

乳用育成牛における初産分娩月齢の早期化に関する栄養学的研究

石井貴茂・川嶋賢二¹・織部治夫²・金川博行^{2,a}・上田博美^{3,b}・蓮沼俊哉^{3,c}・
秋山清⁴・久末修司^{4,d}・荒木尚登^{4,e}・中山博文^{5,f}・原田英雄^{5,g}・浅田尚登^{5,h}・
久保田和弘^{6,i}・海内裕和^{6,j}・寺田文典^{7,k}・栗原光規^{7,l}・櫛引史郎⁷

¹千葉県畜産総合研究センター, ²石川県農林総合研究センター 畜産試験場, ³富山県農林水産総合技術センター 畜産研究所, ⁴神奈川県農業技術センター 畜産技術所, ⁵愛知県農業総合試験場, ⁶長野県畜産試験場, ⁷独立行政法人農業・生物系特定産業技術研究機構 畜産草地研究所

Nutritional study of early age at first calving in Holstein heifers

Takashige ISHII, Kenji KAWASHIMA, Haruo ORIBE, Hiroyuki KANAGAWA, Hiromi UEDA,
Toshiya HASUNUMA, Kiyoshi AKIYAMA, Shuuji HISASUE, Naoto ARAKI,
Hirofumi NAKAYAMA, Hideo HARADA, Naoto ASADA, Kazuhiro KUBOTA, Hirokazu KAITAI,
Fuminori TERADA, Mitsunori KURIHARA, Shiro KUSHIBIKI

第1章 緒論

わが国における畜産業は、平成21年度の農業総産出額8.0兆円のうちの2.5兆円(31.2%)を占めている。中でも酪農業は産出額が8,041億円で、農業全体の10.0%を占めている(農林水産省大臣官房統計部, 2010a)。また、牛乳および乳製品の国内生産量は788万トンで、国内消費仕向け量の約71%を占めている(農林水産省大臣官房食料安全保障課, 2010)。このように、酪農業は畜産業の中で最も産出額が高く、わが国の食生活を支えている重要な産業と位置づけられている。

乳用牛は全国で148.4万頭が2.2万戸の酪農家で飼養されている。酪農家の戸数は年々減少しているが、一戸当たりの飼養頭数は増加している現状にある(農林水産省大臣官房統計部, 2010b)。しかし、酪農家の所得は向上しておらず、政府公表の農林水産省畜産物生産費統計によると、2005年の搾乳牛1頭当たりの年間所得が216,468円で、1986年

と同じ水準にある。これらの原因としては、乳価の低迷や飼料価格の高騰等の外的要因が挙げられ、経営を継続していくためには効率的な飼養管理による生産コストの削減が必要である。飼養管理技術の効率化は各酪農家の経営形態によりその手法は様々であるが、全ての酪農家に共通する要因として、後継牛の確保と育成の効率化があげられる。未経産牛は全国で52.1万頭が飼養されており、飼養頭数全体の35.1%を占めている(農林水産省大臣官房統計部, 2010b)。そのため、酪農経営における後継牛生産は労力的にもコスト的にも重要な問題である。しかし、2009年の乳用牛への黒毛和種精液の交配は全国で26.8%、北海道を除く都府県では更に高く39.0%となっており(社団法人日本人工授精師協会, 2011)、一時的な副産物収入を目的とした交雑種生産の増加により、育成牛の確保は北海道からの導入に依存する傾向が進んでいる。その結果、初妊牛価格が高騰

本報告は著者のうち石井貴茂が提出した筑波大学審査学位論文(博士)である。

^a現所属：石川県生産流通課, ^b現所属：富山県富山農林振興センター, ^c現所属：富山県東部家畜保健衛生所, ^d現所属：神奈川県県央家畜保健衛生所, ^e現所属：神奈川県立自然環境保全センター, ^f現所属：愛知県農林政策課, ^g退職, ^h現所属：愛知県中央家畜保健衛生所, ⁱ現所属：長野県飯田家畜保健衛生所, ^j現所属：長野県上伊那農業改良普及センター, ^k現所属：独立行政法人農業・生物系特定産業技術研究機構九州沖縄農業研究センター, ^l現所属：独立行政法人農業生物資源研究所

し経営をさらに圧迫する状況となっている。

わが国におけるホルスタイン種の2008年の305日乳量は、牛群検定参加農家の平均で9,147kgに達し、1986年と比較すると約2,000kg増加している(家畜改良事業団, 1987; 同, 2009)。一方、初産分娩月齢の目標は24ヵ月齢とされている(農林水産省生産局畜産部畜産企画課, 2010)が、2008年における初産分娩月齢は25.6ヵ月である。初産分娩月齢は、近年になって若干早まる傾向にあるが、2000年以前は27ヵ月齢前後で推移してきた(家畜改良事業団, 1987; 同, 1994; 同, 2009)。これは、粗飼料主体で育成牛を緩慢に发育させながら初産分娩を迎えさせた結果であり、このような飼養管理は初産分娩月齢を遅延させ、更新のために必要な育成牛の保有頭数の増加を招くことになる。また、このような飼養は飼料生産基盤が弱い地域では、輸入乾草の購入費を増大させるので、そのような地域に適した育成技術が酪農経営の安定化に必要となっている。初産分娩月齢の早期化は、この問題解決の技術の一つとして注目されている。この早期育成技術は、更新牛の保有頭数減少(Collier *et al.*, 1982)、総飼料摂取量の低減、および施設の利用効率の改善が期待され、酪農経営の安定化に重要であると考えられる。

初産分娩月齢の早期化に関する試験では、育成期間の日増体重(以下、DG)を1.0kgに高めても、飼料中の粗蛋白質(以下、CP)含量を高めることにより乳生産性に悪影響を及ぼさずに21ヵ月齢程度での初産分娩が可能と報告されている(Gardner *et al.*, 1977; 長谷川ら, 1995; 野中ら, 1998; Van Amburgh *et al.*, 1998)。ホルスタイン種の分娩月齢を早期化するためには、妊娠期間が280日間と一定であることから、受胎までの育成期間を短縮する必要がある。人工授精(以下、AI)開始は成熟時体重の55%程度で、14~15ヵ月齢以降で体重350kg、体高125cm程度が目標とされている(Bertics, 1992)。したがって、初産分娩早期化のためには、増体速度を高めることで体重350kgへの到達日齢を早める必要がある。図1.1に示したように、100kgから350kgまでのDGを0.75kgに設定した場合は、14~15ヵ月齢程度でのAIとなり、わが国の目標である24ヵ月齢程度で初産分娩を迎える。一方、DG1.0kgの増体であれば、11~12ヵ月齢でAIを行うことができ、21ヵ月齢程度での初産分娩が可能である。

初産牛は母牛の体格に対する胎児の割合が大きいため難産になりやすい。しかしながら、出生子牛の

体重が母牛の分娩前体重の9%以下の場合、難産の発生率が低下する(岡本, 1979)。また、育成期間を短縮しても分娩時の体重を意識して受胎後の管理を適切に行えば、安全な分娩が可能である(Collier *et al.*, 1982; Gardner, 1977)。さらに、分娩後の体重が大きいほど乳量が多くなるという報告もあり(Carlsson and Pehrson, 1994; Moore *et al.*, 1991)、近年のホルスタイン種の高能力化を考慮すると、分娩時の体重は550kg程度が必要になると考えられる。

育成期の发育に関する研究の中には、春機発動まで高いDGで育成したグループと標準的なDGで育成したグループ間の体高に有意な差はなかったという報告があり(Waldo *et al.*, 1998)、高増体育成による发育は体格に影響を及ぼさない可能性がある。その一方で、増体速度が速いほど十字部高が有意に低いという報告もあり(Van Amburgh *et al.*, 1998)、増体速度の違いが发育成績に及ぼす影響を明らかにする必要はある。また、育成期の増体速度が乳腺に及ぼす影響を検討した報告では、Harrisonら(1983)が、12ヵ月齢までのDGを1.1kgに高めると乳腺の発達に悪影響を及ぼすと報告している。一方、初産前までのDGは初産乳量に影響しないという報告も多く(長谷川ら, 1995; Van Amburgh *et al.*, 1998; Waldo *et al.*, 1998; Macdonald *et al.*, 2005)、AI適期までの发育速度と乳腺の発達および初産乳量との関係については一定の結論を得ていない。

これまでの酪農経営においては、育成牛の飼養は生産に直結せずに収益を生まないことから、栄養管理と生体機能について多くの注意が払われてこなかった。しかし、経営を取り巻く情勢が悪化する

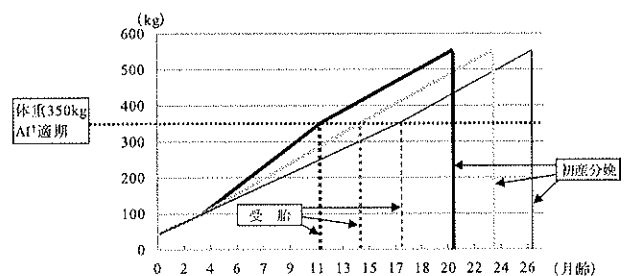


図1.1 体重100kgから350kgまでの間の増体速度の違いによる发育曲線

— : DG1.00kg (初産分娩21ヵ月齢, 本研究の目標)
 - - - : DG0.75kg (初産分娩24ヵ月齢, わが国の目標)
 . . . : DG0.60kg (初産分娩26ヵ月齢, わが国の現状)
 体重 45~100kg : DG0.60kg
 体重350~600kg : DG0.71kg
 † AI: artificial insemination

中、経営全体としてのコスト削減の観点に加えて生涯生産性の向上等の観点から、この時期の飼養管理改善の重要性がクローズアップされている（寺田，2006）。そこで、本研究は乳用育成牛の飼養管理の改善に資するため、初産分娩月齢の早期化が乳牛の発育成績と初産乳生産性に及ぼす影響を検証する。本論文では、第2章において3ヵ月齢からAI適期である体重350kgまでの増体速度と飼料中のCP水準の

違いが乳牛の発育に及ぼす影響を明らかにし、第3章では繁殖性と乳生産性に及ぼす影響について検討し、適正な育成時の増体速度とCP水準を考察した。さらに、第4章では初産分娩月齢を短縮しながら初産乳生産を高めるために、育成牛のデータを公立試験場から広く集め、初産乳生産に最も影響を及ぼす条件について考察した。

第2章 人工授精適期までの発育速度と粗蛋白質水準がホルスタイン種の育成成績に及ぼす影響

2.1 緒言

わが国におけるホルスタイン種の初産分娩月齢は、日本飼養標準（農林水産技術会議事務局編，2007）によると、ここ数十年27ヵ月齢程度で推移しており、24ヵ月齢を目標とする早期化の必要性が示されている（足立ら，1997；Broderick and Clayton，1997）。生産現場においては泌乳量の増大が最も優先されるため、泌乳期や分娩前後の栄養管理に関する研究はこれまでに多く行われてきた（藤城ら，1991；関ら，2000；楠原ら，2002；足立ら，2003）が、育成期間の栄養水準や栄養素のバランスとその後の生産性に関する研究報告は少ない。育成牛が早期に初産分娩を迎えることは、飼料摂取量の低減、更新牛の保有頭数の減少、さらには施設の利用効率改善の効果が期待されることから、わが国の酪農にとって重要な課題となっている。24ヵ月齢で初産分娩を迎えるためには、AI適期までのDGを0.75kg程度とする必要がある。しかし、近年のホルスタイン種的能力向上を考えると、さらに育成期間を短縮させて初産分娩月齢を24ヵ月齢よりも早めることで、より安定的な経営につながる可能性がある。

育成期の発育に関する研究では、Harrisonら（1983）が、12ヵ月齢までのDGを1.1kgに高めると乳腺の発達に悪影響を及ぼすと報告している。一方、LammersとHeinrichs（2000）は、DGを1.01kgから1.11kgに増体を高めた育成牛においてCP：代謝エネルギー（以下、ME）を46:1g/Mcal（CP11.8%）から64:1g/Mcal（CP15.6%）に高めた場合、乳腺組織の発達を抑制しないと報告している。また他の諸試験では、育成期間のDGを1.0kgに高めても飼料中のCP含量を高めることにより乳量に悪影響を及ぼさず、21ヵ月齢程度での初産分娩が可能に

なることが示されている（Gardner *et al.*，1977；長谷川ら，1995；野中ら，1998；Van Amburgh *et al.*，1998）。

そこで本研究は、21ヵ月齢での初産分娩を目指すため、AI適期までの目標DGを1.0kgに設定した高増体発育およびその期間におけるCP水準が、体格等の育成成績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 供試動物および飼養管理

供試動物は、茨城県畜産センター、千葉県畜産総合研究センター、富山県農林水産総合技術センター、神奈川県農業技術センター、愛知県農業総合試験場、および石川県畜産総合センターの各県立研究機関で生産された40頭のホルスタイン種雌子牛を用いた。図2.1に試験処理期間と試験区の構成を示した。生後90日齢から体重が350kgに到達するまでの期間において、目標DGおよび給与飼料中のCP含量の違いによる次の3区を設定した。すなわち、標準DG・標準CP含量としてDG0.75kg・CP14%のMM区（n=11）、高DG・標準CP含量としてDG1.00kg・CP14%のHM区（n=9）、および高DG・高CP含量としてDG1.00kg・CP16%のHH区（n=20）の3区である。供試牛は生後42日間哺乳し、その後試験開始の90日齢までは各県で同一の飼料による栄養管理を行った。試験開始の1週間前から馴致期間として、試験飼料を給与した。なお、馴致期間と試験飼料給与期間中は個別管理とした。

試験飼料の配合割合および成分含量を表2.1に示した。試験飼料はCP水準の違いにより標準CP飼料および高CP飼料の2種類を調製した。標準CP飼料はMM区とHM区に給与し、目標DGにより給与量を調整した。体重200kg到達時に乾草の給与割合を高めると

ともにCP割合を下げた。なお、試験開始時の90日齢から体重200kgまでの期間を前期、体重200kgから350kgまでの期間を後期とした。

飼料給与量の決定は2週間ごとに行った。すなわち、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編，1999）から算出した可消化養分総量（以下、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

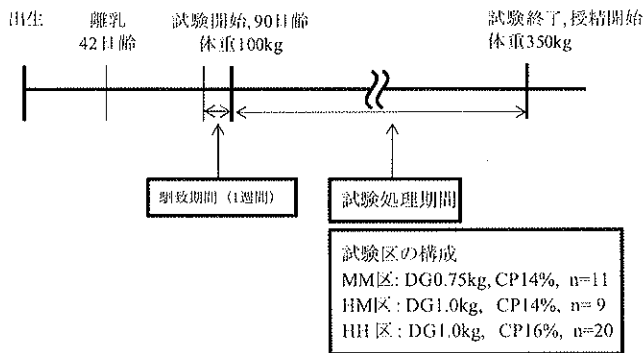


図2.1 試験処理期間と試験区の構成

表2.1 試験飼料の構成および成分値

| 飼料構成, % | 前期 | | | 後期 | | |
|------------------------|----------|------|----------|------|--|--|
| | MM区, HM区 | HH区 | MM区, HM区 | HH区 | | |
| 配合飼料 [†] | 38 | 37 | 28 | 27 | | |
| 圧ベントウモロコシ | 15 | 15 | 15 | 15 | | |
| 大豆粕 | 2 | 8 | 2 | 8 | | |
| チモシー乾草 [‡] | 45 | 40 | 55 | 50 | | |
| 成分値 [§] , DM% | | | | | | |
| TDN | 69.2 | 70.9 | 66.7 | 68.5 | | |
| CP | 14.1 | 16.6 | 13.2 | 15.6 | | |

前期: 90日齢から体重200kgまでの期間

後期: 体重200kgから体重350kgまでの期間

[†] 原材料名および配合割合: 38% とうもろこし, 34% 大豆粕, 2% 大豆油粕, 15% 植物性油粕, 13% その他 (アルファルファ, 糖みつ, 炭酸カルシウム, 食塩, りん酸カルシウム).

