

出國報告(出國類別：研究)

# 赴加拿大研究全豆加工技術及產品 開發

服務機關：臺中區農業改良場

姓名職稱：助理研究員 蘇致柔

派赴國家/地區：加拿大多倫多地區

出國期間：114年2月19日至4月19日

報告日期：114年5月27日

## 摘要

隨著氣候變遷加劇與消費者健康意識的提升，食品產業逐漸朝向高營養、高效率與低碳足跡的加工模式轉型。在此趨勢下，全豆加工技術因其可完整利用原料、減少副產物並保留營養成分而備受關注。相較於傳統豆漿製品須分離豆渣、導致膳食纖維與植化素流失，且產生需額外處理的副產物，全豆加工保留整顆大豆的所有成分，不僅能提升原料利用率與營養密度，還能強化產品的飽足感與永續價值，降低環境負擔。全豆基質因富含膳食纖維與非蛋白質成分，可能干擾後續加工，導致質地粗糙與結構不穩，因此製程優化技術成為關鍵。本次出國行程前往加拿大貴湖研究中心，研習全豆加工技術並開發全豆豆腐產品，成功開發出結構均勻、品質穩定之全豆豆腐原型，為未來產品多樣化奠定基礎。同時學習多醣分析與應用技術，導入食品加工可有效改善質地與功能性，進一步強化植物性食品研發能量。未來建議持續優化全豆加工技術，深化其於國內品種大豆及雜糧上的應用，並依據不同原料的物理與化學特性調整製程參數，以開發出符合消費者口感與營養需求的多元產品，如全豆發酵乳、即溶飲品、植物基乳品替代品與機能性休閒食品等，提升產品市場競爭力與國產豆類加工價值。同時應強化全豆產品營養效益的科學驗證，透過實驗研究確認其保健功效，並搭配食農教育與高齡營養推廣，加深消費者對其營養價值與環境友善特性的認同與接受，進一步促進本土農產加值與食品產業的永續創新發展。

# 目錄

摘要.....	2
壹、 前言及目的.....	4
貳、 行程表.....	5
參、 貴湖研究中心簡介.....	6
肆、 全豆豆腐產品開發.....	7
伍、 多醣分析流程.....	12
陸、 心得與建議.....	16

## 壹、前言及目的

隨著氣候變遷與環境永續議題受到重視，植物性產品相比動物性產品具有更低耗水量、低碳足跡及環境友善的優勢，加上近年來消費者注重飲食健康與營養，植物的機能性與營養保健相關研究逐年增長，植物性產品成為國內外熱門的新興話題，尤其以植物奶及植物肉為大宗，各國食品大廠也陸續投資植物基及植物蛋白質產品研發，以符合消費者對健康、環境友善產品的需求，植物性產品的被看好具有相當多的發展機會。其中大豆因具備優良的蛋白質來源與多種營養成分，成為植物性食品開發的重要原料。

全豆加工技術可將整顆大豆完整利用，不去除豆渣，保留大豆的全部營養成分，並提高產品的飽足感與加工效率，符合環保與永續發展目標。同時，多醣因其優異的保水性、黏稠性及凝膠特性，已廣泛應用於食品加工中作為質地改良劑與功能性配方，但由於其來源與結構多樣，需通過分析技術了解其性質與應用潛力。

因此，本次出國行程赴加拿大貴湖研究中心研習全豆加工技術並開發全豆腐產品，藉此建立完整的加工系統，促進大豆食品於食品領域中的多元應用與附加價值。同時學習多醣的分析與應用技術，將其導入食品加工中，以提升產品的質地與功能性，強化植物性食品的研發基礎，並促進植物性食品產業的創新發展。

