

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 9 月 22 日現在

機関番号：11301

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2014～2016

課題番号：26292111

研究課題名(和文) 新奇レクチン機能の分子機構解析と魚類抗病性への展開

研究課題名(英文) Molecular mechanism of novel lectin functions and its application to fish biodefense

研究代表者

村本 光二 (Muramoto, Koji)

東北大学・生命科学研究科・名誉教授

研究者番号：90157800

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 12,600,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、我われが魚類において発見した新奇レクチンファミリー(RBL)の生理機能を解析し、抗病性への展開を図った。まずモデル動物ゼブラフィッシュにおいて複数のRBLの存在を確認し、構成分子(サブユニット)の多様性を明らかにした。これらレクチンの微生物に対する凝集活性、生体内分布と発生・分化・成長に伴う動態を明らかにした。また、ゼブラフィッシュ胚膜における輸送経路の解析、それを利用した抗病性に関わる抗酸化ストレスの測定法を設定した。さらに胚発生毎の酸化ストレス応答、ペプチドとオリゴ糖鎖、ポリアミンおよびその前駆体の抗酸化ストレス作用を明らかにした。

研究成果の概要(英文)：Novel rhamnose-binding lectins (RBLs), named DRLs, were isolated from the zebrafish eggs. Multiple DRLs were expressed in early embryos. DRLs were most highly expressed in ovary, but they were also distributed in various tissues in male and female fish. They had bacterial agglutination activity. These results suggest that DRLs are involved in innate immunity as a pattern recognition molecule against pathogens. An oxidative stress model was established by treating zebrafish embryos with various kinds of oxidative stress reagents. The oxidative stress was evaluated by measuring reactive oxygen species (ROS) generated in the embryos and intracellular Ca<sup>2+</sup> concentration using a newly developed a simultaneous measuring instrument of fluorescence and chemiluminescence. Histidine-containing peptides and polyamines showed ROS scavenging activity in a concentration-dependent manner for any oxidation stress reagents. The morphological change due to UV irradiation was suppressed by spermine.

研究分野：農学 水圏応用科学 水圏生命科学

キーワード：レクチン ゼブラフィッシュ 抗酸化活性 生体防御 糖鎖認識 腸管機能 免疫賦活

### 1. 研究開始当初の背景

養殖対象魚種が増えて疾病も多様化している今日、薬剤やワクチンだけでなく、抗酸化剤や免疫賦活剤で非特異的生体防御能を高めることは魚病を予防する有効な手段である。多くの場合、これらは飼料に添加して投与するが、腸管からの吸収性が効力を発揮する鍵となる。腸管では、分子の透過・輸送、消化酵素の分泌、免疫・神経・内分泌等の多様な系と、微生物叢が相俟って機能していることがホ乳類では明らかにされているが、魚類における研究は非常に少ない。一方、動物性飼料資源の減少により、脱脂大豆などの植物性代替飼料の利用が増加している。

コイ科ゼブラフィッシュ (*Danio rerio*) は、全ゲノムが解析されており、モデル実験動物として遺伝、発生・分化、形態形成、免疫などの広範な研究分野で用いられている。しかし、消化管の機能や透過・輸送機構に関する報告はほとんどない。我われはこれまで、海洋生物を中心としてレクチンの探索を進め、原核生物から魚類までの多様な生物種から特異な機能性を有するレクチンを単離し、それらの性状を明らかにした。とくに魚類では、サケ科魚類未受精卵でのラムノース結合特異性レクチン (RBL) の発見を端緒に、この新規ファミリーに属するレクチンを魚類だけでなく、海洋無脊椎動物からも単離し、それらの生化学的性状とともに自然免疫系における働きを明らかにした。

