

乳中遊離脂肪酸濃度に影響を及ぼす要因の検討

西村祐枝・吉田 寿*¹・小川 亨*²

Investigation of factors affecting free fatty acid concentration in milk

Sachie NISHIMURA, Hisashi YOSHIDA and Toru OGAWA

要 約

乳の風味異常には主に脂肪分解臭と脂肪酸化臭があるが、本試験では脂肪分解臭の発生に関係する乳中の遊離脂肪酸(FFA)値に影響する搾乳方法やFFAの発生抑制資材について検討を行った。

- 1 1回あたりの搾乳量が6kg および10kg 未満での搾乳、直前の搾乳間隔が6時間未満の場合、乳中FFA値が有意に高くなる¹⁾ことから、当研究所内の搾乳ロボット(アストロノート A5: Lely 社)を用いて1日6回搾乳と1日2回搾乳で乳中FFA値に影響があるか検討したところ、1日6回の方が乳中FFA値が高い傾向にあった。
- 2 泌乳初期や摂取飼料が不足したときに乳牛は貯蓄している体脂肪を動員してエネルギー源とするため血中の遊離脂肪酸(NEFA)が増加し、乳脂肪合成に利用される²⁾³⁾ことから、暑熱ストレスにより体脂肪動員が起きやすいと思われる夏季はエネルギー源となるブドウ糖やトレハロースを給与することで乳中FFA値を抑制できると考えられた。

キーワード: 乳の異常風味、脂肪分解臭、トレハロース

緒 言

近年の酪農経営は、生産コスト削減や生産性向上のため大規模化が進むとともに、搾乳ロボットの導入や1日3回搾乳が増えている。また、飼料費低減のため食品副産物の利用拡大や、暑熱期の低脂率対策として様々な添加剤を利用する農場が増えている。このような飼養管理の変化が要因と考えられる乳の風味異常が発生し問題となっており、岡山県内でも過去に風味異常が発生している。

風味異常の種類は多岐にわたり、その中でも脂肪分解臭と脂肪酸化臭は特に問題となっており、近年、脂肪分解臭と脂肪酸化臭の発生の指標となる成分を測定できる技術も確立されてきた。

本研究では脂肪分解臭の原因とされる乳中FFAを発生させる要因および抑制させる飼料等を明らかにし、その対策法を検討した。

材料および方法

試験1 多回搾乳による乳中FFA値の検討

当研究所の搾乳ロボットで試験区は1日6回搾乳、対照区は1日2回搾乳とし、岡山県生乳検査センターで乳中FFA値を分析するとともに、全サンプルの乳中FFA値を加重平均して比較検討を行った。

1日6回搾乳の場合は約4時間おきに人為的に牛を搾乳ロボットへ追い込み、搾乳後の乳汁をミルクジャーから直接採取した。1日2回搾乳は搾乳ロボットを1日2回までの搾乳とし、当研究所の牛群検定日と併せてオートサンプラーで乳汁を採取した。

試験牛は試験区と対照区で同個体を用い、各区3頭の結果を比較した。

試験牛の概要は表1のとおりで、泌乳中期～後期の日乳量が40kg程度の搾乳牛を用いた。

表1 試験牛の概要

牛番	生年月日	産次	分娩後日数(日)	
			6回搾乳時	2回搾乳時
3006	H30.4.10	3	118	152
1913	R1.5.15	2	177	211
2009	R2.5.1	1	193	227

試験2 暑熱期における乳中 FFA 抑制の検討

試験期間は2022年7月27日から9月7日とし、暑熱期のエネルギー源としてトレハロースとブドウ糖を用いて乳中 FFA の抑制効果を検討した。試験区はトレハロースを1頭あたり300g、対照区はブドウ糖を1頭あたり300gとし、試験開始から3週間 Partly Mixed Ration(PMR)にトップドレスして給与した。3週間から6週間の間は試験区、対照区ともにPMRのみを給与し、トレハロースもブドウ糖も給与しない期間を設けた。

また、当研究所内の飼料摂取自動計測装置(Roughage Intake Control 以下 RIC:インセンティブ社, オランダ)に試験牛を慣れさせるため、試験開始日1週間前に試験牛を移動し、馴致期間を設けることとした。

