

## 濃厚飼料の急激な増給や粗飼料品質変動が 乳牛の健康と繁殖に及ぼす影響

木田克弥・川島千帆・宮本明夫・Hassan Hakimi  
(帯広畜産大学)

### 1. はじめに

先進国における酪農産業は、過去数十年間、劇的な変化を遂げている。1頭当たり乳量は、遺伝的改良、飼料給与および飼養管理技術の改善により増加したが、一方で泌乳量増加に伴う繁殖効率の低下が指摘されている<sup>1)</sup>。このことはわが国でも同様であり、経産牛1頭当たり乳量は1985年の6,983kgから2005年には9,179kgへと約2,200kg増加した一方で、分娩間隔は402日から434日に延長した(牛群検定成績、家畜改良事業団)。一方、濃厚飼料1kgで生産した乳量を示す「飼料効果」は、この20年の間、約2.8でほとんど変化していない。このことは、現在の乳牛は20年前と比較すると年間約800kg以上も多くの濃厚飼料を摂取していることになり、今日の高泌乳が濃厚飼料に大きく依存していることは明らかである。

濃厚飼料の多給は、第一胃内の揮発性脂肪酸(VFA)濃度の上昇、酢酸/プロピオン酸比(A/P比)およびpHの低下により亜急性ルーメンアシドーシス(SARA)を引き起こす<sup>2)</sup>。この病態は、第一胃内pHの低下によってグラム陰性菌が死滅し、その細胞壁構成物であるエンドトキシン(ET)が第一胃液中に放出され<sup>3,4)</sup>、それが血中に移行して、蹄葉炎、脂肪肝症候群、第四胃変位などさまざまな疾患につながるものである<sup>3,5)</sup>。

温暖で多湿な気候の我が国では、サイレージや乾草などの貯蔵飼料にカビが発生することが多い。しかし、畜産現場では飼料のカビ発生は

極めて日常的であるため、マイコトキシン(MT)に汚染された飼料が給与されることが少なくない。そして、変質飼料の給与は、乳牛に対して健康状態や乳生産に負の影響をもたらすことを多くの酪農家が経験している。このメカニズムとして、フザリウム属真菌(赤カビ)が産生するMTの一種であるデオキシニバレノール(DON)は、乳牛の代謝状態を変化させて免疫抑制を引き起こし<sup>6,7)</sup>、また、飼料変質に伴う飼料たんぱく質の分解産物は、第一胃液中のアンモニア濃度を容易に増加させ<sup>6)</sup>、妊娠率低下につながる<sup>8)</sup>ことなどが報告されている。しかし、わが国の酪農現場では、濃厚飼料依存の飼料給与と貯蔵飼料の変質の問題が複合的に高泌乳牛の健康を脅かしていると考えられ、これらの関係を明らかにすることは、今日の高泌乳牛に対する飼養管理を根本から見直す上で重要であると考えられる。そこで、濃厚飼料の多給や給与飼料の貯蔵品質変動が、乳牛の第一胃液性状や血中代謝物に及ぼす影響を検討し、これらと疾病発生および繁殖成績との関係を明らかにすることを目的として研究を行った。

### 2. 分娩後の乳牛に対する一般的な濃厚飼料増給法が第一胃液性状および健康と繁殖に及ぼす影響

SARAに関連して第一胃内ETを測定した多くの研究<sup>4,9,10,11)</sup>は、濃厚飼料を実験的に多給する条件で行われたものである。また、ETと繁殖成績に関するいくつかの研究は、ET投与

が黄体形成ホルモン濃度を低下させ<sup>12)</sup>、卵巣の卵母細胞に悪影響を与える<sup>13)</sup>ことなどを報告しているが、妊娠率など酪農現場における乳牛の繁殖効率への影響については不明な点が多い。そこで、本研究では、わが国の一般酪農家で普通に行われている分娩後の濃厚飼料給与法（増給法）が乳牛の第一胃液性状と健康および繁殖成績に及ぼす影響について検討した。

## (1) 材料と方法

### (ア) 供試牛と飼料

帯広畜産大学畜産フィールド科学センター（305日平均乳量：初産牛7600kg、経産牛10120kg）において、2007年11月から2008年9月の間に分娩した乳牛33頭を2群に分け、乾乳期から分娩後7日までは同一の管理を行い、分娩後7日目からフィードステーションを用いて異なる速度で濃厚飼料を増給した。急増（H）群17頭（初産5頭、経産12頭）には1kg/日、対照（C）群16頭（初産6頭、経産10頭）には0.5kg/日の割合で、初産牛は10kg、経産牛は12kgまで濃厚飼料を増給した。なお、グラスサイレージとコーンサイレージ主体の混合飼料（TMR）、イネ科乾草および飲水、ミネラル塩は自由採食で給与されていた。濃厚飼料給与量が最大に到達した後は、1週間の平均乳量を目安にNRC飼養標準（2001）に基づいて濃厚飼料給与量を調節した。

