

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 14 日現在

機関番号：13701

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2014～2016

課題番号：26450155

研究課題名(和文) 脂質過酸化反応を制御する γ -トコフェロールのフリーラジカル捕捉作用機構研究課題名(英文) Free-radical scavenging reaction of γ -tocopherol during the decomposition of lipid hydroperoxides

研究代表者

山内 亮 (Yamauchi, Ryo)

岐阜大学・応用生物科学部・教授

研究者番号：50126760

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,000,000円

研究成果の概要(和文)： γ -トコフェロール(γ -TH)の脂質過酸化制御機構を反応生成物から解析した。まず、リノール酸メチルヒドロペルオキシド(MeL-OOH)と γ -THとの反応を検討し、 γ -THおよびその二量体がMeL-OOH由来のペルオキシラジカルを捕捉することを明らかにした。次いで、リン脂質ヒドロペルオキシド(PLPC-OOH)のレドックス分解における γ -THの作用をミセル溶液とリポソームで検討した。 γ -THはPLPC-OOH分解物であるアルデヒドの生成を抑制し、その作用はPLPC-OOH由来のフリーラジカル種を捕捉することによるものであった。以上の結果、 γ -THの脂質フリーラジカル捕捉反応を明らかにできた。

研究成果の概要(英文)： γ -Tocopherol (γ -TH) was reacted with free radicals from the iron- or heme-catalyzed decomposition of lipid hydroperoxides. The iron-catalyzed reaction between γ -TH and methyl linoleate hydroperoxides (MeL-OOH) in toluene gave adducts of γ -TH with peroxy radicals originated from MeL-OOH derived alkoxy and peroxy radicals in addition to tocopherol dimers. The formed γ -TH dimers also trapped the MeL-OOH derived peroxy radicals. Next, the effect of γ -TH on the heme- or myoglobin-catalyzed decomposition of 1-palmitoyl-2-linoleoyl-3-sn-phosphatidylcholine hydroperoxide (PLPC-OOH) in micelles and liposomes was studied. The reaction products were characterized to be adducts of γ -TH with PLPC-OOH derived peroxy and alkyl radicals. γ -TH suppressed the formation of secondary aldehydic products during the decomposition of PLPC-OOH. The results indicated that γ -TH might suppress the formation of aldehydes by trapping the PLPC-OOH derived free radicals.

研究分野：食品素材化学

キーワード： γ -トコフェロール ビタミンE 脂質過酸化 脂質ヒドロペルオキシド フリーラジカル ミセル リポソーム

1. 研究開始当初の背景

ビタミンEは、生理活性の最も高い α -トコフェロール(α -TH)を含めて8種の同族体が存在する。そのうち食事からの摂取量が多い γ -トコフェロール(γ -TH)は、肝臓中で速やかに代謝されるので血中濃度は α -THに比べて低いが、肝臓を介さずに輸送される脂肪組織や筋肉中での濃度は α -THと同程度かそれ以上である。従って γ -THは、これらの組織中で α -THとともにフリーラジカル捕捉剤として抗酸化機能を発揮しているものとする。 γ -THの抗酸化機構は、 α -THの場合と同様に脂質ペルオキシラジカル(LOO^{\bullet})へ水素原子を供与して安定な脂質ヒドロペルオキシド($LOOH$)とすることによる。その結果生じた γ -THラジカル(γ -T $^{\bullet}$)は、さらにもう1分子の LOO^{\bullet} を捕捉して付加体(γ -T- OO -L)を形成する(図1)。一方、 γ -T $^{\bullet}$ 同士の反応速度は α -THの場合に比べて大きく、ビフェニル型二量体(γ -TBD)とジフェニルエーテル型二量体(γ -TED)を形成しやすい。これらの二量体は、分子内にフェノール性水酸基を保持しているため、脂質フリーラジカルを捕捉することができ、 γ -THの抗酸化効果を長く維持させる原因の一つと考えられる。

