

寒冷環境における泌乳牛の代謝と生産反応の変化

藤田 裕*・松岡 栄*・高橋 潤一*
鈴木 孝俊*・藤田 毅*

(受理: 1981年11月30日)

Changes in Metabolism and Productive Performance of Lactating Dairy Cows in Cold Environments

Hiroshi FUJITA,* Sakae MATSUOKA,* Junichi TAKAHASHI,*
Takatoshi SUZUKI* and Tsuyoshi FUJITA*

摘 要

(1)寒冷時における乳牛の代謝と生産反応の変化を栄養生理面から明らかにするため、環境温度制御下(+10℃~-20℃)での泌乳牛による代謝試験、呼吸試験および飼養試験を実施した。(2)粗飼料からの乾物摂取量は寒冷処理開始後の日数経過とともに増大の傾向を示し、乾物摂取量の増加割合は-20℃期に大きかった。(3)期間内通算の実乳量は寒冷期にやや減少の傾向があったが、乳脂率およびたんぱく質率は増加傾向があり、FCMおよびSCM乳量は処理間に差は生じなかった。(4)寒冷処理の開始とともに呼吸数の著減、単位時間内呼吸量の激減(1回あたり呼吸量の著増)をみ、寒冷期特有の深く遅い呼吸パターンが急速に形成された。(5)メタボリック・ボディ・サイズあたりの熱発生量は、-10℃、-20℃期ともに寒冷処理開始当初はむしろ低く、寒冷処理終期に至り回復した。(6)寒冷処理期における血中遊離脂肪酸濃度およびヘマトクリット値は-10℃、-20℃期ともに寒冷処理開始当初から増加し、血糖値は-20℃期に若干増加した。(7)期間内通算の体重、直腸温、心拍数および摂水量には温度処理にもとづく一定の変化はなかった。(8)段階的または急激な温度変換による寒冷曝露の諸反応への影響は-10℃および-20℃の両処理を通じて明確ではなかった。(9)これらの成績から、-10℃~-20℃の寒冷曝露の初期には呼吸数の著減を主徴とする放熱抑制反応が顕著に優先するとともに、血中成分濃度も比較的すみやかに対応するが、寒冷処理に対する熱発生量の定常的な増大反応はややおくれて発現するものと考えられた。

低温環境に対する乳牛の生産生理反応の変化を量的に明らかにすることは寒冷地酪農における飼養管理技術の開発・改善上の主要課題であるが、暑熱の影響に関する試験成績に比較して寒冷の影響については検討例は少な

い。

一般にホルスタイン種は寒冷耐性に秀れ、-10℃~-15℃までは乳生産に対する明らかな影響はみられず^{1,2)}、寒冷に対処するための熱発生量の増加割合もインド牛に比

*帯広畜産大学家畜生産科学科家畜栄養学教室

*Laboratory of Animal Nutrition, Department of Animal Science, Obihiro University of Agriculture and Veterinary Medicine, Obihiro, Hokkaido 080, Japan.

較すると著しく小さい⁹⁾とされる。しかし寒冷耐性を最大限に発現させるためには飼料給与条件が適切であることが前提となるので、冬期厳寒時の適切な飼養方式確立に際して低温環境下における乳牛の生産生理反応の変化を飼料摂取やエネルギー代謝との関連で捕捉することが必要である。

本試験は厳密な環境温度制御下で寒冷曝露された乳牛の乳生産に関連する諸反応の変化を栄養生理面から検討し、寒冷地における乳牛飼養方式の改善に関して基礎的な情報をうることを目的とする。

試 験 方 法

1) 寒冷環境の設定と処理区分

乳牛飼育実験はすべて乳牛用低温環境調節室(乳牛3頭用, 87 m³)内で実施した。環境調節はコンデンシングユニット(三菱 SLU-60) 2基使用の冷気循環方式によるもので循環空気の除湿は塩化リチウム溶液使用のカサバシステムによっている。冷気循環量は5,000 m³/hr, 外気交換量は510 m³/hrである。本施設により乳牛3頭収容時で、+10℃～-30℃+2℃の調温が可能である。湿度は成行であるが、+10℃時では平均54%であった。

