

# 飼糧添加機能性油脂對阿爾拜因山羊泌乳性能 與羊乳脂肪酸組成之影響<sup>(1)</sup>

范耕榛<sup>(2)(4)</sup> 蕭宗法<sup>(3)</sup> 李春芳<sup>(3)</sup>

收件日期：112 年 8 月 21 日；接受日期：113 年 1 月 16 日

## 摘 要

為強化羊乳脂肪酸組成，在阿爾拜因乳山羊飼糧中分別添加 0%、3% 大豆油 (含 55.3% C18:2)、3% 魚油 (含 21.5% C22:6, DHA) 或 3% 亞麻籽油 (含 60.7% C18:3, n-3)，探討對羊隻泌乳性能、瘤胃消化與羊乳脂肪酸組成之影響。乳山羊共 20 頭，完成變積期泌乳性能測定後逢機分成四組，在個別欄飼養 18 日後，重新分組進行第二次飼養試驗。兩頭瘤胃開窗乾乳羊每 10 日依序採食四處理飼糧，並於最後 2 日連續採集瘤胃內容物。試驗結果顯示，四組羊隻平均採食量與泌乳量相近，不受三種各具脂肪酸特色油脂添加的影響，總平均分別為 1.63 與 2.33 kg，羊隻對魚油飼糧的接受度變異大；飼糧油脂會影響羊乳脂肪的合成，四組羊隻乳脂率依序分別為不添加對照組的 3.34 (100%)、3.71 (111%)、3.00 (90%) 及 3.57% (107%)，大豆油提高而魚油降低乳脂率 ( $P < 0.01$ )。因健康因素，只有 1 頭瘤胃開窗羊完成試驗。飼糧添加油脂明顯降低瘤胃總揮發性脂肪酸的日生成，對照組與添加油脂組平均分別為 93.7 與 77.1 mM。在羊乳脂肪酸方面，油脂添加可顯著降低其飽和度 (自對照組 69.6% 降低至添加組 65.5%)，且可增加多不飽和脂肪酸 (自 4.18% 增加至 6.72%) 及共軛亞麻油酸比例 (自 1.39% 增加至 3.73%)，魚油與亞麻籽油添加可以顯著增加 n-3 脂肪酸比例 (n-6/n-3 自 6.20 降低至 2.36)。綜合試驗結果建議，亞麻籽油飼糧的適口性佳，可維持羊隻良好泌乳性能，且其添加可使羊乳脂肪酸組成更符合現代健康期待。

關鍵詞：阿爾拜因乳山羊、魚油、亞麻籽油、乳脂肪酸。

## 緒 言

牛乳、羊乳和其乳製品是全球人類營養的重要來源之一，提供優良蛋白質、礦物質、維生素和能量等，也是必需脂肪酸的重要來源 (Dauber *et al.*, 2021)。

由於瘤胃微生物活躍的氫化作用，反芻動物的乳與肉的脂肪酸飽和度偏高，現代消費者食物豐富充沛，當食用過多的飽和脂肪酸易導致高膽固醇、動脈粥樣硬化和其他心血管健康問題 (Noakes *et al.*, 1996)、降低胰島素敏感性，造成代謝紊亂和糖尿病風險 (Givens, 2015)。美國威斯康辛州乳銷售管理局 (Wisconsin Milk Marketing Board) 於 1988 年提出理想牛乳脂肪酸組成的建議，即飽和脂肪酸 (saturated fatty acids, SFA)、單不飽和脂肪酸 (monounsaturated fatty acids, MUFA) 與多不飽和脂肪酸 (polyunsaturated acids, PUFA) 的比例約為 8%、82% 及 < 10% (O'Donnell, 1989)，而實際一般牛乳脂肪酸組成約略分別為 70%、25% 及 5%，飽和度非常高，羊乳脂肪酸組成亦類似，分別為 76%、20% 及 4% (范等, 2016)。實際與理想之間的差距相當大，牛乳脂肪酸組成雖可由多種方法改善，但要改善使其成為理想牛乳組成也應是不可能的任務 (Grummer, 1991)。

一般公共衛生政策建議，減少飽和脂肪酸攝取並增加 Omega-3 脂肪酸 ( $\omega$ -3 脂肪酸；n-3 脂肪酸) 飲食。Omega-3 脂肪酸主要包括  $\alpha$ -亞麻酸 ( $\alpha$ -linolenic acid, ALA, C18:3 cis9, cis12, cis15)、二十碳五烯酸 (eicosapentaenoic acid, EPA, C20:5) 及二十二碳六烯酸 (docosahexaenoic acid, DHA, C22:6) 三種，皆為人體必需脂肪酸。含高量 C18:3, n-3 脂肪酸的植物較少，亞麻籽油為其代表。EPA 主要幫助抗發炎、改善血液循環及抗血栓形成，DHA 則為幫助腦部、視力健康發展及維持健康的免疫反應，EPA 與 DHA 為水中單細胞藻類所合成，由深海魚類進食後累積，主要來源如

(1) 農業部畜產試驗所研究報告第 2781 號。  
(2) 農業部畜產試驗所畜產經營組。  
(3) 農業部畜產試驗所退休。  
(4) 通訊作者，E-mail: m3802@mail.tlri.gov.tw。

魚粉。Liu *et al.* (2016) 在高油飼糧中調高 PUFA，發現可以有效降低小鼠的動脈粥狀硬化程度與發炎反應等，且以來自動物源（魚油）與藻油的 DHA/EPA 調整較有效。自 1970 年代晚期，因研究發現 n-6 脂肪酸可衍生為前列腺素 (prostaglandin) 與花生四烯酸 (arachidonic acid) 等發炎因子，因此認為促進體內發炎，而 n-3 脂肪酸則持相反作用可降低發炎反應，興起以 n-6/n-3 比例做為評估指標，但陸續的研究發現 PUFA 的影響錯綜複雜，且脂肪酸種類多又特性不一，William (2018) 於是建議由新的指標來取代：Omega-3 Index (wt%)，指人體紅血球表面的 EPA+DHA 含量。

牛乳脂肪酸並非都不利於人體健康，如 C18:0 與 C18:1 可以有效降低膽固醇 (Parthasarathy *et al.*, 1990)。乳中共軛亞麻油酸 (conjugated linoleic acid, CLA)、神經鞘磷脂 (sphingomyelin)、丁酸 (butyric acid)、醚脂 (ether lipids)、 $\beta$ -胡蘿蔔素 ( $\beta$ -carotene)、維生素 A 與維生素 D 都有抗癌效果 (Parodi, 1999)。反芻動物的乳與肉是自然界中 CLA 最豐富的來源 (Khanal and Olson, 2004)，屬於亞油酸 (C18:2) 的共軛二烯，是瘤胃微生物氫化飼糧中大量不飽和脂肪酸成為最終 C18:0 的中間產物 (Kepler and Tove, 1967; Enjalbert *et al.*, 2017)。CLA 的抗癌效果已經在老鼠動物研究及細胞株培養實驗中證實，即使只添加到飼糧的 0.1%，已可抑制老鼠的乳房腫瘤 (Schut *et al.*, 1997)，其他效果尚包括抗肥胖、抗糖尿病、抗心臟血管疾病及調整免疫功能等 (Aydin, 2005)，CLA 也具有降低乳脂率的效果，研究得知自皺胃灌注的 CLA 降低 52% 的乳脂率，並且集中在自體合成脂肪酸部分 (Chouinard *et al.*, 1999)。Baumgard *et al.* (2002) 指出，CLA 異構物中的 trans10, cis12 形式，可能經由降低與乳脂合成相關基因表現而使乳脂合成顯著降低，另外異構物 C18:1, trans9 也是一很強的乳脂肪合成抑制脂肪酸 (Gama *et al.*, 2008)。