[‡] 切断長 約5cm

[§] 設計値

飼量を飼料別に測定した。体重は週1回、午前9時の給餌前に測定した。体高、十字部高、尻長、腰角幅、臍幅、座骨幅、胸囲、および管囲については4週間ごとに測定した。

血液は試験飼料給与開始時、前期の5ヵ月齢、後期の7ヵ月齢、そして試験飼料給与期間終了時の午前9時にヘパリン添加採血管（テルモ株式会社，東京）を用いて頸静脈より採取した。血液は採血後直ちに遠心分離（1,157×g, 15 min, 4℃）により血漿を分離後、分析まで凍結保存（-30℃）した。自

動分析装置CL7000（島津製作所，京都）を用いて、血糖、遊離脂肪酸、血中尿素態窒素（以下、BUN）、アルブミン、総蛋白、総コレステロール、中性脂肪、アスパラギン酸アミノトランスフェラーゼ（以下、AST）、グルタミルトランスペプチダーゼ（以下、GGT）、カルシウム、およびリンについて測定した。

乳房の成長および脂肪付着の程度を推定するため、試験開始時と初回AI時にLammersら（1999）の方法に準じて、4乳頭の乳頭基部から乳頭先端までの長さ（乳頭長）、前後左右の乳頭基部間幅の長さおよび乳房の周囲を測定した。なお、乳頭長および乳頭基部間幅は4測定値の平均値とした。

2.2.2 統計処理

統計処理は、県をブロック、試験処理区と季節を主効果とする二因子実験計画とし、以下のモデルを用いてSASのGLMプロシジャによって解析した。

$$X_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \gamma_k + \varepsilon_{ijk}$$

X_{ijk} : データ

μ : 全体の平均

α_i : 県iの効果（ブロック因子）

β_j : 処理jの効果

γ_k : 季節kの効果

ε_{ijk} : 誤差

季節の効果は、夏季の高温により試験牛の飼料摂取量が減少することが予想されるため、わが国で平均気温が25℃を超える日数が多い7月から8月の期間を試験飼料給与期間中に全て含む群と、それ以外の2群とした。なお、季節の効果に関しては別途報告する。試験処理区の効果については有意であった項目については、SAS 5.0J（SAS Institute, Cary, NC, USA）のLSMEANSステートメントを用いて最少有意差法による多重比較を行った（SAS, 1988; 高橋ら, 1989）。本研究では5%水準で有意差があるものとした。

2.3 結果

2.3.1 育成成績

試験開始日齢と終了日齢を表2.2に示した。体重350kg到達日齢は、HMおよびHH区がMM区に対し、約35日早まった（ $P < 0.05$ ）。

試験期間の発育成績を表2.3に、体重の推移を図2.2に、そして体高の推移を図2.3に示した。試験開始時の体重は、概ね100kgであった。163日齢以降はMM区に対しHM区とHH区が有意に高く推移した。

表 2.2 各処理区の試験開始日齢と試験終了日齢

| | 単位 | MM区 | | HM区 | | HH区 | | P - value |
|--------|----|-----|--------------------------|-----|--------------------------|-----|--------------------------|-----------|
| | | n | LSM ± SE | n | LSM ± SE | n | LSM ± SE | |
| 試験開始日齢 | 日齢 | 11 | 92.4 ± 0.9 | 9 | 94.8 ± 1.2 | 20 | 92.9 ± 0.6 | 0.284 |
| 試験終了日齢 | 日齢 | 11 | 349.5 ± 7.4 ^a | 9 | 315.2 ± 9.4 ^b | 20 | 314.9 ± 5.1 ^b | 0.002 |

ab: $P < 0.05$

表 2.3 人工授精適期までの目標DGと給与飼料中のCP含量に差を設けたホルスタイン種育成牛の試験開始時と終了時の体重と体尺値

| | 単位 | MM区 | | HM区 | | HH区 | | P - value | |
|------|--------------------|------|----------|----------------------------|----------|-----------------------------|----------|----------------------------|-------|
| | | n | LSM ± SE | n | LSM ± SE | n | LSM ± SE | | |
| 体重 | 試験開始時 [†] | kg | 11 | 101.8 ± 3.6 | 9 | 104.8 ± 4.6 | 20 | 103.9 ± 2.5 | 0.874 |
| | 試験終了時 [‡] | kg | 11 | 352.7 ± 2.1 | 9 | 356.5 ± 2.7 | 20 | 353.2 ± 1.5 | 0.480 |
| | DG [§] | kg/日 | 11 | 0.97 ± 0.02 ^b | 9 | 1.12 ± 0.03 ^a | 20 | 1.10 ± 0.02 ^a | 0.001 |
| 体高 | 試験開始時 | cm | 11 | 94.4 ± 1.1 | 9 | 94.0 ± 1.4 | 20 | 92.1 ± 0.8 | 0.118 |
| | 試験終了時 | cm | 9 | 125.2 ± 0.9 | 9 | 125.7 ± 1.0 | 20 | 124.5 ± 0.5 | 0.435 |
| | 1日増加量 | cm/日 | 9 | 0.12 ± 0.006 ^b | 9 | 0.14 ± 0.006 ^a | 20 | 0.15 ± 0.003 ^a | 0.008 |
| 十字部高 | 試験開始時 | cm | 11 | 97.2 ± 1.1 | 9 | 99.1 ± 1.4 | 19 | 95.8 ± 0.9 | 0.053 |
| | 試験終了時 | cm | 9 | 129.1 ± 1.0 ^{ab} | 9 | 130.7 ± 1.2 ^a | 18 | 127.5 ± 0.8 ^b | 0.026 |
| | 1日増加量 | cm/日 | 9 | 0.13 ± 0.009 | 9 | 0.13 ± 0.010 | 18 | 0.13 ± 0.006 | 0.983 |
| 尻長 | 試験開始時 | cm | 11 | 29.5 ± 0.5 | 9 | 29.7 ± 0.7 | 20 | 29.5 ± 0.4 | 0.973 |
| | 試験終了時 | cm | 9 | 45.7 ± 0.5 | 9 | 44.5 ± 0.6 | 20 | 45.1 ± 0.3 | 0.374 |
| | 1日増加量 | cm/日 | 9 | 0.065 ± 0.003 | 9 | 0.07 ± 0.003 | 20 | 0.07 ± 0.002 | 0.263 |
| 腰角幅 | 試験開始時 | cm | 11 | 23.9 ± 0.4 | 9 | 25.1 ± 0.5 | 20 | 24.1 ± 0.3 | 0.157 |
| | 試験終了時 | cm | 9 | 40.7 ± 0.5 | 9 | 40.8 ± 0.6 | 20 | 40.1 ± 0.3 | 0.297 |
| | 1日増加量 | cm/日 | 9 | 0.067 ± 0.002 | 9 | 0.07 ± 0.002 | 20 | 0.07 ± 0.001 | 0.119 |
| 臍幅 | 試験開始時 | cm | 11 | 27.5 ± 0.4 | 9 | 27.8 ± 0.5 | 20 | 27.0 ± 0.3 | 0.242 |
| | 試験終了時 | cm | 9 | 41.9 ± 0.5 | 9 | 41.3 ± 0.5 | 20 | 41.4 ± 0.3 | 0.702 |
| | 1日増加量 | cm/日 | 9 | 0.057 ± 0.003 ^b | 9 | 0.060 ± 0.003 ^{ab} | 20 | 0.060 ± 0.002 ^a | 0.039 |
| 座骨幅 | 試験開始時 | cm | 10 | 16.4 ± 0.7 | 9 | 16.5 ± 0.8 | 19 | 16.1 ± 0.5 | 0.830 |
| | 試験終了時 | cm | 8 | 27.2 ± 1.0 | 9 | 27.5 ± 1.0 | 19 | 27.0 ± 0.6 | 0.905 |
| | 1日増加量 | cm/日 | 8 | 0.034 ± 0.004 | 9 | 0.040 ± 0.005 | 19 | 0.040 ± 0.003 | 0.389 |
| 胸囲 | 試験開始時 | cm | 11 | 106.0 ± 2.0 | 9 | 109.7 ± 2.5 | 20 | 104.8 ± 1.4 | 0.159 |
| | 試験終了時 | cm | 9 | 163.8 ± 1.4 | 9 | 161.4 ± 1.5 | 20 | 161.5 ± 0.8 | 0.358 |
| | 1日増加量 | cm/日 | 9 | 0.233 ± 0.009 ^b | 9 | 0.230 ± 0.010 ^b | 20 | 0.260 ± 0.005 ^a | 0.014 |
| 管囲 | 試験開始時 | cm | 11 | 12.8 ± 0.2 | 8 | 13.1 ± 0.3 | 20 | 12.6 ± 0.2 | 0.212 |
| | 試験終了時 | cm | 11 | 17.0 ± 0.2 | 9 | 17.2 ± 0.3 | 20 | 17.1 ± 0.1 | 0.821 |
| | 1日増加量 | cm/日 | 11 | 0.017 ± 0.001 ^b | 8 | 0.020 ± 0.001 ^{ab} | 20 | 0.020 ± 0.001 ^a | 0.036 |

ab: $P < 0.05$

† 試験開始時: 90日齢

‡ 試験終了時: 体重350kg到達時

§ DG: daily gain

DGはHMおよびHH区がMM区に比べて高くなった (P<0.01)。また、全ての区において実際のDGは目標DGに比べて高くなった。体高については、MM区に対しHM区とHH区が高く推移する傾向がみられたが、終了時の値に差は認められなかった。しかしながら、1日当たりの体高の増加量については、HMおよびHH区がMM区に比べて有意に高くなった。終了時の体尺値は、十字部高においてHM区がHH区に比べて高かった (P<0.05) が、他の測定部位に差は認められなかった。1日当たりの増加量では、HH区が胸囲、臍幅、および管囲でMM区に対して高い値を示した (P<0.05)。

2.3.2 乳房の成長

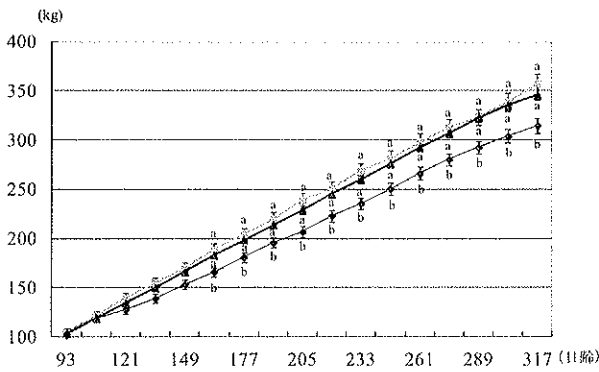


図 2.2 人工授精適期までの目標DGと給与飼料中のCP含量に差を設けたホルスタイン種育成牛の体重の推移
◆: MM区, □: HM区, ▲: HH区
LSM±SE
ab: P<0.05

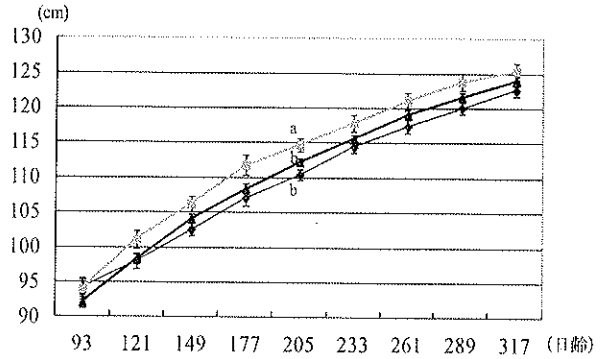


図 2.3 人工授精適期までの目標DGと給与飼料中のCP含量に差を設けたホルスタイン種育成牛の体高の推移
◆: MM区, □: HM区, ▲: HH区
LSM±SE
ab: P<0.05

表 2.4 に乳房の成長に伴う各測定値の変化を示した。乳頭基部間幅と乳腺周囲については、各測定時期において各区間に差は認められず、試験開始時に対する初回AI時までの増加割合についても差がなかった。乳頭長は初回AI時において各区間に差は認められなかった。しかし、試験開始時に対する初回AI時の増加割合についてはMM区が他の2区に比べて高かった (P<0.05)。

