

柑橘副產物於乳牛日糧之 營養效益與再利用潛力

◎畜產試驗所北區分所 葉上瑜、王思涵

柑橘副產物的營養價值概述

柑橘類水果在加工為果汁或濃縮產品供人類食用的過程中，會產生大量副產物，其重量約占整顆果實的 40~50%。隨著健康飲食風潮興起及消費市場擴大，這類副產物的產生量也持續增加 (Yadav *et al.*, 2022 ; Štrbac and Savić, 2010) 。與其作為廢棄物處理，這些副產物其實具有再利用潛力，特別適合作為家畜飼料。反芻動物能有效消化高纖維原料，且相較於單胃動物，對多種抗營養因子的耐受性更高，因此更適合利用此類副產物 (Hoffmann *et al.*, 2003 ; Tripathi and Mishra, 2007) 。泌乳牛對能量需求高，傳統配方多依賴富含澱粉的穀類精料。然而，在飼料成本上升與糧食競爭加劇的背景下，尋找替代性熱能飼料已成為乳業重要課題 (Flachowsky *et al.*, 2018) 。相較於穀類飼料，柑橘果渣成本較低，且富含果膠與可發酵醣類，對反芻動物具有良好消化性 (Van Soest, 1994) 。

在瘤胃發酵層面，果膠與醣類的發酵通常提高乙酸與丁酸比例，並相對降低丙酸比例 (Hindrichsen *et al.*, 2004 ; Suárez *et al.*, 2006) ，進而影響產乳量及乳成分

相關代謝途徑，以柑橘副產物替代部分穀類飼料時，也觀察到類似發酵型態變化 (Broderick *et al.*, 2002 ; Martins *et al.*, 2021) 。此外，柑橘副產物中含黃酮等生物活性化合物，可能有助於降低全身性發炎反應 (Schieber *et al.*, 2001 ; Zhao *et al.*, 2023) ，為其功能性飼料角色增添價值。

柑橘副產物添加對乳量與乳成分之影響

Hartinger *et al.* (2024) 整合多項研究，發現各類柑橘副產物 (新鮮、青貯及乾燥) 在化學營養組成上僅呈現些微差異，進一步分析其對乳牛泌乳性能的影響。統合分析指出，柑橘副產物添加於完全混合日糧 (TMR) 總乾物質中的比例 (未添加 0%、低量添加 >0 - 10%、中量添加 >10 - 20% 以及高量添加 >20%) 與乳量表現之間存在關聯，乳量與乳成分會隨添加比例不同而有所變化，如表一所示。

在乳量方面，低量添加組表現最佳，每日乳量平均約 30.9 公斤，能量校正乳量 (ECM) 亦為各組最高。不過，由於各組乾物質採食量 (DMI) 存在差異，低量組高於中量與高量組，中量組則低於未添加組，若僅比較乳量，可能無法區分是

因採食量增加，還是飼料利用效率提升所致。因此，進一步將 ECM 依乾物質採食量進行校正，以評估單位飼料所產生的乳量。結果顯示，未添加組在校正後的乳量表現最低，低於高量組，且顯著低於低量組，顯示低量添加的優勢並非單純來自採食量增加，而是反映較佳的能量利用效率。

在乳成分方面，高量添加柑橘副產物使乳脂率增加最多 0.26%，乳脂肪與乳蛋白的比值在高量添加組高於未添加與低量添加組，而中等添加量則介於兩者之間。乳糖率在未添加組最高，明顯高於中

量與高量添加組，而低量添加組則無顯著差異。乳蛋白與乳脂每日產量在低量添加組達最高水準，另僅就乳蛋白產量而言，未添加組高於中量組。值得注意的是，ECM（校正至體重 0.75 次方）、乳蛋白率、乳尿素氮及乳糖每日產量皆未受添加比例顯著影響。

整體而言，低至中量添加可同時提升乳量與乳脂率，而不影響採食量與乳蛋白率；高量添加則可能伴隨乳糖率輕微下降與 DMI 減少。因此，「適量添加」為實務應用關鍵。

表 1. 不同添加比例對乳牛乳量與乳成分之影響

測定項目	添加比例 ¹				SEM ²	P 值
	無	低	中	高		
乳量 (kg/日)	29.0 ^b	30.9 ^a	28.4 ^{bc}	28.0 ^c	1.23	<0.01
能量校正乳量 ³ (kg/日)	26.2 ^b	28.2 ^a	25.7 ^b	26.2 ^b	1.05	<0.01
能量校正乳量 (kg/kg DMI ⁴)	1.30 ^c	1.42 ^a	1.33 ^{bc}	1.38 ^{ab}	0.05	0.01
能量校正乳量 (kg/kg 體重 ^{0.75})	0.220	0.234	0.217	0.226	0.01	0.56
乳蛋白 (%)	3.09	3.08	3.01	3.12	0.07	0.22
乳脂 (%)	3.37 ^b	3.44 ^b	3.41 ^b	3.63 ^a	0.10	<0.01
乳脂乳蛋白比	1.09 ^b	1.12 ^b	1.14 ^{ab}	1.17 ^a	0.04	0.04
乳糖 (%)	4.71 ^a	4.65 ^{ab}	4.64 ^b	4.62 ^b	0.06	0.01
乳尿素氮 (mg/dl)	15.0	13.7	14.5	14.0	1.26	0.85
乳蛋白產量 (g/日)	891 ^b	947 ^a	852 ^c	862 ^{bc}	34.4	<0.01
乳脂產量 (g/日)	969 ^b	1062 ^a	961 ^b	1012 ^b	44.3	0.03
乳糖產量 (g/日)	1328	1370	1252	1357	75.3	0.13

