

乳用牛における散水装置を用いた暑熱対策の検討

傍示和・増川慶大・久保貴士・三好里美

Examination of the summer heat counterplan using the sprinkler system in dairy cows

Nodoka KATAMI, Keita MASUKAWA, Takashi KUBO, Satomi MIYOSHI

要 約

ホルスタイン種乳用牛の暑熱ストレスを軽減するため、散水装置を用いた暑熱対策の検討を目的として、その効果を調査した。当場で飼養している乳用牛 6 頭（散水群 3 頭、対照群 3 頭）を供試し、散水前と 1 時間の散水終了直後に体温、心拍数、呼吸数、体表温度、血中コルチゾール濃度および酸化マーカーである血中 d-ROM 値を測定した。また、試験期間中の乳量および乳成分、乾草摂取量を測定した。体温、心拍数、呼吸数および体表温度は、散水直前から直後にかけて、対照区には変化が見られなかったのに対して、試験区では平均 39.3℃から 38.6℃、平均 85.3 回/分から 71.8 回/分、平均 80.4 回/分から 46.4 回/分、平均 38.5℃から 34.3℃に有意に低下した。血中コルチゾール濃度も散水直前から直後にかけて、試験区のみ平均 0.91μg から 0.42μg に有意に低下し、一方、d-ROM 値は対照区のみ平均 82.3UCARR から 87.3UCARR に有意に上昇した。乳量、乳成分および乾草摂取量は両群に有意な差は認められなかった。

結果より、今回の試験設定では血液検査や乳量等の生産性には影響を与えなかったものの、散水群で体温や心拍数などを低下させたことより、散水装置を用いた暑熱対策は乳用牛の生理状態を改善するものだと考えられた。

緒 言

地球温暖化による夏季の高温は、ホルスタイン種乳用牛に暑熱ストレスを与える。乳用牛では 25℃を超えると急激に体温が上昇し¹⁾、採食量や乳量の低下、乳房炎を始めとした疾病の発生、繁殖性の低下が起こりうる²⁾³⁾。気象庁による 2017 年度の温暖化報告並びに予測情報によると、香川県では年平均気温が 100 年で約 4℃上昇し、高松市では猛暑日が 100 年で年間 50 日程度増加することが予測されている（地球温暖化予測情報 第 9 巻）。

これまで、暑熱対策として壁を白く塗る牛舎の改良やクーラーの設置⁴⁾、送風や細霧機の利用による牛体の冷却⁵⁾などが行われてきた。当場では細霧機および換気扇で暑熱対策を行っていたが、日中体温上昇や呼吸数増加等の症状が恒常的に見られていた。そこで、より効果の高い対策を検討するため、今回、細霧機のノズルを散水ノズルに変更し、牛体に対して直接散水することにより乳用牛の暑熱ストレス軽減効果を明らかにすることを目的として調査した。

材料及び方法

1. 試験期間

令和 2 年 8 月 17 日から 8 月 28 日に行った。

2. 供試牛

当場で飼養しているホルスタイン種乳用牛 6 頭を試験に供した。試験開始時点で、平均年齢 3.2 ± 1.2、平均産歴は 1.7 ± 1.2、平均分娩後日数 223.2 ± 93.3 であった。また、令和 2 年 7 月時点での

6頭の平均乳量は $30.1 \pm 3.8\text{kg}$ であった。

3.飼養管理

飼養形態は繋ぎ飼い牛舎で、粗飼料はチモシー乾草、オーツ乾草およびアルファルファ乾草を給与した。また、濃厚飼料は自動給餌器により1日5回(3:00、5:00、8:30、16:00および23:40)、給与量はそれぞれの乳用牛の乳量に合わせて適切な量を与えた。水はウォーターカップによる自由飲水とした。搾乳は9時および16時に行い、ミルクカーは自動離脱とした。

4.試験方法

乳用牛6頭を3頭ずつ試験区と対照区に割り付け、1期5日間(月曜日から金曜日)とする2期間で反転試験を実施した。試験区は、牛体の約60cm上部のノズルより背から腰にかけて、毎秒16.7mlの水量で散水した(写真・右)。散水時間は13:20から14:20の1時間とし、散水間隔は散水10分、停止2分の繰り返しとした。それと同時に牛舎に備え付けている換気扇(フルタエコトップ DCBL1030)による牛体への送風をおこなった。牛体肋腹部付近で測定した風速は15m/sであった。



