

黒毛和種繁殖牛群における繁殖性向上のための
代謝プロファイルテスト利用に関する研究

2021

渡 邊 貴 之

目次

| | | |
|--|-------|----|
| 緒論 | ..... | 1 |
| 第 I 章 黒毛和種繁殖牛群における高粗蛋白飼料の給与が繁殖成績および血液生化学検査結果に及ぼす影響 | | |
| 第 1 節 緒言 | ..... | 6 |
| 第 2 節 材料および方法 | ..... | 6 |
| 第 3 節 結果 | ..... | 8 |
| 第 4 節 考察 | ..... | 9 |
| 第 5 節 要約 | ..... | 11 |
| 第 II 章 飼料給与方法の違いが黒毛和種繁殖牛における血液生化学検査値に及ぼす影響 | | |
| 第 1 節 緒言 | ..... | 17 |
| 第 2 節 材料および方法 | ..... | 17 |
| 第 3 節 結果 | ..... | 20 |
| 第 4 節 考察 | ..... | 21 |
| 第 5 節 要約 | ..... | 23 |
| 第 III 章 給与飼料の成分変化が黒毛和種繁殖牛の血液生化学検査値に及ぼす影響 | | |
| 第 1 節 緒言 | ..... | 29 |
| 第 2 節 材料および方法 | ..... | 29 |
| 第 3 節 結果 | ..... | 30 |
| 第 4 節 考察 | ..... | 31 |
| 第 5 節 要約 | ..... | 33 |
| 第 IV 章 飼料給与管理方法を斉一化した黒毛和種繁殖牛群の生産性と代謝プロファイ | | |

ルテストの値

| | | |
|---------------|-------|----|
| 第 1 節 緒言 | ..... | 37 |
| 第 2 節 材料および方法 | ..... | 37 |
| 第 3 節 結果 | ..... | 40 |
| 第 4 節 考察 | ..... | 41 |
| 第 5 節 要約 | ..... | 44 |
| 第 V 章 総括 | ..... | 51 |
| 英文要約 | ..... | 55 |
| 謝辞 | ..... | 57 |
| 引用文献 | ..... | 58 |

緒論

近年、我が国の畜産は生産コストの削減が求め続けられてきている。この背景には海外畜産物との競合、飼料の高騰や人件費などの生産費の増加がある。このような生産コストを削減するためには、畜産の生産性を向上させることが肝要である。肉用繁殖牛の生産性を考える場合、まず第1に子牛の損耗率低減と哺乳時期の子牛の発育向上が必須である。

子牛の損耗率や発育は農家により変動が大きく、このことに影響を与える疾病の発生は消毒など牛舎の衛生環境やワクチン接種などの農場の防疫体制が問題にされることが多いが、近年は子牛の損耗率や発育に対し、分娩前あるいは泌乳中の母牛の栄養状態の影響が大きいことが報告されている。例えば、久米（2014）は出生直後の新生子牛は健康状態を維持するために、栄養成分や免疫成分を含む初乳の十分な摂取が欠かせないが、出生直後の黒毛和種子牛は母牛が直接授乳しているため、母牛の分娩前の栄養状態が適切でないと初乳量や初乳成分が減少し、子牛に必要な栄養成分や免疫成分が不足しやすいことを指摘している。また、妊娠末期の黒毛和種母牛の低栄養が分娩後の子牛の免疫形成に悪影響を与えることを報告している（芝野ら、2009；田波ら、2009；大塚、2009）。岡田ら（1997a；1997c；2003a）は哺乳中の母牛のルーメン環境の悪化やエネルギー不足により、母乳の乳質が低下し子牛の下痢を誘引すると考察している。このように、母牛の分娩前後の適正な栄養管理が子牛の損耗率低減や発育改善に重要であり、母牛の栄養状態をモニタリングし、適正な栄養状態を維持することが必要である。

一方、肉用繁殖牛の生産性向上には繁殖性の向上も欠かせない要因である。乳牛においては、これまで繁殖性、特に受胎率の低下が指摘され、その原因として、泌乳量の増加に伴う泌乳初期の負のエネルギーバランスが指摘されている（Butler、2003）。それに対して、肉用繁殖牛は乳牛に比べて泌乳量が多くないため、エネルギーや栄養素の不足などの栄養的な負荷が少ないと考えられていたが、わが国の肉用繁殖牛の受胎率も乳牛ほどではないが徐々に低下あるいは横ばいの傾向がある（家畜改良事業団、2020）。このことから、わが国の肉用繁殖牛においても、繁殖性の改善は

喫緊の課題と位置付けられる。

現在、乳牛では牛群の栄養状態をモニタリングする手法の1つとして、Payneら(1970)によって考案された代謝プロファイルテスト(MPT)が普及している。MPTは1960年頃にはじまり、血液生化学検査によって栄養代謝の異常を抽出し、栄養代謝が破綻し疾病が多発する前に飼養管理の改善によって正常な状態に回復させることを目的として開発された牛群診断法である。PayneとPayne(1987)は生産病、代謝病の概念を考え、それらを個体の疾病として扱わず牛群の問題として捉え、これらを診断するシステムとしてMPTを理論づけた。MPTは当初は栄養管理との関係を認める約10項目の血液生化学検査によるものであったが、MPTの進展とともに他の血液検査項目やボディ・コンディション・スコア(BCS)、乾物摂取量(DMI)を推定できるルーメンサイズも診断に取り入れられるようになってきた(岡田、2001)。北米を中心とした酪農先進国では、1980年頃から乳牛群の総合的な健康管理を目的として生産獣医療が普及しはじめた。国内においては、1970年代後半から80年代前半にかけて、乳牛の血液生化学成分値に対する統計学的検討や酪農家の飼養牛群を対象とした血液成分と産後疾病や飼養管理との関連性に関する調査・研究が行われた(扇ら、1989)。また、1990年代に北米の先進事例を参考にしながら国内の現場で蓄積された牛群検診や飼養管理実績と経験を基に生産獣医療システムの開発が着手され、現在までに体系化されている。乳牛では栄養状態の把握にMPTを活用して飼料給与や管理方法を見直すことにより、周産期病の予防(Kida、2002a)と繁殖性の改善につながっている(岡田、2001)。

このような乳牛におけるMPTの国内の普及と比較して、黒毛和種繁殖牛のMPTに関しては、その必要性がほとんど論じられていないのが現状である。その要因として、第1に酪農家に比べて黒毛和種繁殖農家は経営規模が比較的小規模であることがあげられ、第2に黒毛和種繁殖牛は乳牛に比べ生産に対する負荷が小さいという認識や摂取栄養と生産性の関連性が高くないとの認識もあったことがあげられる(岡田、1999)。特に黒毛和種繁殖牛では乳牛のような周産期病の発生はほぼみられないことから、MPTの主な目的は生産性向上、すなわち子牛生産性および繁殖性の向上になると考えられるが、黒毛和種繁殖牛の栄養状態と子牛生産性および繁殖性の関係は不明

な点が多い。第3に黒毛和種繁殖牛は乳牛に比べて飼料設計に基づいた管理が行われていることが少なく、農家ごとに飼料給与管理方法や給与飼料成分が大きく異なるため、これらがMPTに及ぼす影響が不明な点があげられる。実際、乳牛の場合は牛群検定データ等に基づいた一定レベルの飼料給与管理方法の下で飼料設計がなされていることが多く、それらの大量に蓄積されたデータに基づいて、MPTの検査項目ごとに適正範囲が設定される場合が多かった（木田、2006）。それに対して、黒毛和種繁殖牛では乳牛のような牛群検定システムがなく、さらに粗飼料を飽食させる等の飼養管理が行われていることも少なくないため、飼料成分や飼料摂取量等を把握できていないことが多く、飼料設計を含めたMPTの適正範囲を野外データに基づいて設定することは難しいと考えられる。第4に黒毛和種はホルスタイン種に比べ体格も小ぶりであり、肉用牛であるため泌乳に対する負担が少ない分必要となる栄養成分が少なくなることから、乳牛で用いられているMPTの各項目の適正範囲が黒毛和種繁殖牛にも適用できるのかが不明であった点があげられる。例えば、黒毛和種繁殖牛は必要な栄養量が少ないため粗飼料主体の飼料給与となるが、それでも肥満の問題が発生する。肥満予防のためには過剰な飼料の給与を控えるだけでなく、各個体の乾物摂取量（DMI）や可消化養分総量（TDN）を一定量に抑える必要があると考えられるが、そのような対策をしている農場はほとんどみられない。加えて、良質な粗飼料を給与した場合、TDN摂取量に対し粗蛋白質（CP）が相対的に過剰なる可能性がある。飼料成分の中でもCPの過不足が繁殖性に影響を与えていることが乳牛で報告されている。Folmanら（1981）やButler（1998）は、乳牛においてCP給与量の多い牛群は受胎率が低いことを報告している他、CPの過剰な摂取等により血中尿素窒素（BUN）が20mg/dLを超えると受胎率に悪影響を及ぼすといった報告がみられる（Nutrient Requirements of Dairy Cattle Seventh Revised Edition, 2001, 2001）。笹木ら（2007）は乳牛において給与飼料と血中アンモニア濃度および胚移植（ET）受胎率の関係を調査し、飼料中のルーメン分解性蛋白質が過剰な場合、血中アンモニア濃度が高くなり受胎率が低下すると報告している。しかし、このような乳牛の血液生化学検査値の値が、乳牛と比べて摂取すべき栄養量が少ない黒毛和種繁殖牛に適用できるかどうかは不明である。

ただ、過去には黒毛和種の繁殖、特に胚移植の現場においては血液生化学検査が利用できるのではないかと、いくつかの取り組みが試みられている。後藤ら（1988）は、過剰排卵処理開始日の総コレステロール（T-cho）濃度と黄体数や回収卵数に有意な正の相関を認めている。また、菅野ら（1997）は優良胚の回収成績と過剰排卵処理開始時の血漿成分を用いて判別関数式を作成している。また丸尾ら（1987）は過剰排卵処理開始日および処理期間中の血清 T-cho 値と推定黄体数に有意な正の相関がみられることを報告している。細川ら（2008）は、血清中の尿素窒素（BUN）と血糖（Glu）を指標とし給与飼料と過剰排卵処理成績の関係を検討し、過剰排卵処理開始日の BUN/Glu 比および BUN は正常胚数および正常胚率の指標になると報告している。笹木（2001）は血漿中アンモニアを指標として過剰排卵処理成績との関係を調査し、血漿中アンモニア濃度が一定の範囲内より高いあるいは低い牛群では総回収胚数が低下することを報告している。

一方、MPT は少ない測定項目で正しい判断をすることは難しく（Payne と Payne、1987）、乳牛の MPT においては 10 数項目の血液生化学検査値に BCS やルーメンサイズも計測した上で、測定項目間の関連を把握して牛群の栄養状態を推定している（木田、2000；岡田、2001）。

また、Watanabe ら（2012）は繁殖成績が不良な黒毛和種繁殖農家を対象に血液生化学検査を試み、摂取飼料の CP の不足が低受胎率に関係していることを報告し、給与された飼料中の CP 不足はその地域の土壌と関係があるとしている。さらに、Watanabe ら（2013）は、複数の黒毛和種繁殖農場において、分娩後日数や泌乳期、乾乳期を区別せずに農場ごとに 1 回目の MPT 結果から飼料設計の改善をはかり、2 回目の MPT では血液生化学検査値に有意な変動がみられたとともに、平均空胎日数が減少したことを報告している。しかし、この報告においては、適正範囲を設定せず農場ごとの MPT 前後の比較により診断しており、このような場合、MPT は改善効果の判定には使えても、1 回目の MPT の結果に基づいて飼料設計を変更することは危険を伴い、実施にあたっては十分な経験による診断が必要と考えられる。血液生化学検査値の適正範囲は品種あるいは妊娠期、泌乳期などの繁殖ステージによって変わることが考えられるため、それぞれについて適正範囲を設定しておく必要がある（木田、

2000)。このことから、もし分娩前および分娩後日数ごとに黒毛和種繁殖牛における血液生化学検査項目の適正範囲が設定されていれば、初回のMPTでも正確な飼料設計の改善方向を農場に示すことができるようになり、比較的短期間で生産性の改善が期待できると推察される。わが国でも乳牛では既に良好な生産性が期待できる繁殖ステージ毎の血液生化学検査値などの適正範囲は設定されてきた（扇ら、1989；Kida、2002b；岡田、2005）。しかし、黒毛和種繁殖牛では良好な生産性を示す牛群について、乳牛のように多項目の血液生化学検査値を調べた報告は少なく、BCSやルーメンサイズも含めた報告はみられない。このことが黒毛和種で乳牛のように、血液生化学検査値やBCS、ルーメンサイズからルーメンの発酵状態や飼料成分、給与量などを推定し栄養状態を検討するような包括的なMPT診断が進まない要因とも考えられる。これらのことから、黒毛和種繁殖牛群を健康的に維持しながら生産能力を最大限に発揮できる栄養状態のモニタリングにMPTを利用するためには、飼料給与管理方法を斉一化した牛群で得られた生産性と各MPTの値から、それらの適正範囲を設定する必要がある。

本研究では、黒毛和種繁殖牛群において、MPTが栄養管理の有効なモニタリング手法となり、繁殖性や子牛生産性の向上につながる手法となり得るかを明らかにすることを目的とした。また、黒毛和種繁殖牛群において、特に繁殖性に対し栄養管理のモニタリング手法としてMPTをとりあげ、MPTと繁殖性との関連や飼料給与管理方法とMPTの関係、各検査項目の適正範囲について検討した。

本研究の構成は、全部で4章からなり、第I章では高可消化粗蛋白質飼料摂取牛群においてMPTを実施し、受胎率を指標としてMPTの効果を検証した。第II章では、黒毛和種繁殖牛におけるMPT診断精度を高める目的で、血液生化学検査値の変動要因として飼料給与管理方法との関連を調査し、第III章では給与飼料成分の急激な変化による血液生化学検査値への影響を調査した。第IV章では、比較的大規模な黒毛和種繁殖牛群に対して斉一性の高い飼料給与管理を施し、①飼料設計と摂取した栄養の充足率、②繁殖牛の受胎率や子牛の発育および損耗率などの臨床成績、③MPT、BCSおよびルーメンサイズの3項目を約2年間にわたり調査し、黒毛和種繁殖成雌牛におけるMPTの有効性を検証するとともに適正範囲を求めた。

第 I 章. 黒毛和種繁殖牛群における高粗蛋白飼料の給与が繁殖成績および血液生化学検査結果に及ぼす影響

第 1 節. 緒言

黒毛和種繁殖雌牛における ET の受胎率向上は、黒毛和種の育種改良や優良形質を持つ雌牛の増頭等に有効である（谷本と藤原、2009）。しかし、ET の受胎率は地域や時期によりバラツキが多く（農林水産省、2015a ; 2015b）、指標となる飼養管理方法については明確になっていない。また黒毛和種繁殖牛では、乳牛の泌乳量や乳成分のように飼料給与量が直接生産性に大きく影響することがなく、粗飼料を飽食させるなど経験的な飼養管理に陥りやすい。飽食給与では TDN や可消化粗蛋白質（DCP）の過剰な摂取が考えられる。特に DCP の過剰は飼料の見た目では判断ができないことから、飼養者が意図しない過剰給与になっていることが想定される。

そこで、本研究では高粗蛋白飼料給与の牛群と MPT 結果に基づいて給与内容を修正した牛群について、栄養充足率、血液生化学検査および ET 受胎率の関係を調査した。

第 2 節. 材料および方法

1) 供試牛

試験は平成 16 年春（I 期）と平成 17 年春（II 期）の 5～7 月に実施した。供試牛は家畜改良センター鳥取牧場（鳥取牧場）で繋養している黒毛和種経産牛のうち臨床的に健康で、子牛を超早期離乳した分娩後 60 日以降の泌乳していない空胎牛である。栄養管理対象牛群の頭数は I 期が 91 頭、II 期が 71 頭、そのうち新鮮 1 胚または凍結 1 胚の胚移植頭数は I 期が 61 頭、II 期が 29 頭であった。供試牛の試験開始時の空胎期間は I 期が 8.5 ± 6.6 カ月（平均±標準偏差）、II 期が 5.8 ± 5.4 カ月で、試験時期による差は認められなかった。

2) 供試飼料および飼養管理

給与粗飼料は全て自家産のオーチャードグラスおよびトールフェスクの混播牧草、イタリアンライグラスあるいはローズグラスの乾草または低水分サイレージであり、

両期とも同一時期に収穫した粗飼料を用いた。これらの粗飼料は全て収穫時に成分分析を行い、このうちの2種類を Total Mixed Ration (TMR) ミキサーで混合して給与した。この混合した飼料を基礎飼料とした。

供試牛はフリーバーンの同一牛舎で飼養し、飼料給与時には牛を一定時間連動スタンションに繋留し、DMI の均一化を図った。なお、基礎飼料は TMR ミキサーに装着されているデジタル重量計により計量しながら給与し、残飼がないことを確認して摂取量とした。飼料給与回数は1日1回で、I期は基礎飼料のみを給与した。II期はI期で実施した以下の4)で示したMPTの結果を考慮して、基礎飼料に加えて圧片トウモロコシを1kg/頭・日給与した。圧片トウモロコシは秤により計量し、基礎飼料給与後に個体毎に単独給与した。

飼料設計は、I期はTDN充足率130%かつDMI充足率100%以上を基準とし、DCP充足率は特に考慮しなかった。圧片トウモロコシを追加したII期はTDN充足率120%、DCP充足率200%未満かつDMI充足率100%以上とした。IおよびII期とも、ET開始2カ月以上前から胚移植終了までの間、毎月体重を測定し、体重が維持できる量を給与した。実際の飼料給与量からTDN、DCPおよびDMIの充足率を日本飼養標準・肉用牛編（農林水産技術会議、2000）に基づいて計算し、さらに飼料中の平均非繊維性炭水化物(NFC)含量を計算した。IおよびII期とも鉍塩は自由舐食とし、粗飼料は硝酸態窒素含量が繁殖性に悪影響を及ぼさないとされる1000ppm以下のものを給与した（農林水産技術会議、2000）。

