

以乳脂肪酸組成作為泌乳牛飼糧營養監控之探討⁽¹⁾

王思涵⁽²⁾⁽⁴⁾ 李佳馨⁽²⁾ 廖曉涵⁽²⁾ 張俊達⁽³⁾ 蕭振文⁽²⁾

收件日期：114 年 7 月 23 日；接受日期：114 年 10 月 13 日

摘 要

本研究旨在探討乳脂肪率、乳真蛋白質率及三類型乳脂肪酸組成（新合成型、混合型與預製型）與乳牛飼糧營養成分間之關聯性，進一步評估乳脂肪酸組成作為泌乳牛飼糧營養監控指標之可行性。試驗挑選桃園地區三戶參與乳牛群性能改良計畫之乳牛場（A、B 及 C 場），每月收集一次資料，連續追蹤一年。結果顯示，A、B、C 三場之總乳脂肪率分別為 4.23、3.89 與 3.82%，其中 A 場顯著高於 B 與 C 場 ($P < 0.05$)，而 B 與 C 場之間無顯著差異。另外，三場總乳真蛋白質率分別為 3.24、3.22 與 3.06%，C 場顯著低於 A 與 B 場 ($P < 0.05$)。在乳脂肪酸組成方面，B 場總乳中新合成型脂肪酸 (de novo FA) 占乳脂肪比例最高 (25.73%)，顯著高於 A 場 (23.38%) 與 C 場 (23.54%) ($P < 0.05$)；混合型脂肪酸 (mixed FA) 占比亦以 B 場 (34.29%) 最高，顯著高於 C 場 (29.85%) ($P < 0.05$)；而預製型脂肪酸 (preformed FA) 占比則以 C 場 (42.02%) 最高，顯著高於 A 場 (38.36%) 與 B 場 (34.67%) ($P < 0.05$)。整體而言，乳脂肪率、乳真蛋白質率與預製型脂肪酸含量在總乳樣與個別乳樣中均呈現一致顯著差異性，惟新合成型與混合型脂肪酸因個體間變異（標準差）大，導致個別乳樣之顯著性排序略有不同，然整體趨勢一致，顯示無論使用總乳或個別牛乳樣本皆具營養監控之參考價值。綜觀完全混合飼糧分析結果，總乳與個別乳樣之乳脂肪率與乳真蛋白質率，與飼糧中粗蛋白質、粗脂肪及非纖維性碳水化合物 (non-fiber carbohydrates, NFC) 含量呈正相關。惟在數據使用判讀上須注意牛群結構如泌乳天數與胎次等因素對乳成分表現造成之影響需一併考量。另一方面，當飼糧中非纖維性碳水化合物含量高時，可能抑制纖維消化，降低乙酸生成，進而造成乳中新合成型脂肪酸比例下降。相對地，當飼糧中物理有效中纖維含量較高時，則新合成型脂肪酸占乳脂肪比例會顯著提高 ($P < 0.05$)，有助於提升乳脂肪含量。本研究結果顯示，乳脂肪酸組成具有作為泌乳牛飼糧營養監控指標之應用潛力。建議未來可進行長期追蹤，以觀察不同季節或日糧調整前後乳脂肪酸組成之變化趨勢，進一步釐清其與飼糧營養結構之關聯性。透過系統化的乳脂肪酸監測，有助於飼糧精準調整與乳牛健康管理，提升現場之飼養管理效率。

關鍵詞：泌乳牛、乳脂肪酸、飼糧、營養監控。

緒 言

乳成分會直接影響生乳的收購價格，目前國際上皆採用以乳成分如乳脂肪、乳蛋白質或固形物含量作為決定價格之定價制度 (component pricing system) (Bailey *et al.*, 2005)。國內目前使用之定價制度，以乳脂肪率與無脂固形物率為主。其中，乳脂肪占牛乳三酸甘油酯 (triglyceride, TG) 比例高達 95 – 98%，其分子結構由一分子甘油與三個脂肪酸 (fatty acids, FA) 組成 (Pegolo *et al.*, 2016)。因此，深入了解影響乳脂肪酸組成之因素，對於乳品品質評估與乳牛營養管理具有重要意義。根據 Barbano (2017) 之研究，將牛乳脂肪酸依據其合成來源分為三類包括，新合成型脂肪酸 (de novo FA)、混合型脂肪酸 (mixed FA) 與預製型脂肪酸 (preformed FA)。新合成型脂肪酸主要為酪酸 (C4:0) 至肉豆酸 (C14:0) 之短鏈與中鏈脂肪酸，部分棕櫚酸 (C16:0) 亦屬此類。此類脂肪酸主要由乳腺細胞利用乙酸 (acetate) 與丁酸 (butyrate) 進行脂肪酸合成 (Woolpert *et al.*, 2017)。混合型脂肪酸包括來自乳腺合成與血液循環中吸收的脂肪酸，尤其是棕櫚酸 (C16:0) 具有雙重來源 (Ungerfeld *et al.*, 2019)。預製型脂肪酸為碳鏈長度 C18 以上之長鏈脂肪酸，來源包括飼糧中脂肪或體脂肪分解後釋出的脂肪酸，經由血液進入乳腺細胞並參與乳脂肪合成 (Palmquist *et al.*, 1993)。隨著傅立葉轉換中紅外線光譜儀 (mid-Fourier transform infrared, mid-FTIR) 技術之進展，現

(1) 農業部畜產試驗所研究報告第 2844 號。
(2) 農業部畜產試驗所北區分所。
(3) 農業部畜產試驗所畜產經營組。
(4) 通訊作者，E-mail: shwang@mail.tlri.gov.tw。

已能迅速分析牛乳之脂肪酸組成。研究顯示，乳脂肪酸組成與乳脂肪率與乳蛋白質率具高度相關性 (Barbano *et al.*, 2014)，因此可作為乳品品質指標及營養管理調控之依據。乳脂肪酸組成受到乳牛群飼養管理與營養策略顯著影響。Woolpert *et al.* (2016, 2017) 指出，乳牛場總乳中乳脂肪率與新合成型脂肪酸含量較高之牧場，其牛群飼養密度較低且每日飼餵完全混合飼糧次數大於兩次，利於乳牛群採食與反芻行為進而增加乳脂肪酸合成。飼糧中含高量之多元不飽和脂肪酸 (polyunsaturated fatty acids, PUFA) 與非纖維性碳水化合物 (non-fiber carbohydrates, NFC) (Harvatine and Bauman, 2011)、物理有效中洗纖維 (physically effective neutral detergent fiber, peNDF) 含量偏低 (Woolpert *et al.*, 2016) 或額外補充脂肪來源 (Harvatine *et al.*, 2009) 等皆會對於乳脂肪酸組成造成影響，尤其是可能會抑制新合成型脂肪酸之生合成，進而降低乳脂肪率且改變脂肪酸組成 (Stoffel *et al.*, 2015)。牛乳脂肪酸組成受到合成來源、飼糧組成及飼養管理條件所影響。藉由 mid-FTIR 技術對乳脂肪酸組成進行定期且快速監測，不僅可作為乳品質管中之工具，亦有助於營養與飼養策略之優化，進而提升乳品價值與乳牛健康表現。本調查旨在探討乳脂肪率、乳真蛋白質率及三類型乳脂肪酸組成與乳牛飼糧組成之相關性，進一步探討乳脂肪酸組成作為泌乳牛飼糧營養監控之可能性。

