

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

加熱處理對臺灣市售蔬菜抗氧化力的影響

The Effect of Heating Treatment on
Antioxidant Capacity of Vegetables in Taiwan



En-Kang Lo

指導教授：楊雯如博士、蕭寧馨博士、林宗賢博士

Advisor: Wen-Ju Yang, Ph.D.

Ning-Sing Shaw, Ph.D.

Tzong-Shyan Lin, Ph.D.

中華民國 100 年 7 月

July, 2011

國立臺灣大學碩士學位論文
口試委員會審定書

加熱處理對臺灣市售蔬菜抗氧化力的影響

The Effect of Heating Treatment on
Antioxidant Capacity of Vegetables in Taiwan



本論文係羅恩康君 (R97628141) 在國立臺灣大學園藝學系研究所完成之碩士學位論文，於民國一〇〇年七月五日承下列考試委員審查通過及口試及格，特此證明

口試委員：

楊雪如

蕭華馨

林宗吟

誌謝

這篇論文的完成，我真的要特別感謝我的指導教授—楊雯如老師，若不是老師一再地鼓勵與支持，想必論文可能還要許久才孵得出來。作家陳之藩於《謝天》一文中曾說：「無論什麼事，得之於人者太多，出之於己者太少。因為需要感謝的人太多了，就感謝天罷。」也有人開玩笑地想出了個引申的說法：「要改的事太多了，就改天吧！」在研究上，我大概就像後者所言，有那種喜愛拖延的不好習慣，常常事情已有如燃眉之急了，我還在那不急不徐、依然故我地活在自己的天地裏。

感謝老師就像個心靈開導良師，循循善誘、恩威並濟地驅策著我，使我不致迷途、脫軌；老師也像個專業的評論家，在研究、政治與一般瑣碎事物等的分析上一向是無懈可擊，使我不時懾服於老師的剖析、決斷與洞察等能力；老師還像個慈母，叮嚀與照顧是如此地無微不至；老師又像個頑童一樣，有著純真、可愛、逗趣的一面。總而言之，老師所扮演多重面向的角色都很成功，雖未臻於完美，但我想亦相距不遠矣。

另外，我也要特別感謝蕭寧馨老師與林宗賢老師，謝謝老師的諄諄教誨與於論文上的殷切指導，總能犀利地切中個人研究上的要點與缺欠之處，開啟我看見更深層次及更多元性地思考面向。

再來，我要感謝主耶穌一直以來的看顧與保守，使我能無災無病地渡過這段研究生生涯。也感謝父母及家人的支持與鼓勵，礙於課業、研究及回家的路程遙遠等原因，無法時常回到自己日夜思念的家，但你們常多次抽空北上來看我，雖然我不太是那種容易將心情顯於顏表的人，但總感念在心，希望畢業後能多增加與家人相聚的時間，以彌補過去時常缺席的缺憾。

接著，我要向許多在學業、研究、生活等方面上給予過幫助、協助的老師、學長姊、同學、學弟妹們給予感謝。感謝園藝學教學上善於啟發、解惑的老師們：楊雯如老師、林宗賢老師、李金龍老師、羅筱鳳老師、張育森老師、葉德銘老師、張耀乾老師、吳俊達老師、許圳塗老師、曹幸之老師等。感謝教育學程學業上使

我獲益良多的老師們：劉淑蓉老師、陳瑞芬老師、羅秀婉老師、李鳳鳴老師、葉德蘭老師、鄭榮和老師、劉霆老師、劉瑞芬老師、板中賴雪蕙老師等。感謝於學業、Lab Meeting 及高考讀書會上相互學習指教、砥礪的學長姊、同學們：一蘆、元聰、葦玲、俊偉、芳魁、易徵、妙真、花蝴蝶 (美蘭)、高級 BB 霜 (碧霜)、孟姿、嘉雲、嘉彬、嵐雁、姿璇、塤君、宜霞、顥正、鵬洋、岳欣、曉玲、宛臻、宜馨、怡君、伊婷、本恣、芳怡、美琴、智鈞、鴻均、凱婷、珮君、小雅、伊聆、慶華、佩諭、未來的林口里長伯一坤峯、台版 SM 公司社長姪女一雅文、老愛引用鄉民推文用語的乘雲號 (昀皓)、總以拖鞋出入的小黑人 (宜璋)、偽版僑生一靈敏漢 (旻翰)、小丸子 (芝佩)、昇陽、酷酷嫂 (苑吟)、大嗓門草莓妹 (瑜玟)、翊琴等。謝謝你們，使我的研究生生活既豐富又喜樂。

最後，我很慶幸能身處在臺大這所校園裏學習，其中所能享受的資源是全國首屈一指的，未來若有機會，會想再度回到此校園重溫美夢。最後也期待自己能努力提升自己，使自己有所長進以配得過這所學校，並能對國家、社會有正向的貢獻，好使他日能讓學校也以我為榮。



摘要

蔬果內富含植化素 (Phytochemicals) 等具抗氧化特性的保健成分，有助於降低癌症及其他慢性疾病的發生。在蔬菜方面，國人以熟食為主，所以瞭解蔬菜經加熱調理後的抗氧化力的變化有其必要性。本研究利用鐵離子還原抗氧化力檢測法 (FRAP assay) 及氧自由基吸收能力檢測法 (ORAC assay) 研究烹煮加熱對臺灣蔬菜抗氧化力之影響。

參試蔬菜於生鮮狀態下經較長的均質時間處理後，其粒徑及抗氧化力大都有變小或減少的現象，且高速 (37,000 rpm) 均質的時間愈長，抗氧化力的減少就愈明顯。此外，在 5 種烹煮方法中，以水煮和微波水煮的加熱方式對參試蔬菜抗氧化力的提升效果較佳，但抗氧化物容易經水流失，且流失比例隨加熱時間延長而增加。油炒的加熱方式，提升抗氧化力效果較差但較無抗氧物流失的問題。另比較 43 種蔬菜經微波加熱 3 分鐘後的抗氧化力變化，其中的綠葉甘藷葉、茴香、紅鳳菜、茼蒿、蕹菜、結球萵苣、青花菜、麻糬長茄、甜豌豆和蘆筍，經加熱、瀝水後的抗氧化力仍顯著比其生鮮狀態還高，故為適合熟食的蔬菜。而抗氧化力減少比例較高者，有紅色甜椒、黃色甜椒、菠菜、洋蔥、青蔥、山藥、圓筒絲瓜、胡瓜，這類蔬菜則較適合生食或避免過度烹煮。

關鍵字： 植化素、抗氧化力、鐵離子還原抗氧化力檢測法、氧自由基吸收能力檢測法、臺灣蔬菜

ABSTRACT

Phytochemicals which have antioxidant properties from vegetables and fruits may play an important role in health promoting and they can help reduce the incidence of cancers and other chronic diseases. In Taiwan, most vegetables are cooked for intake; therefore, the effect of cooking on antioxidant capacity of vegetables is essential to evaluate. In this thesis, we studied the effect of cooking on vegetables in Taiwan. The antioxidant capacity was evaluated by ferric reducing antioxidant power assay (FRAP assay) and oxygen radical absorbance capacity assay (ORAC assay).

The particle size and antioxidant capacity of raw vegetables mostly decreased after homogenized. In a 37,000 rpm, longer homogenizing time might cause more decrease on antioxidant capacity. Among the 5 cooking protocols, boiling or microwave-boiling obtained the greatest promotion of antioxidant capacity; however, antioxidants were easily loss through water and the lost ratio increased if the cooking prolonged. Stir-fried cooking tended to keep antioxidant capacity of vegetables although heat enhancing less antioxidant capacity. Further, we examined the antioxidant capacity of 43 kinds vegetables after microwave for 3 minutes. The results suggested that green leafy sweet potato vines, fennel, gynura, garland chrysanthemum, water spinach, crisphead lettuce, broccoli, eggplant 'Ma-Zu', snap peas and asparagus are suitable for cooking, because their antioxidant capacity were significantly increased after cooking. However, red pepper, yellow pepper, spinach, onion, welsh onion, Chinese yam, sponge gourd, and cucumber are suitable for raw or not overcooking, because their antioxidant capacity decreased much after cooking.

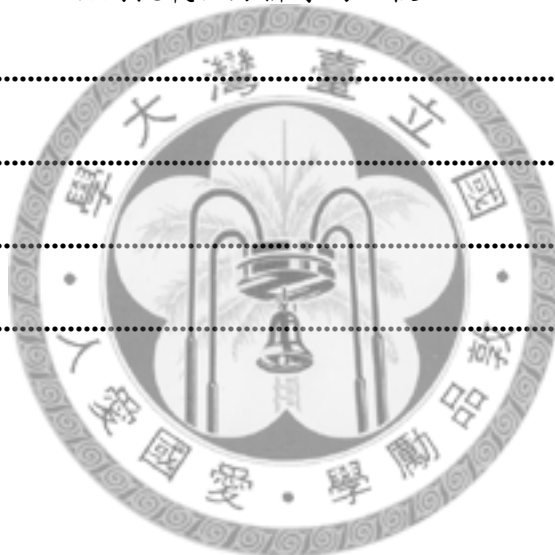
Key word: phytochemicals, antioxidant capacity, FRAP assay, ORAC assay, vegetables in Taiwan

CONTENTS

口試委員會審定書	#
誌謝	i
摘要	iii
ABSTRACT	iv
CONTENTS	v
表目錄	viii
圖目錄	ix
第一章、前言	1
第二章、前人研究	4
一、人體疾病與自由基、抗氧化物間的關係	4
二、常見的天然抗氧化物及其抗氧化機制、作用位置	5
(一) 酵素型抗氧化物	5
(二) 非酵素型抗氧化物	7
三、抗氧化力的檢測	8
(一) 常用的抗氧化力檢測法	9
(二) 不同檢測法間的抗氧化力排序比較	13
(三) 不同抗氧化力檢測法數值間的相關性比較	14
(四) 影響抗氧化力的因素	15
四、抗氧化物的生物可利用性	17
(一) 蔬果攝取形式對抗氧化物之生物可利用性的影響	18

(二) 烹煮加熱對蔬菜抗氧化物之生物可利用性的影響	18
五、抗氧化物的生物有效性檢測法.....	19
(一) 侵入式檢測 (血漿檢測).....	19
(二) 非侵入式檢測 (生物光子儀檢測).....	20
六、蔬果抗氧化物的保健效益.....	20
七、蔬果攝取原則與概念.....	22
(一) 蔬果攝取種類	22
(二) 蔬果攝取份量	22
第三章、材料與方法	36
一、試驗材料.....	36
二、試驗藥品.....	38
三、試驗儀器與設備.....	39
四、參試樣品製備.....	39
(一) 均質時間對抗氧化力、粒徑大小之影響的試驗	39
(二) 烹煮加熱方式及加熱時間對抗氧化力影響的試驗	40
(三) 烹煮加熱方式對抗氧化力影響的試驗	41
(四) 烹煮加熱強度對抗氧化力影響的試驗	42
(五) 微波烹煮加熱對抗氧化力影響的試驗	42
五、樣品萃取.....	43
六、抗氧化力測定.....	43
(一) FRAP (鐵離子還原力)分析	43
(二) ORAC (氧自由基吸收能力)分析.....	45

七、資料分析.....	47
第四章、結果.....	49
一、均質時間對抗氧化力、粒徑大小的影響.....	49
二、烹煮加熱方式及加熱時間對抗氧化力的影響.....	50
三、烹煮加熱方式對抗氧化力的影響.....	51
四、烹煮加熱強度對抗氧化力的影響.....	52
五、微波烹煮加熱對抗氧化力的影響.....	52
六、FRAP 與 ORAC 法間抗氧化力排序的比較	54
第五章、討論.....	73
第六章、結論.....	78
參考文獻.....	79
附錄.....	85



表目錄

表 2.1 常見之酚類化合物及其分類	24
表 2.2 食品抗氧化特性的改變受調理和儲藏流程的影響	25
表 2.3 常見抗氧化物及其相關保健文獻探討列表	26
表 4.1 均質時間對參試蔬菜抗氧化力 (FRAP 值) 的影響	55
表 4.2 綠葉甘藷葉於生鮮狀態下經不同均質時間或加熱時間處理後的均質液粒徑 及抗氧化力 (FRAP 值)	55
表 4.3 參試蔬菜經不同烹煮加熱處理前後的抗氧化力 (FRAP 及 ORAC 值)	56
表 4.4 微波加熱強度處理對參試蔬菜抗氧化力 (FRAP 值) 的影響	57
表 4.5 參試蔬菜經微波加熱處理前後的抗氧化力 (FRAP 及 ORAC 值)	58
表 4.6 參試蔬菜經微波加熱處理前後的抗氧化力 (FRAP 及 ORAC 值) 增減變化 百分率	59
表 4.7 參試蔬菜生鮮狀態下的抗氧化力 (FRAP 及 ORAC 值) 及其排序	60

圖目錄

圖 2.1 氧自由基、氮自由基及其他活性氧於哺乳動物細胞中產生的途徑	27
圖 2.2 活性氧誘導有絲分裂原蛋白質激酶 (MAPK) 的訊息傳遞途徑	28
圖 2.3 氧自由基、氮自由基及其他活性氧於哺乳動物細胞中移除的途徑	29
圖 2.4 細胞中參與抗氧化防禦作用的主要抗氧化物及其作用位置	30
圖 2.5 維生素 C 分子的結構	31
圖 2.6 維生素 C 做為自由基的電子提供者後，轉變進入共振穩定狀態	31
圖 2.7 維生素 E 分子的結構	32
圖 2.8 類胡蘿蔔素的分子結構	33
圖 2.9 常見之酚類化合物的分子結構	34
圖 2.10 臺灣常消費性蔬菜的抗氧化力 (FRAP 值)	35
圖 4.1 參試蔬菜的均質時間與抗氧化力數值 (FRAP 值) 間的相關性	61
圖 4.2 綠葉甘藷葉經不同均質時間及不同加熱時間處理後之均質液的粒徑大小分 布	62
圖 4.3 綠葉甘藷葉的均質時間與粒徑大小間的相關性	62
圖 4.4 綠葉甘藷葉經不同均質時間處理後的 FRAP 值與粒徑大小間的相關性	63
圖 4.5 綠葉甘藷葉經不同加熱時間處理前後的 FRAP 值與粒徑大小間的相關性	63
圖 4.6 參試蔬菜 (紅鳳菜) 經不同烹煮方式加熱 3 分鐘前後的外觀及顏色	64
圖 4.7 參試蔬菜經不同加熱方式及加熱時間前後測得的抗氧化力 (FRAP 值)	65
圖 4.8 參試蔬菜經烹煮加熱處理前後的抗氧化力 (FRAP 及 ORAC 值)	66

圖 4.9 參試蔬菜經烹煮加熱處理前後兩種抗氧化力數值 (FRAP 與 ORAC 值) 間的相關性	67
圖 4.10 微波加熱強度與蔬菜抗氧化力 (FRAP 值) 間的相關性	68
圖 4.11 參試蔬菜經微波加熱處理前後的抗氧化力 (FRAP 值).....	69
圖 4.12 參試蔬菜經微波加熱處理前後的抗氧化力 (ORAC 值)	70
圖 4.13 參試蔬菜於生鮮狀態下測得之抗氧化力 (FRAP 與 ORAC 值)	71
圖 4.14 參試蔬菜 (生鮮狀態) 之 FRAP 值與 ORAC 值間的相關性	72



第一章、前言

臺灣政府近年積極推動「永續、健康、安全、無毒、優質」的農業，原因無他，實因先前國內外相繼爆發多起食品安全相關的問題，期間嚴重打擊國人對農產品的信心，所以生產健康和安全的農產品定是日後農業發展的必然走向。而陳(2008)曾提及國內農產品相關的研究，大都僅著重於營養元素含量及與口感有關的分析，對於農產品預防疾病、保健等方面的研究較為缺欠，因此建議日後可抗氧化力 (Antioxidant capacity) 作為農產品供應及保健方面的一項重要參考指標。

我們日常食用的農產品中，蔬果類是不可或缺的重要營養來源，分屬於國內每日飲食指南 (Food Guide) 裏六大類食物中 (Six Food Groups) 的其中兩類 (行政院衛生署，2006)，而不同類的食物所提供的營養素 (Nutrient) 也會有所異同，過去的觀點認為人體所需的營養素 (醣類、脂質、蛋白質、維生素、礦物質、水) 來自於六大類食物，而蔬果類富含水、纖維和維生素，所提供的營養素主要包括水、礦物質、維生素等。

然而，蔬果類對人體而言所能提供的不僅是營養素而已，近十多年的流行病學研究顯示，每日攝取多元多量的蔬果，可顯著降低某些慢性疾病及癌症的罹患率 (Steinmetz and Potter, 1991a; Willett, 1994; Lindsay and Astley, 2002; Siddhuraju and Becker, 2003; Gossiau and Chen, 2004; Link and Potter, 2004; Miller *et al.*, 2010)。而蔬果中所包含的植化素 (Phytochemicals)，種類繁多不下於千百種，被認為是提供人體保健和疾病預防的有效成分 (Steinmetz and Potter, 1991b; Temple, 2000; Liu, 2003)。植化素通常具有抗氧化的特性，經人體攝取、吸收後，可清除體內過量的自由基 (Free radicals) 和活性氧 (Reactive Oxygen species, ROS)，以減少生物體遭

受氧化傷害 (Oxidative stress)，故有促進身體保健、延緩老化、預防或緩和疾病的功效 (Fang *et al.*, 2002; Kaur and Kapoor, 2001; Seifried *et al.*, 2007)。

不同種類或顏色的蔬果往往包含成分不盡相同的植化素或抗氧化物，Heber and Bowerman (2001) 即指出蔬果的外觀顏色與其內含的主要抗氧化物種類相關，如紅紫色外觀的蔬果，內含的抗氧化物主要有花青素 (Anthocyanins) 及多酚類 (Polyphenols)；黃綠色外觀的蔬果則是富含葉黃素 (Lutein) 和玉米黃質 (Zeaxanthin)，其他顏色的蔬果亦各自有相互對應的抗氧化物，所以在蔬果的攝取上若能儘量多樣化，從而可以獲得較多種類的抗氧化物。此外，依臺灣癌症基金會及美國癌症協會 (American cancer society, ACS) 的專家建議，每人每日最好能攝取 5-9 份的蔬果，以獲得足量的抗氧化物，這對於預防疾病與提升免疫力等身體保健方面是有顯著效果的 (林和楊，2006)。

關於蔬果的每日建議攝取量，各國制定的標準會因其飲食習慣和國民體質的差異而有所不同。然而，因近年流行病學方面等的研究，有大多數的證據及推論均指出多蔬果飲食與疾病的罹患率間有顯著的負相關，所以近年可見為數不少的國家為因應上述研究結果而將其舊有的飲食指南進行翻修或改版。總括來看，不少國家的飲食指南裏，蔬果的每日建議攝取量在各類食物中所佔的比例有逐年提升的趨勢 (FSA, 2007; Hee, 2008; Macdiarmid *et al.*, 2011; USDA, 2011)，以美國為例，從其農業部 (USDA) 1992、2005、2011 年各次提出之飲食指南的食物結構比例來看，1992 年蔬果類的每日建議攝取用量約占各大類食物總量的 1/3，而 2005 和 2011 年的蔬果比例則是提高至近 1/2，由此可見多蔬果飲食似已成為當代的飲食趨勢。

然而，在蔬果的攝取上，水果大多是生食 (或鮮食)，蔬菜則有生、熟食之分。

西式飲食中，以攝取生食蔬菜居多；而就國人習慣而言，攝取熟食蔬菜的比例較高。其實無論蔬菜以生食或熟食的方式攝取，均各有其優劣之處，其中生食蔬菜的特點是其保留了較完整的營養素、保健成分，但卻潛藏有安全衛生上的問題（如較多農業、病菌殘留等）。相反的，熟食蔬菜雖往往有養分流失的疑慮，但亦有文獻指出，蔬菜經烹煮後有增進某些抗氧化物（或保健成分）含量、生物可利用性（Bioavailability）的效果（Dewanto *et al.*, 2002; Link and Potter, 2004; Wachtel-Galor *et al.*, 2008; Jiménez-Monreal *et al.*, 2009）。

由於從蔬菜抗氧化力的多寡，可視為降低攝食者氧化傷害的指標，是故測定蔬菜烹煮前後的抗氧化力變化，將有助於瞭解各食材的特性及其潛在保健功能。因此探究如何從蔬菜中獲取較高的營養、保健成分，以及瞭解生、熟食蔬菜在保健上的效益是有其必要性的。以臺灣蔬菜的相關研究為例，王（2006）、梁和柯（2006）與張（2008）均已分別運用不同的抗氧化力檢測法測定臺灣 24、32 和 83 種市售蔬菜於生鮮狀態下的抗氧化力。然而，關於蔬菜經烹煮後的抗氧化力數據則較為欠缺，是故有必要建立該部分資訊，以提供國人蔬菜烹煮、攝食建議的參考。於是本研究即進行市售蔬菜經加熱處理前後之抗氧化力變化的測定，以建立臺灣蔬菜經加熱調理前後的抗氧化力基本資料。

第二章、前人研究

一、人體疾病與自由基、抗氧化物間的關係

自由基 (Free radical, 又稱游離基) 是種外層軌域帶有不成對電子的原子、原子團、分子或離子，故其物化特性極不穩定 (半衰期短且具高度反應活性)，容易攻擊或搶奪周圍鄰近分子 (如 DNA、蛋白質、細胞膜磷脂質等) 的電子 (Fang *et al.*, 2002)，甚而引起自由基連鎖反應 (Free radical chain reaction)。常見的自由基種類有超氧陰離子自由基 (Superoxide anion radical, $O_2^{\cdot-}$)、單態氧 (Singlet oxygen, $^1O_2$)、氫氧自由基 (Hydroxyl radical, $HO^{\cdot}$)、氮氧自由基 (Nitric oxide, $NO^{\cdot}$)、過氧化亞硝基陰離子自由基 (Peroxynitrite, $ONOO^-$)、次氯酸 (Hypochlorous acid, $HOCl$)、烷氧過氧化自由基 (Alkylperoxyl radical, $RO(O)^{\cdot}$) 及脂質過氧化自由基 (Lipid peroxide radical, $LO(O)^{\cdot}$) 等 (Prior *et al.*, 2005)。

自由基可在人體的任何部位產生，尤其是在細胞內產生能量 (ATP) 的位置，因為能量通常必須透過氧化作用 (Oxidation) 獲得，也因此能量產生的過程裏也伴隨著自由基 (過氧化物) 或活性氧 (Reactive oxygen species, ROS) 的產生。人體內自由基的來源可簡略概分為二，一為源自內部細胞正常的代謝作用；二為源於外部的刺激因子 (如吸菸、精神壓力、毒化物的污染、輻射線、不規律的生活作息等) 誘發產生。

由於自由基於細胞的代謝過程中即會產生 (圖 2.1)，所以它的存在似乎是無可避免的，但在一般正常狀況下，人體內自由基存在的量是處於一種動態平衡的狀態，一旦這種平衡發生改變，如自由基的過量即會對人體造成氧化逆境 (Oxidative stress)，並進而造成人體 DNA、細胞、器官等的損害，因此自由基被認為是造成

人體慢性疾病（包括癌症、冠狀心臟疾病等）和老化發生的因素之一 (Adams *et al.*, 1999; Galli *et al.*, 2005)。

相關的研究證據顯示，人類罹患的疾病中有多達 200 種以上是與自由基有直接或間接的相關，故自由基又有「百病之源」之稱。然而，自由基對人體並非僅有害處而無益處，自由基存於人體內仍有其正面的作用，像是其於低度或中度的濃度情形下，對外界侵入的傳染性物質（如 bacteria, viruses, and other pathogens）具有防禦作用、對於許多細胞傳訊的途徑有參與作用、對於細胞的有絲分裂反應亦有誘導的作用（圖 2.2）(Seifried *et al.*, 2007; Valko *et al.*, 2007)。

當然，過量的自由基若未即時移除或清除，勢必對人體產生不小的危害，故人體自有一套抗氧化（清除自由基）的防禦機制和管道以維持自由基含量的恆定（圖 2.3），其中一道系統是透過一些抗氧化酵素（如超氧化物歧化酶、過氧化氫酶、麩胱甘肽過氧化酶等）藉由催化作用將自由基予以清除；另一道系統則是透過體內的一些抗氧化物（如 Vitamin C, E、 β -胡蘿蔔素等）輔助移除，藉由抗氧化物提供自身的電子或質子，使自由基外層軌域的未成對電子因獲得補足而趨於穩定 (Prior *et al.*, 2005; Podsedek, 2007; Valko *et al.*, 2007)。此兩道抗氧化防禦系統間亦存有協同作用 (Synergistic effect)，共同維持體內氧化還原的恆定 (Redox homeostasis)。

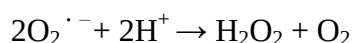
二、常見的天然抗氧化物及其抗氧化機制、作用位置

(一) 酵素型抗氧化物 (Enzymatic antioxidants)

1. 超氧化物歧化酶 (Superoxide Dismutase, SOD)

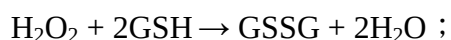
超氧化物歧化酶廣泛存於生物體中，主要分布於粒線體 (Mitochondria) 與細胞質 (Cytoplasm) 中，分子結構上大多為二聚體 (Dimer) 的構形，能降低細胞於

氧化逆境中產生的傷害。SOD 屬於金屬酶 (Metalloenzyme)，依其酵素活性中心所結合的金屬離子種類，可區分成以下 3 種：鋅銅型超氧化物歧化酶 (Zn/Cu-SOD)、錳型超氧化物歧化酶 (Mn-SOD) 及鐵型超氧化物歧化酶 (Fe-SOD)。Zn/Cu-SOD 主要分布於細胞質中 (圖 2.4)；而 Mn-SOD 則分布於粒線體的基質內 (圖 2.4)；Fe-SOD 則未見於動物中，只存於某些植物的色素體中或原核生物的基質內。此 3 種 SOD 的作用機制相似，都可將超氧陰離子自由基 ($O_2^{\cdot-}$) 催化成為過氧化氫 (H_2O_2) 和氧 (O_2)，而 H_2O_2 可再經 GPx 或 CAT 催化成不具細胞毒性的 H_2O 和 O_2 。主要反應式如下：



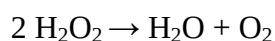
2. 麩胱甘肽過氧化酶 (Glutathione Peroxidase, GSH-Px or GPx)

麩胱甘肽過氧化酶是種由 4 個相同的次單位所構成的活性蛋白酶，不同類型的 GSH-Px 於細胞中存在的位置互有差異。內質網 (Endoplasmic reticulum)、粒線體 (Mitochondria) 與細胞質 (Cytoplasm) 等位置均可見其分布 (圖 2.4)。GSH-Px 於生物體中是藉由活化麩胱甘肽 (Glutathione, GSH)，將過氧化氫或脂質過氧化物 (Lipid hydroperoxides) 還原成不具細胞毒素性的 H_2O 、ROH (醇類) 及 GSSG (為 GSH 的氧化態)，以減少過氧化物對細胞造成的傷害。反應式如下：



3. 過氧化氫酶 (Catalase, CAT)

過氧化氫酶是種含鐵的活性蛋白酶，存於大部份好氧性生物細胞中，主要分布於細胞質與過氧化小體 (Peroxisome) 中。其作用主要是將 SOD 產生的過氧化氫催化成對細胞無毒害的 H_2O 和 O_2 。反應式如下：



(二) 非酵素型抗氧化物 (Non-enzymatic antioxidants)

1. 維生素 C (Vitamin C, Vit. C)

維生素 C 又稱為抗壞血酸 (Ascorbic acid) (圖 2.5)，屬於水溶性抗氧化物。在生物體內，一般以 AscH^- 的型式參與抗氧化的作用， AscH^- 與自由基作用時會釋出其氫氧基 ($-\text{OH}$) 上的 H^+ 和電子 (e^-)，使自由基的化性於獲得電子後趨於穩定。而失去電子的 AscH^- 可形成穩定的共振結構 (圖 2.6)，故轉變成活性不高的自由基形態，不會對細胞造成氧化傷害。而維生素 C 因參與抗氧化作用轉變成氧化態的狀態，可經 GPx 的酵素系統還原使之重複循環再利用。

2. 維生素 E (Vitamin E, Vit. E)

維生素 E 又稱為生育酚，屬於脂溶性抗氧化物，分子結構上有環狀構造與支鏈兩部分，依照支鏈上雙鍵的有無可分成「飽和型」與「不飽和型」兩類，「飽和型」稱為 Tocopherol，「不飽和型」稱為 Tocotrienol。另可依甲基 ($-\text{CH}_3$) 於環狀主體鍵結的數量和位置區分成 α 、 β 、 γ 和 δ 這 4 類衍生物 (圖 2.7)。而在這 8 種的 Vit. E 分子結構中，以 α -tocopherol 的生理活性最高。維生素 E 在生物體中主要存於細胞膜、各類含膜胞器上及細胞質中 (圖 2.4)，可利用其分子結構上的氫氧基 ($-\text{OH}$) 與脂質過氧化自由基 ($\text{LO}(\text{O})^\cdot$) 作用，釋出其上的 H^+ 和電子，使自由基的化性於獲得電子後趨於穩定。而失去電子的維生素 E 因有苯環的結構可產生共振 (Resonance)，所以可成為狀態安定的自由基，避免不飽和脂肪酸及磷脂質遭遇氧化傷害，故有助於維持細胞膜的完整性。

3. 類胡蘿蔔素 (Carotenoids)

類胡蘿蔔素屬於脂溶性抗氧化物，具有紅、黃、橙等顏色，為植物中主要的色素成分之一，普遍存在於蔬果中。類胡蘿蔔素是由 8 個異戊二烯 (Isoprenoid) 為主體所衍生的化合物 (圖 2.8)，分子結構極具對稱性。在自然界中，大多以反式

(trans form) 存在。一般而言，類胡蘿蔔素可分做兩大類，一類為只含碳氫的化合物，稱為胡蘿蔔素(Carotene)，常見的種類有 β -胡蘿蔔素 (β -carotene)、茄紅素 (Lycopene) 等；另外一類為含氧的衍生物，稱為葉黃素 (Xanthophyll)，常見的種類有葉黃素 (Lutein)、玉米黃素 (Zeaxanthin) 等。其分布位置與維生素 E 相似，在生物體中主要存於細胞膜及各類含膜胞器上 (圖 2.4)，具有抑制細胞內的脂質發生過氧化反應及終止自由基連鎖反應的作用。

4. 酚類化合物 (Phenolic compounds)

酚類化合物泛指分子結構上以苯基 (C_6H_5) 為基本架構，再配上至少一個氫氧官能基 ($-OH$) 的化合物，大多數屬於水溶性抗氧化物。於自然界的種類繁多，從簡單的酚類到高度複雜聚合的化合物都包括在內 (表 2.1)。依酚類化合物的化學結構歧異性，可將之區分為三大類：揮發性酚類 (Volatile phenols) 或稱簡單酚類 (Simple phenols)、酚酸 (Phenolic acids) 和類黃酮 (Flavonoids)。另有學者將多酚類 (Polyphenolics，不包含簡單酚類) 分成四大類：酚酸 (Phenolic acids)、類黃酮 (Flavonoids)、芪類 (Stilbenes) 和木質素 (Lignans)。而在蔬果中含量和種類最豐的是屬於酚酸和類黃酮，類黃酮又可依其基本分子架構中的氧雜環 (Oxygen heterocycle) 鍵結的位置和方式分成以下幾個類別：黃酮類 (Flavones)、黃烷酮 (Flavanones)、異黃酮 (Isoflavones)、黃酮醇 (Flavonols)、黃烷醇 (Flavanols)、花青素 (Anthocyanidins) (圖 2.9)。而酚類化合物的抗氧化能力與其氫氧官能基的數目和鍵結位置有關，藉由氫氧基供應電子給自由基，減少自由基造成的氧化傷害，以達成抗氧化效能。

