

國立臺灣大學生物資源暨農學院農藝學系暨研究所

碩士論文

Department of Agronomy

College of Bioresources and Agriculture

National Taiwan University

Master Thesis

修枝對台灣阿拉比卡種咖啡樹之農藝性狀影響

Studies on the response of selected agronomic traits to
the trimming of *Coffea arabica* trees in Taiwan



陳科后

Chen, Ko Hou

指導教授：王裕文 博士

Advisor: Yu-Wen Wang, Ph.D.

中華民國 100 年 7 月

July, 2011

序言

完成了這本論文，雖然還有許多的不滿意，但是也算是一個階段的結束。寫到這一頁，要感謝的人太多了，在碩士班的這兩年，靠著許多人的幫忙走到了這一步，心中的謝意不是三言兩語就可以表達的。

在台大農藝系待了整整六年，活到現在的四分之一人生，很開心成為農藝系的一員，要我再選擇一次，我還是會義不容辭的進入這個溫馨的大家庭，在這裡，我認識了很多師長、同儕，學到了很多東西。首先，最要感謝的是指導教授王裕文老師，教了我很多為人處事的道理以及實驗的精神，帶著我們探訪台灣各地的咖啡莊園，相當辛苦，真的很謝謝老師。也要感謝這次的口試委員胡凱康老師和彭雲明老師，在我進行實驗和統計分析時，幫助我解決問題，在論文中也給了我很多的指教。

謝謝農會、咖啡產業發展協會及產銷班中每位前輩的勞心勞力，替我們和農民之間穿針引線，還有在本次實驗中所探訪的咖啡莊園，謝謝每位農民熱情的幫忙，不論是在修枝或是漿果的採收，毫不吝嗇地全力協助，你們才是這次的主角。謝謝本次實驗中參與官能鑑定的裁判們，王裕文老師、惠茹姐、素琴姐、丁文緯大哥、黃明德大哥、徐國智大哥、郭維平大哥，你們是生產這本論文的過程中不可或缺的一份子。

謝謝康樂，實驗室的最佳夥伴，不管是和實驗相關或是實驗室裡大大小小的事，都要麻煩他，而他也都沒有怨言的幫助我所有事情。謝謝貴雲姐、惠茹姐、曉佩姐、妍寧姐，餵飽我們、照顧我們，義務性地分擔了助教的工作，沒有你們的話，真不知道該怎麼辦才好。謝謝農藝系的好朋友們，一同勉勵、一同玩樂、一同打拼。謝謝咖啡學同學們，忙裡抽閒地來當我的小工。最後更要謝謝我的家人，無條件的支持我，讓我無後顧之憂的完成我的學業。

摘要

2010年在台灣16個莊園進行咖啡樹修枝的工作，探討修枝處理對於咖啡漿果或是咖啡生豆，甚至烘焙後的入口滋味是否有差異。從各項農藝性狀來進行觀察，包括漿果厚度、漿果甜度、生豆水分含量、生豆重量、生豆密度以及產量，最後進行咖啡官能鑑定。除了修枝處理外，也將莊園、採收期、發育週數和海拔高度一併進行討論，觀察這些因子對咖啡漿果或生豆的農藝性狀是否有差異。最後選用資料較完整的六個莊園進行分析。

結果顯示，除了生豆水分含量外，莊園的效應對於所有的咖啡漿果和生豆性狀都有顯著差異，所以不同莊園的氣候環境與栽培管理方法對於咖啡樹的生長有最直接的影響，而水分含量取決於咖啡漿果的後處理，在本次實驗的後處理過程都相同，所以差異不大。修枝處理會使生豆密度增加並且讓高海拔低溫未成熟豆的數量下降，顯示適當的修枝處理可以讓咖啡果實的充實度佳、發育良好、養分充足，修枝強度應該要依照不同地區或樹勢來決定。在官能鑑定的部分，發現生豆重量越重，官能鑑定的總分越高，或許可以將生豆重量做為一個評斷咖啡豆品質的參考，另外也發現，海拔高度較高地區生產的咖啡豆不一定品質較佳，同時也要考慮緯度高低的問題，在緯度較高的地區，就算海拔不高，也同樣能產出優秀的咖啡豆。

Abstract

Trimming is a common technique to improve the growth potential of fruit tree. Using the coffee cherries from 6 estates, we evaluate the effects of trimming on the agronomic traits of coffee cherry and coffee beans, and as well as the sensory quality of the coffee. In Addition to the trimming, the effects of the estate, altitude and length of maturation on the agronomic traits of coffee were also studied.

Except for the coffee bean water content, the effect of estate has significant differences in the size of coffee cherry, the sugar content of coffee cherry, the weight of coffee bean, the density of coffee bean and coffee bean production. The results showed that the most important factor affecting the quality of coffee is the estate. Each estate has different environmental conditions and cultivation management practices which affect the quality of coffee profoundly. With the trimming treatment, the density of coffee beans increased and the proportion of the immature beans caused by high altitude and low temperature decreased. Proper trimming treatment will let the coffee cherry grow better. The results also revealed in the scores of the sensory evaluation increased as the weight of coffee beans heavier. This is consistent with the recognition of the high quality coffee bean in the industry. On the other hand, it is contradictory to the general perception of the altitude on quality in our studies, which might be attributed to the complex combinations on the altitude and latitude effects from the island.

Key word : coffee 、 trimming 、 sensory evaluation

目錄

序言.....	i
摘要.....	ii
Abstract.....	iii
圖目錄.....	4
表目錄.....	6
附表目錄.....	7
第一章、前言.....	8
第二章、前人研究.....	10
一、分類學上的咖啡.....	10
二、咖啡的起源與傳播.....	11
三、咖啡之重要農藝性狀.....	11
四、咖啡之育種及品種改良.....	14
五、全球咖啡貿易與消費狀況.....	16
六、台灣咖啡歷史與現況.....	18
七、修枝與作物特性.....	20
第三章、材料與方法.....	22
一、試驗材料.....	22
1.咖啡採集地點.....	22
2.咖啡品種.....	22
二、實驗方法.....	24
1.修枝技術.....	24
2.咖啡漿果之農藝性狀.....	24
2.1 漿果厚度及果肉厚度.....	24
2.2 漿果甜度.....	24

3.咖啡漿果之後處理.....	25
3.1 發酵.....	25
3.2 烘乾.....	25
3.3 脫殼.....	25
4.咖啡生豆之農藝性狀.....	26
4.1 水分含量.....	26
4.2 體積及密度.....	26
5.咖啡之官能鑑定.....	26
5.1 缺陷豆比例.....	26
5.2 官能鑑定.....	27
第四章、結果與討論.....	28
一、各莊園修枝情形.....	28
二、咖啡生長期與生長環境條件分析.....	30
1.採收次數以及各採收期間隔的天數.....	30
三、咖啡漿果及生豆之農藝性狀分析.....	32
1.漿果厚度.....	32
1.1 漿果厚度與交感效應.....	32
1.2 漿果厚度與海拔高度.....	34
1.3 漿果厚度與採收期.....	35
2. 漿果甜度.....	36
2.1 漿果甜度與交感效應.....	37
2.2 漿果甜度與莊園.....	38
2.3 漿果甜度與海拔高度.....	41
2.4 漿果甜度與採收期.....	42
3.水分含量.....	43
4.生豆重量.....	44
4.1 生豆重量與交感效應.....	44
4.2 生豆重量與修枝.....	45
4.3 生豆重量與莊園.....	46
4.4 生豆重量與海拔高度.....	47
4.5 生豆重量與採收期.....	49
5.密度.....	49

5.1 密度與交感效應.....	49
5.2 密度與修枝.....	50
5.3 密度與莊園.....	51
6.產量.....	53
6.1 產量與莊園.....	53
6.2 產量與海拔高度.....	54
四、官能鑑定分析.....	55
1.缺陷豆比例.....	55
2.評分項目.....	57
第五章、結論.....	60
參考文獻.....	62
附表.....	65



圖目錄

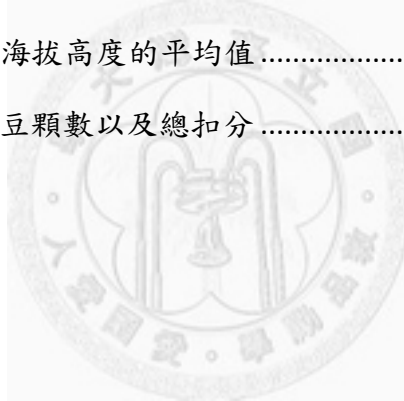
圖 1、1998-2011 年，國際上咖啡的年平均價格.....	16
圖 2、2011 年 1-6 月，國際間咖啡的月平均價格.....	17
圖 3、大竹製造會所 FC2K 碾米機.....	25
圖 4、官能鑑定過程圖。照片中是在咖啡豆磨粉後倒水的情形。.....	27
圖 5、修枝前後差異圖。a1 表示第一次修枝前的照片，a2 表示第一次修枝後的 照片；b1 表示二次修枝前的照片，b2 表示二次修枝後的照片。.....	29
圖 6、漿果厚度與修枝和莊園的交感效應圖.....	33
圖 7、各莊園漿果厚度的平均值及標準差.....	34
圖 8、漿果厚度在不同海拔高度的平均值.....	35
圖 9、漿果厚度(mm)在不同發育週數的平均值和趨勢線.....	36
圖 10、漿果甜度對於莊園和修枝的交感圖.....	37
圖 11、漿果甜度(%)對於修枝處理前後的平均值及標準差.....	38
圖 12、漿果甜度(%)在不同莊園的平均值及標準差.....	39
圖 13、不同成熟度的漿果果皮顏色.....	40
圖 14、漿果甜度在不同海拔高度的平均值及趨勢線.....	41
圖 15、漿果甜度(Brix%)在不同發育週數的平均值及趨勢線.....	43
圖 16、不同莊園的生豆水份含量(%)平均值.....	44
圖 17、生豆重量(g)對於修枝及莊園的交感圖.....	45
圖 18、生豆重量 (g) 在修枝處理前後的平均值及標準差.....	46
圖 19、生豆重量 (g) 在不同莊園的平均值及標準差.....	47
圖 20、生豆重量在不同海拔高度的平均值及趨勢線.....	49
圖 21、生豆密度 (g/ml) 與修枝及莊園之間的交感效應圖.....	50
圖 22、生豆密度 (g/ml) 在修枝處理前後的平均值及標準差.....	51
圖 23、生豆密度在不同莊園的平均值及標準差.....	52

圖 24、生豆產量在不同莊園的平均值53
圖 25、生豆產量在不同海拔高度的平均值及趨勢線54
圖 26、官能鑑定總分在不同莊園的平均值及標準差58



表目錄

表 1、台灣各莊園咖啡樹修枝數量總表	23
表 2、各個莊園的採收次數及採收日期	31
表 3、各莊園漿果厚度平均值與分群結果	34
表 4、漿果厚度在不同海拔高度的平均值	35
表 5、漿果甜度在不同莊園的平均值及分群結果	39
表 6、漿果甜度在不同海拔高度的平均值	41
表 7、生豆重量 (g) 在不同莊園之間的平均值及分群結果	47
表 8、生豆重量在不同海拔高度的平均值	48
表 9、生豆密度 (g/ml) 在不同莊園的平均值及分群結果	52
表 10、生豆產量在不同海拔高度的平均值	54
表 11、不同莊園的缺陷豆顆數以及總扣分	56



附表目錄

附表 1、官能鑑定評分表	65
附表 2、漿果厚度之變積分析表	66
附表 3、漿果甜度之變積分析表	66
附表 4、漿果厚度與漿果甜度之變積分析表	67
附表 5、水分含量之變積分析表	67
附表 6、生豆重量之變積分析表	68
附表 7、生豆密度之變積分析表	68
附表 8、產量之變積分析表	69



第一章、前言

咖啡為世界三大飲品之一，其期貨交易量在全世界僅次於原油，是全球第二大的貿易物資。目前市面上最廣泛被用來栽種為商業種的咖啡物種有 *Coffea arabica* 和 *Coffea canephora* 兩大類，它們在目前市場貿易量佔的比例分別約為百分之七十和百分之二十。咖啡的交易量連年上升，咖啡價格也上漲到十三年半以來的最高點，高品質的阿拉比卡種咖啡從去年六月至十二月，已經上漲了百分之八十，根據國際咖啡組織 (international coffee organization, ICO) 的資料發現，咖啡價格從去年平均每磅 1.47 美元 (2010 年 12 月平均為每磅 1.84 美元)，一直到今年 4 月上漲至每磅 2.31 美元，產量方面，從 2005 年產量 111.247 百萬袋 (約 6,674,820 公噸) 到 2010 年 133.065 百萬袋 (約 7,983,900 公噸)；再以台灣為例，民國 95 年咖啡的總進口量為 18438.83 公噸，而到民國 99 年已經上升到 25084.74 公噸。

依據民國 98 年農委會的統計資料，嘉義縣種植咖啡的面積有 165.8 公頃，為全台之冠，南投縣的 125.36 公頃次之，屏東縣的 109.45 公頃為第三。從民國 95 年全台灣總種植面積 387.57 公頃、產量 256,552 公斤到 98 年增加到 684.25 公頃、產量 603,671 公斤，成長幅度分別高達 77% 和 133%，台灣本島只有基隆沒有種植咖啡的記錄。由此可知，咖啡的消費市場有不論是在台灣還是在全球都有日漸擴大的趨勢。

咖啡在十一世紀開始被當做為飲料作物，十六、七世紀傳入歐洲後造成風潮，而十九世紀時台灣才有種植咖啡的記錄 (澤田兼吉，1933)。目前台灣本島所種植的咖啡樹大多是前人所引進的品種、農民自行留種或是種苗商引進的品種，以 *C. arabica* 為大宗，是台灣主要的咖啡商業栽培種，在市面上所見的也大都是此物種，同時也有少數的 *C. canephora* 和 *C. liberica* 保留在鄉野間。一般來說，台灣咖啡的開花期約在每年的 2 到 4 月，採收期則是在每年的 9 到 12 月左右，而種植的海拔高度從平地到海拔一千公尺以上的高山都可以看到咖啡的蹤跡 (農

情報告資源網)。但是各莊園的種植面積都不大，人工管理、採收的成本相對來說比國外高了許多，造成台灣咖啡豆價格較高。而且目前台灣尚未有自己完整的一套咖啡分級制度，使得咖啡價格不一。

咖啡樹的傳統栽培密度為每公頃 1000 到 3000 株，尤其是矮生型或是多枝型修枝法可以有較高密度（約每公頃 4000 株）的栽培，因為土壤和地表微氣候溼度在低密度時會降低，而咖啡樹喜高濕度，但是高密度栽培就必須供應足夠的肥料和相對量的農藥管理 (Gathaara and Kiara, 1990)。在田間管理的操作中，修枝可以控制樹型、便於採收，也可以促進結果和集中採收期，控制病蟲害、採光通風以增進果實的品質，所以適時適量的修枝可以使咖啡樹的管理容易且咖啡豆的品質增加。

本次實驗包含全台共十個莊園，分布在嘉義縣、雲林縣、南投線及台中縣等地，海拔高度從最低的 282 公尺到最高的 1094 公尺，各別對每個莊園的咖啡樹進行修枝的處理，並且設計未修枝的對照組做為比對。藉由調查咖啡漿果及其種子（咖啡豆）的農藝特性，包括漿果厚度、漿果甜度、生豆重量、生豆體積、生豆密度、生豆水分含量、產量、缺陷豆比例以及最後的官能鑑定，比較修枝前後以及各個不同緯度、不同海拔的莊園所生產之咖啡豆有無明顯差異，並且根據這些特性，希望能夠提供未來建立台灣咖啡豆分級標準的參考。

第二章、前人研究

一、分類學上的咖啡

以雙名法的分類來看，咖啡屬於茜草科 (Rubiaceae)、咖啡屬 (Coffea)，全世界咖啡屬中約有六十多個物種，其中用於人工栽培的只有二十多種，作為商業用的咖啡種則只有三種最常見：*C. arabica*、*C. canephora*、*C. liberica*，其中又以 *C. arabica* 所佔的比例最高，約佔有全球咖啡產量的百分之七十到八十，目前最常見的幾個商業栽培品種都屬於 *C. arabica*。它們適合在熱帶地區生長，以赤道為中心至南北緯 25 度是咖啡的生產區，俗稱「咖啡帶」(coffee belt)，整年平均溫度約在攝氏 15 到 24 度之間，*C. arabica* 生長在氣候溫和、雨量豐沛的高海拔地區，而 *C. canephora* 則生長在低海拔地區，抗病蟲害能力強 (Owuor and Vossen, 1980)。

C. arabica 為咖啡屬內唯一的異源四倍體 (allotetraploid, $2n=4x=44$)，每個細胞的 DNA 含量為 2.6pg，是咖啡屬中其他物種的兩倍 (Cros *et al.*, 1995)，科學家們推測造成此異源四倍體是因為有兩個二倍體物種的自然種間雜交後代發生染色體倍加 (Carvalho, 1946)。進一步經由 RFLP (restriction fragment length polymorphism) 結合原位雜合技術 (genomic *in situ* hybridization) 可以發現，*C. eugenioides*、*C. canephora* 或是 *C. eugenioides*、*C. congensis* 這兩種組合最有可能是 *C. arabica* 的父本和母本之組合，結果顯示兩個基因組有高度親和性且染色體沒有分化現象發生 (Lashermes *et al.*, 1999; Raina *et al.*, 1998)，接著 Lashermes 等人在 2000 年對 *C. arabica* 的種內雜交 F₂ 後代進行對偶基因分離比之分析，將 *C. arabica* 作為母本，而 *C. canephora* 進行染色體倍加成為四倍體作為父本，人工雜交得到後代作為對照組，證明 *C. arabica* 的確是二倍體遺傳配對的異源四倍體。而 *C. canephora* 則是異交二倍體 ($2n=2x=22$)。

二、咖啡的起源與傳播

關於 *C. arabica* 的起源有很多不同的說法，其中有兩種是比較被大眾所信服的：第一種說法是在西元六世紀時，在衣索比亞西南部的咖法 (Kaffa) 高原地區，被一位牧羊人所發現，羊群吃了紅色果實後不停地蹦蹦跳跳，自己試吃了幾粒之後也發現充滿活力，他將咖啡果實曬乾以運輸到遙遠的修道院，再把果實浸泡於水中恢復原狀，吃掉果實並飲用浸泡果實的水，作為提神藥。另一種說法是認為在十二世紀時，葉門酋長所發現，可以使精神振奮而且治療發癢症，被推崇為聖者。因為這兩種傳說都發生在衣索比亞地區，加上研究指出咖啡是在衣索比亞被馴化成作物的(Harlan, 1971)，所以一般認為衣索比亞就是咖啡的起源中心。至於另外兩個咖啡商業種，*C. canephora* 和 *C. liberica* 則是分別原產於剛果和利比亞。