5. 調査項目

1) 牛舎内温度湿度

試験期間中、温度・湿度データロガー(RTR-500;株式会社ティアンドデイ,長野)を牛床から高さ1.2mに設置し、60分間隔で記録し、温度湿度指数(THI値 $=0.8 \times \text{温度}(\text{℃}) + 0.01 \times \text{湿度}(\%) \times [\text{温度}(\text{℃}) - 14.3] + 46.3$)を算出した⁶⁾。

2) 身体検査

散水直前(13:00~13:20)と散水直後(14:20~14:40)に体温(直腸温)、心拍数、呼吸数、および体表温度を試験期間中の週3回(月曜日、水曜日および金曜日)測定した。体表温度は赤外線サーモグラフィカメラ(F50B-BAS;日本アビオニクス株式会社,神奈川)を用いて、腰部の温度を測定した。

3) 血液検査

散水直前と散水直後に採血を週2回(月曜日および金曜日)頸静脈から、血清分離用凝固促進剤入真空採血管(ベノジェクトII VP-P070K;テルモ,東京)を用いて行った。採血後は、速やかに室温で $3,000 \times g$ 、10分間の遠心分離を行い、血清を得た。検査を依頼するまでは、血清を -20℃ の冷凍庫で保管した。血中コルチゾール濃度は株式会社サンリツセルコバ検査センター(東京)に、血中d-ROM値は株式会社ウイスマー(東京)に依頼した。

4) 産乳成績

a. 乳量

搾乳は1日2回(9:00および16:00)に行い、1日乳量は朝と夕方の搾乳量の合計とした。

b. 乳成分

搾乳ミルクカーにサンプラーを装着し、搾乳途中の生乳を試験開始初日および最終日に採取した。採取した生乳を専用の容器に入れ、四国生乳販売農業協同組合連合会牛乳検査課に検査を依頼した。依頼項目は、乳脂肪、無脂乳固形、蛋白質、乳糖、体細胞数および乳中尿素窒素(MUN)の計6項目であった。

c. 乾草摂取量

チモシー乾草、オーツ乾草およびアルファルファ乾草をそれぞれ約15.0cmに細断、混合した

乳用牛における散水装置を用いた暑熱対策の検討

粗飼料を 14.0kg 給与した。給与翌日に残飼料を計測することで 1 日乾草摂取量を算出した。

6. 統計処理

全ての統計解析には EZR⁷⁾ を使用した。各検査項目の散水直前と散水直後の比較は、t 検定を用いた。各検査項目における群間の比較は、二元配置分散分析を行い、交互作用が認められた場合には、Bonferroni の多重比較を実施した。いずれも有意水準は 5% とした。

成 績

1) 温度湿度指数 (THI)

