

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

臺茶十八號茶樹之芽葉性狀、紅茶品質與內容物
之季節性變化

Seasonal Variations of Young Succulent Shoot
Characteristics, Black Tea Quality and Chemical
Composition of TTES No.18 Tea

彭子欣

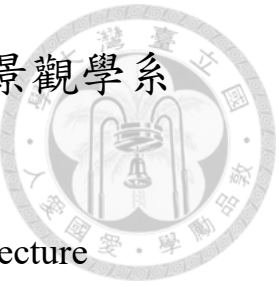
Tsu-Shin Peng

指導教授：陳右人 教授

Advisor: Iou-Zen Chen, Prof.

中華民國 111 年 8 月

August 2022





誌謝

大三暑假有幸至茶業改良場魚池分場實習，那時日日浸淫在月潭寧靜美麗的風光以及大葉種紅茶的馥郁香氣裡；一個挑茶梗的午後，在滿室甫乾燥完成的紅茶特有的糖香中，我於內心訂定了從事茶研究的志向。往後碩士論文試驗的取樣及製茶，也多仰仗場裡職員們的親切指導與協助，若沒有與魚池分場的邂逅、場內職員們的幫助，便不會有這段研究之旅的啟程與完成。

從事碩論研究期間，深感自身於專業領域的各項能力仍多有侷限，構思試驗架構與實際進行實驗時，往往遭遇各種課題。我的指導老師陳右人老師總是鼓勵我們自己多方嘗試與思考，然而在遭逢瓶頸時，陳老師亦不吝給予我們突破膠著境況的靈感妙方。這總讓我想起，自大學時期進入茶藝社起，老師便讓我們感受到，不論過往遭逢何種失敗，只要不輕言放棄、主動尋求協助，老師永遠會我們敞開一扇窗。期許自己能秉持著陳老師仁厚勵學的精神，在農業相關領域中，與相逢的夥伴互助且相互砥礪，持續努力精進。

最後，我想感謝最親愛的家人、與我互相扶持的農藝好友們，以及我的男友國賜，他們總是提供我寶貴的意見和協助，並在背後默默支持我，永遠是最溫暖的後盾與依靠。


摘要



茶是繼水之後為人飲用最多之飲品，其中紅茶因其醇厚風味與保健功效而廣受歡迎，佔了世界茶類飲用量的一半以上。‘臺茶十八號’為行政院農委會茶業改良場魚池分場育成與命名之茶樹品種，其芽葉酚胺比高，適製紅茶，所製紅茶茶湯具薄荷及肉桂般的獨特香氣，因此亦以商品名「紅玉」廣為人知。

受不同季節下氣象條件與製茶環境差異的影響，於三個主要產季—春、夏、秋所產製之‘臺茶十八號’紅茶各具特色，然而不同季節之‘臺茶十八號’紅茶，其茶葉內容物組成差異、製茶過程中之酵素活性變化，以及各季節間不同氣象條件、茶樹生長狀況與上述項目以及感官品質有何關聯性，則尚未辨明。

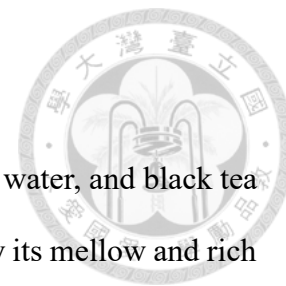
本文之研究目的為調查與測定不同季節間‘臺茶十八號’茶樹芽葉性狀、紅茶非揮發性品質成分與揮發性香氣物質組成，以及萎凋過程中茶葉多酚氧化酶活性及含水率變化，並進一步探討上述品質相關因子與氣象因子間的關聯性。為了解茶樹生長狀況，進行芽葉性狀調查，項目包括第一至三葉之葉長、葉寬、葉面積、葉厚，第一、二節間長與徑，以及百芽重。調查結果顯示，春茶具有最大之葉長與葉面積，意即具有最大的茶芽。百芽重以秋茶最大，春茶最小。總多元酚、總游離胺基酸與咖啡因為三大影響茶湯滋味與口感之紅茶重要非揮發性品質成分。‘臺茶十八號’紅茶內非揮發性品質成分分析結果，總多元酚含量於2020年以春、夏茶較高，2021年則以春茶最高；咖啡因含量於2020年以春、夏茶含量較高，2021年則以春、秋茶較高，夏茶中最低；游離胺基酸含量於2020年各季節間未有顯著差異，2021年則以春茶最高，夏茶最低。2021年所製紅茶中，各非揮發性內容物普遍以春茶之含量較高，夏、秋茶較低，可能與氣候及製程稍有不同有關，導致兩年間各非揮發性品質成分隨季節變化之趨勢並不一致。對紅茶感官品質具有影響之游離型兒茶素相對於酯型兒茶素之比值，於2021年以夏、秋茶較高，春茶較低。揮發性化合物為提供紅茶香氣者，對於紅茶品質具有關鍵



性的影響。以 GC-MS 分析‘臺茶十八號’紅茶中揮發性化合物，共辨識出 65 種化合物。三季茶葉中相對豐度最高者皆為芳樟醇及水楊酸甲酯，且此二者之嗅覺閾值 (odor detection threshold, ODT) 相對較低，推測為‘臺茶十八號’紅茶中，構成嗅聞感受最重要之香氣化合物。揮發性香氣化合物之主成分分析 (principle component analysis, PCA) 結果顯示，三季茶葉明顯被分成三群，說明三季之‘臺茶十八號’紅茶確實具有不同香氣組成。2020 年感官品評結果以夏茶總分最高，秋茶次之，春茶最低。將感官品評各項分數與非揮發性品質成分含量進行相關性分析結果顯示，酯型相對游離型兒茶素之比值與感官品評總分、香氣以及滋味分數皆呈正相關。以相關性分析及逐步迴歸分析探討不同季節間氣象因子、‘臺茶十八號’茶樹芽葉性狀以及紅茶品質之關係，結果顯示，2020 年氣象因子與大多數芽葉性狀呈負向迴歸相關；2020 年芽葉性狀與非揮發性品成分之間，以葉厚及節間徑兩項性狀與總多元酚和咖啡因呈顯著負相關；2020 年氣象因子中，氣溫與感官品評總分具正向迴歸關係，相對濕度則與其具負向迴歸關係，此外，相對濕度與滋味分數亦具負向迴歸關係。總而言之，‘臺茶十八號’之芽葉性狀、紅茶中非揮發性及揮發性品質成分，以及茶葉中之多酚氧化酶 (polyphenol oxidase, PPO) 活性，受不同季節下氣象條件差異之影響。氣象因子中以日平均氣溫與紅茶中非揮發性化合物含量呈負迴歸相關，而紅茶品質成分以酯型相對游離型兒茶素之比值與感官品評分數具有正向迴歸關係。本文對於不同季節之‘臺茶十八號’茶樹芽葉性狀及紅茶品質加以探討，期能作為今後產製臺茶十八號之參考。

關鍵詞：氣象因子、逐步迴歸分析、紅茶萎凋、多酚氧化酶活性、茶葉香氣

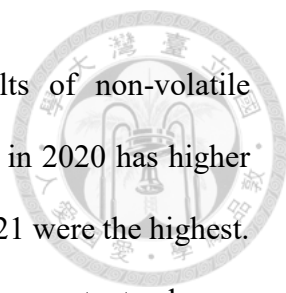
Abstract



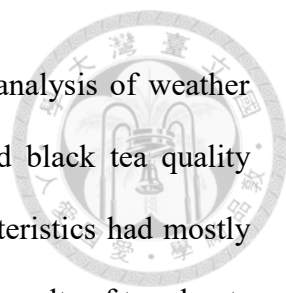
Tea is a beverage consumed the most all over the world besides water, and black tea is the most wide-spreading one among all types of tea due to not only its mellow and rich flavor, but also its health benefits. ‘Taiwan Tea Experiment Station No. 18’ tea plant (‘TTES No. 18’) is a kind of tea tree which was bred and named after by Tea Research and Extension Station, Yuchi Station, Council of Agriculture, Executive Yuan. Its young succulent shoot possess a high ratio of polyphenol to amino acid content, therefore, ‘TTES No.18’ tea leaves was suitable for making into black tea.

‘TTES No. 18’ black tea made under three main producing seasons, which are spring, summer and autumn, has different flavor and characteristics, due to varied weather and tea producing conditions under different seasons. However, difference of tea leaves chemical compositions, changing patterns of oxidation-related enzyme activities during black tea manufacturing process of tea leaves harvested in different seasons, and how weather factors and tea plant growing conditions under different seasons affect parameters mentioned above and also sensory evaluation quality still remain unclear.

The purpose of this research is to investigate and analyze the characteristics of ‘TTES No. 18’ young succulent shoots, non-volatile compounds and volatile fragrance compounds (VFCs) of black tea, and polyphenol oxidase activity and also water content changing patterns of tea leaves during black tea withering process. Furthermore, the relationship between weather factors and parameters affecting black tea quality which was mentioned above were also investigated. To understand growing condition of tea plants, characteristics of young succulent shoots were investigated. Results showed that spring tea possess the biggest leaf length and leaf area, which means it has the biggest tea buds. Autumn tea has the heaviest hundred-bud weight and spring tea has the lightest. Polyphenols, free amino acids and caffeine were three of the most important non-volatile



compounds that affect taste and mouthfeel of black tea. Results of non-volatile compounds analyzing showed that spring and summer tea produced in 2020 has higher content of polyphenols, whereas content in spring tea produced in 2021 were the highest. Regarding caffeine, spring and summer tea produced in 2020 has higher content, whereas in 2021, content in spring and autumn tea was higher. When it comes to content of amino acid, there was no significant difference between tea produced in three seasons in 2020, whereas in 2021, content was the highest in spring tea and the lowest in summer tea. Every single non-volatile compound content was the highest in spring tea and lower in summer or autumn tea in 2020, and it might due to the slightly varied weather conditions and black tea manufacturing process between the two years, leading to different changing patterns of these compounds within three different seasons. The ratio of gallated to non-gallated catechins was higher in summer and autumn tea which produced in 2021. Black tea aroma is composed of VFCs, and VFCs play a key role to black tea flavor and also quality. A total of 65 kinds of VFCs was identified from ‘TTES No. 18’ black tea produced in three seasons through GC-MS analysis. Methylsalicylate and linalool were the most abundant compounds in tea leaves produced in both three seasons, and they also possess relatively lower odor detection thresholds (ODT), which may infer that the two compounds were the most important VFCs contributing to olfactory feeling of ‘TTES No. 18’ black tea. Results of principle component analysis (PCA) of black tea VFCs showed that samples from three seasons were clearly divided into three clusters, which means that ‘TTES No. 18’ black tea produced in three seasons indeed possess different aromatic features. Results of sensory evaluation of black tea produced in 2020 showed that summer tea has the highest total score and spring tea has the lowest. Results of correlation analysis of each sensory evaluation indicator and non-volatile compounds showed that non-gallated to gallated catechin ratio has positive correlations with three sensory evaluation



indicators. Results of correlation analysis and stepwise regression analysis of weather factors, ‘TTES No. 18’ young succulent shoots characteristics and black tea quality affecting factors showed that, weather factors and tea shoots characteristics had mostly negative regression relations in 2020. When it comes to the analysis results of tea shoots characteristics and non-volatile compounds content in 2020, it showed that leaf thickness and internode diameter were negatively correlated with total polyphenols and caffeine content. Lastly, among five weather factors of 2020, average temperature had a positive regression relation with sensory evaluation total score, whereas relative humidity had a negative regression relation with it. In addition, relative humidity also had a negative regression relation with taste score. In conclusion, young succulent shoots characteristics, non-volatile and volatile components, and PPO activities of ‘TTES No. 18’ tea leaves would be affected by varied weather conditions under different producing seasons. Average temperature had a negative regression relation with non-volatile compounds in black tea among five weather factors, whereas non-gallated to gallated catechins ratio had a positive regression relation with sensory evaluation score. This research investigated and discussed young succulent shoots characteristics and black tea quality of ‘TTES No. 18’, and it is hoped that these information would be applicable for producing ‘TTES No. 18’ black tea with high quality hereafter.

Keywords: Weather factors, Stepwise regression analysis, Black tea withering, Polyphenol oxidase activity, Tea aroma

目 錄



誌謝	i
摘要	ii
英文摘要	iv
目錄	vii
圖目錄	viii
表目錄	ix
第一章、前言	1
第二章、文獻回顧	2
第一節 ‘臺茶十八號’簡介	2
第二節 傳統紅茶製程	2
第三節 紅茶的風味組成與品質成分	4
第四節 季節性氣象條件差異與芽葉性狀及紅茶品質之關係	6
第五節 萎凋過程中茶葉含水率、細胞膜滲漏程度與 PPO 活性之變化	10
第三章、材料與方法	11
第四章、結果與討論	20
第一節 試驗一：‘臺茶十八號’茶菁萎凋過程中失水率、細胞膜穩定性及多元酚氧化酶 (polyphenol oxidase, PPO) 活性之變化	20
第二節 試驗二：‘臺茶十八號’紅茶茶品質之季節性變化	24
第五章、結論	36
圖	38
表	46
參考文獻	63



圖目錄

圖 1	2022 年春季‘臺茶十八號’茶葉萎凋過程中酵素活性與含水量變化.....	38
圖 2	2022 年夏季臺茶十八號茶葉萎凋過程中酵素活性與含水量變化.....	38
圖 3	2022 年春季‘臺茶十八號’茶葉萎凋過程中細胞滲漏程度變化.....	39
圖 4	2022 年夏季‘臺茶十八號’茶葉萎凋過程中細胞滲漏程度變化.....	39
圖 5	‘臺茶十八號’春茶萎凋過程中茶葉多酚氧化酶活性與細胞膜滲漏程度之關係	40
圖 6	‘臺茶十八號’夏茶茶葉多酚氧化酶活性與細胞膜滲漏程度之關係.....	40
圖 7	‘臺茶十八號’夏茶萎凋過程中茶葉含水率與細胞膜滲漏程度之關係.....	41
圖 8	2022 年春季與夏季‘臺茶十八號’茶葉萎凋過程中相對酵素活性表現.....	41
圖 9	2020 及 2021 年之日均氣溫與累計雨量	42
圖 10	2020 及 2021 年之累計日照時數與累計日射量	42
圖 11	2020 三季之‘臺茶十八號’紅茶中非揮發性成分含量	43
圖 12	2021 三季之‘臺茶十八號’紅茶中非揮發性成分含量	43
圖 13	2020 年三季‘臺茶十八號’紅茶中揮發性化合物種類比例.....	44
圖 14	2020 年三季‘臺茶十八號’紅茶中揮發性香氣物質之 PCA 分析結果.....	45
圖 15	2020 年‘臺茶十八號’紅茶中揮發性香氣物質之 PCA 主成分負荷圖	45



表目錄

表 1. 2020 年三季之‘臺茶十八號’茶樹芽葉性狀.....	46
表 2. 2020 年‘臺茶十八號’紅茶中兒茶素異構物含量 ($\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$).....	47
表 3. 2021 年‘臺茶十八號’紅茶中兒茶素異構物含量 ($\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$).....	47
表 4. 2020 年‘臺茶十八號’紅茶中酯型相對游離型兒茶素異構物含量與比例 48	
表 5. 2021 年‘臺茶十八號’紅茶中酯型相對游離型兒茶素異構物含量與比例. 48	
表 6. 2020 年三季‘臺茶十八號’紅茶中之香氣揮發性化合物組成.....	49
表 7. 2020 年三季‘臺茶十八號’紅茶感官品評總分.....	52
表 8. 2020 年‘臺茶十八號’紅茶感官品評各項目分數間之相關係數.....	52
表 9. 氣象因子與‘臺茶十八號’葉長間之相關係數.....	53
表 10. 氣象因子與‘臺茶十八號’葉長之逐步迴歸關係式.....	53
表 11. 氣象因子與‘臺茶十八號’葉寬之相關係數.....	53
表 12. 氣象因子與‘臺茶十八號’葉寬之逐步迴歸關係式.....	54
表 13. 氣象因子與‘臺茶十八號’葉厚之相關係數.....	54
表 14. 氣象因子與‘臺茶十八號’節間長之相關係數.....	54
表 15. 氣象因子與‘臺茶十八號’節間長之逐步迴歸關係式.....	55
表 16. 氣象因子與‘臺茶十八號’節間徑之相關係數.....	55
表 17. 氣象因子與‘臺茶十八號’紅茶中非揮發性內容物之相關係數.....	56
表 18. 氣象因子與‘臺茶十八號’紅茶中非揮發性內容物之逐步迴歸關係式....	57
表 19. 氣象因子與‘臺茶十八號’紅茶中酯型相對游離型兒茶素含量與比例之相關係數.....	58
表 20. 氣象因子與‘臺茶十八號’紅茶中酯型相對離型兒茶素含量與比例之逐步迴歸關係式.....	59
表 21. ‘臺茶十八號’芽葉性狀與紅茶中非揮發性品質成分之相關係數.....	60




表 22. ‘臺茶十八號’芽葉性狀與紅茶中非揮發性內容物之逐步迴歸關係式.....	60
表 23. ‘臺茶十八號’芽葉性狀與紅茶感官品評各項分數之相關係數.....	61
表 24. ‘臺茶十八號’芽葉性狀與紅茶感官品評各項分數之逐步迴歸關係式.....	61
表 25. ‘臺茶十八號’紅茶非揮發性品質成分及不同類兒茶素含量與比例與感官 品評各項分數之相關係數	62




第一章、前言

‘茶’係由山茶科 (Theacea) 山茶屬 (*Camellia*) 之茶樹 (*Camellia sinensis* L.) 芽葉，經加工製造而成的飲品，和咖啡及可可並列為世上三大飲料作物，同時也是全球最廣為人飲用的飲品(Namita et al., 2012; Yang Z. et al., 2013)。世上六大茶種皆由同種茶樹的芽葉所製成，茶的種類取決於製程與發酵程度之差異，其中紅茶屬於全發酵茶，經歷萎凋、揉捻、發酵、乾燥四個基本步驟所製作而成(彭, 1952; Deb and Jolvis, 2016; Kang et al., 2019)。紅茶之製作與飲用具有悠久的歷史，並且因其豐富的香氣、醇厚的口感，以及廣經證實之保健功效而廣受歡迎，是全球攝取量最高的茶種(Bokuchava et al., 1980; Khan and Mukhtar, 2018; Yang et al., 2016)。

‘臺茶十八號’之父母本分別為緬甸大葉種及臺灣原生山茶，植株具有較大的芽葉且生長勢強，此外，其芽葉酚胺比高，適合製成紅茶；因此，就植株型態及適製性而言，‘臺茶十八號’茶樹與大葉種較為相似，而常被歸類為大葉種(邱等, 2009)。由‘臺茶十八號’所製成之紅茶茶湯水色金紅，具有明顯薄荷香氣及肉桂香料般的清甜，也因其特色鮮明，對於消費者而言為辨識度較高之茶種，在臺灣為最廣為人知之紅茶品種之一，亦是南投埔里與魚池地區主要之紅茶栽培品種 (行政院農業委員會茶業改良場, 2006; 邱等, 2009; 葉, 2015)。

自然環境包括氣候、海拔、土壤等對茶樹生長及紅茶製茶品質具有直接或間接影響(彭, 1952; Owuor et al., 2011)。其中不同季節所造成的氣象條件差異，對茶葉內容物與製茶品質的影響尤為明顯(李及陳, 2003; Liu et al., 2021b; Malec, 1988)。「臺茶十八號」茶樹生長與紅茶製茶品質亦受環境因子影響，不同季節所生產之「臺茶十八號」紅茶各有其風味及特色，例如一般而言，夏茶之滋味較強烈厚重，春茶則是較清甜芳香，各季紅茶分別受到不同消費組群的喜愛 (葉, 2008)。雖說茶農與具長期飲茶習慣的消費者，對不同季節下產製之「臺茶十八號」紅茶風味通常具有一定程度的了解，但究竟各個季節之「臺茶十八號」紅茶之茶葉內容物、香氣組



成，乃至於製茶過程中之酵素活性有何差異，以及各季節不同之氣象條件、茶樹生長狀況與上述項目以及感官品質有何關聯性，則尚未辨明。因此，本研究透過調查與測定不同季節間‘臺茶十八號’茶樹芽葉性狀、紅茶內容物與揮發性香氣物質組成，以及萎凋過程中茶葉酵素活性及含水率變化，深入探討品質相關因子與氣象因子間的關聯性，以期作為產製臺茶十八號紅茶之參考。


第二章、文獻回顧

第一節 ‘臺茶十八號’簡介

‘臺茶十八號’為茶改場魚池分場所選育，並於1999年正式命名之品種，商品名稱為‘紅玉’，為目前南投魚池地區主要栽培之適製紅茶品種，同時也散布於全台中低海拔茶區，為臺灣最廣為人知且受歡迎之紅茶品種之一。其母本為緬甸大葉種‘B-729’，父本為臺灣原生山茶‘B-607’，樹型為直立型喬木，屬大葉型、早生種，成葉為橢圓型；茶芽芽色為淡黃綠色，茶芽茸毛較稀疏；生長勢強，抗病蟲害中強，而抗旱能力強。‘臺茶十八號’適製紅茶，且其總可溶分、總兒茶素、總多元酚及咖啡因含量均高於目前種植於臺灣之大葉種；所製成茶葉條索稍粗，色澤呈墨黑並泛紫光；茶湯水色金紅透亮，滋味濃醇鮮爽，苦澀味稍強，香氣中帶有明顯薄荷香氣以及淡淡肉桂香。(行政院農業委員會茶業改良場,2006; 何等,1997; 邱等,2009; 蔡等,2004)

第二節 傳統紅茶製程

臺灣所製作的紅茶成茶型態多為‘條索型’，而製作工法則大多為傳統紅茶製程 (orthodox black tea manufacturing process)，只不過未再進一步依傳統紅茶製程進行分級篩選 (grading) 步驟，因而成為臺灣紅茶之特色。除去最後的分級篩選步驟，傳統紅茶製程包括室內萎凋、揉捻、發酵以及乾燥四個主要步驟，每個步驟都對成茶品質有其貢獻(Mahanta and Baruah, 1989)。與碎形紅茶製法 (crush, tear, curl,



CTC) 不同，傳統紅茶製程不藉由機器將茶葉組織有效率地徹底破壞，來達到快速發酵的效果，而是透過較長時間的揉捻與發酵工序來製作紅茶(Harbowy et al., 1997)。


。即便以同株茶樹採下的茶菁作為原料，以 CTC 製法及傳統紅茶製程所製作出的紅茶，滋味與香氣即大相逕庭(Takeo and Mahanta, 1983)。雖然 CTC 製法生產效率高且成本低，所產出的紅茶亦有較高之萃取效率與濃厚滋味，但香氣普遍不足，因此一般而言，以傳統紅茶製法生產的紅茶，仍被認為具有較佳的感官品質以及市場價值(Mahanta and Baruah, 1992)。

萎凋是製作紅茶的第一道工序。作為製程的開端，萎凋過程中茶葉所經歷的物理性與化學性變化將會為接下來的製程鋪路(Deb and Jolvis Pou, 2016)。隨著萎凋時間增加，茶菁中的水分逐漸散失，茶葉組織與細胞脫水，使葉片之膨壓與張力下降，造成原本硬挺的嫩梢變得鬆弛而柔軟，此即為「物理性萎凋」(Deb and Jolvis, 2016)；經適當萎凋的茶菁變得柔軟且有彈性，因而能夠經得起下一道揉捻步驟，而不致被擠壓破碎(Belitz et al., 2008; Deb and Jolvis, 2016)。另一方面，隨著茶葉細胞組織脫水，細胞膜的半透性也發生改變，多酚類物質開始與氧化酶產生作用，而細胞質濃縮造成氧化酶、水解酶活性增強，也進一步使得細胞中的大分子物質開始水解成較簡單的小分子物質，此過程即為「化學性萎凋」，為形成茶葉之香氣、滋味以及水色之主要因子之一(Belitz et al., 2008; Hua et al., 2015)。

