

乳成分測定機による個体乳遊離脂肪酸に係る測定値の検証について

1. 目的

生乳中の遊離脂肪酸（Free Fatty Acid、以下、FFA と記載する。）は、脂肪分解酵素（リパーゼ）の作用により乳脂肪から脂肪酸が遊離することで発生する。その作用は、生乳の過度の泡立てや過攪拌などの物理的な要因や、牛個体の栄養充足率の低下や疾病などの生理的な要因によっても促進される。FFA には酪酸など分子量が比較的小さい脂肪酸も含まれており、それらは揮発性が強いいためランシッドという異常風味の原因となる。

本会が所有する、乳成分測定機 MilkoScan FT+（以下、FT 法と記載する。）の FFA 検量線は、バルク乳試料を測定対象としており、個体乳試料の測定精度についてはメーカー保証がされていない。しかし、前述のように異常風味は、牛個体の生理的な要因によっても引き起こされることから、個体乳試料における FFA 測定精度について検証を行ったので報告する。

2. 検証方法

(1)個体乳試料における FT 法の FFA 測定精度の検証

ア. 実施日

2017 年 7 月 10 日

イ. 供試試料および分析法

検証当日、札幌事業所に搬入された個体乳試料（防腐剤無添加）66 検体を使用した。41℃の恒温水槽で 15 分間加温した後、FT 法で FFA を測定した。その後、FFA が概ね同レベルの 3 試料をそれぞれ正確に 15mL ずつ採取し、BDI 法（Bureau of Dairy Industries,アメリカ酪農産業省標準法）に供試する混合試料とした¹⁾。なお、採取した個体乳試料にはそれぞれ過酸化水素水を終末濃度で 0.02%となるよう添加し、リパーゼを不活性化させた。これを 22 試料それぞれ調製し、直ちに冷却保存した後 BDI 法で FFA を測定した。

なお FT 法の FFA は、BDI 法の試料調製に用いた 3 試料の単純平均値を採用した。

(2)個体乳およびバルク乳試料 FFA の比較

ア. 調査期間

2017 年 5 月~11 月

イ. 調査対象農家

根室管内の乳検加入農家 20 戸を対象とした。それらを搾乳形態別に、パイプライン、パーラー、ロボットに分け、その内訳を表 1 に示した。ただし、ロボットとパイプラインを併用した搾乳形態の 4 戸は、ロボットとして集計した。

表1 調査対象農家の搾乳形態

搾乳形態		農家戸数(戸)
1	パイプライン	6
2	パーラー	3
3	ロボット	11
計		20

ウ. 供試試料

調査対象農家の個体乳およびバルク乳試料を FT 法で測定し、両者の FFA を比較した。個体乳 FFA は、対象農家ごと検定日別に単純平均値で求めた。バルク乳 FFA は、対象の個体乳試料の採取後、2 日以内に採取した試料の測定値を用いた。なお、バルクタンクが複数ある農家については、FFA の加重平均値を用いた。

