

ホルスタイン種雌牛の成長過程における  
飼料中第一胃分解性および非分解性タンパク質の  
構成割合に関する栄養学的研究

筑波大学大学院  
生命環境科学研究科  
先端農業技術科学専攻  
博士（農学）学位論文

織 部 治 夫

略語

酸性デタージェント繊維 (acid detergent fiber; ADFom)

酸性デタージェントリグニン (acid detergent lignin; ADL)

耐熱性  $\alpha$ -アミラーゼ処理中性デタージェント繊維  
( $\alpha$ -neutral detergent fiber; aNDFom)

ボディ・コンディション・スコア (body condition score; BCS)

粗タンパク質 (crude protein; CP)

第一胃内分解性タンパク質 (crude protein degradable; CPd)

第一胃内非分解性タンパク質 (crude protein undegradable; CPu)

増体日量 (daily gain; DG)

乾物 (dry matter; DM)

代謝エネルギー (metabolizable energy; ME)

代謝タンパク質 (metabolizable protein; MP)

微生物態タンパク質 (microbial crude protein; MCP)

中性デタージェント繊維 (neutral detergent fiber; NDF)

アンモニア態窒素 ( $\text{NH}_3\text{-N}$ )

非構造的炭水化物 (non structural carbohydrate; NSC)

血漿中尿素態窒素 (plasma urea nitrogen; PUN)

可消化養分総量 (total digestible nutrients; TDN)

混合飼料 (total mixed ration; TMR)

揮発性脂肪酸 (volatile fatty acid; VFA)

## 目 次

第 1 章	緒論	1
第 2 章	飼料中 CPd および CPu の構成割合が発育および繁殖成績に及ぼす影響	
2.1	緒言	8
2.2	材料および方法	10
2.3	結果	14
2.4	考察	16
2.5	要約	20
2.6	図表	21
第 3 章	飼料中 CPd および CPu の構成割合が窒素出納、血液性状、および第一胃液性状に及ぼす影響	
3.1	緒言	30
3.2	材料および方法	32
3.3	結果	35
3.4	考察	36
3.5	要約	40
3.6	図表	41
第 4 章	育成期の飼料中 CP 水準が生産性および繁殖成績に及ぼす影響	
4.1	緒言	48
4.2	材料および方法	50
4.3	結果	53
4.4	考察	56
4.5	要約	63
4.6	図表	64
第 5 章	総括	75
	引用文献	81
	謝辞	93

## 第1章 緒論

乳牛の生産性における経済的効率を高めるためには、乳量の高位安定化に加えて不受胎期間の短縮と長命性の両立が望ましい。そして、これらの要因が育成期間の飼養管理と深く関連することは広く知られている（岡本と今泉 1970）。離乳から分娩までの育成期には、初産時の乳生産を営む準備期間として乳腺組織の発達のもとより、第一胃などの消化器官の成長を充実させてバランスのとれた体格に発育させることが重要である（新畜産ハンドブック 1995）。上述のように、育成期間は将来の泌乳性や繁殖性を左右する重要な時期であるが、経営面から見ると生産性には直結せず、飼料費等の経費がかさむリスクをかかえる時期でもある。

わが国の酪農を取り巻く現状としては、①乳価の低迷、飼料や資材の価格高騰等による収益性の悪化、②糞尿の処理に係る経費の増加、③後継者不足、等による経営の困難さが増しており、飼養戸数も減少傾向にある。このような状況の中で、酪農経営の効率化と低コスト化を図りつつ、安定的な経営と安心・安全な牛乳および乳製品の生産を確保していくことが緊急の課題となっている。酪農経営において効率化と低コスト化を推進するためには、育成雌牛に係る飼料費および労働費などの経費節減に加え、育成雌牛を収容する施設の効率的な利用が必須である。したがって育成期間の短縮や受胎率の向上、さらに事故率を低下させる飼養技術の確立が重要である。1997 年から 2011 年までの牛群検定成績によると、都府県における平均初産月齢は 25.0 ～26.0 ヲ月とほぼ横這いで推移しており（家畜改良事業団 2012）、依然として育成期間の短縮化が進んでいない。この理由には、育成期の栄養管理に対

する戦略的意識の不足が強く影響している。初産分娩の月齢や体格の目標値を設定して長期的な栄養管理を実践する飼養管理が普及しているとは言い難い。また、初産月齢を早期化する目的で育成期を高エネルギーで飼養すると過肥による受胎率の低下が認められ、結果的に初産分娩が早まらないことや繁殖障害の増加をもたらすことが指摘されている (Reid ら 1964)。特に、育成後期の過肥は周産期における代謝病を起こしやすく (Grummer ら 1995)、乳腺への過剰な脂肪蓄積による乳腺組織の発達阻害と乳生産性の低下も散見される (ARC 1980; Beede と Collier 1986)。

一方で、コーンサイレージおよびアルファルファ乾草を主体に調製した高エネルギー・高 CP 飼料の給与により、20～24 ヶ月齢の初産分娩が可能であること (野中ら 1995) や、高い受胎率を示す (長谷川ら 1995) ことが報告されており、初産月齢の早期化につながることを示されている。また、春機発動前における DG を 1.2 kg に設定したエネルギー給与において CP レベルを変えると、低 CP 区では乳腺実質の割合が有意に減少するが、高 CP 区では乳腺実質の発達は阻害されない (Whitlock ら 2002)。これらの知見は、育成期間が高エネルギー飼養であっても、CP を高めることにより初産月齢の早期化につながることを示唆している。著者らは先に、育成期間における飼料中エネルギーおよび CP 水準が初産分娩月齢とその後の生産性に及ぼす影響について検討している。飼料中 TDN および CP 含量をそれぞれ 68% および 14% に調製した TMR を給与することにより、DG が 0.97 kg で 23 ヶ月齢での初産分娩と牛群検定における平均レベルの乳生産であったことを確認している (Ishii ら 2011)。従って、初産分娩月齢を 21 ヶ月にまで早期化してかつ平均的な乳量を確保するには、育成期の飼料中エネルギーレベルをさら

に上げるだけでなく CP の水準についても重要であることが解ってきている。

日本飼養標準・乳牛（農林水産省農林水産技術会議事務局 1999）では「雌牛の育成に要する 1 日当たり養分量」の表で DG0.9 kg の場合の必要養分量が示されており、これを超える DG の場合は示されていない。初産分娩月齢を 21 ヶ月齢程度に早めるためには、初回人工授精時までの DG を 1.0 kg にする必要があり、そのためには、CP の供給量を現行の飼養標準で示されている値よりも増量しなければならないと考えられる。

飼料中タンパク質は、通常、窒素量に 6.25 を乗じた CP で表されるが、これには CP 以外の窒素化合物（非タンパク態窒素）も含まれている。CP を乳牛等の反芻動物に給与する場合、第一胃で分解される CPd と加熱やコーティングなどの物理的処理やさまざまな化学的処理によって第一胃内分解性を抑制して（Wulf と Südekem 2005）下部消化管で吸収される CPu に大別される（Krishnamoorthy ら 1983）。CPd は第一胃内に生息している細菌や原虫等の微生物の栄養源となる。CPd は、細菌や原虫によってアンモニアと有機酸に分解され、特に増殖の過程でアンモニアを窒素源として新たに MCP が合成される。一般に牧草中の CP は生体にとって必須アミノ酸であるメチオニンやリジンの含有率が低い、MCP はメチオニンやリジンの含有率が高く、CP の栄養価が格段に上昇することが知られている（小野寺 1990）。このことは、草からメチオニンおよびリジン含量の高い生乳を生産するという乳牛の栄養生理機能の特徴である。よって、同じ量の CP を給与したとしても CPd 割合の高い方が MCP 合成量も増えることから、より効率的な CP 給与であると考えられる。実際の CPd 給与方法については、微生物の MCP 合成能に見合った量を供給することが推奨されている（日本飼養標準・乳牛 2006）。

微生物の MCP 合成能を超えた CPd 量が給与された場合、第一胃内  $\text{NH}_3\text{-N}$  および PUN 濃度が増加して、CP の利用効率低下や繁殖成績に負の影響を及ぼすことが示されている (Canfield ら 1990)。逆に CPd 給与量が微生物の MCP 合成能を充足しない場合は、第一胃内  $\text{NH}_3\text{-N}$  濃度の低下によって微生物の代謝および増殖が阻害され (Russel と Wallace 1988)、繊維消化率の低下やそれに伴う乾物摂取量の抑制も指摘されている (El-Shazly ら 1961)。

第一胃内での微生物の活動と MCP 合成には、エネルギー源として炭水化物が必要である。炭水化物の中でも第一胃内で発酵可能な成分であるデンプン、糖、ペクチン、および有機酸類に相当する NSC が指標とされる。第一胃内発酵は NSC 量と CPd 量とのバランスが重要であることから、給与する CPd を効率良く MCP 合成に結びつけるためには、微生物による CPd と NSC の利用バランスを制御する必要がある (日本飼養標準・乳牛 2006)。第一胃の発達は 6 ヶ月齢頃にほぼ機能が成熟することから、第一胃が発達段階である 6 ヶ月齢までの期間は、飼料中 CPu 割合を増やして CPu を下部消化管で吸収させることにより効率的な CP 代謝が可能になると考えられる。すなわち、育成期間において飼料中 CPd と CPu の割合を検討することは、CP の体内における有効な代謝を導く可能性がある。阿部 (1980) は、CPd および CPu の割合や量を制御することで、育成雌牛の CP 利用効率や発育の改善が図られることを示唆している。また、CPu 含量を変えた 4 種類の飼料をホルスタイン種育成雌牛に給与した場合、CPu の増加に伴って飼料効率が上昇するという報告 (Tomlinson ら 1997) もある。しかし、一方で、CPu 含量の増加は育成牛の DG と飼料効率への改善効果はないという知見 (Steen ら 1992) もあり、CPu が代謝や発育に及ぼす効果は明確ではない。これらの試



験は、飼料中 CP 含量を一定にして、CPu 含量を変えている。これに応じて CPd 含量も変わるので MCP 合成量も変化するものと推測される。しかしながら、飼料中 CPd および CPu の割合を検討した報告は少なく、効果に関する知見も一致していない。NRC 飼養標準（2001）では、育成雌牛の体重によって CPd および CPu の必要量を分けて表示している。しかし日本飼養標準・乳牛（農林水産省農林水産技術会議事務局 1999）では、搾乳牛に対して乳量に応じた CP および CPd の適正含量を表示しているが、育成牛に対しては示されていない。この理由は、育成雌牛における CPd の給与割合と代謝効率および発育との関係について知見が殆んどないためである。

また近年、酪農経営の規模拡大と個体乳量の増加に伴い、家畜の糞尿による環境負荷の増大と環境汚染が進み、糞尿管理が重要な問題となっている。家畜から排泄される窒素は、硝酸態窒素として地表面や地下水を汚染するとともにアンモニアとして大気を汚染する（Tamminga 1992）。尿中における窒素化合物は尿素が最も多い。尿中の尿素は排泄後速やかに糞中微生物由来のウレアーゼによりアンモニアに分解される。牛舎内の換気が不良の場合アンモニアの滞留をもたらし、牛の健康に悪影響を与える（アニマルウェルフェアの考え方に対応した乳用牛の飼養管理指針）。さらに、揮散したアンモニアは酸性雨の原因ともなる（松田 2001）。このため、欧州連合（EU）諸国では環境汚染の防止を目的に、糞尿施用可能な所有農地面積当りの家畜頭数に上限を設けたり（デンマーク：牛 2.3 頭/ha）、農地への糞尿施用量の上限を設けている（窒素換算でドイツ：170 kg/ha、イギリス：210 kg/ha）（松田 2001）。アメリカではクリーンウォーター法によって高密度家畜飼養農場に認定された家畜生産農場には、家畜糞尿による環境負荷を軽減する義務が課

せられる。具体的には、化学肥料と家畜糞尿をあわせて作物要求量を超える養分を施用しないようにし、作物要求量を超える家畜糞尿は農地還元以外の方法で処理利用することが義務づけられる（環境保全型農業レポート 2010）。このように家畜糞尿による環境汚染は世界各地で対策が行なわれており、地球規模の喫緊の問題になっている。糞中窒素の多くは、飼料由来の不消化物や微生物体および内因性窒素であり、半分以上は内因性窒素が占める。飼料中 CP の真の消化率が元来高いことから、CP の消化性の向上による糞中窒素の低減効果は多くを望めない（寺田ら 1997）。一方、尿中窒素に占める内因性窒素の割合は 1 割程度であり、飼料中の CP 含量および TDN/CP 比を適正範囲内で制御することにより、尿中窒素量はかなり低減できる（扇ら 2003、寺田ら 1997）。Van Straalen と Tamminga（1990）は、多回給与、TMR 給与、およびサイレージの制限給与のような飼養管理方法により、飼料 CP の第一胃内での分解レベルを調節して糞尿中への窒素の排泄を低減できることを示唆している。日本飼養標準・乳牛（2006）では育成雌牛の尿中および糞中窒素排泄量の一般的な値は示されていないことから、環境負荷低減の視点からも育成雌牛のタンパク栄養の適正管理かつ有効利用について検討する必要がある。

そこで本研究では、育成期における DG1.0 kg を目標とする飼料中エネルギー含量の条件下において、日本飼養標準（1999）が示している雌牛の育成に要する CP 水準とほぼ同一レベルに設定した適 CP 区、現行の飼養標準のレベルに CP を 6～12% 程度上乗せして高めた高 CP 区の 2 区を設け、発育等に及ぼす効果を検討した。摂取した CP の代謝が効率良く進行する CPd と CPu の最適割合を求めるため、両者の構成割合を変えた 2 種の飼料を用いて飼養

試験および窒素出納試験を行い、発育、窒素出納、MCP 合成量、および MP 供給量に及ぼす影響について解析した。本論文では、第 2 章において飼料中 CP 含量および CP 中 CPd と CPu の構成割合の違いが体重、体格各部位の発育、および初回発情日齢等の繁殖成績に与える影響について検討し、適正な飼料中 CP および CPd と CPu の含量を考察した。第 3 章では、第 2 章で用いた試験牛について窒素出納試験を行って、糞尿中への窒素排泄量および体内への蓄積窒素量を評価するとともに、摂取窒素の利用効率について検討した。そして、小腸へ供給される MP を求め、飼料 CP の代謝について考察した。同章ではさらに、尿中排泄窒素による環境汚染の低減の可能性についても言及した。また、血液性状、第一胃液性状、および BCS への影響についても考察した。第 4 章では、第 2 章および第 3 章で用いた試験牛について、90 日齢から体重 350 kg 程度までの育成期間における CP 含量の違いが、生産性等に及ぼす影響について検討した。検討項目は BCS および乳頭長の外観上の状態から体脂肪や乳腺への脂肪付着状況を推定し、続く初産分娩の状況、初産後の泌乳成績、繁殖成績、および初産分娩以降廃用するまでの生涯生産乳量等への影響について考察した。

## 第2章 飼料中 CPd および CPu の構成割合が発育および繁殖成績に及ぼす影響

### 2.1 緒言

最近の牛群検定における初産分娩月齢は 25 ヲ月齡程度である（家畜改良事業団 2011）。日本飼養標準では 24 ヲ月齡の初産分娩を目標としている（農林水産省農林水産技術会議事務局 2006）。しかし、21 ヲ月齡程度の初産分娩であっても正常な乳生産は可能との報告もある（Gardner ら 1977 ; Van Amburgh ら 1998）。24 ヲ月齡分娩を目指す場合は 15 ヲ月齡で受胎させる必要があり、21 ヲ月齡分娩の場合は 12 ヲ月齡で受胎させなければならない。種付け適期は、一般に体高 125 cm以上で体重 350 kg以上が基準とされている（Beede と Collier 1986 ; Bertics ら 1992）。この体格基準に達していない種付けは分娩時の体格不足による難産等の分娩事故あるいは分娩後の乳生産性の低下を招くことが指摘されている（Hoffman 1997）。したがって、12～15 ヲ月齡で種付け適期に達するためには成長を現状よりもさらに促進させる必要がある。しかし、春機発動前における高エネルギー飼養は乳腺への脂肪沈着が増加する（Sejrsen と Purup 1997）。この理由は春機発動を境として、ホルモンの分泌機能の変化や栄養素に対する生体の反応性が異なるためである（Sejrsen ら 1983）。この様なリスクを回避する手段として、飼料中 CP 含量との関連性に注目した研究がある。Collier ら（1982）は、育成牛の DG を高めても飼料中 CP 含量を高めることにより、乳生産の低下をもたらさずに 21 ヲ月齡程度での初産分娩が可能であると報告している。本研究では、CP の代謝がさらに効

率的に行われるように CP 含量のみならず、CP 中の CPd および CPu 割合の影響について検討した。本章では、飼料中 CP の CPd と CPu との構成割合を変えることによる発育および繁殖性に及ぼす影響について検討した。

## 2.2 材料および方法

### 2.2.1 供試牛の飼養管理

石川、千葉、茨城、富山、神奈川、長野、および愛知県の公立畜産試験研究機関で生産されたホルスタイン種雌子牛 60 頭を供試した。供試牛は生後 42 日間哺乳を行い、離乳後は人工乳（TDN70%、CP17%以上）を 2.5 kg/日を上限として給与し、乾草は不断給餌とした。試験開始は 90 日齢とし、1 週間前から試験飼料への馴致を行った。試験期間は体重が 350 kg で体高が 125 cm 以上の体格に達するまでとし、その後、初回人工授精を実施した。試験期間中は、供試牛を単飼ペンまたは個体識別給餌装置が付設されたストール内で管理した。本研究は、「産業動物の飼養及び保管に関する基準」（昭和 62 年 10 月 9 日総理府告示第 22 号）に準拠して実施した。

### 2.2.2 試験飼料の構成および給与方法

試験飼料の構成を表 2.1 に示した。濃厚飼料および加熱大豆粕は各試験場間で同一のものを購入した。その他の単味飼料については各県で流通しているものを用いた。粗飼料は同一ロットのカナダ産チモシー乾草を 5~6 cm に切断して給与した。

ホルスタイン種育成雌牛の 1 日当り CP 要求量の乾物中割合は、体重 200 kg 前後を境に大きく減少することが知られている（農林水産省農林水産技術会議事務局 1999）。そのため、試験期間を体重 200 kg までの前期と体重 200

kg以降 350 kgに達するまでの後期に分け、飼料中 CP 含量については、両期間で日本飼養標準・乳牛（農林水産省農林水産技術会議事務局 1999）が提示する DG0.9 kgの場合の CP 要求量とほぼ同じレベルの適 CP 区と 6～12 %上回る高 CP 区を設定した。具体的には、前期および後期の飼料中 CP 含量をそれぞれ 14%および 12%とする適 CP 区と、16%および 14%とする高 CP 区を設け、両区に各 30 頭を配置した。飼料中 CP 含量に占める CPd および CPu の割合については、次のように設定した。CP の第一胃内の適正分解率は、泌乳牛のデータのみであるが、CP 中 0.65～0.7 と示されている（日本飼養標準・乳牛（農林水産省農林水産技術会議事務局 1999））ことから、前後期とも適 CP 区の CP 中 CPd を上記範囲（前期 0.655、後期 0.684）内とした。そして、DM 中の CPd および CPu 含量を前期はそれぞれ適 CP 区 9.1%および 4.8%、高 CP 区 9.6%および 6.5%、後期は適 CP 区 8.0%および 3.7%、高 CP 区 9.2%および 4.8%に設定した。試験期間中の目標 DG は両区とも 1.0 kg とした。

飼料給与量の決定は 2 週間毎に行った。供試牛の体重から想定される 1 週間後の体重を基に、日本飼養標準（農林水産省農林水産技術会議事務局 1999）から算出した TDN 要求量に対して充足率が 100%となる量を給与した。試験飼料の給与は個体ごとに 1 日分の給与量を朝夕 2 回に等分し、朝の給与時に前日分の残飼量を飼料別に測定した。給与飼料の粗濃比は動物栄養試験法（阿部 2001）に従い、繊維消化率の低下が生じないよう 50:50 に近い割合（前期 46:54、後期 54:46）に設定した。

飼料成分は、DM、CP、および NDF 含量を常法（自給飼料品質評価研究会 2001）により測定した。圧片とうもろこし、大豆粕、およびチモシー乾草の CP 中 CPd 含量は、日本飼養標準・乳牛（農林水産省農林水産技術会議事務局

