

國立臺灣大學生物資源暨農學院園藝學研究所

碩士論文

Graduate Institute of Horticulture
College of Bioresources and Agriculture
National Taiwan University

Master Thesis

The FRAP of Vegetables Consumed in Taiwan
as Related to Total Phenolic Content



張芳魁
Fang-Kuei Chang

指導教授：楊雯如博士、蕭寧馨博士、林宗賢博士

Advisors : Wen-Ju Yang, Ph.D.

Ning-Sing Shaw, Ph.D.

Tzong-Shyan Lin, Ph.D.

中華民國 97 年 7 月

July 2008

誌 謝

這一本作品的完成以及芳魁碩士班三年來的成長，我想要向很多人表達我滿滿的謝意：

敬愛的指導老師們—感謝楊雯如老師全方位的教導，除了研究上，在交友上、儀容上、信仰上、待人接物上及社會關懷上，都受了老師很多的啟發。感謝蕭寧馨老師每一次激勵人心的指導，讓我增添許多研究的動力，也讓我思考更為多元。感謝林宗賢老師以專業學術的表現，與熱心勤奮的態度指導我，成為我學習的榜樣。

研究上的天使們—感謝美娟學姊、永富學長與漢光的潘震嘉先生，帶我找農民取得蔬菜；感謝提供蔬菜的蔡文成先生、湯嘉豐先生、政弘學長及漢光的老闆廖丁川先生；感謝林冠宏老師熱心解答我統計上的問題；感謝佳玲學姊、亦方學長及宜馨在動物實驗上的幫助。

給予支援的學長姊們—感謝子奇、明雅、登富、桂端、一蘆、彩雲及進學，在學習的過程，尤其是剛進研究所，你們給予我許多指導、鼓勵、協助還有供應。

共同奮戰的伙伴們—感謝育茱、姿璇、玳瑜、顥正、順元、柏榮、宜霞、金燕、瓊瑩、元毓，在學業期間一起努力、一起討論、一起分享，讓我有愉快且豐富的研究所生活。

有情有義的學弟妹—感謝妙真、易徵、美蘭、嵐雁、孟姿、嘉雲、嘉彬、李廉、恩康、靖君、鵬洋及 Molk，在研究所的後半段，你們讓我有更多的學習，讓我獲得更多的幫助，得到更大的鼓勵。

不離不棄的家人們—感謝爸媽、姊姊還有阿公，常常關心、鼓勵與代禱，甚至還北上來看我。還有感謝天上的大老闆，讓我平安順利且成長顯著。

摘要

蔬果提供人體抗氧化的保健作用，多攝取可減少疾病的發生。為了建立台灣蔬菜的保健資訊，本試驗以三價鐵離子還原抗氧化力分析法 (FRAP assay) 縱觀分析台灣各種蔬菜的總抗氧化力，並利用福林酚試劑 (Folin-Ciocalteu reagent) 分析法量測其總酚類含量。所有受測蔬菜的平均抗氧化力介於 $0.4\sim35.7\ \mu\text{mol FeSO}_4/\text{g f.w.}$ ，總酚類含量介於 $0.7\sim47.7\ \mu\text{mol GAE/g f.w.}$ 。高總抗氧化力 ($>10\ \mu\text{mol FeSO}_4/\text{g f.w.}$) 的蔬菜有短錐形紅辣椒、薑、甜椒、紫色甘藍、黑皮長豇豆、甘藷葉、羅勒 (九層塔)、蓮藕、豌豆嫩梢及過溝菜蕨 (過貓)，這些蔬菜同時也具高總酚類含量 ($>10\ \mu\text{mol GAE/g f.w.}$)。蔬菜以供食用部位分類，茄果類平均抗氧化力 $9.6\ \mu\text{mol FeSO}_4/\text{g f.w.}$ 為最高，瓜果類 $1.6\ \mu\text{mol FeSO}_4/\text{g f.w.}$ 最低；總酚類含量方面則皆無顯著差異。濃綠色以及顏色鮮艷的蔬菜，抗氧化力與總酚類含量皆較高於白色或淡色的蔬菜。將受試蔬菜依中醫熱、溫、涼及寒四氣性質分類，結果指出各類蔬菜平均抗氧化力與總酚類含量皆呈現由高到低的順序。本試驗受測 78 種蔬菜的單位鮮重的抗氧化力與總酚類含量有正相關 ($R^2=0.46$, $p<0.001$)；其中，豆科、瓜果類及茄科等蔬菜抗氧化力與總酚類含量有更高度的相關性，決定係數 (R^2) 分別為 0.91、0.88 及 0.80，而十字花科與菊科蔬菜的決定係數則不高 (R^2 分別為 0.23 及 0.28)，結果顯示不同類別的蔬菜，總酚類對總抗氧化力的貢獻度不同，抗氧化成分有所差異。在不同部位與不同前處理的蔬菜抗氧化力方面，小松菜與本地芹菜葉片之葉身部位抗氧化力是高於葉柄部位；蓮藕地下莖之節位部份的單位乾重抗氧化力是節間部位的 3.5 倍；大蒜經切碎後放置 20 分鐘再進行均質分析，其抗氧化力可提高 50%；而含有外皮的絲瓜單位乾重抗氧化力是高於去皮的絲瓜。預期外地，包心白菜單位乾重抗氧化力，有由內層葉片到外層葉片遞減的趨勢。由國人蔬菜攝取的情況，可估計出台灣成人平均每天從蔬菜類食物中所獲得的抗氧化力為 $1442\ \mu\text{mol FeSO}_4$ ，所獲得的總酚類為 $1524\ \mu\text{mol GAE}$ ，其中深色蔬菜類所提供的抗氧化力與總酚類皆約佔全部的 75%。

關鍵詞：抗氧化力、蔬菜、三價鐵離子還原抗氧化力、總酚類含量、中醫四氣

Abstract

Fruit and vegetables play an important role in antioxidant protective effect for human against the risk of several diseases. To establish information of health-promoting properties of Taiwan vegetables, the total antioxidant activity (TAA) and total phenolic content (TP) of Taiwan vegetables were investigated by Ferric reducing antioxidant power (FRAP) assay and Folin-Ciocalteau assay. The TAA and TP varied from 0.4 to $35.7 \mu\text{mol FeSO}_4/\text{g f.w.}$ and from 0.7 to $47.7 \mu\text{mol GAE/g f.w.}$, respectively. The vegetables with higher TAA ($>10 \mu\text{mol FeSO}_4/\text{g f.w.}$) and TP ($>10 \mu\text{mol GAE/g f.w.}$) are short chili pepper, ginger, colored sweet pepper, red cabbage, black yard-long bean, sweet potato vine, basil, Indian lotus root, early dwarf pea, and common bracken. The TAA was the highest in fruits of Solanaceae and the lowest in fruits of Cucurbitaceae. The TAA and TP were significantly higher in colorful vegetables than in light color vegetables. As classified the tested vegetables according to hot, warm, cool, and cold properties of Chinese medicine, the average TAA and TP of each category were in the decrement order. A positive linear relationship ($R^2 = 0.46$, $p < 0.001$) obtained between TAA and TP in 78 kinds vegetables. The coefficient of determination between TAA and TP was higher in Leguminous, Cucurbitaceous and Solanaceous vegetables ($r^2=0.91$, 0.88, 0.80, respectively), and lower in Brassicaceous and Asteraceous vegetables ($r^2=0.23$ and 0.28, respectively). These results suggested that the contribution of TP to TAA varies among varieties of vegetable, and antioxidants as well. The TAA of Komatsuna and Chinese celery were higher in the leaf blade than in the leaf stalk, and the TAA of Indian lotus root was 3.5 fold higher in nodes than in internodes.

The TAA of garlic increased 50% as left at room temperature for 20 minutes after minced before extraction. The TAA of vegetable sponge was higher in fruit with skin than in ones without skin. Unexpectedly, Chinese cabbage has the decrement in TAA from inner to outer leaves. The average TAA and TP consumed from vegetables are $1442 \mu\text{mol FeSO}_4$ and $1524 \mu\text{mol GAE}$ per adult in Taiwan daily. The percentage of TAA and TP consumed from deep-colored vegetables is about 75% in all vegetables.

keyword : antioxidant activity, vegetables, FRAP, total phenolic content, the four properties of Chinese medicine



目 錄

口試委員會審定書	
誌謝	i
中文摘要	ii
英文摘要	iii
第一章 前言	1
第二章 前人研究	3
一、蔬果抗氧化的保健功能	3
二、蔬果對人體抗氧化的相關研究	4
三、蔬果的抗氧化物質與其抗氧化作用	6
四、抗氧化力分析方法	10
五、蔬果抗氧化力的相關研究	13
六、國人蔬菜攝取情況與國內蔬菜供給情況	15
第三章 台灣蔬菜鐵離子還原抗氧化力 (FRAP) 之研究	24
一、前言	24
二、材料與方法	27
三、結果與討論	32
(一) FRAP 分析方法的建立	32
(二) 台灣蔬菜 FRAP 的研究	41
(三) 不同部位與經過不同前處理的蔬菜 FRAP	52
(四) 蔬菜攝取情況與獲取抗氧化力的關係	58
(五) 國內蔬菜供給量與國人獲取蔬菜抗氧化力的關係	60
第四章 台灣蔬菜總酚類含量之研究	62
一、前言	62
二、材料與方法	64
三、結果與討論	67
(一) 總酚類含量分析方法的建立	67
(二) 台灣蔬菜總酚類含量的研究	73
(三) 蔬菜攝取情況與獲取總酚類含量的關係	84
(四) 國內蔬菜供給量與國人獲取蔬菜總酚類的關係	85
第五章 結論	88
參考文獻	89
附錄	100

表目錄

表 2.1、植物中酚類化合物的分類.....	18
表 2.2、蔬果抗氧化力相關的研究主題.....	18
表 2.3、民國 95 年國內各種類蔬菜供給量.....	19
表 3.1、微量盤光譜分析儀與典型的光譜分析儀進行 FRAP 的條件與結果.....	36
表 3.2、硫酸亞鐵標準溶液的 FRAP 標準曲線參數.....	37
表 3.3、八十三種受分析蔬菜.....	47
表 3.4、台灣各類蔬菜平均抗氧化力 (FRAP 值)	49
表 3.5、各群蔬菜平均抗氧化力 (FRAP 值)	50
表 3.6、不同蔬菜部位乾溼比與抗氧化力 (FRAP 值)	55
表 3.7、民國 95 年國內蔬菜供給量與平均每人每天抗氧化力 (FRAP 值) 供給量.....	61
表 4.1、三種操作步驟進行總酚類含量分析的條件與結果.....	70
表 4.2、沒食子酸標準品的總酚類含量標準曲線方程式.....	71
表 4.3、台灣各種蔬菜單位乾重及鮮重總酚類含量.....	78
表 4.4、各群蔬菜平均總酚類含量.....	79
表 4.5、民國 95 年國內蔬菜供給量與平均每人每天總酚類的供給量.....	87
附表 3.1、前人研究進行 FRAP 分析的設定條件與儀器.....	100
附表 3.2、蔬菜樣品來源、產地與取樣月份.....	102
附表 3.3、蔬菜分析前的狀態與分析取樣方法.....	104
附表 3.4、所有取樣蔬菜抗氧化力 (FRAP 值) 與總酚類含量的原始數據.....	109
附表 4.1、前人研究分析總酚類含量 (Folin-Ciocalteu reagent assay) 的設定條件與儀器.....	111

圖目錄

圖 2.1、抗壞血酸與去氫抗壞血酸的轉換.....	20
圖 2.2、生育酚的氧化及與抗壞血酸和麩胱甘肽氧化還原的循還圖.....	20
圖 2.3、一般飲食中類胡蘿蔔素的結構.....	21
圖 2.4、類黃酮分子的基本結構.....	21
圖 2.5、台灣地區成年男女性每天各類食物攝取比例（國民營養健康狀態變遷調查 1993-1996）.....	22
圖 2.6、台灣地區成年男女性平均每天各類蔬菜攝取量比例（國民營養健康狀態變遷調查 1993-1996）.....	22
圖 2.7、台灣地區成年男女性每天各類食物供應熱量比例（國民營養健康狀態變遷調查 1993-1996）.....	23
圖 2.8、民國 95 年台灣各類別蔬菜供給量比例.....	23
圖 3.1、標準品 $1000 \mu M$ 硫酸亞鐵溶液經 FRAP 反應呈色的吸收光譜.....	38
圖 3.2、空白組、標準品及樣品的 FRAP 反應動力學.....	39
圖 3.3、經萃取 20、120 及 520 分鐘各樣品的抗氧化力（FRAP 值）.....	40
圖 3.4、八十三種蔬菜抗氧化力（FRAP 值）之排序.....	51
圖 3.5、包心白菜、小松菜及本地芹菜不同葉片部位的抗氧化力（FRAP 值）...	56
圖 3.6、蓮藕不同部位的抗氧化力（FRAP 值）.....	56
圖 3.7、不同前處理之大蒜與圓筒絲瓜的抗氧化力（FRAP 值）.....	57
圖 4.1、 $1000 \mu g/mL$ 沒食子酸標準溶液經福林酚試劑反應呈色之吸收光譜.....	72
圖 4.2、七十九種蔬菜總酚類含量之排序.....	80
圖 4.3、蔬菜抗氧化力（FRAP 值）與總酚類含量之相關性.....	81
圖 4.4、豆科蔬菜抗氧化力（FRAP 值）與總酚類含量之相關性.....	81
圖 4.5、茄科蔬菜抗氧化力（FRAP 值）與總酚類含量之相關性.....	82
圖 4.6、瓜果類蔬菜抗氧化力（FRAP 值）與總酚類含量之相關性.....	82
圖 4.7、十字花科蔬菜抗氧化力（FRAP 值）與總酚類含量之相關性.....	83
圖 4.8、菊科蔬菜抗氧化力（FRAP 值）與總酚類含量之相關性.....	83

第一章 前言

流行病學研究指出，多攝取蔬果可降低許多疾病發生的危險，包括癌症及心血管疾病 (Ness and Powles, 1997; Steinmetz and Potter, 1996; Van't Veer et al., 2000)。這些疾病的產生與體內自由基或活性氧分子 (reactive oxygen species ; ROS) 所造成的氧化傷害有密切關係 (Borek, 2005)。生物體若產生過多的 ROS，即遭受氧化逆境 (oxidative stress)，其脂質、蛋白質以及 DNA 的結構會被改變，進而產生疾病。而蔬果中具有抗氧化功能的植物化學物質 (phytochemicals)，如維生素 C、E、酚類化合物及類胡蘿蔔素，能夠去除體內的自由基及活性氧分子，減少生物體遭受氧化傷害，因此多攝取富含抗氧化物質的蔬果可降低許多疾病發生的機會 (Di Mascio et al., 1991; Hollman and Katan, 1999; Padayatty et al., 2003; Stahl and Sies, 2005)。分析總抗氧化力目的在評估蔬果本身所有成分的抗氧化能力，進而得知其減少攝食者氧化傷害的可能效果；了解各種飲食的抗氧化力，有助於選擇這些材料進一步研究探討其保健功能。

目前已有許多蔬果或飲食相關的抗氧化力研究，當中包括蔬果的種類 (Miller et al., 2000; Halvorsen et al., 2002; Ou et al., 2002; Szeto et al., 2002)、品種 (Imeh and Khokhar, 2002; George et al., 2004)、部位 (Guo et al., 2003; Toor and Savage, 2005)、加熱烹煮 (Chu et al., 2000; Ismail et al., 2004)、貯藏 (Chu et al., 2000; Vin and Chaves, 2006) 對其抗氧化力的影響，以及抗氧化成分的含量與抗氧化力的相關性 (Chu et al., 2000; Kaur and Kapoor, 2002; Zhou and Yu, 2006)，然而，針對台灣各類蔬菜縱觀地分析抗氧化力的研究並不多，因此有需要完整地建立台灣各類蔬菜的抗氧化力資訊。大部分抗氧化力的研究是以西方溫帶的蔬果作為研究材料，以台灣熱帶、亞熱帶及新興蔬菜作為材料的研究並不多，因此本研究在建立台灣各類蔬菜抗氧化力的資訊，同時也讓台灣蔬菜的保健價值得到提升與重視。

抗氧化力體外的分析方法種類繁多 (Prior et al., 2005; Roginsky and Lissi, 2005; Stratil et al., 2006)，其中鐵離子還原抗氧化力分析法 (Ferric reducing antioxidant

power assay；FRAP assay) 是以還原三價鐵離子的能力代表所具有的抗氧化力，最早由 Benzie 和 Strain (1996) 所提出，應用於臨床上分析血漿所擁有的抗氧化力 (Ferric reducing ability of plasma；FRAP)。隨後 Halvorsen 等、Szeto 等及 Ou 等(2002) 開始應用在蔬果抗氧化力的分析上。此種抗氧化力分析方法簡易、快速、經濟且分析結果適合比較及排序，符合大量蔬菜樣品分析的需求與目的 (Prior et al., 2005)。另外，酚類化合物 (phenolic compounds，簡稱酚類 phenolics) 是蔬果所含重要的抗氧化物質。因此本試驗以 FRAP 方法分析台灣 83 種蔬菜的總抗氧化力，同時也分析總酚類的含量，建立台灣蔬菜抗氧化力之基本資料。



第二章 前人研究

一、蔬果抗氧化的保健功能

流行病學研究指出，豐富蔬果的飲食可預防許多疾病的發生，包括心血管疾病 (Ness and Powles, 1997; La Vecchia et al., 1998; Van't Veer et al., 2000; Dauchet et al., 2006) 及多種癌症 (Steinmetz and Potter, 1996; La Vecchia et al., 2001; Terry et al., 2001)。蔬果飲食或其成分的保健機制成為近年來研究者不斷研究探討的議題。Lampe (1996) 文獻回顧提出蔬果或其成分具潛力的保健機制，包括抗氧化功能、去毒化 (detoxification) 酵素的調控、免疫系統的刺激、減少血小板凝集、膽固醇代謝的調控、血壓的控制等。其中，抗氧化作用至今一直成為蔬果保健研究的重要方向，因為它與癌症及冠狀動脈硬化皆有密切的關係。

研究者提出重要假設，認為疾病的產生與體內自由基或活性氧分子 (reactive oxygen species; ROS) 所造成的氧化傷害有密切關係 (Maxwell and Lip, 1997; Borek, 2005; Valko et al., 2007)。生物體若產生過多的ROS，即遭受氧化逆境 (oxidative stress)，其脂質、蛋白質以及DNA的結構會被改變，功能將異常，進而產生病變。若體內擁有足夠的抗氧化物質，包含酵素型與非酵素型成分，即能夠防止自由基形成、去除自由基、修補氧化造成的傷害以及防止基因突變等，進而預防病變的發生。而蔬果中含有具抗氧化功能的植物化學物質 (phytochemicals)，如維生素C、E、類胡蘿蔔素及酚類化合物，攝取這些抗氧化物，可降低體內遭受氧化傷害的機會，進而預防疾病 (Di Mascio et al., 1991; Hollman and Katan, 1999; Padayatty et al., 2003; Stahl and Sies, 2005)。

從營養流行病學的觀察法研究結果—包括世代研究 (cohort study) 及病例對照研究 (case-control study) —可以得知蔬果飲食對疾病可能的預防效果 (Dauchet et al., 2006)，然而未能證實抗氧化的作用機制以及得知其作用的成分。藉由細胞培養與動物模式的實驗可以幫助瞭解蔬果成分表現抗氧化等保健機制的效果 (Adams et al., 2006; Cherng et al., 2007)，但實際在人體上表達的效果仍然不清

楚。而人體飲食介入 (intervention) 的研究，能夠連結營養流行病學的研究與細胞培養及動物模式的實驗結果。這些飲食介入的研究是利用評估人體生理生化的指標來印證蔬果飲食或其成分可能的保健機制，且進一步推論其預防疾病的功能 (Dragsted et al., 2004; Thompson et al., 2006)。飲食介入的研究仍會受限於一些問題，如生化指標的敏感度與明確性、生化樣品的取得與使用，以及人體實驗操作的邏輯性等 (Lampe, 1996)。除了上述不同面向的研究之外，另外還有一部份的研究是藉由體外化學分析的方法，直接評估蔬果或其特定成分的抗氧化能力。其目的在瞭解該物質攝取後，體內減少氧化傷害的可能效果，同時也可以得到值得進一步研究其體內保健機制的材料。

二、蔬果對人體抗氧化的相關研究

(一) 蔬果種類與成分對氧化傷害的影響

攝取蔬果能夠減少 DNA 及脂質的氧化傷害，而保護的程度隨蔬果種類和所含成分不同而異 (Pool-Zobel et al., 1997; Fowke et al., 2006)。Pool-Zobel 等 (1997) 對23位健康不抽煙的男性進行不同蔬菜飲食的介入實驗。結果顯示2週番茄與2週胡蘿蔔飲食的補充，可顯著減少血液中淋巴細胞DNA的斷裂；2週胡蘿蔔飲食的補充，可顯著減少淋巴細胞DNA嘧啶鹼基的氧化程度，而2週菠菜飲食皆無效果，顯示蔬菜飲食能減少DNA斷裂及氧化傷害，但其保護的效果因蔬菜種類而異。Fowke 等 (2006) 對22位男女進行蕓苔屬蔬菜的介入實驗，實驗逢機交替4週蕓苔屬蔬菜攝取 (平均每天218g) 及4週維生素、礦物質及纖維補充。攝取4週蕓苔屬蔬菜的尿液中 8-iso-PGF_{2 α} 濃度顯著減少原始 8-iso-PGF_{2 α} 濃度的 22.0% (8-iso-PGF_{2 α} , F₂-isoprostanes 是體內脂肪酸過氧化之後的產物之一)，而攝取4週維生素、礦物質及纖維的實驗組則無顯著效果。結果得知，蕓苔屬蔬菜提供減少氧化傷害的能力，而此能力無法由單獨補充維生素、礦物質及而獲得。

（二）蔬果份量對氧化傷害的影響

攝取不同份量的蔬果皆能夠減少氧化傷害的發生，而較高量蔬果攝取的保護程度要比相對低量的蔬果攝取佳 (Thompson et al., 2005a,b)。Thompson 等 (2005a) 對 246 位健康的女性進行不同份量的蔬果介入實驗，蔬果飲食包含 16 個科別、41 種蔬果。結果顯示攝取 2 週相對低量蔬果 (3.0 份/天) 之後，再進行 2 週相對高量蔬果攝取 (9.2 份/天) 能進一步降低攝取高量蔬果前尿液中 $8\text{-iso-PGF}_2\alpha$ 濃度的 11%；而之後持續 2 週相對低量蔬果飲食 (3.6 份/天) 則不會再降低濃度。Thompson 等 (2005b) 另外對 64 位健康女性進行不同份量的蔬果介入實驗，逢機分二組，相對低量蔬果攝取平均每天 3.0 份，和相對高量蔬果攝取平均每天 12.1 份。結果顯示相對高量蔬果攝取能顯著降低原始血液中淋巴細胞 8-oxo-dG 含量的 16.5% (8-oxo-dG , $8\text{-hydroxy-2-deoxyguanosine}$ 為 DNA 遭受氧化傷害的產物之一)，以及原始尿液中 $8\text{-iso-PGF}_2\alpha$ 濃度的 30.7%，而相對低量蔬果攝取則降低效果不顯著。研究也指出生化指標的降低程度與個體生化指標的原始濃度有關，原始濃度越高，受蔬果飲食導致降低的量就越多且越顯著。

（三）蔬果多樣性對氧化傷害的影響

相對高多樣性蔬果的攝取，減少氧化傷害的效果要比相對低多樣性的蔬果攝取佳 (Thompson et al., 2006)。Thompson 等 (2006) 對 111 位健康的女性進行蔬果多樣性的介入實驗，逢機分二組，相對高多樣性蔬果攝取，包含 18 個科別、44 種蔬果，以及相對低多樣性蔬果攝取，包含 8 個科別、27 種蔬果，兩組每天攝取蔬果份量沒有差異。結果顯示，攝取 2 週相對高多樣性蔬果與 2 週相對低多樣性蔬果皆顯著降低尿液中 $8\text{-iso-PGF}_2\alpha$ 的濃度，而相對高多樣性蔬果降低的程度是相對低多樣性蔬果的 2.6 倍；攝取相對高多樣性蔬果能顯著降低原始淋巴細胞 8-oxo-dG 含量的 12%，而攝取相對低多樣性蔬果則影響不顯著。研究也顯示氧化傷害生化指標原始濃度越高，受蔬果飲食導致降低的量就越多且越顯著。

三、蔬果的抗氧化物質與其抗氧化作用

(一) 維生素C：

維生素C (Vitamin C) 又稱為抗壞血酸 (ascorbic acids)，是一種蔬果中常見的水溶性抗氧化物。抗壞血酸可提供2個電子，去除自由基或是高活性的分子。而失去電子的抗壞血酸 (半去氫抗壞血酸自由基和去氫抗壞血酸) 活性不高，不會造成氧化傷害。在體內氧化的去氫抗壞血酸可藉由麩胱甘肽 (glutathione)、NADH 或NADPH還原成抗壞血酸 (圖2.1)。

維生素C是體內許多代謝路徑相關酵素必需的輔助因子 (cofactor)，不過相當多的研究關注在它的抗氧化功能 (Halliwell, 2001)。研究顯示，維生素C的抗氧化功能，是減少許多疾病風險的重要原因，這些疾病包括癌症、心血管疾病、眼睛老化相關疾病以及神經退化性疾病等 (Jacob and Burri, 1996)。流行病學研究指出，較高量的維生素C攝取與降低癌症風險有顯著的關係，尤其是胃癌、食道癌、口腔癌 (Block, 1992)；維生素C攝取與降低心血管風險也有顯著的關係 (Fehily et al., 1993; Asplind, 2002)。在體外的研究方面，有研究針對抗壞血酸抑制低密度脂蛋白 (LDL) 的效果作評估，LDL自血漿中分離出，給予氧化的環境，一般會有過渡金屬 (銅或鐵) 的存在。從量測氧化產物的結果可知，外加給予抗壞血酸確實可延遲脂質氧化的速率 (Jialal et al., 1990; Jialal and Gruny; 1992)。

(二) 維生素E：

維生素E (Vitamin E) 又叫生育酚 (tocopherol)，為脂溶性抗氧化物，抗氧化作用主要在細胞膜或脂肪組織，可保護膜上的多元不飽和脂肪酸不被脂質過氧化。研究證實 α -tocopherol在減少脂質過氧化是最有效的酚類抗氧化物，也是生物膜及脂蛋白上主要的脂溶性抗氧化物 (Halliwell, 1994)。維生素E可終止過氧化自由基引起的連鎖反應，與過氧化自由基作用後，本身成為無活性的苯氧自由基分子 (phenoxy radicals) 與過氧化氫產物，因此是合適的自由基清除者。飲食中攝取維生素E可增加血漿中 α -tocopherol的濃度，提升抗氧化的保護效果。維生素E在血液中由脂蛋白運輸，可防止脂蛋白受到氧化傷害。一莫耳的生育酚與2個脂質

過氧化自由基 (LOO[·]) 作用，會產生14個脂質過氧化氫 (LOOH) 及7個氧化的生育酚 (圖2.2) (Kitts, 1997)。許多研究支持維生素E參與體內抗氧化的防禦，以及在預防慢性疾病上扮演重要的角色。LDL氧化是動脈粥狀硬化發生的初期步驟，維生素E可延緩低密度脂蛋白 (LDL) 上的多元不飽和脂肪酸氧化 (Jialal and Gruny; 1992)。流行病學研究指出， α -tocopherol的攝取與降低心血管風險有顯著的關係 (Stampfer et al., 1993; Knekt et al. 1994)。動物試驗方面，給予餵食生育酚醋酸酯 (D,L- α -tocopherol acetate) 的兔子對LDL氧化的抵抗性有增加 (Morel et al., 1994)。生育酚的抗氧化活性亦可減少腫瘤細胞中脂質過氧化物的毒性 (Begin et al., 1988)。

(三) 類胡蘿蔔素：

類胡蘿蔔素 (Carotenoids) 是由多異戊二烯聚合，40個碳的對稱二聚體。自然界中有超過600種類胡蘿蔔素。蔬果中最常見的類胡蘿蔔素有 α -及 β -胡蘿蔔素 (α -, β - carotene)、茄紅素 (lycopene)、葉黃素 (lutein)、玉米黃素 (zeaxanthin)、蝦紅素 (astaxanthin) 等 (圖2.3)。類胡蘿蔔素可分為兩大類，一為胡蘿蔔素 (carotenes) 一結構為不飽和烴 (unsaturated hydrocarbon)，另一為葉黃素 (xanthophylls) 一結構上帶有一個以上的含氧官能基。類胡蘿蔔素的共軛多烯長鏈結構使其具有吸光性質及光保護 (photo-protection) 功能，類胡蘿蔔素可直接與激發態的葉綠素或其引發的單態氧作用，以防止氧化傷害的發生。類胡蘿蔔素為一脂溶性抗氧化物，可終止自由基的連鎖反應，抑制脂質過氧化，它與自由基作用後，自身可形成較為安定的類胡蘿蔔素自由基，以此防止蛋白質與DNA等的氧化變異 (Astorg, 1997)。

β -胡蘿蔔素是一種具有抗氧化活性的類胡蘿蔔素，可吸收活性氧分子的能量，阻止其產生氧化傷害。 β -胡蘿蔔素亦可與引起連鎖反應的脂質過氧化自由基作用，以減少脂質的氧化，保護脂肪膜不受自由基的破壞 (Astorg, 1997)。 β -胡蘿蔔素的抗氧化活性與氧的濃度有關，當氧的分壓高時，其抗氧化活性降低；而在低氧時則活性較高。由於酵素與其他抗氧化物大多是在正常氧濃度下最有效，而許多組織中的微血管是接近低氧分壓，所以 β 胡蘿蔔素可輔助其他抗氧化物如

維生素 C 及 E 的作用。有研究指出葉黃素，如角黃素、蝦紅素或玉米黃素是比 β -胡蘿蔔素更佳的抗氧化物 (Palozza and Krinsky, 1992; Rice-Evans et al., 1997)。

類胡蘿蔔素通常與人類血液中的脂蛋白在一起，因此血漿中的低密度脂蛋白 (LDL) 是一個適合評估膳食中類胡蘿蔔素抗氧化活性的模式。非極性的 α 及 β 胡蘿蔔素主要分布於 LDL 部份；而極性的類胡蘿蔔素如黃體素及玉米黃素則較多分布於高密度脂蛋白上 (Terao and Nagao, 1997)。在測試的幾種類胡蘿蔔素中，茄紅素的抗氧化力最強，這與其結構有關。Mortensen 及 Skibsted (1997) 發現類胡蘿蔔素與苯氧自由基的反應速率隨著類胡蘿蔔素上的共軛雙鍵數目增加而提高。當類胡蘿蔔素上有羥基 (C-OH)，特別是羰基 (C=O) 存在時，反應速率則降低。因此在去除苯氧自由基上，茄紅素最有效，其次為 β 胡蘿蔔素。

茄紅素具有一特殊的長鏈分子結構，含 13 個雙鍵，是類胡蘿蔔素中雙鍵最多者。這種結構使其清除自由基與終止單態氧分子活性的能力優於其他類胡蘿蔔素。茄紅素是西方人血漿中濃度最高的類胡蘿蔔素 (Nir and Hartal, 1997)。它在睪丸、腎上腺及攝護腺中的含量很高，與其他類胡蘿蔔素不同的是，茄紅素在血漿中的量不受吸煙及喝酒而降低，但隨年齡增加而減少 (Ma, 1997)。

流行病學研究顯示多攝取蔬果及 β -胡蘿蔔素與肺癌罹患率的減少有正相關 (Van Poppel et al. 1995; Ziegler et al., 1996)。飲食中的 α 及 β 胡蘿蔔素及黃體素皆與肺癌罹患率的降低有關，茄紅素則無關 (Astorg, 1997)；但在一個為期 7 年，包含 4 萬 8 千人為對象的實驗中發現，攝取自番茄中的茄紅素可減少攝護腺癌，其它的類胡蘿蔔素則無相關性 (Levy et al., 1997)。另外有研究顯示患有膀胱及胰臟癌的病患，其血漿中茄紅素含量較低 (Levy et al., 1997)。動物試驗方面， β 胡蘿蔔素、角黃素及其它類胡蘿蔔素 (α -胡蘿蔔素、茄紅素、蝦紅素等) 能減少 UV 誘導皮膚癌的發生，以及延緩化學誘發的腫瘤形成，針對不同的部位皆有研究指出，包括皮膚、乳腺、唾腺、呼吸道、肺、胃、結腸、胰腺、膀胱、肝臟等 (Krinsky, 1991; Gerster, 1993)。

（四）酚類化合物：

酚類化合物 (phenolic compounds) 存在於植物界中近8000種不同的結構，由簡單酚分子到高度聚合的多酚化合物。因著結構上的歧異，可將酚類分作幾個族群 (表2.1)，其中酚酸 (phenolic acids)、類黃酮 (flavonoids) 及木質素 (tannins) 是主要飲食中的酚類化合物 (Balasundram et al., 2006)。酚酸主要有又分二群：羥基甲苯酸 (hydroxybenzoic acid) 及羥基肉桂酸 (hydroxycinnamic acid)。羥基甲苯酸結構為一個芳香環接一個碳的酸；羥基肉桂酸結構為一個芳香環接三個碳的酸。類黃酮是植物酚類中最大的一群，有超過4000種不同的結構。類黃酮是低分子量的化合物，其結構 (圖2.4) 為兩個芳香環 (A、B 環) 中間連接三個碳，又中間三碳與A環形成一雜氧環 (C環)。各種類黃酮因C環的差異，又可分為黃酮醇 (flavonols)、黃酮 (flavones)、黃烷醇 (flavanols)、黃烷酮 (flavanones)、異黃酮 (isoflavones)、黃烷酮醇 (flavanonols) 及花青素 (anthocyanidins) 等類。

酚類化合物的抗氧化力是由於它有提供氫原子或電子來消除自由基的能力，氧化的酚類本身結構穩定，不易再和其他分子反應 (Balasundram et al., 2006)。這些抗氧化能力會受酚類結構上，-OH 官能基的數目與位置的影響而有所不同 (Rice-Evans et al., 1996 ; Heim et al., 2002)。例如，類黃酮 A 環 5,7 位置，B 環 3',4' 及 C 環 3 位置有羥基存在會提供較高的抗氧化力。另外，類黃酮具有螯合金屬離子的能力，可抑制金屬離子 (Fe^{2+} 、 Cu^{2+}) 的助氧化作用 (pro-oxidation)。

花青素是水溶性色素，全部與醣類形成醣昔，最常見的花青素是在位置 3 或 3,5 之位置發生醣昔鍵聯。Wang (1997) 等探討 14 種花青素抗氧化力，發現 Kuromanin (cyanidin-3-glucoside) 抗氧化力最高，約為維生素 E 水溶性類似物 Trolox 的 3.5 倍；Pelargonin 最低，但也與 Trolox 相當。山桑 (bilberry) 含有的矢車菊色素 (cyanin) 及花翠色素 (delphinin)，其萃取物已商品化用來治療微血管疾病及維持正常的血管滲透性，亦可防止膽固醇引起的動脈硬化 (Wang, 1997)。Saito (1998) 等研究指出葡萄子萃取液及所含之 procyanidin 具有防止胃潰瘍的生理功

能，procyanidin 有清除自由基的抗氧化力，使胃壁不受自由基引起的傷害，同時 procyanidin 可與蛋白質結合而具有保護胃壁的功能。

四、抗氧化力分析方法

分析植物中的抗氧化物含量有助於瞭解該物質攝取後，在體內減少氧化傷害的可能效果。不過植物中抗氧化物種類眾多，分析各別的抗氧化物含量無法得知植物整體的抗氧化能力，因此目前已有許多分析總抗氧化力的方法，皆應用於飲食或植物材料抗氧化力的評估。這些方法依測定的原理可分為四類：抑制自由基對基質的氧化降解、去除自由基、抑制脂質過氧化以及還原力（王等, 2006）。由於原理不同，各種方法抗氧化力代表的意義也會不一樣。以下介紹幾個抗氧化力研究中常見的分析方法：

（一）ORAC (oxygen radical absorbance capacity) assay

ORAC分析法是一種以抗氧化物去抑制自由基對基質的氧化降解為基礎的方法，是由Cao等人（1993）以Glazer（1990）的研究為基礎發展出的方法。原理是應用螢光物質 β -藻紅蛋白（ β -phycoerythrin, β -PE）的性質，在540nm光波激發下可發出565nm的螢光。有自由基或氧化劑存在會使 β -PE螢光減弱，而當有抗氧化物存在時， β -PE的螢光減弱會被抑制。此自由基或氧化劑可使用AAPH（產生過氧化自由基）、 $H_2O_2-Cu^{2+}$ （主要產生 $HO\cdot$ ）或 Cu^{2+} 。使用AAPH時，可測量所有公認的抗氧化物，如抗壞血酸、 α -生育酚、 β -類胡蘿蔔素。使用 $H_2O_2-Cu^{2+}$ 時，可測得甘露醇、葡萄糖、尿酸及過度金屬螯合劑類的物質，無法測定抗壞血酸、 α -生育酚（Cao et al., 1997）。ORAC分析法的量測值是使用螢光變化量曲線下的面積，將抗氧化物對自由基作用的抑制時間和抑制程度結合成一個量。此測定結果以Trolox當量表示。ORAC分析法可以依據抗氧化物作用特性，控制過氧化自由基的來源與溶劑，適用於脂溶性及水溶性抗氧化物的分析。方法中AAPH與抗氧化物的莫耳比非常高（超過2000），使得此法專一性強，量測的是抗氧化物直接清除自由基的能力，由於使用螢光技術，使得也能量測含有抗氧化物的油乳狀樣品。此

方法測得的是總抗氧化力，而且可自動化 (Cao et al., 1995)。因為ORAC的反應對溫度敏感，所以作用過程須控制溫度於37°C，若使用微量盤進行分析，溫度的影響將更為明顯 (Lussignoli et al., 1999)。螢光標誌雖然偵測上敏感，但需要螢光的光譜分析儀，儀器昂貴，一般實驗室較少使用。另外，分析時間長也是其主要的缺點 (prior et al., 2005)。

(二) DPPH自由基去除能力法

DPPH· (2,2-Diphenyl-1-picrylhydrazyl) 是一種穩定的自由基，其乙醇溶液呈深紫色，在515nm波長下有最大吸光值。當有抗氧化物存在時，DPPH自由基會被還原，DPPH溶液的顏色會變淺，吸光值變小，根據吸光值的變化可測得抗氧化力。計量常以去除DPPH自由基百分率 (%) 表示 (Oboh, 2005; Madhujith and Shahidi, 2005; Liu et al., 2007)、自由基殘留率 (%) 表示 (Zhou and Yu, 2006; Huang et al., 2007)，或是使用去除50%自由基所需的濃度EC50 (濃度越小，抗氧化力越強) 來表示 (Sánchez-Moreno et al., 2006)，也有使用Trolox標準品作單位表示的 (Miller et al., 2000; Oki et al., 2002)。

此方法快速、簡單，只需要典型的UV-Vis光譜分析儀即可完成，然而，若受測的物質與 DPPH溶液有相同的吸收光譜 (515nm) 則結果有將不易解釋，已知類胡蘿蔔素會干擾 (Noruma et al.,1997)。使用DPPH分析法量測抗氧化力會被一些缺點困擾，因為DPPH是自由基同時也是氧化物，此分析不是競爭性的作用，反應過程會受其他物質的干擾而顏色減弱，且容易受化學空間上的影響，小分子因較容易和作用位置反應而會有顯著較高的抗氧化力 (Prior et al., 2005)。很多能和過氧化物作用的抗氧化物因化學空間上的緣故，無法和DPPH作用而量測不到。

(三) TEAC (trolox equivalent antioxidant capacity) assay

TEAC 分析法又稱為 ABTS 分析法，最早由 Miller 等 (1993) 提出，主要是量測抗氧化物去除 ABTS 自由基的能力。ABTS [2,2'-azinobis (3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid)] 可被 $K_2S_2O_8$ 、 MnO_2 等各種試劑氧化，生成藍綠色的自由基陽離子 $ABTS \cdot^+$ 。 $ABTS \cdot^+$ 相當穩定在 414、645、734 和 805nm

波長下有最大吸收峰。有抗氧化物存在下，ABTS^{·+}會與其反應，變為無色的ABTS。抗氧化物清除ABTS^{·+}自由基的能力可用414nm或734nm波長下的吸光值測量，一般反應時間為4-6分鐘。其測得的結果以TEAC (Trolox equivalent antioxidant capacity, Trolox 當量抗氧化能力) 表示。(Trolox為水溶性的維生素E的類似物。)TEAC分析法操作簡單，反應快速，能在較寬裕的pH值範圍下反應。ABTS^{·+}可溶於水溶液與有機溶劑中，且不受金屬離子的影響，所以用於量測脂溶性與水溶性萃取物的抗氧化力(Prior et al., 2005)。TEAC分析法也可用微量盤分析(Eral, 2004)。

ABTS自由基不存在於哺乳動物中，因此是一種非生理的自由基，可能無法反應出抗氧化物實際在體內的表現。熱力學上要能還原ABTS自由基，其物質的氧化還原電位要低過ABTS的0.68V，許多酚類化合物是有低氧化還原電位，能與ABTS自由基作用，然而反應需要較長的時間，在設定的時間內無法反應完全，這會造成TEAC值被低估，不過分析結果還是能夠提供樣品或抗氧化物抗氧化力的排序(Prior et al., 2005)。

(四) FRAP (Ferric reducing antioxidant power) assay

鐵離子還原抗氧化力分析法(Ferric reducing antioxidant power assay；FRAP assay)是以還原三價鐵離子的能力代表所具有的抗氧化力，最早由Benzie和Strain(1996)所提出，應用於臨牀上分析血漿所擁有的抗氧化力(Ferric reducing ability of plasma；FRAP)。隨後Halvorsen等、Szeto等及Ou等(2002)開始應用在蔬果抗氧化力的分析上。FRAP分析法的作用原理是抗氧化物會在低pH值環境下(pH=3.6)將TPTZ(2,4,6-tripyridyl-s-triazine)螯合的三價鐵還原為二價鐵，溶液由黃色轉為藍色，在593nm波長下有最大吸光值，測量單位以FeSO₄當量表示。FRAP分析法簡易、快速、經濟、且分析結果穩定重複性高，適合比較及排序。不過，FRAP分析方法無法測得硫醇類(thiols)的抗氧化力，文獻指出一般硫醇類的還原力皆小於Fe³⁺/Fe²⁺還原的半反應(Halvorsen et al., 2002)。

五、蔬果抗氧化力的相關研究

目前已有許多蔬果或飲食相關的抗氧化力研究，當中包括蔬果的種類 (Miller et al., 2000; Halvorsen et al., 2002; Ou et al., 2002; Szeto et al., 2002; Zhou and Yu, 2006)、品種 (Imeh and Khokhar, 2002; George et al., 2004; Eberhardt et al., 2005; Deepa et al., 2006)、部位 (Guo et al., 2003; Toor and Savage, 2005; Li et al., 2006b)、加熱烹煮 (Chu et al., 2000; Ismail et al., 2004; Zhang and Hamauzu, 2004)、貯藏 (Chu et al., 2000; Puupponen-Pimiä et al., 2003; Vin and Chaves, 2006) 對其抗氧化力的影響，以及抗氧化成分的含量與抗氧化力的相關性 (Chu et al., 2000; Kaur and Kapoor, 2002; George et al., 2004; Zhou and Yu, 2006) (表2.2)。這些研究皆是以體外分析的分法來評估蔬果的總抗氧化力，依據總抗氧化力的評估結果，可以對人類在蔬果選擇上、培育上、處理上作出調整或改進。以下整理出數個蔬果抗氧化力相關研究的結果：

