

暑熱環境が搾乳牛の乳生産および生理機能に及ぼす影響 (II)

戸田克史、藤岡一彦*、家木 一

要 約

暑熱環境が搾乳牛の乳生産および生理機能に及ぼす影響を明らかにするため、ホルスタイン種搾乳牛 5 頭を用い、5 月から 9 月にかけて調査を行った。その体感温度と生産および生理機能との関係において以下のような知見が得られた。1) 非線形回帰分析の結果、呼吸数は体感温度 19.6°C、平均体温は 21.5°C、そして直腸温は 21.7°C から上昇し始めた。2) 体感温度と乳量、乳成分生産量および乾物摂取量を時系列解析した結果、体感温度の上昇は当日の乾物摂取量、3 日後の乳量、補正乳量、および乳蛋白、乳糖、無脂固形分の各生産量に影響することが認められた。乳脂肪生産量は相互相関係数が 4 日目に負の最大値となった。3) 乳量低下は 6 月下旬から明らかとなり、その低下割合は、乳量期待値の約 10%、あるいは約 13% であった。4) 暑熱対策は 5 月から開始し、6 月から 8 月にかけては夜間も送風などを行う必要があると思われた。

キーワード: 搾乳牛、体感温度、乳生産、呼吸数、直腸温、平均体温、暑熱

緒 言

温熱環境要因は、温度、湿度の他に風や放射熱があり、家畜管理の立場からは飼料摂取量の増大による熱産生量の増加や、第一胃の発酵熱などを考慮する必要がある。フィールドではこれら複数の要因が乳牛の生産性に影響を及ぼしている¹⁾。環境管理を幅広く適切に行うためには、複数の要因をとらえることが必要であるが、生産現場では刻一刻と変わる要因すべてを把握し、管理にフィードバックすることは困難である。温度、湿度は様々な温熱環境の要因の中でも生産現場でモニターしやすく、また乳牛においては温度よりも湿度の影響が大きいことが明らかにされ、乳牛の体感温度^{2) 3)}や不快指数¹⁾などが示されている。

我々は酪農現場における暑熱被害の軽減を目的として、暑熱環境が乳牛の乳生産および生理機能に及ぼす影響について調査を行い、その結果乳牛の温熱感覚を表す指標としては体感温度 (ET) が適していること、呼吸数は ET 約 20°C、平均体温は 21°C、そして直腸温は約 22°C から上昇し始めること、乳量は 6 月から大きく低下し、ET の上昇 2~3 日後に乳量が低下することなどを報告⁴⁾した。しかし、フィールドでの 6 ヶ月にわたる調査であるため、温度、湿度以外の条件を統一することが不可能であり、調査する年の気象の変動によって結果に違いがでることが想像され、そのため複数年にわたり調査が必要であると思われた。加えて供試牛を増やし、結果の信頼性を高めることも必要であると思われた。

温熱環境が乳牛の生産に及ぼす影響のうち、乳量の時

系列解析についての報告^{5) 6) 7)}はあるが、乳成分生産量および補正乳量については十分な検討がされていない。

そこで、前報で述べたように、四国 4 県で ET などの指標を用いて、暑熱対策機器を自動制御する気象指標の測定装置を開発する計画であるが、開発する機器の効果を判定するため、対策を行わない場合、暑熱の影響でどの程度乳量が低下しているかを確認する必要がある。

以上の理由から、今回は乳牛の温熱感覚を表す指標として ET を使用し、ET の変化が乳生産および生理機能に及ぼす影響について調査を行った。また今回は新たに ET の変化が乳成分への影響についても検討したので報告する。

なお本研究は、地域重要新技術開発促進事業 (平成 9 ~ 12 年度) として国の助成を受け、行っているものである。

I 材料および方法

1. 調査期間

調査は 1998 年 5 月 9 日から 9 月 9 日にかけて実施した。

2. 供試牛

供試牛は、当場で繋養のホルスタイン種搾乳牛 5 頭を用い、試験開始時の概要は表 1 のとおりである。

3. 給与飼料および給与方法

試験時の給与飼料は、市販の配合飼料、ヘイキューブ、ビートパルプ、大豆粕、大麦、綿実、購入エン麦乾草を用いた。配合飼料の成分値は、その生産者が公示してい

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

Cow No.	Calving Number	Day of lactation	Body weight (kg)	Milk yield (kg)	Milk fat (%)	Milk protein (%)	SNF (%)
53	2	166	690	28.5	3.6	3.2	8.7
66	1	173	560	21.8	3.9	3.3	8.9
67	1	179	550	21.7	3.7	3.2	8.8
68	1	79	520	24.7	3.6	3.4	9.0
26	4	146	685	31.6	3.1	2.8	8.1

る成分表、配合飼料以外は日本標準飼料成分表（1995年版）⁸⁾の値を用いた。給与量は、日本飼養標準⁹⁾を参考に、産歴、体重、乳脂率および乳量から養分要求量を算出し、TDN充足率が約110%、CPが約130%を目安に給与した。このときの乾物中の栄養含量の計算値は約TDN71%、CP16%であった。ビートパルプは濃厚飼料として扱った。またミネラル剤、ビタミン剤も添加した。

4. 飼養管理

調査を行った牛舎は木造スレート、タイストール牛舎を使用し、全ての扉、窓は開放し、換気扇を運転していた。換気扇の風は供試牛に直接当たらないように配慮した。供試牛は終日繋留した。搾乳は2回とし、7時20分と16時に開始した。飼料は、乾草を8時と15時に給与し、その他の飼料は混合し8時30分、13時そして15時30分に給与した。また、鈹塩、水は自由摂取とした。