## 貳、行程表

日期	地點	行程
2/19	臺灣-加拿大多倫多	交通移動
2/20-4/19	加拿大貴湖	貴湖研究中心合作研究
4/20-4/21	加拿大多倫多-臺灣	交通移動

## 參、貴湖研究中心簡介

加拿大貴湖研究中心為加拿大農業部轄下的研究中心之一，致力於食品安全、營養與功能性食品之研發，包含控制食品加工過程中污染風險、開發天然抗氧化劑與營養素、植化素與全穀雜糧之機能應用等方面具備深厚研究基礎，並與業界、大學及其他研究機構密切合作。該中心亦積極探討全穀類與豆類在改善腸道健康方面的潛力，進而推動新型保健食品與營養補充品的開發，不僅有助於開拓市場，也為消費者提供更豐富的選擇。其研究成果包括支持燕麥纖維降膽固醇健康宣稱、紫色蔬菜與紫色小麥的抗氧化能力驗證等，展現其在基礎研究與產業應用上的卓越成效。

本次出國行程參訪該中心並進行全豆豆腐相關研究及開發，藉由學習該中心於食品加工及營養功能性研究上的技術，強化我國農業加工及植物基產品的開發能力，並透過與研究人員之交流與討論，促進未來與國際農業研究機構之合作與接軌。



貴湖研究中心

## 肆、全豆腐產品開發

隨著氣候變遷與消費者健康意識的提升，食品產業朝向高營養、高效率及低碳足跡的加工模式轉型，全豆加工技術因其可完整利用原料、減少副產物並保留營養而逐漸受到重視。傳統豆漿製品在加工過程中常會將豆渣過濾分離，雖可提升產品口感細緻度，但也導致膳食纖維、植化素等營養成分的流失，同時產生大量需額外處理的豆渣副產物，造成資源浪費、增加環境負擔與廢棄物處理成本。相較之下，全豆加工是將整顆大豆直接加工，不去除豆渣可有效提升原料利用率，並達到保留完整營養、提升產品的飽足感、減少加工程序，並大幅減少加工副產物的產生，更符合永續發展與環保友善的理念。

全豆基質具有較高的膳食纖維含量及植化素，能增加產品的飽足感與營養密度，可作為健康飲食與機能性食品的材料。然而，由於膳食纖維與非蛋白質成分的存在，可能造成質地粗糙與口感不佳，並影響其後續加工特性。因此，搭配合適的製程優化技術成為開發全豆產品的關鍵。全豆加工的應用面向相當廣泛，可涵蓋全豆豆漿、全豆腐、即溶飲品、發酵乳、全豆優格等多樣產品型態，滿足不同消費族群的飲食需求。

本研究以開發全豆腐為目標，由於全豆豆漿中含有的纖維會干擾蛋白質凝結及沉澱過程，常導致凝膠結構鬆散、質地不均，進而影響成品的外觀、口感與加工穩定性。因此，本研究針對不同豆漿濃度與多種凝固劑配方進行評估，並進一步引入天然多醣作為功能性輔助成分，藉由其與蛋白質間的交互作用以強化網狀結構，提升凝膠的均勻性與穩定性，製成結構緊密、質地細緻的全豆腐產品。

### 一、傳統豆腐製作與凝固原理

傳統豆腐的製作流程，主要是將浸泡後的大豆研磨成漿，經過濾去除豆渣後得到豆漿，接著加入凝固劑使其中的大豆蛋白質發生凝聚反應，形成豆花狀的凝膠，再經過模具成型及壓製脫水，即可製成板豆腐，質地緊實、含水量較低；若不進行壓製，則可製成質地柔軟、水分較高的嫩豆腐。

常見的傳統凝固劑包括鹽鹵、石膏與葡萄糖酸內酯 (Glucono delta-lactone, GDL)，不同類型的凝固劑會對豆腐凝結速度及質地產生明顯差異。鹽鹵是由海水濃縮提煉而得，其主要成分為氯化鎂 ( $MgCl_2$ )，亦含有少量鈣、鈉、鉀等離子；石膏的成分為硫酸鈣 ( $CaSO_4$ )，是水溶性較低的鈣鹽，屬於緩慢釋放的鈣離子來