油脂能量濃度約為澱粉類的 2.5 倍，雖然瘤胃發酵易受飼料油脂的干擾，但在高產牛羊營養需求高與熱季採食量下降的雙重壓力下，適量添加油脂為一常用的營養調整策略，在反芻動物飼糧中油脂的使用最高約 5 – 7%。適當的油脂補充也能夠調節哺乳動物的乳脂組成，顯著改善乳汁營養特性。Noakes *et al.* (1996) 以保護處理過的菜籽油與大豆油 (C18:1 較高) 取代原 C16:0 與 C14:0 為主的飼糧，可以將其乳製品的脂肪酸飽和度自 70% 降低到 51%，並顯著降低參試人員血中膽固醇濃度，尤其是低密度脂蛋白 (low density lipoprotein, LDL)；在山羊飼糧中添加亞麻籽油會顯著降低乳脂肪飽和度、短鏈和中鏈脂肪酸濃度及 n-6/n-3 脂肪酸比例，並增加 CLA 與 C18:3 含量 (Kholif *et al.*, 2018)；在山羊飼糧中添加 1.5%、3% 或 4.5% 大豆油可以提升羊乳營養品質，Silva *et al.* (2020) 報告大豆油的添加可有效降低飽和脂肪酸濃度，尤其是導致動脈粥樣硬化的 C12:0、C14:0 及 C16:0。最近研究報告指出，在乳山羊飼糧中補充 4.16% 的鮭魚油與亞麻籽油混合物，不影響動物性能表現，但可以降低羊乳脂肪酸飽和度，同時增加 CLA cis9, trans11、C18:1, trans11 及 DHA 含量，因此有益於提升消費者健康 (Thanh *et al.*, 2023)。

本試驗之目的，為探討泌乳羊飼糧中額外添加大豆油、魚油或亞麻籽油對泌乳羊生產性能、乳成分及乳脂肪酸組成之影響，以期了解飼糧油脂添加對提升羊乳健康訴求的可行性。

## 材料與方法

本試驗於農業部畜產試驗所試驗羊舍進行，試驗動物之使用、飼養管理及試驗內容經畜產試驗所實驗動物管理小組以畜試動字第 97032 號申請核准在案。

### I. 試驗處理

選擇具機能性脂肪酸之油脂 3 種，分別添加達飼糧乾基的 3%。四處理組分別為不添加油脂的對照組、添加 3% 大豆油 (含 55.3% 的 C18:2，大成大豆沙拉油) 組、添加 3% 魚油 (含 21.5% 的 C22:6，DHA) 組及添加 3% 亞麻籽油 (含 60.7% 的 C18:3，屬 n-3 脂肪酸，美國 Barlean organic high lignan flax oil) 組。

### II. 泌乳山羊飼養試驗設計

將阿爾拜因泌乳山羊 20 頭，群飼兩週後測定個別乳量、乳成分與乳中脂肪酸組成，做為統計時的變積期資料。試驗開始前參試羊群的平均體重、乳量、乳脂肪、泌乳天數與胎次分別為  $60.9 \pm 10.7$  kg、 $2,482 \pm 614$  g、 $3.07 \pm 0.42\%$ 、 $79 \pm 10$  天與  $2.0 \pm 0.9$  胎。羊隻依乳量及泌乳天數隨機分入 4 個處理組，飼養於高架個別欄，進行第一次 18 天飼養試驗，試驗結束後群飼休息 4 天，以不與第 1 次試驗同一組別原則下重新分組重複試驗 1 次。兩次試驗的前 14 天為羊隻適應期，之後進行各組飼糧採樣與分析、個別羊隻採食剩料採樣、乳量記錄、乳樣採集與成分測定等。

試驗飼糧的營養分提供以體重 60 kg、每日產乳量 2.5 kg 且乾物採食量 2.0 kg 為基礎，依 NRC (2007) 乳山羊之營養需要量進行調配，基礎飼糧組成為每日每頭提供 3.2 kg 泌乳牛 TMR (乳量 26.5 kg)、300 g 青割狼尾草、150 g 百慕達乾草、250 g 苜蓿乾草及 400 g 穀類精料 (餵飼基)，添加油脂三處理組每日每頭再補充 60 g 油

脂，並將 60 g 油脂先行與 400 g 穀類精料混合後冷藏備用（處理後精料）。實際各飼糧原料提供量依羊隻變積期乳量進行等比例增減，試驗期間也再參考採食狀況做必要調整。對照組基礎飼糧營養組成計算值分別為乾物質 (dry matter, DM) 47.2%、總可消化營養分 (total digestible nutrients, TDN) 68.6%、粗蛋白質 (crude protein, CP) 17.0%、酸洗纖維 (acid detergent fiber, ADF) 26.9%、中洗纖維 (neutral detergent fiber, NDF) 42.7%、粗脂肪 (ether extract, EE) 2.86%、鈣 0.84% 及磷 0.44% (乾基) (表 1)。

表 1. 阿爾拜因乳羊脂肪添加試驗之基礎飼糧配方與營養分估算<sup>1</sup>

Table 1. Formula and calculated nutrient compositions of basal diet fed to lactating Alpine dairy goats in dietary fat supplementation trial<sup>1</sup>

Diet formula			Calculated compositions	
Ingredient	Quantity (g/day/goat, as fed basis)	Quantity (% DM basis)	Nutrient	Concentration (% DM basis)
TMR for lactating cow <sup>2</sup>	3,200	62.1	DM	47.2
Napiergrass fresh cut	300	2.7	CP	17.0
Bermudagrass hay	150	6.6	EE	2.86
Alfalfa hay	250	11.1	NEI	1.56 Mcal/kg
Grain mixture <sup>3</sup>	400	17.4	NDF	42.7
			ADF	26.9
			Ca	0.84
			P	0.44

<sup>1</sup> Basal diet was formulated to support 2.5 kg daily milk yield with 2.0 kg of dry matter intake.

<sup>2</sup> TMR: total mixed ration. The TMR for lactating cow included corn silage 22, fresh cut napiergrass 5, pangolagrass hay 1, alfalfa hay 2, alfalfa pellet 1, soybean hull pellet 2, silage from wet brewer's grains and corn meal (10:1 w/w) 11, wheat bran 0.8, and grain mixture 5 kg/cow/day (as fed basis). Dry matter (DM), crude protein (CP), net energy for lactation (NEI), and neutral detergent fiber (NDF) of TMR were 39.4%, 16.0%, 1.60 Mcal/kg, and 45.5% (DM basis), respectively.

<sup>3</sup> Grain mixture was constituted from corn meal 40, soybean meal 37, wheat bran 13, molasses 3, salt 0.5, limestone 1.6, di-calcium phosphate 1.0, sodium bicarbonate 2.0, magnesium oxide 1.2, and vitamin and mineral premix 0.7 kg per 100 kg amount (as fed basis). This mixture had 23.7% of CP and 77.1% of total digestible nutrients (TDN) (DM basis).

