

妊娠末期における乳牛のガス代謝と 血液組成の変化について

橋爪徳三・関口英雄・藤田 裕・松岡 栄

(帯広畜産大学家畜栄養学教室)

1976年8月28日受理

Some Aspects of Changes in Gas-Metabolism and Blood Constituents of Dairy Cattle during Late Pregnancy

Tokuzo HASHIZUME*, Hideo SEKIGUCHI*, Hiroshi FUJITA* and Sakae MATSUOKA*

緒 言

高泌乳時における乳牛のエネルギー利用の様相については FLATT ら¹⁰⁾により初めて明らかにされたが、その後 SCHIEMANN ら³²⁾によれば、十分な飼料を与えたにもかかわらず、エネルギーの出納が蓄積にさしかかるのは分娩後 41~50 日以降で、平均 45 日間は損失を示し、その後蓄積に転じたが、分娩後 106 日までに泌乳初期の総損失量の約 60% を回復したにすぎなかったとしている。小野²⁷⁾は熱量不足による副腎皮質の異常が卵胞膿腫に結びついていることを明らかにし、また OSINGA²³⁾ は非定型の乳熱を、ROSENBERGER³¹⁾ は起立不能症の急増を報告するなど、妊娠末期から泌乳初期における飼養に関連して現場からも多くの問題が提起されている。

乳牛は分娩前までに体力を十分に回復し適度の蓄積養分をもっていることが大切である。従来飼養標準では養分量が多く示されていた。しかし最近の標準では諸成績²⁹⁾をもとにして、胎児の発育に必要なものを考え、この期間の母牛への養分蓄積については考えていない。このため日本飼養標準²³⁾においても従来の数値よりも低い値で示されている。

妊娠の進行にともなって胎児とそれに関連した付属物は指数関数的に増大し^{2,22)}、胎児は 5 カ月ごろから次第に大きくなり 7 カ月以降になると急に成長する。これにともない母体の負担が一層大きくなることは当然考えられる。妊娠の進行にともないとくに妊娠末期には熱発生量は著しく増加することはエネルギー出納試験において VAN ES³³⁾、橋爪ら¹⁶⁾、FLATT ら¹¹⁾などにより報ぜられ、またマスク法による安静時の代謝を基にして BRODY ら⁵⁾、橋爪ら¹⁴⁾は報

* Laboratory of Animal Nutrition, Obihiro University of Agr. and Vet. Med., Obihiro, Hokkaido, Japan.

じている。

最近 HENSELER ら¹⁹⁾は乾乳妊娠期間 (60 日) におけるエネルギー出納試験より、母体、乳腺、胎児等の各部への蓄積割合を示し、熱発生量の増加および血液成分の変化を報告し、また分娩直前の時期には母体そのものはエネルギーの損失を示していることを明らかにした。また BOWDEN²⁾、DAVISE²⁾ は妊娠末期において供給されるエネルギー量の適否を判定する基準として、エネルギー代謝に直接に関連する血液成分である血糖、ケトン体、血中非エステル型脂肪酸 (Non-esterified fatty acid, 以下 NEFA と略す) の水準を用いることの可能性を綿羊を用いて報告している。家畜においてこれらの血液成分とエネルギー摂取量の関係についての報告は少ないが、これらの基準は牛においても有用であるといわれている⁴⁾。NEFA の代謝回転はきわめて速く、血漿中の NEFA のレベルは種々の条件下で変動しやすいが、NEFA の含量は一般に蓄積脂肪の移動割合の変化を反映するといわれ、その生理的意義に関心がむけられている。

著者らは新しい日本飼養標準にしたがい、妊娠末期にある乳牛を飼養し、マスク法による呼吸試験を一般牛舎の飼養条件下で行い、安静時における熱発生量、心肺機能の変化を測定した。また妊娠の進行にともなう血液成分とくに NEFA の変化を測定することにより、エネルギー摂取量の適否と、体脂肪利用の推移の関係について検討しようとした。

I. 実験方法

1. 供試動物

供試牛は、妊娠中のホルスタイン種未経産牛 2 頭および経産牛 4 頭を用いた。未経産牛は妊娠日数 130 日前後より供用し、また経産牛は乾乳後 (妊娠日数 216~230 日) より分娩直前まで供用した。供試牛の経歴等と分娩成績は Table 1 のようである。

Table 1 Records on cattle during experimental period

Cattle No.	Birth date	Number of calvings	At time started			At time calved			Daily gain between time started and just before time calved		Body weight decrease 2-8 days after calving (kg)
			Date	Days after conception	Body weight (kg)	Date	Days after conception	Birth weight (kg)	Sex	(kg)	
1	Oct. 28, 1972	0	June 4, 1975	122	549	Oct. 28, 1975	271	33.7	♀	1.04 (220→266)*	71
2	July 21, 1973	0	June 4	138	535	Oct. 18	276	38.8	♀	1.31 (220→275)*	79
3	Sept. 17, 1971	2	Sept. 12	225	637	Nov. 15	289	46.0	♂	1.55 (222→285)	70
4	Oct. 7, 1971	1	Aug. 14	216	660	Oct. 16	280	47.2	♀	0.25 (216→277)	88
5	Jan. 31, 1972	1	June 19	226	585	Aug. 6	278	46.0	♂	0.61 (226→277)	83
6	Mar. 13, 1972	1	Nay 23	230	633	July 10	278	33.1 < 40.2	♀ ♂	0.32 (230→264)	95

* Daily gain of 2 heifers during whole period was as follows: No. 1 0.60 kg (122→266 day), No. 2 0.46 kg (138→275 day)

2. 供試飼料

各牛に対する飼料の給与区分は Table 2 のようで、粗飼料に関してはやむを得ず多種に

Table 2 Experimental period and roughages fed to cattle in each experimental period

Month	May	June	July	Aug.	Sept.	Oct.	Nov.
Meadow grass	Hay I		Hay II		Hay III		
hay	Grass		Corn		Haylage		
Silage							
Experimental period and cattle No.	←		No. 1		→		
	←		No. 2		→		
					← No. 3		→
					← No. 4		→
			← No. 5		→		
	←		No. 6		→		

Table 3 Mean composition of feeds (on fresh matter basis)

	Moisture (%)	Crude protein (%)	Gross energy (kcal/g)	pH
Concentrate mixture	14.6	16.7	3.67	
Meadow grass hay (Av. of 3 samples)	13.5(12.6-14.1)	11.0(9.3-12.0)	3.66(3.63-3.72)	
Grass silage (Av. of 2 samples)	73.4(72.5-74.2)	3.4(3.2- 3.6)	1.23(1.19-1.26)	3.9(3.7-4.0)
Corn silage (Av. of 9 samples)	75.9(72.9-79.7)	2.0(1.7- 2.2)	1.11(0.94-1.26)	3.5(3.4-3.8)
Haylage (Av. of 12 samples)	58.9(50.3-68.9)	6.0(4.3- 7.1)	1.79(1.33-2.15)	4.5(4.3-4.9)

