

行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告

芋理化特性與加工適性的評估---芋澱粉分子結構之探討

Evaluation on the physicochemical properties and processing characteristics of taros---Molecular structure of taro starch

計畫編號：NSC 89-2313-B-002-213-A23

執行期限：89年8月1日至90年7月31日

主持人：呂廷璋 國立台灣大學食品科技研究所

計畫參與人員：張永和、周文彬 靜宜大學食品營養學系

一、中文摘要

使用旱田耕種的芋品種包括 *Colocasia esculenta* 的狗蹄芋 (dogfoot) 和 *Xanthosoma sagittifolium* 的 KCX01 和 KCX02，與水、旱田兼種的品種 *Colocasia esculenta* 的高雄一號 (KS01D and KS01W) 及麵芋 (Menu, MD and MW)，各樣品分別於87年8月、12月及88年4月栽種十個月，並於88年6月（第一期）、10月（第二期）及89年2月（第三期）採收，共五種品種二十一種樣品，比較栽種方法與種植期對澱粉分子結構的影響。結果顯示，*Xanthosoma* spp. 比 *Colocasia* spp. 有較高的直鏈澱粉含量，環境的因子對澱粉分子的影響程度，以 *Colocasia* spp. 較 *Xanthosoma* spp. 敏感，種植/收穫期的影響比耕作法的影響較為顯著。種植/收穫期對直鏈澱粉含量具顯著影響，第一期作除旱田種植之麵芋外，芋澱粉之直鏈澱粉含量 (12.2 ~ 14.6%) 較第二期作及第三期作之直鏈澱粉含量高 1.3 ~ 4.6%。以 X-射線繞射分析測量芋澱粉的結晶度，亦顯示第一期作高於第二、三期作。芋澱粉分子中含有磷酸酯是磷存在的主要形式，含量範圍在 121 ~ 320 ppm。無論是水、旱田耕種的高雄一號之支鏈澱粉均較麵芋含較多之長鏈分支。

關鍵詞：芋、澱粉、支鏈澱粉、直鏈澱粉、栽種法、環境影響。

Abstract

Seven taro samples, three grown on dry-land of dogfoot (*Colocasia esculenta*), KCX01 and KCX02 (*Xanthosoma sagittifolium*) and four on both dry- and wet-land Kaosung 1 (KS01D and KS01W) and Menu (MD and MW) (*Colocasia esculenta*) were used for studying the effects of cultivating method and period on starch molecular structure. Three planting and harvesting dates, Aug. 1998/Jun. 1999, Dec. 1998/Oct. 1999, and

Apr. 1999/Feb. 2000, were assigned as period I, II and III, respectively. Amylose content of starch of *Xanthosoma* spp. was higher than those of *Colocasia* spp. Environmental impact was more profound on *Colocasia* spp. The effects of the planting period were more intensive than the cultivating method. The starch from period I, except MD samples, had higher amylose content than those from period II and III. The range of the difference was found in the range of 1.3 ~ 4.6%. Revealing by x-ray diffraction, the crystallinity of starch from period I was also higher than those from other periods. Taro starch content phosphate ester as major phosphorous form in the range of 121 ~ 320 ppm. The ratios of long-chain branch of amylopectin of Kaosung 1 were higher than Menyud both from dry- or wet-land samples.

Keywords: taro, starch, amylopectin, amylose, cultivating method, environmental effect.

二、緣由與目的

芋澱粉是芋地下莖可食部分的主要組成成分，它的顆粒形狀為多角形，且有較小的顆粒大小 (1 ~ 6 μm) [Jane et al, 1992; 王等, 1997]，並具有 A 型的 X-射線繞射圖譜。在布氏連續黏度測定儀 (Brabender Viscoamylo-graph) 上測定芋澱粉水溶液 (5-8%) 的加熱糊化黏度的變化時，芋澱粉呈現中度的膨潤黏度，在冷卻時其溶液有黏度回復 (setback) 的現象 [Jane et al, 1992]。Lii et al [1991] 與王等 [1997] 曾對省產芋澱粉的外觀、糊化、回凝、黏度及熱焔性質等物理特性做分析，至於化學性質則只有基礎的特性分析。芋澱粉的直鏈澱粉含量，從不同的研究報告中的量有很大的差異，範圍從 10 至 40%，造成差異的原因可能是不同產地所獲得的樣品差異顯，也可能是由碘染色方式只能測得「表觀直鏈澱粉」(apparent amylose) 含量所造成。Higashihara 等 [1975] 對日本

產的芋澱粉的一般理化特性做過報告，其所分析的芋澱粉只含有14%的直鏈澱粉，較省產的芋澱粉的分析報告結果少。Sugimoto 等[1987]曾對不同生育階段的芋澱粉特性做過研究，發現直鏈澱粉含量芋較母芋多，但隨球莖的成長其直鏈澱粉的含量並沒有明顯的變化，此外，在生長溫度較低時芋澱粉的X光繞射圖譜由A變為C型。Jane 等[1992]對夏威夷產的芋澱粉做過探討，其結果和省產的芋澱粉有相近的顆粒大小、X光繞射圖譜、糊化黏度、糊化的溫度及直鏈澱粉含量(18~22%)，該報告更指出芋澱粉含有170~250 ppm 的磷，主要以單磷酸酯接在聚葡萄糖的第六個碳上，支鏈澱粉的短鏈長度為17~18個葡萄糖單位，約佔重量百分比的78~81%，長鏈分枝長度為37~40個葡萄糖單位，約佔重量百分比的19~23%，其冷卻後所形成的澱粉膠體較具有相似直鏈澱粉的玉米和稻米澱粉為弱。台灣耕種時除一般旱田的耕種方法外，為加強管理的方便性也有以水田方式耕種，對於耕種方式對澱粉的影響尚無任何研究。此外 *Xanthosoma* spp. 外型與色澤和省產芋的相似，但具有較大的塊莖與較高的產量，因此被引進台灣擬作為加工用品種。本研究就針對這兩種主題進行試驗，比較品種與耕種因素對芋澱粉分子結構的影響。

