

草莓果實採後特性與處理方式

吳岱融¹⁾ 謝慶昌²⁾

關鍵字：草莓、採後、貯藏

摘要：草莓為非更年性作物，在完全成熟時風味最佳。除了機械傷害外，草莓貯藏期的品質損失，源自於它採後仍然處於高代謝活性，而且易受黴菌侵害。草莓果實貯藏維持品質、控制腐敗的主流方式為冷藏，輔以其他的做法如熱、二氧化碳氣變貯藏、可食性覆膜、植物精油、酵母菌、超音波等處理，或是新型的包裝材質等。未來增進草莓貯藏品質的可能研究方向包括：1. 改善產銷供應鏈 2. 研發物理性或非農藥的採後處理作法；3. 開發育成耐貯藏品種。

一、草莓果實的特性

草莓被歸類為非更年性作物，果實成熟期間它的乙烯產生不會有增加的現象 (Biale, 1981)。果實之含糖量於採收後不會再提升，因此需收穫完全成熟的草莓，風味最佳 (Kader, 1999)。草莓風味影響因子最主要的是可溶性糖，其次為有機酸。草莓可溶性糖的主要成分為果糖，其次為葡萄糖。有機酸的主要成分為檸檬酸 (含量超過 90%) (Cordenunsi *et al.*, 2003)。草莓富含維他命 C (抗壞血酸)、維他命 E、 β -胡蘿蔔素、花青素等物質，具有高抗氧化活性，對於人體健康的維持有所助益 (Van De Velde *et al.*, 2013)。

花青素為水溶性化合物，主要存於細胞液泡中，是草莓果實顏色的來源，也是含量較多的酚類化合物 (da Silva *et al.*, 2007)。草莓果實的紅色來自於矢車菊素-3-葡萄糖苷 (cyanidin-3-glucoside)，橘色部分來自天竺葵素-3-葡萄糖苷 (pelargonidin-3-glucoside) (Bakker *et al.*, 1994)。其他種類的花青素，還有天竺葵素-3-丙二酰葡萄糖苷 (pelargonidin-3-malonylglucoside)、天竺葵素-3-芸香苷 (pelargonidin-3-rutinoside) 等 (Aaby *et al.*, 2012)。

草莓成熟的過程當中，可滴定酸逐漸降低，pH 值逐漸增加，可溶性固形物逐漸增加 (Nunes *et al.*, 2006)。草莓果實的硬度從 0%轉紅到 50%轉紅逐步減少，但 75%轉紅到 100%

1) 國立中興大學園藝學系博士班研究生。

2) 國立中興大學園藝學系副教授，通訊作者。

轉紅的硬度則維持穩定 (Ménager *et al.*, 2004)。草莓果實的軟化主因，在於聚半乳糖醛酸苷酶 (polygalacturonase, PG)溶解或分解細胞壁的聚醣醛酸化合物 (polyuronides)。成熟果實的可溶性聚醣醛酸化合物含量，比未成熟的要高 (Nogata *et al.*, 1993)。

除了採收時所造成的機械傷害外，草莓貯藏期的品質損失，源自於它採後仍然處於高代謝活性，而且易受黴菌侵害 (Garcia *et al.*, 1998; Romanazzi *et al.*, 2001)。Botrytis cinerea 引起的灰黴病 (gray mold)是草莓貯運過程中，常見且為害嚴重的病害 (Zhang *et al.*, 2007)。雖然部分殺菌劑可以抑制灰黴病造成的損失，但也可能造成授粉不完全或果實畸形問題 (Kovach *et al.*, 2000)。另一方面，使用殺菌劑的殘留問題，日漸受到公眾關注與法規限制，因此發展病害防治的替代方法成為研究的亮點 (Smilanick, 1994)。

二、草莓果實貯藏時的變化

草莓採收後，仍處於高代謝活性的狀態。影響果品品質的項目如可溶性固形物、可滴定酸、顏色、硬度、酵素等在貯藏期的變化(表 1)如下：

表 1. 草莓果實貯藏之品質變化

Table 1. Quality changes of the strawberry fruit during storage.

| 項目 | 貯藏變化 | 原因 | 參考文獻 |
|----|-------|--------------|--|
| 顏色 | 持續轉色 | 花青素含量增加 | Holcroft and Kader, 1999 Kalt <i>et al.</i> , 1993 |
| 糖度 | 持平 | 果實蔗糖含量低，轉化有限 | Souleyre <i>et al.</i> , 2004 Cordenunsi <i>et al.</i> , 2003 |
| pH | 減少或持平 | 檸檬酸含量增加 | Cordenunsi <i>et al.</i> , 2003 Nunes <i>et al.</i> , 2006 |
| 硬度 | 減少 | 果膠質解聚 | Rosli <i>et al.</i> , 2004 Zhou <i>et al.</i> , 2011 |
| 病害 | 增加 | 灰黴病為主 | Zhang <i>et al.</i> , 2007a |

可溶性固形物

草莓果實採收後通常糖度不會增加，但有些品種的草莓採收後會有糖度增加的情況。採收後草莓果實糖度的增加通常不認為是來自蔗糖，因為草莓果實發育時並不會有多量的

蔗糖累積 (Souleyre *et al.*, 2004)。貯藏期間的糖度提升，可能是因為細胞壁分解的緣故 (Cordenunsi *et al.*, 2003; Nogata *et al.*, 1993)。

