

乳用牛の夏期高温時における暑熱対策技術の開発

山崎彦樹・上野紀衣*1・東山崎達生*1・脇大作・川畑健次*2

要 約

暑熱対策として、乳用牛が散水を自発的に利用できる改良型ソーカーを牛舎内に設置し、牛の利用状況及び乳量への影響を調査した。改良型ソーカーで牛体に散水したところ 30 分後の体温が有意 ($p<0.01$) に低下したが、酸化ストレス指標であるスルフヒドリル基、チオバルビタール酸反応物質に差は見られなかった。また、改良型ソーカーと送風機を 24 時間稼働させた試験区は、送風機のみを稼働させた対照区に比べ散水 4~6 日後の乳量が有意 ($p<0.01$) に増加し、改良型ソーカーが体温低下と乳量の増加に影響を及ぼすことが確認できた。また、改良型ソーカーの牛の利用状況を 24 時間調査したところ、頻繁に利用している個体が改良型ソーカー設置場所を占有していることが確認された。

キーワード：改良型ソーカー，暑熱対策，体温低下，乳用牛，乳量

緒 言

近年、地球温暖化の影響により、平均気温が上昇している。乳用牛は気温が 25℃を超えると、体温維持機構が破綻し体温上昇を引き起こす上臨界温度⁶⁾に達すると言われているが、本県では、夏期(6~8月)に、これを超える気温が多く観測されている⁴⁾。乳用牛は高温環境下では採食量が減少し、それに伴い乳量も減少する⁸⁾。このため、酪農経営において、生乳需要期である夏期の乳量を増加させることは、経営上非常に重要であり、生産現場では様々な暑熱対策が実施されている⁵⁾。そこで本研究では、暑熱対策として、当场で考案した改良型ソーカーを利用した、乳量増加効果を検討した。

試験材料および方法

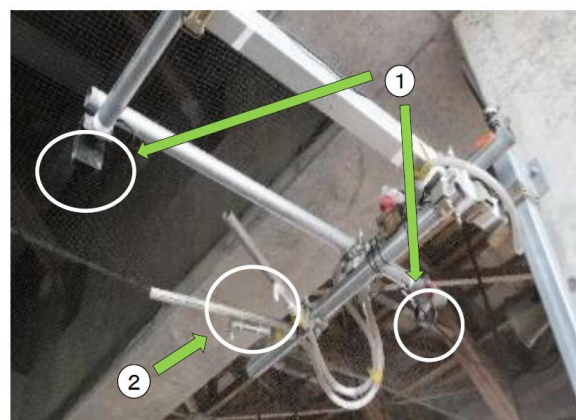
1 改良型ソーカーの概要

本研究のために、従来のソーカー⁹⁾にセンサーを設置し、牛の通過時に 4 秒間水(約 800ml)を噴射させ、牛が自発的に利用できる改良型ソーカー(以下ソーカー)を考案し、フリーストール牛舎内バーンクリーナー横の通路に 1 セット設置した(表 1, 図 1, 2)。ソーカーの改良にかかる電気設備工事は株式会社ノビテックに依頼した。

表 1 改良型ソーカーの材料および費用

部品名	個数	単価(円)	価格(円)
シャワーノズル	2	5,000	10,000
ビームセンサー	1	28,000	28,000
電磁弁	1	30,000	30,000
コントローラーユニット	1	60,000	60,000
電気配線および電気調整作業	1	48,000	48,000
総計			176,000