### III. 泌乳山羊飼養管理

羊隻逢機分成四組後，依序循環安置於羊舍內同一排高架個別羊欄內，每個羊欄均有飼槽及自動飲水碗，羊群飼養管理依標準作業流程進行。每日分別於上午 7:00 與下午 3:30 擠乳。每天分 3 次餵飼羊隻，時間與餵飼量分別約為上午 8:30 的 25%、下午 2:30 的 50% 及夜間 9:00 的 25%。每餐觀察羊隻剩料量作為其餵飼量調整之依據，使隔日上午剩料約為前 1 日總提供量的 5 - 10%，以達任食。三餐餵飼時先行秤取處理後精料餵飼，再秤取泌乳牛 TMR (每日分 3 次提供) 與青割狼尾草 (上午提供)、百慕達乾草 (下午提供) 或苜蓿乾草 (晚上提供)，置於飼料槽中手拌混合餵飼。

### IV. 瘤胃消化試驗

以兩頭瘤胃開窗的阿爾拜因乾乳羊，依序餵飼泌乳羊對照組、大豆油組、亞麻籽油組及魚油組飼糧。每期飼養期 10 天，前 8 天適應，最後兩天連續採集瘤胃內容物，測定瘤胃 pH、揮發性脂肪酸 (volatile fatty acid, VFA) 與氨態氮 (NH<sub>3</sub>-N) 的濃度日變化。

### V. 測定項目

#### (i) 乳山羊泌乳性能測定

1. 體重：於兩次試驗開始與結束日，各連續兩日上午 10:30 餵飼後過磅。
2. 飼糧組成：於兩次試驗第 9 日起，採集 3 次各項飼糧原料，先以 -20°C 保存，試驗結束後以 55°C 烘乾 48 小時，熱秤得乾物質率，將每項原料的 3 個乾燥後樣品均勻再採樣以混合成 1 個樣品，經 1 mm Wiley mill 磨細後依 AOAC (2000) 分析 CP 與 EE 等，另參考 Goering and Van Soest (1970) 方法分析 NDF 及 ADF。試管乾物質消化率 (*in vitro* dry matter digestibility, IVDMD) 依李及蕭 (2007) 修正方法進行。
3. 採食量：每日記錄個別羊隻飼糧提供量與隔日上午剩餘量。於試驗最後 5 日採集三餐飼糧及隔日個別羊隻剩料，先行冷凍保存後再烘乾如飼糧原料之處理，並依飼糧乾物質供應量及剩料乾物質率，計算個別



羊隻 5 日的平均乾物質採食量。

4. 泌乳量：試驗開始前 3 日，連續記錄個別羊隻乳量並採集個別乳樣送驗，作為羊隻變積期性能數據。於試驗第 15 日到第 18 日，連續四日測定個別羊隻的泌乳量，於第 16 日到 18 日連續三日依個別羊隻的上下午乳樣，依其乳量比例 (約 2:1) 混合成一日乳樣，送本所北區分所牛乳檢驗室，以全自動多功能乳成分分析儀 (MilkScan™ FT<sup>+</sup>, Foss, Denmark) 分析一般乳成分，包括乳脂、乳蛋白質、乳糖、乳總固形物及乳中尿素氮等。
- (ii) 瘤胃消化：兩頭瘤胃開窗阿爾拜因乾乳羊於每次試驗第九天起，進行連續兩天 48 小時的瘤胃內容物採樣。採樣時間為上午 8:00 (0 h, 餵飼前)、9:30 (1.5 h)、11:00 (3 h)、下午 1:00 (5 h)、3:00 (餵飼前, 7 h)、4:30 (8.5 h)、6:00 (10 h)、夜間 7:30 (11.5 h)、9:30 (餵飼前, 13.5 h)、11:00 (15 h)、隔日凌晨 0:30 (16.5 h)、3:00 (19 h) 及 5:30 (21.5 h)，共 13 個採樣點。瘤胃液採集方法、分析步驟及項目參考范等 (2021)。
- (iii) 羊乳脂肪酸分析：在取乳樣時多取 1 份，每頭羊 3 日乳樣各取 1/3 混合，以 -20°C 冷凍保存以備脂肪酸分析。分析前隔夜解凍水浴加溫至 37°C 後，參考 Chouinard *et al.* (1999) 方法，以正己烷 (hexane) 及異丙醇 (isopropanol) 等進行乳脂肪酸萃取與甲基酯化處理，再以附火焰離子偵測器 (flame ionization detector, FID) 的氣相層析儀 (Varian CP-3800) 分析乳脂肪酸組成，脂肪酸標準品包括 C4 – C24 脂肪酸及三種 CLA 脂肪酸 (cis9, trans11、trans10, cis12 及 trans9, trans11)，分析方法參考范等 (2016)。

## VI. 統計分析

羊隻泌乳量與乳成分以有變積分析的完全隨機設計 (Completely randomized design (CRD) with covariance analysis) 統計分析，以消除羊隻個體性能差異；其餘性狀差異性分析以 CRD 統計分析；試驗所得資料以 SAS 統計軟體 (2005) 進行一般線性模式 (General Linear Model, GLM) 分析，若變方分析達顯著差異水準，再以最小平方均值 (least squares means, LSM) 比較處理組間的差異，本次試驗以  $P < 0.05$  為顯著差異水準。

## 結果與討論

### I. 飼糧組成

試驗期間飼糧之基礎配方 (對照組) 及營養組成計算如表 1，飼糧原料組成之營養成分分析結果列於表 2，對照組之飼糧營養成分設計含粗蛋白質 17% 與泌乳淨能 1.56 Mcal/kg，並由泌乳牛 TMR、青割狼尾草、百慕達乾草、苜蓿乾草與穀類精料共同組成作為泌乳羊 TMR，實測飼糧原料組成與設計值相近，青割狼尾草品質優而百慕達乾草品質較預期為低，整體而言飼糧營養應可符合體重 60 kg 乳量 2.5 kg 泌乳羊需求。參考 NRC (2007) 飼料成分表，油脂泌乳淨能為 6.3 Mcal/kg，試驗組額外添加 60 g 油脂相當於每天每頭提高 0.378 Mcal 泌乳淨能。

表 2. 阿爾拜因乳羊脂肪添加試驗之飼糧原料營養分組成 (%，乾基)

Table 2. Nutrient compositions of diet ingredients fed to lactating Alpine dairy goats in dietary fat supplementation trial (%，dry matter basis)

Ingredients	DM <sup>1</sup>	CP	EE	ADF	NDF	IVDMD
Grain mixture w/o oil added <sup>2</sup>	91.0	23.8	1.48	9.0	18.4	—
Grain mixture w soybean oil	92.5	21.1	16.6	6.6	15.6	—
Grain mixture w fish oil	92.7	20.7	16.7	6.7	16.1	—
Grain mixture w flaxseed oil	93.3	20.7	15.5	7.8	19.0	—
TMR for lactating cow <sup>2</sup>	37.5	18.7	3.43	28.1	50.6	—
Napiergrass, fresh cut	10.9	12.3	2.54	42.9	69.4	60.0
Bermudagrass hay	90.9	9.7	1.65	36.0	82.8	48.1
Alfalfa hay	86.1	20.6	2.29	31.1	44.0	63.6

<sup>1</sup> DM: dry matter, CP: crude protein, EE: ether extract, ADF: acid detergent fiber, NDF: neutral detergent fiber, IVDMD: *in vitro* dry matter digestibility.

<sup>2</sup> w/o: without, w: with, TMR: total mixed ration.

