HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	早期離乳を基本とした乳用子牛の液状飼料期、移行期および反芻期における総合的な飼養方法の再構築
Author(s)	大坂, 郁夫
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(農学)
Dissertation Number	乙第6988号
Issue Date	2016-03-24
DOI	https://doi.org/10.14943/doctoral.r6988
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/61821
Type	doctoral thesis
File Information	Ikuo_Osaka.pdf

Hokkaido University Collection of Scholarly and Academic Papers : HUSCAP

早期離乳を基本とした乳用子牛の液状飼料期、移行期および反芻期における総合的な飼養方法の再構築

北海道大学　大学院農学院

大坂　郁夫

目　　次

第Ⅰ章　緒　　言…… 1
　１．研究の背景と目的…… 1
　２．既往の関連研究…… 7

第Ⅱ章　液状飼料期における新生子牛への初乳給与法の検討〔試験 1〕…… 11
　１．目　　的…… 11
　２．材料と方法…… 11
　３．結　　果…… 14
　４．考　　察…… 16

第Ⅲ章　早期離乳における液状飼料期および移行期の特定と乾草給与の意義…… 19
Ⅲ-1　液状飼料期から移行期おける乾草給与の有無が発育に及ぼす影響〔試験 2〕…… 19
　１．目　　的…… 19
　２．材料と方法…… 20
　３．結　　果…… 23
　４．考　　察…… 29
Ⅲ-2　液状飼料期から反芻期における乾草の質の違いが発育に及ぼす影響〔試験 3〕‥ 35
　１．目　　的…… 35
　２．材料と方法…… 35
　３．結　　果…… 37
　４．考　　察…… 40

第Ⅳ章　6 週齢離乳における代用乳の増給が液状飼料期および
　　移行期の発育に及ぼす影響…… 42
Ⅳ-1 代用乳量および哺乳方法の違いが人工乳摂取量、発育および
　　疾病発症に及ぼす影響〔試験 4〕…… 42
　１．目　　的…… 42
　２．材料と方法…… 43

３．結　　果…… 44
４．考　　察…… 47
Ⅳ-2 厳寒期における代用乳量の違いが人工乳摂取量、発育および
疾病発症に及ぼす影響〔試験 5〕…… 50
１．目　　的…… 50
２．材料と方法…… 50
３．結　　果…… 52
４．考　　察…… 55
Ⅳ-3 哺乳期間の発育が、離乳後の発育に及ぼす影響〔試験 6〕…… 57
１．目　　的…… 57
２．材料と方法…… 57
３．結　　果…… 58
４．考　　察…… 63

第Ⅴ章　総合考察…… 65

摘　　要…… 72

謝　　辞…… 75

引用文献…… 76

Ⅰ章　緒言

1. 研究の背景と目的

日本の酪農家戸数は、1963年をピーク（約41.8万戸）に、特に1975年から1985年の10年間で16万戸から8.2万戸と半減した。その後も年率4～5%の酪農家が離農し、2014年には18,600戸まで減少してきている(農林水省 2014b)。北海道の酪農家戸数も同様の傾向をたどり、1960年の63,900戸から2014年には6,900戸と約1/10まで減少した。反面、一戸当たりの飼養頭数は、年々増加し、2014年では全国平均75.0、北海道平均では115.3頭となっている(農林水省 2014b)。また、1頭あたりの乳生産量も育種･改良による遺伝的な泌乳能力の向上や飼養技術等の開発・進歩により、北海道の乳量は1975年には各々5,900kg、1989年には7,818kg、1992年には8,000kg、その11年後の2003年には9,000kgを突破し、着実に乳量を高めてきた(乳用群検定全国協議会 2015)。このように各地域での乳生産は、規模拡大と乳量向上により、酪農戸数減少をカバーすることで、その量を確保してきた。

しかし、近年では労働力の確保が困難なことや施設改修のコストが嵩むため、減少した酪農家戸数の飼養頭数を補完するだけの増加飼養頭数に至っておらず、一頭当たりの乳量も2003年度以降、現在までほぼ横ばい状態で推移している(農林水産省 2015)。これは、平均除籍産次が2002年～2012年の10年間に、4.2産から3.5産に減少しており(乳用群検定全国協議会 2015)、遺伝的な泌乳能力を発揮する前に淘汰される割合が多い

ことを示している(農林水産省 2014a; 農林水産省 2014b; 家畜改良センター 2014)。

こうした情勢により、収益性を向上させるためには乳生産向上に加えて、「長命で連産可能な子牛からの牛作り」も重要課題として位置づけられている (乳用牛ベストパフォーマンス実現会議 2015)。しかしながら、届出情報の統計(家畜改良センター 2015) によれば、ホルスタイン雌牛が24か月齢以内に死亡した頭数のうち、生後3か月齢未満で死亡は６割近くを占めており、酪農家にとって搾乳する以前に大きな損失を被っている。この中には、奇形や先天的な虚弱等の要因による死廃も含まれるが、多くは初乳給与や哺乳期の管理など人為的な飼養方法のミスが指摘されている（乳用牛ベストパフォーマンス実現会議 2015）。

新生子牛はその母牛の胎盤の構造（加藤 1979）から免疫グロブリン(Immnogroblin: Ig)を持たずに生まれてくる。Ig は初乳に移行されるため、新生子牛は初乳を摂取することで Ig を獲得するが、十分に Ig を摂取できないとその後の生存率が低下する(Sandra 2008)。新生子牛が十分な Ig を吸収するのに影響を与える主な要因は、初乳給与までの時間と Ig の摂取量である(QuIgley と Drewry 1998)。新生子牛の Ig 吸収率は出生直後から低下し(Rajala と Castren 1995)、約 24 時間後には吸収力の大部分が喪失する(Staley と Bush 1985)。National Research Council (NRC 2001)は、Ig の移行量を高めるため、可能な限り早急に 1 回目の給与を行い、12 時間以内に２回目の給与をする方法や、１回給与で食道カテーテルを利用して初乳を多給する方法を推奨している。

しかし、この初乳給与法は、必ずしも早期に給与できない、複数回の給与は労力が増加する、あるいはカテーテルの使用に熟練を要すること等から、生産現場でこれらを実践できる酪農家は極めて限定されている。初乳給与までの時間と Ig 摂取量の関係や、初乳を給与するまでの許容可能な時間が科学的に示され、初乳給与が多くの酪農家で実践可能な方法に改善されれば、新生子牛の死廃率を低減させることが可能になる。

哺乳期間中の子牛による乾草摂取は栄養源にならず、結果的にエネルギー摂取量が制限されるとされている(NRC 2001)。人工乳給与で細かな飼料片は絨毛の間に詰まり角質化する(Bull ら 1965)が、Warner(1991)は、篩のメッシュサイズで 1.18 mm を通過しない飼料片を十分含む人工乳が給与されれば乾草を給与しなくても物理的刺激を与える効果があると報告しており、1.18 mm 以上の粒度を「十分な飼料片の大きさ」の基準とし、このような大きさを含む人工乳は「テクスチャータイプ」と定義している。

テクスチャータイプの人工乳が給与されていれば、離乳するまで乾草のような長い形状の乾草は哺乳期に給与すべきではない(Davis と Drackley 1998)という報告もある。しかし、ペレットを含む人工乳もテクスチャータイプとして扱われていることから、Montro ら(2013)はテクスチャータイプとして生産されている市販品の人工乳すべてが同じような効果があるとは限らない、と指摘している。また、哺乳期間の粗飼料給与の是非についても、統一された見解には至っていない(NRC 2001; 農研機構 2006)。これは、栄養としての粗飼料(Stobo ら 1966; Anderson ら

1987a, 1987b; Williams と Frost 1992)とルーメン発達を助長する役割としての粗飼料(Tamate と McGilliard 1962; Khan ら 2011b; Laarman と Oba 2011)のどちらに焦点を当てて論じられているか、粗飼料の物理的形状によっても効果は異なると考えられる。さらに、子牛が粗飼料から十分な養分量を摂取できるようになるのは離乳から体重 100 kg までの時期と推察されるが、この時期に関する実証データはほとんどない (NRC 2001)。

したがって、子牛の成長段階において、乳、人工乳、粗飼料が主要な栄養源として利用できる時期を具体的に提示することにより、栄養とルーメン発達の両方を考慮した適切な飼料の選択と給与が可能になり、延いては哺育期から離乳後 3 か月齢程度までの発育の改善が見込まれる。

生まれて間もない子牛のルーメンは物理的に未発達で生理的にも機能していない(Kahn ら 2011)。子牛の飼養において、主たる栄養源は全乳または代用乳から、人工乳、粗飼料と変化するが、液状飼料（全乳または代用乳）から固形飼料（人工乳や粗飼料）へ円滑に移行させることが、体重ロスを最小限にする上で重要である(Weary ら 2009)。

従来からホルスタイン子牛の哺乳方法は、離乳後の固形飼料摂取量を高め良好な発育をさせることを重視して、哺乳量を 4.0～4.5 L/日に制限し、哺乳初期から人工乳の摂取を促して第一胃を発達させ、6 週間程度で離乳させる「早期離乳法」が推奨(農研機構 2006）されている。生産現場では、乳成分が年間を通して安定している代用乳を哺乳牛に給与する酪農家が多く、代用乳を 4.0～4.5 L/日給与する方法が定着している。

しかし、近年では哺乳期および離乳後の発育の両方の発育を改善するために哺乳量を高める、あるいは自由摂取させる方法が試みられている（Jasper と Weary 2002; Jensen 2006; Roth ら 2009; Sweeney ら 2010; Khan ら 2007a, 2011a)。哺乳期の乳脂肪量の増加による人工乳摂取量が減少する(Kuehn ら 1994)ことを回避するため、Khan ら(2007a)は哺乳量を高めつつ哺乳期間を延長して哺乳量を漸減させながら離乳までに人工乳摂取量を増加させる方法を提案しているが、彼らの報告は全て全乳を用いた結果であり、代用乳を用いて哺乳量を高めた試験(Quigley ら 2006)はほとんどない。

代用乳は全乳と比較して脂肪含量が低く設定されているので、エネルギー含量は 10～20%少ない。若齢の子牛は断熱効果が小さいので外気温が 15℃を下回ると子牛は体温維持にエネルギーを消費する NRC(2001)。北海道のような地域の厳寒期には、代用乳の制限哺乳は体温維持の要求量にも満たないエネルギー量になることがある。しかし、脂肪含量が全乳より低い代用乳量の増給は、哺乳期の発育改善と、脂肪増加量が少ないため人工乳摂取量の抑制は少なくしつつ早期離乳でも離乳に必要な人工乳摂取が期待できる有効な方法である。

NRC(2001)では、出生から 3 か月齢程度までの子牛の栄養摂取は消化機能の点から次の三期に区分している。

・液状飼料期：全て乳(全乳または代用乳)に依存する時期

・移行期：乳と子牛用配合飼料(人工乳)に依存する時期

・反芻期：全て固形飼料(人工乳と粗飼料)に依存する時期

特に哺乳期間中において、ルーメン発達と関連づけた液状飼料主体から固形飼料主体の栄養摂取につなげる移行期の時期、および液状飼料と固形飼料からの栄養摂取割合についての知見が重要であり、これらを明らかにした後に離乳時期が示されるべきである。

これまでは、管理上の点から初乳給与法、哺乳期飼養法、離乳以降の飼養法に区分して、ルーメン発達に必要な飼料、栄養源として必要な飼料、哺乳量と人工乳摂取量の関連、人工乳摂取量と乾草摂取量の関連等別々に論議がされてきたが、早期離乳において総合的な検討はされていない。したがって、我が国の酪農産業で問題となっている労力不足を考慮するならば、早期離乳を前提とした発育改善に関する技術の再検討と飼養方法の再構築が必要である。

以上の観点から本研究は、NRC(2001)に従い、子牛の出生から 3 か月齢までを、液状飼料期、移行期および反芻期に分けて新たに検討した。第Ⅱ章では、液状飼料期のスタートである新生子牛を供試して生産現場で実践可能で必要な Ig 量を賦与できる初乳給与法について検討し直した。第Ⅲ章では、哺乳期おいて液状飼料期および移行期の特定と液状飼料期から反芻期までの期間を通して子牛への乾草給与の意義について検討した。第Ⅳ章では 73 頭のホルスタイン子牛を供試して 6 週齢離乳における代用乳量増給が液状飼料期と移行期を通した人工乳摂取量および発育に及ぼす影響について厳寒期と非厳寒期に分けて検討するとともに、離乳後の発育に及ぼす影響について検討した。第Ⅴ章ではそれらの結果を総合的に考察し、子牛の総合的飼養管理法の再構築を試みた。

2. 既往の関連研究

新生子牛への初乳給与法

子牛は、分娩後 24～48 時間で血清中 IgG が 10 mg/ml 未満の場合、「受動免疫移行不全(Failure of passive transfer: FPT)」と定義される (Weaver ら 2000)。血清中の初乳からの免疫グロブリン G(IgG)濃度が低い子牛は、高い子牛と比較して離乳前の疾病率や死廃率が高くなり(National Animal Health Monitoring system. Dairy, 1996)、特に子牛の血清中 IgG 濃度が 10 mg/ml 未満の死廃率は、それ以上の子牛と比較して２倍以上に高まる(Wells ら 1996)。

初乳からの IgG 移行に影響を与える主な要因は初乳給与までの時間と初乳からの IgG 摂取量である(Stott ら 1979b, 1979c)。Staley と Bush (1985)は、子牛の腸管上皮細胞から IgG のような巨大分子を吸収できる能力は、出生後 24 時間程度で失われる、と報告している。小腸からのみかけの IgG 吸収効率（Apparent efficiency of absorption: AEA) は出生後、まもなく低下し始める (Abel と Quigley 1993; Rajara と Castren 1995)。Hopkins と Quigley (1997)は、血清中 IgG 濃度は IgG 摂取量と正の相関があることを示した。これらの知見から、出生後、可能な限り速やかに IgG 濃度の高い初乳を十分量子牛に給与することが推奨されている(NRC 2001) 。

以前から多くの研究者が、FPT を回避するために４L 程度の初乳給与を提案してきた (Roy 1980; Besser ら 1991; Hopkins と Quigley 1997).これらの研究では、多くの初乳を新生子牛に摂取させる方法として食道カテーテルの利用や頻回給与を推奨している。しかし、これらの方法は熟練

を要する、あるいは初乳給与の作業が増加するためほとんど普及されていない。また、初乳は 1 回につき 2L の給与が生産現場で固定化されており、子牛が初回の初乳給与時に自力で摂取可能な量についても不明である(Hopkins と Quigley 1997)。

Todd と Whyte(1995)は、初乳給与が出生後 1～8 時間であれば、初乳給与までの時間と子牛の血清中 IgG 濃度に有意な差が無かったことを報告している。この結果について、彼らは、IgG 濃度が高い初乳を給与したため初乳給与の遅れを代償したと考察している。この研究では、子牛へ給与する初乳の IgG 濃度を一定にして給与していたが、このような方法は生産現場では極めて困難である。

以上のことから、一般的な酪農場の管理条件下でも実施可能な FPT を低減する初乳給与法は未だ明らかではなく、新たに示す必要がある。

哺乳期における子牛への乾草給与の意義と発育ステージ別の主要な栄養源の特定

全乳や代用乳は、人工乳よりも代謝エネルギーへの変換効率が高い(NRC 2001)ため、哺乳期の増体量を高めるのに有効であるが、絨毛の発達には寄与せず、人工乳や乾草の固形飼料摂取量を低下させる（Jasper 2002）。第一胃上皮組織の発達には固形飼料の化学的、物理的の刺激が必要である(Warner 1991)。人工乳は、絨毛の発達を刺激する揮発性脂肪酸（Volatile fatty acids: VFA）の産生量が多いため粗飼料よりも絨毛の発達が促進される（Flattら 1958）。反面、人工乳の発酵は早いので、その

過剰摂取はpHの低下（Beharkaら 1998）を誘引し、第一胃絨毛は角質・ケラチン化（Gillilandら 1962; NocekとKesler 1980）してパラケラトーシスとなり、VFA吸収量は減少（HindersとOwen 1965）する。

一方、哺乳期の乾草給与は、筋層や第一胃上皮の発育に効果がある（Tamateら 1962; Suárez ら 2007）が、乾草の摂取割合が多いと人工乳の摂取量が低下する（Hillら 2008)。Porterら(2007) は、パラケラトーシスを防ぐには、飼料の繊維含量よりも飼料片の大きさや形状がより重要であると報告している。国内で最も流通している人工乳は、ペレットと圧片とうもろこしや圧片小麦など原料の形状のある穀類飼料が混合されており、化学的刺激と物理的刺激の両方の効果が期待できるが、国内産の人工乳を用いて乾草給与の有無を検討した報告はない。また、NRC(2001)は、哺乳から育成期について、乳または代用乳でほぼ全ての栄養源を充足する段階（液状飼料期)、液状飼料と人工乳から栄養源を充足する段階(移行期)、第一胃の微生物発酵を通して固形飼料から栄養源を充足する段階（反芻期）の3段階に分けているが、具体的な時期は示されていない。

6週齢離乳を前提とした代用乳の増給による液状飼料期、移行期および反芻期を通した発育効果

多くの国で育成コストを最小にして初産時乳生産を最大にするために、推奨する初産分娩月齢は22.5～24.5か月齢と算出しており(Pirloら 2000; EttemaとSantos 2004; Mohd Norら 2013; Krpálkováら 2014)、各育成

ステージにおける目標成長速度が提示され、2か月齢の体重は8週齢離乳で生時体重の2倍と設定されている(Hoffman 1997; Kerzら 1998)。制限哺乳は哺乳期の人工乳摂取量を高める効果があるが、人工乳は乳汁よりも、代謝エネルギーへの変換効率が低いため、発育を低下させる(NRC 2001)。また、厳寒期における代用乳の制限哺乳は、体温維持のための要求量が高まり、代用乳は生乳と比較してエネルギー含量が低いため発育停滞が予想される。

一方、哺乳量を高めると人工乳の摂取量低下(Hammonら 2002; Jensen 2006; Quigleyら 2006)により、ルーメン発酵や発達する時期が遅れる(Baldwinら 2004)ことが知られている。近年では、哺乳期と離乳後の発育改善を目指して、哺乳量増加と離乳に向けての漸減により、哺乳期および離乳後の発育が改善されることが報告されている。(Khanら 2007b; Rothら 2009; Sweeneyら 2010)。

これらの研究は、長期の哺乳期間(49～84 日)における乳成分の異なる全乳を用いた検討結果であり、代用乳を用いて 6 週齢離乳を条件とした発育改善効果を示した報告はない。また、代用乳の成分や濃度については試験ごとに慣行法として使用された成分が異なる(Kuehn ら 1994; Jensen 2006; Montro ら 2013)ため統一された見解が無い。さらに、厳寒期における代用乳量が発育に及ぼす影響について報告している研究はない。