三、抗氧化力的檢測

一般所謂的抗氧化力檢測是指測定樣品潛在的總抗氧化能力 (Total

antioxidant capacity)，迄今已發展出不下於十種的抗氧化力測定法。然而，目前尚未有任何一種方法的施測結果能精確的反映出樣品中所有抗氧化物所具有的抗氧化力，這是因為存於食物中的抗氧化物種類繁多，逐項分析不僅耗時費工，且抗氧化物間存有協力作用 (Synergistic effect) 或拮抗作用 (Antagonistic effect) (Veda *et al.*, 2008; Yeum *et al.*, 2009; Hidalgo *et al.*, 2010)，再者，每種抗氧化物亦有各自適合的反應時間、反應環境 (或條件) 等。所以各抗氧化力檢測法的測定結果雖不足以代表完整的抗氧化力，但各法仍具有其獨特性和專一性，因此在選用檢測法時可考慮各法使用的反應機制 (或原理) 和使用限制等，並依試驗目的挑選出較合適、具指標意義 (或代表意義) 的檢測法 (Prior *et al.*, 2005)。以下將分述幾種常用的抗氧化力檢測法：

(一) 常用的抗氧化力檢測法

1. DPPH 自由基清除能力檢測法 (DPPH radical scavenging activity assay)

DPPH 自由基清除能力檢測法 (DPPH assay) 同時涉及氫原子轉移 (Hydrogen atom transfer, HAT) 和單電子轉移 (Single electron transfer) 的反應機制。此檢測法最早由 Brand-Williams 等人 (1995) 提出。DPPH[•] (2,2-Diphenyl-1-picrylhydrazyl) 為一種穩定的含氮自由基，其氧化態於乙醇溶劑中所呈現的顏色為深紫色 (若樣品中含有抗氧化物，會將 DPPH[•] 還原，使之產生脫色反應)。檢測時是利用紫外光/可見光分光光度計 (UV-vis spectrophotometer)，測定 515 nm 波長條件下獲得的吸光值變化，再經換算公式得到作為抗氧化力的數值。該數值一般是以 DPPH[•] 的清除百分率 (%)、DPPH[•] 的殘留百分率 (%) 或使 DPPH[•] 降至 50% 所需的抗氧化劑濃度 (EC₅₀) 來表示。

DPPH 檢測法有操作簡便、快速等優點，所以學界應用上算滿普及的；而此法亦有其限制之處，如參試樣品中若含有類胡蘿蔔素 (Carotenoids) 的抗氧化物即會

產生干擾反應 (因其吸收光譜波段相近的緣故)、DPPH[·] 與抗氧化物間缺少競爭作用、小分子抗氧化物測得的抗氧化能力會比大分子抗氧化物來得高 (這是因空間的位向上，小分子抗氧化物較易與自由基親近並反應之故) 等 (Prior *et al.*, 2005)。

2. 鐵離子還原抗氧化力檢測法 (Ferric Reducing Antioxidant Power assay)

鐵離子還原抗氧化力檢測法 (FRAP assay) 的反應涉及單電子轉移 (SET) 機制。此法最早是由 Benzie 和 Strain (1996) 所提出，英文全名原為 Ferric Reducing Ability of Plasma Assay，僅用於臨床分析血漿 (Plasma) 樣品內所含的還原力，爾後被發展應用於食品等的抗氧化力檢測才經更名。

測定的原理為鐵離子 (Fe^{3+}) 於低 pH 值的醋酸溶液中 (pH 3.6)，與 TPTZ (2,4,6-tripyridyl-s-triazine) 螯合形成淡黃色的 Fe^{3+} -TPTZ 錯合物，若遇有抗氧化物 (或抗氧化劑)，即會將 TPTZ 錯合物螯合的鐵離子還原成亞鐵離子 (Fe^{2+})，錯合物的顏色會由原本的淡黃色轉變為藍紫色，顏色變化程度愈大者表示樣品內所含抗氧化物較多或還原力較強。一般是利用分光光度計 (Spectrophotometer)，測定樣品在固定反應時間內於 593 nm 波長下的吸光值，再以標準品迴歸方程式換算抗氧化力的數值，並以 FeSO_4 的當量濃度表示單位。

FRAP 法因具有操作快速、簡便、經濟等的特點，也常被廣泛的運用，尤其在大量樣品的檢測上可見其優越性。然而此法仍具有以下限制，如較無法測得硫醇類 (Thiols) 和蛋白質型抗氧化物所具有的抗氧化力、反應機制較不符合生物生理特性等 (Prior *et al.*, 2005)。

3. 氧自由基吸收能力檢測法 (Oxygen Radical Absorbance Capacity assay)

氧自由基吸收能力檢測法 (ORAC assay) 涉及的反應機制屬於氫原子轉移

(HAT)。此法是以 Glazer (1988) 的研究為基礎，後經 Cao 等人 (1995) 發展應用而來。其為利用螢光分光光度計 (Fluorescence spectrophotometer) 分別在 490、520 nm 的激發、散射波長下，測定螢光探針 (Fluorescence probe, FL) 於 37°C 控溫條件及固定時間內的連續螢光值變化，後將之轉換成相對螢光值 (各時間點的螢光值除以初始螢光值)，再以公式計算螢光值衰退曲線下的面積 (Area under curve, AUC)，即可由標準品曲線迴歸方程式求得各樣品的抗氧化力，藉此得知各樣品中抗氧化物抑制由 AAPH (2,2'-azobis(2-methylpropion- amidne) dihydrochloride) 產生之自由基的效果。ORAC 法一般常以 Trolox 當量表示其單位。

ORAC 法於化學反應中涉及的氫原子轉移 (HAT) 機制，因被認為相當近似於生物生理特性上的抗氧化模式，又有檢測範圍廣泛 (加入合適濃度的 RMCD 可增加脂溶性物質的溶解度，利於同時檢測水溶性與脂溶性的抗氧化物；亦可視需要選用、替換不同種類的自由基)、敏感度高等特點，所以普遍為學界所接受，認定此法的結果頗具代表性。ORAC 法雖有其優越性，亦有其限制之處，如分析或反應的時間較長、反應需全程嚴格控溫 (因其具有溫度敏感的特性)、花費較高等 (Prior *et al.*, 2005)。

4. Trolox 當量抗氧化能力檢測法 (Trolox Equivalent Antioxidant Capacity assay)

Trolox 當量抗氧化能力檢測法 (TEAC assay) 又稱為 ABTS 檢測法，此法涉及的反應機制同時包括氫原子轉移 (HAT) 和單電子轉移 (SET) 這兩類。此檢測法最早由 Miller 等人 (1993) 提出，檢測樣品移除 ABTS (2,2'-azinobis-(3-ethyl-benzothiazoline-6-sulfonate) 自由基的能力以表示抗氧化力。ABTS 於反應液中可經化學反應 (如與二氧化錳、過硫酸鉀等反應) 或酵素反應 (如與過氧化氫酶、辣根過氧化酶等反應) 生成藍綠色的 $ABTS^{\cdot+}$ 自由基。 $ABTS^{\cdot+}$ 自由基遇抗氧化物會進行脫色反應，而呈色反應 (由藍綠色轉變成無色) 的變化程度將反映樣品中所具

有的抗氧化能力。

檢測一般是利用紫外光/可見光分光光度計 (UV-vis spectrophotometer)，測定在固定反應時間內於 415 或 734 nm 波長條件下的吸光值變化，再經換算公式求得作為抗氧化力的數值，並以抗氧化標準品 Trolox 的當量濃度表示其單位。

TEAC 法具有以下特點，如操作簡便、反應時間短、選擇性高 (可選擇測定水溶性或脂溶性抗氧化物)、檢測 pH 範圍廣泛 (但於低 pH 環境條件下，反應機制會傾向於單電子轉移) 等。然而 TEAC 所使用的 $ABTS^{\cdot+}$ 自由基，非一般生物體內常見的自由基種類 (其不存在於哺乳動物中)，因此 TEAC 值較不能反映生物生理上的抗氧化效果。另外，TEAC 法對於酚類物質的檢測結果易有高估的情形，故在應用上需注意這類限制 (Prior et al., 2005)。

5. 總酚類含量檢測法 (Total Phenolics Content assay or Folin-Ciocalteu assay)

總酚類含量檢測法 (TPC assay or F-C assay) 過去主要用於評估樣品中酚類物質的含量，由於其反應機制同時涉及氫原子轉移 (HAT) 和單電子轉移 (SET)，這在反應過程上屬於氧化還原反應，因此也被認定是一種抗氧化力的檢測法。使用的關鍵試劑最早見於 Folin 和 Ciocalteu (1927) 的研究，原用於測定酪氨酸 (Tyrosine) 和色氨酸 (Tryptophane)，後經 Singleton 和 Rossi (1965) 改良並建立此法的試驗條件及流程，爾後被廣泛應用於各類食品的總酚類含量分析。

檢測一般是利用分光光度計 (Spectrophotometer)，於常溫下測定樣品在固定反應時間內於 765 nm 波長下的吸光值，再以標準品迴歸方程式換算抗氧化力的數值，並以酚類標準品 (通常使用沒食子酸, Gallic acid) 的當量濃度表示單位。

TPC 法因具有操作簡便、敏感度高特點，又主要可針對酚類物質的含量進行測定，故於製酒工業的應用上最為廣泛，這是因為酚類物質對於酒類的品質是極重要的成分。然而此法具有以下限制，如反應時間較長、易受糖類、維生素 C、有機酸、蛋白質等干擾反應進行，因此易出現非專一性反應，故在選擇使用上需特別注意 (Prior *et al.*, 2005)。

(二) 不同檢測法間的抗氧化力排序比較

1. ORAC、F-C、FRAP 三法間抗氧化力排序的比較

(1) 國內外水果類抗氧化力排序的比較

Wolfe 等人 (2008) 利用 ORAC 和 F-C 兩法檢測 25 種美國常消費性水果，得到兩組水果抗氧化力高低的排序，發現兩法之間在部分水果抗氧化力的排序上互有差異。其中以莓果類和瓜果類差異較小，在兩法所測得的結果上，莓果類皆屬於高抗氧化力的一群，而瓜果類皆屬於低抗氧化力的一群。若按顏色區分，以顏色偏向深紫、紅色的水果有較高的抗氧化力；相反的，外觀顏色偏向淺色系的水果，其抗氧化力是較低的，而兩法間結果排序差異達 7 位以上者有鳳梨、西瓜、檸檬，顯示 ORAC 和 F-C 法之間約略有某種共通性，但也存在有某種程度的差異性。

陳 (2005) 則選用 FRAP 和 F-C 兩法檢測近 30 種台灣市售水果的抗氧化力，發現台灣水果抗氧化力排序與國外研究有類似的現象，以水果外觀顏色偏向深紫、深紅色有高的抗氧化力，而淺色系水果的抗氧化力則大多偏低，少部分如泰國柚、珍珠拔雖然外觀為淺色系，仍具有高抗氧化力則屬比較特殊的例子。

(2) 國內外蔬菜類抗氧化力排序的比較

Ou 等人 (2002) 選用 ORAC 和 FRAP 兩法檢測 13 種美國常用蔬菜的抗氧化力，由結果得知，抗氧化力的排序會因蔬菜種類不同而有差異。若將 13 種蔬菜概分成

三個抗氧化力群 (低、中、高)，可以發現在「低」和「高抗氧化力群」的蔬菜在兩法間的排序變動差異較少，如豆類和胡蘿蔔於兩法的結果中皆排在低抗氧化力的位置；而「中抗氧化力群」的蔬菜排序在兩法間則變動較大。

張 (2008) 以 FRAP 法和 F-C 法檢測台灣常消費性蔬菜的總酚類含量和抗氧化力，所檢測的種類共有 83 種 (圖 2.10)，從中選出和上述美國相同的蔬菜種類做排序比較 (Ou *et al.*, 2002)，發現部分的蔬菜種類如菜豆 (Snap bean)、菠菜、青椒，在台灣和美國蔬菜的抗氧化力排序上是滿相似的。綜合上述，可看出各抗氧化力檢測法雖存有一定的差異，但仍存有一定程度的相關性。

(三) 不同抗氧化力檢測法數值間的相關性比較

Cao 和 Prior (1998) 使用 3 種抗氧化力檢測法 (FRAP, ORAC, and TEAC assay)，測定健康成人血液樣品中的抗氧化力，經分析比較後，發現 FRAP 與 ORAC 法的抗氧化力數值間有顯著但較低度的正相關性 ($r=0.35, p<0.05$)。而 ORAC 與 TEAC 或 FRAP 與 TEAC 的數值間則未呈現有相關性。

Thaipong 等人 (2006) 使用 4 種抗氧化力檢測法 (ABTS, DPPH, FRAP, and ORAC assay)，測定 3 種紅肉拔 (Pink-fleshed Guava) 和 1 種白肉拔 (White-fleshed Guava) 果汁萃取液的抗氧化力，經統計分析比較，發現 FRAP 法在 4 種檢測法中具有最佳的再現性 (Reproducibility)，對於維生素 C 及總酚類含量的測定數值亦有最佳的正相關性 ($r>0.9, p<0.05$)。

Ou 等人 (2002) 使用 FRAP 和 ORAC 法測定 13 種市售蔬菜於生鮮狀態下的抗氧化力，結果發現部分種類的蔬菜，FRAP 與 ORAC 值間有較高的線性正相關，如萵菜 ($R^2=0.96$)、紫洋蔥 ($R^2=0.87$)、洋蔥 ($R^2=0.78$)、胡蘿蔔 ($R^2=0.78$)。基於上

述前人的研究可知，以不同的抗氧化力檢測法測定所得之數值未必相關。

(四) 影響抗氧化力的因素

依 Kalt (2005) 的文獻回顧可以得知，蔬果中所含各類抗氧化物的含量均可能受不同因素影響而產生變動，進而對蔬果整體的抗氧化力產生影響。而造成蔬果抗氧化力變動的影響因素，Kalt 將之分做以下幾項因子：遺傳因子 (Genetic factors)、成熟度 (Maturity)、栽培環境因子 (Environmental factors, 如光、栽培條件、病害等) 及調理和儲藏因子 (Handling and storage)。而王 (2006) 則是將影響抗氧化力的因素概略的區分成「採前因素」 (Pre-harvest) 和「採後因素」 (Post-harvest) 二類。

從消費者攝取蔬果的角度來看，王 (2006) 所舉「採前因素」中的「品種」(屬遺傳因子)，可受消費者挑選蔬果 (food choice) 所影響，因消費者挑選蔬果的舉動即可能影響攝入的抗氧化物；此外，蔬果內的抗氧化物會受不同採後處理所影響，這屬於消費者所能介入影響蔬果抗氧化力較易見的範圍，以下即針對蔬果受調理和儲藏因素影響抗氧化力的方面進行文獻探討。

1. 調理方式對抗氧化力的影響

(1) 烹煮加熱及加熱方式對蔬菜抗氧化力的影響

Jiménez-Monreal 等人 (2009) 使用 6 種烹煮加熱方式 (Baking, Boiling, Frying, Griddling, Microwave cooking, and Pressure-cooking) 調理 20 種西班牙當地的常消費性蔬菜 (朝鮮薊、蘆筍、芥菜根等...)，並利用 3 種抗氧化力檢測法 (清除脂質過氧化自由基的能力、清除氫氧自由基的能力、TEAC 法) 測定參試蔬菜調理前後的抗氧化力變化，以分析上述 6 種加熱方式對於參試蔬菜的抗氧化力是否有提升、維持或減少的影響。對照結果綜合評比，以烘焙 (Baking；200°C；14-49 min)、乾煎 (Griddling；10-20 min) 和微波 (Microwave cooking；中強度；2-4 min) 的加熱

方式，對參試蔬菜抗氧化力的維持或提升效果較佳，油炒 (Frying; 6-17 min) 次之，而水煮 (Boiling; 10-47 min) 及壓力鍋水煮 (Pressure-cooking; 3-10 min) 的加熱方式則幾乎使參試蔬菜的抗氧化力有大幅下降的趨勢。因此該項研究指出，含水量多的烹煮加熱方式對於蔬菜抗氧化力的維持而言是較為不利的。

Wachtel-Galor 等人 (2008) 使用 3 種加熱方式 (Boiling, Seaming, Microwaving) 調理 4 種十字花科蔬菜 5-10 分鐘，結果發現參試熟蔬菜的總酚類 (Total Phenolics) 含量均低於生蔬菜，而於同樣的處理下檢測上述參試蔬菜的抗氧化力 (FRAP Value)，結果顯示其中的 2 種蔬菜 (甘藍、菜心)，在經水煮及微波水煮加熱 10 分鐘後，其抗氧化力均大幅低於生蔬菜。其中，仔細比較 3 種不同的加熱方式 (蒸煮、水煮、微波水煮)，可發現同樣是水煮 (水煮、微波水煮) 對同種蔬菜的效力相似，然而卻以水煮對參試蔬菜抗氧化力的增進效果較好 (對抗氧化力的提升幅度較大，對抗氧化力的降低幅度較小)，而 3 種加熱方式中，又以蒸煮對參試蔬菜抗氧化力的維持及提升效果最佳。

另外，NG 等人 (2011) 使用 3 種烹煮加熱方式 (Boiling, Microwave cooking, Pressure-cooking)，對馬來西亞 4 種常消費性蔬菜 (青花菜、長豇豆、苦瓜、蕓菜) 進行加熱調理，並以 3 種抗氧化力檢測法 (DPPH、FRAP、TEAC 法) 測定蔬菜調理前後的抗氧化力變化，結果顯示水煮 (Boiling; 5 min) 的加熱方式對 4 種蔬菜的抗氧化力均具有大幅提升的效果 (約增加 0.3-3.7 倍)，微波 (Microwave cooking; 5 min) 次之，而壓力鍋水煮 (Pressure-cooking; 20 min) 的加熱方式對參試蔬菜的抗氧化力提升效果較不顯著。由於上述三種加熱方式所含蔬菜樣品與水的比例設定均為相同 ($w/w = 1:0.67$)，且同種蔬菜經不同加熱方式後測得的抗氧化力數據差異頗大，據此可得知不同的加熱處理方式對蔬菜抗氧化力的影響是不盡相同的。

2. 儲藏條件對抗氧化力的影響

(1) 儲藏溫度對抗氧化力的影響

Gazzani 等人 (1998) 將 12 種蔬菜汁經低溫 (2°C) 離心、過濾後，置於 2、25、102°C 下儲藏 10、20、30 分鐘。檢測蔬菜汁抗氧化力於各溫度不同時間下的變化。而其結果顯示，大部分的種類的蔬菜汁樣品在低溫 (2°C) 儲藏下，其抗氧化力呈現先降後升的趨勢，部分種類如胡蘿蔔、花椰菜等的抗氧化力，則有隨低溫儲藏時間增加而高過對照組的現象。在室溫 (25°C) 儲藏下，部分種類的蔬菜汁之抗氧化力的變化，也有出現類似低溫儲藏先降後升的現象，然而其下降的比例是較低溫儲藏小。而在高溫 (102°C) 儲藏的部分，抗氧化力的變化有隨儲藏時間增加而上升的趨勢。整體而言，參試的蔬菜汁置於高溫環境下，對抗氧化力提升的效果及比例較高。

綜合上述，不同的調理方式或儲藏條件均會對蔬果的抗氧化力產生影響，影響的程度會因蔬果種類的不同而有所差異。有關因調理、儲藏因素使蔬果抗氧化力增加或減少的原因，Nicoli 等人 (1999) 提出可能的看法 (表 2.2)，認為食品在處理的過程中可能伴生有新的抗氧化物 (或過氧化物) 形成，致使抗氧化物 (或過氧化物) 的物化特性發生改變，所以使食品整體的抗氧化力發生了增加或減少的改變。Nicoli 等人 (1999) 亦提及若是食品的抗氧化力在處理前後未發生改變，也並不代表各抗氧化成份之間沒有發生變動，而可能是處於一種動態的平衡狀態。

四、抗氧化物的生物可利用性

生物體內的非酵素型抗氧化物，絕大多數均是攝取自蔬果等食物，只有極少數是靠自身合成。然而蔬果依體外 (*in vitro*) 抗氧化力檢測法所測得的抗氧化力數據，是否真能反映生物體攝入後實際可提供的抗氧化效力。於是也有學者從這樣

的觀點切入，欲探討抗氧化物於生物體的吸收（或利用）效率，以與抗氧化力檢測法所得的結果相互對照，而常見的相關名稱為生物可利用性 (Bioavailability or bioaccessibility) 或生物有效性。

(一) 蔬果攝取形式對抗氧化物之生物可利用性的影響

Reboul 等人 (2006) 利用體外消化模式 (*in vitro* digestion model)，分析蔬果處理前後，仿生腸道對特定蔬果抗氧化成分的吸收效果。結果顯示，胡蘿蔔素的通透吸收效果，以胡蘿蔔汁比鮮食胡蘿蔔來得高 (胡蘿蔔汁的 α -胡蘿蔔素吸收效果增加達 8.9 倍； β -胡蘿蔔素為 5.5 倍)；而番茄汁內含胡蘿蔔素、茄紅素、葉黃素的通透吸收效果亦較鮮食番茄高 (番茄汁的 β -胡蘿蔔素吸收效果增加達 60 倍；茄紅素為 16 倍；葉黃素為 1.1 倍)。

Gärtner 等人 (1997) 將番茄 (400g) 和番茄醬 (40g) 分別附加於兩組健康受試者的飲食中 (番茄和番茄醬的茄紅素含量分別為 22.2 ± 0.6 和 23.6 ± 0.2 mg)，受試者攝食後，檢測兩組受試者腸道乳糜小球吸收特定抗氧化成分 (茄紅素) 的效果，結果顯示，以番茄醬對人體的生物可利用性 (Bioavailability) 較高，比鮮食番茄高 3.8 倍。

蔬果可能經不同處理而使攝取形式發生改變，此亦會影響抗氧化力及抗氧化成分的吸收。由上述的資料顯示，生物體若攝入已處理成小分子形式 (如醬泥、汁液狀) 的蔬菜或水果，對於抗氧化物的吸收效果將會比直接鮮食咀嚼來得高。

(二) 烹煮加熱對蔬菜抗氧化物之生物可利用性的影響

Rock 等人 (1998) 將 8 位健康女受試者分成 2 組，配合飲食提供富含等量 β -胡蘿蔔素的生食或熟食蔬菜 4 週，比較生、熟食組實驗前後受試者血漿中 β -胡蘿蔔

蔔素含量的變化，發現熟食組受試者血漿中所測得的 β -胡蘿蔔素顯著高於生食組達 3 倍之多。

Vermeulen 等人 (2008) 配合飲食交替給予 8 位健康男受試者等重之生或熟的青花菜 (Broccoli)，結果顯示攝取生青花菜的受試者，其蘿蔔硫素 (Sulforaphane) 的吸收率顯著高於攝取熟青花菜。

Boileau 等人 (2002) 發現茄紅素 (Lycopene) 主要以全反式 (all-trans) 的結構存在於一般的生鮮番茄中 (約 80-97%)，而於人體和動物組織及血液中測得的茄紅素，其結構卻主要為順式的異構物 (cis-isomers)。因此認為若能先將飲食中茄紅素的形式轉變為順式，將可增加人體腸道對茄紅素的吸收效果。而將番茄經調理及加熱處理後，發現茄紅素從全反式轉變成順式異構物的比例會大為增加，對於增加茄紅素的生物可利用性是有顯著效果的。

綜合上述研究可知，蔬菜中各抗氧化物 (保健成分) 含量及其生物可利用性會受蔬菜種類及加熱調理方式等的影響產生變化，進而影響其保健效益。

五、抗氧化物的生物有效性檢測法

(一) 侵入式檢測 (血漿檢測)

一般檢測抗氧化物的生物有效性，會透過抽取血液或尿液的方式。而這類方式通常有耗時和檢測費用較高的缺點，然而藉由抽取血液並檢測其中所含的抗氧化物含量，可得知受試者於攝取蔬果前後，其抗氧化成分是否透過腸道吸收而進入血液循環中，藉此檢測蔬果抗氧化物的生物可利用性。此外，亦可分析丙二醛 (MDA) 含量、DNA 損壞程度 (%) 等，以獲知目前身體氧化逆境的程度大小。以

Riso 等人 (2005) 的試驗為例，檢測受試者在配合餐飲飲用 600mL 血橙汁前後 (對照組未飲)，其血漿中所含特定抗氧化物成分濃度的變化，結果顯示，飲用血橙汁的受試者，其血漿中所含的維生素 C、矢車菊素 (cyanidin-3-glucoside)、隱黃素 (β -cryptoxanthin) 和玉米黃素 (Zeaxanthin) 等抗氧化物的濃度皆比飲用血橙汁前顯著高出許多。

(二) 非侵入式檢測 (生物光子儀檢測)

生物光子儀為利用低能量的藍雷射光，激發手掌心皮膚內含類胡蘿蔔素，檢測特定波段的反射光譜強度，可得知受試者目前身體的抗氧化防禦指數，以作為評判受試者日常飲食抗氧化物補給量是否充足的依據。一般的檢測數值以 30,000 為基準點，低於此基準點，表示受試者體內類胡蘿蔔素含量不足，需額外攝取多量蔬果或抗氧化補充劑。而此檢測法堪稱快速、簡便 (約 3-5 分鐘即完成檢測)，然因其涵括的檢測範圍受限於類胡蘿蔔素，故其缺點為不夠全面性。

六、蔬果抗氧化物的保健效益

抗氧化物對 DNA 的保護作用

Collins 和 Harrington (2002) 利用 3 種抗氧化物 (β -胡蘿蔔素、維生素 C、維生素 E) 檢測其對人體血液中 DNA 的保護功用。3 組處理的受試者均有 6 位，處理前先會從各組受試者抽取少量血液作為對照組，爾後讓 3 個處理組的受試者分別吞服含 β -胡蘿蔔素 (45 mg)、維生素 C (1 g)、維生素 E (1 g) 的補充錠，並分別於各組受試者吞服抗氧化物補充錠後的第 24、2、24 小時抽血。

各處理組所抽取的血液與受試前所抽的血液，最後均會加入終濃度為 0.24 mM 的過氧化氫 (H_2O_2)，並於冰浴中反應 5 分鐘。所加入的 H_2O_2 為一種人體內常見的

自由基，會攻擊和破壞血液中的 DNA。結果發現吞服 3 種抗氧化物補充錠的處理組，其 DNA 被 H_2O_2 破壞的比例均顯著地低於對照組，顯示此 3 種抗氧化物均有抑制 H_2O_2 自由基的效果 (*in vitro* 試驗)。

Collins 和 Harrington (2002) 也利用高維生素 C 含量的奇異果汁進行 *in vitro* 的試驗。其中處理組的受試者 (n=6) 給予新鮮的奇異果汁 500 mL 飲用，而對照組的受試者 (n=6) 只給予白開水 500 mL 飲用。各組受試者於飲用果汁或白開水前及飲用後的第 2、4、8、24 小時均會抽取其血液，各血液樣品同樣加入 H_2O_2 自由基於冰浴中反應 5 分鐘。結果顯示，飲用奇異果汁的受試者，其血液中的維生素 C 含量在 24 小時內明顯比對照組高，且血液中的維生素 C 含量在飲用果汁後的 4 小時內是呈現急劇上升的趨勢，爾後其含量才隨時間增長緩慢的下降。在第 24 小時，處理組血液中的維生素 C 含量才降至與對照組相近的濃度。而比較兩組血液中 DNA 遭 H_2O_2 破壞的結果，會發現飲用含維生素 C 果汁的處理組，其 DNA 被破壞的程度是顯著低於對照組的。

上述所提 Collins 和 Harrington (2002) 的試驗均屬於體外 (*in vitro*) 的試驗，因為自由基是額外添加到血液中參與反應的。綜合其維生素 C 的實驗結果可以推論，無論受試者服用抗氧化物補充錠 (劑) 或是攝取富含天然抗氧化物的蔬果，所吸收至血液的維生素 C 均能對血液中的 DNA 產生一定程度的保護作用，能有效降低、抑制自由基對 DNA 的破壞。

此外，Lindsay 和 Astley (2002) 整理了上述 3 種抗氧化物 (β -胡蘿蔔素、維生素 C、維生素 E) 在 *in vivo* 方面的文獻 (表 2.3)，分別列出各抗氧化物對人體預防、減少疾病等方面的實際保健效益，大部分的例子中均陳述提升抗氧化物的攝取可顯著降低心血管、心肌梗塞等慢性病發生的機率。

七、蔬果攝取原則與概念

營養學家建議每人每日蔬果的攝取量最好有 5-9 份 (林和楊, 2006), 以獲得足量的抗氧化物。此外, 蔬果顏色和種類的選擇上要儘量多樣化 (Heber and Bowerman, 2001), 以有效提升身體免疫力和減少疾病的發生 (Collins and Harrington, 2002)。

(一) 蔬果攝取種類

Heber 和 Bowerman (2001) 提出蔬果的色彩密碼 (彩虹原則) 的攝食原則, 將蔬果依外觀色彩區成為七種顏色, 分別有「紅色、紅紫色、橙色、黃橙色、黃綠色、綠色、白綠色」, 而各個顏色均有其所對應的主要抗氧化物和代表的蔬果種類, 如紅色所對應的主要抗氧化物為「茄紅素」, 蔬果代表種類為番茄; 黃綠色所對應的抗氧化物為「葉黃素、玉米黃素」, 蔬果代表種類為菠菜、哈密瓜...等。而日常生活中若能平均攝取多種顏色的蔬果, 意謂著將可從飲食中獲得多種不同種類的抗氧化物, 而不同種類的抗氧化物對不同疾病或癌症的預防效果也不盡相同, 所以若能每日攝取多元、多種、多色的蔬果, 將可有效提升身體免疫能力並減少疾病的發生。

(二) 蔬果攝取份量

關於蔬果的每日建議攝取量, 各國制定的標準會因其飲食習慣和國民體質的差異而有所不同。總括來看, 不少國家的飲食指南裏, 蔬果的每日建議攝取量在各類食物中所佔的比例有逐年提升的趨勢 (FSA, 2007; Hee, 2008; Macdiarmid *et al.*, 2011; USDA, 2011), 以美國為例, 從其農業部 (USDA) 1992、2005、2011 年各次提出之飲食指南的食物結構比例來看, 1992 年蔬果類的每日建議攝取用量約占各大類食物總量的 1/3, 而 2005 和 2011 年的蔬果比例則是提高至近 1/2, 由此可

見多蔬果飲食似已成為當代的飲食趨勢。

此外，美國癌症協會 (ACS) 於 1999 年曾提出「天天 5 蔬果」的健康攝食概念，而其中的「5」代表的是每人每日建議的蔬菜水果攝取量為 5 份 (3 份蔬菜+2 份水果)。爾後，又於 2004 年和臺灣癌症基金會共同提倡「蔬果 579」的攝食原則。其中的「5, 7, 9」分別代表不同年齡層、族群，每日建議攝取的蔬果總份量。「2-6 歲的兒童」每日建議攝取的蔬果總份量為「5 份」；「6 歲以上女性」每日建議攝取的蔬果總份數為「7 份」；「6 歲以上男性」則建議每日攝取「9 份」的蔬果。



表 2.1 常見之酚類化合物及其分類

Table 2.1 The most important classes of phenolic compounds in plants

Basic skeleton	Class	Examples
C_6	Simple phenols	Phenol, guaiacol
	Benzoquinones	2,6- Dimethoxybenzoquinone
C_6-C_1	Hydroxybenzoic acids	Gallic, p-hydroxybenzoic, salicylic
C_6-C_2	Acetophenones	3-Acetyl-6-ethoxybenzaldehyde
	Phenylacetic acids	p-Hydroxyphenylacetic
C_6-C_3	Hydroxycinnamic acids	Caffeic, ferulic, p-coumaric
	Phenylpropenes	Myristicin
	Coumarins	Aesculetin
C_6-C_4	Isocoumarins	Bergenon
	Chromones	Eugenin
	Naphthoquinones	Juglone
$C_6-C_1-C_6$	Xanthenes	Mangiferin
$C_6-C_2-C_6$	Stilbenes	Resveratrol
	Anthraquinoids	Emodin
$C_6-C_3-C_6$	Flavonoids	Quercetin, catechin
	Isoflavonoids	Genistein
$(C_6-C_3)_2$	Lignans	Pinoresinol
	Neolignans	Eusiderin
$(C_6-C_3-C_6)_2$	Biflavonoids	Amentoflavone
$(C_6-C_3)_n$	Lignins	
$(C_6)_n$	Catechol melanins	
$(C_6-C_3-C_6)_n$	Condensed Tannins	

