

降低反芻動物甲烷排放的營養策略

◎動物營養組／謝怡慧

前言

畜牧產業中，反芻動物胃腸道中產生的甲烷約占全球人為溫室氣體排放的6%，雖然近年來隨著生產效率與動物生產性能的提升，每單位產量(每公斤肉或乳)所產生的甲烷已有所下降，但為應對全球氣候急遽變遷，仍需進一步降低甲烷排放的總量與排放強度。以下是可以降低反芻動物腸道甲烷排放的營養策略。

1. 添加脂質

補充低劑量（乾物質4%以下）的脂質能夠降低甲烷排放，同時提高飼料的能量密度，在某些情況下還可促進動物生產性能。研究顯示，每公斤飼料乾物質添加10克的脂肪，平均每頭牛每天甲烷的產量可降低1至5%，其中中鏈脂肪酸（C12:0, C14:0）及多不飽和脂肪酸的效果最為明顯。脂質可以降低甲烷生成的原因，主要為減少可在瘤胃發酵的有機物，降低瘤胃內甲烷生成菌與原蟲的數量，以及藉由不飽和脂肪酸的氫化作用來消耗氫氣。然而，脂質添加存在一些限制，例如成本較高、可能影響纖維消化率與乾物質採食量，並可能抑制瘤胃發酵、降低乳脂合成或改變產品脂肪酸組成等，特別是在放牧模式中，脂質的應用較為困難。

2. 多使用精料

相較於草料為主的飼糧，以精料為主的日糧每公斤乾物質攝取量產生的甲烷較少。主要原因為澱粉的發酵產生較多的丙酸與丁酸，可消耗瘤胃中的氫氣，高澱粉飼料可降低瘤胃 pH值，抑制部分甲烷菌生長。不過，此策略也可能有降低纖維消化率及增加酸中毒的風險；此外，全球可供應的精料量有限，使其作為大規模減排策略的潛力受到限制。

3. 提高芻料品質

對於減少芻料飼料所產生的甲烷，可以透過良好的放牧管理、適時收割、選用易消化或含單寧的芻料品種來達到。高品質的芻料能提升動物生產性能，進而降低甲烷排放強度。雖然優質牧草中可能含較高的非纖維碳水化合物，但其整體效果仍偏向於改善動物生產性能與降低單位產出之甲烷排放。然而，該策略受制於氣候、土地及牧場管理知識，應用的效果變異性較大。

4. 添加化學抑制劑

3-硝基氧丙醇（3-nitrooxypropanol, 3-NOP）為化學抑制劑，其分子結構與甲烷生成最後一步驟所需的甲基輔酶M（methyl-coenzyme M）相似，可競爭抑制該酵素，從而顯著降低甲烷生成。研究

顯示，依據動物種類、飼料組成及補充方法不同，3-NOP可降低甲烷產量20至40%。其優點在於使用劑量低（約1~2克/天）且對瘤胃微生物具高專一性，其分解產物在牛奶或肉中的殘留極低。然而，該策略亦面臨挑戰，例如長期使用後動物降甲烷效果降低，產生動物適應的問題，除此之外，產品成本及消費者接受度仍待驗證，且在部分國家仍受法規限制。

5. 添加藻類

部分藻類如海門冬 (*Asparagopsis taxiformis*) 含有豐富溴化物，能抑制 Methyl-CoM reductase，達到降低甲烷生成的效果。反芻動物的飼糧中添加藻類，顯著降低甲烷排放。但要廣泛應用此策略，仍待確認效果是否能持續且穩定，溴化物等化合物對環境如臭氧層與人體安全的潛在風險，以及藻類生產、收穫、乾燥及運輸過程中可能產生的二氧化碳排放，都需進行完整生命週期評估。