### (イ) 試料採取

第一胃液を分娩後1週から4週まで毎週2回、その後10週までは毎週1回、経口的に採取し、ET（カイネティック比色法によるリムルス試験、エンドスペシー® ES-24Sセット、生化学工業株式会社、東京）およびVFA濃度（毛細管カラム法によるガスクロマトグラフィー）を測定した。

血液サンプルを分娩予定日の1週間前、分娩日、分娩後1、2、3、4、8、10週に尾静脈から採取し、血中代謝物濃度を全自動化学分析装置（TBA-120FR®、東芝メディカル、栃木）で測定した。

乳量を毎日記録すると共に、乳汁を分娩後1週目から初回授精または分娩後15週目まで毎週2回採取し、プロジェステロン（P4）をEIA法<sup>14)</sup>により測定し、分娩後の正常性周期の回復日（分娩後45日以内に排卵に続く2週間の黄体期と1週間の卵胞期を繰り返す場合）を決定した<sup>15)</sup>。

### (ウ) 統計

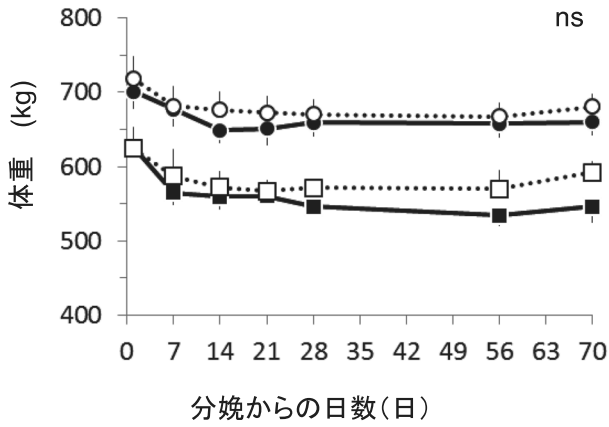
両群の第一胃液中VFAおよびET濃度、糞pH、血中代謝物濃度、乳量、体重の変動をANOVAで、また、疾病発生率と正常性周期回復率を分割表分析（Fisherの直接法）で比較し、いずれも $P<0.05$ を有意と判定した。

## (2) 結果と考察

体重および乳量の推移について、H群とC群の間で有意差は認められなかった（図1、2）。しかし、濃厚飼料増給に伴い、第一胃液のA/P比は低下し、特に、H群がC群よりも有意に低く推移した（ $P<0.05$ 、図3）。さらに、第一胃液中ET濃度は濃厚飼料増給に伴い上昇し、特にH群はC群よりも高値で推移した（ $P<0.05$ 、図4）。第一胃液のA/P比とET濃度の間には強い負の相関が認められ（ $R^2=0.478$ 、 $P<0.05$ 、図5）、濃厚飼料増給に伴うでんぷん摂取量の増加に比例して第一胃内pHが低下し、ETが放出されることが示唆された。一方、糞pHは、濃厚飼料増給に伴い低下したが、両群間で有意差は認められなかった（図6）。

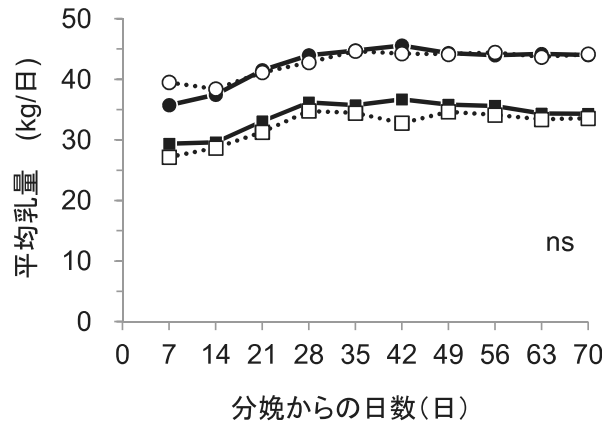
血中代謝物濃度は、すべての検査項目が正常値の範囲内で推移したが、エネルギー代謝の評価項目において、有意差はないもののC群において分娩後14日目に血清グルコース濃度（図7）がやや低下して $\beta$ ヒドロキシ酪酸（BHBA）濃度（図8）がやや増加したのに対して、H群では変化しなかった。