咖啡在十一世紀左右才開始被人類當作飲料來食用，約在十六、七世紀時傳入歐洲，在當時被稱為「黑色金子」，一直到十八世紀才被正視命名為 coffee。*C. arabica* 的傳播途徑有兩個方向，最早歐洲人在葉門開始大面積的種植咖啡，1714 年法王路易十四受荷蘭贈送的一株咖啡樹，並於 1718 年移植到非洲東部的波旁島 (Bourbon Island，現稱留尼旺島 (Reunion Island)) (Chevalier and Dagrón, 1928)，馴化成為 *C. arabica var. bourbon*，進而輾轉傳到肯亞、坦桑尼亞、巴西等地，稱為波旁 (Bourbon) 品種 (Krug, 1951)；另一方向是在 1706 年，荷蘭人從印尼帶回一株咖啡樹，栽種於在阿姆斯特丹皇家花園，馴化成為 *C. arabica var. arabica*，就是現在所稱的鐵畢卡品種 (typica)。而現今大部分的商葉咖啡品種都是從這兩個品種經過育種、雜交改良或是突變而得。

C. canephora 則是歐洲人在 1900 年左右於剛果發現的咖啡物種，抗病性佳，本想引進取代原有的阿拉比卡種，但是風味較差，所以現今的阿拉比卡咖啡產量還是最高。

三、咖啡之重要農藝性狀

咖啡樹屬於常綠多年生的灌木或喬木，枝幹對生，野生咖啡樹高約 8 到 10

公尺，但是用於商業種植的咖啡樹，為了整體的果實品質和便於人工採收，大多修剪至 2 公尺以下；自種子發芽到植株長成需時 1 到 2 年，可開始生產咖啡豆約要 3 到 5 年。新生枝條屬於半直立性，而成熟後的枝條成下垂或是傘狀。葉片為長橢圓型、沿節點對生於分枝上，葉柄短，長約 10 到 15 公分、寬約 5 到 10 公分，葉表面光滑無毛有蠟質。花為白色的兩性花，有茉莉花香，具有 2 到 3 組花序，叢生於一年生局部木質化枝幹上的對生葉葉柄基部，整圈花序約 8 到 15 朵花，屬於有限型的聚繖花序 (cyme)，有雄蕊五枚、雌蕊一枚，花絲短，柱頭兩裂、果實為子房下位；因為花冠較短、約一公分，花柱長，再加上雄蕊外露，所以授粉型態為異交授粉。果實為橢圓形漿果，長約 1.2 到 1.8 公分，由外到內分別為外果皮 (pulp)、果肉 (mucilage)、內果皮 (parchment)、銀皮 (silver skin)、種子 (seed)，通常一粒漿果中含有半圓形種子兩顆，就是經過處理後用來烘焙的咖啡豆，成熟後漿果顏色會由綠轉紅或轉黃 (DaMatta *et al.*, 2008)。

以 *C. arabica* 和 *C. canephora* 相比較，前者的葉子較小、約手掌般大，咖啡豆形狀較長、溝紋曲折，咖啡因含量低，易受霜害及病蟲害，管理較不易，但是因為口感較佳，其栽培面積還是佔百分七十左右；後者葉子大，果肉較薄、易與種子分離，成熟後不易剝落，咖啡豆形狀渾圓、溝紋直，咖啡因含量是 *C. arabica* 的兩到三倍，對霜害、病蟲害的抵抗力也較高，雖然產量也高，但是風味較弱，所以現今栽培面積只有百分之十五到二十左右 (Fassio and Silva, 2007)。雖然咖啡屬具有異交作物的花器型態，但是 *C. arabica* 為自交，只有低比例以風或是昆蟲做為媒介進行異交授粉，異交率約為 7% 到 15% (Carvalho and Krug, 1949)，除此之外，雜交後代具有雜種優勢，後代表型會更優於親本外表型 (Charrier and Berthaud, 1985; Willson and Clifford, 1987)，科學家們進一步發現，衣索比亞的野生 *C. arabica* 有高比例的天然異交率，約為 40% 到 60%，使得當地的族群具有高度的異質性 (heterogeneity) (Carvalho, 1988)。

喜遮陰、怕霜，基本上為短日照的植物，在原生地的日照長度約在 10.5 到

13.5 小時，*C. arabica* 在日照 14 小時後仍然可以開花，再超過就無法開花。過於溫暖會使漿果發育太快，氣溫超過攝氏 30 度時會抑制生長，太冷到結霜又會被凍死，年平均溫度大約在 17 到 19.5 度之間。雨量方面，年降雨量在 1000 至 1800mm 為最適，pH 值介於 7 到 6 之間、土質肥沃且排水良好的砂質土壤有利於咖啡樹的生長 (Alvarado, 2002)。

主要的病蟲害有：咖啡銹病 (*Hemileia vastatrix*)、咖啡炭疽病 (*Colletotrichum gloeosporioides* Penzig, *Glomerella cingulata*, *Guignardia coffeana*)、咖啡褐眼病 (*Cercospora coffeicola*)；潛葉蠅、咖啡硬介殼蟲、黃綠介殼蟲、咖啡木蠹蛾、東方果實蠅、咖啡果小蠹等等，都會影響咖啡豆的產量或是品質。在冬季低溫的時候就要開始防治潛伏病蟲害，而良好的栽培管理才是病蟲害防治的基礎，必須注意種植的土壤性質、排水能力、肥料施用、種植密度以及雜草管理，盡量少施用殺蟲、殺草劑，降低農藥對咖啡的汙染程度 (Schieber, 1975)。



四、咖啡之育種及品種改良

目前市面上主要為阿拉比卡種 (*C. arabica*) 和羅布斯塔種 (*C. canephora*) 咖啡，又以前者為大宗，主要有下列幾個常見的栽培品種：鐵畢卡 (typica) ；波旁 (bourbon) ；卡杜拉 (caturra) ；卡杜艾 (catuai) ；肯特 (kent) ；蒙多諾渥 (mundo novo) ；卡帝莫 (catimor)。而不同的品種通常是用產地來區分，例如衣索比亞的耶加雪菲、印尼的曼特寧、印度的馬拉巴、牙買加的藍山、瓜地馬拉的安提瓜以及夏威夷的可那等等，這些都是屬於阿拉比卡種的咖啡。

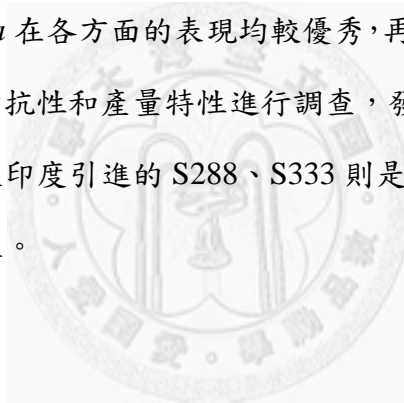
咖啡屬底下的植物大多都是具有自交不親和性的二元體 ($2n=2x$)，但是有別於這些，*C. arabica* 是咖啡屬中唯一的四元體 ($2n=4x$) 並且為自交，所以 *C. arabica* 的遺傳歧異度相當狹窄，所以科學家認為，不同品種的阿拉比卡咖啡在某些農藝特性上的差異是來自於一些主效基因是自發性突變，讓植株、咖啡漿果或是咖啡種子發生型態上的改變 (Carvalho, 1988)，而依據這些差異將阿拉比卡咖啡區分為不同之品種。但是不同品種 *C. arabica* 大部分的農藝特性仍是相似，造成了阿拉比卡咖啡對於許多害蟲以及病害具有高度的敏感性，而對於這些病蟲害的抵抗力卻相當差 (Bertrand *et al.*, 2000)。所以增加 *C. arabica* 的遺傳歧異度以及增加 *C. arabica* 抵抗病蟲害的能力是育種家的兩大目標。

傳統的阿拉比卡咖啡栽培種多以譜系法 (pedigree method) 來選拔 typica 和 bourbon 雜交後代表現優秀的植株，例如 caturra、pacas、maragogipe 等品種就是用譜系法所選拔出來的 (Krug and Carvalho, 1951)。近年來，育種方法改變為回交育種 (back cross method)，選出採收期一致、病蟲害抵抗力良好、耐逆境、咖啡豆品質佳或是具有獨特風味的物種和 *C. arabica* 進行回交，由於育出的品種具有高產量且抗病蟲害的特性 (Medina-Filho *et al.*, 2006)，已經大量取代傳統栽培種，目前在許多國家都有大面積的栽培，例如 catimor、sarchimor、icatu 等等。

因為咖啡屬於多年生的木本植物，從授粉完成到可以採收咖啡豆來進行官能

鑑定，至少要 5 年以上的時間，不論使用哪種育種方法都必須花費相當長的時間才能選拔新的品種。有鑑於 *C. canephora* 的連鎖圖譜已經在 2006 年完成 (Hendre, 2006)，利用分子育種的觀念，配合育種家的育種目標，希望能夠縮短 *C. arabica* 育種時間。

台灣在光復之後，分別在士林園藝試驗所、嘉義農業試驗所、高雄六龜分所金雞納試驗場和鳳山熱帶園藝試驗分所、屏東恆春林業試驗所、台東農林改良場等試驗單位，引進不同品種進行觀察、生理栽培管理、加工調製、病蟲害防治等等研究。其中又以嘉義農業試驗所對咖啡的研究最為完整，於 1962 年推廣種植 17320 株咖啡樹苗，包括夏威夷引進品種 HAES 6550 (kents)、6551、6552、S288、caturra 等，總共 19 個品種 (朱，1961)。朱慶國技正於 1948 年觀察不同物種咖啡的特性，結果 *C. arabica* 在各方面的表現均較優秀，再繼續針對 *C. arabica* 中，不同品種對於咖啡鏽病的抗性和產量特性進行調查，發現 HAES 6591 caturra 的產量佳但是不抗鏽病，從印度引進的 S288、S333 則是抗鏽病強但是有果實充實不完全、浮豆較多的現象。



五、全球咖啡貿易與消費狀況

咖啡是全球第二大的貿易商品，僅次於石油，國際咖啡組織（international coffee organization, ICO, 2010）顯示，咖啡在 2010 年的產品消費額更高達八百億美元。而在台灣，98 年度的未焙製咖啡、焙製咖啡以及咖啡萃取物的進口總重量約有 58,740 公噸，與前幾年相比增加許多。至於在咖啡的貿易金額方面，從以前到現在有起有落，但在最近的兩三年內，咖啡豆的交易價格逐年上揚，以阿拉比卡咖啡為例，在 1998 年為平均每磅 1.33 美元，到了 2002 年下滑至每磅 0.57 美元，但是之後價格直線上升，一直到 2009 年每磅 1.455 美元和 2010 年每磅 1.917 美元，如圖 1 所示。

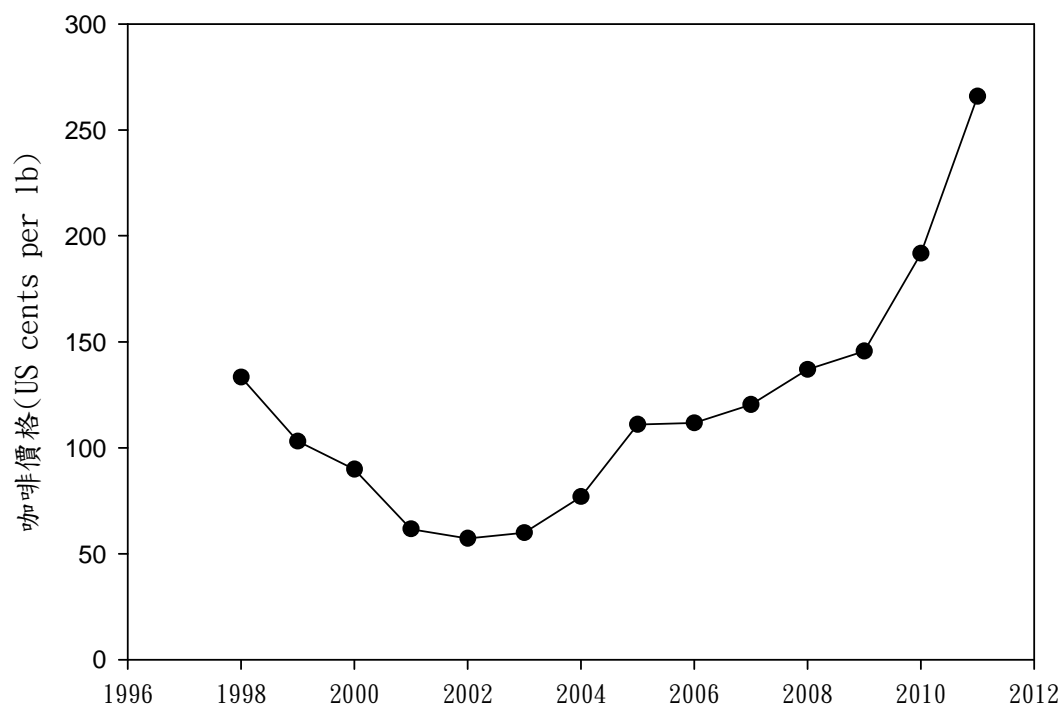


圖 1、1998-2011 年，國際上咖啡的年平均價格

值得注意的是，在 2010 年 8 月突破每磅 2 美元的成交值，現在 2011 年 2 月的咖啡豆價格已經來到每磅 2.77 美元，圖 2 可以看到 2011 年 1 月到 6 月的平均

咖啡價格，上漲的幅度越來越大 (ICO, 2011)。從 1998 年至 2010 年，阿拉比卡咖啡的全球交易價格，從一開始的每磅 1.33 美元到 2010 年每磅 1.917 美元，雖然中間價格略有下降，但是近年來的價格則是逐年上升。

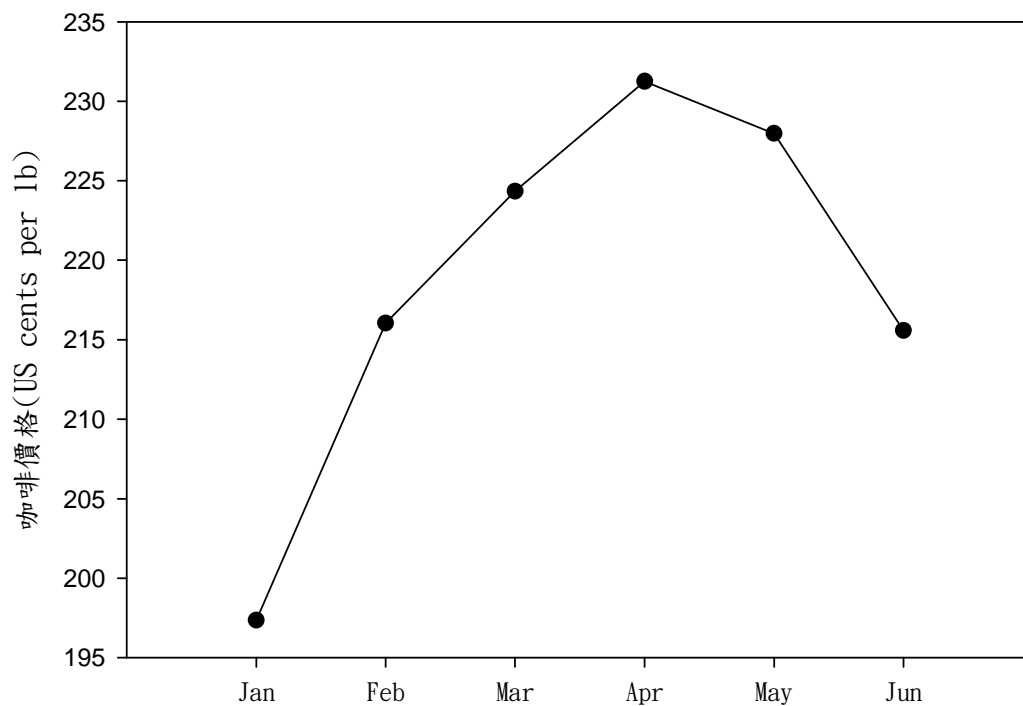


圖 2、2011 年 1-6 月，國際間咖啡的月平均價格

六、台灣咖啡歷史與現況

有關咖啡在台灣種植的最早文獻是 1903 年 Davison 之著作中提到，於 1891 年由美國舊金山傳到三峽，後來在 1933 年澤田兼吉親自考察的結果，最早傳入台灣的咖啡應該是在光緒 10 年（西元 1884 年）由英國人引入，在台北三峽試種；而 1920 年前後的日據時代，日本人也把咖啡帶進台灣，同樣先在台灣北部試種，成功後便大面積的在台灣東部及西部種植，現在的新北三峽、雲林古坑、南投蕙蓀、台南東山、屏東德文以及花蓮瑞穗等地，在當時都是有計畫性的大範圍培育咖啡。所栽種的咖啡品種大多為小粒種的阿拉比卡咖啡 (*C. arabica*)，而中粒種的羅布斯塔咖啡 (*C. canephora*) 只佔其中的小部分。1941 年台灣的咖啡產量達到最高峰，不但產量豐富且品質佳，是咖啡在台灣的全盛時期。但是太平洋戰爭後，日本戰敗，咖啡便跟著沒落。

台灣本島的咖啡種植區分散於各個縣市，北至台北，南至屏東，海拔高度也從平地到 1000 公尺都有。根據農委會的統計，98 年度全台灣的咖啡種植面積約為 684 公頃，以嘉義縣的種植面積為最大，共有 165.8 公頃的種植面積。整體來說，和兩年前的資料相比較，增加了將近 120 公頃的總種植面積，說明台灣農民對咖啡的種植仍保持高度的興趣。

台灣本島種植咖啡的區域可以大至分為兩大區，一為中南部低海拔，二為中南部高海拔和北部低海拔。前者的開花期約在農曆春節前後，採收期在每年 7 到 9 月之間；後者的開花期則在每年 5 月左右，11 月到隔年 3 月才是採收期。會有北部低海拔和中南部高海拔的氣候環境相似的原因為北迴歸線氣候帶北降，因為台灣橫跨北迴歸線，在北迴歸線以北屬於亞熱帶，造成嘉義阿里山海拔 1200 公尺的氣候環境和台北坪林海拔 600 公尺相似，所以台灣的咖啡或許無法單純的用海拔高度來分級。

