

高温時における乳牛のエネルギー代謝(3)

誌名	九州農業試験場報告
ISSN	03760685
著者	柴田, 正貴 向居, 彰夫 栗原, 光規
巻/号	26巻1号
掲載ページ	p. 89-102
発行年月	1989年12月

高温時における乳牛のエネルギー代謝

3. 乳牛の絶食時代謝に及ぼす環境温度の影響

柴田正貴¹⁾・向居彰夫²⁾・栗原光規

(1988年11月25日受理)

柴田正貴・向居彰夫・栗原光規：高温時における乳牛のエネルギー代謝 3. 乳牛の絶食時代謝に及ぼす環境温度の影響。九州農試報告 26：89～102, 1989.

乳牛の絶食時代謝と環境温度との関係を解明する目的で、非妊娠ホルスタイン種乾乳牛4頭を九州農業試験場に設置した代謝実験室に収容し、環境温度18, 27及び36°C(いずれも相対湿度60%)について実験を行った。糞及び尿への窒素排泄量は、飼料給与時及び絶食時とも環境温度間に有意な差を認めなかったが、尿への窒素排泄量は、環境温度の上昇につれて増加する傾向が認められ、維持に要する蛋白質は環境温度によって影響される可能性が示唆された。飼料給与時の熱発生量は、環境温度間に有意な差を認めなかったが、18°Cと比較して27及び36°Cでそれぞれ18及び10%増加しており、これは呼吸数増加に伴う体温調節のための各種機能の高進に伴うものと推察された。絶食時の熱発生量は、温度処理間に有意な差を認めなかったが、36°Cにおいて呼吸数の著しい増加とともにやや増加する傾向を示した。また、絶食時の体蛋白質に由来するエネルギー損失量も36°Cにおいて増加する傾向を示しており、高温時にはエネルギー及び蛋白質の維持要求量が増加するものと考えられた。

目 次

I. 諸 言

II. 実験方法

III. 結果及び考察

1. 絶食前後の体重、飲水量及び生理状態に及ぼす環境温度の影響

2. 絶食前後の窒素排泄量に及ぼす環境温度の影響

3. 絶食前後の熱発生量に及ぼす環境温度の影響

IV. 摘 要

引用文献

Summary

九州農業試験場畜産部環境生理研究室：861-11 熊本県菊池郡西合志町

1) 現畜産試験場

2) 現九州農業試験場

I. 諸 言

高温時における乳牛の泌乳量減少は、体温の上昇と密接な関係にあることが知られている²²⁾。著者らは、高温時には熱発生量が増加し、その結果として体内熱平衡がくずれて体温の上昇を招来すること^{25, 27)}、さらには、高温時においては乳生産のためのエネルギー利用効率が低下すること²⁶⁾を示唆した。また McDOWELLらは、高温環境において泌乳牛の単位体重当たりのエネルギー要求量が有意に増加すること¹⁶⁾を認めているが、乳牛におけるエネルギーの利用効率、摂取エネルギーの配分及びエネルギー要求量に及ぼす環境温度の影響については体系的な研究がなされていない。そこで著者らは、種々の生理的状態における乳牛のエネルギー代謝の様相を明らかにし、乳牛のエネルギー要求量に及ぼす環境温度の影響を追求する目的で、本実験においては、乳牛の絶食時代謝に及ぼす環境温度の影響を検討した。

II. 実 験 方 法

ホルスタイン種乾乳牛4頭(第1表)を代謝実験室²⁰⁾に収容し、環境温度3水準について絶食時代謝を測定した。環境温度は、2頭について、第1期:18°C, 第2期:27°C, 第3期:36°Cとし、他の2頭については温度負荷を逆の順序とした。相対湿度はいずれも60%とした。実験は、1期7日間とし、各期の間には絶食による影響からの回復を図るため11~13日間の調整期を設け、これらの期間は供試牛を畜舎内で飼養した。

供試牛には、絶食時を除きおおむねTDNで維持量に相当するイタリアンライグラス乾草を8時30分, 17時00分に半量づつ給与し、水及び固形塩は、全期間を通じて自由に摂取できるようにした。

実験手順は、各期とも第1日目13時に供試牛を呼吸試験箱²⁰⁾に収容し、第3日目の17時の給餌以後は飼料給与を中止した。第2日目の13時から第3日目の13時までを飼料給与時、第4日目の13時から第8日目の13時までの4日間を絶食後として各種の測定を実施した。

体温及び呼吸数の測定は15時, 20時及び翌日の11時に行った。また、体重測定は、呼吸試験箱に供試牛を収容する直前、第3, 5日目及び各期末に行った。

熱発生量は、BROUWERの式²⁾を用いて計算し、KLEIBER¹²⁾に従ってメタボリックボディ

Table 1. Characteristics of cows at the beginning of the experiment

Cow	Age (mo.)	Body weight (kg)	Days of dry period (days)	Pregnant or non-pregnant
D1	62	507	754	non
D2	30	464	17	non
D3	33	426	58	non
D4	62	534	948	non

