

馬鈴薯茄鹼：影響因子與管理措施

吳宗諺¹ 黃哲倫² 蔡淑珍^{3,*}

摘要

吳宗諺、黃哲倫、蔡淑珍。2015。馬鈴薯茄鹼：影響因子與管理措施。台灣農業研究 64(2):81–88。

本文乃回顧馬鈴薯茄鹼資料，包括含量分布、影響因子和管控措施等，俾於符合安全食用。茄鹼係存在於茄科植物(如馬鈴薯等)的天然毒素，國際公認馬鈴薯茄鹼含量安全臨界值為 200 mg kg⁻¹ FW，而一般則建議選育新品種在 100 mg kg⁻¹ FW 之下。除了馬鈴薯薯塊中心部位外，茄鹼存在馬鈴薯植株各部位，尤其以芽、花、薯皮及芽點等代謝活力強的部位茄鹼含量高。馬鈴薯茄鹼含量多寡具有高度遺傳性，且易因照光、逆境及損傷等造成含量增高。選育低茄鹼馬鈴薯為降低馬鈴薯茄鹼含量最有效的方法，而其他因素亦影響茄鹼高低，例如成熟度、栽培管理、施肥、貯藏溫度及條件等。由於茄鹼具有熱穩定性，不易受烹煮影響，因此馬鈴薯不論在採收前後、貯藏時、貨架上、或家居貯放及準備時，均應妥適處理和管理，如此可以防範薯塊內茄鹼蓄積並控制於安全臨界值之下，避免引起人體健康危害風險。

關鍵詞：馬鈴薯、茄鹼、光、逆境、良好農業規範。

前言

茄科植物 (Solanaceae)，例如馬鈴薯和蕃茄等，各具有多種天然毒素，這些毒素通稱為茄鹼。茄鹼對茄科植物本身而言，具有防禦病蟲害之功用，但是對人體卻影響攝食安全性。馬鈴薯 (*Solanum tuberosum*) 為全球的重要糧食作物，也是台灣重要食物來源之一，台灣年產量約 45 Mg，年進口量則約 130 Mg。馬鈴薯提供人體重要營養成分，一般食用馬鈴薯的茄鹼含量在安全攝食範圍內，但食用多量高茄鹼馬鈴薯可能會導致急性中毒。近日國內發生國人疑似食用馬鈴薯後身體不適之案例，經調查其茄鹼含量尚在我國和國際的建議值 200 mg kg⁻¹ FW 內，惟由此也發現國人對馬鈴薯茄鹼相關資訊並不清楚，因此搜集相關資料以釐清馬鈴薯茄鹼及其影響因子，期以作為國內馬鈴薯之育種目標、栽種、採收、貯藏、零售

等之管理依據，以及消費者安全攝食之參考。

茄鹼 (配醣生物鹼) 特性與毒性風險

固醇類配醣生物鹼 (glycoalkaloids) 為自然存在於茄科植物的毒性物質，例如馬鈴薯、番茄、茄子、辣椒和甜椒等皆有，早期部分國外文獻以 solanine 統稱，國內則統稱茄鹼。目前超過 80 種茄鹼成分被鑑定出來 (Ginzberg *et al.* 2009)，不同茄科植物的主要茄鹼成分不同 (如表 1)，例如馬鈴薯塊 95% 為 α -solanine 和 α -chaconine，其中 α -chaconine 一般占約 60% 且毒性較強。在不同動物毒性試驗中， α -solanine 腹腔注射的 LD₅₀ 小於 20 至 75 mg kg⁻¹，而口服 α -solanine 的 LD50 為 590 mg kg⁻¹ 或以上； α -chaconine 腹腔注射的 LD₅₀ 為 19.2–50 mg

投稿日期：2014 年 9 月 26 日；接受日期：2014 年 12 月 6 日。

* 通訊作者：sjtsai@tari.gov.tw

¹ 農委會農業試驗所農業化學組聘用助理研究員。台灣 台中市。

² 農委會農業試驗所嘉義農業試驗分所農藝系助理研究員。台灣 嘉義市。

³ 農委會農業試驗所農業化學組副研究員。台灣 台中市。

表 1. 常見茄屬 (*Solanum* sp.) 農產品之主要茄鹼成分 (Barceloux 2009)。Table 1. The main glycoalkaloids in common *Solanum* crop products (Barceloux 2009).

