

行政院國家科學委員會專題研究計畫 成果報告

山藥之物化性質與其於擠壓狀態下之變化

計畫類別：個別型計畫

計畫編號：NSC91-2317-B-002-019-

執行期間：91年08月01日至92年07月31日

執行單位：國立臺灣大學食品科技研究所

計畫主持人：葉安義

計畫參與人員：詹子瑩、莊朝琪、葉佳琦

報告類型：精簡報告

處理方式：本計畫可公開查詢

中 華 民 國 93 年 2 月 10 日

農業生物技術國家型科技計畫成果報告

山藥之物化性質與其於擠壓狀態下之變化

第一年(期)計畫 山藥澱粉之物化性質與黏質之影響

計畫類別： 重點領域計畫 研發應用計畫

計畫編號：NSC 91-2317-B-002-019-

執行期間：91年08月01日至92年07月31日

計畫主持人： 葉安義 教授

計畫參與人員：詹子瑩、莊朝琪

執行單位：國立台灣大學食品科技研究所

中 華 民 國 92 年 10 月 31 日

農業生物技術國家型科技計畫成果報告

山藥之物化性質與其於擠壓狀態下之變化

第一年(期) 山藥澱粉之物化性質與黏質之影響

計畫編號：NSC 91-2317-B-002-019-

執行期限：91年08月01日至92年07月31日

主持人：葉安義 教授 台大食科所

計畫參與人員：詹子瑩、葉佳琦、莊朝琪 台大食科所

一、中文摘要

本研究以台農2號及名間長紅兩品種山藥為研究對象，探討於不同水分下山藥澱粉之物化性質，以及添加不同比例黏質物(2.5%、5.0%澱粉乾重)對澱粉物化性質之影響。

在澱粉的基本性質方面，台農二號的澱粉顆粒粒徑(30.98 μm)稍大於名間長紅澱粉(26.95 μm)；台農2號澱粉之十字複屈折性較為規則，顯示兩種澱粉顆粒的內部結構不同。在40%水分含量時兩種山藥澱粉皆會出現兩個糊化尖峰溫度(T_p)，當水分高於60%以上則 T_p 無顯著變化；於低水分含量(40%、50%)下添加5.0%黏質物，會使 T_p 上升。山藥澱粉之流變行為與一般澱粉相似， $T_{G'_{\max}}$ 出現在80-83.3之間，黏質物在加熱過程中(40-90) G' 值隨溫度提高而上升，並且在降溫的過程中(90-25)，黏質物的 G' 值仍繼續上升且 G' 高於 G'' ，因此加熱變性後的黏質物較接近 solid-like。在低水分含量(40%、50%)下添加5.0%黏質物會使澱粉之 G'_{\max} 值提高，但在高水分下反而會使 G'_{\max} 值下降。

台農2號之膨潤力略高於名間長紅，兩種山藥之凍乾粉、澱粉及混合系統的膨潤力皆隨溫度上升而逐漸增加。山藥澱粉的膨潤力在55至75之間膨潤力增加甚少，直到85以上，膨潤力快速上升；低溫時(55、65)添加黏質物可增加山藥澱粉之膨潤力，當溫度增加到75以上，添加黏質物反而會降低澱粉之膨潤力，且黏質的添加量愈多膨潤力下降愈多。

由SEM圖的觀察，於混合物中，黏質物於60下會先變性而形成層狀結構，限制澱粉顆粒的糊化，產生抑制澱粉糊化的現象。新鮮山藥切片在80下加熱10分鐘後，澱粉顆粒還沒有崩解、糊化是一項佐證。

關鍵詞：十字複屈折性、山藥、物化性質、糊化、黏質物。

Abstract

The physico-chemical properties of starch isolated from yam (*D. alata*, Tai-Nung 2 and *D. alata* var *purpurea*, Ming-Chien) have been investigated by using differential scanning calorimetry (DSC) and oscillatory rheometer. The effects of adding mucilage on starch were also discussed.

The starch granules from Tai-Nung 2 had an average diameter of 30.98 μm , which was a little greater than that (26.95 μm) from Ming-Chien. The difference in the appearance of birefringency indicated that both starch exhibit different internal structure. As for most of starch, water content affected the gelatinization behavior of starches. A low water content (40%), the starches exhibit two endothermic peaks. When the water content was than 60%, one endothermic peak was observed. Ming-Chien yield a peak temperature (T_p) of 82.4-83.4, which was a little higher than those (81.0-81.2) for Tai-Nung 2. At water content of 40 and 50%, add 5% mucilage raised the T_p for both varieties. Both starches exhibited rheological properties similar to most

of starches. There exist a maximum G' (G'_{max}) due to swelling and melting of starch granules. The corresponding temperature ($T_{G'_{max}}$) were in the range from 80 to 83.3 , nevertheless, the G' of mucilage increased initially at about 72 and kept increasing during heating. Upon cooling, the G' of mucilage increased as the temperature dropped and was much greater than G'' . It exhibited solid like behavior. Adding 5.0% mucilage at low water content (40 and 50%) resulted in higher G'_{max} . Nevertheless, the G'_{max} was lowered by 5.0% mucilage.

There were little change in swelling power when temperature was lower than 75 . Both starches exhibit a rapid increase in swelling power when the temperature was higher than 85 due to the gelatinization. Nevertheless, adding mucilage decreased significantly swelling power of starch.

According to scanning electronic microscopy (SEM), in a mixture of standard mucilage, the mucilage forming a layered structure at 60 . The starch granules were entrapped in the layered structure, which further restricted the swelling, as well as the gelatinization, of starch granules. The presence of starch granules in a sliced yam heated at 80 for 10 min was also on evidence.

Keywords: birefringency, gelatinization, mucilage, physico-chemical properties, yam.

二、計畫緣由與目的

點心食品與現代人的生活息息相關，隨著國民所得的提高，消費者在點心食品上的支出也相對增加。由於現在國人逐漸重視飲食健康，於 1995 年，約有四分之一的食品標榜低油或無油，但是因為口味的問題，低油或無油食品在點心食品市場的佔有率逐漸下降；產品的機能性則是另一個訴求，故如能生產具機能性又能提供美味享受的點心食品，對於市場需求之開發，將會是一大助益。

第三代點心食品是指物料經擠壓蒸煮後，乾燥為半成品—pellet，在經過油炸、微波或烘烤後，使其膨發製成產品。Pellet 的原

料以穀類與根莖澱粉類為主，如玉米、馬鈴薯、樹薯澱粉等，根莖類澱粉因為具備一些特質，如澱粉顆粒大小適中、糊化溫度低、油脂及蛋白質含量低，味道溫和及色白、並具有極佳的鍵結性及成膜性，故可改變產品的膨發率及質地，經常添加在穀類澱粉原料中。製成的 pellet 處於玻璃態 (glass state)，產品水活性低、貯存期限較長，且產品穩定性高、又體積比膨發產品小很多，可降低包裝及運輸成本，符合市場需求，故極具開發價值。

