

飼料甘藷品種 (系) 產量比較及其胰蛋白酶 活性分析

賴永昌^{1,3} 廖文昌² 黃哲倫¹

摘要

甘藷可加入飼料中作為畜禽類的食物，但甘藷中所含的 trypsin inhibitor 會降低甘藷蛋白質的代謝利用率，進而限制甘藷作為飼料的應用性，過去的研究結果建議選擇 trypsin inhibitor 活性較低的甘藷供人類及動物食用。本研究調查台灣常見的飼料用甘藷的 trypsin inhibitor 活性，結果顯示在飼料甘藷品種 (系) 中，台南 18 號、台農 17 與 31 號甘藷的 trypsin inhibitor 活性均高於 70%，台農 10 號是目前台灣飼料甘藷使用最普遍的品種，其 trypsin inhibitor 活性為 52.6%。本研究進一步探討 3 種加熱處理法 (包括水煮、微波及烘烤)，對甘藷 trypsin inhibitor 活性的影響，結果顯示水煮處理可有效地降低甘藷的 trypsin inhibitor 活性，但有些甘藷品種仍會保有部份 trypsin inhibitor 活性。在飼料甘藷中，品系 CYY99-68 具備產量高 (66.12 ± 0.85 ton/ha) 且 trypsin inhibitor 活性低 (32.4%) 的優點，可作為飼料用甘藷之用途。

關鍵詞：飼料用甘藷、胰蛋白酶、熱處理。

前言

甘藷 (*Ipomoea batatas* (L) Lam) 除了含有大量澱粉，也含有多種營養成份例如 vitamins 和 carotenes 等，所以甘藷是一種很好的輔助食物 (Rumbaoa, et al., 2009)，在亞洲地區甘藷有很大的種植面積，台灣的氣候環境也非常適合甘藷生長，在台灣甘藷也是一種重要的雜糧作物，甘藷可以作為主要的澱粉來源，不但可以做為輔助糧食也可以成為飼料作物，用途甚為廣泛，近年來透過加工製造出多樣化的甘藷相關食品。雖然甘藷原是台灣僅次於水稻的作物，後來受到廉價大宗穀物進口的影響，養豬飼料業者逐漸捨棄甘藷改採用進口廉價穀物，因此台灣甘藷的產量逐年下降；另一方面，由於國人所得增加生活水準提高之後，小麥製成的食品越來越受歡迎，因此對甘藷的依賴性也逐年減低，但在面對全球糧食危機時，甘藷可以彌補台灣不足的澱粉量並作為一種穩定的糧食來源。

最近幾年因為氣候變遷，國際玉米及大豆等飼料價格飆漲，導致養豬飼料業者成

1 農業試驗所嘉義分所。

2 長庚科技大學護理系。

3 通訊作者 電子信箱：davidlai@dns.caes.gov.tw；電話：05-2771341。

本大幅上升；另一方面考慮台灣氣候及土質因素，可以利用休耕地種植甘藷，因此又重新討論將甘藷作為飼料作物的可能性。因甘藷中含有澱粉及蛋白質，可提供畜禽類生長所需要的養分，若能將甘藷加入飼料中作為畜禽類的食物，將有助於改善飼料效率、生產效益以及降低生產成本。但甘藷中所含的 trypsin inhibitor 會降低甘藷蛋白質的代謝利用率，進而限制甘藷作為飼料的應用性。根據國外很多研究報告，trypsin inhibitor 會阻斷 proteinases 的作用導致蛋白質無法作為營養來源，Sohinnie and Bhandarker (1954) 最早提出甘藷中 trypsin inhibitor 的研究報告，接下來也有相關的研究報告持續被提出 (Bradbury, et. al., 1984; Bradbury, et. al., 1985; Ravindran, et. al., 1995; Zhang, et. al., 1998)，Zhang and Corke (2001)曾對 7 種國外甘藷品種進行 trypsin inhibitor activity 和粗蛋白質含量分析，結果建議選擇 trypsin inhibitor 活性較低和粗蛋白質含量較高的甘藷供人類及動物食用。國內過去也有針對甘藷中 trypsin inhibitor 活性的相關研究報告 (Hou, et. al., 2001; Lin, et. al., 1987; Lin, et. al., 1980)，甚至更一步將甘藷的 trypsin inhibitor，應用於抑制細胞生長 (Huang, et. al., 2007)，但研究材料偏向食用甘藷，例如台農 57 號與台農 66 號等，目前尚未有針對台灣常見的飼料用甘藷品種，包括台南 18 號、台農 10 號、台農 17 號和台農 31 號，做出完整的 trypsin inhibitor 活性相關研究報告。