Ⅱ章　液状飼料期における新生子牛への初乳給与法の検討

〔試験１〕

1. 目　的

FPT の回避には、初乳からの IgG 摂取量と出生から初乳給与までの時間が重要である。この知見に基づき、初乳給与を新生子牛へ 2 回に分けて給与する方法 (Roy 1980)、1 回給与でカテーテルを利用して給与する方法(Besser ら 1991; Morin ら 1997)により FPT は劇的に低減する。しかし、これらの方法を生産現場で全頭に対して処置するには時間的、労力的に極めて実践が限定される方法である。そこで本試験では、一般的な酪農場の管理に準じた方法で、血清中の IgG 濃度に関連する初乳給与までの時間、子牛の初乳摂取量と IgG 摂取量の関係について、より明確に定義し、生産現場で FPT を回避させる条件を検討した。

2. 材料と方法

ホルスタイン子牛 44 頭(雄 19; 雌 25) を供試した。初乳を直接母牛から摂取させないように全頭の分娩に立会い、分娩後は速やかに子牛を母牛から分離した。出生時刻を記録した後、子牛は初乳給与まで消毒して麦稈を敷いたペンに移動した。母牛からの初乳の搾乳は 0600 時または 1600 時のどちらかに行い、保管した初乳は分娩した子牛へ 0930 時または 1630 時のいずれかに給与した。子牛への初乳給与は 乳首付きバケツで母牛の初乳を 4 L 給与した。子牛にさらに初乳を飲む意欲が見られた

場合、最初に給与した初乳を飲みきる前に、さらに 2L の初乳をバケツに追加した。

母牛の初乳量が少ない場合、またはその他の理由で初乳が利用できない場合は、初乳給与前に同群のほかの牛の凍結初乳（室温で比重 1.05 以上）を解凍して、最初に母牛の初乳を給与した後、補助的に凍結初乳を給与した。ジッパー付きビニール入れて-30ºC で凍結された初乳は、通常のビール袋で覆い解凍するまで 40~45ºC の湯に浸した。初乳摂取量は子牛に給与した量とバケツの残量との差とした。採血は初乳給与前と給与 24 時間後に行った。

出生から初乳給与までの時間により、子牛データは以下の 4 つに分類した。

A = 1 時間未満 (n = 5)

B = 1 時間以上 6 時間未満 (n = 10)

C = 6 時間以上 12 時間未満(n = 21)

D = 12 以上 18 時間未満(n = 8)

1 頭は出生後 20 分で給与したが 1.5 L しか摂取しなかったためデータセットから外した。凍結初乳だけを摂取した子牛はグループ A, B, C, D, で各々1, 2, 3, 0 頭だった。初乳給与後 24 時間に子牛から採血後、全乳で哺乳を行った。哺乳量は 1 回 2 L とし、1 日 2 回 0930 時と 1630 時に乳首付きバケツで給与した。

各子牛に給与した初乳のサンプルは、IgG 分析に用いた。初乳は 4ºC で 18,000g × 30 分間 遠心した後、上清を-30ºC で保存した。

血液サンプルは、18G の注射針付き 10 mL 注射筒で頚静脈から採取し、真空採血管（Venoject Ⅱ テルモ株式会社、東京）に移し替えた。血液は、室温で 30 分間凝固させた後、20ºC で 2,000 g ×10 分間遠心した。血清をプラスティックチューブに分注して-30ºC で保存した。 脱脂した初乳の上清と血清の IgG 濃度は一元放射免疫拡散法 (メタボリックエコシステム研究所, 宮城)のキットを用いて測定した。

IgG 摂取量,血清中 IgG 量および IgG の見かけの吸収効率(AEA)の値は、Quigley と Drewry(1998)に従い、以下のように計算した。

IgG 摂取量(g) = 初乳中 IgG 濃度 (mg/mL) × 初乳摂取量(mL)×1/1000

血清中 IgG 量 (g) = 血清中 IgG 濃度(mg/mL) × 血清量(mL) ×1/1000

AEA (%) = (血清中 IgG 量 (g) / IgG 摂取量(g)) × 100

血清量(L)は、AEA を決定する際に広く利用されている生時体重の 7%(Quigley と Drewry 1998)の値を用いて推定した。

統計分析には SAS (SAS 9.3, SAS Institute Inc., Cary, NC)プログラムを用いた。 初乳給与の記述データは GLM procedure を用いて一元配置分散分析を行った。分散分析で有意な処理の効果が認められた時に、最小有意差法により分類した。統計的有意差は $P < 0.05$ とした。見かけの IgG 吸収効率と初乳給与までの時間の関係は、変曲点の分析を行うために NLIN procedure を用いて分析した。IgG 摂取量と血清中の IgG 濃度の関係を査定するために、REG procedure を用いて傾きの分析を行った。

3.結　果

子牛の生時体重はグループ間に差はなかった(Table 1)。 全供試牛の初乳給与までの最短時間は、1.5 L を摂取した出生後 20 分であり、最長は 17.8 時間だった。初乳給与までの平均時間は、各グループで異なった (Table 1)。全頭の平均初乳摂取量は、3.6 ± 0.1 L で、1.5 から 5.2 L の幅があった。初乳摂取量、生時体重に対する初乳摂取量割合はグループ間で有意差は認められなかった。全頭数の 84%(43 頭中 36 頭)は、3 L 以上の初乳を摂取した。初乳摂取量が 3L 未満の子牛(7 頭)の平均値は 2.7 L で、2.4 から 2.9 L の範囲であった。グループ D の平均 AEA は、 グループ A または B よりも有意に低い($P < 0.05$)値であった。

初乳の AEA と初乳給与までの関係を Figure 1 に示した。変動幅が大きかったものの AEA は変曲点の 12.26 h まではゆっくりと低下したが、その後はより速く低下した。

Table 1 Characteristics of calves and colostrum consumption of calves.

Group	A		B		C		D	
n	4		10		21		8	
	Mean	SE	Mean	SE	Mean	SE	Mean	SE
Birth weight (kg)	43.3	0.5	43.3	2.5	42.4	1.2	42.9	2.0
Age at colostrum feeding (h)	0.9[a]	0.1	3.3[b]	0.4	8.9[c]	0.4	15.5[d]	0.6
Colostrum intake (L)	3.0	0.2	3.4	0.2	3.7	0.2	3.8	0.3
Intake % of birth weight	7.0	0.5	8.0	0.5	8.8	0.3	8.9	0.7
Serum IgG at 24 h (mg/ml)	26.8[a]	6.0	22.6[a]	1.2	17.2[ab]	1.5	12.5[b]	2.2
AEA	30.5[a]	3.9	27.4[a]	2.8	23.7[ab]	1.7	15.8[b]	3.0

[a-d]Different letters mean significant difference ($P<0.05$)

IgG 摂取量と初乳摂取 24 時間後の血清中 IgG 濃度を Figure 2 に示し

た。 初乳給与前の血清中 IgG 濃度は測定限界以下であったため、初乳給与 0 時間の血清中 IgG 濃度は、0 mg/ml とした。IgG 摂取量の増加により全てのグループで血清中 IgG 濃度は増加したが、初乳給与までの時間が長くなるほど AEA の低下と連動して回帰式の傾きは小さくなった。

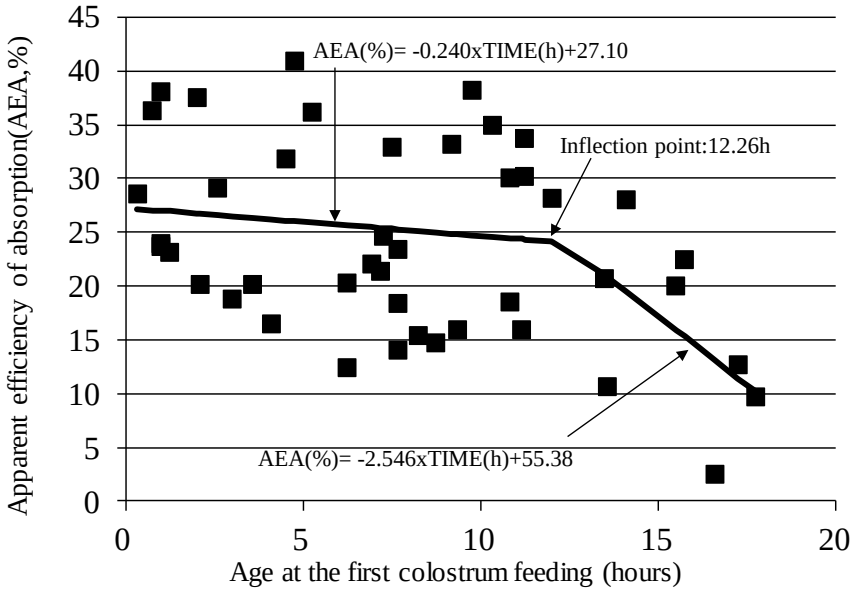

Figure 1 The relationship between age at colostrum feeding and apparent efficiency of absorption(AEA)of IgG.

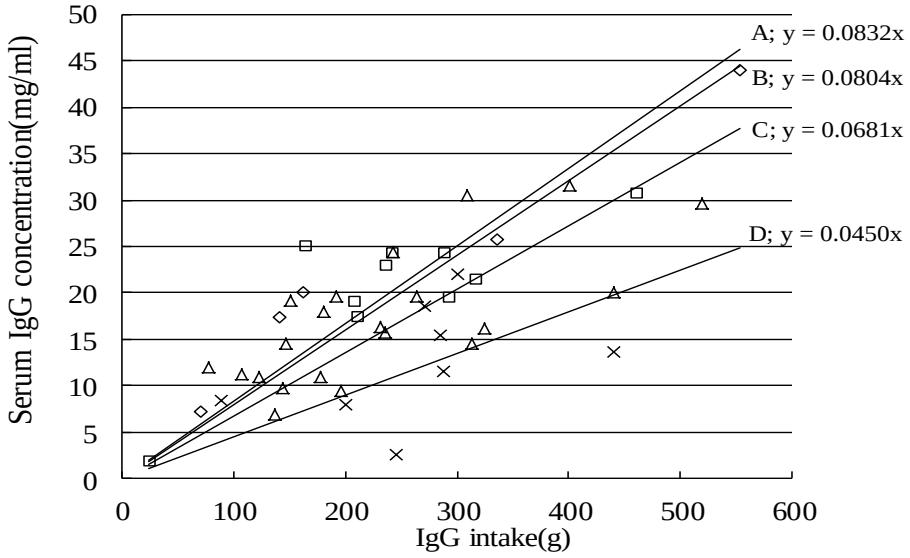

Figure 2 The relationship between mass of IgG consumed by the calf and the serum IgG concentration at 24 h after colostrum feeding. Calf group is indicated by A= ◇(0-1h), B=□(1-6h), C= △ (6-12h), D=×(12-18h).

4. 考　察

子牛にとって高品質（高 IgG 濃度）の初乳摂取は、十分な血清中 IgG 濃度にするために重要である(Jaster 2005)。Davis と Drackley(1998)は、子牛に 1 回目の初乳給与で IgG を 100g 以上摂取させることを推奨している。本試験の結果は、出生後 24 時間で子牛の血清中 IgG 濃度 10 mg/mL を達成させるには、出生後 1 時間未満で初乳を給与した場合は IgG を 120g、1～6 時間では 125g の摂取が必要であることを示した。これらのデータは、子牛が出生後 6 時間以内に 1 回給与で IgG 濃度 40 mg/mL 以上の初乳を 3L 摂取できれば血清中の IgG 濃度 10 mg/ml 以上を達成することができ、初乳摂取量の増加は、血清中 IgG を増加させ、FPT を回避しうる方策の一つであることを示唆している。

初期の研究では、新生子牛には出生後数時間に約 2 L の初乳を給与することを提唱した(Stott ら 1979b)。Pritchett ら(1991)は、初乳量は初乳中の IgG_1 濃度と負の相関があることを示し、Besser ら(1991)は、子牛は初乳を 2L 摂取しても、十分な抗体量にならない場合があることを報告した。それゆえ、血清中の抗体濃度（Ig）を最大にするには、出生後可能な限り速やかにより多くの初乳(2 L 以上)の給与が推奨されている。子牛の初乳摂取量を高めるため、Roy(1980)は、子牛に対して出生後 12 時間以内に 2 回給与で 4 L 摂取させることを提案した。Besser ら(1991) や Morin ら(1997)は、出生時に 2 L、12 時間以内に 2 L 給与するよりも出生時に 4 L 給与した方が、血清 IgG 濃度が高まることを報告している。その後の研究では子牛に設定した初乳を摂取させるために食道カテーテ

ルを利用する管理が示された。すでに述べたように、以上の方法は、酪農の生産現場において、全頭に対して実施するには労力的、時間的に難があろう。

Hopkins と Quigley(1997)は、1 回給与で 3.8 L 子牛に給与すると、子牛が自発的に摂取した平均初乳量は、出生後平均 1.3 時間で 3.0 L だったと報告している。本試験における初乳摂取量の測定結果は、出生後の時間にかかわらず、1 回給与で多くの子牛は食道カテーテルを利用せず 3L の初乳を摂取できることを示した。本試験では出生後 20 分で初乳を摂取した 1 頭だけが、1.5 L しか摂取出来なかった。この子牛は、まだ自力で立ち上がることができず、初乳を欲する明確な行動を示さなかった。出生直後に、初乳を摂取する子牛の能力は限定的なのかもしれない。

小腸の上皮細胞は出生後、時間の経過とともに抗体のような巨大分子の吸収能力は失われる(Staley と Bush 1985). 子牛の AEA は出生から約 24 時間後に基本的に 0 になる (Weaver ら 2000)。本研究の AEA は各グループ内でも変動幅が大きかった (Figure 1)。 Stott と Fellah (1983)は、給与する抗体量を同じとして初乳量を 1 L と 2 L で AEA を比較したところ、1L 給与の方が改善されたことを示した。Besser ら(1985)や Campbell ら(2007)は、初乳製剤で IgG 摂取量を増加させると IgG の AEA が低下したのを観察している。これらの研究結果において、Stott と Fellah (1983)の研究では子牛の Ig 摂取量は 130 g 未満、Besser ら(1985)の研究では 100～700 g、Campbell ら(2007)の研究では 130～390 g と大きな違いが見られた。Besser ら(1985)は、Ig の吸収には生理的な限界があるので

はないかと考察している。

本研究の各グループ内においても AEA の変動幅が大きかった。したがってBesserら(1985)の言うようにIgG摂取量の変動幅が大きかった(23～553 g)ことが反映した可能性がある。Igのような巨大分子を吸収する能力は、子牛の出生後の時間の経過とともに失われていく(Abel Francisco と Quigley 1993; Rajara と Castren 1995)が、本試験の結果から、出生後、個体差はあるものの約 12 時間以内の AEA は、比較的穏やかに低下すると考えられた。

本試験の IgG 摂取量と血清中 IgG 濃度の間には、Hopkins と Quigley (1997)が示した結果と同様な直線的な正の相関が認められ、彼らの研究を裏付けている(Figure 2)。本試験では、さらに子牛に初乳給与するまでの時間がIgG摂取量と血清中IgG濃度との関係に及ぼす影響についても検討し、初乳給与までの時間が長くなるにつれて、回帰式の傾きが小さくなることを示した。

本試験の結果は、出生してまもない時期、少なくとも出生後6時間以内のAEAは、初乳給与までの時間よりもIg摂取量による影響の方が大きいことを示唆するものである。

Ⅲ章　早期離乳における液状飼料期および移行期の特定と乾草給与の意義

Ⅲ-1　液状飼料期から移行期における乾草給与の有無が発育に及ぼす影響〔試験 2〕

1. 目　的

成熟した反芻動物の栄養素の吸収は 2 経路ある。その一つは、単胃動物同様に第四胃で消化液により飼料を消化し第四胃以降の下部消化管で栄養を吸収する経路であり、もう一つはルーメン内の微生物による飼料の発酵により産生される揮発性脂肪酸(Volatile Fatty Acid: VFA)を栄養源としてルーメン絨毛から吸収する経路である。液状飼料期では、摂取した乳は、ルーメンを介さず直接第四胃で消化される。一方、乾草のような繊維質飼料は、ルーメン内における微生物の作用により繊維が分解・利用されない限り栄養源とはならない。人工乳はどちらの経路においても利用可能な飼料である。移行期とは第四胃以降の消化吸収だけに栄養吸収を依存している液状飼料期から、ルーメンから微生物発酵により栄養吸収をする反芻期への移行の時期を言う。この時期は人工乳が微生物発酵によりルーメンを発達させ、なおかつ人工乳からの栄養摂取が円滑に行われるための重要な準備期間でもある。人工乳摂取量が増加する時期が特定できれば、それに応じた飼料の給与方法が可能になる。また、栄養源とならない乾草の給与意義について明らかにする必要がある。

そこで、哺乳期における人工乳、乾草の摂取パターンから移行期を

特定するとともに乾草の給与効果の意義について検討した。

2. 材料と方法

供試牛、管理および試験処理

ホルスタイン雄子牛 20 頭を供試した。出生当日を 0 日齢として、全子牛の体重を測定した後、12 週齢で試験が終了まで消毒済みのカーフハッチで飼養した。敷料は乾燥した麦桿を用いて毎日交換した。初乳は、試験 1 の知見を踏まえ、6 時間以内での給与を基本に、遅くとも出生後 12 時間以内に最低 3 L の凍結初乳を子牛へ給与した。1～2 日齢は、1 回につき 2 L、1 日 2 回 0900 時と 1600 時にプラスチック製の哺乳瓶で分娩後 2～5 回目に搾乳した乳を給与した。その期間には、朝または夕方のいずれかの哺乳後に、馴致目的で少量の人工乳を口の中へ投与した。3 日齢以降は、約 40 ºC のお湯で 150 g/L になるように希釈された代用乳（メイラック; 明治飼料株式会社, 保証値: CP=24%, Fat=20%）を、移行乳と同様な哺乳量および回数で給与した。哺乳期間は 6 週間とし、哺乳期間を通して哺乳は一定量(4 L/日:代用乳として 600 g/日)とした。

哺乳期間に固形飼料として人工乳(Starter)と乾草(Hay)を給与する区(SH)、人工乳だけで乾草を給与しない区(S0)の2処理とし、出生時の体重に配慮して3日齢に子牛を各処理10頭ずつ振り分けた。離乳後はSHもS0と同一の乾草を給与した。人工乳はテクスチャータイプの人工乳(ミルフードBフレーク; ホクレンくみあい飼料株式会社, 保証値: CP=18%, Fat=2%)を用いて、原物で2,500g/日を上限として自由摂取させた。乾草

は、チモシー主体の一番草を4~5cmに細断して自由摂取させた。各飼料および水はカーフハッチの前にバケツを設置し1日1回1000に給与した。給与量は常に残量が少なくとも10%程度出るようにして、毎日新鮮な飼料に交換した。