由平均溫度來看，台灣種植咖啡的地區比熱帶地區稍低一些，比較類似巴西

或是夏威夷的栽培環境。研究指出，*C. arabica* 在 30-50% 的遮陰處理下可以使其光合作用效率達到最高 (Kumar and Tieszen, 1980)，同時也觀察到經過遮陰處理的咖啡樹苗，葉與莖的乾重比無遮陰處理的佳 (朱，1940)。台灣低海拔地區在夏季常有連續高溫及強烈日曬的情形發生，因此適時的遮陰對咖啡樹的生長有幫助，遮陰樹的種類最常見的為檳榔樹，而木瓜、木棉、油桐等可做為遮陰樹且產物也具有價值，值得提倡做為遮陰樹。如果沒有遮陰，而是以增加施肥量、提高氮肥比例來使咖啡樹產量提高，會造成樹勢早衰，對種植咖啡樹不是一個長久之計。以台灣的情況來看，高海拔地區因為日照時數較少，可以採用無遮陰栽培，再配合適當的肥料施用量及比例，以提高咖啡產量 (朱，1958)。

1954 年因為國際咖啡價格高，當時的農復會 (中國農村復興聯合委員會) 和政府機關的輔導下，台灣種植咖啡的面積逐漸增加，並且派人出國學習咖啡的栽種和加工，1958 年成立雲林縣經濟農場，在嘉義、花蓮等地推廣種植，產量曾經高達 100 多公噸，但因政府未繼續鼓勵推廣而式微 (張等，2006)。幾年因為數家知名連鎖咖啡店在台灣所帶起的喝咖啡風潮，再加上九二一地震後，各地發展傳統產業結合觀光休閒，台灣農民種植咖啡的比例逐年增加。台灣種植咖啡大多都是小面積的栽培，人工成本又相對較高的情況下，產量和價格都不比國外的進口咖啡豆。然而，想要維持生產台灣咖啡的方法，其中可以往精品咖啡的方向來前進。精品咖啡 (specialty coffee) 是指用高品質無瑕疵的咖啡豆，經過最適程序的烘焙之後，依豆子的不同特性所沖泡出的咖啡，從咖啡樹的選擇、生長環境、施肥條件、抗病蟲害、開花和採果時間等等，每一個步驟都會間接影響最後沖泡出的咖啡風味。台灣咖啡和進口咖啡相比，所佔的最大優勢就是新鮮度，消費者甚至可以直接到栽種園區看到咖啡樹的生長過程，採收下來的咖啡豆也可以省去長時間的海運，確保喝到的咖啡豆是最新鮮的。

七、修枝與作物特性

修枝對於果樹來說是一個很重要的農業操作技術，適量適時的修枝可以維持咖啡樹的良好樹勢、有效的利用空間，增加咖啡樹枝間的通風性、降低溼氣以及充足的日照，減少病蟲害的滋生，有效的控制咖啡漿果生長的位置、提高生產潛能，也可以調整咖啡樹的開花週期，過長的開花週期不但耗費人力，晚期所結的咖啡漿果也大多都呈現營養不良的狀況，使開花週期縮短集中，可以讓咖啡漿果有足夠的養分生長，也減少人力開銷、提高工作效能。所以如果想要避免採收費時、咖啡豆產量過多且品質參差不一，修枝可能是一個能夠生產高品質咖啡豆的操作技術。但是怎樣的修枝方法才是最適合咖啡樹的方法，大致來說，咖啡樹的修枝方法可以分成單幹樹型和多幹樹型兩種，而單幹樹型修枝法可以獲得較高的產量 (Njoroge, 1994)。

咖啡樹的二年生枝條才會開花、結果，根據本研究室過去六年在農民田間觀察的結論，結果枝在開始結果的第一年，結果量較少且果實較小；第二年結果時，結果量則會增加，果實大小也會呈現最大值，此時的結果枝是咖啡樹最佳結果的狀態；到了第三年的結果量不會減少太多，但是果實略小；第四年之後，結果量大幅下降且果實變小。因為咖啡樹的的結果枝在開始結果後的第一年新生梢芽大約可伸長 2 尺，第二年新生梢芽則只能伸長 1 尺，往後逐年新長出的梢芽枝條越來越短，再加上枝條長，距離主幹遠，所獲得的養分和距離主幹較近的部分相比，距離主幹越遠、養分輸送距離拉長，途中被攔截以致到達果實結果部位時就減少；開花、結果後，重量增加容易使枝條下垂，致使果實碰到地面，造成損傷。所以兩年生的結果枝可以採收到品質和產量最佳的咖啡漿果，就要靠修枝來讓咖啡樹上的枝條都保持在兩年生的結果枝。在台灣，大部分的咖啡莊園都屬於小規模的莊園，在咖啡樹不多的情形之下，可以進行較仔細的修枝，讓採收期集中、咖啡漿果大、人工成本降低。咖啡樹的高度依據採收工人的身高而定，修剪過後的樹頂會冒出小芽，此時要避免用檢定剪來剪掉新芽，而必須要手拔除新芽，將生

長點扯掉，否則就會在短時間內冒出更多的新芽，在拔除新芽時要注意配合使用殺菌劑，施用在拔除所產生的傷口上，預防咖啡樹因為拔除新芽所產生的傷口感染細菌，造成植株病害。在咖啡漿果開始膨大、充實後就不可以修剪結果枝條的頂端枝條，如果此時修剪枝條頂端枝條，會使果實充實不完全，原本屬於果實充實的養分被轉移到其他部分。修枝也可以使採收期集中，避免同一棵咖啡樹上同時有開花和結果的情形發生，如果有花和果實共生在樹上時，樹會以開花為主，養分大部分都分配給開花，相對的果實就長不好，此現象可由浮豆率提高來證明；採收期拖到太晚，氣溫開始降低，而咖啡樹在低溫的時候生長較不旺盛，樹上的咖啡漿果充實不完全，這些都會導致那一期採收的咖啡豆未成熟味重。通常在台灣的11月中開始第一次的採收期，兩個禮拜之後（約為12月初）是第二次採收期，一個月之後（約為1月）則是第三次採收期，2月初進行第四次採收期，雖然在第四次採收之後還會有零星的咖啡漿果，但是採收期過長，咖啡樹休息的時間不夠，會導致下一期的咖啡產量和品質不佳，所以在第四次採收過後即可進行修枝，讓咖啡樹儲存下一次結果的能量。綜合以上所觀察到的現象，本研究室認為修枝的最佳時機有分別需於兩個時間點進行，第一是在採收結束之後開花之前，第二是在開花達第四波之後。

第三章、材料與方法

一、試驗材料

本次實驗材料為民國 99 年二月底至三月底於台灣中、南、東部 8 個縣市的不同農民的咖啡莊園進行修枝處理，並約定將進行修枝處理的咖啡樹所採收之咖啡漿果，每個莊園依據各自不同的採收期，將熟成的咖啡漿果採摘下後，不需要經過任何採收後處理，當天用冷藏的方式，一日內郵寄抵台大考種館，每棵咖啡樹的果實裝成一包並且分別標記上修枝的樹號或是未修枝，採收直到咖啡樹的結果期結束。

1. 咖啡採集地點

分別在花蓮縣瑞穗鄉 2 處、台東縣 2 處、屏東縣 1 處、台南縣東山鄉 1 處、嘉義縣梅山鄉 2 處、雲林縣古坑鄉 2 處、南投縣國姓鄉 3 處以及台中縣 3 處共 16 個莊園進行咖啡樹修枝的工作。

2. 咖啡品種

在不同莊園中所挑選的所有咖啡樹皆為阿拉比卡種咖啡 (*C. arabica*)，樹齡由五年到十年不等。在已修枝的咖啡樹鄰近挑選一株生長環境相似、樹勢相近、品種相同的咖啡樹作為未修枝的對照組，分別將已修枝和未修枝的咖啡樹所採集的咖啡漿果裝袋標號，進行漿果及生豆的農藝特性調查，平均每個莊園取 2~3 株已修枝咖啡樹及 1 株未修枝咖啡樹，總共 16 個莊園 41 株修枝咖啡樹和 16 株未修枝咖啡樹 (表 1)。

每個莊園、每棵咖啡樹的不同採收期都隨機挑選 30 粒咖啡漿果來進行咖啡漿果的農藝性狀和咖啡生豆的農藝性狀調查，不足 30 粒者，則取用該次的所有咖啡漿果。

表 1、台灣各莊園咖啡樹修枝數量總表

縣市	鄉鎮	姓名	修枝數量	日期
花蓮	瑞穗鄉	粘阿端	4	99.02.28
	瑞穗鄉	陳鳳池	4	99.02.28
台東	太麻里	廖添成	3	99.03.01
	金峰鄉	楊總明	1	99.03.07
屏東	潮州鎮	顏和	3	99.03.07
台南	東山鄉	陳建源	3	99.03.08
嘉義	梅山鄉	黃明代	2	99.03.14
	梅山鄉	王秋忠	2	99.03.14
雲林	古坑鄉	張定成	3	99.03.15
	古坑鄉	許金湖	2	99.03.15
南投	國姓鄉	林言謙	2	99.03.21
	國姓鄉	李添貴	1	99.03.21
	國姓鄉	劉穎悟	3	99.03.21
台中	太平市	呂碧云	3	99.03.21
	和平鄉	吳黃伯蓮	2	99.03.22
	和平鄉	李秀梅	3	99.03.22

二、實驗方法

1. 修枝技術

在每個莊園平均挑選 2~3 棵咖啡樹，每棵咖啡樹的修枝方法都是利用單幹樹型的方式。首先，將旁支的其餘枝幹砍除，剩下 1~3 枝主枝幹後，再留下主枝幹上面的第一次枝幹、第二枝幹和第三枝幹，其他更細小的枝幹則是全部剪去，以第二枝幹和第三枝幹為主要的結果枝，沿主幹每 12-15 公分留取第一枝幹，同時也將距離主枝幹 10-15 公分內的第二枝幹剪除，不定枝則是全部都要剪除。另外，咖啡樹的高度也是修枝的重點之一，高度過高的咖啡樹會造成採收不方便，所以將咖啡樹的頂端修剪至一般成人身高的高度即可，並且把徒長枝拔除。過低的第一枝幹也必須修剪，去除距土表低於 20-25 公分高度的第一枝幹，以促進空氣的流通、方便進行田間管理工作。

2. 咖啡漿果之農藝性狀

2.1 漿果厚度及果肉厚度

利用數位式游標卡尺 (Mitutoyo) 以測量每顆咖啡漿果的厚度以及除去漿果果肉後的帶殼豆厚度，測量的最小單位取至 0.01mm，兩相減去之後可以得到單粒的果肉厚度。

2.2 漿果甜度

將除去的漿果果肉擠出汁，並使用手持式糖度計 (MASTER-ATAGO, N1) 測量各個咖啡漿果肉的糖度百分比，可以測得的甜度範圍為 Brix 0-32%，測量的最小單位為 0.2%。

3.咖啡漿果之後處理

3.1 發酵

利用具有活性的酵母粉 (醱寶天然酵母, 瑞輝食品) 加入清水中, 完全混合, 調製成濃度為百分之十的酵母水溶液以進行發酵。將去除掉外果皮的咖啡帶殼豆浸泡於其中, 浸泡時間為 48~72 小時。

3.2 烘乾

將發酵後的帶殼豆用清水洗淨, 確認殼上已經沒有漿果肉殘留後, 攤平放進烘箱 (Digisystem Laboratory Instruments Inc., DSO-800D), 以 40°C 烘 7~10 天, 再將烘乾後的咖啡帶殼豆裝入封口袋保存在陰涼處。

3.3 脫殼

使用大竹製作會所的 FC2K 碾米機進行帶殼豆的脫殼 (圖 3)。



圖 3、大竹製造會所 FC2K 碾米機

4.咖啡生豆之農藝性狀

4.1 水分含量

本實驗測量咖啡生豆水分含量的方法選用經濟部標準檢驗局公布的中華民國國家標準 (CNS-15395，綠 (生) 咖啡 - 105°C 下之質量損失測定法)。使用設有強制通風系統的烘箱，控制溫度於 105°C±1°C，選用有蓋子的玻璃定量瓶，在烘箱內以 105°C 乾燥，將玻璃定量瓶及蓋子由烘箱中移出，並放置在乾燥的空間冷卻至室溫，精秤玻璃定量瓶及蓋子至 0.0001mg。放置咖啡生豆於玻璃定量瓶內，每瓶放置一顆咖啡生豆，蓋上蓋子並精秤總重量至 0.0001mg，之後將蓋子翻開、連同玻璃定量瓶一起放入烘箱內，以 105°C 乾燥 16 個小時±0.5 小時。結束之後將玻璃定量瓶蓋上蓋子，放置於乾燥的空間內冷卻至室溫，再精秤其重量到 0.0001mg。

4.2 體積及密度

利用排水法來計算咖啡種子之體積。首先秤取單粒咖啡種子的重量後，將種子放入 100ml 定量瓶中並加水至 100ml 刻度線，秤重並記錄總重量，隨後將定量瓶重、咖啡種子重、100ml 水重三者相加後減去秤重所得到的總重量即為單粒咖啡種子的體積。

將單粒咖啡種子之重量和使用排水法所得到的體積相除，即為單粒咖啡種子之密度。

5.咖啡之官能鑑定

5.1 缺陷豆比例

挑選缺陷豆的方式參考美國精品咖啡協會 (Specialty Coffee Association of America, SCAA) 所制定的咖啡缺陷豆標準，以目視檢查法來評斷各種缺陷豆並計算其比例。其中所列出的缺陷豆分為第一級缺陷和第二級缺陷，第一級缺陷的有全黑豆、全酸豆、乾漿果/果皮、真菌感染豆、嚴重蟲蛀豆、異物，第二級缺陷有局部黑豆、局部酸豆、帶殼豆、未成熟豆、萎凋豆、破碎豆、浮豆、貝殼豆、

果皮/豆殼、輕微蟲蛀豆。挑出的缺陷豆分別計算其粒數並登記，唯有遇到數量較多的缺陷豆（如破碎豆）時，以秤重代替計算粒數。

5.2 官能鑑定

每棵咖啡樹各採收期的樣品如果有 30 公克以上的咖啡生豆就可以進行烘焙，排除不足量的樣品 16 個，最後共有 45 個咖啡樣品進行烘焙。使用碧利咖啡公司生產的小型滾筒式烘豆機，每次烘焙樣品為 30 公克。官能鑑定的杯測樣品每碗需秤重 8.5 公克咖啡豆。設計兩重複，總共 90 組杯測樣品，以隨機編號的方式排列。

使用 SCAA (美國精品咖啡協會) 所制訂的評分表做為標準，邀請曾經擔任古坑咖啡節台灣精品咖啡豆評鑑、經驗豐富的六位裁判，為此次的咖啡進行官能鑑定。評分項目分別有香氣 (aroma/fragrance)、靈活度 (acidity)、滋味 (flavor)、黏稠度 (body)、餘韻 (aftertaste)、喜好 (cupper's point)。評分表如附表 1。



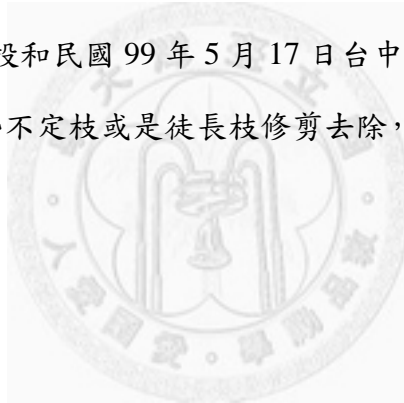
圖 4、官能鑑定過程圖。照片中是在咖啡豆磨粉後倒水的情形。

第四章、結果與討論

一、各莊園修枝情形

台灣種植咖啡的莊園已經幾乎遍佈全台灣，但是各咖啡莊園的田間管理技術並未成熟，其中修枝這個田間管理方法更是尚未普及，只有少數的咖啡莊園有進行修枝的栽培管理。

本次實驗依照材料與方法中所敘述的單幹樹型修枝法進行修枝，並於修枝前後拍照記錄兩者的差異，修枝前後的差異如圖所示。本次分別在民國 99 年 2 月 28 日花蓮、3 月 1 日台東、3 月 7 日屏東、3 月 8 日台南、3 月 14 日嘉義、3 月 15 日雲林、3 月 21 日南投及 3 月 22 日台中進行第一次的修枝，進行樹型調整，修剪過多與近地表的結果枝，並且在民國 99 年 5 月 15 日花蓮、台東、台南和 5 月 16 日嘉義、雲林、南投和民國 99 年 5 月 17 日台中進行第二次的修枝，第二次的修枝主要是針對一些不定枝或是徒長枝修剪去除，同樣用照片把修枝前後的差異進行記錄（圖 5）。





a1



a2



b1



b2

圖 5、修枝前後差異圖。a1 表示第一次修枝前的照片，a2 表示第一次修枝後的照片；b1 表示二次修枝前的照片，b2 表示二次修枝後的照片。

二、咖啡生長期與生長環境條件分析

1.採收次數以及各採收期間隔的天數

本次實驗對 16 個莊園共 42 棵咖啡樹進行修枝，並將調查此 42 棵咖啡樹的結果情形和其漿果、生豆的農藝性狀調查，但由於氣候因素（颱風）的影響，在結果期的時候，短期內接連有兩個颱風侵台（凡那比、梅姬），導致台灣東部（花蓮、台東）以及南部（屏東、台南）的咖啡樹受到嚴重損傷，無法採收咖啡漿果。所以本次實驗所調查的咖啡樹總數量減少為 31 株。

各個莊園的採收次數和每次採收所間隔的天數如下：王秋忠共 3 次採收期，分別間隔 27 天和 78 天；黃明代共 2 次採收期，間隔 78 天；張定成共 1 次採收期；許金湖共 3 次採收期，分別間隔 35 天和 36 天；林言謙共 1 次採收期；李添貴共 1 次採收期；劉穎悟共 4 次採收期，間隔 29 天、21 天和 9 天；呂碧云共 2 次採收期，間隔 28 天；吳黃伯蓮共 4 次採收期，間隔 21 天、16 天和 30 天；李秀梅共 5 次採收期，間隔 10 天、10 天、23 天和 29 天（表 2）。採收期的效應應該是包含在莊園的效應之下，屬於摺疊設計的一種，兩個因子之間有先後之分且各變級不作完全組合，莊園的各變級獨立產生採收期的各變級。因此採收期和莊園之間不構成交感現象。