3) 移植胚と胚移植方法および妊娠診断と受胎率

移植胚は鳥取牧場で過剰排卵処理し、人工授精後7日目に非外科的に子宮内から回収された新鮮胚、またはDochiら(1995)の方法に準じて1.5Mエチレングリコールで凍結した胚(凍結胚)を用いた。新鮮胚、凍結胚の移植頭数はそれぞれI期が49頭、12頭、II期が14頭、15頭であった。移植胚のランクは新鮮胚および凍結胚ともにExcellent、GoodおよびFairランクである。ETは受胎牛の発情後6-8日に超音波診断装置を用いて黄体を確認し、機能的黄体が確認された受胎牛の黄体側子宮角に、カス一式未經産牛用受精卵移植器(imv社、フランス)を用いて非外科的に子宮頸管経

由で 1 胚移植した。妊娠診断は ET 後 21 日目以降に超音波診断装置を用いて 2 回行い、胎子の心拍を確認して受胎とした。受胎率は新鮮胚、凍結胚および合計を算出した。ET は両期とも 5 名の同じ技術者が実施した。

4) 栄養診断

両期とも胚移植開始約 1 カ月後に MPT を実施した。供試牛は牛群の約 3 割程度 I 期は 20 頭、II 期は 10 頭を無作為に抽出し、飼料摂取 4 時間後（岡田ら、1997b）に採血を行った。血液採取は血液分離剤および凝固促進用シリカ微粒子添加管（SST）の真空採血管で行った。採血後 37°C15 分間インキュベートした後に遠心分離し、血清を分注した後に測定日まで-30°C以下で凍結保存した（岡田と安田、2001）。なお、凍結保存から測定までの間隔は 4 日間以内とした。

血液生化学成分の測定は、臨床化学自動分析装置（Accute:東芝メディカルシステムズ;栃木）により行った。測定項目と分析方法は以下の通りである。 β -ヒドロキシ酪酸（BHBA:酵素サイクリング法）、遊離脂肪酸（FFA:ACS・ACOD 法）、血糖（Glu:ヘキソキナーゼ法）、アルブミン（Alb:BCG 法）、総コレステロール（T-cho:酵素法）、アスパラギン酸アミノトランスフェラーゼ（AST:IFCC 法）、 γ -グルタミルトランスペプチダーゼ（GGT:IFCC 法）、血中尿素窒素（BUN:ウレアーゼ法）、カルシウム（Ca: o-CPC 法）。

5) 統計処理

ET 受胎率はカイ二乗検定、血液生化学検査値、飼料分析値、栄養充足率および基礎飼料の平均 NFC 含量は、F 検定により母分散が等しいことを確認した後に t 検定により有意差検定を行った。値はすべて平均±標準偏差で示した。

第 3 節. 結果

1) 各期における飼料充足率および体重

各期の TDN、DCP、DMI 充足率を図 1-1 に示した。TDN 充足率は I 期が 137±5%、II 期が 113±7%で I 期が有意に高かった（ $p<0.01$ ）。DCP 充足率は I 期が 310±4%、II 期が

147±15%で、I期が有意に高かった ($p<0.01$)。DMI 充足率はI期が114±3%、II期が107±6%で、両期に差はなかった。給与した基礎飼料の NFC 含量はI期が7.9±5.2%、II期が10.5±7.0%で、II期が有意に高かった ($p<0.01$)。これにより圧片トウモロコシを1kg/頭・日加えたII期の飼料の NFC 含量はおおよそ17.6%と推定された。各期の体重に差はみられなかった (表 1-1)。

2) MPT 結果

受胎牛の血液生化学検査結果を表 1-2 に示した。FFA はI期が68.2±19.8 μ Eq/L、II期が43.0±28.1 μ Eq/L で、I期が有意に高かった ($p<0.05$)。BHBA はI期が419.6±71.2 μ mol/L、II期が296.1±56.1 μ mol/L で、I期が有意に高かった ($p<0.01$)。BUN はI期が14.6±2.8mg/dL、II期が10.3±1.6 mg/dL で、I期が有意に高かった ($p<0.01$)。I期でBUNが最も高い個体は20.4 mg/dLであったが、II期では12.8 mg/dLであった。他の検査項目は両期に差を認めなかった。

3) 胚移植受胎率

ET 受胎率を表 1-3 に示した。ET 受胎率は、新鮮胚がI期36.7% (18/49)、II期64.3% (9/14) で、II期において高い傾向がみられた ($p<0.1$)。凍結胚はI期が41.7% (5/12)、II期が66.7% (10/15) で有意差は認められなかった。新鮮胚と凍結胚の合計受胎率はI期が37.7% (23/61)、II期が65.5% (19/29) で、II期が有意に高かった ($p<0.05$)。

第4節. 考察

牛の血液成分は暑熱や寒冷など環境からのストレス影響を受ける可能性があり (岡田、1999)、さらに試験実施牧場では胚移植を含めた交配と分娩が季節的に行われ、夏季には放牧されるなど飼養形態も季節により異なることから、本試験は2年連続で同じ季節に実施した。

MPT 成績において FFA および BHBA はII期よりもI期の方が有意に増加した。FFA はエネルギー不足の初期に高値を示し (Bowden、1971) BHBA は FFA の上昇時に高くなる

(Bergman、1971) 他、ルーメン内の酪酸由来のものもある。また、ルーメン発酵が活発な場合にも高くなる (Kronfeld、1972) が、この場合には FFA は高値を示さない。これらから本試験の I 期の BHBA の高値は同じく高値を示した FFA 由来と考えられ、I 期は II 期に比べてエネルギー不足であったと考えられた。

I 期および II 期は体重が概ね維持できるよう、毎月の体重測定値をもとに TDN 充足率を微調整した。その結果、I 期の TDN 充足率は II 期より約 20% 高く、DCP 充足率は II 期の 2 倍以上になった。しかし、飼料中 NFC 含量は、I 期が粗飼料のみの給与であったために II 期の方が著しく多かった。飼料中の粗蛋白質含量が多くなるにつれルーメン内のアンモニア濃度も上昇するが、ルーメン内微生物のアンモニア利用には NFC (デンプン) が不可欠である。そのため NFC の不足はルーメン内のアンモニアの利用効率低下をもたらし、余剰のアンモニアはルーメン壁から吸収され肝臓で無害な尿素に転換される。したがって、BUN が高い場合、高粗蛋白・低 NFC の状態が疑われる。また、アンモニアの肝臓での尿素転換では無駄なエネルギーが消費される (岡田ら、1997c ; 佐藤、1986 ; Blowey ら、1973) 。本試験においても、低 NFC が解消された II 期ではルーメン内のアンモニアの利用効率は増加し、BUN が I 期の $14.6 \pm 2.8 \text{mg/dL}$ から II 期では $10.3 \pm 1.6 \text{mg/dL}$ へと有意に低下した。このことから、I 期の給与飼料は NFC と DCP のバランスが悪く、ルーメン発酵が低下し、VFA 産生が低下してエネルギー不足になっていたと考えられた。

また、I 期は II 期と同様に体重が維持されているという点ではエネルギー不足ではないとも考えられる。しかし、I 期と II 期では TDN の充足率が大きく異なり、I 期は BHBA および FFA が有意に高かったことが示すように、ルーメン発酵不良によるエネルギー不足を TDN 摂取量でカバーしていたと考えられた。したがって、本試験の I 期では、体重維持のため、より多くのエネルギーを摂取する必要があったと考えられた。

泌乳している乳牛では I 期で示された $\text{BUN} 14.6 \text{mg/dL}$ は正常の範囲に入る (岡田 2001) 。しかし、本試験の胚移植結果からは I 期で示された $\text{BUN} 14.6 \text{mg/dL}$ は適正な値とは考えられず、泌乳していない肉用繁殖牛群の平均値としてはかなり高い値である可能性がある。BUN についてはこれまで乳牛を基準に適正範囲が示されてきたので、肉用繁殖牛について今後適正範囲を検討していく必要がある。

ET 受胎率は I 期が II 期に比べ有意に低かった。このことから、単に TDN 充足率を高めても ET 受胎率は向上せず、DCP 充足率や DCP と NFC のバランスを適正に保つことで ET 受胎率が向上する可能性が示唆された。笹木らは (1998)、乳牛における胚移植成績と給与飼料の関係について、給与飼料中の NFC 含量がやや高く分解性蛋白質 (DIP) およびバイパス蛋白質 (UIP) 含量がやや低めの農家では受胎率が高いことを報告している。本試験でも、DCP 充足率が低く窒素の最終産物である BUN が低い II 期の胚移植成績が高かったことは、笹木ら (1998) の結果を裏付けるものであった。

ただし、II 期で受胎率の改善がみられたことは、飼料設計の改善により受胎率が向上する可能性を示唆しているものの、本試験は高 DCP 粗飼料を利用せざるを得ない条件下で、対症的に交配直前から一定期間のみ圧片トウモロコシを給与しており、飼料の給与回数も 1 回/日と一般的な飼養管理とは言い難い。牛の飼養管理、特に牛のルーメン環境や肝機能を考慮すると、一定の栄養成分の飼料を継続的に給与することが望ましいと考えられることから、最適な条件下の飼養管理における血液生化学検査値を改めて調査する必要があると考えられた。

以上から、黒毛和種受胎牛の飼養管理は DCP 給与が過剰な場合、エネルギー不足となり TDN 必要量が高まること、DCP の過剰摂取や DCP と NFC のバランスが不適正な場合に ET 受胎率が低下すること、MPT を基に飼料設計をすることで ET 受胎率が改善することが明らかとなった。また、一般に行われている繁殖和牛へのイネ科牧草の飽食給与は、著しい粗蛋白質過剰となり繁殖性を低下させる可能性が高くなることが示唆された。

第 5 節. 要約

黒毛和種経産牛の栄養状態と胚移植受胎率の関連性について調査した。泌乳していない黒毛和種経産牛を、I 期は 61 頭、II 期は 29 頭供試した。移植胚は新鮮 1 胚または凍結 1 胚とした。粗飼料は全て収穫時に飼料分析を行った自家産数種の乾草または低水分サイレージのうち 2 種類を TMR ミキサーで混合して給与した。飼料設計は、I 期は TDN 充足率 130%、DMI 充足率 100%以上とし、DCP 充足率は考慮しなかった。II 期は I 期の MPT 結果を考慮して、これら粗飼料に圧片トウモロコシを加え TDN 充足率

120%、DCP 充足率 200%未満、DMI 充足率 100%以上とした。両期とも胚移植開始 2 カ月前から体重が維持できるよう混合粗飼料の給与量を調整した。I 期は 20 頭、II 期は 10 頭を無作為に抽出し、MPT を胚移植開始 1 カ月後に実施した。

TDN の充足率は I 期が II 期よりも有意に高かった (137% 対 113%, $p < 0.01$) が、MPT を取り入れ高粗蛋白質状態を改善した II 期の DCP 充足率は I 期に比べ有意に減少した (310% 対 147%, $p < 0.01$)。給与した飼料の平均 NFC 含量は I 期が 7.9%、II 期が 17.6%と II 期が有意に高かった。II 期は I 期に比べ FFA および BHBA が有意に低かった ($p < 0.05$, $p < 0.01$) ことから、低 NFC に起因するルーメンの発酵不足によるエネルギー不足が改善されたことが考えられた。また、BUN も II 期が I 期に比べ有意に低かった ($p < 0.01$) ことから、II 期では、I 期においてみられたルーメン発酵不足と高粗蛋白質飼料によるルーメン内の利用しきれないアンモニアの発生が抑えられたと考えられた。胚移植の受胎率は I 期が 37.7% (23/61)、II 期が 65.5% (19/29) で II 期の受胎率が有意に高く改善された ($p < 0.05$)。

以上のことから、黒毛和種受胎牛の受胎率は DCP の過剰摂取や DCP と NFC のアンバランスな場合に低下すること、MPT を基にした飼料設計で改善することが認められた。また、イネ科牧草の飽食給与は、著しい DCP 過剰をもたらす可能性があることが明らかになった。

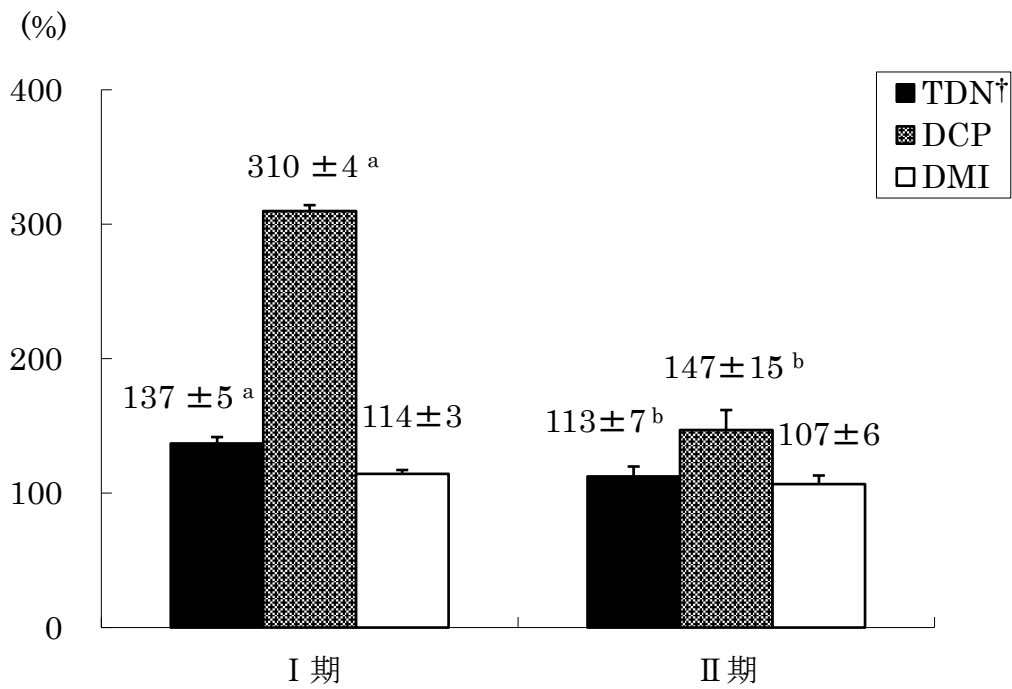


図 1-1. 各期における TDN[†]、DCP および DMI 充足率

† TDN：可消化養分総量，DCP：可消化粗蛋白質，DMI：乾物摂取量

異符号間に有意差あり（a, b：p<0.01）。また、グラフ内のエラーバーは標準偏差を表す。

表 1-1. 胚移植実施月までの受胎牛の平均体重の推移 (kg)

| | | 胚移植 2 カ月前 | 胚移植 1 カ月前 | 胚移植実施月 |
|------|------|-----------|-----------|--------|
| I 期 | 平均 | 438.3 | 427.2 | 465.4 |
| | 標準偏差 | 48.8 | 45.1 | 50.9 |
| II 期 | 平均 | 446.9 | 437.8 | 446.6 |
| | 標準偏差 | 58.4 | 54.0 | 54.7 |

表 1-2. 両期における代謝プロファイルテスト結果

| 検査項目 † | FFA ($\mu\text{Eq/L}$) | BHBA ($\mu\text{mol/L}$) | Glu (mg/dL) | T-cho (mg/dL) | Alb (g/dL) | BUN (mg/dL) | Ca (mg/dL) | AST (IU/L) | GGT (IU/L) |
|---------|-----------------------------|-------------------------------|---------------------------|-----------------------------|--------------------------|---------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| I 期 平均 | 68.2 ^c | 419.6 ^a | 56.4 | 76.9 | 3.2 | 14.6 ^a | 7.9 | 59.6 | 22.6 |
| 標準偏差 | 19.8 | 71.2 | 8.7 | 12.6 | 0.3 | 2.8 | 0.5 | 27.0 | 11.9 |
| II 期 平均 | 43.0 ^d | 296.1 ^b | 58.1 | 81.7 | 3.2 | 10.3 ^b | 7.9 | 51.6 | 20.7 |
| 標準偏差 | 28.1 | 56.1 | 5.6 | 13.2 | 0.2 | 1.6 | 0.9 | 6.4 | 3.7 |

† FFA:遊離脂肪酸, BHB: β -ヒドロキシ酪酸, Glu:血糖, T-cho:総コレステロール, Alb:アルブミン, BUN:尿素窒素, Ca:カルシウム, AST:アスパラギン酸アミノトランスフェラーゼ, GGT: γ -グルタミルトランスペプチダーゼを表す。

異符号間に有意差あり (a, b : $p < 0.01$ 、c, d : $p < 0.05$)

表 1-3. 両期における胚移植受胎率の変化

| | 新鮮胚 | | 凍結胚 | | 合計受胎率 | |
|------|-----------|-------------------|-----------|--------|-----------|-------------------|
| | 受胎頭数/移植頭数 | 受胎率(%) | 受胎頭数/移植頭数 | 受胎率(%) | 受胎頭数/移植頭数 | 受胎率(%) |
| I 期 | 18/49 | 36.7 ^A | 5/12 | 41.7 | 23/61 | 37.7 ^c |
| II 期 | 9/14 | 64.3 ^B | 10/15 | 66.7 | 19/29 | 65.5 ^d |

異符号間に有意差あり (c, d : $p < 0.05$ 、A, B : $p < 0.1$)