經 12-24 小時的萎凋後，茶葉含水量下降至 55-65%左右(Belitz et al., 2008; Sanderson, 1964; Tomlins and Mashingaidze, 1997)，此時便可進入下一道的揉捻工序。

。揉捻的目的在於以外力擠壓、破壞茶菁，使葉片細胞破裂，細胞膜內的多元酚類便得以大量與多酚氧化酶接觸，大幅促進茶葉進行發酵(Belitz et al., 2008; Bokuchava et al., 1980; Takeo, 1966)；同時，茶汁也自茶葉內溢出並包覆於茶葉表層，使沖泡茶葉時的萃取率與萃取速率得以提高(Belitz et al., 2008)。

經適當揉捻後，茶葉會被聚攏成堆以進行發酵。發酵過程中要確保茶葉水分足夠，以利氧化反應進行，因此必須維持環境的相對濕度，以免發酵中的茶葉失水，



而環境溫度亦會影響茶葉發酵的狀態與成茶品質(Cloughley, 1980; Ravichandran and Parthiban, 1998)。隨著發酵進行，茶葉的顏色會逐漸變深、轉紅，香氣也會由青草味逐漸轉化為花果香氣(Harler, 1963)。一般傳統紅茶製程的發酵時間約為 2-3 小時(Belitz et al., 2008)，在茶葉發酵過頭而喪失活性之前，須停止發酵步驟(Muthumani and Kumar, 2007a)，進入最後一個階段—乾燥。

乾燥分為初乾及再乾，通常初乾溫度較高，約為 95-100°C，初乾後讓半成品茶葉回溫與回潤，再行再乾。再乾之溫度約介於 80-85°C 之間(彭, 1952)。乾燥之目的在於去除茶葉中酵素的活性、停止氧化反應，同時也能除去茶葉中的水分，使茶葉含水量減少至 3-4% 以下，以利保存(Belitz et al., 2008)。乾燥步驟完成後，傳統紅茶製程紅茶成茶便製作完成。

第三節 紅茶的風味組成與品質成分

一、紅茶的風味組成

風味 (Flavor) 係由味覺、嗅覺以及觸覺 (口感質地) 所組成(Stuckey, 2012)。專業品評者進行紅茶感官品評時，亦以香氣、滋味、口感等要素對茶湯進行評分(行政院農業委員會茶業改良場, 2022)。構成紅茶滋味與口感者為茶葉化學成分中之非揮發性成分，例如游離胺基酸、多元酚類、咖啡因及可溶性糖類，為茶湯提供味覺與口感，且亦與感官品評分數具顯著相關性(Liang et al., 2003)，因此，上述茶葉之非揮發性內容物，一般被認為是影響製茶品質之主要化學成分(陳, 1994; 劉, 2009)。另一方面，茶葉當中之揮發性物質則為茶湯提供了香氣(Wang et al., 2000)。香氣對於紅茶而言為決定品質與市場價值之重要關鍵因子之一，紅茶中的揮發性香氣物質組成十分豐富，而世界知名的四大紅茶，其決定性特色便是由香氣所提供(Chen et al., 2019; Kang et al., 2019; Liu et al., 2021b; Wang et al., 2000)。以下將詳述各項非揮發性與揮發性品質成分對茶葉品質之影響。



二、非揮發性品質成分

一般認為影響成茶品質的主要非揮發性成分包括多元酚類（包括兒茶素類）、咖啡因，以及胺基酸類物質(陳, 1994; 劉, 2009)。上述物質除了對紅茶之色、香、味有直接的貢獻，例如多元酚類提供苦味與澀感，胺基酸提供鮮甜味等等之外(Nakagawa, 1970)，也可能並非直接構成茶湯風味，卻能反應出其他風味物質在茶葉中的狀態與含量，因而和紅茶品質具有良好的相關性(Bokuchava et al., 1980; Zhang et al., 2020)。

多元酚類物質佔了茶葉乾物質組成中的 25-35%，Liang 等 (2013) 指出，多元酚類為紅茶中含量最高的物質。其中黃烷醇 (flavanols) 類又占了總多元酚含量的 80%，而大多數組成兒茶素類；多元酚類在茶葉內容物中佔比如此之高，可說是茶葉最大的特徵之一(Belitz et al., 2008; Nakagawa, 1970; Thanaraj and Seshadri, 1990)。另外，茶葉中總多元酚的含量與品評總分、水色等紅茶感官品評分數呈顯著正相關(Biswas et al., 1971; Liang et al., 2003)。雖然兒茶素對優良紅茶湯色並無直接的貢獻，但為茶葉發酵時，酵素性氧化作用產生茶黃質與茶紅質的基質，而兒茶素發酵後產生之茶黃質與茶紅質是構成茶湯水色最重要的物質，因此茶菁中的兒茶素含量與紅茶品質亦具有顯著相關性(Biswas et al., 1971; Ding et al., 1992; Liang et al., 2003; Thanaraj and Seshadri, 1990)。此外，多元酚類物質為茶湯提供了苦味以及澀感，適量的苦澀能使茶湯具有紅茶應有的醇厚口感 (body) 與活性，提升紅茶的感官品質(葉, 2015; 藍, 2018; Ding et al., 1992; Zhang et al., 2020)。

咖啡因是一種由嘌呤衍生而來的植物鹼，在茶葉乾物質組成中約占 2.5–5.5%，為決定茶葉風味與品質的重要因子之一 (Belitz et al., 2008; Bokuchava et al., 1980; Chen et al., 2015; Graham, 1992)。除了直接提供茶湯苦味之外，咖啡因亦被 Graham 等 (1992) 與 Malec (1988) 指出，其與多酚類物質反應產生的聚合物能夠提供茶湯迷人的香氣與滋味，且這類物聚合物也能讓茶湯更加具有鮮活感 (briskness) (Biswas et al., 1971)。此外，被認為是高品質紅茶冷卻後才會產生的現象「茶乳」

(tea cream)，亦為咖啡因與茶黃質及茶紅質結合沉澱的產物(Bokuchava et al., 1980; Graham, 1992)。

游離胺基酸在茶葉內容物組成中約占 1-3%，其中約有 50%屬於茶葉特有之茶胺酸 (theanine)；茶胺酸為茶樹最主要之運移型胺基酸，亦是茶葉當中含量最豐富之游離胺基酸種類(Belitz et al., 2008; Li et al., 2013; Vuong et al., 2011)。與總多元酚及咖啡因一樣，游離胺基酸也被視為決定茶葉品質的重要因子，能夠提供茶湯鮮味及甜味(Jiang H. et al., 2019; Kaneko et al., 2006; Nakagawa, 1975)。雖然一般而言，游離胺基酸被認為對綠茶品質有正向影響，而對於紅茶而言則有負向影響，然而也有一些研究指出，胺基酸與茶湯香氣的形成有關，也對茶湯的鮮活口感有所貢獻(Biswas et al., 1971; Bokuchava et al., 1980; Chen et al., 2015; Kaneko et al., 2006)。


三、揮發性香氣物質

除了提供滋味與口感之非揮發性化合物，提供茶湯香氣之揮發性化合物對於紅茶品質亦具有決定性的影響(Wang et al., 2000)。Graham 等 (1992) 指出，從各類紅茶中能夠辨識出之香氣物質，總共多達六百多種。Chen (2019) 等亦認為紅茶是各類茶種中香氣最豐富者。大部分紅茶中的揮發性香氣物質係經由脂肪酸、胺基酸、類胡蘿蔔素、萜類以及醣苷類等物質，於紅茶發酵過程中透過相關代謝路徑生合而成(Yang et al., 2013)；例如祁門紅茶中的關鍵香氣化合物 benzeneacetaldehyde 即屬於胺基酸衍生而來的類苯化合物 (benzenoids)，大吉嶺紅茶的關鍵香氣化合物 芳樟醇屬於萜類化合物，阿薩姆紅茶中的(E)-2-octenal 屬於脂肪酸衍生類化合物，以及其他常出現於紅茶中的香氣揮發性化合物如 β -紫羅蘭酮 (β -ionone) 則屬於類胡蘿蔔素類化合物等等(Kang et al., 2019)。

第四節 季節性氣象條件差異與芽葉性狀及紅茶品質之關係

一、環境與茶樹之生長及成茶品質

茶菁品質是決定紅茶成茶品質的第一要件，而茶菁品質又受到茶樹品種、栽培



管理，以及生長環境所影響(Bokuchava et al., 1980)。生長環境之差異包括海拔、季節、氣候、土壤等等，都可能對紅茶的產量與品質造成影響(Owuor et al., 2011)。其中季節性之氣象因子變化對茶樹生長的影響尤其明顯，更進一步影響茶葉產量、化學組成、葉片酵素活性乃至於成茶品質(Liu et al., 2021b; Malec, 1988; Owuor et al., 2011)。以下將就季節如何影響各項紅茶品質相關因子進行討論。

二、季節對茶樹芽葉性狀之影響

茶樹芽葉性狀可做為檢視茶菁品質及產量之依據，例如陳及蔡 (1999) 曾調查不同品種茶樹於不同季節下之嫩梢性狀，並將性狀劃分等級、歸類，以作為品種判別，以及檢視茶菁樹產能與茶菁品質之依據。茶樹芽葉性狀亦被指出與紅茶成茶品質具相關性，例如葉長及葉寬與紅茶形狀呈負相關，節間長則與香味品質呈正相關等等(馮及沈, 1990)。

不同季節下之不同氣象條件可能對茶樹生長造成影響(楊, 1991; Owuor et al., 2011)。濕度、風速及溫度之差異可能造成茶樹的芽葉特性不同，例如鄭 (1995) 指出，‘臺茶十二號’之芽長以夏季最長，春茶及冬茶較短；而其他芽葉性狀如節間徑、節間長，以及第二葉長、寬、厚度等等也有差異；百芽重亦有季節性變化，以夏茶較春、秋茶為高。此外，氣象因子可能與葉葉性狀具有顯著相關性，例如以臺灣東部茶區而言，‘臺茶十二號’夏茶之葉厚與溫度呈顯著負相關，春茶之葉厚澤與相對溼度呈顯著正相關，而秋茶之節間長與溫度呈顯著正相關(鄭, 1995)。芽葉性狀亦被指出與成茶品質具有相關性，甚至可做為茶樹育種提早選種指標(陳等, 1990; 馮等, 1990)。

三、季節對非揮發性化合物之影響

多元酚、咖啡因和游離胺基酸是決定製茶品質之重要內容物，這些成分受到氣候環境之影響，而氣象因子對茶葉整體品質的影響尤為不可忽視 (陳, 1994; Liang et al., 2003; Nakagawa, 1970; Owuor et al., 2011; Wang et al., 2022;)。例如李及陳

(2003) 指出，茶樹芽葉之生長發育、芽葉中礦物元素與主要化學成分含量，受溫度影響極大。

多元酚類是提供紅茶湯色之茶黃質與茶紅質之最主要的前驅物，與紅茶之水色及總分等感官品評分數呈顯著正相關，對於紅茶品質具有關鍵性的影響(Liang et al., 2003; Thanaraj and Seshadri, 1990)。Bokuchava 等 (1980) 指出，氣象條件會影響茶葉中各類兒茶素的組成與含量，例如七、八月的茶葉中，ECG 及 EGCG 之生合成較為旺盛。另有研究指出，日照時數、陽光入射量、降雨以及氣溫可能對茶樹枝條生合成兒茶素的能力造成影響，較多的日照可能使茶葉內的多酚類物質含量上升，而樹冠溫度的降低則可能使各類兒茶素異構物的含量降低(Kottur et al., 2010; Yao et al., 2005; Zhang et al., 2021)。不同季節之氣象條件差異，可能造成茶樹葉片中總多元酚含量以及各類兒茶素異構物組成不同，進而影響紅茶成茶品質(Hilton et al., 1973; Kottur et al., 2010; Xu et al., 2012)。

茶葉中的咖啡因及游離胺基酸組成，亦受到季節及環境差異的影響(陳, 1994; Nakagawa, 1970)。茶葉中的咖啡因在較寒冷的季節含量較低，而於氣溫較高的夏季所採製之紅茶中的咖啡因含量則較高；由並非主要產季之冬季茶菁所製成之紅茶中的咖啡因含量甚至可能只有正式產季紅茶當中的一半(Cloughley, 1982; Malec, 1988)。至於氣象因子如何影響茶葉中之游離胺基酸含量，Voung (2011) 等之研究指出，當茶樹葉片暴露在陽光照射下，茶葉中的茶胺酸會水解成茶胺酸之前驅物，其中一項被水解釋出的物質乙胺 (thylamine) 可重新做為合成兒茶素類物質之前驅物，因此，在光照較強的環境下生長的茶樹，其茶葉可能具有較高之酚胺比，意即具有較低之茶胺酸含量與較高之多元酚含量(Türküzü and Şanlier, 2017)。此外，經紫外線照射下的茶樹葉片含氮化合物多，有利於茶葉中香氣揮發性物質的形成(林, 2009; Co and Sanderson, 1970)。



四、季節對揮發性化合物之影響

香氣對於紅茶之品質、等級，以及市場價值扮演著十分重要的角色，而提供紅茶香氣的化合物便是茶葉中的揮發性香氣物質(Wang et al., 2000)。紅茶的香氣受到揮發性化合物濃度與組成的影響，而揮發性化合物濃度與組成又受季節以及氣象條件的影響(Chen et al., 2019; Wang et al., 2022)。除去烘乾製成中發生的梅納反應之外，紅茶中複雜的揮發性香氣物質，大都以脂肪酸、胺基酸、類胡蘿蔔素以及醣苷類作為前驅物，在茶葉發酵過程中經其代謝途徑生合而成，這些生合成路徑大多都牽涉到酵素反應，因此，不同季節茶菁中化學與酵素活性之差異，可能造成茶葉中香氣物質組成差異的主因(Ho et al., 2015; Liu et al., 2021b; Yang et al., 2013)。例如茶葉中常見的揮發性香氣化合物—芳樟醇以及香葉醇，便是分別透過芳樟醇合成酶 (linalool synthase) 以及香葉醇合成酶 (geraniol synthase) 生和而成，而另一種常見的揮發性物質—芳樟醇氧化物，則可能透過醣苷水解酶將醣苷化的芳樟醇氧化物水解而來(Ho et al., 2015)。此外，氧化後的多酚類物質可做為強氧化劑，牽動其他物質氧化，形成香氣揮發性物質；被氧化之物質，包括胺基酸、不飽和脂肪酸以及類胡蘿蔔素等，均成為前驅物透過此種方式轉化為香氣物質(Sanderson and Grahmann, 1973)。綜上所述，茶葉中的揮發性香氣物質，易受到茶葉中季節性酵素活性與化學組成之差異，而產生季節性變化。

五、季節對茶葉酵素活性的影響

多酚氧化酶 (Polyphenol oxidase, PPO) 為茶葉製造過程中，產生紅茶香氣與滋味之重要酵素性氧化反應最為關鍵之酵素，茶葉中的 PPO 活性亦被指出與紅茶品質成正相關(Bokuchava et al., 1980; Thanaraj and Seshadri, 1990)。受到氣象條件不同的影響，茶葉中的 PPO 活性具有季節性差異(Liu et al., 2021b)。Ravichandran 及 Parthiban (1998) 指出，在較乾旱的季節，PPO 活性較低，而在雨量豐沛的主要產季，茶葉中的酵素活性則較高，因此降水量可能與酵素活性具有正向之關聯。此外

，Jiang 等 (2018) 與 Takeo (1966) 指出，春天採收的茶葉中之 PPO 活性較夏茶來得低；而春茶中較低的酵素活性可能使得多酚類基質無法被充分氧化發酵，以產生足夠的茶黃質，進而影響到感官品質乃至於市場價值。




第五節 萎凋過程中茶葉含水率、細胞膜滲漏程度與 PPO 活性之變化

萎凋是紅茶製程中的第一個步驟。自茶菁被從茶樹上採摘起，直至揉捻步驟以重壓直接破壞茶菁組織為止，這段茶葉中水分自然散失到空氣中的過程，都屬於萎凋(Owuor and Obanda, 1996)。萎凋能使茶菁中的水分降低至適宜程度，並使茶菁變得柔軟有彈性，以確保接下來的製程能夠順利進行，對於紅茶成茶品質具有關鍵性的影響(Deb and Jolvis, 2016)。

水分的散失是萎凋步驟之所以能夠帶動茶菁的物理性及化學性變化之主因。紅茶製造時長約 12-24 小時，茶菁萎凋過程中，茶葉含水率會從約 78%下降至 55-65%，這對茶葉細胞而言是一種水分逆境，水分喪失的程度對於細胞的受損程度、細胞內胞器排列失序、膜半透性之損失，以及茶菁內生化反應的發生，皆影響甚鉅，更會進一步影響成茶品質(Sabhapondit et al., 2014; Sanderson, 1964; Tomlins and Mashingaidze, 1997)。

如前所述，隨著萎凋過程中茶菁含水率下降，茶葉內細胞將逐漸受到損傷，而茶葉細胞細胞膜之滲漏程度即隨之上升；細胞膜損傷會使反應基質與 PPO 接觸，造成較多氧化產物生成(Collings et al., 2021)。關於萎凋過程中茶葉細胞膜之滲漏程度，Muthumani 及 Kumar (2007) 也指出以電導度作為茶葉葉肉細胞膜滲漏之指標時，較高的細胞膜滲漏程度，可用以代表較高之萎凋效率。

酵素性氧化是茶葉發酵過程中，使茶葉產生紅茶所特有之香氣及滋味的主要化學反應，而其中最受關注，也被認為是最為關鍵之氧化酵素即為多酚氧化酶(polyphenol oxidase, PPO)(Bokuchava et al., 1980; Thanaraj and Seshadri, 1990)。Ravichandran 及 Parthiban (1998) 與 Thanaraj 及 Seshadri (1990) 指出，茶葉中的



PPO 活性與紅茶中的茶黃質含量以及紅茶品質成正相關。茶葉萎凋過程中，隨著葉片含水率下降、葉肉細胞膜半透性損失，雖然 PPO 之反應基質可能與 PPO 更大量接觸，但多篇相關文獻指出，隨著茶菁水分下降，PPO 活性會隨之下降(Mahanta et al., 1993; Sabhapondit et al., 2014; Ullah and Roy, 1982)。Ravichandran 及 Parthiban (1998) 更指出，若為茶葉補水，則 PPO 活性又會恢復，顯示茶葉中之 PPO 活性確實與茶葉中的水分含量息息相關。不過，也有部分研究顯示出不同的結果，例如 Takeo (1996) 指出在紅茶萎凋過程中，茶菁內的 PPO 活性會逐漸上升，至萎凋 15-18 小時時，葉片中的 PPO 活性甚至是鮮葉當中的 2-4 倍(Takeo, 1966)。

第三章、材料與方法

一、植物材料與試驗地點


茶樹品種為‘臺茶十八號’，為緬甸大葉種 (*Camellia sinensis* var. *assamica*) ‘B-729’ 與臺灣原生山茶 (*Camellia sinensis* f. *formosensis*) ‘B-607’ 之雜交種，植物型態及其適製性與大葉種雷同。

試驗分為兩部分，試驗一利用 2022 年春 (2022.4.7)、夏 (2022.6.1) 兩季自行政院農委會茶業改良場文山分場 (24.96°N, 121.6°E) 之同一茶園，採收之手採一心二葉嫩梢作為萎凋試驗用茶菁，以測定萎凋過程中茶葉失水率與細胞膜滲漏程度的變化。試驗二利用 2020 年春 (2020.4.14)、夏 (2020.7.8)、秋 (2020.9.14) 三季，以及 2021 年春 (2021.4.9)、夏 (2021.7.4)、秋(2021.9.23) 三季自行政院農委會茶業改良場魚池分場 (23.88°N, 120.9°E) 之同一茶園，採收之手採一心二葉嫩梢，供後續紅茶製作及分析試驗利用。

二、試驗設計

(一) 試驗一 紅茶萎凋過程中酵素活性之變化

為了探討‘臺茶十八號’紅茶製作的萎凋步驟過程中，茶葉脫水及多酚氧化酶



活性的變化，以及不同季節間茶葉酵素活性之差異，於 2022 年春、夏兩季進行茶葉萎凋之試驗，萎凋流程以傳統紅茶製程之室內萎凋方式進行。萎凋過程中每隔二至五小時取樣一次，立刻以液態氮冷凍固定茶樣，並冰藏於-50°C 冷凍庫，以供後續分析利用。2022 年春茶萎凋過程中，包含鮮葉及揉捻後的茶葉，共取樣九次，夏茶則共取樣八次。春茶每處理（季節）有三重複，每重複分別將 600 g 茶菁均勻攤放至竹製筴笠以利水分散失，夏茶亦每處理有三重複，惟每重複有 87 g 茶菁；酵素活性分析實驗進行操作三重複。

(二) 試驗二 臺茶十八號紅茶品質之季節性變化

於 2020 年春、夏、秋三季分別調查標準芽，再採一心二葉茶菁以傳統紅茶製程 (orthodox) 製作全葉型紅茶，2021 年於春、夏、秋三季採一心二葉茶菁以傳統紅茶製程製作全葉型紅茶，供後續分析利用。乾燥完成之成茶樣品，以呈色法進行總多元酚、總游離胺基酸及咖啡因含量分析、以高效液相層析儀 (high performance liquid chromatography, HPLC) 進行個別兒茶素含量及組成分析，以氣象層析質譜儀 (gas chromatography-mass spectrometry, GC-MS) 進行揮發性香氣化合物分析，並進行感官品評，以分析三季之紅茶內容物與品質，並探討季節、芽葉性狀、紅茶內容物與紅茶品質之關聯。每年三季，每季三重複，合計二年共製茶六次。分析實驗皆進行操作三重複。

三、調查與分析

(一) 芽葉性狀調查與氣象資料

氣象資料分別來自鄰近茶業改良場魚池分場處之交通部中央氣象局氣象站 (茶改場魚池分場試 A) 與設於文山茶改場之農業氣象站一級測站，為其網站公開資料 (<https://e-service.cwb.gov.tw/HistoryDataQuery/index.jsp>)。

芽葉性狀調查係採茶樹嫩梢第一葉之長度為第二葉之 1/3~1/2 之一心三葉標準芽。調查方式參考陳與蔡 (1999)，以游標尺及直尺調查葉片長度、寬度、厚度，第

一及第二節間長度，以及第一及第二節間厚度等項目，每季節共取 10 個標準芽進行調查。



(二) 內容物分析方法

1. 樣品前處理與茶萃取液製備

試驗二之樣品為已乾燥之紅茶成茶，樣品之前處理係以磨粉機將紅茶磨成粉末，使過 30 mesh 篩網取得均質之茶葉粉末，茶葉粉末保存於塑膠樣品盒中，並置於 -20°C 冰箱保存備用。

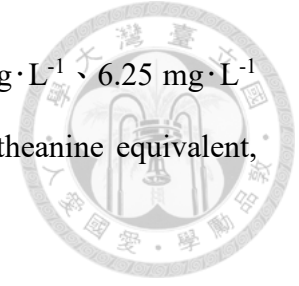
茶萃取液之製備步驟如下：稱取 0.500 ± 0.050 g 茶粉，加入 100°C 熱水後置入 90°C 水浴槽萃取 20 分鐘；待樣品恢復至室溫後，進行抽氣過濾，再將濾液定量至 50 mL。

