高エネルギー飼料給与時におけるホルスタイン種育成雌牛の 発育および窒素出納に及ぼす飼料中粗タンパク質 および第一胃非分解性タンパク質含量の影響

織部治夫^{1,2}・上田博美³・川嶋賢二⁴・鎌田 望⁴・井上 貢⁴・石井貴茂^{2,5}・
浅田尚登⁶・原田英雄⁶・久末修司⁷・秋山 清⁷・久保田和弘⁸・
寺田文典⁹・栗原光規⁹・竹中昭雄⁹・櫛引史郎^{2,9}

¹ 石川県畜産総合センター，石川県宝達志水町 929-1325

² 筑波大学大学院生命環境科学研究科，つくば市 305-8572

³ 富山県農林水産総合技術センター畜産研究所，富山市 939-2622

⁴ 千葉県畜産総合研究センター，八街市 289-1113

⁵ 茨城県畜産センター，石岡市 315-0132

⁶ 愛知県農業総合試験場，愛知県長久手町 480-1193

⁷ 神奈川県畜産技術センター，海老名市 243-0417

⁸ 長野県畜産試験場，塩尻市 399-0711

⁹ 畜産草地研究所，つくば市 305-0901

(2011. 2. 18 受付, 2011. 7. 25 受理)

要 約 飼料中の粗タンパク質 (CP) および第一胃非分解性タンパク質 (CPu) 含量が 60 頭のホルスタイン種育成雌牛の発育および窒素出納に及ぼす影響について検討した。試験期間を 90 日齢から体重 350 kg までとし，増体日量 (DG) を 1.0 kg に設定して低 CP (LP) 区と高 CP (HP) 区を設けた。体重 200 kg までは乾物中の CP (CPu) 含量を LP 区 13.9% (4.8%)，HP 区は 16.1% (6.5%) とし，体重 200 kg 以降は LP 区 11.7% (3.7%)，HP 区 14.0% (4.8%) とした。体重 350 kg に達した日齢は両区間に差はなく，発育および体尺値の増加日量にも差は認められなかった。両区の窒素蓄積量に差はなかったが，HP 区で尿中窒素排泄量が増加した。尿中排泄アラントイン量から推定した微生物態タンパク質合成量は体重 200 kg 時で HP 区が高く ($P < 0.05$)，代謝タンパク質供給量も HP 区で高まった ($P < 0.01$)。以上より，TDN 含量が 70% 前後の飼料給与による DG 1.0 kg レベルの高増体を示す育成雌牛には，LP 区の CP および CPu 含量以上のタンパク質増給は発育および窒素蓄積量には影響せず，増給した CPu はほとんど尿中に排泄されて有効に利用されないことが示唆された。

日本畜産学会報 82 (4), 371-381, 2011

酪農経営における低コスト化と効率化の推進には，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。そのためには，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。最近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平成 9 年から平成 20 年までは約 25.0～26.0 カ月とほぼ横這いで推移しており (家畜改良事業団 2009)，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，従来，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が挙げられる。実際，育成期を高エネルギーで飼養した場合，不妊および繁殖障害の増加が指摘されている (Reid ら 1964)。また，育成後期の高エネルギー飼養により分娩時に過肥となったウシは，周産期の代謝病を起こしやすく (Grummer ら 1995)，乳腺への脂肪蓄積による乳腺組織の発達阻害と乳生産性の低下が散見される (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主体の高エネルギー・高粗タンパク質 (CP) 飼料の給与

連絡者：櫛引史郎 (fax : 029-838-8606, e-mail : mendoza@affrc.go.jp)

により、20～24 ヲ月齡の初産分娩が可能であること（野中ら 1995）や、混合飼料（TMR）給与により 1.0 kg の増体日量（DG）を維持しながら高い受胎率を示し、初産月齡の早期化につながる事が示されている（長谷川ら 1995）。また、春機発動前における育成雌牛へのエネルギー給与レベルを高く維持しながら 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少なくなるが、高 CP 区では乳腺実質の発達は阻害されないという報告がある（Whitlock ら 2002）。これらの知見は、育成期間での高エネルギーかつ高 CP レベルの飼養は、良好な発育を伴いながら初産月齡の早期化につながることを示唆している。さらに、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 水準がその後の生産性に及ぼす影響について検討した結果、TDN 含量を 68% 前後、CP 含量を 14% 前後に設定して DG を 1.0 kg に制御する飼料給与により、初産分娩月齡の早期化と適正な乳生産が可能であることを確認している（Ishii ら 2011）。

一般に、飼料中 CP は微生物態タンパク質（MCP）合成に関わる第一胃分解性タンパク質（CPd）と下部消化管で吸収される非分解性タンパク質（CPu）に分けられる（Krishnamoorthy ら 1983）。そして、それぞれの割合や量を制御することで、育成雌牛のタンパク利用効率や発育等の改善が図られることが示唆されている（阿部 1980）。そのため、ARC 飼養標準（1980）、NRC 飼養標準（1989）、および日本飼養標準・乳牛（農林水産省農林水産技術会議事務局 1999）では、反芻家畜に給与すべき CP を CPd と CPu とに分けて表示している。既往の報告では、CPu の増加に伴って育成雌牛の飼料効率が上昇するという結果（Tomlinson ら 1997）と、CPu 含量の増加は育成雌牛の DG と飼料効率への改善効果はないという結果（Steen ら 1992）があり、CPu の割合が発育等に及ぼす効果については明らかでない。これらの試験では、給与する CP の割合を一定にして CPu 含量を処理区ごとで変えているため、必然的に CPd 含量が変わることになる。そこで本試験では、育成期間における発育目標値を DG 1.0 kg とする高エネルギー条件の下、給与する CPd および CPu の割合を変えた 2 水準の CP レベルがホルスタイン種育成雌牛の発育、窒素出納、MCP 合成量、および代謝タンパク質（MP）供給量に及ぼす影響について検討した。

