

<研究ノート>

油脂多給による生乳の自発性酸化臭の再現および

ビタミン E の給与効果の検討

高崎 緑\*<sup>1</sup>・西村祐枝・二部野紗世\*<sup>2</sup>

Reproduction of spontaneous oxidized flavor of milk by supplying of fats and effect of the feeding effect of vitamin E

Midori TAKASAKI, Sachie NISHIMURA and Sayo NIBUNO

要 約

リノール酸を含む油脂の多給により自発性酸化臭が誘発されるか、また、自発性酸化臭に対する VitE 剤の効果を検討した。

- 1 県内農家へのアンケート調査により 62%(98/158 戸)で食品製造粕類あるいは植物性油粕類もしくはその両方を利用しており、粕類には自発性酸化臭の発生要因となる PUFA が多く含まれるため、県内でも自発性酸化臭発生の危険性があると考えられた。
- 2 PUFA の中でも特に自発性酸化臭の誘因となるリノール酸 19.9%を含む油脂を加えた高油脂含有飼料によりリノール酸を 63.4±14.9g/日/頭を摂取させたところ、酸化臭が再現でき、また VitE の抗酸化作用により酸化臭を抑制させることができた。
- 3 VitE 資材を継続給与している牛が、リノール酸 19.9%を含む油脂を加えた高油脂含有飼料によりリノール酸を 93.1±16.4g/日/頭を摂取させても、血中 VitE が高値に維持され、乳中ヘキサナール濃度が上昇しなかったことから、VitE 資材の継続給与は酸化臭発生予防に効果的であると考えられた。
- 4 高濃度の VitE 給与により乳房炎発症のリスクが高まることから、給与する VitE の量には注意を要する。

キーワード：牛乳、自発性酸化臭、多価不飽和脂肪酸、ビタミン E、ヘキサナール

緒 言

風味は、生乳品質の重要な一要素であるが、近年、国内の学校給食用牛乳において異常風味が問題となったことを発端に注目が集まっている。

生乳の異常風味は、乳脂肪の酸化による「酸化臭」、乳脂肪の分解により発生する「脂肪分解臭」、環境の臭いが乳に移行して発生する「移行臭」、細菌やカビの増殖により発生する「微生物臭」などに分類される。

このうち酸化臭は、乳脂肪に含まれる脂肪酸やタンパク質が酸化する過程で発生する臭いのことで、「豆様」または「段ボール様」の臭いなどと表現される。酸化臭には、光や熱により促進される「誘導型酸化臭」のほかに、脂質の自動酸化に

よって生じる「自発性酸化臭」がある。乳脂肪に含まれる多価不飽和脂肪酸(PUFA)、特に脂肪球膜中のリノール酸は自動酸化されやすく、一旦乳中で酸化反応が始まると冷蔵状態でも酸化が進行し、酸化臭は増加する。そのため、農場からの出荷時には異常がなかったにもかかわらず、輸送中に酸化が進行し、乳業工場への受け入れ時に異常風味が発覚し問題となるなど、現場において最も厄介な異常風味の一つとして問題となっている。

自発性酸化臭は、PUFA を多く含む乳で発生し易いとされる<sup>1)</sup>。乳中の PUFA は、PUFA を多く含む飼料の多給や、反芻胃内での微生物による PUFA に対する水素添加能が低下した状況において増加するとされている<sup>2)</sup>。

近年、主要な穀類が高騰しており、安価な食品

製造副産物の多給により飼料費の低減を図る傾向がますます強くなっている。このような食品製造副産物は、リノール酸を多く含むことに加えて、粗飼料のように反芻を誘起する機能が乏しく反芻胃内での微生物による水素添加能を低下させる。

また、高泌乳牛対策や暑熱期の乳中脂肪率の低下防止対策として PUFA を含む油脂サプリの給与は必要不可欠な技術となってきた。このように、近年の酪農は、自発性酸化臭が発生し易い状況にあると考えられる。一方で、抗酸化物質は酸化の連鎖反応を途中でブロックすると言われており<sup>2)</sup>、自発性酸化臭の対策として抗酸化物質の一つであるビタミンE (VitE) 剤の給与が推奨されている。

自発性酸化臭の発生には、乳中のPUFAの量、抗酸化物質の量、金属イオンや酵素などのバランスが影響するとされているが<sup>3)</sup>、発生に影響するPUFAの給与量や、VitEの投与量が発生に影響するかについては明らかになっていない。

そこで、リノール酸を含む油脂の多給により自発性酸化臭が誘発されるかを、また、自発性酸化臭の抑制対策として VitE 剤の効果について検討を行った。

### 材料および方法

#### 1 農家調査

県内の酪農家 197 戸を対象に、植物性油粕類および食品製造副産物粕類等の利用について調査を実施した。

調査内容は、図1のとおりで、調査方法は、調査票を印刷し、酪農協同組合を通じて各戸に配布後、各農家が記入したものをチェックシート巡回時に回収してもらった。

① 飼料の給与形態についてお伺いします。  
分離給与      TMR給与  
その他 ( )

