

COW BELL

カウ・ベル 全酪連購買事業情報紙

No. **176**
2025 増刊



サマーリリーフ2025

牛の健康と酪農経営を支える暑熱対策

No. 1 暑熱対策から換気を考える
全酪連 札幌支所 技術顧問 小出 佳正

No. 2 暑熱対策で乳生産を維持する!
全酪連 大阪支所 技術顧問 永井 秀樹

No. 3 タイストール牛舎のトンネル換気について
全酪連 札幌支所 技術顧問 中田 悦男

No. 4 乾乳牛管理を通じた子牛の暑熱対策
全酪連 購買生産指導部 酪農生産指導室 嶋田 健介

No. 5 暑熱ストレスと栄養 我々ができることはあるか?
AMTS社 代表取締役 兼 最高経営責任者 トム・タルキー博士



Your Partner 全酪連

暑熱対策から換気を考える

全酪連 札幌支所 技術顧問 小出 佳正

昨今の夏の暑さは過去に経験が無いほどの厳しさ。北海道も例外では無く、今までの暑熱対策を見直す必要に迫られています。その手始めとして「牛舎の換気システム」のアップデートを考えてはいかがでしょうか。

●換気と暑熱対策は違う

換気扇があることと換気が良いことはイコールではありません。

換気とは牛舎内の汚れと湿気を含んだ空気を速やかに牛舎外に放出し、外のきれいで乾いた空気を取り入れること。暑熱対策は牛の体に直接風を当てて体熱の放散を促すことです。ですから暑熱対策は、

- ① 牛舎内の湿度を換気によって下げる
 - ② 湿度の下がった風を体に直接当てる
- この順番に行うことが重要。

「換気という土台の上に、暑熱対策という母屋が建つ」のです。

では、なぜ換気がそれほどまでに重要なのか。その理由は牛が体を冷やす仕掛けにあります。

牛が体を冷やす仕組み

牛は大量の泌乳を行い、そのために大量の空気が必要とし、結果として莫大な熱を生み出します。その熱を発散するため、牛は二つの仕掛けを持っています。それが顕熱放散と潜熱放散です。(図1)(※1)

●顕熱放散：皮膚表面からの放熱

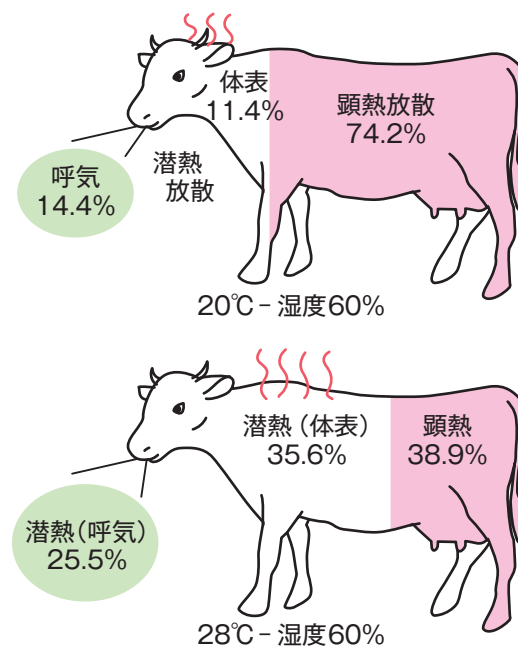
顕熱放散とは、体温より温度が低いものに触れることで熱が移動すること。皮膚から熱を放散し体を冷やします。体温より外気の温度が低ければ体を冷やす事が出来ます。気温20度では熱放散の7割以上を顕熱放散が担っています。

●潜熱放散：発汗と口腔からの放熱

ところが、気温が体温に近くなると熱放散の高率が落ちてくる。そこで水が蒸発するときの気化熱で体を冷やすようになります。これが潜熱放散で暑熱時は体熱の6割を気化熱で冷やしています。

牛舎内の湿度が低いほど水は蒸発しやすく体を冷やす効果が高くなりますし、湿度が高くなれば体を冷やす効率は下がります。これが「換気が暑熱対策に重要」な理由です。

図1 気温と熱放散の割合

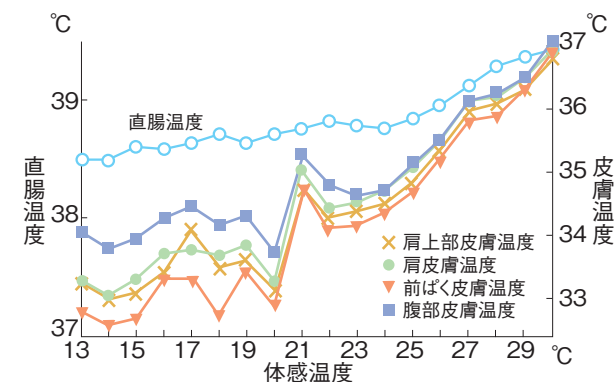


●潜熱放散へのシフト

体感温度と皮膚温度の関係を示したのが図2です。(※2) 体感温度が21°Cで一旦皮膚温度は下がりますが、体感温度25°C前後で再び皮膚温度は上昇に転じます。牛の熱放散が体感温度21°Cで潜熱放散に、つまり汗をかいて体を冷やす方法に切り替わったことを示しています。

私のいる十勝なら気温25°C前後が体感温度21°Cに相当しますから、まだ過ごしやすい時からしっかり換気をして牛舎内湿度を下げるのが重要です。湿

図2 体感温度と皮膚温度



度の高い地域ならもっと早めの対策が必要でしょう。

牛舎の中を外と同じ湿度にコントロールすることが暑熱対策のスタートラインです。

効率的な換気を実現するために

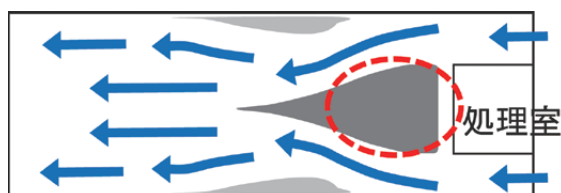
一口に換気をよくするといっても牛舎の構造が異なれば対策も違います。北海道の対策が府県に通用するとは限りませんし、その逆もまたしかりです。ですから、まず基本の考え方を述べることにします。

●閉鎖型牛舎の特徴

北海道のような寒冷地では、繋ぎ牛舎は閉鎖型施設が主流ですし、フリーストール牛舎も府県ほど開放されている訳ではありません。結果的に空気溜まり（淀み）が出来やすい宿命を持っています。空気溜まりの場所を見つけることが第一歩となります。

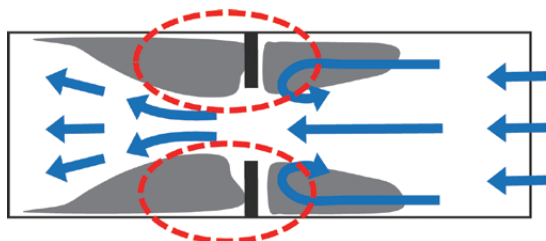
「空気溜まりが発生しやすい箇所」

① 入気口面積が小さい（牛舎中央に処理室等がある）



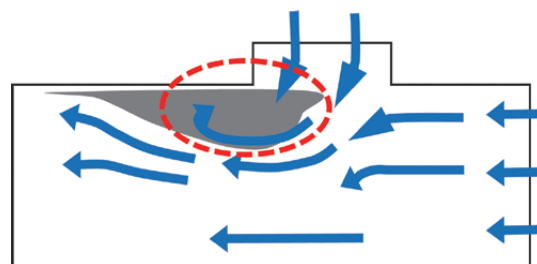
面積が小さい入気口は早い風速を生み、牛舎内に張り出した処理室や飼料庫などは風を遮り、空気の流れを止めます。このギャップが空気溜まりを作り出します。

② 牛舎を仕切る構造物



牛舎を造設した場合、中に仕切りがあったり、造設牛舎の天井が高いというのは珍しくありません。仕切りは空気溜まりを作りますし、天井が高くなる場所では風速が弱まり換気悪化の要因となります。

③ 牛舎側面の入気口近辺



牛舎側面に開口部があると、そこから入った風が牛舎を縦断する風と干渉して空気溜まりを作ります。

●開放型牛舎の特徴

自然の風を利用して横断換気がとりやすいのが開放型牛舎の利点ですが、立地条件の影響を受けやすいという弱点があります。施設間の距離が近い、山（傾斜地）に囲まれるなどの条件下では開放型牛舎であっても十分な換気がとれないことがあります。

●現況確認から対策の流れ

換気には牛舎内を 0.8～1.0m/秒で風が流れている必要があります。どの場所も一様の風が流れて欲しい。空気溜まりが出来やすいところを中心に、風が通らないところを探し出します。シャボン玉を飛ばすと簡単に空気溜まりを見つけることができます。

空気溜まりを解消する

空気溜まりにむけて換気扇を設置すれば風は動くでしょう。でも、牛舎内のよどんだ空気をかき混ぜても換気にはなりません。多くは入気口が不足しているのが原因ですので、ミニ改修が効果的です。

写真 1 は、妻面に入気口を付けた事例です。これで牛舎内の換気が一気に改善しました。

換気扇の設置法で効果は変わる

開放型牛舎のように入気面積が十分あれば、換気扇の活用・増設が手軽な方法でしょう。換気扇の設置に当たっては、換気扇の後ろに直形の 1～1.5 倍の空間を設けてください。壁面に近すぎると換気扇の能力を十分発揮することは出来ません。換気扇の向きも重要です。通路やフリーバーンを乾かすことが目的であれば、換気扇を真下に向けることは正当性があります。しかし、換気のためであれば、全ての換気扇に仰角を付け、牛舎内に一定方向の風が流れ

写真1 入気口増設



るようにします。牛舎のどこでも一様に風が流れるようにしましょう。

水の重要性

暑熱対策には換気扇やミスト、ソーカー等が話題になりがちですが、実はその前にやるべき事があります。それが水。

暑いと汗で体を冷やすのだから、大量の水を汗のために使います。泌乳に使うべき水が体を冷やすために使われる。牛が充分水を飲める環境を作る事は重要な暑熱対策です。

●ポイント1 水槽は充分ですか

フリーストール・フリーバーンの場合、牛1頭当たり8cmの水槽幅が最低必要となります。(※3)例えば60頭牛舎では「60頭×8cm=4.8m」つまり幅1.2mの水槽なら4台が必要となります。牛舎の水槽が足りているか確認しておきましょう。

