

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 95 年度科技計畫研究報告

資訊庫編號：953143

計畫名稱:民族植物紅藜的永續利用研究(第1年/全程3年)
(英文名稱) Sustainable utilization of an ethnobotanical
plant, *Chinopodium* sp.

計畫編號：95 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：95 年 1 月 1 日至 95 年 12 月 31 日

計畫主持人：郭耀綸、劉景煌、蔡碧仁、楊遠波等 4 員

執行機關：國立屏東科技大學森林系、食品科學系

合作機關：國立中山大學生物科學系

統籌計畫名稱：民族植物紅藜的永續利用研究(第1年/全程3年)

細部計畫名稱：

- 一、民族植物紅藜的栽培與生態生理特性 (95 農科-11.4.1-務-e2(1))
- 二、不同品系小米及紅藜醣類組成與酵素活性對小米酒風味之影響 (95 農科-11.4.1-務-e2(2))
- 三、民族植物紅藜之營養及機能性成分之永續利用 (95 農科-11.4.1-務-e2(3))
- 四、紅藜系統分類及親緣地理研究 (95 農科-11.4.1-務-e2(4))

目 錄

一、民族植物紅藜的栽培與生態生理特性.....	1
二、不同品系小米及紅藜醣類組成與酵素活性對小米酒 風味之影響.....	18
三、民族植物紅藜之營養及機能性成分之永續利用.....	38
四、紅藜系統分類及親緣地理研究.....	66

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 95 年度科技計畫研究報告

資訊庫編號:953144

計畫名稱：民族植物紅藜的永續利用研究(第1年/全程3年)

(英文名稱) **Sustainable utilization of an ethnobotanical crop, *Chinopodium* sp.**

計畫編號： 95 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： 95 年 1 月 1 日至 95 年 12 月 31 日

計畫主持人： 郭耀綸

執行機關： 國立屏東科技大學森林系

民族植物紅藜的永續利用研究--民族植物紅藜的栽培與生態生理特性

執行單位：國立屏東科技大學森林系

計畫編號：95 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

本研究目的在了解民族植物紅藜之生活史、生態生理學特性、最適栽植密度及原住民對紅藜之傳統栽培方式。於屏東科技大學森林系苗圃栽植屏東及玉里兩種源之紅藜，發現冬季(1月)播種者 100~110 天可收穫，秋季(9月)播種者 85~95 天即可收穫，且屏東種源較花蓮種源早 30 天可收穫。秋季栽植之紅藜易遭病蟲害，增加管理之困難，春季生長者即無此困擾。春季密度試驗分別以行株距 50、30 及 10 cm 栽植紅藜，單株穀粒乾重分別為 90、40 及 15 g，處理間具顯著差異，但種源間則否。秋季密度試驗行株距分別為 15、20、25、30、35 及 40 cm 共 6 種處理，前三項處理單株穀粒重在 12~19 g，後三項行株距處理穀粒較多，可達 22~27 g，秋植穀粒收穫較春植減少。前三種行株距穀粒重。紅藜根系旺盛，若以盆栽方式栽植，植株大小及穀粒產量均顯著減小。在生態生理學性狀方面，紅藜為非耐陰植物，光合作用光飽和點在 $2000 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 以上，在 CO_2 濃度 380 ppm 時光飽和光合作用率在 $25 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 以上，碳固定速率極高； CO_2 飽和點約為 1500 ppm，在該條件時淨光合作用率可超過 $40 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ ；光合作用最適溫度在 $20\sim 30^\circ\text{C}$ ，屬廣溫型植物。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。

關鍵字：藜屬、民族植物、生活史、光合作用、栽植密度

Abstract

This project is aimed at understanding the life history, ecophysiology, suitable planting density, as well as the traditional cultivation knowledge by aborigines of djulis (*Chenopodium* sp.), a species of ethnobotany. We cultivated two provenances of djulis, one from Pingtung and one from Yu-Li, at the nursery in Department of Forestry of National Pingtung University of Science and Technology. It was found that if seedlings were planted in January, we could harvest grains in 100-110 days; if seedlings were planted in September, then we could harvest in 85-95 days. Grains from Pingtung provenance could be harvested 30 days earlier than those from Yu-Li. However, djulis planted in fall season were vulnerable to insects and fungal diseases, which increased management difficulties. No such difficulties occurred in djulis grown in spring season. In density experiment of spring season, djulis were planted in 50, 30, and 10 cm spacing, which had grain productions of 90, 40, and 15 g, respectively. Significant differences were observed among different spacing but not between provenances. In fall season, 6 spacing treatments, 15, 20, 25, 30, 35, and 40 cm were set up. Grain yield were only 12~27 g for these treatments. Since root systems of djulis are very thriving, its growth and grain production were significantly reduced when cultivated in pots. In the aspect of ecophysiological traits, djulis was a shade-intolerant plant. Its photosynthetic light saturation point was above 2000 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$. Under 380 ppm CO_2 concentration, light saturated photosynthetic rate was more than 25 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$, with high rate for carbon fixation. CO_2 saturation point was about 1500 ppm, under such situation, its net photosynthetic rate could exceed 40 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$. Its optimum temperature for photosynthesis is from 20 to 30°C, showing it is suitable for a wide range of growth temperature. The Pai-Wan tribe in Pingtung usually plants djulis in January, harvests in May. This traditional cultivation season is characterized of low temperature, dry season, short-day, and having more sunny days. This kind of weather is beneficial to the seed set for djulis as well as less insect infestations and fungal disease.

Keywords: *Chenopodium* sp., ethnobotany, life history, photosynthesis, planting density.

壹、前言

全球藜科(*Chenopodiaceae*)植物共約 130 屬，其中藜屬(*Chenopodium*)植物約有 250 種，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。

紅藜是藜科中的藜屬植物，台灣目前有三位研究人員曾針對此植物作研究，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 *ceutorubrum* 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，其正確的學名目前未知，有待進一步進行亞洲地區的系統分類研究才能確定。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、蔬菜或綠肥等(張芳銘，1997；葉茂生，1999；郭能成，2000)。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。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，具有潛在的文化及經濟價值。這些過去廣為原住民利用的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)，惟在栽培利用及食物調製上仍缺乏有系統的記錄與研究。

植物產量大小與乾物質生產速率及生物量之分配有關。植物乾物質累積主要由葉片進行光合作用獲得，即植物葉片具有供應植株所需碳水化合物之重要功能(Diemer *et al.*, 1992)。紅藜在台灣的利用方式可藉由民族植物學的調查而得知，但有關紅藜植株發育過程中的光合作用潛力及其動態變化等生理活動較少被研究。

過去的研究發現，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(張芳銘，1997；郭能成、林萬居，1997；郭能成，1998；1999；2000)。紫藜或食用藜生長速度很快，其光合作用潛力應當很高，然而在台灣或是在南美洲有關藜屬植物光合作用生產力的研究很少，值得針對此類植物在不同發育時期，植株光合作用及其他相關生理活動的情形深入探討。

本年度計畫目標為了解民族植物紅藜的生活史、生態生理學特性、最適栽培管理方案及原住民傳統栽培方式，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。計畫將探討下列 5 項重點：1.紅藜生活史過程；2.紅藜栽植密度及容器大小對植株生長及穀粒產量的影響；3.屏東種源與花蓮種源生長性狀差異之比較；4.紅藜植株光合作用光反應、溫度反應及 CO₂ 反應等光合作用性狀之測定；5.屏東地區原住民栽種紅藜之傳統生態智慧。

貳、材料與方法

一、紅藜生活史觀察

自 2004 年起曾於不同時期栽植紅藜，觀察生活史歷程各階段發生日期。首次觀察是以屏東縣三和村屏東種源之紅藜，於 3 月 20 日播種於屏科大森林系苗圃，10 日後定植，觀察 3 株之生活史各階段歷程。第二次觀察為 2006 年初，以採自屏東縣三和村，以及花蓮玉里兩地之種子為材料，於 2006 年 1 月播種在屏科大苗圃，16 日後將小苗定植後觀察其生活史。第三次觀察之植株為屏東種源，於 2006 年 9 月 5 日播種，同月 21 日定植。所觀察之生活史階段區分為營養生長期及生殖生長期兩大類，後者再區分為孕穗、開花、轉色及成熟等 4 個階段。記錄紅藜隨著發育期植株高度的變化，以及生殖生長期各階段所需日數，比較不同栽植季節生活史各階段所需日數之差異。

二、紅藜栽植密度及容器大小試驗

於屏科大森林系苗圃設置長寬分別為 6 m 及 1.2 m 之畦 16 區，其中 6 區分別於 2006 年 1 月 4 日及 10 日播種屏東種源黃色、紅色及紫色紅藜種子，另 2 區播種花蓮玉里種源之紅藜種子。帶殼種子播種 5 日後可見幼苗出土，於 1 月 23 及 24 日將幼苗移至 8 區定植，每區分為三小區，各 2 m 長，每小區分別以行株距 50、30、10 cm 栽植，對應的栽植密度分別為 4 株、12 株及 75 株 m^{-2} 。每個小區標定試區內部 8 個紅藜植株供將來收穫時之樣本，每隔一週記錄苗高生長，並記錄孕穗、開花、穗轉色及穗成熟收穫之日期。採收時再將所標定的植株葉、莖、穗及藜穀分開，藜穀經日晒曬乾後稱重，其餘部位則以 80°C 烘乾後稱重。穀粒只曬乾不烘乾，是為了日後仍能播種繁殖之故。每個植株也用色卡比對穀粒顏色後記錄之。

在容器大小試驗方面，於 2006 年 2 月 15 日播種屏東種源黃色品系之紅藜種子在 6 種容器中，各容器盛土體積分別為 0.5、1.3、4.5、7.0、9.0 及 17.0 l，每種容器各 10 盆，6 月 20 日採收，將根、莖、葉及藜穀分開烘乾後稱重。

三、紅藜光合作用性狀測定

於 2006 年 3 月 20 至 23 日測定屏科大森林系苗圃密度試驗 4 株紅藜之光合作用性狀。此期間紅藜部份植株已進入生殖期，少數植株正在開花，吸引蜜蜂採集花粉。所選定之 4 株紅藜各選植株上方一片葉片，進行光合作用光反應及溫度反應，每日只測定一片。3 月 28 日則測定此 4 個葉片之光合作用 CO_2 反應。進行光反應測定時，設定葉溫 25°C ， CO_2 $380 \mu\text{l l}^{-1}$ 先使葉片照到 $1200 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 光量，再往上每次增加 $250 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 光量至 $2250 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ ，再將光量逐步下降至 0。在 $50 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 以下光量的光合作用率以直線迴歸求得暗呼吸率及光補償點，以最大淨光合作用率的 95% 所對應的光量為光飽和點，並求得光飽和時的淨光合作用率。在光合作用溫度反應方面，將光量設定在 $1800 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ ， CO_2 一樣是 $380 \mu\text{l l}^{-1}$ ，葉溫範圍由 18°C 每隔 3°C 往上調整一次，最高葉溫至 34°C ，記錄各溫度時之淨光合作用率在光合作用 CO_2 反應方面，設定光量 $1800 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ ， CO_2 濃度 380°C ，葉溫 25°C ， CO_2 濃度由 0 至 $500 \mu\text{l l}^{-1}$ 範圍時每隔 50 或 $100 \mu\text{l l}^{-1}$ 測定一次光合作用率， CO_2 濃度在 $500 \mu\text{l l}^{-1}$ 以上則每隔 $400 \mu\text{l l}^{-1}$ 測定一次，至 CO_2 濃度 $2000 \mu\text{l l}^{-1}$ 為止。

四、屏東縣排灣族栽植紅藜傳統智慧訪察

屏東縣泰武鄉平和村及三地門鄉三和村近期仍有排灣族原住民栽植紅藜，可供現地觀察紅藜栽植狀況，並可透過訪談方式了解排灣族人過去栽植利用紅藜之傳統智慧。本研究訪談對象為阮金定先生之父母雙親。

參、結果與討論

一、紅藜的生活史

(一) 不同發育階段歷程

在 2004 年 3 月栽植於屏科大苗圃的紅藜，其營養生長期約為 54 天，生殖生長期約為 28 天，成熟期約為 21 天，整個生長週期約為 103 天(圖 1)。營養生長期又可分為營養生長前期與後期，前期是在種子發芽後第 1~30 天之間，後期是在生活史的第 30~54 天之間。植株於第 54-56 天開始孕穗，進入生殖生長期，至第 72~75 天開花，植株第 82 天之後穗開始轉色進入成熟期，在此時營養生長後期與生殖生長期所形成之葉片亦開始轉色，在成熟期紅藜穀藜成熟，到 100~103 天穀藜掉落，完成生活史。

紅藜植株長度隨生育日數增加而增加，尤其抽穗時，植株長度會表現急遽增加(圖 1)，植株於生殖生長期間高度增加 133 ± 9.9 cm (表 1)，而當穗開始轉色進入成熟期後，植株才停止長高。所調查之 3 植株平均地徑為 8.64 ± 0.58 mm，穗長平均為 66 ± 11 cm，約佔全株植株長度的 33%，穗乾重為 29.9 ± 3.5 g，而穗的顏色為橘色至紅色。

表 1. 紅藜植株性狀之相關資料

項目	植株			平均±SE
	#1	#2	#3	
植株淨生長長度(cm)				
營養生長前期	30(23-53) ¹⁾	24(12-36)	31(18-49)	28±2
營養生長後期	22(53-75)	25(36-61)	25(49-74)	24±1
生殖生長期	135(75-210)	115(61-176)	149(74-223)	133±10
收穫時植株高度(cm)	142	130	139	137±4
收穫時植株長度(cm)	210	176	223	203±14
收穫時穗長(cm)	68	46	84	66±11
收穫時穗乾重(g)	30.5	35.6	23.6	29.9±3.5
收穫時地徑(mm)	8.75	7.59	9.60	8.64±0.58

¹⁾括號內數字為紅藜植株生長量的變化範圍

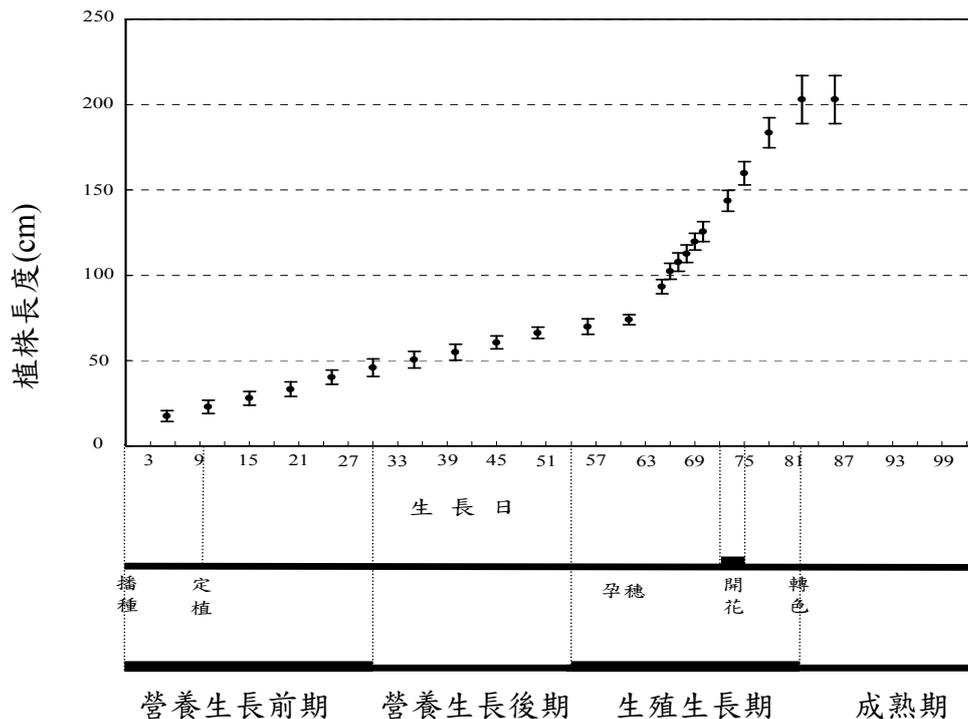


圖 1. 紅藜植株不同發育階段日數及植株長度之變化。種子於 2004 年 3 月 20 日播種，3 月 30 日定植，5 月 12 日開始孕穗，5 月 30 日開花，6 月 9 日穗轉色，6 月 30 日收穫，全部生活史 103 天。

第二次生活史觀察，以採自屏東及花蓮玉里兩處種源的種子為材料，於 2006 年 1 月播種，16 天後移植在屏科大森林系苗圃，觀察其生活史性狀。屏東紅藜植株整個生活史約 100~110 天。花蓮種源植株生活史較屏東者多出 30 天。在生殖生長期由孕穗到開花所需日數，屏東及花蓮種源分別需要 18 及 14 天；由開花至結果所需日數兩種源類似；由結果至轉色所需日數花蓮種源較短，由轉色至收穫屏東種源較花蓮種源短 3 天；合計生殖生長期日數，屏東種源需 36~37 天，花蓮種源費時較長，需 42~44 天(表 2)。花蓮種源整個生活史較長，其植株高度及穗長也較長，穗長可達 80 cm，而屏東種源穗長約 60 cm。

第三次觀察之植株於 2006 年 9 月 5 日播種，21 日定植，至 2006 年 12 月 1 日已有部份植株種子成熟採收，約在 10 日內可完成採收，生活史約在 85~95 天範圍，生活史各階段所需日數仍在統計中。

經觀察，紅藜為短日照植物，適宜在冬季播種生長，夏播者植株生長矮化，結實稀少，秋播者雖可正常生長，但營養生長期縮短，致植株較矮，影響結實量。屏東地區有明顯乾雨季，雨季時的大雨對紅藜幼苗極為不利，會使幼株倒伏死

亡。紅藜結穗(成熟期)時若有多日陰雨，成熟種子會在植株上發芽，影響收穫量。因此屏東地區栽植紅藜應在乾季進行。屏東種源紅藜植株可長至 1.5 m，花蓮種源可長至 2.8 m 高，在成熟期易倒伏，需有固定物扶持，造成管理上的困難。秋季播種之紅藜易遭蟲害，啃食葉片或根系；10 月下旬氣溫仍高時連續一週的下午短期下雨，造成黴菌感染，有 10% 的植株受害，較矮小的植株全株死亡，較高者嫩穗枯死。考量紅藜的生活史，建議最佳播種季節為 11 月下旬開始，若能在 5 月中旬雨季來臨前完成收穫，可避免病蟲害，並節省管理上的困難。

