. 不同採收期之‘紅嬌’果實後熟期間的果肉(A) a^* 、(B) b^* 和(C) L^* 值變化....	57
圖 30. 不同採收期之‘紅嬌’果實後熟期間(A)第 1、(B) 5、(C) 7 和 (D) 9 天切開後 0、15、45 分鐘的果肉 a^* 值變化	58
圖 31. 不同採收期之‘紅嬌’果實後熟期間(A)第 1、(B) 5、(C) 7 和 (D) 9 天切開後 0、15、45 分鐘的果肉 b^* 值變化	59
圖 32. 不同採收期之‘紅嬌’果實後熟期間(A)第 1、(B) 5、(C) 7 和 (D) 9 天切開後 0、15、45 分鐘的果肉 L^* 值變化	60
圖 33. 不同採收期之‘黑美人’於後熟期間發生維管束褐化的果肉面積比例	61
圖 34. 不同採收期之‘黑美人’果實後熟期間發生果肉褐化的果肉面積比例	61
圖 35. 不同採收期之‘紅嬌’於後熟期間發生維管束褐化的果肉面積比例	62
圖 36. 不同採收期之‘紅嬌’果實完熟後發生生理障礙及病害的果肉面積	62
圖 37. 不同採收期之‘黑美人’果實後熟期間的果肉總酚含量	63
圖 38. 不同採收期之‘紅嬌’果實後熟期間的果肉總酚含量	63
圖 39. 不同採收期之‘黑美人’果實後熟期間的果肉 DPPH 自由基清除能力	64
圖 40. 不同採收期之‘黑美人’果實後熟期間的果肉 ABTS 自由基清除能力	64
圖 41. 不同採收期之‘紅嬌’果實後熟期間的果肉 DPPH 自由基清除能力	65

圖 42. 不同採收期之‘紅嬌’果實於後熟期間的果肉 ABTS 自由基清除能力	65
圖 43. 不同採收期之‘黑美人’果實果肉總酚含量與(A) DPPH 及(B) ABTS 自由基清除能力之關係	66
圖 44. 不同採收期之‘紅嬌’果實果肉總酚含量與(A) DPPH 及(B) ABTS 自由基清除能力之關係	66
圖 45. 不同採收期之‘紅嬌’果實後熟期間的果肉多酚氧化酵素活性	67
圖 46. 不同採收期之‘紅嬌’果實後熟期間的果肉過氧化酵素活性	67
圖 47. 不同採收期之‘紅嬌’果實後熟期間的果肉過氧化氫酵素活性	68

表目錄



表 1. 2022 年度果實發育期間‘黑美人’果實性狀間之關係	69
表 2. 2022 年度果實發育期間‘紅嬌’果實性狀間之關係	70
表 3. 2022 年度不同採收期之‘黑美人’果實性狀	71
表 4. 2022 年度‘黑美人’後熟期間果實手觸硬度等級與果色指標及蒂頭萎凋程度之 斯皮爾曼相關係數	72
表 5. 2022 年度不同採收期之‘紅嬌’果實性狀	73
表 6. 2022 年度不同採收期‘紅嬌’果實手觸硬度等級與果色指標和蒂頭萎凋程度之 斯皮爾曼相關係數	74
表 7. ‘黑美人’果實各性狀與後熟表現之斯皮爾曼相關係數	75
表 8. ‘紅嬌’果實各性狀與後熟表現之斯皮爾曼相關係數	76
表 9. 不同採收期之‘黑美人’果實後熟期間各部位果肉總酚含量之變化	77
表 10. 不同採收期之‘紅嬌’果實後熟期間各部位果肉總酚含量之變化	78
表 11. 不同採收期之‘黑美人’果實後熟期間各部位果肉抗氧化能力 (DPPH 自由基 清除能力) 之變化	79
表 12. 不同採收期之‘黑美人’果實後熟期間各部位果肉抗氧化能力 (ABTS 自由基 清除能力) 之變化	80
表 13. 不同採收期之‘紅嬌’果實後熟期間各部位果肉抗氧化能力 (DPPH 自由基清 除能力) 之變化	81
表 14. 不同採收期之‘紅嬌’果實後熟期間各部位果肉抗氧化能力 (ABTS 自由基清 除能力) 之變化	82
表 15. 不同採收期之‘紅嬌’果實後熟期間各部位果肉多酚氧化酵素活性之變化	83



第一章、文獻回顧

第一節 酪梨果實的採收與品質

(一) 酪梨簡介

酪梨 (*Persea americana* Mill.) 為樟科鱷梨屬果樹，原生於中美洲，根據原生區域可大致分為三大系群 (Horticultural races or ecological races)，分別是墨西哥系 (Mexican race)、瓜地馬拉系 (Guatemalan race) 及西印度系 (West Indian race) (Bergh, 1992)。其中以墨西哥系的原生區域海拔高度最高，耐寒性最好，果肉油脂含量也最高，其次為瓜地馬拉系，而西印度系的原生區域為濕熱的沿海叢林，也有文獻將其稱為低地種 (Lowland race)，因此較適應熱帶氣候 (Bergh, 1992; Knight, 2002)。現今全球流通最廣泛的品種‘Hass’為墨西哥系和瓜地馬拉系的雜交種 (Rendón-Anaya et al., 2019)，而臺灣本地栽培的品種則多屬於瓜地馬拉系、西印度系及兩系之雜交種 (Chang et al., 2003)。

酪梨於日治時期被引入臺灣，1919 年當時的嘉義農業試驗支所開始種植酪梨，是臺灣酪梨栽培與育種研究的濫觴，到 1938 年為止已栽培 23 個品種，其中已有若干透過種子育成的實生品種 (蔡等，2016)。然而 1945 年日本政府撤退時伐除了大部分的酪梨植株，幸有附近農家保留的部分品種，而後透過嫁接和高壓方式重新繁殖，加上 1954 年以後農業試驗單位陸續自美國引入多種商業品種栽培，光復後臺灣的酪梨研究才得以持續進行 (陸，2011)。

目前臺灣除了進口酪梨外，亦有十多個本地品種穩定在國內市場上流通，根據各品種的生產季節大致上可將本地品種分為早生種 (採收期於每年 6 月—8 月)、中生種 (9 月—11 月) 與晚生種 (12 月—隔年 2 月)。早生種和中生種多是自實生種當中選育出來的本地品種，常見的早生種有‘嘉選四號’、‘章安’ (‘竹崎早生’)、‘加林一號’和‘黑美人’等。常見的中生種有‘紅心圓’、‘嘉選三號’、‘紅甘’ (‘臺農一號’)、

‘綠金’(‘臺農二號’)、‘麻豆普’、‘紅嬌’與‘十月紅’等。晚生種則多為自國外引進的品種，包括‘Hall’(‘厚兒’)、‘Fuerte’(‘富爾德’)、‘Choquette’(‘秋可’)、‘Pinkerton’(‘平克頓’)、‘Reed’(‘綠得’)以及‘Hass’(‘哈斯’)等。

農糧署農產品批發市場的交易資料顯示，臺灣國產酪梨的批發市場交易量從民國 100 年的 1324 公噸成長到 111 年的 7604 公噸，進口酪梨交易量也從 1.25 公噸大幅成長到 72.2 公噸。國內市場對酪梨的強烈需求也帶動了生產者投入栽培的意願，農委會的農業統計資料也指出國內酪梨種植面積自民國 100 年的 506 公頃至 110 年為止成長為 1588 公頃，產量也從 6174 公噸增加到 16322 公噸，主要產區位在台南、嘉義、屏東以及台東等地。雖然國人對於酪梨的消費意願有所提升，但由於市面上酪梨品種繁多，各品種的果型外觀、果肉風味與後熟特性不盡相同，為有利向國內消費大眾推廣國產酪梨，本地酪梨品種的相關基礎研究實屬必要。

(二) 酪梨果實的品質評估

隨著全球市場對酪梨鮮食的需求持續成長，酪梨果實的品質評估也日益受到重視。對零售商與消費者而言，果實類園產品的品質主要可以從外觀(包含顏色、硬度、以及有無明顯的外在損傷)、風味、營養價值與櫥架壽命幾個方面來評估，而酪梨果實也不例外(Kader, 1997; White A. et al., 2009)。外觀方面，除了沒有因碰撞造成的明顯傷痕或因真菌病害造成的表皮病斑，因為酪梨採收後需要經過後熟才能食用，消費者會視其需要購買不同軟硬程度的果實，較硬的果實可儲放較久，較軟的果實表示已開始後熟，購買後可以較快被食用(Kader, 1997)。作為酪梨主要食用部位的果肉含有豐富的不飽和脂肪酸、類胡蘿蔔素、及礦物元素(Knight, 2002)，其中果肉的油脂含量為酪梨果實風味及營養價值的重要指標，油脂含量較高的果肉具有較濃郁的奶油滋味(creamy)，食用者的好感度也較高，口感方面消費者偏好柔軟且綿密滑順的質地，風味方面消費者則喜愛青草味(grassy)較淡、堅果味(nutty)較濃的果肉(Cañete et al., 2016; Lee, 1981; Obenland et al., 2012)。



果肉的顏色及有無因生理障礙或病害造成的褐化也是消費者在意的品質指標之一 (Marín-Obispo et al., 2021)，通常呈現奶油黃的果肉顏色最受消費者喜好，惟不同品種及不同後熟程度的酪梨果肉顏色會略有不同，而當果實過熟 (overripe) 或受到生理障礙和病害影響時，果肉顏色將會偏深或有明顯的塊狀褐化，造成食用觀感不佳 (White A. et al., 2009)。果實園產品的櫥架壽命 (shelf life) 為其採收後至達到最佳食用品質的時間 (Hofman et al., 2002; Nordey et al., 2019)，對酪梨果實而言即為採收後到後熟軟化至可食硬度 (eating ripe) 的期間，若是超過此期間，酪梨果實會因為過熟而導致果肉品質劣化。櫥架壽命較長的酪梨果實通常代表其後熟軟化速度較慢，能夠減少果實在運輸過程中因碰撞造成機械性損傷的機率，在架上也能有較長的陳貨時間，因此較受販售者的青睞。

(三) 酪梨果實的採收成熟度及採收時性狀

當酪梨果實著果並於樹體上發育一段時間，若被採收後能夠正常地後熟軟化，且具有良好的食用品質，即被認為已達到足夠的生理成熟度 (physiological maturity) (Barmore, 1976; Lee et al., 1983)。然而不同品種的酪梨果實發育至生理成熟所需的時間並不相同，判斷掛樹酪梨果實是否已具足夠的生理成熟度也同樣不容易，主要原因為酪梨果實具有掛樹不後熟的特性 (Lee, 1981; Ncama et al., 2018)，所以自樹體上採收前果實的外觀和硬度並不會隨著成熟度提高而有明顯的改變，因而難以藉此判斷果實已達生理成熟與否。生理成熟度不足的酪梨果實採收後容易有軟化不完全、果皮皺縮以及果肉質地如橡膠等品質不佳的問題 (Hatton et al., 1964)，而產季初期的果實產量較少，部分生產者為了獲得較佳的市場價格會提早採收酪梨果實，這些成熟度不足的果實可能會造成購買方不愉快的消費經驗，進而影響未來的購買意願。因此判斷酪梨果實是否已達生理成熟對於確保其品質而言至關重要。

酪梨果實達生理成熟以後可以長期掛樹，如‘Hass’果實生理成熟後仍可以掛樹長達八個月，而酪梨果實的性狀在生理成熟後的掛樹期間仍會持續變化，例如果實



會持續生長，果實的長寬及重量仍會持續增加 (Bower and Cutting, 2003)，果實內部的油脂也會持續累積 (Barmore, 1976)，這些果實的性狀變化與酪梨果實的品質有著密切的關係。在酪梨果實滿足生理成熟後，這些性狀的變化意味著果實的採收成熟度/商業成熟度 (harvest maturity / commercial maturity) 持續提高。因此生產者不只需要確保酪梨果實採收前已具備足夠的生理成熟度，也必須了解產季中不同時機的採收成熟度對酪梨果實品質的影響。

酪梨果實的發育過程中果肉的油脂含量會逐漸提升，因此能從油脂含量多寡來判斷酪梨果實的成熟度高低。美國加州政府曾為了確保市面上酪梨果實的品質，立法禁止果肉油脂含量小於 8% 的果實在境內販售 (Lee et al., 1983)。但由於測定油脂較耗時費力，目前酪梨果實最常見的成熟度指標為與油脂含量具高度相關性的果肉乾物質含量 (dry matter content) (Arpaia et al., 2001; Woolf et al., 2003)，因為乾物質的測定方式簡單快速，已經被各國的酪梨產業廣泛採用。生產者會根據各地栽培的品種和氣候訂定適合當地的乾物質含量標準，採收前於果園中取部分果實測定其乾物質含量，以評估其成熟度是否足夠。以美國重要的酪梨生產地加州為例，根據加州大學河堤分校的建議，採收前的乾物質含量‘Reed’應達 18.7%，‘Fuerte’為 19.0%，‘Hass’為 20.8%，‘Pinkerton’則為 21.6%。同一品種因不同產區的氣候條件及栽培方式，適宜的成熟度標準也會略有差異，以不同地區的‘Hass’為例，加州地區為 20.8%、墨西哥為 22%、哥倫比亞為 23.5%、紐西蘭則為 24% (Carvalho et al., 2014; Pak et al., 2003; Yahia and Woolf, 2011)。

除了果肉的油脂和乾物質含量以外，酪梨果實的長度、寬度及重量也能夠作為判斷採收成熟度的性狀。由於酪梨果實的發育呈現單 S 型曲線，果實發育後期的生長速度會明顯趨緩 (Moore-Gordon, 1997; Valmayor, 1964)，Lee and Young (1983) 曾定期測量加州各地區‘Bacon’、‘Fuerte’、‘Hass’與‘Zutano’四品種酪梨果實的長度及寬度，並繪製日期與生長速率的迴歸模型，其研究認為果實的生長率趨近為零時即達生理成熟，也發現多數品種於該時間點採收的果實在風味表現上已達到可以



被接受的標準，因此將酪梨果實生長開始停滯的日期訂為商業適採期的開始。部份氣候較為濕熱的產區以生產西印度系和西印度系與瓜地馬拉系雜交種酪梨為主，如美國的佛羅里達州，當地酪梨品種在果實發育過程中累積的油脂含量通常不如墨西哥系和瓜地馬拉系品種，因此較不適用加州地區酪梨業者所訂定的採收標準。當地改為訂定可以開始採收酪梨果實的最早日期，規定業者不得販售在該日期前採收的酪梨果實，輔以果實的大小作為能否採收的判斷依據 (Soule Jr and Harding, 1955; Yahia and Woolf, 2011)。臺灣的氣候環境和佛羅里達州相似，適種的酪梨品種也多為西印度系和西印度系與瓜地馬拉系的雜交種。目前國內生產者同樣多習慣待果實發育至一定大小後再進行採收，但是果實大小容易受其他因素如氣候條件和肥培管理的影響，若能了解本地種酪梨果實發育期間的長度與寬度變化及果肉乾物重與油脂的累積情形，將有助於更精確掌握果實的成熟度。

第二節 採收時性狀對酪梨果實品質的影響

(一) 採收時性狀對酪梨果肉風味的影響

酪梨不同於多數果樹是以醣類為果實內的主要生合成產物，酪梨果實在發育過程中以累積油脂為主 (Pedreschi et al., 2019)，而酪梨果肉的風味主要便是來自於其中所含的豐富油脂，因此果肉的油脂含量是影響酪梨果肉風味最主要的性狀 (Lee, 1981)。目前酪梨果肉風味的相關研究仍多是以主流商業品種‘Hass’為材料，大多數研究指出隨著果實的採收成熟度增加，果肉的油脂含量提升，感官品評的分數也隨之提高，品評者認為成熟度較高的果實後熟以後的果肉奶油味較為濃郁，而且令人不悅的青草味更淡 (Cañete et al., 2016; Gamble et al., 2010; Lee et al., 1983)。另外 Obenland et al (2012) 的研究指出，當酪梨果實的採收成熟度增加，果肉散發出的己醛 (hexanal)、反式-2-己烯醛 ((e)-2-hexenal) 和 2, 4-己二烯醛 (2,4-hexadienal) 等具青草味的揮發性化合物含量皆大幅地減少，代表堅果香味的戊醛 (pentanal) 則有所增加。而西印度系酪梨果實在發育期間雖然果肉油脂累積有限，

但隨著採收成熟度增加，果實重量會明顯提升，佛羅里達州當地研究顯示重量較重的果實在感官品評中獲得較高的分數 (Hatton et al., 1964)。以上研究結果說明採收成熟度提高對酪梨果肉的風味有正面的影響，而果肉油脂含量和果實重量等採收時性狀能夠表示酪梨果實的採收成熟度高低，但仍需要針對不同品系選擇能合適表示其採收成熟度的性狀指標。

(二) 採收時性狀對酪梨果實後熟表現的影響

後熟 (ripening) 對於酪梨果實的定義為一生理成熟 (mature) 的酪梨果實在採收後逐漸軟化至可被食用狀態的過程 (Hatton et al., 1964)，而後熟到可食用狀態的果實即被稱為完熟果 (ripe fruit)。酪梨果實的食用品質主要取決於能否順利後熟以及果肉後熟完成後的風味，因此酪梨果實的後熟表現與其品質有密切的關係。酪梨果實惟自樹體採收後方能後熟，而且為典型的更年型果實，後熟過程中會出現明顯的乙烯和二氧化碳生成高峰 (Eaks, 1978)。果肉細胞的細胞壁在纖維酵素 (cellulase) 和聚半乳糖醛酸酵素 (polygalacturonase) 的作用下會逐漸被分解 (Bower and Cutting, 2003; Defilippi et al., 2018)，果肉因而軟化至可食用的程度。

由於酪梨果實的後熟程度對可食用性有極大的影響，因此判斷果實的後熟程度也是掌握酪梨果肉品質重要的一環，部分的酪梨品種如‘Hass’在後熟過程中因為外果皮的花青素含量增加，果實外觀會逐漸由綠色轉為紫紅色 (Cox et al., 2004)，因此果皮顏色的轉變能夠用以判斷部分品種的後熟程度。然而並非所有酪梨品種在後熟過程中皆會轉色，如‘Fuerte’和‘Pinkerton’後熟後果實外表仍維持綠色，因此硬度仍被視是酪梨果實後熟程度最可靠的指標 (White et al., 1999)。

前述曾提及成熟度不足的酪梨果實採收後容易有後熟不完全以致於果肉品質欠佳的問題，但另一方面，成熟度較高的果實通常有較快的後熟速度 (Mpai and Sivakumar, 2020; Yahia and Woolf, 2011)，這會使得果實一般情況下的櫥架壽命較短，且果實快速軟化亦可能增加運輸過程中因碰撞造成的損失，酪梨果實在後熟完成



後生理障礙及真菌病害的發生率也會大幅地提升 (Hopkirk et al., 1994)，因此後熟快速的酪梨果實品質也較不易維持。加州當地於產季晚期採收的‘Hass’酪梨果實較產季前期採收的果實有較高的乾物質含量，而其採收後所需的後熟天數較短 (Wang et al., 2012)。佛羅里達州的西印度系酪梨‘Waldin’及‘Booth 8’隨著採收時機延後，果實的油脂含量和重量皆有所提升，而採收後所需的後熟天數亦隨之減少 (Hatton et al., 1964)。從不同酪梨品種的研究結果來看，可以由酪梨果實採收時的性狀可推估其採收成熟度，並發現採收成熟度對酪梨果實後熟表現的影響。

(三) 採收時性狀對酪梨果實生理障礙與病害的影響

除了機械性損傷，如採收時或運輸過程中因碰撞產生的果實瘀傷 (bruising)，造成酪梨果實採收後品質損失最主要的兩項問題即為生理障礙和真菌病害 (Ramírez-Gil et al., 2021)。生理障礙 (physiological disorders) 是園產品採收後因為環境溫度、氣體組成或自然老化等逆境 (stress)，導致細胞生理作用失常所引起的 (Bower, 1988)。酪梨果實常見的生理障礙病徵主要有果肉褐化 (flesh / mesocarp discoloration) 與維管束褐化 (vascular browning)，而生理障礙的發生多會伴隨果肉顏色變深，造成食用觀感不佳，嚴重者會影響果肉質地，甚至出現異味，導致果實失去商品價值 (Swarts, 1984; White A. et al., 2009)。褐化的產生是因為細胞與其中的胞器破損，平時儲藏於液胞中的多酚類化合物 (polyphenolics) 與平時儲藏於質體中的多酚氧化酵素 (polyphenol oxidase, PPO) 接觸，在其作用下被氧化而形成黑色素累積 (Bower, 1988)。Golan et al. (1977) 觀察到將‘Fuerte’酪梨切開並暴露在空氣中，其果肉褐化速度較‘Lerman’酪梨快，分析後發現‘Fuerte’酪梨的多酚類化合物含量及多酚類氧化酵素活性皆較‘Lerman’酪梨高出許多，因此推論酪梨果肉細胞中的多酚類化合物含量以及多酚類氧化酵素活性越高，一旦細胞受損使得兩者有機會反應，果肉褐化的潛力便越大。

採收成熟度可能影響酪梨果肉的多酚化合物含量和多酚氧化酵素活性，進而



影響生理障礙的發生率和嚴重程度。Rooyen and Bower (2006) 在長期以來果肉褐化發生較嚴重的果園進行調查，發現在產季後期採收的‘Pinkerton’酪梨果肉乾物質含量較前期採收的果實為高，果肉中的多酚類化合物含量也顯著增加。Cutting et al. (1992) 於南非進行的研究也指出‘Fuerte’酪梨於採收後期果肉的多酚類化合物含量提高，可能是其果肉褐化發生率在產季後期較高的主因，在同一研究中也發現‘Fuerte’酪梨果實在採收前期與後期皆有維管束褐化的好發高峰，與 Mhlophe and Kruger (2012) 發現南非的‘Maluma’酪梨在果肉乾物質含量 23%以下和 26%以上時，果實維管束褐化發生率及嚴重程度均較高的結果類似。從過去文獻可以推知採收成熟度對不同的生理障礙確實有其效應，但不同病徵的發生機制和好發時期或有不同，而這些研究中多以果肉乾物質含量為判斷酪梨果實採收成熟度的指標性狀。

酪梨果實採收後常見的病害主要有蒂腐病 (stem-end rot)、炭疽病 (anthracnose)、和果斑病 (body rot)。引發這些病害的真菌在採收前即已感染果實，然而病徵會在果實採收以後才出現，而且隨著果實後熟愈趨嚴重。酪梨果皮中內含一種對真菌具有毒性、名為 persin (1-acetoxy-2-hydroxy-4-oxo-heneicosa-12,15-diene) 的二烯烴化合物，對引發酪梨炭疽病的主要真菌 *Colletotrichum gloeosporioides* 具抑制其生長的效果 (Prusky et al., 1982)，然而紐西蘭生產的‘Hass’酪梨有隨著果實採收成熟度提高，果皮中所含的 persin 含量大幅減少的情形，此發現被認為是當地於產季晚期採收的酪梨果實較容易受病害影響的原因 (Bowen et al., 2018)。此外，隨著酪梨果實後熟，果皮的 persin 含量會逐漸減少，換言之後熟程度越高的果實受病害影響會越嚴重 (Hopkirk et al., 1994; Prusky et al., 1982)。而過去多數研究指出酪梨果實的採收成熟度越高，後熟速度越快 (Cutting et al., 1992; Mpai and Sivakumar, 2020; Yahia and Woolf, 2011)，因此成熟度高的酪梨果實採收後可能在短時間內便會出現嚴重的病害徵狀。酪梨果實受真菌感染的病徵可大致分為兩種，一種是由蒂腐病引起，從果實近蒂頭處開始出現的病徵，病徵部位的果肉會呈現褐化水浸狀，並且逐漸往下蔓延，經常連帶造成維管束褐化發生，有時在病徵部位會出



現肉眼可見的白色菌絲；另一種病徵則可能在果實表皮任一部位發生，染病處會出現圓形褐色病斑，並且逐漸擴大，並從果實表皮向內影響果肉。這類病徵主要是由炭疽病和果斑病引起的，雖引起兩種病害的病原真菌並不相同，但是因為病徵類似，初期難以辨認，時常被歸為同一類 (Pérez-Jiménez, 2008; White A. et al., 2009)。根據倪等 (2011) 的研究，臺灣酪梨的採收後病害發生也相當普遍，其於 2008 - 2009 年度在國內各主要酪梨產區進行的調查中，採收後果實炭疽病的發生率超過 30%，蒂腐病和果斑病的發生率也在 15% 以上，後兩者主要為葡萄座腔菌屬 (*Botryosphaeria*) 的病原菌所造成，但採收成熟度對國內酪梨真菌病害的影響則尚不明確，酪梨果實採收時性狀與真菌病害發生之間的關聯在過去文獻中也較少被著墨。

綜合而言，現有文獻顯示採收時果肉乾物質含量較高，亦即採收成熟度較高，的酪梨果實較容易發生果肉生理障礙，同時也有較高的真菌病害罹病率。然而臺灣本地種酪梨尚缺乏相關研究，基於國外文獻目前對酪梨生理障礙和真菌病害發生成因的理解，值得進一步釐清國內不同採收成熟度的酪梨果實受生理障礙及病害影響之情形。

(四) 採收時性狀對酪梨果實抗氧化能力的影響

許多園產品因為富含抗氧化物 (antioxidant compounds)，能夠透過清除過多的自由基來保護生物體免於氧化逆境傷害，被認為具有高營養保健價值 (Lobo et al., 2010)，而果實園產品的抗氧化能力 (antioxidant capacity) 之所以受到重視，除了其幫助生物體抵禦氧化逆境的保健功能外，也和其維持果實本身採收後的品質有關。果實園產品從採收後到被消費者購買之前，通常會經過一段時間的儲藏，然而儲藏環境中的低溫、低氧或儲藏時間過久導致園產品本身老化對果實來說皆屬於採收後的逆境。果實在遭遇逆境時會大量生成活性氧族 (active oxygen species, AOS; reactive oxygen species, ROS)，活性氧族若累積過多將會對細胞造成傷害，導致細

胞生理作用失常、破裂凋亡，進而引發各種生理障礙 (Dat et al., 2000; Hodges et al., 2004; Lum et al., 2016)。酪梨果實的採收期長，而且果肉品質易受生理障礙與病害影響，因此酪梨果肉的抗氧化能力如何隨著採收成熟度變動尤其受研究者的關注。

植物細胞清除活性氧族的方式大致上可分成倚賴具抗氧化能力的機能性化合物和抗氧化酵素兩大系統 (Blokhina et al., 2003)。酪梨果實中具抗氧化能力的機能性化合物主要包括維生素C、維生素E、類胡蘿蔔素以及可溶性酚類 (Corral-Aguayo et al., 2008; Wang et al., 2012)，然而酪梨果肉所含的維生素C和可溶性酚類大幅少於果皮及種子中的含量，這也被認為是酪梨果肉較果實其他部位更容易發生生理障礙的原因 (Tsfay et al., 2010)。酪梨果肉中主要的抗氧化酵素則有過氧化酵素 (peroxidase, POD)、過氧化氫酵素 (catalase, CAT) 及超氧化物歧化酵素 (superoxide dismutase, SOD) (Tsfay et al., 2010; Zhang et al., 2013)。

Mpai and Sivakumar (2020) 以 DPPH 和 FRAP 兩種自由基清除能力分析發現包含‘Hass’在內的四個酪梨品種在採收後期的果肉抗氧化能力顯著減少，同時也發現各品種果實的炭疽病罹病率在採收後期較高。而 Wang et al (2012) 和 Campos et al (2020) 皆觀察到‘Hass’酪梨的果肉抗氧化力有隨著果肉乾物質含量先略為提高而後減少的趨勢。這些研究結果顯示抗氧化能力減少與產季後期的酪梨果實品質較差有一定的關係。抗氧化酵素部分，在 Tsfay et al (2010) 的研究中，南非的‘Hass’酪梨果實自3月到6月果實重量增加且果肉油脂含量提升，但果肉中 POD 和 CAT 酵素活性並沒有明顯的變化，SOD 的活性則是逐漸減少，整體而言抗氧化酵素隨果實採收成熟度變化的趨勢較不明顯。

雖然可以從採收時性狀判斷酪梨果實採收當下的採收成熟度對其抗氧化能力表現有其效應，但是酪梨果實在後熟期間果肉的總抗氧化能力與抗氧化酵素活性仍會有所變動 (Villa-Rodríguez et al., 2011; Zhang et al., 2013)，因此探討酪梨果肉抗氧化能力對果肉品質的影響時，除了果實的採收成熟度以外亦需要考慮果實的

後熟程度。



第三節 研究動機

近年來臺灣酪梨的栽種面積與產量有顯著的提升，然而目前臺灣本地育成的酪梨品種大部分尚未有明確的採收成熟度指標，眾多品種中僅‘嘉選三號’具有不同採收成熟度如何影響果實品質的相關研究 (楊，2005; 鄧，2010)。由於過去的相關研究稀少，在尚未能明確地了解臺灣本地酪梨品種之採收成熟度指標的前提下，本研究欲以不同採收時期的酪梨果實性狀來探討可能的採收成熟度指標以及適宜的採收時期。此外過去也尚未有文獻探討採收時期如何影響國內酪梨採收後的生理障礙與真菌病害發生情形和抗氧化能力之變化等品質指標。臺灣本地育成的酪梨品種多屬於早生種及中生種，果實自開花到生理成熟歷經的時間較短，也較容易因提早採收而有採收成熟度不足的問題，故本研究選擇早生種‘黑美人’與中生種‘紅嬌’作為研究材料，‘黑美人’酪梨花期約在每年 1 到 3 月，採收期約在 6 到 8 月，‘紅嬌’酪梨花期約在每年 3 到 5 月，採收期約在 9 到 11 月。此兩品種皆為市場上的大宗品種，也由於後熟時會轉色，後熟表現較容易觀察。因應國內酪梨產量增加與國際貿易機會增多，臺灣本地品種酪梨未來可能有出口外銷機會，屆時低溫長期運儲可能成為未來國內酪梨的產業及研究趨勢，本研究欲了解兩酪梨品種果實在生長期間的性狀變化，並透過果實採收時性狀代表其採收成熟度，近一步了解此兩品種不同採收成熟度的果實於常溫 (25°C) 下的後熟表現，期望可作為未來本地種酪梨研究與產業發展的重要基礎。