Zhang et al. (2002) 發現甘藷在儲藏過程中，trypsin inhibitor 活性幾乎沒有太大的改變，甘藷的 trypsin inhibitor 活性大約為 3.90–21.83 U/mg，因此本研究建議使用加熱處理以降低甘藷的 trypsin inhibitor 活性。不論食用或飼料用甘藷在食用之前都會先經加熱處理，加熱方式包括水煮、微波及烘烤等，各種加熱法使用不同的溫度，因此對甘藷中 trypsin inhibitor 活性的影響也會不同。一般而言水煮溫度在 100 °C 以下，而烘烤的溫度則在 190 到 200 °C 左右(Chan, et. al., 2012; Lai, et. al., 2011)，至於加熱的時間也會因加熱方式而有所不同，原則上要提高蛋白質的利用率，需要保持 trypsin 的活性，所以希望能經由加熱處理，降低甘藷中 trypsin inhibitor 的活性。

本研究的目的是在選出 trypsin inhibitor 活性較低的甘藷品種，因為台灣甘藷在選、育種時均未將 trypsin inhibitor 活性納入選、育種的指標，因此目前僅能就現有的甘藷品種依 trypsin inhibitor 活性的高低，選出適合作為飼料用的甘藷品種。另一方面使用不同的加熱處理法，探討各種加熱處理法對甘藷 trypsin inhibitor 活性的影響。

材料與方法

一、試驗材料

甘藷於 101 年 10 月種植，隔年 3 月採收，採收後的甘藷於 15 °C 冷藏備用。所種植的甘藷品種包括已往農民種植之飼料用甘藷品種台南 18 號、台農 10、17 和 31 號，另外再加上 CYY99-08 及 CYY99-68 兩個育成新品系。

Trypsin 及 benzoyl-DL-arginine-*p*-nitroanalide hydrochloride (BAPA) 購自 Sigma-Aldrich^R (St. Louis, MO, USA), Tris-HCl 購自 J. T. Baker^R (Avantor Performance Materials Inc., Center Valley, PA, USA), dimethyl sulfoxide (DMSO) 購自 Acros Organics^R (Fair Lawn, NJ, USA)。

二、試驗方法

製作新鮮甘藷樣品時，隨機取樣 5 根特定品種甘藷，分別切成 $0.5 \times 0.5 \times 0.5 \text{ cm}^3$ 的甘藷小丁，將甘藷小丁充分混合後備用。製作甘藷萃取液時隨機取樣 25 g 甘藷丁，加入 500 ml 去離子水中 (固液比為 1 g/20 ml)，以均質機攪拌 45 sec 後以抽氣過濾法收集濾液備用。製作受質溶液時取 4 mg BAPA_(s) 溶於 100 μl DMSO，溶液置於 10 ml 定量瓶，加入 0.05 M Tris-HCl 緩衝溶液 (pH 8.2) 稀釋至刻度後備用。