試験期間中、暑熱ストレスが始まると言われる THI 値 72 は昼夜間わず超えていた。

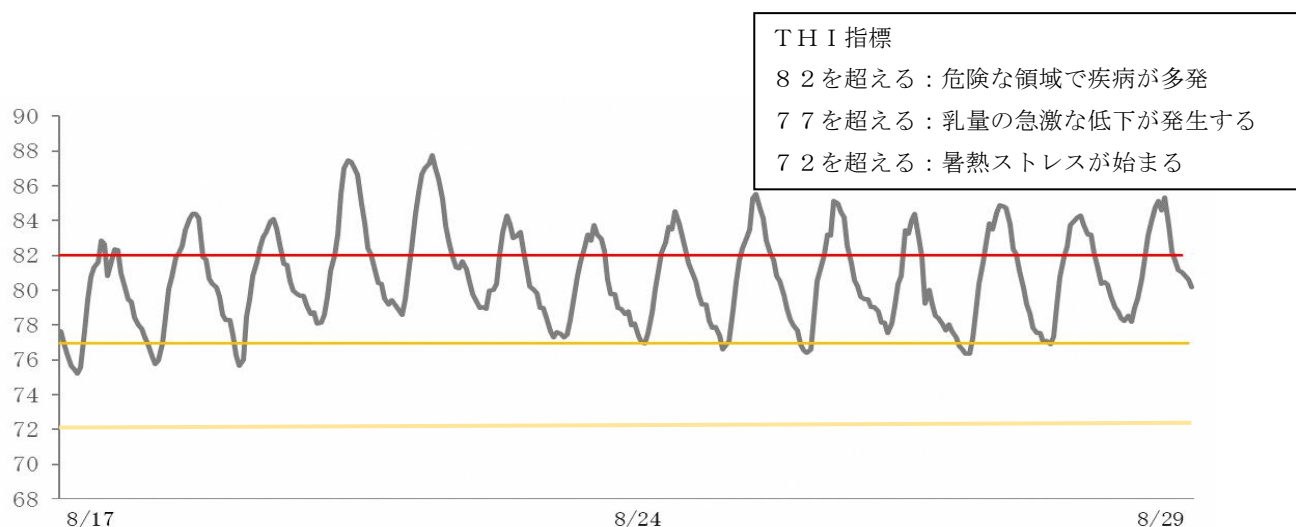


図 1. 試験期間中の THI の変動

2) 身体検査

体温、心拍数、呼吸数および体表温度はいずれも、試験区の散水直後が、試験区の散水前、対照区の散水前および散水直後に比べ、有意に低下した (表 1)。

表 1. 体温、心拍数、呼吸数および体表温度の推移

		散水直前		散水直後	
体温	°C	試験区	39.3 ± 0.37 a	38.6 ± 0.35 b	
		対照区	39.4 ± 0.42 a	39.7 ± 0.54 a	
心拍数	回/分	試験区	85.3 ± 17.4 a	71.8 ± 8.17 b	
		対照区	81.3 ± 13.2 a	86.7 ± 15.8 a	
呼吸数	回/分	試験区	80.4 ± 14.1 a	46.4 ± 9.81 b	
		対照区	80.9 ± 16.6 a	86.4 ± 17.1 a	
体表温度	°C	試験区	38.5 ± 0.89 a	34.3 ± 1.90 a	
		対照区	38.9 ± 0.45 a	39.2 ± 0.52 a	

平均値 ± SD 異符号間に有意差あり (p < 0.05)

乳用牛における散水装置を用いた暑熱対策の検討

3) 血液検査

血中コルチゾール濃度は試験区の散水直後が対照区の散水直後と有意差は認められないものの、試験区と対照区の散水直前に対して有意に低下した。また、d-ROM 値は対照区の散水直後が対照対照区の散水直前に比べて有意に上昇していた（表2）。

表2. 血中コルチゾール濃度および d-ROM 値の推移

			散水直前	散水直後
コルチゾール	μg	試験区	0.91±0.44 a	0.42±0.37 b
		対照区	1.04±0.56 a	0.67±0.34 ab
d-ROM	UCARR	試験区	84.8±8.24 ab	90.3±10.5 ab
		対照区	82.3±9.97 b	87.3±9.28 a

平均値±SD 異符号間に有意差あり (p<0.05)