注1)税抜き価格、配管料金を除く



① シャワーノズル ② ビームセンサー

図 1 改良型ソーカー

(連絡先) 大家畜部

*1 肝属家畜保健衛生所

*2 大隅地域振興局農林水産部農政普及課

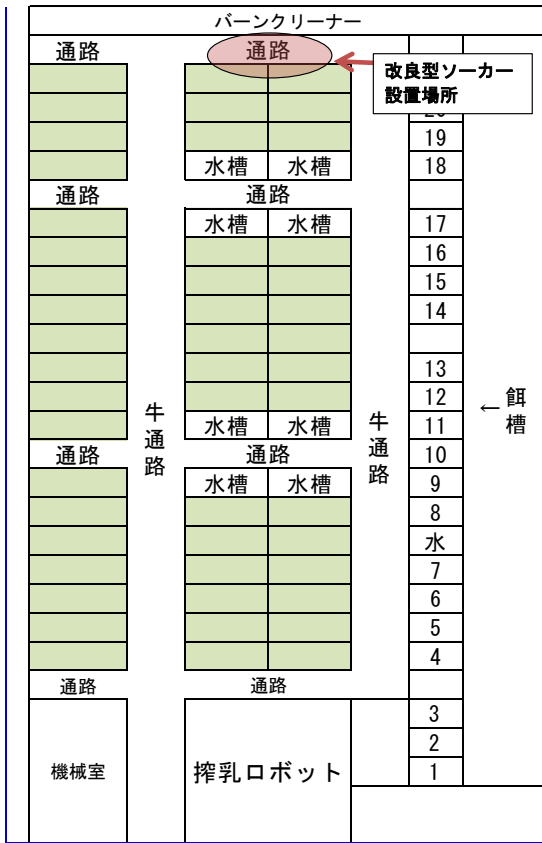


図2 改良型ソーカーの牛舎内配置図

2 試験方法

(1) ソーカーによる試験の概要

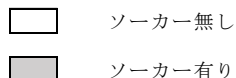
ソーカーによる散水が、飼料摂取量と乳量に及ぼす影響を調査するため、ソーカーと送風機を24時間稼働させた試験区と送風機のみを稼働させた対照区を設置した。

試験期間は2021年と2022年の7月～8月とした。供試牛はすべて鹿児島県農業開発総合センター畜産試験場のホルスタイン種雌牛を用い、2021年は15頭、2022年は13頭供試した(表2)。乳用牛は暑熱の影響が乳量へ現れるまで3日間かかる¹⁾ことから、ソーカーによる散水3日後の採食量および乳量を調査した(図3)。

試験開始1～3日目乳量、採食量は図3のNO.1～3とし、試験開始4～6日目乳量、採食量をNO.4～6として集計した。

曜日	月	火	水	木	金	土	日	月	火	水	木	金	土	日
調査項目	1～3日目乳量, 採食量			4～6日目乳量, 採食量				1～3日目乳量, 採食量			4～6日目乳量, 採食量			
No.	1	2	3	4	5	6		1	2	3	4	5	6	
区分	試験区						対照区							

図3 乳量試験の調査方法



給与飼料について表3に示した。2022年のPMRは、飼料価格の高騰によりチモシーの配合割合を変更したため、2021年に比べ、TDN、NDF、CPが若干低い成分となった。ストール内ではPMRを飽食給与し、搾乳ロボット内では乳量に応じて2か年とも同一の配合飼料を給与した。牛舎はフリーストール牛舎(図2)で、搾乳にはLely社アストロノートA4を用いてロボット搾乳をした。試験期間中に乳房炎に罹患した供試牛の乳量及び採食量データは除外した。

温湿度指数(THI)は、牛舎内の気温と湿度を無線温湿度照度計で1時間おきに測定し、以下の式により算出した。

$$\text{THI} = 0.81 \times \text{気温} + 0.01 \times \text{湿度} \times (0.99 \times \text{気温} - 14.3) + 46.3$$

表2 供試牛の概要

試験年度	頭数(頭)	平均年齢(歳)	平均産次数(産)	平均日乳量(kg)
2021	15	4.6 ± 1.5	2.5 ± 1.3	33.9 ± 5.9
2022	13	4.6 ± 2.0	2.5 ± 1.4	32.2 ± 3.6

表3 搾乳用牛の給与飼料

給与飼料中の原料		(乾物%)	
		2021	2022
	トウモロコシサイレージ	38.3	40.6
	チモシー(R3), バミューダヘイ(R4)	7.7	8.8
	ビートパルプ	9.5	10.5
P	アルファルファミール	3.6	3.6
M	ふすま	10.5	12.2
R	大麦圧ぺん皮付き	9.8	6.0
	大豆粕	10.0	7.7
	ミネラル・ビタミン製材	1.6	1.6
配合飼料(ロボット内給与)		9.0	9.0
	TDN	69.0	68.0
給与飼料の設計値(%)		CP	15.2
	NDF	38.2	37.8