5. 調査項目および調査方法

1) 牛舎内の気象指標

乾球温度 (DBT) および湿球温度 (WBT) は、牛床から1.5mの高さに温度計 (タバイエスペック、RT-10) を

3カ所設置し、1時間間隔で終日計測した。体感温度 (ET) は $DBT \times 0.35 + WBT \times 0.65$ ²⁾³⁾¹⁰⁾¹¹⁾を用いて算出した。

2) 乾物摂取量

残った飼料の回収は、毎日8時の飼料給与直前に行い、水分含量を測定し、給与時の水分含量に補正した後、乾物摂取量を算出した。

3) 皮膚温度、直腸温、呼吸数

測定は毎日7時、17時に行った。

測定時には、開始15分前に牛を起立させ、牛の状態が安定した後に測定を開始した。

皮膚温度は、左肩上部、左肩、左前ぱく、左腹の4カ所を剃毛¹²⁾¹³⁾し、放射温度計 (COS、CT-30) を用い、0.7秒間隔で5回計測し、その平均値を記録した。直腸温は獣医師用体温計を用い、10分間挿入しその値を記録した。呼吸数は目視により30秒間計測し、1分当たりの呼吸数を算出した。

4) 乳量、乳成分

搾乳はパイプラインを用い、これに乳量計 (オリオン、ミルコン) を取り付け、搾乳ごとに乳量を記録し、前日

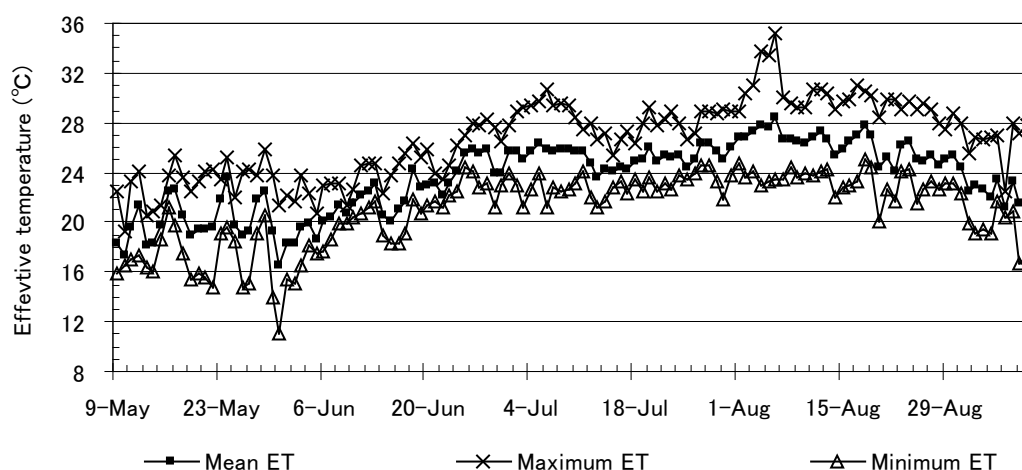


Fig.1 Changes in mean ET, maximum ET and minimum ET
Effective temperature (ET) = Dry bulb temperature (°C) × 0.35 + Wet bulb temperature (°C) × 0.65

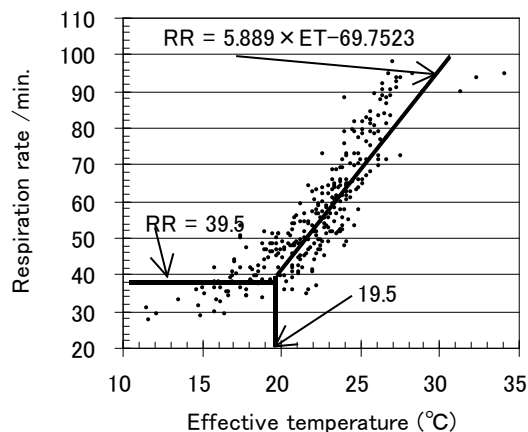


Fig.2 Estimate of inflection point of respiration rate (RR) by non-linear regression analysis

の 16 時の搾乳と当日の 7 時 20 分の乳量を合計し日乳量とした。乳成分は、試料を搾乳ごとに採取し、測定（フォス、ミルコスキャン 133B）した。各乳成分の生産量は、乳量と各成分率の積を用いた。

5) データの処理および解析

データの処理および解析は、SAS (Statistical Analysis System) の各プロシージャ¹⁴⁾¹⁵⁾を利用した。

II 結果

1. 牛舎内体感温度の推移

試験期間中の各日の平均 ET、最高 ET および最低 ET の推移を図 1 に示した。前報において、呼吸数が ET 約 20°C から上昇を始め、直腸温が約 22°C から上昇始めることを報告⁴⁾したが、最高 ET は 5 月 10 日を除いて試験開始時から終了時まで常に 20°C を越えて推移した。平均 ET、最低 ET についても試験開始時から 20°C を上回る日が観察されたが日変動は大きく、試験開始日から 6 月 17 日までの平均 ET の平均値は 20.2°C、最低 ET の平均値は 17.7°C であった。しかし、6 月 18 日からは 9 月 7 日までは平均 ET が 22°C、最低 ET が 20°C を上回る日が続き、この時期の平均 ET の平均値が 25.1°C、最低 ET の平均値が 22.6°C であった。また、最低 ET が 22°C を上回る日が、6 月 18 日から 9 月 9 日の 86 日間のうち 59 日観察された。なお、牛舎内に 3 カ所設置した温度計の差は ±0.3°C 以内で、温度計の誤差の範囲内であり、牛舎内における各計測場所の温度の差は認められなかった。