(一) 蔬菜與水果抗氧化力的比較

一般而言，水果的抗氧化力高於蔬菜 (Miller et al., 2000; Triantis et al., 2005)。Miller等 (2000) 以去除DPPH自由基方法量測抗氧化力，受測水果平均抗氧化力 $1230 \mu\text{mol Trolox equivalents}/100 \text{ g (TE)}$ ，而蔬菜平均 440 TE 。由數據可知，蔬菜中的紅色甘藍、大蒜及根莖菜有高的抗氧化力；而綠色甘藍、胡瓜、芹菜抗氧化力較低。富含花青素的紅色甘藍、根莖菜及水果中的紅李、黑李、葡萄皆有明顯高的抗氧化力，而富含水分的瓜類抗氧化力就較低。Triantis等 (2005) 以化學發光法 (chemiluminescence) 測得15種蔬果的抗氧化力，同樣顯示蔬菜的抗氧化力低於水果的抗氧化力，所有受測蔬菜的抗氧化力排序皆低於水果，而排序最高的蔬菜為胡蘿蔔。

(二) 蔬果不同品系間的抗氧化力

相同種類的蔬菜，其抗氧化力會因品系或品種的不同而有差異 (George et al., 2004; Eberhardt et al., 2005; Kaur et al., 2007)。George等 (2004) 以FRAP方法分析12種不同品系番茄的抗氧化力。結果顯示'818 cherry'品系以 2.3 mM FRAP 為最

高，'FA-574'品系0.64 mM FRAP為最低，同時'818 cherry'品系也含有最高的茄紅素含量、酚類含量及抗壞血酸。Imeh 和Khokhar (2002) 以FRAP方法分析9個品種的番茄抗氧化力，最高與最低的品種抗氧化力差不到2倍。Eberhardt 等 (2005) 以ORAC方法分析22個品種青花菜抗氧化力，抗氧化力最高的品種其抗氧化力約為最低品種的3倍，也有研究以FRAP方法分析6個青花菜品種的抗氧化力，結果差不到2倍 (Kaur et al., 2007) ，這些蔬果品系間抗氧化力的差異，可作為品種選拔的依據。

(三) 蔬果不同部位抗氧化力的差異

許多研究皆指出，果實外皮的抗氧化力是高於果肉部分 (Guo et al., 2003; Toor and Savage, 2005; Horax et al., 2005; Bachioca et al., 2006)。Guo 等 (2003) 分析 26 種水果外皮與果肉的抗氧化力，結果顯示除了金柑 (kumquat)，所有水果外皮抗氧化力皆高於果肉，依種類的不同，差距從 2 倍到 27 倍。Bachioca 等 (2006) 針對蘋果與西洋梨各 2 個品種的外皮與果肉分析其抗氧化力，外皮的抗氧化力高於果肉部分，差距從 6 倍到 9 倍。蔬菜方面，Toor 和 Savage (2005) 分析番茄 3 個品種之不同部位的抗氧化力，結果指出外皮 (占全果重的 9-18%) 的抗氧化力約為果肉部位 (不含種子) 的 2 倍，並且總酚類含量、總類黃酮含量、番茄紅素含量及維生素 C 含量，外皮部位皆顯著高於果肉部位。另外，Horax 等 (2005) 分析四種苦瓜不同部位的抗氧化力與各酚類物質含量，結果得知外層果肉的總酚類含量高於內層組織的含量，且酚酸物質的種類有差異，然而兩部位的抗氧化力沒有顯著差異。

(四) 烹調處理對抗氧化力的影響

蔬菜在烹調的過程，其抗氧化力會有所變化 (Turkmen et al., 2005; Zhang and Hamauzu, 2004)。Turkmen等 (2005) 以去除DPPH自由基方法評估七種蔬菜經三種烹調方法處理後 (水煮5分鐘、蒸煮7.5分鐘、微波1或1.5分鐘) 抗氧化力的變化。結果顯示番椒、青花菜、菜豆及菠菜，各方法烹調後，抗氧化力皆增加；而南瓜、豌豆及韭蔥則各方法烹調後，抗氧化力皆大致沒有變化，因此認為蔬菜烹調後抗

氧化力的變化，受蔬菜本身影響比受烹調方法影響大。Zhang 和 Hamauzu (2004) 利用水煮及微波處理青花菜，二處理去除DPPH自由基的抗氧化力皆隨處理時間增加而減少。不論處理方法或取樣部位，處理5分鐘後各抗氧化力約變為原來的1/3。Sultana等 (2008) 以水煮5分鐘、油炒5分鐘、微波5或8分鐘 (2450MHz) 三種方法調理六種蔬菜，結果顯示油炒有提升各蔬菜還原力的趨勢，水煮與微波則無；水煮與油炒對各蔬菜過氧化的抑制效果沒有影響，然而微波卻有降低各蔬菜過氧化抑制效果的趨勢，因此相較於其他調理方法，以微波調理蔬菜可能較不利於蔬菜抗氧化力的維持。

(五) 貯藏溫度對抗氧化力的影響

蔬菜在貯藏的過程，其抗氧化力會有所變化，且變化會隨貯藏條件與蔬果種類的不同而差異 (Chu et al., 2000; Vin and Chaves, 2006; Patthamakanokporn et al., 2008)。Chu等 (2000) 以綠葉甘藷葉進行不同溫度 (4及25°C) 的貯藏處理，隨著處理時間的增加，類黃酮的含量減少，全部抗氧化力分析方法 (DPPH、超氧陰離子、氫氧自由基去除率、還原力及脂質過氧化抑制率) 測得的抗氧化力皆有減少的趨勢，而4°C冷藏下抗氧化力減少的趨勢較緩慢。Patthamakanokporn等 (2008) 以番石榴進行-20°C冷凍與5°C冷藏的處理，番石榴均質液經-20°C冷凍2週後，抗氧化力 (ORAC分析法) 減少23%，之後到3個月持續有減少的趨勢；番石榴果實5°C冷藏10天，抗氧化力有上升的趨勢。Vin 和Chaves (2006) 分別於0°C、4°C及10°C貯存芹菜28天，第21天前0°C冷藏的芹菜相較於其他溫度，皆維持較高的抗氧化力，第28天抗氧化力則變為最低。

六、國人蔬菜攝取情況與國內蔬菜供給情況

根據衛生署「國民營養健康狀況變遷調查 1993-1996」(Wu et al., 1999)，台灣19-64 歲成年男性與女性每天各類食物的攝取量，分別為 1821g 與 1373g。針對所供應的食物重量，男性以點心零食類 (19.8%)、蔬菜類 (17.8%)、五穀根莖類 (14.8%)、水果類 (9.8%) 為主要來源；女性則以蔬菜類 (23.6%)、水果類 (15.8%)、

五穀根莖類 (14.3%)、點心零食類 (14.2%) 為主要來源 (圖 2.5)。每天蔬菜類的攝取量，男性與女性皆為 323g，但女性所攝取的蔬菜量佔食物總攝取量的 23.6%，比男性的 17.8% 高；所攝取的蔬菜種類，男、女性均以深色蔬菜類 153g 佔大多數 (圖 2.6)。蔬菜類所提供的熱量很少，佔總熱量的比例為男性 3.1%，女性 4.4% (圖 2.7)。蔬菜類提供的蛋白質佔男、女性總蛋白質攝取量的 6.6% 及 9.0%，脂肪約佔男、女性總脂肪攝取量的 1%，醣類佔男、女性總醣類攝取量的 5.5% 及 4.0%。

經食物代換表可得知，台灣成年男性每天攝取 13.2 份的主食類 (相當於 3.3 碗飯)，3 份的油脂類，6.4 份的蛋豆魚肉類，0.3 份的奶製品類，3 份的蔬菜類，1 份的水果類；成年女性每天攝取 9 份的主食類 (相當於 2.3 碗飯)，3 份的油脂類，4.5 份的蛋豆魚肉類，0.4 份的奶製品類，3 份的蔬菜類，1.2 份的水果類。衛生署「成人均衡飲食建議量」的建議是每天攝取 3-6 碗的五穀根莖類 (每碗約 200g)，2-3 湯匙的油脂類 (每湯匙 15g)，4 份的蛋豆魚肉類 (肉每份約 30g)，1-2 杯的奶類 (每杯 240mL)，3 碟的蔬菜類 (每碟約 100g)，2 個的水果類 (每個約 100g)。蔬果類的攝取方面，國際上最新的建議以至少 5 份，並應隨著個人的熱量與食量而增加，男性有必要增為 7 或 9 份。由此可知，國人蔬菜類食物的攝取量還有改進的必要，尤其是男性。

國內蔬菜的供給量是以國內蔬菜的生產量，加上進口量，再減去出口量而得之。根據行政院農委會「95 年糧食供需年報 (更新版)」，國內各類別的蔬菜年供給量分別為葉菜類 946 千公噸、根菜類 252 千公噸、莖菜類 870 千公噸、花果菜類 699 千公噸及菇類 36 千公噸。若將分類於「薯類」中的馬鈴薯，以及分類於「子仁及油籽類」的落花生分別納入莖菜類與花果菜類一起討論，則莖菜類的年供給量為 1,165 千公噸，花果菜類為 780 千公噸 (表 2.3)。各類別蔬菜的供給比例由高到低分別為莖菜類 36%、葉菜類 30%、花果菜類 25%、根菜類 8% 及菇類 1% (圖 2.8)。莖菜類為國內供給量最多的蔬菜，由細目可知竹筍的供給量最多 (佔總莖菜類供給量的 28.1%)，其次為馬鈴薯 (25.3%)、蔥 (9.4%) 與洋蔥 (7.2%)。不過，馬鈴薯有一部分是用作零食的原料 (洋芋片)，而非作為蔬菜使用。葉菜類以甘藍 (高

麗菜) 最多，佔葉菜類總供給量的 37.5%，其它依序為結球白菜 (15.2%)、不結球白菜 (8.7%)、大芥菜 (5.7%)、蕹菜 (又稱空心菜) (5.1%) 及芹菜 (4.3%)。花果菜類種類繁多，以番茄最多，佔總花果菜類供給量的 16.4%，其它依序為花椰菜 (12.1%)、落花生 (10.3%)、長豇豆 (俗稱菜豆) (9.3%)、胡瓜 (7.2%)。根菜類作物種類相對較少 (不包括甘藷)，主要以蘿蔔與胡蘿蔔為主，分別佔國內供給總根菜類的 46.1% 與 35.6%。菇類是供給比例最小的蔬菜，僅 1%，主要是洋菇與香菇，各佔所有菇類供給量的 17.1% 與 12.7%。

國人蔬菜攝取情況的資料，可顯示國人獲取營養的情形，也能指出國人從蔬菜取得保健成分的可能情形，可作為國人飲食習慣上須要調整的依據，尤其在蔬菜攝取方面；而從國內蔬菜供給的情況，也可以推算出國內平均每人各種類蔬菜的供給量及平均每人蔬菜營養素的供給量，甚至是蔬菜保健成分的供給量。從國內供給量也可得知國人獲得各種蔬菜的比例，這些比例為國人蔬菜的消費習慣，這些資訊可以作為蔬菜生產上的參考，進而提供消費者不同營養價值的蔬菜。



表2.1、植物中酚類化合物的分類

Table 2.1 Classes of phenolic compounds in plants.

Class	Structure
Simple phenolics, benzoquinones	C_6
Hydroxybenzoic acids	C_6-C_1
Acethophenones, phenylacetic acids	C_6-C_2
Hydroxycinnamic acids, phenylpropanoids (coumarins, isocoumarins, chromones, chromenes)	C_6-C_3
Naphthoquinones	C_6-C_4
Xanthones	$C_6-C_1-C_6$
Stilbenes, anthraquinones	$C_6-C_2-C_6$
Flavonoids, isoflavonoids	$C_6-C_3-C_6$
Lignans, neolignans	$(C_6-C_3)_2$
Biflavonoids	$(C_6-C_3-C_6)_2$
Lignins	$(C_6-C_3)_n$
Condensed tannins (proanthocyanidins or flavolans)	$(C_6-C_3-C_6)_n$

(Balasundram et al., 2006)

表 2.2、蔬果抗氧化力相關的研究主題

Table 2.2 Topics of research related to antioxidant activity in fruit and vegetable.

研究主題	文獻
抗氧化力的比較	蔬果種類 Halvorsen et al., 2002; Szeto et al., 2002; Ou et al., 2002; Miller et al., 2000; Wu et al., 2004; Kaur and Kapoor, 2002; Zhou and Yu, 2006; 梁, 1995; 陳, 2004.
	蔬果品種 George et al., 2004; Eberhardt et al., 2005; Imeh and Khokhar, 2002; Deepa et al., 2006.
	蔬果部位 Toor and Savage, 2005; Li et al., 2006; Guo et al., 2003.
	蔬菜加熱或烹煮方式 Chu et al., 2000; Graziani et al., 2003; Ismail and Lee, 2005; Sahlin et al., 2004; Sun et al., 2007; Zhang and Hamauzu, 2004.
	蔬果貯藏 Chu et al., 2000; Puupponen-Pimiä et al., 2003; Vin and Chaves, 2006; Leja et al., 2003.
抗氧化成分之含量 與抗氧化力的相關性	Kaur and Kapoor, 2002; Zhou and Yu, 2006; Chu et al., 2000; George et al., 2004; Toor and Savage, 2005; Li et al., 2006; Eberhardt et al., 2005; Imeh and Khokhar, 2002.

表 2.3、民國 95 年國內各種類蔬菜供給量

Table 2.3 Domestic supplies of the categories of vegetable in 2006.

蔬菜類別	國內生產量 (公噸)	進口量 (公噸)	出口量 (公噸)	國內供給量 (公噸)	占各類別之 百分比(%)
葉菜類	919,374	29,901	3,498	945,777	
甘藍	355,072	7	—	355,079	37.5
大芥菜	53,949	—	—	53,949	5.7
結球白菜	132,830	10,552	14	143,368	15.2
不結球白菜	82,256	—	—	82,256	8.7
蕹菜	47,963	—	—	47,963	5.1
芹菜	33,356	7,582	6	40,933	4.3
其他	213,948	11,760	3,478	222,229	23.5
根菜類	223,646	43,265	14,527	252,384	
蘿蔔	116,416	—	—	116,416	46.1
胡蘿蔔	93,897	2,848	6,779	89,966	35.6
其他	13,333	40,417	7,748	46,002	18.2
莖菜類	784,517	384,045	7,197	1,165,268	
薑	29,824	1,059	1,894	28,989	2.5
芋	42,497	—	—	42,497	3.6
葱	102,577	7,480	700	109,358	9.4
蔥頭	7,082	22,173	667	28,588	2.5
洋蔥	48,050	36,773	414	84,409	7.2
韭菜	39,521	—	—	39,521	3.4
青蒜	23,681	3,307	0	26,988	2.3
蒜頭	43,843	1,064	31	44,875	3.9
荸薺	—	2,478	1	2,477	0.2
竹筍	313,356	16,975	2,429	327,901	28.1
蘆筍	4,413	9,080	1	13,492	1.2
茭白筍	46,256	—	—	46,256	4.0
其他	33,848	41,491	312	75,027	6.4
馬鈴薯	49,569	242,166	748	294,891	25.3
花果菜類	664,456	153,256	38,096	779,616	
花椰菜	75,871	18,466	13	94,325	12.1
金針菜	686	35	1	720	0.1
越瓜	7,445	—	—	7,445	1.0
胡瓜	52,946	4,402	844	56,505	7.2
冬瓜	37,668	1,148	7	38,809	5.0
苦瓜	35,807	0	1	35,806	4.6
南瓜	22,222	1,564	5	23,781	3.1
茄子	32,431	2	12	32,421	4.2
番茄	119,275	9,003	322	127,956	16.4
番椒	30,234	3,418	37	33,614	4.3
長豇豆	18,911	53,812	61	72,662	9.3
豌豆	7,811	—	—	7,811	1.0
毛豆	57,273	148	26,369	31,052	4.0
其他	94,315	52,404	10,250	136,469	17.5
落花生	71,561	8,854	174	80,241	10.3
菇類	29,082	13,155	6,082	36,154	
洋菇	4,663	1,584	63	6,183	17.1
香菇	4,643	1	50	4,594	12.7
其他	19,776	11,570	5,969	25,377	70.2
合計	2,621,074	623,621	69,401	3,179,199	

(95 年糧食供需年報<更新版>, 行政院農委會)

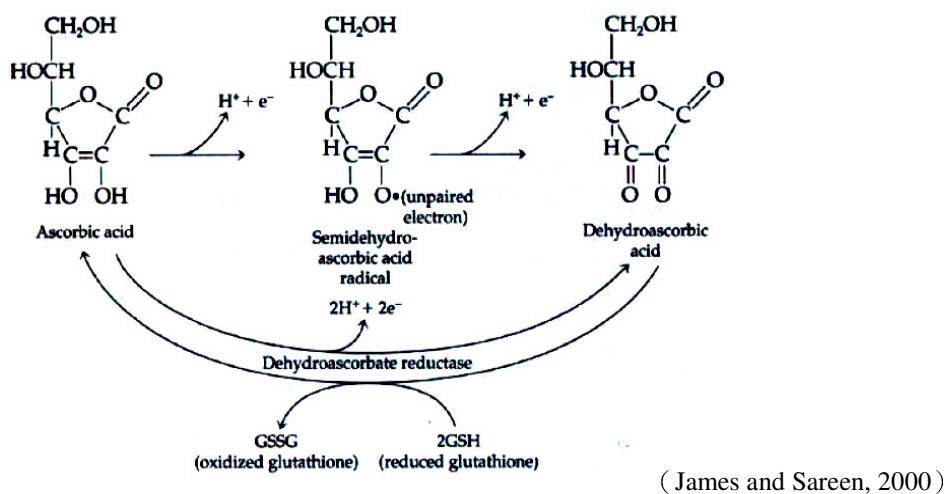


圖2.1、抗壞血酸與去氫抗壞血酸的轉換

Fig. 2.1 The inter conversion of ascorbic acid and dehydroascorbic acid.

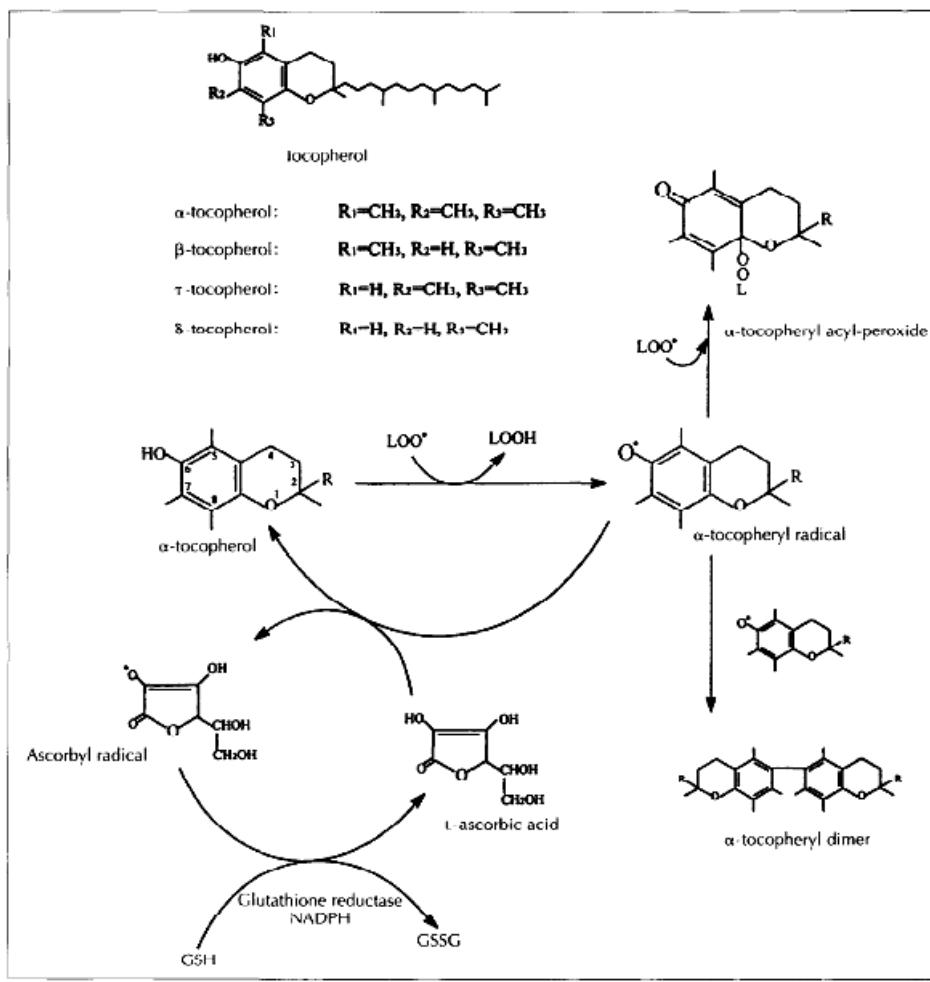


圖2.2、生育酚的氧化及與抗壞血酸和麩胱甘肽氧化還原的循還圖

Fig 2.2 Schematic diagram of tocopherol oxidation and the redox cycle with ascorbic acid and glutathione.

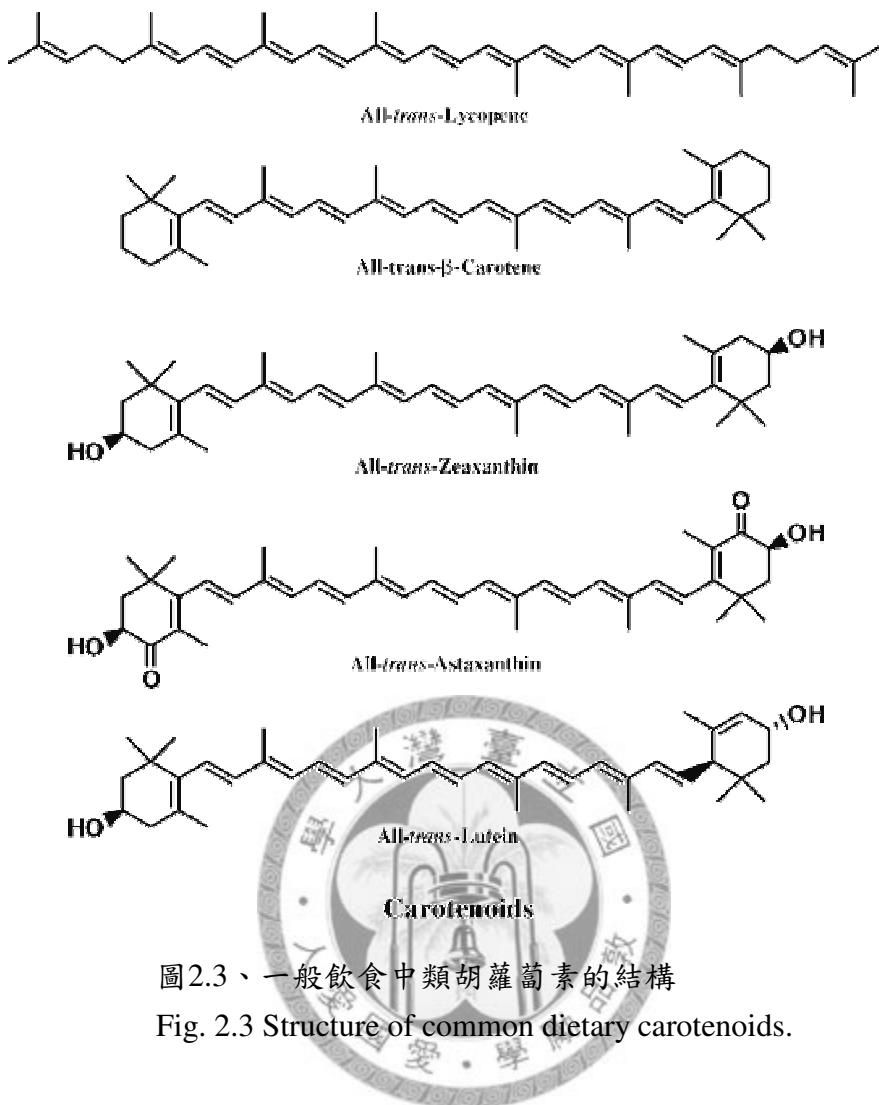


圖2.3、一般飲食中類胡蘿蔔素的結構

Fig. 2.3 Structure of common dietary carotenoids.

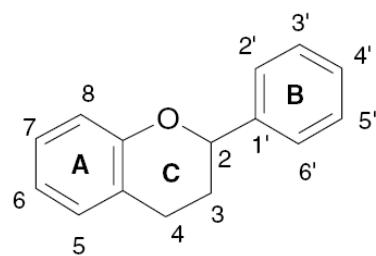


圖2.4、類黃酮分子的基本結構

Fig. 2.4 Generic structure of a flavonoid molecule.

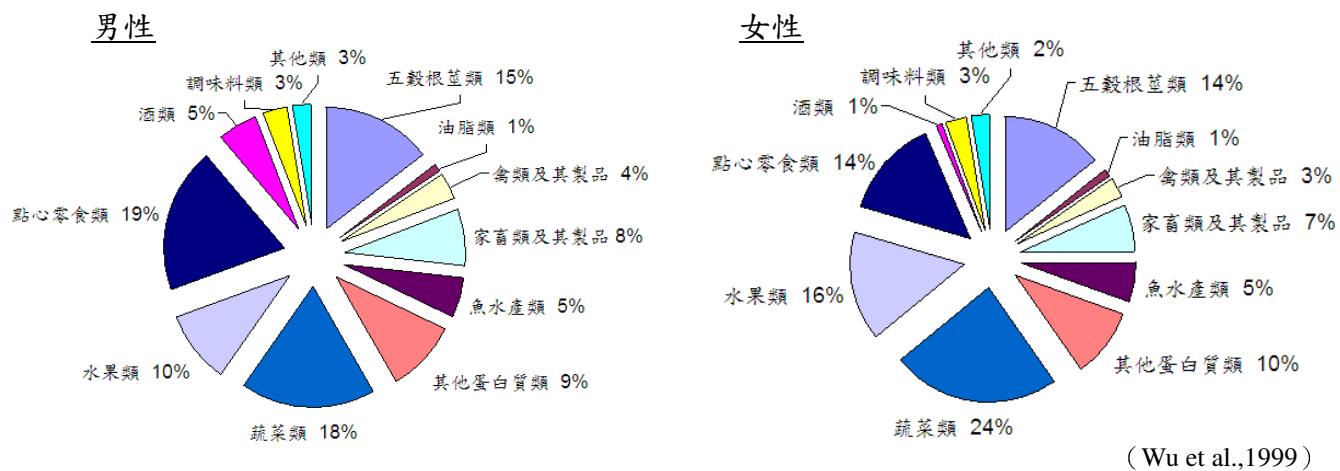


圖 2.5、台灣地區成年男女性每天各類食物攝取比例（國民營養健康狀態變遷調查 1993-1996）
 Fig. 2.5 The percentages of the daily amount of each category of food consumed by male and female adults in Taiwan area. NAHSIT 1993-1996.

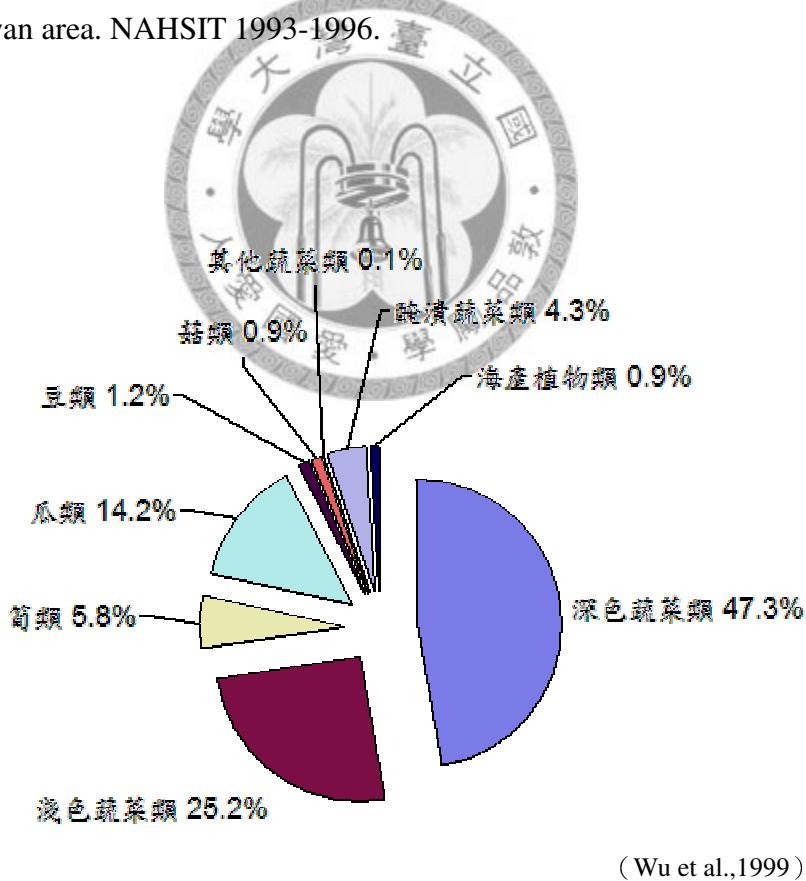
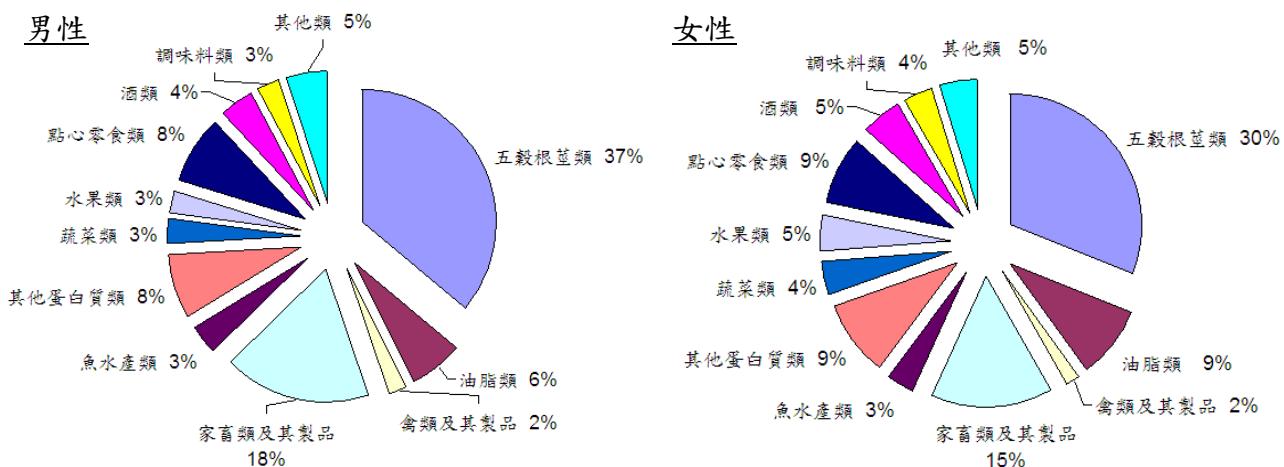


圖 2.6、台灣地區成年男女性平均每天各類蔬菜攝取量比例（國民營養健康狀態變遷調查 1993-1996）

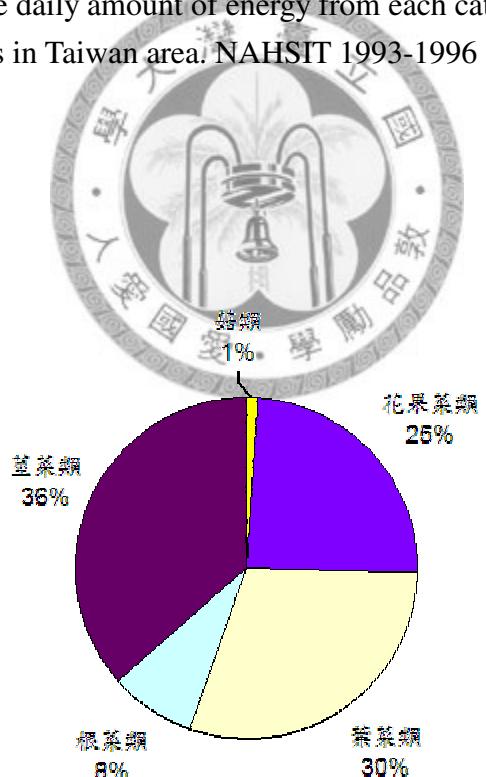
Fig. 2.6 The percentages of the daily amount of each category of vegetable consumed by adults in Taiwan area. NAHSIT 1993-1996.



(Wu et al., 1999)

圖 2.7、台灣地區成年男女性每天各類食物供應熱量比例（國民營養健康狀態變遷調查 1993-1996）

Fig. 2.7 The percentages of the daily amount of energy from each category of food consumed by male and female adults in Taiwan area. NAHSIT 1993-1996



(95 年糧食供需年報<更新版>)

圖 2.8、民國 95 年台灣各類別蔬菜供給量比例

Fig. 2.8 The percentages of domestic supply from each category of vegetables in Taiwan in 2006.

第三章 台灣蔬菜鐵離子還原抗氧化力 (FRAP) 之研究

一、前言

目前已有許多蔬果或飲食相關的抗氧化力研究，當中包括各種類蔬菜抗氧化力的分析與比較 (Miller et al., 2000; Halvorsen et al., 2002; Ou et al., 2002; Szeto et al., 2002; Zhou and Yu, 2006)，這些抗氧化力的研究大多是以西方溫帶的蔬果作為研究材料。台灣地處熱帶、亞熱帶，栽培環境及風土民情與西方大不相同，台灣各類蔬果也和西方溫帶的蔬果大不相同，有關本土蔬果抗氧化力的研究並不多，也缺乏有系統的排序評比，因此有需要縱觀地分析台灣各類蔬菜的抗氧化力，研究結果將有助於台灣蔬菜的保健價值得到提升與重視。

蔬菜不同的部位或組織結構所含成分的含量與種類可能不同，其抗氧化力可能也有所差異 (Guo et al., 2003; Harbaum et al., 2008)。Harbaum等 (2008) 研究顯示，不結球白菜與芥菜之葉片，葉身部位的酚類與類黃酮含量皆高於葉柄部位；Guo等 (2003) 研究指出，25種水果的果實外皮抗氧化力皆高於果肉部位。依據食物的調理方式，消費者常選擇性的攝取蔬菜的特殊部位，例如：一般芹菜的烹調會將辛香味較重的葉身去除僅食用葉柄、絲瓜去除粗糙的外皮再烹煮，蓮藕則是切除質地緊實莖節，食用節間部位等；因此了解蔬菜不同部位的抗氧化力分布，有助於食物烹煮方式的調整，提供國人健康飲食的資訊。

根據研究指出，大蒜含有具保健功能的含硫特殊成分，這些成分需要經過酵素作用而生成 (Shukla and Kalra, 2007)。大蒜在經切碎或去除外皮之後，蒜胺酸酶 (allinase) 會立即將蒜胺酸 (allin) 轉換為蒜素 (allicin)，之後分別生成不同的含硫化合物，包括diallyl sulfide、diallyl disulfide、diallyl trisulfide以及ajoene等，這些物質擁有多項保健功能，包括抑制細胞增生、調控細胞週期、抑制DNA加成物 (adduct) 形成以及調控致癌物的代謝等 (Wu et al., 2005; Milner, 2006; Shukla and Kalra, 2007)；然而文獻並無探討其抗氧化力。

本研究以 Benzie 和 Strain (1996) 所提出的 FRAP 分析法分析蔬菜總抗氧化

力，影響其測定值的因子，可能有光譜分析儀、測定波長、溶劑、萃取時間及反應時間等。典型的光譜分析儀，除可自訂波長測吸光值外，亦可提供全波長掃瞄，但每次只能分析1個樣品，進行大規模樣品的測定有其限制。以微量盤光譜分析儀 (microplate spectrophotometer or ELISA plate reader) 作為分析光譜的儀器 (Bob et al., 2000 ; Chaovanalikit and Wrolstad, 2004 ; Reyes-Carmona et al., 2005 ; Schmidt et al., 2005 ; Tsao et al., 2005)，能在30秒內完成96個樣品的分析，但無法任意設定量測的波長。例如本實驗室Anthos 2010微量盤光譜分析儀 (Anthos, Austria) ，20個控制波長的濾鏡 (filter) 中，沒有針對593nm波長的濾鏡，最接近的波長為595nm。根據文獻，不同研究者所測吸光值的波長有差異，從585nm至620nm範圍的波長皆有研究者使用 (Bob et al., 2000 ; Halvorsen et al., 2002 ; Dragsted et al., 2004) (附表3.1)，其中以593nm波長較多，各波長間並無比較。此外，有關標準溶液 (硫酸亞鐵溶液， FeSO_4) 反應呈色的吸光值特性，Halvorsen等 (2002) 指出濃度 $3000\text{ }\mu\text{M}$ 的標準溶液，吸光值為1.7 (600nm波長下)；Pulido等 (2000) 研究也有提到，標準溶液與吸光值 (595nm波長下) 的迴歸曲線斜率為 0.65×10^{-3} (即 $1000\text{ }\mu\text{M}$ 的標準溶液，吸光值約為0.65)，標準溶液的批次與標準曲線及其參數的代表性，則未有人探討及比較。在溶液反應時間方面，許多研究者使用有別於原作者所提出的4分鐘，反應時間由4分鐘至90分鐘皆有研究者使用 (附表3.1)，而反應時間長，樣品中的抗氧化物充分反應 (Pulido et al., 2000 ; Imeh and Khokhar, 2002 ; Stratil et al., 2006)，但所測得的抗氧化力是否更能確實表示其能力，則未有研究報告說明。在萃取時間方面，若試驗樣品數多，實驗操作萃取的過程將會產生不易同步與一致的問題，關於萃取時間是否會影響萃取液的萃取程度，前人研究也未提出，因此有需要先進行試驗了解。

為了利用微量盤光譜分析儀建立FRAP快速分析系統，本試驗先以光譜分析儀‘波長掃瞄’模式，分析 $1000\text{ }\mu\text{M}$ 硫酸亞鐵標準溶液反應呈色後450-700nm波長的吸收光譜，瞭解各波長下FRAP反應溶液的吸光值特性。再利用微量盤光譜分析儀 (Anthos 2010) 與典型的光譜分析儀 (U-2001, HITACHI) 同時進行FRAP光譜的

分析，比較分析FRAP的操作步驟、量測結果以及標準溶液吸光值之特性（標準曲線），另外也探討標準溶液長時間保存是否影響反應呈色的吸光值。此外，也探討萃取時間是否會影響萃取液的萃取程度，以及反應時間影響各種蔬菜樣品FRAP測定值的程度。在蔬菜抗氧化力分析與排序方面，為了瞭解抗氧化力與蔬菜特徵的關連性，本試驗針對科別、供食用部位、外觀顏色與中醫四氣性質將蔬菜分類，再分析比較各類蔬菜平均抗氧化力的差異性。不同部位與前處理與蔬菜抗氧化力的關係上，本試驗針對包心白菜不同內外層葉片、小松菜和芹菜的葉片之葉柄與葉身部位，以及蓮藕地下莖節與節間部位進行抗氧化力的分析，也比較大蒜切碎與不切碎，還有絲瓜去除外皮與否的抗氧化力差異。



二、材料與方法

(一)化學藥品

甲醇（液相層析-光譜分析級）、氯化鐵和硫酸亞鐵，購自於Mallinckrodt Baker, Inc. (Phillipsburg, NJ, USA)。醋酸鈉購自於Yakuri Pure Chemical Co., Ltd. (Osaka, Japan)。醋酸購自於Nacalai Tesque, Inc. (Kyoto, Japan)。鹽酸購自於Hayashi Pure Chemical Industries Ltd. (Osaka, Japan)。2,4,6-tripyridyl-s-triazine (TPTZ) 購自於Sigma-aldrich (St. Louis, MO, USA) 。

(二)蔬菜樣品與前處理

兩種儀器分析FRAP結果的比較，以甘藷葉為材料，由台北水源市場購得。FRAP溶液反應時間的試驗，使用的花椰菜、本地芹菜、紫色甘藍、紅色甜椒、短錐形紅辣椒、甘藷葉等材料，由台北水源市場購得。萃取時間的試驗，使用的甘藍、豌豆芽、番茄（每顆120-150g，50%轉色）等材料，由台北水源市場購得。上述新鮮蔬菜樣品，購買後立即送回實驗室進行萃取分析。

台灣各種類蔬菜抗氧化力的分析，樣品種類83種，如表3.3。蔬菜取樣來源有台北農產運銷公司果菜批發市場、雲林西螺漢光果菜生產合作社、台灣主婦聯盟生活消費合作社、台北水源市場、台中區農業改良場及桃園地區之生產者（附表3.2）。每種蔬菜取樣1至7次，蔬菜樣品的狀態與部位的選取如附表3.3。品質優良之蔬菜，取樣後12小時內進行抗氧化力分析。同時以液態氮冷凍部分樣品，保存在-80°C。

分析不同部位與前處理抗氧化力的材料，有包心白菜、小松菜、本地芹菜、蓮藕及‘大片黑’品種之大蒜。包心白菜由台北水源市場購回後，立即去除包心白菜最外層4片受損的葉片，再將葉片依序摘下（全部約45片）。將其分為內、中、外層三類葉片（約各15片）。各類葉片隨機取2-4片，分別作為包心白菜「內層葉」、「中層葉」及「外層葉」之樣品。另外，三類葉片各取1片葉片混合，作為包心白菜「內到外層葉」之樣品。

小松菜由台灣主婦聯盟生活消費合作社購回後，隨機挑選小松菜5棵植株，

各取 1-2 片葉片，將所有葉片之葉身與葉柄分開，分別作為小松菜「葉身」與「葉柄」之樣品；另外，再從上述 5 棵植株中各取 1 片葉片混合，此作為小松菜「葉身+葉柄」之樣品。

本地芹菜自雲林西螺漢光果菜生產合作社取回後，隨機挑選芹菜 6 棵植株，各取 2 片葉片混合，作為芹菜「葉身+葉柄」之樣品；另外再從上述 6 棵植株中各取 2 片葉片，然後摘除所有葉身，作為芹菜「葉柄」之樣品。

蓮藕自台北農產運銷公司果菜批發市場購回後，隨機挑選 5 個蓮藕地下莖，分別對稱切取 1/4，混合作為蓮藕「地下莖」之樣品。另外再從上述 5 個蓮藕地下莖，分別對稱切取 1/4，切取所有 1/4 地下莖的節間，混合作為蓮藕「節間」之樣品。而上述 5 個蓮藕地下莖所有剩下的節（對稱切取 3/4 個地下莖的節），切取混合作為蓮藕「莖節」之樣品。

‘大片黑’品種之大蒜自台中改良場取得，每一處理分別隨機挑選大蒜 30-40g，將外皮去除。大蒜「直接均質」之樣品直接丟入蔬果調理機加水均質；而大蒜「切碎後均質」之樣品，是先將大蒜切碎（小於 1 公分立方），室溫下放置 20 分鐘，之後再以蔬果調理機加水均質。

圓筒絲瓜自台北農產運銷公司果菜批發市場購得。圓筒絲瓜 3 個果實，分別橫段切取果實上、中、下的部位，厚度各 2 公分。每一部位（共 9 份）對稱縱剖，一半作為圓筒絲瓜「留皮」之樣品；另外一半，將外皮削除，剩下的果肉部分為圓筒絲瓜「去皮」之樣品。