材料および方法

1. 供試牛の飼養管理

石川、千葉、茨城、富山、神奈川、長野、および愛知の公設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（CP 17%、TDN 70% 以上）を 2.5 kg/日を上限として給与し、乾草を不断給餌した。また、試験開始は 90 日齡として、その 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 を超えて初回人工授精を実施するまでとし、その時の体高が 125 cm 以上となることを目標とした。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。

本試験は、「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. 試験飼料および給与法

試験飼料の内容を表 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 日当り乾物（DM）摂取量中の CP 要求量は、体重 200 kg 前後を境として大きく低下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、本試験における飼料中 CP 含量については、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、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 CP 要求量を下回る LP 区と上回る HP 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 LP 区と、前期 16% および後期 14% とする HP 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 の適正分解率は 0.65～0.7 の範囲であることから（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））前後期とも LP 区の CPd を上記範囲内にし、HP 区の CPd を調節することにより MP 供給量に差をもたせた。前期は CPd および CPu 含量をそれぞれ LP 区 9.1% および 4.8%、HP 区 9.6% および 6.5%、後期は LP 区を 8.0% および 3.7%、HP 区を 9.2% および 4.8% に設定した。

飼料給与量は、測定体重と設定 DG から予測した平均体重を基に、設定 DG から算出した TDN 要求量（農林水産省農林水産技術会議事務局 1999）の 100% を給与した。また、毎朝の飼料給与前に残飼を回収して、前日の給与量との差から 1 日当たりの摂取量を算出した。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 1999）「飼料中蛋白質各画分の割合（CP 中%）」から算出して、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

Table 1 Ingredients and chemical composition of experimental diets

Items	Former period (≤ 200 kg BW)		Latter period (> 200 kg BW)	
	LP	HP	LP	HP
Ingredients (% of DM)				
Concentrate mixture ¹⁾	35.0	32.0	31.0	28.0
Steam-rolled corn	15.0	12.0	15.0	12.0
Soybean meal	1.0	—	—	3.0
Heated soybean meal	3.0	10.0	—	3.0
Timothy hay	46.0	46.0	54.0	54.0
Chemical composition (% of DM)				
Total digestible nutrients ²⁾	73.3	73.6	71.4	71.7
Crude protein	13.9	16.1	11.7	14.0
Crude protein degradable ³⁾	9.1	9.6	8.0	9.2
Crude protein undegradable ³⁾	4.8	6.5	3.7	4.8
Neutral detergent fiber	48.6	50.9	52.2	52.1

¹⁾ Contained 38% of bran (wheat bran, corn gluten feed, rice bran), 34% of grain (corn, barley, milo), 15% of oil seed meal (rapeseed meal, soybean meal), and 13% other ingredients (alfalfa, molasses, calcium carbonate, salt).

²⁾ Estimated from Standard Tables of Feed Composition in Japan (Japan Livestock Industry Association 2001).

³⁾ Estimated from Japanese Feeding Standard for Dairy Cattle (Japan Livestock Industry Association 1999).

る 40% を採用した。

3. 測定項目

体重は試験開始時から隔週で、体尺値は 4 週間隔で測定した。

血液は、全ての供試牛について、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 (3,000 rpm, 20 分) 後、血漿を -30°C 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。

第一胃液は、すべての供試牛について、9 ヶ月齢時に朝の飼料給与 4 時間後に胃カテーテルを用いて採取し、遠心 (3,000 rpm, 10 分) 後、上清を -30°C で凍結保存した。アンモニア態窒素 ($\text{NH}_3\text{-N}$) 濃度はインドフェノールニトロブレシッド法 (日本分析化学会北海道支部 1981) により、揮発性脂肪酸 (VFA) 濃度は高速液体クロマトグラフィー (D2500; 日立ハイテクノロジーズ, 東京) により測定した (渡邊 1994)。プロトゾア数は第一胃液 1 mL にホルマリン・メチルグリーン溶液 4 mL 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)。

4. 消化試験および窒素出納試験

供試牛が 6 ヶ月齢以降で体重が 200 kg に達した時期と、9 ヶ月齢以降で体重が 300 kg に達した時期に、酸性デタージェントリグニン (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。供試頭数は、200

kg 時が 53 頭、300 kg 時が 59 頭である。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。

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

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

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

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

MN: 微生物態窒素

PDa (mmol/日): 体内に吸収されたプリン誘導体

PDe (mmol/日): 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。

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

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。

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

糞と尿の採取は、各々3日連続で1日2回、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℃で48時間乾燥後、粉碎して分析用試料とした。尿は糞の採取直前にマッサージ法（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、飼料の中性デタージェント繊維（aNDFom）含量、糞の酸性デタージェント繊維（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（GE）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。