試験牛の概要は表2のとおりで、試験区と対照区で各3頭ずつとし、試験牛は馴致期間直前の牛群検定で乳中 FFA 値が高い個体を選定した。

表2 試験牛の概要

試験区分	牛番	生年月日	産次	試験開始時 分娩後日数(日)	選抜時乳中FFA値 (mmol/100gFAT)
試験区 (トレハ区)	3022	H30.11.11	2	186	2.09
	1924	R1.7.23	1	291	1.83
	1913	R1.5.15	2	36	1.75
対照区 (ブドウ糖区)	3008	H30.5.24	3	59	2.04
	1938	R1.12.4	1	126	1.83
	3011	H30.6.25	2	230	1.86

乳汁は試験開始後3週間目と6週間目に搾乳ロボットで採取し岡山県生乳検査センターで乳中 FFA 値を分析、乳汁の採取と同時に採血し、(株)サンリツセルコバ検査センター(東京)へ送付して生化学検査を実施した。

採血は午後1時から実施し、採血後に搾乳ロボットへ牛を追い込み、搾乳後にミルクジャーから乳汁を採取した。

また、乳汁採取時に搾乳間隔が6時間以上、1回の搾乳量が10kg以上となるように、採材当日の朝5時から搾乳ブロックタイムを設けることとした。

比較対象として所内のバルク乳の乳中 FFA 値を用いた。

試験3 トレハロース給与による乳中 FFA 抑制効果の検討

試験期間は2022年9月14日から12月14日までとし、9月14日から10月13日までブドウ糖を1頭あたり300g、11月16日から12月14日までトレハロースを1頭あたり300g給与した。なお、ブドウ糖給与後からトレハロース給与開始

までは無給与期間とし、ルーメン内のブドウ糖の影響が残らないようリセット期間を設定した。

ブドウ糖とトレハロースはPMRを給与後、搾乳頭数に応じて計量したものをトップドレスした。

乳中 FFA 値は牛群検定成績を加重平均した値を用い比較検討した。

搾乳ロボット牛舎の搾乳牛のうち、6頭を選定し採血を行い、(株)サンリツセルコバ検査センターで生化学検査を実施した。

採血を実施した牛の概要は表3のとおりであるが、選定にあたっては泌乳前～中期の当研究所内の平均日乳量より乳量が多い牛を選んだ。

表3 試験牛の概要

牛番	生年月日	産次	分娩後日数(日)			
			試験開始時	ブドウ糖給与後	リセット後	トレハ給与後
0029	H29.8.20	3	88	116	151	179
1913	R1.5.15	2	86	114	149	177
2012	R2.6.24	1	89	117	152	180
2922	H29.9.19	3	36	64	99	127
3008	H30.5.24	3	109	137	172	200
3029	H30.12.7	2	58	86	121	149

結果および考察

試験1 多回搾乳による乳中 FFA 値の検討

平均搾乳間隔と平均搾乳量は表4のとおり、乳の風味に関係する乳成分の分析値は表5のとおりで、1日6回搾乳の場合は人為的に牛を追い込み搾乳を行ったため平均搾乳間隔が概ね4時間と揃っているが、1日2回搾乳の場合は10時間から15時間と個体差が見られた。乳中 FFA 値は試験区で高くなる傾向があった。

表4 各試験牛の搾乳間隔と乳量

牛番	試験区分	平均値	
		搾乳間隔(時間)	乳量(kg)
3006	試験区	3:55	5.8
	対照区	10:14	14.0
1913	試験区	3:55	7.3
	対照区	10:32	17.0
2009	試験区	3:54	6.3
	対照区	15:09	19.5

表5 各試験牛の風味に関係する乳成分値

牛番	試験区分	加重平均値				
		BHB (mmol/L)	FFA (mmol/100gFAT)	DnM (%)	MiM (%)	PrM (%)
3006	試験区	0.05	1.22	1.32	1.66	1.36
	対照区	0.06	0.67	1.49	1.90	1.82
1913	試験区	0.09	1.56	1.04	1.33	1.28
	対照区	0.08	1.07	1.13	1.38	1.44
2009	試験区	0.10	1.88	1.16	1.53	1.33
	対照区	0.06	0.73	1.13	1.41	1.36

森田¹⁾らによると、乳中FFA値は搾乳間隔が6時間未満の場合、1回あたりの搾乳量が8kgおよび10kg未満での搾乳頻度に有意な相関がみられたとしているが、本試験でも6時間未満かつ1回あたりの搾乳量が8kg未満の場合、乳中FFA値が高くなる傾向が見られた。また、株式会社林原が2022年4月から12月までの当研究所の牛群検定成績をJMP[®]を用いて解析した結果、乳中FFA値と相関が最も高かったのは搾乳間隔で、搾乳間隔が6時間から7時間の場合1.458mmol/100gFAT、7時間から8時間が1.380mmol/100gFAT、5時間から6時間が1.376mmol/100gFAT、5時間未満が1.317mmol/100gFAT、8時間から9時間が1.223mmol/100gFATとなり、搾乳間隔が8時間を境に搾乳間隔が短い方が乳中FFA値が有意に高い結果となった。