② 給与飼料中に油脂飼料は何か入っていますか？  
大豆粕      豆腐粕      綿実  
醤油粕      大豆油粕      加糖加熱処理大豆粕  
ふすま      大豆      コーングルテンフィード  
油粕      油脂バイパス (脂肪酸カルシウム・脂肪酸製剤)  
配合飼料 (商品名: )  
その他 ( )

③ 給与飼料中に食品副産物が含まれていますか？  
豆腐粕      茶殻      園床粕  
ビール粕      焼酎粕      コーンコブ  
酒粕      なたね粕      いものつる  
醤油粕      ビートパルプ      野菜ジュースくず  
コーヒー粕      みかんジュース粕      くず米  
大豆粕      大豆皮      野菜くず  
ぬか      もやしくず      ぶどう搾り粕  
ウイスキー粕      あんこ粕      その他 ( )  
配合飼料 (商品名: )

④ 飼料乾物中の粗飼料の割合はいくらですか？  
 ( ) %      わからない

⑤ 暑熱時の乳質対策として脂肪酸系添加物を給与していますか？  
はい      いいえ

⑥ 問4-⑤で「はい」と回答した方にお伺いします。  
 ・一頭あたりどれくらい給与していますか？  
 (商品名: )      g<らしい  
 (商品名: )      g<らしい  
 (商品名: )      g<らしい

⑦ ビタミン系の添加剤は給与していますか？  
はい      いいえ

⑧ 問4-⑦で「はい」と回答した方にお伺いします。  
 一頭あたりどれくらい給与していますか？  
 (商品名: )      g<らしい  
 (商品名: )      g<らしい  
 (商品名: )      g<らしい

※ご協力ありがとうございました。

図1 調査票(飼料給与項目のみ抜粋)

#### 2 脂質酸化臭の再現および抗酸化物質による脂質酸化臭の抑制効果確認試験

##### 1 試験期間

2021年3月～2021年5月

##### 2 供試牛

ホルスタイン初産牛(分娩後4～11日)4頭を用いた。

##### 3 給与飼料

当研究所で通常給与しているPMR飼料(乾物中の粗脂肪 (EE) 含量が4.5%)に、PMR飼料1kg(現物)あたりキャノーラ油(リノール酸19.9%含有)を12.1mL(リノール酸2.2g)を加え、EE含量を6%に調整した飼料を試験PMRとした(表1、表2)。濃厚飼料としてラブマシーン18(ノーサン印)を用いた。抗酸化物質として、VitE製剤メイロンG(明治アニマルヘルス(株))を用いた。

表1 PMRの組成

飼料・材料名	乾物混合量 (%DM)
圧ペンとうもろこし	20.3%
チモシー	4.5%
アルファルファ	8.8%
スーダン	9.0%
オーツ	6.5%
グルテンミール	2.7%
コーンサイレージ	11.5%
ビートパルプ	8.6%
綿実	6.4%
稲WCS	8.7%
コーンステーブリーカー	1.3%
糖蜜	1.9%
醤油カス	4.4%
ソイプラス	1.3%
ウイスキー酵母かす	2.3%
炭酸カルシウム	1.5%
第2リンカル	0.5%

表2 PMR飼料成分(乾物%)

成分\飼料名	農場で給与しているPMR	試験PMR
TDN	67.0	68.0
CP	15.1	15.0
EE	4.5	6.0
NDF	39.2	39.8
ADF	26.7	25.3
Lignin	4.9	5.1
NFC	35.6	33.5

#### 4 給与方法

試験期間中、試験PMRは決まった時間に50 kg/日/頭となるように3回に分けて飽食給与し、濃厚飼料は、7 kg/日/頭を2回に分けて給与した。給与は、3週間継続して行い(1期)、その後、3週間(2期)は、1期の飼料給与に加えて、抗酸化物質を2000IU/日/頭となるようにトップドレスで給与した。

#### 5 調査項目および調査方法

血液成分、乳成分、ルーメン液pHについて、試験開始時およびその後1週間ごとに、次の項目を測定した。

##### (1) 血液成分

T-CHO、BUN、GLU、ALB、GOT、GGT、Ca、Mg、IP

採血は、午後1時に実施し、血液を3,000ppmで15分間遠心分離して得られた血清を血液生化学分析装置(富士フィルム(株)富士ドライケム4000V)で測定した。

##### (2) 乳成分

乳蛋白、体細胞、乳脂肪、無脂固形、乳糖、MUN

乳汁は、朝の搾乳時に採材したものを当日、岡山県生乳検査センターに搬入し、検査を依頼した。

##### (3) ルーメン液pH

ルーメン液は、午後1時に採材し、ガーゼでろ過した後、ガラス電極法(株堀場アドバンスドテクノ pHメータF-74BW)で測定した。

##### (4) 採食量

試験開始時、試験PMR給与開始後1・2・3・4・5週目

##### (5) 乳量

試験期間中、1日1回

##### (6) 乳中ヘキサナール濃度

1) 採材後、直ちに-20℃で保存した乳汁(当日乳)