2.3.3 飼料摂取量および飼料効率

表 2.4 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

| | | MM区 | | HM区 | | HH区 | | P - value |
|---------------------|-------------------------|-----|------------------------|-----|------------------------|-----|------------------------|-----------|
| | | n | LSM ± SE | n | LSM ± SE | n | LSM ± SE | |
| 乳頭基部間幅 [†] | 試験開始時, cm | 10 | 3.2 ± 0.2 | 7 | 3.3 ± 0.3 | 17 | 3.5 ± 0.2 | 0.629 |
| | 初回AI [‡] 時, cm | 10 | 5.1 ± 0.2 | 7 | 5.7 ± 0.3 | 17 | 5.5 ± 0.1 | 0.188 |
| | 初回AI時/試験開始時 | 10 | 1.6 ± 0.1 | 7 | 1.8 ± 0.2 | 17 | 1.7 ± 0.1 | 0.737 |
| 乳頭長 [§] | 試験開始時, cm | 10 | 1.5 ± 0.1 ^b | 7 | 2.3 ± 0.2 ^a | 17 | 1.9 ± 0.1 ^a | 0.021 |
| | 初回AI時, cm | 10 | 3.1 ± 0.2 | 7 | 3.8 ± 0.3 | 17 | 3.3 ± 0.1 | 0.245 |
| | 初回AI時/試験開始時 | 10 | 2.1 ± 0.1 ^a | 7 | 1.7 ± 0.1 ^b | 17 | 1.8 ± 0.1 ^b | 0.039 |
| 乳腺周囲 | 試験開始時, cm | 10 | 38.1 ± 2.0 | 7 | 36.2 ± 3.0 | 17 | 37.2 ± 1.5 | 0.896 |
| | 初回AI時, cm | 10 | 86.2 ± 5.8 | 7 | 93.7 ± 8.9 | 17 | 93.6 ± 4.3 | 0.630 |
| | 初回AI時/試験開始時 | 10 | 2.3 ± 0.2 | 7 | 2.6 ± 0.3 | 17 | 2.5 ± 0.1 | 0.623 |

ab: P < 0.05

[†] 乳頭基部間幅: 前後左右の各乳頭間幅の平均値

[‡] AI: artificial insemination

[§] 乳頭長: 右前、左前、右後、左後の各乳頭長の平均値

表 2.5 試験期間中のDM、TDN、CP摂取量、充足率、および飼料効率

| | | 単位 | MM区 | | HM区 | | HH区 | | P - value |
|----------------------|--------|--------|-----|----------------------------|-----|----------------------------|-----|----------------------------|-----------|
| | | | n | LSM ± SE | n | LSM ± SE | n | LSM ± SE | |
| DM摂取量 | 試験期間合計 | kg | 11 | 1353 ± 39 | 9 | 1363 ± 49 | 20 | 1349 ± 27 | 0.957 |
| | 前期 | kg/day | 11 | 3.82 ± 0.07 ^b | 9 | 4.38 ± 0.09 ^a | 20 | 4.26 ± 0.05 ^a | 0.001 |
| | 後期 | kg/day | 11 | 6.27 ± 0.11 ^b | 9 | 7.15 ± 0.14 ^a | 20 | 7.11 ± 0.08 ^a | 0.001 |
| DM/体重比 | 試験期間合計 | % | 11 | 2.48 ± 0.03 ^b | 9 | 2.77 ± 0.04 ^a | 20 | 2.77 ± 0.02 ^a | 0.001 |
| TDN摂取量 | 試験期間合計 | kg | 11 | 929 ± 27 | 9 | 935 ± 34 | 20 | 951 ± 18 | 0.719 |
| | 前期 | kg/day | 11 | 2.67 ± 0.08 ^b | 9 | 3.10 ± 0.10 ^a | 20 | 3.09 ± 0.05 ^a | 0.001 |
| | 後期 | kg/day | 11 | 4.27 ± 0.15 ^b | 9 | 4.88 ± 0.19 ^a | 20 | 4.98 ± 0.10 ^a | 0.002 |
| TDN充足率 [†] | 試験期間合計 | % | 11 | 96.9 ± 0.9 | 9 | 96.1 ± 1.2 | 20 | 95.8 ± 0.7 | 0.647 |
| TDN飼料効率 [‡] | 前期 | kg/kg | 11 | 0.337 ± 0.010 | 9 | 0.375 ± 0.012 | 20 | 0.359 ± 0.007 | 0.096 |
| | 後期 | kg/kg | 11 | 0.234 ± 0.008 | 9 | 0.22 ± 0.010 | 20 | 0.215 ± 0.005 | 0.116 |
| CP摂取量 | 試験期間合計 | kg | 11 | 181 ± 5 ^b | 9 | 179 ± 6 ^b | 20 | 211 ± 3 ^a | 0.001 |
| | 前期 | kg/day | 11 | 0.53 ± 0.02 ^c | 9 | 0.60 ± 0.03 ^b | 20 | 0.70 ± 0.01 ^a | 0.001 |
| | 後期 | kg/day | 11 | 0.83 ± 0.03 ^b | 9 | 0.92 ± 0.04 ^b | 20 | 1.10 ± 0.02 ^a | 0.001 |
| CP充足率 [§] | 試験期間合計 | % | 11 | 108.2 ± 1.5 ^b | 9 | 103.9 ± 2.0 ^b | 20 | 121.6 ± 1.1 ^a | 0.001 |
| CP飼料効率 [¶] | 前期 | kg/kg | 11 | 1.721 ± 0.048 ^b | 9 | 1.908 ± 0.061 ^a | 20 | 1.595 ± 0.033 ^c | 0.001 |
| | 後期 | kg/kg | 11 | 1.220 ± 0.038 ^a | 9 | 1.151 ± 0.049 ^a | 20 | 0.974 ± 0.026 ^b | 0.001 |

abc : 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

† TDN充足率: 日本飼養標準(1999)の目標DGの要求量に対する充足率

‡ TDN飼料効率: 体重増加量/TDN摂取量

§ CP充足率: 日本飼養標準(1999)の要求量に対する充足率

¶ CP飼料効率: 体重増加量/CP摂取量

飼料摂取量と飼料効率を表2.5に示した。試験飼料給与期間中の総乾物（以下、DM）摂取量は、各区間に差は認められなかった。1日当たりのDM摂取量は前期と後期の両期間において、HMおよびHH区がMM区に対して増加した（P<0.01）。DM/体重比は、HM区とHH区がMM区に比べ有意に高かった（P<0.01）。総TDN摂取量は、各区間に差は認められなかった。1日当たりのTDN摂取量は、前期と後期においてHMおよびHH区がMM区に対し有意に高かった（P<0.05）。各区の目標DGに対するTDN充足率は96%前後となり、概ね試験設計通りの充足率であった。TDN摂取量1kg当たりの飼料効率は、前期と後期の両期間において各区に差は認められなかった。総CP摂取量はHH区が他の2区に比べて高まった（P<0.01）。1日当たりのCP摂取量は、前期および後期共にHH区が他の2区に比べて増加した（P<0.01）。CP充足率も同様にHH区が他の2区に比べて高まった（P<0.01）。しかし、CP摂取量1kg当たりの飼料効率は、前期と後期それぞれにおいてHH区がMMおよびHM区に比べ有意に低かった。

2.3.4 血液性状

図2.4にBUNの推移を、表2.6に試験期間中の血液成分を示した。BUNは、HH区が試験期間を通じてMMおよびHM区に対して有意に高いレベルで推移した。その他の血液成分値については、試験期間を通じ各区間に差は認められなかった。

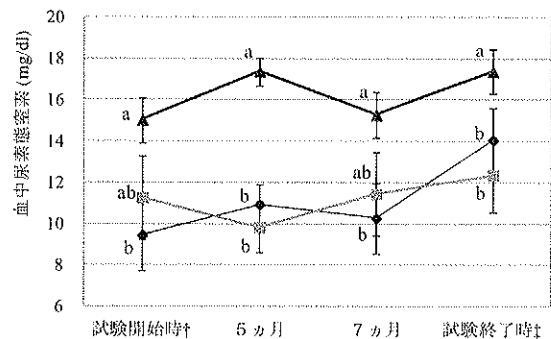


図 2.4 試験開始時から試験終了時までの血中尿素態窒素の推移

◆: MM区, ◻: HM区, ▲: HH区

LSM ± SE

ab: P < 0.05

† 試験開始時: 3ヵ月齢

‡ 試験終了時: 体重350kg到達時

表 2.6 試験開始時から試験終了時までの血液成分

| | 単位 | MM区 | | HM区 | | HH区 | | P - value | |
|------------------|--------------------|-------|----------|-------------------------|----------|--------------------------|----------|-------------------------|-------|
| | | n | LSM ± SE | n | LSM ± SE | n | LSM ± SE | | |
| 血糖 | 試験開始時 [†] | mg/dl | 10 | 92.2 ± 5.6 | 9 | 90.5 ± 6.5 | 19 | 95.8 ± 3.6 | 0.654 |
| | 5ヵ月齢 | mg/dl | 11 | 96.3 ± 4.5 | 9 | 94.2 ± 5.8 | 19 | 98.0 ± 3.2 | 0.776 |
| | 7ヵ月齢 | mg/dl | 10 | 96.3 ± 4.0 | 9 | 90.6 ± 4.6 | 18 | 93.7 ± 2.5 | 0.719 |
| | 試験終了時 [‡] | mg/dl | 8 | 75.4 ± 5.5 | 9 | 89.4 ± 5.6 | 17 | 88.5 ± 3.3 | 0.126 |
| 遊離脂肪酸 | 試験開始時 | mEq/l | 10 | 0.22 ± 0.06 | 9 | 0.33 ± 0.07 | 19 | 0.32 ± 0.04 | 0.363 |
| | 5ヵ月齢 | mEq/l | 11 | 0.20 ± 0.04 | 9 | 0.28 ± 0.05 | 19 | 0.24 ± 0.03 | 0.496 |
| | 7ヵ月齢 | mEq/l | 9 | 0.25 ± 0.04 | 9 | 0.14 ± 0.04 | 17 | 0.23 ± 0.02 | 0.165 |
| | 試験終了時 | mEq/l | 7 | 0.19 ± 0.04 | 8 | 0.12 ± 0.04 | 16 | 0.21 ± 0.02 | 0.090 |
| 血中尿素態窒素 | 試験開始時 | mg/dl | 10 | 9.4 ± 1.7 ^b | 9 | 11.3 ± 2.0 ^{ab} | 19 | 15.0 ± 1.1 ^a | 0.012 |
| | 5ヵ月齢 | mg/dl | 11 | 10.9 ± 1.0 ^b | 9 | 9.8 ± 1.2 ^b | 19 | 17.4 ± 0.7 ^a | 0.001 |
| | 7ヵ月齢 | mg/dl | 10 | 10.3 ± 1.7 ^b | 9 | 11.4 ± 2.0 ^{ab} | 18 | 15.3 ± 1.1 ^a | 0.020 |
| | 試験終了時 | mg/dl | 7 | 14.1 ± 1.3 ^b | 9 | 12.4 ± 1.7 ^b | 17 | 17.4 ± 0.9 ^a | 0.005 |
| アルブミン | 試験開始時 | g/dl | 10 | 4.1 ± 0.2 | 9 | 4.3 ± 0.2 | 19 | 4.2 ± 0.1 | 0.803 |
| | 5ヵ月齢 | g/dl | 11 | 4.3 ± 0.1 | 9 | 4.2 ± 0.2 | 19 | 4.2 ± 0.1 | 0.897 |
| | 7ヵ月齢 | g/dl | 10 | 4.3 ± 0.1 | 9 | 4.3 ± 0.1 | 18 | 4.2 ± 0.1 | 0.753 |
| | 試験終了時 | g/dl | 7 | 4.0 ± 0.3 | 9 | 4.2 ± 0.3 | 17 | 4.3 ± 0.2 | 0.433 |
| 総蛋白 | 試験開始時 | g/dl | 10 | 7.0 ± 0.3 | 9 | 6.8 ± 0.4 | 19 | 6.8 ± 0.2 | 0.922 |
| | 5ヵ月齢 | g/dl | 11 | 7.4 ± 0.3 | 9 | 7.3 ± 0.4 | 19 | 6.9 ± 0.2 | 0.187 |
| | 7ヵ月齢 | g/dl | 10 | 6.9 ± 0.3 | 9 | 7.5 ± 0.3 | 18 | 6.7 ± 0.2 | 0.078 |
| | 試験終了時 | g/dl | 7 | 7.1 ± 0.4 | 9 | 7.3 ± 0.4 | 17 | 7.3 ± 0.2 | 0.904 |
| 総コレステロール | 試験開始時 | mg/dl | 10 | 70.6 ± 6.6 | 9 | 74.9 ± 7.6 | 19 | 73.0 ± 4.2 | 0.929 |
| | 5ヵ月齢 | mg/dl | 11 | 92.1 ± 6.9 | 9 | 79.9 ± 8.9 | 19 | 79.9 ± 4.8 | 0.351 |
| | 7ヵ月齢 | mg/dl | 10 | 92.7 ± 5.5 | 9 | 84.2 ± 6.5 | 17 | 83.2 ± 3.6 | 0.372 |
| | 試験終了時 | mg/dl | 7 | 89.0 ± 9.0 | 9 | 89.0 ± 9.0 | 17 | 93.7 ± 5.3 | 0.780 |
| 中性脂肪 | 試験開始時 | mg/dl | 10 | 30.4 ± 3.8 | 9 | 36.1 ± 4.4 | 19 | 33.1 ± 2.4 | 0.698 |
| | 5ヵ月齢 | mg/dl | 11 | 34.4 ± 3.6 | 9 | 33.0 ± 4.7 | 19 | 34.4 ± 2.5 | 0.961 |
| | 7ヵ月齢 | mg/dl | 9 | 37.8 ± 4.0 | 9 | 33.9 ± 4.5 | 17 | 31.8 ± 2.5 | 0.426 |
| | 試験終了時 | mg/dl | 6 | 32.2 ± 5.3 | 9 | 31.1 ± 5.0 | 17 | 29.5 ± 3.0 | 0.858 |
| AST [§] | 試験開始時 | IU/l | 10 | 68.3 ± 6.6 | 9 | 65.7 ± 7.7 | 19 | 61.2 ± 4.4 | 0.587 |
| | 5ヵ月齢 | IU/l | 11 | 63.6 ± 8.2 | 9 | 73.2 ± 10.5 | 18 | 67.5 ± 5.8 | 0.810 |
| | 7ヵ月齢 | IU/l | 9 | 70.3 ± 7.7 | 9 | 52.8 ± 8.7 | 17 | 63.6 ± 4.9 | 0.408 |
| | 試験終了時 | IU/l | 6 | 64.9 ± 8.9 | 9 | 74.9 ± 8.5 | 17 | 61.1 ± 5.0 | 0.271 |
| GGT [¶] | 試験開始時 | IU/l | 10 | 55.6 ± 8.4 | 9 | 70.6 ± 9.7 | 19 | 56.5 ± 5.4 | 0.414 |
| | 5ヵ月齢 | IU/l | 10 | 50.0 ± 10.0 | 9 | 66.0 ± 12.6 | 19 | 47.7 ± 6.8 | 0.382 |
| | 7ヵ月齢 | IU/l | 8 | 50.3 ± 11.8 | 9 | 59.8 ± 12.7 | 17 | 38.4 ± 7.1 | 0.229 |
| | 試験終了時 | IU/l | 7 | 33.3 ± 9.6 | 9 | 37.8 ± 9.1 | 17 | 43.5 ± 5.4 | 0.528 |
| カルシウム | 試験開始時 | mg/dl | 10 | 10.0 ± 0.2 | 9 | 10.0 ± 0.2 | 19 | 10.1 ± 0.1 | 0.961 |
| | 5ヵ月齢 | mg/dl | 11 | 10.3 ± 0.2 | 9 | 9.9 ± 0.3 | 19 | 9.8 ± 0.1 | 0.126 |
| | 7ヵ月齢 | mg/dl | 9 | 9.9 ± 0.2 | 9 | 9.8 ± 0.2 | 17 | 9.6 ± 0.1 | 0.485 |
| | 試験終了時 | mg/dl | 6 | 9.5 ± 0.2 | 9 | 9.9 ± 0.2 | 17 | 9.8 ± 0.1 | 0.267 |
| リン | 試験開始時 | mg/dl | 10 | 7.6 ± 0.6 | 9 | 8.3 ± 0.7 | 19 | 8.3 ± 0.4 | 0.654 |
| | 5ヵ月齢 | mg/dl | 11 | 8.8 ± 0.5 | 9 | 8.8 ± 0.6 | 19 | 8.4 ± 0.3 | 0.639 |
| | 7ヵ月齢 | mg/dl | 9 | 7.8 ± 0.5 | 9 | 8.8 ± 0.5 | 17 | 8.3 ± 0.3 | 0.483 |
| | 試験終了時 | mg/dl | 7 | 6.1 ± 0.6 | 9 | 7.7 ± 0.6 | 17 | 7.6 ± 0.4 | 0.106 |

ab : $P < 0.05$

† 試験開始時: 90日齢

‡ 試験終了時: 体重350kg到達時

§ AST: aspartate aminotransferase

¶ GGT: glutamyl transpeptidase

2.4 考察

本研究では、高増体に設定したHM区およびHH区における体重350kg到達日齢が、標準増体区のMM区に比べて35日間短縮された。しかし、高増体区での1日当たり乾物摂取量が高まったため、結果的にMM区との間に総乾物摂取量の差は認められず、育成期間短縮による飼料摂取量の低減には至らなかった。また、体重350kg到達時の各体尺値には、高増体区と標準増体区で差が認められなかった。

