

# 北海道産若鶏の可食部に含まれる 機能性リン脂質プラズマローゲン

石原愛理<sup>1</sup> 大宅穂波<sup>1</sup> 大西正男<sup>1</sup> 川村 純<sup>2</sup>

## Functional Phospholipid Plasmalogens in Meats and Internal Organs from Broiler Chicken Produced in Hokkaido

Airi ISHIHARA<sup>1</sup>, Honami OHYA<sup>1</sup>,  
Masao OHNISHI<sup>1</sup> and Jun KAWAMURA<sup>2</sup>

### Abstract

In recent years, plasmalogen with vinyl ether bond, a kind of membrane phospholipids, has drawn attention as a functional phospholipid, and is gradually gaining popularity as a food ingredient with a brain function-improving effect. This study focused on analyzing plasmalogen levels and their alkenyl chain components in the edible parts (thighs, breasts, white breasts, livers, gizzards, and hearts) of broiler chicken that has been produced in Hokkaido. Plasmalogen levels were roughly estimated based on the proportion of dimethyl acetals derived from their vinyl ether bonds after methanolysis. The plasmalogen contents per 100 g sample ranged from 74 to 398 mg, with the highest value for hearts and the lowest one for livers; these values were identical to those reported previously. In the chicken meats portions, the plasmalogen contents were highest in the thighs, followed by breasts and white breasts (sasami) at 194 mg, 173 mg and 134 mg, respectively. The plasmalogen level in gizzards, 212 mg per 100 g, was between those for meat portions and hearts. Four dimethyl acetals (C16:0, C18:0, C18:1, and C20:0) were detected as alkenyl groups derived from ethanolamine- and choline-types of plasmalogens. The former two were dominant in all portions of chicken. They showed varied proportions between the two plasmalogen classes; similarities and specificities in alkyl group composition were observed among various portions of the chicken. Moreover, plasmalogens reacted negatively with the DPPH reagent on the silica gel TLC plate, suggesting that it might be unlikely for the oxidative stress-inhibitory action of plasmalogen in the body to be triggered by the radical scavenging ability of their vinyl ether bonds.

---

所属:

<sup>1</sup> 藤女子大学 人間生活学部 食物栄養学科

<sup>2</sup> 丸大食品株式会社 中央研究所

<sup>1</sup> Department of Food Science and Human Nutrition, Faculty of Human Life Science, Fuji Women's University

<sup>2</sup> Central Research Institute, Marudai Food Co., Ltd.

## 緒 言

鶏肉は、高タンパク質・低脂質で、低価格であることから近年、消費量が年々増加している。著者らはこれまで様々な食品に含まれる脂質の特徴を詳しく分析してきたが<sup>1, 2)</sup>、前報では若鶏の脂質成分、特に美味しさ向上効果が知られているアラキドン酸の含量と分布について報告した<sup>3)</sup>。食品中には、一次機能（栄養機能）を担うトリアシルグリセロールやアラキドン酸のような二次機能（嗜好性）に寄与する成分<sup>4)</sup>に加えて、社会的にも関心の高い健康に資する三次機能（生体調節機能）を有する機能性脂質<sup>5)</sup>も存在する。経口摂取することによって生理機能が発現する食品成分として、最近、注目されている脂質の一つにプラズマローゲンがある<sup>6-8)</sup>。

生体膜を構築する脂質であるグリセリン脂質はその大部分がグリセロールの1位と2位に脂肪酸がエステル結合しているジアシル型リン脂質であるが、グリセロールの1位に長鎖の炭化水素鎖（高級アルコール）がエーテル結合したエーテル型リン脂質（アルケニルアシル型とアルキルアシル型リン脂質）も存在する（図1）。プラズマローゲンはビニルエーテル結合を有するリン脂質（アルケニルアシル型リン脂質）の総称で、哺乳類、鳥類、細菌類に広く分布し、その極性部（Head group）にコリンとエタノールアミンが結合しているタイプが一般的である<sup>9-12)</sup>。生体内では、プラズマローゲンは抗酸化成分として酸化ストレスに対する保護作用を示し、その血漿中のレベルは動脈硬化症やがんのバイオマーカーとなることが報告されている<sup>10, 12)</sup>。また、脳や神経系に多く分布し、認知症患者では脳内や血中のプラズマローゲン量が減少していることが知られている<sup>11, 13)</sup>。動物実験や培養細胞系では、プラズマローゲンは神経細胞のアポトーシスを抑制すること、プラズマローゲン投与が抗神経炎症作用とアミロイドβ生成の予防効果を示すことなどから<sup>14-16)</sup>、アルツハイマー病の予防と治療に利用できる可能性も示唆されている<sup>17, 18)</sup>。鶏由来プラズマローゲン濃縮物については最近、安全性が確認され、脳機能の向上と認知症予防が期待できる食品素材であることが実証されている<sup>7, 8)</sup>。

先に我々は、親鶏可食部のプラズマローゲン組成と食用利用のための調製方法、ならびに女子大

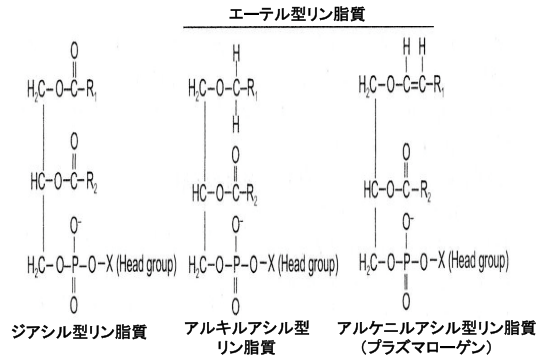


図1 ジアシル型とエーテル結合を有するリン脂質の化学構造

参考文献11から一部改変して作成

学生の1日のモデル食に含まれるプラズマローゲンの概算量を報告しているが<sup>6, 19)</sup>、本研究では北海道産若鶏の各部位に含まれるプラズマローゲンの含量と化学的特性を明らかにしようとした。