第二章、材料方法



第一節 試驗材料

本試驗以嘉義縣竹崎鄉沈世政先生栽植管理的早生種‘黑美人’ (‘Black Beauty’) 和中生種‘紅嬌’ (‘Red Fairy’) 酪梨為材料。在 2022 年 5 月果實大量生理落果後，兩品種各選定三棵植株 (樹齡約三十年) 作為果實發育期間性狀調查的材料，並從兩品種各自的商業採收期開始，每三週自果園其他同品種且樹齡和栽培條件相近的植株上採收果實作為後熟試驗的材料。每次採收皆於清晨 6 點至 8 點間進行，採收後將果實以常溫宅配，隔日下午送達台大園藝系果樹及特用作物研究室。

第二節 試驗設計與流程

(一) 果實發育期間的生長調查

主要生理落果期結束後，於每棵植株上標記 10 顆果實作為調查時的標準果，每三週以電子游標卡尺測量果實長寬，以蒂頭基部到果實基部的距離為果實長度，以果實前後最大橫幅之平均為果實寬度。黑美人自 2022 年 5 月 7 日至 7 月 31 日為止，共測量 5 次；紅嬌自 2022 年 5 月 30 日至 11 月 13 日為止，共測量 9 次。若某標準果於發育期間提早落果，則以同一植株上當時果實長寬與其他標準果平均值相近的果實替代。

(二) 果實後熟試驗

後熟試驗每次使用 30 顆酪梨果實，運送至研究室後立即將果實浸泡於 5 ppm 次氯酸鈉水溶液中 5 分鐘，再以紙巾完全擦乾，將果實儲藏於溫度 $25\pm 2^{\circ}\text{C}$ 、相對濕度 $85\%\pm 10\%$ 的環境 (附圖 1)。每次試驗時間為 9 天，其中 15 顆果實作為後熟表現觀察對象，每天於固定時間調查果實重量、手觸硬度、果色指標及蒂頭萎凋程度，每兩天以色差儀在果實近果梗端、中間部分及遠果梗端分別各取三點測量果皮 L^* 、 a^* 和 b^* 值。另 15 顆果實作為分析取樣的材料，每兩日從中選擇三顆果實剖開觀察生理障礙及病害發生程度、不同果肉部位的 L^* 、 a^* 和 b^* 值、果肉硬度、種子重量及乾物質含量，並取適量果肉冷凍乾燥做為粗脂肪、總酚、抗氧化能力及酵素活性的

分析用樣品。9 天調查結束後，將手觸硬度達完成後熟標準的生理調查組果實切開觀察果肉完熟後受生理障礙與病害影響的面積 (附圖 4 到附圖 6)。

註:因受新冠疫情影响, 8/1 採收之‘黑美人’果實性狀調查僅至第 6 天, 化學分析僅取樣至第 5 天。



第三節 試驗方法

(一) 果實後熟期間性狀調查

在果實採收後觀察後熟表現期間, 每日於固定時間以電子秤測量果實重量, 並不造成果實損傷的力道, 用手掌包覆整顆果實按壓, 參考國際酪梨品質手冊 (White et al., 2009), 將手觸硬度分為以下五個等級, 做為「後熟等級」的標示。

- (1) 第一級 Hard: 用力按壓, 果實表面也不會有任何凹陷。
- (2) 第二級 Rubbery: 用力按壓果實表面會稍有凹陷, 但停止施力後將迅速回復, 且表面不留凹痕。
- (3) 第三級 Firm-ripe: 以中等力道按壓果實即有凹陷, 停止施力後會緩慢回復, 不留凹痕。
- (4) 第四級 Soft-ripe: 輕輕按壓果實即有凹陷, 停止施力後表面多會緩慢回復, 少數情況會留下凹痕。
- (5) 第五級 Overripe: 輕輕按壓果實即有凹陷, 且不易回復, 果肉觸感接近液體。

果實後熟所需天數則以果實自採收後至後熟等級達到第四級 (Soft-ripe) 當天計算。

除了手觸硬度等級外, 每兩天也以果肉硬度計穿刺切開的酪梨果肉剖面上下左右共四點測量果肉實際硬度。

果色指標同樣參考國際酪梨品質手冊 (White et al., 2009), 目視觀察酪梨表皮轉色面積, 分為五個等級 (附圖 2)。

- (1) 第一級 Green: 果實表皮毫無轉色。
- (2) 第二級 Breaker: 果實表皮轉色面積三分之一以下。
- (3) 第三級 Turning: 果實表皮轉色面積介於三分之一到三分之二間。
- (4) 第四級 Red: 果實表皮轉色面積達三分之二以上。
- (5) 第五級 Black: 果實表皮已完全轉紅並開始轉為紫黑色。

蒂頭萎凋程度以目視與輕觸判斷，每次採收之果實留有約 1.5cm 長的蒂頭，觀察其於後熟過程中的萎凋情形，將蒂頭萎凋程度分為五級 (附圖 3)。

- (1) 第一級: 蒂頭形狀完整，蒂頭底部與果實連接處無細縫。
- (2) 第二級: 蒂頭底部與果實連接處有些微細縫，輕觸蒂頭會晃動。
- (3) 第三級: 蒂頭底部與果實連接處細縫擴大，蒂頭突出。
- (4) 第四級: 蒂頭枯萎突出，輕觸蒂頭即會脫落。
- (5) 第五級: 在非人為影響下，蒂頭自然脫落。



(二) 果肉乾物質含量測定

參考 Lee et al. (1983) 之方法修改，每次果實生長調查時於每棵植株上取 2 顆與標準果長寬相近的果實運回實驗室進行乾物重測定，每品種 3 植株共 6 顆。將果實縱剖為四等份，移除種子後，將其中一等分果肉以削皮刀削成寬度約 2 mm 的薄片，取定量果肉置於玻璃培養皿上，送入烘箱以 80°C 烘乾至恆重。後熟試驗期間每兩日取三顆果實測定乾物重，方法亦同。乾物重計算方式: (果肉乾重/果肉鮮重) × 100%

(三) 果肉分析樣品製備

從果實果梗端 (proximal end)、果實中段 (middle part) 和遠果梗端 (distal end) (附圖 7) 各取 30-50 g 果肉，置於-20°C 低溫過夜預冷後，以-50°C 真空冷凍乾燥機連續乾燥至少 72 小時，乾燥後使用磨粉機均質磨碎，並以樣品盒密封儲藏於-20°C 冷凍庫保存，供粗脂肪含量和各項化學分析使用。

(四) 果肉粗脂肪含量分析

分析前取適量果肉凍乾粉末以真空乾燥機乾燥 6-12 小時，去除冷凍保存期間樣品吸收的水分。秤取約 1.5g 乾燥的果肉粉末至圓筒濾紙中，並於玻璃萃取杯中盛裝 90 mL 的 95%正己烷，將圓筒濾紙及裝有溶劑的萃取杯安裝上索式萃取儀，以 180°C 萃取 50 分鐘，溶劑迴流 1 小時。萃取完畢後將萃取杯拿出，等待溶劑揮

發完畢。果肉粗脂肪含量計算方式: (粗脂肪重量/乾燥樣品粉末重量) $\times$ 100% $\times$ 果肉乾物重含量。



(五) 果肉總酚含量分析

分析前需先進行樣品萃取，萃取時秤取 0.1 g 粉末於 15 mL 離心管中，加入 10 mL 80% 甲醇，均勻搖晃後放入超音波震盪槽震盪 10 分鐘，震盪後於 4°C 下靜置兩小時，再以低溫離心機離心 3 分鐘 (4°C, 4000 rpm)，以 Advantec 1 號濾紙重力過濾，並用 80% 甲醇定量至 10 mL。分析前保存於 -20°C 冷凍庫，供總酚及抗氧化能力分析使用。

反應試劑製備:

- (1) 0.2 M 弗林試劑: 將購得的弗林試劑 (Folin-Ciocalteu phenol reagent, 2M) 以去離子水稀釋 10 倍至 0.2M。
- (2) 7.5% (w/v) 碳酸鈉水溶液: 取 37.5g Na₂CO₃ (Sodium carbonate) 以去離子水定量至 500 mL。
- (3) 沒食子酸標準液: 以萃取溶劑 (80% 甲醇) 配製濃度為 5、10、25、50、100 mg/L 的沒食子酸 (gallic acid) 標準液。

在 2 mL 微量離心管中加入 0.2 mL 樣品萃取液/沒食子酸標準液，再依序加入 1 mL 弗林試劑與 0.8 mL 碳酸鈉水溶液，均勻混合後於室溫下靜置 60 分鐘，再從微量離心管中吸取 200 μ L 的反應液加入 96 孔盤中，以分光光度計測定 A₇₆₀，並以沒食子酸標準液作成的檢量線計算樣品中相對應的總酚濃度，單位以沒食子酸當量 (gallic acid equivalence, GAE) 表示，空白對照組則以萃取溶劑取代樣品萃取液。總酚含量計算方式: 樣品萃取液總酚濃度 (GAE mg/L) / 1000 (mL/L) $\times$ 萃取液體積 (mL) / 樣品凍乾粉末取樣重量 (g) = 樣品總酚含量 (GAE mg /g DW)



(六) 果肉抗氧化能力分析

以樣品萃取液清除 DPPH 和 ABTS 兩種自由基的能力作為樣品的抗氧化力，並將樣品清除自由基的能力換算為抗壞血酸及 Trolox 的當量濃度。

I. DPPH 自由基清除能力測定

參考 Sharma and Bhat (2009) 之方法修改

反應試劑製備：

- (1) 0.5 mM DPPH 溶液: 在避光環境下秤取 49.3 mg 的 DPPH 粉末，以 100% 甲醇定量至 250 mL，再經過超音波震盪均勻一分鐘後為深紫色溶液，使用前儲存於 4°C 避光環境。
- (2) 0.1 M Tris-HCl buffer: 取 12.1g Tris hydrochloride 溶於約 700 mL 的去離子水中，以氫氧化鈉將溶液 pH 值調整至 7.4，再以去離子水定量至 1000 mL。
- (3) 抗壞血酸標準液: 將 25 mg 的抗壞血酸 (ascorbic acid) 以 80% 甲醇定量至 50 mL，製備成為 500 ppm 抗壞血酸母液。再將母液稀釋 20 倍成為 25 ppm 標準液，將其依序對半稀釋為 12.5、6.25、3.125、1.5625 ppm 之抗壞血酸標準液。

在 2 mL 微量離心管中加入 0.6 mL 樣品萃取液/標準液，再依序加入 0.6 mL Tris-HCl buffer 以及 0.8 mL DPPH 溶液後，置於避光環境中反應 20 分鐘，以分光光度計測定 A_{517} ，計算樣品的 DPPH 自由基清除能力，DPPH 自由基清除能力計算公式為： $[1 - (A_{517} \text{ 樣品萃取液/標準液} / A_{517} \text{ 空白對照組})] \times 100\%$ 。再以抗壞血酸標準液製成的檢量線計算樣品相對應的抗氧化能力，空白對照組以萃取溶劑取代樣品萃取液。樣品的抗氧化力以抗壞血酸當量 (ascorbic acid equivalence, ACE) 表示。樣品抗氧化力計算方式： $\text{樣品萃取液的抗壞血酸當量濃度 (ACE mg/L)} / 1000 \text{ (mL/L)} \times \text{萃取液體積 (mL)} / \text{樣品凍乾粉末取樣重量 (g)} = \text{樣品抗壞血酸當量 (mg ACE / g DW)}$

II. ABTS 自由基清除能力測定

參考 Re et al. (1999) 之方法修改

反應試劑製備：

- (1) 7 mM ABTS 溶液: 將 38.4 mg ABTS 溶於去離子水中，並定量至 10 mL。

- 
- (2) 2.5 mM 過硫酸鉀溶液: 將 6.8 mg 過硫酸鉀 (potassium persulfate) 溶於去離子水中，並定量至 10 mL。
- (3) Trolox 標準液: 將 12.5 mg Trolox 溶於 25 mL 80% 甲醇，製備為 500 mg/L 的母液，再以 80% 甲醇將母液稀釋為 100、50、25、10、5 mg/L 之標準液。
- (4) ABTS^{•+} 自由基溶液: 將按以上步驟配製成的 7mM ABTS 溶液與 2.5 mM 過硫酸鉀溶液均勻混合，在避光環境下儲藏 16-24 小時，成為深藍綠色的 ABTS^{•+} 自由基溶液。

取 1 mL ABTS^{•+} 自由基溶液加入 25 mL 80% 甲醇稀釋，並依序在 96 孔盤中加入 20 μ L 樣品液/標準液與 180 μ L 稀釋過的 ABTS^{•+} 自由基溶液，在避光環境下反應 6 分鐘，以 A₇₃₄ 測定吸光值，計算樣品萃取液的 ABTS^{•+} 自由基清除能力，自由基清除能力計算公式為: $[1 - (A_{734} \text{ 樣品萃取液} / A_{734} \text{ 空白對照組})] \times 100\%$ 。以 Trolox 標準液製成的檢量線計算樣品相對應的抗氧化能力，空白對照組以萃取溶劑取代樣品萃取液。樣品的抗氧化力以 trolox 當量 (trolox equivalence, TE) 表示。樣品抗氧化力計算方式: 樣品萃取液的 trolox 當量濃度 (TE mg/L) / 1000 (mL/L) $\times$ 萃取液體積 (mL) / 樣品凍乾粉末取樣重量 (g) = 樣品 trolox 當量 (mg TE /g DW)

(七) 果肉酵素活性分析

於酪梨後熟後熟試驗的第 1、5、7 和 9 天，自酪梨果實近果梗端、中間部分與遠果梗端取適量果肉以液態氮冷凍，置於茶包濾袋和夾鏈袋中並以 -80°C 保存。萃取前先製備 0.1M 磷酸緩衝液，秤取 9.633 g 十二水合磷酸氫二鈉 (Na₂HPO₄•12H₂O) 與 11.404 g 二水合磷酸二氫鈉 (NaH₂PO₄•2H₂O) 溶於 800 mL 去離子水中，並以氫氧化鈉將其 pH 值調整為 7.0，再定量至 1000 mL。萃取時將適量冷凍果肉放到冰浴研鉢中以液態氮研磨，取 0.5 g 磨碎粉末至 15 mL 離心管，並加入 10mL 磷酸緩衝液。密封後以超音波震盪 60 秒，再於 4°C 冰浴中均勻搖晃 30 分鐘，接著以低溫離心機離心 20 分鐘 (10000 rpm, 4°C)，取上清液作為酵素萃取液，用於蛋白質含量測定與酵素活性測定。



I. 多酚類氧化酵素 (Polyphenol oxidase, PPO) 活性測定

參考 Golan et al. (1997) 之方法修改

反應試劑製備

- (1) 0.1M 磷酸緩衝液 (pH=7.0): 秤取 9.633g 十二水合磷酸氫二鈉 ($\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$) 與 11.404g 二水合磷酸二氫鈉 ($\text{NaH}_2\text{PO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) 溶於 800 mL 去離子水中，並以氫氧化鈉將其 pH 值調整為 7.0，再定量至 1000 mL。
- (2) 0.5M 鄰苯二酚溶液: 取 1.376g 鄰苯二酚 (catechol) 以去離子水定量至 25 mL。

在石英管中加入 1 mL 磷酸緩衝液，再依序加入 0.4 mL 鄰苯二酚溶液和 0.6 mL 酵素萃取液，立即以分光光度計測定 A_{420} ，15 秒測定一次，持續 1 分鐘。以每分鐘吸光值變化 0.01 為一活性單位 (Unit)。多酚類氧化酵素活性計算方式為: 吸光值變化 (Unit) / 萃取液蛋白質含量 (mg)

II. 過氧化酵素 (Peroxidase, POD) 活性測定

參考 Golan et al. (1997) 與 Zhang et al. (2013) 之方法修改

反應試劑製備

- (1) 0.04M 愈創木酚溶液: 取 0.125g 愈創木酚 (guaiacol) 以去離子水定量至 25 mL。
- (2) 0.03M 過氧化氫溶液: 自購得的 30% w/v 過氧化氫溶液取 0.1g 加入 30 mL 去離子水。

在石英管中加入 1 mL 磷酸緩衝液，再依序加入 0.1 mL 愈創木酚溶液和 0.1 mL 過氧化氫溶液，最後加入 0.8mL 酵素萃取液，立即以分光光度計測定 A_{470} ，每 15 秒測定一次，持續 3 分鐘。以每分鐘吸光值變化 0.01 為一活性單位 (Unit)。

III. 過氧化氫酵素 (Catalase, CAT) 活性測定

參考 Golan et al. (1997) 與 Zhang et al. (2013) 之方法修改

反應試劑製備

- (1) 0.3% w/v 過氧化氫溶液: 自購得的 30% w/v 過氧化氫溶液取 1 mL 以去離子水稀釋到 100 mL。



在石英管中加入 1 mL 磷酸緩衝液，再加入 0.8 mL 過氧化氫溶液和 0.2 mL 酵素萃取液，立即以分光光度計測定 A_{240} ，每 15 秒測定一次，持續 1 分鐘。以每分鐘消耗 1 nmol 過氧化氫為一活性單位 (Unit)。

過氧化氫酵素活性計算方式: $\Delta A_{240} \times 200$ (酵素萃取液反應體積, μL) $\times 50$ (稀釋倍率) / [萃取液蛋白質含量 (mg) $\times 1$ (光穿透長度, cm) $\times 40$ (消光係數, $\text{mM}^{-1} \cdot \text{cm}^{-1}$)]

IV. 蛋白質含量測定

參考 Bradford (1976) 之方法修改

反應試劑製備

- (1) 20% v/v 蛋白質染劑: 將蛋白質染劑 (Bio-Rad protein assay dye reagent) 原液稀釋五倍作為反應試劑。
- (2) 牛血清蛋白標準品: 秤取 1000 μg 牛血清蛋白 (bovine serum albumin, BSA)，加入 1 mL 去離子水，配成濃度 1000 $\mu\text{g/mL}$ 之母液，再以磷酸緩衝液 (0.1M, pH=7.0) 稀釋為 500、400、250、125、62.5、31.25 $\mu\text{g/mL}$ 之標準液。

於 96 孔盤中加入 5 μL 樣品，再加入 180 μL 稀釋過的蛋白質染劑，待其避光反應 10 分鐘後測定 A_{595} 吸光值，以牛血清蛋白標準液製成的檢量線計算樣品相對應的蛋白質含量，空白對照組以磷酸緩衝液取代酵素萃取液。樣品的蛋白質含量單位以 mg protein/g FW 表示。

第四節 試驗藥品與儀器

(一) 試驗儀器

電子游標卡尺: 0-300MM，安邦儀器 (台南，臺灣)

電子秤: MX-918，印大有限公司 (台北，臺灣)



色差儀: CR-400, KONICA MINOLTA

手持式果實硬度計: MIT-XAN-3, 錫特工業科技有限公司 (高雄, 臺灣)

烘箱: 580, 皆得實業股份有限公司 (台南, 臺灣)

冷凍乾燥機: CT-5020D, 泛群科技有限公司 (高雄, 臺灣)

磨粉機: RT-02A, 榮聰精密科技有限公司 (台中, 臺灣)

分光光度計: Epoch2, BioTek

低溫離心機: Pro Analytical C4000R, Centurion Scientific Limited

超音波震盪槽: DC600H, 三角洲超音波有限公司 (新北, 臺灣)

索式萃取儀: Soxtec 2050, Foss

(二) 樣品萃取溶劑

甲醇 (methanol): Honeywell, ACS/HPLC 等級

正己烷 (95% n-hexane): J.T. Baker, HPLC 等級

(三) 果肉總酚分析藥品

弗林試劑 (Folin-Ciocalteu's phenol reagent): Merck

碳酸鈉 (sodium carbonate): nacalai tesque

沒食子酸 (gallic acid): Sigma-Aldrich

(四) 果肉抗氧化能力分析藥品

DPPH (2,2-Diphenyl-1-picrylhydrazyl): Sigma-Aldrich

Tris(hydroxymethyl) aminomethane: Merck, ACS 等級

L-Ascorbic acid: Sigma-Aldrich

ABTS (98% 2,2'-Azino-bis(3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid) diammonium salt):

Thermo scientific

Trolox ((+)-6-Hydroxy-2,5,7,8-tetramethylchromane-2-carboxylic acid): Sigma-Aldrich



(五) 果肉酵素活性分析藥品

十二水合磷酸氫二鈉 (sodium hydrogenphosphate 12-water): nacalai tesque

二水合磷酸二氫鈉 (sodium dihydrogenphosphate dihydrate): nacalai tesque

鄰苯二酚 (1,2-Dihydroxybenzene): Sigma-Aldrich

愈創木酚 (guaiacol): Cayman Chemical Company

過氧化氫溶液 (30% w/v hydrogen peroxide): 片山貿易株式會社

牛血清白蛋白 (albumin from bovine serum): Sigma-Aldrich

蛋白質染劑 (Bio-Rad protein assay dye reagent concentrate): Bio-Rad

第五節 數據分析

試驗數據以 Microsoft Excel 2019 整理，並以 R 語言 (RStudio 2023) 進行 ANOVA 和 Tukey's HSD 多重比較等統計分析及繪圖。



第三章、結果與討論

第一節 早生種‘黑美人’與中生種‘紅嬌’果實之生長發育

(一) 早生種‘黑美人’的果實發育、粗脂肪及乾物質含量

自 2022 年 5 月 7 日開始調查至採收末期 8 月 1 日，‘黑美人’酪梨果實長度從 87.63 mm 增加到 189.81 mm (圖 1)，寬度則由 38.72 mm 增加為 92.36 mm (圖 2)。果長的生長速率以果實標定後第 0 天至 23 天 (5 月 7 日到 5 月 30 日) 最快，平均為 1.52 mm/day；果實標定後第 65 天至 86 天 (7 月 11 日到 8 月 1 日) 生長速率趨緩至 0.77 mm/day。果實寬度的生長速率變化趨勢與果實長度類似，果實標定後第 0 天至 23 天平均為 0.78 mm/day，標定後 65 天至 86 天趨緩為 0.46 mm/day。根據果實長度及寬度的發育情形，皆可繪製出一開口向下的二次迴歸曲線 (圖 1 及圖 2)，可知調查期間應屬‘黑美人’酪梨果實單 S 型發育曲線的後半段。依照迴歸模型推估，果實長度及寬度最大值約為 223.29 mm 及 118.73 mm，分別應於標定後約 170 天和 200 天達到。然而果實標定後第 86 天已屆該年度商業採收期的最後階段，部分‘黑美人’酪梨掛樹果實已開始出現自然落果的情形，因此未能達到模型推估的長度及寬度最大值。此外 2022 年度調查期間已為果實發育後期，可觀察到‘黑美人’果實的生長速率逐漸趨緩，然而果實於調查末期的生長速率尚有初期的一半左右，與 Lee and Young (1983) 發現‘Fuerte’和‘Hass’果實在發育後期生長幾乎完全停滯的結果不同 (Lee and Young, 1983)，因此可知不同品種酪梨果實的發育情況雖然同為單 S 型曲線，但無法皆以生長速率停滯作為各品種適採期的參考依據。

從 5 月 30 日到 8 月 1 日‘黑美人’的果肉粗脂肪含量持續累積，自 1.71% 增加到 3.38% (圖 3)，後期累積的速度減緩，最終粗脂肪含量與前人的分析結果為 3.59% 接近 (鄧，2010)。陸 (2002) 從‘黑美人’ (其研究中以‘79-65-3’稱呼該品種) 的基因型判斷其應屬於純品系的西印度系或瓜地馬拉系品種，若從其粗脂肪含量判斷，‘黑美人’較有可能屬於油脂含量最低的西印度系品種。



雖然在果實發育後期‘黑美人’果肉的粗脂肪持續累積，但是果肉的乾物質含量卻沒有顯著提高，始終維持在 12% 左右 (圖 3)，將‘黑美人’果肉的粗脂肪與乾物質含量進行相關性分析，結果並未具有顯著相關性 (圖 4)，和一般認為酪梨果肉的乾物質含量與粗脂肪含量應有高度相關性的假設不甚相符 (Lee et al., 1983; Woolf et al., 2003)，推測可能因為‘黑美人’的果肉粗脂肪含量相當低，即便在發育過程中有所累積，對乾物重增加的貢獻並不大。Stahl (1931) 在美國佛羅里達州進行的研究也發現西印度系‘Pollock’品種酪梨在發育過程中果肉的粗脂肪含量從 1.22% 提升至 5.21%，然而其果肉乾物重含量卻同樣沒有明顯增加。

(二) 中生種‘紅嬌’的果實發育、粗脂肪及乾物質含量

自 2022 年 5 月 30 日調查開始至 11 月 14 日採收末期，‘紅嬌’酪梨的果實長度從 77.83 mm 增至 149.42 mm (圖 5)，寬度從 42.13 mm 增加到 87.4 mm (圖 6)。果實長度與寬度的生長速率到發育後期皆明顯地趨緩。果長的生長速率在果實標定後第 0 到 21 天 (5 月 30 日至 6 月 20 日) 最快，平均為 1.12 mm / day，後隨果實發育持續減少，果實標定 126 天 (10 月 3 日) 以後已少於 0.1 mm / day，果實寬度的生長速率變化與果長相似，果實標定後第 0 到 21 天的平均生長速率為 0.65 mm / day，標定後第 147 天至 168 天 (10 月 24 日到 11 月 14 日) 趨緩為平均 0.02 mm / day。與早生種的‘黑美人’相比，中生種‘紅嬌’的果實掛樹期間較長，在發育後期有較為明顯的生長速率趨緩現象。根據‘紅嬌’果長及寬度的發育情形，同樣可分別繪製出二次迴歸模型 (圖 5 及圖 6)，可以從模型判斷調查期間應屬‘紅嬌’酪梨果實單 S 型發育曲線的後半段。依照迴歸模型推估，果實長度及寬度最大值約為 149.02 mm 及 87.68 mm，分別應出現於果實標定後約 144 天和 156 天。雖然‘紅嬌’果實的長度和寬度各自實際上於第 144 天和 156 天後仍持續增加，最終次調查的果長和寬度也都大於模型估算的最大值，然而在模型推估的最大值出現時間前後，‘紅嬌’果長和寬度的生長速率皆已相當緩慢，表示該生長模型對‘紅嬌’酪梨果實具一定的

參考性。



6月20日至11月14日期間，‘紅嬌’的果肉粗脂肪含量從2.41%增加至7.56%，發育過程中果肉粗脂肪皆持續累積(圖7)。「紅嬌」的果肉粗脂肪含量在9月12日前持續累積，但果肉乾物重則維持在13%到14%之間，於9月12日後才有顯著的增加，於此同時果肉粗脂肪含量也持續累積，至10月3日以後已超過5%(圖7)。「紅嬌」果實在6月20日至11月14日期間整體的果肉乾物質含量和粗脂肪含量仍具有高度相關性($r = 0.938$)(圖8)，若繪製「紅嬌」果肉乾物質含量與粗脂肪含量的線性迴歸模型，也可得到良好的判定係數($R^2 = 0.8795$)，代表對於「紅嬌」果實而言，可以從果肉乾物質含量來估計果肉的粗脂肪含量。「紅嬌」為臺灣的地方品種，也是嘉義竹崎產區的重要中生種，試驗果園的商業採收期約從9月中開始，與2022年的調查結果對照可得之此時「紅嬌」的果長生長速率已趨緩至0.17 mm / day以下，果肉乾物質含量也明顯累積至16%以上，表示「紅嬌」在目前依生產者經驗判斷達採收成熟度時與其他國外品種的表現相似，是在生長明顯趨緩和乾物質含量明顯增加時採收，此或許可作為國內他處果園栽培該品種的採收時期參考。

(三) ‘黑美人’和‘紅嬌’果實發育期間各性狀間之關係

由於臺灣的酪梨果品市場除晚生種(於每年11月後進入適採期的品種)外，多數仍為本地品種，對於果實後期的發育性狀與內容物的累積關係，仍未有充足的資訊，而目前臺灣的酪梨生產者仍多從果實的大小及外觀變化來判斷果實的採收時期。將2022年度兩品種酪梨果實發育期間的果實長度、寬度、重量、果肉乾物質和粗脂肪含量進行相關性檢定，‘黑美人’(表1)和‘紅嬌’(表2)與果實發育相關的果長、寬度、果重等性狀間皆具有高度相關性，其中寬度與重量的相關性最佳，相關係數皆大於0.9。然而由於‘黑美人’果肉的乾物質含量在後期發育中沒有明顯變化，因此與其他性狀間的相關性差。而‘黑美人’果肉的粗脂肪含量與果實長度、寬度和重量分別皆呈現高度相關，唯同樣與乾物質含量未有顯著相關。‘紅嬌’果肉

乾物質含量在發育後期持續增加，因此整體與果長、果寬及果重皆具中度相關性，其中又以重量和乾物質含量間的相關性最高 ($r=0.648$)，而‘紅嬌’果肉粗脂肪含量與其他各性狀皆有高度相關性 (表 2)，除了國外酪梨產業即已常用於估算果肉粗脂肪的乾物質含量以外，‘紅嬌’果實的外觀性狀如果長、寬度和重量與果實內部的果肉粗脂肪含量也有良好的連動關係。