源，兩者皆透過提供二價陽離子，使蛋白質分子表面帶負電的基團被中和，降低蛋白質間的靜電斥力，促使蛋白質聚集並形成穩定的三維網狀結構，進而形成豆腐凝膠。此外，葡萄糖酸內酯是一種酸性內酯化合物，在水中會緩慢水解生成葡萄糖酸並釋放氫離子 (H<sup>+</sup>)，逐漸降低豆漿的 pH 值。當 pH 接近大豆蛋白的等電點時，蛋白質分子之間的靜電排斥力減弱，發生凝聚與沉澱而形成網狀凝膠結構。

## 二、全豆腐開發

### 1. 材料與方法

將大豆以研磨機粉碎後，加水配置成不同濃度的懸浮溶液，以均質機攪拌均勻後，加熱至 95°C 10 分鐘，分別加入不同凝固劑及多醣配方(GDL、石膏、多醣)，倒入模型中於 85°C 水浴中靜置 30 分鐘使其形成凝膠，並置於 4°C 中儲存 1 天後進行以下分析：

#### (1) 離水性質

將樣品切成 2\*2\*2 cm 的小塊並稱重 (W<sub>0</sub>)，置於 50 mL 離心管中於 4°C 中保存 24 hr 後，將離心管傾斜 45 度使滲出的液體排掉，稱重 (W<sub>1</sub>)。離水率表示為：

$$\text{Syneresis (\%)} = W_1/W_0 * 100\%$$

#### (2) 烹煮性質

將樣品切成 2\*2\*2 cm 的小塊並稱重(W<sub>0</sub>)，放入 100°C 沸水中烹煮 3 分鐘，撈起瀝乾水份並稱重(W<sub>1</sub>)，烹煮損失表示為：

$$\text{Cooking loss (\%)} = W_1/W_0 * 100\%$$

#### (3) 質地分析

將樣品切成直徑 5 cm\*高 4 cm 圓筒型，以質地分析儀 (EZ-LX, Mandel) 測量樣品，測試條件：測試速度 2mm/sec，下壓兩次至樣品 30%，測量硬度 (Hardness)、黏性 (Adhesiveness)、彈性 (Springiness)、咀嚼性 (Chewiness)、膠著性 (Gumminess)、黏聚性 (Cohesiveness) 及回復性 (Resilience) 等參數。

#### (4) 流變性質

流變測試使用流變儀 (MCR 301, Anton Paar) 進行，並配備鋸齒狀平行板幾何結構。所有分析皆在 20 °C 下，使用 3 mm 的測量間距，以固定剪切應變 0.01% 進行頻率掃描測試，測試頻率範圍為 0.1 至 10 Hz。測得彈性模數 (G') 與損耗模數 (G'') 數值。

## 2. 試驗結果

根據觀察結果，凝固劑使用 GDL 與石膏的兩組製成的全豆豆腐在外觀上表現較差，其凝膠結構較為脆弱，成品容易塌陷、變形，顯示其凝結形成的網狀結構不足以支撐豆腐本體。而添加多醣的可明顯改善此問題，製成的豆腐外型完整，結構較為穩固。

離水率為評估豆腐在儲存過程中的保水能力與結構穩定性的指標，結果顯示各組間差異不顯著，推測在冷藏條件下，樣品皆能維持一定程度的保水性。烹煮損失為衡量豆腐在加熱過程中流失水分與可溶性成分的程度，GDL 與石膏製成的豆腐在加熱後有顯著較高的質量損失，顯示其熱穩定性較差；相對地，添加多醣能顯著降低烹煮損失，顯示其有助於強化豆腐的凝膠結構與耐熱性。

質地方面，針對不同凝固劑配方製備之全豆豆腐進行質構分析，評估其硬度、彈性、咀嚼性、膠著性、黏聚性與黏性等機械性質。結果顯示，使用 GDL 與石膏作為凝固劑之樣品，其硬度、咀嚼性及膠著性數值相對較低，黏性則較高，顯示其質地較為柔軟且結構鬆散。相對地，添加多醣組別在硬度、咀嚼性及膠著性方面皆呈現顯著提升，且黏性下降，反映其具備較佳的結構完整性與質地穩定性。此外，添加多醣亦顯著提高黏聚性，顯示其有助於強化內部凝膠網絡之穩定性。

