

## 牛肉の脂質酸化リスクに出荷月齢は影響するか？ —和牛肉の輸出力強化のための出荷月齢の早期化と牛肉の脂質酸化リスクの関係—

今成麻衣、森欣順、河内大介、細田謙次

農研機構九州沖縄農業研究センター暖地畜産研究領域

### 【要約】

今後の和牛肉の輸出展開で拡大が見込まれる小売り販売について、小売り販売時の「脂質酸化リスク」と和牛の「出荷月齢」の関係を解明するため、早期出荷（26 ヶ月齢）牛肉と慣行出荷（30 ヶ月齢）牛肉について貯蔵試験を行い、脂質過酸化度、酸化臭強度およびメトミオグロビン割合を指標として脂質酸化リスクを評価し、脂肪酸組成、ミオグロビン含量等の脂質酸化関連要因を調査した。両者の各貯蔵日における脂質過酸化度、酸化臭強度評点、メトミオグロビン割合および脂質酸化関連要因を比較したが、全ての項目で差は認められなかった。これらの結果から、今回比較した出荷月齢においては、牛肉の脂質酸化リスクに対する出荷月齢の影響はないと示唆された。

### 【背景と目的】

日本の農林水産物、食品の総輸出額は令和 3 年度で 1 兆円を突破し、その中でも牛肉の輸出量は 7879 トン、前年比の 62.6%増と急速に拡大している。コロナ渦で外食産業が落ち込んだにもかかわらず、牛肉輸出量が増加したのは、海外の家庭で消費される「小売り」の販路開拓が進んだことによるとみられている。この動向を受け、海外での小売り販売を見据えた商品開発を検討している業者も見受けられる。これらのことから、今後の和牛肉輸出においては、海外での「小売り」を想定した技術開発が重要な課題になると考えられる。

海外での和牛肉の小売りを考える場合、品質上いくつかの課題が挙げられるが、その中でも、著者らは「脂質酸化リスク」に着目した。それは、流通時の形状と包装から、外食向けよりも小売り向け商品で脂質酸化が進みやすく、品質が劣化しやすい、つまりは「脂質酸化リスク」が高いためである。牛肉の脂質酸化は、肉のカット断面で脂質と酸素が触れることで開始し、脂質酸化が進行すると、酸化臭が発生しニオイが劣化し、赤身部分の色調が褐色化する。脂質酸化の進行には、脂肪酸組成や抗酸化物質、酸化促進物質といった牛肉自体に含まれる要因と、形状、包装、温度、照明といった流通過程の要因が関わる。このうち、形状と包装が外食向けと小売り向けで異なるため、「脂質酸化リスク」に違いが生じる。形状としては、外食向けはカット断面積が比較的小さいブロック状であるのに対し、小売り向けは、家庭で調理がしやすいようにスライスやミンチ等にカットされており、断面積が大きい。

また、包装は、外食向けは真空包装が主であるのに対し、小売り向けでは空気を含む簡易包装で流通することが多い。この様に、小売り向けの牛肉は、断面積が大きい上に、酸素に触れる状態で流通するため、脂質酸化リスクが高い。従って、和牛肉を小売りする場合は、「脂質酸化リスクを如何にして低減するか」が流通中の品質管理上、極めて重要な課題となる。

この様に和牛肉の小売りを想定すると脂質酸化リスクに対する配慮が必要であるが、小売りされる和牛肉自体の脂質酸化リスクは何によって影響を受けるのだろうか。先述の通り、牛肉自体に含まれる脂質酸化に関連する要因は、脂肪酸組成や $\alpha$ -トコフェロール等の抗酸化物質、鉄や銅等の酸化促進物質があり、これらの量やバランスによって、牛肉自体の脂質酸化リスクが変化すると考えられる。これらの要因には、給与飼料が影響することは多くの報告で述べられているが、我々は新たに「出荷月齢」が影響する可能性を考えた。それは過去の知見から、出荷月齢によって牛肉の脂肪酸組成とミオグロビン含量が変化することが示されているからである。脂肪酸組成は、その構造に二重結合を含まない飽和脂肪酸よりも二重結合を含む不飽和脂肪酸ほど酸化反応が生じやすい。また、鉄を含むミオグロビンは脂質酸化を促進する物質である。三橋ら（1988）は、出荷月齢の増加に伴い、黒毛和種去勢牛の皮下脂肪や筋間脂肪でオレイン酸等の不飽和脂肪酸割合が増加し、融点が低下することを報告している。また、河野と長尾（2006）は、と畜月齢の増加に伴い、牛肉中のミオグロビン含量が増加し、肉の赤色が濃くなることを明らかにしている。これらの報告のように、脂肪酸組成は脂肪の口溶けなどの食味の観点から、ミオグロビンは赤身部分の赤色の濃淡の観点から出荷月齢の影響が検討されている。しかしながら、出荷月齢と両成分の関連について「脂質酸化リスク」の観点から調査された事例はなかった。