山藥為薯蕷屬根莖類植物，為中國傳統中藥材及養生藥膳重要原料之一，將採收後的山藥洗淨去皮後，可生鮮直接食用或烹調食用，或加工製成產品。山藥塊莖富含澱粉、蛋白質、礦物質及黏質物等，澱粉是其固形物中的主要成分(呂和蔡, 1985; Wanasundera and Ravindran, 1994)。山藥塊根中粗蛋白質含量約為甘藷的兩倍，維生素 C 量約為檸檬的 1.5 倍 (Wanasundera and Ravindran, 1994)。山藥塊莖中所含的 diosgenin，老年人在食用後，可降低血液中三酸甘油酯的含量，增加高密度脂質的含量 (HDL) (Araghiiniknam 等, 1996)，為一種重要的保健食品，如能以山藥為原料開發點心食品 (圖一)，並利用其中澱粉及黏質物特性，使產品的質地和口感符合市場需求，第三代點心的產品質地及品質好壞，主要取決於產品的膨發率，而膨發率受到原料、配方、擠壓條件及加熱方式等因素影響。澱粉的理化性質是影響其加工適性的最主要因素；黏質物對山藥的加工適性之影響，需要分析與瞭解。本研究將探討山藥澱粉及黏質物之特性，以利用於擠壓加工。

澱粉是山藥塊莖中的主要成分，其理化性質是影響其加工適性的最重要因素；含量高達 2-8% (乾物重) 的黏質物，對於加工性質之影響，值得進一步的研究。本研究針對兩種不同品系的山藥：白肉品系-台農 2 號 (*D. alata* L.) 及紅肉品系-名間長紅 (*D. alata* L. var. *purpurea*) 為原料，將澱粉及黏質物分離後，進行一系列的研究，包括澱粉與黏質物之熱性質、流變性質和澱粉膨潤力等，另外再將黏質以不同比例 (2.5%、5.0% 乾物重) 添加於澱粉中，測定在不同水分含量下 (40

%、50%、60%、70%、80%、90%) 黏質對山藥澱粉熱性質及流變性質之影響；並利用掃描式電子顯微鏡 (SEM)，觀察山藥生粉、澱粉與澱粉/黏質混合物經過不同溫度加熱後 (65、70、75、80、85 和 95) 其結構上的變化，以瞭解山藥黏質對澱粉理化性質之影響。

三、材料與方法

A、試驗材料

本實驗選用兩種不同品種山藥塊莖，分別為白肉品系的台農 2 號 (*D. alata* L.)，以及紅肉品系的民間長紅 (*D. alata* L. var *purpurea*)。台農 2 號栽種於南投縣，於 91 年 11 月間採收；民間長紅山藥栽種於南投縣民間鄉，採收時間在 92 年 1 月間。

B、原料製備

製備實驗用之山藥澱粉及黏質物粉末時，分別將台農 2 號、民間長紅山藥塊莖去皮、切塊，添加山藥 3.3 倍體積蒸餾水，以果汁機高速攪打 2 分鐘；攪打過後的山藥以濾網過濾掉雜質後，先將濾液部分 (濾液 1) 分離出來，殘餘物添加 3.3 倍蒸餾水再攪打 2 分鐘，進行第二次過濾。將過濾後的殘餘物捨棄，濾液與濾液 1 合併，以高速離心機於 4、10,000 rpm 下離心 20 分鐘，取出上清液製備山藥黏質，沈澱物部分進行澱粉製備。澱粉與黏質物的製備如詹 (2003) 所述。

新鮮山藥泥：將新鮮山藥塊莖洗淨、去皮、切塊，以果汁機直接高速攪打 1 分鐘，並反覆攪打數次，直到山藥泥中沒有大塊固體存在為止。新鮮山藥泥水分含量與山藥塊莖水分含量相同，台農 2 號約為 79%，民間長紅則為 72%。新鮮山藥泥於實驗進行前製備，並於當天使用完。

山藥凍乾粉：將新鮮山藥塊莖洗淨、去皮，切成厚度 5 mm 的薄片，以真空凍結乾燥機 (FreeZone 18L Freeze dryer, Labconco, Missouri, USA) 進行凍乾 2 天。凍乾之山藥片以研鉢磨粉後，通過 0.250 mm 篩網，粉末存放於乾燥箱中保存。實驗時將凍乾粉添加蒸餾水，調整水分含量至 80%。本實驗所製備完成的山藥澱粉、山藥黏質粉末和凍乾粉

如圖二所示。

C、分析方法

原料之基本分析，包括水分、蛋白質、灰分、粗脂肪等乃參照 AOAC 的方法 (1993) 進行，細節不再贅述。直鏈澱粉含量之檢測，使用 Magazyme (Bray, Co. Wicklow, Ireland) 所製的 amylose and amylopectin assay kit，以 con A 將 amylopectin 沉降之後，測定澱粉溶液中 amylose 的含量。重要性質的測定如下：

1. 熱性質之測定

取定量樣品 (85mg 之山藥原漿、山藥凍乾粉、澱粉溶液、黏質物溶液及澱粉 / 黏質物混合系統) 置於不銹鋼中壓坩堝中 (Medium pressure / kelf 120 μ L, Mettler-Toledo, Schwerzenbach, Switzerland)，調整水分含量 (山藥原漿不調水、山藥凍乾粉為 80%、黏質物 90%、澱粉與混合系統為 40%、50%、60%、70%、80%、90%)。

使用 DSC822^o (Mettler-Toledo, Schwerzenbach, Switzerland) 進行熱性質分析，分析數據、圖形之軟體為 METTLER TOLEDO STAR^o SYSTEM。掃描溫度先由 25 急速降溫至 -50 測得玻璃轉化溫度 (T_g)，再由 -50 ~ 120，升溫速度 5 / min，測定其糊化起使溫度 (T_o, onset temperature)、糊化尖峰溫度 (T_p, peak temperature)、糊化終溫 (T_c, conclusion temperature) 與糊化熱焓 (H, enthalpy)。

2. 黏彈性測定

參考 Li and Yeh (2001) 之分法，取樣品以振盪式流變儀 (Carri-Med CSL 500 Rheometer; TA instruments LTD., Surrey England)，並選用 4 cm parallel plate geometry，設定 gap 1 mm。本實驗中採用 strain 0.1%，選用頻率為 1 Hz，溫度掃描範圍由 25-90 (升溫速率為 1.13 / min)，進行 oscillatory mode 溫度掃描之黏彈性測定。由振盪式流變儀所測得的黏彈性指標為：貯存模數 (G', storage modulus)、損耗模數 (G'', loss modulus)、損耗正切 (tan δ , loss tangent) 與複合黏度 (complex viscosity, η^*)。實驗中所得到的黏彈性數值會隨溫度上升而變化，由數據中可得知澱粉的糊化溫度，以及黏質物的變性溫度，並由損耗正切可有助於判斷樣品的 solid-like or liquid-like behavior。

