

# 鮮切馬鈴薯酵素性褐變成因與防制

王至正、劉宛妮

## 一、前言

由於消費習慣改變，講求快速方便之截切蔬果愈來愈受到消費者所青睞。然而，截切蔬果常受到酵素性褐變影響，使商品價值下降，甚至縮短櫥架壽命。褐變程度受到氧化活性及基質濃度所影響，主要影響褐變之酵素為多酚氧化酶(polyphenol oxidase, PPO)及過氧化酶(peroxidase, POD)等。當蔬果截切之後，會刺激褐變酵素活性上升，促使組織中內生 PPO 及酚類與氧產生反應，導致截切表面發生褐變，進而降低櫥架壽命。

亞硫酸鹽為一種多功能之褐變抑制劑，能防止酵素性及非酵素性褐變發生，同時具有抑制微生物孳生、漂白及抗氧化等作用。但亞硫酸鹽在使用上也有許多缺點，包含會腐蝕加工機具、破壞食品營養成分、造成蔬果組織軟化及產生不良風味等。其中消費者最關注的焦點還是亞硫酸鹽對食品安全的影響，由於亞硫酸鹽會影響人體健康，許多國家已訂定殘留標準來限制或禁止使用亞硫酸鹽，因此，替代性的褐變防治方法逐漸被開發及應用。

## 二、鮮切馬鈴薯褐變原因

馬鈴薯富含豐富營養價值，為全球重要農產品之一。但在馬鈴薯塊莖中，含有影響風味及顏色之多酚(polyphenol)成分，一旦細胞受到傷害暴露在空氣中，細胞中酚類物質便會與 PPO 互相接觸，氧化而產生一連串之化學反應，形成醌類物質(Quinones)，再進一步反應成為棕黑色之黑色素(Melanins)。雖然馬鈴薯變色後仍可食用，但顏色不會因烹煮而消失。

在馬鈴薯輕度加工過程中，酵素性褐變速度非常快，部分馬鈴薯品種在半小時內就切面就開始轉色，影響酵素性褐變的因子包含 PPO 活性、酚類物質含量、酸鹼值(pH)、溫度及組織中含氧量等，這其中溫度是最簡易的控制環節，在低溫情況下，酵素活性降低，氧化代謝速率緩慢，可有效延緩褐變情況發生(圖 1)。

值得注意的是酵素性褐變程度會受到酸鹼值所影響，當 pH 值在 4-7 範圍內 PPO 能正常反應，當在 pH 值小於 4.0 之酸性情況，酵素性褐變就不會發生，因此可以藉由調整 pH 值來抑制酵素性褐變情況發生。當溫度超過 50°C 以上，PPO 就不穩定，當溫度高於 80°C，PPO 就會受到破壞而失去活性。PPO 活性也會依馬鈴薯品種而異，不同品種馬鈴薯中 PPO 活性有高達 3~4 倍之差異。

除了酵素性褐變會造成馬鈴薯褐變外，栽培過程及貯藏管理不慎也會造成馬鈴薯內部褐變情形發生。常見的情況是發生在馬鈴薯薯塊中心，褐色區塊由髓部向外延伸，其原因是由於栽培期鈣肥不足，或是薯塊較大，當移至冷藏庫時無法快速降溫，在呼吸作用旺盛且又通風不良情況下，細胞受到傷害而產生壞疽現象(圖 2)。

另一種情況是貯藏溫度過低或貯長期太長，馬鈴薯內部澱粉轉變為還原糖，經過高溫油炸，糖類與氨基酸結合形成棕黑色大分子，而有褐變情形出現(圖 3)，

此類褐變可採用天然方式防治，舉例來說，容易褐變之馬鈴薯在去皮前先置於 15°C 環境下 2 週，可降低薯塊中還原糖含量，減少褐變發生。

### 三、防止褐變方法

理論上，蔬果中 PPO 產生之褐變反應可以採加熱方式抑制酵素活性、移除反應基質(氧氣、酚類物質)、降低酸鹼值或是添加 PPO 抑制劑，以阻斷黑色素合成。而實際應用方式介紹如下：