Table 2. Chemical composition of Italian ryegrass hay

Moisture	Crude protein	Crude fat	NFE	Crude fiber	Crude ash	Gross energy
%	%		DM			kcal/g DM
10.1	4.3	0.8	52.2	35.4	7.3	4.09

サイズ(以下, mbsと略す。)当たりへ換算した。なお, 牛の起立回数及び起立時間による補正は行わなかった。

供試飼料の一般成分は常法¹⁸⁾により分析し, 糞及び尿の窒素の定量は, 生サンプルを用いてケルダール法¹⁹⁾により行った。また, 糞及び尿のエネルギーの定量は, 伊藤と田野の方法¹⁰⁾に従って凍結乾燥したのち, 燃研式熱量計(島津C A-3型)を用いて行った。

データの解析には, 農林研究計算センターライブラリープログラム²³⁾を使用した。

III. 結果及び考察

試験期間中に給与したイタリアンライグラス乾草の化学組成は, 第2表のとおりであった。乾草は, 18及び27°Cでは全量採食されたが, 36°Cでは若干の残食が認められた。しかし, TDN摂取量は, 飼料給与時の体重の推移から判断してほぼ維持要求量を満たしていたと考えられる。一方, DCP摂取量は, 飼料の粗蛋白質含量が著しく低かったことから日本飼養標準²¹⁾の維持要求量を十分に満たしていなかったものと推察される。

RITZMAN and BENEDICT²⁴⁾は, 絶食開始から吸収後状態までの時間は飼料の種類により異なるが, 粗飼料のみを維持量給与した場合には最終給餌後4~5日目で吸収後状態に達するとした。また, 橋爪ら⁸⁾は, 乳牛に粗飼料を維持量よりわずかに少ない量を給与し, 絶食に伴うガス代謝と第一胃内性状の変化を検討し, 絶食4日目(最後の給餌後84時間)までに吸収後状態に到達したと推定している。本実験では, すべての環境温度において絶食3日目まで, 糞への窒素排泄量(第1図)並びに酸素消費量, 二酸化炭素発生量, メタン発生量及び熱発生量(第2図)は減少し, その後はほぼ一定の値を示した。したがって, 本実験では絶食3日目以降を吸収後状態と判断して絶食時として取り扱うこととし, 絶食時の各測定項目に及ぼす環境温度の解析には, 絶食3(最終給餌後68~92時間)及び4(最終給餌後92~116時間)日目の各測定値の平均値を用いた。また, 負荷順序の異なる2群の測定値間には有意な差を認めなかったことから, 両群の値をまとめて解析した。

1. 絶食前後の体重, 飲水量及び生理状態に及ぼす環境温度の影響

飼料給与時及び絶食時の体重, 飲水量, 体温及び呼吸数の処理平均値, 処理効果の有意水準及び最小有意差(l. s. d.)を第3表に示した。

絶食時の体重は405kg前後であり, 温度処理間に有意差を認めなかった。絶食に伴う体重の減少量は, 18, 27及び36°Cにおいてそれぞれ77, 74及び60kgであり, 36°Cにおいて小さくなる傾向を示した。これは, 絶食時の飲水量が36°Cにおいて著しく増加したことによるものと考えられる。

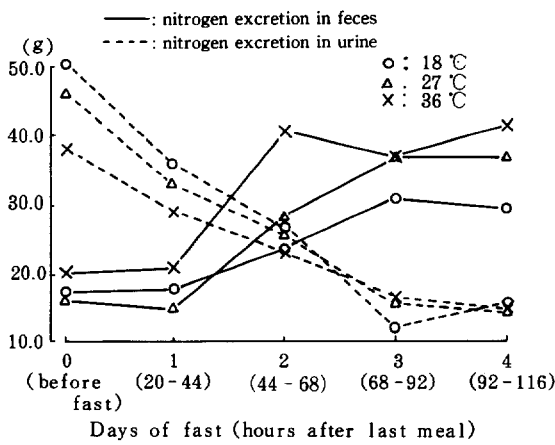


Fig. 1. Changes in nitrogen excretion in feces and urine during fast.

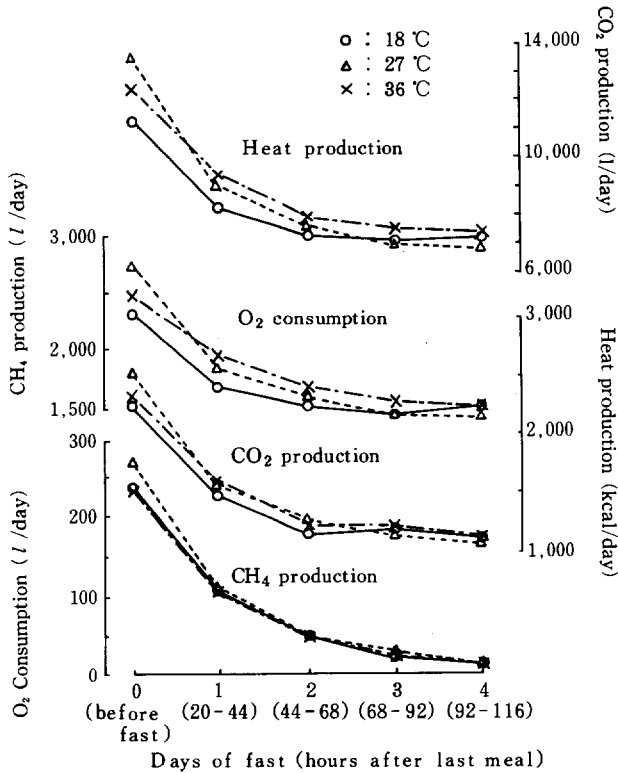


Fig. 2. Changes in heat production, O₂ consumption, CO₂ production and CH₄ production during fast.