表 2. 屏東及花蓮種源紅藜一月播種植株生殖生長期各階段所需日數之比較

	孕穗	開花	結果	轉色	成熟	合計
花蓮種源	18 天	5-7 天	6 天	13 天		42-44 天
屏東種源	14 天	4-5 天	8 天	10 天		36-37 天

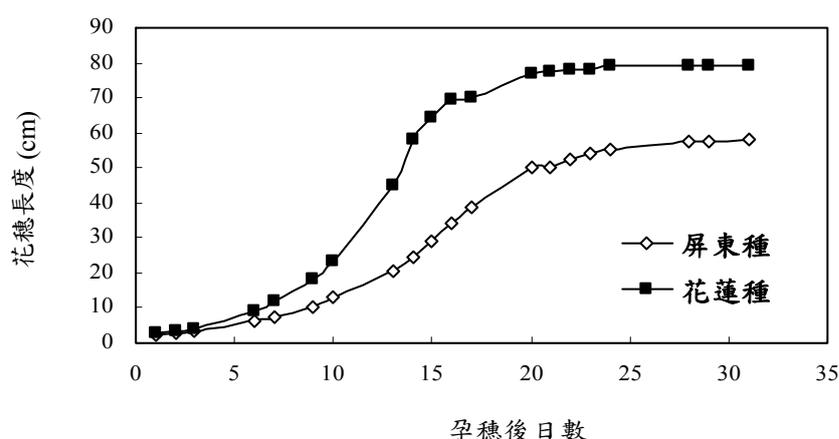


圖 2. 屏東及花蓮種源紅藜一月播種植株生殖生長期花穗長度之動態變化

(二)紅藜栽植密度及容器大小對植株生長及穀粒生產量的影響

本年度 1 月播種之紅藜已完成密度試驗，分別以行株距 10 cm、30 cm 及 50 cm 栽種，換算成密度分別為每平方公尺 75 株、12 株及 4 株。以穀粒產量而言，高、中、低三種密度處理單株穀粒產量別為 15、40 及 90 g (表 3)，低密度栽植者單株穀粒產量分別為中、高密度處理者之 2.3 及 6 倍，但以單位面積產量而言，高、中、低三種處理每平方公尺穀粒產量分別為 1125、480 及 360 g，高密度者總產量較高。在單株地上部重量方面，屏東種源低、中、高三種密度(每 m² 分別為 4、12、75 株)之地上部重分別為 221、101 及 34 g，花蓮種源植株在上述密度栽植者，地上部分別為 230、92 及 29 g (表 3)。同一種源以較低密度栽植之植株重量會顯著高於以較高密度栽植者，但同一密度不同種源者並無顯著差異。

2006 年 9 月再進行一次密度試驗，共有 6 種處理，行株距分別為 15、20、25、30、35 及 40 cm，採收後單株穀粒重分別為 12、15、19、22、27 及 27 g，行株距越大的處理可收得較多穀粒。

在不同容器體積試驗方面，於 95 年 2 月中旬以體積 0.5、1.3、4.5、7、9 及 17 公升盆子共 6 種處理栽植紅藜，成熟收穫穀重分別為 1、2、5、19、32 及 23 g，植株總乾重分別為 5、7、14、50、81 及 82 g，以盆子體積 9 公升之容器可有顯著較高的產量(表 4)。本年度 10 月起進行第二次的盆栽試驗，預計 12 月下旬可得到結果。

表 3. 紅藜不同栽植密度對植株總長、單株藜穀產量及單株地上部重的影響

生長性狀及 栽植密度	屏東種源							花蓮種源		
	1 ¹⁾	2	3	4	5	6	平均±SE	1 ²⁾	2	平均±SE
植株總長(cm)										
4 株 m ⁻²	227	293	247	252	254	299	262±12 ^{a,3)}	330	289	310±21 ^a
12 株 m ⁻²	209	289	236	273	201	293	250±17 ^a	281	264	273±9 ^b
75 株 m ⁻²	131	237	185	209	196	221	197±15 ^b	243	187	215±28 ^c
單株藜穀重(g)										
4 株 m ⁻²	68	84	102	85	101	100	90±6 ^a	106	78	92±14 ^a
12 株 m ⁻²	36	44	46	35	36	43	40±2 ^b	30	40	35±5 ^b
75 株 m ⁻²	5	17	18	24	15	11	15±3 ^c	9	10	10±1 ^c
單株地上部重(g)										
4 株 m ⁻²	167	214	233	200	237	277	221±15 ^a	253	206	230±24 ^a
12 株 m ⁻²	77	111	105	100	83	127	101±6 ^b	87	96	92±5 ^b
75 株 m ⁻²	12	42	38	47	31	36	34±5 ^c	33	24	29±5 ^c

¹⁾ 屏東種源共有 6 個試驗小區，每區數據為 6 個單株之生長性狀平均值

²⁾ 花蓮玉里種源有 2 個試驗小區，每區數據為 6 個單株之平均值

³⁾ 同一種源不同栽植密度間有不同英文字母者，具顯著差異($p < 0.05$)

表 4. 屏東種源紅藜培育在不同大小容器植株生長性狀之比較

生長性狀	17 L	9 L	7 L	4.5 L	1.3 L	0.5 L
莖長(cm)	118±3 ^b	135±5 ^{a,1)}	108±6 ^b	83±6 ^c	60±3 ^d	41±1 ^e
穗長(cm)	34±2 ^c	52±3 ^a	41±3 ^b	23± ^d	19±1 ^d	14±0.3 ^e
植株總長(cm)	152±4 ^b	187±6 ^a	148±8 ^b	106±7 ^c	80±3 ^d	54±2 ^e
地徑(mm)	13±1 ^a	12±1 ^a	10±1 ^b	6±1 ^c	5±1 ^d	2±0.1 ^e
藜穀乾重(g)	23±2 ^b	32±3 ^a	19±4 ^b	5±1 ^c	2±0.1 ^c	1±0 ^c
地上部乾重(g)	52±3 ^b	66±6 ^a	40±6 ^c	12±1 ^d	6±0.4 ^d	4±0.2 ^d
地下部乾重(g)	30±5 ^a	15±4 ^b	10±3 ^b	2±1 ^c	1±0.1 ^c	1±0.1 ^c
植株總乾重(g)	82±6 ^a	81±10 ^a	50±8 ^b	14±2 ^c	7±1 ^c	5±0.2 ^c

¹⁾ 不同容器處理間有不同英文字母者，具顯著差異($p < 0.05$)

(三) 屏東與花蓮兩處種源紅藜植株生長性狀之比較

屏東種源的紅藜生活史約 100~110 天，穗色包括淡黃、黃、粉紅、桃紅、橙紅、大紅、紫紅、紫色以及黃橙相間、橙紅相間等顏色，上述顏色以色卡標定顏色號碼，共有 11 種顏色區分。屏東種源紅藜植株高度約為 160 cm，穗長約 50~70 cm，植株總長可達 250~260 cm (表 3)。花蓮玉里種源之紅藜，播種後穗色可有黃、橙、紅等顏色，栽植在森林系苗圃之植株高度約為 230 cm，有些植株可高達 300 cm，穗長約 60~80 cm，植株總長可達 270~310 cm (表 3)。然而花蓮與屏東兩處種源穀粒重量並沒有顯著差異(表 5)。花蓮種源生物量較大，成熟植株生活史較屏東種源多 30 天，生活史約在 130~140 天。花蓮種源因植株高大易傾倒，若無支持物則植株無法直立生長。

表 5. 紅藜屏東與花蓮種源不同穗色植株穀粒產量之比較

	低密度(4 株 m ⁻²)	中密度(12 株 m ⁻²)	高密度(75 株 m ⁻²)
玉里(紅色)	92±48	35±7	10±5
屏東			
黃色植株	68±22	36±9	5±1
紅色植株	85±21	40±7	21±8
紫色植株	102±41	46±19	18±7
桃紅色植株	101±27	36±9	15±3
雜色植株	100±44	43±8	11±5

(四)紅藜光合作用性狀

本年度已完成紅藜光合作用光反應、溫度反應及 CO₂ 濃度反應，並曾測得植株不同葉序葉片的光合作用率表現。紅藜為典型陽性植物，光合作用率隨光強度而增加，光飽和點在 2000 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 以上，光飽和光合作用率在 25 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 以上，光補償點約為 40 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ (圖 3)。於 CO₂ 濃度 380 ppm 時曾測到淨光合作用率高達 32 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 。溫度反應方面，在 20~30°C 時均有極高的淨光合作用率，為廣溫型植物，在 25°C 時有最大光合作用率(圖 4)。紅藜的 CO₂ 飽和點約在 1500 ppm，在該條件下淨光合作用率可超過 40 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ (圖 5)。在葉序(葉齡)方面，越年輕的成熟葉有越高的淨光合作用率，表示植株最上部剛展開的葉片有最佳的光合作用生產力，葉齡越大此生產力很快降低。

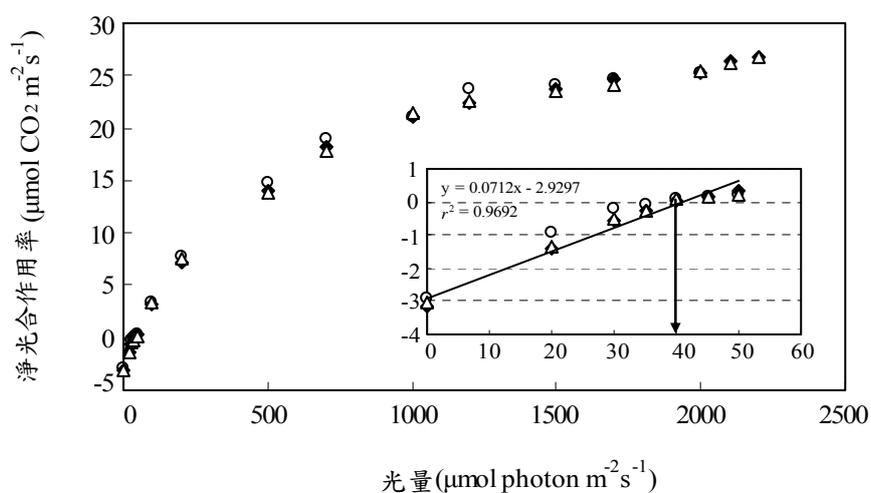


圖 3. 紅藜光合作用光反應曲線

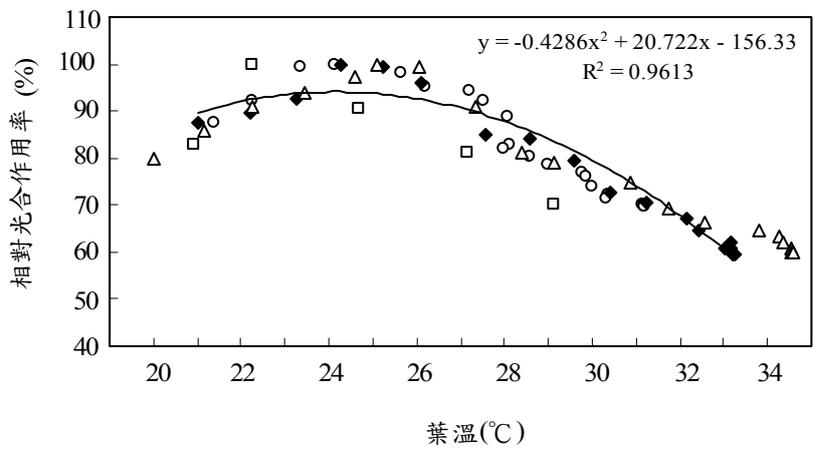


圖 4. 紅藜光合作用溫度反應曲線

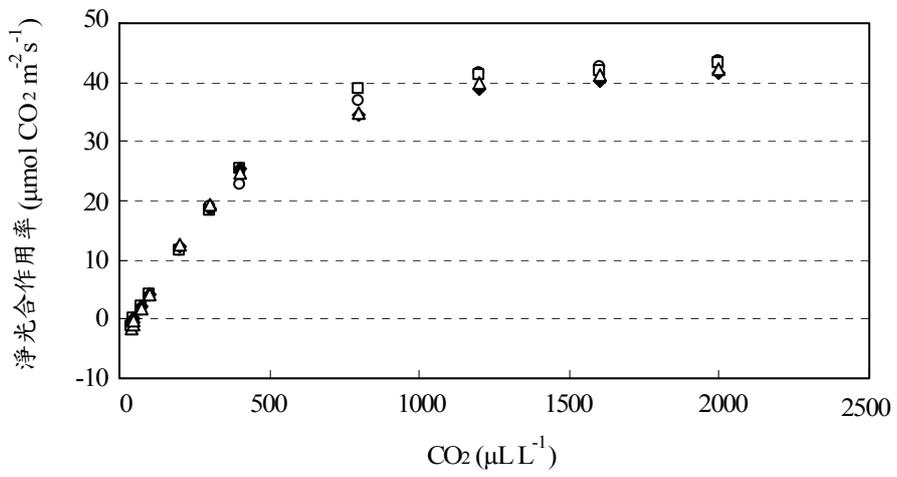


圖 5. 紅藜光合作用二氧化碳反應曲線

(五) 屏東地區排灣族人栽植紅藜之傳統智慧

屏東地區原住民栽植紅藜，目的之一為糧食作物，另一目的為釀製小米酒所需之酒麴原料。紅藜栽植方式常與小米、芋頭或玉米等作物混植，或種植於果園周圍或其旁空地，較少大面積單純種植紅藜。當紅藜與小米混作時，紅藜之植株密度遠小於小米(估計 1:50)。因紅藜植株較高，會超出小米(小米株高約 70 cm)，紅藜受光照較佳，但因小米較密，或許可支撐紅藜植株，使其減少風吹倒伏之風險，此為原住民栽植紅藜之傳統生態智慧之一。另一傳統生態智慧在於栽植季節。傳統上排灣族人會在冬季(1月)播種，生長至5月收穫，此期間為屏東的乾季，且紅藜孕穗時(約3月)，仍屬短日照期，經過2個月的營養生長，葉片繁茂，光合作用面積足夠，可充分提供碳水化合物的能量給花穗生長及結實之用，而5月上旬收穫後尚未達雨季，仍有足夠時間將穀子曬乾，供後續收藏或食用。因此可延用排灣族原住民栽植紅藜季節，亦即在冬季播種，雨季來臨前收穫，一方面收成最好，另一方面因低溫可減少病蟲害，一舉兩得。

(六) 紅藜適宜之栽植技術

本年度完成之各項工作項目為了解紅藜基礎生物學不可或缺之項目，已確定紅藜植株為陽性植物，光合作用能力很高，生長需高光照不宜遮陰；幼苗會被雨水打倒，結穗時成熟種子遭雨淋會在植株上發芽，因此結穗期要避開雨季。屏東地區雨季在夏天，此時期為長日照，亦不適合紅藜孕穗結實，不應在夏天雨季栽植紅藜。屏東10月時氣溫仍高，蟲害嚴重，啃食紅藜葉片，若又遭雨淋，會引起腐生真菌為害。經過一年研究之結論為紅藜在屏東平原低海拔地區應以11月至1月之間播種較佳，栽植密度以行株距20~30 cm較適宜，過密則植株相互遮陰，單位面積穀粒產量雖高，但處理費時，以行株距20~30 cm栽植所育成之植株單桿少分枝，收穫及晒穀方便，應可推廣此栽植技術。

參考文獻

1. 李叡明 (1993) 資源植物學：研究方法入門。淑馨出版社，215 頁。
2. 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。
3. 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。
4. 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。
5. 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。
6. 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。
7. 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。
8. 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.
9. 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.
10. Partap, T., and P. Kapoor (1985) The Himalayan grain chenopods. I. Distribution and ethnobotany. *Agriculture Ecosystems Environments* 14: 185-199.
11. 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.
12. 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

計畫) 識別碼:110401e202

行政院農業委員會 95 年度科技計畫研究報告

資訊庫編號：

953145

計畫名稱： 不同品系小米及紅藜醣類組成與酵素活性對小米酒風味之影響(第1年/全程3年)

(英文名稱) Starch composition and enzyme activity of different Chenopodium spp. and millet races on the flavor of millet wine

計畫編號： 95 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： 95 年 1 月 1 日至 95 年 12 月 31 日

計畫主持人： 劉景煌

協同主持人： 葛孟杰

執行機關： 國立中山大學生物科學系

民族植物紅藜的永續利用研究--不同品系小米及紅藜醣類組成與酵素活性對小米酒風味之影響

執行單位：國立中山大學生物科學系

計畫編號：95 農科-11.4.1-務-e2(2)

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
mangiye@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。本計畫將分析小米及紅藜不同品系之間其澱粉與糖類的組成，並且比較澱粉酶酵素活性差異。目前共取得紅藜三種品系(黃色、紅色與花蓮品系)，小米則為五種品系。總醣含量方面，紅藜紅色品系含總醣量最低(20.1mg/g)，黃色品系高於其1.34倍，花蓮品系為其1.86倍。五種品系之小米總醣含量約在10~12.8mg/g。在澱粉含量方面，紅藜花蓮品系含量最低(661mg/g)，黃色品系高出約1.17倍，紅色品系為其1.15倍；小米之澱粉含量約為644.2mg/g。紅藜種子中富含蔗糖(15.7~18.8mg/g)與葡萄糖(0.7~1.32mg/g)，但偵測不到果糖的存在。小米之蔗糖及葡萄糖含量約為紅藜的30%及25%，果糖含量約為0.35mg/g。在 α -澱粉酶活性分析方面，紅藜紅色品系的 α -澱粉酶活性最低(46.25 U/mg proteins)，黃色品系高於其1.26倍，花蓮品系為其1.07倍。在 β -澱粉酶活性分析方面，紅藜花蓮品系的 β -澱粉酶活性最低(0.03 U/mg proteins)，黃色品系比其高出3.33倍，紅色品系為其2.33倍。

關鍵字：紅藜、總醣、澱粉酶

Abstract

In this project, we collected three races of quonia and five races of millet. The contents of starch and carbohydrate between different races of quonia and millet were compared. The sugar content of quonia red race is 20.1mg/g. The sugar levels of Quonia yellow and hualien races are more 1.34 and 1.86 folds than that of red race. The sugar contents of five different millet races are between 10 to 12.8 mg/g. Hualien race of quonia contains starch 661mg/g. The starch levels of Quonia yellow and red races are more 1.17 and 1.15 folds than that of hualien race. We also found quonia seed contain sucrose (15.7~18.8mg/g) and glucose (0.7~1.32mg/g), but fructose quality is under the detect level. The sucrose and glucose levels of millet are 30% and 25% of that of quonia. The fructose quality of millet is approximately 0.35mg/g. In addition, the activities of α -amylase and β -amylase were also be detected. The activity of α -amylase in quonia red race is 46.25 U/mg proteins. The α -amylase activity of yellow and hualien races are more 1.26 and 1.07 folds than that of red race. The activity of β -amylase in quonia hualien race is 0.03 U/mg proteins. The β -amylase activity of yellow and red races are more 3.33 and 2.33 folds than that of hualien race. We hope these results will help aboragin to select a suitable race of quonia or millet to planting.