そして「出荷月齢」については、今後の和牛肉の輸出拡大を推進する上で早期化する可能性が考えられる。それは、輸出拡大に向けた和牛肉生産量の増加、つまりは和牛出荷頭数を増頭するためには、肥育期間短縮技術の導入が必要になると考えられるからである。現在、国内では和牛増産が求められているにもかかわらず、飼養戸数が減少している。この状況で、和牛を増産し、輸出用の和牛肉を供給するためには、生産効率を向上させ、一戸あたりの生産頭数を増加する必要がある。このため、枝肉重量や品質を確保した上での肥育期間短縮技術は有効な手段であり、この技術導入が進むと、出荷月齢は早期化していくと考えられる。

以上のことから、本調査研究では、今後の和牛肉の輸出展開において、肥育期間短縮技術によって生産される早期出荷牛肉が小売り形態で流通することを想定し、早期出荷牛肉の小売り販売時における脂質酸化リスクを明らかにすることを目的とした。検討では、出荷月齢の異なる牛肉について、まず、牛肉の小売り流通形態における脂質酸化リスクと出荷月齢の影響解明を行い、次に、出荷月齢が牛肉の脂質酸化に関わる要因に及ぼす影響を確認した。

## 【材料と方法】

### 1. 試料調製

市販濃厚飼料と稲わらを給与して肥育し、26 ヲ月齡（早期出荷区）および 30 ヲ月齡（慣行出荷区）にと畜した黒毛和種去勢牛（各 n=3）よりリブローズ部分肉を採取した。リブローズ部分肉はアルミ袋で真空包装し、と畜後 14 日目まで 2℃で熟成させた。このリブローズ部分肉からローズ芯を採取し、空気との接触のない内部部分よりミンチ試料を調製し、以下の分析に用いた。表 1 にはミンチ試料の概要として、供試牛の格付成績ならびミンチ試料の一般成分を示した。

表1 ミンチ試料の概要

	慣行出荷区	早期出荷区
出荷月齡	30.2 ± 0.06	25.6 ± 0.29
格付等級	A3×3頭	A3×3頭
BMS No.	4×2頭、5×1頭	4×2頭、5×1頭
水分(%)	51.8 ± 2.6	54.7 ± 0.2
粗脂肪(%)	30.6 ± 4.0	28.2 ± 0.3
粗タンパク質(%)	14.8 ± 1.0	15.4 ± 0.3

平均値±標準誤差

## 2. 牛肉の小売り流通形態における脂質酸化リスクと出荷月齡の關係解明

**貯蔵試験：**貯蔵試験は、断面積が大きく、最も脂質酸化リスクが高いミンチの形状で実施した。ミンチ試料 40g をピーカーに秤量し、微生物の影響を排除するために抗生物質のクロロテトラサイクリン塩酸塩を混和した（Mitsumoto ら、1991）。ピーカーに封をし、貯蔵温度 4℃で含気および遮光条件下で貯蔵した。貯蔵 0、3 および 7 日目に脂質酸化リスクを評価する指標である脂質過酸化度、酸化臭強度評点およびメトミオグロビン割合を測定した。

**脂質過酸化度：**Kikukawa ら（1992）の方法に従い、チオバルビツール酸反応性物質（TBARS 値）を測定した。ミンチ試料を約 1.0g 秤量し、ミンチ試料 30（w/v）%となるよう 1.15%塩化カリウム水溶液を加え、ホモジナイザーで破碎し、試料懸濁液を調製した。ねじ栓付試験管に、試料懸濁液 0.1mL、SDS 水溶液 0.2mL、酢酸緩衝液 1.5mL、BHT 酢酸溶液 50μL、TBA 水溶液 1.5mL、ミリ Q 水 0.7mL の順に加えて混和した。試験管を密封し、4℃で 60 分間保った後、沸騰水中で 60 分間加熱した。冷却後にミリ Q 水 1.0mL とブタノール・ピリジン混液 5.0mL を加えて混和し、3,000rpm で遠心分離し、上清について分光光度計で 532nm の吸光度（A）を測定した。ブランクは試料ホモジネートの代わりに 1.15%塩化カリウム水溶液として同様の操作を行い、吸光度（A<sub>0</sub>）を測定し、下記の計算式より試料 1g あたりから生成した赤色色素量（μmol）として TBARS 値を算出した。

