

# ホルスタイン種乳牛における暑熱と反芻時間, 乳量との関連性 および反芻時間を用いた暑熱感受性牛早期発見法

瀬戸 隆弘<sup>せと たかひろ</sup> 鳥羽 雄一<sup>たかな</sup><sup>1)</sup>

静岡県立農林環境専門職大学短期大学部 生産科学科 畜産コース

<sup>1)</sup> (有)知多大動物病院 三重分院

(〒438-8577 静岡県磐田市富丘678-1)

(E-mail: seto.takahiro@spua.ac.jp)

## 要約

暑熱、乳量および反芻時間の関連性調査と共に、反芻から暑熱耐性が弱い牛(暑熱感受性牛)を推測できるか検証した。その結果、温湿度係数(THI)の増加に伴い、平均乳量とはほぼ並行して平均反芻時間が減少していた。また、暑熱時は反芻時間の分散が増加し、分布も1峰性から2峰性に遷移した。さらに、暑熱期直前の平均反芻時間を基に暑熱感受性牛と耐性牛を推定したところ、感受性牛は暑熱期の反芻時間および反芻変化量(405.7±51.7分/日および-25.0±47.6分/日)が耐性牛(537.1±43.5分/日及び-11.7±39.6分/日)より低値を示した( $p<0.01$ )。以上から、反芻時間から牛個体の暑熱ストレスが判定でき、暑熱期前に暑熱感受性牛を予測できる可能性が示唆された。

【キーワード：暑熱ストレス、暑熱感受性牛の予測、反芻時間、ウェアラブルセンサー】

..... 家畜診療, 69, 151-158(2022)

1898年の記録開始以降、日本の平均気温は年々上昇しており、夏季(6~8月)気温も同様である<sup>1)</sup>。暑熱および寒冷を示す指標として、THI(Temperature Humidity Index: 温湿度指数)があるが、これが72以上となると牛は暑熱ストレスを感じると言われている<sup>2,3)</sup>。

本州東海地方では、気団の影響で特に夏季に高温多湿になりやすく<sup>4)</sup>、前述の夏季平均気温上昇も併

せて、暑熱ストレスを長期間、牛に与えやすい気候となっている。国内における主な乳牛であるホルスタイン種は暑熱に弱く<sup>5)</sup>、暑熱ストレスをいかに緩和していくかが東海地方における酪農管理で重要となる。

牛の暑熱ストレス緩和の方法としては、強制換気や扇風機設置の換気システムの改善、牛体へのミスト散水、日除け等による直射日光回避、屋根への散

水等がある<sup>3, 6, 7)</sup>。以上は暑熱そのものの緩和であり、他にも、飲水、餌槽および牛床の改善、夏季に合わせた飼料設計および添加剤給与等の、飼養管理の改善による牛の暑熱耐性の改善も、暑熱ストレス緩和の手段となる<sup>3)</sup>。しかし、上記の対策を全ての施設および牛に実施するとすると、膨大なコストを要することが考えられ、費用対効果を上げるためには、暑熱への抵抗性が低い牛、牛群および設備を検出し、重点的に対策を施す方針が求められる。このためには、7, 8, 9月の暑熱最盛期において暑熱抵抗性が低い牛、牛群、設備を検出しても対策が遅れが生じるため、暑熱ストレスが比較的弱い6月以前に暑熱抵抗性が低い牛を早期発見する必要がある。

近年、牛に直接装着して生体情報をリアルタイムで計測可能なウェアラブルセンサーが開発され、すでに複数のメーカーから販売、生産現場で使用されている。これの主な機能として、発情の検知があるが、技術発展により、乳房炎等の疾病を検知できる機種も存在する。それぞれの機種で独自の指標を算出して使用者に通知しており、指標の仕組みについては明らかにされていないが、多くの機種で反芻時間を項目として計測しており、使用者側から閲覧が可能である。

反芻は牛が安楽にしている時に実施する生理反応であり、通常、1日当たり480分を反芻に費やしている<sup>8)</sup>、反芻時間は牛の健康状態により変動するため、体調や周囲環境の指標になると考えられる。反芻と暑熱の関連性については、THIが上昇するにつれて反芻時間が減少すること、中でも高泌乳牛や泌乳初期の牛がより減少しやすいことが報告されている<sup>9, 10)</sup>。しかし、これらの報告はいずれも海外のものであり、上記地域よりも高温多湿である日本国内においてこれを検証した報告は確認されなかった。さらに、ウェアラブルセンサーを用いて牛群内における個々の牛の反芻時間の推移比較を暑熱初期に実施することで、暑熱抵抗性が低い個体を早期検出できる仮説が考えられたが、これを検証した報告も確認されなかった。そこで、日本国内において特に高