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。

小米酒在原住民日常生活與重要節慶更是不可或缺。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。傳統排灣族所使用之麴餅主要原料為紅藜，其富含蛋白質及多種必須胺基酸，藜屬植物已被視為重要民族植物。全球藜科植物共約 130 屬，自史前時代至今供應人類蔬菜及糧食食用。國內紅藜之記錄首見於山田金治(1922)對於角板山地區泰雅族人的採集調查報告，郭(1998~2000)針對該物種之農藝生產進行田間試驗研究，對於該物種之學名及種源出處，未見分類處理。小米和紅藜在台灣の利用方式可藉由民族植物學調查得知，然而在釀造小米酒過程中所需之基本資料如糖類含量與組成及相關酵素活性相對缺乏。為了增加民族植物之永續利用與提升其經濟價值，實需建立小米及紅藜之基本組成以分析其對小米酒風味之影響。

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。

從我們今年的研究中發現，紅藜種子總醣含量較小米高出兩倍之多，而蔗糖及葡萄糖含量更比小米多出三倍與四倍。紅藜種子所含之澱粉約在 66~77%，而兩種澱粉酶之活性均可表現。綜合今年之研究結果，我們認為紅藜應具有相當之發展潛力應用在食品與釀酒工業上。期盼透過此項研究，可以改善原住民所種植之紅藜農產品的價格，並且增強其產業競爭力。

貳、材料與方法

一、紅藜及小米種子採集

目前共取得紅藜三種品系(黃色、紅色與花蓮品系)。小米則為五種品系，分別為 *Jalelevelan*、*Libugu*、*Gucele*、*Cukila*、*a-uzauzalu*。採收後之種子經乾燥後儲存於 4°C 冰箱備用。

二、總醣含量分析

利用蒽酮(Anthrone)試劑測定植物組織中醣的含量。醣類遇濃硫酸脫水生成呋醛(furfural)或其衍生物，此種物質可與芳香族化合物(Aromatic compound)中含有醇基(~OH)的物質反應，如：蒽酮。與蒽酮試劑縮合後產生有色物質，反應後溶液呈藍綠色，於 620nm 處有最大吸收，顏色與多醣含量呈線性關係。另利用標準葡萄糖溶液制定標準曲線，將樣本吸光值帶入此曲線即可推算出其總醣含量。

三、可溶性醣萃取與分析

抽取不同品系小米與紅藜種子所含醣類，利用高鹼液相層析系統(DIONEX, PA-10)定量分析葡萄糖、果糖與蔗糖等小分子碳水化合物。以熱的 80% (v/v)酒精萃取不同品系小米與紅藜種子所含醣類，經研磨後再分別以熱的 80%(v/v)酒精與二次水各萃取三次，混合上清液得到可溶性醣，沉澱的部分則作為澱粉定量之用。將可溶性醣溶液以氮氣吹乾，二次水溶解後，以 0.2 um 針筒尼龍過濾膜(Millipore, Millex-GX)過濾。濾液通過高鹼陰離子交換層析(high pH anion-exchange chromatography, HPAEC, CarboPacPA10 column,Dionex)，以 18 mM NaOH 流洗，配合 pulsed amperometric detector (PAD)定性與定量分析單醣及雙醣的組成。結果顯示標準樣品 glucose、fructose、sucrose 注射體積以 25ul 為宜，濃度則以 1 ppm 為準。三種糖類之滯留時間分別為 14.5、17.8 與 21.0 分鐘。不同品系紅藜所含之總醣將透過此方法分析其糖類組成比例與含量。

四、澱粉分析

將完全萃取小分子的種子沉澱部份進行 pullulanase 與 amyloglucosidase 水解，同時以商品化的馬鈴薯澱粉作為控制組，定量水解生成的葡萄糖回推種子內的澱粉含量。將 Sample 加入水後，以沸水糊化 sample。冷卻後加入 50 mM 醋酸 buffer、pullulanase 及 amyloglucosidase，並 vortex 混合均勻。60°C 水浴 3 hr，水浴過程中約每隔半小時 vortex。經 100°C 水浴後離心，取上清液進行過濾，之後定量濾液體積。取濾液並加入 ABTS、peroxidase 和 glucose oxidase。選用 Kinetic 方式，設定每隔 5 分鐘測一次共測 6 次（需 25 分鐘），然後在 37°C 下以 405nm 偵測吸光值。

五、酵素活性分析

(一) 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

(二) 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 1 unit。

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, pH 7.5

六、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(OD_{595})，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。

參、結果

一、紅藜及小米總醣含量分析

紅藜三種品系(黃色、紅色與花蓮品系)與小米五種品系(*Cukila*、*Jalelevelan*、*Gucele*、*Libugu*、*a-uzauzalu*)均利用蒽酮(Anthrone)試劑測定植物組織中醣的含量。紅藜黃色、紅色與花蓮品系總醣含量分別為 26.96 ± 3.06 、 20.11 ± 2.90 、 37.44 ± 5.14 mg/g(表一)。其中以紅色品系含總醣量最低，黃色品系為紅色品系的 1.34 倍，花蓮品系為紅色品系的 1.86 倍(圖一)。小米 *Cukila*、*Jalelevelan*、*Gucele*、*Libugu*、*a-uzauzalu* 等五種品系中，總醣含量分別為 10.00 ± 0.08 、 10.55 ± 1.48 、 12.80 ± 0.01 、 11.83 ± 0.08 、 11.31 ± 0.12 mg/g(表一)。其中以 *Cukila* 含總醣量最低，*Jalelevelan* 為 *Cukila* 的 1.055 倍，*Gucele* 為 *Cukila* 的 1.28 倍，*Libugu* 為 *Cukila* 的 1.183 倍，*a-uzauzalu* 為 *Cukila* 的 1.131 倍(圖一)。紅藜平均總醣含量約為 28.17mg/g，為小米含量(11.3mg/g)的 2.5 倍。

二、紅藜及小米可溶性醣含量分析

紅藜三種品系(黃色、紅色與花蓮品系)與小米五種品系(*Cukila*、*Jalelevelan*、*Gucele*、*Libugu*、*a-uzauzalu*)均利用高鹼液相層析系統(DIONEX, PA-10)定量分析葡萄糖、果糖與蔗糖等小分子碳水化合物。在葡萄糖含量方面，紅藜三種品系分別為黃色品系： 1.32 ± 0.04 mg/g、紅色品系： 0.70 ± 0.06 mg/g 與花蓮品系： 1.11 ± 0.10 mg/g(表一)。紅藜的紅色品系葡萄糖含量最低，其中黃色品系為紅品系的 1.89 倍，花蓮品系為紅色品系的 1.59 倍(圖二)。小米 *Cukila*、*Jalelevelan*、*Gucele*、*Libugu*、*a-uzauzalu* 等五種品系中，葡萄糖含量分別為 0.216 ± 0.00 mg/g、 0.31 ± 0.02 mg/g、 0.26 ± 0.01 mg/g、 0.22 ± 0.04 mg/g、 0.31 ± 0.03 mg/g(表一)。小米中以 *Cukila* 葡萄糖含量最低，*Jalelevelan* 為 *Cukila* 的 1.48 倍，*Gucele* 為 *Cukila* 的 1.24 倍，*Libugu* 為 *Cukila* 的 1.05 倍，*a-uzauzalu* 為 *Cukila* 的 1.48 倍(圖二)。紅藜平均葡萄糖含量約為 1.04 mg/g，為小米含量(0.26 mg/g)的 4 倍。在蔗糖含量方面，紅藜三種品系分別為黃色品系： 18.82 ± 0.27 mg/g、紅色品系： 15.69 ± 0.66 mg/g 與花蓮品系： 17.75 ± 0.45 mg/g(表一)。紅藜的紅色品系含 Sucrose 量最低，其中黃色品系為紅色品系的 1.20 倍，花蓮品系為紅品系的 1.13 倍(圖三)。小米

Cukila、*Jalelevelan*、*Gucele*、*Libugu*、*a-uzauzalu* 等五種品系中，蔗糖含量分別為 5.66 ± 0.02 mg/g、 3.54 ± 1.07 mg/g、 5.69 ± 0.06 mg/g、 5.43 ± 0.18 mg/g、 5.96 ± 0.19 mg/g (表一)。小米中以 *Jalelevelan* 含 Sucrose 量最低，*Gucele* 為 *Jalelevelan* 的 1.61 倍，*Libugu* 為 *Jalelevelan* 的 1.53 倍，*Cukila* 為 *Jalelevelan* 的 1.60 倍，*a-uzauzalu* 為 *Jalelevelan* 的 1.68 倍 (圖三)。紅藜平均蔗糖含量約為 17.42 mg/g，為小米含量(5.25 mg/g)的 3.3 倍。紅藜三種品系(黃色、紅色與花蓮品系)均無法偵測到果糖的存在；而小米的果糖含量如下：*Cukila* 0.26 ± 0.00 mg/g、*Jalelevelan* 0.40 ± 0.04 mg/g、*Gucele* 0.37 ± 0.03 mg/g、*Libugu* 0.26 ± 0.07 mg/g、*a-uzauzalu* 0.46 ± 0.06 mg/g (表一，圖四)。

三、紅藜及小米澱粉含量分析

紅藜三種品系(黃色、紅色與花蓮品系)與小米五種品系(*Cukila*、*Jalelevelan*、*Gucele*、*Libugu*、*a-uzauzalu*) 的種子均將完全萃取小分子沉澱部份進行 pullulanase 與 amyloglucosidase 水解，同時以商品化的馬鈴薯澱粉作為控制組，定量水解生成的葡萄糖回推種子內的澱粉含量。紅藜三種品系分別為黃色品系： 770.67 ± 52.05 mg/g、紅色品系： 762.67 ± 24.44 mg/g 與花蓮品系： 661.33 ± 9.24 mg/g (表一)。紅藜的花蓮品系含澱粉量最低，其中黃色品系為花蓮品系的 1.17 倍，紅色品系為花蓮品系的 1.15 倍 (圖五)。小米 *Cukila*、*Jalelevelan*、*Gucele*、*Libugu*、*a-uzauzalu* 等五種品系中，澱粉含量分別為 656 ± 11.31 mg/g、 670 ± 65.05 mg/g、 649 ± 57.98 mg/g、 621 ± 29.70 mg/g、 625 ± 12.73 mg/g (表一)。小米中的澱粉含量差異不大；以 *Libugu* 含澱粉量最低，*Jalelevelan* 為 *Libugu* 的 1.08 倍，*Gucele* 為 *Libugu* 的 1.05 倍，*Cukila* 為 *Libugu* 的 1.06 倍，*a-uzauzalu* 為 *Libugu* 的 1.01 倍(圖五)。紅藜平均澱粉含量約為 731.6 mg/g，為小米含量(644.2 mg/g)的 1.14 倍。

四、紅藜 α -澱粉酶活性分析

紅藜黃色、紅色與花蓮品系三種品系之種子均萃取出總量蛋白進行 α -澱粉酶活性分析。如表二所示，三種品系之 α -澱粉酶活性分別為黃色品系： 58.14 ± 3.10 Units/mg 總量蛋白、紅色品系： 46.25 ± 11.31 Units/mg 總量蛋白與花蓮品系： 49.49 ± 9.31 Units/mg 總量蛋白。其中以紅色品系的 α -澱粉酶活性最低，其中黃色品系為紅色品系的 1.26 倍，花蓮品系為紅色品系的 1.07 倍(圖

六)。

五、紅藜 β -澱粉酶活性分析

紅藜黃色、紅色與花蓮品系三種品系之種子均萃取出總量蛋白進行 β -澱粉酶活性分析。如表二所示，三種品系之 β -澱粉酶活性分別為黃色品系： 0.1 ± 0.00 Units/mg 總量蛋白、紅色品系： 0.07 ± 0.00 Units/mg 總量蛋白與花蓮品系： 0.03 ± 0.00 Units/mg 總量蛋白。紅藜的花蓮品系的 β 澱粉酶活性最低，其中黃色品系為花蓮品系的 3.33 倍，紅色品系為花蓮品系的 2.33 倍(圖七)。

肆、討論

在今年度的計畫中，研究目的在於釐清不同品系之紅藜與小米對小米酒風味之影響。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。然而在釀造小米酒過程中所需之基本資料如糖類含量與組成及相關酵素活性相對缺乏。為了增加民族植物之永續利用與提升其經濟價值，實需建立小米及紅藜之基本組成以分析其對小米酒風味之影響。我們一共收集三種品系之紅藜(黃色、紅色與花蓮品系)及五種品系之小米(*Jalelevelan*、*Libugu*、*Gucele*、*Cukila*、*a-uzauzalu*)，並且分析其中糖類及澱粉組成與澱粉酶活性差異，以期找出適當之品系提供原住民栽種。

紅藜所含之澱粉酶可將小米所含之澱粉分解成葡萄糖，酵母菌將使用這些葡萄糖經酒精發酵產生小米酒；故紅藜中含有澱粉酶活性較高者應為優良品系。在澱粉酶酵素活性分析中發現，三種品系之 α -澱粉酶活性中以黃色品系最高(58.14 ± 3.10 Units/mg 總量蛋白)，其活性高出紅色品系及花蓮品系 1.26 倍與 1.17 倍。而在 β -澱粉酶活性分析中亦以黃色品系最高，其活性高出紅色品系及花蓮品系 1.43 倍與 3.33 倍。因此若單純考量澱粉酶酵素活性，應該以紅藜黃色品系為優良品種。另紅藜黃色品系所含之澱粉、葡萄糖及蔗糖也是三種品系中含量最高者，因此此黃色品系應該適合用來釀造小米酒。而小米所含之澱粉為酒精發酵主要之前驅物，因此在小米品系的選擇上應以澱粉含量較高者為優先。在澱粉含量分析中發現，此五種品系之小米澱粉含量差異不大；其中以 *Jalelevelan* 品系含量較高。*Jalelevelan* 品系的葡萄糖及果糖含量也較其他品系高出許多，不過其蔗糖含量則偏低。綜合上述結果，以小米 *Jalelevelan* 品系及紅藜黃色品系所釀造出之小米酒可能有較優良的品質。

在我們的研究中發現紅藜種子富含澱粉、葡萄糖及蔗糖，而種子中也含有澱粉酶酵素活性。因此如何利用紅藜的特性來開發出新的產品成為一個重要的課題。在食品工業中的釀酒業及麵包業都需要使用到澱粉及澱粉酶。以麵包業為例，為維持酵母的發酵，產生足夠的二氧化碳，可直接加入蔗糖、或高 DE 值的糖漿。另外也可藉著加入澱粉水解酵素；如 α -澱粉酶、 β -澱粉酶 或 *amyloglucosidase*，將大分子的碳水化合物分解為可利用的小分子糖類。在完整、未發芽小麥磨製的麵粉中，含有多量的 β -澱粉酶，而 α -澱粉酶則需另外補充。

因此我們若能研發出在麵包製造過程中將紅藜種子加入，利用其富含之單糖與 α -澱粉酶來幫助酵母菌發酵，應該是一個值得研究的課題。另中研院植物所曾透過基因工程技術在水稻中表現細菌澱粉水解酶，其可事先將水稻中所含之澱粉分解成糖類，所以煮出之米飯較為香甜。紅藜種子富含蛋白質及糖類，其中更有水稻所缺乏的胺基酸。如果可將紅藜開發成米飯之營養添加物，不但可以補充稻米中所缺乏之胺基酸及微量元素，更可利用其所含有之澱粉酶分解稻米所含之澱粉。為了驗證上述想法之可行性，我們需要先分析紅藜所含有之澱粉酶耐熱程度。根據我們訪視原住民中得知，紅藜種子應為富含糖類，所以常煮成甜湯食用。原住民發現常在烹飪過程中紅藜種子會迅速萌芽，此結果暗示紅藜所含有之澱粉酶應有不錯之耐熱度。為了儘速釐清以上問題，我們應該對紅藜做更深入的研究；期盼透過這些研究可增加原住民的收益。

參考文獻

1. 伊藤 寬，1994。酒麴製造。日釀協誌 89：(12) 948~953。
2. 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。
3. 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。
4. 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。
5. 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。
6. Antonelli, A., Castellari, L., Zambonelli, C. and Carnacini, 1999.A., Yeast influence on volatile composition of wines. J. Agri. Food Chem.. 47 (3) : 1139~1144.
7. Chandler JW, Apel K, Melzer S (2001) A novel putative β -amylase gene and AT β -Amy from *Arabidopsis thaliana* are circadian regulated. Plant Sci. 161: 1019-1024.
8. Dreier W, Schnarrenberger C, Borner T (1995) Light and stress-dependent enhancement of amylolytic activities in white and green barley leaves: β -amylases are stress-induced proteins. Journal of Plant Physiology 145 : 342–348.
9. 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.
10. 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.
11. Kampfenkel K, Montagu MV, Inzé D (1995) Analytic Biochem 225: 165-167.
12. Kaplan F, Guy CL (2004) beta-Amylase induction and the protective role of maltose during temperature shock. Plant Physiol. 135:1674-84.
13. Lin CC, Kao CH (1995) NaCl stress in rice seedlings: starch mobilization and the influence of gibberellic acid on seedling growth. Bot. Bull. Acad. Sin. 36: 169-173.
14. Nakamura K, Ohto M, Yoshida N, Nakamura K (1991) Sucrose-induced accumulation of β -amylase occurs concomitant with the accumulation of starch and sporamin in leaf-petiole cuttings of sweet potato. Plant Physiol. 96: 902-909.
15. Nielsen TH, Deiting U, Stitt M (1997) A β -amylase in potato tubers is induced by

storage at low temperature. *Plant Physiol.* 113: 503-510.

16. Teotia S, Khare S.K, Gupta M. N(2001) An efficient purification process for sweet potato α -amylase by affinity precipitation with alginate. *Enzyme Microb. Technol.* 28 : 792-795.