如果以海拔 700 公尺為一分界，海拔高於 700 公尺的莊園有嘉義王秋忠、嘉義黃明代、南投林言謙、南投李添貴和摩天嶺吳黃伯蓮，而海拔低於 700 公尺的莊園有雲林張定成、雲林許金湖、南投劉穎悟、台中呂碧云和台中李秀梅。海拔較高的一群，其採收期晚於海拔較低的一群，海拔較高的採收期約在 10 月-隔年 2 月之間，而海拔較低的一群採收期則是介於 9 月-11 月之間。從緯度來看，並沒有發現明顯的南部採收期早於中部的趨勢。

表 2、各個莊園的採收次數及採收日期

姓名	地點	樹號	海拔	開花期	第一期	第二期	第三期	第四期	第五期
王秋忠	嘉義縣	1	885.2	2~3	10月15日	12月10日	2月25日		
		2			10月15日	12月10日	2月25日		
		3			10月15日	12月10日	2月25日		
		未			10月15日	12月10日	2月25日		
黃明代	嘉義縣	1	1094.7	2~3	12月10日	2月25日			
		2			12月10日	2月25日			
		未			12月10日				
張定成	雲林縣	1	305.2	2~3					
		2							
		3							
		未			9月6日				
許金湖	雲林縣	1	392.2	2~3	9月28日	11月1日	12月7日		
		2			9月28日	11月1日	12月7日		
		未			9月28日	11月1日	12月7日		
林言謙	南投縣	1	851.3	3~4	11月25日				
		2			11月25日				
		未			11月25日				
李添貴	南投縣	1	981.6	3~4					
		未			12月1日				
劉穎悟	南投縣	1	642	3~4	9月24日		11月11日		
		2			9月24日		11月11日	11月19日	
		3				10月22日	11月11日	11月19日	
		4				10月22日	11月11日	11月19日	
		未				10月22日	11月11日	11月19日	
呂碧云	台中縣	1	282	2~3	10月29日	11月25日			
		2			10月29日	11月25日			
		3			10月29日	11月25日			
		未			10月29日	11月25日			
吳黃伯蓮	台中縣	1	851.9	2~3	10月12日	11月1日	11月16日	12月15日	
		2			10月12日	11月1日	11月16日	12月15日	
		未			10月12日	11月1日	11月16日	12月15日	
李秀梅	台中縣	1	555.1	2~3		9月16日	9月27日		11月16日
		2				9月16日	9月27日		11月16日
		3			9月7日	9月16日	9月27日	10月19日	11月16日
		未				9月16日	9月27日	10月19日	11月16日

三、咖啡漿果及生豆之農藝性狀分析

本次實驗總共調查 7 項咖啡漿果及生豆的農藝特性，包括整粒漿果厚度、漿果甜度、水分含量、生豆體積、生豆重量、生豆密度及產量。由於其中的四個莊園有資料不足的情況，只選用其他六個莊園來進行資料分析。以下的敘述方式會將六個莊園用編號來代替：黃明代為莊園 1、許金湖為莊園 2、劉穎悟為莊園 3、呂碧云為莊園 4、吳黃伯蓮為莊園 5、李秀梅為莊園 6。分別對莊園、修枝、採收期和海拔高度四個因子進行分析。

1. 漿果厚度

經過每個莊園隨機抽樣 30 顆咖啡漿果所量測得到的數據。平均值為 12.75 公厘，最大值為 16.31 公厘，最小值為 8.87 公厘。進行變積分析，發現漿果厚度對修枝和莊園的交互效應顯著，對莊園、採收期、海拔都有顯著的差異，變積分析表如附表 2。

1.1 漿果厚度與交互效應

漿果厚度對修枝和莊園的交互效應顯著， $P < 0.001$ 。由圖 6 可以看到，莊園 4 和莊園 5 在經過修枝處理之後，漿果厚度變小，但是其他莊園在經過修枝處理後漿果厚度變大，顯示修枝處理對於漿果厚度有影響，但是莊園 4 和莊園 5 可能因為地理環境或是栽培管理上的差異，造成修枝處理在這兩個莊園有和其他莊園不同的反應。

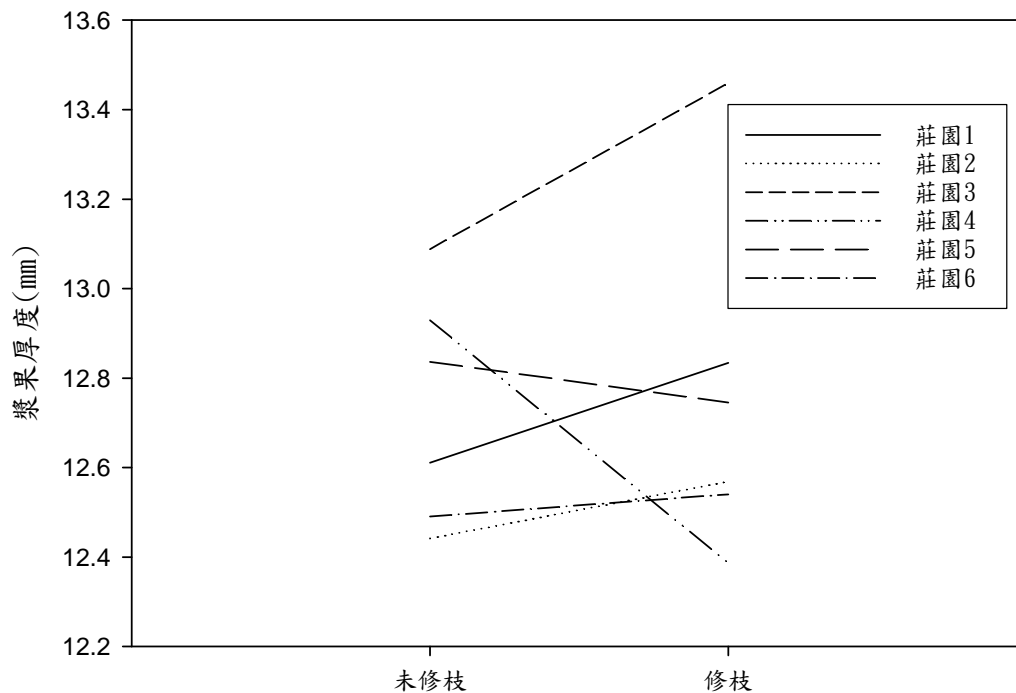


圖 6、漿果厚度與修枝和莊園的交互效應圖

各莊園的平均漿果厚度分別為 12.66、12.48、13.17、12.79、12.81、12.5 公厘(圖 7)。莊園 3 的平均厚度最大而莊園 2 的平均厚度最小。在交互圖(圖 6)可以看到，造成交互的原因是因為莊園 4 和莊園 5 的漿果厚度對於修枝處理的反應和其他莊園不同，在經過修枝處理後，莊園 4 和莊園 5 的漿果厚度下降，但是其它莊園在修枝處理後，漿果厚度上升。在除去莊園 4 和莊園 5 的資料之後，漿果厚度對於修枝和莊園的交互效應沒有顯著差異。

接著觀察莊園的主效應，發現莊園對於漿果厚度的影響有顯著差異， $Pr < 0.001$ ，進一步利用 Tukey's HSD test 進行平均值顯著性差異，來分析莊園之間的差異，分群界線為 $Pr < 0.05$ ，總共可以分為兩群，不同的莊園之漿果厚度平均值與分群檢定結果如表 3 所示。

表 3、各莊園漿果厚度平均值與分群結果

	莊園 1	莊園 2	莊園 3	莊園 6
厚度平均值(mm)	12.66	12.48	13.17	12.50
厚度標準差	0.83	1.41	1	1.28
分群結果	b	b	a	b

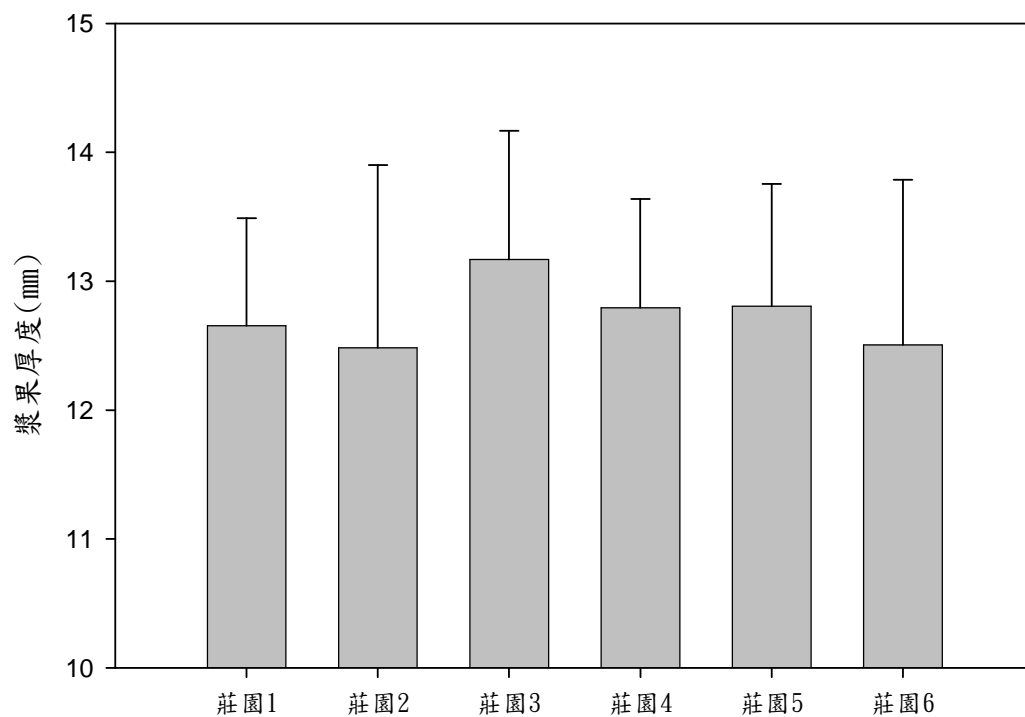


圖 7、各莊園漿果厚度的平均值及標準差

1.2 漿果厚度與海拔高度

漿果厚度在六個不同海拔高度的平均值如表 4。漿果厚度的平均值在不同的海拔高度梯度下呈現出顯著差異，並且沒有其他交感項，顯示海拔高度確實會影響漿果厚度的形成。由圖 8 可以得知，在海拔高度為 642 公尺時，有最大漿果厚度平均值 13.17 公厘，在海拔高度 392 公尺時，有最小漿果厚度平均值 12.48 公厘，海拔高度超過 642 公尺以後，漿果厚度會開始下降，而海拔高度在 392-642

公尺之間，漿果厚度是隨著海拔高度上升而增加的趨勢。

表 4、漿果厚度在不同海拔高度的平均值

海拔高度(m)	282	392	555	642	851	1094
厚度平均值(mm)	12.79	12.48	12.50	13.17	12.81	12.66
厚度標準差	0.84	1.42	1.28	1	0.95	0.83

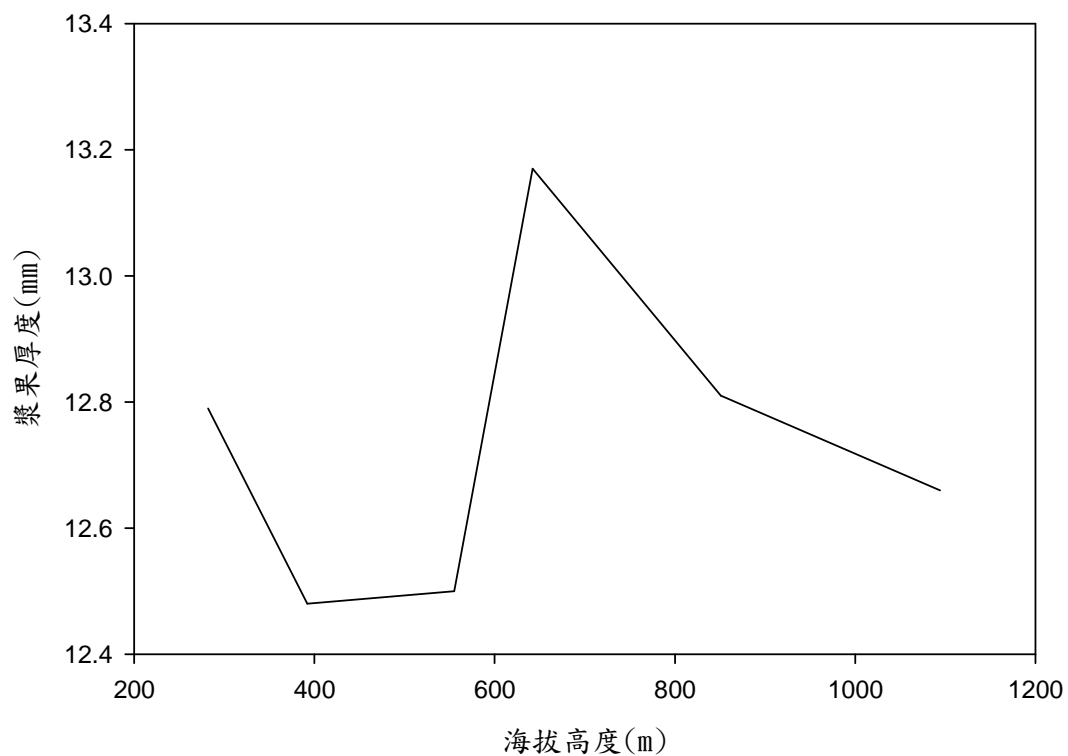


圖 8、漿果厚度在不同海拔高度的平均值

1.3 漿果厚度與採收期

採收期對於漿果厚度有顯著差異，由圖 9 可以看到，在發育週數為 32 週時有最大漿果厚度平均值 13.66 公厘，發育週數為 43 週時有最小漿果厚度平均值 11.98 公厘，整體的趨勢是在越晚的採收期，漿果厚度會越小。

進一步討論發育週數對漿果厚度的影響。用漿果厚度和發育週數做變積分析，

發現一次回歸項的效應顯著，一次效應係數為-0.1817，回歸趨勢線方程式可寫成 $y=-0.1817x+17.28$ 。顯示發育週數越長，漿果厚度越小，所以發育週數過長並沒有對漿果的生長有幫助。實際量測的數值與趨勢線預估的數值有略增或是略減的差異，可能是因為氣候環境或是栽培管理的不同所造成的影響。

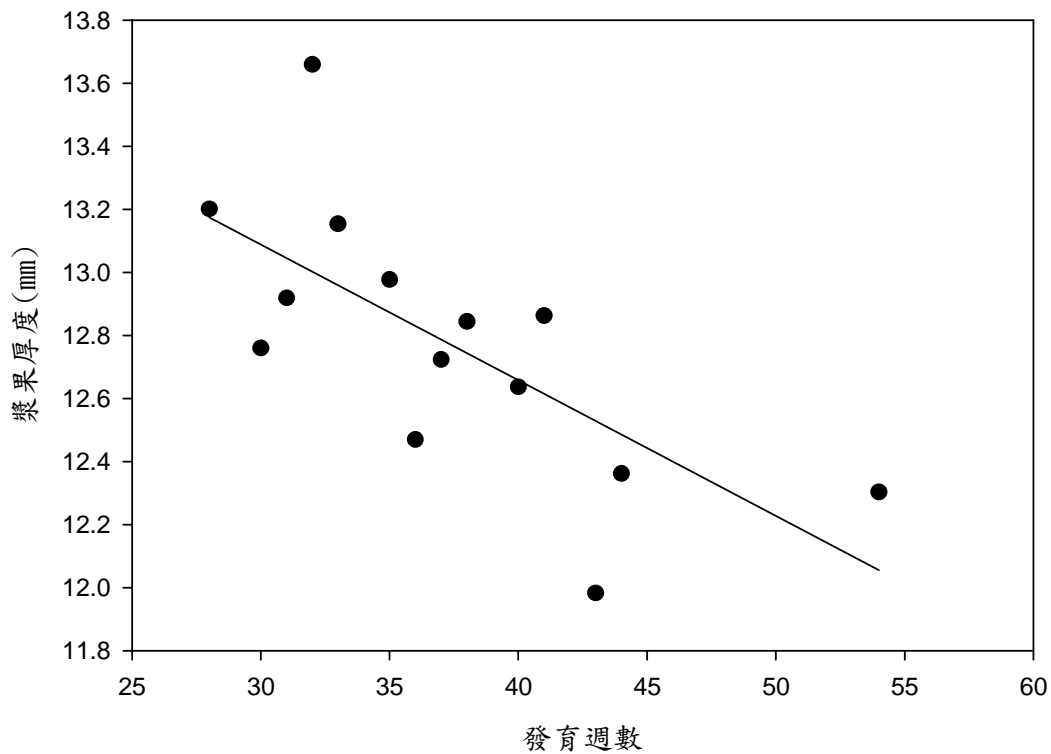


圖 9、漿果厚度(mm)在不同發育週數的平均值和趨勢線

2. 漿果甜度

本次實驗中的漿果甜度平均為 13.92%，有最大值 28%和最小值 6%。對各因子進行變積分析之後發現，漿果甜度和修枝及莊園的交感效應顯著， $Pr<0.001$ ，和修枝、莊園、海拔高度和採收期的主效應也都有顯著差異， $Pr<0.001$ 。變積分析表如附表 3。

2.1 漿果甜度與交感效應

漿果甜度和修枝及莊園的交感效應顯著， $Pr < 0.001$ ，由交感圖（圖 10）可以看到，莊園 6 的平均值明顯的大於其它莊園，而莊園 2 的平均值明顯小於其它莊園，顯示莊園的主效應對漿果甜度還是有一些的影響，交感圖中觀察到莊園 1、莊園 4 和莊園 5 在經過修枝處理後，漿果甜度呈現上升的趨勢，而莊園 2、莊園 3 和莊園 6 則是對於修枝處理的影響較不明顯。

