

公開

密件、不公開

執行機構（計畫）識別碼:110401e200

行政院農業委員會林務局九十六年度科技計畫研究報告

計畫名稱： 民族植物紅藜的永續利用研究(第2年／全程3年)
(英文名稱) **Sustainable utilization of an ethnobotanical plant,
Chinopodium sp.**

計畫編號： 96 農科-11.4.1-務-e2(z)

全程計畫期間： 95 年 1 月 1 日至 97 年 12 月 31 日

本年計畫期間： 96 年 5 月 25 日至 96 年 12 月 31 日

計畫主持人： 郭耀綸

執行機關： 國立屏東科技大學

統籌計畫名稱：民族植物紅藜的永續利用研究

細部計畫名稱：

一、民族植物紅藜的栽培與生態生理特性(2)[96 農科-11.4.1-務-e2(1)]

二、紅藜系統分類及親緣地理研究(2) [96 農科-11.4.1-務-e2(2)]

三、不同品系紅藜種子 α 與 β 澱粉酶特性分析 [96 農科-11.4.1-務-e2(3)]

四、民族植物紅藜之營養及機能性成分之永續利用(2) [96 農科-11.4.1-務-e2(3)]

目 錄

| | |
|--|----|
| 一、民族植物紅藜的栽培與生態生理特性(2)..... | 1 |
| 二、紅藜系統分類及親緣地理研究(2)..... | 16 |
| 三、不同品系紅藜種子 α 與 β 澱粉酶特性分析..... | 25 |
| 四、民族植物紅藜之營養及機能性成分之永續利用(2)..... | 42 |

■公開

□密件、不公開

執行機構（計畫）識別碼:110401e201

行政院農業委員會林務局九十六年度科技計畫研究報告

計畫名稱： 民族植物紅藜的栽培與生態生理特性(2) (第2年／全程3年)

(英文名稱) **Cultivation and ecophysiological characteristics of *Chenopodium* sp., an ethnobotanical species (2)**

計畫編號： 96 農科-11.4.1-務-e2(1)

全程計畫期間： 95 年 1 月 1 日至 97 年 12 月 31 日

本年計畫期間： 96 年 5 月 25 日至 96 年 12 月 31 日

計畫主持人： 郭耀綸

執行機關： 屏東科技大學森林系

民族植物紅藜永續利用研究--民族植物紅藜的栽培與生態生理特性(2)

執行單位：國立屏東科技大學森林系

計畫編號：96 農科-11.4.1-務-e2(1)

計畫主持人：郭耀綸 教授

E-mail: ylkuo@mail.npust.edu.tw

摘要

本年度計畫目標為了解不同栽植季節、栽植密度及光量、水分及養分對紅藜生長發育與種子產量的影響，並保存各種紅藜品系種子供遺傳多樣性保育。於屏科大苗圃以行株距 25 cm 在不同季節栽植紅藜，發現秋季 9 月栽植者只需 85~95 天即可採收，於 12 月栽植成熟日數最久，約需 130 天，然此兩季單株穀粒重類似，可達 20~24 g。春季 3 月及 5 月栽植紅藜在 100~105 天可採收，但穀粒重分別僅有 9 g 及 1.2 g，產量顯著減少。栽植密度較低可使單株穀粒收穫量增加，但單位面積產量減少，例如行株距 15、25 及 35 cm 的栽植距離，單株穀粒重分別為 12、21、30 g，但每分地(0.1 ha)的收穫量分別為 510、340 及 240 kg。紅藜為陽性植物，在全光照環境生長最佳，在相對 10%及 24%環境，穀粒產量分別僅為全光植株之 3%及 14%，遮陰顯著減少穀粒產量。紅藜可耐旱，兩週澆水一次之植株穀粒產量與 2 天澆水一次者無顯著差異。施肥處理對穀粒產量的增加影響不大，表示紅藜不需額外施肥。本研究收集上述各栽植試驗產量較高單株的種子，並將各種穗色的種子保存起來，共收存 120 個單株種子，形成紅藜遺傳多樣性種子庫。屏東地區排灣族原住民多於 1 月時播紅藜種子，5 月時收穫，此傳統栽種季節為低溫、乾季、短日照、晴日多，有利紅藜生長結穗，又少遭病蟲害，實為適宜。於今年 12 月 7 日假屏科大舉辦紅藜推廣研習會，介紹紅藜栽培及食品應用潛力，讓民眾對此民族植物的永續利用有較深入了解。

關鍵字：藜屬、民族植物、生活史、栽植季節、栽植密度

Abstract

The objective of this study is to evaluate the growing season, planting spacing, and the effects of light, water, and nutrient on growth and productivity of Djulis. We also preserve seeds of various Djulis varieties for genetic conservation purposes. Results showed that in the density of 25 cm spacing, it took only 85~95 days for grains to be harvestable if seeds were sown in September, i.e. the fall crops, but it would need about 130 days if planted in December, i.e. the winter crops. Grain yields of single stem, however, weighted similarly to be 20~24 g in both crops. If planted in March and May, the spring crops, then it could be harvested in 100~105 days but grains yields were only 9 g and 1.2 g, respectively, which were significantly less than those fall and winter crops. Wider planting spacing would increase the grain yield per stem but decrease the productivity per area. For example, grains per stem in planting space of 15, 25, and 35 cm weighted 12, 21, and 30 g, but produced 510, 340, and 240 Kg per 0.1 ha, respectively. Being a shade-intolerant species, Djulis grows best under full sun light. When growing under 10% and 24% full light, grain yields were only 3% and 14% comparing to productivity under full light. Djulis is also a drought tolerant species. The grain yield of Djulis being irrigated every two weeks showed no significant differences with those being irrigated every two days. Fertilization did not increase the grain yield as well, indicating that Djulis does not need extra fertilizers. We had collected and preserved seeds of 120 high productivity varieties to stock a Djulis seed bank for genetic conservation purposes. In Pai-Wan tribe of Pingtung area, they normally saw Djulis seeds in January and harvest in May. This traditional planting season is typically dry, low-temperature, short-day, mostly sunny, and less disease, which is very favorable for the growth and seed set of Djulis. In December 7, 2007, we held a walk-shop at National Pingtung University of Science and Technology to introduce the cultivation and food application of Djulis, in order to promote the sustainable utility of this ethnobotanical plant.

壹、前言

全球藜科(Chenopodiaceae)植物共約 110 屬 (朱格麟, 1995), 其中藜屬 (*Chenopodium*)植物約有 120 種 (Allen, 1960), 亞洲、歐洲、北美洲、南美洲、非洲及大洋洲都有藜屬植物存在(朱格麟, 1995)。藜屬植物中已被用來當作重要食用作物的種類, 包括南美洲的 *Chenopodium quinoa*、中南美洲的 *C. pallidicaule*、*C. nuttaliae*, 以及喜瑪拉雅山區的 *C. album*, 自史前時代一直利用至今, 供蔬菜及糧食用(Partap and Kapoor, 1985; Johnson, 1990)。數世紀前, 上述地區人民即將藜屬植物當成作物, 為原住民過去賴以為生的食用作物之一, 目前已被視為重要民族植物(ethnobotany)。*Chenopodium quinoa*、*C. album* 種子含蛋白質及離胺酸(lysine)、甲硫胺酸(methionine)、胱胺酸(cystine)等必需胺基酸, 同時也含豐富的鈣、磷、鐵、鈉及鉀等元素(Johnson, 1990; Schlick and Bubenheim, 1996; Partap *et al.*, 1998), 營養豐富。

紅藜是台灣原住民傳統作物之一, 使用時間已有數百年, 藜殼多供釀製小米酒之酒麴原料, 也可供煮成粥食用, 種子富含蛋白質營養價值高。此民族植物品系甚為多樣化, 花穗與葉色變化豐富, 植株高度變化由 0.3 m 至 4 m, 生活史雖只有 4~5 個月, 但生長快速, 有很高的淨初生產力。根據現地觀察, 本植物對環境的耐性範圍相當寬, 由平地至海拔 1500 m 均可栽種, 可適應乾旱貧瘠的生育地, 甚至海邊有鹽分逆境處也可生長。紅藜是藜科中的藜屬植物, 台灣有三位研究人員曾針對此植物進行過研究, 其分別以紫藜(*Chenopodium purpurascens* Jaquin)(郭能成、林萬居, 1997)、食用藜(*Chenopodium* sp.) (張芳銘, 1997)及赤藜(*Chenopodium album* L. var *cestrorubrum* Makino)(葉茂生, 1999)稱之, 這三者是否為相同的植物, 有待分類學者確認。本文所指的紅藜, 排灣族語稱為 djulis, 為屏東縣三地鄉、瑪家鄉及泰武鄉之排灣族人所通稱, 其正確的學名正在研究中。赤藜、紫藜及食用藜種子磨粉後可製成各式糕點、主食、營養添加物, 或為釀製小米酒之酒麴原料, 其花穗顏色變化大, 可當插花材料, 嫩葉可供蔬菜食用(張芳銘, 1997; 葉茂生, 1999; 郭能成, 2000)。對此遺傳多樣性甚高的民族植物, 過去學界甚少關注, 現在應將此已被忽略的傳統作物或民族植物重新利用, 應具有潛在的文化及經濟價值。此藜科植物在抗逆境上, 如適應貧瘠土地及乾

旱，具非常優異的表現(李叡明，1993；葉茂生，1999)，且具生長期短，營養價值高的優點(李叡明，1993；張芳銘，1997；郭能成、林萬居，1997)，惟在栽培利用上仍缺乏有系統的記錄與研究。

過去的研究(張芳銘，1997；郭能成、林萬居，1997；郭能成，1998；1999；2000)發現，紫藜植株發育期間很短，春作 109~112 天，夏秋作只需 98~115 天，冬季裡作需 124~131 天，而食用藜生活史為 116~117 天；紫藜成熟植株可長到 134~140 cm，食用藜則可達 197~285 cm；紫藜全株乾重可達 60~65 g，單株籽實重可達 16~18 g。紫藜或食用藜生長速度很快，上一年度的研究也證實其光合作用潛力很高，然而在台灣南部屏東地區有關紅藜栽植季節與栽植方式的研究很少，值得針對此類植物在不同季節與不同栽植方式對紅藜生長發育及穀粒產量的影響進行深入探討。

本年度計畫目標為了解民族植物紅藜的生活史及最適栽培管理方案，建立將來永續利用本資源植物時所需的基礎知識與栽培技術。計畫將探討以下 4 個項目：(1) 不同栽植季節與栽植方式對紅藜植株生長及穀粒產量的影響；(2) 光量、水分、養分對紅藜植株生長及穀粒產量的影響；(3) 篩選紅藜不同品系及高產量單株；(4) 舉辦紅藜推廣研習會。

貳、材料與方法

本年度紅藜生長及栽植方式之試驗，均是在屏東科技大學森林系苗圃進行。上年度已在該處成立紅藜試驗田，設置長、寬分別為 6 m 及 1.2 m，有自動澆灌設施的小畦 16 畦，2007 年於 1 至 2 月另闢建 16 畦，合計 32 個紅藜試驗畦。

一、不同栽植季節對紅藜生長發育影響的試驗

此試驗分別在 2006 年 9 月、12 月，2007 年 1 月、3 月及 5 月，共 5 個月份播種紅藜，比較不同栽植季節對紅藜生活史不同階段發育所需日數。生活史階段區分為營養期、孕穗、穗轉色、種子成熟等階段。本試驗各時期所用的材料均是先將帶殼種子播種在發芽畦，約 5 天後可見帶 2 片子葉的胚莖長出土面，播種後約 14~20 日將幼苗挖出，定植在各試驗畦，各幼苗行株距均為 25 cm，定植後一週內試驗畦上方覆以透光率 60% 的針織網以減少強光危害，之後則不再遮陰，並視土壤水分狀況適度澆水。定植後植株若死亡則予以補植。每畦選取位於畦中央部位的植株各 8 株供生長調查，每一週記錄植株高生長。紅藜種子是否已成熟，可以採收，其判斷依據是根據原住民傳統經驗，已著色的紅藜果皮若進一步轉變成黑色，則表示已成熟可採收，大約在全穗某一小段開始出現轉黑色即要採收，否則種子過熟會掉落。某單株紅藜若顯現成熟現象，即立刻採收，量測單株高度、總長及穗長，並將穗剪下置於容器中曬乾，乾燥的果實以手剝落，去除葉片雜物後即可裝袋，再稱取單株穀粒重量。

本項研究 2006 年 9 月 5 日播種者，約在同年 11 月下旬陸續成熟；2006 年 12 月 1 日播種者，在 2007 年 4 月中旬至 5 月上旬完成採收；2007 年 1 月 25 日播種者，於 5 月上旬至下旬採收；2007 年 3 月 2 日及 14 日播種者，於 6 月中旬至下旬完成採收；2007 年 5 月 10 日播種者，於同年 8 月上旬至中旬採收。不同季節播種的紅藜，各取 12 至 16 株形態生長居中的植株，供發育日數及生長性狀的統計比較(ANOVA, 鄧肯氏檢定, $p \leq 0.05$)。

二、紅藜不同栽植距離試驗

2006 年 9 月播種的紅藜，分別以植株行株距 15、20、25、30、35 及 40 cm 等 6 種處理進行試驗。試驗設計為逢機區集試驗，以一畦為一區集，分別以 15、25 及 35 cm 的行株距，或以 20、30 及 40 cm 的行株距，栽植紅藜幼苗在同一畦

不同位置。每一處理使用面積為 2 m 長，1.2 m 寬，各處理重覆四個區集(畦)。每畦每個行株距處理，標定 5 株位處畦中央部位的植株，供收穫時的生長性狀比較，如此可避免同一行株距處理，栽植在樣區外圍植株有較大生長空間的缺點。本研究共有 120 株樣株，所標定的樣株每週記錄高生長，並記錄孕穗、穗轉色及穗成熟之採收日期。

三、不同品系紅藜生長性狀比較

於 2006 年 12 月 1 日將採自花蓮玉里，穗色紅色的紅藜，以及採自屏東三和村，穗色黃色、紅色及桃色共 4 種品系的紅藜，分別播種種子，12 月 15 日將幼苗定植在 8 個畦，每畦標定 8 個植株供生長性狀比較。本次試驗收穫日期從 4 月 20 日開始，直到 5 月 7 日為止，採收後比較花蓮紅色、屏東黃色、屏東紅色、屏東桃色，共四個品系在各發育階段所需日數、植株長度及穀粒產量的差異。

四、遮陰試驗及乾旱試驗

於 2007 年 1 月 25 日播種屏東黃色及桃色品系種子，發芽後將幼苗以 25 cm 的行株距定植在 8 個畦，其中有 4 畦未予遮陰，另 2 畦以一層針織網遮陰，藉 LI-190SA 光量計測其相對光量為全光的 24%；另有 2 畦以二層針織網遮陰，實測相對光量為 10%。遮陰網置於竹材做成的框架上，高度為 150 cm，但相對光量 24%處理的植株在生長季後期，高度已接近針織網頂部，因此在 3 月下旬將框架高度提高至 200 cm；遮光較多的處理植株高度較小，未提高遮陰網高度。此試驗於 5 月 3 日開始採收未遮陰對照組植株，遮陰處理者發育較慢，至 6 月 4 日才完成採收。

遮陰試驗當做全光對照組的 4 畦中，於 3 月開始將 2 畦進行斷水處理，每隔 2 週才澆水一次，另 2 畦一方面當做遮陰處理對照組，另一方面也供乾旱處理之對照組，約 2 天即澆水一次。此兩試驗各標定各畦位處中央的 12 個植株供生長比較，測定項目與前三項試驗相同。

五、施肥試驗

於 2007 年 3 月 2 日播種屏東雜色紅藜種子，3 月 14 日以行株距 25 cm 定植到 3 畦，分別施用牛糞堆肥 1 kg m⁻² 及 2 kg m⁻² 兩種施肥量處理，以及不施肥對照組。另於 3 月 14 日以直播方式播種紅藜種子 3 畦，行株距同樣為 25 cm，每

個栽植點播 10~20 粒紅藜種子，幼苗長至 2~3 cm 後每個點只留 1 株，其餘小苗疏掉。此 3 畦分別施用市售豆粕有機肥 1 kg m^{-2} 、 2 kg m^{-2} 及不施肥對照組。牛糞堆肥及豆粕有機肥兩種施肥處理，每畦標定位處畦中央部位的植株 10 株，供生長測定用。

六、保留紅藜不同品系及高產量單株之種子

將不同季節栽植之紅藜，挑選穗色不同的單株，以及各試驗中穀粒產量較高的單株，穀粒曬乾後裝入容積約 150 cc 的玻璃瓶內，置於冰箱內保存，各容器標記各單株種子來源，穗顏色之色卡編號，植株栽種日期，以及種子採收日期。上述作業可保存紅藜種子遺傳多樣性，供將來育種及繁殖之用。

七、舉辦紅藜推廣研習會

於 2007 年 12 月 7 日在屏科大舉辦研習會，邀請農業試驗單位、各縣市農業相關單位，以及高屏地區原住民部落民眾參與。會中針對去年及今年度計畫成果，以口頭報告、文字解說、實物展示、紅藜食品品嘗，以及栽培現況參觀等方式，介紹紅藜之永續利用價值與應用層面。

參、結果與討論

一、不同栽植季節與栽植方式對紅藜植株生長及穀粒產量的影響

(一) 栽植季節的影響

本研究分別在 2006 年 9 月、12 月，以及 2007 年 1 月、3 月及 5 月播種紅藜，栽植行株距均為 25 cm，結果發現不同栽植季節對紅藜生活史各階段發育所需日數有明顯的影響(表 1)。於 9 月播種者(秋植)之植株發育日數最短，平均 79 日花穗已開始轉色，91 日已成熟可採收(表 1)。紅藜於 1 月、3 月或 5 月播種的植株，播種後約 100~105 天籽實即成熟可採收，而 12 月播種者，屏東品系黃色與紅色穗的植株播種後 129~135 天籽實才成熟，花蓮品系(紅色穗)要 144 天才能採收，發育期間最長(表 1)。上年度曾於 2006 年 1 月 4 日播種屏東及花蓮品系紅藜種子，屏東品系植株生長 100~110 天即可採收，所需時間與 2007 年 1 月播種者一樣(表 1)，而 2006 年 1 月播種的花蓮品系植株比同時播種的屏東品系晚 30 天才能採收，亦即花蓮品系要費時 130~140 天籽實才成熟，大約與 2006 年 12 月播種的花蓮品系發育期日數相當(表 1)。2006 年 12 月 1 日播種的屏東品系紅藜需 129~135 天才能採收，而 2007 年 1 月 25 日才播種(晚約二個月)的植株只需約 105 天即可採收，兩者相差將近一個月，顯示 12 月播種者可能因生長期氣溫較低，以至於發育所需時間較長。由表 1 也可得知紅藜 9 月及 1 月播種的植株，花穗分別在 79 及 85 天即可轉色，再經過 2~3 週籽實即成熟可採收。於冬季 12 月播種的紅藜要經過 4 個月的生長，花穗才會轉色，但轉色後同樣在 2~3 週籽實即可採收。