表 2.2 食品抗氧化特性的改變受調理和儲藏流程的影響

Table 2.2 Changes in the overall antioxidant properties of foods as affected by food processing and preservation procedures

(Nicoli *et al.*, 2002)

Effects on Antioxidant propeties	Causation
No changes	(1) No changes in naturally occurring antioxidant concentration (2) Loss of naturally occurring antioxidants balanced by the simultaneous formation of compounds with novel or improved antioxidant properties
Increase	(1) Improvement of antioxidant properties of naturally occurring compounds (2) Formation of novel compounds having antioxidant activity (i.e. Maillard reaction products)
Decrease	(1) Loss of naturally occurring antioxidants (2) Formation of novel compounds having pro-oxidant activity (i.e. Maillard reaction products)

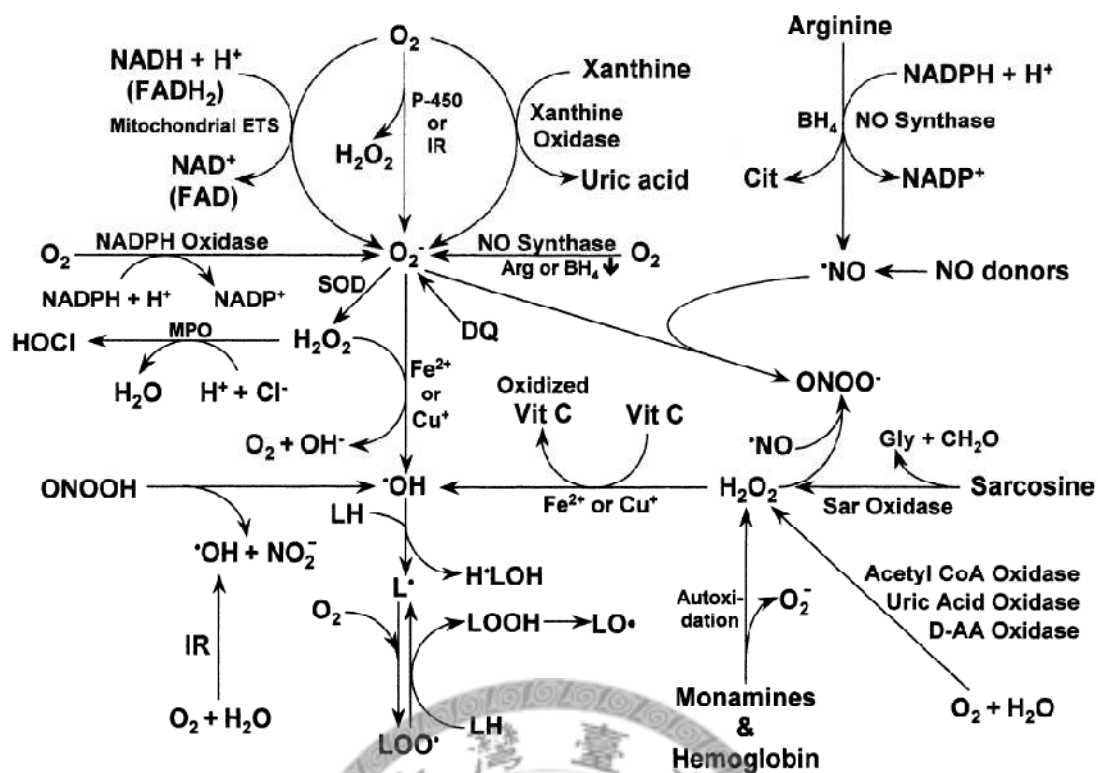


2.3 常見抗氧化物及其相關保健文獻探討列表

Table 2.3 Observational studies correlating antioxidant intake or plasma levels with cardiovascular disease

(Lindsay and Astley, 2002)

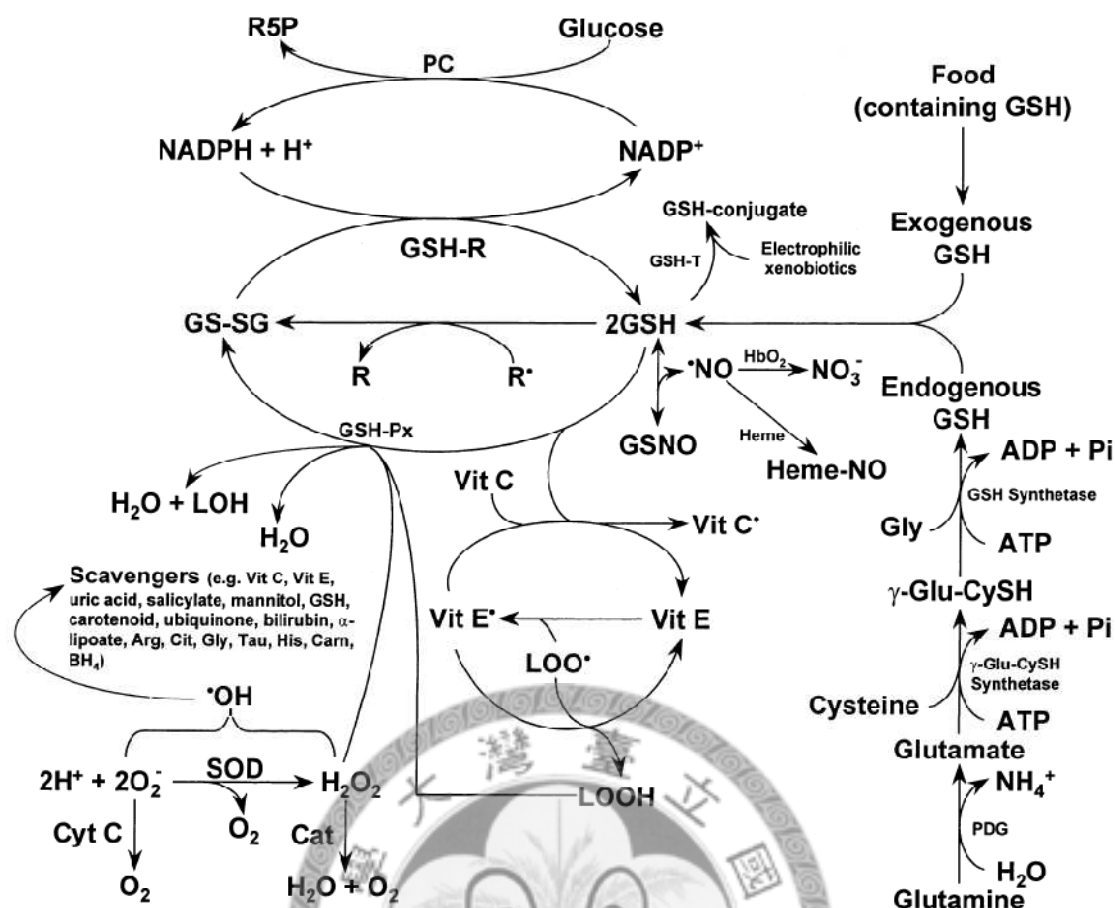
Antioxidant	Study	Effect	References
<i>Vitamin C</i>			
Individuals with a 50 mg vitamin C intake	Health Professionals Study 39,910 males	None	Rimm et al. (1993)
	Nurses Health Study 87,245 female	None	Stampfer et al. (1993)
	NHANES I 11,000 males	45% reduction in males 25% reduction in females	Knekt et al. (1994)
<i>Vitamin E</i>			
	Iowa Women's Health Study 34,486 post-menopausal women	Prevention (only from foods not supplements)	Kushi et al. (1996)
	Nurses Health Study 87,245 female	50% prevention 67 α TE/day supplement	Stampfer et al. (1993)
	Health Professionals Study (Smokers and non-smokers)	41% reduction	Rimm et al. (1993)
	WHO/MONICA cross-cultural study with men in 39 centres in 25 countries	Strong inverse correlation between plasma vitamin E and CVD	Gey et al. (1991)
<i>β-Carotene</i>			
Low β -carotene status	25,802 subjects	Twofold increase in risk of MI	Street et al. (1994)
High carotenoid intake	Massachusetts Health Care Panel. 1299 elderly people	75% reduction in incidence of myocardial infarction	Gaziano et al. (1995)
	Nurses Health Study 87,245 female	None	Stampfer et al. (1993)
	Health Professionals Study (smokers and non-smokers) 39,910 67 α TE/day show protection	Benefit to smokers only	Rimm et al. (1993)



(Fang et al., 2002)

圖 2.1 氧自由基、氮自由基及其他活性氧於哺乳動物細胞中產生的途徑

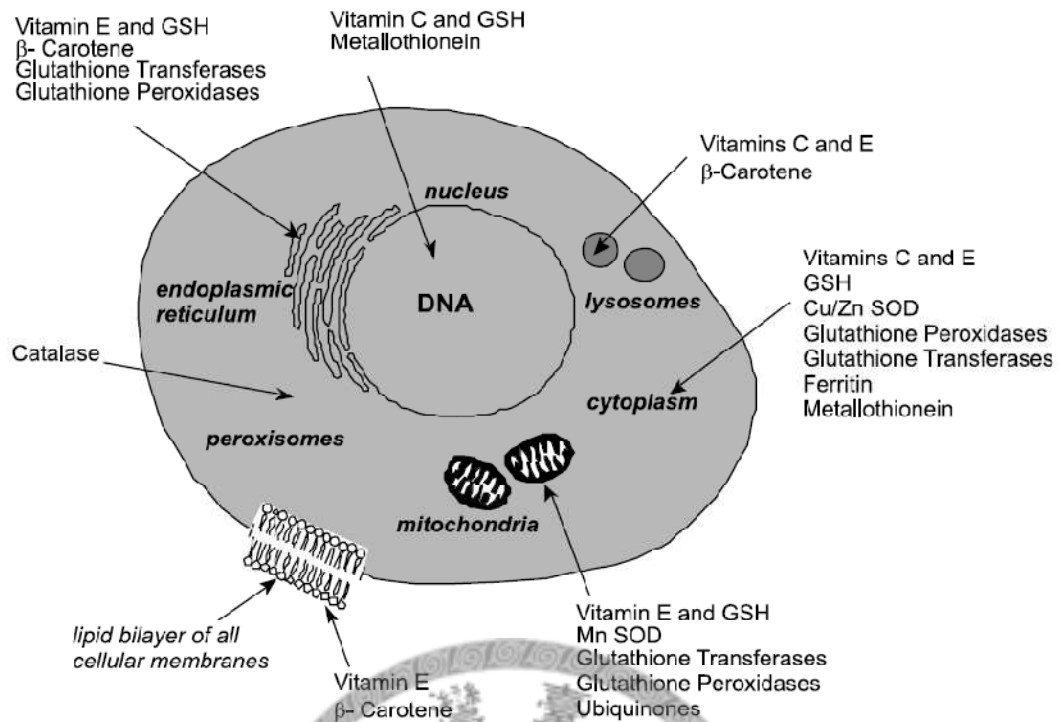
Fig. 2.1 Production of oxygen and nitrogen free radicals and other reactive oxygen species in mammalian cells. AA, amino acid; Arg, L-arginine; BH₄, (6R)-5,6,7,8-tetrahydro-L-biopterin; CH₂O, formaldehyde; Cit, L-citrulline; DQ, diquat; ETS, electron transport system; FAD, flavin adenine dinucleotide (oxidized); FADH₂, flavin adenine dinucleotide (reduced); Gly, glycine; H₂O₂, hydrogen peroxide; HOCl, hypochlorous acid; H[•]LOH, hydroxy lipid radical; IR, ionizing radiation; L[•], lipid radical; LH, lipid (unsaturated fatty acid); LO[•], lipid alkoxyl radical; LOO[•], lipid peroxy radical; LOOH, lipid hydroperoxide; MPO, myeloperoxidase; NAD⁺, nicotinamide adenine dinucleotide (oxidized); NADH, nicotinamide adenine dinucleotide (reduced); NADP⁺, nicotinamide adenine dinucleotide phosphate (oxidized); NADPH, nicotinamide adenine dinucleotide phosphate (reduced); [•]NO, nitric oxide; O₂⁻, superoxide anion radical; [•]OH, hydroxyl radical; ONOO⁻, peroxynitrite; P-450, cytochrome P-450; PDG, phosphate-dependent glutaminase; Sar, Sarcosine; SOD, superoxide dismutase; Vit C, vitamin C; Vit E, vitamin E (α-tocopherol).



(Fang et al., 2002)

圖 2.3 氧自由基、氮自由基及其他活性氧於哺乳動物細胞中移除 (清除) 的途徑

Fig. 2.3 Removal of oxygen and nitrogen free radicals and other reactive species in mammalian cells. ADP, adenosine diphosphate; Arg, L-arginine; BH₄, (6R)-5,6,7,8-tetrahydro-L-biopterin; Carn, carnosine; Cat, catalase; Cit, L-citrulline; Cyt C, cytochrome C; ETS, electron transport system; GSH, glutathione (reduced form); GSH-Px, glutathione peroxidases; GSH-R, glutathione reductase; GSH-T, glutathione S-transferase; GSNO, nitrosylated glutathione; HbO₂, oxyhemoglobin; Heme-NO, heme-nitric oxide; His, histidine; LOH, lipid radical; LOO•, lipid peroxy radical; LOOH, lipid hydroperoxide; •NO, nitric oxide; NO₃⁻, nitric oxide; O₂⁻, superoxide anion radical; ONOO-, peroxynitrite; PC, pentose cycle; R•, radicals; R, non-radicals; R5P, ribulose 5-phosphate; SOD, superoxide dismutase; Tau, taurine; Vit C, vitamin C (ascorbic acid); Vit C•, vitamin C radical; Vit E, vitamin E (α-tocopherol); Vit E•, vitamin E radical.



(Lindsay and Astley , 2002)

圖 2.4 細胞中參與抗氧化防禦作用的主要抗氧化物及其作用位置

Fig. 2.4 Antioxidant defence systems in the cell



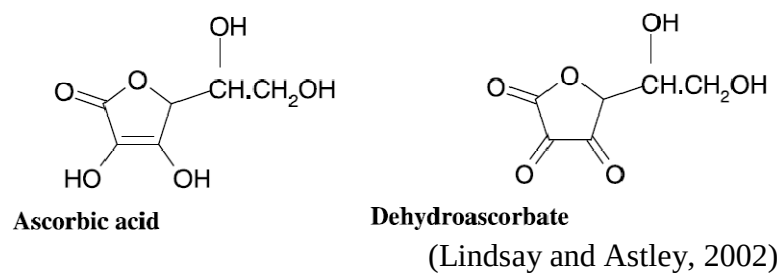


圖 2.5 維生素 C 分子的結構

Fig. 2.5 Structure of ascorbic acid and dehydroascorbic acid

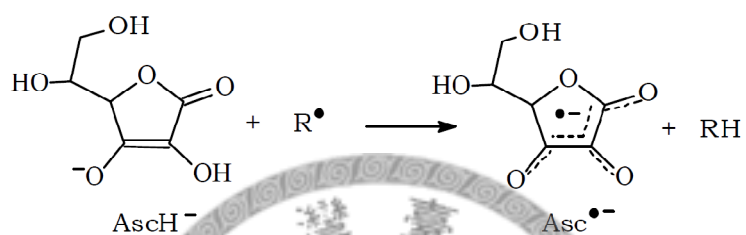


圖 2.6 維生素 C 做為自由基的電子提供者後轉變為共振穩定狀態

Fig. 2.6 Ascorbic acid (AscH^-) as a electron donor to free radical, then transforms into resonance-stabilized state

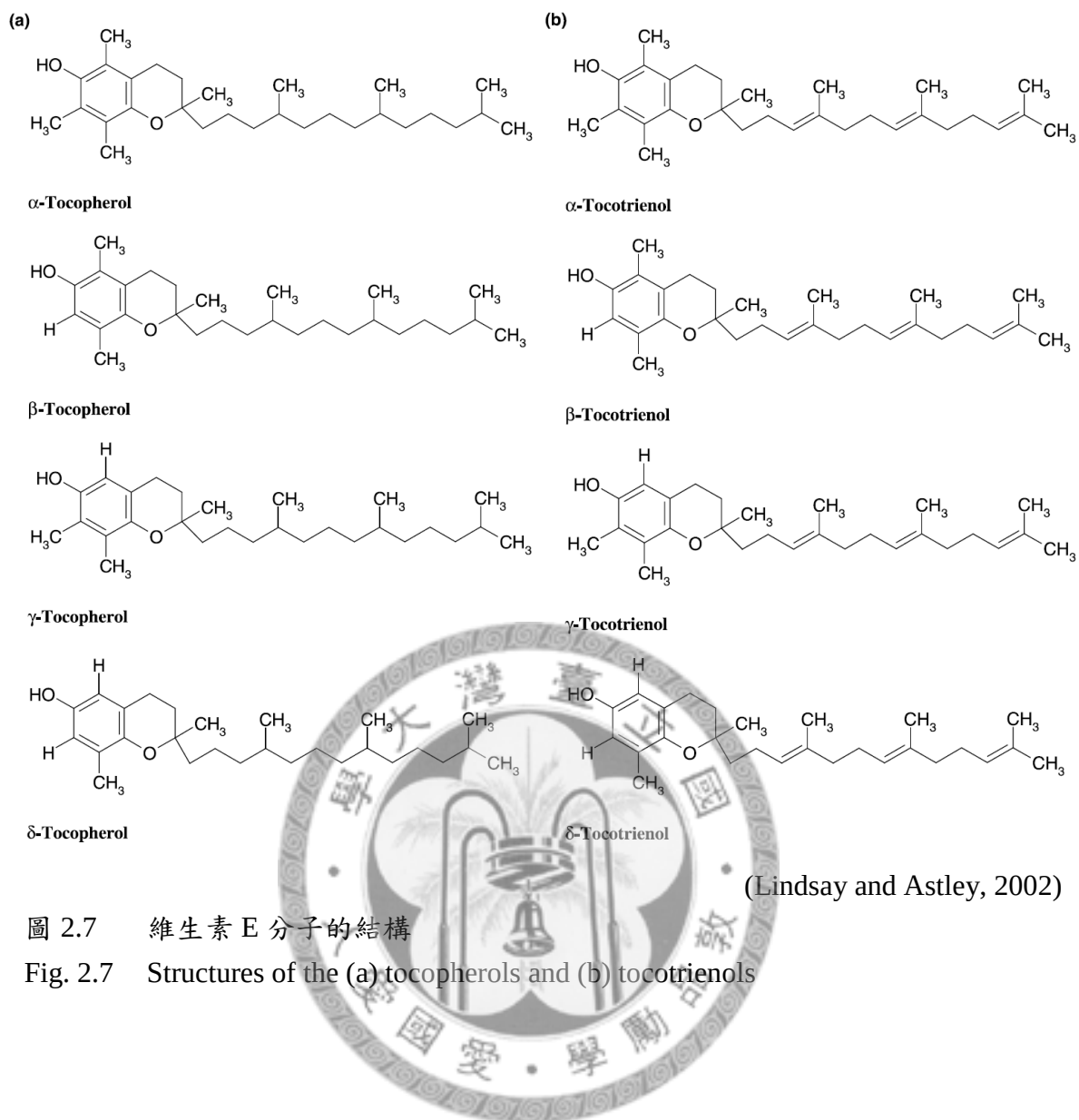


圖 2.7 維生素 E 分子的結構

Fig. 2.7 Structures of the (a) tocopherols and (b) tocotrienols

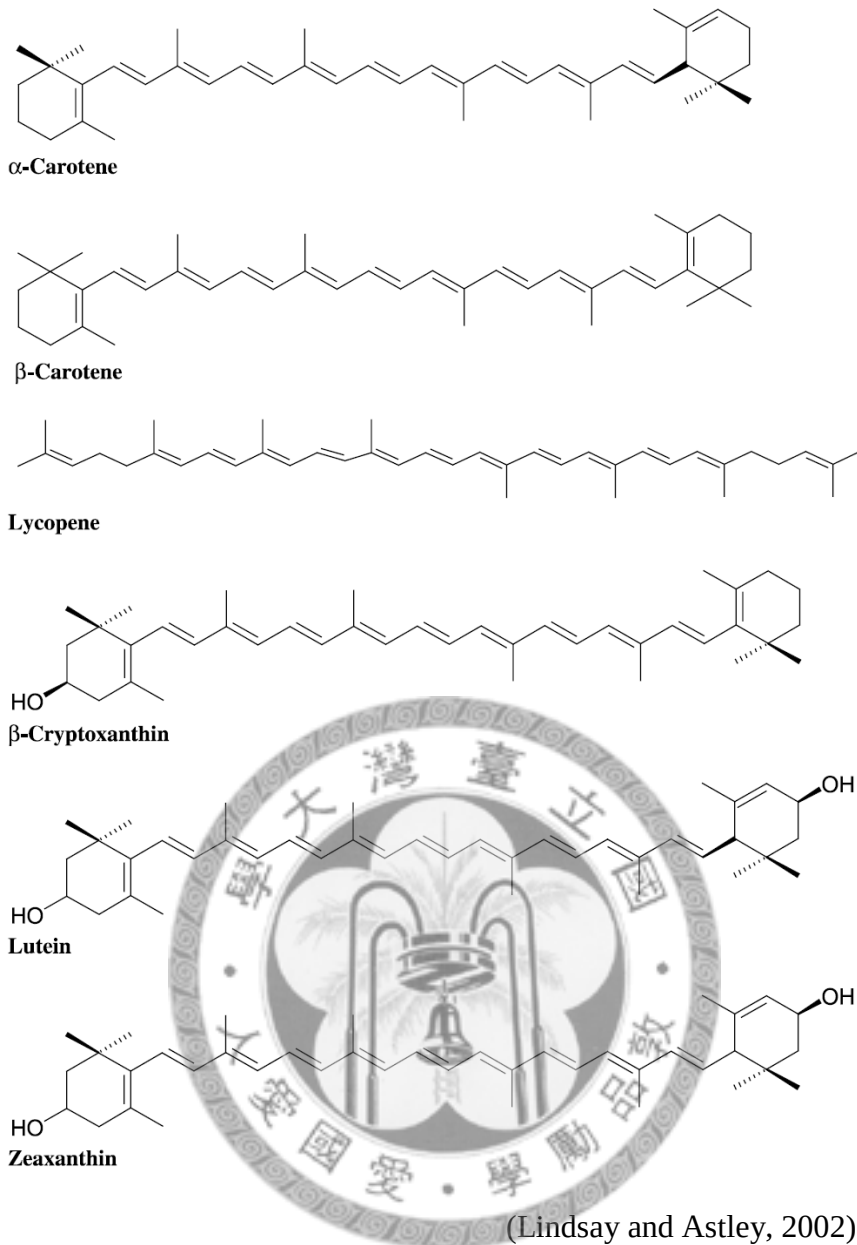
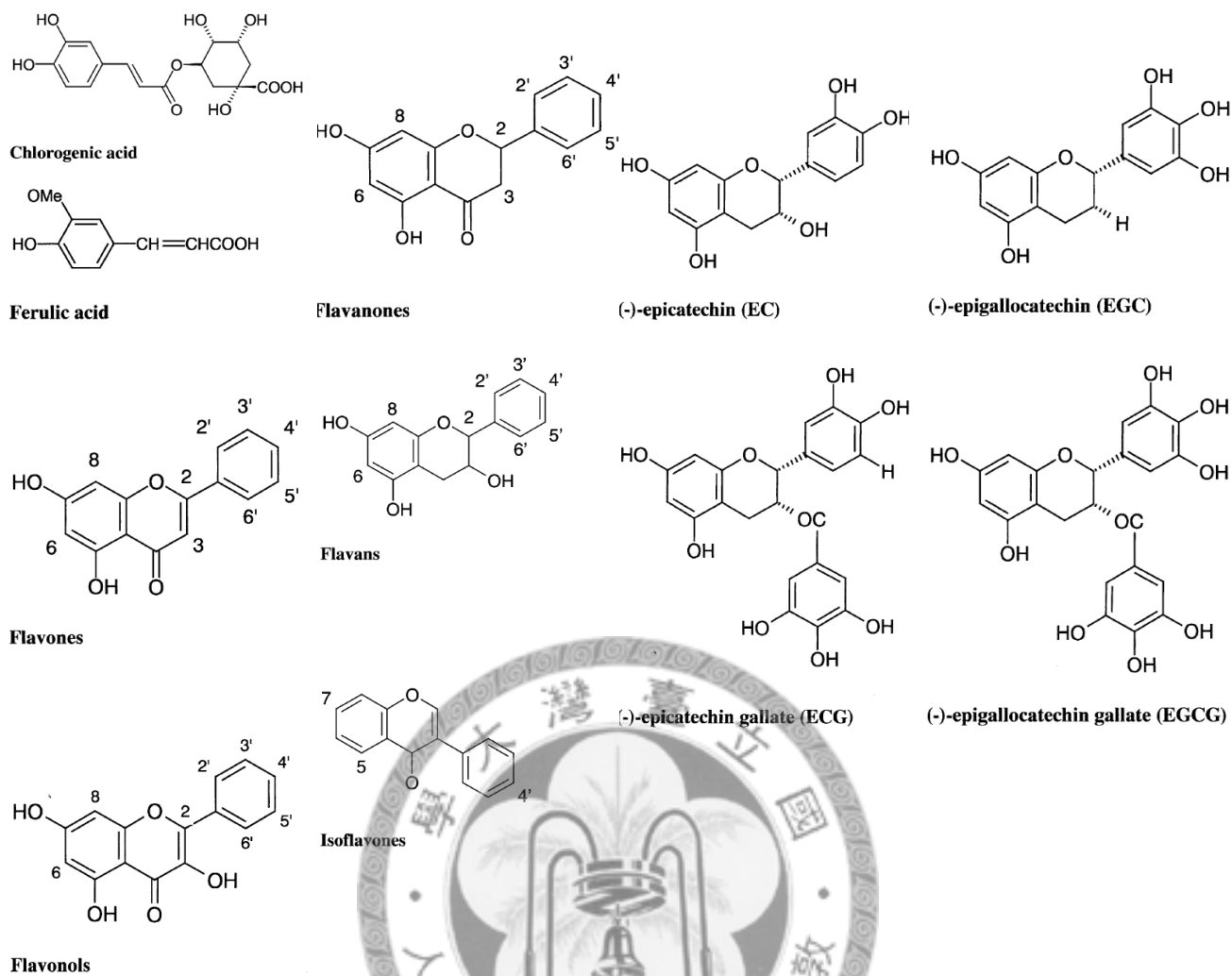


圖 2.8 類胡蘿蔔素的分子結構

Fig. 2.8 Structures of the carotenoids commonly found in the diet



(Lindsay and Astley, 2002)

圖 2.9 常見之酚類化合物的分子結構

Fig. 2.9 Structure of some important dietary phenols

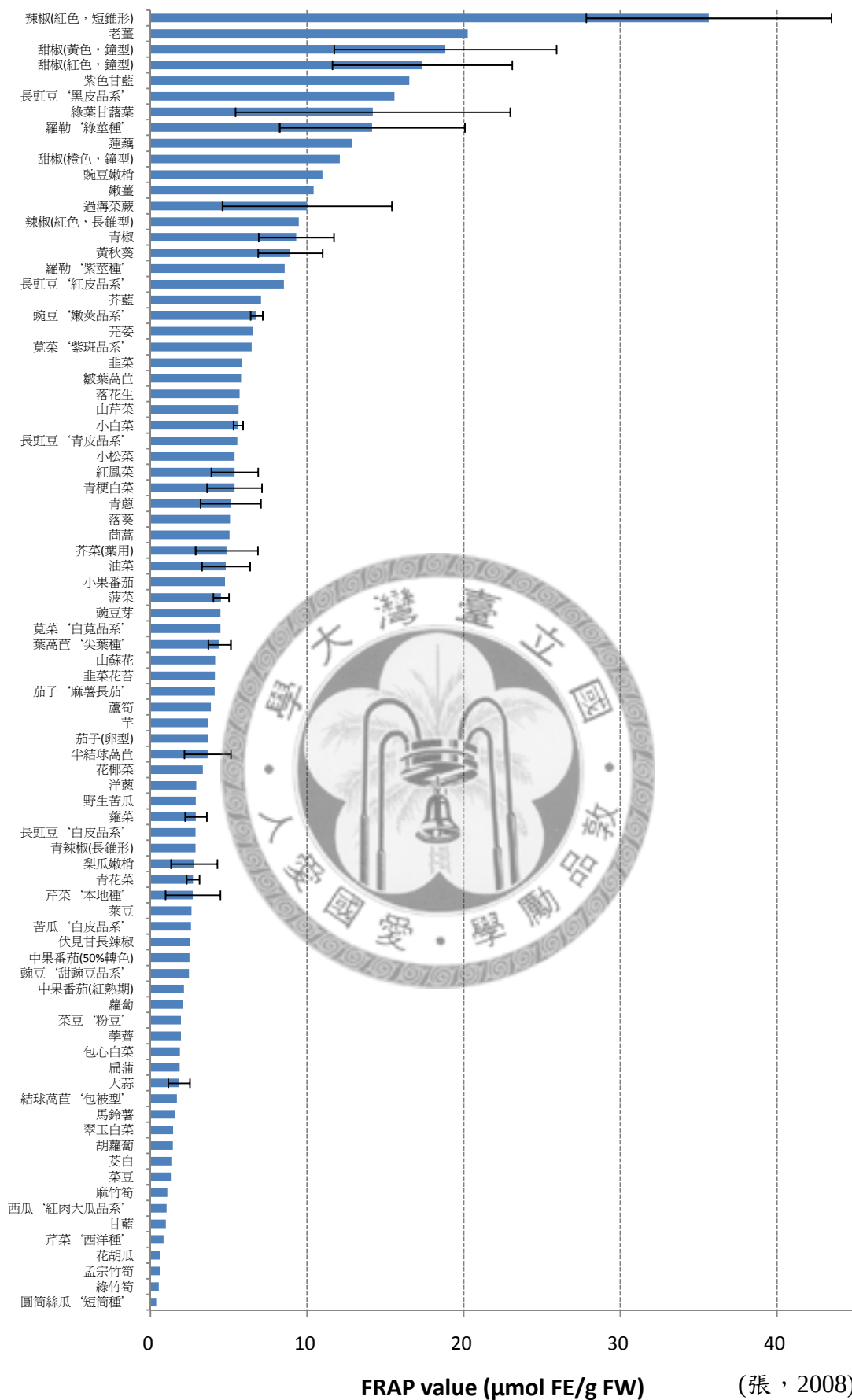


圖 2.10 臺灣常消費性蔬菜的抗氧化力 (FRAP value)

Fig. 2.10 Antioxidant capacity (FRAP value) of commercial consumed vegetables in Taiwan

第三章、材料與方法

一、試驗材料

(一) 均質時間對抗氧化力、粒徑大小之影響的試驗

使用的材料為購自台北市水源市場的綠葉甘藷葉 (*Sweet potato vine, Ipomoea batatas* (L.) Lam.) 和青花菜 (Broccoli, *Brassica oleracea* L. var. *italica* Plenck.)。

(二) 烹煮加熱方式及加熱時間對抗氧化力影響的試驗

使用的材料包括紅鳳菜 (*Gynura, Gynura bicolor* (Roxb. ex Willd.) DC.)、黃色甜椒 (Yellow sweet pepper, *Capsicum annuum* L.)、綠葉甘藷葉和結球萵苣 (美生菜) (*Crisphead lettuce, Lactuca sativa* var. *capitata* L.)，上述參試蔬菜分別購自於台北市環南市場、南投埔里合作農場及台北市水源市場。

(三) 烹煮加熱方式對抗氧化力影響的試驗

使用的材料為花胡瓜 (*Cucumber, Cucumis sativus* L.)、胡蘿蔔 (*Carrot, Daucus carota* L.)、蕹菜 (空心菜) (*Water spinach, Ipomoea aquatica* Forsk.)、小白菜 (*Chinese mustard, Brassica campestris chinensis*) 及白莧菜 (*White amaranth, Amaranthus mangostanus* L.)，均是自台北市松青超市 (師大店) 購得。

(四) 烹煮加熱強度對抗氧化力影響的試驗

使用的材料為購自台北市水源市場的綠葉甘藷葉和菠菜 (*Spinach, Spinacia oleracea* L.)。

(五) 微波烹煮加熱對抗氧化力影響的試驗

使用的參試材料有購自台北市水源市場共計 20 種的蔬菜，包括：紅色甜椒 (Red sweet pepper, *Capsicum annuum* L.)、黃色甜椒、青椒 (Green pepper, *Capsicum annuum* L.)、青花菜、結球萵苣、蕓薹、菠菜、山萵蒿 (Garland chrysanthemum, *Chrysanthemum coronarium* L.)、茴香 (Fennel, *Foeniculum vulgare* Mill.)、青梗白菜 (青江菜) (Pak-choi, *Brassica campestris* L. ssp. *chinensis* (L.) Mak.)、苦瓜‘綠皮種’ (Green skin bitter gourd, *Momordica charantia* L.)、苦瓜‘白皮種’ (White skin bitter gourd, *Momordica charantia* L.)、麻糬長茄 (Eggplant ‘Ma-Zu’, *Solanum melongena* L.)、梨瓜嫩梢 (龍鬚菜) (Chayote shoot, *Sechium edule* (Jacq.) Swartz)、落葵 (皇宮菜) (Malabar spinach, *Basella* spp.)、西洋芹 (Celery, *Apium graveolens* L. var. *dulce* (Mill.) Pers.)、蘆筍 (*Asparagus*, *Asparagus officinalis* L.)、半結球萵苣 (大陸妹) (Cos lettuce, *Lactuca sativa* L. var. *longifolia* L.)、菜豆 (四季豆) (String bean, *Phaseolus vulgaris* L.)、圓筒絲瓜 (Sponge gourd, *Luffa cylindrica* (L.) Roem.)。其次包括有購自台北市松青超市 (師大店) 的 13 種蔬菜：青蔥 (Welsh onion, *Allium fistulosum* L.)、白莧菜、葉萵苣 (A 仔菜) (Leaf lettuce, *Lettuce sativa* L.)、花胡瓜、胡蘿蔔、小白菜、洋蔥 (Onion, *Allium cepa* L.)、萵蒿‘大葉種’ (Garland chrysanthemum, *Chrysanthemum coronarium* L.)、大白菜 (Chinese cabbage, *Brassica campestris* L. *Pekinensis* Group)、牛番茄 (Tomato, *Lycopersicon lycopersicum* L.)、甜豌豆 (Snap pea, *Pisum sativum* L.)、胡瓜 (Cucumber, *Cucumis sativus* L.)、花椰菜 (Cauliflower, *Brassica oleracea* var. *botrytis* L.)。其餘還包括有購自台北市環南市場的 10 種蔬菜：綠葉甘藷葉、紅鳳菜、嫩薑 (Young ginger, *Zingiber officinale* Roscoe.)、蓮藕 (Lotus root, *Nelumbo nucifera* Gaertn.)、日本水菜 (Potherb mustard, *Brassica rapa* L. var. *nipposinica* (L.H.Bailey) Kitam.)、韭菜 (Chinese leek, *Allium tuberosum* Rottl. ex K. Spreng.)、油菜 (Edible rape, *Brassica campestris* L. var. *chinensis* L.)、山藥 (Chinese yam, *Dioscorea* spp.)、芋 (Taro, *Colocasia esculenta* (L.)