各飼料の化学成分および栄養価はTable1およびTable 2に示した。水および固形塩もバケツに入れて固形飼料同様にカーフハッチの前に設置し、自由に摂取できるようにした。なお、代用乳および人工乳は我が国で最も流通していて複数の飼料会社が製造している一般的な成分であり、本研究では全ての試験で使用した。

代用乳および人工乳の代謝エネルギー(Metabolizable Energy: ME)は、その成分からNRC(2001)の次式により求めた。

代用乳(ME Mcal/kgDM);

(0.057×CP%+0.092×Fat%+0.0395×Lactose%)×0.97×0.96

人工乳(ME Mcal/kgDM);

DE=(0.057×CP% + 0.094×EE% + 0.0395×carbohydrate%)×0.82

ME=(1.01×DE-0.45) + 0.0046(EE－3)

Table 2 Chemical composition of starter, milk replacer and hay

Composition	Milk replacer	Starter	Hay[1]
DM	93.9	87.6	87.6
(DM basis %)			
CP	26.4	20.3	12.3
EE	20.5	3.5	2.3
Lactose	45.7	-----	-----
NDF	-----	13.0	65.9
Ash	7.5	5.1	7.1
NFC[2]	-----	58.1	12.4
ME[3](Mcal/kgDM)	4.84	3.23	-----

1.Chopped thimothy hay
2.100-(NDF%+CP%+-EE%+Ash%) given NRC(2001)
3.Metabolize energy were calculated using the equation given NRC(2001). Not analized for hay

測定項目

試験で給与した人工乳および細切乾草は、乾式自動篩機（AS200 Analytical sieve shakers; Retsch 社）を用いて、篩の目の直径が大きい方から9.5、4.75、2.36、1.18 mmおよびパン（受け皿）として飼料片の大きさで分類し、その割合を原物重量割合で表した。全ての飼料は、給与量から残量を差し引いて摂取量とした。代用乳の残量は朝夕の給与ごとに、固形飼料および乾草の残量は、飼料給与前に毎日記録した。体重および体高は試験開始時と離乳時(41日齢)および試験終了時（83日齢）に測定し、それを基に日増加量を算出した。また、離乳時および試験終了時に各処理5頭ずつ屠殺してルーメン内容液を採取した。ルーメン内容液は速やかにpHを測定した後、三重ガーゼで濾過してプラスティックチューブに分注して分析まで-30 ºCで凍結保存した。分析前日に冷

蔵庫で解凍したサンプルは、4ºC で2,000 g ×10 分間遠心した後、ガスクロマトグラフィー(GC-15; 島津株式会社)でクロトン酸を内部標準としてVFAを測定した。アンモニア態窒素は、Conwayの微量拡散法により測定した。さらに、第一胃の内容物および形状についての観察を行った。

統計分析は、JMP プログラムを用いて一元配置分散分析を行った。P < 0.05 で統計的有意差とし、P < 0.10 で傾向があることを示した。

3. 結　果

各処理 1 頭ずつの子牛が哺乳以外に固形飼料をほとんど摂取しなかったためデータセットから除外した。離乳時および試験終了時での屠殺は、各々SH 4 頭、5 頭、S0 5 頭、4 頭となった。

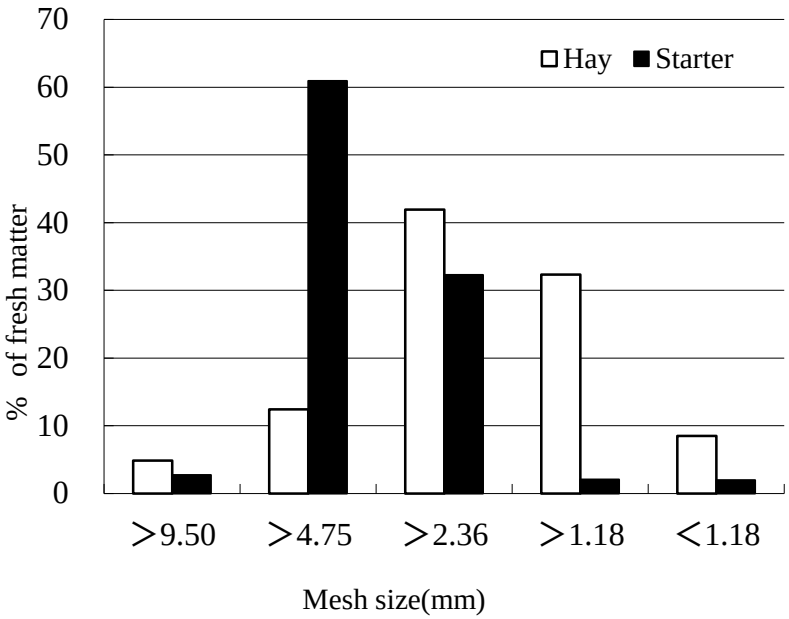

Figure 3 Particle size distribution of texture type starter and chopped hay.

Figure 3 に人工乳および細切乾草の飼料の粒度分布を示した。どちら

の飼料の飼料片とも 9 割以上が篩目 1.18 mm 以上に分類された。乾草では、全体の 41.9%が 2.36 mm 以上 4.75 mm 未満の範囲に含まれていた。人工乳では篩目が 9.50 mm 以上を通過しなかったのは全て圧ぺんとうもろこしだった。また、60.9%が 4.75 mm 以上 9.50 mm 未満に分類された。この分類の飼料片は、少量の割れた圧ぺんとうもろこし以外は、すべてペレットが含まれていた。

すべての子牛は、液状飼料期から移行期までの哺乳期間を通して、設定された濃度 150 g/L の代用乳を 4 L 摂取した。人工乳および乾草の摂取量の摂取量を Figure 4 に示した。

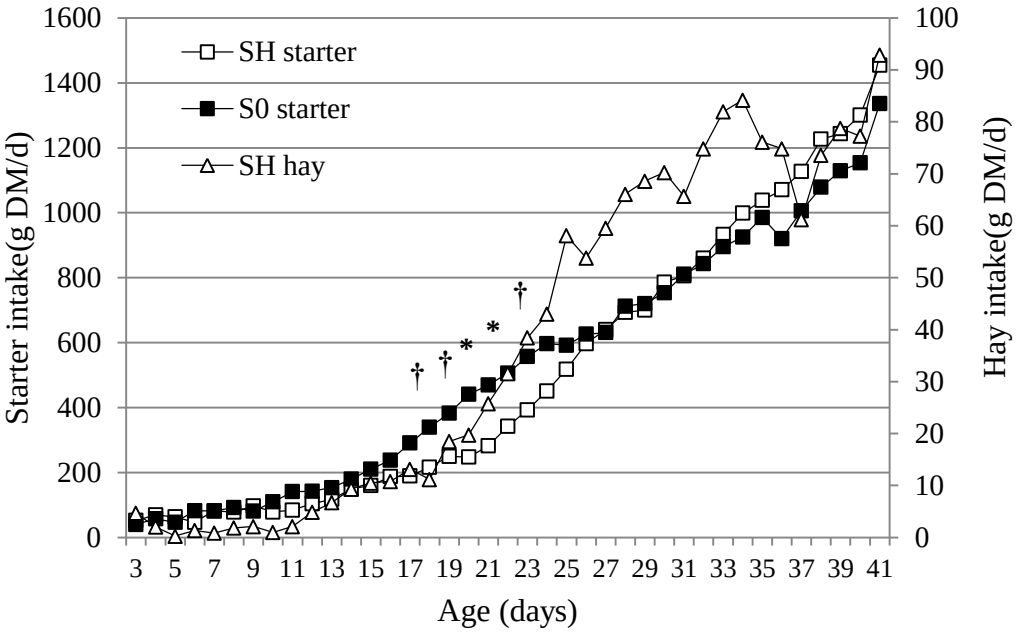

Figure 4 Mean daily starter intake and hay intake.
SH: group for Holstein calves fed starter (—□—)and hay(—△—)
S0 : group for Holstein calves fed only starter (—■—)
SH vs S0 starter means significant difference (*:P<0.05, †: P<0.10)

子牛は、処理にかかわらず 3 から 14 日齢程度までは人工乳摂取量は緩やかに増加した。SH の人工乳および乾草摂取量は 21 日齢付近から急速に増加した。S0 の人工乳摂取量は 18～23 日齢で SH よりも高くなる傾向を示した(18, 19, 23 日齢: $P < 0.10$; 21, 22 日齢: $P < 0.05$)。それ以降の S0 の人工乳摂取量は、離乳まで SH の人工乳摂取量と同様な推移を示した。ルーメン内容液の pH、アンモニア態窒素、総 VFA 濃度および組成割合、酢酸:プロピオン酸比は、処理間の差は認められなかった(Table 3)。

Table 3 Rumen content fluid aspect of 41- d-old Holstein calves fed starter with(SH: n=4)or without chopped hay (S0: n=5)

Parameter		SH		S0	
		Mean	SE	Mean	SE
pH		5.23	0.08	5.35	0.33
NH_3-N,	(mg/dl)	2.8	1.2	5.7	3.3
Total VFA	(mmol/dl)	11.0	1.7	11.1	1.6
Acetic acid	(mol%)	45	5.0	53	3.1
Propionic acid	(mol%)	31	4.4	29	4.1
Butyric acid	(mol%)	18	4.8	13	1.5
Valeric acid	(mol%)	6	0.4	5	0.8
A/P ratio		1.63	0.44	2.00	0.37

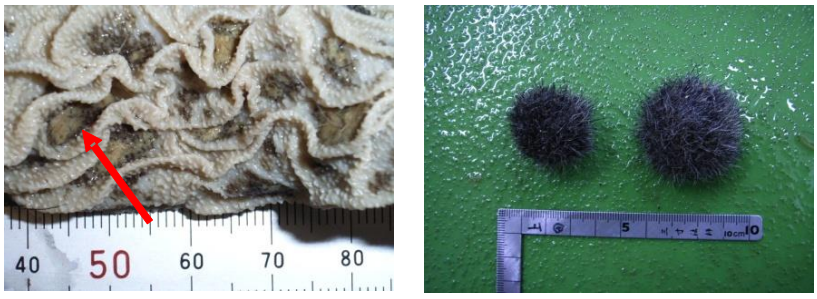

Figure 5 Starter bonded in rumen wall(left) and furball in rumen(right) found in the rumen of calves fed starter without chopped hay(S0).

しかし、離乳時の解剖所見では、S0 でルーメン背嚢部位における内容物の付着 (2 頭)や、ルーメン内に毛玉 (1 頭)および敷料として使用した大量の麦稈(2 頭)が観察され、5 頭全てに何らか異常が確認された(Figure.5)。一方、SH(4 頭)では 1 頭も観察されなかった。試験終了時での屠殺(SH: 5 頭; S0: 4 頭)では、両区とも異常は認められなかった。

Table 4 に哺乳期の発育値を示した。離乳時(41 日齢)の体重、体高値および試験処理開始時(3 日齢)から離乳までの体重および体高増加量に差は認められなかった。

Table 4 The comparison of body weight, height and daily gain between calves fed starter with hay(SH: n=9) or only starter(S0: n=9)

Treatment	SH		S0	
	Mean	SE	Mean	SE
At birth				
weight(kg)	44.9	1.9	46.6	1.8
height(cm)	78.2	1.1	79.2	1.4
At 41d				
weight(kg)	70.1	2.6	70.0	2.5
height(cm)	85.0	1.6	85.4	1.5
Daily gain				
weight(kg/d)	0.67	0.03	0.62	0.03
height(cm/d)	0.18	0.02	0.17	0.02

Figure 6 に、人工乳、乾草および総乾物摂取量(平均 ± SE)の週齢別推移を示した。離乳後の人工乳摂取量は急激に増加し、9 週齢には全頭が上限量の人工乳を摂取した。乾草摂取量も増加したが、人工乳摂取量よりも増加割合が緩やかであり、人工乳が上限量である原物 2,500g/日に達した 9 週齢以降から摂取量が高まった。離乳時の週齢(6 週齢)の平乾草

摂取量が SH で有意に高い値を示した(P < 0.05)以外は、飼料の種類や週齢による処理間の差は認められなかった。

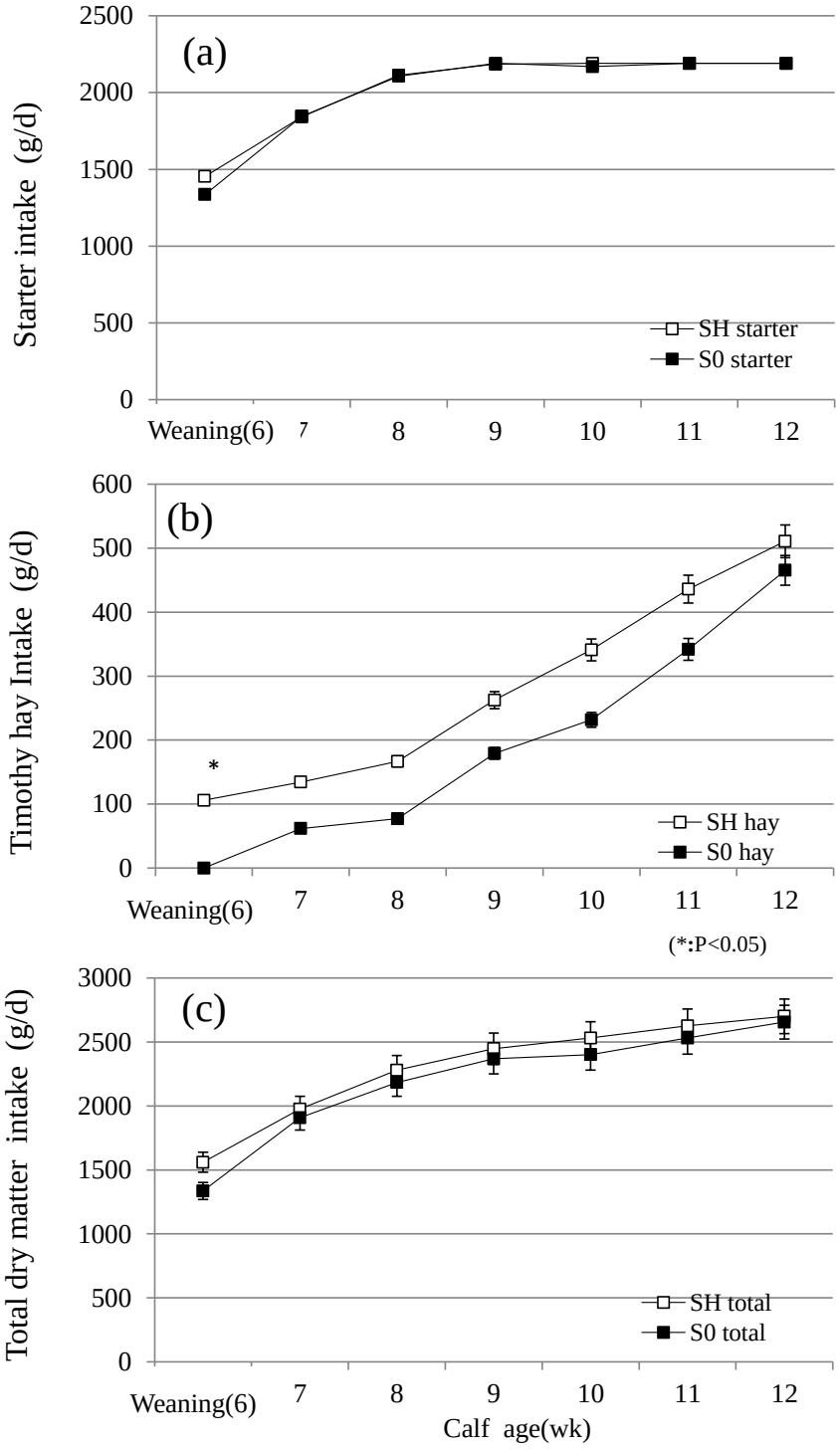

Figure 6 Mean weekly starter intake (a),timothy hay intake (b) ,and total dry matter intake (c)

試験終了時におけるルーメン内容液性状を Table 5 に、離乳(41 日齢)から試験終了時(83 日齢)までの発育値を Table 6 に示した。いずれにおいても、処理間で差は認められなかった。

Table 5 Rumen content fluid aspect of 83- d-old Holstein calves fed starter with(SH: n=5)or without chopped hay (S0: n=4)

Parameter		SH		S0	
		Mean	SE	Mean	SE
pH		7.09	0.08	7.19	0.06
NH_3-N,	(mg/dl)	6.7	1.9	5.7	1.5
Total VFA	(mmol/dl)	4.8	0.5	4.5	0.2
Acetic acid	(mol%)	61	1.6	58	2.9
Propionic acid	(mol%)	26	0.4	26	1.4
Butyric acid	(mol%)	9	0.6	11	1.1
Valeric acid	(mol%)	5	0.8	5	0.8
A/P ratio		2.38	0.10	2.28	0.25

Table 6 The comparison of body weight, height and daily gain between calves fed starter with hay(SH: n=4) and only starter(S0: n=4)

Treatment		SH		S0	
		Mean	SE	Mean	SE
At 41d					
	Weight(kg)	73.6	2.8	70.0	4.5
	Height(cm)	84.9	1.3	85.1	2.4
At83d					
	Weight(kg)	118.2	4.2	115.3	4.7
	Height(cm)	95.2	1.3	92.7	1.9
Daily gain					
	Weight(kg)	1.06	0.03	1.08	0.05
	Height(cm)	0.25	0.02	0.16	0.01

4. 考　察

本研究で用いた人工乳は、ペレットと穀類を圧ぺんまたは挽き割りした飼料を混合したテクスチャータイプで、我が国で最も一般的な成分および形状である。

人工乳は絨毛の角質・ケラチン化(Bull ら 1965)や細かな飼料片が絨毛の間に詰まるのを防ぐために十分な大きさの飼料片が重要である（NRC 2001）。Warner(1991)は、篩のメッシュサイズで 1.18 mm を通過しない飼料片が 20%の人工乳と比較して、85%の人工乳給与では、絨毛が正常に発達したことを報告した。本試験の人工乳も Figure 3 で示したように 1.18 mm を通過しない飼料片が 9 割以上を占めたが、S0 で飼料物理性の欠如によるルーメン発達の異常を示唆する反応が観察された(Figure 5)。

Porter ら(2007)は、ルーメンのパラケラトーシスを防ぐには人工乳の繊維含量よりも飼料片の大きさがより重要であると結論づけたが、彼らの研究は、同一の原料を用いて、挽き割りした人工乳に対して粉砕した後にペレット化した人工乳を比較した結果であり、ペレットは物理的効果がないことを示唆している。本試験では、篩のメッシュサイズ 4.75～9.0 mm に含まれる大きさの割合が最も多く、人工乳全体の 6 割程度を占めた。しかし、そのほとんどすべてがペレットであり、加水により容易に瓦解したことから本試験で用いたようなテクスチャータイプ人工乳の物理的効果は極めて少ないと考えられた。Montro ら(2013)の「テクスチャータイプの定義の曖昧さ」という指摘に対して、人工乳のペレットは湿式で、その他の飼料片は乾式で粒度を分別すれば、人工乳の物理的