局 1999)「飼料中タンパク質各画分の割合 (CP 中%)」から算出し、それぞれ 40%、70%、および 70%と評価した。配合飼料の CP 中 CPd 含量は、構成している単味飼料の第一胃内分解率から算出して 59%とした。加熱大豆粕の CP 中 CPd 含量は、製造メーカー (West Central Cooperative, Ralston, IA, USA) の公表値である 40%を採用した。NSC は  $(100 - \text{NDF} - \text{CP} - \text{粗脂肪} - \text{粗灰分})$  で算出した。

### 2.2.3 測定項目

体重は試験開始時から隔週で、体格については体高、十字部高、腰角幅、尻長、臍幅、坐骨幅、胸囲、および管囲を 4 週間隔で測定した。

初回発情を日常管理の中で確認するとともに、同日に直腸検査による卵巢状態を確認した。発情確認の 1 週間後に頸静脈から血液を採取し、3 ヶ月以内に蛍光酵素免疫測定法により血漿中プロジェステロン濃度を測定した。そして、体重が 350 kg を超えかつ体高が 125 cm を超えた後に確認された最初の発情時に人工授精を実施し、その 1 週間後に初回発情時と同様に血漿中プロジェステロン濃度を測定した。その後は受胎するまで人工授精を繰り返した。授精には家畜改良事業団の後代検定実施済のホルスタイン種の精液を用いた。

### 2.2.4 統計処理

得られたデータは飼料中 CP 含量を主効果とし、県をブロック因子とする乱塊法の分散分析を行った。解析には SAS (1990) の GLM プロシジャを用



いた。なお、統計的に有意な水準は  $P < 0.05$  とした。

## 2.3 結果

### 2.3.1 育成成績

試験開始日齢と前期および後期終了日齢を表 2.2 に示した。体重 200 kg 到達日齢は、高 CP 区が約 3 日、体重 350 kg 到達日齢も高 CP 区が約 10 日 ( $P=0.078$ ) 早まった。

試験期間中の体重の推移は、90 日齢から 180 日齢頃まで両区とも日本ホルスタイン登録協会（ホル協）の発育曲線の標準発育範囲内で推移したが、以降同範囲を若干上回る発育を示した（図 2.3）。体高については、試験期間を通じて両区ともホル協の標準発育範囲の上限の付近で推移した（図 2.4）。

試験開始時と終了時の体重、体尺値、およびそれらの 1 日当たり増加量を表 2.3 に示した。両区の DG は前期はほぼ同じであったが、後期は高 CP 区がやや高い傾向 ( $P = 0.111$ ) を示した。両区的全試験期間を通した DG は、ほぼ当初設定した 1.0 kg であった。体重が 350 kg に達した日齢での体高および体尺値の 1 日当たり増加量については、両区間に有意差は認められなかった。

試験期間中における DM、CP、TDN 摂取量、および飼料効率を表 2.4 に示した。両区の DM 摂取量は同レベルであったため、CP 摂取量は飼料中 CP 含量が反映されて高 CP 区が適 CP 区に比べて多くなった ( $P < 0.01$ )。CPd 摂取量は後期において高 CP 区が高く ( $P < 0.01$ )、CPu 摂取量は前後期を通して高 CP 区で多くなった ( $P < 0.01$ )。DM 摂取量に占める CP 摂取量、CPd 摂取量、および CPu 摂取量の割合は、各々設定した試験飼料の各成分含量にほぼ一致した。DM 摂取量に占める TDN 摂取量の割合は両区とも前期 72%、後期 69%

で、表 2.1 に示した飼料設計の DM 中 TDN% に比べて 2% 程度低くなった。これは、試験期間を通じて、チモシー乾草の残飼が総飼料給与量の 3% 程度あったためである。試験期間を通じた飼料効率のうち DM および TDN 摂取量当たりの増体量は、両区間に差は認められなかったが、CP 摂取量当たりの増体量は、適 CP 区が高 CP 区に比べて高まった。 $(P < 0.01)$

### 2.3.2 繁殖成績

繁殖関連の測定項目の結果を表 2.5 に示した。

日常管理の行動観察において外陰部の腫脹、粘液の漏出、スタンディング等により初回発情を確認した個体は 50 頭（適 CP 区 25 頭、高 CP 区 25 頭）であった。そのうち、血漿中プロジェステロン濃度の上昇（4ng/ml）を示したのは適 CP 区 15 頭、高 CP 区 16 頭であった。行動観察で初回発情が確認できなかった個体が適 CP 区で 4 頭、高 CP 区で 3 頭おり、これらの個体は採血を行わなかった。初回発情を確認した個体において、初回発情の日齢は 214 日～355 日の範囲を示し、ばらつきが大きかった。平均は適 CP 区 284.6 日、高 CP 区 282.4 日で、有意差は認められなかった。初回発情および初回人工授精から 1 週間後の血漿中プロジェステロン濃度についても両区はほぼ同じであった。また、初回人工授精日齢、受胎までに要した人工授精回数、および受胎日齢も両区に差は認められなかった。

## 2.4 考察

本研究では、初回人工授精の基準を体重 350 kg でかつ体高 125 cm 以上に設定したところ、全ての供試牛が体重 350 kg 到達時には体高も 125 cm を超えており、体格のバランスを保った発育であると考えられた。本研究では目標 DG を両区とも 1.0 kg に設定したが、体重 350 kg 到達日齢は、高 CP 区で早まる傾向を示した ( $P = 0.078$ )。育成期における目標 DG を 1.0 kg にした Ishii ら (2011) の試験では、実際の DG が 1.1 kg を超えると DG1.0 kg の育成雌牛に比べて初産乳量が有意に低くなった。それ故、本試験でも DG を 1.0 kg に設定した。供試牛の受胎日齢は適 CP 区 380 日、高 CP 区 362 日となり、初産分娩月齢はそれぞれ 21.4 ヶ月、21.1 ヶ月であった。これは両区ともに都府県の平均初産月齢 25 ヶ月 (家畜改良事業団 2009) に比べて 3~4 ヶ月早い分娩となった。

Hoffman ら (2001) は、ホルスタイン種育成雌牛を用いて飼料 CP 水準による発育への影響を検討している。飼料中の TDN 含量を 65% に統一して CP 水準を 8、11、13、および 15% の 4 段階に分けた飼養試験では、CP 水準の違いで DG に差はなかったが、CP15% 区で胸囲の増加量が高まるとともに、CP 水準と体高および腰角幅の増加量との間に正の相関を認めている。Lammers と Heinrichs (2000) は、ホルスタイン種育成雌牛へ一定の ME 条件 (2.55Mcal/DM kg%) における CP 含量 15.6% の飼料の給与は、同含量 11.8% に比べて DG が 9.5% 向上し、腰角幅、十字部高、体高、および胸囲の成長が 12~18% 増加したと報告している。一方、これらの知見よりも高いエネルギーレベルで CP 水準に差を設けた場合、ホルスタイン種育成雌牛の DG および体高に差を認めていない (Whitlock 2002)。このように、育成期の体尺値の発育に CP が影

響することは示されているが、エネルギーレベルとの関係によってその効果が異なることが推察される。日本飼養標準・乳牛（農林水産省農林水産技術会議事務局 2006）では、育成前期の目標 DG を 1.0 kg に設定するには、飼料中の CP 含量を 15% 以上にする必要があるとしている。AFRC（1993）および NRC（1989）は、16% を超える CP レベルを推奨している。さらに Kertz ら（1987）は、3～6 ヶ月齢の育成雌牛が過肥にならずに DG 1.0 kg の成長を示すには、最低でも 17% の飼料中 CP 濃度が必要であることを指摘している。しかし本試験の結果は、両区の DG および体尺値の増加量に差が認められず、体格のバランスを保った成長を示した。したがって、飼料中の TDN 含量が 70% 前後では、CP 含量が前期 14%～16%、後期 12%～14% の範囲で変化しても DG および体尺値には影響しないことが示唆された。そして、既往の知見ほど CP 水準を上げる必要はないと推察された。

飼料中 CP を構成する CPd と CPu が発育に及ぼす影響を検討した試験がいくつか行われている。Bethard ら（1997）は、DM 中 TDN 含量を 66% として CPu 含量を CP 中 27% および 52% に調製した 2 種類の飼料の給与試験を行い、ホルスタイン種育成雌牛の DG に差は認められなかったとしている。さらに、飼料中 TDN および CP レベルをそれぞれ 70% および 12% に調製して CPu 含量を 4 水準（CP 中 8.5%、23.2%、43.0%、54.1%）を設定した飼料を給与しても、育成雌牛の DG に有意差はなかった（阿部ら 1991）。一方、Tomlinson ら（1997）は、TDN 水準を 63%、CP 水準を 12% に設定して CP 中 CPu 含量を 31%、43%、50%、55% の 4 水準の飼料の給与試験を行っている。その結果、CPu の割合が高くなるほど DG が直線的に増加し、さらに、十字部高の増加量および飼料効率も CPu 割合が高くなるほど向上したことを認めている。こ

これらの試験は CP 含量を一定にして CPd と CPu の割合を変えている。CPu 含量を変化させるということは CPd 含量を変化させると言い換えることができる。本試験は体重 200 kg までは両区で CPd をほぼ同じレベルにし、CPu で 2% の差を設けたため、CP で 2% の差が生じている。高 CP 区において適 CP 区に比べて増やした 2% の CPu は DG や体各部位の発育に関しては効果がなかったことから適 CP 区の水準で十分と考えられた。体重 200 kg 以降 CPd、CPu をそれぞれ 1% ずつ高 CP 区を適 CP 区に比べて高めた。前期と同様、発育に差はなかったことから、後期も適 CP 区の水準で十分と考えられた。

第一章でも述べたが、CPd を効率的に MCP に変換するためには微生物の活動源となる炭水化物が必要である。それゆえ飼料中の NSC と CPd の比率に着目した研究も行われている。Gabler と Heinrichs (2003b) は飼料中の NSC:CPd が 3.86 および 3.14 では、3.86 の方が期間中 DG が高く、3.14 は CPd を最大限に利用するのに十分な NSC を含んでいないかもしれなかったと考察している。本研究では、NSC:CPd 比は前期において適 CP 区 3.79、高 CP 区 3.17 であり後期において適 CP 区 4.11、高 CP 区 3.40 であった。前期の高 CP 区は NSC が不足気味、後期の適 CP 区は NSC が過剰であったことが推測された。上述の Tomlinson ら (1997) の研究で発育に影響が認められたことは、CP 水準と TDN 含量が本研究に比べて低いことから基本的に MP 供給量が不足気味であり、そのために CPu の影響が強く現れたものと推察される。

一般的に、育成牛の飼料中エネルギー水準が高いと春機発動の到来日齢は早くなる (Stelwagen と Grieve 1990) が、逆にエネルギー水準が高い個体は受胎しにくい (Reid ら 1964) ことが知られている。一方、育成期に CP 水準または CPd と CPu の割合を変えた飼料の給与がその後の繁殖成績に及ぼす影響

を検討した知見は少ない。Radcliff ら（2000）は標準飼料（S 区:ME2.3Mcal/kg、CP/DM17.5%、CPu/CP26.8%:目標 DG0.8 kg）と高エネルギー高 CP 飼料（H 区: ME2.8Mcal/kg、CP/DM19.3%、CPu/CP38.1%:目標 DG1.2 kg）による飼養試験を育成期に行っている。その結果、初回人工授精日齢は H 区が有意に 92 日早く、初産分娩日齢も H 区が 88 日早まったが、受胎率には差がなかった。本研究では繁殖関連の検討項目について両区の測定値はほぼ同じであった。このことはエネルギー含量が一定の場合、CP 水準や、CPd と CPu 構成割合の違いはほとんど繁殖成績に影響を与えないことを示唆している。Radcliff ら（2000）の試験では試験区間で CPu 含量に差をつけているが同時にエネルギー含量にも差を設けていることからエネルギー含量の差の影響が大きいと考えられた。

以上の結果から、飼料中の TDN 含量が 70%程度の場合、3 ヶ月齢から体重 200 kgまでは、CP 含量が 14%、CPu 含量が DM 中 4.8%でも十分な発育を示した。また、摂取した CP1 kg当りの飼料効率も適 CP 区が高かった。続く体重 200 kgから 350 kgまでの期間においても発育、飼料効率、および初回発情日齢等の繁殖成績についても適 CP 区は高 CP 区と遜色がなかった。従って、高 CP 区の CP 水準は、育成期において過剰であった可能性が考えられた。また、本研究における CPd と CPu 構成バランスは育成雌牛の成長に対する明瞭な影響は認められなかった。

## 2.5 要約

乳用育成雌牛の初産分娩月齢の早期化を目指すため、人工授精適期までの CP 水準および CPd と CPu の構成割合が発育および繁殖成績に及ぼす影響について検討した。試験期間は生後 90 日齢から体重が 350 kg に到達するまでの期間とし、処理区は給与飼料中の CP 水準および CPd と CPu の構成割合の違いにより 2 区を設定した。すなわち体重 200 kg までは適 CP 区を CP13.9% (CPd9.1%、CPu4.8%) および高 CP 区を CP16.1% (CPd9.6%、CPu6.5%) とし、体重 200 kg 以降は適 CP 区を CP11.7% (CPd8.0%、CPu3.7%)、高 CP 区を CP14.0% (CPd9.2%、CPu4.8%) とした。なお、飼料設計は試験期間中における両区の目標、DG を 1.0 kg を充足する水準とした。

試験期間中の DG は両区でほぼ同じで、体重が 350 kg に達した日齢は高 CP 区が 9.7 日適 CP 区よりも早かったが、有意差は認められなかった。体重 350 kg 到達時の体格には両区で差は認められなかった。試験期間中の DM 摂取量が両区で同レベルであったため、TDN 摂取量に有意差は認められず、CP 摂取量は高 CP 区が高くなった。また、CP 摂取量当りの飼料効率も適 CP 区が有意に高まった。初回発情日齢、初回人工授精日齢、および受胎までに要した人工授精回数は両区で差は認められなかった。以上のことから、適 CP 区の CP および CPu 水準で高 CP 区と同程度の発育を示し、特に 200 kg までは CPu 増給の発育への効果は認められなかった。体重 200 kg までは CP14% (CPd9%) 程度、体重 200 kg から人工授精適期までは CP12% (CPd8%) 程度で充足していると考えられた。



## 2.6 図表



① 圧片とうもろこし



② 大豆粕



③ 加熱大豆粕



④ 市販の育成用配合飼料



⑤ チモシー乾草  
(約 5 cmに切断して給与)

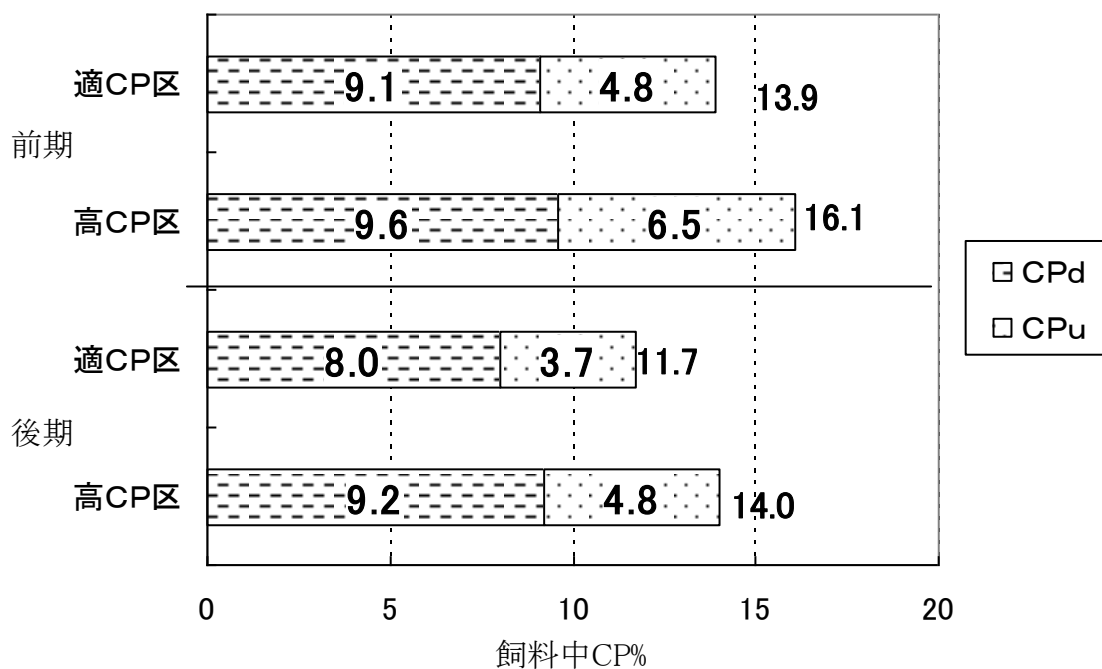
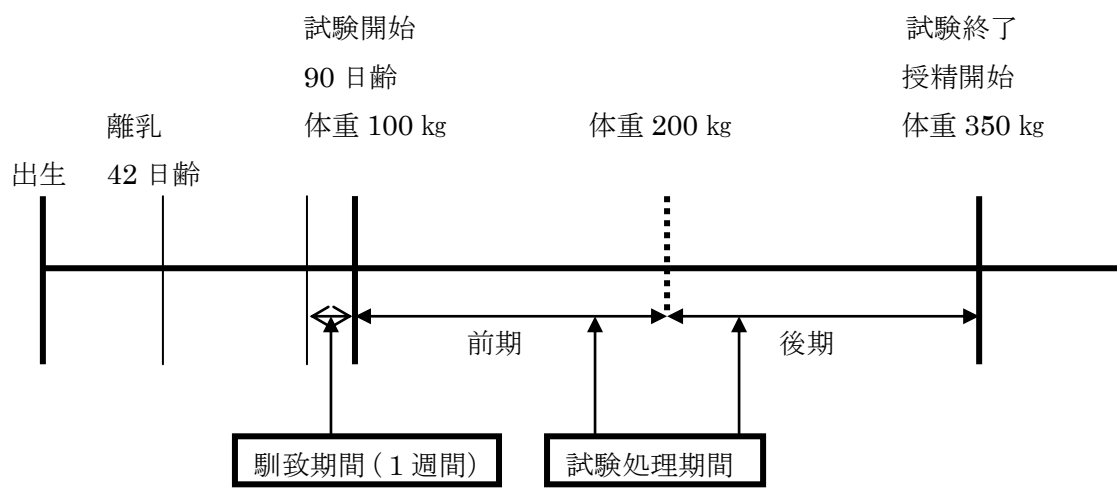