附表

分類 品種	總醣	澱粉	Glucose	Sucrose	Fructose
紅藜-黃	26.96±3.06	770.67±52.05	1.32±0.04	18.82±0.27	-
紅藜-紅	20.11±2.90	762.67±24.44	0.70±0.06	15.69±0.66	-
紅藜-花蓮	37.44±5.14	661.33±9.24	1.11±0.10	17.75±0.45	-
小米 <i>Jalelevelan</i>	10.55±1.48	670±65.05	0.31±0.02	3.54±1.07	0.40±0.04
小米 <i>Gucele</i>	12.80±0.01	649±57.98	0.26±0.01	5.69±0.06	0.37±0.03
小米 <i>Libugu</i>	11.83±0.08	621±29.70	0.22±0.04	5.43±0.18	0.26±0.07
小米 <i>Cukila</i>	10.00±0.08	656±11.31	0.21±0.00	5.66±0.02	0.26±0.00
小米 <i>a-uzauzalu</i>	11.31±0.12	625±12.73	0.31±0.03	5.96±0.19	0.46±0.06

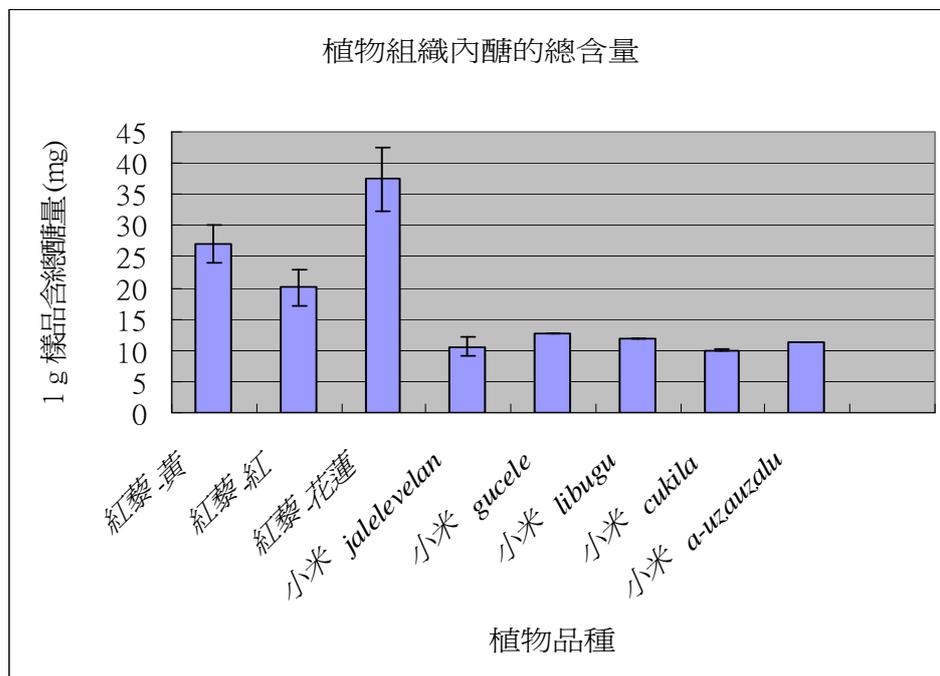
表一、不同品系紅藜及小米種子糖類及澱粉含量分析。單位：mg/g 種子。

(-)：含量低於可偵測範圍。

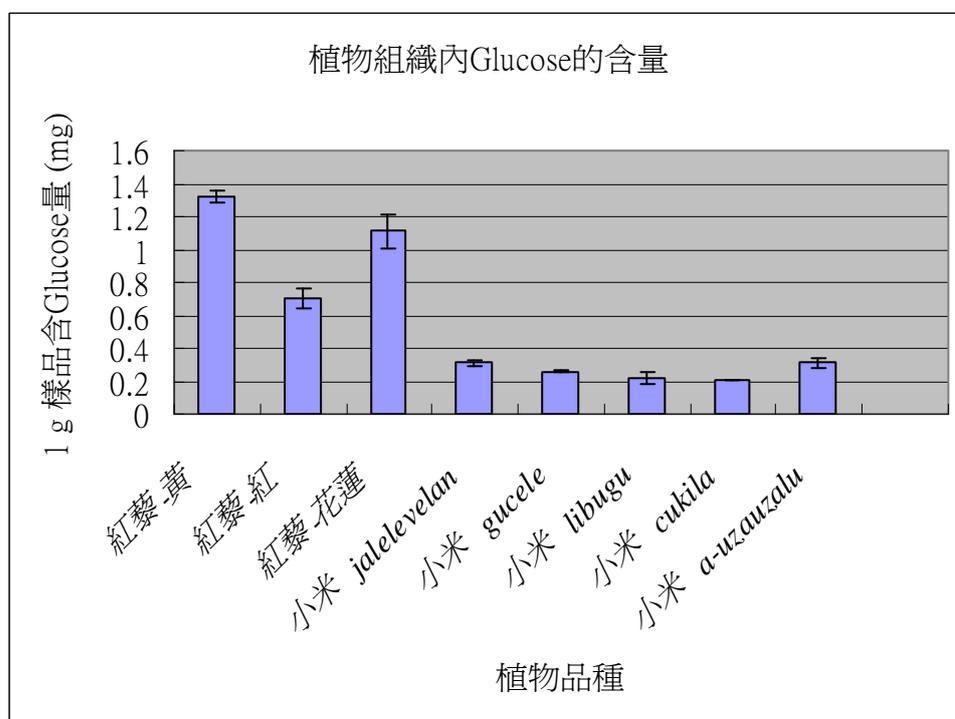
品種	α amylase 活性	β amylase 活性
紅藜-黃	58.14±3.10	0.1±0.00
紅藜-紅	46.25±11.31	0.07±0.00
紅藜-花蓮	49.49±9.31	0.03±0.00

表二、不同品系之紅藜種子 α 及 β 澱粉酶酵素活性分析。單位：Units/mg 總量蛋白。

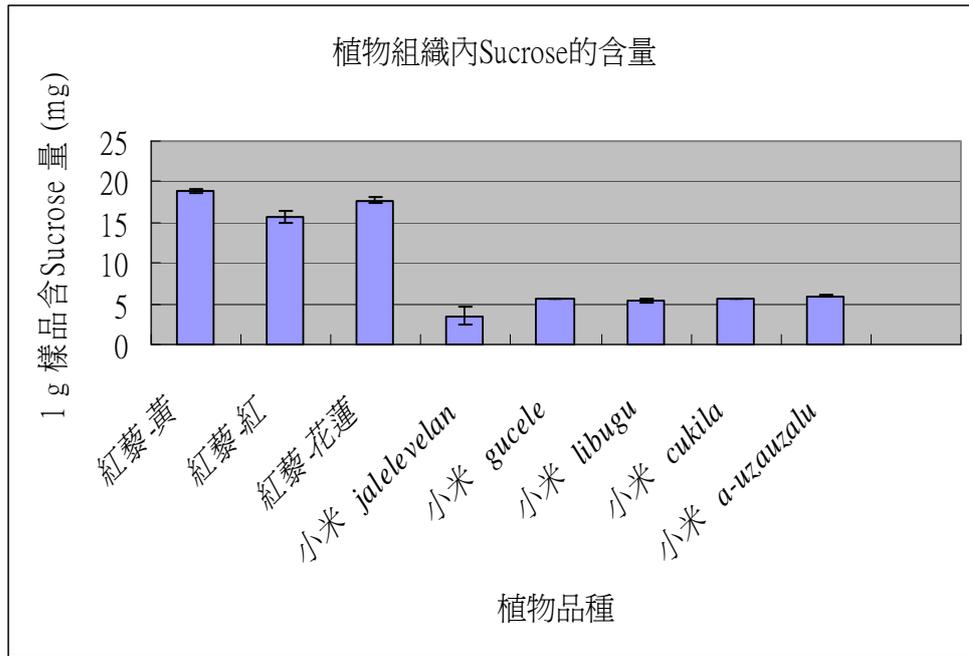
附圖



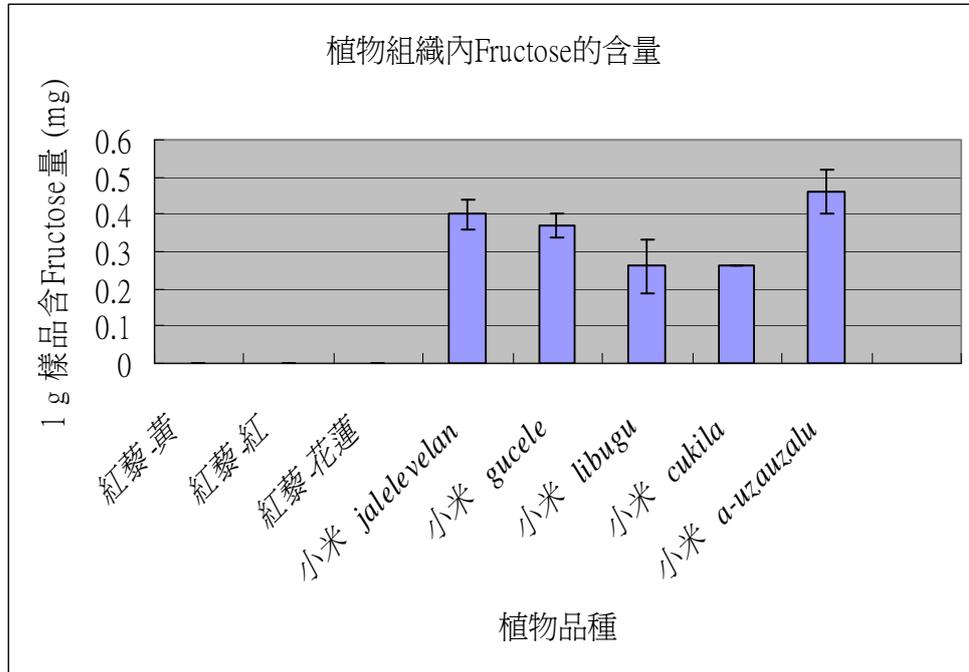
圖一、不同品系紅藜及小米種子總醣含量分析。



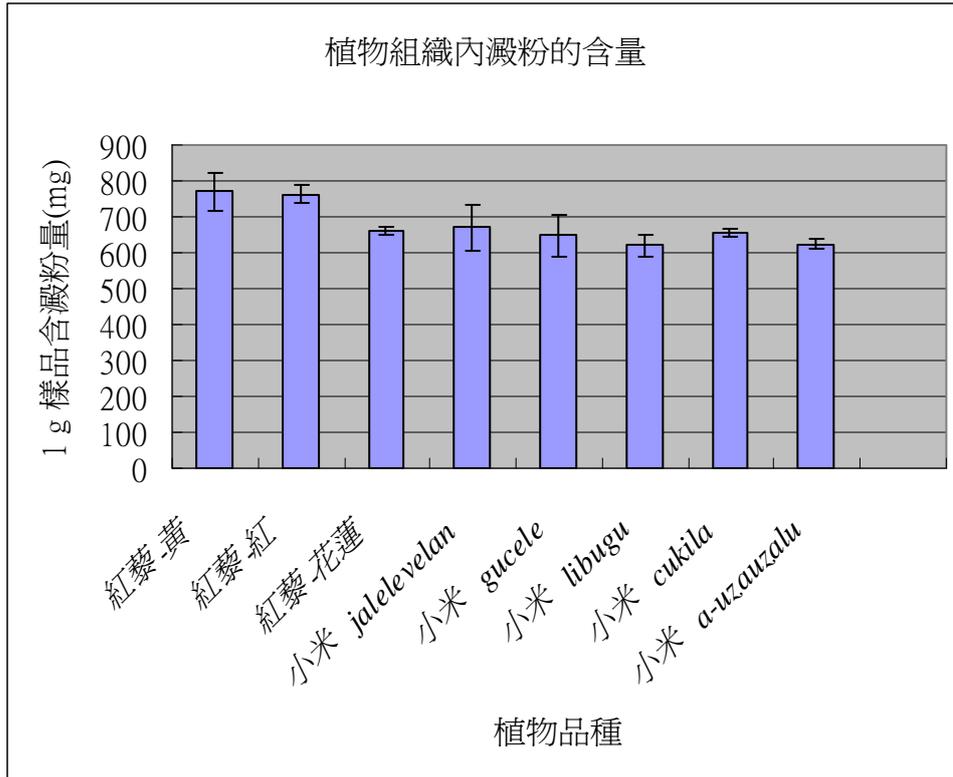
圖二、不同品系紅藜及小米種子葡萄糖含量分析。



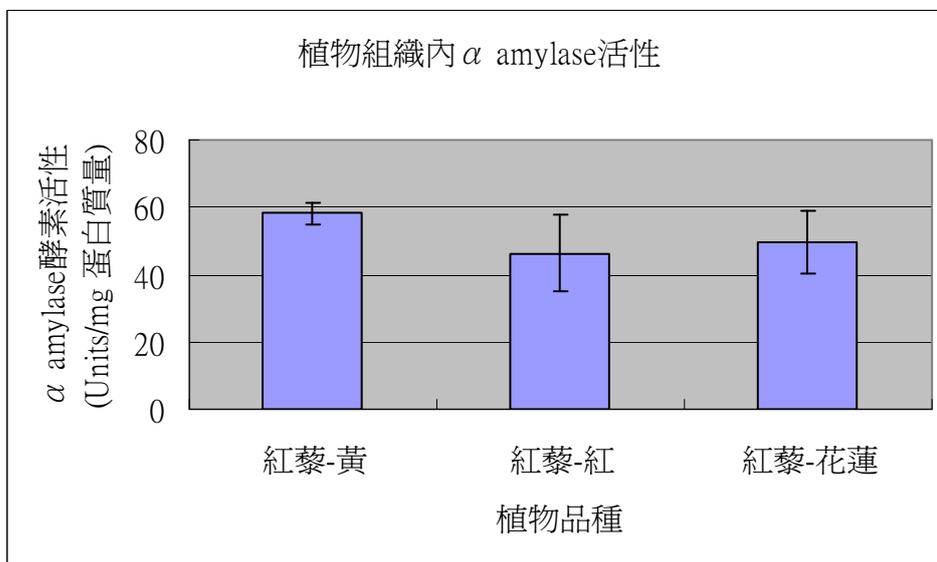
圖三、不同品系紅藜及小米種子蔗糖含量分析。



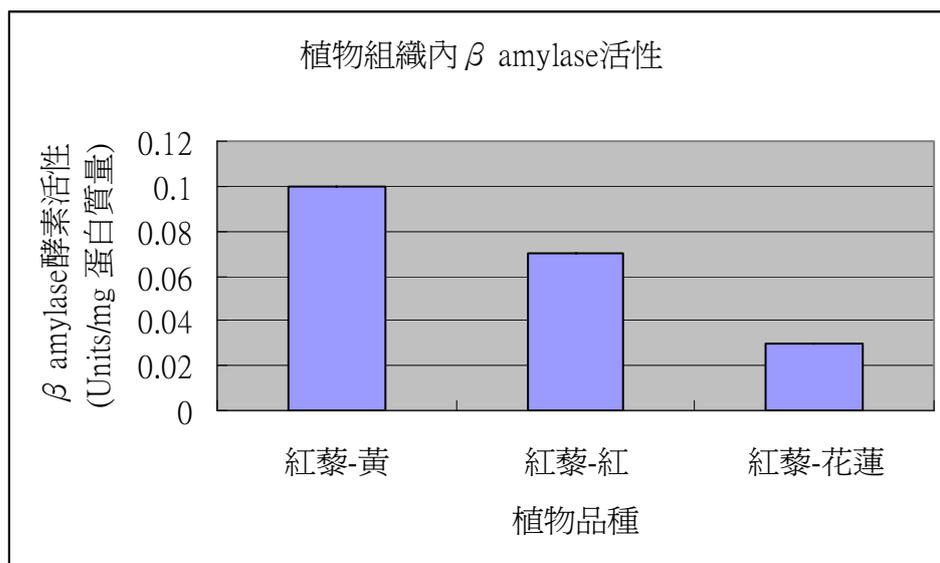
圖四、不同品系紅藜及小米種子果糖含量分析。



圖五、不同品系紅藜及小米種子澱粉含量分析。



圖六、不同品系之紅藜種子 α 澱粉酶酵素活性分析。單位：Units/mg 總量蛋白。
 酵素活性定義：平均吸光值/培養時間（10min）=0.01 為 1 unit。



圖七、不同品系之紅藜種子 β 澱粉酶酵素活性分析。單位：Units/mg 總量蛋白。
 酵素活性定義：平均吸光值/培養時間 (10min) = 1 為 1 unit。

公開

密件、不公開

計畫) 識別碼:110401e203

行政院農業委員會 95 年度科技計畫研究報告

資訊庫編號:953146

計畫名稱： 民族植物紅藜之營養及機能性成分之永續利用
(第1年/全程3年)

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

計畫編號： 95 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： 95 年 1 月 1 日至 95 年 12 月 31 日

計畫主持人： 蔡碧仁

執行機關： 國立屏東科技大學食品科學系

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：95 農科-11.4.1-務-e2(3)

計畫主持人：蔡碧仁 教授

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

摘要

本研究重點在於台灣紅藜營養成分與機能性抗氧化成分資料之建立，及探討其永續利用之可行性。結果顯示，紅色種含澱粉 50.3%，粗蛋白含量(14.4%) 與小麥含量(14.3%)相近，其中並含有一般白米之限制胺基酸離胺酸(0.73%)。膳食纖維(14.0%) 比一般穀類多，為地瓜的六倍。亦富含機能性礦物元素如硒、鋅、鎳等。黃色品種其成份與紅色種類似，但缺乏硒元素。高機能性的類黃酮與總酚在紅色與黃色品種各為 127.95 mg 與 145.6 mg 及 873mg 與 824mg (每 100g)。而紅藜色素屬於甜菜色素(betalain)，具有強抗氧化力。本研究進一步就 pH(3-7) 及高溫(50-90°C)對紅藜機能性色素之穩定及抗氧化力進行探討。結果顯示，該色素在 50°C 加熱時受 pH 值影響不大，但 60°C~70°C 時以 pH5-7 較為穩定；若 80°C 以上，則所有 pH 值均不穩定。褪色之活化能，均以 pH7 者最高，pH3 最低。此外，紅色紅藜種子在 pH5 下，抗氧化活性表現最佳，隨著加熱時間增加，FRAP 由 3500 μ mole/L 降到 2200 μ mole/L，DPPH 清除能力則由 30%降到 10%左右。進一步利用 HPLC 純化分離紅藜中的色素及酚類化合物，結果顯示，紅藜中含有 betalains 及其異構物，總含量約為 133.06(mg/g dw)。而紅藜中酚類化合物以沒食子酸最高(14.9%)，其次為漂木酸(3.23%)、芸香苷(2.36%)及香豆酸(1.85%)。相關性分析並發現，紅藜中的抗氧化力與色素及酚類化合物顯著正相關，因此推測紅藜的抗氧化主要是來自於紅藜當中的色素及酚類化合物。最後在永續利用方面，利用不同的方式(蒸煮、微波、烤、炸及微波)開發出紅藜燕麥脆餅、紅藜微波米、紅藜蒸飯、紅藜炸薯球、紅藜香鬆、及紅藜米香等產品，並進行其儲存品質及抗氧化力分析。結果顯示，添加紅藜可明顯保持產品較佳抗氧化品質，而避