第二節 採收時性狀對‘黑美人’果實後熟表現之影響

(一)不同採收期的‘黑美人’果實性狀差異

自 2022 年 6 月 20 日開始每隔三週採收，共採收三次。越接近後期所採收之果實，果實的長度、寬度及重量皆顯著增加，種子重量則以 8 月 1 日採收之果實最重，但是果肉率則在 7 月 11 日後穩定，與後續採收無顯著差異；生長後期採收的果實，果肉粗脂肪含量顯著增加 (表 3)。後熟試驗三次採收之果實的果肉乾物質含量有顯著增加，其中 6 月 20 日和 7 月 11 日採收之果實平均乾物質含量分別為 9.6% 及 10.6%，相較作為同時期生長發育調查的果實為低 (圖 3)，直到 8 月 1 日採收的果實平均乾物質含量才增加至 12.7%(表 3)。由於生長調查的果實和用於了解後熟表現的果實來自園區內不同植株，同一試驗果園內各樹的生物性差異及開花時間差異，都可能造成同一果園內果實發育成熟度不均一的情形。為確認‘黑美人’果實發育期間的果肉乾物質含量累積情形，2023 年度再次於同一果園採樣。發現該年‘黑美人’果實在果肉粗脂肪含量僅有 1.48%時，果肉乾物質含量即達 13% (圖 9)，隨著果實逐漸發育、果肉粗脂肪含量逐漸增加也未有顯著變化，表示前一年度後熟試驗用果實的果肉乾物質含量之所以顯著提升較有可能是取樣造成的誤差。

隨著採收時期越晚，‘黑美人’果實的後熟所需天數略為減少，其中以第二次採收之果實至完全後熟最短，僅需 5 天的時間 (表 3)。目前對於影響酪梨果實後熟的因子有數種假說，Liu et al (2002) 的研究指出酪梨果實中的七碳糖 (甘露庚酮糖 mannoheptulose 和甘露庚糖醇 perseitol) 有抑制酪梨後熟的作用，而酪梨採收後果



實內的七碳糖含量會逐漸減少，當其減少至一定門檻值以下果實便會開始後熟。此外，酪梨果實中的植物賀爾蒙也被認為有調控後熟的功能，其中除了乙烯外，離層酸 (ABA) 亦被認為有促進酪梨果實後熟的功能 (Meyer et al., 2017; Vincent et al., 2020)，Blakey et al (2009) 從酪梨蒂頭處注入 ABA 水溶液，發現處理組的後熟時間較未經任何處理的對照組短。綜合以上假說，酪梨果實的成熟度對後熟表現的影響，應為多種內含物質共同調控。因此‘黑美人’果實並非在最後一次採收時有最短的後熟時間，推測可能和果實重量大幅增加，導致果實中累積的七碳糖含量較高或是果實中的 ABA 濃度被果實增加的重量稀釋而變低有關，使得第三次採收之果實的後熟時間 (6 天) 較第二次採收來得長 (表 3)。

(二) ‘黑美人’酪梨果實後熟期間的性狀變化

1. 果實硬度、重量及蒂頭萎凋程度變化

‘黑美人’果實在後熟期間逐漸軟化，從手觸硬度標示後熟等級來看，不同採收期的‘黑美人’果實採收後的後熟程度等級皆逐漸提高 (圖 10)，其中以 7 月 11 日採收的果實軟化最快，在第五天平均硬度已達後熟標準的第四級 (soft-ripe)，軟化最慢者為最早採收的 6 月 20 日批次。另以硬度計測得的果肉硬度值標定果肉軟化表現，7 月 11 日採收之果實硬度在第三天顯著降低，而 6 月 20 日及 8 月 1 日採收之果實則在第五天顯著降低 (圖 11)。

酪梨果實採收後會因為表皮蒸散和果實的呼吸作用導致失水，果實重量因而減輕 (Tesfay et al., 2011)。試驗結果顯示 8 月 1 日採收的‘黑美人’果實在後熟過程中失重最多，6 月 20 日採收的果實失重最少，由於較大的果實可能因表面積和表皮皮孔數較多，因此水分散失較快 (Lufu et al., 2020)。從果實的長度和寬度判斷，較晚採收之‘黑美人’果實體積和表面積較大 (表 3)，應是其於後熟期間失重較多的原因。



酪梨果實的蒂頭在果實掛樹期間為運送水分和養分的重要組織，但在採收後會慢慢失水萎凋，目前針對酪梨果實蒂頭在後熟中如何變化的研究甚少，若蒂頭的萎凋程度與果實後熟程度有高度相關性，將有可能作為同時適用於轉色和不轉色品種的後熟程度判斷指標。果實後熟期間，蒂頭萎凋程度的變化趨勢和果實後熟等級的變化類似 (圖 12)，以 7 月 11 日採收之果實其蒂頭最快失水萎凋，在第五天萎凋程度接近第四級 (平均為 3.93)，6 月 20 日批次的萎凋速度最慢，至第八天平均萎凋程度才逾第四級 (平均為 4.2)。透過斯皮爾曼相關性分析，‘黑美人’果實的後熟等級和蒂頭萎凋程度等級兩變數也具有高度相關性 (表 4)，顯示其有作為‘黑美人’果實後熟程度判斷指標的潛力。惟酪梨果實蒂頭採收後容易因包裝或運送過程折斷，較難確保每顆果實採收後所保留的蒂頭長度及狀態一致，此為酪梨運銷相關研究可注意的地方。

2. 果實表皮顏色變化

‘黑美人’屬於在後熟期間果皮顏色會逐漸自青綠色轉為紫紅色的品種，而不同採收期的各批次果實在採收後果色指標皆有逐漸提高的趨勢 (圖 17)，其中 6 月 20 日採收的果實轉色速度最慢，於第四天果色指標才有提高，而 7 月 11 日採收的果實轉色最快，於第 5 天已達果色指標的等級四 (轉色面積 2/3 以上) (圖 14)。
‘黑美人’果皮的 a^* 值在後熟期間逐漸增加，代表果實逐漸由綠轉紅，在果實後熟末期果皮顏色會再由紅轉為紫黑，此時 a^* 值則會略為下降 (圖 15A)。不同採收時期的比較，仍以 7 月 11 日採收之果實的 a^* 值變化最快，顯示其確實是轉色最快的批次。試驗中以肉眼主觀判斷的果色指標與以色差儀測量的 a^* 值呈高度相關 ($r = 0.849$) (圖 16)，表示果色指標 (果實的轉色面積) 與果實整體的紅綠色度變化相關，對果實轉色情形有良好的參考性。

代表黃藍色譜的 b^* 值在果實後熟過程中呈現下降的趨勢，同樣是以 7 月 11 日採收之批次下降最快，8 月 1 日次之，6 月 20 日最慢 (圖 15B)。代表亮度的 L^* 值

以 6 月 20 日採收之果實第 1 天的起始值較低，第 3 天略有上升，而後持續下降，7 月 11 日和 8 月 1 日批次則都呈現持續減少的趨勢，其中 7 月 11 日採收之果實因轉色較快， L^* 值減少也最為明顯 (圖 15C)。整體上‘黑美人’果皮在後熟過程中 a^* 值會提高， b^* 值和 L^* 值則減少，而轉色較快的批次在三項色值上皆可反映其劇烈的變化。此外‘黑美人’的果色指標與後熟等級有高度相關性 (表 4)，表示‘黑美人’採收後的果色變化能提供作果實後熟程度的參考。

3. 果肉顏色之變化

果肉顏色為果肉品質重要的指標之一，不同採收期的‘黑美人’果肉在後熟期間 b^* 值和 L^* 值皆有下降表現 (圖 17)，此結果與楊 (2005) 針對‘嘉選三號’所得的研究結果相符，後熟期間果肉的黃色色澤變淡、亮度降低應和果實後熟有關。6 月 20 日採收之果實在儲藏第 1 天果肉 b^* 值和 L^* 值的起始值為三個採收期間最低，而其變化則在第 5 天以後才明顯降低，應是其後熟速度較緩慢的緣故。7 月 11 日批次果實的後熟速度最快， b^* 值和 L^* 值皆在第 3 天大幅降低。代表紅綠色譜的 a^* 值於各採收批次的後熟過程中皆有增加的趨勢，後熟速度快的 7 月 11 日批次在第 3 天以後 a^* 值快速增加，6 月 20 日採收的果實雖然後熟速度最慢，但是在完成後熟以後果肉褐化的情形最為嚴重 (圖 18)，可能是其在儲藏後期 a^* 值增加的主要原因。若進一步觀察果肉切開後 0、15、45 分鐘後的果肉色澤，其中 a^* 值都有增加的趨勢，其中 7 月 11 日採收之批次在第 7 天和第 9 天果肉 a^* 值隨著暴露在空氣中時間增加有顯著提高 (圖 19)，果肉切開以後的 b^* 值唯有 6 月 20 日和 7 月 11 日批次在第 1 天有顯著的減少 (圖 20)，而 L^* 值在果肉切開後則無顯著的變化 (圖 21)。

第三節 採收時性狀對‘紅嬌’果實後熟表現之影響

(一) 不同採收期的‘紅嬌’果實性狀差異

‘紅嬌’採收期自 9 月 12 日至 11 月 14 日，共採收 4 次。果實於採收期間持續發育，果實長度與重量皆是以第一次採收之果實最低，最後一次採收最高，然而第三次 (10 月 24 日) 採收之果實，長度與重量與前兩次採收果實並無顯著增加 (表 5)，因為試驗期間適逢商業採收期，而一般商業果園常自較大的果實開始採收，使得當時能取樣的果實尺寸較小。果實寬度和種子重量在四次採收間並無差異，果肉率則是最後一次採收顯著較初期採收者高，果肉的粗脂肪含量隨著採收期越晚有增加的趨勢，而果肉乾物質含量的變化趨勢與粗脂肪含量相似 (表 5)。

‘紅嬌’果實的後熟天數在四次採收間沒有顯著的差異，皆在採收後 9 天左右完成後熟 (表 5)。多數研究指出酪梨果實的後熟時間會隨著採收時期延後而減少，本試驗中‘紅嬌’前期採收之果實的後熟天數確實略長一些，但各採收批次間並無顯著差異。酪梨果實的後熟時間如前述可能與果實中的七碳糖和賀爾蒙含量有關 (Blakey et al., 2009; Liu et al., 2002)，或許因不同採收期的‘紅嬌’果實大小差異較不明顯，使得果實內部影響後熟的物質濃度差異不大，因此在後熟天數上並未發現明顯差異。

(二) ‘紅嬌’果實後熟期間的性狀變化

1. 果實硬度、重量及蒂頭萎凋程度變化

以手觸硬度判斷後熟等級，於第 5 天以後後熟等級有較明顯的提高，且不同採收期的批次間變化速度相似，後期兩次採收 (10 月 24 日和 11 月 14 日) 的果實軟化速度比前兩次稍快一些 (圖 22)。在後熟試驗第 9 天，‘紅嬌’各批次果實的手觸硬度皆尚未達到完熟標準的第四級，相較於‘黑美人’整體後熟的速度較慢。以硬度計測得的果肉硬度方面，不同採收期的‘紅嬌’果實都在第 9 天顯著降低 (圖 23)。

‘紅嬌’果實的重量變化是以 10 月 3 日和 10 月 24 日採收之果實有較高的失重率 (圖 24)，不同於‘黑美人’較晚採收之果實失重較多。應是由於‘黑美人’果實在不同

採收時期間果實大小的差異甚鉅，進而明顯地影響果實的失重，而‘紅嬌’各批次果實的大小差異不如‘黑美人’，因此對果實失重的影響較不明確。

蒂頭萎凋程度的變化趨勢和後熟程度相似 (圖 25)，而兩指標也具有高相關性 ($r = 0.842$) (表 6)。目前結果顯示，蒂頭萎凋的狀態對‘黑美人’和‘紅嬌’兩品種都能夠作為果實後熟程度的參考，然而此指標對於其他品種的適用性和前述提及蒂頭狀態難以一致的問題仍需要更多研究探討與克服。

2. 果皮顏色變化

‘紅嬌’同屬於採收後會轉色的品種，試驗中不同採收期之果實在後熟期間果色指標等級皆逐漸提高 (圖 26)。然而越晚採收的果實其果色指標起始值越高，是因為試驗期間觀察到部分‘紅嬌’果實在產季後期仍掛樹時，表皮即有部分紅斑出現，如 11 月 14 日採收之果實於採收後第 1 天的平均轉色面積即已超過三分之一，而其採收後第 1 天果皮的 a^* 值也顯著高過其他批次 (圖 27)。「紅嬌」果實在後熟期間的果色指標和 a^* 值仍有高度相關性 (圖 28)。由於產季後期部分的果實在採收當下表皮已有轉色，但果實皆尚未後熟軟化，Cox et al. (2004) 在產季晚期的‘Hass’果實也觀察到同樣的現象，雖然果實在掛樹已有部分表皮轉色，但果實仍未開始後熟。可發現越晚採收的‘紅嬌’果實其果色指標和後熟程度的相關性越差 (表 6)，因此果色指標可能較不適合用以判斷產季晚期採收之‘紅嬌’果實的後熟程度。

雖然不同採收時期果實的表皮 a^* 值起始點不同，但都在第 5 天以後明顯提高 (圖 27)，與果實軟化的時期點接近。而‘紅嬌’果實表皮後熟期間 b^* 值和 L^* 值的變化趨勢相似，都在第 5 天以後急遽地下降，因為各採收批次的後熟速度接近，彼此並無顯著差異。

3. 果肉顏色之變化



‘紅嬌’果肉的 a^* 值在後熟期間不若‘黑美人’有明顯的增加表現，各採收批次在不同天數間也沒有顯著差異 (圖 29A)， b^* 值和 L^* 值在第 5 天以後有減少的趨勢，同樣顯示在果實接近完熟時會有果肉黃色轉淡、亮度減少的情形 (圖 29B 與圖 29C)。進一步觀察果實切開以後的果肉顏色變化，可發現 9 月 12 日採收批次在第 1、第 7 和第 9 天果肉 a^* 值隨切開後時間增加皆有顯著的提升 (圖 30)，此結果與後續的果肉總酚含量及多酚氧化酵素分析結果應有關連，而‘紅嬌’果肉切開以後的 b^* 值和 L^* 值變化則較無明顯的趨勢 (圖 31 和圖 32)。

第四節、採收時性狀對‘黑美人’與‘紅嬌’果肉生理障礙與病害發生之影響

後熟期間‘黑美人’與‘紅嬌’果肉的生理障礙皆隨著時間增加而越趨嚴重。‘黑美人’中後熟最快的 7 月 11 日批次在第 5 天即出現維管束褐化的癥狀 (圖 33)，且受影響的果肉比率持續增加，同一批次也在第 7 天出現果肉褐化，並在第 9 天大幅增加 (圖 34)。Hoplink (1994) 指出果實在完熟以後內部褐化發生率會大幅增加，而試驗中‘黑美人’各批次約在 5 到 7 天完熟，因此可以看到 7 到 9 天此期間生理障礙發生也較為嚴重。‘紅嬌’在後熟期間以維管束褐化為主要的生理障礙，在第九天明顯增加 (圖 35)，但整體嚴重程度不若‘黑美人’，應是由於‘紅嬌’在後熟期間後熟速度較慢的緣故，而後熟期間兩品種酪梨內部果肉皆未明顯受到蒂腐病和炭疽病的影響。在果實完熟的生理障礙與病害發生情形，‘黑美人’ (圖 21) 和‘紅嬌’ (圖 38) 分別為 6 月 20 日和 9 月 12 日採收之果實最為嚴重。生理障礙與真菌病害在國外較易發生於產季後期採收的酪梨果實 (Bowen et al., 2018; Cutting et al., 1992; Erickson et al., 1970)，然而本試驗中卻是較早採收的果實生理障礙與病害發生較為嚴重。

若進一步以斯皮爾曼相關性檢定分析果實採收時性狀和後熟表現間的關係 (表 7 與表 8)，在後熟所需天數方面，‘黑美人’的果實長度和果肉率與後熟天數具低度負相關性，‘紅嬌’果實採收時各性狀與後熟天數則皆無顯著相關性。而在果實



完熟後的品質方面，‘黑美人’果實除了種子重量外，各性狀皆與果肉維管束褐化面積具低中度相關性，其中又以果長有最高的負相關性 ($r=-0.487$)，代表果長較長的‘黑美人’果實完熟後發生維管束褐化的情形較輕微，此外後熟所需天數與維管束褐化面積也具中度正相關 ($r=0.413$)，表示後熟所需天數較長的果實完熟後維管束褐化較為嚴重。‘黑美人’的果長、寬度、重量及果肉率與果肉褐化面積呈中度負相關，其中果肉率的相關性最高 ($r=-0.676$)，試驗中較晚採收的‘黑美人’果實果肉率較高 (表 3)，果肉褐化也較輕微 (圖 21)。¹‘黑美人’受病害影響的果肉面積與採收時各性狀則皆無顯著的相關性。‘紅嬌’果實採收時性狀中僅後熟所需天數與維管束褐化、蒂腐病及果斑病有低度的負相關，表示後熟所需天數較短的‘紅嬌’果實完熟後果肉受維管束褐化及病害影響的程度有些微提升。

第五節、不同採收時期對‘黑美人’與‘紅嬌’果肉總酚含量之影響

酪梨果肉中的多酚類化合物含量是影響果肉褐化潛力的重要因素之一 (Bower, 1988)。²‘黑美人’的分析結果顯示 6 月 20 日批次在採收後第一天有最高的果肉總酚含量，且各批次間隨著採收時期延後呈現減少的趨勢 (圖 37)。不同採收期的‘黑美人’酪梨果肉在後熟期間的總酚含量皆有所提升 (雖然 8 月 1 日採收的果實無第 7-9 天的結果)，然而只有 6 月 20 日採收之批次於第 9 天達統計上的顯著差異 (儲藏天數間比較未標示於圖上)。³‘紅嬌’果肉在採收後第一天的表現與‘黑美人’相似，各批次同樣是最早採收的 (9 月 12 日) 總酚含量最高 (圖 38)，各批次在後熟期間有先略為減少後提升的趨勢，前三次採收之批次在儲藏第 9 天總酚含量皆有顯著提高。兩品種果肉的總酚含量在後熟期間都有提高的趨勢，與前人研究指出酪梨果肉在後熟過程中總酚含量會增加的結果相符 (Villa-Rodríguez et al., 2011)。

兩品種酪梨的果肉總酚含量皆以採收時間較早的批次為高，在後熟初期尤其明顯。此結果和 Cutting (1992) 使用‘Fuerte’及 Rooyen and Bower (2006) 使用‘Pinkerton’所得到酪梨果肉於產季後期總酚含量較高的結果不同，然而 Wang et al.

(2012) 使用‘Hass’作為材料的分析結果也屬較早採收的果實總酚含量較高，由此可知不同採收期之酪梨其果肉多酚類化合物的變化可能因品種而有所差異。若和果肉發生生理障礙的結果對照，‘黑美人’與‘紅嬌’同樣皆以最早採收的批次其果肉受生理障礙造成的褐化最為嚴重，表示後熟初期的總酚含量多寡對果肉的品質確實有所影響。

‘黑美人’不同果肉部位的總酚含量僅有 6 月 20 日採收之批次在第一天有所差異，以遠果梗端（果實基部）的總酚含量較高（表 9）。「紅嬌」不同果肉部位同樣在儲藏第一天可以觀察到較早採收的 9 月 12 日和 10 月 3 日批次在遠果梗端有較高的總酚含量（表 10），其他天數的差異則較不明顯。Golan et al (1997) 的研究中發現到‘Fuerte’果實遠果梗端果肉的總酚含量及 PPO 活性較高，可能是此部位較容易發生褐化的原因。

第六節、不同採收時期對‘黑美人’與‘紅嬌’果肉抗氧化力之影響

本試驗以兩種清除自由基 (DPPH 與 ABTS) 的方法測定酪梨果肉在後熟期間的抗氧化能力表現。「黑美人」方面，採收後第一天為 6 月 20 日採收之批次在兩種測定方法上都具高的抗氧化能力（圖 39 和圖 40），而「紅嬌」在採收後第一天以 DPPH 法測得的抗氧化力不同採收時期間並沒有差異（圖 41），ABTS 測得的抗氧化能力則是 9 月 12 日批次最高（圖 42）。此結果和 Wang et al. (2012) 研究中以最早採收的‘Hass’酪梨果肉的抗氧化力最高相同，其研究中同時指出酪梨果肉的抗氧化力與多酚類化合物含量具有高度相關性，經相關性分析後本試驗也有同樣結果（圖 43 和圖 44）。

在後熟期間‘黑美人’各批次以 DPPH 方法測得的抗氧化力無顯著提高，而 ABTS 抗氧化力方面，6 月 20 日和 7 月 11 日批次分別在第 9 天和第 7 天顯著提高（不同天數間的差異未標示於圖上），時間點剛好都位在該批次達完熟的兩天之後，除了和果肉的總酚含量增加有關外，可能由於果實在後熟過程逐漸老化，因此生成

更多抗氧化物質以清除過多累積的活性氧族化合物 (Mondal et al., 2009)。「紅嬌」各批次中 9 月 12 日和 10 月 3 日採收的果實 DPPH 抗氧化力在第 9 天顯著提高，而 ABTS 抗氧化力方面，各批次也是在第 9 天才有顯著提高。「黑美人」和「紅嬌」不同果肉部位的抗氧化力則是在前期採收的批次可以較明顯觀察到遠果梗端果肉的抗氧化能力較強 (表 11 至 14)。

第七節、不同採收時期對「紅嬌」果肉酵素活性之影響

(一) 多酚氧化酵素 (polyphenol oxidase, PPO)

多酚氧化酵素 (PPO) 的活性為另一項影響酪梨果肉褐化的重要因素，本試驗使用 2022 年度的「紅嬌」果實，於各採收批次後熟期間的第 1、5、7 和 9 天取樣，欲了解果實甫採收及後熟中後期的 PPO 活性變化。分析結果發現，9 月 12 日採收之果實的果肉 PPO 活性在後熟期間顯著較高 (圖 45)，該批次在果肉切開後的 a^* 值變化也較其他批次明顯，可能便是和其總酚含量與 PPO 活性較高有關。而 10 月 3 日採收之批次雖在統計上無統計差異，在後熟期間也較最後兩次採收批次略高一些，試驗中於前期採收的酪梨果肉 PPO 活性較高的結果雖和 Cutting and Bower (1987) 使用「Fuerte」所做的研究結果不相符，然而 Rooyen and Bower (2006) 進行的研究中也曾發現長期以來褐化較為嚴重的「Pinkerton」果園在產季初期的果肉 PPO 較高。因此酪梨果肉 PPO 活性於產季中的變化可能也因不同品種會有所差異。

分析「紅嬌」果實不同部位的果肉 PPO 活性發現在前三批果實同樣有遠果梗端果肉 PPO 活性較高的情形 (表 15)，和前人研究的結果相符 (Golan, 1997)。綜合「紅嬌」的總酚和 PPO 活性分析結果，酪梨遠果梗端果肉相較於其他部位可能有較高的褐化潛力，然而本試驗並未測定「黑美人」果肉的 PPO 活性，因此未能確定「黑美人」果實也有類似表現。

(二) 過氧化酵素 (peroxidase, POD) 和過氧化氫酵素 (catalase, CAT)



抗氧化酵素同樣在清除酪梨果肉過多自由基的過程中扮演重要角色，本試驗於‘紅嬌’後熟期間第 1、5、7 和 9 天取部分果肉測定其過氧化酵素 (POD) 及過氧化氫酵素 (CAT) 活性。結果顯示兩酵素活性皆以 9 月 12 日採收之果實最高 (圖 49 和圖 50)，在 Tesfay (2010) 針對‘Hass’的研究中同樣有前期採收之果肉的 POD 活性較高的情形，然而在其研究中 CAT 活性在不同採收時期間並無明顯高低趨勢。

後熟期間各批次果實的果肉 POD 活性除 10 月 3 日採收之果實在第 9 天顯著變低外並無變化，而果肉 CAT 活性僅 10 月 24 日採收之果實的果肉在第 7 天以後有顯著提高。整體而言，本試驗中兩種抗氧化酵素在‘紅嬌’果肉後熟期間並無明顯的變動模式，而本試驗同樣未測定‘黑美人’果肉的抗氧化酵素，因此對其於不同採收時期與後熟期間的變化尚不明瞭。

第四章、結論



目前酪梨果實採收成熟度與採收時機的相關研究多以果肉的乾物質含量推估果肉的粗脂肪含量，並以此判斷酪梨果實的採收成熟度與合適的採收時機。然而對本研究調查的早生種‘黑美人’及中生種‘紅嬌’而言，果肉乾物質含量並非皆與果肉粗脂肪含量呈現良好的相關性，表示在以果肉乾物質含量推測臺灣本地種酪梨的合適採收期時，需考慮到不同酪梨品種的果實發育特性。本研究的結果顯示早生種‘黑美人’的果肉乾物質含量在發育過程中並無顯著提升，果長、果重、果寬及果肉粗脂肪含量等性狀應為判斷其成熟度較佳之依據。中生種‘紅嬌’的果肉乾物質含量於在 10 月 3 日後顯著提升至 16% 以上，除了果實的外觀性狀及粗脂肪含量外，其果肉乾物質含量有作為採收指標的潛力。

在果實採收時的性狀中，‘黑美人’的果長與後熟天數呈現低度負相關，而果長、果寬、果重和果肉率與果肉生理障礙嚴重程度呈現中度負相關，表示較大的‘黑美人’果實採收後有較佳的品質。然而‘紅嬌’果實的各性狀與果肉的後熟品質皆無顯著的相關性，惟後熟天數與生理障礙及病害嚴重程度呈現低度負相關，且其後熟天數與果肉維管束褐化的相關性與‘黑美人’果實的表現恰為相反，表示不同酪梨品種果實採收時的性狀與果實後熟後的品質間之關係可能會因果實的發育時長、生長情形及內含物的累積狀況不同而有所差異。

臺灣本地的酪梨品種眾多，且栽培地區的環境多樣，除了‘黑美人’及‘紅嬌’外，其他本地品種果實採收時的性狀與果實後熟品質間之關係尚有亟大的研究空間，而酪梨果實的各性狀如何在果實達生理成熟以後持續變化並影響果實的後熟品質也仍有待釐清。本研究以兩品種的果實發育及後熟變化探討其性狀與後熟品質間之關係，作為臺灣本地酪梨後續研究之參考。

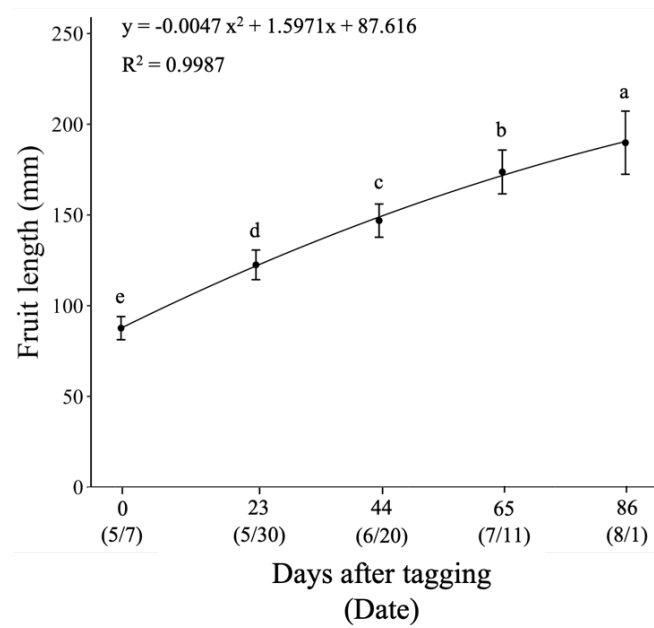


圖 1. 2022 年度‘黑美人’果實長度變化與二次迴歸曲線

Fig. 1. Change of fruit length and the quadratic regression of ‘Black Beauty’ avocado fruit during the development in 2022. Data presented as mean $\pm$ standard deviation ($n = 30$); means with the same letter are not significantly different at 5% level by Tukey's HSD test.

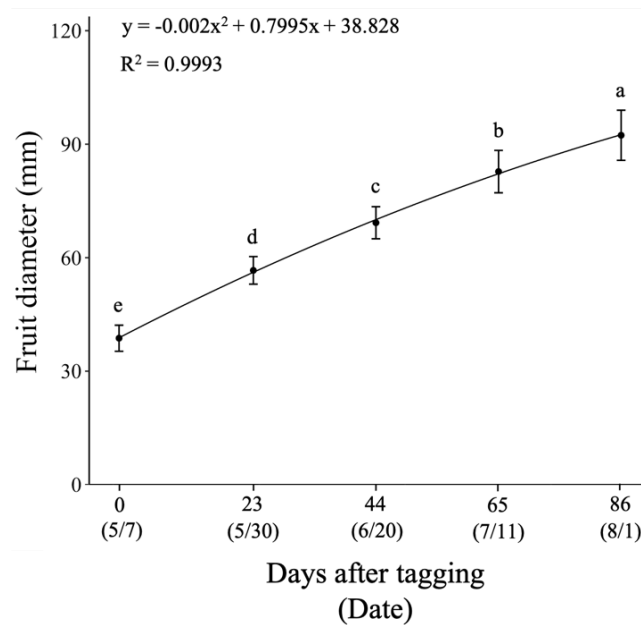


圖 2. 2022 年度‘黑美人’果實寬度變化與二次迴歸曲線

Fig. 2. Change of fruit diameter and the quadratic regression of ‘Black Beauty’ avocado fruit during the development in 2022. Data presented as mean $\pm$ standard deviation ($n = 30$); means with the same letter are not significantly different at 5% level by Tukey's HSD test.