材料與方法

I. 試驗設計與樣品收集

挑選桃園地區有參與乳牛群性能改良計畫 (dairy herd improvement, DHI) 計畫三個乳牛場 (A, B 及 C 場) 且芻料來源以乾草為主，A 場飼糧配方以泌乳量 28 kg；B 場以泌乳量 30 kg；C 場以泌乳量 32 kg 作為計算基礎。每月進行一次 DHI 資料收集且連續一年。三個乳牛場之個別牛乳樣品，統一由輔導員每月進行收集；總乳樣品統一於每月固定一日清晨擠乳前作業，每家乳牛場進行兩重複總乳樣品收集。完全混合飼糧 (total mixed ration, TMR) 於總乳採集當日飼糧配製完成剛進行餵飼時進行採樣，飼糧組成與營養成分估計值詳如表 1，且試驗期間各場飼糧配方組成一致。乾物質採食量使用以紀錄 TMR 餵飼總量扣除收集之剩料重量進行估算。每家乳牛場約採樣 2 – 3 kg TMR (濕重)，且至少需包含至少 10 個採樣點。

II. 乳成分分析

- (i) 生乳成分分析儀器：乳脂肪率及乳真蛋白質率使用 MilkoScan™ FT⁺ 及 Fossomatic™ FC (Foss Electric, Hillerød, Denmark) 進行分析，並安裝 Fatty Acid Origin 脂肪酸分析模組進行新合成型、混合型及預製型乳脂肪酸分析 (Schwarz *et al.*, 2018; Schwarz, 2018)。
- (ii) Fatty Acid Origin 乳脂肪酸分析模組原廠定義：新合成型脂肪酸涵蓋範圍為酪酸 (C4:0)、己酸 (C6:0)、辛酸 (C8:0)、癸酸 (C10:0)、月桂酸 (C12:0)、肉豆酸 (C14:0) 及肉豆蔻酸 (C14:1)；混合型脂肪酸涵蓋範圍為棕櫚酸 (C16:0) 及棕櫚烯酸 (C16:1)；預製型脂肪酸涵蓋範圍為十五脂酸 (C15:0)、十七脂酸 (C17:0)、硬脂酸 (C18:0)、油酸 (C18:1)、亞麻油酸 (C18:2)、次亞麻油酸 (C18:3)、花生酸 (C20:0)、二十碳二烯酸 (C20:2)、山萘酸 (C22:0) 及木蠟酸 (C24:0)。
- (iii) Fatty Acid Origin 脂肪酸分析模組單位：乳脂肪酸可使用不同單位表示，以牛乳為基礎：g specific Fatty Acids/100 g Milk 或以總脂肪為基礎：g specific Fatty Acids/100 g Total Fatty Acids。而此脂肪酸模組使用之單位以牛乳為基礎，是因為其無法將脂肪與剩餘的牛乳完全分離。而氣相層析法分析乳脂肪酸前，需要所有的脂肪萃取並轉化成脂肪酸甲酯 (fatty acid methyl ester) (ISO 15885 | IDF 184:2002)。脂肪酸分析模組單位換算公式如下：

$$\text{g de novo Fatty Acid/100 g Total Fatty Acids} = (\text{g de novo Fatty Acid/100 g Milk}) / \text{total Fat\%} \times 0.95$$

III. 有效中洗纖維 (peNDF) 分析

- (i) 取出 500 g 剛採集之 TMR 樣品後，使用美國賓州州立大學研發出的芻料和 TMR 顆粒分離篩 (forage and TMR particle size separator) (Heinrichs and Kononoff, 2002)。
- (ii) 先將賓州篩順序排列正確，依序為底盤 (無孔) 放在最底部、然後是下層篩 (4 mm)、中層篩 (8 mm)、最後為上層篩 (19 mm)。將 TMR 樣品輕放入上層篩，並以手輕輕撥開樣本使其均勻分散在篩上。
- (iii) 以 1.1 的頻率 (即每 60 秒篩 66 下) 手篩賓州篩，每邊篩 5 下。手臂篩動幅度約 17 公分。賓州篩轉 1/4 圈，然後繼續篩。重複步驟 4 與步驟 5，共計轉兩圈 (篩 8 次)，共計篩 40 下。
- (iv) 以電子天平秤重並記錄每一層樣本重量 (g)，計算樣本總重。
- (v) 利用公式計算 peNDF，使用 4 mm 篩子計算 peNDF，將前三個篩子加在一起，然後乘以 TMR 的 NDF 含量 (Mertens, 1999; Kmicikewycz *et al.*, 2015)。公式說明如下：

$$\text{peNDF (\%)} = (\% \geq 19 \text{ mm} + \%8 \text{ mm} + \%4 \text{ mm}) \times \text{NDF (\%DM)} / 100$$

表 1. 三個乳牛場泌乳牛群試驗期間之飼糧組成與營養成分估計值

Table 1. The dietary composition and estimated nutrient values for milking cows at the three selected dairy farms during the experiment

Farm A	
Major ingredient	concentrate ¹ , oat hay, alfalfa, pangola hay
Chemical component	
Crude protein (%) ²	16.40
Ether extract (%)	4.02
Neutral detergent fiber (%)	29.80
Dry matter intake (kg/day)	21.71
Farm B	
Major ingredient	concentrate, oat hay, alfalfa
Chemical component	
Crude protein (%)	16.20
Ether extract (%)	2.86
Neutral detergent fiber (%)	33.55
Dry matter intake (kg/day)	21.99
Farm C	
Major ingredient	concentrate, oat hay, alfalfa, pangola hay
Chemical component	
Crude protein (%)	15.30
Ether extract (%)	3.71
Neutral detergent fiber (%)	37.56
Dry matter intake	22.16

¹ Concentrate: commercial milking cow concentrate and soybean hull.