効果をより正確に判断できるであろう。

哺乳期の子牛は十分にルーメンが十分には機能しておらず、ルーメン内微生物も少ない(Anderson ら 1987a, 1987b)。この時期の子牛への乾草給与は、人工乳からのエネルギー摂取量を制限することになり、結果的に低増体量になる(Stobo 1966)ので推奨されていない（NRC 2001）。本試験では、SH 3 週齢（21 日齢）頃を境に S0 では 3 日間ほど早く人工乳の摂取量が増加し 18～23 日齢時のごく短期間で SH の人工乳摂取量は S0 よりも低い傾向を示した。しかし、SH では人工乳摂取量増加とともに乾草摂取量も増加して 4 週齢(28 日齢)以降は S0 と同等の人工乳摂取量となり、乾草の摂取量は人工乳の摂取量を制限しなかった(Figure 4)。大谷(1981)は、哺乳量 4-6L/日で飼養した子牛に人工乳を給与して経日的な絨毛発達を飼養学的、組織学的観点から検討した一連の試験から、2 週齢までには子牛の人工乳摂取が始まり、微生物による VFA が直ちに生成されること、人工乳の摂取量が 100 g/日以下でもルーメン微生物による VFA 生成量はルーメンからの吸収能力よりも優るためルーメン内 VFA 濃度が上昇すること、また粘膜絨毛の本格的な形態的発達は 3 週齢で始まることを報告している。

一方、哺乳量を高めると人工乳の摂取開始が遅れ、摂取量も少なくなる(Jasper と Weary 2002; Terré ら 2007; Huuskonen と Khalili; 2008)。本試験の代用乳給与量は 600g(4L×50g/L)で、10 日齢には全頭が設定の代用乳量を摂取した他に、人工乳摂取が確認された(SH: 79 ± 12 g/日, S0: 110 ± 25 g/日)ことから、大谷(1981)の試験に準じた絨毛発達であった

と推察される。一週齢では、半球上で色素形成がなく 1 mm にも満たない絨毛は、3 週齢時には先端部分に色素形成のある 1 mm 前後の指状(縦)の絨毛が多数確認されている (Ohtani ら 1977)。反芻胃組織の体重に対する重量比は、8 週齢という短期間で、成牛の 2.0～2.2%(浅井と佐々木 1970)に近い 1.9%程度(大谷 1981)になることも考慮すると、1 週齢から 3 週齢の間で 1 mm 程度の絨毛の伸長であっても表面積では大幅に大きくなり吸収量が急激に増加すると推論された。本試験では、300 g/日以下の人工乳摂取量でも 3 週齢程度でルーメン全体の絨毛が VFA を吸収可能になるまで伸長して VFA 吸収が促進され、さらに人工乳の摂取量を高めたと考えられた。

Khan ら(2011b)も、3 日齢からの哺乳量を 8 L/日に設定して乾草給与の有無の検討を行っており、6 週齢目(36 日齢)からの哺乳量を 4 L/日に減量した時、本試験と同様な人工乳および乾草の摂取量の増加が認められた。彼らは、乾草摂取が増加することにより人工乳摂取量が抑制されない理由として、加齢に伴う固形飼料の発酵や消化管の容量が増加したことに加えて、哺乳量を高めたことにより、相対的に固形飼料の摂取量が少なくなったためと考察している。また、仮に哺乳量を最初の数週間は 4 L/日程度に制限して乾草を自由摂取させたら、人工乳摂取量は制限されるであろうと推察しているが、本試験では人工乳摂取量は制限されなかった。Stobo ら(1966)は、長い乾草は人工乳摂取量を制限することを示しているが、形状の違い（細断乾草、粉末乾草）やその量については検討していない。

過剰の人工乳摂取による第一胃内容液 pH の異常低下はパラケラトーシスの原因の一つとなる（Gilliland ら 1962)。Laarman と Oba(2011)は、離乳子牛を用いて、細切乾草を 80 g 程度摂取していると唾液がルーメン内に流入してルーメン内容液の pH 低下を抑制する効果があることを示唆している。本試験の 3 週齢(21 日齢)以降の乾草摂取量は個体差が大きかったものの、平均 30g 程度から離乳時には 90 g であった。Porter ら(2007)の試験では、繊維含量と飼料片の大きさだけの効果を見るため、他の要因を含まないようにゲージの中で敷料を与えずに飼養しており子牛の行動は観察されていない。

最近の研究では、人工乳と乾草を分離給与しても、同時刻に両方の飼料を摂取する(Miller-Cushon ら 2013)ことが観察され、細断乾草の給与により乾物摂取量の改善や非栄養的な口の行動(壁を舐める、舌を動かす、敷料を摂取する)の減少が報告されている(Montoro ら 2013; Castells ら 2013)。本試験において S0 の子牛は、人工乳の摂取が高まる時期に正常なルーメン発達や機能を維持するために乾草のような物理的性状を持つ飼料が給与されていなかったため、pH 緩衝液となる唾液のルーメンへの流入量が減少し、pH の低下やそれに続く内容物の付着、また乾草無給与の代替行動として麦稈の摂取という異常行動が発現したと考えられた。

本試験では、離乳が引き金となり固形飼料の摂取量が増加し、人工乳は離乳直後から急激に上昇して離乳後 2 週間（8 週齢）で上限の給与量(原物 2,500g/日)に到達する(Figure 6(a))結果となった。離乳後の乾草摂取

量は常に SH が高く推移していたが、処理間の差が見られたのは離乳の週（6 週齢）だけであった。NRC(2001)では、ルーメン内の微生物発酵により固形飼料からすべての栄養を得る時期として離乳以降の時期を反芻期と定義しているが、処理にかかわらず乾草摂取量は、離乳後 2 週間までは緩慢に増加し人工乳摂取量が上限量の摂取が可能になった 9 週齢以降から摂取増加割合が高まった(Figure 6(b))。本試験の結果は、人工乳と乾草の摂取量から、加齢とともにルーメン内環境(絨毛の発達や、pH 上昇による繊維分解菌の増殖)が整い、乾草から栄養を摂取できる割合が高まるが、少なくとも離乳後 2 週間は栄養源の殆どは人工乳に依存することを示している。

離乳後、人工乳の摂取量増加に伴いルーメン内容液の VFA 濃度は増加する(Boda ら 1962; 大森ら 1969; Anderson ら 1987b; Greenwood ら 1997; Coverdale ら 2004)が、その後低下することが報告されている(Greenwood ら 1997; Coverdale ら 2004)。これについて大谷(1981)は、絨毛発達が未熟な時期では、生成される VFA の速度の方が VFA 吸収速度を上回るのでルーメン内 VFA 濃度が高まるが、十分な発達を遂げると、それらの速度が逆転することによるものであろうと考察している。また、このような逆転は 7 週齢離乳の場合、離乳後 3～4 週であろうと予測している。本試験でも、離乳時（41 日齢）と試験終了時（83 日齢）の総 VFA(Table 3, Table 5)からも、これを支持する結果が得られている。

6 週齢および 12 週齢までの発育には処理間の差明らかではなかった(Table 4, Table 6)。これは、処理内の個体差が大きく、特に S0 では、

敷料の麦稈を摂取する個体が少なくとも 2 頭おり、処理の効果を希釈したためと考えられる。しかし、本試験の結果は、哺乳期の細断乾草は人工乳摂取量を制限させず、ルーメン発達が有効であること、3 週齢までは主に乳が主な栄養源であり、3 週齢を境に人工乳摂取量が増加して移行期となること、NRC(2001)が定義する離乳以降の反芻期においては、離乳から少なくとも 2 週間は人工乳が主な栄養源であることを明らかにした。

Ⅲ-2　液状飼料期から反芻期における乾草の質の違いが発育に及ぼす影響〔試験 3〕

1. 目　的

試験 2 では、哺乳期の乾草は子牛にとって栄養源としてではなくルーメン内環境の改善に効果があること、6 週齢離乳後、人工乳摂取量が急激に増加して 2 週間で上限量（原物で 2,500g/日）を摂取したことから、少なくとも離乳後 2 週間は栄養として利用できる主な飼料は人工乳であることを示した。離乳を早めた場合、人工乳を上限量摂取できる時期や乾草摂取量が増加する時期は、物理的な消化管容積の増大を意味する加齢、またはルーメン内絨毛の発達を促す人工乳摂取量のどちらかに左右されるであろう。すなわち、加齢を主要因と考えると離乳を早めることによる人工乳摂取量の上限給与量を摂取できるのは 8 週齢であり、人工乳摂取量を主要因とすると離乳 2 週間後となるが、これらについては現在まで科学的検討はない。また、乾草が栄養源として発育に影響を与える時期については特定されていない。そこで本試験では、早期離乳において人工乳の上限給与量を摂取できる時期、およびエネルギー含量の異なる 2 種類のチモシー主体乾草を用いて反芻期の発育の差が表れる時期を検討した。

2. 材料と方法

供試牛、管理および試験処理

ホルスタイン雌子牛 11 頭を供試した。出生から試験処理開始前まで試験 1 と同様の方法で管理した。

哺乳期間は4週間、試験期間は3日齢～13週齢とした。哺乳期間に粗飼料として高品質乾草(チモシー主体出穂前一番草)を給与する区(High quality hay: HH)と低品質乾草(チモシー主体開花期一番草)を給与する区(Low quality hay: LH)の2処理とし、3日齢にHHに5頭(体重45.0 ± 3.9 kg、体高80.4±1.8cm)、LHに6頭(体重43.8 ± 1.9 kg、体高80.1 ± 1.2 cm)を振り分けた。

人工乳および代用乳は試験 1 と同様のものを用いた。乾草および人工乳の給与量は、試験1のSHの結果(Figure 4)を参考にして、人工乳は3日齢～3週齢（(21日齢)）まで原物で上限300 gに制限した。それ以降、残食が無い場合、哺乳期は前日の給与量に対して100～200 g、離乳後は200～300 gずつ増量した。乾草は、各処理の乾草を4-5cmに細断し離乳まで原物で50 gに制限給与した。離乳後は10%程度の残食が出るように給与した。いずれの飼料も試験1同様にカーフハッチの前にプラスチックバケツを設置して給与した。水・固形塩は自由摂取させた。乾草の成分はTable 7に示した。

測定項目

代用乳、人工乳および乾草摂取量は、試験同様に給与量から残量を差し引いた値とし、試験終了まで毎日測定した。21日齢に、0830から1200まで反芻の有無を観察し、反芻が認められた場合は、1回あたりの反芻時間を最大1頭につき10回計測しその平均値をその子牛の1回あたりの

反芻時間とした。発育値（体重、体高）は、3,28,56,91日齢に測定し、それを基に日増加量を算出した。

統計処理はJMP11を用いて、一元配置の分散分析を行った。$P < 0.05$で統計的有意差、$P < 0.10$で傾向があることを示した。

Table 7 Chemical composition of hay[1]

Composition	High quality	Low quality
DM (%)	87.5	87.5
(DM basis %)		
CP	15	8.6
EE	2.7	2.4
NDF	62.1	74.5
Ash	7.4	7.4
NFC[2]	12.8	7.1
TDN[3]	69.9	53.1

1.Chopped timothy hay
2.100-(NDF%+CP%+-EE%+Ash%) given NRC(2001)
3.Total digestible nutrients were calculated using the data gained by sheep digestion experiment.

3.結　果

Table 8 に、哺乳期に設定した人工乳と乾草の上限量を摂取した日齢、21 日齢時の乾草摂取量および 1 反芻あたりの時間、離乳時の人工乳及び乾草の摂取量を示した。人工乳を上限給与量(300g FM/日)摂取した平均日齢は、LH よりも HH で遅くなる傾向($P < 0.08$)を示したが両区とも全頭が 21 日以内に摂取した。逆に哺乳期間に乾草を上限給与量(原物 50g/

日)摂取した平均日齢は HH が約 6 日早かった(P < 0.05)。21 日齢での乾草摂取量は HH が有意に高かったが 1 回あたりの反芻時間に差は認められなかった。離乳時の人工乳および乾草摂取量に差はなかった。

Table 8 Age at consuming solid feed of determinate quantity ,hay intake and rumination time at 21d and solid feed intake at weaning (28d)

		HH		LH		P-value
		Mean	SE	Mean	SE	
Average age at consuming of						
starter 300g/d	(d)	20.2	2.0	15.5	1.3	0.075
hay 50g/d	(d)	18.8	0.9	24.2	0.9	0.002
At 21d						
Hay intake	(g/d)	48.0	2.0	30.8	5.7	0.027
Time of each rumination	(s)	46.8	3.6	45.2	5.6	0.881
Intake at weaning						
Starter	(g/d)	800	173	833	63	0.850
Hay	(g/d)	50	0.0	46.8	2.5	0.273

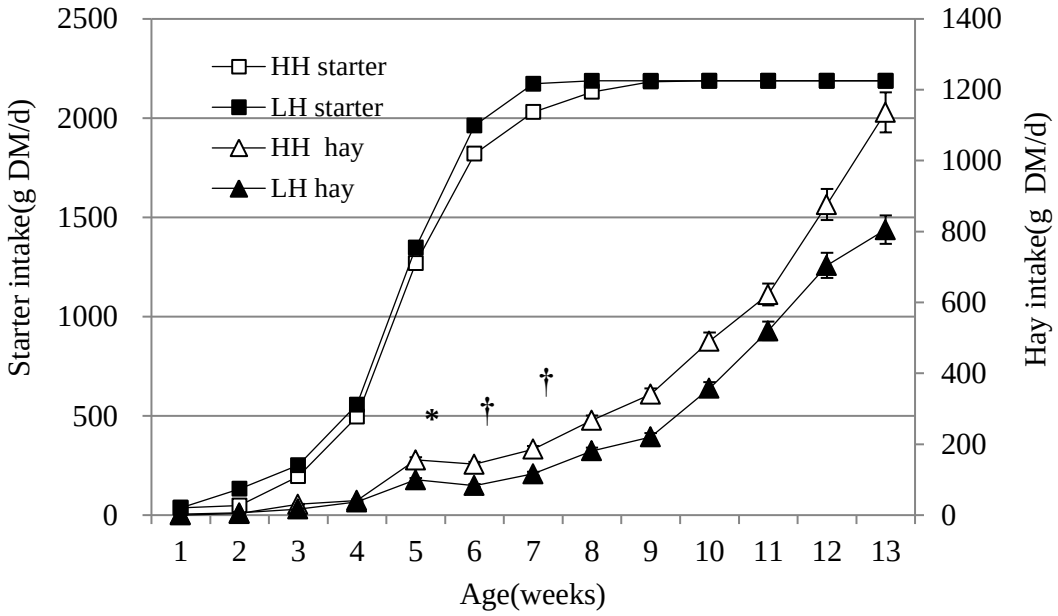

Figure 7　Mean weekly starter intake and hay intake.
HH: group for Holstein calves fed starter (—□—)with high quality hay(—△—)
LH: group for Holstein calves fed starter (—■—)with low quality hay (—▲—)
＊ P<0.05, † P<0.10

Figure 7 に、試験期間の週齢別人工乳および乾草摂取量を示した。離乳後人工乳摂取量が急激に増加した。HH は 8 週齢、LH は 6 週齢で全頭が上限量(2500g/日)を摂取した。人工乳摂取量は 8 週齢まで LH が高く推移していたが有意差は認められなかった。乾草摂取量は両区とも離乳後緩やかに上昇したが、9 週齢から摂取量が増加した。HH の乾草摂取量は LH よりも高い傾向が認められた(5 週齢: $P < 0.05$; 6~7 週齢: $P < 0.10$)。

Table 9 に発育成績を示した。試験終了時も 13 週齢（91 日齢）時の体重、体高に差は認められなかった。期間別に算出した体高増加量には差は認められなかったが、体重の増加量は、9~13 週齢で HH が有意に高い値を示した(1.08 vs 0.92 kg/日)。

Table 9 The comparison of body weight, height and daily gain between calves fed high quality hay(HH) and low quality hay(LH)

Treatment	HH		LH		P-value
	Mean	SE	Mean	SE	
At starting Exp(3d)					
Weight(kg)	45.0	3.9	43.8	1.9	0.746
Height(cm)	80.4	1.8	80.1	1.2	0.893
At finishibg Exp(91d)					
Weight(kg)	124.0	6.1	117.0	2.0	0.257
Height(cm)	98.3	1.8	98.6	0.5	0.867
Daily gain					
Weight(kg/d)					
1 - 4(wks)	0.57	0.05	0.56	0.03	0.831
5 - 8(wks)	0.99	0.09	0.91	0.03	0.368
9-13(wks)	1.08	0.04	0.92	0.02	0.004
Height(cm/d)					
1 - 4(wks)	0.16	0.03	0.20	0.01	0.310
5 - 8(wks)	0.18	0.03	0.20	0.02	0.459
9-13(wks)	0.24	0.03	0.22	0.02	0.592

4. 考　察

本試験では、処理内の個体間差を少なくするため試験 2 の結果を踏まえて哺乳期間の人工乳および乾草の上限給与量を設定した。LH と比較すると HH は人工乳上限給与量をすべて摂取するのが遅く、逆に乾草の摂取量は早まる傾向を見せた。この時期は、微生物による繊維の分解は期待できず、乾草の微細化は、専ら反芻による物理的なすり潰しによるものと推察される。この時期の乾草摂取量の違いは、繊維の物理的な質や含量が影響していると考えられた(Table 8)。しかし、いずれの処理に

おいても全頭の反芻が確認できたことから、1 日の乾草摂取量が 30～50g/日であっても質に関係なく反芻を刺激するのに十分な量であることが示された。

離乳時の人工乳摂取量は、800g/日で、試験 2 の 4 週齢時と同程度であった。離乳により両区の人工乳摂取量は急激に増加し、上限の人工乳給与量(原物 2,500g/日)を摂取したのは、LH で離乳後 3 週目（7 週齢）、HH で 4 週目（8 週齢）となり、試験 1 よりも 1～2 週早まったが、乾草の摂取量はそれ以降も漸増するにとどまり、上昇し始めたのは試験 1 とほぼ同時期かむしろ遅れる傾向にあった。ルーメン内で繊維を分解できる環境は、繊維分解菌の増殖に至適な pH となり繊維分解菌が増殖してルーメン内の主要な微生物になるまでと言えるが、試験 1 よりも人工乳を速いペースで摂取した分、より時間を要したと推察された。また、9 週齢以降で、繊維を分解できる環境が整ったために乾草摂取量も多くなる傾向に加え、乾草の栄養価の違いがこの期間の日増体量に反映したと考えられた。