なお、5時間未満と5時間から6時間の搾乳間隔は例数が少ないため、参考数値とする。

ただ、通常の搾乳ロボットの設定では5時間未満の搾乳が行われることは考えにくい、今回の牛群検定成績において搾乳間隔が短いデータが出た理由として、当研究所内の通常の設定では1日に最高5回搾乳が可能で、1回あたりの搾乳量予測が12kg以上と設定していたが、分娩後から泌乳ピークへ移行している途中の高能力経産牛や乳量予測が不安定だと思われる初産牛において搾乳間隔が短くなっている傾向があり、併せて搾乳ロボットへのアクセス回数の多い個体で搾乳間隔が短くなった可能性があると考えられる。搾乳間隔や搾乳頻度は飼養頭数、PMR濃度、配合飼料給与量、個体差といった様々な要因が複雑に関係しており⁴⁾、乳中のFFA値が高く、脂肪分解臭が発生した搾乳ロボット農家においては、搾乳間隔が短くなった要因を搾乳ロボットに保存されている個体データや搾乳牛の行動を調査するなどして、脂肪分解臭の発生要因を調査する必要があると考えられる。

そのため、搾乳ロボットにおける搾乳設定は各搾乳ロボットの販売メーカーが推奨する搾乳回数と1回の搾乳量の設定をするだけでなく、牛群の能力と泌乳ステージ、個体の搾乳ロボットへのアクセス回数を考慮して自農場の飼養環境に合った搾乳設定とすることで乳中FFA値を低く保ち、風味異常の発生を抑えることができると思われる。

試験2 暑熱期における乳中FFA抑制の検討

トレハロースおよびブドウ糖の給与開始時、給与3週間後および給与をやめて3週間後の搾乳間隔と1回あたりの搾乳量を表6、表7に示した。

また、試験期間中の各試験区の乳中FFA値を表

8、乳中FFA値の平均値の推移を図1に示した。

なお、1913号牛は選抜時に乳中FFA値が高かったにもかかわらず、試験開始直後から脂肪分解臭が発生する可能性があるといわれている1.0mmol/100gFATよりかなり低く推移し続けたため、比較検討のデータからは外すこととした。

試験区、対照区ともに試験開始から乳中FFA値は下がりはじめ、給与3週間後にはバルク乳中のFFA値より下回り、トレハロースやブドウ糖の給与を止めた後も乳中FFA値は下がる傾向が見られた。

表6 試験牛の採材日の搾乳間隔

試験区分	牛番	乳汁採取時の搾乳間隔(時間)		
		試験開始時	試験給与3週間後	給与ストップから3週間後
試験区 (トレハ区)	3022	8:02	14:33	10:25
	1924	5:41	16:30	13:26
	3008	5:42	9:40	15:21
対照区 (ブドウ糖区)	1938	6:01	17:09	14:25
	3011	6:29	16:14	14:08

表7 試験牛の採材日の1回の搾乳量

試験区分	牛番	乳汁採取時の搾乳量(kg)		
		試験開始	試験給与3週間後	給与ストップから3週間後
試験区 (トレハ区)	3022	14.5	22.3	17.3
	1924	7.7	19.0	17.9
	3008	12.1	16.8	22.5
対照区 (ブドウ糖区)	1938	8.3	18.1	18.2
	3011	9.5	21.7	17.2

表8 試験牛の乳中FFA値

試験区分	牛番	乳中FFA値(mmol/100gFAT)		
		試験開始	試験給与3週間後	給与ストップから3週間後
試験区 (トレハ区)	3022	0.60	-0.03	0.23
	1924	1.18	1.10	0.72
	3008	0.99	0.97	0.55
対照区 (ブドウ糖区)	1938	1.98	1.17	1.11
	3011	1.21	0.40	0.30

