

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 19 日現在

機関番号：82111

研究種目：基盤研究(B)

研究期間：2012～2014

課題番号：24380148

研究課題名(和文)ブタ脂肪のトリアシルグリセロール分子種組成と結晶性状を制御し、物性を改変する

研究課題名(英文)Modification of fat physical properties via triacylglycerol composition and crystal property controls

研究代表者

相川 勝弘(AIKAWA, Katsuhiko)

独立行政法人農業・食品産業技術総合研究機構・畜産草地研究所・畜産物研究領域長

研究者番号：20370629

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 14,200,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、ブタ脂肪のTAG分子種組成および結晶性状の制御機構を解明し、これらによる物性の改変効果を検証することを目的とした。ブタ脂肪組織におけるTAG合成酵素のアイソフォーム発現は、他の哺乳動物におけるそれと比較して特有な態様であり、これがブタに特有なTAG分子種組成をもたらしている可能性が示唆される結果を得た。また、ブタ脂肪の結晶化状態を評価するラマン分光指標を開発し、枝肉冷却過程における結晶状態の解析や、ブタ脂肪組織における結晶の分布の可視化に成功した。さらに、冷却条件の異なるブタ脂肪ではかたさや外観が異なることを明らかにした。

研究成果の概要(英文)：This study aimed to investigate control mechanisms of the composition of triacylglycerol (TAG) molecules and crystal properties of pork fat, and to modify physical traits of pork fat. When compared with other mammals' adipose tissue, the gene expression patterns of isoenzymes involved in TAG synthesis were quite different only in pig fat, thus leading to unique fatty acid compositions of positions sn-1, 2 and 3 of TAGs seen in pork fat. We also established Raman-spectroscopic indices to evaluate crystal properties of pork fat, and applied to analyze crystal formation of pork fat during chilling of carcasses and microscopic distribution of crystal in porcine adipose tissues. Moreover, differed cooling speed provided different hardness values and appearances of pork fat.

研究分野：畜産物利用学

キーワード：ブタ 脂肪 トリアシルグリセロール分子種 結晶 ラマン分光 物性

## 1. 研究開始当初の背景

ブタ脂肪の品質は、日本食肉取引規格においては、物性、すなわち「かたさ」「しまり」「ねばり」などの力学的・熱的性質と、「白さ」に相当する色調で評価されている。力学的・熱的性質については硬いものほど、色調については白いものほど高く評価されている。これまで、ブタ脂肪の力学的・熱的性質においては脂肪酸組成が主要な制御因子と考えられ、特に不飽和脂肪酸割合の増加が脂肪を軟化させることから、その制御が中心的な課題となってきた。

しかし、ブタ脂肪組織においては、脂肪酸のほとんどは、3分子の脂肪酸が1分子のグリセロールとエステル結合したトリアシルグリセロール(TAG)の形態で存在している。ブタ脂肪は枝肉や精肉が取引される冷蔵温度帯においては、微視的には固体脂部分と液体脂部分が存在しており、そのうち固体脂部分においては、TAGは結晶構造を取る。この結晶構造には多形があり結晶多形と呼ばれるが、結晶多形はTAG分子種の違いなどの脂肪の化学的な性質と、冷却速度などの結晶形成条件によりことなり、固化後の脂肪の物性に影響する。さらに、結晶性状の違いは脂肪表面における光の反射や散乱を変化させ、脂肪の白さなどの色調に影響を及ぼすものと考えられる。すなわち、同じ脂肪酸組成であってもグリセロール上の脂肪酸の結合位置の違いや、冷却環境の違いによっては異なる物性をもたらす可能性がある。

これらのことは、TAG分子種組成やその結晶性状を生体段階やと畜後の冷却条件により自由に制御することができれば、ブタ脂肪の力学的・熱的性質や色調などの物性を脂肪酸組成制御以外の方法で改変できる可能性を示している。