育成期の発育に関する諸試験では、春機発動まで高エネルギーで育成したグループと標準的エネルギーで育成したグループ間の体高に有意な差はなかったと報告されている (Bortone *et al.*, 1994; Radcliff *et al.*, 1997; Waldo *et al.*, 1998)。その一方で、増体速度が速いほど十字部高が有意に低いという報告 (Van Amburgh *et al.*, 1998) もあるが、この報告は最も高い増体が0.94kgであり、本研究に比べ低い水準であった。したがって、本研究における0.97~1.12kgのDGレベルでは、350kg到達時の体高への影響はないと考えられた。また、実際のDGは目標DGに対して、MM区で0.2kg, HMおよびHH区で0.1kg程度上回った。これは、本研究の飼料設計で用いた日本飼養標準 (1999) が育成牛のエネルギー要求量の算出において、MEの正味利用効率が季節によって影響を受けることを考慮して7%の安全率が含まれていることに起因すると考えられた。加えて本試験は個体管理であることから、各個体で安全率として加えられたエネルギーが過剰になったためと思われる。また、目標DGに対する実際のDGの上回り量が高増体区に比べMM区で多かった点は、各区の目標DGに対するTDN充足率は96%前後であり、不足する4%分のTDN量は目標DG1.0kgの方が0.75kgに比べて多いため、結果的にMM区で大きくなったと推察される。

高増体時のCP水準が体高に及ぼす影響に関しては、GablerとHeinrichs (2003) が初発情前にDG0.8kgでCP:ME比に差を設けた試験 (CP12.0~19.7%) で、体高および十字部高はCP:ME比の増加に伴い直線的に増加すると報告している。しかし、本研究ではHM区とHH区間の350kg到達時の測尺値と1日当たりの体高増加量に差が認められず、平均DG1.1kg前後におけるCP16%への増給効果は認められなかった。これは、Whitlockら (2002) が行ったDG1.1kg前後でCP13.7~18.8%の試験において、春機

発動後の体高に差が認められなかったという報告と同様な傾向であった。また、Baggら (1985) は71~295日齢の育成牛に対しCPをNRCの80%, 100%, および120%で給与した試験で、295日齢の体高に差がなかったと報告している。また、HH区のCP摂取量当たりの体重増加量は、HM区およびMM区に比べ低かった。さらにHH区のBUN値は、他の2区に比べ高く推移した。Hallら (1995) は肉用雌育成牛で行った試験で、BUNはCP摂取量に関係すると報告している。さらにGablerとHeinrichs (2003) は、BUNはCP:ME比が増加するにつれ直線的に増加すると報告している。本試験のHH区におけるBUNレベルが試験期間を通じて高い水準で推移したのは、試験飼料中のCP含量を反映したためと考えられ、HH区でのCP16%はCP14%の区に比べて過剰であると考えられた。なお、試験開始時からHH区のBUNが高い値を示したのは、試験開始前の馴致期間にそれぞれの試験飼料と同様な設計で飼料給与したためと推察される。また、本研究のHM区とHH区のDGに差は認められず、CPの増給はDGに影響を及ぼさなかった。Kertzら (1987) は60日齢から172日齢におけるDG1.0kg前後でCPを18.1%から20.3%に高めた研究において、CPの増給はDGを増加させないことを示している。過剰に摂取されたCPは尿中に排泄され (井上, 1986), ZantonとHeinrichs (2008) はCPの過給による経済的損失や環境負荷を考慮すると、蛋白質および窒素栄養は農場全体の持続性にとって重要であると報告している。これらのことから、過剰なCPの給与は制限すべきであると考えられる。

LammersとHeinrichs (2000) は、高増体育成の試験において、CP:ME比46:1 (CP11.8%) に対し61:1 (CP15.6) のCP:ME比は乳頭長の成長が35~38%増加した ($P < 0.10$) と報告している。しかし、本研究ではHM区とHH区の初回AI時までの乳頭長の増加率に差は認められなかった。一方、標準増体区と同増加率は高増体区に比べ高かったが、Lammersら (1999) は、DG0.7kgとDG1.0kgで育成した場合に乳頭長には差が認められないと報告している。この点については、乳量の成績と合わせてさらに検討する必要がある。

以上の結果から、AI適期までの発育速度についてDG0.97kgとDG1.1kg前後の発育ではAI適期の体格に差が認められず、DGを1.1kgまで高めてもDG0.97kgと同程度の発育であることが明らかになった。また、DGを1.1kgにまで高めた場合のCPは16%では過剰

と考えられ、14%程度で飼養するのが適正であると考えられる。

2.5 要約

ホルスタイン種の初産分娩月齢の早期化を目指すため、AI適期までのDGとCP水準が発育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350kgに到達するまでの期間とし、処理区は目標DGおよび給与飼料中のCP含量の違いにより3区を設定した。すなわち、DG0.75kgでCP14%のMM区 (n=11)、DG1.00kgでCP14%のHM区 (n=9)、そしてDG1.00kgでCP16%のHH区 (n=20) の3区である。

目標設定DGを1.0kgとしたHMおよびHH区における実際のDGは1.1kgとなり、MM区の0.97kgに比べて有

意に高くなった ($P<0.01$)。体重350kg到達日齢はHMおよびHH区が315日となり、MM区に対して35日間早くなった ($P<0.01$)。体重350kg到達時の体格においては、各区間に差は認められなかった。1日当たりの乾物摂取量は高増体設定区で高かったが、総乾物摂取量に差は認められなかった。CP摂取量1kg当たりの体重の増加量は、HH区がMMおよびHM区に比べ有意に低かった。BUNはHH区がMM区とHM区に比べ高い値で推移した。

以上の結果から、AI適期までの発育速度についてはDGを1.1kgまで高めてもDG0.97kgと同程度の発育であった。また、DG1.1kgにおけるCPは16%では過剰であり、14%程度で飼養するのが適正であると考えられる。

第3章 人工授精適期までの発育速度と粗蛋白質水準がホルスタイン種の初産時における乳生産性に及ぼす影響

3.1 緒言

第2章では、AI適期までの発育速度とCP水準がホルスタイン種育成牛の発育成績に及ぼす影響について検討し、発育速度がDG0.97kgとDG1.1kg前後ではAI適期の体格に差が認められないことを明らかにした。すなわち、DGを1.1kgまで高めてもDG0.97kgと同程度の成長であることが示された。また、DG1.1kgの発育速度における飼料中CP含量は16%では過剰であり、14%程度で飼養するのが適正であると考えられた。これは、ここ数十年間において27ヵ月齢前後を推移してきたわが国の初産分娩月齢を、改良目標である24ヵ月 (農林水産省生産局畜産部畜産企画課, 2010) から21ヵ月齢に短縮できる可能性を示すものである。

育成牛が早期に初産分娩を迎えるメリットとして、更新牛の保有頭数の減少、施設の利用効率改善の効果が期待される。しかしながら、育成期の増体速度が乳腺に及ぼす影響を検討した報告では、Harrisonら (1983) がDG0.74kgを超えないで育成した牛はDG1.1kgで育成した牛よりも乳腺重量が39%、分泌組織が68%多く、高い増体は乳腺の発達に悪影響を及ぼすと報告している。一方、育成牛を高エネルギー飼料により高DGで発育させる場合、

給与飼料中のCP含量を高めることにより乳腺への負の影響が緩和されることも示されている (Bush and Staley, 1980; Butler and Smith, 1996; Butler *et al.*, 1996)。さらに、育成期間のDGを1.0kgに高めても、飼料中のCP含量を高めることにより乳生産性に悪影響を及ぼさず21ヵ月齢程度での初産分娩が可能という報告が示されている (Gardner *et al.*, 1977; Collier *et al.*, 1982; 長谷川ら, 1995; 野中ら, 1998)。このように、AI適期までの発育速度の適正範囲は明らかになっておらず、CP水準を含めた検討が必要である。

そこで、本章は初産分娩月齢の早期化を実現するための目標DGを1.0kgに設定し、育成期の高増体におけるCP水準が分娩後の乳生産性に及ぼす影響について検討した。

3.2 材料および方法

3.2.1 供試動物および飼養管理

供試動物は、第2章で用いた茨城県畜産センター、千葉県畜産総合研究センター、富山県農林水産総合技術センター、神奈川県農業技術センター、愛知県農業総合試験場、および石川県畜産総合センターの各県立研究機関で生産された40頭のホルスタイン種

雌育成牛である。処理区は第2章と同様に、生後90日齢から体重が350kgに到達するまでの期間において、目標DGおよび給与飼料中のCP含量の違いによる次の3区を設定した。すなわち、標準DG・標準CP含量としてDG0.75kg・CP14%のMM区 (n=11)、高DG・標準CP含量としてDG1.00kg・CP14%のHM区 (n=9)、高DG・高CP含量としてDG1.00kg・CP16%のHH区 (n=20) の3区である。

試験飼料の給与期間終了後は、分娩時までDGが0.75kg程度となるように管理した。初回AIの開始基準は、体重が350kgで体高が125cmとした (Bertics, 1992)。そして基準を超えた最初の発情時にAIを実施して、受胎するまでAIを繰り返した。AI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凍結精液を用いた。また、初発情の確認は発情到来時の日齢、状態の観察に加え、直腸検査による子宮内部所見で確認した。

分娩の難易は次に示す評点 (Berger, 1994) により判断した。すなわち、1:介助なし、2:若干の介助、3:難産 (母子ともに健康)、4:極めて難産 (母子いずれかが無能力化)、5:帝王切開または著しい外傷による死産、である。

分娩後体重は分娩後24時間以内に1回、分娩後3日間は毎日測定した平均値とした。子牛体重は出生直後に計測した値とした。

乳量は分娩後305日間測定した。なお、2産分娩のための乾乳により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推定し、実測値に推定値を加算して305日乳量とした。乳成分は乳脂率、乳蛋白質率、および無脂固形分 (以下、SNF) 率について2週間毎に測定した。

乳房への脂肪付着の程度を推定するため、第2章の方法と同様に分娩3週後にLammersとHeinrichs (2000) の方法に準じて、4乳頭の乳頭基部から乳頭先端までの長さ (乳頭長) と前後左右の乳頭基部間幅の長さを測定した。乳頭長および乳頭基部間幅は4測定値の平均値とした。

3.2.2 統計処理

統計処理は、県をブロック、試験処理区と季節を主効果とする二因子実験計画とし、以下のモデルを用いてSASのGLMプロシジャによって解析した。

$$X_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \gamma_k + \varepsilon_{ijk}$$

X_{ijk} : データ

μ : 全体の平均

α_i : 県iの効果 (ブロック因子)

β_j : 処理jの効果

γ_k : 季節kの効果

ε_{ijk} : 誤差

試験処理区の効果について有意であった項目については、SAS 5.0J (SAS Institute, Cary, NC, USA) のLSMEANSステートメントを用いて最少有意差法による多重比較を行った (SAS, 1988; 高橋ら, 1989)。本研究では5%水準で有意差があるものとした。

3.3 結果

3.3.1 繁殖成績

育成期間の繁殖成績を表3.1に示した。初回発情日齢はHM区およびHH区がMM区に比べ25日間早かったが、有意差は認められなかった ($P>0.05$)。また、その時点での体重に差は認められなかった。初回AI日齢は、HMおよびHH区がMM区に比べて概ね35日間早

表 3.1 初回発情、初回AI、および受胎時の日齢および体重

| | 単位 | MM区 | | HM区 | | HH区 | | P - value |
|-------|----|-----|-----------------------|-----|-----------------------|-----|----------------------|-----------|
| | | n | LSM ± SE | n | LSM ± SE | n | LSM ± SE | |
| 初回発情 | 日齢 | 11 | 335 ± 15 | 9 | 309 ± 19 | 20 | 311 ± 11 | 0.434 |
| | 体重 | 11 | 334 ± 15 | 9 | 341 ± 19 | 20 | 336 ± 10 | 0.965 |
| 初回AI† | 日齢 | 11 | 386 ± 10 ^a | 9 | 350 ± 12 ^b | 20 | 353 ± 7 ^b | 0.031 |
| | 体重 | 11 | 385 ± 7 | 9 | 378 ± 9 | 20 | 377 ± 5 | 0.624 |
| 受胎時 | 日齢 | 10 | 418 ± 19 | 9 | 358 ± 23 | 19 | 383 ± 12 | 0.180 |
| | 体重 | 10 | 411 ± 13 | 9 | 380 ± 15 | 19 | 393 ± 8 | 0.345 |
| AI回数 | 回 | 10 | 2.1 ± 0.5 | 9 | 1.9 ± 0.6 | 19 | 2.0 ± 0.3 | 0.977 |

ab: $P < 0.05$

† AI: artificial insemination

まった ($P < 0.05$)。AI時の体重は各区共に380kg程度で差はなかった。受胎日齢は、MM区に比べてHM区とHH区が早くなったが、有意差は認められなかった。受胎時体重およびAI回数は各区間に差は認められなかった。

3.3.2 分娩時の状況および泌乳成績

表3.2に分娩時の状況を示した。分娩月齢はHMおよびHH区は21~22ヵ月齢で分娩を迎えた。HH区はMM区に対し1.3ヵ月齢、日齢にして40日程度分娩が早まり、HM区は同様に2.1ヵ月齢、日齢にして約64日早まった。分娩後体重は区間で有意差は認められず、分娩難易度も各区共に3以下で正常な分娩であった。子牛体重は各区間に差は認められなかった。