(2) ソーカーが体温やストレスに及ぼす影響

試験期間は2021年と2022年の2か年とした。ソーカーによる散水が体温に及ぼす影響を調査するため、試験区と対照区から5頭ずつの計10頭を無作為に抽出し供

試した。体温を測定するために腔内に体温測定装置を貯留させ、2分毎の体温データを測定した。試験区は、11時と15時に人為的に牛をソーカーへ誘導し、散水直後と30分後の体温を測定し、対照区も試験区同様、11時と15時の体温を測定した。

また、暑熱ストレスに及ぼす影響を調査するため、試験2日目に頸静脈から採血を行った。血液は3000回転10分間遠心分離を行い、得られた血漿を -40°C で凍結保存した。酸化ストレス指標として、東山崎ら¹¹⁾の方法に従い血漿中のチオバルビタール酸反応物濃度(TBARS)を測定し、今村ら²⁾の方法に従いスルフヒドリル基(SH基)を分析した。

(3) ソーカー利用の行動調査

ソーカーの自発的利用を調査するため、2023年8月16日に行動調査を実施した。ソーカー設置場所に24時間録画できるビデオカメラを配置し、ソーカーを利用する個体やソーカーに滞在する個体と時間を調査した。24時間を0~6時、7~12時、13~18時、19~24時に分割し、それぞれの時間帯毎のソーカーの利用回数及び気温、THIを分析した。

3 統計処理

得られたデータは、改良型ソーカーが採食量、乳量に及ぼす影響のみ Student の t 検定を用い、その他の試験は Welch の t 検定を用いて統計処理を行った。P<0.01 もしくは P<0.05 を統計学的に有意差があると判断した。

結果および考察

1 ソーカーが体温やストレスに及ぼす影響

2021年の11時と15時におけるソーカーの有無による体温変動の結果を表4と表5に示した。11時の試験区、対照区の散水前の体温に差は見られなかったが、散水30分後の体温は試験区が 38.6°C 、対照区が 38.8°C となり、試験区が対照区より 0.2°C 有意に低かった(P<0.01)。15時の散水においても11時の散水と同様に、散水前の体温に差は見られなかったが、散水後の体温は試験区が対照区より 0.2°C 有意に低かった(P<0.01)。

2022年の11時と15時におけるソーカーの有無による体温変動の結果を表6と7に示した。11時の散水前、散水30分後のいずれの体温も両区間で有意な差は見られなかったが、15時の散水においては、散水後の体温は試験区が 38.9°C 、対照区が 39.1°C となり試験区が対照区より 0.2°C 有意に低かった(P<0.05)。

表4 2021年のソーカーの有無による体温変動(11時)

区分	供試牛(頭)	THI	散水前体温($^{\circ}\text{C}$)	散水30分後体温($^{\circ}\text{C}$)
試験区	5	76.5	38.9 ± 0.4	$38.6^{\text{a}} \pm 0.2$
対照区	5	78.0	38.7 ± 0.4	$38.8^{\text{b}} \pm 0.2$

注1) 異符号間に有意差あり(P<0.01), welchのt検定

表5 2021年のソーカーの有無による体温変動(15時)

区分	供試牛(頭)	THI	散水前体温($^{\circ}\text{C}$)	散水30分後体温($^{\circ}\text{C}$)
試験区	5	78.3	38.9 ± 0.28	$38.7^{\text{a}} \pm 0.2$
対照区	5	79.9	38.9 ± 0.29	$38.9^{\text{b}} \pm 0.3$

注1) 異符号間に有意差あり(P<0.01), welchのt検定

表6 2022年のソーカーの有無による体温変動(11時)

区分	供試牛(頭)	THI	散水前体温($^{\circ}\text{C}$)	散水30分後体温($^{\circ}\text{C}$)
試験区	5	82.0	38.9 ± 0.4	38.8 ± 0.3
対照区	5	81.7	38.9 ± 0.4	38.9 ± 0.4

表7 2022年のソーカーの有無による体温変動(15時)