温多湿な気候になりやすい東海地域における暑熱期の反芻時間と生産性の関連性をホルスタイン種乳牛で解析するとともに、反芻時間を用いた農場現場における暑熱抵抗性が低い個体の早期検出法の確立を目的として、酪農場における牛の反芻時間、乳量および気候解析を実施したため、報告する。

## 材料及び方法

**調査農場：**三重県津市の酪農場を調査した。規模は搾乳牛約500頭、形態はフリーストール、搾乳方式は搾乳ロボット(商品名：アストロノートA4, レリー)、給与形態はPMR (Partial Mixed Ration) の自由採食およびロボットによる配合飼料の給与であった。設備による暑熱対策は寒冷紗やカーテンによる牛舎への日光の遮断、扇風機によるリレー式の換気、細霧システムによる気化熱を利用した空気の冷却、酷暑期には日中に直接散水シャワーによる牛体の冷却を実施していた。

**調査期間と供試データ：**2019年4月1日から10月24日までを調査期間とした。この期間において、分娩予定日1週間前から次の乾乳まで、ホルスタイン種雌533頭(平均産次：2.5産)に対し、牛群管理システム(商品名：T4C, レリー)と、付属の反芻を計測するウェアラブルセンサー(商品名：HR tag, SCR)が計測した反芻時間(分/日)および乳量(kg/日)をデータとして用いた。これらの牛のうち、150頭は調査期間の途中である分娩予定日前1週間程度からの計測、128頭は乾乳のため調査期間途中からデータは欠測していた。また、本研究では健常牛、疾病罹患牛の区別をせず分析に供試した。さらに、気象庁のホームページ(<https://www.data.jma.go.jp/gmd/risk/obsdl/>)から、調査期間中における農場周辺の気象データを取得した。

**データの前処理：**牛群管理ソフトウェアから書き出された調査期間の牛群の反芻時間および乳量データを分析しやすくするため、形式変換およびデータの結合と抽出である前処理をプログラミング言語であるAppleScriptとPython、表計算ソフトウェア

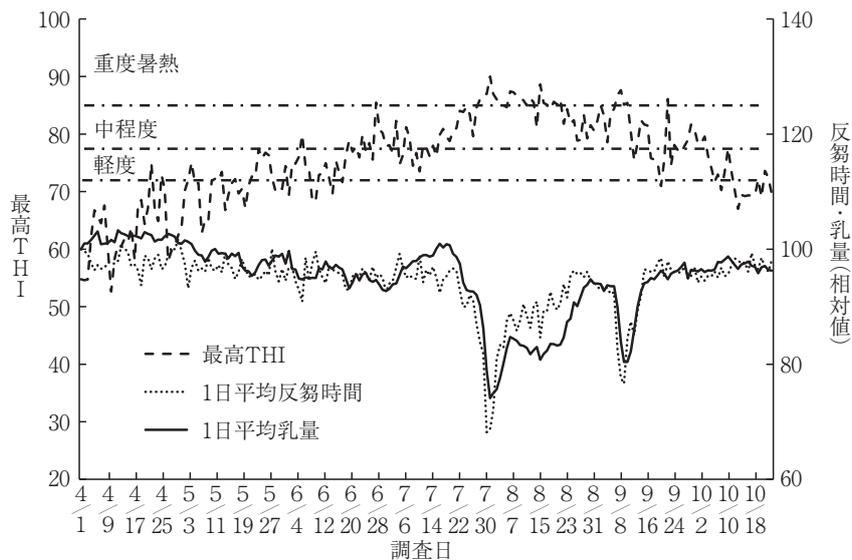


図1 温湿度係数 (THI), 牛群平均反芻時間および乳量の推移

(Microsoft Excel, マイクロソフト)で実施した。

**統計解析:**統計用プログラミング言語であるRと、そのGUIクライアントであるRStudio (RStudio PBC)で実施した。

**調査①暑熱日の区分:**地域, 気候等の要因で調査農場付近の暑熱日は変わってくるため, 現地における暑熱日の定義をするために, 調査期間における農場での暑熱日の区分を実施した。まず, 気象庁データの最高気温と平均湿度から1日の最高THIを試算した。Johnsonらの基準<sup>2)</sup>を用い, THI 72未満を暑熱なし日, 72以上77未満を軽度暑熱日, 77以上84未満を中程度暑熱日, 84以上を重度暑熱日として, 最高THIから調査日を区分した。また, 暑熱日が7日以上継続した開始日から暑熱期開始とし, 暑熱期開始日以降で暑熱なし日が7日以上継続した開始日を暑熱期終了とした。