3. 膨潤力之測定

參考 Tsai 等 (1997) 之方法, 秤取 0.1 克山藥澱粉 (乾粉), 配製成固形物 1% 之懸浮液, 置於離心管中混合均勻, 再以水浴加熱, 偶爾取出振盪使澱粉維持懸浮狀態。水浴溫度為 55、65、75、85、及 95 , 加熱一小時後置於冰水浴中冷卻, 再以 12000 rpm 離心 25 分鐘, 取上清液 (存於試管中, 試管必須先秤重)。上層液以置於 105 烘箱中將液體蒸乾, 剩下之殘餘物與試管秤重, 計算出殘餘物之重量 (W1); 另外秤取離心管中沈澱物之重量 (W2), 即可求出水溶性指標及膨潤力。

水溶性指標 = (W1/乾粉重) × 100%

膨潤力 = W2 / (乾粉重 - W1) × 100%

4. 顯微結構之觀察

以掃描式電子顯微鏡 (Scanning electron microscope, SEM) (JSM-5600, Jeol, Tokyo, Japan) 觀察山藥凍乾粉 (台農二號、名間長紅) 澱粉顆粒、乾燥黏質粉末及山藥原漿、澱粉液及澱粉 / 黏質之混合系統, 於不同溫度下加熱烹煮後之顯微結構。樣品於 60、70、75、80、90 及 100 進行水浴加熱 30 分鐘後, 將樣品膠體進行冷凍乾燥。乾燥樣品切片後固定於載台上, 在真空中於樣品表面以離子覆膜器鍍上金膜, 完成樣品製作。將樣品置於掃描式電子顯微鏡下以 150、300 倍觀察其顯微結構。

5. 統計分析

將本實驗所測得的數值以 STATISTICA 統計軟體進行統計分析, 並採用鄧肯式多變數測定法 (Duncan's new multiple range test) 處理成對均值間之差異比較。

四、結果與討論

A、基本成分

1. 凍乾粉

兩種山藥塊莖的基本成分如表 1 所示。在水分含量方面, 台農 2 號塊莖的水分含量相當高, 為 79.63%, 名間長紅塊莖中水分含量為 71.46%。根據兩種山藥的凍乾粉進行其他成分分析, 在台農 2 號方面, 粗蛋白質含量 11.01%、粗脂質含量為 0.45%、灰份含量

為 7.22%, 而在凍乾粉當中, 澱粉含量為 78.25%; 在名間長紅方面, 粗蛋白質含量 9.34%、粗脂質含量為 0.28%、灰份含量為 5.30%, 澱粉含量高達 81.17%。劉等 (1996) 分析台農 2 號山藥之基本成分, 其粗蛋白質為 13.3%、粗脂肪 0.75%、粗纖維 1.5%、灰份為 2.9%, 另有黏質及多種礦物質等。林 (2000) 分析四種不同品種山藥塊莖, 水分含量為 64.5 70.2%、蛋白質為 11.2 15.6%、粗脂肪為 0.3 0.5%、粗纖維 2.7 4.9%、灰份含量為 2.9 4.6%, 所得結果介於文獻值中。

2. 澱粉

兩種不同山藥澱粉的基本成分如表 2 所示。台農 2 號澱粉中, 粗蛋白質含量 0.07%、粗脂質含量為 0.09%、灰份含量為 0.07%, 其中直鏈澱粉含量佔總澱粉含量的 30.50%; 名間長紅澱粉中, 粗蛋白質含量 0.08%、粗脂質含量為 0.10%、灰份含量為 0.09%, 其中直鏈澱粉含量佔總澱粉含量的 33.73%。林 (2000) 分析四種不同品種山藥之澱粉, 其中粗蛋白質含量 0.06 0.10%、粗脂質含量為 0.09 0.10%、灰份含量為 0.06 0.10%。在直鏈澱粉含量方面, 陳 (2001) 分析三種根莖類作物的澱粉性質, 其中以台農 2 號山藥澱粉中的直鏈澱粉含量最高, 為 35.65%; 而不同品種的山藥澱粉, 在直鏈澱粉含量上也有差異, 林 (2000) 所得四種山藥澱粉中直鏈澱粉含量為 32.2 34.6%。

B、粉末顆粒外觀

1. 山藥澱粉之顆粒外觀及偏光顯微鏡圖

以掃描式電子顯微鏡觀察山藥澱粉的顆粒外觀 (圖三)。台農 2 號與名間長紅澱粉顆粒形狀主要呈橢圓形, 其中台農 2 號澱粉顆粒形狀較不規則, 稍有稜角出現; 名間長紅澱粉的顆粒形狀則較為圓滑。呂與蔡 (1985) 分析山藥 (*D. alata*) 澱粉之理化性質及顆粒外觀發現, 山藥塊莖及種子的澱粉顆粒狀皆呈橢圓形。台農 2 號與名間長紅澱粉顆粒之偏光顯微鏡圖, 可清楚觀察十字複屈折性 (birefringence) (圖四) 兩種粉的外觀雖類似, 但台農 2 號之十字複屈折性較清晰明顯, 可能是兩種澱粉顆粒的內部結構不同所

致。

2. 山藥凍乾粉之外觀及偏光顯微鏡圖

以掃描式電子顯微鏡觀察山藥之凍乾粉，除了澱粉顆粒之外，尚有其他固形物存在。這些固形物主要呈薄片狀或不規則狀包覆在澱粉顆粒外圍，有些則形成比澱粉顆粒還小的碎片，隨意分佈在凍乾粉當中，推測這些固形物可能為山藥塊莖中的黏質物、粗蛋白或粗纖維等。在凍乾粉末中，有些澱粉顆粒被固形物包覆而形成較大的顆粒，由山藥凍乾粉的偏光顯微鏡圖中可以看出，在這些體積較大的凍乾粉顆粒中，會出現交疊的十字複屈折光，推測在凍乾粉當中，出現體積較大的顆粒，主要是澱粉顆粒被其他山藥塊莖中的固形物所包裹、聚集而成。圖五、六為台農 2 號與名間長紅凍乾粉外觀及偏光顯微鏡圖。

C、熱性質

在糊化頂點溫度 (T_p) 方面，台農 2 號新鮮山藥泥的糊化頂點溫度為 83.6 最高、復水凍乾粉 (水分含量 80%) 82.8 次之，而黏質物的變性頂點溫度較低，為 79.9。台農 2 號澱粉在水分含量 60~90% 之間的糊化頂點溫度並沒有顯著差異，當水分含量為 40% 時，澱粉的糊化過程中出現 2 個吸熱峰， T_{p1} 為 79.5、 T_{p2} 為 95.4。因為水分不足的情況下，加熱過程中僅有部分澱粉可順利糊化，吸水不足的澱粉顆粒則在較高的溫度下才逐漸糊化，因此出現第 2 個較高溫的糊化吸熱峰。

名間長紅中，同樣是以新鮮山藥泥的糊化頂點溫度 86.9 最高，其次是復水凍乾粉 (水分含量 80%) 為 85.0，澱粉在不同水分含量下 (40-90%) 之糊化頂點溫度範圍介於 82.4~83.4 之間，黏質物的變性頂點溫度最低，為 80.5。在水分含量 40% 下，名間長紅澱粉的糊化過程中亦會出現 2 個吸熱峰， T_{p1} 與 T_{p2} 分別為 82.8 與 95.3。陳 (2001) 分析台農 2 號澱粉之 T_p 為 81.4，與本實驗結果相近，而略高於林 (2000) 所測得的 77.5。