Plant	Scientific name	Glycoalkaloids
Potato	<i>Solanum tuberosum</i>	α -chaconine, α -solanine
Tomato	<i>Solanum lycopersicum</i>	α -tomatine, dehydrotomatine
Egg plant	<i>Solanum melongena</i>	solanargine, solasonine

kg⁻¹ (JECFA 1993)。茄鹼幾乎不溶於水，分解或熔解溫度 190–285℃，因此具有熱穩定性 (Ruprich *et al.* 2009)。

聯合國糧農組織/世界衛生組織聯合食品添加物專家委員會 (The Joint FAO/WHO Experts Committee on Food Additives; JECFA) 進行有關人體攝食風險評估時，認為因流行病學和試驗數據不足，並未訂定人體安全攝食量；且認為正常栽種下一般食用品種的馬鈴薯茄鹼含量在 20–100 mg kg⁻¹ FW (fresh weight) 之間，而此含量範圍並無風險疑慮 (JECFA 1992)。同時，JECFA 雖未訂定規範但認可 200 mg kg⁻¹ FW 為馬鈴薯的安全食用 (safe for consumption) 上限 (JECFA 1993)，此亦是國際普遍公認之安全臨界值。目前加拿大已將 200 mg kg⁻¹ FW 訂為法定最大限量規範 (Health Canada 2014)，並納入 GAP (good agricultural practice) 規範中 (CanadaGAP 2014)，瑞典則將此訂為對進口馬鈴薯的最大限量規範 (SLVFS 1993)。

馬鈴薯薯塊茄鹼含量達 140 mg kg⁻¹ FW 時會感覺出苦味，超過 220 mg kg⁻¹ FW 時攝食後口腔有灼熱感 (Sinden *et al.* 1976)。人體茄鹼臨床毒性通常為急性毒，反應為灼熱、持續疼痛、頭痛、腹瀉、噁心、嘔吐、虛弱、意氣消沈和麻痺等症狀。因為茄鹼一般中毒症狀常和腸胃疾病症狀相似，因此常未能被正確診斷出來 (Smith *et al.* 1996)。人體對茄鹼中毒反應的敏感性高，但一般多為急性中毒的報告，少有亞急性或慢性中毒之研究探討。學者由中毒案例推估 1–3 mg kg⁻¹ BW (body weight) 是引起人體中毒的劑量，1–5 mg kg⁻¹ BW 即將造成嚴重中毒，3–6 mg kg⁻¹ BW 可能致死，單次攝食量 1–3 mg kg⁻¹ BW 則為關鍵效應劑量 (critical effect dose)。人體對茄鹼

敏感程度因個體而異，小孩比成人反應更敏感 (JECFA 1993; Smith *et al.* 1996; Ruprich *et al.* 2009)。 α -solanine 和 α -chaconine 在人體內的半衰期平均分別為 21 h 和 44 h (Mensinga *et al.* 2005)。因高量茄鹼帶有苦味而影響攝食，所以雖然有中毒案例，但較少有致死情形 (JECFA 1993)。因此，苦味與否也可以作為食用時馬鈴薯茄鹼含量是否偏高之簡易判別。

茄鹼於馬鈴薯植株

茄鹼於種子發芽時開始產生，隨著植株成長和光照而增加，至於開花期時達高峰。除了馬鈴薯薯塊 (tuber) 中心部位外，馬鈴薯植株每個部位均存在，如葉、頂芽、莖、花、塊莖、薯皮、芽點和芽；其中以代謝活力強的部位含量高，例如芽、花、薯皮和芽點等 (表 2) (Maga 1980; Cressey & Thomson 2007)。光照同時引發葉綠素和茄鹼產生，亦即薯塊變綠時茄鹼也相對提高，實際上葉綠素和茄鹼兩者的生化合成機制是獨立的，但薯塊變綠與否常做為茄鹼含量是否增高的篩別 (Woolfe 1987; Smith *et al.* 1996)。

茄鹼被認為是一種逆境代謝物或植物防禦素 (stress metabolites or phytoalexin)，具有天然禦敵作用，可以抗蟲、抗菌、抗食蟲動物等。因此光照、微生物或動物吃食、機械損傷、不當貯存等被視為逆境因子的刺激下，會引起茄鹼含量快速增加 (JECFA 1993; Smith *et al.* 1996)。雖然薯塊和葉片的茄鹼含量具有高度正相關性，但目前茄鹼於植株內的合成和控制機制仍尚未完全清楚 (Woolfe 1987)。由於不同植株部位的含量差異大，因此育種專家對如何選育薯塊具低茄鹼安全含量且葉片具有高茄鹼含量可以抗病蟲害之薯塊品種，仍極感興趣 (Ginzberg *et al.* 2009)。

表 2. 馬鈴薯植株不同部位之茄鹼含量 (摘選自 Cressey & Thomson 2007)。

Table 2. Glycoalkaloid contents of various parts of potato plant (adapted from Cressey & Thomson 2007).

