

総説

## 哺乳・離乳期の飼養管理における粗飼料給与の栄養生理学的意義

芳賀 聡<sup>1†</sup>

<sup>1</sup> 国立研究開発法人 農業・食品産業技術総合研究機構  
畜産研究部門 畜産飼料作研究領域 省力肉牛生産グループ  
栃木県那須塩原市千本松 768

連絡担当者：芳賀聡

<sup>†</sup> 国立研究開発法人 農業・食品産業技術総合研究機構  
畜産研究部門 畜産飼料作研究領域 省力肉牛生産グループ  
住所：栃木県那須塩原市千本松 768  
電話：0287-37-7239 FAX：0287-36-6629  
E-mail：hagatiku@affrc.go.jp

### 【要約】

離乳期とは牛が生後初めて経験する移行期であり、栄養依存が液状飼料から固形飼料へとシフトし、ルーメンの機能的かつ形態的な発達を基軸とした反芻動物特有の栄養生理機能を獲得する時期である。加えて、新生期から離乳期は感受性時期として将来の体質が代謝プログラミングされ得る極めて重要な時期として近年注目されている。2010年代以降、哺乳期から離乳期にかけて、子牛への粗飼料併給が乾物摂取量や増体にも影響することが見直され、栄養生理学的視点からも重要視されるようになった。また、従来使用されてきた穀物を原料としたスターターとは大きく異なる、粗飼料型のスターターも開発され、その効果の検証も進んでいる。以上より、様々な生産コンセプトに応じた哺乳・離乳期の飼養技術が研究開発されている中で、本稿では、哺乳期から離乳期における飼養管理技術において特に是非が議論される「粗飼料給与」について着目し、粗飼料給与の栄養生理学的意義から現場応用の展開について議論し、今後の展望を考えたい。

**キーワード：**穀物スターター、粗飼料型スターター、ルーメン発達、唾液分泌、離乳

### 【はじめに】

離乳期とは、牛が生後初めて経験する人為的コントロールに基づく「移行期」であり、栄養依存が液状飼料（ミルク）から固形飼料（穀物および粗飼料）へとシフトする。単胃動物とは大きく異なり、ルーメンの機能的かつ形態的な発達を基軸とした反芻動物特有の栄養生理機能を獲得する期間である。加えて、新生期から離乳期は胎児期に次ぐ感受性時期（Critical

window）であり [4]、将来の体質がインプリンテイング（代謝プログラミング）され得る極めて重要な時期として近年重要視されている。

現在、哺乳および離乳期の飼養技術は実に多様化しており、何をもって技術的正解と位置付けるかは明確ではない。また、*Journal of Dairy Science* から公表された、子牛の栄養と飼養管理に関する研究史 100 年 [7] の変遷（発展）から見ても、今後更なる研究発展と新たな飼養管理技術の開発が進むことが予想される。著者は、哺乳期から離乳期にかけて求められる飼養技術は、子牛の健全な発育を大前提とした上で

受理：2021年4月15日

各牧場の生産コンセプトに応じて異なる、と考えている。飼養管理上の各要素技術およびそれらの複合技術が、子牛の健全性、発育および将来性に与える生物学的作用をより解明できれば、個々の生産現場において、求める牛の体質制御が可能となりコンセプトに沿った生産体系が実現できる可能性がある（例えば、強化哺育による初産乳期乳量の増加効果 [16]）。2021年3月に新たに出版された「新しい子牛の科学：胎生期から初産分娩まで」[6]では、子牛の飼養管理技術に関する最新の知見が幅広く掲載されており是非参照頂きたいが、今回、本稿では哺乳期から離乳期における飼養管理技術要素の中でも特に是非が議論される「粗飼料給与」について着目した。粗飼料給与の栄養生理学的意義から現場応用の展開について、未だ明らかではない期待値も含めて議論を深めたい。なお、本稿では「乾草 (hay)」と「粗飼料 (forage)」の言葉はあえて使い分けており、粗飼料にはサイレージ化した草飼料を含めている。