比較台農 2 號及名間長紅兩種山藥澱粉的糊化頂點溫度，名間長紅澱粉的糊化頂點溫度較高；在新鮮山藥泥及復水凍乾粉中也

有相同的趨勢。兩種山藥的新鮮山藥泥及復水凍乾粉的糊化頂點溫度皆高於山藥澱粉之糊化頂點溫度，可能與山藥天然的組成結構有關。由粒徑分析及顯微鏡圖中都可看出，新鮮山藥泥和復水凍乾粉中，尚有其他固形物存在，這些固形物包覆在澱粉顆粒外圍，可能限制了澱粉顆粒的吸水膨潤與糊化行為，因此表現在熱性質上必須要在較高的溫度下才會糊化。陳 (2001) 分析台農 2 號生粉之 T_p 為 90.06，高於山藥澱粉之 T_p 81.38，本實驗結果有相同趨勢。

台農 2 號澱粉於 40%、50% 水分含量下添加 2.5% 黏質物、以及在 40%~60% 水分含量下添加 5.0% 黏質物，會使澱粉的糊化頂點溫度提高，在高水分含量 (70-90%) 下，添加黏質物對山藥澱粉的 T_p 則沒有顯著性影響；在名間長紅方面，40%、50% 水分含量下添加 5.0% 黏質物， T_p 亦顯著提高。推測在澱粉/黏質物混合系統中，因為黏質物發生搶水的作用，限制了澱粉顆粒的膨潤與糊化，此時必須在較高的溫度下才可達到糊化頂點，而且此現象在低水分下較為明顯。

由圖七可以看到不同系統的山藥樣品之熱分析圖之比較 (黏質物為 90%、其他樣品為 80%) 同一種山藥品種之中，新鮮山藥泥的 T_p 最高、復水凍乾粉次之，再來則是山藥澱粉及澱粉 / 黏質混合系統及澱粉，最低的是黏質物，而其中又以黏質的吸熱焓值 (H) 最小。

D、流變性質

1. 澱粉流變性質

不同水分含量下 (40-90%) 山藥澱粉的溫度掃描圖，以及黏質物在 90% 水分含量下的流變性質 (圖八)。觀察在實驗中 G' 值的起始變化溫度，以 $T_{G'}$ 表示之 (Lii 等, 1996)；當 G' 值上升至最大值時，此時的溫度以 $T_{G'_{max}}$ 表示 (Tsai 等, 1996)。

比較水分含量對澱粉糊化前後流變性質的影響，當水分含量增加 (由 60% 增加到 90%) 時，兩種山藥澱粉的 $T_{G'_{max}}$ 會隨之提高。圖八-A 為山藥澱粉與黏質於 90% 水分含量下進行溫度掃描之結果，由數值中可以看出兩種山藥澱粉之糊化行為與一般熟知之澱粉類似，即在 80-83.3 之間出現 G'_{max} ；但

黏質物之 G' 值則於變性之後呈上升的趨勢 (圖八-B), 並且在 90 時, $\tan \delta$ 接近於 0 (表 3), 顯示黏質物在 90 加熱變性之後呈現 Solid-like behavior, 冷卻後黏質物之 G' 急遽上升 (圖八-C), 尤其以台農 2 號較為明顯。

2. 黏質之流變性質

黏質物在加熱過程中並無 G'_{max} 出現, 也就是在加熱過程中, 黏質物的 G' 會持續上升, 直到實驗結束 (90) 為其最大貯存模數 (G'_{max}), 而在降溫的過程中 (90-25), 黏質物的 G' 值繼續上升, 當溫度降低到 25 時, 加熱過後黏質物的 G' 值比未加熱前要高出許多 (圖八-B、C)。

台農 2 號黏質物在 25 時, G' 值為 27.07 Pa、 G'' 值為 7.58 Pa, 升溫至 90 後 G' 值為 355.00 Pa、 G'' 值為 58.90 Pa; 在 90 維持 3 分鐘, G' 、 G'' 值繼續上升至 507.60 Pa 與 51.6 Pa; 隨著溫度下降, 黏質物的 G' 與 G'' 繼續上升, 當溫度降回 25, G' 與 G'' 值分別升高到 4550.0 Pa 與 873.4 Pa, 此時的 $\tan \delta$ 為 0.19; 與加熱前時黏質物在 25 時的 $\tan \delta = 0.28$ 相比, 顯示黏質物在加熱後冷卻至 25 後 $\tan \delta$ 會降低, 表示加熱時黏質物已經發生變性, 因此冷卻後, 其流變性質與先前不同。

由結果推測黏質物在加熱過程中發生變性, 而這種熱變性是不可回復的行為, 因此當溫度下降後, 其 G' 值會繼續增加。另外, 黏質物的 G' 值起始變化溫度 ($T_{G'}$) 比澱粉低, 且添加黏質物會影響山藥澱粉的最大貯存模數 (G'_{max}) 與 G' 值起始變化溫度 ($T_{G'}$)。

3. 澱粉 / 黏質之混合系統之流變性質

如表 3, 在水分含量較低時 (台農 2 號於 60% 和 70%、名間長紅於 60%), 添加黏質物於山藥澱粉中會降低澱粉的 $T_{G'_{max}}$, 約降低 1.5-3.3; 而在較充足的水分下 (80%、90%) 添加黏質物反而會提高澱粉的 $T_{G'_{max}}$, 約提高 6.7-8.4。在水分含量較低 (60%) 的情況下, 澱粉因水分不足而無法完全吸水膨潤, 推測此時出現 G'_{max} 值並不是由於澱粉完全膨潤所引起, 而是來自於黏質物與澱粉顆粒間的交互作用, 故添加黏質會造成澱粉 G'_{max} 值的增加; 而在水分含量充足時, 黏質物本身會先溶於水, 當黏質物完全

溶解後, 系統中仍有足夠的水分子供給澱粉膨潤所需, 但黏質物存在仍會抑制澱粉的膨潤, 因此在高水分含量 (80%、90%) 下混合系統之 G'_{max} 會下降, 而 $T_{G'_{max}}$ 則會提高。將流變儀所測得的 $T_{G'_{max}}$ 與 DSC 測得的 T_o 和 T_p 相比較, 在 60-80% 的水分含量下, 澱粉之 $T_{G'_{max}}$ 均大於其糊化起始溫度 (T_o), 且小於糊化頂點溫度 (T_p) ($T_o < T_{G'_{max}} < T_p$), 依 Yeh and Li (1996) 的實驗顯示, 當溫度低於糊化頂點溫度之前, 澱粉的變化以顆粒膨潤為主, 當溫度高於 T_p 之後, 澱粉的糊化則以顆粒破裂及瓦解為主, 因此推測當溫度到達 $T_{G'_{max}}$ 時, 澱粉顆粒的膨潤到達最大, 當溫度大於 $T_{G'_{max}}$ 之後, 澱粉顆粒開始瓦解破裂, 使 G' 值下降 (李, 2001)。實驗所測得最大貯存模數 (G'_{max}) 相對應溫度 ($T_{G'_{max}}$) 與達到 G'_{max} 時的損耗正切 ($\tan \delta_{G'_{max}}$) 林 (2000) 指出, 台農 2 號山藥澱粉的 $T_{G'}$ 值高於 DSC 所測得的糊化起始溫度。