5. 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。

結 果

1. 発育および飼料摂取量

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に示した。体重が350kgに達した日齢はHP区がLP区に比べ9.7日短かったが、有意な差は認められなかった。同日齢での体高も両区間に差は認められなかった。体尺値の1日当たり増加量についても、区間に差は認められなかった。両区のDGは前期で

は差はなく、後期ではHP区がやや高い傾向（ $P = 0.111$ ）を示した。また、全試験期間中のDGは両区ともに当初設定した1.0kgを若干上回って推移した。

試験期間中におけるDM、CP、TDN摂取量、および飼料効率を表3に示した。両区のDM摂取量は同レベルであった。したがって、CP摂取量は前期および後期ともHP区がLP区に比べて多くなった（ $P < 0.01$ ）。CPd摂取量は後期においてHP区が高く（ $P < 0.01$ ）、CPu摂取量は前後期を通じてHP区で増加した（ $P < 0.01$ ）。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2~4%程度、生じたためである。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LP区がHP区に比べて向上した。（ $P < 0.01$ ）。

2. 繁殖成績

初回発情日齢、初回人工授精日齢、受胎日齢、および受胎までに要した人工授精回数を表4に示した。初回発情日齢は両区で差は認められなかった。体重350kg、体高125cmを超えた後に実施した初回の人工授精日齢はHP区がLP区に比べ4日短かったが、差は認められなかった。受胎までに要した人工授精回数は両区に差はなく、受胎日齢はHP区がLP区に比べ5日短かったが、差は認められなかった。

3. 血液性状および第一胃液性状

血漿中のグルコース、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γ-グルタミルトランスペプチダーゼ

Table 2 Growth performance in experimental period¹⁾

Items	Initial (90 days of age)		At 200 kg of BW		Final (350 kg of BW)		Daily gain (kg, cm/day)	
	LP	HP	LP	HP	LP	HP	LP	HP
Heifers (no.)	30	30	30	30	30	30	30	30
Age (days)	91.4 ± 0.5	90.6 ± 0.5	184.0 ± 2.6	181.3 ± 2.5	329.9 ± 4.0	320.2 ± 4.0		
BW (kg)	106.2 ± 1.5	108.5 ± 1.5	199.4 ± 1.8	200.6 ± 1.5	356.3 ± 1.0	356.9 ± 1.0	1.050 ± 0.02	1.090 ± 0.02
Former period							1.030 ± 0.02	1.050 ± 0.02
Latter period							1.080 ± 0.02	1.120 ± 0.02
Withers height (cm)	93.4 ± 0.6	94.2 ± 0.6	110.4 ± 0.6	110.5 ± 0.6	126.7 ± 0.5	126.5 ± 0.5	0.140 ± 0.002	0.142 ± 0.002
Hip height (cm)	96.9 ± 0.6	97.7 ± 0.6	114.2 ± 0.6	113.7 ± 0.5	130.2 ± 0.5	129.9 ± 0.5	0.142 ± 0.003	0.142 ± 0.003
Hip width (cm)	24.2 ± 0.2	24.3 ± 0.2	31.9 ± 0.3	32.0 ± 0.3	41.0 ± 0.2	41.2 ± 0.2	0.072 ± 0.002	0.075 ± 0.002
Thurl width (cm)	27.4 ± 0.2	27.7 ± 0.2	34.7 ± 0.2	34.6 ± 0.2	42.4 ± 0.2	42.3 ± 0.2	0.064 ± 0.001	0.065 ± 0.001
Croup length (cm)	30.4 ± 0.2	30.6 ± 0.2	37.4 ± 0.3	37.9 ± 0.3	46.1 ± 0.3	46.3 ± 0.3	0.067 ± 0.001	0.069 ± 0.001
Pin-bone width (cm)	16.8 ± 0.2	16.8 ± 0.2	21.5 ± 0.3	21.9 ± 0.4	27.5 ± 0.3	27.2 ± 0.3	0.045 ± 0.001	0.046 ± 0.001
Cannon circumference (cm)	12.3 ± 0.1	12.4 ± 0.1	14.4 ± 0.1	14.4 ± 0.1	17.0 ± 0.1	17.1 ± 0.1	0.020 ± 0.001	0.020 ± 0.001
Chest girth (cm)	106.2 ± 0.6	106.9 ± 0.6	132.8 ± 1.0	132.0 ± 0.8	162.3 ± 0.8	162.4 ± 0.8	0.237 ± 0.003	0.244 ± 0.003

¹⁾ Values are expressed as least square mean ± standard error.