#### 化學方式

食品級檸檬酸(citric acid)及抗壞血酸(ascorbic acid)為首先被應用於防止食品轉色之物質，檸檬酸本身之酸性能抑制 PPO 活性，將之稀釋可使溶液中 pH 值降到 2.3，就能有效抑制馬鈴薯褐變。此外，在取代亞硫酸鹽的研究中，以抗壞血酸最為大宗，因抗壞血酸具有強效抑制酵素性褐變作用，可將 Quinones 還原為酚類化合物，以防止被氧化成為黑色素。然而，抗壞血酸本身也容易被氧化成 DHAA(dehydroascorbic acid)，導致 Quinones 逐漸累積而褐變，並且高濃度之抗壞血酸(0.75%)會影響蔬果本身風味，所以常搭配檸檬酸(citric acid)一併運用。

丁等人(2011)研究以 0.005% 麴酸(C<sub>6</sub>H<sub>6</sub>O<sub>4</sub>) + 0.045% 異抗壞血酸鈉(C<sub>6</sub>H<sub>7</sub>NaO<sub>6</sub>) + 0.045% 半胱氨酸(L-Cys) + 0.01% 氯化鈣(CaCl<sub>2</sub>) + 0.2992% EDTA-2Na 製成褐變抑制劑。該褐變抑制劑能夠顯著抑制結切馬鈴薯貯藏期間 PPO 活性，延緩截切馬鈴薯貯藏期間 PPO 活性高峰時間 6 天以上。

#### 酵素方式

蛋白質水解酵素(protease enzyme)為一種有效的褐變抑制劑，能參與褐變反應，水解反應基質以阻斷酵素性褐變發生，目前至少有三種天然酵素被證明有效，包含無花果中萃取之 ficin，木瓜中的 papain 以及鳳梨中的 bromelain。根據 Taoukis 等人(1989)研究，在 4°C 貯藏環境下，經過 ficin 處理馬鈴薯之褐變防治效果跟以亞硫酸鹽處理一樣好，在同一實驗中，papain 也有部分抑制褐變效果。

#### 物理方式

環境中氧氣濃度可以藉由包裝達到控制效果，使用真空袋包裝截切馬鈴薯能阻隔氧氣交換，延緩酵素性褐變達 15 天以上，然而，一旦包裝袋打開，馬鈴薯接觸到空氣，就會開始氧化變色，如無法立即烹煮，應浸於冷水中以延緩變色速率。但長期低氧包裝貯藏也可能會促進無氧代謝作用，使馬鈴薯產生不良異味。Ahvenainen 等人(1997)將去皮馬鈴薯貯藏在 20% CO<sub>2</sub>+80% O<sub>2</sub> 環境下，品質可與真空貯藏一樣好，且無異味產生。

#### 其他方式

目前國外有一種新型抑制褐變專利，是以「特殊包裝」方式，將可食性的資材包覆在截切馬鈴薯表層，如應用玉米蛋白塗布在馬鈴薯截切面，藉由天然聚合薄膜阻隔氧氣與 PPO 接觸，不僅達到抑制褐變效果，同時還能減少失水、阻隔不良風味產生，當消費者買回馬鈴薯時，塗布的包覆膜可與馬鈴薯一起直接烹飪食用。另一種方式是將抗氧化劑結合纖維素包膜在截切馬鈴薯外面，可至少延長一週保存期限(Baldwi 等人 1996)。

#### 四、結語

未來蔬果截切產業將日益增大，而其供應鏈也將隨之改變，例如在特殊環境控制條件下栽培加工用農產品，雜交培育適宜加工品種，如篩選低 PPO 活性之蔬果，或進一步開發效果更佳之褐變抑制劑，以達到成分安全可靠，符合食品衛生要求之目標。



圖 1、低溫貯藏可延緩馬鈴薯褐變發生



圖 2、馬鈴薯貯藏不當造成之心部褐化



圖 3、馬鈴薯高溫下褐變反應