#### 【飼養標準における子牛への乾草給与基準】

子牛に給与する「良質な乾草」の基準や、哺乳期から離乳期にかけて粗飼料を給与すること自体推奨すべきことなのかどうかについて、2000年代はその見解が定まっていなかった。しかし、子牛への乾草多給は明らかに推奨されていない。過去には哺乳期の子牛への乾草多給（穀物スターター給与量を制限し、乾草を自由採食させる条件）がルーメンの成長を促進すると期待されたが、これは見た目上のルーメン容積の増大に過ぎない（いわゆる乾草腹“hay stomach”）。粘膜絨毛の形態学的かつ栄養生理学的な発達が乏しい子牛のルーメンでは、乾草からのエネルギー吸収量が低く、離乳後の発育に大きな遅延が生じる。また、消化不十分に伴う食滞の発生や、過度な物理的刺激がルーメン粘膜の炎症を招く危険性もある。あくまで離乳に向けて穀物スターターのみでよいか、または、穀物スターター主体に乾草をいかに組み合わせしていくか、という点が論点となる。

NRC (2001) [12]では、穀物スターター摂取量が抑制されるため離乳まで乾草は給与せず、物理性のあるテクスチャータイプの穀物スターターのみ給与することを推奨している。し

かしその後、哺乳期から離乳期にかけて穀物スターターだけ給与するとルーメン内の異常発酵やpH低下 [3] が起こり、鼓張症、ルーメンアシドーシスおよびパラケラトシスを引き起こす可能性があることや、子牛に異常行動（敷料の麦稈やワラの摂取、舌遊び）が見られることから、粗飼料の併給法が近年重要視されている。日本飼養標準乳牛版 (2017) [10]では、3か月齢期つまり離乳前後の乾物摂取量推定式が新たに掲載されている。この中で、哺乳期の子牛への乾草の給与量は穀物スターターの10%程度とし20%を超えることは好ましくないとしている。この理由として、子牛の養分要求量に対しルーメン容積が小さいため栄養価の高い固形飼料を給与する必要があるが、乾草比率が増えた場合、固形飼料全体のエネルギー濃度が低下するためである。その上で、離乳時の乾草摂取量上限を200g/日程度にすべきとしている。

#### 【穀物スターター給与における粗飼料併給の効果】

既報 [5, 7, 18] およびデータベース (PubMed, Web of Science) を用いた文献数検索の結果から、子牛への粗飼料給与が2010年代以降、明らかに注目されてきている。乳用子牛への粗飼料併給 (forage provision) 効果に関する研究 (1998-2006年にかけて発表された21本の論文) から、27の飼養試験データをメタアナリシスした Imani ら [5] によれば、概して、粗飼料併給は離乳前後の飼料効率は下げるが、特に離乳後のスターター摂取量と平均日増体量を向上させる。また、ルーメン液中の揮発性脂肪酸 (volatile fatty acid: VFA) 濃度は低下し、組成は酢酸が増加、プロピオン酸および酪酸は低下するが、ルーメン液 pH 低下は抑制される。しかし、この粗飼料併給効果の程度は、粗飼料源 (アルファルファ乾草、ライグラス乾草、オーツ乾草、大麦ワラ、ライ麦サイレージおよびトウモロコシサイレージなど)、質 (番草)、量 (乾物 2.5-70% 範囲)、物理サイズ、給与方法 (混合給与か分離給与) およびスターターの物理性 (粉末、ペレットおよびテクスチャータイプ) など多因子が複雑に関係する。離乳前後の全体期間でみれば、スターター摂取量と平均日増体量を向上させる条件として、粗飼料乾物割合

