反芻動物脂質利用及乳脂肪酸組成變化

王思涵、廖曉涵、林宗毅編譯

1950 年至 1990 年間研究乳牛如何消化、吸收及代謝脂質等發展，使得我們對於反芻動物利用脂質的過程有所認識。反芻動物與單胃動物利用脂質主要的差異在於反芻動物飼糧中脂質含量低，且一般不超過飼糧乾基之 6%（90%為脂肪酸），其中 3%來自於草料與精料或額外補充之脂肪。由於瘤胃微生物具有高生物活性會改變脂質結構，以不飽和脂肪酸為主要作用標的。因此，補充脂質提高飼糧能量濃度以過瘤胃脂肪型態為較佳選擇，研究指出無論是飽和脂肪或不飽和脂肪組成之過瘤胃脂肪皆能對乳牛性能表現有所影響，基本的概念是提供乳牛高於需求之能量而提升性能表現，但事實上仍有許多未知因素與脂質分子在乳牛營養生理扮演之角色有關。因此，乳牛如何利用脂質之研究仍被探究中。

脂質在瘤胃之命運

反芻動物飼糧中脂質來源可以分為幾個部分，草料約含有 2%脂質，類型以半乳糖基二酸甘油酯（galactosyl diglycerides）與磷脂（phospholipids）為主，另含有少量二酸甘油酯（diglycerides）和三酸甘油酯（triglycerides）。草料來源之脂肪酸含量以 C18:3 及 C18:2 較多，分別占其脂質之 60-70%及 20%。但若選擇種籽為飼糧來源，其脂質組成則以三酸甘油酯占多數。當乳牛咀嚼破壞草料與精料結構再經過瘤胃微生物生物活性分解後，飼糧中脂質會經過兩個重要的過程，分別為脂質分解（lipolysis）及生物氫化反應（biohydrogenation）。

脂質分解

脂質分解是瘤胃細菌（厭氧弧菌屬）釋放脂肪酶分解三酸甘油酯的過程，其中丁酸弧菌以分解磷酸及半乳糖類脂質為主，部分植物來源的酵素也參與脂質分解，一般細菌釋放之脂肪酶活性在瘤胃中之作用時間約為 5 小時。研究指出厭氧弧菌會針對中鏈脂肪酸（medium-chain fatty acid, MCFA）進行分解，尤其是 C8:0、C10:0 及 C12:0，有趣的是當乳牛飼糧富含棉籽或過瘤胃脂肪時，這類型細菌的數量也隨之增加。另外，植物內含之半乳糖苷酶與磷酸酶也會參與脂質分解成脂肪酸過程，而原蟲是瘤胃中少數會利用脂肪酸做為能量來源的

微生物。

生物氫化反應

飼糧之脂質由生物氫化反應轉換成為脂肪酸，主要是透過細菌之異構酶，其次為還原酶。瘤胃中脂肪酸附著於草料與精料顆粒上會增加生物氫化反應，而細菌附著於草料與精料顆粒上則使不飽和脂肪酸累積並因此減低生物氫化反應，超過60%的游離脂肪酸被吸附於草料與精料顆粒表面。原蟲在瘤胃中扮演累積脂肪酸的角色，以脂肪滴的形式讓將脂質存在於其細胞中。原蟲似乎也扮演生物氫化反應過程中間產物之累積與供給，例如共軛亞麻油酸（conjugated linoleic acids, CLA）及異油酸（vaccenic acid）。特定幾類型的細菌可誘發瘤胃中不飽和脂肪酸之生物氫化反應，而不飽和脂肪酸之生物氫化反應過程中需要游離羧基群（free carboxyl group）。CLA在加氫過程中有多類異構物會通過瘤胃，包括[cis-9, trans-11]及[trans-9, trans-11]CLA，而C18:1中主要的是 trans-11，這些異構物會存在於瘤胃外的其他部分甚至於牛奶中。研究指出種籽或過瘤胃脂肪內含豐富之多元不飽和脂肪酸以被酯化為三酸甘油酯為主；而草料來源之不飽和脂肪酸則被酯化為結構複雜之磷脂或膽固醇，這研究結果可能有助於我們應用來生產富含不飽和脂肪酸較多之牛乳。就生產高不飽和脂肪酸乳製品而言，瘤胃之生物氫化反應是主要的障礙，尤其是多元不飽和脂肪酸。目前保護脂肪過瘤胃的技術有許多，例如甲醛或皂鈣包覆、熱處理或轉化脂肪型態等，都有助於脂肪通過瘤胃，這使得飼糧調控讓牛隻產出適合人體之乳脂肪酸組成的理論可能被實現。