在不同栽植季節對紅藜型態生長的影響方面，以行株距 25cm 的空間，冬植(12 月及 1 月播種)的植株地上部總長度(莖長加穗長)可達 250~270 cm，3 月與 9 月播種者植株總長降低至 190~205 cm，而 5 月播種者形態生長較差，植株矮化，總長僅有 135 cm(表 2)，顯著較其它季節栽植者矮小。於春夏 5 月栽植的紅藜發育不良，穀粒曬乾後平均每株只有 8.6 g 的產量，但與 3 月栽植者(12.2 g)無顯著差異，冬季 12 月及 1 月栽植的紅藜雖然植株形體較高大，但此兩月份單株穀粒產量與 9 月栽植者無顯著差異，平均在 21~24 g 範圍(表 2)。秋季 9 月播種的植株，由播種至收穫只需三個月，生長日數雖然分別較 12 月及 1 月冬植者縮短 40 天及 15 天(表 1)，但穀粒產量卻與冬植者相當(表 2)，顯示秋植有其優點。然而該期間台灣南部仍在雨季，播種後長出的幼苗易被大雨擊倒而死亡，例如 2007 年 9 月屏東地區雨日連綿，又有柯羅沙颱風強風豪雨侵襲，本研究在 8 月下旬至

9月下旬連續播種、補植、再播種、再補植，新植幼苗的成活率不到10%，直到10月以後天候穩定少雨，植株才能正常生長。秋植的另一項重大危害因子是病蟲危害。屏東地區9月及10月氣溫炎熱潮濕，易滋生蟲害及黴菌感染。在蟲害方面以斜紋夜盜的幼蟲最嚴重，將葉部、嫩芽及花穗啃食一空，若不及時以藥劑控制，則全園植株有可能被啃食盡淨，致試驗無以為繼。因此就紅藜園圃管理而言，秋植是管理上最麻煩的季節，所以傳統上原住民族均不在秋天種植紅藜，多延後至12月或1月才播種，此時天氣轉涼，沒有病蟲害問題，可行粗放管理。在此期間植株生長期雖需較長日數，但可在4月或5月上旬雨季未臨前即可採收，是方便管理的栽植季節。

表1 紅藜不同栽植季節穗轉色及收穫所需日數(行株距 25 cm, n=10)

| | 播種至轉色日 數 | 轉色至收穫日 數 | 播種至收穫日 數 |
|--------------------|----------------------|---------------------|----------------------|
| 2006年9月5日播種(屏東) | 79±0.4 ^d | 12±0.7 ^b | 91±0.8 ^d |
| 2006年12月1日播種 | | | |
| 花蓮紅色 | 124±3.6 ^a | 20±1.1 ^a | 144±2.8 ^a |
| 屏東黃色 | 115±1.3 ^b | 14±1.6 ^b | 129±1.7 ^b |
| 屏東紅色 | 123±2.0 ^a | 12±1.3 ^b | 135±1.5 ^b |
| 2007年1月25日播種(屏東) | 85±2.2 ^c | 20±1.0 ^a | 105±2.0 ^c |
| 2007年3月14日播種(屏東雜色) | — | — | 102-105 |
| 2007年5月3日播種(屏東) | — | — | 96-104 |

表2 紅藜不同栽植季節植株總長、莖乾重及穀粒重之比較(屏東種源，行株距 25 cm, n=15)

| 性狀 | 2006年9月 | 2006年12月 | 2007年1月 | 2007年3月 | 2007年5月 |
|--------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| 植株總長 (cm) | 192±3.0 ^b | 268±10.0 ^a | 253±9.3 ^a | 204±10.0 ^b | 135±5.9 ^c |
| 莖乾重(g) | — | — | 18.8±2.4 ^a | — | 12.4±0.8 ^b |
| 穀粒重(g) | 21.9±1.3 ^a | 21.9±2.7 ^a | 23.3±1.3 ^a | 12.2±1.0 ^b | 8.6±1.1 ^b |

(二) 栽植距離的影響

比較不同栽植距離對紅藜生長的影響，發現行株距 35 及 40 cm 的處理，單株殼粒產量約 30~34 g，顯著高於行株距 25~30 cm 兩種處理(21~24 g)；而行株距分別為 15 及 20 cm 的處理，殼粒收穫只有 12 及 16 g(表 3)。上述結果顯示栽植距離越小，植株密度越高的處理，單株殼粒產量會顯著降低，因為密度越高者單株間的生長空間越小，各植株地上部枝葉相互遮陰，地下部根系對水分與養分的競爭也越嚴重。然而，若進一步考慮單位面積的殼粒產量，以行株距 15、25 及 35 cm 的處理為例，每分地(0.1 公頃)分別可收穫約 510、340 及 240 kg 的帶殼殼粒，而紅藜種子佔殼粒 75%的重量，因此上述栽植距離每分地分別可收穫 383、255 及 180 kg 的紅藜種子。若以行株距 20 cm 來栽種紅藜小苗，每分地約可收穫 400 kg 殼粒，或約 300 kg 的種子。

表 3 紅藜不同栽植距離植株生活史、總長度及殼粒重之比較(2006 年 9 月播種，n=16)

| 性狀 | 行株距 (cm) | | | | | |
|----------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| | 15 | 20 | 25 | 30 | 35 | 40 |
| 播種至轉色日數 | 77±0.6 ^c | 79±0.9 ^a | 79±0.4 ^{ab} | 80±0.5 ^a | 77±0.6 ^{bc} | 80±0.6 ^a |
| 轉色至採收日數 | 12±0.7 ^a | 13±1.0 ^a | 12±0.7 ^a | 11±0.3 ^a | 13±0.8 ^a | 13±0.9 ^a |
| 播種至採收日數 | 89±1.0 ^b | 92±1.0 ^{ab} | 91±0.8 ^{ab} | 91±0.8 ^{ab} | 90±0.9 ^{ab} | 92±0.9 ^a |
| 植株總長(cm) | 171±5.3 ^b | 194±2.9 ^a | 191±3 ^a | 193±4 ^a | 198±4 ^a | 189±2 ^a |
| 殼粒重(g) | 11.7±1.1 ^d | 16.3±1.2 ^c | 21.3±1.4 ^b | 24.2±2.2 ^b | 29.7±1.2 ^a | 33.7±1.7 ^a |

(三) 不同品系的影響

本研究於 2006 年 12 月的試驗所用的紅藜種子，包含了屏東當地的桃色、紅色及黃色三種品系，且有採自花蓮玉里，穗色紅色的品系，栽植行株距均為 25 cm。此期花蓮品系的植株由播種至採收平均需 144 天(表 4)，這與 2006 年 1 月播種的花蓮品系的成熟期 140 天極為接近。然而，屏東品系三種穗色的紅藜，成熟期需要 128~133 天(表 4)，比同為屏東品系但在不同月份播種者的成熟所需日數 90~105 天(表 1)都久。此期栽種的屏東不同穗色紅藜的單株殼粒產量，以桃色與紅色較高(25 g)，但在統計上與穗色黃色的植株(18.8 g)並無顯著差異，但花蓮品系者可達 37 g，顯著較屏東品系三種穗色的植株都高(表 4)。

表 4. 紅藜不同品系植株生活史、總長度及穀粒重之比較(2006 年 12 月播種，行株距 25 cm，n=16)

| 性狀 | 品系 | | | |
|----------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| | 花蓮 | 屏東桃色 | 屏東紅色 | 屏東黃色 |
| 播種至轉色日數 | 124±2.8 ^a | 115±2.1 ^b | 123±2.0 ^a | 115±1.3 ^b |
| 轉色至採收日數 | 20±1.1 ^a | 17±1.6 ^b | 12±1.3 ^c | 14±1.6 ^c |
| 播種至採收日數 | 114±3.6 ^a | 129±2.1 ^b | 133±1.5 ^b | 128±1.7 ^b |
| 植株總長(cm) | 300±8 ^a | 283±7 ^{ab} | 269±7 ^b | 270±7 ^b |
| 穀粒乾重量(g) | 37.0±3.3 ^a | 25.4±2.8 ^b | 25.5±1.1 ^b | 18.8±2.1 ^b |

二、光量、水分、養分對紅藜植株生長及穀粒產量的影響

(一) 光量的影響

2007 年 1 月本研究對紅藜進行遮陰及水分處理試驗，結果發現屏東黃色穗品系的紅藜培育在全光環境的植株，較培育在相對光量 24%及 10%者，成熟期所需日數較短，且穀粒收穫量較高(表 5)。生長環境相對光量 24%及 10%的植株，單株穀粒產量分別只有 3.0 g 及 0.7 g，穀粒重分別為全光處理(21.4 g)的 14%及 3%，尤其是遮陰較多的 10%光量的植株，莖部無法直立，已呈匍伏狀，生長勢極為衰弱。由遮陰試驗可知紅藜生長發育需要照陽光，此結果與去年度對紅藜光合作用光反應的測定結果是一致的，即紅藜為陽性植物，在種子發芽及幼苗階段即需照強光。

表 5. 紅藜不同光量處理植株生活史、總長度、莖乾重及穀粒重之比較(2007 年 1 月播種，行株距 25 cm，n=16)

| | 相對光量 | | |
|----------|-----------------------|----------------------|----------------------|
| | 100% | 24% | 10% |
| 播種至轉色日數 | 85±2.2 ^c | 102±1.0 ^b | 120±0.3 ^a |
| 轉色至採收日數 | 20±1.0 ^a | 20±0.4 ^a | 9±0.3 ^b |
| 播種至採收日數 | 109±2.0 ^c | 123±0.0 ^b | 129±0.0 ^a |
| 植株總長(cm) | 239±9 ^a | 200±8 ^{ab} | 157±31 ^b |
| 莖乾重(g) | 21.1±2.6 ^a | 6.5±0.5 ^b | 2.8±0.4 ^b |
| 穀粒重(g) | 21.4±1.2 ^a | 3.0±0.4 ^b | 0.7±0.1 ^c |

(二) 水分的影響

於 2007 年 1 月 25 日播種，2 月 12 日定植的紅藜，除了有 4 畦進行遮陰處理外，另有 2 畦於 3 月開始進行乾旱處理，每隔 2 週才澆水一次，一直到 4 月下旬收穫為止。此期間為台灣南部的乾季，適合做乾旱處理。試驗結果對照組植株總長度 239 cm 顯著高於乾旱組的 228 cm(表 6)，但在成熟所需日數及單株穀粒重方面兩處理均無顯著差異。此結果表示紅藜植株成長並不需要經常澆水，事實上原住民在山區栽種紅藜是沒有人為澆灌的。然而本試驗並未比較兩處理植株或土壤水分的差異程度，或許兩週一次的澆水已提供紅藜足夠的水分，故兩處理植株的穀重無顯著差異。今後需設計更精細的試驗來了解紅藜生活史不同階段對水分的需求量。

表 6. 紅藜不同澆水處理植株生活史、植株長度、莖乾重及穀粒重之比較(2007 年 1 月播種，行株距 25 cm，n=20)

| | 對照組 | 乾旱組 |
|----------|-----------------------|-----------------------|
| 播種至轉色日數 | 85±2.2 ^b | 92±0.8 ^a |
| 轉色至採收日數 | 20±1.1 ^a | 18±1.3 ^b |
| 播種至採收日數 | 109±1.7 ^a | 108±1.7 ^a |
| 植株長度(cm) | 239±9 ^a | 228±7 ^b |
| 莖乾重(g) | 21.1±2.6 ^a | 19.5±1.6 ^a |
| 穀粒重(g) | 21.4±1.2 ^a | 21.9±1.4 ^a |

(三) 養分的影響

在養分需求方面，本年度進行有機肥與牛糞堆肥不同施用量對紅藜生長的比較。試驗期間是 3 月初播種，6 月中下旬收穫，行株距 25 cm。試驗初期紅藜幼苗遭昆蟲切斷胚莖而死亡甚多，補植株數甚多，收穫時已屆雨季，不少試驗植株遭雨浸濕數日，成熟種子直接在穗上發芽，影響試驗。每平方公央施有機肥 1 kg 處理的穀粒產量與不施肥對照組並無顯著差異，但顯著低於每平方公央施 2 kg 的處理(表 7)。然而施牛糞堆肥 1 kg 及 2 kg 的處理，穀粒產量與對照組並無顯著差異(表 7)。

表 7. 紅藜不同施肥處理植株生活史、總長度及穀粒重之比較(2007 年 3 月播種，行株距 25 cm，n=24)

| 性狀 | 有機肥處理 | | | 牛糞處理 | | |
|----------|-------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|
| | CK | 1 kg m ⁻² | 2 kg m ⁻² | CK | 1 kg m ⁻² | 2 kg m ⁻² |
| 植株總長(cm) | 179.6±4.7 ^{ab} | 168.8±3.6 ^b | 205.9±4.1 ^a | 215.5±6.1 ^a | 216.6±5.7 ^a | 219.7±4.1 ^a |
| 穀粒重(g) | 9.6±0.6 ^b | 11.2±0.1 ^b | 16.7±1.3 ^a | 14.8±0.8 ^a | 17.3±2.2 ^a | 15.2±1.9 ^a |

三、保存高產量及不同品系紅藜種子

本計畫由 2006 年及 2007 年各項試驗所栽植的數百株紅藜中，篩選單株穀粒產量較高者的種子予以保存，共挑選 70 個單株。此外，針對不同地區(花蓮及屏東)不同穗色的紅藜單株，挑選 50 個植株，將各單株種子裝瓶保存。上述 120 個植株的種子保存在冰箱中，可供後續育種或試驗用。

四、舉辦紅藜推廣研習會

於 12 月 7 日在屏科大迎賓館餐廳舉辦紅藜推廣研習會，與會校外來賓包括屏東教育大學原教中心 1 人、台中種苗改良繁殖場 3 人、花蓮區農業改良場 1 人、瑪家鄉公所 3 人、泰武鄉公所 1 人、來義鄉公所 1 人、三地門鄉公所 2 人、內埔民眾 2 人、霧台鄉愛鄉發展協會 1 人、三地門鄉賽嘉社區發展協會 5 人、獅子鄉公所 1 人等單位共計 21 人，本校教職員工 24 人，研究所及大學部學生 55 人，合計 100 人，本校古源光校長並親臨致詞並參與研習活動。

會中由計畫主持人郭耀綸教授報告「民族植物紅藜的生物性狀及栽培」，蔡碧仁老師介紹「民族植物紅藜營養及機能性」，葛孟杰老師介紹「紅藜在原住民小米酒釀造上的應用」。會中並邀請對紅藜栽培極有經驗的三地門鄉，賽嘉社區發展協會楊順發理事長，介紹原住民傳統上紅藜栽植的方式與利用情形，獲得很大的回響與討論。與會來賓接著到屏科大苗圃實地參訪紅藜的生長狀況，並討論將來在南台灣推廣此作物的策略。本研習會準備了傳統與現代的紅藜食品供與會來賓品嚐。現代製品是由蔡碧仁老師提供紅藜飲品、紅藜米香、紅藜燕麥脆餅、紅藜炸薯球及紅藜飯團。傳統紅藜食品是由阮金定先生家人提供紅藜葉包裹豬肉、蛙肉、紅藜乾飯、紅藜嫩葉稀飯，以及山芋頭等。葛孟杰老師提供 4 瓶依傳統方式釀製的小米酒，香味十足濃郁，大受歡迎。本次研習並印製專刊，由計畫主持人、蔡碧仁老師及葛老師共同撰寫三篇介紹性文章，並有彩色圖片配合說明。此專刊編製精美，內容充實，可達紅藜推廣及永續利用之目的。

參考文獻

1. 朱格麟 (1995) 藜科植物的起源、分化和地理分布。植物分類學報 34 : 486-504。
2. 李叡明 (1993) 資源植物學：研究方法入門。淑馨出版社，215 頁。
3. 郭能成、林萬居 (1997) 民俗作物藜之利用評估—播種密度對植株生質量及籽實產量之影響(夏秋作)。雜糧作物試驗研究年報 86 : 371-378。
4. 郭能成 (1998) 民俗作物藜之利用評估—播種密度對植株生質量及籽實產量之影響(冬季裡作)。雜糧作物試驗研究年報 87 : 372-379。
5. 郭能成 (1999) 民俗作物藜之利用評估—播種密度對植株生質量及籽實產量之影響(春作)。雜糧作物試驗研究年報 88 : 307-314。
6. 郭能成 (2000) 藜高產性狀之探討。雜糧作物試驗研究年報 89 : 288-295。
7. 張芳銘 (1997) 台灣食用藜之研究。台灣大學農藝學研究所碩士論文，83 頁。
8. 葉茂生 (1999) 台灣山地作物資源彩色圖鑑。台灣省政府農林廳編，217 頁。
9. Allen, P. (1960) *Chenopodium*. in *Hegi Illustrierte Flora von Mitteleuropa*, 2. Vol. 3. Carl Hanser Verlag, Munchen. pp. 569-659.
10. Diemer, M. V., C. H. Körner, and S. Prock (1992) Leaf life spans in wild perennial herbaceous plants: a survey and attempts at a functional interpretation. *Oecologia* 89: 10-16.
11. Johnson, D. L. (1990) New grains and pseudograins. p.122-127. In: Janick, J., and J. E. Simon (eds.). *Advances in New Crops*. Timber Press. Portland.
12. Partap, T., and P. Kapoor (1985) The Himalayan grain chenopods. I. Distribution and ethnobotany. *Agriculture Ecosystems Environments* 14: 185-199.
13. Partap, T., B. D. Joshi, and N. W. Galwey (1998) *Chenopods*. *Chenopodium* spp. Promoting the conservation and use of underutilized and neglected crops. 22. Institute of Plant Genetics and Crop Plant Research, Gatersleben/International Plant Genetic Research Institute, Rome, Italy. 67 pp.
14. Schlick, G., and D. L. Bubenheim (1996) Quinoa: candidate crop for NASA's controlled ecological life support systems. p.632-640. In: Janick, J. (ed.). *Progress in New Crops*. ASHS press. Arlington. VA.

