

水産物における酸化脂質の TBA 測定法の検討と官能評価との関連性

上西由翁^{1*}

Relationship between TBA method and sensory evaluation of lipid oxidation in marine products

Yoshio Kaminishi^{1*}

Keywords: TBA, POV, COV, 脂質酸化, 臭い, 官能評価

Abstract

One of the factors related to quality deterioration of seafood is lipid oxidation. There are various analytical methods for measuring oxidized lipids, depending on the progress of oxidation. Their analysis are methods that involve extraction of lipids, such as peroxide value (POV) and carbonyl value (COV), and methods that directly utilize tissue homogenates, such as the TBA method. The convenient methods have been reported for the TBA method, and the detection results vary depending on the reaction conditions and other substances in addition to malonaldehyde. In this study, we analyzed TBA as a detection reagent in combination with acetic acid (weak acid reaction) or TCA-HCl (strong acid reaction), and examined the relationship with sensory evaluation.

When we measured POV, COV, and two TBA methods using minced sardine meat as a sample, we found a correlation between POV and COV in the TBA-TCA reaction system. By improving TBA-TCA reaction system, we determined TBARS (2-thiobarbituric acid reactive substances) values by refrigerating several types of sashimi. In comparison with the sensory evaluation that involves the smell of lipid oxidation, there is no correlation between the absolute value of TBARS values and the sensory evaluation among fish species, but there is a strong correlation with both changes in the same sample. In lipid oxidation evaluation using TBA, we believe that it can be an available method for evaluating lipid deterioration because a homogenate can be used.

水産物の品質劣化の要因のひとつに脂質の酸化がある。脂質の酸化は不飽和脂肪酸の自動酸化により起こるが、ラジカルの攻撃から最終産物として低分子化合物に至るまでの酸化の進行過程において、Fig. 1 に示すようにさまざまな分析法がある。脂質の自動酸化はラジカル連鎖反応により進行し、中間産物として毒性のあるヒドロペルオキシドを生成する。その後、ヒドロペルオキシドは、重合が起ると粘性が増加し、分解では酸化臭など異臭を発生する化合物へとなる。これらの脂質の酸化過程における測定法として、ヒドロペルオキシドは過酸化価 (POV) として、カルボニル化合物はカルボニル価 (COV) として定量されるが、COV は臭いなどの官能評価と関連性があるといわれている。さらに反応が進むと、マロンアルデヒドを代表に種々のアルデヒド類を蓄

積するが、マロンアルデヒド等の生成量は TBA (2-thiobarbituric acid) 反応で求められる。

酸化脂質の測定法には、POV や COV のように脂質の抽出をとまなう方法と TBA 法のように組織のホモジネートを直接、利用できる方法がある。TBA 法は脂質の抽出をとまわずに操作が簡便なことから広く利用されており、多くの測定法が報告されている。測定法は大きく分けて、酢酸を用いた弱酸系と TCA-HCl を用いた強酸系の反応液に大別される。脂質の酸化物の測定には弱酸の反応系が一般的に広く利用され、Ohkawa 法を一部改良した小杉法に準じた方法¹⁾を用いることが多い。強酸系では、柴田らの水産食品における分析法の報告^{2,3)}がある。また、検出感度を高くするために、DETBA (1,3-Diethyl-2-thiobarbituric acid) を試薬として、須田ら⁴⁾は蛍

¹ 鹿児島大学水産学部 (Faculty of Fisheries, Kagoshima University, 4-50-20 Shimoarata, Kagoshima 890-0056, Japan)

* Corresponding Author, Email: kaminisi@fish.kagoshima-u.ac.jp

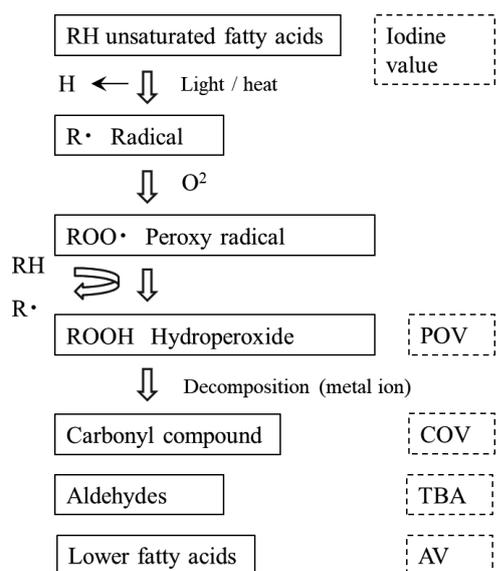


Fig.1. Lipid autoxidation process and its measurement method.