**調査②THIと牛群平均反芻時間及び乳量の関連性分析:**1日の最高THIと, 牛群平均反芻時間および乳量をグラフに図示して観察による分析を実施した。牛群平均反芻時間および乳量は, 調査開始日を100として相対値で表した。

**調査③暑熱による反芻時間のばらつきの分析:**それぞれの暑熱日における牛群の平均反芻時間(分/日)を算出, 度数分布表を作成すると共に, 各暑熱日間の分散を検定した(バートレットの検定)。

**調査④暑熱期開始直前の反芻時間を用いた, 暑熱感受性牛の早期発見法の検証:**暑熱期開始日以前7日間の各個体の平均反芻時間(分/日)を算出した。この期間に反芻時間の計測がされていない137頭は以後の分析から除外し, ヒストグラムを描画した。ヒストグラムの階級幅については, まず, Smirnov-Grubbs検定で外れ値とされない範囲(350~600分/日)を確認した上で, スタージェスの公式により階級数の目安(K値)を算出し(9.63であったため, 10と近似), この範囲の最大値から最低値を減じた値にK値を除して算出した。

分布を観察し, 2峰性の分布においてカットオフ値を定める手法の一つであるモード法(両ピーク間の谷間の区間をカットオフ値とする)を用いてカットオフ値を設定した。カットオフ値より低い牛群を暑熱感受性牛群, 高い牛を暑熱耐性牛群として, 各牛群の暑熱期の平均反芻時間の差を検定した(U検定)。さらに, 各牛の暑熱期の平均反芻時間から暑熱期開始以前7日間の平均反芻時間を減じて反芻変化量を算出し, 各群の平均値の差を検定した(U検定)。また, 暑熱期開始直前7日間および暑熱期における各牛の平均乳量を算出し, 各群の差を検定した(U検定), さらに, 反芻変化量と同様に乳量変化量を算出し, 各群の平均値の差を検定した(U検定)。

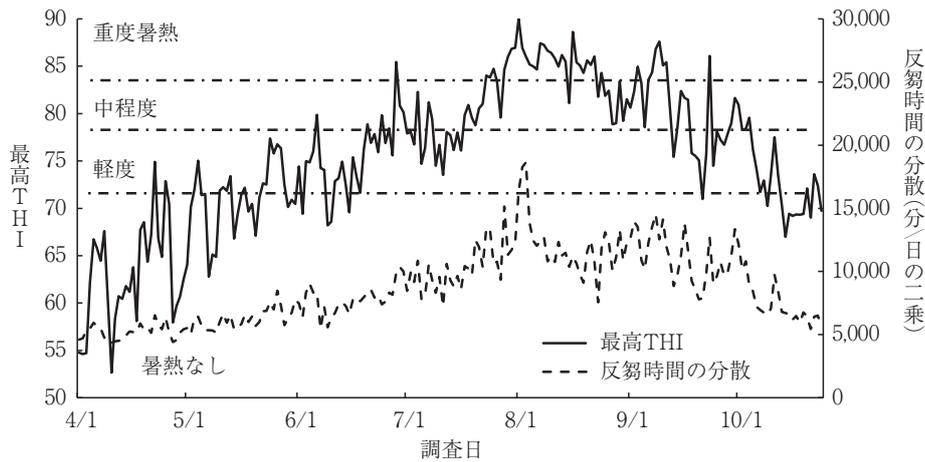


図2 温湿度係数 (THI) と反芻時間の分散の推移

## 結果

調査①暑熱日の区分：全計測日207日のうち、暑熱なし日が64日、軽度暑熱日が53日、中程度暑熱日が54日、重度暑熱日が36日となった。また、暑熱期開始日は5月22日、暑熱期終了日は10月13日となった。