3. 結果および考察

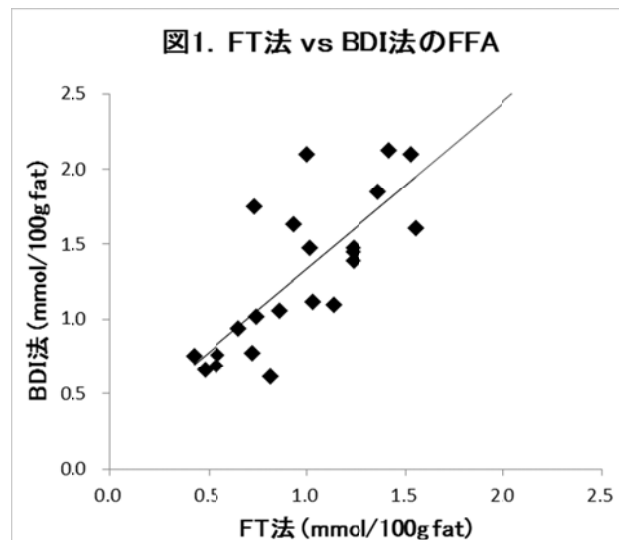
(1) 個体乳試料における FT 法の FFA 測定精度の検証

FT 法および BDI 法で分析した 22 検体の混合個体乳試料 FFA について、表 2 ならびに図 1 に示した。

平均値は、FT 法で 0.96mmol/100g fat、BDI 法で 1.29mmol/100g fat と BDI 法の方が高く、t 検定では 5% の危険率において有意差が認められた。回帰分析においては、相関係数は 0.763 と強い相関性が認められ、回帰式は、BDI 法 = FT 法 × 1.118 + 0.214 であった。標準誤差は 0.331mmol/100g fat であり、バルク乳試料の 0.093mmol/100g fat に比べ高い値を示した²⁾。メーカー公称精度の <0.2mmol/100g fat と比較しても高いと言える。これは、個体乳試料の取り扱いの影響が大きいと考えられる。本試験で用いたバルク乳試料は、搾乳後バルクタンク内で直ちに冷却保存された生乳から採取された。一方、個体乳試料は牛群検定時にミルクメーターを通して採取され、直ちに冷却することは困難で温度管理が適当であったとは言えない³⁾。ゆえに、FFA が増加し易い状況であったと考えられた。また、FT 法の FFA 検量線はバルク乳試料をもとに作成されているため、乳成分のばらつきがより大きい個体乳試料では標準誤差が大きくなったと考えられた。

表2 FT法およびBDI法におけるFFAの関係

	n	平均値	回帰分析				t-検定(5%危険率)		
			標準誤差	相関係数	y:BDI Slope	x:FT Intercept	t値	t境界値	P値
BDI法	22	1.29	0.331	0.763	1.118	0.214	-4.72	2.08	0.0001
FT法		0.96							



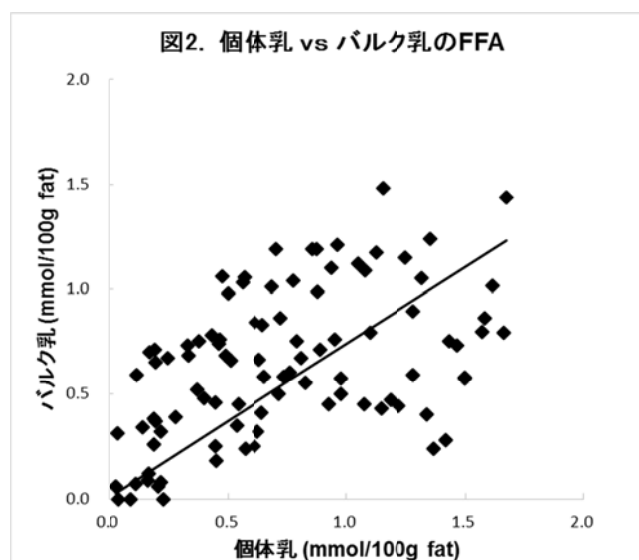
(2) 個体乳およびバルク乳試料 FFA の比較

ア. 個体乳およびバルク乳試料 FFA の比較

個体乳およびバルク乳試料の 94 セットについて、両者の FFA を表 3 ならびに図 2 に示した。平均値では、個体乳で 0.73mmol/100g fat、バルク乳で 0.64mmol/100g fat と個体乳の方が高く、t 検定では 5% の危険率において有意差が認められた。回帰分析においては、相関係数は 0.488 と中程度の相関性で、回帰式はバルク乳=個体乳×0.374 + 0.366 と、その傾きは 1.000 から乖離していた。標準誤差は 0.306mmol/100g fat であった。

表3. 個体乳およびバルク乳試料の FFA の関係

	n	平均値	回帰分析				t-検定 (5%危険率)		
			標準誤差	相関係数	y: バルク乳 Slope	x: 個体乳 Intercept	t値	t境界値	P値
バルク乳	94	mmol/100gfat 0.64	mmol/100gfat 0.306	0.488	0.374	0.366	-2.14	1.99	0.0348
個体乳		mmol/100gfat 0.73							



イ. 搾乳形態別における FFA の分布比較

搾乳形態別における個体乳およびバルク乳 FFA について、表 4 ならびに図 3 に示した。データ数は、パイプラインが 32 セット、パーラーは 12 セット、ロボットで 50 セットとした。個体乳の平均値は、パイプラインが 0.41mmol/100g fat、パーラーは 0.21mmol/100g fat、ロボットで 1.06mmol/100g fat と、ロボットが最も高く、次いでパイプライン、パーラーの順であった。一方、バルク乳の平均値は、パイプラインが 0.63mmol/100g fat、パーラーは 0.11mmol/100g fat、ロボットで 0.77mmol/100g fat と、個体乳と同様の順に高かった。両試料ともにロボットの平均値が高い結果となったのは、他の搾乳形態に比べ搾乳間隔が短くなる傾向にあることが原因と考えられた。搾乳間隔が短くなると、搾乳回数が増加する。Klei ら (1997) は、搾乳頻度の高い乳の方が短鎖脂肪酸が増加し、2 回搾乳の乳と比べて 3 回搾乳の方が脂肪分解が起こりやすいことを示唆している 4)。