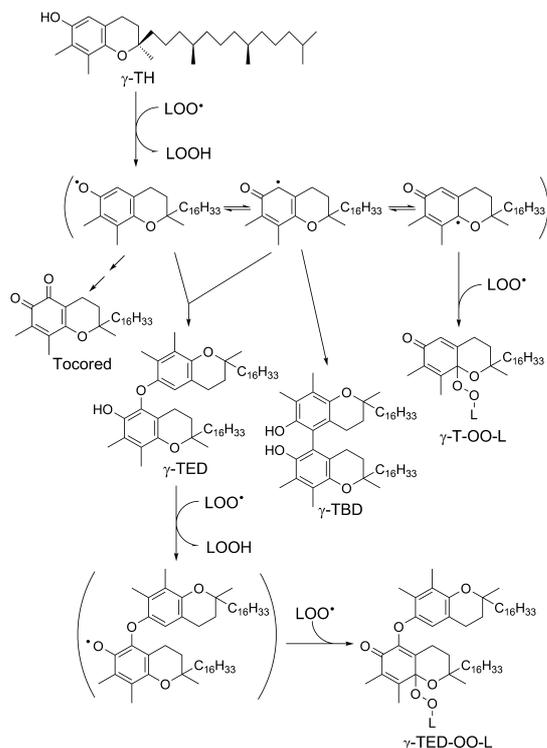


図1. γ -THの脂質ペルオキシラジカル捕捉反応

一方、 $LOOH$ が鉄イオンやヘム化合物によってレドックス分解を受けると、アルコキシラジカル(LO^{\bullet})を経由して α 、 β -不飽和アルデヒドなどの生体にとって有害な二次酸化生成物を形成する。 α -THは脂質過酸化二次反応の初発段階である LO^{\bullet} を捕捉することによってアルデヒド類の生成を低下させることをすでに明らかにしたが、 γ -THがその

ような作用を示すかどうかは不明である。しかし、 γ -THは脂質過酸化二次生成物である4-オキソ-2-ノネナルを捕捉できたことから、脂質過酸化二次反応の抑制に対して何らかの機能を発揮している可能性は高いものと予想された。

2. 研究の目的

γ -THの抗酸化機構に関する研究は α -THに比べて少なく、反応生成物に関しても未だ不明な点が多い。特に脂質フリーラジカル種との反応生成物については、アゾ化合物から生じたアルキルペルオキシラジカルとの付加体に関する報告しかなく、脂質由来のフリーラジカル種との捕捉反応についてはほとんど明らかにされていない。そこで本研究では、脂質ヒドロペルオキシドのレドックス分解反応で生じたフリーラジカル種と γ -THとの反応生成物を解析し、 γ -THの脂質過酸化反応制御機構を明らかにすることを目的とした。まずモデル系として、リノール酸メチル(MeL)の酸化一次生成物であるヒドロペルオキシド(MeL OOH)を用いて、そのレドックス分解で生じるフリーラジカル種と γ -THとの反応生成物を均一溶媒系で解析した。さらに、生体膜主要構成リン脂質である1-パルミトイル-2-リノレオイル-3-*sn*-ホスファチジルコリン(PLPC)からヒドロペルオキシド(PLPC OOH)を調製して、 γ -THとのレドックス分解反応の解析から、生体膜脂質過酸化二次反応における γ -THの作用機構の解明をめざした。

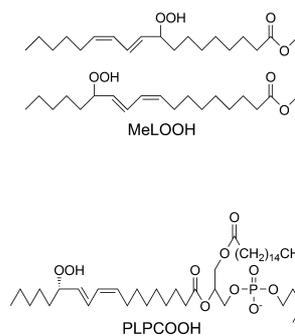


図2. MeLOOHとPLPCOOHの構造

3. 研究の方法

(1) 試料

γ -TH、MeL、鉄アセチルアセトネート($Fe()AA$)は市販品を使用した。MeL OOH (図2)は、2% α -THを添加したMeLを37°Cで自動酸化させたものから既報に従って調製した。PLPCは既報に従って合成し、大豆リポキシゲナーゼ触媒酸化によってPLPC 13(S)-ヒドロペルオキシド(PLPC OOH 、図2)を調製した。1-パルミトイル-2-オレオイル-3-*sn*-PC(POPC)、ヘミンおよびミオグロビンは市販品を使用した。 γ -TH 5,6-キノン(Tocored)および γ -TH二量体(γ -TBDと γ -TED)は、既報に従って調製した(図1)。