調査②THIと牛群平均反芻時間および乳量の関連性分析：図1に1日最高THI、反芻時間および乳量の推移を示す。7月末まで、THIの上昇と共に反芻時間および乳量共に減少していた。さらに、8月初頭から重度暑熱日 (THI 84以上) を計測するようになると、前後の日付と比較して反芻時間および乳量共に20%程度の減少を示した。

調査③暑熱による反芻時間のばらつき分析：調査期間における1日最高THIと反芻時間の分散の推移から(図2)、THIの上昇に伴って分散も上昇し、下降に伴って分散も下降する傾向が確認された。また、期間中最大THI (90.0) を記録した8月1日以降3日間、分散が急上昇した。

各暑熱日の度数を比較すると、暑熱なし日 (n=のべ24,766頭) では451~475分/日をピークとした1峰性の分布をしていたのに対し、軽度 (n=のべ20,896頭)、中程度 (n=のべ21,711頭) および重度暑熱日 (n=のべ14,556頭) では2峰性の分布をしており、最も大きい頻度も、順に426~450, 401~425,

表1 反芻時間の度数分布表

反芻時間 (分/日)	頻度 (%)			
	暑熱なし日 (n=24,766)	軽度暑熱日 (n=20,896)	中程度暑熱日 (n=21,711)	重度暑熱日 (n=14,556)
0-200	0.1	0.1	0.4	2.1
201-225	0.1	0.1	0.3	1.3
226-250	0.0	0.2	0.4	2.2
251-275	0.1	0.4	0.8	2.8
276-300	0.3	0.7	1.6	4.3
301-325	0.6	1.4	2.9	5.6
326-350	1.1	2.7	4.4	7.0
351-375	2.6	4.8	6.5	8.0
376-400	5.4	7.7	8.9	8.1
401-425	9.3	10.3	9.3	6.9
426-450	12.1	11.6	8.9	6.5
451-475	12.8*	10.4	7.4	6.0
476-500	11.7	8.5	6.1	6.9
501-525	10.5	7.8	6.3	7.4
526-550	9.8	8.1	7.5	7.4
551-575	8.4	8.5	8.0	6.2
576-600	6.6	7.0	7.7	4.8
601-625	4.6	4.9	5.6	3.0
626-650	2.3	2.9	3.5	2.0
651-675	1.1	1.2	2.0	0.9
676-700	0.3	0.5	0.9	0.6
701-	0.1	0.2	0.5	0.3

\*下線：各暑熱日の最大頻度

376~400分/日と、暑熱が重度になるにつれ低値に推移していった(表1)各暑熱日反芻時間の分散を比較すると、各暑熱日は不等分散であった ( $p < 0.01$ )。

調査④暑熱期開始直前の反芻時間を用いた、暑熱感受性牛の早期発見法の検証：暑熱期開始前7日間の各牛平均反芻時間をヒストグラムにしたものが図

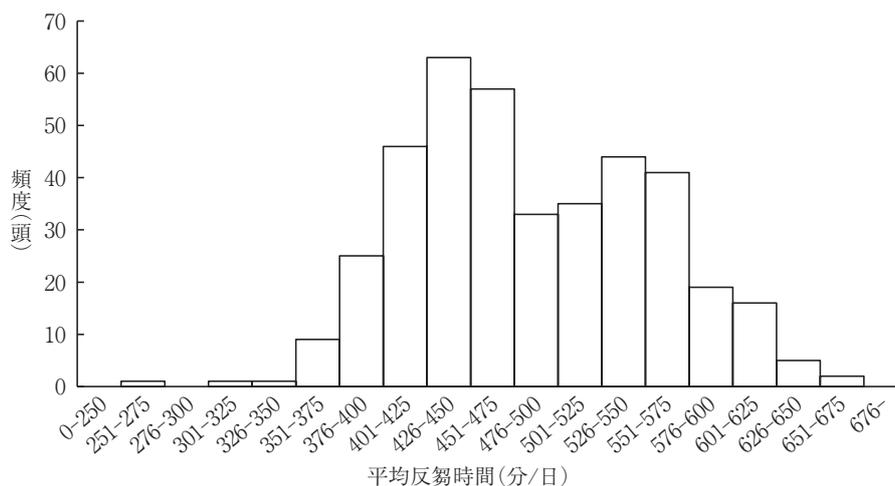


図3 暑熱期直前7日間の反芻時間のヒストグラム

3である。頻度のピークは、426～450分/日の区間と、526～550の区間であった。両区画における頻度の谷間は476～500分/日の区間であり、この区間の中間値である487.5分/日をカットオフ値として暑熱感受性牛群 (n=216頭) と暑熱耐性牛群 (n=180頭) を区分した。