以上より、乾草の様な繊維質飼料の摂取量が増加するのは、消化管容積の増大、すなわち加齢の影響が大きく、9週齢以降で繊維質飼料の栄養価の違いが体格にも影響を与えることが示唆された。

Ⅳ章　6 週齢離乳における代用乳の増給が液状飼料期および移行期の発育に及ぼす影響

Ⅳ-1　代用乳量および哺乳方法の違いが人工乳摂取量、発育および疾病発症に及ぼす影響〔試験４〕

1. 目　的

多くの研究で、哺乳量と人工乳摂取量の関係について報告されている(Jasper と Weary 2002; Khan ら 2007a, 2007b, 2011; Roth ら 2009; Sweeney ら 2010)が、これらの報告すべてが全乳を給与した試験であり、またその成分が一定ではなく、成分が不明な報告（Jasper と Weary 2002; Roth ら 2009）もある。さらに、人工乳摂取量の低下は、哺乳量と濃度のいずれの要因によるのか示されていない。加えて、代用乳への脂肪添加により人工乳摂取量は減少する(Kuehn ら 1994)が、代用乳の脂肪含量が少ないことを利用して、代用乳量を増量すれば、移行期の人工乳摂取量の抑制を少なくでき、反芻期の発育遅延の防止が期待できる。一方で、代用乳量の増給による下痢発症率の増加が懸念されている(Quigley ら 2006)。

そこで、本試験では、代用乳の増給方法を、哺乳量増と高濃度の２つの方法で液状飼料期から移行期までの人工乳摂取量、発育および疾病発症に及ぼす影響を検討した。

2. 材料と方法

供試牛頭数、試験処理および管理

根釧農業試験場で 2012 年から 2014 年度の 4 月から 10 月生まれの生時体重が 38～52kg のホルスタイン子牛 52 頭（雌 42 頭、雄 10 頭）を供試した。出生から 2 日齢まではこれまでの試験と同様の管理を行い、3 日齢で麦稈を敷料とした群飼の哺乳バーンに移動した。哺乳は自動哺乳装置（カーフフィーダーSA2 プラス; フォスターテクニック社）を用いて 6 週齢（42 日齢）まで給与した。代用乳と人工乳は、これまでの試験と同一 (Table 2)のものを用いた。代用乳給与量は、3 日齢の体重比でおおよそ 2.2%になる群と 1.5%になる群の 2 処理とし、2012 年および 2014 年では代用乳の濃度は 150 g/L と一定にして、哺乳量は生時体重 38～44kg の哺乳牛に対して 6 L/日、45～52 kg に対して 7 L/日給与する HV (High Volume : n=15)と同 4L/日、4.5 L/日を給与する CO(Convention : n=14)とした。2013 年度では哺乳量を同 4 L/日、4.5 L/日として、代用乳の濃度を 225 g/日で給与する HC (High Concentration: n=12)、と 150 g/L で給与する CO(n=11)とした。人工乳および乾草はチモシー主体の一番草を用いていずれも 6 週齢まで自由摂取とした。

調査項目

体重は、分娩時、3 日齢,7 日齢以降は 42 日齢時まで各週と、体高は 3, 21, 42 日齢時のいずれも 0900 に測定した。自動哺乳装置の代用乳量は個体ごとに毎日記録した。残量があった場合は給与量から差し引いて摂取量とした。人工乳摂取量およびアクセス回数は自動計量機付飼槽

（Roughage Intake Control system, Insentic , The Netherlands）で個体ごとに毎日記録した。毎日子牛を観察して疾病牛を特定し、糞便状況、体温、脱水状況等を考慮して治療の判断をした。

統計処理は、JMP11 を用いて一元配置の分散分析を行った。分散分析で差が認められた場合に最小自乗法で分類した。は 5%水準の危険率で差が認められた場合に統計的な有意差とし、10%水準で傾向があることを示した。

3. 結果

2012 年および 2013 年の CO のデータで年次の差が認められなかったため、2012 年および 2013 年の CO データを一緒にして取り扱い、HV,HC,CO の 3 処理を比較することとした。Table10 に哺乳期間の代用乳および人工乳摂取量、人工乳摂取開始日およびアクセス回数および代用乳と人工乳の摂取割合を示した。代用乳量は全処理ともほぼ設定どおり摂取した。期間平均の人工乳摂取量およびアクセス回数は、HV に対して CO で有意に高く、HV および HC との人工乳摂取量の差は 3 週齢以降で大きくなった。しかし総 ME 摂取量は、哺乳期間を通して HV および HC と比較して CO が低くなった。平均の人工乳摂取開始日齢は、HV、HC、CO の順に、14.9 日、14.0 日、12.8 日と差は見られなかった（P = 0.72）。人工乳への訪問回数は、哺乳期間を通じて HV より CO が有意に多かった。離乳時（42 日齢）の人工乳摂取量は HV と CO の間に差が認められたが、NRC (2001)および農研機構(2006)が示す離乳可能な人工乳摂取量をいずれの処理区も上回っていた。21 日齢までは、処理にかか

わらず全 ME 摂取量の 9 割以上を代用乳から摂取していた。その後、すべての区で 22 日齢～離乳の人工乳からの ME 摂取量割合が増加し、特に CO は HV や HC よりも有意に高い値を示した。

Table 10 Effects of the difference of MR volume or concentration on feedstuff intake, the day of starting starter intake, number of starter access MR to starter intake ratio in Holstein calves

Treatment			HV		HC		CO	
			Mean	SE	Mean	SE	Mean	SE
MR intake (g)	DM[1)](g/d)	3～21d	919[a]	16	937[a]	22	624[b]	11
		22～42d	939[a]	16	948[a]	21	629[b]	11
	ME[2)](Mcal/d)	3～21d	4.20[a]	0.07	4.23[a]	0.07	2.83[b]	0.05
		22～42d	4.29[a]	0.07	4.30[a]	0.06	2.86[b]	0.05
The day of starting starter intake			14.2	2.2	13.3	3.0	12.1	1.5
Starter intake	DM (g/d)	3～21d	64[b]	16	64[ab]	22	115[a]	11
		22～42d	476[b]	74	597[ab]	99	744[a]	51
		at weaning	1067[b]	177	1584[ab]	238	1650[a]	123
	ME (Mcal/d)	3～21d	0.18[b]	0.04	0.15[b]	0.05	0.32[a]	0.03
		22～42d	1.37[b]	0.19	1.56[ab]	0.21	2.09[a]	0.15
Total ME intake(Mcal/d)		3～21d	4.38[a]	0.08	4.39[a]	0.10	3.15[b]	0.04
		22～42d	5.66[a]	0.12	5.85[a]	0.16	4.94[b]	0.17
Number of starter access(/d)		3～21d	4.3[b]	1.1	4.5[ab]	1.5	7.7[a]	0.8
		22～42d	22.5[b]	2.4	25.6[ab]	2.7	29.3[a]	1.9
MR to starter ratio	DM	3～21d	94:6[a]	1.6	94:6[a]	2.2	86:14[b]	1.1
		22～42d	69:31[a]	3.2	63:37[a]	4.2	50:50[b]	2.2
	ME	3～21d	96:4[a]	1.2	96:4[a]	1.6	90:10[b]	0.8
		22～42d	77:23[a]	2.8	72:28[a]	3.8	60:40[b]	2.0

1）Dry Matter、2)Metabolize Energy was calculated using the equation given NRC(2001).
ab: different letters mean significant difference($P<0.05$)

Table 11 Effects of the difference of MR volume or concentration on growth in Holstein calves

Treatment		HV		HC		CO	
		Mean	SE	Mean	SE	Mean	SE
Body weight(kg)							
at 3d		42.9	0.96	44.4	0.94	44.1	0.70
at weaning (42 d)		68.3	1.23	69.9	1.80	65.6	1.13
Wither height(cm)							
at 3d		77.9	0.73	77.7	0.43	79.4	0.49
at weaning (42 d)		86.3	0.46	86.4	0.76	85.4	0.45
Weight gain(kg)							
	0～21d	9.7[a]	0.90	10.3[a]	1.20	6.7[b]	0.60
	22～42d	15.7	1.20	15.5	1.60	14.9	0.80
	total	25.3	1.40	25.7	1.90	21.6	1.00
Height gain(cm)							
	0～21d	3.2[ab]	0.50	5.1[a]	0.70	2.5[b]	0.40
	22～42d	5.1	0.50	3.7	0.70	3.6	0.40
	total	8.2[a]	0.60	8.8[a]	0.80	6.1[b]	0.40

ab: different letters mean significant difference($P<0.05$)

Table 11 に、発育値、試験期間の体重および体高の増加量を示した。離乳時の実測値では有意差は認められなかった。しかし、体重および体高の期間別増加量は、HV,HC において 3 日齢～21 日齢の値が高い傾向を示し、哺乳期間全体の体重および体高増加量は主に哺乳期前半の差が反映され、CO と比較して HV, HC で有意に増加した。

Table12 に疾病による治療頭数は HV4 頭（水様性下痢 1 頭、白痢 1 頭、肺炎 1 頭、血便 1 頭)、HC2 頭（白痢から肺炎へ移行 1 頭、水様性下痢 1 頭)、CO5 頭（血便 1 頭、水様性下痢 3 頭、白痢から水様性下痢

へ移行 1 頭）であった。1 回の治療は 3 日間続けており、ほとんどの子牛は 1 回の治療で完治したが、HC と CO で 1 頭ずつ複数回治療した。処理の違いによる治療頭数、回数および日数に差は見られなかった。

Table 12 Curing number ,average time and day

Treatment	Number	Time	Day
HV	4	1.0	2.8
HC	2	2.0	6.0
CO	5	1.2	3.6

4. 考　察

本試験では、哺乳バーンに移動させた後の全処理群で 2 日程度飲み残しが記録された。しかし、自動哺乳装置への 2～3 回程度の誘導により、その後はすべて摂取した。このことは、馴致が必要ではあるが生時体重 2.2%程度の代用乳量は、哺乳初期から十分摂取できる量であることを示している。人工乳の摂取開始時期には処理間に差が見られなかったが、人工乳摂取量、人工乳へのアクセス回数は CO に対して濃度の高い HC よりも哺乳量の多い HV がより明確な差として表れた。HV と HC の違いは水分量の違いでもある。Huuskonen ら(2011)は、哺乳期に冷水(6-8℃)よりも温かい水(16～18℃)の飲水量は増加するが、人工乳の摂取量に影響を与えなかったことを報告している。しかし哺乳では代用乳とともに希釈した水も直接第四胃に流入するので、飲水した場合と異なる経路で吸収される。代用乳の量だけでなく、哺乳からの水分摂取量も人工乳摂

取量の低下に何らかの影響を与えているのかもしれない。

従来から、制限哺乳は早期から人工乳摂取量を促進させる目的で推奨されてきた(農研機構 2006)。しかし、本試験の結果は哺乳量を高めると液状飼料期の人工乳摂取量は CO で有意に高い値を示したが、その量は極めて少量(HV 及び HC: 64 g/d、CO: 115 g/d)で、人工乳摂取量に大きな差が出たのは移行期であった。また、人工乳よりも代用乳の ME の利用効率は高い(NRC 2001)ため、処理に関係なく液状飼料期の平均 ME 摂取量の 9 割以上が哺乳からの供給に依存した結果となった(Table 10)。移行期で制限哺乳による人工乳摂取量の促進効果が表れ HV や HC と CO の全 ME 摂取量の差が小さくなったため、この期間の体重や体高の増加量に明確な差が認められなかった。しかし、液状飼料期の発育差が無くなるまでの人工乳摂取量には至らず、結果的に代用乳量の増給は、液状飼料期の発育の差として表れたと考えられた。

Jenny ら(1978)は、下痢を回避させるためには、哺乳量よりも哺乳濃度が重要であり、哺乳量に対して代用乳の乾物含量は 20%以上にすべきではないと報告している。本試験の HC ではこの含量を超えていたが、下痢が多発するような傾向は見られなかった。本試験ではタンパク質源として脱脂粉乳と濃縮ホエータンパク質、脂肪源として植物性油脂を原料とした代用乳を用いた。我が国においても、原料として、タンパク質源では濃縮大豆タンパク質や小麦グルテン、脂肪源ではラードを用いた代用乳も製造されている。特に、乳由来でないタンパク質は、液状飼料期でほとんど消化できない NRC(2001)ため、代用乳の用いられている原料

の違いやその割合も下痢の発症に重要であり、各代用乳によって限界の濃度が異なると考えられる。一方、哺乳量 6 L/日は哺乳初期から十分摂取可能な量である。代用乳量の増給を生産現場へ普及させるには、哺乳量を高める方法が推奨される。

本試験のような代用乳の質と給与量において、哺乳量あるいは濃度を高めた代用乳の増給は、どちらも液状飼料期における同様の発育改善効果があった。これは、乳汁の給与量は哺乳液量と代用乳の濃度、すなわち代用乳の量で決定すべきであることを示している。

Quigley ら(2006)は、代用乳給与量の増加とともに下痢の発症が多くなったことを報告しているが、本試験では代用乳量の違いにより下痢の発症頭数、治療期間に差が認められなかった。本試験では、毎日の敷料の交換、朝夕の観察を行っており、下痢の発症に対する治療も早期に行われた。Khan ら(2011)が指摘するように、下痢の低減には代用乳量の水準よりも、衛生状態や子牛の管理方法がより重要と考えられた。

以上の結果から、代用乳量の増給は液状飼料期における子牛の発育を改善し下痢の発症率が増加することなく、6 週齢でも離乳に必要な人工乳の摂取は可能であることを明らかにした。

Ⅳ-2　厳寒期における代用乳量の違いが人工乳摂取量、発育および疾病発症に及ぼす影響〔試験 5〕

1. 目　的

代用乳は全乳と比較して脂肪含量が低いため、エネルギー含量は 10～20%少ない。また、若齢の子牛は断熱効果が小さいので外気温が 15℃を下回ると子牛は体温維持にエネルギーを消費する。体重 45kg の子牛の ME 維持要求量は、熱的中性圏(15～25℃)と環境温度が 0℃で比較すると、液状飼料期では約 50%、移行期では約 30%近くまで増加する(NRC 2001)。

代用乳の制限哺乳は、北海道のような地域の厳寒期には体温維持の要求量にも満たないエネルギー量になることがある。しかし、脂肪含量が全乳より低い代用乳量の増給は、哺乳期の発育改善と、脂肪増加量が少ないため人工乳摂取量の抑制は少なくしつつ早期離乳でも離乳に必要な人工乳摂取が期待できる有効な方法である。

そこで、子牛への地域性を考慮して厳寒期における代用乳の増給が発育に及ぼす影響について検討した。

2. 材料と方法

供試牛頭数、試験処理および管理

根釧農業試験場で日平均の外気温が概ね 0ºC 以下(Figure 8)の 2011 年度 1 月 1 日から 3 月上旬および 2012 年度の 11 月下旬から 3 月中旬に出

生した子牛 21 頭（雌 13 頭、雄 8 頭）のホルスタイン子牛を試験の対象とし試験 4 と同様に飼養した。代用乳給与量は、3 日齢の体重比でおおよそ 2.2%になる群と 1.5%になる群の 2 処理とし、代用乳の濃度は 150 g/L と一定にして、哺乳量は生時体重 38～44 kg の哺乳牛に対して 6 L/日、45～52 kg に対して 7 L/日給与する WHV (Winter High Volume : n=11)と同 4L/日、4.5 L/日を給与する WCO (Winter Convention : n=10)とした。人工乳および乾草はチモシー主体の一番草を用いていずれも 6 週齢まで自由摂取とした。寒冷の影響が反映するように電熱ヒーター等の暖房の処置は一切行わなかった。

調査項目

体重は、分娩時、3 日齢,7 日齢以降は 42 日齢時まで各週と、体高は 3,21,42 日齢時のいずれも 9:00 に測定した。自動哺乳装置の代用乳量は個体ごとに毎日記録した。残量があった場合は給与量から差し引いて摂取量とした。人工乳摂取量およびアクセス回数は自動計量機付飼槽（Roughage Intake Control system, Insentic , The Netherlands）で個体ごとに毎日記録した。外気温は、アメダス中標津データ（根釧農試に設置）を用いた。牛舎内温度は、哺乳バーンで子牛が休息する場所の床から 30cm の高さに温度データロガーを設置し、10 分ごとに自動計測した。1 日分の温度の平均を、日平均牛舎内温度とした。また、哺乳バーンに滞在した日付から個体ごとの 3 d～21 d、22 d～42 d の平均温度を算出して、群ごとに平均した。毎日子牛を観察して疾病牛を特定し、糞便状況、体温、脱水状況等を考慮して治療の判断をした。

統計処理は、JMP11 を用いて一元配置の分散分析を行った。分散分析で差が認められた場合に最小自乗法で分類した。5%水準の危険率で差が認められた場合に統計的な有意差とした。

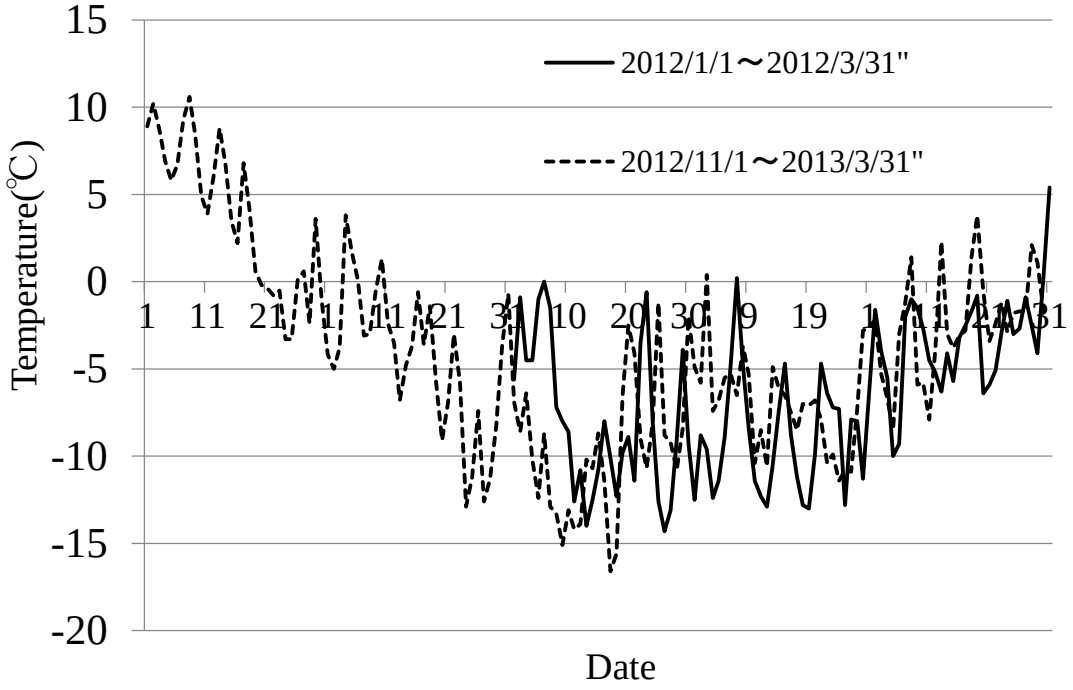

Figure 8　Outside　air temperature in experiment period

3. 結果

Table 13 および Table 14 に、厳寒期における代用乳量の違い哺乳方法の違いが飼料摂取量および発育に及ぼす影響を示した。試験期間中における哺乳バーンの日平均温度は 0℃前後であった(Table 14)。代用乳はいずれの処理においても設定量を摂取した。人工乳摂取量、アクセス回数は哺乳期間を通して有意な差は見られず、結果的に哺乳を通して全 ME 摂取量のうち代用乳由来の ME 割合が高くなった。哺乳期間中の増