飼料給与の様子：

5 種類の飼料（①～⑤）を混合して給与

供試牛は単房で飼養し、1 日 2 回、朝夕の定時に給与

図 2.1 試験飼料を構成する単味飼料および飼料給与の様子



試験処理期間中の飼料中 CP、CPd、および CPu の濃度

図 2.2 試験処理期間と試験区の構成

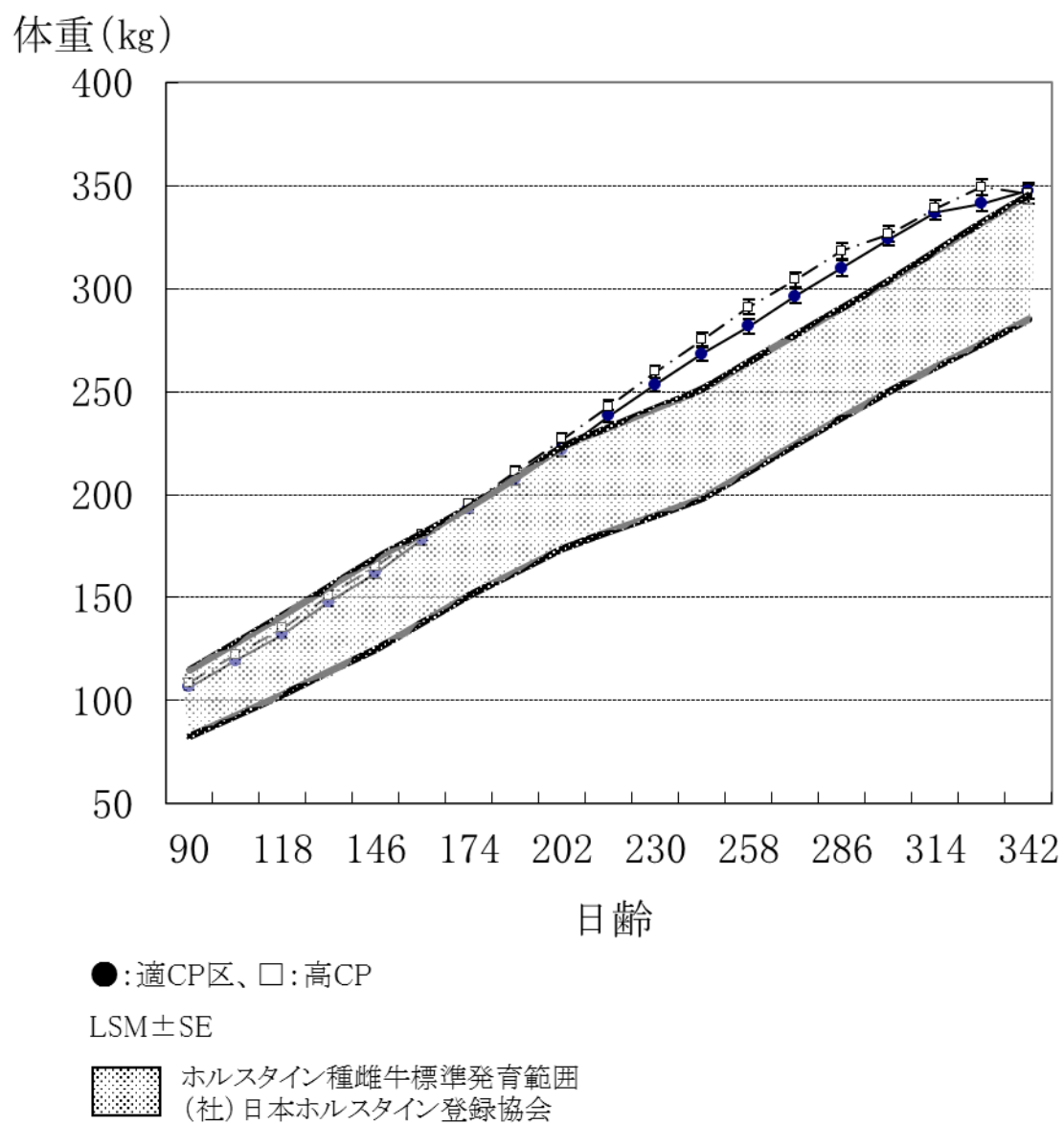


図2.3 給与飼料中のCP、CPd、およびCPu含量に差を設けたホルスタイン種育成雌牛の体重の推移

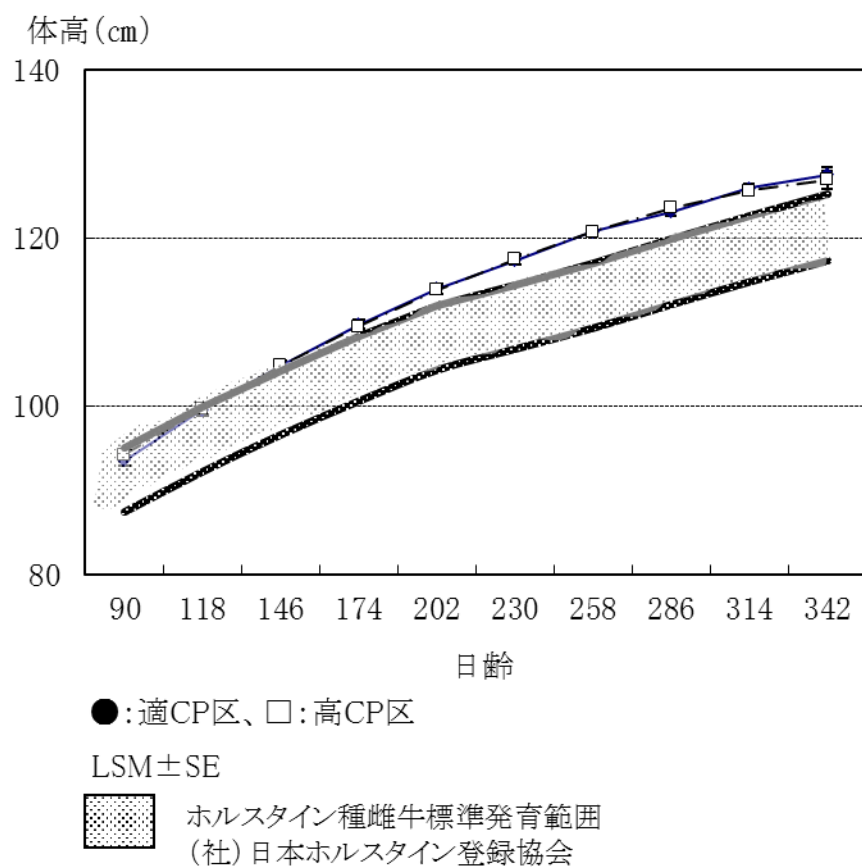


図2.4 給与飼料中のCP、CPd、およびCPu含量に差を設けたホルスタイン種育成雌牛の体高の推移

表 2.1 試験飼料の構成および成分値

	前期		後期	
	適 CP 区	高 CP 区	適 CP 区	高 CP 区
飼料構成 (%)				
配合飼料 <sup>1)</sup>	35.0	32.0	31.0	28.0
圧片とうもろこし	15.0	12.0	15.0	12.0
大豆粕	1.0			3.0
加熱大豆粕	3.0	10.0		3.0
チモシー乾草 <sup>2)</sup>	46.0	46.0	54.0	54.0
成分値 (DM%) <sup>3)</sup>				
TDN	73.3	73.6	71.4	71.7
CP	13.9	16.1	11.7	14.0
CPd	9.1	9.6	8.0	9.2
CPu	4.8	6.5	3.7	4.8
NDF	48.6	50.9	52.2	52.1

前期 : 90 日齢から体重 200 kgまでの期間

後期 : 体重 200 kgから体重 350 kgまでの期間

<sup>1)</sup> 原材料名および配合割合: 38% そうこう類(ふすま、グルテンフィード、米ぬか)、34% 穀類(とうもろこし、大麦、マイロ、小麦粉)、15% 植物性油かす類(なたね油かす、大豆油かす)、13% その他(アルファルファ、糖みつ、炭酸カルシウム、食塩、リン酸カルシウム)

<sup>2)</sup> 切断長 約5cm

<sup>3)</sup> 設計値

表 2.2 給与飼料中の CP、CPd、および CPu 含量に差を設けたホルスタイン種育成雌牛の試験開始日齢、前期終了日齢、および後期終了日齢

	単位	適 CP 区	高 CP 区	<i>P</i> -value
試験開始日齢	日齢	91.4 ± 0.5	90.6 ± 0.5	0.258
前期終了日齢 <sup>1)</sup>	日齢	182.7 ± 2.5	180.0 ± 2.5	0.420
後期終了日齢 <sup>2)</sup>	日齢	329.9 ± 4.0	320.2 ± 4.0	0.078
試験期間日数				
全期		238.6 ± 4.0	230.6 ± 4.0	0.149
前期		91.3 ± 2.6	89.4 ± 2.6	0.592
後期		142.8 ± 2.9	136.4 ± 2.9	0.107

LSM ± SE

<sup>1)</sup> 前期終了日齢: 体重 200 kg 到達日齢

<sup>2)</sup> 後期終了日齢: 体重 350 kg 到達日齢

表2.3 試験開始時、前期終了時、および後期終了時における体重、体格各部位、および平均DG

		単位	適CP区	高CP区	P-value
体重	試験開始時 <sup>1)</sup>	kg	106.2 ± 1.5	108.5 ± 1.5	0.277
	前期終了時 <sup>2)</sup>	kg	199.6 ± 1.8	200.7 ± 1.8	0.644
	後期終了時 <sup>3)</sup>	kg	356.3 ± 1.0	356.9 ± 1.0	0.689
	DG(試験期間)	kg/日	1.05 ± 0.02	1.09 ± 0.02	0.125
	DG(前期)	kg/日	1.03 ± 0.02	1.05 ± 0.02	0.647
	DG(後期)	kg/日	1.08 ± 0.02	1.12 ± 0.02	0.111
体高	試験開始時	cm	93.4 ± 0.6	94.2 ± 0.6	0.370
	前期終了時	cm	110.5 ± 0.6	110.6 ± 0.6	0.872
	後期終了時	cm	126.7 ± 0.5	126.5 ± 0.5	0.717
	1日増加量	cm/日	0.14 ± 0.002	0.14 ± 0.002	0.898
十字部高	試験開始時	cm	96.9 ± 0.6	97.7 ± 0.6	0.318
	前期終了時	cm	114.0 ± 0.6	113.6 ± 0.6	0.594
	後期終了時	cm	130.2 ± 0.5	129.9 ± 0.5	0.664
	1日増加量	cm/日	0.14 ± 0.003	0.14 ± 0.003	0.924
腰角幅	試験開始時	cm	24.2 ± 0.2	24.3 ± 0.2	0.590
	前期終了時	cm	31.8 ± 0.2	31.9 ± 0.2	0.588
	後期終了時	cm	41.0 ± 0.2	41.2 ± 0.2	0.736
	1日増加量	cm/日	0.07 ± 0.002	0.08 ± 0.002	0.096
臆幅	試験開始時	cm	27.4 ± 0.2	27.7 ± 0.2	0.345
	前期終了時	cm	34.8 ± 0.2	34.6 ± 0.2	0.532
	後期終了時	cm	42.4 ± 0.2	42.3 ± 0.2	0.668
	1日増加量	cm/日	0.06 ± 0.001	0.07 ± 0.001	0.552
尻長	試験開始時	cm	30.4 ± 0.2	30.6 ± 0.2	0.589
	前期終了時	cm	37.6 ± 0.3	38.0 ± 0.3	0.238
	後期終了時	cm	46.1 ± 0.3	46.3 ± 0.3	0.578
	1日増加量	cm/日	0.07 ± 0.001	0.07 ± 0.001	0.193
坐骨幅	試験開始時	cm	16.8 ± 0.2	16.8 ± 0.2	0.937
	前期終了時	cm	21.3 ± 0.3	21.9 ± 0.3	0.142
	後期終了時	cm	27.5 ± 0.3	27.2 ± 0.3	0.562
	1日増加量	cm/日	0.05 ± 0.001	0.05 ± 0.001	0.852
管囲	試験開始時	cm	12.3 ± 0.1	12.4 ± 0.1	0.948
	前期終了時	cm	14.4 ± 0.1	14.5 ± 0.1	0.462
	後期終了時	cm	17.0 ± 0.1	17.1 ± 0.1	0.551
	1日増加量	cm/日	0.02 ± 0.001	0.02 ± 0.001	1.000
胸囲	試験開始時	cm	106.2 ± 0.6	106.9 ± 0.6	0.355
	前期終了時	cm	132.4 ± 0.9	131.6 ± 0.8	0.442
	後期終了時	cm	162.3 ± 0.8	162.4 ± 0.8	0.923
	1日増加量	cm/日	0.24 ± 0.003	0.24 ± 0.003	0.150
LSM ± SE					
<sup>1)</sup> 試験開始時：90日齢					
<sup>2)</sup> 前期終了時：体重200kg到達時					
<sup>3)</sup> 後期終了時：体重350kg到達時					

表2.4 試験期間中のDM、CP、CPd、CPu、TDN、ME摂取量、摂取CP:摂取ME比、および飼料効率

		単位	適CP区	高CP区	<i>P</i> -value
DM摂取量	試験期間合計	kg	1,374 ± 24	1,347 ± 24	0.205
	前期	kg/day	4.54 ± 0.09	4.51 ± 0.09	0.236
	後期	kg/day	6.75 ± 0.11	6.91 ± 0.11	0.785
DM飼料効率	試験期間合計	kg/kg	0.18 ± 0.003	0.18 ± 0.003	0.892
	前期	kg/kg	0.23 ± 0.006	0.23 ± 0.006	0.896
	後期	kg/kg	0.16 ± 0.003	0.16 ± 0.004	0.662
DM体重比		%	2.62 ± 0.01	2.63 ± 0.01	0.800
CP摂取量	試験期間合計	kg	177 ± 4 <sup>a</sup>	202 ± 4 <sup>b</sup>	0.001
	前期	kg/day	0.64 ± 0.01 <sup>a</sup>	0.73 ± 0.01 <sup>b</sup>	0.001
	後期	kg/day	0.83 ± 0.02 <sup>a</sup>	0.99 ± 0.02 <sup>b</sup>	0.001
CP飼料効率	試験期間合計	kg/kg	1.43 ± 0.023 <sup>a</sup>	1.26 ± 0.023 <sup>b</sup>	0.001
	前期	kg/kg	1.62 ± 0.044 <sup>a</sup>	1.42 ± 0.04 <sup>b</sup>	0.001
	後期	kg/kg	1.32 ± 0.034 <sup>a</sup>	1.15 ± 0.036 <sup>b</sup>	0.001
CPd摂取量	試験期間合計	kg	118 ± 2 <sup>a</sup>	127 ± 2 <sup>b</sup>	0.001
	前期	kg/day	0.41 ± 0.02 <sup>a</sup>	0.43 ± 0.02 <sup>b</sup>	0.002
	後期	kg/day	0.56 ± 0.02 <sup>a</sup>	0.64 ± 0.02 <sup>b</sup>	0.001
CPu摂取量	試験期間合計	kg	58 ± 1 <sup>a</sup>	73 ± 10 <sup>b</sup>	0.001
	前期	kg/day	0.22 ± 0.01 <sup>a</sup>	0.30 ± 0.01 <sup>b</sup>	0.001
	後期	kg/day	0.27 ± 0.01 <sup>a</sup>	0.34 ± 0.01 <sup>b</sup>	0.001
TDN摂取量	試験期間合計	kg	961.3 ± 17.3	945.8 ± 17.3	0.516
	前期	kg/day	3.27 ± 0.06	3.27 ± 0.06	0.684
	後期	kg/day	4.70 ± 0.08	4.82 ± 0.08	0.285
TDN飼料効率	試験期間合計	kg/kg	0.26 ± 0.004	0.26 ± 0.004	0.958
	前期	kg/kg	0.32 ± 0.009	0.32 ± 0.009	0.911
	後期	kg/kg	0.23 ± 0.005	0.23 ± 0.006	0.724
ME摂取量	試験期間合計	Mcal	3,476 ± 63	3,420 ± 63	0.516
	前期	Mcal/day	11.8 ± 0.22	11.8 ± 0.22	0.684
	後期	Mcal/day	17.0 ± 0.29	17.4 ± 0.29	0.285
CP:ME比	試験期間合計	g/Mcal	50.3	58.1	
	前期	g/Mcal	54.1	61.8	
	後期	g/Mcal	48.8	56.8	
LSM ± SE					
異符号間で有意差あり: $P < 0.05$					
前期: 90日齢から体重200kgまで					
後期: 体重200kgから350kgまで					
ME=TDN×4.41×0.82					



表 2.5 供試牛の繁殖成績				
	単位	適CP区	高CP区	<i>P</i> -value
初回発情日齢	日齢	284.6 ± 10.5	282.4 ± 10.5	0.883
血漿中プロジェステロン濃度	ng/ml	8.2 ± 1.1	9.0 ± 1.1	0.628
初回人工授精日齢	日齢	360.0 ± 10.0	358.8 ± 8.6	0.925
血漿中プロジェステロン濃度	ng/ml	8.6 ± 1.9	11.7 ± 2.0	0.247
受胎時体重	kg	395.4 ± 8.4	393.5 ± 8.3	0.870
受胎に要した人工授精回数	回	1.8 ± 0.3	1.6 ± 0.2	0.532
LSM ± SE				

## 第3章 飼料中 CPd および CPu の構成割合が窒素出納、血液性状、および第一胃液性状に及ぼす影響

### 3.1 緒言

飼料中に含まれる CP は、第一胃内で分解される CPd と下部消化管で分解吸収される CPu に区分される。第一胃内では CPd の多くは微生物によりアンモニアまで分解され、アミノ酸から成る MCP へと再合成される (Bryant 1973, Hungate 1966)。また、アンモニアへの分解途中のアミノ酸やペプチドを直接取り込んで MCP を合成する微生物も存在している (Russell ら 1983)。合成された MCP は下部消化管で消化吸収され、宿主の CP 源として利用される。乳牛が利用できる CP は、上述の MCP、CPu、および ECP (内因性タンパク質) であり、それぞれに消化率または転換効率を乗じた量を合計した MP として評価される。第一胃内で、MCP に合成されなかったアンモニアは第一胃壁から吸収されて肝臓で尿素となり、血液中から腎臓を経て尿中に排泄される。したがって、給与した CP 量が過剰であったり、CP は適量であっても微生物の働きが弱い場合は、第一胃内に発生したアンモニアが MCP に合成される効率が低下して PUN が上昇する。このことから、PUN の値は第一胃内での CP の代謝の状況を反映している。育成牛の発育過程において、第一胃の機能が成熟するのは 6 ヶ月齢頃であり、それまでは CPd のみならず第一胃をバイパスする CPu とあわせて必要 CP 量を供給することが、生理的にも適っていると考えられる。

本章では、第2章で飼料給与試験を実施した供試牛について、窒素出納を測定するとともに血液および第一胃の化学的性状を測定することによって、摂取した CP が消化吸収される過程における代謝効率および発育に適正な飼料 CP 中の CPd および CPu 割合を究明するための検討を行った。加えて、健康状態の

確認のため DM、ADFom、CP、総エネルギーの消化率を測定した。

## 3.2 材料および方法

### 3.2.1 消化試験および窒素出納試験

供試牛が体重 200 kg（6 カ月齢）および 300 kg（9 カ月齢）の時期に、ADL をマーカーとしたインデックス法により消化試験を行った。また、飼料、糞、および尿中の窒素含量を測定して窒素の出納を評価した。MCP 合成量は、尿中クレアチニンをインデックスとして部分尿から尿中アラントイン排泄量を推定し、次式（Chen と Gomes 1992）により算出した。

$$\text{MCP} = \text{MN} \times 6.25$$

$$\text{MN} = (70\text{PDa}) / (0.83 \times 0.116 \times 1000)$$

$$\text{PDa} = (\text{PDe} - 0.385 \times \text{MBW}) / 0.85$$

$$\text{PDe} = 100 / 90 \times \text{尿中アラントイン排泄量 (mmol)}$$

PDa (mmol/d) : 体内に吸収されたプリン誘導体

PDe (mmol/d) : 尿として体外に排泄されたプリン誘導体

MBW: 代謝体重

MP 供給量については次式（NRC 2001）により推定した。

$$\text{MP} = \text{MCP} \times 0.8 \times 0.8 + \text{CPu} \times 0.8 + \text{DMI} \times 1.9 \times 0.5 \times 0.8 \times 6.25$$

MCP の 80% を占める純タンパク質のうち、80% が小腸で消化される。CPu も同様に 80% が小腸で消化される。また、内因性タンパク質は  $\text{DMI} \times 1.9$  と推定し、これらを加えた量が MP 供給量の推定値である（寺田 2003）。

MP 要求量については NRC 飼養標準（2001）により、維持および成長の要因ごとに要求量を求め合計した。

尿量の推定は、既往の予備試験（林ら 2002 未発表；野中ら 2003 未発表）の結果から育成雌牛の体重 1 kg 当りのクレアチニン排泄量を一定として、次式

を用いて行った。

$$1 \text{ 日排尿量} = 25.2 \text{ (mg/kg BW)} \times \text{BW} / \text{部分尿クレアチニン含量}$$

糞と尿の採取は、1 日 2 回を 3 日連続、朝夕の飼料給与前に行った。糞は直腸から 1 回につき 200g 採取して 6 回分を混合したものを 60℃、48 時間で乾燥後、粉碎して分析用試料とした。尿は糞の採取前にマッサージ法（浅井ら 2008）で採取した。2 枚重ねのガーゼで尿を濾過後、尿 98mL に 20%硫酸を 2mL 加えて全量 100mL として冷蔵庫に保管した。そして 6 回分の尿を混合後、50mL を採取して分析まで-30℃で凍結保存した。飼料および糞の DM および CP 含量を AOAC 法（1990）により、飼料の aNDFom 含量、糞の ADFom 含量、および飼料と糞の ADL 含量をデタージェント法（Van Soest ら 1991）により、総エネルギーを燃研式自動ボンベ熱量計（CA-4PJ、島津製作所、京都）により測定した。尿成分はアラントインを Young と Conway（1942）の方法で、クレアチニンを Jaffe 法（クレアチニン - テストワコー、和光純薬工業、大阪）による市販の分析キットを用いて、窒素含量をケルダール法（阿部 2001）で定量した。

### 3.2.2 測定項目

血液は、試験開始時から 2 ヶ月間隔で朝の飼料給与前に頸静脈から採取し、遠心分離（3,000rpm、20min、4℃）後、血漿を-30℃で凍結保存した。血漿中の一般成分は生化学分析装置（CL-7000、島津製作所、京都）を用いて分析した。