Schott.)、菜豆‘大粒種’(皇帝豆)(Lima bean, *Phaseolus limensis* Macf.)。

(六) FRAP 與 ORAC 法間抗氧化力排序比較的試驗

試驗所使用的 18 種蔬菜材料均購自台北市松青超市(師大店)，包括：紅色甜椒、黃色甜椒、綠葉甘藷葉、葉萵苣、有機油菜 (Organic edible rape)、有機蕹菜 (Organic water spinach)、甘藍苗 (Cabbage heart, *Brassica oleracea* L. var. *capitata* L.)、菠菜、有機葉萵苣 (Organic Leaf lettuce)、有機青梗白菜 (Organic pak-choi)、半結球萵苣、番茄‘黃金聖女’ (Sun gold cherry tomato, *Lycopersicon lycopersicum* L.)、小白菜、番茄‘聖女’ (Cherry tomato, *Lycopersicon lycopersicum* L.)、黃豆芽 (Soybean sprout, *Glycine max* (L.) Merr.)、菜豆、胡蘿蔔、花胡瓜。

上述所有供試材料，自取得後經清洗、瀝水(擦乾)等步驟，隨後即按照各材料一般普遍食用部位進行取樣(詳見附表 3.1)，並依各試驗所需樣品份數，秤重分裝於大小適中的夾鏈式密實袋中(每袋樣品約重 50 克)，爾後將各參試樣品暫置於 4℃ 冰箱中備用，以待後續處理及檢測分析。

二、試驗藥品

Sodium Acetate, Trihydrate (醋酸鈉) 購自於 Yakuri Pure Chemicals co. (Osaka, Japan)。Acetic acid (HAc/冰醋酸；100%) 購自於 Fisons Scientific Equipment (England)。2,4,6-Tris(2-pyridyl)-s-triazine (TPTZ) 購自於 Sigma-Aldrich, Inc (Steinheim, Germany)。Hydrochloric acid (HCl/濃鹽酸；37%；HPLC 級) 購自於 Honeywell Riedel-de Haën (Germany)。Ferric Chloride, Hexahydrate (氯化鐵)、Ferrous Sulfate, Heptahydrate (硫酸亞鐵) 和 Methyl Alcohol (甲醇；液相層析—光譜分析級) 皆購自於 Mallinckrodt Baker, Inc (Phillipsburg, NJ, USA)。

2,2'-azobis-2-amidinopropane-dihydrochloride (AAPH)、6-hydroxy-2,5,7,8-tetramethyl-chroman-2-carboxylic acid (Trolox)、Potassium dihydrogen phosphate (磷酸二氫鉀) 皆購自於 Sigma-Aldrich, Inc (St. Louis, MO, USA)。

三、試驗儀器與設備

蔬果調理機 (Vita-Mix 5000, USA)、定頻式微波爐 (800 W, National NN-7541, Japan)、戶外野炊型簡易瓦斯爐 (TPA 保安瓦斯器具)、離心機 (Sorvall Super T21, USA)、微量盤可見光光譜分析儀 (Anthos 2010, Austria)、微量盤分光光譜分析儀 (FlexStation 3, USA)。

四、參試樣品製備

從 4℃ 冰箱中取出先前暫置備用的分裝樣品，一次隨機取出一袋並記錄各袋樣品的鮮重 (每袋約重 50 克)，將樣品經適當截切 (各類樣品截切長度、大小、厚度詳載於附表 3.2)，即著手進行下列各試驗項目的處理，而各處理的重複數儘量以達到 3 為準。

(一) 均質時間對抗氧化力、粒徑大小之影響的試驗

1. 此部分的試驗選用綠葉甘藷葉 (Sweet potato vine, green leaf) 及青花菜 (Broccoli) 做為材料，分別以 4 種高速均質時間 (30、60、120、180 秒) 對參試樣品進行均質處理 (Vita-Mix 5000, USA)，均質液之後經萃取、離心等步驟取得上清液 (Supernatant fluid) 後，留待爾後抗氧化力 (FRAP 值) 的檢測。
2. 將綠葉甘藷葉的生鮮樣品分做兩部分，一部分是以 3 種高速均質時間 (30、

60、180 秒) 進行直接均質 (Vita-Mix 5000, USA)。另一部分則是經微波 (800 W, National NN-7541, Japan) 中強度 (Medium High) 的加熱處理 0、1、3、5 分鐘後，再給予 60 秒的高速均質 (Vita-Mix 5000, USA)。而經上述處理後所得各均質液樣品均會保存兩份，一份委託臺大化工系進行粒徑大小 (Particle size) 的檢測分析 (Beckman-Coulter LS230；利用雷射光照射懸浮於分散相中的粒子，依大粒子繞射角度小，小粒子繞射角度大的物理特性，可量測範圍在 $0.04\text{-}2,000\ \mu\text{m}$ 大小的粒徑分布)，另一份則經萃取、離心等步驟取得上清液後，留待爾後抗氧化力 (FRAP 值) 的檢測。

(二) 烹煮加熱方式及加熱時間對抗氧化力影響的試驗

本項試驗分別使用 5 種加熱處理方式 (悶煮、微波、水煮、微波水煮、油炒) 各自搭配 4 種加熱時間 (0、1、3、5 分鐘)，對紅鳳菜 (Gynura)、黃色甜椒 (Yellow sweet pepper)、綠葉甘藷葉及結球萵苣 (Crisphead lettuce) 的蔬菜樣品進行加熱處理。

「悶煮、水煮」的參試樣品均會盛裝於不銹鋼製的平底圓鍋內 (容量約 2 公升)。加熱處理前，「悶煮 (steamed)」部分的圓鍋內盛有與樣品重量/體積比相近的常溫去離子水 (樣品：水 = 1:1 (w/v)；水溫約 $20\text{-}30^{\circ}\text{C}$)，而「水煮 (boiled)」部分則是盛有煮沸的逆滲透沸水 (樣品：水 = 1:20 (w/v)；水溫約 $96\text{-}98^{\circ}\text{C}$)。待前述條件準備就緒後即利用戶外野炊型的簡易瓦斯爐進行加熱處理，加熱過程中的火力大小全程固定於中強度 (火力控制調節的旋鈕轉盤刻度對齊至中強火的位置)，加熱時間則以計時器設定、控制。

「微波、微波水煮」的參試樣品盛裝於微波耐熱型圓型調理鍋內 (Star industrial co., Hong Kong；容量約 2 公升；最高耐熱溫度： 130°C)。加熱處理前，

「微波 (microwaved)」部分的調理鍋內盛有與「悶煮」處理相同體積的常溫去離子水 (樣品：水 = 1:1 (w/v); 水溫約 20-30°C)，而「微波水煮 (microwave-boiled)」部分則與「水煮」處理盛有相同體積之煮沸之逆滲透水 (樣品：水 = 1:20 (w/v); 水溫約 96-98°C)。加熱過程中的微波 (800 W, National NN-7541, Japan) 火力大小均保持為中強度 (Medium High) (定頻式微波爐各段火力的輸出功率均相同，由中斷輸出功率時間長短訂出各段火力，有弱、中弱、中、中強和強共 5 段)，加熱時間則以微波爐內建計時器設定、控制。

「油炒 (stir-fried)」的樣品則是於開始計時後，才迅速倒入已有預熱葵花油的炒菜鍋內，並以前述「悶煮、水煮」所使用相同之瓦斯爐進行加熱處理程序，加熱的火力全程均固定於中強火的強度。初始加熱時間經過 30 秒會另倒入 50 mL 的常溫去離子水 (水溫約 20-30°C)，加熱過程中則手持鍋鏟持續翻炒參試蔬菜樣品，加熱時間以計時器設定、控制。

樣品經前述 5 種加熱方式及 4 種加熱時間處理結束後，會待鍋體稍降溫後，取出樣品並置入已預冷過的蔬果調理機中 (調理機的調理杯經事先預冷，目的是為了減少樣品於均質過程中溫度的上升)，隨後即進入均質程序。此外，同一處理均包含瀝水組 (Waterdrained, WD) 及未瀝水組 (Unwaterdrained, UWD) (瀝水組為將加熱處理後的樣品置入市售簡易離心式瀝水籃瀝水至無水珠再散出的程度)，以利後續比較參試蔬菜瀝水前後的抗氧化力數值。

(三) 烹煮加熱方式對抗氧化力影響的試驗

本項試驗分別使用悶煮、微波、水煮、微波水煮、油炒的加熱處理方式，並各自搭配 2 種加熱時間 (0、3 分鐘)，分別對花胡瓜 (Cucumber)、胡蘿蔔 (Carrot)、蕹菜 (Water spinach)、小白菜 (Chinese mustard) 及白莧菜 (White amaranth) 共 5

種參試蔬菜進行加熱處理。上述 5 種加熱處理程序原則上與前述烹煮加熱方式及加熱時間的試驗所提及的雷同，故不再詳列之。同樣地，同一處理亦包含瀝水組 (WD) 及未瀝水組 (UWD) (瀝水組為將加熱處理後的樣品置入市售簡易離心式瀝水籃瀝水至無水珠再散出的程度)。

(四) 烹煮加熱強度對抗氧化力影響的試驗

本項試驗使用 5 種微波加熱強度 (弱火、中弱火、中火、中強火、強火) 分別對綠葉甘藷葉及菠菜進行加熱處理，其中均包含加熱 3 分鐘及未加熱 (Raw) 的處理，加熱處理條件原則上與前項烹煮加熱方式的試驗述及微波的部分相同。此外，本項試驗的處理只包含未瀝水 (UWD) 的組別，未包括瀝水組 (WD)。

(五) 微波烹煮加熱對抗氧化力影響的試驗

本項試驗使用中強度 (Medium High) 的火力對紅色甜椒等共計 43 種參試蔬菜進行微波加熱處理，其中均包含加熱 3 分鐘及未加熱 (Raw) 的處理，其餘加熱處理條件原則上與烹煮加熱方式的試驗述及微波的那部分相同，同一處理亦同時包含瀝水組 (WD) 及未瀝水組 (UWD) (瀝水組為將加熱處理後的樣品置入市售簡易離心式瀝水籃瀝水至無水珠再散出的程度)。

待樣品經前述各項試驗處理後，即進入均質程序 (均質時間試驗的樣品除外)。各樣品依次置入蔬果調理機 (Vita-Mix 5000, USA) 中均質 (均質時間的試驗所處理的樣品不需再次均質)，機體調理杯於均質前會先盛裝約 200 mL 的去離子冰水 (0°C)，待將調理機的上蓋蓋上密合後，先以低轉速攪拌打碎樣品，接著再調整轉速旋鈕至最高轉速 (37,000 rpm)，高速攪拌 60 秒後即完成樣品的均質，之後再以盛裝去離子水的洗瓶潤洗調理杯上蓋和機體調理杯內襯，粗定量至 500 mL (或 1500 mL) 的刻度線 (僅有經水煮及微波水煮加熱處理的未瀝水組樣品需定量至

1500 mL)。

五、樣品萃取

使用微量吸管 (Pipette) 從調理機內吸取 1 mL 已粗定量的樣品均質液，至內盛有 9 mL 的甲醇樣品瓶中，隨後立即旋上樣品瓶上蓋並置於震盪器 (Vortex mixer) 上 vortex 數秒，之後即將樣品瓶置於冰浴 (ice bath) 上，使其於終濃度 90% 的甲醇溶液中萃取至少 20 分鐘。爾後以微量吸管吸取 1.5 mL 萃取液至容量為 1.5 mL 的離心管中並進行離心 (Sorvall Super T21, USA; 4°C, 12400 rpm, 10 min)，於離心結束取 1 mL 上清液至新的離心管中並置於冰浴中待測抗氧化力。

六、抗氧化力測定

(一) FRAP (鐵離子還原力) 分析

1. 試劑配製

(1) 醋酸緩衝液 (Acetate buffer)

量取約 500 mL 的去離子水 (Milli-Q water) 至 1 L 的定量瓶，接著緩緩加入 16 mL 的 HAc (100%)，再加入 3.1 g 的 NaAc · 3H₂O，並將 pH 調整至 3.6，最後加入去離子水定量至 1 L，使 Acetate Buffer 反應液的終濃度為 300 mM，配製好的 Acetate buffer 溶液另裝至 1 L 的血清瓶，並置於 4°C 冰箱冷藏保存備用。

(2) TPTZ 溶液

量取約 50 mL 的去離子水 (Milli-Q water) 至 100 mL 定量瓶，爾後緩緩加入 333 µL 的 HCl (37%)，再加入 312.34 mg 的 TPTZ，最後加入去離子水定量至 100 mL，使 TPTZ 反應液的終濃度為 10 mM，配製好的 TPTZ 溶液另移至 100

mL 的血清瓶，並置於 4°C 冰箱冷藏保存備用。

(3) FeCl₃ 溶液：

量取約 50 mL 的去離子水 (Milli-Q water) 至 100 mL 定量瓶，之後緩緩加入 540.6 mg 的 FeCl₃ · 6H₂O，最後加入去離子水定量至 100 mL，使 FeCl₃ 反應液的終濃度為 20 mM。配製好的 FeCl₃ 溶液另移至 100 mL 的血清瓶，並置於 4°C 冰箱冷藏保存備用。

(4) FeSO₄ 溶液

量取約 50 mL 的去離子水 (Milli-Q water) 至 100 mL 定量瓶，然後緩緩加入 139.0 mg 的 FeSO₄ · 7H₂O，最後加入蒸餾水定量至 100 mL，使 FeSO₄ 抗氧化物標準品母液的終濃度為 5000 μM。配製好的 FeSO₄ 溶液另裝至 100 mL 的血清瓶，並置於 4°C 冰箱冷藏保存備用。檢測分析前再取出 5000 μM 的 FeSO₄ 母液稀釋至 1000 μM，此即為抗氧化物標準品 S₁。而 S₁ 再經序列稀釋 (Serial dilution) 以得到總共 5 種不同濃度的抗氧化物標準品 S₁-S₅ (1000-62.5 μM)。

2. FRAP 檢測

FRAP 檢測方法修改自 Benzie 和 Strain (1996) 及張 (2008) 的論文。參與 FRAP 檢測的試劑包括：醋酸緩衝液 (300 mM, pH 3.6)、TPTZ 溶液 (10 mM)、氯化鐵溶液 (20 mM) 及硫酸亞鐵溶液 (1000、500、250、125、62.5 μM)，其中硫酸亞鐵溶液是做為抗氧化物標準品 (Antioxidant standard)。FRAP 反應液是由醋酸緩衝液、TPTZ 溶液、氯化鐵溶液三者以 10:1:1 (v/v/v) 的比例混合而得，於每次檢測前依使用量配製，並置於 37°C 定溫箱中備用。

各試驗樣品、抗氧化物標準品 (硫酸亞鐵溶液；0-1000 μM) 及 blank (醋酸緩

衝液、去離子水) 分別以微量吸管吸取 10 μL 加入至 96 孔微量盤 (96-well microplate) 中, 接著以八爪式微量吸管 (8 channels pipette) 吸取 300 μL 的 FRAP 反應液注入微量盤各孔洞 (well) 裏, 加完反應液的微量盤隨即放至 37°C 定溫箱中反應 4 分鐘, 待反應時間一到, 即利用微量盤光譜分析儀 (Anthos 2010, Austria) 於 595 nm 波長設定下進行微量盤的吸光值測定。所測得的吸光值讀值, 將經過數據計算以得到各樣品的抗氧化力。

3. FRAP 值的數據計算

以微量盤光譜分析儀測得的吸光值, 經換算後, 會以每克鮮重等同的 FeSO_4 當量來表示 ($\mu\text{mol FE/g FW}$) 樣品的抗氧化力 (FRAP 值)。將各濃度的 FeSO_4 抗氧化物標準品 ($\text{S}_1\text{-S}_5: 1000\text{-}62.5 \mu\text{M}$) 的吸光值減去 blank (去離子水) 的吸光值, 即可得到各濃度抗氧化物標準品的淨吸光值, 依各濃度抗氧化物標準品的淨吸光值與濃度作圖, 可得到 FeSO_4 抗氧化物標準品的線性迴歸分析方程式 $y = ax + b$ (a, b 分別為方程式的斜率與截距) 及線性判定係數 (R^2)。FRAP 值的計算公式如下:

$$\text{FRAP 值} = \frac{[(\text{樣品}-90\% \text{ 甲醇}) \text{ 吸光值差值} - \text{迴歸式截距}]}{\text{迴歸式斜率} \times \text{樣品鮮重 (g)}} \times \text{均質液體積 (L)} \times \text{稀釋倍數}$$

(二) ORAC (氧自由基吸收能力) 分析

1. 試劑配製

(1) FL 溶液

取 118.5 mg 的 Sodium Fluorescein 粉末溶於 Phosphate buffer (75 mM, pH 7.4) 中, 並定量至 100 mL (此為 Stock A)。從 Stock A 中取 2 mL, 再以 Phosphate buffer 稀釋成 1 L (Stock B), 配製完成後分裝於血清瓶中, 並置於 4°C 低溫、遮光環境保存。每次分析前再從 Stock B 中取 100 μL , 以 Phosphate buffer 稀釋成 20 mL 的反應液 ($3.15 \times 10^{-2} \mu\text{M}$), 並置於 4°C 低溫、遮光環境備用。

(2) AAPH 溶液

取 1084.76 mg 的 AAPH 粉末溶於 Phosphate buffer (75 mM, pH 7.4) 中，並定量至 10 mL，以配製成 400 mM 的反應液。由於 AAPH 的半衰期約僅 8 小時至 5.6 日(Huang, 2002; Yoshida, 2004)，故建議於每次分析使用前才配製該反應液，並於配製完成後暫置於 4°C 低溫、遮光環境備用。

(3) Trolox 溶液

取 500.58 mg 的 Trolox 粉末溶於 Phosphate buffer solution (75 mM, pH 7.4) 中，並定量至 100 mL (Stock A, 20 mM)。Stock A 再以 Phosphate buffer 稀釋 1000 倍成 Stock B (20 μ M)，配製完成後置於低溫、遮光環境保存備用。Stock B 即為標準品的 S₁，分析前再將 S₁ 序列稀釋以產生 5 種不同濃度的標準品 S₁-S₅ (20-1.25 μ M)。

2. ORAC_{FL} 檢測

ORAC_{FL} 檢測方法修改自 Glazer (1988)、Huang 等人 (2002) 及王 (2006) 的文獻。參與 ORAC_{FL} 檢測的試劑包括：FL 溶液 (3.15×10^{-2} μ M)、AAPH 溶液 (400 mM) 及 Trolox 溶液 (1.25-20 μ M)，其中的 Trolox 是種維生素 E 的水溶性類似物，以之做為抗氧化物的標準品 (Antioxidant standard)。

各試驗樣品 (自 FRAP 樣品取樣並以磷酸緩衝液稀釋 200 倍)、抗氧化物標準品 (Trolox 溶液；S₁-S₅：20-1.25 μ M) 及 blank (磷酸緩衝液) 分別以微量吸管吸取 50 μ L 至黑色的 96 孔微量盤 (96-well microplate) 中，接著以八爪式微量吸管依序吸取 FL 反應液 100 μ L 及 AAPH 反應液 50 μ L 至微量盤各孔洞 (well) 裏。於是在最終總體積為 200 μ L 的溶液中，各反應物的終濃度分別是 Trolox 抗氧化物標準品 (約 0-5 μ M, 0.25X)、FL (1.575×10^{-2} μ M, 0.5X)、AAPH (100 mM,

0.25X)。加入 AAPH 反應液之後，立即將 96 孔微量盤置入微量盤光譜分析儀 (FlexStation 3, USA) 中，進行微量盤螢光吸光值的測定 (FL 的激發波長與散射波長分別設定為 490 及 520 nm)。各反應液藉儀器設定的自動混勻模式 (Automix) 使每次偵測螢光值的前 5 秒進行搖晃震盪充分混勻。實驗分析設定的反應溫度全程固定在 37°C，螢光強度值每隔 1 分鐘記錄 1 次，反應時間總計是 35 分鐘 (反應結束的終點螢光值通常會降至最初螢光值的 2% 以下)。

3. ORAC 值的數據計算

自反應起始點每 60 秒記錄 1 次螢光值變化，故在 35 分鐘的反應時間內，微量盤光譜分析儀共會測得 36 個螢光強度值。所測得之各時間點的螢光強度值 (f_i) 與起始點螢光值 (f_0)，以 f_i/f_0 換算成相對螢光值 (relative fluorescence)，再套用至演算式 AUC (Area under curve, 曲線下面積) $= 0.5 + f_1/f_0 + f_1/f_0 + \dots + f_{34}/f_0 + 0.5 (f_{35}/f_0)$ ，以算出各濃度 Trolox 抗氧化物標準品、blank (磷酸緩衝液)、樣品的曲線下面積 (AUC_{Trolox} , AUC_{sample} , AUC_{blank})。將各濃度的 Trolox 抗氧化物標準品 (S_1 - S_5 : 20-1.25 μ M) 的 AUC 減去 blank 的 AUC，即可得到 Net AUC (淨曲線下面積)，依各濃度 Trolox 抗氧化物標準品的淨曲線下面積與濃度作圖，可得到 Trolox 抗氧化物標準品的線性迴歸分析方程式 $y = ax + b$ (a , b 分別為方程式的斜率與截距) 及線性判定係數 (R^2)。最終參試樣品的抗氧化力 (ORAC 值) 會以每克鮮重等同的 Trolox 當量來表示 (μ mol TE/g FW)，計算公式如下：

$$\text{ORAC 值} = \frac{[(\text{樣品的 AUC} - \text{blank 的 AUC}) - \text{迴歸式截距}]}{\text{迴歸式斜率} \times \text{樣品鮮重 (g)}} \times \text{均質液體積 (L)} \times \text{稀釋倍數}$$

七、資料分析

前述各項試驗中的同種處理，取樣樣品數若大於等於 3，抗氧化力數值則會以測得數據的平均值 $\pm$ 標準偏差 (SD) 表示。試驗數據使用 SAS 9.1 統計軟體進

行 Tukey's test 分析，以分析各試驗的處理間有無顯著差異 ($p = 0.05$)。不同數值間的相關性分析則是以 Excel 2007 (Microsoft) 內建的「資料分析程式」進行線性迴歸分析。



第四章、結果

一、均質時間對抗氧化力、粒徑大小的影響

表 4.1 顯示生鮮綠葉甘藷葉和青花菜經不同均質時間處理後的抗氧化力變化。綠葉甘藷葉經均質 30、60、120、180 秒後測得的抗氧化力數值依序為 17.7 ± 2.5 、 18.0 ± 2.5 、 15.8 ± 1.2 、 12.1 ± 2.0 $\mu\text{mol FeSO}_4/\text{g FW}$ ；而青花菜經均質 30、60、120、180 秒後測得的抗氧化力數值依序為 9.3 ± 1.5 、 7.2 ± 1.0 、 6.3 ± 0.7 、 6.3 ± 1.6 $\mu\text{mol FeSO}_4/\text{g FW}$ 。此 2 種生鮮蔬菜的抗氧化力 (FRAP值) 皆有隨均質時間增加而減少的現象 (表4.1)。

另外，生鮮綠葉甘藷葉經 30、60、120 秒均質後測得的抗氧化力於數據間均無顯著差異，而經均質 180 秒測得的抗氧化力數值則顯著低於前述三者 (表4.1)。生鮮青花菜的結果亦呈現類似的現象，經均質 60、120、180 秒處理所得的抗氧化力於數據間無顯著差異，但三者的抗氧化力數值均顯著比均質 30 秒者還要低 (表4.1)。但均質時間與抗氧化力數值間無顯著相關性 (綠葉甘藷葉： $R^2=0.90$, $p>0.05$ ；青花菜： $R^2=0.69$, $p>0.05$) (圖4.1a、4.1b)。

生鮮綠葉甘藷葉經 30、60、180 秒的均質時間處理後，粒徑大小 (Particle size) 分布如圖 4.2，平均值依序為 302.5、254.3、201.8 μm (表 4.2)，顯示均質液粒徑大小有隨著均質時間的增加而變小的現象，惟均質時間與粒徑大小間無顯著的負相關性 ($R^2=0.91$, $p>0.05$) (圖 4.3)。另分別檢測上述均質液的抗氧化力 (FRAP 值)，數值依序為 18.1、17.2、11.9 $\mu\text{mol FeSO}_4/\text{g FW}$ ，且有隨均質時間增長而減少的現象 (表 4.2)，而均質液粒徑大小與抗氧化力間無顯著的相關性 ($R^2=0.87$, $p>0.05$) (圖 4.4)。

生鮮綠葉甘藷葉以微波中強火經 3 種加熱時間 (1, 3, 5 min) 加熱處理，再經固定的時間均質 (60 秒)，所測得的粒徑大小分布如圖 4.2，平均值分別為 256.5、194.4、171.4 μm (表 4.2)，而抗氧化力 (FRAP 值) 分別為 13.6、29.7、31.9 $\mu\text{mol FeSO}_4/\text{g FW}$ ，結果顯示抗氧化力的數值有隨加熱時間的延長而增加的現象，而均質液測得的粒徑大小則隨著加熱時間增加而漸小，顯示加熱的處理具有促使均質液粒徑減小的作用 (表 4.2)。相較於加熱 1 分鐘與未加熱處理組的數據，得知兩均質液測得的粒徑大小相近 (表 4.2)，顯示僅微波 1 分鐘的加熱效果尚不足以影響粒徑大小。另外，前述處理的均質液粒徑大小與抗氧化力間呈現顯著的線性正相關 ($R^2=0.97, p<0.05$) (圖 4.5)。

綜合上述結果，生鮮蔬菜經較長的均質時間處理後，測得的抗氧化力、粒徑大小均有減少的現象 (表 4.2)，而發生抗氧化力顯著減少所需的均質時間會因蔬菜種類而異 (表 4.1)。再者，生鮮蔬菜經較長時間加熱後再均質的處理，除具有使抗氧化力增加的效果，亦有使均質液粒徑變小的作用。

二、烹煮加熱方式及加熱時間對抗氧化力的影響

參試蔬菜經不同加熱處理後的外觀及顏色變化可見圖 4.6 (以紅鳳菜為例)，而處理後所測得的抗氧化力 (FRAP 值) 變化如圖 4.7。4 種參試蔬菜經 5 種加熱方式配合不同加熱時間處理後，結果顯示以紅鳳菜和綠葉甘藷葉對加熱處理的抗氧化力變化最明顯 (圖 4.7a、4.7b)，各種加熱方式均對其抗氧化力產生提升的作用，且以加熱 3 或 5 分鐘提升的比例效果較佳，以綠葉甘藷葉未瀝水組 (UWD) 的數據為例，其參試樣品經微波水煮加熱 3 min 後的抗氧化力數值為其生鮮狀態的 2.89 倍 (圖 4.7a)。

相互對照未瀝水組及瀝水組的結果 (圖 4.7a、4.7b)，可以發現各參試蔬菜於瀝水組 (WD) 測得的抗氧化力大都呈現比未瀝水組 (UWD) 要少的現象，顯示具有抗氧化力的物質隨加熱流失至水中，且流失比例有隨加熱時間的延長而增加的趨勢，另外，以「水煮」和「微波水煮」的加熱方式對蔬菜抗氧化力流失的影響程度最高。紅鳳菜及綠葉甘藷葉經加熱、瀝水後，其抗氧化力仍較生鮮狀態高。而結球萵苣與黃色甜椒經部分加熱方式及時間處理後 (如水煮 3 或 5 分鐘)，其抗氧化力僅提升 0.5-1.5 倍，且瀝水之後，留存於蔬菜內的抗氧化力就會驟減不少 (最多約減少 48.2-75.9%)。故綜而言之，利用「水煮」或「微波水煮」的加熱方式，對蔬菜抗氧化力的維持或提升效果較其他加熱方式為佳 (圖 4.7)。