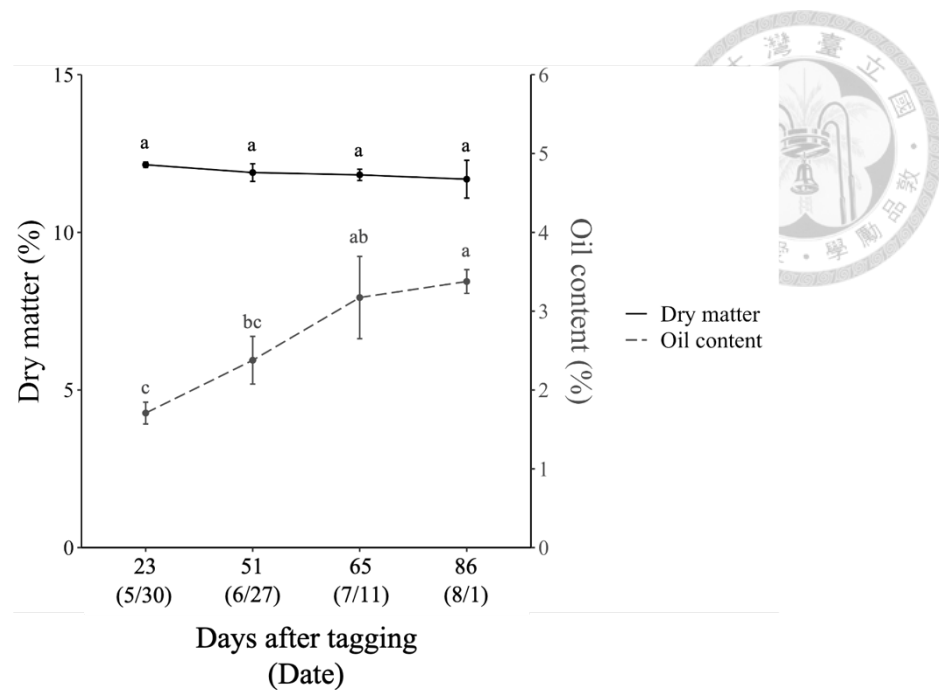


圖 3. 2022 年度‘黑美人’果肉乾物質含量與粗脂肪含量變化

Fig. 3. Flesh dry matter and oil content of ‘Black Beauty’ during the development in 2022. Data presented as mean $\pm$ standard deviation ($n = 3$); means with the same letter are not significantly different at 5% level by Tukey's HSD test.

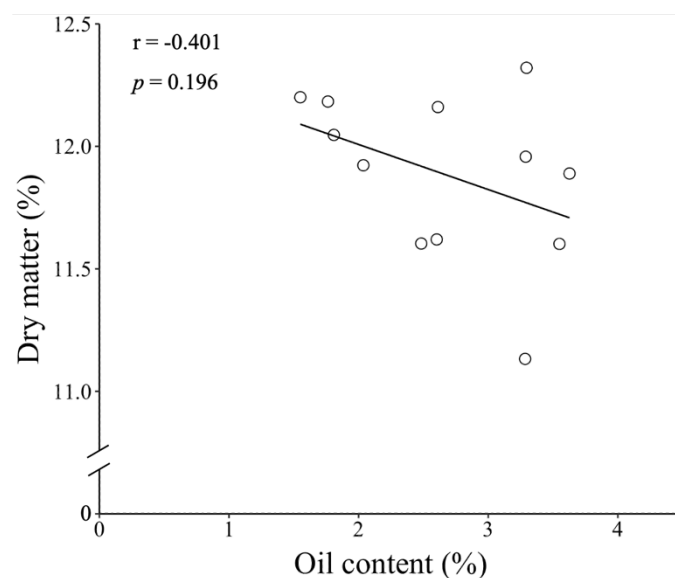


圖 4. 2022 年度‘黑美人’果肉乾物質含量與粗脂肪含量之關係

Fig. 4. Pearson's correlation of the relationship between flesh dry matter and oil content of ‘Black Beauty’ avocado fruit harvested in 2022 ($n = 12$).

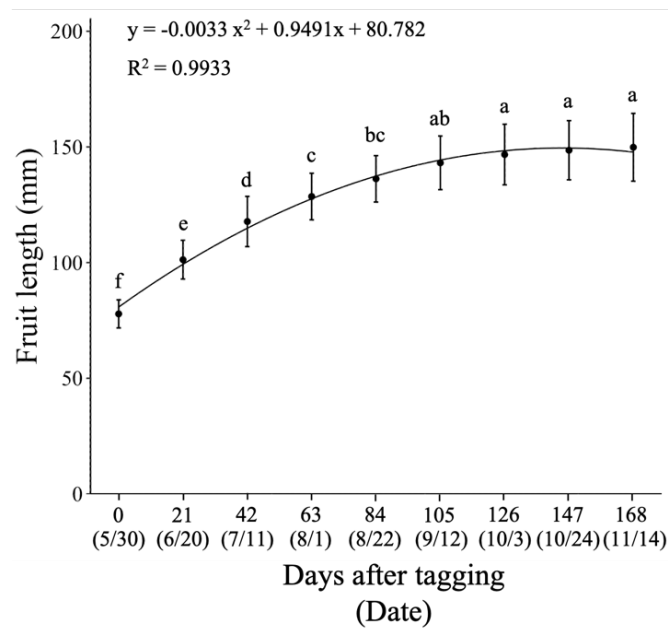


圖 5. 2022 年度‘紅嬌’果實長度變化與二次迴歸曲線

Fig. 5. Change of fruit length and the quadratic regression of ‘Red Fairy’ avocado fruit during the development in 2022. Data presented as mean $\pm$ standard deviation ($n = 30$); means with the same letter are not significantly different at 5% level by Tukey's HSD test.

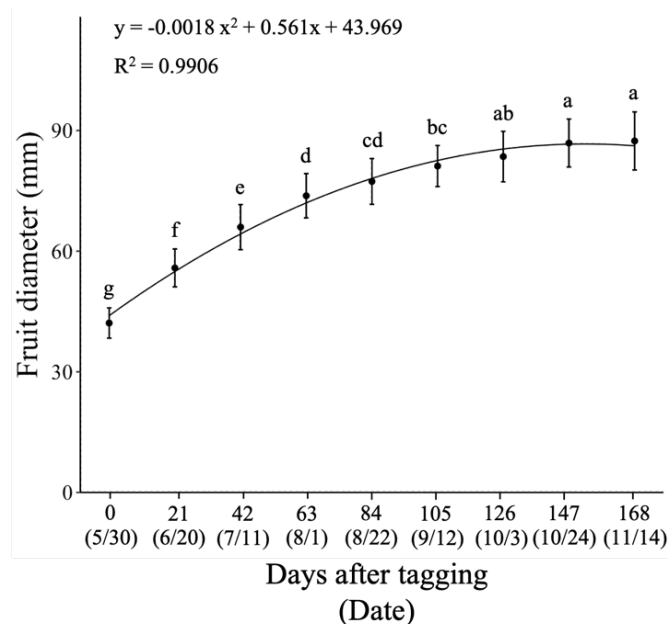


圖 6. 2022 年度‘紅嬌’果實寬度變化與二次迴歸曲線

Fig. 6. Change of fruit diameter and the quadratic regression of ‘Red Fairy’ avocado fruit during the development in 2022. Data presented as mean $\pm$ standard deviation ($n = 30$); means with the same letter are not significantly different at 5% level by Tukey's HSD test.

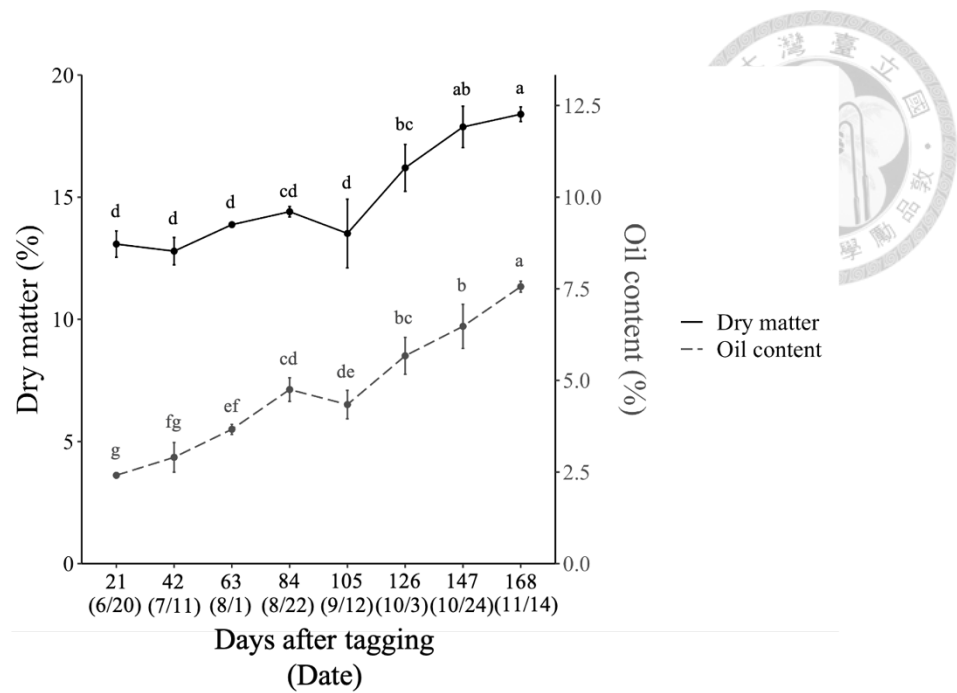


圖 7. 2022 年度‘紅嬌’果肉乾物質含量與粗脂肪含量變化

Fig. 7. Flesh dry matter and oil content of ‘Red Fairy’ avocado fruit harvested in 2022. Data presented as mean $\pm$ standard deviation ($n = 3$); means with the same letter are not significantly different at 5% level by Tukey's HSD test.

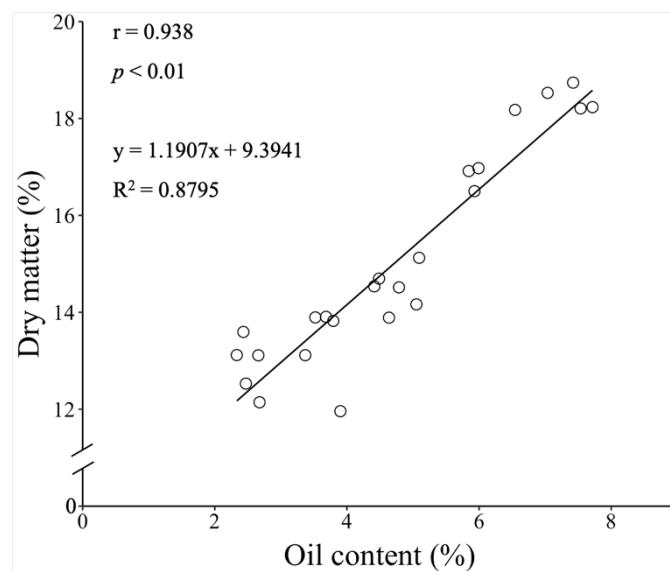


圖 8. 2022 年度‘紅嬌’果肉乾物質含量與粗脂肪含量之關係及線性迴歸曲線

Fig. 8. Pearson's correlation and the linear regression of the relationship between flesh dry matter and oil content of ‘Red Fairy’ avocado fruit harvested in 2022 ($n = 24$).

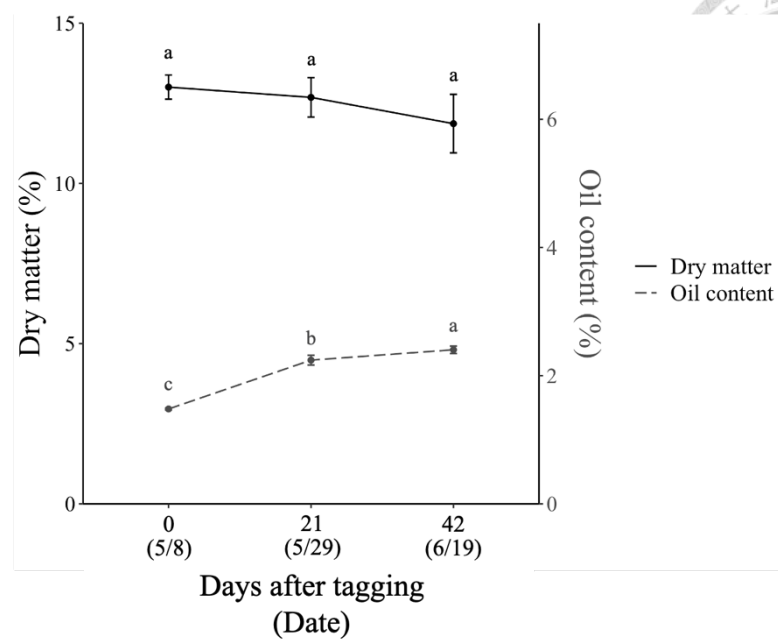


圖 9. 2023 年度‘黑美人’果肉乾物質含量與粗脂肪含量變化

Fig. 9. Flesh dry matter and oil content of ‘Black Beauty’ during the development in 2023. Data presented as mean $\pm$ standard deviation ($n = 3$); means with the same letter are not significantly different at 5% level by Tukey's HSD test.

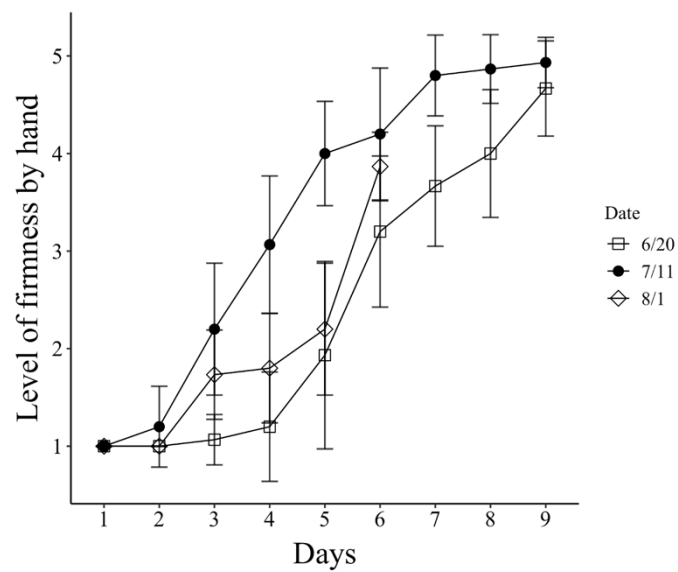


圖 10. 不同採收期之‘黑美人’果實後熟期間的手觸硬度等級變化

Fig. 10. Level of firmness by hand of ‘Black Beauty’ avocado fruit harvested on different dates during the ripening. Data presented as mean $\pm$ standard deviation (n = 15).

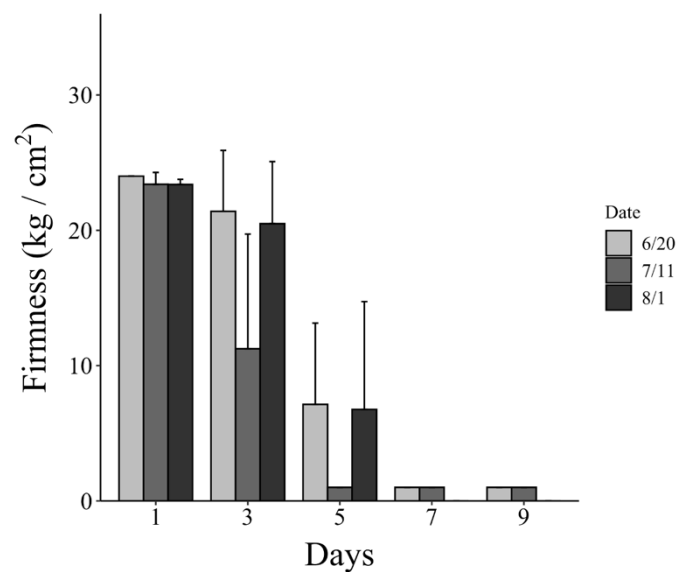


圖 11. 不同採收期之‘黑美人’果實後熟期間的果肉硬度變化

Fig. 11. Change of flesh firmness of ‘Black Beauty’ fruit harvested on different dates during the ripening. Data presented as mean $\pm$ standard deviation (n = 15).

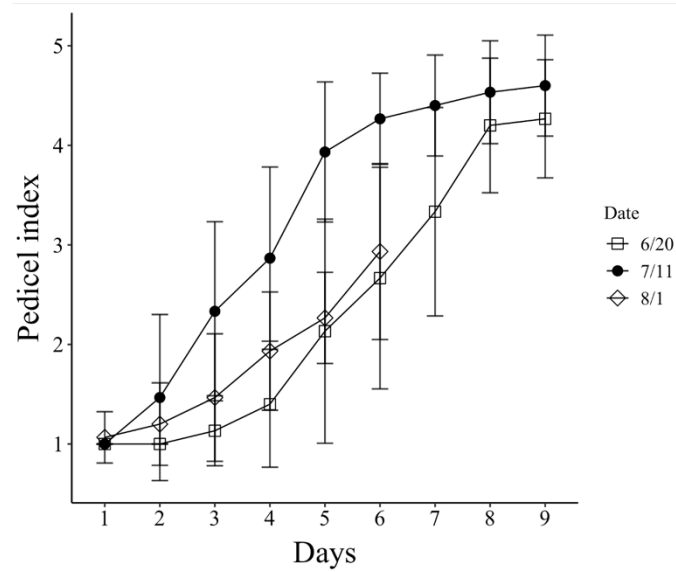


圖 12. 不同採收期之‘黑美人’果實後熟期間的蒂頭萎凋等級變化

Fig. 12. Pedicel index of ‘Black Beauty’ avocado fruit harvested on different dates during the ripening. Data presented as mean $\pm$ standard deviation (n = 15).

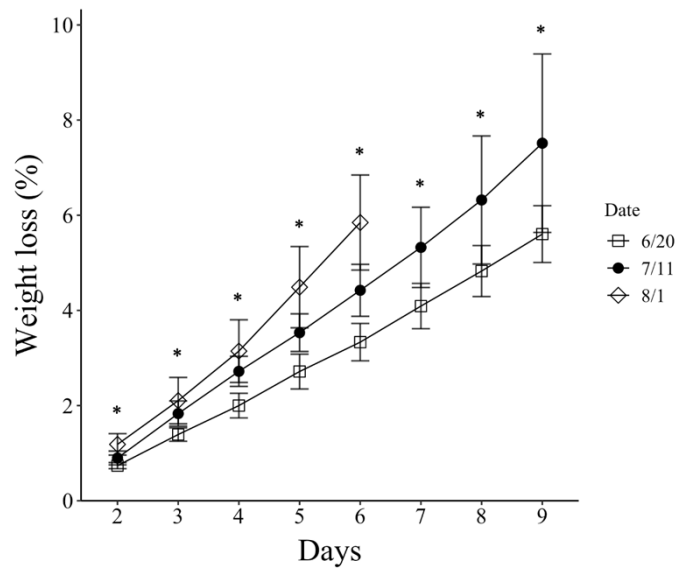


圖 13. 不同採收期之‘黑美人’果實於後熟期間的失重變化

Fig. 13. Weight loss of ‘Black Beauty’ avocado fruit harvested on different dates during the ripening. Data presented as mean $\pm$ standard deviation (n = 15).

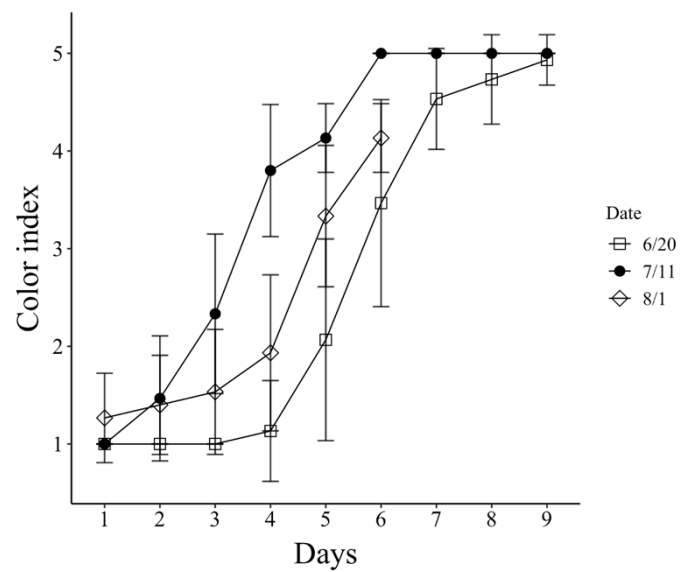


圖 14. 不同採收期之‘黑美人’果實於後熟期間的果色指標變化

Fig. 14. Color index of ‘Black Beauty’ fruit harvested on different dates during the ripening. Data presented as mean $\pm$ standard deviation (n = 15).

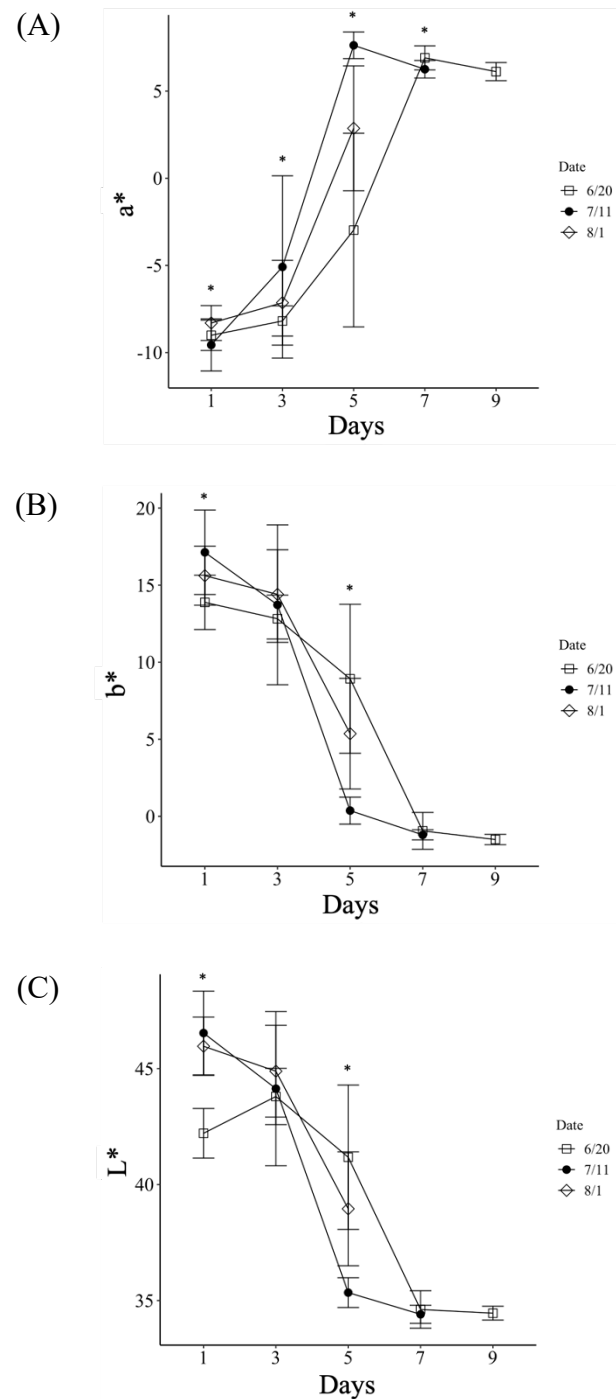


圖 15. 不同採收期之‘黑美人’果實後熟期間果皮(A) a^* 、(B) b^* 和(C) L^* 值變化
 Fig. 18. Peel (A) a^* 、(B) b^* and (C) L^* value of ‘Black Beauty’ avocado fruit harvested on different dates during the ripening. Data presented as mean $\pm$ standard deviation ($n = 15$); * indicates significant difference at 5% level by Tukey’s HSD test.

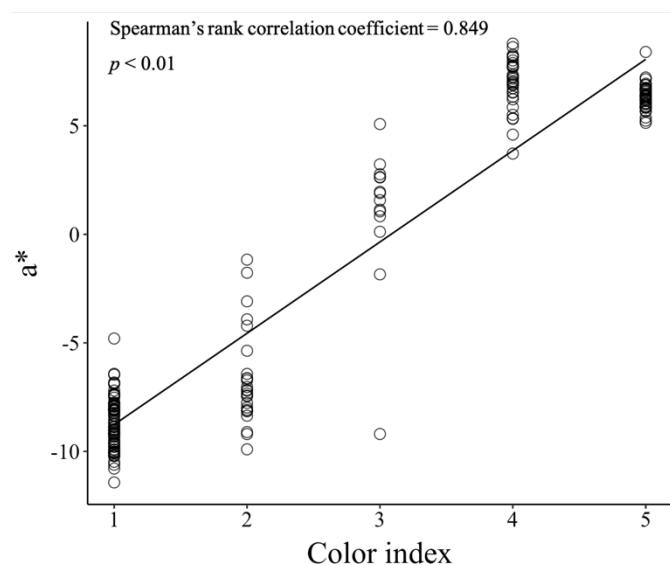


圖 16. '黑美人'果實後熟期間的果色指標和果皮 a^* 值之關係

Fig. 16. Spearman's rank correlation coefficient of the relationship between color index and peel a^* value of 'Red Fairy' avocado fruit harvested on different dates during the ripening ($n = 75$).

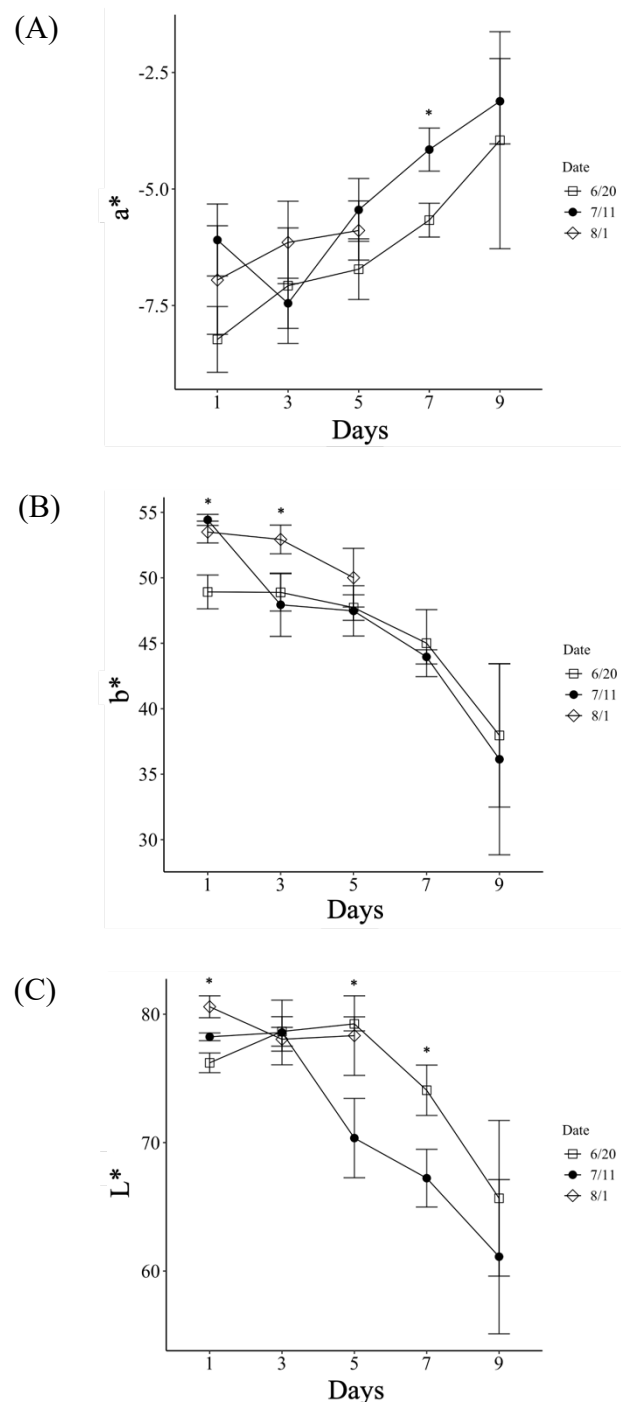


圖 17. 不同採收期之‘黑美人’果實後熟期間的果肉(A) a^* 、(B) b^* 和(C) L^* 值變化
 Fig. 17. Change of flesh (A) a^* 、(B) b^* and (C) L^* value of ‘Black Beauty’ avocado fruit harvested on different dates during the ripening. Data presented as mean $\pm$ standard deviation ($n = 15$); * indicates significant difference at 5% level by Tukey’s HSD test.

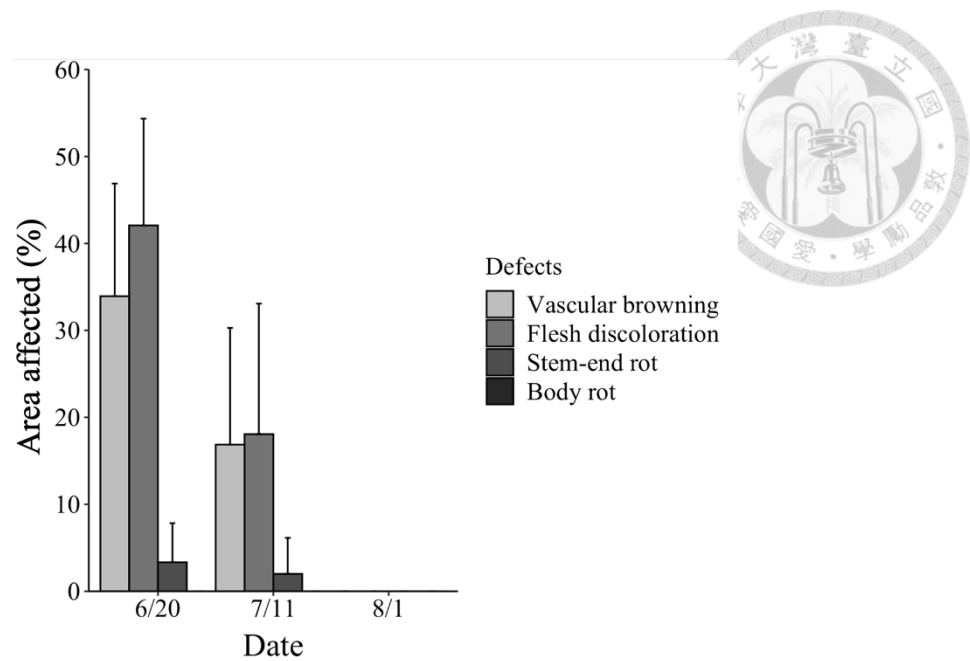


圖 18. 不同採收期之‘黑美人’果實完熟後發生生理障礙及病害的果肉面積比例
 Fig. 18. Area affected by physiological disorders and rots after ripening of ‘Black Beauty’ avocado fruit harvested on different dates during the ripening. Data presented as mean $\pm$ standard deviation (n = 15).