わたって給与することになった。

牧乾草：牧乾草 I, II は 49 年度産オーチャードグラス主体の 1 番草, III は 50 年度産チモシー主体の 2 番草である。

サイレージ：いずれも気密式スチールサイロで調製されたもので、グラスサイレージは 49 年度産のオーチャードグラス主体 2 番草, トウモロコシサイレージは 49 年度産乳熟期のもの、ヘイレージは 50 年度産オーチャードグラス主体 1 番草を原料とした。

配合飼料：市販の乳牛飼育用のものである。供試飼料の平均的組成は、Table 3 に示した。

牧乾草はその試験供用区分ごとの分析値に差がみられ、乾物当たりで換算すると、粗蛋白質とエネルギー含量とも、牧乾草 I は他よりやや少なかった。牧乾草 III は、粗蛋白質、エネルギー含量もわずかに多く、外見上の品質も良好であった。

トウモロコシサイレージおよびヘイレージは、それぞれ同一刈取時期のものであるが、サイロの部位によって、成分上多少の差がみられた。ヘイレージは pH が 4.3~4.9 と高いが、外見上は良質のものとなされた。なお夏期間において取り出したサイレージがいわゆる二次発酵を生じ、香気、臭気、色調の変化をきたした。

3. 試験実施要領

呼吸試験は分娩予定日よりさかのぼって 10 日おきに、朝飼前 30 分間、2 日間連続して行った。血液の採取は、分娩予定日より 2 週間おきに朝飼前に行い、体重は採血日の夕飼給与前に原則として 2 日間測定した。なお採血日と呼吸試験が同一日の場合は、採血は呼吸試験終了

日の翌日に行った。

1) 飼料の給与

飼料給与量は日本飼養標準により算出した。末経産牛は雌牛育成に要する養分量にしたがい、牧乾草 2 kg のほかにサイレージ 24~29 kg を与え、分娩 2 カ月前にいたるまでは配合飼料を給与しなかった。妊娠末期の 6 頭の牛は配合飼料 2 kg と牧乾草 2 kg はどの牛にも与え、不足量をサイレージで満たすようにし、かつ水分変動による給与量の過不足のないように予め水分を測定しておき給与量を調整した。全期間中の平均的給与量は 17~35 kg にわたった。各飼料は 1 日量を朝と夕方の 2 回に 4:5 になるように分けて、試験期間中は、朝は 8 時 30 分、夕方は 16 時 30 分に給与した。ミネラル混合物、水は自由に摂取させた。

試験期間中、牛は牛舎の畜房にけい養し、呼吸試験日以外は仮設パドックで 10 時から 16 時まで運動させた。なお夏期間はとくに夜間にパドックへ放した。

2) 呼吸試験

呼吸試験は、前日の夕飼給与後約 14~15 時間経過した翌朝、畜房にけい養したまま立姿状態で 30 分間行った。装置は、橋爪ら¹⁸⁾によるマスク式の開放型のものである。ガス代謝測定中呼気の一部をサンプラー内に炭酸ガス、酸素分析用サンプルとして、連続的に約 1 l 採集した。なおメタンガス分析用サンプルは、封液として呼気で飽和させた 0.05% H₂SO₄ 液を用いたポリタン内に、マリオット瓶の原理を利用し、約 18 l 連続的に採集した。なお心肺機能(呼吸数、脈拍)についても 10 分ごとに測定を行った。

3) 血液の採取

採血時刻は、とくに血漿 NEFA 値におよぼす飼料摂取の影響を考慮し、血液成分濃度の日内変動を最小限にするため、朝飼給与前とし、真空採血針により頸静脈から 20~40 ml 採取した。

4. 試料の処理および分析法

飼料の諸分析は常法により分析した。

炭酸ガス、酸素は労研式大型ガス分析器により、またメタンガスは赤外線分析計により分析した¹⁸⁾。

血液の抗凝固剤は EDTA-2 K を全血 1 ml に対して 1 mg 添加し、遠沈 (3,000 rpm, 15 分) 後、血漿を分離して分析まで -20°C で保存した。また血糖分析用には全血を SOMOGYI, M 法¹²⁾で除蛋白し、そのろ液も同様に保存した。血糖は HUGGETT・NIXON 法²⁰⁾、血漿ケトン体は BAKKER・WHITE 法¹⁾、血漿 NEFA は ITAYA-UI 法²¹⁾にしたがい、余剰銅試薬の分離除去操作としては、久城ら²²⁾の報告した遠心分離 (2,500 rpm, 5 分間) を用いた。

5. 計 算 法

各牛の養分摂取量は、推定消化率を用いて週単位に算出して集計し、日本飼養標準に対す

る摂取割合で Table 4 に示した。なお配合飼料の DE は、表示 TDN より $1 \text{ kg TDN} = 4,410 \text{ kcal DE}$ として²⁰⁾、また DCP は保証成分値を用いた。

呼吸量は、標準状態に換算¹⁹⁾し、30分当たりで示した。牛の熱発生量は、メタンの発生量を考慮し、BROUWER の式¹⁹⁾より算出した。なお測定時の蛋白質代謝は無視し、尿中 N の修正は行わなかった。熱発生量は、Metabolic body size ($\text{kg}^{3/4}$) 当たりで示した。

II. 結 果

1. 体重の変化

供試牛 6 頭について、分娩時にいたるまで約 2 週間ごとに体重を測定した結果を基にして得た増体成績は Table 1 に示すようである。

各牛とも妊娠の進行にともなって、体重の増加する傾向が認められた。若雌牛の全試験期間中の 1 日当たり増体量は、1 号牛は妊娠 122~266 日の 144 日間で 0.60 kg、2 号牛は 138~275 日の 137 日間で 0.46 kg であった。各牛の妊娠末期における増体量および分娩後 2~8 日における体重の減少量は Table 1 のようであった。

本試験の供試牛は、妊娠末期に一般に栄養状態は良好で、産仔体重も大きく子牛も元気であった。3 号牛の栄養状態はやや過肥気味であった。6 号牛は双子を分娩したためか肉付きは悪く、また分娩後の体重減少量は 95 kg で最も多かった。

2. 飼料摂取量

若雌牛の妊娠中期における標準の維持要求量に対する 1 日当たりの養分摂取割合は Table 4 に、体重の増減による要求量の変動を考慮して、週単位に集計し平均的養分摂取割合で示した。

