

茶葉生物活性研究與機能性產品研發

楊美珠^{(1)*} 郭芷君⁽¹⁾ 胡智益⁽¹⁾ 蘇宗振⁽¹⁾ 陳右人⁽²⁾

摘要

茶葉依發酵程度分為不發酵（綠茶）、部分發酵（包種茶、烏龍茶）及全發酵（紅茶），其加工過程顯著影響多酚組成與生理活性。本研究以臺茶 12 號為材料，探討發酵程度對兒茶素轉變及抗氧化能力之影響。結果顯示，隨發酵程度增加，總兒茶素含量下降，而其氧化聚合產物（如烏龍茶質、茶黃質）及沒食子酸含量上升。在生物活性方面，綠茶與部分發酵茶具較佳之自由基清除能力（DPPH、ABTS⁺）與還原力，紅茶則展現較佳金屬離子螯合能力，顯示兒茶素之氧化聚合為影響機能性之關鍵因素。茶改場於 2025 年開發之臺灣橙茶（Brown tea），透過精準控制炒菁與發酵條件，使其同時保有兒茶素及其氧化聚合產物。其萃取物具抑制脂質生成與促進脂肪代謝之雙重作用，兼具風味與機能性，進一步展現不同發酵茶類於機能性產品開發之應用潛力。

關鍵詞：茶葉發酵、兒茶素氧化、烏龍茶質、茶黃質、生物活性

(1) 農業部茶及飲料作物改良場 研究員、副研究員、副研究員兼科長、場長

(2) 國立臺灣大學園藝暨景觀學系 教授

*通訊作者 (762204@gmail.com)

前言

茶湯中的成分，包括胺基酸、咖啡因、維生素、礦物質，以及多酚類化合物 (polyphenols) 等 (Chen *et al.*, 2003; Lee *et al.*, 2008; Lee *et al.*, 2010)，其中多酚類化合物佔茶葉乾物重 20-35%，對茶葉風味與機能性有極大之貢獻。茶葉中多酚類可區分為：黃烷醇 (flavanols)、黃酮醇 (flavonols) 及其配糖體、無色花青素 (leucoanthocyanins) 以及酚酸 (phenolic acid) 和縮酚酸 (depsides)。其中黃烷醇類又稱為兒茶素 (catechins)，是茶葉中最主要的多酚類成分，約佔總多酚類成分含量的 70-80%，亦是構成茶水中的苦、澀味及收斂性來源。茶葉中兒茶素主要有 epicatechin (EC)、epigallocatechin gallate (EGCG)、epicatechin gallate (ECG) 與 epigallocatechin (EGC)、gallocatechin (GC)、catechin (C)、gallocatechin gallate (GCG) 及 catechin gallate (CG) 等，在綠茶中含量最高，許多研究已指出兒茶素具有許多生理活性，如抗氧化、抗發炎、抗癌等功效 (Higdon and Frei, 2003; Serafini *et al.*, 1996; Sung *et al.*, 2000)。

茶葉製程中的發酵，主要由多酚氧化酶 (Polyphenol oxidase) 作用，使單體兒茶素轉變為聚合型產物，如烏龍茶質 (Theasinensins, TS)、茶黃質 (Theaflavins, TF)、茶紅質 (Thearubigins, Tb) 等。隨發酵程度增加，兒茶素含量下降，而其氧化產物比例上升，進而改變茶葉之風味與生理功能 (Chitpan *et al.*, 2015; Higdon and Frei, 2003; Pan *et al.*, 2013; Valcic *et al.*, 1999)。

近年研究指出，兒茶素聚合產物在抗發炎、抗肥胖及抗癌等方面具有潛在應用價值。然而，不同發酵茶類之代謝組成與活性差異仍需系統性分析。因此，本研究以不同發酵程度茶葉為對象，探討其兒茶素代謝變化與抗氧化能力之關聯，並評估其於機能性產品開發之潛力。