分娩後45日以内に正常性周期が回復した牛の割合は、H群（6/17頭）がC群（11/16頭）よりもやや低くなる傾向が認められた（ $P=0.084$ ）。また、蹄病（蹄葉炎）の発生は、有意差はないもののH群で4頭発生したのに対し、C群で



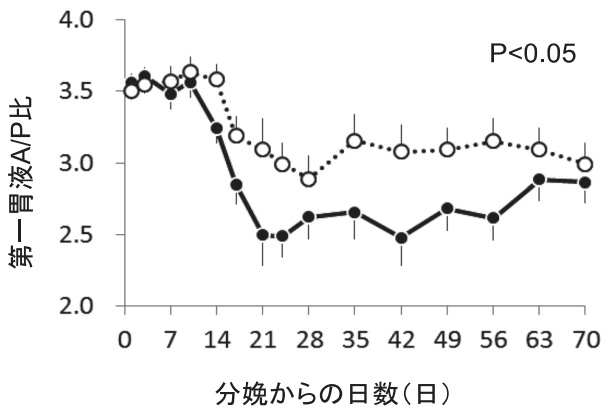
平均, SEMを示す. ns:有意差なし.  
 ●— :H群(経産牛, 12頭)  
 ○···· :C群(経産牛, 10頭)  
 ■— :H群(初産牛, 5頭)  
 □···· :C群(初産牛, 6頭)

図1. 体重の推移



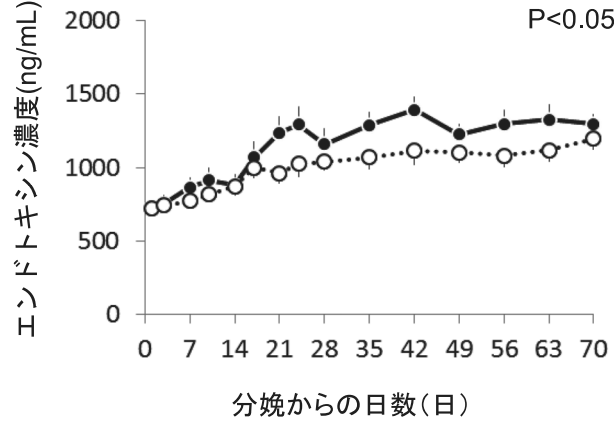
平均, SEMを示す. ns:有意差なし.  
 ●— :H群(経産牛, 12頭)  
 ○···· :C群(経産牛, 10頭)  
 ■— :H群(初産牛, 5頭)  
 □···· :C群(初産牛, 6頭)

図2. 乳量の推移



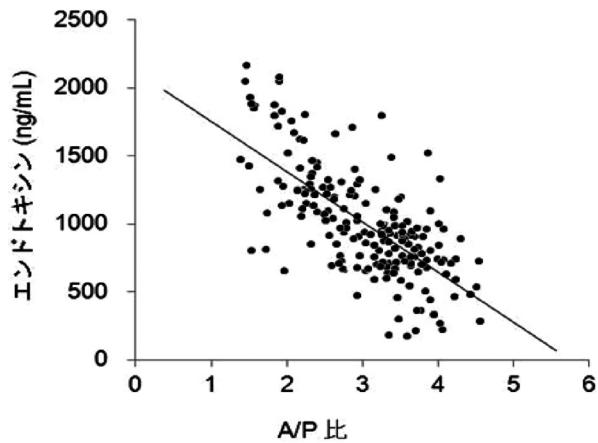
平均, SEMを示す.  
 ●— :H群(17頭)  
 ○···· :C群(16頭)

図3. 第一胃液酢酸/プロピオン酸比 (A/P 比) の推移の推移



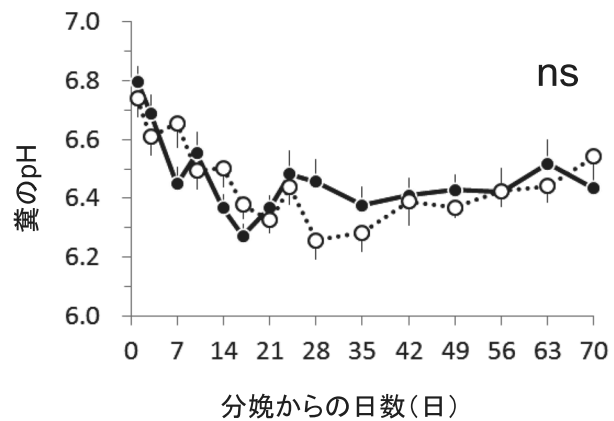
平均, SEMを示す.  
 ●— :H群(17頭)  
 ○···· :C群(16頭)