## 実験方法

### 1. 実験材料と全脂質の分画

前報に記載した<sup>3)</sup>、札幌市内のスーパーマーケットで購入した北海道産若鶏のもも肉、むね肉、ささ身、ならびに副産物の肝臓、砂肝（筋胃）、ハツ（心臓）から抽出・精製した全脂質の一部を用いてプラズマローゲンの分析を行った。供試試料100g当たりの全脂質含量<sup>3)</sup>は表1に再掲している。また、ささ身については他県産からの脂質試料<sup>3)</sup>も分析に供した。

全脂質の中性脂質画分と極性脂質画分への分画は、ワコーゲルC-200を用いて常法に従ってケイ酸カラムクロマトグラフィーで行った<sup>1)</sup>。

### 2. ケイ酸薄層クロマトグラフィー

ケイ酸薄層クロマトグラフィー（TLC）分析にはメルク製のSilica gel 60プレートをを使用した。展開溶媒としては、ヘキサン-ジエチルエーテル-酢酸（80:20:1）、クロロホルム-メタノール-水（65:25:4）などを用い、スポットの検出はヨウ素蒸気、プリミリン試薬、あるいは50%硫酸で行った。また、抗酸化成分のラジカル消去能は、ケイ酸TLCで展開した後、プレートにメタノール性0.1% 1,1-diphenyl-2-picryl-hydrazyl

(DPPH) 試薬を噴霧して評価した<sup>1)</sup>。

## 実験結果

### 3. 弱アルカリ処理とプラズマローゲンのリゾ体の分離

全脂質と極性脂質画分の一部にメタノール性 0.4 M 水酸化カリウム溶液を加えて 37°C で 2 時間インキュベーションして弱アルカリ処理を行った。反応後、適量のクロロホルム、メタノールおよび蒸留水を加え、Folch の水洗割合 [クロロホルム-メタノール-水 (8:4:3)] で分配を行った<sup>2, 20)</sup>。放置後、分離した下層を濃縮乾固して弱アルカリ安定性の脂質画分を得た。これを調製用ケイ酸 TLC に供し、エタノールアミン含有型とコリン含有型のプラズマローゲン (エタノールアミンプラズマローゲン、PE 型 Pls とコリンプラズマローゲン、PC 型 Pls) のリゾ体をそれぞれ分離した。

### 4. 脂肪酸メチルエステルとジメチルアセタールの調製と分析

脂質試料を、メタノール 5 % 塩酸を用いてメタノリシスして脂肪酸メチルエステルとビニルエーテル結合している長鎖アルコール基に由来するジメチルアセタールをヘキサンで抽出した (図 2)<sup>2)</sup>。ヘキサン抽出液を水洗、濃縮後にガスクロマトグラフィー (GC) とガスクロマトグラフィー-マススペクトロメトリー (GC-MS) 分析に供した。GC 分析と GC-MS 分析は、前報<sup>3)</sup>と同じ条件で行った。ジメチルアセタールの割合は、少なくとも 2 回の分析を行い、その平均値を求めた。

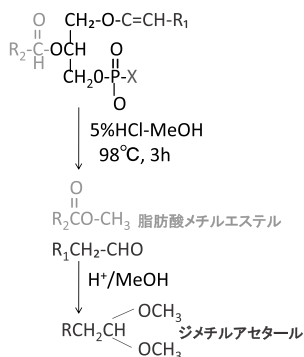


図 2 プラズマローゲンのメタノリシスによる脂肪酸メチルエステルとジメチルアセタールの調製

### 1. 若鶏脂質から調製した脂肪酸メチルエステル画分におけるジメチルアセタールの検出

(1) GC-MS 分析によるジメチルアセタールの同定  
若鶏砂肝から抽出した全脂質のメタノリシス後のヘキサン抽出物 (脂肪酸メチルエステル画分) をキャピラリー GC-MS 分析に供すると (図 3)、標準の Supelco 社製脂肪酸メチルエステル混合物 (カタログ番号 18919-1NP) の保持時間に一致しない数種のピークが検出された。そのうちの主要なピーク A と B の質量スペクトルを測定したところ、両者ともジメチルアセタールに特徴的な  $m/z$  75 のイオンが最も多く検出され、そのフラグメントパターンは AOCs Lipid Library (<https://lipidlibrary.aocs.org/>) に掲載されているジメチルアセタールのそれと一致した。また、分子量を示す M-15 のイオンがピーク A では  $m/z$  255 に、ピーク B では  $m/z$  283 にそれぞれ検出されたことから、前者は C16:0 アルデヒド (hexadecan-1-al) のジメチルアセタール、後者は C18:0 アルデヒド (octadecan-1-al) のジメチルアセタールであると同定された。

### (2) アルケニル型エーテル脂質の中性脂質画分と極性脂質画分における分布

上記のジメチルアセタールピークが中性脂質クラスに由来するのか、あるいはリン脂質のプラズマローゲンに由来するのかを検討するために、さき身から調製した中性脂質画分と極性脂質画分をメタノリシスして得られたヘキサン抽出物を GC 分析に供した結果を図 4 に示す。検出されたピークの大部分は脂肪酸メチルエステルで、共通して主要な構成脂肪酸はパルミチン酸 (16:0)、ステアリン酸 (18:0)、オレイン酸 (18:1) およびリノール酸 (18:2) であった<sup>3)</sup>。また、極性脂質ではアラキドン酸 (20:4) も主な脂肪酸の一つとして検出された<sup>3)</sup>。一方、アルケニルアシル型脂質に由来するジメチルアセタールのピーク A と B は中性脂質画分のヘキサン抽出物中には認められなかったことから、両者はリン脂質 (極性脂質) のプラズマローゲンに由来する成分であることが確認された。同様の結果は、むね肉全脂質の分画物においても観察された (データ非掲載)。