2. 呼吸数、直腸温および平均体温

暑熱の影響による生理反応の変化を明らかにするために、供試牛の呼吸数の平均値と ET との関係について、非線形回帰分析を行い、変曲点の推定値を求めた。呼吸数、直腸温および平均体温と ET との関係において、分散分析の結果は 7 時と 17 時の測定間に有意な差が認め

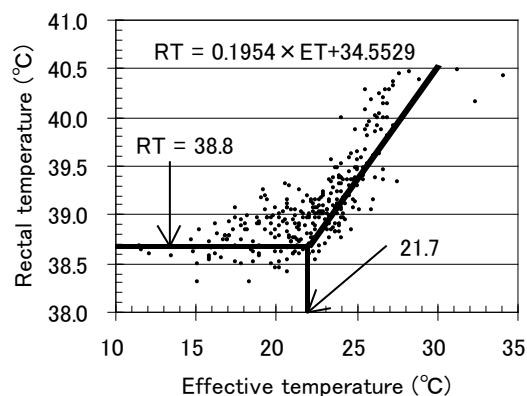


Fig.3 Estimate of inflection point of rectal temperature (RT) by non-linear regression analysis

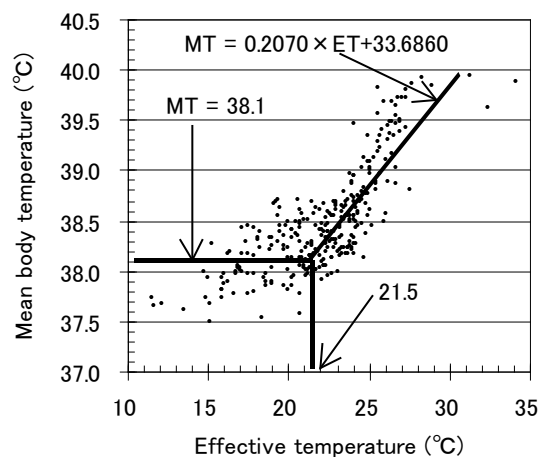


Fig.4 Estimate of inflection point of mean body temperature (MT) by non-linear regression analysis
MT is calculated as $0.86 \times RT + 0.14 \times \text{Mean Skintemperature (RST)}$

RST is the average of following 4 sites: upper shoulder; lower shoulder; upper leg; and abdomen of left side of cow.

られなかった。両測定時間の値を合わせて統計処理を行った。非線形回帰分析による呼吸数の変曲点の推定値および ET と呼吸数の散布図を図 2 に示した。また、直腸温および平均体温についても同様の散布図を図 3 および図 4 に示した。呼吸数は ET 19.5°C から上昇を始め、この値は 1997 年の調査における 19.8°C とほぼ同様の結果となった。直腸温についても 21.7°C と 1997 年の 21.9°C とほぼ同じ値となり、平均体温も 1997 年が 21.0°C、今回の調査では 21.5°C となった。

上記の結果から、7 時における直腸温を ET が 22°C 以上の日のものと 22°C 未満の日のものに分け、その平均値に差が認められるか否かを検討した。その結果 ET が 22°C 以上の日の直腸温は 39.01°C、22°C 未満の日の直腸温は 38.69°C となり、ET 22°C 以上の日のものが 1% 水準

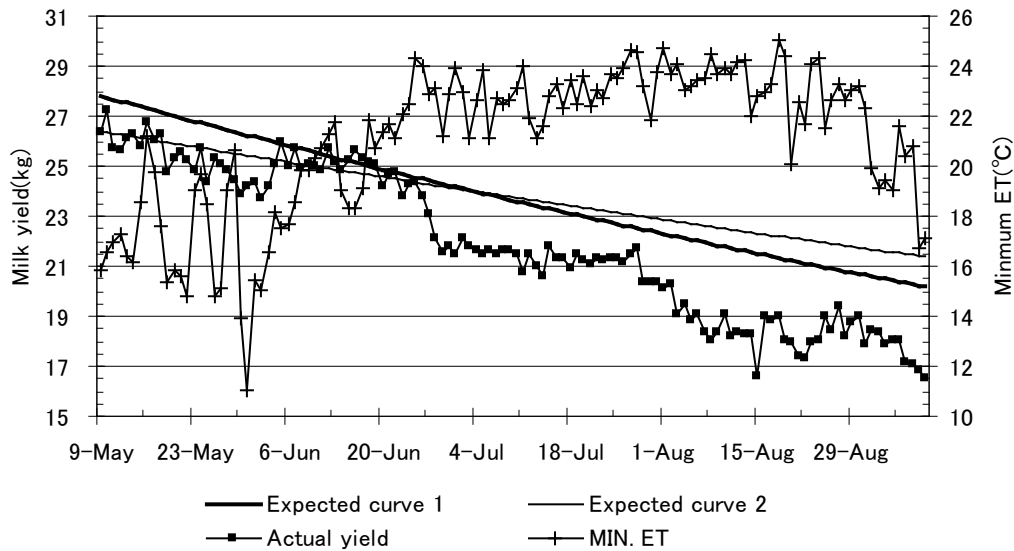


Fig.5 Changes in average milk yield and minimum ET
 Expected production curve 1 is estimated by using the method that Hayashi devised.
 Expected production curve 2 is based on 1.2 % as a normal rate of decrease in milk yield per 7 days.