Plant part	Glycoalkaloid content (mg kg ⁻¹ FW)
Flowers	2150–5000
Leaves	230–1450
Stems	23–33
Berries	180–1350
Roots	180–850
Bitter-tasting tuber	250–800
Normal tuber	10–150
Skin (2–3% of tuber)	300–640
Peel (10–12% of tuber)	150–1070
Flesh	12–100
Pith	Not detectable
Sprouts	2000–9970

茄鹼於馬鈴薯薯塊

茄鹼主要在薯塊 (potato tuber) 表皮和皮層的薄壁細胞內及在代謝旺盛的芽點區域合成，因此茄鹼在薯塊的分布也不均勻，主要存在薯皮 1.5 mm 間，尤其是外層的芽點處，往薯塊內部茄鹼含量遞減。薯皮茄鹼含量為薯肉的 3–10 倍，因品種而異，大部分品種茄鹼 60–80% 存在皮下，此可藉由削皮去除 (Woolfe 1987; Smith *et al.* 1996)。

馬鈴薯茄鹼合成是高度遺傳性狀，含量高低深受品種影響，選育低茄鹼品種也是最有效的控制方法。國際認可薯塊茄鹼食用安全臨界值為 200 mg kg⁻¹ FW，各國目前市售食用馬鈴薯品種的茄鹼含量大多在 100 mg kg⁻¹ FW 以下，並建議馬鈴薯新育品種的薯塊茄鹼不要超過 100 mg kg⁻¹ FW (Knuthsen *et al.* 2009)。部分專家則認為因茄鹼有關亞急性或慢性毒性訊息不明，而且受品種、地域、季節、栽培及逆境影響，建議可接受的安全界值應降低為 60–70 mg kg⁻¹ FW (Woolfe 1987; Smith *et al.* 1996)。

馬鈴薯茄鹼含量影響因子

馬鈴薯茄鹼含量在採收前、採收時及採收後均受各種因子影響，包括品種、成熟度、田間環境、生長條件、採收時間與溫度、操作不當所造成損傷、貯藏溫度與曝光、薯塊包裝與零售環境等多項 (Maga 1980; Nema *et al.*

2008)。其中，品種、光照及機械損傷是影響馬鈴薯茄鹼含量高低的最重要因子，本文對於這些因子簡要說明於下。

品種

不同品種間含量差異大，一般食用品種在 20–100 mg kg⁻¹ FW，高茄鹼品種則利用在抗病蟲害育種方面的研究。茄鹼生合成是很強的遺傳特性，同時品種也影響對逆境的反應程度，例如，對於不易因受光照刺激而生成茄鹼的品種，同樣也對低溫或損傷等逆境的反應較不敏感，而茄鹼生成相對減少 (Woolfe 1987; Griffiths *et al.* 1994, 1997; Dale *et al.* 1998)。不論灌溉與否，耐旱品種的茄鹼均較一般品種低 (Bejarano *et al.* 2000)。因此，要降低馬鈴薯茄鹼含量最有效的方法是選育低茄鹼品種。

成熟度

馬鈴薯薯塊未成熟時含量高，隨著薯塊長大而稀釋。未成熟和粒小馬鈴薯的茄鹼含量較高，因為未成熟馬鈴薯仍屬代謝活力相對強。由於茄鹼主要集中在表皮，粒小的馬鈴薯有相對高比例的薯皮而有較高含量 (Grunenfelder *et al.* 2006; Machado *et al.* 2007)。在食用加工時，小粒馬鈴薯常因粒小而不削皮就直接利用，更應小心薯表皮的高茄鹼含量。

光照

不論在田間、貯藏時或貨架販售時，馬鈴薯薯塊因照光而使茄鹼含量也增加，光照時

間和強度均會影響茄鹼含量 (Woolfe 1987)。田間薯塊生長時，塊莖如缺乏土壤覆蓋而照光，會有日燒 (sunburn) 現象而變綠，同時茄鹼含量增高而變苦味 (Pavlista 2001)。地上部氣生塊莖茄鹼甚至可為地下部塊莖的數十倍 (Percival & Dixon 1996; Karim *et al.* 1997)。一般藉由提高種植深度和改變田壟深寬度，以減少薯塊裸露土面而發生日燒變綠 (Pavek & Thornton 2009)。