$$\text{TBARS 値} (\mu\text{mol/g}) = ((A - A_0) / 156,000) \times (5.8 / 10^3) \times 10^6$$

**酸化臭強度評点：**牛肉の脂質酸化によって生じる酸化臭の強度は TBARS 値と相関が高く、TBARS 値から酸化臭の強さを推定することができる（今成と柴、2022）。すなわち、

Kikukawa ら (1992) の方法より算出した TBARS 値 (x) を下記の計算式に当てはめることにより、酸化臭強度評点 (y) が推定される。

$$y=47.0935x-0.4332$$

酸化臭強度評点は、様々な TBARS 値を示す牛肉を分析型パネル 6 名に提示し、酸化臭の強弱を 7 段階評価 (6; 非常に強い、5; 強い、4; やや強い、3; やや弱い、2; 弱い、1; 非常に弱い、0; 無し) した際の平均値を示す。この方法に従い、貯蔵 0、3 および 7 日目のミンチ試料について酸化臭強度を推定した。

**メトミオグロビン割合:** 肉色の褐変化の指標としてメトミオグロビン割合を測定した。ミンチ試料をマイクロプレート (24well、容量 3.4mL) のウェルが満量となるように採取した。分光測色計 (CM-2500d; コニカミノルタ、東京) を用いてミンチ表面における分光反射率を測定し、Stewart ら (1965) の方法によりメトミオグロビン割合を算出した。

### 3. 出荷月齢が牛肉の脂質酸化に関わる要因に及ぼす影響

**ミオグロビン含量:** Carlez ら (1995) の方法に従い、ミンチ試料のミオグロビン含量を測定した。ミンチ試料を約 2g 秤量し、リン酸二水素カリウム緩衝液 20mL を加え、ホモジナイザーで破碎した。これを氷上で 1 時間保った後、10,000×g で 30 分間遠心分離した。上清を濾過 (WatmanNo.1) し、リン酸二水素カリウム緩衝液で 25mL に定容したものを抽出液とした。分光光度計を用いて 525 (A<sup>525</sup>)、545 (A<sup>545</sup>)、565 (A<sup>565</sup>) および 572 (A<sup>572</sup>) nm の吸光度を測定し、下記の計算式より抽出液中のミオグロビン濃度を算出した。

$$\text{Total myoglobin (mmol/L)} = -0.166A^{572} + 0.086A^{565} + 0.088A^{545} + 0.099A^{525}$$

この濃度から、抽出に用いたミンチ試料重量とミオグロビン分子量を用いてミンチ試料 1g あたりのミオグロビン含量を算出した。

**脂肪酸組成:** ミンチ試料を凍結乾燥し、Lee ら (2012) の方法を参考に脂肪酸をメチルエステル化した。ねじ栓付き試験管に、凍結乾燥試料を約 30mg 秤量し、0.5M ナトリウムメトキシド溶液 2mL およびトリトリデカノイン溶液 0.5mL を加えて混和し、50°C で 15 分間保った。塩酸メタノール 2mL を加えて混和し、60°C で 1 時間保った。その後、炭酸カリウム水溶液 1mL を加えて中和し、ここにヘプタン 1mL を加えて混和し、1,500×g で 5 分間遠心分離し、上清を採取した。下層に再度ヘプタン 1mL を加えて同様の処理を行い、上清を採取した。2 回分の上清に無水硫酸ナトリウム 0.1g を添加して脱水し、1,500×g で 5 分間遠心分離し、得られた上清をガスクロマトグラフ (GC-2010plus、島津) で分析した。カラムは SP-2560 (100m×0.25mmID、0.25μm film) を使用し、昇温プログラムは米内と嶮野 (2019) の方法に従った。全ての試料で共通して検出されたピークの面積を積算した総面積に対し、各ピーク面積の割合を算出し、これを各脂肪酸の割合とした。