## II. 泌乳性能

三項機能性油脂添加對乳羊泌乳性能之影響，整理於表 3。飼養試驗過程中，觀察到羊隻對魚油處理料的接受度變異頗大，有厭食與拒食情形。問題嚴重羊隻移除 1 頭後，四組每日每頭乾物質採食量以平均值  $\pm$  SD 表示時，依序分別為不添加油脂對照組的  $1,656 \pm 344$ 、添加大豆油組的  $1,636 \pm 229$ 、添加魚油組的  $1,443 \pm 382$  及添加亞麻籽油組的  $1,754 \pm 336$  g，魚油組採食量的變異較其他組為大，平均採食量在數值上也較對照組降低了 12.6%，亞麻籽油的適口性有較佳趨勢 ( $P < 0.10$ )，平均採食量增加為對照組的 106%，大豆油的添加不影響羊隻採食；然而由於羊隻採食量變異較大，各組採食量並未達顯著差異水準。另依實際乾物質採食量推算，在處理後精料都可以完全採食前提假設下，三組油脂添加占飼糧的比例分別為 3.67、4.16 及 3.42%，魚油組添加比例可能偏高。

表 3. 飼糧添加機能性油脂對阿爾拜因山羊泌乳性能之影響

Table 3. Effects of supplementation of functional fat in diets on the milking performance of Alpine dairy goats

Items <sup>1</sup>	Control	Soybean oil 3%	Fish oil 3%	Flaxseed oil 3%	P-value
No.	10	10	9	10	
DM intake, g/d	1,656	1,636	1,447	1,754	0.25
BW change, g/d	-123	-91	-131	-75	0.58
Milk production, g/d	2,294	2,362	2,220	2,409	0.48
Milk efficiency	1.37	1.45	1.50	1.40	0.71
Milk fat, %	3.34 <sup>b</sup>	3.71 <sup>a</sup>	3.00 <sup>c</sup>	3.57 <sup>ab</sup>	<.001
Milk protein, %	2.78	2.85	2.80	2.79	0.42
Milk lactose, %	4.23	4.31	4.33	4.32	0.12
Milk total solid, %	11.05 <sup>b</sup>	11.56 <sup>a</sup>	10.83 <sup>b</sup>	11.39 <sup>a</sup>	<.001
MUN, mg/dL	29.4	25.8	26.4	27.5	0.18

The least squares means (LSM) are listed.

<sup>1</sup> DM: dry matter, BW: body weight, Unit for milk efficiency: Milk/DMI; and MUN: milk urea nitrogen.

<sup>a, b, c</sup> LSM with different superscripts differed significantly ( $P < 0.001$ ).

魚油添加影響採食在相關研究也觀察到，Kitessa *et al.* (2001) 使用氫化的鮭魚油或未保護的鮭魚油餵飼山羊 (魚油占飼糧乾物質 3%)，結果未保護魚油降低了採食量；Donovan *et al.* (2000) 指出荷蘭泌乳牛補充 0、1、2 或 3% 魚油時，乾物質採食量分別為 28.8、28.5、23.4 及 20.4 kg，魚油添加達飼糧 2% 時即開始顯著抑制採食量與其後的產乳量；Lacasse *et al.* (2002) 也指出餵飼未經微膠囊保護的魚油，採食量降幅可能高達 25% 以上。

三種各具脂肪酸特色油脂的添加並未能明顯改善乳量，未添加組、大豆油組、魚油組與亞麻籽油組依序泌乳量為 2,294 (100%)、2,362 (103%)、2,220 (97%) 及 2,409 g (104%)，總平均 2,321 g/日/頭，同時也不影響日增重、泌乳效率、乳蛋白質濃度及乳糖濃度，但對羊乳脂肪合成具有顯著的影響 ( $P < 0.01$ )，四處理組的乳脂率分別為 3.34 (100%)、3.71 (111%)、3.00 (90%) 及 3.57% (107%)，魚油顯著抑制乳脂肪合成，大豆油顯著促進乳脂肪合成，亞麻籽油也有促進乳脂肪合成之趨勢。魚油組脂肪率的降低進一步降低其生乳總固形物濃度。試驗同時觀察到四組羊隻都處在失重狀況，這可能因炎熱夏季降低了羊群採食量而僅達到 2 kg 設定值的 81% 所致；其中大豆油組與亞麻籽油兩組羊隻失重較為緩和，較對照組與魚油組減少 35% 的失重 (-83 vs. -127 g)。

Cattaneo *et al.* (2006) 指出，在乳山羊的飼糧中添加未保護的魚油會顯著降低乳脂率，並有降低乳量的傾向；Kitessa *et al.* (2001) 餵飼未經氫化保護魚油除了減低採食量，也降低乳羊乳量、乳蛋白質和乳脂肪產量。El-Nor and Khatlab (2012) 在飼糧中添加魚油、葵花籽油或其組合，羊乳中的脂肪、蛋白質和無脂固形物濃度皆有降低現象；Núñez de González *et al.* (2020) 指出乳山羊對魚油補充的反應仍呈現相互矛盾的結果。綜合文獻顯示，飼糧直接添加未保護的魚油很可能影響採食量、乳量及乳成分，但植物性油脂的適量添加則多呈現正面效果。Martínez-Marín *et al.* (2011) 於乳山羊的基礎飼糧中分別添加高油酸葵花籽油、普通葵花籽油或亞麻籽油每日每頭 48 g，結果添加油脂除了不影響採食量外，高油酸葵花籽油可提升乳量，普通葵花籽油與亞麻籽油則促進較高的乳脂率，試驗結果與本次的大豆油組及亞麻籽油組一致。Ali *et al.* (2019) 評估於山羊飼糧中補充亞麻籽油每日每頭 10、20 或 30 mL 後，乳蛋白質與乳糖濃度不受影響，但乳量較不添加組分別增加 14.6、18.8 及

26.0%，平均增加達 19.8%，餵飼 30 mL 亞麻籽油且有較高的乳脂濃度，該結果較本次試驗亞麻籽油組增加 4% 乳量明確。

### III. 瘤胃消化

試驗前準備了兩頭瘤胃開窗乾乳羊，但其中一頭在餵飼後有屢管脫落情形，造成飼糧兩天瘤胃代謝結果重複性差，因此試驗僅提供一頭分析結果為參考而無統計分析 (表 4)。瘤胃消化試驗結果顯示，油脂添加對瘤胃 pH 環境影響相近；添加魚油及亞麻籽油降低瘤胃 NH<sub>3</sub>-N 的產生高峰，縮小一日內變化幅度；在瘤胃 VFA 方面，魚油的影響與另二種油脂不同，添加魚油降低 C2、增加 C3 及 C4 的莫耳比例，使 C2/C3 比例降低，與魚油組的低乳脂率反應相符。整體瘤胃消化顯示，油脂的添加非常明顯的抑制了 17.8% 的總 VFA 生成 (93.7 vs. 77.1 mM)，意即瘤胃內碳水化合物的分解受到影響，有關飼糧添加油脂與瘤胃纖維分解的相互影響仍研究不輟 (Enjalbert *et al.*, 2017)，早期 Devendra and Lewis (1974) 的研究曾提出油脂抑制纖維分解的假說，其一可能是物理上，瘤胃中的油脂會結合到飼糧顆粒上，因而降低瘤胃纖維分解菌必要的貼附 (adhesion)；然而 Ali *et al.* (2019) 研究指出添加亞麻籽油可促進較高的 VFA 濃度與乳量；高濃度的 VFA 提高泌乳山羊的乳量 (Kholif *et al.*, 2015; Morsy *et al.*, 2015)。本次試驗添加油脂明顯降低瘤胃 VFA 的產生，使得羊隻由 VFA 提供的能量減少，推測油脂的添加可能用於彌補 VFA 源能量的損失，使得本試驗油脂的添加未能顯示出乳量的改善。