不同光波長也影響茄鹼生合成，其中以紅光 (650 nm) 和藍光 (430 nm) 時含量最高，而以綠光 (510 nm) 和黃綠光 (560 nm) 最低，此茄鹼合成光波區也與葉綠素合成光波區相近 (Morris 1985)。貯架的馬鈴薯茄鹼隨著光照時間增長而向上攀升，但上升幅度因而品種和光源不同而有差異，例如日光燈 (螢光燈; fluorescent light) 或鈉燈較其他燈源更能引發茄鹼增加。因此在零售攤架時，若將一般使用的日光燈改以汞燈 (mercury light) 照明展示，可以有效改善減少茄鹼的增高 (Percival 1999)。

栽培管理

不適的栽培環境會使茄鹼含量，例如營養不均、霜寒害或不正常氣候變化等，反應程度因品種而異 (Woolfe 1987)。氮肥施用量增加時會增加茄鹼含量 (Mondy & Munshi 1990; Tajner-Czopek *et al.* 2008)，乾旱逆境處理也會造成部分品種茄鹼增加 (Bejarano *et al.* 2000)。有機栽培使茄鹼增加 (Hajslová *et al.* 2005; Wszakaki *et al.* 2005)，推測有機環境引發馬鈴薯內的天然抗禦物質產生，包括茄鹼的增加 (Friedman 2006)。栽培地區的土壤性質也會影響茄鹼，壤土 (loamy soil) 種植馬鈴薯的茄鹼含量比壤砂 (loamy sand) 栽種者為高 (Haase 2010)。延期採收會降低茄鹼含量，但主要影響在薯皮，因此削皮後薯肉茄鹼含量並沒有顯著差異 (Peksa *et al.* 2002)。

種薯塊的栽植深度影響萌芽出土、地下走莖和薯塊發育。淺植方式 (8–10 cm) 因土壤下生長空間不足，易產出粒小和因曝露土表外而日燒變綠的薯塊，進而大幅降低可銷售產量 (marketable yield)，過深栽植則可能增加病害

產生、減緩植株出土發育和降低產量。因此，依照品種或栽種季節不同，一般建議種薯塊栽植深度為 15–20 cm 的適度深植，以減少田間變綠薯塊的生成量 (Bohl & Love 2005; Pavek & Thornton 2009)。

傷害或損傷

採收時或採收後因病蟲害、操作或管理不當等所造成的任何傷害或損傷，均會引起茄鹼合成和蓄積；零售時受損的馬鈴薯一般茄鹼含量也較高。損傷所增加茄鹼的反應程度，因不同品種而差異大 (Dale *et al.* 1998)。加工去皮或切片造成的逆境反應，也會刺激茄鹼緩慢增高，因此削皮切片後應儘速利用 (Nema *et al.* 2008)。

貯藏

一般馬鈴薯採收後先於 10–15°C 貯放約 10–14 d 進行癒傷處理 (curing)，而後依照貯藏時間、用途和品種而於不同貯藏溫度下貯藏 (holding)，建議馬鈴薯貯藏溫度：種薯 3–4°C、鮮食用薯 4–10°C、加工用薯 6–10°C 以上 (例如薯條用薯 7–9°C 以上、芋片用薯 10–13°C 以上)，而且依品種而改變 (Pinhero *et al.* 2009; Bohl & Johnson 2010; Voss 2014)。

馬鈴薯低溫貯藏是否減少茄鹼產生，研究結果不一。有研究發現 4°C 較 10°C 能抑制發芽而茄鹼較低，但溫度影響因品種而異 (Haase 2010)。然而，其他研究則指出馬鈴薯貯藏於低溫下 (0–5°C)，雖然可以延長馬鈴薯品質，但因低溫逆境 (stress) 卻刺激茄鹼生成，因此反而茄鹼比貯藏溫度 7°C 和 10°C 者較高且更具苦味 (Griffiths *et al.* 1998)。室溫貯藏 (23°C) 者，茄鹼明顯較低溫貯藏者為高 (Rosenfeld *et al.* 1995)。

馬鈴薯貯藏溫度影響薯塊及其加工品質，馬鈴薯於 2–3°C 時呼吸率最低，但貯藏溫度於 1–2°C 時寒害產生，3–4°C 則有低溫糖化 (low temperature sweetening) 及加工品質不良的問題，於 4–5°C 以上即可開始發芽，而低光下貯藏 1–2 wk 仍可使馬鈴薯發芽變綠和茄鹼增加 (Voss 2014)。因此當一般貯藏溫度 8–10°C

