

南 華 大 學

資 訊 管 理 學 系

碩 士 論 文

田口方法應用於單品咖啡萃取最佳化

Brewing Optimization for Single-Origin Coffee by Using
the Taguchi Method



研 究 生：蔡承嘉

指 導 教 授：陸海文

中 華 民 國 一 零 四 年 五 月

南 華 大 學

資 訊 管 理 學 系

碩 士 學 位 論 文

田口方法應用於單品咖啡萃取最佳化
Brewing Optimization for Single-Origin Coffee by Using the
Taguchi Method

研究生：蔡承嘉

經考試合格特此證明

口試委員：翁雅芬
王昌洲
陸海文

指導教授：陸海文

系主任(所長)：陸海文 王昌洲

口試日期：中華民國 104 年 5 月 30 日

南華大學碩士班研究生
論文指導教授推薦函

資訊管理系碩士班蔡承嘉君所提之論文
田口方法應用於單品咖啡萃取最佳化係由本人
指導撰述，同意提付審查。

指導教授 陸海文

104年6月6日

南華大學資訊管理學系碩士論文著作財產權同意書

立書人： 蔡承嘉 之碩士畢業論文

中文題目：田口方法應用於單品咖啡萃取最佳化

英文題目：Brewing Optimization for Single-Origin Coffee by
Using the Taguchi Method

指導教授： 陸海文 博士

學生與指導老師就本篇論文內容及資料其著作財產權歸屬如下：

共同享有著作權

共同享有著作權，學生願「拋棄」著作財產權

學生獨自享有著作財產權

學生：蔡承嘉 (請親自簽名)

指導老師：陸海文 (請親自簽名)

中華民國 一 百 零 四 年 五 月 三 十 月

誌 謝

本論文得以順利完成，在此感謝指導教授 陸海文教授在這兩年來的熱心教導之下與提供完整相關資源知識，讓我能夠增廣見聞，老師在數據分析研究領域的知識，讓我從中學習到很多，老師除了常常教導各種學識知識，也常教導我們要通往成功的道路，就需要花比別人更多的時間在其學術論文與研發技術上，也因為這樣我才能在這方面快速累積知識，老師也常不吝的分享他的想法與意見，時常給予許多的方法與建議，使我的論文能夠更加的完整。

感謝一同協助進行實驗研究努力的同學，在這二年一起協助實驗與技術上的交流，讓所有實驗研究在遇到瓶頸時得以順利克服，在這二年中如果沒有老師細心的提攜與建議，很難能夠如期順利完成論文，在此最後再一次感謝老師的教導。

田口方法應用於單品咖啡萃取最佳化

學生：蔡承嘉

指導教授：陸海文

南 華 大 學 資 訊 管 理 學 系 碩 士 班

摘 要

咖啡在近幾年已漸漸成為國人不可缺少的生活飲品，因隨著各大連鎖咖啡品牌將咖啡導入國人生活中的形像廣告藉以提升國人飲用咖啡的習慣。本研究為更深入探討咖啡萃取過程及設計探討咖啡產品在不同的萃取方式以同品種咖啡豆下的『咖啡萃取最佳化』，而本研究主要利用田口品質工程法與衣索比亞耶加雪菲產區原生種咖啡豆作為實驗基準，藉以計算出符合國人口感之萃取方式，本實驗之研究因子主要如下：顆粒大小、水的比例、烘焙方式、萃取方式，並經由 L_{12} 直交表配置做12次萃取實驗以找出咖啡萃取的最佳方法與條件，並經由品測員試飲對其咖啡進行順口滿意度做為此次實驗之品質特徵評分。

本研究計算以求得S/N比、反應圖、反應表及變異數分析表，得出咖啡萃取最佳化組合配方，經由實驗取得最佳化萃取方式條件為烘焙方式（以酸鹼值表示）5.0、萃取方式為美式咖啡機。經由將咖啡萃取標準化作為國人飲用指標，萃取符合國人飲用之咖啡飲品，以提升生產者與消費者之間的產銷關係，帶動咖啡行銷與提升飲用品質，以作為日後咖啡從業人員或自行萃取消費者之參考依據。

關鍵詞：最佳方法、田口品質工程、咖啡萃取

Brewing Optimization for Single-Origin Coffee by Using the Taguchi Method

Student : Cheng-Chia Tsai

Advisor : Dr. Hai-Wen Lu

Department of Information Management
The Graduated Program
Nan-Hua University

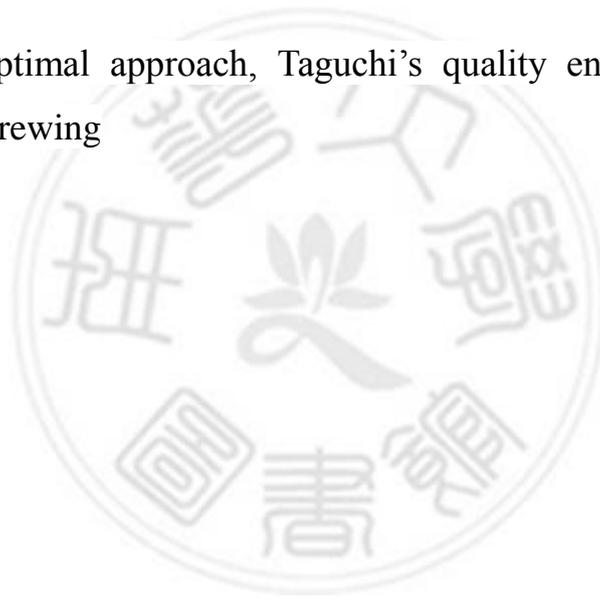
ABSTRACT

In recent years, coffee has progressively become an indispensable beverage in Taiwan because major coffee brand chain stores have often advertised images of coffee in people's daily life, thus elevating people's habit in drinking coffee. The purpose of the present study was to examine coffee-brewing processes in depth and design a "coffee brewing optimization" method based on observations by using single-origin coffee beans and different brewing methods. The study conducted a series of experiments by using a Taguchi engineering method and heirloom Ethiopian Yirgacheffe coffee beans to identify the optimal brewing method that would produce coffee preferred by Taiwanese people. The main factors examined were grain size, water ratio, roasting method, and brewing method. An L_{12} orthogonal array test was performed, in which each brewing method was tested 12 times to identify the optimal coffee-brewing method and criteria. Subsequently, quality testers performed taste tests to assess the quality characteristics of each test.

The study used the S/N ratio, reaction diagrams, reaction tables, and ANOVA tables to determine the optimal coffee-brewing factor

combination. The results indicated that the criteria of the optimal brewing method were (1) pH 5.0 roasting method and (2) an American coffee machine for the brewing. Coffee beverages that meet the coffee-drinking habits of Taiwanese people can be produced by adopting the standardized results of the present study as a coffee consumption indicator for Taiwanese people, thus boosting coffee marketing and enhancing coffee-drinking quality. The results obtained in the present study can serve as a reference for future coffee professionals and self-brewing consumers.

Keywords: optimal approach, Taguchi's quality engineering, coffee brewing



目 錄

口試合格證明.....	i
論文指導教授推薦書.....	ii
著作財產權同意書.....	iii
誌 謝.....	iv
摘 要.....	v
ABSTRACT.....	vi
目 錄.....	viii
表 目 錄.....	x
圖 目 錄.....	xi
第一章 緒 論.....	1
第一節 研究背景與動機.....	1
第二節 研究目的.....	2
第三節 研究流程.....	3
第二章 文獻探討.....	4
第一節 田口式品質工程.....	4
第二節 咖啡簡介.....	6
壹、咖啡豆的起源.....	6
貳、阿拉比卡種咖啡 (Coffee Arabica).....	7
參、羅布斯塔種咖啡 (Coffee Robusta Linden).....	8
肆、利比亞種咖啡 (Coffee Liberica).....	8
第三節 pH 值.....	8
第三章 研究方法.....	10
第一節 選定咖啡品質特徵值.....	11
第二節 分析影響咖啡品質特徵值的因子.....	11

第三節 決定咖啡品質因子的水準	11
第四節 計算自由度	13
第五節 選定適當直交表	14
第六節 因子的配置	16
第七節 咖啡實驗準備作業	17
壹、咖啡實驗器具	17
貳、咖啡品評實驗	18
第八節 咖啡萃取實驗紀錄	26
第九節 資料的收集及登錄	27
第十節 資料效果分析	28
第十一節 最佳化的選取與確認	32
第四章 結論	34
參 考 文 獻	35
一、中文部份	35
二、網路文獻	36
三、西文部分	36
附錄一	39

表 目 錄

表 3-1 控制因子與水準	13
表 3-2 $L_{12}(2^{11})$ 的直交表	15
表 3-3 咖啡萃取最佳化實驗 $L_{12}(2^{11})$ 直交表配置	15
表 3-4 行的合併	16
表 3-5 咖啡萃取最佳化實驗 $L_{12}(2^{11})$ 直交表配置	17
表 3-6 咖啡實驗器具	18
表 3-7 咖啡萃取最佳化實驗步驟.....	27
表 3-8 咖啡滿意度實驗成績紀錄表	28
表 3-9 咖啡滿意度評比平均數.....	29
表 3-10 咖啡萃取最佳化實驗 S/N 值.....	29
表 3-11 咖啡萃取最佳化因子平均值反應表	30
表 3-12 咖啡萃取最佳化因子 S/N 比反應表	30
表 3-13 咖啡萃取最佳化變異數分析表	32