光及充氮包裝有利於紅藜微波米色澤與抗氧化性之保持。因此只要配合適當之方式與條件，省產紅藜值得永續利用與推廣。

關鍵字：紅藜、抗氧化、甜菜色素、總酚、永續利用

Abstract

The aim of this study is to investigate the nutritional compounds, antioxidant capacity and sustainable utilization of Djulis seed. Results showed that, Djulis seeds of red variety contain the starch 50.3 % . When compared with cereal crops, Djulis posses the similar content of crude protein (14.4 %) as wheat and high content of lysine(limited amino acid, 0.73%) than rice. The dietary fiber (14.9%) is 6 times higher than sweet potato. Functional minerals such as Se, Zn and Ge are also included. Compounds of yellow variety, except lack of Se, were similar to the red one. They are also rich in flavonoid (127.95 mg and 145.6mg/100g for redand yellow variety respectively), total phenol (873 mg and 824mg/100g for red and yellow variety respectively) and betanin, which is a powerful antioxidant. Further study of the stability of betalain and antioxidant capacity was processed by the water extract at pH 3-7 and 50-90°C . Results showed that, samples in all pH values behaved similarly at 50°C or above 80°C, while during 60-70°C, pH 5-7 showed the highest stability as well as the highest activation energy. In addition, highest antioxidant capacity exhibited at the samples with pH 5 and decreased during heating (FRAP from 3520 to 2200 $\mu\text{mole/l}$, DPPH scavenging from 30% to 10%). Purification of betanin and phenolic compounds through HPLC showed that betanin with isomers were 133.06(mg/g dw). As to the phenolic compounds, gallic acid showed the highest amount (14.9%), followed by chlorogenic acid (3.23%), rutin (2.36%), and coumaric acid(1.85%). Both betalain and phenolic compounds showed high relationship with the antioxidant capacity and can be assumed to be main source of the bioactive properties of Djulis. Finally, for the sustainable utilization of Djulis, steam cook, bakery, fry and microwave were used to develop the crackies, microwave rice, steam rice, potato ball, shang-song and pop rice. Apparently, addition of Djulis favors the antioxidant capacity of products during storage. Low temperature, dark and N₂ package also exhibited a better color and antioxidant capacity of Djulis microwave rice products during storage. It indicates that, through a proper technique, Djulis is worthy of sustainable utilization and application.

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

壹、前言

紅藜(*Ghenopodium spp.*)為藜屬植物，俗稱 Djulis，生長在南美安地斯山脈，為當地原住民傳統五穀糧食，可於寒冷及貧瘠的土壤生長。紅藜的種子粒徑約1.5 mm的小圓粒，為其可食用部分，含高量澱粉與蛋白質。由於營養豐富，遠大於一般蔬菜或種子作物，對人類可提供營養與醫藥用途 (Partap *et al.*, 1998)。最主要的烹調方式為煮成稀粥或作為酒類釀酵用，亦可磨粉製成麵包(*bithu-roti*)或加入烘培等用途。種子粉末可供作小孩子的驅蛔蟲藥(Partap *et al.*,1998)；植株亦可用來作為飼料。

紅藜含有12-18%的蛋白質(Johnson, 1990)，同時也含豐富的鈣、磷、鐵、鈉及鉀等。尤其具有豐富的必需胺基酸，例如離胺酸、甲硫胺酸與胱胺酸等，這些胺基酸是大多數穀類所欠缺的。由於它的高營養價值，目前有些國家如美國、日本、丹麥及加拿大等鼓勵研究，擬使紅藜開發成為新的作物(Jacobsen and Stplen, 1993; Small, 1999)。此外，紅藜亦被美國國家航空暨太空總署的CELSS(Controlled Ecological Life Support System)視為有潛力的「新」作物(Schlick and Bubenheim, 1996)，其附加的經濟價值，值得進一步開發利用。在台灣，省產紅藜為原住民傳統五穀糧食，富含豐富的營養，但對其品種特性、機能性成分或應用相關資料，完全付之闕如。因此本研究將著重於省產紅藜營養成分分析、機能性抗氧化分析及實用性開發等三大部分，希望能瞭解其基本特性後，再進一步加以推廣。

貳、材料與方法

一、實驗材料

本實驗採用之紅色紅藜(*Chenopodium spp.*)種子，取自屏東科技大學生物多樣性研究中心。

二、實驗流程

本實驗以紅色及黃色紅藜(*Chenopodium spp.*)種子，就其一般營養成分，機能性成分加以分析。並以不同色素之穩定性及抗氧化力為對象，由其種子色素液進行模擬系統，探討溫度(50 °C~90 °C) 及 pH 值(pH 3~7)，對其色澤(A₅₃₀)穩定性及抗氧化力之影響。此外，並就其抗氧化成分加以純化分離，探討主要機能性成分。最後則進行永續利用產品之開發，利用不同貯存條件，探討紅藜實用推廣的方式與條件。

三、實驗方法

(一) 紅藜營養成分分析

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

1. 粗蛋白質：

採凱氏粗蛋白定量法，取乾燥樣品以濃硫酸消化分解至澄清，加入鹼液蒸餾，釋放出氨氣，以硼酸溶液吸收之，再以鹽酸溶液滴定至紅色，加以計算。

2. 胺基酸：送檢。

3. 還原糖：送檢。

4. 澱粉：送檢。

5. 膳食纖維：送檢。

6. 硒、鋅、鎳等元素：送檢。

7. 酚類化合物：

取萃取液50 µl加入水及100 % Folin-Ciocalteu's phenol reagent混合，加入NaCO₃水溶液後，予以充份混合，靜置30分鐘後，測735 nm 吸光值。

8. 類黃酮：

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

9. 維生素 C：參考 Deutsch (1984)之方法。

取 2ml 抗壞血酸標準溶液，以 Indophenol 溶液滴定至粉紅色，且呈色維持 3 秒不變後，記錄使用 Indophenol 溶液體積，稱之為標準溶液滴定數。取 5ml 樣品，並加入 5ml HPO₃-HOAc，以 Indophenol 溶液滴定至粉紅色，記錄所使用的 Indophenol 溶液體積，依下列公式計算含量。

$$\text{抗壞血酸 (mg/100ml)} = \frac{\text{Indophenol 滴定量(ml)} \times \text{標準溶液量(ml)} \times \text{標準溶液濃度(mg/100ml)}}{\text{Vitamin C 滴定量(ml)} \times 5\text{ml}}$$

(二) 紅藜色素穩定性試驗

1. 色素水萃液最佳萃取溶劑比例及時間

先以紅色及黃色紅藜種子浸置於蒸餾水，在4°C下萃取30分鐘後以分光光度計掃描其波長，找出色素最大吸光波長後，再以種子與水，不同比例，進行48小時連續萃取，找出最大吸光值，為最佳萃取溶劑比例及時間。

2. 色素熱穩定試驗

依前述最佳萃取條件所得之色素水萃液，調成pH3、4、5、6和7，於不同溫度(50°C~90°C)下加熱後，以分光光度計測其吸光值，以探討紅色及黃色紅藜種子水萃液之熱穩定性。

3. 活化能之計算

前述熱穩定試驗之數據，進一步換算褪色所需的活化能。依前述不同pH值及溫度之吸光值與加熱時間之曲線，以回歸方程式求得斜率，再代入公式，求得活化能，以解釋其色素熱穩定性。活化能(-Ea)公式為 $\ln K = -E_a/RT$ 其中 $K = \text{rate constant}$ ， $R = 1.986$ ， $T = (^\circ\text{C} + 273)$ 。

(三) 紅藜抗氧化活性分析

依萃取最適條件所得之水萃液，分別在不同 pH 值(pH 3~7)及不同溫度(50°C~90°C)下，測定其 FRAP 還原能力及 DPPH 自由基清除能力，以探討溫度與 pH 值對紅藜色素抗氧化力之影響。

(四) 紅藜抗氧化成分之分離純化

1. 紅藜色素之高效能液相層析儀(HPLC)分析

紅藜種子水草物溶液，以 $0.45\ \mu\text{m}$ 過濾器過濾，取 $20\ \mu\text{l}$ 以高效能液相層析儀(HPLC, L-7420 UV-VIS Detector, L-7100 Pump, D-7500 integrator, HITACH, Japan)分析，HPLC 分析條件係參考 Florian 等(2002)與謝(2003)分析方法，分析條件如下：

Column：RP-18 (250-4.6 mm id., Hitachi)，Flow rate：1 ml/min

Mobile phase：0.2 % (v/v) formic acid in water 及 acetonitrile/water (80/20, v/v)

採 Gradient elution：在 30 分鐘內由 formic acid：acetonitrile 92：8 轉成 84:16

Detector：UV detector, 538 and 484 nm

2. 紅藜酚類之高效能液相層析儀(HPLC)分析

依黃(2004)方法，將紅藜種子水草物溶液，以 $0.45\ \mu\text{m}$ 膜過濾，取 $20\ \mu\text{l}$ 以前述HPLC進行分析，再與標準品沒食子酸(gallic acid)、兒茶素(catechin)、漂木酸(chlorogenic acid)、咖啡酸(caffeic acid)、表兒茶素(epicatechin)、香豆酸(coumaric acid)、阿魏酸(ferulic acid)、芸香苷(rutin)、肉桂酸(cinamic acid)作比對。HPLC分析條件如下：

Column：RP-18 (250-4.6 mm id., HITACHI)，Flow rate：1 ml/min

Mobile phase：5 % (v/v) Acetic acid in water 與 acetonitrile

Detector：UV detector, 280 nm

採 Gradient elution：在 60 分鐘內由 acetic acid：acetonitrile 100:0 轉成 72:28

(五) 紅藜永續利用產品之開發與儲藏

取紅藜種子與麵粉、馬鈴薯、米及相關配料，採用烘烤、微波、蒸煮、油炸、膨發及調配方式，進行餅乾、米飯、薯球、米香及香鬆之開發與製作。並將紅藜餅乾與微波米飯，進行添加紅藜對貯存期間品質與抗氧化力影響之調查。後者並進行溫度、充氮包裝與遮光條件的比較，以找出紅藜永續利用時，適當貯存條件。

(六) 品質測定

1. 水分含量分析：以紅外線水分測定儀 (Denver Instrument IR-200, Denver Instrument Company, USA) 進行測定，三重複。

2. 水分活性分析：取適量樣品，置於水活性測定儀（AQUA LAB, CX-2型，Decagon Devices Inc., USA），待其達到平衡後，紀錄數值，三重複。
3. 總酚：參考Julkunen（1985）之方法，取2 mL萃取樣品，加入等量酸性乙醇溶液，各取0.1 mL加入2 mL之 Na_2CO_3 溶液混和均勻，再加入0.1 mL 50% Folin-ciocalteau 試劑，測750 nm吸光值。
4. DPPH自由基清除能力測定。

取萃取樣品，加入新鮮配製之 1mM α , β -diphenyl-picryl-hydrazyl (DPPH)之甲醇溶液 1mL ，均勻混合，並靜置30分鐘後，於517nm測其吸光值。以【 $1 - (\text{樣品吸光值} / \text{未加樣品之控制組吸光值})$ 】 $\times 100$ ，得到清除自由基效應百分比。清除百分比值愈高者，抗氧化性愈高。

5. 還原力ferric reducing of plasma (FRAP)

利用測定血漿內鐵還原能力是採用 FeCl_3 溶液，TPTZ及pH 3.6醋酸鈉 (NaHOAc)緩衝液，混合均勻，即為FRAP reagent，加入蒸餾水及樣品溶液，震盪混勻，於室溫下反應30 min，測定 A_{593} 之吸光值。並以不同濃度之 FeSO_4 溶液當作標準品，製作標準曲線，換算出樣品還原能力之濃度。

(七) 統計分析

各項實驗皆經三重覆以上採樣檢測，將所得實驗數據使用 SAS 軟體進行統計分析，並作顯著性差異、Pearson 相關性比較。

參、結果

一、紅藜營養成分分析

如文獻(Jenny R. and Baboo M.N., 1993)所述，紅藜種子含豐富的營養，如醣類、蛋白質、脂質、維他命及礦物質等。紅色種及黃色種中澱粉含量約為 50 %及 46.6 %，且不論紅色種或黃色種皆有高含量的膳食纖維(約 14 %)、粗蛋白(14.4 %及 14.6 %)及具有抗氧化活性的類黃酮類(127.95 及 145.6 mg/100g Fw) 與酚類化合物 (873 及 824 mg/100g Fw)(表 1)。此外，紅藜含有多量的天門冬胺酸 (1.1-1.06 %)、麩胺酸(1.9-2.02 %)、精胺酸(1.17-1.21 %) 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，且紅色種含量較黃色種為高。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 2)。在機能性礦物質方面，紅色種中含有豐富的微量元素如硒、鋅、鎳等(各為 0.31、24.5、0.47 ppm)(表 1)，較一般穀類為高。而黃色種中雖無硒元素，但也有高量的鋅(33 ppm)及 0.21 ppm 的鎳元素。故紅藜不論在基本營養成分或機能性成分，皆是很好的膳食補充來源，值得推廣。

二、紅藜色素之穩定性

(一) 紅藜種子色素最適萃取條件

經由水萃液最大吸光波長確定後，進行連續萃取，並以不同溶劑比例及時間，尋求最適萃取條件。結果顯示，紅色種紅藜色素於 480 nm 及 530 nm 均有一最大吸收波峰(圖 1(a))，而黃色種之最大吸收波峰則位於波長 474 nm，但皆在 4°C 下連續萃取至 12 小時之後，達色素最大溶出率(圖 1(b))。而溶劑比例不同時，所獲得色素之吸光值不同。比例為 1:5 與 1:100 時，吸光值各約為 1.8 與 0.2。為操作方便，往後試驗萃取條件皆以紅藜種子:蒸餾水(1:100)，於 4°C 下萃取 12 小時為準，並依此進行其色素之穩定性及抗氧化活性的試驗。

表 1. 紅藜種子一般營養成分分析

營養成分	紅藜種類	
	紅色	黃色
水分含量(%)	8.93	10.48
水活性(Aw)	0.56	0.57
澱粉(%)	50.3	46.6
粗蛋白(%)	14.0	13.9
膳食纖維(%)	14.0	13.9
硒(ppm)	0.31	N.D
鋅(ppm)	24.5	33
鋇(ppm)	0.47	0.21
類黃酮(mg/100g)	127.95	145.6
酚類化合物(mg/100g)	873.0	824.0

表 2. 紅藜種子中胺基酸成分表

胺基酸種類	紅藜種類	
	紅色	黃色
天門冬胺酸(Aspartic acid)	1.10	1.06
蘇胺酸(Threonine)	0.46	0.46
絲胺酸(Serine)	0.55	0.57
麩胺酸(Glutamic acid)	2.02	1.90
脯胺酸(Porline)	0.49	0.48
甘胺酸(Glycne)	0.74	0.72
丙胺酸(Alanine)	0.49	0.45
胱胺酸(Cysteine)	N.D	N.D
攪胺酸(Valine)	0.60	0.55
甲硫胺酸(Methionine)	0.10	0.12
異白胺酸(Isoleuine)	0.51	0.46
白胺酸(Leucine)	0.85	0.82
酪胺酸(Tyrosine)	0.43	0.42
苯丙胺酸(Phenylalanine)	0.58	0.55
組胺酸(Histidine)	0.38	0.35
離胺酸(Lysine)	0.73	0.70
精胺酸(Arginine)	1.21	1.17

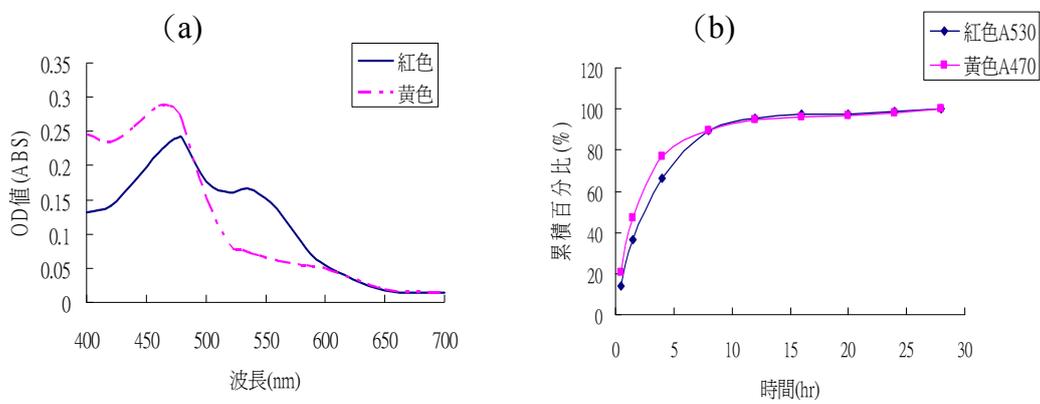


圖 1. 紅藜於 4°C 下(a)萃取 30min 波長掃描吸光值(b)不同萃取時間色素含量之變化

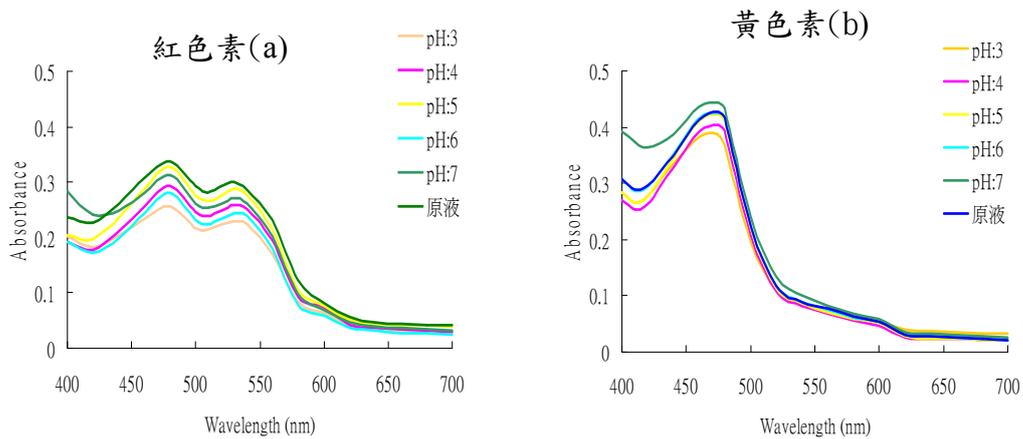


圖 2. 紅藜種子水萃液(a)紅色素(b)黃色素於不同 pH 值下之波長掃描

(二) 不同 pH 值對紅藜水草液色素之影響

前述水草液，調整其 pH 值(pH 3~7)，觀察外觀變化，並以分光光度計測其最大波長之吸光值。結果如圖 2 所示。紅色紅藜種子色素在 pH 5.0 時，顏色最紅，且有最大的吸光值。其吸光值由 pH 3 至 pH7 在 A_{480} 分別為 0.257、0.293、0.327、0.280 及 0.314；在 A_{530} 時，吸光值(O.D.)分別為 0.230、0.259、0.288、0.243 及 0.270。黃色種紅藜種子水草液之最大吸收波峰為 474 nm，pH 3 至 pH7 之 A_{474} 分別為 0.388、0.403、0.422、0.425 及 0.433。顯然地，紅色種在 pH5，黃色種在 pH 7 時，水草液有最強的吸光值與色素呈色。