若雌牛の妊娠中期後半には、サイレージの取り出し給与が不能となり、乾草単一給与に急変したため、飼料摂取量の低下が生じた。しかし、DCP は給与飼料の種類の変化により、摂取量のばらつきが大きいのが、90%前後とわずに下まわり、可消化エネルギー (DE) は DCP は

Table 4 Comparison of total nutrient intakes per day with requirements by Japanese feeding standard*

Experimental period	Cattle No.	DM (%)	DCP (%)	DE (%)
Before last 2 months of gestation; for growing heifers	1	77.2 ± 7.5	93.6 ± 24.8	109.2 ± 16.1
	2	80.2 ± 10.4	87.8 ± 30.9	103.9 ± 15.5
During period of last 2 months of gestation; for growing heifers & cows	1	72.1 ± 3.9	154.5 ± 9.3	96.3 ± 5.0
	2	80.3 ± 5.4	148.7 ± 19.8	97.9 ± 7.9
	3	95.4 ± 8.9	192.0 ± 19.2	104.8 ± 9.7
	4	88.3 ± 9.7	173.8 ± 28.2	94.9 ± 11.9
	5	96.1 ± 7.6	113.2 ± 3.8	119.3 ± 10.5
	6	83.2 ± 7.9	113.1 ± 17.7	102.5 ± 11.7

* The comparisons were made for weekly intake throughout the whole experiment period and the results were shown as mean ± standard deviation

どばらつきがないが、ほぼ標準の要求量を摂取していたものと推定される。

各牛の妊娠末期における養分摂取割合は Table 4 に示すとおりである。1, 2号牛は分娩前約2カ月前で、それぞれ妊娠日数215, 216日の時の体重、各経産牛は導入時の体重に対する維持要求量に、妊娠末期2カ月に加える増給量を加えた要求量と、週単位に比較算出した養分摂取割合の平均値を示した。

DCP は各牛とも標準を上まわり、とくに1~4号牛が149~192%と高かった。この時期は5, 6号牛がトウモロコシサイレージ給与であったのに対し、1~4号牛はヘイレージ給与で

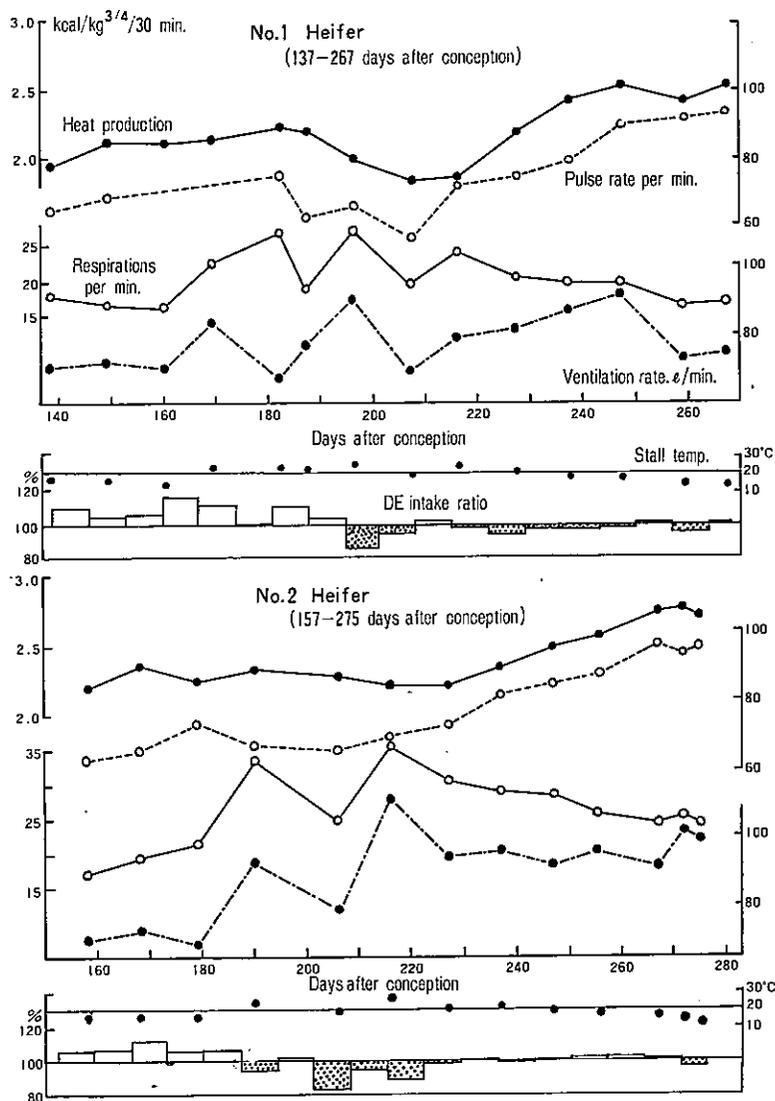


Fig. 1 Changes in gas exchange of pregnant heifers in relation to energy intake and stall temperature

あったためである。DE は 96~119% でおおよそ標準どおり摂取されたと推定される。

1号牛は試験期間中に軟便をもよおすことが比較的多かった。飼料摂取量は2,3,4号において、分娩時近くに低下したが、一般に妊娠の進行にともなって摂取量の低下はみられなかった。

3. 呼吸試験

各牛の妊娠日数の進行にともなう熱発生量、心肺機能、エネルギー摂取水準、および測定時の畜房内の気温の変化は Figs. 1~2 に示すとおりで、各牛の試験は同時に行うことができなかったため、比較的同時期にあたる牛を2頭1組にして結果を述べる。熱発生量、心肺機能(脈拍、呼吸数)および畜房内の気温は2日間の平均値で示し、エネルギー摂取水準は週単位で算出した標準に対する DE 摂取割合で示した。