三、材料與方法

1. 實驗材料：本實驗所用的芋樣品，由高雄農業改良場提供包括旱田品種 *Colocasia esculenta* 的狗蹄芋(dogfoot)和 *Xanthosoma sagittifolium* 的 KCX01和KCX02，與水、旱田兼種的品種 *Colocasia esculenta* 的高雄一號(KS01D, KS01W)及麵芋(menyud, MD and MW)，共五種品種七種樣品。
2. 芋澱粉的分離：芋球莖洗淨、削皮後，加入兩倍蒸餾水，以研磨果菜機充分磨碎並以100 mesh、250 mesh濾網分次過濾去除纖維及雜物，濾渣再加入蒸餾水重覆上述攪拌及過濾步驟兩次。濾液中的澱粉以12000 rpm連續式離心機 (Sharples Centrifuges, Alfa-Laval Separation Inc., Warminster, U.S.A) 離心收集，所得澱粉再進一步與0.1% NaOH與甲苯溶液攪拌洗滌，去除蛋白質，殘餘鹼液以0.1M HCl中和至pH 7後以蒸餾水清洗至無氯離子的殘留。以離心收集澱粉並以95%酒精清洗後，以40℃乾燥，磨粉後過100 mesh篩網備用。
3. 以正丙醇溶液進行迴流脫脂：依Vasanthan & Hoover之方法，取5g澱粉利用Soxhlet裝置以n-propanol與水比例為3比1(V/V)的溶劑100ml，於100℃水浴下迴流8小時進行脫脂處理。
4. 直支鏈澱粉之分離與純化：參考Takeda *et al.*(1986)之方法並加以修改。將澱粉乾重10g溶於300ml 90% DMSO中，置沸水浴中加熱充氮攪拌1小時後攪拌隔夜，將澱粉糊以等倍酒精沉澱並冷藏數小時後，以2500Xg 離心20分鐘，沈澱物重複分散沉澱離心步驟一次，再溶於1700ml熱水及100ml 1-butanol與 100ml iso-butanol混合液中，於充氮下沸水加熱迴流攪拌3小時後將溶液置於保溫裝置中，使其緩慢降至室溫並於5℃下冷藏24小時後於5℃下以8700Xg 離心30分鐘；上層液加入少量1-butanol於充氮下沸水加熱迴流攪拌1小時，將溶液置於保溫裝置中，使其緩慢降至室溫並於5℃下冷藏24小時後於5℃下以8700Xg 離心30分鐘，以去除殘留之直鏈澱粉或中間物，重複兩次後將上層液減壓濃縮以酒精沉澱後加入丙酮及乙醚以脫去水分則得支鏈澱粉。沈澱物加入10% 1-butanol 1000ml於充氮下沸水加熱迴流攪拌1小時，後將溶液置於保溫裝置中，使其緩慢降至室溫並於5℃下冷藏24小時後於5℃下以8700Xg 離心30分鐘，充氮下溶於450ml熱水中(80-90℃)，趁熱以Sharp centrifuge離心以去除殘留之支鏈澱粉或中間物，濾液加入550ml熱水及100ml 1-butanol於充氮下沸水加熱迴流攪拌1小時，重複純化步驟兩次，將沈澱物以丙酮及乙醚以脫去水分則得直鏈澱粉。
5. 磷³¹核磁共振分析：參考Kasemsuwan和Jane (1996)的方法，但使用不同緩衝溶液。秤取澱粉2g，加入6ml 1mM Barbitol Sodium-HCl buffer (pH6.9) 及 α -amylase 0.5mg，在沸水浴中加熱10min (同時stir樣品防止starch因糊化而結塊)，稍微降溫後，加入 α -amylase 1mg，在震盪水浴槽中水浴70℃ 2小時，在沸水浴中加熱10min，停止酵素反應，將製備好的樣品冷凍乾燥後保存。NMR測定前樣品處理如下，將先前製備好凍乾的樣品，加入3ml 50mM Tris-buffer (pH 8.0)、1ml D₂O、20mg ethylenediaminetetraacetic acid (EDTA) dihydrate disodium salt及40ul 0.2% sodium azide solution 混和液，在沸水浴中加熱使樣品溶解，冷卻後調整pH值至8.0±0.1。使用5mm NMR tube，以Oxford NMR 400(Varian, Inc., Palo Alto, CA)進行測定，在常溫下使用：frequency 162MHz, flip angle 90°，掃描次數為500，圖譜的化學位移(chemical shift)以ppm表示，並以85% H₃PO₄ 為外標準物定為0 ppm。
6. 以滴定法測定直鏈澱粉含量：參考BeMiller之方法並稍做修改。將樣品(脫脂澱粉100mg、直鏈澱粉25mg、支鏈澱粉200mg)置於100ml燒杯中，加入約1ml H₂O使其懸浮後，加入10ml 1N KOH後攪拌分散，再加入10ml 1N KOH，於4℃中冷藏30分鐘直至樣品溶解後，加入20ml H₂O