(三) 紅藜色素熱穩定性試驗

為探討不同 pH 值下，紅藜色素對熱的穩定性，分別將紅色與黃色紅藜種子水草液調整其 pH 值為 3~7，於不同溫度(50 °C~90 °C)下加熱，測其吸光值，再進一步以加熱動力學模式，計算紅藜色素褪色所需之活化能。

結果如圖 3 所示。紅藜種子色素水草液在不同 pH 值加熱半小時後皆會由紅色褪成黃色，加熱溫度愈高，褪色速率愈快，可知紅藜紅色素對熱相當敏感。其中，紅色種以 pH 7 時 50°C 加熱者之褪色程度最低，此可作為日後應用之參考。圖 4 為紅藜紅色素及黃色素在不同 pH 值下，褪色所需活化能。顯然地，於 pH 7.0 時，其活化能為最高，其次為 pH 6、pH 5、pH 4 和 pH 3，其值依序分別為 15.38、15.16、14.61、11.21 和 9.25 Kcal/mole，此可解釋紅色紅藜色素在 pH 7 時加熱最穩定的事實。而黃色種色素萃取液加熱後也有類似的褪色現象，但橘黃褪成黃色較不明顯。其褪色活化能仍以 pH7 最高，其次為 pH6、pH5 而 pH4 和 pH3 較低，分別為 17.035、16.471、15.65、13.824 及 12.236 kcal/mole。根據加熱動力學原理，不論紅色或黃色種紅藜色素經加熱後在 pH 7 時，有較大的活化能，可知紅藜色素在 pH 7 下，需較大的能量才能使之褪色，因此有較佳的熱穩定性。

三、紅藜抗氧化活性分析

紅藜機能性探討方面，分別就不同萃取溶劑比例與時間，不同 pH 值(pH 3~7)及溫度(50°C~90°C)之處理條件下，紅藜種子之抗氧化能力(FRAP 還原力及 DPPH 清除自由基能力)加以測定，以了解其抗氧化活性實際利用時，

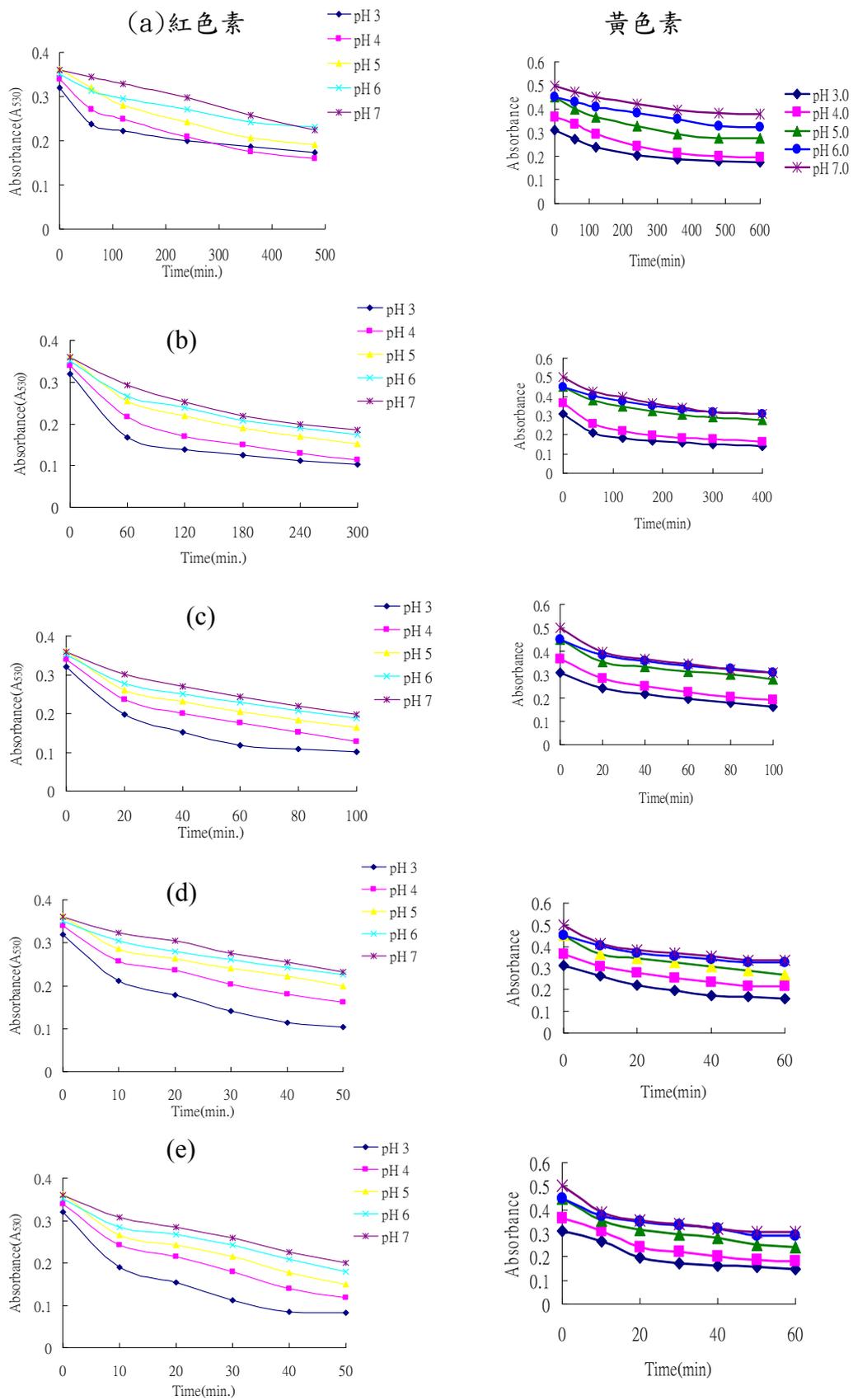


圖 3. pH 值對紅藜紅色素及黃色素在(a)50°C(b)60°C(c)70°C(d)80°C(e)90°C 耐熱性之影響

最佳利用條件及可能之變化。

(一) 紅藜種子抗氧化物質最適萃取條件之建立

首先取紅色紅藜種子和蒸餾水，分別以(1:50)及(1:100)的比例浸漬於4°C下，每2小時測其FRAP值，取FRAP最高值的萃取時間作為抗氧化活性之萃取時間。結果顯示。在4°C萃取14小時所得之紅藜種子水萃液，其FRAP抗氧化活性表現最佳，但黃色種則於連續萃取12小時即可達到最佳之FRAP抗氧化力(數據未列)。不論紅色或黃色種紅藜，當溶劑比例為1:50時，其萃取液之還原力比溶劑比值為1:100者相差大約2倍(前者在紅黃種各為638.3與796.3 μmol/L，後者則各為332.3和408.3 μmol/L)，因此隨原料比例的增加，其抗氧化活性亦呈倍數增加。而溶劑比值為1:5時，紅色種還原力約為3500 μmol/L，為操作方便，往後試驗萃取條件皆以紅藜種子:蒸餾水(1:100)為準。

(二) 不同pH值對紅藜水萃液抗氧化力之影響

採用前述條件，於4°C下以1:100(種子:水)的比例，分別浸漬紅色紅藜種子14小時及黃色紅藜種子12小時，其水萃液各別調整pH值為pH3~pH7，測定其FRAP還原力及DPPH自由基清除能力，探討pH對抗氧化能力之影響。結果顯示。紅色紅藜種子在pH5下，有較佳的抗氧化活性表現，其pH3、4、5、6、7之FRAP還原力則依序分別為374.2、376.3、388.9、377.6、381.6 μmol/L；DPPH清除能力方面依序為34.94、38.12、42.34、38.50、39.86%(表3)。故紅色種之還原力與自由機清除力二者，皆以pH5者最高。

黃色種紅藜於不同pH值下，其FRAP還原能力會隨著pH值上升而增加，以pH7者最高，其次為pH6、pH5、pH4和pH3者，分別為466.9、454.3、452.9、440.9與436.9 μmol/L；DPPH清除能力則分別為41.9%、40.47%、40.04%、38.31%與37.39%，亦是以pH7者最高。

(三) 不同溫度加熱對紅藜水萃液抗氧化力之影響

為瞭解紅藜種子水萃液經加熱後，其抗氧化力可能之變化，將色素萃取液分別在不同溫度(50°C~90°C)下加熱，測其抗氧化力。結果如圖5顯示，紅藜色素不論紅色或黃色，隨著加熱溫度及加熱時間的增加，抗氧化力均有下降之趨

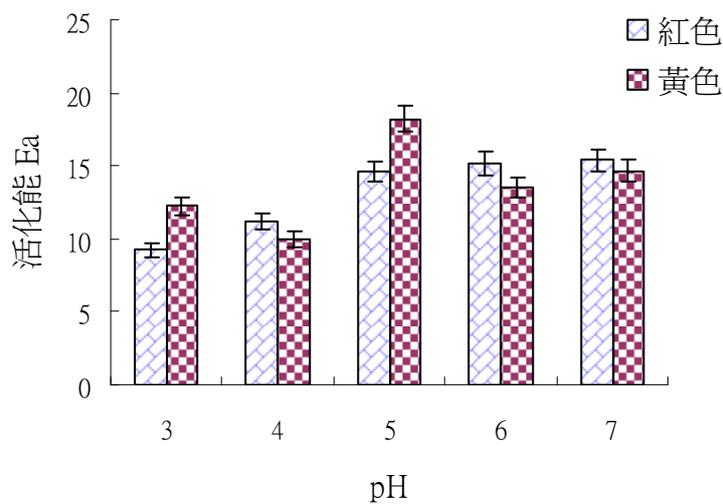


圖 4.紅藜色素在不同 pH 值下褪色之活化能

表 3. 紅藜種子水萃液於不同 pH 值(90°C)下其抗氧化力之變化

抗氧化測定		pH				
		3	4	5	6	7
FRAP	紅色紅藜	374.2	376.3	388.9	377.6	381.6
	黃色紅藜	436.9	440.9	452.9	454.3	466.9
DPPH	紅色紅藜	34.94	38.12	42.34	38.50	39.86
Scavenging	黃色紅藜	37.39	38.31	40.04	40.47	41.90

紅色 $A_{530}=0.2$

黃色 $A_{474}=0.2$

勢。在 90°C 加熱 30 分鐘者，紅色紅藜種子水萃液的 FRAP 還原能力由 407.6 $\mu\text{mol/L}$ 降至 357.6 $\mu\text{mol/L}$ ；而 DPPH 自由基清除能力則由 40.81% 下降至 36.47%。黃色種的 FRAP 還原能力及 DPPH 清除能力則分別由 448.3 $\mu\text{mol/L}$ 與 33.53% 下降至 390.3 $\mu\text{mol/L}$ 與 29.04%。

四、紅藜抗氧化成分之分離純化

由前述營養分析等結果推測，紅藜抗氧化成分應以酚類及 betanin 為主。故將紅藜種子以最適條件所得萃取液，經濃縮凍乾後，就紅藜色素特性以 HPLC 於 532 nm 及 484 nm 加以偵測。結果如圖 6(a)所示，在 10.86(Peak 1) 分鐘處有一吸收波峰，此與謝(2003)分析結果中 betalains 吸收波峰位於 10.21 分鐘，有相近的滯留時間，故推測該吸收訊號為 betalains。其中主峰面積佔全部吸光值的 59%。經由標準曲線之換算可知，每克(乾重)紅藜中約有 133.06 mg 的 betalains，約為甜菜的 33 倍(4.07mg/g)(Florian et al., 2002)，其中主峰約佔有 79.84mg/g，亦即約 7.98 % (dw)，此與洛神色素含量相近。

在酚類化合物方面，如圖 6(b)及表 4 所示，沒食子酸(gallic acid)在紅藜種子中佔有較高的含量(14.9%)，其次為漂木酸(chlorogenic acid, 3.23%)、芸香苷(rutin, 2.36%)、香豆酸(coumaric acid, 1.85%)。許多研究已經證實酚類化合物有高度的抗氧化能力(羅，2001)，而紅藜中含有高量的酚類化合物，是一般白米所缺乏的。進一步分析紅藜中色素、酚類與抗氧化力(DPPH、FRAP)之間的相關性，結果如表 5 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，相關係數在還原力各為 0.553 與 0.923；在自由基清除力方面則亦各為 0.741 與 0.813。因此，紅藜的機能性與其色素含量及總酚含量，息息相關。

五、紅藜永續利用產品開發與貯存

為提高紅藜植物的加工利用性，本實驗利用蒸煮、烤、炸、膨發及微波等加工方式開發一系列紅藜產品，並由不同貯存條件，針對其儲藏間相關品質如水含量、水活性、色澤與抗氧化力之變化加以測定。結果分述如下：

(一) 紅藜燕麥脆餅

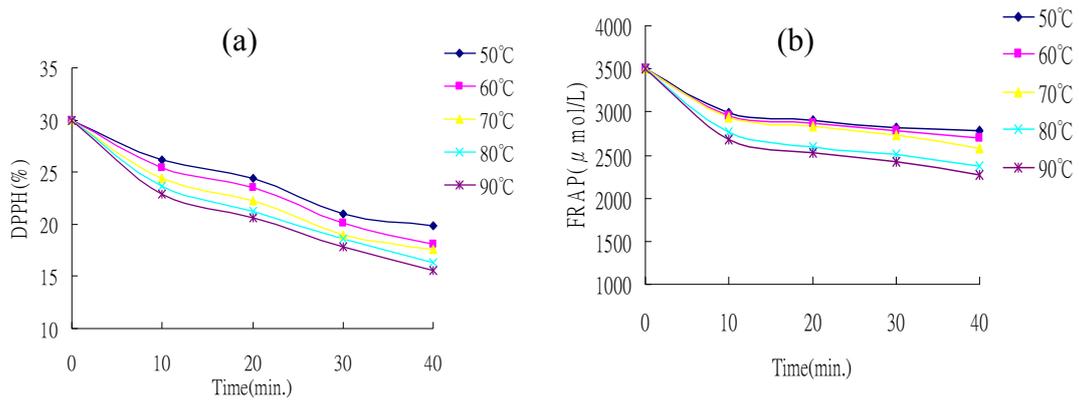


圖 5. 不同溫度對紅色紅藜加熱過程中(a)自由基清除力(b)還原力之影響

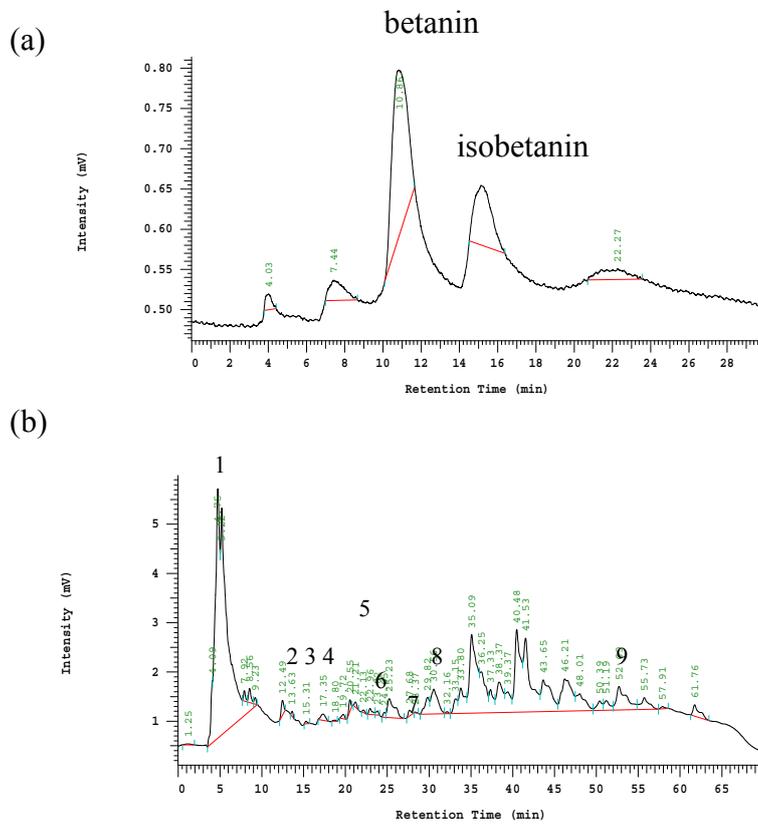


圖 6. 紅藜種子中(a)色素 A₅₃₂及(b)酚類化合物之高效液相層析圖譜

- Peak 1：沒食子酸(gallic acid),
- Peak 2：兒茶素(catechin),
- Peak 3：漂木酸(chlorogenic acid),
- Peak 4：咖啡酸(caffeic acid)
- Peak 5：表兒茶素(epicatechin),
- Peak 6：香豆酸(coumaric acid)
- Peak 7：阿魏酸(ferulic acid),
- Peak 8：芸香苷(rutin)
- Peak 9：肉桂酸(cinamic acid)