脂質離開瘤胃後之命運

離開瘤胃之脂質約有 20%屬於微生物來源，且來源以細菌及原蟲為主。其中，70%中性脂質來源由微生物利用乙酸（acetate）及葡萄糖（glucose）透過新合成過程（de novo synthesis）合成偶數碳脂肪酸，以C18:0及C16:0為主；而利用丙酸（propionate）合成奇數碳脂肪酸，如C13:0、C15:0及C17:0及少部分生物氫化反應過程中間產物。

瘤胃中揮發性脂肪酸及其代謝

瘤胃微生物產生之揮發性脂肪酸有 70%以上由瘤胃及重瓣胃上皮細胞吸收，揮發性脂肪酸中 60-70%為乙酸，乙酸及丁酸衍生之β-羥基丁酸（butyrate-derived β-hydroxybutyrate, BHBA）是周圍組

織主要進行脂肪新合成過程之前趨物，其次則為利用丙酸合成奇數碳脂肪酸。乙酸提供 70-80%乙醯基（acetyl-groups）給脂肪組織作為脂質生合成使用，另外 15-30%則貯存在肌肉組織間，乙酸也是乳腺細胞合成新合成型脂肪酸(de novo fatty acid)之前驅物。瘤胃藉由吸收丁酸（butyric acid）合成 BHBA 並在瘤胃中循環，10-15%之揮發性脂肪酸內至少 50%丁酸會轉換成 BHBA 及 MCFA。MCFA 與長鏈脂肪酸（long-chain fatty acid, LCFA）少量會在前胃及皺胃上皮細胞吸收（小於 4%），主要仍以被瘤胃及重瓣胃上皮細胞吸收後作為合成 BHBA 使用。

脂質對瘤胃微生物之影響

細菌利用不飽和脂肪酸合成約 20%之新合成型脂肪酸，當飼糧中脂肪酸含量增加時，細菌合成新合成型脂肪酸比例會下降。研究報告指出，飼糧中添加 10%脂肪會降低瘤胃發酵作用至少 50%，尤其以不飽和脂肪酸最為明顯。飼糧中添加脂肪造成瘤胃發酵被抑制主要是因為食物顆粒被脂肪包覆所致，且毒性物質也透過脂肪包覆干擾細菌發酵作用。不飽和脂肪酸對於瘤胃微生物之負面影響已眾所皆知，近年來研究則著重於飼糧脂肪酸組成對瘤胃微生物群之影響，相較於不飽和程度較低之脂肪酸，多元不飽和脂肪酸對微生物群組成及微生物活性影響較大，在山羊飼糧中添加富含不飽和脂肪酸之亞麻籽，結果使得其瘤胃內微生物組成多樣性顯著下降。瘤胃內生物氫化反應（加氫過程)被認為是降低不飽和脂肪酸毒性之機制。飽和脂肪酸對瘤胃微生物也會毒性，體外試驗研究結果指出棕櫚酸（palmitic acid）及硬脂酸（stearic acid）會對瘤胃內之普雷沃氏菌屬（Prevotella ruminicola)（產生丙酸）及部分溶纖維丁酸弧菌（Butyrivibrio fibrisolvens)（產生乙酸及丁酸）產生毒性，但兩者毒性皆小於油酸（oleic acid)。飽和脂肪酸中以月桂酸（lauric acid)(C12:0）對促進瘤胃微生物活性效果最佳，飼糧中添加月桂酸會抑制瘤胃內原蟲活性，但會促進瘤胃內氮利用率進而提升產乳量，然而月桂酸的添加量低於 540 克/天則未有顯著影響。月桂酸及肉荳蔻酸(myristic acid)(C14:0)會抑制瘤胃甲烷生合成作用，MCFA 對減少瘤胃生物氫化反應(加氫作用）也有影響。