將樣品溶液之KOH濃度調整至0.5N。取10ml樣品溶液分別加入75ml H₂O、10ml 1N HCl及5ml 0.4N KI，於25℃水浴中，使用自動電位滴定儀（DL-50, Mettler Toledo, Switzerland）使用DM142電極固定電壓於200mV，以 8.33×10^{-4} M KIO₃滴定以每24秒低定0.05ml至電流達2.0 uA。並紀錄滴定液體積與電流之變化後，以外差法求其電流轉折處並扣除空白試驗之滴定量。

7. 澱粉組成成分膠體分子篩層析分析：取25 mg(乾重)澱粉加5 mL 90% DMSO於氮氣下，以沸水浴加熱攪拌1小時後攪拌隔夜，以三倍乙醇沉澱後重覆加熱攪拌步驟，最後以熱去離子水溶解澱粉，以SepharoseCL-2B(Pharmacia Inc., Piscataway, NJ)管柱(2.6 x 80 cm)為固定相，以1 mM NaOH+25 mM NaCl為流動相，流速30 ml/hr，分析澱粉組成成分分子分佈，注入樣品量為15 mg並加入1 mg葡萄糖為標示物。以phenol-sulfuric acid方法 [Dubois, et al, 1956] 檢測各區分的總醣量。
8. 澱粉分支鏈長分佈分析：取25 mg(乾重)澱粉以90% DMSO按上述方法糊化分散後，加入2.45 mL去離子水，並加入0.05 mL 1.0 M醋酸緩衝溶液(pH 3.5)，加入29.5U isoamylase (Hayashibara Biochemical Laboratories, Inc., Okayama, Japan)，於45℃水浴中震盪2小時後再入29.5U isoamylase震盪作用1小時，以1 M NaOH調整pH至6.5-7.0並定容至5 mL，於沸水浴加熱3分鐘後，以0.45 μm濾膜過濾。取100 μL濾液打入高效能分子篩層析系統(HPSEC)中分析。HPSEC系統為配備多角度光散射儀(DAWN DSP, Wyatt Technology Co., Santa Barbara, CA)及折射儀(Hewlett-Packard,)，使用管柱為TSK-gel G3000PW_{XL} × 2及G2500PW_{XL} (Tosoh Co., Tokyo, Japan)，流洗液為100 mM磷酸緩衝溶液，管柱溫度為70℃，流速為0.5 mL/min。
9. 短鏈鏈長分析：使用上述方法將支鏈澱粉進行剪枝處理後，以Dionex LC20 Chromatography Enclosure搭配ED40 Electrochemical detector (Dionex, Sunnyvale, CA)使用CarboPac PA guard column (3X25mm)及CarboPac PA1 column (4X250mm)以Eluent A: 150mM NaOH及Eluent B: 150mM NaOH & 500mM sodium nitrate流洗，流速為1ml/min，0-5分鐘時Eluent A : B為94% : 6%後進行梯度流洗，於85分鐘時提高梯度流洗比率達Eluent A : B為75% : 25%，90分鐘時流

洗比率提高為Eluent A : B為65% : 35%，至95分鐘時恢復Eluent A : B為94% : 6%平衡20分鐘。

10. 直鏈澱粉分子量分佈分析：取5 mg(乾重)直鏈澱粉以1N NaOH 0.5ml於4℃中溶解後，再入1N HCl 0.5ml中和並定容至1 ml，以0.45 μm濾膜過濾。取100 μL濾液打入高效能分子篩層析系統(HPSEC)中分析。HPSEC系統為配備多角度光散射儀(DAWN DSP, Wyatt Technology Co., Santa Barbara, CA)及折射儀(Hewlett-Packard,)，使用管柱為TSK-gel G6000PW_{XL}- G4000PW_{XL}及G3000PW_{XL} (Tosoh Co., Tokyo, Japan)，流洗液為100 mM磷酸緩衝溶液，管柱溫度為70℃，流速為0.5 ml/min。

四、結果與討論

所選擇的*Xanthosoma* spp.均比*Colocasia* spp.有較高的直鏈澱粉含量，*Xanthosoma* spp. 的直鏈澱粉含量分佈在17~23%，*Colocasia* spp. 的直鏈澱粉含量則分佈在8~15%的範圍，所選的兩類作物相同屬內的種間並沒有明顯的差異(圖一)。種植/收穫期對直鏈澱粉含量的影響比耕作法的影響較為顯著，且以*Colocasia* spp.對環境的因子較*Xanthosoma* spp.敏感，第一期作的成熟期間溫度漸升且雨量增加(圖二、表一)，使芋澱粉含有較高的直鏈澱粉含量，第二期作成熟期間均在高溫多雨的期間，除旱田耕種的麵芋外，芋澱粉的直鏈澱粉含量均較第一期低，第三期作成熟期間為溫度較低降雨量較少的期間，所收穫的芋澱粉的直鏈澱粉含量也均較前兩期低。此結果顯示環境溫度與降雨量均會影響芋澱粉的合成，由於水田耕種以提供充分的水分，因此對降雨量較不敏感，但芋澱粉直鏈澱粉含量的變化仍與旱田相似，因此推論溫度的影響大於降雨量的影響。

芋澱粉與其他根莖類澱粉一樣含有較高的磷含量(表二)，使用³¹P核磁共振分析顯示芋澱粉所含之磷主要為磷酸酯及微量的無機磷，並沒有發現磷脂質的存在。除旱田耕種的麵芋的第一期作有較高的磷含量外，所有第三期作的樣品均有較高的磷含量。KCX1是所分析品種中磷含量最低的品種，其他的芋澱粉含有的磷含量均約在200~300 ppm的範圍。由於磷含量與土壤中磷肥料的形式與供應量都有關係，實驗中雖觀察到環境因素的影響，但因為沒有完整的施肥控制，所以仍需進一步的實驗才能確定此磷含量的變化是因為環境因素所造成。