9 ヶ月齢時に第一胃液を朝の飼料給与から 4 時間後に胃カテーテルを用いて採取し、遠心（3,000rpm、10min、4℃）後、上清を-30℃で凍結保存した。NH<sub>3</sub>-N 濃度はインドフェノールニトロプレシッド法（日本分析化学会北海道支部 1981）により、VFA 濃度は高速液体クロマトグラフィー（日立ハイテクノロジー、東京）を用いて測定した（渡邊 1994）。プロトゾア数は、第一胃液 1ml

にホルマリン・メチルグリーン溶液 4ml を加えてプロトゾアを固定染色後、フックス・ローゼンタール血球計算板（エルマ販売、東京）を用いて計測した（Itabashi ら 1984）。

### 3.3 結果

窒素摂取量および尿中窒素排泄量は、体重 200 kg および 300 kg 時ともに高 CP 区で多くなったが ( $P < 0.01$ )、糞中窒素排泄量および窒素蓄積量については区間に差は認められなかった (表 3.1)。

MCP 合成量は、体重 200 kg 時において高 CP 区が適 CP 区よりも高く ( $P < 0.05$ )、300 kg 時でも高 CP 区が適 CP 区よりも高くなる傾向を示した ( $P = 0.088$ )。

飼料中 CP の消化率は、体重 200 kg 時において、高 CP 区が高い傾向にあり ( $P = 0.144$ )、体重 300 kg 時において高 CP 区が高かったが ( $P < 0.01$ )、DM、ADF、および GE 消化率は両区に差は認められなかった (表 3.2)。

MP 供給量は、体重 200 kg および 300 kg 時ともに高 CP 区が適 CP 区に比べて多くなった (表 3.3)。( $P < 0.01$ )

試験期間中の血液成分を表 3.4 に示した。血漿中グルコース、総タンパク質、アルブミン、総コレステロール、トリグリセライド、遊離脂肪酸、カルシウム、無機リン、グルタミン酸オキザロ酢酸トランスアミナーゼ、および  $\gamma$ -グルタミルトランスフェラーゼの各項目で区間に差は認められなかった。PUN 濃度は、試験期間を通して高 CP 区が適 CP 区に比べて高く推移した (図 3.1)。

第一胃液性状を表 3.5 に示した。総 VFA 濃度、各 VFA 濃度、酢酸/プロピオン酸 (A/P) 比、およびプロトゾア数は区間に差は認められなかったが、 $\text{NH}_3\text{-N}$  濃度は適 CP 区が低かった ( $P < 0.01$ )。プロトゾアの種別個体数を表 3.6 に示した。各種毎の個体数は両区で差は認められなかった。

### 3.4 考察

わが国における乳牛の窒素出納試験は、1961～1962 年に日本飼養標準設定のために実施されたのが最初である。しかし、現在の高能力化した乳牛に対応した摂取窒素の分配動態や CP 要求量に関する知見は少ない（早坂 1997）。さらには、育成牛における摂取 CP の代謝を解析するための窒素出納試験は殆んど行われていない。よって、日本飼養標準でも育成牛の「糞尿量および窒素出納の平均値」は示されていない。

本研究における窒素出納では、窒素摂取量は前後期とも高 CP 区が適 CP 区に比べて多かったが、両区の糞中窒素排泄量と窒素蓄積量に差は認められなかった。そして、尿中窒素排泄量が高 CP 区で前後期とも高くなった。これらのことから、適 CP 区に比べ増給された分の飼料中 CP の殆んどは尿中に排泄されたと考えられた。すなわち、高 CP 区においては体重 200 kg までの増給 CP 量の大部分を占める CP<sub>u</sub> は過剰であり、体重 200 kg 以降でも増給した CP<sub>d</sub> と CP<sub>u</sub> は有効利用されなかった。摂取 CP 量のうち体内に蓄積された窒素量の割合は適 CP 区が 41.0%（前期）と 31.7%（後期）、高 CP 区が 38.0%（前期）と 27.8%（後期）となり、適 CP 区の効率が高かった。Hoffman ら（2001）は育成後期の雌牛を用いた窒素出納試験を行い、CP13%が同 15%よりも窒素蓄積割合が高まることを確認している。本研究はこの知見と同様の結果となった。Devant ら（2000）は、飼料中 CP 含量が 14%以上の場合、CP<sub>d</sub> の割合を変えても窒素蓄積量には影響しないことを報告している。しかし、飼料中窒素濃度の上昇は窒素蓄積量を上昇させた（Marini&Van Amburgh 2003）という反対の試験結果もある。

第一胃内での MCP 合成量は CP 摂取量の上昇に伴って増加することが知られている（Gabler と Heinrichs 2003a）。本研究の前期において高 CP 区が適 CP 区



に比べて MCP 合成量が増加したのは、両区の飼料中 CPd 含量の差に起因すると推察される。後期でも高 CP 区の MCP 合成量が適 CP 区に比べて増加する傾向が認められており、高 CP 区の飼料中 CPd 含量を 1%程度高めたためと考えられる。MCP 合成量に影響を及ぼす要因の一つとして NSC:CPd が考えられる。Stokes ら (1991) は、*in vitro* の連続培養試験で飼料中 NSC:CPd 比の上昇に伴って MCP 合成量が増加することを見出している。このことから、MCP 合成量は NSC が十分にある条件下では CPd 摂取量の増加とともに高まるが、NSC が不足する条件下では CPd 摂取量が増加しても高まらなないと考えられる (Gabler と Heinrichs 2003b)。また、Hoover と Stokes (1991) は、飼料中 NSC:CPd 比の上昇は、泌乳牛では MCP 合成量および MCP の小腸流入量を増加させるが、育成牛では DMI と第一胃内の発酵能が成牛に比べて低いため、MCP の合成量に関して泌乳牛ほど明らかな影響が現れないことを報告している。本研究では NSC:CPd は前後期とも適 CP 区が高 CP 区よりも高かったが、MCP 合成量は高 CP 区が適 CP 区よりも有意に高かった。これは CPd の絶対量が多かったためと考えられる。

MP は飼料 CP の評価方法のひとつで、小腸においてアミノ酸もしくはペプチドまで消化された状態のタンパク質であり、生体への窒素の供給量を表す (NRC 2001)。MP 供給量は前後期ともに高 CP 区で高まったが、これは MCP 合成量および CPu 摂取量が高 CP 区で増加したためである。しかしながら、後期の高 CP 区で期間中 DG が適 CP 区よりも高い傾向 ( $P = 0.108$ ) を示した以外、飼料効率や体尺値は高まらなかった。小腸への MP 供給量が MP 要求量と合致すれば飼料 CP の利用効率が最大となるが、MP 供給量が要求量に対して過剰であれば利用されない量が増える (NRC 2001)。本試験の高 CP 区は MP 要求量に対して供給量が上回り、充足率は前期 115%、後期 120%であった。これらの値は適 CP 区の充足率 (前期 92%、後期 102%) よりも高かったことから、高 CP

区は適 CP 区に比べて MP 中における窒素の体外排泄割合が増えたと考えられる。すなわち、高 CP 区では体内で利用されない飼料 CP の割合が多くなった。また、適 CP 区においては MP 供給量はほぼ要求量と同じであった。

Gabler と Heinrichs (2003a) は、飼料中 ME 含量を一定にして、CP 含量を変えた場合、PUN 濃度および第一胃液  $\text{NH}_3\text{-N}$  濃度は飼料中 CP 含量が高くなるにつれて上昇したが、第一胃液の pH、総 VFA 産生量、および A/P 比は CP 含量に影響を受けなかったと報告している。本研究の結果はこれと一致するものであった。第一胃液中の  $\text{NH}_3\text{-N}$  濃度が低下すると、第一胃内微生物の代謝や増殖が抑制される (Russel と Wallace 1988)。第一胃内微生物の活動を支えるための  $\text{NH}_3\text{-N}$  濃度の下限値は 5mg/dl であり (Satter と Slyter 1974)、これ以下になると繊維成分の消化率が低下する (El-Shazly ら 1961、Satter と Slyter 1974)。また、PUN は摂取した CP の代謝産物であり、第一胃液の発酵状態を表す指標となることが知られている (木田 1996)。本研究において、PUN 濃度は常に高 CP 区が高かったが、高 CP 区は試験期間を通じて 13~16mg/dL と臨床的な正常範囲内 (農林水産省 経済局 1997) で推移し、適 CP 区の PUN 濃度は 7 および 9 ヶ月齢において臨床的正常範囲を下回った。また第一胃液  $\text{NH}_3\text{-N}$  濃度は高 CP 区は 9 ヶ月齢時に 5mg/dL を僅かに下回り、適 CP 区は 5mg/dl を大きく割り込んだ。このことから適 CP 区は第一胃内微生物の活動性と繊維消化能低下への影響が懸念されるレベルと考えられる。しかしながら、適 CP 区の CP 消化率は高 CP 区に比べて低かったものの、DM、ADFom、および GE 消化率は高 CP 区と有意差がなかったことや、総 VFA 濃度および A/P 比は両区間に差が認められなかったことから、第一胃内の消化機能への影響は少なかったものと推察される。なお、消化試験のマーカーとした ADL の回収率は 93%程度である (竹澤ら 1992) ことから、本試験の各成分の消化率は他のマーカーを使用した場合に比べてやや低い評価値であると推察される。

飼料中の CP 水準を、エネルギーとのバランスから検討した報告も散見される。Gabler と Heinrichs (2003a) は、体重 150～200 kg の育成雌牛に対し、CP:ME 比 (g/Mcal) が 45.0、63.3、69.4、および 77.3 の飼料を給与した結果、CP:ME 比の上昇に伴って第一胃液中の  $\text{NH}_3\text{-N}$  濃度、PUN 濃度、および MCP 合成量が増加するとともに、尿中への窒素排泄量は顕著に増加することを認めている。これらの傾向から、経済面および環境面を考慮した適正 CP:ME 比の上限は 63.3 付近であるとしている。本研究では CP:ME 比が適 CP 区で前期 54.8、後期 48.8 で、高 CP 区で前期 61.8、後期 56.8 であった。したがって両区とも適正比の範囲であるが、これまで述べたような育成雌牛の成長に必要な摂取窒素の効率的利用を目指すだけでなく、糞尿中への排泄窒素量を低減することも環境負荷の面から重要であることから、体内の代謝における利用窒素量を上回る過剰な窒素量を給与することは避けるべきと考えられる。

### 3.5 要約

乳用育成雌牛の初産分娩月齢の早期化を目指すため、人工授精適期までの CP 水準および CPd と CPu の構成割合が窒素出納、血液性状、および第一胃液性状に及ぼす影響について検討した。試験期間は生後 90 日齢から体重が 350 kg に到達するまでの期間とし、処理区は給与飼料中の CP 水準および CPd と CPu の構成割合の違いにより 2 区を設定した。すなわち体重 200 kg までは適 CP 区を CP13.9% (CPd9.1%、CPu4.8%) および高 CP 区を CP16.1% (CPd9.6%、CPu6.5%) とし、体重 200 kg 以降は適 CP 区を CP11.7% (CPd8.0%、CPu3.7%)、高 CP 区を CP14.0% (CPd9.2%、CPu4.8%) とした。なお、試験期間中は両区とも DG1.0 kg を目標とした。

体重 200 kg および 300 kg の 2 回、窒素出納試験および消化試験を実施した。窒素摂取量および尿中窒素排泄量は 2 回とも高 CP 区で高まったが、糞中窒素排泄量および窒素蓄積量については 2 回とも両区で差は認められなかった。MCP 合成量は、体重 200 kg 時において高 CP 区が有意に高く、体重 300 kg 時でも引き続き高 CP 区が高い傾向を示した。飼料中 CP の消化率は体重 200 kg 時において高 CP 区が高くなり、体重 300 kg 時においては有意に高 CP 区が高まった。血液成分中 PUN 濃度は試験期間を通して高 CP 区が適 CP 区に比べて高く推移した。体重 300 kg 時の第一胃 NH<sub>3</sub>-N 濃度は適 CP 区が高 CP 区に比べ低下した。以上のことから、MCP 合成量は高 CP 区が高かったものの発育や飼料効率にその効果が現れておらず、尿中へ排泄される窒素量も高 CP 区が増えたことから、窒素の供給と利用のバランスという面では適 CP 区の水準が適当と考えられた。

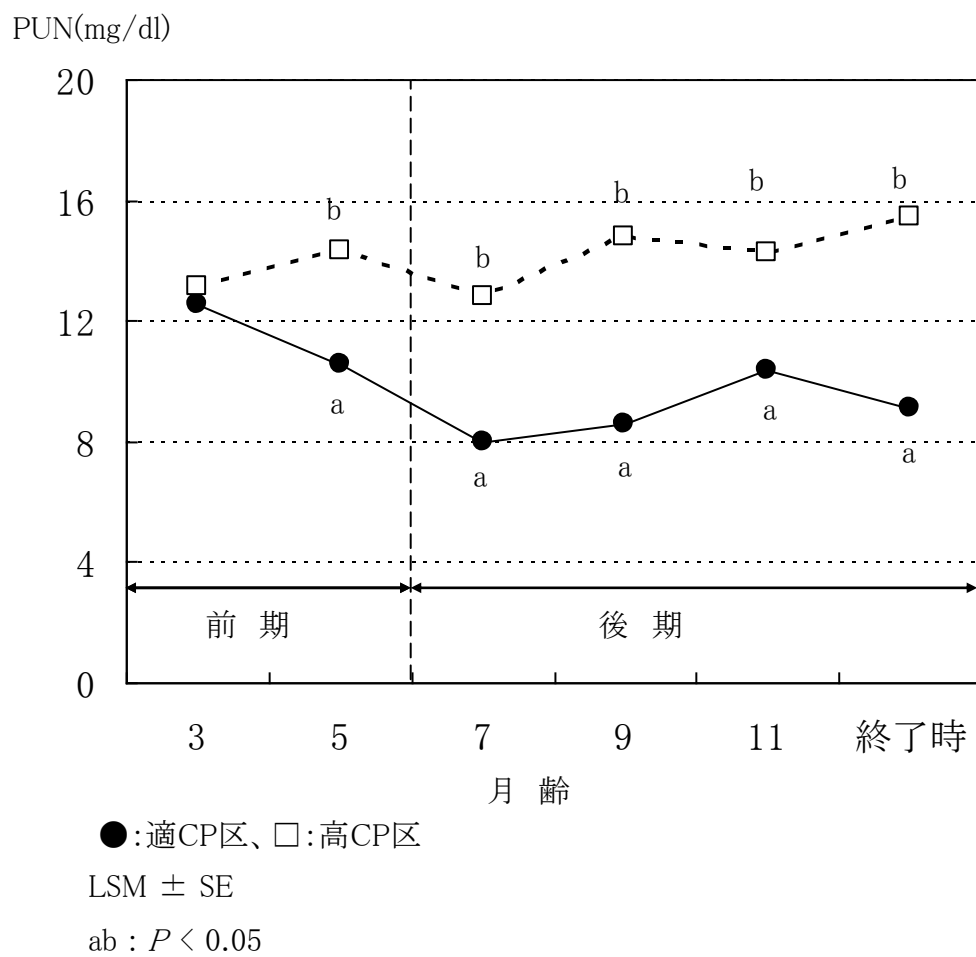


図3.1 給与飼料中のCP、CPd、およびCPu含量に差を設けたホルスタイン種育成雌牛のPUN濃度の推移

表 3.1 体重200kgおよび300kgにおける窒素出納

		単位	適CP区		高CP区		P-value
供試頭数			26		27		
窒素出納							
窒素摂取量	前期 <sup>1)</sup>	g/day	120.1 ± 2.2 <sup>a</sup>	(100.0) <sup>3)</sup>	140.4 ± 2.3 <sup>b</sup>	(100.0) <sup>3)</sup>	0.001
	後期 <sup>2)</sup>	g/day	151.2 ± 1.8 <sup>a</sup>	(100.0)	178.0 ± 1.8 <sup>b</sup>	(100.0)	0.001
糞中窒素排泄量	前期	g/day	38.3 ± 2.0	(31.9)	40.7 ± 2.0	(29.0)	0.373
	後期	g/day	60.1 ± 2.1	(39.7)	60.8 ± 2.1	(34.2)	0.797
尿中窒素排泄量	前期	g/day	32.5 ± 1.2 <sup>a</sup>	(27.1)	46.2 ± 1.2 <sup>b</sup>	(32.9)	0.001
	後期	g/day	43.0 ± 1.8 <sup>a</sup>	(28.4)	67.8 ± 1.8 <sup>b</sup>	(38.0)	0.001
窒素蓄積量	前期	g/day	49.3 ± 2.6	(41.0)	53.4 ± 2.7	(38.0)	0.262
	後期	g/day	47.9 ± 2.8	(31.7)	49.4 ± 2.7	(27.8)	0.689
尿中アラントイン排泄量	前期	mg/dL	324.2 ± 19.0		313.0 ± 19.2		0.251
	後期	mg/dL	362.8 ± 20.8 <sup>a</sup>		333.5 ± 20.5 <sup>b</sup>		0.001
尿中クレアチニン排泄量	前期	mg/dL	125.8 ± 6.9		111.5 ± 6.9		0.136
	後期	mg/dL	152.3 ± 8.2		130.9 ± 8.0		0.054
微生物態蛋白質	前期	g/day	60.2 ± 2.8 <sup>a</sup>		69.7 ± 2.8 <sup>b</sup>		0.068
	後期	g/day	90.4 ± 2.9 <sup>a</sup>		97.9 ± 2.8 <sup>b</sup>		0.001
LSM ± SE							
異符号間で有意差あり：P < 0.05							
<sup>1)</sup> 前期の体重200kg時							
<sup>2)</sup> 後期の体重300kg時							
<sup>3)</sup> 窒素摂取量の百分率							

表 3.2 体重200kgおよび300kgにおける消化率					
		単位	適CP区	高CP区	<i>P</i> -value
DM摂取量	前期 <sup>1)</sup>	g/day	5,345.1 ± 79.6	5,454.7 ± 75.9	
	後期 <sup>2)</sup>	g/day	7,706.8 ± 91.0	7,767.8 ± 62.8	
GE摂取量	前期	MJ/day	99.56 ± 1.45	102.50 ± 1.50	
	後期	MJ/day	143.45 ± 1.72	146.24 ± 1.30	
DM消化率	前期	%	70.9 ± 1.3	70.8 ± 1.3	0.965
	後期	%	66.0 ± 1.2	66.3 ± 1.1	0.874
ADF消化率	前期	%	53.4 ± 1.7	52.1 ± 1.7	0.574
	後期	%	50.2 ± 1.8	50.4 ± 1.7	0.907
CP消化率	前期	%	67.5 ± 1.6	70.6 ± 1.6	0.144
	後期	%	60.1 ± 1.4 <sup>a</sup>	65.9 ± 1.3 <sup>b</sup>	0.003
GE消化率	前期	%	69.0 ± 1.4	69.1 ± 1.4	0.962
	後期	%	64.3 ± 1.3	65.0 ± 1.2	0.692
LSM ± SE					
異符号間で有意差あり： <i>P</i> < 0.05					
GE：gross energy					
ADF：acid detergent fiber					
<sup>1)</sup> 前期の体重200kg時					
<sup>2)</sup> 後期の体重300kg時					

表 3.3 体重200kgおよび300kgにおけるMPの供給量、要求量、および充足率					
		単位	適CP区	高CP区	<i>P</i> -value
供試頭数	前期 <sup>1)</sup>		26	27	
	後期 <sup>2)</sup>		29	30	
代謝蛋白質供給量	前期	g/day	472.0 ± 11.9 <sup>a</sup>	589.8 ± 11.8 <sup>b</sup>	0.001
	後期	g/day	615.4 ± 12.9 <sup>a</sup>	715.5 ± 12.5 <sup>b</sup>	0.001
代謝蛋白質要求量	前期	g/day	510.5 ± 2.2	510.4 ± 2.3	0.980
	後期	g/day	599.7 ± 2.2	593.2 ± 2.1	0.029
充足率	前期	%	92.5 ± 2.3 <sup>a</sup>	115.6 ± 2.2 <sup>b</sup>	0.001
	後期	%	102.6 ± 2.1 <sup>a</sup>	120.6 ± 2.0 <sup>b</sup>	0.001
LSM ± SE					
異符号間で有意差あり： <i>P</i> < 0.05					
<sup>1)</sup> 前期の体重200kg時					
<sup>2)</sup> 後期の体重300kg時					