圖目錄

圖 3-1 萃取實驗流程圖	20
圖 3-2 咖啡豆烘焙	20
圖 3-3 PH 測量儀校正	21
圖 3-4 檢測 PH 值	21
圖 3-5 咖啡豆分裝 (每份 30 克)	22
圖 3-6 咖啡豆 PH 值分組	22
圖 3-7 咖啡豆研磨完成	23
圖 3-8 手沖咖啡萃取	23
圖 3-9 美式咖啡機萃取	24
圖 3-10 萃取液成品 (水與咖啡粉比例為 1:14)	24
圖 3-11 萃取液品評分杯	25
圖 3-12 品評員進行品評	25
圖 3-13 品評員進行評分	26
圖 3-14 因子平均反應圖	31
圖 3-15 因子最佳化 SN 圖	31

田口方法應用於單品咖啡萃取最佳化

Brewing Optimization for Single-Origin Coffee by Using the Taguchi Method

第一章 緒論

第一節 研究背景與動機

近幾年隨著國人生活品質的提升，國人對於咖啡飲品的需求量越來越高，隨著咖啡連鎖店持續成長及多元化的經營洪睿杰(2012)，例如：人文風采濃厚咖啡館、輕食風格的東洋日系咖啡、美式風格連鎖咖啡館以及便利商店加入咖啡飲品的市場，形成許多創新多元化的咖啡，反映出咖啡飲品在國內市場之重要性，藉由各式各樣不同風格的咖啡館提供消費者有不同的選擇，而咖啡館萃取咖啡的水準也成為了消費者相當重視的一個環節，也越來越多咖啡館不斷的精進選擇咖啡豆的產處、咖啡豆烘焙方法與咖啡萃取手法。

根據近來的研究與觀察，在多元化咖啡業者的經營下所以業務所提供的服務不只是單純的咖啡飲品的服務，亦提供了許多的周邊消費產品如點心、麵包、蛋糕等多元產品吳金昌(2008)，但其所提供的多元化產品之下對於進往咖啡廳消費的消費者而言最重要的依然是那杯咖啡，而熱衷於品嚐一杯好咖啡的消費者比不會在意其一杯咖啡價錢上的考量，反而對其咖啡口感亦非常講究，尤其近年國內咖啡產業的崛起讓許多消費者對於咖啡的選擇有更多的認識與瞭解張淑芬、程永雄、徐信次、朱慶國(2006)。

針對消費者不斷對於咖啡品質上的追求反而讓咖啡業者形成了一種壓力，而市面上咖啡業者使用手沖萃取方式萃取咖啡亦會因為技

術的不同而有不同的風味，而在國外為追求咖啡萃取的品質有其專屬的黃金比例原則，但其實驗對像是以歐美地區國家為主，其黃金比例並不見符合國內消費者之口感，本研究主要在於以如何萃取一杯好咖啡為主題進行研究，讓咖啡愛好者與咖啡業者都可以萃取出一杯好咖啡，享受美好時光，而市面上咖啡豆種類繁多，本研究作者相信每一種豆類應都有其專屬的萃取黃金比例，故此次研究以衣索比亞耶加雪菲產區原生種為研究對象，嚐試調配出符合國人口感之咖啡飲品。

第二節 研究目的

田口玄一(Taguchi)博士於 1950 年提出了田口式品質工程方法。主要是透過簡單的直交表實驗設計與簡潔的變異數分析，田口式品質工程法主要是以少量的實驗數據進行分析，透過數據式的分析達到產品品質的提升效率。此方法於工業界中迅速被廣泛利用，並稱之為品質工程(Quality Engineering)。而本研究主要透過田口式品質工程法，藉由直交表實驗分析取得咖啡萃取最佳化數據，透過少量的實驗數據分析，並依據在不同的環境下取得最佳的萃取方式條件，最後經由實驗數據驗證其組合是否為最適合之咖啡萃取最佳組合，藉由所獲得之數據可有效提高咖啡萃取品質，並可提升咖啡產業行銷競爭力。

本論文主要以衣索比亞耶加雪菲產區原生種咖啡豆為實驗主體，藉由單一品種咖啡豆可以更嚴謹的取得最佳化咖啡萃取組合。

本論文透過探討咖啡萃取過程及經由設計影響咖啡產品特徵來探討其控制因子和水準，其因子與水準如下：顆粒大小（磨豆機刻度 3.0、3.5、4.0、4.5）、水的比例（1：12、1：14、1：16、1：18）、烘焙方式（pH4.8、pH4.9、pH5.0、pH5.1）、萃取方式（美式咖啡機、濾泡式）。本論文經由田口方法進行實驗，配置因子依據 L_{12} 直交表進行 12 次實驗，藉由 14 位品試人員進行咖啡順口滿度意調查，依據其

品質特徵進行評分，將實驗中所取得之數據進行計算取得 S/N 比、反應表、反應圖及變異數分析表，藉由數據分析選出此次實驗咖啡萃取最佳化組合配置。

第三節 研究流程

本論文之相關研究流程步驟可以分為：

- 壹、確定實驗研究主題
- 貳、咖啡品種選擇
- 參、田口品質工程介紹
- 肆、咖啡萃取組合最佳化實驗
- 伍、最佳化組合實驗資料分析及結果
- 陸、結論

本論文於咖啡最佳化萃取組合實驗中，採用衣索比亞耶加雪菲產區原生種咖啡豆並透過田口品質工程中的靜態參數設計進行此次實驗，以達到其品種咖啡豆特性得到最佳化目標。利用直交表規劃實驗的田口工程可以有效減少實驗次數，並以 S/N 比分析法計算取得最佳化組合萃取方法以提高咖啡產品品質與目標。

第二章 文獻探討

第一節 田口式品質工程

田口玄一博士 (Taguchi) 於 1950 提出了田口式品質工程法，此工法為一套品質管理方法，透過簡單的直交表做為實驗設計，此方法的優點在於可以以最少的實驗數據進行分析，不需要經由過多的統計知識即可以計算運用，並可有效率的提升產品品質。本研究主要在於透過田口品質工程方法設計出咖啡萃取最佳化組合。

壹、品質損失函數

當物品於製程結束其成品特徵值與目標完成值一致時，即表示其品質損失最小。反之當其成品特徵值逐漸偏離目標完成值，則其成品品質差異逐漸變大。田口博士為探討其品質損失與品質特徵值之間的連帶關係，透過將品質損失量化的方式，假設：其產品品質特徵值 y 於製程中逐漸偏離目標值 m 時，品質損失 L 是以二次曲線的速度逐漸增加，其二次曲線方程式公式如下：

$$L(y) = k(y - m)^2 \quad (2-1)$$

K 是表示為一種特定係數，亦可稱為品質損失係數 (Quality loss coefficient)，公式 2-1 的品質損失是相對值，當 $y = m$ 時，品質損失是零，亦即 $L(y) = 0$ 品質特徵值的類型可區分為：望小、望大、望目三種特性，其三種特性介紹如下：

(1) 望小特性：

品質特徵值之特性在於所取得之值為愈小愈好，且其質會落於正或負其中一方，其變異數愈小愈好，當其值為零時為最佳理想值。例如：磨擦係數、機械零件的偏心度、噪音等。

望小特性 S/N 比公式如下：

$$\eta = -10 * \log \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i^2) \right) \quad (2-2)$$

其中 n 為各實驗組數、 y_i 為各組實驗樣本之特徵值數據。

(2) 望大特性：

其品質特徵與望小特相反，其值為愈大愈好，期許平均值可達到無限大，變異數愈小愈好，品質特徵質則越大越好。例如：持久力、壽命、強度等。

望大特性 S/N 比公式如下：

$$\eta = -10 * \log \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left(\frac{1}{y_i^2} \right) \right) \quad (2-3)$$

其中 n 為各實驗組數、 y_i 為各組實驗樣本之特徵值數據。

(3) 望目特性：

其品質特徵為定義其特定目標值，所取得之值越接近定義目標值則越好，望目特性則是 S/N 比透過其變異係數的倒數進行定對。例如：距離、電阻等。

望目特性 S/N 比公式如下：

$$\eta = -10 * \log \left((\bar{y} - m)^2 + s^2 \right) \quad (2-4)$$

其中觀測所取得的平均值為 \bar{y} 、標準前為 s、目標值為 m。

貳、田口品質工程應用

田口方法 (Taguchi Method) 在於實際應用的範圍相當的廣泛，在工業製程中品質穩定度是相當重要的，而透過田口品質工程方法可以有效提升品質穩定度，其應用的範圍包含了：電子業、紡織業、航空業、化工業等相關產業中都有許多成功案例。而田口方法不僅可以用在製造業，現在更被利用在於推廣服務業上洪晨晃 (2014) 以取得

最佳的服務品質降低成本和提高生產力。

田口方法過去被應用於工業應用工程實驗之學術研究很多如：吳榮峰（2009）透過使用田口方法最佳化設計散熱器；王羽盟（2009）以改善醫療生理監視器應用田口方法探討塑膠射出成形取得最佳化參數；周東毅（2015）以田口工程方法改善高功率 LED 路燈驅動源效率改善；莊詠晴（2014）運用田口方法改善導線架備料模式；徐俊傑（2014）應用田口分析法探討沖水馬桶效能影響因子以改善馬桶沖刷效率；李思樺（2014）經由田口方法改善碳纖維複合材料製程，快速開發熱固性碳纖維複合材料製程將其加工時程有效減短、鍾翔宇（2014）以台中市房地產交易為例：整合類神經網路和田口方法建構不動產估價模式，協助使用者預測近目前房地產交易行情是否接近市場價值與張家訓（2014）利用田口方法用於光電廠超約電費成本之分析，可有效計算出用電成本進而減少額外的電費支出，經由許多的學術研究顯示田口方法確實可以有效的提高製程效率取得最佳解決方法並減少不必要的經費研究支出。