光検出での方法を報告している。

TBA 反応の原理は、当初、酸化の過程で蓄積されるマロンアルデヒドと特有に反応して、赤色色素を形成することによって考えられていた。その後、アルケナールやアルカジエナール類もマロンアルデヒドと同様に赤色色素を作ることが分かった。これらのアルデヒドは Table 1 に示すように、反応系の pH や Fe^{3+} , EDTA の影響を受ける¹⁾。小杉らの弱酸系緩衝液では pH 3.5 であり、柴田らの強酸系液では pH 1~2 である。 Fe^{3+} の存在でアルケナールやアルカジエナールのような物質の反応は促進されるが、小杉法と柴田法ではそれぞれに反応系で pH が異なるため、反応に影響することが予想される。

一方、脂質の酸化物は悪臭を発するため、官能評価との関わりに興味を持たれる。高村⁵⁾は、魚においては、従来、トリメチルアミンが魚臭の主成分であるとされてきたが、通常の魚肉では pH が 6.0~6.5 の弱酸性の領域にあり、必ずしも揮発性塩基窒素態の影響が大きいとは限らないと報告している。さらに、GC-質量分析計 (MS) で同定、GC-オルファクトメトリーで臭いかぎ分析を行った結果、魚類にはイコサペンタエン酸 (EPA) やド

コサヘキサエン酸 (DHA) などの酸化劣化に由来する多くのカルボニル化合物が存在し、これらの分解過程で生じた化合物のさまざまな臭いが相まって魚の酸敗臭となっているとしている。また、太田は⁶⁾、魚の生臭さについて総説で述べているが、その中で徳永らの報告として、臭い成分を揮発性塩基類、揮発性酸類、揮発性カルボニル類、揮発性含硫化合物に分類し、それらの各成分の主な母体と発生要因、臭いの特徴を述べている。

魚類の脂質酸化と臭いにおいて、イワシ油のような EPA や DHA を多く含む魚油あるいは魚油含有食品の劣化レベルについては、これまで油脂の POV 値を指針とすることが多かったが、アルデヒド含量にも着目する必要があることを木村ら⁷⁾は示唆した。さらに、油脂の風味劣化に特に強く影響を及ぼすアルデヒドの特定と、その効果的な生成抑制法の開発が必要とも述べている。

そこで本研究では、マロンアルデヒドやアルケナール、アルカジエナールのようなアルデヒドと反応する TBA 法について、弱酸系と強酸系の反応条件下で Fe^{3+} や EDTA が共存した際の TBA 値 (TBARS: 2-thiobarbituric acid reactive substances) を比較し、一般的な過酸化脂質の指標である POV と、また、臭いとの関連性が高いとされている COV との関連性を調べた。さらに、これらの結果から TBA 改良法を模索して、いくつかの水産食品の TBA 値と官能評価との関連性について検討した。

実験方法

試料魚と酸化試験

試料魚として、TBA 値と POV や COV との関連性の検討ではモデル実験としてマイワシを用いた。モデル実験では、マイワシの頭と内臓を除去し、皮を剥いだ肉のみをミンチ状にしたマイワシミンチ肉を用いた。マイワシミンチ肉を用いた実験は 2 回繰り返す。試料 A では直径で 4 cm、厚さ約 7 mm、重量約 7 g の円形に成形したものを、2 回目の試料 B では直径で 4 cm、厚さ約 3 mm の薄型の円形に成形して、中心部まで酸化が進むように冷蔵貯蔵した。試料 B では、水分量 67.1%、脂質量 12.2% である。試料 A は分析していない。

水産物の酸化過程で起こる TBA 値と官能評価との関連性に関する実験では、試料魚として養殖カンパチの刺身、カンパチ普通筋と血合肉のミンチ肉、サンマのミンチ肉、養殖ブリ普通筋のミンチ肉、マアジのミンチ肉、キビナゴを用いた。試験方法は、試料を吸水シートを敷いたトレイにセットして、含気包装の対照区と脂質の酸化抑制のために脱酸素剤 (エージレス SS-200) を封入した脱酸素区で冷蔵試験を行った。

Table 1. Effect of coexisting substances on TBA reaction¹⁾

Aldehydes	Condition			Red dye yield (%)
	Optimal pH	Fe^{3+}	EDTA	
Malonaldehyde	1~5	→	→	100
Alkenal	>5	↑	↓	~5
Arcadienal	3~4	↑	↓	~30

Symbols: → independent, ↑ enhancement,
↓ inhibition

POV と COV の測定

POV と COV を測定するために脂質を抽出した。脂質の抽出は Bligh and Dyer 法にしたがい行い、POV (meq) は日本油化学協会の公定法によるヨウ素滴定法⁸⁾、あるいは脂質量が少ないときにはヨードメトリー法による比色定量法で行った。COV (meq) は、POV の影響をなくすために藤本⁹⁾の方法によるトリニトロホスフィンにて過酸化物を還元した後に、熊沢ら⁸⁾の 2,4-ジニトロフェニルヒドラジンによる比色法で測定した。単位 (meq) は、油脂 1kg あたりの値である。

TBA 法

TBA の測定は、弱酸系の小杉法¹⁾と強酸系の柴田法^{2,3)}を用いた。また、官能評価との比較実験では、小スケールで実験可能な研究室で一部改良した方法 (Mini prep. で表記) で実験を進め、その時の反応液や加熱時間、操作等を Table 2 にまとめた。反応には pH の他に、臭いの原因となるアルデヒド類に Fe^{3+} や EDTA が影響することから、これらを共存させた状態で分析を行った。官能評価との比較実験では Table 2 の Mini prep. 法を用いて EDTA 共存下で行った。反応後はブタノールで赤色色素を抽出後、532 nm の吸光度を測定した。得られた吸光度は、あらかじめ、1,1,3,3-tetra-ethoxypropane (TEP) を用いて作成した標準曲線からマロンアルデヒド量に換算し、表記は TBARS (2-thio-barbituric acid reactive substances) とした。