●ポイント2 飲みやすい形ですか？

牛は水を飲むとき、頭を水槽に直角に差し込んで水を飲みます。(写真2)

それには水槽の奥行きが50cm以上必要で、奥行きが浅い(2～30cm)水槽では真っ直ぐに頭を入れられず、体を斜めにして水を飲む。すると一つの水槽で一度に水を飲める頭数が減ってしまう。上で示した水槽の数でも足りない事態が起こり得ます。これでは弱い牛は水を飲めません。

●ポイント3 水槽はきれいですか

牛は臭いにとても敏感。汚れた水槽では飲水量も増えません。定期的に水槽を掃除することはお金を生む重要な作業です。水槽洗いには重曹をお勧めしています。ヌメリ・汚れを綺麗に出来ますし、洗剤よりも濯ぎに気を遣わなくても大丈夫。今年の夏は綺麗な水槽で一杯水を飲んでもらいましょう。

空気溜まりを見つける、風速を計る、施設改修を考える、換気扇を増設する。お一人ではなかなか難しいこともあるでしょうし、詳しい人に実際に見てもらうことが確実です。周りの指導機関や全酪連職員に相談していただくことをご検討ください。

写真2 飲水時の牛の姿勢



●参考文献

- ※1：農研機構「気温及び湿度の変化と乳牛の潜熱放散」
- ※2：新出昭吾「暑熱ストレスへの反応監視予測と防暑対策」デイリージャパン 1996 別冊
- ※3：Rick Grant Dairy Science Update animal behavior24 2002

暑熱対策で乳生産を維持する!

全酪連 大阪支所 技術顧問 永井 秀樹

エサ高、資材高、光熱費高…。酪農家を取り巻く環境は厳しいですが、「暑熱対策」は、乳生産の効率を維持し、経営を持続発展させる上で優先度の高い取組です。

年々厳しくなる酷暑が、乳生産の低下のみならず、繁殖遅延や疾病を誘引しています。昨年も平均気温や35℃を超える猛暑日の日数が過去最高を更新されるなど、今まで想像もなかったような気候変動に悩まされています。まさに「夏を制するものは酪農を制す」といった状況におかれています。今一度、皆さんの農場の暑熱対策を見直してみましょう。

1 外部からの熱の侵入を防ぐ

まずは直射日光を畜舎に入れないことです。特に夏から秋の夕刻の西日の時間帯は過酷です。植物を使った日陰づくりや遮光シートの利用などが行われています(写真1)。

また屋根や壁からの輻射熱対策も重要です。日中の日光によって屋根や壁は高温となり、その熱は間接的に畜舎内部へ放射されます(写真2)。

写真1 直射日光を遮蔽する



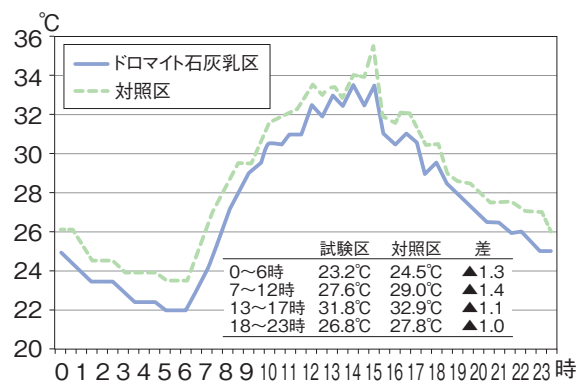
左：植物を使った西日除け
夏から秋にかけて旺盛となる植物（琉球アサガオ等）を選ぶ
右：牛舎壁面に遮熱シート
高い効果はあるが牛舎内は暗くなる

写真2 屋根に近い送風ファン?



輻射熱対策が不十分だと、「温風ファン」になるかも??

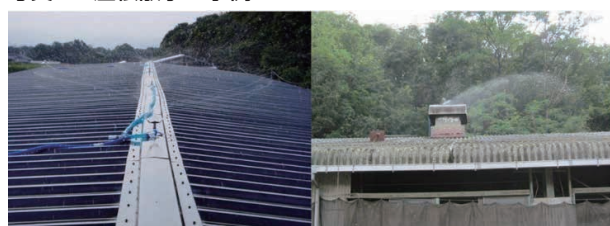
図1 輻射熱対策の効果(牛舎内温度)



この放射は夜間も続きます。図1はドロマイト石灰乳を屋根に塗布し、真っ白にした牛舎内の温度推移です。未塗布の対照牛舎と比較して、夜間でも1℃以上の温度差がありました。

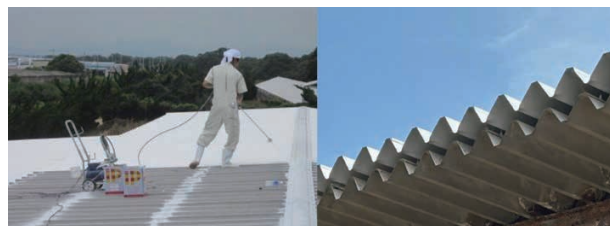
他に屋根散水も簡単に組み入れる対策です。屋根上にスプリンクラーや散水チューブを取り付けて、屋根を冷やします。ただし、それなりの水量が必要になることや、周辺の排水対策が不十分な場合は環境を悪化させることもあります(写真3)。また、遮熱塗料の塗布や断熱資材の付着、二重屋根の設置などの方法も効果的です(写真4)。

写真3 屋根散水の事例



左：スプリンクラー 右：散水専用ノズル
いずれも大量の水が必要となる。屋根から落ちる水の処理も必要

写真4 その他の対策事例



左：暑熱塗料の塗布
コストはかかるが長持ちする
右：二重屋根
古い屋根の上に新しく屋根を張る。空気層が断熱材の役割をする

2 牛の熱放散を助ける

1) 送風システム

暑熱ストレスを受けた牛の反応として、①体表面の血管を拡張（血流を増加）させ熱を逃がす、②呼吸数を増やし呼吸とともに熱を逃がす、③発汗して体温を下げる、の3点があります。牛が放散した熱を素早く効率的に奪うためには牛への送風と換気が必要です。牛の体感温度は「乾球温度（℃）－6√風速（m/秒）」とされているように、送風の効果は絶大です。少なくとも2～3m/秒の風を牛体にあてるのがポイントです。

送風により牛が放散した熱を素早く奪い、牛舎外へ持ち出すためには、送風ファンの取り付けにも工夫が必要です。一般的に普及している1m径の送風ファンの場合、牛舎内の柱や壁、特に“牛”という障害物を考慮すると、風速2m/秒以上を確保できるのはおよそ4～5mくらいの範囲です。そのためファンの設置間隔は4m前後、高さはできるだけ低い位置で、斜め下向き一方向に設置し、空気の流れを作り出す必要があります（図2）（写真5）。

最近では大型の送風用ファンも普及しています。この場合も風速2m/秒以上を意識して、取り付け位置や間隔、台数を検討してください（写真6）。

さて、送風ファンはいつでも動かせばよいのでしょうか。牛と人間の感じ方は大きく異なります。

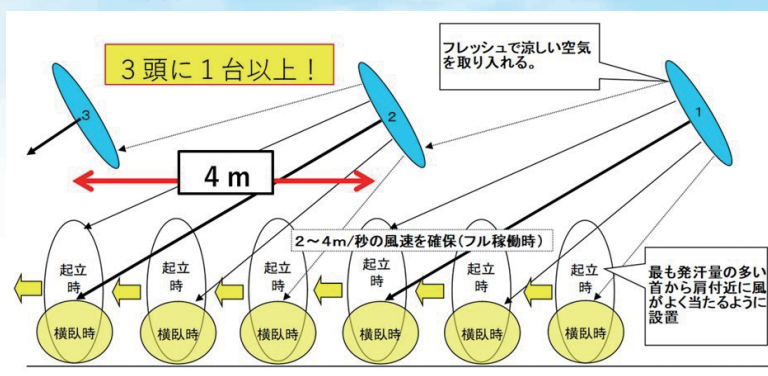
写真5 斜め下向き一方向に送風ファンを設置



写真6 フリーストール牛舎での大型ファンの設置



図2 つなぎ牛舎での送風ファン設置イメージ



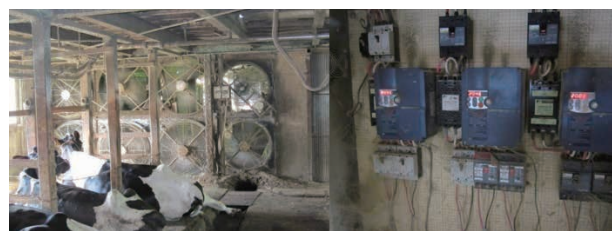
暑熱対策が必要な期間は、都府県の多くの地域で3月下旬から4月初めに始まり11月末まで続きます。その期間は暑熱対策の基本である送風を継続的に実施する必要があります。そのためインバーター装置を設置し、風速の調整をしながら長期間・長時間送風を実施してください。インバーターの設置は電気代を抑制する効果もあります。

いきなり送風ファンの増設が難しい、電気代を少しでも節約したい場合は、既設のファンの羽根に付着したホコリを取り除くだけでも風速が増し、節電にもなることが実証されています。また、ファンベルトのゆるみの確認・取替、牛に風があたり、流れる位置への付け替えなども大きなコストを掛けない対策です。

2) トンネル型強制送風システム

繰り返しになりますが、暑熱期には牛が放散した熱を素早く奪い、牛舎外へ持ち出すことが必要です。送風による風が牛にあたっても、その熱や湿気を含んだ空気が牛舎に滞留すれば効果が低減します。そこで、送風と換気を両立させるトンネル換気システムという方法もあります。トンネル換気システムとは、牛舎をトンネルに見立て、側面を密閉し、牛舎内の空気流れを一方向に作り出し、外気を取り入れ、畜舎内の空気を排出する仕組みです。一般的には排出側に換気ファンを並べ、陰圧による空気の流れを作り出します（写真7）。