で有意に高かった。

3. 乳量および乳成分

図5に供試牛の平均乳量の推移、乳量期待値の平均値および最低ETの推移を示した。乳量期待値1は林らの考案した方法¹⁶⁾を参考に算出した。林らの方法では最高乳量とその分娩後日数および任意の日における乳量の2点から表計算ソフトにより簡易に算出が可能である。今回の試験では各個体ともに試験開始前に最高乳量となったが、試験開始前後で給与飼料の栄養含量の計算値は大きく異ならなかったため、これを利用した。最高乳量の値は最高乳量日、前日および翌日3日間の平均値を用いた。任意の日の乳量について、試験開始後から5月30日の間において最低ETが20℃を越えた日の数日後に乳量の低下が認められ、その後5月31日に最低ETが大きく低下するとその後の乳量が回復し、6月25日以降に大きく乳量が低下している。林らの報告では、分娩後日数が180日から210日程度の任意の日において推定値と実測値の相関が高かったとしている。そこで任意の日を、乳量の回復した6月6日とし、その前後の日と合わせて3日間の平均値を当てはめた。今回の調査では6月6日に分娩後日数が107日の1頭を除き、174日から207日の間であった。乳量期待値2は岡本ら¹⁷⁾や柴田ら¹⁸⁾の方法と同様にホルスタイン種の正常泌乳曲線に基づく7日当たりの乳量減少率を1.2%として期待乳量を算出した。これらの方法を用いた結果、乳量の期待値と実測値

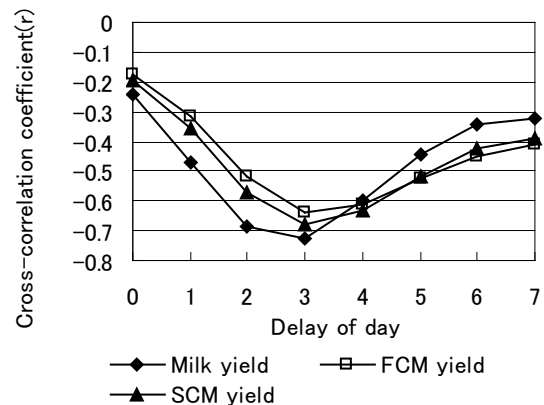


Fig.6 Cross-correlogram between mean ET and milk yield, FCM yield or SCM yield
 $FCM \text{ yield (kg)} = 0.4 \times \text{Milk yield} + 15 \times \text{Fat yield}$
 $SCM \text{ yield (kg)} = 12.3 \times \text{Fat yield} + 6.56 \times \text{SNF yield} - 0.0752 \times \text{Milk yield}$
 SNF : Solids-Not-Fat

の差について、乳量期待値1においては試験開始日から6月25日までは実乳量の合計値は期待値の96.3%、6月26日から9月9日までは89.1%となった。乳量期待値2においては6月25日までは同じく99.2%、それ以後は86.8%となった。最も大きく乳量の低下した個体は、6月25日から試験終了時まで期待乳量1に対して22.0%、期待乳量2に対して20.5%の乳量が低下したが、乳量の低下が認められない個体もあった。

5月9日から9月9日までの乳量、4%FCMおよびSCM

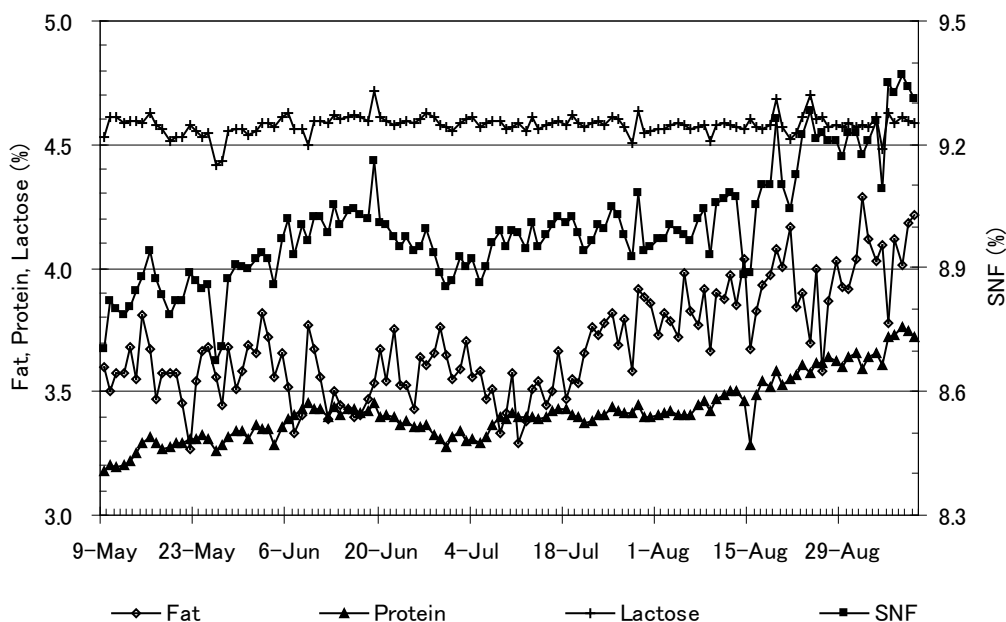


Fig.7 Changes in dairy milk fat, protein, lactose and SNF

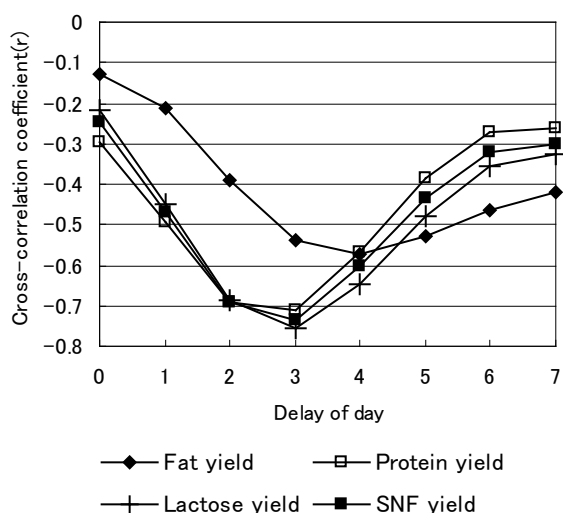


Fig. 8 Cross-correlogram between mean ET and fat yield, protein yield, lactose yield or SNF yield Each yield of milk component is the product of milk yield and component-percentage.

