乳牛における血液成分とその栄養生理的意義

佐藤 博

東北農業試験場，盛岡市 020-01

Blood Biochemistry in Dairy Cows; Its Nutritional and Physiological Significance

Hiroshi SATO

Tohoku National Agricultural Experiment Station, Morioka-shi, 020-01

Key words: blood biochemistry, dairy cows, blood metabolite, blood profile, metabolic profile

はじめに

血液に含まれる栄養素 (metabolite, 以下広く血液成分とよぶ) の濃度は家畜の homeostatic な調節のもとにあるが, 泌乳サイクルなど各生産ステージごとに調和を保ちながら, 最も優先的な状態へ代謝の流れを総合的に変えるための homeorhetic な調節も受けている。しかし, 高位生産の牛ほどこれら調節機構が破綻しやすく, 正常な濃度域から逸脱する成分もみられ血液分析の意義が生じてくる。

古くから血液成分値が利用されてきたのは家畜の疾病診断であり, その場合の検査項目は病状によって決められるものであった。もうひとつには牧場内 (牛群) の健康・栄養状態をモニターするため特定の成分についてルーチンに分析するような利用法がある。これは Metabolic profile あるいは Blood profile test などと呼ばれて, 1970 年代から欧米で試みられてきた^{17,142,144,150,153,171,175)}。本稿では後者に主眼をおくが, 臨床診断的な利用にも配慮しつつ血液成分の意味について考えてみる。対象は乳牛に限定し, 子牛および肉用牛については除外した。

I. 血液成分と採血方法

採血のための家畜の保定・拘束などによって影響を大

きくうける成分もある。体内での代謝 (flow) の変化にともなって血液中の濃度にその影響が出現するまでの時間は成分によって大きく異なり, その指標として 'transient time' という用語が使われ⁹³⁾, その例を表 1 に示した。transient time の短い成分においては, 保定から採血までに要した時間の長短によっては人為的

Table 1. 'Transient time' (time for 10% concentration change following 50% increase in flux) for blood metabolites and hormone.

	Transient time (min)
Acetate	1
FFA	2
Alanine	3
Ketones	5
Lactate	8
Insulin	8
Glycine	15
Lysine	15
Glucose	20
Urea	90
Ca ⁺⁺	60—120
Chol. (ester)	20 hr
Albumin	5 days

from LINDSAY, D.B. (1978)

誤差の生ずる可能性が高い。また後述のように日内変動の著しい成分もあり、これを加味して採血方法（時刻・回数など）を決めるべきである。

ホルモン濃度も保定、穿刺などに影響されることがあり、また分泌腺から間歇的に放出されることもあるので目的によってはカテーテル法による多回採血などの必要性も強調されている^{96,181,189)}。

II. 血液成分への内的および外的影響

1. 年齢

乳牛において、年齢にともなって濃度変化を示す成分として広く認められるのは総蛋白・グロブリン (Glob) と無機リン (Pi) である。総蛋白濃度の上昇^{62,89,106,142,144,163,182)}は主に Glob 濃度の上昇^{78,142,144,182)}によっている。これは感染などを耐過して免疫成分が増加するためである⁶²⁾。しかし、老齢になるとアルブミン (Alb) 濃度がゆっくりと低下しており⁶²⁾、総蛋白濃度もずっと上昇し続けることはない。血球容積比 (PCV) と血色素 (Hb) 濃度も年齢が進むにつれて低下することがあるが^{78,148,163)}、必ずしも同じ傾向ではない。

年齢にともなう Pi 濃度の低下^{62,80,81,100,142,144,148,163,164)}とアルカリ性フォスファターゼ活性 (Al-P) の低下^{36,73,81,100,144,163,166)}の現象は、加齢にともなって骨からのミネラル動員の減退などに関係するものといえる。短期的にみると Ca 濃度は年齢が進むにつれて低下するともいわれるが¹⁶³⁾、反対の傾向もあり¹⁹²⁾、年齢にともなう Ca 濃度の変化は疑問である。老齢な乳牛では Mg 濃度が低いともいわれる¹⁶⁴⁾。

コレステロール (Chol) 濃度は成熟にともなって上昇するが^{4,100,142,144,163)}、その上昇も3~4才までといわれている^{144,183)}。初産牛の Chol 濃度は経産牛よりも高い例もあるが^{85,158)}、同じ個体での比較ではない。クレアチニン濃度は年齢にともなって上昇するといわれる¹¹⁾。

その他の血液成分についても年齢との関係をみた報告が多いが、必ずしも同一の傾向とはいえず、確定的とはいえない。また、後述のような分娩・泌乳開始による脂質・糖質・ミネラル関連成分の濃度変化は高齢牛ほど大きいとされているが¹⁹⁶⁾、これに関しては年齢（産次）というよりも泌乳量などと関連させて考えるべきである。

2. 品種および遺伝

体液中の蛋白質の免疫特性は遺伝的に支配されているが、血液中の metabolite やホルモン濃度の品種差はあまり認められていない。欧州系の乳用種間で血液成分について比較した成績もあるが¹⁶³⁾、一般論としてはホルスタイン種など大型種では小型種にくらべて Hb 濃

度および PCV が低いといわれている¹⁶³⁾。

Chol^{4,32,58)}、リン脂質の濃度⁵⁸⁾およびケトースシス罹患性⁵⁸⁾には遺伝的支配が強いようである。Hb, K 濃度と PCV にも遺伝的影響が強いといわれるが¹⁵⁰⁾、これらは採血操作の影響をうけやすい成分でもある。採血時の牛の騒擾などには個体差や系統差の大きいことは多々経験されることがあり、考慮すべき点といえる。

3. 季節および環境条件

一般に、尿素、Hb 濃度および PCV は春~夏に高く、冬期に低い^{47,62,149,150,163,195)}。これは飼料からの蛋白摂取を反映したものと考えられ、下記の放牧時の血液性状とも関係がある。夏期において PCV や Hb 濃度の上昇に加えて、さらに総蛋白や Na 濃度の上昇を伴う場合には飲水が充分に与えられていない可能性が高い^{95,97,98)}。Alb 濃度は夏期に高いともいわれたが^{48,123,124)}、年次によっては季節差の認められないこともあり¹⁴⁹⁾、一般には Alb 濃度の季節差は小さいようである。

萩原ら⁴⁸⁾による国内での広範な調査によると、夏期には Chol 濃度が低く、Alb とか Pi 濃度も低下傾向にあるといわれる。

暑熱環境下では Hb、ブドウ糖濃度および PCV が低く¹⁶³⁾、Chol とリン脂質および FFA の濃度も低下している^{24,163)}。蛋白では Alb 濃度が低下して Glob 濃度が増加する傾向にある¹⁴³⁾。尿素濃度も上昇しており蛋白の異化亢進による⁵⁷⁾。暑熱時に GOT などの活性上昇をみた報告もある¹⁹⁾。

寒冷時に遊離脂肪酸 (FFA)、ブドウ糖濃度および PCV が高まるのは^{43,165)}交感神経系の緊張亢進の反映といえる。放牧開始時期に寒波がくると3-ハイドロキシ酪酸 (3-HB) 濃度が上昇することもあるが、気象の緩和につれて低下している⁷⁶⁾。

4. 日内変動

血液成分の日内変動の多くは管理作業（特に給飼）に深く関連する性質のものである。一般には管理作業は日中（朝と夕含む）に行なわれ、夜間においては牛の活動性も低下する。

特に日内変動が注目されてきたのはブドウ糖、FFA、ケトン体および一部のホルモン濃度であった。一般的には、このような日内変動は栄養要求量の高い牛（および乳期）ほど^{14,53)}、また給飼回数の少ないほど⁸⁰⁾著しい。

採食前には FFA とブドウ糖濃度が高く、アセト酢酸 (AcAc) と 3-HB 濃度が低い³⁸⁾。遊離グリセロール (FG) 濃度も飢餓に近い状態で高い¹²⁵⁾。カテーテル法によって連続的に FFA^{127,159)}やケトン体¹²⁷⁾濃度を調べてみると（24時間以上）、これらの濃度変化は大きく、

変動係数は 50 % ほどに達する。ケトン体濃度は採食後に上昇するが¹⁰²⁾、特に採食との時間的関連が深いのは 3-HB である^{3,75)}。第一胃壁で吸収された VFA から 3-HB がつくられており、採食後の 3-HB 濃度の上昇は食餌性ケトン血といえる。一方、採食後の AcAc 濃度の変化は必ずしも一定の傾向とはいえず、それまで牛がおかれた栄養状態にかかっているとされる⁶⁵⁾。