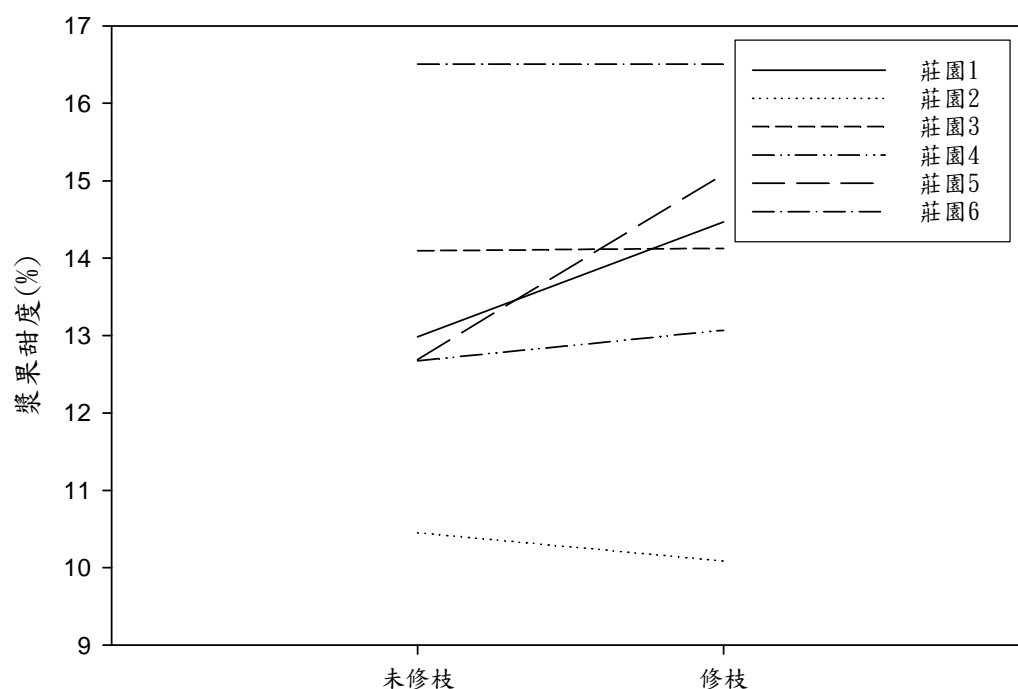


圖 10、漿果甜度對於莊園和修枝的交感圖

沒有經過修枝處理和有經過修枝處理的漿果甜度平均值分別為 13.76% 和 14.36%，在圖 11 可以看到，修枝過的漿果甜度略高於未修枝的咖啡樹，在變積分析時，修枝的主效應對於漿果甜度也有顯著的差異， $Pr < 0.001$ 。推測經過修枝處理的咖啡樹，會使咖啡果肉的甜度增加，養分吸收良好。

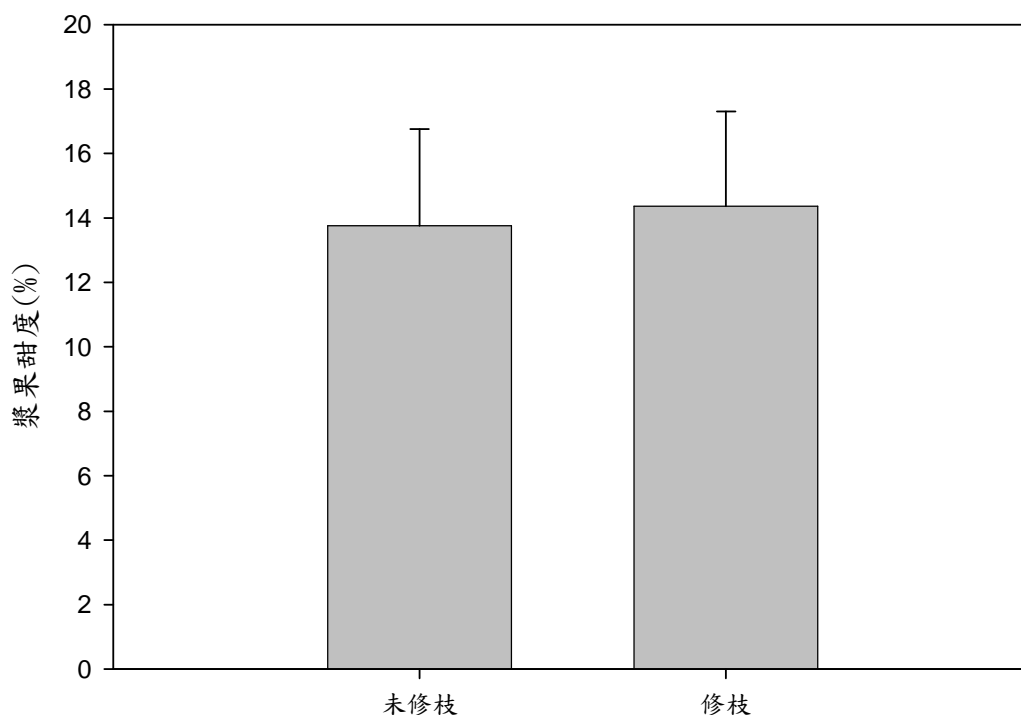


圖 11、漿果甜度(%)對於修枝處理前後的平均值及標準差

將交互圖的趨勢和漿果厚度做對照，發現兩者的趨勢似乎有相反的走向，把漿果甜度和漿果厚度進行變積分析，發現一次效應顯著，一次效應係數為-0.02855，回歸趨勢線方程式為： $y=-0.02855x+13.2445$ ，變積分析表如附表 4。結果顯示，如果漿果厚度越大，漿果甜度將會降低。可能是因為隨著漿果厚度的增加，果肉厚度也會增加，導致甜度降低。

2.2 漿果甜度與莊園

各莊園的漿果甜度平均值分別為 13.28%、10.33%、14.1%、12.77%、13.49%、16.51%，如圖 12 所示。在莊園 6 有最大漿果甜度平均值，而莊園 2 有最小漿果甜度平均值。變積分析的結果顯示，莊園的主效應對漿果甜度有顯著的差異， $Pr<0.001$ ，進一步以 Tukey's HSD test 將莊園主效應顯著的變項，進行平均值顯著性變異來分析莊園之間的差異，分群界線 $Pr<0.05$ ，分群結果及各個莊園的漿果甜度平均值如表 5。

表 5、漿果甜度在不同莊園的平均值及分群結果

	莊園 1	莊園 2	莊園 3	莊園 4	莊園 5	莊園 6
漿果甜度(%)	13.28%	10.33%	14.1%	12.77%	13.49%	16.51%
甜度標準差	2.3	1.92	1.75	2.01	2.92	2.89
分群結果	c	d	b	c	c	a

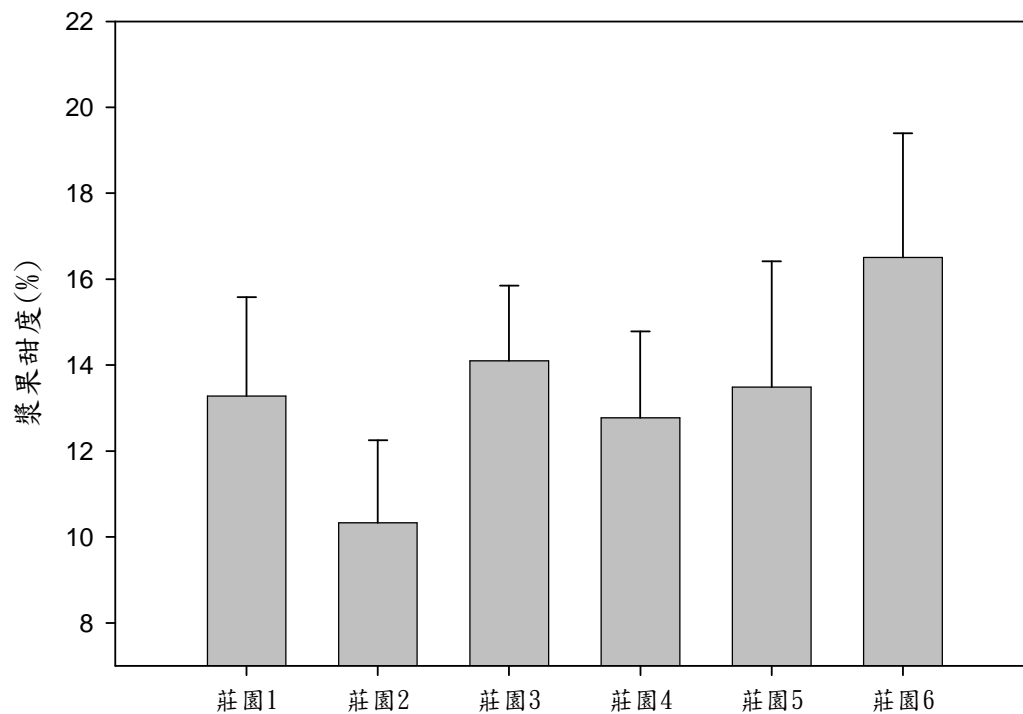


圖 12、漿果甜度(%)在不同莊園的平均值及標準差

漿果甜度也受到漿果的成熟度所影響，決定漿果甜度的時期是在漿果發育期，但是在後熟期時，漿果中的大分子醣類漸漸轉換成小分子葡萄糖，此時甜味才開始在果肉中出現，如果太早採收，咖啡漿果尚未完全成熟，漿果甜度就會偏低，圖 13 的 4 張照片顯示在不同成熟度的漿果果皮顏色，一般來說，以鮮紅色的漿果果皮當做成熟完全，等到咖啡漿果開始轉變成酒紅色，甚至有點淺褐色，就是已經過度成熟、果肉開始發酵，如果果皮顏色還是淺紅或是帶少許綠色，就是尚未成熟完全。



圖 13、不同成熟度的漿果果皮顏色

2.3 漿果甜度與海拔高度

在不同海拔高度的漿果甜度平均值如表 6。在變積分析時發現，海拔高度對於漿果甜度有顯著差異， $Pr < 0.001$ ，而交感並不顯著。一次效應和二次效應均為顯著差異，一次效應級二次效應的係數分別為 1.989×10^{-2} 和 -1.427×10^{-5} ，可將回歸趨勢線方程式寫為： $y = -1.427 \times 10^{-5}x^2 + 1.989 \times 10^{-2}x + 7.769$ 。計算之後可以知道，在海拔高度為 696.92 公尺時，為二次趨勢線的最高點，可以有漿果甜度的最大值，超過或是低於 696.92 公尺，漿果甜度都會開始下降。

表 6、漿果甜度在不同海拔高度的平均值

海拔高度(m)	282	392	555	642	851	1094
漿果甜度(%)	12.77%	10.33%	16.51%	14.1%	13.49%	13.28%
甜度標準差	2.01	1.92	2.89	1.75	2.92	2.29

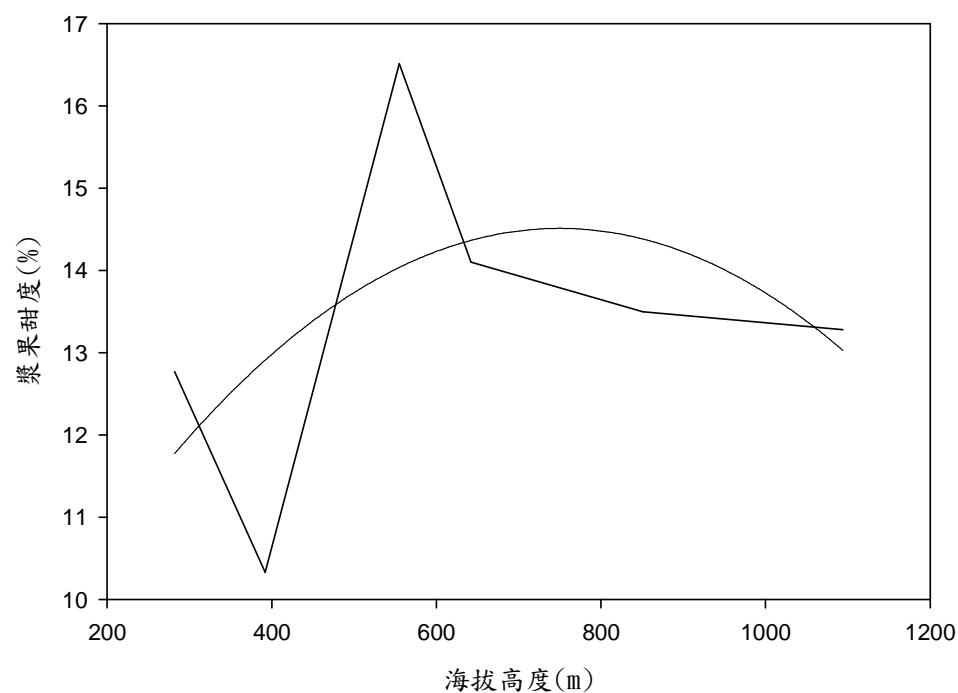
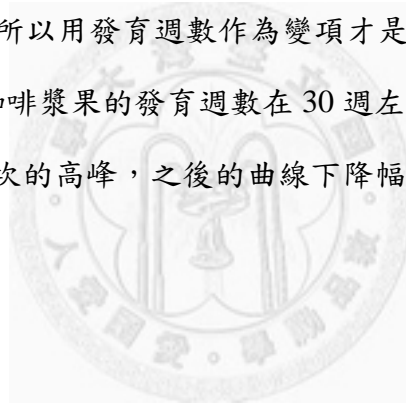


圖 14、漿果甜度在不同海拔高度的平均值及趨勢線

2.4 漿果甜度與採收期

在各個採收期的漿果甜度平均值分別為 13.66%、12.12%、15.01%、15.79%、15.76%。進行變積分析時發現採收期和漿果甜度有顯著差異， $Pr < 0.001$ ，接著以發育週數作為變項，討論漿果甜度在不同的發育週數是否有穩定的趨勢。分析後發現，一次回歸效應顯著，但是二次效應並無顯著差異，回歸方程式可以寫成： $y = -0.2161x + 19.6879$ 。

圖 14 可以看到不同採收期的漿果甜度平均值以及趨勢線，發育週數越長，漿果甜度就隨之降低。越晚的採收期，漿果甜度平均值越高，但是發育週數的漿果甜度平均值趨勢卻是相反，時間越長，漿果甜度平均值越低，因為採收期的效應應該包含在莊園的效應之下，在不同的莊園之間，採收的月份和各個採收期之間的時間天數都不一致。所以用發育週數作為變項才是一個比較準確來判斷採收漿果時機的因子。推測咖啡漿果的發育週數在 30 週左右可以達到完全成熟，接下來在 44 週會達到再一次的高峰，之後的曲線下降幅度明顯。



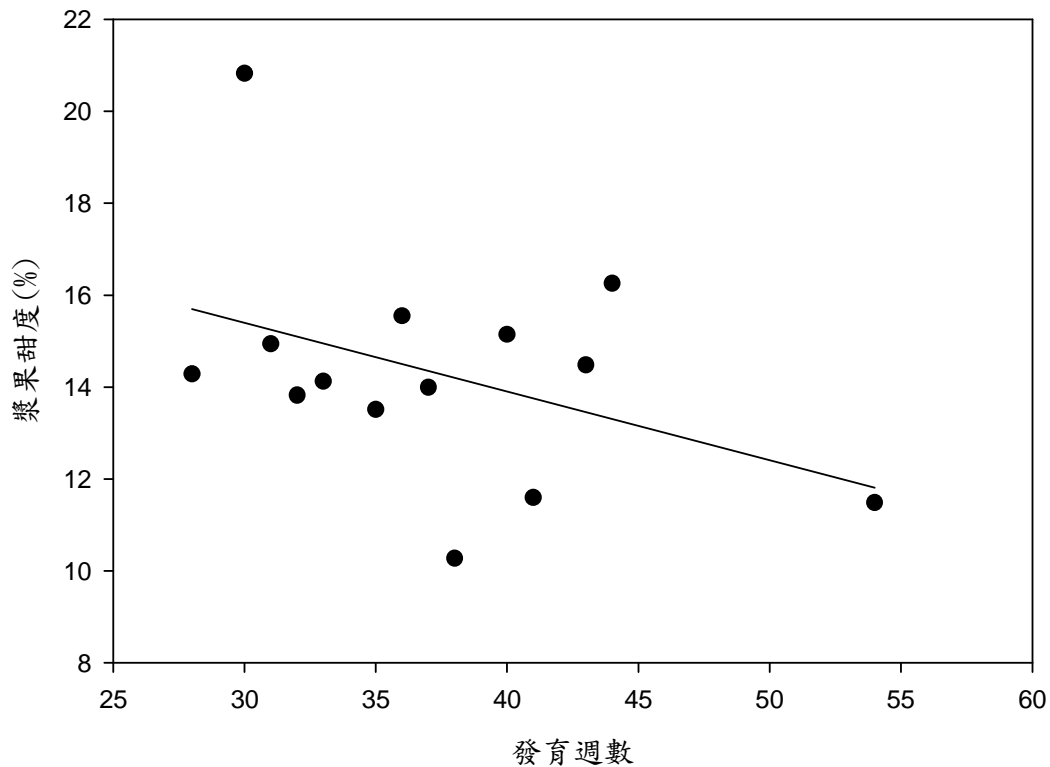


圖 15、漿果甜度(Brix%)在不同發育週數的平均值及趨勢線

3.水分含量

在水分含量的部分，是以咖啡生豆中的水份含量百分率來做記錄。本實驗中水份含量平均為 11.8%，最大值為 17.6%，最小值為 6.8%。莊園 1 到莊園 6 的水份含量平均值為：11%、10.6%、10.7%、9.8%、12.3%、10.3%，如圖 16 所示。一般而言，咖啡生豆在國際運輸上的水份含量標準必須介於 10~12% 之間，才符合運輸規定。

將水份含量分別對修枝、莊園、海拔高度和採收期進行變積分析，結果發現，在主效應和各項交感效應均無顯著差異，變積分析表如附表 5。

決定咖啡生豆的水份含量最大因子應該是咖啡漿果的後處理過程，由於本次實驗中的樣本都是經過同樣的漿果後處理過程，所以生豆的水份含量在各項因子中都沒有顯著差異是可以預期的。