公開

密件、不公開

執行機構（計畫）識別碼:110401e202

行政院農業委員會林務局九十六年度科技計畫研究報告

計畫名稱：**紅藜系統分類及親緣地理研究(2)** (第 2 年／全程 3 年)

(英文名稱) **Taxonomy and phylogeography of Quinoa
(Chenopodium spp.) (2)**

計畫編號：96 農科-11.4.1-務-e2(2)

全程計畫期間：95 年 1 月 1 日至 97 年 12 月 31 日

本年計畫期間：96 年 5 月 25 日至 96 年 12 月 31 日

計畫主持人：楊遠波

執行機關：中山大學生物科學系

合作機關：屏東科技大學森林系

民族植物紅藜的永續利用研究--紅藜系統分類及親緣地理研究(2)

執行單位：國立中山大學生物科學系

計畫編號：96 農科-11.4.1-務-e2(2)

計畫主持人：楊遠波 教授

E-mail: ypo@mail.nsysu.edu.tw

摘要

本年度陸續完成國內山地鄉之田野採集，除部份地區因交通問題，無法進入外，均以完成進行民族植物訪查及田野標本採集。屏東及台東地區，較前一年之種植面積與數量增加；新竹司馬庫斯及苗栗向天湖兩地，數量漸稀或瀕臨絕跡之紅藜於期末發現數量有亦略增之趨勢。前述之採集，合計採集標本計 506 份，新增加 194 份。綜合年度調查顯示，環繞大母山、霧頭山及北大武山周邊系統之山地部落，為全台紅藜歧異度及種源最多之地區；語彙之複雜度也因族群的接觸，呈現分化不同的現象。全年度採得 15 處紅藜種源，種子約 15 公升，保存提供下一階段實驗用材料。赴美國 Missouri botanical garden、英國 Kew Garden and Royal Botanic Garden Edinburgh、荷蘭 National Herbarium Nederland、印度 Indian botanical garden、Bose Institute、Indian Museum 等幾處之標本館及經濟植物園區，檢視相關之藜屬植物標本，確認相近之 *C. album*、*C. giganteum*，與台灣產之紅藜並不吻合。其中與台灣目前之標本相似者，僅於印度加爾各答之經濟植物標本館中，發現一相似之臘葉標本 *C. album*，來自印度西北方；另印度植物園亦保存兩份相似標本 *C. centrorubum* Makino，來自日本。但採自尼泊爾一帶發表之 *C. giganteum*，檢視印度標本館之標本中，並未發現，無法提供判別。

壹、前言

長久以來，各國原住民族對於當地藜科及莧科植物的利用，發展出當地特色的飲食文化及栽種模式。以藜科植物的利用為例，常為人們熟知的主要包括歐洲地區的作為糖的甜菜 (*Beta vulgaris*)、蔬菜食用的菠菜 (*Spinacia pleracea*)，及澱粉供應為主的各種藜屬植物 (*Chenopodium L.*) 等，其中藜屬植物更提供成熟的種子作為釀酒及雜糧食用。然因種子細小，處理過程繁瑣，無法取代稻米及玉米，成為主要的糧食作物，因此容易被各國忽略遺忘。加上，早期對於莧科植物與藜科植物之分類依據見解不同，因此各地區之植物志，對於本類群之植物未有詳盡之載明敘述，造成至今藜科植物之分類系統仍未見完備。台灣之紅藜長久以來，被歸類為近代園藝引進作物，致生物分類問題，未如本土作物一般之受重視，因此遲遲未受到學界重視，間接造成相關研究參考文獻誤引等，顯見其分類問題之急迫性。本年度計畫擬透過持續之田野調查及國外標本查驗，建立紅藜之台灣生物地理及永續利用資料，並完成台灣之紅藜分類訂正。

貳、研究地區及方法

1. 研究地區

包括台灣主要的山地縣市，其中以各部落之傳統農業栽種區及居民生活之生活環境為主。此外包括國外幾個主要的標本館，如英國、美國、印度等地。

2. 研究方法

- (1) 國內標本採集：持續前一年度之田野標本採集，收集紅藜出現之地區，保存紅藜植株活體及標本，進行標本製作保存及未來分析樣本之採取保存。
- (2) 國外標本收集：收集印度及尼泊爾等紅藜親緣種出現之地區之標本，並了解該地民族利用與生長習性。並檢視國際主標本館之藜屬植物保存標本，作為訂正之參考依據。
- (3) 資訊交換：依前一年度之分類文獻整理，發現台灣地區紅藜種類，並無與之吻合之分類群，應加強英法等國之標本館資料收集。並與主要之種源交換：未來應與南美及印度等主要紅藜分佈國家，進行不同種源交換，增加台灣地區藜科資源植物的收集保存。
- (4) 系統分類研究：鑑於該分類群之變異大，本年度持續紅藜外部型態如根、莖、葉、花及果實等特徵之量測觀察，收集種子種源，作為進一步的親緣關係研究。

參、研究結果

1、田野標本採集：95 年度的調查中，標本採集量計 312 份，主要集中在屏東及台東兩縣。零星分佈的縣市包括新竹縣（司馬庫斯 6 單株）、苗栗縣（向天湖 3 單株）、花蓮縣（玉里 12 單株）及南投縣（羅娜 2 單株）四縣市之山地部落各僅一地點可見紅藜之栽培。96 年度調查，除前述地點之重新造訪外，另增加 189 處部落的田野調查。有關全台之紅藜數量及分佈，屏東地區因透過活動的辦理及資料的傳閱，得到地方政府的微幅重視，因此種植面積與數量，較過去一年為多，集中在屏東縣三地門鄉、霧臺鄉、瑪家鄉、泰武鄉四個鄉，但追蹤種源來源，源自少數地區，以瑪家鄉及霧臺鄉為主要的種源供應地區。全臺 96 年度之前之紅藜種源保有者，合計 73 人，泰雅族 3 人、賽夏族 3 人、布農族 7 人、魯凱族 25 人、排灣族 35 人，保有之原因與傳統祭禮或釀酒製作有關。總計，本年度新增全台之標本採集計 194 份，合計 506 份標本。

2、地理分佈：依本年度之調查，全台紅藜之高度分佈與 95 年度調查之地理分佈相同，最高海拔維持不變，多在 1500 公尺以下，原因在於舊部落多已荒廢，早已停止農業生產行為，無紅藜之發現。低海拔的分佈則因人為種植方式，延伸至一般平地地區，如屏東縣三地門鄉之美園社區及臺東市區等非傳統耕作區，海拔偏低。此外有關水平地理分佈，經 96 年度計畫調查地點的分佈，以環繞大母山、霧頭山及北大武山區系統之週邊村莊，為目前全臺主要的環狀分佈集中區，包括屏東縣瑪家鄉、三地門鄉及霧臺鄉及泰武鄉四鄉，臺東縣金峰鄉、太麻里鄉兩處，六鄉分佈之海拔高度介於 350~950 公尺之間。新竹、苗栗、南投及花蓮一帶則屬零星分佈，數量有限。霧台鄉之吉露村，依據田野採訪得知，維持紅藜之高歧異度種源，但因遷村之議，紅藜種源及他項古老作物，面臨瀕危。

3、種源評估：

(1)、歧異度：依據兩年度之民族植物普查及植物標本採集調查，過去之紅藜分佈散見於全臺之原住民保留地，數量亦豐，因此日據時期，亦可見大量生產之報告。顯見過去各族之間雖處於隔離敵對狀態，但對此一作物卻有共同的利用方式與耕作模式，可見其全台之連續性分佈。目前全台以屏東及台東兩縣有較多的種植面積，其種源除當地之外，也從臨近之村莊取得，因此能夠較為廣泛地交流。其餘之發現地點，因僅限於特殊祭禮之應用，

因此呈現隔離之狀態，數量也極其稀少，極易造成區域性的基因種源絕滅。以南投羅娜村為例，該村一戶產出之紅藜，於本年度結束前，再無發現，便是一例。

(2)、持續利用機制：95 年度之調查報告中，各族對於紅藜之利用項目包括食用、裝飾、毒魚、釀酒、染色及土地肥料六項，本年度針對此持續進行訪談，其中仍進行者，僅釀酒一項最為頻繁，但本項受限於信仰教義之影響或法令上之限制，因此具釀製技術者，多已年邁，或是具有本技能，卻不願接受訪問。因此，間接造成種植的意願降低，對於種源的在地保存，是一項危險因子。有食用方面，因種子細小，加上花被片內含皂鹼，對於食品的開發，形成來源產量的障礙及技術克服的難度，因此也無法促成生產的動力，同樣影響各地種源基因庫的恆定維持。

4、外部形態特徵：依據本年度對 194 份新增標本之觀察，比對前一年度測量之資料顯示，相關之外部型態特徵，包括植株高度、莖、葉、花、果及物候等現象，兩年度記錄無顯著差異。目前發現之植株高度仍以花蓮玉里一帶之部落發現者，植株最高，可達 370 公分。其它地點發現之植株，多介於 120~170 公分之間。

5、系統分類研究：除前述增加之 194 份臘葉標本之外，另採集收購 15 部落之種子，近 15 公升種子，提供下一階段分子生物學之研究材料。本年度採得 15 處紅藜種源，種子約 15 公升，除部份已進行分析之外，其它部份冷凍保存，提供下一階段實驗用材料。

6、國外標本比對：依據分類文獻及近年報告，本年度前往世界上主要之標本館，進行文獻之收集與標本查驗。包括美國的密蘇里植物園標本館 (Missouri botanical garden)、英國皇家植物園 (Kew Garden and Royal Botanic Garden Edinburgh)、荷蘭萊登標本館 (National Herbarium Nederland)、印度國家植物園及經濟植物園 (Indian botanical garden、Bose Institute、Indian Museum) 等幾處之標本館及經濟植物園區，檢視相關之藜屬植物標本計 36 分類群，確認相近之 *C. album*、*C. giganteum*，與台灣產之紅藜並不吻合。其中與台灣目前之標本相似者，僅於印度加爾各答之經濟植物標本館中，發現一相似之臘葉標本 *C. album*，來自印度西北方；另印度植物園亦保存兩份相似標本 *C. centrорubum* Makino，來自日本。但採自尼泊爾一帶發表之 *C. giganteum*，檢視印度標本館之標本中，並未發現，無法提供判別。

肆、結論或建議事項

綜觀兩年度之田野調查發現，除了紅藜之分類問題，存有諸多疑問待解決之外，依據台灣氣候、地理條件及民族文化背景之條件，提出以下幾項推廣利用的意見。

1. 種源維持機制：依據 95、96 兩年度調查顯示，全台除屏東縣地區因過去民間推廣紅藜講座及教育課程，有顯著增加面積及數量外，各地種源之增減，仍繫於天然力及栽種模式之影響。傳統的六大項利用項目中，現階段目前並無法提供種植的誘因，然因紅藜具有可觀賞性及快速生長的優點，因此唯有透過農業主管機關推廣環境綠美化方式，強調原生作物美化，實質補助鼓勵大量種植，才能夠保存及擴大各地零星分散之種源。
2. 種源保存方法：針對紅藜種源的保存，分為在地保存及區外保存兩類，前者透過農業輔導機關及大學研究單位的宣導，印製經濟作物解說手冊，載明各項傳統利用及世界發展趨勢，讓各山地部落之行政單位及民眾，於社區中之公共空間，推廣種植可美化可利用之作物，將可建立各地之社區資源植物園，以維種源保存及生物多樣性之維繫。區外保存項目，應透過農業研究單位，以冷凍或區域引種方式，進行作物基因的保存，包括各地不同品系之種子、花粉等材料，可提供相關研究單位材料之取得。
3. 分類問題：經本年度檢視國際主要標本館之標本及文獻得知，藜科屬一可開發之經濟作物群，廣泛應用於鹽鹼地、病毒研究、蔬菜及作物生產，其中藜屬之訂正研究，未見完整之專論，未來仍應針對台灣地區之該屬植物進行持續研究探討。

參考文獻

1. 朱格麟 (1995) 藜科植物的起源、分化和地理分布。植物分類學報 34 : 486-504。
2. 郭能成 (2000) 藜高產性狀之探討。雜糧作物試驗研究年報 89 : 288-295。
3. 張芳銘 (1997) 台灣食用藜之研究。台灣大學農藝學研究所碩士論文, 83 頁。
4. 葉茂生 (1999) 台灣山地作物資源彩色圖鑑。台灣省政府農林廳編, 217 頁。
5. 山田金治 (1922) パイワン蕃族利用植物。臺灣總督府中央研究所林業部彙報 1: 1- 64。
6. 徐信次、呂明雄 (1995) 柑橘品種多樣性。台灣柑橘的研究與發展 33-41。
7. Allen, P. (1960) *Chenopodium*. in Hegi *Illustrierte Flora von Mitteleuropa*, 2. Vol. 3. Carl Hanser Verlag, Munchen. pp. 569-659.
7. Allen, P., and T. Just. (1943) Key and synopsis of the American species of the genus *Chenopodium* L. *Am. Midl. Nat.* 30: 47-76.
8. Bentham, G. and J. D. Hooker (1880) *Genera Plantarum* 3: 43-78.
9. Moquin, A (1849) *Chenopodiaceae*. In.: DC ed. *Prodr.* 3(2): 41- 168.
10. Partap, T., and P. Kapoor (1985) The Himalayan grain chenopods. I. Distribution and ethnobotany. *Agriculture Ecosystems Environments* 14: 185-199.
11. Partap, T. and P. Kapoor. (1985b) The Himalayan grain chenopod 2. Comparative morphology. *Agric. Ecosyst. Environ.* 14: 201-220.
12. Partap, T., B. D. Joshi, and N. W. Galwey (1998) *Chenopods*. *Chenopodium* spp. Promoting the conservation and use of underutilized and neglected crops. 22. Institute of Plant Genetics and Crop Plant Research, Gatersleben/International Plant Genetic Research Institute, Rome, Italy. 67 pp.
13. Schlick, G., and D. L. Bubenheim (1996) Quinoa: candidate crop for NASA's controlled ecological life support systems. p.632-640. In: Janick, J. (ed.). *Progress in New Crops*. ASHS press. Arlington. VA.
14. Scott AJ. (1978) A review of the classification of *Chenopodium* L. and related genera (*Chenopodiaceae*). *Bot. Jahrb.* 100.(2):205- 220.
15. Simmonds, N. W. (1965) The grain chenopod of the tropical American highlands. *Econ. Bot.* 19: 223-35.

16. Simmonds, N. W. (1971) The breeding systems of *C. quinoa*. 1. male sterility. *Heredity* 27: 73- 82
17. Kojima T, Nagaoka T, Noda K and Ogihara Y. Genetic linkage map of ISSR and RAPD markers in Einkorn wheat in relation to that of RFLP markers. *Theor. Appl. Genet.* 1998; 96: 37-45. Ladizinsky G and Hymowitz T. Seed protein electrophoresis in taxonomic and evolutionary studies. *Theor. Appl. Genet.* 1979; 54: 145-151.
18. Lai JA, Yang WC and Hsiao JY. An assessment of genetic relationships in cultivated tea clones and native wild tea in Taiwan using RAPD and ISSR markers assays. *Forensic Science International* 2001; 42: 93-100.

公開

密件、不公開

執行機構（計畫）識別碼:110401e203

行政院農業委員會林務局九十六年度科技計畫研究報告

計畫名稱： 不同品系紅藜種子 α 與 β 澱粉酶特性分析(第 2 年／全程 3 年)

(英文名稱) **TCharacterization of α - and β -amylases in the different Quonia races**

計畫編號： 96 農科-11.4.1-務-e2(3)

全程計畫期間： 95 年 1 月 1 日至 97 年 12 月 31 日

本年計畫期間： 96 年 5 月 25 日至 96 年 12 月 31 日

計畫主持人： 劉景煌

執行機關： 國立中山大學

合作機關： 國立高雄大學

民族植物紅藜的永續利用研究--不同品系紅藜種子 α 與 β 澱粉酶特性分析

執行單位：國立中山大學生命科學系

計畫編號：96 農科-11.4.1-務-e2 (3)

計畫主持人：劉景煌 教授

協同主持人：葛孟杰 助理教授

E-mail: zhliu@mail.nsysu.edu.tw
mangjie@nuk.edu.tw

摘要

小米酒之製造方法為利用小米所含之澱粉經澱粉酶酵素分解成葡萄糖後，再加入紅藜麩餅經酒精發酵而來。本計畫將分析紅藜不同品系之間種子 α 與 β 澱粉酶特性；目前共取得紅藜三種品系(黃色、紅色與花蓮品系)。初步以硫酸銨純化蛋白質，結果顯示以 40~70%硫酸銨純化發芽四小時後之紅藜蛋白質澱粉酶活性最高。對溫度的耐受性方面，當溫度上升至 50°C 時，紅藜黃色、紅色與花蓮三種品系 α 與 β 澱粉酶活性分別僅剩 54.3%、36.3%、43%與 16%、18%、9.5%。在 pH 值耐受性方面， α 澱粉酶以黃色品系耐受度較佳；三種品系之 β 澱粉酶耐受度差異不大。在不同金屬離子環境對 α 及 β 澱粉酶活性分析方面，鎂離子對三種品系之 α 澱粉酶活性影響最大，而 EDTA 二價離子螯合劑的添加卻可增強其活性。鈣、鎂離子及 EDTA 處理皆可抑制三種品系之 β 澱粉酶活性，但其差異並不明顯。

關鍵字：紅藜、總糖、澱粉酶

Abstract

In this project, α - and β -amylase were isolated from three races of quinoa and characterized their activity. Three races of quinoa seeds were generated 4 hours and used 40%~70% $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ to purified α - and β -amylase. The optimal activity temperature of α - and β -amylase was 37°C , and the activity decreased dramatically when incubated at 50°C . α - and β -amylase purified from three races of quinoa exhibited a maximal activity at pH 6.0. Yellow race α - amylase contains highly pH resistance than that of other two races. The pH resistant activity of β -amylase in three races show no differentment We found Mg^{2+} inhibited the activity of α -amylase significantly, and EDTA stimulated α - amylase activity. Ca^{2+} , Mg^{2+} and EDTA inhibited the activity of β -amylase, but there is no significant differentment between three kinds treatments.