（三）均質與萃取

甘藷葉用於兩種儀器—光譜分析儀與微量盤光譜分析儀—FRAP的分析。取適量樣品（5.19g），切碎裝於100mL燒杯，以二次水定量至50mL，以組織均質機（HG-300D，HSIANGTAI，Taiwan）均質。取1mL蔬菜均質液與9mL甲醇混合，靜置冰浴中。取出1.5mL萃取液進行離心（12400g，4°C，5分鐘），取1mL上清液，裝入新離心管中，暫置於冰浴中待測抗氧化力。

FRAP溶液反應時間試驗的樣品（花椰菜等6種蔬菜），混合完整或等分的蔬菜

個體3個以上，取至少30g重量之混合蔬菜，以蔬果調理機 (Vita-Mix 5000, Vita-Mix corporation, USA) 均質，以二次水定量體積至500mL (以調理機承載容器的刻度粗定量)。1mL蔬菜均質液與9mL甲醇混合，靜置冰浴中。取出1.5mL萃取液進行離心 (12400g, 4°C, 5分鐘)，取1mL上清液，裝入新離心管中，暫置於冰浴中待分析FRAP。

萃取時間試驗的樣品 (甘藍等3種蔬菜)，混合完整或等分的蔬菜個體3個以上，取至少40g重量之混合蔬菜，以Vita-Mix 5000均質，依樣品體積以二次水定量體積至300mL~750mL (以調理機承載容器的刻度粗定量)。各蔬菜均質液1mL先取入試管，同時各別加入9mL甲醇，開始計時，並靜置冰浴中進行萃取。各樣品分別於萃取20、120、520分鐘後，取出1.5mL萃取液進行離心 (12400g, 4°C, 5分鐘)，取1mL上清液，裝入新離心管中，暫置於冰浴中待分析FRAP。

台灣83種蔬菜抗氧化力分析的樣品，混合完整或等分的蔬菜個體3個以上，取至少30g重量之混合蔬菜，以Vita-Mix 5000均質，依樣品體積以二次水定量體積，至250mL ~1000mL (以調理機承載容器的刻度粗定量)。取1mL均質液與9mL甲醇混合進行萃取，放置於冰浴中至少15分鐘。取1.5mL萃取液進行離心 (12400g, 4°C, 5分鐘)。取1mL上清液，裝入新離心管中，保存在-20°C下或暫置於冰浴中待分析FRAP。

(四) FRAP 分析

FRAP 使用的溶液包括：300 mM 醋酸緩衝液，pH 3.6 (3.1g 醋酸鈉和16 mL 醋酸加水定量到1L)；10mM TPTZ 溶於 40mM 鹽酸中；20 mM 氯化鐵溶液。FRAP 試劑由上述醋酸緩衝液、TPTZ溶液、氯化鐵溶液，以10：1：1混合而成，分析前配製，加熱至37°C。（FRAP 試劑裝於錐形瓶，插入溫度計，以封口蠟膜封口，用加熱攪拌器加熱，溫度至37°C，移入37°C 培養箱，待FRAP分析用。）

以光譜分析儀進行FRAP分析，是將 30 μ L的樣品萃取液 (甘藷葉) 及硫酸亞鐵溶液標準品 (0-1000 μ M)，分別注入 1mL石英管中，再注入 900 μ L FRAP試劑，以光譜分析儀 (U-2001, HITACHI) ‘時間掃瞄’ 模式分析各樣品反應後8分

鐘內的595nm吸光值的變化，取第240秒（第4分鐘）的吸光值換算樣品抗氧化力。

以微量盤光譜分析儀進行FRAP分析，是將 $10\ \mu\text{L}$ 的各樣品萃取液及硫酸亞鐵溶液標準品（0-1000 μM ），分別注入96孔微量反應盤中，再以八爪的微量分注器於每孔穴注入 $300\ \mu\text{L}$ FRAP 試劑，反應盤置於37°C 培養箱中反應4分鐘。以微量盤光譜分析儀（Anthos 2010, Austria）量測595nm吸光值。

FRAP反應時間試驗的樣品分析，是將 $10\ \mu\text{L}$ 的各樣品萃取液（花椰菜、本地芹菜等蔬菜樣品）及硫酸亞鐵溶液標準品（0-1000 μM ），分別注入96孔微量反應盤中，再以八爪的微量分注器於每孔穴注入 $300\ \mu\text{L}$ FRAP試劑。反應盤置於37°C 培養箱，以微量盤光譜分析儀量測各樣品反應4、10、20、30、60、90、120、150、180、210分鐘後的595nm吸光值。

FRAP的單位以蔬菜每克鮮重具有多少硫酸亞鐵之還原能力（ $\mu\text{mol FeSO}_4/\text{g}$ fresh weight）來表示，每一樣品分析重複2-4次，數據取平均值。FRAP計算公式如下：

$$\text{抗氧化力} (\mu\text{mol FeSO}_4/\text{g f.w.}) = \frac{(\text{吸光值} - \text{標準曲線截距})}{\text{標準曲線斜率}} \times \text{均質液體積(L)} \times \text{稀釋倍數(10)} \div \text{蔬菜重量(g)}$$

（五）標準溶液保存性試驗

以硫酸亞鐵溶液作為 FRAP 分析的標準品。三份新的標準品母液，試驗當天配製，分別為標準品 A、B、C，濃度皆為 $2000\mu\text{M}$ ；舊的標準品母液是保存於 4 °C，超過 2 個月，為標準品 D，濃度為 $2000\mu\text{M}$ 。標準品 D 有產生黃色的鹼式硫酸鐵沉澱— $\text{Fe(OH)}(\text{SO}_4)_2$ 。4 份新舊標準品母液各別稀釋出濃度 1000 、 500 、 100 、 $50\mu\text{M}$ 的標準品。以微量盤光譜分析儀分析各標準品反應 4 分鐘的 595nm 吸光值，求得各標準品 FRAP 標準曲線方程式。

（六）資料分析

蔬菜樣品取樣次數大於3，FRAP數據以平均數±標準偏差（SD）表示。為了解各種蔬菜科別、供食用部位、外觀顏色、中醫四氣性質與蔬菜抗氧化力的相關性，這些蔬菜特性對抗氧化力的變異數分析利用CoStat6.1統計軟體分析，並以Student-Newman-Keuls方法檢定各組平均抗氧化力的差異顯著性。蔬菜依科別分類，包含茄科、十字花科、豆科、菊科、蔥科、繖形花科、葫蘆科等七個科別；依供食用部位分類，蔬菜分為茄果類、莢果類、瓜果類、葉菜類、花菜類、根莖類等六類；依外觀顏色分類，分為深色鮮艷、濃綠、淡色或白色等三類；依中醫的四氣性質分類，分為溫熱、平性、寒涼等三類。蔬菜四氣性質參考自《台灣蔬果實用百科》（薛，2000）。



三、結果與討論

(一) FRAP分析方法的建立

1. FRAP反應溶液各波長下的吸光值

本試驗以光譜分析儀 (U-2001, HITACHI) ‘波長掃描’ 模式分析硫酸亞鐵標準溶液反應呈色後的吸收光譜 (spectrum)。結果得知在595-597nm波長下有最大吸光值 (圖3.1)，在593-600nm波長範圍的曲線呈現較為平坦，顯示此段範圍的波長較適合作為量測FRAP反應溶液吸光值的波長。大部份前人研究皆依據原作者 (Benzie and Strain, 1996) 所提出的593nm波長進行實驗 (附表3.1)，不過也有研究者使用585nm至620nm範圍的波長，同樣可作為量測FRAP反應呈色吸光值的波長。

2. FRAP assay分析儀器的比較

微量盤光譜分析儀 (Anthos 2010) 與典型的光譜分析儀 (U-2001, HITACHI) 兩種儀器進行FRAP分析的設定與結果如表3.1，結果顯示兩儀器分析的甘藷葉抗氧化力有相同的結果，統計分析無顯著差異。比較兩種儀器分析抗氧化力的設定與程序，可以得知使用微量盤光譜分析儀分析抗氧化力，溶液反應溫度的控制較典型的光譜分析儀佳。許多FRAP分析的研究皆忽略控制溶液反應過程的溫度 (Llorach et al., 2003；George et al., 2004；Nilsson et al., 2005) (附表3.1)，然而溫度越高，化學反應越快，因此反應時間越長，溫度影響抗氧化力的程度可能就越大。若在溶液反應過程控制溫度，可能可以增加實驗的重現性 (reproducibility)，尤其在不同氣候下的實驗過程。

在實驗操作時間方面，使用微量盤光譜分析儀分析的時間比典型的光譜分析儀分析的時間短。以一個96孔盤的最大分析量為例，扣除空白組與標準溶液的反應位置，剩下的84孔可分析42個樣品，每樣品2重複。整個實驗從試劑製備 (約20分鐘)、各樣品注入微量盤 (約20分鐘)、試劑反應 (4分鐘) 到儀器分析，以微量盤光譜分析儀分析42個樣品的FRAP所花時間不到1小時；而典型的光譜分析儀分析42個樣品的FRAP，整個實驗從試劑製備 (約20分鐘) 到96次吸光值測定完成

(1個樣品操作約5分鐘，96次反應約480分鐘)，則須要超過8小時。在試劑用量方面，量測使用微量盤光譜分析儀，反應液用量是使用光譜分析儀用量的1/3。另外，微量盤光譜分析儀因為同時可進行標準品與樣品抗氧化力的分析，因此所得的換算樣品抗氧化力的標準曲線會更具代表性。相較於典型的光譜分析儀，以微量盤光譜分析儀進行FRAP分析，是更為準確、便利且經濟的分析方法。

3. FRAP的標準曲線與標準溶液的保存性

四份新舊標準品反應呈色的吸光值特性（標準曲線方程式）如表3.2。結果顯示各標準品的標準曲線斜率皆為0.0006，即1000 μM 的標準溶液反應後的吸光值約為0.60。同樣分析FRAP的研究曾提出其標準曲線斜率約為 0.00065 (Pulido et al., 2000；陳，2005)，這些用典型的光譜分析儀量測的數值，有略高於本試驗微量盤光譜分析儀量測的結果。原因推論為微量盤注入的溶液高度約為9mm，略短於比色管光徑長度 (10mm)，根據朗伯-比爾 (Lambert-Beer) 定律，吸光值與光徑長度呈正比，因此微量盤分析之吸光值將約為比色管分析之吸光值的 9/10。所以本試驗所得標準曲線之斜率為0.0006，與前人研究結果相符。

標準溶液的保存性方面，舊標準品與當天新配製標準品的標準曲線斜率同樣為0.0006，顯示其還原力沒有顯著差異。不過由於保存2個月之標準品母液已產生黃色的鹼式硫酸鐵沉澱— $\text{Fe(OH)(SO}_4\text{)}$ ，因此認為標準品母液適合保存4°C待分析使用，並且以沉澱產生為保存期限。

4. 反應時間對樣品抗氧化力的影響

樣品進行FRAP分析，不同反應時間的595nm吸光值變化如圖3.2。在長時間的反應過程，未參與氧化還原反應的空白組 (blank)，吸光值有上升的趨勢。這表示FRAP反應液可能會因接觸空氣而產生小量的氧化還原反應。硫酸亞鐵標準溶液 (200 和 800 μM) 反應呈色後，吸光值穩定，變動不大，表示4分鐘內標準溶液的呈色反應以達完全。由典型的光譜分析儀‘時間掃瞄’模式分析的結果更可知，硫酸亞鐵標準溶液與試劑混合後，反應立即就完成。然而，各蔬菜萃取液反應呈色後，吸光值則不斷上升，隨時間的增加，上升速率降低。這表示萃取液還

原三價鐵的反應持續，但逐漸減少（反應210分鐘，吸光值未停止增加）。不同蔬菜的萃取液樣品，吸光值上升速率的降低程度也不同。一般而言，萃取液吸光值（或抗氧化力）較低者，如芹菜萃取液，吸光值較快趨於穩定；反之，萃取液吸光值（或抗氧化力）較高者，如紫色甘藍及紅色甜椒萃取液，吸光值較難趨於穩定。另外，各蔬菜萃取液，在不同反應時間下，吸光值上升的速率會有差別。例如吸光值相近的花椰菜和短錐形紅辣椒萃取液（或紫色甘藍及紅色甜椒萃取液），反應4分鐘時，短錐形紅辣椒萃取液吸光值高於花椰菜萃取液，而後花椰菜萃取液的吸光值上升速率皆高於短錐形紅辣椒萃取液；反應60分鐘後，吸光值換花椰菜萃取液高於短錐形紅辣椒萃取液。此現象可能源自於各蔬菜不同抗氧化物質還原三價鐵的特性。花椰菜和紫色甘藍皆是十字花科蔬菜，皆含有特殊的含硫抗氧化物，如glucosinolates；而短錐形紅辣椒和紅色甜椒為茄科番椒屬 (*Capsicum*) 蔬菜。兩類蔬菜含有的抗氧化物質可能具有不同的氧化還原特性，因而FRAP反應呈色的速率隨之不同。Pulido等 (2000) 以FRAP方法分析各種酚酸類的抗氧化力，結果同樣指出不同酚酸物質反應呈色的速率各不相同。Imeh 和 Khokhar (2002) 以FRAP方法分析5種水果的抗氧化力，其反應呈色的速率也不一樣。

Benzie和Strain (1996) 研究指出進行FRAP反應，抗壞血酸與 α -生育酚在反應1分鐘內即可完全，而主要提供血漿抗氧化力的尿酸則反應4分鐘內可達完全，所以提出的反應時間為4分鐘。然而對於植物萃取的樣品，反應時間愈長，所測得的抗氧化力愈高，有許多研究者採用較長的反應時間，4分鐘至90分鐘皆有研究者使用 (Pulido et al., 2000；Imeh and Khokhar, 2002；Stratil et al., 2006)，因為反應時間增加能夠使樣品中反應較慢的抗氧化物作用較為完全。然而在前人研究的實驗條件下，作用仍未能達到完全，所測得的抗氧化力仍舊無法表示其全部的還原力。植物中抗氧化物成分複雜，其反應呈色速率無特定規則，因此較長的反應時間仍未能穩定各樣品抗氧化力之排序；此外反應時間越長，未參與反應的空白組（背景值）吸光值與起始的數值差異越多（圖3.2），表示較長的反應時間所測得的蔬菜抗氧化力值，受影響背景值的影響相對較大。由圖3.2也可以得知，反應前4分鐘

樣品吸光值已大幅顯著地上升，之後就相對趨於平緩，所以反應時間4分鐘，是足夠代表各樣品抗氧化力高低的反應時間。反應4分鐘所測得的抗氧化力分布與其他時間有相似的趨勢，Imeh 和 Khokhar (2002) 針對5種水果，共16個品種，分別進行4、10、30分鐘反應時間的FRAP分析，結果顯示3個反應時間的各品種抗氧化力排序幾乎一樣。所以實驗操作在效率及符合大量蔬菜樣品分析的需求的考量下，4分鐘反應時間是適合用於大規模分析各種蔬菜FRAP及排序的研究上。

5. 萃取時間對樣品抗氧化力的影響

甘藍、番茄、豌豆芽三種樣品，經甲醇萃取20分鐘後分析的抗氧化力分別為0.98、2.50、4.48 $\mu\text{mol FeSO}_4/\text{g f.w.}$ (圖3.3)。圖3.3 顯示隨著萃取時間的增加，抗氧化力有下降的趨勢，雖然統計上無顯著差異。萃取120分鐘的抗氧化力低於萃取20分鐘的抗氧化力，甘藍、番茄、豌豆芽抗氧化力分別減少12%、8%、8%。萃取520分鐘與萃取20分鐘比較，甘藍、番茄、豌豆芽抗氧化力分別減少10%、11%、11%，結果得知萃取時間越長，萃取程度並未增加，反而有抗氧化物質減少的現象，而且可以知道抗氧化力減少的現象發生在萃取初期的時候 (120分鐘前)。本試驗指出蔬菜均質液在冰浴中以甲醇萃取，時間在20分鐘內即可。

表 3.1、微量盤光譜分析儀與典型的光譜分析儀進行 FRAP 的條件與結果

Table 3.1 Condition and result of FRAP measured by microplate reader and spectrophotometer.

	微量盤光譜分析儀	光譜分析儀
甘藷葉樣品鮮重	5.19g	5.19g
定量樣品體積	50mL	50mL
光譜設定	595nm	595nm
計時方式	計時器，手動	儀器，自動
試劑溫度設定	37°C	37°C
溶液反應時間	4 分鐘	4 分鐘
溶液反應位置	於培養箱，96 孔反應盤中	於儀器，1mL 石英管中
溶液反應過程控溫	37°C	室溫
溶液反應體積	310μL	930μL
標準品 FeSO ₄ 濃度	0-1000μM	0-1000μM
標準曲線方程式	$y=0.0006x+0.0104$ ($R^2=0.9964$)	$y=0.0005x-0.0133$ ($R^2=0.9948$)
甘藷葉樣品抗氧化力 (μ mol FeSO ₄ /g f.w.) (±SE)	22.80±0.73	23.76±1.96
T test (單尾)	n.s. (P=0.30)	
實驗操作時間	藥品配製時間 +溶液混合時間 +反應時間	藥品配製時間 + (溶液混合時間+反應時間) ×樣品數×重複數
溶液反應時間掌控	人為控制，較不精準	儀器設定，較精準
溶液反應過程溫度掌控	較能維持	較受環境溫度影響

表 3.2、硫酸亞鐵標準溶液的 FRAP 標準曲線參數

Table 3.2 The parameters of standard calibration of FeSO₄ in FRAP reaction.

	標準曲線方程式 $y=ax+b$	
	斜率 a	截距 b
標準品 A	0.000597±0.000011	0.000±0.002
標準品 B	0.000604±0.000018	0.003±0.005
標準品 C	0.000599±0.000011	0.002±0.002
標準品 D	0.000606±0.000031	0.001±0.005
平均	0.000602	0.001

※ 斜率與截距以平均數±標準偏差 (SD) 表示, n=4。

※ y : 595nm 之吸光值, x : 標準品濃度 (μM)

※ 標準品 A、B、C 為試驗當天現配三份的標準品母液, D 為保存超過 2 個月的母液。

※ 各組 FeSO₄ 標準品濃度皆為 1000、500、100、50μM。

※ 各迴歸分析之決定係數 (R^2) 介於 0.9982~1.0000。

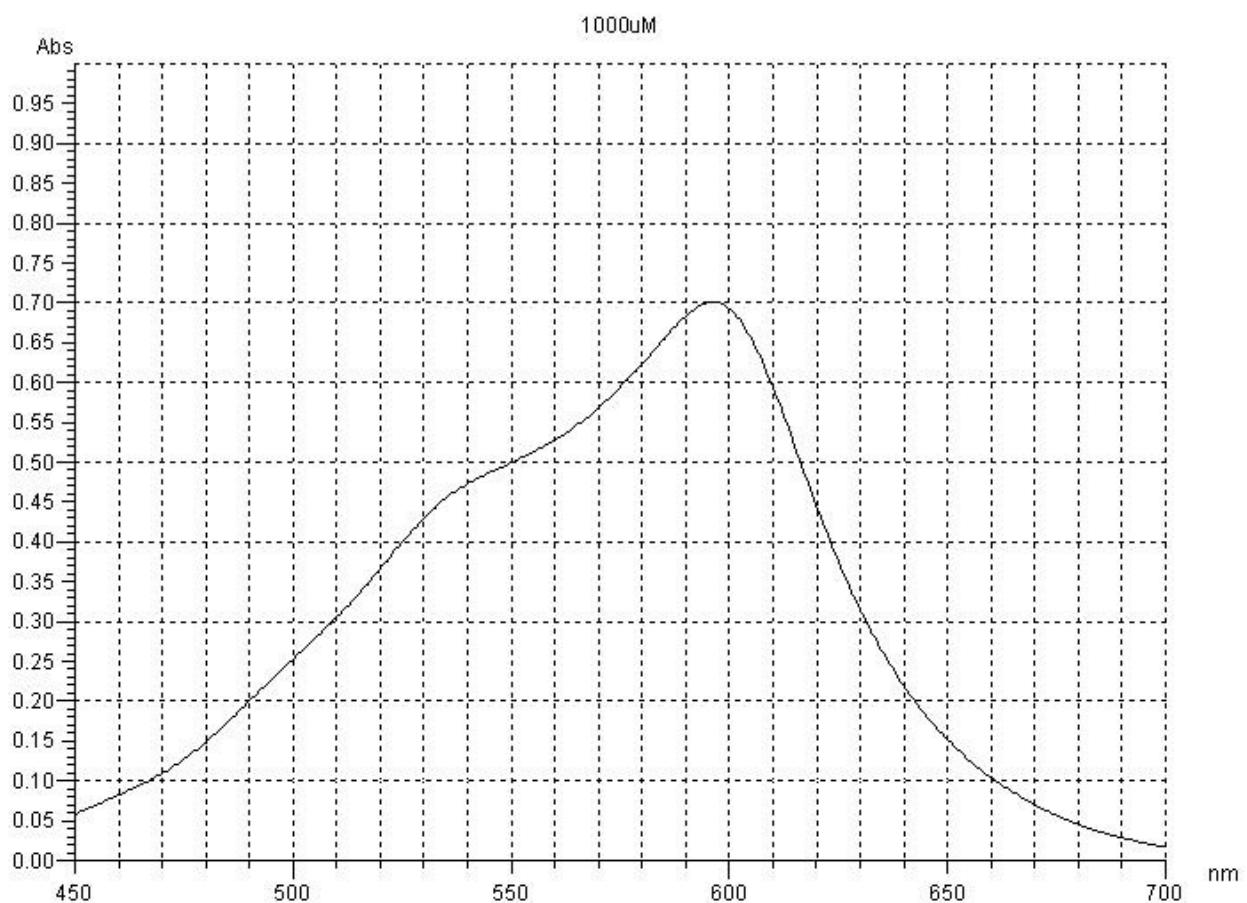


圖 3.1、標準品 1000 μ M 硫酸亞鐵溶液經 FRAP 反應呈色的吸收光譜

Fig 3.1 Absorption spectrum of FRAP reaction by 1000 μ M FeSO₄ standard.

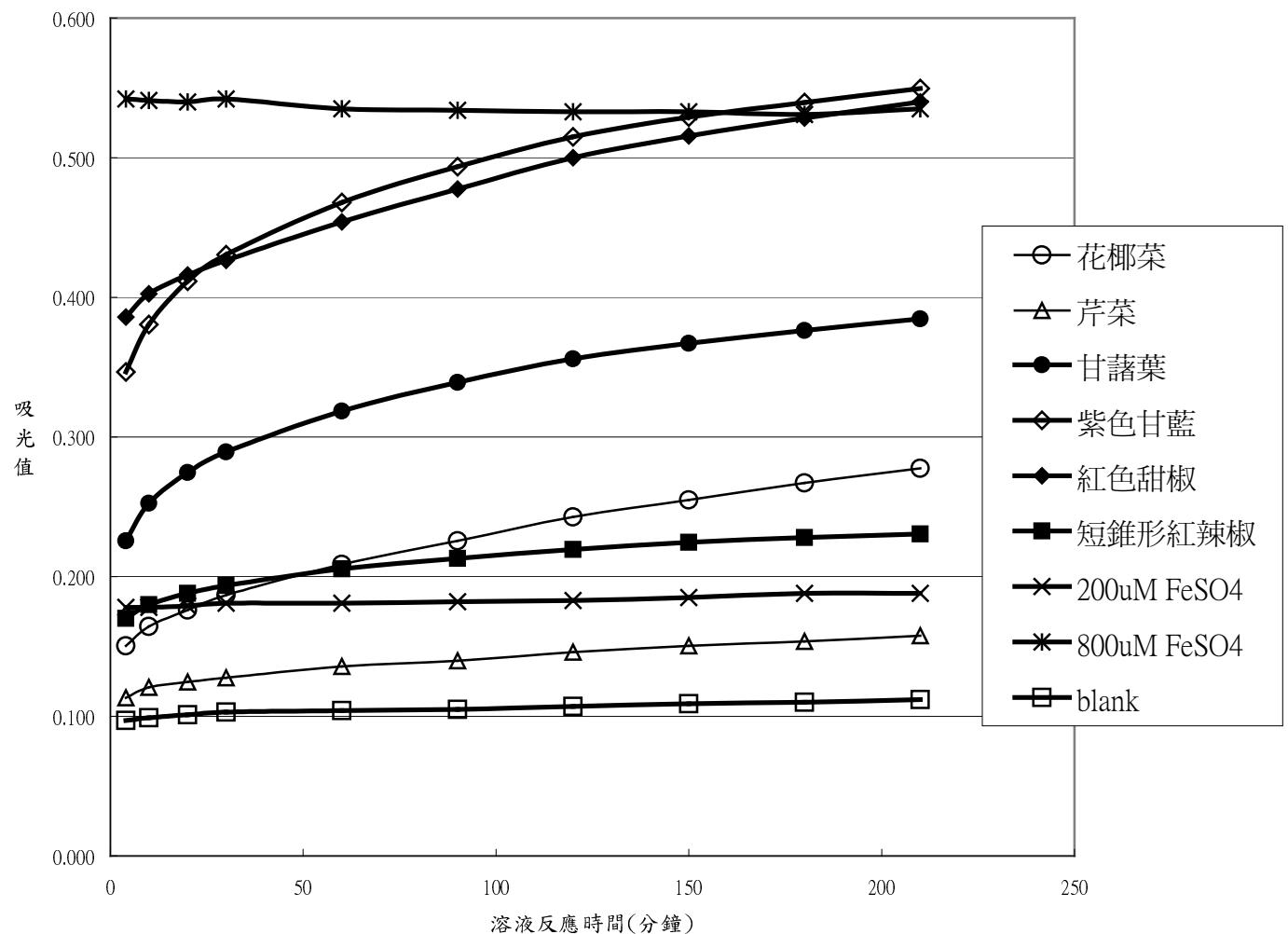


圖 3.2、空白組、標準品及樣品的 FRAP 反應動力學

Fig. 3.2 FRAP reaction kinetics of blanks, standards, and samples.

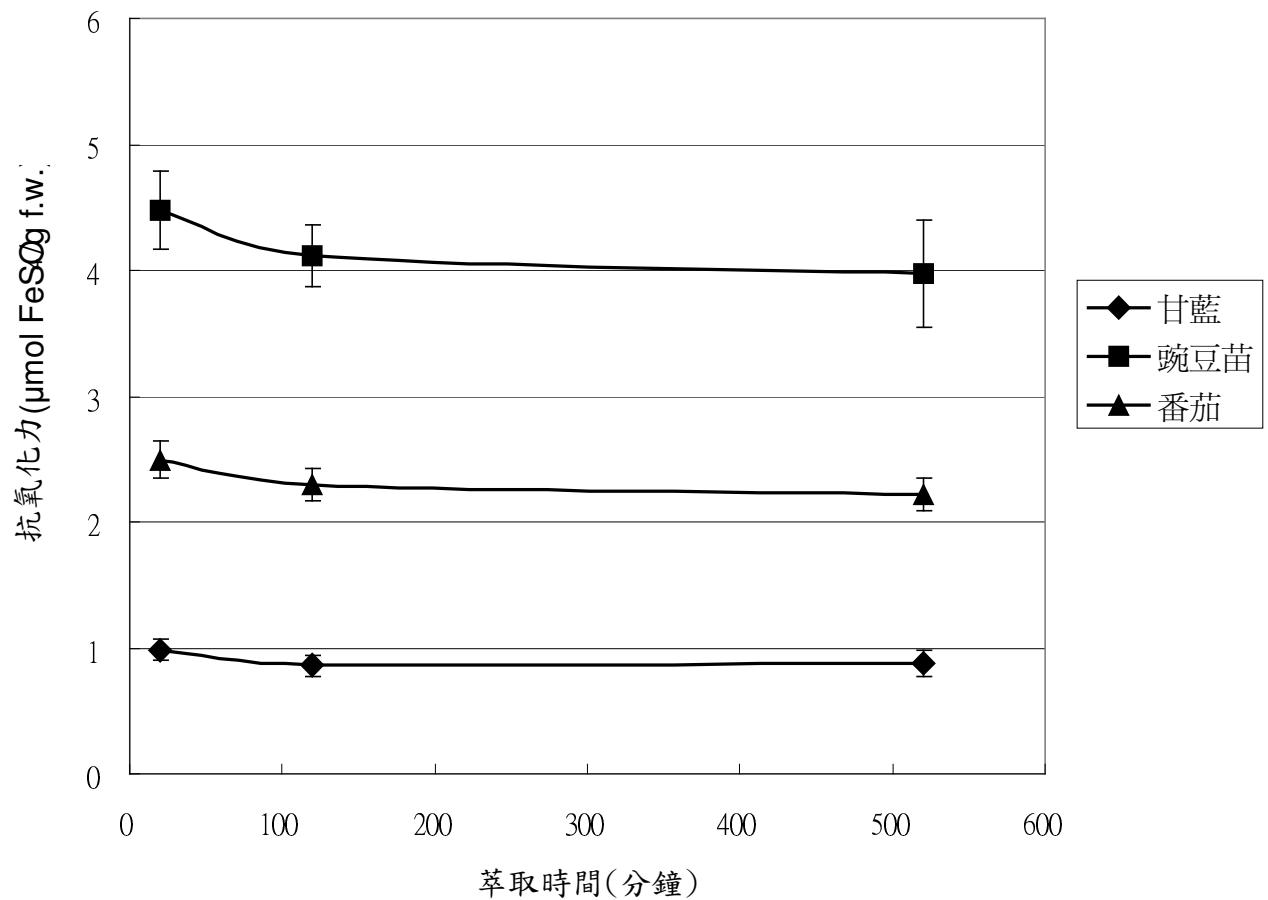


圖 3.3、經萃取 20、120 及 520 分鐘各樣品的抗氧化力 (FRAP 值)

Fig 3.3 The FRAP value of samples extracted for 20, 120, 520 min.

（二）台灣蔬菜FRAP的研究

1. 各種蔬菜的抗氧化力

分析台灣83種蔬菜抗氧化力（表3.4、圖3.4），結果顯示蔬菜種類間的抗氧化力差異大，受測蔬菜的平均FRAP抗氧化力介於 $0.4\sim35.7\mu\text{mol FeSO}_4/\text{g f.w.}$ ，總平均抗氧化力為 $5.7\mu\text{mol FeSO}_4/\text{g f.w.}$ 。本試驗所測蔬菜的抗氧化力範圍與 Halvorsen 等（2002）所分析蔬菜之FRAP抗氧化力的結果相近，Halvorsen等所分析53種受測蔬菜的平均抗氧化力為 $7.3\mu\text{mol FeSO}_4/\text{g f.w.}$ ，抗氧化力介於 $0.2\sim37.6\mu\text{mol FeSO}_4/\text{g f.w.}$ 。台灣蔬菜中抗氧化力較高者（ $>10\mu\text{mol FeSO}_4/\text{g f.w.}$ ）有短錐形紅辣椒、薑、彩色甜椒、紫色甘藍、黑皮長豇豆、甘藷葉、羅勒（九層塔）、蓮藕、豌豆嫩梢及過溝菜蕨（過貓）。其中辣椒、彩色甜椒、薑、紫色甘藍有較高的抗氧化力與前人研究結果相似（Miller et al., 2000; Halvorsen et al., 2002; Ou et al., 2002），而本試驗亦得知台灣本土的蔬菜同樣具有發展潛力，長豇豆（台語俗稱的菜豆）、甘藷葉以及蓮藕，都是值得重視且進一步研究保健功能的蔬菜。另外，台灣不斷努力在開發的新興蔬菜中，豌豆嫩梢、過溝菜蕨、黃秋葵、紅鳳菜與落葵（俗稱皇宮菜）也都有中等以上的抗氧化力（山蘇花則無）。依蔬菜用途分析，可看出調味品蔬菜有較高的抗氧化力，如羅勒（九層塔）、芫荽（香菜）、辣椒、薑。這些較高抗氧化力的蔬菜是選擇作為未來研究欲建立營養基因體學平台的重要材料之一。

2. 蔬菜的科別與抗氧化力之關係

蔬菜依科別分類，平均抗氧化力以茄科蔬菜 $9.1\mu\text{mol FeSO}_4/\text{g f.w.}$ 為最高，葫蘆科蔬菜平均抗氧化力最低（ $1.7\mu\text{mol FeSO}_4/\text{g f.w.}$ ），然而統計上兩者的平均抗氧化力與其他科蔬菜（包含菊科、十字花科、豆科、蔥科及繖形花科）抗氧化力皆無顯著差異（表3.5A）。由於同科蔬菜抗氧化力變異很大，所以各科蔬菜平均抗氧化力差別雖然很大，但統計上難呈現顯著的差異。

茄科蔬菜為抗氧化力最高的科別蔬菜，其中番椒的抗氧化力很高，如紅色辣椒及彩色甜椒，抗氧化力皆在 $9.0\mu\text{mol FeSO}_4/\text{g f.w.}$ 以上；然而茄科中的馬鈴薯、伏見甘長辣椒（糯米椒）、青辣椒抗氧化力較低（分別是 1.6 、 2.5 、 $2.9\mu\text{mol FeSO}_4/\text{g f.w.}$ ）。

f.w.)。茄科各屬種間蔬菜抗氧化力的排序大致為：番椒類 > 茄子類 > 番茄類 > 馬鈴薯。新鮮番茄無論各種果型品種或成熟度的果實抗氧化力都不高 ($< 5 \mu\text{mol FeSO}_4/\text{g f.w.}$)。Pulido 等 (2000) 研究提到類胡蘿蔔素不溶於甲醇，因此富含類胡蘿蔔素的番茄抗氧化力，在本試驗中極可能被低估。另外，有研究指出番茄經過加熱，抗氧化力可提高 62.2%，番茄紅素 (lycopene) 可提高 164.3% (Dewanto et al., 2002)。番椒屬 (*Capsicum*) 蔬菜的抗氧化力會隨種類、品種、成熟度而有不同。Deepa 等 (2006, 2007) 分析 10 種紅色甜椒之抗氧化力，結果顯示不同品種抗氧化力有差異，相差最多將近 5 倍；分析不同成熟期甜椒抗氧化力，10 個品種從未熟綠色到紅熟期，抗氧化力皆有 1.30 至 1.95 倍的增加。葫蘆科果實抗氧化力皆不高，其中苦瓜抗氧化力較高，野生苦瓜和白皮苦瓜差異不大；新興蔬菜中的梨瓜嫩梢 (龍鬚菜) 屬於葉菜類，也是葫蘆科蔬菜中抗氧化力較高的蔬菜；絲瓜的抗氧化力極低，為參試蔬菜中最低的。

豆科蔬菜種類間的抗氧化力差異很大，最高是黑皮長豇豆 ($15.6 \mu\text{mol FeSO}_4/\text{g f.w.}$)，最低是菜豆 ($1.3 \mu\text{mol FeSO}_4/\text{g f.w.}$)。除了種類間有差異，品系間的抗氧化力也有不同，四種品系的長豇豆以黑皮品系抗氧化力為最高，白皮品系最低，分別為 15.6 及 $2.9 \mu\text{mol FeSO}_4/\text{g f.w.}$ ；嫩莢品系豌豆抗氧化力為甜豌豆品系 (同樣含果莢) 的 2.7 倍；果莢扁平的菜豆品種 ‘粉豆’，抗氧化力高於一般的菜豆。在台灣，豌豆除了食用果莢外，幼苗與嫩梢也作為蔬菜，試驗得知豌豆嫩梢的抗氧化力約為果莢與幼苗的 2 倍。本試驗豌豆與菜豆的抗氧化力是分析其整個豆莢，而其它同樣分析豌豆或菜豆的研究，皆是分析豆仁的部分 (Halvorsen et al., 2002; Wu et al., 2004)，在品種上兩者不同。豇豆 (cowpea) 是較其他豆類更耐乾旱的熱帶作物，它可利用其固氮的能力在貧瘠的土地上生長良好，是世界重要的豆類食物之一，而本試驗分析的長豇豆 (yard-long bean) 是豇豆四個亞種之一，研究顯示黑皮長豇豆抗氧化力極高，是更為值得開發與推廣的本土蔬菜。上述研究結果建立了台灣自己食用習慣的豆類蔬菜抗氧化力資料。

3. 蔬菜的供食用部位與抗氧化力之關係

蔬菜依供食用部位分類，平均抗氧化力以茄果類 $9.6 \mu \text{mol FeSO}_4/\text{g f.w.}$ 為最高，瓜果類平均抗氧化力 $1.6 \mu \text{mol FeSO}_4/\text{g f.w.}$ 最低，兩者統計上有顯著差異（表 3.5B），其他類蔬菜（包含葉菜類、莢果類、根莖類及花菜類）平均抗氧化力彼此則差異不顯著。瓜果類蔬菜抗氧化力極低，結果與前人研究相符 (Miller et al., 2000; Halvorsen et al., 2002)。

葉菜類抗氧化力分析結果顯示，甘藷葉是受測樣品中抗氧化力僅次於紫色甘藍的葉菜，也是國內重要的新興蔬菜之一。梁 (1995) 研究顯示，台灣 32 種蔬菜中，甘藷葉抗氧化力最高，同時其類胡蘿蔔素及酚類化合物的含量也最為豐富，因此相當值得針對甘藷葉進行其保健功能機制的探討。目前國內已有甘藷葉保健功能相關的研究文獻 (林, 2004; 張, 2004; 張, 2005)，但仍有待建立更完整生物功能性評估的資訊。葉菜類的分析結果顯示本地芹菜抗氧化力為西洋芹的 3 倍，山芹菜又是本地芹菜的 2 倍；另外，有結球的葉菜，如包心白菜、翠玉白菜、一般甘藍（不包括紫色甘藍）及結球萵苣，抗氧化力皆低於同種類未結球的蔬菜，顯示葉菜發育的形態與抗氧化成分的種類或累積可能有關連性。

根莖類蔬菜除了薑與蓮藕，抗氧化力皆不高 ($< 3.9 \mu \text{mol FeSO}_4/\text{g f.w.}$)。蓮藕抗氧化力有高，其值為 $12.9 \mu \text{mol FeSO}_4/\text{g f.w.}$ ，與前人研究結果相符 (Hu and Skibsted, 2002)。薑的抗氧化力也很高，栽培期較長、採收較晚的老薑，平均抗氧化力是嫩薑的 2 倍（分別為 20.3 及 $10.4 \mu \text{mol FeSO}_4/\text{g f.w.}$ ），但若以單位乾重來看，老薑與嫩薑抗氧化力分別為 311.8 及 $315.8 \mu \text{mol FeSO}_4/\text{g d.w.}$ ，由此可知老薑抗氧化力較高是由於水份含量的差異。薑中含有特殊的成分—薑黃素 (curcumin)，是一高抗氧化力的物質 (Jayaprakasha et al., 2006)，這是薑具有高抗氧化力的可能原因。民俗療法上，認為老薑較具溫補特性，有去寒活血的藥性，常用來入藥或與補品搭配燉煮，此特性是否與抗氧化力有關連，以及老薑或嫩薑是否具生物保健功能，皆值得進一步研究探討。

4. 蔬菜的外觀顏色與抗氧化力之關係

本試驗將蔬菜樣品分為深色鮮艷、濃綠、淡色或白色等三類分析，其平均抗氧化力的排序：深色鮮艷蔬菜 ($10.1 \mu\text{mol FeSO}_4/\text{g f.w.}$) > 濃綠蔬菜 ($5.5 \mu\text{mol FeSO}_4/\text{g f.w.}$) > 淡色或白色蔬菜 ($2.7 \mu\text{mol FeSO}_4/\text{g f.w.}$)，彼此有顯著差異（表 3.5C）。結果顯示蔬菜外觀顏色可作為區別其抗氧化力高低的指標。

蔬菜的抗氧化力有一部份是由色素成分提供，如花青素、類胡蘿蔔素，本試驗中紫色甘藍抗氧化力為一般甘藍的17倍，由於紫色甘藍中含高量的花青素成分，顯見紫色甘藍的抗氧化力主要由花青素所提供。四種不同顏色品系的長豇豆平均抗氧化力有差異，黑皮長豇豆 > 紅皮長豇豆 > 青皮長豇豆 > 白皮長豇豆，本試驗分析的黃、橙、紅色鐘型甜椒抗氧化力皆高於青椒，和前人研究相符 (Matsufuji et al.; Sun et al., 2007)，結果皆顯示抗氧化力與蔬菜色素的成分或含量有關。Stratil 等 (2006) 以三種方法分析26種蔬菜抗氧化力，同樣指出彩色的 (colored) 蔬菜，如紅色甘藍、紅色洋蔥，都有相當高的抗氧化力。

5. 蔬菜的中醫四氣性質與抗氧化力之關係

蔬菜的中醫四氣性質（寒、涼、溫、熱）與其抗氧化力的高低有明顯的相關性。各組蔬菜平均抗氧化力由高到低的排序為：溫熱蔬菜 ($9.3 \mu\text{mol FeSO}_4/\text{g f.w.}$)、平性蔬菜 ($5.4 \mu\text{mol FeSO}_4/\text{g f.w.}$)、寒涼蔬菜 ($3.7 \mu\text{mol FeSO}_4/\text{g f.w.}$)。其中，22種溫熱蔬菜與23種平性蔬菜、37種寒涼蔬菜平均抗氧化力有顯著差異（表3.5D）。

目前探討中藥四氣性質的研究，程彬彬 (2000) 曾整理出幾方面，其一為中藥的五味（辛、甘（淡）、苦、酸（澀）、鹹五種味道）與四氣有密切的關連性，中藥的五味由多種化學成分決定，而四氣則是這些成分作用的表現。其二為中藥藥性與其化學成分種類有關連性，不同種類成分，如揮發性油類、生物鹼類、醣類等，在不同藥性的中藥上占有特別的比例。其三是微量元素的含量及比例與藥性有相關性，特別是中藥藥性與Fe、Mn元素含量有密切關係。中藥藥性熱、溫、平、涼、寒與Fe的含量比例呈正相關 ($r = 0.547, P < 0.01$)；與Mn的含量比例呈負相關 ($r = -0.570, P < 0.02$)，即熱性中藥含錳高，寒性中藥含鐵高。而本試驗

結果指出，偏熱性的蔬菜抗氧化力較高，偏寒性的蔬菜抗氧化力較低，這提供了中醫另一獲得客觀科學證據的研究方向。

目前四氣性質沒有儀器可以測量，沒有客觀的標準，也沒有系統的研究與整合。由現代醫學的觀點來看，能使人體的能量代謝率提高，產熱量增加的食物即為熱性的食物，反之即為寒性的食物。由於食物的四氣性質是根據人體攝取該食物後，產生的影響或反應來決定，因此程與張（2000）曾提出四氣性質定性定量的研究方法，試圖建立四氣性質的指標。其方法的主要概念是大鼠體溫會受不同四氣性質的中藥調控，以此建立所謂「四氣指數」，但此方法仍停留在理論構想，尚未有實際應用的結果。然而，抗氧化作用或許也可成為另一探討四氣性質的新指標，狹義的四氣性質是指食物對體溫產生的不同影響，而廣義的四氣性質是指食物對人體產生一切對立、統一的作用。《中醫基礎理論》謂：“陰和陽的相對屬性引入醫學領域，即是將對於人體具有推動、溫煦、興奮等作用的物質和功能，統屬於陽；對於人體具有凝聚、滋潤、抑制等作用的物質和功能，統屬於陰。”

當中寒與涼屬陰，溫與熱屬陽（程彬彬，2001）。人體產生氧化與還原對立的作用在廣義的四氣性質範疇中，與中醫陰陽對立的表現似乎有雷同之處，因此食物抗氧化力的強弱可能與其陰與陽（寒涼與溫熱）之特性有關連性，或許抗氧化力可以作為體內實驗定性定量四氣性質的標準。不過，Ou等（2003）曾針對陰性（寒涼）與陽性（溫熱）中藥各12種進行抗氧化力（ORAC方法）的分析，結果顯示陰性（寒涼）中藥抗氧化力介於433-1939 $\mu\text{mol Trolox equivalents (TE) /g}$ ；而陽性（溫熱）中藥介於16-243 $\mu\text{mol TE/g}$ ，寒涼的中藥抗氧化力明顯高於溫熱的中藥，與本研究完全相反。因此以抗氧化力的強弱來代表食物寒涼溫熱之性質尚需進一步研究瞭解。

有些蔬菜材料是值得用來研究四氣性質與抗氧化力的關係，例如：甘藷葉、蕹菜（空心菜）與蓮藕。同屬旋花科的甘藷葉與蕹菜，本試驗得知甘藷葉抗氧化力極高，屬平性蔬菜；而蕹菜抗氧化力偏低，屬寒性蔬菜；蓮藕在中國醫學上認為，其生食或榨汁性寒，煮熟後則性轉溫燥，一物二性，食療效果相反（薛，2000）。

若將不同四氣性質的蔬菜透過生物功能性評估，比較不同實驗組攝取蔬菜後，生理指標或RNA表現的差異，將可以瞭解不同四氣性質蔬菜與其在體內抗氧化作用的關連性，以此研究四氣性質與抗氧化力的關係。



表 3.3、八十三種受分析蔬菜

Table 3.3 The characters of the eighty three vegetables analyzed in this research.