6. 使用硝酸鹽

硝酸鹽在瘤胃中作為氫氣的另一消耗途徑，可將氫氣用於轉換成亞硝酸鹽及氨，從而減少甲烷生成。同時，亞硝酸鹽對甲烷生成菌具有毒性作用，硝酸鹽亦可作為非蛋白質氮的來源，改善低蛋白飼料的利用效率。然而使用上亦有限制，如當飼料中氮含量已充足時，額外添加可能導致動物氮排放增加；高濃度硝酸鹽存在中毒風險，以及成本較高，且在某些國家尚未獲得批准使用。

7. 添加植物化合物

單寧屬於多酚類化合物，存在於多種植物中，能與蛋白質結合，影響瘤胃微生物活動。單寧降低甲烷排放的機制可能包括直接抑制甲烷生成菌，以及因適口性降低而減少乾物質採食量。此外，含單寧的豆科牧草在放牧系統中，不僅能控制腸道寄生蟲，亦有助於改善氮的利用。不過，單寧的效果受來源、種類及分子量影響，目前多為體外試驗結果，尚需更多實地研究以確定其最佳應用劑量與對動物表現的長期影響。

結語

綜上所述，營養策略皆有其獨特的機制與優缺點，補充脂質與精料作法，能即時在現行圈養的系統中實施，但成本與副作用仍須謹慎評估；提高芻料品質雖對放牧系統更具適用性，但其效果易受天候與牧場管理影響；3-NOP與藻類添加展現出高效減排潛力，但安全性、消費者接受度及法規審核仍待進一步驗證；硝酸鹽及單寧雖具有潛力，尚須考慮中毒風險及使用效果的不確定性。未來的研究，或許可朝向同時利用多項策略的綜合效應，發展兼顧甲烷減排與生產性能、產品品質及環境安全，並可實際應用於生產中的減排策略。

參考文獻:

Beauchemin, K. A., E. M. Ungerfeld, R. J. Eckard, M. Wang. 2020. Fifty years of research on rumen methanogenesis: Lessons learned and future challenges for mitigation. *Animal*.14:2-16.

表. 降低甲烷排放的營養策略

策略	甲烷排放潛力 總量 (g/day)	強度 (g/kg 產品)	預期 可利用性	應用於農場的可行性	限制
油脂	中	中	立即可用	方便使用於圈飼的模式，但較難應用於放牧的模式	1.昂貴 2.可能對纖維的消化有負面影響 3.對於乳或肉品的影響需要再確認
精料	低到中	低到中	立即可用	可行，但是對於使用穀物作為日糧則降低量有限	1.可以降低胃腸道甲烷排放，但不是都能降低溫室氣體的排放量。 2.有瘤胃過酸的風險
提高芻料品質	變動很大	低	立即可用	高度受到天氣和其他環境因子影響	1.受限於對牧場管理知識 2.會影響乳量及乳品質 3.可能會增加動物甲烷排放量，但會改善生產性能，讓排放強度降低。
化學抑制劑 (3-NOP)	高	高	目前已有部分國家可以使用	方便使用於圈飼的模式，但較難應用於放牧的模式	1.需更多動物生產性能及安全的資料 2.消費者接受度未知
藻類	中到高	中到高	未知，尚在實驗中	只有少數品種具有功效的化合物，而且需耗費能量乾燥	1.需考量溴仿的安全性 2.大部分國家尚未批准使用 3.需進行評估生命周期的碳足跡
硝酸鹽	低到中	低到中	可用，但是部分國家需要監控單位核准使用	適用於低蛋白飲食中，可替代尿素，最高可占日糧乾物質的 2%。也可製成供放牧反芻動物使用的飼料塊	1.有中毒風險 2.可能會增加氮排泄量 3.在某些國家尚未獲得批准使用
單寧	低到中	低到中	立即可用	單寧萃取物可以添加到飼料中，含單寧的牧草也可以跟其他牧場一起使用	大多只是體外試驗，因此需要更多關於不同來源和種類的單寧對減少甲烷效果的資料。同時需要了解這是否會對消化率和動物表現產生負面影響。