と日平均 ET に対して移動平均値 (30 項移動平均) を求めて、原時系列から傾向変動を除去し、それぞれの項目について定常時系列を求め、ET と乳量の定常時系列間の相互相関係数を算出¹⁹⁾し、そのクロスコレログラムを、図 6 に示した。移動平均値を 30 項としたのは乳牛の発情周期を考慮したためである。その結果、乳量、FCM および SCM と平均 ET の相互相関係数は日数の遅れ 3 日で -0.72、-0.64、-0.68 の最大の値が得られた。

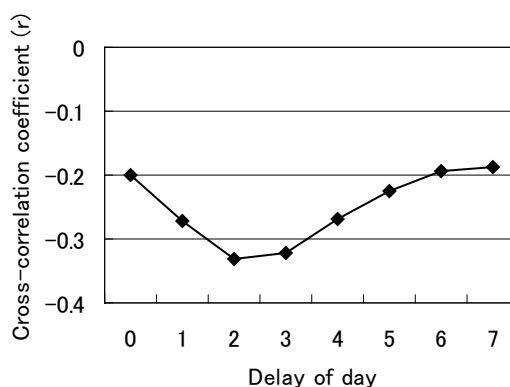


Fig. 9 Cross-correlogram between mean ET and protein contents of raw milk

各乳成分率の推移を図 7 に示した。乳糖率は試験期間を通して約 4.6% で推移し、大きな変化は認められなかった。乳脂率は、図 5 と図 7 から乳量が低下した日には乳脂率が上昇する傾向を示した。そこで、乳量と乳脂率について上記の方法と同様に時系列解析を行うと、乳量の低下した当日に乳脂率が上昇する傾向が認められた。

乳蛋白質、乳糖および無脂固形分の各生産量についても乳量と同様に時系列解析を行い、その結果を図 8 に示した。その結果、乳蛋白質、乳糖および無脂固形分の各生産量は、遅れ日数 3 日目で -0.71、-0.76、-0.73 と最大の値となったが、乳脂肪生産量についてはその他の乳成分生産量に比べて 1 日遅れの 4 日目で -0.57 の最大値が

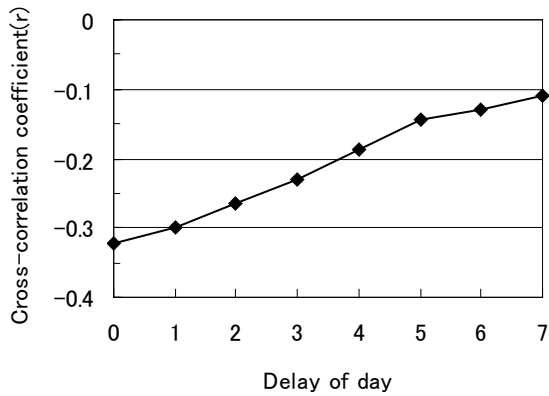


Fig. 10 Cross-correlogram between mean ET and dry matter intake (DMI)