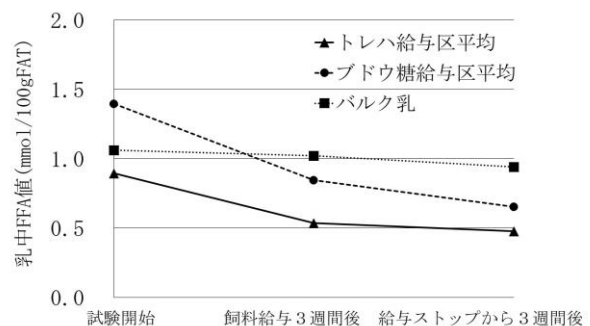


図1 各試験区の乳中FFA値の平均値の推移

試験2では乳汁採取日に試験牛のみ朝5時から搾乳をブロックする設定としていたが、試験開始日に搾乳ロボットでブロックしきれておらず、1924号牛は搾乳間隔が6時間未満で1回の搾乳量が10kg未満の搾乳となった。そのため、試験開始日は、1924号牛、1938号牛、3011号牛の3頭は1回の搾乳量が10kg未満、1924号牛、3008号牛は6時間未満の搾乳間隔となったため、乳中FFA値が搾乳頻度の影響によって高くなった可能性が考えられた。

トレハロースおよびブドウ糖の給与3週間後および給与をやめた3週間後の乳中FFA値は低下する傾向が見られた。これは搾乳間隔や1回あたりの搾乳量といった搾乳頻度の影響を受けない条件であることから、トレハロースやブドウ糖の給与により十分なエネルギー補給ができたと考えられ、給与をやめた後も乳中FFA値が低下し続けたものと思われる。

本試験では、選抜時の乳中FFA値と試験開始時の乳中FFA値に大きな差がみられた(表9)。この要因として、乳中FFA値は搾乳頻度だけでなく、暑熱やルーメンの状態、粗飼料の摂取状態にも影響を受けると考えられている²⁾³⁾ことから、採食量や血中NEFA値、乳中FFA値を中心に検討を行った。

表9 試験牛の選抜時および試験開始時の乳中FFA値

試験区分	牛番	乳中FFA値(mmol/L/100gFAT)	
		選抜時	試験開始時
試験区 (トレハ区)	3022	2.09	0.60
	1924	1.84	1.18
	1913	1.76	0.26
対照区 (ブドウ糖区)	3008	2.05	0.99
	1938	1.83	1.98
	3011	1.81	1.21