芋澱粉具有A型的X-射線繞射圖譜，顯示其具有結晶與非結晶共同存在的特性，利用圖譜面積計算其結晶程度，來觀察品種、種植期別與栽種法對

芋澱粉結晶程度的影響（圖三）。種植期別對於結晶程度有較顯著的影響，所有品種與栽種法的第一期作均較其第二、三期作有較高的結晶程度。品種與栽種法的對芋澱粉的結晶程度影響較不顯著，雖然 *Xanthosoma* spp. 澱粉含有較高的直鏈澱粉含量，但其結晶度測定值只略高於 *Colocasia* spp.，並沒有統計上的顯著差別。

芋澱粉的組成分子分子量分佈以分子篩層析法分析，使用 Sepharose CL-2B 膠體進行分離，可將澱粉中的兩個主要組成分支澱粉（amylopectin，先流洗出的波峰）與直鏈澱粉（amylose，後流洗出的波峰）分離，並利用碘染色法判斷其分子分支的程度（圖四）。由碘染色的可見光譜（630 nm）吸收與最大吸收光譜（ λ_{max} ）結果判斷更可以清楚的確認支、直鏈澱粉的分佈，各樣品中並沒有含有中間區分（intermediate）。直鏈澱粉含量也近似於由碘電流滴定結果。

將分離純化的芋直與支鏈澱粉組成，以碘電位測定測定其碘吸附力（iodine affinity）。芋直鏈澱粉的碘吸附力範圍在 18.1 ~ 19.4 之間（表三），高雄一號樣品略高於其他樣品。支鏈澱粉的碘吸附力均很低，因此表觀直鏈含量（apparent amylose content）與由已知直、支鏈碘吸附力所求出的直鏈澱粉含量相近。以高效能分子篩層析法分析芋直鏈澱粉的分子量分佈，其數目平均聚合度分佈在 2,500 ~ 3,600 之間，重量平均聚合度分佈在 5,700 ~ 7,800 之間，分子量分散度值（polydispersity）為 1.7 ~ 2.4。

利用高效能離子交換層析法配合脈衝電流檢測法（pulse amperometric detection）分析支鏈澱粉的鏈長組成，高雄一號的水田耕種樣品含有較高比率的短鏈與較低比例的長鏈。但麵芋的水、旱田樣品之間，支鏈澱粉的支鏈分佈並沒有明顯的改變。此結果顯示品種之間對於環境影響的反應程度也不相同。比較高雄一號與麵芋的支鏈澱粉分支鏈長，無論水、旱田樣品高雄一號之支鏈澱粉均較麵芋含較多之長鏈分支。

環境的因子對於作物的熟成有很大的衝擊，直接影響了作物產品的品質。比較栽種方法與種植期對芋澱粉分子結構的影響，結果顯示種植期間對於澱粉分子有顯著的影響，直鏈澱粉含量的差異可以高至 4.6%，栽種方式的影響出乎意料的對澱粉分子並沒有預期的顯著。環境的因子對澱粉分子的影響程度，以 *Colocasia* spp. 較 *Xanthosoma* spp. 敏感。

Xanthosoma spp. 為行政院農業改良場引進之品種，擬做為加工用之原料，其澱粉化學性質與台灣原來生產的 *Colocasia* spp. 芋品種相近似，加工時性質應頗為相近，但因為含有較高的直鏈澱粉含量，所以回凝較為容易，預期其貯存安定性會較差，需應用其他的回凝抑制劑方法。種植期對澱粉影響頗大，因此加工製程中對不同收穫原料處理時

應做適度的調整，以因應原料品質的改變。

五、計畫成果自評

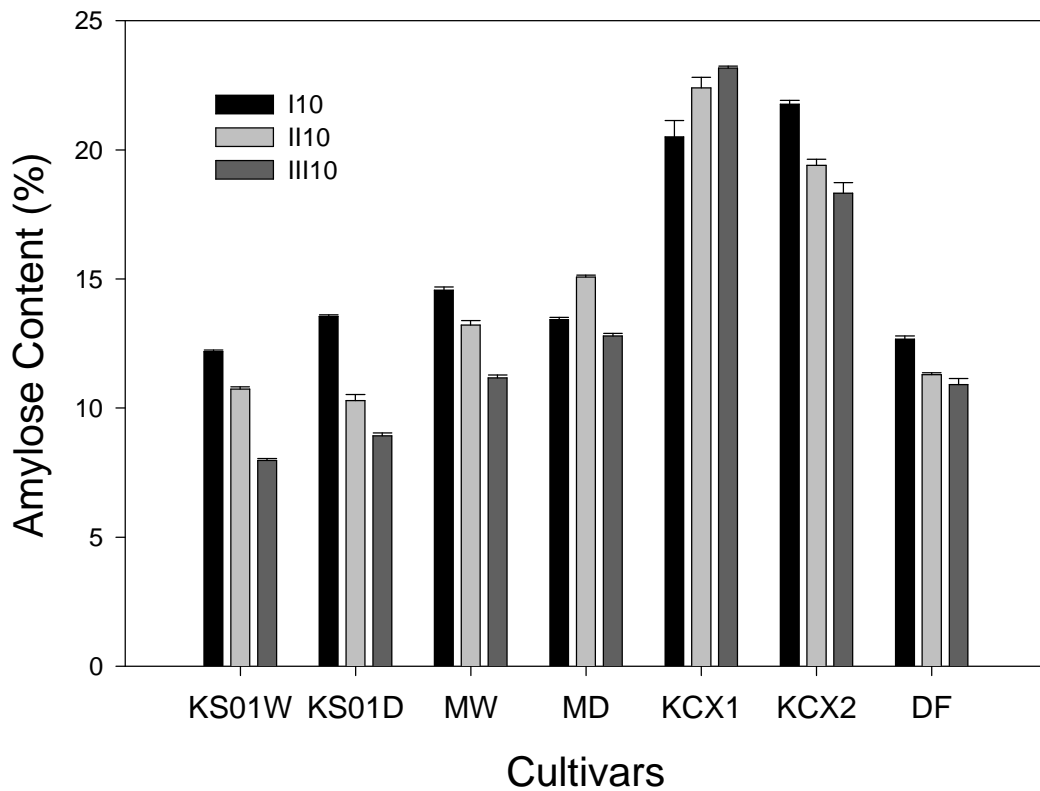
本計畫結果為不同芋品種與代用芋作物的澱粉差異基本的理化特比較，並為芋頭作物因栽種方法與種植期的差異，提供了基本的解釋。在台灣不同地區的農民會以水、旱田兩種栽種方式來生產芋頭，由於水田耕種的管理較容易，因此較受到農民的偏愛。但並非所有的芋品種與區域都適合水田耕種，更由於台灣的氣候適宜，因此一年間均有芋頭的收穫，這樣的環境提供了一個研究環境因子影響芋澱粉生合成的環境。可惜台灣對澱粉生合成的研究尚少，若可加強此方面的研究相信對於富含澱粉作物的選育工作將大有助益。