可滴定酸

草莓果實貯藏期間，通常可滴定酸含量會增加 (Nunes *et al.*, 2006)。貯藏期間檸檬酸與 pH 值，依不同草莓品種有不同的變化程度。臺灣草莓產業的主流品種「桃園 1 號」源自於「豐香」。「豐香」果實在貯藏期間，檸檬酸的含量增加，pH 值降低 (Cordenunsi *et al.*, 2003)。

顏色

草莓採收後，花青素合成的反應會持續作用，就算在低溫貯藏時，也不會抑制這個反應 (Holcroft and Kader, 1999)。因此草莓在貯藏期間，花青素含量會提高 (Kalt *et al.*, 1993)。花青素生合成的反應，受到貯藏低溫的影響而減緩 (Cordenunsi *et al.*, 2005)。因此草莓果實採後的轉色速度與貯藏時間、貯藏溫度有關，貯藏溫度低會延遲轉色時間 (Nunes *et al.*, 1995)。10°C 貯藏的草莓，轉色速度比貯藏在 20°C 的慢 (Miszczak *et al.*, 1995)。草莓在轉紅前就採收，果實仍可在貯藏期間持續轉色，但果實有的糖、酸含量則未必能符合消費者需求 (Kalt *et al.*, 1993)。

硬度

果實軟化影響到採後貯架壽命與病原菌侵害的情況 (Brummell and Harpster, 2001)。草莓果實的軟化與果膠質的溶解性與解聚作用 (depolymerization) 密切相關 (Rosli *et al.*, 2004)。果膠質是細胞壁的中膠層和初生胞壁的主要成分，它會被果膠甲基酯酶 (pectin methyl esterase, PME) 水解成去甲基化的果膠質。去甲基化的果膠質則容易被 PG 水解，因此造成果膠質的解聚作用的發生 (Zhou *et al.*, 2011)。

和抗氧化有關之酵素變化

在貯藏的過程中，園產品的傷口與真菌滋生也是一種逆境的形式，其會造成活化氧族 (reactive oxygen species, ROS) 的產生 (Bolwell and Wojtaszek, 1997)。ROS 可做為激發逆境反應或防禦反應的訊息傳導物，或二次代謝物 (Desikan *et al.*, 2001)。活化氧族的過度形成，會造成脂質過氧化作用而引發氧化損害 (Thoma *et al.*, 2003)。對於氧化傷害，植物會利用抗氧化系統來抵抗，牽涉其中的酵素，像是超氧化物歧化酶 (superoxide dismutase, SOD)、過氧化物酶 (peroxidase, POD)、過氧化氫酶 (catalase, CAT)、抗壞血酸過氧化物酶 (ascorbate peroxidase, APX) 等 (Maya and Matsubara, 2013)，而脂質過氧化作用的產物為丙二醛 (malondialdehyde, MDA)，其為多元不飽和脂肪酸的二次代謝物，通常用來代表脂質過氧化物的含量、細胞膜的完整性，作為果品成熟過程的指標 (Hodges *et al.*, 1999)。

三、草莓果實的採後處理方式

低溫貯藏是草莓採後主要的保存方式 (Han *et al.*, 2004)，在這個基礎上，有許多其他的處理方法用來延長草莓的貯藏期限，而這些方法，也有可能合併使用來提高處理效果 (表 2)。

表 2. 配合低溫貯藏的草莓果實採後處理方式

Table 2. Different methods applied in the postharvest handling of strawberry fruit in the refrigerated storage.

| 種類 | 方式 | 參考文獻 |
|-------|---|--|
| 熱 | 42-48°C、熱空氣 3 小時 45°C、熱水 15 分鐘 | Civello <i>et al.</i> , 1997 Vicente <i>et al.</i> , 2002 Garcia <i>et al.</i> , 1995 |
| 二氧化碳 | 10-15%CO ₂ 氣變包裝 | Wells and Uota, 1970 Li and Kader, 1989 |
| 可食性覆膜 | 1.5%殼聚醣 1.5%殼聚醣 蜂蠟與椰子油(4:1)、小燭樹臘與椰子油(4:1) | Hernández-Muñoz <i>et al.</i> , 2006 El Ghaouth <i>et al.</i> , 1991 Peñarubia <i>et al.</i> , 2014 |
| 植物精油 | 50-200ppm 百里香精油 0.9 g/L 茶樹精油 大豆麩質蛋白與 1%百里香精油 小麥麩質蛋白與 1%百里香精油 1% 殼聚醣與 3%檸檬精油 | Bhaskara Reddy <i>et al.</i> , 1998 Shao <i>et al.</i> , 2013 Amal <i>et al.</i> , 2010 Perdones <i>et al.</i> , 2012 |
| 酵母菌 | <i>Rhodotorula glutinis</i> <i>Candida reukaufii</i> , <i>C. pulcherima</i> <i>Hanseniaspora uvarum</i> | Zhang <i>et al.</i> , 2007 Guinebretiere <i>et al.</i> , 2000 Cai <i>et al.</i> , 2015 |
| 超音波 | 30W、60W | Aday <i>et al.</i> , 2013 |
| 奈米材料 | 奈米二氧化鈦添加於包裝資材中 | Yang <i>et al.</i> , 2010 |