(2) 高速液体クロマトグラフィー (HPLC)

HPLC は、シリカゲル ODS カラムを用いて、種々の溶媒条件で実施した。化合物の検出は、日本分光 MD-2018plus フォトダイオードアレイ (PDA) 検出器を使用した。また、島津 LCMS-QP8000 α を用いて、溶出ピークのマススペクトル (MS) を大気圧化学イオン化法 (APCI) またはエレクトロスプレーイオン化法 (ESI) にて測定した。

(3) 機器分析

核磁気共鳴スペクトル (NMR) は、日本電子 FT-NMR ECA-600 (600 MHz) を用いて測定した。紫外可視吸収スペクトル (UV-vis) は、日立 U-2810 または上述の PDA 検出器を使用して測定した。

(4) MeLOOH と γ -TH との反応

MeLOOH (326 mg, 1.0 mmol) と γ -TH (41.7 mg, 0.1 mmol) をトルエン 100 mL に溶かし、Fe()AA (265 mg, 0.75 mmol) を加えて、37 で 24-48 時間反応させた。反応終了後に溶媒を除いてヘキサンで抽出した。ヘキサン抽出液はエタノールに溶かして逆相 HPLC で分取した。さらに、反応を経時的に調べるために、MeL-OOH (10 mM と 5 mM)、 γ -TH (1 mM) をトルエンに溶かし、Fe()AA (7.5 mM) を添加して 37 で反応させた。同様の反応は、メタノール中でも行った。すなわち、MeL-OOH (5 mM)、 γ -TH (1 mM)、Fe()AA (0.1 mM) をメタノールに溶かして 37 で反応させ、試料を経時的に採取した。反応生成物は逆相 HPLC で定量した。

(5) PLPCOOH と γ -TH との反応

PLPCOOH (400 mg, 0.51 mmol) と γ -TH (106 mg, 0.25 mmol) を 5 mM デオキシコール酸ナトリウムを含む 0.1 M リン酸緩衝液 (pH 7.4) 500 mL に懸濁させ、ヘミン溶液 (ヘミン 6.5 mg を 20 mM NaOH 3.0 mL に溶解) を加えて、37 で 15 分反応させた。反応生成物はクロロホルムで抽出し、ヘキサン/2-プロパノール (3:2, v/v) に溶かしてシリカゲル NH₂ カラムで中性脂質画分とリン脂質画分に分けた。リン脂質画分から、PLPCOOH と γ -TH との反応生成物を逆相 HPLC で分取した。さらに、PLPCOOH (0.5 mM) と γ -TH (0.1 mM) のミセル溶液にヘミン (10 μ M) またはミオグロビン (4 μ M) を添加し、37 で経時的に反応させた。また、POPC (9 mM)、PLPCOOH (1 mM)、 γ -TH (0.2 mM) を 0.1 M リン酸緩衝液 (pH 7.4) に懸濁し、エクストルーション法にて 1 枚膜リポソームを作成した。本リポソームにヘミン (50 μ M) またはミオグロビン (20 μ M) を添加し、37 で経時的に反応を調べた。

PLPCOOH、 γ -TH とその反応生成物は逆相 HPLC で定量した。ヘキサナールおよび 4-ヒドロキシ-2-ノネナール (HNE) は、2,4-ジニトロフェニルヒドラジン (DNPH) 試薬と反応

させて DNPH 誘導体とし、逆相 HPLC で定量した。

4. 研究成果

(1) トルエン溶液中での MeLOOH と γ -TH との Fe()AA 触媒反応

MeLOOH と γ -TH をトルエンに溶かし、Fe()AA を加えて 37 で反応させた。反応溶液を HPLC で分析すると、多数のピークが検出された (図 3)。まず、標品との比較から、Tocored、 γ -TH、アトロプ異性体である (*R*)- と (*S*)- γ -TBD、および γ -TED に相当するピークを同定した。ピーク 1、2a、2b は HPLC で分離できたので、各種機器分析によって構造を解析した。