Key words: Quinoa, Sugar, Amylase

壹、前言

推廣民族植物之應用與永續經營為農委會施政項目之一，其中紅藜是原住民重要的栽種作物之一。全球藜科植物分成11族，共約110屬，1500種左右，自史前時代至今供應人類蔬菜及糧食食用。現存藜科植物的分佈中心應該是中亞地區，其中*Chenopodium* L.是本科植物的代表屬，也是藜族*Chenopodieae* C. A. Mey.中最原始的屬，估計約有120種左右。藜屬植物已被視為重要民族植物，在世界原住民族的食用作物歷史發展中，藜屬植物向來被當作是與小米及玉米同樣的作物。藜科植物在抗逆境上如乾旱或適應貧瘠土地的能力非常優良，其生長期短，並具有很高的光合作用潛力。國內紅藜之記錄首見於角板山地區泰雅族人的採集調查報告，而在針對該物種之農藝生產進行田間試驗研究中，對於該物種之學名及種源出處，未見分類處理。

紅藜之傳統利用方式包括：(1)食用：曬乾脫粒後之種子煮粥食用、蒸熟後種子添加入部落傳統年糕中食用、嫩葉供蔬菜使用；(2)裝飾用：鮮紅嫩葉可供婦女臉頰及嘴唇化妝、成熟花序供頭飾花環使用；(3)毒魚用：種子及乾燥之花被片泡水後之浸泡液可供溪流中毒魚使用；(4)釀酒用：紅藜麴粉與蒸熟小米混合釀酒；(5)其它：乾燥莖供小米旱地肥份使用。小米及傳統釀製的小米酒為台灣原住民重要的傳統產業，然由於傳統的釀造方式因種源、製作者及製程之不同，致全台各地之小米酒及衍生的產品品質難以維持穩定。而市售小米酒與傳統小米酒之風味差異甚大，價格亦低落許多；其原因可能在於所使用的小米品系不同及酒麴的來源。傳統酒麴製造原料主要為紅藜種子加上多種原生植物製成，此原生植物種類與利用之多樣性可能為影響風味之原因。傳統米糧釀酒係以阿米洛法(*amylo method*)釀造，此法是將米糧糖化後再加入酵母菌發酵而成。釀造過程中麴餅的添加是成敗的關鍵，麴餅會影響所生產之酒類風味與品質。禾穀類種子中所含之澱粉需先分解成小分子單糖，酵母菌利用這些單糖發酵並產生酒精。澱粉酶為分解澱粉主要的酵素之一，主要可分為 α -及 β -澱粉酶兩種。在種子發芽時期澱粉酶扮演十分重要的角色，它可分解澱粉生成葡萄糖來提供發芽時所需之能量。大多數植物均是以澱粉或蔗糖的形式來儲存碳水化合物，種子發芽初期參與澱粉分解的酵素主要為 α -澱粉酶。種子發芽時激勃素由胚移向糊粉層，促進 α -澱粉酶合成進入胚乳中將澱粉分解成為葡萄糖，並運移至生長中的胚以供幼根及幼

芽的生長。植物中普遍存有 α -澱粉酶以逢機方式切斷1.4-link 上 α -1.4 糖苷鍵，可將較大分子(如澱粉)轉化成較小的分子(如單糖)，以提供養分物質給正在發芽及生長的種子。 β -澱粉酶是屬於一種外切苷酶(exoglycosidase)，可以將澱粉水解成麥芽糖及 β -limit dextrin。 α -澱粉酶通常將大分子碳水化合物分解為含5-6個葡萄糖分子之聚糊精後，再由 β -澱粉酶繼續分解為麥芽糖以供酵母利用。近幾年對澱粉酶形成及調控機制已逐漸瞭解，因此在工業上可透過此酵素快速生產葡萄糖及果糖等有用的單糖。在釀酒過程中，則需要添加澱粉酶將澱粉分解成葡萄糖後，才可供酵母菌進行酒精發酵使用。於前期計畫中發現，紅藜種子富含澱粉及糖類，並且可表現兩種澱粉酶之活性。此外，其他子計畫亦分析出紅藜富含抗氧化物質。綜合上述兩個研究結果，紅藜在釀酒工業與健康食品產業上應具有相當之發展潛力應用；故計畫之目的在於對紅藜澱粉酶及抗氧化酵素做進一步的特性分析，以利將來在產業上的利用。

貳、材料及方法

一、紅藜種子採集

目前共取得紅藜三種品系(黃色、紅色與花蓮品系)，採收後之種子經乾燥後儲存於 4°C 冰箱備用。

二、蛋白質含量的測定：

實驗中測量蛋白質含量的方法是使用Bio-Rad 公司的蛋白質微量檢測法 (Bio-Rad Protein Assay microassay procedure)。首先準備1至10 $\mu\text{g/ml}$ 的BSA溶液作為標準蛋白溶液。將0.8 ml的標準蛋白溶液與待測蛋白質溶液分別置於乾淨的試管中。各加入0.2 ml的染色試劑(Dye Reagent Concentrate)，混合均勻，並避免產生氣泡。五分鐘後，各取200 μl 的混合液，加到96孔的培養皿之一孔中，並取三次作三次重複試驗。在一小時內，以光譜儀測其595nm的吸光值(OD₅₉₅)，並將每個樣本所得的三個吸光值加以平均，即為此樣本的吸光值。把標準蛋白溶液的吸光值對蛋白質濃度作圖，畫出迴歸直線，再將待測蛋白的吸光值代入，以內插法算出其蛋白質濃度。

三、 α -澱粉酶活性分析

將樣品、海砂、PVPP、50mM Sodium acetate buffer、100mM CaCl₂混合後研磨均勻（需在冰上進行）。室溫靜置1小時，每隔15分鐘vortex。離心後利用BIO-RAD dye定量蛋白質。將Substrate及酵素，事先以37°C預熱。酵素加至substrate中，37°C 反應10分鐘後加入TCA中止反應。離心取上清液，讀取595nm吸光值。酵素活性定義如下：平均吸光值/培養時間（10min）=0.01 為 1 unit。

註：TCA：50% Trichloroacetic acid（三氯乙酸）

Substrate：500 mM Sodium acetate buffer + 100mM CaCl₂ + 2% Starch azure + dd H₂O

四、 β -澱粉酶活性分析

將樣品、海砂、PVPP、Extraction buffer混合後研磨均勻(需在冰上進行)。離心後取上清液，以硫酸銨沉澱（冰浴）。離心後將沉澱物以HEPES buffer回溶，並透析純化overnight。利用BIO-RAD dye定量蛋白質。將Substrate及酵素，事先以40°C預熱。酵素加至substrate中，40°C incubate 10分鐘。加stopping buffer中止反應並讀取410nm吸光值。酵素活性定義：平均吸光值/培養時間（10min）=1為 1unit。

註：

Extraction buffer：0.05 M Tris-HCl + 1 mM EDTA

Stopping buffer：1% Trizma base

Substrate：Betamyl substrate solution

HEPES buffer：50 mM HEPES + 0.5 mM EDTA + 1mM β -mercaptoethanol，pH7.5

五、不同品系紅藜澱粉酶特性分析

預計分析紅藜澱粉酶於不同溫度、酸鹼度、陽離子濃度中活性的變化。

1. 找尋純化最佳條件:不同品系紅藜種子於萌芽後不同時間點萃取總量蛋白並分析 α 及 β 澱粉酶活性以找出最佳萃取時間點。總量蛋白將以硫酸銨進行切割並且分析酵素活性，藉以找出硫酸銨純化之條件。
2. 溫度耐受性測試:不同品系紅藜 α 及 β 澱粉酶將在 37°C、40°C、45°C、50°C 下調控一小時後進行正常酵素反應；藉此找出紅藜 α 及 β 澱粉酶對溫度的耐受及最佳工作溫度。
3. 酸鹼度活性測試:不同品系紅藜 α 及 β 澱粉酶將在不同酸鹼度(pH4~pH8)下培養一小時後進行反應；藉此找出紅藜 α 及 β 澱粉酶對酸鹼度的耐受範圍。
4. 陽離子濃度測試:找出紅藜 α 及 β 澱粉酶所需求之陽離子種類及濃度。

50mM Tris-HCl 作為溶劑來製備各逆境所需的調控溶液。

1. 5mM Tris-HCl+CaCl₂ →鈣離子逆境
2. 5mM Tris-HCl+MgSO₄ →鎂離子逆境
3. 5mM Tris-HCl+EDTA →去離子逆境
4. control 組，稀釋過程中沒有加入任何調控溶液

α amylase：

純化出 α 澱粉酶後，在稀釋步驟全以稀釋 1/2 濃度進行，總反應體積 100 λ 中，加入 50 λ 酵素萃取液、30 λ 500mM Na⁺-acetate 以及 20 λ 調控溶液，並在 4°C 環境下受不同金屬離子逆境以及去離子環境下調控半小時，再與 substrate 混合反應。

β amylase：

純化出 β 澱粉酶後，在稀釋步驟全以稀釋 1/10 濃度進行，總反應體積 50 λ 中，加入 5 λ 酵素萃取液、40 λ beta-amylase dilution buffer 以及 5 λ 調控溶液，並在 4°C 環境下受不同金屬離子逆境以及去離子環境下調控半小時，再與 substrate 混合反應。

參、研究結果

一、紅藜種子不同溫度下之發芽率分析

將黃色品系紅藜與紅色品系紅藜先以研磨方式去除種皮，再將兩種品系紅藜分別種植於鋪有溼紙巾的培養皿中，以不同溫度培養，觀察此兩種品系紅藜在 45°C、50°C、55°C、60°C 條件下的發芽情形。每次實驗時間為兩小時，分別在 10 分鐘、30 分鐘、60 分鐘、90 分鐘、120 分鐘這五個時間點，以發芽率的方式作紀錄。如圖一所示，紅色品系紅藜在 50°C 的培養條件下，有最高的發芽率；在 60°C 的培養條件下，前 10 分鐘的發芽率很高，但是在 60 分鐘後發芽情況開始停滯，最終 120 分鐘的總發芽率是四種條件下最低的。黃色品系紅藜在 55°C 的培養條件下，有最高的發芽率；同樣在 60°C 的培養條件下，前 10 分鐘的發芽率很高，但是在 30 分鐘後發芽情況開始停滯，最終 120 分鐘的總發芽率是四種條件下最低的。我們的結果顯示紅藜種子在 55°C 以下之環境均可正常發芽生長。

二、紅藜種子發芽時期 amylase 酵素活性分析

紅藜種子於萌芽後四或八小時萃取總量蛋白，總量蛋白並以硫酸銨 0~40% 或 40~70% 進行切割並且分析酵素活性，藉以找出硫酸銨純化之條件。如圖二所示，種子萌發四小時後 β -amylase 活性上升 2.2 倍，並且持續至發芽八小時後。而發芽八小時之 β -amylase 以 40~70% 硫酸銨進行切割，其活性較以 0~40% 進行切割高出 2.3 倍。而 α -澱粉酶經硫酸銨沉澱後會失活，故純化過程中不宜以硫酸銨濃縮。綜合上述結果，我們將在三種紅藜種子萌發四小時後進行蛋白質抽取，並以 40~70% 硫酸銨進行純化之後再分析紅藜澱粉酶於不同溫度、酸鹼度、陽離子濃度中活性的變化。

三、不同品系紅藜 α 及 β 澱粉酶溫度耐受性測試

不同品系紅藜 α 及 β 澱粉酶將在 37°C、40°C、45°C、50°C 下調控一小時後進行正常酵素反應；藉此找出紅藜 α 及 β 澱粉酶對溫度的耐受及最佳工作溫度。三種品系之 α 及 β 澱粉酶在 37°C 時均有最大活性。以 α 澱粉酶而言(圖三)，黃色品系在溫度由 37°C 上升至 40°C、45°C、50°C 時，酵素活性分別降為 60.4%、71.9% 與 54.3%。而紅色品系則降為 83.8%、66.2%、36.3%；花蓮品系則分別為 89.0%、62.0% 與 43% (與 37°C 時活性比較)。三種品系相較之下以黃色品系 α 澱粉酶耐熱

性較佳。在 β 澱粉酶對溫度的耐受度方面，黃色品系在溫度由 37°C 上升至 40°C、45°C、50°C 時，酵素活性分別降為 61.9%、16.4%與 16%。而紅色品系則降為 84.0%、23.3%、19%；花蓮品系則分別為 95.5%、47.1%與 9.5% (與 37°C 時活性比較)。三種品系相較之下以花蓮品系 β 澱粉酶耐熱性較佳。

四、不同品系紅藜 α 及 β 澱粉酶酸鹼度耐受性測試

不同品系紅藜 α 及 β 澱粉酶將在不同酸鹼度(pH4~pH8)下培養一小時後進行反應；藉此找出紅藜 α 及 β 澱粉酶對酸鹼度的耐受範圍。三種品系之 α 及 β 澱粉酶在 pH 值為 6 時均有最大活性。以 α 澱粉酶而言(圖四)，黃色品系在 pH 值由 6 下降至 4 和 5 時，酵素活性僅剩 20.5%與 97%；pH 值上升至 7 時，酵素活性僅剩 20.5%、19.4%。而紅色品系在 pH 值由 6 下降至 4 和 5 時，酵素活性僅剩 10.2%與 83.3%；pH 值上升至 7 時，酵素活性僅剩 31.9%。花蓮品系則分別為 30.3% (pH=4)、60.4% (pH=5)與 42.3%(pH=7) (與 pH=6 時活性比較)。三種品系相較之下以黃色品系 α 澱粉酶酸鹼度耐受性較佳。在 β 澱粉酶對酸鹼度耐受性方面，黃色品系在 pH 值由 6 下降至 4 和 5 時，酵素活性僅剩 4.2%與 59.8%；pH 值上升至 7 和 8 時，酵素活性僅剩 14.7%與 2.8%。而紅色品系在 pH 值由 6 下降至 4 和 5 時，酵素活性僅剩 3.3%與 61.5%；pH 值上升至 7 和 8 時，酵素活性僅剩 12.6%與 3.8%。花蓮品系則分別為 7.5% (pH=4)、43.3% (pH=5)、10.2%(pH=7)與 5.2%(pH=8) (與 pH=6 時活性比較)。三種品系相較之下 β 澱粉酶對酸鹼度耐受性差異不大。

五、不同品系紅藜澱粉酶對陽離子耐受度分析

不同品系紅藜 α 及 β 澱粉酶培養在 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 與 EDTA 溶液中一小時後分析其酵素活性。如圖五所示，在 Ca^{2+} 處理後黃色品系、紅色品系與花蓮品系紅藜 α 澱粉酶活性分別為控制組之 82.4%、97.1%與 110.3%； Mg^{2+} 處理後則為 59.5%、75.3%與 63.5%。EDTA 處理則可讓黃色品系、紅色品系與花蓮品系紅藜 α 澱粉酶活性分別上升 1.7 倍、2 倍與 1.6 倍。黃色品系、紅色品系與花蓮品系紅藜 β 澱粉酶在 Ca^{2+} 處理後活性僅剩 91.3%、90.6%與 70.8%； Mg^{2+} 處理後則為 90.9%、84.1%與 68.4%；EDTA 處理則為 86.0%、84.8 與 68.6%。由上述結果可知 Ca^{2+} 處理對紅藜 α 澱粉酶活性影響會依品系不同而有所差異，而 Mg^{2+} 處理則會抑制三種品系活性；EDTA 處理則會增強活性。而紅藜 β 澱粉酶活性皆會受到 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 與 EDTA 處理所抑制。

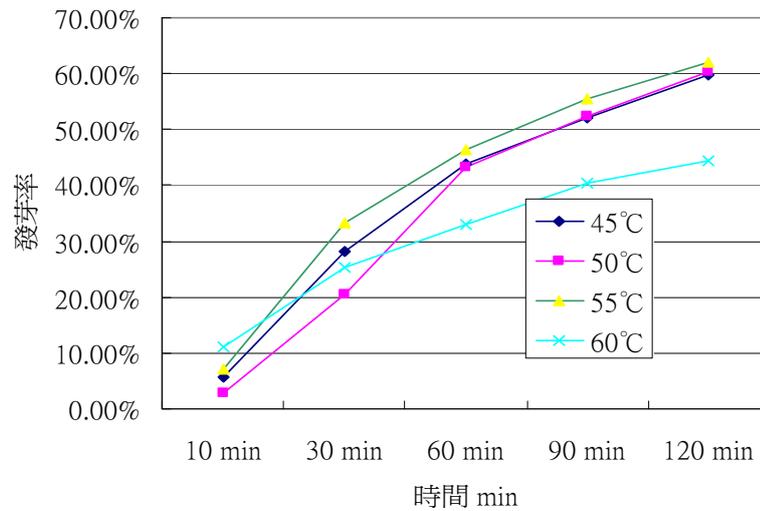
肆、討論

在今年的計畫中，主要在於溫度對各品系紅藜種子發芽之影響及種子 α 及 β 澱粉酶特性分析。三種品系之紅藜種子均能在 55°C 萌芽並且生長良好，而在溫度上升至 60°C 發芽率會下降至 50% 以下。爲了能進一步探討紅藜 α 及 β 澱粉酶特性，我們也找到純化此兩種酵素之最佳條件。三種紅藜種子萌發四小時後進行蛋白質抽取，並以 40~70% 硫酸銨進行純化。

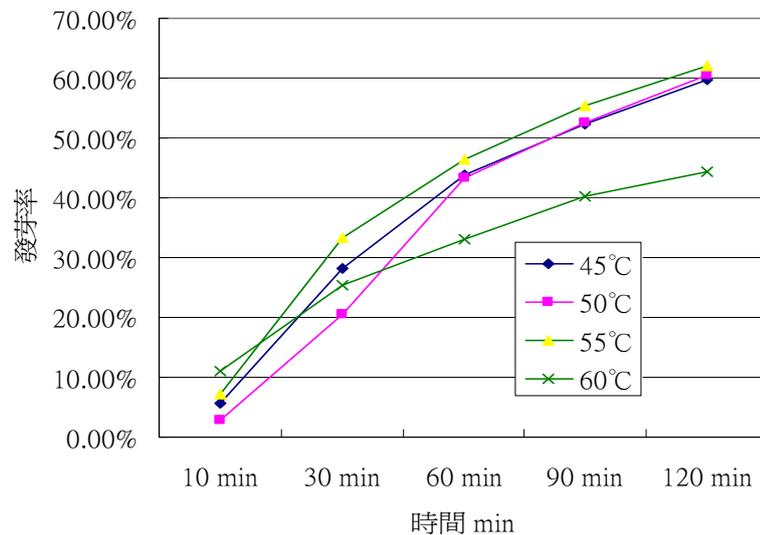
在食品及釀酒業上對 α 及 β 澱粉酶需求頗大，因此我們針對紅藜澱粉酶於不同溫度、酸鹼度、陽離子濃度中活性的變化進行分析。在 α 澱粉酶溫度耐受性方面，三種品系相較之下以黃色品系 α 澱粉酶耐熱性較佳。黃色品系 α 澱粉酶在溫度 50°C 情況下培養一小時仍能保有約 54.3% 的活性。在 β 澱粉酶對溫度的耐受度方面，其對溫度的耐受性明顯不如 α 澱粉酶；三種品系之 β 澱粉酶在溫度 50°C 情況下培養一小時後活性皆下降至 10% 以下。相較之下 β 澱粉酶以花蓮品系耐熱性較佳；其在 45°C 情況下培養一小時仍能保有約 47.1% 的活性。酵素都需在一適宜 pH 值環境下作用方能達到最大效益；換言之若一個酵素對 pH 值耐受範圍較廣時，其使用上的限制也相對縮小。以 α 澱粉酶酸鹼度耐受性而言，三種品系相較之下以黃色品系較佳；三種品系相較之下 β 澱粉酶對酸鹼度耐受性差異不大。此外，許多酵素在作用時常需一些金屬離子協助反應，然而過高濃度的離子也會導致酵素失活。我們把 α 及 β 澱粉酶培養在 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 與 EDTA 溶液中，並分析上述離子對酵素活性的影響。研究中發現 Ca^{2+} 離子對三種品系 α 澱粉酶影響不大，其活性均能維持在 83% 以上。而 Mg^{2+} 處理後三種品系 β 澱粉酶接受影響，其活性僅剩 59.5%、75.3% 與 63.5% (黃色品系、紅色品系與花蓮品系)。EDTA 會與 2 價金屬離子產生錯合物，可用來去除溶液中之爲二價離子。我們發現三種品系之 α 澱粉酶在 EDTA 加入後活性均大幅上升；黃色品系、紅色品系與花蓮品系紅藜 α 澱粉酶活性分別上升 1.7 倍、2 倍與 1.6 倍。已有許多報告指出植物中如紅豆、豌豆等 α 澱粉酶皆會因 EDTA 加入後失活，而在添加 Ca^{2+} 離子後可恢復部分活性。然而在紅藜種子內之 α 澱粉酶卻會因 EDTA 的添加造成活性上升。我們認爲紅藜種子內之 α 澱粉酶在結構上可能與豆科植物不盡相同， Ca^{2+} 離子會降低其反應效率。在 α 澱粉酶反應活性測試中，溶液中有添加 100mM CaCl_2 ；因此 EDTA 的處理可去除這些 Ca^{2+} 離子，進而造成活性上升。這個結果顯示紅藜所含之 α 澱粉酶與其他物種不同，其不需 Ca^{2+} 離子作爲輔助因子。我們的結果也顯示三種品系之紅藜 β 澱粉酶活性皆會受到 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 與 EDTA 處理所抑制。

目前全球環境惡化且人口增加；因此將現在已被忽略的傳統作物或民族植物重新利用，具有潛在的經濟價值。在林務局兩年的計畫支持下，我們的研究已證實紅藜在食品工業上的應用可說是前途無量。台灣隨著經濟快速發展，原住民青年勞力流入工商市場，山地交通設施不斷開闢改善，民生必需品取得容易，原住民自產自足的農業生產方式已日漸式微，原住民傳統栽培利用的作物種類，有漸被忽視或遺失之虞。希望這些成果能讓大家更重視原住民傳統智慧，更重要的是能用來改善原住民的生活。

A.