² Percentage of dry matter.

IV. 飼料一般成分分析

- (i) 水分分析：秤量並紀錄烘乾不鏽鋼盤重，隨之自每家乳牛場約採樣 2 – 3 kg TMR (濕重) 中秤取 2 kg TMR 樣品後並紀錄含 TMR 後之總重。將準備好之 TMR 樣品放置於 65°C 烘箱內 48 小時。48 小時後，取出放涼後秤取風乾重並記錄。即可計算出 TMR 之粗水分含量。
- (ii) 粗蛋白質、粗脂肪、中洗纖維、酸洗纖維及粗灰分分析：將乾燥後之 TMR 樣品進行磨粉，並標示清楚採樣月份及乳牛場代號後，寄送至畜產試驗所飼料化驗中心進行分析 (AOAC, 2012)。
- (iii) 非纖維性碳水化合物 (NFC) 計算公式：100 – 粗蛋白質 % – 粗脂肪 % – 中洗纖維 % – 灰分 %。

V. 統計分析

本試驗所收集資料使用統計分析軟體 (SAS, 2002) 中 ANOVA 程序進行變方分析，再以 Tukey 事後檢定進行多重比較，以 $P < 0.05$ 表示具有顯著差異。

結 果

I. 乳牛場試驗期間泌乳牛群結構

三個乳牛場於試驗資料收集期間泌乳牛群之平均泌乳天數及胎次如表 2 所示。A、B 及 C 場泌乳牛群平均泌乳天數依序為 255 天 ± 146 天 (標準偏差)、183 ± 126 天及 192 ± 134 天；最高泌乳天數依序為 732、595 及 878 天。而 A、B 及 C 場泌乳牛群平均胎次依序為 2.26 ± 1.25 胎、2.19 ± 1.1 胎及 2.02 ± 1.13 胎；牛群最大胎次

依序為第 8、第 5 及第 6 胎次。A 場相較於其他乳牛場，其整體泌乳牛群泌乳天數及平均胎次皆較高。

表 2. 乳牛場泌乳牛群之平均泌乳天數及胎次統計

Table 2. The description of the average days in milk and lactation numbers of lactating cows on dairy farms

Item	A (n = 1,434)	B (n = 910)	C (n = 2,574)
Average days in milk	255 ± 146 ¹	183 ± 126	192 ± 134
Maximum days in milk	732	595	878
Average lactation numbers	2.26 ± 1.25	2.19 ± 1.10	2.02 ± 1.13
Maximum lactation numbers	8	5	6

¹ Standard deviation, SD.

II. 乳牛場試驗期間 TMR 一般成分分析

北部地區三個乳牛場之 TMR 一般成分分析結果如表 3 所示，三個乳牛場 TMR 之乾物質採食量無顯著差異。A、B 及 C 場之 TMR 粗蛋白質含量依序為 15.68、15.61 及 13.98%，C 場 TMR 粗蛋白質含量顯著低於其他兩場 ($P < 0.05$)，而 A 與 B 場 TMR 粗蛋白質含量無顯著差異。A、B 及 C 場 TMR 粗脂肪含量依序為 4.38、2.91 及 3.96%，B 場 TMR 粗脂肪含量顯著低於其他兩場 ($P < 0.05$)，而 A 與 C 場之 TMR 粗脂肪含量無顯著差異。A、B 及 C 場 TMR 酸洗纖維含量依序為 15.69、16.96 及 23.31%，C 場 TMR 酸洗纖維含量顯著高於其他兩場 ($P < 0.05$)，而 A 與 B 場 TMR 酸洗纖維含量無顯著差異。A、B 及 C 場 TMR 中洗纖維含量依序為 27.77、33.03 及 37.51%，C 場 TMR 中洗纖維含量顯著高於其他兩場 ($P < 0.05$)，而 A 場 TMR 中洗纖維含量顯著低於其他兩場 ($P < 0.05$)。A、B 及 C 場 TMR 非纖維性碳水化合物含量依序為 44.56、40.22 及 37.31%，A 場 TMR 非纖維性碳水化合物含量顯著高於其他兩場 ($P < 0.05$)，而 C 場 TMR 非纖維性碳水化合物含量顯著低於其他兩場 ($P < 0.05$)。此一般成分分析結果以 TMR 樣品為主，並未計算個別乳牛場每日額外補充精料或芻料營養組成，B 場會於每日兩次推料過程中補充少量精料，而 C 場則於每日兩次 TMR 餵飼前補充每頭約 2 kg 且粗蛋白質為 4.6%(乾基)小麥乾草於高產泌乳牛群，A 場 TMR 相較於其他乳牛場而言，屬於高脂與高澱粉配方，總能量較其他乳牛場高。

表 3. 乳牛場泌乳牛群之飼糧營養成分分析值

Table 3. The dietary chemical composition of the diets of dairy farms

Item	A (n = 12)	B (n = 12)	C (n = 12)	P-value
DM, %	53.79 ± 3.54	54.25 ± 1.77	54.81 ± 1.73	0.63
CP, % of DM	15.68 ± 1.39 ^a	15.61 ± 1.68 ^a	13.98 ± 1.04 ^b	< 0.05
Ether extract, % of DM	4.38 ± 0.66 ^a	2.91 ± 0.57 ^b	3.96 ± 0.75 ^a	< 0.05
ADF, % of DM	15.69 ± 1.55 ^b	16.96 ± 1.86 ^b	23.31 ± 2.03 ^a	< 0.05
NDF, % of DM	27.77 ± 2.63 ^c	33.03 ± 2.31 ^b	37.51 ± 3.02 ^a	< 0.05
Ash, % of DM	7.61 ± 0.61 ^a	8.24 ± 0.75 ^a	7.24 ± 0.35 ^b	< 0.05
NFC ¹ , % of DM	44.56 ± 2.24 ^a	40.22 ± 3.37 ^b	37.31 ± 1.94 ^c	< 0.05

^{a, b, c} Means within a row with different superscripts differ.

¹ Non-fiber carbohydrates, $NFC = 100 - (\%NDF + \%CP + \%Fat + \%Ash)$.