図4. 第一胃液エンドトキシン濃度の推移



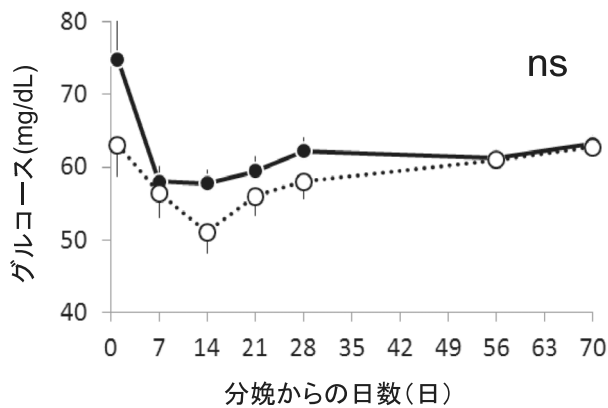
$R^2=0.478, P<0.05$

図5. 第一胃液エンドトキシン濃度とA/P比の関係



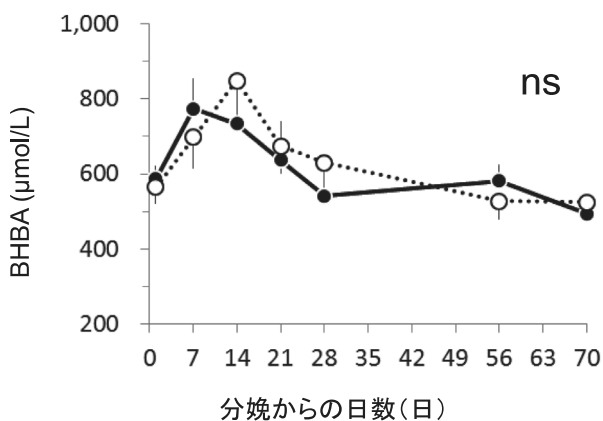
平均, SEMを示す.  
 ●— :H群(17頭)  
 ○···· :C群(16頭)

図6. 糞 pH の推移



平均, SEMを示す。  
 ● : H群 (17頭)  
 ○ : C群 (16頭)

図7. 血清グルコース濃度の推移



平均, SEMを示す。  
 ● : H群 (17頭)  
 ○ : C群 (16頭)

図8. 血清βヒドロキシ酪酸 (BHBA) 濃度の推移

は発生が認められなかった。ETは蹄真皮における微小循環を傷害して血流を減少させることで蹄葉炎を発生させる<sup>17,18)</sup>ことが知られており、本研究における蹄病もETの関与が示唆された。

糞pHは、第一胃バイパスでんぷんが大腸で発酵を受け、VFAが産生されることで低下する<sup>11)</sup>。本研究において糞pHが両群間で差がなかったことは、一般酪農家で通常行われている1日当たり0.5kg~1.0kgの濃厚飼料の増給法は、少なくとも第一胃における物理的な繊維不足や過剰なでんぷん給与には至らず、また分娩後の1.0kg/日の濃厚飼料増給は、0.5kg/日の増給に比べて乳牛のエネルギー状態をより良好にすることが示された<sup>19,20)</sup>。しかし、本研究におい

て、1.0kg/日の濃厚飼料増給群では蹄病の発生が多くなったり、正常性周期の回復が遅延したりする可能性が認められ、乳牛の分娩後の飼養管理においては、負のエネルギー状態の改善だけでなく第一胃発酵を健全に維持することも極めて重要であることが示唆された。

### (3)小括

分娩後の乳牛に対して、わが国の一般酪農家で通常行われている1日当たり1.0kgの濃厚飼料増給を行うと、乳牛のエネルギー状態は良好になるが、第一胃液のA/P比が低下してET濃度が増加し、蹄葉炎の発生リスクを高め、繁殖成績にも悪影響を与える可能性があることが示唆された。