加熱處理法包括水煮、微波及烘烤。水煮處理時先將 500 ml 去離子水加熱至沸騰 (100°C)，加入 25 g 甘藷丁加熱 10 min，待加熱完成後以去離子水補充因加熱而喪失的水分，然後將甘藷液以水浴法冷卻至 25°C，以均質機攪拌 45 sec 後以抽氣過濾法收集濾液進行 trypsin inhibitor 活性分析。微波處理時取 25 g 甘藷丁置於磁盤上，放入微波爐中加熱 2 min，然後加入 500 ml 去離子水 (25°C)，以均質機攪拌萃取 45 sec 後以抽氣過濾法收集濾液進行 trypsin inhibitor 活性分析。烘烤處理時將 25 g 甘藷丁以鋁箔紙包覆後放入烤箱，烘烤溫度為 190°C，烘烤時間為 10 min，待烘烤完成後將甘藷丁取出置入燒杯中，然後以 500 ml 去離子水 (25°C) 以均質機攪拌萃取 45 sec，再以抽氣過濾法收集濾液進行 trypsin inhibitor 活性分析。

Trypsin inhibitor 活性分析根據 Hamerstrand et al. (1981) 的方法加以修改，取 3 支試管各別編號，第 1 支試管含 0.4 ml 去離子水及 0.4 ml 的 200 $\mu\text{g/ml}$ trypsin 溶液，此為不含抑制劑之標準比對溶液，第 2 支試管含 0.1 ml 的甘藷萃取液及 0.3 ml 去離子水，此為空白溶液，第 3 支試管先混合 0.1 ml 的甘藷萃取液及 0.3 ml 去離子水，再加 0.4 ml 的 200 $\mu\text{g/ml}$ trypsin 溶液，此為樣品溶液，各試管溶液混合後於 37°C 加熱 10 min，然後加入於 37°C 預熱的 1 ml 的 0.4 mg/ml BAPA 溶液，混合均勻後於 37°C 加熱 10 min，再於各試管中加入 0.2 ml 的 30% acetic acid 溶液均勻混合，其中第 2 支試管再加入 0.4 ml 的 200 $\mu\text{g/ml}$ trypsin 溶液，以 UV (V-630 UV/VIS, Jasco International Co. Ltd., Tokyo, Japan) 測量各試管溶液在波長 410 nm 的吸光值，再依下列公式計算甘藷溶液中 trypsin inhibitor 活性的抑制率(%):

$$TIA(\%) = \frac{A_{\text{standard}} - (A_{\text{sample}} - A_{\text{blank}})}{A_{\text{standard}}} \times 100\% \quad (\text{式一})$$

其中 TIA (%) 為 trypsin inhibitor 活性的百分比抑制率； A_{standard} = 標準比對溶液在波長

410 nm 的吸光值； A_{sample} = 甘藷萃取液在波長 410 nm 的吸光值； A_{blank} = 空白溶液在波長 410 nm 的吸光值。

本研究中每個實驗樣品都進行 3 重覆，實驗數據分析使用統計軟體 STATISTICA^R (version 7.0, StatSoft Inc., Tulsa, OK, USA)，整體分析具 0.05 的信心水準，當 $p < 0.05$ 時代表達顯著的統計差異。

結果與討論

所有甘藷品種 (系) 的產量、乾物重及外觀顏色等資料顯示於表 1，在地上部莖葉產量方面，以台農 31 號之地上部莖葉產量最高，每公頃產量為 24.02 公噸，而 CYY98-08 及 CYY99-68 二品系之莖葉產量較低，分別為每公頃 12.91 及 14.36 公噸；在地下部塊根產量方面，6 個飼料甘藷品種 (系) 每公頃塊根產量皆 35 公噸以上，其中以 CYY99-68 及台農 10 號最高，每公頃塊根產量分別為 66.12 及 61.29 公噸。