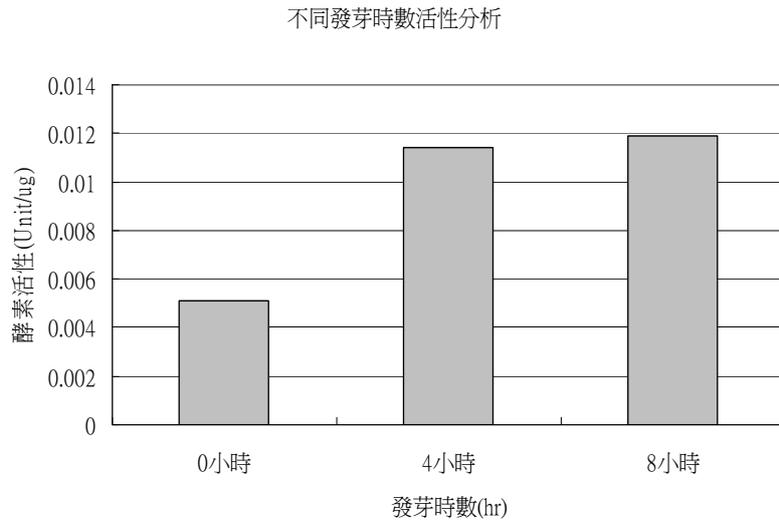


B.

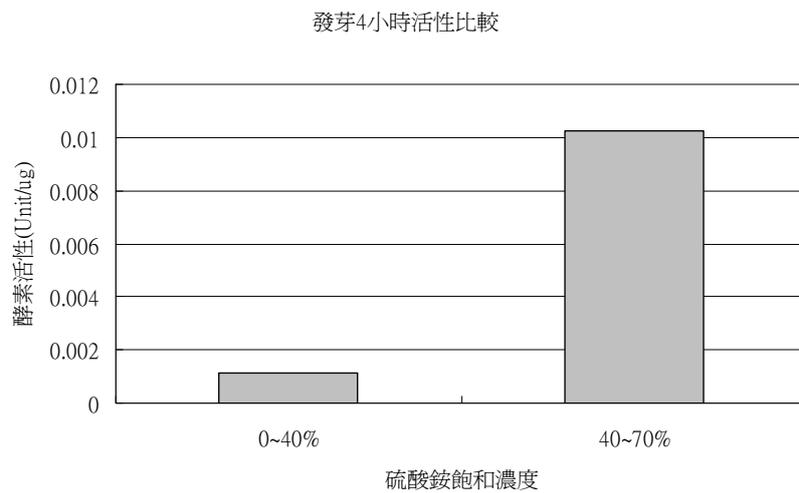


圖一、紅藜種子在不同溫度下之發芽率分析。將黃色品系紅藜(A)與紅色品系紅藜(B)先以研磨方式去除種皮，再將兩種品系紅藜分別種植於鋪有溼紙巾的培養皿中，以不同溫度培養，觀察此兩種品系紅藜在 45°C、50°C、55°C、60°C 條件下的發芽情形。

A.

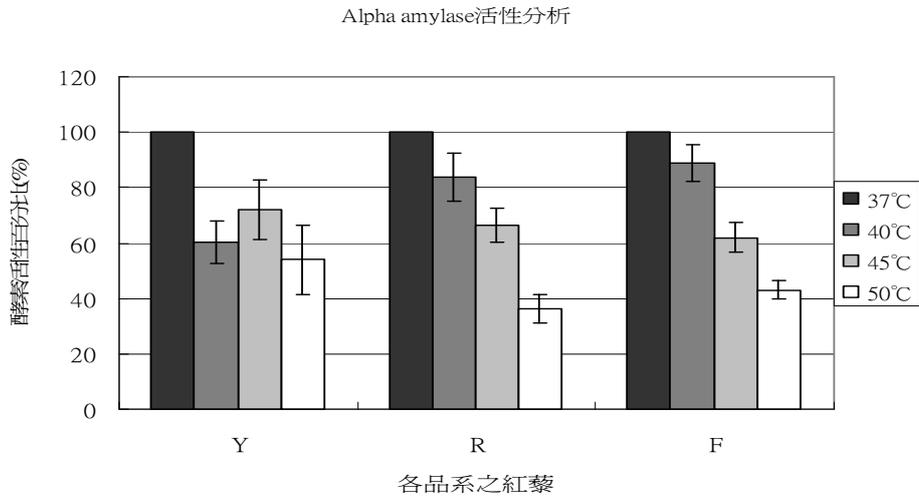


B.

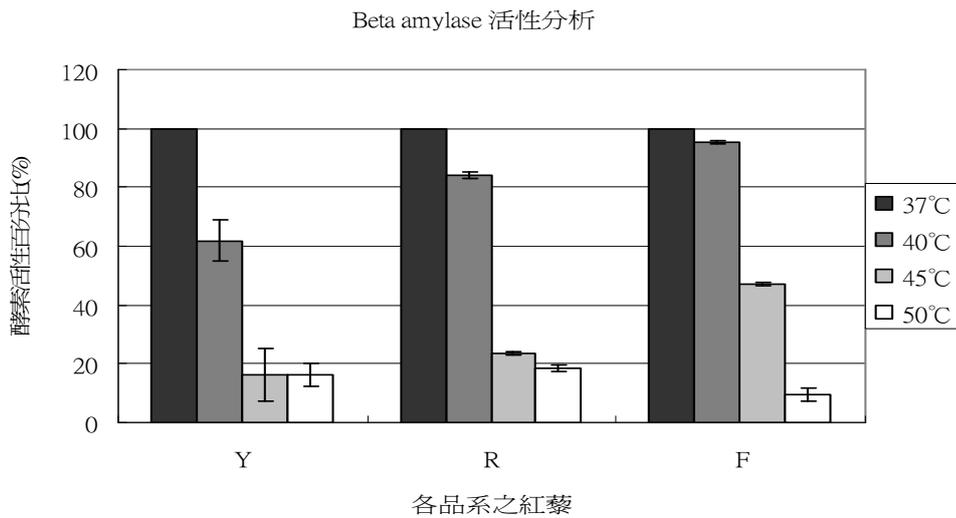


圖二、紅藜種子發芽時期 amylase 酵素活性分析。A: 紅藜種子於萌芽後不同時間點萃取總量蛋白並分析澱粉酶活性以找出最佳萃取時間點。B: 總量蛋白將以硫酸銨進行切割並且分析酵素活性，藉以找出硫酸銨純化之條件。

A.

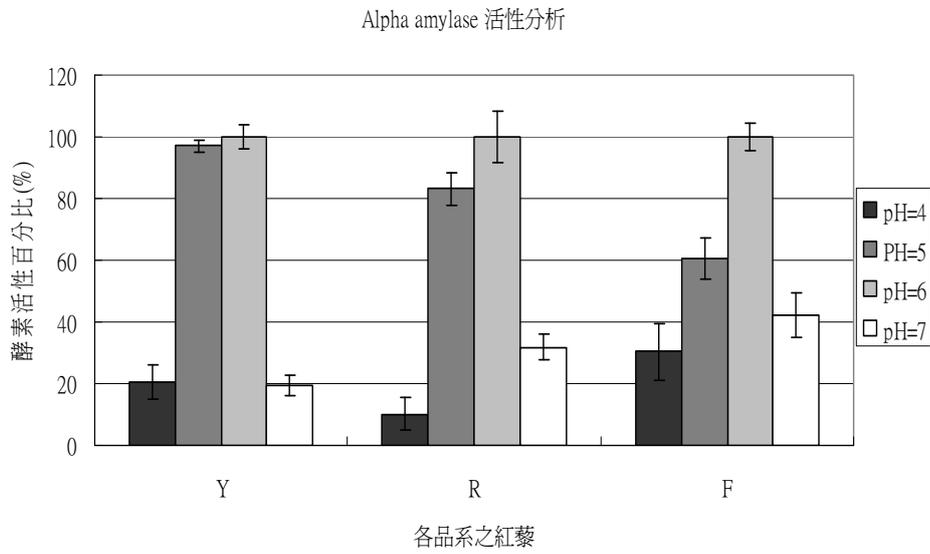


B.

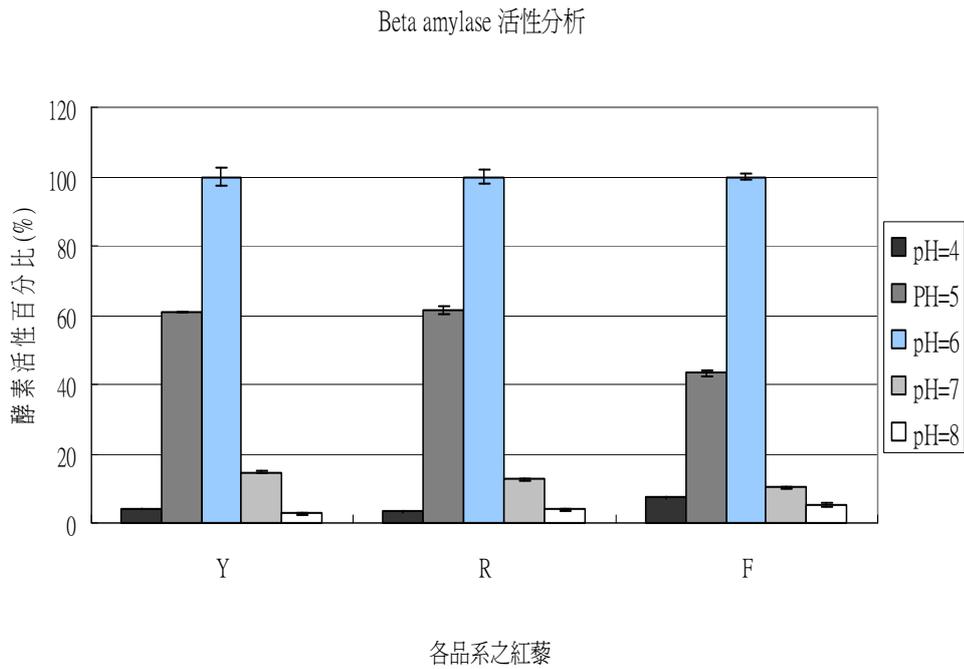


圖三、不同品系紅藜 α 及 β 澱粉酶溫度耐受性測試。不同品系紅藜 α 及 β 澱粉酶在不同溫度環境下調控一小時後進行反應；藉此找出紅藜 α 及 β 澱粉酶對溫度的耐受度。A: α 澱粉酶溫度耐受性測試 B: β 澱粉酶溫度耐受性測試，Y: 黃色品系，R: 紅色品系，F: 花蓮品系。

A.

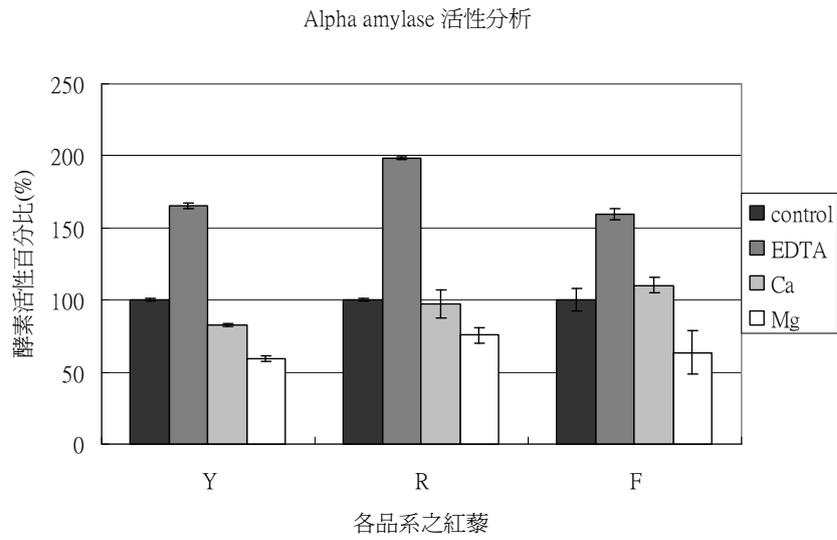


B.

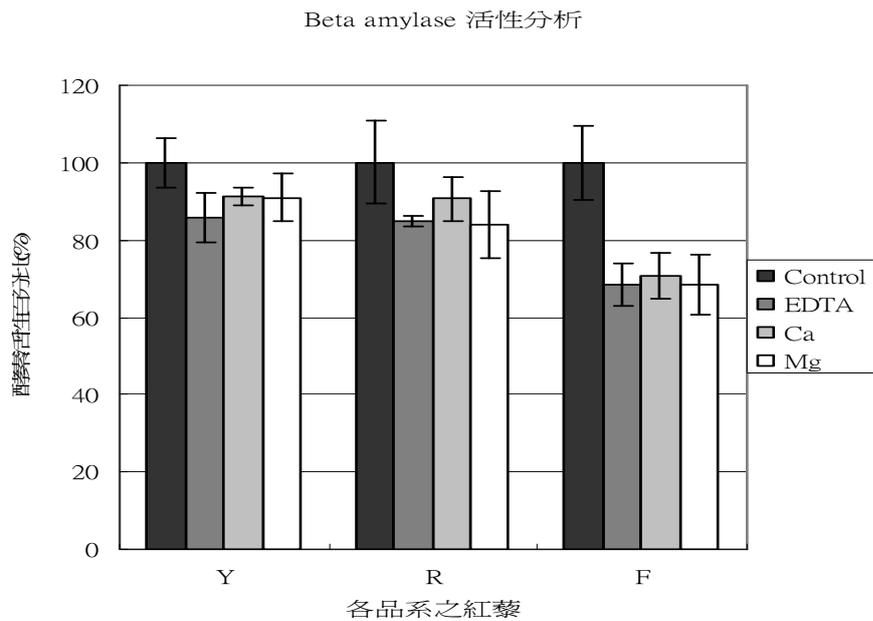


圖四、不同品系紅藜 α 及 β 澱粉酶酸鹼度耐受性測試。不同品系紅藜 α 及 β 澱粉酶在不同 pH 環境下調控一小時後進行反應；藉此找出紅藜 α 及 β 澱粉酶對 pH 的耐受度。A: α 澱粉酶酸鹼度耐受性測試 B: β 澱粉酶酸鹼度耐受性測試，Y: 黃色品系，R: 紅色品系，F: 花蓮品系。

A.



B.



圖五、不同品系紅藜澱粉酶對陽離子耐受度分析。不同品系紅藜 α 及 β 澱粉酶在不同陽離子環境下調控一小時後進行反應；藉此找出紅藜 α 及 β 澱粉酶對陽離子的耐受度。A： α 澱粉在不同陽離子耐受性測試 B： β 澱粉在不同陽離子耐受性測試，Y:黃色品系，R:紅色品系，F:花蓮品系。

參考文獻

- 伊藤 寬，1994。酒麴製造。日釀協誌89：（12）948-953。
- 朱格麟 (1995) 藜科植物的起源、分化和地理分布。植物分類學報 34:486-504。
- 潘素美、葉志新(1997)台灣食用藥用菇超氧歧化酶含量之比較。中國農業化學會誌35:209-219。
- 歐陽港生，1999。中式白酒之儲存、陳化與促熟。製酒類科技專論彙編，公賣局專刊。pp.49-88。
- 林仁吾、徐明國、黃雋、黃及時與彭文正 (2000) 小米酒汁研製。台灣省酒廠研究年報。p107-122。
- 王惠娟 (2005) 紅藜不同階段光合作用潛力及相關生理活動之變化。國立屏東科技大學森林系碩士論文。
- Antonelli, A., Castellari, L., Zambonelli, C. and Carnacini, A., (1999). Yeast influence on volatile composition of wines. *J. Agri. Food Chem.* 47 (3):1139-1144.
- Johnson, D. L. (1990) New grains and pseudograins. p.122-127. In: Janick, J., and J. E. Simon (eds). *Advances in New Crops*. Timber Press. Portland.
- Diaz-Reganon, D.H., Salinas, R., Masoud, T. and Alonso, G., (1998). Adsorption-thermal desorption-gas chromatography applied to volatile compounds of Madrid region wines. *J. Food Composition & Analysis* 11 (1):54-69.
- Kampfenkel K, Vanmontagu M & Inze D (1995). Extraction and determination of ascorbate and dehydroascorbate from plant tissue. *Anal. Biochem.* 225:165-167
- Kato M & Shimizu S (1987). Chlorophyll metabolism in higher plants. VII. Chlorophyll degradation in senescing tobacco leaves: phenolic-dependent peroxidative degradation. *Can. J. Bot.* 65: 729-735
- Mar, S.S., Mori, H., Lee, H.J., Fukuda, K., Saburi, W., Fukuhara, A., Okuyama, M., Chiba, S., Kimura, A., 2003. Purification, characterization and sequence analysis of two α -amylase isoforms from azuki beans, *Vigna angularis*, showing different affinity towards β -cyclodextrin. *Biosci. Biotechnol. Biochem.* 67, 1080–1093.
- Nakano Y & Asada K (1981) Hydrogen peroxide is scavenged by ascorbate-specific peroxidase in spinach chloroplast. *Plant Cell Physiology* 22: 867-880.
- Paoletti F & Mocali A (1990) Determination of superoxide dismutase activity by purely chemical system based on NAD(P)H Oxidation. *Method of Enzymology*

186: 209-220

Pallavi T., Leila L. L, Johanna M., Renate U-H, Arvind M. K (2007). α -Amylase from mung beans (*Vigna radiata*) – Correlation of biochemical properties and tertiary structure by homology modelling *Phytochemistry* 68:1623-1631.