若雌牛1, 2号牛の諸変化は Fig. 1 に示すとおりである。

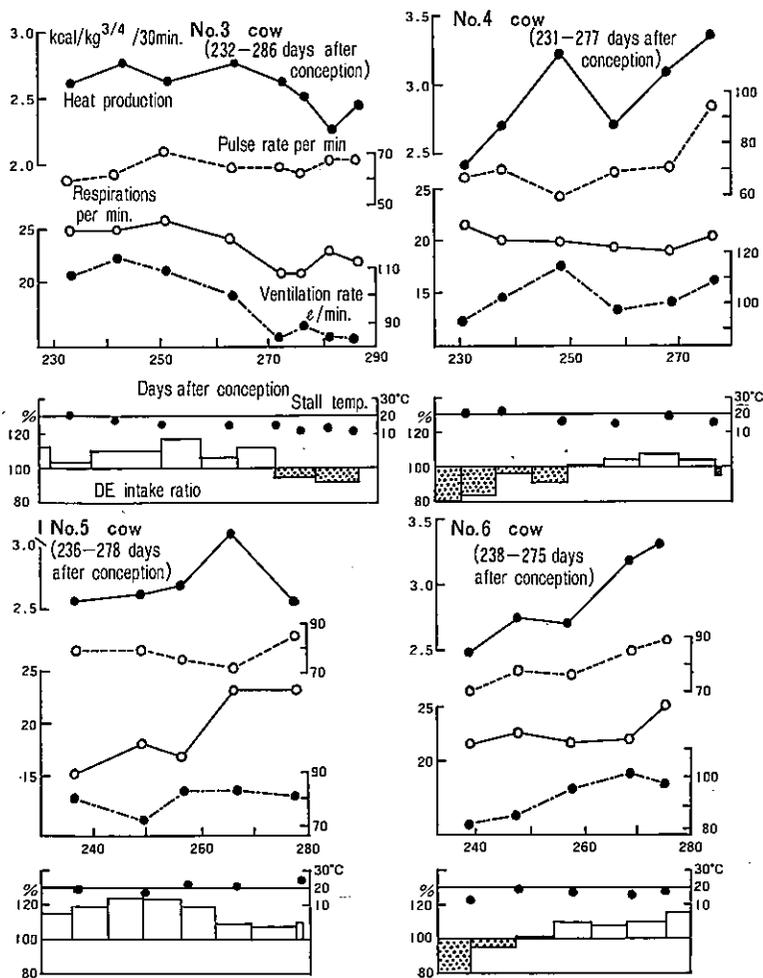


Fig. 2 Changes in gas exchange of pregnant cows in relation to energy intake and stall temperature

1号牛は妊娠中期から妊娠末期にかけての妊娠日数190~220日において熱発生量の低下が認められた。またこの時期は夏季のため、畜房内の気温も20°Cを上まわるとともに、飼料供給上のやむを得ぬ事情のため、摂取水準も低い時期と重なった。2号牛は1号牛ほど悪い影響を受けなかったとみなされる。1号牛は畜房内の気温の上昇や飼料摂取水準の変化のため、妊娠中期で熱発生量の変化は波状を示したが、両牛とも妊娠日数220日以降熱発生量の増加を示している。熱発生量の最高値は、1号牛では妊娠後250日頃に、また2号牛は270日頃に認められ、その後両牛とも分娩時まで増加傾向がゆるみ横ばいを示すのが認められた。

脈拍は両牛とも妊娠後220日ごろから高まり、熱発生量と並行して妊娠の進行にともなって増加し、また分娩が近づくにしたが増加傾向が小さくなるのが認められたが、両牛とも分娩まで1分間当たり約95回を示した。呼吸数、呼気量は、畜房内の気温が20°C以上を示した時期にとくに増加し、環境温度の影響を強く受けたものとみなされる。妊娠中期と妊娠末期において、畜房内の気温がほぼ等しい時期の呼吸数、呼気量を比較してみると、妊娠末期のほうが増加を示した。

経産の3、4号牛の諸変化はFig. 2に示すとおりである。

熱発生量は3号牛では270日ごろまで変化は認められず、その後分娩が近づくにしたが減少する傾向が認められ、エネルギーの摂取水準も低下した。4号牛は妊娠の進行にともなって熱発生量の増加する傾向が認められた。

脈拍は、3号牛ではあまり変化は認められなかったが、4号牛では分娩ま近に増加する傾向を示した。呼吸数、呼気量は、3号牛では分娩が近づくにしがって減少する傾向が認められ、1回当たりの呼気量は分娩近くに減少が認められた。

経産の5、6号牛の諸変化はFig. 2に示すとおりである。

熱発生量は、5号牛では妊娠後265日で最高値を示し、分娩直前で減少する傾向が認められた。6号牛では妊娠の進行にともなって増加する傾向が認められた。

脈拍は、5号牛では分娩直前にわずかに高くなるのが認められたが、6号牛では熱発生量同様に妊娠の進行にともなって増加する傾向が認められた。呼吸数は、5号牛では妊娠後期に増加したが、同時に畜房内の温度も20°C以上と高かった。呼気量は、5号牛においてはあまり変化が認められなかったが、6号牛では妊娠の進行にともなって増加する傾向が認められ、また呼吸数も上昇するのが認められた。

各牛の妊娠末期における熱発生量の変化を分娩前の日数を基準にして示すとTable 5のとおりである。

これによれば妊娠が進行し分娩が近づくにしたが熱発生量は増大することが認められる。分娩前0~15日において熱発生量の低下する牛も認められたが、一般に増加する傾向を示した。なお分娩前5日内のもの6例のうち、分娩前日および当日のもの2例(2, 5号牛)にお

Table 5 Changes in resting heat production throughout period of last 2 months of gestation

Period (Days before parturition)	Resting heat production (kcal/kg ^{3/4} /30 min.)	Number of cattle
55—46	2.32±0.40	4
45—36	2.48±0.20	6
35—26	2.58±0.17	5
25—16	2.63±0.10	6
15— 6	2.74±0.39	6
5— 0	2.79±0.36	6

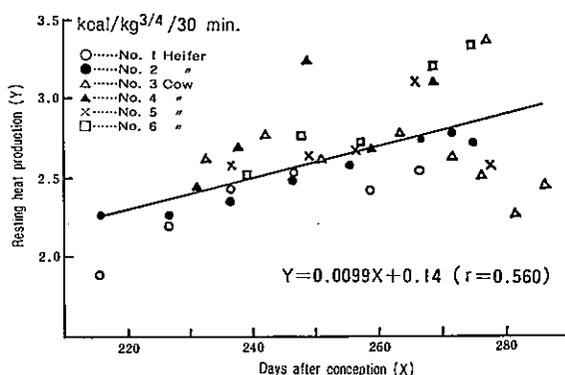


Fig. 3 Changing heat production with advancing gestation

いて減少が認められた。

妊娠末期における供試牛6頭の64例の呼吸試験による妊娠日数 (X) と熱発生量 (Y, kcal/kg^{3/4}, 30分) の関係は Fig. 3 に示すとおりである。

妊娠日数 215~286 日の範囲においてのこの関係は次の直線回帰式で示された。

$$Y=0.0099X+0.139$$

相関係数 $r=0.560$

この回帰係数は1%水準で有意であった。またこの時期の標準に対する DE 摂取水準は平均 102.6%で増体量は平均 0.85 kg/日 であった。

4. 血液成分

若雌牛1, 2号の妊娠中期および分娩前60日を含んだ試験期間中の血液成分の変化は Fig. 4 に示すとおりである。

分娩前60日頃にいるまでの妊娠中期において、血糖値は1号牛では低下する傾向が認められたが、2号牛ではあまり変化は認められなかった。血漿ケトン体は両牛とも妊娠中期はほとんど変化は認められず、一般に2号牛が高い値を示した。血漿 NEFA は1号牛は妊娠中期の後半に上昇する傾向が認められた。2号牛は初回採血時興奮したのが観察され高い値を示した。

