

轉換期牛隻蹄部管理

新竹分所 陳怡璇

臺灣大學動物科學技術學系 徐濟泰

大家都知道牛隻跛行的嚴重性，牛隻會發生跛行是綜合各種複雜因素的結果。另外，牛隻轉換期由於營養代謝與賀爾蒙調控的改變，不單只有能量負平衡的問題，對於牛蹄組織結構有潛在作用，若是沒有特別關注，將會增加跛足牛的比例。本文目的為簡述轉換期牛隻蹄角組織結構中角蛋白（Keratin）的角化過程與影響因子，並提供預防的對策。

一、角蛋白（Keratin）是什麼？

角蛋白是皮膚、毛髮和蹄高度角化表皮的特徵結構蛋白，他為生物

提供各種外界環境的保護功能。蹄角是通過表皮細胞的複雜角化（keratinization）過程產生的，最終透過蹄表皮細胞的角質分化形成我們看到的腳蹄（下圖）。

蹄角功能完整性與質量主要取決於適當的角化，角化受多種生物活性分子和賀爾蒙的控制和調節。這個過程依賴適當的營養供應，包括維生素、礦物質和微量元素。由此可知，減少供應表皮細胞的營養會產生劣質的蹄角，並增加牛隻腳蹄對來自環境的化學、物理或微生物損害的敏感

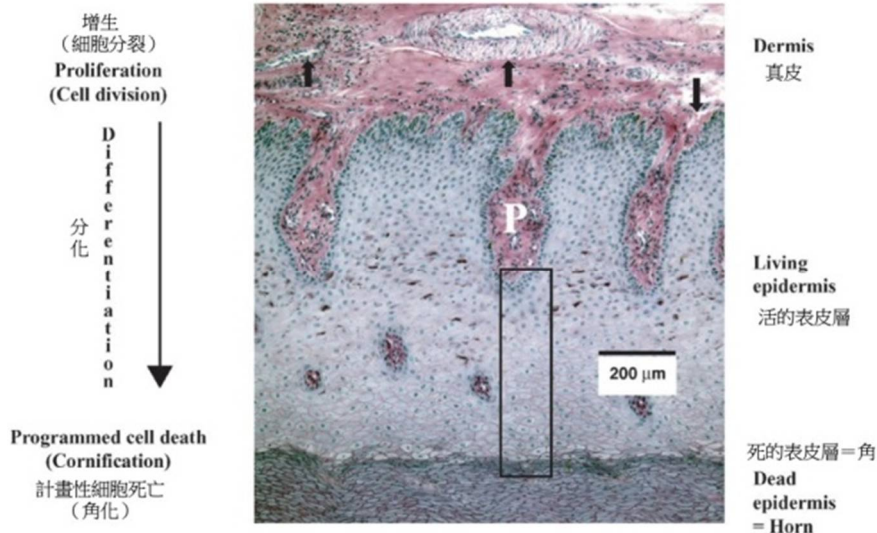


圖. 牛蹄足跟區域的顯微照片，表皮細胞的角化（keratinization）過程。真皮包含一個緻密的血管系統（箭頭處），較小的血管進入真皮乳頭（P 處）。

性，也就是說，牛會更容易跛足。

二、轉換期牛隻腳蹄的情況

牛隻轉換期也就是懷孕末期和泌乳早期，乳牛許多生理變化發生在此時，影響營養素吸收和利用。此外，此時牛隻在換欄時通常會造成牛隻不安，往往會更頻繁地站立，從而給牛隻腳蹄帶來更大的壓力。

乳牛在乾乳期過度餵食會導致泌乳早期高胰島素血症（hyperinsulinemia）和高血糖（hyperglycemia），這是胰島素抵抗的典型症狀。乾乳初期不應餵飼過多精料（澱粉含量超過 28%），會對乳牛健康狀況產生不良影響，當中包括蹄病。飼養重點應放在維持乳牛足夠的體態並防止它們變得超重，產犢前必須逐步改變配給飼料的組成，慢慢提高精料量，提供乳牛優質芻料進行適當的反芻，以盡量減少蹄葉炎的發生。

腳蹄在角化過程中，表皮細胞依賴真皮層血管的擴散提供營養、大量和微量礦物質以及維生素（如上圖的箭頭處與 P 處）。若此時乳牛養分缺乏，導致角化過程所需要的材料不足，進而會影響蹄角結構。已有研究表示，產犢後三個月發生第一次跛行的比例最高，這表明在乾乳期和泌乳

早期牛隻腳蹄組織生長受到影響，產生劣質蹄部組織，隨後在泌乳早期發生跛行。以下就開始簡述賀爾蒙與營養素對蹄角的影響。

三、轉換期牛隻賀爾蒙調控影響蹄角生長

1. 胰島素（insulin）

泌乳早期的乳牛體內胰島素敏感性與濃度降低，這個狀況可能會使得葡萄糖和氨基酸的攝取受到抑制，而影響蹄角蛋白的生成。上述所提的泌乳早期發生胰島素抵抗的 2 個典型跡象（高胰島素血症和高血糖），促使乳牛更容易患蹄葉炎，也不利蹄角蛋白的生長。