III. 乳牛場試驗期間 TMR 芻料和顆粒料分離結果

北部地區三個乳牛場之 TMR 利用賓州四段篩進行芻料和顆粒料分離結果如表 4 所示，A、B 及 C 場 TMR 有效中洗纖維含量依序為 21.22、23.38 及 18.91%，C 場 TMR 有效中洗纖維含量顯著低於其他兩場 ($P < 0.05$)，而 B 場 TMR 有效中洗纖維含量顯著高於其他兩場 ($P < 0.05$)。

IV. 乳牛場總乳日平均產乳量及乳成分分析結果

乳牛場之總乳成分分析結果如表 5 所示，A、B 及 C 場總乳脂肪率依序為 4.23、3.89 及 3.82%，A 場總乳脂肪率顯著高於其他兩場 ($P < 0.05$)，而 B 與 C 場總乳脂肪率間無顯著差異。A、B 及 C 場總乳真蛋白質率依序為 3.24、3.22 及 3.06%，C 場總乳真蛋白質率顯著低於其他兩場 ($P < 0.05$)，而 A 與 B 場總乳真蛋白質率間無顯

著差異。A、B 及 C 場總乳新合成型脂肪酸占總脂肪含量依序為 23.38、25.73 及 23.54%，B 場總乳新合成型脂肪酸占總脂肪含量顯著高於其他兩場 ($P < 0.05$)。而 A 及 C 場總乳新合成型脂肪酸占總脂肪含量間無顯著差異。A、B 及 C 場總乳混合型脂肪酸占總脂肪含量依序為 32.88、34.29 及 29.85%，B 場總乳混合型脂肪酸占總脂肪含量顯著高於 C 場 ($P < 0.05$)，但與 A 場之數值無顯著差異。A、B 及 C 場總乳預製型脂肪酸占總脂肪含量依序為 38.36、34.67 及 42.02%，C 場總乳預製型脂肪酸占總脂肪含量顯著高於 A 及 B 場 ($P < 0.05$)，B 場總乳預製型脂肪酸占總脂肪含量則顯著最低 ($P < 0.05$)。

表 4. 乳牛場之 TMR 使用賓州四段篩之顆粒分佈及有效中洗纖維計算值

Table 4. The particle distribution and physically effective neutral detergent fiber calculation values for TMR on dairy farms using a Penn State Particle Separator

Item	A (n = 12)	B (n = 12)	C (n = 12)	P-value
peNDF ¹ , % as fed	21.22 ± 1.30 ^b	23.38 ± 1.49 ^a	18.91 ± 0.80 ^c	< 0.05
19-mm sieve, % as fed	23.54 ± 4.88 ^b	42.33 ± 9.64 ^a	24.67 ± 5.66 ^b	< 0.05
8-mm sieve, % as fed	24.94 ± 4.11 ^a	17.93 ± 5.16 ^b	17.39 ± 2.18 ^b	< 0.05
4-mm sieve, % as fed	20.24 ± 1.86 ^a	15.44 ± 3.10 ^b	19.17 ± 1.53 ^a	< 0.05
Pan ² , % as fed	31.28 ± 4.21 ^b	24.30 ± 4.81 ^c	38.77 ± 2.58 ^a	< 0.05

^{a, b, c} Means within a row with different superscripts differ.

¹ peNDF = physically effective NDF.

² Bottom Pan (< 4 mm).

表 5. 乳牛場之總乳平均脂肪率、真蛋白質率及三類乳脂肪酸含量

Table 5. Average fat, true protein percentage, and three types of milk fatty acids content of bulk tank milk in dairy farms during the experimental period

Item	A (n = 12)	B (n = 12)	C (n = 12)	P-value
Fat, %	4.23 ± 0.15 ^a	3.89 ± 0.16 ^b	3.82 ± 0.90 ^b	< 0.05
True protein, %	3.24 ± 0.07 ^a	3.22 ± 0.13 ^a	3.06 ± 0.76 ^b	< 0.05
Fatty acids (g/100 g of FA)				
De novo FA ¹	23.38 ± 1.30 ^b	25.73 ± 1.46 ^a	23.54 ± 1.74 ^b	< 0.05
Mixed FA ²	32.88 ± 1.16 ^a	34.29 ± 1.41 ^a	29.85 ± 1.30 ^b	< 0.05
Preformed FA ³	38.36 ± 2.34 ^b	34.67 ± 2.89 ^c	42.02 ± 2.83 ^a	< 0.05

^{a, b, c} Means within a row with different superscripts differ.

¹ C4 : 0, C6 : 0, C8 : 0, C10 : 0, C12 : 0, C14 : 0 and C14 : 1.

² C16 and C16 : 1.

³ C15 : 0, C17 : 0, C18 : 0, C18 : 1, C18 : 2, C18 : 3, C20 : 0, C20 : 2, C22 : 0 and C24 : 0.

V. 乳牛場個別牛乳樣日平均產乳量及乳成分分析結果

北部地區三個乳牛場之個別牛乳樣成分分析結果如表 6 所示，A、B 及 C 場個別牛日平均產乳量依序為 24.77、27.52 及 28.21 kg/d，C 場日平均產乳量顯著高於 A ($P < 0.05$)，但與 B 場間無顯著差異。A、B 及 C 場個別牛乳脂肪率平均依序為 4.56、4.06 及 3.99%，A 場脂肪率顯著高於其他兩場 ($P < 0.05$)，而 B 與 C 場之數值間無顯著差異。A、B 及 C 場個別牛乳真蛋白質率依序為 3.33、3.29 及 3.21%，C 場真蛋白質率顯著低於其他兩場 ($P < 0.05$)，而 A 與 B 場真蛋白質率間無顯著差異。A、B 及 C 場個別牛乳新合成型脂肪酸占總脂肪含量平均依序為 23.00、26.01 及 23.69%，B 場新合成型脂肪酸占總脂肪含量顯著高於其他兩場 ($P < 0.05$)；C 場個別牛乳新合成型脂肪酸占總脂肪含量顯著低於其他兩場 ($P < 0.05$)。A、B 及 C 場個別牛乳混合型脂肪酸占總脂肪含量平均依序為 32.82、34.87 及 30.25%，B 場個別牛乳樣混合型脂肪酸占總脂肪含量顯著高於 A 及 C 場 ($P < 0.05$)；C 場之數值顯著低於其他兩場 ($P < 0.05$)。A、B 及 C 場個別牛乳預製型脂肪酸占總脂肪含量平均依序為 37.90、34.26 及 41.88%，C 場個別牛乳預製型脂肪酸占總脂肪含量顯著高於 A 及 B 場 ($P < 0.05$)；B 場之數值顯著低於其他兩場 ($P < 0.05$)。

表 6. 乳牛場之個別牛乳平均脂肪率、真蛋白質率及三類乳脂肪酸含量

Table 6. Average fat, true protein percentage, and three types of milk fatty acids content of individual cow's milk in dairy farms during the experimental period