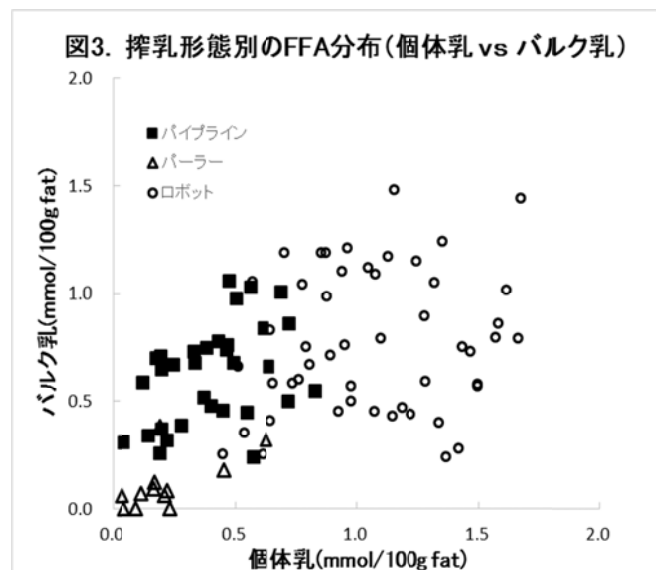
次に、個体乳およびバルク乳の平均値の差は、ロボットで - 0.29mmol/100g fat と最

も大きかった。これについても、個体乳試料採取後の取り扱いが影響していると考えられた。ロボットでは乳試料を自動サンプリング装置で約 50 から 100 本をまとめて採取する。そのため、パーラーやパイプラインのように検定員が直接試料を採取する方法に比べ、採取後容器を密閉したり冷却保管するまでの時間に幅がある。よって FFA が増加しやすい状況となり、個体乳とバルク乳の平均値が乖離したものと考えられた。一方、パイプラインではバルク乳と個体乳の平均値の差は 0.22 mmol/100g fat と、バルク乳が高い結果となった。これは、パイプラインでは牛乳配管が長いいため、生乳がバルクタンク内に運ばれる過程において、脂肪球がより多くの物理的なダメージを受けた影響と考えられた。

搾乳形態別における回帰分析では、相関係数はパーラーで 0.614、パイプラインで 0.406 といずれも中程度の相関性が認められた。一方、ロボットでは 0.154 とほとんど相関性が認められなかった。

表4. 搾乳形態別におけるFFAの関係

	n	個体乳	バルク乳	差		回帰分析			
		平均値	平均値	(バルク乳)-(個体乳)	標準偏差	標準誤差	相関係数	y:バルク乳 Slope	x:個体乳 Intercept
		mmol/100gfat	mmol/100gfat	mmol/100gfat	mmol/100gfat	mmol/100gfat			
パイプライン	32	0.41	0.63	0.22	0.235	0.212	0.406	0.462	0.440
パーラー	12	0.21	0.11	-0.10	0.136	0.102	0.614	0.444	0.019
ロボット	50	1.06	0.77	-0.29	0.432	0.328	0.154	0.151	0.613



4.まとめ

FT 法における個体乳 FFA は、BDI 法との関係において強い相関性が確認できた。しかし、バルク乳 FFA と比較するとその測定誤差は大きかった。牛個々の FFA では正確性を欠いているが、個体平均値では牛群 FFA を推定できそうである。また、FT 法で測定した個体乳およびバルク乳 FFA においても、誤差は大きい相関性を確認できた。よって、個体乳 FFA からバルク乳 FFA は概ね推測できそうである。しかし、搾乳形態がロボットの場合、

相関性が認められないため、同様に推測することは困難であると考えられた。

以上のことから、個体乳 FFA は特性を認識したうえで利用可能である。

(仁藤百合子、中川大輔、小板英次郎)

- 1) H.Michael Wehr, and Joseph F.Frank, *Standard methods for the examination of dairy products*, Washington, American Public Health Association, 2004, pp.510-512
- 2) 「生乳中の遊離脂肪酸に係る調査試験について」(『平成 17 年度 生乳検査事業成績書』社団法人 北海道酪農検定検査協会、2006 年、109-115 ページ)
- 3) *Bulletin of the international dairy federation N 265/1991*, Belgium, International dairy federation, 1991, pp26-32
- 4) Klei LR, Lynch JM, Barbano DM, Oltenacu PA, Lednor AJ, and Bandler DK, Influence of milking three times a day on milk quality, *Journal of dairy Science*. 80(1997), pp. 427-436