

乳牛の生理と乳生産に及ぼす暑熱の影響

上野 孝志*・竹下 潔

農林水産省北海道農業試験場, 札幌市豊平区 062-8555

*現 農林水産省畜産試験場, 茨城県稲敷郡荃崎町 305-0901

Effects of hot climate on physiological function and milk production in dairy cow

Takashi UENO* and Kiyoshi TAKESHITA

Hokkaido National Agricultural Experiment Station, Toyohira-ku Sapporo-shi 062-8555

*National Institute of Animal Industry, Kuchisaki-cho Ibaraki-ken 305-0901

キーワード：暑熱ストレス, 乳牛, 乳生産, 生理反応

Key words: heat stress, dairy cattle, milk production, physiological response

1. はじめに

近年, 地球規模での温暖化の問題が深刻化し, 21世紀の終わりには地表の平均気温は現在に比べて約5℃上昇すると予想されている(陽, 1992). このような中において我が国でもこれまで幾度かの猛暑・干ばつに見舞われ, そのたびに農業生産に甚大な被害が出た. 今年の夏も全国的な異常気象となり, 西日本では局地的集中豪雨と日照不足であったのに対し, 東・北日本では猛暑, 干ばつが続き農業生産に大きな打撃を与えた. 気象庁によると, この異常気象は梅雨明け前後から太平洋高気圧が例年より北側に偏り, 西日本への張り出しが弱くなったことによってもたらされたということであった.

我が国の夏季の猛暑は, このところ数年おきに繰り返されている. 実際, 前回の猛暑は1994年の夏であった. その時の北海道の酪農生産への影響は, 「北海道農業試験場研究資料54号」に詳しく報告されている. この報告によると, 1984年, 1989年も猛暑の夏となっており, それから見るとほぼ5年周期で夏の猛暑が繰り返されているというのが最近の傾向である.

早坂ら(1994)は, 北海道において暑熱が問題となる背景として, 乳牛の高泌乳化が進んでいることに加えて暑熱環境への適応の問題があることを指摘している. すなわち, 泌乳牛の生産環境限界の高温側は27℃とされているが(津田, 1983), 泌乳能力の向上した現在では熱産生量が高まり, それより低い温度で生理・生産形質に影響が現れるようになってきている(相井, 1992). 加えて, 北海道の夏の特徴は, 長期間にわたっ

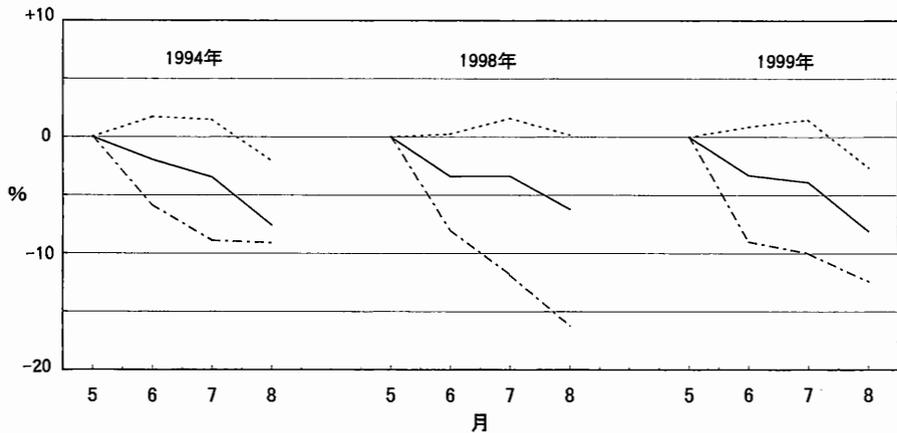
て段階的に暑くなる西南暖地とは異なり, 初夏は寒冷なオホーツク海高気圧が優勢で比較的冷涼であるが, 7月の下旬頃から太平洋高気圧が優勢となって, 急激な温度上昇が引き起こされるため, 乳牛が温度環境に十分適応できていない状況で暑熱感作を受ける点である.

本報告では1994年と今年の暑熱を比較するとともに, 乳牛の生理・生産に及ぼす暑熱の影響について最近の研究を交えて概観し, 有効な防暑対策についても取り上げてみたい.

2. 猛暑の概要

連日の猛暑で, 日射病・熱射病もしくはそれらが引き金となった疾病により死亡する家畜が急増した. 北海道農政部の調べによると, 乳用牛の死廃頭数は1994年夏では135頭であったのが, 今夏は327頭と2.5倍近く増加した. この数は1984年の183頭も大きく上回るものであった.