熱處理

熱處理在採後處理可帶來滅蟲、防治腐敗、延遲成熟、改善果實的逆境反應等效果 (Lurie, 1998)。草莓使用 42-48°C 的熱風處理 3 小時，可以延緩果實成熟，並降低真菌侵害 (Civello *et al.*, 1997; Vicente *et al.*, 2002)。以 45°C 熱水處理草莓果實 15 分鐘，可降低採後損失、果品重量損失與可滴定酸；同時具有較高的果實硬度、可溶性糖含量與感官評鑑數值，不過在果品的光澤度上則損失較多 (Garcia *et al.*, 1995)。通常熱處理所造成的效果，不是在處理後馬上顯現，而是在之後的貯藏過程中顯現 (Vicente *et al.*, 2006)。

經過熱處理的草莓果實，能在貯藏期維持較高的硬度 (Civello *et al.*, 1997; Vicente *et al.*, 2002)。因為熱處理影響果膠質與半纖維素的溶解性，PG 及 β -半乳糖苷酶 (β -galactosidase, β -Gal) 的活性受熱處理抑制，PME 的活性則受到提升，且果實具有更高含量的螯合果膠質 (chelator-soluble) (Vicente *et al.*, 2005)。

隨著熱處理時間增加，會造成草莓果實的重量、表皮顏色 a、b 值與色彩飽和度顯著降低。pH 值、可溶性固形物、可溶性酚醛提升，而抗壞血酸與花青素含量會降低 (Musto and Satriano, 2010)。因為熱處理會引發暫時的呼吸率提升，而顯著消耗有機酸含量 (Lurie and Klein, 1990)。花青素含量的降低，可能源自於 PAL 活性的降低 (Civello *et al.*, 1997)。

熱處理可能誘發 ROS，伴隨著氧自由基清除物的產生，像是 SOD、POD、CAT 等 (Mittler *et al.*, 2004)。SOD 牽涉到超氧自由基的消除，他因此保護細胞免受自由基累積的傷害 (Van Breusegem *et al.*, 1999)。草莓果實在熱處理後的當下，SOD 活性與對照組沒有差異，但在貯藏的過程中，熱處理果實有較高的 SOD 活性，因此降低果實受到超氧自由基的傷害 (Vicente *et al.*, 2006)。POD 牽涉與木質化或癒傷組織相關的生理反應 (Wakamatsu and Takahama, 1993)。POD 活性在草莓果實貯藏的期間逐漸增加，表示植物組織可能受到損害，其中熱處理果實的 POD 活性，比對照組要來得低，顯示經過熱處理可降低果實貯藏過程所受到的損害 (Vicente *et al.*, 2006)。

二氧化碳

漿果類果品的貯藏期，通常透過低溫保存或氣體調節 (通常是高濃度的二氧化碳) 來延長 (Kalt *et al.*, 1999)。在草莓鮮果運送的過程中，採用二氧化碳氣體進行氣變包裝是常見的保存方法 (Olias *et al.*, 2000)。氣變 (modified-atmosphere) 或氣調 (controlled-atmosphere) 貯藏具有降低呼吸率、維持硬度、抑制腐敗等效果而延長草莓的貯架壽命 (Nunes *et al.*, 2002)。

多數草莓品種可藉由二氧化碳處理而增加果實硬度 (Smith and Skog, 1992)，而且不同於熱處理的暫時性效果，因為二氧化碳處理而造成的果實硬度增加，可以持續維持著 (Watkins *et al.*, 1999)。果實硬度的增加，源自於處理後果實水溶性果膠質的比率降低，而螯合果膠質 (chelator-soluble) 的比例提升 (Siriphanich, 1998)。由於高濃度的二氧化碳可以增進草莓果實硬度，所以配合適當的草莓品種，可以延長貯架壽命與促成遠距運輸 (Matsumoto *et al.*, 2010)。

有研究指出，以 10 至 15% 的二氧化碳氣體進行氣變包裝 (Modified atmosphere packaging, MAP) 能減緩灰黴病的發生 (Wells and Uota, 1970) 與降低果品呼吸速率 (Li and Kader, 1989)，進而延長果品保鮮期。藉由提高二氧化碳、降低氧氣比例的氣體調節貯藏，對於延長草莓的貯藏期有正面的效果，但會造成果實抗壞血酸含量降低，花青素合成酵素的作用也會受到影響 (Wills *et al.*, 2000)。研究顯示，低溫加上氣變貯藏之下，二氧化碳的濃度與花青素的含量成反比關係 (Gil *et al.*, 1997)。

長時間暴露於二氧化碳中會造成果實脫色與發酵作用 (Ke *et al.*, 1991; Watkins *et al.*, 1999)。過高的二氧化碳濃度，可能會造成草莓果實外部顏色轉為紫紅色，或組織呈水浸狀損傷，內部的顏色強度則會轉淡 (Ke *et al.*, 1991)。Gil 等學者 (Gil *et al.*, 1997) 指出，高濃度的二氧化碳濃度 (40%) 會影響果實外部顏色。果實內部的顏色，只要在二氧化碳濃度達到 10% 以上，就會被淡化掉。

可食性覆膜

可食性覆膜藉由改變園產品組織的氣體組成達到延遲果品老化、控制果品腐敗及延長果品貯藏壽命的效果。也有在可食性覆膜中，添加抗微生物物質，以增進果品品質及貯藏期限的作法 (Cagri *et al.*, 2004)。覆膜的半通透性，可作為氧氣、二氧化碳及溼氣的阻隔，因此降低果品呼吸率、水分散失、及氧化反應 (Maqbool *et al.*, 2011)。以多醣體為基底的可食性覆膜，像是纖維素的衍生物：甲基纖維素、羧甲基纖維素、羥丙基甲基纖維素等，已商業化生產並得到相當的進展 (Olivas and Barbosa-Cánovas, 2005)。殼聚糖是一種覆膜經常使用的多醣體原料，能夠抑制病原真菌、細菌的滋長，或形成物理性的阻隔，阻擋病原菌的侵害 (Butler *et al.*, 1996)。殼聚糖可能會引發幾丁質酵素的作用，催化幾丁質的水解反應，由於幾丁質是真菌細胞壁的構成要素，因此防止了真菌在果品上的滋長 (El Ghaouth *et al.*, 1992)。