材料與方法

一、試驗材料

以臺茶十二號茶菁，製作四種發酵程度茶葉，包括：

G (綠茶)：不發酵 (炒菁→揉捻→乾燥)。

P (包種茶)：輕發酵 (短期萎凋、攪拌→炒菁→揉捻→乾燥)。

O (烏龍茶)：重發酵 (長時萎凋、多次攪拌→炒菁→揉捻→乾燥)。

B (紅茶)：全發酵 (長時萎凋、揉捻 2 小時、補足發酵→乾燥)。

二、化學成分分析

茶樣磨粉後，取樣以熱水萃取，過濾茶湯，利用高效液相層析 (HPLC) 分析 8 種兒茶素單體、茶黃質、沒食子酸 (以上標準品購自 Sigma 公司)、烏龍茶質 (參考 Shii *et al.* (2011) 及 Hung *et al.* (2017) 以兒茶素標準品合成 TSA、TSB 和 TSC

並經由質譜儀 (ESI-QQQ) 鑑定分子量確認)。儀器為 Agilent 1260，管柱型號 EC-C18，移動相為去離子水含 0.1% (v/v) 甲酸及 100% 乙腈變化梯度進行層析分離，以二極體陣列偵測器 280 nm 偵測。分析標準品圖譜比對保留時間判定各成分，繪製標準品標準曲線，以計算該成分之含量。

三、生物活性評估

透過四種機制驗證茶湯的抗氧化效力，包括：(一) DPPH 自由基清除能力 (Shimada *et al.*, 1992)、(二) ABTS 陽離子自由基清除能力 (Shimada *et al.*, 1992)、(三) 還原力分析 (Oyaizu, 1986)、(四) 亞鐵離子螯合能力 (Arna *et al.*, 1996)。

四、統計方法

使用 One-way ANOVA 與 LSD 檢定分析不同發酵處理間的差異顯著性。

應用主成分分析 (PCA) 探討「兒茶素代謝轉化」與「抗氧化活性」之間的關聯，建立不同發酵茶類的特徵模型。

結果與討論

一、茶葉加工對兒茶素代謝之影響

隨茶葉發酵程度增加，總兒茶素含量減少，其氧化聚合產物顯著增加，包括烏龍茶質 (TSB、TSC)、茶黃質 (TF、TF3G) 及沒食子酸 (GA)(圖 1)。其中 TSC 與 TSB 隨發酵增加而上升，TSA 則僅出現在部分發酵茶中；茶黃質 TF 於紅茶中增加，但整體上 TS 或 TF 生成量與兒茶素消耗量不成比例，顯示除已知聚合產物外，尚存在其他未完全解析之代謝途徑，尚待進一步分析研究。此外，個別兒茶素 EGCG、EGC、EC 減少，伴隨相對應兒茶素二聚體 TSC、TSB、TF、TF3G 增加 (圖 2、3)。在部分發酵茶 EGCG 與 EGC 代謝，可能做為 TSC、TSB 與 TSA 之合成；EC 之代謝可能與 EGC 合成 TF。但在全發酵茶 EGCG 與 EGC 代謝，可能做為 TSC、TSB 之合成；EC 之代謝可能與 EGC 合成 TF，與 EGCG 合成 TF3G。此外，於兒茶素二聚體形成同時，伴隨 GA 含量增加，顯示不同單體兒茶素在代謝路徑中具有功能分工。