Table 3 Feed intake and feed efficiency in Holstein heifers during the experimental period^{1,2)}

Items	Former period (≤ 200 kg BW)		Latter period (> 200 kg BW)		Whole period	
	LP	HP	LP	HP	LP	HP
Heifers (no.)	30	30	30	30	30	30
Days the period	92.4 $\pm$ 2.7	90.5 $\pm$ 2.7	143.8 $\pm$ 3.3	137.4 $\pm$ 2.7	236.2 $\pm$ 4.1	228.0 $\pm$ 4.5
Nutrient intake						
Dry matter (kg/day)	4.54 $\pm$ 0.09	4.51 $\pm$ 0.09	6.75 $\pm$ 0.11	6.91 $\pm$ 0.11	5.86 $\pm$ 0.06	5.94 $\pm$ 0.06
Crude protein (kg/day)	0.64 $\pm$ 0.01 ^A	0.73 $\pm$ 0.01 ^B	0.83 $\pm$ 0.02 ^A	0.99 $\pm$ 0.02 ^B	0.75 $\pm$ 0.01 ^A	0.88 $\pm$ 0.01 ^B
Crude protein degradable (kg/day)	0.41 $\pm$ 0.02	0.43 $\pm$ 0.02	0.56 $\pm$ 0.02 ^A	0.64 $\pm$ 0.02 ^B	0.50 $\pm$ 0.01 ^A	0.55 $\pm$ 0.01 ^B
Crude protein undegradable (kg/day)	0.22 $\pm$ 0.01 ^A	0.30 $\pm$ 0.01 ^B	0.27 $\pm$ 0.01 ^A	0.34 $\pm$ 0.01 ^B	0.24 $\pm$ 0.01 ^A	0.32 $\pm$ 0.01 ^B
Total digestible nutrients (kg/day) ³⁾	3.27 $\pm$ 0.06	3.27 $\pm$ 0.06	4.70 $\pm$ 0.08	4.82 $\pm$ 0.08	4.12 $\pm$ 0.04	4.19 $\pm$ 0.04
Metabolizable energy (Mcal/day) ⁴⁾	11.82	11.82	17.00	17.43	14.90	15.15
Ratio CP : ME (g/Mcal)	54.1	61.8	48.8	56.8	50.3	58.1
Feed efficiency (kg/kg)						
BW gain per DMI	0.228 $\pm$ 0.006	0.229 $\pm$ 0.006	0.161 $\pm$ 0.003	0.163 $\pm$ 0.004	0.183 $\pm$ 0.003	0.183 $\pm$ 0.003
BW gain per TDNI	0.317 $\pm$ 0.009	0.316 $\pm$ 0.009	0.231 $\pm$ 0.005	0.233 $\pm$ 0.006	0.262 $\pm$ 0.004	0.262 $\pm$ 0.004
BW gain per CPI	1.624 $\pm$ 0.044 ^A	1.417 $\pm$ 0.040 ^B	1.320 $\pm$ 0.034 ^A	1.148 $\pm$ 0.036 ^B	1.432 $\pm$ 0.023 ^A	1.258 $\pm$ 0.023 ^B

¹⁾ Values are expressed as least square mean $\pm$ standard error.

²⁾ Values with superscripts are significantly different ($P < 0.01$).

³⁾ Estimated from Standard Tables of Feed Composition in Japan (Japan Livestock Industry Association 1995).

⁴⁾ Metabolizable energy = Total digestible nutrients $\times$ 4.41 $\times$ 0.82

Table 4 Reproductive performance of Holstein heifers fed different crude protein diets

Items	LP	HP
Heifers (no.)	28	26
Days of age at first estrus	293.1 $\pm$ 6.3	285.1 $\pm$ 7.0
Heifers (no.)	30	30
Days of age at first artificial insemination	358.3 $\pm$ 4.4	353.7 $\pm$ 7.5
Heifers (no.)	29	30
Days of age at first conception	381.4 $\pm$ 10.5	376.4 $\pm$ 12.7
Body weight at first conception (kg)	402.5 $\pm$ 8.0	400.1 $\pm$ 8.6
Artificial insemination per conception	1.8 $\pm$ 0.3	1.6 $\pm$ 0.2

Figure 1 Changes of plasma urea nitrogen in Holstein heifers during the experimental period.

□ : LP, ■ : HP

* Significantly different from LP ($P < 0.01$)

の各項目で区間に差は認められなかった（データ不掲載）。血漿中尿素態窒素（PUN）濃度は、試験期間を通じて HP 区が LP 区に比べて有意に高く推移した（図 1）。

第一胃液性状を表 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に区間の差は認められなかったが、NH₃-N 濃度は LP

Table 5 Volatile fatty acid (VFA) concentration, ammonia-N concentration, and protozoa number in rumen liquor of Holstein heifers at 9 months of age^{1,2)}

Items	LP	HP
Heifers (no.)	30	30
Total VFA (mmol/dL)	8.68 ± 0.21	8.69 ± 0.23
VFA composition (mmol/dL)		
Acetic acid (A)	5.84 ± 0.14	5.81 ± 0.15
Propionic acid (P)	1.63 ± 0.06	1.67 ± 0.06
I-Butyric acid	0.06 ± 0.00	0.06 ± 0.00
N-Butyric acid	1.02 ± 0.05	1.01 ± 0.05
I-Valeric acid	0.06 ± 0.00	0.07 ± 0.01
N-Valeric acid	0.07 ± 0.00	0.08 ± 0.00
A/P ratio	3.63 ± 0.07	3.56 ± 0.08
Ammonia-N (mg/dL)	2.63 ± 0.36 ^A	4.23 ± 0.39 ^B
Protozoa number (× 10 ⁵ /mL)	6.11 ± 0.87	4.18 ± 0.87

¹⁾ Values are expressed as least square mean ± standard error.

²⁾ Values with superscripts are significantly different ($P < 0.01$).

区で低下した ($P < 0.01$).

4. 窒素出納

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 HP 区で多くなった ($P < 0.01$) が、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 6).