2. 表皮生長因子（Epidermal growth factor）

牛隻懷孕期間升高的類固醇賀爾蒙會下調許多局部身體組織中表皮生長因子的產生。透過這些內分泌的訊息傳遞調節，同樣狀況也會發生在蹄部組織，將影響角化過程，導致角蛋白合成受到抑制。

3. 催乳素（Prolactin）

催乳素是另一種在轉換期會出現的賀爾蒙，催乳素同樣會影響依賴因表皮生長因子的角化過程。學者體外試驗發現，表皮生長因子對蛋白質

合成上，一定程度上被催乳素拮抗。雖然催乳素本身不影響蹄角蛋白合成，但它在體外蹄組織培養中會減少表皮生長因子刺激蛋白質合成的能力，可能是減少牛隻泌乳早期角蛋白合成的另一個因素

4. 糖皮質素 (Glucocorticoids)

許多報告指出，轉換期乳牛經常承受多種壓力，隨後皮質醇 (cortisol) 增加。皮質醇會影響葡萄糖、蛋白質和脂肪的代謝，糖皮質素被認為透過調節蛋白質合成，對角質細胞的成熟產生影響。牛隻承受的分娩與泌乳壓力，伴隨之後升高的皮質醇可能會使乳牛因產生劣質蹄角構造而導致蹄部疾病。學者尚未確認乳牛全身糖皮質素濃度與蹄葉炎之間的因果關係。然而，值得注意的是，蹄葉炎發病率較高的高產牛群具有較高的糖皮質素濃度。

上面賀爾蒙的調控有些微複雜，在這裡做個小結；母牛為了順利完成分娩，在產前體內會開始調控許多賀爾蒙，這些賀爾蒙多少會影響角蛋白的生成，進而影響蹄部構造。換句話說，轉換期牛隻為了順利生出仔牛，蹄部構造多少會受到影響，導致蹄部構造弱化，所以我們不論是在營養配方、管理策略或是飼養環境下著手，

從外部協助母牛順利渡過轉換期，盡量降低蹄部構造受影響的程度。

四、角化過程所需要的營養素

1. 氨基酸

氨基酸 Cys、His 和 Met 在建立角質細胞的結構完整性中具有關鍵作用。NRC (2001) 表明，高產乳牛可能無法自行產生足夠含量的可代謝蛋白質來滿足牛乳生產的需求，尤其是在乾物質採食量低的泌乳早期，泌乳早期缺乏可代謝的蛋白質可能會導致角質細胞的蛋白質合成不足，從而導致產生劣質角並使乳牛容易跛足。

2. 鈣

鈣在角化過程中有著重要作用，因為表皮中的鈣濃度控制著蹄角的形成。鈣是激活成熟角細胞生成最後步驟參與酶的重要物質。乳牛在泌乳早期鈣平衡機制產生很大的變化，大多數乳牛在產犢時會出現一定程度的低血鈣症。由於低血鈣症導致的鈣供應或可用性不足，可能導致角細胞數量和/或質量下降。

3. 鋅

鋅已被確定為角化過程中的關鍵礦物質，而且也是 200 多種酶的組成成分，其中一些參與角化過程，

以及結構角蛋白的形成。多項研究表示，有機鋅可改善蹄角的完整性。在分娩前後和泌乳早期，生物可利用的鋅供應不足可能使乳牛容易產生劣質蹄角組織。在一項為期一年的研究中，與未飼餵鋅的母牛相比，額外添加 200 毫克/天有機鋅的母牛患腐蹄病、足跟裂紋、趾間皮膚炎和蹄葉炎的病例較少。在接受 216 毫克/天有機鋅的肉牛中，2.5% 有腐蹄病，而沒有接受鋅的牛中有 5.5% 有腐蹄病。乳牛的鋅需求因泌乳階段而有所不同。生產牛乳時會大量消耗身體儲備的鋅，因此泌乳早期的鋅需求量最高（NRC，2001）。

4. 銅

銅對於許多酶的激活是不可缺少的物質。銅激活酶負責在角蛋白絲之間形成化學鍵，這個對於角質細胞的結構強度是非常關鍵的過程，從而使角質細胞具有剛硬性。若是牛隻患有亞臨床銅缺乏症的牛更容易出現足跟裂紋、腐蹄病和蹄底潰瘍。

5. 硒

硒可能有助於保護和維持細胞內間質物（intercellular cementing substance），有助於穩固角質細胞，強健蹄角硬度。硒是穀胱甘肽過氧化酶（glutathione

peroxidase）的成分，穀胱甘肽過氧化酶負責將 H_2O_2 和游離 O_2 還原為 H_2O 。因此，硒透過上述抗氧化機制，可以保護細胞內和細胞外脂質膜避免受氧化損傷，藉由這種方式，硒可能有助於保護角化過程最後一步分泌富含脂質的細胞內間質物的生理功能，穩固成熟的角質細胞黏合在一起。但是過量補充硒則會有反效果，可能會減少角蛋白之間的化學鍵結，從而損害角蛋白，使得蹄角變得柔軟且不穩定。