Smith IK (1985) Stimulation of glutathione synthesis in photorespiring plants by catalase inhibitors. *Plant Physiology* 79: 1044-1047

Zhang, J-W, Zeng R-Y (2007). Purification and Characterization of a Cold-Adapted α -Amylase Produced by *Nocardiopsis* sp. 7326 Isolated from Prydz Bay, Antarctic. *Marin Biotechnology*, 1-7.

Ziegler, P., (1988). Partial purification and characterization of the major endoamylase of mature pea leaves. *Plant Physiol. (USA)* 86, 659-666.

公開

密件、不公開

執行機構（計畫）識別碼:110401e204

行政院農業委員會林務局九十六年度科技計畫研究報告

計畫名稱： 民族植物紅藜之營養及機能性成分之永續利用(2) (第 2 年
／全程 3 年)

(英文名稱) **Sustainable utilization of nutrition and functional
compounds form *Chenopodium spp.*, an ethnobotanical
species (2)**

計畫編號： 96 農科-11.4.1-務-e2(4)

全程計畫期間： 95 年 1 月 1 日至 97 年 12 月 31 日

本年計畫期間： 96 年 5 月 25 日至 96 年 12 月 31 日

計畫主持人： 蔡碧仁

執行機關： 國立屏東科技大學

合作機關： 國立屏東科技大學

民族植物紅藜的永續利用研究--民族植物紅藜之營養及機能性成分之永續利用

執行單位：國立屏東科技大學食品科學系

計畫編號：96 農科-11.4.1-務-e2(4)

計畫主持人：蔡碧仁 教授

E-mail: pijen@mail.npust.edu.tw

摘要

紅藜是台灣原住民的雜糧植物，色彩豔麗。除了豐富的蛋白質澱粉外也較其他穀類有更多的膳食纖維。此外紅藜也具有消炎驅蟲隻功效此為其抗氧化的結果。色素為顏色呈現重要指標，也是一些植物抗氧化力主要來源。本研究主要著重在探討不同品種(紅色與黃色)、季節(夏季與冬季)對於紅藜一般營養成分、抗氧化成分(色素、多酚)及抗氧化力(DPPH 清除能力、FRAP 還原能力、FICA 螯合亞鐵能力)之影響。並且經由田口法，尋找紅藜飲料最適之配方。結果顯示，不論季節或品種，紅藜種子皆含有豐富的營養。其中粗蛋白含量約 14~20%、澱粉約 50~60%、膳食纖維約 13~26%。冬天採收者或黃色品種有較高的膳食纖維、粗蛋白、胺基酸、硒、鋅。前者也具有比夏季者高的抗氧化力、色素及總酚。經統計分析，還原力與 A_{480} 及總酚含量呈現高度的相關性，至於 DPPH 清除能力，則與 A_{538} 高度相關，推論紅藜還原能力可能主要來自於酚類與 A_{480} ，DPPH 清除能力則來自 Betacyanins 的提供。紅藜種子經脫殼或貯存後，一般營養成分變化不大，但色素、總酚及抗氧化力顯著下降。故其抗氧化力主要來自殼的成分。進一步利用膠過濾比較不同溶劑流洗液的抗氧化力，發現紅藜抗氧化成分主要溶於水與甲醇，因此證實甜菜色素與多酚應為紅藜重要的抗氧化來源。至於紅藜飲料之開發，則以添加 0.1%檸檬酸及 9°Brix 蔗糖可得到最適製作條件。貯存於 4°C 者比 25°C 者保色較好，色素(A_{480} 及 A_{530})會隨著滅菌處理及貯存而減少，並皆與抗氧化力、總酚及褐變指數顯著相關，故紅藜飲料之抗氧化力與色澤之呈色，密切相關。

關鍵字:紅藜、抗氧化力、甜菜色素、多酚、永續利用

Abstract

Djulius, full of color, is an aboriginal cereal plant in Taiwan. Besides high content of protein and starch, they also possess higher dietary fiber than most of the cereals. On the other hand, it has been used for inflammation and insect repellent, which was believed to be attributed to its antioxidant capacity. Pigment is an important index of color and source of antioxidant capacity. The aim of this study is to elucidate the effect of different varieties (red and yellow) and harvest seasons (summer and winter) on general nutrition components, antioxidant composition (pigments and polyphenols content) and antioxidant capacity (DPPH, FRAP, FICA) of Djulius. The best condition of making Djulius beverage is also established by Taguchi method. Results showed that all samples possessed high amount of protein, starch and dietary fiber. Winter samples or yellow variety exhibited much more dietary fiber, crude protein, amino acid, Se and Zn than summer or red variety samples. However, winter samples or red variety exhibited higher antioxidant capacity, pigments and polyphenols content than that from summer or yellow samples. After dehulled or storage, general nutrients changed a little, while pigments, polyphenols content and antioxidant capacity decreased obviously. Statistic analysis revealed that reducing power is highly correlated with A_{480} and total phenol content, while DPPH scavenging activity is highly correlated with A_{530} . It suggested that reducing power of Djulius mainly come from polyphenol or betaxanthin, while DPPH scavenging ability come from betacyanin. Further LC analysis confirmed that the major antioxidant composition was mainly soluble in water or methanol. As to the Djulius beverage making, it's best to add 0.1% citric acid and 9% sucrose. Pigment (A_{480} and A_{530}) decreased after pasteurization and storage and significantly correlated with antioxidant capacity, polyphenol and browning index. It indicated the close relationship between antioxidant capacity and color in Djulius beverage.

Key words: Djulius, antioxidant, betanin, polyphenol, sustainable utilization.

壹、前言

紅藜(*Ghenopodium spp.*)為藜屬植物，俗稱 Djulis，原產於南美安地斯山，可於寒冷及貧瘠的土壤生長。在台灣，省產紅藜為原住民傳統五穀糧食，主要是供釀製小米酒及蔬菜食用，富含營養，值得進一步的研究並加工製成食品提高其經濟價值。去年初步研究顯示，紅藜含有多量有助於維持生命、促進生長、提供能量及調節身體機能的蛋白質外，同時也含豐富的鈣、磷、鐵、鈉及鉀等。分析顯示，紅藜含高量膳食纖維，故不僅可改善便秘，而且具有降低膽固醇、改善糖尿病，抑制大腸癌發生、預防心血管疾病、膽結石、肥胖等文明病。

再者，紅藜具有豐富人體無法自行合成的必需胺基酸，例如離胺酸、纈胺酸和組胺酸等，這些胺基酸是大多數穀類所欠缺的，所以穀類產品中可適當添加紅藜以彌補必需胺基酸的不足。尤其紅藜中的精胺酸成分比其他穀類來得多很多。紅藜種子有黑、紅、黃等多種顏色，去年研究結果發現，其色素為甜菜色素(Betanin)，而甜菜色素可治療腸胃和肝障礙、糖尿病、肝炎和腸抽筋等，也可用於治療咳嗽、支氣管疾病和氣喘。但該色素極易受到光、氧氣、水活性、pH 值和溫度的影響而不穩定，因而使該色素在食品工業上之應用受到限制。此外，紅藜的多酚含量亦較一般穀類高，而與高粱及大麥相近。

去年曾探討紅藜的營養價值及抗氧化力，發現其還原能力頗高。相關成分包括總酚、類黃酮及甜菜色素等。但這些成分會受季節或品種影響，因此本年度以不同季節、品種測定其測定其水萃液之色澤、色素吸光值、總酚、類黃酮含量及抗氧化力並進行相關性分析，以了解季節對其抗氧化力、色澤與營養成分之影響。

此外，本研究為提高紅藜之利用性，並設法開發高機能性的紅藜飲料，利用田口法(四因子三階層)探討省產紅色紅藜製備成飲料之最適條件。將田口法所得最適糖酸濃度條件製得之飲料(DAS)與只加酸(DA)、只加糖(DS)及調回紅藜原液酸鹼值(DAS-S)之樣品，滅菌後，置於 4°C 及 25°C 貯存兩個月，定期取出測定並比較其品質變化。希望由此了解糖或酸之添加及 pH 值之調解對紅藜飲料抗氧化與色澤之影響。

貳、材料與方法

(一) 實驗材料

實驗採用之紅藜種子取自屏東科技大學生物多樣性研究中心。

(二) 實驗流程

1. 不同季節、品種紅藜營養成分分析

分析不同季節、品種紅藜的營養成份，如粗蛋白、澱粉、膳食纖維、胺基酸與硒、鋅、鎳等機能性金屬及抗氧化成分（總酚、類黃酮）。

2. 不同季節、品種紅藜抗氧化能力分析

本實驗以不同季節、品種紅藜，測定其水萃液之色澤、色素吸光值、總酚、類黃酮含量及抗氧化力，並進行相關性分析，以了解其抗氧化力與色澤間之關係。

3. 省產紅藜飲料開發

利用田口法，由不同糖、酸及穩定劑之配方，以紅藜顏色及整體感為依據，利用 S/N 比特性公式，分析計算出各組各因子三個水準的回應表與回應圖。再利用感官評品進行顏色、風味、整體接受性之感官評品試驗。所得數據經由統計分析，即可得到紅藜飲料之最適組合。

(三) 實驗方法

1. 紅藜成分分析

(1) 送檢分析不同顏色紅藜的營養成份，如粗蛋白、澱粉、膳食纖維、胺基酸與硒、鋅、鎳等機能性金屬。

(2) 酚類化合物：

取萃取液50 μ l加入水及100% Folin-Ciocalteu's phenol reagent混合，加入sodium carbonate 水溶液後，予以充份混合，靜置30分鐘測750nm吸光值。

(3) 類黃酮：

取2 ml萃取液加入methanol及5% AlCl₃(W/V)，混合均勻30分鐘，測其425nm。

2. 紅藜抗氧化活性分析

本研究即擬利用自由基清除能力、還原力及鐵螯合能力等方法，測定不同顏色紅藜水萃物中的抗氧化力。測定方法如去年所示。

3. 紅藜色澤測定

以色差儀(Color and color difference, CD-08, LAIKO, Japan)測定

4. 主成分分析(PCA)以 princomp 及 factor 程序。

5. 省產紅藜飲料開發

(1) 取冷凍紅藜種子和水以 1：25 的比例，以 4°C 浸置 12 小時後，過濾備用。

(2) 加入三種不同酸類(Malic acid、Lactic acid 及 Citric acid) 和糖類(Sucrose、Oligofructose 及 Honey)後，再加入 CMC。

(3) 田口法：以四因子三階層列出九種實驗組，由不同糖、酸及穩定劑之配方，以紅藜顏色及整體感為依據，利用 S/N 比特性公式，分析計算出各組各因子三個水準的回應表與回應圖，利用望大特性，找出紅藜飲料之最適配方。

表一、紅藜飲料製程控制因子與水準

| Control factor | Factor level | | |
|-----------------|---------------|------------|-------------|
| | Level 1 | Level 2 | Level 3 |
| °Brix | 8 | 9 | 10 |
| Kind of acids | Vitamin C | Malic acid | Citric acid |
| Acidity added | 0.1 | 0.2 | 0.3 |
| Kinds of sugars | Oligofructose | Sucrose | Honey |

5. 省產紅藜飲料不同條件貯存試驗

利用前述田口法開發之紅藜飲料(DAS)，並以紅藜萃取液加糖(DS)、加酸(DA)或調整酸鹼值(DAS-S)之樣品，就不同貯存條件如：溫度（4、25°C）、光線（見光、不見光等，定期取出測定品質，觀察色澤、色素殘留、及抗氧化並加以探討。各種成品代號如下：

LDA: 4°C Djulis-Acid(pH 4.35)

LDS: 4°C Djulis-Sucrose(pH 4.0)

LDAS-S: 4°C Djulis-Acid-Sucrose-Soda(pH 5.7)

LDAS: 4°C Djulis-Acid-Sucrose(pH 4.3)

RDA: 25°C Djulis-Acid(pH 4.35)

RDS: 25°C Djulis-Sucrose(pH 4.0)

RDAS-S :25°C Djulis-Acid-Sucrose-Soda(pH 5.7)

RDAS: 25°C Djulis-Acid-Sucrose(pH 4.3)

參、結果與討論

一、不同季節與品種紅藜營養成分比較

不論季節或品種，紅藜種子皆含豐富的營養，如醣類、蛋白質、脂質、及礦物質等。澱粉含量約為 50 ~60%，膳食纖維約 14 %、粗蛋白約 14~20 %。整體而言，黃色品種有較高的膳食纖維、粗蛋白、硒、鋅，但冬天紅色品種之紅藜澱粉含量最高（表二）。例如，在膳食纖維方面，冬季採收者所含的膳食纖維比夏夏季者高（約 1.5~1.9 倍），且較富含膳食纖維的燕麥（5.1g/100g）高出 2.7~5.1 倍，是一般民眾促進腸道蠕動、幫助消化的良好膳食補充來源。此外，紅藜含有多量的天門冬胺酸、麩胺酸、精胺酸等具有保護神經系統、抵抗心血管疾病及提升免疫力等機能的胺基酸，尤有甚者，紅藜含有白米中所缺乏的限制胺基酸離胺酸（0.70~0.73 %），是好用米食的國人很好的營養補充物（表三），紅色品種含量較黃色品種多。在季節方面，則是以冬季紅藜的胺基酸成份量較夏季採收者豐富（約為 1.1~1.3 倍），尤其麩胺酸含量，前者高達後者的 1.4~1.7 倍。在機能性礦物質方面，黃色品種較紅色品種含有更豐富的微量元素如硒、鋅，且均較一般穀類為高。冬季採收者比夏夏季者高。此外雖然其粗脂肪含量不高，但高比例的不飽和脂肪酸，是紅藜另外一項重要的營養特點。故紅藜不論在基本營養成分或礦物成分，皆是很好的膳食補充來源。

表二. 不同品種與季節紅藜種子之一般成分分析

| Composition | Summer R | SummerY | Winter R | Winter Y |
|-------------------|----------|---------|----------|----------|
| Aw | 0.56 | 0.57 | 0.47 | 0.52 |
| Water(%) | 10.15 | 10.48 | 9.05 | 10.9 |
| Crude Protein (%) | 14.4 | 14.6 | 16.8 | 19.3 |
| Starch(%) | 50.3 | 46.6 | 59.5 | 49.3 |
| Crude far(%) | 0.91 | 0.7 | - | - |
| Dietary Fiber (%) | 14 | 13.9 | 21 | 26.1 |
| Se(ppm) | 0.31 | N.D | 4 | 5 |
| Zn (ppm) | 24.5 | 33 | 34 | 36 |
| Ca(ppm) | 2523 | 32.02 | - | - |
| Fe(ppm) | 55.6 | 787 | - | - |
| Na(mg/100g) | 238 | 71.9 | - | - |

R:紅色種，Y:黃色種

表三. 紅藜種子胺基酸成分分析

| 胺基酸種類 | 紅藜種類 | | | |
|----------------------|----------|----------|----------|----------|
| | 夏天 紅色 | 夏天 黃色 | 冬天 紅色 | 冬天 黃色 |
| 天門冬胺酸(Aspartic acid) | 1.10 | 1.06 | 1.48 | 1.24 |
| 蘇胺酸(Threonine) | 0.46 | 0.46 | 0.64 | 0.52 |
| 絲胺酸(Serine) | 0.55 | 0.57 | 0.77 | 0.65 |
| 麩胺酸(Glutamic acid) | 2.02 | 1.90 | 3.48 | 2.69 |
| 脯胺酸(Porline) | 0.49 | 0.48 | 0.74 | 0.52 |
| 甘胺酸(Glycne) | 0.74 | 0.72 | 1.03 | 0.84 |
| 丙胺酸(Alanine) | 0.49 | 0.45 | 0.72 | 0.59 |
| 胱胺酸(Cysteine) | N.D | N.D | 0.04 | 0.17 |
| 攏胺酸(Valine) | 0.60 | 0.55 | 0.76 | 0.62 |
| 甲硫胺酸(Methionine) | 0.10 | 0.12 | 0.28 | 0.27 |
| 異白胺酸(Isoleuine) | 0.51 | 0.46 | 0.66 | 0.58 |
| 白胺酸(Leucine) | 0.85 | 0.82 | 1.06 | 0.91 |
| 酪胺酸(Tyrosine) | 0.43 | 0.42 | 0.58 | 0.48 |
| 苯丙胺酸(Phenylalanine) | 0.58 | 0.55 | 0.75 | 0.62 |
| 組胺酸(Histidine) | 0.38 | 0.35 | 0.46 | 0.39 |
| 離胺酸(Lysine) | 0.73 | 0.70 | 0.95 | 0.81 |
| 精胺酸(Arginine) | 1.21 | 1.17 | 1.59 | 1.43 |

二、不同季節、品種之紅藜色澤及色素分析

分析顯示，紅色種紅藜在 480 nm 及 530 nm 各有一吸收波峰，而黃色種僅在 480nm 有一吸收波峰。根據文獻指出，在 530nm 有吸收波峰者為 betacyanins 僅在 480nm 有吸收波峰者為 betaxanthins。但紅色或黃色紅藜在該二波長皆有吸光值。如表四所示，所有樣品 A_{480} 皆大於 A_{530} ，紅色種在紅色(A_{530})與黃色(A_{480})波長的吸光值各低於 0.339 與 0.686，黃色種在紅色與黃色波長的吸光值則各低於 0.191 與 1.023。而不同季節的樣品其波長掃描趨勢一致。不論在 480 或 530nm