脂肪酸在小腸之命運

反芻動物與單胃動物的消化系統有著根本上的差異，乳糜球狀的三

酸甘油酯可在單胃動物的十二指腸（duodenum）被快速的代謝中和；反芻動物皺胃將同質性的食糜轉換成細顆粒，形成量大且長時間存在之酸性物質（200-1200 mL/h）。食糜至十二指腸時並未完全被中和，抵達空腸（jejunum）末端時仍為酸性（十二指腸及前空腸端 pH 值約為 3；空腸末端 pH 值約為 6）。多數脂質在小腸以游離脂肪酸的型態形成微粒（micelles）或附著在食物顆粒上，膽汁的分泌有助於解離脂肪微粒及減少脂肪酸在食物顆粒上的附著。正常狀況下，小腸內由皺胃而來的脂肪含量低，因此脂肪酶在反芻動物的含量相較於單胃動物少。

腸細胞對脂質之吸收作用

單胃動物其腸腔內游離脂肪酸濃度較高是由於脂肪酶的作用所致；而反芻動物飼糧中脂質少，體內脂肪酶活性低脂質與膽汁作用形成微粒，因此游離脂肪酸的流動較單胃動物少。小腸之低 pH 值對於游離脂肪酸吸收具有重要性，低 pH 值對減低脂肪微粒的累積，低 pH 值可增加脂肪微粒解離及氫化作用，利於脂質被腸道細胞吸收，因此反芻動物腸道對於脂肪酸的吸收較單胃動物佳，特別是飽和脂肪酸吸收率可達 75%以上。腸道細胞對於脂肪酸的吸收率會受到 C18:0 流入十二指腸濃度及飼糧中脂質含量影響，當飼糧中脂質含量由 1%增加至 8%時，其腸道細胞對於脂肪酸的吸收率會由 95%減少至 78%，有鑑於此，飼糧中補充脂肪之選擇以過瘤胃脂肪為主。

飼糧中脂質在乳脂合成、乳牛健康及性能表現扮演之角色

飼糧中脂肪酸不僅會影響乳脂，對於減低轉換期牛隻緊迫改善繁殖性能也有幫助。牛乳中脂肪約有 98%是三酸甘油酯，其餘脂質為二酸甘油酯（2%）、膽固醇（0.5%）及磷脂質（1%）等。乳脂肪酸可自兩種來源，乳腺上皮細胞會利用瘤胃微生物分解部分纖維及澱粉所產生乙酸，產製新合成型脂肪酸，新合成型脂肪酸主要為 C4 至 C14 脂肪酸及少部分 C16 脂肪酸；另外約 50%乳脂肪酸為乳腺上皮細胞利用瘤胃微生物發酵產物或體循環血漿中脂質產製預製脂肪酸（preformed fatty acid），預製型脂肪酸主要為C16及大於C16之脂肪酸。乳中多數的脂肪酸為飽和脂肪酸如 C16:0 及 C18:0，少部分為不飽和脂肪酸如 cis-9 C18:1。

對泌乳牛而言，飼糧中補充脂肪可提升能量濃度，有助其渡過生產及泌乳連續過程的能量損耗，尤其以對

泌乳早期能量負平衡的效果最為顯著。乳牛產乳量的多寡決定於乾物質採食量，但當飼糧中含大量的不飽和脂肪則會造成乾物質採食量下降，對產乳量產生負面的影響，許多研究報告已指出乳牛飼糧中添加脂肪建議量為乾基之 3%。飼糧之草料與精料比對於脂肪補充後對產乳量的影響具有關聯性，當草料與精料比在 65:35 時飼糧中補充超過 3%以上亞麻籽油並不會影響瘤胃消化率，但當草料與精料比為 35:65 時則相反。而 Jenkins and Harvatine（2014）則認為飼糧中補充脂肪建議量應將脂肪種類考量進去，尤其是不飽和脂肪酸在補充脂肪及草料的含量。爰此，飼糧中脂肪最適含量建議為乾基之 5%，且飽和脂肪酸 C16:0 較常被選用。