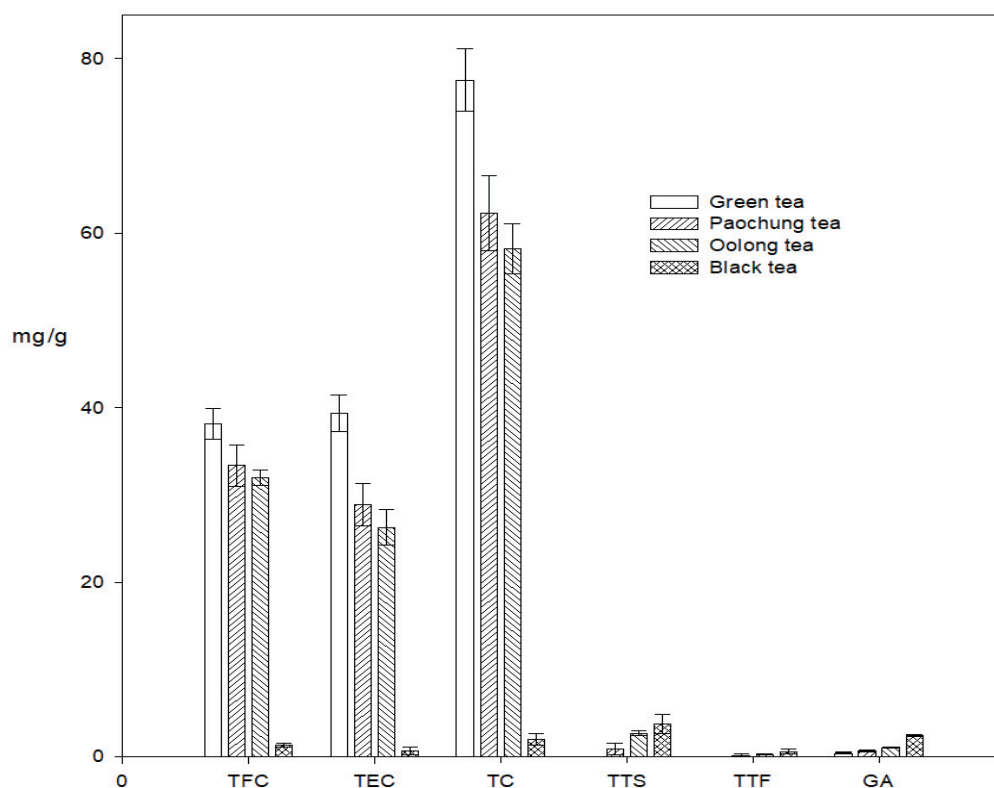


圖 1、不同發酵程度茶葉總兒茶素及其代謝產物含量比較。

總游離型兒茶素 (TFC)、總酯型兒茶素 (TEC)、總兒茶素 (TC)、總烏龍茶質 (TTS)、總茶黃質 (TTF)、沒食子酸 (GA)。

Figure 1. The Total catechins and their metabolites concentration in different type of fermented tea. Each value is expressed as mean $\pm$ standard deviation ($n = 3$). Total free-type catechins (TFC), Total ester-type catechins (TEC), Total catechins (TC), Total theasinensins (TTS), Total theaflavins (TTF), Gallic acid (GA).

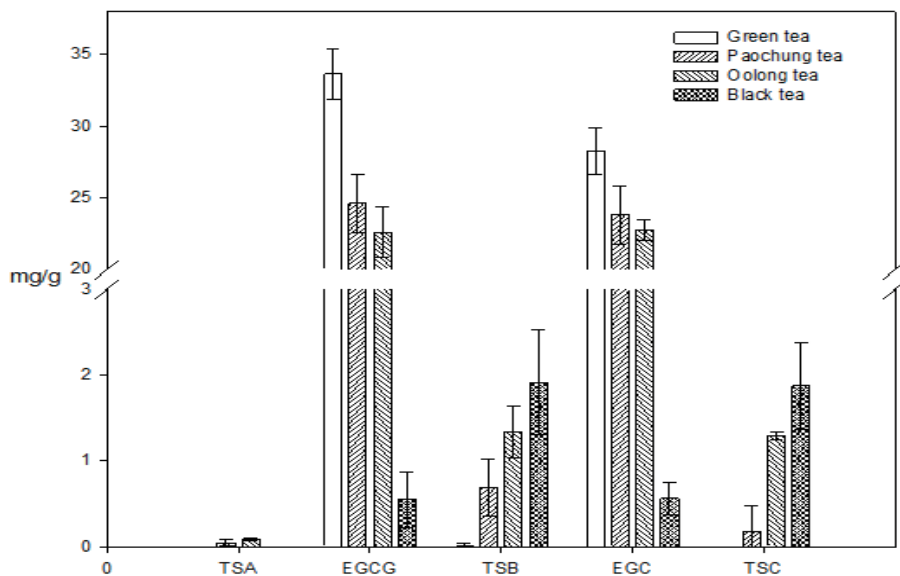


圖 2、不同發酵程度茶葉烏龍茶質及相關兒茶素含量比較。

Figure 2. Theasinensins and related catechins concentration in different type of fermented tea. Each value is expressed as mean $\pm$ standard deviation ($n = 3$).