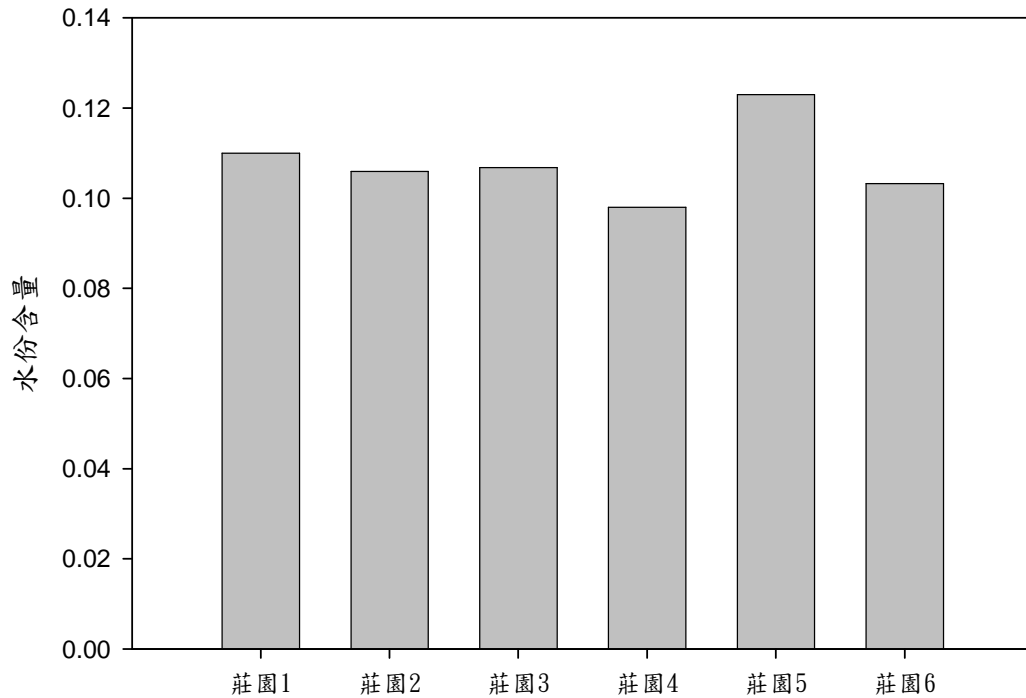


圖 16、不同莊園的生豆水份含量(%)平均值

4. 生豆重量

本次實驗中的生豆重量平均為 0.195 公克，有最大值 0.384 公克出現在莊園 3，最小值 0.058 公克出現在莊園 2。經過變積分析後發現，生豆重量和修枝、莊園、海拔高度以及採收期的主效應都有顯著差異， $Pr < 0.001$ ，另外，和修枝及莊園的交互效應也有顯著， $Pr < 0.001$ 。變積分析表如附表 6。

4.1 生豆重量與交互效應

變積分析表顯示，修枝及莊園的交互效應對生豆重量有顯著差異，交互圖如圖 17 所示。從交互圖中可以觀察到，只有莊園 3 在經過修枝處理後，生豆重量的平均值明顯增加，而其他莊園的生豆重量平均值，都在修枝處理過後降低。莊園 3 和其他莊園對於修枝的反應不同，可能是因為此次修枝的方法和強度配合種植地區的氣候和栽培方法，對於莊園 3 有正向的影響，但是在其他莊園對於修枝的適應性較差，可能要針對不同莊園改變修枝強度。

除去莊園 3 的資料後，再進行一次變積分析，修枝和莊園的交感效應消失，以下接著討論修枝和莊園的主效應對於生豆重量的影響。

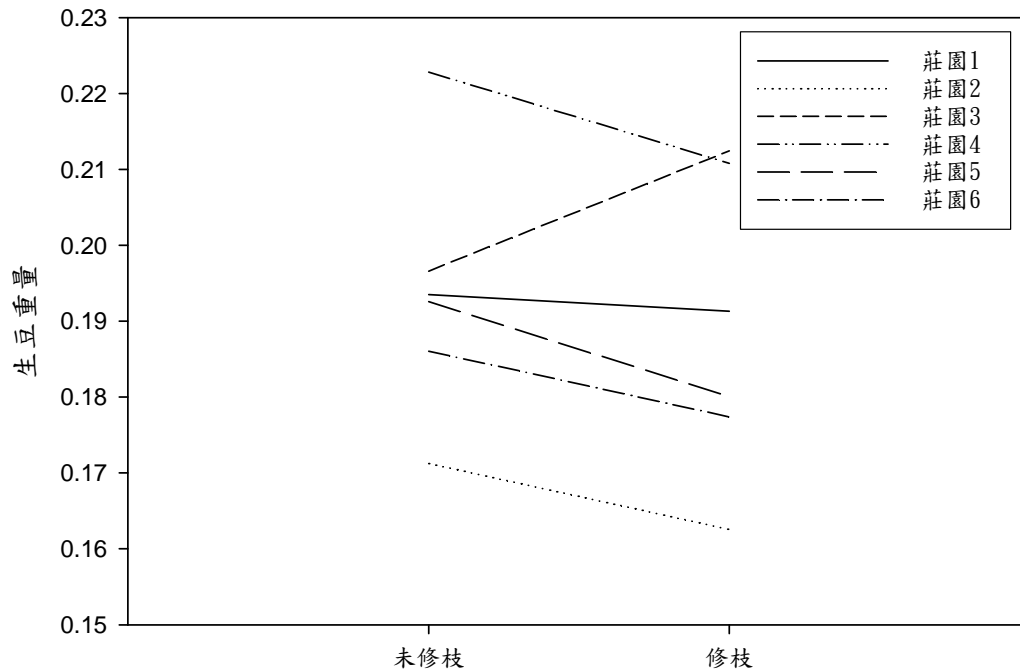


圖 17、生豆重量(g)對於修枝及莊園的交感圖

4.2 生豆重量與修枝

本次實驗中，沒有經過修枝處理的生豆重量平均值為 0.197 公克，有經過修枝處理的生豆重量平均值為 0.19 公克，圖 18 可以看到修枝處理前後的生豆重量平均值及標準差。去掉莊園 3 的資料後，發現修枝的主效應顯著， $Pr < 0.001$ ，而交感效應不顯著。

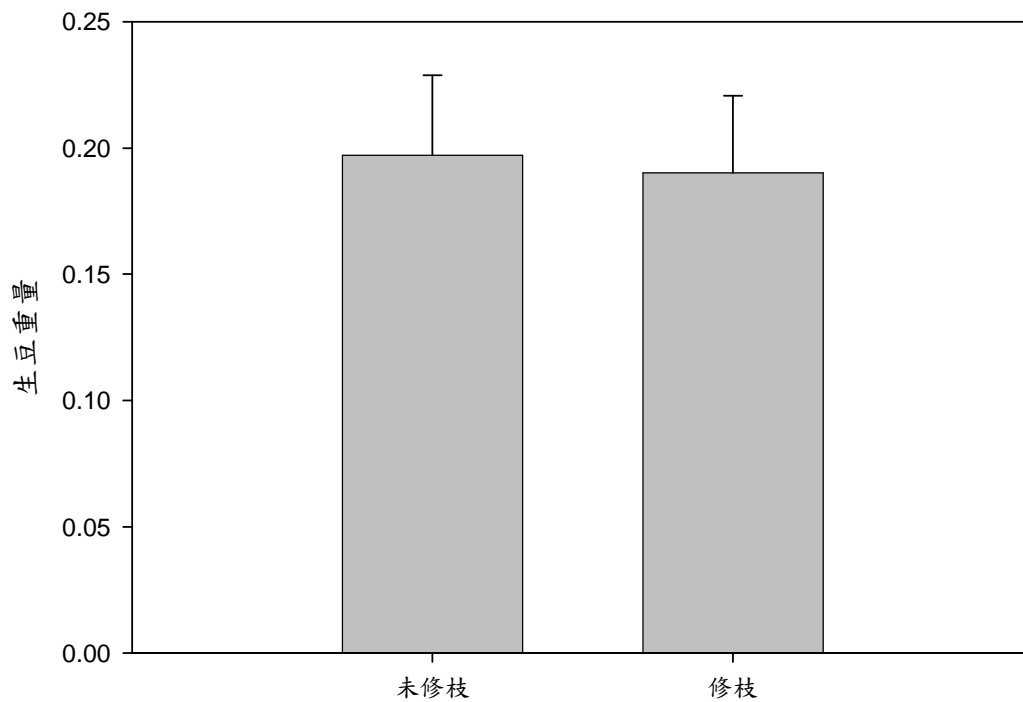


圖 18、生豆重量 (g) 在修枝處理前後的平均值及標準差

4.3 生豆重量與莊園

不同的莊園之間莊園，生豆重量的平均值分別為 0.19、0.17、0.2、0.22、0.19、0.18 公克。其中莊園 4 的生豆平均重量最重，莊園 2 的生豆平均重量最輕，生豆重量在不同莊園的平均值以及標準差如圖 19。

在去掉莊園 3 的資料後，發現生豆重量和莊園的主效應顯著，而交感效應不顯著，進一步以 Tukey's HSD test 進行生豆重量的平均值顯著性差異分析，檢視不同莊園之間的差異，分群界線為 $Pr < 0.05$ ，結果可以分為五群，分群結果如表 7。

表 7、生豆重量 (g) 在不同莊園之間的平均值及分群結果

	莊園 1	莊園 2	莊園 4	莊園 5	莊園 6
生豆重量平均值(g)	0.19	0.17	0.22	0.19	0.18
生豆重量標準差	0.024	0.033	0.029	0.028	0.026
分群結果	b	e	a	c	d

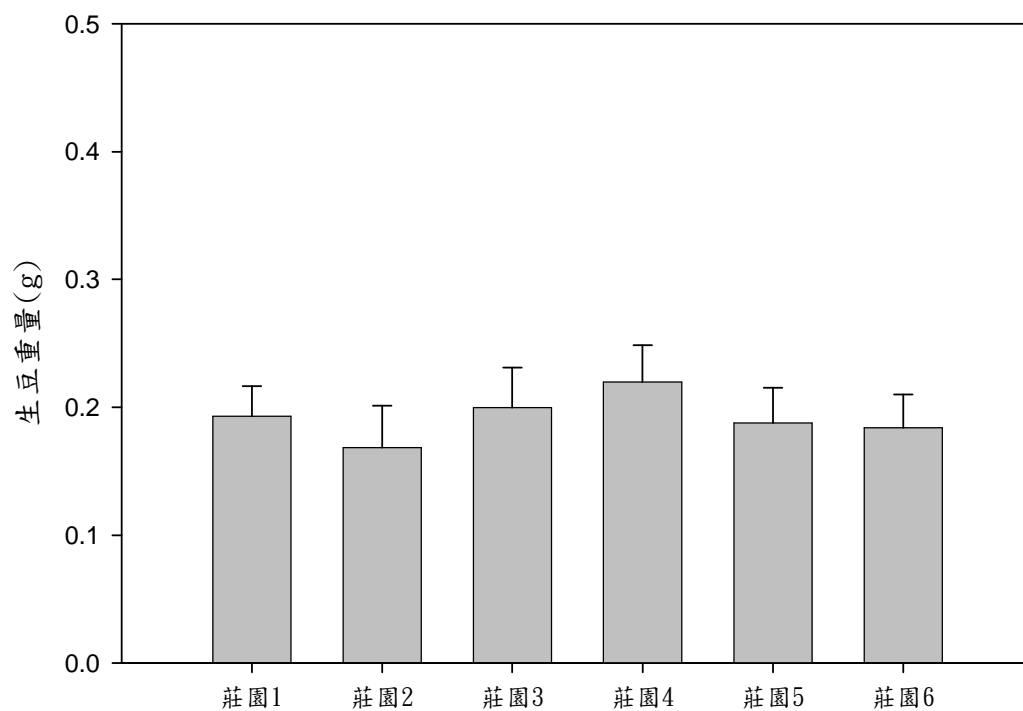


圖 19、生豆重量 (g) 在不同莊園的平均值及標準差

4.4 生豆重量與海拔高度

在不同的海拔高度，生豆重量的平均值如表 8。在海拔高度為 282 公尺時有最大生豆重量平均值 0.22 公克，在海拔高度為 392 公尺時有最小生豆重量平均值 0.17 公克。

將生豆重量與海拔高度進行變積分析，發現一次和二次效應皆為顯著， $Pr < 0.001$ ，一次效應和二次效應的回歸係數分別為 -1.463×10^{-4} 和 9.159×10^{-8} 。經過

整理後，生豆重量與海拔高度的回歸趨勢線方程式可以寫成：

$y=9.159*10^{-8}x^2-1.463*10^{-4}x+0.2457$ ，圖 20 顯示生豆重量在不同的海拔高度之平均值及趨勢線。在本次實驗的六個海拔高度中，海拔高度最低的有最大的生豆重量平均值，但是去掉海拔 282 公尺不看，生豆重量會依著海拔高度升高而增加，並且趨於穩定。所以推測，海拔 282 公尺所採收的咖啡豆可能經過特殊的栽培管理或是在生長期順利，讓種子發育完整，所以實際測量的生豆重量比預期的生豆重量還要高。大致上來說，生豆重量會隨的海拔高度的升高而增加，並趨於穩定。

表 8、生豆重量在不同海拔高度的平均值

海拔高度 (m)	282	392	555	642	851	1094
生豆重量平均 (g)	0.22	0.17	0.18	0.20	0.19	0.19
生豆重量標準差	0.029	0.033	0.026	0.031	0.028	0.024

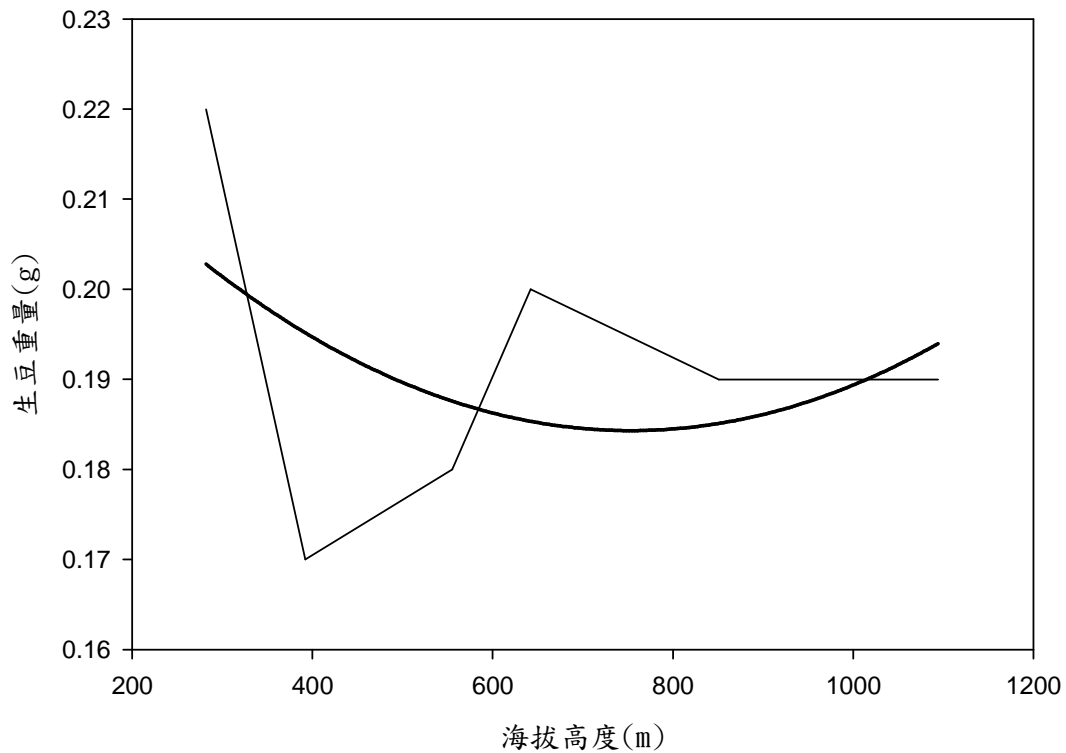


圖 20、生豆重量在不同海拔高度的平均值及趨勢線

4.5 生豆重量與採收期

生豆重量在不同的採收期平均值分別為 0.2、0.2、0.19、0.19、0.19 公克。在前兩次的採收期，生豆重量較重，而後期的採收期，生豆重量較輕。進行變積分析發現，生豆重量在不同的採收期有顯著的差異， $Pr < 0.001$ 。但是發育週數對於生豆重量沒有顯著的差異。

5. 密度

在本次實驗中，生豆密度的平均值為 1.178 (g/ml)。經過變積分析後發現，密度和修枝及莊園的主效應顯著， $Pr < 0.001$ ，和兩者交感效應也有顯著差異， $Pr < 0.001$ 。變積分析表如附表 7。

5.1 密度與交感效應

將生豆密度與修枝和莊園兩者之間的交感效應顯著，由交感圖 (圖 21) 可以看到，只有莊園 4 在經過修枝處理後，生豆密度有下降的趨勢，而其他莊園在經

過修枝處理後，生豆密度的平均值都是增加，其中又以莊園 2 在修枝處理後，生豆密度的增加幅度最大。

由交互圖中可以發現，只有莊園 4 在對修枝處理的反應情形和其他莊園不同，造成修枝和莊園的交互產生，所以去掉莊園 4 的資料後，再一次進行分析，發現修枝和莊園的主效應呈現顯著差異，而兩者的交互效應消失，代表修枝和莊園各別的主效應對於生豆密度仍有影響，將於以下進行討論。

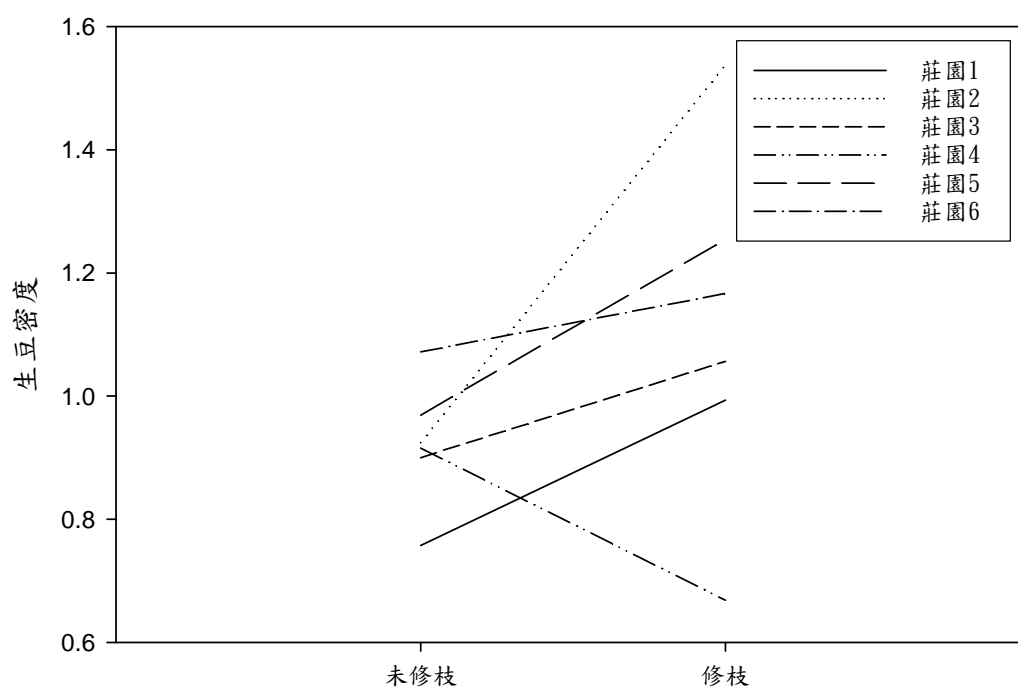


圖 21、生豆密度 (g/ml) 與修枝及莊園之間的交互效應圖

5.2 密度與修枝

生豆密度在沒有經過修枝處理的平均值為 1.13 (g/ml) ，而在有經過修枝處理的平均值為 1.3 (g/ml) ，修枝處理前後的生豆密度平均值及標準差如圖 22 所示，有經過修枝處理的標準差數值變小，表示修枝處理會讓整體的平均密度增加並且變的集中。經過變積分析之後，結果發現修枝對於生豆密度有顯著差異， $Pr < 0.001$ 。