**α-トコフェロールおよびカルノシン含量:** 日本食品分析センター (福岡) に委託し、常法

で測定した。

#### 4. 統計解析

Student's t-testにより慣行出荷区と早期出荷区の差の検定を行った。

##### 【結果と考察】

##### 1. 牛肉の小売り流通形態における脂質酸化リスクと出荷月齢の関係

図1に貯蔵0、3および7日目における各区のTBARS値を示した。TBARS値は脂質酸化によって生じるマロンジアルデヒド等の物質を表す指標である。一般的に、食肉を酸素存在下で貯蔵すると、肉表面より脂質酸化が始まり、時間の経過に伴い脂質酸化が進行し、TBARS値が上昇する。本検討でも慣行出荷区および早期出荷区共に、貯蔵日数の経過に伴い、TBARS値

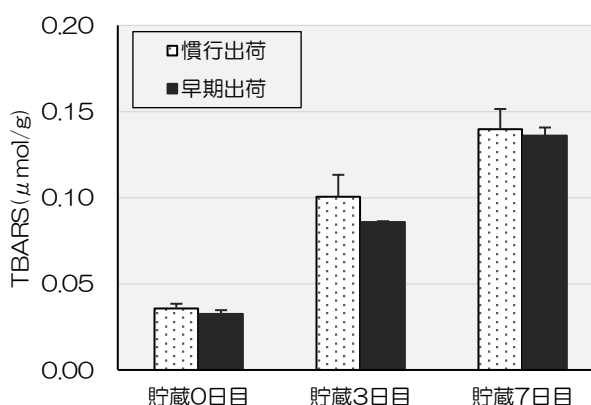


図1 各貯蔵日数におけるTBARS値

の上昇がみられた。各貯蔵日で両区を比較した場合、いずれの貯蔵日でも区間に統計的な差は認められなかった。これらの結果から、慣行出荷区と早期出荷区で脂質酸化の進行に差はないと示唆された。

図2に各区の酸化臭強度評点を示した。脂質酸化によって生じる酸化臭は、食肉の腐敗や劣化した品質として認識される。今成と柴(2022)の報告より、牛肉のTBARS値と分析型官能評価で評点化した酸化臭の強度は相関が高く、両者の関係を示す回帰式を用いることで、分析型官能評価を実施しなくても酸化臭強度評点を算出し、酸化臭の強弱の状態を推定することができる。そこで、本調査で測定されたTBARS値から両区の酸化臭強度評点を算出し、各貯蔵日数で比較したが、いずれの貯蔵日でも区間に統計的な差は認められなかった。酸化臭強度評点に基づく酸化臭の状態としては、両区とも貯蔵0日目では1点前後であり、貯蔵開始時点は酸化臭が非常に弱い状態であると推測された。しかし、貯蔵3日目では3~4点と酸化臭がやや弱

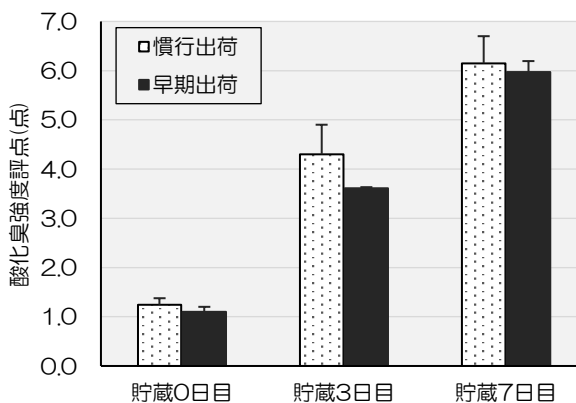


図2 各貯蔵日数における酸化臭強度評点

い～やや強い状態となり、さらに時間が経過した貯蔵 7 日目では、早期出荷区では 5.97、慣行出荷区では最高点である 6 に達しており、両区ともに酸化臭が非常に強い状態であると推定された。以上の結果から、慣行出荷区と早期出荷区では各貯蔵日で酸化臭の強度に差はないものの、両区共に貯蔵日数の進行に伴い、ニオイの劣化が進行していると示唆された。