蔬菜名稱 / 品系或特徵	英名	學名	科別	四氣性質	外觀顏色
葉菜類					
紫色甘藍	Red cabbage	<i>Brassica oleracea</i> , Capitata Group	十字花科	平	紫
甘藷葉	Sweet potato vine	<i>Ipomoea batatas</i>	旋花科	平	綠
羅勒 / 綠莖種 (九層塔)	Green stem basil	<i>Ocimum basilicum</i>	唇形花科	溫	綠
豌豆嫩梢	Early dwarf pea	<i>Pisum sativum</i> var. <i>humile</i>	豆科	涼	綠
過溝菜蕨 (過貓)	Common bracken	<i>Anisogonium esculentum</i>	蹄蓋蕨科	寒	綠
羅勒 / 紫莖種	Red stem basil	<i>Ocimum basilicum</i>	唇形花科	溫	綠
芥藍	Chinese kale	<i>Brassica oleracea</i> , Alboglabra Group	十字花科	平	綠
芫荽 (香菜)	Chinese parsley	<i>Coriandrum sativum</i>	繖形花科	溫	綠
莧菜 / 紫斑品系	Edible amaranth, red stripe leaf	<i>Amaranth mangostanus</i>	莧科	涼	綠
韭菜	Chinese leek	<i>Allium tuberosum</i>	蔥科	溫	綠
皺葉萐蕡 (廣東 A 菜)	Crinkle cos lettuce	<i>Lactuca sativa</i> var. <i>crispata</i>	菊科	涼	綠
山芹菜	Honestort	<i>Cryptotaenia japonica</i>	繖形花科	溫(平)	綠
小白菜	Chinese mustard	<i>Brassica campestris</i> , Chinensis Group	十字花科	平	淡綠
紅鳳菜	Gynura	<i>Gynura bicolor</i>	菊科	涼	紫/綠
小松菜	Komatsuna	<i>Brassica campestris</i> var. <i>perviridis</i>	十字花科	平	綠
青梗白菜	Green stem pak choi	<i>Brassica campestris</i> , Chinensis Group	十字花科	平	綠
青蔥	Welsh onion	<i>Allium fistulosum</i>	蔥科	溫	白/綠
落葵 (皇宮菜)	Malabar spinach	<i>Basella alba</i>	落葵科	寒	綠
筒蒿	Garland chrysanthemum	<i>Chrysanthemum coronarium</i>	菊科	平	綠
芥菜 / 葉用芥菜 (小芥菜)	Leaf mustard	<i>Brassica juncea</i>	十字花科	溫	綠
油菜	Edible rape	<i>Brassica campestris</i> , Chinensis Group	十字花科	平	綠
菠菜	Spinach	<i>Spinacia oleracea</i>	藜科	涼	綠
莧菜 / 白莧品系	Edible amaranth, white leaf	<i>Amaranth mangostanus</i>	莧科	涼	淡綠
豌豆芽	Pea sprout	<i>Pisum sativum</i>	豆科	涼	綠
葉萐蕡 / 尖葉種 (A 菜)	Looseleaf lettuce	<i>Lactuca sativa</i>	菊科	涼	綠
山蘇花	Bird-nest fern	<i>Asplenium antiquum</i>	鐵角蕨科	未知	綠
半結球萐蕡 (大陸妹)	Cos lettuce	<i>Lactuca sativa</i> var. <i>longifloia</i>	菊科	涼	綠
蕹菜 (空心菜)	Water spinach	<i>Ipomoea aquatica</i>	旋花科	寒	綠
梨瓜嫩梢 (龍鬚菜)	Chayote shoot	<i>Sechium edule</i>	葫蘆科	涼	綠
芹菜 / 本地種	Chinese celery	<i>Apium graveolens</i> , Secalinum Group	繖形花科	涼	淡綠
包心白菜	Crisphead chinese cabbage	<i>Brassica campestris</i> , Pekinensis Group	十字花科	涼	淡綠
結球萐蕡 / 包被型	Crisphead lettuce	<i>Lactuca sativa</i> var. <i>capitata</i>	菊科	涼	淡綠
翠玉白菜	Butterhead chinese cabbage	<i>Brassica campestris</i> , Pekinensis Group	十字花科	涼	淡綠
甘藍 (高麗菜)	Common cabbage	<i>Brassica oleracea</i> , Capitata Group	十字花科	平	淡綠
芹菜 / 西洋種 (西洋芹)	Celery	<i>Apium graveolens</i> , Dulce Group	繖形花科	涼	淡綠
花菜類					
韭菜花苔	Chinese leek flower stalk	<i>Allium tuberosum</i>	蔥科	溫	綠
花椰菜	Cauliflower	<i>Brassica oleracea</i> , Botrytis Group	十字花科	平	淡綠
青花菜	Broccoli	<i>Brassica oleracea</i> , Italica Group	十字花科	平	綠
瓜果類					
野生苦瓜 (山苦瓜)	Wild bitter gourd	<i>Momordica charantia</i> var. <i>abbreviata</i>	葫蘆科	涼	綠
苦瓜 / 白皮品系	White bitter gourd	<i>Momordica charantia</i>	葫蘆科	涼	白
扁蒲	Bottle gourd	<i>Lagenaria siceraria</i>	葫蘆科	平	淡綠
西瓜 / 紅肉大瓜品系	Watermelon, red flesh	<i>Citrullus lanatus</i>	葫蘆科	寒	紅
花胡瓜 (小黃瓜)	Cucumber	<i>Cucumis sativus</i>	葫蘆科	寒	綠
圓筒絲瓜 / 短筒種	Vegetable sponge	<i>Luffa cylindrica</i>	葫蘆科	涼	淡綠

蔬菜名稱 / 品系或特徵	英名	學名	科別	四氣性質	外觀顏色
茄果類					
辣椒 / 紅色, 短錐形	Short chili pepper	<i>Capsicum annuum</i>	茄科	熱	紅
甜椒 / 黃色, 鐘型	Yellow sweet pepper	<i>Capsicum annuum</i>	茄科	溫	黃
甜椒 / 紅色, 鐘型	Red sweet pepper	<i>Capsicum annuum</i>	茄科	溫	紅
甜椒 / 橙色, 鐘型	Orange sweet pepper	<i>Capsicum annuum</i>	茄科	溫	橙
辣椒 / 紅色, 長錐形	Long chili pepper	<i>Capsicum annuum</i>	茄科	熱	紅
青椒	Green pepper	<i>Capsicum annuum</i>	茄科	溫	綠
小果番茄 / 每顆 15-20g, 紅色, 圓形	Small fruit tomato, wt. 15-20g, red, round	<i>Lycopersicon lycopersicum</i>	茄科	寒	紅
茄子 / 長形, '麻薯長茄'	Eggplant, 'Ma-Zu'	<i>Solanum melongena</i>	茄科	寒	紫
茄子 / 卵形	Eggplant, oval shape	<i>Solanum melongena</i>	茄科	寒	紫黑
青辣椒 / 長錐形	Young chili pepper	<i>Capsicum annuum</i>	茄科	熱	綠
伏見甘長辣椒 (糯米椒)	Long sweet pepper, 'Fushimama'	<i>Capsicum annuum</i> cv. Fushimama	茄科	溫	綠
中果番茄 / 每顆 120-150g, 50%轉色	Medium fruit tomato, wt. 120-150g, turning-red stage	<i>Lycopersicon lycopersicum</i>	茄科	寒	黃
中果番茄 / 每顆 70-90g, 紅熟期	Medium fruit tomato, wt. 70-90g, full red stage	<i>Lycopersicon lycopersicum</i>	茄科	寒	紅
莢果類					
長豇豆 / 黑皮品系	Yard-long bean, black pods	<i>Vigna sesquipedalis</i>	豆科	平	黑
黃秋葵	Okra	<i>Hibiscus esculentus</i>	錦葵科	寒	綠
長豇豆 / 紅皮品系	Yard-long bean, red pods	<i>Vigna sesquipedalis</i>	豆科	平	紅
豌豆 / 嫩莢品系	Snow pea	<i>Pisum sativum</i> , Macrocarpon Group	豆科	平	綠
落花生	Peanut	<i>Arachis hypogaea</i>	豆科	溫	白
長豇豆 / 青皮品系	Yard-long bean, green pods	<i>Vigna sesquipedalis</i>	豆科	平	綠
長豇豆 / 白皮品系	Yard-long bean, white pods	<i>Vigna sesquipedalis</i>	豆科	平	淡綠
菜豆 (皇帝豆)	Lima bean	<i>Phaseolus limensis</i>	豆科	平	淡綠
豌豆 / 甜豌豆品系	Snap pea	<i>Pisum sativum</i> , Macrocarpon Group	豆科	平	綠
菜豆 / '粉豆'	Green bean, 'Kentucky Wonder'	<i>Phaseolus vulgaris</i> cv. Kentucky Wonder	豆科	平	綠
菜豆 (四季豆)	Green bean	<i>Phaseolus vulgaris</i>	豆科	平	淡綠
根莖類					
老薑	Mature ginger	<i>Zingiber officinale</i>	薑科	溫	黃
蓮藕	Indian lotus root	<i>Nelumbo nucifera</i>	蓮科	生寒熟溫	白
嫩薑	Young ginger	<i>Zingiber officinale</i>	薑科	溫	白
蘆筍	Asparagus	<i>Asparagus officinalis</i>	百合科	寒	綠
芋	Taro	<i>Colocasia esculenta</i>	天南星科	平	白
洋蔥	Onion	<i>Allium cepa</i>	蔥科	溫	白
蘿蔔	Radish	<i>Raphanus sativus</i>	十字花科	寒	白
荸薺	Water chestnut	<i>Eleocharis dulcis</i>	莎草科	寒	白
大蒜	Garlic	<i>Allium Sativum</i>	蔥科	溫	白
馬鈴薯	Potato	<i>Solanum tuberosum</i>	茄科	平	黃
胡蘿蔔	Carrot	<i>Daucus carota</i>	繖形花科	溫	橙
茭白 (茭白筍)	Water bamboo	<i>Zizania aquatica</i>	禾本科	寒	白
麻竹筍	Ma bamboo shoot	<i>Dendrocalamus latiflorus</i>	禾本科	寒	白
孟宗竹筍 (冬筍)	Moso bamboo shoot	<i>Phyllostachys edulis</i>	禾本科	寒	白
綠竹筍	Green bamboo shoot	<i>Leleba oldhami</i>	禾本科	寒	白

※蔬菜去除外皮 (殼) 者，「外觀顏色」以食用部位顏色表示。

表 3.4、台灣各類蔬菜平均抗氧化力 (FRAP 值)

Table 3.4 The antioxidant activity (FRAP value) of vegetables consumed in Taiwan.

蔬菜名稱 / 品系或特徵	取樣次數	乾溼比 (%)	抗氧化力 (μmol FeSO ₄ /g f.w.)	蔬菜名稱 / 品系或特徵	取樣次數	乾溼比 (%)	抗氧化力 (μmol FeSO ₄ /g f.w.)
葉 菜 類				茄 果 類			
紫色甘藍	n=2	8.9	16.53	辣椒 / 紅色, 短錐形	n=3	26.8	35.65±7.83
甘藷葉	n=7	11.9	14.20±8.77	甜椒 / 黃色, 鐘型	n=3	8.9	18.83±7.10
羅勒 / 綠莖種 (九層塔)	n=3	9.4	14.16±5.91	甜椒 / 紅色, 鐘型	n=3	8.2	17.36±5.74
豌豆嫩梢	n=1	10.8	10.98	甜椒 / 橙色, 鐘型	n=1	9.1	12.10
過溝菜蕨 (過貓)	n=3	7.4	10.01±5.41	辣椒 / 紅色, 長錐形	n=2	11.9	9.47
羅勒 / 紫莖種	n=2	11.3	8.58	青椒	n=3	6.2	9.31±2.40
芥藍	n=2	8.1	7.07	小果番茄	n=1	6.4	4.77
芫荽 (香菜)	n=1	8.3	6.55	/ 每顆 15-20g, 紅色, 圓形			
莧菜 / 紫斑品系	n=1	5.9	6.47	茄子 / 長形, '麻薯長茄'	n=2	6.4	4.11
韭菜	n=2	9.1	5.85	茄子 / 卵形	n=1	7.4	3.68
皺葉萬苣 (廣東 A 菜)	n=1	5.7	5.80	青辣椒 / 長錐形	n=1	8.7	2.89
山芹菜	n=2	6.8	5.64	伏見甘長辣椒 (糯米椒)	n=1	10.5	2.54
小白菜	n=3	4.5	5.60±0.30	中果番茄	n=1	5.9	2.50
紅鳳菜	n=3	6.8	5.38±1.49	/ 每顆 120-150g, 50% 轉色			
小松菜	n=2	-	5.38	中果番茄	n=1	5.1	2.15
青梗白菜	n=3	5.0	5.37±1.75	/ 每顆 70-90g, 紅熟期			
青蔥	n=3	8.2	5.12±1.93	英 果 類			
落葵 (皇宮菜)	n=2	7.9	5.09	長豇豆 / 黑皮品系	n=1	9.2	15.58
筍蒿	n=2	5.0	5.05	黃秋葵	n=3	10.1	8.93±2.06
芥菜 / 葉用芥菜 (小芥菜)	n=3	6.0	4.87±1.99	長豇豆 / 紅皮品系	n=2	8.5	8.52
油菜	n=3	4.6	4.82±1.54	豌豆 / 嫩莢品系	n=3	12.1	6.78±0.39
菠菜	n=4	6.1	4.51±0.50	落花生	n=1	56.0	5.70
莧菜 / 白莧品系	n=2	5.0	4.48	長豇豆 / 青皮品系	n=2	8.6	5.55
豌豆芽	n=1	9.8	4.48	長豇豆 / 白皮品系	n=1	9.0	2.89
葉萬苣 / 尖葉種 (A 菜)	n=3	5.8	4.41±0.72	菜豆 (皇帝豆)	n=1	36.4	2.62
山蘇花	n=2	7.3	4.14	豌豆 / 甜豌豆品系	n=2	12.1	2.47
半結球萬苣 (大陸妹)	n=4	4.9	3.65±1.49	菜豆 / '粉豆'	n=1	7.6	1.96
蕹菜 (空心菜)	n=3	6.0	2.90±0.69	菜豆 (四季豆)	n=2	8.7	1.31
梨瓜嫩梢 (龍鬚菜)	n=3	7.6	2.79±1.48	根 莖 類			
芹菜 / 本地種	n=5	6.0	2.71±1.75	老薑	n=2	6.5	20.27
包心白菜	n=1	-	1.89	蓮藕	n=2	16.5	12.90
結球萬苣 / 包被型	n=1	-	1.69	嫩薑	n=2	3.3	10.42
翠玉白菜	n=1	3.6	1.45	蘆筍	n=1	7.3	3.86
甘藍 (高麗菜)	n=1	6.9	0.98	芋	n=2	27.8	3.69
芹菜 / 西洋種 (西洋芹)	n=1	5.4	0.84	洋蔥	n=2	9.9	2.93
花 菜 類				蘿蔔	n=1	4.3	2.06
韭菜花苔	n=1	10.1	4.13	莧	n=1	18.7	1.95
花椰菜	n=2	9.6	3.35	大蒜	n=4	36.0	1.83±0.69
青花菜	n=3	10.1	2.72±0.41	馬鈴薯	n=1	21.3	1.57
瓜 果 類				胡蘿蔔	n=1	-	1.44
野生苦瓜 (山苦瓜)	n=1	7.5	2.90	茭白 (茭白筍)	n=1	7.5	1.34
苦瓜 / 白皮品系	n=1	6.3	2.60	麻竹筍	n=1	7.9	1.08
扁蒲	n=1	4.6	1.88	孟宗竹筍 (冬筍)	n=1	2.8	0.61
西瓜 / 紅肉大瓜品系	n=1	-	1.03	綠竹筍	n=1	7.0	0.53
花胡瓜 (小黃瓜)	n=2	4.8	0.62				
圓筒絲瓜 / 短筒種	n=1	6.6	0.38				

※ 當樣品取樣次數大於 3，數據以平均數±標準偏差 (SD) 表示。

表 3.5、各群蔬菜平均抗氧化力 (FRAP 值)
 Table 3.5 Average of FRAP value in different categories of vegetables.

各分類	平均抗氧化力 ($\mu\text{mol FeSO}_4/\text{g f.w.}$)
A. 科別	
茄科 (n=14)	9.1
豆科 (n=12)	5.7
十字花科 (n=13)	4.8
菊科 (n=6)	4.3
蔥科 (n=5)	4.0
繖形花科 (n=5)	3.4
葫蘆科 (n=7)	1.7
B. 供食用部位	
茄果類 (n=14)	9.6 a
葉菜類 (n=35)	5.7 ab
莢果類 (n=10)	5.7 ab
根莖類 (n=15)	4.4 ab
花菜類 (n=3)	3.4 ab
瓜果類 (n=6)	1.6 b
C. 外觀顏色	
深色鮮艷 (n=18)	10.1 a
濃綠 (n=37)	5.6 b
淡色或白色 (n=28)	3.0 c
D. 四氣性質	
溫熱蔬菜 (n=22)	9.3 a
平性蔬菜 (n=23)	5.4 b
寒涼蔬菜 (n=37)	3.7 b

※ n 為蔬菜種類數。顯著水準 p=0.05

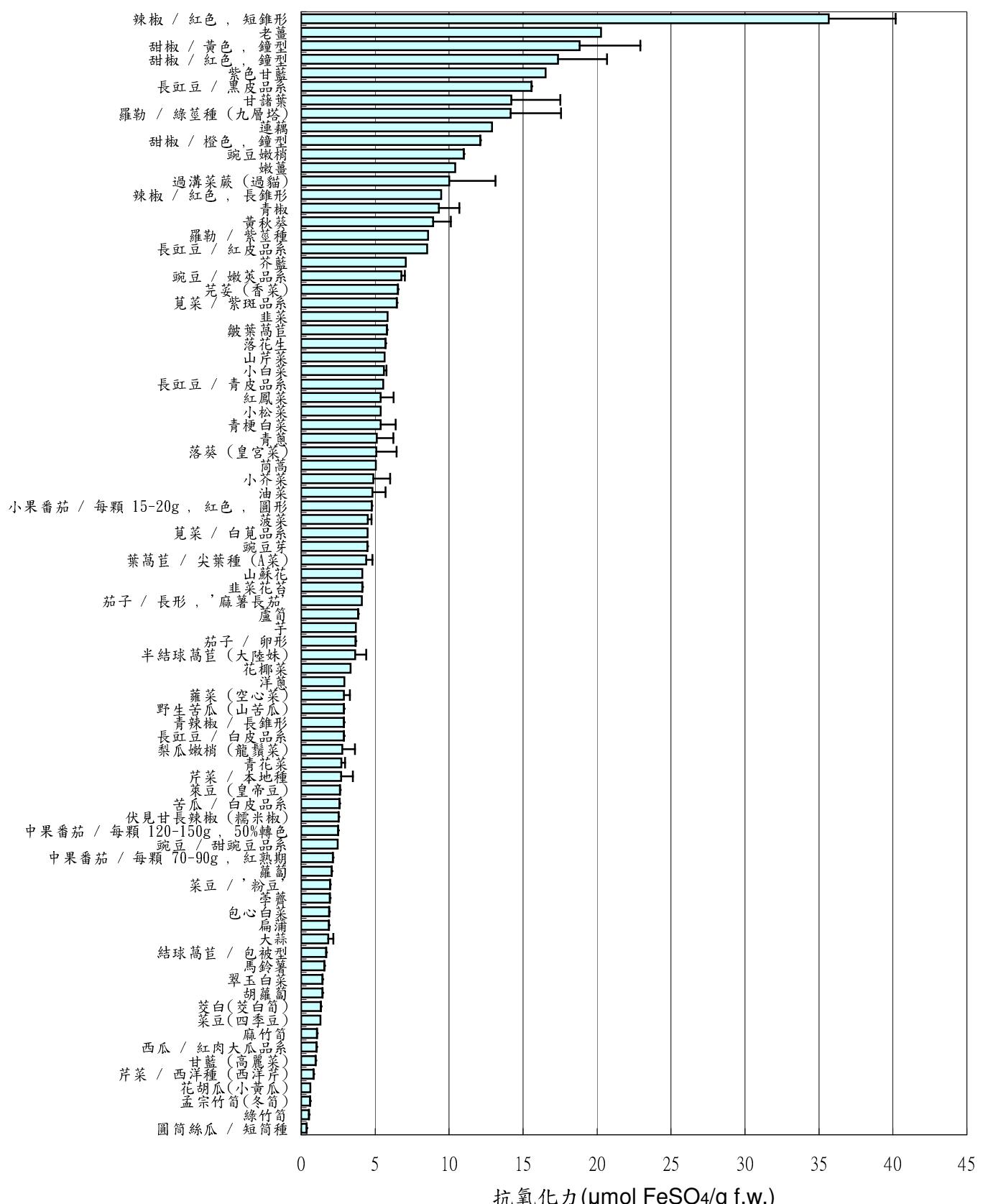


圖 3.4、八十三種蔬菜抗氧化力 (FRAP 值) 之排序

Fig. 3.4 Rank order for FRAP value of 83 kinds vegetables.

(三) 不同部位與經過不同前處理的蔬菜FRAP

結球的包心白菜內、中、外層葉片的抗氧化力有差異，結果如表3.6、圖3.5，抗氧化力內層葉片 > 中層葉片 > 外層葉片，分別為 $2.5\text{、}1.6\text{、}0.9\mu\text{mol FeSO}_4/\text{g f.w.}$ ，若以單位乾重來看，抗氧化力分別為 $43.4\text{、}41.0\text{、}33.6\mu\text{mol FeSO}_4/\text{g d.w.}$ 。然而，Klieber 和 Franklin (2000) 分析結球白菜 (*Brassica campestris*, Pekinensis Group) 不同部位維生素C含量，結果指出外層葉含量最高，內層葉次之，中層葉最低 (分別為 $27\text{、}22\text{、}14\text{mg/100g}$)。Herrmann (1988) 文獻回顧提出結球的蔬菜，如萵苣、苦苣 (endive)、甘藍類，其黃酮醇 (flavonol) 的含量，外層葉明顯地較內層葉高，其研究推論是由於陽光促進外層葉的類黃酮物質生成，所以結球蔬菜外層葉黃酮醇含量高於內層葉。另外，結球較鬆散的一類甘藍—Tronchuda cabbage，其研究也指出外層葉的抗氧化力較內層葉高，此結果與其酚類物質、有機酸類含量較高有關連性 (Ferreres et al., 2006)，上述結果皆與本試驗結果不一致。這個差異可能是由於葉片取樣的方式不同而產生的，本試驗是取整片葉片為樣品，均質後取均質液分析，而其他研究則無特別說明，若樣品取樣於葉片的局部，可能結果會有不同的趨勢。另外，外層葉取樣方式的不同亦有可能產生差異，本試驗是將最外層毀損老化的葉片去除後，取樣於相對外層的葉片為外層葉之樣品，而上述研究無明確說明。也許接觸外界環境的最外層葉有明顯高於內層葉片的抗氧化力，但本試驗將之去除。

小松菜葉柄與葉身的抗氧化力有差異 (圖3.5)，葉身單位鮮重的抗氧化力為葉柄的6倍，分別為 $12.0\text{與}1.8\mu\text{mol FeSO}_4/\text{g f.w.}$ 。芹菜單獨葉柄部位的抗氧化力是低於葉柄加上葉身部位的抗氧化力，分別為 $1.2\text{與}1.8\mu\text{mol FeSO}_4/\text{g f.w.}$ (表3.6、圖3.5)；若以單位乾重來看，抗氧化力分別為 $25.6\text{與}31.7\mu\text{mol FeSO}_4/\text{g d.w.}$ (表3.6)，結果可知食用芹菜若保留葉身部位，將可提高芹菜50%抗氧化力。葉身雖然占芹菜葉片重量極小的比例，但試驗結果顯示加上葉身部位可以明顯提升芹菜單位鮮重的抗氧化力，而一般食用芹菜會將辛香味較重的葉身去除，僅食用葉柄部位，本試驗結果提供了食用者不同烹煮習慣的選擇。小松菜與芹菜的抗氧化物存在葉身

部位的比例皆高於在葉柄部位的比例，同樣地，Harbaum等（2008）分析青梗白菜11個品種與芥菜2個品種的葉片酚類化合物含量，結果顯示葉身部位的單位鮮重酚類含量為葉柄部位的3-7倍，類黃酮含量為葉柄部位的數十倍（葉柄部位的類黃酮含量極少），也說明了葉身相對於葉柄是許多植物化學成分蘊藏的地方，也是提供相對多抗氧化力的部位。

蓮藕節、節間及完整地下莖（蓮藕節加節間）的抗氧化力結果如圖3.6，抗氧化力蓮藕節>完整地下莖>蓮藕節間，分別為50.0、15.4、13.0 $\mu\text{mol FeSO}_4/\text{g f.w.}$ 。蓮藕節有相當高的抗氧化力，是節間及地下莖的3-4倍；單位乾重方面，蓮藕節與蓮藕節間抗氧化力分別為227.3與65.5 $\mu\text{mol FeSO}_4/\text{g d.w.}$ （表3.6）。Hu 和 Skibsted（2002）的研究同樣指出，蓮藕節萃取物的抗氧化力及總酚類含量皆是蓮藕地下莖萃取物的2-3倍。一般食用蓮藕，常會將質地堅硬的節位捨棄，僅食用節間的部位，本試驗的結果可作為食用者值得保留蓮藕節在烹調上使用的依據。

「直接均質的大蒜」與「切碎後均質的大蒜」之抗氧化力結果如圖3.6。切碎後20分鐘再進行均質的大蒜抗氧化力高於直接均質的大蒜，分別為1.8與1.3 $\mu\text{mol FeSO}_4/\text{g f.w.}$ 。前人研究提出大蒜切碎後能促進酵素反應產生具保健功能的成分，這與本試驗大蒜切碎後抗氧化力的提升是否有關連性，仍有待進一步研究探討。目前已有許多證據提出大蒜或大蒜成分的保健功能，包括調控細胞週期、細胞自毀（apoptosis）、調節癌細胞生成代謝、控制血壓、血脂、膽固醇以及增強抗氧化系統等，而這些保健機制與大蒜經切碎酵素反應後所生成的物質有關（Wu et al., 2005; Milner, 2006; Rahman and Lowe, 2006; Shukla and Kalra, 2007）。因此，假若這些成分的產生與抗氧化力的提升有相關性，那麼根據本試驗切碎大蒜的效果，可建議大蒜烹調的時候，切碎後可等候一段時間（20分鐘以上）再加熱烹煮。這樣能在加熱破壞酵素之前，讓蒜胺酸酶有時間讓蒜胺酸轉換為蒜素，進而促使其他含硫化合物的生成，以此可以增加有益健康的大蒜成分進入人體的機會。

圓筒絲瓜外皮的去留會影響抗氧化力的高低，表3.6、圖3.7顯示含有外皮的絲瓜抗氧化力高於去皮的絲瓜，分別為1.2與0.4 $\mu\text{mol FeSO}_4/\text{g f.w.}$ ，以單位乾重來看，

分別為20.4與7.7 $\mu\text{mol FeSO}_4/\text{g d.w.}$ ，結果可以知道圓筒絲瓜的抗氧化物存在外皮部位的比例高於果肉部位。許多研究皆指出，果實外皮的抗氧化力是高於果肉的部分 (Guo et al., 2003 ; Toor and Savage, 2005 ; Horax et al., 2005 ; Bachioca et al., 2006)。Guo等 (2003) 分析26種水果外皮與果肉的抗氧化力，結果顯示除了金柑 (kumquat)，所有水果外皮單位鮮重抗氧化力皆高於果肉，依種類的不同，差距從2倍到27倍。Bachioca等 (2006) 針對蘋果與西洋梨各2個品種的外皮與果肉，分析其抗氧化力與相關物質的含量，結果也顯示外皮的單位鮮重抗氧化力、總酚類含量及總類黃酮含量皆高於果肉部分，差距從6倍到9倍。蔬菜方面，Toor 和 Savage (2005) 分析番茄3個品種之不同部位的抗氧化力與相關物質含量，結果指出外皮 (占全果重的9-18%) 的單位鮮重抗氧化力約為果肉部位 (不含種子) 的2倍，並且總酚類含量、總類黃酮含量、番茄紅素含量及維生素C含量，外皮部位皆顯著高於果肉部位，若換算為單位乾重的含量同樣是外皮部位高於果肉部位。另外，Horax 等 (2005) 分析四種苦瓜不同部位的抗氧化力與相關物質含量，結果得知外層果肉單位乾重的總酚類含量高於內層組織的含量，且酚酸物質的種類在兩部位有差異；然而兩部位的抗氧化力是沒有顯著差異，這可能是由於兩部位含有的不同種類酚類物質提供不同程度的抗氧化力所致，亦或是兩部位還有酚類物質以外的抗氧化物呈現不同的分布。

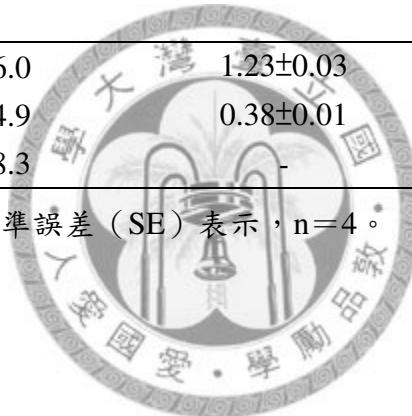
蔬菜不同部位可能會有不同的物質，蔬菜各部位有其不同的營養價值，因此皆不宜忽略。不過蔬果外皮一般質地粗糙，味道苦澀，通常不被食用。另外，蔬果外皮或外層組織雖然有抗氧化力較高的趨勢，但外皮或外層組織同時也是蔬果最先接觸外在環境的部位，許多病菌與污染原皆蓄積於此，所以探討蔬果外皮部位食用與否，除了考慮營養保健價值與嗜口性之外，也應該關注安全性的問題。

表 3.6、不同蔬菜部位乾溼比與抗氧化力 (FRAP 值)

Table 3.6 Dry matter content (%) and FRAP value on different parts of each vegetable.

蔬菜部位	乾溼比(%)	單位鮮重抗氧化力	換算後單位乾重抗氧化力
		($\mu\text{mol FeSO}_4/\text{g f.w.}$)	($\mu\text{mol FeSO}_4/\text{g d.w.}$)
芹菜葉身+葉柄	5.7	1.82 \pm 0.44	31.69 \pm 7.65
芹菜葉柄	4.8	1.22 \pm 0.11	25.57 \pm 2.32
芹菜葉身	8.7	-	-
包心白菜-外層葉	2.8	0.94 \pm 0.06	33.59 \pm 2.29
包心白菜-中層葉	4.0	1.64 \pm 0.19	41.03 \pm 4.70
包心白菜-內層葉	5.7	2.47 \pm 0.21	43.38 \pm 3.61
蓮藕莖節	22.0	50.04 \pm 6.34	227.25 \pm 28.78
蓮藕節間	19.8	12.98 \pm 1.50	65.52 \pm 7.57
圓筒絲瓜-留皮	6.0	1.23 \pm 0.03	20.36 \pm 0.55
圓筒絲瓜-去皮	4.9	0.38 \pm 0.01	7.66 \pm 0.16
圓筒絲瓜外皮	8.3	-	-

※ 抗氧化力以平均數 \pm 標準誤差 (SE) 表示，n=4。



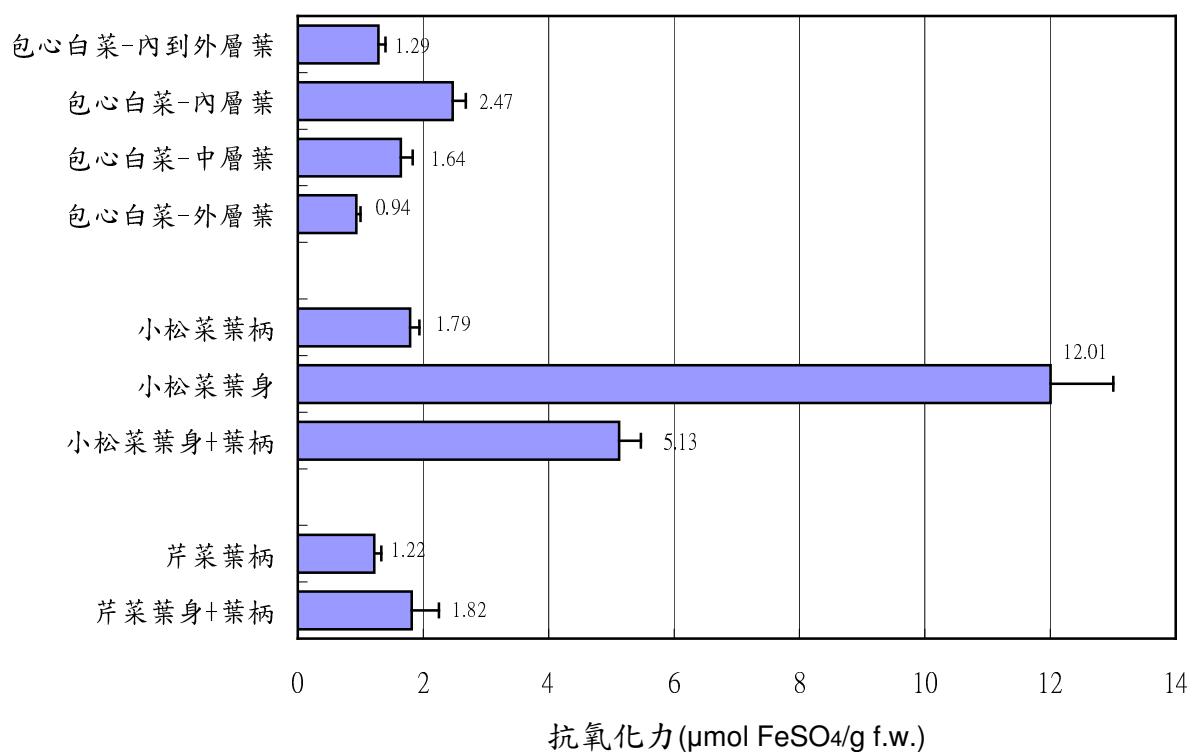


圖 3.5、包心白菜、小松菜及本地芹菜不同葉片部位的抗氧化力（FRAP 值）

Fig. 3.5 The FRAP value of leaf parts in Chiese cabbage, Komatsuna and Chinese celery.

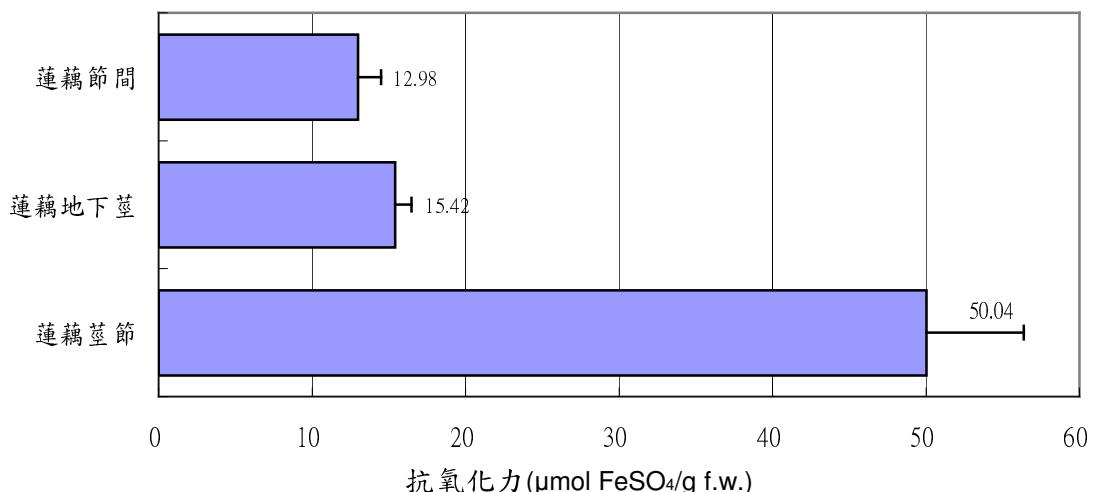


圖 3.6、蓮藕不同部位的抗氧化力（FRAP 值）

Fig. 3.6 The FRAP value of Indian lotus root at different portion.

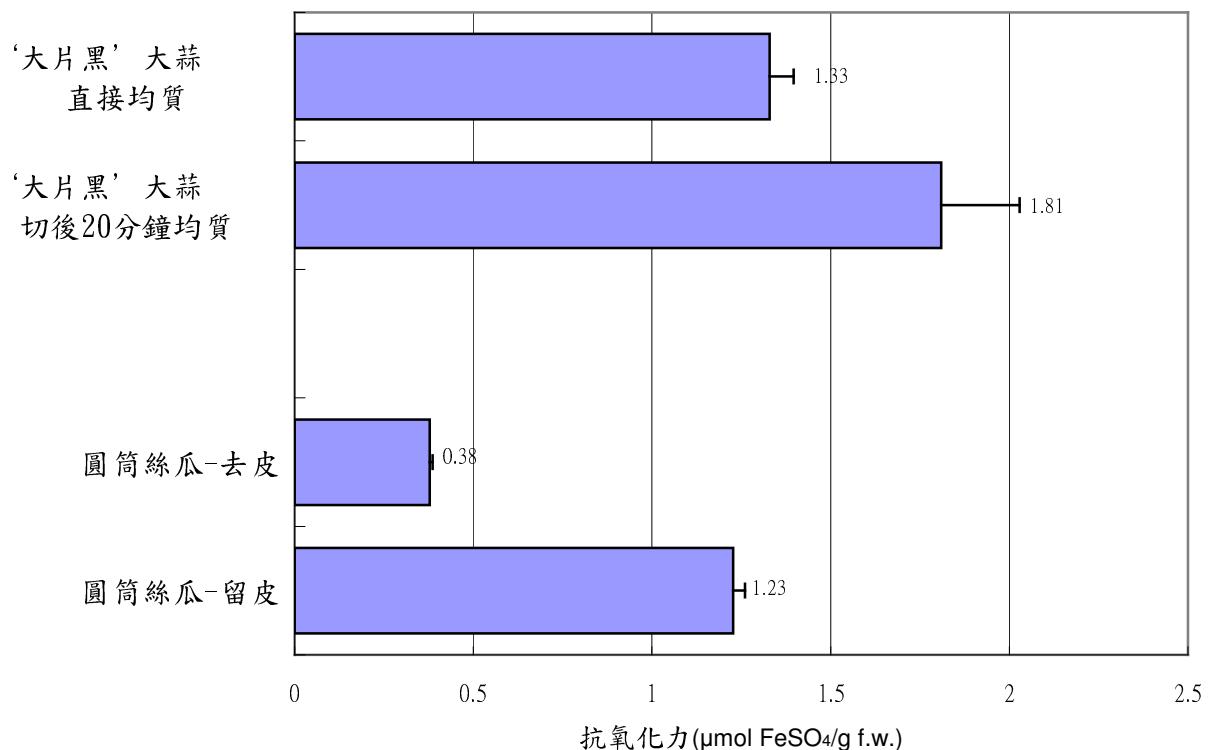


圖 3.7、不同前處理之大蒜與圓筒絲瓜的抗氧化力 (FRAP 值)

Fig. 3.7 The FRAP value of garlic and vegetable sponge by pretreatment.