レクチンは養殖魚用植物性飼料原料としても用いられるマメ科やイネ科の植物にとくに多く含まれ、これらのレクチンは熱処理や消化酵素に対して高い安定性をもつ。我われは、大豆レクチンがホ乳類の腸管でのポリフェノールの吸収性を高めることを初めて明らかにした。これらの研究の中で、RBL が腸管上皮細胞の間隙 (タイトジャンクション: TJ) を強く開放すること、RBL の異なる部位でマクロファージ培養細胞の貪食能と呼吸バーストをそれぞれ活性化すること、そしてシアル酸化 T 抗原特異性レクチンは、内在性抗酸化剤であるグルタチオンの上皮細胞における産生能を刺激亢進することを発見した。

ゼブラフィッシュの胚および稚魚は透明であるため、骨格や内臓を直接、顕微鏡下で観察することが可能である。さらに、発生初期のゼブラフィッシュ胚膜は様々な低分子化合物を透過させるため、これら化合物の毒性や変異原性の試験にも用いられている。近年、疾病予防のために食品機能性成分が注目されており、ポリフェノールやペプチド等の食品機能性が、ラットやマウスなどの実験動物を用いて評価されている。しかし、ゼブラフィッシュやその胚を食品機能性の評価に用いた例はまだ少ない。一方、食品機能性成分の研究で、 $\beta$ -1,3-グルカンなどの多糖類には免疫賦活活性をもつことが明らかにされているが、最近、コブラミール・マンナン

酵素分解で生成する  $\beta$ -1,4-マンノピオースには家畜腸管における病原菌の定着阻害活性があることが分かった。

### 2. 研究の目的

本研究では、我われがこれまでの研究で明らかにしたレクチンの生化学的性状と機能性、すなわち・細胞間隙開閉調節作用、・グルタチオン合成刺激作用、・レクチン分子の多機能性、それぞれの分子機構を解析することにより、レクチンの自然免疫における役割をより詳しく理解し、かつ抗酸化剤と免疫賦活剤の腸管吸収率を高め、魚類の抗病性の向上に資することを目的とした。このために本研究では、・新奇動物レクチン・ファミリーである RBL の TJ に対する強い開放作用の分子機構を明らかにした。さらにゼブラフィッシュに抗酸化剤・免疫賦活剤とともに投与し、吸収率、体内レドックス、免疫細胞の応答を解析した。

次に、ゼブラフィッシュ胚を酸化ストレスモデルとして用いることを目的に、胚内の活性酸素種 (ROS) 量を測定する方法の確立を目指した。さらに、酸化ストレスを与えたゼブラフィッシュ胚を生育し、形態変化を観察した。さらに、本研究により開発したゼブラフィッシュ胚酸化ストレスモデルを、食品中の抗酸化物質で処理することにより、酸化ストレスが緩和されるか否かを調べた。抗酸化物質としては、先行研究により抗酸化活性が明らかにされているヒスチジン含有ペプチド、また最近長寿食成分として注目されているポリアミンを用いた。以上の検討結果を基に、ゼブラフィッシュ胚を用いる *in vivo* 抗酸化測定法を開発した。

### 3. 研究の方法

ゼブラフィッシュを用いて、レクチンの腸管機能に対する作用の分子機構を、生化学的手法に加えて、プロテオームにより解析した。また、免疫賦活剤と抗酸化剤のゼブラフィッシュの成魚と胚に対する作用を蛍光高速液体クロマトグラフィー (HPLC) によって調べた。抗酸化ストレスと免疫機能の評価は、バイオマーカーと炎症性サイトカインを、化学発光・蛍光同時測定装置および酵素免疫測定法を用いて測定した。

腸管に対するレクチンの調節機能の分子機構として、レクチンとの直接的な相互作用により上皮細胞機能が変化する場合と、輸送に関する上皮細胞タンパク質の発現調節によって機能が変化する場合が考えられる。そこで前者については、レクチンを投与後、アクチン等の細胞骨格タンパク質、およびタイトジャンクション (TJ) 構成タンパク質 (occludin, claudins) に対する抗体を用いた蛍光顕微鏡観察によりレクチンの影響を調べた。後者の機構を検討するために、レクチン処理による腸管上皮のタンパク質発現パターンをプロテオーム解析した。レクチンに