本施設を用いて、実験1および2においては段階的又は急激な寒冷曝露に対する乳牛の生産生理反応を検討するため、下記のような温度処理を順次設定した。

実験1. +10℃(5日)→0℃(5日)→-10℃(15日)→0℃(5日)→+10℃(5日)

実験2. +10℃(7日)→-10℃(7日)→+10℃(7日)→-20℃(7日)→+10℃(7日)

2) 供試牛

実験1および2を通じて泌乳最盛期を経過したホルスタイン種泌乳牛(実験1:2頭, 実験2:3頭)を供用した。供試牛の概要はTable 1の通りである。

Table 1. Experimental cows

Cow No.	Age (year)	Calving No.	Average body weight (kg)
Exp. 1	1	7.6	5
	2	3.0	1
Exp. 2	3	6.7	5
	4	4.6	2
	5	3.6	2

3) 給与飼料

泌乳中の乳牛を供用した実験1および2では粗飼料としてはヘイレージ(子モシー主体)を用い、飼育実験供用前日の日乳量の30%を基準給与量として配合飼料(市販乳牛用)を給与した。これらの飼料はいずれも日量を午前(8:00~9:00)および午後(17:30~18:30)に二分して給与した。実験1~2を通じて粗飼料は午前午後各1時間の時間制限採食とし、常時10%程度の残飼が出るように給与量を設定した。給与飼料の一般組成はTable 2の通りである。

4) 調査項目

上記1~3項に示した設定条件下において、実験1~2ともに泌乳牛について飼料乾物摂取量、水分摂取量、乳量、乳成分、血液性状(血糖値、遊離脂肪酸濃度、ヘマトクリット値、GOT およびGPT活性)、ガス代謝諸元(呼吸量、呼吸数、酸素消費量、炭酸ガスおよびメタン産生量)、発熱生量、心拍数、および直腸温の計測を行った。飼料、水分摂取量、乳量については連日計測、乳成分は隔日の試料について分析を実施し、血液成分は呼吸試験日程に合わせて温度変換の直前直後の2日間に試料採取を行い、それぞれ分析に供した。血中成分の分析は血漿グルコー

Table 2. Chemical composition of feeds

	Dry matter	Crude protein	Crude fat	NFE	Crude fiber	Crude ash	Energy
	%	%	%	%	%	%	kcal/g
Haylage	1 (Exp. 1)	57.1	8.2	1.3	20.2	19.6	7.6
	2 (Exp. 2)	56.4	8.7	1.7	21.7	17.5	6.8
Concentrate mixture	1 (Exp. 1)	85.7	16.8	2.3	54.9	5.1	6.6
	2 (Exp. 2)	87.8	15.7	3.3	56.4	5.8	6.6

スについてはグルコスタット法 (WORTHINGTON Biochem.製試薬使用)、血漿遊離脂肪酸 (NEFA) については DUNCOMBEの方法⁵⁾、GOT および GPT 活性は REITMAN-FRANKEL変法 (国際試薬製キット使用) によった。ガス代謝諸元の計測における呼吸試験は開放式マスク法⁶⁾を適用し、朝夕の給飼前安静時にそれぞれ30分間呼吸を連続的にガス分析計 (O₂: 磁気分析計, CO₂および CH₄: 赤外線分析計) に導入し酸素消費量、炭酸ガスおよびメタン産生量を計測した。

試験結果

1) 体重の変化

実験1～2の各温度期における供試牛の体重変化を Table 3 に示した。各実験期、各温度処理を通じて体重の増減は軽微であり、かつ温度処理との間に一定の傾向は認められなかった。

2) 飼料乾物摂取量および水分摂取量

実験期、処理区分ごとの通算乾物摂取量および水分摂取量を Table 4 に示した。

時間制限採食下における乾物摂取量は実験1では+10℃

Table 3. Changes in body weight*

Ambient temp.	Experiment 1	Experiment 2
+10℃	567 kg	615 kg
-10℃	547	613
-20℃	—	623

* Averages on the final day of each treatment.