流變性質部分，本研究針對添加多醣之全豆豆腐樣品進行流變性測試，評估其動態機械特性。結果顯示，兩組樣品於角頻率 0.1–10 rad/s 範圍內，其彈性模數 (G') 皆高於損耗模數 (G'')，且兩者皆隨角頻率上升而上升，顯示樣品具備良好的彈性主導行為與穩定的凝膠結構。

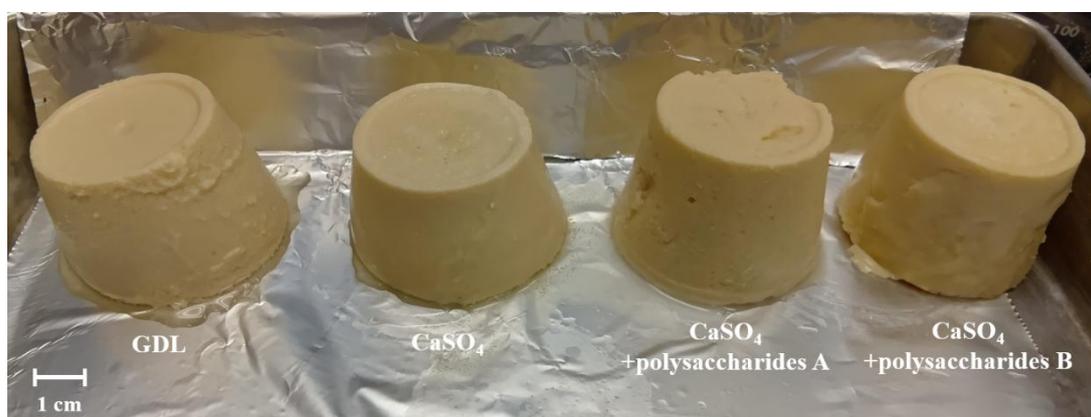
## 3. 小結

本研究顯示，全豆豆腐製作中單獨使用 GDL 或石膏作為凝固劑，易因全豆基質中非蛋白質成分干擾蛋白質聚集，限制網狀結構形成，導致凝膠強度不足

及熱穩定性降低。添加多醣可透過其與蛋白質間的靜電作用或氫鍵作用，形成更緻密的蛋白—多醣複合凝膠網絡，不僅提升凝膠強度、改善烹煮過程中的耐熱性，亦改善硬度、膠著性與咀嚼性等質地指標，流變測試亦顯示其凝膠結構具有良好的彈性特性與穩定的凝膠結構。因此，透過適當添加多醣可顯著提升全豆豆腐的結構穩定性與食用品質，為未來開發高營養、高機能且具永續價值之植物性蛋白產品提供可行策略與技術依據。