飼糧中脂質對於乳脂肪酸組成之影響

關於乳脂肪酸對於人體的健康是正面或負面的辯論仍持續，動物試驗結果指出乳脂肪酸之生物活性有助於預防代謝疾病的產生。提供乳牛營養藉此產生高生物活性之乳脂肪酸製品是目前被認定直接有效的方法，因此如何利用飼糧調控讓牛隻產出適合人體之乳脂肪酸組成之研究仍在蓬勃發展中。以補充飼糧中不飽和脂肪酸作為降低乳中飽和脂肪酸的研究普遍使用的原料包括微藻（microalgae）、棉籽、亞麻籽、擠壓大豆、擠壓亞麻籽、橡膠油、魚油、大豆油、氫化植物油、鈣鹽棕櫚油和魚油等。當乳牛飼糧來源脂肪以不飽和脂肪酸為主時，會促進生物氫化反應導致中間產物如 CLA 及 trans-11 C18:1 增加，且降低飽和脂肪酸如 C16:0 及 C18:0 含量。海洋類的原料如魚油或藻類會強烈的促進瘤胃微生物之氫化反應，產生較多 CLA 及 trans-11 C18:1；植物類的原料如大豆油則會導致瘤胃微生物群組成的變化，影響纖維素在瘤中發酵的程度，主要影響的細菌包括 Fibrobacter succinogenes, Ruminococcus flavefaciens, Ruminococcus albus 及 Butyrivibrio fibrisolvens，這些菌種在生物氫化反應產生不飽和脂肪酸扮演重要角色。乳牛群飼養管理的模式也會影響乳脂肪酸組成，例如玉米青貯為主之完全混合飼糧（total mixed ration, TMR）或放牧自由採食青草，其乳脂肪酸組成多半為不飽和脂肪酸如 trans C18:1、C18:2 及 C18:3。

飼糧中脂質對於乳牛繁殖性能之影響

飼糧脂肪含量攸關乳牛繁殖性能表現，脂肪不僅提供能量，在繁殖過程中更扮演舉足輕重的角色。飼糧中添加脂肪有助於牛隻妊娠穩定，提高孕酮濃度、增強產後卵泡發育及卵泡直徑等，其中以不飽和脂肪酸 n-6 及 n-3 家族對於乳牛繁殖力之提升較佳。

乳脂肪酸變化與飼養管理及營養之關聯性

美國康乃爾大學食品科學系與動物科學系合作利用傅立葉轉換紅外線光譜法（Fourier-transform infrared spectroscopy, FTIR）乳成分分析儀（Delta instruments，Drachten, Netherlands）進行乳成分分析與牛群飼養管理之應用研究，其定義之新合成型脂肪酸為 C4:0 至 C15:0，混合型脂肪酸為 C16:0、C16:1 及 C17:0，預製型脂肪酸則為所有大於 C18:0。試驗結果指出，總乳中新合成型脂肪酸、混合型脂肪酸（mixed fatty acid）與預製型脂肪酸三者與乳脂肪率有正相關。當總乳中新合成型脂肪酸含量高於 0.85%或混合型脂肪酸含量高於 1.40%時，其乳脂肪率會高於 3.75%。新合成型脂肪酸與乳真蛋白質率間呈現正相關（R2=0.532）。此結果讓乳牛營養學家思考常規的乳脂肪酸變化資料是否能提供更細緻的指標作為飼養管理及營養使用。Woolpert et al.（2016）收集 44 個乳牛場牛群之總乳樣品進行分析，依據總乳中新合成型脂肪酸含量將乳牛場區分成高新合成型脂肪酸 HDN 乳牛場（26.18 ± 0.94 克/百克脂肪酸）與低新合成型 LDN 脂肪酸乳牛場（24.19 ± 1.22 克/百克脂肪酸）。HDN 場其乳脂肪量、乳真蛋白質量、新合成型脂肪酸、混合型脂肪酸與預製型脂肪酸含量皆顯著高於 LDN 場（表 1）。HDN 場之飼養密度顯著低於 LDN 場，但在牛群餵飼槽空間大小間並無顯著差異（表 2）。HDN 場及 LDN 場在 TMR 一般成分分析結果顯示，飼糧之乾物質、粗蛋白質、中洗纖維、酸洗纖維、澱粉、灰分及芻料含量，HDN 場及 LDN 場間無顯著差異（P > 0.10），而 HDN 場及 LDN 場 TMR 粗脂肪含量占乾物質量分別為 3.7%及 4.4%，HDN 場飼糧中粗脂肪含量顯著低於 LDN 場（P < 0.01）（表 3）。Barbano et al.（2017）進行 40 個乳牛場為期三年之總乳樣品收集與分析，以了解季節對於乳成分之影響。試驗牛群每日擠乳三次，其年平均產乳量 1,3489 公斤、乳脂