図3.1に乳量の推移を、表3.3に泌乳成績を示した。MM区の日乳量は、試験期間を通じてHM区およびHH区に比べて高く推移した。305日乳量はHM区がMM区に対し2,643kg低く ($P < 0.01$)、HH区はMM区に対し1,645kg低くなった ($P < 0.01$)。乳脂率はMM区がHMおよびHH区に比べ有意に低かった。乳蛋白率とSNF率については、各区間に差は認められなかった。

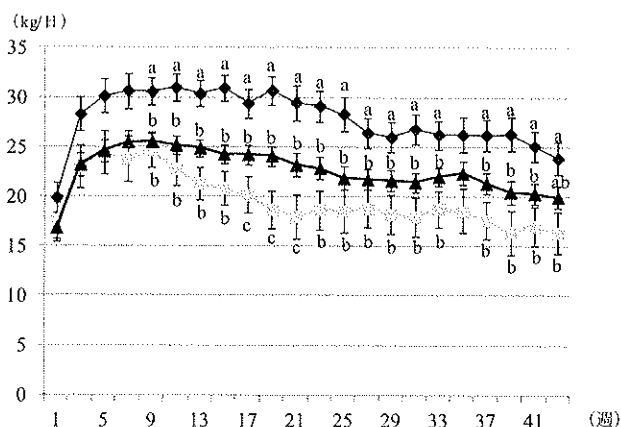


図3.1 人工授精適期までのDGと飼料中のCP含量の違いによるホルスタイン種の初産乳量の推移

◆: MM区, ◻: HM区, ▲: HH区
LSM ± SE
abc: $P < 0.05$

3.3.3 乳腺発達

表3.4に乳房の各測定値を示した。分娩3週後の乳頭基部間幅、乳頭長、乳腺周囲は、各区間に差は認められなかった。また、それぞれの測定部位について、初回AI時からの増加割合にも差は認められなかった。

表 3.2 各処理区の初産時の分娩成績

| 単位 | MM区 | | HM区 | | HH区 | | P - value | |
|--------|-----|----------|------------|----------|------------|----------|------------|-------|
| | n | LSM ± SE | n | LSM ± SE | n | LSM ± SE | | |
| 分娩月齢 | 月齢 | 10 | 23.1 ± 0.6 | 9 | 21.0 ± 0.8 | 17 | 21.8 ± 0.4 | 0.158 |
| 分娩後体重 | kg | 10 | 579 ± 13 | 9 | 538 ± 16 | 17 | 551 ± 9 | 0.173 |
| 分娩難易度† | | 10 | 2.5 ± 0.4 | 9 | 2.4 ± 0.5 | 17 | 2.2 ± 0.2 | 0.634 |
| 子牛体重 | kg | 10 | 44.0 ± 2.2 | 9 | 45.6 ± 2.7 | 17 | 42.0 ± 1.5 | 0.363 |

†分娩難易度:1:介助なし,2:若干の介助,3:難産(母子ともに健康),4:極めて難産(母子いずれかが無能力化),5:帝王切開または著しい外傷による死産 (Berger, 1994)

表 3.3 初産時における305日乳量および乳成分

| 単位 | MM区 | | HM区 | | HH区 | | P - value | |
|--------------------|-----|----------|--------------------------|----------|--------------------------|----------|--------------------------|-------|
| | n | LSM ± SE | n | LSM ± SE | n | LSM ± SE | | |
| 305日乳量 | kg | 10 | 8,583 ± 382 ^a | 8 | 5,940 ± 484 ^b | 17 | 6,938 ± 257 ^b | 0.001 |
| 乳脂率 | % | 10 | 3.70 ± 0.13 ^b | 8 | 4.28 ± 0.16 ^a | 17 | 4.03 ± 0.09 ^a | 0.047 |
| 乳蛋白質率 | % | 10 | 3.23 ± 0.07 | 8 | 3.34 ± 0.08 | 17 | 3.30 ± 0.04 | 0.607 |
| SNF [†] 率 | % | 10 | 8.74 ± 0.07 | 8 | 8.82 ± 0.09 | 17 | 8.91 ± 0.05 | 0.105 |

ab: $P < 0.05$

† SNF: solid not fat

表 3.4 分娩3週間後の乳房形状と初回人工授精時からの乳腺の成長

| | | MM区 | | HM区 | | HH区 | | P - value |
|---------------------|-------------|-----|-------------|-----|--------------|-----|-------------|-----------|
| | | n | LSM ± SE | n | LSM ± SE | n | LSM ± SE | |
| 乳頭基部間幅 [†] | 分娩3週後, cm | 9 | 11.2 ± 0.7 | 7 | 12.6 ± 1.1 | 15 | 11.2 ± 0.5 | 0.471 |
| | 分娩3週後/初回AI時 | 9 | 2.3 ± 0.1 | 7 | 2.3 ± 0.2 | 15 | 2.0 ± 0.1 | 0.112 |
| 乳頭長 [§] | 分娩3週後, cm | 9 | 4.6 ± 0.3 | 7 | 5.2 ± 0.4 | 15 | 4.7 ± 0.2 | 0.439 |
| | 分娩3週後/初回AI時 | 9 | 1.4 ± 0.1 | 7 | 1.4 ± 0.1 | 15 | 1.4 ± 0.1 | 0.954 |
| 乳腺周囲 | 分娩3週後, cm | 9 | 184.9 ± 8.7 | 7 | 165.3 ± 12.5 | 15 | 164.9 ± 5.9 | 0.199 |
| | 分娩3週後/初回AI時 | 9 | 2.6 ± 0.2 | 7 | 2.1 ± 0.4 | 15 | 2.1 ± 0.2 | 0.329 |

[†] 乳頭基部間幅: 前後左右の各乳頭間幅の平均値

[‡] AI: artificial insemination

[§] 乳頭長: 右前、左前、右後、左後の各乳頭長の平均値

表 3.5 各処理区の初産分娩後の繁殖成績

| 単位 | MM区 | | HM区 | | HH区 | | P - value | |
|----------------------|-----|----------|---------------------------|----------|---------------------------|----------|---------------------------|-------|
| | n | LSM ± SE | n | LSM ± SE | n | LSM ± SE | | |
| 初回発情日数 | 日 | 10 | 64.9 ± 9.5 | 9 | 67.7 ± 11.7 | 17 | 62.5 ± 6.4 | 0.894 |
| 初回AI [†] 日数 | 日 | 10 | 94.4 ± 10.0 | 9 | 103.9 ± 12.3 | 17 | 96.2 ± 6.7 | 0.827 |
| AI回数 | 回 | 10 | 2.5 ± 0.5 | 9 | 2.1 ± 0.7 | 17 | 1.4 ± 0.4 | 0.135 |
| 空胎期間 | 日 | 9 | 151.4 ± 16.7 ^a | 8 | 164.2 ± 21.6 ^a | 15 | 108.8 ± 11.6 ^b | 0.015 |

ab: P < 0.05

[†] AI: artificial insemination

3.3.4 分娩後繁殖成績

表 3.5 に分娩後の繁殖成績を示した。各区の初回発情日数と初回AI日数に差は認められなかった。AI回数は各区分間に有意差は認められなかったが、HH区が他の2区よりも少ない傾向であった。そして、空胎期間はHH区が他の2区に比べて短縮された (P < 0.05)。

3.4 考察

育成期の繁殖成績は、全ての区で初回発情日齢が330~340kg前後で到来したが、初回AI日齢は高増体区が標準増体区に比べ概ね35日間早まった。受胎日齢も35~60日齢 (平均47.5日齢) 早まり、高増体区は21~22ヵ月齢前後 (平均21.4ヵ月齢) の初産分娩が可能であった。Hoffmanら (1996) が行った試験では、初産分娩月齢21.7ヵ月齢のグループの分娩難易度は、24.6ヵ月齢のグループのそれに対して低下した (P < 0.01)。本研究では、各区分間で分娩難易度に差は認められなかったが、Hoffmanら (1996) の報告を合わせて考慮すると、高増体の育成により初産分娩月齢が早まっても分娩難易度は高くないと考えられた。また、他の初産分娩月齢の早期化

に関する諸試験においても、育成期間のDGを1.0kgに高めても、飼料中のCP含量を高めることにより乳生産性に悪影響を及ぼさず21ヵ月齢程度での初産分娩が可能という報告が示されている (Collier *et al.*, 1982; Gardner *et al.*, 1977; 長谷川ら, 1995; 野中ら, 1998; Van Amburgh *et al.*, 1998)。したがって、育成期を高増体で飼養することにより春機発動までの到達期間を短縮して、初産分娩月齢を21ヵ月齢で迎えても正常な分娩が可能であることが示唆された。

発育速度と乳量に関してはいくつかの報告がある (Pirlo *et al.*, 1997; Waldo *et al.*, 1998; Abeni *et al.*, 2000)。彼らの試験における供試牛のDGは0.61~0.99kgであり、DGが1.0kg以下であれば乳量への影響はないとしている。一方、Harrisonら (1983) は12ヵ月齢までのDGが高い (1.18kg) と、乳房発達が損なわれると報告している。その上、Swanson (1960) は、乳房への脂肪沈着が乳腺分泌組織の発達を妨げること、Sejrsenら (1982) は春機発動までの早い発育は乳腺の分泌組織重を23%減少させるとともに、付着脂肪が増加することを報告している。さらにRincherら (2008) は、高エネルギー飼料の給与期間が長くなるに伴い、乳腺実質の内方で

脂肪が増加し、100kg当たりの乳腺実質重量は低下したと報告している。本試験における高増体区のDGは1.1kg付近であることから、MM区に比べると乳腺組織の発達が減少し、付着脂肪が増加した可能性がある。このことが、III区およびIIM区の初産乳量を減少させた要因の一つと考えられる。

高増体時においてCP水準を高めた効果について、本研究ではIII区の305日乳量はMM区に対し有意に低く、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。LammersとHeinrichs(2000)が行ったDG1.01~1.11kg水準の研究において、CP:ME比46:1 (CP11.8%) に対して61:1 (CP15.6%) では乳頭長の成長が35~38%増加 ($P<0.10$) している。このことから、エネルギーに対する高CP比は、脂肪の乳腺への浸潤による悪影響を及ぼさずに乳腺組織の順調な発達が可能であると報告している。また他の研究においても、育成期間のDGを1.0kgに高めても、飼料中のCP含量を高めることにより乳生産性に悪影響を及ぼさず初産分娩が可能であることが報告されている (Collierら, 1982; 長谷川ら, 1995; 野中ら, 1995; 野中ら, 1998)。しかし、これらの研究は乳生産性の評価について実乳量を用いていない。したがって、育成期にDGが1.0kgを超えて1.1kg程度の高い増体水準では、CP水準を高めても乳生産性が低下することが推察された。

第2章で示したように、乳頭長の初回AI時までの増加率は標準増体区が高増体区に比べて大きく、Lammersら (1999) の報告と異なる結果となった。また、LammersとHeinrichs (2000) の研究では、CP:ME比が増えるに従い乳頭長と乳腺周囲の増加量が増えたが、本研究のHM区とIII区間において、乳頭長および乳頭基部間幅の増加割合に有意差が認められず、この点でも彼らの研究と異なる結果となった。さらに、本研究の分娩後の乳腺形状は、305日乳量が高い標準増体区と、低い高増体区の間有意差が認められなかった。これらの点からは、乳腺組織の発達と乳房形状は必ずしも一致していないことが示唆された。

乳成分については、乳脂率で有意差が認められたが、発育速度を高めたHoffmanら (1996) とLammersら (1999) の研究では、乳脂率と乳蛋白質率に差はなかった。本研究はこれらの報告と異なる結果であり、高増体育成が乳成分に及ぼす影響については、一定の傾向が得られなかった。この点については、今後更に検討が必要と思われる。

以上の結果から、乳量を減少させずに21ヵ月で初産分娩を迎えるためには、AI適期までの発育速度をDGで0.97kg以下、CPは14%程度で飼養するのが適正な条件と考えられる。

3.5 要約

ホルスタイン種の初産分娩月齢の早期化を目指すため、AI適期までのDGとCP水準が乳生産性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350kgに到達するまでの期間とし、処理区は目標DGおよび給与飼料中のCP含量の違いによる次の3区を設定した。すなわち、標準DG・標準CP含量としてDG0.75kg・CP14%のMM区 ($n=11$)、高DG・標準CP含量としてDG1.00kg・CP14%のHM区 ($n=9$)、高DG・高CP含量としてDG1.00kg・CP16%のIII区 ($n=20$) の3区である。

初回AI日齢はHM区およびIII区がMM区に比べ概ね35日間早かった ($P<0.05$)。初産分娩月齢はMM区が23.1ヵ月、HM区が21.0ヵ月、およびIII区が21.8ヵ月齢で、各区共に正常な分娩であった。初回AI時から分娩3週後までの乳頭基部間幅、乳頭長、および乳腺周囲の発達は、各区に差は認められなかった。305日乳量はMM区が8,583kg、IIM区が5,940kg、およびIII区が6,938kgとなり、高増体区が標準増体区に比べ低かった ($P<0.01$)。なお、HM区とIII区間の乳量に有意差は認められず、DG1.1kg程度の高増体時は、CP水準を高めても乳生産性の低下をもたらすものと考えられた。分娩後の繁殖成績は、空胎期間でIII区が他の2区に比べ短かった ($P<0.05$) が、分娩後初回発情日数、初回AI日数、およびAI回数は各区間に差は認められなかった。

以上の結果から、乳量を減少させずに21ヵ月齢で初産分娩を迎えるためには、AI適期までの発育速度をDGで0.97kg以下、CPは14%程度で飼養するのが適正な条件と考えられる。

第4章 初産乳生産に影響を及ぼす育成管理条件の解析

4.1 緒言

育成期間の増体速度が体格成長と乳生産性に及ぼす影響を検討したIshiiら(2011)の報告では、AI適期までのDGを1.1kgまで高めてもDG0.97kgと同程度の発育であることと、DG1.1kgにおける飼料中CP水準は16%では過剰と考えられ、14%程度で飼養するのが適正である。また、乳量を減少させずに24ヵ月より早い月齢で初産分娩を迎えるためには、AI適期までの発育速度をDGで0.97kg以下で飼養することが望ましい。さらに、育成期における高いCP水準による飼養管理は乳生産性への改善は図られず、14%程度が適正レベルということを示唆した。育成期のDGと乳生産性については、DGは乳量に影響しなかったという報告(Pirio *et al.*, 1997; Waldo *et al.*, 1998; Abeni *et al.*, 2000)がある一方で、DGが高すぎると乳生産性を低下させるという報告(Beede and Collier, 1986; Harrison *et al.*, 1983)もある。これは乳腺への付着脂肪が原因である可能性が示されているが(Swanson, 1960; Sejrsen *et al.*, 1982)、DG水準が乳生産性にどの程度影響を及ぼすか明らかになっていない。また、分娩後の体重が大きいほど乳量が多くなるという報告もあるが(Beede and Collier, 1986; Carlsson and Pehrson, 1994; Moore *et al.*, 1991)、乳量への関与が最も高い要因は明確に示されていない。