体量および離乳時体重は WHV で有意に高い値を示した。離乳時の体高には差が認められなかったものの、22～42 日齢の有意な体高増加量を反映して哺乳期間の体高増加量も、WHV で有意に高い値を示した。

Table 13 Effects of the difference of Milk Replacer(MR) volume or concentration on feedstuff intake, the day of starting starter intake, number of starter access MR to starter intake ratio in Holstein calves

Treatment			WHV		WCO	
			Mean	SE	Mean	SE
MR intake (g)	DM[1)](g/d)	3～21d	953[a]	25	624[b]	12
		22～42d	990[a]	24	637[b]	12
	ME[2)](Mcal/d)	3～21d	4.33[a]	0.11	2.83[b]	0.05
		22～42d	4.50[a]	0.11	2.89[b]	0.06
The day of starting starter intake			15.1	2.9	15.5	3.9
Starter intake	DM (g/d)	3～21d	51	15	64	21
		22～42d	375	67	433	97
		at weaning	1100	211	1165	212
	ME (Mcal/d)	3～21d	0.14	0.04	0.18	0.06
		22～42d	1.06	0.19	1.23	0.27
Total ME intake(Mcal/d)		3～21d	4.48[a]	0.13	3.02[b]	0.06
		22～42d	5.56[a]	0.24	4.12[b]	0.28
Number of starter access(/d)		3～21d	4.5	1.3	5.2	1.4
		22～42d	19.8	2.6	18.4	3.4
MR to starter ratio	DM	3～21d	95:5	1.2	91:9	2.7
		22～42d	75:25	3.1	65:35	5.5
	ME	3～21d	97:3	0.8	94:6	1.9
		22～42d	82:18	2.5	73:27	4.6

1) Dry Matter、2)Metabolize Energy was calculated using the equation given NRC(2001).
a,b: different letters mean significant difference($P<0.05$)

Table 14 Effects of the difference of MR volume on growth of Holstein calves in winter

Treatment		WHV		WCO	
		Mean	SE	Mean	SE
Calf barn temperature(℃)					
	3～21d	-0.8	0.49	-0.8	0.54
	22～42d	0.7	0.61	0.0	0.77
Body weight(kg)					
at 3d		45.0	1.66	45.3	1.46
at weaning (42 d)		70.5[a]	2.04	61.5[b]	2.03
Wither height(cm)					
at 3d		79.3	0.88	80.1	0.52
at weaning (42 d)		85.8	0.63	84.2	0.84
Weight gain(kg)					
	3～21d	9.3[a]	0.81	3.8[b]	1.07
	22～42d	16.3[a]	1.08	12.4[b]	1.33
	total	25.6[a]	1.29	16.2[b]	1.47
Height gain(cm)					
	3～21d	2.7	0.41	2.2	0.46
	22～42d	3.9[a]	0.54	1.8[b]	0.39
	total	6.6[a]	0.64	4.0[b]	0.46

ab: different letters mean significant difference($P<0.05$)

Table 15 に哺乳期間の治療頭数、平均治療回数および日数を示した。治療頭数は各処理 2 頭で、そのうち各 1 頭ずつが複数回治療をおこなったが、両区の差は見られなかった。

Table 15 Curing number, average time and day

Treatment	Number	Time	Day
WHV	2	1.5	4.5
WCO	2	2.0	6.5

4. 考　察

熱的中性圏において、子牛体重が 45kg では ME の維持要求量は 1.74 Mcal /日であるが、環境温度が 0℃になると、液状飼料期では 2.67 Mcal /日、移行期は 2.21Mcal /日まで増加する(NRC 2001)。液状飼料期における WCO の ME 摂取量は 3.02 Mcal /日であり、9 割近くは維持エネルギーとして利用されたため、ほとんど増体しなかったと推測された。一方、同時期の WHV の ME 摂取量は 4.48 Mcal/日であり、維持に必要な量を差し引いても、1.81 Mcal/日となる。この値は理論上 0.49 kg の日増体量に見合う ME 量であるが、実際の日増体量 0.52 kg(液状飼料期の増体量 9.3 kg/18 日)と近似した値を示した。

本試験では試験 4 とは異なり、移行期においても両区の人工乳摂取量に違いが見られなかった。当初は、寒冷感作によりエネルギー要求量が高まり人工乳摂取量の増加を予想したが、厳寒期の子牛は、人工乳のアクセスは少なくなり、休息場所の敷料の上に群で身を寄せ合っている光景が見受けられた。他の個体と接触すること、また体を丸めて表面積を小さくすることで、熱として奪われるロスを最小限にする行動が優先されて、人工乳摂取の開始時期の遅れ、およびその後の摂取量増加に影響を与えたのであろう。非厳寒期(Table 10)と比較して WHV の人工乳摂取量の減少割合が少ない(Table 13)のは、代用乳量が多いことにより人工乳の摂取量が抑制されていたため、WCO よりも影響が少なかったと思われる。その結果、代用乳の増給の違いによる ME の摂取量差が液状飼料期だけでなく移行期までおよんで発育に反映して、離乳時の体格差は非

厳寒期よりも拡大したと考えられた。また、試験 4 の HV と試験 5 の WHV の哺乳期間の増体量がほぼ同等であったが、生時体重が異なっていた(HV: 43.9kg,WHV: 45.0kg)。このことを考慮すれば、WHV であっても、寒冷の影響を受けて非厳寒期よりも増加量が少ないと推察された。

以上のことから、代用乳量の増給は厳寒期の発育停滞には有効であることが示された。

Ⅳ-3　哺乳期間の発育が、離乳後の発育に及ぼす影響〔試験 6〕

1. 目　的

試験 4,5 では、代用乳の増給により液状飼料期から移行期にかけて発育が改善することを示した。本試験では代用乳増給による移行期までの発育差の持続性について反芻期である離乳後の飼養管理を同一にして検討した。

2. 材料と方法

調査対象牛と離乳後の管理

試験 4,5 に供試した 73 頭のうち、試験 4 で治療した 11 頭、試験 5 で治療した 4 頭と離乳後に移動した群で肺炎が流行した際に治療した 11 頭を除く、生時から 120 日齢の間に治療歴のない 47 頭(High: H, n=25; Convention: C, n=22)を対象にし、代用乳の量により増給を HMR、慣行を CMR とした。

離乳後 9 週齢(63 日齢)までは、哺乳期と同じ哺乳バーンで飼養し、人工乳は原物で 2.5kg/日を上限として、乾草は上限を設けず自由摂取させた。固形塩と水は自由にアクセスできるようにした。

9 週齢以降は隣接するフリーストールに随時移動し TMR（乾物中粗濃比 50 : 50、CP=16%、TDN=74%）を、1 日 1 回午前 10 : 00 に残食が 10%程度出る量を給与した。固形塩と水は自由にアクセスできるようにした。

調査項目

試験 4、試験 5 で示したのに加えて、体重・体高とも 56,70,90,120 日齢の 9:00 に測定した。人工乳摂取量およびアクセス回数は自動計量機付飼槽（Roughage Intake Control system, Insentic , The Netherlands）で個体ごとに毎日記録した。血液サンプルは、体重測定時に 18G の注射針付き 10mL 注射筒(テルモ株式会社、東京)で頚静脈から採取した。静脈血は、Venoject Ⅱ真空採血管（テルモ株式会社、東京）に移し替えて室温で 30 分間凝固させた後、20ºC で 2,000 g ×10 分間遠心し血清を得た。血清をプラスティックチューブに分注して-30ºC で保存した。血清中 NEFA,グルコース、β ヒドロキシ酪酸(BHBA)は自動血液分析装置(SYNCHRON CX-5, Beckman Coulter, Inc. USA)により分析した

統計処理は、JMP を用いて一元配置の分散分析を行った。5%水準未満の危険率で差が認められた場合に統計的に有意とした。

3. 結　果

両処理区の子牛はほぼ設定どおりの代用乳を摂取した(HMR: 902 ± 13.3g, CMR: 591 ± 7.4g)。Figure 9 に週齢別の平均人工乳摂取量の推移を示した。哺乳期間中、CMR の摂取量は 3 週齢を除いて HMR よりも有意に多く摂取した。特に 3 週齢以降の摂取量の差は大きかったが、離乳後は両区に差は見られなかった。

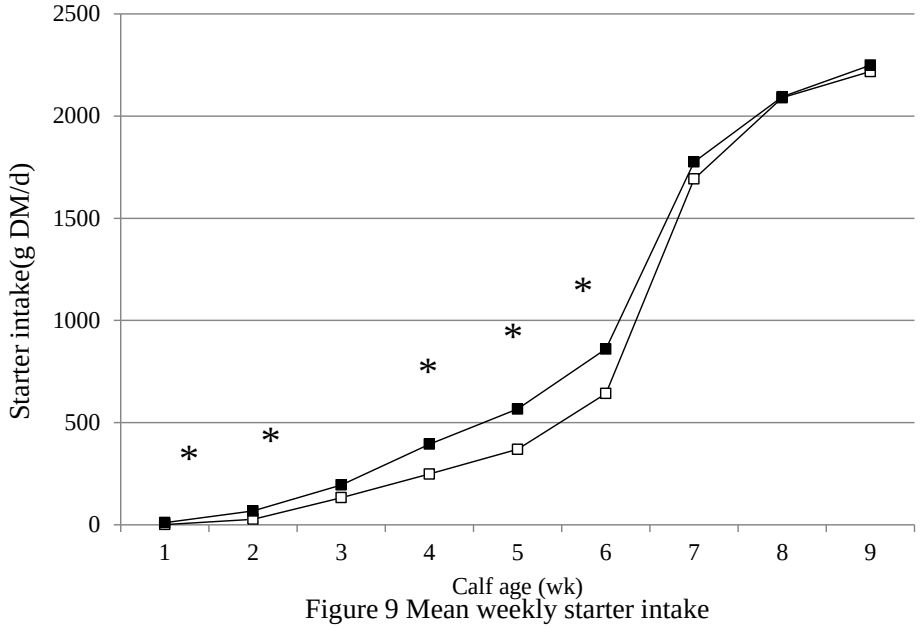

Figure 9 Mean weekly starter intake

HMR: group for Holstein calves fed high quantity milk replacer (─□─)
CMR: group for Holstein calves fed conventional quantity milk replacer (─■─)
* Significant difference between H and C(P<0.05)

Figure 10 に血清中血糖、遊離脂肪酸(Non-Esterified Fatty Acid: NEFA)およびβヒドロキシ酪酸(Beta Hydroxy Butyrate Acid: BHBA)の推移を示した。血糖は、哺乳期間中、両区でいずれも 100 mg/dl 程度で HMR が高く推移する傾向にあったが、離乳後は 80 mg/dl 程度に減少し両区とも同様な推移を示した。NEFA は、両区とも 14 日齢まで同様に減少したが、その後離乳まで HMR が高く推移(28, 35, 42 日齢: $P < 0.05$)し、離乳後は両区とも 100 μEq/L 程度で推移した。

BHBA は、14 日齢まで NEFA と同様の推移をしたが、21 日齢以降 C が高い傾向(35 日齢: $P < 0.05$, 42 日齢: $P < 0.10$)を示したが、離乳後は両区とも急激に上昇後、70 日齢以降は、ほぼ横ばいに推移し、処理間の差は認められなくなった。

出生～120 日齢までの体重及び体高増加量の推移を Figure 11 に示した。

離乳以降は、両区とも同一の飼料を同一の施設で給与し管理を行った。HMR の体重および体高は哺乳期間中 CMR より有意に上回っており、42 日齢時の体重および体高差（各々5.0 kg、2.5 cm）が、120 日齢までほぼそのまま（各々7.4 kg、2.7 cm）の差で継続した。

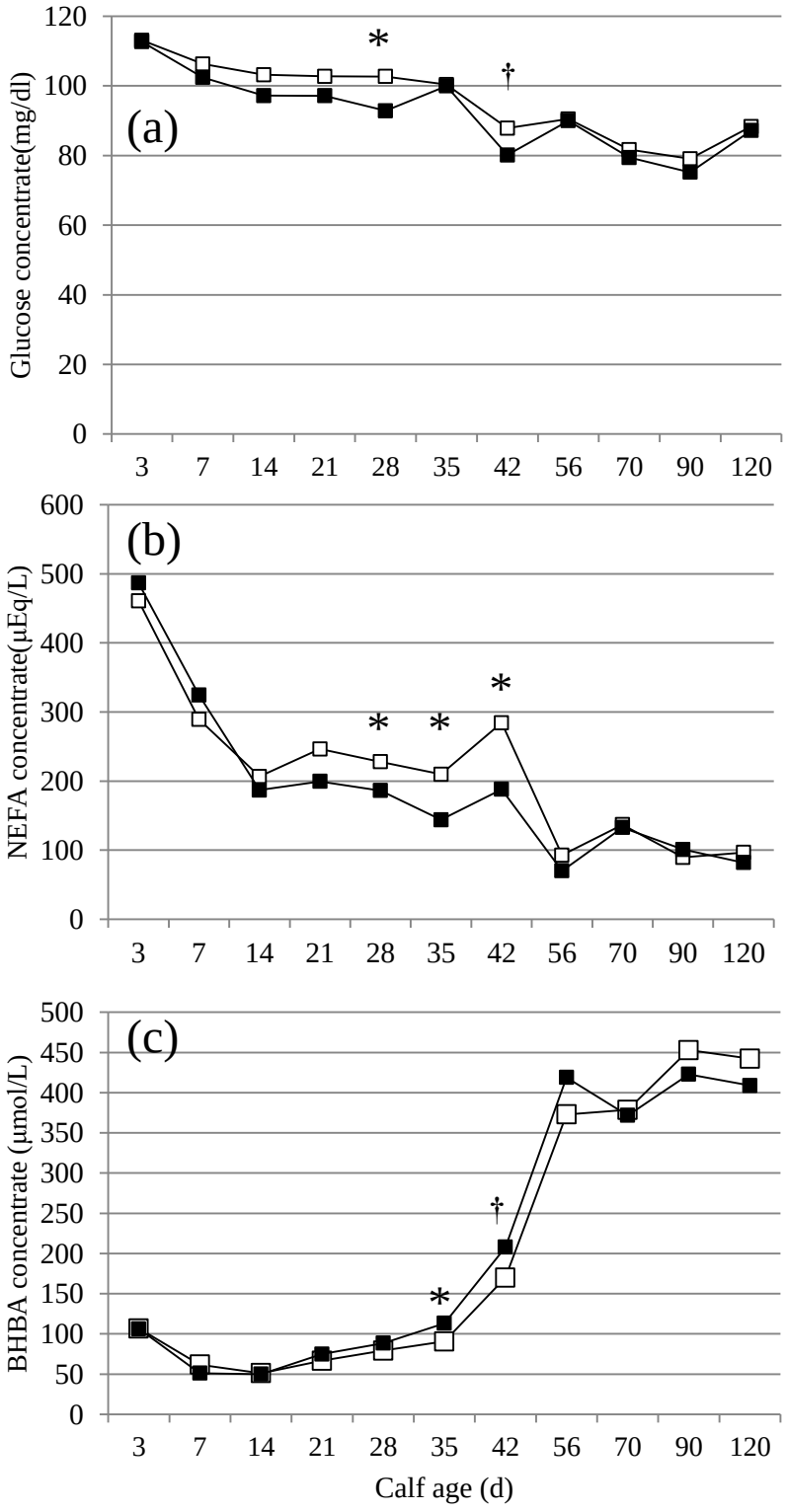

Figure 10 Glucose(a), NEFA(b) and BHBA(c) concentrate in serum
HMR: group for Holstein calves fed high milk replacer (—□—)
CMR: group for Holstein calves fed conventional milk replacer (—■—)
* Significant difference between H and C($P<0.05$)
† Significant difference between H and C($P<0.10$)

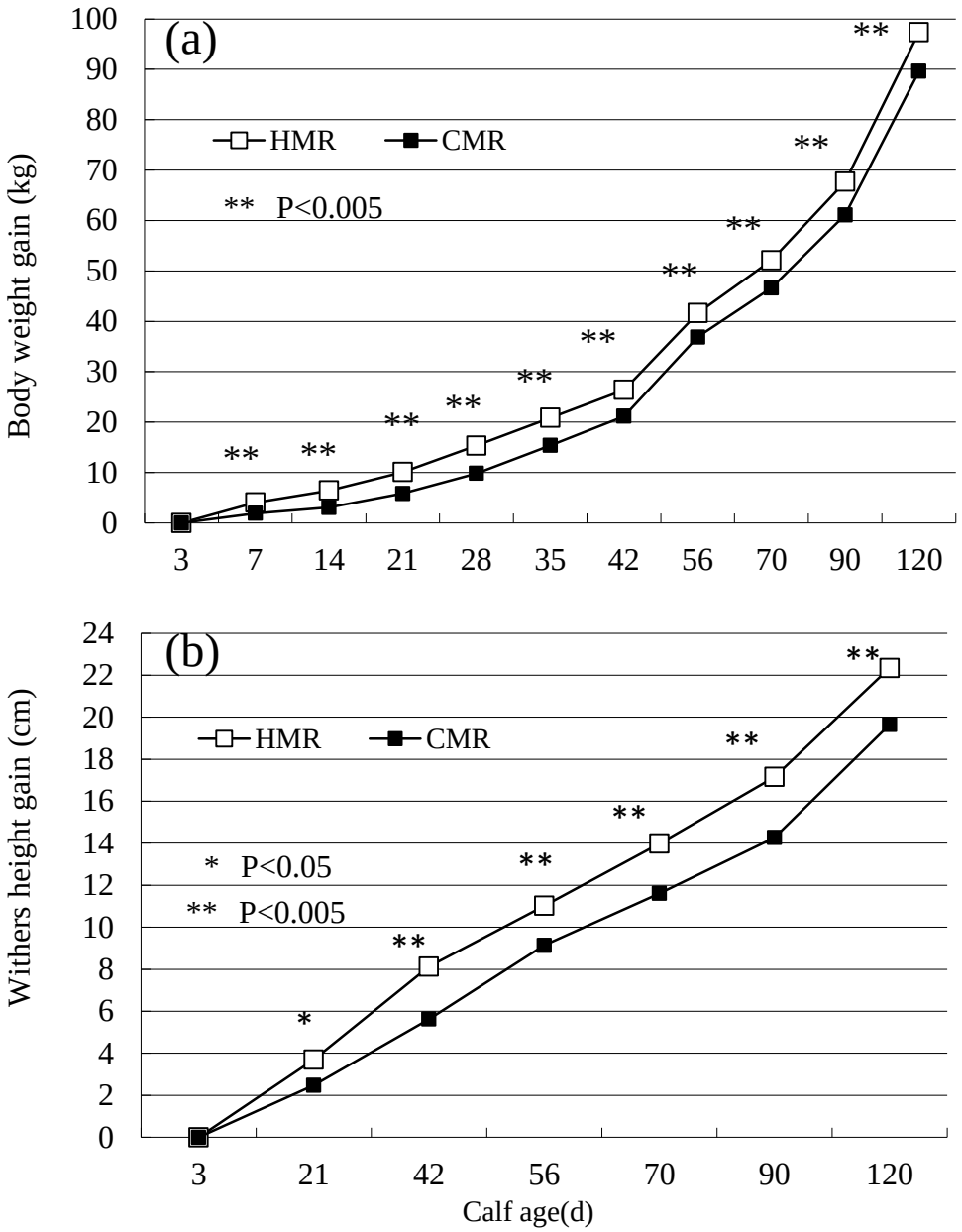

Figure 11　Body weight (a) and Withers height(b) gain

4. 考察

液状飼料期である 3 日齢から 14 日齢の NEFA および BHBA は、両区ともわずかながら減少した(Figure 10)。ケトン体である BHBA が生成される経路として、脂肪組織から動員された NEFA が肝臓に取り込まれてアシル-CoA に活性化され β 酸化を受け、アセチル CoA を経て生成される (上代 1993)。この推移は、エネルギー源として新生子牛が体内に蓄積している褐色脂肪が利用されたと推察された。