表 4. 飼糧添加機能性脂肪對乾乳山羊瘤胃消化之影響<sup>1</sup>

Table 4. Effects of supplementation of functional fat in diets on the ruminal digestion of dry goat<sup>1</sup>

Items	Control	Soybean oil 3%	Fish oil 3%	Flaxseed oil 3%
<b>Ruminal pH</b>				
Diurnal wei. avg. <sup>2</sup>	6.29	6.35	6.52	6.46
Highest	6.72	6.58	6.67	6.78
Lowest	6.01	6.11	6.32	6.19
<b>Ruminal NH<sub>3</sub>-N, mg/dL</b>				
Diurnal wei. avg.	23.9	24.7	19.9	21.0
Highest	37.5	33.4	26.8	25.4
Lowest	15.8	17.4	14.9	16.6
<b>Ruminal VFA</b>				
C2/C3	3.96	4.30	2.96	3.71
C2, mM, wei. avg.	67.8	56.8	50.9	52.1
C2, molar%	73.0	73.1	65.5	69.9
C3, mM, wei. avg.	17.1	13.2	17.2	14.0
C3, molar%	18.1	16.9	21.6	18.6
C4, mM, wei. avg.	5.93	5.58	7.75	6.16
C4, molar%	6.37	7.23	10.16	8.45
Total VFA, mM, wei. avg.	93.7	78.1	78.4	74.9

<sup>1</sup> Due to health problem, only one Saanen goat finished the experiment. Observed data were provided for reference, not statistical analyzed.

<sup>2</sup> Data were expressed as 24-hr diurnal weighed average (wei. avg.). C2: acetic acid, C3: propionic acid, C4: butyric acid, Total VFA: sum of individual volatile fatty acids (VFA).

### IV. 飼料、油脂與羊乳脂肪酸組成

飼料與油脂之脂肪酸組成列於表 5。三種油脂各有其特殊的脂肪酸組成，大豆油總脂肪酸中有 55.3% 的 C18:2，魚油在於其特高的 C22:6 DHA 含量，占總脂肪酸的 21.5%，亞麻籽油則是目前高 n-3 脂肪酸的代表，C18:3 含量達總脂肪酸的 60.7%。牧草與穀類都含有約 25% 的 C16:0 飽和脂肪酸，但在不飽和脂肪酸組成方面則不盡相同，牧草主要含 C18:2 與 C18:3 脂肪酸，穀類則主要為 C18:1 與 C18:2 脂肪酸。牧草、魚油及亞麻籽油有高的 n-3 脂肪酸比例，穀類與大豆油的 n-3 比例則偏低。

表 5. 阿爾拜因乳羊脂肪添加試驗之飼糧原料脂肪酸組成 (總脂肪酸 %)

Table 5. Fatty acid compositions of diet ingredients fed to Alpine dairy goats in dietary fat supplementation trial (% of total fatty acids)

Fatty acid	Napiergrass fresh cut	Bermudagrass hay	Alfalfa hay	Grain mixture	Soybean oil	Fish oil	Flaxseed oil
C14:0	0	3.62	5.59	4.30	0.06	5.54	0.03
C16:0	28.6	28.9	24.5	22.8	10.8	22.8	5.35
C16:1	1.32	0	0	0	0.08	7.11	0.09
C18:0	2.50	4.02	4.01	4.26	3.96	2.89	3.05
C18:1 <sup>1</sup>	5.30	5.16	1.58	26.2	23.0	31.0	15.9
C18:2 <sup>1</sup>	18.0	17.6	17.7	35.5	55.3	1.78	14.5
C18:3 <sup>1</sup>	34.8	24.6	34.1	2.54	5.75	0.80	60.7
C20:5	0	0.60	0	0	0	1.74	0
C22:6	1.62	2.33	1.28	0	0	21.5	0
SAFA <sup>2</sup>	38.9	49.7	45.3	35.8	15.7	33.6	8.80
MUFA <sup>2</sup>	6.61	5.16	1.58	26.2	23.1	39.5	16.0
PUFA <sup>2</sup>	54.5	45.1	53.1	38.1	61.2	26.9	75.2
CLA <sup>2</sup>	0	0	0	0	0.07	0.72	0
n-6/n-3 <sup>2</sup>	0.50	0.64	0.50	14.11	9.63	0.09	0.24

<sup>1</sup> C18:1, cis 9; C18:2, cis 9, 12; C18:3, cis 9, 12, 15.

<sup>2</sup> SAFA: saturated fatty acid, MUFA: mono-unsaturated fatty acid, PUFA: poly-unsaturated fatty acid. CLA: conjugated linoleic acid. n-6/n-3: ratio of omega 6 to omega 3 fatty acid.

三種機能性油脂的添加對羊乳脂肪酸組成的影響列如表 6 所示。由於各組內羊乳脂肪酸組成的變異很小，使得 29 種個別脂肪酸幾乎都達到組間顯著差異。與對照組比較，三種油脂的添加可以有效降低 6% 羊乳脂肪酸飽和度 (69.6 vs. 65.5%)、增加 60% 多不飽和脂肪酸 (4.18 vs. 6.72%) 與增加 2.68 倍的 CLA (1.39 vs. 3.73%)；大豆油與亞麻籽油可以有效提高單不飽和脂肪酸 11.6% (26.2 vs. 29.3%)；魚油與亞麻籽油添加非常有效的提高羊乳中的 n-3 脂肪酸 (n-6/n-3 6.20 vs. 2.35)，因此油脂添加對整體脂肪酸的改善是有幫助的。

魚油對羊乳脂肪酸的影響模式與另二種油脂不一致。在有益健康方面，魚油顯著增加 4.1 倍的 C18:2, cis9, trans11 型式 CLA (對照組 1.16 vs. 4.89%)，大豆油與亞麻籽油組增加 2.1 倍，亞麻籽油組更增加 2.3 倍的 C18:3 (0.41 vs. 0.96%) 脂肪酸，魚油添加也使羊乳中含有微量但顯著較高的 EPA 與 DHA 濃度；對健康不利的方面，魚油增加 C6:0 到 C14:0 自體合成飽和脂肪酸濃度 14% (25.9 vs. 29.6%)，但大豆油與亞麻籽油組可降低 12.3% (25.9 vs. 22.7%)，同時降低 15% 的 C16:0 脂肪酸 (28.6 vs. 24.3%)；魚油添加也顯著降低 C18:0、C18:1, cis9 與 C18:2, cis9, cis12 脂肪酸合成，大豆油與亞麻籽油組可增加 28% 的 C18:0 (10.2 vs. 13.1%)，但大豆油添加也促使 n-6 脂肪酸比例顯著增高。綜合比較後建議，本次試驗魚油與大豆油的添加對改善羊乳脂肪酸的效果正反皆有；亞麻籽油添加的羊乳脂肪酸組成較符合現代健康訴求。

