

計畫編號：113 農再-1.1.1-1.1-保-001(6)

**全球暖化下的台灣咖啡優化：以營養管理
與發酵建構低碳排、高產值的咖啡產業**
**Optimizing Taiwanese Coffee under Global
Warming: Constructing a Low Carbon
Emission, High-Value Coffee Industry
through Nutrient Management and
Fermentation**
成果報告書

執行單位：國立成功大學

執行期間：113 年 02 月 07 日至 113 年 12 月 31 日

計畫主持人：蔣鎮宇 特聘教授(國立成功大學生命科學)

共同主持人：許再文 副研究員(農委會特有生物研究保育中心)

江友中 教授(國立中山大學理學院副院長)

黃浩仁 教授(國立成功大學生命科學系主任)

黃兆立 副教授(國立成功大學熱微所)

王雲哲 教授(國立成功大學土木科學系系主任)

林幸君 教授(嘉義大學應用經濟學系)

農業部農村發展及水土保持署 編印

中華民國 113 年 12 月

摘要

台灣的咖啡產業具備高度的經濟價值，然而由於咖啡豆品質不穩定、風味缺乏層次，且售價相對高於國外進口的生豆，限制了台灣咖啡在國際市場的競爭力。為了提升台灣咖啡的整體質量與市場優勢，本計畫引入微生物農法與生物科技進行二次發酵，以增強咖啡植株根部健康，並提升咖啡豆的發酵風味。考量咖啡屬於高碳排的作物，本計畫測試了自然農法在咖啡栽培中的碳足跡，以探索減少碳排放的可能性，推動低碳環保的咖啡莊園建構。目前，本計畫已與三家咖啡農場(南方森林咖啡農場、三尖山咖啡農場、你我他咖啡農場)建立合作關係，透過比較自然農法與慣行農法下土壤的微生物組成與物化性質，探討對咖啡作物的影響。研究結果顯示，儘管微生物組成差異不顯著，但採用自然農法的咖啡植株其地上部器官生長速率顯著提升。此外，透過分離出的兩種特定微生物進行二次發酵後的咖啡豆，風味層次顯著豐富，並且咖啡豆內糖分含量有明顯提升，有望提升台灣咖啡的風味與國際市場競爭力。

Abstract

Taiwan's coffee industry holds notable economic value; however, the inconsistency in coffee bean quality, lack of flavor complexity, and relatively high price compared to imported green beans limit the competitiveness of Taiwanese coffee in the global market. To enhance the overall quality and market position of Taiwan coffee, this project introduces microbial farming methods and secondary fermentation through biotechnology. These methods aim to strengthen the root health of coffee plants and improve the flavor profile of fermented beans. Considering coffee's high carbon footprint, this project also evaluates the carbon footprint of natural farming in coffee cultivation, exploring potential ways to reduce emissions and promote the establishment of environmentally friendly, low-carbon coffee farms.

Currently, we have established collaborations with three coffee farms. By comparing the microbial composition and physicochemical properties of soils under natural versus conventional farming methods, we investigate the impacts on coffee crops. Results show that, although there is no significant difference in microbial composition, coffee plants cultivated with natural farming methods display a significantly increased growth rate in above-ground organs. Additionally, with secondary fermentation using two isolated, specific microorganisms, the flavor complexity of the coffee beans is notably enriched, and their sugar content significantly increased. This approach is expected to enhance the flavor profile and global market competitiveness of Taiwanese coffee.

目次

目次.....	I
表次.....	II
圖次.....	III
第一章 緒論.....	1-1
第一節 背景	1-1
第二節 問題分析	1-3
第三節 計畫目標	1-8
第二章 工作執行方法與步驟	2-1
第一節 工作執行方法	2-1
第二節 工作執行步驟	2-11
第三章 工作進度與交付項目	3-1
第一節 計畫甘特圖	3-1
第二節 計畫交付項目	3-1
第四章 結果及建議	4-1
第一節 結果	4-1
第二節 建議	4-1
參考文獻.....	參-1
附錄.....	附錄-1
附錄一、期中審查會議紀錄暨回覆辦理情形	附錄-1

表次

表 2-1 計畫團隊與合作對象	2-1
表 2-2 咖啡生豆價格表	2-4
表 2-3 咖啡豆來源及發酵條件	2-11
表 2-4 HPLC(高效液相層析儀)分析結果.....	2-13
表 2-5 咖啡豆內含物對人體的影響	2-14
表 3-1 原計畫甘特圖.....	3-1
表 3-2 可量化效益表.....	3-10

圖次

圖 2-1 食力報導，2022 年.....	2-2
圖 2-2 咖啡種植區域.....	2-3
圖 2-3 你我他生態農場咖啡生長狀況.....	2-5
圖 2-4 三尖山生態農場咖啡生長狀況.....	2-6
圖 2-5 微生物農法 VS.自然農法.....	2-7
圖 2-6 建構台灣咖啡評鑑系統記者會.....	2-9
圖 2-7 咖啡杯測師賴力弘.....	2-10
圖 2-8 加入菌液和砂糖水.....	2-12
圖 2-9 發酵中的咖啡豆.....	2-12
圖 2-10 發酵後的咖啡豆.....	2-12
圖 2-11 發酵結束潤洗咖啡豆.....	2-12
圖 2-12 發酵液.....	2-13
圖 2-13 萃取發酵液至離心管中.....	2-13
圖 2-14 萃取發酵液當中的 DNA.....	2-13
圖 2-15 台東太麻里二次處理豆.....	2-15
圖 2-16 台南東山半山水洗淺培.....	2-15
圖 2-17 台南東山三尖山自然農法日曬.....	2-16
圖 2-18 第一批鐵皮卡.....	2-16
圖 2-19 第二批鐵皮卡.....	2-16
圖 3-1 各土壤樣本之 RAREFACTION 分析.....	3-2
圖 3-2 ALPHA DIVERSITY 分析.....	3-2
圖 3-3 階層分群分析.....	3-3
圖 3-4 非度量多維尺度化分析.....	3-4
圖 3-5 微生物農法與慣行農法下的葉菜類作物的產量.....	3-5

圖 3-6 未實施 VS 已實施微生物農法之咖啡園.....	3-5
圖 3-7 第一批鐵皮卡生豆-三尖山農場	3-6
圖 3-8 第二批鐵皮卡生豆-三尖山農場	3-6
圖 3-9 使用自然農法種出的咖啡豆.....	3-7
圖 3-10 阿里山微生物後製中焙	3-8
圖 3-11 台灣咖啡風味輪	3-9

第一章 緒論

第一節 背景

台灣的農產品中最具有產值的莫過於台灣的茶葉與咖啡，相對過往人類對於糧食的倚賴，廿一世紀的台灣不再缺糧，一般人每日攝食的澱粉量因為健康的考量以及生活型態的改變(尤其是上班族)已經顯著的下降，而所追求的是飲食上的精緻化以及身心的保健，健康的茶飲以及餐後的咖啡已經蔚為時尚，其市占率也日益提高，從經濟面來看，咖啡的產值具有未來的潛力，然而咖啡的植栽面臨了幾個環境上以及品質上問題。相較於茶葉飲用的是茶樹的嫩芽及嫩葉(一心二葉)，容易受到病蟲害的襲擊，因此多數的茶葉(除了東方美人茶之外)都有農藥過度使用的顧慮，而咖啡豆屬於漿果，必須移除果肉留下種子的部分，進行脫殼烘焙，受到農藥的污染相對要少許多。然而在密集種植之下，病蟲害隨之而來，除了真菌引發的植病之外，台灣的咖啡最為困擾的蟲害要屬咖啡小蠹，主要危害樹上的果實以及採收後的生豆，防治上除了設置誘殺器外，發現咖啡上層的遮蔽樹以及自然農法，有利於食蟲鳥類的繁殖，在我們的自然農法的場域，不但有多樣的鳥類築巢還有古老支系的青蜂以及猛禽的出沒，這些都是生態系健康的指標，自然農法的成效並受到國際期刊Impacts的報導。

台灣的咖啡最具指標性的不外阿里山與東山咖啡，原本知名的古坑咖啡因為參雜外國豆而聲譽掃地，在無法確定真偽的情況下，不列入本研究的目標，東山咖啡的開發較早，可以追溯到1941年日治時代標題，東山區先人從日本人設在楠西的農場工作將咖啡種苗帶回東山種植，促使咖啡樹因此在山林間自然散播和生長，一直到今日炭頭山附近仍有許多逸出野化的咖啡樹，根據東山農會的資料，該區以炭頭山最為適宜咖啡的植栽，海拔500-800公尺之間具有日夜溫差，並