均以冬天者最高。為明瞭此二色素與紅藜呈色之關係，進一步採用 A_{480} 與 A_{530} 之比值去觀察各樣品，結果發現，當該比值大於 3 時，紅藜種子呈現黃色，亦即此時在 480nm 之吸光值遠大於 530nm，故以 betaxanthin 呈現的黃色為主。反之，若 A_{480} 與 A_{530} 比值小於 3，或者 A_{530} 與 A_{480} 比值小於 0.3，則以呈現紅色的 betacyanin 為主要色素。此比值未來可用以為一些雜色的紅藜種子色素指標，藉以判斷其主要色素。再以 Hunter a 與 b 值為座標，觀察各品種季節樣品之分佈。結果由 hue 值(色相角)可看出，紅色品種者(2006SR, 2006WR 與 2007SR)，其 hue 值皆趨近 a 軸，黃色品種者(2006SY, 2006WY 與 2007SY) 則皆趨近 b 軸。冬天採收者，其 hue 值最接近 0 與 90 度角(各為紅色與黃色)。

表四、不同品種與季節之紅藜水萃液 A_{480} 、 A_{530} 及色澤

| Source | 2006SR | 2006WR | 2007SR | 2006SY | 2006WY | 2007SY |
|-------------------|---|---|---|--|---|---|
| Color |  |  |  |  |  |  |
| A_{530} | 0.237 | 0.306 | 0.339 | 0.085 | 0.191 | 0.073 |
| A_{480} | 0.246 | 0.686 | 0.515 | 0.282 | 1.023 | 0.607 |
| A_{480}/A_{530} | 1.04 | 2.24 | 1.52 | 3.32 | 5.36 | 8.32 |
| A_{530}/A_{480} | 0.96 | 0.45 | 0.66 | 0.30 | 0.19 | 0.12 |
| L | 81.3 | 76.59 | 75.45 | 92.49 | 88.94 | 89.98 |
| Hue angle | 30.72 | 64.74 | 44.24 | 99.58 | 100.72 | 100.05 |
| Chroma | 18.46 | 36.23 | 31.09 | 23.94 | 52 | 43.04 |

至於 chroma 值(彩度)，也是以冬天者最高亦即顏色最濃。亮度方面(L 值)則是黃色品中高於紅色品種，可能是黃色種子看起來較亮的關係。總之，紅藜冬季採收者其色澤品質 (A_{530} 、 A_{480} 、Hue angle、Chroma) 皆比夏季採收者來得高。

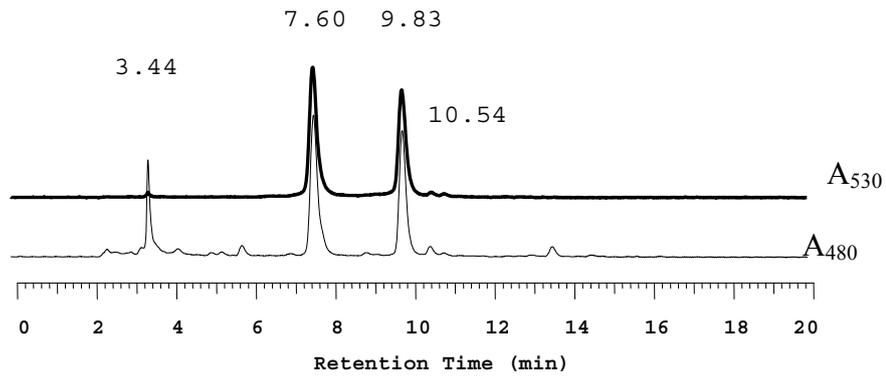
為了解不同品種及季節紅藜色素含量之變化，以標準品之 betanin 作檢量線，依照吸光值測定總甜菜色素之含量，結果發現，總紅色素(betacyanin) 在紅色品種 含量介於 64.944 與 153.059 mg/g 之間，且皆以冬季採收者最高。進一步以 betanin 標準品，利用 HPLC 分別在 480nm 與 530nm 測定其色素種類。結果如圖一，480nm 可於 3.44，7.60 與 9.83 分鐘處有吸收波峰，應為 betaxanthin。530nm 則於 7.84 與 10.54 分鐘處有吸收波峰，依文獻推測為 betacyanin 與 isobetacyanin。紅藜六樣品之層析圖型式大致相同，僅有面積不同。由於 7.60 分鐘同時有二種吸光值但 A_{480}/A_{530} 小於 3，故認定為紅色素而不計算其面積。若以面積計算其色素

百分比，冬天者色素含量較高。紅色品種 betacyanin 含量較高，黃色品種則以 betaxanthin 為主。由於僅有紅色 betanin 標準品，故黃色素無法算出濃度，而僅以面積計算比較之。在六個樣品中，2006WY 的總 betaxanthin 含量最高，為 2006WR 的 3.8 倍。2006WR 的總 betacyanin 則為 2006WY 的 26.59 倍，而 2007SR 的紅色素含量最高，由於 2007WR 的樣品尚未採集，故無法得知其比值，但預計其趨勢應該相近。

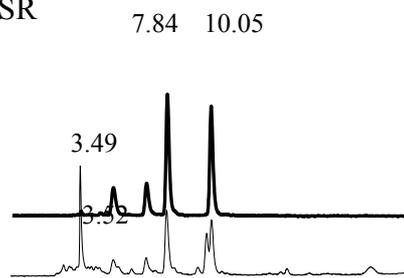
表五、不同品種與季節甜菜色素含量

| | RT | 2006SR | 2006WR | 2007SR | 2006SY | 2006WY | 2007SY |
|--------------------------|------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Total batacyanin (mg/g) | | 64.94 | 102.91 | 153.06 | 2.38 | 3.87 | 4.85 |
| Betacyanin (mg/g) | 7.61 | 32.78 | 60.42 | 91.59 | 1.18 | 2.14 | 3.02 |
| (%) | | 50.47 | 58.71 | 59.84 | 49.43 | 55.22 | 62.23 |
| Isobetacyanin (mg/g) | 9.83 | 32.17 | 42.49 | 61.47 | 1.20 | 1.73 | 1.83 |
| (%) | | 49.53 | 41.29 | 40.16 | 50.57 | 44.78 | 37.77 |
| Total betaxanthin (area) | | 8160 | 38285 | 27025 | 20356 | 146604 | 82556 |
| betaxanthin 1 (area) | 3.41 | 3525 | 37814 | 17573 | 8099 | 61133 | 30706 |
| (%) | | 43.20 | 98.77 | 65.02 | 39.79 | 41.70 | 37.19 |
| betaxanthin 2 (area) | 9.97 | 4635 | 472 | 9452 | 12257 | 85471 | 51850 |
| (%) | | 56.80 | 1.23 | 34.98 | 60.21 | 58.30 | 62.81 |

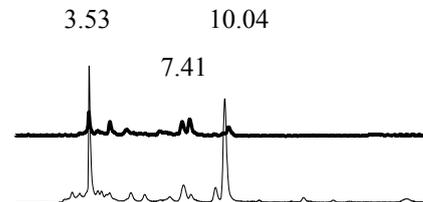
STD betanin



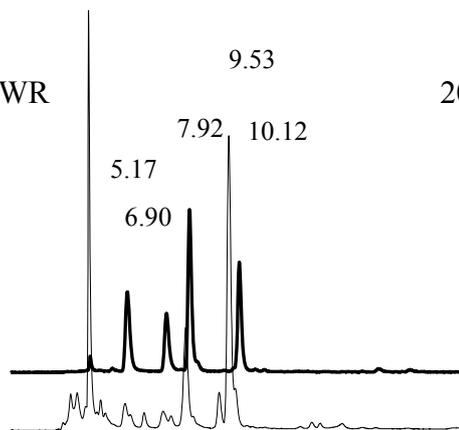
2006SR



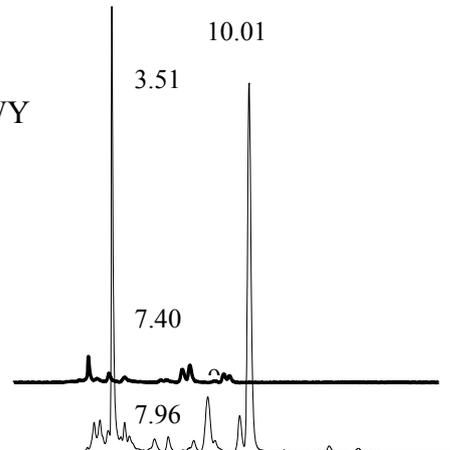
2006SY



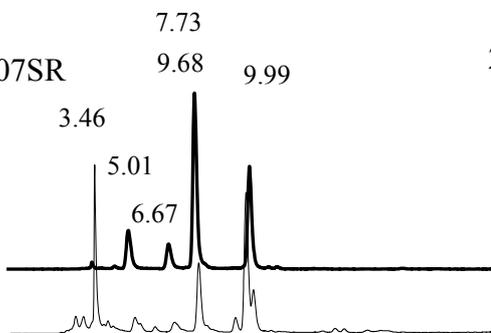
2006WR



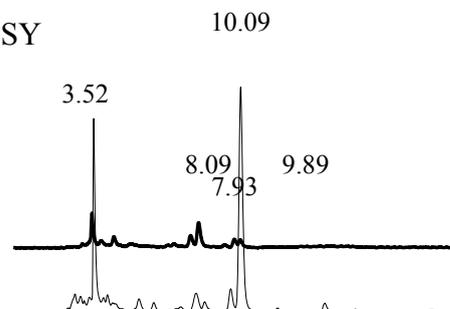
2006WY



2007SR



2007SY



圖一、不同品種、季節之紅藜紅色素(A₅₃₀)及黃色素(A₄₈₀)之 HPLC 分析

三、不同品種、季節之紅藜總酚及類黃酮分析

酚類化合物廣泛地存在植物體中，特別是葉、花、果實組織中，是植物二次代謝的產物，也是為植物中主要抗氧化成分之來源。本研究中測定其總酚與類黃酮含量，發現紅藜總酚含量在 829.37~1452.38(mg/100g)，遠高於一般穀類如稻米 8.6(mg/100g)、燕麥 8.7(mg/100g)、小麥 20~40(mg/100g)，但與高粱 170-10,260(mg/100g)相似(Bravo 1998)。至於類黃酮含量，則介於 121.57~167.65(mg/100g)之間。至於同一品種，冬季採收者其抗氧化力成分，不論是總酚、類黃酮含量高於夏季者。在同一採收季節的樣品，黃色品種之類黃酮含量高於紅色品種（表六）。

進一步利用 HPLC 分析酚類化合物。結果發現紅藜中的酚類分別以 catechin、chlorogenic acid、epicatechin、ferulic acid 及 rutin 含量較多，尤其以 rutin 含量最多（5093~18948.933 μ g/g）。此與文獻記載穀類中的蕎麥以 rutin 為主相似，但含量則有高達百倍以上(蕎麥含量為 78 mg/kg)。rutin 是植物的二次代謝產物，具有降低高血壓，降低血管的滲透性，如抗水腫，及降低動脈硬化之風險、抗氧化力等(Kreft *et al*, 2006)，因此對抗氧化力也有相當的貢獻。至於同一品種，冬季採收者的 chlorogenic acid、rutin 及 cinnamic acid 含量比夏季者高。

表六、不同品種及季節紅藜各種酚類含量(HPLC)之比較

| | 2006SR | 2006WR | 2007SR | 2006SY | 2006WY | 2007SY |
|-------------------------|---------|----------|----------|---------|----------|----------|
| Flavonoids(mg/100g) | 121.57 | 144.12 | 130.39 | 150.98 | 167.65 | 134.31 |
| Total phenolic(mg/100g) | 829.37 | 1452.38 | 1035.71 | 829.37 | 1452.38 | 908.73 |
| Gallic acid(μ g/g) | 130.87 | 604.04 | 225.07 | 246.13 | 154.38 | 99.72 |
| Catechin | 1428.19 | 1267.79 | 954.94 | 456.19 | 1272.08 | 1067.60 |
| Chlorogenic acid | 758.21 | 892.33 | 806.25 | 285.10 | 1363.87 | 742.95 |
| Caffeic acid | 805.90 | 331.86 | 296.06 | 314.11 | 328.43 | 370.40 |
| Epicatechin | 1201.47 | 874.26 | 559.57 | 658.70 | 882.83 | 580.90 |
| Coumaric acid | 134.56 | 223.98 | 169.45 | 390.79 | 195.93 | 190.22 |
| Ferulic acid | 454.27 | 1063.73 | 1085.40 | 769.35 | 643.37 | 1085.40 |
| Rutin | 8383.89 | 18948.93 | 15391.51 | 5093.37 | 14191.95 | 14560.46 |
| Cinnamic acid | 130.87 | 604.04 | 225.07 | 246.13 | 154.38 | 99.72 |

四、不同季節、品種之紅藜抗氧化力分析

抗氧化力方面，同一品種，冬季採收者的FRAP還原力DPPH清除自由基能力及螯合亞鐵能力皆夏季者高。由於抗氧化力相關成分如A₄₈₀、A₅₃₀酚類和類黃酮

皆以冬季採收者含量較高，而Betanin在非常低濃度下即具有抑制脂質過氧化作用。此外，betacyanin與帶負電荷的膜有高度的親和性，可防止老鼠腸道上皮細胞之氧化壓力 (林，2000)。故推測其抗氧化力來源與酚類、類黃酮及甜菜色素含量有關。在同一採收季節的樣品中，還原力方面以黃色品種較高；而DPPH清除自由基及螯合亞鐵能力則以紅色品種為高 (表七)。

表七、不同品種及季節之紅藜抗氧化力

| | FRAP ($\mu\text{mole/l}$) | DPPH scavenging activity (%) | FICA (%) |
|--------|-----------------------------|------------------------------|--------------------|
| 2006SR | 348.2 ^f | 36.15 ^b | 47.63 ^c |
| 2006WR | 975.2 ^b | 39.67 ^a | 55.38 ^b |
| 2007SR | 955.2 ^c | 37.62 ^{ab} | 69.62 ^a |
| 2006SY | 381.2 ^e | 26.07 ^c | 32.85 ^e |
| 2006WY | 1097.2 ^a | 38.16 ^b | 57.21 ^b |
| 2007SY | 528.2 ^d | 24.73 ^c | 42.61 ^d |

五、不同季節、品種紅藜色澤、酚類、抗氧化之相關性分析之變化

接著，進一步以統計分析軟體，探討紅藜色澤與抗氧化力之間的關係。表八為紅藜顏色、酚類、抗氧化力之相關性分析之結果。如表所示，紅藜的色素及酚類化合物的確與其抗氧化力有顯著正相關，其還原力與 A_{480} 及總酚含量各呈現高度的顯著相關，其相關係數分別為 0.84 和 0.89。DPPH 清除自由基能力及螯合亞鐵能力則分別與 A_{530} 呈高度相關性 (r 各為 0.91、0.85)。推論紅藜的還原能力可能主要來自於酚類，螯合能力則主要來自 Betacyanins 的提供。如表八所示，紅色素 (A_{530}) 與 Hunter a 值，黃色素 (A_{480}) 與 Hunter b 值也呈現正相關，相關係數為 0.86 與 0.89。顯然地， A_{530} 與 A_{480} 可為其呈色的指標。

六、紅藜貯存或脫殼後成分之變化

紅藜經脫殼或貯存，可能會對其營養或機能性成分產生影響。但本研究發現，即使脫殼或貯存之後紅藜仍有很高的營養成分 (表九)。以紅色品種為例，其蛋白質、澱粉、膳食纖維等含量在脫殼後並未減少 (蛋白質 16.9%、澱粉 53.1%、膳食纖維 22.5%)。貯存者亦有相同趨勢(數據未列)。至於脫殼或貯藏後紅

表八、紅藜顏色、酚類、抗氧化力之相關性分析之變化

| | A480 | A530 | L | Hunter a | Hunter b | Hue | Chroma | T phenolic | Favonoids | FRAP | DPPH | FICA |
|------------|------|------|-----------|----------|----------|----------|---------|------------|-----------|---------|---------|---------|
| A480 | 1 | 0.11 | 0.05 | -0.39 | 0.89*** | 0.45 | 0.95*** | 0.86*** | -0.02 | 0.84*** | 0.32 | 0.45 |
| A530 | | 1 | -0.95 *** | 0.86*** | -0.32 | -0.76** | -0.13 | 0.43 | 0.41 | 0.57* | 0.91*** | 0.85*** |
| L | | | 1 | -0.94*** | 0.42 | 0.83*** | 0.24 | -0.28 | -0.39 | -0.41 | -0.79** | -0.76** |
| Hunter a | | | | 1 | -0.71 * | -0.93*** | -0.56 | -0.03 | 0.36 | 0.11 | 0.65* | 0.57 |
| Hunter b | | | | | 1 | 0.78** | 0.97*** | 0.62* | -0.18 | 0.56 | -0.13 | 0.07 |
| Hue | | | | | | 1 | 0.62* | 0.17 | -0.22 | 0.06 | -0.62* | -0.48 |
| Chroma | | | | | | | 1 | 0.69* | -0.22 | 0.69* | 0.04 | 0.29 |
| T phenolic | | | | | | | | 1 | 0.47 | 0.89*** | 0.63* | 0.53 |
| Flavonoids | | | | | | | | | 1 | 0.18 | 0.52 | 0 |
| FRAP | | | | | | | | | | 1 | 0.65* | 0.79 ** |
| DPPH | | | | | | | | | | | 1 | 0.79 ** |
| FICA | | | | | | | | | | | | 1 |

T phenolic = Total phenolic

表九、紅藜與其他食品營養成分比較

| 營養成分 | 紅藜 | 脫殼紅藜 | 地瓜 | 小麥 | 米 | 燕麥 | 大豆 |
|---------|-------|-------|------|------|------|------|-------|
| 澱粉(%) | 50.3 | 53.1 | 28.6 | 68.4 | 77.2 | 66.2 | 25.3 |
| 膳食纖維(%) | 14 | 22.5 | 2.4 | 11.3 | 0.3 | 5.1 | 13 |
| 蛋白質(%) | 14.4 | 16.9 | 1.0 | 14 | 7.5 | 11.5 | 36.8 |
| 鈣(ppm) | 2523 | 452 | 340 | 290 | 50 | 39 | 1710 |
| 鐵(ppm) | 55.6 | 15 | 5 | 28 | 2 | 3.2 | 57 |
| 鎂(ppm) | 2523 | — | 280 | 1380 | 190 | 112 | 2120 |
| 鈉(ppm) | 238 | 200 | 440 | 20 | 20 | 5 | 220 |
| 鉀(ppm) | 35280 | — | 2900 | 3350 | 860 | 295 | 15700 |
| 磷(ppm) | 4607 | — | 530 | 1600 | 550 | 160 | 3960 |
| 鋅(ppm) | 24.5 | 46.22 | 3 | 26 | 11 | 2.2 | 20 |
| 脂質(g) | 0.91 | 8.3 | 3 | 1.6 | 0.5 | 10.1 | 18.0 |