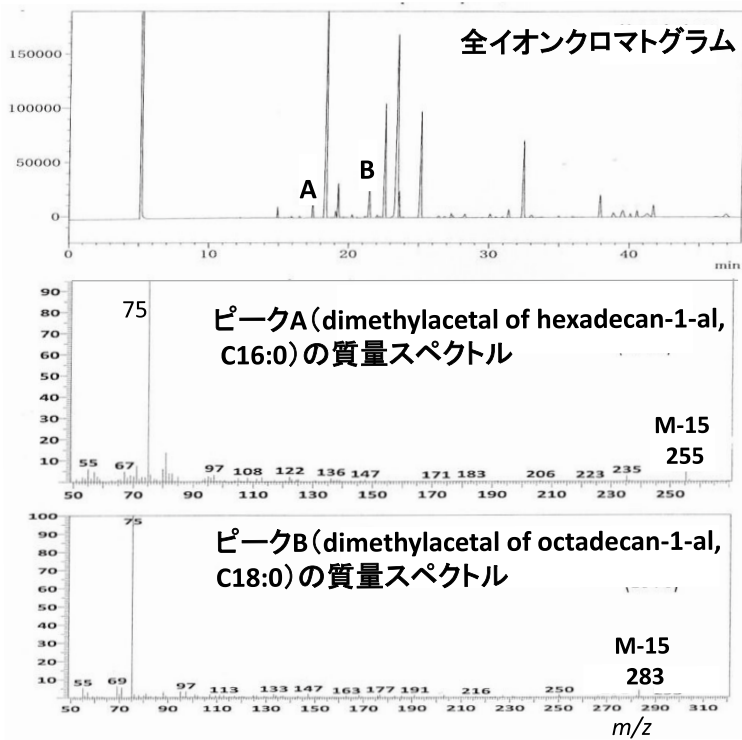


図3 若鶏砂肝全脂質のメタノリシス後のヘキサン抽出物のGC-MS分析

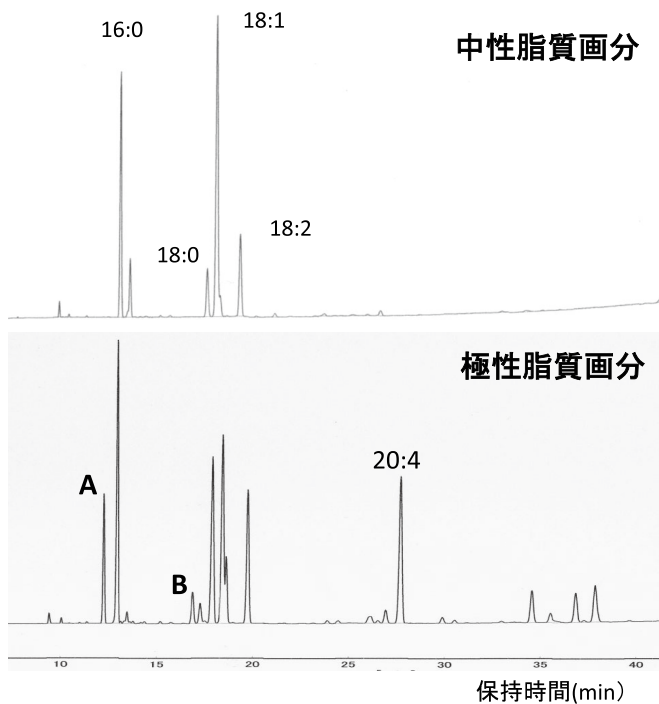


図4 若鶏ささ身から調製された中性脂質画分と極性脂質画分のメタノリシス後のヘキサン抽出物のガスクロマトグラム

### (3) 微量ジメチルアセタールの確認

ヘキサン抽出物のGC-MS分析において微量ピークの明瞭な質量スペクトルが得られなかったことから、もも肉極性脂質画分について $m/z$ 75のイオンによるマスクロマトグラムを作成したところ(図5)、主要なC16:0(A)とC18:0(B)のジメチルアセタールに加えて、C18:1(C)とC20:0(D)と推定されるジメチルアセタールの

ピークも検出された。これら4種のジメチルアセタールピークは全イオンモニターによるクロマトグラムでは○印で示されている。なお、 $m/z$ 74によるマスクロマトグラムでは飽和脂肪酸メチルエステルのピークをモニターすることができる。