第Ⅱ章．飼料給与方法の違いが黒毛和種繁殖牛における血液生化学検査値に及ぼす影響

第1節．緒言

第Ⅰ章では、黒毛和種繁殖雌牛における繁殖成績改善の指標としてMPTの有効性を調査し、繁殖成績を安定させるためには飼料設計によるNFCとCPの調整が重要であることが示唆された。また、黒毛和種繁殖牛では粗飼料のみの給与であっても、飽食給与は栄養過多になる可能性が示唆された。このことは、すべての繁殖ステージに当てはまると考えられる。例えば、泌乳期を想定した場合、黒毛和種繁殖牛では泌乳量は3-6kgと少なく（新宮ら、2002）、子牛の発育において母牛の泌乳が必要な時期は生後3カ月齢前後までと短い（Shimadaら、1988）。このため、肥満予防のためにはDMIやTDNを一定量に抑える必要があると考えられる。また、牛群には社会順位が存在することが知られており（McPheeら、1964）、飼料の給与方法に留意しなければ同一群でありながらDMIの偏りが生じ、肥満の牛と削瘦した牛が混在するようになり、生産性にも影響を与える可能性があると考えられる。しかし、これまで黒毛和種繁殖牛では、不適切な飼料給与量や牛群におけるDMIの偏りなどがMPTの結果に与える影響を調べた報告はみられない。牛群の一部を抽出して調べるMPTの手法からみて、不適切な飼料の給与方法がMPTに与える影響を検討しておくことは、MPT診断における誤評価を防ぐうえでも重要であると考えられる。

そこで第Ⅱ章では、計量器による飼料の定量給与と連動スタンションの利用によるDMIの均一化により、黒毛和種繁殖牛の血液生化学検査値がどのように変動するのかを検討した。

第2節．材料および方法

1) 供試牛および飼料給与方法

供試牛は黒毛和種繁殖農場で繋養している黒毛和種経産牛で臨床的に健康で子牛を超早期離乳した分娩後60日以降の泌乳していない空胎牛とした。供試牛は試験開始

1 カ月以上前から同一フリーバーン牛舎内の 2 牛房において、1 牛房あたり 16 頭計 32 頭を飼養した（1 牛房の面積：148.5m²、1 頭あたり 9.3m²）。なお、供試牛の年齢は 5.1±2.1 歳、分娩後日数は 337±122 日、産次は 2.4±1.3（以上、平均±標準偏差）であった。このうち無作為に抽出した 10 頭を以下の検査に供した。

給与粗飼料は全て自家産のもので、チモシー主体の混播牧草高水分バンカーサイレージ（以下高水分サイレージ）をフィーダーワゴン（KUNH Knight 3150; Kuhn-Knight Inc., Wisconsin, USA）を用いて給与した（図 2-1）。飼料給与は 1 日 1 回とし、午前 9 時頃に実施した。飼料成分分析はサイロ開封時にサンプルを採取して行い、飼料分析結果は表 2-1 に示した。飼料分析は十勝農業協同組合連合会に依頼した。

高水分サイレージ給与開始後 18 日間は牛舎に設置されている連動スタンションを利用せず、飼料給与量はフィーダーワゴン給与者の目分量により給与した。なお、この飼料給与方法は調査農場の慣行法である。この飼料給与方法では、1 頭あたり約 20kg の粗飼料が給餌されていた（約 3 トンの粗飼料が試験牛 32 頭を含む約 150 頭に給与された）。この目分量による給与状況を目視で毎日観察していたが、粗飼料の給与量は安定せず、日々の飼料給与量にはバラツキがあると考えられた。19 日目以降は、デジタル計を装着したフィーダーワゴンで飼料給与量を計量し、1 頭あたり約 20kg の高水分サイレージ飼料を給与するとともに、飼料給与後には連動スタンションにより飼料を完食するまで保定（約 3 時間）して DMI の均一化を図った。具体的には、試験で用いた 2 牛房は各 20 頭分のスタンションがあったが、各 4 頭分はあらかじめ閉じておき、残り 16 頭分については牛が入るとロックされる状態にしておき、この 16 頭分のスタンション前に飼料を均等に投与した。なお、同一牛群であるが、試験開始 18 日目までを未計量期間（FN 期間）、19 日目以降を計量期間（FW 期間）とした（図 2-1）。この飼料給与方法を 30 日間継続した。FW 期間中の飼料摂取量は、飼料給与量をフィーダーワゴンに装着したデジタル計で確認し、残飼がないことを確認して摂取量とした。また、FW 期間の飼料給与量は試験開始 18 日目に行った体重測定により平均体重を算出し、日本飼養標準 肉用牛（農業・食品産業技術総合研究機構編、2009）に基づいて給与量を決定した。なお、FN 期間後の牛群の平均体重

は 459.8 kg であったため、日本飼養標準 肉用牛（農業・食品産業技術総合研究機構編、2009）における維持期の体重 450 kg に基づいて、給与量を決定した。この値に基づいて、FW 期間における（試験開始 19 日目以降）の TDN、CP および DMI の充足率と NFC 摂取量を求めた。

2) 体重測定

FN 期間の終了日および FW 期間の終了日（試験開始からそれぞれ 18 日目と 48 日目）に、デジタル体重計（TRU-TEST EC2000；富士平工業、東京、日本）を用いて供試牛を含む牛群全頭の体重を調査した。

3) BCS、ルーメンサイズ、血液処理・分析方法および調査項目

採血、BCS およびルーメンサイズの測定は、FN 期間の最終日（試験開始 18 日目）および FW 期間の最終日（同 48 日目）に同様の方法で行った。採血条件は、飼料摂取約 4 時間後（岡田ら、1997b）に 10 頭を無作為に抽出して採血した。なお、FN 期間と FW 期間の採血対象牛は同じ個体とした。

採血管は SST、EDTA 添加（EDTA）管およびフッ化ナトリウム添加（NaF）管の 3 種類の真空採血管を用いて頸静脈より採血した。SST は第 I 章と同様の処理方法とした。EDTA 管および NaF 管は採血後直ちに氷中で冷却し、採血後 10 分以内に 10 分間冷却遠心して血漿を分離し、分注後に測定日まで -30°C 以下で凍結保存した。なお、凍結保存から測定までの間隔は 4 日間以内とした。

血液生化学成分の測定は、臨床化学自動分析装置（Accute：東芝メディカルシステムズ；栃木）により行った。測定項目と分析方法は以下の通りである。遊離脂肪酸（FFA:ACS・ACOD 法）、 β -ヒドロキシ酪酸（BHBA:酵素サイクリング法）、血糖（Glu:ヘキソキナーゼ法）、アセト酢酸（ACAC:酵素法）、血中尿素窒素（BUN:ウレアーゼ法）、アンモニア（ NH_3 :酵素法）、アルブミン（Alb:BCG 法）、総コレステロール（Tcho:酵素法）、アスパラギン酸アミノトランスフェラーゼ（AST:IFCC 法）、 γ -グルタミルトランスペプチダーゼ（GGT:IFCC 法）、カルシウム（Ca: o-CPC 法）、乳酸（LA:酵素法）。測定は岩手大学農学部附属動物病院に依頼した。

BCS は和牛にも適用できるとした岡田（2001）の 5 段階評価法により調査した。ルーメンサイズは岡田（2001）の方法、すなわち観察者が牛の右側に立ち、背中越しに手掌を左側の横突起辺縁のラインに置き、指を下方に曲げてその角度を数値化する方法（岡田 2001）を用いた（ルーメンが膨らむと数値が大きくなる）。なお、本試験は家畜改良センター動物実験指針に基づき実施した。

4) 統計処理方法

血液生化学検査値、BCS、ルーメンサイズおよび FN 期間と FW 期間の体重については、両期間の差を対応のある平均値の差の検定により調べ、 $p < 0.05$ の場合に有意差があるものとみなした。また、血液生化学検査値および BCS のバラツキを調べるために F 検定を行い、 $p < 0.05$ の場合に有意差があるものとみなした。

第 3 節. 結果

FW 期間の各栄養成分の平均充足率および NFC 摂取量を表 2-2 に示した。DMI 充足率は 85% で 100% 以下であったが、TDN 充足率は 111% および CP 充足率は 142% でどちらも 100% 以上であった。このことから、FW 期間中に給与された飼料の栄養量は、維持期の黒毛和種繁殖牛にはやや多かったと考えられた。両期間の血液生化学検査値、体重、BCS およびルーメンサイズの値（平均±標準偏差）とそれぞれについて両期間の比較を行った統計処理結果を表 2-3 に示した。また、両期間の血液生化学検査値を視覚的に確認するため、両期間の個体データをプロットしたグラフを図 2-2 に示した。

体重は FW 期間が FN 期間より有意に高かった ($p < 0.01$)。血中の BHBA、ACAC および Alb は FW 期間が有意に高かったが ($p < 0.01$)、その他の血液生化学検査項目では、両期間に有意な差は認められなかった。BCS およびルーメンサイズも有意な差は認められず、ほとんど変化はなかった。

一方、血液生化学検査値のバラツキについて FFA、Glu、Alb、T-cho、AST、Ca および LA では、FN 期間に比べ FW 期間のバラツキが有意に小さかった ($p < 0.05-0.01$)。反対に BHBA、ACAC および NH_3 では FW 期間のバラツキが有意に大きかった ($p < 0.05-0.01$)。両期間の BUN と GGT の平均値およびバラツキに差は認められなかった。

第4節. 考察

平均体重は、FW 期間の方が FN 期間よりも有意に重かった ($p < 0.01$)。摂取した飼料の成分は全試験期間を通じて同一であったことから、FN 期間に比べて FW 期間では 1 日あたりの飼料摂取量が多かったと考えられた。両期間を比較すると、FW 期間でバラツキが有意に大きい項目 (BHBA、ACAC および NH_3) と小さい項目 (FFA、Glu、Alb、T-cho、AST、Ca および LA) およびバラツキに差が無い項目 (BUN および GGT) に分かれた。BHBA および ACAC は FW 期間でバラツキが有意に大きいだけでなく、平均値も有意に高かった。BHBA および ACAC はルーメン発酵産物である酪酸由来である (Bergman、1971)。また、エネルギー不足時に脂肪の燃焼に伴い上昇する項目でもあるが (Bowden、1971)、脂肪の利用を示唆する FFA は両区とも低値であったことから採血時の脂肪の燃焼は少なかったと考えられる。したがって、本試験における FW 期間の BHBA および ACAC の値はルーメン発酵の影響が大きいと考えられ、FW 期間の飼料摂取量が FN 期間よりも多かったと推定される。BHBA および ACAC は、FW 期間では FN 期間に比べバラツキが大きくなったが、FW 期間は FN 期間に比べ飼料摂取量が多かったことから、ルーメン発酵が活発となり、その結果としてこれらの項目の値が高くなったと考えられた。加えて、黒毛和種繁殖牛においては BHBA および ACAC は日内変動が比較的大きいとされており (渡邊ら、2015)、このような日内変動は、1 日あたりの飼料給与回数が少ないほど大きくなる傾向がある (佐藤、1986)。このことから、FW 期間における血液生化学検査値のバラツキ、特にルーメン発酵の指標となる項目のバラツキは、1 日あたりの飼料給与回数を増やすことで減少すると考えられた。FW 期間では、これらの BHBA および ACAC が示すルーメン発酵の活性化により、代謝に必要な原料の供給が増加していたと考えられた。

FFA、Glu、Alb、T-cho、AST、Ca および LA は、FW 期間のバラツキが有意に小さかった (図 2-2 および表 2-3)。FN 期間の FFA については、1 頭が非常に高い値を示し 2.5σ を越えていたため、両期間のバラツキに有意差が生じたと考えられた。岡田 (2001) は、FFA の一部は血液中では Alb と結合しているため、低アルブミン血症の牛群では、FFA が高くないことがあることを報告している。本試験の FN 期間で

は、多くの個体が低 Alb であったことから、低エネルギー状態であった可能性があるものの、FFA が上昇しにくかったと考えられた。

一方、FN 期間の Glu、Alb および Ca 濃度は、FW 期間よりも低い個体が多くみられた。Glu と Alb は肝臓で合成され（岡田、2001）、肝機能の指標となることから（West、1990）、FN 期間中に肝機能が低下していた可能性が示唆された。Ca の一部は Alb と結合していることから Alb の影響を受ける（Payne と Payne、1987；Kida、2002a）。また、これらの物質（Glu、Alb および Ca）は様々なホルモン等により恒常性維持機構があるにもかかわらず低い個体が多くみられたことから、FN 期間では恒常性が崩れた個体が存在していた可能性がある。

また、肉用牛における粗飼料主体の飼養管理では、ルーメン内における酢酸生成量は粗飼料の採食量と比例している（佐藤と渡辺、1993）。さらに、牛の場合、体内の脂肪酸合成は酢酸を主な材料としており（安保、1979）、T-cho は脂肪から生成されるため、T-cho は粗飼料摂取量と関連がある可能性がある。このことから、FW 期間における T-cho のバラツキの減少は、粗飼料摂取量のバラツキの減少による可能性も考えられた。

LA はルーメンコンディションの指標となる（岡田ら、1997c）。LA は両期間とも適正範囲内ではあったが、その変動は FN 期間よりも FW 期間の方が小さかった。FW 期間は日々の飼料摂取量の変動が少なくルーメン環境が安定していたと考えられた。

AST は肝臓障害の指標であるが（Payne と Payne、1987；Kayano と Kida、2015）、飼料が過剰に給与された場合にも増加する（岡田、2001）。本試験における FW 期間の DMI は 85% であり飼料の過剰給与はなかったが、FW 期間は飼料摂取量の均一化により肝機能が正常化されたため、バラツキが少なかったと考えられた。

一方、BUN は CP 摂取量を反映しているが（Kida、2002a）、本試験では NH₃ は FW 期間でバラツキが大きかったものの、両期間で BUN のバラツキに差がみられなかった。この原因は不明であるが、本試験では 1 日 1 回給与のため、1 日分の飼料を 1 回で摂取することになる。このため、一過性に CP 摂取量が多くなり、このことが NH₃ のバラツキに影響した可能性も考えられる。

以上のように、FW 期間においてこれらの項目（FFA、Glu、Alb、T-cho、AST、Ca お

よび LA) のバラツキが少なくなったことは、適正な飼料給与量と連動スタンションの利用による飼料摂取量の均一化の効果であると考えられた。このことから、飼料成分だけでなく飼料給与方法によっても血液生化学検査値は大きな影響を受けることが示唆された。しかも、このような飼料給与方法の変更は、長くても約 1 カ月で牛の代謝に変化をもたらすことが考えられた。

一方、連動スタンションの利用による牛の拘束は、牛にストレスを与える可能性も考えられた。牛がストレスを受けた際には Glu、FFA および LA が高くなる (岡田、2001)。しかし、本試験では連動スタンションを使用した FW 期間において、これらの値は高くなっていないことから、飼料摂取時間内の連動スタンションによる保定はそれほど強いストレスを与えていないと考えられた。

以上から、黒毛和種繁殖牛における飼料給与時には、適正な栄養量を給与した上で連動スタンション等を利用して乾物摂取量を均一化することで、FFA、Glu、T-cho、Alb、Ca、AST および LA のバラツキが減少することが示唆された。今後は 1 日あたりの飼料給与回数を増やした牛群において、BHBA、ACAC、BUN および NH₃ のバラツキを調査する必要があると考えられた。

第 5 節. 要約

黒毛和種繁殖牛 32 頭を用いて、飼料給与方法が血液生化学検査値におよぼす影響を調査した。給与飼料 (サイレージ) は、試験開始後 18 日間 (FN 期間) は飼料給与者の目分量で給与され、飼料摂取中は連動スタンションによる保定をしなかった。FN 期間後の 31 日間 (FW 期間) は、飼料摂取中は連動スタンションで保定することで DMI を均一化し、体重測定結果を基に規定量のサイレージを給与した。両期間の最終日に、すべての牛の体重測定を行うとともに、無作為に抽出した 10 頭から採血した。BHBA と Alb は、FN 期間後よりも FW 期間後の方が有意に高かった ($p < 0.01$)。FW 期間後の Glu、Alb および LA のバラツキは有意に小さかった (Glu および Alb : $p < 0.01$ 、LA : $p < 0.05$)。このことから、適切な飼料設計のもとで、連動スタンションの利用による適切な飼料給与管理方法は血液生化学検査値に影響を与え、黒毛和種繁殖牛の牛群全体の栄養状態を改善する可能性が示唆された。

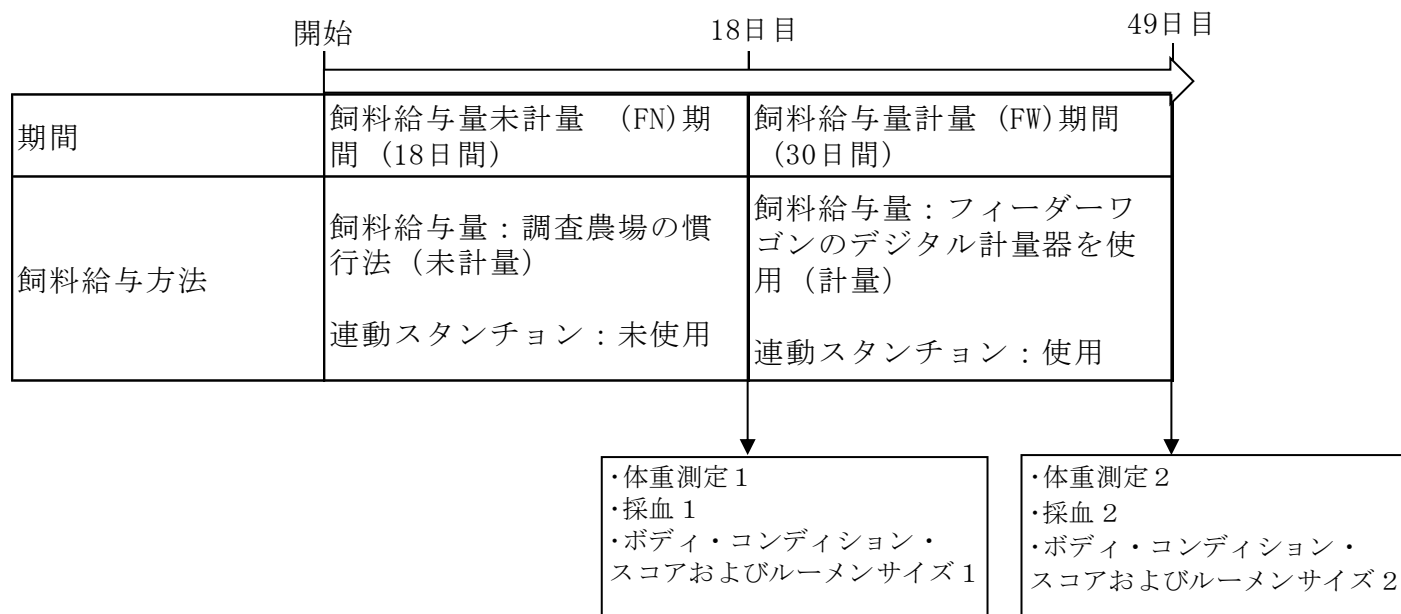


図 2-1. 試験設計

供試牛全頭の体重は、FN および FW 期間の最終日に調査した（それぞれ 18 日目と 49 日目）。採血、ボディ・コンディション・スコアおよびルーメンサイズの測定は、FN 期間の最終日に無作為に選択された 10 頭の牛と、FW 期間の最終日に同一個体に対して同様の方法で実施した。FW 期間中に給与した粗飼料の量は、FN 期間の最終日に実施した体重測定の結果を基に、日本飼養標準 肉用牛に基づいて算出した。