MCP 合成量は、体重 200 kg 時において HP 区が LP 区よりも増加し ($P < 0.05$), 300 kg 時でも HP 区が LP 区を上回る傾向を示した ($P = 0.088$).

飼料中 CP の消化率は、体重 300 kg 時において HP 区が高かったが ($P < 0.01$), DM, ADFom, および GE 消化率は両区に差は認められなかった.

MP 供給量は、体重 200 kg および 300 kg の両時期ともに HP 区が LP 区に比べて多くなった ($P < 0.01$). また MP 要求量は両時期とも両区に差は認められなかった (表 6).

考 察

本試験では、初回人工授精の基準を体重 350 kg で体高 125 cm と設定したが、両区ともに体重 350 kg 到達時には体高が 125 cm を超えていた。したがって、両区の供試牛は体格のバランスを良好に保った発育であったと考えられた。体重が 350 kg に到達した日齢は、HP 区の方が早くなる傾向であったが、有意差は認められなかった。その後、人工授精を実施した結果、受胎日齢は LP 区 380 日、HP 区 362 日となり、両区ともに都府県の平均初産月齢 25 ヶ月 (平成 20 年) (家畜改良事業団 2009) に比べて 3~4 ヶ月早い分娩であった。

Hoffman ら (2001) は、飼料 DM 中 TDN 水準を 65% にして CP 水準を 8~15% まで 4 段階に分けた飼養試験を

行っている。それによると、ホルスタイン種育成雌牛の DG に差はなかったが、CP 含量が最も高い区で胸囲の増加量が高まり、さらに飼料中 CP 含量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。また、ホルスタイン種育成雌牛への高 CP 飼料 (15.6%) の給与 (DM 中 TDN 含量 70.5%) は、低 CP 飼料 (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% 増加したという報告がある (Lammers と Heinrichs 2000)。しかし、より高いエネルギー含量 (DM 中 TDN 含量 78.8%) で 3 水準の CP 含量 (13.7%, 16.2%, 18.8%) の TMR をホルスタイン種育成雌牛に給与しても、DG と体高の増加量に差を認めていない知見もある (Whitlock 2002)。このように、育成牛の体尺値の発育に及ぼす CP の影響に関しては統一した結果が得られていない。本試験では、試験期間を通じて両区の DG および体尺値の増加日量に差が認められなかった。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発育に影響しないことが示唆された。なお、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に 50 : 50 に近い割合 (前期 46 : 54, 後期 54 : 46) にし、なおかつ後期は CP 含量を下げるために粗飼料の割合を増やした。粗飼料はチモシー乾草のみとしたため、試験開始当初にチモシー乾草を食べ残す個体が認められた。このため、設計値における DM 中 TDN 含量に比べて DM 摂取量中の TDN 摂取量は 2% 程度低下した。

Sejrsen ら (1982) は 7 ヶ月齢の育成雌牛 (体重 180 kg) を用いて、制限給餌と不断給餌が乳腺組織重量に及ぼす影響について検討している。体重 320 kg までの期間、制限

Table 6 Nutrient digestibility, nitrogen balance and metabolizable protein at 200 kg and 300 kg of BW in Holstein heifers^{1,2,3)}

Items	At 200 kg of BW		At 300 kg of BW	
	LP	HP	LP	HP
Heifers (no.)	26	27	29	30
Intake				
Dry matter (kg/day)	5.35 ± 0.08	5.45 ± 0.08	7.71 ± 0.09	7.77 ± 0.06
Gross energy (MJ/day)	99.6 ± 1.5	102.5 ± 1.5	143.5 ± 1.7	146.2 ± 1.3
Digestibility (%)				
Dry matter	70.9 ± 1.3	70.8 ± 1.3	66.1 ± 1.2	66.2 ± 1.1
Acid detergent fiber	53.4 ± 1.7	52.1 ± 1.7	50.4 ± 1.8	50.4 ± 1.7
Crude protein	67.5 ± 1.6	70.6 ± 1.6	60.1 ± 1.4 ^A	65.8 ± 1.3 ^B
Gross energy	69.0 ± 1.4	69.1 ± 1.4	64.5 ± 1.3	65.0 ± 1.2
Urinary excretion				
Allantoin (mg/dL)	324.2 ± 19.0	313.0 ± 19.2	362.8 ± 20.8 ^A	333.5 ± 20.5 ^B
Creatinine (mg/dL)	125.8 ± 6.9	111.5 ± 6.9	152.3 ± 8.2	130.9 ± 8.0
Estimated urinary weight (kg/day)	4.32 ± 0.63	5.42 ± 0.64	5.73 ± 1.14	7.92 ± 1.10
Microbial nitrogen (g/day)	60.2 ± 2.8 ^a	69.7 ± 2.8 ^b	90.4 ± 2.9 [#]	97.9 ± 2.8 [#]
Nitrogen balance (g/day)				
Nitrogen intake	120.1 ± 2.2 ^A (100.0)	140.4 ± 2.3 ^B (100.0)	151.2 ± 1.8 ^A (100.0)	178.0 ± 1.8 ^B (100.0)
Nitrogen excretion				
Feces	38.3 ± 2.0 (31.9)	40.7 ± 2.0 (29.0)	60.1 ± 2.1 (39.7)	60.8 ± 2.1 (34.2)
Urine	32.5 ± 1.2 ^A (27.1)	46.2 ± 1.2 ^B (32.9)	43.0 ± 1.8 ^A (28.4)	67.8 ± 1.8 ^B (38.0)
Nitrogen retention	49.3 ± 2.6 (41.0)	53.4 ± 2.7 (38.0)	47.9 ± 2.8 (31.7)	49.4 ± 2.7 (27.8)
Heifers (no.)	26	27	29	30
Metabolizable protein supply (g/day)	472.1 ± 11.9 ^A	589.8 ± 11.8 ^B	616.4 ± 12.9 ^A	715.5 ± 12.5 ^B
Metabolizable protein requirement (g/day) ⁴⁾	419.4 ± 2.1	419.4 ± 2.0	485.6 ± 2.4	477.3 ± 1.6
Sufficient rate of metabolizable protein (%)	113	141	127	150