臭いと風味からの総合的な官能評価

臭いは開封直後に嗅ぎ取られる「アロマ」で評価し、風味は食した後の鼻から抜ける「フレーバー」として評価した。官能評価は、臭いや風味を含めた総合評価を適用し、それぞれの基準は次のような 5 段階で評価を行っ

た。

- 臭い： 開封後の臭い
- 5 異臭が全くない
 - 4 わずかに臭いの変化を感じる
 - 3 においの変化を明らかに感じる
 - 2 不快な臭いである
 - 1 とても不快な臭いである
- 風味： 食した際の風味
- 5 風味の低下を感じない
 - 4 特に意識したときに風味の低下を感じる
 - 3 明らかに風味の低下がある (可食限界)
 - 2 いやな味を感じる (飲み込めない)
 - 1 口に入れられる状態ではない
- 総合：総合評価 (外観や食感なども評価する)
- 5 切りたての風味を保持している
 - 4 数時間冷蔵した刺身のようである
 - 3 刺身としての可食の限界である
 - 2 刺身では食べられない
 - 1 食品として不適切である

結果および考察

マイワシミンチ肉の貯蔵中における各種の反応系の TBA 値

TBA 法は組織のホモジネートを利用できるために簡便な方法でもあるが、サンプリング部位によっては脂質含量に差がある。できる限り均質な試料を調製するためにマイワシミンチ肉を調製して、強酸系および弱酸系の反応系実験に供した。

最初に、柴田法と小杉法の反応系における加熱反応時間を検討した。その結果、Fig. 2 のように 15 分以降は安定した値を保っていたために、本実験では加熱時間を 30 分とした。

Fe^{3+} や EDTA 試薬の影響については、Fig. 3 に示すが、 Fe^{3+} の共存下で TBA 値は大きく上昇した。2 価の Fe^{2+} を添加したが TBA 値は水と変わらない値であり、3 価の鉄が影響を及ぼすことが分かった。EDTA の共存下では水の場合と比べてわずかに減少した。 Fe^{3+} と EDTA による TBA 値の増減は両者の終濃度 0.1 mM でほぼ安定に達していたので、本実験の添加量は終濃度で 0.25 mM となるように加えた。次に、マイワシのミンチ肉 A と B を試料として POV と臭いなどに関連するといわれているカルボニル価 (COV) を測定した。その結果、Fig. 4 に示すように、4°C 貯蔵の 6 日目までは両者ともに順次上昇したが、試料 A では 6 日目にやや増加速度が遅くなった。脂質ヒドロペルオキシドは、マイワシのような高度不飽和

Table 2. Each TBA method including reaction mixture composition and operation

Reagent	Shibata (TCA-HCl)	Kosugi (Acetic acid)	Mini prep. (TBA-TCA)
1.0% KCl - Fish homogenate	2.0mL	0.2mL	0.4mL
20% EDTA	1.0mL		
8% SDS		0.2mL	0.2mL
0.8% BHT-acetic acid soln.		50 μ L	
20mM BHT - ethanol	few drops		0.2mL
DDW or 5mM Fe^{3+} or 5mM EDTA	1.0mL	0.5mL	0.2mL
0.8% TBA soln.	3.0mL	1.5mL	1.5mL
TCA-HCl (2.5%TCA-0.05N HCl)	17.0mL		
2 \times TCA-HCl (5.0%TCA-0.1N HCl)			1.5mL
20% Acetic acid buffer (pH 3.5)		1.5mL	
Water		1.0mL	
Total volume	23.0mL	5.0mL	4.0mL
pH of reaction mixture	< 1	3.5	1.5~1.9
Argon gas replacement Heating time (min)	95°C, 30min	95°C, 60min	95°C, 30min
Chloroform	5.0mL		
n-Butanol - pyridine mixture (15:1)		5mL	
n-Butano			4.0mL
Detection (absorbance)	535nm	532nm	532nm

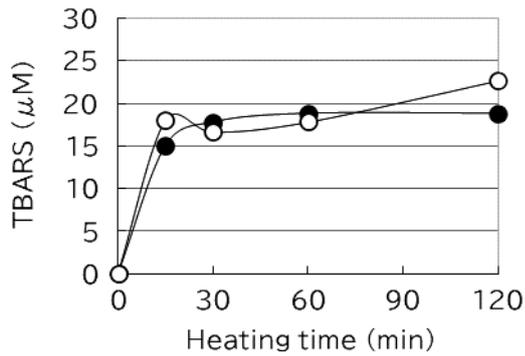


Fig. 2. Effect of heating time on two TBA reactions in sardine homogenate.