C期 (-10℃期をはさむ前後の+10℃期の平均) にくらべ-10℃期では約6%増、実験2では-10℃期の増加はほとんど認められなかったが、-20℃期では+10℃期にくらべ7%増となった。これら変温後の飼料摂取量の増加は極めて漸増的で、寒冷曝露後半期で大きかった。

なお、実験1～2について計測した給与飼料全体からの TDN および DCP 供給量はいずれも常温状態の養分要求量を充足するものであった。

水分摂取量 (飲水および飼料からの水分の合計量) について各温度処理期間内通算の平均値では処理間に大差はないが、実験1、2ともに低温処理 (-10～-20℃) への変換直後に摂水量が一時的に若干減少する傾向があった。

Table 4. Changes in feed intake and water consumption

Ambient temp.	Feed intake (kgDM/day)			Water consumption (kg/day)
	Haylage	Conc. mixture	Total	
Exp. 1	+10℃	10.2	3.6	13.8
	-10℃	10.8	3.6	14.4
Exp. 2	+10℃	10.7	3.6	14.3
	-10℃	11.1	3.8	14.9
	+10℃	11.6	3.8	15.4
	-20℃	12.4	3.8	16.2

Table 5. Changes in milk production and milk composition

Ambient temp.		Milk yield (kg/day)			Milk composition (%)			
		Actual	FCM	SCM	Total solids	Protein	Fat	SNF
Exp. 1	+10°C	11.8	11.2	11.0	12.20	3.13	3.72	8.48
	10°C	10.8	11.2	10.6	12.57	3.32	4.02	8.55
Exp. 2	+10°C	12.3	12.1	12.0	12.43	3.43	3.45	8.98
	−10°C	11.8	12.0	11.9	12.97	3.55	3.66	9.31
	+10°C	12.0	11.9	11.9	12.81	3.43	3.51	9.30
	−20°C	11.8	12.3	12.2	13.03	3.55	3.78	9.25

飼料および水分摂取量に関して段階的変温（実験 1）と急激な変温（実験 2）の処理間差は明確ではなかった。

3) 乳量および乳成分の変化

実験 1 および 2 における各温度処理期別の乳量、乳成分の変化を Table 5 に示した。

実乳量は全般的に低温期（-10~-20℃期）にやや減少の傾向があったが、FCM および SCM 乳量では常温期（+10℃）との間に大差なく、また急激な温度変換（実験 2）と段階的変換（実験 1）との間にも低温処理期間内の平均日乳量については明確な相違は認められなかった。

乳成分については実験 1、2 を通して低温期に各成分ともに含有率の増加傾向が示され、とくに乳脂肪率の増加割合が大きかった。しかし、この増加傾向は前述の実乳量の減少傾向に対応するもののようで、乳脂肪生産量は処理間に差は生じていない。

4) 血液性状の変化

血液性状の変化（実験 1、2）については、血糖値、遊離脂肪酸濃度、ヘマトクリット値ならびに GOT、GPT 活性の変化を Table 6 に示した。

血糖値は実験期により必ずしも差は大きくなかったが、

低温期間内に若干増加の傾向があった。遊離脂肪酸濃度およびヘマトクリット値は低温期における増加傾向が明らかであった。GOT 活性に関しては実験 1 と 2 との間で反応が異なり、段階的な変温（実験 1）では活性の減少傾向が、急激な変温（実験 2）ではやや増加の傾向が示された。GTP 活性については処理間に一定の関係は見出されなかった。