>10%、粗飼料源はアルファルファ乾草、給与方法は分離給与による選択採食、スターター形状はテクスチャータイプではないもの、穀物源はトウモロコシよりも大麦が有効とされている。具体的に粗飼料併給の有用性を示す一例を挙げる。Nematiら [13] は、ホルスタイン雄子牛を穀物スターター給与区 (C区)、細断アルファルファ乾草を乾物当たり 12.5% スターターに混合した混合飼料 (TMR) 給与区 (12.5%AH区)、同様 25% 混合した TMR 給与区 (25%AH区) の 3 群に分け、16 日齢から試験を開始し 51 日齢離乳とし、その後 70 日齢までの発育成績等を調べた。細断アルファルファのサイズ構成は、1.18 mm 以下、1.18-8 mm、8-18 mm および 18 mm 以上が各約 38、35、26 および 1% であった。その結果、特に離乳後において、25%AH区では日増体量、腹囲長および胸囲長が顕著に高まった。飼料効率には影響はなかったが、ルーメン液中の pH、血中  $\beta$ -ヒドロキシ酪酸 (BHBA) 濃度も高く、ルーメンアシドーシスの抑制とルーメン粘膜機能の発達促進も示唆された。飼料の腸管貯留が体重や体格に影響している可能性はあるが、細断アルファルファ乾草 (乾物 25% まで) 併給が離乳後の子牛の発育パフォーマンス向上に寄与することが示された。また、スターターと細断乾草を分離給与する場合、中性デタージェント繊維 (neutral detergent fiber: NDF) 含量の高いオーツが、離乳後のルーメン内環境の恒常性とルーメン機能向上に優れているという報告もある [2]。大坂 [14] はホルスタイン雄子牛を用い、ミルクとスターター給与に加え、チモシー乾草 (90% 以上が >1.18 mm、約 42% が 2.36-4.75 mm サイズ) を給与する区 (SH区) と給与しない区 (S0区) に分け 6 週齢まで飼養した結果、S0区の子牛のルーメン内に飼料片や毛の付着、毛玉そして敷料の麦稈が確認され何らかの異常を認めている。一方、SH区では異常は確認されなかった。以上より、物理性のある乾草の採食は、子牛の発現行動やルーメン内環境の改善にも効果があると考えられる。

#### 【唾液分泌機能の発達から考える子牛への 粗飼料給与の意義】

離乳期において最も重要なルーメン機能発達

には、ルーメン内環境の恒常性維持に働く唾液分泌機能の発達が不可欠である。牛をはじめ反芻動物の唾液の主成分は重炭酸ナトリウム ( $\text{NaHCO}_3$ ) とリン酸塩である。アルカリ性 (約 pH8.2) で緩衝能が高く、ルーメン内で多量に産生される VFA を中和する。実際、唾液を外科的に体外にバイパス除去すると、ルーメン内の pH が低下してアシドーシスが誘発され、さらに続くと Na 欠乏により生命が維持できなくなる [15]。反芻動物の唾液腺は、耳下腺、下顎腺そして舌下腺から構成され、中でも耳下腺は、分泌される唾液が漿液性で重炭酸イオン ( $\text{HCO}_3^-$ ) を多く含むため、ルーメン内の恒常性を維持するうえで最も重要な唾液腺とされる [15]。また、 $\text{HCO}_3^-$  を生成する経路  $\text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2 \rightleftharpoons \text{H}_2\text{CO}_3 \rightleftharpoons \text{H}^+ + \text{HCO}_3^-$  を触媒する炭酸脱水素酵素 (carbonic anhydrase: CA) が耳下腺の唾液生成に重要な役割を果たしている (特に分泌型のアイソザイム VI)。Kitadeら [9] は子牛の耳下腺組織中の CA 酵素活性が週齢とともに増加し、6 週齢の離乳後、13 週齢時にはすでに成牛と同レベルに達し、CA VI タンパク発現量も週齢に伴い増加することを報告している。離乳効果と成長効果を区別するため、13 週齢まで哺乳を継続した子牛 (ミルクのみ)、さらに同様の哺乳継続処理をした子牛に 5 週齢時から毎日ルーメンに VFA 溶液を直接投与した子牛では、両区共に 13 週齢時において CA 活性値は増加しなかった。また離乳、哺乳継続そして哺乳継続 + VFA 投与した各 13 週齢の子牛の左側耳下腺重量は、各約 332、142 そして 121 mg/kg 体重であった。2 週齢時の耳下腺唾液 pH は約 7.6-7.7 であり、週齢とともに上昇し、13 週齢時には約 7.9 そして 18 週齢時には約 8.2 に至った。イオン組成の動態では、週齢に伴い、 $\text{HCO}_3^-$  が増加し、 $\text{Cl}^-$  が大幅に低下する。一方、哺乳継続そして哺乳継続 + VFA 投与した各 13 週齢の子牛では pH もイオン組成も 1 週齢時の子牛のそれらの値と同等であった。以上より、ルーメン内の恒常性を維持するうえで重要な唾液分泌に関して、離乳期に起きる耳下腺の発達、CA 発現量と酵素活性の増加の機序は、ルーメン内発酵による VFA 刺激を要因とせず、咀嚼や反芻などの物理的刺激による影響が強いと示唆される。すなわち、咀