(○)Shibata method, (●)Kosugi method

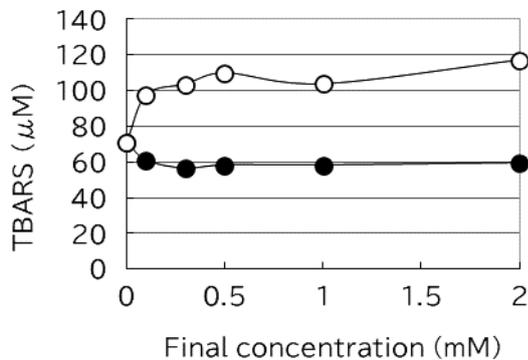


Fig. 3. Effect of reagents on TBA reactions in sardine homogenate.

(○)Fe³⁺, (●)EDTA

脂肪酸を多く含むものやリン脂質などでは安定しないとされる。藤本⁹⁾らの総説の中で、イワシ油と脱脂タンパク質から構成されたモデル実験においては、5°C貯蔵の初期においてPOVは上昇するものの、1週間で減少に転じたことを報告している。不飽和脂肪酸でもトリアシルグリセロールよりもリン脂質の酸化が顕著であり、組織別では皮部で酸化が極めて速かったことを述べている。本実験では、皮を剥いでいたために6日までPOVは順次上昇し、それと並行してCOVの上昇もみられた。試料AとBとの比較では、試料AではPOVよりもCOVが高い値を示した。脂質由来のカルボニル化合物はヒドロペルオキシドの分解を経て形成されるため、試料Aでは購入時点で既に脂質の酸化が進行しており、そのためにPOVよりCOVが高かったと思われる。

次に、柴田法と小杉法を用いて、EDTAやFe³⁺がTBA値に及ぼす影響を検討し、あわせてPOVとCOVとの関連性について比較した。試料Aでは、直径4cm、厚さ7mmの少し厚めの試料を作成した。水分量と脂質量は測定していない。試料Bについては、表面と中心部の酸化度が均一になるように直径4cm、厚さ3mmの形状とし、中心部まで酸化が行き届くような実験系を構築した(水

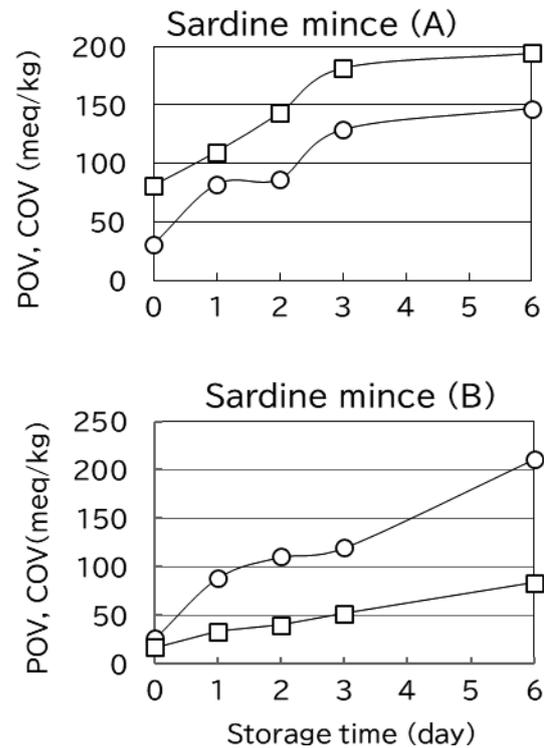


Fig. 4. Changes in POV and COV of sardine minced meat during storage at 4°C.

(○) POV, (□) COV

分含量 67.1%, 脂質重量 12.2%)。

試料Aに対するTBA値とPOVおよびCOVとの関連性をFig. 5に、試料Bのそれらの結果をFig. 6に示した。試料AとBにおいて柴田法と小杉法ともにTBA値は、Fe³⁺>水>EDTAの順で高い値を示し、Fe³⁺の共存下ではアルケナールやアルカジエナールの反応生成物により、高い値を示した。貯蔵中のTBA値の増加は、試料Aでは柴田法と小杉法ともに水とEDTAで1~2日目までは増加したが、その後はほぼ横ばい状態であった。試料Bでも貯蔵初期の段階では試料Aとほぼ同様であったが、小杉法の6日目で急減した。この理由として、TBA試薬は脂質酸化物の中間体であるマロンアルデヒドと主に反応するが、酸化の進行の過程でマロンアルデヒドが分解したためか、あるいは、試料Bではサンプルが少量であったことから脂質含量にばらつきが推測された。TBAの減少は、POVやCOVが極大に達した後に起こることが報告¹⁰⁾されており、本実験ではPOVとCOVともに上昇過程にあったことから、おそらく後者が原因と推察している。TBA値とPOV、COVとの関係については、Table 5, 6中の決定係数(R²)に示すが、試料Aでは柴田法と小杉法のいずれにおいても高い相関性を示した。試料Bでも柴田法においては、いずれの場合でも高い相関性を示した。一方、小杉法では6日目でTBA値が急減したため