E、膨潤力與水溶性指標

1. 膨潤力分析

兩種山藥凍乾粉、澱粉及混合系統中, 膨潤力皆隨溫度上升而逐漸增加, 山藥澱粉的膨潤力在 55 至 75 之間膨潤力增加甚少, 直到加熱溫度達到 85 以上, 膨潤力快速上升, 大於 17.5 g H₂O / g sample。台農 2 號澱粉的膨潤力, 在 55-95 之間, 由 2.50 增加到 23.07 (g H₂O / g sample), 名間長紅澱粉的膨潤力則由 2.42 上升至 21.94 (g H₂O / g sample); 而復水凍乾粉的膨潤力增加最少, 台農 2 號凍乾粉在 55-95 之間, 膨潤力由 5.02 增加到 10.73 (g H₂O / g sample), 名間長紅凍乾粉之膨潤力則由 4.08 增加到 10.86 (g H₂O / g sample); 而在山藥澱粉 / 黏質混合系統中, 膨潤力的增加 (2.95-18.75 g H₂O / g sample) 比澱粉少, 但比凍乾粉來的多。由此得知, 山藥澱粉在加熱過程中膨潤力增加最多, 其次是混合系統, 最後是凍乾粉。添加黏質物會抑制澱粉的膨潤。其中溫度對山藥凍乾粉的膨潤力影響最小, 可能是因為在山藥凍乾粉中, 還有黏質物和其他固形物, 且這些物質分散在凍乾粉中, 在 55-65 下會增加澱粉的膨潤力, 但是在 85-95 下, 這些物質會限制澱粉顆粒的膨潤, 阻礙澱粉的吸

水膨潤,進而使澱粉的膨潤力下降。林(2000)分析四種山藥澱粉之膨潤力,結果顯示同屬於 *D. alata* 品種的台農 2 號及中國長品系,比 *D. batatas* 屬的壽豐山藥及日本山藥,在相同溫度下有較高的膨潤力及溶解度。

於 55 及 65 之間,添加黏質物可增加山藥澱粉之膨潤力(圖九),隨著溫度增加到 75 以上,澱粉顆粒開始快速吸水膨潤,此時黏質物的存在反而會抑制澱粉的膨潤,降低澱粉之膨潤力,黏質物添加量在 2.5% 與 5.0% 時皆會產生抑制作用,但兩者差異並不顯著,此現象在兩品種山藥的澱粉及混合系統中,皆有類似的情形。陳(2001)指出,山藥生粉及澱粉的膨潤力皆隨溫度上升而增加,生粉在 85 時膨潤力明顯增加,添加黏質在 65-75 會增加膨潤力,於高溫時則影響不大。Sasaki and others (2000),利用由小麥中所萃取出非澱粉多醣類(non-starch polysaccharides, NSP)添加至直鏈澱粉含量不同的兩種小麥澱粉中,結果發現直鏈澱粉含量較高的小麥澱粉並沒有影響,對直鏈澱粉含量低者則有抑制膨潤的現象。但山藥澱粉中,直鏈澱粉為 30% 左右,黏質物仍具抑制澱粉膨潤力的作用,可能是黏質物或澱粉種類不同。

2. 膨潤力受溫度 (T/T_p) 之影響

膨潤力隨溫度上升而增加(圖十),在山藥凍乾粉、澱粉及澱粉/黏質混合系統中都有相同的趨勢。膨潤力在接近澱粉的糊化頂點溫度(T_p)時,即 $T/T_p = 1$ 時,會有急遽上升的情形,而膨潤力與 T/T_p 展現了高度的相關性,山藥的膨潤力與 T/T_p 的相關係數(r^2)都相當高,顯示 DSC 所測得的頂點糊化溫度(T_p)可作為評估溫度效應的重要指標之一。李(2002)分析十種不同澱粉之膨潤力與 T/T_p 的關係,結果呈現良好的相關性,特別是在高直鏈玉米澱粉中,相關係數 $r^2 = 0.99$ 。顯示 T/T_p 是探討澱粉膨潤的重要指標之一。

五、計畫成果自評

- (a) 本研究所測得各項數值,乃擠壓條件設定之基礎,依實驗結果判斷,已可

選擇擠壓之適當溫度與水分範圍。而數據之間相互印證,亦已可解釋山藥澱粉與黏質物之間的交互作用,故已達原先之預定成效。

- (b) 本研究有關黏質物與澱粉糊化之熱性質、流變性質、膨潤力以及顯微結構觀察結果,數據完整,理據清楚且相互印證,形成完整的模式,應具有學術價值,可發表於學術期刊。
- (c) 本年度之成果延續至下一年度之擠壓實驗,當可尋找出適當的條件設定與 pellet 的製作配方,若證實產品之 acrylamide 含量遠低於市售洋芋片等產品,而產品之 diosgenin 含量亦得以保存,則整段製程與配方相當具有申請專利之可能性。
- (d) 本計畫成果適用於原料粉性質之分析,應可作為後續加工條件設計之良好參考,配合下年度擠壓實驗成果,將可轉申請為研發應用計畫推廣至其他新產品之開發。
- (e) 點心食品之市場龐大,是一種全球性的產品,全世界的銷售額約為 400 億美元(1996 年),國內亦有許多廠商生產玉米片、洋芋片、烤米片等產品,但近年來由於健康意識受到重視,消費者崇尚低油或無油,最近更因有 acrylamide 的疑慮,其產品的市場佔有率呈現下降趨勢。而本研究以山藥為原料,加上未來混以米穀粉,皆因 asparagine 含量低,而使其生產之 pellet 可能具有較低之 acrylamide,而山藥之 diosgenin 亦具有健康訴求,因此該產品具有相當好的競爭優勢,很適合廠商承接此技術而進一步有商品化產品。

六、參考文獻

- [1] 呂政義, 蔡秀玲。1985。山藥塊莖及種子澱粉理化性質之探討。食品科學 12: 201-212.
- [2] 李正雲。2002。澱粉對肌肉蛋白成膠之影響。台灣大學食品科技研究所博士論文。
- [3] 林意清。2000。不同品種山藥澱粉之理化特性探討。中興大學食品科學研究所碩士論文。
- [4] 陳儀驊。2001。山藥、芋頭及甘藷黏質對澱粉理化性質之影響。靜宜大學食品營養學系碩士論文。
- [5] 劉新裕、王昭月、徐原田、胡敏夫、楊宏仁。1996。山藥新品種-台農 2 號。豐年。46 (16): 22-25。
- [6] 詹子瑩。2003。山藥澱粉之物化性質與黏質之影響。台灣大學食品科技研究所碩士論文。
- [7] Li JY and Yeh AI. 2001. Relationships between thermal, rheological characteristics and swelling power for various starches. J Food Engineering 50(3)141-148.
- [8] Sasaki T, Yasui T, Mastsuki J. 2000. Influence of non-starch poly-saccharides isolated from wheat flour on the gelatinization and gelation of wheat starch. Food Hydrocoll. 14: 295-303.
- [9] Wanasundera JPD, Ravindran G. 1994. Nutritional assessment of yam (*Dioscorea alata*) tubers. Plant Foods Hum. Nutr. 46: 33-39.
- [10] Yeh AI, Li JY. 1996b. Kinetics of phase transition of native, cross-linked and hydroxypropylated rice starches, Starch/ Stärke 48: 17-21.