血漿の中性脂肪 (= トリグリセライド; TG) 濃度にも日内変動をみた観察もあるが⁵⁵⁾、一般には TG 濃度の日内変動は非常に小さい¹²⁵⁾。

採食後におけるブドウ糖濃度の低下も広く認められ^{53, 65, 66, 159)}、同時にインスリン濃度の上昇を伴っている^{53, 66)}。PARKER and LEWIS¹²¹⁾によると、午前 11 時ごろにみられる最低のブドウ糖濃度という現象は旺盛なミルク合成に関係あるという。すなわち、搾乳の 4~5 時間後にミルク合成が最も活発であり、その時間帯には血液から乳腺へのブドウ糖の取込みも最大になるといわれる。血液の尿素濃度は給飼後数時間以内に最高に達し、夜間には最低になる¹⁵⁹⁾。これは飼料摂取にともなって第一胃内での NH_3 放出パターンに関係している。

乳牛では血液ミネラル濃度の日内変化はあまり知られてない。血漿の Pi 濃度は採食パターンに関係した変化を示して採食後に上昇するとか⁴⁰⁾、 Pi 濃度のピークは 16 時ごろに出現するともいわれている³⁶⁾。 Ca 濃度は日中に低く夜間に高いが、 Pi 濃度は反対の傾向を示す¹⁵⁹⁾。

乳牛においても一部のホルモン濃度は採食などと関係のない日内リズムを示すが¹⁰⁰⁾、血液中の metabolite 濃度においても採食とは独立した日内リズムが存在するかは未だ不明である。

Ⅲ. 飼養管理および生産性と血液成分

1. 飼料の過不足

(1) 飼料不足・飢餓：血液中の metabolite 濃度は給飼レベルによっても影響されるが、粗蛋白 (CP) 給与を要求量の 75% ぐらゐまで下げても血液成分の変化が明らかでないとか¹⁸⁰⁾、自由採食量の 75% および 50% に制限した場合では血液成分の反応出現は各 metabolite ごとに違ふともいわれている³⁶⁾。

飢餓 (絶食) においた泌乳牛での血液生化学的研究によると^{6,8)}、絶食によってブドウ糖濃度が低下して、FFA とケトン体濃度が上昇したが、乳酸および酢酸濃度にはほとんど変化が認められない。また、FFA とケトン体の濃度変化が同時的に進行するのではなく、FFA を原料にして ketogenesis が進行するので、循環血液中においても FFA の濃度上昇が先行し、1~2 日遅れてケ

トン体濃度の上昇がみられる^{6,8)}。

絶食時には総脂質、Chol、リン脂質および TG の血液中の濃度が上昇し、給飼を再開するとこれら脂質の濃度がみな急低下している¹³⁶⁾。絶食と再給飼にともなう血液の脂質濃度の変化は末梢組織 (特に乳腺) での利用量と肝臓からの放出量とのバランスにかかわる現象といえる。また、再給飼後の血漿脂質 (FFA を除く) は泌乳量の回復と同じ歩調であり¹³⁶⁾、このことは牛乳生産における血液脂質成分の重要性を再確認させるものといえる。

(2) Overfeeding と肝臓の脂肪浸潤：最近、肥満症の乳牛が問題になっている。そのような乳牛では剖検によると肝臓に重度な脂肪浸潤があり、代謝病、繁殖障害および乳房炎にも関係あるとして注目されている^{115, 141)}。高泌乳牛では分娩後に脂肪肝に陥る頻度が高く、たとえ臨床的に正常にみえる乳牛でも泌乳初期には肝臓の脂肪が多いといわれる¹³⁵⁾。肥満の乳牛では血漿の FFA 濃度が高く、TG 濃度が低い⁴²⁾。これは肝臓でのリポ蛋白の合成および放出の機構に障害があるからであり、肝障害のマーカーともいわれる循環血中のオルニチンカルバミル転移酵素 (OCT) およびソルビートル脱水素酵素 (SDH) の活性が異常に高い¹¹⁵⁾。

脂肪浸潤が重度な牛では高濃度の FFA^{46, 135)} とともに血漿のブドウ糖および Alb 濃度が低い¹³⁵⁾。血漿では総脂質、Chol、リン脂質および TG いずれの濃度とも低下している。肝臓では総脂質量は多いが、リン脂質は減少している⁵⁹⁾。GERLOFF ら⁴⁶⁾によると、このような牛では分娩後の体重低下が著しく、発病率および廃用率が高いといわれる。血液では FFA 濃度のほか 3-HB 濃度も高いが¹³⁹⁾、3-HB だけで危険性をモニターするのは難しいといわれる⁴⁴⁾。

2. 給飼法と血液成分

前述のように血液尿素濃度は採食後に上昇するのが一般といえるが、飼料を 24 時間にわたって連続的に給与した乳牛では採食後の尿素濃度のピークが消失している¹⁷⁷⁾。2 回給飼と 6 回給飼を乳牛で比較してみると、24 時間採血 (カテーテル法) による血漿 FFA 濃度の平均は多回給飼時に低下しており、インスリン濃度も低いといわれる¹⁷²⁾。また、ホルマリンで処理した脂肪 (防護) を飼料に添加すると血漿の Chol、FFA および TG 濃度が上昇して、乳脂率が向上したり¹⁹⁸⁾、血液の 3-HB 濃度の低下する¹³⁾ ことが報告されている。

3. 分娩と泌乳開始にともなう変化

分娩と泌乳開始によってブドウ糖濃度が低下してその後ゆっくりと上昇するが^{5, 15, 27, 64, 88, 120, 131, 152)}、低下の程度

と持続期間は牛の泌乳能力および給与飼料によって変ってくる。一般に分娩後2~3週で最低値になることが多い^{90,131,155}。分娩後にはインスリン濃度も低下する^{64,161}。分娩の前後をさらに詳しく検討すると、ブドウ糖濃度は分娩の以前から上昇し始め^{5,72}、分娩当日には明瞭に上昇している^{5,101,131,155}。また乳酸濃度の上昇もみられ⁵後述の FFA の変化と同様に分娩時の交感神経系緊張の亢進によるものといえる。泌乳開始によってブドウ糖濃度が低下するが、ブドウ糖の turnover rate は2~3倍にも高まっている¹⁷⁶。妊娠末期にはブドウ糖濃度の低下も観察されている¹⁷³。

Hb 濃度と PCV も分娩および泌乳開始によって低下し、乳期の進行につれて上昇している^{34,62,64,152,199}。また泌乳牛の Hb 濃度と PCV は非泌乳牛よりも低い^{149,150}。Alb 濃度は分娩によって低下し、泌乳初期にも低い傾向にあるが^{34,62,78,94,136,146,151}、回復の時期は泌乳水準とか給与飼料によって変ってくる。Glob 濃度は泌乳初期の約1カ月ぐらひは上昇して^{82,94,152}泌乳後期に低下しており⁷⁸、このような変化は乳房炎などに関係あるともいわれる⁹⁴。総蛋白濃度は妊娠末期に低下するが、主に Glob 濃度の低下のためといえる^{62,152}。尿素濃度は分娩直後に低く、乳期の進行につれて上昇する例もあるが^{10,152,158}、必ずしも一定した傾向はないようである。クレアチニン濃度は妊娠後期にゆっくり上昇して分娩時に急激な上昇を示し、このような変化は胎児の発育および分娩時における筋組織など蛋白の異化に関係すると説明されている¹⁷³。

妊娠末期には総脂質濃度が低く、分娩後にはさらに低下して最低値を呈する。その後は乳期の進行とともに徐々に上昇している^{29,125}。Chol (エステル型・遊離型とも) とリン脂質濃度は同様な濃度推移にあり、泌乳中~後期において高い^{10,31,72,125,136,150,155,162}。しかし、リン脂質と Chol 濃度のピークは最高泌乳期よりも遅れており、また乳量が低下し始めても高濃度が維持されている^{18,158}。また、Chol とリン脂質の比率は乳期によってほとんど変化しない²⁴。

TG 濃度は妊娠末期・乾乳期には高く、分娩・泌乳開始によって急激に低下する^{88,91,125,136,155,158}。

FFA 濃度が分娩時から泌乳初期にかけて最も高く、乳期の進行につれて低下するのは広く知られる^{27,29,101,125,131,136,158,192}。他の成分とはちがって FFA 濃度は妊娠末期から上昇し始めており^{5,10,88,110,155,156}、分娩当日に最も高い^{5,125,155,156}。乳牛では遊離グリセロールの分析例は少ないが、FFA とおおむね同様に推移している^{39,125}。