は、糖鎖結合特異性がそれぞれ異なる大豆、小麦胚芽、ナタメ、シロサケレクチン(RBL)を用いた。

配合飼料に抗酸化剤・免疫賦活剤として知られる  $\alpha$ -グルカンを加え、生体吸収量を蛍光 HPLC で分析した。ゼブラフィッシュにおける抗酸化剤と免疫賦活剤の生体内の評価を、化学発光・蛍光同時測定装置により行った。同装置により、細胞質内の  $Ca^{2+}$  レベルの変化を蛍光試薬で、 $\cdot O_2$  の生成を化学発光で測定した。このとき前者により抗炎症・免疫賦活活性を、後者により抗酸化活性を識別した。

植物性飼料の主要成分であるタンパク質の酵素分解物には、免疫調節作用や抗酸化活性等、多様な生理活性が報告されている。腸管でのペプチドの輸送には、PepT1 のようなペプチドトランスポーターだけでなく、細胞間隙(TJ)拡散が関与していることが分かっている。そこで我われがこれまでに開発した抗酸化ペプチド(His 含有ジペプチド)をゼブラフィッシュに投与し、その吸収率と生体機能性を調べた。

RBL は魚類だけでなく、植物、無脊椎動物、ヒトにいたる広範な生物に存在する。そこでゼブラフィッシュ未受精卵から RBL を単離し、生化学的性状や糖鎖認識ドメイン(CRD)構造、およびサブユニット構造を調べ RBL の多機能性の分子基盤を明らかにした。

ゼブラフィッシュの抗酸化ストレスと抗病性の向上に関わる因子として、抗酸化剤と免疫賦活剤、および植物性飼料原料由来のレクチンの活性を調べた。これらの吸収透過量は、試料を添加した飼料の各個体における摂取量によって大きく影響されるため、個体毎の摂取量測定法を考案した。本法では、蛍光試薬ダンシルアミドを疎水結合させたオクタデシル化シリカゲルビーズをマーカーとして、試料(抗酸化剤・免疫賦活剤)とともに飼料に添加後、試験魚に与え、血液と臓器・組織を採取するときに、同時に腸管内容物からマーカーを回収した。溶離液でマーカーから脱離したダンシルアミドを蛍光 HPLC で定量分析して摂取量を測定した。

ゼブラフィッシュ胚を用いて糖類の抗酸化活性や免疫賦活活性を評価することを目的とし、ゼブラフィッシュ胚の活性酸素種(ROS)および一酸化窒素(NO)の測定法を検討した。また、食品機能成分が胚の中で活性を発現するためには、胚膜を透過しなければならないが、胚膜の輸送機構については ABC トランスポーターのほかには存在が知られていない。そこで哺乳動物の腸管モデルにおいて輸送経路が知られている蛍光マーカーを用いて胚膜における輸送経路の多様性を評価した。

#### 4. 研究成果

(1) ゼブラフィッシュ RBL (DRL) の単離精製  
ゼブラフィッシュの未受精卵を採取し、L-rhamnose を固定化したセファロース 4B ゲ

ルを用いたアフィニティークロマトグラフィーによって DRL 画分を分離した。DRL の溶出には 0.2 M L-rhamnose と 2 M 尿素/0.2 M L-rhamnose を連続して用いた。SDS-ポリアクリルアミドゲル電気泳動(PAGE)の結果、L-rhamnose 溶出画分では非還元条件下で 17 ~ 23kDa 付近に複数の染色バンドを観察した。尿素溶出画分の主要バンドは非還元条件下で 30kDa に得られた。L-rhamnose で溶出される DRL は複数の分子種から構成されており、活性を保持したまま個別に単離することは困難であった。そこで逆相分配系 HPLC に供し 8 つの成分に分離した。SDS-PAGE の結果、DRL の主要な構成分子(サブユニット)は 7 種であり、これらが多様な組み合わせで DRL を形成することが分かった。