飼料給与時の飲水量は環境温度の上昇につれて増加する傾向を示したが、有意ではなかった。栗原ら¹³⁾は、18, 26, 32, 36°Cにおける飲水量について報告し、特に36°Cでは大きく増加するとしているが、本試験の36°Cではその増加量が小さかった。これは、飼料給与時の高温負荷が2日間と短時間であったため、36°Cにおける体温が栗原ら¹³⁾の報告した40.5°Cと比較して1.0°C以上低かったことに起因すると考えられる。

飲水量は、すべての温度処理において飼料給与の停止とともに大きく減少した。飼料給与時の飲水量に対する絶食時に減少した飲水量の割合は、18, 27及び36°Cでそれぞれ90, 85及び48%であり、絶食に伴う飲水量の減少割合は36°Cにおいて小さかった。また、絶食時の飲水量は18及び27°Cにおける3.0及び4.9kg/dayと比較して、36°Cでは18.6kg/dayと有意に大きい値を示した。

飼料給与時及び絶食時において、体温は環境温度の上昇につれて上昇し、温度処理間に有意な差が認められたが、いずれの値も38.2~39.1°Cの範囲であり、乳牛の正常体温¹⁴⁾の範囲内であったと思われる。また、すべての温度処理において体温は、絶食に伴って0.3~0.4°C低下した。

Table 3. Body weight, water intake, body temperature, and respiration rate during feeding and fast (63-116 hours) at various temperatures

Item	Treatment means			Treatment effect	l. s. d. ^{a)} (P < .05)
	18°C	27°C	36°C		
	During feeding				
Body weight (kg)	478.9 ^{b)} ±44.9	474.3 ±46.9	466.3 ±51.4	NS ^{c)}	
Water intake (kg/day)	29.3 ±3.2	32.9 ±5.0	35.8 ±8.7	NS	
Body temperature (°C)	38.5 ±0.1	38.7 ±0.1	39.1 ±0.4	**	0.1
Respiration rate (resp/min)	17.9 ±2.8	28.3 ±6.8	61.8 ±9.7	**	2.7
	During fast				
Body weight (kg)	401.5 ±36.8	400.0 ±26.3	406.4 ±44.2	NS	
Water intake (kg/day)	3.0 ±1.5	4.9 ±2.6	18.6 ±10.3	**	10.1
Body temperature (°C)	38.2 ±0.1	38.3 ±0.1	38.8 ±0.3	**	0.1
Respiration rate (resp/min)	10.8 ±1.2	17.3 ±2.3	57.3 ±6.8	**	2.7

a) l. s. d. : least significant difference

b) Mean ± standard deviation

c) Level of significance : NS Not significant; ** P < .01

呼吸数は、環境温度の上昇につれて有意に増加し、特に27°Cと比較して36°Cでは飼料給与時及び絶食時においてそれぞれ2倍及び3倍以上に増加した。一方、すべての温度処理において、呼吸数は絶食によって減少したが、飼料給与時に対する絶食時の呼吸数の減少は、18、27及び36°Cにおいて7.1、11.0及び4.5 resp./minであった。このことは絶食時においても熱放散機能が環境温度の上昇に伴い高進することを示すものと考えられる。

2. 絶食前後の窒素排泄量に及ぼす環境温度の影響

糞及び尿へ排泄された窒素量（以下、それぞれ「糞中窒素排泄量」及び「尿中窒素排泄量」とする）の飼料給与時及び絶食時における処理平均値、処理効果の有意水準及び最小有意差 (l. s. d.) をそれぞれ第4及び5表に、絶食に伴う糞及び尿中窒素量の変化を第1図に示した。

糞中窒素排泄量は、飼料給与時では温度処理間に差を認めなかったが、36°Cにおいては糞量の減少に伴い減少する傾向を示した。一方、絶食後におけるこの値は、絶食3日目ま