図 3 に全ミオグロビンに占めるメトミオグロビン割合を示した。メトミオグロビン割合は、ミオグロビンの酸化による肉色の褐色化の程度を表す指標である。赤身部分の赤色色素であるミオグロビンには、いくつかの形態があり、形態によって色調が異なる。酸素に触れていない状態のデオキシミオグロビンは暗赤色であり、これが酸素と結合することで鮮赤色のオキシミオグロビンに変化し、さらにこれが酸化すると褐色であるメトミオグロビンに変化する。真空包装していない精肉の状態では、メトミオグロビン形成に伴う褐色化は色の劣化として認識され、全ミオグロビンに対するメトミオグロビンの割合が 30~40%になると消費者の購買意欲が低下すると報告されている (Greene ら、1971)。本調査で測定したメトミオグロビン割合は、慣行

出荷区、早期出荷区ともに、貯蔵日数の経過に伴い増加し、貯蔵 7 日目では 40%程度形成されていた。各貯蔵日における区間の比較については、TBARS 値ならびに酸化臭強度評点と同様に、いずれの貯蔵日においても統計的な差は認められなかった。以上の結果から、慣行出荷区と早期出荷区では、各貯蔵日でメトミオグロビン割合に違いはないものの、貯蔵日数の進行に伴い、褐色化が進行していると示唆された。

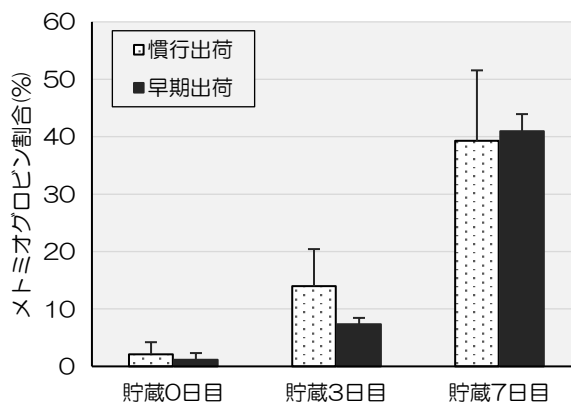


図3 各貯蔵日数におけるメトミオグロビン割合

## 2. 出荷月齢が牛肉の脂質酸化に関わる要因に及ぼす影響

各区の脂肪酸組成を表 2 に示した。全ての試料で共通して検出されたピークは 41 種類であり、うち 30 種類を同定し、11 種類は未同定ピークとした。両区共に最も割合が高いのはオレイン酸 (C18:1) であり、次いでパルミチン酸 (C16:0)、ステアリン酸 (C18:1)、パルミトレイン酸 (C16:1 cis9)、ミリスチン酸 (C14:0)、リノール酸 (C18:2)、シスバクセン酸 (C18:1 trans11) であり、これらで全体の 90%を占めていた。各脂肪酸について、区間での統計解析を行ったが、全ての脂肪酸について有意差は認められなかった。脂肪酸はその構造に二重結合を有するか否かによって酸化の生じやすさが異なる。脂質酸化は脂肪酸に含まれる水素が引き抜かれ、脂質ラジカルが発生することで開始し、その後は脂質ラジカルと酸素が反応することで自動的に酸化が進行していく。脂肪酸を構成する水素の