肪量 572 公斤、乳蛋白質量 412 公斤、乳體細胞數 10.4 萬/毫升、平均泌乳天數 167 天及泌乳牛頭數為 376 頭。試驗牛群於泌乳階段飼糧芻料比例約占 50 – 60%，飼糧組成除 75%為玉米青貯，其餘為玉米、大豆粕、副產物、過瘤胃脂肪、維生素礦及礦物質等，飼糧中胺基酸平衡以離胺酸與甲硫胺酸為基礎。試驗結果顯示，牛群在不同月份之總乳中新合成型脂肪酸或新合成型脂肪酸加上混合型脂肪酸含量與乳脂肪率變化趨勢具有一致性，但預製型脂肪酸含量則無。另外，牛群於不同月份之總乳中新合成型脂肪酸含量與乳真蛋白質率變化趨勢相近。

表 1. 利用多重比較法進行 HDN 及 LDN 乳牛場於資料收集月份之荷蘭乳牛生乳組成百分比分析

項目	HDN	LDN	SEM	*P-value*
產乳量, kg/d	26.3	22.7	1.3	0.06
脂肪量, kg/d	1.1	0.9	0.1	0.01
脂肪率, %	4.33	4.14	0.08	0.10
真蛋白量, kg/d	0.89	0.73	0.04	<0.01
真蛋白率, %	3.41	3.22	0.04	<0.01
		新合成型脂肪酸 [1]		
克/百克牛乳	1.06	0.94	0.02	<0.01
克/百克脂肪酸	**25.61**	23.71	0.19	<0.01
克/日	269.8	207.3	12.9	<0.01
		混和型脂肪酸 [2]		
克/百克牛乳	1.60	1.50	0.03	0.03
克/百克脂肪酸	**38.86**	37.98	0.26	0.02
克/日	411.9	329.7	20.0	<0.01
		預製型脂肪酸 [3]		
克/百克牛乳	1.45	1.51	0.02	0.04
克/百克脂肪酸	**35.53**	38.31	0.31	<0.01
克/日	376.4	333.4	19.2	0.12
尿素氮, mg/dL	11.4	11.3	0.5	0.89

（Woolpert *et al.*, 2016）

表 2. 利用多重比較法進行 HDN 及 LDN 乳牛場於資料收集月份之荷蘭乳牛管理因子分析

項目	HDN, %	LDN, %	OR[1](95% CI)	*P-value*
泌乳牛頭數	105	108	19	0.93
泌乳天數	165	179	36.4	0.88
餵飼槽空間, 公分/頭	50.6	42.4	3.6	0.13
頸項夾密度, 頭/組	**1.05**	**1.20**	**0.05**	**0.05**
餵飼推料頻率				
繫留式	1.3	3.5	0.9	0.06
自由式	2.7	4.8	0.9	0.10

（Woolpert *et al.*, 2016）

表 3. HDN 及 LDN 乳牛場乳牛飼糧營養組成之加權平均

項目	HDN	LDN	OR[1](95% CI)	*P-value*
乾物質, %	42.2	38.9	2.1	0.24
粗蛋白質, % 乾基	15.1	16.0	0.6	0.24
酸洗纖維, % 乾基	22.7	23.7	1.1	0.50
中洗纖維, % 乾基	37.4	38.7	1.4	0.48
澱粉, % 乾基	23.1	20.2	1.5	0.15
脂肪, % 乾基	**3.7**	**4.4**	**0.1**	**<0.01**
灰分, % 乾基	8.3	8.9	0.4	0.24
草料, % 乾基	58.1	57.8	0.1	0.51