2. 總多元酚測定—酒石酸亞鐵法

將茶萃取液稀釋 5 倍製備為待測液。反應過程如下：取茶湯待測液 1 mL，加入酒石酸亞鐵容液 1 mL、磷酸緩衝液 ($\text{pH}=7.5$) 3 mL，均勻震盪混合後靜置 30 min。反應完成後取 200 μL 待測液以 Epoch 2 分光光度計測定其於波長 540 nm 下之吸光值。以沒食子酸做為標準品，標準液之濃度梯度為 $500 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 、 $250 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 、 $125 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 、 $62.5 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 、 $31.25 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 。利用標準液建立檢量線，最終計算得樣品中總多元酚之沒食子酸當量 (gallic acid equivalent, GAE)。

3. 總游離胺基酸測定—茚三酮法

於 15 mL 茶萃取液中加入 0.15 g PVPP，搖晃震盪 30 min 後以重力過濾法取得澄清茶萃取濾液。茶萃取濾液稀釋 3 倍為待測液。茚三酮法反應過程如下：取待測液 1 mL，加入 0.5 mL 茚三酮反應液 (3%_{w/v}，溶劑為 95%酒精)、0.5 mL SnCl_2 (0.2% w/v，溶劑為醋酸緩衝液 $\text{pH}=5.2$) 後，以 100°C 水浴加熱 15 min。取出待回復至室溫，加入 10 mL 酒精以中止反應。震盪混合均勻後，取 200 μL 待測液以 Epoch 2 分光光度計測定其於波長 570 nm 下之吸光值。以茶胺酸做為標準品，標



準液之濃度梯度為 $100 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 、 $50 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 、 $25 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 、 $12.5 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 、 $6.25 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 。利用標準液建立檢量線，最終計算得樣品中之茶胺酸當量 (theanine equivalent, TE)。

4. 咖啡因測定

於 15 mL 茶萃取液中加入 0.15 g PVPP，搖晃震盪 30 分鐘後以重力過濾法取得澄清茶萃取濾液。取 200 μL 待測液以 Epoch 2 分光光度計測定其於波長 450 nm 下之吸光值。以咖啡因做為標準品，標準液之濃度梯度為 $100 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 、 $50 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 、 $25 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 、 $12.5 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 、 $6.25 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 。利用標準液建立檢量線，最終計算得樣品中之咖啡因當量 (theanine equivalent, TE)。

5. 兒茶素異構物、沒食子酸之 HPLC 分析

茶萃取液以 0.45 μm 微過濾膜過濾取得待測液。待測液以高相液相層析儀 (high performance liquid chromatography) 分析其中所含兒茶素異構物、沒食子酸及咖啡因含量。流動相 A 液：乙腈 (ACN)，B 液：0.1% 甲酸水溶液。泵流速為 1.0 mL/min，管柱溫度為 35°C。萃取液以自動進樣器進樣，每次進樣量為 8 μL 。裝有待測液之樣品瓶置於溫度設定為 4°C 之樣品盤中。溶析梯度 (gradient elution) 設定如下：初始為 A : B = 10 : 90，線性變化至第 30 分鐘，直至 A : B = 20 : 80。第 30 分鐘至 35 分鐘線性變化至 A : B = 22 : 78，第 35 至 40 分鐘線性變化至 A : B = 25 : 75，第 40 至 48 分鐘線性變化至 A : B = 100 : 0，並維持此比例至第 52 分鐘。第 50 至 57 分鐘線性變換為 A : B = 10 : 90。溶析過程中以紫外線偵測器進行化合物偵測，波長設定為 280 nm。將偵測樣品所得圖譜與標準品圖譜中化合物之滯留時間 (retention time) 進行比對，以確定樣品中化合物種類。配置具濃度梯度之標準液製作檢量線，以計算待測液中目標化合物含量。各兒茶素異構物、沒食子酸及咖啡因標準液濃度梯度如下：

GA: $25 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 、 $50 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 、 $100 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 、 $200 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 、 $400 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$

GC: $12.5 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 、 $25 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 、 $50 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 、 $100 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 、 $200 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$

EGC: 31.25 mg·L⁻¹、62.5 mg·L⁻¹、125 mg·L⁻¹、250 mg·L⁻¹、500 mg·L⁻¹

C: 6.25 mg·L⁻¹、12.5 mg·L⁻¹、25 mg·L⁻¹、50 mg·L⁻¹、100 mg·L⁻¹

EC: 15 mg·L⁻¹、30 mg·L⁻¹、60 mg·L⁻¹、120 mg·L⁻¹、240 mg·L⁻¹

EGCG: 50 mg·L⁻¹、100 mg·L⁻¹、200 mg·L⁻¹、400 mg·L⁻¹、800 mg·L⁻¹

GCG: 3.125 mg·L⁻¹、6.25 mg·L⁻¹、12.5 mg·L⁻¹、25 mg·L⁻¹、50 mg·L⁻¹

ECG: 3.125 mg·L⁻¹、6.25 mg·L⁻¹、12.5 mg·L⁻¹、25 mg·L⁻¹、50 mg·L⁻¹

CG: 3.125 mg·L⁻¹、6.25 mg·L⁻¹、12.5 mg·L⁻¹、25 mg/L、50 mg·L⁻¹

Caffeine: 12.5 mg·L⁻¹、25 mg·L⁻¹、50 mg·L⁻¹、100 mg·L⁻¹、200 mg·L⁻¹

6. 揮發性香氣化合物分析

乾茶磨粉後，稱取 0.5 g 至 20 mL 玻璃樣品瓶中，加入 3 mL ddH₂O。以自動進樣機械手臂系統進行樣品之加熱震盪、SPME 頂空吸附與進樣至 GC-MS 系統中。加熱震盪溫度為 70°C，時間為 30 min，第 10 min 時始按壓出纖維進行頂空吸附。揮發性香氣化合物採用氣相層析進行層析，並串聯質譜儀進行化合物訊號偵測。載流氣體為氬氣 (99.99%)，壓力固定為 6psi，並採用不分流模式。層析分離條件設定如下：初始溫度為 50°C，維持 2 min 後以 15°C/min 之升溫速度升溫至 90°C，接著以 3°C/min 之升溫速度升溫至 180°C；於此溫度維持 2 min 後，再以 10°C/min 之升溫速度升溫至 250°C，並維持 5 min。一次分析共需耗時 49 min。化合物之離子化使用 70 eV 直流電，離子源溫度為 200°C；質譜儀偵測條件為 50 至 400 原子質量單位 (atomic mass unit, amu)，每秒進行一次掃描。離子化方法為電子撞擊法 (electron impact ionization, EI)，撞擊動能為 70 eV，連接口溫度設定為 280°C。分析結果與 NIST11 質譜檢索資料庫之標準質譜進行比對，以辨識化合物種類。化合物豐度 (abundance) 以積分面積進行計算，並以個別含量除以總含量之計算方法轉換為相對豐度 (relative abundance, %)。



7. 試驗藥品

(1) 總多元酚含量測定

- 試藥一級之硫酸亞鐵 (ferrous sulfate heptahydrate, $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) 購自 Hayashi pure chemical Ind. (Osaka, Japan)。
- 試藥一級之酒石酸鉀鈉 (potassium sodium tartrate tetrahydrate, $\text{C}_4\text{H}_6\text{KNa} \cdot \text{H}_2\text{O}$) 購 Hayashi pure chemical Ind. (Osaka, Japan)。
- EP 等級之磷酸二氫鈉 (disodium hydrogen phosphate dodecahydrate, $\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$) 購自 Nacalai Tesque (Kyoto, Japan)。
- GR 等級之磷酸二氫鉀 (potassium dihydrogen phosphate, KH_2PO_4) 購自 Merk (Darmstadt, German)。

(2) 總游離胺基酸含量測定

- ACS、ISO、Reag. Ph Eur 等級之醋酸鈉 (sodium acetate trihydrate, $\text{CH}_3\text{COONa} \cdot 3\text{H}_2\text{O}$) 購自 Merk (Darmstadt, German)。
- GR 等級之茛三銅 (ninhydrin) 購自 Merk (Darmstadt, German)。
- 氯化亞錫 (tin (II) chloride (%)) 購自 Alfa Aesar (Heysham, England)。
- Reag. Ph Eur 等級之酒精 (ethanol (95%)) 購 Merk (Darmstadt, German)。
- HPLC 等級之茶胺酸 (L-theanine ($\geq 98\%$)) 購自 Sigma-Aldrich (St. Louis, Mo., USA)。
- 聚乙烯吡咯烷酮 (polyvinylpolypyrrolidone, PVPP) 購自 Sigma-Aldrich (St. Louis, Mo., USA)。

(3) 咖啡因分析

- Reag. Ph Eur 等級咖啡因 (caffeine) 購自 Sigma-Aldrich, (St. Louis, Mo., USA)。

(4) 兒茶素異構物及沒食子酸分析

- HPLC 等級兒茶素 ((-)-catechin, C ($\geq 97\%$)) 購自 Sigma-Aldrich (St. Louis,



- Mo., USA)。
- HPLC 等級兒茶素沒食子酸酯 ((-)-catechin gallate CG ($\geq 98\%$)) 購自 Sigma-Aldrich (St. Louis, Mo., USA)。
 - HPLC 等級沒食子兒茶素 ((-)-gallocatechin, GC ($\geq 98\%$)) 購自 Sigma-Aldrich (St. Louis, Mo., USA)。
 - HPLC 等級表兒茶素 ((-)-epicatechin, EC ($\geq 98\%$)) 購自 Sigma-Aldrich (St. Louis, Mo., USA)。
 - HPLC 等級表沒食子兒茶素 ((-)-epigallocatechin, EGC ($\geq 98\%$)) 購自 Sigma-Aldrich (St. Louis, Mo., USA)。
 - HPLC 等級沒食子兒茶素 ((-)-gallocatechin gallate, GCG ($\geq 98\%$)) 購自 Sigma-Aldrich (St. Louis, Mo., USA)。
 - HPLC 等級表兒茶素沒食子酸酯 ((-)-gallocatechin gallate, ECG ($\geq 98\%$)) 購自 Sigma-Aldrich (St. Louis, Mo., USA)。
 - HPLC 等級表沒食子兒茶素沒食子酸酯 ((-)-epigallocatechin gallate, EGCG ($\geq 98\%$)) 購自 Sigma-Aldrich (St. Louis, Mo., USA)。
 - HPLC 等級沒食子酸 (gallic acid, GA ($\geq 98\%$)) 購自 Fluka (Buchs, Switzerland)。
 - Reag. Ph Eur 等級之甲醇 (methanol) 購自 Merk (Darmstadt, German)。
 - 乙腈 (acetonitrile, ACN) 購自 Merk (Darmstadt, German)。
 - GR 等級之甲酸 (formic acid) 購自 Merk (Darmstadt, German)。
- (5) 酵素活性分析
- EP 等級之磷酸氫二鈉 (disodium Hydrogen Phosphate ($\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$)) 購自 Nacalai Tesque (Kyoto, Japan)。
 - GR 等級之磷酸二氫鈉 (sodium dihydrogen phosphate ($\text{NaH}_2\text{PO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)) 購自 Riedel-de Haën (Seelze, Germany)。



- ReagentPlus 等級之鄰二苯酚 (catechol ($C_6H_6O_2$)) 購自 Sigma-Aldrich (St. Louis, Mo., USA)。

8. 試驗儀器


- BioTek 微量盤分光光度計：Epoch2，購自 Bio Tek Co. (Vermont, USA)。
- 組織均質機 (tissuelyser II, Qiagen, Hilden, Germany)
- 氣相層析儀 (gas Chromatography, GC)：型號 Agilent 7890，購自 Agilent Technologies (California, USA)，分離管柱型號為 HP-5MS UI ($30\text{ cm} \times 250\text{ }\mu\text{m} \times 0.25\text{ }\mu\text{m}$)。
- 質譜儀 (mass spectrometry, MS)：型號 Agilent 5975，購自 Agilent Technologies (California, USA)。
- 固相微萃取裝置 (solid phase microextraction, SPME)，萃取材質為 divinylbenzene/carboxen/polydimethylsiloxane (DVB/CAR/PDMS)，直徑為 $50\text{ }\mu\text{m}/30\text{ }\mu\text{m}$ ，購自 Supelco (St. Louis, Missouri., USA)。
- 高效液相層析系統 (high performance liquid chromatography, HPLC)：型號 PU-2089 幫浦系統串接 AS-2075 自動進樣儀，搭配紫外光偵測儀器 UV-2075，以及 LC-Net II/ADC 處理器與電腦連結。層析管柱為 Symmetry C18 ($100\text{ }\text{Å}$, $5\text{ }\mu\text{m}$, $4.6\text{ mm} \times 250\text{ mm}$)，購自 Waters (Massachusetts., USA)。

(三) 感官品評

採用 ISO 3103 標準中的 150 mL 沖泡杯系統，進行紅茶之感官品評，評審由三位經專業訓練之品評員擔任；評分項目為外觀 (20%)、水色 (20%)、香氣 (30%)、滋味 (30%)，並另記下描述感官感受之詞彙。

(四) 茶葉含水率及細胞膜滲漏程度

細胞膜滲漏程度測定方法為於萎凋過程中，選茶菁中大小相近之第二葉以直



徑 6 mm 之打洞機，避開主脈取葉圓片。將五片葉圓片置於含 5 mL ddH₂O 試管中，且需確保葉圓片漂浮於 ddH₂O 中，而非黏附於管壁。於室溫下靜置 24 小時後，以電導度計測定試管內 ddH₂O 之電導度 (electronic conductivity, EC)，此值為 Ti。測定後將試管置於 100 °C 水浴鍋中加熱 20 min 使細胞被完全破壞，並靜置於室溫冷卻，再測定試管內液體之 EC 值，此值為 Tf。依下列公式計算葉片細胞膜滲漏程度 (membrane electrolyte leakage, MEL)：

$$\text{MEL (\%)} = (\text{Ti} / \text{Tf}) \times 100。$$

另於萎凋過程中取茶葉秤重得鮮重 W_f ，烘乾至恆重後秤重得乾重 W_d ，以下列公式計算得茶葉含水率 (water content)：

$$\text{Water content} = (W_f - W_d) / W_f \times 100。$$

(五) 多酚氧化酶活性測定

以液態氮預冷過之鋼瓶盛裝冷凍茶葉樣品，並以組織均質機打碎茶葉至均勻細粉狀。以預冷之 -20°C 丙酮約 200 mL 反覆沖洗茶葉粉末，並以 Advantec No. 2 濾紙搭配布式漏斗抽氣過濾，將粉狀物質沖洗至近白色，靜置於室溫使丙酮揮發，獲得葉片粗蛋白粉末，冰凍於 -20°C 備用。於 15 mL 離心管中加入製備完成之粗蛋白茶粉末 0.8 g、磷酸緩衝液 (pH=7.0, 0.05 M) 5 mL，震盪混勻後再置於冰上震盪萃取 90 min。萃取結束後，將離心管再次震盪混勻，在 4°C 下以 1000 rpm 離心 30 分鐘取得上清液為蛋白粗萃液 (後以酵素液稱之)。於石英 cuvette 中依序加入 2.5 mL 鄰二苯酚容液 (360 mM, pH=7.0) 及 0.5 mL 酵素液，立刻以分光光度計測定於 410 nm 波長下之吸光值，每 15 秒測定一次，持續 3 分鐘。以吸光值之變化量 ($\Delta A /$ 時間 (分鐘) / 鮮重 (g) 作為酵素活性單位 (activity unit)。

七、統計方法

試驗數據整理、製表及部分製圖使用 Microsoft Office Excel 2016，試驗數據之變方分析 (analysis of variance, ANOVA)、Tukey's HSD 分析以及逐步迴歸分

析 (stepwise regression analysis) 使用 R Studio (Northern Ave, Boston, USA), 揮發性香氣物質分析資料之 PCA 分析與製圖使用 MetaboAnalyst 5.0 網站 (<https://www.metaboanalyst.ca/>)。



第四章、結果與討論


第一節 試驗一：‘臺茶十八號’茶菁萎凋過程中失水率、細胞膜穩定性及多元酚氧化酶 (polyphenol oxidase, PPO) 活性之變化

一、PPO 活性分析

茶樹葉片中之 PPO 酵素活性對於紅茶茶湯色澤相關的茶紅質與茶黃質之形成，以及茶葉品質有莫大之影響(Subramanian et al., 1999)，因此，萎凋過程中酵素活性的變化及期間 PPO 氧化多酚類物質過程之掌握，更是影響成茶品質之重要關鍵 (Robertson and Bendall, 1983; Sanderson, 1964)。本研究於 2022 年春季及夏季，分別探討‘臺茶十八號’茶菁在室內萎凋過程中，茶菁失水、葉片細胞膜滲漏程度及 PPO 活性之變化，並探究其間之關係。

春茶萎凋過程中，茶菁含水率隨時間推移逐漸下降 (圖 1)。然而，因室內萎凋雖濕度較低，但氣溫過低 (23-24°C, RH= 70%) 之故，茶葉失水較緩慢：萎凋第 0 小時時茶菁的含水率為 78.9%，萎凋時間經過 12 小時後，含水率下降至 75%，萎凋至第 30.5 小時時，含水率下降至 63.4%；此時茶菁所經萎凋時間已超過一般而言標準紅茶製程之萎凋時間 (12-24 小時) (Tomlins and Mashingaidze, 1997)，但含水量才甫達到茶菁適宜揉捻之範圍，故此時停止室內萎凋。在每個水分調查點測定茶菁之多酚氧化酶 (polyphenol oxidase, PPO) 活性，結果以萎凋第 0 小時時茶菁之酵素活性最高，萎凋兩小時後酵素活性大幅下降，接著至萎凋第 30.5 小時間，酵素活性之變動幅度較小，但整體而言呈下降之趨勢；萎凋結束後進行揉捻，而在揉捻一小時後 (第 31.5 小時)，酵素活性有一大幅度之上升 (圖 1)。

夏茶萎凋過程中，茶菁含水率隨時間推移逐漸下降 (圖 2)，且因室內萎凋溫度



較高 (29-30°C, RH=79%) 之故, 茶葉失水速率較快: 萎凋第 0 小時時茶菁含水率為 78.9%, 萎凋時間經過 11 小時後, 含水率下降至 64.9%, 萎凋至第 17 小時, 含水率已下降至 55.4%, 於此時停止萎凋, 進行揉捻。酵素活性分析結果顯示, 萎凋第 0 小時之茶菁酵素活性極低, 幾與已經萎凋 17 小時之樣品相去不遠。這可能與鮮葉樣品於運送過程中, 被置於密封塑膠袋而未與氧氣充分接觸有關。此外, Ravichandran 及 Parthiban (1998) 於研究中指出, 運輸中茶菁受到機械性損傷可能造成茶菁之 PPO 酵素活性降低, 因此萎凋零小時時的茶菁酵素活性較低亦可能與鮮葉樣品採收後移入試驗過程中所受的壓力有關。萎凋 2 小時之時茶菁酵素活性最高, 接著隨萎凋時間推移, 酵素活性整體維持在 0.18-0.23 $\Delta A \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{g}^{-1}$ 之間, 然而揉捻 0.5 小時後 (萎凋後第 17.5 小時) 之茶葉酵素活性, 也並未顯著提高。


二、茶葉細胞膜滲漏程度分析

春茶萎凋過程中, 以萎凋 0 小時茶菁之茶葉細胞膜滲漏程度最低, 萎凋 2 至 5 小時時細胞膜滲漏程度上升, 接著隨萎凋時間增加, 茶葉之細胞膜滲漏程度整體呈上升之趨勢, 至萎凋 21 小時時達到最高 (50.9 %); 然而萎凋 8 至 17 小時時, 細胞滲漏程度呈持平甚至些微下降 (圖 3)。夏茶萎凋過程中, 除了萎凋 0 小時時茶菁樣品因前述保存狀態不佳之故導致細胞膜滲漏程度特別高, 其餘取樣點茶菁之細胞膜滲漏程度皆隨萎凋時間增加逐漸上升, 至萎凋 17 小時達到最高 (73%) (圖 4)。

若將 2022 年春茶與夏茶萎凋過程中細胞膜滲漏程度變化加以比較, 可以發現春茶直至萎凋結束 (萎凋 21 小時) 時, 茶葉細胞膜滲漏程度仍停留在 51% 以下, 然而夏茶停止萎凋時, 雖然茶菁只經歷了 17 小時之萎凋, 但茶葉細胞膜滲漏程度已達 73% 以上, 這可能與夏季之室內萎凋環境溫度較高有關。

三、萎凋過程中茶菁 PPO 活性變化與含水率、細胞膜滲漏程度之關係

‘臺茶十八號’茶葉萎凋過程中, 不論於春季或夏季, 酵素活性皆隨著萎凋時間增加而逐漸下降, 這應與萎凋過程中, 茶菁含水率逐漸下降有關 (Hua, 2015; Latha



and Ramarethinam, 2000; Ravichandran and Parthiban, 1998; Sabhapondit et al., 2014; Ullah and Roy, 1982), 但此結果與一些中國紅茶酵素活性於萎凋階段有些微上升的情形不同(Jiang Y. et al., 2018), 顯示紅茶萎凋過程中茶葉 PPO 活性變化可能存在著品種間的差異。Ravichandran 等 (1998) 於研究中, 直指茶菁含水量降低為萎凋過程中茶葉 PPO 酵素活性下降的主因, 若將茶葉補水, 則可使酵素活性回復; 也因此紅茶發酵階段適量對茶葉補水、保持其濕潤狀態有助於提升紅茶成茶品質。雖萎凋過程中酵素活性持續下降, 但若直到進入發酵階段時, 茶葉仍能保有一定程度的酵素活性, 那麼茶葉中基質氧化成茶黃質的效率則不受太大影響, 因而不至於造成紅茶品質減損(Ullah and Roy, 1982)。

‘臺茶十八號’紅茶萎凋過程中, 除了茶菁含水率可能與 PPO 活性變動有關, 茶菁細胞膜滲漏程度可能亦與其具關聯性。不論於春或夏茶萎凋過程中, 茶菁細胞膜滲漏程度皆與 PPO 活性具一次線性迴歸關係, 其中春茶之茶菁細胞膜滲漏程度與 PPO 活性之迴歸關係式為 $y = -0.0163x + 1.1675$ ($R^2 = 0.4109$, $p < 0.001$) (圖 6), 夏茶之迴歸關係式為 $y = -0.0029x + 0.3991$ ($R^2 = 0.5124$, $p < 0.01$) (圖 7), 可見‘臺茶十八號’茶葉 PPO 活性在萎凋過程中, 隨著茶菁細胞膜滲漏程度上升而下降。此外, Muthumani 及 Kumar (2007) 曾指出, 茶葉細胞膜滲漏程度能夠反應茶葉萎凋的效率, 而本研究亦發現, 臺茶十八號茶葉於夏季萎凋過程中, 茶菁之含水率與細胞膜滲漏程度之一次線性迴歸方程式為: $y = -1.5492x + 158.37$ ($R^2 = 0.9902$, $p < 0.001$) (圖 8), 可見二者確實具有高度關聯性, 隨著萎凋過程中茶菁含水率下降, 細胞膜滲漏程度逐漸升高。

春季茶葉於揉捻後酵素活性大幅上升, 應與茶葉經揉捻後細胞受到嚴重破壞, 使 PPO 得以與反應基質大量接觸有關(Jiang et al., 2018; Latha and Ramarethinam, 2000; Mahanta et al., 1993; Ravichandran and Parthiban, 1998; Takeo and Uritani, 1966)。然而, 本研究中夏季茶葉於揉捻後, 茶葉中的酵素活性不升反降, 與一些中國紅茶製作過程中, 茶葉經揉捻後酵素活性下降的情況較為相似 (Jiang et al., 2018), 該