暑熱期における各群の平均反芻時間±標準偏差は、それぞれ405.7±51.7分/日、537.1±43.5分/日であり、暑熱感受性牛群が有意に低かった ( $p<0.01$ )。また、暑熱期の平均反芻時間から暑熱開始7日前の平均反芻時間を減じた変化量±標準偏差も、それぞれ-25.0±47.6分/日、-11.7±39.6分/日であり、暑熱感受性牛群の方が有意に低かった ( $p<0.01$ ) 一方、暑熱期直前7日間の平均乳量±標準偏差は暑熱感受性牛群37.4±10.9 kg/日、暑熱耐性牛群38.3±11.0 kg/日、暑熱期の平均乳量±標準偏差は暑熱感受性牛群34.9±8.6 kg/日、暑熱耐性牛群35.3±8.4 kg/日、乳量変化量±標準偏差は暑熱感受性牛群-1.62±8.38 kg/日、暑熱耐性牛群-1.05±14.00 kg/日であり、両群に有意な差は確認されなかった (それぞれ  $p\geq 0.05$ )。

## 考察

国内酪農において、気温上昇に伴う牛の暑熱ストレスへの対応は喫緊の課題である。本研究では、東海地域における暑熱と反芻の関係性の検証と共に、

反芻時間から暑熱感受性が推察できるという仮説のもと、まずはTHI、反芻と生産性の指標である乳量の関連性を分析するとともに、暑熱期以前の時点で暑熱抵抗性が低い牛を早期発見できるのか検証した。

暑熱なし日から中程度暑熱日にかけては、THIが上昇すると共に、牛群平均反芻時間および乳量共に減少した。重度暑熱日においても同様であるが、減少の度合いが明らかに大きかった。中程度暑熱日までのTHIと反芻または乳量の関係は、Siemensらの報告<sup>10)</sup>と一致し、重度暑熱日のTHIと反芻の関係は、Morettiらの報告<sup>9)</sup>と一致した。本調査では、重度暑熱期に、反芻時間と乳量がほぼ同時に急減していたことから、重度暑熱時の乳量の大幅な減少は、反芻時間の顕著な減少も関係している可能性が示唆された。

暑熱による牛への影響として、体温上昇による食欲の低下がある<sup>3,11)</sup>。食欲の低下は採食量、すなわち乾物摂取量の低下に繋がるが、Clementらの報告によると、乾物摂取量と反芻時間の間に相関関係は確認されなかった<sup>12)</sup>。このことから、採食量が減ったため、それに伴って反芻時間が短くなったとは考えにくい。暑熱時におけるルーメン発酵熱を低減する対策として、消化性の良い良質な粗飼料を給与する方法が知られていることから<sup>13)</sup>、ルーメン発酵熱を低減させるため、発酵を促進するための行動であ

る反芻を牛が抑制しているという仮説が考えられたが、それについて検証している報告は確認されなかったため、これを明らかにするためにはさらなる検証が必要である。

THIが上昇するにつれて、暑熱抵抗性が低い牛(暑熱感受性牛)の反芻時間が減少し、その結果、抵抗性が高い牛との間でばらつきが生じると仮定し、それを検証するため調査③を実施した。暑熱が厳しくなるにつれて、牛群の反芻時間にばらつきが生じ、2峰性の分布が確認された。このことは、調査農場において暑熱抵抗性が相対的に低い牛、高い牛の2パターンがあることを示している。以上から、暑熱期の反芻時間の分布を観察することで、暑熱感受性牛、抵抗性牛を判断できる可能性が示唆された。

暑熱耐性を決める要因は様々であり、遺伝要因や飼育環境の温湿度、牛舎の区画及び設備の配置、暑熱対策の状況等の環境的要因や、遺伝、泌乳ステージ、乳量、その他健康状態等の牛側の要因等様々である<sup>9, 10, 14, 15)</sup>。本研究ではこれらの要因については考慮しておらず、さらに分析が必要であるが、暑熱ストレスを受けやすいとされる周産期、高泌乳においても暑熱抵抗性が高い牛、逆に周産期以外、低泌乳においても暑熱感受性が高い牛が発見される可能性がある。本研究においては、上記諸要因を加味した上で、調査時点における当該牛の暑熱感受性を判断していると考ええる。