三、烹煮加熱方式對抗氧化力的影響

由圖 4.8 及表 4.3 所示 5 種參試蔬菜經 5 種加熱方式加熱處理 3 分鐘後抗氧化力的變化，可發現各參試蔬菜對加熱處理的反應變化不一。以花胡瓜為例，僅有 3 種加熱方式 (水煮、微波水煮及油炒) 對其未瀝水組的抗氧化力 (FRAP 值) 有顯著增進的效果；而胡蘿蔔、蘆筍及白莧菜對 5 種加熱方式的反應，與生鮮狀態相較，大多有顯著的變化，尤其以「水煮」和「微波水煮」的加熱方式對此 3 種蔬菜抗氧化力提升的效果最佳；然而，小白菜對 5 種加熱方式的反應都不顯著。

從表 4.3 的統計數據進行不同加熱方式間的比較，可以發現「水煮」和「微波水煮」的加熱方式，對 3 種參試蔬菜 (胡蘿蔔、蘆筍、白莧菜) 抗氧化力 (FRAP 值) 影響的效果是滿相似的，未瀝水組的數據顯示前述 3 種參試蔬菜經含水量較高的加熱方式 (水煮或微波水煮) 處理後，抗氧化力均有大幅提升的變化，而於瀝水組的數據則顯示其留存下來的抗氧化力約為未瀝水前的 1/2-1/3，顯示蔬菜抗氧化力於含水量較高的加熱方式處理下會有較高的流失比例，然而瀝水後所測得

的抗氧化力仍是顯著的高於其生鮮狀態。

在 ORAC 的數據方面，「微波水煮」對 4 種參試蔬菜（胡蘿蔔、蕓菜、小白菜、白莧菜）抗氧化力提升的效果則是顯著高於「水煮」。由此可見，不同加熱方式測得的 FRAP 與 ORAC 數據相較，部分種類參試蔬菜的抗氧化力受不同加熱方式後的影響效果有高的相似度（如悶煮與微波相似；水煮與微波水煮相似）。

另將圖 4.8 未瀝水與瀝水組抗氧化力的數據進行比較，可以發現「油炒」的加熱方式對參試蔬菜抗氧化力的提升效果未必最佳，但在大部分的情形下，「油炒」的加熱方式對於抗氧化力的維持效果算是很好，因為未瀝水組與瀝水組間的抗氧化力差異並不大。反觀「水煮」及「微波水煮」的加熱方式，則是對部分種類參試蔬菜（如花胡瓜、胡蘿蔔、蕓菜）的抗氧化力有較佳的增進效果。

四、烹煮加熱強度對抗氧化力的影響

菠菜經加熱處理後，其抗氧化力於 5 種微波加熱強度下均未有顯著的反應變化發生（表 4.3），且數值大致維持在 10.2-11.6 $\mu\text{mol FeSO}_4/\text{g FW}$ 。而綠葉甘藷葉的反應與菠菜不同，當其受微波加熱強度達中度（Medium）以上時，所測得的抗氧化力相較於其生鮮狀態，有顯著增加的情形（如加熱強度達中度以上，綠葉甘藷葉測得的抗氧化力會是其生鮮狀態的 255-306 %）。

五、微波烹煮加熱對抗氧化力的影響

圖 4.11、4.12 顯示 43 種參試蔬菜經加熱處理後的抗氧化力變化。從圖 4.11 可以發現參試蔬菜的抗氧化力（FRAP 值）對加熱處理產生的反應不一，按反應大

小依序為綠葉甘藷葉、甜豌豆、蘆筍、結球萵苣、紅鳳菜、茼蒿、麻糬長茄等。而從圖 4.12 可見參試蔬菜抗氧化力 (ORAC 值) 於加熱前後的變化趨勢，按變化大小由高至低依序為結球萵苣、茼蒿、胡瓜、紅鳳菜、茴香、蕓薹、油菜等。比較圖 4.11 與 4.12 可以發現，在兩種檢測法中同時呈現較大反應變化的蔬菜種類為結球萵苣、紅鳳菜和茼蒿。

從表 4.5 可以發現，有超過半數以上的蔬菜種類，經加熱處理後未瀝水組的抗氧化力數據高於其生鮮狀態，而各蔬菜未瀝水組與瀝水組數值間的變化範圍或差異都不算太大（各樣品於未瀝水或瀝水組間的數據與其生鮮狀態下相較，大多無顯著差異存在）。而由於表 4.5 的數據涉及的蔬菜種類及相關數據繁多，較不易觀看，故經簡化後製成表 4.6，並保留各蔬菜生鮮狀態的抗氧化力 (FRAP 與 ORAC 值)，其餘數據轉換成百分率 (% of raw)，且僅列出與其生鮮狀態在統計上有顯著差異的數據(以「+」和「-」的記號，分別表示樣品經處理後數值與生鮮狀態相較有顯著增加或顯著減少的變化)。從表 4.6 來看，首先可以發現各參試蔬菜於兩抗氧化力數值 (FRAP 與 ORAC 值) 間呈現的現象與結果並非完全一致，所以可見有 FRAP 數值變化是減少的，在 ORAC 的數值卻是增加的例子，如菠菜、青蔥、小白菜、洋蔥。有上述這種情形的出現，可能涉及檢測法本身的機制或與蔬菜特性有關，所以同時挑出在兩種方法的測定下均有同樣反應的參試蔬菜，或許是較為可信的作法。

於表 4.6 調查在兩抗氧化力檢測法 (FRAP 及 ORAC 法) 的測定下，於未瀝水組 (UWD) 均有顯著增加的參試蔬菜，依表序有以下 10 種：綠葉甘藷葉 (430.0, 180.7%)、茴香 (230.1, 201.8%)、紅鳳菜 (328.6, 225.7%)、茼蒿 (290.0, 306.2%)、蕓薹 (173.7, 192.6%)、結球萵苣 (333.3, 372.4%)、青花菜 (269.8, 160.9%)、麻糬長茄 (270.3, 165.0%)、甜豌豆 (387.5, 182.0%) 和蘆筍 (383.3, 177.6%) (括弧內呈

現的數值為等同其生鮮狀態下的抗氧化力百分率 (FRAP 值, ORAC 值))。

六、FRAP 與 ORAC 法間抗氧化力排序比較的試驗

從表 4.7 可見 18 種市售蔬菜於生鮮狀態下的抗氧化力及排序。FRAP 的結果中，以紅色甜椒的抗氧化力最高 ($18.2 \pm 2.3 \mu\text{mol FeSO}_4/\text{g FW}$)，其次依序為黃色甜椒、綠葉甘藷葉、葉萵苣、有機油菜、有機蘿菜、甘藍苗、菠菜、有機葉萵苣、有機青梗白菜、半結球萵苣、番茄‘黃金聖女’、小白菜、番茄‘聖女’、黃豆芽、菜豆、胡蘿蔔、花胡瓜。

而 ORAC 法的結果 (表4.7)，則是以黃豆芽的抗氧化力最高 ($274.1 \pm 50.8 \mu\text{mol Trolox/g FW}$)，其次依序為綠葉甘藷葉、黃色甜椒、小白菜、紅色甜椒、葉萵苣、有機青梗白菜、有機油菜、半結球萵苣、菜豆、胡蘿蔔、花胡瓜、甘藍苗、番茄‘聖女’、有機蘿菜、菠菜、有機葉萵苣、番茄‘黃金聖女’。

就上述結果，18 種蔬菜於兩法測得的抗氧化力高低排序不盡相同，以黃豆芽為例，其 FRAP 值排序為第 15 位，ORAC 值的排序卻躍升為第 1 位，其他蔬菜的排序亦有出現或大或小的變動情形。

另外，就 18 種參試蔬菜的 FRAP 值與 ORAC 值分析兩者間的相關性，其結果反映出兩者之間無顯著的正相關性 ($R^2=0.058$, $p>0.05$) (圖4.14)。

表 4.1 均質時間對參試蔬菜抗氧化力 (FRAP 值) 的影響

Table 4.1 The effect of homogenization time on antioxidant capacity (FRAP value) of tested vegetables

Treatment (n=3)	FRAP value ($\mu\text{mol FeSO}_4/\text{g FW}$)	
	綠葉甘藷葉	青花菜
Raw — 高速均質 30 s	17.7 ± 2.5^a	9.3 ± 1.5^a
Raw — 高速均質 60 s	18.0 ± 2.5^a	7.2 ± 1.0^b
Raw — 高速均質 120 s	15.8 ± 1.2^a	6.3 ± 0.7^b
Raw — 高速均質 180 s	12.1 ± 2.0^b	6.3 ± 1.6^b

1) Data are expressed as means $\pm$ SD of triplicate experiments.

2) Mean separation within each column by Tukey's test at $p < 0.05$.

3) The rotation of highest speed homogenization is 37,000 rpm.

表 4.2 綠葉甘藷葉於生鮮狀態下經不同均質時間或加熱時間處理後的均質液粒徑及抗氧化力 (FRAP 值)

Table 4.2 Particle size and antioxidant capacity (FRAP value) of sweet potato vine (green leaf) after different homogenization time or heating time

Vegetable	Treatment (n=1)	Particle size (μm)	FRAP value ($\mu\text{mol FeSO}_4/\text{g FW}$)
綠葉甘藷葉			
	Raw — 高速均質 30s	302.5	18.1
	Raw — 高速均質 60s	254.3	17.2
	Raw — 高速均質 180s	201.8	11.9
	微波 1 min 後，高速均質 60s	256.5	13.6
	微波 3 min 後，高速均質 60s	194.4	29.7
	微波 5 min 後，高速均質 60s	171.4	31.9

The rotation of highest speed homogenization is 37,000 rpm.

表 4.3 參試蔬菜經不同烹煮加熱處理前後的抗氧化力 (FRAP 及 ORAC 值)

Table 4.3 Antioxidant capacity (FRAP & ORAC value) of tested vegetables before and after different cooking treatment.

Vegetable	Treatment (n=3)	FRAP value ($\mu\text{mol FeSO}_4/\text{g FW}$)		ORAC value ($\mu\text{mol Trolox/g FW}$)	
		(Unwaterdrained)	(Waterdrained)	(Unwaterdrained)	(Waterdrained)
花胡瓜	Raw	1.6 ± 0.7^b	1.6 ± 0.7^a	320.8 ± 63.5^a	320.8 ± 63.5^a
	悶煮	2.2 ± 0.3^b	1.2 ± 0.2^a	514.0 ± 310.0^a	334.3 ± 118.6^a
	微波	3.6 ± 0.6^b	2.2 ± 0.7^a	716.6 ± 343.0^a	462.5 ± 165.3^a
	水煮	6.3 ± 0.9^a	3.1 ± 0.7^a	842.9 ± 119.7^a	348.0 ± 46.6^a
	微波水煮	7.0 ± 1.4^a	3.1 ± 0.9^a	1061.4 ± 203.7^a	299.1 ± 118.0^a
	油炒	6.0 ± 0.4^a	2.8 ± 0.8^a	457.8 ± 19.8^a	386.8 ± 32.3^a
胡蘿蔔	Raw	2.7 ± 0.7^c	1.1 ± 0.3^c	234.0 ± 137.4^b	234.0 ± 137.4^b
	悶煮	4.0 ± 1.6^{bc}	2.0 ± 1.1^{bc}	374.3 ± 28.5^b	392.3 ± 65.4^{ab}
	微波	4.3 ± 0.4^{bc}	2.0 ± 0.5^{bc}	377.8 ± 11.3^b	517.3 ± 67.3^a
	水煮	7.2 ± 0.9^{ab}	3.9 ± 1.5^{ab}	526.9 ± 163.6^b	237.3 ± 33.3^b
	微波水煮	10.6 ± 2.3^a	4.8 ± 0.9^a	1192.2 ± 197.9^a	388.7 ± 18.8^{ab}
	油炒	5.0 ± 0.6^{bc}	5.0 ± 0.6^a	403.7 ± 8.2^b	401.6 ± 40.5^a
蘿菜	Raw	4.9 ± 0.7^b	4.9 ± 0.7^c	120.4 ± 53.4^c	120.4 ± 53.4^d
	悶煮	5.6 ± 0.7^b	6.1 ± 0.8^{bc}	374.3 ± 28.5^{bc}	568.7 ± 182.7^{ab}
	微波	10.1 ± 2.4^b	9.5 ± 0.8^a	377.8 ± 11.3^{bc}	803.1 ± 87.7^a
	水煮	16.7 ± 1.2^a	7.6 ± 1.4^{ab}	526.9 ± 163.6^b	147.3 ± 90.6^{cd}
	微波水煮	17.7 ± 4.5^a	8.1 ± 1.4^{ab}	1192.2 ± 197.9^a	563.2 ± 48.8^{ab}
	油炒	8.1 ± 1.5^b	7.5 ± 0.5^{abc}	403.7 ± 8.2^{bc}	400.7 ± 11.3^{bc}
小白菜	Raw	5.1 ± 0.2^a	5.1 ± 0.2^{ab}	347.4 ± 32.2^d	347.4 ± 32.2^b
	悶煮	5.0 ± 2.7^a	4.4 ± 0.8^{ab}	797.7 ± 98.0^c	616.8 ± 70.6^a
	微波	5.7 ± 1.7^a	4.2 ± 1.1^b	949.3 ± 95.3^{bc}	701.3 ± 76.1^a
	水煮	3.6 ± 1.1^a	3.5 ± 0.5^{bc}	1249.6 ± 221.4^b	375.4 ± 8.6^b
	微波水煮	3.6 ± 1.6^a	2.0 ± 0.3^c	2291.4 ± 121.4^a	574.6 ± 21.9^a
	油炒	6.4 ± 1.9^a	6.1 ± 0.8^a	778.1 ± 70.0^c	696.0 ± 24.5^a
白莧菜	Raw	5.5 ± 0.9^c	5.5 ± 0.9^{ab}	140.5 ± 12.1^b	140.5 ± 12.1^a
	悶煮	8.7 ± 0.7^{bc}	4.2 ± 0.9^b	232.1 ± 29.3^{ab}	216.5 ± 33.8^a
	微波	8.4 ± 1.1^{bc}	5.7 ± 1.5^{ab}	196.5 ± 5.2^b	201.6 ± 53.1^a
	水煮	14.4 ± 3.6^a	4.5 ± 1.0^b	111.9 ± 46.1^b	156.7 ± 6.8^a
	微波水煮	13.1 ± 2.5^{ab}	3.8 ± 1.0^b	465.3 ± 164.1^a	222.0 ± 59.1^a
	油炒	11.3 ± 1.2^{ab}	8.8 ± 1.8^a	144.1 ± 33.2^b	173.0 ± 66.8^a

1) Data are expressed as means $\pm$ SD of triplicate experiments.

2) Mean separation within each column by Tukey's test at $p < 0.05$.

表 4.4 微波加熱強度處理對參試蔬菜抗氧化力 (FRAP 值) 的影響

Table 4.4 Effect of heating intensity of microwave on antioxidant capacity (FRAP value) of tested vegetables

Vegetable	Treatment (n=3)	FRAP value ($\mu\text{mol FE/g FW}$)
菠菜	Raw	10.3 ± 1.7^a
	Microwaved (Low)	11.4 ± 0.4^a
	Microwaved (Medium Low)	11.5 ± 1.2^a
	Microwaved (Medium)	10.2 ± 1.1^a
	Microwaved (Medium High)	11.6 ± 2.4^a
	Microwaved (High)	11.4 ± 1.5^a
綠葉甘藷葉	Raw	10.9 ± 2.0^b
	Microwaved (Low)	10.8 ± 1.9^b
	Microwaved (Medium Low)	11.5 ± 2.5^b
	Microwaved (Medium)	33.4 ± 3.5^a
	Microwaved (Medium High)	27.8 ± 2.0^a
	Microwaved (High)	33.2 ± 0.8^a

1) Data are expressed as means $\pm$ SD of triplicate experiments.

2) Mean separation within each column by Tukey's test at $p < 0.05$.

3) Heating time of microwave was fixed in 3 minutes.

表 4.5 參試蔬菜經微波加熱處理前後的抗氧化力 (FRAP 及 ORAC 值)

Table 4.5 Antioxidant capacity (FRAP&ORAC value) of tested vegetables before and after heating treatment of microwave

Treatment	FRAP value ($\mu\text{mol FE/g FW}$)	ORAC value ($\mu\text{mol TE/g FW}$)	FRAP value ($\mu\text{mol FE/g FW}$)	ORAC value ($\mu\text{mol TE/g FW}$)	FRAP value ($\mu\text{mol FE/g FW}$)	ORAC value ($\mu\text{mol TE/g FW}$)	FRAP value ($\mu\text{mol FE/g FW}$)	ORAC value ($\mu\text{mol TE/g FW}$)	FRAP value ($\mu\text{mol FE/g FW}$)	ORAC value ($\mu\text{mol TE/g FW}$)
	紅色甜椒		日本水菜		茼蒿		小白菜		苦瓜 '白皮種'	
Raw	20.8 $\pm$ 3.8 ^a	234.5 $\pm$ 44.5 ^b	7.1 $\pm$ 1.3 ^a	307.1 $\pm$ 2.4 ^{ab}	4.0 $\pm$ 1.2 ^b	79.3 $\pm$ 14.3 ^c	2.6 $\pm$ 0.3 ^{ab}	225.9 $\pm$ 63.8 ^{ab}	1.2 $\pm$ 0.2 ^b	283.5 $\pm$ 56.6 ^a
Microwaved (UWD)	18.2 $\pm$ 0.3 ^a	346.1 $\pm$ 20.1 ^a	7.6 $\pm$ 0.3 ^a	530.2 $\pm$ 40.3 ^a	11.6 $\pm$ 3.5 ^a	242.8 $\pm$ 35.8 ^b	3.6 $\pm$ 1.5 ^a	336.0 $\pm$ 22.9 ^a	3.2 $\pm$ 0.9 ^a	309.1 $\pm$ 42.7 ^a
Microwaved (WD)	15.3 $\pm$ 1.4 ^a	350.9 $\pm$ 40.6 ^a	5.5 $\pm$ 1.1 ^a	289.2 $\pm$ 68.8 ^b	10.2 $\pm$ 1.3 ^a	305.5 $\pm$ 12.1 ^a	0.7 $\pm$ 0.1 ^b	199.6 $\pm$ 39.6 ^b	0.7 $\pm$ 0.1 ^b	352.9 $\pm$ 69.1 ^a
	嫩薑		洋葱		青蔥		菜豆 (四季豆)		半結球萵苣	
Raw	17.0 $\pm$ 3.7 ^a	736.5 $\pm$ 157.3 ^a	7.0 $\pm$ 2.0 ^a	219.4 $\pm$ 69.3 ^b	3.9 $\pm$ 1.3 ^a	181.3 $\pm$ 8.4 ^b	2.4 $\pm$ 0.2 ^a	277.5 $\pm$ 40.0 ^a	1.1 $\pm$ 0.1 ^a	194.3 $\pm$ 58.1 ^b
Microwaved (UWD)	22.7 $\pm$ 1.2 ^a	750.8 $\pm$ 101.6 ^a	1.3 $\pm$ 0.2 ^b	419.3 $\pm$ 34.8 ^a	1.0 $\pm$ 0.3 ^b	268.2 $\pm$ 12.4 ^a	4.1 $\pm$ 0.9 ^a	310.8 $\pm$ 109.6 ^a	1.3 $\pm$ 0.5 ^a	310.9 $\pm$ 33.2 ^{ab}
Microwaved (WD)	18.2 $\pm$ 1.8 ^a	608.6 $\pm$ 64.2 ^a	0.9 $\pm$ 1.2 ^b	360.9 $\pm$ 63.5 ^{ab}	2.0 $\pm$ 1.1 ^{ab}	297.5 $\pm$ 17.6 ^a	3.2 $\pm$ 0.6 ^a	359.8 $\pm$ 99.9 ^a	1.3 $\pm$ 0.1 ^a	348.5 $\pm$ 49.5 ^a
	蓮藕		韭菜		蘿菜		胡蘿蔔		甜豌豆	
Raw	16.2 $\pm$ 2.3 ^a	443.5 $\pm$ 99.6 ^a	6.5 $\pm$ 0.3 ^a	340.7 $\pm$ 43.1 ^b	3.8 $\pm$ 0.6 ^b	339.3 $\pm$ 80.4 ^b	2.3 $\pm$ 0.3 ^b	226.4 $\pm$ 100.8 ^b	0.8 $\pm$ 0.3 ^b	158.5 $\pm$ 6.4 ^b
Microwaved (UWD)	16.3 $\pm$ 1.7 ^a	565.3 $\pm$ 14.9 ^a	7.0 $\pm$ 0.2 ^a	490.7 $\pm$ 32.6 ^a	6.6 $\pm$ 0.8 ^a	653.6 $\pm$ 57.8 ^a	4.8 $\pm$ 0.3 ^a	357.2 $\pm$ 43.5 ^{ab}	3.1 $\pm$ 1.0 ^a	288.4 $\pm$ 55.1 ^a
Microwaved (WD)	12.5 $\pm$ 1.2 ^a	422.0 $\pm$ 127.2 ^a	6.8 $\pm$ 0.2 ^a	410.5 $\pm$ 62.5 ^{ab}	5.5 $\pm$ 1.3 ^{ab}	580.5 $\pm$ 62.0 ^a	2.0 $\pm$ 0.5 ^b	517.3 $\pm$ 67.3 ^a	2.8 $\pm$ 1.0 ^{ab}	333.5 $\pm$ 31.4 ^a
	黃色甜椒		山茼蒿		苦瓜 '綠皮種'		山藥		菜豆	
Raw	16.1 $\pm$ 3.1 ^a	292.8 $\pm$ 8.7 ^a	5.2 $\pm$ 1.5 ^a	210.8 $\pm$ 41.3 ^b	3.8 $\pm$ 1.8 ^a	261.7 $\pm$ 86.5 ^b	2.3 $\pm$ 0.1	231.8 $\pm$ 49.2 ^a	0.8 $\pm$ 0.0 ^a	249.6 $\pm$ 48.6 ^b
Microwaved (UWD)	15.0 $\pm$ 1.8 ^a	356.2 $\pm$ 13.9 ^a	8.9 $\pm$ 1.7 ^a	328.6 $\pm$ 9.8 ^a	4.7 $\pm$ 2.6 ^a	573.3 $\pm$ 77.3 ^a	N.D.	376.5 $\pm$ 30.8 ^a	1.5 $\pm$ 0.8 ^a	422.5 $\pm$ 30.6 ^a
Microwaved (WD)	10.7 $\pm$ 1.9 ^a	251.4 $\pm$ 34.4 ^b	7.1 $\pm$ 1.2 ^a	348.2 $\pm$ 8.8 ^a	2.5 $\pm$ 0.6 ^a	494.3 $\pm$ 79.5 ^{ab}	N.D.	323.3 $\pm$ 108.1 ^a	1.3 $\pm$ 0.5 ^a	504.3 $\pm$ 44.3 ^a
	青椒		紅鳳菜		油菜		牛番茄		結球萵苣	
Raw	12.0 $\pm$ 1.2 ^a	237.0 $\pm$ 58.9 ^b	4.9 $\pm$ 0.3 ^b	276.4 $\pm$ 34.1 ^b	3.7 $\pm$ 0.6 ^a	177.3 $\pm$ 9.9 ^b	2.2 $\pm$ 0.5 ^a	200.3 $\pm$ 42.7 ^a	0.6 $\pm$ 0.4 ^b	122.3 $\pm$ 12.4 ^b
Microwaved (UWD)	12.7 $\pm$ 2.8 ^a	389.6 $\pm$ 17.4 ^a	16.1 $\pm$ 2.2 ^a	623.9 $\pm$ 30.9 ^a	4.4 $\pm$ 1.1 ^a	340.6 $\pm$ 28.8 ^a	1.9 $\pm$ 0.9 ^a	282.8 $\pm$ 23.4 ^a	2.0 $\pm$ 0.3 ^a	455.4 $\pm$ 75.1 ^a
Microwaved (WD)	8.8 $\pm$ 1.3 ^a	347.2 $\pm$ 44.1 ^{ab}	14.4 $\pm$ 0.8 ^a	627.7 $\pm$ 20.8 ^a	3.8 $\pm$ 1.0 ^a	340.1 $\pm$ 42.0 ^a	1.9 $\pm$ 1.5 ^a	267.0 $\pm$ 5.2 ^a	0.8 $\pm$ 0.2 ^{ab}	553.2 $\pm$ 52.7 ^a
	綠葉甘藷菜		青梗白菜		麻糬長茄		西洋芹		圓筒絲瓜	
Raw	11.0 $\pm$ 2.9 ^b	304.2 $\pm$ 58.2 ^b	4.4 $\pm$ 0.5 ^a	387.3 $\pm$ 82.9 ^b	3.7 $\pm$ 0.8 ^b	229.7 $\pm$ 52.7 ^b	1.6 $\pm$ 0.4 ^a	456.1 $\pm$ 131.7 ^{ab}	N.D.	145.5 $\pm$ 48.2 ^a
Microwaved (UWD)	47.3 $\pm$ 10.6 ^a	549.6 $\pm$ 10.9 ^a	6.3 $\pm$ 1.1 ^a	556.1 $\pm$ 31.6 ^a	10.0 $\pm$ 1.8 ^a	379.1 $\pm$ 21.3 ^a	3.8 $\pm$ 2.3 ^a	645.1 $\pm$ 57.1 ^a	N.D.	264.1 $\pm$ 38.1 ^a
Microwaved (WD)	45.4 $\pm$ 11.1 ^a	607.9 $\pm$ 62.5 ^a	6.1 $\pm$ 0.7 ^a	566.4 $\pm$ 91.8 ^a	7.3 $\pm$ 1.2 ^a	329.3 $\pm$ 16.3 ^{ab}	1.4 $\pm$ 0.2 ^a	263.4 $\pm$ 41.6 ^b	N.D.	280.9 $\pm$ 51.3 ^a
	菜萵苣		白莧菜		龍眼菜		花胡瓜		胡瓜	
Raw	8.9 $\pm$ 1.9 ^a	155.7 $\pm$ 62.3 ^a	4.4 $\pm$ 1.3 ^a	162.5 $\pm$ 33.5 ^a	3.6 $\pm$ 0.9 ^a	566.1 $\pm$ 42.9 ^a	1.4 $\pm$ 0.3 ^a	366.2 $\pm$ 43.2 ^a	N.D.	107.8 $\pm$ 12.9 ^b
Microwaved (UWD)	9.6 $\pm$ 1.0 ^a	307.9 $\pm$ 58.8 ^a	8.3 $\pm$ 1.0 ^a	196.5 $\pm$ 5.2 ^a	5.2 $\pm$ 1.6 ^a	954.4 $\pm$ 91.6 ^a	3.5 $\pm$ 0.7 ^a	908.5 $\pm$ 119.5 ^a	N.D.	285.2 $\pm$ 10.7 ^a
Microwaved (WD)	9.3 $\pm$ 1.5 ^a	295.3 $\pm$ 49.2 ^a	5.7 $\pm$ 1.0 ^a	278.1 $\pm$ 5.4 ^a	3.8 $\pm$ 0.9 ^a	723.6 $\pm$ 230.3 ^a	2.5 $\pm$ 0.1 ^a	758.7 $\pm$ 271.1 ^a	N.D.	298.3 $\pm$ 41.4 ^a
	菠菜		花椰菜		大白菜		芋頭			
Raw	7.7 $\pm$ 0.5 ^a	314.9 $\pm$ 28.4 ^b	4.4 $\pm$ 1.3 ^a	223.0 $\pm$ 55.4 ^a	3.3 $\pm$ 0.9 ^a	176.4 $\pm$ 32.6 ^b	1.3 $\pm$ 0.7 ^a	370.2 $\pm$ 32.3 ^b		
Microwaved (UWD)	5.7 $\pm$ 0.4 ^b	420.1 $\pm$ 41.1 ^a	6.6 $\pm$ 1.2 ^a	N.D.	2.5 $\pm$ 1.2 ^a	279.9 $\pm$ 4.3 ^a	1.8 $\pm$ 0.4 ^a	529.2 $\pm$ 18.7 ^a		
Microwaved (WD)	5.1 $\pm$ 0.5 ^b	401.5 $\pm$ 0.1 ^{ab}	4.2 $\pm$ 1.1 ^a	225.1 $\pm$ 54.6 ^a	0.9 $\pm$ 0.3 ^a	235.1 $\pm$ 39.7 ^{ab}	0.7 $\pm$ 0.3 ^a	372.6 $\pm$ 71.2 ^b		
	茴香		青花菜		落葵		蘆筍			
Raw	7.3 $\pm$ 0.3 ^b	436.8 $\pm$ 66.5 ^b	4.3 $\pm$ 0.3 ^b	239.1 $\pm$ 23.7 ^b	3.2 $\pm$ 0.4 ^a	660.7 $\pm$ 25.7 ^a	1.2 $\pm$ 0.1 ^b	239.6 $\pm$ 41.8 ^b		
Microwaved (UWD)	16.8 $\pm$ 2.5 ^a	881.5 $\pm$ 49.3 ^a	11.6 $\pm$ 1.8 ^a	384.8 $\pm$ 54.5 ^a	3.7 $\pm$ 0.1 ^a	791.1 $\pm$ 45.4 ^a	4.6 $\pm$ 0.9 ^a	425.5 $\pm$ 56.7 ^a		
Microwaved (WD)	14.2 $\pm$ 1.6 ^a	964.3 $\pm$ 71.7 ^a	10.2 $\pm$ 2.1 ^a	406.7 $\pm$ 42.6 ^a	3.9 $\pm$ 0.4 ^a	758.0 $\pm$ 99.7 ^a	4.1 $\pm$ 0.9 ^a	446.0 $\pm$ 36.0 ^a		

1) Data are expressed as mean $\pm$ SD of triplicate experiments.2) Mean separation within each column by Tukey's test at $p < 0.05$.

3) FE, ferrous sulfate equivalents; FW, fresh weight; N.D., not detectable; TE, Trolox equivalents; UWD, unwaterdrained; WD, waterdrained.

表 4.6 參試蔬菜經微波加熱處理前後的抗氧化力 (FRAP 及 ORAC 值) 增減變化百分率
Table 4.6 Changes in antioxidant capacity (FRAP & ORAC value) percentage of tested vegetables before and after heating treatment of microwave

Vegetable	FRAP value (μmol FE/g FW)					ORAC value (μmol TE/g FW)				
	Raw	M(UWD)	(% of Raw)	M(WD)	(% of Raw)	Raw	M(UWD)	(% of Raw)	M(WD)	(% of Raw)
葉菜類										
綠葉甘藷菜	11.0	+	430.0	+	412.7	304.2	+	180.7	+	199.8
葉萵苣	8.9					155.7				
菠菜	7.7	—	74.0	—	66.2	314.9	+	133.4		
茴香	7.3	+	230.1	+	194.5	436.8	+	201.8	+	220.8
日本水菜	7.1					307.1	+	172.6		
韭菜	6.5					340.7	+	144.0		
山萵苣	5.2					210.8	+	155.9	+	165.2
紅鳳菜	4.9	+	328.6	+	293.9	276.4	+	225.7	+	227.1
青梗白菜	4.4					387.3	+	143.6	+	146.2
白莧菜	4.4					162.5				
萵苣	4.0	+	290.0	+	255.0	79.3	+	306.2	+	385.2
青蔥	3.9	—	25.6			181.3	+	147.9	+	164.1
蘿菜	3.8	+	173.7			339.3	+	192.6	+	171.1
油菜	3.7					177.3	+	192.1	+	191.8
龍鬚菜	3.6					566.1				
大白菜	3.3					176.4	+	158.7		
落葵	3.2					660.7				
小白菜	2.6			—	26.9	225.9	+	148.7		
西洋芹	1.6					456.1			—	57.8
半結球萵苣	1.1					194.3			+	179.4
結球萵苣	0.6	+	333.3			122.3	+	372.4	+	452.3
花菜類										
花椰菜	4.4					223.0	N/A			
青花菜	4.3	+	269.8	+	237.2	239.1	+	160.9	+	170.1
瓜果類										
苦瓜‘綠皮種’	3.8					261.7	+	219.1		
花胡瓜	1.4					366.2				
苦瓜‘白皮種’	1.2	+	266.7			283.5				
圓筒絲瓜	N.D.	N.D.		N.D.		145.5				
胡瓜	N.D.	N.D.		N.D.		107.8	+	264.6	+	276.7
茄果類										
紅色甜椒	20.8					234.5	+	147.6	+	149.6
黃色甜椒	16.1					292.8			—	85.9
青椒	12.0					237.0	+	164.4		
麻糬長茄	3.7	+	270.3	+	197.3	229.7	+	165.0		
牛番茄	2.2					200.3				
莢果類										
菜豆	2.4					277.5				
甜豌豆	0.8	+	387.5			158.5	+	182.0	+	210.4
菜豆	0.8					249.6	+	169.3	+	202.0
根莖類										
嫩薑	17.0					736.5				
蓮藕	16.2					443.5				
洋蔥	7.0	—	18.6	—	12.9	219.4	+	191.1		
胡蘿蔔	2.3	+	209.1			226.4			+	228.5
山藥	2.3	N.D.		N.D.		231.8				
芋	1.3					370.2	+	142.9		
蘆筍	1.2	+	383.3	+	341.7	239.6	+	177.6	+	186.1

FE, ferrous sulfate equivalents; FW, fresh weight; M(UWD), microwaved(unwaterdrained); M(WD), microwaved(waterdrained); TE, Trolox equivalents; UWD, unwaterdrained; WD, waterdrained; +, significant increase; —, significant decrease; N.D., not detectable.