4) 産乳成績

a. 乳量

試験区は平均 26.6±2.5L、対照区は 26.6±2.6L であり、両区間に有意差は認められなかった（図1）。

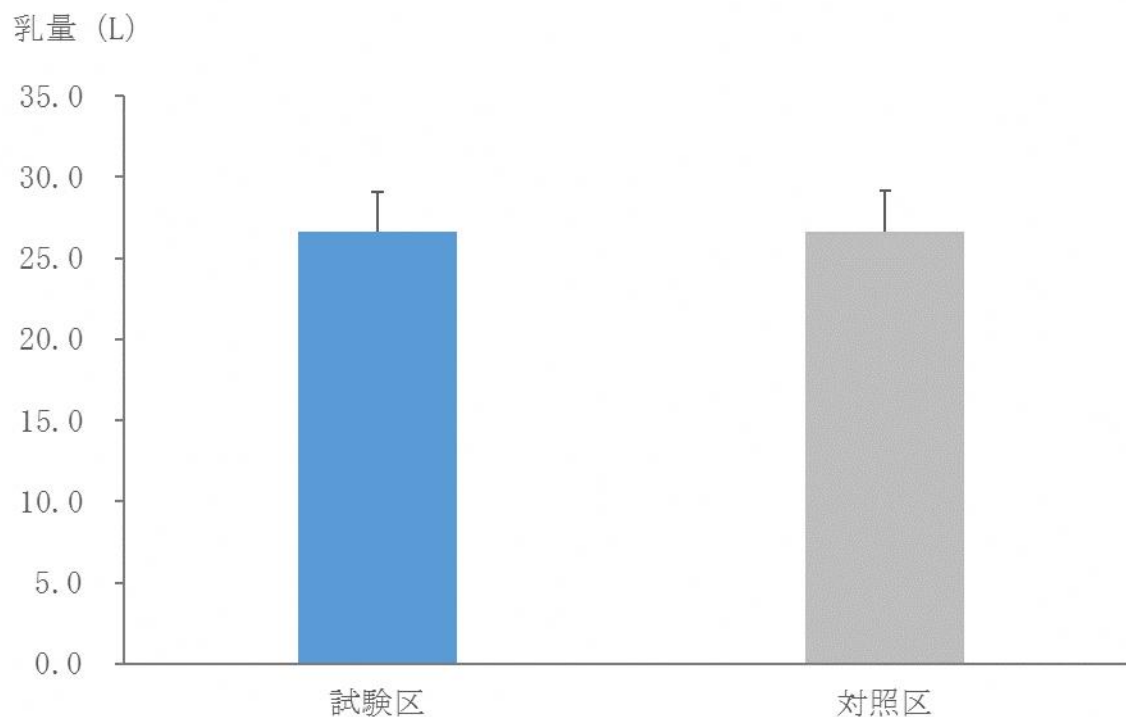


図1. 乳量の変化 (平均値±SD)

b. 乳成分

乳用牛における散水装置を用いた暑熱対策の検討

いずれも試験期間中、大きな変動はなかった（表3）。

表3. 乳成分の推移

			初日	最終日
乳脂肪	%	試験区	3.95 ± 0.91	3.43 ± 0.34
		対照区	3.76 ± 0.91	3.68 ± 0.56
無脂乳固形	%	試験区	9.01 ± 0.26	9.12 ± 0.14
		対照区	9.08 ± 0.42	9.12 ± 0.43
蛋白質	%	試験区	3.58 ± 0.23	3.61 ± 0.29
		対照区	3.61 ± 0.40	3.61 ± 0.37
乳糖	%	試験区	4.44 ± 0.08	4.51 ± 0.13
		対照区	4.47 ± 0.07	4.51 ± 0.12
体細胞数	万/mL	試験区	2.50 ± 1.38	2.83 ± 1.60
		対照区	9.00 ± 15.7	2.33 ± 1.87
MUN	mg/dL	試験区	5.22 ± 3.63	8.33 ± 1.87
		対照区	6.27 ± 2.53	9.62 ± 2.33