第二節 咖啡簡介

壹、咖啡豆的起源

衣索比亞西南部咖法(Kaffa)省高原地區的牧羊人卡爾迪(Kaldi)在牧羊時發現羊群在啃食灌木上的紅色漿果，無意中發現羊吃了紅色漿果後變得異常興奮，於是他拿了漿果予修道院的僧侶，僧侶們吃過那紅色漿果後覺得精神非常好，之後被拿來當成藥物使用。十六世紀時經由阿拉伯傳至歐洲，逐漸成為現今大眾所共同喜愛的飲品(Pérez-Hernández, et al. , 2012)。

咖啡屬於茜草科(Rubiaceae)的常綠灌木，咖啡樹的生長條件，以赤道為中心在南北緯 25 度之間最適咖啡的栽培，栽培海拔高度 1300

至 2000 公尺，該生長帶稱為咖啡區或咖啡帶(Coffee Zone or Coffee Belt) (UPADHYAY, V., & MISHRA, P. ,2014)，全均溫在 18 至 22°C 左右，降雨量在 1600 至 2000 mm 之間(Camargo, M. B. P. D. ,2010)，一般而言，咖啡定植後二至三年後開花(Berecha, et al. , 2014)，花期結束後結成綠色小漿果，採收期則為播種後第三年至十年，咖啡樹忌強風、霜害、高溫這些會影響咖啡的生長。

咖啡的採收因國家或產區不同則採收時間亦不同，採收方式分別為人工與機械採收，精緻咖啡採收皆以人工，咖啡漿果成熟時間不一致(Daniels, N. , 2009)，需要分多次採摘，因此增加人工的成本。從初期採收至採摘結束，期間長達四至五個月，採摘後的咖啡漿果需經採後處理與加工，咖啡豆處理方式通常可分為二種方式：

一、濕式處理 (Wet Processing) 採摘後的咖啡漿果先經過水選，然後除去咖啡漿果的外果皮 (Pulp) 與果肉 (Mucilage)，然後放入發酵槽內發酵，發酵後的咖啡豆再以清水洗過，然後在陽光下曬乾至生豆含水量降 10 至 12% (Ciro-Velasquez, et al. , 2010)，將羊皮層 (Parchment) 與銀皮 (Silver Skin) 去除後，進行篩選與分級。

二、乾式處理 (Dry Processing) 處理方法是將咖啡漿果曝曬在廣場上或棚架上，每隔一段時間用耙子翻動，避免咖啡豆過度發酵造成異味。當曬乾之後，以脫殼機去除果肉、肉果皮後經過篩選與分級。

貳、阿拉比卡種咖啡 (Coffee Arabica)

阿拉比卡種原產於衣索匹亞西南部高原(Anthony, F., et al. , 2002)，目前世界咖啡占有率有 70%都是阿拉比卡種(Anthony Marsh, 2007)，獨特的風味與香氣，濃郁的口感，咖啡因含量低，為主要的栽培品種(Cao, Ernelea P., et al. , 2014)。不耐高溫、霜害、抗病力差，

主要產地分佈在中南美洲其中以巴西為最大生產國、在非洲有肯亞、衣索比亞、坦尚尼亞、烏干達等，而在亞洲國家則有越南、印度、印尼等生產國。(Kimani, M., Little, T., & Vos, J. G. , 2002)

參、羅布斯塔種咖啡 (Coffee Robusta Linden)

羅布斯塔種於 1898 年在西非剛果發現(Tshilenge, P., et al. , 2009) , 該種咖啡全球占有率約 30% , (Anthony Marsh, , 2007) 「羅布斯塔」咖啡又稱為「粗壯豆」適應力強，抗病蟲害、耐高溫，產量高，生長環境可以海平面至海拔 800 公尺之間生長(DaMatta, F. M., & Ramalho, J. D. C. , 2006) , 咖啡外形較為小粒，植株性狀類似阿拉比卡咖啡、葉尖狀、花瓣 6 片，羅布斯塔咖啡豆烘焙後的味道帶有麥茶味，中烘焙會有橡膠輪胎味，深烘焙苦澀與焦味，很難展現出細緻的風味。羅布斯塔種咖啡豆不適合作單品咖啡飲用，一般羅布斯塔咖啡常被用於即溶咖啡及罐裝咖啡。

肆、利比亞種咖啡 (Coffee Liberica)

1843 年於利比亞發現，佔商業栽培不到 1%(Prance, G., & Nesbitt, M. (Eds.). , 2005) , 植株性狀，樹高可達 10 公尺，枝條直立、枝葉茂盛、葉長 20 至 50 公分葉面大呈暗綠色，花徑 2~6cm、裂片 6~8、卵狀長橢圓形，花白色略帶淡紅色，對於潮濕與乾燥環境適應能力強，惟抗葉鏽病力差。

第三節 pH 值

pH 通常被用在於溶液酸鹼程度衡量的標準，亦被稱為氫離子濃度指數或酸鹼值，是一種溶液中氫離子活動的衡量標度。是此概是由丹麥生物化學家瑟倫·索倫森 (Søren Peder Lauritz Sørensen) 與 1909 年所提出。在「pH」值二個英文字母中的「H」所代表為氫離子(H⁺)，而「p」的定義則有幾種解釋。第一種稱 p 為德語中的「Potenz」，有

力度與強度的意思；第二種有拉丁文「*pondus hydrogenii*」的意思，即「氫的量」；第三種則是認為索倫森隨意選定以 p 做為的一種符號，因為他也曾經用了 q 這個符號。由於氫離子的濃度檢定在化學研究中甚為重要的關係，因此瑟倫於 1909 年發表論文，介紹了可以簡單計算酸鹼度的方法。而在 pH 值的檢定方式出現後在於溶液的檢驗中於通常情況下（25°C、298K 左右的溶液），當 pH 小於 7 時則該溶液呈現為酸性；當 pH 值大於 7 時該溶液則呈現鹼性，而當檢驗結果為 7 時則表示該溶液 pH 值為中性(維基百科)。



第三章 研究方法

衣索比亞該國面積 1,104,300 平方公里，位於非洲東北之國家，舊稱「阿比西尼亞」，主要農產品為咖啡，全國約有一千五百萬人依賴咖啡為生，占輸出外匯總額的百分之四十一（MUSEBE, et al. ，2007），咖啡主要產區為東部高原的哈拉（Harar）產區、西部利姆（Limu）、金瑪（Djimmah）、貝貝卡（Bebeka）、金比（Gimbi）伊魯巴柏（Illubabor）、列坎提（Lekmpte）與西南部耶加雪菲（Yirgacheffe）和西達摩（Sidamo）等產區。

耶加雪菲原生種(Yirgacheffe) (Minten, et al. ，2014)位於衣索比亞西南部著名的山岳及森林產區，產出的咖啡豆屬於中小顆粒原生種，水洗處理的生豆顏色略呈黃綠色、酸性適中，獨特的花香與柑橘風味。

咖啡萃取最佳化實驗步驟如下：

- (1) 選定咖啡品質特徵值
- (2) 分析影響咖啡品質特徵值的因子
- (3) 決定咖啡品質因子的水準
- (4) 計算自由度
- (5) 選定適當直交表
- (6) 因子的配置
- (7) 咖啡實驗準備作業
- (8) 執行咖啡的萃取實驗，紀錄實驗數據
- (9) 資料的收集及登錄
- (10) 資料效果分析
- (11) 最佳化的選取與確認

第一節 選定咖啡品質特徵值

本研究咖啡萃取實驗是以咖啡滿意度做為品質特徵值，針對其品評員對於每次咖啡萃取實驗做為順口滿意度，依據品評員所品嚐的口感與情境，做為順口滿意度的評鑑。此評鑑依據不同品評人員的不同帶有個人主觀的評鑑分數，卻是本次實驗重要量化數據來源之重要分析。本次實驗所取得之順口滿意度即為此次品質特徵值的望大特性，依據其順口滿意度所表現出來的結果為愈高愈好。

第二節 分析影響咖啡品質特徵值的因子

本研究認為咖啡品質特徵值受其影響的變數共有 4 個因子，其中包含咖啡粉顆粒大小、咖啡粉與水的比例、烘焙方式以及萃取方式。4 個因子解釋如下：

- (1) 咖啡粉顆粒大小：依據控制磨豆機所研磨之咖啡原豆之研磨顆粒大小。
- (2) 咖啡粉與水的比例：咖啡萃取時所需之水量與咖啡粉之間的比例。
- (3) 烘焙方式：咖啡豆經由烘焙機所烘焙完成的程度。
- (4) 萃取方式：採用手沖濾泡式、美式咖啡機進行最佳化咖啡萃取。

第三節 決定咖啡品質因子的水準

咖啡豆研磨的顆粒大小、萃取時的咖啡粉與水的比例、咖啡豆的烘焙方式及咖啡萃取方式等等許多因素，都是影響萃取咖啡品質好喝與否的關鍵。本次咖啡萃取實驗針對會影響咖啡萃取的四個因子包含咖啡粉顆粒大小（因子 A）、咖啡粉與水的比例（因子 B）、烘焙方式（因子 C）以及萃取方式（因子 D）共四個因子。針對各影響因子決