表 4.7 參試蔬菜生鮮狀態下的抗氧化力 (FRAP 及 ORAC 值) 及其排序

Table 4.7 Antioxidant capacity (FRAP & ORAC value) and rank of tested vegetables in their raw state

Vegetable	FRAP value		ORAC value	
	($\mu\text{mol FeSO}_4/\text{g FW}$)	Rank	($\mu\text{mol Trolox/g FW}$)	Rank
紅色甜椒	18.2 ± 2.3	1	211.7 ± 12.3	5
黃色甜椒	16.8 ± 5.4	2	235.1 ± 8.9	3
綠葉甘藷葉	14.7 ± 1.5	3	249.9 ± 42.1	2
葉萵苣 (A 仔菜)	9.8 ± 1.8	4	204.1 ± 24.3	6
有機油菜	8.8 ± 2.7	5	199.0 ± 15.7	8
有機蘿菜 (空心菜)	8.6 ± 1.0	6	93.1 ± 40.1	15
甘藍苗 (高麗菜苗)	8.4 ± 1.3	7	134.1 ± 64.8	13
菠菜	8.0 ± 1.8	8	88.9 ± 17.9	16
有機葉萵苣 (A 仔菜)	6.6 ± 1.3	9	74.9 ± 35.6	17
有機青梗白菜 (青江菜)	6.3 ± 1.7	10	203.1 ± 18.4	7
半結球萵苣 (大陸妹)	5.2 ± 2.0	11	178.9 ± 17.0	9
番茄‘黃金聖女’	4.6 ± 1.1	12	60.1 ± 21.5	18
小白菜	4.4 ± 0.9	13	217.2 ± 24.6	4
番茄‘聖女’	4.2 ± 1.5	14	113.9 ± 29.8	14
黃豆芽	3.4 ± 1.3	15	274.1 ± 50.8	1
菜豆 (四季豆)	2.9 ± 0.5	16	158.5 ± 34.5	10
胡蘿蔔	1.5 ± 0.3	17	155.2 ± 32.9	11
花胡瓜 (小黃瓜)	1.2 ± 0.1	18	144.8 ± 41.2	12

Data are expressed as means $\pm$ SD of triplicate experiments.

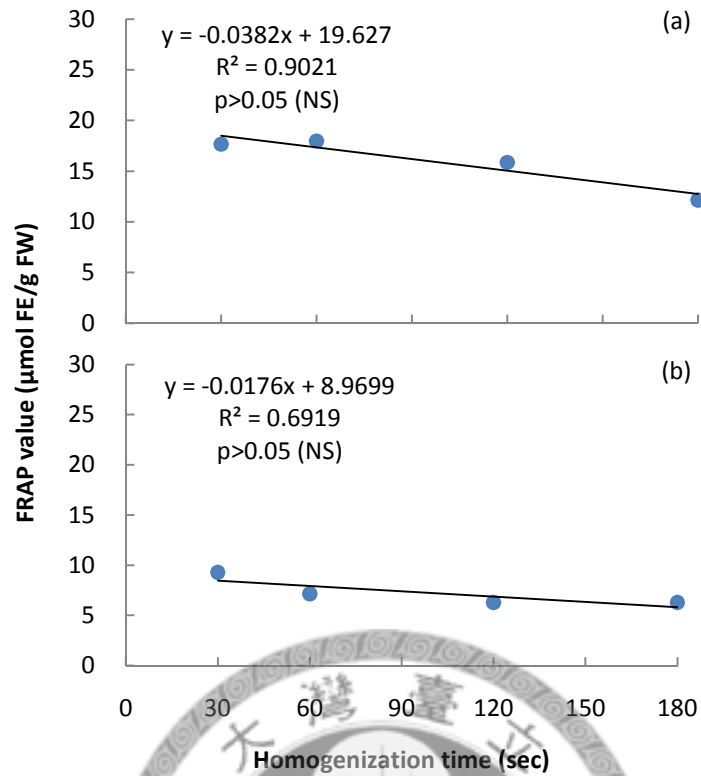


圖 4.1 參試蔬菜的均質時間與抗氧化力數值 (FRAP 值) 間的相關性。(a) 綠葉甘藷葉；(b) 青花菜。

Fig. 4.1 Correlation between the homogenization time and the antioxidant capacity of tested vegetables. (a) sweet potato vine (green leaf); (b) broccoli.

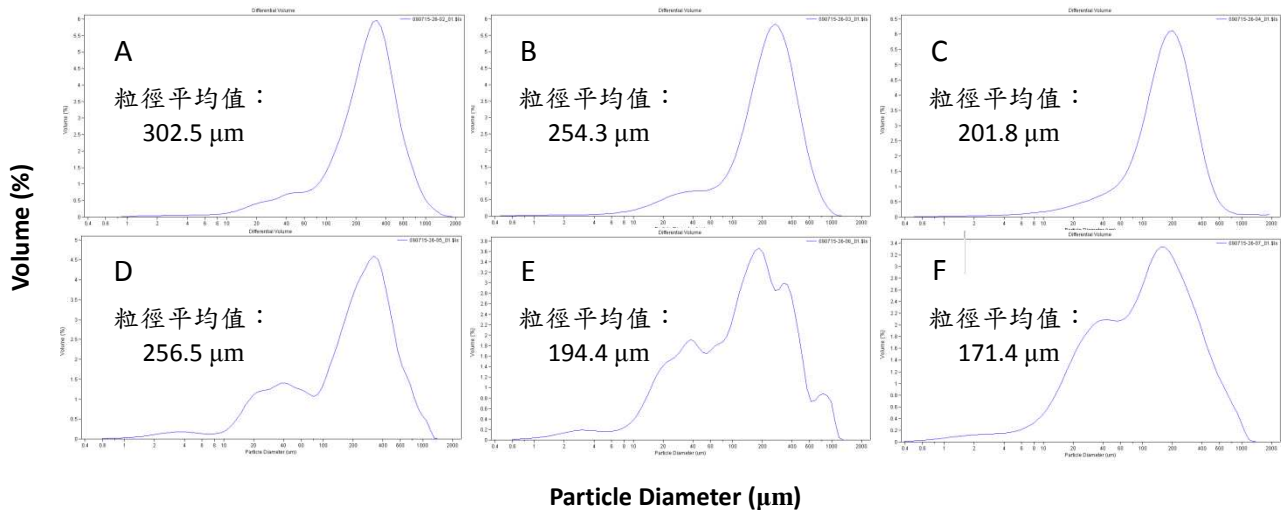


圖 4.2 綠葉甘藷葉經不同均質時間及不同加熱時間處理後之均質液的粒徑大小分布
Fig. 4.2 Particle size distribution of sweet potato vine after treatment of different homogenization time and heating time

A: Fresh sample was homogenized in 30 sec by Vitamix processor. B: Fresh sample was homogenized in 60 sec by Vitamix processor. C: Fresh sample was homogenized in 180 sec by Vitamix processor. D: Fresh sample was heated by microwave 1 min, then homogenized in 60 sec by Vitamix processor. E: Fresh sample was heated by microwave 3 min, then homogenized in 60 sec by Vitamix processor. F: Fresh sample was heated by microwave 5 min, then homogenized in 60 sec by Vitamix processor.

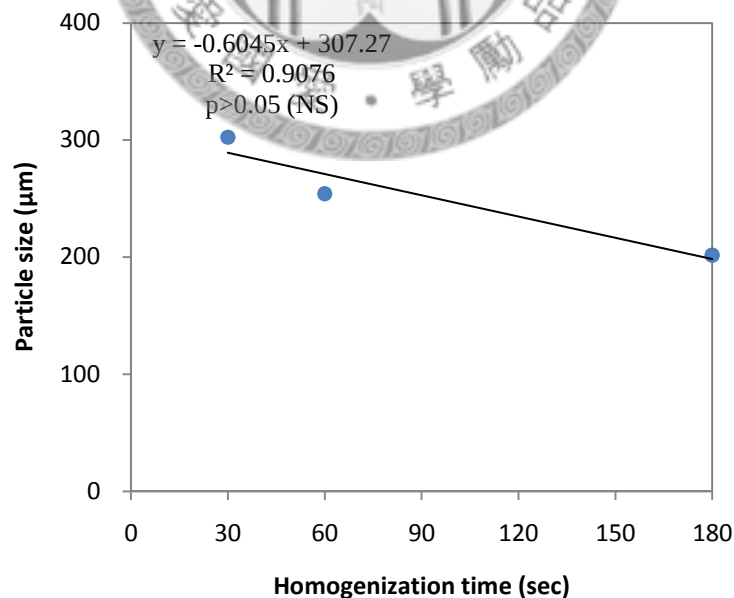


圖 4.3 綠葉甘藷葉的均質時間與粒徑大小間的相關性
Fig. 4.3 Correlation between the homogenization time and the particle size of sweet potato vine (green leaf)

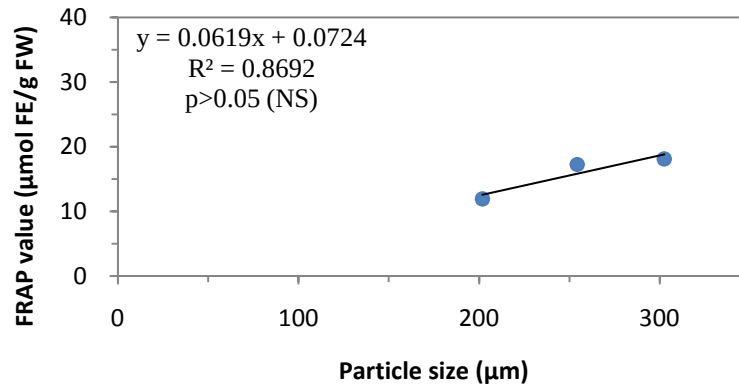


圖 4.4 綠葉甘藷葉經不同均質時間處理後之 FRAP 值與粒徑大小間的相關性

Fig. 4.4 Correlation between the FRAP value and the particle size of sweet potato vine after different homogenization time treatment.

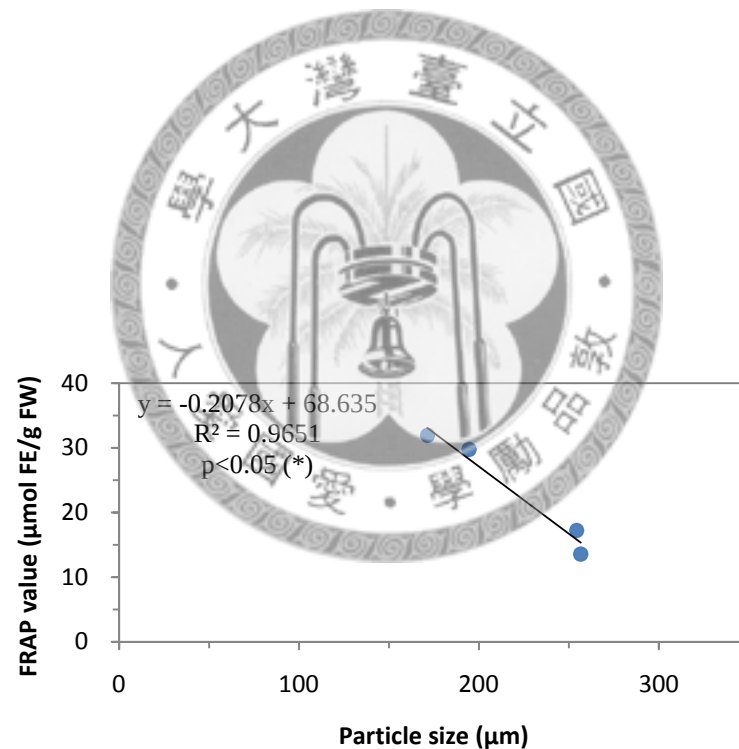
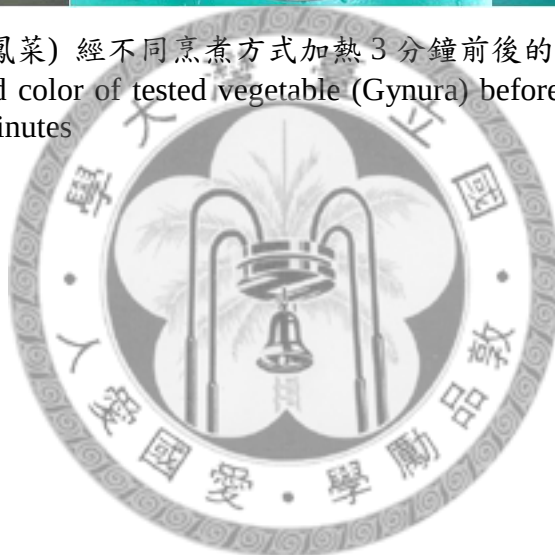


圖 4.5 綠葉甘藷葉經不同加熱時間處理前後之 FRAP 值與粒徑大小間的相關性

Fig. 4.5 Correlation between the FRAP value and the particle size of sweet potato vine (green leaf) before and after different heating time treatment.



圖 4.6 參試蔬菜 (紅鳳菜) 經不同烹煮方式加熱 3 分鐘前後的外觀及顏色
 Fig. 4.6 Appearance and color of tested vegetable (Gynura) before and after different cooking methods in 3 minutes



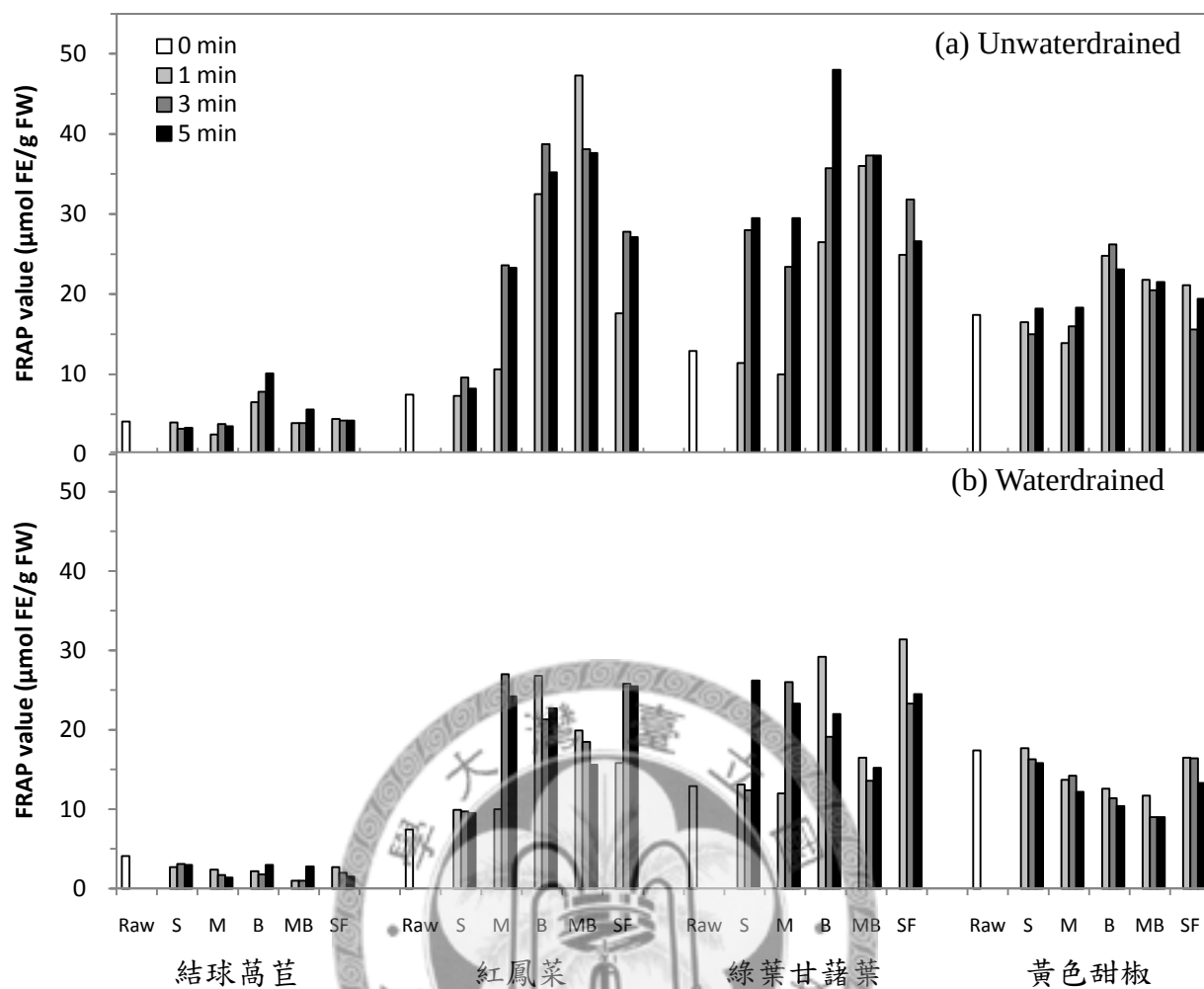


圖 4.7 參試蔬菜經不同烹煮加熱處理及加熱時間前後測得的抗氧化力 (FRAP 值)。
 Raw：生鮮狀態；S：悶煮；M：微波；B：水煮；MB：微波水煮；SF：油炒。
 Fig. 4.7 Antioxidant capacity (FRAP value) of tested vegetables before and after different heating treatment and heating time. R: raw state; S, steamed; M, microwaved; B, boiled; MB, microwave- boiled; SF, stir-fried.

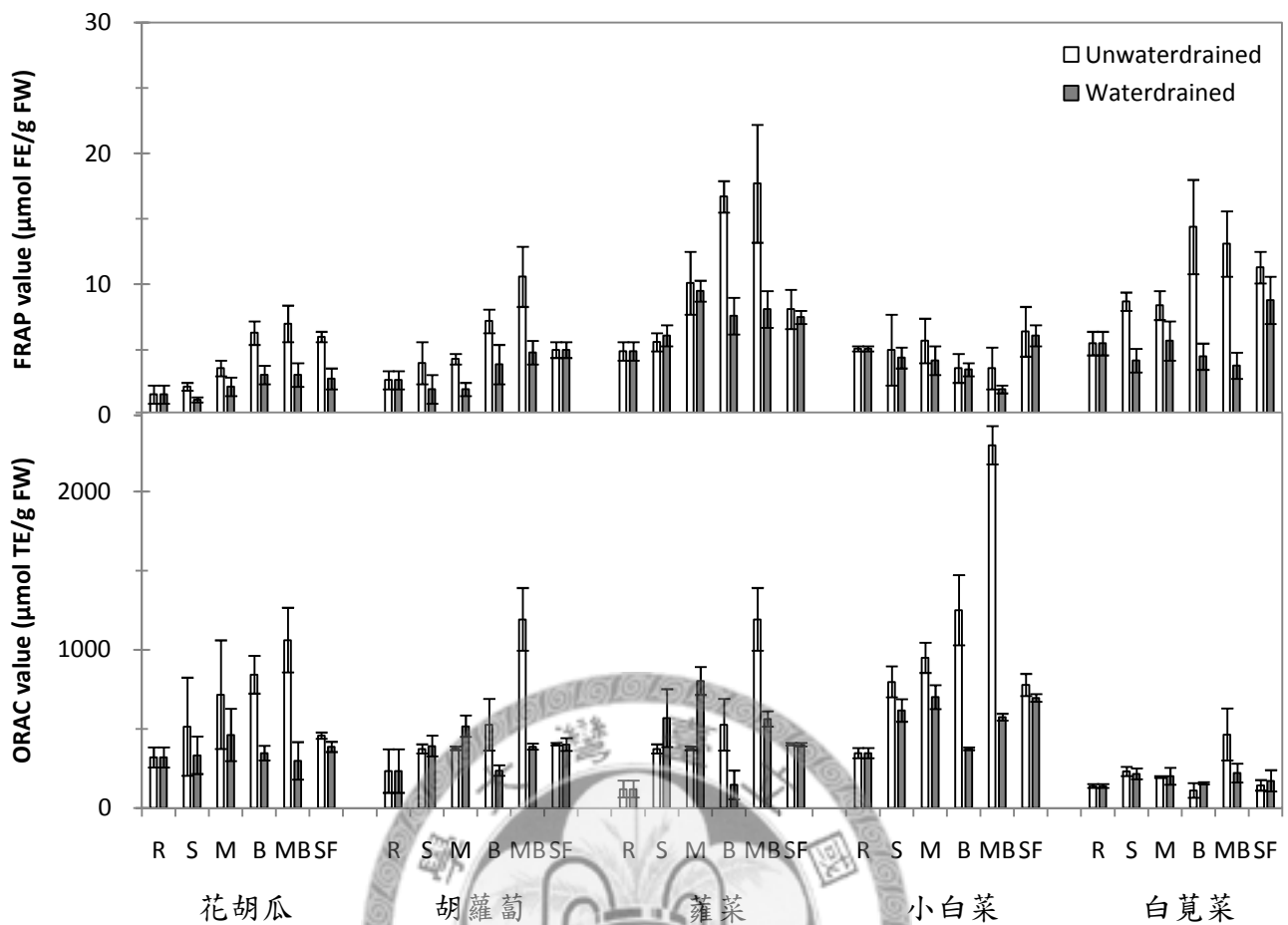


圖 4.8 參試蔬菜經烹煮加熱處理前後的抗氧化力 (FRAP 及 ORAC 值)。R：生鮮狀態；S：悶煮；M：微波；B：水煮；MB：微波水煮；SF：油炒。加熱時間均固定為 3 分鐘。

Fig. 4.8 Antioxidant capacity (FRAP & ORAC value) of tested vegetables before and after cooking treatment. R, raw; S, steamed; M, microwaved; B, boiled; MB, microwave-boiled; SF, stir-fried. Heating time all were fixed in 3 minutes.

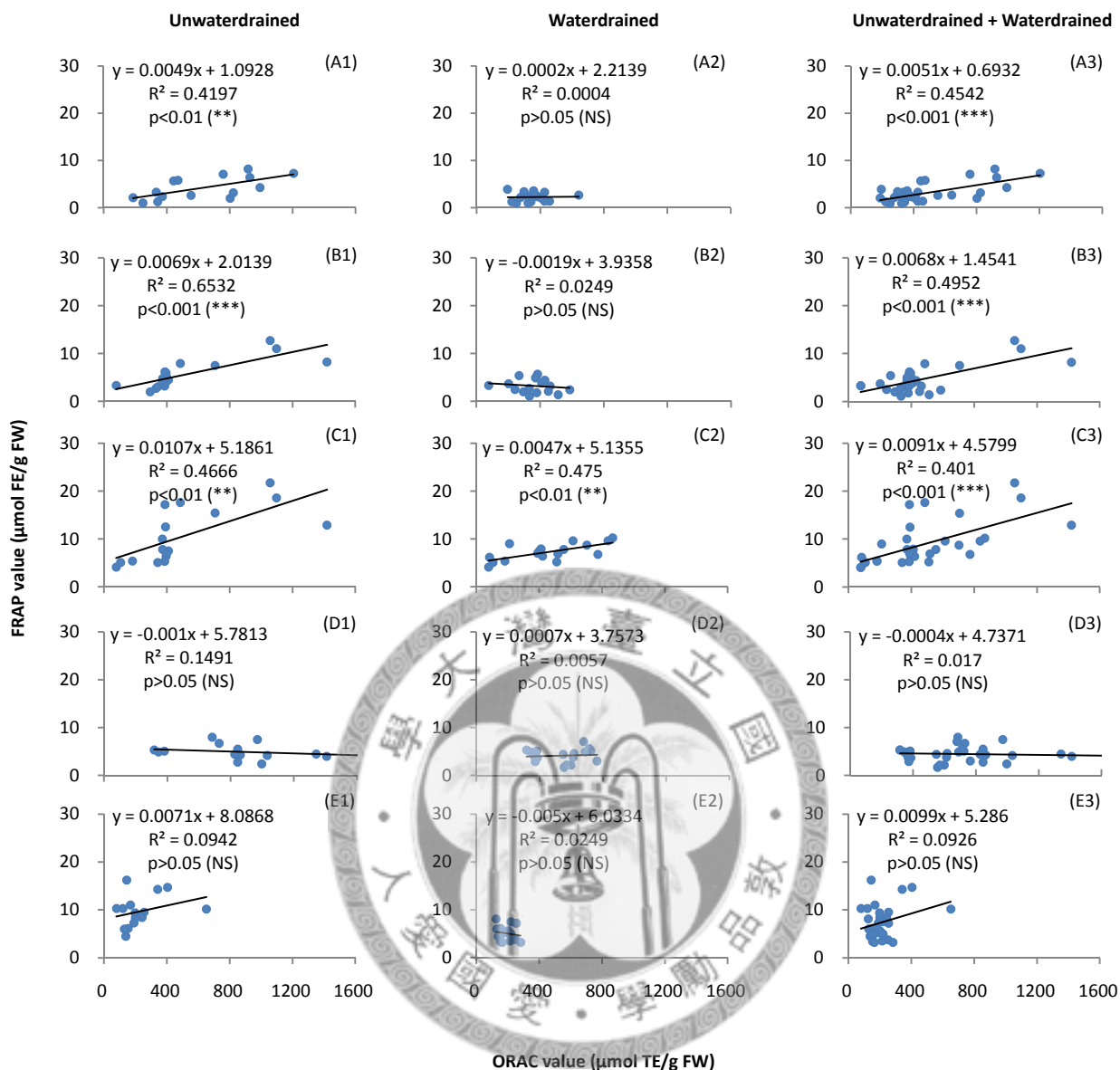


圖 4.9 參試蔬菜經烹煮加熱處理前後兩種抗氧化力數值 (FRAP 與 ORAC 值) 間的相關性。A：花胡瓜、B：胡蘿蔔、C：蕹菜、D：小白菜；E：白莧菜。

Fig. 4.9 Correlation between the FRAP value and the ORAC value of tested vegetables before and after cooking treatment. A: cucumber; B: carrot; C: water spinach; D: Chinese mustard; E: white amaranth.

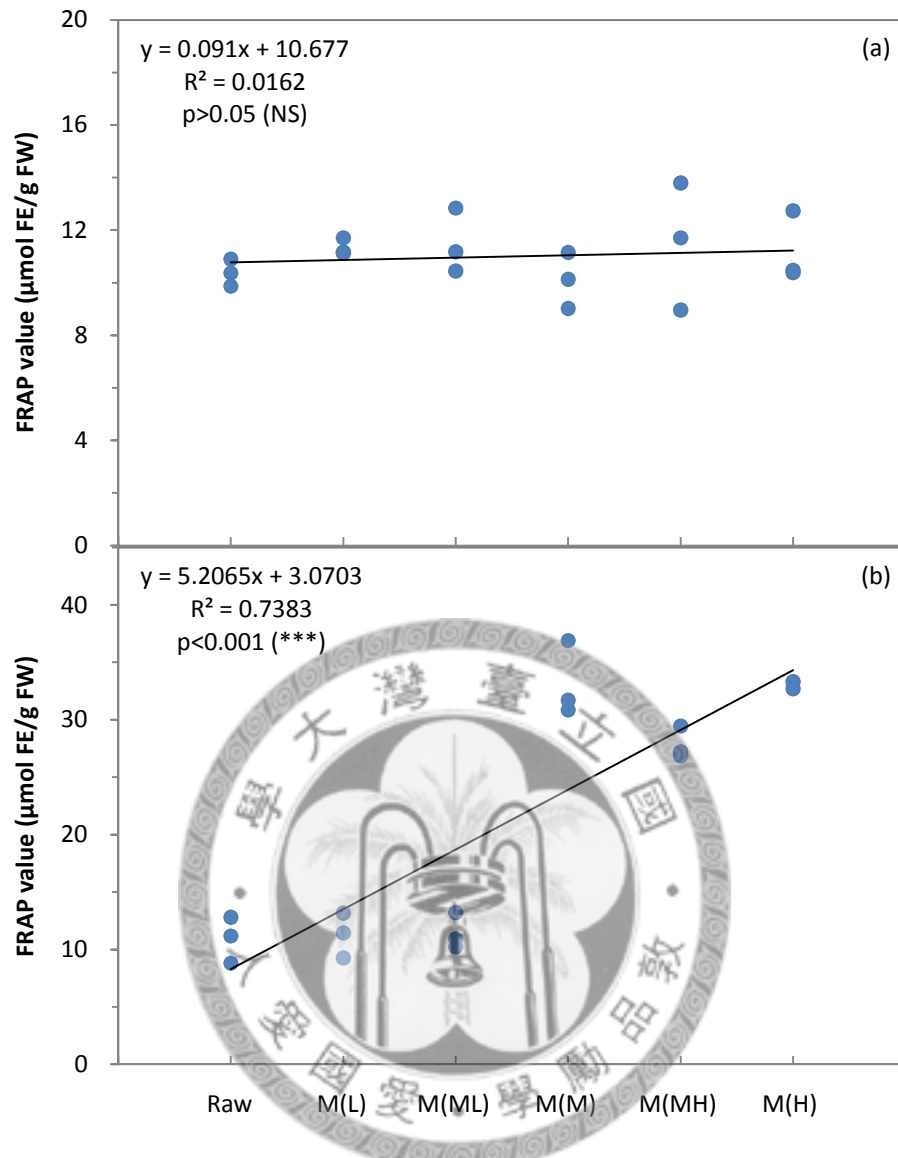


圖 4.10 微波加熱強度與蔬菜抗氧化力 (FRAP 值) 間的相關性
(a) 菠菜；(b) 綠葉甘藷葉

Fig. 4.10 Correlation between the heating intensity of microwave and the antioxidant capacity of 2 tested vegetables. (a) spinach, (b) sweet potato vine (green leaf).