区分	供試牛(頭)	THI	散水前体温($^{\circ}\text{C}$)	散水30分後体温($^{\circ}\text{C}$)
試験区	5	84.2	39.0 ± 0.3	$38.9^{\text{a}} \pm 0.3$
対照区	5	83.5	39.0 ± 0.4	$39.1^{\text{b}} \pm 0.6$

注1) 異符号間に有意差あり(P<0.05), welchのt検定

表8 ソーカーの有無による酸化ストレス指標の推移

年度	区分	スルフヒドリル基(SH)(μM)	チオバルビタール酸反応物質(TBARS)(nM)
2021	試験区	201.6 ± 20.0	67.9 ± 20.7
	対照区	199.3 ± 27.3	68.3 ± 26.1
2022	試験区	231.4 ± 44.0	94.6 ± 29.4
	対照区	232.6 ± 23.7	93.3 ± 40.5

酒向ら⁷⁾は1日2回15分の散水で、牛の体表温度を下げ直腸温の上昇を抑制し、さらに5分散水し、15分休止するサイクルが効率的と報告している。また、傍示ら³⁾も、1時間の散水で体温の有意な低下を確認している。今回、牛が自由に利用できるソーカーの4秒間の散水でも、体温低下が確認されたことから、短い散水時間でも体温を下げる効果があることが確認された。

次に、ソーカーの有無による酸化ストレス指標の推移を表8に示した。牛がストレスを受けるとSH基は低値になり、TBARSは高値になるとされている¹⁰⁾。2021、2022年ともにソーカーの有無による有意な差は見られなかった。田中¹⁰⁾は、環境温度と酸化ストレス指標の変動について調査し、環境温度の高い7月は12月と比較して、直腸温度が約1℃上昇し、SH基は低下、TBARSは増加したと報告している。本試験では、0.2℃の体温低下に留まったことから、酸化ストレス指標に影響を及ぼさなかった可能性が考えられた。

2 ソーカーが採食量や乳量に及ぼす影響

2021年の試験区と対照区の採食量は1～3日目、4～6日目いずれもソーカーの有無による有意な差は見られなかった(表9)。また、1～3日目乳量は試験区と対照区に有意な差はみられなかったが、4～6日目の乳量は、試験区が33.4 kg、対照区が32.6 kgとなり、散水した試験区が対照区に比べ0.8 kg有意に多かった(P<0.01)(表10)。

2022年も同様に試験区と対照区の採食量に差は見られなかった(表11)。乳量においては、1～3日目乳量で試験区が33.0 kg、対照区で32.1 kgと試験区が多く(P<0.01)、4～6日目乳量も試験区で33.0 kg、対照区で32.0 kgとなり、散水した試験区が対照区に比べ1.0 kg有意に多かった(P<0.01)(表12)。

ソーカーによる採食量への影響については、傍示ら⁴⁾は1時間の散水による乾物摂取量の有意な差は見られなかったと報告している。本試験も同様の結果となり、散水が採食量に及ぼす影響は確認できなかった。乳量への影響については、散水当日においては、前述(傍示ら³⁾と酒向ら⁷⁾)の報告は、乳量に有意な差はみられなかったとしている。2021年の結果はこれらの報告と同様となったが、2022年の結果は1～3日目乳量で差が見られており、この結果がソーカーによるものなのか、牛の体調によるものなのかは不明である。

Hagiyaら¹⁾は、牛群検定記録と気象観測所のデータを用い、暑熱ストレス(HS)に対する乳用牛の乳量の反応の遅れの長さを調査し、3日前に生じたHSが、乳量に最も大きな影響を与えたと報告している。本試験で2か

年とも散水3日後の4～6日目乳量が増加したことは、ソーカーの利用により3日前の体温上昇が抑制されたためと考えられる。また、3日後において乳量は増加しているものの採食量は増加していないことから、今後さらに乳質のデータ等も調査する必要があることが考えられた。

表9 2021年のソーカーの有無による採食量

区分	供試牛(頭)	THI	1～3日目採食量(kg/日・頭)	4～6日目採食量(kg/日・頭)
試験区	15	76.1	36.8 ± 10.1	36.5 ± 9.3
対照区	15	76.7	37.4 ± 10.1	36.7 ± 8.7