本章では第2章および第3章のデータに、茨城県、千葉県、富山県、神奈川県、愛知県、石川県、および長野県で生産されて慣行飼養されたホルスタイン種のデータを加えて、初産分娩月齢早期化を目指す飼養管理における育成期の諸要因が初産泌乳成績に及ぼす影響について解析した。

4.2 材料および方法

第2章と第3章のMM区、HM区、およびIII区と、茨城県畜産センター、千葉県畜産総合研究センター、富山県農林水産総合技術センター、神奈川県農業技術センター、愛知県農業総合試験場、石川県畜産総合センター、および長野県畜産試験場の7県の研究機関で生産されて慣行飼養されたホルスタイン種のデータを解析に用いた。供試牛の内訳は、第2章および第3章の試験牛が35頭、各場所で慣行飼養され

た乳牛が81頭で、合計116頭である。各場所で慣行飼養された乳牛は、受胎まで増体速度をDG1.0kgを目標に育成されたグループを慣行II区とし、一般的な飼養管理で増体速度をDG0.75kgを目標に育成されたグループを慣行M区とした。なお、慣行III区は55頭、慣行M区は31頭である。

統計解析は、産乳への寄与が考えられる要因をリストアップし、産乳への寄与が高い要因を抽出するため、変数増減法による重回帰分析を行った(SASインスティテュート ジャパン, 1991)。目的変数を305日乳量、乳脂量、乳蛋白質量およびSNF量とし、独立変数を県、出生季節、生時体重、哺育期DG、受胎までのDG、受胎日齢、受胎時体重、妊娠期DG、子牛体重、分娩時体重、および分娩日齢とした。なお、県および出生季節の質的因子に関しては、ダミー変数を導入し解析を行った(川端, 1978)。重回帰分析の結果を受け、受胎時体重を補助変数とし、県および試験区を処理因子とする共分散分析を行った(吉田, 1982)。

統計解析はSAS 5.0J (SAS Institute, Cary, NC, USA)を用いた。試験処理区の効果について有意であった項目については、SASのLSMEANSステートメントを用いて最少有意差法による多重比較を行った(高橋ら, 1989)。本研究では5%水準で有意差があることとした。

4.3 結果及び考察

4.3.1 基本統計量

本解析で用いたデータの基本統計量を表4.1に示した。供試牛の受胎までの期間DGの平均値は1.03kg、最小値は0.71kg、最大値は1.24kgであった。分娩日齢の平均値は691日齢で、月齢に換算すると22.7ヵ月齢、同様に最小値は19.3ヵ月齢であった。また、305日乳量の平均値は7,360kg、同様に乳脂量は293kg、乳蛋白質量は243kg、SNF量は653kgであった。

4.3.2 産乳への寄与が高い要因の抽出

重回帰分析で得られた回帰式を表4.2に示した。変数増減法で305日乳量、乳脂量、乳蛋白質量、およびSNF量に対する各項目の寄与の可能性を評価したところ、305日乳量では変数として受胎時体重と

表4.1 初産乳生産に影響をおよぼす育成管理条件の解析に用いたデータの基本統計量

| | 平均値 | 標準誤差 | 中央値 | 最頻値 | 標準偏差 | 分散 | 尖度 | 歪度 | 範囲 | 最大値 | 最小値 | 合計 | 標本数 |
|------------------------|-------|------|-------|-------|-------|-----------|--------|--------|-------|--------|-------|---------|-----|
| 生時体重, kg | 42.7 | 0.4 | 42.5 | 43.0 | 4.7 | 21.7 | 0.179 | 0.158 | 25.5 | 55.5 | 30.0 | 4,787.8 | 112 |
| 哺育期DG, kg | 0.70 | 0.01 | 0.71 | 0.72 | 0.10 | 0.01 | 0.322 | -0.283 | 0.54 | 0.92 | 0.38 | 71.1 | 102 |
| 受胎までのDG, kg | 1.03 | 0.01 | 1.05 | 1.02 | 0.11 | 0.01 | 0.620 | -0.822 | 0.53 | 1.24 | 0.71 | 107.1 | 104 |
| 受胎日齢, 日齢 | 409 | 8 | 379 | 337 | 90 | 8,046 | 3.840 | 1.831 | 487 | 789 | 302 | 46,647 | 114 |
| 受胎時体重, kg | 404 | 4 | 394 | 380 | 42 | 1,756 | 1.314 | 1.244 | 205 | 540 | 335 | 42,437 | 105 |
| 妊娠期DG, kg | 0.51 | 0.01 | 0.52 | 0.51 | 0.13 | 0.02 | 2.806 | -1.021 | 0.85 | 0.78 | -0.07 | 52.58 | 103 |
| 子牛体重, kg | 40.9 | 0.6 | 41.0 | 45.0 | 6.4 | 41.5 | 13.748 | -2.054 | 60.0 | 60.0 | 0.0 | 4,667.6 | 114 |
| 分娩時体重, kg | 549 | 4 | 546 | 521 | 40 | 1,591 | 0.059 | 0.362 | 212 | 664 | 452 | 62,032 | 113 |
| 分娩日齢, 日齢 | 691 | 8 | 664 | 685 | 89 | 7,998 | 3.906 | 1.825 | 489 | 1,075 | 586 | 80,126 | 116 |
| 305日乳量, kg | 7,360 | 113 | 7,372 | 7,383 | 1,217 | 1,481,105 | 0.468 | -0.058 | 6,891 | 10,853 | 3,962 | 853,765 | 116 |
| 乳脂量, kg | 293 | 4 | 288 | 345 | 48 | 2,309 | -0.105 | 0.192 | 244 | 421 | 177 | 33,995 | 116 |
| 乳蛋白質量, kg | 243 | 3 | 245 | 252 | 36 | 1,286 | 1.001 | 0.040 | 225 | 358 | 133 | 28,155 | 116 |
| SNF [†] 量, kg | 653 | 9 | 649 | 633 | 102 | 10,418 | 0.818 | 0.057 | 612 | 966 | 354 | 75,718 | 116 |

† SNF : solid not fat

表4.2 重回帰分析から得られた回帰式

| 項目 | 回帰式 |
|---------------------|---|
| 305日乳量 [†] | = 3,027.14 + (25.36 県1 -565.0 県2 -336.1 県3) + 11.93 受胎時体重 |
| 乳脂量 [‡] | = -1.82 + (23.24 県1 -6.42 県2 -15.95 県3) -88.98 妊娠期DG + 0.61 分娩時体重 |
| 乳蛋白質量 [§] | = 97.38 + (0.07 県1 -19.12 県2 -7.79 県3) + 0.40 受胎時体重 |
| SNF量 [¶] | = 262.92 + (-2.57 県1 -52.05 県2 -22.91 県3) + 1.07 受胎時体重 |

† 寄与率 18.0%, 部分寄与率: 県 8.1%, 受胎時体重 9.8%

‡ 寄与率 30.0%, 部分寄与率: 県 6.3%, 妊娠期DG 2.3%, 分娩時体重 21.4%

§ 寄与率 22.8%, 部分寄与率: 県 9.2%, 受胎時体重 13.7%

¶ 寄与率 20.7%, 部分寄与率: 県 8.7%, 受胎時体重 11.9%, SNF : solid not fat

県が選択された。回帰式全体の寄与率は18%で、部分寄与率は受胎時体重の効果が9.8%、県の効果が8.1%であった。受胎時体重の係数は11.93で、受胎時体重1kgの増加に伴い305日乳量が約12kg増加することが示唆された。乳脂量は、分娩時体重、県、および妊娠期DGが変数として選択された。回帰式全体の寄与率は30%で、部分寄与率は分娩時体重の効果が21.4%、県の効果が6.3%、妊娠期DGの効果が2.3%であった。乳蛋白質量とSNF量は305日乳量と同様に、受胎時体重と県が変数として選択された。乳蛋白質量については、回帰式の寄与率が23%で、部分寄与率は受胎時体重が13.7%、県が9.2%であった。SNF量は、回帰式全体の寄与率が21%で、部分寄与率は受胎時体重が11.9%、県が8.7%であった。

Beedeと Collier (1986), CarlssonとPehrson (1994), およびMooreら (1991) は、分娩時の体重が大きいほど乳量が多くなると報告しているが、本解析においては分娩時体重は変数として選択されていない。また、DGが高すぎると乳生産性を低下させるという報告 (Beede and Collier, 1986; Harrison

et al., 1983) もあるが、同様に育成期のDGも変数として選択されていない。本研究のような育成前期から初産泌乳期終了までの100頭以上のデータによる解析は、わが国では行われていない。そのため、育成期の管理条件の中で305日乳量に大きく影響を及ぼす要因は、現在まで明らかにされていなかったが、本解析により受胎時体重の影響が最も大きいことが明らかになった。また、乳蛋白質量とSNF量に関しても、受胎時体重が比較的強く関与していると考えられた。さらに、受胎時体重が大きいほど乳量が増加することが示唆された。

4.3.3 受胎時体重と増体速度の影響

305日乳量と乳成分量に影響を及ぼす要因としては、受胎時体重の寄与が比較的高かった。そのため、受胎時体重を補助変数とし、県と育成期の増体速度に差を設けた各処理区を要因とし、共分散分析により解析した。その結果を表4.3に示した。

305日乳量の寄与率は41.2%、乳脂量、乳蛋白質量、SNF量もそれぞれ40%前後の寄与が認められ、それ

ぞれ寄与率が重回帰分析に比べ高くなった。また、305日乳量に関しては、受胎時体重 ($P < 0.01$) と処理区 ($P < 0.01$) が、影響を及ぼすことが明らかになった。

乳脂量、乳蛋白質量については、受胎時の体重が有意 ($P < 0.01$) であったが、処理区については影響がなかった。SNF量は、受胎時の体重 ($P < 0.01$) と処理区 ($P < 0.05$) が影響を及ぼすことが明らかになった。

受胎時体重の係数は、305日乳量が7.994kgであったことから、受胎時体重1kgの増加に対し乳量が約8kg程度増加すること、すなわち受胎時体重が大きくなるほど乳量が増加することが示唆された。同様に、乳脂量では0.36kg、乳蛋白質量では0.30kg、そしてSNF量では0.74kgの増加効果が示唆された。

表4.4に各処理区の最小自乗平均値を示した。305日乳量は、MM区と慣行M区が8,000kg程度で差がなかった。また、MM区の乳量は、2008年度の牛群検定成績2年型の8,369kg (家畜改良事業団, 2009) に比べても同等の値であった。一方、HM区、HH区および慣行H区では7,000kg程度と乳量が低かった。これらのことから、受胎までのDGが0.97kg以下では、乳生

産性に影響を及ぼさないことが明らかになった。また、高増体区のDGが1.03~1.07kgであったため、DG1.03kgを超えると乳量が低くなる可能性が考えられた。SNF量については、MM区と慣行M区に差は認められなかったが、MM区は高増体区に比べ高かった。

以上より、受胎までのDGは上限がMM区の0.97kg程度までの範囲であれば乳量の低下が見られず、DGが1.03kgを超えると乳量低下につながるものと考えられた。さらに、受胎時体重が増大することにより305日乳量と各乳成分が増加することが明らかになった。すなわち、乳量と乳成分を高めながら初産分娩月齢を早期化するためには、受胎時の体重を高めることが重要である。わが国における育成管理は初産分娩月齢が目標とされてきたが、育成管理の改善を図るために新たに受胎時体重も評価すべきである。

4.3.4 初産分娩21ヵ月齢における乳生産性を高める発育曲線

育成期間を短縮しても分娩時の体重を意識して受胎後の管理を適切に行えば、安全な分娩が可能であることが示されている (ARC, 1980; Collier *et*

表4.3 受胎時体重を補助変数とし県と試験区を処理因子とした共分散分析の結果

| | 自由度 | 平方和 | | | |
|----------------|-----|---------------|-----------|-----------|--------------------|
| | | 305日乳量 | 乳脂量 | 乳蛋白質量 | SNF [†] 量 |
| 受胎時体重 | 1 | 9,498,403 ** | 18,858 ** | 13,621 ** | 82,160 ** |
| 県 | 6 | 34,305,551 ** | 51,008 ** | 24,605 ** | 231,833 ** |
| 処理区 | 4 | 15,494,492 ** | 12,869 NS | 7,557 NS | 91,307 * |
| 誤差 | 93 | 96,908,043 | 131,929 | 86,651 | 676,501 |
| 受胎時体重 係数 | | 7.994 | 0.356 | 0.303 | 0.743 |
| R ² | | 0.412 | 0.403 | 0.377 | 0.410 |

NS : not significant, * : $P < 0.05$, ** : $P < 0.01$

R² : 寄与率

† SNF : solid not fat

表4.4 各処理区における乳生産性と受胎までのDG

| | 単位 | MM区 | HM区 | HH区 | 慣行H区 | 慣行M区 |
|----------------------|----|---------------------------|---------------------------|---------------------------|--------------------------|---------------------------|
| 305日乳量 | kg | 8,122 ± 344 ^a | 6,924 ± 399 ^{bc} | 7,217 ± 257 ^{bc} | 6,953 ± 147 ^c | 7,850 ± 297 ^{ab} |
| 乳脂量 | kg | 307 ± 13 | 277 ± 15 | 282 ± 9 | 277 ± 5 | 305 ± 11 |
| 乳蛋白質量 | kg | 262 ± 10 | 224 ± 12 | 233 ± 8 | 235 ± 4 | 247 ± 9 |
| SNF [†] 量 | kg | 711 ± 29 ^a | 608 ± 33 ^{cd} | 640 ± 22 ^{bd} | 622 ± 12 ^d | 688 ± 25 ^{abc} |
| 受胎までのDG [‡] | kg | 0.97 ± 0.03 ^{bc} | 1.06 ± 0.03 ^a | 1.03 ± 0.02 ^{ab} | 1.07 ± 0.01 ^a | 0.86 ± 0.02 ^d |

LSM ± SE

abcd : $P < 0.05$

† SNF : solid not fat

‡ DG : daily gain

al., 1982; Gardner, 1977)。そこで本研究の結果から、21ヵ月齢の初産分娩を基準に、子牛の出生から初産分娩までの発育について考察した。生体機能の向上による90日齢までの発育促進を検討したHasunumaら (2011) の報告において、セロオリゴ糖給与区が90日齢で116.3kgであったため、発育促進の起点となる3ヵ月齢の体重を116kgと仮定した。