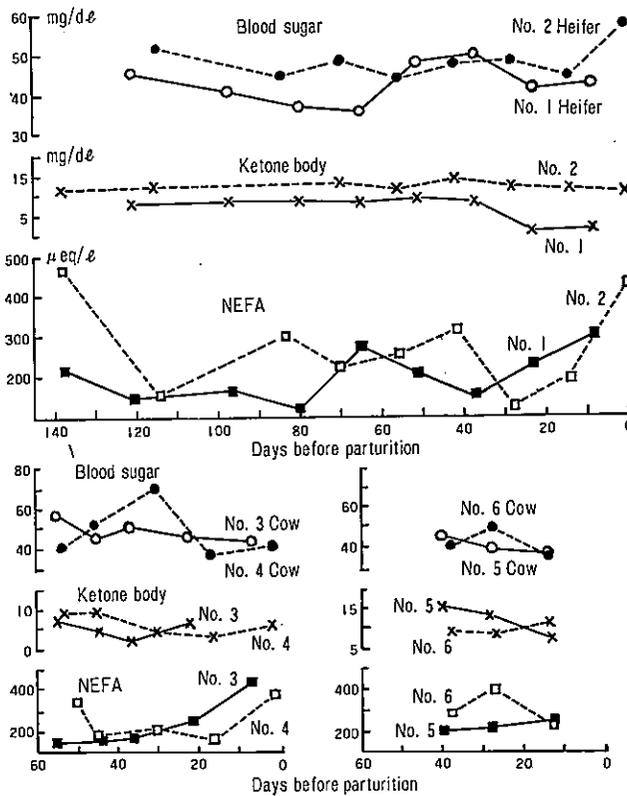


Fig. 4 Changes in blood constituents of pregnant cattle throughout each experimental period

Table 6 Changes in blood constituents and energy intake throughout period of last 2 months of gestation

Period (Days before parturition)	Blood sugar (mg/dl)	Ketone body (mg/dl)	NEFA (μ eq/l)	DE intake (%)	Body weight (kg)	Numbers of cattle
56-43	48.0 \pm 6.2	8.7 \pm 2.4	211 \pm 77	100.2	608	4
42-29	51.2 \pm 9.8	9.1 \pm 5.5	223 \pm 69	105.8	621	6
28-15	44.1 \pm 5.0	7.9 \pm 5.3	236 \pm 105	106.6	630	6
14- 0	40.9 \pm 4.0	8.4 \pm 5.1	286 \pm 92	100.4	643	6

* Ratio expressed as % for DE requirement of Japanese feeding standard.

各牛の妊娠後期（分娩前60日以内）の血液成分の変化は Fig. 4 に示すとおりである。

血糖値は、分娩が近づくにしたいが1, 3, 4, 5, 6号牛においてわずかに低下する傾向が認められ、2号牛では分娩直前に高い値が認められた。血漿ケトン値は、分娩が近づくにしたいが1, 4, 5号牛では低下を示し、2, 3, 6号牛ではほとんど変化が認められなかった。血漿NEFA 値は、1, 2, 3, 4, 5号牛において分娩が近づくにしたい増加する傾向が認められた。2号牛では分娩直前に、4号牛では初回採血時に高い値が認められた。

以上のことから、分娩前56日から分娩時にいたるまで2週間ごとに区分して、各牛の体重、エネルギー摂取水準、血液成分の平均値を一括して示すと Table 6 のとおりである。なお分娩前1週間以内の分析値はこの場合除外した。飼料摂取量は、分娩ま近に低下する牛もいたが、一般に分娩日に近づくとしたが、DE 摂取量の低下は認められなかった。

エネルギー摂取水準は、日本飼養標準に対する DE 摂取割合がほぼ100%を示すことから、妊娠による増給量を加えた標準の要求量を摂取したと推定される。血糖値は分娩が近づくとしたがわずかに低下する傾向が認められた。逆に血漿 NEFA 値はばらつきは大きい、わずかに増加する傾向が認められた。血漿ケトン体はばらつきは大きい、低下する傾向を示した。

なお5、6号牛の分娩前後における血液成分の変化については、血糖、血漿ケトン体は分娩後わずかに増加する傾向を示した。血漿 NEFA 値は分娩後、分娩前に比べ両牛とも高い値を示し、その後低下する傾向を示すのが認められた。

III. 考 察

妊娠してから分娩にいたるまでの体重の増加は、ホルスタイン種で70~100 kg であり¹⁵⁾、また乾乳期2カ月に期待すべき体重増加は約57 kg (日増体重約0.95 kg) で、妊娠してから分娩にいたる増体の約57~80%にあると報告されている²⁵⁾。本実験において適用した日本飼養標準では、分娩前2~3カ月に維持に加える養分量については従来の標準のようにこの期間の母牛への養分蓄積については考慮していないため、従来の標準より約6~7%低い値である。したがって経産牛の1日当たりの増体量は、3号牛は1.6 kg でとくに高かったが、その他は0.3~0.6 kg で従来からの諸数値に比べて低い値を示した一因はこのためであろうと考えられる。1、2号牛の日増体重が1.0~1.3 kg と多いのは、初産牛では維持に対して発育のための要求量が加算されているので、同体重の成牛の要求量に比べ約8~9%高いため、分娩までの増体の曲線が経産牛と比較して相異した傾向を示したものと考えられる。

このように本実験では新しい飼養標準によって飼料給与を行ったが、DE については Table 4 に示すように全期間を平均するとおおよそ標準量を摂取させることができたと思なされる。しかし増体量において従来の値よりも一般に低いのは、飼料の質や摂取量の変動のほか、新しい標準では従来の標準より要求量が少なくなっていることがある程度影響していると考えられる。

粗飼料給与後4~5日の絶食時において測定してえられる基礎代謝量でも、その値は一定なものではなく、牛の年齢、栄養状態、供試前の飼料給与水準、環境温度、泌乳、妊娠などの生理条件、その他の種々の要因によって影響をうけるものである。したがって安静時の代謝量はさらに熱量増加による影響が加わり、飼料の摂取量いかにによって変動が加わることは当然