受到曾文水庫、烏山頭水庫及白河水庫的濕度調節，使得東山咖啡有著獨特的「台灣味」，栽植面積已達一百二十公頃以上，具有極高的產值。東山咖啡是具有歷史意義的特色農產，日治時代，當時的政府選定東山為發展台灣咖啡的植栽地，特別是環繞崁頭山的淺山地區，然隨著二戰的結束以及日本的戰敗，咖啡產業的發展開始停滯，一直到最近幾年，莊園咖啡開始抬頭，並與雲林古坑咖啡齊名。然而這兩年來東山咖啡受到阿里山咖啡的競爭，以及產銷的失衡漸漸失去優勢，甚至許多的優質咖啡必須降價以求，如何提振東山咖啡的品質以及風味是重要的課題之一。而阿里山咖啡的海拔較高，分布於海拔800公尺至1300公尺之山區，這個地區素來以阿里山茶而聞名，最近幾年因為不少青農的投入，讓阿里山咖啡開始在國際揚名，其中阿里山瑪翡台灣咖啡豆更是精品中的精品。這兩個著名的咖啡各有其特色，也各有其擁護者，然而當媒體的焦點都落在得獎的優質生豆的同時，多數的咖啡豆品質並不如想像的質優，缺乏層次是許多國外的咖啡愛好者給台灣咖啡的評價，更讓他們驚奇的是，價格比國際上著名的生豆還要貴出許多，這樣的印象與評價對於台灣咖啡的願景其實是負面又具有殺傷力的，這也是我們計畫的團隊投入普遍提升台灣咖啡豆品質與產值的動機之一。另一個不能忽略的大環境則是全球暖化的衝擊影響人的永續生存，在進入新世以後，地球受到週期性的冰河活動的影響，然而廿一世紀的地球卻是比預期還提前進入間冰期的高峰，由於人類活動增加的二氧化碳速度和量遠大於碳移除速度，造成地球碳循環失衡，在短短50年溫室氣體排放增加25%濃度，這些主要來自

- 1) 燃燒煤炭、2) 燃燒石化燃料用來開車、發電及木炭烤肉、3) 畜牧除了需要大片土地外，其消化及排遺釋放甲烷為二氧化碳約84倍、4) 水泥生產佔總排放為8%。溫室氣體包括二氧化碳、甲烷、臭氧、

一氧化氮及水蒸氣造成溫室效應導致溫度上升，每上升1度C足以破壞地球穩定造成極端氣候包括颶風、暴風雪、熱浪、強降雨、乾旱、洪水、土石流、更寒冷的冬天及海平面上升。例如馬達加斯加，除了本身去森林化，也卻受嚴重溫室氣體排放國家的影響，已經連續幾年乾旱，成為第一個全世界因氣候變遷造成飢荒的受害國家，馬達加斯加從一個綠意盎然生物多樣性的國家，變成紅沙一片。科學家預估若我們在2025年不能減少75%碳排放，溫室效應不管對人類、生態、經濟、政治及社會將成為無法扭轉的災害，變成無法居住的地球。碳排放與碳中和達到平衡，也就是碳排放淨零(Net Zero carbon dioxide emissions)，這也是已開發國家必須在2035年前必須達到的目標，其他開發中國家則訂在2045年(the International Energy Agency 2021)。United Nations Intergovernmental Panel on Climate Change's (IPCC)認為最有效的碳捕捉技術開發可能在2050年之後較成熟，因此碳排放淨零燃眉之急，我們需要改變生活方式，其中就包含了咖啡的生產方式、運送、烘焙以及消費的方式(如拿鐵或cappuccino等)，這是台灣咖啡的機會也是善盡地球村一員不可推諉的責任。

第二節 問題分析

(一) 台灣咖啡的價格偏高，品質卻有待改善

(1) 台灣咖啡市場的價格有如下列：

咖啡種類 半磅價格 資料來源

純正東山咖啡 600 元 蝦皮購物

台南東山咖啡豆 430 元 蝦皮購物

阿里山龍美咖啡 660-800 元 蝦皮咖啡

台灣阿里山梅山碧湖 570-850 元 蝦皮購物

黃金烘焙綜合咖啡豆 442 元 星巴克

冬季限定咖啡豆 442 元 星巴克

藍山咖啡 300 元 85 度 C

黃金曼特寧 300 元 85 度 C

法式經典 300 元 85 度 C

極品嚴選咖啡豆 400 元 85 度 C

喝咖啡已經變成了台灣生活的日常，根據國際咖啡組織(ICO)統計，台灣人 2021 年全年咖啡消費總數約 28.5 億杯，平均每人每年約喝 122 杯，自 2018 年起每年增加 1.6%。根據農委會統計，台灣近年自產咖啡豆產量大約落在 700~1100 公噸，還不足以供應國人所需，因此大多仰賴進口(食力

<https://www.foodnext.net/column/columnist/paper/5357772897>)。顯示台灣的咖啡市場充滿的潛力以及競爭力。食力媒體的分析也指出，2021 年咖啡豆進口量達 4 萬 866 公噸，進口金額首度突破 2 億美元，較 2011 年翻倍成長。2022 年前 9 月累計金額已達 2.1 億美元，超過 2021 年全年進口金額，年增 38.2%，主要進口來源依序為巴西（占 15.5%）、衣索比亞（占 15.3%）、美國（占 12.4%）及哥倫比亞（占 12.1%），合計超過 5 成。咖啡生豆的價格更是重要的指標，顯示台灣咖啡產業是否具有國際的競爭力，以網路獲得的資訊條列如下：

東山咖啡: 700-800 元/kg

阿里山咖啡: 1100 元/kg

阿里山藝妓: 3000 元/kg

夏威夷可娜: 4100 元/kg

亞買加藍山: 2800-6200 元/kg

巴拿馬藝妓: 1280-4500 元/kg

哥倫比亞藝妓: 1300 元/kg

哥倫比亞: 315 元/kg

衣索匹亞耶加雪菲: 500 元/kg

巴西: 285 元/kg

蘇門達臘曼特寧: 185 元/kg

顯而易見地，東山咖啡的價格明顯高於一般的哥倫比亞、摩卡、巴西、曼特寧等，而距離高端的藝妓、藍山及可娜，則仍有許多的差異，簡單的說”高不成低不就”恐怕是東山咖啡面臨最大的困境，即使有高值的莊園豆標價來到一萬元每公斤，然而多數的咖啡生豆則落在每公斤 600-800 元左右，依品質而有差異。固然，台灣的頂級咖啡可以與國際上任何等級的咖啡匹敵，但是已全面的經濟而言，國際得獎的咖啡雖然可貴，畢竟是萬中選一，一般等級的咖啡究竟有多少競爭力才是問題的核心。台灣的消費者多數抱個嘗鮮的心態購買台灣咖啡，也因此回購率遠遠不如星巴克、85 度 C 或 Costco 咖啡豆。現實的問題是大的連鎖咖啡，是放眼全球經營的，成本比起阿里山或東山的小農要低許多許多，也因此要以削價競爭，台灣的咖啡勢必血本無歸，也因此必須唯一好的策略就是提升台灣咖啡的獨特性、鑑別度以及整體的品質，以此提升台灣咖啡豆的競爭力。

(2) 台灣的咖啡多數依賴自然發酵:

咖啡漿果在採收後(postharvest)需要處理，一般而言咖啡生豆有三大類的處理，亦即水洗(以水洗去除果皮果肉，在水中發酵去除果膠層)、日曬(缺水的地區，多數以全漿果直接日曬，過程中讓咖啡豆吸收果皮以及果肉的風味)、蜜處理(保留果膠曾在日光下曝曬)(<https://www.justincoffee.com.tw/collections/honey>)，不同的處理則有不同的咖啡風味，但是無論是何者，自然的發酵是必然的過程，即使是同一品系的咖啡豆，因為當地的微生物相差異，即使是同一種處理的方式，造成的咖啡豆風味也會不同，這也說明何以不同地區的同一種豆子會有獨特風味的原因。Waters et al. (2017) 指出咖啡豆的化學組成很複雜，最多的是多醣體、油脂與蛋白質，而發酵作用讓咖啡豆的內含物轉換，一如 esters 可以產生花香、甜味及果香，Higher alcohols 則會生成杏仁口味、巧克力風味等 (Schwan et al. 2023)。國際上咖啡豆的發酵技術則開始探索在生豆而非鮮豆的階段，主要原因是鮮豆的”保鮮期”極短，必須在採收之後立即處理，以免黴菌的滋生讓鮮豆不只是失去了該有的風味，還加增了霉味並引發食品安全的疑慮(de Melo Pereira et al. 2019)，也因此提出在咖啡鮮豆經過處理之後的階段，種子水分含量僅剩下 10-12%，是否提供了二次發酵的窗口?並將此視為挑戰。

(3) 咖啡在作物中碳排第一，對環境極不友善:

一般人印象之中植物應該是碳的捕手而不是幫兇，然而馴化作物為了提升作物的產量，廣泛的使用化肥以及除草劑、農藥，卻大大加增了碳排，這在咖啡及可可中尤為嚴重，咖啡的植栽過程因為肥料的使用會產生一氧化碳(笑氣)，對於全球暖化的衝擊是

二氧化碳的 265 倍

[_detail.aspx?qparentid=8e967898-7ec9-48d8-a4fe-6a456f736ef4](#)

)，相較於每公斤香蕉產生約 0.86 kg 的碳排放，而每公斤咖啡則會產生約 28.53 kg 碳排放，因為施肥產生的溫室氣體則高達 10.4 kg(<https://www.seinsights.asia/article/8615>)，烘焙讓咖啡在食物碳排中更加惡名昭彰。煮好一杯咖啡會產生的碳排量：黑咖啡 21 克、53 克黑咖啡加牛奶、235 克大杯卡布其諾、340 克大杯拿鐵