（四）蔬菜攝取情況與獲取抗氧化力的關係

飲食的基本功能在於滿足所有營養素的需求以維持身體機能，蔬菜類食物主要供給人類維生素、礦物質與纖維，在討論蔬菜抗氧化力的供給之前，仍須以充足的飲食營養為基礎。蔬菜所提供的植物化學物質（phytochemicals）不是必需營養素，然而它們有調節生理機能的特性，具有預防疾病發生的功能，抗氧化作用是保健功能之一。從飲食調查的蔬菜類別細目來看，國內成人攝取深色蔬菜的比例達蔬菜總量的 47.3%，其它依序為淺色蔬菜（25.2%）、瓜類（14.2%）、筍類（5.8%）與醃漬蔬菜類（4.3%）（圖 2.8），其餘如蔬菜如豆類（1.2%）、菇類（0.9%）、海產植物類（0.9%）及其它蔬菜類（0.1%）攝取的比例相對很低。國內成人男女性每天平均攝取的深色蔬菜類為 153.2g，淺色蔬菜類 81.7g，而本試驗得知顏色鮮艷以及濃綠色的蔬菜有較高的抗氧化力，平均為 $7.1 \mu\text{mol FeSO}_4/\text{g f.w.}$ ，淡色或白色蔬菜平均抗氧化力為 $3.0 \mu\text{mol FeSO}_4/\text{g f.w.}$ ，所以經計算每天由深色蔬菜類所獲得的抗氧化力理論上有 $1087.7 \mu\text{mol FeSO}_4$ ；由淡色蔬菜所獲得的抗氧化力為 $245.1 \mu\text{mol FeSO}_4$ 。深色蔬菜類中，提供較多抗氧化力的濃綠色蔬菜有甘藷葉、羅勒、青椒、芥藍等，而顏色鮮艷的蔬菜，如彩色甜椒、黑色或紅色長豇豆、紫色甘藍等，增加攝取也可以獲取更多的抗氧化力。至於淡色蔬菜類，本試驗所分析氧化力相對較高的蔬菜有莧菜、小白菜及蓮藕。

國內成人男女性每天平均攝取的瓜類為 46.0g，筍類為 18.6g，豆類為 3.8g，而本試驗得知瓜類、筍類及豆類的平均抗氧化力分別為 1.6 、 0.7 與 $5.3 \mu\text{mol FeSO}_4/\text{g f.w.}$ ，所以每天由瓜類、筍類、豆類理論上所獲得的抗氧化力分別為 73.6、13.0、 $20.1 \mu\text{mol FeSO}_4$ 。另外，男女性每天平均攝取的其它蔬菜類有 0.2g，而飲食調查中的其它蔬菜類僅包含嫩薑，本試驗得知嫩薑抗氧化力為 $10.4 \mu\text{mol FeSO}_4/\text{g f.w.}$ ，所以每天由其它蔬菜類（嫩薑）所獲得的抗氧化力理論上為 $2.1 \mu\text{mol FeSO}_4$ 。至於醃漬蔬菜類、菇類及海產植物類，本試驗尚無分析，所以不以計算。綜合上述各類別蔬菜平均每天所獲得的抗氧化力結果，可以推知國內成人每天由蔬菜所獲得的抗氧化力為 $1441.6 \mu\text{mol FeSO}_4$ ，其中深色蔬菜類所提供的抗氧化力佔全部的

75%。根據 Benzie 和 Strain(1996)的研究，每 1 mol/L 的維生素 C 等於 2 mol/L FeSO_4 的還原力，所以國內成人每天由蔬菜所獲得的抗氧化力亦可表示為 $720.8 \mu\text{mol}$ vitamin C equivalents 。

飲食調查研究中，食材的分類不盡正確，例如：將番茄與茄子歸在蔬菜類的瓜類中，或是將牛蒡與西洋芹歸在蔬菜類的筍類中；另外研究中用顏色與種類做的分類過於籠統，例如深淺色蔬菜就包括了所有葉菜類、花菜類、一大部分根莖類以及部分果菜類，而只獨立出瓜類、豆類、筍類等作物。部分根莖類蔬菜分類在五穀根莖類中的澱粉根莖類，如馬鈴薯、蓮藕、芋頭；生薑則被分類至調味料類，嫩薑分類至蔬菜類的其他類中，這些蔬菜無法得知其攝取的比例，所以國人蔬菜抗氧化力的獲取量，僅能就飲食調查中蔬菜類的攝取量來估計。因此建議未來的飲食調查中，除了蔬菜各類別的瓜類、豆類、筍類、醃漬蔬菜、菇類、海鮮植物等須更明確界定其種類之外，建議其餘蔬菜（深色蔬菜類與淺色蔬菜類）能再區分出根莖類的蔬菜、其他的果菜類蔬菜以及調味料蔬菜；另外應可適度的加入園藝的觀點，以提供更正確的研究成果，供農業生產以及消費者飲食教育之參考。

（五）國內蔬菜供給量與國人獲取蔬菜抗氧化力的關係

以蔬菜的年供給量除以人口數和 365 天，可以得知國人平均每人每天的蔬菜供給量。若將平均每人每天分類蔬菜的供給量乘以個別蔬菜或各類蔬菜平均的抗氧化力，可以估計國人平均每人每天蔬菜抗氧化力的供給量，以及分類蔬菜抗氧化力的比例（表 3.7）。無抗氧化力分析資料的蔬菜，以及歸屬其他類的蔬菜，皆以各分類的平均抗氧化力來表示，預期所估計的蔬菜抗氧化力總供給量接近估計範圍的中間值。國人每人每天蔬菜的抗氧化力供給量依分類分別為：葉菜類 $344.4 \mu \text{mol FeSO}_4$ ，根菜類 $69.0 \mu \text{mol FeSO}_4$ ，莖菜類 $376.1 \mu \text{mol FeSO}_4$ ，花果菜類 $381.0 \mu \text{mol FeSO}_4$ ；總計為 $1171.1 \mu \text{mol FeSO}_4$ ，其中葉菜類佔 29.4%，根莖菜類佔 38.0%，花果菜類佔 32.5%。若將韭菜與青蔥歸於葉菜類計算，國人獲取分類蔬菜抗氧化力的比例將為葉菜類 37.5%，根莖菜類 30.0%，花果菜類一樣為 32.5%。上述結果可知，三大分類蔬菜對抗氧化力的貢獻相當平均。

個別蔬菜對飲食抗氧化力的貢獻受本身抗氧化力與供給量的影響。葉菜類中供給量最多的前兩名為甘藍與結球白菜，佔葉菜類總供給的 37.5% 與 15.2%，第三名的不結球白菜佔葉菜類總供給量的 8.7%，但是對抗氧化力的貢獻是以不結球白菜為最高，平均每人每天 $52.5 \mu \text{mol FeSO}_4$ ，甘藍與結球白菜抗氧化力的供給量為 42.8 和 $29.4 \mu \text{mol FeSO}_4$ 。根莖菜類中，供給量依序為竹筍、馬鈴薯、蘿蔔、蔥與胡蘿蔔，然而抗氧化力貢獻最大的是蔥，其次是馬鈴薯與薑。花果菜類供給量最大的是番茄，其次為花椰菜與落花生，而對抗氧化力的貢獻是以落花生為最高，其次為番椒與番茄。由結果可知，國內消費最多的各分類蔬菜，其抗氧化力皆不高，貢獻抗氧化力的比例不如供給量，因此國內應可提升具高抗氧化力蔬菜種類的生產，增加國人獲取高營養保健價值蔬菜的機會，此研究數據可作為國內蔬菜的生產策略調整的參考依據。

表 3.7、民國 95 年國內蔬菜供給量與平均每人每天抗氧化力 (FRAP 值) 供給量

Table 3.7 The daily supplies of domestic vegetables and the estimated FRAP value offered by each vegetable in 2006.

人口數：22740012 人

蔬菜類別	95 年國內供給量 (公噸)	每天每人 供給量 (g)	供給量占 各類別之 百分比(%)	抗氧化力 ($\mu\text{mol FeSO}_4/\text{g f.w.}$)	每天每人 抗氧化力供給量 ($\mu\text{mol FeSO}_4$)	抗氧化力數據來源
葉菜類	945777	113.9	100.0			
甘藍	355079	42.8	37.5	1.0	42.8	
大芥菜	53949	6.5	5.7	-	-	
結球白菜	143368	17.3	15.2	1.7	29.4	葉菜類 ($5.7\mu\text{mol FeSO}_4/\text{g f.w.}$)
不結球白菜	82256	9.9	8.7	5.3	52.5	包心白菜與翠玉白菜平均
蕹菜	47963	5.8	5.1	2.9	16.8	小白菜、油菜與青梗白菜平均
芹菜	40933	4.9	4.3	2.7	13.3	
其他	222229	26.8	23.5	-	-	葉菜類 ($5.7\mu\text{mol FeSO}_4/\text{g f.w.}$)
根菜類	252384	30.4	100.0			
蘿蔔	116416	14.0	46.1	2.1	29.5	
胡蘿蔔	89966	10.8	35.6	1.4	15.2	
其他	46002	5.5	18.2	-	-	根莖類 ($4.4\mu\text{mol FeSO}_4/\text{g f.w.}$)
莖菜類	1165268	140.4	100.0			
薑	28989	3.5	2.5	15.4	53.8	老薑與嫩薑平均
芋	42497	5.1	3.6	3.7	18.9	
葱	109358	13.2	9.4	5.1	67.2	
蔥頭	28588	3.4	2.5	-	-	根莖類 ($4.4\mu\text{mol FeSO}_4/\text{g f.w.}$)
洋蔥	84409	10.2	7.2	2.9	29.5	
韭菜	39521	4.8	3.4	5.9	28.1	
蒜	26988	3.3	2.3	-	-	根莖類 ($4.4\mu\text{mol FeSO}_4/\text{g f.w.}$)
蒜頭	44875	5.4	3.9	1.8	9.7	
莢薺	2477	0.3	0.2	2.0	0.6	
竹筍	327901	39.5	28.1	0.7	29.2	麻竹筍、孟宗筍與綠竹筍平均
蘆筍	13492	1.6	1.2	3.9	6.3	
茭白	46256	5.6	4.0	1.3	7.2	
馬鈴薯	294891	35.5	25.3	1.6	56.8	
其他	75027	9.0	6.4	-	-	根莖類 ($4.4\mu\text{mol FeSO}_4/\text{g f.w.}$)
花果菜類	779616	93.9	100.0			
花椰菜	94325	11.4	12.1	3.4	38.6	
金針菜	720	0.1	0.1	-	-	花菜類 ($3.4\mu\text{mol FeSO}_4/\text{g f.w.}$)
越瓜	7445	0.9	1.0	-	-	瓜果類 ($1.6\mu\text{mol FeSO}_4/\text{g f.w.}$)
胡瓜	56505	6.8	7.2	0.6	4.1	
冬瓜	38809	4.7	5.0	-	-	瓜果類 ($1.6\mu\text{mol FeSO}_4/\text{g f.w.}$)
苦瓜	35806	4.3	4.6	2.9	12.5	
南瓜	23781	2.9	3.1	-	-	瓜果類 ($1.6\mu\text{mol FeSO}_4/\text{g f.w.}$)
茄子	32421	3.9	4.2	3.9	15.2	長形茄子與卵形茄子平均
番茄	127956	15.4	16.4	3.1	47.8	小果番茄與二種中果番茄平均
番椒	33614	4.0	4.3	13.5	54.7	八種番椒平均
菜豆	72662	8.8	9.3	1.3	11.4	
豌豆	7811	0.9	1.0	4.6	4.3	英豌豆與甜豌豆平均
毛豆	31052	3.7	4.0	-	-	莢果類 ($5.3\mu\text{mol FeSO}_4/\text{g f.w.}$)
落花生	80241	9.7	10.3	5.7	55.1	
其他	136469	16.4	17.5	-	-	花果菜類 ($6.3\mu\text{mol FeSO}_4/\text{g f.w.}$)
菇類	36154	4.4	100.0			
洋菇	6183	0.7	17.1	-	-	
香菇	4594	0.6	12.7	-	-	
其他	25377	3.1	70.2	-	-	
合計	3,179,199	383.0				

第四章 台灣蔬菜總酚類含量之研究

一、前言

酚類化合物 (phenolic compounds, 簡稱酚類phenolics) 是蔬果所含重要的抗氧化物質。酚類的種類繁多，其中酚酸 (phenolic acids) 與類黃酮 (flavonoids) 是飲食中主要的酚類化合物 (Balasundram et al., 2006)。這些物質具有不同的抗氧化能力，能夠去除自由基、提供氫原子或電子，還有螯合金屬離子的能力 (Sroka and Cisowski, 2003 ; Gabrielia et al., 2005)；抗氧化力的高低與化學結構有關係，如-OH 官能基的數目與位置的影響而有所不同 (Rice-Evans et al., 1996 ; Heim et al., 2002)。為了瞭解蔬果中這些複雜成分的含量或抗氧化力，除了各別成分定性定量的分析，同時也需要有評估整體含量或抗氧化力的分析工具。福林酚試劑 (Folin-Ciocalteu reagent) 是一特別針對酚類，分析其還原力 (抗氧化力) 的氧化試劑 (phenol-oxidizing reagent)，此方法可以評估樣品所含所有酚類的抗氧化力，可表示為總酚類的含量，以酚類標準品作為單位，如沒食子酸 (gallic acid)、阿魏酸 (ferulic acid) 或兒茶酚 (catechol) 等 (Chu et al., 2002 ; Kaur and Kapoor, 2002 ; Katalinic et al., 2006)。其分析原理是酚類物質 (或抗氧化物) 在鹼性的環境下，會將磷鉬鎢酸試劑 (molybdate tungstate reagent) 中六價的鉬離子還原成五價，顏色由黃色變為藍色，顏色越深代表樣品所含酚類物質 (或抗氧化物) 的還原能力越強，同時也表示總酚類的含量越多。Singleton 和 Rossi (1965) 建立此分析方法的試驗條件與步驟，並建議改良試劑使用磷鉬鎢酸異型的聚負離子溶液 (molybdate tungstate phosphoric heteropolyanion reagent)：



該溶液與酚類反應明確且穩定，在765nm波長下有最大吸光值。Singleton 和 Rossi (1965) 所建立的試劑成分及試驗方法被廣泛應用於各種蔬果或植物材料總酚類含量的分析上 (Kähkönen et al., 1999 ; Kaur and Kapoor, 2002 ; Huang et al., 2007) (附表4.1)；然而，各研究者使用的試驗條件仍有許多不同，目前總酚類含量的分

析方法也尚未標準化。

使用微量盤光譜分析儀分析總酚類含量，其操作的時間可以較短於使用典型光譜分析儀分析，根據本研究所整理的35篇分析總酚類含量的研究報告，有6篇使用微量盤光譜分析儀進行分析 (Chu et al., Dewanto et al., 2002; Javanmardi et al., 2003; Tang et al., Yang et al., 2004; Sun et al., 2007)。不過由使用者的研究報告中「材料與方法」可知，其反應呈色的操作流程是在試管中進行，而非直接在微量反應盤中進行。若直接在微量反應盤中進行呈色反應，操作步驟將更簡化與快速，反應試劑也更節省，然而未有研究報告使用或是比較兩者差異。

為了利用微量盤光譜分析儀建立總酚類含量快速分析系統，本試驗將以光譜分析儀‘波長掃瞄’模式，分析 $1000 \mu\text{g/mL}$ 沒食子酸標準溶液反應呈色後500-900nm波長的吸收光譜，瞭解各波長下分析總酚類含量的吸光值特性，以及比較標準溶液不同吸收波長下的標準曲線，同時也探討標準溶液長時間保存是否影響反應呈色的吸光值。本研究也將試驗比較三種操作條件下分析總酚類含量的結果：1) 以光譜分析儀分析，樣品溶液先於試管中進行呈色反應，再各別移入比色管量測吸光值；2) 以微量盤光譜分析儀分析，樣品溶液在試管中進行呈色反應，再移入微量盤量測吸光值；3) 以微量盤光譜分析儀分析，但是直接樣品在微量盤中進行呈色反應，然後再量測吸光值。另外，本試驗分析台灣各種蔬菜的總酚類含量（或總酚類的抗氧化力），並與FRAP分析結果進行迴歸分析，試圖瞭解在各類蔬菜中酚類與抗氧化力的關係。

二、材料與方法

(一) 化學藥品

丙酮（液相層析-光譜分析級）(ChromAR[®]) 購自於Mallinckrodt Baker, Inc. (Phillipsburg, NJ, USA)。福林酚試劑 (Folin-Ciocalteu reagent) 購自於 Fluka (Buchs, Switzerland)。無水碳酸鈉購自於Wako Pure Chemical Industries Ltd. (Osaka, Japan)。沒食子酸 (gallic acid) 購自於Sigma-aldrich (St. Louis, MO, USA)。

(二) 蔬菜取樣與樣品製備

台灣79種蔬菜樣品的取樣來源有台北農產運銷公司果菜批發市場、雲林西螺漢光果菜生產合作社、台灣主婦聯盟生活消費合作社及台北水源市場（附表3.2）。每種蔬菜多次取樣，蔬菜樣品的狀態與部位的選取如附表3.3。切取新鮮蔬菜一般食用部位，混合完整或等分的蔬菜個體3個以上，再將蔬菜切碎，經液態氮冷凍，暫時保存於-80°C。蔬菜冷凍乾燥後，將乾製蔬菜以高速粉碎機 (RT-02B, 榮聰精密科技，台灣) 磨成粉末，以封口袋包裝，暫時保存於-20°C，待分析總酚類含量。

(三) 樣品萃取

萃取方法是參照 Zhou 和 Yu (2006) 的研究。取 0.2g 蔬菜粉末與 10mL 50% 丙酮混合。萃取液充分震盪混合，室溫下放置 15 小時。取 1mL 萃取液進行離心 (10000g, 5 分鐘，室溫)，取 0.75mL 上清液，裝入新離心管中，待分析總酚類含量。

(四) 總酚類含量分析

以福林酚試劑 (Folin-Ciocalteu reagent) 進行 79 種蔬菜總酚類含量的分析。於 96 孔微量反應盤每孔穴注入 150 μ L 逆滲透去離子水，再將 2.5 μ L 的樣品萃取液及沒食子酸標準溶液 (0-1000 μ g/mL) 分別注入，之後以八爪的微量分注器於每孔穴加入 12.5 μ L 福林酚試劑，1 分鐘後再加入 37.5 μ L 的 20% 碳酸鈉溶液，常溫下反應 2 小時。以微量盤光譜分析儀量測各樣品 665nm 吸光值。（由於本實驗室 Anthos 2010 微量盤光譜分析儀 (Anthos, Austria)，只有 20 個控制波長的濾鏡

(filter)，限制了吸光值波長的選擇，所以選用最接近原作者 Singleton 和 Rossi (1965) 所提出的吸光值波長 (765nm) – 665nm 來分析總酚類含量。)

總酚類含量的單位以 $\mu\text{mol gallic acid equivalents (GAE) /g dry weight (d.w.)}$ 來表示。每一樣品分析重複 3 次，數據取平均值。總酚類含量計算公式如下：

$$\text{總酚類含量} (\mu\text{mol GAE/g d.w.}) = \frac{(\text{吸光值} - \text{標準曲線截距})}{\text{標準曲線斜率}} \times \text{萃取液體積 (mL)} \div \text{蔬菜重量 (g)} \div \text{沒食子酸分子量}$$

（五）不同操作條件的總酚類含量分析

1. 試管中反應，以光譜分析儀分析

在每一個反應試管中，各注入 3mL 逆滲透去離子水，將 50 μL 的皺葉萐蘆萃取液及沒食子酸標準溶液 (0-1000 $\mu\text{g/mL}$) 分別注入，再分別加入 250 μL 福林酚試劑，1 分鐘後再加入 750 μL 的 20% 碳酸鈉溶液，常溫下反應 2 小時，以光譜分析儀 (U-2001, HITACHI) 量測各樣品 765nm 及 665nm 的吸光值。

2. 試管中反應，以微量盤光譜分析儀分析

在每一個反應試管中，各注入 3mL 逆滲透去離子水，將 50 μL 的皺葉萐蘆萃取液及沒食子酸標準溶液 (0-1000 $\mu\text{g/mL}$) 分別注入，再分別加入 250 μL 福林酚試劑，1 分鐘後再加入 750 μL 的 20% 碳酸鈉溶液，常溫下反應 2 小時。將試管中反應後的各樣品移入 96 孔盤中，以微量盤光譜分析儀 (Anthos 2010) 量測各樣品 665nm 的吸光值。

3. 微量盤中反應，以微量盤光譜分析儀分析

在 96 孔微量反應盤的每孔穴注入 150 μL 逆滲透去離子水，再將 2.5 μL 的皺葉萐蘆萃取液及沒食子酸標準溶液 (0-1000 $\mu\text{g/mL}$) 分別注入，之後再以八爪的微量分注器在每一個反應位置加入 12.5 μL 福林酚試劑，1 分鐘後再加入 37.5 μL 的 20% 碳酸鈉溶液，常溫下反應 2 小時。以微量盤光譜分析儀量測各樣品 665nm 吸光值。

（六）標準溶液保存性試驗

以沒食子酸溶液作為分析總酚類含量的標準品。三份新的標準品母液，試驗當天配製，分別為標準品A、B、C，濃度皆為 $1000 \mu\text{g/mL}$ ；舊的標準品母液放於常溫，超過1個月，為標準品D，濃度為 $1000 \mu\text{g/mL}$ 。4份新舊標準品母液各別配製出濃度 1000 、 500 、 $100 \mu\text{g/mL}$ 的標準品。以微量盤光譜分析儀分析各標準品反應2小時後的 665nm 吸光值，求得各標準品總酚類含量之標準曲線方程式。

（七）資料分析

蔬菜樣品取樣次數大於3，總酚類含量數據以平均數±標準偏差（SD）表示，以單位乾重及單位鮮重表示。平均的單位鮮重總酚類含量，是由單位乾重的總酚類含量分析結果，經各樣品的乾溼比換算後再平均得之。各種蔬菜科別、供食用部位、外觀顏色、中醫四氣性質對蔬菜總酚類含量的變異數分析，是利用CoStat6.1統計軟體進行分析，並以Student-Newman-Keuls方法檢定各組平均總酚類含量的差異顯著性。蔬菜抗氧化力與單位鮮重總酚類含量的迴歸分析是使用Excel 2000軟體進行，分析的蔬菜種類78種（紅紫蘇未分析FRAP），取樣1至5次，共139個樣品，蔬菜的抗氧化力數據是使用第三章FRAP分析的結果。

三、結果與討論

(一) 總酚類含量分析方法的建立

1. 福林酚試劑反應呈色之吸光特性

本試驗以光譜分析儀‘波長掃描’模式，分析沒食子酸溶液標準品經福林酚試劑反應呈色後的吸收光譜，結果得知在742-753nm波長下有最大吸光值(圖4.1)。大部份前人研究皆依據 Singleton 和 Rossi (1965) 所提出的765nm波長進行實驗 (Kähkönen et al., 1999; Huang et al., 2007)(附表4.1)，不過也有研究者使用530nm至765nm範圍的波長。由本試驗二吸光值波長—765nm與665nm—分析總酚類含量的結果(表4.1)可知，不同吸光值波長會影響所量測樣品與標準品溶液的吸光值，但不會影響樣品濃度對應到的標準品濃度，因此不同波長一樣測得相同的總酚類含量。

2. 不同分析儀器與操作步驟的比較

微量盤光譜分析儀(Anthos 2010)與典型的光譜分析儀(U-2001, HITACHI)兩種儀器進行總酚類含量分析的設定與結果如表4.1。結果顯示兩儀器分析的皹葉萐蔥總酚類含量有相同的結果，統計分析無顯著差異。試驗得知使用不同光譜分析儀及不同吸光值波長(765nm與665nm)，不影響分析總酚類含量的結果。然而，兩種儀器進行分析所得到的標準曲線方程式不一樣，以微量盤光譜分析儀來說，665nm波長下測定1000 $\mu\text{g/mL}$ 的標準品反應後的吸光值約為0.78 ($y=0.00078x$)，而典型的光譜分析儀765nm與665nm波長下測定的吸光值則分別約為1.42與1.31 ($y=0.00142x$ 與 $y=0.00131x$)。兩儀器分析結果的差異，來自於測光光徑長度的不同，微量盤注入的溶液高度約為6mm，比色管光徑長度則為10mm。根據朗伯-比爾(Lambert-Beer)定律，吸光值與光徑長度呈正比，因此微量盤分析之吸光值將約為比色管分析吸光值的6/10，即665nm波長下以比色管測定1.31，微量盤測定則為 $1.31 \times 6/10 = 0.786$ ，與實際微量盤量測結果相同(表4.1、4.2)。在實驗操作時間方面，使用微量盤光譜分析儀分析的時間比典型的光譜分析儀分析的時間短。

以一個96孔盤的最大分析量為例，扣除空白組與標準溶液的反應位置，剩下的84孔可分析42個樣品，每樣品2重複。溶液在試管中反應2小時後，要將42個樣品與標準溶液各別注入微量盤中，再進行儀器分析，操作時間約20分鐘，所以微量盤光譜分析儀分析42個樣品總酚類含量，30分鐘內即可完成；而使用典型的光譜分析儀，溶液在試管中反應2小時之後，42個樣品與標準溶液共須要進行96次吸光值測定，所以典型的光譜分析儀分析42個樣品總酚類含量所花時間約3小時（1個樣品操作約2分鐘）。

「在試管中進行呈色反應」與「在微量盤中進行呈色反應」二種操作條件下分析總酚類含量的結果如表4.1，兩種分析步驟的皺葉萬苣總酚類含量有相同的結果，統計分析無顯著差異。試驗得知，在微量盤中直接進行呈色反應，不會影響分析總酚類含量的結果，即使反應溶液體積減少為原來的1/20。「在微量盤中進行呈色反應」的方法，操作時間比「在試管中進行呈色反應」的方法短，可省去溶液移入微量盤的時間以及減短溶液混合的時間（表4.1），由於在微量盤中注入試劑可用八爪的微量分注器進行，因此增加實驗的效率。「在微量盤中進行呈色反應」的方法，試劑與藥品的用量比「在試管中進行呈色反應」的方法少，以本試驗兩種操作步驟為例，「在微量盤中進行呈色反應」的反應溶液體積是「在試管中進行呈色反應」溶液體積的1/20，結果表示本試驗將一般操作步驟做調整後可至少省下20倍的試劑與藥品用量。

3. 總酚類含量的標準曲線與標準溶液的保存性

四份新舊標準品反應呈色的吸光值特性（標準曲線方程式）如表4.2。結果顯示當天新配製的標準品（標準品A、B、C）之標準曲線斜率皆為0.00078，即1000 $\mu\text{g/mL}$ 的標準溶液反應後測定的吸光值約為0.78，而經保存的標準品D之標準曲線斜率則為0.00068，其所測得的吸光值已顯著低於同濃度新配製的標準品吸光值。此結果得知沒食子酸標準品母液不宜久放保存，分析前重新配製為最佳。另外，試驗結果也可提供一確認標準品或儀器正常無誤的指標—標準曲線斜率0.00078。

然而，因吸光值受量測波長與光徑長度的影響，所以此指標僅可應用於665nm波長與本試驗操作步驟分析的結果。各研究者可建立出自身實驗條件下的確認指標，以此增加分析結果的重現性，讓量測的數據更有可信度。



表4.1、三種操作步驟進行總酚類含量分析的條件與結果

Table 4.1 Condition and result of FRAP measured by three procedure.

	試管中反應， 以光譜分析儀分析	試管中反應， 以微量盤光譜分析儀分析	微量盤中反應， 以微量盤光譜分析儀分析
樣品乾重	0.20g	0.20g	0.20g
定量樣品體積	10mL	10mL	10mL
光譜設定	765nm	665nm	665nm
溶液反應時間	2 hour	2 hour	2 hour
溶液反應位置	試管中	試管中	微量盤中
溶液反應溫度	室溫	室溫	室溫
溶液反應體積	4050 μ L	4050 μ L	202.5 μ L
標準品濃度	0-1000 μ g/mL	0-1000 μ g/mL	0-1000 μ g/mL
標準曲線斜率	0.00142 ($R^2=1.0000$)	0.00078 ($R^2=0.9987$)	0.00078 ($R^2=0.9999$)
皺葉萬芷總酚類含量 (μ mol GAE/g d.w.)	91.99±0.47	98.75±3.29	92.70±1.12
AVOVA	n.s. ($P=0.10$)		
實驗操作時間	配製藥品時間 + 溶液混合時間 + 反應時間 + 分析時間 (樣品數×重複數)	配製藥品時間 + 溶液混合時間 + 反應時間 + 移入微量盤時間 + 分析時間	配製藥品時間 + 溶液混合時間 + 反應時間 + 分析時間

※ 總酚類含量以平均數±標準誤差 (SE) 表示

表 4.2、沒食子酸標準品的總酚類含量標準曲線方程式

Table 4.2 Equations of standard calibration of gallic acid reacting with the Folin-Ciocalteu reagent.

	標準曲線方程式
標準品 A	$y = 0.000781x - 0.012$
標準品 B	$y = 0.000780x - 0.006$
標準品 C	$y = 0.000771x + 0.000$
標準品 D	$y = 0.000676x + 0.000$

※ y : 665nm 之吸光值， x : 標準品濃度 ($\mu\text{g/mL}$)

※ 各組沒食子酸標準品濃度皆為 1000 、 500 、 100 $\mu\text{g/mL}$ 。

※ 標準品 A 、 B 、 C 為試驗當天現配三份的標準品母液， D 為保存超過 1 個月的母液。

※ 各迴歸分析之決定係數 (R^2) 介於 0.9994~1.0000 。



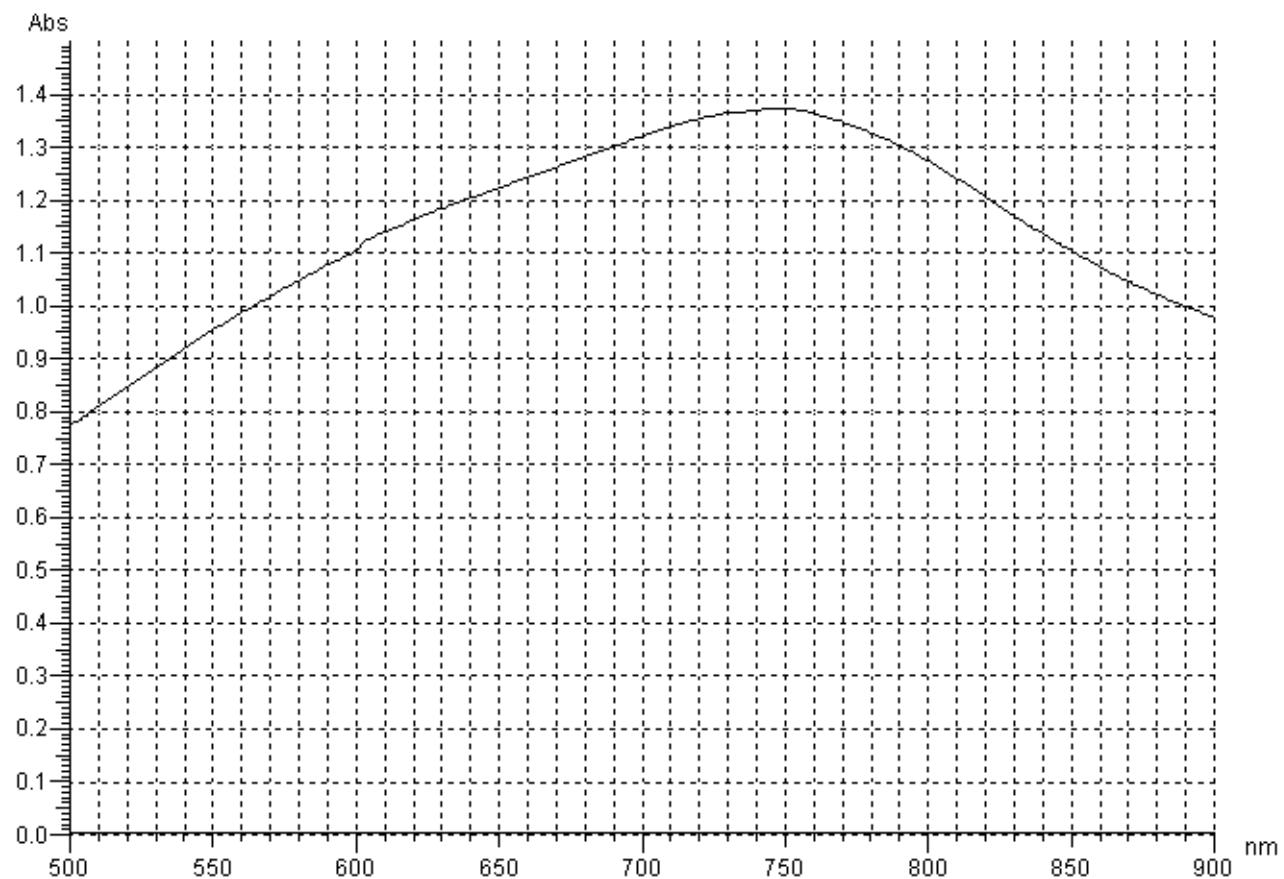


圖 4.1、 $1000 \mu\text{g/mL}$ 没食子酸標準溶液經福林酚試劑反應呈色之吸收光譜

Fig 4.1 Absorption spectrum of $1000 \mu\text{g/mL}$ gallic acid reacting with the Folin-Ciocalteu reagent.

（二）台灣蔬菜總酚類含量的研究

1. 各種蔬菜總酚類含量的分析

台灣79種蔬菜總酚類含量的分析結果如表4.3、圖4.2，結果顯示蔬菜種類間的總酚類含量差異大，受測蔬菜的平均單位乾重總酚類含量介於 $6.39\sim334.86\mu\text{mol GAE/g d.w.}$ ，總平均總酚類含量為 $65.10\mu\text{mol GAE/g d.w.}$ 。本試驗分析的總酚類含量也換算為每單位鮮重的含量表示之，平均單位鮮重總酚類含量介於 $0.69\sim47.72\mu\text{mol GAE/g f.w.}$ ，總平均總酚類含量為 $5.95\mu\text{mol GAE/g f.w.}$ 。本試驗分析蔬菜總酚類含量的範圍與前人研究相似(Chu et al., 2002; Zhou and Yu, 2006)。Chu等(2002)分析10種蔬菜的總酚類含量，其結果介於 $0.20\sim1.02\text{ mg GAE/g f.w.}$ (等同於 $1.18\sim6.00\mu\text{mol GAE/g f.w.}$)。而Zhou 和Yu (2006)分析8種蔬菜，38件樣品的總酚類含量，受測蔬菜的平均單位乾重總酚類含量介於 $0.8\sim18.8\text{ mg GAE/g d.w.}$ (等同於 $4.7\sim110.5\mu\text{mol GAE/g d.w.}$)。由於總酚類含量(或是抗氧化力)的分析是測得抗氧化物每一分子提供還原力的總和，所以用單位標準品莫耳數做為單位，相較於用單位標準品克數為單位要來得有意義。

台灣蔬菜中，單位鮮重總酚類含量較高者($>10\mu\text{mol GAE/g f.w.}$)有紅紫蘇、羅勒(九層塔)、甘藷葉、短錐形紅辣椒、黃秋葵、蓮藕、豌豆嫩梢、黑皮長豇豆、過溝菜蕨(過貓)等，而瓜類蔬菜、竹筍類、蘿蔔、莢薺、茭白及西洋芹等，是總酚類含量偏低的蔬菜。本試驗也分析有別於西方國家飲食的台灣本土蔬菜及興新蔬菜，當中有許多具發展潛力；如長豇豆(台語俗稱的菜豆)、甘藷葉、蓮藕、豌豆嫩梢、過溝菜蕨、黃秋葵、紅鳳菜與落葵(俗稱皇宮菜)等，都是值得重視且進一步研究保健功能的蔬菜。根據蔬菜的用途分類，可看出調味品蔬菜有較高的總酚類含量，如羅勒(九層塔)、芫荽(香菜)、辣椒、薑、大蒜。這些較高總酚類含量的蔬菜是適合作為未來研究建立營養基因體學平台的重要材料。

分析總酚類含量的方法，雖然大多是利用福林酚試劑，但是分析所得的數據仍然不易互相比較。有幾項主要原因：1) 標準品不一致；2) 萃取溶劑有差異；3) 單位計算方式不同。標準品不一致，數據不易比較。蔬果中所含酚類種類繁多，

所以分析總酚類含量時，會以某一參照酚類作為標準。一般參照酚類選用酚酸或是類黃酮，如沒食子酸 (gallic acid) (Kähkönen et al., 1999 ; Chu et al., 2002 ; Shan et al., 2005 ; Zhou and Yu, 2006)、阿魏酸 (ferulic acid) (Ismail et al., 2004 ; Katalinic et al., 2006)、綠原酸 (chlorogenic acid) (Racchi et al. 2002 ; Kevers et al., 2007)、咖啡酸 (caffeic acid) (Ninfali and Bacchicocca, 2003 ; Ninfali et al. 2005)、單寧酸 (Tannic acid) (Oboh, 2005) 或是槲黃素 (quercetin) (Young et al., 2005)、兒茶素 (catechin) (Vinson et al., 1998)，另外還有屬於單酚類的兒茶酚 (catechol) 也有被使用 (Kaur and Kapoor, 2002)。不同種類的酚類有各自不同的還原能力 (抗氧化力) (Singleton and Rossi, 1965 ; Rice-Evans et al., 1996 ; Stratil et al., 2006)，因此不同的酚類作為標準品，所測得相同樣品的總酚類含量會不一樣。

萃取溶劑有差異，所測得的總酚類含量也不易互相比較。酚類的化學性質決定它們的溶解度，而溶解度也受溶劑極性的影響 (Zhou and Yu, 2004 ; Xu and Chang, 2007)。由於各種酚類的化學性質不同，加上酚類可能與糖類或蛋白質結合，要建立一完整萃取植物酚類的方法相當困難 (Naczk and Shahidi, 2006)。Zhou 和 Yu (2004) 用4種溶劑萃取小麥麩 (wheat bran) 的總酚類含量，以50%丙酮萃取的總酚類含量最高，70%乙醇與70%甲醇次之，100%乙醇萃取的總酚類含量最低。Xu 和 Chang (2007) 用6種溶劑萃取8種豆類的總酚類含量。無鮮艷顏色的4種豆類 (green pea、yellow pea、chickpea、yellow soybean) 各萃取效果大致為：50%丙酮 $>$ 70%乙醇、70%甲醇 $>$ 酸化的70%丙酮、80%丙酮 $>$ 100%乙醇，各溶劑差異不大；另外4種顏色鮮艷的豆類 (black bean、black soybean、lentil、Red kidney) 各萃取效果大致為：酸化的70%丙酮 $>$ 80%丙酮 $>$ 50%丙酮 $>$ 70%乙醇、70%甲醇 $>$ 100%乙醇，其差異明顯。整體來說，50%丙酮萃取的總酚類含量最高，然而酸化的70%丙酮，對富含色素成分的豆類，呈現更佳的萃取效果。結果說明溶劑會影響酚類萃取的效果，而溶劑萃取的效果又隨植物種類而有差異，因此用不同溶劑總酚類含量的數據不易互相比較。

總酚類含量的單位，因樣品不同的處理過程而有所差異，而單位計算方式的

不同會使量測的數據不易互相比較。單位的表示分別有單位鮮重 (Kaur and Kapoor, 2002 ; Ninfali et al. 2005 ; Podsedek et al., 2006 ; Kevers et al., 2007) 、單位乾重 (Kähkönen et al., 1999 ; Young et al., 2005 ; Huang et al., 2007) 、單位萃取物重 (Ismail et al., 2004 ; Li et al., 2006 ; Sultana et al., 2008) 或是單位均質液體積 (Roy et al. 2007)。若實驗結果沒有提供樣品乾溼比或水分含量、萃取率以及均質液的體積，上述研究的總酚類含量數據是無法直接比較的。單位鮮重所表示的是樣品原始狀態的單位重量，所以測得的數值可用來瞭解實際攝取該樣品所得到的總酚類含量或抗氧化力。單位乾重所表示的是樣品無水分狀態的單位重量，其測得的數值可在排除水分含量的變因下，比較樣品所含總酚類含量或抗氧化力的高低。單位萃取物重所表示的是樣品經萃取乾燥取得特定成分的單位重量，其測得的數值是代表樣品中萃取物或特定成分的總酚類含量或抗氧化力，但無法直接得知該樣品所含總酚類含量或抗氧化力的高低。單位均質液體積可以用來表示液態樣品所含的總酚類含量或抗氧化力，如茶、咖啡或果汁。若將固態樣品均質成汁液以單位均質液體積作為單位，其很難顯示攝取該樣品所得到的總酚類含量或抗氧化力。

雖然不同研究的總酚類含量結果不易互相比較，但分析所得的數據仍然可以討論。在同一個操作系統下的量測結果可以彼此比較，不同植物種類或處理之間的總酚類含量可以進行排序。本試驗排序出台灣各種蔬菜的總酚類含量，可供進一步探討這些食物在體內實際表現的保健機制。

2. 蔬菜各分類與總酚類含量的關係

蔬菜依科別、供食用部位、外觀顏色及中醫四氣性質作分類，各類蔬菜的平均總酚類含量如表4.2。七個蔬菜科別的平均總酚類含量彼此皆無顯著差異 (表4.2A)。由於同科蔬菜抗氧化力變異很大，所以各科蔬菜平均總酚類含量差別雖然很大，但統計上難呈現顯著的差異。在排序上，各科蔬菜的總酚類含量與FRAP的結果不一樣，豆科為總酚類含量最高的科別，茄科排序變為第二。由此可以推論豆科蔬菜抗氧化力由酚類物質貢獻的比例可能高於茄科蔬菜，但也不排除總酚類分析的50%丙酮萃取方法相較於FRAP 分析的100%甲醇萃取方法，能更有效的萃

取出豆科蔬菜的抗氧化物。供食用部位方面，六種蔬菜類別平均總酚類含量統計上無顯著差異 (4.2B)。在排序上，總酚類含量最高的類別為葉菜類，在FRAP排序第一的茄果類在總酚類含量的排序變為第三，而瓜果類總酚類含量排序一樣是分類類別中最後一名。

總酚類含量的分析結果同樣將蔬菜樣品分為深色鮮艷、濃綠、淡色或白色等三類，結果得知平均抗氧化力的排序：深色鮮艷蔬菜 ($9.1 \mu\text{mol GAE/g f.w.}$) > 濃綠蔬菜 ($6.4 \mu\text{mol GAE/g f.w.}$) > 淡色或白色蔬菜 ($3.2 \mu\text{mol GAE/g f.w.}$)，彼此有顯著差異 (表4.2C)，蔬菜外觀顏色也可作為區別其總酚類含量高低的指標。蔬菜的中醫四氣性質 (寒、涼、溫、熱) 與其總酚類含量的高低有明顯的相關性。各組蔬菜平均總酚類含量由高到低的排序為：溫熱蔬菜 ($9.6 \mu\text{mol GAE/g f.w.}$)、平性蔬菜 ($5.5 \mu\text{mol GAE/g f.w.}$)、寒涼蔬菜 ($4.1 \mu\text{mol GAE/g f.w.}$)。其中，21種溫熱蔬菜與22種平性蔬菜、34種寒涼蔬菜平均總酚類含量有顯著差異 (表4.2D)。

3. 蔬菜抗氧化力與總酚類含量的關係

七十八種蔬菜，共139個樣品，其單位鮮重的抗氧化力與換算後單位鮮重的總酚類含量，兩者有正相關 ($R=0.68$, $p<0.001$)，決定係數 (R^2) 為0.46 (圖4.3)。此結果可以得知蔬菜的總抗氧化力除了總酚類含量，還有其他的成分提供。許多研究顯示蔬果的抗氧化力與總酚類含量有顯著的正相關性 (梁佑慎, 1995; Kaur and Kapoor; Chu et al.; Proteggente et al., 2002)。Kaur 和 Kapoor (2002) 分析36種蔬菜的抗氧化力 (利用 β -carotene 退色法) 與總酚類含量，迴歸分析結果指出兩者有顯著的正相關性，決定係數為0.6578 ($P < 0.05$)。Chu等 (2002) 分析10種蔬菜的抗氧化力 (TOSC分析法) 與游離態之酚類含量的相關性，結果也呈現正相關 ($R^2 = 0.57$)。梁佑慎 (1995) 針對台灣32種市售蔬菜分析抗氧化力 (TEAC) 與總酚類含量，顯示兩者有顯著的正相關性，決定係數為0.779 ($P < 0.001$)。Proteggente 等 (2002) 分析17種蔬果的3種抗氧化力 (FRAP、ORAC、TEAC分析法) 與總酚類含量，抗氧化力與總酚類含量的決定係數皆在0.8以上。由以上結果可以得知酚類是提供蔬果抗氧化力主要的物質，且總酚類含量的分析亦可作為評估蔬果抗氧

化力的方法 (Huang et al., 2007; Stratil et al., 2006; Zhou and Yu, 2006)。

若針對不同類蔬菜進行抗氧化力與總酚類含量的迴歸分析 (圖4.4-4.8)，可以發現豆科、瓜果類及茄科等蔬菜有高決定係數 (R^2 分別為0.91、0.88及0.80)，十字花科與菊科蔬菜決定係數則不高 (R^2 分別為0.23及0.28)。結果表示豆科、瓜果類及茄科等蔬菜，其總酚類含量與總抗氧化力相關性很高，其抗氧化力可能主要由酚類化合物所提供之。而其它類蔬菜決定係數低，可能是抗氧化成分歧異度較大的關係。本研究結合FRAP與總酚類含量分析的結果，能夠獲知酚類化合物貢獻該群植物材料抗氧化力的程度，兩個分析方法的結合可以作為一分析工具，預先判斷植物材料主要抗氧化物質的性質。

本試驗分析FRAP與總酚類含量所使用的萃取溶劑不同，隨著蔬菜成分的不同，溶解度也會跟著改變，因此這樣的差異可能會降低FRAP與總酚類含量兩者的相關性。若使用相同溶劑進行萃取，試驗將更可以得知分析FRAP與總酚類含量結果的差異是單純受兩種量測方法不同的影響，而非包括萃取溶劑的不同。



表 4.3、台灣各種蔬菜單位乾重及鮮重總酚類含量

Table 4.3 Total phenolic content of vegetables based on dry and fresh weight.