六、參考文獻

- [1] Bay-Smidt, A. M., Wischmann, B., Olsen, C. E. and Nielsen, T. H. 1994. Starch bound phosphate in potato as studied by a simple method for determination of organic phosphate and ^{31}P -NMR. *Starch* 46:167-172.
- [2] Dubois, M., Gilles, K. A., Hamilton, J.K., Rebers, P. and Smith, F. 1956. Calorimetric method for determination of sugar and related substance. *Anal. Chem.* 28: 350-356.
- [3] Higashihara, M., Umeki, K. and Yamamoto, T. 1975. Isolation and some properties of taro root starch. *J. Jpn. Soc. Starch Sci.* 22:61-65.
- [4] Goering, K. J. and DeHaas, B. 1972. New starches. VIII. Properties of the small granule-starch from *Colocasia esculenta*. *Cereal Chem.* 49:712.
- [5] Jane, J., Shen, L., Chen, J. L., S., Kasemsuwan, T. and Nip, W. K. 1992. Physical and chemical studies of taro starches and flours. *Cereal Chem.* 69:528.
- [6] Lii, C.-Y. and Chang, Y.-H. 1991. Study of starch in Taiwan. *Food Rev. Int'l* 7:185-203.
- [7] Lim, S. and Seib, P. A. 1993. Location of phosphate esters in a wheat starch phosphate by ^{31}P -nuclear magnetic resonance spectroscopy. *Cereal Chem.* 70:145-152.
- [8] Lim, S.-T., Kasemsuwan, T. and Jane, J. 1994. Characterization of phosphorus in starch by ^{31}P -Nuclear Magnetic Resonance Spectroscopy. *Cereal Chem.* 71:488-493.
- [9] Morrison, W. R. 1964. A fast, simple and reliable method for the microdetermination of phosphorous in biological materials. *Anal. Biochem.* 7:218.
- [10] Sugimoto, Y., Nishihara and Fuwa, H. 1986. Some properties of taro (*Ishikawa-was* and *Takenokoimo*) and yam (*Iseimo* and *Nagaimo*) starches. *J. Jpn. Soc. Starch Sci.* 33:169-176.

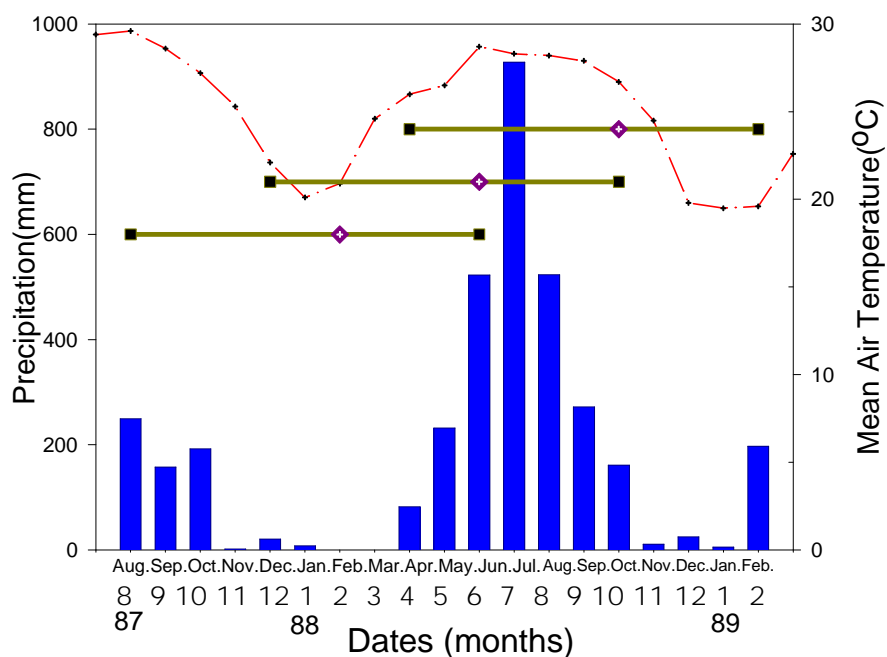
[11] Zobel, H. F. (1964) X-ray analysis of starch granules. In "Methods in Carbohydrate Chemistry." Vol. IV, p. 109-113. Ed. Whistler, R.L. et al., Academic Press, N. Y., NY.