各試験区の採食量を図4に示した。RICへの馴致初日は、装置に慣れない牛もいたが、2日目以降は全頭がRICに慣れ、PMRの採食量が急激に上昇した。

その後は牛舎内の温度に関係なく、一定の採食量が確保されていた。

各試験区の平均血中NEFA値を図5、試験開始日の血中NEFA値を100%と仮定した場合の推移を図6に示した。

試験区および対照区ともに血中NEFA値は試験開始時に比べて低下する傾向が見られ、試験開始から栄養状態が改善していることが示唆された。

栄養状態が改善された要因として、トレハロ

ースやブドウ糖の給与によるエネルギー補給の他に、RICでの飼料給与の場合は1個体につき1飼槽のため、全頭が十分にPMRを採食することができたためと考えられた。

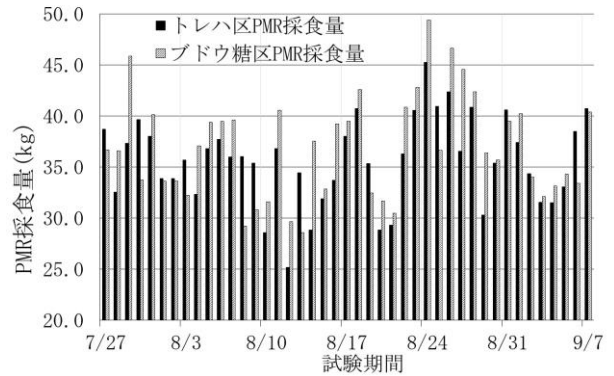


図4 各試験区の平均PMR採食量

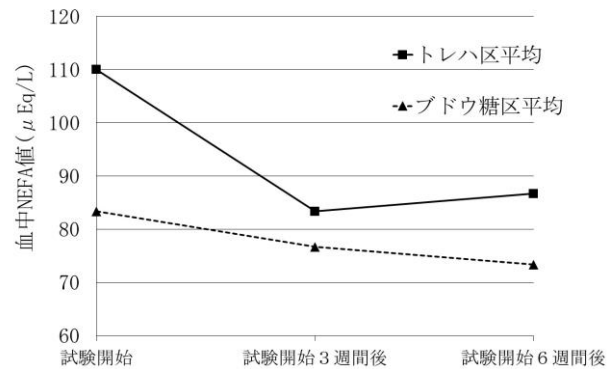


図5 各試験区の平均血中NEFA値

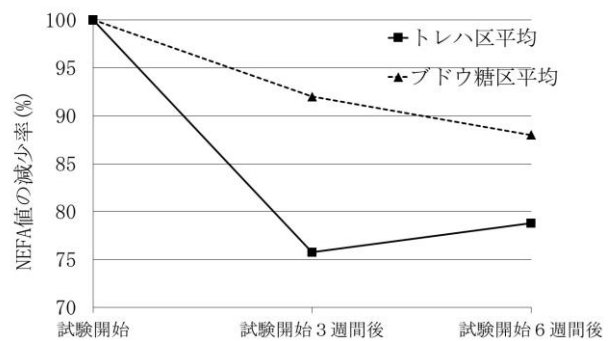


図6 試験開始日の血中NEFA値を100%とした場合の推移

また、試験開始日の乳中

FFA値を100%としたときの推移を図7に示した。

血中NEFA値が低下し、栄養状態が改善されていくと乳中FFA値も低下する傾向があるため、暑熱期における適切な暑熱対策の実施や、牛が自由に飼槽へアクセスできる環境を作ったりといった対策、あるいは採食量の減少に起因するエネルギー不足を糖類の給与で補うことで、乳中FFA値が上昇することを防ぎ、異常風味の発生を抑えることができると思われる。

しかしながら、ブドウ糖はルーメン内で急速に発酵を受け乳酸を生成しやすく、アシドーシスのリスクが高くなるためその使用には慎重さが求められる。その一方で、トレハロースは予備試験ではブドウ糖に比べて消化が遅く、乳酸を短時間で大量に生成しなかった。そのため、暑熱期にトレハロースを給与することでアシドーシスを避けながらエネルギー不足を解消できると考えられる。

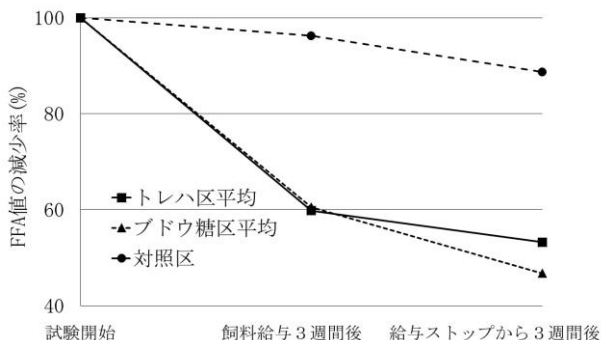


図7 試験開始日の乳中 FFA 値を 100%としたときの推移

試験3 トレハロース給与による乳中 FFA 抑制効果の検討

試験期間中の各個体とバルク乳の乳中 FFA 値の推移を図9、図10に示した。ブドウ糖やトレハロースを給与すると乳中 FFA 値は各個体、バルク乳ともに上昇する傾向が見られた。

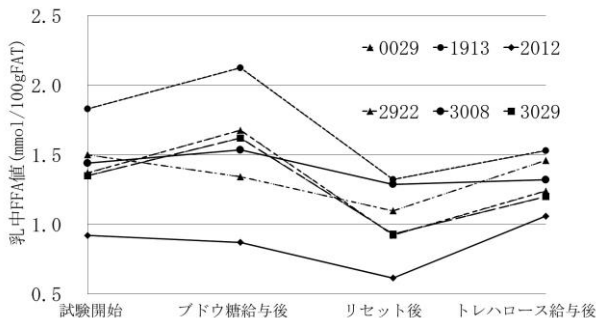


図9 試験期間中の個体別の乳中 FFA 値

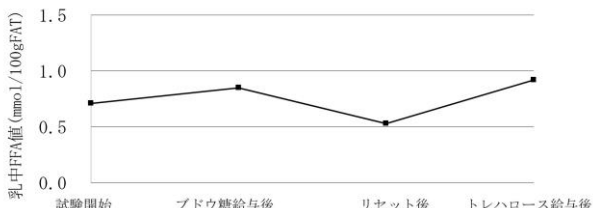


図10 試験期間中バルク乳の乳中 FFA 値

今回は試験2の傾向とは異なり、ブドウ糖やトレハロースを給与すると乳中 FFA 値は個体別でもバルク乳ともに増加する傾向が現れたが、その要

因として、1回あたりの搾乳量が乳中 FFA 値に影響していると考えられた。

株式会社林原で2022年の4月から12月までの牛群検定成績を分析した際、搾乳1回あたりの搾乳量が少なく乳中 FFA 値が高くなる傾向を示したため、1回あたりの搾乳量と乳中 FFA 値を比較した結果を図11に示した。