また、上記の4種のジメチルアセタールのピークは若鶏肉部の全脂質から調製された脂肪酸メチルエステル画分においても検出された(図6)。

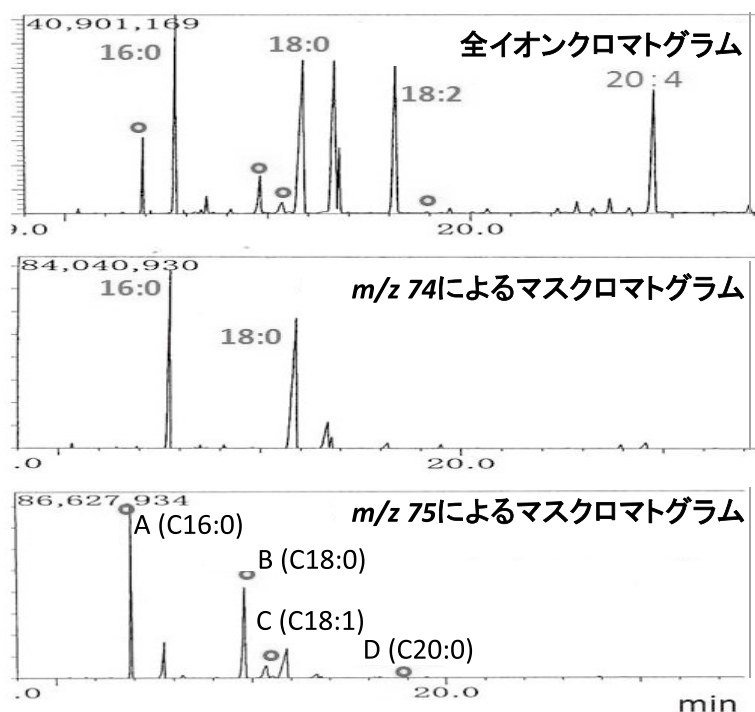


図5 若鶏もも肉極性脂質画分から調製された脂肪酸メチルエステル画分のマスクロマトグラム

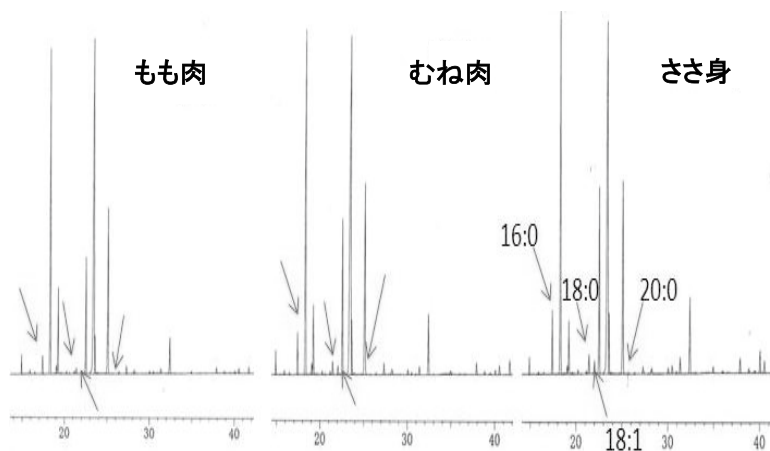


図6 若鶏肉部全脂質から調製した脂肪酸メチルエステル画分のガスクロマトグラム  
4種のジメチルアセタールのピークを矢印で示す。

## 2. プラズマローゲンの種類とラジカル消去能の評価

若鶏の各部位から抽出した全脂質のアルカリ処理前後でのケイ酸 TLC 分析の結果を図7に示す。主要な極性脂質（リン脂質）クラスは共通してグリセロリン脂質のホスファチジルコリン（PC）とホスファチジルエタノールアミン（PE）、特に前者で、その他に卵黄由来の標準スフィンゴミエリン（スフィンゴリン脂質）に相当するスポットも認められた。弱アルカリ処理後のケイ酸 TLC 分析では、スフィンゴミエリンが主要なスポットとなり、その他にスフィンゴミエリンの上下に移動する2つのスポット（IとII）も共通して検出された。両スポットをケイ酸 TLC によって分離してメタノリシス後のヘキサン抽出物を GC 分析すると、ジメチルアセタールが生成されることが確認された（データ非掲載）。プラズマローゲンの

のビニルエーテル結合は弱アルカリ処理によって分解されないこと、およびケイ酸 TLC プレート上の Rf 値から考えると、スポット I と II はそれぞれエタノールアミン含有型とコリン含有型のプラズマローゲン（PE 型 Pls と PC 型 Pls）のリゾ体であると判断された。

若鶏（ハツ）全脂質の弱アルカリ処理物をクロロホルム-メタノール-水（65：25：4）によるケイ酸 TLC で展開し、ヨウ素蒸気による検出と DPPH 試薬を噴霧した結果を図8に示す。抗酸化物質である標準の  $\alpha$ -トコフェロール、ケルセチンおよびカテキンはそれぞれ DPPH 試薬によって白抜きスポットとして検出されたが（図8の右側）、むね肉プラズマローゲン濃縮物（レーン2、丸大食品株式会社からの提供品）やプラズマローゲンのリゾ体（レーン3）は DPPH 試薬に対して陰性であった。