Item	A (n = 1,434)	B (n = 910)	C (n = 2,574)	P-value
Milk yield, kg/d	24.77 ± 8.55 ^b	27.52 ± 7.60 ^a	28.21 ± 8.35 ^a	< 0.05
Fat, %	4.56 ± 0.84 ^a	4.06 ± 0.78 ^b	3.99 ± 0.78 ^b	< 0.05
True protein, %	3.33 ± 0.45 ^a	3.29 ± 0.41 ^a	3.21 ± 0.45 ^b	< 0.05
Fatty acids (g/100 g of FA)				
De novo FA ¹	23.00 ± 2.58 ^c	26.01 ± 3.07 ^a	23.69 ± 3.55 ^b	< 0.05
Mixed FA ²	32.82 ± 2.39 ^b	34.87 ± 3.13 ^a	30.25 ± 2.76 ^c	< 0.05
Preformed FA ³	37.90 ± 4.61 ^b	34.26 ± 5.84 ^c	41.88 ± 5.36 ^a	< 0.05

^{a, b, c} Means within a row with different superscripts differ.

¹ C4 : 0, C6 : 0, C8 : 0, C10 : 0, C12 : 0, C14 : 0 and C14 : 1.

² C16 and C16 : 1.

³ C15 : 0, C17 : 0, C18 : 0, C18 : 1, C18 : 2, C18 : 3, C20 : 0, C20 : 2, C22 : 0 and C24 : 0.

討 論

總乳部分，A 場乳脂肪率最高 (4.23%)，與其飼糧中含較高之 NFC (44.56%) 與粗脂肪 (4.38%) 有關，提供乳牛高能量供應有助於乳脂肪之合成 (Allen, 1997)。同時，A 場泌乳牛群之泌乳天數及平均胎次皆較其他兩場高，泌乳末期產乳量會隨之下降且乳脂肪率會上升也是造成 A 場乳脂肪率最高的可能原因 (Stanton *et al.*, 1992)。另外，B 與 C 場之乳脂肪率較 A 場低 (3.89 與 3.82%)，除了與泌乳牛群產乳量及泌乳天數有關，也可能因其飼糧中能量密度較低所致。其中 C 場飼糧中之 NFC 為 37.31%，有效中纖維含量為 18.91%，但產乳量是三個乳牛場中最高，凸顯了乳脂肪率較低的現象。C 場之高產泌乳牛群約占泌乳牛群之 20% (產乳量高於 35 kg)，考量營養需求每日額外補充 4 kg 小麥乾草。以表 3 數據再加上 4 kg 小麥乾草作為計算基礎，C 場之高產泌乳牛群每頭每日實際乾物質採食量為 25.76 kg (4 kg × 90% DM)，營養攝取量粗蛋白質約 14.14% (4 kg × 90% × 4.6%)、粗脂肪約 3.98% (4 kg × 90% × 0.5%) 及 NDF 約 38.78% (4 kg × 90% × 35.2%)，C 場補充小麥乾草有助於提高粗蛋白質、粗脂肪與纖維攝取量，然而 NDF 含量達 38.78%，高於 NRC (2001) 建議之 NDF 含量 (25 – 33%)，小麥乾草雖可提供纖維有助於瘤胃環境，但可能使得能量濃度降低，同時粗蛋白質含量對高產泌乳牛而言仍不足。依據表 1，三個乳牛場飼糧之乾物質採食量相似，推測因採食量差異造成個別營養成分攝取之影響並不大。然考量營養分之實際供應量會因每頭牛每日實際攝取之乾物質採食量而有差異，將表 1 之數值轉換為三個乳牛場每日粗脂肪之實際攝取量，A、B 及 C 場牛群每日粗脂肪實際攝取量分別為 0.87、0.63 及 0.82 kg/d。A 場每日粗脂肪攝取量為 0.87 kg/d，顯著高於 B 與 C 場，其乳脂肪率亦為三場中最高 (4.23%) (表 5)。但其乳脂肪中以預製型脂肪酸的占比較高 (38.36%)，可能與選用之脂肪來源影響有關。A 與 B 場總乳之真蛋白質率間並無顯著差異 (3.24 與 3.22%)，可能與兩個乳牛場之 TMR 粗蛋白質含量相近有關 (15.68 及 15.61%)，同時根據 Clark *et al.* (1992)，乳真蛋白質率與瘤胃微生物蛋白產生及胺基酸可用性密切相關，推測兩場配方中瘤胃可降解蛋白質 (rumen degradable protein, RDP) 與瘤胃不可降解蛋白質 (rumen undegradable protein, RUP) 供應比例相似，有助於穩定乳蛋白合成效率，進而使乳中真蛋白表現無顯著差異。C 場 TMR 粗蛋白質含量僅 13.98%，其總乳之真蛋白質率亦為三個乳牛場最低 (3.06%)，除了可能與飼糧中蛋白質供應量及種類有關 (Santos *et al.*, 1998)，飼糧中適當之 peNDF 含量 20 – 23% (Mertens, 2002) 可有效提升瘤胃 pH 值 (Allen, 1997)，增加乳中脂肪及蛋白質量 (Caccamo *et al.*, 2014)。

新合成型脂肪酸主要來源為乳腺細胞利用乙酸與丁酸合成之脂肪酸，主要受到瘤胃發酵與 pH 值穩定性之影響。根據表 5 結果指出，B 場總乳之新合成型脂肪酸占乳脂肪之比例 (25.73%) 為三個乳牛場中最高，且 B 場 TMR 之 NDF 及 peNDF 顯著高於 A 及 C 場 (P < 0.05)，表 4 顯示其飼糧中長纖維較多，可能會造成牛群挑食，但 B 場每日餵飼頻率與推料較頻繁，有助於降低牛群挑食行為，因此有助於維持瘤胃健康與反芻行為，進而促進新合成型脂肪酸合成 (Allen, 1997)。然而，C 場 TMR 之 NDF 與 ADF 含量雖高，但 peNDF 較低 (18.91%)，說明可能與飼糧混切過細導致乾草比例雖高但物理有效性不足有關，導致瘤胃環境不穩定，使得新合成型脂肪酸比例較低 (23.54%)。