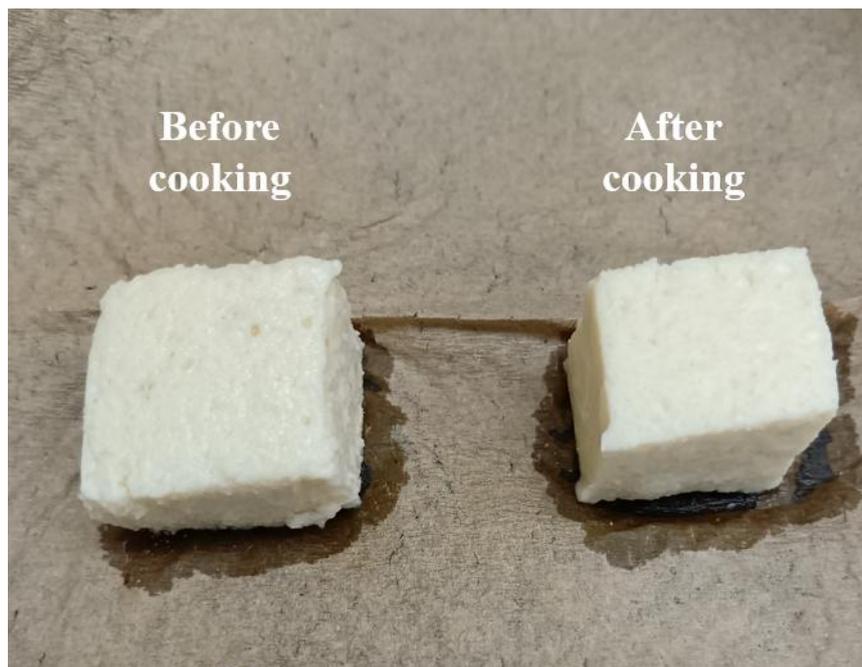
不同濃度之全豆豆漿



以不同凝固劑配方製備之全豆豆腐樣品外觀。



全豆腐樣品凝膠能力比較，左圖為未添加多醣的樣品，右圖為添加多醣後的樣品。



添加多醣之全豆腐樣品烹煮前(左)與烹煮後(右)之外觀。

## 伍、多醣分析流程

多醣是由許多單醣分子透過醣苷鍵連接而成的高分子碳水化合物，廣泛存在於自然界中，在植物中主要作為儲存能量與結構支持；在動物中，常見的多醣如肝醣，則是能量儲存的形式；在真菌與細菌中，多醣也常構成細胞壁的主要組成，例如幾丁質與肽聚糖，提供結構穩定與保護作用。

多醣會依照單醣組成、鍵結方式、支鏈程度、異構形式與官能基修飾等微小差異，產生多樣的結構與功能特性。在食品工業中，多醣扮演著極為多元的角色，天然存在的多醣是許多食品的主要能量來源；而經萃取或純化後的多醣則廣泛作為食品添加劑，用以改善產品質地、穩定性與保存性，例如防止乳化液分層、抑制冰晶生成、作為凝膠劑等。此外，非澱粉類多醣如  $\beta$ -葡聚醣，具有調節血糖與膽固醇、促進腸道健康等生理活性，被視為具潛力的膳食纖維來源，廣泛應用於功能性食品。

由於多醣來源多元且結構複雜，其功能特性亦隨之變化，因此進行多醣的組成、分子量與結構特性等分析，是食品科學領域中不可或缺的重要環節。本次出國行程學習多醣分析的關鍵技術，透過系統性地鑑定其理化性質與功能特徵，有助於後續進行產品品質控制與功能性應用的開發，強化植物性食品的研發基礎。

### 一、多醣萃取

多醣的萃取與純化流程需根據原料特性與應用目的加以調整，一般而言，首先需對原料進行適當的前處理。首先，樣品進行低溫乾燥並經由研磨使其粒徑小於 1 毫米，接著使用有機溶劑去除脂質、色素、酚類等干擾物質。多醣萃取階段，需依據目標多醣的性質選擇適當的萃取溶液、溫度與時間條件，使多醣有效地自原料中釋出。萃取後所得粗多醣需進一步純化以去除蛋白質，可透過等電點沉澱法或添加蛋白酶等方法。多醣沉澱通常使用乙醇，藉由改變溶劑極性促使多醣析出，可再以異丙醇或丙酮洗滌沉澱物，以去除殘餘雜質並改善多醣溶解性，最終利用冷凍乾燥以保存多醣的結構與功能性。

### 二、總糖含量 (Total sugar content)

總糖含量測定常用酚-硫酸法 (Phenol-Sulfuric Acid Method)，加入濃硫酸並加

熱使樣品中的多醣水解成單醣，再經脫水產生糖醛衍生物，與酚反應後生成黃色化合物，並於 490 nm 波長下以分光光度計測定吸光值。再以不同濃單醣溶液作標作曲線，計算出樣品總糖含量。此法適用於還原糖、非還原糖、多醣與寡醣等各類碳水化合物，靈敏度高、操作簡便，若樣品中含有多種單醣，通常以其中主要的單醣作為標準品。