写真7 つなぎ牛舎でのトンネル換気改造事例



寄せ集めの換気ファンとインバーターを使用し、3m/秒の風速を確保する

牛舎の天井高など空間が狭い牛舎ほど効率的に空気の流れを作ることができますが、十分な風速を確保するために必要な排気用ファンの台数は牛舎の構造等で異なります。また昨今の暑熱環境を考えた場合、風の流れがしやすい通路だけでなく、牛が居る場所での風速が重要になります。その場合は、送風ファンを組み合わせたハイブリッド型も検討してください。また、サシバエ等の吸血昆虫対策としてもトンネル換気システムは効果的です。

トンネル換気では牛舎の密閉度が最も重要なポイントです。窓サッシ等がしっかり設置されている場合は問題ないですが、それが不十分な場合、その代替となるものが必要となります。例えば、ビニルやパネル等、壁面を塞ぐことができるものであれば何でもよいのですが、相当な陰圧がかかるので設置方法には工夫が必要です。密閉度が保たれていれば設計通りの風速は確保できます。もし、その通りの能力が発揮できない場合は、どこかに隙間があります。

一方、乳牛で暑熱期に推奨される換気回数は60回/時間といわれています。しかしこの数字には注意が必要です。仮に60回/時間を前提に設計すると、2～3m/秒の風速には到底到達できず、換気はできても、暑熱対策として必要な風速が得られない結果となります。換気と暑熱対策を両立させるには必ず風速を前提に設計し、“トンネル型強制送風システム”として考える必要があります。

3 牛を冷やす

1) 細霧冷房システム

いくら輻射熱対策と送風強化をおこなっても、昨今の夏の暑さはあまりにも“酷暑”です。牛舎の温度を下げる方法として、細霧冷房システムが古くから広く普及しています。周知のとおり、細霧冷房は気化熱を利用しているため湿度との関係が極めて重要です。現場では、効果を発揮する目安を湿度70%以下としています。それ以上では牛の体熱放散を妨げ、逆にストレスになる場合があります。気化することなく被毛の表面にまとわりついた湿気は、体熱の放散を妨げ、暑熱ストレスをさらに高めます。

また、あくまで送風と細霧噴霧はセットであり、冷却効果は、送風による気化促進がなければ意味がありません。送風ファンで風の流れを作り出している牛舎でも、どこかに湿気が滞っている箇所が残れば牛舎全体の湿度を上げてしまいます。そこで、不必要な細霧の噴霧は避け、タイミングを調整する必要があります。そのため、細霧の噴霧は湿度が外気と同じになるまで休止する間欠運転としてくださ

写真8 送風ファンの前に細霧ノズルを設置する



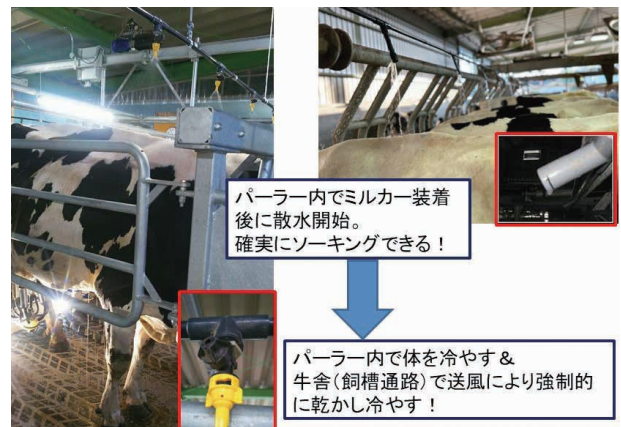
い。また、できるだけ細霧ノズルは送風ファンの前に設置し(写真8)、風の流れに巻き込ませ、気化して冷えた空気が牛にあたるような工夫が効果的です。ファンの後部から巻きまれたミストはファンの回転で攪拌され大きな粒子となり、牛体や牛舎内に水滴を吹き付けることになります。

2) 牛体散水

牛を直接冷やす方法として、牛体散水(ソーキング)があります。文字通り、被毛下の皮膚を“びしょ濡れ”にします。牛を水で直接冷やす効果と被毛が乾くときの気化熱効果をねらっています。ただし、牛床等を不衛生にしない散水場所は限られています。一般的には、パーラーやホールディングエリア(搾乳待機場)などの確実に牛体散水ができ、排水処理がしやすい場所になります。散水ノズルと配管等を設置するだけなので、素人でも比較的簡易に実施できる対策です(写真9)。

搾乳中、もしくは決められた時間に強制的に追い込んで散水することで、確実に牛を“びしょ濡れ”にして、そのあとは飼槽で送風により体を乾かしながら飼料を食べるというイメージです。この“強制的に乾かす”ということが重要なポイントで、気化熱効果がプラスされます。

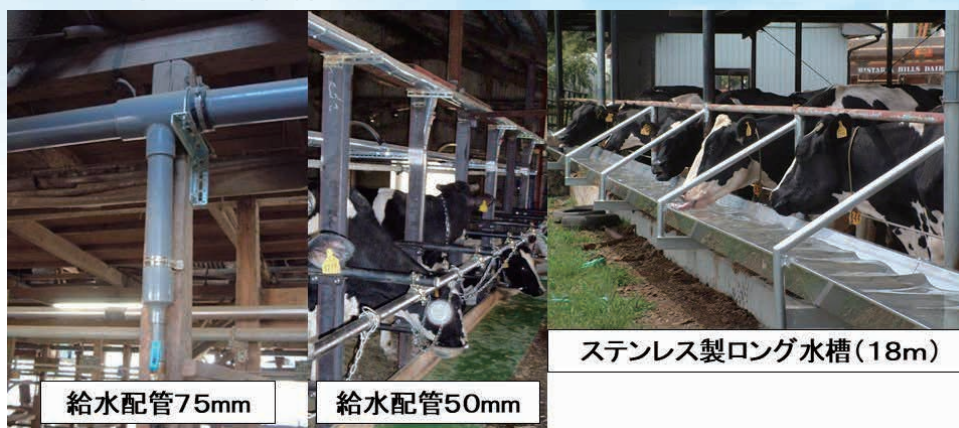
写真9 パーラー内ソーカーの事例



パーラー内でミルクカー装着後に散水開始。
確実にソーキングできる！

パーラー内で体を冷やす&
牛舎(飼槽通路)で送風により強制的に乾かし冷やす！

写真10 給水施設の改善事例



4 牛に補給する

牛は暑くなると、呼吸数を増やし呼気とともに熱を逃がし、発汗して体温を下げようとします。つまり、体温調整には水が必須ということです。

例えば夏季に40kgの産乳を行なっている搾乳牛の要求量を計算すると、100～150リットル/日にもなります。その量を搾乳後や採食後を中心に15回/日程度に分けて飲むといわれており、それらの飲水行動を躊躇なく行なえるような給水施設の設置が望まれます。さらに、飲水行動は、牛舎全体で同じタイミングに始まります。それらを同時に満たすための能力も求められます。給水施設に求められるのは、“新鮮”で“衛生的”な水を、“飲みたいとき”に、“欲しいだけ”飲める能力です(写真10)。

飲水施設の改善は暑熱期に関係なく重要です。“水”は人が牛に与えることができるものの中で、“空

気”に次いで安価なエサです。是非、牛舎を歩いて回り、ウォーターカップや水槽の点検、水が足りているかの確認を行ってください。

最後に

現在、全国の酪農家が厳しい経営環境に晒されています。収入を増やすこと(減らさないこと)、生産コストを抑えることに加え、飼養環境の改善から生産効率を押し上げる取組が求められています。優先順位を付けて、取り組みやすく費用対効果が高いところから改善する必要があります。その中で暑熱対策は優先度が高い取組です。特に今まで暑さの程度が比較的穏やかで暑熱環境への準備がこれからの地域では早急な対策が望まれます。まずは①輻射熱対策②送風・換気対策の徹底を図るなど(図3)、できるところから着手していきましょう！

図3 牛舎施設の暑熱対策のポイントまとめ

- ①余分な**熱を牛舎に入れない**ことが前提です。
(屋根・壁の輻射熱対策、日光遮蔽対策)
- ②暑熱対策の**基本は送風と換気**です。
(少なくとも牛へ2m/秒以上)→できれば**3m/秒!**
- ③細霧冷房、牛体散水は**“乾かす”**ことが条件です。
(条件を満たさないと逆効果の場合もあり)
- ④新鮮な「**空気**」と「**水**」を与え、飼料給与にも一工夫を

1) NRC 乳牛飼養標準(2001年・第7版)
2) 広島大学普及員研修会資料(2017、2018、2019年)
3) Dairy Japan 臨時増刊号「Dairy PROFESSIONAL Vol.3」[農場のザルを洗い直す](2015年)
4) Dairy Japan 臨時増刊号「Dairy PROFESSIONAL Vol.11」[牛の行動から施設デザインを考える](2018年)
5) Dairy Japan 臨時増刊号「Dairy PROFESSIONAL Vol.17」[乳牛の暑熱ストレスを科学する](2020年)



タイストール牛舎のトンネル換気について

全酪連 札幌支所 技術顧問 中田 悦男

トンネル換気の今昔について

北海道内でのトンネル換気の始まりは弊職の知る限りでは、1994年頃に十勝のS町の酪農青年らが、米国の中西部地区に渡米してタイストール牛舎のトンネル換気システムの調査研修を行い、翌年に同S町のT牧場らが繋ぎ牛舎にトンネル換気を設置したことが北海道におけるタイストール牛舎のトンネル換気システムのスタートだと推測しています。

その後1996年以降に全道各地に繋ぎ牛舎のトンネル換気が普及していったと思います。

トンネル換気の初期のマニュアルでは、「トンネル換気は、陰圧による大量の換気と速い空気の流れを利用し、夏の暑い季節に牛の体熱を消散させる暑熱対策を組み合わせ、夏期間を重視した、タイストール牛舎のための特別な換気システムである」と紹介されていました。