そこで本研究では、ブタ脂肪におけるTAG分子種と結晶性状の生物学的・物理学的制御による新たな品質改変技術の開発を最終目標とした。

## 2. 研究の目的

本研究では、ブタ脂肪のTAG分子種組成および結晶性状の制御機構を解明し、これらによる物性の改変効果を検証することを目的とした。

具体的には、(1)ブタ脂肪組織や脂肪細胞において、TAG分子の合成酵素をコードする遺伝子のアイソフォーム等を解析し、畜種や脂肪組織の部位などによる違いが認められるかどうかを明らかにし、特にブタ脂肪におけるTAG分子の生成機構が特異的なものであるか解明すること、(2)ブタ脂肪の冷却過程におけるTAG分子の結晶生成過程を枝肉スケールや顕微鏡スケールなど、種々のスケールで解明すること、(3)結晶性状が異なることが予想される冷却条件下でブタ脂肪の力学的性質や色調が変化するかどうかを解明することを目的として研究を進め

た。

## 3. 研究の方法

(1)ブタ脂肪組織および培養脂肪細胞におけるTAG分子合成酵素遺伝子およびその発現解析

TAG分子には*sn-1*、*sn-2*、*sn-3*位に結合する脂肪酸の違いによる位置異性体が存在し、ブタ脂肪は他の油脂と異なり*sn-1*位にオレイン酸、*sn-2*位にパルミチン酸が特異的に多く結合することが報告されている。この特異性を生じる要因を解明するために各位に脂肪酸を結合させる酵素のアイソフォームに着目した。ブタを含む種々の脂肪組織に加えて肝臓および胸最長筋よりmRNAを抽出した後、cDNAを合成し、それら遺伝子発現量をリアルタイムPCRにより測定した。具体的には、以下の遺伝子について既存の配列情報を元にプライマーを設計した。*sn-1*位に脂肪酸を結合させる酵素、glycerophosphate acyltransferase (GPAT)1、3および4。*sn-2*位に脂肪酸を結合させる酵素、1-acylglycerol-3-phosphate O-acyltransferase (AGPAT)1と2。*sn-3*位に脂肪酸を結合させる酵素、diacylglycerol acyltransferase(DGAT)1と2。内部標準にはリボソームタンパク質L7(RPL7)を用いた。

また、ブタ由来の培養脂肪前駆細胞株(PSPA)とマウス由来の培養脂肪前駆細胞株(3T3-L1)を用いて、脂肪細胞分化に伴う上記TAG合成酵素遺伝子アイソフォームの発現比較を行った。さらにPSPAを用いて、siRNAによるGPAT4の発現阻害試験を試みた。

(2)ブタ脂肪におけるTAG分子の結晶およびその生成過程の解析

TAGの結晶状態は、これまで主に熱分析やX線回折、偏光顕微鏡観察により調べられてきた。しかし、これらの手法では、結晶化度と結晶多形、高次構造のすべてを同時に解析することは不可能であり、脂肪の物性形成機序の理解は難しかった。そこで、脂肪の構造解析法として優位性が高いラマン分光を用いて、これらの同時解析法の開発をおこなった。

と畜直後から冷却保存中(4)のブタ枝肉脂肪を用いて、温度と結晶化時間を変えた脂肪のラマンスペクトルを測定し、結晶化度と結晶多形の変化を適切に表すラマン分光指標について検討した。

また、結晶が作る高次構造を解析するために、4で0時間、4時間、10時間、2ヶ月間保存したブタ脂肪組織をラマン顕微鏡により測定し、検討したラマン分光指標を用いて結晶状態の画像化をおこなった。