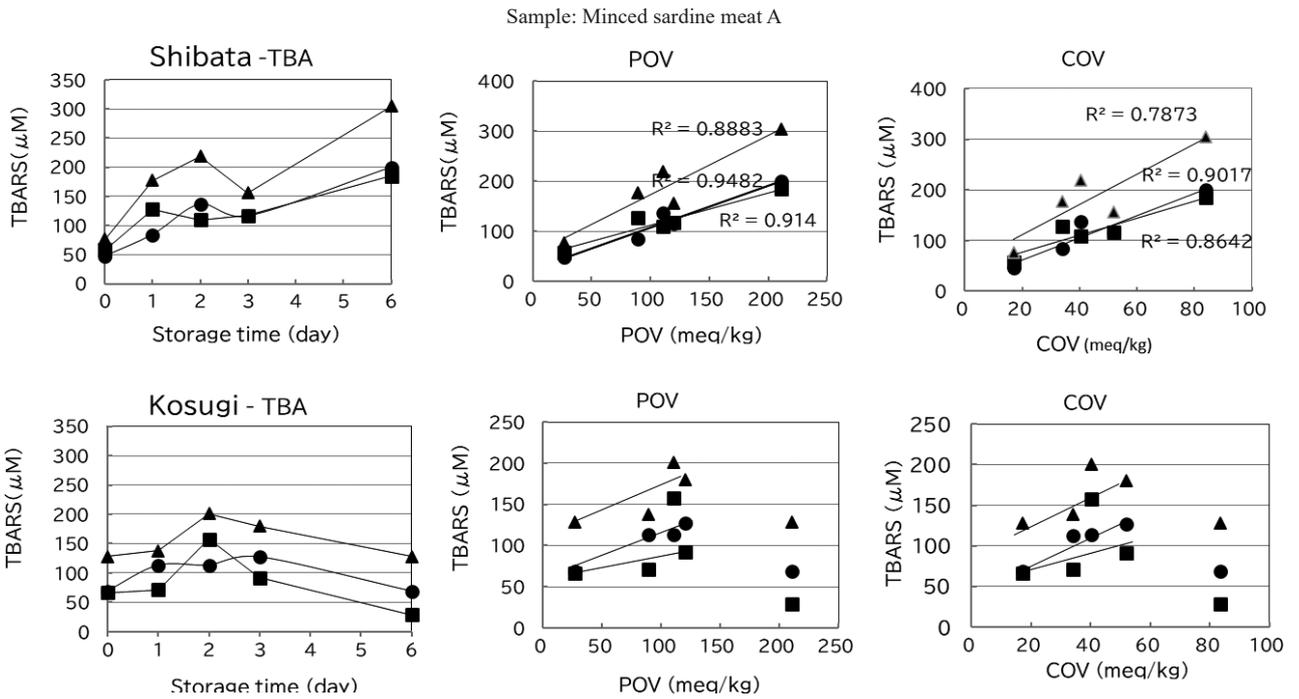


Fig. 5. Relationship between TBA value and POV or COV in minced sardine meat (A).
 The minced sardine meat was formed into a diameter of 4 cm x 7 mm and stored at 4°C.
 The upper and lower figures show POV, COV vs. TBA values determined by Shibata and Kosugi method.
 Abbreviation: water (●), EDTA (■), Fe³⁺ (▲)