備註：TSA=EGCG+EGCG、TSB=EGCG+EGC、TSC=EGC+EGC。

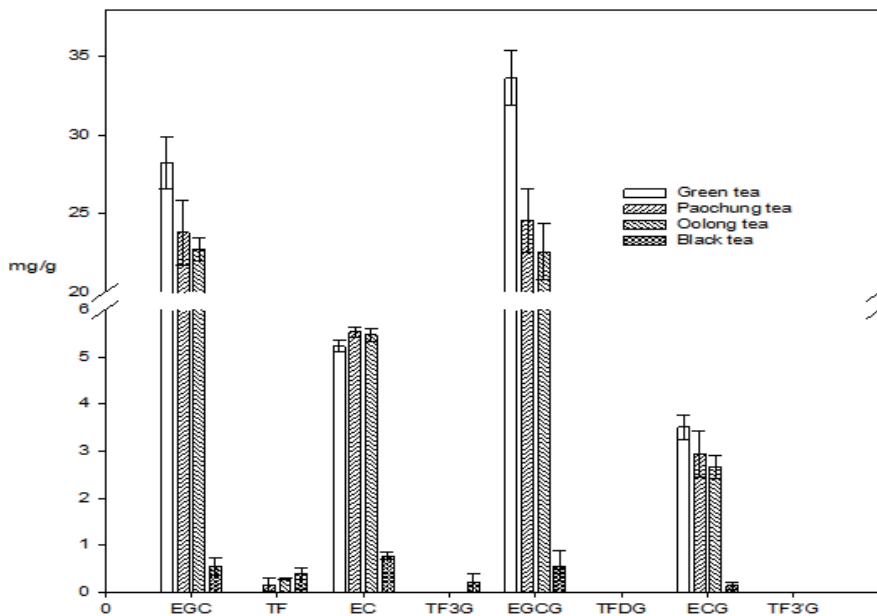


圖 3、不同發酵程度茶葉茶黃質及相關兒茶素含量變化。

Figure 3. Theaflavins and related catechins concentration in different type of fermented tea. Each value is expressed as mean $\pm$ standard deviation ($n = 3$).

備註：TF=EGC+EC、TF3G=EC+EGCG、TFDG=EGCG+EGCG、TF3'G=EGC+EGC。

二、不同發酵程度茶葉活性評估

在抗氧化能力方面，不同發酵茶呈現不同作用機制。自由基清除能力 (DPPH、ABTS⁺) 與還原力以綠茶最佳，其次為烏龍茶與包種茶，而紅茶表現最弱 (圖 4ABC)，顯示單體兒茶素對自由基清除具有關鍵作用。相反地，紅茶在亞鐵離子螯合能力表現最佳 (圖 4D)，推測與其富含茶黃質、烏龍茶質及沒食子酸有關。整體而言，低發酵茶主要透過直接清除自由基達到抗氧化效果，而高發酵茶則偏向透過金屬離子螯合降低氧化壓力。