¹⁾ Values are expressed as least square mean ± standard error.²⁾ Values with superscripts are significantly different (capital letter, $P < 0.01$; lowercase letter, $P < 0.05$; #, $P < 0.1$).³⁾ (100) : Ratio of N intake = 100%⁴⁾ Calculated from National Research Council (National Academy Press 2001).

給餌の DG を 0.6 kg に設定して、DM 中 CP 含量を 15% に調整した飼料で飼養試験を行った。その結果、制限給餌した育成雌牛の DM 摂取量は不断給餌の 60% で、期間 DG は制限給餌区 0.6 kg、不断給餌区 1.2 kg であった。しかし、不断給餌区の乳腺組織重量は制限給餌区よりも 23% 低下した。我々は先に、DG 1.1 kg で発育した育成雌牛は、DG 0.97 kg の育成雌牛に比べて、初産時の 305 日乳量が有意に低下することを確認している (Ishii ら 2011)。本試験では両区ともに制限給餌で目標の DG を超えていることから、不断給餌にした場合には DG が 1.1 kg を超えて、乳腺への脂肪付着および続く乳生産への影響が懸念される。

一方、飼料中のタンパク質レベルが発育に及ぼす影響について、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 : 代謝エネルギー (ME) 比 (g/Mcal) が 45.0, 63.3, 69.4, および 77.3 の 4 種類の飼料を給与した結果、CP : ME 比の上昇に伴い第一胃液 NH₃-N 濃度、PUN 濃度、および MCP 合成量が増加し、尿中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 比は 63.3 前後としている。Lammers と Heinrichs (2000) は、7～12 カ月齢の育成雌牛を用いて、飼料中総エネルギーは一定で CP : ME 比 (g/Mcal) を 46, 54, および 61 に調整した飼料の給与試験を実施している。それによると、CP : ME 比が高い区は低い区に比べて飼料効率が 6% 上昇し、DG が 9% 上昇した。また、BCS の増加割合が少なく、乳腺管の発達を示す乳頭長が 35～38% 伸長した。本試験における CP : ME 比は、前期は LP 区 54.5, HP 区 62.1 であり、後期は LP 区 48.9, HP 区 57.5 であった。NRC (2001) による CP : ME 比の適正範囲は、6 カ月齢未満の育成牛では 59～62 : 1, 6～12 カ月齢の育成牛には 49～51 : 1 としており、目標 DG を 0.7 kg に設定している。本試験の結果は、前期は HP 区で、後期は LP 区が NRC (2001) の適正範囲内であった。

飼料中の CPd と CPu 割合に関して Bethard ら (1997) は、DM 中 TDN 含量を 66% として CPu 含量を変えた飼料 (CP 中 26.6%, 51.9%) による給与試験を行い、乳用育成雌牛の DG に差を認めていない。さらに、エネルギー水準 (DM 中 TDN 含量 69～70%) および CP 水準

(DM 中 12.3~12.5%) を一定にして、CPu 含量を変えた 4 水準 (8%, 23%, 43%, 54%) の飼料を給与しても育成雌牛の DG に違いはなかった (阿部ら 1991)。一方、Tomlinson ら (1997) は、CP レベルを DM 中 11~12% に設定して CPu 含量を変えた 4 水準 (CP 中 55%, 50%, 43%, 31%) の飼料 (DM 中 TDN 含量 63~64%) 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は CPu 割合が高くなるほど向上したことを認めている。

本試験では、両区間の発育レベルに差がなかったことから、飼料中 CPu 含量を 1~2% 高めた程度では発育向上への影響は少ないものと考えられた。両区の DG は 1.0 kg を若干超える高い成長レベルを示しており、LP 区でもタンパク質要求量を超える量を供給したことから発育に影響が現れなかった可能性がある。Tomlinson ら (1997) の試験で発育に影響が認められたことは、CP 水準と TDN 含量が本試験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。