5) 心肺機能、ガス代謝関連諸元の変化

呼吸試験における一連の生理的諸元およびガス代謝諸元の変化を Table 7 に示した。

各温度処理期についての平均値では低温期（-10~-20℃期）における呼吸数の著減（およそ半減）、1 回あたり呼吸量の著増が特徴的に認められる。これにともない 1 分あたり呼吸量も低温期には減少した。心拍数は実験 1 の段階的変温では低温期に増加の傾向がみられたが、急激な変温（実験 2）では -10℃ 期ではやや減少、-20℃ では若干の増加にとどまり、変温の影響は明確ではなかった。直腸温については全般に温度処理の影響は認められず、実験 2 の -20℃ 期においても体温変化の傾向は全く認められなかった。

Table 6. Changes in blood constituents

Ambient temp.	Plasma glucose	Plasma NEFA	GOT value	GPT value	Ht value
Exp. 1 { +10℃	61.5 mg%	8.7 mg%	61.3 U	18 U	31.6 %
-10℃	66.5	16.3	58.0	17	33.2
+10℃	62.3	15.8	47.3	9	26.8
Exp. 2 { -10℃	62.3	21.9	50.5	8	28.7
+10℃	61.7	13.0	45.8	6	26.9
-20℃	63.7	17.3	48.0	9	29.4

Table 7. Changes in gas exchange and several physiological traits

Ambient temp.	Respiration rate	Pulse rate	Ventilation rate	Tidal volume	Rectal temp.	O ₂ consumption	CO ₂ production	Respiratory quotient	CH ₄ production	Heat production
	(No./min)	(No./min)	(l./min.)	(l.)	(℃)	(l/30min)	(l/30min)		(l/30min)	(W ^{0.75})
Experiment 1 { +10℃	16	58	78.8	5.1	38.7	72.7	83.4	1.15	5.7	3.6
-10℃	8	67	60.4	6.4	38.6	73.0	77.4	1.06	5.3	3.3
+10℃	26	55	84.4	3.3	38.7	72.7	72.7	1.00	5.3	2.9
Experiment 2 { -10℃	13	53	53.5	4.5	38.7	66.5	56.8	0.86	4.6	2.3
+10℃	27	58	89.3	3.4	38.7	76.5	73.0	0.96	5.9	2.9
-20℃	11	60	47.4	4.7	38.8	67.9	57.7	0.85	5.1	2.4

Table 8. Changes in oxygen consumption, carbon dioxide production and heat production in relation to the duration of time for cold exposure (Experiment 2)

Order in which the experiments were made	Ambient temperature ($^{\circ}\text{C}$)	Duration of time for exposure (day)	O_2 con- sumption ($l/30\text{min.}$)	CO_2 pro- duction ($l/30\text{min.}$)	Heat production ($\frac{\text{kcal}}{\text{W}^{0.75} \cdot 30\text{min.}}$)
1	+10	6-7	74.5	75.1	2.97
2	-10	1-2	66.3	49.9	2.48
	-10	6-7	66.6	63.6	2.81
3	+10	1-2	71.8	77.6	2.87
	+10	6-7	71.8	65.5	2.75
4	-20	1-2	62.2	52.7	2.34
	-20	6-7	73.6	62.6	2.73
5	+10	1-2	81.7	76.6	3.20
	+10	6-7	80.7	72.1	3.07

酸素消費量および炭酸ガス産生量は実験期により異った傾向を示した。すなわち段階的な変温を行った実験1では酸素消費量、炭酸ガス産生量ともに常温期（+10°C期）と低温期（-10°C期）の差は比較的少なく、急激な変温処理を行った実験2では低温期（-10~-20°C期）にむしろ減少する傾向が示された。呼吸商については、実験1、2を通じて低温期での低下傾向がみられた。メタン産生量の動きは酸素および炭酸ガスの動きとはほぼ同様であった。