時，需以抑芽劑處理，以避免發芽而茄鹼上升 (Haase 2010)。

處理與加工

因薯塊茄鹼主要集中在薯皮，因此食用前削皮可以去除大部分的茄鹼。大部分品種的薯塊茄鹼含量在 100 mg kg^{-1} FW 以下，經去皮可以減少 60–95% 的茄鹼；具苦味的馬鈴薯品種茄鹼可高達 800 mg kg^{-1} FW，茄鹼因含量高而滲入薯肉，所以通常整個薯塊均存有茄鹼，因此去皮只能移除 30–50% (Woolfe 1987)。

由於茄鹼的水不溶和熱穩定特性，除了削皮外，一般加工方法 (如烹煮、焙烤、微波、油炸、冷凍乾燥、脫水) 對馬鈴薯茄鹼含量影響低微 (Bushway & Ponnampalam 1981)。當加熱溫度 (例如高溫油炸) 達 170°C 或以上時，茄鹼開始分解而含量減低，例如 210°C 油炸 10 min 可減少約 40% (Takagi *et al.* 1990)。但為了避免因高溫油炸產生致癌物質丙烯醯胺 (acrylamide)，一般油炸溫度限在 175°C 之下，因此油炸馬鈴薯製品的茄鹼含量仍應加以注意 (Haase 2010)。

國外 GAP (good agricultural practice) 降低馬鈴薯茄鹼的處理方式

目前加拿大衛生部已法定馬鈴薯茄鹼之最大限量標準為 200 mg kg^{-1} FW，因此加拿大蔬果 GAP 中為減少茄鹼含量，特別針對馬鈴薯增加一些處理方式 (CanadaGAP 2014)：(1) 種薯取得：確認購買或選擇之種薯品種經過茄鹼檢測或有文件保證其茄鹼濃度在 200 mg kg^{-1} FW 以下。(2) 栽培生長：確保栽培過程種薯塊被土壤覆蓋，薯塊在地面下生長發育。(3) 分類及分級：不論在田間或包裝室，除了一般損傷和腐爛薯塊，變綠薯塊也必須分離淘汰。(4) 包裝：確保包裝袋的透明視窗朝下，以儘量減少光照。記錄包裝時藥劑使用。(5) 貯藏：儘可能貯存於暗處。(6) 關鍵管控：在生產場所或貯藏時，如果馬鈴薯暴露於光照下一段時間，都必須把任何綠色薯塊挑出移除。

如何控制或降低馬鈴薯 茄鹼含量之建議

馬鈴薯茄鹼含量深受品種、光照、栽種和貯存環境之影響，因此在栽種採收前、採收和採後處理、貨架零售、和食材貯存與處理時，均應有妥適的管控措施，以避免馬鈴薯茄鹼含量增加，確保食用安全。建議管理措施綜合整理如下 (Woolfe 1987; Rosenfeld *et al.* 1995; Cantwell 1996; Pavlista 2001; Nema *et al.* 2008; CanadaGAP 2014)：

品種：建議馬鈴薯新育品種茄鹼含量在 100 mg kg^{-1} FW 以下。儘量選擇深植品種，如為淺植品種，建議種薯塊栽植至少要 15 cm 深。

栽培管理：適度深植並確保薯塊在生長過程均覆蓋在土壤下。避免過量或晚施氮肥。

採收時：薯塊成熟才採收；避免於高溫和大大太陽下採收；採收後儘速移至遮陰處以減少光照；操作時避免薯塊瘀傷和擦傷；捨棄日燒和變綠的薯塊。

採收後：分類分級或其他操作時，儘量減少薯塊與光接觸時間。快速清洗薯塊，並有避免照光變綠的保護措施。薯塊貯放在暗處，溫度 $7\text{--}10^\circ\text{C}$ ($45\text{--}50^\circ\text{F}$)。避免使用透明塑膠或紅色包裝材質。如置於光照下，以黑色或深色紙袋或塑膠袋，或可避光的包裝材質。如須以透明塑膠袋包裝展示，減少曝光時間。用藥劑或臘處理以抑制發芽。貯放在具環控的場所，以避免變綠、發芽和茄鹼產生。置於零售架上時應不定時更換擺放，避免部分馬鈴薯長時間照光。