ケトン体濃度も泌乳開始によって上昇するが^{15,27,29,192}、最高になるのは分娩の2~5週間後である^{27,29}。このようにケトン体濃度のピークは FFA 濃度のピークよりも遅れており、この事実は牛乳生産能が最高に発揮され、ブドウ糖消費が最高になる時期(すなわち糖新生も最大に稼働)に ketogenesis がピークになることを意味している。ケトosis においても臨床症状の出現するかなり以前から FFA 濃度は著増しているが、ケトン体濃度が著しく上昇し始めるのはブドウ糖濃度が低下してからといわれ²⁹、ブドウ糖濃度の変化が他の metabolite 濃度(代謝)の変化の誘因といえる^{29,130}。

Ca および Pi 濃度は分娩後に低下している^{63,88,101,125,155,199}。泌乳初期においては正常牛においても Na・K や Cl など軽い濃度低下を示している^{155,199}。分娩時の Mg 濃度については低下例もあるが¹⁹⁹、分娩当日には上昇例が多い^{101,106,155}。Mg 濃度は泌乳中の牛で高いこともあり^{124,149,171}、これは乾乳期の牛では維持飼料からの Mg 摂取が少ないことなどによるとも説明されている¹⁴⁹。

分娩時および泌乳開始期には Glutamic oxaloacetic transaminase (GOT) 活性の上昇もみられる^{88,199,202}。その上昇は泌乳初期に何らかの疾病を煩った牛ほど著しいとされる¹⁹⁹。DALE ら²⁹も分娩・泌乳開始にともなう変化は認め難いが、食欲の減退した牛では GOT 活性およびビリルビン濃度の上昇例をみている。Al-P 活性は分娩後に低下し、泌乳最盛期にかけて上昇傾向を示している¹⁵⁵。

4. 牛乳生産と血液成分

乳量の多い個体(あるいは時期)ほど Hb 濃度と PCV が低い^{62,78,89,123,124}。また Alb 濃度が低く、Glob 濃度が高いといわれる¹⁴⁶。FFA¹²⁵・Mg^{62,152,192} は乳量と正の相関関係を示し、TG¹⁸ とブドウ糖^{62,72,78,152,192} は負の関係にある。泌乳中の牛では乳酸およびビリルビン濃度も低下している⁹。飼料からのセンイが不足して乳脂率が低下したような乳牛では血液の酢酸濃度が低下してインスリンとブドウ糖濃度が上昇するが^{69,134}、FFA 濃度には明瞭な差が出難い¹⁸⁶。しかし、そのような場合には血液の SDH や乳酸脱水素酵素(LDH)活性の上昇がみられ^{166,187}、代謝面での変化とともに肝細胞への傷害があるといえる。

5. 放牧と血液成分

放牧飼養によっても血液成分に大きな影響がみられ、特に蛋白とミネラル栄養に関連した成分で著しい。一般に、放牧中の乳牛では血液の尿素濃度が高い^{77,120,122,126,160,167,184}。放牧中の乳牛では Alb 濃度も高いといわれ

ているが、蛋白摂取などの要因によって変ってくる¹²²⁾。しかし、放牧初期には総蛋白¹⁶⁰⁾と Alb 濃度^{77,160,167)}が一時的に低下しており、約 1 カ月ぐらい経てから総蛋白濃度が上昇に転じるともいわれている¹⁶⁷⁾。

放牧初期にはブドウ糖^{77,160)}と FFA¹⁸⁴⁾濃度の上昇および Pi 濃度の低下^{77,160,184)}がみられる。放牧開始時には GOT と Mg 濃度の上昇⁷⁷⁾、あるいは Mg 濃度の低下とインスリン濃度の上昇もみられる¹¹²⁾。

6. 血液成分と繁殖性

繁殖成績と血液 metabolite 濃度の関係をみる場合、その原料となる栄養素の過不足の両面から検討する必要がある。

蛋白、エネルギーおよび P の不足による繁殖障害はしばしば観察され、血液成分にもそのことが認め得る^{68,108,109,114)}。血液中の Alb、Ca および Pi 濃度の低い牛群では、受胎率の低下も認められている⁹²⁾。

Profile test の結果によると繁殖成績の悪い牛群では血液のブドウ糖濃度の低いことが頻繁に認められ¹²³⁾、初回授精で受胎した乳牛のブドウ糖濃度は不受胎区よりも高いことが示されている^{16,109)}。McCLURE¹⁰⁸⁾は粗悪な粗飼料のみで飼った牛ではブドウ糖濃度が低く、繁殖成績も著しく悪いが、粗飼料の飽食または補助飼料給与によってブドウ糖濃度とともに受胎率も向上することを認めた。さらに彼はインスリン注射法を応用して低血糖にした乳牛では性周期が遅延したり、受胎率も低下することを報告している¹⁰⁷⁾。しかし、繁殖成績と血液ブドウ糖濃度とは関係なく¹⁷⁾、むしろ授精期における体重推移が重要であり、体重が増加傾向にある牛では繁殖成績もよいといわれている^{35,201)}。授精（または交配）時にブドウ糖や Pi 濃度の高い牛では受胎率が高いことも示されている⁶⁸⁾。しかし、CARSTAIRS ら²²⁾によると、ブドウ糖および Pi 濃度と繁殖成績との関係は明瞭でないが、これらの濃度が低いとプロゲステロン分泌も弱い傾向にあるといわれている。

受胎率の低い牛群では貧血牛の多いこともある^{1,122,191)}。血清の Alb 濃度と繁殖成績も平行関係にあり、分娩後の Alb 濃度低下を小さく維持し続け得る牛では繁殖成績がすぐれている^{146,148)}。また Alb、K 濃度および PCV の高い牛では受胎に要した授精回数が少なく、Glob 濃度の高い牛では授精回数が多くなるともいわれている¹⁴⁸⁾。

濃厚飼料多給とセニ飼料不足の飼養条件でも繁殖性に問題が多い点については、第一胃内での酢酸発酵の低減→ステロイドホルモンの合成・代謝不全という説明もされてきた³⁵⁾。セニ飼料の不足は乳脂率などにすぐに

反映されるが、繁殖性への影響が顕著になるには 4~5 カ月かかるともいわれ、これは肝細胞への傷害の蓄積効果とも考えられている³⁵⁾。

蛋白とかエネルギーの過剰摂取でも障害が多い。蛋白の摂取過剰では、肝細胞が傷害され^{35,178,179)}、繁殖性が害されるとともに血液の尿素濃度や GOT 活性も上昇してくる³⁵⁾。エネルギーの摂取過剰と脂肪肝浸潤については前述した。一般的には P の欠乏による繁殖障害が重視されている^{80,82,114)}。血清 Pi 濃度と繁殖成績との間に負の関係もみられるが、その場合の Pi 濃度はすべて 4 mg/dl 以上であり¹⁸⁷⁾、P 要求が充足された¹¹⁷⁾うえでの P 過給条件と考えられる。P 要求が充足されている乳牛にさらに P を補給しても血清の Pi 濃度が高まるだけで、繁殖性や生産性の向上はないのが一般的といえよう^{22,116)}。LARSON ら⁸⁹⁾によると血液成分のうち繁殖成績に関係するのは Se のみともいわれ、Se 濃度の高い牛では空胎期間が短縮している。Se は Glutathione peroxidase の構成元素であり、後産停滞の牛や低受胎率の牛では血液中のこの酵素活性が低いともいわれるが¹¹¹⁾、後産停滞の有無によっても Se 濃度に差を認めないとの報告もある²⁰⁾。

性周期と血液成分：生殖ホルモンの分泌は性周期にともなって典型的な推移を示すが、他の血液成分についての成績は少ない。Chol 濃度の性周期にともなう変化には否定的であるが⁸⁷⁾、TALAVERA ら¹⁷⁴⁾によると Chol 濃度は黄体期に低下して卵泡期に上昇するといわれる。ブドウ糖濃度は発情時に上昇し発情後（1~3 日後）に低下しており、 α -アミノ態窒素も発情~発情後期に低下しているが、尿素濃度には特に周期性を認めないとする成績もある¹⁰⁵⁾。同様に De SILVA³⁰⁾の成績でも発情時のブドウ糖濃度は 82 および 69 mg/dl（未経産牛と経産牛）といわれ、かなり高濃度と判断できる。これは発情時の興奮などによると考えられるが、発情行動とブドウ糖濃度との間には特に関係ないともされている³⁰⁾。血清 GOT 活性にも性周期にともなう推移を認めた報告もある¹⁴⁵⁾。

7. 血液成分の利用と疾病の予測

牧場ごとの血液成分の平均的濃度をもとに飼養管理の適否を判断し、飼養法の改善に結びつけようとした試みも多い。

約 10 年ほど前に SOMMER¹⁶⁸⁾が提唱したのは分娩予定の約 8 週間前に採血して Chol 濃度と GOT 活性を指標にして、低 Chol 濃度および高 GOT 活性の牛では分娩前に治療する方法であった。上記 2 成分が異常であっても、治療した牛群では分娩後の発病率が著しく減少