定其水準數，其相對水準數詳見表 3-1：

各影響因子與水準說明如下：

A. 咖啡粉顆粒大小：

咖啡粉的顆粒大小直接影響咖啡粉萃取效率與萃取濃度，咖啡粉的顆粒越小則所萃取的濃度越高反之咖啡粉的顆粒越大則萃取濃度越低。

B. 咖啡粉與水的比例：

咖啡粉與水的比例直接影響咖啡液萃取之濃度，咖啡粉與水的比例高則濃度越高反之咖啡粉與水的比例小則濃度呈現越低。

C. 烘焙方式：

咖啡口味最重要的即在於烘焙火候的控制，透過烘焙手法可以其咖啡豆本身的 800 種物質釋放出來，其代表的是咖啡的風味與香氣來源主要都是因烘焙而來。烘焙方式則是用烘豆機進行烘焙，其烘焙水準可以分為 4 種：

水準 1：PH 值為 4.8，呈現出焦味並轉為較有厚度的香氣，顏色為肉桂色。

水準 2：PH 值為 4.9，咖啡豆表面出現油脂，香味轉變為厚重焦糖味，顏色為褐色。

水準 3：PH 值為 5.0，咖啡豆油脂愈來愈多顏色加深。

水準 4：PH 值為 5.1，顏色為深褐色。

D. 萃取方式：

手沖濾泡式：手沖濾泡方式主要藉由濾紙進行咖啡萃取的動作，其優點是在咖啡萃取器具中最便宜且耗材最少，易於操作的一種咖啡萃取方式。

美式咖啡機：美式咖啡機主要是藉由模仿手沖方式進行咖啡萃取

動作，其器具依據不同等級有不同的價格，可一次進行大量的咖啡萃取動作，使用耗材皆需一張濾紙，其優點在於機械式萃取咖啡中是最為容易操作的一種。

表 3-1 控制因子與水準

	編碼	水準 1	水準 2	水準 3	水準 4
顆粒大小	A	3.0	3.5	4.0	4.5
水的比例	B	1 : 12	1 : 14	1 : 16	1 : 18
烘焙方式	C	4.8	4.9	5.0	5.1
萃取方式	D	手沖濾泡式	美式咖啡機		

第四節 計算自由度

選擇直交表的第一步是計算總自由度，田口實驗自由度的計算是各因子水準數減一，例如本實驗烘焙方式因子的水準為 4，則烘焙方式的自由度計算為 4 減 1，所以烘焙方式的自由度為 3，依此要領咖啡萃取實驗的各因子的水準計算如下：

A. 因子的自由度為 $4-1=3$

B. 因子的自由度為 $4-1=3$

C. 因子的自由度為 $4-1=3$

D. 因子的自由度為 $2-1=1$

合計總自由度為 10

自由度的定義是為要確定所需實驗次數的最小值，來選擇適當的直交表。各因子及總平均自由度的總和，亦即最小實驗組數，選用直交表的行數必須要大於總自由度。

第五節 選定適當直交表

直交表是一種有效率、有系統性的控制因子方法，意指於每兩行之間所有組合出現的頻率皆為一樣多。直交表除了可有效率的降低實驗成本外，還可以對資料進行簡化分析及取得結果，並更具可靠性等好處。

本實驗總自由度合計為 10 而其 $L_{12}(2^{11})$ 的自由度為 11 大於本次實驗總合自由度，故本咖啡實驗以 $L_{12}(2^{11})$ 直交表做為評定標準。其 $L_{12}(2^{11})$ 多立交表其有特殊的 2 水準直交表，主要特點可做為評估因子效應，並不考慮因子間的交互作用。

$L_{12}(2^{11})$ 有 11 個直行，經由建構新的直行來表示其中某兩個直行間的交互作用，因子效應的評估主要是透過混合水準直交表進行評估，而假設其中交互作用並不存在；但如其交互作用實際存在，這些直交表將其交互作用分散到各行中，讓因子效應保留了相對大小。

本次咖啡萃取實驗採用 $L_{12}(2^{11})$ 直交表配置各因子如表 3-2，在於各因子間無交互作用，透過 $L_{12}(2^{11})$ 直交表進行 12 組咖啡萃取實驗，依然足夠獲得所需要的資訊，其因子配置情形如表 3-3 咖啡萃取最佳化實驗 $L_{12}(2^{11})$ 直交表配置。

表 3-2 $L_{12}(2^{11})$ 的直交表

Exp.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2
3	1	1	2	2	2	1	1	1	2	2	2
4	1	2	1	2	2	1	2	2	1	1	2
5	1	2	2	1	2	2	1	2	1	2	1
6	1	2	2	2	1	2	2	1	2	1	1
7	2	1	2	2	1	1	2	2	1	2	1
8	2	1	2	1	2	2	2	1	1	1	2
9	2	1	1	2	2	2	1	2	2	1	1
10	2	2	2	1	1	1	1	2	2	1	2
11	2	2	1	2	1	2	1	1	1	2	2
12	2	2	1	1	2	1	2	1	2	2	1

表 3-3 咖啡萃取最佳化實驗 $L_{12}(2^{11})$ 直交表配置

Exp.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
	D		A			B			C		
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2
3	1	1	2	2	2	1	1	1	2	2	2
4	1	2	1	2	2	1	2	2	1	1	2
5	1	2	2	1	2	2	1	2	1	2	1
6	1	2	2	2	1	2	2	1	2	1	1
7	2	1	2	2	1	1	2	2	1	2	1
8	2	1	2	1	2	2	2	1	1	1	2
9	2	1	1	2	2	2	1	2	2	1	1
10	2	2	2	1	1	1	1	2	2	1	2
11	2	2	1	2	1	2	1	1	1	2	2
12	2	2	1	1	2	1	2	1	2	2	1

第六節 因子的配置

本實驗影響因子除萃取方式有 2 個水準外，咖啡粉顆粒大小 咖啡粉與水的比例及烘焙方式皆為 4 個水準。 $L_{12}(2^{11})$ 為 2 水準的直交表，咖啡粉顆粒大小 咖啡粉與水的比例及烘焙方式卻是進行 4 水準。我們可以經由合併直交表中的兩行如表 3-4 所示，來創造出一個新的直交表詳見表 3-5。本實驗在 $L_{12}(2^{11})$ 直交詳見表 3-4 中，合併第 3 行及第 4 行後，為新的第 3' 行。

表 3-4 行的合併

行	3	4	3'
水準	1	1	1
水準	1	1	1
水準	2	2	4
水準	1	2	2
水準	2	1	3
水準	2	2	4
水準	2	2	4
水準	2	1	3
水準	1	2	2
水準	2	1	3
水準	1	2	2
水準	1	1	1

合併規則說明如下

第 3 行第 1 水準與第 4 行第 1 水準合併為新水準：1

第 3 行第 1 水準與第 4 行第 2 水準合併為新水準：2

第 3 行第 2 水準與第 4 行第 1 水準合併為新水準：3

第 3 行第 2 水準與第 4 行第 2 水準合併為新水平：4

表 3-5 咖啡萃取最佳化實驗 $L_{12}(2^{11})$ 直交表配置

Exp.	1	3'	6'	9'
	D	A	B	C
1	1	1	1	1
2	1	1	4	4
3	1	4	1	4
4	1	2	2	1
5	1	3	3	2
6	1	4	4	3
7	2	4	2	2
8	2	3	4	1
9	2	2	3	3
10	2	3	1	3
11	2	2	3	2
12	2	1	2	4

第七節 咖啡實驗準備作業

壹、咖啡實驗器具

本次實驗所有器材有單品咖啡豆、電熱式烘焙機、TIAMO 磨豆機、DAISO 咖啡扇形濾紙、TIAMO 咖啡三孔扇形濾杯、TIAMO 耐熱玻璃咖啡壺、TIAMO 滴漏咖啡壺/細口壺、MELITTA 美式咖啡機、TIAMO 專業計時電子秤 2kg、PH 測試儀、試飲紙杯、潤口杯等項目，各器材詳細說明如表 3-6 所示：

表 3-6 咖啡實驗器具

器材	說明
單品咖啡豆	衣索比亞耶加雪菲產區原生種咖啡豆
電熱式烘焙機	宏大鐵工廠台灣嘉義製
TIAMO 磨豆機	型號/規格：700S 磨豆機
DAISO 咖啡扇形濾紙	型號/規格：2-4 人份無漂白濾紙
TIAMO 咖啡三孔扇形濾杯	型號/規格：102(2-4 人份)
TIAMO 耐熱玻璃咖啡壺	型號/規格：HG2297BK
TIAMO 滴漏咖啡壺/細口壺	型號/規格：420ml
MELITTA 美式咖啡機	型號/規格：JCM-512
TIAMO 專業計時電子秤 2kg	型號/規格：KS-900
PH 測試儀	型號/規格：6011A
試飲紙杯	型號/規格：2.5OZ
潤口杯	型號/規格：200cc