消費者：馬鈴薯貯存於乾涼黑暗環境，並儘早食用。變綠部位即使經黑暗貯藏而消失時，不表示茄鹼量下降。避免攝食馬鈴薯植株的芽和花，且勿食用受傷、腐壞、表皮組織變綠或發芽的馬鈴薯。削皮食用，而削皮切片後應儘速利用，避免置放過久而使茄鹼蓄積。不要生食或熟食具有苦味或引起口中灼熱感的馬鈴薯。

結語

馬鈴薯的茄鹼含量在田間、貯藏、貨架和消費者都可能受多種因子影響刺激而增加，因此要避免攝食過量茄鹼而引起急性中毒，必須從農場到餐桌 (farm to table) 的安全管理，包括選育和栽種低茄鹼含量的品種，適當的採收和貯藏管理，特別是避免光照和損傷，家居的食材管理和安全選用等，如此可以有效降低或控制馬鈴薯茄鹼含量而食用安全無虞。

引用文獻

- Barceloux, D. G. 2009. Potatoes, tomatoes, and solanine toxicity (*Solanum tuberosum* L., *Solanum lycopersicum* L.). *Dis. Mon.* 55:391–402.
- Bejarano, L., E. Mignolet, A. Devaux, N. Espinola, E. Carrasco, and Y. Larondelle. 2000. Glycoalkaloids in potato tubers: The effect of variety and drought stress on the α -solanine and α -chaconine contents of potatoes. *J. Sci. Food Agric.* 80:2096–2100.
- Bohl, W. H. and S. B. Johnson. 2010. Commercial potato production in North America. 2nd Revision of American Potato Journal Supplement Volume 57 and USDA Handbook 267. http://potatoassociation.org/wp-content/uploads/2014/04/A_ProductionHandbook_Final_000.pdf (visit on 9/22/2014)
- Bohl, W. H. and S. L. Love. 2005. Effect of planting depth and hilling practices on total, U.S. No. 1, and field greening tuber yields. *Amer. J. Potato Res.* 82:441–450.
- Bushway, R. J. and R. Ponnampalam. 1981. α -chaconine and α -solanine content of potato products and their stability during several modes of cooking. *J. Agric. Food Chem.* 29:814–817.
- CanadaGAP. 2014. Canada GAP Food Safety Manual for Fresh Fruits and Vegetables version 6.2. CanadaGAP program. CanAgPlus. Ottawa. 100 pp.
- Cantwell, M. 1996. A review of important facts about potato glycoalkaloid. *Perishables Handling Newsl. Issue* 87:26–27.
- Cressey, P. and B. Thomson. 2007. Scoping Risk from Natural Toxins in new Zealand Crop Plants. Institute of Environmental Science & Research Limited. Christchurch Science Centre. Christchurch. 71 pp.
- Dale, M. F. B., D. W. Griffiths, and H. Bain. 1998. Effect of bruising on the total glycoalkaloid and chlorogenic acid content of potato (*Solanum tuberosum*) tubers of five cultivars. *J. Sci. Food Agric.* 77:499–505.
- Friedman, M. 2006. Potato glycoalkaloids and metabolites: Roles in the plant and in the diet. *J. Agric. Food Chem.* 54:8655–8681.
- Ginzberg, I., J. G. Tokuhisa, and R. E. Veilleux. 2009. Potato steroidal glycoalkaloids: Biosynthesis and genetic manipulation. *Potato Res.* 52:1–15.
- Griffiths, D. W., H. Bain, and M. F. B. Dale. 1997. The effect of low-temperature storage on the glycoalkaloid content of potato (*Solanum tuberosum*) tubers. *J. Sci. Food Agric.* 74:301–307.
- Griffiths, D. W., H. Bain, and M. F. B. Dale. 1998. Effect of storage temperature on potato (*Solanum tuberosum* L.) tuber glycoalkaloid content and the subsequent accumulation of glycoalkaloids and chlorophyll in response to light exposure. *J. Agric. Food Chem.* 46:5262–5268.
- Griffiths, D. W., M. F. B. Dale, and H. Bain. 1994. The effect of cultivar, maturity and storage on photo-induced changes in the total glycoalkaloid and chlorophyll contents of potatoes (*Solanum tuberosum*). *Plant Sci.* 98:103–109.
- Grunenfelder, L. A., L. O. Knowles, L. K. Hiller, and N. R. Knowles. 2006. Glycoalkaloid development during greening of fresh market potato (*Solanum tuberosum* L.). *J. Agric. Food Chem.* 54:5847–5854.
- Haase, N. U. 2010. Glycoalkaloid concentration in potato tubers related to storage and consumer offering. *Potato Res.* 53:297–307.
- Hajslová, J., V. Schulzová, P. Slanina, K. Janné, K. E. Helenäs, and Ch. Andersson. 2005. Quality of organically and conventionally grown potatoes: Four-year study of micronutrients, metals, secondary metabolites, enzymic browning and organoleptic properties. *Food Add. Contam.* 22:514–534.
- Health Canada. 2014. Canadian standards (maximum levels) for various chemical contaminants in foods. Canada. <http://www.hc-sc.gc.ca/fn-an/securit/chem-chim/contaminants-guidelines-directives-eng.php> (visit on 9/22/2014)
- JECFA. 1992. Evaluation of Certain Food Additives and Naturally Occurring Toxicants. WHO Technical Report Series 828. World Health Organization. Geneva. 49 pp.
- JECFA. 1993. Toxicological Evaluation of Certain Food Additives and Naturally Occurring Toxicants. WHO Food Additive Series, No.30. World Health Organization. Geneva. 398 pp.
- Karim, M. S., G. C. Percival, and G. R. Dixon. 1997. Comparative composition of aerial and subterranean potato tubers (*Solanum tuberosum* L.). *J. Sci. Food Agric.* 75:251–257.
- Knuthsen, P., U. Jensen, B. Schmidt, and I. K. Larsen. 2009. Glycoalkaloids in potatoes: Content of glycoalkaloids in potatoes for consumption. *J. Food Composit. Anal.* 22:577–581.