¹ 無 = 0% 添加，低 = >0 - 10% 添加，中 = >10 - 20% 添加，高 = >20% 添加（% 占日糧乾物質百分比）；² 平均值之標準誤 (Standard error of the mean, SEM)；³ 能量校正乳量 (Energy-corrected milk, ECM) = kg 乳量 * [(38.3 * 乳脂 (g/kg) + 24.2 * 乳蛋白 (g/kg) + 783.2/3,140)]；⁴ 乾物質採食量 (Dry matter intake, DMI)。同一列中具有不同上標字母之數值表示達顯著差異 (P<0.05)。

低碳循環農業中的環境效益

柑橘副產物的價值不僅體現在營養層面，更展現在環境永續與循環經濟的實踐上。柑橘於加工與流通過程會產生大量廢棄物，有機廢棄物若直接送往垃圾掩埋場，在分解過程中會產生甲烷（ CH_4 ）和二氧化碳（ CO_2 ）等溫室氣體。甲烷是一種溫室氣體，並對氣候變遷具有顯著影響（Sarangi *et al.*, 2024）。

將副產物納入乳牛日糧，不僅可替代部分傳統飼料，降低為生產飼糧所需投入的土地、水資源與肥料使用量，亦可減少副產物於處理或棄置過程中所產生的溫室氣體排放。相關研究指出，青貯柑橘副產物餵飼乳牛並不會顯著增加瘤胃甲烷排放（Williams *et al.*, 2018），另採用新鮮淘汰橘子餵飼確實可降低乳業系統碳足跡（Baker *et al.*, 2024）。雖然 Baker *et al.* (2024) 研究以新鮮橘子為主，但可推論其加工後副產物亦可能帶來類似環境效益，尤其是在減少有機廢棄物處理與分解過程所產生之溫室氣體排放方面。

這種果園 — 加工廠 — 畜牧場的串聯模式，使副產物從「廢棄物」轉化為可利用的飼料資源，不僅降低溫室氣體排放，也提升資源使用效率，是低碳循環農業的

實際案例。隨著氣候變遷與永續農業需求增加，柑橘副產物的環境價值愈加凸顯，對打造韌性、低碳的乳業生產體系具有長遠潛力，並為循環經濟模式提供可操作的範例。

臺灣應用現況與實際使用建議

根據農業部公布之《農業統計要覽》近五年資料顯示，柑橘類為臺灣水果生產量排名第一之作物類別，年度總產量約為40~50萬公噸，顯示其在國內水果產業中的重要地位。若以加工副產物約占原料重量40~50%推估，每年潛在可利用之柑橘副產物數量相當可觀。

在法規層面，依據「飼料管理法」規定，柑橘副產物可歸類為植物性飼料原料，如要自製自用飼料或作為商品化飼料販售，須依規定申請許可；依據「廢棄物清理法」，若來源為加工廠或市場淘汰果，應透過「公告再利用」途徑合法產製飼料；此外，由於乳品供人食用，亦須符合「食品安全衛生管理法」之規範，妥善管控農藥殘留、重金屬與黴菌毒素風險，並建立完整溯源紀錄。

參考 Hartinger *et al.* (2024) 的統合結果，柑橘副產物於乳牛日糧中的添加量

建議以完全混合日糧 (TMR) 總乾物質 10% 以下開始嘗試，並視牛隻採食量與乳成分動態調整。若比例過高，可能因苦味化合物影響適口性及其高保水與膨脹特性增加瘤胃飽足感，而導致採食量下降。

(Bampidis and Robinson, 2006 ; Brachet *et al.*, 2015)。然而，在中至高添加量下，乳糖率、乳量可能降低，但能量校正乳量 (ECM) 表現仍與對照組相近，顯示飼料利用效率仍具潛力 (Broderick *et al.*, 2002 ; Martins *et al.*, 2021)。此外，柑橘副產物鈣含量偏高，分娩前日糧應審慎評估，以避免乳熱風險；泌乳期日糧則在適當配方設計下，經適當處理後加入仍能兼顧生產效益與環境效益 (Bampidis and Robinson, 2006 ; Williams *et al.*, 2018)。然而，儘管國際研究已提供一定程度的科學依據，柑橘副產物在臺灣乳牛產業中的實際應用仍相對有限，相關長期生產性能、安全性與經濟效益之本地數據仍不足。因此，未來仍需透過本土化控制試驗與示範牧場實證研究，進一步驗證不同泌乳階段、不同添加比例與處理方式下之生產表現與風險評估，方能建立更具說服力的應用基礎。