（Woolpert *et al.*, 2016）

乳牛於泌乳早期會因為飼糧組成、環境的轉換與適應狀況不良而致能量負平衡的狀況發生。試驗牛群於泌乳期之乳脂肪酸變化如圖 1、2、3 及 4 所示，可以發現牛群於泌乳前 10 週之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含量（克/ 百克牛乳)(百分比)，在正常狀況下當牛群適應飼糧或環境後，其乾物質採食量會逐漸增加，其預製型脂肪酸含量隨之下降，而新合成型及混合型脂肪酸含量則隨之上升。將不同泌乳階段牛群依胎次區隔，分析其平均每日每頭牛之新合成型及預製型脂肪酸產量（克/頭/日）變化，可以發現經產母牛在泌乳早期之預製型脂肪酸含量較初產母牛高。此可能是因為經產母牛在泌乳早期階段之產乳需求較初產母牛高，對能量的需求也較高，此時若乾物質採食量跟不上產乳需求時，牛體則會以分解體脂肪的方式，或藉由飼糧中脂肪來源作為提供能量利用所需（Barbano et al., 2017)。

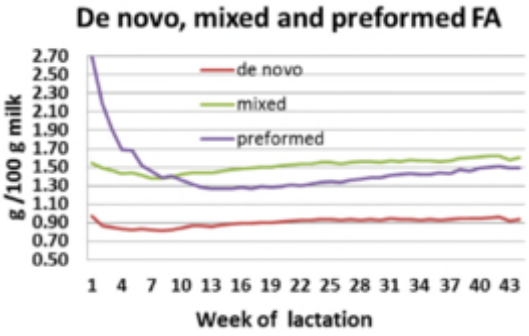

圖 1. 不同泌乳階段牛群乳中新合成型（紅線)、混合型（綠線）及預製型（紫線）脂肪酸變化

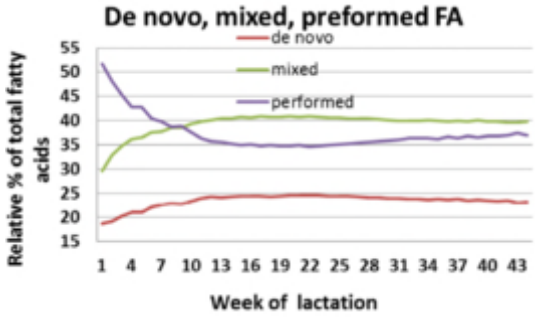

圖 2. 不同泌乳階段牛群乳脂肪中新合成型、混合型及預製型脂肪酸變化

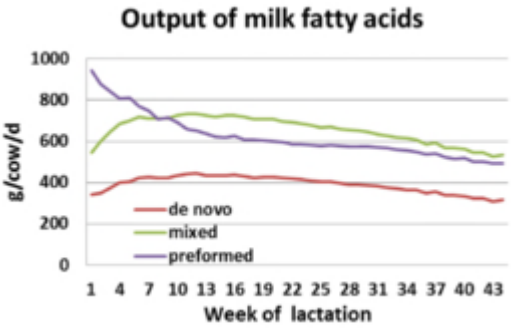

圖 3. 不同泌乳階段牛群每日每頭乳中新合成型、混合型及預製型脂肪酸變化

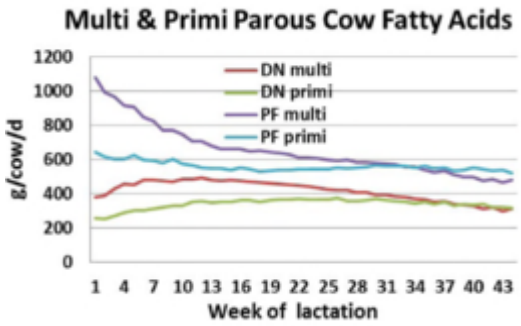

圖 4. 不同胎次及泌乳階段牛群每日每頭乳中之新合成型、混合型及預製型脂肪酸變化

全光譜乳脂肪酸分析模組

畜產試驗所新竹分所於 2019 年底將既有之生乳成分分析儀器(FOSS MilkoScanTM FT+及 FossomaticTM FC)新增 Fatty Acid Origin 脂肪酸分析模組,原廠將全光譜乳脂肪酸分析模組檢測數值與氣液色層析法(gas chromatography, GC)分析之乳脂肪酸數值比對並反覆驗證,且樣品備製與分析方式以 ISO15885:2002 及 IDF 184:2002 為依據。生乳樣品來自於法國及美國數州,且以總乳或個別牛乳為主,以符合乳品質檢驗室常規樣品來源。使用 MilkoScanTM 7 RM, MilkoScanTM FT+及 MilkoScan FT 6000 三款機型同時進行乳脂肪酸分析。新合成型脂肪酸、混合脂肪酸及預製型脂肪酸預測模組的建立皆分別使用 169 組總乳樣品及 388 組個別牛乳樣品(Schwarz, 2018;Schwarz et al., 2018)。

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 GC 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 14156:2001/IDF 172:2001)。脂肪酸分析模組單位換算公式如下:

g de novo Fatty Acid / 100g Total Fatty Acids = (g de novo Fatty Acid / 100g Milk) / total Fat%*0.95*100