(<https://buzzorange.com/ctiorange/2021/09/30/cafecarbon-footprint/>)。顯然地，咖啡(尤其是拿鐵)是植物性食物中的碳排之首惡，從咖啡減碳下手無疑地是符合聯合國環境永續目標的重要工作。相對於咖啡這樣的後段班學生，自然農法的綠色植栽則是極具口碑碳捕手，透過選種、低碳栽培(無農藥及化肥)、水資源的管理、土壤微生物的經營等，將有效地達到碳中和的功能。有趣的是 Nab & Maslin (2020) 發現無論是巴西 *C. arabica* 抑或越南 *C. robusta* 在碳排的量上慣行農法都遠遠超過永續的自然農法 (高達 4.5 倍之多)，而 *robusta* 的碳排也比 *arabica* 略高，而造成咖啡碳排居高不下的則是國際間的運輸，這對於本土咖啡而言無異是極大的鼓舞，而農法之間的不同也是造成碳排差異的主因之一(也是可以努力的著力之處)。進一步分析咖啡高碳排的原因則是異地的消費行為，也就是第三界生產的咖啡銷往先進國家，相信台灣也有一定的貢獻。而不同的咖啡飲品在永續農法以及慣行農法之間也有著顯著的差異，尤其在使用 dairy milk 的咖啡居高不下，尤其在 espresso 以及拿鐵飲品。Hassard et al. (2014) 更發現市面上流行的罐裝咖啡的碳足跡是 espresso 咖啡的 6 倍之多。

第三節 計畫目標

一、全程目標

本計畫的目的在建構以植物次代謝為核心的特色新農業，發展台南市東山區的咖啡為主軸的特色產業，透過微生物農法強化作物的根部以及提升作物標的器官的營養(一如咖啡、百香果的果實，以及香草的莖葉等)，以生物科技導入咖啡豆的發酵的次級代謝物萃取，輔以機能性的配方，提升莊園咖啡風味的獨特性與競爭力。台南東山的傳統農業必須轉型，種植高單價的作物是提升青農返鄉最大的動力之一，其中經濟作物咖啡、茶葉等都是現代農業的首選，也占了台灣農業產值重要的部份，另一個新的選項則是本土中草藥的植栽，背景來自於台灣在藥材的需求上過度向中國傾斜，類似於農產品(農林漁牧皆然)外銷過度倚賴中國，往往受制於對方，嚴重偏離自由市場的模式，另一個主因則是來自於中國藥材及大多數有農藥殘留的問題，日常食用藥食同源的藥材(一如枸杞等)則影響了國民的健康，也因此台灣的藥材需求漸漸轉向日韓或具有潛力的東南亞各國，而更具有將來性的模式則是台灣培植本土的藥草產業(機能性香草植物)，以中藥市場的經濟模式考量，不少機能性香草(中草藥)或保健食品的物種具有極高的市場價值，值得鼓勵青農的投入。

二、本年度目標

本年度設定的目標有三:其一藉由營養管理以提升台灣咖啡豆的結實率以及種子的內含物豐富度; 其二根據第一年咖啡生豆的發酵經驗，利用不同的酵母菌以及乳酸菌提升台灣咖啡的品質

與獨特性(鑑別度); 其三測試自然農法在咖啡植栽的碳足跡，以建構低碳的咖啡莊園。

第二章 工作執行方法與步驟

第一節 工作執行方法

計畫團隊與合作對象如表 2-1 所示。

表 2-1 計畫團隊與合作對象

計畫團隊：總主持人	執行內容
1. 蔣鎮宇 教授 (國立成功大學生命科學系教授)	整體籌畫、機能性萃取
計畫團隊：共同主持人	共同執行內容
1. 許再文 副研究員 (農委會特有生物研究保育中心)	種源採集與保存
2. 黃兆立 副教授 (國立成功大學熱帶植物與微生物科學研究所)	土壤微生物分析及農法
3. 王雲哲 教授 (國立成功大學土木工程系)	土壤物性與化性分析
4. 林幸君 教授 (嘉義大學農業經濟系教授)	農業成本效益分析
5. 陳妙齡 副教授 (長榮大學保健營養學系)	咖啡內容物測定
實驗場域與合作農民	實驗與合作內容
1. 南方森林咖啡 (東山淺山區, 海拔 500 公尺)	咖啡烘焙
2. 三尖山咖啡農場 (東山半山區, 海拔 300 公尺)	咖啡發酵
3. 你我他生態農場 (東山半山區)	咖啡植栽與自然農法
合作生物科技公司 (成大技術轉移 spin off 公司)	合作執行內容
1. 金富成生物科技股份有限公司	發酵技術
2. 台南市尚品咖啡	咖啡烘焙與杯測

3.龍飛生物科技股份有限公司	機能性萃取與配方技術
合作法人	合作執行內容
1.社團法人中華食品安全雙盲檢驗認證學會	雙盲認證

資料來源：本計畫

一、東山咖啡的莊園化模式建構：

擬透過食力媒體記者的專訪推廣東山咖啡，如圖 2-1 所示。



圖 2-1 食力報導“讓東山咖啡再起！成大教授蔣鎮宇以 3 項改良技術重塑 175 咖啡公路產地文化”，2022 年

資料來源：<https://reurl.cc/AAM9pE>

過去我們的團隊針對東山咖啡的提升提出了下列的建言，也是本研究將落實的項目東山多以自然農法種植咖啡，已具備良好品質(<https://reurl.cc/GAna6v>)，然而日本植物學者高木優教授(成大熱帶植物研究所玉山學者)的專業意見表示，東山咖啡喝起來就是味道缺乏層次，需要讓風味更加多元，而關鍵技術則在於利用微生物科技發

酵，讓原本風味良好的咖啡呈現更多的層次，更具有鑑別度與獨特性。我們的團隊與農民將合作共同研究開發，以三項研究項目開發完整東山咖啡產地系統。在以生物科技導入東山咖啡之前，選擇正確的參考模式是公的第一步，從咖啡地圖的緯度分布來看，以接近北回歸線又是島嶼地形的夏威夷(可娜)以及牙買加(藍山)最為近似(<https://reurl.cc/kXnpKd>)，他們的咖啡豆都以小量的莊園豆著稱，並且都擁有極高的單價(在全球數一數二的獨特性咖啡)，地理距離上又以夏威夷離台灣最近，其種原以及植栽方式都值得作為台灣的模式與借鏡，如圖 2-2 所示。



圖 2-2 咖啡種植區域

資料來源：<https://reurl.cc/XEA2n3>

咖啡生豆的價格是重要的指標，也同時顯示台灣咖啡產業的問題，以網路獲得的資訊，咖啡生豆價格如表 2-2 所示。

表 2-2 咖啡生豆價格表

單位：新台幣(元)

產地咖啡名稱	每公斤(kg)價格
1. 東山咖啡	700-800/kg
2. 阿里山咖啡	1,100/kg
3. 阿里山藝妓	3,000/kg
4. 夏威夷可娜	4,100/kg
5. 牙買加藍山	2,800-6,200/kg
6. 巴拿馬藝妓	1,280-4,500/kg
7. 哥倫比亞藝妓	1,300/kg
8. 哥倫比亞	315/kg
9. 衣索匹亞耶加雪菲	500/kg
10. 巴西	285/kg
11. 蘇門達臘曼特寧	185/kg

資料來源：網路約略價格

顯而易見地，東山咖啡的價格明顯高於一般的哥倫比亞、摩卡、巴西、曼特寧等，而距離高端的藝妓、藍山及可娜，則仍有許多的差異，簡單的說”高不成低不就”恐怕是東山咖啡面臨最大的困境，即使有高值的莊園豆標價來到一萬元每公斤，然而多數的咖啡生豆則落在每公斤 600-800 元左右，依品質而有差異。分析整體產業的問題，可以歸結出缺乏土壤與營養的管理、缺乏微生物發酵的技術以及缺乏冷鍊儲存的技術。

(三)營養管理與土質適性研究：土壤的物性化性分析

1.場域設定：東山淺山區之三尖山咖啡農場以及半山區的你我他生態農場(黃文賢)中有不少人提出東山海拔過低不適於咖啡植栽的質

疑，然如果以夏威夷咖啡植栽為標的，其所謂的” Kona Coffee Belt” (The Kona Coffee Belt is a recognized "terroir" located on Hualalai Mountain and Mauna Loa, ranging from 500 to 3200 feet above sea level. <https://reurl.cc/M839YW>)分布在海拔 300- 1000 公尺的坡地，而東山的咖啡大道海拔則為 500-800 公尺，同樣為海島地形，甚至夏威夷的緯度比東山還要南，所生產的咖啡豆卻是名列世界前茅，顯示海拔的效應並非是決定性的，多數專家認為火山灰的土壤是決定可娜咖啡獨特性的主要因子之一。多數高單價的咖啡種植在偏酸性的土壤，然東山地區的土質以青灰岩(惡地)為主，偏鹼性、排水差、微生物多樣性較低都是發展高品質咖啡的限制。透過土壤的物性化性分析，將提供農作土壤管理的基本資訊，而要提升咖啡的營養及品質，改變土質以及導入微生物農法是第一步(<https://reurl.cc/3xKmL9>)，藉由微生物多樣性的微生物農法是我們團隊過去五年在溪北地區所累積的正向經驗，咖啡生長狀況如圖 2-3 所示。



圖 2-3 你我他生態農場咖啡生長狀況



圖 2-4 三尖山生態農場咖啡生長狀況

- 2.土壤樣品收集：依據需求收集不同咖啡樹區的土壤樣品。
- 3.土壤物性分析：對土壤樣品進行物理性質分析，包括土壤導電度以及 pH 值等指標的測定。
- 4.土壤化學性質分析：對土壤樣聘進行化學應質分析，包括 pH 值、養分含量(氮、磷、鉀等)等的測定。
- 5.養分需求評估：根據土壤分析結果，評估咖啡樹的營養需求，確定適宜的施菌方案。
- 6.營養管理措施：根據評估結果，制定適當的營養管理措施。