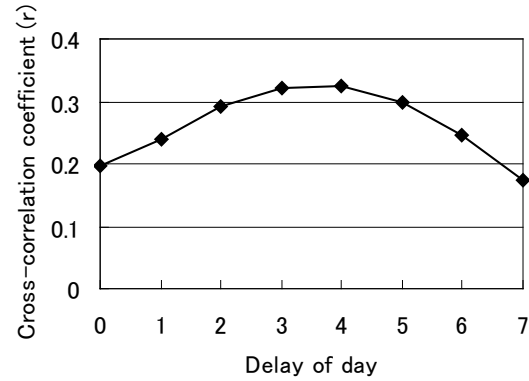


Fig. 12 Cross-correlogram between DMI and fat contents of raw milk

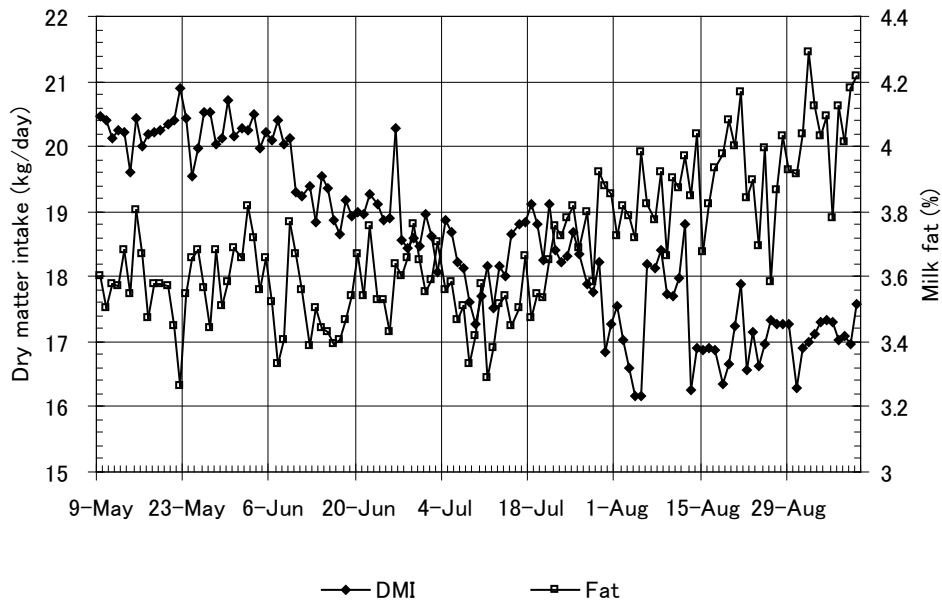


Fig. 11 Changes in DMI and fat contents of raw milk

得られた。

乳脂率および乳蛋白質率と日平均の ET についても上記と同様の時系列解析を行った。その結果、乳脂率の変化は平均 ET の変化に対して明らかな関係は認められなかった。一方、乳蛋白質率については、図 9 に示したように、平均 ET の上昇後 2、3 日遅れで低下する傾向が認められた。

4. 乾物摂取量

乾物摂取量についても乳量、乳成分生産量と同様の方法で時系列解析を行い、図 10 に示した。その結果、乾物摂取量は遅れ日数 0 日で最大の負の値となった。つま

り平均 ET が、前日より上昇すると、乾物摂取量が当日に減少する傾向が認められた。

乳脂率と乾物摂取量の推移を図 11 に示した。6 月 13 日から 6 月 24 日にかけて、および 7 月 6 日から 7 月 18 日にかけて乳脂率が 3.5% を下回る傾向にあり、この時期に乾物摂取量も低下する傾向にあった。そこで、乳脂率と乾物摂取量について上記と同様に時系列解析を行った。その結果、図 12 に示したとおり乾物摂取量の低下した 3、4 日後に乳脂率が下がる傾向が認められた。今回は分離給与で飼料を給与したが、乾物摂取量の低下は、エン麦乾草によるものであった。したがって 6 月 10 日

から 6 月 21 日および 7 月 3 日から 7 月 15 日の摂取した乾物中の ADF 含量および摂取した飼料の粗濃比を求めた。その結果、6 月 10 日から 6 月 21 日においては ADF 含量は 19.8%、粗濃比は 39.7 : 60.3 となり、7 月 3 日から 7 月 15 日においては 20.4%、41.6 : 58.4 となった。

Ⅲ 考察

乳牛の温熱感覚を表す指標は、呼吸数²⁾や平均体温⁴⁾¹⁰⁾¹²⁾¹³⁾²⁰⁾が適しているといわれ、直腸温は恒常性が強く、温熱感覚を表す指標ではなく、むしろ個体の生理機能の異常性を推定する指標²⁾²¹⁾であるといわれている。前報で非線形回帰分析により呼吸数が ET 約 20°C から上昇を始め、平均体温が約 21°C、直腸温が約 22°C から上昇始めることを報告⁴⁾し、今回の調査においても前回の報告と同様の結果を得た。したがって最高 ET、平均 ET の推移を考えると、試験を開始した 5 月上旬から、日中においては乳牛は暑熱の影響を受けていると考えられ、また最低(夜間) ET が 20°C を越える日が観察されることから暑熱対策は 5 月から開始する必要があると思われる。また、7 時における体感温度が 22°C を越える日は、同時刻の直腸温が 39°C 以上となる傾向が観察された。これは体温の持ち越し現象²²⁾が起こっているものと推察される。このように最低 ET が 20°C を大きく越え、22°C 以上の日が続く 6 月中旬からは、日中だけでなく夜間においても絶えず暑熱ストレスを受けていると思われる。本県をはじめとして西南暖地においては、今回の調査で大きく乳量の低下した 6 月下旬から 9 月上旬にかけては、乳牛の生理機能に重大な影響を及ぼす気象条件で推移しており、この期間は夜間の暑熱対策を続ける必要がある。

岡本ら¹⁷⁾は、ホルスタイン種の正常泌乳曲線に基づく 7 日当たりの乳量減少率を 1.2% として期待乳量を算出し、乳量減少は 6 月後半から明らかとなり、7 月後半から 9 月後半までの乳量減少率は 20% を越えたと報告している。また、柴田¹⁸⁾は同様の方法を用いて、夏期の乳量の減少割合は 17~20% であり、その低下は 5 月中旬から始まっていると報告している。今回の調査では、林らの泌乳曲線の推定式を利用した場合、乳量が大きく落ち込んだ 6 月 25 日から試験終了時まで平均 11% の乳量低下が認められ、岡本らの方法で推定した場合、約 13% の乳量低下が認められた。また、最も乳量が低下した個体は 21~22% の乳量減少が認められた。これらのことから、個体差は大きいですが、夏期における乳量低下の割合は影響の大きい個体で、約 10~20% 程度減少するものと考えられた。さらに、柴田らの報告と同様に今回の調査でも 5 月の試験開始時から最低 ET が 20°C を超える