表 1 山藥塊莖之成分分析

Yam variety	Moisture	Crude protein	Crude fat	Ash	Starch
	(%)	(%, dry basis)			
台農 2 號 <i>D. alata</i> L.	79.63 ^a ± 0.60	11.01 ^a ± 0.26	0.45 ^a ± 0.085	7.22 ^a ± 0.13	78.25 ^b ± 2.53
名間長紅 <i>D. alata</i> var <i>purpurea</i>	71.46 ^b ± 0.34	9.34 ^b ± 0.14	0.28 ^b ± 0.067	5.30 ^b ± 0.16	81.17 ^a ± 1.94

含氮係數：Nx 5.7

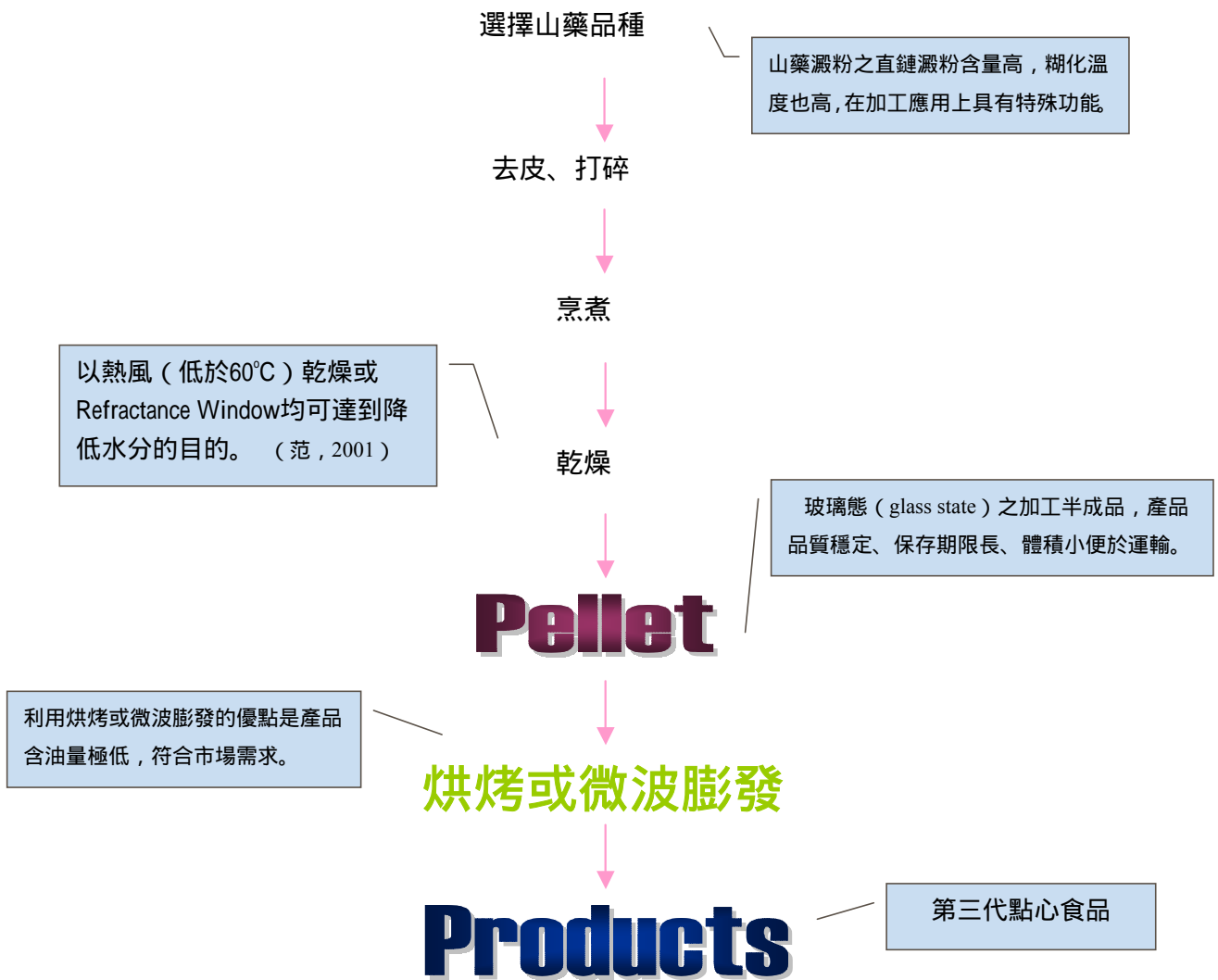
表 2 山藥澱粉之成分分析

Yam variety	Crude protein [†]		Crude fat		Ash		Amylose*
	(%, dry basis)						
台農 2 號 <i>D. alata</i> L.	0.07±	0.02	0.09±	0.02	0.07±	0.01	30.50± 0.7
名間長紅 <i>D. alata</i> var <i>purpurea</i>	0.08±	0.01	0.10±	0.03	0.09±	0.02	33.73± 0.8

表 3 台農 2 號澱粉與黏質之流變性質

Water content (%)		G' _{max} [Pa]	T _{G'_{max}} []	tan δ _{G'_{max}}
	Fresh-pounded	25547± 3432	81.6± 0.09	0.25± 0.03
	Mucilage	1266± 263	90.0± 0.15	0.10± 0.06
	Starch	100003± 6756	80.0± 0.62	0.44± 0.16
60%	Starch + 2.5% mucilage	215867± 8855	79.9± 0.55	0.50± 0.19
	Starch + 5.0% mucilage	342633± 8155	78.3± 0.40	0.33± 0.12
	Starch	12150± 1061	81.6± 0.22	0.72± 0.10
70%	Starch + 2.5% mucilage	13143± 1649	80.0± 0.16	0.70± 0.11
	Starch + 5.0% mucilage	80034± 7611	78.4± 0.59	0.61± 0.14
	Starch	4235± 47	81.6± 0.11	0.67± 0.06
80%	Starch + 2.5% mucilage	5128± 202	81.6± 0.23	0.54± 0.09
	Starch + 5.0% mucilage	1236± 181	90.0± 0.69	0.78± 0.10
	Starch	601± 75	83.3± 0.43	0.56± 0.06
90%	Starch + 2.5% mucilage	456± 17	84.2± 0.08	0.54± 0.07
	Starch + 5.0% mucilage	279± 34	90.0± 0.17	0.27± 0.07