2) 4℃冷蔵で72時間保存した後に-20℃で冷凍保存した乳汁(3日目乳)

なお、測定は、乳中ヘキサナール濃度および乳中脂肪酸組成を(株)林原に依頼した。

### 3 抗酸化物質の継続給与による自発性酸化臭の抑制効果確認試験

#### 1 試験期間

2021年11月～2022年2月

#### 2 供試牛

2～3産のホルスタイン経産牛(分娩後90～302日)4頭。

#### 3 給与飼料

試験1と同様にPMR飼料1kg(現物)あたりキャノーラ油を12.1mL(リノール酸2.2g)を加え、EE含量を6%に調整した試験PMRと、濃厚飼料としてラブマシーン18を用いた。また、抗酸化物質として、飼料添加資材10%VitE(日本ニュートリション(株))を用いた。

#### 4 給与方法

試験PMR50kg/日と濃厚飼料7kg/日を混合したTMRを作成し、試験1と同様に、決まった時間に50kg/日/頭となるように3回に分けて飽食給与した。また、VitE飼料添加資材は、50g(7450IU)/日/頭となるように給与した。この給与を6週間継続して行い(1期)、その後、10週間(2期)は、VitE飼料添加資材の給与を停止し、試験PMRおよび濃厚飼料を給与した。

#### 5 調査項目および調査方法

血液成分、乳成分、採食量、乳中ヘキサナール濃度、血中VitE濃度について、次のとおり測定した。

##### (1) 血液成分

試験1と同様の成分を試験開始時、試験PMR給与開始後1・2・3・4・6・7・8・9・10・11・13・16週目に測定。

##### (2) 乳成分

試験1と同様の成分を試験開始時、試験PMR給与開始後1・2・3・4・6・7・8・9・10・11・13・15・16週目に測定。

##### (3) 採食量および乳量

試験期間中、1日1回

##### (4) 乳中ヘキサナール濃度

試験開始時、試験PMR給与開始後1・2・3・4・6・7・8・9・10・11週目に測定。

##### (5) 血中VitE濃度

試験開始時、試験PMR給与開始後1・2・3・4・6・7・8・10・13・14・15・16週目に測定。

なお、採材方法、採材時間および分析方法は、試験1と同様とした。

## 結果

### 1 農家調査

197戸中158戸(80.2%)から回答があり、食品製造粕類を図2、植物性油粕類や油脂サプリの利用戸数を図3に示した。

回答のあった農家のうち84戸(53.2%)が、牛の飼料として食品製造副産物粕類を利用していた。そのうち、ビートパルプは54戸、ビール粕は29戸、コーングルテンフィードは21戸、醤油粕は12戸、豆腐粕は9戸、ミカンジュース粕は7戸、酒粕は4戸、ウイスキー粕、コーヒー粕、コーンこ

ぶは各1戸が利用していた（複数回答）。

植物性油粕類や油脂サプリについては、回答のあった農家のうち87戸（55.0%）が利用していた。そのうち、大豆粕は51戸、大豆油粕は11戸、なたね粕は4戸、油粕は3戸、サプリは45戸が利用していると回答した（複数回答）。

一方、ビタミン系の添加剤は、回答のあった農家のうち70.9%（112戸）で利用されており、そのうち96.4%（108戸）の農家が利用しているビタミン剤にはVitEが含まれていた。