表3.4 給与飼料中のCP、CPd、およびCPu含量に差を設けたホルスタイン種育成雌牛の試験開始時から試験終了時までの血液成分					
		単位	適CP区	高CP区	<i>P</i> -value
血糖	試験開始時 <sup>1)</sup>	mg/dl	91.8 ± 2.2	89.4 ± 2.2	0.494
	5ヵ月 齢(前期)	mg/dl	94.4 ± 1.7	89.6 ± 1.8	0.052
	7ヵ月 齢(後期)	mg/dl	87.9 ± 1.8	87.1 ± 1.9	0.733
	試験終了時 <sup>2)</sup>	mg/dl	84.0 ± 1.4	82.9 ± 1.4	0.614
総蛋白質	試験開始時	g/dl	7.14 ± 0.15	6.74 ± 0.15	0.043
	5ヵ月 齢	g/dl	7.33 ± 0.13	6.98 ± 0.13	0.054
	7ヵ月 齢	g/dl	7.18 ± 0.14	6.80 ± 0.14	0.053
	試験終了時	g/dl	6.87 ± 0.09	6.90 ± 0.13	0.245
A/G比 <sup>3)</sup>	試験開始時	g/dl	1.90 ± 0.16	1.91 ± 0.16	0.960
	5ヵ月 齢	g/dl	1.61 ± 0.16	1.79 ± 0.16	0.400
	7ヵ月 齢	g/dl	1.41 ± 0.04	1.42 ± 0.04	0.760
	試験終了時	g/dl	1.45 ± 0.04	1.38 ± 0.04	0.190
中性脂肪	試験開始時	mg/dl	36.1 ± 2.0	32.2 ± 2.0	0.177
	5ヵ月 齢	mg/dl	40.7 ± 1.8 <sup>a</sup>	33.3 ± 1.8 <sup>b</sup>	0.004
	7ヵ月 齢	mg/dl	36.0 ± 1.5	34.4 ± 1.5	0.415
	試験終了時	mg/dl	31.8 ± 1.1	31.0 ± 1.1	0.651
総コレステロール	試験開始時	mg/dl	71.3 ± 3.4	68.4 ± 3.4	0.639
	5ヵ月 齢	mg/dl	84.3 ± 2.6	82.9 ± 2.7	0.701
	7ヵ月 齢	mg/dl	84.5 ± 2.5	82.7 ± 2.5	0.590
	試験終了時	mg/dl	97.5 ± 3.1	92.8 ± 2.7	0.311
遊離脂肪酸	試験開始時	mEq/L	0.18 ± 0.02	0.20 ± 0.02	0.592
	5ヵ月 齢	mEq/L	0.16 ± 0.02	0.20 ± 0.03	0.287
	7ヵ月 齢	mEq/L	0.12 ± 0.01	0.12 ± 0.01	0.825
	試験終了時	mEq/L	0.11 ± 0.01	0.09 ± 0.01	0.139
カルシウム	試験開始時	mg/dl	9.6 ± 0.1	9.6 ± 0.1	0.780
	5ヵ月 齢	mg/dl	9.7 ± 0.1	9.6 ± 0.1	0.884
	7ヵ月 齢	mg/dl	9.8 ± 0.1 <sup>a</sup>	9.6 ± 0.1 <sup>b</sup>	0.008
	試験終了時	mg/dl	9.8 ± 0.04	9.7 ± 0.04	0.111
無機リン	試験開始時	mg/dl	8.3 ± 0.2	8.0 ± 0.2	0.159
	5ヵ月 齢	mg/dl	8.0 ± 0.2	8.3 ± 0.2	0.162
	7ヵ月 齢	mg/dl	7.8 ± 0.2	8.0 ± 0.2	0.578
	試験終了時	mg/dl	7.0 ± 0.2	7.0 ± 0.2	0.737
GOT <sup>4)</sup>	試験開始時	IU/L	56.2 ± 2.6	57.7 ± 2.5	0.818
	5ヵ月 齢	IU/L	60.3 ± 2.5	59.3 ± 2.5	0.737
	7ヵ月 齢	IU/L	57.2 ± 1.7	56.8 ± 1.7	0.928
	試験終了時	IU/L	56.9 ± 3.7	61.2 ± 3.7	0.426
γ GTP <sup>5)</sup>	試験開始時	IU/L	34.2 ± 2.8	35.1 ± 2.8	0.824
	5ヵ月 齢	IU/L	32.7 ± 1.7	32.8 ± 1.8	0.994
	7ヵ月 齢	IU/L	30.9 ± 1.9	31.1 ± 1.9	0.398
	試験終了時	IU/L	32.6 ± 2.4	35.8 ± 2.4	0.359
LSM ± SE					
異符号間で有意差あり： <i>P</i> < 0.05					
<sup>1)</sup> 試験開始時：90日 齢					
<sup>2)</sup> 試験終了時：体重350kg到達時					
<sup>3)</sup> A/G：アルブミン/グロブリン					
<sup>4)</sup> GOT：glutamic oxaloacetic transaminase					
<sup>5)</sup> γ GTP：glutamyl transpeptidase					

表3.5 9ヵ月齢における第一胃内VFA濃度、NH <sub>3</sub> -N濃度、およびプロトゾア数				
	単位	適CP区	高CP区	<i>P</i> -value
VFA濃度	mmol/dL	8.68 ± 0.21	8.69 ± 0.23	0.972
VFA組成				
酢酸(A)	mmol/dL	5.84 ± 0.14	5.81 ± 0.15	0.882
プロピオン酸 (P)	mmol/dL	1.63 ± 0.06	1.67 ± 0.06	0.669
i-酪酸	mmol/dL	0.06 ± 0.00	0.06 ± 0.00	0.050
n-酪酸	mmol/dL	1.02 ± 0.05	1.01 ± 0.05	0.867
i-バレリアン酸	mmol/dL	0.06 ± 0.00	0.07 ± 0.01	0.248
n-バレリアン酸	mmol/dL	0.07 ± 0.00	0.08 ± 0.00	0.533
A/P比		3.63 ± 0.07	3.56 ± 0.08	0.522
アンモニア態窒素	mg/dL	2.63 ± 0.36 <sup>a</sup>	4.23 ± 0.39 <sup>b</sup>	0.007
プロトゾア数	×10 <sup>5</sup> /mL	6.11 ± 0.87	4.18 ± 0.87	0.142
LSM ± SE				
異符号間で有意差あり： <i>P</i> < 0.05				

表 3.6 9ヵ月齢におけるプロトゾアの種別個体数

	単位	適 CP 区	高 CP 区
供試頭数		18	18
うちプロトゾアフリー		4	4
Entodinium sp. <sup>1)2)</sup>	×10 <sup>5</sup> /mL	5.27 ± 1.07	3.39 ± 0.91
Diplodinium <sup>3)</sup>	×10 <sup>5</sup> /mL	0.59 ± 0.20	1.11 ± 0.64
Epidinium <sup>4)</sup>	×10 <sup>5</sup> /mL	0.87 ± 0.71	0.07 ± 0.07
Eudiplodinium <sup>5)</sup>	×10 <sup>5</sup> /mL	0.06 ± 0.03	0.05 ± 0.03
Isotricha <sup>6)</sup>	×10 <sup>5</sup> /mL	—	0.01 ± 0.004
Dasytricha <sup>7)</sup>	×10 <sup>5</sup> /mL	0.42 ± 0.24	0.20 ± 0.006

LSM ± SE

数値はプロトゾアが認められた 14 頭の平均

1) *Entodinium*  
*ovinum*



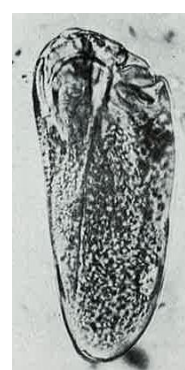
2) *Entodinium*  
*caudatum*



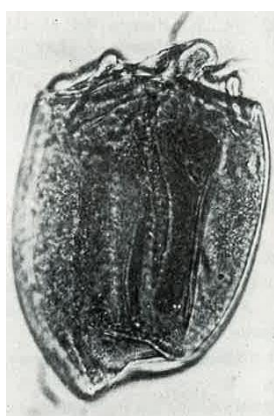
3) *Diplodinium*  
*dentatum*



4) *Epidinium*  
*ecaudatum*



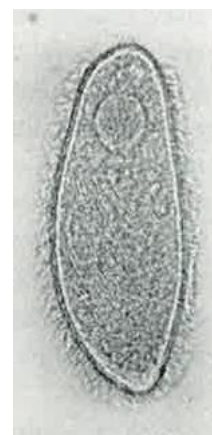
5) *Eudiplodinium*  
*maggii*



6) *Isotricha*  
*prostoma*



7) *Dasytricha*  
*ruminantium*



(写真は「原生動物図鑑：猪木正三 監修」より引用)

## 第4章 育成期の飼料中 CP 水準が初産時以降の生産性および繁殖成績に及ぼす影響

### 4.1 緒言

第2および3章で3ヵ月齢から体重200 kgまでCPを13.9%から16.1%に、体重200 kg以降350 kgまで11.7%から14.0%にCPdとCPuの構成バランスを変えて増加しても窒素の有効利用はないという知見を得た。初産月齢を早期化する目的で高エネルギー飼料を給与して増体を高める場合、乳腺組織への脂肪蓄積の促進による乳腺の発達の抑制と、乳生産機能の低下が危惧される（ARC 1980、Beede と Collier 1986）。しかし、初産後の乳生産性に及ぼす育成期間に給与する飼料中CP水準の影響を究明するための研究は少ない。Ishii ら（2011）は90日齢から体重350 kgまでの育成期間に飼料中CP濃度を14%と16%の2区を設定した飼養試験を行っている。それによると、CP14%区は初産月齢が23ヵ月齢と16%区の21ヵ月齢に比べ2ヵ月程度遅れたが初産乳量は有意に高くなった。また、育成期のDGが1.1 kgを超えると初産乳量が減少することを報告している。

乳用雌牛の栄養状態を反映した皮下脂肪蓄積の程度を数値化した指標がBCSであり、エネルギーの摂取量と消費量のバランスを簡便に表現する実用的な指標である（日本飼養標準・乳牛 2006）。育成後期の高エネルギー給与により分娩時に体重が650 kg以上、BCSが3.5以上になると血中遊離脂肪酸濃度および肝臓中の中性脂肪が上昇し、代謝障害の発生が危惧されるようになる（Grummer ら 1995）。このような牛では分娩後に採食量の減少と体脂肪の動員

の亢進（Garnsworthy と Jones 1993）によるケトosis（Gillund ら 2001）や第四胃変位（Cameron ら 1998）など周産期障害の発生リスクが高まる。上述のように乾乳期から分娩直前にかけて BCS が高過ぎると疾病にかかるリスクが高まるとされている。育成期の飼料給与においてエネルギー含量を変えた試験は数多く報告されているが、CP 含量を変えて BCS に及ぼす影響を検討した報告は少ない。また BCS と同様の観点から、体脂肪の付着により乳腺細胞の発達が阻害される（VandeHaar 1997）ことがわかっている。そのことから乳腺細胞の発達度合を推定できる指標として乳頭長がしばしば用いられる。

そこで本章では、第 2 章において供試した適 CP 区および高 CP 区の育成雌牛について、育成前期の給与飼料中 CP 含量が BCS や乳頭長に及ぼす影響について検討した。続いて初産分娩時における分娩難易度や、子牛の生時体重、初産分娩後の 305 日乳量等の生産性や繁殖性との関連についても解析を行った。さらには供試牛が初産分娩後から廃用されるまでの生涯成績についても測定し、育成期間中の CP 含量がこれらに及ぼす影響を検討した。

## 4.2 材料および方法

### 4.2.1 供試牛の飼養方法

第2章において供試した適CP区30頭および高CP区30頭の計60頭を、体重350 kg以降の期間について引き続き用いた。当期間は両区ともCP水準を同一として、全頭日本飼養標準に準じて各県の試験研究機関において目標DG0.7 kgに見合うエネルギー含量の飼料を初産分娩時まで給与した。初産分娩以降についても、各県で日本飼養標準から算出した産乳および維持エネルギーを充足する飼料給与を行った。

### 4.2.2 BCS および乳頭長の測定

体脂肪の蓄積状態を主として肥満の度合いを推定する目的で、BCSを9ヵ月齢、初回人工授精時、分娩時、および分娩2週後に測定した。

乳腺細胞への脂肪付着の程度を推定するため、試験開始時と人工授精時に乳頭長および乳頭基部間幅を測定した(Lammersら2000)。乳頭長は4本の乳頭の合計値、乳頭基部間幅は4ヵ所の合計値とし、人工授精時/試験開始時の値を伸長率とした。

### 4.2.3 分娩難易度および体重の測定

初産分娩時の状況を観察するとともに、分娩難易度(Van Amburghら1998)

を評点した。分娩 1 週間前に分娩前体重を測定し、分娩後体重は分娩後 4 日間測定した体重の平均値とした。また、分娩直後に出生子牛の体重を測定した。続く泌乳期間中では、毎週 1 回朝の搾乳後に体重を測定した。

#### **4.2.4 乳量および乳成分の測定**

搾乳は毎日朝と夕の 2 回行い、分娩後 305 日間の乳量を測定した。なお、2 産分娩のための乾乳により泌乳期間が 305 日に満たない場合は、Wood の泌乳曲線 (Wood 1967) により 305 日までに予測される乳量を確定し、実測値に推定値を加算して 305 日乳量として評価した。また、測定値は 4% 乳脂率を基準とする FCM 乳量への換算を行った。

乳成分については、乳脂率、乳蛋白質率、および無脂固形分率を 2 週間毎に測定した。

#### **4.2.5 分娩後繁殖成績**

初産分娩後の初回発情を観察し、その回帰日数および初回種付け日数を記録した。また、初産分娩日から再び受胎するまでの空胎日数と受胎率を算出した。

#### **4.2.6 生涯乳量、生涯搾乳供用日数、および産暦の調査**

初産分娩後から廃用に至るまで各産次における乳量を合計した生涯乳量、各産次における搾乳日数を合計した生涯搾乳供用日数、および産暦数を記録した。

なお、供試牛の廃用については、各試験研究機関の計画淘汰でなく疾病等により供用不能となった時点とした。



## 4.3 結果

### 4.3.1 BCS、乳頭長

BCS の結果を表 4.1 に示した。9 ヶ月齢、初回人工授精時、および分娩予定日 1 週間前の BCS には両区で有意差は認められなかった。分娩 2 週後の BCS は適 CP 区が高 CP 区に比べ有意に低かった。

乳頭長および乳頭間幅の結果を表 4.2 に示した。試験開始時および初回人工授精時ともに両項目に差は認められなかった。また、乳頭長および乳頭間幅の試験開始時から初回人工授精までの伸長率に有意差は認められなかった。

### 4.3.2 初産分娩状況

供試牛の初産分娩状況を表 4.3 に示した。両区とも不受胎の 1 頭を除く 29 頭が分娩した。分娩月齢については高 CP 区が  $21.4 \pm 1.5$  ヶ月、適 CP 区が  $21.7 \pm 1.8$  ヶ月で両区間には有意差は認められず、都府県の牛群検定牛の平均初産月齢の 26 ヶ月に比べ、約 4 ヶ月の早期分娩となった。出生子牛の体重は両区間で差はなかった。分娩難易度については高 CP 区が  $1.9 \pm 0.9$ 、適 CP 区が  $1.8 \pm 0.9$  で両区はほぼ同じであった。

### 4.3.3 泌乳成績

初産時の泌乳成績を表 4.4 に示した。305 日乳量については高 CP 区が 6,907

±1,004 kg、適 CP 区が 7,084±1,037 kg であった。4%乳脂肪補正乳量 (FCM) は高 CP 区が 7,002±921 kg、適 CP 区が 6,941±952 kg で両項目とも両区間で有意差はなかった。全泌乳期間の平均乳脂率は適 CP 区が 3.89%、高 CP 区が 4.16% で高 CP 区が高かった ( $P < 0.05$ )。泌乳開始から 4 週間毎に平均した乳脂率を比較すると 13 週から 32 週にかけて高 CP 区が有意に高かった。乳蛋白質率および無脂固形分率については有意差は認められなかった。

乳量の推移を図 4.2 に示した。泌乳期間中 2 週間毎の 1 日当たり平均乳量を算出した。分娩時から 305 日齢までどの測定時点も有意ではないが、常に適 CP 区が高 CP 区に比べ高く推移した。泌乳ピークは両区とも泌乳開始後 7~9 週に出現し、最高日乳量は適 CP 区が 26.6 kg、高 CP 区が 25.6 kg であった。

#### 4.3.4 分娩前後の体重の推移

初産分娩 3 週前から分娩後 15 週目までの体重の推移を図 4.4 に示した。分娩前 3 週から 1 週まで高 CP 区が適 CP 区よりも高い傾向にあり、1 週前では有意差が認められたが、分娩時には両区の差は消失した。両区の体重は分娩後に低下し、分娩後は適 CP 区は 3 週目に、高 CP 区は 5 週目に最も低くなり、その後両区とも回復に転じた。体重が上昇し始めてからの両区の体重は 15 週目までは常に高 CP 区が適 CP 区よりも高く推移し、分娩後 8 および 10 週目には有意差が認められた。

#### 4.3.5 分娩後繁殖成績

初産分娩後における繁殖成績を表 4.5 に示した。分娩後の発情回帰日数、初回種付け日数、および空胎日数に差は認められなかった。受胎率は適 CP 区 76%、高 CP 区 68% となり適 CP 区が高い傾向を示した。

#### 4.3.6 初産分娩後から廃用時までの生涯生産乳量等

供試牛の生涯における搾乳供用日数、生涯生産乳量、および産暦を表 4.6 に示した。これらの項目全てについて適 CP 区が高 CP 区に比べ有意に高かった。

産次ごとの搾乳供用頭数および乳量を図 4.5 に示した。2 産した供試牛は適 CP 区が 26 頭、高 CP 区が 20 頭であった。3 産した供試牛は適 CP 区が 21 頭、高 CP 区が 12 頭であった。6 産した供試牛は適 CP 区の 4 頭のみであり、高 CP 区にはいなかった。各産次毎の平均乳量から適 CP 区は 5 産目に、高 CP 区は 4 産目にピークがあった。

## 4.4 考察

本章では、第 2 および 3 章で供試した育成前期に給与飼料中の CP 含量および CP 中 CPd と CPu の割合を変えた乳用育成雌牛の受胎後および初産分娩後の生産性等について検討した。CPd および CPu は代謝経路こそ異なるが、小腸で吸収される CP であり、また CP 中 CPd と CPu の割合に違いを設けたのは育成前期の一部だけであることから、本章では CPd と CPu の構成割合には言及せず、CP の違いが生産性等に及ぼす影響について検討した。Ishii ら (2011) は、90 日齢から体重 350 kg までの期間に飼料中 CP 含量 14% と 16% で、DG1.00 kg を目標とした 2 水準で給与試験を行っている。その結果、CP16% 区は DG1.1 kg を超えるとともに、分娩後は CP14% 区に対して乳量の低下が見られ、高 CP 水準が乳生産性の低下を抑制するという効果は認められなかった。

本研究では、Ishii ら (2011) の試験と同じ育成期に日本飼養標準の水準である CP14% と CP の増量の効果を見るため 2% 高めた 16% の 2 区を設け、初産時の生産性のみならず、2 産目から廃用までの生涯乳量等を測定し、生涯生産性について考察した。また、体脂肪の蓄積を BCS で、乳腺への脂肪付着を推定するために乳頭長を測定した。どちらも脂肪の付着が多過ぎると産乳にマイナスの影響を及ぼす懸念がある (Wildman ら 1982, Swanson 1960)。

Gabler と Heinrichs (2002) は飼料中のエネルギー含量を一定 (2.6Mcal/kg DM) にして CP 水準を変えた (DM 中 12.0%、15.2%、17.4%、19.7%) 飼養試験を 4 ～9 ヶ月齢の育成雌牛で実施し、9 ヶ月齢の BCS に有意差は認められなかったと報告している。また、Lammers と Heinrichs (2000) は飼料中エネルギー含量を一定 (2.55Mcal/kg DM) にして CP% を 11.8 (低)、13.8 (適)、および 15.6 (高)

の3種水準に調製した飼料を7～12ヵ月齢までの育成雌牛に給与している。その結果、12ヵ月齢の高CP区のBCSは3.10となり、低CP区の3.24および適CP区の3.20に比べ有意に低く、高CP区はDGおよび骨格の成長が有意に高かった。これらのことから高CP飼料の給与は脂肪のない組織の成長を高め、BCSの上昇を抑えることが示唆されている。