一方, 乳生産への影響をみると図1のようになる. 図1は, 1994, 1998及び1999年の各年について5月の生乳生産量を基準として6～8月の月生産量を割合で示したものである. 1999年の夏季の乳量減少は, 全国, 北海道とも前年と比べて8月の落ち込みが大きくなっている. 牛乳乳製品統計(農林水産統計速報11-195)に示された具体的数字でみると, 北海道では6, 7月の累計で前年同期比100%近い生産量が8月には96%台に落ち込んだ. しかし, 九州では7, 8月の落ち込みは前年度よりも小幅であった. このことは北日本の猛暑に対し, 九州地域の今夏の天候は日照不足等で,



* 各年とも5月の月生産乳量を基準とした増減割合で示す。

— 全国 …… 北海道 - - - 九州

図1 1994, 1998, 1999年夏季における月生産乳量の推移*

この時期の平年値より0.6℃ほど低かったことを反映したものと思われる。

猛暑に見舞われた1994年夏季の乳量減少割合と比較して、今夏の方が低下割合が大きい。北海道の生乳生産量は、昨年実績で年間340万トン程度あり、全国生産量840万トンの約40%を占めている。従って、暑熱による4%の生産量低下といえどもその影響は大きい。例えば、北陸4県で生産された生乳量にほぼ匹敵している。

乳牛(搾乳牛)の適温域は0~20℃で、生産環境限界は高温側で27℃とされている(津田, 1983)。そこで、北海道農業試験場での観測値(羊ヶ丘気象月報)をもとに両年7~9月の気象条件を比較してみると、1994年では平均気温20℃以上が60日、27℃以上は1日であったのに対し、1999年はそれぞれ63日と4日であった。さらに、7月中旬から8月中旬までの1カ月の気温についてみてみると、最高気温の平均値は1994年の29.6℃に対し1999年は28.9℃で、0.7℃ほど低くなっているものの、最低気温の平均値はそれぞれ19.6℃、20.1℃となっており、平均日較差はそれぞれ

10.0℃、8.8℃であった(図2)。このことから、今年の暑熱の影響を大きくした原因として、30℃を越える真夏日の多かったことや日最低気温が高く日内温度較差の小さかったことなどが考えられる。

繁殖技術は酪農生産の基盤であり、受胎・妊娠から分娩に至る繁殖サイクルが円滑なことが酪農経営にとって重要である。暑熱に見舞われた1994年の牛群検定成績(北海道乳牛検定協会)によれば、受胎に要した平均授精回数は7月までは1.8回であったが、8月は1.9回、9~11月は2.0回となり、前年に比べて0.1回増加した。また、分娩後90日頃に行われる初回授精の受胎率は、7月までは52~53%であったものが、8月は50%に低下した。授精回数の増加や受胎率の低下は空胎期間の延長を意味しており、次回分娩後の乳生産への影響が危惧された。実際、翌年の「平成7年・牛乳乳製品統計」による生乳生産量をみると、6月と7月は前年(1994年)比で、97.8%、98.3%(なお、年間の総生産量では、前年比101.5%に増加)となっており、1994年夏の受胎率の低下(受胎の遅れ)の影響が翌年の生産量に明らかに認められ、危惧が現実の

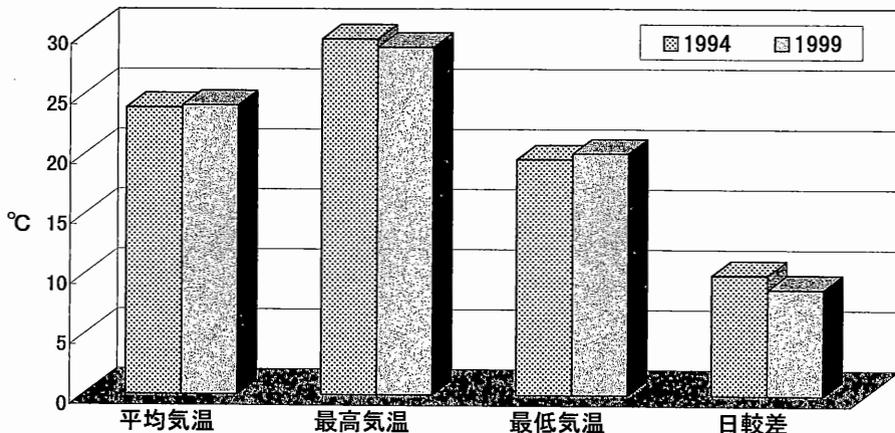


図2 1994年と1999年の日平均気温(7/15~8/14)の比較

ものとなった。同様に、今年の暑熱による繁殖成績低下が乳生産へ及ぼした影響は来年夏に明らかになるが、今夏の生乳生産量の落ち込みから判断して、1994年夏以上の影響が予想される。