分析目前整體咖啡產業的問題，可以歸結出缺乏土壤與營養管理以及微生物發酵的技術，而營養管理的部分，本計畫是透過微生物農法去進行。

微生物農法是一種利用土壤和植物相關的耐久性和落葉的農業管理方法，其目的是促進植物健康、生長和生產力，同時改善土壤品質和生態系統的可持續性。注重使用作物中的微生物的有效防腐來取代化學肥料和農藥，從而達到增收和環境友好的雙重效果。

實際操作情形：採用肉骨粉，利用微生物菌分解法，將羽毛、雞肉、骨頭，經約兩個月的時間，使其分解成粉狀(大支骨頭除

外)。了解土地狀況並施加有機肥後，再導入微生物菌，把微生物菌加水稀釋到一定倍數後，直接噴灑到土壤，像澆水一樣，沒有一定灌溉的時間。這些微生物會去分解草的有機物質，再轉化為肥料。使用可檢測的數據量化方式，將微生物菌種回饋到土壤，透過不斷取樣檢測，找到了有依據的比例配方。



圖 2-5 微生物農法 VS.自然農法

微生物農法(左圖)種植的咖啡果在亮澤度與大小飽滿度都比自然農法種植出來的咖啡果更光亮且大，農友能獲得更好品質的作物。

藉由營養管理改良土壤結構與肥力，提高作物品質，並減少環境污染，最重要的是提升台灣咖啡豆的堅固率及種子內含物的豐富度，而對農友來說最實際面的，便是減少化肥和農藥的成本，提升作物的市場價值。

7.監測合調整：定期監測土壤和植物營養狀況，進行必要的調整與改進。

(四)發酵技術升級：

1.咖啡發酵的目的和目標

莊園咖啡發展的趨勢之一，即為以微生物發酵提升咖啡的風味，除了自然發酵的方式，以微生物科技導入漸漸成了莊園咖啡的主流，發酵是人類古老的技術，包括醬油、釀酒、乳酪等都是發酵的產物，然而發酵雖然是人人都會，要達到高品質及穩定的量產，則是需要微生物學系統化的技術。

2. 配方優化與實驗設計：

菌種的分離、機能性混合比例、發酵時間及溫度等，都是關鍵的因子；技術上咖啡發酵概分為濕式發酵與乾式發酵，前者即是在發酵桶內以適當的菌種進行無氧呼吸，而後者則是多數以曝曬法，緩慢地進行發酵，每顆豆子的發酵程度不盡相同，基本上在健康元素的加入上比不上濕式發酵。台灣的氣候濕度較大，濕式發酵在咖啡豆的品質及味道的控制上比較容易達到系統化。

(五) 建構台灣咖啡評鑑系統：

2024/11/12 16:08:32 經濟日報 張傑 資料來源: <https://reurl.cc/EgGWXm>

台灣咖啡產業迅速成長，隨著阿里山、東山、古坑等地區的本土咖啡豆在國際賽事上嶄露頭角，如何提升本土咖啡品質成為關鍵，為了推動台灣本土咖啡豆的標準化評鑑，成功大學生命科學系今 12 日於成大生科大樓虎克教室，舉辦「建構台灣咖啡評鑑系統」記者會，展示以科學數據輔助杯測技術，為台灣咖啡打造的全新評鑑模式。



圖 2-6 成功大學生命科學系舉辦「建構台灣咖啡評鑑系統」記者會，與會貴賓一同合影

目前，台灣普遍使用的咖啡風味評鑑方法依賴杯測技術，這項技術主要依靠擁有敏銳嗅覺與味覺的「Q Grader」專業人士來操作，然而，傳統評鑑方式無法避免主觀判斷，且難以準確量化咖啡豆風味中的複雜成分。成大生命科學系的微生物科技團隊決定以科學儀器輔助傳統杯測，創建一個基於數據的評鑑模式，透過儀器檢測咖啡生豆的內含物，包括總糖量、植物鹼（如咖啡因和葫蘆巴鹼）及有機酸（如檸檬酸、蘋果酸、綠原酸等），來提高評鑑的客觀性與準確性。

成大團隊的研究發現，台灣本土生豆在多種成分上已經超越國外著名生豆，尤其在糖分、有機酸、植物鹼等項目上皆表現卓越。以綠原酸為例，這種咖啡多酚具有抗氧化功效，有助於提升人體健康，同時增強了咖啡風味的深度與層次。

記者會上，成大微生物科技團隊還介紹他們指導的台灣本土咖啡莊園，透過微生物農法栽種的咖啡豆，在糖分與有機酸的含量上均顯著提升，這些科學數據不僅顛覆了過往「本土豆不如外國豆」的刻板印象，更是為台灣本土咖啡豆打開通往國際市場的嶄新契機。透過這套創新的評鑑系統，將咖啡的健康與風味雙重提升，並以數據支持的

方式賦予台灣生豆更多競爭力，成大團隊表示，這套評鑑系統未來不僅將協助生產者優化生豆品質，也將成為台灣咖啡走向國際的重要里程碑。



圖 2-7 咖啡杯測師賴力弘

(六)碳足跡測定：

碳足跡計算的資料來源為產品碳足跡資訊網 (<https://cfp-calculate.tw/tw/cfpc/WebPage/Index.aspx>)。從中選取咖啡豆生產相關資源之碳排放參數：

- 1) 汽車(非電能): 0.173 kg/ km
- 2) 機車(非電能): 0.046 kg/ km
- 3) 用電: 0.295 kg/ 度
- 4) 用水: 0.081 kg/ 度
- 5) 瓦斯: 1.591 kg/ 度

統計一個月所使用之資源，即可計算每月碳排放。

第二節 工作執行步驟

表 2-3 咖啡豆來源及發酵條件

咖啡豆來源	台東太麻里生豆	第一批鐵皮卡 (阿拉比卡咖啡的品種之一，來自三尖山農場)	第二批鐵皮卡 (阿拉比卡咖啡的品種之一，來自三尖山農場)
重量	2 kg	20 kg	20 kg
發酵方式	無氧發酵→將生豆裝入桶中，將菌液及煮好放涼的砂糖水，依比例用量筒盛裝，倒入桶中，並將蓋子蓋上進行無氧發酵。		
時長	12 小時		
產地	台東太麻里	仙公廟海拔 550~600 公尺之間	大武山 (屏東跟台東之間)
菌液	<i>Pediococcus acidilactici</i> (簡稱 Pa 菌，為乳酸菌)	<i>Pichia fermentans</i> (簡稱 Pf 菌，為酵母菌)	<i>Pediococcus acidilactici</i> (Pa 菌)+ <i>Pichia fermentans</i> (Pf 菌)
比例	生豆:菌液=1:1 生豆:砂糖水=3:1		

根據我們的菌種分離與前測，已經有不錯的味道增添，顯示微生物發酵的可行性，透過二次發酵，可以增添咖啡的不同風味，而發酵的成效會受到時間和溫度的影響。二次發酵也解決了鮮果在大量採收後難以進行大規模控制性發酵的問題。以下為針對來自不同來源咖啡豆進行二次發酵實驗。而後續咖啡內容物分析則將會使用 HPLC(高效液相層析儀)測定發酵前後的咖啡豆，根據層析圖中出現的峰值時間，以及其面積值，作出針對咖啡因、綠原酸以及單寧酸的定量與定性分析。



圖 2-8 加入菌液和砂糖水



圖 2-9 發酵中的咖啡豆



圖 2-10 發酵後的咖啡豆



圖 2-11 發酵結束潤洗咖啡豆

大部分的微生物是無法培養的，為了解決這一問題，過去有研究提出總體基因體學(Metagenomics)的概念，即直接從樣本中萃取 DNA 進行定序，便可解決無法培養微生物的問題。隨著科技的進步，次世代定序(Next Generation Sequencing, NGS)可以同時定序大量極短的序列片段，將這些片段組裝在一起得到 DNA 資料後再整理成資料庫，經過分析軟體運算便可評估該環境中微生物多樣性及功能等，同時也能應用在發現新物種、農業科學等方面，讓探討環

境微生物的研究變得更精準。我們藉此預計運用此技術去了解實驗當中不同條件下的二次發酵之中的菌相分布，以確切了解菌在咖啡發酵當中的影響。下圖為定序前準備之圖片。



圖 2-12 發酵液

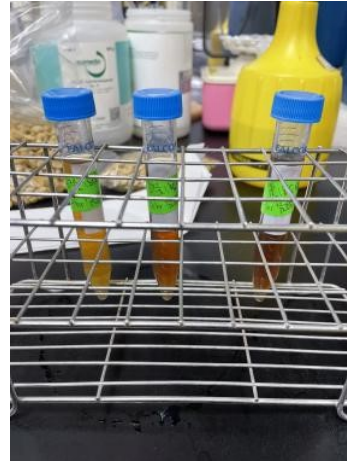


圖 2-13 萃取發酵液至離心管中

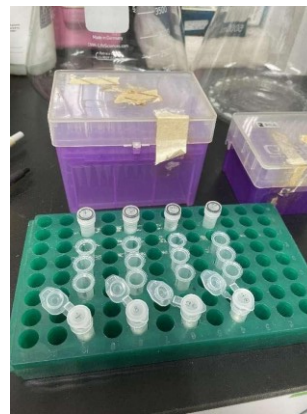


圖 2-14 萃取發酵液當中的 DNA

表 2-4 HPLC(高效液相層析儀)分析結果-微生物發酵處理對咖啡豆成分含量之影響

組別 成分	A(水洗生豆)	B (發酵 I)	C (發酵 II)
咖啡因 ¹ (ppm)	8631	8742	9507
葫蘆巴鹼 ² (mg/g)	6.04	7.22	7.44
綠原酸 ³ (g/100g)	3.39	3.47	3.47
蘋果酸 (g/100g)	0.29	0.30	0.32
醋酸 (g/100g)	0.09	0.34	0.35