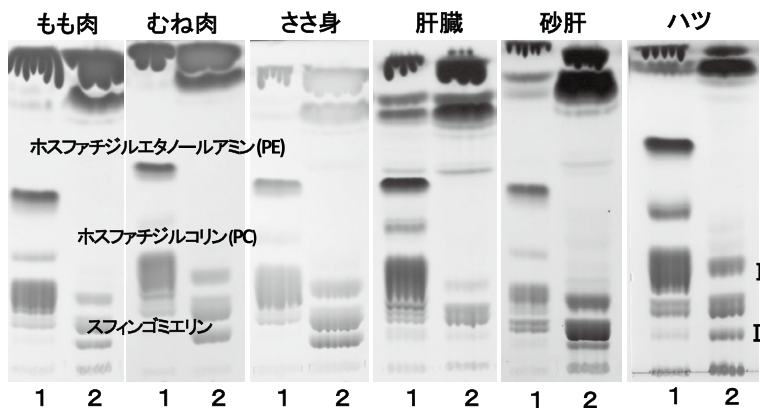


図7 若鶏可食部全脂質の弱アルカリ処理前後でのケイ酸 TLC

展開溶媒：クロロホルム-メタノール-水（65：25：4）  
 検出：ヨウ素蒸気  
 1：弱アルカリ処理前、  
 2：弱アルカリ処理後

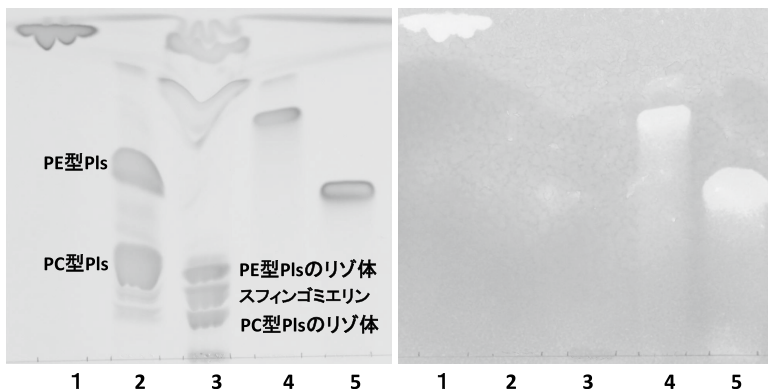


図8 鶏由来のプラズマローゲンとそのリゾ体および市販抗酸化物質のケイ酸 TLC

展開溶媒：クロロホルム-メタノール-水（65：25：4）  
 検出：ヨウ素蒸気（左側）、DPPH 試薬（右側）  
 1： $\alpha$ -トコフェロール、  
 2：むね肉プラズマローゲン濃縮物、  
 3：ハツ全脂質の弱アルカリ処理物、  
 4：ケルセチン、5：カテキン

### 3. 若鶏可食部のプラズマローゲン概算量

若鶏脂質のメタノリシスによって生成するジメチルアセタールはプラズマローゲンに由来したことから、全脂質の脂肪酸組成のGC分析において検出された4種のジメチルアセタールの占める割合(重量%)の2倍量と全脂質含量<sup>3)</sup>から算出したプラズマローゲンの概算量<sup>19, 21)</sup>を表1に示す。各部位に含まれるプラズマローゲン概算量は100g当たり74mg～398mgの範囲で、ハツ(心臓)

で最も高く、肝臓では低値であった。肉部ではもも肉、むね肉、ささ身の順で多く含まれていた。ささ身については、青森県産、宮城県産、兵庫県産および鹿児島県産のプラズマローゲン含量も分析したところ、100g当たり129mg～144mgの範囲となり、北海道産のそれ(134mg)と同程度であった。また、砂肝(筋胃)は、100g当たり212mgで肉部と心臓の中間の含量であった。

表1 若鶏に含まれる全脂質含量とプラズマローゲン概算量：部位別比較

部位	DMA*% × 2 (%)	全脂質** (g/100g)	プラズマローゲン (mg/100g)	親鶏プラズマローゲン*** (mg/100g)
もも肉	4.4	4.4	194	214
むね肉	6.4	2.7	173	231
ささ身	8.4	1.6	134	190
肝臓	1.5	4.9	74	—
砂肝	10.1	2.1	212	—
ハツ	10.2	3.9	398	—

\*ジメチルアセタール

\*\*前報(引用文献3)に記載した分析値

\*\*\*参考文献6から引用(アルキルエーテル型リン脂質を含む値)

### 4. プラズマローゲンの構成アルケニル基の組成

プラズマローゲンクラス(エタノールアミンプラズマローゲン、PE型とコリンプラズマローゲン、PC型)に由来するジメチルアセタールの組成をGC分析から算出した結果を表2に示す。主要なジメチルアセタールは共通してC16:0とC18:0であったが、両者の割合はPE型とPC型の間で異なるとともに、部位による類似性と特異性も認められた。即ち、PE型の場合、肉部(も

も肉、むね肉およびささ身)ではいずれもC16:0とC18:0がほぼ同じ割合であったが、肝臓と砂肝(筋胃)ではC18:0がC16:0の2倍以上の割合であった。ハツ(心臓)では、C16:0の割合が肝臓や砂肝よりも高く、肉部と類似した組成であった。一方、PC型では、各部位ともPE型と比べてC16:0の割合が高かった。PC型においても肉部とハツのアルケニル基の組成は類似しており、いずれもC16:0が70%以上を占めていた。また、肝臓と砂肝では、共通してC16:0とC18:0がほぼ同じ割合であった。

表2 若鶏エタノールアミンプラズマローゲン(PE型)とコリンプラズマローゲン(PC型)のアルケニル基組成(重量%)：部位別比較

	DMA*	もも肉	むね肉	ささ身	肝臓	砂肝	ハツ
PE型	C16:0	46	41	49	23	18	37
	C18:0	46	43	33	69	74	50
	C18:1	6	15	13	3	4	13
	C20:0	2	<1	5	6	5	1
PC型	C16:0	86	73	78	47	55	80
	C18:0	9	15	16	34	41	11
	C18:1	5	10	6	12	4	9
	C20:0	<1	2	<1	7	<1	<1

\*ジメチルアセタール

## 考 察

本研究では、北海道産若鶏可食部の各部位に含まれるプラズマローゲン（アルケニルアシル型リン脂質）の含量を全脂質のメタノリシスによって生じた脂肪酸メチルエステル類に対するジメチルアセタール類の割合から算出した。即ち、今回まず、若鶏脂質から誘導された4種のジメチルアセタールがプラズマローゲンのビニルエーテル結合の切断によって生成されることを確認し、その合計割合の2倍量がプラズマローゲンに由来する成分として概算量を求めた<sup>19)</sup>。以前に Dacremont and Vincent も同じ方法で赤血球と線維芽細胞中のプラズマローゲンを分析している<sup>22)</sup>。プラズマローゲンの分離定量法としては、その他にビニルエーテル結合に特異的に結合するヨウ素を分光法で測定するヨード法や蒸発光散乱検出器を用いた高性能液体クロマトグラフィー（ELSD-HPLC）法などが知られている<sup>6, 9, 23)</sup>。