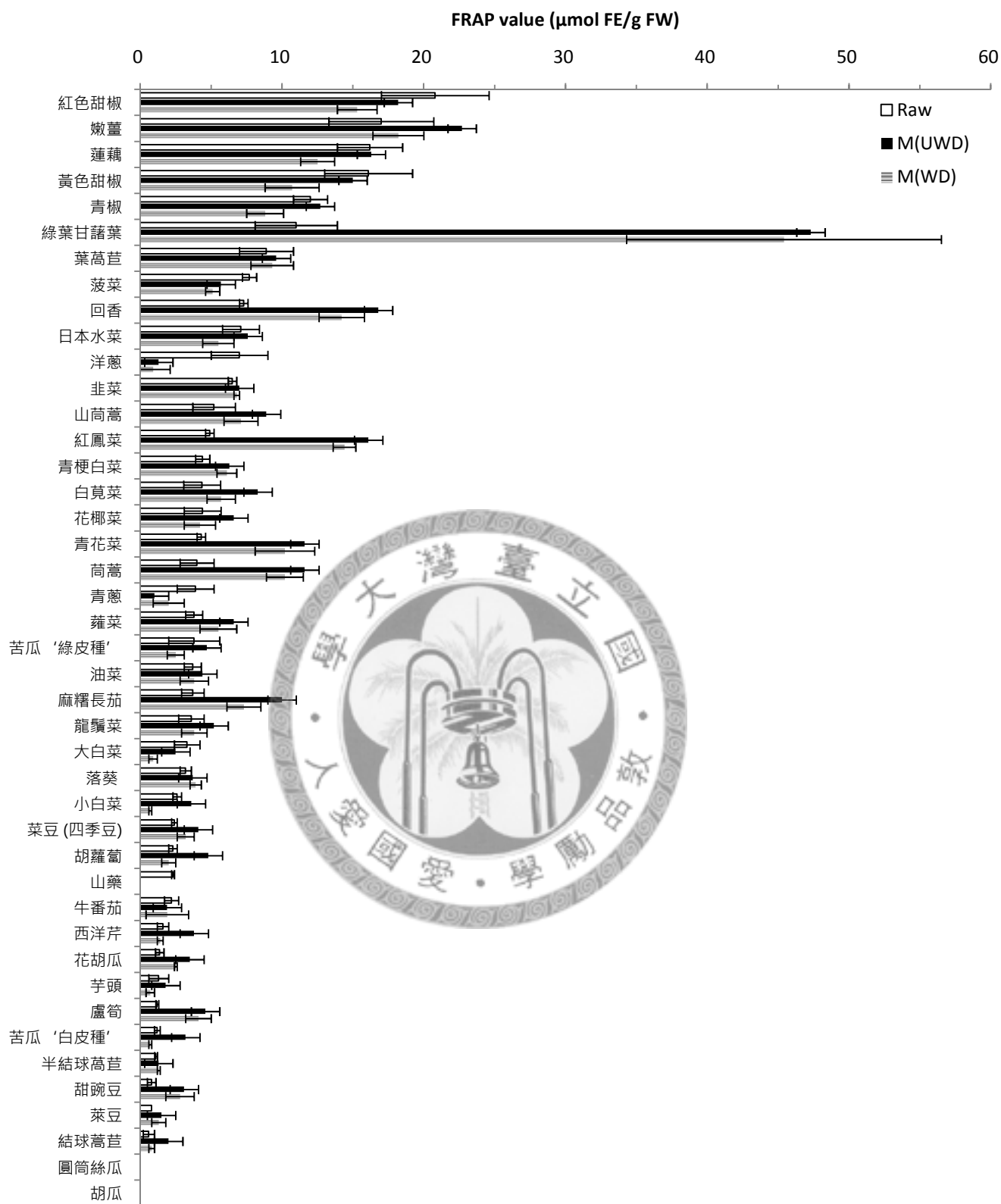


圖 4.11 參試蔬菜經微波加熱處理前後的抗氧化力 (FRAP 值)

Fig. 4.11 Antioxidant capacity (FRAP value) of tested vegetables before and after heating treatment of microwave. M(UWD), microwaved(unwaterdrained); M(WD), microwaved(waterdrained).

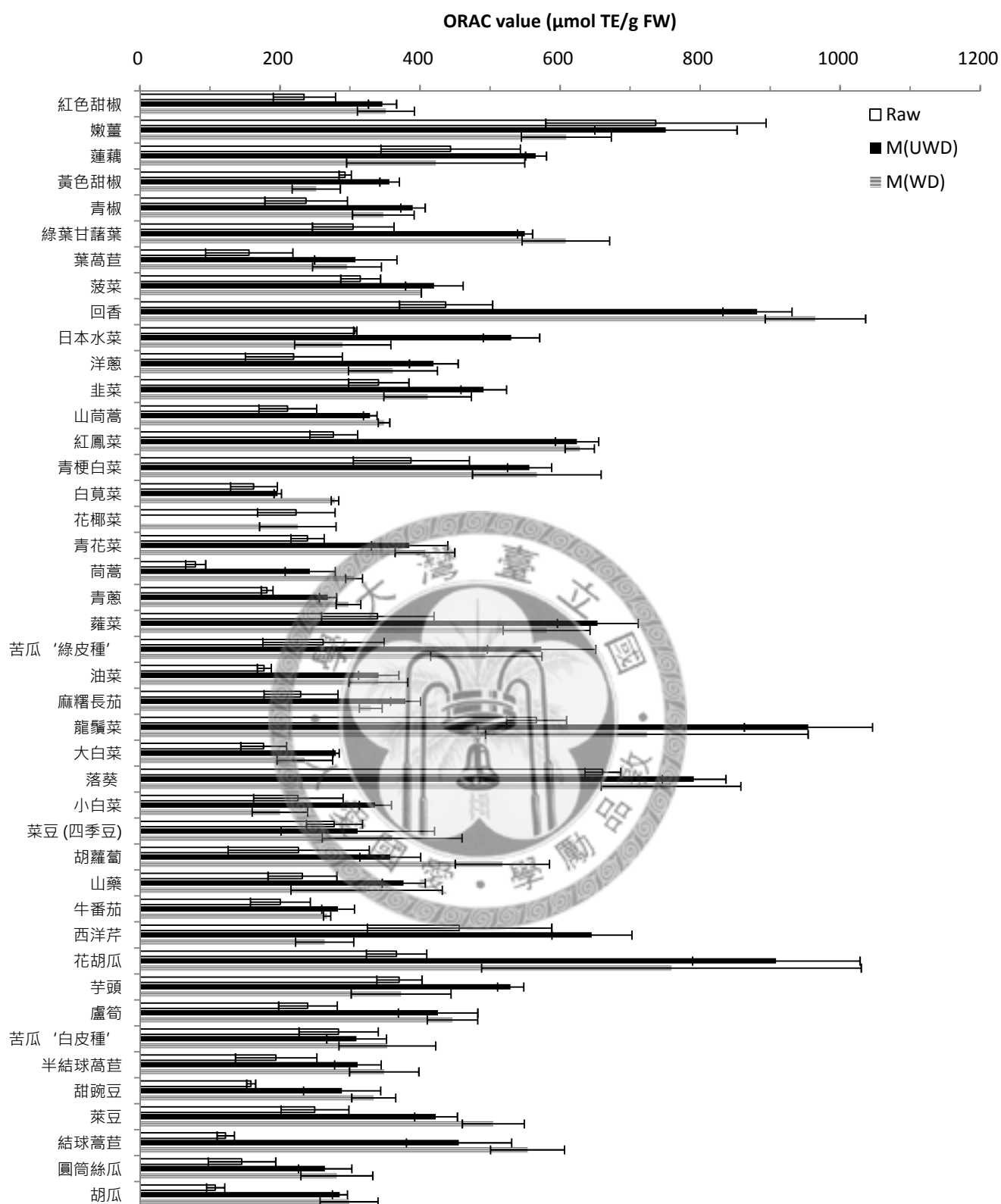


圖 4.12 參試蔬菜經微波加熱處理前後的抗氧化力 (ORAC 值)

Fig. 4.12 Antioxidant capacity (ORAC value) of tested vegetables before and after heating treatment of microwave. M(UWD), microwaved(unwaterdrained); M(WD), microwaved(waterdrained).

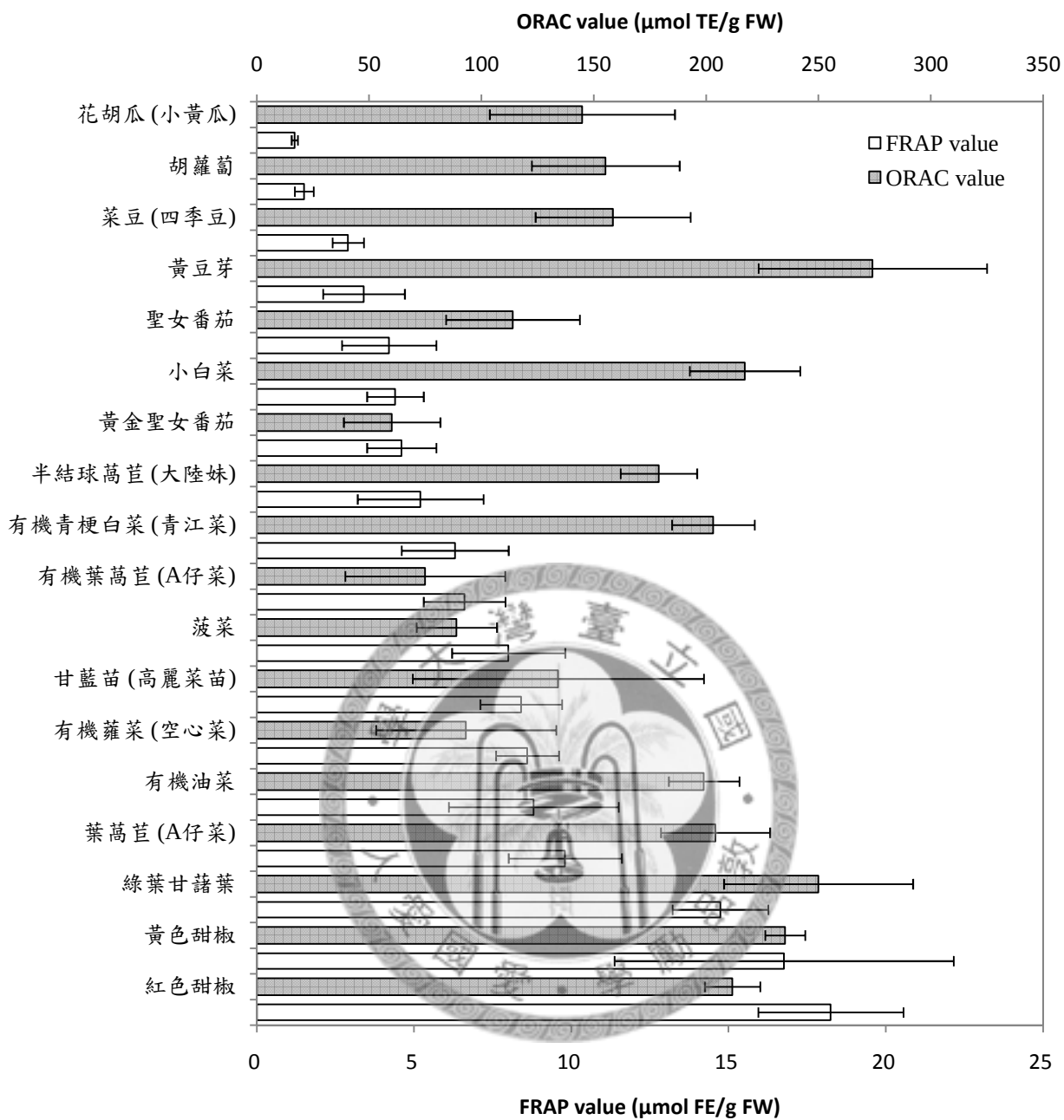


圖 4.13 參試蔬菜於生鮮狀態下測得之抗氧化力 (FRAP 及 ORAC 值)

Fig. 4.13 Antioxidant capacity (FRAP & ORAC value) of tested vegetables in their raw state

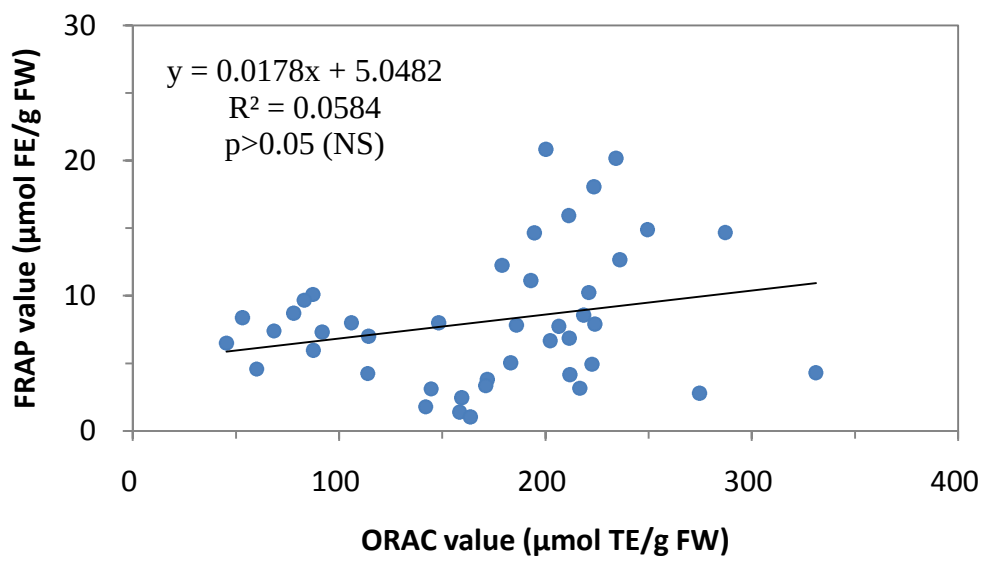


圖 4.14 參試蔬菜 (生鮮狀態) 之 FRAP 值與 ORAC 值間的相關性
 Fig. 4.14 Correlation between the FRAP value and ORAC value of tested vegetables in their raw state



第五章、討論

參試蔬菜於生鮮狀態下經較長的均質時間處理後，測得的抗氧化力與粒徑大小均有減少的現象 (表 4.1、4.2)，而發生抗氧化力顯著減少所需的均質時間因蔬菜種類而異 (表 4.1)，此應與蔬菜內含的抗氧化物種類、特性等有關。所以若想以汁液形式攝入蔬果，利用蔬果調理機均質的時間不宜過久。此外，均質液粒徑大小可能會影響萃取效率 (粒徑小者的萃取效果通常會較高)，但於本試驗測得的抗氧化力卻與原本的推測不一致 (表 4.2)，即粒徑較小者的抗氧化力並未較高，此部分的原因尚待進一步釐清與瞭解。而均質時間與粒徑大小間無顯著的負相關性 (圖 4.2)，應是重複數過少 ($n=1$) 所造成的，若能增加參試樣品數 ($n \geq 3$)，或再增加幾種高速均質時間的處理 (如 30、60、90、120、150、180 秒)，那麼在一定的條件範圍內，經統計的分析，將會更能確定均質時間與粒徑大小這兩者間的關係。

另外，參試蔬菜均質液的粒徑大小有隨加熱處理時間增加而減小的現象 (表 4.2)，這可能是因加熱處理使參試蔬菜的質地產生變化之故，且按常理蔬菜經加熱處理時間愈久，其組織質地會愈柔軟，所以經均質後其粒徑大小會隨加熱時間增加而減小是與預期相符的。再者，參試蔬菜經較長時間的均質處理 (60 秒以上) 或較長時間 (1 分鐘以上) 的微波加熱及以固定的均質時間處理後，均可讓植物組織更易均質而使均質液粒徑變小 (表 4.2)，但其測得之抗氧化力的變化趨勢卻是相反的 (抗氧化力隨均質時間的增加而減少；抗氧化力隨加熱時間的增加而提升)，顯示均質時間長短與加熱時間的長短對參試蔬菜抗氧化力可能各自有不同層面的影響。

關於加熱方式對蔬菜抗氧化力的影響，依本研究的結果發現，各參試蔬菜對加熱處理的反應變化不一，不同抗氧化力檢測法測得的數據趨勢也不盡相同 (表 4.3、圖 4.7、4.8)，然而還是可以看出，不同的加熱方式，對於部分蔬菜的處理效果有其某種程度的相似性 (如悶煮與微波相似；水煮與微波水煮相似)。整體而言，在所使用的參試蔬菜種類 (結球萵苣、紅鳳菜、綠葉甘藷葉、黃色甜椒) 中，利用「水煮」或「微波水煮」的加熱方式，對蔬菜抗氧化力的維持或提升效果較其他

加熱方式為佳 (圖 4.7)。而 Jiménez-Monreal 等人 (2009) 曾使用 6 種加熱方式 (Boiling, Baking, Frying Microwaving, Gridding, and Pressure-cooking) 調理 20 種西班牙市售蔬菜，分析各加熱方式對於維持或提升蔬菜抗氧化力的比例和效果，其結果指出以油炒 (Frying)、微波 (Microwaving) 和烘焙 (Baking) 的加熱方式效果較佳，不過由於其參試材料的加熱時間並未統一，所以其所得出的結論，不一定適用大多數的狀況。而 Miglio (2008) 以 FRAP 等方法檢測蔬菜於 3 種加熱方式 (水煮、蒸煮、油炒) 下的抗氧化力，其使用的 3 種參試蔬菜有 2 種與本試驗相同 (為胡蘿蔔與青花菜)，所得到的結果也與本試驗類似，即胡蘿蔔和青花菜經加熱後，其抗氧化力均有顯著的提升，而比較不同的是其結果為胡蘿蔔以油炒的加熱方式對增進抗氧化力的效果較佳。

另外，相互對照未瀝水組及瀝水組之試驗的數據 (表 4.3、圖 4.7、4.8)，可以發現各參試蔬菜於瀝水組測得的抗氧化力明顯比未瀝水組來得少，據此可以推測瀝水組所瀝掉的水中含有抗氧化能力的物質，顯示於加熱的過程中，會有抗氧化物流失到水中。而流失的比例會因參試蔬菜種類及加熱方式、時間而有所不同，通常以含水量較高的加熱處理方式 (如水煮、微波水煮)，抗氧化物的流失量較高。而 Yamaguchi 等人 (2001) 以微波及水煮的加熱方式對 18 種蔬菜進行加熱處理，並針對瀝水後的蔬菜組織及所瀝掉的水做抗氧化力 (DPPH 值) 測定，結果發現所瀝掉的水中均可測得抗氧化力，而所測得的抗氧化力數值大小 (相較於生鮮狀態的比例) 會因蔬菜種類而異，顯示蔬菜中所含的抗氧化物確實會因加熱的處理而流失至水中。依本試驗的結果，參試蔬菜經水煮或微波水煮加熱處理後，花胡瓜、胡蘿蔔、薤菜、白莧菜流失至水中的抗氧化力比例較高 (表 4.3)，故建議消費者該類蔬菜可連同烹煮的湯汁一起攝入。

從加熱方式及加熱時間的試驗，曾觀察到參試蔬菜中的紅鳳菜經加熱後，容器中的水會呈現原本紅鳳菜葉背的紅紫色，而加熱後的紅鳳菜葉背的顏色會轉變為綠色，這顯示原本存於紅鳳菜葉背的色素流失至水中，經查詢得知，該葉背於生鮮狀態下呈現的紅紫色與花青素有關，而比較圖 4.7 瀝水組與未瀝水組的數據，可以得知花青素應是紅鳳菜中滿主要的抗氧化物，因以水煮及微波水煮的加熱方

式為例，瀝水組所測的抗氧化力比未瀝水組短少了許多，因此可以推測紅鳳菜中所含的主要抗氧化物應為花青素。

再者，本研究試驗測得的抗氧化力數據於部分蔬菜種類有較大的標準偏差 (SD)，推測可能原因為取樣不易達到均一之故 (尤其是葉菜類)。猜測可能是參試材料的某些部位，有多取或少取所造成。如張 (2008) 將蓮藕、小松菜等蔬菜進行不同部位抗氧化力 (FRAP 值) 的檢測，發現蓮藕「莖節」部位的抗氧化力是其「節間」的 3.86 倍，而小松菜的「葉身」部位的抗氧化力是「葉柄」的 6.71 倍，其結果說明部分蔬菜各部位的抗氧化力確實可能存有差異較大的情形。而 Zhang 和 Hamauzu (2004) 曾測定青花菜不同部位經加熱處理後的抗氧化力 (DPPH 值)，其將青花菜 (Broccoli) 的取樣分成小花 (florete) 和花莖 (stem) 兩部分，再分別以微波 (Microwave, 600W) 和傳統 (Conventional)、水煮的加熱處理，發現青花菜小花部位的抗氧化力會較花莖來得高，由該研究亦可得知，蔬菜不同部位的抗氧化力對加熱的反應也不盡相同，所以在各重複數的取樣較無法均一的情況下，所測得的抗氧化力是有可能會產生較大的標準偏差。

關於加熱時間對參試蔬菜抗氧化力的影響，本研究得出以 3 或 5 分鐘的加熱時間，對蔬菜抗氧化力的維持或增進效果較好。而 Wachtel-Galor (2008) 將花椰菜以兩種加熱時間 (5、10 分鐘) 進行微波加熱處理，其結果為加熱時間較長者 (10 分鐘)，抗氧化力增加的比例會少於僅加熱時間較短者 (5 分鐘)。此外，不同的加熱方式對於抗氧化力的提升或維持效力也不盡相同。如花椰菜經水煮後，加熱 10 分鐘提升的效率會比 5 分鐘的高。這也顯示加熱時間的多寡亦會對抗氧化力產生影響，然而這仍涉及蔬菜的種類、特性及加熱方式等影響因素。

蔬菜經加熱後，其內的抗氧化力為何會產生變動，Maeda 等人 (1992)、Nicoli 等人 (1999) 及 NG 等人 (2011) 提出可能的解釋及假設。Maeda 等人 (1992) 認為蔬菜經水煮加熱後，可能引起細胞壁或次生細胞壁的破壞而釋出更多的抗氧化物，所以在 35 種參試蔬菜中，熱水萃取液 (Hot-water extracts) 測得的抗氧化力大多高於冷水萃取液 (Cold-water extracts)。Nicoli 等人 (1999) 及 NG 等人 (2011) 則

認為加熱會導致某些抗氧化物的型態發生轉變 (如從不活化態轉變為活化態)，致使其抗氧化特性發生改變，或是在加熱的過程中，因引起類似裂解的化學反應，從而產生新的抗氧化物，綜合上述，這是可能造成抗氧化力有提升、維持或減少之情況的推論。另外的可能性則是加熱會使抗氧化物分子在結構上發生改變，如 Prior 等人曾提出 (2005)，一些分子結構較小的抗氧化物，測得的抗氧化力會較大分子抗氧化物高，原因是小分子抗氧化物在空間結構上，較容易移動，因此可增加與自由基的交互作用的機會。

Podsdek (2007) 曾指出十字花科蔬菜 (Brassica vegetables) 的抗氧化力約有 20% 是脂溶性抗氧化物所提供 (即水溶性抗氧化物約佔 80%)，而 Wu 等人 (2004) 以 ORAC 法檢測包含蔬果等共 100 種食物的抗氧化力，其結果指出大部分食物的抗氧化力約有 10% 是由脂溶性抗氧化物所貢獻 (即水溶性抗氧化物約貢獻 90%)。故本研究所測得蔬菜加熱前後的抗氧化力 (FRAP 與 ORAC 值) 變化應與水溶性抗氧化物在物化特性上的改變有密切關聯。

從表 4.4 的結果可知，依蔬菜種類或特性的不同，加熱處理可能具有 (或不具) 增進其抗氧化力的效力，但如要其反應達到顯著的變化，其加熱強度仍需達一定的水準方有其效用。以表 4.4 的結果可見，在加熱時間固定為 3 分鐘的情況下，綠葉甘藷葉的微波加熱強度需至少需達中度 (Medium) 以上的火力，所測得的抗氧化力相較於其生鮮狀態，方有顯著增加的現象。而可另聯想到火力強度應也與加熱時間有關，若是增加中度以下火力的加熱時間，亦有可能達到增進綠葉甘藷葉抗氧化力的效果。

另外，由表 4.4、圖 4.7、4.8 的結果得知，加熱強度對抗氧化力的影響存有某種程度關係。前述的結果曾提及，不同的加熱方式對參試蔬菜抗氧化力的影響可能有相似的效力 (如悶煮與微波；水煮與微波水煮)，這其實可能也與加熱強度有關聯，因悶煮和微波的加熱方式，對蔬菜而言，其加熱強度是慢慢增加的 (因熱度隨加熱時間而增加)；但水煮與微波水煮的加熱方式對蔬菜而言，加熱強度一開始就高過於悶煮與微波許多 (因蔬菜是投入沸水中加熱)。所以在大部分的情況中，

可見水煮與微波水煮的加熱處理對部分蔬菜抗氧化力的提升效果較悶煮、微波的加熱方式高出不少。因此，不同的加熱方式間似乎也可視為是加熱強度不同的效果。

另比較 43 種蔬菜經微波加熱 3 分鐘後的抗氧化力變化 (表 4.5)，其中的綠葉甘藷葉、茴香、紅鳳菜、茼蒿、蕹菜、結球萵苣、青花菜、麻糬長茄、甜豌豆和蘆筍，經加熱、瀝水後的抗氧化力仍顯著比其生鮮狀態還高，故這類蔬菜建議適合熟食。而抗氧化力減少比例較高者，有紅色甜椒、黃色甜椒、菠菜、洋蔥、青蔥、山藥、圓筒絲瓜、胡瓜，這類蔬菜則建議適合生食或避免過度烹煮。

從表 4.5、圖 4.11、4.12 也可看出，43 種參試蔬菜經微波加熱處理後，抗氧化力的反應不盡相同。而由前述關於加熱強度的觀點可推測，若是微波加熱對於某蔬菜的抗氧化力有提升效果，則該蔬菜經水煮或微波水煮的加熱處理後，其抗氧化力數據有較大的機會高過其經微波加熱後的情況。



第六章、結論

蔬菜抗氧化力的多寡可視為降低攝食者氧化傷害的指標，測定蔬菜烹煮前後的抗氧化力變化，將有助於瞭解各食材的特性及其潛在保健功能。對消費者端而言，如何從蔬果中獲得多量的抗氧化物質，調理方式和蔬果種類的選擇是影響攝入抗氧化物含量多寡的關鍵。而蔬果的抗氧化力會因選用不同檢測法、運用不同的調理方式而產生變化和差異，不同的儲藏條件等也同樣可能會影響蔬果的抗氧化力。

本研究發現參試蔬菜於生鮮狀態下經較長的均質時間處理後，測得的抗氧化力有減少的現象，而發生抗氧化力顯著減少所需的均質時間會因蔬菜種類而異。因此若以汁液形式攝入蔬果，利用蔬果調理機調理的時間不宜過久。

另外，參試蔬菜經不同的加熱方式配合不同加熱時間處理後，對於抗氧化力的反應變化也因蔬菜種類及特性而異。一般以水煮和微波水煮的加熱方式配合 3 分鐘以上的加熱時間對參試蔬菜抗氧化力的提升效果較佳，且此兩種加熱方式的效力相近。對照蔬菜未瀝水與經瀝水後的數據，若涉及含水量較多的加熱方式 (如水煮、微波水煮)，其流失至水中的抗氧化力將比其他加熱方式大為增加，且流失比例通常也隨加熱時間的增加而提升。依蔬菜種類、加熱時間及加熱方式，比較參試蔬菜烹煮前後抗氧化力的提升、下降比例及瀝水前後的數據，可歸納出適宜熟食或生食的蔬菜。另外，在不同的加熱方式中，以油炒的加熱方式，對於蔬菜抗氧化力的維持或保留效果較佳。

依蔬菜種類或特性的不同，加熱處理可能具有 (或不具) 增進其抗氧化力的效力，但如要其反應達到顯著的變化，其加熱強度仍需達一定的水準方有其效用，以微波為例，使用的加熱強度最好是中度以上的火力。

由於蔬菜於不同抗氧化力檢測法測得的抗氧化力反應結果並非完全一致。這可能涉及檢測法本身的機制或與蔬菜的種類、特性有關，所以同時挑出在兩法的測定下均有同樣反應的參試蔬菜，其結果會較為可信。此外，如果能確立體外 (*in vitro*) 抗氧化力檢測法的數據與生物間的利用效益 (Bioavailability) 有高度正相關性，那麼抗氧化力檢測法所測得的抗氧化力數據，便具有實際身體保健的參考價值。

參考文獻

- 王至正. 2006. 以氧自由基吸收能力法 (ORAC) 測定園產品之抗氧化能力. 國立臺灣大學園藝學研究所碩士論文.
- 行政院衛生署. 2006. 每日飲食指南. <<http://www.doh.gov.tw/>>
- 林錦華、楊美都. 2006. 健康密碼藏在蔬果 579. 中國醫訊. 37:36-38.
- 張芳魁. 2008. 台灣常用蔬菜的抗氧化力指標 FRAP 與總酚類含量. 國立臺灣大學園藝學研究所碩士論文.
- 梁佑慎、柯立祥. 2006. 市售蔬菜抗氧化力之研究. 臺灣園藝. 52:171-180.
- 陳吉村. 2008. 抗氧化分析技術在農業上之應用. 花蓮區農業專訊. 64:13-15.
- 陳彩雲. 2005. 利用 FRAP 方法分析台灣水果之抗氧化力. 國立臺灣大學園藝學研究所碩士論文.
- 黎孝韻、曾國慶. 2008. 自由基及抗氧化物功能的探討. 藥學雜誌. 24:95-103.
- Adams, A.K., E.O. Wermuth, and P.E. McBride. 1999. Antioxidant vitamins and the prevention of coronary heart disease. *Am. Family Phys.* 60:895-904.
- 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.
- Boileau, T.W.-M., A.C. Boileau, and J.W. Erdman. 2002. Bioavailability of all-trans and cis-isomers of lycopene. *Exp. Biol. Med.* 227:914-919.
- Brand-Williams, W., M.E. Cuvelier, and C. Berset. 1995. Use of a free radical method to evaluate antioxidant. *Lebensm.-Wiss. u.-Technol.* 28:25-30.
- Cao, G. and R.L. Prior. 1998. Comparison of different analytical methods for assessing total antioxidant capacity of human serum. *Clin. Chem.* 44:1309-1315.
- 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. *J. Clin. Chem.* 41:1738-1744.
- Collins, A.R. and V. Harrington. 2002. Antioxidants: not the only reason to eat fruit and vegetables. *Phytochem. Rev.* 1:167-174.
- 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.