此模組新合成型脂肪酸涵蓋範圍為 C4:0、C6:0、C8:0、C10:0、C12:0、C14:0 及 C14:1;混合型脂肪酸涵蓋範圍為 C16:0 及 C16:1;預製型脂肪酸涵蓋範圍為 C15:0、C17:0、C18:0、C18:1、C18:2、C18:3、C20:0、C20:2、C 22:0 及 C24:0。

季節對乳脂肪率、乳真蛋白質率及乳脂肪酸組成之影響

試驗資料由行政院農業委員會畜產試驗所新竹分所 DHI 資料庫提供,分析資料期間為 2020 年 1 月至 12 月,共 156 個泌乳牛群。試驗資料依據季節區分成春季(2、3 及 4 月)、夏季(5、6 及 7 月)、秋季(8、9 及 10 月)及冬季(11、12 及 1 月);

依據胎次區分成第1胎次、第2胎次、第3胎次、第4胎次及大於第5胎次。

季節部分的試驗結果指出，乳脂肪率以冬季最高(4.07%)，而夏季最低(3.95%)。冬季乳脂肪率顯著高於其他季節（P < 0.05)。乳真蛋白質率以春季（3.24%）及冬季最高（3.24%)，夏季最低(3.15%)，春季及冬季乳真蛋白質率顯著高於夏季及秋季（P < 0.05)。不同季節 DHI 乳牛場個別乳樣之新合成型脂肪酸占總脂肪酸含量，以秋季最高（22.31%），而春季及冬季最低（22.04 及 22.08%)。秋季之新合成型脂肪酸占總脂肪酸含量顯著高於其他季節（P < 0.05)。混合型脂肪酸占總脂肪酸含量則以夏季及秋季最高（31.18 及 31.16%)，春季與冬季最低（30.28 及 30.35%)。預製型脂肪酸占總脂肪酸含量以秋季最高（38.37%)，且顯著高於其他季節(P < 0.05)(表 4)。

牛隻胎次對乳脂肪率、乳真蛋白質率及乳脂肪酸組成之影響

不同胎次對乳脂肪率、乳真蛋白質率及乳脂肪酸組成之結果顯示，乳脂肪率以第1、2及3胎次最高(4.03、4.04 及 4.02%)，大於第 5 胎次乳脂肪率顯著低於其他胎次(P < 0.05)。乳真蛋白質率以第 2 胎次最高（3.23%），大於第 5 胎次最低（3.09%)。第 2 胎次乳真蛋白質率顯著高於其他胎次（P < 0.05)。第 1 胎次之新合成型及混合型脂肪酸占總脂肪酸含量顯著低於其他胎次（23.03 及 32.09%)(P < 0.05)。第 1 胎次預製型脂肪酸占總脂肪酸含量顯著高於其他胎次(39.31%)(P < 0.05)(表 5)。Van et al.（2020）試驗結果發現，經產牛生乳中 C4 - C14 脂肪酸（21.64%）及 C16:0 脂肪酸(33.47%)占總脂肪酸含量顯著高於初產牛生乳中 C4 - C14 脂肪酸（19.7%)及 C16:0 脂肪酸(31.78%)占總脂肪酸含量（P < 0.05)。相反地，初產牛生乳中 C18:0 脂肪酸（14.57%)及 C18:1 脂肪酸(28.12%)占總脂肪酸含量顯著高於經產牛生乳中 C18:0 脂肪酸(12.67%)及 C18:1 脂肪酸(26.27%)占總脂肪酸含量(P < 0.05)。初產牛相較於經產牛而言，須同時兼顧生長及泌乳需求，對於能量的需求較高，因而調動較多身體備用脂肪。本試驗結果與上述結果趨近，而將經產牛胎次更細分，可觀察到牛群於大於第 5 胎次時因其產乳量顯著低於其他經產牛，其新合成型及混合型脂肪酸占總脂肪酸含量最高，而預製型脂肪酸占總脂肪酸含量最低，可能說明牛群處於正能量狀態，身體開始貯存體脂肪。