### 三、分子量 (Molecular weight)

多醣的分子量是指多醣分子中所有單醣單元總和的重量，通常以數均分子量 (Mn)、重均分子量 (Mw) 等表示，是指樣品中所有分子按照數量加權平均所計算出的分子量，反映樣品中最常見分子的平均分子量；重均分子量是以樣品中重量分布計算出的分子量，分子量越大對重均分子量的貢獻也越大；多分布指數 (Polydispersity Index, PDI) 是衡量聚合物分子量分佈均勻程度的指標，為重均分子量與數均分子量的比值 (Mw/Mn)，PDI = 1 時表示樣品中的所有分子大小完全一致，PDI > 1 時表示樣品中存在不同大小的分子鏈，PDI 越大代表分子量分布越寬、分子大小差異越大。多醣分子間分子量差異大，分子量大小及分布是決定其功能性的關鍵，能影響溶解性、黏度、凝膠形成能力等性質。

尺寸排除色譜法 (Size Exclusion Chromatography, SEC)，亦稱為分子篩色譜法 (molecular sieve chromatography)，是一種常用於測定多醣分子量的方法。此方法依據分子大小進行分離，樣品通過填有多孔凝膠微粒的管柱時，分子會根據大小被分開，較大的分子無法進入小孔隙，因此較早流出管柱；而較小的分子則會進入孔隙中，停留時間較長，較晚流出管柱，搭配光散射 (LS)、示差折光 (RI) 等偵測器，並使用已知分子量的多醣標準品，可計算多醣的平均分子量與分佈情形。

### 四、單醣組成 (Monosaccharide composition)

分析多醣中單醣組成，需要先將多醣水解成其基本的單醣，接著進行分離與偵測。在酸水解的步驟中，通常利用強酸與加熱切斷多醣中的糖苷鍵，使其解聚為單醣。單醣分析常見方法包含高效陰離子交換層析搭配脈衝安培檢測法 (High-performance anion-exchange chromatography with pulsed amperometric detection, HPAEC-PAD)、氣相層析 (GC) 等，鑑定並定量多醣中的單醣種類與比例。

## 五、多醣結構分析

### 1. 傅立葉轉換紅外光譜 (Fourier-transform infrared spectroscopy, FTIR)

FT-IR 是一種常用於分析樣品化學結構的技術，透過測量樣品對紅外光的吸收情形來辨識其官能基。不同的化學鍵會吸收特定波長的紅外光，產生對應的振動 (如伸縮或彎曲振動)。儀器將這些吸收數據轉換成光譜，從中可辨識出樣品中存在哪些官能基，進而推測其結構特徵。

### 2. 核磁共振光譜 (Nuclear Magnetic Resonance spectroscopy, NMR)

NMR 是一種分析樣品分子結構的技術。其原理為將樣品置於強磁場中，使特定的原子核 (如 $^1\text{H}$  和  $^{13}\text{C}$ ) 與磁場對齊或反向排列。當施加射頻能量後，這些原子核會吸收能量並在返回原始狀態時釋放訊號，這些訊號可提供原子周圍化學環境的資訊，進而協助判斷分子結構、原子連接方式以及分子間的相互作用。

### 3. 甲基化分析 (Methylation analysis)

甲基化分析是解析複雜多醣聚合物中結構單元的常見方法，首先以碘甲烷將多醣中的游離羥基完全甲基化，接著將其水解為單醣，再進行還原與乙醯化處理，生成部分甲基化的醇類乙酸酯 (Partially methylated alditol acetates, PMAAs)。這些 PMAAs 可藉由 GC-MS 分析進行鑑定與定量分析。由於僅參與醣苷鍵結的羥基在甲基化過程中不會被取代，最終的甲基化圖譜便可反映出各單醣的鍵結位置，進而提供多醣結構的資訊。