3. 暑熱下での生理状態の変化

恒温動物である哺乳動物の深部体温は、温熱環境の変化に関わらず概ね $\pm 1^{\circ}\text{C}$ の範囲に調節されている。このことによって、酵素作用をはじめとする体内で営まれる物質代謝が円滑に進むことになる。乳牛においても、外界の温熱環境の変化に対して体温の恒常性を保つことが重要となる。体温は、エネルギー代謝による熱産生と外界への熱放散のバランスによって一定に保たれるのであるが、温熱環境と体温との差の程度によってそれら両者の関与の程度はダイナミックに変化する(図3)。各種生理機能は熱的中性圏において安定し、生産効率も高い状態に維持される。この範囲から逸脱した低温域に暴露されると体温維持のために熱産生量が増加し、生産に向けられるエネルギーも使用されるようになる。一方、高温域では体温の上昇を防ぐために呼吸気道及び皮膚表面からの水分蒸散(潜熱放散)が促進されるが、体内深部より体表面への血流量の増加や末梢血管の拡張などによる熱放散(顕熱放散)は、体表温度と環境温度との差によって決まるので高温域では少なくなる。熱的中性圏を越えて環境温度が上昇すると、体温が上昇を始めるとともに熱産生量も

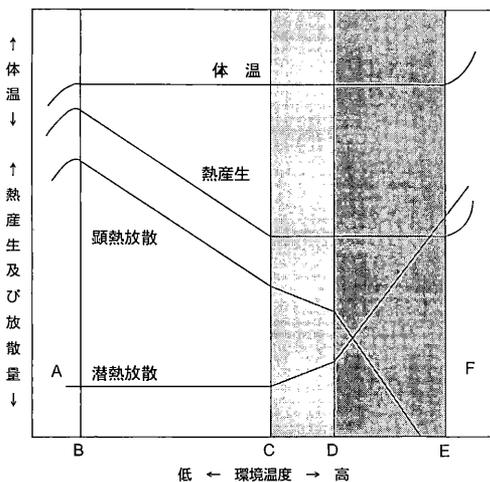


図3 恒温動物における環境温度と体温、熱放散の関係 (Mount : 1979)

- A : 低体温域
- B : 最大代謝量への到達温度
- C : 下臨界温度 (熱産生量が増加する温度)
- D : 蒸発量の増加温度
- E : 上臨界温度 (体温が上昇する温度)
- F : 高体温域
- B-E : 恒温維持可能な温度域
- C-D : 主に末梢血管の収縮・拡張により顕熱放散量が調節される温度域
- C-E : 熱的中性圏

増加する。

以下、暑熱環境下での生理状態の変化について概観する。

1) 呼吸機能

暑熱環境下では呼吸数が増え、熱性多呼吸(パンティング)が引き起こされる。熱性多呼吸は浅速呼吸とも呼ばれる浅い呼吸で、呼吸数の増加に対して換気量(呼吸量)が増えないことから一回換気量が減少する。常温下の呼吸では代謝に必要な酸素を取り込むための呼吸、いわゆる肺胞換気と体熱放散のための呼吸である死腔換気が概ね等量であるが、暑熱環境下では後者の死腔換気が優勢となる(図4: UENO *et al.* 投稿中)。これによって呼吸効率は低下するが呼吸気道からの熱放散は促進される。ただし、これには限界があり、暑熱下で運動負荷などを与えると、酸素摂取の促進と、それに伴う熱負荷増加の状況で肺胞換気が優勢となり、死腔換気は頭打ちの状態となる。このような状態が継続すれば体蓄熱が増えて熱射病となり、恒常性維持機構が破綻して危機的な状況に陥る。

2) 循環機能

暑熱に感作されることによって、体熱の放散を促進するための循環機能も亢進し、血液循環により体深部から体表面への熱の移動が促進される。ヒトの場合、体温が 0.5°C 以上上昇することによって心拍出量が30-75%増加するとされるが、UENO *et al.* (投稿中)は、牛においても約 0.5°C の体温上昇によって40%の増加を認めた。その際、血圧には大きな変化はみられないが、同時に末梢血管抵抗(値)の減少を認めたことから、皮膚表面からの放熱促進のために末梢血管が拡張していることを示すものと考えられる。

3) エネルギー代謝

暑熱環境下において熱産生量が低下することは、採食量の減少や飲水量の増加、乳量低下の他、甲状腺機能の低下など内分泌系の関与によるものと考えられる。上野ら(未発表)は、人工気象室での一連の実験で、乳牛に暑熱感作することによってその熱産生量は低下するが、常温下での飼料摂取を暑熱時と同じ水準に制限すると、熱産生量は暑熱時の水準よりも更に低くなることを認めた。このことは暑熱感作時の熱産生量低下は主に採食量低下によるものと思われるが、さらに暑熱時には熱放散を高めるために血流の増加や呼吸数の増加など生理機能が亢進することから、これらが熱産生の増加の要因となっていることがうかがえる。柴田ら(1977, 1982)は、暑熱環境下で飼料を定量給与された乾乳牛では、熱産生量が増加することを報告している。また、熱的中性圏を越える高温域に暴露されると体温の上昇が引き起こされて vant'Hoff-