生豆密度或許可以拿來做為咖啡充實程度或是飽滿程度的指標，密度越大代表咖啡充實程度越佳，在這次的實驗中所量測得到的數據，咖啡樹在經過修枝處理後，生豆密度有上升的趨勢，顯著修枝處理會讓咖啡的密度變大，種子的充實程度較佳。

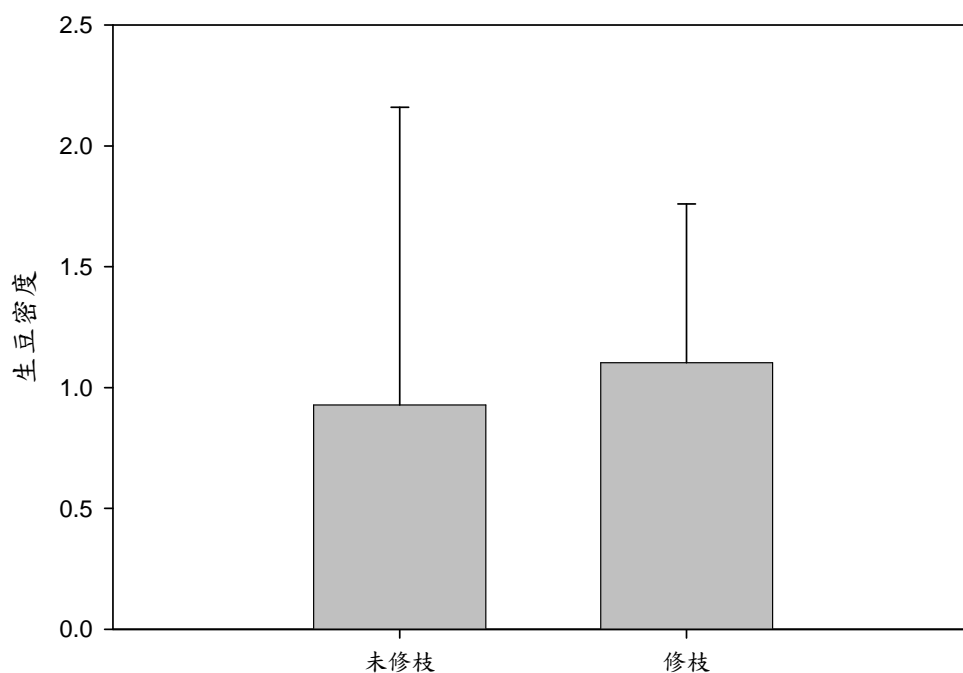


圖 22、生豆密度 (g/ml) 在修枝處理前後的平均值及標準差

5.3 密度與莊園

在不同莊園的生豆密度分別為 1.01、1.32、1.13、1.05、1.28、1.29 (g/ml)，密度在不同莊園中的平均值及標準差如圖 23 所示，其中，莊園 6 的標準差範圍比其它莊園略大，是因為莊園 6 的未修枝處理所採收的生豆密度分布範圍較大，品質較不一致，顯示修枝會使生豆密度變得集中，並且在莊園 6 的反應情形最為明顯。

在變積分析表中，密度和莊園之間有顯著差異， $Pr < 0.001$ 。莊園的主效應顯著，進一步使用 Tukey's HSD test，進行生豆密度的平均值顯著性差異分析，分群界線為 $Pr < 0.05$ ，分群結果顯示於表 9 中。生豆密度在莊園之間的差異，有可

能是來自不同莊園的氣候條件不同或是栽培管理法不同所造成的，其中莊園 1 的生豆密度平均值略低，可能是因為海拔高度較高的關係，充實程度較差，可能會導致未成熟豆的數量略多於其他莊園，但是整體來說，生豆密度都在合理的範圍之內。

在國外的咖啡豆分級標準中，常會使用咖啡硬度來當作分級的標準，海拔越高的咖啡豆，硬度越高。而咖啡生豆的硬度推測和咖啡生豆的密度有相關性，充實程度越高，密度越大，硬度也會跟著提高。但是在本次實驗中發現，生豆密度和海拔高度的變積分析中，一次效應有顯著差異，回歸趨勢線方程式可以寫成： $y=-0.000325x+1.2443$ 。由趨勢線可以得知，生豆密度會隨著海拔高度的增加而降低，與一般國外的認知有所差異。

表 9、生豆密度 (g/ml) 在不同莊園的平均值及分群結果

	莊園 1	莊園 2	莊園 3	莊園 4	莊園 5	莊園 6
生豆密度平均值	1.01	1.32	1.13	1.05	1.28	1.29
生豆密度標準差	0.34	0.43	0.55	0.34	0.71	2.39
分群結果	b	a	ab	b	a	a

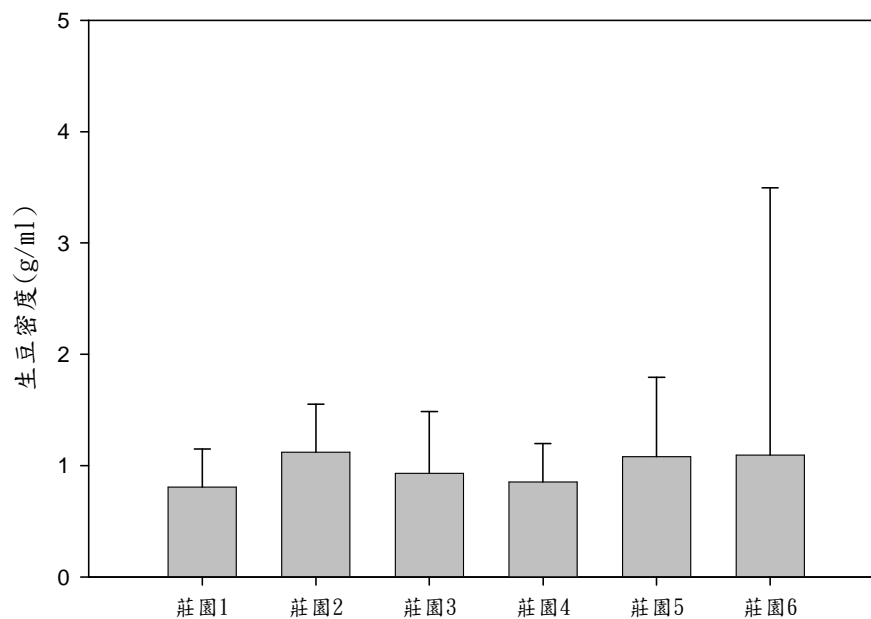


圖 23、生豆密度在不同莊園的平均值及標準差

6.產量

本次實驗所收集到的咖啡產量每株平均為 54.18 公克，經過變積分析後發現，產量與莊園以及海拔高度的主效應皆有顯著差異，而交感效應不存在。變積分析表如附表 8。

6.1 產量與莊園

咖啡樹在不同莊園的每株平均產量分別為：114.9、72.68、49.18、17.31、55.04、32.06 公克，由圖 24 所示。莊園 1 的產量是平均產量的兩倍以上，顯示高海拔地區的生豆密度雖然較低，但是單位產量較高，莊園 4 的產量約為平均產量的三分之一，顯示低海拔地區的生豆密度雖然較高，但是單位產量較低。

進行變積分析，發現莊園對於產量有顯著差異， $Pr < 0.05$ ，進一步以 Tukey's HSD test，分析產量的平均值顯著性差異，分群界線為 $Pr < 0.05$ ，結果分群結果不顯著，可能是因為資料中莊園 1 和莊園 4 的變異過大。推測影響產量的因素除了莊園之外，還有其他重要的因子，例如咖啡樹的樹齡或是咖啡樹的生長勢，都是可能會影響產量的原因。

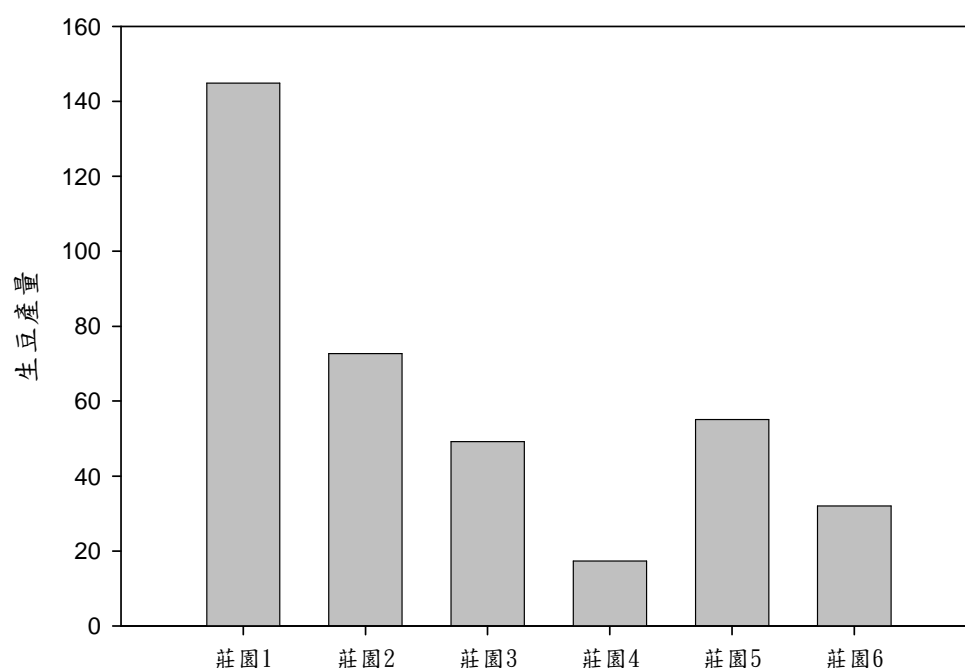


圖 24、生豆產量在不同莊園的平均值

6.2 產量與海拔高度

咖啡生豆在不同海拔高度的平均產量如表 10 所示。在海拔高度為 1094 公尺時有最大平均產量 114.9 公克，在海拔高度為 282 公尺時，有最小平均產量 17.31 公克。進行變積分析，發現產量在不同的海拔高度之間有顯著差異，一次效應顯著，其回歸係數為 0.92，二次效應不顯著。所以回歸方程式可以寫成 $y=0.92x-2.7624$ ，趨勢線如圖 25。顯示咖啡生豆的平均產量，會隨著海拔高度的增加而增加。

產量和密度受到海拔高度的影響呈現相反的趨勢，要如何在兩者之間達到平衡，有充足的產量之餘，生豆密度也不要太低，避免咖啡品質下降，將結果和下面的官能鑑定結果再相互比較，嘗試找出趨勢所在。

表 10、生豆產量在不同海拔高度的平均值

海拔高度	282	392	555	642	851	1094
生豆產量平均(g)	17.31	72.68	32.06	49.18	55.04	144.9
生豆產量標準差	0.34	0.43	2.39	0.55	0.71	0.34

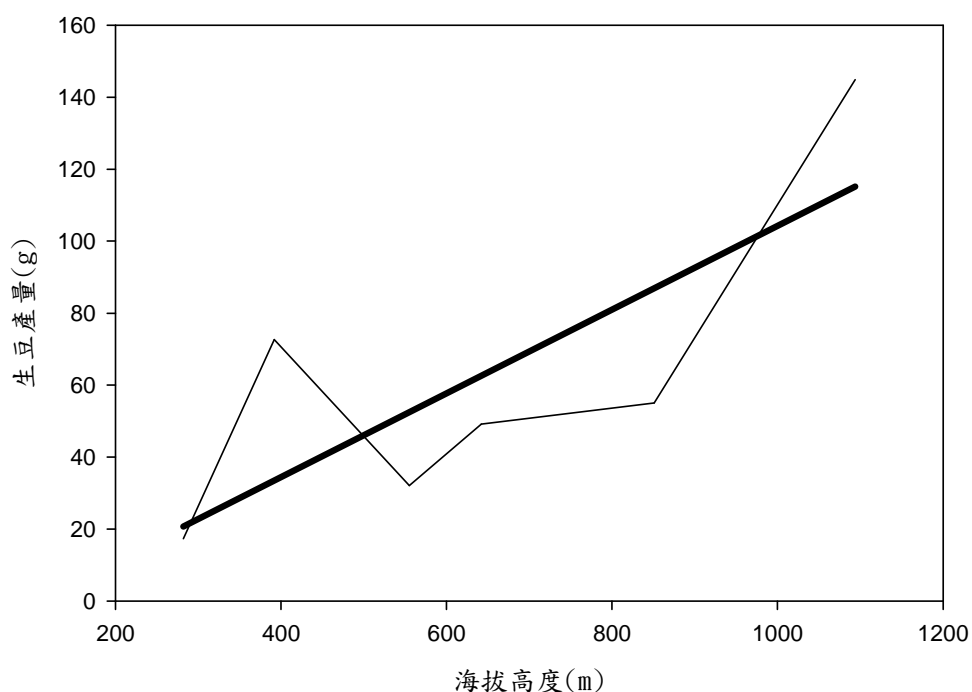


圖 25、生豆產量在不同海拔高度的平均值及趨勢線

四、官能鑑定分析

1. 缺陷豆比例

在精品咖啡中，缺陷豆的評定類別分為兩級：在 350 公克的咖啡生豆樣品中，精品級的咖啡生豆不可以有第一級的缺陷豆，包括全黑豆、全酸豆、乾漿果/果皮、真菌感染豆、異物和嚴重蟲蛀豆，同時總扣分不可以超過 5 分；特優級可以有第一級的缺陷豆，但是總扣分不可超過 8 分。以去年古坑咖啡節的台灣精品咖啡豆評鑑為例，缺陷豆總扣分超過 50 分者，在生豆評比的時候就會被淘汰。

在本次實驗中，因為每次採收期的產量不一，所以在分析缺陷豆數據時，參考美國精品咖啡協會的缺陷豆挑選標準，統一校正數據到每批有 350 公克的重量，所以表 11 中所呈現的數據都經過校正到每批豆子為 350 公克時的缺陷豆顆數以及 350 公克的總扣分。此次挑選出來的缺陷豆共有八種，分別是局部黑豆、局部酸豆、萎凋豆、多心皮、破碎豆、未成熟豆、貝殼豆、浮豆，都是屬於第二級的缺陷豆。其中在未成熟豆的部分，又特別提出高海拔低溫未成熟豆出來討論。局部黑豆和局部酸豆的扣分標準是每三顆扣一分，其他缺陷豆則是每五顆扣一分。另外，在本次實驗中也會將圓豆特別挑選出來，圓豆並不算是缺陷豆的一種，不會扣分，但是圓豆的產生是咖啡樹的遺傳缺陷所造成，分裂的兩心皮有一個心皮未發育，變成只有一粒種子，所以計算圓豆的比例也可以幫助了解各莊園咖啡樹的特性。

由表 11 可以看到，破碎豆的比例在各莊園都偏高，是因為本次實驗在進行咖啡豆脫殼時，使用大竹製作會所的 FC2K 碾米機進行脫殼，可能因為轉速過高或是有少許咖啡生豆本身較脆，造成破碎豆的大量產生，但是有部分批次是手工脫殼，就沒有發生這種大量破碎豆的情形。為了不要讓這些人為誤差所造成的大量破碎豆扣分影響整體的總扣分，所以這邊所討論的缺陷豆總扣分，破碎豆的扣分不會列入計算。

表 11、不同莊園的缺陷豆顆數以及總扣分

缺陷豆種類	莊園 1	莊園 2	莊園 3	莊園 4	莊園 5	莊園 6
局部黑豆	9.7	887.0	120.7	38.8	11.3	41.7
局部酸豆	0.0	36.3	12.4	0.0	0.0	0.0
圓豆	20.4	165.8	86.4	227.0	169.3	261.3
多心皮	23.4	66.7	10.5	0.0	9.9	3.5
未成熟	12.5	56.9	43.2	11.3	7.7	12.1
高海拔低溫未熟	43.2	62.5	101.7	2.3	0.0	0.0
貝殼豆	29.8	7.7	3.4	14.2	22.7	7.8
浮豆	0.0	0.0	0.0	0.0	3.7	0.0
萎凋豆	0.0	0.0	0.0	0.0	1.1	3.2
破碎豆	1167.6	3048.6	1457.1	407.7	786.0	96.7
總扣分	25	346.5	76.1	18.5	11.8	18.6

經過變積分析發現，在八種缺陷豆之中，只有未成熟豆、高海拔低溫未成熟豆以及破碎豆跟莊園有顯著差異。在脫殼的時候產生了大量破碎豆，但是有些產量較小的莊園，例如莊園 4 和莊園 6，有些咖啡豆是用手工脫殼而非機器脫殼，這些莊園的破碎豆比例就比其他利用機器脫殼的莊園來得低。未成熟豆和莊園的差異來自於不同的採收成熟度標準，有些莊園採收的時機，可能咖啡樹上的咖啡漿果尚未完全成熟，就會造成未成熟豆的比例增加。高海拔低溫未成熟豆是台灣常見的一種缺陷豆，因為北回歸線穿越台灣，使得在北回歸線以南和以北的氣候大不相同，在高海拔地區，入冬之後因為氣溫較低，咖啡漿果的生長停滯，雖然外觀看起來並無缺陷，沒有一般未成熟豆的特徵，但是豆心微微透出暗黑色塊，充實、發育不完全，品嚐的滋味就和未成熟豆一樣，特稱高海拔低溫未成熟豆。去年的第一波寒流大約是在 12 月初來臨，可以觀察到，從第三次採收期開始，高海拔低溫未成熟豆的數量增加。高海拔低溫未成熟豆在經過修枝處理之後，平均顆數從 56.6 下降到 29.9，顯示修枝處理可以降低高海拔低溫未成熟豆的數量，但是沒有顯著差異。