していた¹⁶⁸⁾。また、PAYNE ら¹²³⁾の野外調査でも臨床的トラブルの多い牛群では血液分析の成績にも異常が多くなっている。たとえば、産後麻痺の多い牛群では Ca と Mg 濃度の高低が著しかったり、ケトシスおよび繁殖障害の多い牧場では血液ブドウ糖濃度が低いとか、産乳性および乳質に問題点の多い牛群では Alb 濃度が低いなどの特徴がみられている。国内においても、乳牛の分娩前の血液成分と分娩後の疾病との関連性についての研究が展開されている^{2,49,50,87,88)}。血液成分を用いる Metabolic profile によって牛群の栄養状態のスクリーニングおよび疾病予測を行なうには限界があるとする成績もあるが^{49,50,71)}、以下引続いて血液成分変動の栄養生理的意味について考えてみる。

IV. 血液成分の変化とその意味

泌乳中の乳牛においては飼料給与の適否による影響はまず泌乳量に現われ、血液成分への影響はなかなか出現し難い。たとえば、エネルギー栄養の変化でもブドウ糖とケトン体濃度の反応は鈍く、乳量あるいは乳脂肪の脂肪酸組成が敏感ともいわれる¹⁷⁰⁾。

1. 蛋白栄養と血液成分

乳牛の蛋白栄養はエネルギー摂取とも深い関係にあり、BLOWEY ら¹⁷⁾は血液のブドウ糖、尿素および Alb の 3 成分を指標にして蛋白およびエネルギー栄養状態の判定を唱えている。すなわち、①ブドウ糖濃度の低下はエネルギー摂取の不足を意味し、②Alb 濃度の低下は蛋白摂取の低下の指標になる。③尿素濃度の低下は蛋白摂取の不足あるいはエネルギー摂取の増大を反映するとされている。

1) 尿素濃度：血液の尿素は栄養状態と腎機能のモニターとしての意味があるが、ここでは前者についてのべる。飼料からの蛋白（窒素）摂取と血液尿素濃度との間には正の関係があり、給与飼料の CP 水準を高めるにつれて尿素濃度が上昇している^{25,28,34,118)}。この場合、第一胃内のアンモニア (NH₃) 濃度も上昇しているが²⁵⁾、血液 Alb あるいは総蛋白濃度も上昇するとは限らない^{28,84)}。給与蛋白の質とエネルギー供給によって状況が変わってくる。

第一胃内細菌による NH₃ の利用（菌体蛋白の合成）にはエネルギーが不可欠であり、たとえ CP 摂取が多くてもエネルギー不足では NH₃ の利用効率が悪く、利用されなかった NH₃ は肝臓で尿素に合成されてしまう（→血液尿素濃度の上昇）。また、尿素飼料などのように第一胃内で急速に NH₃ を放出する場合にも N の利用効率が悪い。たとえ CP 水準が同じであっても、天然の蛋白飼料を給与した乳牛では尿素飼料を用いた牛よ

りも血液尿素濃度が低く^{67,84,119)}、生産性もすぐれている¹¹⁹⁾。また、NPN 飼料と天然飼料の給与の場合で血液尿素濃度の差が拡大するのは泌乳初期といわれている¹⁷⁸⁾。血清尿素濃度の下限は 7mg/dl とされているが¹¹⁷⁾、エネルギー摂取が多いとこの境界以下になることも多々みられる¹⁵⁹⁾。

2) 総蛋白、Alb および Glob：Alb 濃度も蛋白栄養によって変化するが^{62,79)}、尿素にくらべると反応が遅く Alb 濃度の低下は長期的な蛋白欠乏を意味している¹⁵²⁾。分娩時にみられる Alb 濃度の低下は肝臓における Alb 合成の低下、Alb 消失の増加および血液内での稀釈などによるとされている⁹⁴⁾。寄生虫感染時の低下は肝臓による合成減退による⁸⁰⁾。Glob 濃度の上昇は感染とか生産ストレスへの対応と考えられている¹⁴⁴⁾。血漿の膠質浸透圧の維持という面から Alb と Glob は逆の濃度変化を示すことが多く、両成分相互の代償によって総蛋白濃度は比較的一定に保たれている。

3) PCV と Hb：PCV と Hb 濃度も蛋白摂取の影響をうけ、蛋白不足時には低下しやすいが¹²⁰⁾、常に同様に反応するとは限らず、またその影響の出現には数週間かかるともいわれている¹⁸⁰⁾。Hb 濃度と PCV は脱水など細胞外液量の変化によっても影響される^{95,97,98)}。また前述のように採血ストレスの影響をうけやすい個体もある。

2. エネルギー摂取と血液成分

(1) ブドウ糖：エネルギー摂取が不足するとブドウ糖濃度が低下傾向にあるのは周知の事実ではあるが⁶²⁾、FFA およびケトン体にくらべるとブドウ糖濃度の調節機構は強力であり変化も小さい。エネルギー出納の変化に対してブドウ糖濃度はあまり敏感でないとか¹²⁵⁾、そのような目的でブドウ糖濃度を指標とするには限界があるともいわれている^{33,60,75)}。しかし、前述のようにブドウ糖濃度低下が種々の障害や疾病に関連性を示しており^{68,106,109,123)}、飼養改善によって泌乳量とか繁殖性が改善された場合にはブドウ糖濃度の上昇を伴う例もある¹²²⁾。むしろ、エネルギー栄養の判定においては後述の FFA およびケトン体との併用が望まれる²³⁾。酢酸の transient time は短かいが、採血ストレスの影響を受け難いため有望な指標であるので⁸³⁾分析法の改良がまたれる。

(2) FFA とケトン体：血漿の FFA 濃度は飼料摂取に敏感に反応し、低栄養時には著しく上昇する²¹⁾。しかし、採血その他のストレスおよび採食後の時間的要因などによって濃度変化が拡大される^{93,121)}。また分娩の 2~3 週間前から FFA 濃度の上昇が始まっており^{155,156)}、妊娠末期や泌乳開始時においては飼料摂取の過不足とは別

に obligate な FFA 放出が考えられる^{33,58,110)}。エネルギー栄養に対してはブドウ糖^{33,83)} およびケトン体濃度⁸³⁾ よりも敏感ではあるが、泌乳初期において FFA を指標とするには限界があるといわれる³³⁾。高泌乳牛と低泌乳牛の FFA 濃度の差が大きいのは泌乳最盛期のみであり、ブドウ糖濃度でも同様とされる⁵⁴⁾。

FFA はケトン体の前駆物質であり、FFA 濃度が 1.5 mM まではケトン体濃度は FFA に比例して上昇するが、それ以上ではケトン体濃度が急に上昇してくる¹²⁾。低栄養時に血液のケトン体濃度が上昇するが、AcAc は肝臓（あるいは乳腺も）での、3-HB は主に第一胃からの VFA を介しての ketogenesis によっている⁸⁰⁾。よって 3-HB 濃度は前述のように採食後時間によっても変化しており^{76,93)}、エネルギー出納というよりも飼料利用の面などで判断価値を持つが、AcAc はエネルギー栄養に敏感である⁹³⁾。

ケトン体濃度は採血ストレスの影響も受け難く⁷⁵⁾、血液ケトン体を指標に用いて牛群の疾病予測および予防の野外試験も実施されている^{61,194)}。同様にケトosis の予察にはブドウ糖よりも 3-HB 濃度が有効な指標になるともいわれている^{60,61)}。しかし、エネルギー出納がプラスの場合にはこれら血液成分とエネルギー出納との相関は非常に弱まってくる⁸³⁾。AVIDAR ら⁷⁾によると総脂質濃度および総脂質：ブドウ糖比がエネルギー出納の指標になるといわれている。

3. 脂質成分

泌乳牛の血漿の TG は 10 mg/dl 前後、多くても 20 mg/dl ぐらいであり、他の動物、たとえばヒトの約 100 mg/dl、ウサギの約 60 mg/dl にくらべて著しく低い。また FFA 濃度も低いので、血漿総脂質の 90 ないし 95 % 前後は Chol とリン脂質である^{115,132)}。TG と FFA はあわせても全脂質の 5 % 程度にすぎないが、循環血液中および体内での代謝が急速で栄養条件にも鋭敏に反応している。

Chol、およびリン脂質は血液内では高密度リポ蛋白として存在し^{129,132,133)}、乳腺への TG の移行においてキャリアー的な役割を果たしている^{45,129,133)}。Chol およびリン脂質濃度の上昇とエネルギー摂取増加との関係は否定的である¹⁸³⁾。Chol のエステル比は 80 % 前後とされるが^{155,188)}、やや高い数値 (86-88 %) も報告されている^{55,56)}。