c. 乾草摂取量

試験区は 11.4 ± 1.9kg、対照区は 10.9 ± 1.7kg 両区に有意差は認められなかった（図2）。

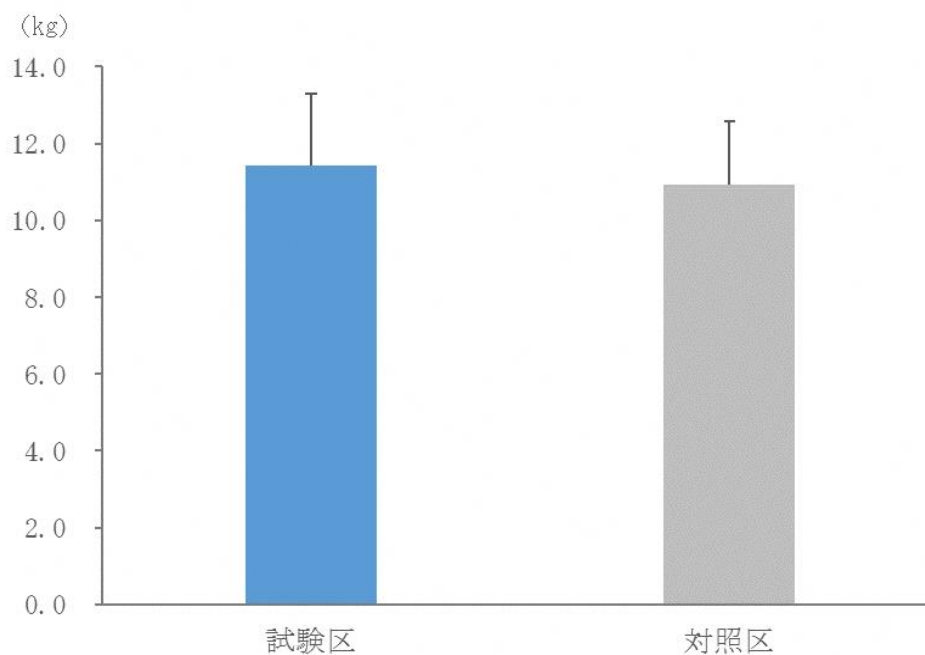


図2. 試験区および対照区における乾草摂取量 (平均値 ± SD)

考 察

牛舎内の温度と湿度から算出される温度湿度指数である THI 値が 72 以上を超えると暑熱ストレスが始めると考えられている。THI 値が 72 を超えて 1 上昇するごとに乳量が 0.88kg 減少し⁸⁾、乳脂肪や乳蛋白質などの乳成分も低下することが報告されている⁹⁾。また、THI 値が上昇すると乳房炎の発生数も増加することが報告されている¹⁰⁾。試験期間中、夜間でも気温が常に 25°C 以上、THI 値は 72 を昼夜問わず超えていた。また、日中は疾病が多発すると考えられている⁸²も超えており、多大な暑熱ストレスにさらされていた。

泌乳中の乳牛では体温が 40.0°C を超えることも珍しくなく、夜間も高体温が維持されていることが多い⁸⁾。体温が上昇すると熱放散を促進するために、呼吸数が増加、発汗の促進、飲水量が増加しそれに伴って心拍数の増加が引き起こされる¹¹⁾。本試験でも、散水直前ほどの牛も体温が約 40.0°C、心拍数および呼吸数が 1 分間あたり 80 回を超えておりいずれも基準値を逸脱していた¹²⁾。体温、心拍数、呼吸数および体表温度いずれも試験区の散水直後だけが試験区の散水前、対照区の散水前後に比べて有意に数値が下がっているため、本試験で実施した散水によって改善されたと考えられた。

牛は短距離の輸送でもストレスがかかると、血中コルチゾール濃度が上昇する¹³⁾。また、暑熱環境下の黒毛和種子牛に冷却ジャケットを着用させると、ジャケット着用群が未着用群に比べて、着衣 1 時間後に有意に血中コルチゾール濃度が低下していることも報告されており¹⁴⁾、暑熱ストレスの評価としても血中コルチゾール濃度は用いられている。乳牛における暑熱ストレスの軽減試験は、各地で多数実施されているものの暑熱ストレス軽減処置前後の血中コルチゾール濃度を測定している報告は少ない。今回、散水区の散水直後の血中コルチゾール濃度を実施したところ、両区の散水直前と比較して有意に下がっており、暑熱ストレスを軽減できていると確認できた。

一方で、酸化ストレスを表す d-ROM 値は散水区の散水直後が他に比べて一番高い結果となった。d-ROM 値を使った報告は牛において多数みられるが^{15)~17)}、1 週間毎や 1 ヶ月毎の採材による測定のものであった。今回のように、1 時間間隔の測定例はこれまでに報告がなかったため、d-ROM 値はそのような短い間隔のストレス指標としては適切ではないと考えられた。

乳量、乳成分および乾草摂取量のいずれも、散水区と対照区の間には有意差は認められなかった。散水することで乳房炎の発生を危惧されるが、本試験では乳房炎は一度も確認されなかった。散水しても、乳房へ水が滴ることが少ないことがこの要因だと考えられた。