貳、咖啡品評實驗

本次咖啡萃取實驗步驟如圖 3-1，此次實驗咖啡豆選定衣索比亞耶加雪菲產區原生種咖啡豆生豆。於實驗進行前首先須透過電熱式烘焙機（參見圖 3-2）進行咖啡生豆烘焙，並將烘焙完成之咖啡檢測 PH 值取得此次實驗所需之 PH 值 4.8、4.9、5.0 與 5.1，PH 值檢測前為求數據精準避免產生誤差造成實驗結果錯誤於測量前先進行 PH 測量儀校正（參見圖 3-3），PH 測量儀校正完成後進行咖啡豆研磨萃取測量 PH 值（參見圖 3-4）取得此次實驗所需的四種 PH 值分別為 4.8、4.9、5.0、5.1 並完成咖啡豆烘焙動作。咖啡豆完成烘焙後檢測完成所需 PH 值進行咖啡豆分組包裝，為避免重量不同而影響實驗的正確性，使用電子磅秤（參見圖 3-5）每份重量固定為 30g。完成所有檢測動作後

為精準實驗數據將其咖啡豆依據此次實驗所需研磨顆粒大小刻度分別為 3、3.5、4、4.5 別分別將 PH 值 4.8、4.9、5.0、5.1 分裝成 12 次所需咖啡豆分組包裝（參見圖 3-6、圖 3-7），以利進行實驗。

實驗進行當中，萃取器具為本次實驗因子之一，採用了二種萃取器具為手沖萃取（參見圖 3-8）與美式咖啡機萃取（參見圖 3-9）。此次實驗採用手沖式萃取與美式咖啡機萃取的原因在於，手沖式萃取的優點在於易學與器具入手簡單，但因使用者萃取的方式不同而容易造成口感上的差異；美式咖啡機的優點則在於可以透過最簡單的方法萃取出一杯咖啡，使用者只需注意咖啡豆的品質與原水比例之間的關係即可。此次實驗的目的即在於透過使用田口方法利用二種萃取方式 12 種不同研磨咖啡豆萃取結果取得最好之萃取方式。而實驗為確保萃取之品質咖啡粉與原水之關係採用 1:12、1:14、1:16 與 1:18 四種比例進行萃取（參見圖 3-10），實驗過程為避免品評員飲用過多咖啡液造成品評成效降低全程準備小口試飲紙杯（參見圖 3-11）進行咖啡評比，本次實驗總計進行十二次咖啡萃取與十二次品嚐實驗，並請品評員進行品評（參見圖 3-12），為避免前次品評咖啡味道殘留於品評員口腔內影響品評味覺與評比客觀性，每次品評前品評員皆需逐次進行漱口清潔口腔餘味後，再進行下次品評動作，品評員並依咖啡滿意度評分表（如附錄一），進行評分（參見圖 3-13）確保客觀性。本實驗共十四位品評員，其中分別為一位統計專家及十三位咖啡愛好者，實驗現場準備 168 個小口試飲紙杯，透過十四位品評員進行十二次品嚐實驗，以增加實驗客觀性，每次品評實驗結束後保留 2 分鐘進行評分，於評分完成後才執行下次實驗。實驗結束請品評員於評分表中簽名，並收回評分表。

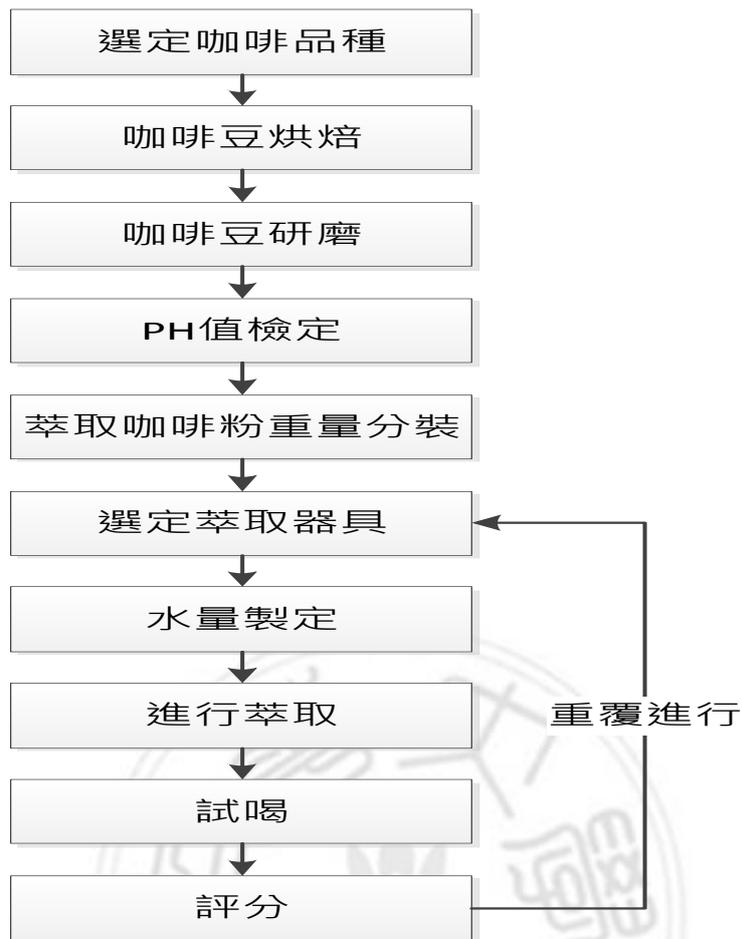


圖 3-1 萃取實驗流程圖



圖 3-2 咖啡豆烘焙



圖 3-3 PH 測量儀校正



圖 3-4 檢測 PH 值



圖 3-5 咖啡豆分裝 (每份 30 克)



圖 3-6 咖啡豆 PH 值分組

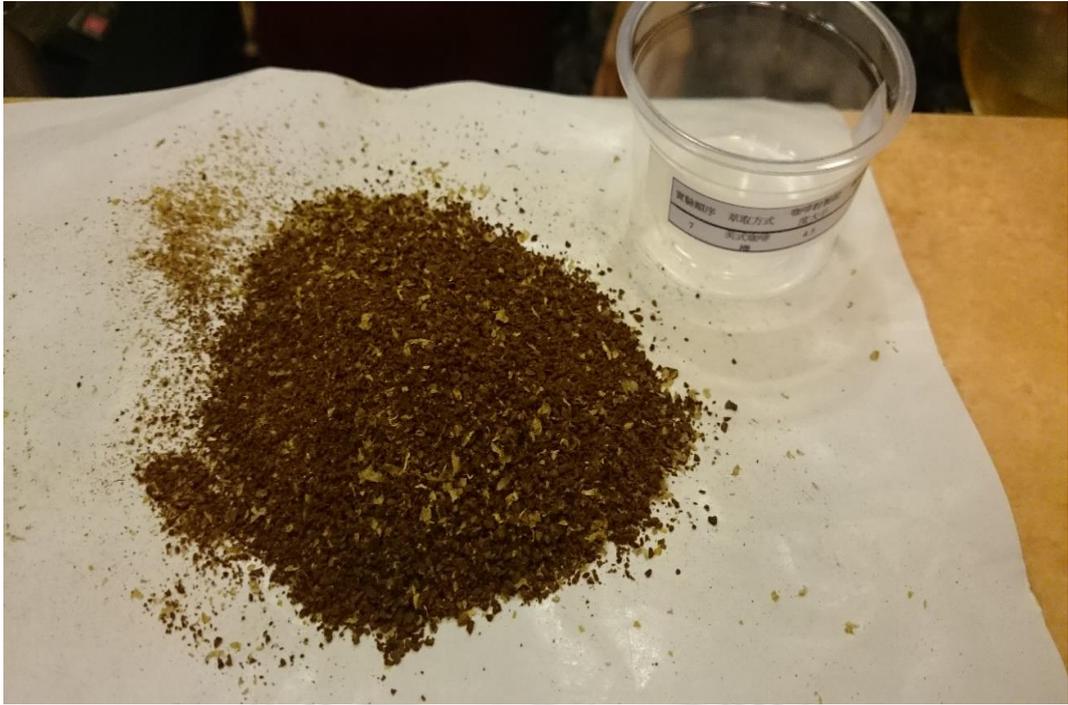


圖 3-7 咖啡豆研磨完成



圖 3-8 手沖咖啡萃取



圖 3-9 美式咖啡機萃取

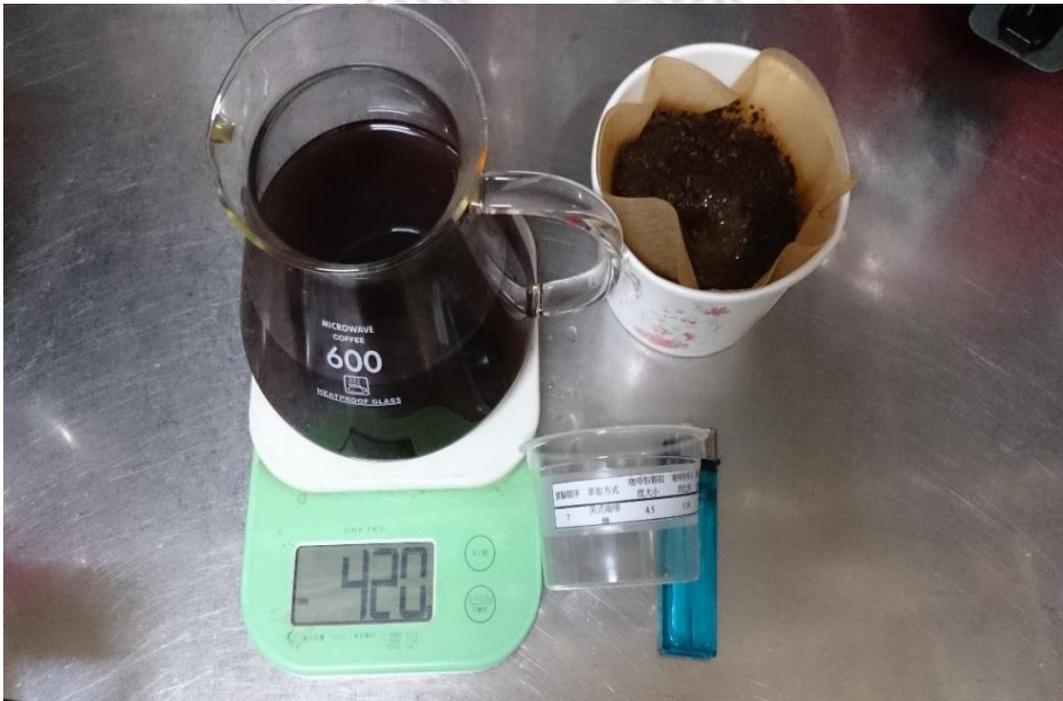


圖 3-10 萃取液成品 (水與咖啡粉比例為 1:14)