表10 2021年のソーカーの有無による乳量

区分	供試牛(頭)	THI	1～3日目乳量(kg/日・頭)	4～6日目乳量(kg/日・頭)
試験区	15	75.4	33.1 ± 5.9	33.4 ^b ± 6.2
対照区	15	77.3	32.9 ± 6.5	32.6 ^a ± 6.4

注1) 異符号間に有意差あり(P<0.01), studentのt検定

表11 2022年のソーカーの有無による採食量

区分	供試牛(頭)	THI	1～3日目採食量(kg/日・頭)	4～6日目採食量(kg/日・頭)
試験区	13	79.9	30.1 ± 9.3	31.1 ± 8.1
対照区	13	79.9	30.2 ± 9.3	31.2 ± 8.9

表12 2022年のソーカーの有無による乳量

区分	供試牛(頭)	THI	1～3日目乳量(kg/日・頭)	4～6日目乳量(kg/日・頭)
試験区	13	79.9	33.0 ^b ± 5.0	33.0 ^b ± 4.9
対照区	13	79.9	32.1 ^a ± 4.9	32.0 ^a ± 5.2

注1) 縦列間の異符号間に有意差あり(P<0.01), studentのt検定

3 ソーカー利用の行動調査

2023年8月の行動調査の結果について、ソーカークの利用状況を表13に示した。供試牛25頭のうち調査時間内(24時間)にソーカークを利用した牛の実頭数は13頭で、供試牛の52%に留まった。個体ごとのソーカークの利用回数及び時間について表14に示した。ソーカークを利用した13頭の個体毎の利用回数及び利用時間は、平均4.4回、35分となった。最も多く利用した個体は15回、198分となった。上位3頭の合計回数割合及び合計利用時間は59.6%、74.2%だった。2021(5頭)、2022(5頭)のソーカーク試験で供試した牛以外は、強制的な馴致は行っていなかったが、夏期の人工授精の際に体温を下げる目的で散水した牛が、その後ソーカークを利用するようになったことから、本試験でソーカークを利用しなかった12頭に関しては馴致が必要だった可能性がある。また、本試験で一部の個体がソーカークを占有している状況も含め、全頭が利用するには、1台では少ないのかもしれない。

表15に時刻毎のソーカークの利用回数と気温、THIの調査結果を示した。気温やTHIの上昇とともにソーカークの利用回数が増加していた。特に気温とTHIが高くなった13~18時において、ソーカーク利用回数は23回と多かった。塩谷ら⁸⁾は、乳用牛において、夏期は夜間においても体熱を効率よく放散できる環境を作ることが重要と報告している。本試験のソーカークは19~24時の間にも自発の利用が見られることから、ソーカークは夜間における暑熱対策として利用可能なことが示唆された。

表13 ソーカーの利用状況

供試牛 (頭)	ソーカーク 利用実頭数 (頭)	ソーカーク 利用割合 (%)	ソーカーク 利用延べ頭数 (頭)
25	13	52	57

表15 時刻毎のソーカーク利用回数及び気温とTHI

時刻 (時)	ソーカーク 利用回数 (回)	気温 (℃)	THI
0~6	6	24.1	75.3
7~12	16	25.8	77.6
13~18	23	27.3	80.6
19~24	12	25.1	77.4

表14 ソーカー利用牛の利用回数及び時間

個体 番号	ソーカーク 利用回数 (回)	ソーカーク 利用時間 (分)	個体の 利用回数 割合(%)	上位3頭の 合計 回数割合 (%)	個体の 利用時間 割合(%)	上位3頭の 合計 時間割合 (%)
2005	15	198.0	26.3	59.6	42.9	74.2*
1905	11	82.8	19.3		17.8	
1903	8	62.6	14.0		13.4	
2104	5	44.3	8.8		9.7	
1904	4	25.9	7.0		5.5	
3006	3	24.1	5.3		5.2	
2103	2	15.1	3.5		3.4	
2102	2	7.6	3.5		1.6	
2802	2	2.0	3.5		0.5	
1901	2	0.0	3.5		0.0	
2608	1	0.0	1.8		0.0	
2101	1	0.0	1.8		0.0	
3004	1	0.0	1.8		0.0	
平均	4.4	35				