6. 錳

錳在角化過程中起著間接作用，他有助於保持適當的腿部結構來減少足部問題。錳是激活半乳糖轉移酶和糖基轉移酶所必需的，而這些酶是合成蛋白多醣分子的硫酸軟骨素側鏈所必需的。蛋白聚醣是形成正常軟骨和骨骼的重要組成部分。患有錳缺乏症的牛隻會表現出骨骼異常、腿部彎曲和肌腱縮短等異樣。

7. 維生素 A

角化過程中的細胞分化需要維生素 A 參與，而且維生素 A 是正常生長發育以及維持骨骼和上皮組織所必需的。此外，在角化細胞中的作用與其在基因表達中的作用有關。

8. 維生素 D

維生素 D 是鈣代謝最重要的生物調節劑之一，也是控制鈣從骨骼中重新吸收、吸收和動員/增加所必需。動物身體可以內源地產生維生素 D₃，並且在組織中保留很長時間，所以乳牛不太可能缺乏維生素 D。但是，隨著圈養的增加和陽光直射減少，乳牛可能會有維生素 D 缺乏症，因此，任何缺乏維生素 D 肯定會影響鈣代謝，從而影響角化過程。

9. 維生素 E

維生素 E 是最佳脂溶性細胞抗氧化劑，因此維生素 E 參與細胞膜的維護。這種功能對角化組織的完整性很重要，因為細胞內間質物由富含脂質的物質組成。細胞內若維生素 E 缺乏，通常伴隨著細胞膜脂質過氧化的增加，這可能導致線粒體氧化和 DNA 突變以及改變質膜正常運輸過程，而停止產生能量。因此，細胞缺乏維生素 E 且暴露於氧化壓力時，將出現更快的損傷和壞死。這有助於解釋轉換期牛隻承受分娩壓力，且飼餵低量的維生素 E 時，容易有跛足和產生不良蹄角組織的程度高於正常維生素 E 劑量。

10. 生物素

生物素是對角生成最重要的維

生素，他對於哺乳動物和鳥類的皮膚、毛髮、爪子和足墊的形成和完整性至關重要，他對於角生成過程中的兩個主要步驟是必不可少的：角蛋白合成和細胞內間質物的形成。在補充生物素的情況下，細胞內間質物的質量得到改善，由此增強細胞間黏附的穩固性。

反芻動物能夠在瘤胃中產生生物素。然而，瘤胃體外試驗發現高穀物 (> 50% DM) 日糧會降低生物素的合成。研究表明，補充生物素 (20 毫克/牛/天) 超過 6 個月時，改善乳牛蹄角完整性並減少跛行。在乳牛中，多項研究已證明補充生物素可降低蹄部疾病，例如：蹄底潰瘍、白線病、蹄底出血、趾間皮膚炎和足跟糜爛。

下表依據 2001 年 NRC 內容列出轉換期牛隻部分營養素需要量供大家參考。

結論

跛行牛隻採食量會下降約 44-46%，均衡營養和舒適乳牛是有效預防乳牛跛足的關鍵因素。越來越多的證據表明，賀爾蒙、維生素、礦物質和微量元素在蹄角的正常發育和正確的角蛋白形成中扮演關鍵作用。另外，作者認為本文所述的部分現象同樣會發生在熱緊迫牛隻，因此在此

提出供大家參考。也要提醒大家每頭牛每年至少 2 次修蹄，維持腳蹄形狀也是重要預防跛足的管理措施。

表. 轉換期牛隻營養素需要量

營養素	懷孕後期	泌乳早期
Ca (%)	0.48	0.74
Cu (mg/kg)	18	16
Mn (mg/kg)	24	21
Se (mg/kg)	0.3	0.3
Zn (mg/kg)	30	65
vitamin A (IU/kg)	8,244	5,540
vitamin D (IU/kg)	2,249	1,511
vitamin E (IU/kg)	120	40

(NRC, 2001)

資料來源：

Tomlinson, D. J., C. H. Mu'ling, and T. M. Fakler. 2004. *Invited Review: Formation of Keratins in the Bovine Claw: Roles of Hormones, Minerals, and Vitamins in Functional Claw Integrity*. J. Dairy Sci. 87:797–809.

Langova, L., I. Novotna, P. Nemcova, M. Machacek, Z. Havlicek, M. Zemanova, and V. Chrast. 2020. Impact of nutrients on the hoof health in cattle. *Animals*, 10: 1824-1845.

NRC. Nutrient Requirements of Dairy Cattle, 7th ed. National Research Council: Washington, DC, USA, 2001.