である。また本実験においては、一般牛舎内作業の騒音などの影響による値の変動や採血のストレスが考慮されなければならない。

環境温度と熱発生量について吉田ら³⁴⁾は、和牛で安静時代謝を夏期と秋期において測定し、高温(室温 24°C 前後)の場合は低温(室温 16°C 前後)に比べて呼吸数、呼気量は高く、熱発生量は 12% 低下することを報告している。しかし橋爪ら¹⁷⁾は、維持量給与の和牛について、熱発生量は 17°C 以上においては差がみられなかったが、プラス 10°C より下がると双曲線状に増加することを認めた。また 18°C 以上になると熱発生量、脈拍は変化はないが、呼吸数、呼気量が増加し、30°C ではさらに著しくなり、35°C で食欲の減退、熱発生量の抑制が認められたとしている。また橋爪ら¹⁸⁾は乾乳牛に維持量の飼料を与えて、6, 17, 28°C で測定した安静時熱発生量には著しい差が認められず、代謝実験においても熱発生量は有意な差を認めなかった¹⁵⁾。本実験において安静時代謝の測定は同一時期に実施できず、また一般の牛舎における変動環境温度下であったが、呼吸試験実施時の畜房内の気温は 9.5~26.0°C の範囲であったので、個体によっては 20°C 以上の場合には温度の影響を受けたと考えられる変化が認められたが、全般的に環境温度が熱発生におよぼす影響は少なかったと推察される。

1, 2 号牛は妊娠末期 2 カ月以降は増飼のため、体重当たりの乾物摂取量はそれぞれ妊娠中期の 1.4, 1.5% から 1.7, 2.1% へと増加している。また DE 摂取についても維持に対する割合で示すと、妊娠中期の 109, 104% から妊娠末期には 139, 138% と増加する。このうち 1 号牛は、kg^{3/4} 当たりの 1 日当たりの乾物摂取量が 66.7 より 84.3 g と増加している。FLATT ら⁹⁾は基礎代謝量は絶食前の給与水準によって影響されることを示している。また絶食時の熱発生量: H_f (kcal/kg^{3/4}/日) と乾物摂取量: X (g/kg^{3/4}/日) の関係は

$$H_f = 69.4 + 0.083X$$

で示しているので、1 号牛の DM を適用し熱発生量の増加を検討すると約 2% の増加にすぎない。本実験の供試牛において、妊娠のための増給に基づく DM の増加はいずれも 1 号牛よりも少ないので、熱発生量に対する給与水準の増加による影響はあまりなかったものとみなしえよう。したがって全体の熱発生量の変化は妊娠の進行にともなって増加する傾向にあると推察される (Fig. 4)。

BRODY⁶⁾は妊娠の経過にともなう熱発生量の推移をマスク法によって測定を行い、分娩直前では増加することを認めた。また脈拍、呼気量、呼吸数は妊娠の進行にともなって増加するが、1 回当たりの呼気量は減る傾向にあることを報告している。さらに妊娠時の安静時の熱発生量と妊娠していない場合の熱発生量の差、すなわち妊娠のための熱量増加は妊娠日数 190 日で 1,600, 200 日で 2,400, 250 日で 3,100, 280 日で 3,800 kcal であることを示している⁷⁾。吉田ら³⁴⁾はダグラスバック法にて和牛の安静時代謝の測定を行い、妊娠時 (1~10 カ月) は乾乳非妊娠時に比べ、熱発生量は 7%, 呼気量は 16% 増加することを報告している。以上の一般の

牛舎内における変動環境温度における報告に対して、橋爪ら¹⁴⁾は 17~18°C の調温試験室においてホルスタイン種成牛 2 頭を用い、妊娠 95~270 日までの安静時代謝をマスク法で測定し、熱発生量、脈拍、呼吸数は妊娠日数に比例して増加し、とくに熱発生量は維持時の 1.82kcal/kg^{3/4}。30 分より妊娠末期では約 1.5 倍になると報告している。しかし 1 回当たりの呼気量は BRODY とは逆に妊娠末期に高いことを示している。また橋爪ら¹⁶⁾はエネルギー代謝試験を実施し、妊娠初期より妊娠 200 日においては熱発生量の増加はわずかであるが、200 日以後は急激に増加することを報告している。FLATT ら¹¹⁾は総エネルギーに対する熱発生量の割合は妊娠時に大きいことや、分娩ま近に熱発生量が急激に増加することを報告している。HENSELER ら¹⁹⁾は 60 日間の乾乳期間において、分娩前 14~20 日における熱発生量の急増を報告している。

橋爪ら¹⁴⁾は妊娠後 95~270 日におけるホルスタイン成牛 2 頭の熱発生量 (Y , kcal/kg^{3/4}。30 分) と妊娠日数 (X) との関係を示した。

$$Y = 0.0040X + 1.77 \pm 0.12 \quad (r = 0.89)$$

本実験において供試牛 6 頭の妊娠後 216~286 日の熱発生量と妊娠日数の関係は

$$Y = 0.0099X + 0.14 \quad (r = 0.56)$$

で示され、妊娠日数約 270 日で橋爪ら (2.80 kcal) とほぼ同じ熱発生量の値 (2.87 kcal) を示したが、橋爪らの妊娠日数 100 日頃から末期にかけての増加率と比較すると、本実験のように妊娠末期の方が熱発生量の増加率の高いことが示された。

妊娠牛の安静時における熱発生量は、測定条件、環境条件や計算法の相異により同一に比較することはできないが、本実験においても上述の諸報告と同様に妊娠末期 55 日間の各牛の熱発生量は増加する傾向を示し、妊娠時の値は非妊娠時の約 1.5 倍を示すのが認められた。

心肺機能については、脈拍は妊娠の進行にともなって増加の傾向を示したが、呼気量、呼吸数は 2, 6 号牛で妊娠末期に高くなる傾向を示しただけで熱発生量以上に高温環境温度の影響を受けたことが推察される。1 回当たりの呼気量は一定の傾向が認められなかった。またとくに夏季期間に呼気量、呼吸数が増加したのは、牛においては汗腺が少なく、外気温が高いほど体温調節は気道からの水の蒸散作用による熱放散によることが多くなるため、換気量を増加するためであることを裏付けている。

妊娠時における熱発生量の増加の原因は、子宮内あるいは子宮外代謝によるものでその程度は明らかになっていない。しかし子宮外組織の代謝の増加であることは一般に受けとられている。すなわち牛の場合血中の PBI (タンパク結合性ヨード) の含量が妊娠期間中に 20~25% まで上昇することは母体の甲状腺機能の増加を反映している。そしてこれは子宮内の胎児その他への母体からのエネルギー補給の増加に由来する代謝の増大が原因であると推定されている。