本研究では9ヵ月齢におけるBCSは適CP区3.40、高CP区3.43で両区に差はなく、前述したGablerとHeinrichs(2002)のBCSの結果と同様であった。また、初回人工授精時(11.8ヵ月齢)および分娩時のBCSはいずれも両区間で差はなかった。これらのことから、飼料中エネルギー含量が一定の場合は、育成期および分娩時のBCSに対して、飼料中CP含量は影響を及ぼさなかったと考えられた。一般的に乳牛は、泌乳開始後の著しい乳量増加に対して飼料摂取量が追いつかず、エネルギー不足に陥る傾向が強く、この場合に体脂肪を動員してエネルギー不足を補うのが通例である。よって泌乳初期にはBCSが低下し、泌乳中期および後期にBCSが回復するパターンを示す。本研究においては、分娩2週後のBCSは、適CP区の3.05に対して高CP区が3.28と高くなった( $P<0.05$ )。それ故、分娩時から2週目にかけてのBCSの減少は適CP区が0.47、高CP区が0.30で、高CP区の方が小さかった。これらのことから、分娩前に高CP区は体脂肪の蓄積が多く、分娩後の泌乳開始に係る体脂肪の動員が少なく、体脂肪を適CP区よりも多く蓄積していたと考えられる。実際、有意差はなかったものの高CP区は適CP区よりも日乳量が少なく推移した。

乳牛において育成期間中に乳腺を十分に発育させることは、将来の産乳能力を十分に発現させるために重要である。乳腺上皮組織は約4ヵ月齢から成長を始め、春機発動期の頃に終了する(SinhaとTucker 1969)。通常、乳腺の発達時

期に高エネルギー飼養を行うと、乳腺への脂肪蓄積が亢進して乳腺そのものの発達や産乳性に負の影響があると指摘されている (VandeHaar 1997)。一方で、春機発動前の高エネルギー飼養であっても高 CP 飼養であれば、乳腺の発育は阻害されないという報告もある (Whitlock ら 2002)。乳房の発達レベルを示す間接的指標として、乳管の成長を乳頭の長さで評価し、4 本の乳頭先端部を結んだ四角形の辺を測り乳房の大きさを推定する方法がある。また、巻尺で乳房周囲の長さを測定することによって乳房の大きさを推定する方法もあり、これらは乳腺細胞組織に蓄積した脂肪を間接的に評価できる方法である (Lammers ら 1999)。12 ヶ月齢の乳用種育成雌牛を用いた結果によると、飼料中 CP 含量が 16% の場合、同 12~14% に比べて乳頭長の伸長が 35~38% 増加し、乳管の発達に影響することが報告されている (Lammers と Heinrichs 2000)。

本研究では Lammers ら (1999) の測定方法に準じて試験開始時および終了時に、乳頭長と乳頭間幅を測定して乳管の発達と乳腺への脂肪の付着程度を推定した。乳頭長、乳頭間幅、および乳頭の伸長率は両区で有意差は認められなかった。9 ヶ月齢および初回人工授精時の BCS にも両区に差はなかったことから、エネルギー水準が一定で CP 含量が 2% 程度の違いでは、乳房を含む体全体における脂肪蓄積に差はなかったと考えられた。今回、乳房の外寸から推定するのみの検討であったが、近年の高泌乳牛の普及を考えると、育成期の栄養管理と乳腺組織の発達および成熟に関しては長期的な観点による検討が必要であろう。

これまでの研究では、育成期間に給与する飼料のエネルギー含量が初産時の乳生産性に及ぼす影響は検討されているが、CP 含量の違いによる初産時の乳生産性を比較した試験は殆ど行われていない。Radcliff ら (2000) は 4 ヶ月齢から受胎までの育成雌牛に高エネルギー (2.8Mcal/kg)・高 CP (CP19.3%) 飼料

と、適エネルギー（2.3Mcal/kg）・適 CP（CP17.5%）飼料とで飼養試験を実施している。その結果、高エネルギー・高 CP 区は初産分娩が約 90 日早まった。分娩後体重と分娩時 BCS に差はなかったが、305 日推定乳量は適エネルギー・適 CP 区で 8,618 kg、高エネルギー・高 CP 区で 7,503 kg となり、前者が有意に高かった。この乳量の差が飼料中のエネルギーなのか CP の影響なのかの結論は導かれていない。Ishii ら（2011）は育成期間に CP 含量とエネルギー含量に差を設けた 3 種類の飼料による比較試験を行っている。DG1.1 を超えた場合に初産の 305 日実乳量に低下が見られた。これは高エネルギー飼養が乳腺の発達を抑制し、初産乳量を低下させた一因と推測している。本研究では 305 日総乳量、FCM 総乳量、乳タンパク質率、および SNF 率については両区で差は認められなかった。しかしながら、日乳量を示す泌乳曲線では適 CP 区が常に高 CP 区よりも高いレベルで推移した。さらに、泌乳期間中の平均乳脂率は高 CP 区が有意に高かった。初産分娩後の BCS の推移は、適 CP 区の方が、一般的なパターン（分娩後、泌乳量の増加に栄養摂取量が追いつかず不足気味になり BCS が低下する（Goff と Horst 1997））に近かった。なぜ、高 CP 区が分娩後の BCS の低下が小さかったのか理由は不明であるが、泌乳時の乳脂率が高かったことと関連しているのかもしれない。分娩 1 週前体重に差があることが、分娩後の BCS に影響したとも考えられる。分娩前後の BCS と生産性をより詳細に検討する必要がある。

本研究における供試牛の初産の 305 日乳量は適 CP 区 6,923 kg、高 CP 区 6,757 kg で牛群検定牛全国平均値 8,338 kg（乳用牛群能力検定成績のまとめ—平成 17 年度—（社）家畜改良事業団）に比べると、両区とも約 18% 程度低い値を示した。Hoffman ら（1996）は、乳用育成雌牛の春機発動後の成長速度を高めて、

21.7 ヲ月齡（体重 569 kg）で分娩、305 日乳量は 7,695 kgであつたという結果を得ている。この試験結果と比較しても本研究の初産乳量は約 800 kg低い。乳量が低かつた原因は、分娩時体重が大きく影響を及ぼしていることが推察される。Van Amburgh ら（1998）は、初産乳量に最も影響を及ぼすのは分娩時体重であると報告している。本研究では日本飼養標準を参考に、分娩時体重を 540 kgに設定した。受胎時から分娩時までの DG は適 CP 区が 0.71 kg、高 CP 区が 0.76 kgで、分娩時体重はそれぞれ 547.5 kg、552.7 kgであつた。初産乳量を考慮すると、育成期の DG を上げて分娩時体重をより大きくする必要があるのかもしれない。

酪農経営において、初産月齡を早めて育成期間の飼料コストを低減しつつ十分な産乳性を確保することは重要であり、さらに生涯乳量を高めて長命連産な乳牛を育成することは最大の課題である。しかし、試験研究においては初産の成績を対象とした報告が多く、生涯成績まで追求したものは見当たらない。本研究における両区の供試牛が廃用となるまでの平均産暦は、適 CP 区 3.6 産、高 CP 区 2.6 産であつた。牛群検定成績（平成 23 年）の全国平均が 2.6 産であることから、高 CP 区は全国平均と同じレベルで、適 CP 区は現状の臨床現場よりも 1 産多い結果となつた。加えて、適 CP 区は生涯乳量および搾乳供用日数も高 CP 区に比べて多くなり、長命性が認められた。供試牛は病気等で生産能力の発現不可能と診断されるまで飼養されており、計画的な淘汰は行っていない。廃用の原因は両区とも多い順に乳房炎等の乳房関連疾病、繁殖障害、肢蹄関連、周産期病、内臓関連であつた。このうち飼料からの栄養摂取の影響が大きいと考えられる繁殖障害は適 CP 区 6 頭、高 CP 区 8 頭で、適 CP 区の方が少ない傾向であつた。また、適 CP 区の 6 頭は初産後から 6 産まで廃用時の偏りは見ら



れなかったが、高 CP 区の 8 頭は全て 1 および 2 産後に廃用となった。このことから育成期の高 CP 飼養が成牛になってからの繁殖障害を比較的早期に誘発することが示唆された。産次別頭数では 2 産したのは適 CP 区が 30 頭中 26 頭 (87%) であったのに対し、高 CP 区は 30 頭中 20 頭 (67%) にとどまった。さらに 3 産目になると、適 CP 区が 21 頭 (70%) なのに対して高 CP 区は 12 頭 (40%) と大きく減少した。2 産目以降における供試牛の BCS および乳成分については測定していない。初産分娩後、適 CP 区は BCS の低下が高 CP 区に比べて大きく体脂肪の蓄積が少ないことが高 CP 区に比べ疾病にもかかりにくく、産暦や生涯乳量の多さにつながったと考えられた。マウスやラットの若い一時期に特定の飼料を給与して、その栄養状態が成長した後にも発育等に影響を及ぼすことは「代謝インプリンティング」として生物学的に認められている (Song ら 2001、Aalinkel ら 2001)。Barker と Clark (1997) も代謝インプリンティングの概念を支持している。すなわち、哺乳期の栄養水準が後年になっての健康状態および疾患発症に重要な要因であると報告している。ウシにも代謝インプリンティングという概念が適用されるかどうかは報告がなく、ましてや育成期の飼料中 CP 水準が生涯生産性に影響するかどうか直接的な知見はない。しかしながら、CP を高めたことが後になって代謝インプリンティングとして初産分娩を経てから廃用に至るまでの長命連産性に影響を及ぼしたのかもしれない。本研究は乳牛の長命性と育成期の一時期の CP 水準との関連性を示唆する初めての知見である。

本研究で試験飼料を給与した時期 (2002~2003) は、第 2 章でも述べたように適 CP 区を日本飼養標準 (1999) の CP 要求量の水準とした。それから 14 年経過した現在では、育種改良に伴う生産能力の向上や飼養管理技術の進歩によ

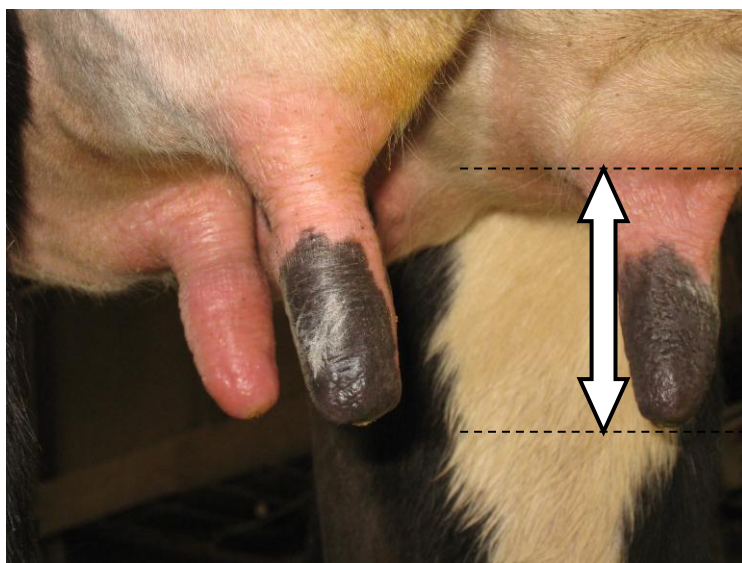
り、育成雌牛の CP 要求量は日本飼養標準（1999）を上回っていると考えるのが妥当である。すなわち、当初は試験設計として適 CP 区に対して高 CP 区を設け CP を増量した効果を検討する目的であったが、現在では、現場における育成牛への CP 給与水準は本研究の高 CP 区と同レベルである。よって、現在の育成牛の飼養管理において給与されている CP 水準は過剰気味であり、育成前期の CP 水準は約 2% 程度制限する方が飼料費の低減や将来の長命連産性に期待がもてると考えられる。

## 4.5 要約

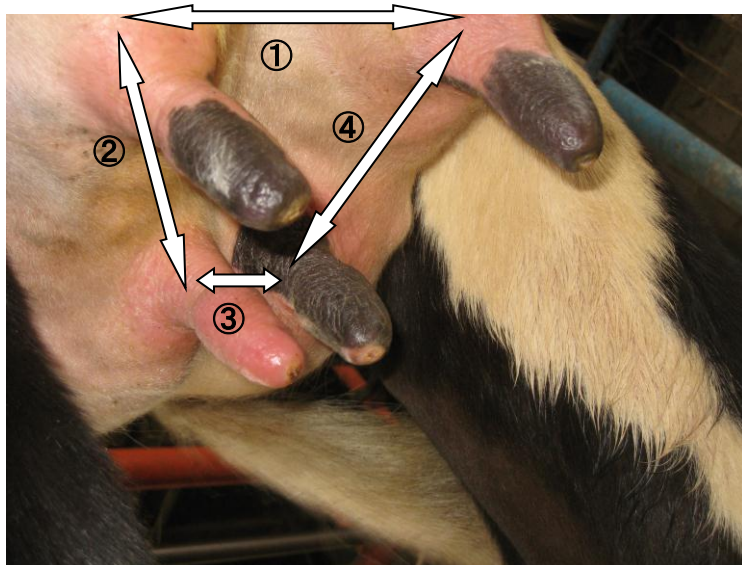
乳用育成雌牛の初産分娩月齢の早期化を目指すため、人工授精適期までの CP 水準が初産分娩前後の BCS、乳頭長の伸長、初産時の乳生産と繁殖成績、さらに廃用となるまでの搾乳供用日数、生涯乳量、および産次数に及ぼす影響について検討した。試験期間は生後 90 日齢から体重が 350 kg に到達するまでの期間とし、処理区は給与飼料中の CP 水準の違いにより 2 区を設定した。すなわち体重 200 kg までは適 CP 区を CP14%、高 CP 区を CP16% とし、体重 200 kg 以降は適 CP 区を CP12%、高 CP 区を CP14% とした。なお、試験期間中は両区とも DG1.0 kg を目標とした。

BCS については育成期間中は差がなかったが、分娩 2 週後に適 CP 区が高 CP 区に比べ低かった。乳頭長および乳頭間幅については試験開始時および初回人工授精時に差はなく、試験開始時から初回人工授精時にかけての伸長率についても差は認められなかった。初産月齢は適 CP 区が 21.4 ヶ月齢、高 CP 区が 21.1 ヶ月齢で牛群検定成績（2009）よりも 4.2～4.5 ヶ月早まった。分娩前、分娩時体重、および分娩難易度についても差は認められなかった。初産の泌乳成績については高 CP 区の乳脂率が適 CP 区よりも高かったが、他の乳成分、305 日乳量、および FCM 乳量は両区でほぼ同じレベルであった。廃用されるまでの搾乳供用日数、生涯乳量、および産暦については適 CP 区が有意に高くなった。以上のことから、両区とも 21 ヶ月齢での早期分娩が達成できた。育成期の CP 含量は適 CP 区の水準である前期 14%、後期 12% で過度の体脂肪蓄積および乳腺への脂肪付着はなく、高 CP 区に比べ初産乳量の低下も認められないことが明らかになった。また、適 CP 区は高 CP 区に比べて、長命連産性が認められた。

## 4.6 図表



乳頭長 (Lammers らの方法に準ずる)



乳頭基部間隔 (Lammers らの方法に準ずる) ①+②+③+④

- |   |                   |                  |
|---|-------------------|------------------|
| [ | ① 左前乳頭と右前乳頭の基部間隔、 | ② 右前乳頭と右後乳頭の基部間隔 |
|   | ③ 左後乳頭と右後乳頭の基部間隔、 | ④ 左前乳頭と左後乳頭の基部間隔 |

図 4.1 乳頭長および乳頭基部間隔の測定箇所

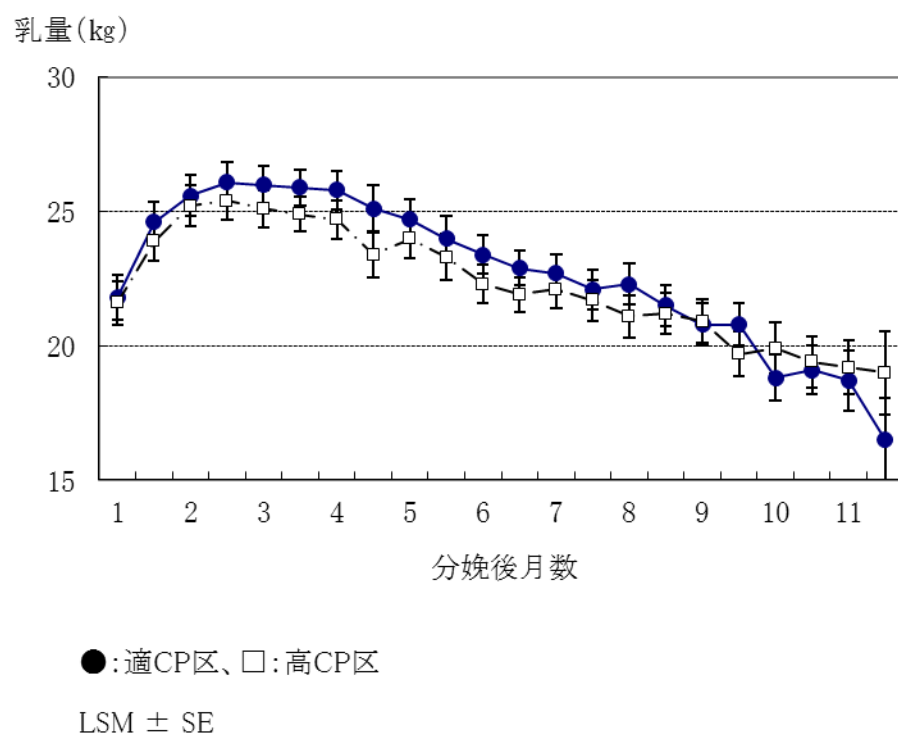
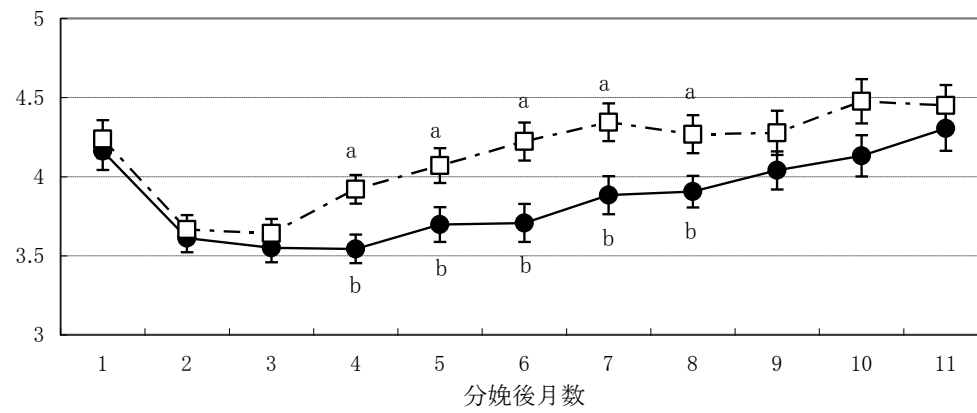
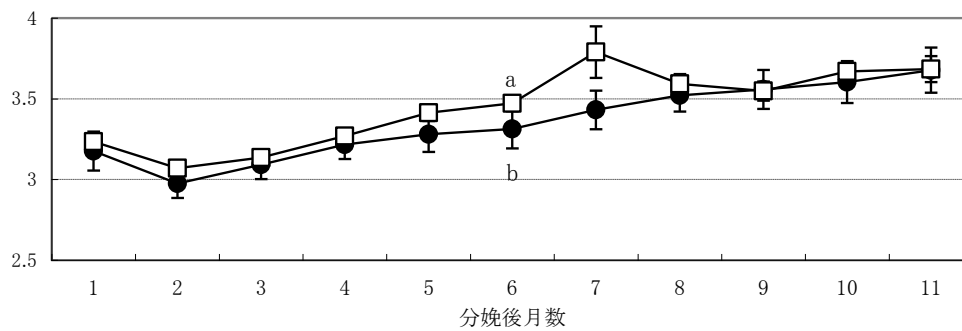


図4.2 給与飼料中のCP、CPd、およびCPu含量に差を設けたホルスタイン種育成雌牛の初産時における日乳量の推移

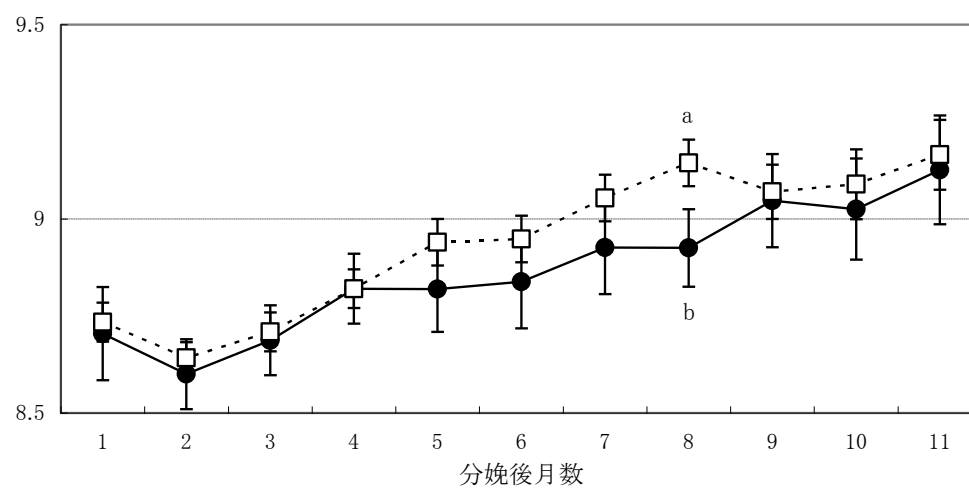
乳脂率(%)