結語

FTIR 已廣泛被乳業先進國家之乳牛性能改良計畫（dairy herd improvement, DHI）乳品檢驗室做為生乳組成分析之主要方法（Kaylegian et al., 2006），過往乳脂肪酸必須先進行脂質萃取，再利用 GC 進行脂質衍生物的分離及分析，相當耗時費工。

利用 DHI 之每月生乳樣品，定期的分析牛隻個別乳或牧場總乳之脂肪酸分類組成，包括 C4－C14 與部分 C16、C16 及大於 C18 脂肪酸等，作為評估乳牛場整體飼養管理及營養之基礎，已成為乳業先進國家在乳品質檢測與應用之新趨勢，但如何利用脂肪酸變化擬定飼養管理策略，或如何搭配國內既有用來作為評估飼養管理之乳成分標準如乳脂肪率、乳蛋白質率、尿素氮、檸檬酸及丙酮或β-羥基丁酸等資料，仍需更深入的研究方能建立全面的乳牛健康管理綜合指標。

表 4. 季節對個別牛乳脂肪率、平均乳真蛋白質率及乳脂肪酸之影

項目	春季 (n = 43,643)	夏季 (n = 45,115)	秋季 (n = 44,888)	冬季 (n = 41,039)	*P-value*
脂肪率, %	4.02±0.85^{c}	3.95±0.87^{d}	4.05±0.89^{b}	4.07±0.88^{a}	< 0.05
真蛋白率, %	3.24±0.43^{a}	3.15±0.41^{c}	3.16±0.44^{b}	3.24±0.46^{a}	< 0.05
			脂肪酸 (克/百克總脂肪酸)		
新合成型	22.04±3.72^{c}	22.17±3.72^{b}	22.31±3.80^{a}	22.08±3.77^{c}	< 0.05
混合型	30.28±3.61^{b}	31.18±3.51^{a}	31.16±3.60^{a}	30.35±3.74^{b}	< 0.05
預製型	35.12±6.31^{d}	37.61±6.07^{b}	38.37±6.27^{a}	35.79±6.32^{c}	< 0.05

表 5. 胎次對個別牛乳脂肪率、平均乳真蛋白質率及乳脂肪酸之影響

項目	胎次				
	1 (n^2 = 78,623)	2 (n = 49,944)	3 (n = 26,385)	4 (n = 12,467)	>5 (n = 7,498)
脂肪率, %	4.03±0.85^{a}	4.04±0.89^{a}	4.02±0.90^{a}	3.98±0.88^{b}	3.92±0.88^{c}
真蛋白率, %	3.20±0.43^{b}	3.23±0.45^{a}	3.18±0.44^{c}	3.14±0.43^{d}	3.09±0.42^{e}
			脂肪酸 (克/百克總脂肪酸)		
新合成型	23.03±3.97^{b}	23.57±3.85^{a}	23.48±4.04^{a}	23.61±3.98^{a}	23.52±3.86^{a}
混合型	32.09±3.79^{d}	32.58±3.79^{b}	32.48±3.98^{c}	32.66±3.84^{b}	32.90±3.80^{a}
預製型	39.31±6.67^{a}	38.15±6.60^{c}	38.32±6.91^{b}	37.94±6.74^{d}	37.65±6.69^{d}