(Beauchemin and Rode, 1997)。換句話說，C 場飼糧纖維 NDF 高但利用率低，peNDF 低導致纖維快速通過瘤胃，降低 NDF 發酵率與乙酸產生量，進而影響乳脂肪率及乳脂肪酸組成。A 場之數值屬中間值 (23.38%)，其 TMR 組成高 NFC 與高脂肪含量，能快速提供能量，但可能引起瘤胃酸度下降，抑制新合成型脂肪酸合成。Fukumori *et al.* (2021) 指出，瘤胃 pH 值與乳中新合成型脂肪酸 (g /100 g FA) 呈現負相關。另外，三個乳牛場 TMR 之 peNDF 含量間具有顯著差異，且其芻料組成並不相同。B 場禾本科牧草只有燕麥草 (oat hay)，其水溶性碳水化合物含量可能與 A 及 C 場禾本科使用燕麥草與盤固草 (pangola hay) 不同。因此，結合芻料來源與不同牧草水溶性碳水等特性，並長期追蹤乳脂肪酸變化較能進行可靠的判斷。

預製型脂肪酸主要來源為飼糧中的長鏈脂肪酸或體脂肪動員。C 場總乳中 preformed 脂肪酸占乳脂肪之比例為三個乳牛場最高 (42.02%)，且其平均產乳量顯著高於其他兩個乳牛場，然而其 TMR 中粗蛋白質與 NFC 含量卻較低 (13.98 及 37.31%)，無法滿足牛群之營養需求，其中高產泌乳牛受到的影響可能較大，導致體脂肪動員所致 (Drackley, 1999; Drackley *et al.*, 2001)。C 場雖於每日兩次 TMR 餵飼前補充每頭約 2 kg 小麥乾草於高產泌乳牛群，雖可改善瘤胃環境但並非理想補充選項。A 場總乳中預製型脂肪酸占乳脂肪之比例最低 (38.36%)，其飼糧脂肪含量最高 (4.38%)，代表乳牛脂肪攝取來自飼糧而非體脂肪動員 (Grummer, 1991)，加上飼糧之 NFC 含量高 (44.56%)，提供足夠能量可避免體脂肪過度動員。B 場之數值屬中間值 (34.67%)，但其飼糧中粗脂肪含量最低 (2.91%)，可能與 B 場額外於 TMR 補充精料，提高能量濃度有關。於飼糧中提高粗脂肪含量能增加乳中預製型脂肪酸濃度 (Gallardo and Teixeira, 2023)。混合型脂肪酸的變動性同時受到日糧能量供應 (特別是脂肪來源) 與瘤胃發酵情況影響，相較於新合成型或預製型脂肪酸而言較為複雜。泌乳階段、胎次、乾物質採食量、脂肪來源與瘤胃發酵穩定性都會顯著改變混合型脂肪酸的比例 (Van Dang *et al.*, 2020)。本試驗中，總乳與個別乳中混合型脂肪酸趨勢之差異，可能因混合型脂肪酸一部分來自於乳腺細胞合成，另一部分則直接來自飼糧或血液長鏈脂肪酸吸收，而個別乳的數值保留了個體的變異性，使得三個乳牛場間出現顯著差異。

依據三個乳牛場於試驗期間總乳與個別牛乳之乳成分結果顯示 (表 5 與表 6)，總乳或個別牛乳成分在乳脂肪率、乳真蛋白質率、預製型脂肪酸之顯著差異具有一致性，惟新合成型脂肪酸與混合型脂肪酸含量受標準偏差的影響而導致顯著性排序不同，但整體趨勢是相同的，與 Woolpert *et al.* (2016) 指出總乳或是個別牛乳成分可用來作為乳牛場營養監控是一致的。總而言之，A 場 TMR 之粗蛋白質、粗脂肪及 NFC 含量，或總乳與個別牛乳樣中乳脂肪率及乳真蛋白質率，皆顯著高於其他乳牛場 ($P < 0.05$)。推測可能原因包括 TMR 屬高能量及高澱粉、RDP/RUP 組成平衡、脂肪來源較易吸收，以及牛群平均泌乳階段等生理與飼糧因素交互作用有關。其中，泌乳牛群於分娩後約第 8 個月進入泌乳末期，由於產乳量需求下降，乳脂肪率及乳蛋白質率會隨之升高 (Stanton *et al.*, 1992)。牛群於泌乳前 10 週其總乳中預製型脂肪酸含量皆高於新合成型及混合型脂肪酸，隨著泌乳期的增加總乳中預製型脂肪酸含量也隨之下降介於 1.30 – 1.50 (g/100 g milk)，而新合成型及混合型脂肪酸隨之上升，分別為介於 0.90 – 0.91 (g/100 g milk) 及 1.48 – 1.60 (g/100 g milk) (Barbano *et al.*, 2017)。飼糧配方與營養組成對於乳脂肪率的影響大於對乳蛋白質率，飼糧營養組成異動可能改變乳脂肪率約 0.1 – 1%，但僅改變乳蛋白質率約 0.1 – 0.4% (Park and Kim, 2014)。飼糧中 NFC 屬於容易被消化的部分，因此對於乳脂肪率及乳蛋白質率的影響頗重要。過量的 NFC 含量會降低纖維的消化率，降低乙酸鹽類的產生進而降低乳脂肪率，而同時增加乳蛋白質率約 0.2 – 0.3%，一般建議飼糧乾物質中 NFC 含量約占 32 – 38%，可最佳化乳中脂肪率及蛋白質率含量。A 場 TMR 中 NFC 含量為 44.56% (乾物質)，其新合成型脂肪酸占總脂肪含量顯著低於其他乳牛場 ($P < 0.05$)，此結果可能與飼糧中 NFC 含量影響纖維消化率，降低乙酸鹽類的產生有關。B 場 TMR 之有效中洗纖維含量 (23.38%)，或總乳與個別牛乳樣新合成型脂肪酸占總脂肪含量，皆顯著高於其他乳牛場 ($P < 0.05$)。此結果與 Woolpert *et al.* (2017) 結論一致，高新合成型脂肪酸乳牛場 (HDN)，其新合成型脂肪酸含量為 26.18 ± 0.94 g/100 g of FA；低新合成型脂肪酸 (LDN)，其新合成型脂肪酸含量為 24.19 ± 1.22 g/100 g of FA，試驗結果指出 HDN 場其飼糧中 peNDF 占乾物質含量顯著高於 LDN 場 (26.8% vs. 21.4%) ($P < 0.01$)。C 場針對高產乳牛於 TMR 餵飼前補充 2 kg 小麥乾草，雖其蛋白質含量低 (4.6%)，但可作為纖維來源對提升整體採食 peNDF 有所助益。表 4 顯示，C 場 TMR 之 peNDF 略低 (18.91%)，補充長纖維有助維持瘤胃 pH、促進反芻與乙酸生成。同時，表 5 數據也顯示乳脂肪率與新合成型脂肪酸表現雖略低但未異常下降，推測 C 場此舉有助於瘤胃穩定且避免乳脂肪下降。牛群飼糧中 peNDF 含量，對乳真蛋白質率有顯著的影響。適當的飼糧 peNDF 含量或芻料和顆粒料分布，除可最佳化產乳量及乳成分組成，也可作為區域性或季節性芻料品質之依據 (Caccamo *et al.*, 2014)。