Chol 濃度は疾病との関係でも注目され、分娩前の濃度が低い乳牛では分娩後の発病が多いといわれる^{85,86,168)}。血液の Chol 濃度が低いのは肝機能の不全にも関係がある³⁵⁾。消化管内寄生虫を駆虫した乳牛ではセンイ消化が

改善されるとともに Chol 濃度が上昇している⁴¹⁾。また、繁殖成績の悪い牛群では Chol 濃度が低いとか¹⁵⁷⁾、剖検時に異常を認めた牛と正常牛で生前の Chol 濃度を比較すると、異常牛で低濃度例が多いことも明らかにされてきた⁷⁰⁾。

4. ミネラルおよび酵素活性

P は炭水化物代謝と密接な関係があり、ブドウ糖濃度が一時的に上昇する時には Pi 濃度低下を伴うことが多い¹³⁹⁾。Pi 濃度は P 摂取に比較的応じやすいが、ベースとなる Pi 濃度には年齢の影響も大きい（前述）。成牛の Pi 濃度は概ね 4~7^{82,200)}、あるいは 4~6 mg/dl¹⁷⁾ とされるが、Pi 濃度が異常に低く (1 mg/dl 以下) でも明瞭な症状の現われない例もある⁸²⁾。P 欠乏では食欲不振、繁殖障害さらに幼畜では発育遅延などをきたしやすい¹¹⁴⁾。

血清 Ca 濃度の調節は強力であり、飼料要因に対しては血清 Ca 濃度は反応し難く、飼料の Ca 水準を把握する必要がある。循環血液中で FFA と Ca イオンは結合するが、実験的に FFA 濃度を高めても Ca イオンの低下は認められていない¹⁶⁰⁾。総 Ca 濃度には年齢による差を認めないが、若い牛ほど Ca イオンが多いのは¹⁹⁷⁾ Al-P 活性およびハイドロキシプロリン濃度の高い現象³⁶⁾ などと共に若齢期の活発な骨代謝の反映といえる。Ca 濃度には日間変動も大きく、Pi および Mg と同時に総合的に評価することが力説されている¹⁴⁷⁾。Ca 要求量の変化に対応して生体の Ca 代謝の調節機構が始動するまでの時間は 5~7 日といわれている⁹⁹⁾。

飼料からの Mg の利用性によって血清 Mg 濃度も変わってくる。生育初期の早春の牧草では牛による Mg の利用性が低く¹⁴⁰⁾、さらに他のミネラルの影響をうけるのは周知のことである。泌乳牛の血清 Mg 濃度が高いのは、泌乳用飼料の高 Mg 含量で説明されている¹⁵²⁾。牛の年齢も関係があり、老齢牛では Mg 吸収率が低い¹⁹⁰⁾。Mg の出納調節においては腎臓が大きく関与しており尿中 Mg 排泄には閾値があるので、尿への Mg 排泄によって Mg 栄養を評価できる¹⁹⁰⁾。

血漿の Na、K および Cl 濃度の変化は小さいが、泌乳初期のわずかな濃度低下（前述）は乳汁への大量な分泌によるといえる。実験的に Na^{74,193)}、K¹²⁸⁾ または Cl^{26,37,193)} 欠乏をきたした乳牛では血液あるいは牛乳中のそれらミネラルの濃度が低下している。また、放牧地で飼養した乳牛では血漿 Na 濃度の低下もみられている¹²²⁾。

体内の臓器が傷害されると各臓器特有の酵素が血液に

放出されるが、最も調査例が多いのは肝臓酵素である。GOT 活性が高いのも肝傷害に関係あり、蛋白あるいはエネルギーの過剰摂取なども原因になっている^{35,51)}。OCT 活性の上昇もみられる¹⁷⁹⁾。乳牛における γ -glutamyl transpeptidase (γ -GTP) の組織間分布も特異的であり、腎臓で最も高く、次いで脾臓および肝臓である^{138,154)}。しかし、疾病別に血液中の γ -GTP 活性をみると肝硬変および肝炎では高いが、腎炎では上昇を認めず¹⁵⁴⁾、また妊期による差異も認められないので¹⁸⁵⁾、肝疾患の指標として利用できるといえる^{103,154)}。飼養法別に乳牛での γ -GTP 活性をみると粕類多給の牧場で高いとの報告もある¹⁵⁴⁾。前述の OCT と SDH も肝傷害の指標として用いられる¹⁰³⁾。その他の酵素活性についての成績も多いが本稿では省略する。

本稿にご校閲をいただいた其田三夫教授および文献整理にご尽力された千葉かをり嬢に深謝の意を表する。

文 献

- ADAMS, R.S., W.L. STOUT, D.C. KRADEL, S.B. GUSS, Jr., B.L. MOSER and G.A. JUNG, *J. Dairy Sci.*, **61**: 1671-1679. 1978.
- 阿久沢正夫・岡本光司・岩月妙子・森園 充・渡辺 茂・田代哲之・坂本 紘, 鹿大農報告. **32**: 149-156. 1982.
- ANDERSSON, L. and K. LUNDSTRÖM, *Zbl. Vet. Med. A*, **31**: 340-349. 1984.
- ARAVE, C.W., R.H. MILLER and R.C. LAMB, *J. Dairy Sci.*, **58**: 423-427. 1975.
- ATHANASIOU, V.N. and R.W. PHILLIPS, *Am. J. Vet. Res.*, **39**: 953-956. 1978.
- ATHANASIOU, V.N. and R.W. PHILLIPS, *Am. J. Vet. Res.*, **39**: 957-960. 1978.
- AVIDAR, Y., M. DAVIDSON, B. ISRAELI and E. BOGIN, *Zbl. Vet. Med. A*, **28**: 373-380. 1981.
- BAIRD, G.D., R.J. HEITZMAN and K.G. HIBBIT, *Biochem. J.*, **128**: 1311-1318. 1972.
- BAIRD, G.D., M.A. LOMAX, H.W. SYMONDS and S.R. SHAW, *Biochem. J.*, **186**: 47-57. 1980.
- BELYEA, R.L., C.E. COPPOCK and G.B. LAKE, *J. Dairy Sci.*, **58**: 1336-1346. 1975.
- BERGLUND, B. and R. OLTNER, *Zbl. Vet. Med. A*, **30**: 59-71. 1983.
- BERGMAN, E.N., *J. Dairy Sci.*, **54**: 936-948. 1971.
- BINES, J.A., P.E. BRUMBY, J.E. STORRY, R.J. FULFORD and G.D. BRAITHWAITE, *J. Agric. Sci.*, **91**: 135-150. 1978.
- BINES, J.A. and I.C. HART, *Occ. Pub. of Br. Soc. Anim. Prod.*, **1**: 87-98. 1978.
- BLOM, A.K. and K. HALSE, *Acta Endocr.*, **78**: 306-315. 1975.
- BLOWEY, R.W., *Occ. Pub. of Br. Soc. Anim. Prod.*, **1**: 53-57. 1978.
- BLOWEY, R.W., D.W. WOOD and J.R. DAVIS, *Vet. Rec.*, **92**: 691-696. 1973.
- BLUM, J.W., P. KUNTZ, H. LEUENBERGER, K. GAUTSCHI and M. KELLER, *Anim. Prod.*, **36**: 93-104. 1983.
- BOOTS, L.R., T.M. LUDWICK and E.R. RADER, *J. Dairy Sci.*, **53**: 1587-1591. 1970.
- BOSTEDT, H. and P. SCHRAMMEL, *Zbl. Vet. Med. A*, **28**: 529-537. 1981.
- BOWDEN, D.M., *Can. J. Anim. Sci.*, **51**: 1-13. 1971.
- CARSTAIRS, J.A., D.A. MORROW and R.S. EMERY, *J. Anim. Sci.*, **51**: 1122-1130. 1980.
- CHI, S.M., N. ROSSOW and M. SCHAFER, *Monatsh. Vet.-Med.*, **31**: 41-45. 1976.
- CHRISTIE, W.W., in *Lipid Metabolism in Ruminant Animals* (CHRISTIE, W.W., ed.), 193-225. Pergamon Press, Oxford. 1981.
- CLAYPOOL, D.W., M.C. PANGBORN and H.P. ADAMS, *J. Dairy Sci.*, **63**: 833-837. 1980.
- COPPOCK, C.E., R.A. AGUIRRE, L.E. CHASE, G.B. LAKE, E.A. OLTNACU, R.E. McDOWELL, M.J. FETTMAN and M.E. WOODS, *J. Dairy Sci.*, **62**: 723-731. 1979.
- COULON, J.B., B. REMOND, M. DOREAU and M. JOURNET, *Ann. Rech. Vet.*, **16**: 185-193. 1985.
- CRESSMAN, S.G., D.G. GRIEVE, G.K. MACLEOD, E.E. WHEELER and L.G. YOUNG, *J. Dairy Sci.*, **63**: 1839-1847. 1980.
- DALE, H., L. VIC-MO, and P. FJELLHEIM, *Nord. Vet. Med.*, **31**: 97-105. 1979.
- DeSILVA, A.W.M.V., G.W. ANDERSON, F.C. GWAZDAUSKAS, M.L. MCGILLIARD and J.A. LINEWEAVER, *J. Dairy Sci.*, **64**: 2409-2418. 1981.
- DUNCAN, W.R.H. and G.A. GARTON, *Biochem. J.*, **89**: 414-419. 1963.
- EDFORS-LILJA, I., B. GAHNE, K. LUNDSTRÖM, K. DARELIUS and L.E. EDQVIST, *Swed. J. Agric. Res.*, **8**: 113-122. 1978.
- ERFLE, J.D., L.J. FISHER and F.D. SAUER, *Can. J. Anim. Sci.*, **54**: 293-303. 1974.
- ESIEVO, A.K. and W.E. MOORE, *Res. Vet. Sci.*, **26**: 53-58. 1979.
- ESSLEMONT, R.J., in *Feeding Strategy for*