圖 3-11 萃取液品評分杯



圖 3-12 品評員進行品評



圖 3-13 品評員進行評分

第八節 咖啡萃取實驗紀錄

本實驗為追求有效數據實驗，增加此次評比的準確性，選擇良好的實驗環境，訂於 104 年 4 月 18 日星期六，於嘉義市忠孝路上香堤咖啡館請十四位品評員進行咖啡滿意度評比。品評員包含一位統計專家及十三位咖啡愛好者。

根據本實驗因子配置的直交表（詳見表 3-7 所示），咖啡萃取最佳化第一次實驗因子組合為：沖煮器具使用手沖濾泡、咖啡豆使用依索比亞耶加雪菲原生種咖啡豆、咖啡粉顆粒度為 3.0、咖啡粉與水之比例為 1:12、烘焙為 pH 值 4.8 依此配置組合本咖啡萃取實驗，實行十二次咖啡萃取實驗步驟，詳見表 3-7 所示：

表 3-7 咖啡萃取最佳化實驗步驟

實驗順序	萃取方式	咖啡粉顆 粒度大小	咖啡粉與 水的比例	烘焙方式 (酸鹼值)
1	手沖濾泡式	3.0	1:12	4.8
2	手沖濾泡式	3.0	1:18	5.1
3	手沖濾泡式	4.5	1:12	5.1
4	手沖濾泡式	3.5	1:14	4.8
5	手沖濾泡式	4.0	1:16	4.9
6	手沖濾泡式	4.5	1:18	5.0
7	美式咖啡機	4.5	1:14	4.9
8	美式咖啡機	4.0	1:18	4.8
9	美式咖啡機	3.5	1:16	5.0
10	美式咖啡機	4.0	1:12	5.0
11	美式咖啡機	3.5	1:16	4.9
12	美式咖啡機	3.0	1:14	5.1

第九節 資料的收集及登錄

本次實驗共邀請十四位品評員共進行總次數十二次之咖啡實驗，實驗結束後請品評員簽名後將評分表收回。並將所回收得到十四份咖啡滿意度評比表總計共 168 筆資料，逐筆登錄並製成成績記錄表。詳細登錄資料，詳見表 3-8 所示：

表 3-8 咖啡滿意度實驗成績紀錄表

Exp.	1	3'	6'	9'	咖啡順口滿意度評比													
	D	A	B	C	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14
1	1	1	1	1	82	93	80	72	73	75	82	60	70	74	82	80	85	70
2	1	1	4	4	69	67	92	88	86	68	65	85	82	87	70	70	66	90
3	1	4	1	4	75	89	72	94	93	79	75	88	87	90	88	85	79	91
4	1	2	2	1	92	61	85	80	74	62	58	65	72	70	85	80	77	78
5	1	3	3	2	72	95	74	72	71	61	68	61	71	81	79	80	69	88
6	1	4	4	3	84	86	76	85	83	60	63	90	70	66	81	78	88	73
7	2	4	2	2	78	88	90	92	90	70	80	75	75	83	75	75	73	86
8	2	3	4	1	90	78	82	75	76	80	91	78	79	79	86	90	89	80
9	2	2	3	3	70	83	84	93	93	85	92	90	89	92	90	88	92	95
10	2	3	1	3	84	90	85	82	88	86	88	86	77	78	84	80	87	93
11	2	2	3	2	90	87	86	84	85	90	78	89	75	63	90	85	86	84
12	2	1	2	4	70	92	74	86	91	88	90	92	78	75	87	73	76	92

第十節 資料效果分析

經由此次咖啡實驗所取得總共 168 筆資料進行登錄後，並將每次實驗的品茗滿意度評比分數經由 EXCEL 計算平均數，其平均數表現結果如表 3-9。本次實驗主要目的在於找出咖啡萃取最佳化組合實驗，經由品茗員的評分對其咖啡口感滿意度評比，評比分數愈高則愈好，此品質特徵即是田口方法理中的靜態參數設計 S/N 比中的望大特性，實驗所取得之品質特徵質愈大愈好，從中獲取提高產品品質。

將進行萃取十二次之實驗數據依據望大特性公式 2-3 計算 S/N 值，所得結果如表 3-10。

透過 S/N 比值依各因子、水準計算出反應值，彙整成咖啡萃取最佳化因子平均值反應表及咖啡萃取最佳化因子 S/N 比反應表，如表 3-11、表 3-12。

表 3-9 咖啡滿意度評比平均數

Exp.	1	3'	6'	9'	咖啡順口滿意度評比														平均數
	D	A	B	C	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	
1	1	1	1	1	82	93	80	72	73	75	82	60	70	74	82	80	85	70	77.0
2	1	1	4	4	69	67	92	88	86	68	65	85	82	87	70	70	66	90	77.5
3	1	4	1	4	75	89	72	94	93	79	75	88	87	90	88	85	79	91	84.6
4	1	2	2	1	92	61	85	80	74	62	58	65	72	70	85	80	77	78	74.2
5	1	3	3	2	72	95	74	72	71	61	68	61	71	81	79	80	69	88	74.4
6	1	4	4	3	84	86	76	85	83	60	63	90	70	66	81	78	88	73	77.4
7	2	4	2	2	78	88	90	92	90	70	80	75	75	83	75	75	73	86	80.7
8	2	3	4	1	90	78	82	75	76	80	91	78	79	79	86	90	89	80	82.4
9	2	2	3	3	70	83	84	93	93	85	92	90	89	92	90	88	92	95	88.3
10	2	3	1	3	84	90	85	82	88	86	88	86	77	78	84	80	87	93	84.9
11	2	2	3	2	90	87	86	84	85	90	78	89	75	63	90	85	86	84	83.7
12	2	1	2	4	70	92	74	86	91	88	90	92	78	75	87	73	76	92	83.1

表 3-10 咖啡萃取最佳化實驗 S/N 值

Exp.	1	3'	6'	9'	咖啡順口滿意度評比														平均	S/N比
	D	A	B	C	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14		
1	1	1	1	1	82	93	80	72	73	75	82	60	70	74	82	80	85	70	77.0	37.6
2	1	1	4	4	69	67	92	88	86	68	65	85	82	87	70	70	66	90	77.5	37.6
3	1	4	1	4	75	89	72	94	93	79	75	88	87	90	88	85	79	91	84.6	38.5
4	1	2	2	1	92	61	85	80	74	62	58	65	72	70	85	80	77	78	74.2	37.2
5	1	3	3	2	72	95	74	72	71	61	68	61	71	81	79	80	69	88	74.4	37.2
6	1	4	4	3	84	86	76	85	83	60	63	90	70	66	81	78	88	73	77.4	37.6
7	2	4	2	2	78	88	90	92	90	70	80	75	75	83	75	75	73	86	80.7	38.0
8	2	3	4	1	90	78	82	75	76	80	91	78	79	79	86	90	89	80	82.4	38.3
9	2	2	3	3	70	83	84	93	93	85	92	90	89	92	90	88	92	95	88.3	38.8
10	2	3	1	3	84	90	85	82	88	86	88	86	77	78	84	80	87	93	84.9	38.5
11	2	2	3	2	90	87	86	84	85	90	78	89	75	63	90	85	86	84	83.7	38.3
12	2	1	2	4	70	92	74	86	91	88	90	92	78	75	87	73	76	92	83.1	38.3

透過反應表繪製因子平均反應圖與最佳化 S/N 圖，參見如圖 3-14、圖 3-15

根據表 3-11 的因子平均反應表、表 3-12 的 S/N 表反應表、圖 3-14 的因子平均反應圖、圖 3-15 的因子最佳化 SN 圖與表 3-13 的咖啡萃取最佳化變異數分析表得知，控制因子 A 與 B 之影響因子不顯著，C 與 D 影響因子則有顯著性差異，經實驗結果取得其咖啡萃取最佳化條件來源為美式咖啡機與烘焙 PH 值 5.0。

表 3-11 咖啡萃取最佳化因子平均值反應表

水準	D	A	B	C
Level 1	77.52	79.21	82.17	77.86
Level 2	83.85	82.07	79.36	79.62
Level 3	0.00	80.55	82.14	83.50
Level 4	0.00	80.90	79.07	81.76
Effect	6.32	2.86	3.10	5.64
Rank	1	4	3	2

表 3-12 咖啡萃取最佳化因子 S/N 比反應表

水準	D	A	B	C
Level 1	37.60	37.81	38.20	37.67
Level 2	38.38	38.12	37.83	37.88
Level 3	0.00	38.02	38.14	38.31
Level 4	0.00	38.02	37.80	38.10
Effect	0.78	0.31	0.40	0.64
Rank	1	4	3	2