で糞量の減少と共に減少し、飼料給与時の約30~40%に減少した。また、絶食時では温度処理間に差が認められず、平均14.7g/dayであった。

飼料給与時の尿量及び尿中窒素排泄量は、共に環境温度の上昇につれて増加する傾向を示したが、温度処理間に有意な差を認めなかった。

尿中窒素排泄量は絶食時に飼料給与時と比較して約170~220%の値を示し、18及び27°Cにおいては絶食3日目まで増加し、4日目においてやや減少する傾向を示したが、36°Cにおいては3日目に減少し、4日目に再び増加した。絶食に伴う尿中への窒素排泄量の変化について、海塩ら²⁸⁾は黒毛和種成雌牛を用いた実験で一定の傾向を認めていない。しかし、MORRIS and RAY¹⁹⁾の泌乳牛を用いた実験では、絶食後1~3日後に増加し、その後減少しており、本実験の18及び27°Cにおける結果と一致した傾向を示している。CARPENTER³⁾は、絶食時尿中窒素排泄量は、絶食前の給与水準が維持量以下の場合では増加し、維持量では減少すると報告しており、本実験において絶食に伴って尿中窒素排泄量が増加する傾向を示したのは、給与飼料中の粗蛋白質含量が著しく低いことから、絶食前の粗蛋白質給与量が維持量以下であったことに一因があるものと考えられる。

橋爪ら⁶⁾は、黒毛和種成雌牛とホルスタイン種系成雌牛(乾乳牛)を用いて、乾草給与に続く絶食4及び5日目における尿中窒素排泄量を17~20°Cの環境条件下で測定し、黒毛和種成雌牛では393⁷⁾mg/mbs•dayであり、ホルスタイン系種成雌牛では434⁶⁾mg/mbs•dayであると報告した。またCARPENTER³⁾は、成去勢牛において絶食後7~10日に75mg/kg•day

Table 4. Fecal nitrogen excretion of cows during feeding and fast (68-116 hours) at various temperatures

Item	Treatment means			Treatment effect	l. s. d. ^{a)} (P < .05)
	18°C	27°C	36°C		
	During feeding				
Feces (fresh) (kg/day)	22.6 ^{b)} ±6.1	23.4 ±5.7	18.6 ±3.8	NS ^{c)}	
Nitrogen (g/day)	49.7 ±10.2	45.8 ±27.3	38.1 ±3.7	NS	
Nitrogen (mg/mbs•day)	494 ±71	454 ±89	380 ±31	NS	
	During fast				
Feces (fresh) (kg/day)	3.9 ±1.2	5.0 ±1.5	5.5 ±2.1	NS	
Nitrogen (g/day)	13.6 ±4.7	14.9 ±2.3	15.6 ±4.8	NS	
Nitrogen (mg/mbs•day)	153 ±53	167 ±24	169 ±39	NS	

a, b and c) : See Table 3.

Table 5. Urinary nitrogen and energy excretion of cows during feeding and fast (68-116 hours) at various temperatures

Item	Treatment means			Treatment effect	l. s. d. ^{a)} (P < .05)
	18°C	27°C	36°C		
During feeding					
Urine (kg/day)	4.12 ^{b)} ±1.98	4.63 ±1.46	4.83 ±1.17	NS ^{c)}	
Nitrogen (g/day)	17.5 ±7.7	16.5 ±3.5	20.4 ±4.8		
Nitrogen (mg/mbs·day)	171 ±66	162 ±34	203 ±38	NS	
During fast					
Urine (kg/day)	1.58 ±0.58	2.80 ±0.99	4.16 ±2.71	NS	
Nitrogen (g/day)	30.3 ±9.9	36.7 ±8.7	39.0 ±8.2		
Nitrogen (mg/kg·day)	74 ±21	91 ±19	96 ±20	NS	
Nitrogen (mg/mbs·day)	334 ±98	409 ±87	426 ±84		
Energy (kcal/day)	311 ±101	403 ±155	413 ±147	NS	
Energy (kcal/mbs·day)	3.42 ±1.17	4.48 ±1.56	4.45 ±1.29		

a, b, and c) : See Table 3.

の値を、MORISS and RAY¹⁹⁾は泌乳牛において60~80mg/kg·dayの値を得た。絶食時の尿中窒素排泄量は、絶食前の飼料給与水準及び絶食期間等により影響される可能性があるが、本実験のホルスタイン種乾乳牛の成績は、環境温度18°Cにおいて、メタボリックボディサイズ当たりでは1日334mg、また体重1kg当たりでは1日74mgであり、これらの報告書の数値と同様の値であった。

また、絶食時の尿量及び尿中窒素排泄量は、温度処理間に有意な差を認めなかったが、いずれも環境温度の上昇につれて増加する傾向を示し、環境温度18、27及び36°Cにおいてそれぞれメタボリックボディサイズ当たり334、409及び426mg/dayであった。絶食時の尿中窒素は体蛋白質の分解に由来するものであるが、この中にはエネルギー源として分解された体蛋白質に由来する窒素が含まれている。したがって、各環境温度における維持の窒素要求量の推定には、絶食時にエネルギー源として分解され尿中へ排泄される体蛋白質由来の窒素量と環境温度との関係を把握する必要がある。しかし、本実験ではエネルギー摂取量

がほぼ維持量と考えられた飼料給与時においても絶食時と同様に高温時に尿中窒素排泄量が増加していたことを考え合わせると、高温時には維持に要する窒素量が増加する可能性があると考えられる。また、McDOWELLら¹⁶⁾は、分娩後45~90日の泌乳牛を用いた実験から温熱ストレスにより非生産源に利用される蛋白質量が有意に増加すると報告しており、本実験の結果はこれを支持するものと考えられた。