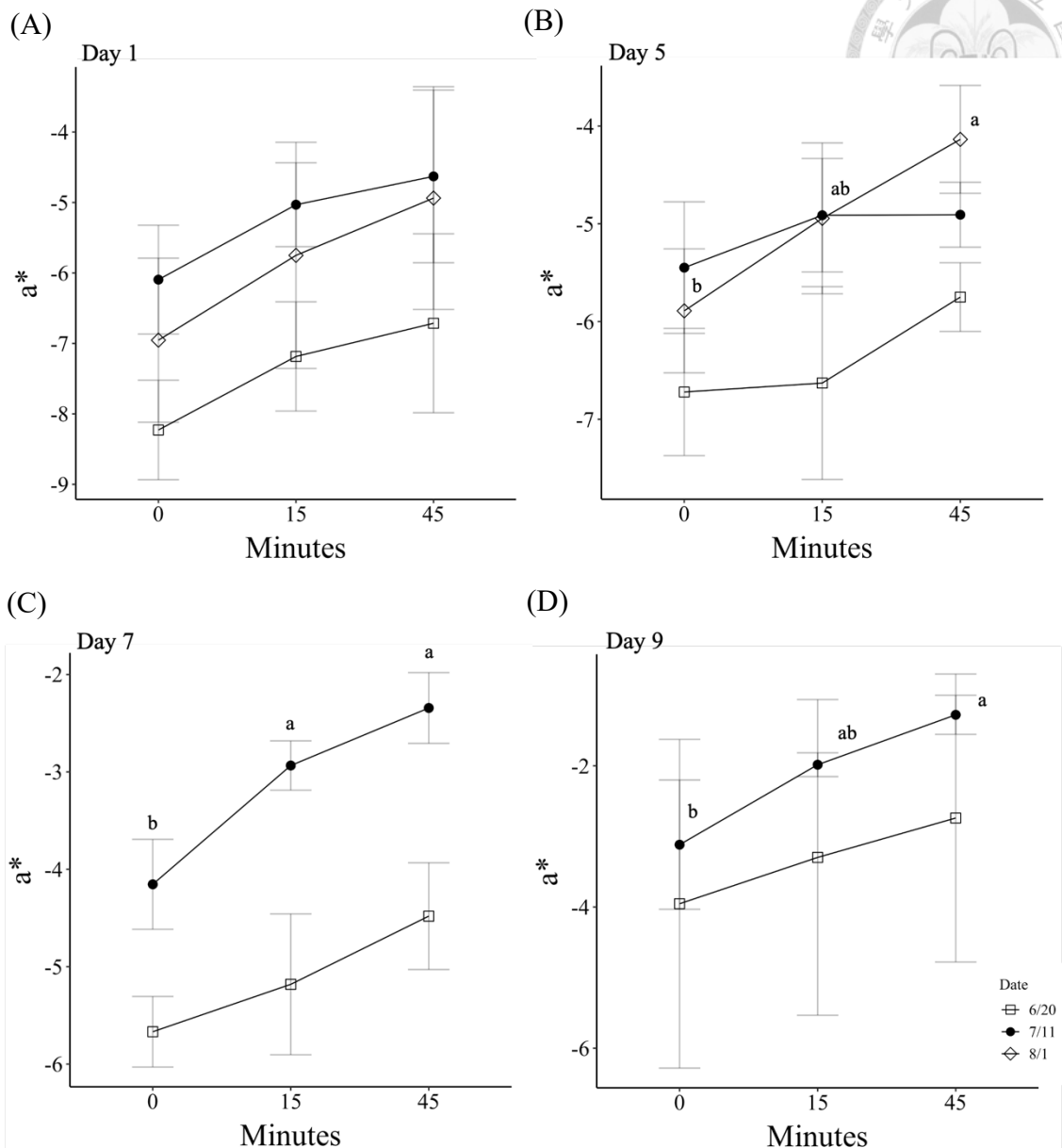


圖 19. 不同採收期之‘黑美人’果實後熟期間 (A)第 1、(B) 5、(C) 7 和 (D) 9 天切開後 0、15、45 分鐘的果肉 a^* 值變化

Fig. 19. Flesh a^* value of ‘Black Beauty’ avocado fruits harvested on different dates after being cut on the first (A), fifth (B), seventh (C), and ninth day (D) during the ripening. Data presented as mean $\pm$ standard deviation ($n = 3$); means with the same letter are not significantly different at 5% level by Tukey's HSD test.

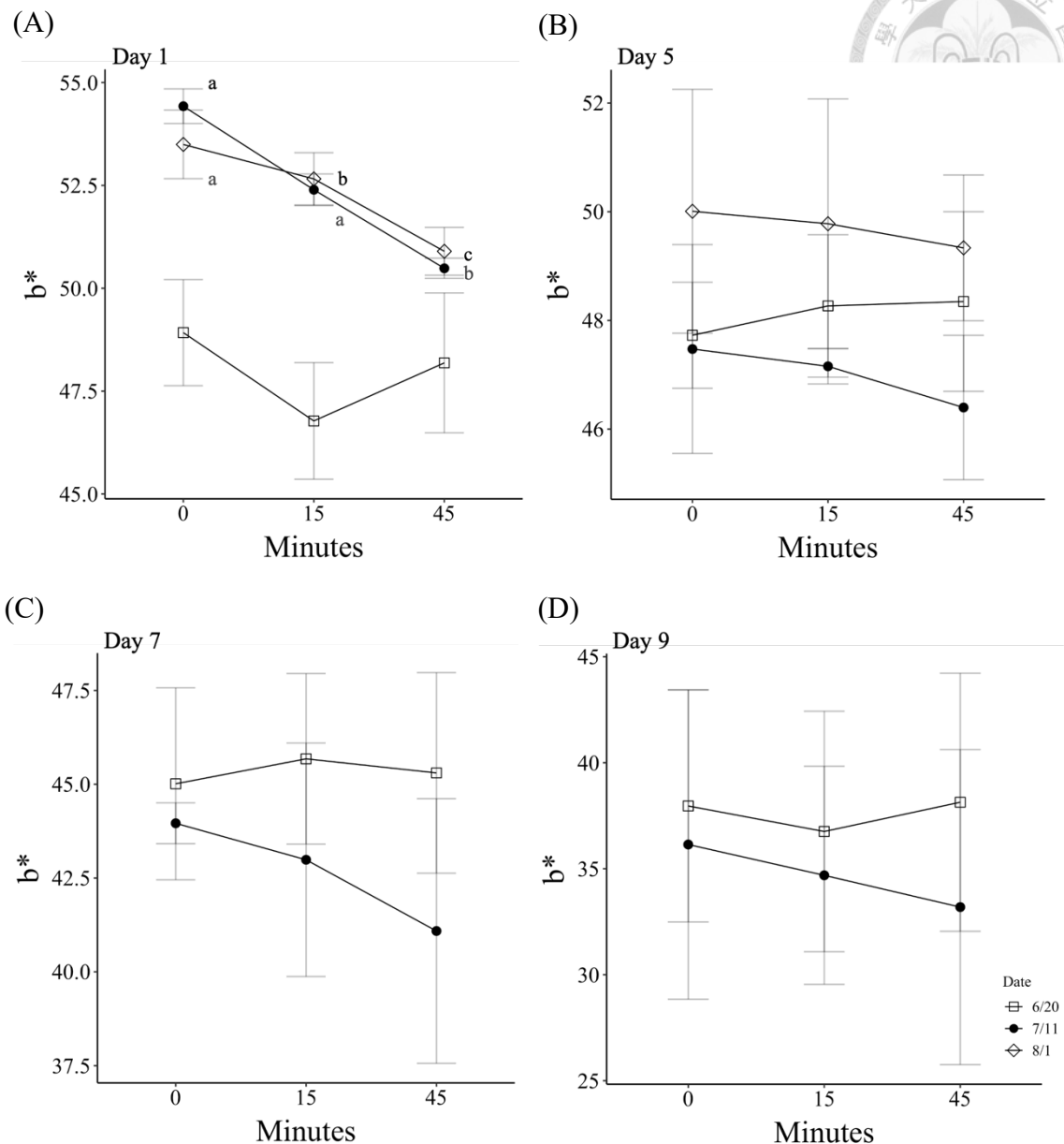


圖 20. 不同採收期之‘黑美人’果實後熟期間(A)第 1、(B) 5、(C) 7 和 (D) 9 天切開後 0、15、45 分鐘的果肉 b^* 值變化

Fig. 20. Flesh b^* value of ‘Black Beauty’ avocado fruits harvested on different dates after being cut on the first (A), fifth (B), seventh (C), and ninth day (D) during the ripening. Data presented as mean $\pm$ standard deviation ($n = 3$); means with the same letter are not significantly different at 5% level by Tukey's HSD test.

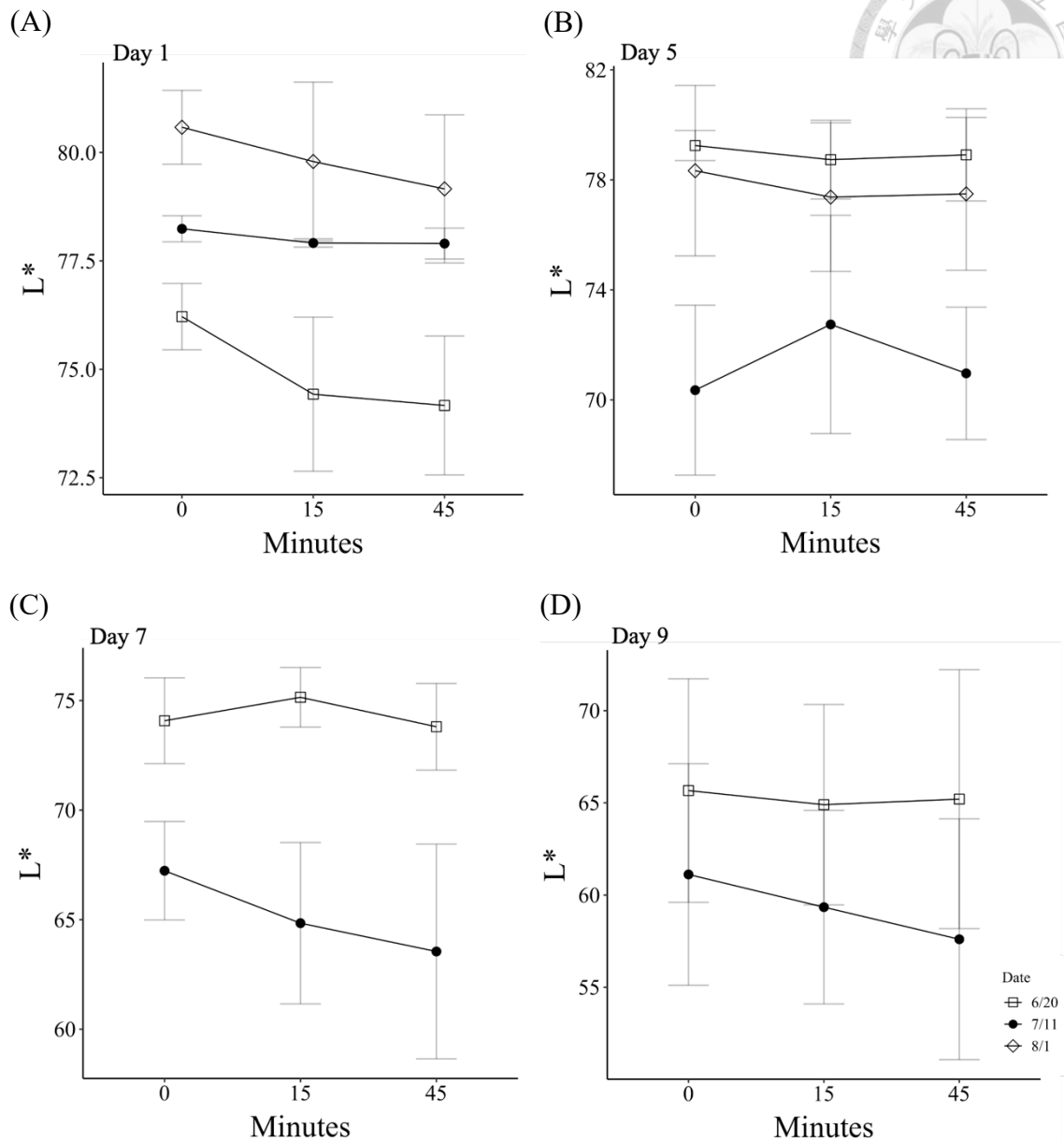


圖 21. 不同採收期之‘黑美人’果實後熟期間(A)第 1、(B) 5、(C) 7 和 (D) 9 天 切開後 0、15、45 分鐘的果肉 L^* 值變化

Fig. 21. Flesh L^* value of ‘Black Beauty’ avocado fruits harvested on different dates after being cut on the first (A), fifth (B), seventh (C), and ninth day (D) during the ripening. Data presented as mean $\pm$ standard deviation (n = 3).

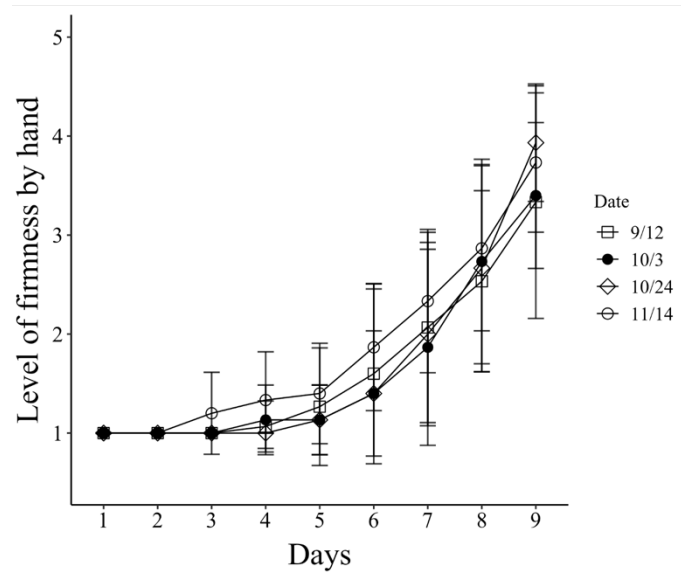


圖 22. 不同採收期之‘紅嬌’果實後熟期間手觸硬度變化

Fig. 22. Level of firmness by hand of ‘Red Fairy’ avocado fruit harvested on different dates during the ripening. Data presented as mean $\pm$ standard deviation ($n = 15$).

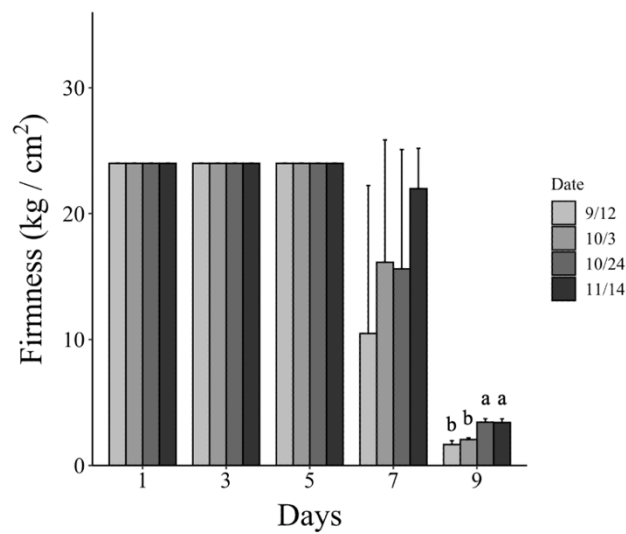


圖 23. 不同採收期之‘紅嬌’果實於後熟期間的果肉硬度變化

Fig. 23. Change of flesh firmness of ‘Black Beauty’ avocado fruit harvested on different dates during the ripening. Data presented as mean $\pm$ standard deviation ($n = 3$); means with the same letter are not significantly different at 5% level by Tukey's HSD test.

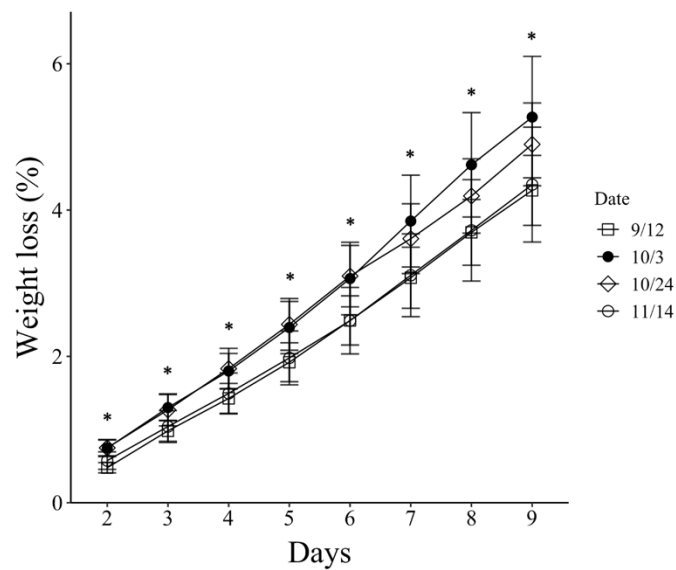


圖 24. 不同採收期之‘紅嬌’果實於後熟期間的失重比例變化

Fig. 24. Weight loss of ‘Red Fairy’ avocado fruit harvested on different dates during the ripening. Data presented as mean $\pm$ standard deviation ($n = 15$); * indicates significant difference at 5% level by Tukey’s HSD test..

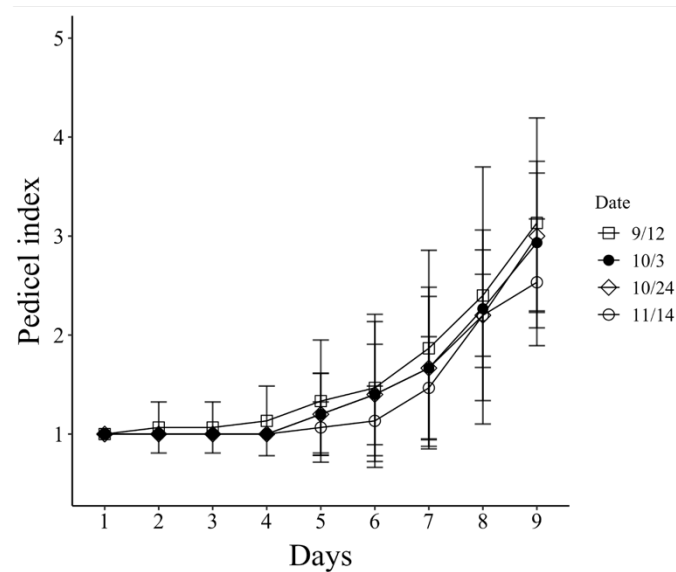


圖 25. 不同採收期之‘紅嬌’果實於後熟期間的蒂頭萎凋等級變化

Fig. 25. Pedicel index of ‘Red Fairy’ avocado fruit harvested on different dates during the ripening. Data presented as mean $\pm$ standard deviation ($n = 15$).

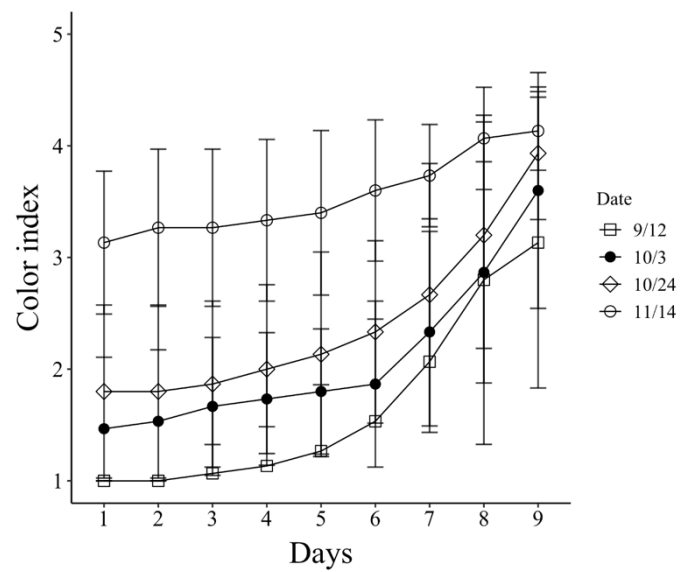


圖 26. 不同採收期之‘紅嬌’果實後熟期間果色指標變化

Fig. 26. Color index of ‘Red Fairy’ avocado fruit harvested on different dates during the ripening. Data presented as mean $\pm$ standard deviation (n = 15).

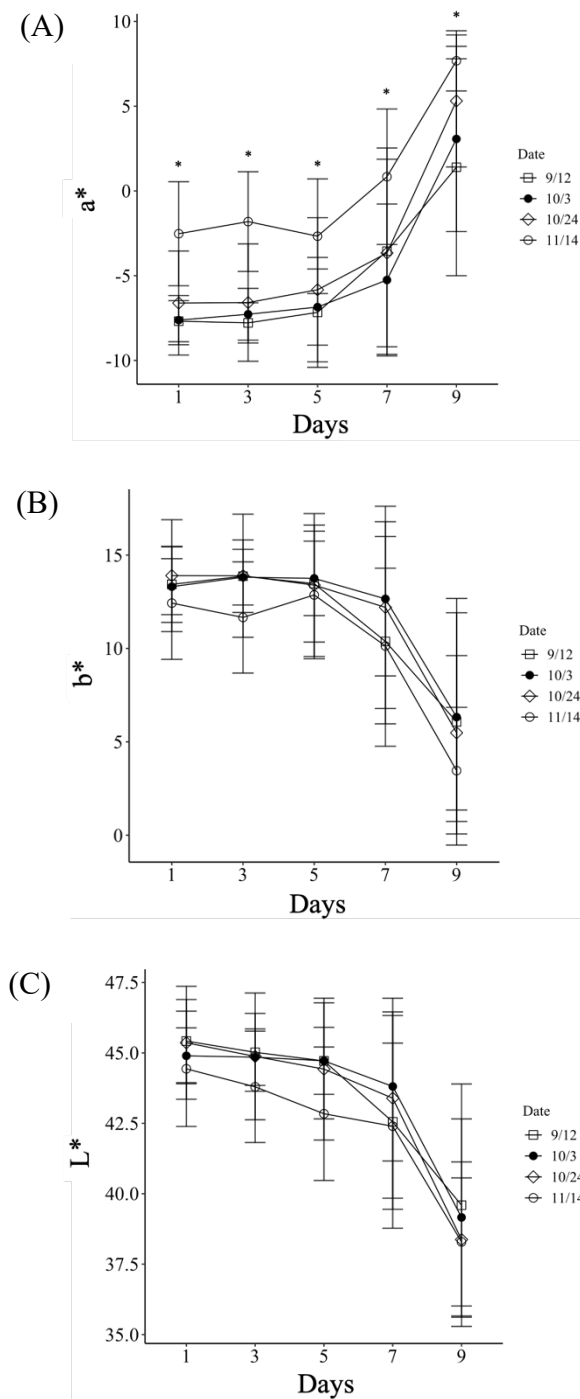


圖 27. 不同採收期之‘紅嬌’果實後熟期間果皮的(A) a^* 、(B) b^* 和(C) L^* 值變化

Fig. 27. Peel a^* (A)、 b^* (B) and L^* value (C) of ‘Red Fairy’ avocado fruit harvested on different dates during the ripening. Data presented as mean $\pm$ standard deviation ($n = 15$).

*indicates significant difference at 5% level by Tukey’s HSD test.

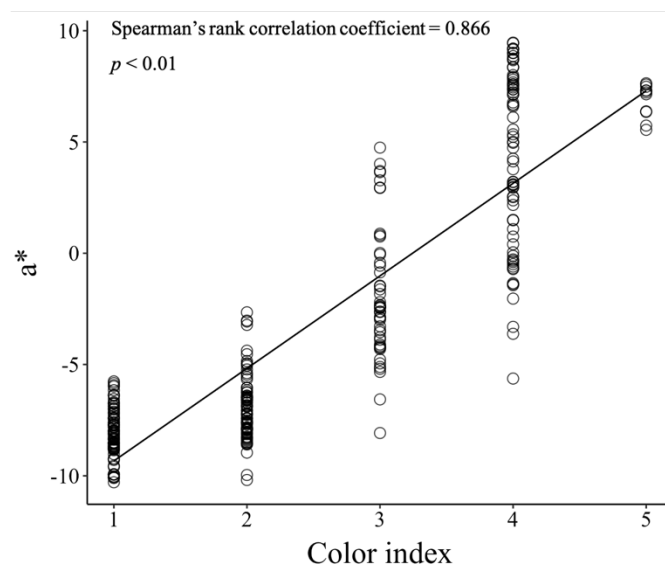


圖 28. '紅嬌'果實後熟期間果色指標和果皮 a* 值之關係。

Fig. 28. Spearman's rank correlation coefficient of the relationship between color index and peel a* value of 'Red Fairy' avocado fruit harvested on different dates during the ripening (n = 75).

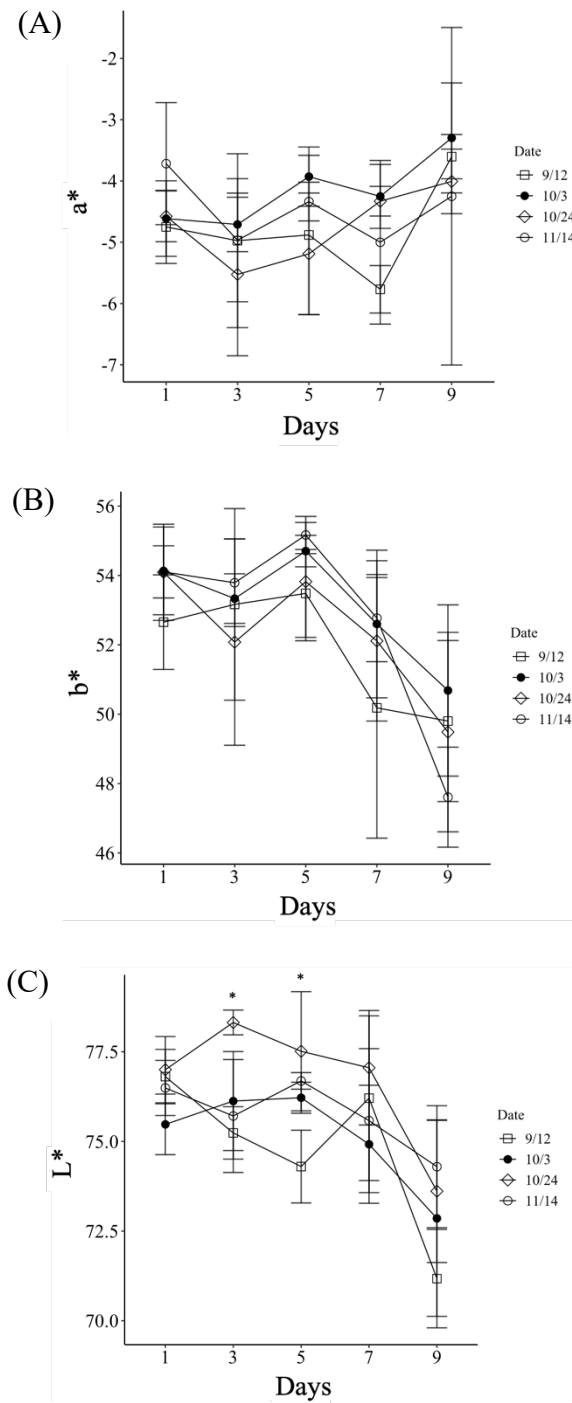


圖 29. 不同採收期之‘紅嬌’果實後熟期間的果肉(A) a^* 、(B) b^* 和(C) L^* 值變化
 Fig. 29. Change of flesh a^* (A)、 b^* (B) and L^* value (C) of ‘Red Fairy’ avocado fruit harvested on different dates during the ripening. Data presented as mean $\pm$ standard deviation ($n = 3$). * indicates significant difference at 5% level by Tukey’s HSD test.