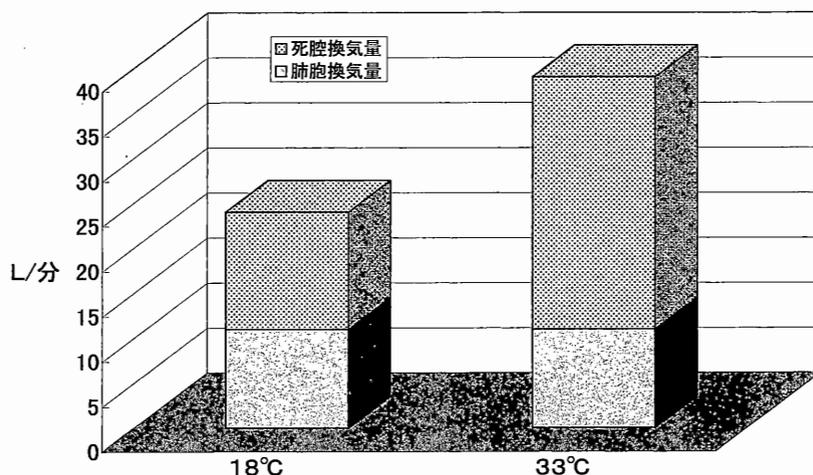


図4 常温及び高温環境下での換気(呼気)の内容

Arrhenius 効果による代謝亢進がみられるようになる。

4) 内分泌機能

暑熱暴露によって視床下部一下垂体系を介して甲状腺ホルモンの分泌が抑制される (JOHNSON and VAN-JONACK, 1976)。また、副腎皮質から分泌されるミネラル代謝ホルモンであるアルドステロンの分泌が促進され、腎臓や汗腺での Na の再吸収が促されることにより発汗による Na の喪失を調節している。性腺刺激ホルモンや性ホルモンの分泌も抑制される。ITO *et al.* (1998 a, 1998 b) は、グルコース、酢酸、アルギニン等の栄養素を投与することにより暑熱環境下での代謝関連ホルモンの分泌応答を調べた。乾乳牛ではこれら3栄養素によるインスリン分泌反応は抑制されるのに対し、泌乳牛では栄養素によって異なる反応を示すことを明らかにした。

5) 免疫機能

免疫機能は、ストレスに暴露されることによって低下することが知られている (横山, 1991)。その作用機序としては、副腎皮質ホルモンの分泌がストレスによって促されることにより胸腺リンパ組織に影響を与え、リンパ球をはじめとする免疫細胞に作用すると考えられている。乳牛においてもストレスが免疫機構に影響を与えることは、暑熱ストレスによってリンパ球機能が低下することを報告した ELVINGER *et al.* (1991) の結果や白血球貪食能などの生体防御機能が低下することを示した高橋 (1997) の報告からも明らかである。暑熱ストレスにより乳房炎、特に潜在性乳房炎の発症や重篤化、牛乳中の体細胞数の増加がみられるのは、これら生体防御機能の低下に誘発されたものと考えられる。

6) 消化・吸収機能

暑熱感作によって採食量が低下するとともに、消化管運動の低下 (ATTEBERY and JOHNSON, 1969) や食粥の消化管内滞留時間の増加が認められるようになる (WARREN *et al.*, 1974)。

体内の温度負荷要因として第一胃内発酵があげられる。その発酵熱は、第一胃で発酵される飼料のもつエネルギーの6~7.5%とされ、暑熱時の体温平衡に及ぼす影響は大きい。暑熱環境下での第一胃液中の低級脂肪酸組成については、酢酸、プロピオン酸、総 VFA 濃度の上昇を認めた報告 (柴田ら, 1979) と低下を認めた報告 (OLBRICH *et al.*, 1972) があるが、飼料条件や消化管運動などの生理的条件によって異なる結果が得られている可能性が考えられる。上野ら (未発表) は、暑熱感作によって酢酸濃度の低下とプロピオン酸濃度の上昇 (A/P 比の低下) を認めたが、常温下において採食量を暑熱下での水準に制限しても常温下での自由採食時の低級脂肪酸組成にはほぼ近いものであった。このことから、暑熱時の胃内発酵は採食量低下の影響よりも、第一胃運動の低下による食粥の胃内滞留時間の増大や胃壁からの VFA 吸収率の変化に影響された可能性が示唆された。