草莓果實以纖維素衍生物作為可食性覆膜處理後，顯著延遲了失水、腐敗程度、可滴定酸、pH 值、可溶性固形物、抗壞血酸的變化。對於總酚、總花青素這些老化過程中逐漸降低的物質，具有維持含量的效果。對於分解細胞壁的酵素，則有抑制的效果 (Gol *et al.*, 2013)。殼聚糖覆膜處理可以顯著維持草莓果實硬度與表面顏色，而減緩果實成熟過程 (Hernández-Muñoz *et al.*, 2006)；在降低果實腐敗情況方面，降低效果與殺菌劑 (依普同，iprodione) 相比沒有顯著差異 (El Ghaouth *et al.*, 1991)。蜂蠟或小燭樹臘，混合椰子油的覆膜配方，可以延長草莓果實的貯藏期限至 10 天以上，貯藏期間也有較低的失水率 (Peñarubia *et al.*, 2014)。

草莓在貯藏過程中，會因為呼吸作用而使可溶性固形物含量降低，而覆膜藉由降低呼吸作用，而能維持果品的可溶性固形物含量 (Velickova *et al.*, 2013)。由於覆膜對氣體的阻隔作用，使果品內的二氧化碳濃度提升，而延緩了花青素的合成作用，因此具有覆膜的草莓果實，其花青素的含量比較低 (Tzoumaki *et al.*, 2009)。覆膜處理能使果品中與細胞壁分解相關的酵素，像是 PG、PME、 β -Gal、纖維素酶 (cellulose) 等，維持在較低的活性中 (Gol

et al., 2013)。

植物精油

植物精油的組成成份，包括植物生成的萜 (terpenes)、倍半萜 (sesquiterpenes)、醛、酮、酚類成分。植物精油的主成分，有些具有抗微生物性質，同時對哺乳類動物低毒性，及對環境影響較少 (Kalemba and Kunicka, 2003)。這些特性，使植物精油可作為化學殺菌劑的替代選擇之一 (Sivakumar and Bautista-Baños, 2014)。

研究顯示，百里香精油對草莓貯藏灰黴病、黑黴病病原菌 (*Botrytis cinerea*、*Rhizopus stolonifer*) 具有抑制效果，能夠降低草莓果實的腐敗情形 (Bhaskara Reddy et al., 1998)。茶樹精油顯著抑制草莓果品的灰黴病發生，使果實維持較好的品質，同時也增加了草莓果實對灰黴病的抗性 (Shao et al., 2013)。植物精油除了單方使用之外，也可能與可食性覆膜搭配使用。例如大豆或小麥麩質蛋白覆膜，混合百里香精油配方，可以維持草莓果實貯藏期間的抗壞血酸含量、果實硬度、可溶性固形物含量與降低病原數量 (Amal et al., 2010)。在殼聚糖覆膜中，加入檸檬精油配方，可以增進覆膜的抗菌能力，對冷藏草莓上的灰黴病原產生抑制效果 (Perdones et al., 2012)。

使用植物精油進行果品的採收後處理，應注意不可影響果品本身氣味的揮發物 (酯類、醛類、酮類等)，在高濃度的植物精油處理中，亦不可影響果品本身的風味 (Ponce et al., 2008)。

酵母菌

拮抗微生物因為拮抗範圍廣、拮抗效果良好、基因穩定性、低營養需求與高安全性，成為潛力發展主題 (Mekbib et al., 2011)。酵母菌主要存在於果品表面，其他像是植株其他部分、土壤、海水也都可能分離出酵母菌 (Liu et al., 2013)。酵母菌的拮抗機制，主因來自於它與病原黴菌對營養與生存空間的競爭性 (Liu et al., 2013)。這通常發生於它與果品表面接觸後的 24 小時內，其他像是誘發果實抗性、引發果品的抗氧化族群反應等 (Cai et al., 2015)。

Rhodotorula glutinis 酵母菌在濃度 1×10^9 CFU/ml 時有最佳的防治效果，可在 20°C 及 4°C 時，分別降低灰黴病的發生率 94.7 及 95% (Zhang et al., 2007)。草莓採後使用酵母菌 *Hanseniopsis uvarum* 處理，可顯著降低貯藏期的黴菌侵害、維持果實硬度、可溶性固形物含量、pH 值與果實表面顏色 (Cai et al., 2015)。酵母菌 *Candida reukaufii*, *C. pulcherrima* 能夠在草莓果實傷口上形成群聚，有效的抑制灰黴病孢子發芽 (Guinebretiere et al., 2000)。