以上の結果から、乾乳牛の維持に要する蛋白質は、環境温度に影響される可能性が示唆

Table 6. Results of respiration experiments during feeding and fast (68-116 hours) at various temperatures

Item	Treatment means			Treatment effect	l. s. d. ^{a)} (P < .05)
	18°C	27°C	36°C		
	During feeding				
O ₂ consumption (l/day)	2301 ^{b)} ±353	2729 ±126	2467 ±196	NS ^{c)}	
CO ₂ production (l/day)	2278 ±262	2558 ±123	2339 ±264	NS	
CH ₄ production (l/day)	234 ±14	268 ±13	229 ±32	*	31
Heat production (kcal/day)	11220.9 ±1404.5	13456.9 ±619.2	12355.9 ±1268.6	NS	
Heat production (kcal/mbs·day)	112.3 ±15.2	132.9 ±9.0	123.1 ±3.8	NS	
non-protein RQ	1.00 ±0.05	0.94 ±0.01	0.94 ±0.02	*	0.05
	During fast				
O ₂ consumption (l/day)	1514 ±167	1468 ±51	1561 ±61	NS	
CO ₂ production (l/day)	1165 ±178	1119 ±51	1182 ±40	NS	
CH ₄ production (l/day)	15 ±3	18 ±3	15 ±5	NS	
Heat production (kcal/day)	7199.4 ±838.0	6948.3 ±260.5	7493.9 ±344.9	NS	
Heat production (kcal/mbs·day)	80.3 ±5.9	77.8 ±3.4	81.9 ±3.9	NS	
non-protein RQ	0.77 ±0.06	0.75 ±0.01	0.75 ±0.02	NS	

a, b and c) : See Table 3.

* < 0.5

された。しかし、5～28°Cの環境温度では、エネルギー要求量が十分に満足されるならば維持における蛋白質の要求量が環境温度によって変化する可能性は少ないとの報告⁹⁾もあり、今後さらに、栄養水準、環境温度及び温度負荷期間との関係を検討する必要がある。

3. 絶食前後の熱発生量に及ぼす環境温度の影響

飼料給与時及び絶食時における酸素消費量、二酸化炭素発生量、メタン発生量、熱発生量及び非蛋白呼吸商の処理平均値、処理効果の有意水準及び最小有意差 (l. s. d.) を第6表に、絶食に伴う酸素消費量、二酸化炭素発生量、メタン発生量及び熱発生量の変化を第2図にそれぞれ示した。

飼料給与時の熱発生量は、温度処理間に有意な差を認めなかったが、18°Cと比較して、27及び36°Cでそれぞれ18及び10%増加した。27°Cと比べて36°Cの増加割合が小さかったのは飼料摂取量が36°Cで減少したためと考えられる。柴田と向居²⁷⁾は、濃厚飼料多給時においても、飼料を定量摂取した場合、ホルスタイン種乾乳牛の熱発生量は18°Cに対して26°C以上では熱放散機能の高進により有意に増加することを認め、また JOHNSON¹¹⁾は、採食量を一定に保った牛の熱発生量が20°Cと比較して30°Cでは増加することを示している。本実験においても、27°Cの飼料摂取量は18°Cにおけるそれと同一であり、また呼吸数も27°Cで増加していることから、27°Cにおける熱発生量の増加は、体温調節のための各種機能の高進に伴うものであろうと考えられる。

酸素消費量及び二酸化炭素発生量は、絶食2～3日目まで段階的に減少し、絶食3日目以降ほぼ一定になった。絶食時の酸素消費量及び二酸化炭素発生量の飼料給与時に対する割合は、それぞれ55～65%及び40～45%となった。メタン発生量は絶食に伴い減少しつづけ、絶食4日目には平均11.6 l/dayであり、飼料給与時のメタン発生量に対する割合は5%以下となった。熱発生量は、絶食に伴う酸素消費量及び二酸化炭素発生量の減少と共に絶食2～3日目まで段階的に減少し、絶食時の熱発生量の飼料給与時に対する割合は59～72%となった。非蛋白呼吸商は、飼料給与時の0.95前後から絶食2日目の平均0.77まで段階的に減少し、絶食3日目には平均0.80とやや大きくなったが、絶食4日目には平均0.71まで低下した。

絶食時における熱発生量は、測定前の各種条件、例えば絶食期間、絶食前の飼料給与水準、品種、年齢、家畜の生理状態、環境温度、測定に対する訓練の程度及び計算方法などにより異なるとされている⁷⁾ので、直ちに他の報告者の測定値と比較することは困難であるが、ホルスタイン種系成雌牛を用いた2、3の例を引用し、比較すると次のとおりである。