蔬菜名稱 / 品系或特徵	取樣 次數	乾溼比 (%)	單位乾重 總酚類含量 ($\mu\text{mol GAE/g d.w.}$)	換算後單位鮮重 總酚類含量 ($\mu\text{mol GAE/g f.w.}$)	蔬菜名稱 / 品系或特徵	取樣 次數	乾溼比 (%)	單位乾重 總酚類含量 ($\mu\text{mol GAE/g d.w.}$)	換算後單位鮮重 總酚類含量 ($\mu\text{mol GAE/g f.w.}$)
葉 菜 類									
紅紫蘇	n=1	14.2	334.86	47.72	辣椒 / 紅色, 短錐形	n=2	26.8	66.41	17.79
羅勒 / 綠莖種 (九層塔)	n=3	9.4	287.41 \pm 63.49	26.73 \pm 9.27	辣椒 / 紅色, 長錐形	n=2	11.9	54.40	8.17
甘藷葉	n=5	11.9	167.50 \pm 20.38	19.11 \pm 4.05	伏見甘長辣椒 (糯米椒)	n=1	10.5	75.65	7.94
羅勒 / 紫莖種	n=2	11.3	155.94	17.65	甜椒 / 紅色, 鐘型	n=2	8.2	85.43	7.01
豌豆嫩梢	n=1	10.8	117.95	12.70	甜椒 / 橙色, 鐘型	n=1	9.1	75.41	6.87
過溝菜蕨 (過貓)	n=3	7.4	148.06 \pm 20.61	11.31 \pm 4.62	甜椒 / 黃色, 鐘型	n=1	8.9	82.00	6.54
紫色甘藍	n=1	8.9	107.07	9.49	青辣椒 / 長錐形	n=1	8.7	49.81	4.35
紅鳳菜	n=3	6.8	105.56 \pm 17.77	7.50 \pm 3.72	青椒	n=2	6.2	60.73	3.75
芫荽 (香菜)	n=1	8.3	81.94	6.78	茄子 / 卵形	n=1	7.4	49.05	3.64
芥藍	n=2	8.1	80.02	6.51	茄子 / 長形, '麻薯長茄'	n=1	6.4	48.43	3.10
落葵 (皇宮菜)	n=2	7.9	79.28	6.21	小果番茄	n=1	6.4	38.96	2.48
豌豆芽	n=1	9.8	54.99	5.38	/ 每顆 15-20g, 紅色, 圓形				
韭菜	n=1	9.1	58.91	5.37	中果番茄	n=1	5.1	36.76	1.87
皺葉萵苣 (廣東 A 菜)	n=1	5.7	92.70	5.25	/ 每顆 70-90g, 紅熟期				
葉萵苣 / 尖葉種 (A 菜)	n=3	5.8	73.82 \pm 19.62	4.49 \pm 2.91	中果番茄	n=1	5.9	29.83	1.75
山芹菜 (鴨兒芹)	n=2	6.8	61.41	4.16	/ 每顆 120-150g, 50% 轉色				
山蘇花	n=2	7.3	54.70	3.98	英 果 類				
菠菜	n=4	6.1	63.56 \pm 2.76	3.85 \pm 0.26	黃秋葵	n=3	10.1	150.99 \pm 7.20	15.30 \pm 1.01
芥菜 / 葍用芥菜 (小芥菜)	n=3	6.0	62.11 \pm 2.35	3.71 \pm 0.43	長豇豆 / 黑皮品系	n=1	9.2	135.09	12.45
蕹菜 (空心菜)	n=2	6.0	62.53	3.57	長豇豆 / 紅皮品系	n=2	8.5	106.58	9.06
青梗白菜	n=3	5.0	67.08 \pm 6.50	3.46 \pm 1.39	豌豆 / 鐵莢品系	n=3	12.1	67.81 \pm 3.16	8.21 \pm 0.70
莧菜 / 紫斑品系	n=1	5.9	58.94	3.46	長豇豆 / 青皮品系	n=2	8.6	70.88	6.02
芹菜 / 本地種	n=4	6.0	54.92 \pm 5.26	3.34 \pm 0.96	菜豆 / '粉豆'	n=1	7.6	51.30	3.90
梨瓜嫩梢 (龍鬚菜)	n=3	7.6	43.52 \pm 1.91	3.32 \pm 0.31	長豇豆 / 白皮品系	n=1	9.0	36.35	3.29
半結球萵苣 (大陸妹)	n=4	4.9	63.91 \pm 13.97	3.10 \pm 1.32	菜豆 (皇帝豆)	n=1	36.4	8.88	3.23
莧菜 / 白莧品系	n=2	5.0	60.91	3.04	豌豆 / 甜豌豆品系	n=2	12.1	21.37	2.60
小白菜	n=3	4.5	65.55 \pm 3.58	2.94 \pm 0.48	菜豆 (四季豆)	n=2	8.7	25.65	2.23
甘藍 (高麗菜)	n=1	6.9	35.46	2.44	根 莖 類				
蕩蕩	n=2	5.0	45.20	2.32	蓮藕	n=2	16.5	83.43	14.25
青蔥	n=3	8.2	27.79 \pm 4.70	2.26 \pm 0.62	芋	n=2	27.8	29.65	8.21
油菜	n=3	4.6	46.01 \pm 0.68	2.12 \pm 0.13	老薑	n=2	6.5	113.46	7.22
芹菜 / 西洋種 (西洋芹)	n=1	5.4	14.67	0.79	大蒜	n=2	36.0	17.73	6.39
翠玉白菜	n=1	3.6	21.79	0.78	嫩薑	n=2	3.3	120.01	3.95
包心白菜	n=1	-	24.22	-	洋蔥	n=2	9.9	29.27	2.90
花 菜 類									
花椰菜	n=1	9.6	65.09	6.27	蘆筍	n=1	7.3	39.31	2.85
青花菜	n=3	10.1	38.96 \pm 3.00	3.92 \pm 0.35	麻竹筍	n=1	7.9	32.82	2.60
韭菜花苔	n=1	10.1	36.88	3.73	馬鈴薯	n=1	21.3	10.73	2.29
瓜 果 類									
野生苦瓜 (山苦瓜)	n=1	7.5	29.62	2.21	綠竹筍	n=1	7.0	28.88	2.02
苦瓜 / 白皮品系	n=1	6.3	32.61	2.05	莧薑	n=1	18.7	6.39	1.20
扁蒲	n=1	4.6	21.25	0.98	茭白 (茭白筍)	n=1	7.5	15.50	1.17
花胡瓜 (小黃瓜)	n=2	4.8	15.77	0.74	孟宗竹筍 (冬筍)	n=1	2.8	35.97	1.01
圓筒絲瓜 / 短筒種	n=1	6.6	10.45	0.69	蘿蔔	n=1	4.3	17.48	0.75

※ 當樣品取樣次數大於 3，數據以平均數 \pm 標準偏差 (SD) 表示。

表 4.4、各群蔬菜平均總酚類含量

Table 4.4 Average of total phenolic content in different categories of vegetables.

各分類	平均總酚類含量 ($\mu\text{mol GAE/g f.w.}$)
A. 科別	
豆科 (n=11)	6.3
茄科 (n=14)	5.5
菊科 (n=5)	4.5
蔥科 (n=5)	4.1
十字花科 (n=11)	3.9
繖形花科 (n=4)	3.8
葫蘆科 (n=6)	1.7
B. 供食用部位	
葉菜類 (n=33)	7.4
莢果類 (n=10)	6.6
茄果類 (n=13)	5.8
花菜類 (n=15)	4.6
根莖類 (n=3)	4.1
瓜果類 (n=6)	1.3
C. 外觀顏色	
深色鮮艷 (n=17)	9.1 a
濃綠 (n=36)	6.4 ab
淡色或白色 (n=25)	3.2 b
D. 四氣性質	
溫熱蔬菜 (n=21)	9.6 a
平性蔬菜 (n=22)	5.5 b
寒涼蔬菜 (n=34)	4.1 b

※ n 為蔬菜種類數。顯著水準 $p=0.05$

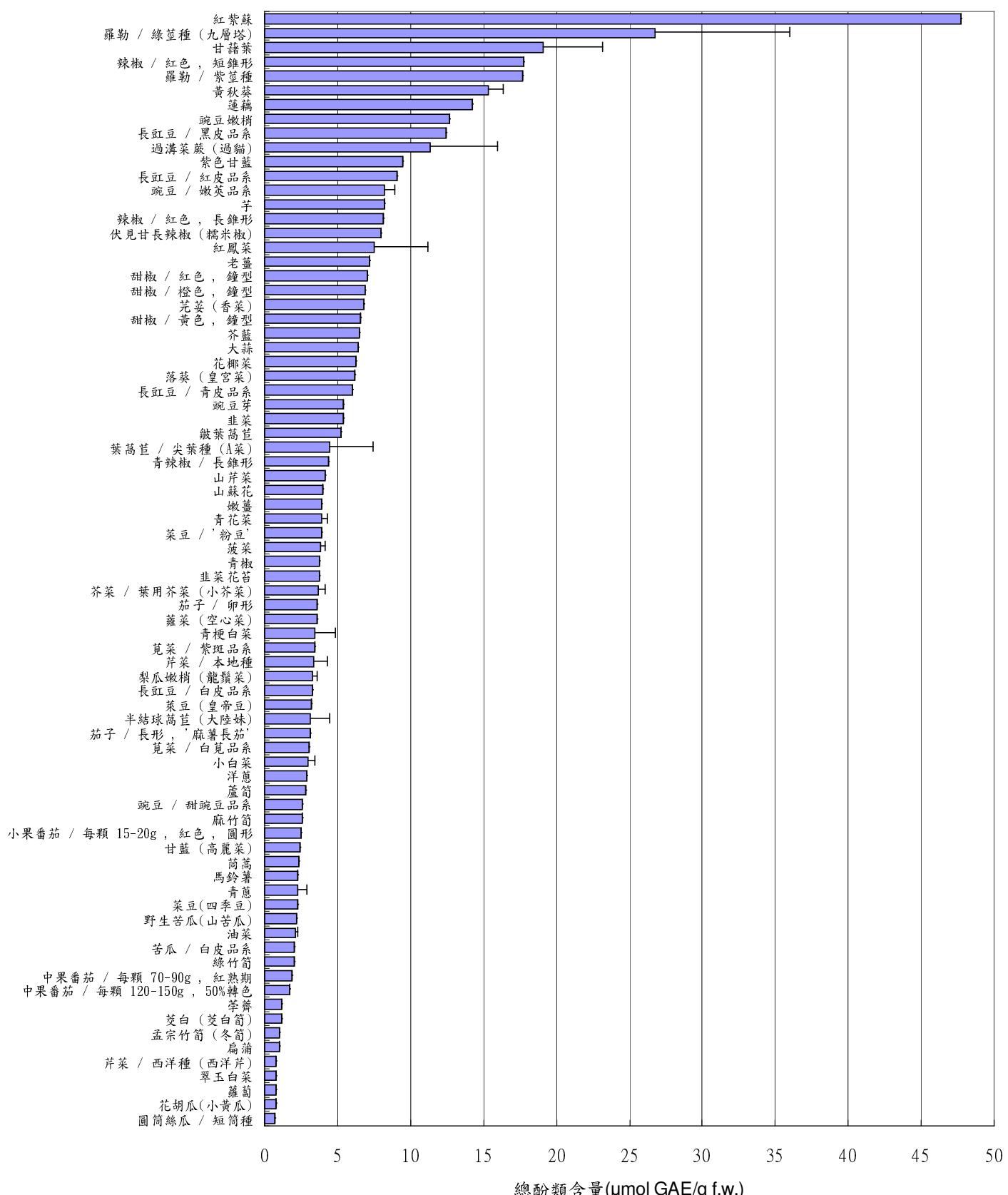


圖 4.2、七十九種蔬菜總酚類含量之排序

Fig. 4.2 Rank order for total phenolic content of 79 kinds vegetables.

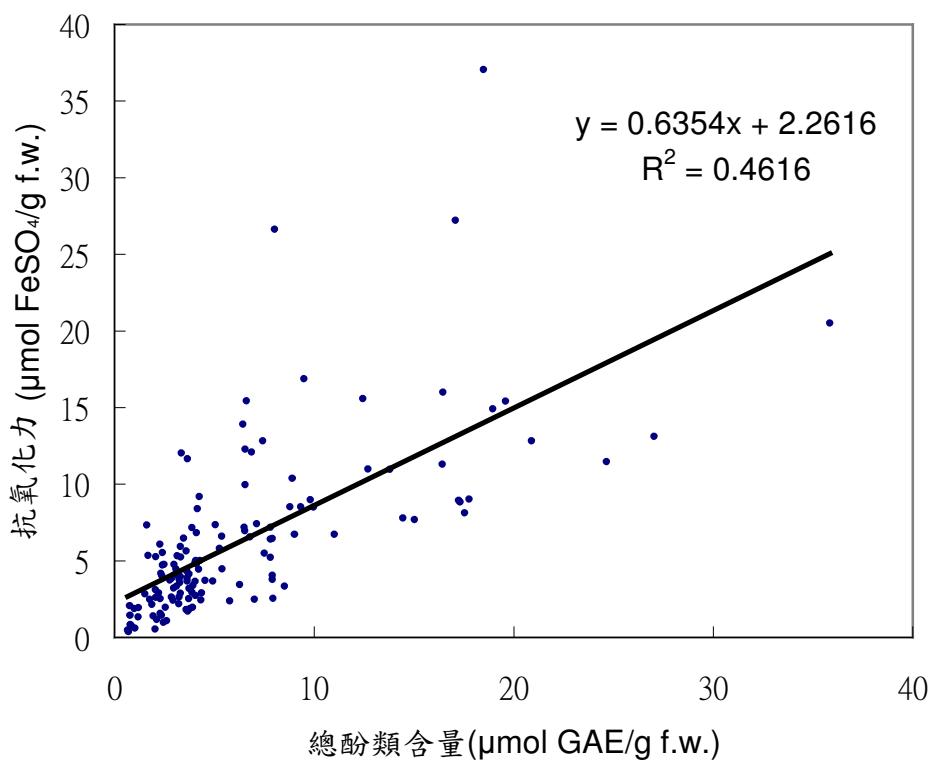


圖 4.3、蔬菜抗氧化力 (FRAP 值) 與總酚類含量之相關性

Fig. 4.3 Correlation between total phenolic content and FRAP value in vegetables.

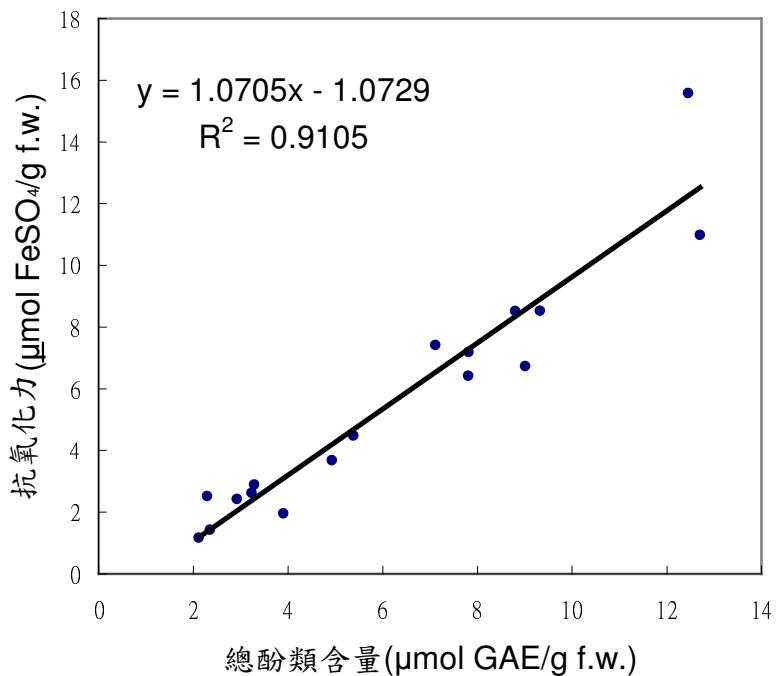


圖 4.4、豆科蔬菜抗氧化力 (FRAP 值) 與總酚類含量之相關性

Fig. 4.4 Correlation between total phenolic content and FRAP value in Fabaceous vegetables.

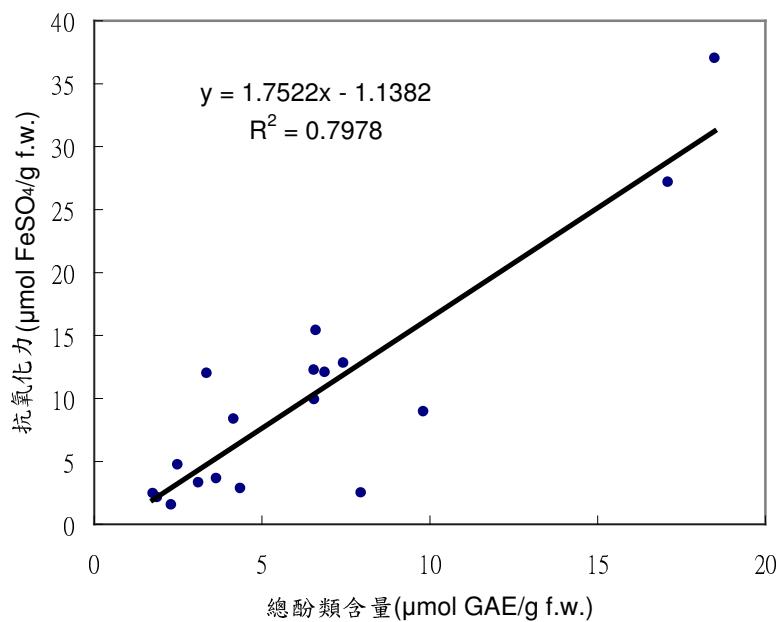


圖 4.5、茄科蔬菜抗氧化力 (FRAP 值) 與總酚類含量之相關性

Fig. 4.5 Correlation between total phenolic content and FRAP value in Solanaceous vegetables.

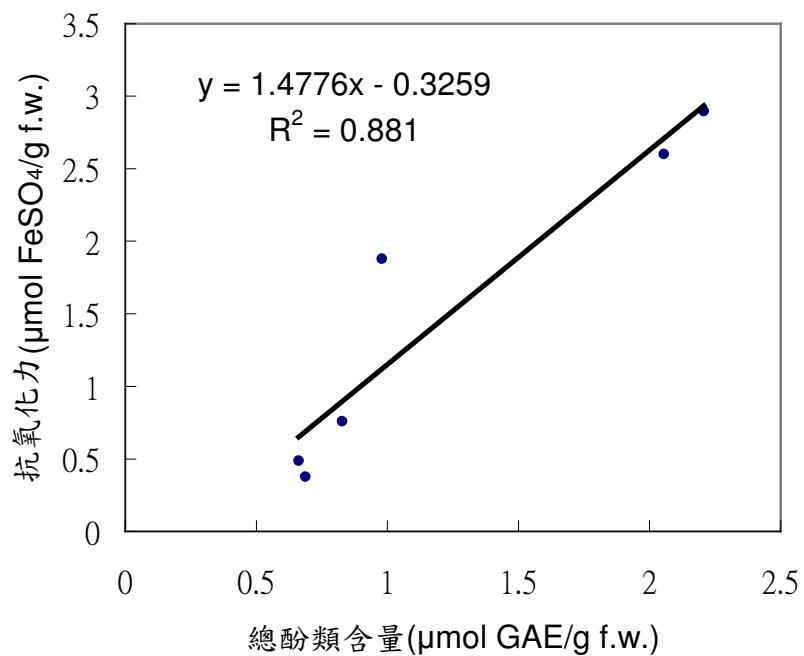


圖 4.6、瓜果類蔬菜抗氧化力 (FRAP 值) 與總酚類含量之相關性

Fig. 4.6 Correlation between total phenolic content and FRAP value in pepo vegetables.

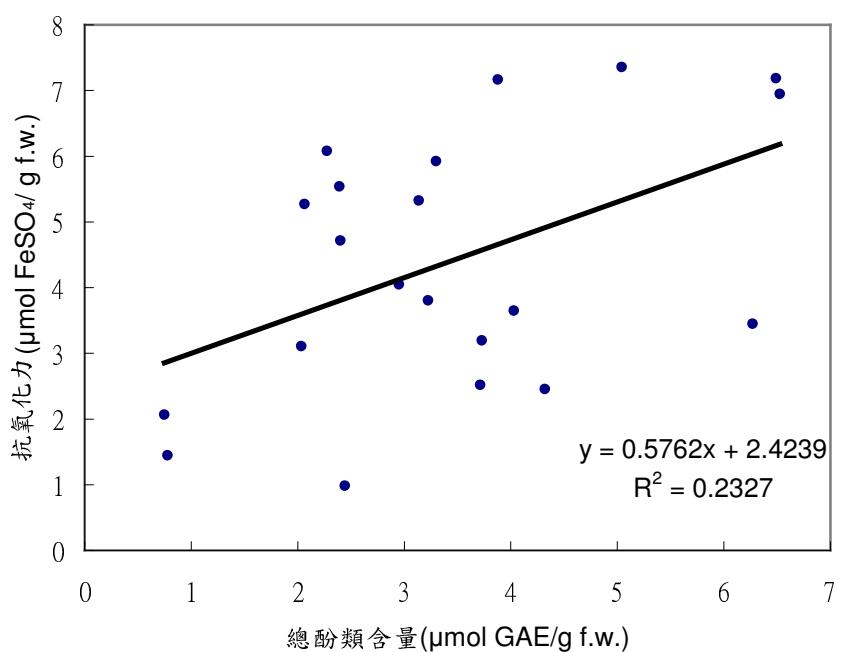
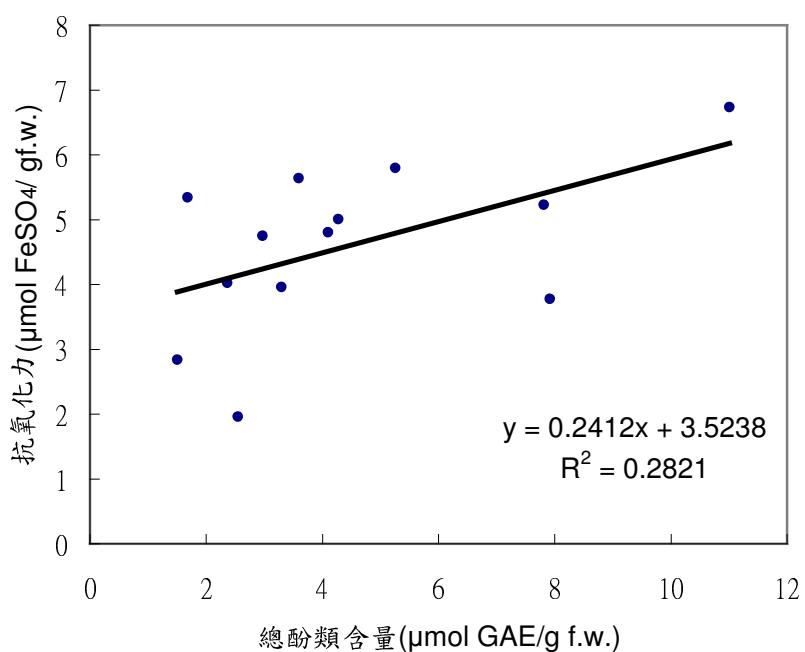


圖 4.7、十字花科蔬菜抗氧化力 (FRAP 值) 與總酚類含量之相關性

Fig. 4.7 Correlation between total phenolic content and FRAP value in Cruciferous vegetables.



(三) 蔬菜攝取情況與獲取總酚類含量的關係

根據「國民營養健康狀況變遷調查1993-1996」研究顯示，台灣成人(19-64歲)每天蔬菜類的攝取量為323g，蔬菜各類別每天的攝取量男女性平均依序為深色蔬菜類153.2g，淺色蔬菜類81.7g，瓜類46.0g，筍類18.6g，醃漬蔬菜類14.0g，豆類3.8g，海產植物類3.1g，菇類3.0g及其它蔬菜類0.2g。由本試驗總酚類含量的資料可以估算出國人每天從蔬菜所獲取總酚類的含量。深色蔬菜類的總酚類含量以本試驗顏色鮮艷與濃綠色蔬菜總酚類含量的平均 $7.3 \mu \text{mol GAE/g f.w.}$ 來表示，計算可得每人每天從深色蔬菜類獲得的總酚類為 $1118.4 \mu \text{mol GAE}$ 。淺色蔬菜類的總酚類含量以本試驗淡色或白色蔬菜總酚類含量的平均 $3.2 \mu \text{mol GAE/g f.w.}$ 來表示，計算可得每人每天從淺色蔬菜類獲得的總酚類為 $261.4 \mu \text{mol GAE}$ 。而瓜類、筍類、豆類總酚類含量分別以 1.3 、 1.9 、 $2.6 \mu \text{mol GAE/g f.w.}$ 來表示，計算可得每人每天分別從瓜類、筍類、豆類中獲得的總酚類為 59.8 、 35.3 、 $48.4 \mu \text{mol GAE}$ 。其它蔬菜類僅包含嫩薑，因此用嫩薑總酚類含量 $4.0 \mu \text{mol GAE/g f.w.}$ 表示，計算可得每人每天從其它蔬菜類中獲得的總酚類 $0.8 \mu \text{mol GAE}$ 。至於醃漬蔬菜類、菇類及海產植物類，本試驗尚無分析，所以不以計算。綜合上述各類別蔬菜平均每天所獲得的總酚類結果，可以推知國人每天由蔬菜所獲得的總酚類為 $1524.1 \mu \text{mol GAE}$ ，其中深色蔬菜類所提供的酚類物質佔全部的73%。

（四）國內蔬菜供給量與國人獲取蔬菜總酚類的關係

根據行政院農委會「糧食供需年報」的統計資料，國人平均每人每天蔬菜的供給量為383g。若將每人每天個別蔬菜的供給量乘以個別蔬菜或各類蔬菜平均的總酚類含量，可以得到國人每人每天蔬菜總酚類的供給量。國人平均每人每天各類蔬菜總酚類的供給量如表4.5。甘藍是國內供給量排名第一的蔬菜，經本試驗蔬菜總酚類含量的數據計算可知，甘藍同時也是總酚類供給量最大的蔬菜，國人平均每人每天可獲取為 $102.7\mu\text{mol GAE}$ 。由於沒有葉菜類供給量細目中，大芥菜與其他項的總酚類含量數據，所以其總酚類含量暫以本試驗葉菜類抗氧化力的平均 $7.4\mu\text{mol GAE/g f.w.}$ 來表示，總計國人每人每天葉菜類總酚類的供給量為 $427.5\mu\text{mol GAE}$ 。

國內蔬菜供給量最多的根莖菜類為竹筍，每人每天平均可供給39.5g，其次為馬鈴薯（35.5g）、蘿蔔（14.0g）、蔥（13.2g）與胡蘿蔔（10.8g）等。由本試驗蔬菜總酚類含量的數據計算可得知，馬鈴薯是國人平均每人每天總酚類供給量最大的根莖菜類，供給量為 $81.7\mu\text{mol GAE}$ ，其次才為竹筍，平均每人每天總酚類供給量為 $75.1\mu\text{mol GAE}$ 。由細目的根菜、莖菜類總酚類供給量合計可以得知，國人平均每人每天根菜類總酚類的供給量為 $78.4\mu\text{mol GAE}$ ，莖菜類為 $425.4\mu\text{mol GAE}$ 。當中，胡蘿蔔、蔥頭與其他項的總酚類含量以本試驗根莖菜類總酚類含量的平均 $4.1\mu\text{mol GAE/g f.w.}$ 來表示，而青蒜以葉菜類的平均 $7.4\mu\text{mol GAE/g f.w.}$ 表示。

國內花果菜類供給量最大的作物為番茄，國人平均每人每天供給量為15.4g，其次為花椰菜（11.4g）以及落花生（9.7g）。由本試驗蔬菜總酚類含量的數據計算可得知，國人每人每天平均總酚類供給量最大的花果菜類為花椰菜，供給量為 $71.6\mu\text{mol GAE}$ ，其次為落花生，每人每天平均可供給總酚類 $63.8\mu\text{mol GAE}$ 。其他花果菜類中，金針花總酚類含量暫以花菜類的平均值表示（ $4.6\mu\text{mol GAE/g f.w.}$ ），越瓜、冬瓜、南瓜總酚類含量以瓜果類平均值表示（ $1.3\mu\text{mol GAE/g f.w.}$ ），毛豆與落花生總酚類含量以所有豆類平均值表示（ $5.7\mu\text{mol GAE/g f.w.}$ ），其他項則以

所有花果菜類的平均值來表示 ($5.2 \mu\text{mol GAE/g f.w.}$)。總計花果菜類國人每人每天總酚類的供給量為 $538.8 \mu\text{mol GAE}$ 。至於菇類，因本試驗尚無分析，所以不納入討論。綜合各類別蔬菜總酚類的供給量可得知，國人平均每人每天可獲得的蔬菜總酚類含量為 $1290 \mu\text{mol GAE}$ 。



表 4.5、民國 95 年國內蔬菜供給量與平均每人每天總酚類的供給量

Table 4.5 The daily supplies of domestic vegetables and the estimated total phenolics offered by each vegetable in 2006.

蔬菜類別	95 年國內供給量 (公噸)	每天每人 供給量 (g)	供給量占 各類別之 百分比(%)	總酚類含量 ($\mu\text{mol GAE/g f.w.}$)	每天每人 總酚類供給量 ($\mu\text{mol GAE}$)	人口數：22740012 人	總酚類含量數據來源
						翠玉白菜代表 小白菜、油菜與青梗白菜平均	
葉菜類	945777	113.9	100.0				
甘藍	355079	42.8	37.5	2.4	102.7		
大芥菜	53949	6.5	5.7	-	-		
結球白菜	143368	17.3	15.2	0.8	13.8		
不結球白菜	82256	9.9	8.7	2.8	27.7		
蕹菜	47963	5.8	5.1	3.6	20.8		
芹菜	40933	4.9	4.3	3.3	16.3		
其他	222229	26.8	23.5	-	-		
根菜類	252384	30.4	100.0				
蘿蔔	116416	14.0	46.1	0.8	11.2		
胡蘿蔔	89966	10.8	35.6	-	-		
其他	46002	5.5	18.2	-	-		
莖菜類	1165268	140.4	100.0				
薑	28989	3.5	2.5	5.6	19.6	老薑與嫩薑平均	
芋	42497	5.1	3.6	8.2	42.0		
葱	109358	13.2	9.4	2.3	30.3		
葱頭	28588	3.4	2.5	-	-		
洋蔥	84409	10.2	7.2	2.9	29.5		
韭菜	39521	4.8	3.4	5.4	25.7		
蒜	26988	3.3	2.3	-	-		
蒜頭	44875	5.4	3.9	6.4	34.6		
荸薺	2477	0.3	0.2	1.2	0.4		
竹筍	327901	39.5	28.1	1.9	75.1	麻竹筍、孟宗筍與綠竹筍平均	
蘆筍	13492	1.6	1.2	2.9	4.7		
茭白	46256	5.6	4.0	1.2	6.7		
其他	75027	9.0	6.4	-	-		
馬鈴薯	294891	35.5	25.3	2.3	81.7		
花果菜類	779616	93.9	100.0				
花椰菜	94325	11.4	12.1	6.3	71.6		
金針菜	720	0.1	0.1	-	-		
越瓜	7445	0.9	1.0	-	-		
胡瓜	56505	6.8	7.2	0.7	4.8		
冬瓜	38809	4.7	5.0	-	-		
苦瓜	35806	4.3	4.6	2.1	9.1		
南瓜	23781	2.9	3.1	-	-		
茄子	32421	3.9	4.2	3.4	13.3	長形茄子與卵形茄子平均	
番茄	127956	15.4	16.4	2.0	30.8	小果番茄與二種中果番茄平均	
番椒	33614	4.0	4.3	7.8	31.6	八種番椒平均	
菜豆	72662	8.8	9.3	2.2	19.3		
豌豆	7811	0.9	1.0	5.4	5.1	莢豌豆與甜豌豆平均	
毛豆	31052	3.7	4.0	-	-		
其他	136469	16.4	17.5	-	-		
落花生	80241	9.7	10.3	-	-		
菇類	36154	4.4	100.0				
洋菇	6183	0.7	17.1	-	-		
香菇	4594	0.6	12.7	-	-		
其他	25377	3.1	70.2	-	-		
合計	3,179,199	383.0					

第五章 結論

對於想要進一步探討蔬菜在人體中表現的抗氧化保健功能，縱觀地分析各類蔬菜抗氧化力是初步且重要的研究步驟。本試驗中，台灣 83 種蔬菜總抗氧化力及總酚類含量的分析結果，建立出有別於西方飲食習慣蔬菜的抗氧化力基本資料，不僅提供研究者可挑選這些植物材料進一步做體內功能性評估，還可應用於國內新興蔬菜的推廣，增加多樣化蔬菜攝取的機會，同時也有助於台灣蔬菜的價值得到提升。對於消費者，此分析結果也提供了蔬菜消費的參考，值得增加攝取有助於身體保健的蔬菜種類。本研究指出，甘藷葉、黑皮的長豇豆（俗稱的菜豆）、蓮藕、豌豆嫩梢過溝菜蕨（過貓）及黃秋葵等，皆是值得開發、推廣以及建議消費的高保健潛力的蔬菜。外觀顏色可作為區分抗氧化力與總酚類含量高低的依據，此結果能夠讓消費者簡單得知，飲食中可能獲取抗氧化力或總酚類的多寡，也增加消費者消費蔬菜的動機。由不同蔬菜部位抗氧化力的分析結果得知，芹菜葉片的葉身部位（相較於常食用的葉柄部位）、蓮藕節的部位及絲瓜外皮的部位皆有較高的抗氧化力，消費者可以在考量嗜口性與安全性之後，能以保健的觀點調整食用蔬菜的習慣，增加獲取蔬菜抗氧化力的機會。以營養的觀點，蔬菜主要提供人類維生素、礦物質與纖維，不同種類的蔬菜有其營養的重要性，不宜忽略；而抗氧化力與總酚類是提供人類能預防疾病、延緩老化的功能性保健作用，若蔬菜營養的資訊再增加抗氧化力與總酚類等保健的資訊，蔬菜飲食的概念將能更加的完整。

中醫上偏熱性的蔬菜抗氧化力有較高的趨勢，而偏寒性的蔬菜抗氧化力較低，此結果可以提供中醫另一獲得客觀科學證據的研究方向，不過本研究結果與前人研究相反，尚待釐清原因。另外，本研究的蔬菜材料皆為生鮮狀態，而蔬菜一般皆是烹煮或加工後食用，所以這些烹煮或加工的蔬菜材料之功能性指標是有待未來進一步分析了解的。

參考文獻

- 王会、郭立、謝文磊。2006。抗氧化劑抗氧化活性的測定方法（一）。食品與發酵工業 32: 92-98.
- 王会、郭立、謝文磊。2006。抗氧化劑抗氧化活性的測定方法（二）。食品與發酵工業 32: 98-102.
- 林雅玲。2004。探討台灣鄉土蔬菜—紅甘藷葉中多酚類之生體可利用率及對人體抗氧化狀態之影響。台北醫學大學保健營養學系 碩士論文。
- 張文心。2005。台灣鄉土蔬菜—紅甘藷葉對運動期之籃球選手其抗氧化力與免疫狀態的調節。台北醫學大學保健營養學系 碩士論文。
- 張曉盈。2004。甘薯葉對於攝取高膽固醇之倉鼠脂質代謝、自由基及血栓之影響。實踐大學食品營養研究所 碩士論文。
- 梁佑慎。2005。市售新鮮蔬果抗氧化力之研究。國立屏東科技大學熱帶農業暨國際合作研究所 碩士論文。
- 陳彩雲。2005。利用FRAP方法分析台灣水果之抗氧化力。國立台灣大學園藝學研究所 碩士論文。
- 程彬彬、張玉惠。2000。中藥四氣定性定量方法初探。山西中醫 16: 46-47。
- 程彬彬。2000。中藥四性的現代研究概況。時珍國醫國藥 11:858-859。
- 薛聰賢編著。2000。台灣蔬果實用百科。台灣普綠有限公司出版部。員林。
- Aaby, K., G. Skrede, and R. E. Wrolstad. 2005. Phenolic composition and antioxidant activities in flesh and achenes of strawberries (*Fragaria ananassa*). *J. Agric. Food Chem.* 53: 4032-4040.
- Adams, M. R., D. L. Golden, H. Chen, T. C. Register, and E. T. Gugger. 2006. A diet rich in green and yellow vegetables inhibits atherosclerosis in mice. *J. Nutr.* 136: 1886-1889.
- Asplind, K. 2002. Antioxidant vitamins in the prevention of cardiovascular disease: a systematic review. *J. Intern. Med.* 251: 372-392.
- Atoui, A. K., A. Mansouri, G. Boskou, and P. Kefalas. 2005. Tea and herbal infusions: Their antioxidant activity and phenolic profile. *Food Chem.* 89: 27-36.
- Bachioca, M., E. Biagiotti, and P. Ninfali. 2006. Nutritional and technological reasons for evaluating the antioxidant capacity of vegetable products. *Ital. J. Food Sci.* 18: 209-217.
- Begin, M. E., G. Ells, and D. F. Horrobin. 1988. Polyunsaturated fatty acid-induced cytotoxicity against tumor cells and its relationship to lipid peroxidation. *J. Natl. Cancer Inst.* 80: 188-194.
- Benzie, I. F. F. and J. J. Strain. 1996. The ferric reducing ability of plasma (FRAP) as a measure of “antioxidant power”: The FRAP assay. *Anal. Biochem.* 239:70-76.
- Block, G. 1992. Vitamin C status and cancer: epidemiologic evidence of reduced risk. *Ann. N. Y. Acad. Sci.* 669: 280-292.
- Borek, C. 2005. Antioxidants and the prevention of hormonally regulated cancer. *JMHG.* 2: 346-352.
- Bub, A., B. Watzl, L. Abrahamse, H. Delincée, S. Adam, J. Wever, H. Müller and G. Rechkemmer. 2000. Moderate intervention with carotenoid-rich vegetable products reduces lipid peroxidation in men. *J. Nutr.* 130: 2200-2206.
- Cai, Y., Q. Luo, M. Sun, and H. Corke. 2004. Antioxidant activity and phenolic compounds of 112 traditional Chinese medicinal plants associated with anticancer. *Life Sci.* 74: 2157-2184.
- Cao, G., C. P. Verdon, A. H. Wu, H. Wang, and R. L. Prior. 1995. Automated assay of oxygen radical

- absorbance capacity with the COBAS FARA II. *Clin. Chem.* 41:1738-1744.
- Cao, G., E. Sofic, and R. L. Prior. 1997. Antioxidant and prooxidant behavior of flavonoids: structure-activity relationships. *Free Radic. Biol. Med.* 22:749-760.
- Cao, G., H. M. Alessio, and R.G. Cutler. 1993. Oxygen-radical absorbance capacity assay for antioxidant. *Free. Radic. Biol. Med.* 14: 303-311.
- Chovanalikit, A. and R. E. Wrolstad. 2004. Total anthocyanins and total phenolics of fresh and processed cherries and their antioxidant properties. *J. Food Sci.* 69: FCT67-72.
- Cherng, J. M., D.E. Shieh, W. Chiang, M.Y. Chang, and L.C. Chiang. 2007. Chemopreventive effects of minor dietary constituents in common foods on human cancer cells. *Biosci. Biotechnol. Biochem.* 71:1500-1504.
- Chu, Y. F., J. Sun, X. Wu, and R. H. Liu. 2002. Antioxidant and antiproliferative activities of common vegetables. *J. Agric. Food Chem.* 50:6910-6916.
- Chu, Y. H., C.L. Chang and H.F. Hsu. 2000. Flavonoid content of several vegetables and their antioxidant activity. *J. Sci. Food Agric.* 80:561-566.
- Dauchet, L., P. Amouyel, S. Hercberg, and J. Dallongeville. 2006. Fruit and vegetable consumption and risk of coronary heart disease: a meta-analysis of cohort studies. *J. Nutr.* 136: 2588-2593.
- Deepa, N., C. Kaur, B. George, B. Singh, and H.C. Kapoor. 2007. Antioxidant constituents in some sweet pepper (*Capsicum annuum* L.) genotypes during maturity. *Lebensm.-Wiss. Technol.* 40:121-129.
- Deepa, N., C. Kaur, B. Singh, and H.C. Kapoor. 2006. Antioxidant activity in some red sweet pepper cultivars. *J. Food Compos. Anal.* 19: 572-578.
- Dewanto, V., X. Wu, K. K. Adom, and R. H. Liu. 2002. Thermal processing enhances the nutritional value of tomatoes by increasing total antioxidant activity. *J. Agric. Food Chem.* 50: 3010-3014.
- Di Mascio, P., M. E. Murphy, and H. Sies. 1991. Antioxidant defense systems: the role of carotenoids, tocopherols, and thiols. *Am. J. Clin. Nutr.* 53:194S-200S.
- Dragsted, L.O., A. Pedersen, A. Hermetter, S. Basu, M. Hansen, G. R. Haren, M. Kall, V. Breinholt, J. J.M. Castenmiller, J. Stagsted, J. Jakobsen, L. Skibsted, S. E. Rasmussen, S. Loft, and B. Sandström. 2004. The 6-a-day study: effects of fruit and vegetables on markers of oxidative stress and antioxidative defense in healthy nonsmokers. *Am. J. Clin. Nutr.* 79: 1060-1072.
- Eberhardt, M. V., K. Kobira, A. S. Keck, J. A. Juvik, and E. H. Jeffery. 2005. Correlation analyses of phytochemical composition, chemical, and cellular measures of antioxidant activity of broccoli (*Brassica oleracea* L. var. *italica*). *Agric. Food Chem.* 53:7421-7431.
- Erel, O. 2004. A novel automated direct measurement method for total antioxidant capacity using a new generation, more stable ABTS radical cation. *Clin. Biochem.* 37: 277-285.
- Fehily, A.M., J.W.G. Yarnell, P.M. Sweetnam, and P.C. Elwood. 1993. Diet and incident ischaemic heart disease: the Caerphilly study. *Br. J. Nutr.* 69: 303-314.
- Ferrer, F., C. Sousa, V. Vrchovská, P. Valentão, J. A. Pereira, R. M. Seabra, and P. B. Andrade. 2006. Chemical composition and antioxidant activity of tronchuda cabbage internal leaves. *Eur. Food Res. Technol.* 222: 88-98.
- Fowke, J. H., J. D. Morrow, S. Motley, R. M. Bostick and R. M. Ness. 2006. *Brassica* vegetable