結語

整體而言，柑橘副產物於乳牛日糧中具備「營養可行性、經濟替代性與環境永續性」三重優勢。儘管研究指出低添加比例較有利於維持生產性能，實務應用上仍須視副產物的保存形式、適口性以及牧場整體的能量平衡進行適度調整。在符合法規與品質控管前提下，採取彈性添加策略，較能兼顧生產效率與風險。

參考文獻

農業部。2025。農業統計要覽 (113 年)。

<https://agrstat.moa.gov.tw/sdweb/public/book/Book.aspx>。

Baker, L., J. Bender, J. Ferguson, S. Rassler, D. Pitta, S. Chann, and Z. Dou. 2024. Leveraging dairy cattle to upcycle culled citrus fruit for emission mitigation and resource co-benefits: A case study. *Resour. Conserv. Recycl.* 203: 107452.

Bampidis, V. A. and P. H. Robinson. 2006. Citrus by-products as ruminant feeds: A review. *Anim. Feed Sci. Technol.* 128: 175-217.

Brachet, M., J. Arroyo, C. Bannelier, A.

- Cazals, and L. Fortun-Lamothe. 2015. Hydration capacity: A new criterion for feed formulation. *Anim. Feed Sci. Technol.* 209: 174-185.
- Broderick, G. A., D. R. Mertens, and R. Simons. 2002. Efficacy of carbohydrate sources for milk production by cows fed diets based on alfalfa silage. *J. Dairy Sci.* 85: 1767-1776.
- Flachowsky, G., U. Meyer, and K.-H. Südekum. 2018. Invited review: Resource inputs and land, water and carbon footprints from the production of edible protein of animal origin. *Arch. Anim. Breed.* 61: 17-36.
- Hartinger, T., M. Mahmood, and R. Khiaosa-Ard. 2024. The impact of citrus pulp inclusion on milk performance of dairy cows: A meta-analysis. *Food Chem. (Oxf)*. 9: 100216.
- Hindrichsen, I. K., H.-R. Wettstein, A. Machmüller, C. R. Soliva, K. E. Bach Knudsen, J. Madsen, and M. Kreuzer. 2004. Effects of feed carbohydrates with contrasting properties on rumen fermentation and methane release in vitro. *Can. J. Anim. Sci.* 84: 265-276.
- Hoffmann, E. M., S. Muetzel, and K. Becker. 2003. The fermentation of soybean meal by rumen microbes in vitro reveals different kinetic features for the inactivation and the degradation of trypsin inhibitor protein. *Anim. Feed Sci. Technol.* 106: 189-197.
- Martins, C., D. Fonseca, B. G. Alves, F. P. Rennó, and M. V. Santos. 2021. Effect of dietary non-fiber carbohydrate source and inclusion of buffering on lactation performance, feeding behavior and milk stability of dairy cows. *Anim. Feed Sci. Technol.* 278: 115000.
- Schieber, A., F. Stintzing, and R. Carle. 2001. By-products of plant food processing as a source of functional compounds — recent developments. *Trends Food Sci. Technol.* 12: 401-413.
- Sjaunja, L. O., L. Baevre, L. Junkkarinen, J. Pedersen, and J. Setälä. 1990. A Nordic proposal for an energy corrected milk (ECM) formula. *Proc. 27th Biennial Sess. Int. Comm. Anim. Rec. (ICAR)*, Paris, France. Pudoc, Wageningen, the

- Netherlands, 156–157.
- Štrbac, M. and M. Savić. 2010. Consumption and industrial demand for fruit juices and concentrates. *Econ. Agric.* 57: 589–597.
- Suárez, B. J., C. G. van Reenen, W. J. J. Gerrits, N. Stockhofe, A. M. van Vuuren, and J. Dijkstra. 2006. Effects of supplementing concentrates differing in carbohydrate composition in veal calf diets: II. Ruminal development. *J. Dairy Sci.* 89: 4376–4386.
- Van Soest, P. J. 1994. *Nutritional ecology of the ruminant*. Cornell University Press, Ithaca, NY.
- Williams, S. R. O., A. V. Chaves, M. H. Deighton, J. L. Jacobs, M. C. Hannah, B. E. Ribaux, G. L. Morris, W. J. Wales, and P. J. Moate. 2018. Influence of feeding supplements of almond hulls and ensiled citrus pulp on the milk production, milk composition, and methane emissions of dairy cows. *J. Dairy Sci.* 101: 2072–2083.
- Yadav, V., A. Sarker, A. Yadav, A. O. Miftah, M. Bilal, and H. M. N. Iqbal. 2022. Integrated biorefinery approach to valorize citrus waste: A sustainable solution for resource recovery and environmental management. *Chemosphere*. 293: 133459.
- Zhao, Y., S. Yu, H. Zhao, L. Li, Y. Li, M. Liu, and L. Jiang. 2023. Integrated multi-omics analysis reveals the positive leverage of citrus flavonoids on hindgut microbiota and host homeostasis by modulating sphingolipid metabolism in mid-lactation dairy cows consuming a high-starch diet. *Microbiome*. 11: 236.