- the High Yielding Dairy Cow (BROSTER, W.H. and H. SWAN eds.), 258-294. Granada Publishing, London. 1979.
- 36) EVANS, J.L., R.E. FISH, Z.B. LELKES and J.R. TROUT, *J. Dairy Sci.*, **59**: 1838-1841. 1976.
- 37) FETTMAN, M.J., L.E. CHASE, J. BENTINCK-SMITH, C.E. COPPOCK and S.A. ZINN, *J. Dairy Sci.*, **67**: 2321-2335. 1984.
- 38) FISHER, L.J., P.E. DONNELLY, J.B. HUTTON and D.M. DUGANZICH, *J. Agric. Sci.*, **84**: 29-37. 1975.
- 39) FLATLANDSMO, K., *Acta Vet. Scand.*, **12**: 489-495. 1971.
- 40) FORAR, F.L., R.L. KINCAID, R.L. PRESTON and J.K. HILLERS, *J. Dairy Sci.*, **65**: 760-763. 1982.
- 41) FOX, M.T., D.E. JACOBS, R.C. CAMPLING, B.R. POCKNEE, R. CLAMPITT and I.C. HART, *Vet. Rec.*, **116**: 257-260. 1985.
- 42) FRONK, T.J., L.H. SCHULTZ and A.R. HARDIE, *J. Dairy Sci.*, **63**: 1080-1090. 1980.
- 43) 藤田 裕・松岡 栄・高橋潤一・鈴木孝俊・藤田毅, 帯畜大研報, **12**: 323-329. 1982.
- 44) GAAL, T., C.J. ROBERTS, I.M. REID, A.M. DEW and C.M. COPP, *Vet. Rec.*, **113**: 53-54. 1983.
- 45) GARTON, G.A., *J. Lipid Res.*, **4**: 237-254. 1963.
- 46) GERLOFF, B.G., T.H. HERDT and R.S. EMERY, *J. Am. Vet. Med. Ass.*, **188**: 845-850. 1986.
- 47) GHERGRARIU, S., G.J. ROWLANDS, A.I. POP, N. DANIELESCU and N.A. MOLDOVAN, *Br. Vet. J.*, **140**: 600-608. 1984.
- 48) 萩原茂紀・元井霞子・飯塚三喜, 家衛試研報, **76**: 30-42. 1978.
- 49) 浜名克己・田浦保穂・南正覚耕平・秋田真司・萩尾光美, 鹿大農報告, **36**: 135-141. 1986.
- 50) 浜名克己・田浦保穂・南正覚耕平・秋田真司・萩尾光美, 鹿大農報告, **36**: 143-149. 1986.
- 51) HARASZTI, J., O. SZENCI, E. BAKSAI-HORVATH and L. SOLT, *Acta Vet. Acad. Sci. Hung.*, **28**: 197-207. 1980.
- 52) HART, I.C., *Proc. Nutr. Soc.*, **42**: 181-194. 1983.
- 53) HART, I.C., J.A. BINES, C.C. BALCH and A.T. COWIE, *Life Sci.*, **16**: 1285-1291. 1975.
- 54) HART, I.C., J.A. BINES, S.V. MORANT and J.L. RIDLEY, *J. Endocr.*, **77**: 333-345. 1978.
- 55) HARTMANN, P.E. and A.K. LASCELLES, *Aust. J. Biol. Sci.*, **18**: 114-123. 1965.
- 56) HARTMANN, P.E. and A.K. LASCELLES, *Aust. J. Biol. Sci.*, **18**: 1025-1034. 1965.
- 57) HASSAN, A. and J.D. ROUSSEL, *J. Agric. Sci.*, **85**: 409-415. 1975.
- 58) HENRICSON, B., G. JÖNSSON and B. PEHRSON, *Zbl. Vet. Med. A*, **24**: 89-102. 1977.
- 59) HERDT, T.H., J.S. LIESMAN, B.J. GERLOFF and R.S. EMERY, *Am. J. Vet. Res.*, **44**: 293-296. 1983.
- 60) HERDT, T.H., J.B. STEVENS, J. LINN and V. LARSON, *Am. J. Vet. Res.*, **42**: 1177-1180. 1981.
- 61) HERDT, T.H., J.B. STEVENS, W.G. OLSON and V. LARSON, *Am. J. Vet. Res.*, **42**: 503-506. 1981.
- 62) HEWETT, C., *Acta Vet. Scand., Suppl.* **50**: 1-152. 1974.
- 63) HORST, R.L., J.H. THORNTON, N.A. JORGENSEN and L.H. SCHULTZ, *J. Dairy Sci.*, **59**: 88-90. 1976.
- 64) HOVE, K., *Acta Endocr.*, **76**: 513-524. 1974.
- 65) HOVE, K. and A.K. BLOM, *Acta Endocr.*, **73**: 289-303. 1973.
- 66) HOVE, K. and K. HALSE, *Acta Vet. Scand.*, **19**: 215-228. 1978.
- 67) HUBER, J.T., *J. Anim. Sci.*, **41**: 954-961. 1975.
- 68) HUNTER, A.P., *N.Z. Vet. J.*, **25**: 305-307. 1977.
- 69) JENNY, B.F., C.E. POLAN and F.W. THYE, *J. Nutr.*, **104**: 379-385. 1974.
- 70) 定免昌臣・中西和典・林 智子・高橋俊幸, 北獣会誌, **27**: 14-17. 1983.
- 71) JONES, G.M., E.E. WILDMAN, H.F. TROUTT, Jr., T.N. LESCH, P.E. WAGNER, R.L. BOMAN and N.M. LANNING, *J. Dairy Sci.*, **65**: 683-688. 1982.
- 72) KAPPEL, L.C., R.H. INGRAHAM, E.B. MORGAN, L. ZERINGUE, D. WILSON and D.K. BABCOCK, *Am. J. Vet. Res.*, **45**: 2607-2612. 1984.
- 73) KARATZIAS, H. and H. SCHOLZ, *Zbl. Vet. Med. A*, **33**: 231-235. 1986.
- 74) 加世田雄時朗, 宮大農報, **29**: 99-104. 1982.
- 75) KAUPPINEN, K., *Acta Vet. Scand.*, **24**: 337-348. 1983.
- 76) KELLY, J.M., *Vet. Rec.*, **101**: 499-502. 1977.
- 77) 木村容子・元井霞子・飯塚三喜, 家衛試研報, **76**: 43-50. 1978.
- 78) KITCHENHAM, B.A., G.J. ROWLANDS and H. SHORBAGI, *Res. Vet. Sci.*, **18**: 249-252. 1975.
- 79) KRONFELD, D.S., *Vet Rec.*, **77**: 30-35. 1965.
- 80) KRONFELD, D.S., *J. Am. Vet. Med. Ass.*,