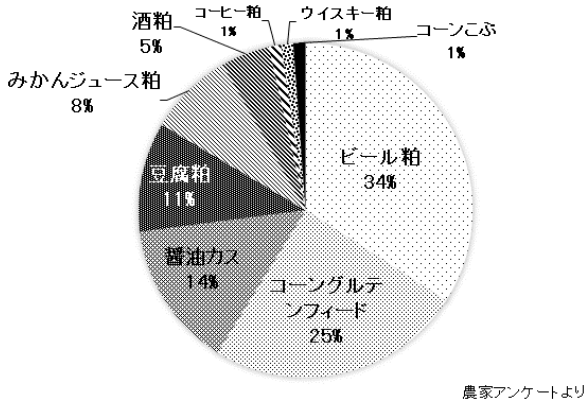


図2 食品製造粕類の利用内訳

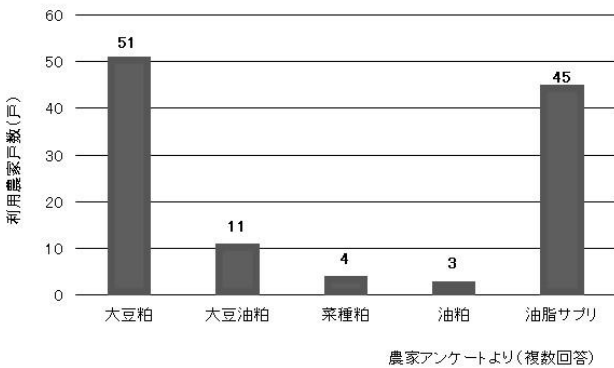


図3 植物性油粕類や油脂サプリの利用戸数

## 2 脂質酸化臭の再現および抗酸化物質による脂質酸化臭の抑制効果確認試験

試験開始時から4週目までの採食量の平均を図4に示した。

試験前は、平均  $29.4 \pm 4.79$ kg を採食していたが、油脂を添加した試験PMRの給与後、1～4週目全てで試験前の採食量を上回った。

なお、給与1～3週目（1期）のリノール酸の摂取量は  $63.4 \pm 14.9$ g/日/頭であった。

試験PMR給与前および試験PMR給与開始後3週目および6週目の乳量と乳成分値を表3に示した。

乳量は、試験PMR給与前は  $25.2 \pm 2.55$ kg/日であったが、試験PMR給与期間中1期、2期ともに試験前の乳量を上回った。一方、乳タンパク質含有量は試験PMR給与前に比べ1期、2期とも、

低下した ( $P < 0.05$ )。

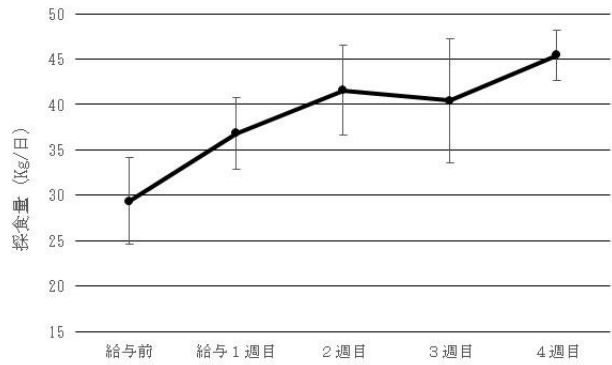


図4 平均採食量の推移

表3 試験1 試験期間中の乳量および乳成分

	給与前	給与3週目(1期)	給与6週目(2期)
日乳量 (kg)	25.25 ± 2.55 <sub>a</sub>	32.13 ± 2.55 <sub>b</sub>	34.08 ± 1.90 <sub>b</sub>
乳蛋白 (%)	3.63 ± 0.19 <sub>a</sub>	3.07 ± 0.13 <sub>b</sub>	3.05 ± 0.05 <sub>b</sub>
体細胞 (万)	4.75 ± 3.27	1.25 ± 0.83	1.75 ± 0.43
乳脂肪 (%)	4.46 ± 0.50	4.30 ± 0.58	4.09 ± 0.21
無脂固形 (%)	9.05 ± 0.22	8.77 ± 0.14	8.73 ± 0.09
乳糖 (%)	4.49 ± 0.06	4.76 ± 0.05	4.75 ± 0.06
MUN (mg/dL)	8.65 ± 1.35	8.45 ± 0.77	7.1 ± 1.59
氷点	-0.54	-0.54	-0.54

同一行の異符号間に有意差あり ( $P < 0.05$ )

次に乳中ヘキサナール濃度の平均値の推移を図5に示した。試験PMR給与前は  $76.3 \pm 49.0$   $\mu$ g/Lであったが、1期において増加する傾向を示し、試験PMR給与開始後3週目で  $136.1 \pm 73.8$   $\mu$ g/Lであったが、2期目では減少し、試験PMR給与開始後6週目には  $19.4 \pm 23.4$   $\mu$ g/Lであった ( $P < 0.05$ )。

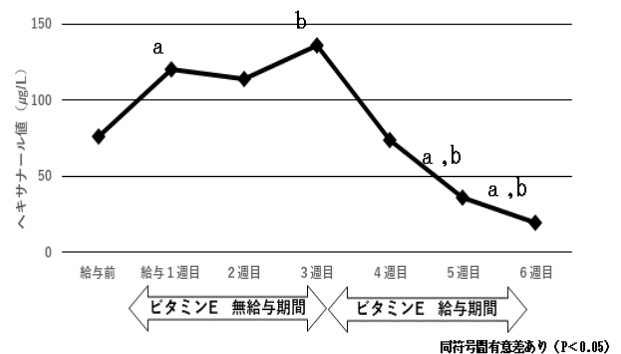
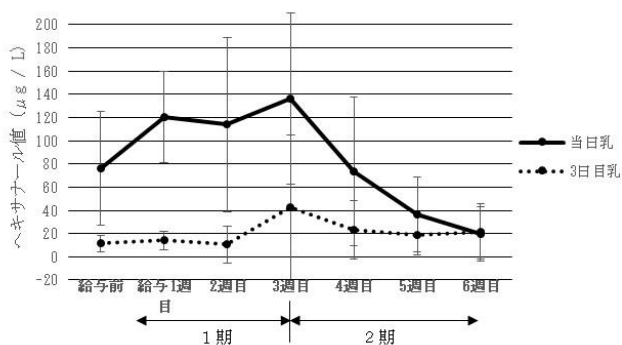