嚼や反芻を促進する粗飼料採食は、子牛の唾液分泌機能の発達に極めて重要な意義を持つと考えられる [8]。

### **[スターターとして粗飼料のみを 利用することは可能か]**

世界の人口増加および気候変動による穀物生産の不安定化と食糧不足、消費者の多様性、集約的畜産の是非、培養肉や代替肉の実現と普及など、畜産を取り巻く情勢は国内外で変化している。その中で生産者側にも多様な生産コンセプトが存在する。国内の酪農においても、搾乳ロボット等を駆使した多頭飼育と高泌乳生産の実現を目指したスマート生産体系が拡大している一方、山地酪農など放牧主体や自給粗飼料主体の生産体系も注目されニッチ市場を得ている。また穀物飼料多給により生産される霜降り肉とは別に、放牧肥育を主体とした赤身肉生産への関心も今後更に高まっていく可能性がある。2000-2019年に報告された、欧米を中心とした畜産物に対する消費者動向（知識、購買意欲、実行動、生活習慣、付加価値に対する支払い意欲など）に関する研究報告をまとめたStampaら[17]によれば、持続的な生産体系（環境配慮やアニマルウェルフェアへの関心）として放牧飼養により生産した畜産物のニッチ市場は拡大傾向にあると見られる。

この趨勢の中で、哺乳期から穀物スターターを全く使用せず、固形飼料として粗飼料のみで子牛を飼養するという新たな哺育技術がニュージーランドで考案された。ニッチ市場も視野に入れた放牧飼養主体型のニュージーランド酪農および肉牛生産を前提としているが、日本国内にもすでに5年ほど前から一部普及してきている。デメリットがある子牛への乾草多給とは違い、飼料源は発酵させたアルファルファである（いわゆる粗飼料型スターター）。ニュージーランドのAgResearchが行った粗飼料型スターターを使用した乳用子牛の哺育育成試験の第一報[11]では、粗飼料型スターターの構成サイズは、<10mm、10-20mm、20-30mmおよび>30mmが各約45、15、10および31%と比較的長物である。成分値はおよそ乾物44%、CP19%、NDF44%および可代謝エネルギー（ME）9.3MJ/kg乾物であり、高い繊維性と高タンパク・高

エネルギーを両立している。この研究の目的は、粗飼料型スターターを使用した場合の離乳時期の違い（56または91日齢）が、子牛の身体的発育、ルーメン、乳腺および免疫機能の発達に及ぼす影響を評価することであり、穀物スターター飼養との比較データはない。しかし、穀物スターターを使用することなく、粗飼料型スターターにより哺乳・離乳期管理が十分可能であることを初めて示したものである。また代用乳給与レベルが中程度（CP26.6%、CFat21.7%の代用乳粉末175gを1Lに溶解し毎日4Lを哺乳）であったため、いわゆる強化哺育と粗飼料型スターターの組み合わせ効果については検討が必要であると結論付けている。その点について、著者らが行ったホルスタイン子牛の試験結果（未公表）を補足する。既報[16]の強化哺育条件に従い、CP28%およびCFat13%の代用乳を用いて最大6L/日の哺乳管理に加え、子牛群を穀物スターター給与（CS）区と発酵アルファルファ飼料を用いた粗飼料型スターター給与（FS）区に区分し哺乳・離乳期の発育成績等を比較した。両区とも離乳まで乾草は給与しなかった。早期からの馴致を行うことで粗飼料型スターターにおいても自発的採食が十分可能であり、採食量は8週齢の離乳までに平均1kg乾物/日に達した。また、嗜好性には個体差も大きかったが、これは穀物スターターでも同様である[10]。FS区においては、粗飼料型スターター採食により反芻行動が早期化される傾向にあった。血中代謝産物濃度の推移について、離乳期から離乳後にかけて、血中グルコース濃度はFS区においてCS区より低く、血中BHBA濃度は逆にFS区においてCS区より高かった。以上より、粗飼料型スターター採食は、反芻動物特有の炭水化物代謝機構への移行を早め、グルコース依存型からVFA依存型のエネルギー代謝の獲得に寄与する可能性が示唆された。また、両区共に日本ホルスタイン種標準発育値以上の初期発育レベルを示した。離乳時の体重値はCS区の方が高かったが、4日齢から8週齢までの体重、体格の期間増加値について両区間に有意な差はなかった。すなわち、穀物スターター給与と比較して同等の初期発育を得ることが可能と示唆された。一方、離乳時のルーメン微生物叢構成パターンや糞便形状が明らか