7) 繁殖機能

夏季の高温が発情再起の遅延や発情兆候の微弱化、受胎率の低下、胚の早期死滅等の繁殖機能の低下を引き起こすことが知られている。また、暑熱による生殖内分泌機能の低下、子宮内温度の上昇、子宮動脈血流量の低下などが報告されている (GWAZDAUSKAS, 1985; REYNOLDS *et al.*, 1985)。

4. 暑熱環境下における乳生産

暑熱環境下で乳量は減少するが、その影響の程度は牛の泌乳水準によって異なる。UENO *et al.* (1999) は、北海道農業試験場で繋養している乳牛を泌乳成績に

よって平均日乳量水準 20, 30, 40 kg の 3 グループに分け 7, 8 月の暑熱期の乳量低下を調べたところ、乳量の多いほど乳量の低下割合が大きかった。また乳期の影響は認められなかったものの、1, 2 産次より 3, 4 産次以降の乳牛において影響が大きかった。

このような暑熱による生産性の低下の機構としては、温度そのものが直接的に生理・代謝機構に影響を及ぼす部分と、採食（食欲）低下を引き起こすことによって栄養状態の悪化を来し、結果的に乳原料となる栄養素の不足から乳量低下が引き起こされる部分があると考えられる。このことは、幾つかの報告で明らかにされている。WAYMAN *et al.* (1962) は、暑熱下で飼育されているルーメンフィステル装着牛に対して、常温時と同量の飼料を第一胃内へ強制的に給与して乳量を調べると、自由採食時より乳量増加は認められるものの常温時の乳量には及ばないことを報告している。また、McGUIRE *et al.* (1989) によって、乳生産に及ぼす暑熱ストレスの影響の一部は、採食量（栄養摂取量）の減少や腸管・門脈からの栄養素の取り込みが減少することによること、門脈血流量の変化は暑熱ストレスの影響よりも乾物摂取量との直接の関連性が高いこと、 α -アミノ態窒素の正味流量には暑熱ストレスと乾物摂取量の両方が関与していることなどが報告されている。上野ら（未発表）も泌乳牛に対し、暑熱時の採食量と同量を常温下で制限給与すると、乳量は暑熱時よりも高まることを観察している。

これらの機構として、神経支配による消化管周囲の血流分布や栄養分配に関わるインスリン、甲状腺ホルモン等の代謝関連ホルモンの分泌動態などの関与が考えられる。

UENO *et al.* (1999) は日乳量変化に対する環境温度の影響を最高気温と最低気温に分けて、それぞれの乳量変化への寄与を明らかにした。その結果、気温変化によって引き起こされる乳量変化のうち約 8 割は最低気温によって引き起こされた変化と推測された。このことは最高気温からみれば、いかに低温側に温度較差を大きくするかということが効率的乳生産のための環境管理として重要であることを示している。具体的には、昼間の防暑対策ばかりでなく気温の下がる夜間の最低気温を下げる努力がより効果的であると言える。HOLTER *et al.* (1996) も乳牛の生産性に及ぼす暑熱ストレスの評価尺度としては、最低気温の方が最高気温より有効であることを報告している。また、乳量変化と環境温度との相互相関係数による時系列解析により、環境温度の変動は 2～3 日の遅れで乳量に影響を及ぼしていることを明らかにした。

乳成分のうち乳脂肪率や乳蛋白質率、無脂固形分率は、暑熱環境下で低下することが報告されている。その主たる原因は採食量の減少（栄養不足）によるものと考えられるが、常温下の採食量を暑熱感作下でのそ

れと同じ水準に制限すると、これら乳成分は常温下自由採食の水準近くまで回復することから、温度の（採食量の変化を通さない）直接効果も無視できないものと思われる（上野ら、未発表）。

乳脂肪率は第一胃内発酵の状況、すなわち揮発性脂肪酸である酢酸、プロピオン酸量の変化を受けて変動することが知られている。乳脂肪を構成する脂肪酸のうち炭素数が 16 以下の短鎖及び中鎖脂肪酸は、第一胃で生成される揮発性脂肪酸等を前駆物質として作られ、酢酸の生成割合が低下しプロピオン酸の割合が増えると乳脂肪率が下がり、逆の場合には乳脂肪率は上がることが知られている。一方、カゼインなどの乳蛋白質は第一胃内で合成される微生物蛋白質や第一胃で分解されない飼料由来の非分解性蛋白質が下部消化管においてアミノ酸として吸収され、それらをもとに乳腺において合成される。乳蛋白質率は、エネルギー不足によって低下することが知られている（扇ら、1991）。すなわち、暑熱環境下では採食量の低下と熱放散のためのエネルギー消費の増加等によるエネルギー不足は、当初は体脂肪の動員により賄われるが、次の段階では体蛋白質（乳蛋白質の原料となるアミノ酸）が動員されることになり、結果的に乳蛋白質率の低下が引き起こされると考えられている。