藜抗氧化力之變化，則是取紅色紅藜脫殼或紅藜的紅色及黃色品種分別放在室溫貯藏一年後，測定其抗氧化力及相關色素與酚類成分來觀察。結果如表十所示，不論是紅色或黃色品種，其 FRAP 還原力經過貯藏後大幅的下降，其紅色與黃色品種分別從 348.2 及 381.2 降低到 104.2 及 130.2 ($\mu\text{mole/l}$)。紅藜 A530 與 A480

會隨著貯藏時間減少。紅色種的 A530 約剩下 30%；黃色種的 A480 則剩約 70%。類黃酮則各殘留約 44%與 77%。但總酚類在紅色品種有增加的現象，此可能為原料中部份結合性單寧，於貯存中裂解成可溶性單寧而測得所致。紅色品種的 DPPH 清除自由基及螯合亞鐵能力也有降低之趨勢，但是黃色品種紅藜並沒有顯著性的降低。至於脫殼後紅藜的抗氧化力，由表可知，其還原能力為零，顯示紅藜的還原能力來自於外殼部分。由於紅藜脫殼後 DPPH 清除能力與 FICA 也皆明顯下降，且色素成分或酚類僅剩二成以下，因此紅藜抗氧化力主要應來自其外殼的色素及酚類成份。

八、抗氧化活性成分之分離

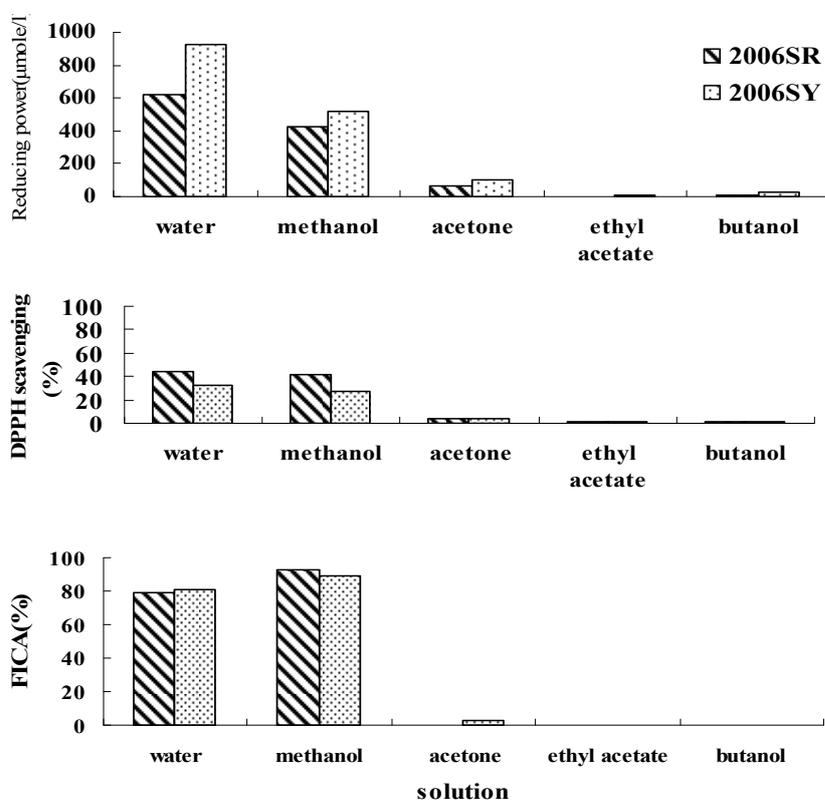
將紅藜萃取液以 35°C 以下濃縮並將它凍乾成紅藜粉末，以不同極性溶劑進行 XAD-7 樹脂管柱層析，分離後測定其 5 個區分之抗氧化力。結果發現不論在紅色或黃色品種部分以水流出的部分之其還原力（各為 622.9、921.9 μ mole/l）、DPPH 清除自由基能力（43.51、32.25%）、螯合亞鐵能力（78.96、81.08%）。其次是甲醇流出部分（圖二）。由此可以得知紅藜的抗氧化成分可能來自溶於水溶液的酚類化合物以及親水性極高的甜菜色素。

九、主成分分析

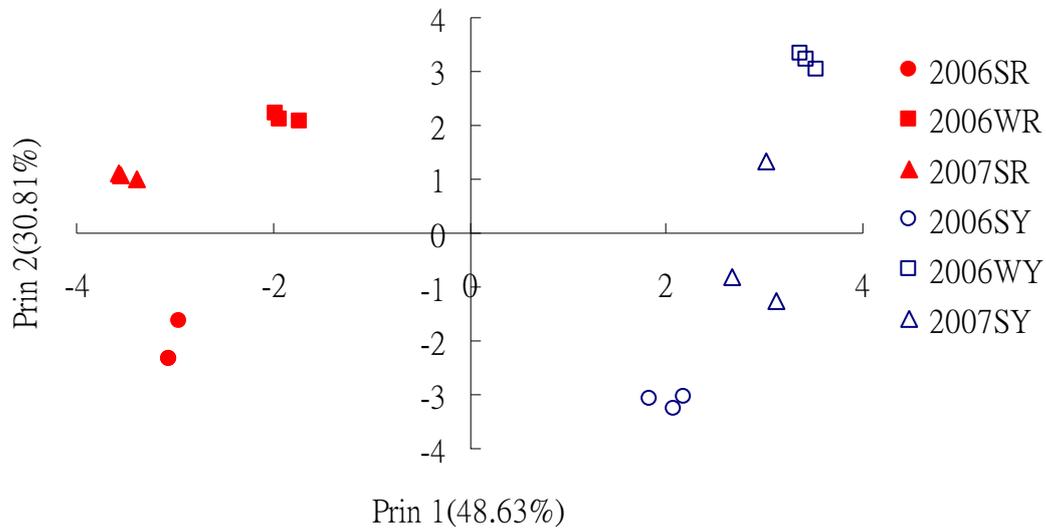
主成分分析(Principal component analysis; PCA)是將許多變項予以減少，並使其改變為少數幾個相互獨立的線性組合變相(主成分)，而在經由線性組合得到的成分之變異數會變為很大，而使受試成分顯出最大的個別差異之一種分析技術。本研究中六樣品以各色素、色澤、抗氧化力及酚類等測定值，採 PCA 分析後發現，第一主成分可解釋 48.63%，而第二主成分可解釋 30.81%。受試樣品中，黃色與紅色品種各分佈於第一主成分的正負方向，而彩度較高亦即色澤較濃的 2006 冬季與 2007 夏季樣品，則分布於第二主成份正軸方向。此與色彩較淡的 2006 夏天樣品區隔開來。因此，季節與品種確實影響紅藜呈色與抗氧化力（圖三）。

表十、紅藜貯存或脫殼後抗氧化成分相關變化

| Item | Fresh-R | Dehulled | Djulis | Fresh-R | Storage-R | Fresh-Y | Storage-Y | | |
|------------------------------------|---------|----------|--------|---------|-----------|---------|-----------|--------|--------|
| | amount | amount | % | amount | amount | % | amount | amount | % |
| A420 | 0.232 | 0.068 | 29.31 | 0.232 | 0.246 | 106.03 | 0.219 | 0.272 | 124.02 |
| A480 | 0.246 | 0.05 | 20.32 | 0.246 | 0.213 | 86.58 | 0.282 | 0.202 | 71.63 |
| A530 | 0.237 | 0.027 | 11.39 | 0.237 | 0.073 | 30.8 | 0.085 | 0.065 | 76.47 |
| Flavonoids (mg/100g) | 127.78 | 18.63 | 14.58 | 127.78 | 99.01 | 77.48 | 146.06 | 69.61 | 47.66 |
| Total phenolic mg/100g) | 865.08 | 166.67 | 19.27 | 865.08 | 1059.52 | 122.48 | 798.94 | 626.98 | 78.48 |
| FRAP (μ mole/l) | 348.2 | 0 | 0 | 348.2 | 104.2 | 29.92 | 381.2 | 130.2 | 34.16 |
| DPPH scavenging activity (%) | 36.15 | 10.76 | 29.76 | 36.15 | 28.61 | 79.14 | 26.07 | 29.60 | 113.54 |
| FICA (%) | 47.62 | 23.24 | 48.80 | 47.62 | 33.26 | 69.84 | 32.46 | 57.36 | 176.71 |



圖二、不同溶劑進行管柱層析區分之抗氧化能力測定

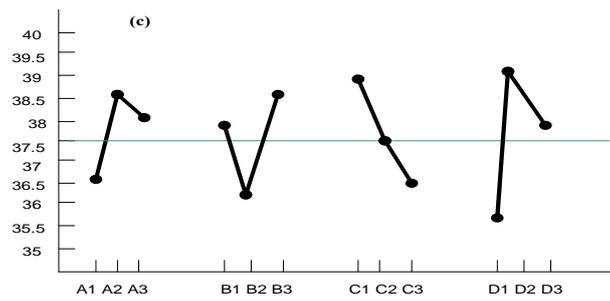


圖三、不同季節、品種紅藜之主成分分析

九、省產紅藜飲料開發

1. 紅藜飲料製作

紅藜飲料製造之研究主要在於顏色安定性及調味。本研究將紅藜水萃液，以三種不同酸類及糖類添加，來進行田口法選出最適當的組合，再 CMC(羧甲基纖維素)及防止沉澱，經趁熱充填裝罐即完成飲料製作。結果如圖六所示，就整體接受性而言，酸的添加以 0.1%檸檬酸最合適，糖則以蔗糖 9%最佳，蜂蜜次之，寡果糖最後。故添加 0.1%檸檬酸及 9°Brix 蔗糖，可得最適紅藜飲料的製作條件(圖四)。



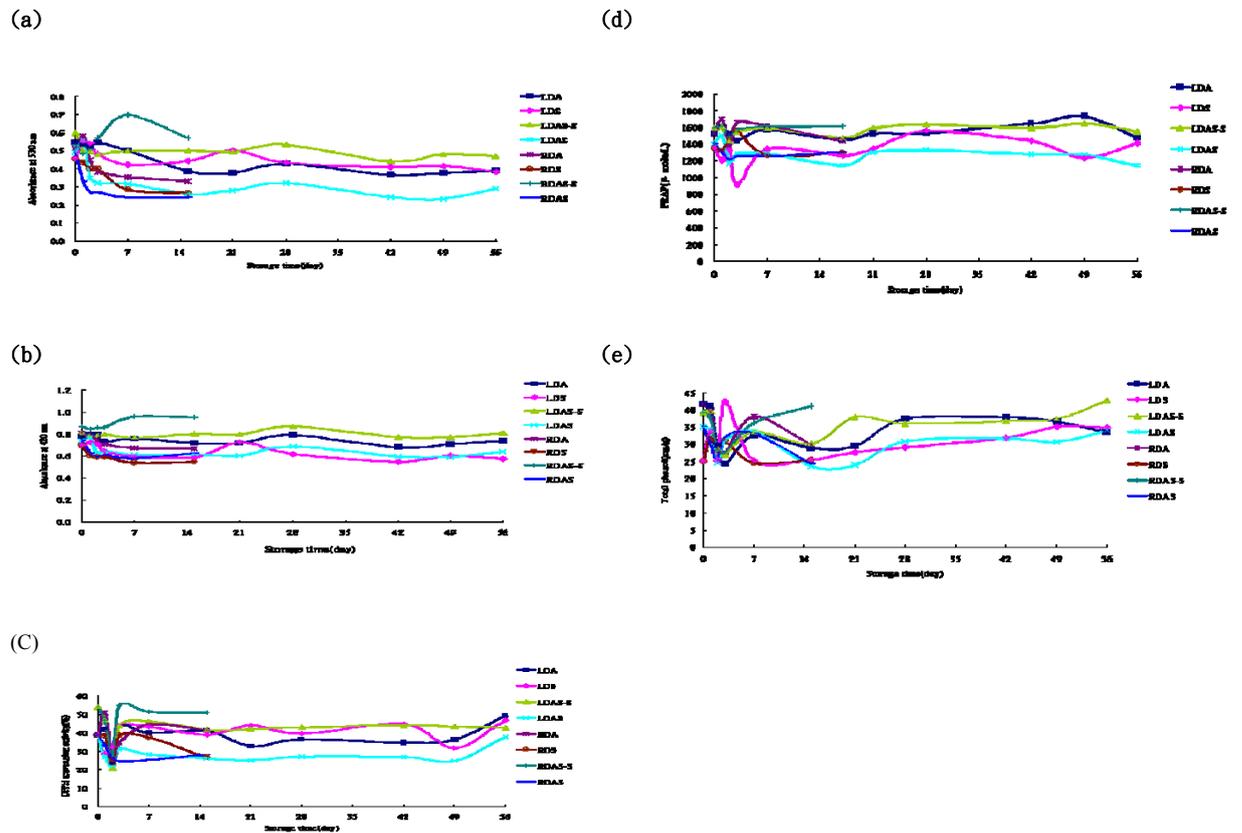
圖四、紅藜飲料整體接受性

2. 紅藜飲料貯存期間之變化

紅藜飲料貯存期間色澤會漸漸劣變。表十一可以看出，隨著貯存時間增加，第 90 天時，a 值從 33.13 降低為 16.35，而 b 值從 9.49 增加至 13.1，其顏色由亮紅色漸漸變暗紅，其 L 值由 48.22 變為 61.7，但仍然維持明顯的紅色。在紅色素含量(A₅₃₀)及黃色素含量(A₄₈₀)方面，其色素含量也隨著貯存天數增加而緩慢減少。紅色素在滅菌後約減少 8%，貯存低溫三個月後則殘留約 70%，故有商品化的潛力。至於抗氧化力方面，不論以 4℃ 及 25℃ 貯藏，在 56 天期間色澤抗氧化力或抗氧化成分之變化趨勢皆相當一致(圖六)，但以低溫者保色較佳。以前述最佳配方製得的紅藜飲料(DAS)在低溫之下貯存的變化，紅色素含量(A₅₃₀)隨著貯存時間減少，褐變指數增加(A₄₂₀)，顏色劣變也越嚴重。調高 pH 值者(DAS-S)，初期或低溫貯存下，色素含量殘留量較 DAS 高，此可能甜菜色素較不耐酸所致。但室溫長期貯存後，褐變指數明顯增加，抗氧化力也升高，顯然地，貯存期間有具抗氧化力之褐變物質之形成。單獨添加糖或酸，對紅藜飲料的保色或機能性的提高，效果不大。紅藜飲料貯存期間相關性分析經發現，色素值及總酚與 DPPH 清除能力顯著正相關，而褐變指數與 FRAP 相關係數較高，故紅藜飲料之抗氧化力與其色澤密切相關。

表十一、紅藜飲料低溫貯存期間顏色及相關品質之變化

| | 滅菌前 | 滅菌後 | 15 天 | 30 天 | 45 天 | 60 天 | 90 天 |
|------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 顏色 | | | | | | | |
| L | 48.22 | 50.02 | 52.42 | 52.75 | 53.05 | 53.46 | 61.7 |
| Hunter a | 33.13 | 31.38 | 27.45 | 23.1 | 20.09 | 18.07 | 16.35 |
| Hunter b | 9.49 | 9.45 | 9.6 | 9.75 | 9.85 | 10.9 | 13.1 |
| A ₄₈₀ | 0.853 | 0.785 | 0.719 | 0.707 | 0.695 | 0.681 | 0.627 |
| A ₅₃₀ | 0.962 | 0.889 | 0.805 | 0.765 | 0.723 | 0.704 | 0.615 |



圖六、不同處理紅藜飲料儲藏期間抗氧化力(a)A₅₃₀ (b)A₄₂₀ (c) DPPH 清除能力(d) FRAP 還原力(e) 總酚含量之變化

肆、結論

1. 不論紅色品種或黃色品種，皆有高含量的膳食纖維(約 14%)、粗蛋白(約 14%)及多量的天門冬胺酸、麩胺酸、精胺酸等，且紅色品種含量較黃色品種高。在季節方面，則是以冬季的營養成分、抗氧化力及色澤較夏天豐富。經統計分析判斷紅藜還原能力可能主要來自於黃色素與酚類，自由基清除能力則主要來自紅色素
2. 添加 0.1%檸檬酸及 9°Brix 蔗糖，可得到最適紅藜飲料的製作條件。紅藜飲料中色澤含量隨著儲藏時間減少，顏色劣變也越嚴重。於 4°C 儲藏之色澤保存到 3 個月。色素含量與褐變指數及抗氧化能力顯著相關，故紅藜飲料之色澤可為其抗氧化力之參考指標。紅藜飲料保色不易，後續在儲藏試驗中色澤部分以添加紅麴來穩定色澤，同時並增加其機能性。

參考文獻

1. 林怡君、蔡正宗。2000。紅肉火龍果甜菜苷色素定性與安定性之研究。東海大學碩士論文。
2. Allegra M, Furtmuller PG, Jantschko W, Zederbauer M, Tesoriere L, Livrea MA, Obinger C. 2005. Mechanism of interaction of betanin and indicaxanthin with human myeloperoxidase and hypochlorous acid. *Biochemical and Biophysical Research Communications* 332: 837-844.
3. Florian C. Stintzing, Andreas Schieber, Reinhold Carle. 2002. Betacyanins in fruits from red-purple pitaya, *Hylocereus polyrhizus* (Weber) Britton & Rose. *Food Chemistry* 77:101-6.
4. Kapadia GJ, Tokuda H, Konoshima T, Nishino H. 1996. Chemoprevention of lung and skin cancer by *Beta vulgaris* (beet) root extract. *Cancer Letters*. 100:211-214.
5. Kreft, I., Fabjan N and Yasumoto (2006) Rutin content in buckwheat (*Fagopyrum esculentum* Moench) food materials and products. *Food Chemistry* 98: 508-512.
6. Kanner J, Harel S, Granit R. 2001. Betalains- A new class of dietary cationized antioxidants. *J. Agric Food Chem.* 49:5178-5185.
7. Wu LC, Hsu HW, Chen YC, Chiu CC, Lin YI, Ho JAA. 2006. Antioxidant and antiproliferative activities of red pitaya. *Food Chemistry*. 319-327.