#### (2) DRL の赤血球凝集活性と糖結合特異性

0.2 M L-rhamnose 溶出画分の糖結合特異性をウサギ赤血球凝集試験により解析した。血球凝集は L-rhamnose によって最も強く阻害され、最低阻害濃度は 0.05 mM であった。濃度を高めると melibiose や L-arabinose によっても凝集が阻害され、DRL はピラノース環の C2 位と C4 位の水酸基の配向を識別して結合することが分かった。一方、L-rhamnose カラムに強く結合した尿素溶出画分にはウサギ赤血球に対する凝集活性はみられず、糖鎖レベルでは DRL とは異なる結合特異性を持つと考えられる。

#### (3) DRL アミノ酸配列の解析

DRL の各構成分子種を気相プロテインシーケンサーによって解析した。BLAST を用いたホモロジー検索を行った結果、これまでに本研究室で同定した DRL1 ~ 3 に加え、17kDa、18kDa、20kDa、23kDa の DRL 構成分子がゼブラフィッシュ未受精卵において発現していることが新たに確認された。これらの中で主要なものは 17kDa、18kDa、DRL1 であり、20kDa と DRL2 はマイナー成分であった。これらはすべて、RBL に特徴的なペプチドモチーフである “ Tyr-Gly-Arg (YGR) ” と “ Asp-Pro-Cys (DPC) ” の配列、8 つの半シスチン残基を分子内に保存していた。一方、尿素溶出画分の 30kDa タンパク質は RBL 特有のモチーフ配列を有しておらず、0.2 M L-rhamnose で溶出される DRL とは異なるファミリーのレクチンであることが示された。

#### (4) DRL の体内内分布

DRL サブユニットに対するウサギの特異抗体を用いた免疫学的手法によって DRL の生体内分布を調べた。各組織のドットプロット試験の結果、3ヶ月齢のゼブラフィッシュ成魚において DRL は卵巣とエラに多く存在していた。これはシロサケ卵 RBL の特異抗体を用いた免疫染色で卵細胞やエラが強く染色される知見と一致した。また、同様に発生段階における DRL の量的変化を調べたところ、DRL

は受精後 9~12 時間をピークに減少した。発生の進行に伴う RBL 量の減少はスチールヘッドマス卵 RBL でも確認されており、RBL が魚類の発生初期に特に重要な役割を担っていることが示唆された。これらの結果から、ゼブラフィッシュの未受精卵には、ファミリーの異なるマルチプルレクチンが存在しており、生体防御や発生分化において多様な機能性を担っていると考えられる。

#### (5) ゼブラフィッシュ胚における活性酸素種(ROS)量の測定

受精後約 3 時間 (3 hours post fertilization, 以下 hpf と表記)以降のゼブラフィッシュ胚を、 $\beta$ -1,4-マンノピオース (Mnb),  $\beta$ -1,3-グルカンからなるラミナリン (Lami)、および加水分解ラミナリン (H.Lami) を含む胚培地中で 1 時間インキュベートした。親水性ペルオキシラジカル発生剤 2,2'-Azobis(2-amidinopropane) dihydrochloride (AAPH) を含む胚培地中で 24 時間インキュベートして酸化ストレスを与えた後、胚を十分に洗浄した。ROS 検出試薬 2',7'-dichlorofluorescein diacetate (DCF-DA) を加えて反応させ、蛍光強度を測定した。また、生体内の ROS 生成には  $Ca^{2+}$  が関わっていることが考えられるため、蛍光・化学発光同時測定器を用いて ROS と  $Ca^{2+}$  量を同時に測定した。AAPH による酸化ストレスで胚内の ROS 量は顕著に増加し、Mnb, Lami, および H.Lami のいずれでも AAPH による ROS 生成の増加が抑制された。また、ROS 量を化学発光により検出したところ、同様の効果がみられた。しかし、AAPH を与えなかった場合、ROS 量は Mnb を与えた胚では変化しなかったのに対し、Lami または H.Lami を与えた胚内では有意に減少した。 $Ca^{2+}$  量はいずれの糖鎖においても減少した。このことから、Mnb と Lami, H.Lami は異なるメカニズムでその活性を示すことが示唆された。