6 種飼料用甘藷的 trypsin inhibitor 活性分析顯示於圖 1，6 種飼料甘藷的 trypsin inhibitor 活性中，以台南 18 號、台農 17 與 31 號甘藷的 trypsin inhibitor 活性均高於 70%，最低的是新品系 CYY99-68 其 trypsin inhibitor 活性為 32.4%；其中台農 10 號是目前台灣飼料甘藷使用最普遍的品種，其 trypsin inhibitor 活性也高於 50%，根據圖 1 的結果，台灣飼料用甘藷其 trypsin inhibitor 活性仍偏高，因此不宜直接添加於飼料中供畜禽類食用，否則會影響到畜禽類對蛋白質的利用率，建議先經加熱處理以降低甘藷的 trypsin inhibitor 活性。

Kiran and Padmaja (2003) 曾對 4 種印度甘藷品種做過 trypsin inhibitor 活性分析，同時探討 oven drying、cooking、和 microwave baking 等加熱處理法，對甘藷中 trypsin inhibitor 活性的影響，結果顯示經過 70°C、2 hr 的加熱處理之後，甘藷中大約 80~90%

表 1. 飼料甘藷品種 (系) 的產量、乾物重及外觀顏色

Table 1. The color, dry matter and yield of seven animal feed sweet potato varieties (lines).

品種(系)	莖葉產量 (ton/ha.)	塊根產量 (ton/ha.)	乾物重(%)	表皮顏色	肉色
台南 18 號	20.12±0.14	46.51±2.39	35.33 ± 1.49	紅	白
CYY98-08	12.91±0.14	37.22±2.92	29.09 ± 0.89	白	白
CYY99-68	14.36±1.52	66.12±0.85	21.68 ± 0.52	白	白
台農 17 號	20.83±2.50	42.05±1.80	36.60 ± 1.59	紅	黃
台農 31 號	24.02±0.14	51.39±5.91	32.22 ± 0.33	紅	白
台農 10 號	19.58±2.91	61.29±0.31	28.15 ± 0.14	黃	淺黃

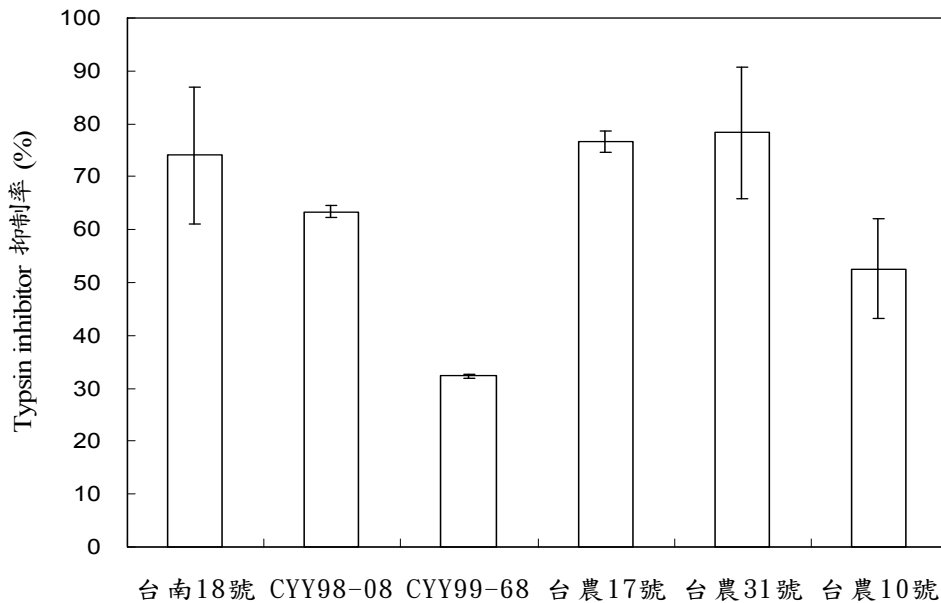


圖 1. 飼料用甘藷鮮藷中 trypsin inhibitor 活性分析

Fig.1.The analysis of trypsin inhibitor activity for seven animal feed sweet potato varieties(lines).