檸檬酸 (g/100g)	0.95	0.97	0.76
酒石酸	ND	ND	ND
乳酸	ND	ND	ND

註：A:原豆(水洗生豆)

B:發酵日曬I(第一批鐵皮卡，酵母菌)

C:發酵日曬II(第二批鐵皮卡，酵母+乳酸菌)

由此結果可得知，發酵後的咖啡豆，其咖啡因、葫蘆巴鹼、綠原酸及有機酸的含量皆有明顯上升。

以風味上來看，發酵後增加了香氣及似水果的酸味，提升了咖啡的獨特性。從健康上來看，發酵後對人體有許多益處，例如提升抗氧化酶活性、調節生理機能及抗癌特性等。以下整理了內含物的相關功能。

表 2-5 咖啡豆內含物對人體的影響

內含物	功能
咖啡因	1. 咖啡中最重要的生物活性化合物，是苦味的來源。適的咖啡因會使細胞代謝速度增加。 2. 是一種中樞神經興奮劑，透過增加多巴胺、阻絕前額葉接收腺苷來達到提神作用。 3. 咖啡因已被證明具有抗癌特性，可預防肝細胞癌的發生和進展以及抗發炎的能力。 4. 咖啡因不只可以增加腎上腺素的分泌，也能幫助燃燒脂肪，產生 Free fatty acid，做為提供身體活動的燃料。
綠原酸 (CGA)	1. 咖啡在所有食物中，擁有最多含量的綠原酸，綠原酸具有抗氧化功能，可緩和細胞發炎的狀況。 2. 綠原酸與腸道健康、神經退化性疾病保護、2 型糖尿病和心血管疾病預防有關，並具有抗癌活性。 3. 調節生理機能。主要針對體內代謝醣類和脂質部分，因綠原酸抑制負責分解碳水化合物的酵素 α-葡萄糖苷酶；以及維持負責產生膽固醇的酵素 HMG-CoA，以發揮其功效。 4. 綠原酸有明顯的降壓作用，而且療效平穩、無毒、無副作用，
葫蘆巴鹼	1. 咖啡豆的主要生物鹼之一，影響咖啡香氣。 2. 咖啡中主要生物活性成分之一，葫蘆巴鹼被發現可以透

	過增加抗氧化酶活性和清除活性氧來降低氧化壓力，它還可以防止腎結石的形成。 3. 具抗發炎作用能保護神經系統，能活化統御長期記憶區的大腦部位海馬迴，替隨著年齡增長死去的腦細胞建立起新的網絡，可改善健忘、預防癡呆及阿茲海默症。
--	---

甜度杯測與發酵條件優化：

甜度是咖啡品質的重要指標之一，它能反映咖啡豆的成熟度和處理方式，為了提升咖啡的甜度，發酵條件的優化成為關鍵。發酵過程中的時間、溫度、微生物群落等因素直接影響咖啡豆的化學成分和風味特徵，調整這些條件可以改變咖啡豆的糖分和酸度比例，從而增強甜度。此外，精確控制發酵過程能減少不良風味的產生，提高咖啡的整體品質。通過研究和實驗，可以找出最佳的發酵條件，使咖啡豆在風味和甜度上達到最佳平衡。



圖 2-15 台東太麻里二次處理豆(淺培粉水比 1：10，甜度 0.5%)



圖 2-16 台南東山半山水洗淺培(粉水比 1：10-甜度 0.3%)



圖 2-17 台南東山三尖山自然農法日曬(淺培粉水比 1:10, 甜度 0.4%)



圖 2-18 第一批鐵皮卡(淺培粉水比 1 : 10 , 甜度 0.3%)



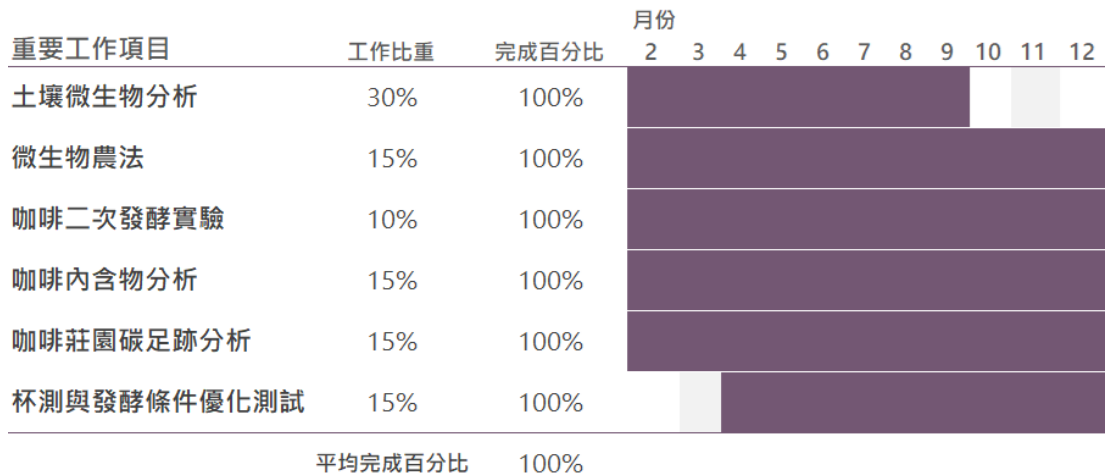
圖 2-19 第二批鐵皮卡(淺培粉水比 1 : 10 , 甜度 0.2%)

第三章 工作進度與交付項目

第一節 計畫甘特圖

表 3-1 原計畫甘特圖

Gantt chart



第二節 計畫交付項目

一、土壤微生物分析(30%): 已完成100%

本計畫選取野生林(Camphor)、農園(含微生物農法 H_Citrus、H_mango 與 H_Nature 以及慣行農法 H_Normal)以及崩塌地(H_collapse；原本為農園一部分，但因山坡土石崩塌而廢耕)土壤微生物的 DNA 定序以及分析。目前已完成土壤微生物 DNA 的定序，以及 alpha, beta diversity 分析。

(一) Rarefaction curve

(二) 以 rarefaction 檢測各土壤樣本的定序深度，顯示隨著獲得的 reads 數(sample size)提升，檢測到的 operational taxonomic unit (OTU)種類數量(species)越來越趨緩，表示定序的深度足以呈現樣本中的微生物的多樣性(圖 3-1)。以 reads 數 10,000

為標準進行 normalization，可發現崩塌地的 OTU 數量最少，其次是野生林，農園的土壤 OTU 數量最多。

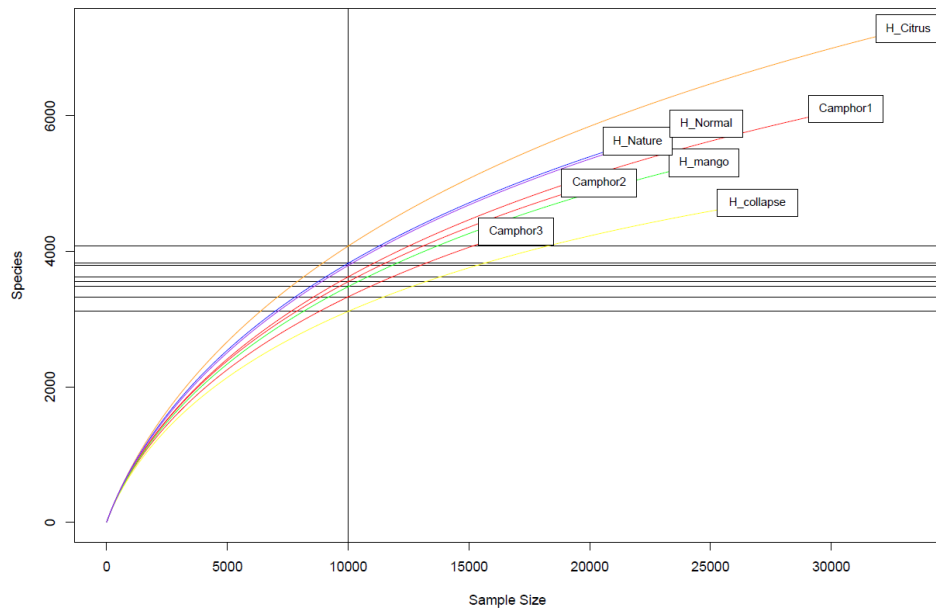


圖 3-1 各土壤樣本之 rarefaction 分析

(二) Alpha diversity

Alpha diversity 以 OTU 數量以及 Shannon's index 分析，並以盒型圖呈現結果(圖 3-2)。結果顯示不論是 OTU 數量還是 shannon's index，崩塌地的樣本最低，其次是野生林，而農園最高。然而三組之間並沒有顯著差異。