超音波

超音波處理降低腐敗程度的原因，可能源自於對病原細胞壁及細胞膜的破壞 (Guerrero et al., 2005)。影響超音波處理食品效果的因子很多，包括超音波製造機的頻率與強度、介質溫度、處理壓力、介質特性等 (Manas et al., 2000)。過強的超音波 (90W) 會造成果品細胞結構的損壞 (Fernandes et al., 2009)。研究顯示，以 30W 與 60W 的超音波處理，可以改善草莓果實貯藏時 pH 值、可溶性固形物、顏色等品質及延長貯藏期限 (Aday

et al., 2013)。此外，超音波處理也可以搭配氣變包裝法應用 (Zhao *et al.*, 2007)。

包裝材質

近年來奈米物質在工業上被廣泛利用，其中二氧化鈦 (TiO₂) 因為有受 UV 輻射催化的特性，又兼具物理、化學上的穩定性、較低成本、易取得、無毒性等優點而備受重視 (Han and Nie, 2004)。奈米銀與二氧化鈦的包裝盒可維持草莓果品在 4°C 冷藏時的理化特性與生理品質，降低腐敗程度，顯著抑制果實總固形物、可滴定酸、與抗壞血酸的減少程度，POD 與多酚氧化酶 (polyphenol oxidase, PPO) 的活性也顯著較低。因此，奈米包裝也可做為延長草莓貯藏期限的發展選擇 (Yang *et al.*, 2010)。

四、未來研究方向

草莓風味深受消費者喜愛、果品營養豐富，具有市場價值。其難以保存的特性，常被做為研究的主題。綜觀文獻論述，未來草莓採後處理的可能研究方向包括：1. 修正產銷供應鏈：調整最適採收期、貯藏條件控制、研發新型貯運包裝等。2. 研發採後處理配方：以物理方法、自然添加物、可食性配方等替代化學殺菌劑而維持果品品質、防治採後病害發生。3. 使用耐貯藏品種：草莓果實貯藏期品質表現依草莓品種而有所不同，使用耐貯運的草莓品種，將有助於提升整體貯運價值鏈的效益。

參考文獻

- Aaby, K., S. Mazur, A. Nes, and G. Skrede. 2012. Phenolic compounds in strawberry (*Fragaria × ananassa* Duch.) fruits: Composition in 27 cultivars and changes during ripening. *Food Chem.* 132: 86-97.
- Aday, M. S., R. Temizkan, M. B. Büyükcan, and C. Caner. 2013. An innovative technique for extending shelf life of strawberry: Ultrasound. *LWT Food Sci. Technol.* 52: 93-101.
- Amal, S., M. El-Mogy, H. Aboul-Anean and B. Alsanius. 2010. Improving strawberry fruit storability by edible coating as a carrier of thymol or calcium chloride. *J. Hort. Sci. Ornament. Plants* 2: 88-97.
- Bakker, J., P. Bridle, and S. J. Bellworthy. 1994. Strawberry juice colour: a study of the quantitative and qualitative pigment composition of juices from 39 genotypes. *J. Sci. Food Agric.* 64: 31-37.
- Bhaskara R., M., P. Angers, and A. Gossenlin. 1998. Characterization and use of essential oil from *thymus vulgaris* against *Botrytis cinerea* and *Rhizopus stolonifer* in strawberry fruits. *Phytochemistry* 47: 1.

- Biale, J. 1981. Respiration and ripening in fruits-retrospect and prospect. Recent Advances in the Biochemistry of Fruits and Vegetables: 1-39.
- Bolwell, G. P. and P. Wojtaszek. 1997. Mechanisms for the generation of reactive oxygen species in plant defence - a broad perspective. *Physiol. Mol. Plant Pathol.* 51: 347-366.
- Brummell, D. A. and M. H. Harpster. 2001. Cell wall metabolism in fruit softening and quality and its manipulation in transgenic plants. *Plant Mol. Biol.* 47: 311-339.
- Butler, B., P. Vergano, R. Testin, J. Bunn, and J. Wiles. 1996. Mechanical and barrier properties of edible chitosan films as affected by composition and storage. *J. Food Sci.* 61: 953-956.
- Cagri, A., Z. Ustunol, and E. T. Ryser. 2004. Antimicrobial edible films and coatings. *J. Food Prot.* 67: 833-848.
- Cai, Z., R. Yang, H. Xiao, X. Qin, and L. Si. 2015. Effect of preharvest application of *Hanseniaspora uvarum* on postharvest diseases in strawberries. *Postharvest Biol. Technol.* 100: 52-58.
- Civello, P. M., G. A. Martínez, A. R. Chaves, and M. C. Añón. 1997. Heat treatments delay ripening and postharvest decay of strawberry fruit. *J. Agric. Food Chem.* 45: 4589-4594.
- Cordenunsi, B., J. d. Nascimento, and F. Lajolo. 2003. Physico-chemical changes related to quality of five strawberry fruit cultivars during cool-storage. *Food Chem.* 83: 167-173.
- Cordenunsi, B. R., M. I. Genovese, J. R. O. do Nascimento, N. M. A. Hassimotto, R. J. dos Santos, and F.M. Lajolo. 2005. Effects of temperature on the chemical composition and antioxidant activity of three strawberry cultivars. *Food Chem.* 91: 113-121.
- da Silva, F. L., M. T. Escribano-Bailón, J. J. P. Alonso, J. C. Rivas-Gonzalo, and C. Santos-Buelga. 2007. Anthocyanin pigments in strawberry. *LWT Food Sci. Technol.* 40: 374-382.
- Desikan, R., A. H. Soheila, J. T. Hancock, and S.J. Neill. 2001. Regulation of the *Arabidopsis* transcriptome by oxidative stress. *Plant Physiol.* 127: 159-172.
- El Ghaouth, A., J. Arul, J. Grenier, and A. Asselin. 1992. Antifungal activity of chitosan on two postharvest pathogens of strawberry fruits. *Phytopathology* 82: 398-402.
- El Ghaouth, A., J. Arul, R. Ponnampalam, and M. Boulet. 1991. Chitosan coating effect on storability and quality of fresh strawberries. *J. Food Sci.* 56: 1618-1620, 1631.
- Fernandes, F. A., M. I. Gallão, and S. Rodrigues. 2009. Effect of osmosis and ultrasound on pineapple cell tissue structure during dehydration. *J. Food Eng.* 90: 186-190.
- Garcia, J. M., C. Aguilera, and M. A. Albi. 1995. Postharvest heat treatment on Spanish strawberry (*Fragaria × ananassa* cv. Tudla). *J. Agric. Food Chem.* 43: 1489-1492.
- Garcia, M. A., M. N. Martino, and N. E. Zaritzky. 1998. Plasticized starch-based coatings to improve strawberry (*Fragaria × ananassa*) quality and stability. *J. Agric. Food Chem.* 46: 3758-3767.