- Machado, R. M. D., M. C. F. Toledo, and L. C. Garcia. 2007. Effect of light and temperature on the formation of glycoalkaloids in potato tubers. *Food Control* 18:503–508.
- Maga, J. A. 1980. Potato glycoalkaloids. *CRC Crit. Rev. Food Sci. Nutr.* 12:371–405.
- Mensinga, T. T., A. J. A. M. Sips, C. J. M. Rompelberg, K. van Twillert, J. Meulenbelt, H. J. van den Top, and H. P. van Egmond. 2005. Potato glycoalkaloids and adverse effects in humans: An ascending dose study. *Regul. Toxicol. Pharmacol.* 41:66–72.
- Mondy, N. I. and C. B. Munshi. 1990. Effect of nitrogen fertilization on glycoalkaloid and nitrate content of potatoes. *J. Agric. Food Chem.* 38:565–567.
- Morris S. C. 1985. The spectral responses of chlorophyll and glycoalkaloid synthesis in potato tubers *Solanum tuberosum* cultivar sebago. *Plant Sci. (shannon)*:105–110.
- Nema, P. K., N. Ramayya, E. Duncan, and K. Niranjana. 2008. Potato glycoalkaloids: Formation and strategies for mitigation. *J. Sci. Food Agric.* 88:1869–1881.
- Pavek, M. J. and R. E. Thornton. 2009. Planting depth influences potato plant morphology and economic value. *Am. J. Pot. Res.* 86:56–67.
- Pavlista, A. D. 2001. Green Potatoes: The Problems and the Solution. Historical Materials from University of Nebraska-Lincoln Extension Paper 88. University of Nebraska-Lincoln. Lincoln. 3 pp.
- Pęksa, A., G. Gołubowska, E. Rytel, G. Lisińska, and K. Aniołowski. 2002. Influence of harvest date on glycoalkaloids contents of three potato varieties. *Food Chem.* 78:313–317.
- Percival, G. C. 1999. The influence of light upon glycoalkaloid and chlorophyll accumulation in potato tubers (*Solanum tuberosum* L). *Plant Sci.* 145:99–107
- Percival, G. C. and G. R. Dixon. 1996. Glycoalkaloid concentrations in aerial tubers of potato (*Solanum tuberosum* L). *J. Sci. Food Agric.* 70:439–448.
- Pinhero, R., R. Coffin, and R. Y. Yada. 2009. Post-harvest storage of potatoes. p.339–370. *in: Advances in Potato Chemistry and Technology.* (Singh, J. and L. Kaur, eds.) Elsevier. New York. 528 pp.
- Rosenfeld, H. J., H. A. Sundell, P. Lea, and M. Ringstad. 1995. Influence of packaging materials and temperature on the glycoalkaloid content of potato tubers. *Food Res. Intl.* 28:481–484.
- Ruprich, J., I. Rehurkova, and P. E. Boon, K. Svensson, S. Moussavian, H. van der Voet, S. Bosgra, J. D. van Klaveren, and L. Busk. 2009. Probabilistic modeling of exposure doses and implications for health risk characterization: Glycoalkaloids from potatoes. *Food Chem. Toxicol.* 47:2899–2905.
- Sinden, S. L., K. L. Deahl, and B. B. Aulenbach. 1976. Effect of glycoalkaloids and phenolics on potato flavor. *J. Food Sci.* 41:520–523.
- SLVFS. 1993. The National Food Administration's Regulations on Certain Foreign Substances in Food. SLVFS 1993:36. Swedish National Food Administration. Uppsala. 7 pp.
- Smith, D. B., J. G. Roddick, and J. L. Jones. 1996. Potato glycoalkaloids: Some unanswered questions. *Trends Food Sci. Tech.* 7:126–131.
- Tajner-Czopek, A., M. Jarych-Szyszkka, and G. Lisińska. 2008. Changes in glycoalkaloids content of potatoes destined for consumption. *Food Chem.* 106:706–711.
- Takagi, K., M. Toyoda, Y. Fujiyama, and Y. Saito. 1990. Effect of cooking on the contents of α -chaconine and α -solanine in potatoes. *J. Food Hyg. Soc. Jpn.* 31:67–73. (in Japanese with English abstract)
- Voss, R. E. 2014. Potato. *in: The Commercial Storage of Fruits, and Florist and Nursery Stocks.* (Gross, K. C., C. Y. Wang, and M. Saltveit, eds.) USDA Agricultural Handbook Number 66 (HB-66, a complete revision of the 1986 edition). United State Department of Agriculture. Beltsville. <http://www.ba.ars.usda.gov/hb66/potato.pdf> (visit on 9/22/2014)
- Woolfe, J. A. 1987. The Potato in the Human Diet. International Potato Center, Cambridge University Press. Cambridge. 231 pp.
- Wszelaki, A. L., J. F. Delwiche, S. D. Walker, R. E. Liggett, J. C. Scheerens, and M. D. Kleinhenz. 2005. Sensory quality and mineral and glycoalkaloid concentrations in organically and conventionally grown redskin potatoes (*Solanum tuberosum*). *J. Sci. Food Agric.* 85:720–726.