5. 暑熱対策—「結語」に代えて—

暑熱環境下での乳生産と生理について概説したが、学問的知見と現場での暑熱対策技術とのギャップは大きい。暑熱の乳牛への影響を数多く並べても、そこからの出口として対策技術が提示されなければ実学としての畜産の責任は果たせていないと思うのであるが、出来るだけ労力とコストをかけずに効率的に行える対策技術への期待に答える道はまだ遠い。それぞれの現場で地道に一つづつ出来るところから克服していく以外なさそうである。既に実践されていることではあるが、低コストでできる対策をいくつか例示しておこう。先にも述べたが、体温の恒常性を維持することが全ての暑熱対策の基本であることから、個体における熱産生の抑制と熱放散の促進、そして環境からの熱負荷の低減・排除を中心に据えて考えられる対策技術である。

BEEDE and COLLIER (1986) は、温熱ストレスを軽減化する方法として、①飼養環境の改善、②栄養管理技術の改善をあげている。これらはいずれもとくに目新しいものではなく、これまで機会あるごとに指摘され、またそれなりの対応がなされてきた事柄である。

①の「飼養環境の改善」は、言い換えれば環境ストレスの低減化を目指すことであるが、外部の温熱環境の影響を最小限にするため、畜舎の立地及び構造、畜舎素材の検討、また、室内の温熱環境を緩和するために換気扇の設置や送風ダクト、散水装置、気化冷却装置の設置などが工夫されている（相井、1992）。これら

は、施設としては断熱と換気、また牛体からの熱放散の促進をねらったものである。池口ら (1998) は、畜舎内の温熱環境と密接に関わる水分環境の制御に関して、酪農家に普及している懸垂型換気扇を一定方向に向け床面に対して 45° で設置することが効果的であることを示している。また、相井ら (1989) は、気化冷却装置を設置している熊本県下の酪農家での実態調査と自らの実証試験を行い、同装置の導入によって乳牛の体温上昇抑制効果や乳量低下抑制効果を認めた。さらに、その損益分岐点を求めたところ、乳量低下抑制効果が 0.81 kg と試算された。この点について相井ら (1989) は、経営的視点からは、単に高温時の乳量低下抑制効果ばかりでなく、受胎率、乳質向上などにも効果があり、実際は損益分岐点をかなり下回っても気化冷却装置の導入価値はあるとしている。

いずれにせよ、新たな設備を導入することは投資効率の点から判断せねばならないが、出来るだけ既存の施設・設備を有効に利用した暑熱対策を考えるべきであろう。最近、既存のバルククーラー、自動車のラジエーターポンプ等を利用した「簡易送風装置を利用した冷水循環送風装置(写真1)」(畜産試験場報, No.104, 1998) を用い、夏季の畜舎内環境の改善に効果が認められている。

また、乳量変動に対しては最低気温の影響が大きい(上野ら, 1998) ことから、放牧地の広いところでは気温の下がる夜間に放牧することが牛への暑熱の影響を緩和する上で効果的である。暑熱期の屋外で放牧する場合には、放射熱を遮断する日蔭林など日よけの設置

が不可欠である。樹木は日蔭効果に加えて葉部からの蒸散作用による局所冷却の効果も期待できる。

②の「栄養管理技術の改善」には、第一胃内での発酵熱を抑える良質な粗飼料の給与、採食量低下による栄養摂取不足を補うための栄養価の高い飼料の給与が効果がある。すなわち、熱放散機能の亢進のために増加するエネルギー消費を補うために代謝エネルギー (ME) 含量及びその利用効率が高い飼料を給与する必要がある。具体的には飼料中の粗繊維含量を減らし濃厚飼料の給与比率を高める。また、蛋白質は炭水化物や脂肪に比べて熱発生量が多いので、暑熱時におけるその過剰給与は熱負荷を増強することになるが、採食量低下による蛋白質不足を補うためには飼料中の蛋白質含量を高めておく必要がある。

寺田ら (1997) は、夏季の暑熱時における乾物摂取量と乳生産の関係について調べ、乳脂補正乳量 (FCM) 水準を一定に維持するためには、平均気温 1°C の上昇に対して乾物摂取量を 0.229 kg 増加させる必要があることを示した。

牛に対しての温度負荷を軽減する給飼法として、一日の給与飼料を 4～5 回に分けて給与する多回給飼や夜間給飼が効果がある。これらの方法は第一胃内発酵を平準化したり、採食に伴う熱発生による更なる温度負荷を与えないために日中の高温期を避けて夜間に給飼するなど給与方法の工夫である。