- consumption reduces urinary F2-isoprostane levels independent of micronutrient intake. *Carcinogenesis* 27:2096-2102.
- Gabriela, C.N., P.G. Kefalasb, and E.L. Kokkaloua. 2005. Antioxidant activity of flavonoids from *Sideritis raeseri*. *J. Ethnopharmacol.* 96: 423-428.
- George, B., C. Kaur, D.S. Khurdiya, and H.C. Kapoor. 2004. Antioxidants in tomato (*Lycopersicum esculentum*) as a function of genotype. *Food Chem.* 84:45-51.
- Gerster, H. 1993. Anticarcinogenic effects of common carotenoids. *Int. J. Vitam. Nutr. Res.* 63: 93-121.
- Gil, M. I., F.A. Tomás-Barberán, B. Hess-Pierce, D. M. Holcroft, and A. A. Kader. 2000. Antioxidant activity of pomegranate juice and its relationship with phenolic composition and processing. *J. Agric. Food Chem.* 48: 4581-4589.
- Glazer, A. N. 1990. Phycoerythrin flurorescence-based assay for reactive oxygen species. *Methods Enzymol.* 186:161-168.
- Goh, L. M., P. J. Barlow, and C. S. Yong. 2003. Examination of antioxidant activity of *Ginkgo biloba* leaf infusions. *Food Chem.* 82: 275-282.
- Gorinstein, S., M. Cvirková, I. Machackova, R. Haruenkit, Y.S. Park, S. T. Jung, K. Yamamoto, A. L. M. Ayala, E. Katrich, and S. Trakhtenberg. 2004. Characterization of antioxidant compounds in Jaffa sweeties and white grapefruits. *Food Chem.* 84: 503-510.
- Griffina, S. P. and R. Bhagooli. 2004. Measuring antioxidant potential in corals using the FRAP assay. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 302: 201-211.
- Guo, C., J. Yang, J. Wei, Y. Li, J. Xu, and Y. Jiang. 2003. Antioxidant activities of peel, pulp and seed fractions of common fruits as determined by FRAP assay. *Nutr. Res.* 23: 1719-1726.
- Halliwell, B. 1994. Free radicals and antioxidants: a personal review. *Nutr. Rev.* 52: 253-265.
- Halliwell, B. 2001. Vitamin C and genomic stability. *Mutat. Res.* 475: 29-35.
- Halvorsen, B. L., K. Holte, M. C. W. Myhrstad, I. Barikmo, E. Hvattum, S. F. Remberg, A.B. Wold, K. Haffner, H. Baugerød, L. F. Andersen, J. Ø. Moskaug, D. R. Jacobs, Jr., and R. Blomhoff. 2002. A systematic screening of total antioxidants in dietary plants. *J. Nutr.* 132:461-471.
- Harbaum, B., E. M. Hubermann, Z. Zhu, and K. Schwarz. 2008. Free and bound phenolic compounds in leaves of pak choi (*Brassica campestris* L. ssp. *chinensis* var. *communis*) and Chinese leaf mustard (*Brassica juncea* Coss). *Food Chem.* 110:838-846
- Heim, K.E., A. R. Tagliaferro, and D. J. Bobilya. 2002. Flavonoid antioxidants: chemistry, metabolism and structure-activity relationships. *J. Nutr. Biochem.* 13:572-584.
- Heimler, D., L. Isolani, P. Vignolini, S. Tombelli, and A. Romani. 2007. Polyphenol content and antioxidative activity in some species of freshly consumed salads. *J. Agric. Food Chem.* 55: 1724-1729.
- Herrmann, K. 1988. On the occurrence of flavonol and flavone glycosides in vegetables. *Z. Lebensm. Unters. Forsch.* 186:1-5.
- Hollman, P. C. H. and M. B. Katan. 1999. Dietary flavonoids: intake, health effects and bioavailability. *Food Chem. Toxicol.* 37: 937-942.
- Horax, R., N. Hettiarachchy, and S. Islam. 2005. Total phenolic contents and phenolic acid constituents in

- 4 varieties of bitter melons (*Momordica charantia*) and antioxidant activities of their extracts. *J. Food Sci.* 70: C275-C280.
- Hu, M. and L. H. Skibsted. 2002. Antioxidative capacity of rhizome extract and rhizome knot extract of edible lotus (*Nelumbo nuficera*). *Food Chem.* 76: 327-333.
- Huang, Z., B. Wang, D. H. Eaves, J. M. Shikany, and R. D. Pace. 2007. Total phenolics and antioxidant capacity of indigenous vegetables in the southeast United States: Alabama Collaboration for Cardiovascular Equality Project. *Inte. J. Food Sci. Nutr.* 58:1-9.
- Imeh, U. and S. Khokhar. 2002. Distribution of conjugated and free phenols in fruits: antioxidant activity and cultivar variations. *J. Agric. Food Chem.* 50:6301-6306.
- Ismail, A., Z. M. Marjan, and C. W. Foong. 2004. Total antioxidant activity and phenolic content in selected vegetables. *Food Chem.* 87:581-586.
- Jacob, R. A. and B. J. Burri. 1996. Oxidative damage and defense. *Am. J. Clin. Nutr.* 63: 985S-990S.
- James, L.G. and S.G. Sareen. 2000. Advanced nutrition and human metabolism 3rd ediusion. Wadsworth, USA.
- Javanmardi, J., C. Stushnoff, E. Locke, and J.M. Vivanco. 2003. Antioxidant activity and total phenolic content of Iranian *Ocimum accessions*. *Food Chem.* 83: 547-550.
- Jayasinghe, C., N. Gotoh, T. Aoki, and S. Wada. 2003. Phenolics composition and antioxidant activity of sweet basil (*Ocimum basilicum L.*). *J. Agric. Food Chem.* 51: 4442-4449.
- Jialal, I. and S.M. Grundy. 1992. Influence of antioxidant vitamins on LDL oxidation. *Ann. N. Y. Acad. Sci.* 669:237-247.
- Jialal, I., G.L. Vega, and S.M. Grundy. 1990. Physiologic levels of ascorbate inhibit the oxidative modification of low density lipoprotein. *Atherosclerosis* 82:185-191.
- Kähkönen, M. P., A. I. Hopia, H. J. Vuorela, J. P. Rauha, K. Pihlaja, T. S. Kujala, and M. Heinonen. 1999. Antioxidant activity of plant extracts containing phenolic compounds. *J. Agric. Food Chem.* 47: 3954-3962.
- Kang H.M. and M. E. Saltveit. 2002. Antioxidant capacity of lettuce leaf tissue increases after wounding. *J. Agric. Food Chem.* 2002: 7536-7541.
- Katalinic, V., M. Milos, T. Kulisic, and M. Jukic. 2006. Screening of 70 medicinal plant extracts for antioxidant capacity and total phenols. *Food Chem.* 94: 550-557.
- Kaur, C. and H. C. Kapoor. 2002. Anti-oxidant activity and total phenolic content of some Asian vegetables. *Int. J. Food Sci. Technol.* 37: 153-161.
- Kaur, C., K. Kumar, D. Anil and H.C. Kapoor. 2007. Variations in antioxidant activity in broccoli (*Brassica oleracea L.*) cultivars. *J. Food Biochem.* 31: 621-638.
- Kevers, C., M. Falkowski, J. Tabart, J. O. Defraigne, J. Dommes, and J. Pincemail. 2007. Evolution of antioxidant capacity during storage of selected fruits and vegetables. *J. Agric. Food Chem.* 55: 8596-8603.
- Kim, D.O., S.W. Jeong, and C.Y. Lee. 2003. Antioxidant capacity of phenolic phytochemicals from various cultivars of plums. *Food Chem.* 81: 321-326.
- Kim, D.O., O.I. Padilla-Zakour, and P.D. Griffiths. 2004. Flavonoids and antioxidant capacity of various

- cabbage genotypes at juvenile stage. *J. Food Sci.* 69: C685-C689.
- Kitts, D. D. 1997. An evaluation of the multiple effects of the antioxidant vitamins. *Trends Food Sci. Tech.* 8:198-203.
- Klieber, A. and B. Franklin. 2000. Ascorbic acid content of minimally processed Chinese cabbage. *Acta Hortic.* 518: 201-204.
- Knekter, P., A. Reunanen, R. Järvinen, R. Seppänen, M. Heliövaara, and A. Aromaa. 1994. Antioxidant vitamin intake and coronary mortality in a longitudinal population study. *Am. J. Epidemiol.* 139: 1180-1189.
- Krinsky, N.J. 1991. Effects of carotenoids in cellular and animal systems. *Am. J. Clin. Nutr.* 53: 238S-246S.
- La Vecchia, C., A. Altieri, and A. Tavani. 2001. Vegetables, fruit, antioxidants and cancer: a review of Italian studies. *Eur. J. Nutr.* 40: 261-267.
- La Vecchia, C., A. Decarli, and R. Pagano. 1998. Vegetable consumption and risk of chronic disease. *Epidemiology* 9:208-210.
- Levy, J., M. Danilenko, and Y. Sharoni. 1997. The tomato carotenoid lycopene and cancer. In: *Food Factor for Cancer prevention*, pp. 209-212.
- Li, B.B., B. Smith, and Md. M. Hossain. 2006. Extraction of phenolics from citrus peels I. Solvent extraction method. *Sep. Purif. Technol.* 48: 182-188.
- Li, Y., C. Guo, J. Yang, J. Wei, J. Xu, and S. Cheng. 2006. Evaluation of antioxidant properties of pomegranate peel extract in comparison with pomegranate pulp extract. *Food Chem.* 96:254-260.
- Liu, X., S. Ardo, M. Bunning, J. Parry, K. Zhou, C. Stushnoff, F. Stoniker, L. Yu, and P. Kendall. 2007. Total phenolic content and DPPH[·] radical scavenging activity of lettuce (*Lactuca sativa* L.) grown in Colorado. *Lebensm.-Wiss. Technol.* 40: 552-557.
- Llorach, R., F. A. Tomás-Barberán, and F. Ferreres. 2004. Lettuce and chicory byproducts as a source of antioxidant phenolic extracts. *J. Agric. Food Chem.* 52: 5109-5116.
- Llorach, R., J. C. Espián, F. A. Tomás-Barberán, and F. Ferreres. 2003. Valorization of cauliflower (*Brassica oleracea* L. var. *botrytis*) by-products as a source of antioxidant phenolics. *J. Agric. Food Chem.* 51: 2181-2187.
- Lussignoli, S., M. Fraccaroli, G. Andrioli, G. Brocco, and P. Bellavite. 1999. A microplate-based colorimetric assay of the total peroxyl radical trapping capability of human plasma. *Anal. Biochem.* 269: 38-44.
- Luthria, D.L. and S. Mukhopadhyay. 2006. Influence of sample preparation on assay of phenolic acids from eggplant. *J. Agric. Food Chem.* 54: 41-47.
- Ma, H. 1997. The potential role of lycopene for human health. *J. Am. Coll. Nutr.* 10:109-126.
- Madhujith, T. and F. Shahidi. 2005. Antioxidant potential of pea beans (*Phaseolus vulgaris* L.). *J. Food Sci.* 70: S85-S90.
- Matsufuji, H., K. Ishikawa, O. Nunomura, M. Chino, and M. Takeda. 2007. Anti-oxidant content of different coloured sweet peppers, white, green, yellow, orange and red (*Capsicum annuum* L.). *Int. J. Food Sci. Technol.* 42: 1482-1488.

- Maxwell, S.R.J. and G.Y.H. Lip. 1997. Free radicals and antioxidants in cardiovascular disease. *Br. J. Clin. Pharmacol.* 44: 307-317.
- Miller, H. E., F. Rigelhof, L. Marquart, A. Prakash, and M. Kanter. 2000. Antioxidant content of whole grain breakfast cereals, fruits and vegetables. *J. Am. Coll. Nutr.* 19: 312S-319S.
- Miller, N. J., A. T. Diplock, C. Rice-Evans, M. J. Davies, V. Gopinathan, and A. Milner. 1993. A novel method for measuring antioxidant capacity and its application to monitoring the antioxidant status in premature neonates. *Clin. Sci.* 84: 407-412.
- Milner, J. A. 2006. Preclinical perspectives on garlic and cancer. *J. Nutr.* 136: 827S-831S.
- Morel, D.W., M. de la Llera-Moyaa, and K.E. Friday. 1994. Treatment of cholesterol-fed rabbits with dietary vitamins E and C inhibit lipoprotein oxidation but not development of atherosclerosis. *J. Nutr.* 124: 2123-2130.
- Moyer, R.A., K. E. Hummer, C. E. Finn, B. Frei, and R. E. Wrolstad. 2002. Anthocyanins, phenolics, and antioxidant capacity in diverse small fruits: *Vaccinium*, *Rubus*, and *Ribes*. *J. Agric. Food Chem.* 50: 519-525.
- Naczk, M. and F. Shahidi. 2006. Phenolics in cereals, fruits and vegetables: occurrence, extraction and analysis. *J. Pharm. Biomed. Anal.* 41: 1523-1542.
- Ness, A. R. and J. W. Powles. 1997. Fruit and vegetables, and cardiovascular disease: a review. *Int. J. Epidemiol.* 26:1-13.
- Ninfali, P. and M. Bacchicocca. 2003. Polyphenols and antioxidant capacity of vegetables under fresh and frozen conditions. *J. Agric. Food Chem.* 51: 2222-2226.
- Ninfali, P., G. Mea, S. Giorgini, M. Rocchi, and M. Bacchicocca. 2005. Antioxidant capacity of vegetables, spices and dressings relevant to nutrition. *Br. J. Nutr.* 93: 257-266.
- Nir, Z. and D. Hartal. 1997. Lycopene: a new carotenoid extracted from tomatoes. In: *Food Factor for Cancer prevention*, pp. 562-564.
- Noruma, T., M. Kikuchi, and Y. Kawakami. 1997. Proton-donative antioxidant activity of fucoxanthin with 1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl (DPPH). *Biochem. Mol. Biol. Int.* 42:361-370.
- Nuutila, A. M., R. Puupponen-Pimiä , M. Aarni, and K.M. Oksman-Caldentey.2003. Comparison of antioxidant activities of onion and garlic extracts by inhibition of lipid peroxidation and radical scavenging activity. *Food Chem.* 81: 485-493.
- Oboh, G. 2005. Effect of blanching on the antioxidant properties of some tropical green leafy vegetables. *Lebensm.-Wiss. Technol.* 38:513-17.
- Oki,T., M. Masuda, S. Furuta, Y. Nishiba, N. Terahara, and I. Suda. 2002. Involvement of anthocyanins and other phenolic compounds in radical-scavenging activity of purple-fleshed sweet potato cultivars. *J. Food Sci.* 67:1752-1756.
- Osman, H., R. Nasarudin, and S.L. Lee. 2004. Extracts of cocoa (*Theobroma cacao* L.) leaves and their antioxidation potential. *Food Chem.* 86: 41-46.
- Othman, A., A. Ismail, N. A. Ghani, and I. Adenan. 2007. Antioxidant capacity and phenolic content of cocoa beans. *Food Chem.* 100: 1523-1530.
- Ou, B., D. Huang, M. Hampsch-Woodill, and J. A. Flanagan. 2003. When east meets west: the

- relationship between yin-yang and antioxidation-oxidation. *FASEB J.* 17:127-129.
- Ou, B., D. Huang, M. Hampsch-Woodill, J. A. Flanagan, and E. K. Deemer. 2002. Analysis of antioxidant activities of common vegetables employing oxygen radical absorbance capacity (ORAC) and ferric reducing antioxidant power (FRAP) assays: a comparative study. *J. Agric. Food Chem.* 50: 3122-3128.
- Padayatty, S. J., A. Katz, Y. Wang, P. Eck, O. Kwon, J. H. Lee, S.L. Chen, C. Corpe, A. Dutta, S. K. Dutta, and M. Levine. 2003. Vitamin C as an antioxidant: evaluation of its role in disease prevention. *J. Am. Coll. Nutr.* 22(1): 18-35.
- Palozza, P. and N.I. Krinsky. 1992. Antioxidant effects of carotenoids *in vivo* and *in vitro*: An overview. *Methods Enzymol.* 213:403-420.
- Patthamakanokporn, O., P. Puwastien, A. Nitithamyong, P. P. Sirichakwal. 2008. Changes of antioxidant activity and total phenolic compounds during storage of selected fruits. *J. Food Compos. Anal.* 21: 241-248.
- Podsędek, A., D. Sosnowska, M. Redzynia, and B. Anders. 2006. Antioxidant capacity and content of *Brassica oleracea* dietary antioxidants. *Int. J. Food Sci. Technol.* 41:49-58.
- Pool-Zobel, B.L., A. Bub, H. Müller, I. Wollowski and G. Rechkemmer. 1997. Consumption of vegetables reduces genetic damage in humans: first results of a human intervention trial with carotenoid-rich foods. *Carcinogenesis* 18:1847-1850.
- Prior, R. L., X. Wu, and K. Schaich. 2005. Standardized methods for the determination of antioxidant capacity and phenolics in foods and dietary supplements. *J. Agric. Food Chem.* 53: 4290-4302.
- Proteggente, A. R., A. S. Pannala, G. Paganga, L. van Buren, E. Wagner, S. Wiseman, F. van de Put, C. Dacombe, and C. A. Rice-Evans. 2002. The antioxidant activity of regularly consumed fruit and vegetables reflects their phenolic and vitamin C composition. *Free Radic. Res.* 36 (2): 217-233.
- Pulido, R., L. Bravo, and F. Saura-Calixto. 2000. Antioxidant activity of dietary polyphenols as determined by a modified ferric reducing/antioxidant power assay. *J. Agric. Food Chem.* 48: 3396-3402.
- Puupponen-Pimiä, R., S. T. Häkkinen, M. Aarni, T. Suortti, A. M. Lampi, M. Eurola, V. Piironen, A. M. Nuutila and K. M. Oksman-Caldentey. 2003. Blanching and long-term freezing affect various bioactive compounds of vegetables in different ways. *J. Sci. Food Agric.* 83:1389-1402.
- Pyo, Y.H., T.C. Lee, L. Logendra, and R. T. Rosen. 2004. Antioxidant activity and phenolic compounds of Swiss chard (*Beta vulgaris* subspecies *cycla*) extracts. *Food Chem.* 85: 19-26.
- Rababah, T. M., K. I. Ereifej, and L. Howard. 2005. Effect of ascorbic acid and dehydration on concentrations of total phenolics, antioxidant capacity, anthocyanins, and color in fruits. *J. Agric. Food Chem.* 53: 4444-4447.
- Racchi, M., M. Daglia, C. Lanni, A. Papetti, S. Govoni, and G. Gazzani. 2002. Antiradical activity of water soluble components in common diet vegetables. *J. Agric. Food Chem.* 50: 1272-1277.
- Rahman, K. and G. M. Lowe. 2006. Garlic and cardiovascular disease: a critical review. *J. Nutr.* 136: 736S-740S.
- Reddivari, L., A. L. Hale, and J. C. Miller. 2007. Genotype, location, and year influence antioxidant

- activity, carotenoid content, phenolic content, and composition in specialty potatoes. *J. Agric. Food Chem.* 55: 8073-8079.
- Rice-Evans, C. A., N. J. Miller, and G. Paganga. 1996. Structure- antioxidant activity relationships of flavonoids and phenolic acids. *Free radic. biol. med.* 20: 933-956.
- Rice-Evans, C., J. Sampson, P. Bramley, and D. Holloway. 1997. Commentary: Why do we expect carotenoids to be antioxidants *in vivo*? *Free Radic. Res.* 26: 381-398.
- Roginsky, V. and E. A. Lissi. 2005. Review of methods to determine chain-breaking antioxidant activity in food. *Food Chem.* 92: 235-254.
- Roy, M. K., M. Takenaka, S. Isobe, and T. Tsushida. 2007. Antioxidant potential, anti-proliferative activities, and phenolic content in water-soluble fractions of some commonly consumed vegetables: Effects of thermal treatment. *Food Chem.* 103: 106-114.
- Saito, M., H. Hosoyama, T. Ariga, S. Kataoka, and N. Yamaji. 1998. Antiulcer activity of grape seed extract and procyanidins. *J. Agric. Food Chem.* 46:1460-1464.
- Sánchez-Moreno, C., L. Plaza, B. de Ancos and M. P. Cano. 2006. Impact of high-pressure and traditional thermal processing of tomato purée on carotenoids, vitamin C and antioxidant activity. *J. Sci. Food Agric.* 86:171-179.
- Saxena, R., K. Venkaiah, P. Anitha, L. Venu, and M. Raghunath. 2007. Antioxidant activity of commonly consumed plant foods of India: contribution of their phenolic content. *Int. J. Food. Sci. Nutr.* 58:250-260.
- Scalzo, J., A. Politi, N. Pellegrini, B. Mezzetti, and M. Battino. 2005. Plant genotype affects total antioxidant capacity and phenolic contents in fruit. *Nutrition* 21: 207-213.
- Shan, B., Y.Z. Cai, M. Sun, and H. Corke. 2005. Antioxidant capacity of 26 spice extracts and characterization of their phenolic constituents. *J. Agric. Food Chem.* 53: 7749-7759.
- Shen, Y.C., S.L. Chen, and C.K. Wang. 2007. Contribution of tomato phenolics to antioxidation and down-regulation of blood lipids. *J. Agric. Food Chem.* 55: 6475-6481.
- Shukla, Y. and N. Kalra. 2007. Cancer chemoprevention with garlic and its constituents. *Cancer Lett.* 247:167-181.
- Singleton V. L. and J. A. Rossi, Jr. 1965. Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdic-phosphotungstic acid reagents. *Am. J. Enol. Vitic.* 16: 144-158.
- Soong, Y. Y. and P. J. Barlow. 2004. Antioxidant activity and phenolic content of selected fruit seeds. *Food Chem.* 88: 411-417.
- Spanos, G. A. and R. E. Wrolstad. 1990. Influence of processing and storage on the phenolic composition of Thompson Seedless grape juice. *J. Agric. Food Chem.* 38: 1565-1571.
- Sroka, Z. and W. Cisowski. 2003. Hydrogen peroxide scavenging, antioxidant and anti-radical activity of some phenolic acids. *Food chem. toxicol.* 41 : 753-758.
- Stahl, W. and H. Sies. 2005. Bioactivity and protective effects of natural carotenoids. *Biochim. Biophys. Acta* 1740:101-107.
- Stampfer, M.J., C.H. Hennekens, J.A.E. Manson, G.A. Colditz, B. Rosner, W.C. Willett. 1993. Vitamin E consumption and the risk of coronary disease in women. *N. Engl. J. Med.* 328: 1444-1449.

- Steinmetz, K. A. and J. D. Potter. 1996. Vegetables, fruit, and cancer prevention: a review. *J. Am. Diet Assoc.* 96:1027-39.
- Stratil, P., B. Klejdus, and V. Kubáň. 2006. Determination of total content of phenolic compounds and their antioxidant activity in vegetables-evaluation of spectrophotometric methods. *J. Agric. Food Chem.* 54:607-616.
- Sultana, B., F. Anwar, and S. Iqbal. 2008. Effect of different cooking methods on the antioxidant activity of some vegetables from Pakistan. *Int. J. Food Sci. Technol.* 43:560-567.
- Sun, T., Z. Xu, C.T. Wu, M. Janes, W. Prinyawiwatkul, and H.K. No. 2007. Antioxidant activities of different colored sweet bell peppers (*Capsicum annuum* L.). *J. Food Sci.* 72: 98-102.
- Szeto, Y. T., B. Tomlinson, and I. F. F. Benzie. 2002. Total antioxidant and ascorbic acid content of fresh fruits and vegetables: implications for dietary planning and food preservation. *Br. J. Nutr.* 87: 55-59.
- Tang, S. Y., M. Whiteman, Z. F. Peng, A. Jenner, E. L. Yong, and B. Halliwell. 2004. Characterization of antioxidant and antiglycation properties and isolation of active ingredients from traditional Chinese medicines. *Free Radic. Biol. Med.* 36: 1575-1587.
- Terao, J. and A. Nagao. 1997. Carotenoids as a food factor for cancer prevention: questions to be solved. In: *Food Factors for Cancer Prevention*, pp. 538-541.
- Terry, P., J. B. Terry, and A. Wolk. 2001. Fruit and vegetable consumption in the prevention of cancer: an update. *J. Intern. Med.* 250: 280-290.
- Thompson, H. J., J. Heimendinger, A. Diker, C. O'Neill, A. Haegele, B. Meinecke, P. Wolfe, S. Sedlacek, Z. Zhu, and W. Jiang. 2006. Dietary botanical diversity affects the reduction of oxidative biomarkers in women due to high vegetable and fruit intake. *J. Nutr.* 136: 2207-2212.
- Thompson, H. J., J. Heimendinger, S. Sedlacek, A. Haegele, A. Diker, C. O'Neill, B. Meinecke, P. Wolfe, Z. Zhu, and W. Jiang. 2005. 8-Isoprostane F_{2 α} excretion is reduced in women by increased vegetable and fruit intake. *Am. J. Clin. Nutr.* 82:768-776.
- Thompson, H.J., J. Heimendinger, C. Gillette, S.M. Sedlacek, A. Haegele, C. O'Neill, and P. Wolfe. 2005. In vivo investigation of changes in biomarkers of oxidative stress induced by plant food rich diets. *J. Agric. Food Chem.* 53:6126-6132.
- Toor, R.K., and G.P. Savage. 2005. Antioxidant activity in different fractions of tomatoes. *Food Res. Int.* 38: 487-494.
- Triantis, T., A. Stelakis, D. Dimotikali, and K. Papadopoulos. 2005. Investigations on the antioxidant activity of fruit and vegetable aqueous extracts on superoxide radical anion using chemiluminescence techniques. *Anal. Chim. Acta* 536:101-105.
- Tsai, T.H., P.J. Tsai, and S.C. Ho. 2005. Antioxidant and anti-inflammatory activities of several commonly used spices. *J. Food Sci.* 70: C93-C97.
- Turkmen, N., F. Sari, and Y. S. Velioglu. 2005. The effect of cooking methods on total phenolics and antioxidant activity of selected green vegetables. *Food Chem.* 93: 713-718.
- Valko, M., D. Leibfritz, J. Moncol, M.T.D. Cronin, M. Mazur, and J. Telser. 2007. Free radicals and antioxidants in normal physiological functions and human disease. *Int. J. Biochem. Cell Biol.* 39: 44-84.

- Van Poppel, G. and A. Goldbohm. 1995. Epidemiologic evidence for β -carotene and cancer prevention. Am. J. Clin. Nutr. 62: 1393S-1402S.
- Van't Veer, P., M.C.J.F. Jansen, M. Klerk, and F. J. Kok. 2000. Fruits and vegetables in the prevention of cancer and cardiovascular disease. Public Health Nutrition 3:103-107.
- Vin, S. Z. and A. R. Chaves. 2006. Antioxidant responses in minimally processed celery during refrigerated storage. Food Chem. 94: 68-74.
- Vinson, J. A., Y. Hao, X. Su, and L. Zubik. 1998. Phenol antioxidant quantity and quality in foods: vegetables. J. Agric. Food Chem. 46: 3630-3634.
- Wang, H., G. Cao and R. Prior. 1997. Oxygen radical absorbing capacity of anthocyanins. J. Agric. Food Chem. 45:304-309.
- Wangensteen, H., A. B. Samuelsen, and K. E. Malterud. 2004. Antioxidant activity in extracts from coriander. Food Chem. 88: 293-297.
- Wold, A.B., H. J. Rosenfeld, K. Holte, H. Baugerød, R. Blomhoff and K. Haffner. 2004. Colour of post-harvest ripened and vine ripened tomatoes (*Lycopersicon esculentum* Mill.) as related to total antioxidant capacity and chemical composition. Int. J. Food Sci. Technol. 39:295-302.
- Wu, S. J., Y.H. Chang, C.W. Fang and W.H. Pan. 1999. Food sources of weight, calories, and three macro-nutrients - NAHSIT 1993-1996. Nutritional Sciences Journal 24:41-58.
- Wu, X., F. Kassie, and V. Mersch-Sundermann. 2005. Induction of apoptosis in tumor cells by naturally occurring sulfur-containing compounds. Mutat. Res. 589: 81-102.
- Wu, X., G. R. Beecher, J. M. Holden, D. B. Haytoxitz, S. E. Gebhardt, and R. L. Pprior. 2004. Lipophilic and hydrophilic antioxidant capacities of common foods in the United States. J. Agric. Food Chem. 52: 4026-4037.
- Xu, B.J. and S.K.C. Chang. 2007. A comparative study on phenolic profiles and antioxidant activities of legumes as affected by extraction solvents. J. Food Sci. 72: S156-S166.
- Yang, J., K. J. Meyers, J. van der Heide, and R. H. Liu. 2004. Varietal differences in phenolic content and antioxidant and antiproliferative activities of onions. J. Agric. Food Chem. 52: 6787-6793.
- Young, J. E., X. Zhao, E. E. Carey, R. Welti, S.S. Yang, and W. Wang. 2005. Phytochemical phenolics in organically grown vegetables. Mol. Nutr. Food Res. 49: 1136-1142.
- Yu, L., J. Perret, B. Davy, J. Wilson, and C.L. Melby. 2002. Antioxidant properties of cereal products. J. Food Sci. 67: 2600-2603.
- Zhang, D. and Y. Hamauzu. 2004. Phenolics, ascorbic acid, carotenoids and antioxidant activity of broccoli and their changes during conventional and microwave cooking. Food Chem. 88:503-509.
- Zheng, W. and S. Y. Wang. 2001. Antioxidant activity and phenolic compounds in selected herbs. J. Agric. Food Chem. 49: 5165-5170.
- Zhou, K. and L. Yu. 2004. Effects of extraction solvent on wheat bran antioxidant activity estimation. Lebensm.-Wiss. Technol. 37: 717-721.
- Zhou, K. and L. Yu. 2006. Total phenolic contents and antioxidant properties of commonly consumed vegetables grown in Colorado. Lebensm.-Wiss. Technol. 39: 1155-1162.
- Ziegler, R.G., S.T. Mayne, and C.A. Swanson. 1996. Nutrition and lung cancer. Cancer Causes Control 7: 98

157-177.

Žitňanová, I., S. Ranostajová, H. Sobotová, D. Demelová, I. Pecháň, and Z. Ďuračková. 2006. Antioxidative activity of selected fruits and vegetables. Biologia 61: 279-284.



附表 3.1、前人研究進行 FRAP 分析的設定條件與儀器

Appendix table 3.1 Condition and instrument of FRAP assay used by former researcher.

試驗材料	測量波長	反應時間	反應過程	儀器	文獻
			控溫 37°C		
血液	593nm	4 min	未說明	Cobas Fara centrifugal analyzer (Roche)	Benzie and Strain (1996)
血液	585nm	8 min	無	Microtiter plate reader (MWG Biotech, Ebersberg, Germany)	Bub et al. (2000)
多酚化合物	595nm	4min, 30min	有	Beckman DU-640 spectrophotometer (Beckman Instruments Inc., Fullerton, CA)	Pulido et al. (2000)
三十四種蔬果	593nm	4 min	未說明	Cobas Fara centrifugal analyser (Roche Diagnostics Ltd, Basel, Switzerland)	Szeto et al. (2002)
各類蔬果穀物	600nm	未說明	未說明	Technicon RA 1000 system (Technicon Instruments Corporation, New York, NY)	Halvorsen et al. (2002)
十三種蔬菜	593nm	4 min	未說明	COBAS FARA II spectrofluorometric centrifugal analyzer (Roche)	Ou et al. (2002)
萐苣	593nm	4 min	無	UV-vis spectrophotometer (Shimadzu UV-160A)	Kang and Saltveit (2002)
五種水果	593nm	4,10,30 min	未說明	未說明	Imeh and Khokhar (2002)
花椰菜	593nm	45 min	無	UV-1603 Shimadzu spectrophotometer (Tokyo, Japan)	Llorach et al. (2003)
銀杏葉	593nm	90 min	未說明	UV-vis spectrophotometer	Goh et al. (2003)
番茄	593nm	4 min	無	未說明	George et al. (2004)
番茄	600nm	未說明	未說明	Technicon RA 1000 system (Technicon Instruments Corporation, New York, NY, USA)	Wold et al. (2004)
萐苣, 菊苣	593nm	45 min	無	UV-1603 Shimadzu spectrophotometer (Tokyo, Japan)	Llorach et al. (2004)
五種水果種子	593nm	90 min	未說明	UV-vis spectrophotometer (Shidmazu UV-1601) with a Shidmazu CPS-240A temperature controller	Soong and Barlow (2004)
櫻桃	未說明	未說明	未說明	Microplate spectrophotometer (ThermoMax, Molecular Devices, Foster City, Calif., U.S.A.)	Chaovanalikit and Wrolstad (2004)
珊瑚	600nm	8 min	未說明	ELISA plate reader (Packard SpectraCount, Griffin and Bhagooli Packard Biosciences)	Griffin and Bhagooli (2004)
血液	620nm	4 min	有	Rosys Plato 3000 (Immucor Gamma, Norcross, GA)	Dragsted et al. (2004)
十四種蔬果	593nm	10 min	無	UV/Visible spectrophotometer Ultrospec 3000 (Pharmacia Biotech, Uppsala, Sweden)	Nilsson et al. (2005)
草莓	593nm	60 min	無	Agilent 8453 Spectrophotometer (Agilent Technologies, Waldbronn, Germany)	Aaby et al. (2005)
草莓	595nm	8 min	未說明	未說明	Klopotek et al. (2005)
黑莓	593nm	15 min	有	Microplate spectrophotometer (μ Quant, Bio-Tek Instruments, Inc.)	Reyes-Carmona et al. (2005)
藍莓	593nm	6 min	未說明	ELx800 microplate reader (Bio-Tek, Winooski, Vt., U.S.A.)	Schmidt et al. (2005)
蘋果	593nm	4 min	有	UV-vis microplate kinetics reader (EL 340, Bio-Tek Instruments, Inc., Winooski, VT)	Tsao et al. (2005)
咖啡	595nm	30 min	有	Shimadzu UV-visible 1601 spectrophotometer (Duisburg, Germany) with a thermostated automatic sample positioner	Delgado-Andrade et al. (2005)
甜椒	593nm	4 min	無	未說明	Deepa et al. (2006)
二十六種蔬菜	593nm	至少 4 min (better 10-30 min)	未說明	Spectrophotometer HELIOS β	Stratil et al. (2006)

二十五種蔬果	593nm	10 min	未說明	Spectrophotometer (Biochrom 4060, Pharmacia LKB Biochrom Limited, England)	Žitňanová et al. (2006)
番茄	593nm	4 min	無	Beckman DU 650 spectrophotometer	Lenucci et al. (2006)
番茄	595nm	30 min	有	Beckman DU 7400 spectrophotometer	Fanasca et al. (2006)
石榴	593nm	10 min	有	未說明	Li et al. (2006)
三十種中藥材	593nm	4 min	未說明	未說明	Wong et al. (2006)
血液	593nm	超過 10 min	有	UV-vis spectrophotometer (Ultrospec III Pharmacia LKB, Spectro-Kinetics software, Cambridge, UK)	DeGraft-Johnson et al. (2007)
八種豆類作物	未說明	未說明	未說明	UV-vis Spectrophotometer (UV160, Shimadzu, Japan)	Xu and Chang (2007)
青花菜	593nm	4 min	未說明	UV-vis spectrophotometer (Specord, Analytik Jena, Jena, Germany)	Kaur et al. (2007)



附表 3.2、蔬菜樣品來源、產地與取樣月份

Appendix table 3.2 Origin, the place of production, and month of sampling of vegetables.

蔬菜名稱 / 品系或特徵	取樣別	取樣來源	產地	取樣月份	蔬菜名稱 / 品系或特徵	取樣別	取樣來源	產地	取樣月份
葉									
紫色甘藍	I	D	-	一月	茼蒿	I	B	西螺,雲林	二月
	II	A	美國	八月		II	B	西螺,雲林	三月
	I	B	西螺,雲林	二月	芥菜 / 葉用芥菜 (小芥菜)	I	B	西螺,雲林	二月
	II	B	西螺,雲林	三月		II	B	西螺,雲林	三月
甘藷葉	III	B	西螺,雲林	三月		III	B	西螺,雲林	三月
	IV	B	西螺,雲林	三月	油菜	I	B	西螺,雲林	二月
	V	A	新港,嘉義	五月		II	B	西螺,雲林	三月
	VI	D	-	一月		III	B	西螺,雲林	三月
'桃園二號'	VII	E	大園,桃園	六月		I	B	西螺,雲林	二月
	I	A	屏東	五月	菠菜	II	B	西螺,雲林	三月
羅勒 / 緑莖種 (九層塔)	II	A	屏東	五月		III	B	西螺,雲林	三月
	III	A	-	八月		IV	A	梨山,台中	五月
豌豆嫩梢	I	A	埔里,南投	三月	莧菜 / 白莧品系	I	A	八德,桃園	五月
	I	A	花蓮	五月		II	A	-	三月
過溝菜蕨 (過貓)	II	A	花蓮	五月	豌豆苗	I	D	-	七月
	III	A	花蓮	五月	葉萬苣 / 尖葉種 (A菜)	I	B	西螺,雲林	二月
羅勒 / 紫莖種	I	A	屏東	五月		II	B	西螺,雲林	三月
	II	A	屏東	五月		III	B	西螺,雲林	三月
芥藍	I	B	西螺,雲林	三月	山蘇花	I	A	-	五月
	II	B	西螺,雲林	三月		II	A	花蓮	五月
芫荽 (香菜)	I	A	彰化	五月		I	B	西螺,雲林	二月
莧菜 / 紫斑品系	I	A	八德,桃園	五月	半結球萬苣 (大陸妹)	II	B	西螺,雲林	三月
韭菜 / 葉基白色 (白頭)	I	A	花蓮	五月		III	B	西螺,雲林	三月
/ 全葉綠色 (青頭)	II	A	三峽,台北	五月		IV	A	西螺,雲林	五月
皺葉萵苣	I	A	-	八月	蘿菜 (空心菜)	I	A	-	五月
山芹菜 (鴨兒芹)	I	A	新港,嘉義	五月		II	A	新港,嘉義	三月
	II	A	新港,嘉義	五月	'桃園一號'	III	F	大園,桃園	六月
小白菜	I	B	西螺,雲林	二月		I	A	吉安,花蓮	五月
	II	B	西螺,雲林	三月	梨瓜嫩梢 (龍鬚菜)	II	A	吉安,花蓮	五月
	III	B	西螺,雲林	三月		III	A	吉安,花蓮	五月
紅鳳菜	I	A	二輪,雲林	五月		I	B	西螺,雲林	二月
	II	A	-	五月		II	B	西螺,雲林	三月
	III	A	-	八月	芹菜 / 本地種	III	B	西螺,雲林	三月
小松菜	I	C	-	一月		IV	A	西螺,雲林	五月
	II	C	-	一月		V	C	-	一月
青梗白菜	I	B	西螺,雲林	二月	包心白菜	I	A	-	六月
	II	B	西螺,雲林	三月	結球萬苣 / 包被型	I	C	-	一月
	III	B	西螺,雲林	三月	翠玉白菜	I	B	西螺,雲林	二月
青蔥	I	B	西螺,雲林	二月	甘藍 (高麗菜)	I	D	-	七月
	II	B	西螺,雲林	三月	芹菜 / 西洋種 (西洋芹)	I	A	美國	八月
	III	B	西螺,雲林	三月	紅紫蘇	I	B	西螺,雲林	三月
落葵 (皇宮菜)	I	A	嘉義	五月					
	II	A	花蓮	五月					
茄									
辣椒 / 紅色, 短錐形	I	A	-	六月	小果番茄 / 每顆 15-20g, 紅色, 圓形	I	D	-	七月
	II	A	-	八月		II	A	二水,彰化	五月
	III	D	-	一月	茄子 / 長形, '麻薯長茄'	II	C	-	一月
甜椒 / 黃色, 鐘型	I	A	新港,嘉義	五月		I	A	二水,彰化	五月
	II	A	-	八月	茄子 / 卵形	I	A	二水,彰化	五月
	III	D	-	一月	青辣椒 / 長錐形	I	A	-	六月
甜椒 / 紅色, 鐘型	I	A	新港,嘉義	五月	伏見甘長辣椒 (糯米椒)	I	A	-	六月
	II	A	-	八月	中果番茄 / 每顆 120-150g, 50% 轉色	I	D	-	七月
	III	D	-	一月		I	D	-	七月
甜椒 / 橙色, 鐘型	I	A	新港,嘉義	五月	中果番茄 / 每顆 70-90g, 紅熟期	I	D	-	七月
辣椒 / 紅色, 長錐形	I	A	-	六月					
	II	A	信義,南投	八月					
	I	A	魚池,南投	五月					
青椒	II	A	-	八月					
	III	D	-	一月					

蔬菜名稱 / 品系或特徵	取樣別	取樣來源	產地	取樣月份	蔬菜名稱 / 品系或特徵	取樣別	取樣來源	產地	取樣月份
英 果 類									
長豇豆 / 黑皮品系	I	A	-	五月	長豇豆 / 青皮品系	I	A	新港,嘉義	五月
	I	A	-	六月		II	A	-	五月
黃秋葵	II	A	-	六月	長豇豆 / 白皮品系	I	A	-	五月
	III	A	-	八月	菜豆 (皇帝豆)	I	A	-	五月
長豇豆 / 紅皮品系	I	A	新港,嘉義	五月	豌豆 / 甜豌豆品系	I	A	越南	五月
	II	A	-	五月		II	A	越南	八月
	I	A	越南	五月	菜豆 / '粉豆'	I	A	南投	五月
豌豆 / 嫩莢品系	II	A	越南	五月		II	A	南投	五月
	III	A	越南	八月	菜豆 (四季豆)	I	A	信義,南投	五月
落花生	I	A	雲林	五月		II	A	信義,南投	五月
瓜 果 類									
野生苦瓜 (山苦瓜)	I	A	-	八月	花胡瓜 (小黃瓜)	I	A	-	六月
苦瓜 / 白皮品系	I	-	-	六月		II	A	-	八月
扁蒲	I	A	彰化	六月	圓筒絲瓜 / 短筒種	I	A	-	六月
西瓜 / 紅肉大瓜品系	I	D	-	六月					
花 菜 類									
韭菜花苔	I	A	-	八月		I	B	西螺,雲林	三月
	I	A	-	六月	青花菜	II	B	西螺,雲林	三月
花椰菜	II	C	-	一月		III	B	西螺,雲林	三月
根 莖 類									
老薑	I	A	-	六月	薑	I	A	-	五月
	II	A	-	八月		I	A	-	六月
蓮藕	I	A	-	五月	大蒜	II	A	北港,雲林	八月
	II	A	苗栗	八月		III	G	台中	三月
嫩薑	I	A	-	六月	/'大片黑'	IV	G	台中	三月
	II	A	-	八月	馬鈴薯	I	B	斗南,雲林	二月
蘆筍/	I	A	泰國	三月		I	C	-	一月
芋 / 檳榔心芋	I	A	甲仙,台中	六月	胡蘿蔔	I	A	-	六月
/ 麵芋	II	A	-	八月	茭白 (茭白筍)	I	A	-	六月
洋蔥	I	B	彰化	二月	麻竹筍	I	A	台中	六月
	II	A	-	六月	孟宗竹筍 (冬筍)	I	A	溪頭,南投	三月
蘿蔔	I	A	泰國	六月	綠竹筍	I	A	溪頭,南投	三月

取樣來源— A：台北農產運銷公司果菜批發市場 B：雲林西螺漢光果菜生產合作社 C：台灣主婦聯盟生活消費合作社 D：台北水源市場 E：桃園大園蔡文成先生 F：桃園大園湯嘉豐先生 G：台中區農業改良場

附表 3.3、蔬菜分析前的狀態與分析取樣方法

Appendix table 3.3 Status of vegetables and the treatment of sampling before analysis.