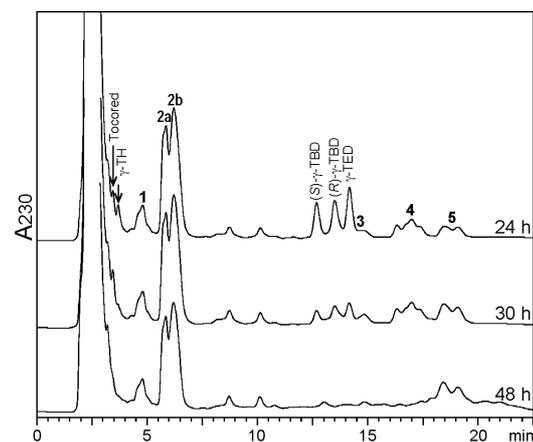


図 3. トルエン溶液中での Fe()AA 触媒による MeLOOH と γ -TH との反応生成物の HPLC

MeLOOH (10 mM) と γ -TH (1 mM) をトルエンに溶かし Fe()AA (7.5 mM) を加えて 37°C で反応させた。HPLC は Inertsil ODS-3 カラム (2.1 x 150 mm) を用い、メタノール/エタノール (2:3, v/v) からエタノールへの直線濃度勾配にて流速 0.2 mL/min で溶出させた。

化合物 1 はジエノン構造に基づく 234 nm に吸収極大が見られた。APCI-MS では、 m/z 757.6 に $[M + H]^+$ 、MeL と γ -TH に由来する m/z 309.3 と 416.3 のイオンが観察された。さらに ¹H および ¹³C NMR の解析結果より、1 は、 γ -TH とエポキシオクタデセン酸メチルペルオキシラジカルとの付加体である 9-(8a-ジオキシ- γ -トコフェロン)-12,13-エポキシ-10-オクタデセン酸メチルと 13-(8a-ジオキシ- γ -トコフェロン)-9,10-エポキシ-11-オクタデセン酸メチルの混合物であると決定した (図 4)。

化合物 2a と 2b はいずれも共役ジエンに基づく 233 nm に吸収極大を有し、それらの APCI-MS では m/z 741.6 に $[M + H]^+$ 、MeL と γ -TH に由来する m/z 309.3 と 416.3 のイオンを与えた。さらに ¹H および ¹³C NMR の結果より、2a は 9-(8a(*S*)-ジオキシ- γ -トコフェロン)-10,12-オクタデカジエン酸メチルと 13-(8a(*S*)-ジオキシ- γ -トコフェロン)-9,11-オクタデカジエン酸メチルの混合物であり、2b は 9-(8a(*R*)-ジオキシ- γ -トコフェロン)-10,12-オクタデカジエン酸メチルと 13-

(8a(R)-ジオキシ- γ -トコフェロン)-9,11-オクタデカジエン酸メチルの混合物であると決定した(図4)。

ピーク 3-5 は分離できなかったため、UV と MS スペクトルからそれぞれ構造を推定した。ピーク 3 は、230 と 289 nm に吸収極大を有し、共役ジエンとクロマン環構造が推定された。APCI-MS は、エポキシ MeL 由来の m/z 309.3、 γ -TH 由来の m/z 416.3 と 431.3、 γ -TH 二量体由来の m/z 830.7 と 845.7 のイオンが検出された。ESI-MS の m/z 1193.5 ($[M + Na]^+$)、APCI-MS が 5 と類似したこと、UV 吸収極大が γ -TED に類似したことから、3 は γ -TED とエポキシオクタデセン酸メチルペルオキシラジカルとの付加体であると推定した。ピーク 4 は、229 と 296 nm に吸収極大を有し、APCI-MS は MeL 由来の m/z 293.2、 γ -TBD 由来の m/z 565.4 と 829.7 検出された。さらに ESI-MS の m/z 1177.6 ($[M + Na]^+$) より、4 は γ -TBD と MeL ペルオキシラジカルとの付加体であると推定した。ピーク 5 は、229 と 291 nm に吸収極大を有し、APCI-MS は、MeL 由来の m/z 293.2、 γ -TED 由来の m/z 416.3、431.3、830.7 が検出された。ESI-MS では、4 と同じく m/z 1177.6 ($[M + Na]^+$) を検出したことにより、5 は γ -TED と MeL ペルオキシラジカルとの付加体であると推定した。