多くの酪農家たちはこのトンネル換気を年中稼働できるように、冬期間にはファン稼働台数の調整や、ファンモーター回転数のインバータ制御で風力調整を行い稼働させてきました。しかしながら、当時のインバータ制御はノイズが発生して多くの電子機器の障害を招きました。このノイズの弊害はノイズフィルターを挟んでも解決できませんでした。

その後2000年に入ってからノイズ対策が施されたインバータファンが市場に出回りはじめノイズ弊害は解消されてきました。

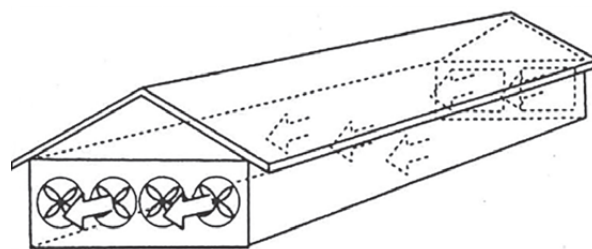
近年、北海道内においても入気口からエアコンの冷気を取り入れたり、超微粒細霧（ドライフォグ）システムを導入して暑熱対策を増強している事例もあります。

さらに、従来品に比べて効率の高い製品を導入して暑熱対策を増強した最近の事例もあります。

トンネル換気システムの基本の構造

- 1 牛舎内部（長軸）をトンネル（煙突）の様に考える。
- 2 排気する側の壁に大型換気扇を必要台数設置する。
- 3 排気側の対面の壁の横方向に連続的に入気口を作る。

- 4 牛舎側壁の窓や天井の解放部などは全て密閉する。
- 5 牛舎の空気を外に排出させることにより、牛舎内が陰圧になり牛舎外の新鮮な空気を連続して入気させながら牛舎内に風を起こす。



▲北海道根室農業改良普及センター

牛の体感温度の計算

乳量の減少率を基にして、暑熱期の送風効果を体感温度として次の計算式で算出できます。

$$『牛の体感温度 = 舎内温度 - 6\sqrt{\text{風速 (m/秒)}}』$$

牛舎内の温度と風速と牛の体感温度との関係は以下の表の通りです。

体感温度の22℃以上は暑熱の弊害を受け始めます。一方で、風速は4mまで暑熱対策効果があると言われています。

表 暑熱期の送風効果と体感温度

温度の単位は℃

舎内温度	20	22	24	26	28	30	32	34	36	38	40
風速1m	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34
2m	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32
3m	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30
4m	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28

風速は秒速、Johnson&Vanjonack,1976 (Dairy Science Updateより重引)

トンネル換気の特徴

- 1 トンネル換気は、陰圧による大量の換気と速い空気の流れを利用し、夏の暑い季節に牛の体熱を消散させる暑熱対策を組み合わせ、夏期間を重視した、タイストール牛舎のための特別な換気システムであるが、FS牛舎にも応用できる。
- 2 冬期間にもノイズレスインバータでモーターの回転数を制御して排気量を調製することで、オールシーズンノンストップで使える換気システムである。

- 3 外気温より 3 ～ 5℃程低く、体感温度はさらに低い。
- 4 飼料摂取量が上がる（乳量が増える）。
- 5 牛舎内が乾く（牛床が乾燥しやすいことで環境性乳房炎の防除効果が高い）。
- 6 臭いやハエの数が減少する。牛の行動が柔和になる。

トンネル換気の注意点

- 1 換気扇の設置台数は牛舎の容量と換気扇の排気量（ $\text{m}^3/\text{分}$ ）によって決まる。なお、換気扇の排気量は静圧 20Pa 時の風量を静圧グラフから読み取って採用する。静圧グラフが無い場合や不明の場合は、最大風量の 80% 程度の数値を採用する。
- 2 計算された必要台数を設置しても、牛、柱や壁など牛舎内にあるもの全てが空気の流れを阻害し、さらに牛舎は密閉度が高くないため計算上の設置台数よりも多く設置する方がベターである。

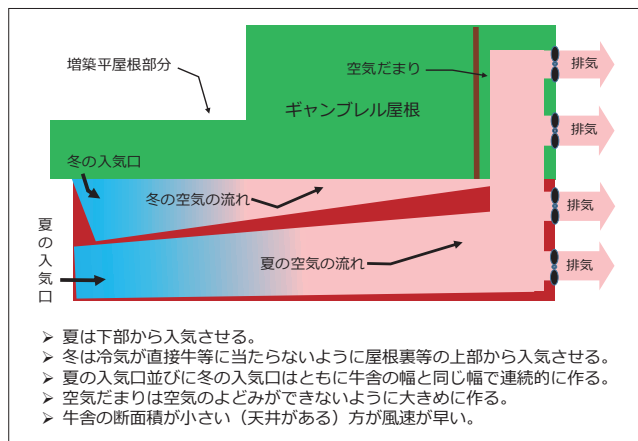
タイストール牛舎のトンネル換気



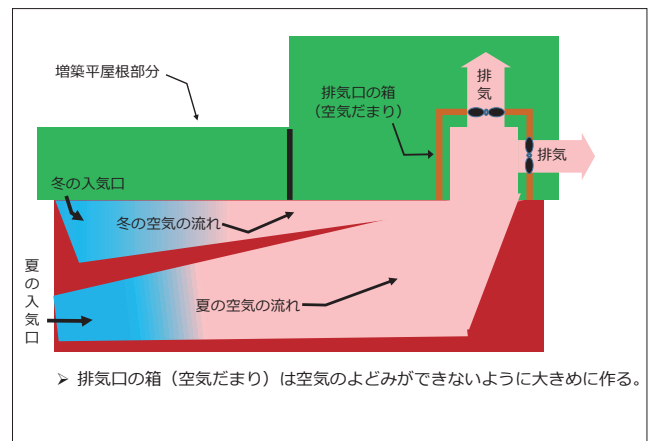
毎秒4mの風が吹くギャンブル型TS牛舎のトンネル換気（北海道富良野市）ストール（牛）と直角に風が当たる。小出氏提供

- 3 換気扇の設置位置は可能な限り壁の低い位置とする。特に天井のない屋根裏空間の大きい牛舎で、換気扇を切り妻部分のみ（高い位置）に設置すると牛のいる場所での効果を感じないことが多い。入気口側と排気口側の屋根裏部分にバツフル板を設置して空気の流れを制御する。

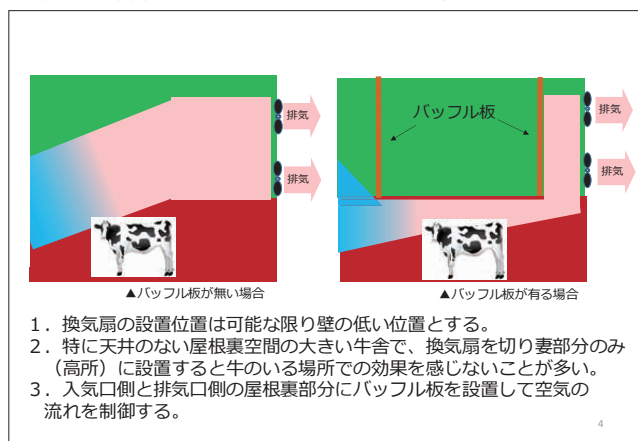
壁面に換気扇を設置できる場合の模式図



壁面に換気扇を設置できない場合の模式図



天井がない牛舎でのトンネル換気でバツフル板の有無の場合のイメージ



トンネル換気の換気扇の台数と空気流入口の決定の計算式

- 牛舎の断面積

$$\text{間口幅} \text{ m} \times \text{天井の高さ} \text{ m} = \text{牛舎の断面積} \text{ m}^2$$
- 最小の牛舎内風速112cm/秒を得るための必要換気量

$$\text{牛舎の断面積} \text{ m}^2 \times 1.12 \text{ m} \times 60 \text{ 秒} = \text{最小必要換気量} \text{ m}^3/\text{分}$$
- 換気扇の必要台数

$$\text{最小必要換気量} \text{ m}^3/\text{分} \div \text{換気扇の風量} \text{ m}^3/\text{分} = \text{換気扇台数} \text{ 台}$$

換気扇の風量は静圧20Pa時の風量（ $\text{m}^3/\text{分}$ ）を採用する。
- 入気口のサイズ

$$\text{最小必要換気量} \text{ m}^3/\text{分} \div 28.3 \text{ m}^3/\text{分} \times 0.232 \text{ m}^2 = \text{入気口サイズ} \text{ m}$$

最小の舎内風速112cm/秒を得るためには、ファン能力28.3 $\text{m}^3/\text{分}$ 当たり0.232 m^2 の入気口のサイズが必要である。
- 牛1頭当たりの換気量のチェック

$$\text{換気扇の合計排気量} \text{ m}^3/\text{分} \div \text{乳牛頭数} \text{ 頭} = \text{m}^3/\text{分}$$

適正範囲は14～28 $\text{m}^3/\text{分}/\text{頭}$

- 4 入気口は換気扇の対面方向からとして、夏期間の入気は床面に近い下側から、冬期間は妻に近い上側が良い。
- 5 入気口のサイズ、位置などは、換気・暑熱対策効率を左右する重要な要因であるので、基本通りに設計して設置する。
- 6 既存の換気口などを目張りし、すきま風が入らないようにして牛舎の密閉度を高める。特に換気扇の近くの隙間を無くして換気の短絡現象（ショートサーキット現象）を防ぐ。
- 7 牛舎内の内壁など風の流れを阻害するものを取り除く。
- 8 換気扇本体に保護カバーを装着して安全対策を徹底する。
- 9 保護カバー、モーター、ファン、シャッターなどに付いたホコリは、換気効率を低下させるので定期的清掃を実施する。
- 10 配線の間でインバータを利用するとノイズが