暑熱感受性牛は、暑熱期開始日直前の時点でも他の牛と比較して暑熱の影響で反芻時間が減少していると仮定し、これらの牛が暑熱期開始日以降においても他の牛より反芻時間が少ないか検証した。暑熱期直前の反芻時間から暑熱感受性牛を仮定し、その後の反芻時間を抵抗性牛と比較したところ、暑熱期においても暑熱抵抗性牛と比較して反芻時間が短く、反芻時間の減少量も大きい結果となった。本研究で用いた基準<sup>2, 3)</sup>の他、さらに低いTHI条件下でも牛は暑熱ストレスを感じるとの報告もあり<sup>16)</sup>、これらのことから、暑熱感受性牛は暑熱ストレスの基

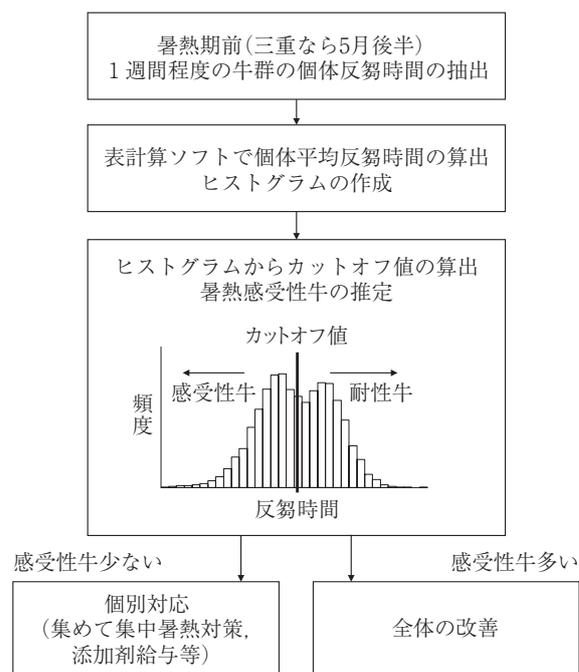


図4 反芻時間を用いた暑熱感受性牛推定法(案)

準以下においても、暑熱ストレスによる体調変化が強く発生しており、反芻時間を指標にすることで、これを検知できることが示唆された。しかし、乳量については暑熱感受性群と耐性群で明確な差は確認されなかった。乳量を決定する要因は様々であり、特に、分娩後日数や産次が大きく影響する。現時点においては差の有無が判断つかない状況であり、標準乳量等、これらの影響を補正して比較検証を実施する必要がある。

以上のことから、ウェアラブルセンサーを用いて反芻時間を計測し、そのデータを分析することで、牛群の個体ごとの暑熱ストレスが判定でき、さらに、本格的な暑熱期前に暑熱感受性牛を早期発見できる可能性が示唆された。牛群全体における暑熱ストレスを判定するのであれば、環境のTHIを計測すればよく、わざわざ反芻時間を計測する必要はない。ウェアラブルセンサーによる反芻時間計測の利点とは、個別に牛の状態を判定できる点である。

本研究を基に作成した、生産現場における暑熱感受性牛の早期発見法の案を図4に示す。市販されている反芻センサーでは反芻時間の書き出しが可能であり、分析作業としてはヒストグラムを作成して

カットオフ値を設定するだけである。本研究はあくまでも1農場の事例であるため、環境条件が異なる農場によっては異なるパターンを示す可能性は十分に考えられる。他にも、泌乳ステージ、産次、乳量等、個体の詳細な条件を加味した分析を本研究では実施していない。今後、他の農場での分析例が増えることで、農場間での共通法則が明らかになることや、暑熱ストレスの他にも生産現場で簡便に実施できる、反芻時間を用いた牛群ないし牛個体の分析法が確立することを期待する。