日の数日後に乳量が低下し、林らの方法によるその低下割合は約 4% と考えられた。

乳量と気象指標の上昇との関係について、野村ら⁵⁾は時系列解析を用いて、乳量と畜舎温度は 20°C 以上で逆相関を示し、畜舎温度が当日に限らず翌日または翌々日の乳量に影響を及ぼすことを明らかにした。また、上野ら⁶⁾は 7 月~8 月において最高湿度指数および最低湿度指数の変化は 2~3 日後の乳量に最も大きく影響することを報告している。今回の調査では、平均 ET の上昇により 3 日後の乳量の低下に大きく影響しており、これらの結果そして以前の報告⁴⁾は一致している。3 日後の乳量に影響を及ぼした理由としては、ET の上昇により当日の採食量の低下、つまり摂取エネルギーおよび摂取蛋白質量が低下し、それが 3 日後の乳量の低下に大きく影響したものであろう。

乳成分についてみると、乳蛋白質率は、エネルギー不足によって低下するが、乳糖率は給与飼料による変動が小さいとされている⁹⁾。今回の調査においても乳糖率の変動は試験期間を通して約 4.6% で推移した。このことから、ET 上昇 3 日後の乳糖の生産量の低下の原因は、乳量の低下によるものと思われる。乳蛋白質については、時系列解析の結果、その成分率が ET の上昇後 2、3 日目に低下したことから、乳蛋白質の生産量が ET 上昇後 3 日目に低下した理由として、今回の解析では、乳量も影響しているが、エネルギー摂取量の低下がより影響していると思われる。無脂固形分は主に乳糖と乳蛋白質の和であるため時系列解析の結果は、乳量と乳蛋白質量の変化による影響であると考えられる。

暑熱の影響を受けた場合、無脂固形分率などは低下するが、乳脂率は上昇することがあり、これは乳量の減少が乳脂量の減少を上回ったためであると推察されている¹⁷⁾¹⁸⁾。また、岡本ら¹⁷⁾は、乳量減少率が大きいものに乳脂率の上昇例が多く、小さいものに乳脂率の低下例が多いことを報告している。今回の調査でも、図示しなかったが時系列解析を行うと、試験期間全体の傾向として乳量の低下した日に乳脂率の上昇が認められ、ET の変化に対しては乳脂率の時系列的な変化は認められなかった。今回の調査では、乳脂肪生産量は乳量と乳脂率の積を用いており、乳量の変化の影響を受けている。よって時系列解析の結果、乳量の低下よりも乳脂肪生産量の低下が 1 日程度遅れることが認められた理由としては、乳脂量よりも乳量の低下が大きかったためと考えられた。しかし、図 5 および図 7 のとおり、6 月中旬および 7 月上旬においては乳量の推移は大きく変動していないが、乳脂率は 3.5% を下回った。このときの最低 ET は平均

体温が上昇を始める 21°C⁴⁾および直腸温が上昇を始める 22°Cを上回っている。また、この時期は乾物摂取量が大きく低下した時期と重なる。乾物摂取量の低下は主に粗飼料摂取量の低下であったため、摂取した飼料の粗濃比の低下および ADF 含量の低下が乳脂率の低下を招いた⁹⁾と考えられる。

山岸²³⁾はズートロンを使用して、日較差が少ない環境条件は変温環境よりも乳量に対する影響が大きいことを報告している。上野ら⁶⁾は最高温湿度指数と最低温湿度指数を説明変数、乳量の日変動量を目的変数とする重回帰分析により気温による乳量の減少のうち約 8 割は最低温湿度指数によって引き起こされたと報告しており、HOLTER ら²⁴⁾も暑熱が乳牛の生産性に及ぼす影響は最低温湿度指数を指標とするのが有効であると述べている。今回の調査は野外で行ったこともあり、最高 ET と最低 ET の相関が高く ($r=0.79$)、重回帰分析を行うことができなかった。しかし、6 月中旬に最低 ET が 20°C を下回った数日後に若干の乳量回復傾向が認められる。西南暖地の夏期における日中の ET が常に乳牛にストレスを与える温度で推移することから考えると、暑熱対策を行ううえで夜間の ET を可能な限り 20°C に近づけるか、あるいはそれ以下に低下させることが有効であり、その点からも最低 ET が最高 ET よりも重要であると考えられる。

謝 辞

実験実施、本報告をまとめるにあたって、種々の御教示を頂いた農林水産省畜産試験場栄養部反芻家畜代謝研究室、寺田文典室長、同飼養技術部飼養システム研究室、林孝研究室長そして農林水産省畜産試験場四国農業試験場地域基盤研究部、戸澤英男部長に深謝の意を表します。