に異なること、離乳時の肝臓サイズが両区で異なることも分かってきた。このような離乳期までの体質形成に関与する粗飼料型スターターの効果が育成期以降長期に渡って、繁殖性や乳生産性にまで影響するかどうかは今後の検討課題である。AgResearchが行ったWagyuクロス放牧肉牛生産に関する最新報告 [1] では、離乳前後期 (1-15 週齢) に粗飼料型スターターを給与した牛群は、その後放牧期間 (約 4-30 カ月齢) を経て出荷された際、その枝肉成績や肉質において穀物スターター給与群との違いが認められなかった。つまり放牧肉牛生産において粗飼料型スターターを用いれば、穀物原料に依存せずに、一貫した粗飼料飼養で完全グラスフェッドビーフを生産できる可能性も示された。

### 【おわりに】

2010 年代以降、哺乳期から離乳期にかけて、子牛への粗飼料併給が乾物摂取量や増体にも影響することが見直され、栄養生理学的に重要視されるようになった。また、従来の穀物スターター給与とは大きく異なる粗飼料型スターター給与の効果に関する研究も進められ、生産コンセプトに応じた様々な飼養技術が開発されている。国内においても、個々の生産現場において求める牛の体質制御に哺乳・離乳期の粗飼料給与法が寄与できる可能性もある。どのようなコンセプトで子牛を育てていくかに応じて、粗飼料給与法にポジティブな効果を求めていく余地は十分にあると考えられ、今後の研究発展が望まれる。

### 【謝辞】

本稿の内容の一部に、JSPS 科研費 18K05959 の助成を受けて実施された研究内容が含まれます。ここに記して感謝致します。

### 【付記】

本論文に関して、開示すべき利益相反関連事項はない。

英文については専門的校正 (Editage、www.editage.com) を受けて記述した。

### 【引用文献】

- [1] Burggraaf, V.T., Craigie, C.R., Khan, M.A., Muir, P.D., Thomson, B.C., Lowe, K.A., Leath, S.R., Taukiri, K.R., Staincliffe, M., McCoard, S.A. 2020. Effect of feeding forage or concentrate starter diets in early life on life-time growth, carcass traits and meat quality of Wagyu × Friesian cattle. *Anim. Prod. Sci.* 60:1850–1860.
- [2] Castells, L., Bach, A., Aris, A., Terré M. 2013. Effects of forage provision to young calves on rumen fermentation and development of the gastrointestinal tract. *J. Dairy Sci.* 96:5226–5236.
- [3] Daneshvar, D., Khorvash, M., Ghasemi, E., Mahdavi, A.H., Moshiri, B., Mirzaei, M., Pezeshki, A., Ghaffari, M.H. 2015. The effect of restricted milk feeding through conventional or step-down methods with or without forage provision in starter feed on performance of Holstein bull calves. *J. Anim. Sci.* 93:3979–3989.
- [4] 後藤 貴文. 2014. 代謝インプリンティングを基盤とした子牛の成長と産肉性. 家畜感染症学会誌. 3:129–138.
- [5] Imani, M., Mirzaei, M., Baghbanzadeh-Nobari, B., Ghaffari, M.H. 2017. Effects of forage provision to dairy calves on growth performance and rumen fermentation: A meta-analysis and meta-regression. *J. Dairy Sci.* 100:1136–1150.
- [6] 家畜感染症学会 編. 2021. 新しい子牛の科学：胎生期から初産分娩まで. 緑書房出版, 東京.
- [7] Kertz, A.F., Hill, T.M., Quigley III, J.D., Heinrichs, A.J., Linn, J.G., Drackley, J.K. 2017. A 100-Year Review: Calf nutrition and management. *J. Dairy Sci.* 100:10151–10172.
- [8] Khan, M.A., Bach, A., Weary, D.M., von Keyserlingk, M.A.G. 2016. Invited review: Transitioning from milk to solid feed in dairy heifers. *J. Dairy Sci.* 99:885–902.
- [9] Kitade, K., Takahashi, K., Yonekura, S., Katsumata, N., Furukawa, G., Ohsuga, S., Nishita, T., Katoh, K., Obara, Y. 2002. Effects of nutritional conditions around weaning on carbonic anhydrase activity in the parotid gland and ruminal and abomasal epithelia of Holstein calves. *J. Comp. Physiol. B.* 172:379–385.
- [10] 国立研究開発法人 農業・食品産業技術総合研究機構 編. 2017. 日本飼養標準 乳牛 (2017 年版). 中央畜産会出版, 東京.
- [11] McCoard, S., Heiser, A., Lowe, K., Molenaar, A., MacLean, P., Johnstone, P., Leath, S., Hoskin, S.O., Khan, M.A. 2019. Effect of weaning age on growth, mammary gland development, and immune function