(3)ブタ脂肪の物性変化の解析

冷却条件の違いが力学的性質に及ぼす影響の解析

ブタ脂肪において、結晶性状が異なると予

想される冷却条件の違いが物性に及ぼす影響を、市販精製ラードをモデルとして調べた。ラードは70℃で1時間以上処理して結晶を失わせた後に、直径10mmのガラス製チューブに充填し、クールバスを用いて65℃から3℃まで、1分間あたり0.05~3.0℃までの種々の速度で冷却した。冷却終了後、1分間あたり0.2および3.0℃の速度で冷却したサンプルについては経時的にサンプリングし、物性を測定した。それ以外のサンプルについては、冷却終了後24時間後に物性を測定した。

物性の測定は、直径3mmの円柱状の金属製プランジャーをあらかじめ冷却しておき、これを冷却により固化したラードの表面から60mm/分の速度で1mm侵入させることで行い、この間の最大応力をラードの「かたさ」とした。

冷却条件の違いが色調に及ぼす影響の解析

と同様のサンプルを用い、冷却条件の違いが「ヒトが見て分かる違い」をもたらすかどうかを検討した。

被験者は畜産草地研究所(つくば)の職員とし、The Fransworth D-15 testを用いて色調の識別能力を確認した。本テストに合格し選ばれた被験者のうち24名により色調の「見て分かる違い」を解析した。

サンプルは0.2℃/分および3.0℃/分の冷却速度を用い、試験1としてこれら2つの冷却速度の違いを識別できるかどうかに関する3点識別試験を行った。また、試験2として、これら2つの冷却速度の違いを識別できるかどうか、また、識別したものが他のものより「白さが強かったかどうか」をあわせてたずねる3点識別試験を行った。試験1と2について、被験者を12名ずつ割り付けた。評価環境は室温3℃にセットした冷蔵室内で、周囲を明度40の無彩色の厚紙で覆い、1000lx以上の蛍光灯照明下とした。

#### 4. 研究成果

(1) ブタ脂肪組織および培養脂肪細胞におけるTAG分子合成酵素遺伝子およびその発現解析

ブタの皮下脂肪では外層、内層共にGPAT1とGPAT3よりもGPAT4が、AGPAT2よりもAGPAT1が、DGAT1よりもDGAT2が主に発現していた。それに対してウシ、マウスおよびヒトの脂肪組織ではGPAT4よりもGPAT1とGPAT3が、AGPAT1よりもAGPAT2が主に発現していた。*sn-3*位に脂肪酸を結合させる酵素はすべてDGAT1よりもDGAT2が高発現しており、動物種による違いは見られなかった。皮下脂肪以外にもブタの腎周囲脂肪と腹腔内脂肪におけるTAG合成酵素遺伝子アイソフォームの発現量を調べた結果、何れの部位においてもGPAT4-AGPAT1-DGAT2を高発現する同様の傾向を示したことから、ブタの脂肪沈着部位による差はないことが確認さ

れた。

続いて、脂肪組織以外の臓器であるブタの肝臓および胸最長筋におけるTAG合成酵素遺伝子アイソフォームの発現様式を比較した。その結果、脂肪組織における発現様式とは異なり、肝臓ではGPAT1/3-AGPAT2-DGAT1/2が主に発現し、胸最長筋ではGPAT3-AGPAT2-DGAT1が主に発現していた。また、これら3臓器におけるTAG合成酵素遺伝子についてブタの成長に伴う発現変動を調べた。胎仔(85日齢)生後0、1、3、5ヶ月とブタの脂肪組織では、GPAT4、AGPAT1およびDGAT2遺伝子の発現量が特異的に増加した。GPAT3は生後0ヶ月で発現量が上昇し、その後減少するといった一過性の変化を示した。一方、肝臓ではブタの発達に伴い、GPAT1、AGPAT2の発現量が顕著に増大した。脂肪合成能の低い胸最長筋では、胎仔から5ヶ月齢までの成長期間を通じてアイソフォーム間の発現量に大きな変動は見られなかった。これらの結果、ブタの脂肪組織に特異的に見られたGPAT4-AGPAT1-DGAT2の発現様式は、ブタの脂肪組織の発達に応じて発現量が増加することによりその特色が顕在化することが明らかとなった。