- 161 : 1259-1264. 1972.
- 81) KRONFELD, D.S., S. DONOGHUE, R.L. COPP, F.M. STERNS and R.H. ENGLE, *J. Dairy Sci.*, **65** : 1925-1933. 1982.
 - 82) 小林好作, 家畜診療, **243** : 3-7. 1983.
 - 83) KUNZ, P.L. and J.W. BLUM, *Z.f. Tierphysiol. Tierernähg. u. Futtermittelkde.*, **54** : 239-248. 1985.
 - 84) KWAN, K., C.E. COPPOCK, G.B. LAKE, M.J. FETTMAN, L.E. CHASE and R. E. McDOWELL, *J. Dairy Sci.*, **60** : 1706-1724. 1977.
 - 85) KWEON, O-K., H. ONO, K. OSASA, M. ONDA, K. OBOSHI, H. UCHISUGI, S. KUROSAWA, H. YAMASHINA and H. KANAGAWA, *Jpn. J. Vet. Sci.*, **48** : 481-486. 1986.
 - 86) KWEON, O-K., H. ONO, T. SETA, M. ONDA, K. OBOSHI and H. KANAGAWA, *Jpn. J. Vet. Res.*, **33** : 11-17. 1985.
 - 87) 権 五鏡・小野 斉・岩住安晃, 北獣会誌, **28** : 251-254. 1984.
 - 88) 権 五鏡・小野 斉・山科秀也・金川弘司, 北獣会誌, **29** : 54-60. 1985.
 - 89) LARSON, L.L., H.S. MABRUCK and S.R. LOWRY, *J. Dairy Sci.*, **63** : 283-289. 1980.
 - 90) LEBEDA, M. and J. PRIKRYLOBA, *Acta Vet. Brno.*, **50** : 179-189. 1981.
 - 91) LEBEDA, M. and J. PRIKRYLOBA, *Monatsh. Vet-Med.*, **37** : 737-741. 1982.
 - 92) LEE, A.J., A.R. TWARDOCK, R.H. BUBAR, J.E. HALL and C.L. DAVIS, *J. Dairy Sci.*, **61** : 1652-1670. 1978.
 - 93) LINDSAY, D.B., *Occ. Pub. of Br. Soc. Anim. Prod.*, **1** : 99-120. 1978.
 - 94) LITTLE, W., *Res. Vet. Sci.*, **17** : 193-199. 1974.
 - 95) LITTLE, W., K.A. COLLIS, P.T. GLEED, B.F. SANSOM, W.M. ALLEN and A.J. QUICK, *Vet. Rec.*, **106** : 547-551. 1979.
 - 96) LITTLE, W., R.D. HARRISON and L.A. WILLIAMS, *Anim. Prod.*, **41** : 113-117. 1985.
 - 97) LITTLE, W., B.F. SANSOM, R. MANSTON and W.M. ALLEN, *Anim. Prod.*, **27** : 79-87. 1978.
 - 98) LITTLE, W., B.F. SANSOM, R. MANSTON and W.M. ALLEN, *Res. Vet. Sci.*, **37** : 283-289. 1984.
 - 99) LITTLEDIKE, E.T., *J. Dairy Sci.*, **59** : 1947-1953. 1976.
 - 100) LUMSDEN, J.H., K. MULLEN and R. ROWE, *Can. J. Comp. Med.*, **44** : 24-31. 1980.
 - 101) LUTHMAN, J. and J. PERSSON, *Acta Vet. Scand.*, **16** : 63-75. 1975.
 - 102) MANSTON, R., G.J. ROWLANDS, W. LITTLE and K.A. COLLIS, *J. Agric. Sci.*, **96** : 593-598. 1981.
 - 103) MANSTON, R. and W.M. ALLEN, *Br. Vet. J.*, **137** : 241-247. 1981.
 - 104) MARTIN, T.C., N.F. CUNNINGHAM and N. SABA, *J. Endocr.*, **98** : 189-196. 1983.
 - 105) MASON, B.D., C.R. KRISHNAMURTI and W.D. KITTS, *J. Dairy Sci.*, **56** : 744-747. 1973.
 - 106) MCADAM, P. A. and G.O. O'DELL, *J. Dairy Sci.*, **65** : 1219-1226. 1982.
 - 107) MCCLURE, T.J., *Br. Vet. J.*, **124** : 126-130. 1968.
 - 108) MCCLURE, T.J., *Res. Vet. Sci.*, **11** : 247-254. 1970.
 - 109) MCCLURE, T.J. and J.M. PAYNE, *Aust. Vet. J.*, **54** : 7-9. 1978.
 - 110) METZ, S.H.M. and S.G. VAN DEN BERGH, *Neth. J. Agric.Sci.*, **25** : 198-211. 1977.
 - 111) MIHAILOVIC, M., *Acta Veterinaria (Beograd)*, **32** : 109-114. 1982.
 - 112) MILLER, J.K., F.C. MADSEN, D.E. LENTZ, W.O. WONG, N. RAMSEY, C.E. TYSINGER and S.L. HANSARD, *J.Dairy Sci.*, **63** : 1073-1079. 1980.
 - 113) MOORE, J.H. and W.W. CHRISTIE, in *Lipid Metabolism in Ruminant Animals* (CHRISTIE, W.W. ed.), 227-277, Pergamon Press, Oxford. 1981.
 - 114) MORROW, D.A., *J. Am. Vet. Med. Ass.*, **154** : 761-768. 1969.
 - 115) MORROW, D.A., *J. Dairy Sci.*, **59** : 1625-1629. 1976.
 - 116) NOLLER, C.H., A.G. CASTRO, W.E. WHEELER, D.L. HILL and N.J. MOELLER, *J. Dairy Sci.*, **60** : 1932-1940. 1977.
 - 117) NRC, in *Nutrient Requirements of Dairy Cattle*, 5th ed., p.5 and 10, Washington, D.C. 1978.
 - 118) OLDHAM, J.D., W.H. BROSTER, D.J. NAPPER and J.W. SIVITER, *Br. J. Nutr.*, **42** : 149-162. 1979.
 - 119) OLDHAM, J.D., D.J. NAPPER, T. SMITH and R.J. FULFORD *Br. J. Nutr.*, **53** : 337-345. 1985.
 - 120) PARKER, N.J. and R.W. BLOWEY, *Vet. Rec.*, **98** : 394-404. 1976.
 - 121) PARKER, N.J. and G. LEWIS, *Occ. Pub. of Br. Soc. Anim. Prod.*, **1** : 121-132. 1978.
 - 122) PAYNE, J.M., S.M. DEW, R. MANSTON and M. FAULKS, *Vet. Rec.*, **87** : 150-158. 1970.
 - 123) PAYNE, J.M., G.J. ROWLANDS, R. MANSTON and S.M. DEW, *Br. Vet. J.*, **129** : 370-381.