移行期になると、両区とも BHBA が上昇したが CMR が HMR より高い傾向を示した。この時期の BHBA の推移は、人工乳摂取量と同様な推移(Figure9)であり、Khan ら(2011b)の報告と一致している。このことから、液状飼料期で示した NEFA からの生成経路とは別に、ルーメン内で産生された酪酸がルーメン上皮を通過する際に変換された BHBA (小野寺ら, 2004)と考えられた。試験 2 でも触れたように、移行期にはルーメン絨毛の伸長や容積の増大により VFA の吸収能が飛躍的に高まると考えられる。この時期の BHBA はルーメン内で産生された VFA の指標になり、液状飼料期から移行期へ判断材料となり得る。

液状飼料期から移行期をとおして、加齢とともに血糖や NEFA が減少したが、HMR では CMR よりも高く推移する傾向が認められた。主なエネルギー源は乳糖や乳脂肪であり、代用乳の給与量が多い HMR で NEFA や血糖が高く推移する要因と推察された。

初産分娩月齢が 24 か月の場合、8 週齢離乳で 2 か月齢の目標とする成長速度として、体重は生時体重の 2 倍、体高は生時体高+10～11cm が提

示されている(Hoffman 1997; Kertz ら 1998)。本試験では、代用乳量の増加で、3 週齢までの発育が改善するとともに 6 週齢離乳でも離乳後の発育停滞することなく、これらの目標値をほぼ達成した(生時体重 44.8 kg、2 か月齢体重 89.1 kg、生時体高 78.6 cm、2 か月齢体高 89.5 cm)。

本試験では、代用乳の増給によりエネルギーだけでなくタンパク質の供給量を高める結果となった。この効果は体重だけでなく、液状飼料期において骨成長の指標となる体高の増加量も高まり、体格差は 120 日齢まで持続した。Heinrichs と Hargrove(1987)は、6 か月齢までの体格が小さい牛は、その後の代償性発育がなかったことを報告している。Ford と Park(2001)は、代償性成長のプログラムを用いて、一時期の発育停滞は、代償性成長により追いつくか、それを凌駕した発育値になることを示した。しかし、彼らの試験は体重についての結果であり、体高に関するデータは示されておらず、ホルスタイン育成牛を用いた 6 か月齢(180 日齢)、体重 160kg から開始しており、それ以前の代償性発育については不明である。Shamay ら(2005)は、全乳の自由摂取と代用乳の制限哺乳(同 CP=23.0%, Fat=12.0%, ME=4.1 Mcal)で 60 日間哺乳した時の離乳時の体格差は、体重、体高とも 180 日齢まで持続すること、それ以降の体格は飼料中のタンパク水準に影響されるが、体重に対する影響が大きく、体高にはほとんど影響しないことを報告している。これらのことから、栄養管理で体高を制御できるのは、出生からごく限られた時期であり哺乳量の成分や量が大きく影響を及ぼすこと、またこの効果は少なくとも 120 日齢までは代償性成長することなく維持されることが示された。

第Ⅴ章　　総合考察

我が国の酪農情勢の変化から、個体乳量の向上よりも疾病低減、供用年数延長を重視する必要があり、将来の乳生産を担う乳用後継牛の育成は重要課題であることを述べた。その上で、出生から24か月齢までの死廃率のうち、3か月齢以内の割合は6割程度を占めており大きな損失であること、また、その多くは飼養管理に問題があることを指摘した。

本研究では、出生から3か月齢までの時期を、これまで管理の観点から分類してきた初乳給与法、哺乳期飼養法、離乳後の飼養法を、早期離乳を前提とした栄養の消化機能の観点から液状飼料期(乳を主な栄養源とする時期)、移行期(乳と人工乳を栄養源とする時期)および反芻期（人工乳と粗飼料を栄養源とする時期）を特定して再構築するとともに、各期に応じた栄養源を最大限利用させる体系的・総合的な飼養法について検討した。

第Ⅱ章では、液状飼料期の最初である新生子牛への初乳給与法について見直しを行った。初乳の摂取不足はFPTになり疾病率や死廃率が増加する。FPT回避のために重要なのは初乳給与までの時間とIgG摂取量である(Quigleyら 1998)。現状の初乳給与は、生後1時間以内に食道カテーテルの利用も含めて3.8 Lの初乳を摂取させることが推奨されている(NRC 2001)。しかしこの方法は、時間的に対応できる頭数が限られること、また食道カテーテルの操作ミスによる誤嚥の危険性から、生産現場では利用されにくい技術である。そこで、初乳給与とまでの時間とIgG

摂取量および FPT との関係、新生子牛が自発的に摂取可能な初乳量について検討した【試験 1】。その結果、①生後 24 時間での血清中 IgG 濃度は、摂取した IgG 量の影響を強く受けること、②出生後 12 時間までの IgG の AEA は 0.3%/時以下で低下したが、その後、出生後 18 時間までは 2.5%/時と急速に低下すること、③子牛に十分な IgG を供給するには、生理的に巨大分子を移行できる初期の限られた期間において、初乳給与までの時間よりも IgG の摂取量が重要であること、④子牛の多くは初乳の１回給与で、最低 3L の初乳摂取は可能であることを明らかにした。

これらの知見は、これまで初乳給与で最も実施が困難であった「初乳給与までの時間」が 1 時間以内から 6 時間以内に緩和される。また、初乳中 IgG 濃度(40 mg/ml 以上)と量(3 L 以上)を優先させることで FPT の回避が可能となる。さらに、夜搾乳から朝搾乳までの間に分娩され、出生後 6 時間を経過した子牛に対しても、出生後 12 時間以内に IgG 濃度が高い初乳を多く摂取させれば、次善の策として FPT になる確率が低減するであろう。

これまで、液状飼料期と移行期を合わせて哺乳期として区分され、従来から乾草および人工乳は、各々ルーメンの筋層の発達、絨毛の発達に必要である(Tamate ら 1962)ことが示されたが、人工乳や乾草の摂取パターンや各発育ステージで利用する栄養源や発育への影響について論議がされないまま、近年では哺乳量の増量と哺乳期間の延長による発育改善の方向へ移行しつつある。しかし、省力化や低コストが課題の我が国の酪農産業においては、早期離乳法を活用した発育改善について、さら

に検討する必要があった。

そこで第Ⅲ章では、最初に液状飼料期と反芻期をつなぐ移行期について具体的な週齢の特定と、液状飼料期から移行期における乾草給与の意義について検討した【試験 2】。

その結果、濃度 150g/L の代用乳を 4L 哺乳で 6 週齢離乳の条件において、①我が国で一般的な人工乳は期待されている物理的刺激性は極めて少ないこと、②人工乳摂取は早い時期から観察されたが、人工乳摂取量が増加する起点は、21 日齢前後と離乳直後の 2 時期あること、③21 日齢前後の人工乳摂取量増加にともない乾草摂取量が増加することを明らかにした。また、④乾草は栄養ではなく、反芻を促進して唾液をルーメンに流入させる、あるいは物理的な絨毛へのブラッシング効果等、ルーメン環境を改善させる効果があることを確認した。ただし、個体管理の場合は特定の飼料を摂取する傾向が観察されたため、管理者が各飼料に馴致させることが必要であろう。

NRC(2001)は、離乳以降を反芻期としているが、原物で人工乳給与量の上限を 2,500g/日とした場合、人工乳が優先的に摂取され、子牛が上限量の人工乳を摂取可能になる離乳後少なくても 2 週間は人工乳が主な栄養源であることを明らかにした。しかし、9 週齢以降に増加した乾草摂取が栄養源として利用され、発育に影響を与える時期については特定できなかった。次に、離乳を早めた時の人工乳の上限給与量を摂取可能な時期、および栄養価の異なる乾草を用いて発育に影響を及ぼす時期について検討した【試験 3】。その結果、①乾草の質にかかわらず、3 週齢(21

日齢)までには摂取が行われ反芻すること、②栄養価の高い(柔らかい)乾草の摂取量が高まる傾向があること、③離乳時期を早めると人工乳を上限量摂取できる時期も早まるが、乾草摂取量はほぼ試験 2 と同程度時期から上昇すること④乾草の栄養価の違いは 9 週齢以降の増体に影響を与えることが示された。

これらのことから、主に乳だけが栄養になる液状飼料期は 3 週齢(21 日齢)程度、乳と人工乳が栄養源となる移行期は 3 週齢から離乳まで、反芻期は２つに分けることができ、主に人工乳が栄養源になる時期は離乳から 8 週齢まで 9 週齢以降は人工乳に加えて乾草も発育に影響を与える栄養源であると結論づけた。また、人工乳だけでは物理的な効果がなく、移行期にはルーメン内環境を改善するために必要であることを示した。

移行期から反芻期にかけては、移行期の哺乳量を高めると発育は改善するが人工乳摂取量は低下 (Hammon ら 2002; Jensen 2006; Quigley ら 2006) し、離乳後の発育が低下する。一方で、哺乳量を制限すると哺乳期の発育が制限され免疫機能も低下する(Jasper と Weary 2002; Huzzey ら 2005)という問題点がある。これらを総合的に構築し直す目的で、第Ⅳ章では代用乳で 6 週齢離乳を基準として哺乳期の発育を高めつつ離乳後の発育を停滞させない方法について検討した。

これまでの報告は試験により乳成分が異なる (Jasper と Weary 2002; Khan ら 2007a, 2007b, 2011; Roth ら 2009; Sweeney ら 2010)、 あるいは乳成分が示されていない(Jasper と Weary 2002; Roth ら 2009)ため、【試験 4】では、哺乳量および乳の濃度が人工乳摂取量に及ぼす影響につい

て自動哺乳装置を用いた群管理飼養の条件下で検討した。

本試験から得られたデータは第Ⅲ章の成果に基づき、哺乳期を液状飼料期と移行期に分けて整理した。①出生時体重に対して 2.2%の代用乳区給与量は、哺乳量方法にかかわらず摂取可能な量であり、液状飼料期の発育を改善する効果があること、②代用乳の増量給与より人工乳摂取量は移行期で大きく抑制され、濃度を高めるよりも哺乳量を多くする方がより大きく抑制されること、③哺乳方法にかかわらず離乳に必要な人工乳を摂取できること、を示した。これらの結果から、本試験のような代用乳の増給は、液状飼料期における子牛の発育を改善し、6 週齢でも離乳に必要な人工乳摂取が可能であることを明らかにした。

【試験 5】では、北海道の事情を考慮し、外気温が 0℃以下の厳寒期に同様の試験を行った。この時期は体熱維持のため、より多くの ME が要求されるであろう。人工乳の摂取量は、液状飼料期だけでなく移行期においても大きな増加が見られず、結果的に代用乳量給与量の差がそのまま体格の差に反映した。群管理ではカーフハッチのような個体管理と異なり、施設の天井が高い場合が多い。このような場所では、厳寒期には子牛の体温が常時奪われることになるため本試験のような群でまとまり体を丸めて発熱量を少なくする行動をとったと考えられた。

このことから、厳寒期における発育停滞の対策として、代用乳の増給は有効であることが示された。

【試験 6】では代用乳量の増給により、6 週齢離乳においても 2 か月齢の目標体格値を達成した。また、離乳後同一の飼養管理をすると代用

乳量により生じた哺育期の発育差は、代償性発育によりその差が縮まることなく、少なくとも 4 か月齢(120 日齢) は持続することが示された。

第Ⅳ章で行った一連の試験【試験 4, 5, 6】では、乾草を細断せずに自由摂取させたが、それによる人工乳摂取量の低下に関するデータや行動は確認できなかった。乾草が自由に摂取できる場合、選択して柔い乾草から摂取することがされていること、個体管理では偏食予防のため家畜管理者が馴致する必要があるが、群管理では他の子牛の行動を学習するため、過剰な摂取やそれにともなう人工乳摂取量の低下はなかったと推察された。

代用乳の増量は主に 3 週齢までの発育に効果があり、特に厳寒期での発育差が大きいこと、哺乳期の発育差は、その後の管理が同一であれば少なくとも 4 か月齢までは持続することを明らかにした。

以上から、次の様な乳用子牛の 3 期にわたる飼養法があらたに構築されるであろう。

<table>
<tr><th>時期</th><th colspan="2">日齢</th><th colspan="5">飼養プログラム</th></tr>
<tr><td rowspan="4">液状飼料期</td><td rowspan="2">初乳給与</td><td rowspan="2">0</td><td colspan="5" rowspan="2">出生～6時間
・IgG濃度40mg/ml以上
・3L以上
NO
YES
出生6～12時間
・IgG濃度50mg/ml以上
・3L以上
YES
NO
出生後12時間
・カテーテルで強制投与
・IgG濃度50mg/ml以上
・3L以上</td></tr>
<tr><td rowspan="2">移行乳</td><td rowspan="2">1～2</td></tr>
<tr><td rowspan="2">3～21</td><td rowspan="2">水・固形塩</td><td rowspan="2">代用乳</td><td colspan="2">個体管理</td><td colspan="2">群管理</td></tr>
<tr><td>人工乳</td><td>乾草</td><td>人工乳</td><td>乾草</td></tr>
<tr><td rowspan="3">移行期</td><td rowspan="3">22～42</td><td rowspan="3">自由摂取</td><td>出生体重比
2.2%
出生体重
38-44kg
濃度150g/L
6L/日</td><td>100g/日から開始
残食が無い場合100g増給
上限量300g/日</td><td rowspan="2">良質乾草
上限量50g/日</td><td rowspan="3">自由摂取
離乳時1000g/日以上</td><td rowspan="5">良質乾草自由摂取</td></tr>
<tr><td>出生体重
45-52kg
濃度150g/L
7L/日</td><td>残食が無い場合100g増給
離乳時1000g/日以上</td></tr>
<tr><td rowspan="2">反芻期</td><td>人工乳主体期</td><td>43～56</td><td rowspan="2"></td><td rowspan="2">自由摂取
上限量2500g/日</td><td rowspan="2">良質乾草自由摂取</td></tr>
<tr><td>人工乳＋乾草期</td><td>57～</td></tr>
</table>

※代用乳、人工乳および乾草は原物量

摘　要

本研究は、新生子牛への初乳給与法に関する検討、哺乳期における子牛への乾草給与の意義と発育ステージ別の主要な栄養源の特定、6 週齢離乳における哺乳量増給効果について検討し、出生から 3 か月齢の子牛において、死廃率、疾病率を低下させ、飼料の効率的な利用による発育改善を目的に実施した。得られた成果は以下のとおりに要約される。

１．液状飼料期における FPT 低減のための新生子牛への初乳給与法

一般的な酪農場の管理に準じた方法で初乳給与までの時間、初乳を 1 回給与時に自発的に摂取できる量と初乳を給与した時の見かけの吸収効率および血清 IgG 濃度の関係性について検討した。

初乳から新生子牛への IgG 移行は初乳給与までの時間と、IgG 摂取量に大きく影響されるが、生後 24 時間での血清中 IgG 濃度は、特に生後 6 時間以内に摂取した IgG 量の影響を強く受けること、出生後 12 時間を過ぎると AEA が急速に低下すること、子牛の多くは 1 回の初乳給与で、最低 3 L の初乳摂取は可能であることを明らかにした。このことから、FPT を回避させるには、IgG 濃度が 40 mg/ml 以上の初乳を 6 時間以内に少なくとも 3 L 以上摂取させる必要がある。

２． 液状飼料期、移行期、反芻期の特定と移行期における乾草給与の意義

哺乳期間の代用乳量を一定にし、人工乳を自由摂取させた条件下で乾草給与の有無および乾草の質の違いの比較試験を実施した。人工乳摂取量は、3 週齢前後と離乳後に急激な上昇が認められた。乾草も人工乳同様に 3 週齢程度と、人工乳が上限給与量を摂取できた 9 週齢移行に急激な上昇が認められた。乾草無給与の場合のみ、ルーメン内の異常(人工乳の付着、毛玉および多量の敷料)が確認された。良質乾草の給与により 9 週齢以降の日増体量が高まった。

これらのことから、液状飼料期は出生～3 週齢、移行期は 3～離乳、反芻期は離乳～8 週齢までは人工乳主体期、それ以降は人工乳と粗飼料の両方が栄養源になると判断した。哺乳期の乾草摂取は栄養源としてではなくルーメン内の環境改善に重要と考えられた。

３． 液状飼料期から移行期における代用乳量の増給効果

代用乳量の違いが哺乳期の発育に及ぼす影響を検討した。代用乳の増量方法として、濃度(150g/L)を変えずに哺乳量を多くする(6L)方法、または哺乳量を変えず(4L)に濃度を高める(225 g/L)方法と従来の方法(4 L, 150 g/L)として比較試験を実施した。哺乳量を増量することで哺乳期間の人工乳摂取量は低下したが、その差は主に移行期であり、濃度を濃くする方法よりも哺乳量を高める方法で人工乳摂取量の低下が強く現れた。液状飼料期の哺乳方法かかわらず、代用乳の増量により

液状飼料給与期の発育を改善し、その差はそのまま哺乳期の差となった。牛舎内温度が 0℃程度の厳寒期に、同様の試験を行うと寒さの影響で人工乳の摂取行動が減少した結果、哺乳期(液状飼料期＋移行期)を通して、代用乳の増量による発育改善効果が現れ、厳寒期における発育停滞の対策として代用乳の増給は有効であることが示された。

４．代用乳量増給における離乳時の体格差の持続効果

代用乳量の増給により、6 週齢離乳においても 2 か月齢の目標体格値を達成した。また、離乳後同一の飼養管理をすると代用乳量により生じた哺育期の発育差は、代償性発育することなく、少なくても４か月齢(120 日齢) は持続することが示された。

５．以上を踏まえ、従来の哺乳期および離乳以降の期間に対して、液状飼料期、移行期、反芻期を明確に定義して、これに従った乳用子牛の育成飼養法を構築し、提案した。

謝　辞

本研究をとりまとめるにあたり、終始懇切なるご指導を賜り、かつご校閲の労をお取りいただいた北海道大学大学院農学研究院特任教授近藤誠司博士には衷心からの感謝の意を表する。また、北海道大学大学院農学研究院特任教授中村富美男博士、同准教授上田宏一郎博士、同大学北方生物圏フィールド科学センター助教三谷朋弘博士には、ご校閲の労をおとりいただき、有益なご助言を賜った。ここに深甚なる謝意を表する。

本研究は、北海道立総合研究機構根釧農業試験場および畜産試験場で実施されたものであり、研究期間に在任された田村千秋氏、前田善夫氏、扇勉氏、宮崎元氏、小関忠雄氏、草刈直仁氏、小倉紀美氏、寒河江洋一郎氏、遠谷良樹氏、出岡謙太郎氏、原悟志氏、上田和夫氏、松井義貴氏、堂腰顕氏、谷川珠子氏、川本哲氏、昆野大次氏から多大なるご助言およびご協力をいただいた。統計処理については、明治飼糧株式会社顧問寺田文典博士に絶大なるご指導をいただいた。供試牛の管理については、星良明氏をはじめとする根釧農業試験場および畜産試験場の研究支援職員諸氏、飼料分析については両場契約職員諸氏、予算執行等の事務手続きについては両場総務課職員諸氏に甚大なるご協力をいただいた。ここに、以上の各位と試験のヒントをいただいた普及センターおよび生産者の方々、供試された全ての動物に深く感謝の意を表する。

引用文献

Abel Francisco, S.F., and J. D. Quigley III. 1993. Serum immunoglobulin concentration in response to maternal colostrum and colostral supplementation in dairy calves. Am. J. Vet. Res. 54:1051-1054.