さらに、ブタ(PSPA)およびマウス(3T3-L1)由来の培養脂肪前駆細胞株を用いて、脂肪細胞分化に伴うTAG合成酵素遺伝子について発現変動を比較した。分化誘導刺激による細胞質内への脂肪滴の蓄積の増大に伴い、PSPA細胞ではGPAT4とDGAT1/2の発現量が増加した。AGPAT1とAGPAT2については、分化誘導に伴う明快な変化は認められなかった。これに対し3T3-L1細胞では、GPAT1/3、AGPAT2およびDGAT1/2の発現量が脂肪細胞への分化に伴い上昇し、両者ともにこれまでの脂肪組織における発現様式の結果と概ね合致した。また、TAG合成酵素遺伝子の発現は脂肪細胞分化の段階で特異的に制御されている可能性が示唆された。加えて、PSPA細胞にsiRNAを添加し、ブタで特徴的なGPAT4の発現阻害を試行した。siRNAの添加時期、添加期間、分化培地等の検討により、GPAT4の発現量を6割程度阻害することに成功したものの阻害効果を確認するには不十分であることから、阻害方法について更なる検討が必要であると考えられた。

以上の結果、ブタの脂肪組織においては他の動物種の脂肪組織とは異なり、TAG合成酵素遺伝子として主にGPAT4-AGPAT1-DGAT2を発現していることを明らかにした。各アシルトランスフェラーゼのアイソフォームによっては基質特異性を示すものや既に結合している脂肪酸の種類によって次に作用するアシルトランスフェラーゼのアイソフォームが影響を受けるとの報告がある。従って、本研究において明らかになったブタ脂肪組織に特異的なTAG合成酵素遺伝子アイソフォームの発現様式の違いが、最終的にブタに

特徴的な TAG 分子種をもたらしている可能性が示唆された。

## (2) ブタ脂肪における TAG 分子の結晶およびその生成過程の解析

試料のラマンスペクトルより脂肪の結晶化状態を評価するためのラマン分光指標を検討した。検討には、過去の文献で脂肪のモデル化合物であるポリエチレンの結晶状態を表す指標を応用した。すなわち、

$$\alpha_C = \frac{I_{1297}}{I_{1297} + I_{1305}} \times 100$$

$$C_{trans} = \frac{(1.3)I_{1130}}{I_{1297} + I_{1305}} \times 100$$

$$\alpha_{\beta'} = \left( \frac{1}{0.493} \right) \frac{I_{1418}}{(I_{1297} + I_{1305})} \times 100$$

$\alpha_C$  と  $C_{trans}$  は結晶化度を表す指標、 $\alpha_{\beta'}$  は  $\beta'$  型結晶多形の量を表す指標である。サンプル（と畜後～冷蔵保存中のブタ枝肉脂肪）のラマンスペクトルより算出したこれらの値を図1に示す。 $\alpha_C$  と  $C_{trans}$  は、温度降下と時間経過に伴う結晶化の進行に伴って増加したことから、結晶化度を適切に反映していると考えられた。 $\alpha_C$  の方が  $C_{trans}$  よりも値が大きいのは、結晶と融液との境界領域の構造（分子のパッキングが一定程度ある）を含んでいるためと考えられた。

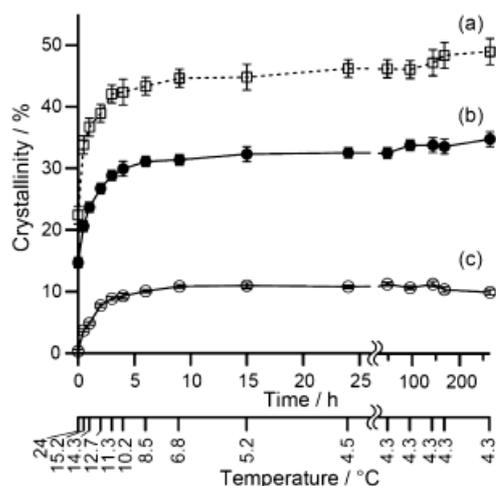


図1．豚枝肉脂肪の結晶状態を表すラマン分光指標値と枝肉温度の変化。(a)  $\alpha_C$  : 結晶化度、(b)  $C_{trans}$  : 結晶化度、(c)  $\alpha_{\beta'}$  :  $\beta'$  結晶多形含量