これらのガス代謝値から算定された熱発生量は実験1および2ともに低温期（-10~-20°C期）にむしろ減少する傾向が示された。

Table 8は実験2における酸素消費量、炭酸ガス産生量および熱発生量の変化を変温後の経過日数別に示したものであるが、低温への変温始期（変温後1~2日目）の数値が変温直前又は変温終期（変温後6~7日目）の数値にくらべていずれも低く、常温への変温ではこれと逆に始期に高く終期に低くなる傾向が示された。すなわち、低温への急激な変温の場合は変温直後は前述の単位時間内呼吸量の減少によりガス代謝量はむしろ低下し、このガス代謝量から算定した熱発生量もやや減少することが示されている。

考 察

乳牛の飼育環境温度に関して、寒冷曝露が生産生理反応におよぼす影響を厳密な環境温度調節下で検討した例はわが国では極めて少ない。本研究は寒冷環境に対する

乳牛の順応の様相を栄養生理学的に明らかにすることを主目的とするもので、寒冷曝露の条件のちがいと、それに対する乳牛の反応の変化を量的に見積ろうとした。寒冷環境下におけるホルスタイン種乳牛の生産反応の変化については、調温室内での検討から、-15°Cまでは乳量の減少がみられないとする報告³⁾をはじめ比較的寒冷耐性の強さを指摘する報告¹²⁾が多い。しかし、開放式牛舎で畜舎温度が著しく低下（-18°C~-21°C）する場合、-4°C以下に達すると乳量が減少するという報告⁷⁾もみられる。本研究では実験1~2を通じて低温処理期間内に実乳量は若干減少の傾向がみられたが、FCM又はSCM乳量の継続的な減少は認められず、-20°Cの寒冷曝露期においても泌乳抑制効果は生じていない。

乳生産に対する飼育条件の影響を検討する場合、飼料給与（養分供給）の方式を重視しなければならない。本研究の泌乳牛についての試験（実験1、2）では、配合飼料を乳量に対して一定割合とし、粗飼料を一定時間内の自由採食としており、低温処理期には通算して粗飼料摂取量の増大がみられている。このため、維持エネルギー要求量の増加は粗飼料（ヘイレージ）摂取量の増大によって充足されているとみることができる。すなわち、寒冷環境での維持要求量（エネルギー）の増加にみあう飼料が満度に給与されている本実験の条件下では-10~-20°Cの低温処理期においてもエネルギー摂取の不足はなく、FCM又はSCM乳量への影響が生じなかったものと考えられる。

一方、乳成分に対する寒冷の影響としては、乳脂率お

よびたんばく質率の上昇傾向が観察され、とくに乳脂率の上昇割合が大きかった。この成績は $+10^{\circ}\text{C}$ ～ -15°C の温度変換域における COBBLE⁹⁾の報告に一致する。しかし、これは実乳量の減少傾向に対応するものと思われ、乳脂生産量については処理間差は生じていない。

代謝生理面からの寒冷への対処反応としては一般に寒冷時における熱発生量の増加が認められているが、本実験の低温期における熱発生量計測結果では低温への急激な変温直後では単位時間内呼吸数と呼吸量の減少にともなう、ガス代謝量から算定した熱発生量はむしろ減少している。そして低温処理後一定の日数が経過した後には回復して上昇する傾向が認められた(実験2, Table 8)。実験2の場合、各温度処理期間は7日間であるが、この期間内では熱発生量の大幅な増加は生じておらず、寒冷対処の初期反応として、放熱を最少におさえるための物理的調節作用が優先するものようである。すなわち、心肺機能の変化 (Table 7) にみられるように、寒冷曝露直後には単位時間内の呼吸数の著減を主徴とする深く遅い呼吸によって体熱放散を抑制する反応がとくに優先し、飼料摂取の増大——熱量増加 (Heat Increment) ——による発生熱量の増加反応はこれよりややおくれて発現するものと推考される。