先に三明らは、親鶏（鶏卵生産能力が減少して経済的な有効期間を終えた雌鶏）可食部のプラズマローゲン組成をELSD-HPLC法で分析した結果を報告しているが<sup>6)</sup>、論文に記載されているリン脂質の総量とリン脂質クラスの組成からプラズマローゲン含量を計算すると、肉部（もも肉、むね肉、ささ身）では100g当たり190mg～231mg（表1）となり、今回の分析値（134mg～194mg）と比べて少し高値であった。これには、極性脂質画分のHPLC分析では、同じ極性基を有するアルキルアシル型とアルケニルアシル型のリン脂質クラスが相互分離できないことが影響している可能性がある。また、YamashitaらはLC-MS/MSを用いて鶏などの畜肉と魚貝類のプラズマローゲン種を調べているが<sup>24)</sup>、その報告から市販若鶏のもも肉中のプラズマローゲンの総量を求めると100g当たり348mgとなる。アメリカで喫食されている鶏（むね肉）については、Blankらが100g当たり75mgと報告しており<sup>25)</sup>、国内産若鶏の半分以下の含量であった。このように、同じ部位で比較しても今回の成績と既往の論文の分析値との間で違いが認められたが、これは鶏の飼育期間や餌などの飼育条件によってプラズマローゲン含量が変動することを示すのかもしれない。一方、鶏種の違いによる変動は少ないと報告されている<sup>6)</sup>。

プラズマローゲンを含むエーテル脂質は哺乳動

物の総リン脂質プールの10～20%を占めており、その割合は部位（組織）によって変動することが知られている<sup>11)</sup>。今回、プラズマローゲン含量は若鶏の肝臓では他の部位と比べて低値であったが、同じ傾向はヒトやラットでも観察されている<sup>12, 21)</sup>。これは、肝臓で合成されるプラズマローゲンがリポタンパク質を介して他の部位に輸送されることと関係すると推測されている<sup>12)</sup>。一方、プラズマローゲンは脳や心臓に多く含まれているが<sup>11)</sup>、本研究においても供試した部位の中でハツが最も高いプラズマローゲン含量であった。また、先に我々は鶏から揚げ弁当に含まれるプラズマローゲン含量を分析して48mgと報告している<sup>19)</sup>。この弁当では約80gのもも肉（外国産）が使われているので、油で揚げる過程でプラズマローゲン含量は減少すると推測される。プラズマローゲンは酸によって容易にビニルエーテル結合が切断されてアルデヒドを遊離してリゾリン脂質に変化するが<sup>12)</sup>、同じような変化が高温下での調理によっても起こる可能性がある。今後、食材の加熱調理によるリン脂質、とくにプラズマローゲンの組成変化について詳しく調べる必要がある。

本研究では、PE型とPC型のプラズマローゲンの割合を分析していないが、一般にPE型が主要なプラズマローゲン種とされている<sup>10, 12)</sup>。Yamashitaらも鶏もも肉では両タイプが1.0:0.5の比で存在することを報告している<sup>24)</sup>。しかし、ケイ酸TLCの結果（図7）を見てみると、今回、供試した若鶏の肉部では目視的にはPC型がPE型と同程度あるいはそれ以上の比率で存在すると推測された。三明らも親鶏において両タイプの比は1.0:1.0～1.2で、特にむね肉ではPC型プラズマローゲンの方が多いと報告している<sup>6)</sup>。プラズマローゲンのアルキル基の組成については、今回の若鶏の成績と親鶏の分析結果<sup>6)</sup>の間で類似性が見られ、特にPC型ではC16:0が圧倒的に多く存在していた。また、Blankらももも肉に含まれるPE型とPC型のアルキル基の組成は大きく異なり、C16:0の割合は前者では59%、後者では82%と報告している<sup>25)</sup>。このようなアルキル鎖の違いが生理作用に及ぼす影響についてはほとんど研究されていない。

プラズマローゲンは、生体内で酸化ストレスに対する防御因子として機能し、不飽和膜リン脂質を保護するとともに、様々な反応性酸素種を消去



する働きを有すると考えられている<sup>9, 26)</sup>。その機構としては、プラズマローゲンのビニルエーテル結合でのラジカル消去(補促)作用と言われている。しかし今回、トコフェロールやカテキンのような抗酸化成分とは異なり、ケイ酸 TLC プレート上では DPPH ラジカルを明白に消去する作用は認められなかった(図8)。Maeda and Ueda は、リポゾームを膜モデル系として用いてエタノールアミンプラズマローゲンの酸化感受性低下作用を検討し、その作用がビニルエーテル結合を介したラジカル消去によるのではなく、エタノールアミンプラズマローゲン添加によって誘導される膜の物性変化に関連する機構によると推測している<sup>9, 27)</sup>。このように、食品中のプラズマローゲンは抗酸化物質として機能しない可能性が考えられる。

生体内のプラズマローゲンの大部分は生合成されるものであるが、食事(食餌)由来の化合物もプラズマローゲンとして利用される<sup>10, 21, 28)</sup>。ラットを用いた実験において、Nishimukai らは牛脳からのプラズマローゲン濃縮物の経口投与によって血漿プラズマローゲン濃度が3倍以上増加することを報告している<sup>29)</sup>。また、Mawatari らは鶏皮由来のエタノールアミンプラズマローゲン濃縮物(純度96%)を肥満ラットの餌に0.1%添加して4週間飼育すると、赤血球膜中のエタノールアミンプラズマローゲンがわずかながら有意に増加することを観察している<sup>30)</sup>。したがって、食事由来のプラズマローゲンも生体内において生理機能を発現すると考えられる。

これまでプラズマローゲンと様々な疾病との関連性が議論され、慢性的な炎症へと導く酸化ストレスに対してプラズマローゲンが防御的に働くことによって認知症やアテローム性動脈硬化症の予防が期待できるとされている。最近、Fujino らは経口摂取したプラズマローゲンにより、軽度認知症患者の脳機能が有意に改善されたという興味深い研究成果を発表している<sup>17)</sup>。このような効果はドコサヘキサエン酸やエイコサペンタエン酸が結合した海産生物由来のプラズマローゲン種に顕著であると示唆されているが<sup>31, 32)</sup>、アラキドン酸を主要な構成脂肪酸とする鶏由来プラズマローゲンの投与でも抗神経炎症作用やアミロイドβの生成に対する抑制効果が報告されている<sup>14, 16)</sup>。また、琴浦らは健常者を対照として鶏むね肉由来プ