暑熱環境が家畜に与える影響は単に乳生産だけに影響を与えるものではない。とりわけ乳牛だけに関わる話でもないが、体温の上昇に伴って、採食量が減少し摂取エネルギー量と生産・維持にかかるエネルギーの不均衡が生じる負のエネルギーバランス状態(negative energy balance:NEB)を作り出す¹²⁾。NEB は免疫機能の低下を引き起こし、乳房炎罹患のリスクも増加させる。体温上昇は酸化ストレスの亢進にもつながり、NEB や酸化ストレスは繁殖活動に重要なホルモン分泌能を変化させ、生殖器の機能低下につながる¹⁸⁾。繁殖性の低下は、経営に大きく影響することは容易に想像がつく。コストや労力がかかったとしても、乳房炎をはじめとした疾病の罹患リスクやそれに伴う生産者の精神的・肉体的ストレスを考えると、多少なりとも暑熱対策が必要であると考えられる。

今回の結果より、暑熱環境下で 1 時間の牛体への直接の散水は、乳量や乳成分といった生産性に変化を与えることは無かったものの、体温、心拍数、呼吸数、体表温度および血中コルチゾール濃度を低下させたため、暑熱ストレスを軽減させたと考えられた。しかし、短期間での調査、また各検査項目いずれも散水前後でしか調査していないため、あくまでも一時点での結果と解釈しうる。そのため、今後は散水期間や散水後の経時的な変化を検証する必要があるだろう。

参考文献

- 1) Berman A, et al. 2009. Upper critical temperatures and forced ventilation effects for high-yielding dairy cows in a subtropical climate. *J Dairy Sci.* 68:1488-1495.
- 2) Atrian P, Aghdam Shahryar H. 2012. Heat stress in dairy cows (A Review). *Research in Zoology.* 2(4):31-37.
- 3) Hansen P. J., Arechiga C. F. 1999. Strategies for managing reproduction in the heat-stressed dairy cow. *J Anim Sci.* 77:36-50.
- 4) 尾方美季子, 味元一幸. 2010. 搾乳待機室の氷冷房による乳牛の暑熱ストレス低減効果. 帯広畜産大学草地畜産専修特別研究報告. 24:1-4.
- 5) Turner L.W., et al. 1992. Reducing heat stress in dairy cows through sprinkler and fan cooling. *American Society of Agricultural Engineers.* 8(2):251-256
- 6) Correa-Calderon A, et al. 2004. Thermoregulatory responses of Holstein and brown swiss heat stressed dairy cows to two different cooling systems. *Int J Biometeorol.* 48:142-148.
- 7) Kanda Y. 2013. Investigation of the freely available easy-to-use software'EZR' for medical statistics. *Bone Marrow Transplant.* 48:452-458.
- 8) West J.W. 2003. Effects of heat-stress on production in dairy cattle. *J Dairy Sci.* 86:2131-2144.
- 9) Rhoads M.L., et al. 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.
- 10) Morse D., et al. 1988. Climatic Effects on Occurrence of Clinical Mastitis. *J Dairy Sci.* 71(3) : 848-853.
- 11) 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. 238-346.
- 12) Radostits, O.M., et al. 2000. *Veterinary Clinical Examination and Diagnosis.* W.B. Saunders.
- 13) Wernicki A., et al. 2006. Evaluation of plasma cortisol and tbars levels in calves after short-term transportation. *Revue Med Vet.* 157(1) : 30-34.
- 14) 松田敬一ら. 2020. 暑熱環境の子牛に着衣させる牛用冷却ジャケットの効果. *産業動物臨床医誌.* 11(1):5-11.
- 15) Mirzad A. N., et al. 2019. Effects of live yeast supplementation on serum oxidative stress biomarkers and lactation performance in dairy cows during summer. *J Vet Med Sci.* 81(12):1705-1712.
- 16) Mirzad A. N., et al. 2018. Seasonal changes in serum oxidative stress biomarkers in dairy and beef cows in a daytime grazing system. *J Vet Med Sci.* 80(1):20-27.
- 17) Pedernera M, et al. 2010. Effect of diet, energy balance and milk production on oxidative stress in early-lactating dairy cows grazing pasture. *The Veterinary Journal.* 186:352-357.
- 18) 阪谷美樹. 2018. 暑熱ストレスと牛の繁殖性. *家畜感染症学会誌.* 7 巻 2 号. 45-51.