1回あたりの搾乳量が減少すると乳中 FFA 値は高くなり、搾乳量が増加すると乳中 FFA 値は低下する傾向があった。

乳中 FFA 値の推移が試験2と異なる傾向が見られた理由として、ブドウ糖やトレハロースの給与による影響ではなく、1回あたりの搾乳量が影響していると考えられた。

また、搾乳ロボットで搾乳している全頭の1回あたりの搾乳量と乳中 FFA 値の関係は図12に示した。

牛群の場合、試験開始からリセット終了日まで個体別と同じような動きをしていたが、リセット終了日からトレハロース給与終了日にかけて搾乳量も乳中 FFA 値も上昇し、個体別とは異なる動きとなった。

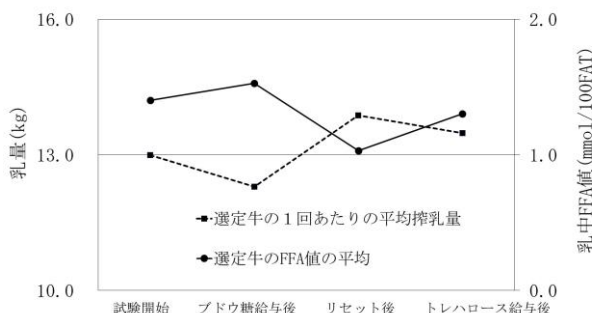


図11 個体別の搾乳量と乳中 FFA 値

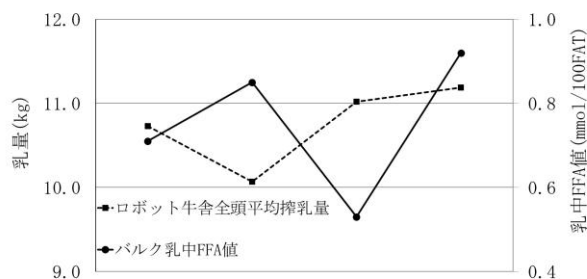


図12 牛群の平均搾乳量とバルク乳中 FFA 値

乳中 FFA 値が上がる要因として体脂肪動員が起きた場合が考えられたため、図13に牛群検定1週間前のバルク乳中の FFA 値と当研究所に近い津山市内の最低気温の関係を示した。最低気温が急激に下がった2022年12月9日からバルク乳中の FFA 値が上がり、その後も乳中 FFA 値は高く推移した。

当研究所(標高 437m)は津山市内よりも標高が高いため、実際は津山市内の最低気温より低くなる日が多く、急激な気温低下によって体脂肪動員が起き、乳中 FFA 値が上がったと推察された。

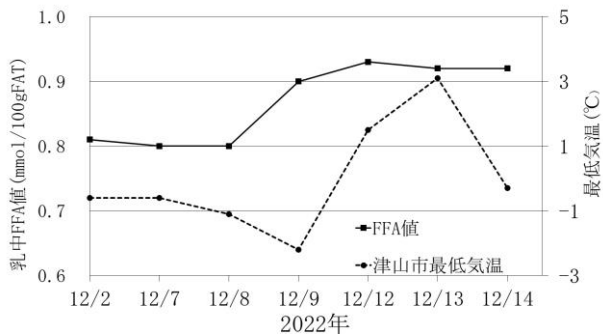


図 13 バルク乳中 FFA 値と最低気温の関係

気温が低い期間もトレハロースの給与は続けていたが、気温低下に 1 頭あたり 300g 程度のエネルギー補給では不十分であると思われた。

冬季も夏季と同様に糖類でのエネルギー補給や通常飼料の栄養分を増加させた冬季メニューに変更するといった工夫で乳中 FFA 値の上昇を抑え、脂肪分解臭の発生を抑制できると考えられた。

文 献

- 1) 森田茂・平松恵・岡楓子・三谷朋弘・熊野康隆・小坂英次郎・飯田直子(2019):自動搾乳システムを用いた酪農場での搾乳特性と乳中遊離脂肪酸濃度の関係.
- 2) 三谷朋弘(2019):乳牛の飼養管理と生乳の品質、風味について.
- 3) 小坂英次郎(2018):牛乳のおいしさの決め手は風味です。P6.
- 4) 三谷茂(2018):DairyJapan12月号, p16-19.