- Gil, M. I., D. M. Holcroft, and A. A. Kader. 1997. Changes in strawberry anthocyanins and other polyphenols in response to carbon dioxide treatments. *J. Agric. Food Chem.* 45: 1662-1667.
- Gol, N. B., P. R. Patel, and T. V. R. Rao. 2013. Improvement of quality and shelf-life of strawberries with edible coatings enriched with chitosan. *Postharvest Biol. Technol.* 85: 185-195.
- Guerrero, S., M. Tognon, and S. M. Alzamora. 2005. Response of *Saccharomyces cerevisiae* to the combined action of ultrasound and low weight chitosan. *Food Control* 16: 131-139.
- Guinebretiere, M., C. Nguyen-The, N. Morrison, M. Reich, and P. Nicot. 2000. Isolation and characterization of antagonists for the biocontrol of the postharvest wound pathogen *Botrytis cinerea* on strawberry fruits. *J. Food Prot.* 63: 386-394.
- Han, C., Y. Zhao, S. Leonard, and M. Traber. 2004. Edible coatings to improve storability and enhance nutritional value of fresh and frozen strawberries (*Fragaria × ananassa*) and raspberries (*Rubus ideaus*). *Postharvest Biol. Technol.* 33: 67-78.
- Han, Y. and L. Nie. 2004. The mechanism of protecting fresh and preparation of nano TiO₂ thin film. *J. Zhuzhou Inst. Technol.* 18: 148-150.
- Hernández-Muñoz, P., E. Almenar, M. J. Ocio, and R. Gavara. 2006. Effect of calcium dips and chitosan coatings on postharvest life of strawberries (*Fragaria × ananassa*). *Postharvest Biol. Technol.* 39: 247-253.
- Hodges, D. M., J. M. DeLong, C. F. Forney, and R. K. Prange. 1999. Improving the thiobarbituric acid-reactive-substances assay for estimating lipid peroxidation in plant tissues containing anthocyanin and other interfering compounds. *Planta* 207: 604-611.
- Holcroft, D. M. and A. A. Kader. 1999. Controlled atmosphere-induced changes in pH and organic acid metabolism may affect color of stored strawberry fruit. *Postharvest Biol. Technol.* 17: 19-32.
- Kader, A. 1999. Fruit maturity, ripening, and quality relationships. *Acta Hort.* 485: 203-208.
- Kalemba, D. and A. Kunicka. 2003. Antibacterial and antifungal properties of essential oils. *Curr. Med. Chem.* 10: 813-829.
- Kalt, W., C. F. Forney, A. Martin, and R.L. Prior. 1999. Antioxidant capacity, vitamin C, phenolics, and anthocyanins after fresh storage of small fruits. *J. Agric. Food Chem.* 47: 4638-4644.
- Kalt, W., R. Prange, and P. Lidster. 1993. Postharvest color development of strawberries: influence of maturity, temperature and light. *Can. J. Plant Sci.* 73: 541-548.
- Ke, D., L. Goldstein, M. O'mahony, and A. A. Kader. 1991. Effects of short-term exposure to low O₂ and high CO₂ atmospheres on quality attributes of strawberries. *J. Food Sci.* 56: 50-54.
- Kovach, J., R. Petzoldt, and G. E. Harman. 2000. Use of honey bees and bumble bees to disseminate *Trichoderma harzianum* 1295-22 to strawberries for *Botrytis* control. *Biol.*