2. 評分項目

本次咖啡官能鑑定所評分的項目中，總共分為六大項目，分別為：香氣 (aroma/fragrance)、靈活度 (acidity)、滋味 (flavor)、黏稠度 (body)、餘韻 (aftertaste)、喜好 (cupper's point)，在這五項中呈現明顯的特色，得分就會較高。前五項的評分範圍最高 10 分、最低 0 分，喜好的評分範圍則是正負 5 分，將六個項目得分相加，最後加上 45 分就是每個評鑑樣品的總得分。

各莊園的總分依序為 73.12、70.44、72.76、74.14、73.45、72.18，平均值及標準差如圖 26 所示。在修枝處理的部分，沒有修枝和有修枝的總分分別為 72.86、72.49。變積分析的結果，總得分和修枝、莊園、海拔高度或是採收期主效應皆不顯著，交感效應也不顯著。

總得分在海拔 282 公尺的趨勢和其他海拔高度不一致，如果除去海拔 282 公尺的資料，發現總得分會隨著海拔高度變高而變高，顯示海拔高度的地區，所生產的咖啡豆在品質上較佳。造成海拔 282 公尺總分較高的原因，可能是因為此地區栽培管理適宜，除此之外，此地區位於台中縣(北迴歸線以北)的莊園，在本次實驗中是屬於緯度較高的，顯示在緯度較高的地方，就算種植咖啡的莊園海拔高度不高，也可以生產出品質優秀的咖啡生豆。

接著討論總分和各項漿果特性或是生豆特性有無相關性，經過變積分析發現，生豆重量和總分有顯著差異，一次效應顯著但是二次效應不顯著，效應係數為 0.0115，回歸趨勢線方程式可以寫成： $y=0.0115x-0.646$ 。在本次所測得的數據中，生豆重量越重，官能鑑定總分就越高。所以可以用生豆重量來當作咖啡豆品質的一個評斷因素。

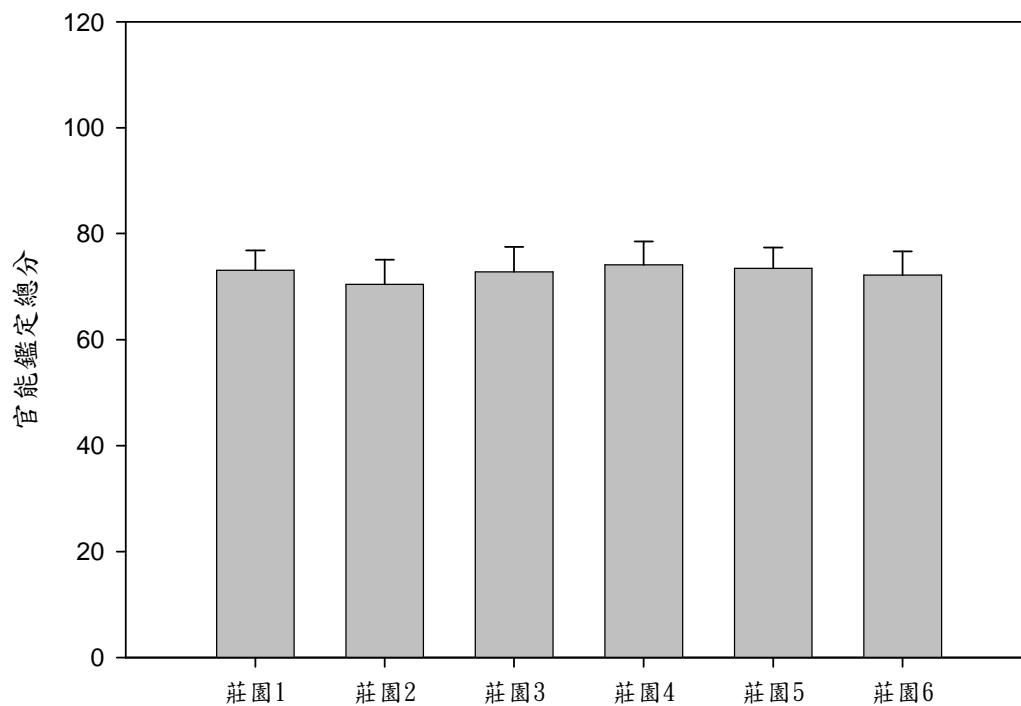


圖 26、官能鑑定總分在不同莊園的平均值及標準差

各項評分項目當中，發現滋味的部分和海拔高度有顯著差異，一次效應顯著，呈現正相關的關係，回歸趨勢線方程式可以寫成 $y=1.683*10^{-4}x+5.078$ 。顯示滋味的得分會隨著海拔高度的增加而增加。黏稠度的部分，發現莊園的主效應和黏稠度呈現顯著差異， $Pr<0.05$ ，但是交感項不顯著，進一步以 Tukey's HSD test，檢定黏稠度的平均值顯著性差異，但是無法成功分群，可能是因為黏稠度在不同的莊園之間變異太大。餘韻的部分，經過變積分析後發現，莊園和海拔的主效應皆為顯著，但是交感效應不顯著，同樣以 Tukey's HSD test，檢定莊園對於餘韻的平均值顯著性差異，分群界線為 $Pr<0.05$ ，分群結果發現平均值最小的莊園 2 為一群，其它莊園為一群。莊園 2 在最後一批採收期的生豆情況不佳，在缺陷豆的部分也可以看到扣分嚴重，可能是因為在漿果後處理時發生誤差或是此批採收期得所採摘的漿果成熟度和其他時期不同所造成。將餘韻對海拔高度進行變積分析，發現一次效應顯著但是二次效應不顯著，一次效應係數為 $6.995*10^{-4}$ ，回歸趨勢

線方程式可以表示成： $y=6.995*10^{-4}x+4.875$ 。顯示餘韻的得分也會隨著海拔高度的增加而增加

在官能鑑定的部分影響評分項目最多的是莊園和海拔高度的效應，滋味和餘韻的得分都會隨著海拔高度的增加而增加。最終的總得分則和生豆重量有著正相關的關係，生豆重量越重，總得分就會越高。



第五章、結論

本次實驗分別收集到位於台中縣、南投縣、雲林縣和嘉義縣等六個海拔高度介於 280~1100 公尺之間的莊園，在不同採收期所採摘的咖啡漿果，進行漿果及生豆的農藝特性的調查與分析，包括漿果的厚度、漿果甜度、生豆重量、生豆密度、生豆水分含量、生豆產量，最後再計算缺陷豆比例以及進行官能鑑定。在調查咖啡漿果及生豆的農藝特性時，每個莊園在不同採收期隨機抽樣 30 顆咖啡漿果進行調查。在採收期的部分可以分為兩群，一群是偏南部高海拔和偏北部地區，第一次採收期在 10 月中下旬開始，另一群是偏南部低海拔，第一次採收期在 9 月中旬就開始。

平均來說，本次實驗所測得的各項農藝特性結果如下：咖啡漿果厚度平均值為 12.75 公厘。漿果甜度平均值為 13.92%。水分含量平均為 11.8%。單株咖啡樹的平均產量為 54.18 公克，而每顆生豆的重量平均值為 0.195 公克。生豆密度平均為 1.13(g/ml)。缺陷豆的部分，總共發現了局部黑豆、局部酸豆、未成熟豆、高海拔低溫未成熟豆、破碎豆、萎凋豆、貝殼豆、浮豆、多心皮、圓豆。

經過統計分析發現，除了水份含量以外，莊園的主效應對於各項農藝特性都有顯著差異，顯示氣候環境以及栽培管理方法對於咖啡都有一定程度的影響。因為各個採收期的效應包含在莊園效應之下，屬於摺疊設計的一種，在不同的莊園之間，採收的月份和各個採收期之間的時間天數都不一致，所以採收期和其他因子之間的交感作用沒有意義，用發育週數作為變項才是一個比較準確來判斷採收漿果時機的因子。根據本次實驗數據推測，咖啡漿果的發育週數在 30 週左右可以達到完全成熟，做為第一次的採收期，接下來在 44 週左右會達到再一次的高峰，可以做為第二次採收期，之後的曲線下降幅度明顯。漿果的甜度和漿果大小呈現負相關的趨勢，漿果越大，甜度越低。咖啡生豆的水份含量取決於漿果後處理的步驟，跟修枝、海拔高度等因子沒有直接或是間接的顯著差異。生豆重量會隨著海拔高度的增加而增加，而經過修枝處理後有下降的趨勢，可能是因為修枝

強度需要進行調整。雖然在修枝後，生豆重量下降，但是生豆密度有增加的趨勢，顯示修枝處理的效應對於咖啡生豆品質是有正向的影響，推測生豆密度和種子充實程度有相關，充實得越飽滿的種子，密度越大，可以做為判斷咖啡豆品質的標準之一。產量的部分，會隨著海拔高度的增加而增加。

缺陷豆中的高海拔低溫未成熟豆是台灣觀察到的常見缺陷豆，常在近年來台灣精品咖啡評鑑中出現。因為入冬之後，高海拔地區的溫度降低，還留在咖啡樹上的咖啡漿果，雖然果皮顏色仍然會轉為成熟的紅色，但是咖啡漿果內部已經因為低溫而停止生長，種子尚未充實完全，採收下來的咖啡生豆外觀與一般生豆無異，沒有缺陷豆的特徵，唯有豆心透出微微的暗黑色，經過官能鑑定後的味道就像是未成熟豆一樣，所以特稱為高海拔低溫未成熟豆，去年的第一波寒流約在12月初，所以從第三次採收期開始，高海拔低溫未成熟豆的數量增加，而修枝處理會使高海拔低溫未成熟豆的數量減少，一方面是因為經過修枝後，採收期較集中，不會拖到寒流時才採收，另一方面，修枝處理後會使漿果吸收養分的效率變好，形成未成熟豆的機率降低。

官能鑑定的部分，在滋味和餘韻的得分會隨著海拔高度的增加而增加。總得分基本上也會隨著海拔高度的增加而增加，但是有一例外，在海拔高度較低的282公尺，總得分偏高，此海拔的莊園位在台中縣，在本次實驗中屬於偏北部的地區，因為台灣有北回歸線穿過，以北為副熱帶氣候區，以南為熱帶氣候區，所以偏北部的低海拔地區氣象條件會和偏南部的高海拔地區相似，因此，會有海拔高度雖然不高但是在咖啡豆的品質表現優秀。另外，官能鑑定總分也和生豆重量有顯著差異，一次效應顯著，趨勢線為： $y=0.0115x-0.646$ ，顯示生豆重量越重，官能鑑定的總分越高，相較於生豆密度的測量方法不易，或許也可以做為評斷咖啡豆品質的另一項標準。

參考文獻

- 朱慶國。1958。台灣咖啡問題。中國園藝 4:26-30.
- 朱慶國。1940。臺灣省農業試驗所嘉義農業試驗分所研究試驗工作簡報。1961:216
- 朱慶國。1961。臺灣省農業試驗所嘉義農業試驗分所研究試驗工作簡報。1961:99
農情報告資源網。
- 陳怡伶。2010。開發鑑別台灣咖啡品種之分子標誌與外表性狀之調查。國立台灣
大學農藝學研究所碩士論文。
- 澤田兼吉。1933。臺灣農事報三二一號別刷。
- Alvarado Y., Soto-Pinto L., García-Barrios L. Barrera-Gaytán J. F. 2002. Coffee yields and soil nutrients under the shades of Inga sp. vs. multiple species in Chiapas, Mexico. *Agroforestry Systems* 54:215-224.
- Bertrand B., and Nuñez C., Sarah J-L. 2000. Disease complex in coffee involving *Meloidogyne arabicida* and *Fusarium oxysporum*. *Plant Pathology*. 49:383-388.
- Carvalho, A., and C. Krug. 1949. Genetics de Coffea XII: Hereditariedade da cor amarela da semente. *Brasilia*. 9:193-202.
- Carvalho, A. 1988. Principles and practice of coffee plant breeding for productivity and quality factors: Coffea Arabica. *Coffee: agronomy* 4:129-165.
- Chevalier, A., and M. Dagrón. 1928. Recherches historiques sur les debuts de la culture du cafeier en Amerique. *Communications et Actes de Academie des Sciences Coloniales*, Paris.
- Cros, J., N. Chabrilange, C. Duperray, A. Angles, and S. Hamon. 1995. Nuclear DNA content in the subgenus Coffea(Rubiaceae): inter-and intra-specific variation in Africa species. *Canadian Journal of Botany*. 73:14-20.
- DaMatta F. M., Ronchi C. P., Maestri Moacyr and Barros R. S. 2008. Ecophysiology od coffee growth and production. *Brazilian Journal of Plant* 19(4):485-510.

- Fassio LH, Silva AES. 2007. Importância econômica e social do café conilon. *Café Conilon* 37-49.
- Gathaara, M. P. H., Kiara, J. M., 1990. Density and fertilizer requirement of the compact and disease resistant Arabica coffee. *Kenya Coffee* 55:907-910.
- Harlan, R. 1971. Agricultural origins: Centers and noncenters. *Science* 174:468-474.
- Hendre S. and Aggarwal K., 2006. DNA markers development and application for genetic improvement of coffee. *Genomics-Assisted Crop Improvement*. 10:399-434.
- Lashermes, P., M. Combes, J. Robert, P. Trouslot, A. D'hont, F. Anthony, and A. Charrier. 1999. Molecular characterization and origin of the *Coffea Arabica* L. genome. *Mol. Genet. Genomics*. 261:259-266.
- Krug, C. 1938. The genetics of *Coffea*. *Journal of Genetics* 37:41-50
- Krug C. A., and Carvalho A. 1951. The genetics of *Coffea*. *Advances in Genetics*. 4:127-158.
- Kumar D., and L. Tieszen. 1980. Photosynthesis in *Coffea Arabica*. I. Effects of light and temperature . *Exp. Agric.* 16:13-19.
- Medina-Filho H. P., Maluf M. P., Bordignon R., Guerreiro-Filho O. and Fazuoli L. C. Traditional breeding and modern genomics: a summary of tools and developments to exploit biodiversity for the benefit of the coffee agroindustrial chain. *ISHS Acta Horticulturae* 745.
- Njoroge J. M. and Kimemia J. K. Influence of tree training and plant density on yields of an improved cultivar of *Coffea arabica*. *Experimental Agriculture* 30:89-94.
- Owuor J. B. O. and Vossen H. A. M, 1980. Interspecific hybridization between *Coffea arabica* L. and tetraploid *C. canephora* P. ex Fr. I. Fertility in F1 hybrids and backcrosses to *C. Arabica*. *Euphytica* 30:861-866.
- Perfecto Ivette, Rice R. A., Greenberg Russell and Van der Voort M. E. 1996. Shade Coffee: A Disappearing Refuge for Biodiversity. *BioScience* 46(8):598-608.

Raina, S., Y. Mukai, and M. Yamamoto. 1998. In situ hybridization identifies the diploid progenitor species of *Coffea Arabica*(Rubiaceae). *Theoretical and Applied Genetics*(Alemania). 97:1204-1209.

Schieber Eugenio, 1975. Present status of coffee rust in south America. *Annual Review of Phytopathology*. 13:375-382.



附表 2、漿果厚度之變積分析表

Analysis of Variance Table

Response: 漿果厚度

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
altitude	1	5.43	5.43	4.9202	0.02667 *
cut	1	0.03	0.03	0.0250	0.87447
farm	4	115.20	28.80	26.0975	< 2.2e-16 ***
harvest	4	182.30	45.57	41.2972	< 2.2e-16 ***
cut:farm	5	31.06	6.21	5.6298	3.707e-05 ***
Residuals	1845	2036.08	1.10		

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1

附表 3、漿果甜度之變積分析表

Analysis of Variance Table

Response: 漿果甜度

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
altitude	1	79.6	79.6	17.838	2.529e-05 ***
cut	1	130.3	130.3	29.192	7.451e-08 ***
farm	4	5548.1	1387.0	310.767	< 2.2e-16 ***
harvest	4	1898.8	474.7	106.355	< 2.2e-16 ***
cut:farm	5	355.2	71.0	15.917	2.309e-15 ***
Residuals	1752	7819.6	4.5		

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.

附表 4、漿果厚度與漿果甜度之變積分析表

Analysis of Variance Table

Response: 漿果厚度

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
sugar	1	12.90	12.90	11.242	0.0008166 ***
Residuals	1766	2027.15	1.15		

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1

附表 5、水分含量之變積分析表

Analysis of Variance Table

Response: 水分含量

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
altitude	1	734	734	2.1337	0.1442
cut	1	119	119	0.3464	0.5562
farm	4	758	190	0.5511	0.6983
harvest	4	952	238	0.6919	0.5975
cut:farm	5	608	122	0.3536	0.8801
Residuals	2287	786484	344		

附表 6、生豆重量之變積分析表

Analysis of Variance Table

Response: 生豆重量

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
altitude	1	0.08532	0.08532	110.433	< 2.2e-16 ***
cut	1	0.01947	0.01947	25.204	5.556e-07 ***
farm	4	0.36250	0.09062	117.292	< 2.2e-16 ***
harvest	4	0.01964	0.00491	6.355	4.397e-05 ***
cut:farm	5	0.04815	0.00963	12.464	5.871e-12 ***
Residuals	2287	1.76703	0.00077		

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

附表 7、生豆密度之變積分析表

Analysis of Variance Table

Response: 生豆密度

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
altitude	1	0.01	0.01	0.0052	0.9425254
cut	1	13.78	13.78	11.4318	0.0007341 ***
farm	4	26.26	6.56	5.4448	0.0002315 ***
harvest	4	9.87	2.47	2.0467	0.0853464 .
cut:farm	5	22.69	4.54	3.7638	0.0021354 **
Residuals	2287	2757.12	1.21		

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

附表 8、產量之變積分析表

Analysis of Variance Table

Response: 產量

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
altitude	1	27142	27142	9.4477	0.003623 **
cut	1	39	39	0.0135	0.908103
farm	4	34197	8549	2.9759	0.029307 *
harvest	4	23343	5836	2.0314	0.106463
cut:farm	5	12374	2475	0.8614	0.514507
Residuals	44	126405	2873		

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.