表2 脂肪酸組成

		慣行出荷区	早期出荷区
C10:0	カブリン酸	0.03 ± 0.00	0.03 ± 0.00
C12:0	ラウリン酸	0.05 ± 0.00	0.06 ± 0.01
C14:0	ミリスチン酸	2.41 ± 0.23	2.76 ± 0.32
isoC15:0	イソペンタデカン酸	0.07 ± 0.01	0.07 ± 0.01
antC15:0	アンチペンタデカン酸	0.12 ± 0.02	0.11 ± 0.01
C14:1	ミリストレイン酸	0.66 ± 0.21	0.77 ± 0.09
C15:0	ペンタデカン酸	0.29 ± 0.03	0.29 ± 0.02
ND		0.11 ± 0.02	0.12 ± 0.02
isoC16:0	イソバルミチン酸	0.18 ± 0.04	0.16 ± 0.02
C16:0	バルミチン酸	25.04 ± 1.26	26.16 ± 1.12
isoC17:0	イソヘプタデカン酸	0.23 ± 0.01	0.20 ± 0.00
ND		0.15 ± 0.01	0.13 ± 0.00
antC17:0	アンチヘプタデカン酸	0.60 ± 0.05	0.51 ± 0.02
C16:1cis9	バルミトレイン酸	3.29 ± 0.64	3.54 ± 0.37
ND		0.17 ± 0.05	0.19 ± 0.02
C17:0	ヘプタデカン酸	0.70 ± 0.04	0.71 ± 0.05
ND		0.08 ± 0.01	0.10 ± 0.01
isoC18:0	イソステアリン酸	0.18 ± 0.03	0.14 ± 0.02
ND	—	0.61 ± 0.10	0.68 ± 0.02
C18:0	ステアリン酸	11.36 ± 1.65	10.88 ± 0.51
ND		0.08 ± 0.01	0.08 ± 0.02
C18:1trans9	エライジン酸	0.17 ± 0.01	0.16 ± 0.01
C18:1trans10		0.26 ± 0.11	0.26 ± 0.06
C18:1trans11	バクセン酸	0.47 ± 0.03	0.52 ± 0.08
ND		0.09 ± 0.00	0.09 ± 0.01
C18:1cis9	オレイン酸	46.58 ± 1.47	45.00 ± 1.47
C18:1cis11	シスバクセン酸	2.18 ± 0.27	1.86 ± 0.17
C18:1cis12		0.11 ± 0.01	0.12 ± 0.01
C18:1cis13		0.38 ± 0.10	0.45 ± 0.01
ND		0.08 ± 0.01	0.09 ± 0.01
ND		0.08 ± 0.01	0.09 ± 0.01
ND		0.10 ± 0.01	0.09 ± 0.01
C18:2n6c	リノール酸	2.42 ± 0.28	2.52 ± 0.17
C20:0	アラキジン酸	0.06 ± 0.01	0.05 ± 0.00
ND		0.10 ± 0.00	0.09 ± 0.00
C20:1n9	シス-11-エイコセン酸	0.23 ± 0.04	0.22 ± 0.04
C18:3n3	α-リノレン酸	0.12 ± 0.01	0.13 ± 0.01
c9t11CLA	共役リノール酸	0.27 ± 0.02	0.29 ± 0.02
C20:3;n6	シス-8,11,14-エイコサトリエン酸	0.09 ± 0.02	0.08 ± 0.01
C20:4n6	アラキドン酸	0.13 ± 0.02	0.13 ± 0.02
C22:4n-6	ドコサテトラエン酸	0.04 ± 0.01	0.04 ± 0.00
SFA	飽和脂肪酸	41.32 ± 2.75	42.14 ± 1.51
MUFA	一価不飽和脂肪酸	54.04 ± 2.35	52.99 ± 1.54
PUFA	多価不飽和脂肪酸	3.07 ± 0.26	3.20 ± 0.18

平均値±標準誤差

うち、二重結合に隣接する水素は炭素との結合力が弱く、ラジカル連鎖反応の開始点になりやすい傾向がある。従って、構造に二重結合を含まない飽和脂肪酸よりも二重結合を有する不飽和脂肪酸の方が、さらには二重結合を2ヶ所以上有する多価不飽和脂肪酸の方が、脂質酸化が生じやすい。そこで、今回検出された脂肪酸を飽和脂肪酸、一価不飽和脂肪酸、多価不飽和脂肪酸に分類して比率を算出し、区間差を比較したが、これらについても区間で統計的な差は認められなかった。牛肉では、加齢に伴い脂肪組織の不飽和脂肪酸割合が高くなることが報告されている（三橋ら、1988）。このことから、本調査においても、慣行出荷区よりも早期出荷区の牛肉で飽和脂肪酸割合が高く、不飽和脂肪酸割合が低い可能性を考えたが、今回の調査結果では脂肪酸組成における出荷月齢の影響は認められなかった。

各区のミオグロビン、 $\alpha$ -トコフェロールおよびカルノシン含量を表3に示した。ミオグロビンは鉄を含むヘムタンパク質であり、鉄は脂質酸化を促進する。ミオグロビン含量は動物の加齢に伴って増加するため、経産牛等の月齢が高い牛の肉色が濃いのはミオグロビン含量の増加が原因である。しかしながら、本調査では慣行出荷区と早期出荷区では、両者のミオグロビン含量には差は認められず、出荷月齢に伴う変化は示されなかった。