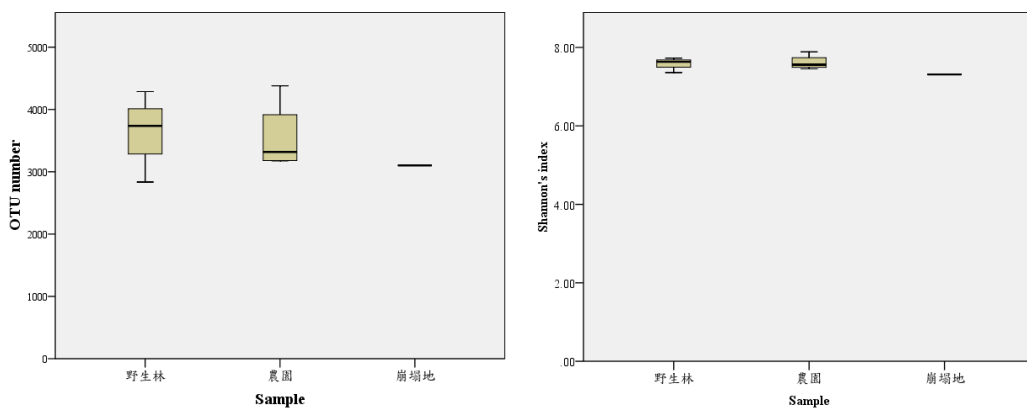


圖 3-2 Alpha diversity 分析

(三) Beta diversity

Beta diversity 以階層分群(hierarchical clustering)以及非度量多維尺度化(non-metric multidimensional scaling)分析。

1. 階層分群分析(hierarchical cluster analysis; HCA)

階層分群分析顯示農園土壤之間的微生物組成相似，而野生林之間的多樣性也相似，反而崩塌地與農園以及野生林最不相似(圖 3-3)。這可能表示植物(尤其是樹木)的有無，會大幅影響當地土壤的微生物結構。

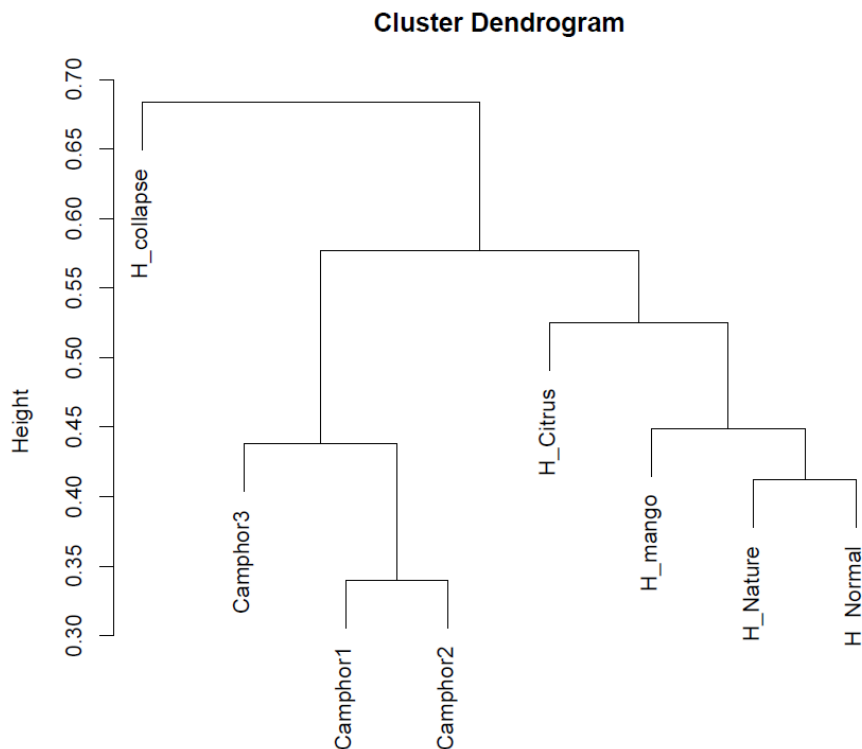


圖 3-3 階層分群分析

2. 非度量多維尺度化分析(non-metric multidimensional scaling; NMDS)

非度量多維尺度化分析顯示農園、野生林以及崩塌地之間的微生物組成有顯著上的差異(樣本以及多邊形無重疊)；然而微生物農法(H_Citrus、H_mango 以及 H_Nature)與慣行農法

(H_Normal)之間的微生物組成可能差異不大(圖 3-4)。

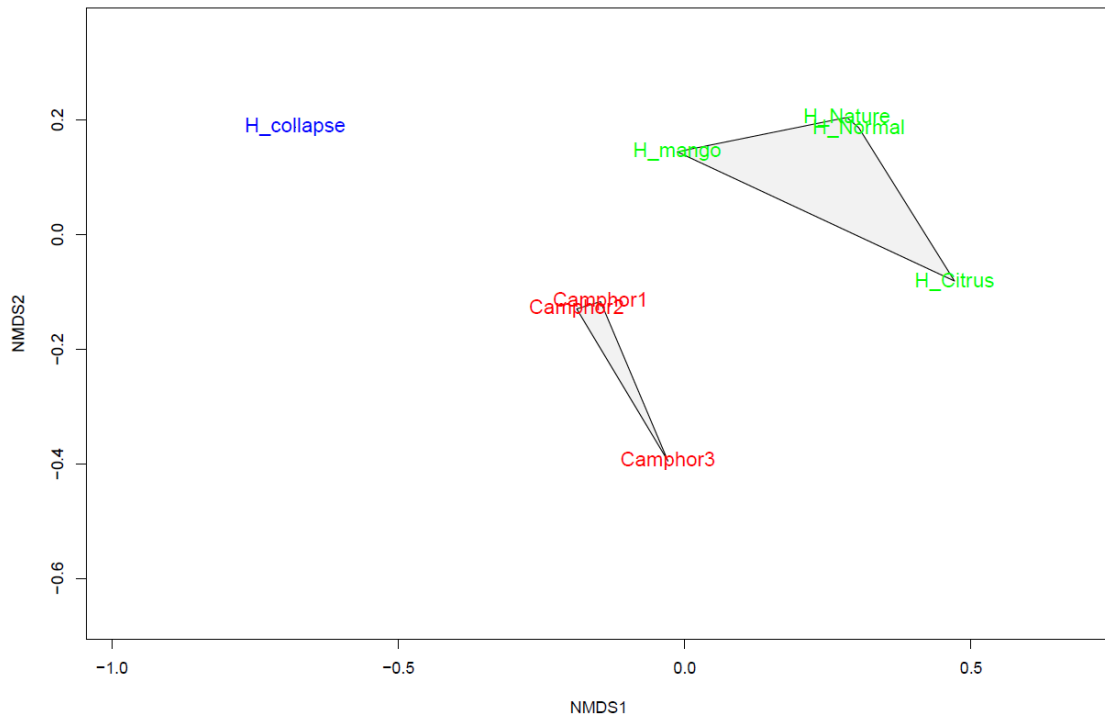


圖 3-4 非度量多維尺度化分析

二、微生物農法(15%): 已完成 100%

以國立成功大學熱帶植物與微生物科學研究所李瑞花副教授，針對微生物農法對葉菜類作物的產量的研究，已確認相比於慣行農法，微生物農法可顯著提升葉菜類作物的產量(圖 3-5)。李副教授選擇了台灣常見的三種葉菜類作物-空心菜、青江菜以及芥菜，作為實驗材料。每一種作物種植 20 棵植株，微生物農法的微生物液肥以同等慣行農法的化學肥料的含量進行澆灌，採收後秤量作物的乾重，並重複 4 個生長季度。使用微生物農法的作物，其乾重顯著高於慣行農法。這結果顯示了微生物農法確實可以提升作物的產量，並且有很高的自信推測微生物農法能顯著提升咖啡的產量以及品質。目前已選定試驗區域，並初步投入微生物農法(圖 3-6)。

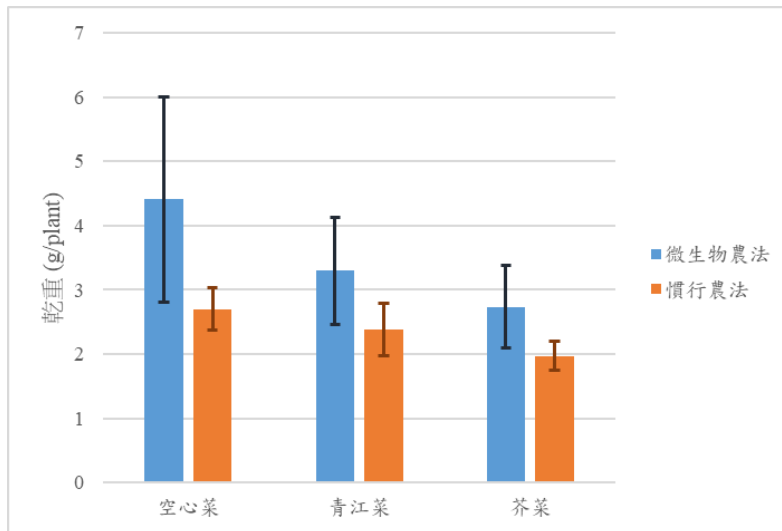


圖 3-5 微生物農法與慣行農法下的葉菜類作物的產量



圖 3-6 未實施微生物農法之三尖山農場(左)VS 已實施微生物農法之三尖山農場(右)