王俊權、王建文、張永和。1997。不同品種芋頭澱粉的理化性質之探討。食品科學24: 282-294。



圖一、使用碘電流滴定法測定不同栽種期芋澱粉之直鏈澱粉含量

Fig. 1. Taro starches amylose content from different planting date and growth conditions using amperometric titration method. The values are means and standard deviations from three measurements.



圖二、栽種期間高雄地區氣溫雨量統計圖

Fig. 2. Planting period statistical graph of weather in KaoShung.

表一、栽種期間高雄地區氣溫雨量統計表

Table 1. Planting period statistical table of weather in KaoShung.

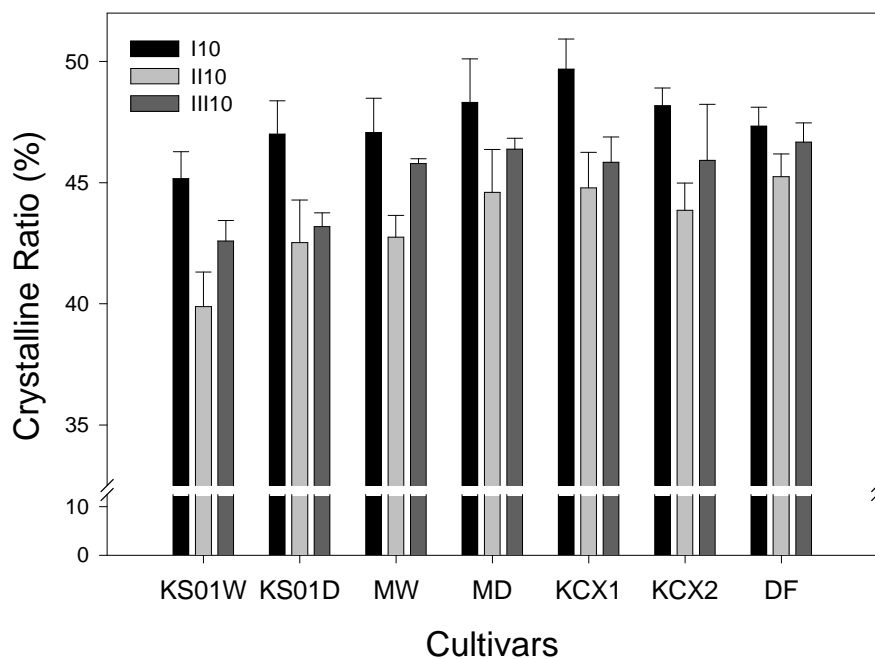
		1 st Period	2 nd Period	3 rd Period
Growth period	Accumulate rainfall (mm)	629.8	342.3	2559.5
	Mean temperature ()	25.5	23.3	27.6
	Highest mean temp. ()	29.6	26.5	28.7
	Lowest mean temp. ()	20.1	20.1	26.0
Mature period	Accumulate rainfall (mm)	837.0	2406.5	398.5
	mean temperature ()	25.3	28.0	22.0
	Highest mean temp. ()	28.7	28.7	26.7
	Lowest mean temp. ()	20.9	26.7	19.5

表二、使用比色法測定不同栽種期芋澱粉之磷含量

Table 2. Taro starches Phosphorus content from different planting date and growth conditions using colorimetric method. ^a