#### (6) ゼブラフィッシュ胚における一酸化窒素(NO)量の測定

NO は生体内での半減期が非常に短いため、その派生物である亜硝酸イオン  $NO_2^-$  を定量する方法を用いた。各日齢のゼブラフィッシュ稚魚を各糖類を含む胚培地中でインキュベートした後、大腸菌由来リポ多糖(LPS)を含む胚培地中で 24 時間インキュベートし、炎症を誘発させた。PBS 中でホモジネートを作製し、diaminonaphthalene (DAN) と反応させた。DAN と  $NO_2^-$  が反応して生じる naphthotriazole (NAT) を逆相分配系 HPLC により分析し、NO 生成量を求めた。ゼブラフィッシュ胚内の NO 量は、派生物である  $NO_2^-$  として逆相分配系 HPLC により定量分析できた。LPS により胚内  $NO_2^-$  量は増加し、いずれの糖鎖も  $NO_2^-$  生成を抑制した。また、LPS 刺激により生成した  $NO_2^-$  が誘導型一酸化窒素合成酵素 iNOS により生成したものがどうか確認

するために、iNOS 阻害剤 N-nitro-L-arginine methyl ester (L-NAME) 処理を施したところ、3 dpf 以降のゼブラフィッシュ稚魚において阻害効果を示した。このことから Mnb, Lami, H.Lami はゼブラフィッシュ稚魚において抗炎症作用を有すると考えられる。

#### (7) 蛍光マーカーを用いたゼブラフィッシュ胚の輸送経路解析

6, 9, 12, および 24 hpf の胚を、それぞれ輸送機構が知られている蛍光マーカー (細胞間隙経路: Lucifer Yellow (LY), モノカルボン酸輸送経路: Fluorescein (FL), P-糖タンパク質輸送経路: Rhodamine123 (RH)) を含む胚培地で一定時間インキュベートした。蛍光マーカー取り込み量を蛍光プレートリーダーと蛍光 HPLC により分析した。また、ゼブラフィッシュ胚膜の排出経路の存在を確認するために、P-糖タンパク質輸送経路の阻害剤を用いて胚内 RH 蓄積量の変化を調べた。蛍光プレートリーダーで測定した LY と RH の取り込み量は経時的に増加し、投与約 60 分で一定状態に達した。また、発生の進行に伴い、一定状態に達するまでの速度が増加する傾向にあった。FL の取り込み量も経時的に増加したが、飽和状態に達するまでに時間を要した。また、阻害剤で処理すると胚内 RH 蓄積量は増加し、胚膜に P-糖タンパク質経路が存在することが示された。以上の結果から、ゼブラフィッシュ胚膜には複数の選択的透過輸送経路が存在していることが示唆された。

#### (8) ヒスチジン含有ペプチドの抗酸化特性

ゼブラフィッシュ受精卵をヒスチジン含有ペプチド (HCP) であるカルノシン (Car), アンセリン (Ans), またそれらの構成アミノ酸であるヒスチジン (His),  $\alpha$ -アラニン ( $\alpha$ -Ala) を含む胚培地中で 1 時間インキュベートした。酸化ストレス試薬として、それぞれ作用様式の異なる、AAPH, 四塩化炭素、およびパラコートを用い、それらを含む培地中で胚を生育した。ROS の分析には化学発光試薬ルミノールを、カルシウムイオンの分析には蛍光試薬 Fluo-3 を用いた。プレート型蛍光・化学発光同時測定装置により ROS 量とカルシウムイオン量を同時に測定した。3, 5, 7, 9 hpf の胚に対して、酸化ストレス試薬のみで処理を行った場合の ROS 量とカルシウムイオン量を測定した結果、いずれの発生段階の胚でも酸化ストレス処理による ROS 量の増加がみられた。一方、カルシウムイオン量は、7 hpf においては変化がみられなかったものの、他の発生段階では酸化ストレスによる増加が確認された。HCP とその構成アミノ酸のいずれの処理においても、酸化ストレスによる ROS とカルシウムイオンの増加量が濃度依存的に減少した。