結 論

乳牛場泌乳牛群 TMR 之粗蛋白質、粗脂肪及 NFC 含量較高，則其總乳與個別牛乳樣中乳脂肪率及乳真蛋白質率會相對較高，但牛群結構如泌乳天數及胎次等因素仍需一併考量。飼糧中 NFC 含量高，會影響纖維消化率，降低乙酸鹽類的產生，進而使乳中新合成型脂肪酸占總脂肪含量下降。泌乳牛群飼糧中含有較高的 peNDF，其總乳與個別牛乳樣新合成型脂肪酸占總脂肪含量會顯著較高。乳脂肪酸組成具有作為泌乳牛飼糧營養監控指標之應用潛力，建議未來可進行長期追蹤，以觀察不同季節或日糧調整前後乳脂肪酸組成之變化趨勢，進一步釐清其與飼糧營養結構之關聯性。

誌 謝

試驗期間感謝配合乳牛場及中華民國乳業協會乳品檢驗室同仁，協助試驗樣品收集及分析。

參考文獻

- Allen, M. S. 1997. Relationship between fermentation acid production in the rumen and the requirement for physically effective fiber. *J. Dairy Sci.* 80: 1447-1462.
- Association of Official Agricultural Chemists (AOAC). 2012. *Official Methods of Analysis*. 19th ed. Assoc. Off. Anal. Chem., Arlington, VA, USA.
- Bailey, K. W., C. M. Jones, and A. J. Heinrichs. 2005. Economic returns to Holstein and Jersey farms under multiple component pricing. *J. Dairy Sci.* 88: 2269-2280.
- Barbano, D. M., C. Melilli, and T. R. Overton. 2014. Advanced use of FTIR spectra of milk for feeding and health management. Pages 105-113 in *Proc. Cornell Nutrition Conf.*, Syracuse, NY. Cornell University, Ithaca, NY.
- Barbano. 2017. Management practices, physically effective fiber, and ether extract are related to bulk tank milk de novo fatty acid concentration on Holstein dairy farms. *J. Dairy Sci.* 100: 5097-5106.
- Barbano, D. M., C. Melilli, H. Dann, and R. J. Grant. 2017. Infrared milk fatty acid analysis: Experience in the field for farm management. Pages 159-174 in *2017 Proc. Proceeding of the Cornell Nutrition Conference for feed manufacturers*. October 17 to 19, 2017. Syracuse, NY. Cornell.
- Beauchemin, K. A. and L. M. Rode. 1997. Minimum versus optimum concentrations of fiber: Effects on chewing activity, ruminal acidosis, and milk production. *J. Dairy Sci.* 80: 1463-1482.
- Caccamo, M., J. D. Ferguson, R. F. Veerkamp, I. Schadt, P. Petriglieri, G. Azzaro, A. Pozzebon, and G. Licitra. 2014. Association of total mixed ration particle fractions retained on the Penn State Particle Separator with milk, fat, and protein yield lactation curves at the cow level. *J. Dairy Sci.* 97: 2502-2511.
- Clark, J. H., T. H. Klusmeyer, and M. R. Cameron. 1992. Microbial protein synthesis and flows of nitrogen fractions to the duodenum of dairy cows. *J. Dairy Sci.* 75: 2304-2323.
- Drackley, J. K. 1999. Biology of dairy cows during the transition period: The final frontier? *J. Dairy Sci.* 82: 2259-2273.
- Drackley, J. K., A. D. Beaulieu, and J. P. Elliott. 2001. Responses of milk fat composition to dietary fat or nonstructural carbohydrates in Holstein and Jersey cows. *J. Dairy Sci.* 84: 1231-1237.
- Fukumori, R., W. Shi, S. Oikawa, M. Oba. 2021. Evaluation of relationship between ruminal pH and the proportion of de novo fatty acids in milk. *JDS Commun.* 2: 123-126.
- Gallardo, W. B. and I. A. M. A. Teixeira. 2023. Associations between dietary fatty acid profile and milk fat production and composition in dairy cows: A meta-analysis. *Animals.* 132: 2063.
- Grummer, R. R. 1991. Impact of dietary fat supplementation on milk fat composition and de novo fatty acid synthesis. *J. Dairy Sci.* 74: 2545-2555.
- Harvatine, K. J., Y. R. Boisclair, and D. E. Bauman. 2009. Recent advances in the regulation of milk fat synthesis. *Animal* 3: 40-54.
- Harvatine, K. J. and D. E. Bauman. 2011. Update on mechanisms of diet-induced milk fat depression and potential