三、咖啡二次發酵實驗(10%): 已完成 100%

1~6 月本計畫已採收不同批來自三尖山農場的咖啡豆(圖 3-7、圖 3-8)進行二次發酵實驗的測定，在 7~12 月時進行不同條件下的二次發酵以確立最佳風味。



圖 3-7:第一批鐵皮卡生豆-三尖山農場



圖 3-8:第二批鐵皮卡生豆-三尖山農場

四、咖啡內容物分析(15%): 已完成 100%

1~4 月進行完咖啡二次發酵後已設計完後續咖啡內容物分析項目分別為 1) 不同組別的內含物(次級代謝物)差異、2)待測物(標準品): 咖啡因、綠原酸、單寧酸。後續我們在 7~10 月之間以不同組別咖啡豆去做HPLC(高效液相層析儀)測定發酵前後的咖啡豆內容物分析:A. 未發酵組(水洗生豆)B.發酵(脫殼)組。根據檢測結果顯示，經過發酵處理後，咖啡豆中的咖啡因、綠原酸、有機酸及葫蘆巴鹼的含量均有顯著提升。這些成分不僅對人體有多方面的益處，還能進一步增強咖

啡的風味特徵，讓咖啡在提供獨特口感的同時，對人體健康產生正面影響，成為消費者喜愛的咖啡豆。尤其在健康意識逐漸提高的當下，這種結合風味與健康的咖啡豆將具備更大的市場潛力。

因此，未來我們可以從這方面進一步加強產品的研發與推廣，充分發揮台灣咖啡豆在品質和健康效益上的優勢，進一步提升其在國際市場中的競爭力與知名度。

五、咖啡莊園碳足跡分析(15%):已完成 100%

1~4 月評估咖啡生產過程中所產生的二氧化碳排放量，並嘗試以自然農法的方式種植咖啡。碳足跡的分析這項分析涵蓋了從種植、收穫、加工到運輸的各個環節，碳足跡主要來自於使用化肥、農藥、能源消耗和運輸過程中燃料的燃燒，故本計畫以微生物農法(自然農法)將咖啡園整體碳排降低。



圖 3-9 使用自然農法種出的咖啡豆

六、杯測與發酵條件優化測試(15%): 已完成 100%

咖啡甜度杯測是咖啡品質的重要指標之一，它能反映咖啡豆的成熟

度和處理方式。為了提升咖啡的甜度，發酵條件的優化，發酵過程中的時間、溫度、微生物群落等因素均會直接影響咖啡豆的化學成分和風味特徵。調整這些條件可以改變咖啡豆的糖分和酸度比例，從而增強甜度。本計畫嘗試多次的二次發酵實驗，精確控制發酵過程，減少不良風味的產生，提高咖啡的整體品質。並也在甜度反映上得到不錯的結果。後續也透過更多樣本數的實驗，找出最佳的發酵條件，使咖啡豆在風味和甜度上達到最佳平衡。



圖 3-10 阿里山微生物後製中培-粉水比 1：10-甜度 0.2%

臺灣咖啡風味輪融合咖啡杯測時的三大感官品評項目和專業詞彙，包括風味、口味及口感等三大感官，使評估更全面且有深度，有助於全面理解咖啡的風味。其詞彙為農業部茶及飲料作物改良場整理及分析近 5 年全國咖啡評鑑 662 筆評鑑資料，每筆為 12 位評鑑師進行杯測臺灣咖啡常出現之風味敘述感受詞彙，更能貼切消費者在品嚐臺灣咖啡風味之引導。

臺灣咖啡風味輪具有以下特點：

1.綜合風味感官的科學評估：依據茶改場研發團隊統整目前精品咖啡市場喜好度及分數高低的風味類型排序，以咖啡風味結構為基礎，咖

啡風味呈現由 12 點鐘方向依序為花香、水果、發酵、糖香、堅果、草本、香料等調性，除更精確地描述臺灣咖啡的風味特點，也確保風味輪的科學和專業性。

2.開發國內第一套臺灣咖啡分類分級(TCAGs)線上數位評鑑系統：將臺灣咖啡之品質風味及滋味指標與分級指標評分結合，透過具臺灣特色的咖啡評鑑系統，促使國內外消費者對國產咖啡品質的認同感。

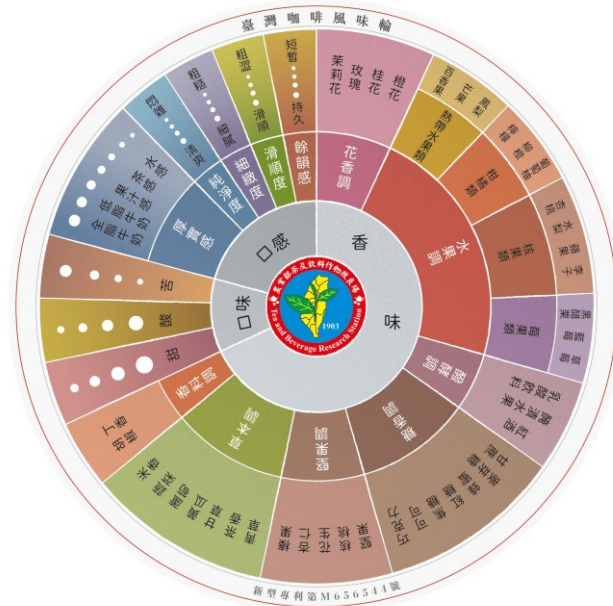


圖 3-11 台灣咖啡風味輪(出處:農業部茶及飲料作物改良場)

資料來源: 農業部茶及飲料作物改良場(<https://www.tbrc.gov.tw/ws.php?id=5352>)

本計畫製程的咖啡經專業杯測師評鑑，香氣表現突出，帶有水果調的柑橘香與莓果香，以及糖香調的可可風味。在口感方面，杯測師認為其質地細膩，具有豐富層次感和持久的餘韻。在風味上，入口偏酸，尾韻則展現回甘特質，整體呈現平衡且獨特的風味特徵。

可量化效益：包含技術創新、產業推動、科學研究、人才培育及學術貢獻等方面的目標，如表 3-2 所示。

表 3-2 可量化效益表

指標項目	單位	預期成果
		113年度
新技術(或改良技術)產出	項	4
促進產業發展	項	2
促進基礎科學發展	項	2
產出碩士論文	篇	1
促進社會經濟發展	項	1
研發人才培育	人	15
促進跨域技術整合	項	2
產出技術手冊(或供本局技術手冊修訂參考)	冊	1
國內研討會發表	篇	1
國際研討會發表	篇	0
國內期刊發表	篇	1
國外期刊發表	篇	3
產出博士論文	篇	2
產出具體教案(或納入教學內容)	項	1
促進前瞻策略擬訂	項	0

第四章 結果及建議

第一節 結果

一、咖啡發酵：

針對咖啡利用微生物發酵，已建立與 2 家農場的合作關係，並分離出 2 種發酵用微生物，也以這兩種微生物去做不同條件下的二次發酵實驗、發酵液 DNA 萃取，並進行 HPLC(高效液相層析儀)測定發酵前後的咖啡豆，根據層析圖中出現的峰值時間，以及其面積值，作出針對咖啡因、綠原酸以及單寧酸的定量與定性分析，從結果也得出加入 Pf 菌&Pa 菌的組合發酵會達到最佳效果。在計畫後期預計會將二次發酵液當中的菌相去做定序以確立菌種影響咖啡風味之間的關係，以更加確認影響咖啡風味的因子。

二、土壤微生物分析：

本計畫選取不同環境土壤進行微生物 DNA 定序和多樣性分析。稀釋曲線顯示，隨著 reads 數增加，檢測到的 OTU 數量趨緩，定序深度足以反映樣本中的微生物多樣性，以 reads 數 10,000 為標準進行 normalization，發現崩塌地的 OTU 數量最少，其次是野生林，農園最多。Alpha 多樣性分析顯示，無論是 OTU 數量還是 Shannon 指數，崩塌地最低，野生林次之，農園最高，但三者之間無顯著差異。Beta 多樣性分析中，階層分群顯示農園和野生林內部微生物組成相似，但崩塌地與其他環境最不相似。非度量多維尺度化分析顯示三種環境間的微生物組成有顯著差異。

第二節 建議

二、立即可行建議：

(一)咖啡發酵實驗：

- 1.主辦機關：計畫團隊。
- 2.建議：增加咖啡發酵試驗的樣本數量，以獲得更多結果和數據，進一步評估不同配方對咖啡品質的影響。
- 3.理由：透過增加樣本數量，可以更全面地了解咖啡發酵的變異性，並確定最佳的配方和發酵條件。

(二)土壤的物性化性分析：

- 1.主辦機關：計畫團隊。
- 2.建議：擴大土壤物性分析的範圍，包括更多土壤樣本的採集和分析，以獲得更全面的土壤特性資料。
- 3.理由：進一步研究不同土壤的特性與植物的生長和營養吸收之關聯，有助於制定更精確的營養管理策略。

三、中長期建議：

(三) 咖啡發酵技術改進：

- 1.主辦機關：計畫團隊、東山場域農業合作夥伴。
- 2.建議：與咖啡農戶合作，提供技術培訓和指導，以推廣優質咖啡發酵技術，改善農民的咖啡品質和產量。
- 3.理由：透過技術培訓和指導，可以提升農民對咖啡發酵的理解和操作技能，進而改善整體咖啡產業的競爭力。

這些建議將有助於提升計畫的執行效果和成果，並在短期和長期內產生積極的影響。主辦機關與協辦機關可以依據具體情況與計畫需求進行細分，並隨計畫進行，滾動式調整建議事項。

參考文獻

- Chiang TY et al. Future biodiversity protected and the importance of microbial farming practices. 2023, Impact 2023:16-19.
- Chambers E et al. 2016. Development of a “living” lexicon for descriptive sensory analysis of brewed coffee. J. Sens. Stud. 31:465–480.
- Chukwuneme CF et al. 2021. Metagenomic analyses of plant growth-promoting and carbon-cycling genes in maize rhizosphere soils with distinct land-use and management histories. Genes 12:1431.
- da Silva Vale A et al. 2019. Effect of Co-Inoculation with *Pichia fermentans* and *Pediococcus acidilactici* on Metabolite Produced During Fermentation and Volatile Composition of Coffee Beans. Fermentation 5: 67.
- de Melo Pereira GV et al. 2019. Exploring the impacts of postharvest processing on the aroma formation of coffee beans – A review. Food Chemistry 272: 441-452.
- Febrianto NA, Zhu F. 2023. Coffee bean processing: Emerging methods and their effects on chemical, biological and sensory properties. Food Chemistry 412: 135489.
- Jiao S, Lu Y. 2020. Soil pH and temperature regulate assembly processes of abundant and rare bacterial communities in agricultural ecosystems. Environmental Microbiology 22: 1052–1065.
- Kästner M et al. 2021. Microbial necromass in soils—linking microbes to soil processes and carbon turnover.