また、温度負荷を低減するという視点からみれば暑熱対策とはいえないが、体内代謝に対する暑熱の影響を緩和するという点では、ミネラルの扱いも重要と思われる。乳牛の維持のためのミネラル要求量は、27°C 以上では常温時より約 10% 増加すると報告されている (KUME *et al.*, 1986)。生理的に重要な役割をもつナトリウムやカリウムが発汗や流涎によって欠乏しないように補給しなければならないが、その際、炭酸水素ナトリウムなどの重炭酸塩を給与することによって、ミネラル補給と第一胃内 pH の正常化ができる。第一胃内の pH は、暑熱時に低下して第一胃内発酵に影響するとされているが、重炭酸塩の給与はそれを正常化し、乳量や乳成分の低下を抑制できることが報告されている (ERDMAN, 1988)。

以上述べてきた個別の対策技術を経営の実態に応じてうまく組み合わせることによって、それぞれの防暑対策が講じられるべきであろう。以前、上野ら (1995) が実施した実態調査で、防暑対策への関心の高い農家で飼われている高能力牛群での夏季の乳量低下は、関心の低い農家の中能力牛群と比べて少なかった。高能力の牛ほど暑熱の影響を受けることは先にも述べたが、そこで逆の結果が認められたことは、夏季の防暑対策の重要性を示す一例と思われる。

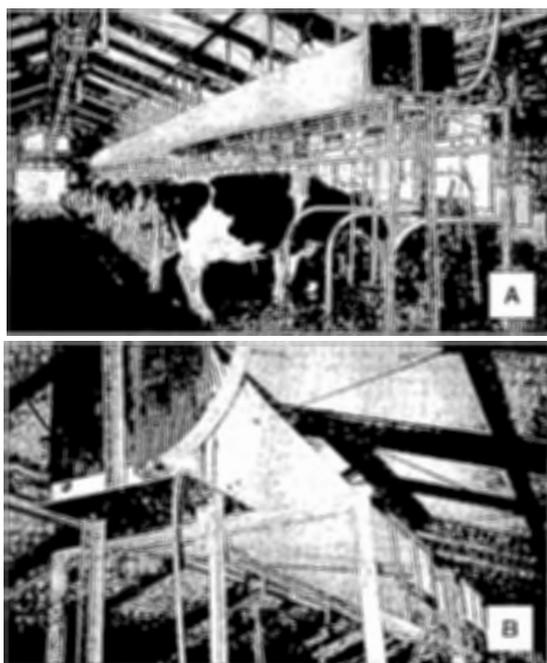


写真1 簡易送風装置を利用した冷水循環送風装置
A 牛舎内の設置状況
B 簡易送風装置の吸気口部分
(写真はいずれも畜産試験場業務1科提供による)