妊娠時における胎児の発育と養分の蓄積に関して、JAKOBSEN²²⁾は屠殺試験を実施し、子宮部および乳房における全蓄積量 V kcal と妊娠日数 t の関係をそれぞれ次式で示した。

$$V \text{ kcal} = 416.2e^{0.0174t}$$

$$V \text{ kcal} = 20108.1e^{0.00555(t-175)}$$

MOE ら²⁴⁾は母体の体組織の増減がない状態で妊娠を維持するのに要求される ME の量 (Y , kcal/kg^{3/4}/日) と妊娠日数 (t) の関係を

$$Y = 100.8 + 0.567e^{0.0174t}$$

の式で示し、妊娠末期の ME 要求量が急増することを示している。

また HENSELER ら¹⁹⁾は胎児の形成のための ME の利用効率率は $14.9 \pm 7.5\%$ で、エネルギーの利用率が低いのは熱発生量が妊娠期間に増加するためであり、妊娠牛は非妊娠牛よりも 60 kcal/kg^{3/4} 多く熱を発生するのを認めている。

橋爪ら¹⁶⁾は妊娠 200 日頃までは、子宮部と乳房以外の部位に多量にエネルギーの蓄積が行われていたが、その後エネルギーの不足をきたしたため体内の蓄積エネルギーが胎児、乳房などの発育増大に利用されていることがうかがえると報告している。また HENSELER ら¹⁹⁾は妊娠末期におけるエネルギー蓄積量の推移について、胎児その他の母体（乳腺を含む）に分けて調べた。それによると分娩が近づくにつれ、前者への蓄積割合が増加するのに対し、後者の方への蓄積割合は減少し、乾乳開始時の約 4 Mcal から後期には約 2~2.5 Mcal へと減少した。さらに母体のみと乳腺とに分けて蓄積割合をみると、乳腺のほうが分娩前 29~20 日ごろから急増するため母体のほうは減じ、分娩前 0~9 日ではむしろ母体そのものはマイナスになることを認めた。さらに乳腺へのエネルギー蓄積割合が増加する時期から、分娩前 0~9 日までにおいて血糖は 50 から 31 mg% に低下し、NEFA が 1.9 から 3.3 mg% へ増加することは母体の蓄積脂肪が利用されていることを示し、血中の NEFA の含量の増加はエネルギー欠乏を示すものであることを示唆した。DAVISE⁸⁾は妊娠のためにエネルギー要求量が増加するので一般に血漿 NEFA 水準が高まると報告している。

妊娠末期における体重の変化だけからは胎児の体重の変化があるため母体自身の蓄積エネルギーの増減は判定しかねる³⁾。HENSELER ら¹⁹⁾も分娩前において、妊娠牛の体重の増加量 1 kg 当たりの蓄積エネルギー量は 1.1~6.0 Mcal に相当し変動があることにより、生体重の変化は体のエネルギーの変化を評価するための確かな基準とみなすことはできないと報告している。

本実験において、血液成分は Table 6 に示すとおりで、正常値の範囲ではあるが、血糖値は分娩に近づくにつれ低下し、血漿 NEFA はばらつきは大きい血糖とは逆に増加する傾向が推定される。これらは PATTERSON ら²⁹⁾の妊娠綿羊における傾向や HENSELER の傾向と一致しているとみなされる。しかしながらケント体に関してはサイレージ給与による影響も考

えられるがかなり高い値を示し、個体による傾向差が著しく、全体では分娩が近づくにつれ低下するという傾向を示したことにより、分析法等の検討の余地があると考えられる。

初回採血時において NEFA の値が高かったのは、PATTERSON²⁹⁾、BOWDEN³⁾が報じているように、採血時の牛の興奮による上昇であろうと考えられる。また2、4号牛が分娩直前において血糖および NEFA の最高値を示したのは、分娩直前におけるホルモンやストレスのためであろうと推察される³⁰⁾。

妊娠末期において、血糖が低下し NEFA が増加する傾向を示したのは、胎児のエネルギー要求量は主に母体の血中グルコースによって満たされているが、胎児の要求量が妊娠中次第に増加するにつれ母体は正常な血糖水準を維持することができなくなる。したがってグルコース不足に対する最初の反応として蓄積体脂肪流動の刺激がおり、血漿中へ遊離増加した NEFA がエネルギー代替源として供給されるのでであろうと推察される。なお本実験において NEFA の水準の変化が前記諸氏の数値よりも比較的少ないのは、供試牛の DE 摂取水準が比較的標準値に近かったことや、栄養状態もとくに悪くなかったことによるものと思われる。

以上、本実験期間中に飼料構成の変化があったので飼料摂取水準の変動が熱発生量に影響をおよぼしていないとは断定できないが、妊娠末期において熱発生量の増加は著しく妊娠の進行にともなって増加することが認められた。またこの間の標準に対する DE 摂取割合はほぼ 100%を示したが、妊娠末期におけるエネルギー摂取と利用状態の変動に対する血液成分の反応として、とくに血糖の減少傾向や NEFA の増加傾向がみられたことにより母体の蓄積体脂肪の流動が推察されよう。これらの血液成分の水準はエネルギー摂取量に対する反応を評価するための手段として今後さらに検討が必要と思われる。

IV. 要 約

日本飼養標準にしたがい飼養した妊娠末期の乳牛を用いて安静時の熱発生量の推移および血液成分の変化を測定することにより、妊娠の進行にともなうエネルギー摂取量の適否と体脂肪利用の関係について検討した。

1) ホルスタイン種若雌牛2頭、経産牛4頭を用いて、分娩前までマスク法により安静時の熱発生量と心肺機能の推移を測定した。

2) 日本飼養標準にしたがい、乾草 2kg は全期間、配合飼料 2kg は妊娠末期2カ月以降与え、不足養分量はサイレージで満たした。

3) 妊娠の進行にともなって体重の増加する傾向を示し、全般的に栄養状態は良好で産仔体重も比較的重かった。

4) 若雌牛の妊娠中期の養分摂取割合は、標準に対して乾物は約 80%、DCP は約 90%と下まわり、DE は標準量を摂取した。

5) 全供試牛の妊娠中期の養分摂取割合は、標準に対して乾物は72~96%と下まわり、DCPは113~192%と上まわり、DEは95~119%とほぼ標準量を摂取した。

6) メタボリック・ボディ・サイズ当たりの熱発生量は妊娠の進行にともなって増加し末期において著しかった。

7) 妊娠日数215~286日間において、妊娠日数(X)と熱発生量(Y, kcal/kg^{3/4}/30分)の関係は次式で示された。

$$Y=0.0099X+0.14 \quad (r=0.560)$$

8) 脈拍は妊娠の進行にともなって増加したが、呼吸量、呼吸数は一定の傾向を示さず環境温度の影響をうけた。

9) おおよそ標準程度のDE摂取水準にあったとみられる本実験においても、分娩前56日間において正常値の範囲内であるが、血糖は48から41mg/100mlに低下し、またNEFAは211から286 μ eq/lと上昇し、蓄積体脂肪の流動が推察された。