本試驗中魚油組乳脂率的顯著降低，可能與其顯著高的 C18:1, trans9 (2.21 vs. 9.34%，增加 4.2 倍) 濃度有關。在瘤胃，C18:2 與 C18:3 被氫化成為 C18:0 的過程中，C18:1, trans9 是其中產物之一 (Enjalbert *et al.*, 2017)，推測本次試驗的 C18:1, trans9 脂肪酸應是由魚油中高達 31% 的 C18:1, cis9 脂肪酸轉化而來，Gama *et al.* (2008) 發現乳牛採食魚油引起的乳脂率降低，與 C18:1 trans 型式脂肪酸 (雙鍵在 C10 或以下位置) 存在明確負相關，因此 C18:1, trans9 脂肪酸具有抑制乳脂合成能力。

Kitessa *et al.* (2001) 餵飼鮭魚油會產生富含 n-3 的羊乳 (0.3 – 0.5% EPA 和 1.01 – 1.12% DHA)，也觀察到以鮭魚油餵養羊隻降低了乳中 C18:0 濃度，可能是由於長鏈多不飽和脂肪酸優先進入羊乳三酸甘油酯中和或抑制瘤胃生物氫化 C18:1 至 C18:0 所致。Cattaneo *et al.* (2006) 研究報告顯示，在飼糧中添加魚油可顯著減少羊乳中的飽和脂肪酸含量，並增加多元不飽和脂肪酸含量，與本試驗觀察一致，但 AL-Sultan (2007) 研究顯示，飼糧補充未受保護魚油可降低脂肪濃度，但不影響羊乳脂肪酸組成。

Martínez-Marín *et al.* (2011) 餵飼高油酸葵花籽油、普通葵花籽油或亞麻籽油，可增加不飽和脂肪酸含量，乳脂中 n-6/n-3 脂肪酸比例隨亞麻籽油的添加而降低，隨普通葵花籽油增加而增加，表示亞麻籽油可提高羊乳中 n-3



的比例，而葵花籽油則否，該結果與本試驗的兩种植物性油脂的結果十分一致。Ali *et al.* (2019) 在山羊飼糧中添加亞麻籽油，使飽和脂肪酸平均減少 13.7%，不飽和脂肪酸的濃度平均增加了 28.3%，其中 C18:1、C18:2 和 C18:3 的濃度顯著增加。綜合本次試驗與相關文獻結果，飼餵泌乳山羊亞麻籽油可以作為一種營養策略，降低羊乳的中短鏈及飽和脂肪酸濃度，增加羊乳的長鏈和多不飽和脂肪酸，提高 n-3 脂肪酸，並有助採食量與乳量表現，這種策略對消費者的營養和健康具有正面效益。

表 6. 飼糧添加機能性脂肪對阿爾拜因羊乳脂肪酸組成之影響 (總脂肪酸 %)

Table 6. Effects of supplementation of functional fat in diets on milk fatty acid profiles of Alpine dairy goats (% of total fatty acids)

Fatty acid	Control	Soybean oil 3%	Fish oil 3%	Flaxseed oil 3%	Sig.
C4:0	2.99 <sup>ab</sup>	3.00 <sup>ab</sup>	2.75 <sup>b</sup>	3.31 <sup>a</sup>	*
C6:0	2.41 <sup>b</sup>	2.33 <sup>b</sup>	2.56 <sup>a</sup>	2.41 <sup>b</sup>	*
C8:0	2.57 <sup>b</sup>	2.44 <sup>b</sup>	3.04 <sup>a</sup>	2.44 <sup>b</sup>	***
C10:0	8.13 <sup>b</sup>	7.39 <sup>bc</sup>	9.66 <sup>a</sup>	7.15 <sup>c</sup>	***
C12:0	3.07 <sup>b</sup>	2.63 <sup>c</sup>	3.73 <sup>a</sup>	2.55 <sup>c</sup>	***
C14:0	9.67 <sup>b</sup>	8.04 <sup>c</sup>	10.58 <sup>a</sup>	7.98 <sup>c</sup>	***
C16:0	28.6 <sup>a</sup>	25.0 <sup>b</sup>	30.0 <sup>a</sup>	23.5 <sup>c</sup>	***
C18:0	10.2 <sup>c</sup>	12.2 <sup>b</sup>	3.27 <sup>d</sup>	13.9 <sup>a</sup>	***
C18:1, t9 <sup>1</sup> , n-9	2.21 <sup>c</sup>	5.57 <sup>b</sup>	9.34 <sup>a</sup>	4.45 <sup>b</sup>	***
C18:1, c9 <sup>1</sup> , n-9	23.2 <sup>a</sup>	23.0 <sup>a</sup>	14.5 <sup>b</sup>	24.2 <sup>a</sup>	***
C18:2, c9,12, n-6	2.38 <sup>a</sup>	2.55 <sup>a</sup>	1.65 <sup>c</sup>	2.14 <sup>b</sup>	***
C18:3, c9,12,15, n-3	0.41 <sup>c</sup>	0.36 <sup>c</sup>	0.55 <sup>b</sup>	0.96 <sup>a</sup>	***
C18:2, c9t11 (CLA)	1.16 <sup>d</sup>	2.87 <sup>b</sup>	4.89 <sup>a</sup>	2.05 <sup>c</sup>	***
C18:2, t10c12 (CLA), n-6	0	0	0	0.01	NS
C18:2, t9t11 (CLA)	0 <sup>b</sup>	0 <sup>b</sup>	0.0007 <sup>b</sup>	0.025 <sup>a</sup>	*
C20:5 (EPA), n-3	0 <sup>b</sup>	0 <sup>b</sup>	0.069 <sup>a</sup>	0 <sup>b</sup>	***
C22:6 (DHA), n-3	0.021 <sup>b</sup>	0.024 <sup>b</sup>	0.57 <sup>a</sup>	0.012 <sup>b</sup>	***
Saturated fatty acid	69.6 <sup>a</sup>	64.6 <sup>c</sup>	67.0 <sup>b</sup>	64.9 <sup>bc</sup>	***
SAFA <sup>1</sup> ≤ C14:0	28.9 <sup>b</sup>	25.9 <sup>c</sup>	32.4 <sup>a</sup>	25.8 <sup>c</sup>	***
MUFA <sup>1</sup>	26.2 <sup>b</sup>	29.2 <sup>a</sup>	25.0 <sup>b</sup>	29.3 <sup>a</sup>	***
PUFA <sup>1</sup>	4.18 <sup>c</sup>	6.17 <sup>b</sup>	8.10 <sup>a</sup>	5.88 <sup>b</sup>	***
SAFA/USAFA <sup>1</sup>	2.32 <sup>a</sup>	1.83 <sup>c</sup>	2.06 <sup>b</sup>	1.86 <sup>c</sup>	***
CLA <sup>1</sup>	1.39 <sup>c</sup>	3.24 <sup>b</sup>	5.23 <sup>a</sup>	2.72 <sup>b</sup>	***
n-6/n-3 <sup>1</sup>	6.20 <sup>b</sup>	7.69 <sup>a</sup>	1.77 <sup>d</sup>	2.94 <sup>c</sup>	***

<sup>1</sup> SAFA: saturated fatty acid, MUFA: mono-unsaturated fatty acid, PUFA: poly-unsaturated fatty acid, USAFA: unsaturated fatty acid, CLA: conjugated linoleic acid, n-6/n-3: ratio of omega 6 to omega 3 fatty acid, c: cis, and t: trans.

Sig.: Significance. \*: P < 0.05, \*\*: P < 0.01, \*\*\*: P < 0.001, and NS: P > 0.05.

<sup>a, b, c, d</sup> LSM with different superscripts differed significantly (P < 0.05).