篇文獻指出揉捻後氧化酶與反應基質「完全地接觸」(full contact) 導致氧化酶活性下降，但並未進一步解釋其中可能原因。

四、萎凋過程中 PPO 活性之季節性差異

受到生長環境與氣象因子的影響，不同季節採摘的茶菁具有不同內容物組成及酵素活性(Liu et al., 2021b)。將 2022 年春、夏二季萎凋試驗茶葉之酵素活性作比較，春季之酵素活性整體較夏季高 (圖 8)，與數篇前人研究中提到的春季茶葉的酵素活性較夏季茶葉低的情況較不相符(Jiang et al., 2018; Takeo, 1966)。可能原因有三：一為當年度茶葉採摘地點，即文山分場春、夏天氣狀況之差異，二為二季茶葉採摘成熟度不同，三為二季萎凋環境溫溼度差異。

首先關於第一點，文山分場 2022 年春、夏之天氣差異，春茶生長期間累計雨量較少 (302.5 mm)、累積日射量較高 ($460.69 \text{ MJ} \cdot \text{m}^2$)，而夏茶生長期間累計雨量較多 (634 mm)，直至採茶前一天仍是雨天，且累積日射量較低 ($429.71 \text{ MJ} \cdot \text{m}^2$)；意即樣品採集地於夏茶生長期間缺乏陽光、雨量較多，而萌芽與生長狀況不佳，可能為導致茶葉中 PPO 累積量減少、酵素活性低之主因(Ahmed et al., 2014)。

關於第二點採摘成熟度，前人研究指出，軟嫩枝條 (tender shoots) 中的 PPO 活性較成熟葉片高，並且葉片成熟的過程中，酵素活性可能下降約 70% (Ölmez and Yilmaz, 2009; Takeo and Baker, 1973; Thanaraj and Seshadri, 1990)。採摘夏茶時因恰逢梅雨連綿，實際採摘日期較原先預定日期遲了一週，導致茶葉成熟度較一般紅茶採摘標準之一心二葉來得成熟，可能因此造成茶葉中的酵素活性較春茶為低。

關於第三點，春、夏室內萎凋環境溫溼度之差異，春茶萎凋時氣溫為 $23\text{-}24^\circ\text{C}$ ，濕度為 70%，而夏茶萎凋時氣溫為 $29\text{-}30^\circ\text{C}$ ，濕度為 79%，夏茶之室內萎凋溫溼度皆較高，呈現較溼熱的狀態。Hua (2015) 於研究中指出，溫度是影響萎凋的關鍵因子之一，外部環境溫度決定了正在萎凋的茶葉葉溫，進而影響水分散失速度以及內部化學反應速率，最終影響到成茶品質；Hua (2015) 也指出，PPO 活性在環境



溫度達到最適溫度之前會隨溫度升高而增加，因此本研究中夏季較高的萎凋環境溫度應有提高 PPO 活性的效果；然而推測因前述天氣因子及茶葉成熟度的影響較大，所以仍以春季茶葉內的酵素活性整體較高。

茶葉中的多元酚類基質透過 PPO 氧化轉化為茶黃質、茶紅質等構成紅茶茶湯色澤的成分，因此 PPO 活性對於紅茶成茶品質具有關鍵性的影響(Robertson and Bendall, 1983; Subramanian et al., 1999)，且 PPO 活性通常與茶湯中的茶黃質含量以及紅茶品質呈正相關(Ravichandran and Parthiban, 1998; Thanaraj and Seshadri, 1990)。本篇研究結果顯示‘臺茶十八號’酵素活性可能受到天氣因子、採摘成熟度及萎凋環境溫濕度之影響，茶樹生長期間累積日射量較高、採摘成熟度符合製作紅茶一心二葉標準之茶葉，可能具有較高之 PPO 活性，所製作的紅茶品質也可能較佳。

第二節 試驗二：‘臺茶十八號’紅茶茶品質之季節性變化

一、標準芽葉性狀調查

不同季節之濕度、風速及溫度等氣象因子差異，可能造成茶樹芽葉特性不同，例如鄭 (1995) 指出，生長於臺東之‘臺茶十二號’，芽葉長以夏季茶較春冬季茶長，而葉片之厚度、節間徑、節間長亦有季節性差異。茶樹芽葉性狀亦被指出與成茶品質有關，甚至可做為茶樹育種提早選種指標(馮等, 1990; 陳與蔡, 1999)。本研究採‘臺茶十八號’一心三葉之標準芽，調查其芽葉性狀，以探討其與氣象因子以及成茶品質間之關聯性。

調查結果顯示第一、二及第三葉長皆以春茶之葉片最長，夏茶及秋茶次之，但其中春季與秋季之第一葉長未有顯著差異 (表 1)。第一、二及第三葉寬以春茶最大，夏茶及秋茶次之。第一葉之葉片長寬比以夏、秋茶較大，春茶最小；第二葉之長寬比以夏茶最大，秋茶次之，春茶最小。第三葉之長寬比夏、秋茶間未有顯著差異，而春茶最小。第一至第三葉面積皆以春茶最大、秋茶次之，而夏茶最小，意即春茶具有最大的茶芽，秋茶次之，夏茶的茶芽最小 (表 1)。第一、二、三葉之長寬比

皆以春茶最小，顯示春茶之葉片形狀較渾圓。第一、二、三葉之葉厚於三季節間皆未有顯著差異。第一、二節間徑長皆以春茶最長，夏茶及秋茶次之，而夏秋茶之間未達 5% 顯著差異水準 (表 1)。節間徑則是不論第一或第二節於三季節間皆未 5% 達顯著差異水準。百芽重以秋茶最大、夏茶次之，春茶最小 (表 1)。

二、氣象資料收集分析

季節間不同的氣象條件對於製茶品質具有不可忽視之影響力 (Wang et al., 2022)。自中央氣象局網站取得魚池茶改場氣象站收集之氣象資料，以探討‘臺茶十八號’茶樹生長至採製時，期間氣象因子對所製成紅茶品質之影響。首先擷取中央氣象局鄰近魚池茶改場之氣象站，觀測項目中之日平均氣壓、日平均氣溫、日平均地溫等等共計十五項資料，與芽葉性狀、品質成分含量資料經相關性分析、逐步迴歸分析後選取其中相關性較高者，最終選取平均氣溫、平均相對溼度、累計雨量、累積日照時數，以及累積日射量共計五項為探討之氣象因子。2020 與 2021 年之平均氣溫皆以春季較低，夏、秋氣溫較高 (圖 9)，相對溼度亦以春季較低，夏、秋較高兩年之氣溫及相對溼度季節性變化趨勢相似。累計雨量方面，2020 年以春季最低 (167 mm)，夏茶最高 (939 mm)，秋季則介於兩者之間 (526 mm)，2021 年同樣以春季最低 (45 mm)，然而以秋茶累計雨量最高 (1131 mm)，夏季則介於兩者之間 (795 mm)；兩年間累計雨量之季節性變化趨勢略有不同 (圖 9)。累計日照時數方面，2020 年與 2021 年皆以夏季最長、春季次之、秋季最短 (圖 10)。累積日射量方面，2020 年以夏季最高 ($1258 \text{ MJ} \cdot \text{m}^{-2}$)、春季次之 ($1182 \text{ MJ} \cdot \text{m}^{-2}$)、秋季最低 ($1108 \text{ MJ} \cdot \text{m}^{-2}$)，然而 2021 年以春季最高 ($1320 \text{ MJ} \cdot \text{m}^{-2}$)、夏季次之 ($1274 \text{ MJ} \cdot \text{m}^{-2}$)、秋茶最低 ($1183 \text{ MJ} \cdot \text{m}^{-2}$)，兩年之累計日射量季節性變化趨勢不同 (圖 10)。整體而言，魚池茶改場三個季節之天候狀況，例如相對溼度、氣溫等等，皆符合有利茶葉生長之環境條件 (林, 2009)。




三、茶葉非揮發性內容物分析

2020 年所製成之紅茶分析結果，總多元酚含量以春、夏茶較高，秋茶較低；咖啡因含量以夏茶最高，春茶次之，秋茶最低；總游離胺基酸含量則於各季節處理間未有顯著差異 (圖 11)。2021 年所製成之紅茶分析結果，總多元酚含量以春茶最高、秋茶次之，夏茶最低；咖啡因含量以春茶最高、秋茶次之，而夏茶最低；總游離胺基酸含量亦以春茶最高、秋茶次之，夏茶最低 (圖 12)。2020 及 2021 兩年間各品質成分含量隨季節變化的趨勢並不一致。

以 LC-MS 分析茶湯中兒茶素異構物及沒食子酸之結果顯示，2020 年所製成紅茶中含量較豐富之兒茶素異構物為 EGC、C、EGCG，以及 CG，與前人研究中紅茶成茶中兒茶素異構物以 EGCG 及 ECG 含量較高之情況相符 (Turkmen and Velioglu, 2007; Xu et al., 2012)。除了 GC、GCG 以及 ECG 外，其餘兒茶素異構物皆以夏茶中含量較高，而於秋茶中含量最低 (表 2)。2021 年所製成紅茶中含量較高之兒茶素異構物為 GC、EGC、EGCG，以及 CG，且各兒茶素異構物總量較 2020 年所製成之紅茶低。

茶葉中之兒茶素依據 C3 位置是否與沒食子酸酯化可分為游離型 (non-gallated / simple type) 及酯型 (gallated type) 兒茶素兩類，而此二類兒茶素之含量及比例對於紅茶品質具有一定影響。酯型及游離型之兒茶素含量與感官品評分數具有顯著相關性，酯型兒茶素相對於游離型兒茶素之比值較高的紅茶，所獲得之感官品評分數較低 (Kottur et al., 2010)。除了紅茶，其他茶種之風味與品質亦受到酯型、游離型兒茶素含量與比例之影響。例如 Xu 等 (2012) 提到，夏天採製之綠茶所具有的明顯苦澀味，與其較高之酯型兒茶素含量與有關。

本研究亦透過 LC-MS 分析所得各兒茶素異構物含量，區分為酯型及游離型兒茶素，探討其與‘臺茶十八號’紅茶品質之關聯。2020 年採製紅茶之分析結果，酯型兒茶素含量以夏茶 ($56.54 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$) 及春茶 ($48.50 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$) 較高，秋茶 ($25.63 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$) 較低；游離型兒茶素含量亦以夏茶 ($38.86 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$) 及春茶 ($34.70 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$) 較高，



秋茶 ($18.44 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$) 最低；同年之游離型相對酯型兒茶素之比值以夏茶稍微低於其餘二季，然而三季節間未有顯著差異(表 4)。2021 年之酯型兒茶素含量以春季最高，夏、秋季較低；游離型兒茶素含量以春季及秋季較高，夏茶最低；同年之游離型相對酯型兒茶素之比值以秋茶最高、夏茶次之，而春茶之之比值最低，然夏茶與秋茶間未有顯著差異 (表 5)。上述 2020、2021 兩年中所製成茶中游離型相對酯型兒茶素之比值之季節性變化趨勢，與 Hilton 等 (1973) 及 Yao 等 (2005) 所指出生長速度較緩慢的季節 (如春季) 所採製之成茶中游離型相對酯型兒茶素之比值較高的結果較不相符。

四、茶葉揮發性化合物分析

三季‘臺茶十八號’紅茶茶樣經 GC-MS 分析後，共辨識出 65 種揮發性化合物(表 6)，含 10 種醛類、17 種醇類、2 種烷烴類、19 種烯烴類、8 種酯類、5 種酮類，以及 4 種其他類化合物。三季茶葉中相對豐度最高之二者，皆為芳樟醇及水楊酸甲酯，於春茶中分別佔 47.0%、35.3%，於夏茶中分別佔 22.3%、63.5%，而於秋茶中分別佔 24.6%、57.2%。其他於三季茶葉中相對豐度較高者包括 Ethyl 2-(5-methyl-5-vinyltetrahydrofuran-2-yl) propan-2-yl (春茶中佔 1.41%、夏茶中佔 1.65%、秋茶中佔 1.06%)、Benzeneacetaldehyde (春茶中佔 0.90%、夏茶中佔 0.79%、秋茶中佔 1.22%)、D-Limonene (春茶中佔 0.80%、夏茶中佔 0.56%、秋茶中佔 0.60%)、L- α -Terpineol (春茶中佔 0.74%、夏茶中佔 0.50%、秋茶中佔 0.50%)以及 Benzaldehyde (春茶中佔 0.55%、夏茶中佔 0.45%、秋茶中佔 0.76%)。在三季茶葉中，芳樟醇及水楊酸甲酯之相對豐度，不但合計皆佔了總相對豐度之 80%以上，且此二者之嗅覺閾值 (Odor detection threshold) 相對較低；其中芳樟醇之閾值為 $6 \mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ ，水楊酸甲酯之閾值為 $40 \mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ ，因此推測為‘臺茶十八號’紅茶中，構成嗅聞感受最重要之香氣化合物。芳樟醇帶有甜香、花香、柑橘香氣，而水楊酸甲酯帶有薄荷與冬青香氣，此處以 GC-MS 分析香氣分析結果與感官品評時評審之香氣描述，以及一般而言對‘



‘臺茶十八號’之描述相符。

紅茶嗅聞氣味受化合物組成之影響，紅茶中普遍含量最豐之化合物為醇類、醛類及酯類 (Liu et al., 2021a)。以 GC-MS 分析茶葉中香氣化合物結果顯示，春茶之揮發性化合物之相對豐度以醇類 (alcohols) 為主，佔所有揮發性化合物總豐度之 52.5%；佔比第二高者為酯類 (ester) 化合物，佔 37.8%；接著佔比較高者依序為烯烴類 (alkenes) 及醛類 (aldehydes) 化合物，分別佔 3.96%及 2.83%。夏季與秋季茶之揮發性化合物皆以酯類佔比最高，分別佔 66.3%及 58.9%；而佔比第二高者皆為醇類，分別佔 27.0%及 31.1%。接下來佔比較高者與春茶所含揮發性化合物相似，依序亦為烯烴類及醛類化合物 (圖 13)。春茶與夏、秋茶之化合物組成不同，主要受到相對豐度最高之芳樟醇及水楊酸甲酯相對豐度影響，春茶中以芳樟醇之相對豐度最高，達 47.0%，導致整體醇類之相對豐度，超過揮發性物質總豐度之一半；而夏茶及秋茶中以水楊酸甲酯相對豐度最高，分別佔 63.5%及 57.2%，也使酯類的總相對豐度成為揮發性物質中最主要的組成，而芳樟醇則居要角。

以主成分分析 (Principal component analysis, PCA) 對 GC-MS 香氣分析資料進行分析，結果顯示，三季之茶葉樣品明顯被分成三群 (圖 14)，說明三個不同季節之‘臺茶十八號’紅茶確實具有不同香氣組成或特性。主成分 1 (PC1) 之解釋變異量為 99.4%，主成分 2 (PC2) 之解釋變異量為 0.6%，兩者之累計解釋變異量達 100%，說明此二主成分能夠確實捕捉到資料整體之變異量。主成分 1 中成分負荷量 (component loading) 大於 0.50、最主要之組成化合物為水楊酸甲酯 (methyl salicylate) 及芳樟醇 (linalool)，其中水楊酸甲酯與主成分 1 成正相關，而芳樟醇與之成負相關；由 PCA-bi-plot 亦可見此二變數向量與主成分 1 之橫軸較平行 (圖 15)，表示這兩者對 PC1 之貢獻程度奇高。其餘主成分 1 中成分負荷量較大者還有苯甲醇 (Benzyl alcohol) 以及 Naphthalene，前者與主成分 1 成正向關而後者成負相關，然而其負荷量皆小於 0.10，相較於水楊酸甲酯即芳樟醇對主成分 1 貢獻較小。主成分 2 中成分成分負荷量大於 0.50 之主要組成化合物仍為芳樟醇及水楊酸甲酯，

但此二者皆與主成分 2 成正相關 (圖 15)。其餘主成分 2 中成分負荷量較大者還有 Nerolidyl acetate 以及 Cedrol，前者與主成分 2 成正向關而後者成負相關。於 bi-plot 中可見水楊酸甲酯及芳樟醇是所有揮發性化合物中向量長度最大者 (圖 15)，代表其能夠被主成分 1 與 2 解釋的變異量較大；此外，此二者間之夾角角度大於 90° 、向量方向呈相反方向，表示此二者相對豐度呈負相關。

上述三季紅茶香氣化合物可被分成三群，且香氣組成略有差異之分析結果，可能與三季之氣候狀況差異有關。不同氣象條件諸如氣溫、雨量、濕度等等可能對茶樹之代謝與香氣生合成途徑 (例如脂肪酸、胺基酸、碳水化合物之生合成途徑) 造成影響(Liu et al., 2021b)。


五、感官品評分析

將 2020 年採製之紅茶進行感官品評，以夏茶之感官品評總分最高、秋茶次之，春茶分數最低 (表 7)。評審對於春茶之描述有外觀嫩、滋味微苦、甜水、略淡薄；對於夏茶之描述有外觀嫩、收斂性強、滋味鮮爽、醇厚；關於秋茶之描述有滋味略淡、甜水、略鮮爽、醇和。感官品評各項分數間，水色項目分數與香氣 ($r=0.7701$, $p<0.05$)、滋味 ($r=0.7113$, $p<0.05$) 項目分數呈顯著正相關(表 8)；香氣項目分數與滋味項目分數呈顯著正向關 ($r=0.6937$, $p<0.05$)。

六、氣象因子對臺茶十八號芽葉性狀、品質與內容物之影響

(一) 天氣因子與芽葉性狀之關係


以相關性分析與逐步迴歸分析方法，分析五個天氣因子與芽葉性狀之關係。葉長之相關性分析結果顯示，第一、二、三葉長皆與氣溫、相對溼度，以及累計雨量呈顯著負相關 (表 9)，日照時數與累計日射量則與三葉葉長無顯著相關性。葉長之逐步迴歸分析結果如表 10 所列，第一至三葉長皆與累計雨量因子較為相關，且雨量愈多則葉長較小。葉寬之相關性分析結果顯示，第一、二、三葉寬皆與氣溫、相對溼度，以及累計雨量呈顯著負相關 (表 11)，日照時數與累計日射量則與三葉葉



寬無顯著相關性。葉寬之逐步迴歸分析結果如表 12 所列，第一、二葉寬與相對溼度較為相關，相對溼度愈大則葉寬較小；第三葉寬與累計雨量較為相關，累計雨量愈大則葉寬較小。葉厚之分析結果，與五項氣象因子皆無顯著相關性表 13，逐步迴歸分析亦無選出顯著影響葉厚之氣象因子。節間長之相關性分析結果，第一、二節間長皆與氣溫、相對溼度，以及累計雨量呈顯著負相關 (表 14)，而日照時數與累計日射量則與節間長無顯著相關性。節間長之逐步迴歸分析結果如表 15 所列，第一節間長與相對溼度較為相關，且相對溼度愈高則第一節間長較短；第二節間長與累計雨量較為相關，且累計雨量愈高則第二節間長較短。第一、二節間徑之分析結果顯示，其與五項氣象因子皆無顯著相關性 (表 16)，逐步迴歸分析亦無選出對其具顯著影響之氣象因子。

(二) 天氣因子與品質成分之關係

前人研究顯示，影響茶葉品質之各項化學成分含量受天氣因子影響，例如兒茶素受降雨量及氣溫影響、總多元酚受日照時數影響、咖啡因及胺基酸受氣溫影響等等(陳, 1994; Kottur et al., 2010; Yao et al., 2005)。以相關性分析與逐步迴歸分析方法分析五個天氣因子與總多元酚、總游離胺基酸、咖啡因，以及沒食子酸及各兒茶素異構物等品質成分之關係。2020 年與 2021 年兩年於春、夏、秋三季之天氣狀況略有不同，且受新冠肺炎疫情影響，筆者於 2021 年夏、秋季無法親自赴魚池分場製茶，因此這兩批茶葉樣品之製程條件或與 2020 年三季茶及 2021 年春茶略有差異，導致後續分析所得之茶葉品質成分的季節性變化也受到製程條件不同的影響。因此，進行相關性分析與逐步迴歸分析時，將 2020、2021 年資料分開處理，並另對兩年合併資料進行分析。2020 年之總多元酚之相關性分析結果顯示，日照時數與累計日射量與總多元酚含量呈顯著正向關 (表 17)，溫度、濕度及累計雨量則與其無顯著相關性；逐步迴歸分析結果顯示，總多元酚含量與累計日射量較為相關 (表 18)，且累計日射量愈高，總多元酚含量較高。2020 年之總游離胺基酸之相關性分



析結果顯示所有氣象因子皆與其無顯著相關性，而逐步迴歸分析結果亦無選出顯著影響其之氣象因子。2020 年之咖啡因之相關性分析結果顯示，日照時數與累計日射量與咖啡因含量呈顯著正向關 (表 17)，氣溫、濕度及累計雨量則與其無顯著相關性；逐步迴歸分析結果顯示，咖啡因含量與累計日射量較為相關 (表 18)，且累計日射量愈高，咖啡因含量較高。2021 年之總多元酚之相關性分析結果顯示，累計雨量、日照時數與累計日射量與總多元酚含量呈顯著負向關 (表 17)，氣溫及濕度則與其無顯著相關性；逐步迴歸分析結果顯示，總多元酚含量與濕度及累計雨量較為相關 (表 18)，且濕度愈高，總多元酚含量較高，而累計雨量愈低，總多元酚含量較高。2021 年之總游離胺基酸之相關性分析結果顯示，氣溫、濕度及累計雨量與總游離胺基酸含量呈顯著負向關 (表 17)，日照時數及累計日射量則與其無顯著相關性；逐步迴歸分析結果顯示，總游離胺基酸含量與氣溫及相對溼度較為相關 (表 18)，且氣溫愈高、相對溼度愈低，總游離胺基酸含量較高。2021 年之咖啡因之相關性分析結果顯示，氣溫、濕度及累計雨量與咖啡因含量呈顯著負相關，而日照時數及累計日射量則與其無顯著相關性；逐步迴歸分析結果顯示，咖啡因含量與氣溫及相對溼度較為相關 (表 18)，且氣溫愈高、相對溼度愈低，咖啡因含量較高。二年合併之總多元酚之相關性分析結果顯示所有氣象因子皆與其無顯著相關性，而逐步迴歸分析結果亦無選出顯著影響其之氣象因子。二年合併之總游離胺基酸之相關性分析結果顯示，氣溫、濕度以及累計雨量與總游離胺基酸含量呈顯著負相關，日照時數及累計日射量則與其無顯著相關性；逐步迴歸分析結果顯示，總游離胺基酸含量與濕度較為相關 (表 18)，且濕度愈低則總游離胺基酸含量較高。二年合併之咖啡因之相關性分析結果顯示，氣溫、濕度以及累計雨量與咖啡因含量呈顯著負相關，日照時數及累計日射量則與其無顯著相關性；逐步迴歸分析結果顯示，咖啡因含量與濕度較為相關 (表 18)，且濕度愈低則咖啡因含量較高。值得注意的是，2021 年春季之累計雨量為 45.0 mm，只有 2020 年春茶生長期間累計雨量 (167 mm) 之不到 1/3 之雨量，此相較之下十分稀少的雨量可能與 2021 年春季所採