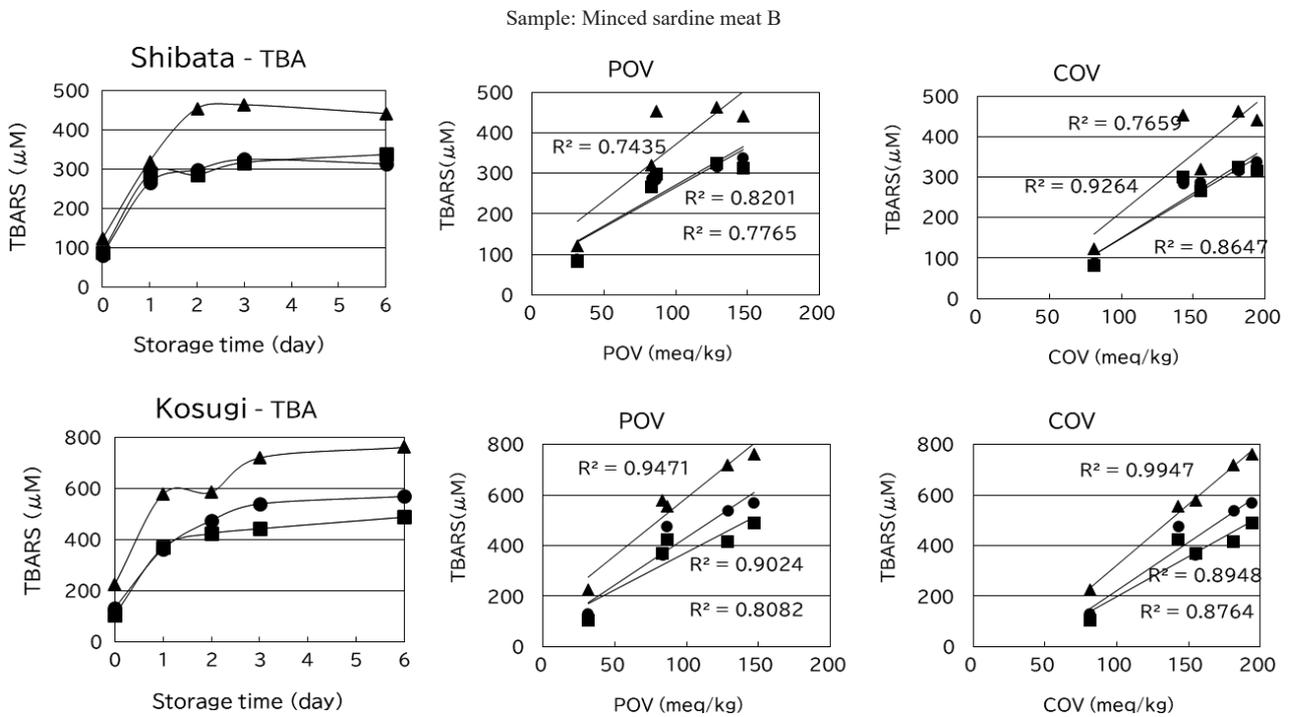


Fig. 6. Relationship between TBA value and POV or COV in minced sardine meat (B).
 The minced sardine meat was formed into a diameter of 4 cm x 3 mm and stored at 4°C.
 The upper and lower figures show POV, COV vs. TBA values determined by Shibata and Kosugi method.
 Abbreviation: water (●), EDTA (■), Fe³⁺ (▲)

に6日間を通して高い相関性は得られていないが、貯蔵初期においては関連性が認められた。

TBA法は、脂質の酸化過程で検出・測定される4段階、①ラジカル種の検出、②過酸化脂質（ヒドロペルオキシド）でのPOV、③アルデヒドを含むカルボニル化合物のCOV、④タンパク質との反応生成物の定量の中で、①を除く最も多くの反応に関連し、酸化脂質を総合的に測定する方法であるとされている。本実験においてもTBA値は貯蔵初期においてはPOVとCOVに関連性がみられ、測定法も簡便なことから水産食品の脂質劣化の分析に非常に有用であると考えている。

TBA法による水産物の品質評価と官能評価

マイワシミンチ肉を用いた2回の実験から、TBAによる水産物の脂質酸化の評価は、POVやCOVとの相関性が高い柴田法を採用することとした。水産物の分析にあたっては、その脂質成分に不飽和脂肪酸を多く含むこと

から、分析中の酸化促進への配慮が必要である。本実験では、反応混液中に抗酸化剤を加え、加熱工程では不活性ガスで酸化を防いでいる。しかし、 Fe^{3+} は酸化を促進する物質であることや、今回使用したEDTAは酸化防止効果があることから、EDTAを共存させて水産物の酸化評価を行うこととした。一方、柴田法の原法では、表2のように最終液量が23 mLになることや、小杉法に対して検出感度がやや弱い傾向にあるなどの欠点をもつ。これらを考慮して、Table 2に示すようにミニスケールの方法 (Mini prep.) に改良した。官能評価においては臭いと風味、それらを含めた総合評価を行ったが、Fig. 7のTBA値と対比しやすいように総合評価を記載した。

Mini prep.法を用いた各種生鮮魚の分析結果をFig. 7に示す。Fig. 7aのカンパチ刺身では、対照区において貯蔵1日目から風味の低下が起り、血合肉のメト化とともに2日目以降では脂質の酸化臭が強く感じられた。脱酸