表 4. 紅藜種子中不同酚類化合物之含量

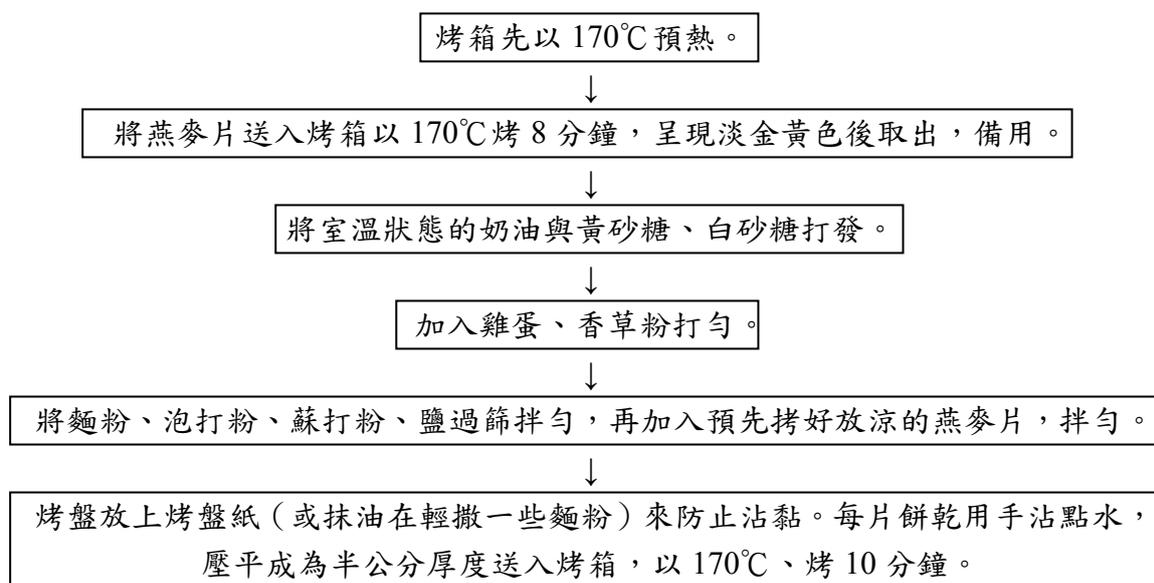
酚類化合物	含量(%)
沒食子酸(gallic acid)	14.9
兒茶素(catechin)	0.12
漂木酸(chlorogenic acid)	0.08
咖啡酸(caffeic acid)	0.40
表兒茶素(epicatechin)	0.29
香豆酸(coumaric acid)	1.85
阿魏酸(ferulic acid)	0.02
芸香苷(rutin)	2.36
肉桂酸(cinamic acid)	3.23

表 5.紅藜種子中色素及酚類與抗氧化力(DPPH、FRAP)之相關性分析

	Pigment	Phenols	DPPH	FRAP
Pigment	1.00			
Phenols	0.29	1.00		
DPPH	0.74***	0.81***	1.00	
FRAP	0.60*	0.92***	0.95***	1.00

*, **, *** : Significant at 5%, 1% and 0.1% levels, respectively

紅藜脆餅之製作如下：



產品並分為添加紅藜組、未添加紅藜組(控制組)及烤紅藜組(純紅藜原料烘烤 10 分鐘)三種樣品，進行儲藏品質分析。結果顯示，儲藏期間，紅藜燕麥脆餅之水分含量及水活性並無明顯變化(表 6)。顏色品質方面，經 24 天儲藏，紅色素(A_{532})含量，以烤紅藜組變化最慢(由 0.384 降至 0.344)，其次為添加紅藜餅乾組(由 0.352 降至 0.162)，未添加紅藜餅乾組則褪色最快(0.139 降至 0.068)，而黃色素(A_{484})亦是相同趨勢。至於褐變指數(A_{420})，則在儲藏第 20 天後有明顯上升的趨勢(圖 7)。至於總酚含量的變化(圖 8(a))，一開始以烤紅藜組有最高的總酚含量(109.5 mg/100g)，其次為添加紅藜餅乾組(17.72mg/100g)。隨儲藏時間增加，紅藜餅乾之總酚含量，迅速下降，此可能為紅藜中的酚類與餅乾中的蛋白質發生聚合，導致沉澱，而無法偵測出。抗氧化力方面，一開始以烤紅藜有最高的抗氧化力(DPPH 為 46.53%、FRAP 為 1375.6 μ mol/L)，其次為添加紅藜餅乾組(DPPH 為 36.82%、FRAP 為 1067.1 μ mol/L)，最後為未添加紅藜餅乾組(DPPH 為 30.64%、FRAP 為 932.6 μ mol/L)(圖 8(b),8(c))。但不論還原力或自由基清除能力，皆隨著儲藏時間增加而下降。

(二) 紅藜飯

利用紅藜與白米依比例，添加水進行微波烹煮及傳統蒸煮，分述如下：

表 6. 紅藜燕麥脆餅其水分含量及水活性於儲藏期間之變化

	With Djulis		Without Djulis	
	水分含量(%)	水活性(Aw)	水分含量(%)	水活性(Aw)
0	2.340	0.306	0.955	0.306
6	2.575	0.354	1.380	0.399
12	2.705	0.364	1.740	0.375
18	4.435	0.377	3.747	0.355
24	3.625	0.340	3.100	0.327

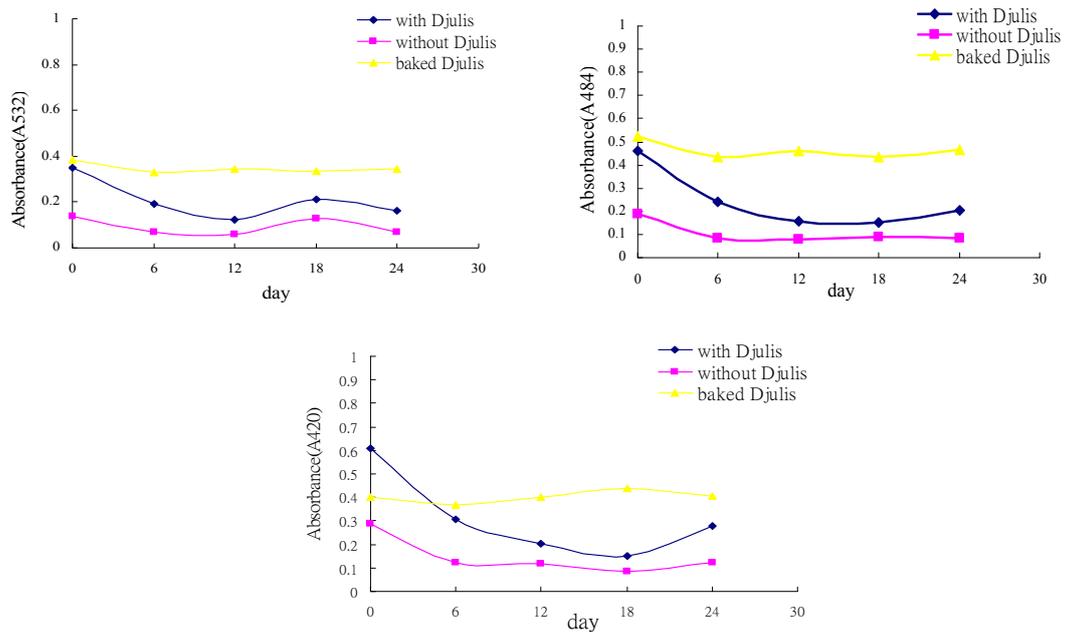


圖 7. 紅藜燕麥脆餅與烤紅藜儲藏 24 天後之顏色品質(A₅₃₂、A₄₈₄、A₄₂₀)

變化

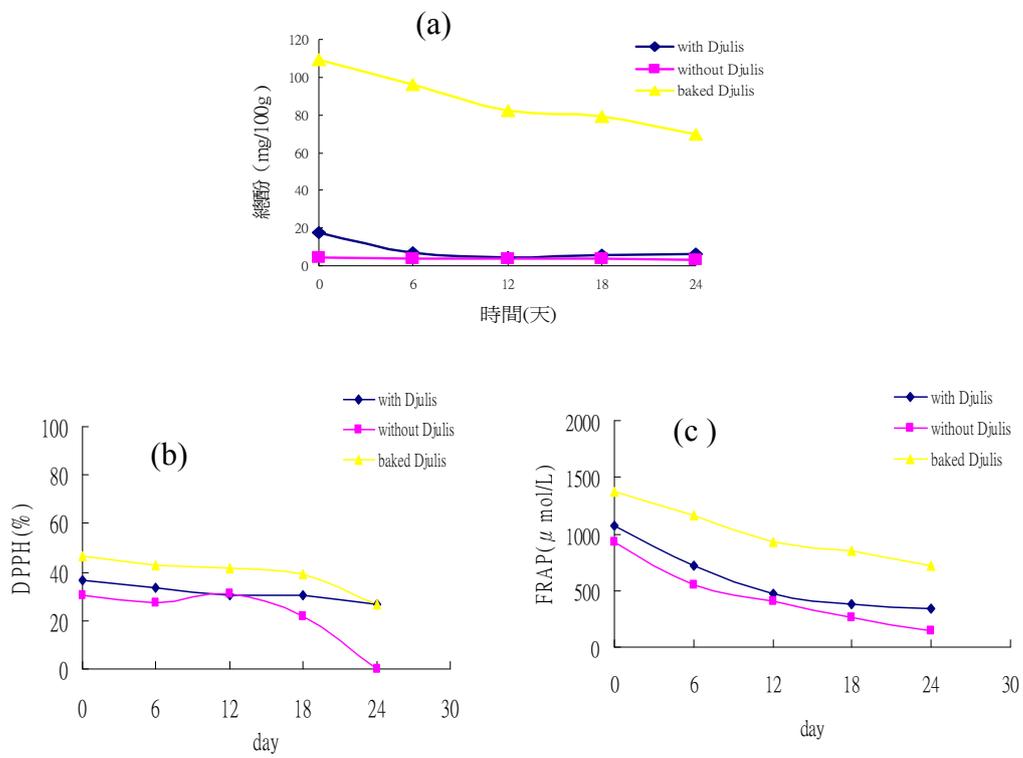


圖 8. 紅藜燕麥脆餅與烤紅藜在儲藏期間其(a)總酚(b)自由基清除力(c)

還原力之變化

A.微波紅藜飯

米洗淨後，加入 180ml 水，紅藜 20 克與 40 克水，分別浸置 1 小時。



先將浸好的米微波 7 分鐘，加入浸泡的紅藜，再微波 1.5 分鐘。
(※微波米飯要記得加蓋，但不要蓋緊，以免水分散失)

B.紅藜蒸煮飯

米洗淨後，加入紅藜及水 300ml，浸置 20 分鐘。



將浸好的米蒸熟。

產品並分為添加紅藜(微波 3.13%、蒸煮 4.17%)組與未添加紅藜組(控制組)，進行儲藏品質分析。結果如表 7 所示，不論微波或蒸煮的紅藜飯，水活性皆很高(0.990)，儲存後更高達 0.999。顏色品質方面，紅藜微波米在儲藏後， A_{532} 及 A_{484} 皆有下降之趨勢(A_{532} 由 0.372 降至 0.325、 A_{484} 由 0.382 降至 0.339)，而 A_{420} 則由 0.264 上升至 0.431，此乃因微波過程中加熱使顏色褪變，並產生褐變物質所致。總酚方面，不論微波或蒸煮飯，其總酚含量都有略為上升之趨勢，推測為儲藏過程中澱粉產生變化，而使先前被鍵結之酚類釋放所造成 (Smith *et al.*, 2001)，而未添加紅藜之控制組皆無酚類檢出，因此添加紅藜確可強化米飯中酚類含量。此外，抗氧化力方面，微波的紅藜米貯存之後，其 FRAP 由原本的 125.6 $\mu\text{mol/L}$ 上升至 146.6 $\mu\text{mol/L}$ ，可能係米飯中的醣類，產生焦糖作用而使抗氧化力提升 (Faraji *et al.*, 2005)。

貯存條件之比較，係以添加紅藜之微波米為樣品，分為充氮與不充氮，避光及不避光處理，進行 36 小時儲藏之觀察。結果如圖 9 所示，微波紅藜米於包裝儲藏 36 小時後，充氮避光者保有較好的色澤，見光且充空氣者最差。其 FRAP 則有上升再下降的趨勢，此可能與紅藜中之 Betalains 之再生現象有關 (Von *et al.*, 1981)。例如充氮並於暗處儲藏之微波米，其 FRAP 由一開始的 125.6 $\mu\text{mol/L}$ 上升為 159.6 $\mu\text{mol/L}$ ，而空氣組則僅增加為 135.6 $\mu\text{mol/L}$ 。而充氮且避光儲藏者，DPPH 清除能力較見光貯存者高(25.6%與 22.07%) (圖 10)，因此，充氮避光儲藏確實可以維持紅藜微波米較佳的抗氧化力。

表 7. 紅藜飯儲藏前後之品質分析

Item	Microwave rice				Steam rice			
	with Djulis		without Djulis		with Djulis		without Djulis	
	0	24	0	24	0	24	0	24
Time(hr)	0	24	0	24	0	24	0	24
Aw	0.990	0.999	0.993	0.999	0.999	0.999	0.999	0.999
Water(%)	53.22	56.32	44.65	49.89	57.68	60.85	51.59	53.27
A ₅₃₂	0.372	0.325	-	-	0.020	0.031	-	-
A ₄₈₄	0.382	0.339	-	-	0.021	0.034	-	-
A ₄₂₀	0.264	0.431	0.052	0.420	0.042	0.059	0.026	0.008
FRAP(μmol/L)	125.6	146.6	-	-	88.6	75.6	-	-
DPPH(%)	5.67	9.68	-	-	-	-	-	-
Total phenols (mg/100g)	5.20	5.28	-	-	0.635	0.952	-	-

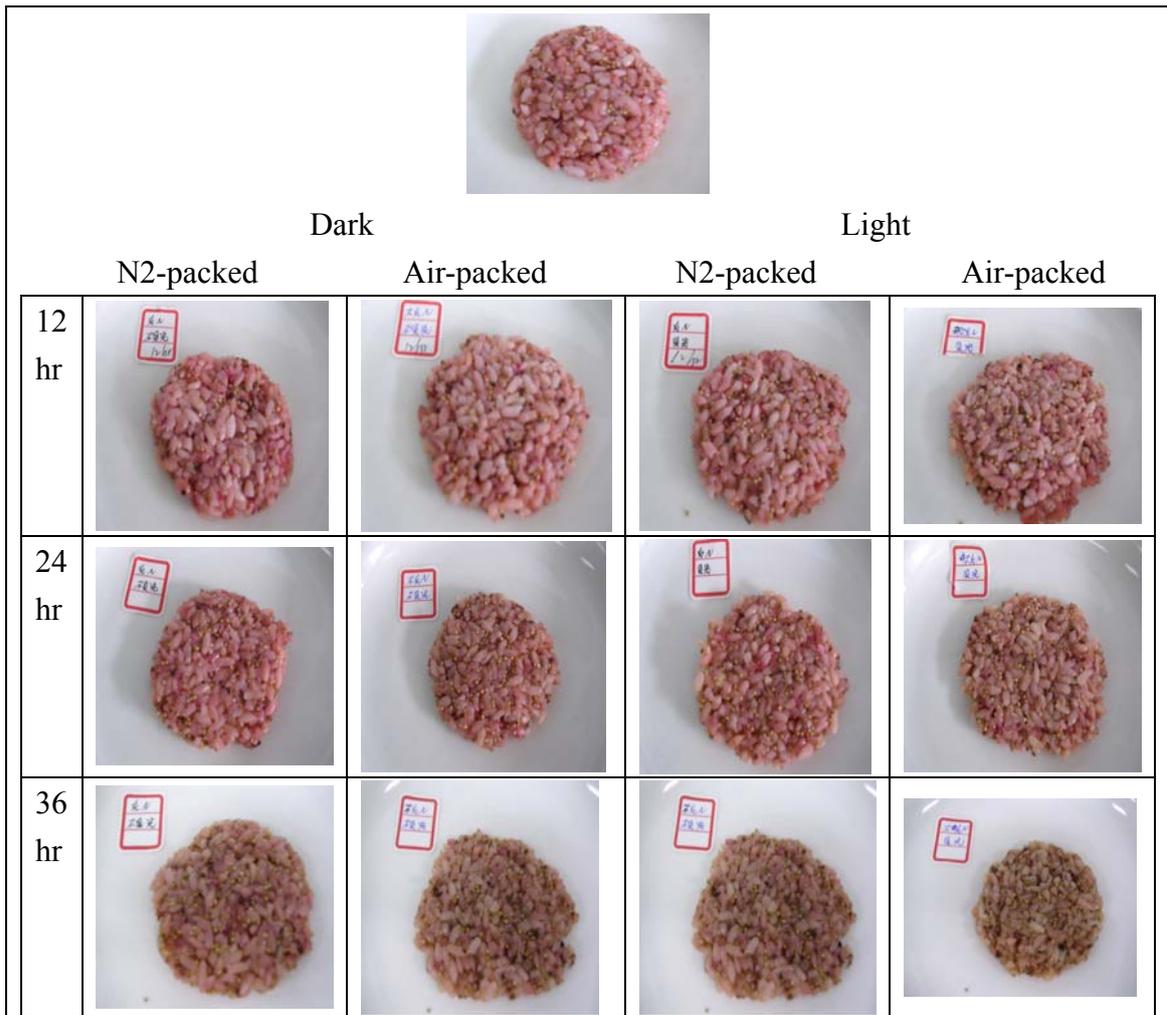


圖 9. 微波紅藜飯於充氮或不充氮包裝經避光或不避光處理下儲藏 36 小時之變化

(三) 其他(紅藜炸薯球、紅藜米香、紅藜香鬆)

紅藜炸薯球係將紅藜與馬鈴薯泥混合後，以高溫油炸所製成；紅藜米香則是以紅藜與白米等穀物混合，經膨發乾燥後塗上糖漿，切塊製成；香鬆則是利用紅藜與飯島香鬆找出最適比例混合而成，做法如下：

A. 紅藜炸薯球

馬鈴薯蒸軟後，趁熱壓成泥，加入奶油攪拌均，再加入鹽、白胡椒、黑胡椒調味



取 25g 調味的薯泥，搓揉成圓球狀，在表面沾上均勻的蛋液，最後再沾上麵包粉



將油加熱至 170°C 左右，放入薯球炸至呈金黃色。

B. 紅藜香鬆

紅藜先以 170°C 烤 10 分鐘。與市售的飯島香鬆一起拌勻。



飯島香鬆：紅藜=7：3

(飯島香鬆：鯉節、芝麻、蛋黃粒、海苔、海綠藻、砂糖、鹽、醬油)