図5 乳中ヘキサナール濃度の平均値の推移

また、当日乳と3日目乳の乳中ヘキサナール濃度の推移を図6に示した。試験PMR給与前および試験PMR給与後5週目までの全ての検体で3日目乳が当日乳より低値となり、試験PMR給与後6週目（VitE給与開始後3週目）には、当日乳が  $19.4 \pm 23.4$   $\mu$ g/L、3日目乳が  $21.7 \pm 23.7$   $\mu$ g/Lと3日目乳がわずかに上回った。

図6 当日乳と3日目乳の乳中ヘキサナール濃度



血液成分については、表4に示した項目のみ上昇傾向を示し、その他の項目は正常値を示した。T-CHO および BUN は、給与前に比べ1期2期ともに高く、2期は1期に比べてさらに高値であった。

また、GOT 濃度の推移を図7に示したが、GOTは給与前に比べ1期は低下する傾向にあり、2期は1期に比べて高値であった。特に試験PMR 給与期間が延びるほど個体差が大きくなった。

表4 血液成分検査結果

	給与前	1期 3週目	2期 3週目
Tcho (mg/dℓ)	94.75±17.34a	190.25±12.07b	266.5±16.41c
BUN (mg/dℓ)	7.75±1.07a	9.3±0.95b	10.95±0.67c
GOT (AST) (IU/L)	88.5±8.56a	74.25±3.90a	104±16.08b

同一行の異符号間に有意差あり (P<0.05)

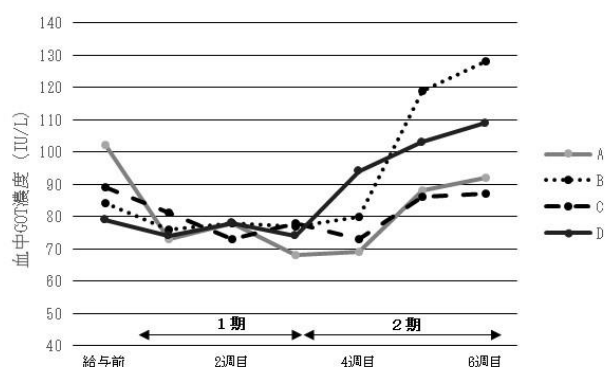


図7 個体別血中 GOT 濃度の推移

なお、ルーメン液pHは試験期間中大きな変化はなく、pH 5.8~7.0 で推移した。

### 3 抗酸化物質の継続給与による自発性酸化臭の抑制効果確認試験

個体別の採食量の推移を図8に示した。試験前の採食量は52.7±1.5 kg/日で、試験期間中、4頭中3頭は、採食量に有意な差は認められなかった。残りの1頭は、試験PMR 給与開始後1~5週

目にかけて採食量の低下を認めたが、試験PMR 給与開始後8週目 (VitE 給与停止後2週目) には、試験開始時と同程度の50.0 kg/日に回復し、以降は、試験開始時と同程度の採食量を維持した。

なお、試験期間中のリノール酸摂取量は93.1 ±16.4 g/日/頭であった。

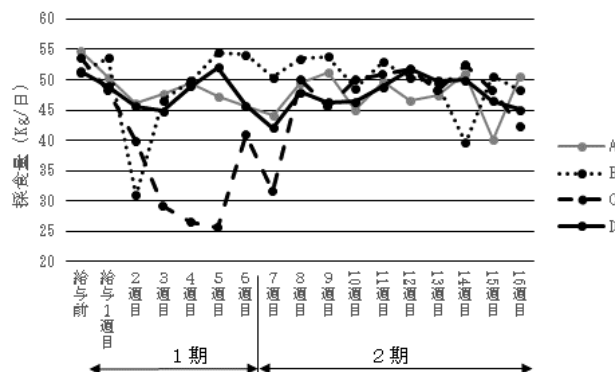


図8 個体別の採食量

また、試験PMR 給与前、給与開始後6週目および16週目 (VitE 給与停止後10週目) の乳量および乳成分を表5に示した。

乳量は、試験PMR 給与前が31.30±3.60 kg/日であったが、給与開始後6週目では37.13±6.32 kg/日となり、有意に増加した (P<0.05)。また、給与開始後16週目 (VitE 給与停止後10週目) は30.23±8.89 kg/日であった。

体細胞は、給与開始前と比べて、給与開始後6週目、16週目 (VitE 給与停止後10週目) では有意に高くなり、16週目では226.15±278.42万であった。また、4頭中3頭が30万を超えていた。

表5 試験期間中の乳量および乳成分

	給与前	給与6週目(1期)	給与16週目(2期)
日乳量 (kg)	31.30±3.60a	37.13±6.32b	30.23±8.89a
乳蛋白 (%)	3.17±0.28	3.22±0.23	3.59±0.19
体細胞 (万)	9.10±7.64a	47.85±48.35b	226.15±278.42c
乳脂肪 (%)	3.57±0.79	2.94±0.85	3.30±0.69
無脂固形 (%)	8.64±0.26	8.60±0.29	8.86±0.50
乳糖 (%)	4.59±0.20	4.54±0.44	4.38±0.41
MUN (mg/dL)	9.23±2.44	6.88±2.91	8.78±2.91
氷点	-0.52±0.01	-0.54±0.00	-0.54±0.01