一方、寒冷曝露直後における他の生理的諸反応の変化としては、本実験の場合、血液性状、血液成分の変化は比較的すみやかに捕捉された。すなわち、血糖値、血漿中遊離脂肪酸濃度およびヘマトクリット値は低温への変温直後からの増加が認められ、低温処理期間内通算での数値は常温期にくらべて全般に大きくなっている。また GOT 値の急激な低温処理への対応は速く、体組織レベルの代謝亢進は急速に進展していることが推察される。しかし段階的な低温への変温および急激な変温に対する乳牛の諸反応については本実験の条件下では必ずしも一定の傾向はつかみ得ず、また -10°C 及び -20°C の二つの低温処理に対しては寒冷への共通の反応は認められるが、両温度処理間の反応について量的な違いは明確でなかった。WEBSTER⁹⁾によれば、乳牛の環境温度変化に対する反応は、その時の温度自体よりも、それまでに順応していた温度環境により強く支配されるという。本試験の場合も低温処理の時期(季節)ならびに低温処理の期間の設定が上述の諸反応に密接に関連していると考えられるので、さらに実験の施行時期、順応期間との関連について検討が必要である。

本研究は文部省科学研究費(課題番号348064)の補助を受けた。

文 献

- 1) BIANCA, W., and K. L. BLAXTER, Festschr. VIII Int. Tierzuchtkongress in Hamburg: 113-147, 1961.
- 2) DICE, J. R., J. Dairy Sci., 23: 61, 1940.
- 3) RAGSDALE, A. C., WORSTELL, D. M., THOMPSON, H. J., and BRODY, S., Mo. Agric. Exp. Stn. Res. Bull., No. 471, 1951.
- 4) BRODY, S., J. Dairy Sci., 39: 715-725, 1956.
- 5) DUNCOMBE, W. G., Clin. Chem. Acta., 9: 122-125, 1964.
- 6) 橋爪徳三・藤田 裕・松岡 栄・高橋潤一・桜井康雄・佐藤 泉, 畜大研報8: 615-628, 1974.
- 7) MACDONALD, M. A., and BELL, J. M., Can. J. Anim. Sci., 38: 160, 1958.
- 8) COBBLE, J. W., and HERMAN, H. A., Mo. Agr. Exp. Stn. Res. Bull., No. 485, 1951.
- 9) WEBSTER, A. J. F., in "Heat Loss from Animals and Man, Assessment and Control" (MONTHEITH, J. L., and L. E. MOUNT, eds.) 219, Butterworths, London, 1974.

Summary

A series of experiments were carried out to investigate the changes in metabolic and productive responses of dairy cattle in cold environments. Measurements were made on lactating cows by conducting metabolism, respiration and feeding trials in which the ambient temperatures were changed abruptly or gradually from $+10^{\circ}\text{C}$ to -10°C and -20°C in a climatic room.

Dry matter intake of roughage increased during the periods of cold exposure, the increase being at a slightly greater rate during the period of -20°C than during the period of -10°C . Although there were no apparent differences in FCM and SCM production between treatments, the actual daily yield of milk decreased and percentages of milk fat and protein increased in the cows exposed to cold temperatures. Both ventilation and respiration rate decreased markedly after the initiation of the cold exposure

of -10°C and -20°C . The estimated heat production from the values of gas metabolism was slightly lower during the initial period of cold exposure than during the period of $+10^{\circ}\text{C}$, but there was a tendency for heat production to increase with the duration of time of cold exposure. The Ht values, blood sugar levels and plasma NEFA levels tended to increase with the initiation of cold period, particularly at -20°C . No remarkable differences in metabolic and productive

responses were observed between two regimes of gradual- and abrupt exposure to the cold. It seems probable that the systems of physical heat regulation and the levels of blood constituents responded promptly to the cold, while an extensive and continuous increase in heat production in cows would appear to take place somewhat later than the other physiological responses to the cold.