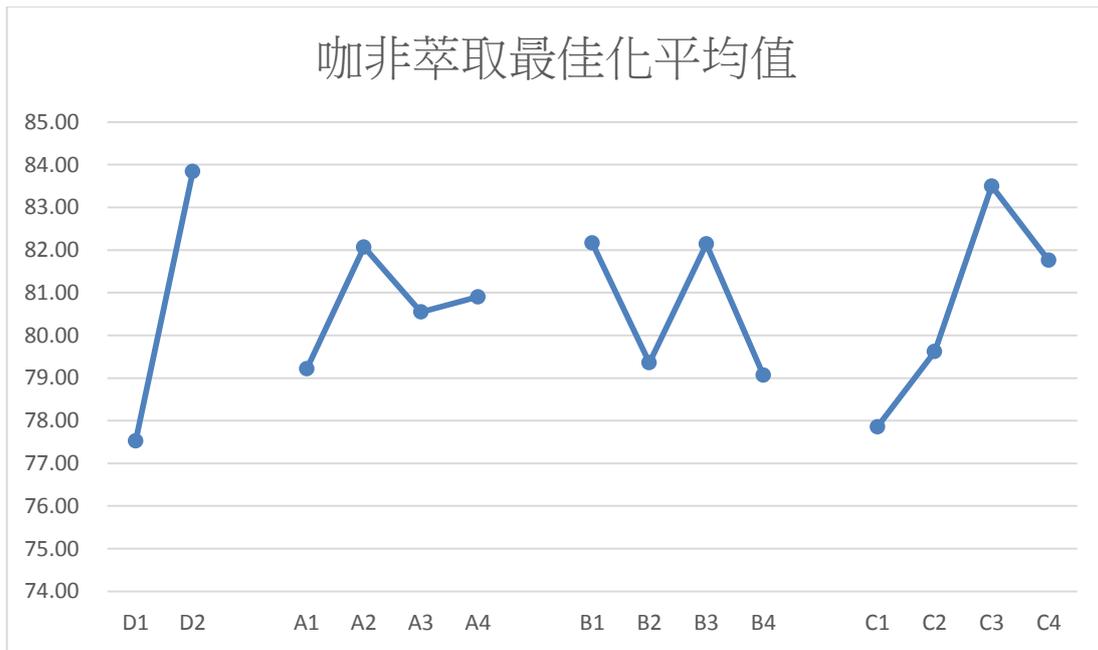


圖 3-14 因子平均反應圖

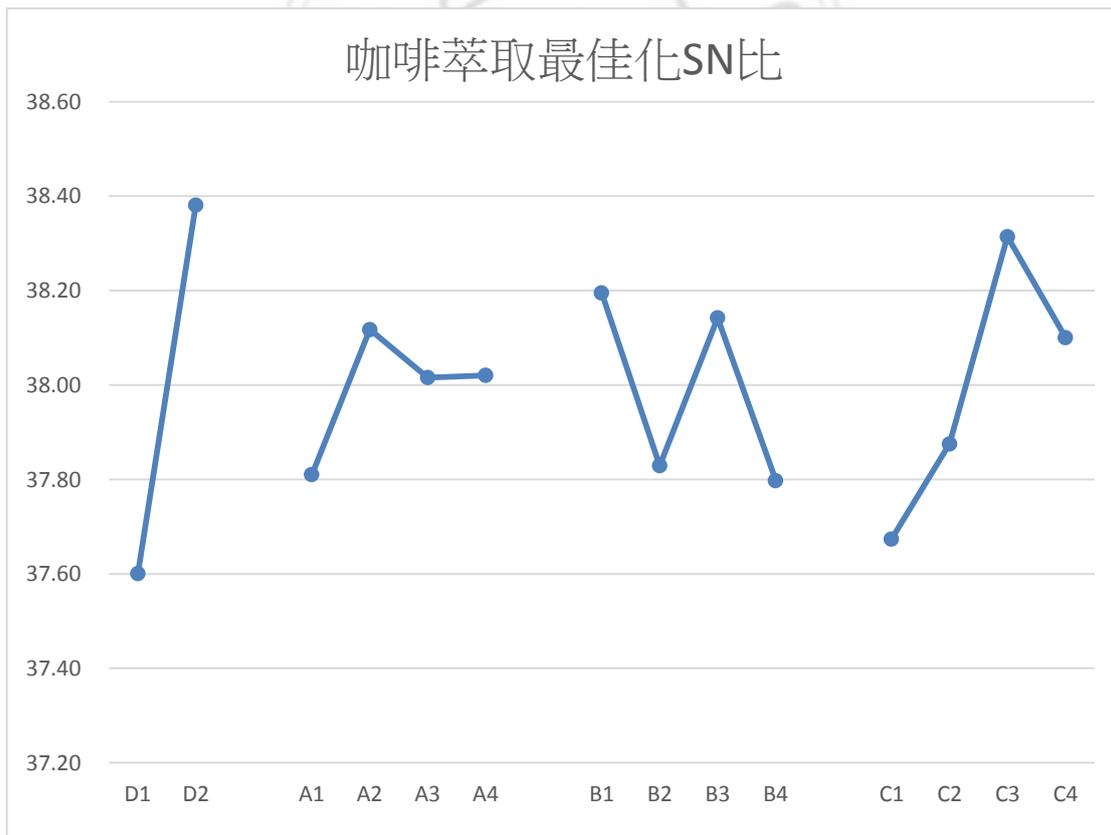


圖 3-15 因子最佳化 SN 圖

表 3-13 咖啡萃取最佳化變異數分析表

控制因子	平方和 SS	自由度 DOF.	均方和 Var.	變異比 F	貢獻度 Confidence	顯著性 Significance*
D	1678.34	1	1678.34	25.57	99.99988%	Yes
A	174.40	3	58.13	0.89	55.00001%	No
B	364.88	3	121.63	1.85	86.01511%	No
C	765.11	3	255.04	3.89	98.96920%	Yes
Error	10305.55	157	65.64	S = 8.10		
Total	13288.28	167	*At least 95% confidence			

第十一節 最佳化的選取與確認

現行的萃取咖啡條件為：D₁A₃C₃B₃，手沖濾泡式萃取（D₁）、咖啡豆研磨顆粒度 4.0（A₃）、咖啡萃取液 PH 值 5.0（C₃）、咖啡萃取液原水比例 1:16（B₃）為現行之萃取條件。

$$\begin{aligned}
 S / N_{initial} &= \bar{\eta} + (\bar{\eta}_{A_3} - \bar{\eta}) + (\bar{\eta}_{B_3} - \bar{\eta}) + (\bar{\eta}_{C_3} - \bar{\eta}) + (\bar{\eta}_{D_1} - \bar{\eta}) \\
 &= \bar{\eta}_{A_3} + \bar{\eta}_{B_3} + \bar{\eta}_{C_3} + \bar{\eta}_{D_1} - 3\bar{\eta} \\
 &= 38.02 + 38.14 + 38.31 + 37.6 - 3 \times 37.99 \\
 &= 152.07 - 113.97 \\
 &= 38.1
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \mu_{initial} &= \bar{\mu} + (\bar{\mu}_{A_3} - \bar{\mu}) + (\bar{\mu}_{B_3} - \bar{\mu}) + (\bar{\mu}_{C_3} - \bar{\mu}) + (\bar{\mu}_{D_1} - \bar{\mu}) \\
 &= \bar{\mu}_{A_3} + \bar{\mu}_{B_3} + \bar{\mu}_{C_3} + \bar{\mu}_{D_1} - 3\bar{\mu} \\
 &= 80.55 + 82.14 + 83.50 + 77.52 - 3 \times 80.68 \\
 &= 323.71 - 242.04 \\
 &= 80.64
 \end{aligned}$$

最佳化條件的選取為：D₂A₂B₁C₃，美式咖啡機（D₂）、咖啡豆研磨顆粒度 3.5（A₂）、咖啡萃取液與水比例 1:12（B₁）、咖啡萃取液 PH 值 5.0（C₃）為咖啡萃取最佳化條件。

$$\begin{aligned}
\eta_{optimum} &= \bar{\eta} + (\bar{\eta}_{A2} - \bar{\eta}) + (\bar{\eta}_{B1} - \bar{\eta}) + (\bar{\eta}_{C2} - \bar{\eta}) + (\bar{\eta}_{D2} - \bar{\eta}) \\
&= \bar{\eta}_{A2} + \bar{\eta}_{B1} + \bar{\eta}_{C3} + \bar{\eta}_{D2} - 3\bar{\eta} \\
&= 38.12 + 38.20 + 38.31 + 38.38 - 3 \times 37.99 \\
&= 153.01 - 113.7 \\
&= 39.04
\end{aligned}$$

最佳化條件與現行咖啡萃取條件進行比較、其增益 (gain) 為 39.04-38.1=0.94 (db)，對於品質損失比例而言，損失為原始條件的

$$10^{\frac{0.94}{10}} = 80.538 \text{。}$$

$$\begin{aligned}
\mu_{optimum} &= \bar{\mu} + (\bar{\mu}_{A2} - \bar{\mu}) + (\bar{\mu}_{B1} - \bar{\mu}) + (\bar{\mu}_{C3} - \bar{\mu}) + (\bar{\mu}_{D2} - \bar{\mu}) \\
&= \bar{\mu}_{A2} + \bar{\mu}_{B1} + \bar{\mu}_{C3} + \bar{\mu}_{D2} - 3\bar{\mu} \\
&= 82.07 + 82.17 + 83.50 + 83.85 - 3 \times 80.68 \\
&= 331.59 - 242.04 \\
&= 89.55
\end{aligned}$$