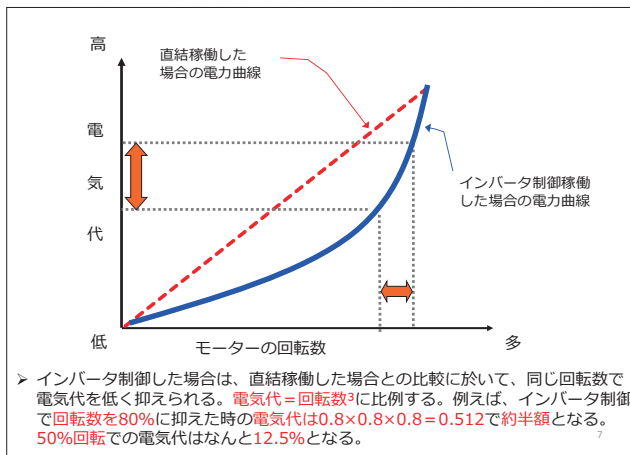
発生して AM ラジオや電子機器に障害を招く。現行販売されているファン 1 台ずつにインバータが直装されたものはノイズが発生しない。

- 11 堆肥盤がある側を入気口にするとハエや臭いが牛舎内に侵入するので、入気口と排気口のレイアウトを考慮する。
- 12 バーククリーナーのエレベーター方向に向けて 1 ～ 2 台で排気すると、厳冬期のエレベーターの凍結対策ができる。
- 13 暖候期は牛舎の外側に寒冷紗などを設置して西日対策をする。
- 14 牛舎内にクモの巣が増加するので定期的な清掃を実施する。
- 15 停電時の備えをしておく。
- 16 (当然ですが) 維持コストがかかる(北海道内での電気代は、99 年頃は 24 時間稼働で 100 円 / 台・日程度であったが、現在は 250 円を超えている)。

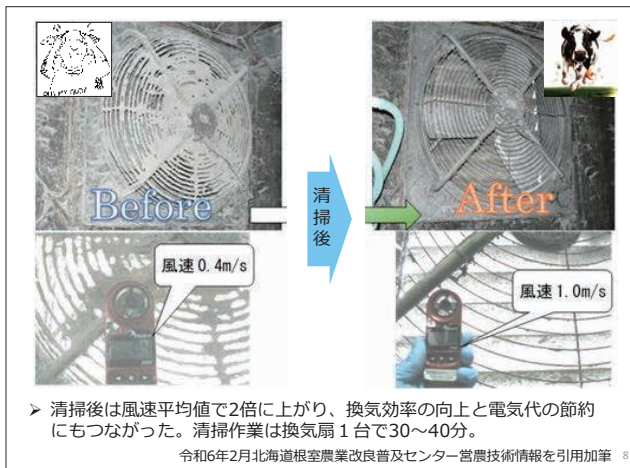
換気のショートサーキット現象(短絡現象)



インバータ制御の電気料金のコスト削減のイメージ



換気扇の埃除去で換気効率がアップする



乾乳牛管理を通じた 子牛の暑熱対策

全酪連 購買生産指導部 酪農生産指導室 嶋田 健介

始めに

20-30年前の夏を思い返してみると、暑過ぎるの外に出たくないという気持ちになることはあまりなかったように感じます。様々なメディアで発信されているように、地球の気温は以前よりも上昇しています。気象庁が1800年後半から記録している各地域の月別平均気温をグラフで可視化してみたところ、各月の平均気温は記録開始時と比較して約4℃上昇していました。昨今、真夏日・猛暑日という言葉が早い時期からに使われるようになり、5月ごろから熱中症の注意喚起も度々発信されています。熱帯夜という言葉も耳馴染みになり、昼夜の気温差がなくなってきたことが実感されます。前号のカウベルに掲載したドラックレイ顧問の記事にも記載されましたが、人間と牛とでは暑さを感じ始める気温に大きな乖離があります。以前のように盆過ぎに涼しくなり始めることはなくなり、9月下旬頃まで暑い日が続くようになりました。6-8月を乗り切ることができれば大丈夫という訳にもいかず、年間の半分以上が牛にとっては暑熱期になっています。気温が上がる時期が早まり、下がり始める時期が遅くなった今日、暑熱に敏感な牛への熱中症対策(暑熱対策)は、より早い時期から注力する必要があります。

乾乳牛の暑熱対策が子牛の暑熱対策になる？

暑熱ストレス対策と聞いて真っ先に思いつくのは、泌乳牛の暑熱対策かもしれません。実際に泌乳牛は代謝量が多く、全身で多くの熱を生産しています。しかし、暑熱対策は泌乳牛群だけではなく乾乳牛や母体の中にいる子牛(胎児)にとっても重要な

対策になります。暑熱ストレスを経験した乾乳牛の分娩後の乳量の伸び悩みについては数多くの情報があり、実感している方も多いかと思います。また、暑熱による妊娠期間の短縮も多く報告されています。これもまた、予定日より早い分娩とそれに伴う子牛の生時体重が小さいことを経験されている方は多いのではないのでしょうか。フロリダ大学の研究者は、乾乳期間中に暑熱ストレスを受けた母牛から生まれた子牛の生時体重は、暑熱対策をされた母牛から生まれてきた子牛よりも、6%から30%軽いと報告しています(表1)。乾乳期間に当たる分娩前60日間は胎児の成長が加速する時期で、生時体重の約60%がこの期間に増えます。例えば、子牛の生れ落ち体重が平均で43kgとした場合、分娩前60日間で胎児の体重は約26kg増えることとなり、これは平均で1日約0.4kg増加している計算になります。先にご紹介した報告(表1)では、暑熱ストレスを受けた母牛の分娩は、予定日より約4-5日早まることも示しています。本来の生時体重が43kgの子牛の場合、4日分娩が早まることで、子牛の生時体重は41kg前後になります。

なぜ生時体重が小さくなるのか

暑熱期の子牛の生時体重の低下は、妊娠後期の胎盤の発達低下が大きな要因となっています。母牛は自身の体温を調節するために体表面への血流量を増やします。そのため、子宮も含めた体の中心部にある臓器への血流量が低下し、胎児への栄養や酸素の供給ルートとなる胎盤と、成長が盛んな時期の胎児の発育を低下させます。また、暑熱の影響は胎盤

表1 妊娠後期牛の熱ストレスが妊娠期間と新生子牛の体重に及ぼす影響。全ての報告で乾乳期間中(または妊娠後期)に母牛が暑熱ストレスを受けていた子牛の生時体重には大きな差があった。

期間	妊娠期間(日)		生時体重(kg)		体重差(%)	出典
	暑熱	冷却	暑熱	冷却		
妊娠後期	281	281	*36.6	39.7	8	Collier et al. (1982)
乾乳期	-	-	*40.6	43.2	8	Wolfenson et al. (1988)
乾乳期	-	-	*33.7	37.9	11	Avendano-Reyes et al. (2006)
乾乳期	274	278	*40.8	43.6	6	Adin et al. (2009)
乾乳期	-	-	*31.0	44.0	30	do Amaral et al. (2009)
乾乳期	-	-	*39.5	44.5	11	do Amaral et al. (2011)
乾乳期	274	277	*41.6	46.5	11	Tao et al. (2011)
乾乳期	272	276	*36.5	42.5	14	Tao et al. (2012)

(Tao and Dahl. 2013. J. Dairy Sci. 96:4079-4093から抜粋・改変)

の遺伝子や胎盤そのものの形態（表現型）にも影響することが分かってきています。胎盤・胎児への酸素や栄養の供給低下や、胎盤の形態の変化などが要因となり、妊娠期間の短縮と生時体重の低下につながっているのではないのでしょうか。また、胎盤の発達量低下のメカニズムは、乾乳期間中の母牛の乳腺の発達と共通点が多く見られます。よって、血流量の低下による胎盤発達が低下してしまう環境では、乳腺の発達も低下していることが考えられ、分娩後乳期の産乳量へ影響することになります。

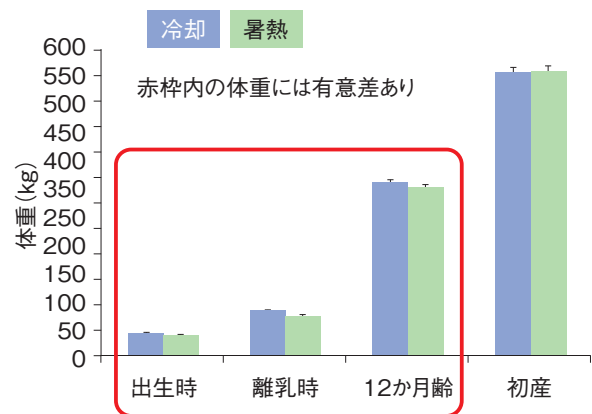
暑熱が課す子牛へのハンデ ～暑熱の悪影響～

母牛の暑熱ストレスによって予定よりも早く生まれてきた子牛は、軽い生時体重以外にも様々なハンデを負うことになります。図1は、暑熱対策を受けた乾乳牛群と、受けていない乾乳牛群から生まれた子牛の出生から初産分娩までの体重の比較です。体重の顕著な差は出生時、離乳時、春季発動から初回授精時までありますが、初産分娩を迎える頃には胎児期に暑熱の影響を受けずに生まれてきた後継牛群との間に大きな体重差はありませんでした。胎児期に暑熱の影響を受けた子牛の離乳前の平均日増体は低くなるとの報告があるのにも関わらず、なぜ初産時には体重差が無くなっているのでしょうか。

胎児への悪影響 ①

胎児期の暑熱の影響は、生まれてくる子牛の代謝反応（体質）を変えてしまいます。暑熱の影響を受けて生まれた子牛は、エネルギーを体脂肪として溜め込みやすい体質になります。一方で、筋肉や骨の発育量が低下するため、フレームサイズの小さい育成牛となってしまいます。春季発動以降は更に脂肪を溜め込みやすくなり、初回授精時には暑熱の影響を受けずに生まれてきた育成牛よりもBCSが高くなり、初産時には体重差が無くなります。したがって、体重差が無くなる理由は骨格の発達ではなく過肥による体重の増加によるものと言えます。胎児期の暑熱の影響は、乳房の発達と乳量の低下にも影響します。胎児期に暑熱の影響を受けた育成牛の乳房は、脂肪細胞の層が厚くなり、泌乳細胞が発達する際の

図1 胎児期に暑熱ストレスを受けた牛群と、受けなかった牛群の、各ステージにおける体重の差。生後12か月までは、の牛群間の体重に大きな差が見られたが（赤枠）、初回分娩時には体重の差がなくなった。



(Tao and Dahl, 2013. J. Dairy Sci. 96:4079-4093から抜粋・改変)