以上產品皆以未添加紅藜為控制組，進行儲藏試驗。結果顯示，不論何種製品於儲藏後，外觀(圖 11) 及水分含量、水活性並無明顯變化，但在抗氧化力方面，皆以添加紅藜組有較高的 FRAP 還原力(表 8)。例如，炸薯球添加紅藜後，FRAP 由 344.6 $\mu\text{mol/L}$ 增加為 625.6 $\mu\text{mol/L}$ ；香鬆亦由 1443.2 $\mu\text{mol/L}$ 提高為 1993.2 $\mu\text{mol/L}$ ，因此，添加紅藜於產品中確實可以有效提高產品之抗氧化力。

肆、討論

一、不同發育階段歷程

紅藜含高量的蛋白質，並具有一般穀物的所缺乏的必需胺基酸(離胺酸)，以及嬰孩所需之精胺酸。其豐富的膳食纖維、微量元素(硒、鋅、鎳)、酚類化合物、甜菜色素及高抗氧化力，均使其相當具有發展成機能性產品的潛力。

由於溫度與 pH 會影響紅藜色素之呈色與抗氧化力，永續利用時應注意加工條件之設定。此外，凡添加紅藜之產品，皆有較高的抗氧化力，故經由充氮包裝，確實可以為紅藜開創一個永續利用的新方向，增加其經濟價值。

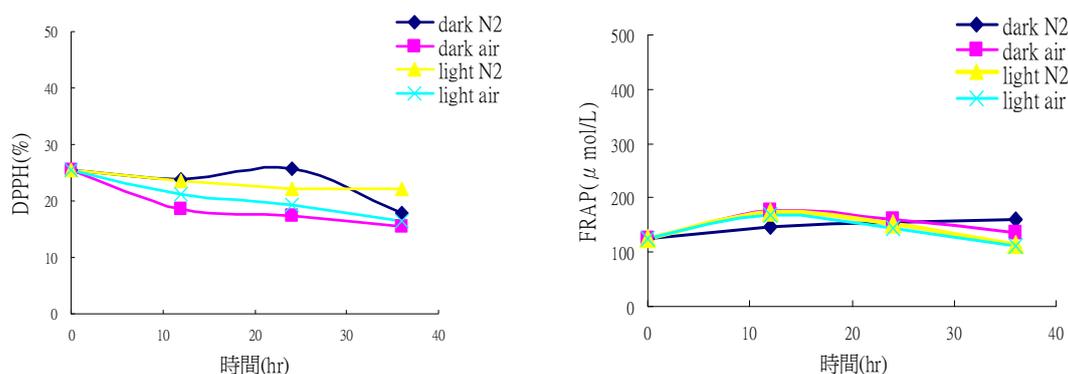


圖 10. 微波紅藜飯於充氮或不充氮包裝經避光或不避光處理下儲藏 36 小時抗氧化力之變化

表 8. 紅藜炸薯球及紅藜香鬆之品質分析

		水活性 Aw	水含量(%)	FRAP(μmol/L)
炸薯球	with Djulis	0.999	53.93	625.6
	without Djulis	0.998	51.23	344.6
香鬆	with Djulis	0.267	2.39	1993.2
	without Djulis	0.267	0.96	1443.2

參考文獻

1. 黃督方。2004。蕃石榴果汁澄清化處理與儲藏穩定性之探討。國立屏東科技大學碩士論文。
2. 謝麗敏。2003。兩種紅肉火龍果(*Hylocereus* spp.)加工特性之比較。國立中興大學碩士論文。
3. 羅珮文，2001，台灣數種特有水果抗氧化活性及清除自由基能力之評估，輔仁大學碩士論文。
4. Deutsch MJ. 1984. Vitamins and other nutrients, In: Williams S. Official methods of analysis. The association of official analytical chemists. p844-5.
5. 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.
6. Faraji H, Lindsay C. 2005. Antioxidant protection of bulk fish oils by dispersed sugars and polyhydric alcohols. Agricultural and Food Chemistry 53: 736-44
8. Jacobsen, S. E., and O. Stplen (1993) Quinoa - Morphology and phenology and prospects for its production as a new crop in Europe. European Journal of Agronomy 2: 19-29.
9. Jenny R. and Baboo MN.. 1993. Content of fat, vitamins and minerals in quinoa (*Chenopodium quinoa*, Willd) seeds. Food Chemistry 48:131-6.
10. 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.
11. Julkunen-Tiitto R. 1985. Phenolic constituents in leaves of northern willows: methods for the analysis of certain phenolics. J. Agric. Food. Chem. 33:213-7.
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. Small, E. (1999) New crops for Canadian agriculture. p.15-52. In: Janick, J.(ed.). Perspectives on New Crops and New Uses. ASHS Press. Alexandria. VA.
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.

15. Smith BG, Harris PJ. 2001. Ferulic acid is esterified to glucuromoarabinoxylans in pineapple cell walls. *Phytochemistry* 56: 513-9.
16. Von Elbe JH, Schwartz SJ, Hildenbrand BE. 1981. Loss and regeneration of betacyanin pigments during processing of red beets. *J FS46:17* 13-5.

公開

密件、不公開

計畫) 識別碼:110401e204

行政院農業委員會 95 年度科技計畫研究報告

資訊庫編號:953147

計畫名稱：紅藜系統分類及親緣地理研究(第 1 年／全程 3 年)

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

計畫編號： 95 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： 95 年 1 月 1 日至 95 年 12 月 31 日

計畫主持人： 楊遠波

執行機關： 國立中山大學生物科學系

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

執行單位：國立中山大學生物科學系

計畫編號：95 農科-11.4.1-務-e2(4)

計畫主持人：楊遠波 教授

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

摘要

完成全臺十一縣市之田間標本採集，標本採集量計 312 份，其中新竹縣、苗栗縣、花蓮縣及南投縣各僅一地點可見紅藜；屏東縣為主要栽種地區及標本採集地，其它縣市於本年度之調查並無紅藜植株之發現。依據目前紅藜植株標本採集之位置，分佈於海拔高度 230~1568 公尺之山地部落。全台之 9 族原住民族中，泰雅族、賽夏族、布農族、鄒族、魯凱族、卑南族及排灣族仍保有母語、農耕及利用方式。利用方式包括食用、裝飾用、毒魚用、釀酒用、肥份使用。完成外部型態特徵之觀察與記錄，包括根莖葉花果等部位，提供鑑定依據。透過過原始文獻比對及前往美國檢查部份模式標本方式，發現藜屬近 120 種中，並無吻合台灣地區之種類發現。

關鍵字：紅藜、藜科、民族植物

Abstract

During the field study time, 11 counties were investigated. Among them, Hsinchu, Miaoli, Hualien and Nantao only 1 location found were individually. And 312 specimens were collected and documented. The main populations were in Pingtung county. No living plants were found in the others. The quinoa distributed among the arboriginal community from altitude 230m~ 1568m. In Taiwan's 9 arboriginal tribes, Ataya, Bunun, Paiwan, Rukai, Saisiat, Tsou, and Puyuma kept their plant vocabulary power and traditional farming abilities still. Through field investigations, *chenopodium* plants were used for food, for decoration, for fish poison, for alcohol making, and for soils fertilization. Compared the characters we measured with international databanks and type specimens, no precise taxa match the one we studied now in Taiwan.

Keywords: quinoa, Chenopodiaceae, ethnobotany

壹、前言

全球藜科植物分成 11 族，共約 110 屬，1500 種左右，從屬的數量及系統演化的多樣性來看，中亞地區應該是現存藜科植物的分佈中心（朱格麟，1995）。此外，歐亞大陸藜科植物的古老性，顯示本區是藜科植物的起源中心。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（Allen, 1960）。藜科是被子植物中的大科之一，屬於溫帶型植物，少數種類可適應亞熱帶及寒帶地區，屬廣泛分佈群。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。然因花被片含大量皂素，處理費時，及種子細小的缺點，遂逐漸被淘汰利用。藜屬植物被用來當作食用的種類，包括美洲地區的 *Chenopodium quinoa*、*C. pallidicaule*、*C. nuttaliae*，以及喜馬拉雅山區的 *C. album*（Partap and Kapoor, 1985; Johnson, 1990）。

紅藜（暫訂 *Chenopodium* sp.）是藜科中的藜屬植物，台灣地區之報導始於日據時期之記錄（山田金治，1922），之後雖有紫藜（*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. *ceptrorubrum* Makino）（葉茂生，1999）、紅藜（*Chenopodium quinoa*）（林志忠，2003）等異名之利用，然並無系統分類之正式研究發表，因此台灣地區之紅藜尚無法確認其分類地位。

貳、材料與方法

一、標本採集：

前往各縣市，收集各地現存之紅藜植株活體及標本，進行標本製作保存及分析樣本採取。同時採集該藜屬植物標本及種源，提供該屬系統分類研究。目前各地傳統栽種的時間並無明確記錄，因此為避免種源的收集無法完全，除植物的現場調查採集外，另透過民族植物學的普查方法，針對山地部落地區中之農耕時間進行田野訪談調查，提供該區域可能的栽種採集時間。

二、標本製作、種源保存及國際資訊交流：

透過前述紅藜植物標本的採集製作、種源收集、田野訪談等，彙整該物種相關資訊，未來之研究將與國際主要植物分類研究機構(Missouri Botanical Garden、Kew Garden 等)進行標本交換及研究成果交流，以提供國內對於該物種的研究了解。同時與南美及印度等主要紅藜分佈國家，進行種源交換，增加台灣地區該類資源植物的種源收集保存。

三、系統分類研究：

觀察記錄紅藜之根、莖、葉、花及果實等可供鑑定之主要外部形態特徵，研究紅藜之種內基本特徵變異，作為種內或種間的分類檢索。

四、植物地理分佈：

依據標本採集地之標定，建立台灣地區紅藜族群的水平分佈及垂直高度分佈，提供未來進行植物地理之研究。

參、結果與討論

一、標本採集：

完成全臺十一縣市之田間標本採集，標本採集量計 312 份，其中新竹縣（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；屏東縣目前及臺東縣則為主要栽種地區及標本採集地，其它縣市於本年度之調查並無紅藜植株之發現。

二、地理分佈：

依據目前紅藜植株標本採集之位置，分佈於海拔高度 230~1568 公尺之山地部落，尤其以屏東縣霧臺鄉、三地門鄉及瑪家鄉為主要的地區，然目前之發現地多屬日據時期以後之遷村地點，分佈之海拔高度均較早期傳統播種之地點為低。依文獻、耆老口述記錄、傳統領域相對位置及臘葉標本證據，顯示紅藜過去之分佈海拔介於 450~1800 公尺，其分佈的地點遍佈全臺山地部落之小米旱田中。目前屏東縣瑪家鄉、三地門鄉及霧臺鄉為全台持續傳統耕作最力之地區，推測三地之排灣族及魯凱族人因具有較嚴格之社會位階，所以仍保有傳統的農耕作業，紅藜因此保存下來。

三、民族植物普查：

(一) 語彙記錄：

調查全台之 9 族原住民族(含各亞族)，蘭嶼達悟族因無紅藜之口述，並無語彙之採集。日月潭之邵族因漢化甚早，傳統生業早已不復存在，調查中，無人認識見過或具有此一植物之語言能力。其它泰雅族、賽夏族、布農族、鄒族、魯凱族、卑南族及排灣族之 70 歲長老，多數均仍可說出此一植物之母語、農耕及利用方式。

(二) 利用：經調查，紅藜之傳統利用方式包括食用等六項。

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：紅藜麩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。

四、外部形態特徵：

全株最高可達 370 cm，一般多介於 120~170 cm；莖直立，寬可達 2.7 cm，白色或淺綠色，具 5~6 條紅色、淡綠色或黃色縱紋，表面近光滑或被粉狀物；葉形變化大，單株生長期間及株間之葉形呈連續變化，顏色鮮豔從淡黃色、綠色、粉紅、桃紅、鮮紅等均可發現。雌雄同株，兩性花或稀單性，花序、穗狀密圓錐花序、圓錐花序、總狀花序，通常 15~25 小花密集成團 (glomerate)；花被片五深裂，裂片倒卵形，肉質，淺綠或淡黃白色，具明顯龍骨突起；子房一室，柱頭 2，稀 1 或 3，長短均可發現；雄蕊 5，柄長 1~1.6mm，有時具花被片基部可發現退化雄蕊 5，不具柄。果實胞果，厚圓盤狀；種子形狀及大小如胞果，徑 1.2mm，熟時深褐色，種皮膜質。

五、分類處理：

透過過原始文獻比對 (Moquin 1849) 及前往美國檢查部份模式標本方式，發現藜屬近 120 種中，以 sect. *centulla* 中之 *C.quinoa*、*C.murale*、*C.purpurescens*、*C.giganteum*、*C.rubrum* 等較為接近，然從花部及細部葉部構造，並無吻合台灣地區之種類發現。此外根據主要的 18 項外部型態特徵記錄 (表 1) 及種以上之分類系統，台灣地區之藜科植物分屬於 2 亞科 (表 2)。

表 1. 外部型態特徵表

character	state	character	state
leaves	glabrous/pubescent	flowering	present/absent
		branch	
plant	herb/shrub	stamens	number
embryo	spiral/cyclical	xeromorphosis	present/absent
flowers	femal/hermaphrodite/unisexua	leaf shape	scale-like/flat/semi-cylindrical/filif
	1		orm
seed	vertical/horizontal	ovary	superior/semi-inferior
perianth	number	testa	bristle/leathery/fleshy
number			
bracteoles	present/absent	endosperm	present/absent
perianth	equal/not equal	operculum	present/absent
segments			
number of	number	stigma	papillose/not papillose
stigma			

表 2. 台灣藜科植物分類特徵表

	<i>Chenopdieae</i>	<i>Salsoleae</i>	<i>Beteae</i>
embryo	cyclical	spiral	cyclical
operculum	absent	absent	present in fruit
endosperm	present	absent	present
ovary	superior	superior	semi-inferior
genus in Taiwan	<i>Atriplex,</i> <i>Chenopodium</i>	<i>Suaeda</i>	0

六、台灣藜屬植物檢索表

依據紅藜及台灣地區其它 6 種藜屬植物之 18 項外部型態特徵觀察，本屬之檢索表如下：

CHENOPODIUM 藜屬

一至多年生草本。葉互生，有柄，被毛或被粉，稀光滑。花兩性，無苞片，無柄；花被片 3-5；雄蕊 5；子房常寬大於長。胞果，無苞片。

種檢索表

1. 莖具淺綠或黃色或紅色相間條紋.....7. *C. sp.*
1. 莖不具相間條紋
2. 植物體具腺毛及強烈氣味.....3. *C. ambrosioides*
2. 植物體不具腺毛，不具氣味。
 3. 葉全緣1. *C. acuminatum* subsp. *virginatum*
 3. 葉緣明顯缺刻
4. 葉背灰綠色，花被片 3-4.....5. *C. glaucum*
4. 葉背綠色至淺綠色，花被片 5。
 5. 基生葉長於 7 cm，葉基截形4. *C. formosanum*
 5. 基生葉短於 7 cm，葉基楔形。
 6. 葉基兩側各具一明顯裂片6. *C. serotinum*
 6. 葉基不具明顯裂片2. *C. album*

1. *Chenopodium acuminatum* Willd. subsp. *virginatum* (Thunb.) Kitamura

變葉藜

葉卵形至披針形，長 1-4 cm，全緣，基部銳形至鈍形，明顯 3 出脈；葉柄長 5-25 mm。花被片 5。種子橫生。

全省平地之水邊及海濱雜草。

2. *Chenopodium album* L. 藜

葉卵形至披針形，長 1-5 cm，波形至鋸齒緣，基部楔形，葉下表面帶粉；葉柄長 5-30 mm。花被片 5。種子橫生。

全省中低海拔常見雜草。

3. *Chenopodium ambrosioides* L. 臭杏

葉橢圓形至披針形，長 2-10 cm，波狀鋸齒緣至深裂，基部楔形，具腺毛；葉柄甚短。花被片 5，稀 3-4。種子橫生及直立。

本省低地常見雜草。

4. *Chenopodium formosanum* Koidz 台灣藜

葉卵形至三角菱形，長 6-12 cm，粗鋸齒緣，基部截形至鈍形；葉柄長 3-5 cm。
花被片 5。種子橫生。

本省南部低山特有種。

5. *Chenopodium glaucum* L. 灰綠藜

葉狹橢圓形至披針形，長 1-4 cm，鋸齒緣，基部楔形，葉下表面明顯粉質，葉柄長 5-10 mm。花被片 3-4，種子橫生及直立。

本省中南部海邊雜草。

6. *Chenopodium serotinum* L. 小葉藜

葉線形至狹卵形，長 1-5 cm，波狀緣至鋸齒緣，基部具 2 明顯裂片，其上方緊鄰處之葉緣多少平行，楔形；葉柄長 5-30 mm。花被片 5。種子橫生。

全省中低海拔常見雜草。

7. *Chenopodium* sp. 紅藜

葉形多變化，掌狀、菱形、卵形至長橢圓形，均可發現；葉緣，長 4~13 公分，寬 2~11 公分；葉表面密被頭狀腺毛。葉柄長 2-8 cm。花被片 5。種子橫生。

全省中海拔之山地部落農田。

肆、結論

一、種源急遽消失，加速在地與區外保存：

依據本年度調查顯示，台灣各地之紅藜族群除屏東縣仍可見常態性的持續耕作外，過去發現之地點均受到外來高經濟作物耕作的影響，間接造成當地民眾不再播種，致新竹及苗栗等四個縣市中各僅一處發現紅藜單株，顯示台灣地區紅藜族群之珍稀程度；加上種植者均以超過 70 歲以上，如無外力進行積極性措施，預期都將於近年內消失，喪失珍貴之作物基因。此外，最佳之標本及採種期應集中於每年的 2 至 6 月份期間，因此下一年度應於計畫開始，於一月份開始，針對各地潛在之可能種源持續進行採集，擴大種源來源基礎。

二、分類處理：

針對本年度採集標本之外部形態特徵紀錄發現，台灣之紅藜特性與世界藜屬中之 120 餘種並不相符，除本年度已前往哈佛大學標本館、密蘇里植物園及紐約植物園調閱標本，96 年度擬於 9 份印度採收期間，前往採集種源。此外也將針對英國、法國保存之藜屬模式標本進行鑑定查核工作，確認台灣之紅藜是否為新種之可能性。

三、種源交換：

鑑於本屬中，不少種類具有經濟價值，因此進行標本查核同時，建議交換種源，以利研究與產業開發。

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. 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.