橋爪ら^{5, 6)}は、乾乳牛を5頭及び3頭を用いた2回の絶食試験から、絶食時熱発生量はそれぞれ73.1及び80.9 kcal/mbs·dayであり、8例を平均すると76.0 kcal/mbs·dayであると報告した。また、FLATT and COPPOCK⁴⁾及び LEAHAY ら¹⁴⁾は、乾草を維持量給与した後の乾乳牛の絶食時熱発生量を、それぞれ73.5と82.0 kcal/mbs·dayと報告した。さらに HOLTER⁹⁾は、維持量の粗飼料と1 kgの濃厚飼料を給与した乾乳牛(非妊娠あるいは妊娠22週以下)の乾乳後31日の絶食時熱発生量は100.0 kcal/mbs·dayであると報告した。本実験のホルスタイン種乾乳牛の18°Cにおける絶食時の熱発生量は80.3 kcal/mbs·dayであり、これらの報告、特に橋爪ら⁶⁾及び LEAHAY ら¹⁴⁾の報告に近い値であった。

絶食時の熱発生量は、36°Cにおいてやや増加する傾向を示したものの、環境温度間に有意な差を認めなかった。これは、絶食時においては飼料の摂取、第一胃内発酵、消化、吸収等体内からの熱負荷がない状態であることから、呼吸数の増加等による熱放散機能が効果的に作用し、体温がおおむね正常体温の範囲内に保たれたために、van't Hoff の効果による代謝率の高進²⁷⁾が発現しなかったことを示すものと考えられる。しかしながら、McDOWELL ら^{16, 17)}は泌乳牛の維持のためのエネルギー及び蛋白質の要求量が高温時に増加することを報告している。また、本実験においても絶食時の熱発生量と尿中へのエネルギー損失量の和を維持のための正味エネルギー¹⁾として計算すると、18, 27及び36°Cにおいて、それぞれ83.72, 82.28及び86.35kcal/mbs・day となり、36°Cにおいて増加する傾向を示した。また、体蛋白質中の酸化に由来するエネルギー消費量は、絶食時の尿中窒素排泄量より、18, 27及び36°Cにおいてそれぞれ9.19, 11.25及び11.72kcal/mbs・day と算出され²⁾、絶食時の熱発生量に占める体蛋白質由来のエネルギーの割合は、それぞれ11.4, 14.5及び14.3%と、18°Cと比べて27及び36°Cで約26%増加する傾向が認められた。したがって、36°Cでは乾乳牛においても各種体熱放散機能の高進に伴って維持に要するエネルギー及び蛋白質が増加する可能性が考えられる。

以上の結果から、絶食時において熱発生量は、有意ではないが、36°Cにおいて増加する傾向を示したこと、また絶食時の体蛋白質の酸化に由来するエネルギー損失量も、36°Cにおいて増加する傾向を示したことより、高温時にはエネルギー及び蛋白質の維持要求量が増加する可能性が考えられた。

熱的中性圏以上において熱放散量を増大させるためのエネルギーは維持に要するエネルギーとして把握する必要がある。しかし、これら高温ストレスに抗するための養分損失の定量的把握を含め、維持に要する代謝エネルギーあるいは蛋白質等養分の利用効率の環境温度の変化に伴う変動は不明であることから、今後、高温時における代謝エネルギーの利用効率の検討とともに、高温時における維持に要するエネルギー等養分要求量を解明する必要がある。

IV. 摘 要

高温環境下における乳牛のエネルギー代謝に関する研究の一環として、乳牛の絶食前後の生理反応、窒素排泄量及び熱発生量に及ぼす環境温度の影響について、非妊娠ホルスタイン種乾乳牛4頭を九州農業試験場に設置した代謝実験室に収容して検討した。環境温度は、1群については第1期：18°C、第2期：27°C、第3期：36°Cとし、他の群については逆の順序で変更した。試験期間は各期とも7日間とし、また各期の間には11～13日間の調整期を設け、この期間は畜舎内で飼養した。給与飼料は、絶食時を除きイタリアンラググラス乾草をおおむねTDNで維持量とした。飼料給与時の各種の測定は、各期の第2日目の13時から第3日目の13時までに行い、絶食後の各期の測定は、各期の第3日目の17時を最終給餌として第4日目の13時から第8日目の13時までの4日間に行った。その結果として、以下の知見を得た。

1. 糞への窒素排泄量並びに酸素消費量、二酸化炭素発生量、メタン発生量及び熱発生

量は、すべての環境温度において絶食3日目（最終給餌後68～92時間）まで減少し、その後はほぼ一定の値を示した。したがって、本実験では絶食3日目以降を吸収後状態と判断し、絶食3及び4（最終給餌後92～116時間）日目の測定値の平均値を絶食時の値として解析に供した。

2. 糞及び尿への窒素排泄量並びに体重は、飼料給与時及び絶食時において温度処理間に有意な差を認めなかった。しかし、尿への窒素排泄量は、飼料給与時及び絶食時において環境温度の上昇につれて増加する傾向を示しており、維持に要する蛋白質は環境温度によって影響される可能性が示唆された。

3. 体温は、飼料給与時及び絶食時において環境温度の上昇につれて有意に上昇した。また、呼吸数は飼料給与時及び絶食時において環境温度の上昇につれて有意に増加し、特に27°Cと比較して36°Cでは飼料給与時及び絶食時においてそれぞれ2倍及び3倍以上に増加しており、体温調節のための熱放散機能が36°Cで著しく高進したものと考えられた。