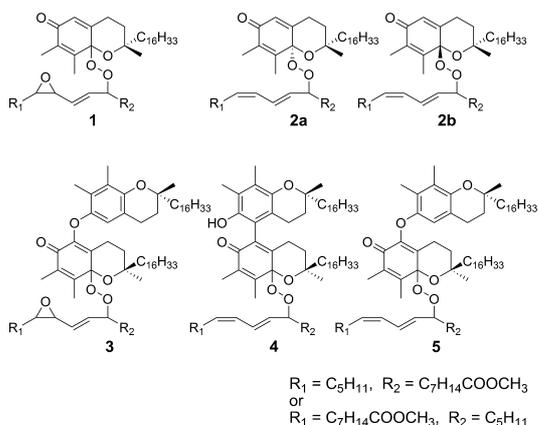


図4. 化合物 1-5 の構造

トルエン中で γ -TH と MeLOOH に Fe()AA 触媒を加えて反応させると、反応の進行とともに MeLOOH の減少と γ -TH の急激な減少がみられ、生成物として Tocored、 γ -TBD、 γ -TED が最初に蓄積した。時間の経過とともに、生じた γ -TBD と γ -TED は減少し、付加体である 1-5 が生成した。

(2) メタノール溶液中での MeLOOH と γ -TH との Fe()AA 触媒反応

MeLOOH と γ -TH との Fe()AA 触媒反応を、プロトン性溶媒であるメタノール中で行った。メタノール溶液中での反応は、トルエン中に比べて低濃度(0.1 mM)の Fe()AA 添加で速く進行した。反応時の γ -TH 生成物を

HPLC 分析すると、未反応の γ -TH とともに Tocored、化合物 1、 γ -TBD、 γ -TED、および化合物 3 に相当するピークが検出された(図5)。また、主たる反応生成物は化合物 1 と Tocored であり、反応の初期には γ -TBD と γ -TED も認められたが、その量はトルエン中での反応に比べると低い値であった。

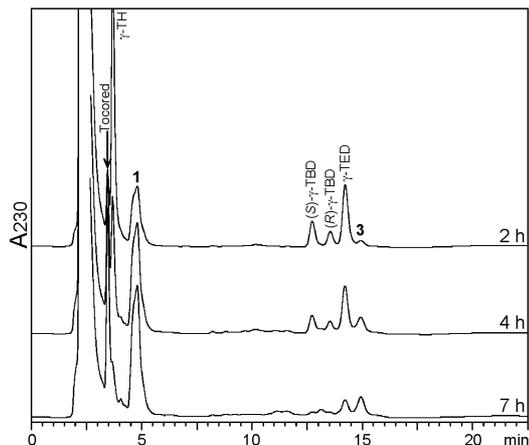


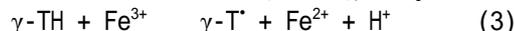
図5. メタノール溶液中での Fe()AA 触媒による MeLOOH と γ -TH との反応生成物の HPLC

MeLOOH (5 mM) と γ -TH (1 mM) をメタノールに溶かし、Fe()AA (0.1 mM)を加えて 37°C で反応させた。HPLC 条件は、図3と同じである。

以上の結果より、Fe()AA 触媒による MeLOOH と γ -TH との反応は、溶媒によって異なることが示された。すなわち、トルエンのような非プロトン性溶媒中の反応では、MeLOOH は鉄イオンによってレドックス分解を受ける。



反応(2)は反応(1)に比べて遅く、そのためにトルエン中での反応は遅くなる。一方、メタノールのようなプロトン溶媒中では、 γ -TH は反応(3)によって Fe^{3+} を Fe^{2+} に迅速に還元する。その結果、反応溶液中には常に Fe^{2+} が供給されるので、MeLOOH との反応はもっぱら反応(1)が進行することになり、アルコキシラジカルのみが生成する。



従って、MeLOOH 由来のアルコキシラジカルは、分子内付加と酸素付加を経てエポキシペルオキシラジカルとなって γ -TH やその二量体と反応するため、付加体 1 と 3 のみが生成したものと推定した。