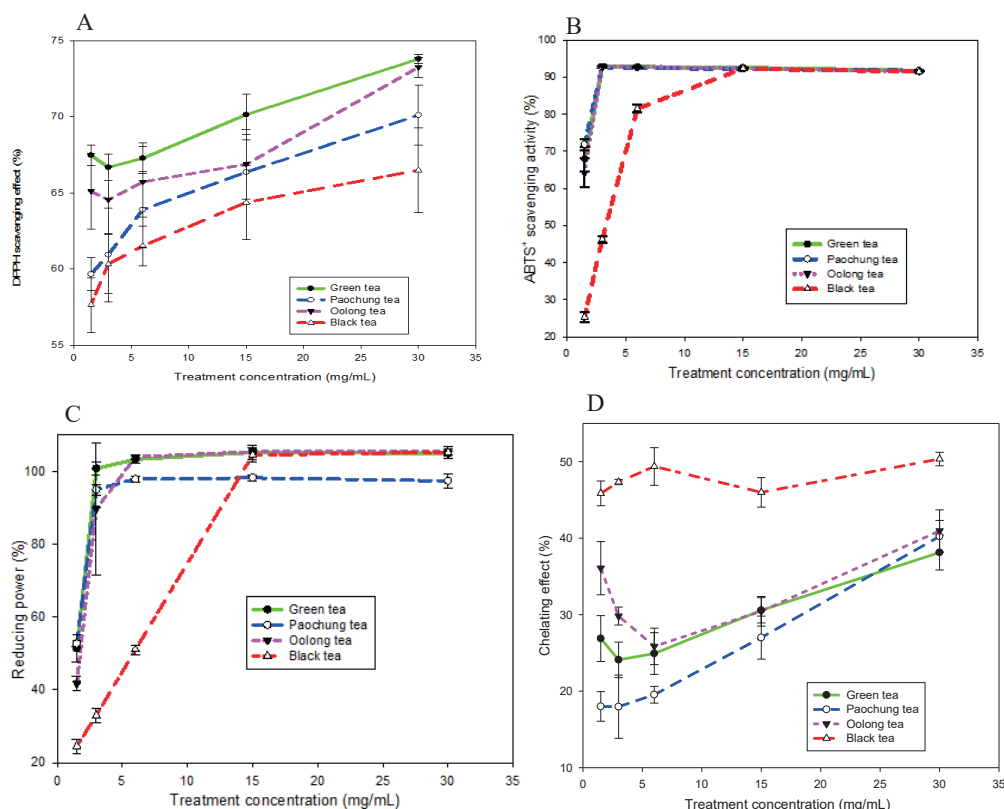


圖 4、不同發酵程度的 (A) 茶葉清除 DPPH 自由基能力、(B) 清除陽離子 ABTS⁺ 能力、(C) 茶葉還原能力、(D) 螯合亞鐵離子能力比較。

Figure 4. Comparison of A) DPPH radical scavenging activity, B) ABTS⁺ scavenging activity, C) Reducing power, D) Ferrous ion chelating ability in different type of fermented tea with different concentration treatment. Each value is expressed as mean $\pm$ standard deviation (n = 3).

主成分分析進一步證實 (圖 5)，總兒茶素含量與 DPPH 清除能力、ABTS⁺清除能力及還原力呈正相關，而茶黃質與烏龍茶質則與金屬螯合能力呈正相關。綠茶及部分發酵茶與 EGCG、EGC 等成分高度相關，為主要抗氧化貢獻來源；紅茶則與 TF、TSB、TSC 及 GA 相關，反映其不同抗氧化機制。

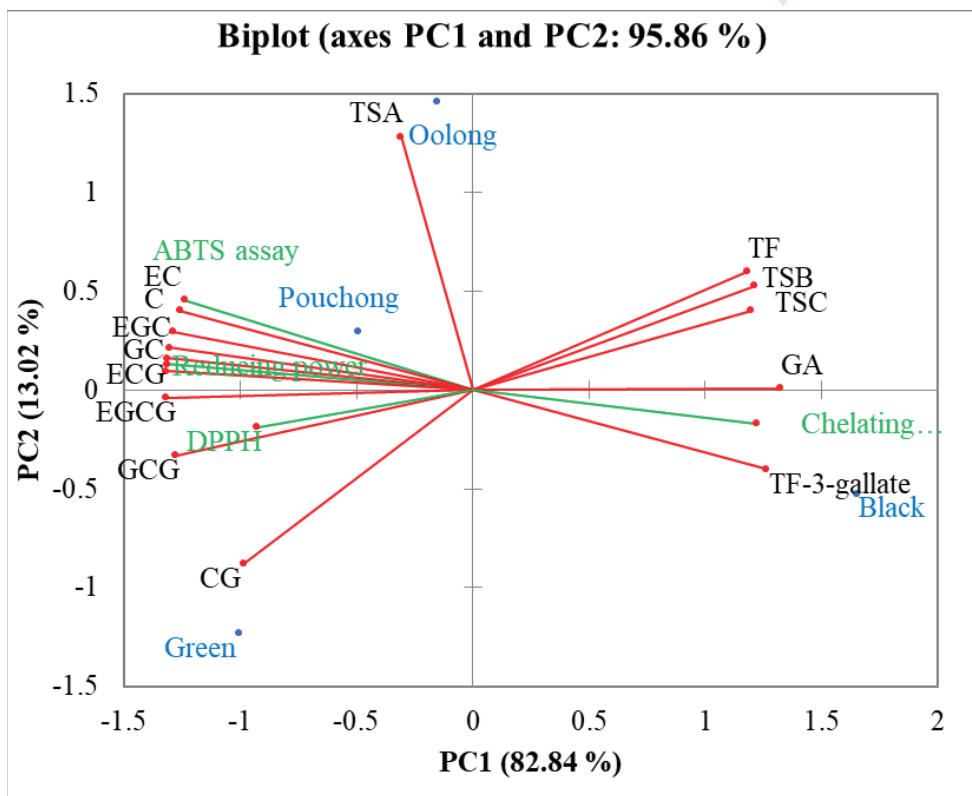


圖 5、不同發酵程度茶葉兒茶素種類與抗氧化活性主成分分析 (PCA) 相關圖。

Figure 5. Principal components analysis of catechins in different type of fermented tea and their antioxidant activities.