試験期間を通しての PUN 濃度および 9 ヶ月齢の第一胃液 $\text{NH}_3\text{-N}$ 濃度は HP 区で高くなったが、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。Gabler と Heinrichs (2003a) は、飼料中 ME 含量を一定にして CP 含量を変えた飼料を給与した場合、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。我々の試験結果は、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 5 mg/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 は摂取したタンパク質の代謝産物であり、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)。本試験の HP 区では、PUN 濃度は試験期間を通じて 13~16 mg/dL と臨床的な正常範囲内 (農林水産省経済局 1997) で推移し、9 ヶ月齢時の第一胃液 $\text{NH}_3\text{-N}$ 濃度は 5 mg/dL をわずかに下回った。一方、LP 区の PUN 濃度は 7 および 9 ヶ月齢において正常範囲を下回り、第一胃液 $\text{NH}_3\text{-N}$ 濃度も 5 mg/dL を大きく割り込んでいたことから、微生物の活動低下と繊維消化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、LP 区の CP 消化率は HP 区に比べて低かったものの、DM, ADFom, および GE 消化率は HP 区と有意差がなかったことから、第一胃の消化機能は HP 区と同じレベルに維持されていたと推察される。我々が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。

窒素摂取量と尿中窒素排泄量は前後期とも HP 区が LP 区に比べて増えたが、糞中窒素排泄量と窒素蓄積量は前後期で両区間に差は認められなかった。これらのことから、HP 区の窒素摂取量は LP 区と比べて多かったが、その殆どが尿中に排泄され、増給した CPu は有効に利用されなかったと考えられた。

Devant ら (2000) は、体内への窒素蓄積量と飼料中 CP レベルについて検討し、飼料 DM 中 CP 含量が 14% 以上の場合、CP 中 CPd 含量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。この結果は、本研究と同様の傾向である。

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)。また、CPd は微生物によってアンモニアまで分解された後に MCP へと再合成される (Hungate 1966; Bryant 1973) ことから、MCP 合成量の増加は CPd 摂取量の上昇によって起こると推測されている (Gabler と Heinrichs 2003a)。一方で、CPd 摂取量を高めても尿中アラントイン排泄量は高まらず MCP 合成量に影響しないという知見もある (Gabler と Heinrichs 2003b)。本試験の前期において HP 区が LP 区に比べて MCP 合成量が増加したが、LP 区と HP 区の飼料中 CPd 含量の差 ($0.5\% = 9.6\% - 9.1\%$) に起因すると考えられる。後期でも HP 区の MCP 合成量が LP 区に比べて増加する傾向が認められ、これは HP 区の飼料中 CPd 含量を 1% 程度高めたことにより CPd 摂取量が増加したためと考えられる。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) には、第一胃でのタンパク質分解性を固定した値である CPd から第一胃内での通過速度を考慮した有効分解性タンパク質 (ECPd) による精密な評価が示されている。しかし、育成雌牛の ECPd 要求量はまだ示されていないことから、本試験では CPd を採用した。

MP は飼料タンパク質の評価方法のひとつで、生体への窒素の供給量を表す (NRC 2001)。その算出法は MCP 合成量、CPu、および内因性タンパク質にそれぞれ消化率を掛けて合計した値である (NRC 2001)。MP 供給量は前後期ともに HP 区で増加したが、これは MCP 合成量および CPu 摂取量が HP 区で高かったためである。しかしながら、後期の HP 区で期間中 DG が LP 区よりも高い傾向 ($P = 0.108$) を示した以外、飼料効率や体尺値に効果は認められなかった。小腸への MP 供給量が MP 要求量と合致すれば飼料タンパク質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割合が増える (NRC 2001)。本試験の HP 区は MP 要求量に対して供給量が大きく上回り、充足率は前期 141%、後期 150% であった。これらの充足率は LP 区

(前期 113%, 後期 127%) よりも高かったことから, HP 区は LP 区に比べ MP の供給量が多く, 過剰分は体外へ排泄されたものと推察される. また, LP 区においても MP 供給量は要求量を若干上回っており, LP 区の CP および CPd 水準でも要求量を満たしていると考えられた.

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, DG を 1.0 kg に設定する場合は, 体重 250 kg 程度までは飼料中の CP 含量を 15% 以上にすることが必要としている. また, AFRC (1993) および NRC (1989) は, 乾物換算で 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からは, 3 ヶ月齢から体重 200 kg までは飼料中の TDN 含量が 70% 程度の場合, CP 含量が 14% でも十分な発育を示すことが示唆された. 続く体重 200 kg から 350 kg までの期間においても, 飼料中 CP 含量を HP 区の水準である 14% まで高める必要はないと推察された. CPu 含量については, 前期は 5% 以上に高めても尿中に排泄される窒素量が増加することから, 過剰な窒素供給になると考えられた. 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検討する事に加えて, 糞尿中への排泄窒素量を低減することも重要であることから, 体内の代謝で利用される以上の窒素量を給与することは避けるべきである. 糞尿中への過剰な窒素排泄量を低減させる手段として, NSC 含量が高く CP 含量が低い飼料の給与や, CPd と炭水化物の割合を調整した飼料給与が有効であることが報告されている (Tamminga 1992). 本試験の結果は, 育成雌牛の十分な発育を維持しつつ, 糞尿中の窒素排泄量を制御して環境負荷量を低減するために重要な知見であると考えられる.

今後は, 乳腺の発達とそれに続く初産乳量および乳成分などの泌乳成績についても検討が必要と考えられる. さらにボディコンディションスコアのような体脂肪の蓄積状況も加味して, 繁殖機能も含めた生涯生産性についての影響も評価しなければならない.

文 献

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.
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.
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, UK.