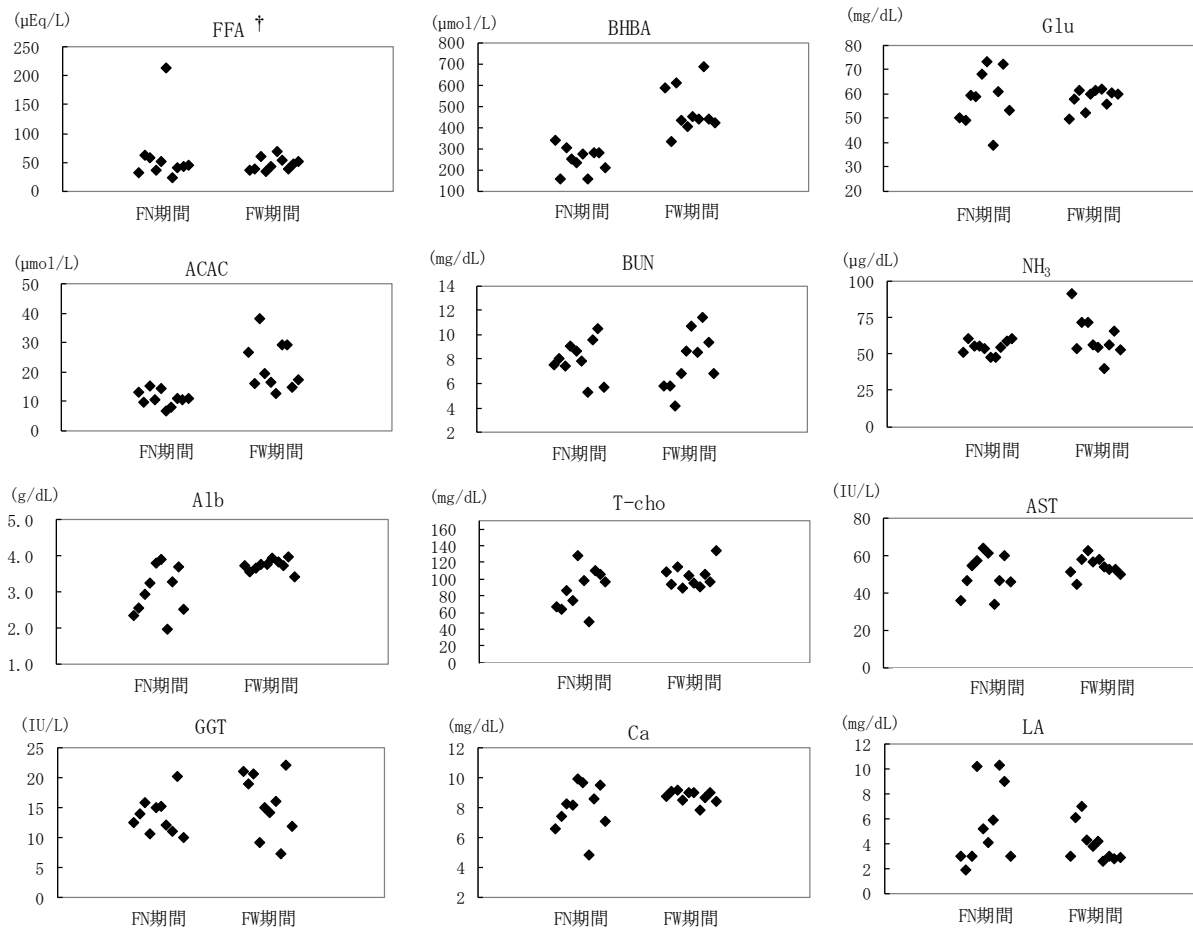


図2-2. 未計量期間（FN期間）および計量期間（FW期間）における血液生化学検査値の分布

各グラフの縦軸は血中濃度を示す。

† FFA：遊離脂肪酸、BHB：β-ヒドロキシ酪酸、Glu：血糖、

ACAC：アセト酢酸、BUN：血中尿素窒素、NH₃：アンモニア、Alb：血清アルブミン、

T-cho：総コレステロール、AST：血清アスパラギン酸アミノトランスフェラーゼ、

GGT：γ-グルタミルトランスフェラーゼ、Ca：カルシウム、LA：乳酸を表す。

表 2-1. 給与飼料の飼料成分（乾物中 %）

| | |
|------------------|------|
| 乾物率 | 25.6 |
| 可消化養分総量（TDN） | 65.3 |
| 粗蛋白質（CP） | 13.3 |
| 酸性デタージェント繊維（ADF） | 38.4 |
| 中性デタージェント繊維（NDF） | 63.3 |
| 非繊維性炭水化物（NFC） | 13.5 |
| 粗脂肪（CF） | 4.7 |
| 粗灰分（CA） | 7.0 |
| カルシウム | 0.52 |
| リン | 0.32 |
| マグネシウム | 0.24 |
| カリウム | 1.91 |

表 2-2. 飼料計量期間（FW 期間）における平均栄養充足率および非繊維性炭水化物（NFC）摂取量

| | TDN † 充足率 (%) | CP 充足率 (%) | DMI 充足率 (%) | NFC 摂取量 (kg) |
|------|---------------|------------|-------------|--------------|
| 平均 | 111 | 142 | 85 | 0.69 |
| 標準偏差 | 11 | 14 | 8 | 0.07 |

† TDN : 可消化養分総量、CP : 粗蛋白質、 DMI : 乾物摂取量

表 2-3. 飼料給与量非計量期間 (FN 期) および計量期間 (FW 期) における血液生化学検査値、体重、ボディ・コンディション・スコア (BCS) およびルーメンサイズ (平均値±標準偏差)

| 検査項目 † | FN 期間 | FW 期間 | t-検定 | F-検定 |
|-------------------------|------------|-------------|------|------|
| FFA (μEq/L) | 60.2±54.9 | 47.1±11.6 | | ** |
| BHBA (μmol/L) | 249.7±60.2 | 481.2±109.8 | ** | * |
| Glu (mg/dL) | 58.4±10.9 | 58.0±4.2 | | ** |
| ACAC (μmol/L) | 11.1±2.7 | 22.0±8.4 | ** | ** |
| BUN (mg/dL) | 8.0±1.6 | 7.8±2.3 | | |
| NH ₃ (μg/dL) | 54.7±4.7 | 61.6±14.2 | | ** |
| Alb (g/dL) | 3.0±0.7 | 3.7±0.2 | ** | ** |
| T-cho (mg/dL) | 88.1±24.4 | 103.3±13.4 | | * |
| AST (IU/L) | 50.7±10.5 | 54.0±5.1 | | * |
| GGT (IU/L) | 13.7±3.1 | 15.7±5.2 | | |
| Ca (mg/dL) | 8.0±1.6 | 8.8±0.4 | | ** |
| LA (mg/dL) | 5.6±3.2 | 4.0±1.5 | | * |
| 体重 (kg) | 459.8±71.0 | 467.3±71.6 | ** | |
| 体表 BCS | 3.1±0.3 | 3.0±0.3 | | |
| 尾根部 BCS | 3.0±0.3 | 3.0±0.3 | | |
| ルーメンサイズ [‡] | 3.5±0.1 | 3.5±0.0 | | |

** : p<0.01, * : p<0.05

† FFA: 遊離脂肪酸、BHBA: β-ヒドロキシ酪酸、Glu: 血糖、ACAC: アセト酢酸、BUN: 血中尿素窒素、NH₃: アンモニア、Alb: アルブミン、T-cho: 総コレステロール、AST: アスパラギン酸アミノトランスフェラーゼ、GGT: γ-グルタミルトランスペプチダーゼ、Ca: カルシウム、LA: 乳酸

第Ⅲ章．給与飼料の成分変化が黒毛和種繁殖牛の血液生化学検査値に及ぼす影響

第1節．緒言

第Ⅱ章ではMPTにおける飼養管理の影響を調査し、乾物摂取量(DMI)の均一化を図ることで、いくつかの血液生化学検査値のばらつきが減少することが明らかとなった。このことから、MPT結果は飼料設計の影響だけでなく、飼料給与管理方法の影響も強く受けると考えられる。特に黒毛和種繁殖農家では低コストや省力的な飼養管理を行う場合もあり、これら飼料給与管理方法の失宜に起因するMPTの変動要因を検討しておく必要があると考えられる。

これまで、給与飼料以外の血液生化学検査値の変動要因については、飼料摂取後の時間(岡田ら、1997b)、ストレスによる影響が報告されている(岡田、2001)。一方、摂取飼料成分の急激な変化はルーメン環境を不安定にすると考えられ、ルーメン内発酵を推定する血液生化学検査項目も変動することが予想されるが、このことに関しての報告はほとんどみられない。飼料成分は粗飼料の品種の違いだけでなく、収穫時期ごとのロットでも異なることから、畜主が意図していない給与飼料成分の急激な変化が起こっている場合も考えられる。

第Ⅰ章では、黒毛和種繁殖牛に粗飼料のみを給与した場合でもCPが過剰になり、繁殖性が低下することを報告した。CP摂取の過不足をみる血液生化学検査値の指標として、主にBUNやアンモニア(NH₃)が用いられている(岡田 1999)。

しかし、急激な摂取飼料成分の変化、特に高CP飼料の影響を多項目の血液生化学検査値で連続して調査した報告はほとんどみられない。摂取飼料成分の中でもCPは繁殖性に強い影響を与える可能性があること、CP摂取量の変化は給与粗飼料のロット変更等でも容易に起こりうることから、急激なCP摂取量の変化が多項目の血液生化学検査値にどのように影響するのかを知っておくことは、黒毛和種繁殖牛におけるMPTの診断精度の向上に必要である。そこで、本試験では飼料成分の急激な変更が黒毛和種繁殖牛の血液生化学検査値に及ぼす影響について検討した。

第2節．材料および方法

供試牛は家畜改良センター鳥取牧場で繋養されている臨床的に健康な黒毛和種経産乾乳牛 1 群 15 頭のうち無作為に抽出した 5 頭とした。給与した粗飼料はすべて自家産のもので、オーチャードグラス主体の混播牧草の低水分サイレージ、イタリアンライグラスの乾草とトウモロコシサイレージとした。これらはすべて収穫時に成分分析を行った。これら 3 種類の粗飼料を TMR ミキサーで混合給与した。本研究ではこの TMR ミキサーで混合した飼料を基礎飼料とした。基礎飼料は NFC 濃度が概ね 20%となるよう設計した。この基礎飼料を TDN、CP および DMI の充足率がそれぞれ約 90%、約 95%および約 80%（農業・食品産業技術総合研究機構、2008）となるよう 1 日 2 回給与した。なお、実際の 1 頭あたりの TDN、CP および DMI 量/日（平均）は 2.7kg、0.46kg、4.8kg、各充足率（平均）は 93%、96%および 80%、飼料中の NFC 濃度（乾物中）は 24%であった。また、給与飼料の乾物中 CP 含量は 9.5%であった。この基礎飼料を 30 日間給与後、この基礎飼料に大豆粕 1.5 kg/日/頭を 1 日 2 回追加給与するように変更した。本研究ではこの飼料を高 CP 飼料とした。変更後の 1 頭あたりの摂取 TDN、CP および DMI 量/日（平均）は 3.9kg、1.2kg、6.2kg、各充足率は TDN 129%、CP 247%、DMI 102%で、飼料中の NFC 濃度（乾物中）は 23%であった。また、給与飼料の乾物中 CP 含量は 19.2%であった。

血液生化学検査値測定のための採血は、飼料設計変更日を Day 0 として、Day -3、Day 0-2、Day 4、Day 6、Day 8、Day 10 に行った。採血は、既報（岡田ら、1997b）にしたがって、朝の飼料摂取約 4 時間後に頸静脈から 3 種類の真空採血管を用いて行った。血液生化学検査項目および測定機器は第 II 章と同様である。なお、供試牛の飼養管理および血液採取は、家畜改良センター動物実験指針に基づき実施した。

統計処理は、血液採取日ごとの各血液生化学検査値について給与飼料変更前の Day -3 を対照として一元配置の分散分析を行い、次いでダネットの多重比較検定により解析して、その後の Day 0 から Day 10 までの各血液生化学検査値と比較した。 $p < 0.05$ を統計的に有意と判断した。

第 3 節. 結果

摂取飼料成分変更前後の主な血液生化学検査値の推移を図 1 および図 2 に示した。

BUN、NH₃、LA および ACAC には高 CP 飼料給与前後で有意な変動がみられた（図 3-1）。また、FFA、Glu および BHBA に有意な差はないものの、高 CP 飼料給与後に増加あるいはバラツキが大きくなるような変動がみられた（図 3-2）。その他の Alb、T-cho、Ca、AST および GGT には有意な差や大きな変動はみられなかった。

BUN は高 CP 飼料への変更の翌日（Day 1）から増加し、Day -3 に比べて Day 1 から Day 10 は有意に高かった（ $p < 0.01$ ）（図 3-1）。NH₃ は Day -3 に比べ Day 1 および Day 2 で有意に高かったが（ $p < 0.01$ ）、その後は低下し Day4 以降は Day-3 と有意差はみられなくなった（図 3-1）。LA は Day -3 に比べ Day 1 が有意に高かった（ $p < 0.05$ 、図 1）。ACAC は Day -3 に比べ Day 4、6、8 および 10 で有意に高かった（Day 4、6 および 10: $p < 0.05$ 、Day8: $p < 0.01$ 、（図 3-1）。また、BHB も有意差はみられなかったものの、ACAC と同様の動きを示していた。

第 4 節. 考察

高 CP 飼料給与期間中の BUN は給与前に比べて有意に高かった。BUN は摂取窒素量を直接的に反映することから（岡田、1999）、BUN 濃度の増加および高値の維持は摂取 CP の影響と考えられた。しかし、NH₃ の有意な高値は Day1 および 2 のみであり、その後は低下し有意差はみられなくなった。小原（2006）は、血清尿素レベルと尿素の代謝回転速度には非常に高い相関関係があることを報告していることから、血中に有毒な物質である NH₃ 等のレベルが高くなった場合、NH₃ を無毒化して尿素化するスピードが速くなると考えられる。このことから、急激に CP 摂取量が増加した場合、血中 NH₃ 濃度は一過性に増加するが、継続的に高 CP 飼料を摂取しても血中 NH₃ は処理速度の向上により低下する可能性があると考えられる。本試験においても、高 CP 飼料給与直後に NH₃ は増加したものの、高 CP 飼料摂取中でも NH₃ が一定期間後に低下したことから、高 CP 飼料摂取時には尿素回路酵素群が活性化されて代謝が活発となった結果、血中 NH₃ が低下したと推察された。これらより NH₃ は一時的に高 CP 摂取を反映するが、中期的には高 CP 摂取を反映していない可能性が考えられた。しかし、笹木ら（2001）は供胚牛の選定のために、NH₃ を CP 摂取量の指標として飼料設計を変更した結果、NH₃ の値が低下するとともに採胚成績が改善したことを報告しており、本試験の高 CP 飼

料給与期間以上の長期的な高 CP 摂取は高 NH₃ となる可能性も考えられた。NH₃ は不安定な物質であり MPT の項目として利用することは難しいが、NH₃ はルーメンコンディションを知る上で重要であるため、その利用方法については今後検討する必要がある。

LA は Day -3 に比べ Day 1 が有意に高かった。LA は通常デンプン飼料の多給により増加するが、LA のルーメン壁からの吸収速度は揮発性脂肪酸 (VFA) の吸収速度より遅く、血中 LA 濃度がルーメン環境に反映するまでには時間を要するとされている (岡田ら、2003b)。しかし、本試験で LA 濃度が有意に高くなった Day 1 は、高 CP 飼料の給与開始により NFC 摂取量が約 380g/日/頭増加しているものの、LA 濃度は NFC 摂取量増加の直後に高くなっていることから、この LA 濃度の増加はルーメン由来ではない可能性が考えられる。一方、牛の LA 濃度に関する研究は、乳牛のルーメンアシドーシスに関連した報告が主であり (岡田ら、1997b ; 2003b)、高 CP 摂取によるルーメンアルカローシスが想定される状態での報告はほとんどみられない。これらのことから、本試験における LA 濃度の変動原因については不明であり、高 CP 飼料摂取時の血中 LA 濃度についてはさらなる詳細な調査が必要と考えられた。