製之春茶之品質成分含量皆為 2021 年第三季中最高有關。

將以 LC-MS 分析測得之游離型、酯型兒茶素含量與其比例與五項氣象因子進行相關性分析與逐步迴歸分析。2020 年酯型兒茶素之相關性分析結果顯示，其與日照時數以及累計日射量呈顯著正相關 (表 19)；逐步迴歸分析結果亦顯示其與日照時數及累計日射量較為相關，且日照時數愈低、累計日射量愈高，則酯型兒茶素含量愈高 (表 20)。2020 年游離型兒茶素之相關性分析結果顯示，其與日照時數以及累計日射量呈顯著正相關 (表 19)；逐步迴歸分析結果顯示其與濕度及累計日射量較為相關，且相對溼度愈低、累計日射量愈高則游離型兒茶素含量較高 (表 20)。2020 年游離型相對酯型兒茶素之比值之相關性分析結果顯示其與任一氣象因子皆無顯著相關性，而逐步迴歸分析結果亦無選出顯著影響其之氣象因子。2021 年酯型兒茶素之相關性分析結果顯示，其與氣溫、相對濕度以及雨量呈顯著負相關 (表 19)；逐步迴歸分析結果顯示其與相對溼度及雨量較為相關，且相對溼度及累計雨量愈低，則酯型兒茶素含量愈高 (表 20)。2021 年游離型兒茶素之相關性分析結果顯示，其與累計雨量、日照時數及累計日射量呈顯著負相關 (表 19)；逐步迴歸分析結果顯示其與相對溼度及累計雨量較為相關，且相對溼度愈高、累計雨量愈低，則游離型兒茶素含量愈高 (表 20)。2021 年游離型相對酯型兒茶素之比值之相關性分析結果顯示其與氣溫及相對溼度呈顯著正相關 (表 19)；逐步迴歸分析結果顯示其與氣溫較為相關，且氣溫愈低則游離型相對酯型兒茶素之比值較高。兩年合併之酯型兒茶素之相關性分析結果顯示其與任一氣象因子皆無顯著相關性，而逐步迴歸分析結果亦無選出顯著影響其之氣象因子。兩年合併之游離型兒茶素之相關性分析結果顯示其與任一氣象因子皆無顯著相關性；逐步迴歸分析結果顯示其與氣溫與相對溼度較為相關，且氣溫愈高、相對溼度愈低則游離型兒茶素含量較高 (表 20)。兩年合併之游離型相對酯型兒茶素之比值之相關性分析結果顯示其與任一氣象因子皆無顯著相關性，而逐步迴歸分析結果亦無選出顯著影響其之氣象因子。綜上所述，影響成茶風味與品質之茶葉中游離型相對酯型兒茶素之比值於 2020

及 2021 年間與氣象因子之相關性並無一致之變化趨勢。



(三) 芽葉性狀與品質成分之關係

將 2020 年芽葉性狀調查結果與品質成分含量進行相關性與逐步迴歸分析。總多元酚之相關性分析結果顯示，其含量與第二葉厚、第三葉厚、第一節間徑及第二節間徑呈顯著負相關 (表 21)；逐步迴歸分析結果則顯示與其最相關之芽葉性狀為第二節間徑，且第二節間徑愈小則總多元酚含量較高。總游離胺基酸之相關性分析結果顯示，其含量與所有芽葉性狀項目皆無顯著相關性，逐步迴歸分析之結果亦未選出任一與其顯著相關之芽葉性狀。咖啡因之相關性分析結果顯示，其含量與第一至三葉厚，以及第一、第二節間徑呈顯著負相關；逐步迴歸分析結果則顯示與其最相關之芽葉性狀為第二葉厚，且第二葉厚愈小則咖啡因含量較高 (表 22)。

(四) 芽葉性狀與感官品評分數之關係

茶樹芽葉性狀可能與所製成紅茶品質具有相關性，甚至可做為茶樹育種提早選種指標(馮等, 1990)。將 2020 年芽葉性狀調查結果與感官品評各項目分數與總分進行相關性與逐步迴歸分析。感官品評總分之相關性分析結果顯示，其與第一至三葉長、第一至三葉寬、第一葉厚、第一至二節間長呈顯著負相關 (表 23)；逐步迴歸分析結果顯示，其與第一及第二葉長較相關 (表 24)。外觀分數並未與任一芽葉性狀具顯著相關性，逐步迴歸分析亦未選出任一與其顯著相關之芽葉性狀。水色分數之相關性分析結果顯示，其與第一至三葉長、第一至三葉寬、第一葉厚，以及第一至二節間長呈顯著負相關 (表 23)；逐步迴歸分析結果顯示，其與第三葉長較相關，且第三葉長愈大，則水色分數較低 (表 24)。香氣分數之相關性分析結果顯示，其與第二葉長及第一葉厚呈顯著負相關 (表 23)；逐步迴歸分析結果顯示則未選出任一與其顯著相關之芽葉性狀。滋味分數之相關性分析結果顯示，其與第一至第三葉長、第二葉寬、第一葉厚以及第二節間長呈顯著負相關 (表 23)；逐步迴歸分析結果顯示，滋味分數與第二葉長較相關，且第二葉長愈長，滋味分數較低 (表 24)

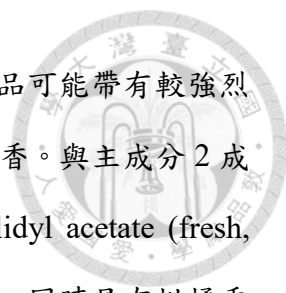
。雖上述結果中除了第二葉長與香氣分數呈負相關之結果與前人研究相符外，其餘與前人研究中茶樹芽葉性狀與感官品評分數之相關性大致並不相符(馮等, 1990)，但可能表示‘臺茶十八號’之芽葉性狀與成茶品質之相關性有其獨特性，與其他品種茶樹並不一定相同。

(五) 非揮發性成分與感官品評分數之關係

茶葉之主要成分中，多酚類、兒茶素、胺基酸、咖啡因為影響茶葉品質之主要成分，且其中某些成分與感官品評分數具有顯著相關性(劉, 2009; Liang et al., 2003)。本研究亦將 2020 年採製紅茶之上述成分分析結果與感官品評分數進行相關性分析。結果顯示，感官品評總分與游離型相對酯型兒茶素之比值呈顯著正相關(表 25)；外觀分數未與任一品質成分呈顯著相關，但值得注意的是，只有游離胺基酸含量與其呈負相關，其餘成分含量皆與其呈顯著正相關；水色分數未與任一品質成分呈顯著相關；香氣分數與咖啡因含量以及游離型相對酯型兒茶素之比值呈顯著正相關(表 25)；最後，滋味分數未與任一品質成分呈顯著相關，但亦與游離型相對酯型兒茶素之比值具有較高之相關性 ($r=0.6171$)。綜上所述，游離型相對酯型兒茶素之比值與感官品評總分、香氣分數皆呈顯著正相關，而與滋味分數之相關性雖不顯著，但仍具有較高之相關係數，因此，酯型相對游離型兒茶素之比值應為決定‘臺茶十八號’紅茶品質最重要之因子之一。前人研究中顯示，紅茶品質受酯型與游離型兒茶素含量與比例的影響，且酯型相對游離型兒茶素之比值較高之紅茶所獲得之感官品評分數較低，本文之結果與其大致相符(Kottur et al., 2010)。

(六) 臺茶十八號揮發性香氣化合物之季節性差異

以 PCA 方法分析‘臺茶十八號’茶葉揮發性香氣化合物之結果顯示，三季樣品可依據香氣組成差異被分成三群，且三季樣品分別位於 PCA scores plot 中不同象限(圖 14)：春茶位於第二象限、夏茶位於第一象限，而秋茶位於第四象限。與主成分 1 成正相關且成分負荷量較高者為水楊酸甲酯(香氣描述為 mint-like)及苯



甲醇 (rose-like, balsamic, floral)，因此與主成分 1 成正相關之樣品可能帶有較強烈的薄荷香氣，同時具有如玫瑰、葡萄酒醋般較深沉、醇熟之花果香。與主成分 2 成正相關且成分負荷量較高者為芳樟醇、水楊酸甲酯以及 nerolidyl acetate (fresh, sweet, citrus)，因此與主成分 2 成正相關之樣品可能帶有薄荷香，同時具有柑橘香氣、清甜花香。


總上所述，位於第二象限而與主成分 2 成正相關之春茶，可能與春、秋茶相較下薄荷香氣較淡，然而與秋茶相比帶有多較多柑橘香與清甜花香。位於第四象限而與主成分 1 成正相關之秋茶可能薄荷香氣較春茶強烈，且帶有較醇熟之花果香，而非如春茶之清甜花香。最後，位於第一象限而同時與主成分 1 及 2 成正相關之夏茶，則是強烈薄荷香氣、醇熟及清甜花果香氣兼具，可說於三季紅茶中具有最豐富之香氣表現。



第五章、結論

生長於不同季節之‘臺茶十八號’茶樹，其芽葉性狀、葉片內容物組成、葉片酵素活性，乃至於紅茶製茶品質皆有所不同。本研究對於上述項目加以調查分析，以辨明不同季節產製之‘臺茶十八號’紅茶品質之差異從何而來。首先‘臺茶十八號’茶葉萎凋過程中，隨葉片含水率下降，PPO 活性逐漸下降；揉捻後酵素活性會發生改變，但在春茶與夏茶製茶過程的情況不同。比較‘臺茶十八號’春茶與夏茶之葉片 PPO 活性，春茶之 PPO 活性整體較夏茶為高，可能受到春夏日照條件、採摘成熟度，以及萎凋環境溫溼度不同的影響。萎凋環境溫濕度之差異，造成茶菁水分散失速率不同，可能對酵素活性之動態變化有影響，因此，製作‘臺茶十八號’紅茶時，如何配合春、夏環境溫溼度，以及茶葉狀態進行萎凋環境控制，以提升紅茶品質，值得更進一步研究。

‘臺茶十八號’茶樹芽葉性狀之調查結果，以春茶之第一至三葉長、第一至二節間長、葉寬與葉面積最大，意即春茶具有最大的茶芽；此外，春茶之葉片長寬比為三季中最小者，顯示其葉片形狀較為渾圓。‘臺茶十八號’紅茶內非揮發性品質內容物分析之結果，2020 與 2021 年之結果較無一致之趨勢。紅茶中總多元酚含量於 2020 年以春、夏茶較高，2021 年則以春茶最高；咖啡因含量於 2020 年以春、夏茶含量較高，2021 年則以春、秋茶較高，夏茶中卻是最底的；游離胺基酸含量於 2020 年各季節間未有顯著差異，2021 年則以春茶最高，夏茶最低。2021 年所製紅茶中，各非揮發性內容物普遍以春茶之含量較高，夏、秋茶較低，可能與春茶及夏/秋茶製程稍有不同有關，導致兩年間各非揮發性品質成分隨季節變化之趨勢並不一致。對紅茶風味與感官品質具有影響的游離型相對酯型兒茶素之比值於 2020 年以夏茶稍微低於其餘二季（但三季間未有顯著差異），2021 年則以夏、秋茶較高，春茶較低。以 GC-MS 分析紅茶中揮發性化合物，共有 65 種化合物被辨識出。三季茶葉中相對豐度最高者皆為芳樟醇及水楊酸甲酯，不但合計皆佔總相對豐度之



80%以上，且此二者之嗅覺閾值 (odor detection threshold) 相對較低，應為‘臺茶十八號’紅茶中，構成嗅聞感受最重要之香氣化合物。揮發性香氣化合物之 PCA 分析結果顯示，三季茶葉明顯被分成三群，說明三季之‘臺茶十八號’紅茶可能因不同季節之氣象條件差異而具有不同香氣組成。其中春茶與夏、秋茶香比薄荷氣味較淡，而帶有柑橘香與清甜花香；秋茶之薄荷香氣較春茶濃厚，而帶有較醇熟之花果香；最後，夏茶則是帶有強烈薄荷香氣，且兼具醇熟及清甜花果香，香氣表現最為豐富。2020 年感官品評結果以夏茶總分最高，秋茶次之，春茶最低。將感官品評各項分數與非揮發性品質成分含量進行相關性分析結果顯示，游離型相對酯型兒茶素之比值與感官品評總分、香氣以及滋味分數皆呈正相關，因此其應為決定‘臺茶十八號’紅茶品質之重要之因子。以相關性分析及逐步迴歸分析探討不同季節間氣象因子、‘臺茶十八號’茶樹芽葉性狀以及紅茶品質之關係，結果如下：2020 年氣象因子與大多數芽葉性狀呈負向迴歸相關；2020 年芽葉性狀與非揮發性品成分之間，以葉厚及節間徑兩項性狀與總多元酚和咖啡因呈顯著負相關。2020 年天氣因子與感官品評各項分數間之逐步迴歸分析結果顯示，氣溫與感官品評總分具有正向迴歸關係，相對濕度則與其具負向迴歸關係；此外，相對濕度與滋味分數亦具有負向迴歸關係。

綜合以上所述，‘臺茶十八號’之芽葉性狀、紅茶非揮發性及揮發性品質內容物，及茶葉中之 PPO 活性，受不同季節下氣象條件差異之影響，而此中差異又反應於紅茶感官品質。氣象因子中以相對溼度與紅茶非揮發性化合物含量呈負向迴歸關係、日平均雨量與游離型兒茶素含量呈負向迴歸關係；而紅茶品質成分以游離型相對酯型兒茶素之比值與‘感官品評分數具有正向迴歸關係。此外，生長於具較豐沛日照環境下，成熟度適當之茶樹枝條可能具有較高之 PPO 活性，惟其是否與紅茶品質具直接關聯性，還須待更進一步的研究加以驗證。本文對於不同季節下‘臺茶十八號’之茶樹芽葉性狀以及紅茶品質加以探討、闡明，應有助於加深對‘臺茶十八號’茶樹與其所製成紅茶之瞭解，期能作為今後產製‘臺茶十八號’之參考。

圖

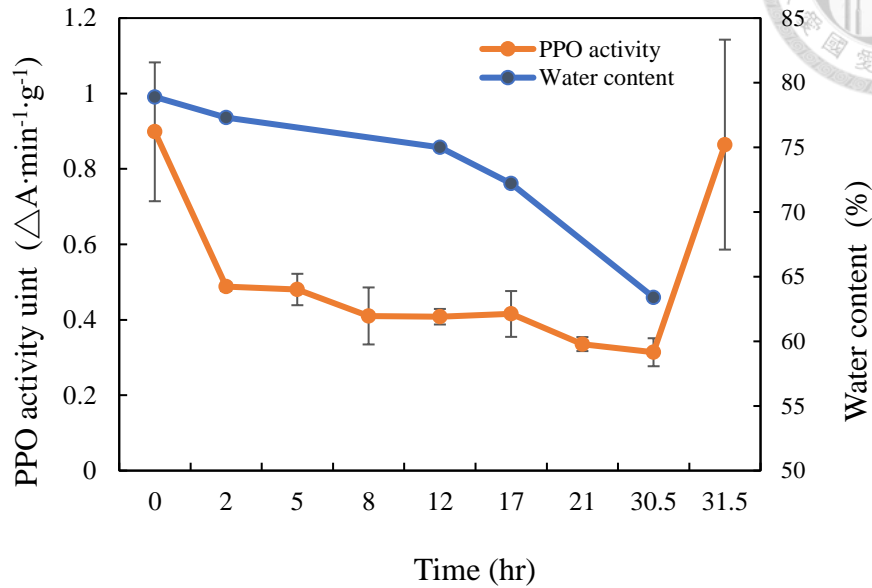
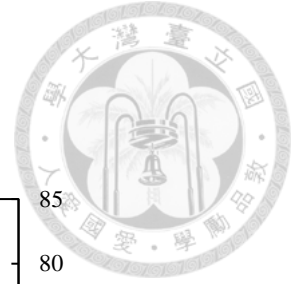


圖 1 2022 年春季‘臺茶十八號’茶葉萎凋過程中酵素活性與含水量變化
Figure 1. PPO activity and water content changing patterns of ‘TTES No. 18’ tea leaves during withering process in spring of year 2022.

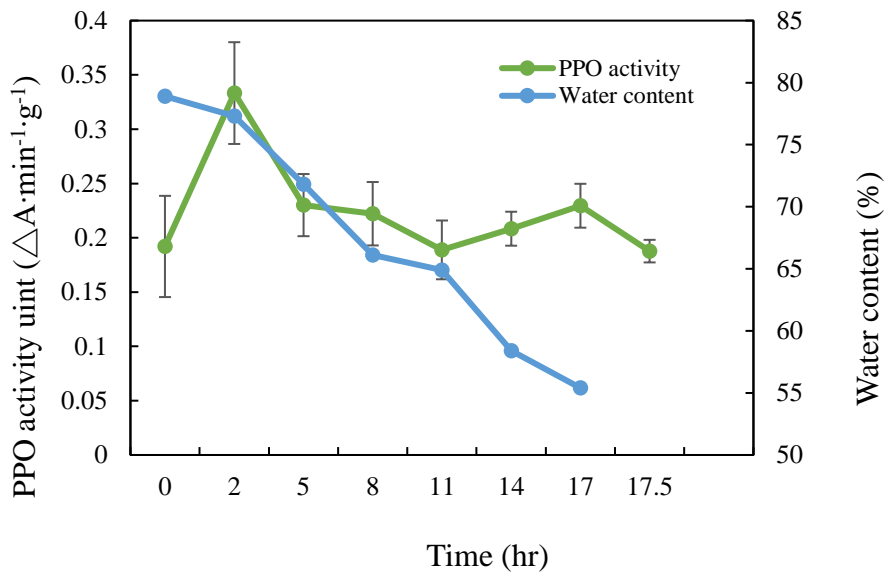


圖 2 2022 年夏季臺茶十八號茶葉萎凋過程中酵素活性與含水量變化
Figure 2. PPO activity and water content changing patterns of ‘TTES No. 18’ tea leaves during withering process in summer of year 2022.

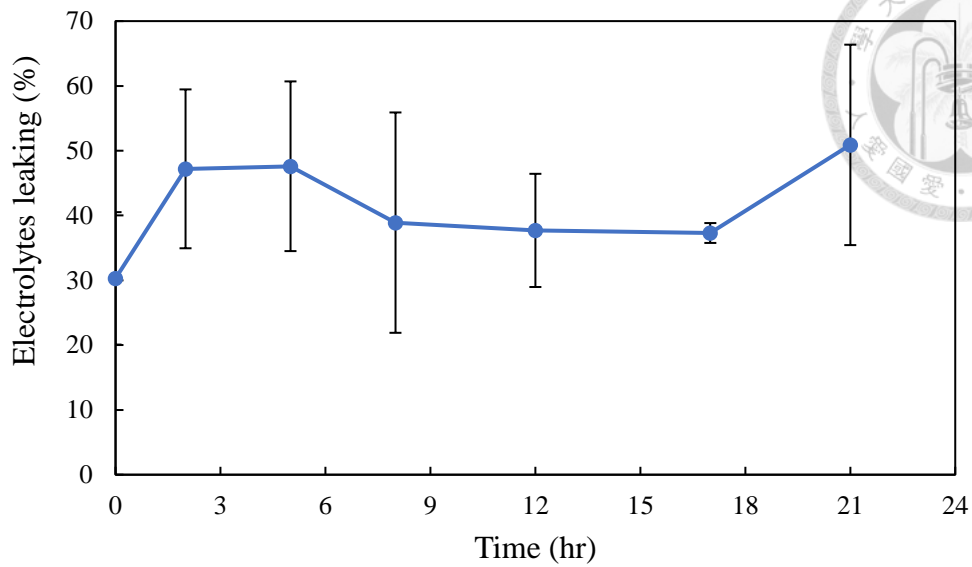


圖 3 2022 年春季‘臺茶十八號’茶葉萎凋過程中細胞滲漏程度變化
 Figure 3. Electrolytes leaking changing patterns of ‘TTES No. 18’ tea leaves during withering process in spring of year 2022.

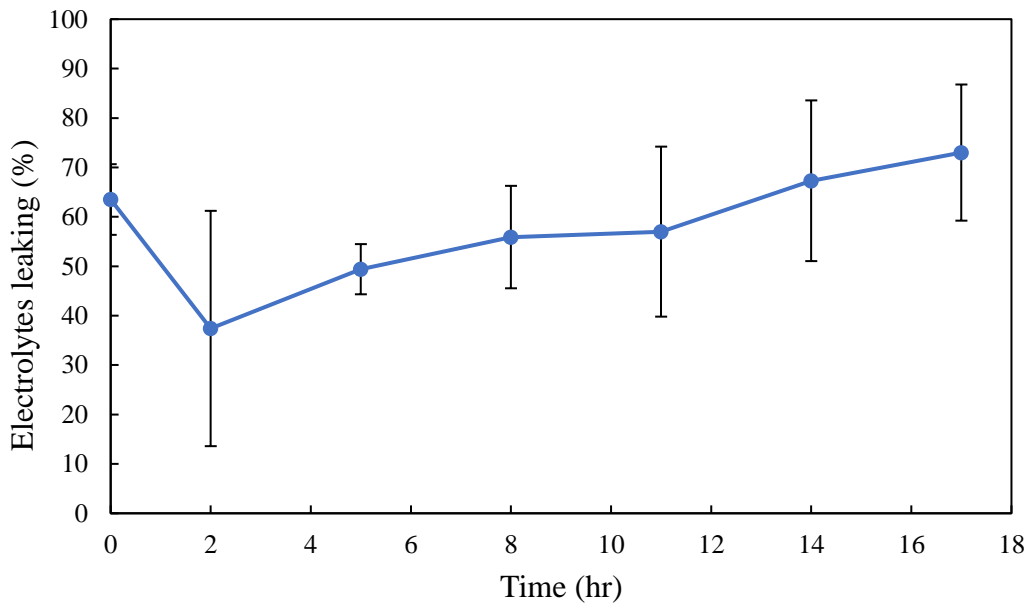


圖 4 2022 年夏季‘臺茶十八號’茶葉萎凋過程中細胞滲漏程度變化
 Figure 4. Electrolytes leaking changing patterns of ‘TTES No. 18’ tea leaves during withering process in summer of year 2022.

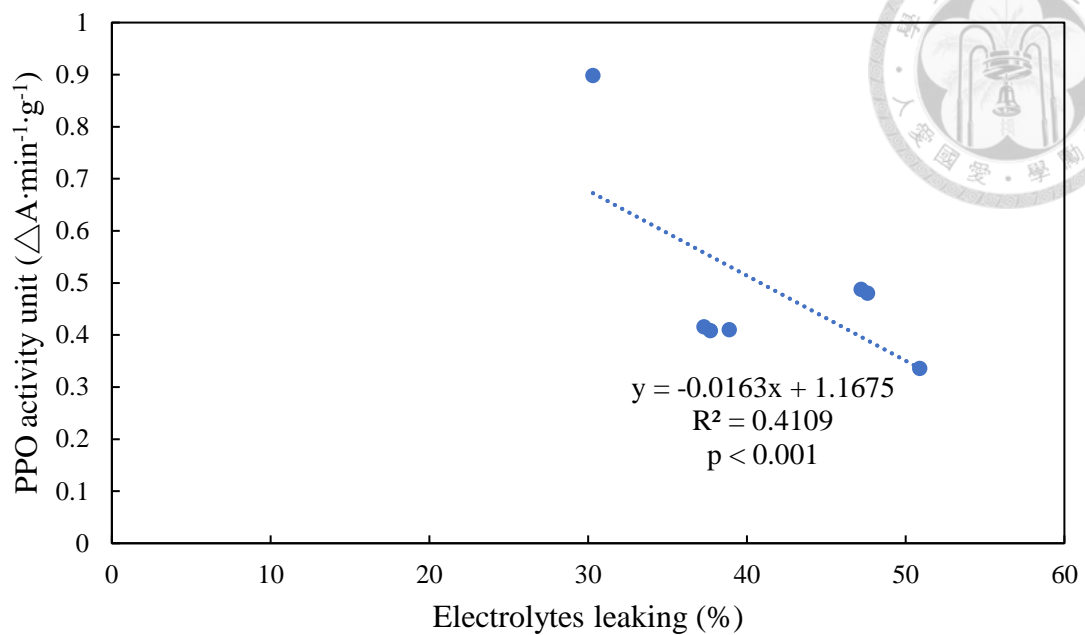


圖 5 ‘臺茶十八號’ 春茶萎凋過程中茶葉多酚氧化酶活性與細胞膜滲漏程度之關係
 Figure 5. Relation of PPO activity and cell membrane electrolytes leaking of ‘TTES No. 18’ spring tea leaves during withering process.