土台となる乳腺実質組織のDNA量が低下することが報告されています。そのため、乳腺実質組織量の低下は泌乳細胞量の低下にもつながります。フロリダ大学が実施した5年間の追跡調査では、胎児期に暑熱の影響を受けた初産牛の乳量は、暑熱の影響を受けなかった群と比較して乳量が約5kg/日低下すると報告しています。また、この現象は約3乳期頃まで続くと言われています。話は少しそれますが、全酪連強化哺育®体系も含めて、強化哺育（哺育量を増やした管理）で管理された子牛の乳量は、以前の朝晩2Lの代用乳を給与する制限哺育で管理された牛群よりも初産から3産にかけての1乳期乳量が～1,400kg増えたと多くの論文で報告されています。胎児期の暑熱の影響は、強化哺育で管理された子牛の可能性を払拭してしまうほどの影響力があると言えるかもしれません。

胎児への悪影響 ②

胎児期の暑熱の影響は生時体重低下や体質の変化、分娩後の乳量の低下以外にも、子牛に悪影響を及ぼしています。胎児期の暑熱ストレスは、初乳からの抗体吸収能力を低下させます（図2(a)）。初乳からの抗体吸収能力の低下は、小腸の細胞の入れ替わり速度の加速が原因と言われています。図2(b)

のグラフでは、生後0時間の時点ですでに小腸の細胞の入れ替わりが早くなっていることを示しています。これは、胎児の時期からすでに細胞の入れ替わりが加速している可能性があることを示唆しています。また、胎児期の暑熱の影響は胸腺（免疫を担う重要な細胞が発達する臓器）、肝臓、腎臓、卵巣を含む臓器のサイズにも及びます。結果として虚弱で病気になりやすく、生産性の悪い牛となってしまいます。胎児期に暑熱の影響を受けて生まれてきた育成牛が春季発動までに淘汰対象となる割合は、暑熱の影響を受けずに生まれてきた育成牛と比較して約2倍に増加します。

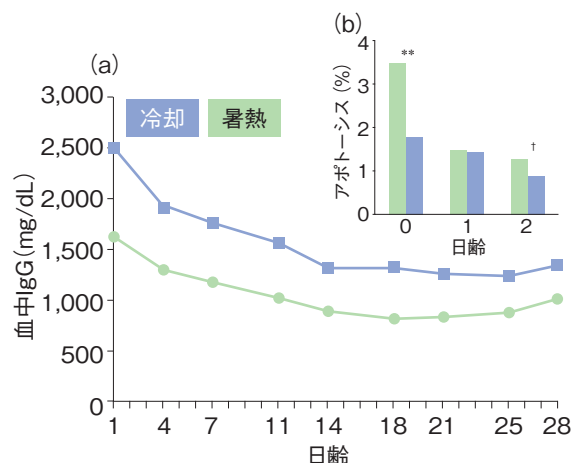
しつこい暑熱の影響

胎児期の暑熱の影響による出生後の様々な悪影響は、胎児期の遺伝子発現の変化（遺伝子書き換え）に起因します。暑熱の影響によって肝臓や乳房に存在する生産性、代謝、疾病への感受性などに影響する遺伝子書き換えられ、子牛を虚弱で生産性の悪い牛にしてしまいます。厄介なことに、この遺伝子書き換えの影響は世代を超えて受け継がれ、暑熱の影響を受けて生まれてきた子牛から数えて3世代は影響が残るとのことです。それ以降の世代への影響も調査が続けられていますが、予備データからは3世代以降の牛にも影響が出ることが予測されています。次世代の子牛は母牛世代よりも遺伝的能力が改善されています。生産性が高まり、経営の向上に貢献できるところが胎児期の暑熱の影響によって、改善された能力を封じられてしまいます。分娩前の乾乳牛の暑熱対策は、次世代の子牛への暑熱対策にもなることを考えると、現在生産をしている泌乳牛群同様に暑熱対策が重要な牛群であると言えます。

現在管理している子牛への暑熱管理（具体策案）

現在管理をされている子牛への暑熱対策も重要です。子牛は熱を生産する体の体積に対する体表面積が大きいことと、成牛よりも代謝熱の発生量が少ないことから暑熱の影響を受けにくいと思われがちですが、一方で外気や日光の熱を吸収しやすい特徴もあります。屋外のハッチで管理をしている場合は、

図2 胎児期に暑熱の影響を受けて生まれてきた子牛と受けなかった子牛の、初乳給与後の血中抗体量(IgG)の推移 (a)。暑熱の影響を受けて生まれてくる子牛が初乳からのIgG吸収効率が低下する背景には、小腸の細胞が入れ替わる速度が通常よりも早まっていることが考えられる (b)。



*アポトーシス:生理的に細胞の入れ替わりを目的とした既存細胞の死 (例:乾乳期の乳房の減退)
*壊死:ケガや疾病などの外的要因による偶発的な細胞死 (例:血流量の低下による細胞の死、凍傷)

(Ahmed et al., 2021. J. Dairy Sci. 2:295-299 から抜粋・改変)

図3 ハッチの下にブロックを設置したハッチ内の換気対策 (イリノイ州の酪農場で撮影)



遮光率 70 - 80% の遮光ネットで日陰を作り、直射日光を避ける対策を検討してください。ホームセンターやオンラインストアで販売されている防熱シートは太陽からの輻射熱を減らし、ハッチ内の温度上昇を軽減する一助になると思います。

換気には空気の入出口が必要です。ハッチ内に空気の流れを作るために、ハッチの後部にブロックを設置して通気性を上げる対策も効果的です (図3)。アンモニアは気管支を痛め、呼吸器系疾患の原

因になります。屋内で管理をする場合も同様に空気の動きを作り、換気をする必要があります。この際には、汚れた空気が当たらないように、日齢の低い子牛は風上で管理することが理想的です。空気の入出口がないままファンを使用した場合、ファン周囲で乱気流が発生するだけで換気対策にはなりませんので、ご注意ください。

体温調節には飲水が不可欠です。常に新鮮な水が飲めるようにしてください。倦怠感を見せている子牛は脱水をしている恐れもあります。管理環境も含めて再確認をしていただくと同時に、水が飲めているかをご確認ください。また、様子が重篤である場合は、かかりつけの獣医師にご連絡ください。

暑熱の影響による飼料摂取量の低下は、固形飼料の低下からみられ始めます。離乳移行期に入る子牛はスターターの摂取量が伸び悩む恐れがあるため、注意が必要です。

子牛が暑熱ストレスを感じ始める温湿度指数 (THI) は、65 - 74 と、成牛よりも個体差が大きいようです。暑熱ストレスを感じ始めると、放熱のためにエネルギーを使い始め、呼吸数が上がります。呼吸回数を確認することは、子牛が暑熱の影響を受けているか確認する分かりやすい目安になると思います。平常時の子牛の呼吸回数や心拍数などの目安を、

表2 子牛の体温、呼吸回数、心拍数のバイタル指標(適温時)。呼吸数と心拍数は、10秒間の回数×6で、1分間の回数を計算すると確認の時間が短縮できる。

項目	
体温 (°C)	38.5 - 39.2
呼吸 (回/分)	30 - 60
心拍数 (回/分)	100 - 140

(University of Georgia Cooperative Extension)

表2でご確認ください。

最後に

胎児期・哺育期の暑熱ストレスは一過性の発育や健康への影響にとどまらず、世代を超えて長期にわたる悪影響を及ぼします。そのため、現在の乾乳牛の暑熱対策は胎児(もうすぐ生まれる子牛)への暑熱対策でもあり、次世代牛群への暑熱対策と考えられます。本情報が、皆様の牛群改善の一助になれば幸いです。また、これら情報は酪農セミナー2017年(講師:ジェームス・ドラックレイ博士)などでも紹介しています。資料をお持ちの方は併せてご確認くださいだけだと思います。

●出典

- Baumgard, L. H., & Rhoads, R. P. 2013. Effects of Heat Stress on Postabsorptive Metabolism and Energetics. *Annu. Rev. Anim. Biosci.* 1(1):311-337
- Casarotto, L. T., Jones, H. N., Chavatte-Palmer, P., Laporta, J., Peñagaricano, F., Ouellet, V., Bromfield, J., & Dahl, G. E. 2025. Late-gestation heat stress alters placental structure and function in multiparous dairy cows. *J. Dairy Sci.* 108(1):1125-1137
- Dahl, G. E., Tao, S., & Monteiro, A. P. A. 2016a. Effects of late-gestation heat stress on immunity and performance of calves. *J. Dairy Sci.* 99(4):3193-3198
- Dahl, G. E., Tao, S., & Monteiro, A. P. A. 2016b. Effects of late-gestation heat stress on immunity and performance of calves. *J. Dairy Sci.* 99(4):3193-3198
- Ghaffari, M. H. 2022. Developmental programming: Prenatal and postnatal consequences of hyperthermia in dairy cows and calves. *Domest Anim Endocrinol.* 80:106723
- Monteiro, A. P. A., Tao, S., Thompson, I. M. T., & Dahl, G. E. 2016. In utero heat stress decreases calf survival and performance through the first lactation. *J. Dairy Sci.* 99(10):8443-8450
- Rhoads, M. L., Kim, J. W., Collier, R. J., Crooker, B. A., Boisclair, Y. R., Baumgard, L. H., & Rhoads, R. P. 2010. Effects of heat stress and nutrition on lactating Holstein cows: II. Aspects of hepatic growth hormone responsiveness. *J. Dairy Sci.* 93(1):170-179
- Tao, S., & Dahl, G. E. 2013. Invited review: Heat stress effects during late gestation on dry cows and their calves. *J. Dairy Sci.* 96(7): 4079-4093
- Tao, S., Dahl, G. E., Laporta, J., Bernard, J. K., Orellana Rivas, R. M., & Marins, T. N. 2019. PHYSIOLOGY SYMPOSIUM: Effects of heat stress during late gestation on the dam and its calf. *J. Anim. Sci.* 97(5):2245-2257
- Van Leenen, K., Jouret, J., Demeyer, P., Van Driessche, L., De Cremer, L., Masmeijer, C., Boyen, F., Deprez, P., & Pardon, B. 2020. Associations of barn air quality parameters with ultrasonographic lung lesions, airway inflammation and infection in group-housed calves. *Prev. Vet. Med.* 181:105056

暑熱ストレスと栄養 我々ができることはあるか？

Heat Stress and Nutrition. Is there anything we can do?