的 trypsin inhibitor 活性會被保留，但如果加熱至 100°C，trypsin inhibitor 會快速地失去活性，若經過 24 hr、100°C 乾燥處理，甘藷中的 trypsin inhibitor 會完全失去活性，然而加熱處理對甘藷 trypsin inhibitor 活性的影響，會因品種不同而存有很大的差異。早期台灣也曾對部份甘藷品種的 trypsin inhibitor 活性做過分析，Lin and Tsu (1987)以幾種當時台灣常見的甘藷品種，分析其 trypsin inhibitor 活性，同時也探討加熱處理對甘藷中 trypsin inhibitor 的保留率，結果和國外的結果相似，當加熱至 100°C、15 min 時，有 3 種甘藷品種的 trypsin inhibitor 會完全失去活性，但台農 65 號會保有大約 51% 的活性。本研究先比較 3 種加熱處理法 (包括水煮、微波及烘烤)，對飼料用甘藷 trypsin inhibitor 活性的影響顯示於圖 2，水煮處理可以有效地降低甘藷 trypsin inhibitor 活性，以台農 10 號為例，經過水煮處理後，雖然甘藷 trypsin inhibitor 的活性由 52.6% 降到 6.1%，但仍會保有部份活性而影響蛋白質的利用率，因此水煮處理法仍需進一步改良，目標是完全去除飼料甘藷中 trypsin inhibitor 的活性。至於微波處理對飼料甘藷的影響會因品種不同而有較大的差異，可能是因為飼料甘藷中的水分含量差異較大，雖然微波處理也可降低飼料甘藷 trypsin inhibitor 活性，但相較於其他加熱處理法，微波處理的效果較差，另一方面微波處理的設備成本太高，處理量也較小，因此無法使用於飼料甘藷大規模的製作，僅能用於比較加熱處理對甘藷 trypsin inhibitor 活性的影響。烘烤處理顯示，飼料甘藷 trypsin inhibitor 活性會因高溫處理而大幅降低，雖然烘烤使用

高溫處理 (> 190 °C) 會破壞甘藷中的 trypsin inhibitor，但要達到如此高的溫度需要消耗較多的能量，會提高飼料的製作成本，因此烘烤處理不適合使用於製作甘藷飼料。

根據圖 2 的結果顯示，品系 CYY99-68 的 trypsin inhibitor 活性較其它飼料甘藷低，經過加熱處理後 trypsin inhibitor 活性皆降至很低的水準 (<1.5%)，CYY99-68 的單位產量表現優異(66.12 ± 0.85 ton/ha)，但乾物重比率較低是其缺點 (21.68%)，若能以 CYY99-68 作為育種的材料，希望能培育出產量高、乾物重高以及 trypsin inhibitor 活性低的飼料甘藷品種。

結論

因為甘藷中 trypsin inhibitor 會影響蛋白質的利用率，所以作為飼料用甘藷需選用 trypsin inhibitor 活性較低的甘藷品種，但過去在甘藷選、育種時未考慮 trypsin inhibitor 活性，而作為甘藷飼料常用的台農 10 號其 trypsin inhibitor 活性仍相當高。目前希望使用加熱處理來降低甘藷的 trypsin inhibitor 活性，結果顯示水煮處理可有效地降低甘藷的 trypsin inhibitor 活性，以台農 10 號為例，trypsin inhibitor 的活性可降至 6.1%，但經水煮處理之後甘藷仍會保有部份的 trypsin inhibitor 的活性，因此水煮處理法仍需進一步改良。活性調查的結果，顯示品系 CYY99-68 具備產量高且 trypsin inhibitor 活性低的優點，可作為未來飼料用甘藷品種使用。