- 1973.
- 124) PAYNE, J.M., G.J. ROWLANDS, R. MANSTON, S.M. DEW and W.H. PARKER, *Br. Vet. J.*, **130** : 34-44, 1974.
- 125) PEHRSON, B., *Acta Vet. Scand.*, **12** : 230-242. 1971.
- 126) PETERSON, R.G. and D.E. WALDERN, *J. Dairy Sci.*, **64** : 822-831. 1981.
- 127) PHILLIPS, R.W. and V.N. ATHANASIOU, *Am. J. Vet. Res.*, **39** : 949-952. 1978.
- 128) PRADHAN, K. and R.W. HEMKEN, *J. Dairy Sci.*, **51** : 1377-1381. 1968.
- 129) PUPPIONE, D.L., *J. Dairy Sci.*, **61** : 651-659. 1978.
- 130) RADLOFF, H.D. and L.H. SCHULTZ, *J. Dairy Sci.*, **50** : 68-72. 1967.
- 131) RADLOFF, H.D., L.H. SCHULTZ and W.G. HOEKSTRA, *J. Dairy Sci.*, **49** : 179-182. 1966.
- 132) RAPHAEL, B.C., P.S. DIMICK and D.L. PUPPIONE, *J. Dairy Sci.*, **56** : 1025-1032. 1973.
- 133) RAPHAEL, B.C., P.S. DIMICK and D.L. PUPPIONE, *J. Dairy Sci.*, **56** : 1411-1414. 1973.
- 134) RAY, S.R., W.J. CROOM, Jr., A.H. RAKES, A.C. LINNERUD and J.H. BRITT, *J. Dairy Sci.*, **66** : 2084-2092. 1983.
- 135) REID, I.M., C.J. ROBERTS and R. MANSTON, *Vet. Rec.*, **104** : 75-76. 1979.
- 136) REID, I.M., A.J. STARK and R.N. ISENER, *J. Comp. Path.*, **87** : 241-251. 1977.
- 137) REIßHAUER, K., *Dtsch. Tierärztl. Wschr.*, **78** : 512-516. 1971.
- 138) RICO, A.G., J.P. BRAUN, P. BENARD and J.P. THOUVENOT, *J. Dairy Sci.*, **60** : 1283-1287. 1977.
- 139) ROBERTS, C.J., I.M. REID, G.J. ROWLANDS and A. PATTERSON, *Vet. Rec.*, **108** : 7-9. 1981.
- 140) ROOK, J.A.F. and C.C. BALCH, *J. Agric. Sci.*, **51** : 199-207. 1958.
- 141) ROSSOW, C.N. and R. STÄUFENBIEL, *Monatsh. Vet.-Med.*, **38** : 404-409. 1983.
- 142) ROUSSEL, J.D., T.J. ARANAS and S.H. SEYBT, *Am. J. Vet. Res.*, **43** : 1658-1660. 1982.
- 143) ROUSSEL, J.D., K.L. KOONCE and M.A. PINERO, *J. Dairy Sci.*, **55** : 1093-1096. 1972.
- 144) ROUSSEL, J.D., S.H. SEYBT and G. TOUPS, *Am. J. Vet. Res.*, **43** : 1075-1077. 1982.
- 145) ROUSSEL, J.D. and O.T. STALLCUP, *J. Dairy Sci.*, **50** : 1341-1342. 1967.
- 146) ROWLANDS, G.J., *Occ. Pub. of Br. Soc. Anim. Prod.*, **1** : 59-70. 1978.
- 147) ROWLANDS, G.J., *Br. Vet. J.*, **140** : 550-557. 1984.
- 148) ROWLANDS, G.J., W. LITTLE and B.A. KITCHENHAM, *J. Dairy Res.*, **44** : 1-7. 1977.
- 149) ROWLANDS, G.J., W. LITTLE, R. MANSTON and S.M. DEW, *J. Agric. Sci.*, **83** : 27-35. 1974.
- 150) ROWLANDS, G.J. and R. MANSTON, *Livest. Prod. Sci.*, **3** : 239-256. 1976.
- 151) ROWLANDS, G.J. and R. MANSTON, *Res. Vet. Sci.*, **34** : 90-96. 1983.
- 152) ROWLANDS, G.J., R. MANSTON, R.M. POCKOCK and S.M. DEW, *J. Dairy Res.*, **42** : 349-362. 1975.
- 153) ROWLANDS, G.J., and R.M. POCKOCK, *Vet. Rec.*, **98** : 333-338. 1976.
- 154) 斎藤健光, *家畜診療*, **209** : 23-28. 1980.
- 155) 佐藤 博, *日畜会報*, **49** : 333-338. 1978.
- 156) 佐藤 博, *栄養生理研究会報*, **23** : 97-109. 1979.
- 157) 佐藤 博・花坂昭吾・今村照久, *日畜東北支部会報*, **31** : 8-9. 1981.
- 158) 佐藤 博・花坂昭吾・今村照久, *日畜会報*, **52** : 653-658. 1981.
- 159) 佐藤 博・工藤吉夫・三島哲夫・柏木 甲, *日畜会報*, **55** : 741-746. 1984.
- 160) 佐藤 博・砂子田 哲・杉若輝夫・佐藤彰芳・三浦由雄, *日畜会報*, **52** : 874-877. 1981.
- 161) SCHWALM, J.W. and L.H. SCHULTZ, *J. Dairy Sci.*, **59** : 255-261. 1976.
- 162) SCHWALM, J.W., R. WATERMAN, G.E. SHOOK and L.H. SCHULTZ, *J. Dairy Sci.*, **55** : 58-64. 1972.
- 163) SHAFFER, L., J.D. ROUSSEL and K.L. KOONCE, *J. Dairy Sci.*, **64** : 62-70. 1981.
- 164) SHIGA, A., K. ABE, S. HAMAMOTO, M. KEINO, K. TSUKAMOTO and O. FUJIO, *Jpn. J. Vet. Sci.*, **47** : 275-283. 1985.
- 165) 四十万谷吉郎・古郡 浩・宮田保彦, *日畜会報*, **56** : 704-710. 1985.
- 166) 清水悦郎・内藤善久・村上大蔵, *岩手大農報*, **11** : 37-50. 1972.
- 167) 新林恒一, 米村寿男, *日畜会報*, **43** : 677-683. 1972.
- 168) SOMMER, H., *Vet. Med. Rev.*, **1-2** : 42-63. 1975.
- 169) STEVENS, J.B. and W.G. OLSON, *Am. J. Vet. Res.*, **45** : 2448-2450. 1984.
- 170) STOBBS, T.H. and D.J. BRETT, *Aust. J. Agric. Res.*, **25** : 657-666. 1974.
- 171) STOUT, W.L., D.C. KRADEL, G.A. JUNG and C.G. SMILEY, *Prog. Rep. Pennsylvania St. Univ.*, **358** : 1-12. 1976.

- 172) SUTTON, J.D., I.C. HART, W.H. BROSTER, R.T. ELLIOTT and E. SCHULLER, Br. J. Nutr., **56** : 181-192. 1986.
- 173) TAINTURIER, D., J.P. BRAUN, A.G. RICO and J.P. THOUVENOT, Res. Vet. Sci., **37** : 129-131. 1984.
- 174) TALAVERA, F., C.S. PARK and G.L. WILLIAMS, J. Anim. Sci., **60** : 1045-1051. 1985.
- 175) TASKER, J.B., Cornell Vet., **68** : 460-479. 1978.
- 176) THILSTED, S.H., Z.f. Tierphysiol. Tierernähg. u. Futtermittelkde., **53** : 1-9. 1985.
- 177) THOMAS, P.C. and M.E. KELLY, J. Dairy Res., **43** : 1-7. 1976.
- 178) TREACHER, R.J., Occ. Pub. of Br. Soc. Anim. Prod., **1** : 133-142. 1978.
- 179) TREACHER, R.J. and K.A. COLLIS, Res. Vet. Sci., **22** : 101-104. 1977.
- 180) TREACHER, R.J., W. LITTLE, K.A. COLLIS and A.J. STARK, J. Dairy Res., **43** : 357-369. 1976.
- 181) TRENKLE, A., J. Dairy Sci., **61** : 281-293. 1978.
- 182) TUMBLESon, M.E., M.F. BURKS and W.E. WINGFIELD, Cornell Vet., **63** : 65-71. 1973.
- 183) TUMBLESon, M.E. and D.P. HUTCHESon, Proc. Soc. Exp. Biol. Med., **138** : 1083-1085. 1971.
- 184) 上村俊一・八田忠雄・高橋雅信・扇勉・尾上貞雄, 北獣会誌, **30** : 105-112. 1986.
- 185) UNGLAUB, W., A. AFSCHAR and D. MARX, Dtsch. Tierärztl. Wschr., **80** : 131-134. 1973.
- 186) VAN BEUKELen, P., Th. WENSING and H.J. BREUKINK, Z.f. Tierphysiol. Tierernähg. u. Futtermittelkde., **48** : 182-195. 1982.
- 187) Van DIJK, Th. WENSING, P. Van BEUKELen and H.J. BREUKINK, Am. J. Vet. Res., **44** : 674-676. 1983.
- 188) VARMAN, P.N. and L.H. SCHULTZ, J. Dairy Sci., **51** : 1971-1974. 1968.
- 189) VASILATOS, R. and P.J. WANGSNESS, Endocrinology, **108** : 300-304. 1981.
- 190) VOISIN, A., in Grass Tetany (English translation by HERRIOTT, C.T.M.), 73-79 and 129-137. Crosby Lockwood & Son, London. 1963.
- 191) WAGNER, W.C. and W. HANSEL, J. Reprod. Fert., **18** : 493-500. 1969.
- 192) WIENER, G., W.S. RUSSELL and A.C. FIELD, J. Agric., Sci., **94** : 369-376. 1980.
- 193) WHITLOCK, R.H., M.J. KESSLER and J.B. TASKER, Cornell Vet., **65** : 512-526. 1975.
- 194) WHITAKER, D.A., J.M. KELLY and E.J. SMITH, Br. Vet. J., **139** : 462-463. 1983.
- 195) WHITLOCK, R.H., W. LITTLE and G.J. ROWLANDS, Res. Vet. Sci., **16** : 122-124. 1974.
- 196) WOHLT, J.E., J.L. EVANS and J.R. TROUT, J. Dairy Sci., **67** : 2236-2246. 1984.
- 197) 柳谷源悦・堀口隆男・黒川慶一, 家畜診療, **218** : 12-14. 1981.
- 198) YANG, Y.T., R.L. BALDWIN and J. RUSSELL, J. Dairy Sci., **61** : 180-188. 1978.
- 199) 吉田康幸, 北獣会誌, **26** : 207-216. 1982.
- 200) 吉浦信幸・安藤弘・向井巡・小林好作, 臨床獣医, **2** : No. 9, 39-44. 1984.
- 201) YODAN, P.G. and J.O. KING, Br. Vet. J., **133** : 635-641. 1977.
- 202) ZAMET, C.N., V.F. COLENBRANDER, R.E. ERB, B. CHEW and C.J. CALLAHAN, Theriogenology, **11** : 261-272. 1979.