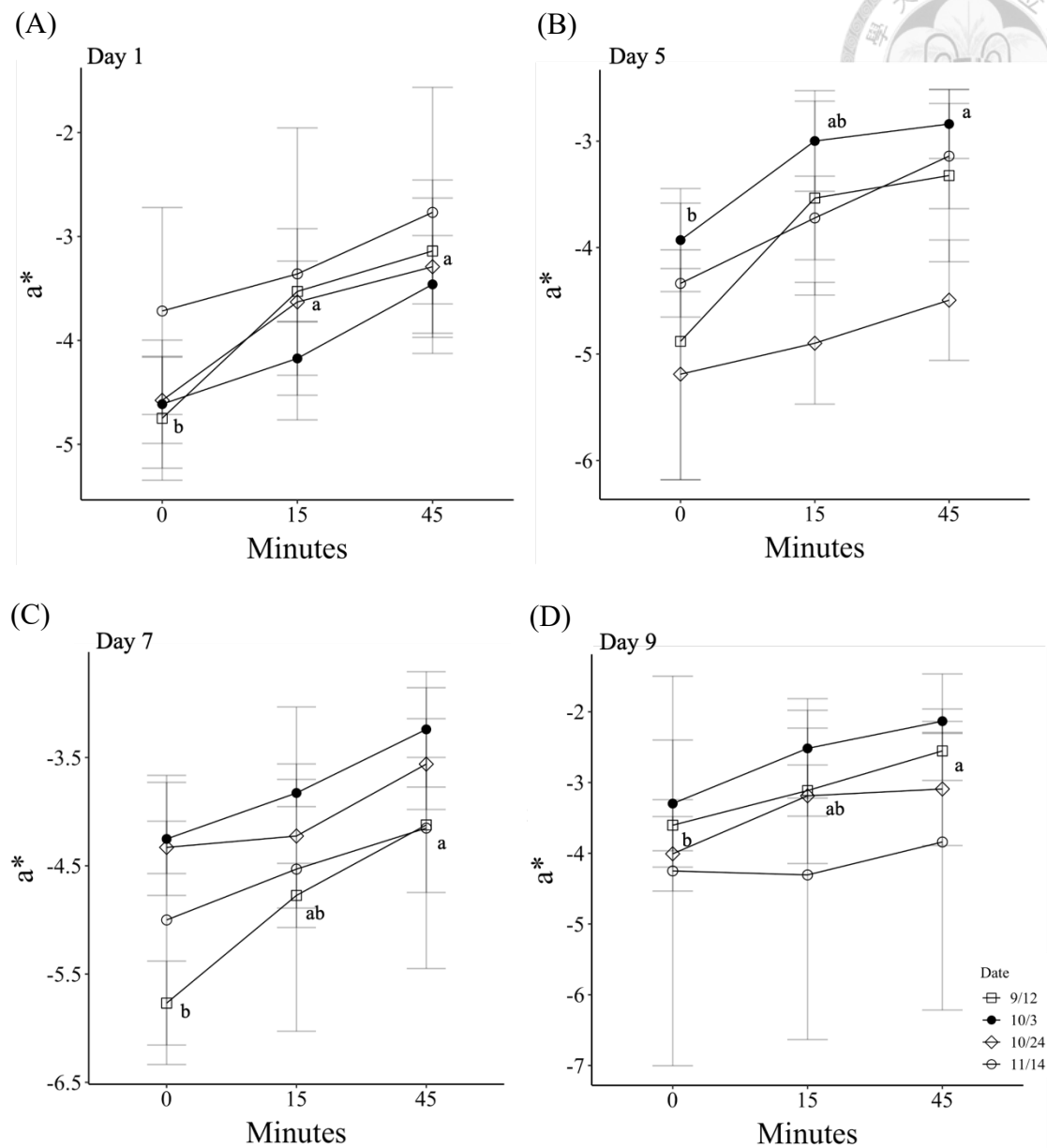


圖 30. 不同採收期之‘紅嬌’果實後熟期間(A)第 1、(B) 5、(C) 7 和 (D) 9 天切開後 0、15、45 分鐘的果肉 a^* 值變化

Fig. 30. Flesh a^* value of ‘Red Fairy’ avocado fruits harvested on different dates after being cut on the first (A), fifth (B), seventh (C), and ninth day (D) during the ripening. Data presented as mean $\pm$ standard deviation ($n = 3$); means with the same letter are not significantly different at 5% level by Tukey's HSD test.

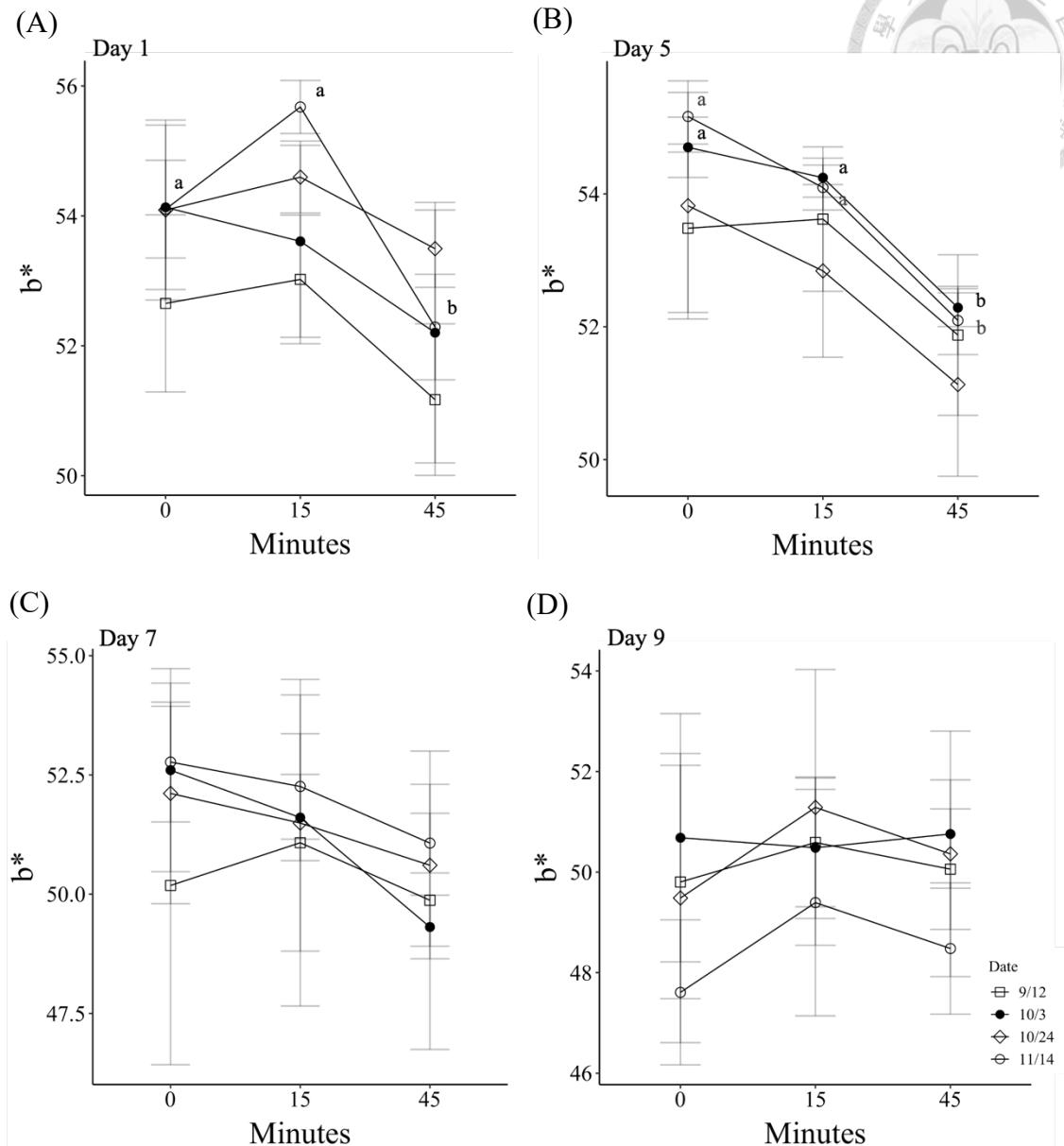


圖 31. 不同採收期之‘紅嬌’果實後熟期間(A)第 1、(B) 5、(C) 7 和 (D) 9 天 切開後 0、15、45 分鐘的果肉 b^* 值變化

Fig. 31. Flesh b^* value of 'Red Fairy' avocado fruits harvested on different dates after being cut on the first (A), fifth (B), seventh (C), and ninth day (D) during the ripening. Data presented as mean $\pm$ standard deviation ($n = 3$); means with the same letter are not significantly different at 5% level by Tukey's HSD test.

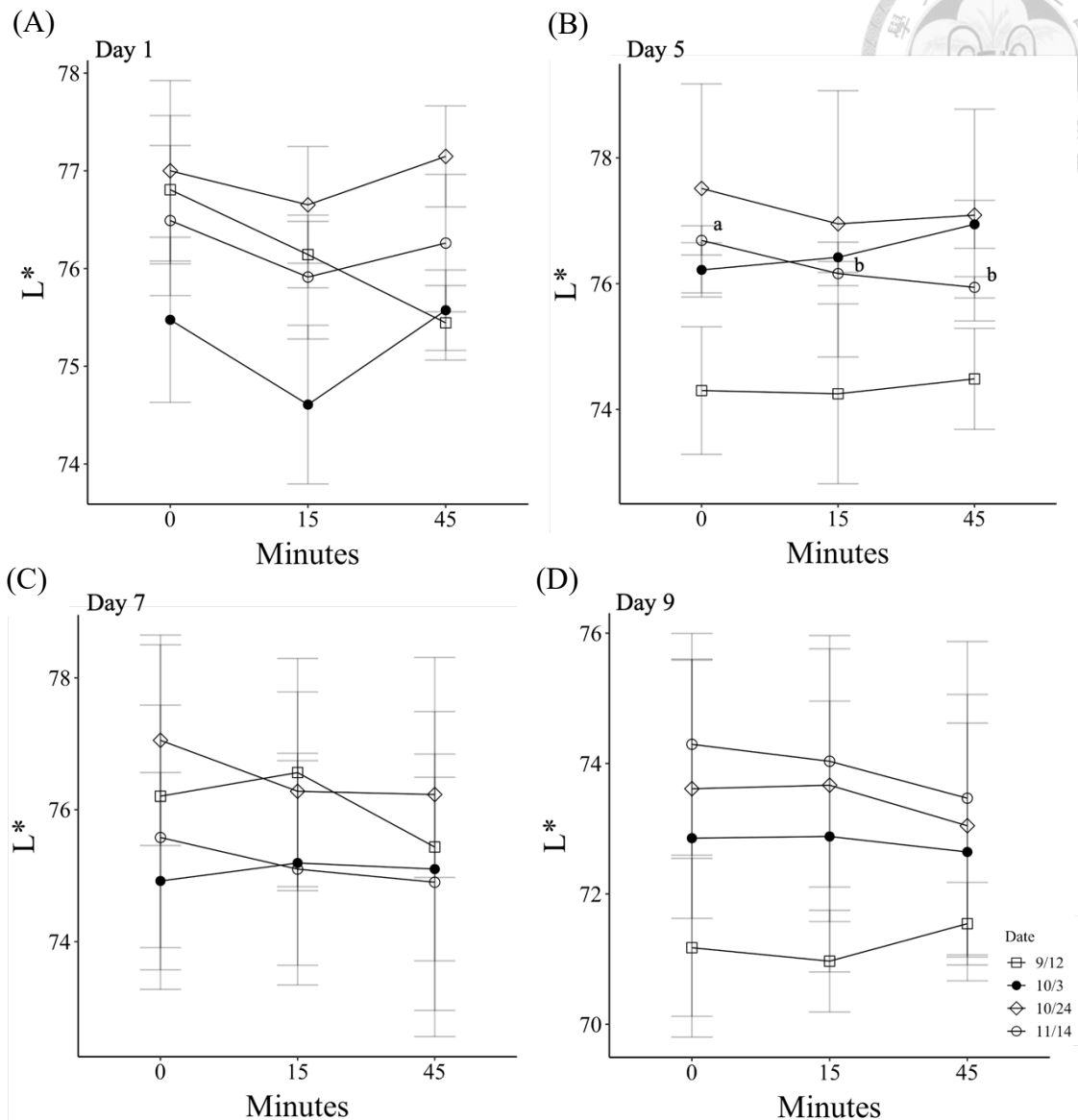


圖 32. 不同採收期之‘紅嬌’果實後熟期間(A)第 1、(B) 5、(C) 7 和 (D) 9 天切開後 0、15、45 分鐘的果肉 L^* 值變化

Fig. 32. Flesh L^* value of ‘Red Fairy’ avocado fruits harvested on different dates after being cut on the first (A), fifth (B), seventh (C), and ninth day (D) during the ripening. Data presented as mean $\pm$ standard deviation ($n = 3$); means with the same letter are not significantly different at 5% level by Tukey's HSD test.

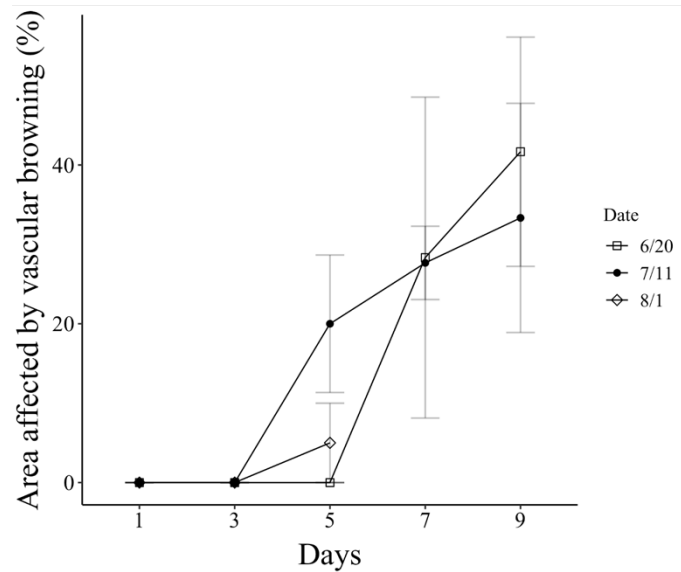


圖 33. 不同採收期之‘黑美人’於後熟期間發生維管束褐化的果肉面積比例

Fig. 33. The percentage of area affected by vascular browning of ‘Black Beauty’ avocado fruit harvested on different dates during the ripening. Data presented as mean $\pm$ standard deviation (n = 3).

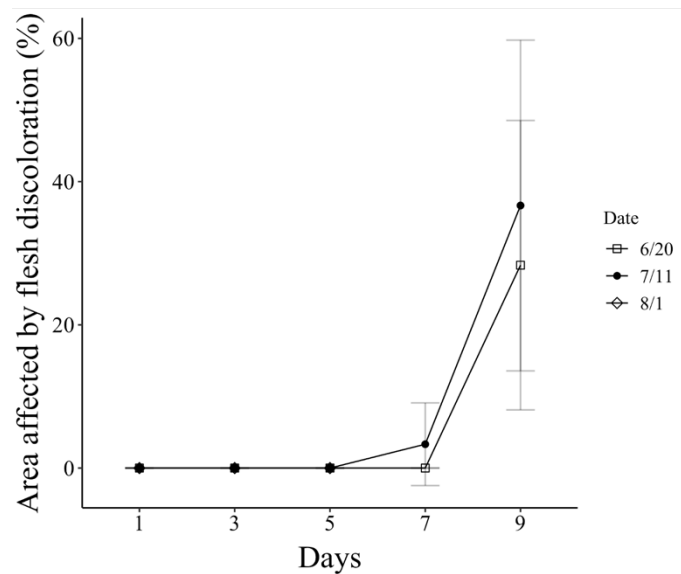


圖 34. 不同採收期之‘黑美人’果實後熟期間發生果肉褐化的果肉面積比例

Fig. 34. The percentage of area affected by flesh discoloration of ‘Black Beauty’ avocado fruit harvested on different dates during the ripening. Data presented as mean $\pm$ standard deviation (n = 3).

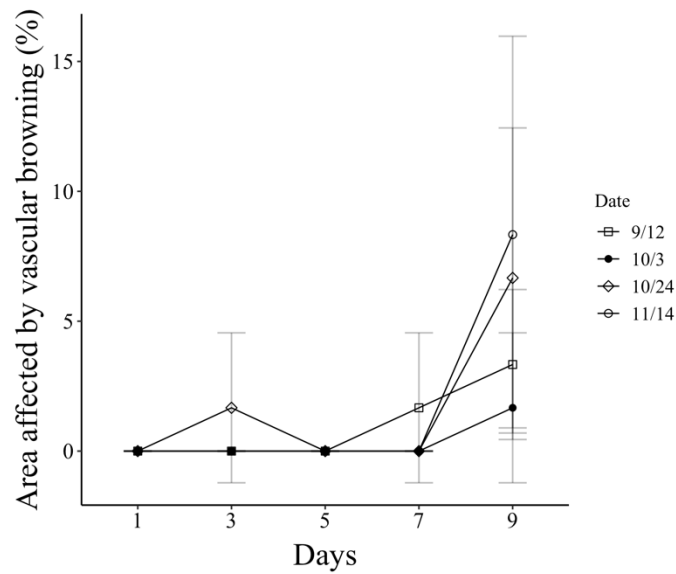


圖 35. 不同採收期之‘紅嬌’於後熟期間發生維管束褐化的果肉面積比例

Fig. 35. The percentage of area affected by vascular browning of ‘Red Fairy’ avocado fruit harvested on different dates during the ripening. Data presented as mean $\pm$ standard deviation (n = 3).

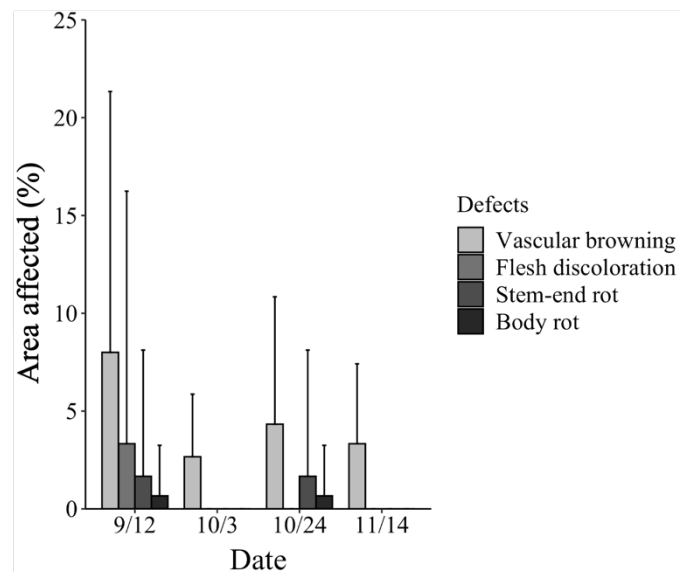


圖 36. 不同採收期之‘紅嬌’果實完熟後發生生理障礙及病害的果肉面積

Fig. 36. The percentage of area affected by physiological disorders and rots after ripening of ‘Red Fairy’ avocado fruit harvested on different dates during the ripening. Data presented as mean $\pm$ standard deviation (n = 15).

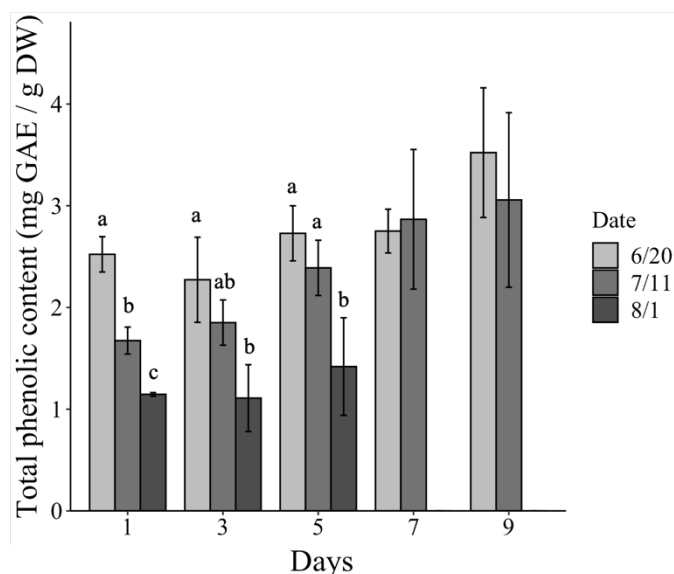


圖 37. 不同採收期之‘黑美人’果實後熟期間的果肉總酚含量

Fig. 37. Total phenolic content of 'Black Beauty' avocado fruit harvested on different dates during the ripening. Data presented as mean $\pm$ standard deviation ($n = 3$); means with the same letter (s) are not significantly different at 5% level by Tukey's HSD test.

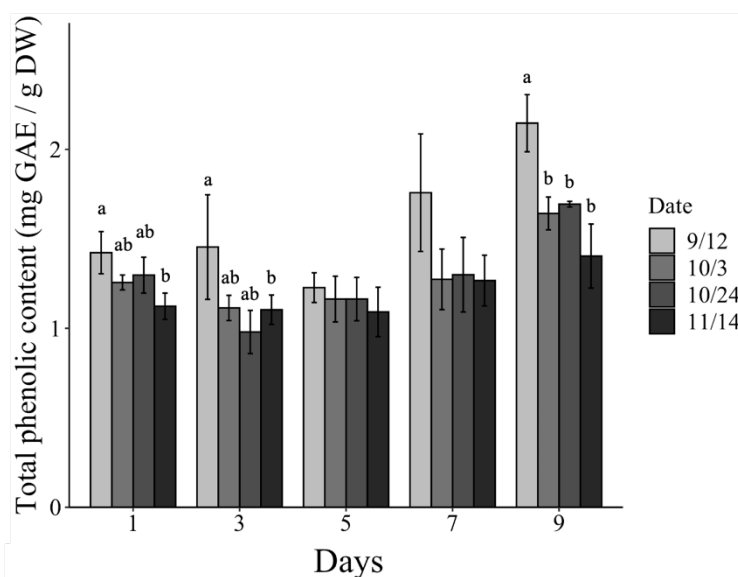


圖 38. 不同採收期之‘紅嬌’果實後熟期間的果肉總酚含量

Fig. 38. Total phenolic content of 'Black Beauty' avocado fruit harvested on different dates during the ripening. Data presented as mean $\pm$ standard deviation ($n = 3$); means with the same letter (s) are not significantly different at 5% level by Tukey's HSD test.

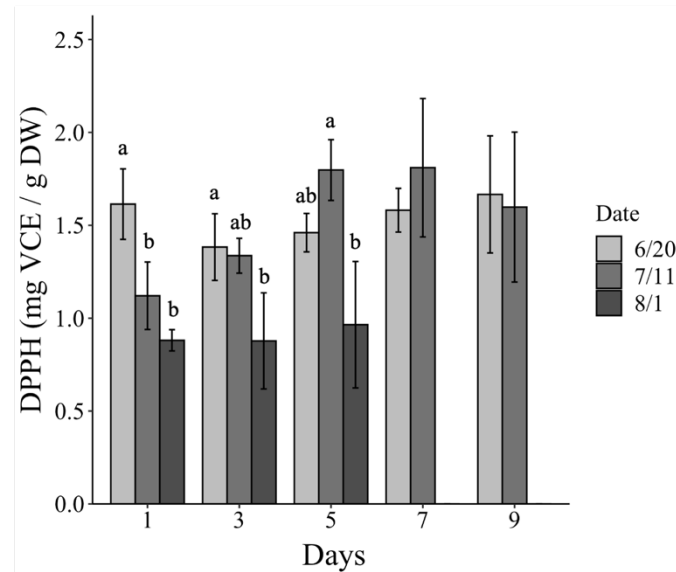


圖 39. 不同採收期之‘黑美人’果實後熟期間的果肉 DPPH 自由基清除能力

Fig. 39. The DPPH free radical scavenging capacity in the mesocarp of 'Black Beauty' avocado fruit harvested on different dates during the ripening. Data presented as mean $\pm$ standard deviation (n = 3); means with the same letter (s) are not significantly different at 5% level by Tukey's HSD test.

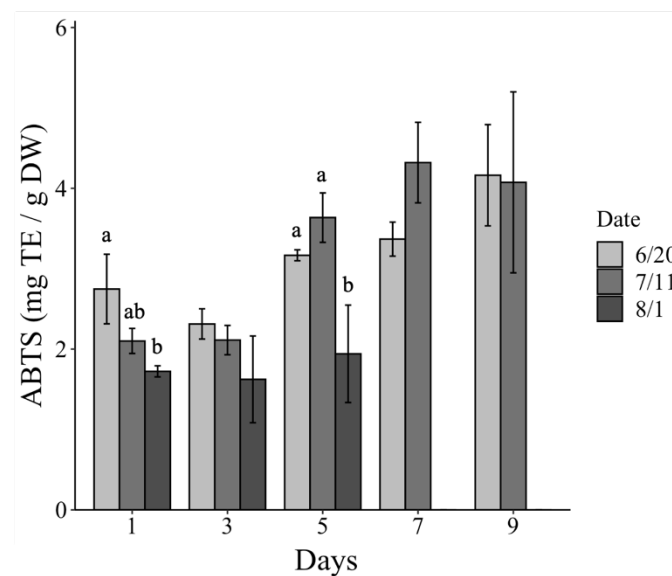


圖 40. 不同採收期之‘黑美人’果實後熟期間的果肉 ABTS 自由基清除能力

Fig. 40. The ABTS free radical scavenging capacity in the mesocarp of 'Black Beauty' avocado fruit harvested on different dates during the ripening. Data presented as mean $\pm$ standard deviation (n = 3); means with the same letter (s) are not significantly different at 5% level by Tukey's HSD test.

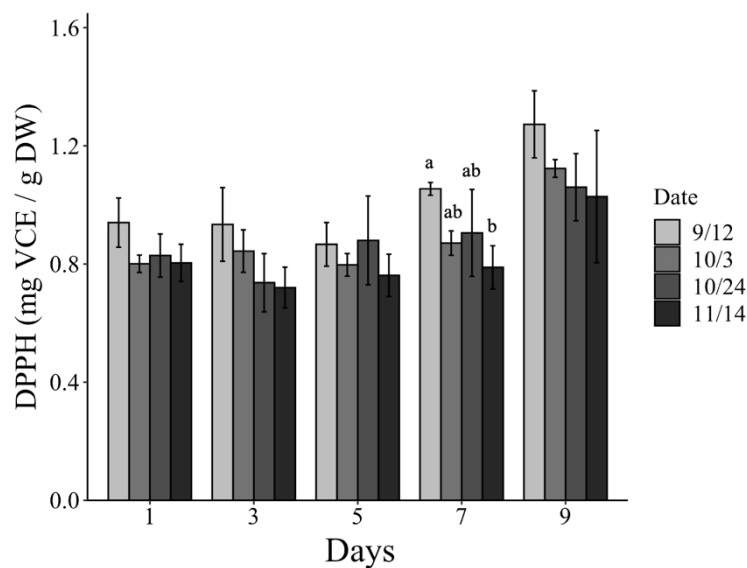


圖 41. 不同採收期之‘紅嬌’果實後熟期間的果肉 DPPH 自由基清除能力

Fig. 41. The DPPH free radical scavenging capacity in the mesocarp of ‘Red Fairy’ avocado fruit harvested on different dates during the ripening. Data presented as mean $\pm$ standard deviation ($n = 3$); means with the same letter (s) are not significantly different at 5% level by Tukey's HSD test.

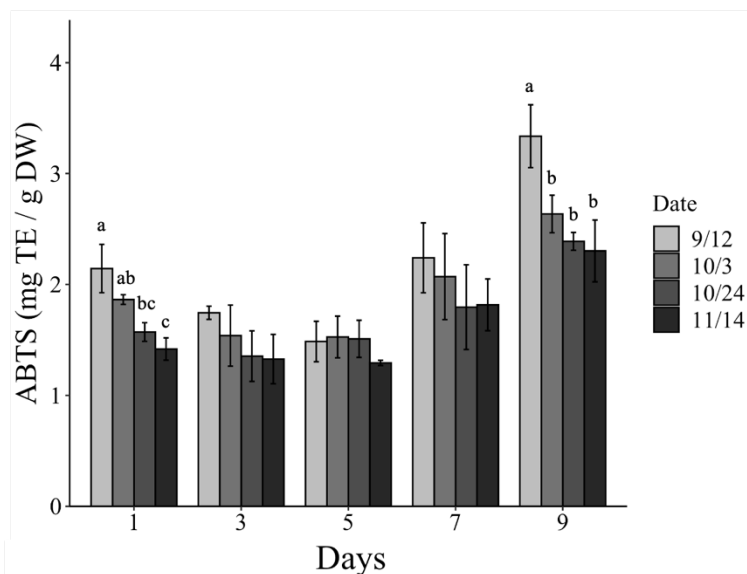


圖 42. 不同採收期之‘紅嬌’果實於後熟期間的果肉 ABTS 自由基清除能力

Fig. 42. The ABTS free radical scavenging capacity in the mesocarp of ‘Red Fairy’ avocado fruit harvested on different dates during the ripening. Data presented as mean $\pm$ standard deviation ($n = 3$); means with the same letter (s) are not significantly different at 5% level by Tukey's HSD test.

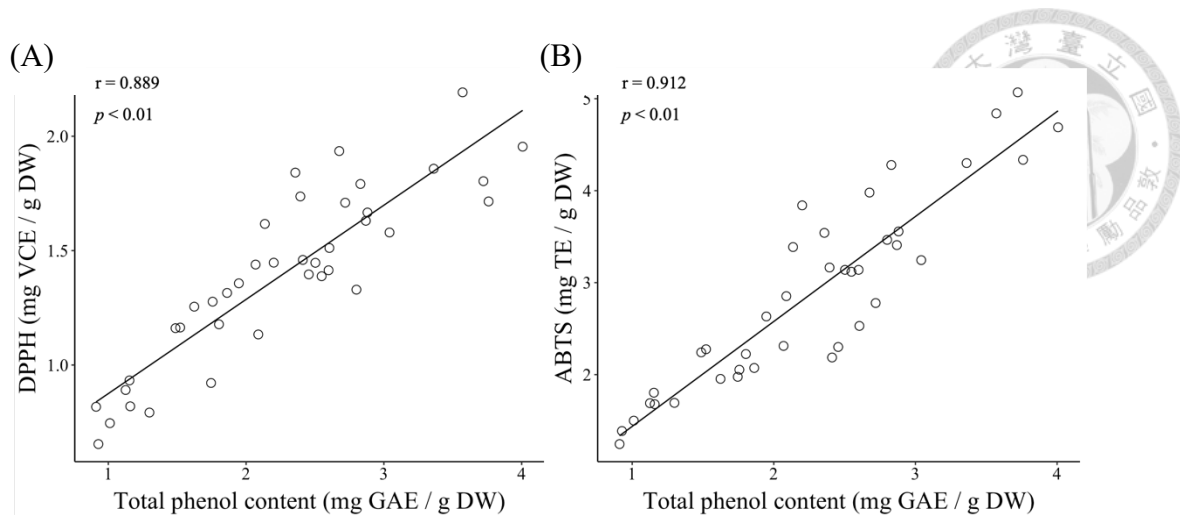


圖 43. 不同採收期之‘黑美人’果實果肉總酚含量與(A) DPPH 及(B) ABTS 自由基清除能力之關係

Fig. 43. Pearson's correlation of the relationship between total phenolic content and (A) DPPH / (B) free radical scavenging capacity in the mesocarp of 'Black Beauty' avocado fruit harvested on different dates during the ripening (n = 39).