ACAC は Day4、6、8 で有意に高くなり、BHBA もほぼ同様の変動パターンであった。ACAC および BHBA はケトン体の 1 つであり、血中濃度が増加した場合はエネルギー不足の可能性があるが、ルーメン発酵の VFA 由来の可能性もある。さらに、Glu と FFA は、有意差はみられないものの高 CP 飼料給与後一時的に増加しており、ACAC や BHBA の動きと合わせてみると、飼料変更による一時的なルーメン発酵不良が起こった可能性が考えられた。また NH₃ を尿素に変換するためにはエネルギーが必要となることから (佐藤、1986 ; Blowey ら、1973)、高 BUN 時にはエネルギー不足になりやすいことが推察された。

一方、高 CP 飼料給与期間中は大豆粕を給与したことから、CP 充足率ほどではないものの TDN および DMI 充足率も約 20-30%高くなったが、摂取エネルギー量と相関があるとされる T-cho の増加 (岡田、2001) はみられなかった。この原因については不明だが、第 II 章で示したとおり T-cho は粗飼料摂取量を反映している可能性があり、本試験では粗飼料摂取量に変化が無かったため、T-cho が変化しなかった可能性が考えられた。また、血液生化学検査項目の中では、FFA、BHBA および Glu はエネルギー

不足に反応するものの、過栄養に対して鋭敏に反応する項目は少ないと考えられる。本試験では、飼料設計変更前の牛群はエネルギーの過不足が無く、かつ飼料設計変更後は過栄養であったことから、TDN および DMI 充足率の増加に伴うエネルギー充足に関連する血液生化学検査項目の変化が少なかったと考えられる。

以上から、黒毛和種繁殖牛における摂取飼料成分の急激な変化、特に高 CP 飼料への急変時には BUN、NH₃、LA および ACAC が変動する可能性が示され、これら項目の値が高くなった場合、摂取飼料成分の変動によりルーメン環境が不安定になっている可能性が示唆された。また、NH₃ に比べ BUN の方が CP 摂取量を反映していること、TDN 充足率が満たされていてもルーメン環境が変化した場合、血液生化学検査値にはエネルギー不足のような兆候がみられる可能性が示唆された。

第 5 節. 要約

給与飼料の急激な変更が黒毛和種繁殖牛の血液生化学検査値に及ぼす影響を調査した。オーチャードグラス主体混播牧草の低水分サイレージ、イタリアンライグラスの乾草およびトウモロコシサイレージを TMR ミキサーで混合したものを基礎飼料とし、臨床的に健康な黒毛和種経産乾乳牛 1 群 15 頭に約 1 カ月間、1 日 2 回給与した。その後は同一の飼料成分および量の基礎飼料に加えて、大豆粕 1.5 kg/日/頭を 1 日 2 回追加給与した。採血対象牛は 15 頭のうち無作為に抽出した 5 頭とした。大豆粕給与開始日を Day 0 として、Day -3 および Day 0、1、2、その後は 1 日おきに Day 10 まで採血した。採血は朝の飼料摂取約 4 時間後に頸静脈から 3 種類の真空採血管を用いて行った。

Day -3 を対照として、その後の Day 0 から Day 10 までの各血液生化学検査値を比較した結果、Alb、FFA、Glu、BHBA を含む 10 項目には有意な差はみられなかった。しかし、BUN は Day -3 に比べ Day 1 から Day 10 の間で有意に高かった ($p < 0.01$)。NH₃ は Day -3 に比べ Day 1 および Day 2 で有意に高かったが ($p < 0.01$)、その後は低下し Day -3 とほぼ同レベルに戻った。LA は Day -3 に比べ Day 1 で有意に高かった ($p < 0.05$)。ACAC は Day -3 に比べ Day 4、6、8 および 10 で有意に高かった (Day 4、6 および 10: $p < 0.05$ 、Day 8: $p < 0.01$)。

これらのことから、黒毛和種繁殖牛において CP が高い飼料への急激な変更では BUN、NH₃、LA および ACAC が増加することが示唆された。また、NH₃ に比べ BUN の方が CP 摂取量を反映していることが考えられた。有意差はみられなかったものの、大豆粕給与後に FFA や Glu、BHB にエネルギー不足時に似た変化がみられていることから、TDN 充足率が満たされていてもルーメン環境が変化した場合、血液生化学検査値にはエネルギー不足のような兆候がみられる可能性が示唆された。

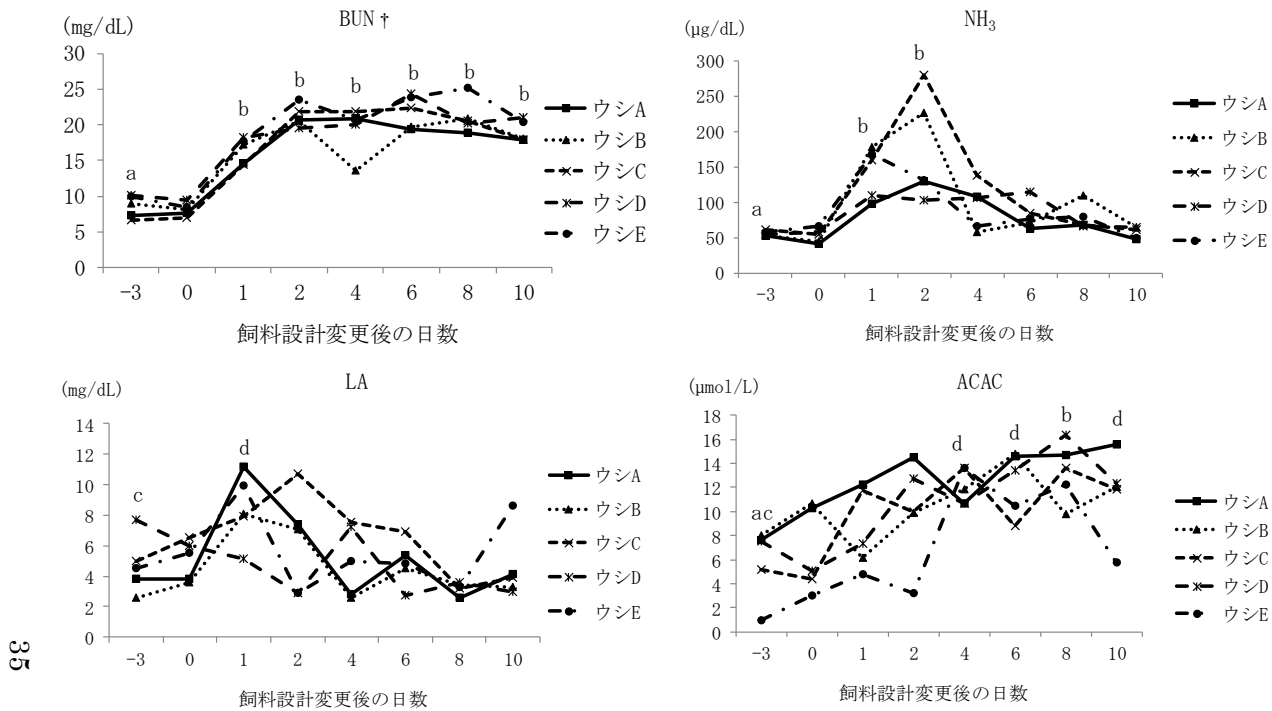


図 3-1. 摂取飼料成分変更前後で有意差がみられた血液生化学検査値の推移

† BUN (血中尿素窒素), NH₃ (アンモニア), LA (乳酸), ACAC (アセト酢酸) を表す。

各グラフの縦軸は血中濃度、横軸は飼料設計変更日を 0 日とした経過日数を表し (変更前はマイナスで表示)、各グラフの折れ線グラフは採血した各個体の血液生化学検査値の推移を表す。また、グラフ内の異符号は群における飼料設計変更前 (Day-3) との有意差を示す (a, b : p < 0.01, c, d : p < 0.05)。

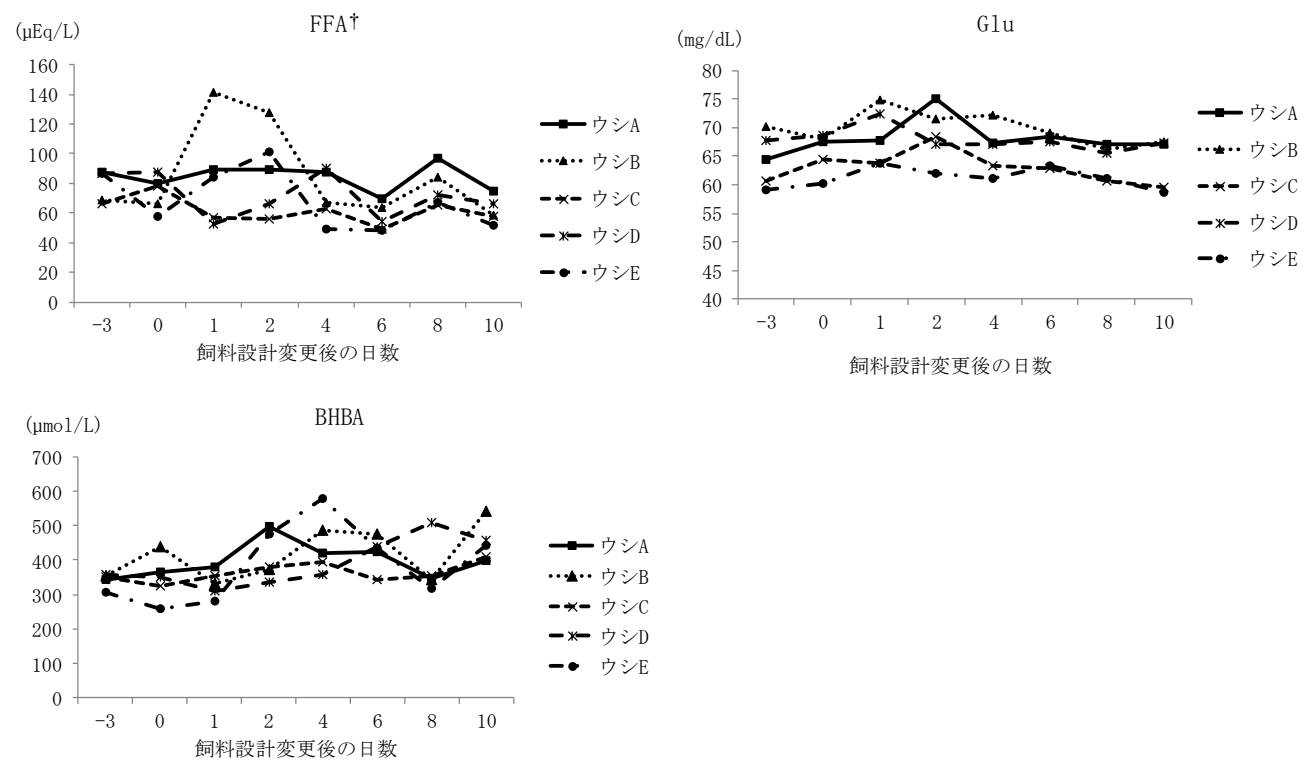


図 3-2. 摂取飼料成分変更前後で変化がみられた血液生化学検査値の推移（有意差は無し）

† FFA（遊離脂肪酸）、Glu（血糖）、BHBA（ β -ヒドロキシ酪酸）を表す。

各グラフの折れ線グラフは採血した各個体の血液生化学検査値の推移を表す。また、各グラフの縦軸は血中濃度、横軸は飼料設計変更日を 0 日とした経過日数を表す（変更前はマイナスで表示）。

第IV章．飼料給与管理方法を斉一化した黒毛和種繁殖牛群の生産性と代謝プロファイルテストの値

第1節．緒言

第I章では、黒毛和種繁殖牛群における繁殖性低下の原因の1つが、高CP飼料やCPとNFCのアンバランスによるものであることが示唆され、このような牛群の栄養状態をMPTにより捉えることができた。第II章および第III章では、飼料の給与方法や成分によりMPTの各検査項目が変動することを示した。これらのことから、斉一性の高い飼料給与管理方法を行うことで、その結果として牛群の繁殖性や子牛生産性が良好となると考えられ、その牛群から得られたMPT各検査項目のデータは、良好な生産性が期待できるMPTの適正範囲を設定する上で、重要な指標になると考えられる。

そこで、本試験ではMPTの適正範囲の設定を目的として、適切な飼料給与管理を施した比較的大規模な黒毛和種繁殖牛群において、生産性およびMPT各検査項目を調査した。

第2節．材料および方法

1) 供試牛群

供試牛群は家畜改良センター鳥取牧場で繋養している黒毛和種経産牛約200頭である。鳥取牧場ではETを主体とした季節繁殖を行っており、春（秋）交配（5月～7月（10月～12月））で受胎した牛は冬（夏）に分娩（2月～4月、（8月～9月））することになる。これらの牛は繁殖ステージにより群分けされ飼養されている。1群は概ね20～30頭である。

繁殖ステージは日本飼養標準・肉用牛（農業・食品産業技術総合研究機構、2009）を参考に4ステージに分け、子牛の親からの離乳時期を概ね生後4カ月齢とし、妊娠末期（分娩日をDay0としてDay-60～0）、泌乳前期（Day1～60）、泌乳後期（Day61～120）、乾乳期（Day121以降）とした。なお、牛へのストレスを避けるため、実際にはこれらの群分けは妊娠末期および泌乳前期に群編成を行い、子牛の離乳までは群の再編成を行わずに管理して調査した。泌乳期の区分について、黒毛和種では生後8週

齢以降では母乳だけでは子牛の発育に必要な栄養を摂取できない（福島ら、2009）ことから、生後約 8 週齢（Day1～60）を泌乳前期、その後離乳までを泌乳後期（Day61～120）とした。また、分娩後すぐに早期離乳した母牛についても調査した（超早期離乳期）。

2) 牛群の生産性

牛群の生産性の指標として ET 受胎率および子牛損耗率、子牛の発育を調査した。

ET 受胎率調査に用いた移植胚は、鳥取牧場で繋養している黒毛和種に過剰排卵処理を施し、人工授精後 7 日目に非外科的に子宮内から回収された新鮮胚と、新鮮胚を Dochi ら（1995）の方法に準じて 1.5M エチレングリコールで凍結した胚および一般に流通している凍結胚を用いた。用いた移植胚のランクは新鮮胚・凍結胚ともに Excellent、Good および Fair ランクとした。ET は受胎牛の発情後 6-8 日に超音波診断装置を用いて黄体を確認し、カスー式未經産牛用受精卵移植器（imv 社、フランス）またはモ 1 号（ミサワ医科工業、茨城）を用いて黄体側子宮角に非外科的に子宮頸管経由で 1 胚移植した。妊娠診断は ET 後 21 日目以降に超音波診断装置を用いて行い、胎子の心拍を確認して受胎とした。ET 実施者は ET 実務経験年数が 5 年以上の者に限定し、全期間 3 名の同じ技術者が実施した。ET 受胎率は受胎牛を泌乳牛、乾乳牛に分けて受胎頭数／実施延頭数×100 で表した。

子牛損耗率は分娩後、母牛に哺乳させた状態で飼養管理された子牛のうち離乳時（約 4 カ月齢）までにへい死した割合とした（へい死頭数／生産頭数×100）。なお、生産された子牛は母牛の初乳摂取を確認するとともに、確認できなかった個体については人工初乳を給与した。

子牛の発育は分娩直後の生時体重と離乳時の体重（約 4 カ月齢時体重）を測定し、この間の 1 日あたり増体量 [DG: (4 カ月齢時体重－生時体重)／日齢] を求めた。

3) 供試飼料および飼養管理

給与した粗飼料はすべて自家産のもので、オーチャードグラスおよびトールフェスクの混播牧草、イタリアンライグラスの乾草または低水分サイレージ（グラス）とト

ウモロコシサイレージとした。これらはすべて収穫時に成分分析を行い、このうちのグラス2種類とトウモロコシサイレージを TMR ミキサーで混合給与した。これを基礎飼料とした。基礎飼料は第 I 章の報告に準じて、CP 濃度が約 10%、NFC 濃度が約 20%となるよう設計し、グラスの CP が低い場合は CP 濃度を調整する目的でフスマを混合した。この他に妊娠末期、泌乳前期および泌乳後期には配合飼料を追加給与した。また、日本飼養標準・肉用牛（農業・食品産業技術総合研究機構、2009）を基に充足率を計算し、TDN 充足率の設定は 90-100%、CP は乾乳期・超早期離乳期および妊娠末期では 100-110%、泌乳期では 80-85%とした。DMI 充足率の設定は全繁殖ステージで 85-90%とした。飼料中 NFC 濃度の設定は約 20%とした。なお、これらの充足率は日本飼養標準・肉用牛（農業・食品産業技術総合研究機構、2009）に比べ全体に低めであるが、試験に先立ち数年に渡り体重、BCS、ルーメンサイズの変動を調査し、給与量との関係をもとに設定したものである。

供試牛群はフリーバーンの牛舎で飼養し、飼料給与時には一定時間スタンションに繋留し、DMI の均一化を図った。基礎飼料は TMR ミキサーに装着されているデジタル重量計により計量しながら給与し、残飼がないことを確認し、設計した給与量が確実に摂取されたとみなした。給与回数は 1 日 2 回であり、泌乳牛および妊娠末期牛には配合飼料を秤により計量し、基礎飼料給与後に個体毎に追加給与した。基礎飼料および配合飼料の給与量は、毎月の体重測定結果により調整して給与した。なお、泌乳牛の平均乳量は日本飼養標準・肉用牛（農業・食品産業技術総合研究機構、2009）を参考に 6kg/日とした。全期間、鉱塩は自由舐食とし、基礎飼料の硝酸態窒素含量は繁殖性に悪影響を及ぼさないとされる（農業・食品産業技術総合研究機構、2009）1000ppm 以下となるように調製した（最高 486 ppm）。飼料の成分や給与量は群毎に毎日記録した。