文 献

- 相井孝允・高橋繁男・栗原光規・久米新一 (1989) 高温時における改良型気化冷却装置の運転が乳牛の各種生理・生産反応に与える影響. 九州農試報告, **25**: 291-316.
- 相井孝允 (1992) 地球温暖化が家畜に与える影響と防止対策. 地球温暖化とわが国の畜産, 37-68. 畜産技術協会. 東京.
- ATTEBERY J. T. and H. D. JOHNSON (1969) Effects of environmental temperature, controlled feeding and fasting on rumen motility. *J. Anim. Sci.*, **29**: 734-737.
- BEEDE, D. K. and R. J. COLLIER (1986) Potential nutritional strategies for intensively managed cattle during thermal stress. *J. Anim. Sci.*, **62**: 543-554.
- ERDMAN, R. A. (1988) Dietary buffering requirements of the lactating dairy cow. A review. *J. Dairy Sci.*, **71**: 3246-3266.
- ELVINGER, F., P. J. HANSEN and R. P. NATZKE (1991) Modulation of function of bovine polymorphonuclear leukocytes and lymphocytes by high temperature in vitro and vivo. *Am. J. Vet. Res.*, **32**: 1692-1698.
- GWAZDAUSKAS, F. C. (1985) Effects of climate on reproduction in cattle. *J. Dairy Sci.*, **68**: 1568-1578.
- 早坂貴代史・山岸規昭・田鎖直澄・宮谷内留行 (1994) 北海道の乳牛に対する暑熱の問題—なぜ北海道で暑熱が問題になるのか—. 畜産の研究, **48**(4)9-12.
- HOLTER, J. B., J. W. WEST, M. L. MCGILLIARD and A. N. PELL (1996) Predicting ad libitum dry matter intake and yield of Jersey cows. *J. Dairy Sci.*, **79**: 912-921.
- 池口厚男・塩谷 繁 (1998) 乳生産向上のための畜舎内環境の制御, 環境ストレス低減化による高品質乳生産マニュアル (北海道農業試験場編): 85-105.
- ITO, F., Y. OBARA, M. T. ROSE, H. FUSE and H. HASHIMOTO (1998a) Insulin and glucagon secretion in lactating cows during heat exposure. *J. Anim. Sci.*, **76**: 2182-2189.
- ITO, F., Y. OBARA, M. T. ROSE and H. FUSE (1998b) Heat influences on plasma insulin and glucagon in response to secretagogues in non-lactating dairy cows. *Domestic Animal Endocrinology*, **15**: 499-510.
- JOHNSON, H. D. and W. J. VANJONACK (1976) Effects of environmental and other stressors on blood hormone patterns in lactating animals. *J. Dairy Sci.*, **59**: 1603-1617.
- KUME, S., M. KURIHARA, S. TAKAHASHI, M. SHIBATA and T. AII (1986) Effect of hot environmental temperature on major mineral balance in dry cows. *Jpn. J. Zootech. Sci.*, **57**: 940-945.
- 陽 捷行 (1992) 大気メタンと地球温暖化, 地球温暖化とわが国の畜産, 1-8. 畜産技術協会. 東京.
- MCGUIRE, M. A., D. K. BEEDE, M. A. DELorenzo, C. J. WILCOX, G. B. HUNTINGTON, C. K. REYNOLDS and R. J. COLLIER (1989) Effects of thermal stress and level of feed intake on portal plasma flow and net flux of metabolites in lactating Holstein cows. *J. Anim. Sci.*, **67**: 1050-1060.
- MOUNT, L. E. (1979) Adaptation to thermal environment: man and his productive animals. 14-16. Edward Arnold. London.
- 農林水産省畜産試験場編 (1998) 簡易送風装置を利用した冷水循環送風装置の考案. 畜産試験場報, No. 104: 3.
- 扇 勉・上村俊一 (1991) 乳牛における分娩前後のエネルギー水準が肝臓の脂肪沈着, 血液成分及び乳蛋白率に及ぼす影響. 日獣会誌, **44**: 992-999.
- OLBRICH, C. E. F. A. MARZ, H. D. JOHNSON, S. W. PHILIPS, A. C. LIPPINCOTT and E. S. HILDERBRAND (1972) Effect of constant ambient temperatures of 10°C and 31°C on ruminal responses of cold tolerant and heat tolerant cattle. *J. Anim. Sci.*, **34**: 64-69.
- REYNOLDS, L. P., C. L. FERRELL, J. A. NIENABER and S. P. FORD (1985) Effects of chronic environmental heat stress on blood flow and nutrient uptake of the gravid bovine uterus and foetus. *J. Agric. Sci., Camb.*, **104**: 289-297.
- 柴田正貴・向居彰夫 (1977) 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.
- 柴田正貴・向居彰夫 (1979) 乾乳牛の第一胃内揮発性脂肪酸濃度と熱発生量との関係に及ぼす環境温度の影響, 日畜会報, **50**: 265-270.
- 柴田正貴・向居彰夫 (1982) 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.
- 高橋秀之 (1997) 免疫機能に及ぼす環境ストレスの影響と評価法, 環境ストレス低減化による高品質乳生産マニュアル (北海道農業試験場編): 33-42.
- 寺田文典・塩谷 繁・白石恭二・玉城政信 (1997) 夏季の乳牛の乾物摂取量の推定, 日畜会報, **68**: 189-191.
- 津田恒之 (1983) 家畜生理学. 213. 養賢堂. 東京.
- 上野孝志・早坂貴代史・田鎖直澄 (1995) 1994年夏季の猛暑が牛乳生産に及ぼした影響. 北海道農業試験

- 場研究資料, 54: 5-22.
- 上野孝志・田鎖直澄・大谷文博 (1998) 時系列解析による日乳量変動に対する暑熱環境の影響評価. 北海道畜産学会報, 40: 35-38.
- UENO, T., K. HAYASAKA and N. TAKUSARI (1999) 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.
- UENO, T., Y. TAKEMURA, K. SHIJIMAYA, F. OHTANI and R. FURUKAWA (1999) Effects of high environmental temperature and exercise on respiratory function and metabolic response in steer. JARC 投稿中.
- WARREN, W. P., F. A. MARTZ, K. H. ASAY, E. S. HILDERBANG, C. G. PAYNE and J. R. VOGT (1974) Digestibility and rate of passage by steer fed tallfescue, alfalfa and orchardgrass hay in 18 and 32°C ambient temperatures. J. Anim. Sci., 39: 93-96.
- WAYMAN, O., H. D. JOHNSON, C. P. MERILAN and I. L. BERRY (1962) Effect of ad libitum or forced-feeding of two rations on lactating dairy cows subjected to temperature stress. J. Dairy Sci., 45: 1472-1478.
- 横山三男 (1991) 神経系と免疫系の相互調節. 最新医学, 46(4): 52-57.