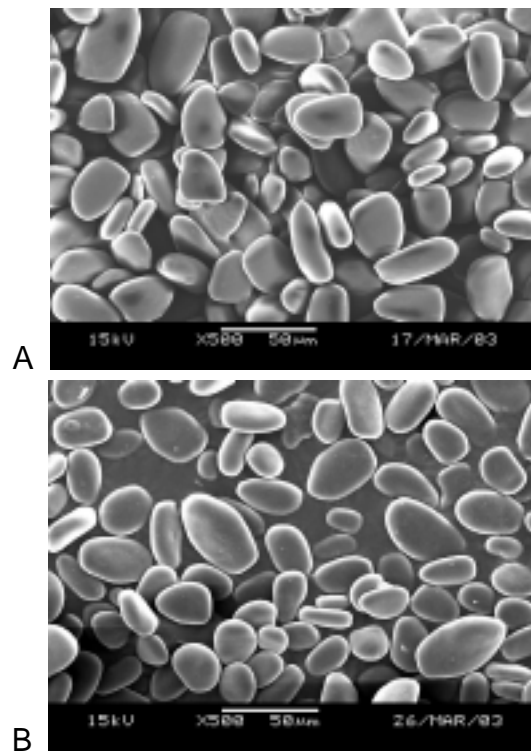
Means± standard deviation (n± S.D., n=3)



圖一、研發山藥脆片之構想圖



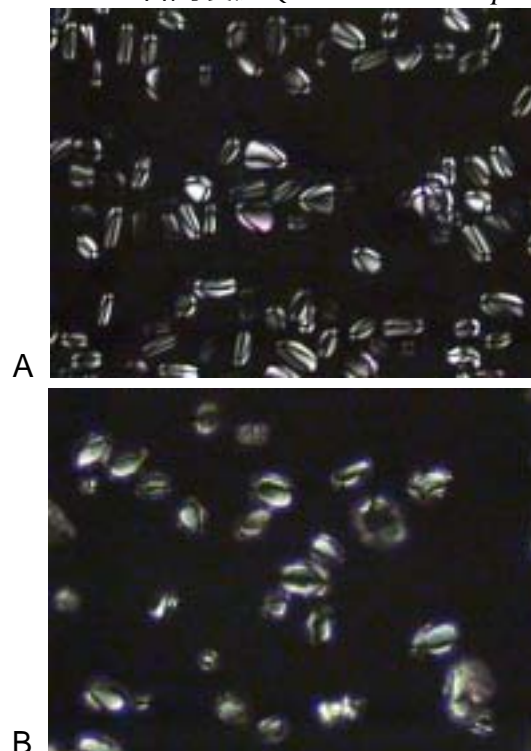
圖二山藥澱粉、黏質粉末及凍乾粉



圖三 澱粉顆粒之掃描式電子顯微鏡圖

A.台農2號 (*D. alata* L.)

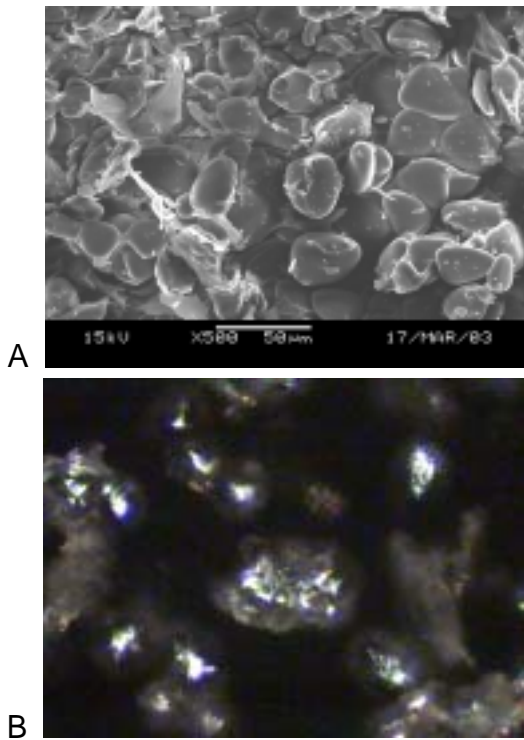
B.名間長紅 (*D. alata* L. var. *purpurea*)



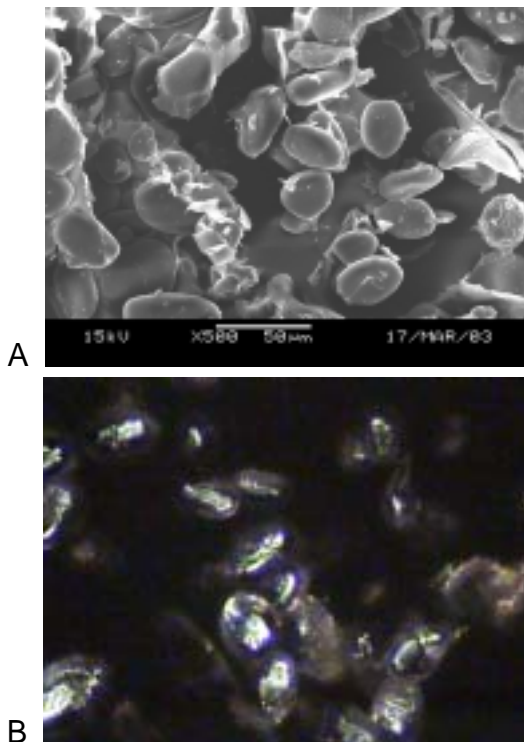
圖四、澱粉顆粒之偏光顯微鏡圖

A.台農2號 (*D. alata* L.)

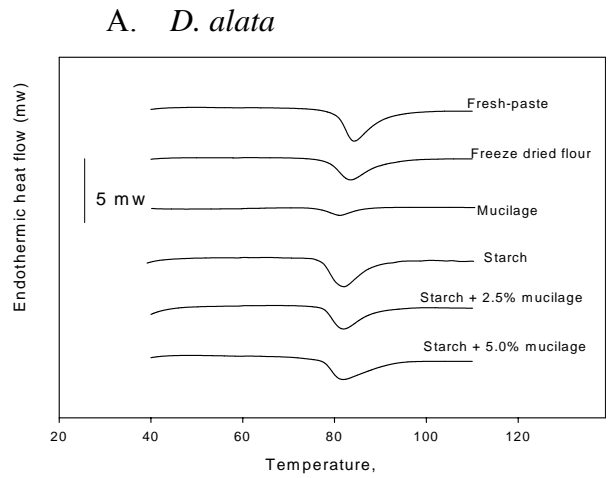
B.名間長紅 (*D. alata* L. var. *purpurea*)