- in Holstein Friesian calves fed conserved alfalfa (FiberStart). *J. Dairy Sci.* 102:6076–6087.
- [12] National Research Council (NRC). 2001. *Nutrient Requirements of Dairy Cattle, Seventh Revised Edition*. National Academy Press, Washington, DC.
- [13] Nemati, M., Amanlou, H., Khorvash, M., Mirzaei, M., Moshiri, B., Ghaffari, M.H. 2016. Effect of different alfalfa hay levels on growth performance, rumen fermentation, and structural growth of Holstein dairy calves. *J. Anim. Sci.* 94:1141–1148.
- [14] 大坂郁夫 . 2016. 早期離乳を基本とした乳用子牛の液状飼料期、移行期および反芻期における総合的な飼養方法の再構築 . 北海道大学学位論文 . 乙第 6988 号 .
- [15] 小原嘉昭 編 . 2006. ルーメン発酵と唾液分泌 : ルミノロジーの基礎と応用 - 高泌乳牛の栄養生理と疾病対策 . 農山漁村文化協会出版 , 東京 . pp 107–111.
- [16] 齋藤 昭 . 2012. 哺育子牛の栄養と飼養管理の変遷 “強化” 哺育への道程 ~ . 家畜感染症学会誌 . 2:37–47.
- [17] Stampa, E., Schipmann-Schwarze, G., Hamm, U. 2020. Consumer perceptions, preferences, and behavior regarding pasture-raised livestock products: A review. *Food Qual. Prefer.* 82:103872.
- [18] Xiao, J., Alugongo, G.M., Li, J., Wang, Y., Li, S., Cao, Z. 2020. Review: How forage feeding early in life influences the growth rate, ruminal environment, and the establishment of feeding behavior in pre-weaned calves. *Animals (Basel)*. 10:188.

## Nutritional and physiological effects of forage feeding on the performance of calves during the pre- and postweaning periods

Satoshi Haga<sup>1†</sup>

<sup>1</sup> Labor-saving Beef Cattle Husbandry Group,  
Division of Forage and Livestock Research, Institute of Livestock and Grassland Science,  
NARO, 768 Senbonmatsu, Nasushiobara, Tochigi, Japan

<sup>†</sup> Correspondence:

Satoshi Haga, Labor-saving Beef Cattle Husbandry Group,  
Division of Forage and Livestock Research, Institute of Livestock and Grassland Science,  
NARO, 768 Senbonmatsu, Nasushiobara, Tochigi 329-2793, Japan  
Tel: +81 287 37 7239 Fax: +81 287 36 6629  
Email: [hagatiku@affrc.go.jp](mailto:hagatiku@affrc.go.jp)

### **[Abstract]**

Weaning is the first critical transition period after birth for cattle. Calves initially rely on milk to meet nutrient demands for maintenance and growth and shift to solid feed consumption with concomitant development of absorption and metabolic functions as ruminants. Nutrition during this critical window period can affect the long-term performance of cattle. From the 2010s, the effects of forage provision during the pre- and postweaning period on the performance of calves (e.g., dry matter intake, and daily gain) have been well researched. Recently, studies have reported the effects of a forage starter on rearing performance. This review focuses on the nutritional and physiological effects of forage feeding on the performance of calves during the pre- and postweaning periods to formulate a practical expectation of the practice.

**Keywords:** calf starter, forage starter, rumen development, salivary secretion, weaning