4. 飼料給与時の熱発生量は、18、27及び36°Cにおいてそれぞれ112.3、132.9、123.9 (kcal/mbs·day)であり、温度処理間に有意な差を認めなかったが、18°Cと比較して27及び36°Cでそれぞれ18及び10%増加しており、これは体温調節のための各種機能の高進に伴うものと推察された。

5. 絶食時の熱発生量は、18、27及び36°Cにおいてそれぞれ80.3、77.8、81.9 (kcal/mbs·day)であり、温度処理間に有意な差を認めなかったが、36°Cにおいて呼吸数の著しい増加とともにやや増加する傾向を示した。また、絶食時の体蛋白質の酸化に由来するエネルギー損失量も36°Cにおいて増加する傾向を示し、高温時にはエネルギー及び蛋白質の維持要求量が増加する可能性が考えられた。

引用文献

- 1) ARC : The nutrient requirements of ruminant livestock. *Agric. Res. Counc.*, London, 1980.
- 2) BROUWER, E. : Report of sub-committee on constants and factors. Proc. 3rd Sympo. on Energy Metabolism. EAAP publ. No.11. (BLAXTER, K. L. ed.) 441~443, Academic Press, London, 1965.
- 3) CARPENTER, T. M. : The composition of the urine of steers as affected by fasting. *Amer. J. Physiol.* **81** : 519~551, 1927.
- 4) FLATT, W. P. and COPPOCK, C. E. : Fasting metabolism of dry, nonpregnant adult dairy cows. *J. Dairy Sci.* **46** : 638, 1963.
- 5) 橋爪徳三・海塩義男・安保庄一郎・森本 宏・増淵敏彦・安部道夫・堀井 聰・田中孝之介・浜田龍夫・高橋正也：牛における物質及びエネルギーの代謝 III. 本邦和牛及び乳牛の維持養分要求量に関する研究. 農技研報 **G21** : 213~285, 1962.
- 6) 橋爪徳三・森本 宏・増淵敏彦・安部道夫・堀井 聰・浜田龍夫・田中孝之介・高橋正也・海塩義男・安保庄一郎：乳牛の飼養標準に関する研究 II. 乳牛の維持養分要求量に関する研究. 畜試特報 **2** : 7-77, 1964.
- 7) 橋爪徳三・針生程吉・伊藤 稔・増淵敏彦・堀井 聰・田辺 忍・森本 宏：肉牛の飼養標準に関する研究 II. 和牛の維持養分要求率に関する研究. 畜試研報 **13** : 23~40, 1967.
- 8) 橋爪徳三・藤田 裕・松岡 栄・高橋潤一・桜井康雄・佐藤 泉：呼吸後状態を中心とした絶食時の代謝と第一胃発酵の変化. 帯大研報 **8** : 615~628, 1974.

- 9) HOLTER, J. B. : Fasting heat production in "lactating" versus dry dairy cows. *J. Dairy Sci.* **59** : 755~759, 1976.
- 10) 伊藤 稔・田野良衛 : 助燃剤をかねた容器としてポリエチレンフィルムを用いた末乾燥糞及び尿の熱量分析法の検討. 畜試研報 **32** : 39~43, 1977.
- 11) JOHNSON, H. D. : Ground Level Climatology 189-206. ed R. H. SHAW, Am Assoc Adv Sci Zub. **86**. Washington, D. C. 1967.
- 12) KLEIBER, M. : The Fire of Life. John Wiley & Sons, Inc. New York, 1961.
- 13) 栗原光規・柴田正貴・向居彰夫 : 濃厚飼料多給時における乳牛の水分出納に及ぼす環境温度の影響. 家畜の管理 **20** : 61~67, 1984.
- 14) LEAHEY, J. M., HOLTER, J. B. and URBAN, Jr., W. E. : Energy and protein utilization in forages fed to dry cows. *J. Dairy Sci.* **56** : 587-591, 1973.
- 15) 三村 耕・森田琢磨 : 熱環境と家畜の反応. 家畜管理学. 24~64, 1980.
- 16) McDOWELL, R. E., MOODY, E. G., VAN SOEST, P. J., LEHMANN, R. P. and FORD, G. L. : Effect of heat stress on energy and water utilization of lactating cows. *J. Dairy Sci.* **52** : 188~194, 1969.
- 17) McDOWELL, R. E. : Consequences of thermal stress on livestock performance. In : Improvement of Livestock Production in Warm Cldmates. 101~127. W. H. Freeman and Company, San Francisco, 1972.
- 18) 森本 宏監修 : 動物栄養試験法, 養賢堂, 東京, 1971.
- 19) MORRIS, S. and RAY, S. C. : The fasting metabolism of ruminant. *Biochem. J.* **33** : 1217~1230, 1939.
- 20) 向居彰夫・柴田正貴・栗原光規, 高温時における乳牛のエネルギー代謝 1. 九州農業試験場に設置した代謝実験室の装備と機能の概要, 九州農試報告 **26** : 27~69 1989.
- 21) 農林水産技術会議事務局 : 日本飼養標準 乳牛 (1987年版). 中央畜産会, 東京, 1987.
- 22) 岡本昌三・石井尚一・向居彰夫・犬童幸人 : 乳牛の生理機能に及ぼす暑熱の影響に関する研究. 九州農試彙報 **11** : 183~243, 1965.
- 23) 奥野千恵子 : 2重分類データの解析. 農林研究計算センター報告 **A1** : 7-13, 1967.
- 24) RITZMAN, E. G. and BENEDICT, F. G. : Nutritional physiology of the adult ruminant. **494** : 1~200. Carnegie Inst. Wash., Washington D. C., 1938.
- 25) 柴田正貴・向居彰夫 : 乾乳牛の熱発生量, 各種生理反応に及ぼす環境温度ならびに乾草摂取量の影響. 日畜会報 **48** : 509~514, 1977.
- 26) SHIBATA, M. and MUKAI, A. : Effect of heat stress and hay-concentrate ratios on milk production, heat prodution and some physiological responses of lactating cows. *Jap. J. Zootech. Sci.* **50** : 630~637, 1979.
- 27) 柴田正貴・向居彰夫 : 濃厚飼料多給時における乾乳牛の熱発生量, 各種生理反応に及ぼす環境温度の影響. 日畜会報 **53** : 33~38, 1982.
- 28) 海塩義男・橋爪徳三・安保庄一郎・阿部彦郎・増淵敏彦・安部道夫・森本 宏・堀井 聡・倉田陽平・石原盛衛・土屋平四郎 : 牛における物質及びエネルギーの代謝. 農技研報 **G11** : 196~217, 1955.