本次試驗中觀察到另一現象，值得討論。很多研究工作都期待由飼糧的強化提升畜產品的健康品質。飼糧中大量的不飽和脂肪酸影響瘤胃微生物的生長，尤其是原蟲與纖維分解菌，瘤胃微生物因此以生物氫化作用進行解毒，將不飽和脂肪酸先自 cis 型式轉化成 trans 型式，最終氫化為飽和脂肪酸型式 (Enjalbert *et al.*, 2017)。本次試驗的三種油脂皆未經過保護處理，以魚油所含的 DHA 計算，估算自飼糧的採食量到羊乳中的產出量，其轉換率僅 3.84%，Kitessa *et al.* (2001) 指出飼糧中 EPA 和 DHA 轉移到羊乳中的比例為 3.5 至 7.6%，若將魚油先行保護處理，則可明顯提高轉換效率，Chilliard *et al.* (2001) 也指出，因為瘤胃活躍的氫化作用，飼糧中魚油的 EPA 與 DHA 機能性脂肪酸送達乳中的效率是低的。這個現象也可以飼糧與羊乳脂肪酸組成的變化為佐證，飼糧不飽和脂肪酸以 C18:1、C18:2 及 C18:3 為主，但在羊乳中已氫化為以 C18:0 與 C18:1 為主 (表 5、表 6)，因此



欲將天然的機能性脂肪酸由餵飼移轉入乳中的做法，效果應有限。

## 結論與建議

機能性油脂大豆油 ( 含 55.3% C18:2 )、魚油 ( 含 21.5% C22:6, DHA ) 及亞麻籽油 ( 含 60.7% C18:3, n-3 ) 添加至泌乳羊飼糧的 3%，未能改善羊隻乳量，但魚油會抑制羊乳脂肪合成，大豆油則是增加羊乳脂肪，且羊隻對魚油的接受度變異大。整體評估，油脂的添加可提升羊乳脂肪酸組成，降低脂肪酸飽和度，增加多不飽和脂肪酸及共軛亞麻油酸比例。魚油對羊乳脂肪酸組成的影響正反皆有，大豆油與亞麻籽油可降低 C16:0、增加 C18:0，亞麻籽油更可增加 C18:3 與提高羊乳中 n-3 比例，大豆油添加使 n-6 脂肪酸偏高值得注意，綜合試驗結果建議，添加亞麻籽油的羊乳脂肪酸組成較符合現代健康訴求。

## 參考文獻

- 范耕榛、蕭宗法、李春芳。2016。泌乳山羊飼糧中椰子粕適當用量之探討。畜產研究 49：50-59。
- 范耕榛、蕭宗法、李春芳。2021。飼糧添加椰子粕對阿爾拜因山羊增重及瘤胃消化之影響。畜產研究 54：162-172。
- 李春芳、蕭宗法。2007。反芻動物飼料試管乾物質消化率 (IVDMD) 方法之修改。畜產研究 40：59-65。
- Ali, M., M. Thabet, and E. Ibrahim. 2019. Effects of flaxseed oil supplementation to lactating goats diet on milk production, composition and fatty acids profiles. *Al-Azhar J. Agri. Res.* 44: 66-78.
- AL-Sultan, S. I. 2007. Influence of feeding different concentration of fish oil on milk composition of Awasi goats. *J. Anim. Vet. Adv.* 6: 57-60.
- Association of Official Analytical Chemists. 2000. *Official Methods of Analysis*. 17th ed. AOAC, Arlington, VA.
- Aydin, R. 2005. Conjugated linoleic acid: chemical structure, sources and biological properties. *Turk. J. Vet. Anim. Sci.* 29: 189-195.
- Baumgard, L. H., E. Matitashvili, B. A. Corl, D. A. Dwyer, and D. E. Bauman. 2002. trans-10, cis-12 Conjugated linoleic acid decreases lipogenic rates and expression of genes involved in milk lipid synthesis in dairy cows. *J. Dairy Sci.* 85: 2155-2163.
- Cattaneo, D., V. Dell'Orto, G. Varisco, A. Agazzi, and G. Savoini. 2006. Enrichment in n-3 fatty acids of goat's colostrum and milk by maternal fish oil supplementation. *Small Rumin. Res.* 64: 22-29.
- Chilliard, Y., A. A. Ferlay, and M. Doreau. 2001. Effect of different types of forages, animal fat or marine oils in cow's diet on milk fat secretion and composition, especially conjugated linoleic acid (CLA) and polyunsaturated fatty acids. *Livest. Prod. Sci.* 70: 31-48.
- Chouinard, P. Y., L. Corneau, D. M. Barbano, L. E. Metzger, and D. E. Bauman. 1999. Conjugated linoleic acids alter milk fatty acid composition and inhibit milk fat secretion in dairy cows. *J. Nutr.* 129: 1579-1584.
- Dauber, C., T. Carreras, A. Britos, S. Carro, C. Cajarville, A. Gámbaro, S. Jorcín, T. López, and I. Vieitez. 2021. Elaboration of goat cheese with increased content of conjugated linoleic acid and transvaccenic acid: Fat, sensory and textural profile. *Small Rumin. Res.* 199, Article 106379.
- Devendra, C. and D. Lewis. 1974. Interaction between dietary lipids and fiber in the sheep. *Anim. Prod.* 19: 67-76.
- Donovan, D. C., D. J. Schingoethe, R. J. Baer, J. Ryali, A. R. Hippen, and S. T. Franklin. 2000. Influence of dietary fish oil on conjugated linoleic acid and other fatty acids in milk fat from lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.* 83: 2620-2628.
- El-Nor, S. A. H. A. and M. S. A. Khattab. 2012. Enrichment of milk with conjugated linoleic acid by supplementing diets with fish and sunflower oil. *Pak. J. Biol. Sci.* 15: 690-693.
- Enjalbert, F., S. Combes, A. Zened, and A. Meynadier. 2017. Rumen microbiota and dietary fat: A mutual shaping. *J. Appl. Microbiol.* 123: 782-797.
- Gama, M. A. S., P. C. Garnsworthy, J. M. Griinari, P. R. Leme, P. H. M. Rodrigues, L. W. O. Souza, and D. P. D. Lanna. 2008. Diet-induced milk fat depression: Association with changes in milk fatty acid composition and fluidity of milk fat. *Livest. Sci.* 115: 319-331.