## 3. 給与飼料の品質変動が乳牛の健康と繁殖成績に及ぼす影響

飼料品質の変動に伴い乳牛の健康状態、乳生産および繁殖成績が変化することは、多くの酪農家が経験している。アジア地域における飼料のMT汚染は、フザリウムが生成するフモニシン、DON、ゼアラレノンの割合が多く、乳牛に対して、フモニシンは肝臓障害や乳量低下を、DONは飼料摂取量低下や乳量低下を引き起こすとされている<sup>21)</sup>。また、ゼアラレノンは、豚において膣炎や繁殖成績低下を引き起こすことが報告されている<sup>21)</sup>。しかし、Chaermleyら<sup>22)</sup>は、牛にDON混合飼料を給与したところ、6mg/kgDMまでは、採食量と乳量に影響せず、乳中への移行も認められなかったと報告し、さらに、Korostelevaら<sup>7)</sup>は、DON汚染飼料の給与は、体重、BCS、乳量、乳成分率には影響しないが、免疫能(好中球の貪食能)を低下させることを報告するなど、MT汚染飼料摂取による乳牛の健康や生産への影響については不明な点が少なくない。

一方、サイレージは変質するとたんぱく質が分解されることでアンモニアや有毒な低分子アミンなどの揮発性塩基態窒素(VBN)の割合が高まり、そのような飼料を摂取すると第一胃

内のアンモニア濃度が上昇しやすくなる。第一胃内の高アンモニアを引き起こす飼料給与は、受胎率や妊娠率の低下<sup>8)</sup>や受胎までの日数延長を引き起こす<sup>23)</sup>。しかし、乳牛の健康と乳生産および繁殖成績は、飼料品質だけでなく、栄養管理、飼養環境など様々な要因の複合的結果であり、これらの要因の全体的な関係について検討した報告は見当たらない。

そこで、本研究は、飼料の変質要因と変質飼料を給与した際の乳牛の健康、乳生産、繁殖成績への影響を明らかにすることを目的として実施した。

### (1) 材料と方法

供試牛群は、帯広畜産大学畜産フィールド科学センター（乳牛、常時約70頭搾乳、平均乳量30～35kg/日）で、搾乳牛は日乳量35kg用に設計されたグラスサイレージ（GS）とコーンサイレージ（CS）主体 TMR を飽食の上、フィードステーションで配合飼料を個別給与されていた。

2010年4月5日～10月28日の間、毎日16時に気温と TMR の温度を測定し、電子レンジで TMR の水分を測定した。

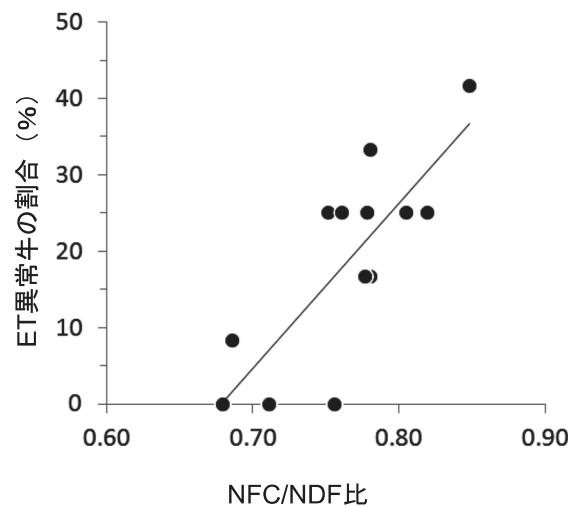
TMR のみを自由採食していた泌乳中～後期の外見上健康な任意の6頭から毎週1回、さらに牛群全体から毎月1回採血を行い、血液代謝プロファイルテスト（MPT）を実施した。また、第一胃液を採取して ET と DON、ゼアラレノン、フモニシンの MT 濃度を測定した（ROSA®-M Reader、Charm Sciences, Inc.、米国）。第一胃液 ET 濃度は、幾何平均+1SD 以上を示した牛を ET 異常牛とし、MT については検出された牛を MT 陽性牛とした。

2週間に1回、バンカーサイロにおいて GS および CS の温度を測定し、毎日採取した少量の飼料サンプルを2週間分まとめて粗飼料分析を行い（十勝農協連農産化学研究所に外注）、発酵品質（Vスコア）およびルーメンアシドーシスの要因指標として TMR の NFC/NDF 比を算出した。これらの収集データについて、2

週間ごとの飼料品質とそれに続く2週間の第一胃液 ET 異常牛率、MT 陽性牛率、MPT 各項目の異常率および疾病発生率（100×疾病治療頭数/全搾乳頭数）、繁殖成績（妊娠率）とを対応させて相関分析で検討し、 $p<0.05$ を有意と判定した。