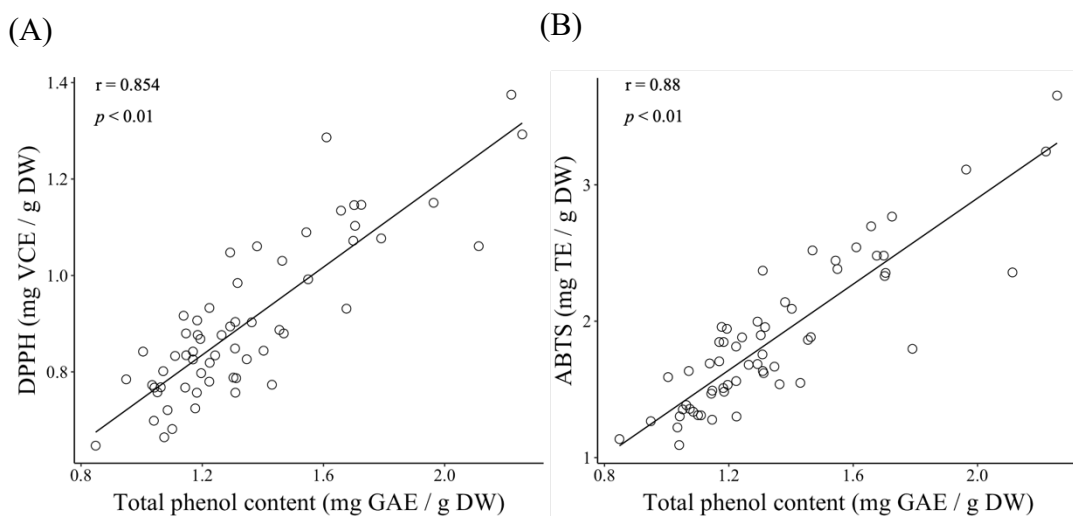


圖 44. 不同採收期之‘紅嬌’果實果肉總酚含量與(A) DPPH 及(B) ABTS 自由基清除能力之關係

Fig. 44. Pearson's correlation of the relationship between total phenolic content and (A) DPPH / (B) ABTS free radical scavenging capacity in the mesocarp of 'Red Fairy' avocado fruit harvested on different dates during the ripening (n = 60).

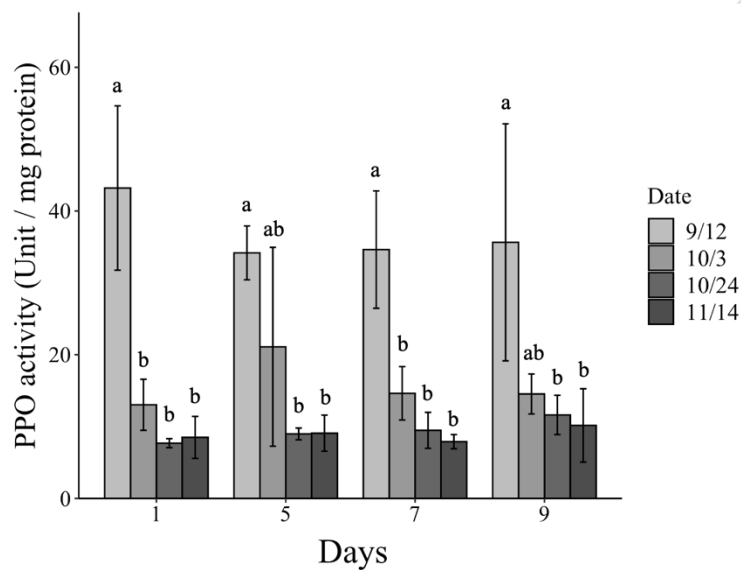


圖 45. 不同採收期之‘紅嬌’果實後熟期間的果肉多酚氧化酵素活性

Fig. 45. Polyphenol oxidase (PPO) activity in the mesocarp of ‘Red Fairy’ avocado fruit harvested on different dates during the ripening. Data presented as mean $\pm$ standard deviation ($n = 3$); means with the same letter (s) are not significantly different at 5% level by Tukey's HSD test.

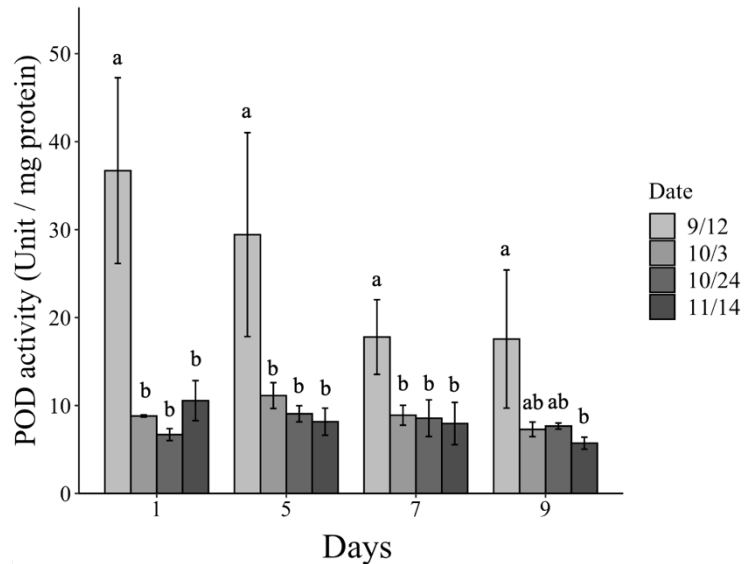


圖 46. 不同採收期之‘紅嬌’果實後熟期間的果肉過氧化酵素活性

Fig. 46. Peroxidase (POD) activity in the mesocarp of ‘Red Fairy’ avocado fruit harvested on different dates during the ripening. Means ($n = 3$) with the same letter (s) are not significantly different at 5% level by Tukey's HSD test.

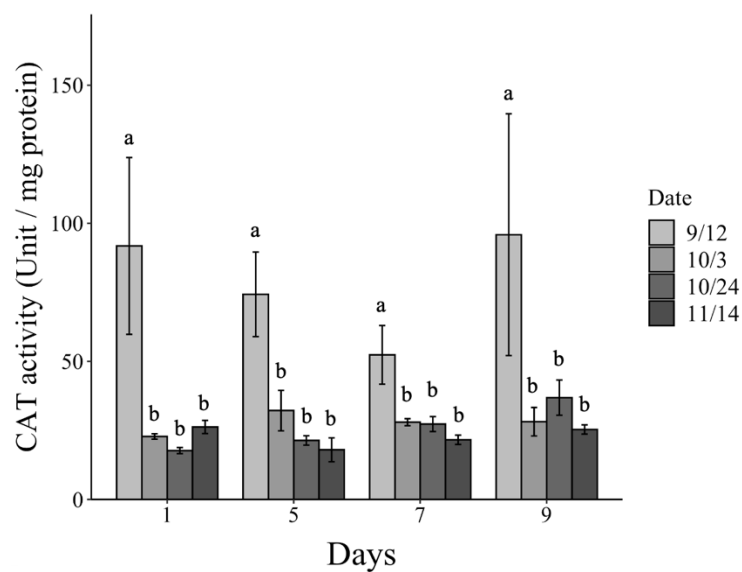


圖 47. 不同採收期之‘紅嬌’果實後熟期間的果肉過氧化氫酶活性

Fig. 47. Catalase (CAT) activity in the mesocarp of 'Red Fairy' avocado fruit harvested on different dates during the ripening. Data presented as mean $\pm$ standard deviation ($n = 3$); means with the same letter (s) are not significantly different at 5% level by Tukey's HSD test.

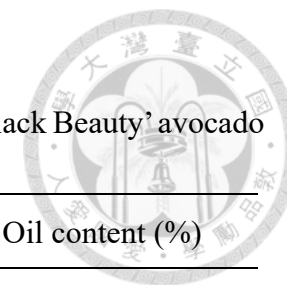


表 1. 2022 年度果實發育期間‘黑美人’果實性狀間之關係

Table 1. Pearson's correlation coefficients of the relationship between length, diameter, weight, dry matter and oil content of 'Black Beauty' avocado fruit during the development in 2022.

Charateristics	Length (mm)	Diameter (mm)	Weight (g)	Dry matter (%)	Oil content (%)
Length (mm)	--				
Diameter (mm)	0.950**	--			
Weight (g)	0.970**	0.972**	--		
Dry matter (%)	n.s.	n.s.	n.s.	--	
Oil content (%)	0.897**	0.852**	0.889**	n.s.	--

*, **: Significant at 5% and 1% level, respectively; n.s., non-significant.

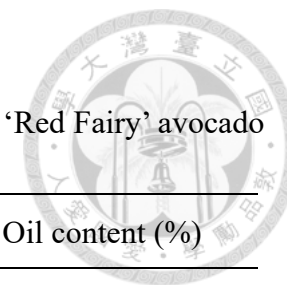


表 2. 2022 年度果實發育期間‘紅嬌’果實性狀間之關係

Table 2. Pearson's correlation coefficients of the relationship between length, diameter, weight, dry matter and oil content of 'Red Fairy' avocado fruit during the development in 2022.

Characteristics	Fruit length (mm)	Fruit diameter (mm)	Fruit weight (g)	Dry matter (%)	Oil content (%)
Fruit length (mm)	--				
Fruit diameter (mm)	0.927**	--			
Fruit weight (g)	0.923**	0.986**	--		
Dry matter (%)	0.577**	0.631**	0.648**	--	
Oil content (%)	0.823**	0.839**	0.847**	0.938**	--

*, **: Significant at 5% and 1% level, respectively; n.s., non-significant.

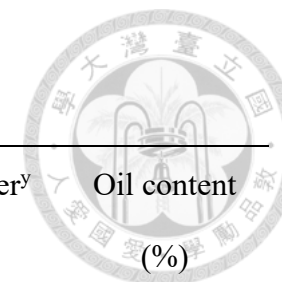


表 3. 2022 年度不同採收期之‘黑美人’果實性狀

Table 3. The fruit characteristics of ‘Black Beauty’ avocado fruit harvested for ripening experiment in 2022.

Harvest date	Fruit length (mm)	Fruit diameter (mm)	Fruit weight (g)	Seed weight (g)	Flesh ratio (%)	Days to ripen (day)	Dry matter ^y (%)	Oil content (%)
6/20	144.0±5.9 c ^z	68.1±4.4 c	314.4±37.9 c	43.8±11.3 b	86.2±2.3 b	7.0±1.3 a	9.6±1.1 b ^y	1.7±0.0 c ^x
7/11	174.8±8.6 b	80.6±3.4 b	506.4±42.6 b	45.0±11.6 b	91.2±1.9 a	5.0±0.9 c	10.6±0.4 ab	3.1±0.5 b
8/1	196.3±13.5 a	130.5±6.2 a	707.2±61.0 a	64.6±11.5 a	90.8±1.8 a	6.0±0.5 b	12.7±1.4 a	4.1±0.2 a

^z Mean ± standard deviation (n = 15). Means within a column followed by the same letter(s) are not significantly different at 5% level by Tukey’s HSD test.

^yThe sample size is 3 (n = 3) for dry matter content measurement.

^xThe sample size is 3 (n = 3) for oil content measurement.

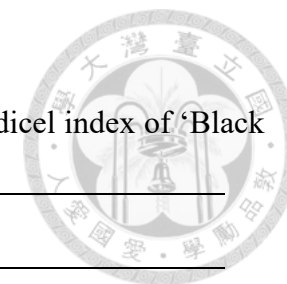


表 4. 2022 年度‘黑美人’後熟期間果實手觸硬度等級與果色指標及蒂頭萎凋程度之斯皮爾曼相關係數

Table 4. The Spearman's rank correlation coefficients for the relationship between level of firmness by hand and color or pedicel index of 'Black Beauty' fruit harvested on different dates for storage experiment in 2022.

Index	Level of firmness by hand			
	6/20	7/11	8/1	All
Color index	0.957**	0.915**	0.754**	0.929**
Pedicel index	0.909**	0.804**	0.807**	0.898**

*, **: Significant at 5% and 1% level, respectively.

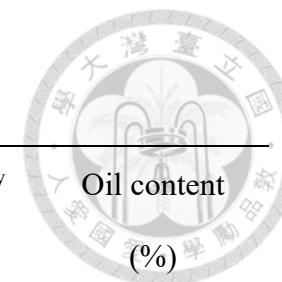


表 5. 2022 年度不同採收期之‘紅嬌’果實性狀

Table 5. The fruit characteristics of ‘Red Fairy’ avocado fruit harvested for ripening experiment in 2022.

Harvest date	Fruit length (mm)	Fruit diameter (mm)	Fruit weight (g)	Seed weight (g)	Flesh ratio (%)	Days to ripen (day)	Dry matter ^y (%)	Oil content ^x (%)
9/12	142.8±9.6 b ^z	84.2±4.2 a	478.1±68.6 b	86.5±25.1 a	82.4±3.5 b	9.6±1.4 a	13.3±1.7 b	3.7±0.9 b ^x
10/3	153.8±8.8 a	86.7±5.1 a	567.3±76.7 a	92.2±22.7 a	83.8±3.1 b	9.5±1.5 a	14.5±1.5 b	4.1±0.9 b
10/24	144.8±4.9 ab	86.0±3.4 a	501.8±48.4 ab	78.6±13.1 a	84.4±1.6 ab	8.7±1.2 a	16.1±0.9 ab	5.3±0.6 ab
11/14	154.1±13.4 a	88.9±5.6 a	568.5±104.7 a	77.0±22.9 a	86.6±2.7 a	9.0±1.1 a	18.3±0.6 a	7.1±1.0 a

^z Mean ± standard deviation (n = 15). Means within a column followed by the same letter(s) are not significantly different at 5% level by Tukey’s HSD test.

^yThe sample size is 3 (n = 3) for dry matter measurement.

^xThe sample size is 3 (n = 3) for oil content measurement.



表 6. 2022 年度不同採收期‘紅嬌’果實手觸硬度等級與果色指標和蒂頭萎凋程度之斯皮爾曼相關係數

Table 6. The Spearman's rank correlation coefficients for the relationship between level of firmness by hand and color or pedicel index of 'Red Fairy' fruit harvested on different dates for stroage experiment in 2022.

Index	Level of firmness by hand				
	9/12	10/3	10/24	11/14	All
Color index	0.852**	0.705**	0.708**	0.551**	0.647**
Pedicel index	0.882**	0.908**	0.869**	0.791**	0.842**

*, **: Significant at 5% and 1% level, respectively.

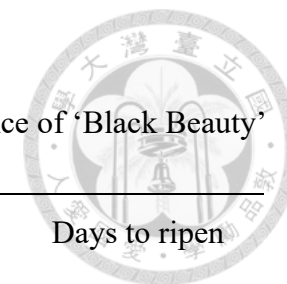


表 7. ‘黑美人’果實各性狀與後熟表現之斯皮爾曼相關係數

Table 7. The Spearman’s rank correlation coefficients for the relationship between fruit characteristics and ripening performance of ‘Black Beauty’ avocado fruit harvested.

Characteristics	Fruit length ^z (mm)	Fruit diameter (mm)	Fruit weight (g)	Seed weight (g)	Flesh ratio (%)	Days to ripen (day)
Days to ripen (day)	-0.351*	n.s.	n.s.	n.s.	-0.300*	--
Vascular browning ^y (%)	-0.476**	-0.375*	-0.382*	n.s.	-0.468**	0.413*
Flesh discoloration (%)	-0.487**	-0.468**	-0.490**	n.s.	-0.676**	n.s.
Stem-end rot (%)	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.

*, **: Significant at 5% and 1% level, respectively; n.s., non-significant.

^zOnly the fruit characteristics of ‘Black Beauty’ avocado fruit harvested on June 20 and July 11, 2022 are included.

^yThe degree of severity of vascular browning, flesh discoloration, and stem-end rot are calculated as the percentage of mesocarp area affected.



表 8. ‘紅嬌’果實各性狀與後熟表現之斯皮爾曼相關係數

Table 8. The Spearman's rank correlation coefficients for the relationship between fruit characteristics and ripening performance of 'Red Fairy' avocado fruit.

Characteristics	Fruit length (mm)	Fruit diameter (mm)	Fruit weight (g)	Seed weight (g)	Flesh ratio (%)	Days to ripen (day)
Days to ripen (day)	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	--
Vascular browning ^z (%)	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	-0.256*
Flesh discoloration (%)	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
Stem-end rot (%)	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	-0.278*
Body rot (%)	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	-0.309*

*, **: Significant at 5% and 1% level, respectively; n.s., non-significant.

^zThe degree of severity of vascular browning, flesh discoloration, stem-end rot and body rot are calculated as the percentage of mesocarp area affected.

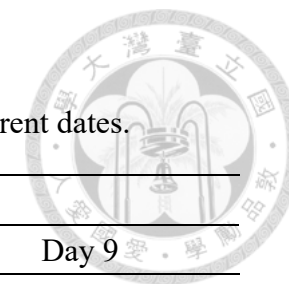


表 9. 不同採收期之‘黑美人’果實後熟期間各部位果肉總酚含量之變化

Table 9. Change and distribution of total phenolic content in the mesocarp of ‘Black Beauty’ avocado fruit harvested on different dates.

(y/m/d)	Total phenolic content (mg GAE / g DW)				
Fruit parts	Day 1	Day 3	Day 5	Day 7	Day 9
2022/6/20					
proximal	2.29±0.36 b ^z	2.14±0.52 a	2.58±0.11 a	2.59±0.17 a	3.42±0.63 a
middle	2.25±0.19 b	2.17±0.41 a	2.72±0.58 a	2.73±0.20 a	3.44±0.52 a
distal	3.03±0.06 a	2.52±0.34 a	2.89±0.27 a	2.93±0.30 a	3.71±0.80 a
2022/7/11					
proximal	1.40±0.10 a	1.65±0.19 a	2.07±0.57 a	2.22±0.69 a	2.78±0.96 a
middle	1.67±0.28 ab	2.04±0.20 a	2.42±0.26 a	2.89±0.87 a	3.13±0.85 a
distal	1.95±0.05 a	1.86±0.31 a	2.68±0.06 a	3.26±0.78 a	3.26±0.78 a
2022/8/1					
proximal	1.10±0.12 a	1.04±0.29 a	1.29±0.53 a	-	-
middle	1.13±0.08 a	1.06±0.27 a	1.38±0.50 a	-	-
distal	1.21±0.00 a	1.23±0.43 a	1.58±0.48 a	-	-

^zMean ± standard deviation (n = 3). Means within a column followed by the same letter (s) are not significantly different at 5% level by Tukey’s HSD test

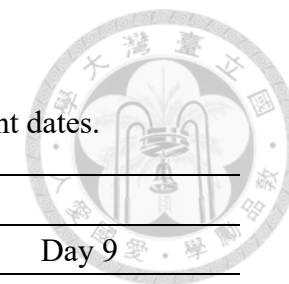


表 10. 不同採收期之‘紅嬌’果實後熟期間各部位果肉總酚含量之變化

Table 10. Change and distribution of total phenolic content in the mesocarp of ‘Red Fairy’ avocado fruit harvested on different dates.

(y/m/d)	Total phenolic content (mg GAE / g DW)				
Fruit parts	Day 1	Day 3	Day 5	Day 7	Day 9
2022/9/12					
proximal	1.29±0.10 b ^z	1.37±0.31 a	1.14±0.10 a	1.69±0.41 a	2.00±0.15 a
middle	1.32±0.09 b	1.37±0.18 a	1.16±0.15 a	1.71±0.25 a	2.11±0.15 a
distal	1.66±0.16 a	1.62±0.41 a	1.38±0.20 a	1.88±0.34 a	2.32±0.21 a
2022/10/3					
proximal	1.15±0.03 b	1.03±0.10 a	1.03±0.14 a	1.21±0.20 a	1.63±0.17 a
middle	1.23±0.06 b	1.07±0.06 a	1.16±0.12 a	1.30±0.19 a	1.66±0.10 a
distal	1.39±0.07 a	1.24±0.13 a	1.30±0.14 a	1.31±0.12 a	1.64±0.05 a
2022/10/24					
proximal	1.19±0.17 a	0.92±0.08 a	1.01±0.06 b	1.26±0.21 a	1.61±0.06 b
middle	1.23±0.07 a	0.92±0.13 a	1.11±0.19 ab	1.22±0.22 a	1.72±0.02ab
distal	1.47±0.20 a	1.10±0.20 a	1.37±0.11 a	1.42±0.21 a	1.75±0.03 a
2022/11/14					
proximal	1.06±0.19 a	0.94±0.07 b	1.02±0.18 a	1.08±0.08 b	1.32±0.12 a
middle	1.02±0.07 a	1.05±0.08 ab	0.95±0.10 a	1.17±0.14 b	1.39±0.25 a
distal	1.29±0.11 a	1.33±0.16 a	1.30±0.20 a	1.55±0.21 a	1.51±0.18 a

^zMean ± standard deviation (n = 3). Means within a column followed by the same letter (s) are not significantly different at 5% level by Tukey’ s HSD test



表 11. 不同採收期之‘黑美人’果實後熟期間各部位果肉抗氧化能力 (DPPH 自由基清除能力) 之變化

Table 11. Change and distribution of antioxidant capacity (DPPH free radical scavenging capacity) in the mesocarp of ‘Black Beauty’ avocado fruit harvested on different dates.

(y/m/d)	DPPH (mg VCE / g DW)				
Fruit parts	Day 1	Day 3	Day 5	Day 7	Day 9
2022/6/20					
proximal	1.46±0.21 ab ^z	1.32±0.29 ab	1.36±0.17 ab	1.51±0.11 a	1.44±0.36 a
middle	1.22±0.17 b	1.06±0.22 b	1.23±0.12 b	1.51±0.16 a	1.46±0.18 a
distal	2.17±0.42 a	1.76±0.12 a	1.79±0.23 a	1.72±0.12 a	1.67±0.31 a
2022/7/11					
proximal	1.02±0.20 a	1.30±0.11 a	1.48±0.33 b	1.47±0.48 a	1.48±0.55 a
middle	1.17±0.12 a	1.31±0.04 a	1.70±0.16 ab	1.74±0.43 a	1.57±0.29 a
distal	1.17±0.33 a	1.40±0.27 a	2.21±0.18 a	2.23±0.38 a	1.74±0.39 a
2022/8/1					
proximal	0.79±0.22 a	0.91±0.39 a	1.00±0.45 a	-	-
middle	0.90±0.09 a	0.78±0.28 a	0.93±0.23 a	-	-
distal	0.95±0.16 a	0.95±0.28 a	0.95±0.31 a	-	-

^zMean ± standard deviation (n = 3). Means within a column followed by the same letter (s) are not significantly different at 5% level by Tukey’ s HSD test



表 12. 不同採收期之‘黑美人’果實後熟期間各部位果肉抗氧化能力 (ABTS 自由基清除能力) 之變化

Table 12. Change and distribution of antioxidant capacity (ABTS free radical scavenging capacity) in the mesocarp of ‘Black Beauty’ avocado fruit harvested on different dates.

(y/m/d)	ABTS (mg TE / g DW)				
Fruit parts	Day 1	Day 3	Day 5	Day 7	Day 9
2022/6/20					
proximal	2.53±0.17 a ^z	2.18±0.37 ab	3.08±0.16 b	3.20±0.12 a	3.82±0.54 a
middle	2.30±0.49 a	2.01±0.23 b	2.64±0.30 b	3.42±0.27 a	4.06±0.61 a
distal	3.40±0.70 a	2.75±0.19 a	3.78±0.25 a	3.48±0.45 a	4.61±0.78 a
2022/7/11					
proximal	1.84±0.19 b	2.01±0.19 a	3.10±0.83 a	3.27±0.71 b	3.55±1.44 a
middle	2.05±0.16 ab	2.11±0.10 a	3.73±0.26 a	4.27±0.64 ab	4.28±1.07 a
distal	2.42±0.21 a	2.21±0.37 a	4.08±0.20 a	5.41±0.43 a	4.40±0.94 a
2022/8/1					
proximal	1.54±0.10 b	1.55±0.59 a	1.84±0.80 a	-	-
middle	1.70±0.16 ab	1.59±0.47 a	2.04±0.44 a	-	-
distal	1.92±0.08 a	1.73±0.57 a	1.95±0.61 a	-	-

^zMean ± standard deviation (n = 3). Means within a column followed by the same letter (s) are not significantly different at 5% level by Tukey’ s HSD test



表 13. 不同採收期之‘紅嬌’果實後熟期間各部位果肉抗氧化能力 (DPPH 自由基清除能力)之變化

Table 13. Change and distribution of antioxidant capacity (DPPH free radical scavenging capacity) in the mesocarp of ‘Red Fairy’ avocado fruit harvested on different dates.

(y/m/d)	DPPH (mg VCE / g DW)				
Fruit parts	Day 1	Day 3	Day 5	Day 7	Day 9
2022/9/12					
proximal	0.92±0.03 ab ^z	0.93±0.17 a	0.79±0.11 a	0.92±0.08 b	1.20±0.19 ab
middle	0.75±0.22 b	0.80±0.05 a	0.85±0.03 a	0.99±0.06 b	1.05±0.21 b
distal	1.15±0.04 a	1.07±0.26 a	0.97±0.26 a	1.25±0.09 a	1.57±0.09 a
2022/10/3					
proximal	0.80±0.01 b	0.83±0.04 a	0.83±0.03 a	0.81±0.07 a	1.19±0.16 a
middle	0.73±0.04 ab	0.77±0.04 a	0.88±0.05 a	0.82±0.09 a	1.18±0.06 a
distal	0.87±0.04 a	0.94±0.16 a	0.68±0.13 a	0.97±0.10 a	1.00±0.13 a
2022/10/24					
proximal	0.77±0.02 a	0.65±0.13 a	0.75±0.17 a	0.97±0.30 a	1.02±0.13 a
middle	0.73±0.03 a	0.73±0.12 a	0.86±0.20 a	0.81±0.11 a	1.09±0.09 a
distal	0.98±0.19 a	0.83±0.06 a	1.03±0.10 a	0.94±0.04 a	1.07±0.12 a
2022/11/14					
proximal	0.79±0.10 a	0.65±0.07 a	0.78±0.15 a	0.78±0.15 ab	0.99±0.18 a
middle	0.71±0.09 a	0.62±0.10 a	0.71±0.11 a	0.53±0.13 b	1.03±0.23 a
distal	0.91±0.03 a	0.89±0.11 a	0.79±0.04 a	1.06±0.07 a	1.06±0.29 a

^zMean ± standard deviation (n = 3). Means within a column followed by the same letter (s) are not significantly different at 5% level by Tukey’ s HSD test



表 14. 不同採收期之‘紅嬌’果實後熟期間各部位果肉抗氧化能力 (ABTS 自由基清除能力) 之變化

Table 14. Change and distribution of antioxidant capacity (ABTS free radical scavenging capacity) in the mesocarp of ‘Red Fairy’ avocado fruit harvested on different dates.

(y/m/d)	ABTS (mg TE / g DW)				
Fruit parts	Day 1	Day 3	Day 5	Day 7	Day 9
2022/9/12					
proximal	1.88±0.22 b ^z	1.69±0.22 a	1.33±0.16 a	2.05±0.38 a	2.97±0.31 b
middle	2.00±0.20 ab	1.58±0.21 a	1.37±0.22 a	2.15±0.34 a	3.24±0.39 ab
distal	2.54±0.26 a	1.96±0.12 a	1.76±0.34 a	2.51±0.22 a	3.81±0.16 a
2022/10/3					
proximal	1.70±0.09 b	1.36±0.28 a	1.43±0.37 a	2.07±0.37 a	2.68±0.36 a
middle	1.78±0.09 b	1.45±0.26 a	1.45±0.16 a	2.04±0.44 a	2.64±0.22 a
distal	2.02±0.02 a	1.81±0.35 a	1.71±0.04 a	2.10±0.36 a	2.59±0.09 a
2022/10/24					
proximal	1.37±0.13 b	1.26±0.27 a	1.26±0.27 a	1.72±0.57 a	2.26±0.06 a
middle	1.44±0.20 b	1.30±0.24 a	1.30±0.24 a	1.66±0.47 a	2.48±0.17 a
distal	1.90±0.18 a	1.50±0.18 a	1.50±0.18 a	2.00±0.12 a	2.43±0.22 a
2022/11/14					
proximal	1.29±0.11 a	1.06±0.08 b	1.19±0.18 a	1.61±0.39 a	2.09±0.21 a
middle	1.29±0.27 a	1.16±0.24 ab	1.22±0.13 a	1.59±0.28 a	2.30±0.28 a
distal	1.68±0.15 a	1.75±0.41 a	1.47±0.07 a	2.24±0.03 a	2.51±0.37 a

^zMean ± standard deviation (n = 3). Means within a column followed by the same letter (s) are not significantly different at 5% level by Tukey’ s HSD test

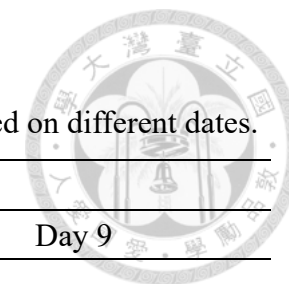


表 15. 不同採收期之‘紅嬌’果實後熟期間各部位果肉多酚氧化酵素活性之變化

Table 15. Change and distribution of the activity of polyphenol oxidase in the mesocarp of ‘Red Fairy’ avocado fruit harvested on different dates.