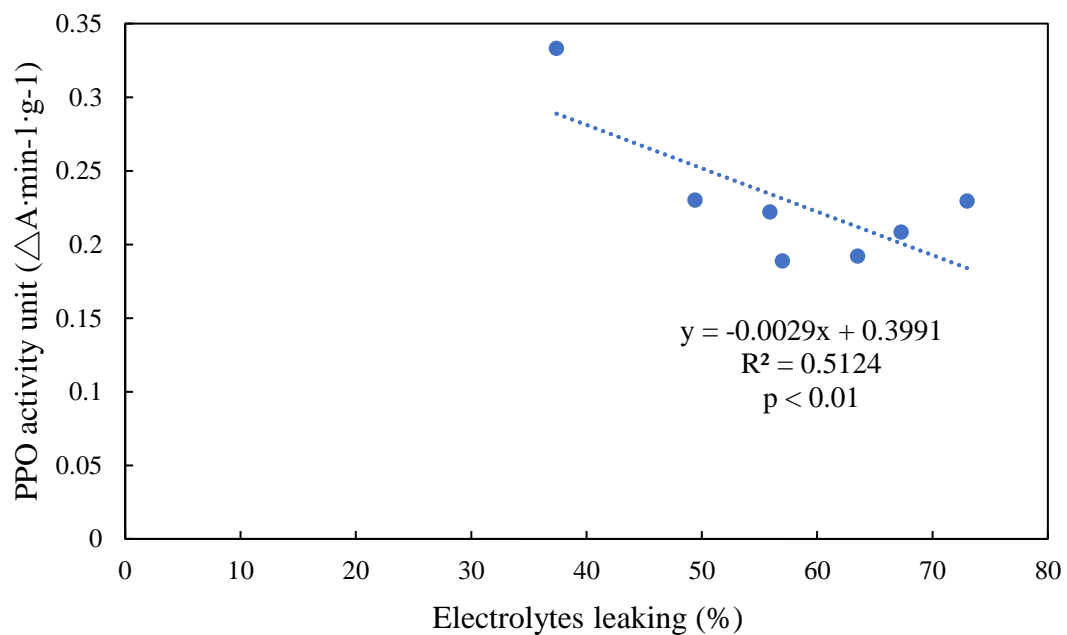


圖 6 ‘臺茶十八號’ 夏茶茶葉多酚氧化酶活性與細胞膜滲漏程度之關係
 Figure 6. Relation of PPO activity and cell membrane electrolytes leaking of ‘TTES No. 18’ summer tea leaves during withering process.

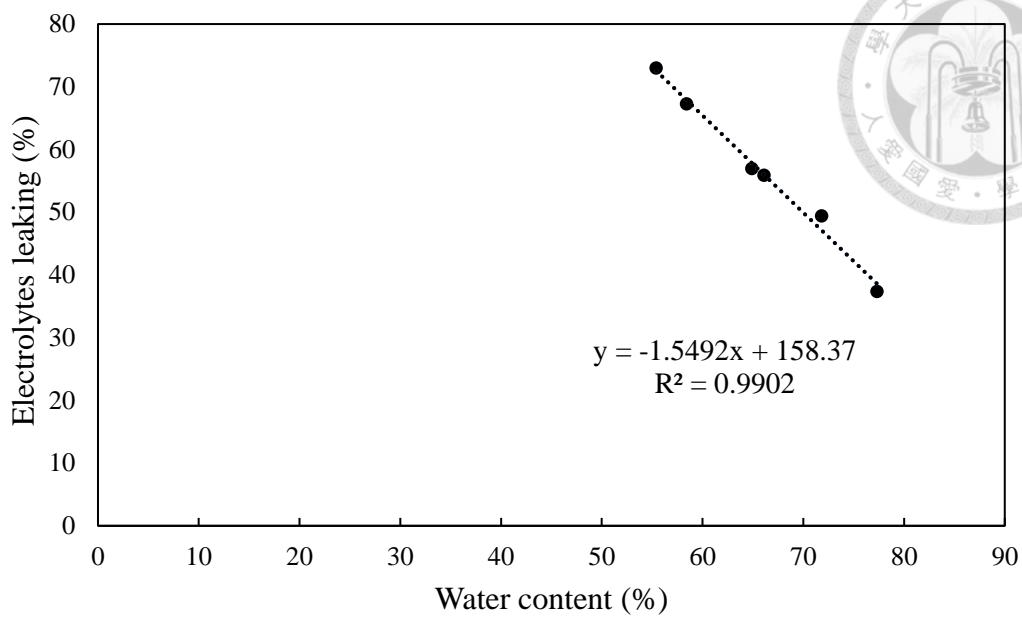


圖 7 ‘臺茶十八號’夏茶萎凋過程中茶葉含水率與細胞膜滲漏程度之關係
 Figure 7 Relation of tea leaves cell membrane electrolytes leaking and water content of ‘TTES No. 18’ summer tea leaves during withering process.

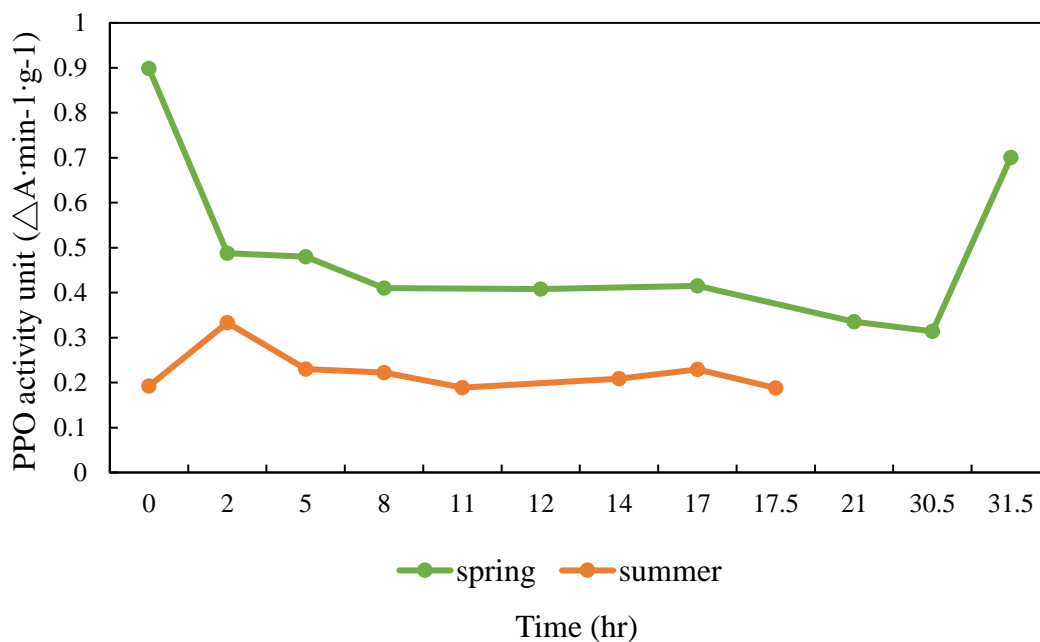


圖 8 2022 年春季與夏季 ‘臺茶十八號’ 茶葉萎凋過程中相對酵素活性表現
 Figure 8. PPO activity changing patterns of ‘TTES No. 18’ tea leaves during withering process in spring and summer of year 2022.

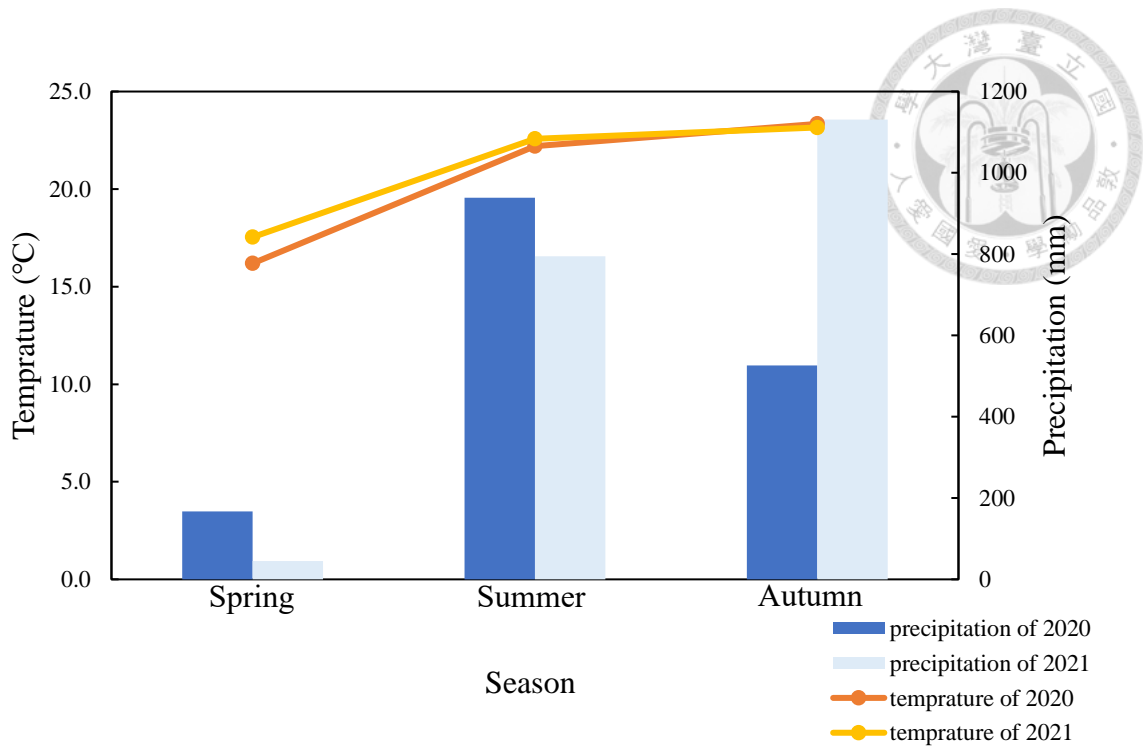


圖 9 2020 及 2021 年之日均氣溫與累計雨量

Figure 9. Average temperature and precipitation of year 2020 and 2021.

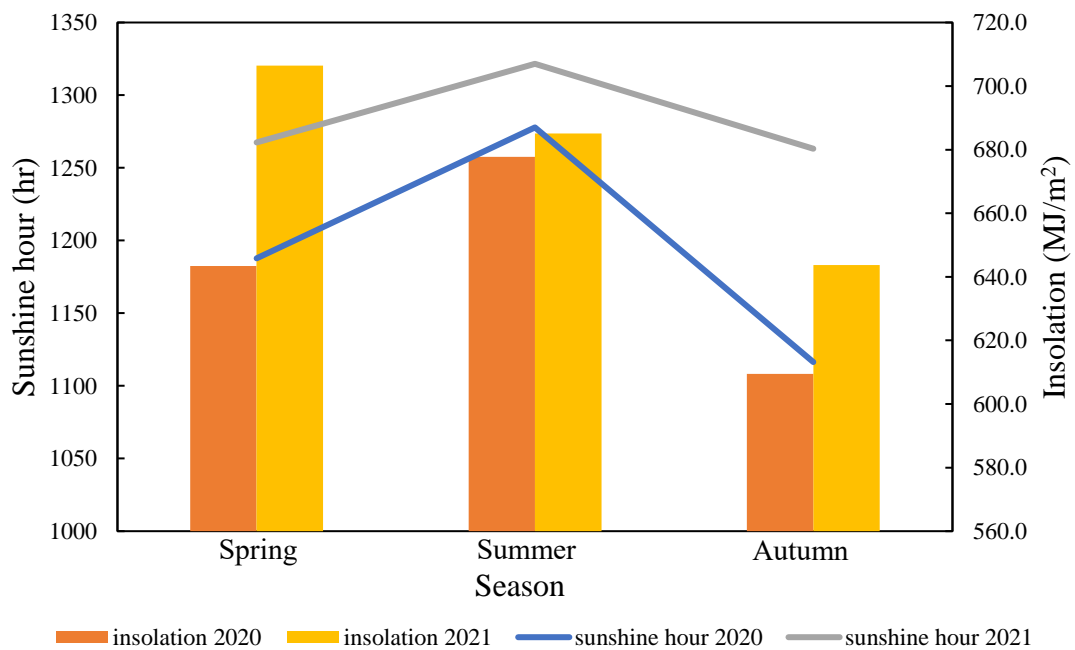


圖 10 2020 及 2021 年之累計日照時數與累計日射量

Figure 10 Sunshine hour and insolation of year 2020 and 2021.

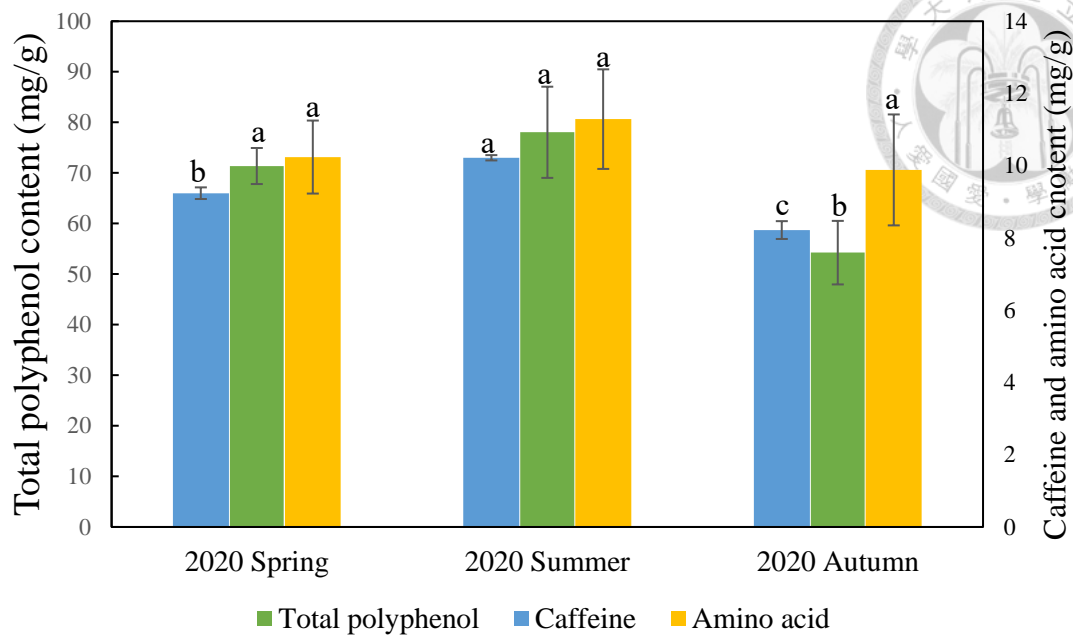


圖 11 2020 三季之‘臺茶十八號’紅茶中非揮發性成分含量

Figure 11. Content of non-volatile quality contributes in ‘TTES No. 18’ black tea of three seasons in year 2020.

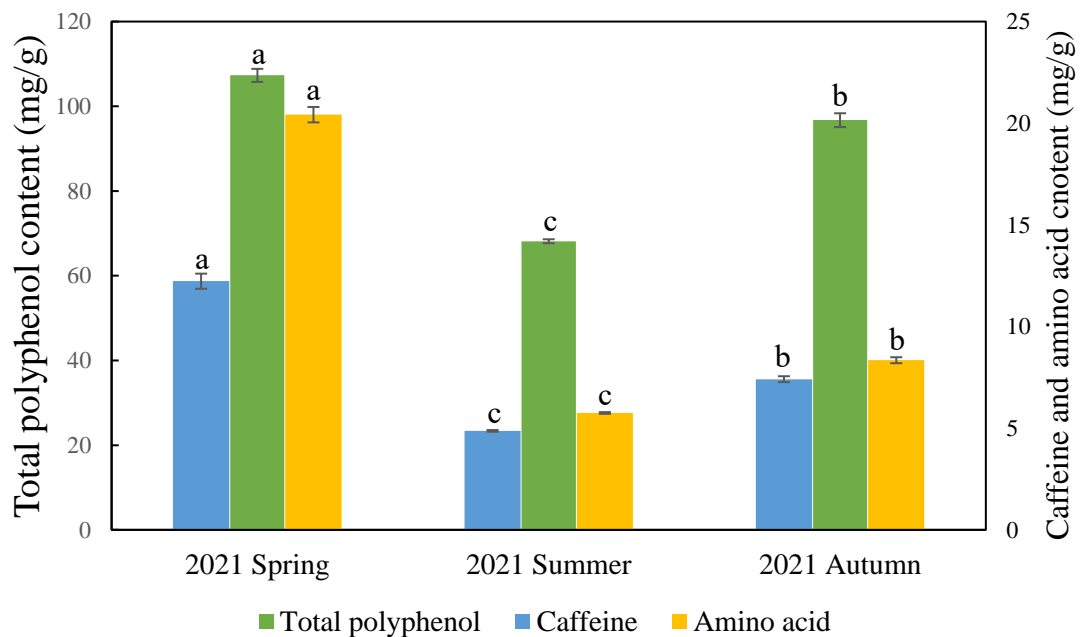


圖 12 2021 三季之‘臺茶十八號’紅茶中非揮發性成分含量

Figure 12. Content of non-volatile quality contributes in ‘TTES No. 18’ black tea of three seasons in year 2021.

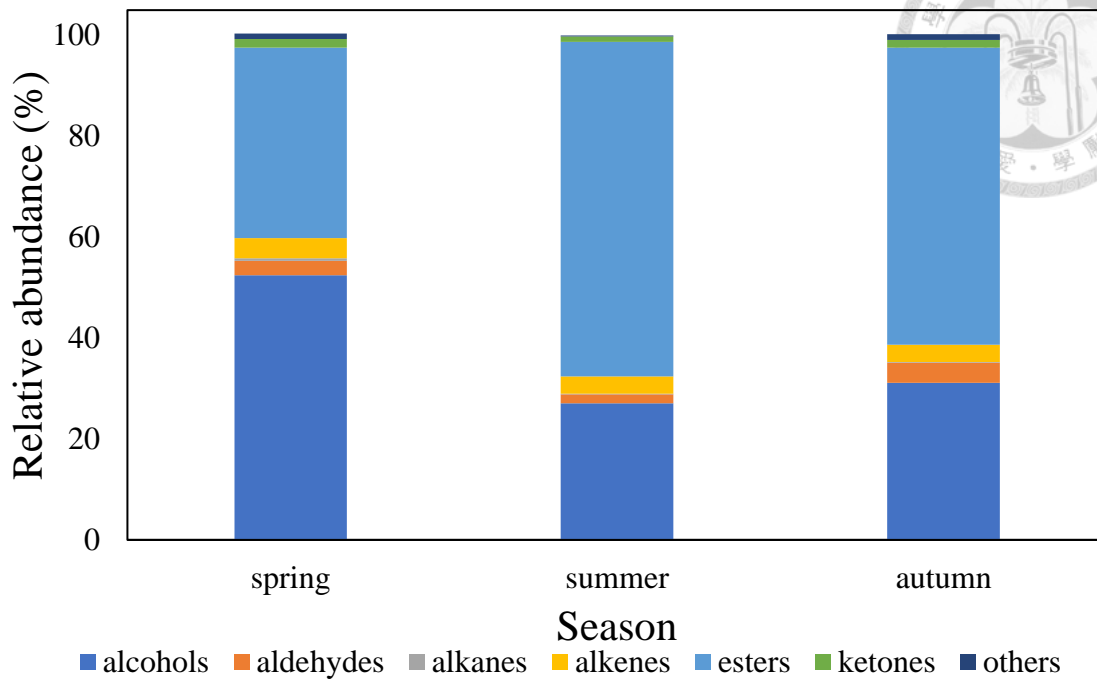


圖 13 2020 年三季 '臺茶十八號' 紅茶中揮發性化合物種類比例

Figure 13. VOCs composition of 'TTES No. 18' black tea made in three seasons in 2020.

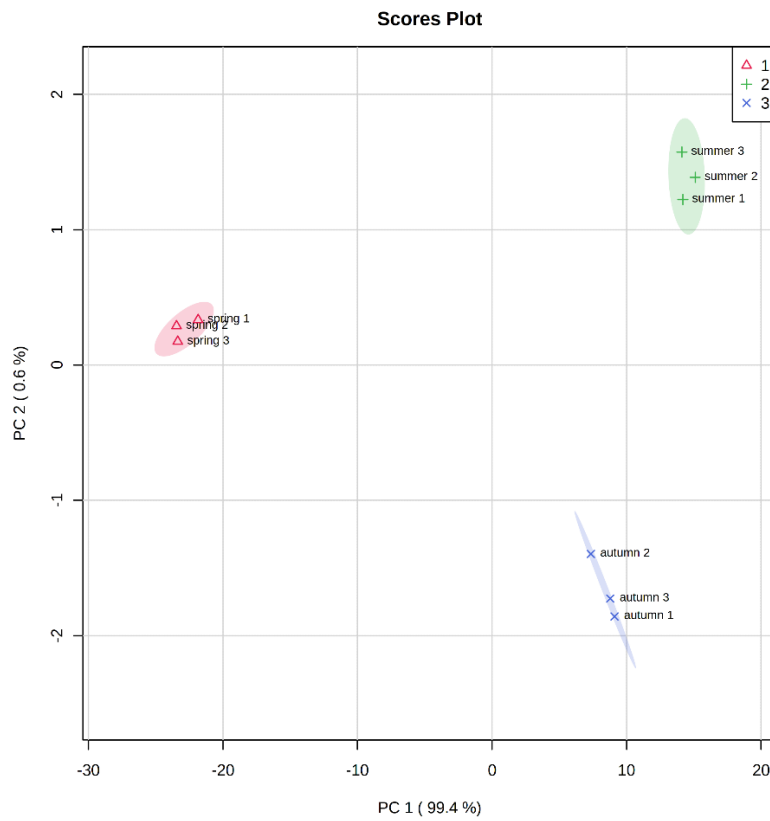
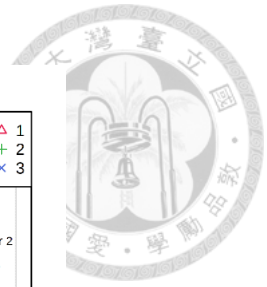


圖 14 2020 年第三季‘臺茶十八號’紅茶中揮發性香氣物質之 PCA 分析結果
 Figure 14. PCA scores plot of ‘TTES No. 18’ black tea volatile compounds in year 2020.

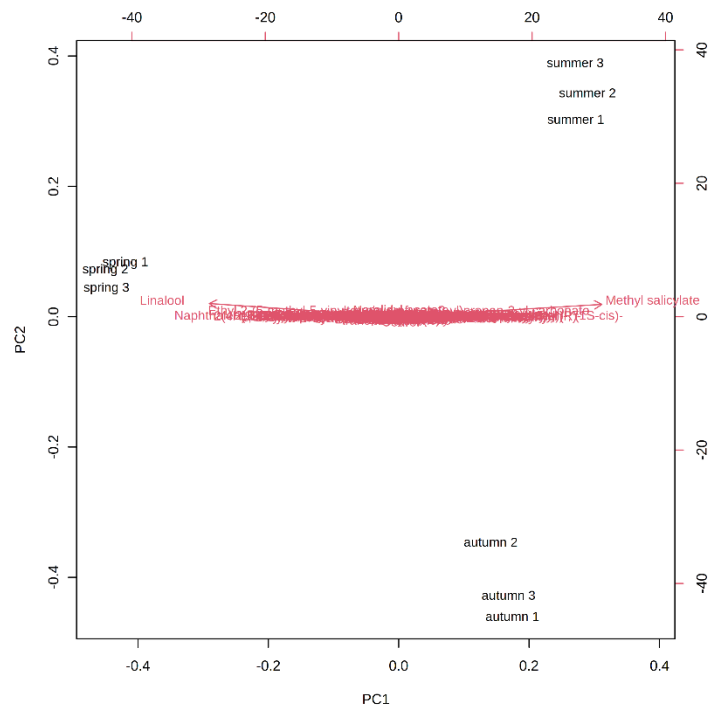


圖 15 2020 年‘臺茶十八號’紅茶中揮發性香氣物質之 PCA 主成分負荷圖
 Figure 15. PCA bi-plot of ‘TTES No. 18’ black tea volatile compounds in year 2020.