開発したこれらのラマン分光指標を顕微測定に応用し、冷蔵保存期間を変えたブタ脂肪組織における脂肪の結晶および結晶多形の分布状態を調べた。その結果、結晶化度と  $\beta'$  結晶多形の分布と、それらが作る高次構造について、画像化に成功した（図2）。脂肪に「かたさ」や「ねばり」などの物性を付与

するといわれている結晶ネットワーク構造が確認され、 $\beta'$  型結晶が形成に寄与していることが明らかとなった。

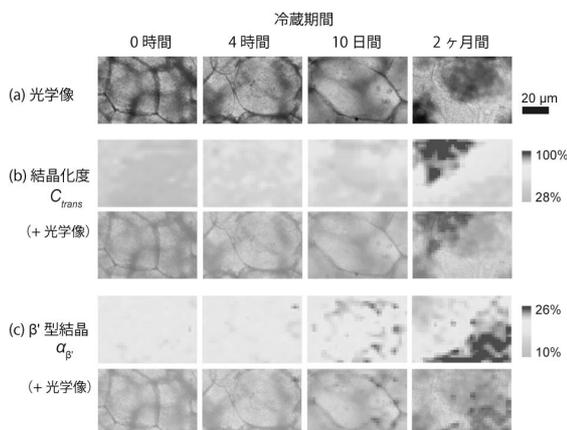


図2．ブタ脂肪組織における脂肪の結晶分布。(a) 光学像、(b) 結晶化度、(c)  $\beta'$  型結晶多形。

さらに、得られたラマン分光指標値を利用してラマンスペクトルを多変量解析することにより、テクスチャーの悪化に関係すると言われている  $\beta'$  型結晶多形の分布とその経時変化を明らかにすることが出来た。この  $\beta'$  型結晶多形は多変量解析の結果得られたスペクトル形状より、豚脂肪に最も多い *sn*-OPO やそれと類似の脂肪分子種のものであると考えられた。これが豚脂肪組織において冷蔵保存 10 日～2 ヶ月の間に大きな結晶に成長していることが確認できた。*sn*-OPO 分子種が増える方向の組成変化は、脂肪を長期間保存する場合には最安定型の結晶多形 ( $\beta'$ ) 生成によりテクスチャーを悪化させる可能性がある。

## (3) ブタ脂肪の物性変化の解析

冷却条件の違いが力学的性質に及ぼす影響の解析

ロードのかたさは、冷却終了後 6 時間までは上昇したが、その後は 48 時間後まで変化しなかった。この傾向は冷却速度が 0.2 /分、3.0 /分とも同様であることから、ロード冷却後の物性は、冷却速度に関わらず、冷却終了後 6 時間後から 48 時間後までの間は安定であることが示唆された。この結果より、ロードの物性の測定は冷却終了後 24 時間後に実施することとした。

続いて、種々の冷却温度で冷却したロードの冷却終了後 24 時間後のかたさを測定した結果、冷却速度が速くなるほどロードがかたくなることが示された、冷却速度とかたさの関係は曲線に近似が可能であり、冷却速度が 1.0 /分を上回るとかたさへの影響は小さくなった。他方、冷却速度が 0.2 /分と 3.0 /分の間では 1.89 倍の差が認められるとともに、冷却速度が遅いほどその違いはかたさに大きく影響を及ぼすことが明らかとなった。実際の枝肉保冷庫におけるブタ枝肉の冷却速度は 0.1 /分程度かそれ以下と考えられる