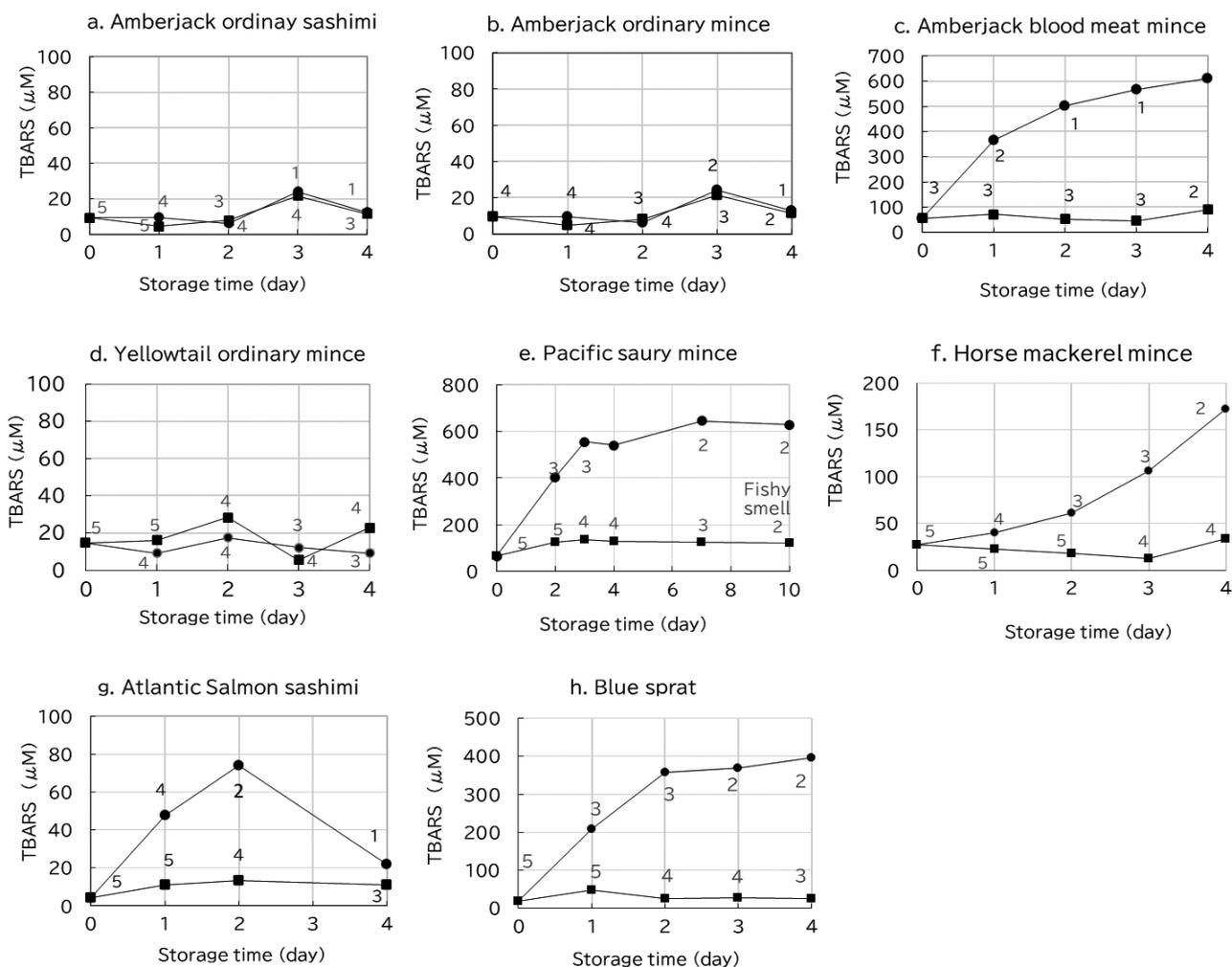


Fig. 7. Changes in TBA value and sensory evaluation of each raw fish stored at 4°C.

TBA was measured by Table 2 of the Mini prep method in the presence of EDTA.

(●); Control fraction

(■); No oxygen fraction, enclosed with deoxidizer (oxygen absorber).

素区では、脂質の酸化臭が4日間貯蔵後においても弱く、酸素を除去することで脂質の酸化を抑制できた。両者のTBA値をみると、対照区で強い酸化臭があったにもかかわらずTBA値は脱酸素区と変わらなかった。その原因を調べるために、刺身の普通肉と血合肉をそれぞれ分けて貯蔵した。その結果、Fig.7bのように普通肉では貯蔵中に強い酸化臭は感じられず、TBA値も脱酸素区と比べて大差はなかった。一方、血合肉では、Fig.7cの対照区のように1日貯蔵後の褐色化とともに急激な酸化臭を発生し、それにともない急激なTBA値の上昇が起こった。Fig.7aで強い酸化臭があったにもかかわらずTBA値が低かったのは、測定の際に普通肉を採取したことが原因と分かった。これは、Fig.6dのブリでも同様の結果であった。血合肉については酸化速度が速く、悪臭を発生することから試料の採取の際は注意が必要である。

Fig.7(e, f)のサンマとマアジでは、均質な試料を得るためにミンチ肉の状態で作成して比較した。対照区では貯蔵初期から急激なTBA値の増加がみられ、それとともに臭いに変化が現れた。脱酸素区では官能評価の劣化も少なく、TBA値も維持されていた。なお、サンマ4日目では対照区と脱酸素区ともに官能評価は低かったが、脱酸素区においては脂質の酸化臭というより魚臭がみられたためである。

Fig.7gのサーモンはノルウェーから空輸で冷蔵されたものを用いた。対照区では脱酸素区と比べて4日間貯蔵中で官能評価からみてかなり酸化臭がみられたものの、TBA値では2日間貯蔵をピークにその後4日目には低下し、官能評価が低くてもTBA値に反映されていなかった。養殖サーモンの赤色は飼料に添加されたカロチノイド系のアスタキサンチンなどで、脂質の酸化を抑制する。一方で、高度不飽和脂肪酸を多く含む場合や皮部では過酸化脂質を速やかに分解して蓄積量は減少⁹⁾し、それにより4日目に減少がみられたかもしれない。今回の目視では、サーモンの皮下にある血合肉がピーク時には褐色・メト化しており、カンパチやブリと同様に悪臭の原因となったことが推察された。