表

表 1. 2020 年三季之‘臺茶十八號’茶樹芽葉性狀

Table 1. ‘TTES No.18’ bud characteristics of three seasons in 2020.



Bud characteristics	Season			Significance
	Spring	Summer	Autumn	
Leaf length (cm)				
1 st leaf	5.30 ^x a	4.30b	4.69ab	**
2 nd leaf	7.58a	5.87b	6.64b	***
3 rd leaf	9.77a	7.27b	8.30b	***
Leaf width (cm)				
1 st leaf	2.03a	1.55b	1.64b	***
2 nd leaf	3.06a	2.13b	2.47b	***
3 rd leaf	4.24a	2.86b	3.18b	***
Aspect ratio				
1 st leaf	2.62b	2.77ab	2.87a	*
2 nd leaf	2.49b	2.77a	2.70ab	*
3 rd leaf	2.31b	2.56a	2.62a	*
Leaf area (cm ²)				
1 st leaf	7.53a	4.67c	5.38b	**
2 nd leaf	16.2a	8.75c	11.4b	**
3 rd leaf	29.0a	14.5c	18.4b	**
Leaf thickness (mm)				
1 st leaf	0.227a	0.214a	0.225a	ns
2 nd leaf	0.241a	0.228a	0.252a	ns
3 rd leaf	0.264a	0.262a	0.296a	ns
Internode length (cm)				
1 st internode	2.20a	1.56b	1.67b	**
2 nd internode	4.03a	2.96b	3.31b	**
Internode diameter (mm)				
1 st internode	1.868a	1.924a	1.995a	ns
2 nd internode	2.417a	2.362a	2.570a	ns
Hundred bud weight (g)	79	110	145	—

x: Results are presented as the means of ten replicates, means followed by the same letter in columns are not significantly different by Tukey’s test at $p < 0.05$ level within each column.

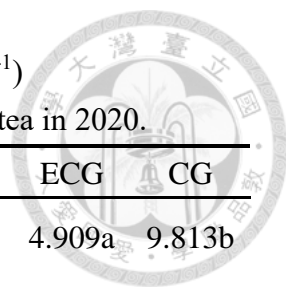


表 2. 2020 年 ‘臺茶十八號’ 紅茶中兒茶素異構物含量 ($\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$)

Table 2. Catechin isomers content ($\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$) of ‘TTES No.18’ black tea in 2020.

Season	GC	EGC	C	EC	EGCG	GCG	ECG	CG
Spring	5.478 ^x a	12.77b	11.52a	4.935	32.05a	1.725a	4.909a	9.813b
Summer	1.899b	18.63a	12.48a	5.851	28.23a	1.468a	2.018a	24.82a
Autumn	3.314ab	8.299c	6.022b	0.8006	14.20b	1.724a	2.303a	7.403b
Significance	*	***	***	ns	**	ns	ns	**

x: Results are presented as the means of three replicates, means followed by the same letter in columns are not significantly different by Tukey’s test at $p < 0.05$ level within each column.

表 3 2021 年 ‘臺茶十八號’ 紅茶中兒茶素異構物含量 ($\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$)

Table 3. Catechin isomers contents ($\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$) of ‘TTES No.18’ black tea in 2021.

Season	GC	EGC	C	EC	EGCG	GCG	ECG	CG
Spring	35.99 ^x a	3.994	0.7567c	2.447ab	12.26a	1.707a	0.3092b	4.461a
Summer	16.08c	3.840	1.380b	1.438b	4.383c	0.4028b	0.6458a	1.370c
Autumn	31.08b	5.262	2.077a	3.344a	6.488b	0.4066b	0.3444b	3.059b
Significance	***	ns	***	*	*	***	***	*

x: Results are presented as the means of three replicates, means followed by the same letter in columns are not significantly different by Tukey’s test at $p < 0.05$ level within each column.

表 4. 2020 年‘臺茶十八號’紅茶中酯型相對游離型兒茶素異構物含量與比例
 Table 4. Gallated and non-gallated catechins content and ratios of 'TTES No.18' black tea in 2020.

Season	Catechin content		Nongallated/gallated type ratio
	Gallated type (mg · g ⁻¹)	Non-gallated type (mg · g ⁻¹)	
Spring	48.50 ^x a	34.70a	0.72a
Summer	56.54a	38.86a	0.69a
Autumn	25.63b	18.44b	0.72a
Significance	**	**	ns

x: Results are presented as the means of three replicates, means followed by the same letter in columns are not significantly different by Tukey's test at p<0.05 level within each column.

表 5. 2021 年‘臺茶十八號’紅茶中酯型相對游離型兒茶素異構物含量與比例
 Table 5. Gallated and non-gallated catechins content and ratios of 'TTES No.18' black tea in 2021.

Season	Catechin content		Nongallated/gallated type ratio
	Gallated type (mg · g ⁻¹)	Nongallated type (mg · g ⁻¹)	
Spring	18.74 ^x a	43.19a	2.3b
Summer	6.8b	22.74b	3.3a
Autumn	10.3b	41.76a	4.1a
Significance	***	***	**

x: Results are presented as the means of three replicates, means followed by the same letter in columns are not significantly different by Tukey's test at p<0.05 level within each column.

表 6. 2020 年三季‘臺茶十八號’紅茶中之香氣揮發性化合物組成

Table 6. Volatile fragrance compounds of ‘TTES No.18’ black tea of three seasons in 2020.

Order	R.T.	Compound name	Classification	Odor description	Relative abundance (%)		
					Spring	Summer	Autumn
1	3.739	Hexanal	aldehydes	green, grassy, tallow	0.06	—	0.07
2	4.437	(E)-2-Hexenal	aldehydes	strong green gaass, apple	—	—	0.57
3	4.465	(E)-3-Hexen-1-ol	alcohols	green, leafy	0.75	0.20	—
4	4.600	(Z)-2-Hexen-1-ol	alcohols	grassy	0.36	0.14	0.29
5	4.893	Heptanal	aldehydes	fruity, citrus, fatty	0.20	0.08	0.08
6	5.051	2-Heptanol	alcohols	lemon-like, sweet-floral	0.39	0.14	0.19
7	6.052	Benzaldehyde	aldehydes	almond, burnt sugar	0.55	0.45	0.76
8	6.313	1-Octen-3-ol	alcohols	fresh, mushroom-like	0.14	0.06	0.17
9	6.550	β -Myrcene	alkenes	fruity, spicy, balsamic	0.20	0.12	0.12
10	6.932	2-Hexenoic acid	acids	-	—	—	0.20
11	7.077	1,3-Cyclohexadiene, 1-methyl-4-(1-methylethyl)-	alkenes	citrus, woody, spicy	0.10	0.09	0.06
12	7.235	p-Cymene	alkenes	terpy-like, oxidized citrus	0.22	0.14	0.16
13	7.323	D-Limonene	alkenes	light flowers, lemon-like	0.80	0.56	0.60
14	7.407	Benzyl alcohol	alcohols	rose-like, balsamic, floral	0.40	1.34	1.67
15	7.458	trans- β -Ocimene	alkenes	—	0.29	—	—
16	7.630	Benzeneacetaldehyde	aldehydes	hyacinth, sweet, rose	0.90	0.79	1.22
17	7.686	β -Ocimene	alkenes	herbs, green	0.33	—	—
18	7.770	1H-Pyrrole-2-carboxaldehyde, 1-ethyl-	aldehydes	burnt, roasted	0.23	0.07	0.16
19	7.970	γ -Terpinene	alkenes	woody	0.24	0.15	0.17
20	8.287	trans-Linalool oxide (furanoid)	alcohols	roasted, sweet	0.44	0.48	0.30

21	8.659	Ethyl 2-(5-methyl-5-vinyltetrahydrofuran-2-yl)propan-2-yl carbonate	esters	—	1.41	1.65	1.06
22	8.920	Linalool	alcohols	sweet, floral, citrus, woody	47.04	22.35	24.57
23	9.018	1,5,7-Octatrien-3-ol, 3,7-dimethyl-	alkenes	—	0.58	0.35	0.37
24	9.274	Phenylethyl Alcohol	alcohols	rose, honey, clove	0.27	0.35	0.55
25	10.773	Bicyclo[2.2.1]heptan-2-ol, 1,7,7-trimethyl-, (1 <i>S</i> -endo)-	alcohols	—	—	0.10	—
26	10.782	Isoborneol	alcohols	—	—	—	0.17
27	10.796	1-Undecanol	alcohols	fresh, waxy, soapy	0.14	—	—
28	10.950	(3 <i>R</i> ,6 <i>S</i>)-2,2,6-Trimethyl-6-vinyltetrahydro-2 <i>H</i> -pyran-3-ol	alcohols	—	0.42	0.44	0.48
29	11.103	Terpinen-4-ol	alcohols	earthy, stale	0.15	0.11	0.24
30	11.303	Naphthalene	alkenes	pungent, dry, tarry	1.23	0.30	0.80
31	11.499	L- α -Terpineol	alcohols	floral, terpenic	0.74	0.50	0.50
32	11.690	Methyl salicylate	esters	minty, winter green-like	35.35	63.50	57.21
33	11.806	1,3-Cyclohexadiene-1-carboxaldehyde, 2,6,6-trimethyl-	aldehydes	herbal, phenolic, metallic	0.36	0.26	0.40
34	11.881	Decanal	aldehydes	oily, orange, sweet	0.38	—	0.25
35	12.235	Benzene, 1,4-dimethyl-2,5-bis(1-methylethyl)-	alkenes	—	0.16	0.13	0.17
36	12.449	1-Cyclohexene-1-carboxaldehyde, 2,6,6-trimethyl-	aldehydes	saffron, herbal	0.16	0.17	0.37
37	12.593	2-Cyano-6-methoxybenzothiazole	nitriles	—	0.46	—	0.42
38	12.719	Bicyclo[2.2.1]hept-2-ene, 1,7,7-trimethyl-	alkenes	—	0.16	0.49	0.36
39	13.450	Geraniol	alcohols	floral, citrus, geranium	0.53	0.51	0.45
40	13.659	1-Cyclohexene-1-acetaldehyde, 2,6,6-trimethyl-	aldehydes	camphoreous, woody	0.16	—	0.09
41	15.684	1-Oxaspiro[4.5]dec-6-ene, 2,6,10,10-tetramethyl-	alkenes	herbal, wet, tobacco leaf	0.12	—	0.11
42	17.863	Copaene	alkenes	woody	—	0.10	0.09
43	17.989	hexanoic acid, 3-hexenyl ester, (<i>Z</i>)-	esters	fruity, green, waxy	0.25	0.35	0.22
44	18.151	2-Buten-1-one, 1-(2,6,6-trimethyl-1,3-cyclohexadien-1-yl)-	ketones	green, waxy, pear-like	0.48	0.56	0.55

45	18.286	Hexanoic acid, 2-hexenyl ester, (E)-	esters	cognac, herbal	—	0.08	0.10
46	18.659	Tetradecane	alkanes	mild, waxy	0.17	0.07	0.16
47	19.478	Caryophyllene	alkenes	woody, spicy, terpenic	—	0.41	0.30
48	19.734	α -Ionone	ketones	sweet, floral, violet incense	—	—	0.13
49	20.647	5,9-Undecadien-2-one, 6,10-dimethyl-, (E)-	ketones	rose, woody, floral	0.27	0.15	0.08
50	20.726	Humulene	alkenes	—	—	0.16	—
51	20.982	Isosativene	alkenes	—	—	0.08	0.10
52	21.908	trans- β -Ionone	ketones	Floral, rose-like, fruity	0.59	0.21	0.62
53	22.746	α -Farnesene	alkenes	woody, herbal, citrus	—	0.15	0.08
54	23.319	Naphthalene, 1,2,3,5,6,8a-hexahydro-4,7-dimethyl-1-(1-methylethyl)-, (1S-cis)-	alkenes	—	0.27	0.28	0.27
55	23.473	2(4H)-Benzofuranone, 5,6,7,7a-tetrahydro-4,4,7a-trimethyl-	ketones	ripe apricot, fruity, woody	0.16	—	0.12
56	24.031	α -Calacorene	alkenes	woody	—	0.08	—
57	24.785	Nerolidyl acetate	esters	fresh, sweet, citrus	0.20	0.70	0.45
58	25.930	Diethyl Phthalate	esters	odorless	0.30	0.06	0.33
59	26.103	Hexadecane	alkanes	mild, waxy	0.37	—	—
60	26.154	Cedrol	alcohols	mild, cedar-like	—	—	0.64
61	29.715	Sulfurous acid, 2-propyl tetradecyl ester	esters	—	0.15	—	—
62	32.629	Benzenepropanoic acid, β,β -dimethyl-	acids	—	0.15	—	—
63	34.496	Caffeine	others	odorless	0.49	0.21	0.51
64	38.583	1,2-Benzenedicarboxylic acid, butyl 2-methylpropyl ester	esters	—	0.11	—	—
65	41.437	Phytol	alcohols	delicate, floral, balsamic	0.12	0.07	0.09

R.T.=retention time

表 7. 2020 年第三季 ‘臺茶十八號’ 紅茶感官品評總分

Table 7. Sensory evaluation total scores of ‘TTES No.18’ black tea of three seasons in 2020.

No. of tea tasters	Spring	Summer	Autumn
1	79	88	84
2	78	88	74
3	67	88	78
Mean	75 ^x b	88a	79ab

x: Results are presented as the means of three replicates, means followed by the same letter are not significantly different by Tukey’s test at $p < 0.05$ level within the row.

表 8. 2020 年 ‘臺茶十八號’ 紅茶感官品評各項目分數間之相關係數

Table 8. Correlation coefficient of each quality indicator in ‘TTES No.18’ black tea of year 2020 sensory evaluation.

	Total score	Appearance	Color	Aroma	Taste
Total score	1				
Appearance	0.3777	1			
Color	0.9190***	0.3579	1		
Aroma	0.9019***	0.1111	0.7701*	1	
Taste	0.8407*	0.0943	0.7113*	0.6937*	1

The p-value < 0.05 , < 0.01 and < 0.001 by Tukey’s test were represented as *, ** and ***, respectively.



表 9. 氣象因子與‘臺茶十八號’葉長間之相關係數

Table 9. Correlation coefficient of weather factors and ‘TTES No.18’ leaf length.

	1 st leaf length	2 nd leaf length	3 rd leaf length
Temperature	-0.6877*	-0.6688*	-0.7643*
Humidity	-0.7727*	-0.7685*	-0.8595**
Precipitation	-0.7850*	-0.8038**	-0.8742**
Sunshine hour	-0.3477	-0.3997	-0.3890
Insolation	-0.3014	-0.3542	-0.3375

The p-value <0.05, <0.01 and <0.001 by Tukey’s test were represented as *, ** and ***, respectively.

表 10. 氣象因子與‘臺茶十八號’葉長之逐步迴歸關係式

Table 10. Stepwise regression equation of weather factors and ‘TTES No.18’ leaf length.

	Regression equation	Residual standard error	Adjusted r ²
1 st leaf length	-0.0013x ₃ +5.5	0.3761	0.5614
2 nd leaf length	-0.0023x ₃ +8.0	0.6049	0.5956
3 rd leaf length	-0.0032x ₃ +10.2	0.6401	0.7306

x₁=Average temperature, x₂=Average humidity, x₃=Precipitation, x₄=Sunshine hour, x₅=Insolation.

表 11. 氣象因子與‘臺茶十八號’葉寬之相關係數

Table 11. Correlation coefficient of weather factors and ‘TTES No.18’ leaf width.

	1 st leaf width	2 nd leaf width	3 rd leaf width
Temperature	-0.8459**	-0.7873*	-0.8838**
Humidity	-0.8918**	-0.8761**	-0.9378***
Precipitation	-0.8270*	-0.8786 **	-0.8780 **
Sunshine hour	-0.2161	-0.3673	-0.2471
Insolation	-0.1606	-0.3145	-0.1890

The p-value <0.05, <0.01 and <0.001 by Tukey’s test were represented as *, ** and ***, respectively.

表 12. 氣象因子與‘臺茶十八號’葉寬之逐步迴歸關係式

Table 12. Stepwise regression equation of weather factors and ‘TTES No.18’ leaf width.

	Regression equation	Residual standard error	Adjusted r ²
1 st leaf width	-0.1301x ₂ + 12.9	0.1219	0.7661
2 nd leaf width	-0.0012x ₃ +3.2	0.2386	0.7394
3 rd leaf width	-0.3657x ₂ +35.0	0.2502	0.8622

x₁=Average temperature, x₂=Average humidity, x₃=Precipitation, x₄=Sunshine hour, x₅=Insolation.

表 13. 氣象因子與‘臺茶十八號’葉厚之相關係數

Table 13 Correlation coefficient of weather factors and ‘TTES No.18’ leaf thickness.

	1 st leaf thickness	2 nd leaf thickness	3 rd leaf thickness
Temperature	-0.2199	0.0825	0.4792
Humidity	-0.3214	-0.0654	0.3107
Precipitation	-0.4267	-0.2797	0.0083
Sunshine hour	-0.3791	-0.5288	-0.5797
Insolation	-0.3624	-0.5302	-0.6060

表 14. 氣象因子與‘臺茶十八號’節間長之相關係數

Table 14. Correlation coefficient of weather factors and ‘TTES No.18’ internode length.

	1 st internode length	2 nd internode length
Temperature	-0.8090**	-0.7417*
Humidity	-0.8529**	-0.8304*
Precipitation	-0.7907 *	-0.8397**
Sunshine hour	-0.2062	-0.3644
Insolation	-0.1532	-0.3145

The p-value <0.05, <0.01 and <0.001 by Tukey’s test were represented as *, ** and ***, respectively.

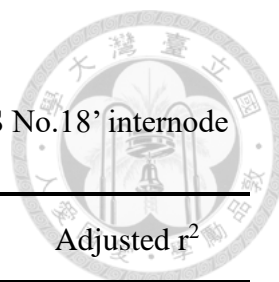


表 15. 氣象因子與‘臺茶十八號’節間長之逐步迴歸關係式

Table 15. Stepwise regression equation of weather factors and ‘TTES No.18’ internode length.

	Regression equation	Residual standard error	Adjusted r^2
1 st internode length	$-0.1819x_2+17.52$	0.2057	0.6884
2 nd internode length	$-0.0015x_3+4.220$	0.7052	0.6630

x_1 =Average temperature, x_2 =Average humidity, x_3 =Precipitation, x_4 =Sunshine hour, x_5 =Insolation.

表 16. 氣象因子與‘臺茶十八號’節間徑之相關係數

Table 16. Correlation coefficient of weather factors and ‘TTES No.18’ internode diameter.

	1 st internode diameter	2 nd internode diameter
Temperature	0.2551	0.1678
Humidity	0.1907	0.0012
Precipitation	0.0643	-0.2515
Sunshine hour	-0.2171	-0.5912
Insolation	-0.2318	-0.5976

表 17. 氣象因子與‘臺茶十八號’紅茶中非揮發性內容物之相關係數
 Table 17. Correlation coefficient of weather factors and non-volatile components of
 ‘TTES No.18’ black tea.

	Polyphenol	Amino acid	Caffeine
Temperature			
2020	-0.3398	0.0624	-0.1582
2021	-0.5955	-0.9504***	-0.9504***
Pooled	-0.3767	-0.6474**	-0.6740**
Humidity			
2020	-0.1027	0.1925	0.1164
2021	-0.7935	-0.9989***	-0.9989***
Pooled	-0.3926	-0.6635**	-0.6825**
Precipitation			
2020	0.2721	0.3607	0.5153
2021	-0.9739***	-0.9218***	-0.9218***
Pooled	-0.3574	-0.5878*	-0.5924*
Sunshine hour			
2020	0.8352**	0.4732	0.9818***
2021	-0.7498*	-0.2316	-0.2316
Pooled	-0.0795	-0.0966	-0.0706
Insolation			
2020	0.8509**	0.4659	0.9848***
2021	-0.7065*	-0.1694	-0.1694
Pooled	-0.0549	-0.0546	-0.0271

The p-value <0.05, <0.01 and <0.001 by Tukey’s test were represented as *, ** and ***, respectively.

表 18. 氣象因子與‘臺茶十八號’紅茶中非揮發性內容物之逐步迴歸關係式
 Table 18. Stepwise regression equation of weather factors and non-volatile component
 of ‘TTES No.18’ black tea.

	Regression equation	Residual standard error	Adjusted r^2
Polyphenol			
2020	$0.1593x_5-120.5$	6.795	0.6845
2021	$-0.0756 x_3+5.279x_2 +5.3$	1.326	0.9943
Pooled	—	—	—
Amino acid			
2020	—	—	—
2021	$-4.3995x_2+0.2585x_1+385.8$	0.2362	0.9988
Pooled	$-1.8874x_2+173.8661$	3.678	0.4052
Caffeine			
2020	$0.0133x_5-6.6069$	0.163	0.9656
2021	$-4.3074x_2+0.2531x_1+377.0$	0.2313	0.9988
Pooled	$-1.890x_2+173.0$	3.497	0.4324

x_1 =Average temperature, x_2 =Average humidity, x_3 =Precipitation, x_4 =Sunshine hour,
 x_5 =Insolation; orders of independent variables x_n within each regression equation were arranged
 following the selecting order of stepwise regression analysis.

表 19. 氣象因子與‘臺茶十八號’紅茶中酯型相對游離型兒茶素含量與比例之關係數

Table 19. Correlation coefficient of weather factors and galleded/non-gallaated catechins contents and ratio of ‘TTES No.18’ black tea.

	Gallated catechins	Non-gallated catechins	Gallated/non-gallated ratio
Temperature			
2020	-0.3935	-0.4253	-0.007
2021	-0.8909**	-0.4199	0.9265***
Pooled	-0.2619	-0.4074	0.2529
Humidity			
2020	-0.1338	-0.1821	-0.060
2021	-0.9712***	-0.6513	0.8207*
Pooled	-0.1795	0.4002	0.2224
Precipitation			
2020	0.2801	0.2140	-0.1310
2021	-0.9466 ***	-0.9039***	0.5366
Pooled	-0.0275	-0.3290	0.1426
Sunshine hour			
2020	0.9139***	0.8523**	-0.1900
2021	-0.3429	-0.8601**	-0.3267
Pooled	0.2818	0.0016	-0.0950
Insolation			
2020	0.9324***	0.8733**	-0.1890
2021	-0.2837	-0.8272**	-0.3833
Pooled	0.2965	0.0275	-0.1104

The p-value <0.05, <0.01 and <0.001 by Tukey’s test were represented as *, ** and ***, respectively.

表 20. 氣象因子與‘臺茶十八號’紅茶中酯型相對離型兒茶素含量與比例之逐步迴歸關係式

Table 20. Stepwise regression equation of weather factors and gallated/non-gallaated catechins contents and ratio of ‘TTES No.18’ black tea.