(3) PLPCOOH と γ -TH とのヘミン触媒反応生成物

PLPCOOH と γ -TH を含むミセル溶液をヘミン触媒下 37 °C で 15 分間反応させた。反応溶液はクロロホルムで抽出後、固相抽出によって PLPCOOH 反応生成物画分を得、逆相 HPLC で分析した(図6)。その結果、反応生成物ピーク 6-9 が検出され、これらのピークの ESI-MS を測定した。また、ピーク 6-9 は分取 HPLC によって分離した。そのうち、

収量の多かった 6 と 7 は、 ^1H NMR で構造解析した。

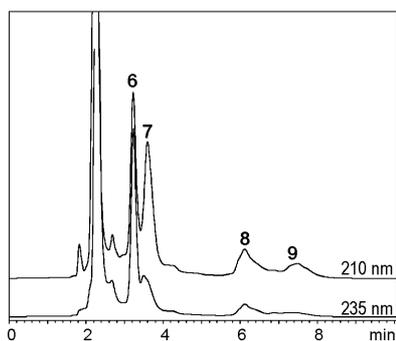


図 6. PLPCOOH と γ -TH とのヘミン触媒反応生成物の HPLC

HPLC は Ascentis C18 カラム(2.1 x 150 mm)を用いて、10 mM 酢酸アンモニウムを含むエタノールを流速 0.20 mL/min で溶出させた。

化合物 6 は 232 nm (ϵ 12500)に吸収極大を示し、 m/z 1220.7 ($[\text{M} + \text{H}]^+$)と 1242.7 ($[\text{M} + \text{Na}]^+$)および PLPCOOH 由来の m/z 790.4 と 806.5 が検出された。さらに ^1H NMR の結果より、6 は PLPCOOH 由来のアルコキシルラジカルから分子内付加と酸素付加で生じた 12,13-エポキシアルキルペルオキシルラジカルに γ -TH が付加した 1-パルミトイル-2-[9-(8a-ジオキシ- γ -トコフェロン)-12,13-エポキシ-10-オクタデセノイル]-3-*sn*-PC (6a)と 1-パルミトイル-2-[11-(8a-ジオキシ- γ -トコフェロン)-12,13-エポキシ-10-オクタデセノイル]-3-*sn*-PC (6b)の異性体混合物と決定した(図 7)。

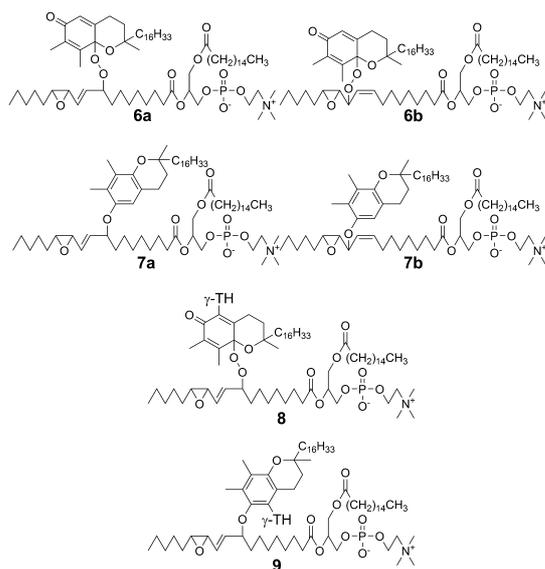


図 7. 化合物 6-9 の構造

化合物 7 は 293 nm (ϵ 3220)に吸収極大を示し、 m/z 1188.9 $[\text{M} + \text{H}]^+$ 、1210.8 $[\text{M} + \text{Na}]^+$ が検出された。さらに ^1H NMR の結果から、7 は 1-パルミトイル-2-(9- γ -トコフェロキシ-12,13-エポキシ-10-オクタデセノイル)-3-*sn*-PC (7a)と 1-パルミトイル-2-(11-