Glycoalkaloids in Potatoes: Impact Factors and Appropriate Managements

Tsung-Yen Wu¹, Chen-Lun Huang², and Shwu-Jene Tsai^{3,*}

Abstract

Wu, T. Y., C. L. Huang, and S. J. Tsai. 2015. Glycoalkaloids in potatoes: Impact factors and appropriate managements. *J. Taiwan Agric. Res.* 64(2):81–88.

This paper is to review the glycoalkaloids in potatoes and their impact factors, as well as appropriate managements for safe consumption of potato. Glycoalkaloids are toxic metabolites naturally occurred in Solanaceas plants, such as potato, and are harmful to human. The internationally recognized safety limit of total glycoalkaloids in potato tuber is 200 mg kg⁻¹ FW, while it is suggested no more than 100 mg kg⁻¹ FW for breeding new potato varieties. Glycoalkaloids are found in almost all parts of cultivated potato plant except the pith of tubers, and their concentrations are much greater in the areas of high metabolic activity, such as sprouts, flowers, and eyes. The level of total glycoalkaloids in potato tuber is highly heritable, and can be easily accelerated by exposure to light, stress and damage. Breeding of low-glycoalkaloid varieties is considered the best way to reduce the glycoalkaloid content of potato tuber. Glycoalkaloid levels in potato tubers can also be affected by many factors, such as maturity, cultivation, fertilization, and storage temperatures and conditions, while they are little affected by cooking due to their heat stability. Therefore, appropriate practice and management should be adopted no matter during pre- and post-harvest, in storage, on the store shelf, or in home storage and preparation. Proper handling of potatoes can prevent accumulation of glycoalkaloids in tubers, control the level under the safety limit, and consequently avoid the risk to public health.

Key words: Potato, Glycoalkaloids, Light, Stress, Good agricultural practice.

Received: September 26, 2014; Accepted: December 6, 2014.

* Corresponding author, e-mail: sjtsai@tari.gov.tw

¹ Assistant Research Fellow, Agricultural Chemistry Division, Taiwan Agricultural Research Institute, Taichung, Taiwan, ROC.

² Assistant Research Fellow, Department of Agronomy, Chiayi Agricultural Experiment Branch, Taiwan Agricultural Research Institute, Chiayi, Taiwan, ROC.

³ Associate Research Fellow, Agricultural Chemistry Division, Taiwan Agricultural Research Institute, Taichung, Taiwan, ROC.