- Fang, Y.Z., S. Yang and G. Wu. 2002. Free radicals, antioxidants, and nutrition. *Nutr.* 18:872-879.
- Folin, O.F. and V. Ciocalteu. 1927. On tyrosine and tryptophane determinations in proteins. *J. Biol. Chem.* 73:627-649.
- Galli, F., M. Piroddi, C. Annetti, C. Aisa, E. Floridi, and A. Floridi. 2005. Oxidative stress and reactive oxygen species. *Contrib. Nephrol.* 149:240-260.
- Gärtner, C., W. Stahl, and H. Sies. 1997. Lycopene is more bioavailable from tomato paste than from fresh tomatoes. *Am. J. Clin. Nutr.* 66:116-122.
- Gazzani, G., A. Papetti, G. Massolini, and M. Daglia. 1998. Anti- and prooxidant activity of water soluble components of some common diet vegetables and the effect of thermal treatment. *J. Agric. Food Chem.* 46:4118-4122.
- Glazer, A.N. 1988. Fluorescence-based assay for reactive oxygen species: a protective role for creatinine. *FASEB J.* 2:2487-2491.
- Gossiau, A. and K.Y. Chen. 2004. Nutraceuticals, apoptosis, and disease prevention. *Nutr.* 20:95-102.
- Heber, D., and S. Bowerman. 2001. Applying science to changing dietary patterns. *J. Nutr.* 3078S- 3081S.
- Hee, Y. P. 2008. Dietary reference intakes for Koreans (KDRIs). *Asia Pac. J. Clin. Nutr.* 17: 416-419.
- Hidalgo, M., C. Sánchez-Moreno, and S. de Pascual-Teresa. 2010. Flavonoid-flavonoid interaction and its effect on their antioxidant activity. *Food Chem.* 121:691-696.
- Huang, D., B. Ou, M. Hampsch-Woodill, J.A. Flanagan, and R.L. Prior. 2002. High-throughput assay of oxygen radical absorbance capacity (ORAC) using a multichannel liquid handling system coupled with a microplate fluorescence reader in 96-well format. *J. Agric. Food Chem.* 50: 4437-4444.
- Jiménez-Monreal, A.M., L. Garcia-Diz, M. Martinez-Tome, M. Mariscal, and M.A. Murcia. 2009. Influence of cooking methods on antioxidant activity of vegetables. *J. Food Sci.* 74: H97-H103.
- Kalt, W. 2005. Effects of production and processing factors on major fruit and vegetable antioxidants. *J. Food Sci.* 70:R11-R19.
- Kaur, C., and H.C. Kapoor. 2001. Antioxidants in fruits and vegetables — the millennium's health. *Inter. J. Food Sci. Tech.* 36:703-725.
- Lindsay, D.G. and S.B. Astley. 2002. European research on the functional effects of

- dietary antioxidants—EUROFEDA. *Mol. Asp. Med.* 23:1-38.
- Link, L.B., and J.D. Potter. 2004. Raw versus cooked vegetables and cancer risk. *Cancer Epidemiol. Biomarkers Prev.* 13:1422-1435.
- Liu, R.H. 2003. Health benefits of fruit and vegetables are from additive and synergistic combinations of phytochemicals. *Am. J. Clin. Nutr.* 78:517S-520S.
- Macdiarmid, J., J. Kyle, G. Horgan, J. Loe, C. Fyfe, A. Johnstone and G. McNeill. 2011. *Livewell: a balance of healthy and sustainable food choices.* WWF-UK, London. pp. 18-22.
- Maeda, H., T. Katsuki, T. Akaike, and R. Yasutake. 1992. High correlation between lipid peroxide radical and tumor-promoter effect : Suppression of tumor promotion in the Epstein-Barr virus/B-lymphocyte system and scavenging of alkyl peroxide radicals by various vegetable extracts. *Jpn. J. Cancer Res.* 83:923-928.
- Miglio, C., E. Chiavaro, A. Visconti, V. Fogliand, and N. Pellegrini. 2008. Effects of different cooking methods on nutritional and physicochemical characteristics of Selected Vegetables. *J. Agric. Food Chem.* 56:139-147.
- 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.
- Miller, P.E., S.M. Lesko, J.E. Muscat, P. Lazarus, and T.J. Hartman. 2010. Dietary patterns and colorectal adenoma and cancer risk: A review of the epidemiological evidence. *Nutr. Cancer.* 62:413-424.
- NG, Z.X., J.W. Chai, and U.R. Kuppusamy. 2011. Customized cooking method improves total antioxidant activity in selected vegetables. *Int. J. Food Sci Nutr.* 62:158-163.
- Nicoli, M.C., M. Anese, and M. Parpinel. 2004. Influence of processing on the antioxidant properties of fruit and vegetables. *Trends Food Sci. Technol.* 10:94-100.
- Okayasu, I., S. Hatakeyama, M. Yamada, T. Ohkusa, Y. Inagaki and R. Nakaya. 1990. A novel method in the induction of reliable experimental acute and chronic ulcerative colitis in mice. *Gastroent.* 98:694-702.
- 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.
- Podsede A. 2007. Natural antioxidants and antioxidant capacity of Brassica vegetables: A review. *LWT Food Sci. Technol.* 40:1-11.
- 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.
- Reboul, E., M. Richelle, E. Perrot, C. Desmoulins-Malezet, V. Pirisi, and P. Borel. 2006. Bioaccessibility of carotenoids and vitamin E from their main dietary sources. *J. Agric. Food Chem.* 54:8749-8755.
- Riso, P., F. Visioli, C. Gardana, S. Grande, A. Brusamolino, F. Galvano, G. Galvano, and M. Porrini. 2005. Effects of blood orange juice intake on antioxidant bioavailability and on different markers related to oxidative stress. *J. Agric. Food Chem.* 53:941-947.
- Rock, C.L., J.L. Lovalvo, C. Emenhiser, M.T. Ruffin, S.W. Flatt, and S.J. Schwartz. 1998. Bioavailability of β -carotene is lower in raw than in processed carrots and spinach in Women. *J. Nutr.* 128:913-916.
- Seifried, H.E., D.E. Andersonb, E.I. Fishera, and J.A. Milnera. 2007. A review of the interaction among dietary antioxidants and reactive oxygen species. *J. Nutr. Biochem.* 18:567-579.
- Siddhuraju, P. and K. Becker. 2003. Antioxidant properties of various solvent extracts of total phenolic constituents from three different agroclimatic origins of drumstick tree (*Moringa oleifera* Lam.) leaves. *J. Agric. Food Chem.* 51, 2144-2155.
- 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.
- Steinmetz, K.A., and J.D. Potter. 1991a. Vegetables, fruit, and cancer. I. Epidemiology. *Cancer Causes Control* 2:325-357.
- Steinmetz, K.A., and J.D. Potter. 1991b. Vegetables, fruit, and cancer. II. Mechanisms. *Cancer Causes Control* 2:427-442.
- Steinmetz, K.A., and J.D. Potter. 1996. Vegetables, fruit, and cancer prevention: A review. *J. Am. Diet. Assoc.* 96:1027-1039.
- Temple, N.J. 2000. Antioxidants and disease: more questions than answers. *Nutr. Res.* 20:449-459.

- Thaipong, K., U. Boonprakob, K. Crosby, L. Cisneros-Zevallos, and D.H. Byrne. 2006. Comparison of ABTS, DPPH, FRAP, and ORAC assays for estimating antioxidant activity from guava fruit extracts. *J. Food Compost. Anal.* 19:669-675.
- The Food Standards Agency (FSA). 2007. 'Eatwell' plate. <[http://www.eatwell.gov.uk/healthy diet/ eatwellplate/](http://www.eatwell.gov.uk/healthydiet/eatwellplate/)>
- United States Department of Agriculture (USDA). 2011. MyPlate. <<http://www.choosemyplate.gov/>>
- Valko, M., D. Leibfritz, J. Moncola, M.T.D. Cronin, M. Mazura, and J. Telser. 2007. Free radicals and antioxidants in normal physiological functions and human disease. *Int. J. Biochem. Cell Biol.* 39:44-84.
- Veda, S., K. Platel, and K. Srinivasan. 2008. Influence of food acidulants and antioxidant spices on the bioaccessibility of β -carotene from selected vegetables. *J. Agric. Food Chem.* 56:8714-8719.
- Vermeulen, M., I.W.A.A. Klpping-Ketelaars, R. van den Berg, and W.H.J. Vaes. 2008. Bioavailability and kinetics of sulforaphane in humans after consumption of cooked versus raw broccoli. *J. Agric. Food Chem.* 56:10505-10509.
- Wachtel-Galor, S., K.W. Wong, and I.F.F. Benzie. 2008. The effect of cooking on Brassica vegetables. *Food Chem.* 110:706-710.
- Willett, W.C. 1994. Diet and health: what should we eat? *Science* 264:532-537.
- Wolfe, K.L., X. Kang, X. He, M. Dong, Q. Zhang, and R.H. Liu. 2008. Cellular antioxidant activity of common fruits. *J. Agric. Food Chem.* 56:8418-8426.
- Wu, X., G.R. Beecher, J.M. Holden, D.B. Haytowitz, S.E. Gebhardt, and R.L. Prior. 2004. Lipophilic and hydrophilic antioxidant capacities of common foods in the United States. *J. Agric. Food Chem.* 52:4016-4037.
- Yamaguchi, T., T. Mizobuchi, R. Kajikawa, H. Kawashima, F. Miyabe, J. Terao, H. Takamura, and T. Matoba. 2001. Radical-scavenging activity of vegetables and the effect of cooking on their activity. *J. Food Sci. Technol. Res.* 7:250-257.
- Yeum, K.J., G. Beretta, N.I. Krinsky, R.M. Russell, and G. Aldini. 2009. Synergistic interactions of antioxidant nutrients in a biological model system. *Nutr.* 25:839-846.
- 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.



附表 3.1 市售生鮮蔬果的來源、取樣及分析部位

Appendix Table 3.1 Origin, sampling and analysis part of commercially available fresh vegetables and fruits

蔬果名稱 / 品系或特徵	取樣別	重複數	取樣月份	分析部位	來源	生產地、生產者 (提供者)	產品標章號碼
水果類							
帝王拔 / 白肉	I	n=1	Apr.	果實 (含籽)	高雄農業改良場	黃明雅	—
珍珠拔 / 白肉	I	n=1	Jul.	果實 (含籽)	高雄農業改良場	黃明雅	—
	II	n=1	Jan.	果實 (含籽)	高雄農業改良場	謝美蓮	—
紅心拔 / 紅肉	I	n=1	Apr.	果實 (含籽)	高雄農業改良場	—	—
茂谷柑	I	n=3	Mar.	果實 (去皮、果蒂)	台北松青超市 (師大店)	台中東勢	—
彩虹拔 / 紅肉	I	n=1	Jul.	果實 (含籽)	高雄農業改良場	黃明雅	—
	II	n=1	Jan.	果實 (含籽)	高雄農業改良場	謝美蓮	—
懸鉤子 (覆盆莓)	I	n=4	Aug.	果實 (去果蒂)	台大梅峰農場	李國譚	—
蔬菜類							
小白菜	I	n=3	Apr.	全株 (去根)	台北松青超市 (師大店)	彰化縣永靖鄉疏菜產銷班第 8 班 (林森)	吉園圃 079120101
	II	n=6	Sep.	全株 (去根)	台北松青超市 (師大店)	桃園八德市蔬菜產銷班第 3 班 (藍美惠)	吉園圃 029090300
	III	n=3	Apr.	全株 (去根)	台北松青超市 (師大店)	—	—
山茼蒿	I	n=3	Apr.	葉	台北水源市場	—	—
山藥	I	n=3	May	地下塊莖	台北環南市場	阿三蔬果	—
日本水菜	I	n=3	May	全株 (去根)	台北環南市場	阿三蔬果	—
牛番茄	I	n=1	Oct.	果實 (去果蒂)	台北水源市場	—	—
	II	n=1	Sep.	果實 (去果蒂)	台北水源市場	—	—
	III	n=1	Sep.	果實 (去果蒂)	台北水源市場	—	—
	IV	n=1	Sep.	果實 (去果蒂)	台北水源市場	—	—
	V	n=3	Apr.	果實 (去果蒂)	台北松青超市 (師大店)	—	—
包心白菜	I	n=1	Aug.	葉	台北水源市場	—	—
大白菜	I	n=3	Apr.	葉	台北松青超市 (師大店)	—	—
半結球萵苣 (大陸妹)	I	n=3	Apr.	葉	台北松青超市 (師大店)	彰化縣永靖鄉疏菜產銷班第 8 班 (劉秀華)	吉園圃 079120101
	II	n=3	Apr.	葉	台北水源市場	—	—
甘藍苗 (高麗菜苗)	I	n=3	Apr.	葉	台北松青超市 (師大店)	—	—
白皮苦瓜	I	n=3	Mar.	果實 (去籽、果蒂)	台北水源市場	—	—
白莧菜	I	n=6	Sep.	全株 (去根)	台北松青超市 (師大店)	桃園八德市蔬菜產銷班第 3 班	吉園圃 029090300

附表 3.1 市售生鮮蔬果的來源、取樣及分析部位 (續)

Appendix Table 3.1 Origin, sampling and analysis part of commercially available fresh vegetables and fruits (continued)

蔬果名稱 / 品系或特徵	取樣別	重複數	取樣月份	分析部位	來源	生產地、生產者 (提供者)	產品標章號碼
蔬菜類							
有機油菜	I	n=3	Apr.	全株 (去根)	台北松青超市 (師大店)	彰化縣永靖鄉 (呂榮城)	CAS 有機
有機青梗白菜 (青江菜)	I	n=3	Apr.	葉	台北松青超市 (師大店)	彰化縣永靖鄉 (呂榮城)	CAS 有機
有機葉萵苣 (A 仔菜)	I	n=3	Apr.	全株 (去根)	台北松青超市 (師大店)	彰化縣永靖鄉 (呂榮城)	CAS 有機
有機蘿菜 (空心菜)	I	n=3	Apr.	葉及枝梢	台北松青超市 (師大店)	彰化縣永靖鄉 (呂榮城)	CAS 有機
西洋芹	I	n=3	Apr.	葉及枝梢	台北水源市場	—	—
芋	I	n=3	May	球莖 (去外皮)	台北環南市場	阿三蔬果	—
油菜	I	n=3	May	葉	台北環南市場	阿三蔬果	—
花胡瓜 (小黃瓜)	I	n=1	Aug.	果實	台北水源市場	—	—
	II	n=1	Dec.	果實	台北水源市場	—	—
	III	n=1	Dec.	果實	台北水源市場	—	—
	IV	n=1	Dec.	果實	台北水源市場	—	—
	V	n=3	Apr.	果實	台北松青超市 (師大店)	—	—
	VI	n=6	Sep.	果實	台北松青超市 (師大店)	—	—
花椰菜	I	n=3	Apr.	花苞、花梗與莖	台北松青超市 (師大店)	—	—
青花菜	I	n=1	Sep.	花苞、花梗與莖	台北水源市場	—	—
	II	n=1	Sep.	花苞、花梗與莖	台北水源市場	—	—
	III	n=3	Mar.	花苞、花梗與莖	台北水源市場	—	—
	IV	n=1	Sep.	花苞、花梗與莖	台北水源市場	—	—
	V	n=3	Apr.	花苞、花梗與莖	台北水源市場	—	—
青梗白菜 (青江菜)	I	n=3	Mar.	葉	台北水源市場	—	—
青椒	I	n=3	Mar.	果實 (去籽、果蒂)	台北水源市場	—	—
青蔥	I	n=3	Apr.	葉	台北松青超市 (師大店)	—	—
洋蔥	I	n=3	Apr.	鱗莖 (去外皮)	台北松青超市 (師大店)	—	—
紅色甜椒	I	n=3	Apr.	果實 (去籽、果蒂)	台北松青超市 (師大店)	—	—
	II	n=3	Mar.	果實 (去籽、果蒂)	台北水源市場	—	—
紅鳳菜	I	n=1	Aug.	葉及枝梢	台北環南市場	阿三蔬果	—
	II	n=3	May	葉及枝梢	台北環南市場	阿三蔬果	—
胡瓜	I	n=3	Apr.	果實	台北松青超市 (師大店)	—	—

附表 3.1 市售生鮮蔬果的來源、取樣及分析部位 (續)

Appendix Table 3.1 Origin, sampling and analysis part of commercially available fresh vegetables and fruits (continued)

蔬果名稱 / 品系或特徵	取樣別	重複數	取樣月份	分析部位	來源	生產地、生產者 (提供者)	產品標章號碼
蔬菜類							
胡蘿蔔	I	n=1	Aug.	肉質根	台北水源市場	—	—
	II	n=1	Oct.	肉質根	台北水源市場	—	—
	III	n=1	Dec.	肉質根	台北水源市場	—	—
	IV	n=3	Apr.	肉質根	台北松青超市 (師大店)	雲林縣西螺鎮振興果菜生產合作社	—
	V	n=6	Aug.	肉質根	台北松青超市 (師大店)	雲林縣西螺鎮振興果菜生產合作社	—
韭菜	I	n=3	May	葉	台北環南市場	阿三蔬果	—
茴香	I	n=3	Mar.	全株 (去根)	台北水源市場	—	—
茼蒿	I	n=3	Apr.	葉	台北松青超市 (師大店)	—	—
梨瓜嫩梢 (龍鬚菜)	I	n=3	Mar.	嫩枝條	台北水源市場	—	—
根莖菜 (甜菜根)	I	n=1	Sep.	球根 (去外皮)	台大梅峰農場	李國譚	—
甜豌豆	I	n=3	Apr.	豆莢	台北松青超市 (師大店)	—	—
麻糬長茄	I	n=3	Apr.	果實 (去果蒂)	台北水源市場	—	—
結球萵苣 (美生菜)	I	n=1	Sep.	葉	台北環南市場	美國加州 Salinas	—
	II	n=3	Apr.	葉	台北水源市場	—	—
紫葉甘藷菜	I	n=1	Sep.	葉與枝梢	台大園藝分場	李國譚	—
	II	n=1	Aug.	葉與枝梢	台大園藝分場	李國譚	—
菠菜	I	n=3	Apr.	葉及枝梢	台北松青超市 (師大店)	彰化縣永靖鄉疏菜產銷班第 8 班 (林森)	吉園圃 079120101
	II	n=3	Mar.	葉及枝梢	台北水源市場	—	—
	III	n=3	Apr.	葉及枝梢	台北水源市場	—	—
菜豆 (皇帝豆)	I	n=3	May	豆仁	台北環南市場	阿三蔬果	—
菜豆 (四季豆)	I	n=3	Apr.	豆莢	台北松青超市 (師大店)	—	—
	II	n=3	Mar.	豆莢	台北水源市場	—	—
黃豆芽	I	n=3	Apr.	全株 (去根)	台北松青超市 (師大店)	雲林縣西螺鎮漢光果菜生產合作社	CAS 第 121005 號
黃金聖女番茄	I	n=3	Apr.	果實 (去果蒂)	台北松青超市 (師大店)	—	—
黃色甜椒	I	n=3	Apr.	果實 (去籽、果蒂)	台北松青超市 (師大店)	—	—
	II	n=2	Sep.	果實 (去籽、果蒂)	南投埔里合作農場	葉淑如	—
	III	n=3	Apr.	果實 (去籽、果蒂)	台北水源市場	—	—
圓筒絲瓜	I	n=3	Apr.	果實 (去外皮)	台北水源市場	—	—
聖女番茄	I	n=3	Apr.	果實 (去果蒂)	台北松青超市 (師大店)	—	—

附表 3.1 市售生鮮蔬果的來源、取樣及分析部位 (續)

Appendix Table 3.1 Origin, sampling and analysis part of commercially available fresh vegetables and fruits (continued)

蔬果名稱 / 品系或特徵	取樣別	重複數	取樣月份	分析部位	來源	生產地、生產者 (提供者)	產品標章號碼
蔬菜類							
落葵 (皇宮菜)	I	n=3	Mar.	葉及枝梢	台北水源市場	—	—
葉萵苣 (A 仔菜)	I	n=3	Apr.	全株 (去根)	台北松青超市 (師大店)	彰化縣永靖鄉蔬菜產銷班第 8 班 (張炳創)	吉園圃 079120101
	II	n=3	Apr.	全株 (去根)	台北松青超市 (師大店)	—	—
嫩薑	I	n=3	May	地下莖	台北環南市場	阿三蔬果	—
綠皮苦瓜	I	n=3	Apr.	果實 (去籽、果蒂)	台北水源市場	—	—
綠葉甘藷葉	I	n=1	Sep.	葉及枝梢	台北水源市場	台南縣新港鄉蔬菜產銷第 2 班 (陳明煌)	吉園圃 109020620
	II	n=1	Sep.	葉及枝梢	台北水源市場	台南縣新港鄉蔬菜產銷第 2 班 (陳明煌)	吉園圃 109020620
	III	n=1	Sep.	葉及枝梢	台北水源市場	台南縣新港鄉蔬菜產銷第 2 班 (陳明煌)	吉園圃 109020620
	IV	n=1	Dec.	葉及枝梢	台北水源市場	台南縣新港鄉蔬菜產銷第 2 班 (陳明煌)	吉園圃 109020620
	V	n=1	Mar.	葉及枝梢	台北水源市場	台南縣新港鄉蔬菜產銷第 2 班 (陳明煌)	吉園圃 109020620
	VI	n=1	May	葉及枝梢	台北水源市場	台南縣新港鄉蔬菜產銷第 2 班 (陳明煌)	吉園圃 109020620
	VII	n=1	Jun.	葉及枝梢	台北水源市場	台南縣新港鄉蔬菜產銷第 2 班 (陳明煌)	吉園圃 109020620
	VIII	n=1	Jul.	葉及枝梢	台北水源市場	台南縣新港鄉蔬菜產銷第 2 班 (陳明煌)	吉園圃 109020620
	IX	n=1	Jul.	葉及枝梢	台北水源市場	台南縣新港鄉蔬菜產銷第 2 班 (陳明煌)	吉園圃 109020620
	X	n=1	Jul.	葉及枝梢	台北水源市場	台南縣新港鄉蔬菜產銷第 2 班 (陳明煌)	吉園圃 109020620
	XI	n=1	Aug.	葉及枝梢	台北水源市場	台南縣新港鄉蔬菜產銷第 2 班 (陳明煌)	吉園圃 109020620
	XII	n=1	Aug.	葉及枝梢	台北水源市場	台南縣新港鄉蔬菜產銷第 2 班 (陳明煌)	吉園圃 109020620
	XIII	n=3	Mar.	葉及枝梢	台北水源市場	台南縣新港鄉蔬菜產銷第 2 班 (陳明煌)	吉園圃 109020620
	XIV	n=3	Apr.	葉及枝梢	台北松青超市 (師大店)	桃園縣八德市蔬菜產銷班第 3 班	—
	XV	n=3	Mar.	葉及枝梢	台北水源市場	—	—
	XVI	n=3	May	葉及枝梢	台北環南市場	阿三蔬果	—
蓮藕	I	n=3	May	地下莖	台北環南市場	阿三蔬果	—
蘆筍	I	n=3	Mar.	嫩莖	台北水源市場	—	—
蘿菜 (空心菜)	I	n=6	Aug.	葉及枝梢	台北松青超市 (師大店)	桃園縣八德市蔬菜產銷班第 3 班	吉園圃 029090300
	II	n=3	Mar.	葉及枝梢	台北水源市場	—	—

附表 3.2

參試蔬果均質或加熱處理前的截切處理

Appendix Table 3.2 Processing of tested vegetables and fruits before homogenization or heating treatment

蔬果名稱/品系或特徵	均質或加熱處理前的截切處理
水果類	
帝王拔 / 白肉	單顆果實重約 450-660 g，一重複約取其 1/8-1/10；截切成厚度約 3 cm 以內的瓣狀
珍珠拔 / 白肉	單顆果實重約 330-350 g，一重複約取其 1/6；截切成厚度約 3 cm 以內的瓣狀
紅心拔 / 紅肉	單顆果實重約 550-610 g，一重複約取其 1/10；截切成厚度約 3 cm 以內的瓣狀
茂谷柑	單顆果實重約 200 g，一重複去外皮約取其 1/3 (約有 3-4 瓣)；未截切
彩虹拔 / 紅肉	單顆果實重約 450-510 g，一重複約取其 1/8-1/10；截切成厚度約 3 cm 以內的瓣狀
懸鉤子	單個果實重約 3 g；未截切
蔬菜類	
小白菜	單株長約 25-30 cm，截切成 3-4 段
山茼蒿	單株長約 25 cm；截切成 3 段
山藥	截切成厚度約 2 cm 以內的塊狀物 (去外皮)
日本水菜	單株長約 40-45 cm；截切成 4-5 段
牛番茄	單顆重約 150-160 g，一重複約取其 1/3；截切成三等分瓣狀
包心白菜	—
大白菜	單顆重約 600-850 g，一重複約取其 1/10-1/12；截切成 3 段
半結球萵苣 (大陸妹)	單株重約 180 g，一重複約取其 1/3；截切成 3 段
甘藍苗 (高麗菜苗)	單顆重約 40-110 g；截切成約其 1/4 的瓣狀
白皮苦瓜	單顆果實重約 390-450 g，一重複約取其 1/4-1/6；截切成厚度約 2 cm 以內的片狀
白莧菜	單株長約 45-70 cm；截切成 4-5 段
有機油菜	單株長約 30-35 cm；截切成 3 段
有機青梗白菜 (青江菜)	單株長約 15-20 cm；未截切，剝成片狀
有機萵苣 (A 仔菜)	單株長約 30-35 cm；截切成 3 段
有機蘿菜 (空心菜)	單株長約 40-45 cm；截切成 4 段
西洋芹	單株長約 50-55 cm；截切成 8-10 段
芋	截切成厚度約 2 cm 以內的塊狀物
油菜	單株長約 30-35 cm；截切成 3-4 段
花胡瓜 (小黃瓜)	單顆果實重約 100-150 g，一重複約取其 1/2-1/3；截切成厚度約 2 cm 以內的塊狀
花椰菜	單棵花球重約 550-650 g，一重複約取其 1/8-1/10 (去除大部分的莖)；截切成小花狀
青花菜	單棵花球重約 400 g，一重複約取其 1/4-1/6 (去除大部分的莖)；截切成小花狀
青梗白菜 (青江菜)	單株長約 15-20 cm；未截切，剝成片狀
青椒	單顆果實重約 160-200 g，一重複約取其 1/3；截切成厚度約 1 cm 以內的條狀

附表 3.2 參試蔬果均質或加熱處理前的截切處理 (續)

Appendix Table 3.2 Processing of tested vegetables and fruits before homogenization or heating treatment (continued)

蔬果名稱/品系或特徵	均質或加熱處理前的截切處理
蔬菜類	
青蔥	單株長約 50-55 cm；截切成 6-7 段
洋蔥	單顆重約 250-300 g，一重複約取其 1/5-1/6；截切成 3-4 段的片狀
紅色甜椒	單顆果實重約 240-300 g，一重複約取其 1/4；截切成厚度約 1 cm 以內的條狀
紅鳳菜	單株長約 15-20 cm；截切成 3 段
胡瓜	單顆重約 550-650g，一重複約取其 1/10-1/12；截切成 3 cm 以內的塊狀
胡蘿蔔	單顆果實重約 160-260 g，一重複約取其 1/3-1/4；截切成厚度約 1 cm 以內的片狀
韭菜	單株長約 35-40 cm，截切成 5-6 段
茴香	單株長約 30-35 cm，截切成 3 段
茼蒿	單株長約 15-20 cm，截切成 3 段
梨瓜嫩梢 (龍鬚菜)	單株長約 20-30 cm，截切成 3 段
根蔞菜 (甜菜根)	單顆重約 450 g，一重複去皮約取其 1/8；截切成厚度約 0.2 cm 以內的片狀
甜豌豆	單個豆莢重約 3-7 g；未截切
麻糬長茄	單顆果實重約 130-170 g，一重複約取其 1/2-1/3；截切成厚度約 3 cm 以內的塊狀
結球萵苣 (美生菜)	單顆重約 300-400g，一重複約取其 1/8-1/10；截切成 3 段
紫葉甘藷葉	單株長約 40-50 cm；截切成 4-5 段
菠菜	單株長約 40-55 cm，截切成 4 段
菜豆 (皇帝豆)	單顆豆子重約 3-5 g；未截切
菜豆 (四季豆)	單個豆莢長約 13-18 cm；截切成 3 段
黃豆芽	單株長約 10-15 cm；未截切
黃金聖女番茄	單個果實重約 10 g；未截切
黃色甜椒	單顆果實重約 200-250 g，一重複約取其 1/4；截切成厚度約 1 cm 以內的條狀
圓筒絲瓜	單顆果實重約 500 g，去皮後一重複約取其 1/8；截切成厚度約 3 cm 以內的塊狀
聖女番茄	單個果實重約 5-10 g；未截切
落葵 (皇宮菜)	單株長約 25-30 cm；截切成 3 段
葉萵苣 (A 仔菜)	單株長約 40-45 cm；截切成 3-4 段
嫩薑	橫向截切成厚度約 1 cm 以內的片狀物
綠皮苦瓜	單顆果實重約 300-350 g，一重複約取其 1/4-1/6；截切成厚度約 2 cm 以內的片狀
綠葉甘藷葉	單株長約 15-25 cm；截切成 2-3 段
蓮藕	橫向截切成厚度約 1 cm 以內的片狀物
蘆筍	單株長約 20-25 cm；截切成 6-7 段
薤菜 (空心菜)	單株長約 45-50 cm；截切成 4 段

附表 3.3 市售生鮮蔬果的抗氧化力
Appendix Table 3.3 Antioxidant capacity of commercially available fresh vegetables and fruits

蔬果名稱/品系或特徵	取樣次數	每次取樣重複數	FRAP value ($\mu\text{mol FeSO}_4/\text{g FW}$)
水果類 (Raw)			
帝王拔 / 白肉	1	n=3	64.6 $\pm$ 37.2
懸鉤子 (覆盆莓)	1	n=4	64.2 $\pm$ 7.9
彩虹拔 / 紅肉	2	n=3	42.1 $\pm$ 23.0
珍珠拔 / 白肉	2	n=3	39.4 $\pm$ 16.6
紅心拔 / 紅肉	1	n=3	28.1 $\pm$ 3.7
茂谷柑	1	n=3	4.5 $\pm$ 0.9
蔬菜類 (Raw)			
紫葉甘藷葉	2	n=1	19.5
紅色甜椒	1	n=3	19.5 $\pm$ 1.8
根莖菜 (甜菜根)	1	n=4	18.3 $\pm$ 1.0
嫩薑	1	n=3	17.0 $\pm$ 3.7
黃色甜椒	3	n=2-3	16.5 $\pm$ 0.3
蓮藕	1	n=3	16.2 $\pm$ 2.3
綠葉甘藷葉	16	n=1-3	12.8 $\pm$ 3.4
青椒	1	n=3	12.0 $\pm$ 1.2
葉萵苣 (A 仔菜)	2	n=3	9.4 $\pm$ 0.6
有機油菜	1	n=3	8.8 $\pm$ 2.7
菠菜	3	n=3	8.7 $\pm$ 1.4
有機蘿菜 (空心菜)	1	n=3	8.6 $\pm$ 1.0
甘藍苗 (高麗菜苗)	1	n=3	8.4 $\pm$ 1.3
茴香	1	n=3	7.3 $\pm$ 0.3
日本水菜	1	n=3	7.1 $\pm$ 1.3
洋蔥	1	n=3	7.0 $\pm$ 2.0
紅鳳菜	1	n=2	6.9 $\pm$ 1.8
有機葉萵苣 (A 仔菜)	1	n=3	6.6 $\pm$ 1.3
青花菜	5	n=1-3	6.6 $\pm$ 1.8
韭菜	1	n=3	6.5 $\pm$ 0.3
有機青梗白菜 (青江菜)	1	n=3	6.3 $\pm$ 1.7
山萵苣	1	n=3	5.2 $\pm$ 1.5
白莧菜	1	n=6	5.0 $\pm$ 0.8
蘿菜 (空心菜)	2	n=3-6	4.9 $\pm$ 1.0
黃金聖女番茄	1	n=3	4.6 $\pm$ 1.1
牛番茄	5	n=1-3	4.5 $\pm$ 2.6
青梗白菜 (青江菜)	1	n=3	4.4 $\pm$ 0.5
小白菜	3	n=3-6	4.4 $\pm$ 1.3
花椰菜	1	n=3	4.4 $\pm$ 1.3
聖女番茄	1	n=3	4.2 $\pm$ 1.5
茼蒿	1	n=3	4.0 $\pm$ 1.2
青蔥	1	n=3	3.9 $\pm$ 1.3
綠皮苦瓜	1	n=3	3.8 $\pm$ 1.8
油菜	1	n=3	3.7 $\pm$ 0.6
麻糬長茄	1	n=3	3.7 $\pm$ 0.8
包心白菜	1	n=1	3.7
梨瓜嫩梢 (龍鬚菜)	1	n=3	3.6 $\pm$ 0.9
黃豆芽	1	n=3	3.4 $\pm$ 1.3
大白菜	1	n=3	3.3 $\pm$ 0.9
落葵 (皇宮菜)	1	n=3	3.2 $\pm$ 0.4
半結球萵苣 (大陸妹)	2	n=3	3.1 $\pm$ 2.9
結球萵苣 (美生菜)	2	n=1-3	2.9 $\pm$ 2.0
菜豆 (四季豆)	2	n=3	2.6 $\pm$ 0.3
山藥	1	n=3	2.3 $\pm$ 0.1
胡蘿蔔	5	n=1-6	1.9 $\pm$ 0.8
西洋芹	1	n=3	1.6 $\pm$ 0.4
芋	1	n=3	1.3 $\pm$ 0.7
蘆筍	1	n=3	1.2 $\pm$ 0.1
白皮苦瓜	1	n=3	1.2 $\pm$ 0.2
花胡瓜 (小黃瓜)	6	n=1-6	1.0 $\pm$ 0.3
甜豌豆	1	n=3	0.8 $\pm$ 0.3
胡瓜	1	n=3	N.D.
圓筒絲瓜	1	n=3	N.D.