Anderson, K. L., T. G. Nagaraja, and J. L. Morrill. 1987a. Ruminal metabolic development in calves weaned conventionally or early. J. Dairy Sci. 70:1000-1005.

Anderson, K. L., T. G. Nagaraja, J. L. Morrill, T. B. Avery, S. J. Galitzerand, and J. E. Boyer. 1987b. Ruminal microbial development in conventionallt or early weaned calves. J. Anim. Sci. 64:1215-1226.

浅井豊太郎,佐々木康之. 1970. 子牛の消化管機能の解剖学的発達に関する研究. 東北農試研報.第40号.209-224.

Baldwin, R. L., K. R. McLeod, J. L. Klotz, and R. N. Heitmann. 2004. Rumen development, intestinal growth and hepatic metabolism in the pre- and post-weaning ruminant. J. Dairy Sci. 87:E55–E65.

Beharka, A. A., T. G. Nagaraja, J. L. Morril, G. A. Kennedy, and R. D. Klemm. 1998. Effects of form of the diet on anatomical, microbial, and fermentative development of the rumen of neonatal calves. J. Dairy Sci. 81:1946-1955.

Besser, T. E., A. E. Garmedia, T. C. McGuire, and C. C. Gay. 1985. Effect of colostral immunoglobulin IgG1 and immunoglobulin M concentration on immunoglobulin IgG1 absorption in calves. J. Dairy Sci. 68:2033-2037.

Besser, T. E., C. C. Gay, and L. Pritchett. 1991. Comparison of three methods of feeding colostrum to dairy calves. J. Am. Vet. Med. Assoc. 198:419-422.

Boda, J. M., P. Riley, and T. Wegner. 1962. Tissue glycogen levels in relation to age and some parameters of rumen development in lambs. J. Anim. Sci. 21:252–257.

Bull, L. S., L. J. Busch, J. D. Friend, B. Harris Jr., and E. W. Jones. 1965. Incidence of ruminal parakeratosis in calves fed different rations and its relation to volatile fatty acids absorption. J. Dairy Sci. 48:1449-1456

Campbell, J.M., L. E. Russell, J. D. Crenshow, E. M. Weaver, S. Godden, J. D. Quigley, J. Coverdale, and H. Tyler. 2007. Impact of irradiation and immunoglobulin G concentration on absorption of protein and immunoglobulin G in calves fed colostrum replacer. J. Dairy Sci. 90:5726-5731.

Castells, L., A. Bach, A. Aris, and M. Terré. 2013. Effects of forage provision to young calves on rumen fermentation and development of the gastrointestinal tract. J. Dairy Sci. 96:5226–5236.

Coverdale, J. A., H. D. Tyler, J. D. Quigley, III, and J. A. Brumm. 2004. Effect of various levels of forage and form of diet on rumen development and growth in calves. J. Dairy Sci. 87:2554‑2562.

Davis, C. L., and J. K. Drackley. 1998. The Development, nutrition,and management of the yong calf. Iowa State University Press, Ames Iowa.

Ettema, J. F., and J. E. P. Santos. 2004. Impact of age at calving on lactation,

reproduction, health, and income in first-parity Holsteins on commercial farms. J. Dairy Sci. 87:2730–2742.

Flatt, W. P., R. G. Warner, and J. K. Loosli. 1958. Influence of purified materials on the development of the ruminant stomach. J. Dairy Sci., 41:1953-1600.

Ford, J. A., Jr., and C. S. Park. 2001. Nutritionally directed compensatory growth enhances heifer development and lactation potential. J. Dairy Sci. 84:1669–1678.

Gilliland, R. L., L. J. Bush, and J. D. Friend. 1962. Relation of ration composition to rumen development in early–weaned calves with observations on ruminal parakeratosis. J. Dairy Sci. 45:1211-1217.

Greenwood, R. H., J. L. Morrill, E. C. Titgemeyer, and G. A. Kennedy. 1997. A new method of measuring diet abrasion and its effect on the development of the forestomach. J. Dairy Sci. 80:2534–2541.

家畜改良事業団. 2014. 乳用牛群能力検定成績―平成25年度―

Hammon, H. M., G. Schiessler, A. Nussbaum, and J. W. Blum. 2002. Feed intake patterns, growth performance, and metabolic and endocrine traits in calves fed unlimited amounts of colostrum and milk by automate, starting in the neonatal period. J. Dairy Sci. 85:3352–3362.

Heinrichs, A. J., and G. L. Hargrove. 1987. Standards of weight and height for Holstein heifers. J Dairy Sci. 70:653--660.

Hill, T. M., H. G. Bateman II, J. M. Aldrich, and R. L. Schlotterbeck. 2008.

Effects of the amount of chopped hay or cottonseed hulls in a textured calf starter on young calf performance. J. Dairy Sci. 91: 2684-2693.

Hoffman, P. C. 1997. Optimum body size of Holstein replacement heifers. J. Anim. Sci. 75:836-845.

Hopkins, B. A., and J. D. Quigley III.1997.Effects of method of colostrum feeding and colostrum supplementation on concentrations of immunoglobulin G in the serum of neonatal calves. J. Dairy Sci. 80:979-983.

Huuskonen, A., L. Tuomisto, and R. Kauppinen. 2011. Effect of drinking water temperature on water intake and performance of dairy calves. J. Dairy Sci. 94:2475–2480.

Huuskonen, A., and H. Khalili. 2008. Computer-controlled milk replacer feeding strategies for group-reared dairy calves. Livest. Sci. 113:302‑306.

Huzzey, J. M., M. A. G. von Keyserlingk, and D. M. Weary. 2005. Changes in feeding, drinking, and standing behavior of dairy cows during the transition period. J. Dairy Sci. 88:2454–2461.

家畜改良センター. 2015. 届出情報の統計.全国及び都道府県別の牛の種別・性別・月齢別の死亡頭数(3)

家畜改良センター. 2014. 乳用牛評価報告 201４-8月 (5)

Kertz, A. F., B. A. Barton, and L. F. Reutzel. 1998. Relative efficiencies of wither height and body weight increase from birth until first calving in Holstein cattle. J Dairy Sci. 81:1479–1482.

小野寺良次. 2004. 新ルーメンの世界. 微生物生態と代謝制御　第３章

ルーメン内における栄養素の代謝と栄養生理　３．糖質の代謝と栄養生理　(3)糖質の代謝調節. p341-354. 農村漁村文化協会. 東京

Jaster, E. H. 2005. Evaluation of quality, quantity, and timing of colostrum feeding on immunoglobulin G1 absorption in Jersey calves. J. Dairy Sci. 88:296-302.

Jasper, J., and D. M. Weary. 2002. Effects of ad libitum milk intake on dairy calves. J. Dairy Sci. 85:3054‑3058.

Jensen, M. B. 2006. Computer-controlled milk feeding of group-housed calves: The effect of milk allowance and weaning type. J. Dairy Sci. 89:201–206.

上代淑人監訳. 1993. ハーパー・生化学原書23版. Ⅱ生体エネルギー論と糖質および脂質の代謝.23脂肪酸の合成.237-247. 丸善株式会社.東京.

加藤嘉太郎. 1979. 家畜比較発生学.第12版. 養賢堂. 東京.

Khan, M. A., H. J. Lee, W. S. Lee, H. S. Kim, S. B. Kim, K. S. Ki, J. K. Ha, H. G. Lee, and Y. J. Choi. 2007a. Pre- and post-weaning performance of Holstein female calves fed milk through step-down and conventional methods. J. Dairy Sci. 90:876–885.

Khan, M. A., H. J. Lee, W. S. Lee, H. S. Kim, K. S. Ki, T. Y. Hur, G. H. Suh, S. J. Kang, and Y. J. Choi. 2007b. Structural growth, rumen development, and metabolic and immune responses of Holstein male calves fed milk through step-down and conventional methods. J. Dairy Sci. 90:3376–3387.

Khan, M. A., D. M. Weary, and M. A. G. von Keyserlingk. 2011a .Invited

review: Effects of milk ration on solid feed intake, weaning, and performance in dairy heifers, J. Dairy Sci. 94:1071–1081.

Khan, M. A., D. M. Weary, and M. A. G. von Keyserlingk. 2011b. Hay intake improves performance and rumen development of calves fed higher quantities of milk. J. Dairy Sci. 94:3547–3553

公益社団法人　北海道酪農検定検査協会. 2014. 平成26年度(2014)個体の305日間成績Vol.3 9

Kuehn, C. S., D. E. Otterby, and J. G. Linn. 1994. The effect of dietary energy conc3entration of calf performance. .J. Dairy Sci. 77:2621–2629.

Krpálková, L., V. E. Cabrera, M. Vacek, M. Štípková, L. Stádník , and P. Crump. 2014. Effect of prepubertal and postpubertal growth and age at first calving on production and reproduction traits during the first 3 lactations in Holstein dairy cattle. J. Dairy Sci. 97:3017–3027.

Laarman, A. H., and M. Oba. 2011. Short communication: Effect of calf starter on rumen pH of Holstein dairy calves at weaning. J. Dairy Sci. 94:5661–5664.

Miller-Cushon, E. K., R. Bergeron, K. E. Leslie, G. J. Mason, and T. J. DeVries. 2013. Effect of feed presentation on feeding patterns of dairy calves. J. Dairy Sci. 96:7260–7268.

Mohd Nor, N., W. Steeneveld, T. van Werven, M. C. M. Mourits, and H. Hogeveen. 2013. First-calving age and first-lactation milk production on Dutch dairy farms. J. Dairy Sci. 96:981–992.

Morin, D.E., G. C. McCoy, and W. L. Hurley. 1997. Effects of quality, quantity, and timing of colostrum feeding and addition of a dried colostrum supplement on immunoglobulin G1 absorption in Holstein bull calves. J. Dairy Sci. 80:747-753.

Montoro, C., E. K. Miller-Cushon, T. J. DeVries, and A. Bach. 2013. Effect of physical form of forage on performance, feeding behavior, and digestibility of Holstein calves. J. Dairy Sci. 96:1117–1124.

National Animal Health Monitoring System. Dairy 1996; National dairy health evaluation project. Dairy heifer morbidity, mortality and health management focusing on pre-weaned heifers. Ft. Collins (CO); USDA-APHIS Veterinary Service.

National Research Council. 2001. Nutrient Requirements of Dairy Cattle. 7th Revised Edition. National Academy Press. Washington DC.

Nocek, J. E., and E. M. Kesker. 1980. Growth and rumen characteristics of Holstein steers fed pelletted or conventional diets. J. Dairy Sci. 63:249-254.

農業・食品産業技術総合研究機構　編.2006. 日本飼養標準　乳牛(2006). 中央畜産会. 東京.

農林水産省生産局畜産部資料. 2015. p3 畜産をめぐる情勢

農林水産省. 2014a. 牛乳乳製品統計(確報)

農林水産省. 2014b. 農林水産統計p16

乳用牛群検定全国協議会. 2015. 平成26年度乳用牛群能力検定成績速報 p5-6

乳用牛ベストパフォーマンス実現会議資料.2015.

大森昭一郎,小林剛,川端麻夫. 1969. 子牛の第１胃の低級脂肪酸、乳酸アンモニア濃度の菜食後の変動と発育にともなう推移について. 畜試研報 19:33-43.

大谷滋. 1981. 子牛における第一胃の発達に関する飼養学的研究. 北海道大学学位論文.

Ohtani, S.,S. Kondo, Y. Asahida, and Y.Hirose.1977. Evaluation for a possible use of the fiberscope in the study of the bovine reticulo-ruminal development. Japanese J. Zootech. Sci. 48:576-578.

Pirlo, G., F. Miglior, and M. Speroni. 2000. Effect of age at first calving on production traits and difference between milk yield returns and rearing costs in Italian Holsteins. J. Dairy Sci. 83:603-608.

Porter, J. C., R. G. Warner, and A. F. Kertz, PAS. 2007. Effect of fiber level and physical form of starter on growth and development of dairy calves fed no forage. The Professional Animal Scientist 2:395–400

Pritchett, L. D., C. C. Gay, T. E. Besser, and D. D. Hancock. 1991. Management and production factors influencing immunoglobulin G1 concentration in colostrum from Holstein cows. J. Dairy Sci. 74:2336-2441.

Quigley J.D.Ⅲ, J. J. Drewry. 1998. Nutrient and immunity transfer from cow to calf pre- and postcalving. J. Dairy Sci. 81:2779‑2790.

Quigley, J. D., T. A. Wolfe, and T. H. Elsasser. 2006. Effects of additional milk replacer feeding on calf health, growth, and selected blood metabolites

in calves. J. Dairy Sci. 89:207–216.

Rajala、P., andH. Castren. 1995. Serum immunoglobulin concentrations and health of dairy calves in two management system s from birth to 12 weeks of age. J. Dairy Sci. 78:2737‑2744.

Roth, B. A., N. M. Keil, L. Gygax, and E. Hillmann. 2009. Influence of weaning method on health status and rumen development in dairy calves. J. Dairy Sci. 92:645–656.

Roy, J. H. B. 1980. Factors affecting susceptibility of calves to disease. J. Dairy Sci. 63:650-664.

Sandra, G. D. 2008. Colostrum management for dairy calves. Vet. Clin. Food Anim. 24:19-39.

Staley, T. E., and L. J. Bush. 1985. Receptor mechanisms of the neonatal intestine and their relationship to immunoglobulin absorption and disease. J. Dairy Sci. 68:184–205.

Shamay, A., D. Werner, U. Moallem, H. Barash, and I. Bruckental. 2005. Effect of nursing management and skeletal size at weaning on puberty, skeletal growth rate, and milk production during first lactation of dairy heifers. J. Dairy Sci. 88:1460–1469.

Stobo, I. J. F., J. H. B. Roy, and H. J. Gaston. 1966. Rumen development in the calf. 1. The effect of diets containing different proportion of concentrates to hay on rumen development. Br. J. Nutr. 20:171-188.

Stott, G. H., D. B. Marix, B. E. Menefee, and G. T. Nightengale. 1979a.

Colostral immunoglobulin transfer in calves. II. The rate of absorption. J. Dairy Sci. 62:1766-1773

Stott, G. H., D. B. Marix, B. E. Menefee, and G. T. Nightengale. 1979b. Colostral immunoglobulin transfer in calves. III. Amount of absorption. J. Dairy Sci. 62:1902-1907

Stott, G. H., and A. Fellah. 1983. Colostral immunoglobulin absorption linearly related to concentration for calves. J. Dairy Sci. 66:1319-1328.

Suárez, B. J., C. G. Van Reenen, N. Stockhofe, J. Dijkstra, W. J. J. Gerrits. 2007. Effect of roughage source and roughage to concentrate ratio on animal performance and rumen development in veal calves. J. Dairy Sci. 90:2390–2403.

Sweeney B. C., J. Rushen, D. M. Weary, and A. M. de Passillé. 2010. Duration of weaning, starter intake, and weight gain of dairy calves fed large amounts of milk. J. Dairy Sci. 93:148–152.

Tamate, H., and A. D. McGilliard, N. L. Jacobson, and R. Getty. 1962. Effect of various dietaries on the stomical development of the stomach in the calf. J. Dairy Sci. 45:408-420.

Terré, M., M. Devant, and A. Bach. 2007. Effect of level of milk replacer fed to Holstein calves on performance during the preweaning period and starter digestibility at weaning. Livest. Sci. 110:82–88.

Todd, A. G., and P. B. D. Whyte. 1995. The effect of delays in feeding colostrums and the relationship between immunoglobulin concentration in

the serum of neonatal calves and their rates of growth. Australian Vet. J. 11:415-417.

Warner, R. G. 1991.Nutritional factors affecting the development of a functional ruminant-A historical perspective. Proc. Cornell Nutr. Conf, p1-12. Itacha, NY: Cornell University.

Weary, D. M., J. M. Huzzey, and M. A. G. von Keyserlingk. 2009. Board-invited review: Using behavior to predict and identify illhealth in animals. J. Anim. Sci. 87:770–777.

Weaver, D. M., J. W. Tyler, and D. C. VanMetre D.C. 2000. Passive transfer of colostral immunoglobulins in calves. J. Vet. Intern. Med. 14:569-577.

Wells, S. J., D. A. Dargatz, and S. L. Ott. 1996. Factors associated with mortality to 22 days of life in dairy herds in the United States. Prev. Vet. Med. 29:9-19.