同一行の異符号間に有意差あり (P<0.05)

個体別の血中 VitE 濃度の推移を図9に示した。1期では全頭10~20 μg/mL程度 (14.6 ± 3.23 μg/mL) を推移し、2期では7.5~15 μg/mL程度 (12.5±2.54 μg/mL) を推移した。

乳中ヘキサナール濃度は、1期2期を通して、0~3.0 μg/Lを推移し、試験終了の試験PMR 給与開始後16週目 (VitE 給与停止後10週目) まで大きな変化は認められなかった。なお、3日目乳

のヘキサナール濃度は、全ての検体で当日乳より低く、0~1.6 µg/L 程度の低値であった。

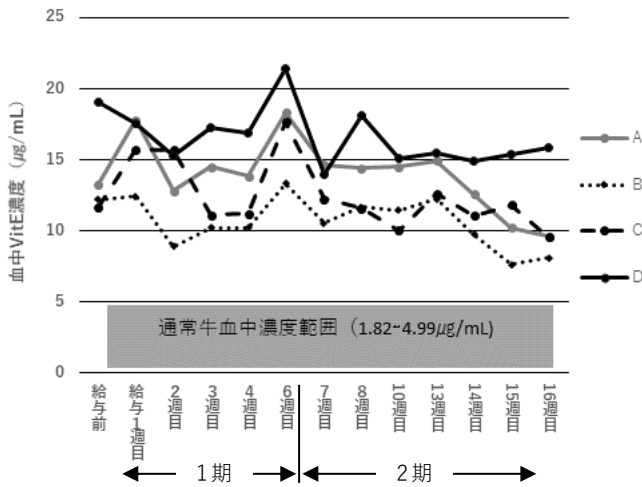


図9 個体別の血中 VitE 濃度の推移

血液成分について、個体別の血中 GOT 濃度の推移を図 10 に示した。血中 GOT 濃度は、全頭給与前が既に 100IU/L を超えていた（基準値 43~127 IU/L）。1期では4頭中1頭が 100~173IU/L と高値で推移し、残り3頭は試験 PMR 給与前開始後6週目に 86~92 IU/L と給与前の 104~110IU/L より低値を示した。2期では、1頭が1期と同様に 123~173 IU/L と高値で推移し、それに加え、もう1頭が試験 PMR 給与前開始後 11週目（VitE 給与前停止後 5週目）から上昇し、給与前開始後 16週目（VitE 給与前停止後 10週目）には 132 IU/L となり、基準値を超えた。

なお、その他の項目については、正常範囲内で推移した。

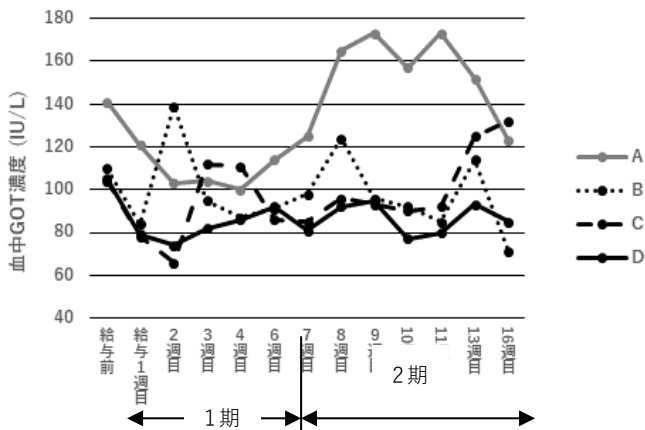


図10 個体別血中 GOT 濃度の推移

また、試験期間中に4頭中3頭が臨床性乳房炎を発病し、発病した牛の罹患日数は 66.3±11.8 日、試験期間の 58.1 %であった。

## 考 察

今回実施した農家調査では、回答のあった農家のうち 62%（98 戸）が食品製造粕類あるいは植物性油粕類またはその両方を利用し、油脂サブリは 28.5%（45 戸）の農家が利用していると回答したことから、県内でもこれら飼料が広く利用されていることが分かった。

粕類には醤油粕、豆腐粕等油脂を多く含むものもあり、これらを給与することで飼料中の油類の割合が高くなる。特に粕類には自発性酸化臭の発生要因となる PUFA が多く含まれており、これらの粕類を給与している農家が 62%に上ることから、県内でも自発性酸化臭が発生する危険性があると考えられた。一方、多くの農家で抗酸化物質である VitE を含むビタミン系の添加剤が利用されていた。ただし、今回の調査では添加剤に VitE が含まれているかいないかについてのみ回答を求めたため、その添加剤中の VitE 濃度は不明である。