## 謝 辞

本研究にあたり、調査農場として反芻および乳量データを提供していただいた三重県津市のヤマギシズム生活豊里実顕地農事組合法人に深謝する。

## 引用文献

- 1) 気象庁：日本の季節平均気温, 気象庁HP ([https://www.data.jma.go.jp/cpdinfo/temp/spr\\_jpn.html](https://www.data.jma.go.jp/cpdinfo/temp/spr_jpn.html)) (2021)
- 2) Johnson HD, Ragsdale AC, Berry IL *et al.* : LXII. Effect of various temperature-humidity combinations on milk production of Holstein cattle, Research bulletin / Agricultural experiment station. College of agriculture. University of Missouri, 791 (1962)
- 3) 堂腰顕：換気システムと暑熱対策, これからの乳牛群管理のためのハードヘルズ学〈成牛編〉(及川伸編著), 第1版, 緑書房 (2017)
- 4) 名古屋地方気象台：東海地方の天候の特徴, 気象庁HP (<https://www.data.jma.go.jp/nagoya/shosai/chara/TTenkouKaisets.html>) (2021)
- 5) 古村圭子：主な乳牛の品種, 乳牛管理の基礎と応用(柏村文郎, 古村圭子, 増子孝義監修), 2012年改訂版, 37-43, デーリィ・ジャパン社(2012)
- 6) 古村圭子：乳牛と環境, 乳牛管理の基礎と応用(柏村文郎, 古村圭子, 増子孝義監修), 2012年改訂版,

45-70, デーリィ・ジャパン社(2012)

- 7) Peter JH：暑熱ストレスがかかる時期の乳牛の繁殖管乳牛の生産獣医療 (Carlos AR and Pedro MR編著, 浜名克己監訳), 第1刷, 181-192, 緑書房 (2015)
- 8) 三好志朗：移行期を飼いこなす8つのポイント—分娩前3週間から分娩後1ヶ月間のベスト管理—, 第1版, 8-44, デーリィ・ジャパン社(2000)
- 9) Moretti R, Biffani S, Chessa S *et al.* : Heat stress effects on Holstein dairy cows' rumination, Animal, 11 (12), 2320-2325 (2017)
- 10) Siemens TM, Hoffmann G, Ammon C *et al.* : Daily rumination time of lactating dairy cows under heat stress conditions, J Thermal Biol, 88, 102484 (2020)
- 11) 阪谷美樹：暑熱ストレスが産業動物の生産性に与える影響, 産業動物臨床医誌, 5 (増刊号), 238-246 (2015)
- 12) Clement P, Guatteo R, Delaby L *et al.* : Added value of rumination time for the prediction of dry matter intake in lactating dairy cows, J Dairy Sci, 97, 6531-6535 (2014)
- 13) 和田拓也, 二本木俊英, 西村友佑：夏場の体温上昇抑制による乳牛の生産性改善技術の確立, 福井県畜産試験場研究報告, 7 (<http://www.fklab.fukui.fukui.jp/ts/seika/kenkyuhoukoku/29/29-7.pdf>) (2016)
- 14) Aguilar I, Misztal I, Tsuruta S : Genetic components of heat stress for dairy cattle with Multiple lactations, J Dairy Sci, 92, 5702-5711 (2009)
- 15) Oseni S, Misztal I, Tsuruta S *et al.* : Genetic components of days open under heat stress, J Dairy Sci, 87, 3022-3028 (2004)
- 16) West JW : Effects of heat-stress on production in dairy cattle, J Dairy Sci, 86, 2131-2144 (2003)

---

Studies of correlation among heat stress, ruminating time and milk yield  
and early detection of heat-sensitive Holstein dairy cows using ruminating time

Takahiro Seto, Yuichi Toba<sup>1)</sup>

Shizuoka Professional University Junior College of Agriculture

<sup>1)</sup> Chita Large Animal Clinic Mie Branch

(678-1 Tomigaoka, Iwata, Shizuoka 438 - 8577)

SUMMARY

The correlation was investigated among heat stress, milk yield, and ruminating time to verify whether the presence of heat-sensitive cows can be predicted based on the ruminating condition. The results showed that the mean milk yield and mean ruminating time decreased as the temperature humidity index (THI) increased. For the ruminating time, the variance increased, and the distribution changed into bimodal one from unimodal one in the heat period. When cows were assumed to be heat-sensitive or heat-resistant based on the mean ruminating time immediately before the heat period, the ruminating time and its reduction were shorter and larger respectively in the heat-sensitive cows ( $405.7 \pm 51.7$  minutes/day and  $-25.0 \pm 47.6$  minutes/day respectively) compared to the heat-resistant cows ( $537.1 \pm 43.5$  minutes/day and  $-11.7 \pm 39.6$  minutes/day respectively,  $p < 0.01$ ). These findings suggested that the ruminating time can determine the heat stress of individual cows and that the presence of heat-sensitive cows can be predicted before the heat period.

【Key words : heat stress, prediction of heat-sensitive cows, ruminating time, wearable sensor】

---

.....J Livestock Med, 69, 151-158(2022)