$\alpha$ -トコフェロールは、脂溶性ビタミンであり、抗酸化性や生体膜安定作用があり、食肉の貯蔵中の脂質酸化や肉色の劣化、ドリップの抑制に寄与することが知られている。また、カルノシンは抗酸化作用をもつジペプチドであり、食肉製品に添加することで貯蔵中の色調劣化や脂質酸化を抑制することが知られている。結果は表3に示す通り、 $\alpha$ -トコフェロール、カルノシン共に区間で差は認められなかった。

表3 ミオグロビン、 $\alpha$ -トコフェロールおよびカルノシン含量

	慣行出荷区	早期出荷区
ミオグロビン(mg/g)	4.40 ± 0.54	5.16 ± 0.52
$\alpha$ -トコフェロール(mg/kg)	4.40 ± 0.54	5.16 ± 0.52
カルノシン(mg/g)	2.73 ± 0.41	2.77 ± 0.07

平均値±標準誤差

### 【総合考察】

本調査研究では、和牛肉の輸出展開で今後拡大が見込まれる和牛肉の小売り販売について、小売り形態で流通する際の「脂質酸化リスク」に着目した。さらに、輸出量の確保に向け、和牛の増産を図る上で有効な手段である肥育期間短縮技術を導入した場合に想定される「出荷月齢」の早期化が牛肉の脂質酸化リスクに影響を及ぼす可能性を考え、これを検討した。検討には、早期出荷区として平均26ヵ月齢、慣行出荷区として平均30ヵ月齢の黒毛和種のリブローズのミンチ試料の貯蔵試験を行い、各貯蔵日のTBARS値、酸化臭強度評点およびメトミオグロビン割合を指標として脂質酸化リスクを評価した。また、出荷月齢が影響する可能性が考えられた脂質酸化関連要因である脂肪酸組成とミオグロビン含量、



牛肉に含まれる代表的な抗酸化成分である $\alpha$ -トコフェロールとカルノシン含量を両区で比較した。その結果、今回比較した早期出荷区と慣行出荷区では、各貯蔵日の TBARS 値に差はなく、脂質酸化によって生じる酸化臭の強さや、肉色の褐色化の程度にも差がないことが明らかとなった。また、脂質酸化関連要因である脂肪酸組成、ミオグロビン、 $\alpha$ -トコフェロールおよびカルノシン含量にも差は認められなかった。これらの結果から、今回の検討においては、貯蔵中の牛肉の脂質酸化リスクに対する出荷月齢の影響はないと示唆された。

本調査研究で「脂質酸化リスク」と「出荷月齢」が関連する可能性に着目したのは、出荷月齢によって脂質酸化関連要因である脂肪酸組成とミオグロビン含量が変化するという過去の知見に基づいている。そして、出荷月齢が早期化することで、脂肪酸組成は酸化が生じにくい飽和脂肪酸の割合が高くなり、酸化促進物質であるミオグロビン含量は減少し、牛肉の脂質酸化リスクが低くなるという仮説を立てた。しかし、得られた結果は仮説と異なり、今回比較した早期出荷区と慣行出荷区では牛肉の脂質酸化リスクに対する出荷月齢の影響は確認されなかった。その原因としては、今回比較した月齢は、脂肪酸組成やミオグロビンの生理的変化が顕著に示されるほどの月齢差ではなかった可能性が考えられる。過去の知見では、不飽和脂肪酸の増加は 14 ヶ月齢から 28 ヶ月齢の範囲で、ミオグロビン含量の増加は 20 ヶ月齢から 35 ヶ月齢の範囲で示されていた。本調査では、輸出拡大のための増頭手段としての肥育期間短縮技術で想定される範囲の 26 ヶ月齢と 30 ヶ月齢の比較であり、この範囲においては、脂肪酸組成やミオグロビン含量の変化はなく、脂質酸化リスクに対する出荷月齢の影響はないと推察された。

本調査研究の主目的であった出荷月齢と牛肉の脂質酸化リスクの関連は確認できなかったものの、両区共に貯蔵中の脂質酸化が進行していたことには注意する必要がある。例えば、牛ミンチ肉の 4°C 保存における消費期限の目安（中央畜産会、2006）は 3 日間とされている。本調査の両区で示された貯蔵 3 日目の TBARS 値は、貯蔵 0 日目より増加しており、酸化臭強度評点からは酸化臭強度がやや弱い～やや強いと推測された。これらの結果は、貯蔵 3 日間で両区ともに脂質酸化が進行しており、消費期限内でも酸化臭が強く感じられ、品質が劣化していると判断される可能性があることを示している。