次に、試験 1 では自発性酸化臭の原因と考えられるリノール酸を含む油脂を添加した飼料を給与し、酸化臭の指標となる乳中ヘキサナール濃度を測定した。試験 1 では、キャノーラ油を用いて乾物中の EE 含量を 6%に調整した PMR を給与したが、試験期間中の 6 週間を通じて採食量は低下しなかった。NRC 乳牛飼養標準<sup>4)</sup>(NRC2001)では、通常、粗飼料と穀類だけを使って飼料設計すると飼料中の乾物中の EE 含量は 3%程度で、6~7%を超えるべきではなく、油脂の添加により採食量が低下するとされているが、本試験ではこの影響は無視できる程度だったと考えられた。また、油脂飼料により飼料のエネルギー量を増やすことで、乳量が増加するといわれており、本試験では高油脂含有の試験 PMR の給与期間で乳量の上昇が認められたが、試験期間中の採食量も増加していたことや、分娩後日数が泌乳ピークに向かっていったことから、この乳量増加が油脂添加によるものかは明らかにならなかった。

一方、乳中のタンパク質は、試験開始前の 3.6% から 3.0%に低下した。脂肪の添加により第一胃内での蛋白質分解能が低下することや、微生物蛋白質が低下することが報告されているが<sup>5)</sup>、今回の試験ではルーメン pH に変化はなくルーメン環境の変化はなかったと考えられるため、今回の乳中のタンパク質含量の低下は、乳量の増加に伴って低下した可能性が考えられた。

乳中ヘキサナール濃度は、1期では試験 PMR 給与前後 1週目から上昇し始め、3週目まで上昇し 136±73 µg/L まで達した。次に、2期では試験 PMR に加えて抗酸化物質である VitE を 2,000 IU/日給与したところ、VitE 給与前開始 1週目から乳中ヘキサナ

ール濃度は低下し、3週目には  $19.3 \pm 23.3 \mu\text{g/L}$  となり給与前より低い値となった。一般的に自発性酸化臭が発生する(または感知される)乳中へキサナールの基準値は明らかになっていないが、乳中のへキサナール濃度が  $10 \sim 20 \mu\text{g/L}$  で酸化臭が顕在化しはじめ、 $20 \mu\text{g/L}$  以上になると明らかな酸化臭を呈する<sup>6)</sup>という報告がある。今回の試験では官能検査を実施していないため実際に酸化臭が発生していたかどうかは不明であるが、リノール酸 19.9%を含むキャノーラ油を用いた高油脂含有飼料給与により乳中へキサナール濃度が  $136 \mu\text{g/L}$  に上昇し、酸化臭を感知するといわれている値よりはるかに高くなった。また、抗酸化物質を  $2000 \text{IU/日/頭}$  添加により乳中へキサナール濃度が  $19.3 \mu\text{g/L}$  と  $20 \mu\text{g/L}$  以下に低下したことから、リノール酸 19.9%を含むキャノーラ油を用いて酸化臭を再現し、また VitE の抗酸化作用により酸化臭を抑制せることができたと考えられた。

次に、試験2では、試験1で給与した高価な VitE 製剤に代えて、安価に入手できる飼料添加資材 (VitE 資材) を  $7450 \text{IU/日/頭}$  給与し、影響を調査した。

Morteza ら<sup>7)</sup>は、乳牛の血中 VitE 濃度は、 $1.82 \sim 4.99 \mu\text{g/mL}$  のレンジであったと報告しているが、VitE 資材  $7450 \text{IU/日/頭}$  を継続給与している牛に、試験1と同様の試験 PMR を給与した結果、血中 VitE 濃度は1期中  $10 \sim 20 \mu\text{g/mL}$  程度の高値を維持した。VitE 資材給与停止した2期では VitE 資材給与停止後10週目でも  $9.5 \sim 15.8 \mu\text{g/mL}$  を示した。通常牛よりも血中 VitE 濃度が高く維持されたのは、VitE は脂溶性ビタミンであり、油脂飼料と同時に給与された場合吸収率があがるといわれている<sup>8)</sup>ことから、油脂を同時に給与したため効率的に吸収され、肝臓など臓器に蓄積されたためと考えられた。

また、乳中へキサナールは、試験の全期間で  $0 \sim 3.0 \mu\text{g/L}$  程度と低い値を推移した。Weiss ら<sup>8)</sup>は、乳中 VitE 濃度は血中 VitE 濃度と相関するとも報告しており、今回給与した VitE 資材により血中 VitE 濃度は試験開始時から高値に保たれていたことから、乳中 VitE 濃度も相関して高値に維持されたと推察された。高濃度に保たれた乳中の VitE の抗酸化作用により乳中へキサナール濃度が抑制されたことから、VitE 資材の継続給与は酸化臭発生予防に効果的であると考えられた。

一方、試験期間中に4頭中3頭で臨床性乳房炎を発症し、長期間症状が続いた。VitE を添加給与すると、乳腺内感染と臨床性乳房炎の発病率および持続時間が減少すると報告がある<sup>9)10)</sup>。一方、Bouwstra ら<sup>11)</sup>は、分娩前に  $3000 \text{IU/頭/日}$  を給与