乳蛋白質率(%)



無脂固形分率(%)

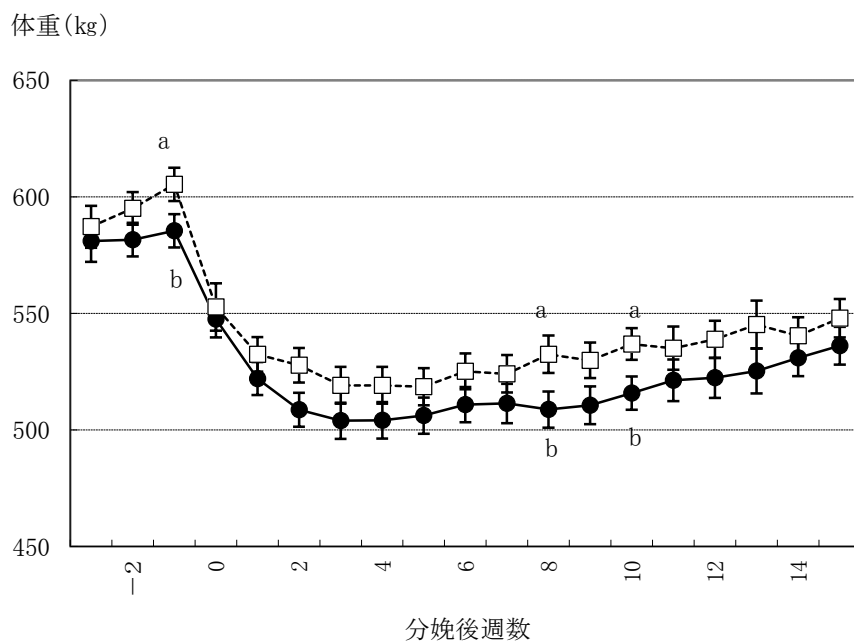


●:適 CP 区、□:高 CP 区

LSM ± SE

ab:  $p < 0.05$

図 4.3 初産乳期における乳成分の推移



●:適CP区、□:高CP区

LSM  $\pm$  SE

ab :  $p < 0.05$

図4.4 初産分娩後の体重の推移

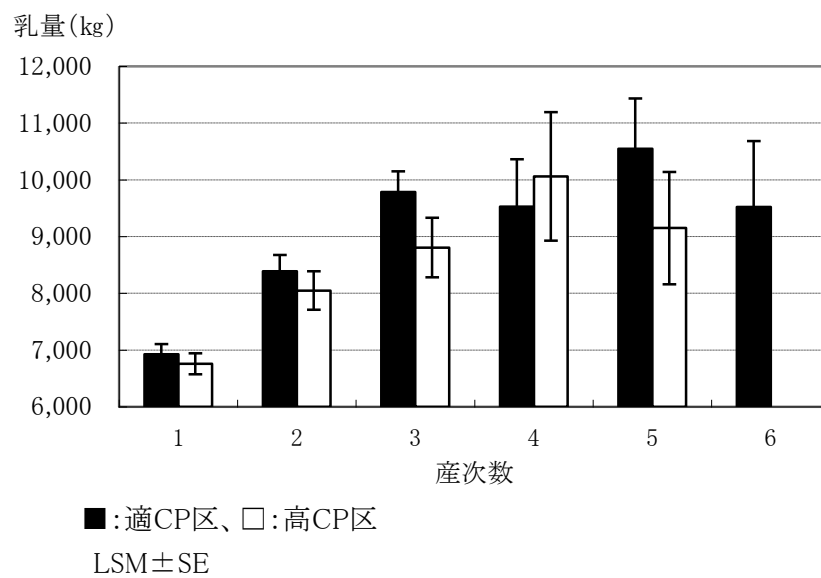
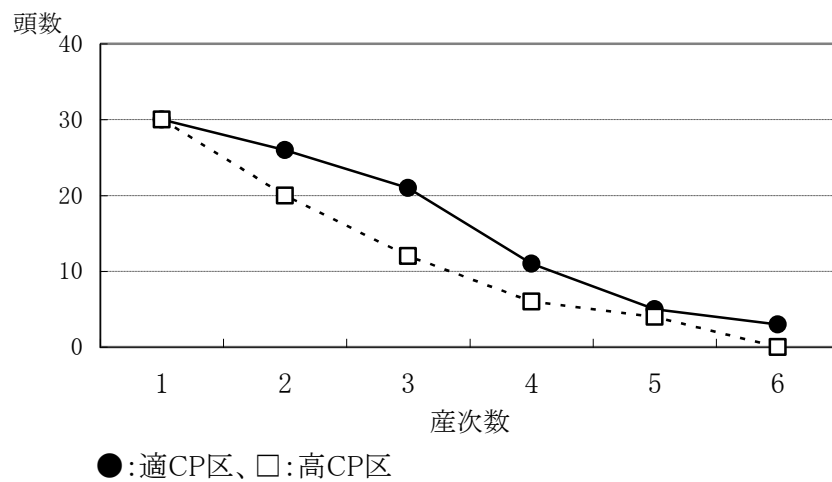


図 4.5 産次別搾乳供用頭数および産次別乳量



表 4.1 9ヵ月齢、初回人工授精時、分娩時、および分娩2週後のBCS

	適CP区	高CP区	<i>P</i> -value
9ヵ月齢	3.40 ± 0.04	3.43 ± 0.04	0.575
初回人工授精時 <sup>1)</sup>	3.54 ± 0.03	3.47 ± 0.03	0.110
分娩時 <sup>2)</sup>	3.52 ± 0.06	3.58 ± 0.06	0.466
分娩2週後	3.05 ± 0.06 <sup>a</sup>	3.28 ± 0.06 <sup>b</sup>	0.005
LSM ± SE			
異符号間で有意差あり： <i>P</i> < 0.05			
<sup>1)</sup> 9.9～15.9ヵ月齢			
<sup>2)</sup> 19.3～27.1ヵ月齢			

表 4.2 給与飼料中のCP、CPd、およびCPu含量に差を設けたホルスタイン種育成雌牛の試験開始時から初回人工授精時までの乳房の成長に伴う各測定値の変化

		単位	適CP区	高CP区	P-value
乳頭長 <sup>1)</sup>	試験開始時	cm	8.5 ± 0.3	8.0 ± 0.3	0.284
	初回人工授精時	cm	13.6 ± 0.4	13.4 ± 0.5	0.686
	伸長率 <sup>3)</sup>		1.7 ± 0.1	1.9 ± 0.1	0.335
乳頭基部間幅 <sup>2)</sup>	試験開始時	cm	15.1 ± 0.6	15.9 ± 0.6	0.280
	初回人工授精時	cm	22.5 ± 0.8	23.7 ± 0.8	0.275
	伸長率 <sup>3)</sup>		1.5 ± 0.1	1.5 ± 0.1	0.977
LSM ± SE					
<sup>1)</sup> 乳頭長: 右前、左前、右後、左後の各乳頭長の合計					
<sup>2)</sup> 乳頭基部間幅: 前後左右の各乳頭間幅の4箇所合計					
<sup>3)</sup> 伸長率: 初回人工授精時/試験開始時					

表 4.3 供試育成雌牛の初産分娩状況、分娩前後の体重、および子牛の生時体重<sup>1)</sup>

	単位	適CP区	高CP区	<i>P</i> -value	
分娩頭数		29	29		
妊娠期間中DG	kg	0.71 ± 0.02	0.76 ± 0.02	0.150	
分娩時月齢	月齢	21.4 ± 0.3	21.1 ± 0.3	0.350	
分娩1週前体重	kg	585.4 ± 7.2 <sup>a</sup>	605.3 ± 7.1 <sup>b</sup>	0.046	
分娩時体重 <sup>2)</sup>	kg	547.5 ± 7.9	552.7 ± 10.1	0.661	
子牛生時体重	kg	39.6 ± 0.8	40.0 ± 0.9	0.730	
分娩難易度 <sup>3)</sup>		1.8 ± 0.2	1.9 ± 0.2	0.727	
異符号間で有意差あり : <i>P</i> < 0.05					
<sup>1)</sup> 各区とも分娩した29頭の値で表示					
<sup>2)</sup> 分娩後24時間以内および分娩後3日間毎日の体重測定値の平均					
<sup>3)</sup> 1: 介助なし、2: 若干の介助、3: 3名以上の介助、4: 極めて困難、					
5: 帝王切開または外傷による死産					

表 4.4 初産時における305日乳量および泌乳期間の平均乳成分				
	単位	適CP区	高CP区	<i>P</i> -value
305日乳量	kg	6,923 ± 184	6,757 ± 186	0.509
305日FCM乳量	kg	6,802 ± 164	6,888 ± 166	0.701
乳脂率	%	3.89 ± 0.08 <sup>a</sup>	4.16 ± 0.08 <sup>b</sup>	0.020
乳蛋白質率	%	3.36 ± 0.04	3.43 ± 0.04	0.234
SNF	%	8.95 ± 0.06	8.98 ± 0.07	0.751
LSM ± SE				
異符号間で有意差あり： <i>P</i> < 0.05				

表 4.5 各処理区の初産分娩後における繁殖成績

	単位	適CP区	頭数	高CP区	頭数	<i>P</i> -value
発情回帰日数	日数	43.4 ± 4.6	25	47.8 ± 4.6	25	0.496
初回種付け日数	日数	88.5 ± 7.8	21	72.5 ± 7.4	23	0.128
空胎日数	日数	118.9 ± 17.4	19	104.6 ± 18.8	17	0.562
受胎率	%	76 (19/25) <sup>1)</sup>		68 (17/25) <sup>1)</sup>		
LSM ± SE						
<sup>1)</sup> 受胎率(受胎頭数/供試頭数)						

表 4.6 供試牛の生涯における搾乳供用日数と生涯生産乳量

	単位	適CP区	頭数	高CP区	頭数	<i>P</i> -value
搾乳供用日数	日数	1,489.5 ± 118.8 <sup>a</sup>	27	1,012.3 ± 116.2 <sup>b</sup>	28	0.005
生涯生産乳量	kg	30,093.4 ± 3,120.7 <sup>a</sup>	27	18,259.0 ± 3,052.0 <sup>b</sup>	28	0.007
産次別乳量						
2産	kg	8,387 ± 289	26	8,049 ± 337	20	0.434
3産	kg	9,784 ± 363	21	8,806 ± 525	12	0.136
4産	kg	9,527 ± 836	11	10,060 ± 1,132	6	0.710
5産	kg	10,545 ± 886	5	9,150 ± 990	4	0.329
6産	kg	9,522 ± 1,158	3	0	0	—
産暦	回数	3.58 ± 0.30 <sup>a</sup>	27	2.61 ± 0.29 <sup>b</sup>	28	0.019
LSM ± SE						
異符号間で有意差あり： <i>P</i> < 0.05						

## 第5章 総括

わが国の酪農経営を取り巻く現状は、乳価の低迷、飼料費や資材価格の高騰等により収益性が悪化している。このような状況において、経営の効率化と低コスト化を図ることが緊急の課題となっている。その中でも支出で多くを占める育成雌牛に係る飼料費および労働費などを節減することが重要である。そのためには、育成期間を短縮する技術の確立が必要となっている。1997年から2011年までのおよそ15年間、牛群検定成績での都府県における平均初産月齢は25～26ヵ月とほぼ横這いで推移しており（家畜改良事業団2012）、依然として育成期間の短縮化は進んでいない。この理由としては、初産月齢を早期化する目的で育成雌牛を高エネルギーで飼養すると過肥となって受胎率が低下し（Reid ら 1964）、結果的に初産月齢が早まらないこと、また初産月齢が早くなったとしても乳腺への脂肪蓄積により、初産乳量が低下する（Beede と Collier 1986）ことがあげられる。一方で高エネルギーと高CP飼料の併給によりDG1.0 kgを維持しながら高い受胎率が可能であること（長谷川 1995）や、乳腺の発達に支障がない（Whitlock 2002）との報告がある。これらの知見は飼料中CPを高めることで、高増体とともに初産月齢の早期化を可能にし、かつ乳生産性は低下させないことを示唆している。

著者らは先ず、育成期間における飼料中のエネルギーおよびCP水準がその後の生産性に及ぼす影響について検討している。結果、飼料中TDNおよびCP含量をそれぞれ68%および14%に調製してDG0.97 kgで発育させることで23ヵ月齢での初産分娩と牛群検定における平均レベルの乳生産が可能であることを確認した（Ishii ら 2011）。この先行試験から、高エネルギー飼

料と組み合わせる高 CP 飼料は、含量としての量のみならず消化吸収部位からの質も重要であることが明らかになった。すなわち、CP 中の CPd と CPu の構成割合である。飼料中 CP は第一胃で分解される性質の CPd と分解されずに下部消化管で消化吸収される性質の CPu に大別される。つまり、CP の第一胃内分解性について検討を重ねることにより、効果的なタンパク質の給与につながることを期待される。

また、経営規模の拡大と個体乳量の増加に伴い、糞尿による環境負荷の増大と環境汚染が進んでおり、糞尿処理も重要な問題となっている。家畜から排泄される糞尿中の窒素は、硝酸態窒素として地表面や地下水を汚染し、アンモニアとして大気を汚染する (Tamminga 1992)。また、アンモニアは牛に対して健康被害を及ぼす (アニマルウェルフェアの考え方に対応した乳用牛の飼養管理指針)。それ故、欧州連合やアメリカでは環境汚染の防止のため、飼養頭数制限等の対策を講じている (松田 2001, 環境保全型農業レポート 2010)。将来的には、家畜が摂取窒素を効率的に生産や成長に回るようにし、無駄に排泄する窒素をできるだけ削減していくことが重要である。

そこで本研究は、21 ヶ月齢での分娩が可能となるように育成雌牛の発育を早めた栄養管理を基盤として、育成期の飼料中 CP における CPd および CPu 割合が各部位の発育、飼料効率、血液と第一胃液性状、および窒素出納に及ぼす影響について検討した。さらに育成期の飼料中 CP 水準と初産における乳生産と繁殖性、また廃用時までの生涯生産性等との関連について検証した。

第 2 章では 3 ヶ月齢から人工授精が可能となる体重 350 kg までの期間を対象とした。日本飼養標準で示されている CP 水準と同じレベルの適 CP 区と 2%程度高めた高 CP 区を設定した。DG を 1.0 kg に設定して体重 200 kg まで



は飼料中の CP を 13.9% (CPd 9.1%、CPu 4.8%) の適 CP 区と 16.1% (CPd 9.6%、CPu 6.5%) の高 CP 区に供試牛を配置した。体重 200 kg 以降は適 CP 区を CP 11.7% (CPd 8.0%、CPu 3.7%)、高 CP 区を CP 14% (CPd 9.2%、CPu 4.8%) に設定した。日本飼養標準（農林水産省農林水産技術会議事務局 2006）において育成雌牛の 1 日当り CP 要求量の乾物中割合が、体重 200 kg を境に大きく減少するため本研究もそれに準じた。これらの条件における飼料中 CP、CPd、および CPu 水準が育成および繁殖成績に及ぼす影響について検討した。試験期間中の DG は両区で差は認められず、体重が 350 kg に達した時点の体格も両区で同様であった。繁殖成績についても両区で差は認められなかったが CP 飼料効率は適 CP 区が有意に高まった。よって、飼料中 CP は適 CP 区の水準である体重 200 kg までは 14%、200 kg から 350 kg までは 12% 程度で十分であると推察された。

第 3 章では、飼料中の CP 水準および CPd と CPu の構成割合が窒素出納、血液性状、および第一胃液性状に及ぼす影響について検討した。供試牛の体重が 200 kg と 300 kg の時点で実施した窒素出納試験の結果、窒素摂取量および尿中窒素排泄量は高 CP 区で高まったが、糞中窒素排泄量および窒素蓄積量については両区で差は認められなかった。MCP 合成量は高 CP 区が適 CP 区に比べて高まった。血液成分では、PUN 濃度が試験期間を通して高 CP 区が適 CP 区に比べて高いレベルで推移した。以上のことから、高 CP 区では高めた CPu は有効利用されずに尿中に排泄されたものと考えられた。よって育成雌牛への CP 給与は、適 CP 区の CP レベルおよび CPu 割合で十分であると結論付けた。また、糞尿による環境負荷の観点からも適 CP 区の方が、適正な CP 給与法に近いと思われる。

第4章では、育成前期の給与飼料中 CP 水準が育成後期の BCS、乳頭の成長、初産時における乳量、および分娩後繁殖成績に及ぼす影響について検討した。さらに2産目以降から廃用時までの生涯乳量や産暦への影響についても引き続き検討した。両区ともに21ヵ月齢程度の早期分娩であり、高エネルギー飼料で飼養したにも拘らず、体脂肪蓄積および乳腺への過度の脂肪付着はないと思われた。体脂肪の蓄積状況を表す BCS は9ヵ月齢時、初回人工授精時、および分娩時いずれの時期でも両区に差は認められなかったが、分娩2週間後では適 CP 区が高 CP 区よりも低い値であった。乳頭長、乳頭間幅、および伸長率についても両区に有意差は認められなかった。初産の泌乳成績については、両区とも305日ならびに FCM 乳量は同レベルであったが、前者は牛群検定成績に比べて低かった。泌乳量は分娩時体重との相関が認められている。本研究での分娩時体重は適 CP 区 547.5 kg、高 CP 区 552 kgであり、牛群検定牛の同体重に比べると小さい。このことが影響していると推察される。育成期の DG が 1.1 kgを超えると初産乳量の低下がみられることから、出生後からの DG すなわち発育曲線を見据えたエネルギーおよび CP 給与管理が必要と考える。泌乳期間における平均乳脂率は高 CP 区が高くなったが、その他の乳成分には差はなかった。305日乳量では差がなかったけれども初産乳期を通しての日乳量は常に適 CP 区の方が高く推移し、反対に体重は高 CP 区が高く推移した。分娩2週間後の BCS も高 CP 区が高く、これら乳量、体重、BCS の3者の推移から適 CP 区の方が体脂肪の付着は少なかったと考えられた。

供試牛の廃用までの生涯生産乳量と搾乳供用日数は適 CP 区が多くなった。産暦も高 CP 区に比べて適 CP 区が多く、牛群検定成績の全国平均よりも1

産多かった。育成期の飼料中 CP 水準がその後の生産性に及ぼす影響については知見が少ない。長期的視点に基づいた研究実施が難しいことも要因であろう。その中で、我々の先行試験では初産乳量への影響を明らかにしている (Ishii ら 2011)。本研究では、有意差はなかったが、分娩後毎週の乳量は常に高 CP 区が低く、体重は常に高 CP 区が高く推移した。さらに分娩直後から分娩2週後にかけての BCS の減少は高 CP 区が適 CP 区よりも小さかった。これらの結果から高 CP 区は適 CP 区に比べて乳生産のために消費される体脂肪の動員が少なかったため、多く体内に残り蓄積されていたと推察される。このような代謝特性が産歴や2産以降の生涯生産性に影響したことも推察される。また、分娩前の BCS や乳頭長に両区の差が認められなかったため、表面的な評価としては体脂肪蓄積も同様であると考えたが、内臓脂肪などの内面的な体脂肪に差があった可能性も否定できない。既往の報告では、前述のように高エネルギー飼養でも高 CP に設定することで過肥や生産性低下を防げると言われている。しかしながら、これらの知見は初産までであり、連産性や生涯乳量までは検討していない。育成から初産にかけての代謝特性がその後に影響することは、生物学的な代謝インプリンティングが強く作用しているものと推察される。結果論的な考察であるが、経営の側面からは飼料中 CP のレベルは元より、CPd と CPu バランス等の質も影響した可能性もあるが、長期的視点による検討が必要であろう。適 CP 区の CP 水準は乳牛の耐用年数を伸ばして生涯乳量も増加することにつながる効果が期待される。

日本飼養標準には3ヵ月齢から体重200 kgまでを DG1.0 kg に設定する場合の CP レベルは、DM 中 15.0～15.3%と示されているが、本研究では14%で効率的な窒素代謝と生涯生産性向上を実証した。同じく体重200～350 kg

までの適正 CP 範囲は 11.2～13.7%と示されており、本研究での適 CP 区の 12%とほぼ変わらなかった。日本飼養標準では育成牛に対する CPd および CPu の必要量が示されておらず、育成期における CP 必要量は、飼料中 CP 水準で考えられてきた。このような観点からも、本研究による CPd と CPu バランスの検討は育成牛の栄養研究に一石を投じる極めてインパクトのある知見を出したと考えられる。加えて、体構成や代謝機能を獲得する上で重要な期間である育成期のタンパク質栄養が乳牛の一生に影響することを示唆したことは、今後の栄養研究のみならず畜産業全体に大きく貢献するものと考えられる。

今回、日本飼養標準が示す CP レベルである適 CP 区とそれに CPd、CPu を上乗せした高 CP 区で比較した結果、適 CP 区で効率的な窒素代謝と生涯生産性向上を実証した。ところが、現在の育成雌牛の CP 必要量は育種改良や飼養管理技術の進歩等により本試験飼料給与時の日本飼養標準（1999）が示す CP レベルよりも上がっていると考えられる。よって本試験の高 CP 区のレベルが現在、一般に飼養されている育成雌牛の CP レベルにあると推測するのが自然であろう。そうすると現在の給与 CP レベルは過剰であり、これを低下させることにより、育成費用の低減、長命連産性の向上が期待できる。

## 引用文献

- Aalinkeel R, Srinivasan M, Song F, Patel MS. 2001. Programming into adulthood of islet adaptations induced by early nutritional intervention in the rat. *American Journal of Physiology – Endocrinology and Metabolism* **Sep; 281(3)**, E640-8.
- 阿部又信. 1980. ルーメン発酵の効率と飼料のルーメン・バイパス. 日本畜産学会報 **51**, 1-11.
- 阿部又信, 入江誠一, 入来常德. 1991. 第一胃内分解性蛋白質 (RDP) と非分解性蛋白質 (UDP) の摂取比率が異なる場合の子牛の増体成績. 日本畜産学会報 **62**, 148-153.
- 阿部 亮. 2001. 一般成分 (6 成分). 新編 動物栄養試験法 (石橋 晃監修). 第 1 版. pp. 455-466. 養賢堂, 東京.
- Agricultural and Food Research Council (AFRC) . 1993. Energy and protein requirements of ruminants. (An advisory manual prepared by the Agric. Food. Res. Council Technical Committee on Responses to Nutrients.) CAB International, wallingford, U.K.
- Agricultural Research Council (ARC) . 1980. The nutrient requirements of ruminant livestock. A.R.C. London.
- 浅井英樹, 中村 豊, 喜多一美. 2008. 乾乳牛における尿の採取時間間隔の違いが尿中カリウム排泄日量の推定精度に及ぼす影響. 日本畜産学会報 **79**, 45-50.