AMTS 社 代表取締役 兼 最高経営責任者 トム・タルキー博士

2005 年以前はアメリカの多くの栄養士たちが飼料設計によって暑熱ストレス時でも生産性を維持できると信じていました。一般的な対応としては、NDF (中性デタージェント繊維) を減らし、飼料中の脂質割合を増やし (時には 7% まで)、タンパク質を 1 - 2% 増やし、ミネラルやビタミンも増やすというものでした。このような設計では飼料コストを大幅に上昇させてしまいます。NDF を減らして脂質を増やすことで、総熱生産量が抑えられる (これは部分的に正しい) と考えられ、エネルギーを含めたすべての栄養を濃縮することで、乾物摂取量 (DMI) の低下を補えるとされていました。しかし、牛たちはこうした飼料設計の変更はどう反応したのでしょうか？

結論として、乳量の減少、DMI の低下、繁殖効率の悪化、体細胞数の増加、さらには蹄病問題の増加が見られました。その後、暑熱ストレスに関する研究が大きく進展し、まだ学ぶべきことは多いものの、私たちの理解は大きく向上しています。

動物にとって熱の生産は正常であり、また重要な生理現象です (図 1)。動物の身体は、生理機能を維持して生き続けるために、体深部温度の変動幅の範囲を比較的狭く保とうとします。この範囲から逸脱すると (低くても、高くても) 身体的および代謝的な

連鎖反応が始まり、体温を“正常”な状態に戻そうとします。熱は主に非効率な消化や代謝反応によって発生します。反芻動物の場合は、ルーメン細菌叢の活動からかなりの熱が発生します。では、この熱の発生を最小限に抑えることはできるのでしょうか？ 答えは “No” です。最善を尽くしても、ルーメン単体および生体での熱生産に影響を与えられるのは、せいぜい 3 - 5% 程度にとどまります。

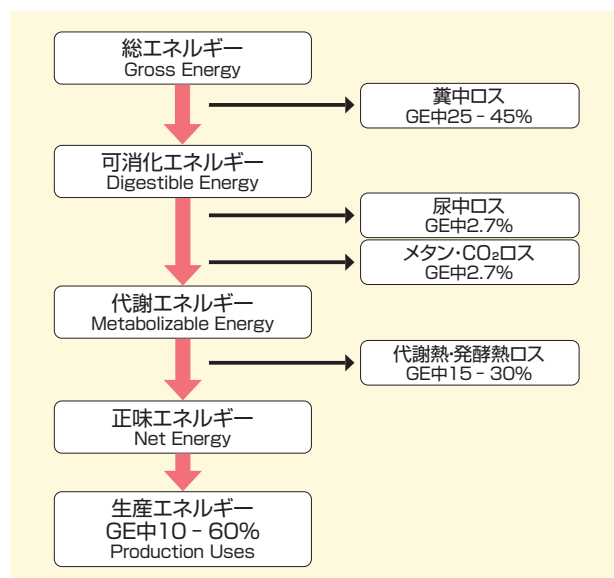
全ての哺乳類は、暑熱ストレスに曝される事で維持エネルギー要求量が増加します。牛では平均気温が 22℃ を超えると、この要求量が増加し始めます。これは、動物が体温を下げるために代謝を低下させる反応ですが、結果として熱生産量が増加してしまいます。この状況をさらに悪化させるのが DMI の低下です。つまり、エネルギー (および、その他の栄養) の要求量が増加する一方で、DMI が低下するという矛盾した状況が生まれます。泌乳牛の生産性はどのように反応するのでしょうか？

アリゾナ大学の研究によると、暑熱ストレス下での乳量の減少のうち、35 - 55% は DMI の減少が原因であることが明らかになりました。残りの 45 - 65% の損失は代謝の変化によるものであり、泌乳後期牛のような代謝反応になります。皆様も経験があると思いますが、暑熱ストレスが 4 - 5 日未満であれば、乳量や DMI も 5 - 7 日後には暑熱ストレス前のレベルに戻ります。しかし、夜間気温が 20℃ を下回らない状態が 14 日以上続くような長期の暑熱ストレスでは、乳量が元のレベルに戻ることはほとんどありません。これは代謝の変化が長期化・固定化してしまうことを意味しており、この影響は次の泌乳期に入るまで克服できないことを示しています。

私たちは何ができるのでしょうか？

簡潔に言えば、“暑熱緩和”と“体温を下げやすい環境づくり”に注力する必要があります。例えば、屋外にいる牛の為に日除けネットの設置、適切なサイズと台数のファンの設置、可能であれば飼槽や待機場所などにスプリンクラー (ソーカー) の設置が含まれます。トンネル換気システムを備えているタイストール牛舎の場合、蒸発冷却パッド (図 2) の設置

図 1 栄養学におけるエネルギーの配分 (例)。動物が摂取したエネルギー量と、それが代謝される過程でどれだけ失われるかを示す。



も効果的です。対象牛は新生子牛から成牛までの、全ての牛です。暑熱ストレスは、成長、繁殖、乳生産、免疫機能すべてに悪影響を与えます。

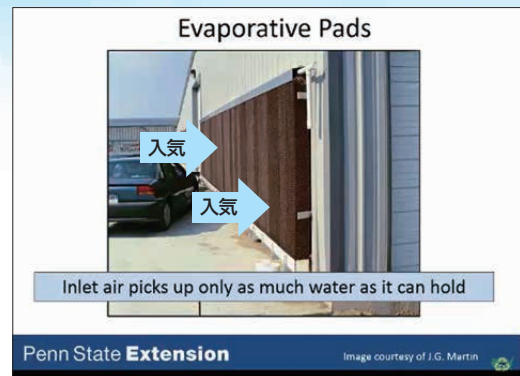
また、水の“質”と“飲水量”確保も極めて重要です。気温が20℃の時の泌乳牛の飲水量は DMI 1kg あたり約 4L です。気温が30℃に上がると、必要な飲水量は約 5L/kg DMI に増加します。そして気温が35℃では 7.2L/kg DMI、40℃では 10.4L/kg DMI と、飲水量が急激に増加します。たとえば、DMI が 1 日 30kg の牛が 50 頭いる場合、気温が20℃のときには 1 日に約 6,000L の水が必要になります。ところが気温が40℃になると、その必要量は 15,600L にも跳ね上がります。皆様の農場では、これだけの水を供給できる設備が整っているのでしょうか？ スプリンクラー設備も使うとなれば、さらに多くの水が必要になります。水槽（水飲み場）の吐水量はその需要に対応できるのでしょうか？ 気温が20℃のとき、牛は 1 日あたり約 30 分を飲水に費やします。この場合、1 分あたり約 4 L の供給が必要です。気温が40℃のときは、飲水時間が 45 分に増えると仮定すると、1 分あたり約 7 L が必要になります。これが 10 頭、20 頭、50 頭と一斉に水を飲み始めた場面を想像してみてください。多くの牛舎では暑熱ストレス時の飲水量の増加に対応できる設備が不十分なのが現状です。

暑熱ストレスを受けた牛がよく見せる行動のひとつにパンチング（群れで固まる）というものがあります。多くの人はすぐに“ハエが原因”と考えがちですが、実際にはハエが原因であることは稀です。牛たちはファンの近くに集まることもありますが、最も一般的なのは“日光を避けるため”に集まる行動です。牛は強い光を太陽放射（熱源）として認識します。そのため、牛舎内に日差しが差し込んでいると、それを避けようとして牛たちは日陰に集まり始めます。皆様の中にも、牛が飼槽を避けていたり、外側の列の牛床の一部のみで横臥していたり、息を荒くしているのを目撃したことがある方がいるのではないのでしょうか？ その原因は“太陽光”です。この問題に対処するには、側壁や端壁への遮光ネットの設置が効果的です。ただし、設置する際には“風の流れを妨げない”ことが大前提です。空気の流れと遮光ネットの設置位置とのバランスを取りながら、牛たちが快適に過ごせる環境づくりを実施してください。

栄養管理からのアプローチ

栄養管理ではサイロの管理や飼槽の管理は常に重要ですが、暑熱ストレスの時期には更にその重要性が増します。まずバンカーサイロの切出し口は、常

図2 蒸発冷却パッド。入気の時に空気を冷やして温度を下げる。温度が下がり乾燥した空気は牛舎内で暖められて湿気を含み、舎外に排出される。



に“しっかりと密閉し、清潔に保つ”必要があります。また、牛に給与する飼料は“常に牛が届く位置”にあり、二次発酵による発熱を避ける必要があります。特に夏場は二次発酵が起きやすく、暑熱ストレス時には、わずかな異臭があっても牛の DMI を大きく損なってしまいます。もし給与した飼料が熱発しやすい場合は、サイレージ原料草の収穫や保存方法を見直す必要があります。

飼槽は毎日清掃し、残飼は給与量の 2-3% を目安にして調節することが望ましいです。残飼が“新鮮な飼料のように見える”ことがポイントです。コーンサイレージのを使用している場合、茎や芯、コーンコブ（穂軸）しか残っていないようであれば、それは実質“残飼ではない”と考えましょう。私は TMR を 1 日 1 回の給与で管理することを推奨しています。高品質なサイレージや乾草を使用していれば、これは十分に可能です。夏でも比較的涼しい地域では、年間を通して朝 1 回の給与で問題ないかもしれません。日中気温が高くなる地域でも、夕方から気温が下がり始めるようであれば、涼しい時間帯に 1 回の給与に切り替えることが考慮できるかもしれません。1 日 2 回の給与も場合、暑熱ストレス対策をしている酪農場の多くでは、朝に給与量全体の 40%、夕方に 60% の割合で給与する方法が取られています。ただし、給与頻度が多すぎると、牛の休息時間を妨げてしまい、結果的に DMI が減少することが研究から示唆されています。暑熱期は“飼料の質”と“給与タイミングと方法”を徹底的に見直すことが鍵です。そして、どの判断でも“牛が快適に食べられるかどうか”を最優先に考える必要があります。