結論

本研究證實，茶葉發酵程度為影響其生物活性之關鍵因子。隨發酵程度增加，單體兒茶素含量顯著下降，而烏龍茶質 (theasinensins)、茶黃質 (theaflavins) 及沒食子酸含量相對增加，顯示茶葉於加工過程中由單體多酚逐步轉化為聚合型代謝產物，並導致其抗氧化機制由以自由基清除為主，轉變為兼具金屬離子螯合等多重作用途徑。此結果顯示不同發酵茶類具有明顯之功能分化特性，未來可依其代謝組成進行精準機能性產品設計，如抗氧化飲品、代謝調節食品及保健素材等，以提升茶產業附加價值。

近年來，農業部茶及飲料作物改良場依據加工條件對茶葉活性成分之調控，已成功開發多元機能性茶產品。例如，透過厭氧處理提升 γ -胺基丁酸 (GABA) 含量之 GABA 茶，有助於舒緩壓力；提高茶胺酸含量之高茶胺酸茶，可促進放鬆與專注；以及經微生物作用之醱酵茶，具促進腸道健康與代謝調節之潛力。此外，2025

年進一步運用創新製程精準調控茶葉發酵程度，開發出兼具甘甜風味與果香特性的臺灣橙茶 (Brown tea)。該產品透過長時間萎凋促進蛋白質與醣類分解，生成胺基酸與小分子醣類以提升甘甜味，並藉由部分炒菁與發酵條件控制，使其同時保有兒茶素及其氧化聚合產物 (如烏龍茶質與茶黃質)，兼具風味與機能性。經生物活性測試，其萃取物具有「抑制脂質生成」與「促進脂肪代謝」之雙重調節作用，可下調脂質生成及脂肪酸攝取相關轉錄因子，並提升脂肪酸 β -氧化能力，展現作為天然脂質代謝調節素材之應用潛力，未來可望應用於預防肌肉及肝臟脂質失衡之機能性食品開發。

整體而言，茶已由傳統飲品逐步轉型為兼具營養與保健價值之機能性食品，其加工技術與代謝調控策略之發展，將為高附加價值產品創新提供重要基礎與發展方向。

誌謝

本研究承蒙台灣大學園藝暨景觀學系陳右人教授指導，台灣大學食品科技研究所潘敏雄特聘教授、中興大學生物科技研究所童鈺棠教授、嘉義大學食品科學系暨研究所羅至佑教授、銘傳大學生物科技學系梁致遠教授協助，謹致謝意。

參考文獻

- Arnao, M. B., Cano, A., Hernández-Ruiz, J., García-Cánovas, F., and Acosta, M. 1996. Inhibition by Ascorbic Acid and Other Antioxidants of the 2,2'-Azino-bis (3-ethylbenzthiazoline-6-sulfonic Acid) Oxidation Catalyzed by Peroxidase: A New Approach for Determining Total Antioxidant Status of Foods. *Anal. Biochem.* 236 (2): 255-261.
- Chen, C.-N., Liang, C.-M., Lai, J.-R., Tsai, Y.-J., Tsay, J.-S., and Lin, J.-K. 2003. Capillary Electrophoretic Determination of Theanine, Caffeine, and Catechins in Fresh Tea Leaves and Oolong Tea and Their Effects on Rat Neurosphere Adhesion and Migration. *J. Agric. Food Chem.* 51 (25): 7495-7503.
- Chitpan, M., W. L. Hung, M. H. Pan, S. Li, D. Li, X. Wan, and C. T. Ho. 2015. Chemistry and health beneficial effects of oolong tea and theasinensins. *Food Sci. Hum. Wellness* 4: 133-146.
- Higdon, J.V., and Frei, B. 2003. Tea catechins and polyphenols: health effects, metabolism, and antioxidant functions. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.* 43(1): 89-143.
- Hung, W.-L., Yang, G., Wang, Y.-C., Chiou, Y.-S., Tung, Y.-C., Yang, M.-J., Wang, B.-N., Ho, C.-T., Wang, Y., and Pan, M.-H. 2017. Protective effects of theasinensin A against carbon tetrachloride-induced liver injury in mice. *Food Funct.* 8 (9): 3276-3287.
- Lee, V.S.-Y., Chen, C.-R., Liao, Y.-W., Tzen, J.T.-C., and Chang, C.-I. 2008. Structural Determination and DPPH Radical-Scavenging Activity of Two Acylated Flavonoid Tetraglycosides in Oolong Tea (*Camellia sinensis*). *Chem. Pharm. Bull.* 56 (6): 851-853.