蔬菜名稱 / 品系或特徵	取樣別	樣品狀態	分析部位	取樣量
葉 菜 類				
紫色甘藍	I	自市場取回，當日分析，結構完整，顏色鮮艷，暴露於環境之外層葉稍有失水狀況	葉 (含內外層葉)	約 150 g
	II	進口蔬菜，自市場取回，當日分析，結構完整，顏色鮮艷	葉 (含內外層葉)	3 顆植株，各對稱切取 1/16 葉片，約 250 g
甘藷葉	I	自產地田間取回，4°C 保存，隔日分析，外觀良好	葉及嫩枝條	約 45 g
	II	產地集貨場取回，4°C 保存，隔二日分析，葉片外觀略有失水狀況	葉及嫩枝條	約 30 g
甘藷葉	III	自產地集貨場取回，4°C 保存，隔日分析，外觀良好	葉及嫩枝條	約 70 g
	IV	自產地集貨場取回，4°C 保存，隔日分析，外觀良好	葉及嫩枝條	約 60 g
甘藷葉	V	自市場取回，當日分析，外觀良好	葉及嫩枝條	約 90 g
	VI	自市場取回，當日分析，外觀良好	葉及嫩枝條	約 40 g
'桃園二號'	VII	自產地田間取回，當日分析，外觀良好	葉及嫩枝條	約 90 g
	I	自市場取回，當日分析，外觀良好	枝梢	約 60 g
羅勒 / 綠莖種 (九層塔)	II	自市場取回，當日分析，外觀良好	枝梢	約 40 g
	III	自市場取回，當日分析，外觀良好	枝梢	約 40 g
豌豆嫩梢	I	自市場取回，當日分析，外觀良好	枝梢	約 90 g
	I	自市場取回，當日分析，羽狀複葉由於葉片堆疊而扭曲或折損	葉	約 85 g
過溝菜蕨 (過貓)	II	自市場取回，當日分析，羽狀複葉由於葉片堆疊而扭曲或折損	葉	約 60 g
	III	自市場取回，當日分析，羽狀複葉由於葉片堆疊而扭曲或折損	葉	取葉片 10 支，約 45 g
羅勒 / 紫莖種	I	自市場取回，當日分析，外觀良好	枝梢	約 55 g
	II	自市場取回，當日分析，外觀良好	枝梢	約 35 g
芥藍	I	自產地集貨場取回，4°C 保存，隔日分析，外觀良好	葉	6 個植株，各取 2 片 葉片，約 100 g
	II	自產地集貨場取回，4°C 保存，隔二日分析，葉片外觀略有失水狀況	葉	4 個植株，各取 3 片 葉片，約 100 g
芫荽 (香菜)	I	自市場取回，當日分析，外觀良好	葉	6 個植株，各取 3 片 葉片，約 35 g
	I	自市場取回，當日分析，外觀良好	全株 (去根)	10 個植株，約 50 g
莧菜 / 紫斑品系	I	自市場取回，當日分析，外觀良好	葉	約 55 g
	II	自市場取回，當日分析，外觀良好，形態較白頭者細小	葉	約 35 g
皺葉萐蕡	I	自市場取回，當日分析，外觀良好	葉	5 個植株，各取 2 片 葉片，約 80 g
	I	自市場取回，當日分析，外觀良好	葉	約 50 g
山芹菜 (鴨兒芹)	II	自市場取回，當日分析，外觀良好	葉	約 50 g
	I	自產地田間取回，4°C 保存，隔日分析，外觀良好	葉	6 個植株，各取 3 片 葉片，約 95 g
小白菜	II	自產地集貨場取回，4°C 保存，隔日分析，外觀良好	葉	6 個植株，各取 2 片 葉片，約 95 g
	III	自產地集貨場取回，4°C 保存，隔日分析，外觀良好	葉	6 個植株，各取 2 片 葉片，約 70 g
紅鳳菜	I	自市場取回，當日分析，外觀良好	枝梢 (約 20 cm)	約 80 g
	II	自市場取回，當日分析，形態完整，色彩較暗淡	枝梢 (約 3 cm)	枝梢 13 個，約 55 g
小松菜	III	自市場取回，當日分析，外觀良好	枝梢	約 50 g
	I	自商店低溫存放，取回當日分析，外觀良好	葉	約 10 g
青梗白菜	II	自商店低溫存放，取回當日分析，外觀良好	葉	約 55 g
	I	自產地田間取回，4°C 保存，隔日分析，外觀良好	葉	6 個植株，各取 2 片 葉片，約 85 g
青梗白菜	II	自產地田間取回，4°C 保存，隔日分析，由於網室有機栽培，葉片略受蟲害危害	葉	6 個植株，各取 3 片 葉片，約 55 g
	III	自產地集貨場取回，4°C 保存，隔日分析，外觀良好	葉	6 個植株，各取 3 片 葉片，約 110 g

青蔥	I	自產地集貨場取回, 4°C 保存, 隔日分析, 綠色葉身略有黃化 與破損	葉 (除部分葉身)	約 100 g
	II	自產地集貨場取回, 4°C 保存, 隔二日分析, 外觀良好	葉	5 個植株, 約 120 g
	III	自產地集貨場取回, 4°C 保存, 隔日分析, 外觀良好	葉	5 個植株, 約 160 g
落葵 (皇宮菜)	I	自市場取回, 當日分析, 外觀良好	枝梢 (約 25 cm)	6 個枝梢, 約 120 g
	II	自市場取回, 當日分析, 外觀良好	枝梢 (約 20 cm)	7 個枝梢, 約 70 g
茼蒿	I	自產地田間取回, 4°C 保存, 隔日分析, 外觀良好	葉	6 個植株, 各 3 片 葉片, 約 80 g
	II	自產地冷藏庫中取回, 4°C 保存, 隔日分析, 外觀良好	葉	6 個植株, 各 2 片 葉片, 約 55 g
芥菜 / 葍用芥菜 (小芥菜)	I	自產地田間取回, 4°C 保存, 隔日分析, 外觀良好	葉	6 個植株, 各 2 片 葉片, 約 100 g
	II	自產地集貨場取回, 4°C 保存, 隔日分析, 外觀良好	葉	6 個植株, 各 2 片 葉片, 約 110 g
	III	自產地集貨場取回, 4°C 保存, 隔日分析, 外觀良好	葉	6 個植株, 各 2 片 葉片, 約 120 g
油菜	I	自產地田間取回, 4°C 保存, 隔日分析, 外觀良好	葉	6 個植株, 各 2 片 葉片, 約 100 g
	II	自產地集貨場取回, 4°C 保存, 隔日分析, 外觀良好	葉	6 個植株, 各 2 片 葉片, 約 120 g
	III	自產地集貨場取回, 4°C 保存, 隔日分析, 外觀良好	葉	6 個植株, 各 2 片 葉片, 約 85 g
菠菜	I	自產地田間取回, 4°C 保存, 隔日分析, 外觀良好	葉	6 個植株, 各 3 片 葉片, 約 120 g
	II	自產地集貨場取回, 4°C 保存, 隔日分析, 外觀良好	葉	6 個植株, 各 3 片 葉片, 約 120 g
	III	自產地集貨場取回, 4°C 保存, 隔日分析, 外觀良好	葉	約 55 g
	IV	自市場取回, 當日分析, 外觀良好	葉	6 個植株, 各 3 片 葉片, 約 160 g
莧菜 / 白莧品系	I	自市場取回, 當日分析, 外觀良好	全株 (去根)	10 個植株, 約 70 g
	II	自市場取回, 當日分析, 外觀良好	全株 (去根)	約 200 g
豌豆苗	I	蔬菜溫室栽培, 盒裝, 自市場取回, 當日分析, 外觀良好	全株	約 40 g
	I	自產地田間取回, 4°C 保存, 隔日分析, 外觀良好	葉	6 個植株, 各 3 片 葉片, 約 100 g
葉萐苣 / 尖葉種 (A 菜)	II	網室有機栽培, 自產地田間取回, 4°C 保存, 隔日分析, 外 觀良好	葉	6 個植株, 各 3 片 葉片, 約 65 g
	III	自產地集貨場取回, 4°C 保存, 隔日分析, 外觀良好	葉	6 個植株, 各 3 片 葉片, 約 65 g
	I	切好之葉片先端, 自市場取回, 當日分析, 外觀良好	葉片先端 約 10 cm	13 片葉片先端, 約 80 g
山蘇花	II	切好之葉片先端, 自市場取回, 當日分析, 外觀良好	葉片先端 約 10 cm	10 片葉片先端, 約 50 g
	I	網室有機栽培, 自產地田間取回, 4°C 保存, 隔二日分析, 外觀良好 (由於較旱採收, 尺寸較小)	葉	6 個植株, 各 3 片 葉片, 約 70 g
半結球萐苣 (大陸妹)	II	網室有機栽培, 自產地田間取回, 4°C 保存, 隔日分析, 外 觀良好	葉	5 個植株, 各 3 片 葉片, 約 100 g
	III	自產地集貨場取回, 4°C 保存, 隔日分析, 外觀良好	葉	5 個植株, 各 3 片 葉片, 約 190 g
	IV	自市場取回, 當日分析, 外觀良好	葉	5 個植株, 各 3 片 葉片, 約 90 g
蕹菜 (空心菜)	I	自市場取回, 當日分析, 外觀良好	全株 (去根)	10 個植株, 約 40 g
	II	自市場取回, 當日分析, 外觀良好	全株 (去根)	約 90 g
	III	自產地田間取回, 4°C 保存, 隔日分析, 外觀良好	全株 (去根)	約 60 g

梨瓜嫩梢 (龍鬚菜)	I	自市場取回, 當日分析, 外觀良好	嫩枝條	約 65 g
	II	自市場取回, 當日分析, 外觀良好	嫩枝條	10 個枝條, 約 55 g
	III	自市場取回, 當日分析, 外觀良好	嫩枝條	10 個枝條, 約 80 g
芹菜 / 本地種	I	自產地集貨場取回, 4°C 保存, 隔日分析, 外觀良好	葉	6 個植株, 各取葉片 2 支, 約 80 g
	II	自產地集貨場取回, 4°C 保存, 隔日分析, 外觀良好	葉	6 個植株, 各取葉片 2 支, 約 85 g
	III	自產地集貨場取回, 4°C 保存, 隔日分析, 外觀良好	葉	6 個植株, 各取葉片 2 支, 約 70 g
	IV	自市場取回, 當日分析, 外觀良好	葉	7 個植株, 各取葉片 2 支, 約 120 g
	V	商店低溫存放, 取回當日分析, 外觀良好	葉	約 50 g
包心白菜	I	自市場取回, 當日分析, 外觀良好	葉 (含內外層葉)	4 顆植株, 各對稱切取 1/8 葉片, 約 200 g
結球萐苣 / 包被型	I	商店低溫存放, 取回當日分析, 外觀良好	葉 (含內外層葉)	3 顆植株, 各對稱切取 1/4 葉片, 約 180 g
翠玉白菜	I	自產地田間取回, 4°C 保存, 隔日分析, 外觀良好	葉 (含內外層葉)	6 顆植株, 內中外各取 1 片葉片, 約 660 g
甘藍 (高麗菜)	I	市場取回, 當日分析, 外觀良好	葉 (含內外層葉)	3 顆植株, 各對稱切取 1/16 葉片, 約 200 g
芹菜 / 西洋種 (西洋芹)	I	進口蔬菜, 自市場取回, 當日分析, 外觀良好	葉 (不含葉身)	3 個植株, 各取 1/2 葉片 3 支, 約 250 g
紅紫蘇	I	自產地田間取回, 外觀良好	葉	-

茄果類				
辣椒 / 紅色, 短錐形	I	自市場取回, 當日分析, 結構完整, 顏色鮮艷, 有光澤	果實 (去果蒂)	15 個果實, 約 50 g
	II	自市場取回, 當日分析, 結構完整, 顏色鮮艷, 有光澤	果實 (去果蒂)	12 個果實, 約 45 g
	III	自市場取回, 當日分析, 結構完整, 顏色鮮艷, 有光澤	果實 (去果蒂)	約 20 g
甜椒 / 黃色, 鐘型	I	自市場取回, 當日分析, 結構完整, 顏色鮮艷, 有光澤	果實 (去籽、果蒂)	5 個果實, 各對稱切取 1/8, 約 130 g
	II	自市場取回, 當日分析, 結構完整, 顏色鮮艷, 有光澤	果實 (去籽、果蒂)	3 個果實, 各對稱切取 1/4, 約 130 g
	III	自市場取回, 當日分析, 結構完整, 顏色鮮艷, 有光澤	果實 (去籽、果蒂)	約 90 g
甜椒 / 紅色, 鐘型	I	自市場取回, 當日分析, 結構完整, 顏色鮮艷, 有光澤	果實 (去籽、果蒂)	5 個果實, 各對稱切取 1/8, 約 125 g
	II	自市場取回, 當日分析, 結構完整, 顏色鮮艷, 有光澤	果實 (去籽、果蒂)	3 個果實, 各對稱切取 1/4, 約 120 g
	III	自市場取回, 當日分析, 結構完整, 顏色鮮艷, 有光澤	果實 (去籽、果蒂)	約 115 g
甜椒 / 橙色, 鐘型	I	自市場取回, 當日分析, 結構完整, 顏色鮮艷, 有光澤	果實 (去籽、果蒂)	5 個果實, 各對稱切取 1/8, 約 130 g
辣椒 / 紅色, 長錐形	I	自市場取回, 當日分析, 結構完整, 顏色鮮艷, 有光澤	果實 (去果蒂)	8 個果實, 約 100 g
	II	自市場取回, 當日分析, 結構完整, 顏色鮮艷, 有光澤	果實 (去果蒂)	7 個果實, 約 100 g
青椒	I	自市場取回, 當日分析, 外觀良好	果實 (去籽、果蒂)	5 個果實, 各對稱切取 1/8, 約 125 g
	II	自市場取回, 當日分析, 外觀良好	果實 (去籽、果蒂)	3 個果實, 各對稱切取 1/4, 約 100 g
	III	自市場取回, 當日分析, 外觀良好	果實 (去籽、果蒂)	約 130 g
小果番茄 / 每顆 15-20g, 紅色, 圓形	I	自市場取回, 當日分析, 外觀良好, 顏色鮮艷, 有光澤	果實 (去果蒂)	9 個果實, 約 130 g
茄子 / 長形, '麻薯長茄'	I	自市場取回, 當日分析, 外觀良好, 顏色鮮艷, 有光澤	果實 (去果蒂)	5 個果實, 各對稱切取 1/8, 約 180 g
	II	自商店取回, 當日分析, 外觀良好, 顏色鮮艷, 有光澤	果實 (去果蒂)	約 90 g

茄子 / 卵形	I	自市場取回，當日分析，外觀良好，顏色鮮艷，有光澤	果實 (去果蒂)	5 個果實，各對稱切取 1/8，約 180g
青辣椒 / 長錐形	I	自市場取回，當日分析，外觀良好，有光澤	果實 (去果蒂)	8 個果實，約 130 g
伏見甘長辣椒 (糯米椒)	I	自市場取回，當日分析，外觀良好，有光澤	果實 (去果蒂)	10 個果實，約 90 g
中果番茄 / 每顆 120-150g, 50% 轉色	I	自市場取回，當日分析，外觀良好，有光澤	果實 (去果蒂)	5 個果實，各對稱切取 1/4，150-180 g
中果番茄 / 每顆 70-90g, 紅熟期	I	自市場取回，當日分析，外觀良好，有光澤， 因成熟略為變軟	果實 (去果蒂)	3-4 個果實，各對稱切取 1/2，110-160g

莢 果 類

長豇豆 / 黑皮品系	I	自市場取回，當日分析，外觀良好	豆莢	8 個果實，約 100 g
	I	自市場取回，當日分析，外觀良好 (果實約 9 cm 長)	果莢	10 個果實，約 90 g
黃秋葵	II	自市場取回，當日分析，外觀良好 (果實較晚採收，纖維較粗， 尺寸較大，約 14 cm 長)	果莢	5 個果實，約 90 g
	III	自市場取回，當日分析，外觀良好	果莢	10 個果實，約 100 g
長豇豆 / 紅皮品系	I	自市場取回，當日分析，外觀良好	豆莢	5 個果實，約 200 g
	II	自市場取回，當日分析，外觀良好	豆莢	4 個果實，約 150 g
	I	進口蔬菜，自市場取回，當日分析，外觀良好	豆莢 (去果蒂)	20 個果實，約 50 g
豌豆 / 嫩莢品系	II	進口蔬菜，自市場取回，當日分析，外觀良好	豆莢 (去果蒂)	20 個果實，約 55 g
	III	進口蔬菜，自市場取回，當日分析，外觀良好	豆莢 (去果蒂)	約 65 g
落花生	I	果莢帶有泥土，自市場取回，當日分析，外觀良好	豆仁	豆仁 28 粒，約 40 g
長豇豆 / 青皮品系	I	自市場取回，當日分析，外觀良好	豆莢	5 個果實，約 150 g
	II	自市場取回，當日分析，外觀良好	豆莢	4 個果實，約 110 g
長豇豆 / 白皮品系	I	自市場取回，當日分析，外觀良好	豆莢	4 個果實，約 135 g
菜豆 (皇帝豆)	I	乾淨豆仁自市場取回，當日分析，外觀良好	豆仁	25 粒，約 70 g
豌豆 / 甜豌豆品系	I	進口蔬菜，自市場取回，當日分析，外觀良好	豆莢 (去果蒂)	約 100 g
	II	進口蔬菜，自市場取回，當日分析，外觀良好	豆莢 (去果蒂)	18 個果實，約 75 g
菜豆 / '粉豆'	I	自市場取回，當日分析，外觀良好	豆莢	6 個果實，約 100 g
菜豆 (四季豆)	I	自市場取回，當日分析，外觀良好	豆莢	10 個果實，約 70 g
	II	自市場取回，當日分析，外觀良好	豆莢	11 個果實，約 65 g

瓜 果 類

野生苦瓜 (山苦瓜)	I	自市場取回，當日分析，外觀良好	果實	5 個果實，各對稱切取 1/4，約 110 g
苦瓜 / 白皮品系	I	實驗室栽培，自簡易溫室取回，當日分析，外觀良好	果實 (去籽)	約 120 g
扁蒲	I	自市場取回，當日分析，外觀良好	果實 (含外皮)	4 個果實，各對稱切取 1/16，約 340 g
西瓜 / 紅肉大瓜品系	I	自市場取回，當日分析，外觀良好	紅色果肉部分 (去籽)	約 500 g
花胡瓜 (小黃瓜)	I	自市場取回，當日分析，外觀良好	果實	5 個果實，各對稱切取 1/2，約 300 g
	II	自市場取回，當日分析，外觀良好	果實	5 個果實，各對稱切取 1/4，約 220 g
圓筒絲瓜 / 短筒種	I	自市場取回，當日分析，外觀良好	果實 (去外皮)	3 個果實，各取上中下 2 cm 厚，再對稱取 1/2，約 370 g

花 菜 類

韭菜花苔	I	自市場取回，當日分析，外觀良好	花苞與花梗	15 支花苔，約 45 g
花椰菜	I	自市場取回，當日分析，外觀良好	花苞與花梗	5 個花球，各對稱切取 1/4，約 240 g
	II	自商店取回，當日分析，外觀良好	花苞與花梗	約 190 g

青花菜	I	自產地田間取回，4°C 保存，隔二日分析，外觀良好	花苞、花梗與莖	6 個花球，各對稱切取 1/4，約 350 g
	II	自產地田間取回，4°C 保存，隔日分析，外觀良好	花苞、花梗與莖	5 個花球，各對稱切取 1/4，約 345 g
	III	自產地冷藏庫中取回，4°C 保存，隔日分析，外觀良好	花苞、花梗與莖	5 個花球，各對稱切取 1/4，約 390 g
根 莖 類				
老薑	I	乾淨的地下莖，自市場取回，當日分析，外觀良好	地下莖	約 125 g
	II	乾淨的地下莖，自市場取回，當日分析，外觀良好	地下莖	約 165 g
蓮藕	I	地下莖帶有泥土，自市場取回，當日分析，外觀良好	地下莖	3 個地下莖，各對稱切取 1/4，約 160 g
	II	地下莖帶有泥土，自市場取回，當日分析，外觀良好	地下莖	5 個地下莖，各對稱切取 1/4，約 145 g
嫩薑	I	乾淨的地下莖，自市場取回，當日分析，外觀良好	地下莖	約 150 g
	II	乾淨的地下莖，自市場取回，當日分析，外觀良好	地下莖	約 135 g
蘆筍	I	進口蔬菜，自市場取回，當日分析，外觀良好	嫩莖	約 130 g
芋	/ 檳榔心芋	I 球莖帶有泥土，自市場取回，當日分析，外觀良好	球莖 (去外皮)	3 個球莖，約取 185 g
	/ 麵芋	II 球莖帶有泥土，自市場取回，當日分析，外觀良好	球莖 (去外皮)	5 個球莖，各對稱切取 1/4，約 140 g
洋蔥	I	乾淨的鱗莖，自取樣地集貨場取回，隔日分析，外觀良好	鱗莖 (去外皮)	6 個鱗莖，各對稱切取 1/4，約 290 g
	II	乾淨的鱗莖，自市場取回，當日分析，外觀良好	鱗莖 (去外皮)	4 個鱗莖，各對稱切取 1/4，約 195 g
蘿蔔	I	進口蔬菜，根部長筒形，光滑乾淨，自市場取回，當日分析，外觀良好	肉質根	4 個根，取上中下 3 段各 2cm，再取 1/2 塊，約 485 g
荸薺	I	球莖帶有泥土，自市場取回，當日分析，外觀良好	球莖 (去外皮)	8 個球莖，各對稱切取 1/2，約 60 g
	I	各蒜瓣分離，自市場取回，當日分析，外觀良好	鱗莖 (去外皮)	10 個蒜瓣，約 55 g
大蒜	II	各蒜瓣分離，自市場取回，當日分析，外觀良好	鱗莖 (去外皮)	10 個蒜瓣，約 60 g
	/'大片黑'	III 自台中場取得，蒜球結構完整 (分析前 4 天採收，常溫下存放)	鱗莖 (去外皮)	2 個蒜球之蒜瓣，約 70 g
馬鈴薯	/'和美'	IV 自台中場取得，蒜球結構完整 (分析前 14 天採收，常溫下存放)	鱗莖 (去外皮)	2 個蒜球之蒜瓣，約 55 g
	I	塊莖帶有泥土，自取樣地集貨場取回，隔日分析，外觀良好	塊莖 (含外皮)	6 個塊莖，各取 1/4，約 140 g
胡蘿蔔	I	乾淨的根，不帶葉，自商店取回，當日分析，外觀良好	肉質根	約 170 g
茭白 (茭白筍)	I	自市場取回，當日分析，外觀良好，莖部外皮光滑	肥大莖部 (去外殼)	5 個莖部，各對稱切取 1/2，約 255 g
麻竹筍	I	自市場取回，當日分析，外觀良好	嫩芽 (去外殼)	4 個嫩芽，各對稱切取 1/16，約 350 g
孟宗竹筍 (冬筍)	I	自市場取回，當日分析，外觀良好	嫩芽 (去外殼)	5 個嫩芽，各對稱切取 1/2，約 150 g
綠竹筍	I	自市場取回，當日分析，外觀良好	嫩芽 (去外殼)	5 個嫩芽，各對稱切取 1/2，約 190 g

附表 3.4、所有取樣蔬菜抗氧化力 (FRAP 值) 與總酚類含量的原始數據

Appendix table 3.4 Original data of FRAP value and total phenolic content of all vegetable samples.

蔬菜名稱 / 品系或特徵	取樣別	乾溼比 (%)	抗氧化力 ($\mu\text{mol FeSO}_4/\text{g f.w.}$)	單位乾重總酚類含量 ($\mu\text{mol GAE/g d.w.}$)	蔬菜名稱 / 品系或特徵	取樣別	乾溼比 (%)	抗氧化力 ($\mu\text{mol FeSO}_4/\text{g f.w.}$)	單位乾重總酚類含量 ($\mu\text{mol GAE/g d.w.}$)
葉 菜									
紫色甘藍	I	-	16.18 \pm 3.04	-	落葵 (皇宮菜)	I	10.3	6.45 \pm 0.45	76.66 \pm 0.75
	II	8.9	16.88 \pm 1.09	107.07 \pm 2.47		II	5.5	3.73 \pm 0.26	81.91 \pm 2.05
	平均		16.5	107.1		平均		5.1	79.28
甘藷菜	I	16.9	14.92 \pm 2.61	112.00 \pm 3.26	筍蒿	I	4.4	5.34 \pm 0.64	37.77 \pm 0.99
	II	13.4	11.46 \pm 2.96	184.14 \pm 2.84		II	5.6	4.75 \pm 0.77	52.62 \pm 3.07
	III	10.4	10.97 \pm 1.67	133.05 \pm 2.36		平均		5.0	45.20
	IV	9.2	12.83 \pm 1.04	227.33 \pm 9.05	芥菜 / 芥用芥菜 (小芥菜)	I	6.7	7.17 \pm 0.26	57.92 \pm 3.79
	V	9.5	8.94 \pm 1.20	180.99 \pm 9.09		II	5.2	3.81 \pm 0.59	62.38 \pm 2.37
	VI	-	33.24 \pm 3.02	-		III	6.1	3.65 \pm 0.32	66.04 \pm 1.41
/'桃園二號'	VII	-	7.06 \pm 0.34	-		平均		4.9	62.1
	平均		14.2	167.5	油菜	I	4.9	6.08 \pm 0.39	46.68 \pm 2.45
蘿勒 / 緣莖種 (九層塔)	I	9.5	8.84 \pm 0.65	182.67 \pm 15.87		II	4.6	3.11 \pm 0.36	44.65 \pm 3.75
	II	9.7	13.11 \pm 3.55	277.58 \pm 13.28		III	4.4	5.27 \pm 1.15	46.68 \pm 1.30
	III	8.9	20.52 \pm 2.27	401.96 \pm 7.06		平均		4.8	46.0
	平均		14.2	287.4	菠菜	I	6.0	5.01 \pm 0.33	67.28 \pm 2.17
豌豆嫩梢	I	10.8	10.98 \pm 0.47	117.96 \pm 0.89		II	5.3	3.89 \pm 0.91	69.04 \pm 4.15
過溝菜蕨 (過貓)	I	8.9	16.00 \pm 1.95	185.74 \pm 5.66		III	6.8	4.82 \pm 1.20	60.59 \pm 3.58
	II	6.9	8.51 \pm 0.31	143.71 \pm 7.82		IV	6.3	4.33 \pm 0.45	57.34 \pm 0.54
	III	6.5	5.50 \pm 0.21	114.73 \pm 3.09		平均		4.5	63.56
	平均		10.0	148.06	莧菜 / 白莧品系	I	5.1	5.23 \pm 1.05	64.59 \pm 2.45
蘿勒 / 紫莖種	I	11.0	8.12 \pm 2.71	159.74 \pm 3.18		II	4.8	3.74 \pm 0.24	57.22 \pm 2.52
	II	11.7	9.03 \pm 1.21	152.14 \pm 8.03		平均		4.5	60.9
	平均		8.6	155.94	豌豆芽	I	9.8	4.48 \pm 0.31	54.99 \pm 3.80
芥藍	I	7.8	7.19 \pm 1.78	83.51 \pm 2.14	葉蕓苣 / 尖葉種 (A 菜)	I	5.5	3.96 \pm 0.43	60.46 \pm 2.73
	II	8.5	6.95 \pm 0.61	76.53 \pm 3.23		II	6.9	5.23 \pm 0.06	112.45 \pm 3.54
	平均		7.1	80.0		III	4.9	4.02 \pm 1.07	48.54 \pm 2.29
芫荽 (香菜)	I	8.3	6.55 \pm 1.36	81.94 \pm 2.67		平均		4.4	73.82
莧菜 / 莧斑品系	I	5.9	6.47 \pm 1.02	58.94 \pm 1.89	山蘇花	I	7.3	4.89 \pm 0.06	55.31 \pm 3.08
韭菜	I	-	5.09 \pm 1.02	-		II	7.2	3.39 \pm 0.82	54.10 \pm 0.76
	II	9.1	6.61 \pm 1.04	58.91 \pm 1.97		平均		4.1	54.7
	平均		5.8	58.9	半結球高麗 (大陸株)	I	5.6	4.80 \pm 1.03	73.75 \pm 1.98
嫩葉萬苣	I	5.7	5.80 \pm 0.57	92.70 \pm 1.11		II	4.3	5.01 \pm 0.30	98.65 \pm 9.13
山芹菜	I	6.6	6.83 \pm 0.17	61.75 \pm 1.98		III	5.5	1.96 \pm 0.30	46.47 \pm 1.48
	II	6.9	4.45 \pm 0.30	61.06 \pm 2.66		IV	4.1	2.84 \pm 0.47	36.79 \pm 0.58
	平均		5.6	61.4		平均		3.7	63.91
小白菜	I	4.8	5.93 \pm 0.54	68.74 \pm 1.40	蕪菜 (空心菜)	I	4.4	3.56 \pm 0.63	73.48 \pm 7.18
	II	4.5	5.32 \pm 0.09	69.51 \pm 1.55		II	7.5	2.95 \pm 0.08	51.58 \pm 0.66
	III	4.1	5.54 \pm 0.06	58.41 \pm 2.38		III	-	2.18 \pm 0.20	-
	平均		5.6	65.55		平均		2.9	62.5
紅鳳菜	I	5.1	5.64 \pm 0.59	70.17 \pm 4.44	梨瓜嫩梢 (龍鬚菜)	I	7.4	4.47 \pm 1.49	41.36 \pm 1.15
	II	6.6	3.78 \pm 0.18	120.40 \pm 1.54		II	7.7	2.19 \pm 0.21	41.88 \pm 2.02
	III	8.7	6.74 \pm 0.51	126.10 \pm 4.56		III	7.8	1.71 \pm 0.12	47.32 \pm 1.78
	平均		5.4	105.56		平均		2.8	43.52
小松菜	I	-	4.90 \pm 0.38	-	芹菜 / 本地種	I	6.5	2.74 \pm 0.32	62.11 \pm 4.81
	II	-	5.86 \pm 1.07	-		II	6.3	1.88 \pm 0.10	59.95 \pm 0.72
	平均		5.4			III	6.2	1.82 \pm 0.44	58.32 \pm 4.25
青梗白菜	I	4.1	4.71 \pm 0.38	58.05 \pm 1.69		IV	4.9	1.40 \pm 0.19	39.32 \pm 0.93
	II	6.3	7.36 \pm 0.92	79.70 \pm 5.88		V	-	5.71 \pm 0.35	-
	III	4.6	4.05 \pm 0.16	63.49 \pm 2.00		平均		2.7	54.9
	平均		5.4	67.08	包心白菜	I	-	1.89 \pm 0.05	24.22 \pm 0.35
青蔥	I	8.7	7.34 \pm 0.59	18.56 \pm 0.33	結球萬苣 / 包被型	I	-	1.69 \pm 0.10	-
	II	8.4	3.85 \pm 0.63	33.97 \pm 2.16	翠玉白菜	I	3.6	1.45 \pm 0.02	21.79 \pm 0.49
	III	7.5	4.17 \pm 1.09	30.85 \pm 0.25	甘藍 (高麗菜)	I	6.9	0.98 \pm 0.09	35.46 \pm 0.98
	平均		5.1	27.8	芹菜 / 西洋種 (西洋芹)	I	5.4	0.84 \pm 0.11	14.67 \pm 0.47
				紅紫蘇	I	14.2	-	334.86 \pm 21.76	
漿 果									
辣椒 / 紅色, 短錐形	I	27.0	27.21 \pm 1.03	63.19 \pm 2.13	小果番茄 / 每顆 15-20g, 紅色, 圓形	I	6.4	4.77 \pm 0.23	38.69 \pm 0.66
	II	26.6	37.06 \pm 0.78	69.62 \pm 3.02		II	-	4.87 \pm 0.12	-
	III	-	42.69 \pm 3.32	-		平均		4.1	48.4
甜椒 / 黃色, 鐘型	I	8.0	12.27 \pm 0.29	82.00 \pm 7.44	茄子 / 卵形	I	7.4	3.68 \pm 0.74	49.05 \pm 3.21
	II	9.8	17.84 \pm 0.54	-		II	8.7	2.89 \pm 0.14	49.81 \pm 1.25
	III	-	26.37 \pm 2.01	-	青辣椒 / 長錐形	I	10.5	2.54 \pm 0.11	75.65 \pm 3.14
	平均		18.8	14.0	伏見甘長辣椒 (糯米椒)	I	5.9	2.50 \pm 0.15	29.83 \pm 2.57
甜椒 / 紅色, 鐘型	I	8.3	12.83 \pm 0.18	88.91 \pm 1.76	中果番茄 / 每顆 120-150g, 50% 轉色	I	5.1	2.15 \pm 0.10	36.76 \pm 1.02
	II	8.1	15.44 \pm 0.27	81.95 \pm 2.75	中果番茄 / 每顆 70-90g, 紅熟期	I	-	-	-
	III	-	23.81 \pm 2.63	-					
	平均		17.4	85.4					
甜椒 / 橙色, 鐘型	I	9.1	12.10 \pm 0.14	75.41 \pm 0.82					
辣椒 / 紅色, 長錐形	I	15.7	8.99 \pm 0.55	62.38 \pm 2.90					
	II	14.1	9.96 \pm 0.54	46.43 \pm 1.97					
	平均		9.5	54.4					
青椒	I	6.2	8.40 \pm 0.24	66.46 \pm 1.66					
	II	6.1	12.03 \pm 0.28	54.99 \pm 0.88					
	III	-	7.49 \pm 1.66	-					
	平均		9.3	60.7					

蔬菜名稱 / 品系或特徵	取樣別	乾溼比 (%)	抗氧化力 (µmol FeSO ₄ /g f.w.)	單位乾重總酚類含量 (µmol GAE/g d.w.)	蔬菜名稱 / 品系或特徵	取樣別	乾溼比 (%)	抗氧化力 (µmol FeSO ₄ /g f.w.)	單位乾重總酚類含量 (µmol GAE/g d.w.)
蔬 菜 類									
長豇豆 / 黑皮品系	I	9.2	15.58±1.76	135.09±5.61	長豇豆 / 青皮品系	I	9.2	3.68±0.19	53.69±1.29
黃秋葵	I	10.1	7.69±0.26	148.12±0.68	II	8.1	7.42±0.91	88.07±5.52	
	II	10.0	11.31±0.47	164.64±7.63	平均		5.6	70.9	
	III	10.3	7.79±0.35	140.19±6.41	長豇豆 / 白皮品系	I	9.0	2.89±0.27	36.35±0.54
	平均		8.9	150.99	菜豆 (皇帝豆)	I	36.4	2.62±0.32	8.88±0.27
長豇豆 / 紅皮品系	I	8.7	8.53±0.52	107.77±1.36	豌豆 / 甜豌豆品系	I	12.9	2.42±0.04	22.70±1.26
	II	8.3	8.52±0.99	105.39±3.85	II	11.4	2.52±0.28	20.04±0.59	
	平均		8.5	106.58	平均		2.5	21.4	
豌豆 / 嫩莢品系	I	12.6	7.19±0.60	61.77±2.52	菜豆 / '粉豆'	I	7.6	1.96±0.12	51.30±1.29
	II	12.4	6.73±0.14	72.44±0.39	菜豆 (四季豆)	I	8.2	1.17±0.06	25.63±0.89
	III	11.3	6.42±0.07	69.21±0.19	II	9.2	1.44±0.00	25.67±0.30	
	平均		6.8	67.8	平均		1.3	25.7	
落花生	I	56.0	5.70±0.03	-					
瓜 菓 類									
野生苦瓜 (山苦瓜)	I	7.5	2.90±0.23	29.62±0.85	花胡瓜 (小黃瓜)	I	4.0	0.49±0.11	16.52±0.35
苦瓜 / 白皮品系	I	6.3	2.60±0.13	32.61±0.25	II	5.5	0.76±0.04	15.02±0.49	
扁蒲	I	4.6	1.88±0.03	21.25±0.44	平均		0.6	15.8	
西瓜 / 紅肉大瓜品系	I	-	1.03±0.05	-	圓筒絲瓜 / 短筒種	I	6.6	0.38±0.01	10.45±0.13
花 菜 類									
韭菜花苔	I	10.1	4.13±0.33	36.88±0.78	青花菜	I	9.2	2.52±0.51	40.19±0.47
花椰菜	I	9.6	3.45±0.21	65.09±1.04	II	9.9	2.45±0.29	43.44±3.50	
	II	-	3.24±0.15	-	III	11.2	3.20±0.61	33.26±2.07	
	平均		3.3	65.1	平均		2.7	39.0	
根 莖 類									
老薑	I	5.1	13.91±0.94	127.18±4.43	蘿蔔	I	4.3	2.06±0.11	17.48±0.29
	II	8.0	26.64±0.43	99.73±2.72	芋薑	I	18.7	1.95±0.48	6.39±0.14
	平均		20.3	113.46	大蒜	I	36.7	2.49±0.06	19.08±0.62
蓮藕	I	12.7	10.38±0.36	70.12±2.73	II	35.2	2.37±0.22	16.37±0.26	
	II	20.3	15.42±0.81	96.74±2.26	/'大片黑'	III	-	1.22±0.04	-
	平均		12.9	83.4	/'和美'	IV	-	1.24±0.03	-
嫩薑	I	3.8	9.19±0.06	112.04±6.09	平均			1.8	17.7
	II	2.9	11.65±0.20	127.98±1.21	馬鈴薯	I	21.3	1.57±0.10	10.73±0.40
	平均		10.4	120.0	胡蘿蔔	I	-	1.44±0.08	-
蘆筍	I	7.3	3.86±0.25	39.31±0.63	茭白 (茭白筍)	I	7.5	1.34±0.05	15.50±0.53
芋 / 檳榔心芋	I	29.4	4.04±0.13	26.84±0.60	麻竹筍	I	7.9	1.08±0.09	32.82±0.74
芋 / 麵芋	II	26.2	3.34±0.23	32.45±1.33	孟宗竹筍 (冬筍)	I	2.8	0.61±0.02	35.97±0.89
	平均		3.7	29.6	綠竹筍	I	7.0	0.53±0.03	28.88±0.78
洋蔥	I	10.5	3.22±0.23	28.32±0.30					
	II	9.4	2.64±0.14	30.22±1.14					
	平均		2.9	29.3					

※ 各樣品重複數 n=2~4，數據以平均數±標準誤差 (SE) 表示。

附表 4.1、前人研究分析總酚類含量 (Folin-Ciocalteu reagent assay) 的設定條件與儀器

Appendix table 4.1 Condition and instrument of Folin-Ciocalteu reagent assay used by former researcher.

試驗材料	測量波長	反應時間	反應溫度	儀器	文獻
葡萄汁	765nm	2 hour	未說明	Varian DMS 100 double-beam spectrophotometer	Spanos and Wrolstad (1990)
九十二種植物	765nm	30 min	未說明	Perkin-Elmer λ15 UV-vis spectrophotometer, Norwalk, CT	Kähkönen et al. (1999)
石榴汁	660nm	未說明	未說明	未說明	Gil et al. (2000)
草藥	765nm	1.5 hour	30°C	Shimadzu UV-Vis spectrophotometer	Zheng and Wang (2001)
十種蔬菜	760nm	90min	室溫	MRX II Dynex spectrophotometer (Dynex Technologies, Inc., Chantilly, VA)	Chu et al. (2002)
番茄	760nm	90min	室溫	MRX II Dynex plate reader (Dynex Technologies, Inc., Chantilly, VA)	Dewanto et al. (2002)
三十六種蔬菜	650nm	60 min	未說明	Bausch and Lomb spectronic-21 UVD spectrometer	Kaur and Kapoor (2002)
小漿果	755nm	未說明	40°C	Shimadzu 300 UV-Visible spectrophotometer	Moyer et al. (2002)
四種穀類	765nm	2 hour	未說明	未說明	Yu et al. (2002)
羅勒	765nm	15 min	45°C	SPECTRAmax-PLUS384 UV-vis spectrophotometer	Javanmardi et al. (2003)
羅勒	530nm	1 hour	室溫	Beckman DU 530 spectrophotometer (Beckman Instruments Inc., Fullerton, CA)	Jayasinghe et al. (2003)
蘋果	765nm	30 min	室溫	Varian Cary 3C spectrophotometer (Varian Analytical Instruments, Harbor City, CA)	Tsao et al. (2003)
李子	750nm	90 min	23°C	未說明	Kim et al. (2003)
大蒜, 洋蔥	735nm	20 min	室溫	未說明	Nuutila et al. (2003)
五種蔬菜	725nm	90min	室溫	Spectronic Genesys 5 spectrophotometer (Milton Roy Company, New York)	Ismail et al. (2004)
洋蔥	760nm	90min	室溫	MRX II Dynex plate reader (Dynex Technologies, Inc., Chantilly, VA)	Yang et al. (2004)
櫻桃	755nm	20 min	40°C	Shimadzu 300-UV spectrophotometer (Shimadzu Inc., Kyoto, Japan)	Chaovanalikit and Wrolstad (2004)
葡萄柚	750nm	10 min	未說明	未說明	Gorinstein et al. (2004)
胡荽	765nm	2 hour	室溫	Shimadzu 160A, UV spectrophotometer (Shimadzu, Kyoto, Japan)	Wangensteen et al. (2004)
五種水果種子	765nm	90 min	未說明	UV/visible spectrophotometer (Shimadzu UV-1601)	Soong and Barlow (2004)
三十三種中藥	765nm	2 hour	室溫	SpectraMax190 microplate reader (Molecular Devices)	Tang et al. (2004)
一百一十二種中藥	760nm	2 hour	23°C	Spectronic Genesys 5 spectrophotometer (Milton Roy, NY)	Cai et al. (2004)
小麥麩	765nm	2 hour	室溫	未說明	Zhou and Yu (2004)
可可葉	650nm	60 min	未說明	Pye-Unicam UV2 Spectrophotometer	Osman et al. (2004)
牛皮菜	765nm	30 min	30°C	spectrophotometer (Hitachi U-3110, Tokyo, Japan)	Pyo et al. (2004)
甘藍	750nm	90 min	23°C	未說明	Kim et al. (2004)
八種葉菜	725nm	40 min	未說明	未說明	Oboh (2005)
菜豆	765nm	2 hour	室溫	未說明	Madhujith and Shahidi (2005)
五種植物	760nm	5 min	50°C	Varian UV-VIS spectrophotometer	Skerget et al. (2005)
五種調味品	765nm	1 hour	室溫	未說明	Tsai et al. (2005)
二十六種調味品	760nm	2 hour	室溫	Spectronic Genesys 5 spectrophotometer (Milton Roy, NY)	Shan et al. (2005)
番茄	765nm	15 min	45°C	UV-Vis recording spectrophotometer (UV-2100, Shimadzu)	Toor and Savage (2005)
棗椰子	750nm	120 min	室溫	HP 8452A diode array spectrophotometer	Mansouri et al. (2005)
六種水果	760nm	2 hour	未說明	spectrophotometer (Kontron Uvikon 941 Plus)	Scalzo et al. (2005)

茶與草藥	725nm	1 hour	未說明	Hewlett-Packard 8452A diode-array spectrophotometer	Atoui et al. (2005)
草莓,蘋果,桃子	726nm	2 hour	未說明	Perkin-Elmer λ15 UV-vis spectrophotometer, Norwalk, CT	Rababah et al. (2005)
苦瓜	726nm	2 hour	室溫	spectrophotometer (Shimadzu Model UV-1601, Kyoto, Japan)	Horax et al. (2005)
草莓	765nm	2 hour	室溫	Shimadzu UV160U, UV-vis spectrophotometer, Kyoto, Japan	Aaby et al. (2005)
胡荽	725nm	60 min	未說明	未說明	De Almeida Melo et al. (2005)
四種莖苔屬蔬菜	700nm	20 min	未說明	未說明	Podsędek et al. (2006)
八種蔬菜	765nm	2 hour	室溫	未說明	Zhou and Yu (2006)
六種葉菜	760nm	90 min	室溫	Shimadzu spectrophotometer (UV mini-1240, Shimadzu, Osaka, Japan)	Roy et al. (2007)
二十九種蔬果	750nm	1 min	100°C	Uvikon 931 spectrophotometer (BIOTEK Instruments)	Kevers et al. (2007)
十二種蔬菜	765nm	2 hour	未說明	未說明	Huang et al. (2007)
萵苣	765nm	2 hour	室溫	未說明	Liu et al. (2007)
甜椒	750nm	90 min	室溫	UV-Visible SpectraMax Plus384 spectrophotometer (Molecular Devices, Sunnyvale, Calif., U.S.A.)	Sun et al. (2007)
番茄	735nm	20 min	未說明	spectrophotometer, U-2001, Hitachi, Japan	Shen et al. (2007)
印度食材	725nm	15min	室溫	Spectronic AquaMate spectrophotometer	Saxena et al. (2007)
馬鈴薯	725nm	every 30 min	未說明	未說明	Reddivari et al. (2007)
有機葡萄	725nm	30 min	未說明	Pharmacia LKB Novaspec II spectrophotometer, Fort Lauderdale, FL	Yildirim et al. (2007)
七種蔬菜	755nm	20 min	40°C	Hitachi U-2001 Spectrophotometer, model 121-0032 (Ibaraki, Japan)	Sultana et al. (2008)