## 六、小結

多醣為自然界中重要的高分子碳水化合物，因其結構多樣、功能豐富，在食品加工中扮演穩定劑、膠體、乳化劑與膳食纖維等多重角色，不僅可改善食品的質地、口感與保存性，更具備調節血糖、降血脂與促進腸道健康等生理活性。為發揮其最大效益，透過系統性的分析流程，可深入掌握其物化與生理特性，並為品質控制與應用開發提供依據。



## 陸、心得與建議

隨著氣候變遷與環境永續議題日益受到重視，植物性產品因具備較低耗水量、低碳足跡與較佳環境友善性，逐漸成為全球食品產業的重要發展趨勢。近年來，消費者對飲食健康與營養的關注提升，使植物來源機能性成分與營養保健效益成為重要研究焦點。其中，豆類因富含優質蛋白質及多元營養成分，成為植物基產品中最具代表性的原料之一，並廣泛應用於各式食品開發。全豆加工技術具有高度應用潛力，能完整保留豆類中的膳食纖維、維生素與植化素等營養成分，不僅提升產品的營養價值，也有助於減少副產物產生，符合資源永續與環境友善的發展理念，展現極大的推廣性與市場應用潛力。本次出國研究透過製程條件優化與天然多醣應用，成功開發出結構均勻、品質穩定的全豆豆腐產品。後續研究方向建議摘要如下：

### 1. 多元全豆產品開發

延伸此次研究成果，加強前端研磨處理設備及基礎研究，產出品質穩定且口感細緻的全豆豆漿，並依據國內不同大豆品種的蛋白質、油脂與植化素組成特性，調整研磨、水豆比、加熱與製程參數條件，進一步保留更多膳食纖維與植化素等機能性成分，並延伸開發全豆豆腐、全豆即溶飲品、全豆發酵乳與優格等多元豆類產品原型。

### 2. 拓展全豆加工技術應用於國產豆類

全豆加工技術不僅限於大豆，亦可延伸應用於各類國產豆類，如紅豆、樹豆等，考量不同豆類在營養成分組成、蛋白質結構、水分吸收性及加工特性上的差異，未來應依據原料特性調整濃度、研磨條件及加熱與凝膠形成等製程參數，以確保產品質地細緻、穩定性良好並符合消費者接受度。透過全豆技術的導入與製程優化，可有效拓展國產豆類在植物基飲品、乳製品替代、機能性食品及休閒零食等多元應用領域，進而提升國產雜糧的市場價值與產品附加功能，促進本土農業發展及產業升級。

### 3. 強化全豆營養效益驗證與推廣

依照前人研究，全豆具有促進腸道健康、改善血糖控制、降膽固醇、抗氧化等多種保健效益，建議加強相關科學研究，並透過動物或人體試驗驗證其保健功效。並結合食農教育與銀髮營養推廣活動，普及全豆的營養價值與保健效益，強

調全豆保留豆類中的膳食纖維、維生素、植化素及高品質植物蛋白，提升消費者對全豆產品的認同感，並塑造其作為健康、環保且多樣化飲食選擇的形象，提升市場的接受度與需求，推動全豆利用及植物基飲食文化。

#### **4. 天然多醣之應用潛力探索**

天然多醣來源廣泛，如洋菜、刺槐豆膠、果膠等具有保水性與穩定性等，在食品工業中可應用於結構改質、質地優化與保存性提升等多元領域。然而，自然界中仍潛藏許多尚未被充分研究與應用的多醣資源，具開發潛力，例如柑橘類及山藥等皆含有豐富天然多醣。建議可強化多醣的分析技術，作為後續篩選與應用評估的基礎。進一步進行多醣之萃取、純化及功能性評估，探索其在食品質地改良、膳食纖維補充、益生元開發與機能性食品等面向的應用，拓展天然多醣於產品創新上的發展潛力。