された群は、 $135 \text{IU/頭/日}$  を給与された群よりも乳房炎の発生が多かったとの報告しており、過剰に投与した場合に悪影響が出るとも考えられる。NRC200 の泌乳牛の VitE 要求量はおおむね  $500 \text{IU/頭/日}$  で、乾乳牛でも  $1,000 \text{IU/頭/日}$  である。今回は、乾乳牛要求量の7倍以上の  $7450 \text{IU/頭/日}$  を給与しており、試験期間中の乳房炎発症に影響した可能性が考えられた。

試験1、試験2ともに、高油脂含有の試験 PMR の給与期間が長くなると血中 GOT 濃度が上昇する個体が見られたことから個体差はあるものの高油脂含有飼料により肝機能に影響を受ける可能性が示唆された。しかし、試験1では泌乳日数や採食量に伴って T-CHO が上昇しており、試験2でも T-CHO の低下が見られなかったことから、肝臓でのコレステロール生合成等の機能に影響はなかったと考えられた。

自発性酸化臭の発生には、乳中 PUFA 量と抗酸化物質 (VitE や  $\beta$ -カロテン) 量のバランス、さらには金属イオンである銅や酵素の存在量が関係していると考えられている<sup>3)</sup>。穀類や粕類はリノール酸を多く含むだけでなく、ルーメン内の pH を低下させ微生物の水素添加能が低下するため、PUFA のまま吸収される割合が多くなる。また VitE や  $\beta$ -カロテンの含有量も低いため、特に穀類や食品製造副産物 (粕類) の多給は、酸化臭のリスクを高めると考えられている<sup>2)</sup>。一方、油脂サプリは、PUFA がルーメン内で微生物の水素添加能を受けずに小腸に達し吸収されるため、これも乳中の PUFA の増加につながると考えられている。

飼料価格の高騰、改良による泌乳量の増加に伴うエネルギー要求量の増加、周産期や暑熱期のエネルギー不足等への対応として、粕類や油脂サプリ等の油脂飼料の利用は、今後さらに拡大していくことから、自発性酸化臭の発生のリスクはますます高まると考えられる。

自発性酸化臭の発生リスクを低減するには、乳中の PUFA を増加させる飼料メニューを改善し、乳中に移行する PUFA を減らす、乳中の抗酸化物質を多くするなど両者のバランスを保つことが重要である。対策として、抗酸化物質を多く含む青草の給与等が推奨されているが、県内で放牧や青草の給与が常時可能な農家は少ない。今回、このような状況下でも、安価な VitE 資材を継続給与することにより自発性酸化臭の発生リスクを低減できることが示唆された。一方で、高濃度の VitE 給与により乳房炎発症のリスクが示唆されたことから、給与する VitE の量には注意が必要である。

## 文 献

- 1) L. M. Smith, W. L. Dunkley, M. Ronning (1963) :  
Influence of linoleic acid content of milk lipids on oxidation of milk and milkfat, *Journal of Dairy Science* 46, 7-10
- 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, *乳業技術* Vol. 69, 1-11
- 3) J. Juhlin, W. F. Fikse, J. Pickova, A. Lunden (2012) : Association of DGATI genotype , fatty acid composition , and concentration of copper in milk with spontaneous oxidized flavor, *Journal of Dairy Science* 95 (8), 4610-4617
- 4) デーリージャパン社(2001) : NRC 乳牛飼養標準, 第7版, 30-33
- 5) 独立行政法人農業・食品産業技術総合研究機構 (2006) : 日本飼養標準乳牛, 77-78
- 6) 大森敏弘, 竹内幸弘, 加藤浩晶(2008) : 新鮮な生乳のおいしさをもとめて～生乳生産から殺菌技術まで～, *Milk Science* 57(3), 125-129
- 7) Morteza H. Ghaffari, K. Bernhoft, S. Etheve, I. Immig, M. Holker (2019) : Rapid field test for the quantification of vitamin E,  $\beta$ -carotene, and vitamin A in whole blood and plasma of dairy cattle, *Journal of Dairy Science* 102 (12), 11744-11750
- 8) W. P. Weiss, D. J. Wyatt (2003) : Effect of Dietary Fat and Vitamin E on  $\alpha$ -Tocopherol in Milk from Dairy Cows, 86 (11), 3582-3591
- 9) K. Larry Smith, J. H. Harrison, D. D. Hancock, D. A. Todhunter, H. R. Conrad (1984) : Effect of vitamin E and selenium supplementation on incidence of clinical mastitis and duration of clinical symptoms, *Journal of Dairy Science* 67 (6), 1293-1300
- 10) J. S. Hogan, W. P. Weiss, K. L. Smith (1993) : Role of vitamin E and selenium in host defense against mastitis, *Journal of Dairy Science* 76 (9), 2795-2803
- 11) R. J. Bouwstra, M. Nielen, J. A. Stegaman , P. Dobbelaar, J. R. Newblod, E. H. J. M. Jansen, T. van Werven(2010) : Vitamin E supplementation during the dry period in dairy cattle. Part I : Adverse effect on incidence of mastitis postpartum in a double-blind randomized field trial , *Journal of Dairy Science* 93 (12), 5684-5695