なお、供試牛の飼養管理および血液採取は、家畜改良センター動物実験指針に基づき実施した。

4) 調査項目

繁殖ステージ毎に分けられたこれら牛群のうち 1-2 割の牛を毎月無作為に抽出し

(毎月計 10-20 頭前後)、以下に述べる血液生化学検査値、BCS およびルーメンサイズを測定した(測定頭数は延べ 525 頭、実頭数 113 頭)。

繁殖成績については ET 受胎率を調査した。また、子牛生産性の調査として自然哺乳子牛の哺乳期間中の発育および損耗率を調査した。

血液生化学検査値測定のための採血の方法、サンプルの保存方法、血液生化学検査項目および測定機器は第 II 章および第 III 章と同様とした。また、BCS およびルーメンサイズは第 II 章と同様の方法とした。体重は月に 1 回測定した。以上の項目について、平均値、標準偏差と共に変動係数(標準偏差/平均値×100, CV)を算出した。

5) 調査期間と調査牛群の概要

本試験の調査期間は平成 23 年 4 月～平成 25 年 1 月である。調査期間中の交配時期は 4 回あり(平成 23 年の 5～7 月(A 期)、同年 10～12 月(B 期)、平成 24 年の 5～7 月(C 期)、同年 10～12 月(D 期))、A～D 期における調査対象牛群の平均年齢、産次数、交配開始時の平均空胎日数を表 4-1 に示した。なお、年 2 回約 60 日間の季節繁殖を行っていること、供胚牛として長期にわたり利用していた個体もいることから、空胎日数の平均値やばらつきは大きくなっている。

第 3 節. 結果

調査期間中の各繁殖ステージにおける TDN、CP および DMI の平均充足率は、TDN が 89.1-97.3%、CP が 81.3-108.6、DMI が 84.5-87.0%であった。また、飼料中の平均 NFC 濃度は 19.2-26.5%であった(表 4-2)。

ET の受胎率を表 4-3 に示した。泌乳受胚牛の ET 受胎率は新鮮胚で 54.7% (29/53)、凍結胚で 69.0% (40/58)、合計受胎率は 62.2% (69/111) であった。乾乳受胚牛の ET 受胎率は新鮮胚で 64.4% (38/59)、凍結胚で 54.4% (37/68)、合計受胎率は 59.1% (75/127) であった。調査全期間の ET 受胎率の合計は 60.5% (144/238) であり、時期による偏りはみられなかった。

子牛損耗率は 0.4% (1/230) であった。また、自然哺乳子牛の離乳 (約 4 カ月齢) までの DG は、雄子牛が 0.91 ± 0.19 kg/日 (平均±標準偏差)、雌子牛が 0.82 ± 0.13 kg/日であった。

各繁殖ステージにおける血液生化学検査値、BCS、ルーメンサイズ、体重の平均±標準偏差、最大-最小値および CV を表 4-4 に示した。比較的 CV が大きかった項目は FFA、BHBA、LA、および ACAC であった。一方、Alb、Glu および Ca は CV が小さく恒常性の高さが伺えた。

第 4 節. 考察

今回の試験の給与飼料の栄養充足率は、日本飼養標準肉用牛 (農業・食品産業技術総合研究機構、2009) の TDN で 89-97%、CP では 81-107%、DMI では 85-87%で、全体に少なめであった。これは試験に先立って数年間にわたり、本試験同様牛の体重、BCS、ルーメンサイズの推移を調査し、給与量との関係を検討した結果設定したものである。牛房の面積や牛舎構造、気象、ストレス、一般的な飼養管理などが影響したものと考えられる (農業・食品産業技術総合研究機構、2009; 植竹、2017)。栄養充足率が全体に低下した明確な要因は不明である。

本試験における ET 受胎率は概ね 60%であった。体内から採取した胚の新鮮 1 胚移植における受胎率は全国平均で約 51%、凍結 1 胚移植で約 46%とされており (農林水産省、2010)、本試験期間における ET 受胎率はこれらの数値を上回った。子牛損耗率は一般に考えられている損耗率 (3-5%) (小形、2009) よりもかなり低かった。分娩前の母牛の栄養状態が出生子牛の免疫能に影響を与えることが報告されており (芝野ら、2009; 田波ら、2009)、本試験での子牛損耗率の低さは妊娠末期の栄養管理に問題がないことを示していると考えられた。

また、本試験期間中の自然哺乳子牛の離乳までの DG は、黒毛和種子牛の 4 カ月齢までの標準 DG 値 (雄 0.78 kg/日、雌 0.69 kg/日) (黒毛和種正常発育曲線 (全国和牛登録協会、2004) より算出) を上回り発育は良好であり、一般的な飼養管理が良好だっただけでなく、これまでの報告 (岡田ら、1997a; 2002) にあるように母牛の適正な栄養状態が良質の母乳をもたらしていたと考えられた。これらから本試験で用い

た黒毛和種繁殖牛群は良好な生産性を維持している牛群と判断された。

各繁殖ステージにおける血液生化学検査値、BCS、ルーメンサイズ、体重の平均±標準偏差、最大-最小値およびCVを表4-4に示した。黒毛和種では生産性の高い牛群について多項目にわたる血液生化学検査値を調べた報告がないことから、比較のためホルスタイン種優良牛群の血液生化学検査値（以下、H値）の繁殖ステージ別（泌乳初期、泌乳最盛期、泌乳中期、泌乳後期、乾乳期）標準値または全繁殖ステージの標準値（岡田、2005）との比較を以下に示すとともに、本研究データとH値を図4-1に示した。なお、以下の記述でAVは平均値を示す。

非常に恒常性の高い項目であるAlb、GluおよびCaは、両品種とも各繁殖ステージにおいてもばらつきが少なかった（H値：Alb（全ステージのAV:4.1 g/dL、CV:5%）、Glu（全ステージのAV:57-61 mg/dL、CV:8-10%）、Ca（全ステージのAV:10.4 mg/dL、CV:6%））。BUN、FFAはそれぞれCPとエネルギーの短期の出納を反映するが、要求量が大きくなり、出納のバランスがくずれやすい周産期では平均値もばらつきも大きく、特にホルスタイン種でその傾向が強くなっている（H値：BUN（全ステージのAV:13-15 mg/dL、CV:20-23%）、FFA（H値：泌乳前期のAV:225 μ Eq/L、CV:77%、泌乳前期以外のAV:130-185 μ Eq/L、CV:31-47%））。T-cho（H値：全ステージのAV:111-181 mg/dL、CV:20-28%）はエネルギー摂取量と正の相関があり、BHBA（H値：全ステージのAV:572-743 μ mol/L、CV:18-26%）はルーメンの発酵状況を示すものであり、飼料摂取量の多いホルスタイン種で高い値を示している。AST（H値：全ステージのAV:70 IU/L、CV:20%）、GGT（H値：全ステージのAV:28-34 IU/L μ mol/L、CV:11-18%）は肝障害の程度を示すが、両品種とも全繁殖ステージを通じて比較的安定していた。LA（H値：全ステージのAV:6.0-7.6 mg/dL、CV:35-60%）およびNH₃（H値：全ステージのAV:29-34 μ g/dL、CV:11-18）は安定して推移することが重要な項目であり、LAは両品種とも平均値には繁殖ステージによる大きな変化はなかったが、ばらつき（CV）はどちらも大きかった。一方、NH₃は両品種とも繁殖ステージによるAVおよびCVの変動は少なかったものの、両品種の平均値は大きく異なっていた。

今回の黒毛和種繁殖牛の結果では、どの繁殖ステージにおいても血液生化学検査値

の AV は Glu および NH₃ を除いてホルスタイン種に比べ低い傾向がみられたが、繁殖ステージによる AV の推移の仕方はほとんどの血液生化学検査値においてホルスタイン種優良牛群のものと大きな違いはみられず、値と推移、ばらつきも大きな違いはみられなかった。これは繁殖ステージによる生理的な推移の傾向は両品種で変わらないが、ホルスタイン種に比べ黒毛和種繁殖牛は栄養要求量が少なく摂取される飼料も少ないことから、ルーメン発酵や体内代謝の程度が小さかったことを反映していたと考えられた。したがって、ホルスタイン種優良牛群の血液生化学検査値の適正範囲をそのまま黒毛和種繁殖牛に適用することは適切でないと考えられた。しかし、黒毛和種繁殖牛のばらつきの程度やその推移は、多くの血液生化学検査値でホルスタイン種と大きな差が無かったことから、各項目の適正範囲の幅についてはホルスタイン種と大きな差は無いと考えられた。

Kida (2002b) は MPT の適正範囲を設定する場合、乳牛において大量の野外データを用いて乳期毎に平均値±1 標準偏差 (SD) で設定している。一方、岡田 (2005) は適正範囲の設定には、様々な牛群から集めた平均値では高い飼養管理レベルの牛群の評価ができないと考え、優良牛群の平均値±1SD を用いている。そこで、本研究で得られた各 MPT 項目の平均値±1SD を図 4-2 に示した。

黒毛和種繁殖牛ではこれまで MPT 診断のための多項目の血液生化学検査値や BCS の適正範囲が報告されていない。今回の調査は約 1 年 10 カ月間行ったが、この間、調査牛群は高い生産性を示した。また、この牛群では毎日の飼料給与量が明らかであり DMI、TDN および CP の充足率および飼料中の NFC 量が把握されていたことから、本調査の牛群で得られた血液生化学検査値や BCS、ルーメンサイズ (表 4-4、図 4-1 および図 4-2) は生産性の高い牛群の飼養を目的とする MPT 診断の有力な指標になると考えられた。

ただ、本試験が 1 農場のみの成績であることから、黒毛和種繁殖牛における適正範囲の幅については検討を要すると思われる。今後、生産性が高い他の農場の調査や、今回得られた MPT 値の範囲を一般的な農場に当てはめた場合の結果について調べる必要がある。

第 5 節. 要約

適切な飼料給与管理を施した比較的大規模な黒毛和種繁殖牛群（経産牛約 200 頭）の MPT を約 1 年 10 カ月間毎月継続して行い、MPT 各検査項目の適正範囲を検討した。繁殖ステージ（泌乳前期、泌乳後期、乾乳期、妊娠末期、超早期離乳期）毎に分け、各ステージに 1～2 割の牛を毎月無作為に抽出、血液生化学検査値と BCS、ルーメンサイズを測定した（測定頭数は延べ 525 頭、実頭数 113 頭）。この牛群の調査期間中（1 年 10 カ月間）の胚移植受胎率は 60.5%（144/238）、自然哺乳子牛の 4 カ月齢時損耗率は 0.4%（1/230）、発育も良好であった。以上より、当該牛群は生産性の高い牛群であると考えられ、得られた血液生化学検査値、BCS、ルーメンサイズ（平均±標準偏差）は、生産性の高い飼養を目的とした黒毛和種経産繁殖牛群の MPT 診断に有用な参考値になると考えられた。

表 4-1. 各交配期における調査対象牛群の年齢、産次および交配開始時の空胎日数

| 交配期 | | 年齢 | 産次数 | 空胎日数 | |
|-----|-------------------|------|-----|------|-----|
| A 期 | (平成 23 年 5- 7 月) | 平均 | 5.5 | 3.3 | 112 |
| | | 標準偏差 | 2.6 | 1.7 | 137 |
| B 期 | (平成 23 年 10-12 月) | 平均 | 6.0 | 3.6 | 131 |
| | | 標準偏差 | 3.3 | 2.3 | 171 |
| C 期 | (平成 24 年 5- 7 月) | 平均 | 5.6 | 3.2 | 187 |
| | | 標準偏差 | 3.2 | 2.1 | 213 |
| D 期 | (平成 24 年 10-12 月) | 平均 | 5.8 | 3.5 | 151 |
| | | 標準偏差 | 3.2 | 2.5 | 177 |

表 4-2. 各繁殖ステージにおける栄養充足率

| 繁殖ステージ | 栄養充足率* | | | 飼料中 NFC 濃度 (%) | |
|--------|-----------|--------|---------|----------------|------|
| | TDN (%) † | CP (%) | DMI (%) | | |
| 妊娠末期 | 平均 | 96.7 | 97.6 | 86.9 | 21.4 |
| | 標準偏差 | 11.2 | 10.0 | 9.7 | 5.4 |
| 泌乳前期 | 平均 | 92.9 | 83.4 | 87.0 | 26.5 |
| | 標準偏差 | 8.1 | 2.6 | 8.7 | 4.2 |
| 泌乳後期 | 平均 | 89.1 | 81.3 | 84.5 | 20.6 |
| | 標準偏差 | 4.4 | 8.6 | 5.0 | 6.7 |
| 乾乳期および | 平均 | 97.3 | 108.6 | 85.4 | 19.2 |
| 超早期離乳期 | 標準偏差 | 10.0 | 13.7 | 8.4 | 4.9 |

† TDN (可消化養分総量)、CP (粗蛋白質)、DMI (乾物摂取量)、NFC (非繊維性炭水化物) を表す。

栄養充足率は毎月の体重測定結果により日本飼養標準・肉用牛編 (2009) を基に算出した。また、泌乳牛の平均乳量は日本飼養標準・肉用牛編 (2009) を参考に 6kg/日とした。

表 4-3. 繁殖ステージ別胚移植受胎率

| | 新鮮胚 | | | 凍結胚 | | | 合計 | | |
|-------|-----|----|------|-----|----|------|-----|-----|------|
| | 胚移植 | 受胎 | 受胎率 | 胚移植 | 受胎 | 受胎率 | 胚移植 | 受胎 | 受胎率 |
| | 頭数 | 頭数 | (%) | 頭数 | 頭数 | (%) | 頭数 | 頭数 | (%) |
| 泌乳受胚牛 | 53 | 29 | 54.7 | 58 | 40 | 69.0 | 111 | 69 | 62.2 |
| 乾乳受胚牛 | 59 | 38 | 64.4 | 68 | 37 | 54.4 | 127 | 75 | 59.1 |
| 合計 | 112 | 67 | 59.8 | 126 | 77 | 61.1 | 238 | 144 | 60.5 |

表4-4. 黒毛和種繁殖牛における繁殖ステージ毎の血液生化学検査値、BCS、ルーメンサイズおよび体重

| 繁殖ステージ | データ数 | | Alb † (g/dL) | BUN (mg/dL) | Glu (mg/dL) | T-cho (mg/dL) | FFA (μ Eq/L) | Ca (mg/dL) | BHBA (μ mol/L) | AST (IU/L) | GGT (IU/L) | LA (mg/dL) | ACAC (μ mol/L) | NH ₃ (μ g/dL) | 体表 BCS | 尾根部 BCS | ルーメン サイズ | 体重 (kg) |
|--------|----------|----------|-----------------|----------------|----------------|------------------|----------------------|---------------|------------------------|---------------|---------------|---------------|------------------------|----------------------------------|-----------|------------|-------------|------------|
| 妊娠末期 | 実頭数 53 | 平均 | 3.6 | 10.2 | 62 | 92 | 158 | 9.6 | 594 | 54.4 | 16.8 | 5.9 | 20.4 | 57.1 | 3.1 | 3.1 | 3.3 | 498 |
| | | 標準偏差 | 0.2 | 2.3 | 7 | 14 | 79 | 0.4 | 156 | 8.9 | 5.3 | 3.2 | 7.6 | 11.8 | 0.3 | 0.2 | 0.2 | 53 |
| | 延べ頭数 96 | 変動係数 (%) | 6 | 22 | 12 | 15 | 50 | 4 | 26 | 16 | 32 | 54 | 37 | 21 | 10 | 8 | 6 | 11 |
| | | 最大-最小 | 4.1-3.1 | 18.2-4.5 | 113-49 | 130-64 | 434-60 | 10.6-8.9 | 1051-335 | 78-34 | 44.5-6.5 | 19.8-2.3 | 43.2-5.4 | 95.3-32.2 | 4.1-2.5 | 3.7-2.4 | 3.5-2.6 | 648-354 |
| 泌乳前期 | 実頭数 73 | 平均 | 3.8 | 12.1 | 62 | 102 | 104 | 9.4 | 608 | 65.8 | 20.9 | 5.9 | 24.5 | 57.0 | 3.1 | 3.1 | 3.3 | 490 |
| | | 標準偏差 | 0.2 | 1.9 | 7 | 23 | 57 | 0.6 | 177 | 11.2 | 6.3 | 4.5 | 12.0 | 10.6 | 0.3 | 0.3 | 0.2 | 61 |
| | 延べ頭数 100 | 変動係数 (%) | 6 | 16 | 11 | 22 | 55 | 6 | 29 | 17 | 30 | 77 | 49 | 19 | 11 | 9 | 7 | 12 |
| | | 最大-最小 | 4.4-3.3 | 17.7-7.3 | 87-41 | 159-55 | 460-42 | 10.5-7.8 | 1463-392 | 108-45 | 50.5-12.6 | 28.8-1.7 | 84.3-11.4 | 83.3-35.6 | 3.9-2.4 | 3.7-2.3 | 3.5-2.6 | 664-357 |
| 泌乳後期 | 実頭数 57 | 平均 | 3.9 | 12.4 | 61 | 113 | 92 | 9.4 | 592 | 69.4 | 23.4 | 5.2 | 23.0 | 59.6 | 3.0 | 3.1 | 3.2 | 476 |
| | | 標準偏差 | 0.2 | 2.3 | 6 | 27 | 41 | 0.5 | 167 | 14.6 | 8.7 | 3.5 | 10.1 | 12.0 | 0.3 | 0.3 | 0.3 | 56 |
| | 延べ頭数 134 | 変動係数 (%) | 5 | 18 | 10 | 24 | 44 | 6 | 28 | 21 | 37 | 68 | 44 | 20 | 11 | 9 | 8 | 12 |
| | | 最大-最小 | 4.6-3.4 | 18.1-6.8 | 77-42 | 179-63 | 394-40 | 10.6-7.7 | 1322-274 | 161-44 | 75.1-5.3 | 28.5-1.9 | 58.6-7.1 | 106.9-37.3 | 4.0-2.4 | 3.8-2.1 | 3.5-2.5 | 640-350 |
| 乾乳期 | 実頭数 65 | 平均 | 3.8 | 10.7 | 64 | 89 | 115 | 9.5 | 439 | 57.0 | 18.9 | 5.8 | 15.7 | 62.0 | 3.0 | 3.1 | 3.2 | 472 |
| | | 標準偏差 | 0.2 | 2.3 | 5 | 18 | 56 | 0.5 | 104 | 8.5 | 5.0 | 3.8 | 5.3 | 12.9 | 0.3 | 0.2 | 0.2 | 48 |
| | 延べ頭数 158 | 変動係数 (%) | 6 | 22 | 7 | 20 | 48 | 5 | 24 | 15 | 26 | 66 | 34 | 21 | 10 | 8 | 8 | 10 |
| | | 最大-最小 | 4.3-3.1 | 17.7-5.0 | 76-47 | 167-56 | 343-33 | 10.5-7.8 | 743-242 | 84-38 | 42.1-0 | 24.7-1.7 | 30.1-3.9 | 100.9-39.7 | 3.9-2.4 | 3.8-2.3 | 3.5-2.5 | 638-355 |
| 超早期離乳期 | 実頭数 34 | 平均 | 3.7 | 10.8 | 63 | 89 | 125 | 9.7 | 499 | 64.4 | 18.4 | 5.6 | 17.2 | 58.3 | 3.0 | 3.1 | 3.1 | 489 |
| | | 標準偏差 | 0.2 | 2.2 | 4 | 17 | 54 | 0.4 | 106 | 10.4 | 4.7 | 3.3 | 6.2 | 11.5 | 0.3 | 0.2 | 0.3 | 55 |
| | 延べ頭数 37 | 変動係数 (%) | 6 | 20 | 7 | 19 | 43 | 4 | 21 | 16 | 26 | 59 | 36 | 20 | 10 | 6 | 9 | 11 |
| | | 最大-最小 | 4.4-3.4 | 14.7-6.2 | 43-51 | 133-55 | 253-58 | 10.4-8.7 | 797-313 | 93-50 | 26.3-9.2 | 18.6-2.4 | 35.7-9.2 | 95.4-37.1 | 3.9-2.5 | 3.5-2.5 | 3.5-2.5 | 644-400 |