Agricultural Research Council (ARC). 1980. *The nutrient requirements of ruminant livestock*. ARC, 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*, 15th edn. Association of Official Analytical Chemists, Washington, DC.
Beede DK, Collier RJ. 1986. Potential nutritional strategies for intensively managed cattle during thermal stress. *Journal of Animal Science* **62**, 543-554.
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.
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.
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 highconcentrate diets from 100 to 230 kg body weight. *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. 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.
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.
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.
Hungate RE. 1966. *The Rumen and its Microbes*. pp. 281-330. Academic Press, New York.
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*. (In press)
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. *Japa-*

- nese Journal of Zootechnical Science* **55**, 248–256.
- 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. 家畜改良事業団(社), 東京.
- 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.
- 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.
- 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.
- 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.
- 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. pp. 13–18. 熊本県農業研究センター畜産研究所, 熊本.
- 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. 1995. 日本標準飼料成分表 (1995 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. 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 edn. National Academy Press, Washington DC.
- National Research Council (NRC). 2001. *Nutrient Requirements of Dairy Cattle*. 7th revised edn. National Academy Press, Washington DC.
- 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, Wallace RJ. 1988. Energy yielding and consuming reactions. In : *The Rumen Microbial Ecosystem*. pp. 185–215. Elsevier Applied Science, London.
- 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, Akers RM. 1982. Influence of nutrition of mammary development in pre-and postpubertal heifers. *Journal of Dairy Science* **65**, 793–800.
- 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.
- 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.
- 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 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.
- 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.
- Young EG, Conway CF. 1942. On the estimation of allantoin by the Rimini-Schryver reaction. *The Journal of Biological Chemistry* **142**, 839–853.

Effect of levels of crude protein and rumen-undegradable protein on growth and nitrogen balance in Holstein heifers fed high-energy diets

Haruo ORIBE^{1,2}, Hiromi UEDA³, Kenji KAWASHIMA⁴, Nozomu KAMATA⁴, Mitsugu INOUE⁴, Takashige ISHII^{2,5}, Naoto ASADA⁶, Hideo HARADA⁶, Syuji HISASUE⁷, Kiyoshi AKIYAMA⁷, Kazuhiro KUBOTA⁸, Fuminori TERADA⁹, Mitsunori KURIHARA⁹, Akio TAKENAKA⁹ and Shiro KUSHIBIKI^{2,9}

¹ Ishikawa Prefectural Livestock Research Center, Hodatsushimizu, Ishikawa 929-1325, Japan

² Graduate School of Life and Environmental Sciences, University of Tsukuba, Tsukuba 305-8572, Japan

³ Toyama Prefectural Livestock Experiment Station, Toyama 969-2622, Japan

⁴ Chiba Prefectural Livestock Research Center, Yachimata 289-1113, Japan

⁵ Ibaraki Prefectural Livestock Research Center, Ishioka 315-0132, Japan

⁶ Aichi Agricultural Research Center, Nagakute, Aichi 480-1193, Japan

⁷ Kanagawa Agricultural Technology Center, Ebina 243-0417, Japan

⁸ Nagano Animal Industry Experiment Station, Shiojiri 399-0711, Japan

⁹ National Institute of Livestock and Grassland Science, Tsukuba 305-0901, Japan

Corresponding : Shiro KUSHIBIKI (fax : +81 (0) 29-838-8606 , e-mail : Mendoza@affrc.go.jp)

The effects of two diets containing different levels of crude protein (CP), rumen-degradable protein (CPd) and rumen-undegradable protein (CPu) on growth performance and nitrogen balance were examined in 60 Holstein heifers. The experimental period was from 3 months of age until a body weight (BW) of 350 kg was reached. Dietary energy treatments were designed to achieve average daily weight gains of 1.0 kg/day. Two groups of heifers were assigned based on different CP levels : a low-CP (LP) group, $n = 30$; and a high-CP (HP) group, $n = 30$. The dietary CPu contents were 4.8% and 6.5% in heifers weighing ≤ 200 kg in the LP and HP groups, respectively ; the dietary CPu contents were 3.7 % and 4.8% in heifers weighing > 200 kg in the LP and HP groups, respectively. In the HP group, the time taken to reach a BW of 350 kg was 9.7 days shorter than in the LP group, although this difference was not statistically significant. During the experimental period, daily BW gain and the gains in specific body parts did not differ between the two groups. Plasma urea nitrogen concentration was higher ($P < 0.05$) in the HP group than in the LP group. The ruminal ammonia-N level in the HP group was significantly higher than in the LP group ($P < 0.01$) when the BW was 300 kg. A nitrogen balance test was conducted when the BW was 200 kg and when it was 300 kg. Nitrogen retention did not differ significantly between the groups, but nitrogen urinary excretion was greater ($P < 0.05$) in the HP group than in the LP group. MCP synthesis in the HP group was significantly higher than that in the LP group ($P < 0.05$) when the BW was 200 kg. The metabolizable protein supply of the HP group was significantly higher than that of the LP group ($P < 0.05$) when the BW was 200 kg and when it was 300 kg. Therefore, when administering a high-energy diet to heifers, increased dietary CP and CPu did not affect the growth performance or nitrogen retention. The results showed that because most of the increased CPu is excreted in urine, CPu was not utilized efficiently for growth performance.

Nihon Chikusan Gakkaiho 82 (4), 371-381, 2011

Key words : metabolizable protein, nitrogen balance, retention of nitrogen, rumen microbial protein, urinary excretion of nitrogen.