- Front. Environ. Sci. 9:756378 Kim et al. 2022. Investigation of metabolite differences in green coffee beans fermented with various microbes. LWT - Food Science and Technology 172:114202.
- Li YM et al. 2021. Straw alters the soil organic carbon composition and microbial community under different tillage practices in a meadow soil in Northeast China. Soil & Tillage Research 208:104879.
- Malerba ME et al. 2022. Methane and nitrous oxide emissions complicate the climate benefits of teal and blue carbon wetlands. One Earth 5:1336-1341.
- Meng D et al. 2022. Progress on the effect of nitrogen on transformation of soil organic carbon. Processes 10:2425.
- Munir N et al. 2022. Mechanisms and strategies of plant microbiome interactions to mitigate abiotic stresses.
- Agronomy 12: 2069. Nab C, Maslin M. 2020. Life cycle assessment synthesis of the carbon footprint of Arabica coffee: Case study of Brazil and Vietnam conventional and sustainable coffee production and export to the United Kingdom. Geo: Geography and Environment. 2020: e00096.
- Nzekoue FK et al. 2021. Analysis of Phytosterols Content in Italian-Standard Espresso Coffee. Beverages 7:61.

附錄

附錄一、期中審查會議紀錄暨回覆辦理情形

項次	審查意見	回覆辦理情形
一	P2-3提到夏威夷(可娜)及牙買加(藍山)的種原及植栽方式值得作為台灣的模式與借鏡,建議單獨補充說明(以案例分極說明)	1.咖啡品種的選擇 ➤ 種原的引進與改良:夏威夷(可娜)及牙買加(藍山)都有嚴格的規範來保護咖啡種子的純度,避免不良的基因混入和異化,確保咖啡品質的一致性。可娜和藍山的咖啡品種主要是阿拉比卡(Arabica),這種品種在適合的環境下能夠產出高品質的咖啡豆。台灣咖啡農也多種植阿拉比卡品種,但通過引進可娜和藍山的優良品種,並根據當地環境進行調整與培育,可能有助於提升台灣咖啡的品質和風味特色。 2.種植和管理技術 ➤ 精細的農業管理:栽植方法如適當的遮陰管理和良好

項次	審查意見	回覆辦理情形
		的排水系統，這些技術同樣可以在台灣的山區和適宜的氣候帶上實行。並且，他們強調有機種植和生態保護，利用天然的肥料和避免過度使用化學藥物，維護生態環境，保障咖啡農業的可持續發展。 可娜和藍山咖啡強調種植的每一個步驟，包括適當的修剪、精細的施肥和病蟲害防治，這些技術確保了咖啡豆的高品質。同樣，台灣的小規模咖啡農場也可以參考這種精細管理模式，改善種植技術，並實現高效的資源利用。 ➤ 手工採摘：可娜和藍山咖啡豆大多採用手工採摘，只挑選成熟的咖啡果實，確保咖啡的均一性和品質。台灣的咖啡農場也適合這種人工方式，能提高咖啡

項次	審查意見	回覆辦理情形
		豆的品質控制，從而提升在國際市場上的競爭力。 3.相似的地理環境與氣候條件 ➤ 熱帶與高山環境：夏威夷和牙買加的咖啡主要種植於富含火山土壤的高海拔地區，這些環境提供了肥沃的土壤、適量的日照和降雨，為咖啡種植創造了理想條件。台灣同樣位於亞熱帶地區，擁有多山地形，尤其是阿里山和南投等地區，其環境與可娜和藍山的咖啡種植區相似，適合種植高品質咖啡豆。 ➤ 氣候穩定：這些地區的氣候穩定，特別是日夜溫差適中，白天溫暖、夜晚涼爽，有助於咖啡豆的緩慢成熟，從而提升其風味層次。台灣部分地區的氣候條件類似，因此可以參考這些地區的種植經驗。

項次	審查意見	回覆辦理情形
二	請詳細補充研究咖啡豆來源及發酵條件?(P2-7)	謝謝委員指教，已將內容補充於 P2-8。
三	不同的咖啡豆(種源)及場域(環境)對研究結果可能有很大影響，請詳實提供 CXEinteraction (遺傳與環境的交互作用)是否影響？是否在後續研究確認種源”遺傳家系”？	在今年度計畫我們著重於微生物農法對土壤微生物組成的關係，以及發酵菌種對咖啡豆內容物與咖啡風味的影響，因此並未對環境以及咖啡品系進行探討；然而 G×E interaction 的概念其實也是本計畫未來有在規畫的內容，後續研究擬加深此關係的研究。
四	P3-5所提及「采收不同咖啡農場」,請補充說明係為哪些農場，並標記在咖啡豆編號。	謝謝委員指教，已補充內容在 P3-5、3-6。
五	P3-5目前已選定試驗區域並投入微生物農法?請補充說明試驗區域現況	微生物農法可以提高土壤健康與肥力、促進咖啡樹生長，進而改善咖啡品質（例如讓口感更加圓潤細膩）。 從圖 3-6 的比較當中可看到使用微生物農法咖啡樹的生長相對茂盛、色澤紅潤，整體來

項次	審查意見	回覆辦理情形
		說，微生物農法對咖啡栽培的影響是多方面的，能提升咖啡樹的抗病性與果實品質，並且對環境更具友好性，減少對化學物質的依賴。
六	P3-6碳足跡的分析，請詳實說明”計算依據”及公式	謝謝委員指教，已補充在P2-7。
七	期末報告請補充中、英文摘要	謝謝委員指教，已補充完成。
八	8、P1-4「(一)台灣咖啡價格偏高，品質卻有待改善」,惟內文並未說明品質有待改善之原因。	1.風味缺乏層次:多數台灣咖啡豆的品質並未達到預期，缺乏層次是許多國外咖啡愛好者對其的共同評價。他們驚訝的是，台灣咖啡的價格卻比國際知名的咖啡豆還要高。這樣的印象和評價對台灣咖啡的發展前景產生了負面的影響，甚至具有一定的殺傷力。因此，這也是我們計畫的團隊投入普遍提升台灣咖啡豆品質與產值的動機之一。 2.品質不穩定：咖啡的處理過程（如發酵、日曬、機械處理

項次	審查意見	回覆辦理情形
		等) 對品質影響很大，然而台灣在這方面的技術和設備較為分散和不統一，導致後製處理品質不穩定，影響咖啡豆的口感和一致性。
九	表3-1計畫甘特圖不易閱讀，請調整呈現方式。	謝謝委員建議，已修正。
十	補充說明該計畫建議之咖啡物種為何值得台灣借鏡原因(例如：氣候、土壤..等)	1. 適應高海拔氣候 鐵比卡咖啡樹理想的種植環境為高海拔，根據研究指出，如果在赤道以北 15° 以上的地區，海拔必須在 1000m 以上。台灣的許多山區，例如阿里山和南投，具有高海拔和涼爽氣候，這些條件非常適合鐵皮卡的生長。高海拔地區可以延長咖啡豆的成熟期，有助於

項次	審查意見	回覆辦理情形
		風味的增強，從而提升咖啡的品質。 2. 亞熱帶氣候條件 台灣地處北迴歸線環帶上，此亞熱帶氣候具備溫暖的日照和充足的降雨，與鐵皮卡原產地的氣候相似，適合其生長。溫暖的白天與涼爽的夜晚能讓咖啡豆緩慢成熟，增加甜度和酸度的平衡感。 3. 與台灣地理條件匹配 台灣的地理環境，包括火山土壤和豐富的水源，為鐵皮卡的種植提供了肥沃的土壤和穩定的水分供應，這些條件都有助於鐵皮卡咖啡樹健康地成長並產出優質咖啡豆。

項次	審查意見	回覆辦理情形
十一	請補充說明經研究分析後，國內咖啡應朝何種具體方向改善品質。	1.場域管理:利用微生物農法，改變土質而提高咖啡的營養(如提升台灣咖啡豆的結實率)。 2.可導入微生物科技:利用不同的酵母菌以及乳酸菌發酵，調整發酵過程中的時間、溫度、微生物群落等，提升咖啡的品質與鑑別度。並確保咖啡豆的發酵過程能穩定且一致，最大化風味表現。 3.提升咖啡品評標準：引進國際公認的咖啡品評標準（如SCA標準）或杯測，讓農民和生產者了解優質咖啡的要求，並透過專業培訓提升生產技術與品質。

項次	審查意見	回覆辦理情形
十二	低碳排之計算，請說明參考之公式或依據，及該公式及依據之具體出於何處	碳足跡計算的資料來源為產品碳足跡資訊網。並以此網站針對咖啡豆生產相關資源之碳排放參數。