†Alb (アルブミン), BUN (尿素窒素), Glu (血糖), T-cho (総コレステロール), FFA (遊離脂肪酸), Ca (カルシウム), BHBA (β -ヒドロキシ酪酸), AST (アスパラギン酸アミノトランスフェラーゼ), GGT (γ -グルタミルトランスペプチダーゼ), LA (乳酸), ACAC (アセト酢酸), NH₃ (アンモニア), BCS (ボディ・コンディション・スコア) を表す。

変動係数は標準偏差/平均値×100により算出した。

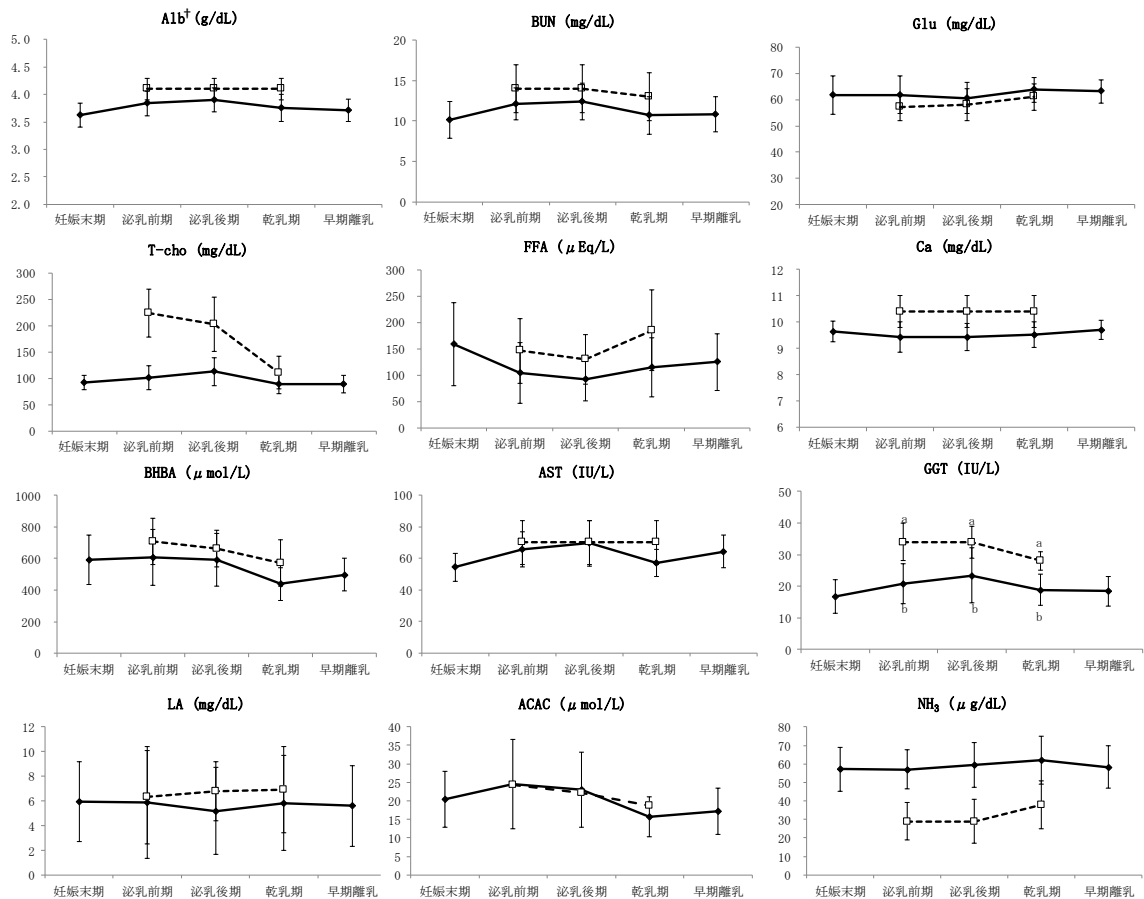


図4-1. 本研究データ（黒毛和種牛群）およびホルスタイン種優良牛群の血液生化学検査値の繁殖ステージ別（泌乳初期、泌乳後期、乾乳期）標準値（岡田 2005）

†Alb（アルブミン）、BUN（尿素窒素）、Glu（血糖）、T-cho（総コレステロール）、FFA（遊離脂肪酸）、Ca（カルシウム）、BHBA（β-ヒドロキシ酪酸）、AST（アスパラギン酸アミノトランスフェラーゼ）、GGT（γ-グルタミルトランスペプチダーゼ）、LA（乳酸）、ACAC（アセト酢酸）、NH₃（アンモニア）、BCS（ボディ・コンディション・スコア）を表す。

妊娠末期は分娩日をDay0としてDay-60～0、泌乳前期はDay1～60、泌乳後期はDay61～120、乾乳期はDay121以降、早期離乳は分娩後すぐに離乳した超早期離乳期を表す。

各グラフ中の実線は本研究で得られた平均値、点線はホルスタイン種優良牛群の平均値を表す。

各グラフ中の泌乳前期、泌乳後期、乾乳期にホルスタイン種の泌乳初期、泌乳後期、乾乳期の平均値を表示した。

各グラフ中のエラーバーは標準偏差を表す。

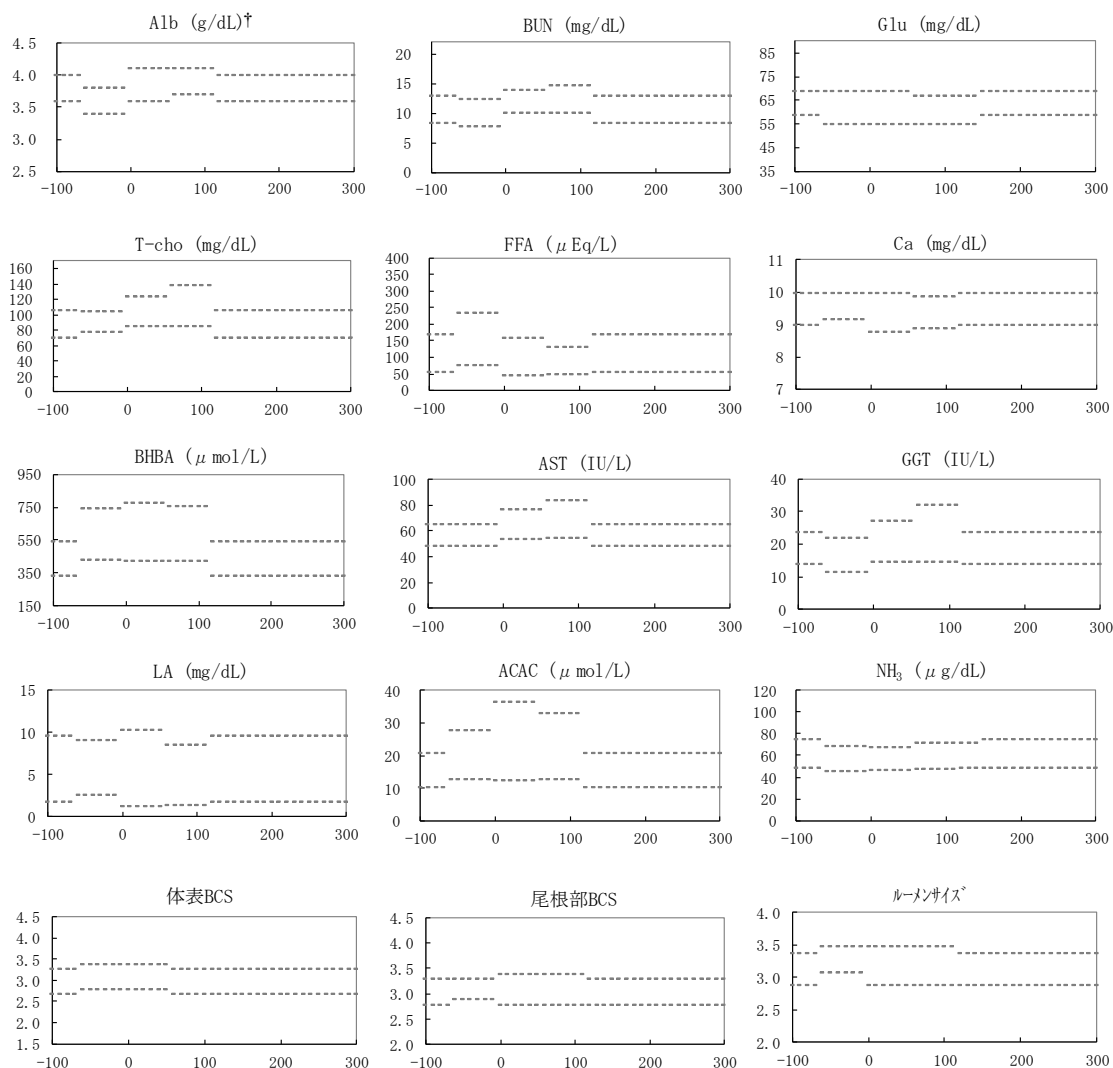


図4-2. 黒毛和種繁殖成雌牛（子付き泌乳牛）におけるMPT各項目の平均値±標準偏差

†Alb（アルブミン）、BUN（尿素窒素）、Glu（血糖）、T-cho（総コレステロール）、FFA（遊離脂肪酸）、Ca（カルシウム）、BHBA（β-ヒドロキシ酪酸）、AST（アスパラギン酸アミノトランスフェラーゼ）、GGT（γ-グルタミルトランスペプチダーゼ）、LA（乳酸）、ACAC（アセト酢酸）、NH₃（アンモニア）、BCS（ボディ・コンディション・スコア）を表す。

各グラフの横軸は分娩日を0日とした分娩後日数（マイナスは分娩予定日前）、縦軸は各項目の血中濃度またはBCS、ルーメンサイズ。各グラフ横軸の-60-1日までは妊娠末期期間、0-120日までは子付き泌乳期間、120日以降は乾乳期間。各グラフ中の点線は本研究で得られた標準偏差+1σ（上限）および標準偏差-1σ（下限）を表す。

第V章 総括

黒毛和種繁殖牛群の生産性向上には繁殖性の改善が重要である。しかし、国内における肉用繁殖牛の受胎率は年々低下する傾向がみられている。その原因は解明されていないが、栄養状態や飼養管理が繁殖性に影響を与えている可能性が示唆されており、牛群の栄養状態や飼養管理の状況を客観的に評価し、問題点の改善方法を提示できる手法が必要と考えられる。また、黒毛和種子牛はホルスタイン種子牛と比べ虚弱とされており、母牛の栄養状態が子牛の健康にも影響を与えることが示唆されており、母牛の分娩前後においても栄養状態のモニタリングは重要と考えられる。本研究では、黒毛和種繁殖牛群の栄養状態をモニタリングする手法としてMPTを取り上げ、特にMPTと繁殖性に着目して血液生化学検査値およびBCSの変動や標準的な値について検討した。

第1章. 黒毛和種繁殖牛群における高粗蛋白飼料の給与が繁殖成績および血液生化学検査結果に及ぼす影響

黒毛和種経産牛の栄養状態と胚移植受胎率の関連性について調査した。泌乳していない黒毛和種経産牛を供試し、I期とII期に分けて試験を実施した。I期はTDN130%、DMI100%以上とし、DCPは考慮しなかった。II期はI期のMPT結果を考慮して、粗飼料に圧片トウモロコシを加えTDN 120%、DCP 200%未満、DMI 100%以上とした。その結果、II期はI期に比べFFAおよびBHBAが有意に低かった ($p<0.05$ 、 $p<0.01$) ことから、低NFCに起因するルーメンの発酵不足によるエネルギー不足が改善されたことが考えられた。また、BUNもII期がI期に比べ有意に低かった ($p<0.01$) ことから、II期ではI期においてみられたルーメン発酵不足と高粗蛋白質飼料によるルーメン内の利用しきれない NH_3 の発生が抑えられたと考えられた。ET受胎率はI期が37.7% (23/61)、II期は65.5% (19/29)とII期が有意に高く改善された ($p<0.05$)。

以上のことから、黒毛和種繁殖牛の受胎率はDCPの過剰摂取やDCPとNFCのアンバランスな場合に低下すること、MPTを基にした飼料設計で改善することが認められた。

第 2 章. 飼料給与方法の違いが黒毛和種繁殖牛における血液生化学検査値に及ぼす影響

飼料給与方法が黒毛和種繁殖牛の血液生化学検査値におよぼす影響を調査した。試験期間中の給与飼料は単一ロットのグラスサイレージのみとした。試験開始後 18 日間 (FN 期間) は飼料給与者の目分量で給与され、飼料摂取中は連動スタンションによる保定をしなかった。FN 期間後の 30 日間 (FW 期間) は、飼料摂取中は連動スタンションで保定することで DMI を均一化し、FN 期間終了時の体重測定結果を基に規定量のグラスサイレージを給与した。両期間の最終日に、無作為に抽出した 10 頭から採血した。BHBA と Alb は、FN 期間後よりも FW 期間後の方が有意に高かった ($p < 0.01$)。FW 期間後の Glu、Alb および LA のバラツキは有意に小さかった (Glu および Alb : $p < 0.01$ 、LA : $p < 0.05$)。このことから、適切な飼料設計のもとで、連動スタンションの利用による適切な飼料給与管理方法は血液生化学検査値に影響を与え、黒毛和種繁殖牛の牛群全体の栄養状態を改善することが示唆された。

第 3 章. 給与飼料の成分変化が黒毛和種繁殖牛の血液生化学検査値に及ぼす影響

給与飼料の急激な変更が黒毛和種繁殖牛の血液生化学検査値に及ぼす影響を調査した。同一の飼料成分および量の基礎飼料を臨床的に健康な黒毛和種経産乾乳牛 1 群 15 頭に約 1 カ月間、1 日 2 回給与した。その後は基礎飼料に加えて、大豆粕 1.5 kg/日/頭を 1 日 2 回追加給与した。採血対象牛は 15 頭のうち無作為に抽出した 5 頭とした。大豆粕給与開始日を Day 0 として、Day -3 および Day 0、1、2、その後は 1 日おきに Day 10 まで採血した。採血は朝の飼料摂取約 4 時間後に頸静脈から 3 種類の真空採血管を用いて行った。

Day -3 を対照として、その後の Day 0 から Day 10 までの各血液生化学検査値を比較した結果、BUN は Day -3 に比べ Day 1 から Day 10 の間で有意に高かった ($p < 0.01$)。NH₃ は Day -3 に比べ Day 1 および Day 2 で有意に高かったが ($p < 0.01$)、その後は低下し Day -3 とほぼ同レベルに戻った。LA は Day -3 に比べ Day 1 で有意に高かった

($p < 0.05$)。ACAC は Day -3 に比べ Day 4、6、8 および 10 で有意に高かった (Day 4、6 および 10: $p < 0.05$ 、Day8: $p < 0.01$)。

これらのことから、黒毛和種繁殖牛における高 CP 飼料への急激な変更では、BUN、 NH_3 、LA および ACAC が増加することが示唆された。また、 NH_3 に比べ BUN の方が CP 摂取量を反映していることが考えられた。有意差はみられなかったものの、大豆粕給与後に FFA や Glu、BHBA にエネルギー不足時に似た変化がみられていることから、TDN 充足率が満たされていてもルーメン環境が変化した場合、血液生化学検査値にはエネルギー不足のような兆候がみられる可能性が示唆された。

第 4 章. 飼料給与管理方法を斉一化した黒毛和種繁殖牛群の生産性と代謝プロファイルテストの値

比較的大規模な黒毛和種繁殖牛群 (経産牛約 200 頭) に斉一性の高い飼料給与管理および飼料設計を実施し、生産性を調査するとともに MPT を約 1 年 10 カ月間毎月継続して行い、MPT 各検査項目の適正範囲を検討した。繁殖ステージ (泌乳前期、泌乳後期、乾乳期、妊娠末期および超早期離乳期) 毎に 1~2 割の牛を毎月無作為に抽出し、血液生化学検査値と BCS、ルーメンサイズを測定した (測定頭数は延べ 525 頭、実頭数 113 頭)。この牛群の調査期間中 (1 年 10 カ月間) の ET 受胎率は 60.5% (144/238)、自然哺乳子牛の 4 カ月齢時損耗率は 0.4% (1/230)、発育も良好であった。以上より、斉一性の高い飼料給与管理を実施した黒毛和種繁殖牛群は生産性が向上すると考えられ、得られた血液生化学検査値、BCS およびルーメンサイズ (平均±標準偏差) は、生産性の高い飼養を目的とした黒毛和種経産繁殖牛群の MPT 診断に有用な参考値となると考えられた。

以上より、本研究では黒毛和種繁殖牛群における栄養状態モニタリングの手法として MPT に着目し、受胎率との関係や飼料摂取および飼料給与管理方法による変動を調査した。その結果、黒毛和種繁殖牛の MPT に影響を与える要因は飼料設計だけでなく、飼料給与管理方法や給与飼料成分の変化の影響を受けることが明らかとなった。

このことから、黒毛和種繁殖牛群の飼料給与管理方法や栄養状態をモニタリングする手法として、MPT が有効であることが明らかとなった。また、繁殖ステージ別の MPT 適正範囲を明らかにしたことで、MPT を指標とした飼料設計や飼料給与管理が可能となった。これにより牛群の繁殖性を高位安定化させることができるため、これらのデータは今後、黒毛和種繁殖牛群において MPT を利用する上で、適正範囲のデータとして活用できる。

Summary

The objective of this study was to utilize the metabolic profile test (MPT) to monitor nutritional status in a Japanese Black cattle herd. In particular, the relationship between MPT and fertility, the variable factors of blood biochemical parameters and body condition score (BCS), and the appropriate range of Japanese black breeding herd using MPT and BCS were investigated.