- applications. Cornell Nutrition Conf. Cornell University, Ithaca, NY.
- Heinrichs, A. J. and P. J. Kononoff. 2002. Evaluating particle size of forages and TMRs using the new Penn State Forage Particle Separator. Technical Bulletin, College of Agriculture Science, Cooperative Extension.
- ISO 15885 | IDF 184: 2002: Milkfat – Determination of the fatty acid composition by gas-liquid chromatography.
- Kmicikewycz, A. D., K. J. Harvatine, and A. J. Heinrichs. 2015. Effects of corn silage particle size, supplemental hay, and forage-toconcentrate ration on rumen pH, feed preference, and milk fat profile of dairy cattle. *J. Dairy Sci.* 98: 4850-4868.
- Mertens, D. R. 1999. Measuring the Effectiveness of NDF and its Applications in Dairy Rations. USDA-ARS US Dairy Forage Research Center, Madison, WI. Proceeding of SW Nutrition Conf., Feb. 25-26, 1999. p. 91-111.
- Mertens, D. R. 2002. Determination of Starch in Large Particles. Ro-Tap Shaker Method. U.S. Dairy Forage Research Center, Madison, WI. (Rev. April 2002).
- National Research Council (NRC). 2001. Nutrient Requirements of Dairy Cattle. 7th Edition. National Academy Press, Washington DC.
- Palmquist, D. L., A. D. Beaulieu, and D. M. Barbano. 1993. Feed and animal factors influencing milk fat composition. *J. Dairy Sci.* 76: 1753-1771.
- Park, K. K. and C. H. Kim. 2014. Meta-analysis of factors affecting milk component yields in dairy cattle. *J. Ani. Sci. and Technol.* 56: 5.
- Pegolo, S., A. Cecchinato, J. Casellas, G. Conte, M. Mele, S. Schiavon, and G. Bittante. 2016. Genetic and environmental relationships of detailed milk fatty acids profile determined by gas chromatography in Brown Swiss cows. *J. Dairy Sci.* 99: 1315-1330.
- SAS. SAS User's guide: Basics, 2002 edition. SAS institute Inc., Cary, NC.
- Stanton, T.L., L. R. Jones, R. W. Everett, and S. D. Kachman. 1992. Estimating milk, fat, and protein lactation curves with a test day model. *J. Dairy Sci.* 75: 1691-1700.
- Santos, F. A. P., E. E. Connor, R. L. Baldwin, and R. A. Erdman. 1998. Performance of dairy cows fed varying protein concentrations and forms. *J. Dairy Sci.* 81: 2526-2539.
- Schwarz, D., M. R. Bak, and P. W. Hansen. 2018. The new FOSS fatty acid origin package-Basics behind the prediction models. FOSS White Paper.
- Schwarz D. 2018. Fatty acid profiling according to origin for optimizing feeding and management of dairy cows – a new approach. FOSS White Paper. 9-10.
- Stoffel, C. M., P. M. Crump, and L. E. Armentano. 2015. Effect of dietary FA supplements, varying in FA composition, on milk fat secretion in dairy cattle fed diets supplemented to less than 3% total FA. *J. Dairy Sci.* 98: 431-442.
- Ungerfeld, E. M., N. L. Urrutia, C. Vásconez-Montúfar, and R. Morales. 2019. Factors associated with the content of mammary-synthesized fatty acids in milk fat: A meta-analysis. *J. Dairy Sci.* 102: 4105-4117.
- Van Dang Q. C., K. Emilie, H. Jean-Luc, and I. Dufresne. 2020. Influence of days in milk and parity on milk and blood fatty acid concentrations, blood metabolites and hormones in early lactation Holstein cows. *Animals.* 10: 2081.
- Woolpert, M. E., H. M. Dann, K. W. Cotanch, C. Melilli, L. E. Chase, R. J. Grant, and D. M. Barbano. 2016. Management, nutrition, and lactation performance are related to bulk tank milk de novo fatty acid concentration on north-eastern US dairy farms. *J. Dairy Sci.* 99: 8486-8497.
- Woolpert, M. E., H. M. Dann, K. W. Cotanch, C. Melilli, L. E. Chase, R. J. Grant, and D. M. Barbano. 2017. Management practices, physically effective fiber, and ether extract are related to bulk tank milk de novo fatty acid concentration on Holstein dairy farms. *J. Dairy Sci.* 100: 5097-5106.

Study on the nutritional monitoring of lactating cow ration based on milk fatty acid composition ⁽¹⁾

Szu-Han Wang ⁽²⁾⁽⁴⁾ Chia-Xin Lee ⁽²⁾ Hsiao-Han Liao ⁽²⁾
Chun-Ta Chang ⁽³⁾ and Jen-Wen Shiau ⁽²⁾

Received: Jul. 23, 2025; Accepted: Oct. 13, 2025

Abstract

This study aimed to investigate the association among milk fat percentage, whey protein percentage, and the composition of three types of milk fatty acids (de novo, mixed, and preformed) with the nutritional composition of dairy cow rations. In addition, the study evaluated the feasibility of using milk fatty acid composition as indicators for nutritional monitoring in lactating dairy cows. Three dairy farms (Farms A, B, and C) located in Taoyuan and participating in the Dairy Herd Improvement (DHI) program were selected for this study. Data were collected once a month over a continuous 12-month period. The results showed that the total milk fat percentages for Farms A, B, and C were 4.23%, 3.89%, and 3.82%, respectively. In particular, Farm A showed a significantly higher milk fat percentage than Farms B and C ($P < 0.05$), while no significant difference was shown between Farms B and C. The whey protein percentages of three farms were 3.24%, 3.22%, and 3.06%, respectively, with Farm C being significantly lower than the others ($P < 0.05$). Regarding milk fatty acid composition, the proportion of de novo fatty acids (de novo FA) was highest in Farm B (25.73%), which was significantly higher than those of Farms A (23.38%) and C (23.54%) ($P < 0.05$). The proportion of mixed fatty acids (mixed FA) was also highest in Farm B (34.29%), and significantly higher than that of Farm C (29.85%) ($P < 0.05$). In contrast, the proportion of preformed fatty acids (performed FA) was highest in Farm C (42.02%), and significantly higher than those of Farms A (38.36%) and B (34.67%) ($P < 0.05$). Overall, the total milk samples and individual samples of milk fat percentage, whey protein percentage, and preformed fatty acid content were consistent in terms of significant difference. Nonetheless, the greater variance (standard deviation, SD) between de novo and mixed fatty acids in individual samples led to slightly different significance order of individual milk samples. These findings suggested that both total milk and individual milk samples were feasible for use in nutritional monitoring of dairy herds. Analysis of the total mixed ration (TMR) composition revealed a positive association between the levels of crude protein, crude fat, and non-fiber carbohydrates (NFC) in the diet, milk fat and whey protein percentages in total milk and individual milk samples. However, it is notwithstanding to take consideration of herd structure factors such as the impact of days in milk and parity may on milk composition and performance, when interpreting such data. Additionally, high dietary NFC content could inhibit fiber digestibility, reduce acetate production, and result in a lower proportion of de novo fatty acids in milk. In contrast, rations with higher levels of physically effective neutral detergent fiber (peNDF) were associated with a significantly higher proportion of de novo fatty acids in milk fat ($P < 0.05$), which may help enhance overall milk fat content. The results of this study suggest that the fatty acid composition of milk holds the potential as a nutritional monitoring indicator for lactating dairy cows. It is recommended to conduct long-term monitoring to evaluate changes in fatty acid profiles across different seasons or before and after the dietary adjustments, in order to clarify their relationship with feed nutritional composition further. A systematic approach to monitoring milk fatty acids can support precise ration formulation and herd health management, thereby enhancing feeding efficiency in dairy farm operations.

Key words: Lactating cow, Milk fatty acid, Ration, Nutritional monitoring.

(1) Contribution No. 2844 from Taiwan Livestock Research Institute (TLRI), Ministry of Agriculture (MOA).

(2) Northern Region Branch, MOA-LRI, Miaoli 36843, Taiwan, R. O. C.

(3) Livestock Management Division, MOA-TLRI, HsinHua, Tainan 71246, Taiwan, R. O. C.

(4) Corresponding author, E-mail: shwang@mail.tlri.gov.tw.