ことから、枝肉保冷库程度の冷却条件においては、少しの冷却温度の違いが脂肪の物性に大きな影響を及ぼす可能性が考えられた。

冷却条件の違いが色調に及ぼす影響の解析

試験1：冷却速度が0.2 /分と3.0 /分のラードの識別性について被験者1名あたり3反復の3点識別試験を行った結果、全ての反復において両者は有意に識別された。これらの結果より、冷却速度の違いはラードに「みてわかる違い」をもたらすことが示唆された。

試験2：冷却速度が0.2 /分と3.0 /分のラードの識別性について被験者1名あたり3反復の3点識別試験を行った結果、試験1と同様に、全ての反復において両者は有意に識別され、試験1の結果が正確に再現された。また、両者の「白さの強さ」について比較させたところ、3点識別試験の正解者の全てが、冷却速度の違い方を「白さが強い」と判定した。これらの結果より、ラードの冷却速度の違いは見た目の違い、とくに「白さ」の違いに影響を及ぼしており、冷却速度が遅い方がより「白く」なることが示唆された。

これら(1)~(3)の結果より、ブタ脂肪のTAG分子種組成やその結晶性状を制御できる可能性があることや、結晶性状が異なることにより力学的特性や色調といった物性を制御できる可能性が強く示唆された。ブタ脂肪の物性改変を自由自在に行うためには、今後、結晶性状の違いと物性の関係をより直接的に検証するとともに、TAG分子種組成や結晶性状の精密な制御手法の確立に取り組む必要があるものと考えられた。

## 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)

Motoyama M, Chikuni K, Narita T, Aikawa K, Sasaki K. In situ Raman spectrometric analysis of crystallinity and crystal polymorphism of fat in porcine adipose tissue. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. **61**: 69-75. 2013. 査読有

DOI: 10.1021/jf3034896

[学会発表](計 12件)

本山三知代. ラマン分光による油脂の結晶性状の同時イメージング. つくばサイエンス・アカデミー (SAT) テクノロジーショーケース 2015 ポスターP-47, つくば国際会議場 (つくば市) 2015.1.21.

中島郁世, 千国幸一, 本山三知代, 大江美香, 尾嶋孝一, 室谷進, 相川勝弘, 佐々木啓介. ブタ脂肪組織に特異的に発現するトリアシルグリセロール合成酵素遺伝子アイソフォーム、グリセロール3リン酸アシルトラ

ンスフェラーゼ4. 第102回日本養豚学会大会、講演要旨、pp.8、日本大学湘南キャンパス (藤沢市) 2015.3.13.

佐々木啓介, 本山三知代, 中島郁世, 相川勝弘, 千国幸一. 冷却速度がラードの硬さに及ぼす影響. 第102回日本養豚学会大会、講演要旨、pp.7、日本大学湘南キャンパス (藤沢市) 2015.3.13.

本山三知代. ラマン分光イメージングによる油脂の結晶状態の同時評価技術. イノベーション・ジャパン 2014, ポスターJH-08, 東京ビッグサイト (東京都) 2014.9.11-12.

Motoyama M, Hayashi S, Osamura K, Chikuni K, Nakajima I, Aikawa K, Sasaki K. Development of Raman spectroscopic on-site method to measure solid fat content. 60th International Congress of Meat Science and Technology. Abstracts. Punta del Este (Uruguay), 2014.8.19.

Motoyama M, Sasaki K, Aikawa K, Ando M, Hamaguchi H. Raman Microspectroscopic Approach to Detect Pork. 2nd International Symposium on Halal Science and Innovative Product Development. Darussalam (Brunei), 2014.2.11-13.

中島郁世, 千国幸一, 本山三知代, 大江美香, 尾嶋孝一, 室谷進, 相川勝弘, 佐々木啓介. ブタ脂肪組織に特徴的なトリアシルグリセロール合成酵素遺伝子アイソフォームの発現パターン. 第99回日本養豚学会大会、講演要旨、pp.12、仙台市民会館 (仙台市) 2013.10.10.