- Givens, D. I. 2015. Manipulation of lipids in animal-derived foods: Can it contribute to public health nutrition? *Eur. J. Lipid Sci. Technol.* 117: 1306-1316.
- Goering, H. K. and P. J. Van Soest. 1970. Forage Fiber Analyses (Apparatus, Reagents, Procedures, and Some Applications). *Agric. Handbook No. 379*, ARS-USDA, Washington, DC, USA.
- Grummer, R. R. 1991. Effect of feed on the composition of milk fat. *J. Dairy Sci.* 74: 3244-3257.
- Kepler, C. R. and S. B. Tove. 1967. Biohydrogenation of unsaturated fatty acids: III. Purification and properties of a linoleate 12-cis, 11-trans-isomerase from *Butyrivibrio fibrisolvens*. *J. Biol. Chem.* 242: 5686-5692.
- Khanal, R. C. and K. C. Olson. 2004. Factors affecting conjugated linoleic acid (CLA) content in milk, meat, and egg: A review. *Pakistan J. Nutr.* 3: 82-98.
- Kholif, A. E., T. A. Morsy, and M. M. Abdo. 2018. Crushed flaxseed versus flaxseed oil in the diets of Nubian goats: Effect on feed intake, digestion, ruminal fermentation, blood chemistry, milk production, milk composition and milk fatty acid profile. *Anim. Feed Sci. Technol.* 244: 66-75.
- Kholif, S. M., T. A. Morsy, O. H. Matloup, H. M. Ebeid, and A. M. Kholif. 2015. Effects of crushed linseed or linseed oil supplementation on performance of dairy goats and fatty acid profile in milk. *Life Sci. J.* 12: 94-99.
- Kitessa, S. M., S. K. Gulati, J. R. Ashes, E. Fleck, T. W. Scott, and P. D. Nichols. 2001. Utilisation of fish oil in ruminants: II. Transfer of fish oil fatty acids into goats' milk. *Anim. Feed Sci. Technol.* 89: 201-208.
- Lacasse, P., J. J. Kennelly, L. Delbecchi, and C. E. Ahnadi. 2002. Addition of protected and unprotected fish oil to diets for dairy cows. I. Effects on the yield, composition and taste of milk. *J. Dairy Res.* 69: 511-520.
- Liu, L., Q. Hu, H. Wu, Y. Xue, L. Cai, M. Fang, Z. Liu, P. Yao, Y. Wu, and Z. Gong. 2016. Protective role of n6/n3 PUFA supplementation with varying DHA/EPA ratios against atherosclerosis in mice. *J. Nutr. Biochem.* 32: 171-180.
- Martínez-Marín, A. L., P. Gómez-Cortés, G. G. Castro, M. Juárez, L. P. Alba, M. P. Hernández, and M. A. de la Fuente. 2011. Animal performance and milk fatty acid profile of dairy goats fed diets with different unsaturated plant oils. *J. Dairy Sci.* 94: 5359-5368.
- Morsy, T. A., S. M. Kholif, A. E. Kholif, O. H. Matloup, A. Z. M. Salem, and A. A. Elella. 2015. Influence of sunflower whole seeds or oil on ruminal fermentation, milk production, composition, and fatty acid profile in lactating goats. *Asian-Austral. J. Anim. Sci.* 28: 1116-1122.
- National Research Council. 2007. *Nutrient Requirements of Small Ruminants*. Washington, DC: National Academy Press.
- Noakes, M., P. J. Nstel, and P. M. Clifton. 1996. Modifying the fatty acid profile of dairy products through feedlot technology lowers plasma cholesterol of humans consuming the products. *Am. J. Clin. Nutr.* 63: 42-46.
- Núñez de González, M., R. Attaie, S. Woldesenbet, A. Mora-Gutierrez, J. Kirven, Y. Jung, and D. Myers. 2020. Effect of feeding a low level of encapsulated fish oil to dairy goats on milk yield, composition, and fatty acid profile. *J. Am. Oil Chem. Soc.* 97: 281-288.
- O'Donnell, J. A. 1989. Milk fat technologies and markers: a summary of the Wisconsin Milk Marketing Board 1988 Milk Fat Roundtable. *J. Dairy Sci.* 72: 3109-3115.
- Parodi, P. W. 1999. Conjugated linoleic acid and other anticarcinogenic agents of bovine milk fat. *J. Dairy Sci.* 82: 1339-1349.
- Parthasarathy, S., J. C. Khoo, E. Miller, J. Barnett, J. L. Witztum, and D. Steinberg. 1990. Low density lipoprotein rich in oleic acid is protected against oxidative modification: implications for dietary prevention of atherosclerosis. *Proc. Natl. Acad. Sci.* 87: 3894-3898.
- SAS Institute. 2005. *SAS User's Guide: Statistics*. Version 9.1 Edition. SAS Inc., Cary, NC.
- Schut, H. A. J., D. A. Cummings, M. H. E. Smale, S. Josyula, and M. D. Friesen. 1997. DNA adducts of heterocyclic amines: Formation, removal, and inhibition by dietary components. *Mutat. Res.* 376: 185-194.
- Silva, L. S. E., J. V. F. L. Cavalcanti, A. L. R. Magalhães, K. R. Santoro, G. D. Goncalves, L. P. V. Santana, J. D. B. de Siliva, and O. C. de Almeida. 2020. Soybean oil modulates the fatty acid synthesis in the mammary gland, improving nutritional quality of the goat milk. *Small Rumin. Res.* 183, Article 106041.
- Thanh, L. P., J. J. Loor, D. T. T. Mai, and T. T. T. Hang. 2023. Effect of fish oil and linseed oil on intake, milk yield and milk fatty acid profile in goats. *Animals* 13: 2174-2186.
- William S. H. 2018. The Omega-6:Omega-3 ratio: A critical appraisal and possible successor. *Prostaglandins, Leukotrienes and Essential Fatty Acids* 132: 34-40.

# Effects of supplementation of functional fat in diets on the milking performance and milk fatty acids profiles of Alpine dairy goats <sup>(1)</sup>

Geng-Jhen Fan <sup>(2)(4)</sup> Tsung-Fa Shiao <sup>(3)</sup> and Chun-Fang Lee <sup>(3)</sup>

Received: Aug., 21, 2023; Accepted: Jan, 16, 2024

## Abstract

To enrich the fatty acid profiles of goat milk for health, three functional fats, soybean oil (contains 55.3% C18:2), fish oil (21.5% C22:6, DHA), or flaxseed oil (60.7% C18:3, n-3) were added into diets at 3% dry matter level to study their effects on milking performance, rumen digestion, and milk fatty acids profiles of Alpine dairy goats. A total of 20 head lactating goats were evenly assigned into four groups after the covariate period and raised individually 18 days. And reassigned to repeat once. Two rumen-cannulated dry goats were sequentially fed these four diets for 10 days each. Rumen content was continuously sampled during the last two days. Results indicated the daily dry matter intake (total average 1.63 kg) and milk yield (2.33 kg) of goats among four groups were similar, not affected by three dietary fats with their specific characteristics. However, the high variation in acceptance of fish oil diet of goats was observed. Meanwhile, percentages of milk fat were influenced. They were 3.34 (100%), 3.71 (111%), 3.00 (90%) and 3.57% (107%), respectively for control, soybean oil, fish oil, and flaxseed oil groups ( $P < .001$ ). Fish oil inhibited milk fat synthesis, while soybean oil stimulated. Due to health problem, only one rumen-cannulated goat provided the ruminal digestion data. Supplementation of fat to diets obviously suppressed the production of volatile fatty acids (VFA) in the rumen. The total VFA of control and fat-added groups were 93.7 and 77.1 mM. For the enrichment of fatty acids profiles of goat milk, it was found addition of fats in diets could decreased the saturation level of fatty acids from 69.9 in control group to 65.5% in fat-added groups; increased the polyunsaturated fatty acids level from 4.18 to 6.72%; and conjugated linoleic acids level from 1.39 to 3.73%, respectively. Addition of fish oil and flaxseed oil also significantly promoted the level of n-3 fatty acids, n6/n3 ratio decreased from 6.20 to 2.36. It is suggested flaxseed oil supplemented diet is palatable to lactating Alpine goats and supports well performance. Its addition could improve the milk fatty acid profiles to fit modern health expectation.

Key words: Alpine dairy goat, Fish oil, flaxseed oil, Fatty acids of milk.

---

(1) Contribution No. 2781 from Taiwan Livestock Research Institute (TLRI), Ministry of Agriculture (MOA).

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

(3) Retired from MOA-TLRI.

(4) Corresponding author, E-mail: m3802@mail.tlri.gov.tw.