牛肉自体に存在する脂質酸化関連要因のうちコントロールが可能な要因のひとつに $\alpha$ -トコフェロールが挙げられる。三津本ら（1995）は、黒毛和種肥育牛にビタミン E 剤 2,500mg/日を 4 週間投与することで、牛肉中の $\alpha$ -トコフェロール含量を増加させ、貯蔵中の牛肉の脂質酸化とメトミオグロビン形成を抑制できることを示している。また、 $\alpha$ -トコフェロールを多く含むイネ発酵粗飼料の給与によっても冷蔵保存中の牛肉の脂質酸化や変色が抑制される（山田ら、2012）。これらの報告の様に、給与飼料によって牛肉自身の抗酸化性を高め、脂質酸化リスクを低減することは可能である。生産段階の他にも、加工段階、包装段階と多くの過程において、牛肉の脂質酸化リスクを低減するための技術が存在する。今後、和牛肉の輸出拡大を推進する上で重要である小売り販売については、和牛肉の脂

質酸化を防ぎ、品質を保った状態で海外の家庭に届くように生産から流通までの全ての過程において脂質酸化リスクへの配慮をしながら進めていく必要があると考えられる。

### 【引用文献】

- Carlez A, Veciana-Nogues T, Cheftel JC. 1995. Changes in colour and myoglobin of minced beef meat due to high pressure processing. *LWT-Food Science and Technology* 28(5), 528-538.
- 中央畜産会. 2006. 期限表示のための試験方法ガイドライン〔食肉（食肉加工品（反製品）を含む.）〕, (社) 中央畜産会, 東京, MD; [cited 15 July 2021]. Available from URL: [http://www.shokunikukaken.jp/pdf/others/5-1-7kigen\\_shokuniku.pdf](http://www.shokunikukaken.jp/pdf/others/5-1-7kigen_shokuniku.pdf)
- Greene BE, Hsin I, Zipser MW. 1971. Retardation of oxidative color changes in raw ground beef. *J.Food Sci.* 36, 940-942.
- 今成麻衣, 柴伸弥. 2022. 牛肉の脂質過酸化度による酸化臭強度の評価. *日畜会報* 93, 39-43.
- 河野幸雄, 長尾かおり. 2006. 牛枝肉の肉色はミオグロビン含量と pH 値により変動する. *近畿中国四国農業研究成果情報* 2005, 411-412
- Kikugawa K, Kojima T, Yamaki S, Kosugi H. 1992. Interpretation of the thiobarbituric acid reactivity of rat liver and brain homogenates in the presence of ferric ion and ethylenediamine tetra acetic acid. *Analytical Biochemistry* 202, 249-255.
- Lee MRF, Tweed JKS, Kim EJ, Scollan ND. 2012. Beef, chicken and lamb fatty acid analysis—A simplified direct bimethylation procedure using freeze-dried material. *Meat Sci* 92(4), 863-866.
- 三橋忠由, 三津本充, 山下良弘, 小沢忍. 1988. 黒毛和種去勢牛の発育にともなう蓄積脂肪の融点と脂肪酸組成の変化. *中国農業試験場研究報告* (2), 43-51
- Mitsumoto M, Faustman C, Cassens RG, Arnold RN, Schaefer EM, Scheller KK. 1991. Vitamin E and C improve pigment and lipid stability in ground beef. *Journal of Food Science* 56, 194-197.
- 三津本充, 小沢忍, 三橋忠由, 河野幸雄, 原田武典, 藤田浩三, 小出和之. 1995. 黒毛和種去勢牛への屠殺前 4 週間のビタミン E 投与による展示中の牛肉色と脂質の安定化. *日畜会報* 66, 962-968.
- Stewart MR, Zipser MW, Watts BW. 1965. The use of reflectance spectrophotometry for the assay of raw meat pigments. *J. Food Sci.*, 30:464-469.
- 山田知哉, 樋口幹人, 中西直人. 2012. 稲発酵粗飼料を用いた発酵 TMR 給与が黒毛和種去勢牛の肥育成績ならびに牛肉の抗酸化能に及ぼす影響. *肉用牛研究会報* 92, 4-9.

米内美晴, 嶺野英子. 2019. ルーメン液ならびに血漿中の共役リノール酸を含む多価不飽和脂肪酸分析手法と分析結果. 農研機構研究報告東北農業研究センター 121, 49-59.