γ -トコフェロキシ-12,13-エポキシ-9-オクタデセノイル)-3-*sn*-PC (7b)の混合物であると決定した(図 7)。

化合物 8 は、291 nm (ϵ 6120)に吸収極大と 232 nm (ϵ 19100)に吸収ショルダーを有し、 m/z 1657.9 に $[\text{M} + \text{Na}]^+$ と 6 に類似したイオンを与えたことにより、 γ -TH 二量体と PLPC-OOH 由来のエポキシペルオキシルラジカルとの付加体と推定した。化合物 9 は、PDA 検出器によるスペクトル測定から 290 nm に吸収極大を有し、ESI-MS で m/z 1603.2 $[\text{M} + \text{H}]^+$ と 1626.1 $[\text{M} + \text{Na}]^+$ のみを与えことより、12,13-エポキシ PLPC アルキルラジカルと γ -TH 二量体との付加体構造であると推定した。

(4) PLPCOOH ミセルのヘミンおよびミオグロビン触媒反応に対する γ -TH の作用

脂質過酸化二次反応で生成するアルデヒドに着目し、PLPCOOH のヘミンまたはミオグロビン触媒反応に対する γ -TH の作用について検討した。PLPCOOH ミセル溶液に、ヘミンあるいはミオグロビンを添加して反応させたところ、PLPCOOH は急激に減少し、酸化二次生成物としてヘキサナルと HNE を確認した(図 8)。本ミセル溶液に γ -TH を添加すると、これらのアルデヒド生成が抑制された。また、 γ -TH の主要生成物として γ -TH キノン(γ -TQ)、Tocored および付加体(6-9)が認められ、 γ -TH の添加濃度を増すと γ -TED と付加体 6 の生成量が増加した。

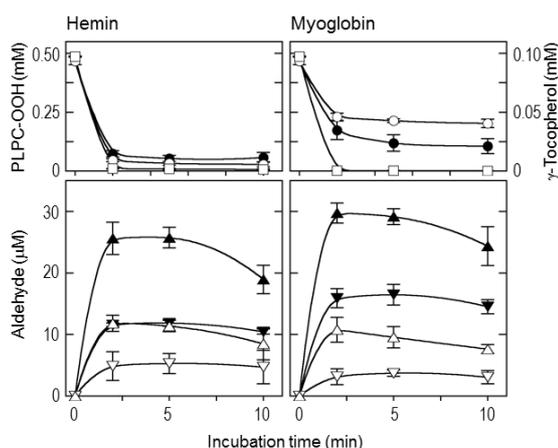


図 8. PLPCOOH と γ -TH とのミセル溶液中での反応
0.5 mM PLPCOOH と 0.1 mM γ -TH を 5 mM デオキシコロール酸ナトリウムを含む 0.1 M リン酸緩衝液 (pH 7.4) でミセル溶液とし、10 μM ヘミンまたは 4 μM ミオグロビンを添加して 37 °C で反応させた。PLPCOOH、 γ -TH 無添加 (●) と γ -TH 添加 (○); γ -TH (□); ヘキサナル、 γ -TH 無添加 (▲) と γ -TH 無添加 (△); HNE、 γ -TH 無添加 (▼) と γ -TH 添加 (▽)。数値は平均値 \pm 標準偏差 ($n=3$) で示した。

(5) PLPCOOH 含有 POPC リポソームのヘミンおよびミオグロビン触媒反応に対する γ -TH の作用

PLPCOOH を含有させた POPC リポソームに対してヘミンまたはミオグロビンを添加して反応させたところ、PLPCOOH の酸化二次生成物としてヘキサナルが検出された。本

リポソームに γ -TH を添加して反応を行うと、ヘキサナル生成は抑制されたが、その効果はミセル反応の場合に比べて低いものであった(図9)。また、 γ -TH 反応生成物として γ -TQ、Tocored、 γ -TH 二量体(γ -TBD と γ -TED)、および付加体 6-9 が検出された。