- Control 18: 235-242.
- Li, C. and A. A. Kader. 1989. Residual effects of controlled atmospheres on postharvest physiology and quality. *J. Am. Soc. Hort. Sci.* 114: 629-634.
- Liu, J., Y. Sui, M. Wisniewski, S. Droby, and Y. Liu. 2013. Utilization of antagonistic yeasts to manage postharvest fungal diseases of fruit. *Int. J. Food Microbiol.* 167: 153-160.
- Lurie, S. 1998. Postharvest heat treatments. *Postharvest Biol. Technol.* 14: 257-269.
- Lurie, S. and J. D. Klein. 1990. Heat treatment of ripening apples: differential effects on physiology and biochemistry. *Physiol. Plant* 78: 181-186.
- Ménager, I., M. Jost, and C. Aubert. 2004. Changes in physicochemical characteristics and volatile constituents of strawberry (cv. Cigaline) during maturation. *J. Agric. Food Chem.* 52: 1248-1254.
- Manas, P., R. Pagan, J. Raso, F. J. Sala, and S. Condon. 2000. Inactivation of *Salmonella Enteritidis*, *Salmonella Typhimurium*, and *Salmonella Senftenberg* by ultrasonic waves under pressure. *J. Food Prot.* 63: 451-456.
- Maqbool, M., A. Ali, P. G. Alderson, N. Zahid, and Y. Siddiqui. 2011. Effect of a novel edible composite coating based on gum arabic and chitosan on biochemical and physiological responses of banana fruits during cold storage. *J. Agric. Food Chem.* 59: 5474-5482.
- Matsumoto, K., Y. S. Hwang, C. H. Lee, and D.J. Huber. 2010. Changes in firmness and pectic polysaccharide solubility in three cultivars of strawberry fruit following short-term exposure to high PCO₂. *J. food Qual.* 33: 312-328.
- Maya, M. A. and Y. I. Matsubara. 2013. Tolerance to Fusarium wilt and anthracnose diseases and changes of antioxidative activity in mycorrhizal cyclamen. *Crop Prot.* 47: 41-48.
- Mekbib, S. B., T. J. Regnier, and L. Korsten. 2011. Efficacy and mode of action of yeast antagonists for control of *Penicillium digitatum* in oranges. *Trop. Plant Pathol.* 36: 233-240.
- Miszczak, A., C. F. Forney, and R. K. Prange. 1995. Development of aroma volatiles and color during postharvest ripening of 'Kent' strawberries. *J. Am. Soc. Hort. Sci.* 120: 650-655.
- Mittler, R., S. Vanderauwera, M. Gollery, and F. Van Breusegem. 2004. Reactive oxygen gene network of plants. *Trends Plant Sci.* 9: 490-498.
- Musto, M. and M. Satriano. 2010. Fruit responses to postharvest heat treatment time: characterisation of heat-treated strawberry (*Fragaria × ananassa*) cv. 'Candongia' fruits. *Agron. Res.* 8: 815-826.
- Nogata, Y., H. Ohta, and A. Voragen. 1993. Polygalacturonase in strawberry fruit. *Phytochemistry* 34: 617-620.
- Nunes, M., J. Brecht, A. Morais, and S. Sargent. 1995. Physical and chemical quality characteristics of strawberries after storage are reduced by a short delay to cooling.

- Postharvest Biol. Technol. 6: 17-28.
- Nunes, M., A. Morais, J. Brecht, and S. Sargent. 2002. Fruit maturity and storage temperature influence response of strawberries to controlled atmospheres. *J. Am. Soc. Hort. Sci.* 127: 836-842.
- Nunes, M. C. N., J. K. Brecht, A. M. M. B. Morais, and S.A. Sargent. 2006. Physicochemical changes during strawberry development in the field compared with those that occur in harvested fruit during storage. *J. Sci. Food Agric.* 86: 180-190.
- Olias, J. M., C. Sanz, and A. G. Perez. 2000. Postharvest handling of strawberries for fresh market. *Grop Management and Postharvest Handling of Horticultural Products. Quality management* 1: 364.
- Olivas, G. and G. Barbosa-Cánovas. 2005. Edible coatings for fresh-cut fruits. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.* 45: 657-670.
- Peñarubia, O. R., M. F. D. J. Raposo, R. M. S. C. D. Morais, and A. M. M. B. D. Morais. 2014. Beeswax - and candelilla wax-coconut oil edible coatings extend the shelf life of strawberry fruit at refrigeration temperatures. *Int. J. Postharvest Technol. Innov.* 4: 221-234.
- Perdones, A., L. Sánchez-González, A. Chiralt, and M. Vargas. 2012. Effect of chitosan - lemon essential oil coatings on storage-keeping quality of strawberry. *Postharvest Biol. Technol.* 70: 32-41.
- Ponce, A. G., S. I. Roura, C. E. del Valle, and M.R. Moreira. 2008. Antimicrobial and antioxidant activities of edible coatings enriched with natural plant extracts: *in vitro* and *in vivo* studies. *Postharvest Biol. Technol.* 49: 294-300.
- Romanazzi, G., F. Nigro, A. Ippolito, and M. Salerno. 2001. Effect of short hypobaric treatments on postharvest rots of sweet cherries, strawberries and table grapes. *Postharvest Biol. Technol.* 22: 1-6.
- Rosli, H., P. Civello, and G. Martínez. 2004. Changes in cell wall composition of three *Fragaria* × *ananassa* cultivars with different softening rate during ripening. *Plant Physiol. Biochem.* 42: 823-831.
- Shao, X., H. Wang, F. Xu, and S. Cheng. 2013. Effects and possible mechanisms of tea tree oil vapor treatment on the main disease in postharvest strawberry fruit. *Postharvest Biol. Technol.* 77: 94-101.
- Siriphanich, J. 1998. High CO₂ atmosphere enhances fruit firmness during storage. *J. Jpn. Soc. Hortic. Sci.* 67: 1167-1170.
- Sivakumar, D. and S. Bautista-Baños. 2014. A review on the use of essential oils for postharvest decay control and maintenance of fruit quality during storage. *Crop Prot.* 64: 27-37.
- Smilanick, J. 1994. Strategies for the isolation and testing of biocontrol agents. *Biological control*