- Association of Official Analytical Chemists (AOAC) . 1990. *Official methods of analysis of the association of official analytical chemists* , 15<sup>th</sup> edn. Association of Official Analytical Chemists , Washington , DC.
- Barker DJ, Clark PM. 1997. Fetal undernutrition and disease in later life. *Reviews of Reproduction* **2**, 105-112.
- Beede DK, Collier RJ. 1986. Potential nutritional strategies for intensively managed cattle during thermal stress. *Journal of Animal Science* **62**,543-554.
- Bertics SJ, Grummer RR, Cadorniga-valino C, Stoddard EE. 1992. Effect of prepartum dry matter intake on liver triglyceride concentration and early lactation. *Journal of Dairy Science* **75**, 1914-1922.
- Bethard GL, James RE, Mcgilliard ML. 1997. Effect of rumen-undegradable protein and energy on growth and feed efficiency of growing Holstein heifers. *Journal of Dairy Science* **80**, 2149-2155.
- Bryant MP. 1973. Nutritional requirements of the predominant rumen cellulolytic bacteria. *Federation Proceedings* **32**:1809-1813.
- Canfield RW, Sniffen CJ, Butler WR. 1990. Effects of excess degradable protein on postpartum reproduction and energy balance in dairy cattle. *Journal of Dairy Science* **73**, 2342-2349.
- Cameron REB, Dyk PB, Herdt TH, Kaneene JB, Miller R, Bucholtz HF, Liesman JS, Vandehaar MJ, Emery RS. 1998. Dry cow diet,

- management, and energy balance as risk factors for displaced abomasums in high producing dairy herds. *Journal of Dairy Science* **81**, 132-139.
- Chen XB, Gomes MJ. 1992. Estimation of microbial protein supply to sheep and cattle based on urinary excretion of purine derivatives. *An occasional publication of the Rowett Research Institute* **AB2 95B**.
- Collier RJ, Beede DK, Thatcher WW, Israel LA, Wilcox CJ. 1982. Influences of environment and its modification on dairy animal health and production. *Journal of Dairy Science* **65**, 2213-2217.
- Devant M, Ferret A, Gasa J, Calsamiglia S, Casals R. 2000. Effect of protein concentration and degradability on performance, ruminal fermentation, and nitrogen metabolism in rapidly growing heifers fed high concentrate diets from 100 to 230 kg body weight<sup>1</sup>. *Journal of Animal Science* **78**, 1667-1676.
- El-Shazly K, Dehority BA, Johnson RR. 1961. Effect of starch on the digestion of cellulose *in vitro* and *in vivo* by rumen microorganisms. *Journal of Animal Science* **20**, 268-273.
- Gabler MT, Heinrichs AJ. 2002. Dietary protein to metabolizable energy ratios on feed efficiency and structural growth of prepubertal Holstein heifers. *Journal of Dairy Science* **86**, 268-274.
- Gabler MT, Heinrichs AJ. 2003b. Altering soluble and potentially rumen degradable protein for prepubertal Holstein heifers. *Journal of Dairy Science* **86**, 2122-2130.

- Gabler MT, Heinrichs AJ. 2003a. Effects of increasing dietary protein on nutrient utilization in heifers. *Journal of Dairy Science* **86**, 2170-2177.
- Gardner RW, Schuh JD, Vargus LG. 1977. Accelerated growth and early breeding of Holstein heifers. *Journal of Dairy Science* **60**, 1941-1948.
- Garnsworthy PC, Jones GP. 1993. The effects of dietary fibre and starch concentrations on the response by dairy cows to body condition at calving. *British Society of Animal production* **57**, 15-21.
- Gillund P, Reksen O, Gröhn YT, Karlberg K. 2001. Body condition related to ketosis and reproductive performance in Norwegian dairy cows. *Journal of Dairy Science* **84**, 1390-1396.
- Goff JP, Horst RL. 1997. Physiological changes at parturition and their relationship to metabolic disorders. *Journal of Dairy Science* **80**, 1260-1268.
- Grummer RR, Hoffman PC, Luck ML, Bertics SJ. 1995. Effect of prepartum and postpartum dietary energy on growth and lactation of primiparous cows. *Journal of Dairy Science* **78**, 172-180.
- 長谷川鬼子男, 小林 寛, 鈴木庄一, 生方順亮, 籠橋太史, 佐藤尚史, 土屋英希. 1995. 混合飼料給与による乳用子牛の育成法. 福島県畜産試験場研究報告 **8**, 11-28.
- 早坂貴代史. 1997. 完全混合飼料給与におけるホルスタイン種泌乳牛の乾物摂取量と養分要求量に関する研究. 北海道農業試験場研究報告 **165**, 1-68.



- Hoffman PC. 1997. Optimum body size of Holstein replacement heifers. *Journal of Animal Science* **75**, 836-845.
- Hoffman PC, Brehm NM, Price SG, Prill-Adams A. 1996. Effect of accelerated postpubertal growth and early calving on lactation performance of primiparous Holstein heifers. *Journal of Dairy Science* **79**, 2024-2031.
- Hoffman PC, Esser NM, Bauman LM, Denzine SL, Engstrom M, Chester-Jones H. 2001. Effect of dietary protein on growth and nitrogen balance of Holstein heifers. *Journal of Dairy Science* **84**, 843-847.
- Hoover WH, Stokes SR. 1991. Balancing carbohydrates and proteins for optimum rumen microbial yield. *Journal of Dairy Science* **74**, 3630-3644.
- Hungate RE. 1966. The Rumen and its Microbes. *Academic Press*, 281-330.
- 石橋 晃. 2001. 新編 動物栄養試験法. pp. 192-194. 養賢堂, 東京.
- Ishii T, Kawashima K, Oribe H, Ueda H, Hasunuma T, Akiyama K, Nakayama H, Kurihara M, Terada F, Kushibiki S. 2011. Effect of growth and dietary crude protein level until first insemination on milk production during first lactation in Holstein heifers. *Animal Science journal* **82**, 741-746.
- Itabashi H, Kobayashi T, Matsumoto M. 1984. The effects of rumen ciliate protozoa on energy metabolism and some constituents in rumen fluid

and blood plasma of goats. *Japanese Journal of Zootechnical Science* **55**,248-256.

自給飼料品質評価研究会. 2001. 改訂、粗飼料の品質評価ガイドブック. (社)  
日本草地畜産種子協会, 東京.

環境保全型農業レポート No.147 アメリカの家畜ふん尿の状況 2010/3/3.

Kertz AF, Prewitt LR, Ballam JM. 1987. Increased weight gain and effects on growth parameters of Holstein heifers calves from 3 to 12 months of age. *Journal of Dairy Science* **70**, 1612-1622.

Krishnamoorthy U, Sniffen CJ, Stern MD, Van Soest PJ. 1983. Evaluation of a mathematical model of rumen digestion and an in vitro simulation of rumen proteolysis to estimate the rumen-undegraded nitrogen content of feedstuffs. *British journal of Nutrition* **50**, 555-568.

木田克弥. 1996. もうかる酪農経営 牛群検診と個体能力の向上. pp. 28-31.  
酪農総合研究所, 北海道.

Lammers BP, Heinrichs AJ, Kensinger RS. 1999. The effects of accelerated growth rates and estrogen implants in prepubertal Holstein heifers on estimates of mammary development and subsequent reproduction and milk production. *Journal of Dairy Science* **82**, 1753-1764.

Lammers BP, Heinrichs AJ. 2000. The response of altering the ratio of dietary protein to energy on growth, feed efficiency, and mammary development in rapidly growing prepubertal heifers. *Journal of Dairy*

*Science* **83**, 977-983.

Marini JC, Van Amburgh ME. 2003. Nitrogen metabolism and recycling in Holstein heifers. *Journal of Animal Science* **81**, 545-552.

松田從三. 2001. ヨーロッパ諸国の家畜ふん尿処理. 北海道畜産学会報. **43**, 11-17.

日本分析化学会北海道支部. 1981. 水の分析 (第3版). pp. 210, 358. 化学同人, 北海道.

野中敏道, 圓山 繁, 中島宣好. 1995. 高泌乳牛の飼養マニュアル作成に関する研究 —TMR 飼養による乳用牛の早期育成技術の検討(第2報). 熊本県農業研究センター畜産研究所試験成績書 13-18.

農林水産省経済局編. 1997. 家畜共済における臨床病理検査要領. p.140. 全国農業共済協会, 東京.

農林水産省農林水産技術会議事務局編. 1999. 日本飼養標準・乳牛(1999年版). 中央畜産会, 東京.

農林水産省農林水産技術会議事務局編. 2006. 日本飼養標準・乳牛(2006年版). 中央畜産会, 東京.

National Research Council(NRC). 1989. Nutrient Requirements of Dairy Cattle. 6th revised ed. National Academy Press, Washington DC.

National Research Council(NRC). 2001. Nutrient Requirements of Dairy Cattle. 7th revised ed. National Academy Press, Washington DC.

岡本昌三, 今泉英太郎. 1970. 乳用子牛育成時の栄養水準と初産月齢(1), pp.1289-1294. 畜産の研究 24, 養賢堂, 東京.

小野寺良次. 1990. 牛はどうやって草からミルクをつくるのか. pp. 106-131.

(株) 新日本出版社, 東京.

扇勉, 峰崎康裕, 西村和行, 糟谷広高, 藤田眞美子, 原悟志. 2003. 牧草サイ  
レージ主体飼養における泌乳牛の糞尿量および窒素排泄量. 日本畜産学  
会報 74(4), 525-530.

Radcliff RP, Vandehaar MJ, Chapin LT, Pilbeam TE, Beede DK,  
Stanisiewski EP, Tucker HA. 2000. Effects of diet and injection of  
Bovin somatotropin on prepubertal growth and first-lactation milk  
yields of Holstein cows. *Journal of Dairy Science* **83**, 23-29.

Reid JT, Loosli JK, Trimberger GW, Turk KL, Asdell SA, Smith SE. 1964.  
Effect of plane of nutrition during early life on growth, reproduction,  
production, health and longevity of Holstein cows. 1. Birth to fifth  
calving. *Cornell University Agricultural Experimental Station*  
*Bulletin* No.987.

Russell JB, Sniffen CJ, VanSoest PJ. 1983. Effect of carbohydrate  
limitation on degradation and utilization of casein by mixed rumen  
bacteria. *Journal of Dairy Science* **66**, 763-775.

Russell JB, Wallace RJ. 1988. Energy yielding and consuming reactions.  
In The Rumen Microbial Ecosystem. *Elsevier Applied Science*  
185-215.

SAS. 1990. SAS/STAT ソフトウェア : ユーザーズガイド. Version 6.03, 1st  
edn. pp. 809-904. 株式会社サスインスティテュート ジャパン, 東京.

Satter LD, Slyter LL. 1974. Effect of ammonia concentration on rumen  
microbial protein production in vitro. *British Journal of Nutrition*

32, 199-208.

Sejrsen K, Huber JT, Tucker HA. 1983. Influence of amount fed on hormone concentrations and their relationship to mammary growth in heifers. *Journal of Dairy Science* **66**, 845-855.

Sejrsen K, Purup S. 1997. Influence of prepubertal feeding level on milk yield potential of dairy heifers. *Journal of Animal Science* **75**, 828-835.

Sinha YN, Tucker HA. 1969. Mammary development and pituitary prolactin level of heifers from birth through puberty and during the estrous cycle. *Journal of Dairy Science* **52**, 507-512.

Song F, Srinivasan M, Aalinkeel R, Patel MS. 2001. Use of a cDNA array for the identification of genes induced in islets of suckling rats by a high-carbohydrate nutritional intervention. *Diabetes* **Sep;50(9)**, 2053-60.

Steen TM, Quigley JD, Heitmann III RN, Gresham JD. 1992. Effects of lasalocid and undegraded protein on growth and body composition of Holstein heifers. *Journal of Dairy Science* **75**, 2517.

Stelwagen K, Grieve DG. 1990. Effect of plane of nutrition on growth and mammary gland development in Holstein heifers. *Journal of Dairy Science* **73**, 2333-2341.

Stokes SR, Hoover WH, Miller TK, Manski RP. 1991. Impact of carbohydrate and protein levels on bacterial metabolism in continuous culture. *Journal of Dairy Science* **74**, 860.

Swanson EW. 1960. Effect of rapid growth with fattening of dairy heifers on their lactational ability. *Journal of Dairy Science* **43**, 377-387.

社団法人家畜改良事業団. 2005. 乳用牛群能力検定成績のまとめ平成 17 年度, 東京.

社団法人家畜改良事業団. 2009. 乳用牛群能力検定成績のまとめ平成 21 年度, 東京.

社団法人家畜改良事業団. 2009. 一平成 9~20 年度一乳用牛群能力検定成績のまとめ, 東京.

社団法人畜産技術協会. 2011. アニマルウェルフェアの考え方に対応した乳用牛の飼養管理指針. 東京.

竹澤武春, 滝沢静雄, 宮重俊一. 1992. リグニンを指示物質とした消化率測定法の検討. 西日本畜産学会報 **35**, 26-31.

Tamminga S. 1992. Nutrition management of dairy cows as a contribution to pollution control. *Journal Dairy Science* **75**, 345-357.

寺田文典, 栗原光規, 西田武弘, 塩谷繁. 1997. 泌乳牛における窒素排泄量の推定. 日本畜産学会報 **68**, 163-168.

寺田文典. 2003. NRC の飼養標準・乳牛 (2001 年版) について. 科学飼料 第 48 巻 第 10 号, pp. 373-380.

飛岡久弥, 浅田忠利, 藤原勉, 川村修, 宇佐川智也, 牛田一成, 豊水正昭, 松井徹, 相井孝允, 矢野秀雄, 朝井洋, 富田裕一郎, 萬田正治, 一色泰, 加茂幹男, 細川吉晴. 1995. 新畜産ハンドブック, pp. 239-242. 講談社, 東京.

Tomlinson DJ, James RE, McGillard ML. 1997. Influence of

- undegradability of protein in the diet on intake, daily gain, feed efficiency and body composition of Holstein heifers. *Journal of Dairy Science* **80**, 943-948.
- Van Amburgh ME, Galton DM, Bauman DE, Everett RW, Fox DG, Chase LE, Erb HN. 1998. Effects of three prepubertal body growth rates on performance of Holstein heifers during first lactation. *Journal of Dairy Science* **81**, 527-538.
- VandeHaar MJ. 1997. Dietary protein and mammary development of heifers: analysis from literature data. *Journal of Dairy Science* **80**, 216.
- Van Soest PJ, Robertson JB, Lewis BA. 1991. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and non-starch polysaccharides in relation to animal nutrition. *Journal of Dairy Science* **74**, 3583-3597.
- Van Straalen WM, Tamminga S. 1990. Protein degradation in ruminant diets. *Feedstuff evaluation J. Wiseman and D.J.A. Cole, ed. Butterworth, London. England.* 55.
- 渡邊晴生. 1994. サイレージへの乳酸菌接種に関する研究. 千葉県畜産センター研究報告 **18**, 69-77.
- Whitlock BK, VandeHaar MJ, Silva LFP, Tucker HA. 2002. Effect of dietary protein on prepubertal mammary development in rapidly growing dairy heifers. *Journal of Dairy Science* **85**, 1516-1525.
- Wildman EE, Jones GM, Wagner PE, Boman RL. 1982. A dairy cow body condition scoring system and its relationship to selected production

- characteristics. *Journal of Dairy Science* **65**, 495-501.
- Wood PDP. 1967. Algebraic model of the lactation curve in cattle. *Nature* **216**, 164-165. London.
- Wulf M, Südekem KH. 2005. Effects of chemically treated soybeans and expeller rapeseed meal on in vivo and in situ crude fat and crude protein disappearance from the rumen. *Animal feed Science and technology* **118**, 215-227.
- Young EG, Conway CF. 1942. On the estimation of allantoin by the Rimini-Schryver reaction. *The Journal of Biological Chemistry* **142**, 839-853.



## 謝辞

本論文の作成に当たり、筑波大学大学院生命環境科学研究科先端農業技術科学専攻の櫛引史郎教授にご懇切なるご教示とご校閲を賜った。また、同大学大学院生命環境科学研究科先端農業技術科学専攻の三森眞琴教授、田島清准教授、同大学大学院生命環境科学研究科生物圏資源科学専攻の田島淳史教授に貴重なご意見をいただき心から感謝の意を表する。

本研究は、独立行政法人農業・食品産業技術総合研究機構畜産草地研究所企画管理部長寺田文典博士によるご指導のもとに開始したものであり、その遂行に当たり、格別の便宜とご指導を戴いた。また、独立行政法人農業・生物資源研究所統括研究主幹栗原光規博士、独立行政法人農業・食品産業技術総合研究機構畜産草地研究所竹中昭雄博士にも研究を推進する上で、格別の便宜とご指導を戴いた。本研究は、千葉県畜産総合研究センター川嶋賢二氏、元同センター鎌田望氏、井上貢氏、元愛知県農業総合試験場浅田尚登氏、原田英雄氏、中山博文氏、茨城県畜産センター石井貴茂博士、元神奈川県農業技術センター久末修司氏、現同センター秋山清氏、元富山県農林水産総合技術センター畜産研究所上田博美氏、現同所蓮沼俊哉博士、元長野県畜産試験場久保田和広氏との乳牛育成協定研究であり、試験に携わった方々には、試験設計、データの解析、家畜の飼養管理について有益なご助言とご協力を戴いた。また、石川県畜産総合センター 北満夫、吉田幸雄、下村孝英 所長には、研究に携わる機会を与えていただくとともに、終始有益なご指導とご配慮をいただいた。同センター職員諸氏には、常に多大なご教示とご協力を戴いた。さらに、協定各県で飼養され試験に供試されたホルスタイン種雌子

ウシには、発育や産乳に関わるデータの提供や血液、糞便並びに第一胃液を提供して戴いた。ここに記して、深く感謝の意を表します。