- Lee, R.-J., Lee, V. S. Y., Tzen, J. T. C., and Lee, M.-R. 2010. Study of the release of gallic acid from (–)-epigallocatechin gallate in old oolong tea by mass spectrometry. *Rapid Commun. Mass Spectrom.* 24 (7): 851-858.
- Oyaizu, M. 1986. Studies on Products of Browning Reaction Antioxidative Activities of Products of Browning Reaction Prepared from Glucosamine. *Jpn. J. Nutr. Diet.* 44 (6): 307-315.
- Pan, M.-H., Lai, C.-S., Wang, H., Lo, C.-Y., Ho, C.-T., and Li, S. 2013. Black tea in chemo-prevention of cancer and other human diseases. *Food Sci. Hum. Wellness.* 2 (1): 12-21.
- Serafini, M., Ghiselli, A., and Ferro-Luzzi, A. 1996. In vivo antioxidant effect of green and black tea in man. *Eur. J. Clin. Nutr.* 50 (1): 28-32.
- Shii, T., Miyamoto, M., Matsuo, Y., Tanaka, T., and Kouno, I. 2011. Biomimetic One-Pot Preparation of a Black Tea Polyphenol Theasinensin A from Epigallocatechin Gallate by Treatment with Copper (II) Chloride and Ascorbic Acid. *Chem. Pharm. Bull.* 59 (9): 1183-1185.
- Shimada, K., Fujikawa, K., Yahara, K., and Nakamura, T. 1992. Antioxidative properties of xanthan on the autoxidation of soybean oil in cyclodextrin emulsion. *J. Agric. Food Chem.* 40 (6): 945-948.
- Sung, H., Nah, J., Chun, S., Park, H., Yang, S.E., and Min, W.K. 2000. In vivo antioxidant effect of green tea. *Eur. J. Clin. Nutr.* 54 (7): 527-9.
- Valcic, S., Muders, A., Jacobsen, N.E., Liebler, D.C., and Timmermann, B.N. 1999. Antioxidant Chemistry of Green Tea Catechins. Identification of Products of the Reaction of (–)-Epigallocatechin Gallate with Peroxyl Radicals. *Chem. Res. Toxicol.* 12 (4): 382-386.



Studies on the Bioactivity of Tea and the Development of Functional Products

Meei-Ju Yang^{(1)*} Chih-Chun Kuo⁽¹⁾ Chih-Yi Hu⁽¹⁾ Tsung-Chen Su⁽¹⁾
Iou-Zen Chen⁽²⁾

Abstract

Tea can be classified according to the degree of fermentation into non-fermented (green tea), partially fermented (Pouchong tea and oolong tea), and fully fermented (black tea), with processing significantly affecting the composition and bioactivity of polyphenols. This study used TTES No. 12 to investigate the effects of fermentation degree on catechin transformation and antioxidant capacity.

Results showed that increasing fermentation led to a decrease in total catechin content, accompanied by an increase in oxidative polymerization products (e.g., theasinensins and theaflavins) and gallic acid. Green and partially fermented teas exhibited stronger free radical scavenging activity (DPPH and ABTS⁺ assays) and reducing power, whereas black tea showed higher metal ion chelating ability, indicating that catechin oxidation and polymerization are key determinants of functional properties.

Furthermore, Taiwanese brown tea, developed in 2025 through controlled fixation and fermentation, retained both catechins and their oxidation products. Its extract demonstrated dual effects in inhibiting lipid accumulation and promoting lipid metabolism, suggesting its potential as a novel functional tea with both sensory and health benefits. These findings highlight the diverse applications of teas with different fermentation degrees in functional product development.

Keywords: Tea fermentation, Catechin oxidation, Theasinensins, Theaflavins, Bioactivity.

(1) Tea and Beverage Research Station, MOA, R.O.C. (Taiwan).

(2) Department of Horticulture and Landscape Architecture, National Taiwan University, R.O.C. (Taiwan).

*Corresponding author (762204@gmail.com)