3ヵ月齢から受胎までの期間は、目標である分娩月齢21ヵ月齢から妊娠期間280日と育成開始までの3ヵ月齢を引いた267日間となる。その期間をDG0.97kgで育成した場合、259kgの増体が得られると想定できる。これまでの結論から、MM区以上のDGであると乳量が減少する可能性があるため受胎時の体重の最大値は、3ヵ月齢の116kgと3ヵ月齢から受胎までの増体量の259kgを足した375kgと考えられる。受胎時体重に関しては、Sakaguchiら (2005) が、受胎時で370kg程度の体重があれば、AI開始を12ヵ月齢に早めても乳生産性に影響しないと報告している。これは、本解析から導き出された受胎時体重に近い値であり、本研究の妥当性を支持するものと考えられる。また、本解析の受胎時体重が1kg増加する毎に305日乳量が7.994kg増加するという結果から、体重350kgの受胎に比べ375kg時点の受胎では200kg乳量が増加すると想定される。

分娩時の体重については、MM区、HM区、およびHHI区の試験牛は分娩事故が少なく比較的 안전한分娩であったことから、それらの平均である544kg程度が必要であると考えられる。これらの処理区における分娩後の体重と分娩1週前体重の回帰式を図4.1に示した。この回帰式に分娩時の体重544kgをあてはめた場合、目標となる分娩1週前の体重は606kg程度必要であると考えられる。受胎時の体重375kgから分娩1週前の目標体重606kgに到達するためには、妊娠期間の増体はDG0.85kgを確保する必要がある。

以上から、図4.2に初産分娩月齢の目標を21ヵ月齢とした場合の乳生産性を最大限に高める発育曲線を示した。従来からAI適期までの発育速度の限界は明らかにされていないため、日本飼養標準 (2007) では海外の報告を中心に引用してDG0.95kg程度に留めることが安全とされている。前述したが、わが国において本研究のような100頭を超える乳牛のデータを用いて解析した研究はこれまでにない。さらに、本研究は近年の能力向上が図られた乳牛を供試牛としているため、現在の酪農の実情に即している結果と考えられる。本解析により受胎まで

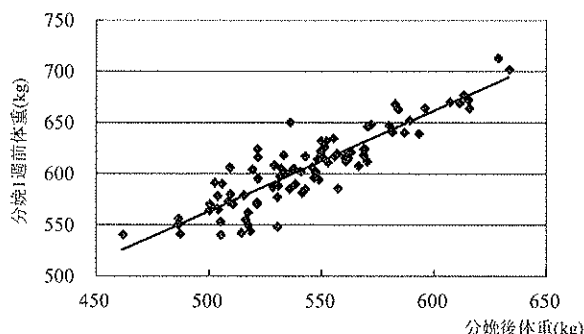


図4.1 分娩1週前体重と分娩後体重の回帰直線
回帰式 : $y = 0.9825x + 71.806$ ($R^2 = 0.7988$)

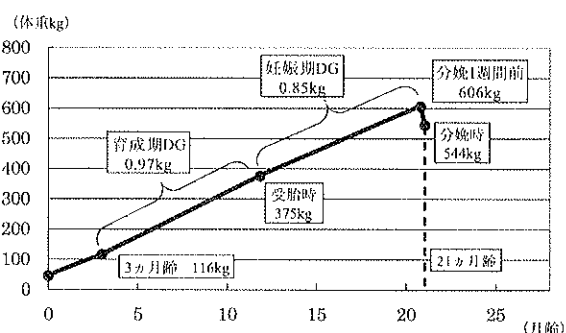


図4.2 21ヵ月齢の初産分娩を目標とした乳生産性を最大に高める発育曲線

の増体速度がDG0.97kgであれば初産305日乳量に影響を及ぼさないことが明らかになった。しかし、この増体速度で発育させた場合、わが国のホルスタイン種の発育基準とされている社団法人日本ホルスタイン登録協会における標準発育値の上限を大きく上回る事となる。したがって、日本飼養標準においてもわが国の育成管理の効率化を図るために、受胎までの増体速度を再検討することが必要と考える。また、日本飼養標準 (2007) における初産のためのAI開始基準は、体重が350kgで体高が125cmとされている。しかし、この点については基準に達しない受胎は分娩事故あるいは分娩後の乳生産性の低下を招く (Hoffman, 1997) という早い段階の受胎によるマイナス面から設定されている。本研究は、その基準に加えて乳生産性を最大に高めるための受胎時の目標体重を設定することを提示する結果である。

4.4 要約

第2章、第3章の35頭のデータ、さらに、茨城県、

千葉県、富山県、神奈川県、愛知県、石川県、および長野県で生産されたホルスタイン種を受胎まで増体速度をDG1.0kgを目標に育成されたグループ（慣行H区）55頭と、一般的な飼養管理で育成されたグループ（慣行M区）31頭のデータを加えて、初産分娩月齢早期化を目指す飼養管理における育成期の諸要因が初産泌乳成績に及ぼす影響を検討した。

産乳への寄与が考えられる要因をリストアップし、寄与が高い要因を抽出するため、変数増減法による重回帰分析を行った。その結果、乳量および乳成分量に関して寄与の高い要因は、県と受胎時体重であった。重回帰分析の結果を受け、受胎時体重を補助変数とし、県および試験区を処理因子とする共分散分析を行った。その結果305日乳量に関しては、受胎時体重と処理区が有意な要因であることが明らかになった。受胎時体重 ($P<0.01$) は各乳成分量についても影響を及ぼした。一方、処理区はSNF

量 ($P<0.05$) のみに影響することが明らかになった。また、受胎時体重1kgの増加は乳量8kg程度の増加効果を示した。305日乳量は、MM区と慣行M区が8,000kg程度で差がなかった。一方、HM区、HH区および慣行H区では7,000kg程度と乳量が低かったため、受胎までのDGが0.97kg以下では、乳生産性に影響を及ぼさないことが明らかになった。また、高増体区のDGが1.03~1.07kgであったため、DG1.03kgを超えると乳量が低くなる可能性が考えられた。これらの結果を基に出生から21ヵ月齢の初産分娩までの発育曲線を考察し、受胎までのDGは0.97kg、受胎時の体重は375kg、および分娩1週前の体重は606kgとすることが、育成管理の効率化、安全な分娩の実現、さらに乳生産性を最大に高められる発育曲線と考えられた。

第5章 総括

酪農業はわが国の食生活を支えている重要な産業と位置づけられており、乳牛の飼養頭数は若干の減少傾向にあるが、酪農家の1戸当たりの飼養頭数は増加している（農林水産省大臣官房統計部, 2010b）。しかし、経営所得は向上していないため、効率的な飼養管理による生産コストの削減が必要である。飼養管理技術の効率化は各経営で様々であるが、全ての経営に共通するものとして、後継牛の安定的な確保と効率的な育成があげられる。未経産牛の飼養割合は、全飼養頭数の35.1%を占めているが（農林水産省大臣官房統計部, 2010b）、一時的な副産物収入を目的とした交雑種生産の増加により、後継牛の確保は導入に依存する傾向が進んでいる。その結果として初妊牛価格が高騰し、経営をさらに圧迫する状況となっている。

わが国におけるホルスタイン種の2008年の305日乳量は、牛群検定参加農家において9,147kgで、約20年前の1986年から約2,000kg増加している（家畜改良事業団, 2009）。一方、わが国の初産分娩月齢は、24ヵ月齢を目標としているが（農林水産省生産局畜産部畜産企画課, 2010）、2000年以前は27ヵ月齢前後で推移してきた。近年になって初産分娩月齢は若干短縮されているが、2008年における初産分娩月齢は25.6ヵ月で、泌乳能力の向上に対し初産分娩

月齢は改善されていない（家畜改良事業団, 1987; 同, 1994; 同, 2009）。初産分娩月齢の遅延は、更新のために必要な育成牛の保有頭数の増加を招くことになるため、初産分娩月齢の早期化が必要になっている。初産分娩月齢を早期化することにより更新牛の保有頭数を減少させ（Collier *et al.*, 1982）、総飼料摂取量の低減と施設の利用効率改善が期待され、酪農経営の安定化につながるものと考えられる。

初産分娩月齢を早期化するためには、乳牛の妊娠期間が280日間と一定である点とAI開始適期が体重350kgを超えた時点であるという点（Beede and Collier, 1986; Bertics, 1992）から、育成期間の増体速度を高めてAI開始時期を早める必要がある。初産分娩月齢の早期化に関する試験では、育成期間のDGを1.0kgに高めても、飼料中のCP含量を増加することにより乳生産性に悪影響を及ぼさずに21ヵ月齢程度での初産分娩が可能と報告されている（Collier *et al.*, 1982; Gardner *et al.*, 1977, 長谷川ら, 1995; 野中ら, 1998; Van Amburgh *et al.*, 1998）。

育成期の発育に関しては、春機発動までの高いDGは体高に影響を及ぼさなかったという報告（Waldo *et al.*, 1998）と、DGが高いほど十字部高が低いという報告もあり（Van Amburgh *et al.*, 1998）、増体速度の違いが体格を始めとした発育成績に及ぼす影

響は明らかになっていない。育成期の増体速度と乳生産性の関係については、育成期の高増体が乳腺や乳生産性に悪影響を及ぼすと報告 (Harrison *et al.*, 1983; Beede and Collier, 1986) されている一方で、初発情前の高いDGは初産乳量に影響しないと報告も多い (長谷川ら, 1995; Van Amburgh *et al.*, 1998; Waldo *et al.*, 1998; Macdonald *et al.*, 2005)。また、給与飼料中のCP含量を高めることにより高エネルギー飼料で増体速度を高めても乳腺への影響が緩和されることが報告されている (Bush and Staley, 1980; Butler and Smith, 1996; Butler *et al.*, 1996)。

そこで本研究は、乳用育成牛の飼養管理の改善に資するため、21ヵ月齢の初産分娩月齢を目指す高増体育成が乳牛の発育成績と初産乳生産性に及ぼす影響について検証した。

第2章では、3ヵ月齢から体重350kgまでの期間を対象に、24ヵ月の分娩を想定してDG0.75kgの標準増体を設定した区と、発育速度をDG1.0kgに高めて飼料中のCPを標準的な水準である14%と高水準である16%に設定した2区の計3処理区において、発育速度とCP水準が育成成績に及ぼす影響について検討した。実際のDGは標準増体区が0.97kg、高増体区が1.1kg前後を示し、それぞれ目標DGを上回ったが、これは本研究の飼料設計で用いた日本飼養標準 (1999) が7%の安全率を加味しており、その分のエネルギーが過剰になったためと推察された。また、DG0.97kgとDG1.1kgで発育させた牛の体格に差がなく、体重350kgまでの発育速度をDG1.1kgまで高めても、DG0.97kgと同程度の発育であることが明らかになった。さらに、DG1.1kgで発育させた時のCP水準の違いでは350kg到達時の体格に差が認められず、CPの増給は体格に影響しないことが明らかになった。CP16%の飼料を給与してもCP摂取量当たりの体重増加量がCP14%の給与に比べ少なく、かつBUN濃度が高かったため、DG1.1kgにおけるCP水準は14%程度で飼養するのが適正であると推察された。

第3章では、第2章の供試牛を用い、育成時の増体速度とCP水準が繁殖性と乳生産性に及ぼす影響について検討した。初回AI日齢は高増体区が標準増体区に比べ約35日間早まった ($P < 0.05$) ことにより、受胎日齢も早まり、高増体区は21~22ヵ月前後で初産分娩を迎えた。また、高増体区と標準増体区の分娩難易度に差がなかったことから、初産分娩月齢を21ヵ月齢に早めても正常な分娩が可能であることが

示唆された。305日乳量に関しては高増体区が標準増体区に比べ1,500~2,500kg低かった。これについては、高エネルギー飼料の給与は、乳腺実質内および外脂肪が増加して乳腺実質重量が低下するという報告 (Swanson, 1960; Sejrson *et al.*, 1982; Rincher *et al.*, 2008) があることから、高増体区における乳量低下における要因の一つとして考えられた。したがって、育成期の増体速度によって初産時の乳生産性を低下させないためには、AI適期までの期間はDG0.97kg程度に制限するべきと考えられた。一方、育成期間のDGを1.0kg以上に高めた場合、飼料中のCP含量を高めることにより乳生産性に悪影響を及ぼさず21ヵ月齢程度での初産分娩が可能という報告 (Gardner *et al.*, 1977; Collier *et al.*, 1982; 長谷川ら, 1995; 野中ら, 1998) が示されているが、本研究での高CP水準は乳生産性の低下を抑制しなかった。これらのことから、乳量を減少させずに21ヵ月齢で初産分娩を迎えるためには、AI適期までの発育速度を前述したDGの0.97kg以下、CPは14%程度で飼養するのが適正であると推察された。なお、乳成分については、Hoffmanら (1996) や、Lammersら (1999) の報告と結果が異なり、高増体育成が乳成分に及ぼす影響については、一定の傾向が認められなかった。

第2章と第3章でAI適期の体重350kgまでのDGは0.97kg以下が望ましいという結論を得たが、初産分娩月齢の早期化において育成期の増体速度が初産乳生産に最も影響を及ぼす要因なのか明らかになっていない。そのため、第4章では初産分娩月齢を短縮し、かつ初産時の乳生産性を高めるために育成牛のデータを広く集め、初産分娩月齢の早期化における乳生産性に影響を及ぼす育成管理要因について解析と考察を行った。まず、産乳への寄与が考えられる要因をリストアップし、寄与が高い要因を抽出するため、変数増減法による重回帰分析により解析した結果、乳量と乳成分量へ寄与の高い要因は、県と受胎時体重であった。この結果を受け、受胎時体重を補助変数とし、県および試験区を処理因子とする共分散分析で解析した。その結果305日乳量に関しては、受胎時体重と処理区が有意な要因であることが明らかになった。受胎時体重 ($P < 0.01$) は各乳成分量についても影響を及ぼした。一方、処理区はSNF量のみに影響を及ぼす ($P < 0.05$) ことが明らかになった。これらの解析結果から、受胎時体重が1kg増加すると、乳量が8kg程度増加するということが示さ

れた。各処理区の最小自乗平均値を比較すると、標準増体区が慣行管理牛の乳量と同程度であったことから、受胎までのDGが標準増体区の0.97kg以下の場合、乳生産性に影響を及ぼさないことが明らかになった。一方、高増体区の乳量は標準増体区に比べ有意 ($P < 0.05$) に低く、各高増体区における受胎までのDGの最少自乗平均値が1.03~1.07kgであったことから、DG1.03kgを超えると乳量が低くなる可能性が考えられた。以上から、受胎までのDGは0.97kg程度とすべきであり、1.03kgを超えると乳量が低下すると推察された。また、受胎時体重が大きいほど乳量が増加することが明らかになった。

さらに、第4章ではこれまでの結果をまとめ、21ヵ月齢の初産分娩における乳生産性を高めるための出生から分娩までの発育について検討した。第4章の結論から3ヵ月齢から受胎まではDG0.97kgで発育させ、3ヵ月齢時の体重116kgと受胎までの増体量259kgを合わせた受胎時体重375kgが最大と推察された。第4章の受胎時体重が大きいほど乳量が増加するという結論と受胎時体重が1kg増加する毎に305日乳量が7.994kg増加するという結論から、体重350kgに比べ375kgの受胎は、初産乳量が200kg増加することが期待できる。受胎から分娩までの妊娠期間280日間は、DG0.85kgで増体させ、安全な分娩が期待できる分娩1週間前の体重606kgを目指す。これが、21ヵ月齢で安全に分娩でき、かつ初産乳生産性を最大に高められる発育曲線である。