最佳化條件與現行咖啡萃取條件進行比較、其滿意度增加為 89.55-80.64=8.91。

第四章 結論

近幾年來咖啡已成為國人重要的飲品之一，四處林立的咖啡館顯見國人對咖啡的重視，而咖啡的品種與萃取方式更有多種選擇，隨著不同的咖啡品種與不同的萃取方式呈現出不同的口感，也越來越多人在品嚐一杯好咖啡之餘更追求的是如何自行 DIY 出一杯好咖啡，而萃取的方式在一般自行 DIY 中最常見的方式有手沖濾泡萃取與美式咖啡機萃取，其中手沖濾泡式雖然是易於操作的一種咖啡萃取方式，卻因為由不同的人操作，不同的下水時機，容易導致萃取出來的咖啡過於苦澀，並容易呈現出好喝與不好喝的差別。而美式咖啡機則透過微電腦的控制可以模仿手沖濾泡、控制溫度與水量的多寡，且美式咖啡萃取的條件變因主要來自於咖啡豆的烘焙方式，只要選出正確的烘焙品種即可以藉由美式咖啡機萃取出一杯好咖啡。

本研究目的主要是透過田口方法理論，經過咖啡粉顆粒度大小 (A 因子)、咖啡粉與水比例 (B 因子)、烘焙方式 (C 因子) 與萃取方式 (D 因子) 四種因子，採用手沖濾泡式與美式咖啡機進行差異性萃取實驗，取得咖啡萃取最佳化實驗。本實驗結果以萃取衣索比亞耶加雪菲產區原生種咖啡豆為例得到最佳化組合，其所得最佳化條件為使用咖啡粉研磨顆粒度 3.5 (A 因子)、咖啡萃取液與水比例 1:12 (B 因子)、烘焙 PH 值 5.0 (C 因子) 與美式咖啡機 (D 因子)。本實驗經由最佳化萃取實驗結果推廣，可提高使用者個人或在未來進行相關咖啡產業的服務獲得最佳化的咖啡萃取資訊，並可以讓使用者可以快速取得咖啡萃取經驗，有效減少咖啡成本的浪費，將咖啡萃取標準化，讓一般使用者可以簡單的萃取出一杯好咖啡。

參考文獻

一、中文部份

- 1.王羽盟(2009)，「應用田口方法探討塑膠射出成形最佳化參數-以醫療生理監視器為例」，中興大學機械工程學系所碩士論文。
- 2.吳金昌(2008)，「咖啡連鎖業中烘焙產品經營模式之探討」，義守大學管理研究所碩士班碩士論文。
- 3.吳榮峰(2009)，「使用田口方法最佳化設計散熱器之研究」，正修科技大學機電工程研究所碩士論文。
- 4.李思樺(2014)，「利用田口方法改善碳纖維複合材料製程」，大葉大學工業工程與管理學系碩士論文。
- 5.周東毅(2015)，「應用田口工程計畫法於高功率 LED 路燈驅動源效率改善之研究」，國立高雄應用科技大學電機工程系博碩士班碩士論文。
- 6.洪晨晃(2014)，「運用 Kano's Model 與田口方法修正之 IPA 以提升一般旅館服務品質之研究」，中華大學科技管理學系碩士班碩士論文。
- 7.洪睿杰(2012)，「個性化咖啡館之經營風格與顧客關係之探討---以藥咖啡館為例」，元智大學管理碩士在職專班碩士論文。
- 8.徐俊傑(2014)，「應用田口分析法探討沖水馬桶效能影響因子之研究」，龍華科技大學機械工程系碩士班碩士論文。
- 9.張家訓(2014)，「利用田口法於光電廠超約電費成本之分析」，國立彰化師範大學電機工程學系碩士論文。
- 10.張舫禎(2010)，「應用田口損失函數於網路購物服務品質之研究」，立德大學生產事業管理研究所碩士論文。

- 11.張淑芬、程永雄、徐信次、朱慶國（2006），台灣咖啡之介紹。農業試驗所技術服務。第 67 期。pp.13-16。
- 12.莊詠晴(2014)，「運用田口方法改善導線架備料模式 - 以專案公司為例」，國立雲林科技大學電機工程系碩士論文。
- 13.鍾翔宇(2014)，「整合類神經網路和田口方法建構不動產估價模式-以台中市房地產交易為例」，國立臺中科技大學資訊管理系碩士班碩士論文。

二、網路文獻

<http://zh.wikipedia.org/wiki/PH%E5%80%BC>

三、西文部分

1. Anthony Marsh, (2007). “Diversification by smallholder farmers: Viet Nam Robusta Coffee”, pp. 1 FAO, Rome.
2. Anthony, F., Combes, M. C., Astorga, C., Bertrand, B., Graziosi, G., & Lashermes, P. (2002). The origin of cultivated *Coffea arabica* L. varieties revealed by AFLP and SSR markers. *Theoretical and Applied Genetics*, 104(5), pp. 894-900.
3. Berecha, G., Aerts, R., Vandepitte, K., Van Glabeke, S., Muys, B., Roldán-Ruiz, I., & Honnay, O. (2014). Effects of forest management on mating patterns, pollen flow and intergenerational transfer of genetic diversity in wild Arabica coffee (*Coffea arabica* L.) from Afromontane rainforests. *Biological Journal of the Linnean Society*, 112(1), pp. 76-88.
4. Camargo, M. B. P. D. (2010). The impact of climatic variability and climate change on arabic coffee crop in Brazil. *Bragantia*, 69(1), pp. 239-247.

5. Cao, E. P., Constantino-Santos, D. M., Ramos, L. A. P., Santos, B. S., Quilang, J. P., & Mojica, R. M. (2014) . Molecular and morphological differentiation among *Coffea* (Rubiaceae) varieties grown in the farms of Cavite Province, Philippines. 7(2), pp. 387-397.
6. Ciro-Velasquez, H. J., Abud-Cano, L. C., & Perez-Alegria, L. R. (2010). Numerical simulation of thin layer coffee drying by control volumes. *Dyna*, 77(163), pp. 270-278.
7. DaMatta, F. M., & Ramalho, J. D. C. (2006). Impacts of drought and temperature stress on coffee physiology and production: a review. *Brazilian Journal of Plant Physiology*, 18(1), 55-81.
8. Daniels, N. (2009). Variations in Coffee Processing and Their Impact on Quality and Consistency (Doctoral dissertation, Michigan Technological University).
9. Kimani, M., Little, T., & Vos, J. G. (2002). Introduction to coffee management through discovery learning. CAB Bioscience IPM, Source Book.
10. Minten, B., Tamru, S., Kuma, T., & Nyarko, Y. (2014). Structure and performance of Ethiopia s coffee export sector (Vol. 66). Intl Food Policy Res Inst.
11. Musebe, R. I. C. H. A. R. D., Agwanda, C. H. A. R. L. E. S., & Mekonen, M. (2007). Primary coffee processing in Ethiopia: patterns, constraints and determinants. In *African Crop Science Conference Proceedings* (Vol 8), pp. 1417-1421.
12. Pérez-Hernández, L. M., Chávez-Quiroz, K., Medina-Juárez, L. Á ., & Gámez Meza, N. (2012). Phenolic Characterization, Melanoidins, and Antioxidant Activity of Some Commercial Coffees from *Coffea arabica* and *Coffea canephora*. *Journal of the Mexican Chemical Society*, 56(4), pp. 430-435.

13. Prance, G., & Nesbitt, M. (Eds.). (2005). Cultural history of plants. Routledge, pp. 83 .
14. Tshilenge, P., Nkongolo, K. K., Mehes, M., & Kalonji, A. (2009). Genetic variation in Coffee canephora L.(Var. Robusta) accessions from the founder gene pool evaluated with ISSR and RAPD. African Journal of Biotechnology, 8(3).
15. UPADHYAY, V., & MISHRA, P. (2014, September). An Ecological Analysis of Mangroves Ecosystem of Odisha on the Eastern Coast of India. In Proc Indian Natn Sci Acad, 80(3) , pp. 647-661.



附錄一

咖啡滿意度評比表

各位咖啡達人先進您好：

首先對於參與本次實驗統計專家與及咖啡愛好者，表達謝意。本次實驗主要針對每次實驗咖啡品嚐特徵值咖啡的滿意度評比。透過田口方法找到咖啡烹煮最佳化，得到最好的品質。

咖啡的滿意度評比標準如下：

- (100-90) 酸中帶甜、明顯回甘口感
- (89-80) 微酸略甜、略有回甘且口感稍有苦味
- (79-70) 微酸略甜、略有回甘且苦味明顯
- (69-60) 酸澀略甜、口感青澀
- (60 以下) 苦澀難以入口

評審人員：

評鑑日期：

Exp.	1	3'	6'	9'	評審分數
	D	A	B	C	
1	1	1	1	1	
2	1	1	4	4	
3	1	4	1	4	
4	1	2	2	1	
5	1	3	3	2	
6	1	4	4	3	
7	2	4	2	2	
8	2	3	4	1	
9	2	2	3	3	
10	2	3	1	3	
11	2	2	3	2	
12	2	1	2	4	