ラズマローゲン摂取試験を行い、アーバンス神経心理テストとコグニトラックスの心理項目において改善が見られることを見出している<sup>7)</sup>。さらに、川村らは記憶力に自信がないと自覚する50歳以上で80歳未満の健常な男女を対照としたプラセボ対象ランダム化二重盲検並行群間比較試験を行い、鶏由来プラズマローゲンを含む試験食品の摂取が加齢に伴って低下する脳の認知機能を摂取4週間後に改善する可能性を提示している<sup>8)</sup>。今回、日常的に喫食されている鶏可食部には100g当たり70mg以上のプラズマローゲンが含まれることが明らかになったが、既報の脳機能改善効果は1日1mg程度のプラズマローゲンを含む試験食(プラズマローゲン濃縮物含有サプリメント)の摂取によって発現している<sup>7, 8, 17)</sup>。このように、有効摂取量を大幅に超えるプラズマローゲンを食事から摂っているのに関わらず、ごく少量のプラズマローゲン濃縮物の服用によって脳機能改善効果が発現する機構については十分には明らかになっていない。今後、上記の臨床試験における被験者が食事から摂取したプラズマローゲン量を検証するとともに、食材中の鶏プラズマローゲンの存在状態が生体利用性に及ぼす影響についても人工消化試験などを行って検討する必要がある。

## 要 約

本研究では北海道産若鶏の可食部について、脳機能改善作用が期待できる機能性リン脂質プラズマローゲンの含量とアルキル鎖の組成を部位別(もも肉、むね肉、ささ身、肝臓、砂肝およびハツ)に比較検討した。ビニルエーテル結合から誘導されるジメチルアセタールの割合から算出すると、プラズマローゲン含量は100g当たり74mg~398mgの範囲であった。これまでの報告と同様に、鶏においても心臓(ハツ)で最も高く、肝臓で低値であった。肉部ではもも肉、むね肉、ささ身の順で多く含まれており、それぞれ194mg、173mgおよび134mgであった。筋胃(砂肝)は肉部と心臓の中間の値で、100g当たり212mgであった。エタノールアミン型とコリン型プラズマローゲンのアルケニル鎖として、C16:0、C18:0、C18:1およびC20:0の4種のアルコールが確認され、そのうち前二者が共通して主なものであった。両者の割合はエタノールアミンプラズマローゲンと

コリン型の間で異なっており、部位によるアルケニル基の類似性と特異性も認められた。また、プラズマローゲンの酸化ストレス抑制作用はビニルエーテル結合部のラジカル消去能によると考えられているが、ケイ酸 TLC 上で DPPH 試薬によってプラズマローゲンを検出することはできなかった。

## 謝辞

GC-MS 分析にご協力をいただいた岩手県立大学宮古短期大学の川島英城教授と国立大学法人帯広畜産大学の木下幹朗教授に深謝します。また、本研究の実施に参加して下さった藤女子大学人間生活学部食物栄養学科の卒業生、別段貴恵、山田彩花、土屋璃奈、西川聡恵、脇坂咲妃の各氏に心よりお礼申し上げます。