Motoyama M, Ando M, Sasaki K, Hamaguchi H. Imaging of fat crystals within pork adipose tissue. International Congress of Meat Science and Technology, Book of Abstracts. Pp.49. Izmir (Turkey), 2013.8.18-23.

本山三知代, 千国幸一, 中島郁世, 相川勝弘, 佐々木啓介. 食肉脂肪の結晶状態の可視化. 日本畜産学会第117回大会、講演要旨、pp.108、新潟大学農学部 (新潟市) 2013.9.9.

千国幸一, 本山三知代, 中島郁世, 佐々木啓介, 相川勝弘. トリアシルグリセロールsn-2脂肪酸結合に関与する酵素アイソフォーム遺伝子の発現量. 日本畜産学会第116回大会、講演要旨、pp.194、安田女子大学 (広島市) 2013.3.20.

Motoyama M, Ando M, Sasaki K, Hamaguchi H. Raman microspectroscopic in situ study of porcine fat crystal polymorphism. World Congress on Oleo Science & 29th ISF Congress -JOCS/AOCS/KOCS/ISF Joint Meeting-, Proceedings (USBメモリ). アルカス SASEBO (佐世保市), 2012.10.3.

Motoyama M, Chikuni K, Sasaki K. Preliminary study of fat crystal properties of pig carcass using Raman spectroscopy. 58th International Congress of Meat Science and Technology, Proceedings (CD-ROM). Montreal (Canada), 2012.8.14. (<http://www.icomst2012.ca>)

〔図書〕(計 1件)

Motoyama M. Raman Spectroscopy Raman Spectra of Meat and Obtainable Information , Chapter 15, in 'Advances in Meat Processing Technology' . CRC press, 発行確定、(印刷中)

〔産業財産権〕

○出願状況(計 2件)

名称：食品中の豚肉を検出する方法

発明者：本山三知代、相川勝弘、佐々木啓介、中島郁世、千国幸一

権利者：独立行政法人農業・食品産業技術総合研究機構

種類：特許(国内優先権主張出願)

番号：2014-165110

出願年月日：2014年8月

国内外の別：国内

名称：食品中の豚肉を検出する方法

発明者：本山三知代、相川勝弘、佐々木啓介、中島郁世、千国幸一

権利者：独立行政法人農業・食品産業技術総合研究機構

種類：特許

番号：2013-169248

出願年月日：2013年8月

国内外の別：国内

○取得状況(計 0件)

〔その他〕

アウトリーチ活動の掲載記事として「豚肉の脂肪のやわらかさなど比較して紹介 - 畜産草地研究所が研究紹介」、畜産日報、平成 27 年 4 月 21 日、5 面. 2015.

6. 研究組織

(1)研究代表者

相川 勝弘 (AIKAWA, Katsuhiko)

独立行政法人農業・食品産業技術総合研究機構・畜産草地研究所・畜産物研究領域長

研究者番号：20370629

(2)研究分担者

千国 幸一 (CHIKUNI, Koichi)

独立行政法人農業・食品産業技術総合研究機構・畜産草地研究所・畜産研究支援センター・専門員

研究者番号：40355061

中島 郁世 (NAKAJIMA, Ikuyo)

独立行政法人農業・食品産業技術総合研究機構・畜産草地研究所・畜産物研究領域・主任研究員

研究者番号：60355063

本山 三知代 (MOTOYAMA, Michiyo)

独立行政法人農業・食品産業技術総合研究機構・畜産草地研究所・畜産物研究領域・主任研究員

研究者番号：20414683

佐々木 啓介 (SASAKI, Keisuke)

独立行政法人農業・食品産業技術総合研究機構・畜産草地研究所・畜産物研究領域・主任研究員

研究者番号：20343981

(3)連携研究者

(4)研究協力者

成田 卓美(NARITA, Takumi)