	Regression equation	Residual standard error	Adjusted r ²
Gallated catechins			
2020	1.1198x ₅ -1.8460x ₄ -83.48	4.125	0.9172
2021	-1.9915x ₂ -0.0059x ₃ +187.0	1.132	0.9561
Pooled	—	—	—
Non-gallated catechins			
2020	0.1431x ₅ -1.7880x ₂ +15.69	4.460	0.8056
2021	-0.0532x ₃ +5.588x ₂ -417.4	1.590	0.9746
Pooled	-1.2769x ₁ + 59.56	9.522	0.1138
Gallated/non-gallated ratio			
2020	—	—	—
2021	0.4330x ₁ -0.4222x ₂ + 30.77	0.2572	0.8962
Pooled	—	—	—

x₁=Average temperature, x₂=Average humidity, x₃=Precipitation, x₄=Sunshine hour, x₅=Insolation; orders of independent variables x_n within each regression equation were arranged following the selecting order of stepwise regression analysis.

表 21. ‘臺茶十八號’芽葉性狀與紅茶中非揮發性品質成分之相關係數
 Table 21. Correlation coefficient of ‘TTES No.18’ bud characteristics and non-volatile component in ‘TTES No.18’ black tea.

	Polyphenol	Amino acid	Caffeine
1 st leaf length	-0.1182	-0.2972	-0.3567
2 nd leaf length	-0.1752	-0.3216	-0.4163
3 rd leaf length	-0.1204	-0.2981	-0.3590
1 st leaf width	0.0627	-0.2126	-0.1610
2 nd leaf width	-0.0923	-0.2857	-0.3294
3 rd leaf width	0.0439	-0.2219	-0.1819
1 st leaf thickness	-0.5452	-0.4502	-0.7745*
2 nd leaf thickness	-0.8533**	-0.4643	-0.9849***
3 rd leaf thickness	-0.8323*	-0.3184	-0.8334*
1 st internode length	0.0632	-0.2124	-0.1605
2 nd internode length	-0.1089	-0.2931	-0.3469
1 st internode diameter	-0.7644*	-0.2441	-0.7197*
2 nd internode diameter	-0.8729**	-0.4436	-0.9778***

The p-value <0.05, <0.01 and <0.001 by Tukey’s test were represented as *, ** and ***, respectively.

表 22. ‘臺茶十八號’芽葉性狀與紅茶中非揮發性內容物之逐步迴歸關係式
 Table 22. Stepwise regression equation of ‘TTES No.18’ bud characteristics and non-volatile component in ‘TTES No.18’ black tea.

	Regression equation	Residual standard error	Adjusted r ²
Polyphenol	-119.2x ₁₃ + 359.17	6.311	0.7279
Amino acid	—	—	—
Caffeine	-98.54x ₈ +32.965	0.1624	0.9658

x₈=2nd leaf thickness, x₁₃=2nd internode diameter

表 23. ‘臺茶十八號’芽葉性狀與紅茶感官品評各項分數之相關係數

Table 23. Correlation coefficient of ‘TTES No.18’ bud characteristics and each sensory evaluation indicator score of ‘TTES No.18’ black tea.

	Total score	Appearance	Color	Aroma	Taste
1 st leaf length	-0.8579**	0.0357	-0.8465**	-0.6484	-0.6798*
2 nd leaf length	-0.8790**	0.0189	-0.8451**	-0.6765*	-0.6891*
3 rd leaf length	-0.8588**	0.0351	-0.8466**	-0.6496	-0.6802*
1 st leaf width	-0.7681*	0.0869	-0.8273*	-0.5430	-0.6319
2 nd leaf width	-0.8472**	0.0432	-0.8460**	-0.6349	-0.6746*
3 rd leaf width	-0.7791*	0.0817	-0.8310*	-0.5552	-0.6382
1 st leaf thickness	-0.9161***	-0.0984	-0.7318*	-0.7859*	-0.6682*
2 nd leaf thickness	-0.6396	-0.2228	-0.3165	-0.6541	-0.4014
3 rd leaf thickness	-0.1795	-0.2557	0.1549	-0.3157	-0.0310
1 st internode length	-0.7679**	0.0870	-0.8272*	-0.5427	-0.6317
2 nd internode length	-0.8541**	0.0384	-0.8464**	-0.6436	-0.6780*
1 st internode diameter	-0.0052	-0.2487	0.3088	-0.1742	0.1010
2 nd internode diameter	-0.5505	-0.2368	-0.2156	-0.5939	-0.3265

The p-value <0.05, <0.01 and <0.001 by Tukey’s test were represented as *, ** and ***, respectively.

表 24. ‘臺茶十八號’芽葉性狀與紅茶感官品評各項分數之逐步迴歸關係式

Table 24. Stepwise regression equation of ‘TTES No.18’ bud characteristics and each sensory evaluation indicator score of ‘TTES No.18’ black tea.

	Regression equation	Residual standard error	Adjusted r ²
Total score	-43.20x ₂ +61.35x ₁ +77.21	2.728	0.8105
Appearance	—	—	—
Color	-1.730x ₃ + 30.33	1.272	0.6762
Aroma	—	—	—
Taste	-2.229x ₂ +39.29	1.928	0.3998

x₁=1st leaf length, x₂=2nd leaf length, x₃=3rd leaf length; orders of independent variables x_n within each regression equation were arranged following the selecting order of stepwise regression analysis.

表 25. ‘臺茶十八號’紅茶非揮發性品質成分及不同類兒茶素含量與比例與感官品評各項分數之相關係數

Table 25. Correlation coefficient of non-volatile component contents and ratio and contents of different types of catechins of ‘TTES No.18’ black tea and each sensory evaluation indicators scores.

	Total score	Appearance	Color	Aroma	Taste
Total polyphenol	0.3543	0.4251	0.1543	0.3523	0.2380
Amino acid	0.3461	-0.5538	0.1060	0.5594	0.5742
Caffeine	0.6208	0.3579	0.3829	0.6809*	0.4674
Gallated catechins	0.3760	0.2479	0.1022	0.5179	0.2393
Non-gallated catechins	0.3947	0.2513	0.0518	0.4815	0.1996
Gallated / non-gallated catechin ratio	0.7298*	0.1491	0.6171	0.7780*	0.6171

The p-value <0.05, <0.01 and <0.001 by Tukey’s test were represented as *, ** and ***, respectively.

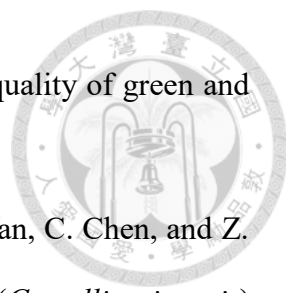


參考文獻

- 行政院農委會茶業改良場. 2009. 台灣的茶葉. 遠足文化.
- 行政院農業委員會茶業改良場. 2022. 臺灣茶葉感官品評實作手冊 (2版). 五南出版.
- 行政院農業委員會茶業改良場. 2006. 茶業改良場魚池分場七十周年紀念專刊. 茶業改良場魚池分場.
- 李淑美, 陳右人. 2003. 溫度對茶樹茶菁產量和品質之影響. 臺灣茶業研究彙報 22:43-56.
- 林義豪, 胡智益, 張振厚, 賴正南, 陳右人. 2016. 茶樹產期預測模式之建構. 臺灣茶業研究彙報 35:1-20.
- 邱垂豐, 黃正宗, 蕭建興, 劉千如, 蘇彥碩, 林尚誼, 黎培鈺. 2009. 大葉種茶樹品種春冬茶研製綠茶之研究. 行政院農業委員會茶業改良場民國九十八年年報:118-110.
- 陳玄, 林木連, 陳右人, 曾信光. 1990. 氣象因子對青心烏龍茶樹生長週期與茶菁品質之影響調查. 臺灣省茶業改良場民國七十九年年報. 13-16.
- 陳右人, 蔡俊明. 1999. 臺灣現有茶樹品種嫩梢與葉片性狀調查. 臺灣茶業研究彙報 18:1-12.
- 陳國任. 1994. 東部茶區早春及晚冬時期茶樹芽葉生長模式與化學成分之研究. 臺灣茶業研究彙報 13: 27-40.
- 彭遐齡. 1952. 紅茶製造學. 臺灣省政府農林廳茶業傳習所.
- 馮鑑淮, 沈明來. 1990. 茶樹育種提早選種指標的研究 II 品種芽葉農藝性狀與產量及綠茶兼包種茶以及紅茶品質之關係. 臺灣茶業研究彙報 9:7-20.
- 楊盛勳, 曾富生. 1991. 茶樹產量、發酵力與農藝性狀之相關研究. 臺灣茶業研究彙報 10:129-140.



- 葉士敏.2015.臺灣紅茶的百年風華.知音出版社，75-79.
- 葉怡蘭.2008. 尋味紅茶. 積木文化. 84-88.
- 臺灣省茶業改良場魚池分場. 1996. 臺灣省紅茶新品種登記命名資料報告. 茶葉改良場魚池分場.
- 劉熙.2009. 茶樹生理與種植. 五洲.
- 蔡永生, 劉士綸, 王雪芳, 區少梅. 2004. 台灣主要栽培茶樹品種兒茶素含量與抗氧化活性之比較. 臺灣茶業研究彙報. 23:115-132.
- 鄭混元. 1995. 東部茶區氣象條件對茶樹芽葉生育之影響. 臺灣茶業研究彙報 14:47-64.
- 藍大誠.2018. 識茶風味. 幸福文化. 22-25.
- Ahmed, S., J.R. Stepp, C. Orians, T. Griffin, C. Matyas, A. Robbat, S. Cash, D. Xue, C. Long, U. Unachukwu, S. Buckley, D. Small, and E. Kennelly. 2014. Effects of extreme climate events on tea (*Camellia sinensis*) Functional Quality Validate Indigenous Farmer Knowledge and Sensory Preferences in Tropical China.
- Belitz, H.-D., W. Grosch, and P. Schieberle. 2008. Food chemistry. Springer Science & Business Media.
- Biswas, A.K., A.K. Biswas, and A.R. Sarkar. 1971. Biological and chemical factors affecting the valuations of north-east indian plains teas: II.—Statistical evaluation of the biochemical constituents and their effects on briskness, quality and cash valuations of black teas. Journal of the Science of Food and Agriculture 22:196-204.
- Bokuchava, M.A., N.I. Skobeleva, and G.W. Sanderson. 1980. The biochemistry and technology of tea manufacture. C R C Critical Reviews in Food Science and Nutrition 12:303-370.
- Chen, P.-A., S.-Y. Lin, C.-F. Liu, Y.-S. Su, H.-Y. Cheng, J.-H. Shiau, and I.-Z. Chen. 2015.

- 
- Correlation between nitrogen application to tea flushes and quality of green and black teas. *Scientia Horticulturae* 181:102-107.
- Chen, X., D. Chen, H. Jiang, H. Sun, C. Zhang, H. Zhao, X. Li, F. Yan, C. Chen, and Z. Xu. 2019. Aroma characterization of Hanzhong black tea (*Camellia sinensis*) using solid phase extraction coupled with gas chromatography–mass spectrometry and olfactometry and sensory analysis. *Food Chemistry* 274:130-136.
- Cloughley, J. 1982. Factors influencing the caffeine content of black tea: Part 1—The effect of field variables. *Food Chemistry* 9:269-276.
- Cloughley, J.B. 1980. The effect of fermentation temperature on the quality parameters and price evaluation of Central African black teas. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 31:911-919.
- Co, H. and G.W. Sanderson. 1970. Biochemistry of tea fermentation: conversion of amino acids to black tea aroma constituents. *Journal of Food Science* 35:160-164.
- Collings, E.R., M.C. Alamar, M.B. Márquez, S. Kourmpetli, Z. Kevei, A.J. Thompson, F. Mohareb, and L.A. Terry. 2021. Improving the tea withering process using ethylene or UV-C. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 69:13596-13607.
- Deb, S. and K. Jolvis Pou. 2016. A review of withering in the processing of black tea. *Journal of Biosystems Engineering* 41:365-372.
- Ding, Z., S. Kuhr, and U.H. Engelhardt. 1992. Influence of catechins and theaflavins on the astringent taste of black tea brews. *Zeitschrift für Lebensmittel-Untersuchung und -Forschung* 195:108-111.
- Graham, H.N. 1992. Green tea composition, consumption, and polyphenol chemistry. *Preventive Medicine* 21:334-350.
- Harbowy, M.E., D.A. Balentine, A.P. Davies, and Y. Cai. 1997. Tea Chemistry. *Critical*



Reviews in Plant Sciences 16:415-480.

Harler, C.R. 1963. Tea Manufacture. Tea Manufacture.

Hilton, P.J., R. Palmer-Jones, and R.T. Ellis. 1973. Effects of season and nitrogen fertiliser upon the flavanol composition and tea making quality of fresh shoots of tea (*Camellia sinensis* L.) in Central Africa. Journal of the Science of Food and Agriculture 24:819-826.

Ho, C.-T., X. Zheng, and S. Li. 2015. Tea aroma formation. Food Science and Human Wellness 4:9-27.

Hua Jinjie, Y.H., W.W Wang, Y.W. Jiang, Q.L. Liu, G.S. Chen, F. Wang. 2015. Effect of withering temperature on dynamic changes of main biochemical components and enzymatic activity of tea fresh leaves. Journal of Tea Science 35:73-81.

Jiang, H., F. Yu, L. Qin, N. Zhang, Q. Cao, W. Schwab, D. Li, and C. Song. 2019. Dynamic change in amino acids, catechins, alkaloids, and gallic acid in six types of tea processed from the same batch of fresh tea (*Camellia sinensis* L.) leaves. Journal of Food Composition and Analysis 77:28-38.

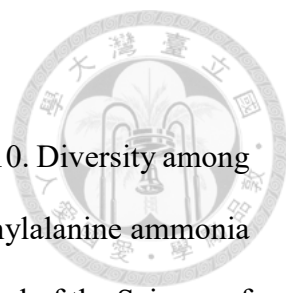
Jiang, Y., J. Hua, B. Wang, H. Yuan, and H. Ma. 2018. Effects of variety, season, and region on theaflavins content of fermented Chinese Congou Black Tea. Journal of Food Quality 2018.

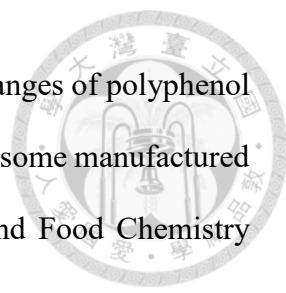
Kaneko, S., K. Kumazawa, H. Masuda, A. Henze, and T. Hofmann. 2006. Molecular and sensory studies on the umami taste of Japanese green tea. Journal of Agricultural and Food Chemistry 54:2688-2694.

Kang, S., H. Yan, Y. Zhu, X. Liu, H.-P. Lv, Y. Zhang, W.-D. Dai, L. Guo, J.-F. Tan, Q.-H. Peng, and Z. Lin. 2019. Identification and quantification of key odorants in the world's four most famous black teas. Food Res. Int. 121:73-83.

Khan, N. and H. Mukhtar. 2018. Tea polyphenols in promotion of human health. nutrients

11:39.

- 
- Kottur, G., S. Venkatesan, R.S. Senthil Kumar, and S. Murugesan. 2010. Diversity among various forms of catechins and its synthesizing enzyme (phenylalanine ammonia lyase) in relation to quality of black tea (*Camellia* spp.). *Journal of the Science of Food and Agriculture* 90:1533-1537.
- Latha, K. and S. Ramarethinam. 2000. Variations in the activities of the enzymes involved in the formation and interconversion of polyphenols during black tea manufacture. *Indian Journal of Plant Physiology* 5:400-402.
- Li, S., C.-Y. Lo, M.-H. Pan, C.-S. Lai, and C.-T. Ho. 2013. Black tea: chemical analysis and stability. *Food & Function* 4:10-18.
- Liang, Y., J. Lu, L. Zhang, S. Wu, and Y. Wu. 2003. Estimation of black tea quality by analysis of chemical composition and colour difference of tea infusions. *Food chemistry* 80:283-290.
- Liu, H., Y. Xu, J. Wen, K. An, Y. Yu, B. Zou, and M. Guo. 2021a. A comparative study of aromatic characterization of Yingde Black Tea infusions in different steeping temperatures. *Food Science and Technology* 143:110860.
- Liu, H., Y. Xu, J. Wu, J. Wen, Y. Yu, K. An, and B. Zou. 2021b. GC-IMS and olfactometry analysis on the tea aroma of Yingde black teas harvested in different seasons. *Food Research International. Int.* 150:110784.
- Mahanta, P.K. and H.K. Baruah. 1992. Theaflavin pigment formation and polyphenol oxidase activity as criteria of fermentation in orthodox and CTC teas. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 40:860-863.
- Mahanta, P.K. and S. Baruah. 1989. Relationship between process of withering and aroma characteristics of black tea. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 46:461-468.

- 
- Mahanta, P.K., S.K. Boruah, H.K. Boruah, and J.N. Kalita. 1993. Changes of polyphenol oxidase and peroxidase activities and pigment composition of some manufactured black teas (*Camellia sinensis* L.). *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 41:272-276.
- Malec, L.S. 1988. Seasonal variations in theaflavin, thearubigin and caffeine contents of argentinian black teas. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 45:185-190.
- Muthumani, T. and R.S. Kumar. 2007a. Influence of fermentation time on the development of compounds responsible for quality in black tea. *Food Chemistry* 101:98-102.
- Muthumani, T. and R.S. Kumar. 2007b. Studies on freeze-withering in black tea manufacturing. *Food Chemistry* 101:103-106.
- Nakagawa, M. 1970. Constituents in tea leaf and their contribution to the taste of green tea liquor. *Japan Agricultural Research Quarterly* 5:43-47.
- Nakagawa, M. 1975. Chemical components and taste of green tea. *Japan Agricultural Research Quarterly* 9:156-160.
- Namita, P., R. Mukesh, and K.J. Vijay. 2012. *Camellia sinensis* (green tea): a review. *Global Journal of Pharmacology* 6:52-59.
- Ölmez, H. and A. Yilmaz. 2009. Changes in chemical constituents and polyphenol oxidase activity of tea leaves with shoot maturity and cold storage. *Journal of Food Processing and Preservation* 34:653-665.
- Owuor, P.O., D.M. Kamau, S.M. Kamunya, S.W. Msomba, M.A. Uwimana, A.W. Okal, and B.O. Kwach. 2011. Effects of genotype, environment and management on yields and quality of black tea. Springer Netherlands. 277-307.
- Owuor, P.O. and M. Obanda. 1996. The impact of withering temperature on black tea quality. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 70:288-292.

Ravichandran, R. and R. Parthiban. 1998. Changes in enzyme activities (polyphenol oxidase and phenylalanine ammonia lyase) with type of tea leaf and during black tea manufacture and the effect of enzyme supplementation of dhool on black tea quality. *Food Chemistry* 62:277-281.

Robertson, A. and D.S. Bendall. 1983. Production and HPLC analysis of black tea theaflavins and thearubigins during in vitro oxidation. *Phytochemistry* 22:883-887.

Sabhapondit, S., P. Bhattacharyya, L.P. Bhuyan, M. Hazarika, and B.C. Goswami. 2014. Optimisation of withered leaf moisture during the manufacture of black tea based upon theaflavins fractions. *International Journal of Food Science & Technology* 49:205-209.

Sanderson, G.W. 1964. Changes in the level of polyphenol oxidase activity in tea flush on storage after plucking. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 15:634-639.

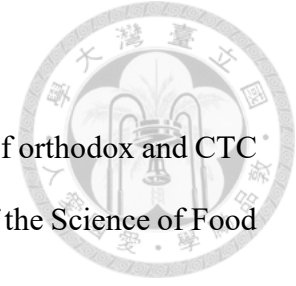
Sanderson, G.W. and H.N. Grahmann. 1973. On the formation of black tea aroma. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 21:576-585.

Stuckey, B. 2012. Taste what you're missing: the passionate eater's guide to why good food tastes good. Simon and Schuster. 39-68

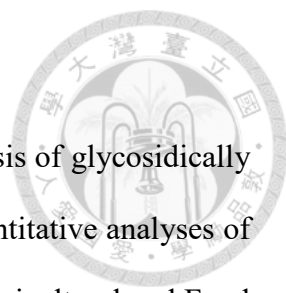
Subramanian, N., P. Venkatesh, S. Ganguli, and V.P. Sinkar. 1999. Role of polyphenol oxidase and peroxidase in the generation of black tea theaflavins. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 47:2571-2578.

Takeo, T. 1966. Tea leaf polyphenol oxidase: Part III. Studies on the changes of polyphenol oxidase activity during black tea manufacture. *Agricultural and Biological Chemistry* 30:529-535.

Takeo, T. and J. Baker. 1973. Changes in multiple forms of polyphenol oxidase during



- maturation of tea leaves. *Phytochemistry* 12:21-24.
- Takeo, T. and P.K. Mahanta. 1983. Comparison of black tea aromas of orthodox and CTC tea and of black teas made from different varieties. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 34:307-310.
- Takeo, T. and I. Uritani. 1966. Tea leaf polyphenol oxidase. *Agricultural and Biological Chemistry* 30:155-163.
- Thanaraj, S.S. and R. Seshadri. 1990. Influence of polyphenol oxidase activity and polyphenol content of tea shoot on quality of black tea. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 51:57-69.
- Tomlins, K.I. and A. Mashingaidze. 1997. Influence of withering, including leaf handling, on the manufacturing and quality of black teas — a review. *Food Chemistry* 60:573-580.
- Turkmen, N. and Y.S. Velioglu. 2007. Determination of alkaloids and phenolic compounds in black tea processed by two different methods in different plucking seasons. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 87:1408-1416.
- Türküzü, D. and N. Şanlıer. 2017. L-theanine, unique amino acid of tea, and its metabolism, health effects, and safety. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* 57:1681-1687.
- Ullah, M.R. and P.C. Roy. 1982. Effect of withering on the polyphenol oxidase level in the tea leaf. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 33:492-495.
- Vuong, Q.V., M.C. Bowyer, and P.D. Roach. 2011. L-Theanine: properties, synthesis and isolation from tea. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 91:1931-1939.
- Wang, B., H. Chen, F. Qu, Y. Song, T. Di, P. Wang, and X. Zhang. 2022. Identification of aroma-active components in black teas produced by six Chinese tea cultivars in high-latitude region by GC–MS and GC–O analysis. *European Food Research and*

- 
- Technology 248:647-657.
- Wang, D., T. Yoshimura, K. Kubota, and A. Kobayashi. 2000. Analysis of glycosidically bound aroma precursors in tea leaves. 1. Qualitative and quantitative analyses of glycosides with aglycons as aroma compounds. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 48:5411-5418.
- Xu, W., Q. Song, D. Li, and X. Wan. 2012. Discrimination of the production season of chinese green tea by chemical analysis in combination with supervised pattern recognition. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 60:7064-7070.
- Yang, C.S., J. Zhang, L. Zhang, J. Huang, and Y. Wang. 2016. Mechanisms of body weight reduction and metabolic syndrome alleviation by tea. *Molecular Nutrition & Food Research* 60:160-174.
- Yang, Z., S. Baldermann, and N. Watanabe. 2013. Recent studies of the volatile compounds in tea. *Food Research. Int.* 53:585-599.
- Yao, L., N. Caffin, B. D'Arcy, Y. Jiang, J. Shi, R. Singanusong, X. Liu, N. Datta, Y. Kakuda, and Y. Xu. 2005. Seasonal variations of phenolic compounds in Australia-grown tea (*Camellia sinensis*). *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 53:6477-6483.
- Zhang, G., J. Yang, D. Cui, D. Zhao, Y. Li, X. Wan, and J. Zhao. 2020. Transcriptome and metabolic profiling unveiled roles of peroxidases in theaflavin production in black tea processing and determination of tea processing suitability. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 68:3528-3538.
- Zhang, Q., M. Liu, R. Mumm, R.C.H. Vos, and J. Ruan. 2021. Metabolomics reveals the within-plant spatial effects of shading on tea plants. *Tree Physiology* 41:317-330.