In Chapter 1, the effect of high crude protein feed intake on embryo transfer (ET), conception rate, and MPT was investigated. It was suggested that the conception rate of embryo transfer decreased with an excess of digestible crude protein (CP) and lack of non-fibrous carbohydrates in the feed. These results indicate that improvement in feed design using MPT improves the embryo transfer conception rate in Japanese Black cattle herds.

In Chapter 2, to explore the relationship between herd feeding management method and blood biochemical parameters, we investigated the effect of weighing feed and use of interlocked stanchions. Even when the same lot of feed was taken, the variability in several items of blood biochemical parameters in the herd was reduced using interlocking stanchions and feeding scale. These results indicate that the blood biochemical parameters fluctuate not only the influence of feed design but also the feeding method.

In Chapter 3, the effect of blood biochemical parameters on sharp change in feed design by increased CP intake was investigated. Not only blood

urea nitrogen, which is the factor that reflects CP intake, but also factors related to energy sufficiency tended to fluctuate erratically; the sharp change was similar to a state of lacking energy. These results indicate that the MPT of Japanese Black cattle should be carried out when the feed components are stable in the MPT.

In Chapter 4, to investigate the parameters of MPT, Japanese Black herd were fed uniformly and their productivity was investigated. The means of blood biochemical parameters other than Glu in Japanese Black cattle tended to be lower than those in Holstein-Friesian dairy cattle at any production stage. Furthermore, it was shown that the appropriate range of Holstein-Friesian dairy cattle could not be applied to Japanese Black cattle. However, there was no difference in the fluctuation of means in the production stage between the Japanese Black herd and Holstein-Friesian excellent herd, especially in the change and fluctuation of parameters.

These results indicate that MPT is an effective method for monitoring the nutritional status of Japanese Black cattle, suggesting that the conception rate would be improved by the modification of feeding management and feed design using MPT as an index.

謝辞

本論文をとりまとめるにあたり、貴重な時間を割いていただき多大なるご指導とご助言を賜りました酪農学園大学農食環境学群・循環農学類 堂地修教授に深く感謝の意を表します。

また、貴重な時間を割いていただき、本論文を校閲していただきました酪農学園大学農食環境学群・循環農学類 中辻浩喜教授、泉賢一教授、酪農学園大学名誉教授 小岩政照博士に深く感謝の意を表します。

さらに、MPT についてご指導いただきました岩手大学農学部共同獣医学科 岡田啓司教授、本論文に関係する著者の発表論文の多くを校閲していただきました元 独立行政法人 家畜改良センター鳥取牧場 小西一之博士、本研究にご協力いただきました独立行政法人 家畜改良センター鳥取牧場 業務課一般職の方々と野口浩正氏をはじめとする技術専門職員の方々に謝意を表します。

引用文献

安保佳一. 1979. 反芻家畜の栄養の特異性. 化学と生物 17 (3) , 149-158

Butler WR. 1998. Symposium: Optimizing protein nutrition for reproduction and lactation: Effect of protein nutrition on ovarian and uterine physiology in Dairy Cattle. *Journal of Dairy Science* 81. 2533-2539.

Butler WR. 2003. Energy balance relationships with follicular development, ovulation and fertility in postpartum dairy cows. *Livestock Production Science* 83. 211-218.

Bergman EN. 1971. Hyperketonemia-Ketogenesis and Ketone Body Metabolism. *Journal of Dairy Science* 54, 936-948.

Blowey RW, Wood DW, Davis JR. 1973. A nutritional monitoring system for dairy herd based on blood glucose, urea and albumin levels. *Veterinary Record* 92, 691-696.

Bowden DM. 1971. Non-esterified fatty acids and ketone bodies in blood as indicators of nutritional status in ruminants: A review. *Canadian Journal of Animal Science* 51, 1-13.

Dochi O, Imai K, Takakura H. 1995. Birth of calves after direct transfer of thawed bovine embryos stored frozen in ethylene glycol. *Animal Reproduction Science* 38, 179-185.

Folman Y, Neumark H, Kaim M, Kaufmann W. 1981. Performance, rumen and blood metabolites in high-yielding cows fed varying protein percents and protected

soybean. *Journal of Dairy Science* 61,759-768..

福島護之, 大坂郁夫, 木村信熙. 2009. 日本家畜臨床感染症研究会編 子牛の科学.
第3章 哺乳期の生理と管理 第2節 子牛の哺乳と栄養 3. 子牛の発育に影響する遺
伝と環境の効果. pp. 116-118. チクサン出版社, 東京.

後藤和文, 江副幹太, 大久津昌治, 加治佐修, 阿久沢正夫, 中西喜彦, 小川清彦, 田
崎道弘, 太田均, 猪八重悟, 立山昌一, 川畑孟. 1988. 黒毛和種供卵牛の血液性状と
卵質の関係. *家畜繁殖学雑誌* 34, 50-55.

細川泰子, 福成和博, 吉川恵郷, 佐藤洋一, 菊池雄. 2008. 過剰排卵処理を施した黒
毛和種牛における採胚成績と給与飼料および BUN/血糖値比の関係. *日本獣医師会雑誌*
61, 699-704.

家畜改良事業団. 2020. [homepage on the Internet]. 家畜改良技術研究所. 東京 ;
[cited 17 July. 2020]. Available from
URL: <http://liaj.or.jp/giken/hanshoku/jyutai.html>

Kayano M, Kida K. 2015. Identifying alterations in metabolic profiles of dairy cows
over the past two decades in Japan using principal component analysis. *Journal of
Dairy Science* 98, 1-11.

木田克弥. 2000. 生産獣医療における牛の生産病の実際 (内藤善久, 浜名克己, 元井
葎子編). II 代謝プロファイルテストの実際 pp. 13-33. 文永堂, 東京.

Kida K. 2002a. The metabolic profile test: Its practicability in assessing feeding
management and periparturient diseases in high yielding commercial dairy herds.
Journal of Veterinary Medical Science 64 (7) , 557-563.

Kida K. 2002b. Use of every ten-day criteria for metabolic profile test after calving and dry off in dairy herds. *Journal of Veterinary Medical Science* 64 (11) , 1003-1010.

木田克弥. 2006. 乳牛管理の基礎と応用 (柏村文郎, 増子孝義, 古村圭子編著). 第4節 乳牛の代謝プロファイルテスト pp334-347. (株) デーリィ・ジャパン社, 東京.

Kronfeld DS. 1972. Diagnosis of metabolic diseases of cattle. *Journal of American Veterinary Medical Association*. 161 (11) , 1259-1264.

久米新一. 2014. 黒毛和種子牛の栄養管理と疾病予防. *関西畜産学会報* 171, 9-15.

丸尾喜之, 沢田勉, 稲葉俊夫, 小西一之, 斉藤則夫, 森純一. 1987. 黒毛和種供卵牛の過剰排卵処置前後の血漿中総コレステロール濃度と卵巣反応. *日本畜産学会報* 58, 711-713.

McPhee C P, McBride G, James J W. 1964. Social behaviour of domestic animals III. Steers in small yards. *Animal Science* 6, 9-15.

農林水産省農林水産技術会議事務局編. 2000. 日本飼養標準 肉用牛 (2000年版), pp4-99. 農林水産省農林水産技術会議事務局, 東京.

農業・食品産業技術総合研究機構編. 2009. 日本飼養標準 肉用牛 (2008年版). pp. 34-35, 58-59, 86-90, 135-136, 139-140. 中央畜産会, 東京.

農林水産省. 2010. 牛受精卵移植実施状況 (H21年度) [homepage on the Internet].

農林水産省畜産部．東京；[cited 8 Nov. 2020]． Available from URL:
http://www.maff.go.jp/j/chikusan/sinko/lin/l_katiku/pdf/21_gaiyou.pdf

農林水産省．2015a．牛受精卵移植実施状況（平成27年度）[homepage on the Internet]．農林水産省畜産部．東京；[cited 8 Nov. 2020]． Available from URL:
https://www.maff.go.jp/j/chikusan/sinko/lin/l_katiku/attach/pdf/index-10.pdf

農林水産省．2015b．ET チャレンジ 50 達成機関（H25年度）[homepage on the Internet]．農林水産省畜産部．東京；[cited 28 Nov. 2015]． Available from URL:
http://www.maff.go.jp/j/chikusan/sinko/lin/l_katiku/pdf/h25et50_ivf40.pdf

Nutrient Requirements of Dairy Cattle Seventh Revised Edition, 2001. 2001. National Academy of Science. 日本語翻訳版. 5 タンパク質とアミノ酸. pp43-101. (株) デーリィ・ジャパン社、東京

小原嘉昭．2006．ルミノロジーの基礎と応用．第3章 栄養生理の解明と新たなアプローチ 第3節 窒素代謝と炭水化物代謝の関連性．pp112-115．（社）農村漁村文化協会，東京．

小形芳美．2009．日本家畜臨床感染症研究会編 子牛の科学．第2章 出生時の生理と管理 第7節 新生子牛の特徴と疾患 3. 周生期死亡と新生子期の多発疾病 pp. 92-94. チクサン出版社，東京．

岡田啓司．1999．全国家畜畜産物衛生指導協会．生産獣医療システム肉牛編．第5部 代謝プロファイルテスト pp. 183-194．（社）農山漁村文化協会，東京．

岡田啓司．2001．全国家畜畜産物衛生指導協会．生産獣医療システム乳牛編3．第1部 代謝プロファイルテストを基本とした栄養管理．pp. 7-65．（社）農山漁村文化

協会，東京．

岡田啓司．2005．日本獣医内科アカデミー編．獣医内科学．第17章 生産獣医療システム 第I章～第V章，第VIII章 pp. 297-317．文永堂出版株式会社，東京．

岡田啓司，深谷敦子，志賀瀧郎，平田統一，竹内啓，内藤善久．2003a．黒毛和種母牛の飼料変更による乳成分の変化と子牛の白痢．日本獣医師会雑誌 56，311-315．

岡田啓司，古川岳大，安田準，内藤善久．2003b．高デンプン飼料給与時の乳牛の血中およびルーメン液中 D/L 乳酸，アンモニア濃度の推移，日本獣医師会雑誌 56，450-454．

岡田啓司，菊地薫，三浦潔，佐藤利博，森田靖，田高恵，荻野朋子，金田義宏．1997a．黒毛和種子牛の白痢とアルコール不安定母乳の関係．日本獣医師会雑誌 50，74-79．

岡田啓司，佐藤忠弘，佐々木重荘，赤坂茂，下山茂樹，佐々木洋子，高橋覚志，平田統一．1997b．採食前後における乳牛血液成分の変動．日本獣医師会雑誌 50．220-223．

岡田啓司，志賀瀧郎，戸川晶子，深谷敦子，平田統一，竹内 啓，内藤善久．2002．黒毛和種牛における給与飼料変更後の胃汁および血液性状の変化と子牛白痢の発症．日本獣医師会雑誌 55，209-214．

岡田啓司，田高恵，佐藤忠弘，村田修，伊藤真，渡辺一雅，下山茂樹，佐々木重荘，金田義宏．1997c．黒毛和種繁殖母牛の栄養状態と子牛白痢の発生．日本獣医師会雑誌 50，209-213．

岡田啓司，安田準．2001．代謝プロファイルテストのためのウシ血液の採取・保存方法の検討．日本家畜臨床学会誌 24，13-18．

扇勉, 前田善夫, 伊東季春, 梶野清二, 岸昊司, 松田信二, 安里章, 臼井章. 1989. 北海道における乳牛群の代謝プロファイルテスト. 日本獣医師会雑誌 42, 306-311.

大塚浩通. 2009. 肉用子牛の栄養と免疫. 栄養生理研究会報 53 (2), 1-9.

Payne JM, Dew SM, Manston R, Faulks M. 1970. The use of a metabolic profile test in dairy herds. Veterinary Record 87, 150-158.

Payne JM, Payne S. 1987. The Metabolic Profile Test. Oxford University Press. Oxford. UK.

笹木教隆, 河合隆一郎, 小林修一, 生水誠一, 近藤守人, 松井司, 前田淳一. 1998. 乳牛における胚移植の受胎成績と飼料給与の関係. 日本獣医師会雑誌 51, 583-587.

笹木教隆, 河合隆一郎, 前田淳一. 2001. 供胚牛における血中アンモニア濃度と給与飼料が胚回収成績に及ぼす影響. 日本畜産学会報 72 (9), J337-J342.

笹木教隆, 田中 健, 谷村英俊, 朝倉利江, 福井幸昌. 2007. 受胚牛における血中アンモニア濃度と胚移植成績および流産の関係. 日本胚移植学雑誌 29, 99-104.

佐藤 博. 1986. 乳牛における血液成分とその栄養生理的意義. 日本畜産学会報 57, 959-970.

佐藤 博, 渡辺彰. 1993. 肉牛における粗飼料採食量と血漿酢酸濃度の関係 (短報). 日本畜産学会報 64 (1), 68-70.

芝野健一, 大塚浩通, 嵐 泰弘, 黒木智成, 斎藤隆文. 2009. 黒毛和種牛の周産期に

における低栄養が出生子牛の血液性状に及ぼす影響. 日本獣医師会雑誌 62, 538-541.

Shimada K, Izaike Y, Suzuki O, Oishi T, Kosugiyama M. 1988. Milk yield and its repeatability in Japanese Black cows. *Asian-Australasian Journal Animal Science* 1 (1) , 47-53.

新宮博行, 甫立孝一, 櫛引史郎, 上田靖子, 渡辺 彰, 松本光人. 2002. 黒毛和種および日本短角種の乳量および乳成分の変化. 東北農研研報 100, 61-66

菅野美樹夫, 篠木忠, 本間強, 根本光輔, 小林雄治. 1997. 黒毛和種供胚牛の血液成分を指標とした供胚牛選定の検討. 日本胚移植学雑誌 19 (3) , 169-174.

田波絵里香, 大塚浩通, 向井真知子, 小比類卷正幸, 安藤貴朗, 小形芳美, 川村清市. 2009. 妊娠末期における母牛の栄養状態が出生後の黒毛和種産子の末梢血白血球ポピュレーションに及ぼす影響. 日本獣医師会雑誌 62, 623- 629.

谷本保幸, 藤原信一. 2009. 独立行政法人家畜改良センターにおける肉用牛改良の取り組み, 肉用牛研究会報 87, 2-8.

植竹勝治. 2017. 動物の飼育管理 (鎌田壽彦, 佐藤 幹, 祐森誠司, 安江健編著). 第4章 動物の福祉 pp55-73. 文英堂出版, 東京

渡邊貴之, 熊谷周一郎, 野口浩正, 前田昌稔, 小西一之. 2015. 黒毛和種繁殖雌牛における代謝プロファイルテストのための最適な採血時間の検討. 肉用牛研究会報 98, 9-12.

Watanabe U, Okamoto K, Miyamoto A, Otoi T, Yamato O, Tshering C, Takagi M. 2012. A Japanese Black breeding herd exhibiting low blood urea nitrogen: A

metabolic profile study examining the effect on reproductive performance. *Animal Science Journal* 84, 389-394.

Watanabe U, Takagi M, Yamato O, Otoi T, Tshering C, Okamoto K. 2013. Metabolic Profile of Japanese Black Breeding Cattle Herds: Usefulness in Selection for Nutrient Supplementation to Enhance Reproductive Performance and Regional Differences. *Journal of Veterinary Medical Science* 75 (4) , 481-487.

West H J. 1990. Effect on liver function of acetonaemia and the fat cow syndrome in cattle. *Research in Veterinary Science* 48 (2) , 221-227.

全国和牛登録協会. 2004. 黒毛和種正常発育曲線. pp. 30-33. (社) 全国和牛登録協会, 京都.