注1)四捨五入のため合計値が一致しない場合がある

まとめ

今回、本研究で改良型ソーカークが牛の体温を有意に低下させ、散水3日後の乳量が増加することが確認された。ソーカークの設置については、設置場所を占有する個体やソーカークを利用しない個体も見られたため、頭数に応じた設置台数や設置場所の検討が必要であるとともに、ソーカーク利用前の牛の馴致も重要であると思われた。

今回、開発した改良型ソーカークは、従来のソーカークに比べ、1回4秒の噴射と水量が少ないことから、汚水量が低減することも期待される。これらのことから、改良型ソーカークは乳用牛の夏期高温時における暑熱対策として有効な手段であることが示された。

引用文献

- 1) Koichi Hagiya・Ikumi Bamba・Takefumi Osawa・Yamato Atagi・Naozumi Takusari・Fumiaki Itoh・Takeshi Yamazaki 2019. Length of lags in responses of milk yield and somatic cell score on test day to heat stress in Holsteins, *Animal Science Journal* 90 : 613-618
- 2) 今村正昭・長野京子・柴田幸児・上原修一 2005. 終日放牧が牛に及ぼす影響と耐ストレス性の検討, *鹿児島県農総セ研報* 39 : 48-52
- 3) 傍示和・増川慶大・久保貴士・三好里美 2020. 乳用牛における散水装置を用いた暑熱対策の検討, *香川畜試報告* 55 : 1-7

4) 気象庁観測データ

https://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/view/monthly_s3.php?prec_no=88&block_no=47827&year=&month=&day=&view

5) 野中最子・小林佑介・樋口浩二・永西修 2009. 地球温暖化が日本における家畜の生産性に及ぼす影響評価の現状と課題, 和文学術会誌「地球環境」, Vol.14, No.2: 215-222

6) 阪谷美樹 2015. 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

7) 酒向佑輔・大輪真司・森瞳・渡邊ゆずは・林美貴成・豊田知紀 2020. 簡易な散水施設による乳用牛の暑熱低減

対策と効果の検証, 栃木県畜酪研報 9: 1-11

8) 塩谷繁・寺田文典・岩間裕子 1997. 暑熱環境における泌乳用牛の生理反応, 栄養生理研究会報 41 (2) : 61-68

9) 高浦一希 2021. タイストール牛舎における乳用牛の暑熱対策, 牧草と園芸, 第69巻, 第2号: 22-26

10) 田中正仁 2012. 泌乳用牛における高温環境下の酸化ストレス評価とその低減に関する研究

11) 東山崎達生・田中靖広・上山繁成・脇大作 2020. 乳牛の空胎期間短縮に向けた研究, 鹿児島県農総セ研報 14 : 87-94

Development of Heat Stress Management System for Dairy Cattle during the Summer Period

Genki Yamasaki, Kie Ueno, Tatuki Touyamasaki, Daisaku Waki and Kenji Kawabata

Summary

We installed an improved sprinkler system in the dairy barn to provide dairy cattle with the option to use it voluntarily as a heat stress mitigation measure. We conducted an investigation into the utilization patterns of cattle and its impact on milk production. After spraying the cattle with the improved sprinkler system, their body temperature significantly decreased 30 minutes later ($p < 0.01$). However, no significant differences were observed in oxidative stress indicators, such as sulfhydryl groups and thiobarbituric acid reactive substances (TBARS). Furthermore, in the area where improved sprinkler system and a fan operated continuously for 24 hours, there was a significant increase in milk production three days later compared to the control area where only the fan operated ($p < 0.01$). This confirmed the influence of the improved sprinkler system on both reducing body temperature and increasing milk production. Additionally, 24-hour survey of cattle behavior shows that utilization patterns under the improved sprinkler system environment, individuals who used it frequently occupied the area where the improved sprinkler system was installed.

Keywords : body temperature, dairy cow, heat stress management, improved sprinkler system, milk yield