キビナゴは、冷蔵保存中に速やかに鮮度が低下することが経験的に知られている。官能的には揮発性酸のような不快臭を感じることから脂質の酸化が鮮度低下の一因として推定される。TBA値を測定すると、Fig.7hのように冷蔵中にマアジよりも脂質過酸化が速やかに進行した。キビナゴの脂質の酸化については、そのメカニズムが瀬戸ら¹¹⁾によって詳細に研究された。キビナゴでは血合肉だけではなく皮下をはじめその他の組織でも脂質の過酸化が認められ、それが脂質の自動酸化によらない酵

素による脂質過酸化活性が要因であることを推察している。キビナゴは小型魚であり、皮下に強い過酸化活性があり、過酸化物が蓄積されれば小型魚であるが故にその割合は他の魚種よりも高くなり、分析値も高い値を示す。また、官能的には1日貯蔵後のTBA値が200近くに達したにもかかわらず、それよりも低い値のマアジやサーモンを遙かに超える酸化臭は感じられなかった。

以上より、TBA値と官能評価の結果を次のようにまとめた。

(1) TBAによる脂質の分析では、試料魚の貯蔵初期においてPOVやCOVと相関性があり、脂質の抽出をともなわずに脂質の酸化度を評価できた。

(2) TBA値の魚種間の比較では、カンパチ・ブリの血合肉やキビナゴでは、臭気の劣化が進むにつれて高い値を示したが、サーモンやマアジでは臭気が劣化したにもかかわらずTBA値は比較的低い値にとどまった。

(3) これは、魚肉ホモジネートに含まれる脂質含量の差やペルオキシダーゼなどの酵素由来であると推定され、魚種の間でTBA値の数値が絶対的な酸化臭を表してはいなかった。

(4) しかし、同一試料内であればTBA値の上昇は官能的な臭気の劣化と関連しており、脂質の酸化指標となり得ると考えられた。

謝 辞

本研究は、研究室に所属していた浜村友子氏、池田敬士郎氏、村山佳寛氏をはじめ、研究室の学生の協力によって行われたものであり、心から感謝申し上げます。

引用文献

- 1) 菊川清見 (1995). チオバルビツール酸反応と脂質過酸化度の測定 (五十嵐脩・島崎弘幸編著: 過酸化脂質・フリーラジカル実験法). 学会出版センター, pp.144-153.
- 2) 柴田宣和・衣巻豊輔 (1979). 水産食品油脂のTBA測定法の検討-I 水蒸気蒸留法. *Bulletin of the Japanese Society of Scientific Fisheries*, 45(4), 499-503. https://www.jstage.jst.go.jp/article/suisan1932/45/4/45_4_499/_pdf/-char/ja
- 3) 柴田宣和・衣巻豊輔 (1979). 水産食品油脂のTBA測定法の検討-II 単層法. *Bulletin of the Japanese Society of Scientific Fisheries*, 45(4) 505-509. https://www.jstage.jst.go.jp/article/suisan1932/45/4/45_4_505/_pdf/-char/ja
- 4) I. Suda, S. Furuta and Y. NishibaSuda (1994).

Fluorometric Determination of a 1,3-Diethyl-2-thiobarbituric Acid–Malondialdehyde Adduct as an Index of Lipid Peroxidation in Plant Materials. *Biosci. Biotech. Biochem.*, 58, 14–17.

<https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1271/bbb.58.14>

- 5) 高村仁知 (2007). 食品中の脂質の酸化生成物による風味変化. *オレオサイエンス*, 7 (6) 231.
https://www.jstage.jst.go.jp/article/oleoscience/7/6/7_231/_pdf-char/ja
- 6) 太田静行 (1980). 魚の生臭さとその抑臭. *油化学*, 29 (7) 469.
https://www.jstage.jst.go.jp/article/jos1956/29/7/29_7_469/_pdf-char/en
- 7) 木村友紀・宮下和夫 (2003). イワシ油の酸化により生成する過酸化物質とアルデヒド含量の関係. *北海道大学水産科学研究報*, 54(3), 53–57.
[https://eprints.lib.hokudai.ac.jp/dspace/bitstream/2115/21983/1/54\(3\)_P53-57.pdf](https://eprints.lib.hokudai.ac.jp/dspace/bitstream/2115/21983/1/54(3)_P53-57.pdf)
- 8) 宮下和夫 (1995). 油脂の劣化測定法 (五十嵐脩・島崎弘幸編著: 過酸化脂質・フリーラジカル実験法). 学会出版センター, pp.15–29.
- 9) 藤本健四郎 (1997). 油脂および油脂食品の酸化的劣化とその評価法に関する研究. *日本油化学会誌*, 46 (3) 249–259.
https://www.jstage.jst.go.jp/article/jos1996/46/3/46_3_249/_pdf-char/ja
- 10) J.-H. Lee, K. Fujimoto, T. Kaneda (1983). Peroxide-decomposing Activities of Antarctic Krill Lipids and Certain Other Oils. *Agric. Biol. Chem.*, 47 (9), 2001–2007.
<https://doi.org/10.1271/bbb1961.47.2001>
- 11) 瀬戸美江・遠藤泰志・藤本健四郎 (2002). キビナゴの組織に存在する脂質過酸化因子の解析. *日本食品科学工学会誌*, 49 (11) 703–711.
<https://doi.org/10.3136/nskkk.49.703>