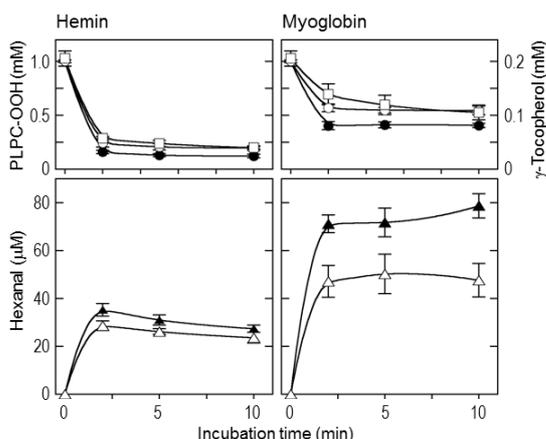


図9. POPC リポソーム中での PLPCOOH と γ -TH との反応

9 mM POPC, 1 mM PLPCOOH, 0.2 mM γ -TH を 0.1 M リン酸緩衝液(pH 7.4) で 1 枚膜リポソームとし、ヘミン(50 μ M) またはミオグロビン(20 μ M)を添加して 37 °C で反応させた。PLPCOOH, γ -TH 無添加 (●) と γ -TH 添加(○); γ -TH (□); ヘキサナル, γ -TH 無添加 (▲) と γ -TH 無添加 (Δ)。数値は平均値 \pm 標準偏差 ($n=3$) で示した。

以上の結果より、PLPCOOH の脂質過酸化二次反応における γ -TH の反応機構を推定した。すなわち、 γ -TH は触媒となるヘミンやミオグロビンを還元型とし、還元型ヘミンまたはミオグロビンが PLPCOOH のレッドクス分解を引き起こしてアルコキシルラジカルを生成させる。生じたアルコキシルラジカルは、これまでの研究で明らかにされているように分子内の二重結合に付加してエポキシアルキルラジカルとなった後、 γ -TH と反応して付加体 6 となるか、さらに酸素分子と結合してエポキシペルオキシラジカルとなり γ -TH と反応して付加体 7 となる。一方、 γ -TH はフリーラジカル捕捉反応で二量体構造(γ -TBD と γ -TED)をとりやすいが、これらの二量体も PLPCOOH 由来のフリーラジカル種をある程度捕捉できることが示された。

(6) 結論

本研究では、MeLOOH のレッドクス分解によって非プロトン性溶媒(トルエン)とプロトン性溶媒(メタノール)中での γ -TH のフリーラジカル捕捉反応機構を明らかにした。すなわち、非プロトン性溶媒中での反応は、鉄イオンによる MeLOOH からのレッドクス分解で、アルコキシルラジカルとペルオキシラジカルの両者が生じ、 γ -TH はこれらを捕捉して付加体を生成した。一方、プロトン性溶媒中では、 γ -TH は Fe^{3+} を容易に還元して Fe^{2+} とするので、MeLOOH のレッドクス分解はアルコキシルラジカルのみの生成を

引き起こす。そのために γ -TH との付加体もアルコキシルラジカルに由来するものに限定されると結論した。

さらに、リン脂質ヒドロペルオキシド(PLPCOOH)の分解反応を利用してミセル系とリポソーム系での γ -TH の脂質過酸化二次反応への寄与を明らかにした。ミセル反応系においては、 γ -TH は PLPCOOH のレッドクス分解で生じたフリーラジカル種を捕捉して生体にとって有害なアルデヒドの生成を α -TH と同等に抑制した。しかし、生体膜モデル構造をとるリポソーム中での γ -TH によるアルデヒド生成抑制能は α -TH に比べて低く、生体膜構造中での γ -TH による脂質過酸化二次反応の抑制は弱いものと推定された。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計 1 件)

Yamauchi, R., Watanabe, S., SMartín, A., Iwamoto, S.: Effect of α -tocopherol on the hemin-catalyzed decomposition of 1-palmitoyl-2-linoleoyl-3-*sn*-phosphatidylcholine 13-hydroperoxide in micelles and liposomes. Chem. Phys. Lipids, 査読有, 184: 61-68, 2014.

DOI:10.1016/j.chemphyslip.2014.10.001

[学会発表](計 1 件)

木下知美、岩本悟志、山内 亮: 鉄触媒によるリノール酸メチルヒドロペルオキシドの分解に対する γ -トコフェロールの作用. 日本農芸化学会 2016 年度大会講演要旨集. 4E005 (平成 28 年 3 月 27 - 30 日、札幌コンベンションセンター、札幌)。

[図書](計 0 件)

[産業財産権]

出願状況(計 0 件)

取得状況(計 0 件)

[その他]

ホームページ等

6. 研究組織

(1)研究代表者

山内 亮 (YAMAUCHI Ryo)

岐阜大学・応用生物科学部・教授

研究者番号: 50126760