参考文献

- 1) 野村晋一、加納康彦：泌乳量の変動要因としての環境温度に関する研究、日獣誌、28、129-140、1966
- 2) Takashi UENO, Kiyoshi HATYAKAWA and Naozumi TAKUSARI: Effects of Extreme Hot Summer Climate on Milk Production in Lactating Holstein Cows at the Hokkaido National Agricultural Experiment Station (Hitsujigaoka). Res. Bull. Hokkaido Natl. Agric. Exp. Stn. 168. 35-45. 1999
- 3) 戸田克史、藤岡一彦、家木一、暑熱環境が搾乳牛の乳生産および生理機能に及ぼす影響、愛媛畜試研報、16、7-16、1998
- 4) 三村耕、山本禎紀、伊藤俊男、住田正彦、新谷勝弘、藤井宏融：家畜の体感温度に関する研究、日畜会報、42、493-500、1971
- 5) 山本禎紀：家畜の温熱環境に関する研究課題、日畜会報、63、743-755、1992
- 6) 津田恒之：家畜生理学、10 版、210-232、養賢堂、東京都、1991
- 7) Takashi HAYASHI, Yoshitaka NAGAMINE: Estimation of Lactation Curve by Only Two Samplings of Dairy Yield, Anim. Sci. Tech. 64. 1149-1155. 1993
- 8) 柴田正貴：高温環境下における乳牛のエネルギー代謝と乳生産、九州農試研報、23、253-335、1983
- 9) 岡本昌三、石井尚一、向井彰夫、犬童幸人：乳牛の生理機能におよぼす暑熱の影響に関する研究、九州農試研報、11、183-243、1965
- 10) J.B.HOLTER, J.W.WEST, M.L.McGILLIARD and A.N.PELL: Predicting Ad Libitum Dry Matter Intake and Yields of Jersey Cows. J.Dairy Sci.79.912-921.1996
- 11) 中井文徳、渡辺裕恭、井内民師：乳牛夏バテ症候群の実用的早期発見技術の開発と効果的対応技術の実証、徳島畜試研報、39、9-22、1998
- 12) 石井尚一：暑熱地帯における乳牛管理の要点、畜産の研究、25、129-134、1971
- 13) 山田真裕：家畜の温度環境への順応性について、九州農試年報、21、50-52、1981
- 14) 新出昭吾、松重忠美、松村弘明：夏期分娩牛での暑熱ストレス反応開始予測と防暑対策の効果、広島畜試研報、10、5-15、1994
- 15) W. Bianca: Relative importance of dry- and wet-bulb temperatures in causing heat stress in cattle. Nature. 195. 251-252. 1962
- 16) 仲舛文男、B.P.PURWANTO、山本禎紀：育成牛の平均体温に及ぼす環境温度と熱産成量の影響、日畜会報、64、629-636、1993
- 17) 嶋崎昭典：応用統計ハンドブック、8 版、432-465、養賢堂、東京都、1995
- 18) 野附巖、山本禎紀：家畜の管理、初版、26-42、文永堂出版、東京都、1991
- 19) 農林水産省農林水産技術会議事務局編、日本標準飼料成分表、中央畜産会、1995
- 20) 農林水産省農林水産技術会議事務局編、日本飼養標準乳牛、中央畜産会、1994
- 21) SAS : SAS/STAT ユーザーズガイド 6.03 版、SAS 出版社、東京、1995
- 22) SAS : SAS/ETS ユーザーズガイド、SAS 出版社、

東京、1996

23) 斉藤武司、山田早紀、泉川康弘、高橋和裕、秋山正英：乳牛の夏期防暑対策に対する検討（1）平均体温を指標とした乳牛の暑熱ストレスの開始時期について、香川畜試研報、29、40-48、1993

24) 山岸規昭：乳量、乳質におよぼす変温および恒温環境条件の影響、農水省畜試年報、23、51-53、1983

試験補助者：中村守、角藤幸男

Effects of Hot Environment on Milk Production and Physiological Functions of Lactating Cows (II)

Katsufumi Toda, Kazuhiko Fujioka, Hajime Ieki

Summary

Many environmental factors complicatedly affect physiology and production of lactating cows. However, it is difficult for the dairy farmer to monitor and use all factors. For lactating cows, air temperature and humidity are the important factors which affect the productivity of them in a hot environment, and it has been clarified that the effect of humidity is bigger than that of the temperature. Several models which have considered air temperature and humidity have been presented to describe the feelings of cows imposed by thermal environments. We reported that effective temperature (ET) is appropriate index of thermal environment for dairy farmers to use. ET is calculated from the following equation:

$$ET = 0.35 \text{ dry bulb temperature}(\text{°C}) + 0.65 \text{ wet bulb temperature}(\text{°C}) \quad 4) \quad 15)$$

This study examined the effects of thermal environment in summer on milk production and physiological conditions of lactating Holstein cows, and in order to suggest the time to start the countermeasure.

Rectal temperature (RT), skin surface temperature, respiration rate (RR), milk production and dry matter intake of 5 mid lactation Holstein cows were measured from May 9 to September 9 in 1998. As environmental elements, ET in a cowshed had been measured simultaneously. The results are summarised as follows.

1) As a result of non-linear regression analysis, Estimate of inflection point of RR was 19.5°C ET, RT rose at 21.7°C, and TB rose at 21.5°C. When ET was above 22 °C at seven, RT was significantly higher than RT when ET was below 22°C (Fig. 2, 3, 4).

2) Milk production started to decline in May, and greater decline of milk yield started on June 26. When greater decline occurred, minimum ET kept above 21°C. The decline of milk yield from June 26 to September 9 was 13.2 % compared with expected production curve 2 based on 1.2 % as a normal rate of decrease in milk yield per 7 days, and it was also estimated that milk yield decrease of 11.9 % compared with expected production curve 1 that Hayashi ⁷⁾ devised (Fig. 5).

3) As a result of time serial analysis, milk yield, FCM and SCM decreased 3 days after rise of mean ET; DMI decreased on the same day that mean ET rose. The yield of milk protein decreased 3 days after rise of mean ET. The yield of milk fat decreased 4 days after rise of mean ET. Protein contents of raw milk decreased 2 or 3 days after rise of mean ET (Fig. 6, 8, 9, 10).

4) As a result of time serial analysis, fat contents of milk tends to increase when milk yield decreased, and mean ET was not related to time serial change of fat contents. However, fat contents decreased 3 or 4 days after reduction of DMI. The reduction of DMI was due to the reduction of hay-intake (Fig. 11, 12).

The countermeasure of heat stress should be taken at an ET below 20°C. In the southwestern part of Japan, it should be started in May. Especially, we should be taken notice of change of Minimum (night time) ET.

Key Word: Cows, Effective temperature, Milk production, Respiration rate, Mean body temperature, Rectal temperature and heat stress