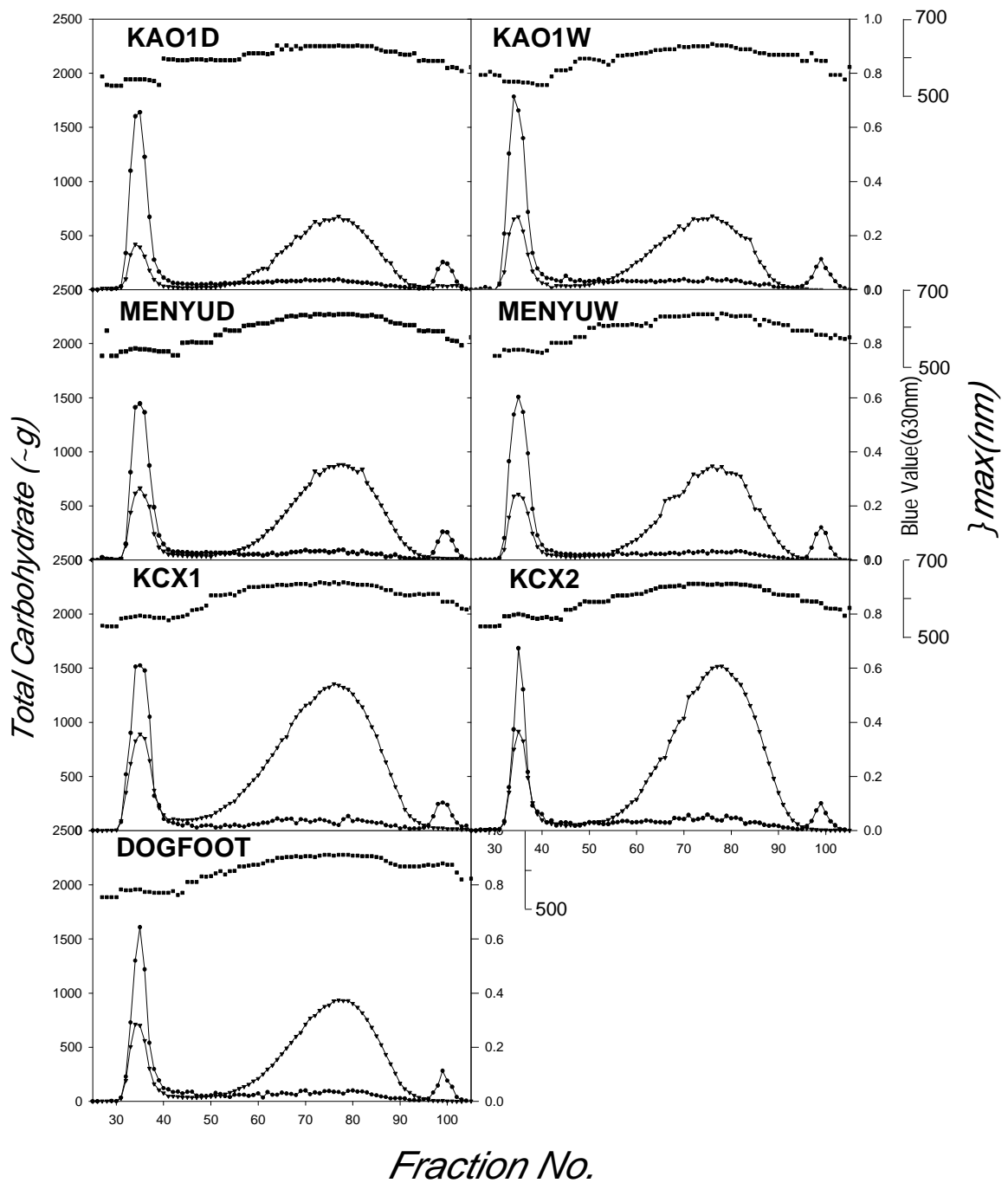
Sample/Period of plant	1 st period (ppm)	2 nd Period (ppm)	3 rd Period (ppm)
KS01W	260.92± 5.79	251.32± 4.74	305.68± 4.51
KS01D	238.10± 4.00	284.21± 4.69	309.88± 4.77
MW	266.02± 1.97	263.51± 3.56	320.35± 1.74
MD	312.54± 1.96	229.01± 4.16	275.48± 2.11
KCX1	121.64± 4.37	170.78± 3.02	196.86± 2.71
KCX2	218.46± 8.52	221.99± 3.34	306.37± 7.47
DF	257.22± 4.95	270.32± 1.64	251.51± 6.23

^a Means and standard deviations from three measurements.



圖三、不同品種及栽種期芋澱粉之結晶率

Fig. 3. Crystalline ratio of taro starches from different planting date and growth conditions. The values are means and standard deviations from three measurements.



圖四、澱粉組成分分子篩層析

Fig. 4. Sepharose CL-2B Chromatograms of taro starch components.

表三、不同芋品種之澱粉及其組成之碘吸附量

Table 3. Iodine affinity of taro starch and its components. ^{a,b,e}

Sample	IA starch	IA amylose	IA amylopectin	Apparent amylose (%) ^c	Amylose (%) ^d
KS01W	2.437±0.012	19.359±0.175	0.022±0.003	12.183±0.058	12.489±0.060
KS01D	2.709±0.013	19.283±0.174	0.035±0.001	13.545±0.064	13.894±0.066
MW	2.912±0.025	18.072±0.142	0.102±0.007	14.558±0.127	15.635±0.141
MD	2.685±0.019	18.820±0.232	0.039±0.008	13.425±0.094	14.089±0.100
KCX1	4.383±0.013	18.371±0.192	0.253±0.015	21.915±0.064	22.795±0.071
KCX2	4.352±0.031	18.858±0.158	0.115±0.012	21.761±0.153	22.607±0.163

a Means and standard deviations from three measurements.

b IA: iodine affinity (g/100g).

c Calculated from $(IA \text{ starch} / 20.0) \times 100$.

d Calculated from $[(IA \text{ starch} - IA \text{ amylopectin}) / (IA \text{ amylose} - IA \text{ amylopectin})] \times 100$.