## 参考文献

- 1) 山崎民子, 荒井克仁, 松下容子, 得字圭彦, 川原美香, 大庭 潔, 木下幹朗, 大西正男: 北海道産ナガイモ凍結乾燥物の脂質の組成およびヒト結腸がん細胞増殖抑制作用, 日本食品科学工学会誌, 58, 567-575 (2011).
- 2) K. Yunoki, O. Kukino, Y. Nadachi, T. Fujino and M. Ohnishi: Separation and determination of functional complex lipids from chicken skin, *J. Am. Oil Chem. Soc.*, 85, 427-433 (2008).
- 3) 石原愛理, 大宅穂波, 吉田訓子, 大西正男, 川村純, 府中英孝: 鶏肉とその副産物に含まれるアラキドン酸の含量と分布, 藤女子大学人間生活学部紀要, 55, 41-50 (2018).
- 4) 山口 進: 「アラキドン酸」による食品の美味しさ向上効果, 日本調理科学会誌, 44, 317-322 (2011).
- 5) 宮下留美子, 大西正男: 食品セラミドの種類と成分特性, *FOOD Style* 21, 17, 73-75 (2013).
- 6) 三明清隆, 柚木恵太, 川村 純, 府中英孝, 杉山雅昭, 大西正男: 親鶏可食部のプラズマローゲン組成と食用利用のための調製方法, 日畜会報, 85, 153-161 (2014).
- 7) 琴浦 聡, 湯浅浩気, 小池田崇史: 健常者を対象とした脳機能改善に及ぼすプラズマローゲン摂取の影響 - 無作為二重盲検プラセボ対照並行群間比較 -, 薬理と治療, 45, 1511-1521 (2017).
- 8) 川村 純, 琴浦 聡, 安藤俊希, 川崎洋平, 海老原淑子: 健常者を対象としたプラズマローゲン摂取による脳機能改善効果 - プラセボ対照ランダム化二重盲検並行群間比較試験 -, 薬理と治療, 47, 739-749 (2019).
- 9) 前場良太: 未知なるリン脂質-プラズマローゲン-, *オレオサイエンス*, 5, 405-415 (2005).
- 10) 西向めぐみ, 原 博, 前場良太: プラズマローゲンの吸収特性と血中プラズマローゲンのバイオマーカーとしての有用性, *オレオサイエンス*, 15, 53-60 (2015).
- 11) J.M. Dean and I.J. Lodhi: Structural and functional roles of ether lipids, *Protein Cell*, DOI 10.1007/s13238-017-0423-5 (2017).
- 12) M.C.F. Messias, G.C. Mecatti, D.G. Priolli and P.O. Carvalho: Plasmalogen lipids: functional mechanism and their involvement in gastrointestinal cancer, *Lipids Health Dis.*, 17, 41-53 (2018).
- 13) S. Yamashita, T. Kiko, H. Fujiwara, M. Hashimoto, K. Nakagawa, M. Kinoshita, K. Furukawa, H. Arai and T. Miyazawa: Alteration in the levels of amyloid- $\beta$ , phospholipid hydroperoxide, and plasmalogen in the blood of patients with Alzheimer's disease: possible interactions between amyloid- $\beta$  and these lipids, *J. Alzheimers Dis.*, 50, 527-537 (2016).
- 14) M. Ifuku, T. Katafuchi, S. Mawatari, M. Noda, K. Miake, M. Sugiyama and T. Fujino: Anti-inflammatory/anti-amyloidogenic effects of plasmalogens in lipopolysaccharide-induced neuroinflammation in adult mice, *J. Neuroinflamm.*, 9, 197-209 (2012).
- 15) M.S. Hossain, M. Ifuku, S. Take, J. Kawamura, K. Miake and T. Katafuchi: Plasmalogens rescue neuronal cell death through an activation of AKT and ERK survival signaling, *PLoS ONE*, 8(12), e83508 (2013).
- 16) M.S. Hossain, A. Tajima, S. Kotoura and T. Katafuchi: Oral ingestion of plasmalogens can attenuate the LPS-induced memory loss and microglial activation, *Biochem. Biophys. Res. Commun.*, 496, 1033-1039 (2018).
- 17) T. Fujino, T. Yamada, T. Asada, Y. Tsuboi, C. Wakana, S. Mawatari and S. Kono: Efficacy and blood plasmalogen changes by oral administration of plasmalogen in patients with mild Alzheimer's disease and mild cognitive impairment: a multicenter, randomized, double-blind placebo-controlled trial, *EBio Medicine*, 17, 199-205 (2017).
- 18) 高橋是太郎, 福永健治, 吉岡武也: 魚油よりも健康性機能に優れた純国産ホタテオイル, *オレオサイエンス*, 18, 341-348 (2018).
- 19) 大宅穂波, 吉田訓子, 大西正男, 川村 純, 府中英孝: 女子大学生の1日の食事に含まれる脂質成分, 藤女子大学 QOL 研究所紀要, 12, 61-68 (2017).
- 20) K. Yunoki, H. Ishikawa, Y. Fukui and M. Ohnishi: Chemical properties of epidermal lipids, especially sphingolipids, of the Antarctic minke

- whale, *Lipids*, 43, 151-159 (2008).
- 21) N.E. Braverman and A.B. Moser: Functions of plasmalogen lipids in health and disease, *Biochim. Biophys. Acta*, 1822, 1442-1452 (2012).
  - 22) G. Dacremont and G. Vincent: Assay of plasmalogens and polyunsaturated fatty acids (PUFA) in erythrocytes and fibroblasts, *J. Inher. Metab. Dis.*, 18 (Suppl. 1), 84-89 (1985).
  - 23) S. Yamashita, A. Abe, K. Nakagawa, M. Kinoshita and T. Miyazawa: Separation and detection of plasmalogen in marine invertebrates by high-performance liquid chromatography with evaporative light-scattering detection, *Lipids*, 49, 1261-1273 (2014).
  - 24) S. Yamashita, S. Kanno, A. Honjo, Y. Otoki, K. Nakagawa, M. Kinoshita and T. Miyazawa: Analysis of plasmalogen in foodstuffs, *Lipids*, 51, 199-210 (2016).
  - 25) M.L. Blank, E.A. Cress, Z.L. Smith and F. Snyder: Meats and fish consumed in the American diet contain substantial amounts of ether-linked phospholipids, *J. Nutr.*, 122, 1656-1661 (1992).
  - 26) 前場良太: プラズマローゲンの抗酸化作用, *オレオサイエンス*, 2, 27-36 (2002).
  - 27) R. Maeda and N. Ueta: Ethanolamine plasmalogen and cholesterol reduce the total membrane oxidizability measured by the oxygen uptake method, *Biochem. Biophys. Res. Comm.*, 302, 265-270 (2003).
  - 28) 原 博: 抗酸化脂質、プラズマローゲンの吸収, *FFI ジャーナル*, 209, 458-464 (2004).
  - 29) M. Nishimukai, T. Wakisaka and H. Hara: Ingestion of plasmalogen markedly increased plasmalogen levels of blood plasma in rats, *Lipids*, 38, 1227-1235 (2003).
  - 30) S. Mawatari, T. Katafuchi, K. Miake and T. Fujino: Dietary plasmalogen increases erythrocyte membrane plasmalogen in rats, *Lipids Health Dis.*, 11, 161-168 (2012).
  - 31) S. Yamashita, S. Kanno, K. Nakagawa, M. Kinoshita and T. Miyazawa: Extrinsic plasmalogens suppress neuronal apoptosis in mouse neuroblastoma Neuro-2A cells: importance of plasmalogen molecular species, *RSC Adv.*, 5, 61012-61020 (2015).
  - 32) H. Che, M. Zhou, T. Zhang, L. Zhang, L. Ding, T. Yanagita, J. Xu, C. Xue and Y. Wang: EPA enriched ethanolamine plasmalogens significantly improve cognition of Alzheimer's disease mouse model by suppressing  $\beta$ -amyloid generation, *J. Functional Foods*, 41, 9-18 (2018).