### (2) 結果と考察

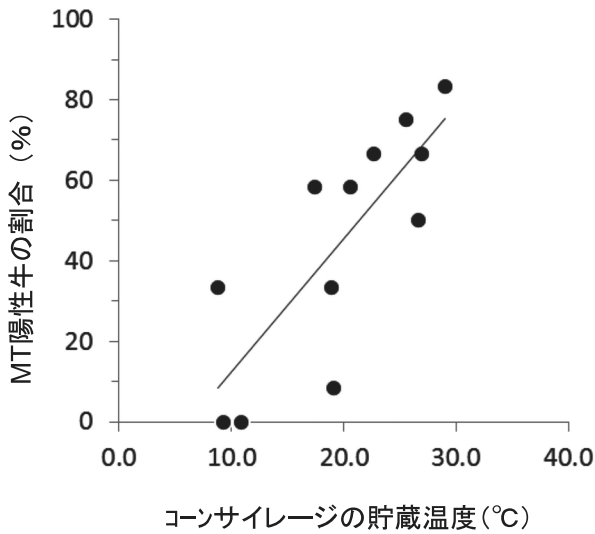
実験期間中、降雨などによるサイレージの水分変動に伴い、TMR 中の NFC 濃度（31～35%）と NDF 濃度（42～48%）が変動し、NFC/NDF 比は0.68～0.85の範囲で推移した。第一胃液中 ET 異常牛率は0.0～42.0%で推移し、NFC/NDF 比との間に有意な正の相関（ $R^2=0.64$ 、 $P<0.05$ ）が認められた（図9）。このことから、サイレージの水分増加に伴う TMR の繊維率の低下に加え、品質劣化による選び食いや採食低下が相対的な配合飼料摂取量の増加を引き起こし、SARA の発現につながったことが示唆された。このことは、TMR 中の粗飼料由来 NDF の低下に伴い高血糖（エネルギー過剰）が認められたことから裏付けられた<sup>19,20)</sup>。NFC/NDF 比の至適範囲は0.9～1.2と言われており<sup>24)</sup>、本研究のような飼料設計上、高繊維率の TMR であっても、短期間に NFC/NDF 比が変動するとルーメンアシドーシスが引き起こされることが示された。



N=13,  $R^2=0.64$  ( $P<0.05$ )

図9. 飼料の NFC/NDF 比と第一胃液 ET 異常牛率の関係

第一胃液中 MT についてはフモニシンのみが検出された。2 週間ごとのフモニシン陽性牛率 (0.0~83.3%) は、GS の乾物率、V スコアとの間にそれぞれ負の相関 (各  $R^2=0.40, 0.47$ 、全て  $P<0.05$ ) を示し、さらに、GS および CS 貯蔵温度とも有意な正の相関 (図10) を示したことから、夏季の高温環境や高水分によるサイレージの発酵品質低下がフザリウムの増殖を助長したと考えられた。



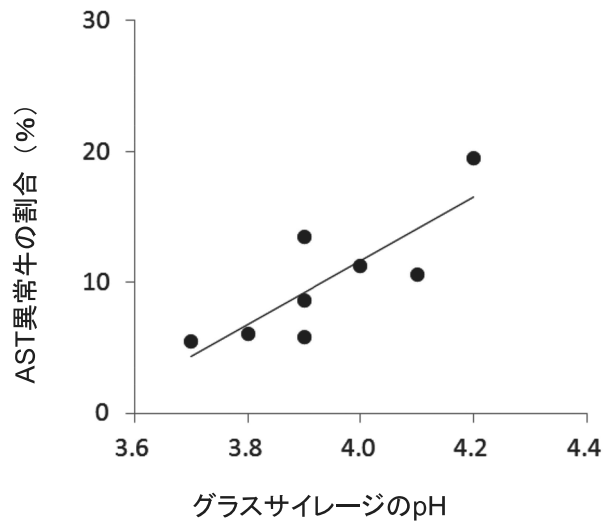
例) コーンサイレージ  
N=13,  $R^2=0.64$  ( $P<0.05$ )

図10. サイレージの貯蔵温度と第一胃液 MT 陽性牛率の関係

MPT 結果については、CS と GS の pH 上昇や V スコアの低下に伴い、AST の上昇 (肝機能障害) および低血糖や高  $\beta$ -ヒドロキシ酪酸 (エネルギー代謝障害) が認められた。さらに GS の乾物率低下に伴い低血糖や高 NEFA (エネルギー不足) が、CS の乾物率増加に伴い AST の上昇 (肝機能障害、図11) が認められ、サイレージの貯蔵温度上昇に伴い低コレステロール (肝機能低下) や低 Mg (採食低下) も認められた<sup>19, 20)</sup>。このように、夏季の暑熱時にはサイレージの高温化と二次発酵など貯蔵品質低下が生じ、そのような飼料を給与した場合には牛の健康状態が悪化することが確認された。