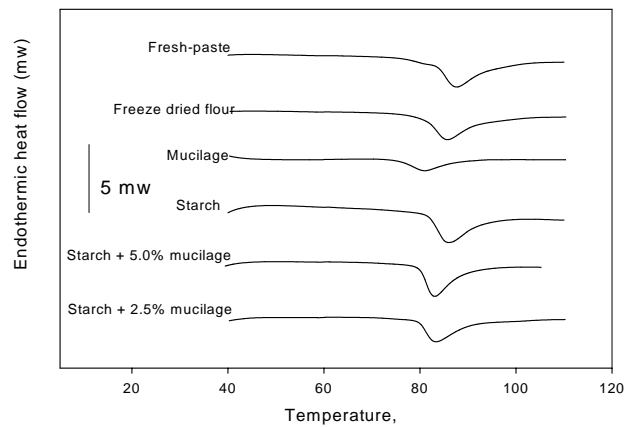
圖五、台農 2 號凍乾粉之
(A)掃描式電子顯微鏡及 (B)偏光顯微鏡圖



圖六、名間長紅凍乾粉之
(A)掃描式電子顯微鏡及 (B)偏光顯微鏡圖

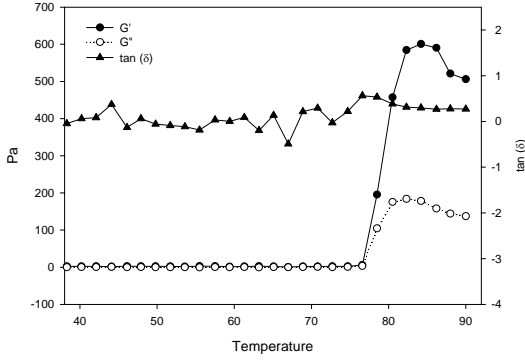


B. *D. alata var purpurea*

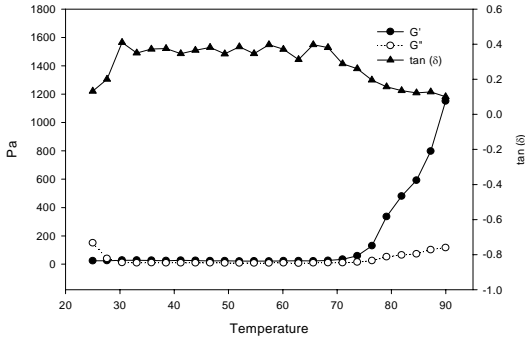


圖七 新鮮山藥泥、復水凍乾粉、黏質物、澱粉及澱粉/黏質混合系統之熱性質 A. 台農 2 號 B. 名間長紅

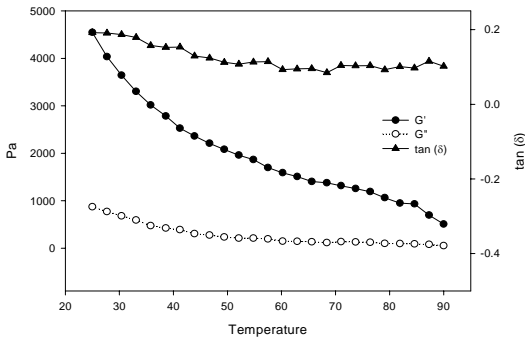
A. Starch (90% water content)



B. 黏質-升溫

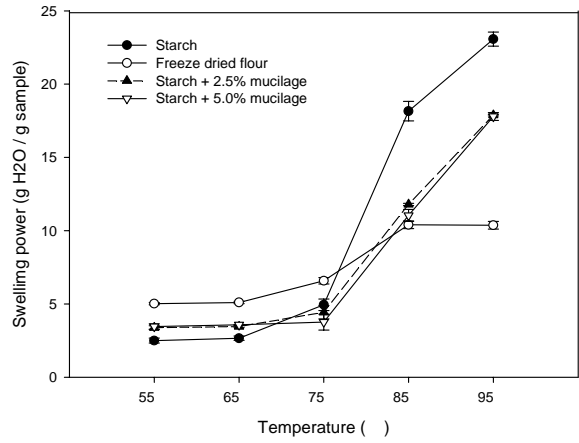


C. 黏質-降溫

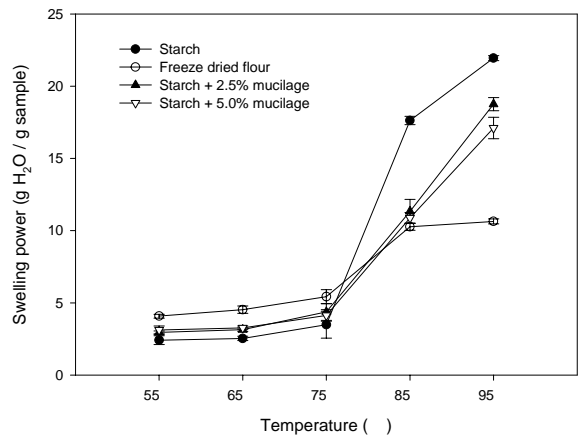


圖八、台農 2 號澱粉與黏質物流變性質之溫度掃描圖

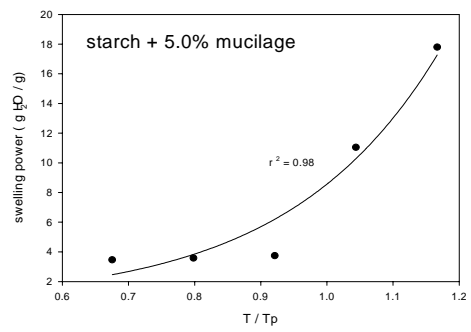
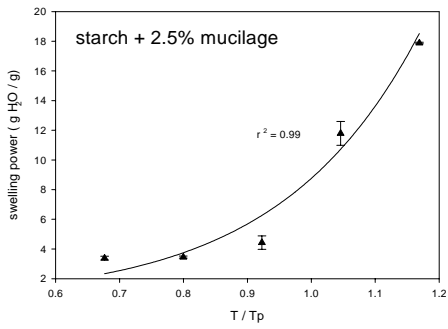
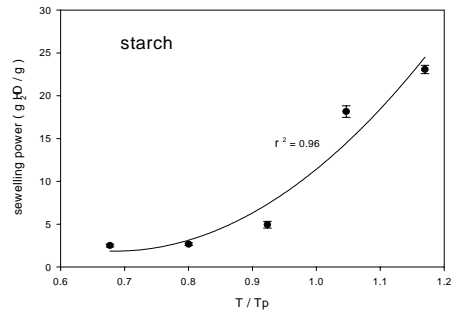
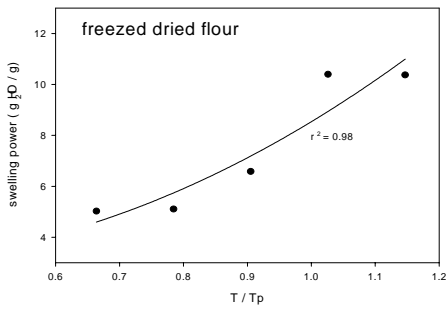
A. 台農 2 號



B. 名間長紅



圖九 不同溫度下山藥之膨潤力
A.台農 2 號 B.名間長紅



圖十 溫度對山藥台農 2 號產品膨潤力之影響