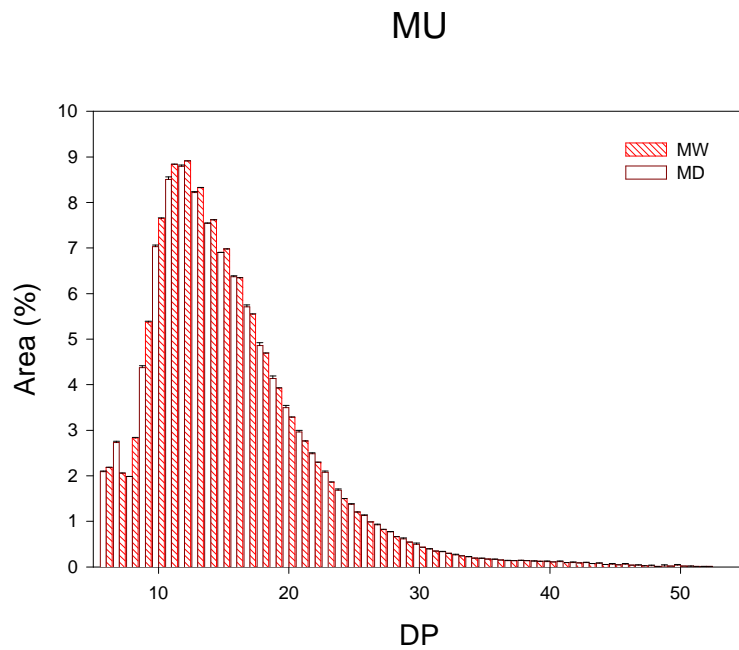
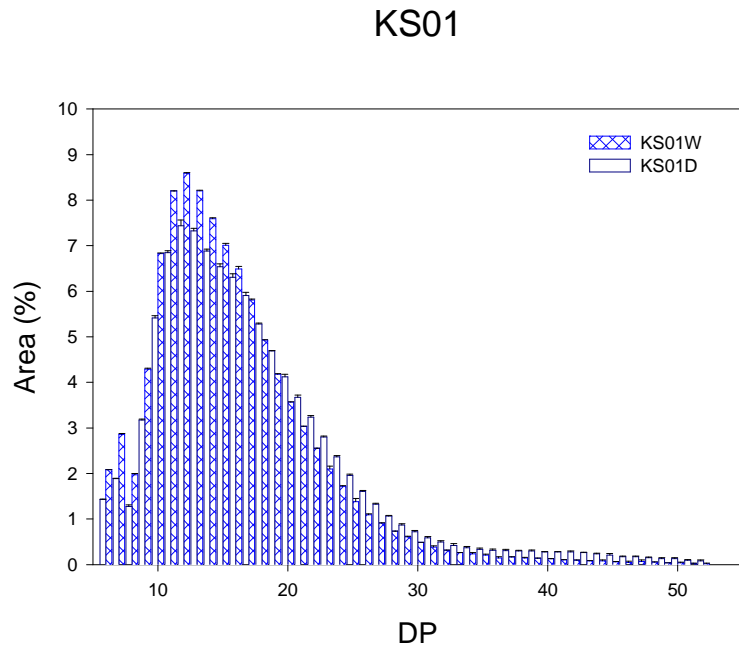
e Deviations calculated from standard deviations of starch, amylopectin, and amylose.

表四、不同品種芋澱粉之直鏈澱粉分子量分佈

Table 4. Molecular size and distribution of taro amylose. ^a

Sample	DP _n	DP _w	Apparent DP distribution	Polydispersity
KS01W	3411±110	6106±138	1609-33852	1.790±0.017
KS01D	3596±64	7441±284	1620-49228	2.070±0.116
MW	3254±103	7802±113	2051-102500	2.398±0.041
MD	3638±69	6231±65	1487-25275	1.714±0.050
KCX1	2495±139	5869±153	1411-14772	2.358±0.193
KCX2	2451±21	5748±86	1364-14914	2.354±0.055

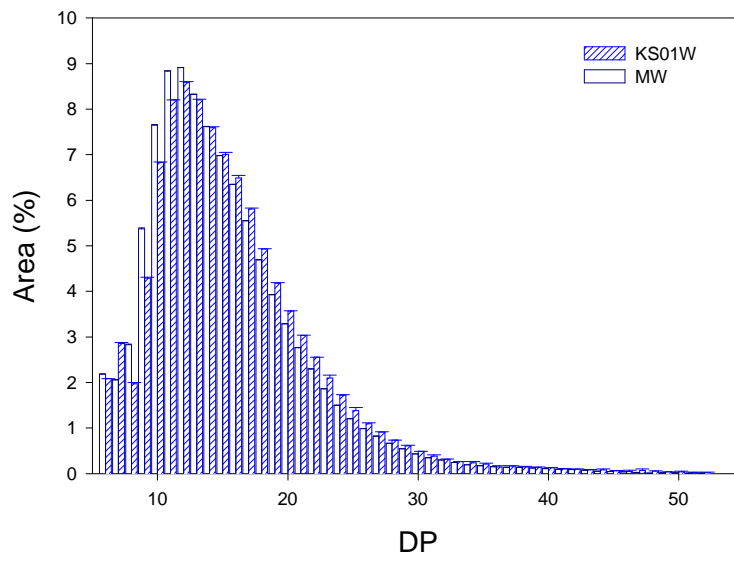
a Means and standard deviations from two measurements.



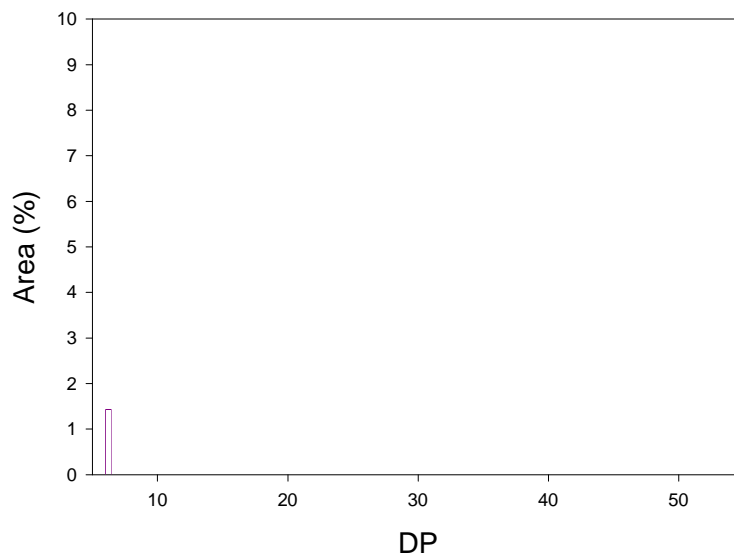
圖五、栽種方式對芋支鏈澱粉分支鏈長分佈的影響

Fig. 5. The effects of cultivating method on branching chain-length of taro amylopectin.

KS01W & MW



KS01D & MD



圖六、麵芋與高雄一號支鏈澱粉分支鏈長分佈比較

Fig. 6. Chain-length distribution difference of different taro cultivars.