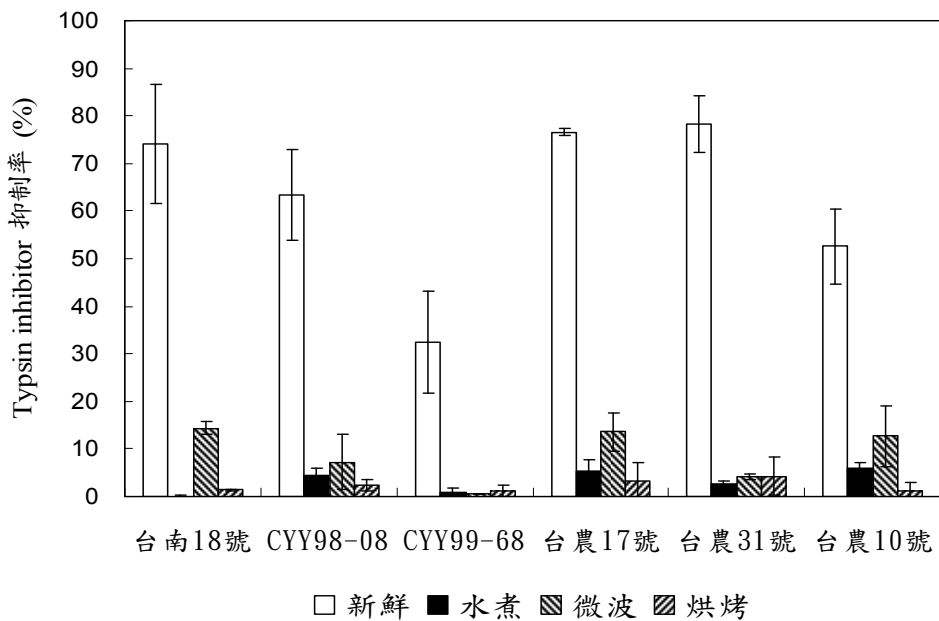


圖 2. 加熱處理對飼料用甘藷 trypsin inhibitor 活性影響

Fig.2. Effects of heat treatments on trypsin inhibitor activity of seven animal feed sweet potato varieties (lines).

引用文獻

- Bradbury, J. H., J. Baines, B. Hammer, M. Anders, and J.S. Millar. 1984. Analysis of sweet potato (*Ipomoea batatas*) from the highlands of Papua New Guinea: relevance to the incidence of *Enteritis necroticans*. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 32(3): 469-473.
- Bradbury, J. H., B.Hammer, M.Anders, and J.S. Millar. 1985. Protein quantity and quality and trypsin inhibitor content of sweet potato cultivars from the highlands of Papua New Guinea. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 33(2): 281-285.
- Chan, C. F., C.M.Chiang , Y.C.Lai, C.L.Huang, S.C.Kao, and W.C.Liao. 2012. Changes in sugar composition during baking and their effects on sensory attributes of baked sweet potatoes. *Journal of Food Science and Technology*. DOI: 10.1007/s13197-012-0900-z.
- Hamerstrand, G. E., L.T.Black, and J.D.Glover. 1981. Trypsin inhibitors in soy products: Modification of the standard analytical procedure. *Cereal Chemistry*. 58(1): 42-45.
- Hou, W. C., Y.C. Chen, H.I. Chen, Y.H. Lin, L.L. Yang and M.H.Lee.2001. Antioxidant Activities of Trypsin Inhibitor, a 33 KDa Root Storage Protein of Sweet Potato (*Ipomoea batatas* (L.) Lam cv. Tainong 57). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 49(6): 2978-2981.
- Huang, G. J., M.J.Sheu, H.J.Chen, Y.S.Chang, and Y.H. Lin. 2007. Growth Inhibition and Induction of Apoptosis in NB4 Promyelocytic Leukemia Cells by Trypsin Inhibitor from Sweet Potato Storage Roots. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 55(7): 2548-2553.
- Kiran, K. S. And G. Padmaja. 2003. Inactivation of trypsin inhibitors in sweet potato and taro tubers during processing. *Plant Foods for Human Nutrition*. 58(2): 153-163.
- Lai, Y. C., C.L. Huang, C.F. Chan, C.Y. Lien and W.C. Liao. 2011. Studies of sugar composition and starch morphology of baked sweet potatoes (*Ipomoea batatas* (L.) Lam). *Journal of Food Science and Technology*. DOI: 10.1007/s13197-011-0453-6.
- Lin, Y. H., and B.S. Tsu. 1987. Some factors affecting levels of trypsin inhibitor activity of sweet potato (*Ipomoea batatas* Lam.) roots. *Botanical Bulletin Academia Sinica*. 28: 139-149.
- Lin, Y. H., and H.L. Chen. 1980. Level and heat stability of trypsin inhibitor activity among sweet potato (*Ipomoea batatas* L.) varieties. *Botanical Bulletin Academia Sinica*. 21(1): 1-13.
- Ravindran, V., G. Ravindran, R.Sivakanesan and S.B. Rajaguru.1995. Biochemical and nutritional assessment of tubers from 16 cultivars of sweet potato (*Ipomoea batatas* L.). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 43(10): 2646-2651.
- Rumbaoa, R. G. O.,D.F. Cornago and I.M.Geronimo. 2009. Phenolic content and antioxidant capacity of Philippine sweet potato (*Ipomoea batatas*) varieties. *Food Chemistry*. 113(4): 1133-1138.
- Sohonnie, K., and A.P. Bhandarker. 1954. Trypsin inhibitors in Indian foodstuff: I. Inhibitors in vegetables. *Journal of Science and Industrial Research B*. 13: 500-503.
- Zhang, D., W.W.Collins, and M.Andrade. 1998. Genotype and fertilization effects on trypsin inhibitor activity in sweet potato. *HortScience*. 33(2): 225-228.
- Zhang, Z. and H. Corke. 2001. Trypsin inhibitor activity in vegetative tissue of sweet potato plants and its response to heat treatment. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 81(14): 1358-1362.
- Zhang, Z., C.C.Wheatley and H.Corke. 2002. Biochemical changes during storage of sweet potato roots differing in dry matter content. *Postharvest Biology and Technology*. 24(3), 317-325.