Energy Metabolism of Dairy Cattle under High Environmental Temperature

3. Effect of Environmental Temperature on Fasting Metabolism of Dairy Cows

Masaki SHIBATA¹⁾, Akio MUKAI²⁾ and Mitsunori KURIHARA

Summary

The influence of environmental temperature on fasting metabolism of dairy cows was studied by using the respiration apparatus in Kyushu National Agricultural Experiment Station. Four dry, nonpregnant Holstein cows were used and the fasting metabolism was determined by means of open circuit indirect calorimetry with 4 respiration chambers in 2 controlled climatic respiration rooms for 1 week for 1 treatment. Two of 4 cows were subjected to three temperature treatments in the order 18, 27 and 36°C with relative humidity 60%, while the other two were subjected to the same temperature treatments in reverse order. Before the fast began all the cows were fed Italian ryegrass hay at a calculated maintenance level in the chambers for 3 day. They were given their last meal at 17:00 h on the day preceding the fasting measurements which started at 13:00 h the following day and continued for 4 days. After the measurements the cows were returned to the barn and fed the same hay for 11-13 days and then placed in the chambers again for the next treatment. No account was taken of variations in the time spent standing and lying. Live weights were measured at the beginning and end of the fast and also after 18 h and 66 h of fast. The results were as follows:

- 1) Fecal nitrogen excretion, oxygen consumption, carbon dioxide production, methane production and heat production decreased until 3rd day (68-92 h after the last meal) during all the treatments. Their values of the 3rd day and the 4th day (92-116 h after the last meal) were almost the same. Therefore, the fasting metabolism was taken to be their mean values per day measured 3rd and 4th day after the last meal.
- 2) There were no significant difference in body weight and the fecal and urinary nitrogen excretion between the treatments both during the period of feeding and fast. However the urinary nitrogen excretion tended to increase with temperature both during the period of feeding and fast. Therefore it is considered that the protein requirements for maintenance are affected by temperature.
- 3) Body temperature and respiration rate significantly increased with temperature both during the period of feeding and fast. In comparison of 36°C with the 27°C treatment, respiration rate increased above 2 and 3 times during the period of feeding and fast, respectively. It suggested that heat loss function was considerably accelerated during the 36°C treatment.
- 4) The means of heat production (kcal/mbs/24h) for 18, 27, 36°C during feeding period were 112.3, 132.9, 123.9, respectively. The heat production increased by 18% at 27°C and 10% at 36°C compared with that in the 18°C treatment but the differences between the treatments were not significant. The increase in heat production under high temperatures may be brought about by the increased action of heat loss function, especially respiration.

Department of Animal Production, Kyushu National Agricultural Experiment Station, MAFF, Nishigoshi, Kumamoto, 861-11 JAPAN.

Present address:

¹⁾ National Institute of Animal Industry, MAFF.

²⁾ Kyushu National Agricultural Experiment Station, MAFF.

5) The means of heat production (kcal/mbs/24h) for 18, 27, 36°C during fast period were 80.3, 77.8, 81.9, respectively. The heat production tended to increase at the 36°C treatment with increase in respiration rate but the differences between the treatments were not significant. The energy loss derived from oxidation of body protein during fast period tended to increase at the 36°C treatment. The results suggested that the energy and the protein requirements for maintenance are higher under high temperature.