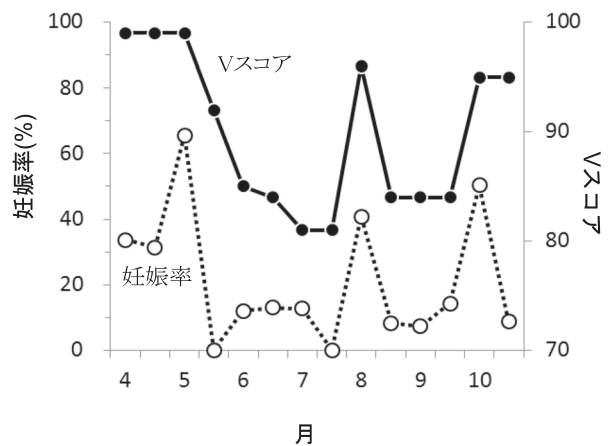
調査期間中に獣医師による診療を必要とした

疾病の大半は乳房炎であった。搾乳牛における疾病率 (治療頭数/飼育頭数) は TMR 温度 ( $p<0.01$ )、TMR の NFC 濃度 ( $p<0.05$ )、サイロ各所のサイレージ貯蔵温度 ( $p<0.01$ ) との間で有意な正の関係が、また、CS の V-スコア ( $p<0.05$ ) や GS の乾物率 ( $p<0.05$ ) との間で負の関係が認められた。一方、飼料品質変動と繁殖成績との関係では、GS の V-スコア ( $p<0.01$ 、図12) および乾物率 ( $p<0.05$ ) との間に正の関係が認められ、これらのことから、飼料品質の低下は、乳牛の疾病率を上昇させ、繁殖成績を悪化させることが確認された。



例) グラスサイレージの pH と AST 異常率の関係  
N=8,  $R^2=0.64$  ( $P<0.01$ )  
全牛に対する毎月の代謝プロファイルテストにおける異常率

図11. サイレージ品質と肝機能障害の関係



N=14,  $R^2=0.52$  ( $P<0.01$ )

図12. 2週間ごとのグラスサイレージの V スコアと妊娠率の関係

### (3)小括

貯蔵粗飼料の品質低下は TMR の品質を低下させ、乳牛に採食低下や肝機能障害を引き起こし、乳房炎などの疾患を誘発し、さらに妊娠率の低下を招くことが確認された。

### 4. 総括

今日の高泌乳牛における繁殖障害の原因として、分娩後の負のエネルギーバランス (NEB) が指摘されているが、NEB を解消するための急激な濃厚飼料増給は、NEB を解消する一方で SARA を引き起こし、第一胃内の ET 濃度が上昇し、蹄病や繁殖障害の原因となる。また、貯蔵飼料の品質低下は、MT や高 VBN による直接的な影響と共に、粗飼料の採食低下に伴う相対的な NFC 過剰が SARA を引き起こし、乳房炎などの疾病多発と低受胎の原因になっている。したがって、今日の高泌乳牛の生産病と繁殖障害を根本的に解決するためには、「健全な第一胃内環境の維持」を念頭に、粗飼料の品質向上を基本とする飼養管理の再構築が必要であると考えられた。

#### 【引用文献】

- 1) Lucy MC. 2001. Reproductive loss in high-producing dairy cattle: Where will it end? *J. Dairy Sci.*, 84:1277-1293.
- 2) Goad DW, Goad CL, Nagaraja TG. 1998. Ruminal microbial and fermentative changes associated with experimentally induced subacute acidosis in steers. *J. Anim. Sci.*, 76:234-241.
- 3) Andersen PH, Bergelin B, Christensen KA. 1994. Effect of feeding regimen on concentration of free endotoxin in ruminal fluid of cattle. *J. Anim. Sci.*, 72: 487-491.
- 4) Gozho GN, Krause DO, Plaizier JC. 2007. Ruminal Lipopolysaccharide Concentration and Inflammatory

Response during Grain-Induced Subacute Ruminal Acidosis in Dairy Cows. *J. Dairy Sci.*, 90:856-866.