- of postharvest diseases, theory and practice: 25-42.
- Smith, R. and L. Skog. 1992. Postharvest carbon dioxide treatment enhances firmness of several cultivars of strawberry. *HortScience* 27: 420-421.
- Souleyre, E. J., P. P. M. Iannetta, H. A. Ross, R. D. Hancock, L.V. T. Shepherd, R. Viola, M. A. Taylor, and H. V. Davies. 2004. Starch metabolism in developing strawberry (*Fragaria × ananassa*) fruits. *Physiol. Plant* 121: 369-376.
- Thoma, I., C. Loeffler, A. K. Sinha, M. Gupta, M. Krischke, B. Steffan, T. Roitsch, and M. J. Mueller 2003. *Cyclopentenone isoprostanes* induced by reactive oxygen species trigger defense gene activation and phytoalexin accumulation in plants. *Plant J.* 34: 363-375.
- Tzoumaki, M. V., C. G. Biliaderis, and M. Vasilakakis. 2009. Impact of edible coatings and packaging on quality of white asparagus (*Asparagus officinalis*, L.) during cold storage. *Food Chem.* 117: 55-63.
- Van Breusegem, F., L. Slooten, J. M. Stassart, J. Botterman, T. Moens, M. Van Montagu, and D. Inzé 1999. Effects of overproduction of tobacco MnSOD in maize chloroplasts on foliar tolerance to cold and oxidative stress. *J. Exp. Bot.* 50: 71-78.
- Van De Velde, F., A. M. Tarola, D. Güemes, and M. E. Pirovani. 2013. Bioactive compounds and antioxidant capacity of Camarosa and Selva strawberries (*Fragaria × ananassa* Duch.). *Foods* 2: 120-131.
- Velickova, E., E. Winkelhausen, S. Kuzmanova, V. D. Alves, and M. Moldão-Martins. 2013. Impact of chitosan-beeswax edible coatings on the quality of fresh strawberries (*Fragaria ananassa* cv Camarosa) under commercial storage conditions. *LWT Food Sci. Technol.* 52: 80-92.
- Vicente, A. R., M. L. Costa, G. A. Martínez, A. R. Chaves, and P. M. Civello. 2005. Effect of heat treatments on cell wall degradation and softening in strawberry fruit. *Postharvest Biol. Technol.* 38: 213-222.
- Vicente, A. R., G. A. Martínez, P. M. Civello, and A. R. Chaves. 2002. Quality of heat-treated strawberry fruit during refrigerated storage. *Postharvest Biol. Technol.* 25: 59-71.
- Vicente, A. R., G. A. Martínez, A. R. Chaves, and P. M. Civello. 2006. Effect of heat treatment on strawberry fruit damage and oxidative metabolism during storage. *Postharvest Biol. Technol.* 40: 116-122.
- Wakamatsu, K. and U. Takahama. 1993. Changes in peroxidase activity and in peroxidase isozymes in carrot callus. *Physiol. Plant* 88: 167-171.
- Watkins, C. B., J. E. Manzano-Mendez, J. F. Nock, J. Zhang, and K. E. Maloney. 1999. Cultivar variation in response of strawberry fruit to high carbon dioxide treatments. *J. Sci. Food Agric.* 79: 886-890.

- Wells, J. M. and M. Uota. 1970. Germination and growth of five fungi in low-oxygen and high-carbon dioxide atmospheres. *Phytopathology* 60: 50-53.
- Wills, R., V. Ku, and Y. Leshem. 2000. Fumigation with nitric oxide to extend the postharvest life of strawberries. *Postharvest Biol. Technol.* 18: 75-79.
- Yang, F. M., H. M. Li, F. Li, Z. H. Xin, L. Y. Zhao, Y. H. Zheng, and Q. H. Hu. 2010. Effect of Nano-Packing on Preservation Quality of Fresh Strawberry (*Fragaria ananassa* Duch. cv Fengxiang) during Storage at 4°C. *J. Food Sci.* 75: 236-240.
- Zhang, H., L. Wang, Y. Dong, S. Jiang, J. Cao, and R. Meng. 2007. Postharvest biological control of gray mold decay of strawberry with *Rhodotorula glutinis*. *Biol. control* 40: 287-292.
- Zhao, Y., Z. Feng, and X. Li. 2007. Effect of ultrasonic and MA packaging method on quality and some physiological changes of fragrant pear. *J. Xinjiang Agric. Univ.* 30: 61-63.
- Zhou, R., Y. Li, L. Yan, and J. Xie. 2011. Effect of edible coatings on enzymes, cell-membrane integrity, and cell-wall constituents in relation to brittleness and firmness of Huanghua pears (*Pyrus pyrifolia* Nakai, cv. Huanghua) during storage. *Food Chem.* 124: 569-575.

Postharvest Characteristic and Handlings of Strawberry Fruit

Dai-Rong Wu ¹⁾ Ching-Chang Shiesh ²⁾

Key Word : Strawberry, Postharvest, Storage

Summary

Strawberry is a non-climacteric fruit, having the best flavor when full maturity. Beside mechanical injury, the strawberry loses fruit quality during storage because it is still in high metabolic activity and easily infected by the fungi. The main method to maintain the quality and control the decay is cooling, and combined with other handling methods such as heat, Modified Atmosphere Package (MAP) with carbon dioxide, edible coatings, essential oils, yeasts, ultrasound or the new packing materials. To promote the storage quality of strawberry fruit, the research topic in the future might focus on 1. Optimizing the supply chain, 2. Exploring the physical or non-chemical postharvest handling methods, 3. Developing the suitable varieties.

1) Student in Ph.D. Program, Department of Horticulture, National Chung Hsing University.

2) Associate Professor, Department of Horticulture, National Chung Hsing University.
Corresponding author.