A Compared of the Root Yield and Trypsin Inhibitor Activity of Sweet Potato Lines for Animal Feeds

Yung-Chang Lai^{1,3}, Wayne C. Liao² and Che-Lun Huang¹

Abstract

Sweet potatoes have been used to feed animals. However, the trypsin inhibitor of sweet potatoes prevents animals from metabolizing proteins, and that reduces the practical application of using sweet potatoes as animals' food. Thus, previous studies recommended selecting sweet potatoes with lower trypsin inhibitor activity for food applications. The trypsin inhibitor activity of Taiwanese sweet potato varieties (lines) was analyzed in this study. For animal feed sweet potatoes, the trypsin inhibitor activity of TN18, TNG17, and TNG31 was higher than 70%. On the other hand, the trypsin inhibitor activity of TNG10, the most popular animal feed sweet potato variety in Taiwan, was approximately 52.6%. The influence of thermal processing including boiling, microwaving, and baking on the trypsin inhibitor activity of sweet potatoes was also analyzed in this study. The boiling treatment successfully reduced the trypsin inhibitor activity of sweet potatoes. However, some sweet potatoes retained partial trypsin inhibitor activity after boiling treatment. An experimental line named CYY99-68 had high yield (66.12 ± 0.85 ton/ha) and low trypsin inhibitor activity (approximately 32.4%). Therefore, CYY99-68 was a good sweet potato variety for the purpose of animal feed.

Keywords: Animal feed sweet potatoes, Trypsin inhibitor activity, Thermal processing.

1 Agricultural Research Institute, Chia-Yi Agricultural Experiment Station, 2, Min-Cheng Rd., Chia-Yi, Taiwan.

2 Department of Nursing, Chang Gung University of Science and Technology, Chia-Yi, Taiwan.

3 Corresponding Author, Email: davidlai@dns.caes.gov.tw; Tel: 05-2771341.