- 5) Dougherty RW, Coburn KS, Cook HM, Allison MJ. 1975. Preliminary study of appearance of endotoxin in circulatory system of sheep and cattle after induced grain engorgement. *Am. J. Vet. Res.*, 36: 831-2.
- 6) Korosteleva SN, Smith TK, Boermans HJ. 2007. Effects of feedborne Fusarium mycotoxins on the performance, metabolism, and immunity of dairy cows. *J. Dairy. Sci.*, 90:3867-3873.
- 7) Korosteleva SN, Smith TK, Boermans HJ. 2009. Effects of feed naturally contaminated with Fusarium mycotoxins on metabolism and immunity of dairy cows. *J. Dairy Sci.*, 92 :1585-1593
- 8) Guo K, Russek-Cohen E, Varner MA, Kohn RA. 2004. Effects of milk urea nitrogen and other factors on probability of conception of dairy cows. *J. Dairy Sci.*, 87:1878-1885.
- 9) Gozho GN, Krause DO, Plaizier JC. 2006. Rumen lipopolysaccharide and inflammation during grain adaptation and subacute ruminal acidosis in steers. *J. Dairy Sci.*, 89:4404-4413.
- 10) Gozho GN, Plaizier JC, Krause DO, Kennedy AD, Wittenberg KM. 2005. Subacute ruminal acidosis induces ruminal lipopolysaccharide endotoxin release and triggers an inflammatory response. *J. Dairy Sci.*, 88:1399-1403.
- 11) Khafipour E, Krause DO, Plaizier JC. 2009. A grain-based subacute ruminal acidosis challenge causes translocation of lipopolysaccharide and triggers inflammation. *J. Dairy Sci.*, 92:1060-

- 1070.
- 12) Daniel JA, Abrams MS, deSouza L, Wagner CG, Whitlock BK, Sartin JL. 2003. Endotoxin inhibition of luteinizing hormone in sheep. *Domest. Anim. Endocrinol.*, 25: 13-9.
  - 13) Dvir, A, Leitner G, Moallem U, Lavon Y, Roth Z. 2008. Endotoxin affects oocyte developmental competence in dairy cows. *Reprod. Fertil. Dev.*, 21: 220-220.
  - 14) Miyamoto A, Okuda K, Schweigert FJ, Schams D. 1992. Effects of basic fibroblast growth factor, transforming growth factor-beta and nerve growth factor on the secretory function of the bovine corpus luteum in vitro. *J. Endocrinol.*, 135: 103-14.
  - 15) Shrestha HK, Nakao T, Higaki T, Suzuki T, Akita M. 2004. Resumption of postpartum ovarian cyclicity in high-producing Holstein cows. *Theriogenology.*, 61:637-649.
  - 16) Emmanuel DGV, Dunn SM, Ametaj BN. 2008. Feeding high proportions of barley grain stimulates an inflammatory response in dairy cows. *J. Dairy Sci.*, 91:606-614.
  - 17) Nocek JE. 1997. Bovine acidosis: Implications on laminitis. *J Dairy Sci.*, 80: 1005-1028.
  - 18) Vermunt JJ, Greenough PR. 1994. Predisposing factors of laminitis in cattle. *Br. Vet. J.*, 150:151-64.
  - 19) Kida K. 2002. The metabolic profile test: It's practicability in assessing feeding management and periparturient diseases in high yielding commercial dairy herds. *J. Vet. Med. Sci.*, 64:557-63.
  - 20) Kida K. 2002. Use of every ten-day criteria for metabolic profile test after calving and dry off in dairy herds. *J. Vet. Med. Sci.*, 64:1003-1010.
  - 21) 相馬幸作, 王鵬, 増子孝義. 2010. サイレージ. 乳牛栄養学の基礎と応用. (増子孝義, 花田正明, 中辻浩喜編), 198-241. (株)デリー・ジャパン社. 東京.
  - 22) Charmley E, Trenholm HL, Thompson BK, Vudathala D, Nicholson JWG, Prelusky DB, Charmley LL. 1993. Influence of level of deoxynivalenol in the diet of dairy cows on feed intake, milk production, and its composition. *J Dairy Sci.*, 76:3580-3587.
  - 23) Folman Y, Newmark H, Kaim M, Kaufmann W. 1981. Performance, rumen, and blood metabolites in high yielding cows fed varying protein percents and protected soybean. *J. Dairy Sci.*, 64:759.
  - 24) Nocek JE, Russell JB. 1988. Protein and energy as an integrated system. Relationship of ruminal protein and carbohydrate availability to microbial synthesis and milk production. *J. Dairy Sci.*, 71:2070-2107.