私の暑熱期の飼料設計へアプローチは非常にシンプルです。第一の目標は、年間を通じてルーメンと牛の健康を維持すること。つまり、暑熱ストレス時であっても、飼料設計の基本戦略は絶対に変えません。以下の基準は常に守ります。

- 物理的有効 NDF (peNDF) : > 21% DM
- 発酵性デンプン (fermentable starch) : < 22% DM
- 脂質 (fat) : < 6% DM
- ルーメンアンモニア (rumen ammonia) : > 120% 要求量

暑熱ストレス時の飼料設計では、DMI を刺激するために可能な限り最高品質の粗飼料を使用することを心掛けます。特に消化可能 NDF (dNDF) の高い粗飼料を優先的に活用します。

多くの研究から、暑熱ストレス時には牛の免疫機能が低下することが明らかになってきました。その中でも、アイオワ州立大学の Lance Baumgard 博士の研究では、リーキーガット症候群(消化管の透過性が上がった状態)の存在が示されています。一言で言うと、リーキーガットとは、ストレスなどの影響で腸壁のバリア機能が損なわれて病原体が体内に侵入する状態です。そして、暑熱ストレスはその主要な原因のひとつです。現在、免疫に関する正確な栄養要求量を計算するモデルは存在していませんが、次の栄養素群が複雑に関与していると考えられています。

- エネルギー供給(主にプロピオン酸由来のグルコース)
- アミノ酸(主にメチオニン、一部リジン)
- 特定の脂肪酸(オメガ 3、6、9 系)
- ミネラル(主にナトリウム、カリウム、銅、亜鉛、セレン)
- ビタミン(主にビタミン E)

しかし、暑熱ストレス時には DMI が低下するため、エネルギー供給量を増やすのは困難です。そして、油脂の添加も効果的ではないことが多いのです。したがって、ここでもルーメン機能の維持と飼料管理の徹底が最重要となります。幸いなことに、日本でもルーメン保護型メチオニンが利用可能となりました。これを飼料設計に取り入れることで、免疫機能や生産性、さらには繁殖成績の向上が期待できます。理想的には、代謝エネルギー (ME) 1Mcal あたり 1.15 - 1.18g のメチオニン給与が目標です。微量ミネラルは、ほとんどの飼料設計では“必要量を上回る”ように設計されていますが、セレンは日本の規制上、要件を満たすことが難しい要素です。目標は 0.3 ppm の給与濃度です。もしこの値に達しない場合には、ビタミン E を要求量の 150% 以上に増量する必要があります。微量ミネラルやビタミン E は酸化ストレス(細胞死の原因)を抑制する役割を担っています。栄養による免疫系へのサポートは、牛の“見えないダメージ”への対策でもあるのです。

暑熱ストレス時では、ナトリウムとカリウムが非常に重要な役割を果たします。牛の深部体温が上昇すると、体温を下げようとして呼吸数が増加し、パンティング(浅く早い呼吸)が起こります。牛は汗を

かくことが得意な動物ではなく、余分な熱の多くは呼気中の水蒸気として放出されます。ただし、わずかに汗をかいた際に失われる成分にはナトリウムとカリウムが多く含まれており、これらの損失が体内のミネラルバランスに影響を及ぼします。呼吸が活発になることで二酸化炭素の排出が増加し、血中の pH は上昇します。牛はこの変化に対処するために、自身の緩衝システム、特に重炭酸イオンを尿から放出して血液の pH を調整しようとします。その結果、呼吸性アルカローシスに傾きますが、同時に血液は代謝性アシドーシス、すなわち体全体では酸性傾向になる現象も見られるようになります。乾乳後期の牛に意図的に代謝性アシドーシスを誘導して乳熱を予防するアプローチとは異なり、泌乳牛の血液はアルカリ性を保つ必要があります。これが乱れると DMI が低下して乳量や全体の健康に悪影響が出ます。したがって、暑熱ストレスが長期化する地域では特に、ナトリウム源として重曹(炭酸水素ナトリウム)を給与して飼料中の陽イオンと陰イオンの差(DCAD 値)を +350 meq/kg 以上にする必要があります。飼料中のナトリウム濃度が 0.65% を超えないよう注意をして下さい。ナトリウムが飽和に近づいている場合には、カリウム(糖蜜など)を加えることでさらに DCAD 値を上げることが可能になります。泌乳牛への飼料中 DCAD 調整は牛の体内環境を安定させ、採食、乳生産、そして健康を守るためにとても重要です。

私は普段、酵母製品を飼料設計に使用しませんが、暑熱ストレスによる DMI の低下や摂食パターンの乱れを考慮すると、使用する意義はあるのではないかと考えています。特に日本ではモネンシンの給与を認められている乳牛の月齢は限られています。米国のようにルーメン発酵をある程度コントロールできない点を補う意味で、酵母製品は一定の価値があると思われます。とはいえ、その効果が安定して現れるかどうかは、製品の種類や発酵環境に大きく依存するため、製品選定には注意が必要です。バイオチンやナイアシンに関しては、使用経験がありません。論文を確認してみると、費用対効果の面で非常に判断が難しいというのが正直なところです。特にバイオチンは蹄の健康や乳房炎リスク軽減などの報告はあるものの、暑熱ストレスへの直接的な費用対効果を裏付ける裏付けがなく、判断が困難です。もしその他の添加物を使うとすれば、カプサイシンを挙げます。カプサイシンは唐辛子の辛味成分です。摂取すると顔が赤くなったり汗が出たりするのは、血流が皮膚や末梢に促進されるからです。牛においても同

様に、四肢や蹄など末梢部位への血流が促され、放熱効率が上がると考えられています。ただし、最大の課題は飼料工場での取り扱いです。カプサイシンは非常に刺激が強く、皮膚や粘膜への影響が大きいいため、取り扱い時にはPPE（マスクや防護服）の着用が不可欠です。このため、多くの飼料工場では取り扱いを敬遠する傾向にあります。

●出典

"Rhoads, M. L., Rhoads, R. P., VanBaale, M. J., Weber, W. J., Crooker, B. A., and Baumgard, L. H. 2009. Effects of heat stress and plane of nutrition on lactating Holstein cows: I. Production, metabolism, and aspects of circulating somatotropin. J. Dairy Sci. 92: 1986-1997"

暑熱ストレス緩和の大部分は農場での対策管理にあります。牛に栄養面でのサポートを提供することは可能ですが、優先的に注力すべきは牛が体温を放散しやすい環境を作る対策です。水の管理、飼料給与の管理、そして粗飼料の品質も注目すべきエリアになります。

ZENRAKUREN



DCAD・ルーメンpH調整飼料

重曹等には、ルーメンのpHを調整するだけでなく搾乳牛へのDCAD調整飼料という役割もあります。

製品ラインナップ

ゼンラク重曹®ペレット

- 重曹を60%含有し、嗜好性に優れたペレットタイプ。
- 分離給与でも無駄が無く、最小投資でルーメンpHの調整が可能です。



20kg
紙袋入り

ゼンラク重曹®

- 炭酸水素ナトリウム（重曹）を99%以上含有したマッシュ製品。
- TMRや自家配に最適な経済的製品。



20kg
紙袋入り

デーリィMGソーダ

- 重曹50%、酸化マグネシウム13%を混合しました。
- 優れた嗜好性のペレットタイプ。高泌乳牛群に最適です。



20kg
紙袋入り

デーリィ・マグ

- 海水から精製した吸収性の高い酸化マグネシウム。顆粒タイプ。
- TMRや自家配に、ゼンラク重曹と併用して効果を発揮します。



10kg
紙袋入り

表紙の 写真



撮影
福岡支所 鐘下航平

CONTENTS No.176

●サマリーリーフ 2025 牛の健康と酪農経営を支える暑熱対策

No.1 暑熱対策から換気を考える	全酪連 札幌支所 技術顧問 小出佳正	2
No.2 暑熱対策で乳生産を維持する！	全酪連 大阪支所 技術顧問 永井秀樹	5
No.3 タイストール牛舎のトンネル換気について	全酪連 札幌支所 技術顧問 中田悦男	9
No.4 乾乳牛管理を通じた子牛の暑熱対策	全酪連 購買生産指導部 酪農生産指導室 嶋田健介	12
No.5 暑熱ストレスと栄養 我々ができることはあるか？	AMTS 社 代表取締役 兼 最高経営責任者 トム・タルーキー博士	16

全酪連購買事業情報紙

COW BELL

—カウ・ベル—

No.176（増刊号）令和7年5月10日発行

発行責任者 鈴木 有希津

発行所 全国酪農業協同組合連合会 購買生産指導部

〒151-0053 東京都渋谷区代々木一丁目37番2号

TEL 03(5931)8007 <https://www.zenrakuren.or.jp>



サマーリリーフ2025

牛の健康と酪農経営を支える暑熱対策

『暑熱対策で牛の健康と経営を守ること』を合言葉に暑熱期の牛の健康と生産性に徹底的に向き合い、今年の夏はうまく乗り切れた!とっていただける生産者を1戸でも多く増やすことをゴールとする取り組みです。

プロジェクトが目指す姿

本会の事業方針

本会は生産性の持続的な向上に貢献する高品質な製品を供給すること、そして多様な生産現場に対応できる体制を構築することを目指しています

目 標

生産者と牛を守るための行動指標を最重要視し、1戸でも多くの生産者に「夏を乗り切れた」と言っていただけることを全ての行動の源泉とします

実施内容

生産者の皆様との対話や、関連研修会の開催を通して飼養管理面、施設環境面などからのご提案をさせていただきます



情報誌「カウベル」の関連記事を紹介



2023夏季号

世界一受けたい酪農講座
暑熱ストレスにおける泌乳牛および子牛・育成牛の飼養管理

ラリー・E・チェイス 技術顧問



2023春季号

大場真人の技術レポート
胎内ヒート・ストレス

カナダアルバータ大学
乳牛栄養学教授
大場真人 博士



2021春季号

世界一受けたい酪農講座
添加物の給与

ラリー・E・チェイス 技術顧問