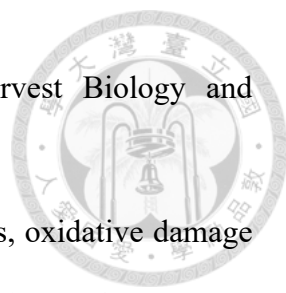
(y/m/d)	PPO activity (Unit / mg protein)			
Fruit parts	Day 1	Day 5	Day 7	Day 9
2022/9/12				
proximal	28.38±0.67 b ^z	35.46±7.25 ab	20.35±3.07 a	40.83±29.83 a
middle	32.73±13.20 ab	22.06±7.19 b	39.22±14.22 a	31.89±13.99 a
distal	68.49±22.02 a	44.98±11.05 a	44.33±16.93 a	34.21±5.69 a
2022/10/3				
proximal	8.66±3.50 b	18.93±21.43 a	9.61±5.00 b	16.97±3.74 a
middle	9.38±2.53 b	14.57±8.80 a	12.64±4.39 ab	10.49±3.25 a
distal	21.08±6.25 a	29.80±17.87 a	21.65±1.82 a	16.18±3.03 a
2022/10/24				
proximal	8.34±1.77 a	5.16±2.10 b	7.23±2.60 b	8.92±2.52 a
middle	4.34±0.59 b	7.65±3.02 ab	6.35±3.74 b	11.18±3.33 a
distal	10.41±1.52 a	14.14±3.67 a	14.86±1.24 a	14.77±5.72 a
2022/11/14				
proximal	9.05±3.52 a	11.95±3.66 a	16.24±8.13 a	13.11±3.29 a
middle	12.10±2.23 a	15.98±4.66 a	19.35±10.44 a	20.04±3.48 a
distal	18.38±6.65 a	21.37±4.38 a	19.21±4.59 a	23.77±6.51 a

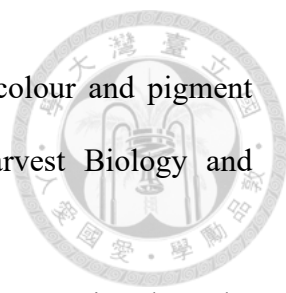
^zMean ± standard deviation (n = 3). Means within a column followed by the same letter (s) are not significantly different at 5% level by Tukey’ s HSD test

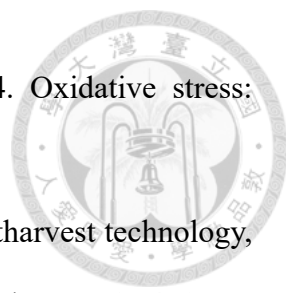


參考文獻

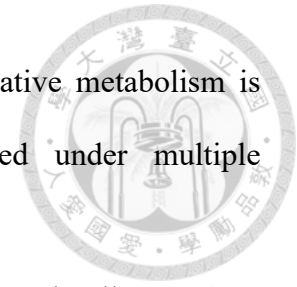
- 倪蕙芳、莊明富、許淑麗、賴素玉、楊宏仁. 2011. 葡萄座腔菌屬 (*Botryosphaeria* spp.) 在台灣引起之酪梨採收後病害研究. 台灣農業研究 60 (3):157-166.
- 陸明德. 2002. I. 台灣重要經濟酪梨栽培品種開花習性調查 II. 以逢機增殖多型性 DNA (RAPD) 標誌檢測酪梨品種之遺傳親緣性. 國立臺灣大學園藝系碩士論文. 臺北.
- 陸明德. 2011. 幸福果 (酪梨) 簡介. 幸福果 (酪梨) 通訊 42:1-7.
- 楊智媛. 2005. 採收成熟度和採後處理對酪梨品質的影響. 國立中興大學園藝系碩士論文. 臺中.
- 鄧勝文. 2010. 國產酪梨粗脂肪含量及脂肪酸組成之研究. 國立宜蘭大學園藝系碩士論文. 宜蘭.
- 蔡惠文、張哲瑋、鍾志明. 2016. 飄洋來台的幸福果-酪梨. 幸福果 (酪梨) 通訊 62:1-8.
- Arpaia, M., D. Boreham, and R. Hofshi. 2001. Development of a new method for measuring minimum maturity of avocados. California Avocado Society Yearbook 85:153-178.
- Barmore, C. R. 1976. Avocado fruit maturity. Proceedings of the I. International Tropical Fruit Short Course: The Avocado. Gainesville: Fruit Crops Dept., Florida Cooperative Extension Service. Institute of Food and Agricultural Sciences, University of Florida:103-109.
- Bergh, B. 1992. The origin, nature, and genetic improvement of the avocado. California Avocado society yearbook 76:61-75.
- Blakey, R.J., J.P. Bower, and I. Bertling. 2009. Influence of water and ABA supply on the ripening pattern of avocado (*Persea americana* Mill.) fruit and the prediction of

- 
- water content using Near Infrared Spectroscopy. *Postharvest Biology and Technology* 53:72-76.
- Blokhina, O., E. Virolainen, and K.V. Fagerstedt. 2003. Antioxidants, oxidative damage and oxygen deprivation stress: a review. *Annals of botany* 91:179-194.
- Bowen, J., D. Billing, P. Connolly, W. Smith, J. Cooney, and J. Burdon. 2018. Maturity, storage and ripening effects on anti-fungal compounds in the skin of 'Hass' avocado fruit. *Postharvest Biology and Technology* 146:43-50.
- Bower. 1988. Pre-and postharvest measures for long-term storage of avocados. *South African Avocado Growers' Assn. Yrbk* 11:68-72.
- Bower and Cutting. 2003. Avocado Fruit Development and Ripening Physiology. *Horticultural reviews* 10:229-271.
- Cañete, M., R. Pérez de los Cobos, and J. Hueso. 2016. Influence of harvest date on sensory quality attributes of avocado 'Hass'. *International Postharvest Symposium: Enhancing Supply Chain and Consumer Benefits-Ethical and Technological Issues* 1194:1127-1132.
- Carvalho, C.P., M.A. Velásquez, and Z. Van Rooyen. 2014. Determination of the minimum dry matter index for the optimum harvest of 'Hass' avocado fruits in Colombia. *Agronomía Colombiana* 32:399-406.
- Chang, T.-L., M.-T. Lu, C.-A. Liu, and I.-Z. Chen. 2003. Genetic diversity analysis of Taiwan avocado accessions. *Proceedings V World Avocado Congress*.
- Corral-Aguayo, R.D., E.M. Yahia, A. Carrillo-Lopez, and G. Gonzalez-Aguilar. 2008. Correlation between some nutritional components and the total antioxidant capacity measured with six different assays in eight horticultural crops. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 56:10498-10504.

- 
- Cox, K.A., T.K. McGhie, A. White, and A.B. Woolf. 2004. Skin colour and pigment changes during ripening of 'Hass' avocado fruit. *Postharvest Biology and Technology* 31:287-294.
- Cutting, J., B. Wolstenholme, and J. Hardy. 1992. Increasing relative maturity alters the base mineral composition and phenolic concentration of avocado fruit. *Journal of horticultural science* 67:761-768.
- Dat, J., S. Vandenabeele, E. Vranová, M. Van Montagu, D. Inzé, and F. Van Breusegem. 2000. Dual action of the active oxygen species during plant stress responses. *Cellular and Molecular Life Sciences (CMLS)* 57:779-795. doi: 10.1007/s000180050041.
- Defilippi, B.G., T. Ejsmentewicz, M.P. Covarrubias, O. Gudenschwager, and R. Campos-Vargas. 2018. Changes in cell wall pectins and their relation to postharvest mesocarp softening of 'Hass' avocados (*Persea americana* Mill.). *Plant Physiology and Biochemistry* 128:142-151.
- Eaks, I.L. 1978. Ripening, respiration, and ethylene production of 'Hass' avocado fruits at 20 to 40°C. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 103:576-578.
- Erickson, L., I. Eaks, and G. Porter. 1970. Over-maturity in 'Hass' avocados. *Calif. Avocado Soc. Yrbk* 54:62-65.
- Gamble, J., F.R. Harker, S.R. Jaeger, A. White, C. Bava, M. Beresford, B. Stubbings, M. Wohlers, P.J. Hofman, and R. Marques. 2010. The impact of dry matter, ripeness and internal defects on consumer perceptions of avocado quality and intentions to purchase. *Postharvest Biology and Technology* 57:35-43.
- Hatton, T.T., P.L. Harding, and W.F. Reeder. 1964. Seasonal changes in Florida avocados. US Department of Agriculture.

- 
- Hodges, D.M., G.E. Lester, K.D. Munro, and P. Toivonen. 2004. Oxidative stress: importance for postharvest quality. *HortScience* 39:924.
- Hofman, P., Y. Fuchs, and D. Milne. 2002. Harvesting, packing, postharvest technology, transport and processing. *The avocado: botany, production and uses*:363-401.
- Hopkirk, G., A. White, D. Beever, and S. Forbes. 1994. Influence of postharvest temperatures and the rate of fruit ripening on internal postharvest rots and disorders of New Zealand 'Hass' avocado fruit. *New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science* 22:305-311.
- Kader, A.A. 1997. Fruit maturity, ripening, and quality relationships.
- Knight, R. 2002. History, distribution and uses. *The avocado: botany, production and uses*:1-14.
- Lee. 1981. A review and background of the avocado maturity standard. *California Avocado Society Yearbook* 65:101-109.
- Lee and R. Young. 1983. Growth measurement as an indication of avocado maturity. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 108:395-397.
- Lee, R.E. Young, P. Schiffman, and C. Coggins. 1983. Maturity studies of avocado fruit based on picking dates and dry weight. *J. Amer. Soc. Hort. Sci* 108:390-394.
- Liu, X., J. Sievert, M.L. Arpaia, and M.A. Madore. 2002. Postulated physiological roles of the seven-carbon sugars, mannoheptulose, and perseitol in avocado. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 127:108-114.
- Lobo, V., A. Patil, A. Phatak, and N. Chandra. 2010. Free radicals, antioxidants and functional foods: Impact on human health. *Pharmacognosy reviews* 4:118.
- Lufu, R., A. Ambaw, and U.L. Opara. 2020. Water loss of fresh fruit: Influencing pre-harvest, harvest and postharvest factors. *Scientia Horticulturae* 272:109519.

Lum, G.B., B.J. Shelp, J.R. DeEll, and G.G. Bozzo. 2016. Oxidative metabolism is associated with physiological disorders in fruits stored under multiple environmental stresses. *Plant Science* 245:143-152.



Marín-Obispo, L.M., R. Villarreal-Lara, D.G. Rodríguez-Sánchez, A. Del Follo-Martínez, M.d.l.C. Espíndola Barquera, J.S. Jaramillo-De la Garza, R.I. Díaz de la Garza, and C. Hernández-Brenes. 2021. Insights into drivers of liking for avocado pulp (*persea americana*): Integration of descriptive variables and predictive modeling. *Foods* 10:99.

Meyer, M.D., G.A. Chope, and L.A. Terry. 2017. Investigation into the role of endogenous abscisic acid during ripening of imported avocado cv. Hass. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 97:3656-3664.

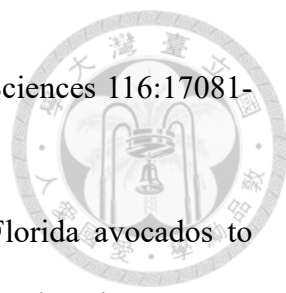
Mondal, K., S.P. Malhotra, V. Jain, and R. Singh. 2009. Oxidative stress and antioxidant systems in Guava (*Psidium guajava* L.) fruits during ripening. *Physiology and Molecular Biology of Plants* 15:327-334.

Moore-Gordon, C.S. 1997. Aspects of avocado fruit growth and development: towards understanding the 'Hass' small fruit syndrome (Doctoral thesis, University of Natal Pietermaritzburg).

Mpai, S. and D. Sivakumar. 2020. Influence of growing seasons on metabolic composition, and fruit quality of avocado cultivars at 'ready-to-eat stage'. *Scientia Horticulturae* 265:109159.

Ncama, K., L.S. Magwaza, C.A. Pobleto-Echeverria, H.H. Nieuwoudt, S.Z. Tesfay, and A. Mditshwa. 2018. On-tree indexing of 'Hass' avocado fruit by non-destructive assessment of pulp dry matter and oil content. *Biosystems engineering* 174:41-49.

- 
- Nordey, T., F. Davrieux, and M. Léchaudel. 2019. Predictions of fruit shelf life and quality after ripening: Are quality traits measured at harvest reliable indicators? *Postharvest Biology and Technology* 153:52-60.
- Obenland, D., S. Collin, J. Sievert, F. Negm, and M.L. Arpaia. 2012. Influence of maturity and ripening on aroma volatiles and flavor in ‘Hass’ avocado. *Postharvest biology and technology* 71:41-50.
- Pak, H., J. Dixon, and J. Cutting. 2003. Influence of early season maturity on fruit quality in New Zealand ‘Hass’ avocados. *Proceedings V World Avocado Congress* 635-640.
- Pedreschi, R., V. Uarrotta, C. Fuentealba, J.E. Alvaro, P. Olmedo, B.G. Defilippi, C. Meneses, and R. Campos-Vargas. 2019. Primary metabolism in avocado fruit. *Frontiers in Plant Science* 10:795.
- Pérez-Jiménez, R.M. 2008. Significant avocado diseases caused by fungi and oomycetes. *Eur J Plant Sci Biotechnol* 2:1-24.
- Prusky, D., N. Keen, J. Sims, and S. Midland. 1982. Possible involvement of an antifungal diene in the latency of *Colletotrichum gloeosporioides* on unripe avocado fruits. *Phytopathology* 72:1578-1582.
- Ramírez-Gil, J.G., J.C. Henao-Rojas, and J.G. Morales-Osorio. 2021. Postharvest diseases and disorders in avocado cv. Hass and their relationship to preharvest management practices. *Heliyon* 7:e05905.
- Rendón-Anaya, M., E. Ibarra-Laclette, A. Méndez-Bravo, T. Lan, C. Zheng, L. Carretero-Paulet, C.A. Perez-Torres, A. Chacón-López, G. Hernandez-Guzmán, and T.-H. Chang. 2019. The avocado genome informs deep angiosperm phylogeny, highlights introgressive hybridization, and reveals pathogen-influenced gene

- 
- space adaptation. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 116:17081-17089.
- Soule Jr, M.J. and P.L. Harding. 1955. Relation of maturity of Florida avocados to physical characters. *Proceedings of the Florida State Horticultural Society* 68:303-307.
- Swarts, D. 1984. Post harvest problems of avocados, let's talk the same language. *South African Avocado Growers' Association Yearbook* 7:15-19.
- Tesfay, S., I. Bertling, and J. Bower. 2010. Anti-oxidant levels in various tissues during the maturation of 'Hass' avocado (*Persea americana* Mill.). *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology* 85:106-112.
- Tesfay, S., I. Bertling, and J. Bower. 2011. Effects of postharvest potassium silicate application on phenolics and other anti-oxidant systems aligned to avocado fruit quality. *Postharvest Biology and Technology* 60:92-99.
- Valmayor, R.V. 1964. Cellular development of the avocado from blossom to maturity. University of Florida.
- Villa-Rodríguez, J.A., F.J. Molina-Corral, J.F. Ayala-Zavala, G.I. Olivas, and G.A. González-Aguilar. 2011. Effect of maturity stage on the content of fatty acids and antioxidant activity of 'Hass' avocado. *Food Research International* 44:1231-1237.
- Vincent, C., T. Mesa, and S. Munné-Bosch. 2020. Hormonal interplay in the regulation of fruit ripening and cold acclimation in avocados. *Journal of plant physiology* 251:153225.
- Wang, M., Y. Zheng, T. Khuong, and C.J. Lovatt. 2012. Effect of harvest date on the nutritional quality and antioxidant capacity in 'Hass' avocado during storage. *Food Chemistry* 135:694-698.

- 
- White, A. Woolf, R. Harker, and M. Davy. 1999. Measuring avocado firmness: assessment of various methods. *Revista Chapingo Serie Horticultura* 5:389-392.
- White, A., A.B. Woolf, P.J. Hofman, and M.L. Arpaia. 2009. The international avocado quality manual.
- Woolf, A., C. Clark, E. Terander, V. Phetsomphou, R. Hofshi, M.L. Arpaia, D. Boreham, M. Wong, and A. White. 2003. Measuring avocado maturity; ongoing developments. *The Orchidardist*:40-45.
- Yahia, E. and A. Woolf. 2011. Avocado (*Persea americana* Mill.). *Postharvest biology and technology of tropical and subtropical fruits* 125-186e. Woodhead Publishing.
- Zhang, Z., D.J. Huber, and J. Rao. 2013. Antioxidant systems of ripening avocado (*Persea americana* Mill.) fruit following treatment at the preclimacteric stage with aqueous 1-methylcyclopropene. *Postharvest Biology and Technology* 76:58-64.

附錄



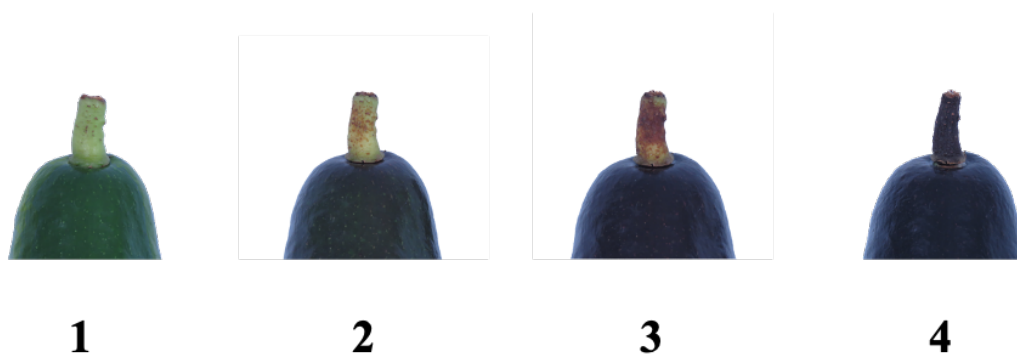
附圖 1. 酪梨果實後熟環境

Appendix 1. The ripening environment of avocado fruit.



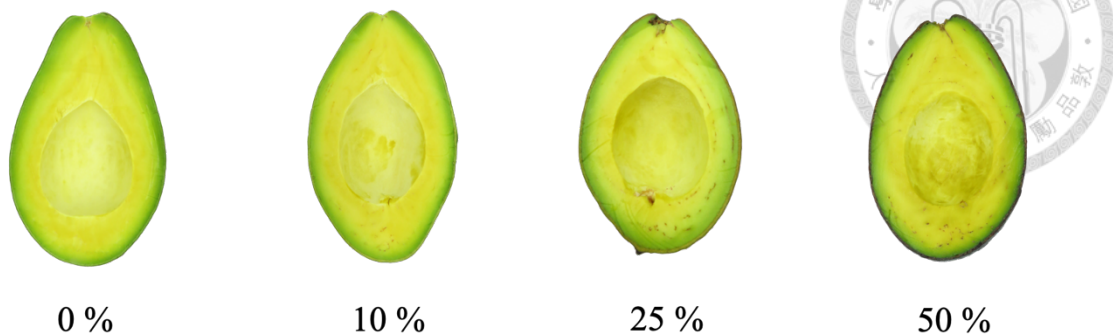
附圖 2. 酪梨果色指標等級 (上為‘黑美人’，下為‘紅嬌’)

Appendix 2. The color index of avocado fruit (upper is ‘Black Beauty’, below is ‘Red Fairy’).



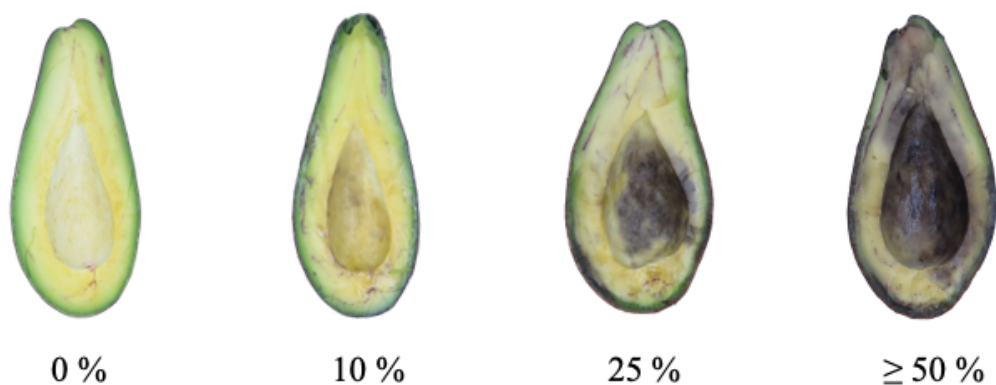
附圖 3. 酪梨果實蒂頭萎凋程度等級 (以‘黑美人’為例)

Appendix 3. The pedicel index of avocado fruit (‘Black Beauty’).



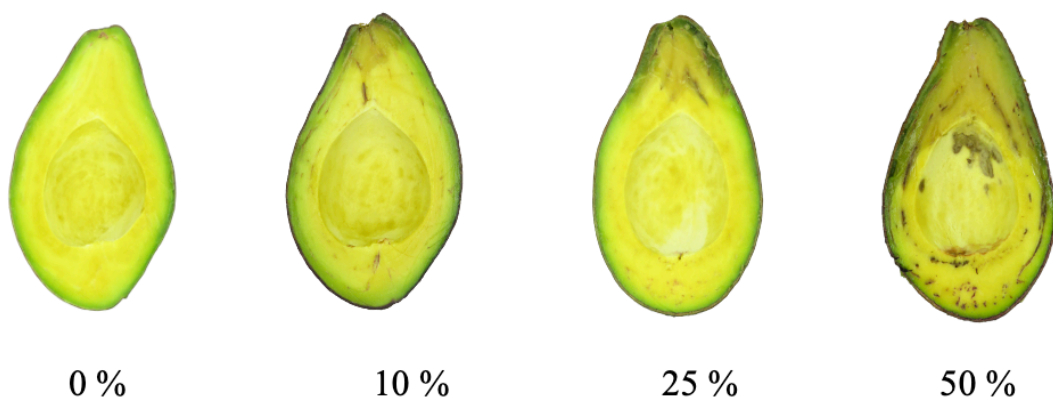
附圖 4. 酪梨果肉維管束褐化嚴重程度分級 (以‘紅嬌’為例)

Appendix 4. The scale of vascular browning in avocado mesocarp ('Red Fairy').



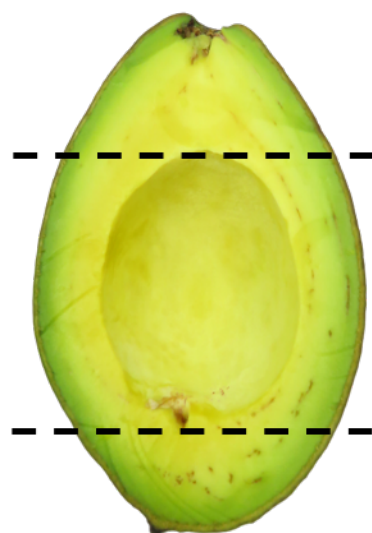
附圖 5. 酪梨果肉褐化嚴重程度分級 (以‘黑美人’為例)

Appendix 5. The scale of flesh discoloration in avocado mesocarp ('Black Beauty').



附圖 6. 酪梨果肉蒂腐病嚴重程度分級(以‘紅嬌’為例)

Appendix 6. The scale of stem-end rot in avocado mesocarp ('Red Fairy').



Proximal end

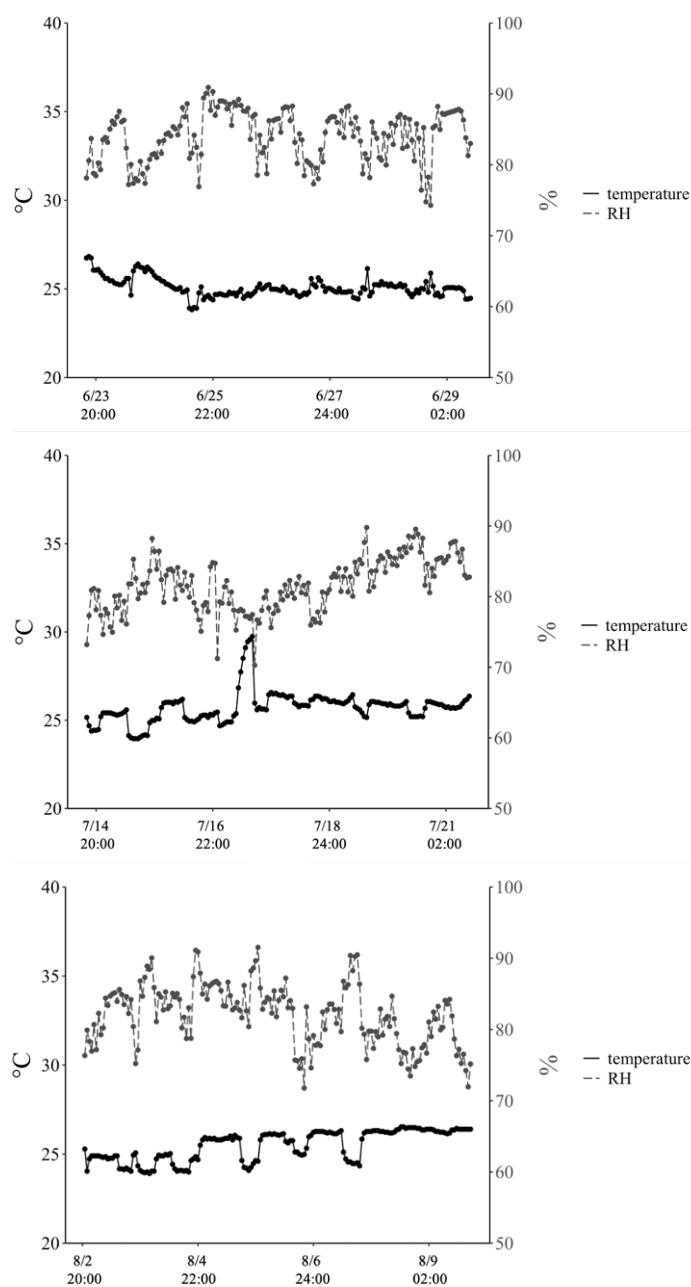
Middle part

Distal end



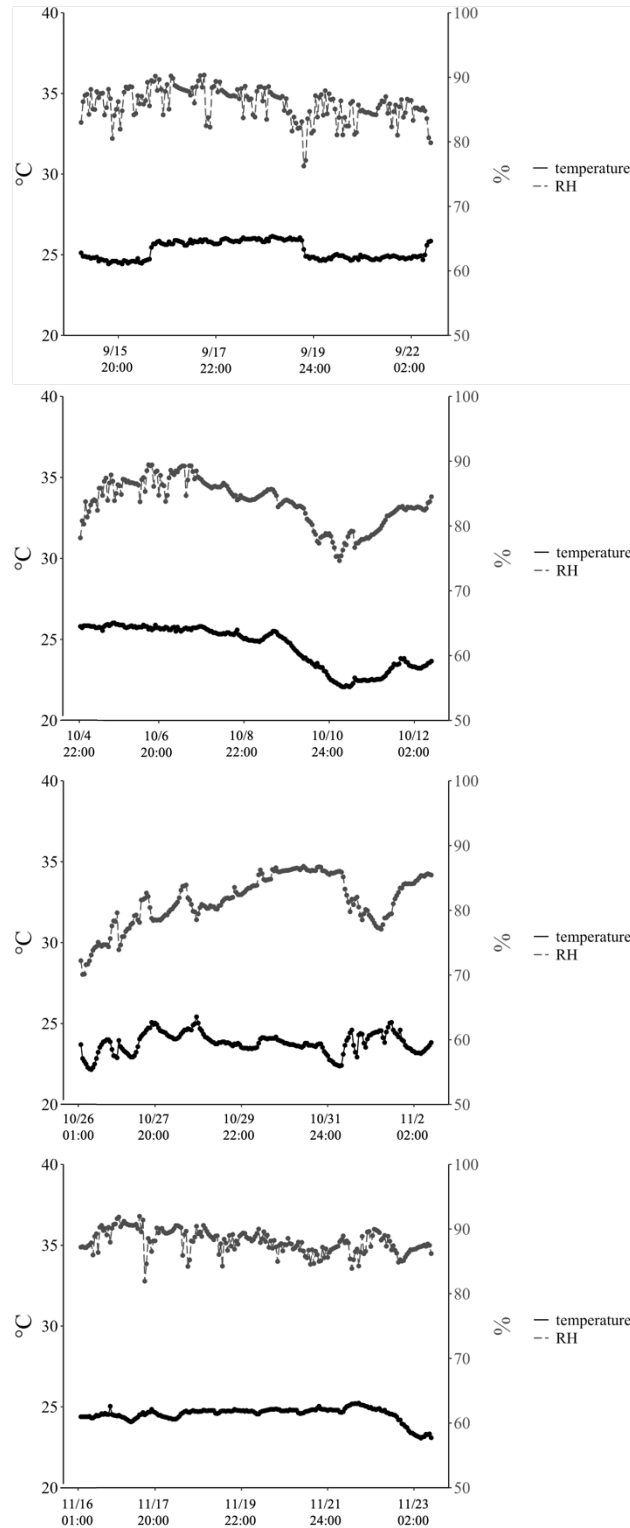
附圖 7. 果肉近果梗端 (proximal end)、中間部份 (middle part) 及遠果梗端 (distal end) 部位示意圖 (以‘紅嬌’為例)

Appendix 7. The proximal end, middle part, and distal end of mesocarp in an avocado fruit ('Red Fairy').



附圖 8. 2022 年度‘黑美人’酪梨果實後熟試驗期間儲藏環境之溫溼度

Appendix 8. The temperature and relative humidity of storage environment during the ripening of ‘Black Beauty’ avocado fruit, 2022.



附圖 9. 2022 年度‘紅嬌’後熟試驗期間儲藏環境之溫溼度

Appendix 8. The temperature and relative humidity of storage environment during the ripening of ‘Red Fairy’ avocado fruit, 2022.