引用文献

- 1) BAKKER, N. and R. R. WHITE: N. Z. J. Sci. Technol., 38: 1001-1008, 1957.
- 2) BERESKIN, B. and R. W. TOUCHBERY: J. Dairy Sci., 50: 220-224, 1967.
- 3) BOWDEN, D. M.: Can. J. Anim. Sci., 51: 1-13, 1971.
- 4) BOWDEN, D. M.: Proc. 6th Symp. on Energy Met., EAAP Publ. 14: 59-62, 1973.
- 5) BRODY, S.: Bioenergetics and Growth. 1-1023. Reinhold Publ. Co., New York. 1945.
- 6) BRODY, S., D. M. WORSTELL, A. C. RAGSDALE and H. H. KIBLER: Mo. Agric. Expt. Stat. Res. Bull., 412: 1948.
- 7) BRODY, S., D. M. WORSTELL, A. C. RAGSDALE and H. H. KIBLER: Mo. Agric. Expt. Stat. Res. Bull., 424: 1948.
- 8) DAVISE, P. J., R. G. JOHNSTON and D. B. ROSS: J. Agric. Sci., Camb., 77: 261-265, 1971.
- 9) FLATT, W. P. and C. E. COPPOCK: J. Dairy Sci., 46: 638, 1963.
- 10) FLATT, W. P., C. E. COPPOCK and L. A. MOORE: Proc. 3rd Symp. on Energy Met., Troon, Scotland. EAAP Publ. 11: 121-130, 1965.
- 11) FLATT, W. P., P. W. MOE and L. A. MOORE: Proc. 4th Symp. on Energy Met., Poland. EAAP Publ. 12: 123-136, 1969.
- 12) 藤井暢三: 生化学実験法 定量篇, 18. 南山堂, 東京, 1969.
- 13) 橋爪徳三・増淵敏彦・浜田龍夫・安部道夫・千葉 博・横田千尺, 畜試研報, 2: 61-68, 1963.
- 14) 橋爪徳三・浜田龍夫・増淵敏彦・横田千尺, 畜試研報, 3: 121-124, 1963.
- 15) 橋爪徳三・森本 宏・浜田龍夫・増淵敏彦・安部道夫・堀井 聡・田中孝久介・実川義人・横田千尺・安部庄一郎, 畜試特報, 2: 79-107, 1964.
- 16) 橋爪徳三・森本 宏・増淵敏彦・安部道夫・浜田龍夫・堀井 聡・実川義人・横田千尺, 畜試特報, 5: 1-44, 1964.
- 17) 橋爪徳三・加藤道弘・針生程吉・辰己 博・増淵敏彦・波田野松重, 畜試研報, 11: 39-47, 1966.
- 18) 橋爪徳三・藤田 裕・松岡 栄・岩崎和雄・氏本長一・高橋潤一・桜井康雄, 帯大研報, 9: 719-731, 1976.
- 19) HENSELER, G., W. JENTSCH, R. SCHIEMANN and H. WITTENBURG: Arch. Tierern., 23: 353-384, 1973.
- 20) HUGGETT, A. St. G. and D. A. NIXON: Biochem. J., 66: 12, 1957.

- 21) ITAYA, K. and M. UI: *J. Lipid Res.*, 6: 16-20, 1965.
- 22) JAKOBSEN, P. E.: *Beretning fra Forsøkslab. København*, 299: 1-179, 1957.
- 23) 久城英人・高野圭以・曾山浩吉・福井 巖, *臨床病理*, 18: 51-54, 1970.
- 24) MOE, P. W. and H. F. TYRRELL: *J. Dairy Sci.*, 55: 480-483, 1972.
- 25) 農林水産技術会議事務局: 研究成果, 33, 1968.
- 26) 農林水産技術会議事務局: 日本飼養標準, 乳牛, 中央畜産会, 東京, 1974.
- 27) 小野 齊: *北獣会誌*, 15: 6-9, 1971.
- 28) OSINGA, A.: *Tijdschr. Diergeneesk.*, 88: 147-153, 1963.
- 29) PATTERSON, D. S. P.: *Res. Vet. Sci.*, 4: 230-237, 1965.
- 30) RADLOFF, H. D., L. H. SCHULTZ and W. G. HOEKSTRA: *J. Dairy Sci.*, 49: 179-182, 1966.
- 31) ROSENBERGER, J. H.: *J. Amer. Vet. Med. Assoc.*, 132: 76-78, 1958.
- 32) SCHIEMANN, R., G. HENSELER, W. JENTSCH and H. WITTENBURG: *Arch Tierern.*, 24: 105-137, 1974.
- 33) VAN ES, A. J. H.: *Between-animal variation in the amount of energy required for the maintenance of cows. Thesis, Wageningen, The Netherlands. 1961.*
- 34) 吉田武紀・野付 巖: *中国農試報告*, 3: 523-533, 1957.

Summary

These experiments were conducted to estimate the resting heat production, cardio-respiratory activity and also the relationship of blood constituents to energy intake. To study the last mentioned, changes in levels of blood glucose, plasma ketones and plasma non-esterified fatty acid (NEFA) were used. Two pregnant Holstein heifers and four dry cows were used.

1) The amount of the rations offered were adjusted according to the energy requirements for pregnancy recommended by Japanese feeding standard revised in 1974. A constant amount of 2 kg of grass hay was fed per day throughout the period. Concentrate mixture of 2 kg was fed during last 2 months of pregnancy. The amount of silage offered was adjusted to meet the total energy requirements.

2) The cows were weighed for 2 consecutive days at intervals of 2 weeks during the whole period. As shown in Table 1, the change in the average body weight tended to increase with advanced gestation. The condition of the cows throughout the period remained good.

3) DE intake of heifers at the stage of mid-pregnancy was approximately equal to the requirements for maintenance according to the Japanese feeding standard. But the DM and DCP intakes were lowered by 20 and 10%, respectively.

4) DE intake during late pregnancy was equal to or slightly higher than the requirements for maintenance plus gestation according to the Japanese feeding standard. DM intake was lowered but DCP intake was higher than the standard (Table 4).

5) The resting heat production per metabolic body size and the pulse rate increased steadily with the advancing gestation (Figs. 1 & 2).

6) The increase in the resting heat production during the course of pregnancy was described by the equation

$$Y = 0.0099X + 0.14 \quad (r = 0.560)$$

where Y is the resting heat production (kcal/kg^{3/4}/30 min.) and X is the number of days

of pregnancy. This relation is shown in Figure 3.

7) Respiration rate varied sensitively with environmental temperature.

8) The plasma NEFA levels tended to increase as parturition approached, while the blood sugars decreased (Fig. 4 & Table 5).

9) From these results, it would appear that changes in the blood levels of glucose and NEFA are indicative of the load placed on the energy metabolism in the dam.