日本飼養標準(2007)では、AI適期までの発育速度の限界は明らかにされていないため、DG0.95kg程度に留めることが安全とされている。わが国において本研究のような100頭を超える乳牛のデータを用いて解析した研究は、今まで行われていない。さらに、本研究では近年の能力向上が図られた乳牛を供試牛としており、かつ初産泌乳期の305日間の実乳量をデータとして用いているため、わが国の現在の酪農の実情に即している。本研究によりDG0.97kgまでは初産305日乳量に影響せず安全であることが明らかになったが、これはわが国のホルスタイン種育成牛の発育の基準とされている社団法人日本ホルスタイン登録協会における標準発育値の範囲の上限を超えているため、AI適期までの増体速度を再検討するきっかけになるデータとも言える。また、日本飼養標準(2007)における初産のためのAIの開始基準は体重が350kgで体高が125cmとされているが、これは基準に達しない受胎は分娩事故あるいは分娩後の

乳生産性の低下を招く(Hoffman, 1997)というマイナス面から設定されている。今後は、その基準に加え初産時の乳生産性を高めるために受胎の目標体重を設定することを提案していく必要がある。

本研究は21ヵ月齢での早期分娩の可能性を育成期のDGとCP水準から検討したものであり、適正な栄養レベルと初産時の乳生産性を考慮した結果を示した。また、新たな指標として受胎時体重の重要性も提示しており、今後の栄養研究ならびに日本飼養標準等に多大なインパクトを及ぼす知見と言える。

これらの内容はわが国の酪農経営の安定化にも寄与すると考えられる。

引用文献

- Abeni F, Calamari L, Stefanini L, Pirlo G. 2000. Effects of daily gain in pre- and postpubertal replacement dairy heifers on body condition score, body size, metabolic profile, and future milk production. *Journal of Dairy Science* 83, 1468-1478.
- 足立憲隆, 鈴木和明, 笠井勝美, 廣木政昭, 武田正寛, 木船厚恭, 生方順亮, 土屋友充, 長谷川鬼子男, 富田道則, 福島毅, 稲葉満, 武井一男, 酒井喜義, 吉井邦雄, 小塩静夫, 東井滋能, 藤野日出海, 森下賀之, 栗原昭広, 入江明夫, 野中敏道, 圓山繁, 中島宣好, 大山政勝. 1997. 乳牛の分娩前後の飼養法に関する研究(飼料給与法の改善による高品質乳の生産と繁殖性に関する研究). *茨城県畜産試験場研究報告* 25, 1-55.
- 足立憲隆, 宇田三男, 小林宏子, 阿部正彦, 富田道則, 稲葉満, 林登, 藤井清和, 瀬尾哲則, 野中敏道, 清水正裕, 野中最子, 寺田文典. 2003. ルーメンバイパスメチオニン製剤の利用による乳生産の効率化と窒素排泄量の低減. *日本畜産学会報* 74, 397-405.
- Agricultural Research Council (ARC). 1980. The nutrient requirements of ruminant livestock. A. R. C. London.
- Bagg JG, Grieve DG, Burton JH, Stone JB. 1985. Effect of protein on growth of Holstein heifer calves from 2 to 10 months. *Journal of Dairy Science* 68, 2929-2939.
- Beede DK, Collier RJ. 1986. Potential

- Nutritional strategies for intensively managed cattle during thermal stress. *Journal of Animal Science* 62, 543-554.
- Berger PJ. 1994. Genetic prediction for calving ease in the United States: data, models, and use by the dairy industry. *Journal of Dairy Science* 77, 1146-1153.
- 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.
- Bortone EJ, Morrill JL, Stevenson JS. 1994. Growth of heifers fed 100 or 115% of National Research Council Requirements to 1 year of age and then changed to another treatment. *Journal of Dairy Science* 77, 270-277.
- Broderick GA, Clayton MK. 1997. A statistical evaluation of animal and nutritional factors influencing concentrations of milk urea nitrogen. *Journal of Dairy Science* 80, 2964-2971.
- Bush LJ, Staley TE. 1980. Absorption of colostral immunoglobulins in newborn calves. *Journal of Dairy Science* 63, 672-680.
- Butler WR, Smith RD. 1989. Interrelationships between energy balance and postpartum reproductive function in dairy cattle. *Journal of Dairy Science* 72, 767-783.
- Butler WR, Calaman JJ, Beam SW. 1996. Plasma and milk urea nitrogen in relation to pregnancy rate in lactating dairy cattle. *Journal of Animal Science* 74, 858-865.
- Carlsson J, Pehrson B. 1994. The influence of the dietary balance between energy and protein on milk urea concentration. Experimental trials assessed by two different protein evaluation systems. *Acta Veterinaria Scandinavica* 35, 193-205.
- 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, 2213-2227.
- 藤城清司, 新城恒二, 玉江俊嗣, 石崎重信, 杉本裕, 三井安麿, 細谷肇, 斉藤李彦, 関口博, 山本藤生, 川手日出子, 坂寄康夫, 後藤幸雄, 本沢延介, 田崎 稔, 杉本宏之, 桜井和己, 仲沢太一, 興水佳哉, 小柴哲也, 苔米地達生, 須藤平次郎, 斉藤友喜, 石田豊, 吉田宮雄, 井出忠彦, 三井一平, 中田基家, 杉浦了, 高橋昭彦, 川村悌志, 加藤泰之, 板橋久雄, 小林剛, 松本光人, 竹中昭雄, 柴田正貴, 寺田文典, 阿部亮, 梶川博, 針生程吉, 上家哲. 1991. 乳牛における繊維澱粉質飼料の効率的給与技術の確立に関する研究. *千葉県畜産センター特別研究報告* 2, 1-106.
- Gabler MT, Heinrichs AJ. 2003. Dietary protein to metabolizable energy ratios on feed efficiency and structural growth of prepubertal Holstein heifers. *Journal of Dairy Science* 86, 268-274.
- Gardner RW, Schuh JD, Vargus LG. 1977. Accelerated growth and early breeding of Holstein heifers. *Journal of Animal Science* 60, 1941-1948.
- Hall JB, Staigmiller RB, Bellows RA, Short RE, Mosely WM, Bellows SE. 1995. Body composition and metabolic profiles associated with puberty in beef heifers. *Journal of Animal Science* 73, 3409-3420.
- Harrison RD, Reynolds IP, Little W. 1983. A quantitative analysis of mammary glands of dairy heifers reared at different rates of live weight gain. *Journal of Dairy Research* 50, 405-412.
- 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.
- Hasunuma T, Kawashima K, Nakayama H, Murakami T, Kanagawa H, Ishii T, Akiyama K, Yasuda K, Terada F, Kushibiki S. 2011. Effect of cellooligosaccharide or synbiotic feeding on growth performance, fecal condition, and hormone concentrations in Holstein calves. *Animal Science Journal* 82, 543-548.
- 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. 1997. Optimum body size of Holstein replacement heifers. *Journal of Animal Science* 75, 836-845.
- 井上和幸. 1986. アミノ酸の代謝. 小泉巖, 小原甚三, 大木与志雄 編, *獣医生理化学*, pp. 191-205. 文永堂, 東京.
- Ishii T, Kawashima K, Oribe H, Ueda H, Hasunuma T, Akiyama K, Nakayama H, Kurihara M, Terada F, Kushibiki S. 2011. Effects 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.
- 川端幸蔵. 1978. 特別な重回帰. 応用統計ハンドブック編集委員会編, *応用統計ハンドブック*, pp. 144-149. 養賢堂, 東京.
- Kertz AF, Prewitt LR, Baillam JM. 1987. Increased weight gain and effects on growth parameters of Holstein heifer calves from 3 to 12 months of age. *Journal of Dairy Science* 70, 1612-1622.
- 楠原徹, 足立憲隆, 宇田三男, 小林宏子, 小堤知行, 阿部正彦, 壁谷昌彦, 籠橋太史, 富田道則, 島崎香, 山上善久, 芹澤正文, 加藤雅通, 秋元俊二, 林登, 吉村義久, 野垣琢哉, 岩間仁志, 藤井清和, 谷口和紀, 塩崎達也, 妻由道明, 野中敏道, 猪野敬一郎, 稲田司, 森崎征夫, 清島和生, 清水正祐, 新宅敏博, 寺田文典, 野中最子, 松本光人, 田辺忍. 2002. 乳牛の分娩前後の飼養法に関する研究 (移行期の栄養水準が産乳と繁殖に及ぼす影響). *茨城県畜産センター研究報告* 36, 1-56.
- Lammers BP, Heinrichs AJ, Kensing 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.
- Macdonald KA, Penno JW, Bryant AM, Roche JR. 2005. Effect of feeding level pre- and post-puberty and body weight at first calving on growth, milk production, and fertility in grazing dairy cows. *Journal of Dairy Science* 88, 3363-3375.
- Moore RK, Kennedy BW, Schaeffer LR, Moxley JE. 1991. Relationships between age and body weight at calving and production in first lactation Ayrshires and Holstein. *Journal of Dairy Science* 75, 269-278.
- 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.
- 野中敏道, 圓山繁, 関俊彦. 1998. 高エネルギー・高蛋白混合飼料 (TMR) による乳用子牛の早期育成技術. *熊本県農業研究センター研究報告* 7, 46-54.
- 農林水産省大臣官房食料安全保障課. 2010. 平成21年度食料需給表 (確定値). 東京. URL: <http://www.maff.go.jp/j/zyukyu/fbs/pdf/fbs-fy21d.pdf>
- 農林水産省大臣官房統計部. 2010a. 農林水産統計. 東京. URL: http://www.maff.go.jp/j/tokei/kouhyou/nougyou_sansyutu/pdf/sansyutu_gaisan_2009.pdf
- 農林水産省大臣官房統計部. 2010b. 農林水産統計. 東京. URL: http://www.maff.go.jp/j/tokei/kouhyou/tikusan/pdf/tikusan_10.pdf
- 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). 社団法人中央畜産会, 東京.
- 農林水産省農林水産技術会議事務局編. 2007. 日本飼養標準・乳牛 (2006年版). 社団法人中央畜産会, 東京.
- 農林水産省生産局畜産部畜産企画課. 2010. 家畜改良増殖目標. 農林水産省. 東京. URL: http://www.maff.go.jp/j/chikusan/kikaku/lin/i_hosin/pdf/h2207_katiku_mokuhyo.pdf.

- 岡本昌三. 1979. ホルスタイン種雌子牛の育成時における栄養水準と生産性. *農林水産技術会議研究成果* 119, 159-179.
- Pirlo G, Capelletti M, Marchetto G. 1997. Effects of energy and protein allowances in the diets of prepubertal heifers on growth and milk production. *Journal of Dairy Science* 80, 730-739.
- Radcliff RP, Vandehaar MJ, Skidmore AL, Chapin LT, Radke BR, Lloyd JW, Stanisiewski EP, Tucker HA. 1997. Effects of diet and bovine somatotropin on heifer growth and mammary development. *Journal of Dairy Science* 80, 1996-2003.
- Rincher LED, Nielsen MSW, Chapin LT, Liesman JS, Daniels KM, Akers RM, Vandehaar. 2008. Effects of feeding prepubertal heifers a high-energy diet for three, six, or twelve weeks on mammary growth and composition. *Journal of Dairy Science* 91, 1926-1935.
- Sakaguchi M, Suzuki T, Sasamoto Y, Takahashi Y, Nishiura A, Aoki M. 2005. Effects of first breeding age on the production and reproduction of Holstein heifers up to the third lactation. *Animal Science Journal* 76, 419-426.
- SAS インスティテュート ジャパン. 1991. SAS Training 回帰分析コース, pp. 27-37. SAS インスティテュート ジャパン. 東京.
- Sejrsen K, Huber JT, Tucker HA, Akers RM. 1982. Influence of nutrition on mammary development in pre- and postpubertal heifers. *Journal of Dairy Science* 65, 793-800.
- 関誠, 木村容子, 砂長伸司, 室井章一, 古賀照章, 石崎重信, 斉藤公一, 清水景子, 加藤泰之, 内田哲二, 寺田文典. 2000. 製造副産物等を利用したTMRの給与が泌乳初期乳生産に及ぼす影響. *栄養生理研究会報* 44(2), 141-154.
- 社団法人家畜人工授精師協会. 2011. 乳用牛への黒毛和種の交配状況について. *家畜人工授精* 263, 39-41.
- 社団法人家畜改良事業団. 1987. 乳用牛群能力検定成績のまとめ (昭和61年度). 東京.
- 社団法人家畜改良事業団. 1994. 乳用牛群能力検定成績のまとめ (平成5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20年度). 東京.
- Statistical Analysis System (SAS). 1988. SAS/STAT User's Guide. Version 6.03 edn. SAS Institute Inc., Cary, NC.
- Swanson EW. 1960. Effect of rapid growth with fattening of dairy heifers on their lactational ability. *Journal of Dairy Science* 43, 377-387.
- 高橋行雄, 大橋靖雄, 芳賀敏郎. 1989. LSMEANSステートメント. 竹内啓編, *SASによる実験データの解析*, pp. 49-53. 東京大学出版会, 東京.
- 寺田文典. 2006. 高泌乳牛に対応した栄養管理. 小原嘉昭編, *ルミノロジーの基礎と応用*, pp. 56-77. 社団法人農山漁村文化協会, 東京.
- Van Anburgh 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.
- Waldo DR, Capuco AV, Rexroad CE Jr. 1998. Milk production of Holstein heifers fed either alfalfa or corn silage diets at two rates of daily gain. *Journal of Dairy Science* 81, 756-764.
- 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.
- Wood PDP. 1967. Algebraic model of the lactation curve in cattle. *Nature* 216, 164-165. London.
- 吉田実. 1982. 共分散分析. 吉田実, 阿部猛夫監修, *畜産における統計的方法*, pp. 217-247. 社団法人中央畜産会. 東京.
- Zanton GI, Heinrichs AJ. 2008. Analysis of nitrogen utilization and excretion in growing dairy cattle. *Journal of Dairy Science* 91, 1519-1533.

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楢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。

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、石川県畜産総合センター織部治夫氏、元同センター金川博行氏、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、蓮沼俊哉博士、神奈川県農業技術センター秋山清氏、元同センター荒木尚登氏、久末修司氏、元愛知県農業総合試験場中山博文氏、原田英雄氏、浅田尚登氏、元長野県畜産試験場久保田和広氏、海内裕和氏ら乳牛育成協定県との共同研究であり、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。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。