#### (9) ポリアミンの抗酸化特性

ゼブラフィッシュ受精卵を、スペルミン、スペルミジン、プトレスシン、ポリアミン前駆体であるアルギニン(1, 5, 10 mM)を含む胚培地中で1時間インキュベートした。酸化ストレス試薬として、上記の3種類に加え、リノール酸過酸化物質(LOOH), t-ブチルヒドロペルオキシド、過酸化水素を用い、それらを含む培地中で胚を生育した。ROS 定量試薬として化学発光試薬(MCLA)を、カルシウムイオン定量蛍光試薬としてFluo-3を用い、ROSとカルシウムイオンを同時測定した。ポリアミン類は、いずれの酸化ストレス試薬に対しても一様な抗酸化活性を示した。アルギニンもポリアミン類と同様の抗酸化特性を示した。一方、ペプチドやアミノ酸でみられたカルシウムイオン量の変化は、ポリアミン類ではみられなかった。これらの結果から、胚内のカルシウムイオン量は、酸化ストレス処理や抗酸化物質の添加によってほとんど影響を受けないことが明らかになった。

#### (10)ゼブラフィッシュ胚発生に対する酸化ストレスの影響

ゼブラフィッシュ胚を酸化ストレス試薬溶液中で生育し、各処理時間による生存率を算出した。UV照射は、各発生段階のゼブラフィッシュ胚(6, 9, 12 hpf, 1, 2 dpf)に対して様々なエネルギー量のUVを照射し、胚培地で生育させている間の生存率を算出した。その結果、酸化ストレス試薬の種類によって生存率は異なり、UV照射による生存率では、発生の進行につれて半数致死エネルギー量が増加する傾向がみられた。スペルミン・酸化ストレス処理した胚を24時間生育させ、さらにアクリジンオレンジ溶液中で1時間インキュベートし、蛍光顕微鏡と蛍光・化学発光同時測定装置を用いて蛍光値を測定した。アクリジンオレンジの蛍光はAAPHとLOOH処理により有意に増加したが、スペルミンで処理しても蛍光の減少はみられず、スペルミンには酸化ストレス試薬による細胞死の抑制効果はないことが分かった。

以上、本研究では、腸管輸送機構および魚類胚におけるレクチンの新奇機能性を明らかにするとともに、魚類の抗病性に関わる抗酸化性および免疫賦活活性の評価にゼブラフィッシュモデルが有用であるとの知見を得た。

#### 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12件)

J. Guan, R. Takai, K. Toraya, T. Ogawa, K. Muramoto, S. Mohri, D. Ishikawa, T. Fujii, H. Chi, S.-J. Cho: Effects of alkaline deamidation on the chemical properties of rice bran protein. Food Sci. Technol. Res., 23, 印刷中 査読有

K. Muramoto: Review. Lectins as bioactive proteins in foods and feeds. Food Sci. Technol. Res., 23, 印刷中 査読有

H. Nakata, C. Y. Lin, M. Abolhassani, T. Ogawa, H. Tateno, J. Hirabayashi, K. Muramoto: Isolation of rice bran lectins and characterization of their unique behavior in Caco 2 cells. Int. J. Mol. Sci., 18, 1052 (2017). Doi: org/10.3390/ijms18051052 査読有

T. Yamazaki, T. Ogawa, K. Muramoto, J. Nakahigashi, A. Takeuchi, H. Ueda: Isolation and biochemical characterization of mucus proteins of Japanese bunching onion (*Allium fistulosum*) green leaves. Food Sci. Technol. Res., 22, 235-243 (2016). Doi: 10.3136/fstr.22.235 査読有

N. Low, A. Kee, J. Krause, G. L. Blatch, K. Muramoto, K. Sakka, M. Sakka, R. J. Naudé, L. Wagner, R. Wolf, J.-U. Rahfeld, H.-U. Demuth, W. P. Mielicki, C. L. Frost: The proteolytic profile of human cancer procoagulant suggests that it promotes cancer metastasis at the level of activation rather than degradation. Protein J., 34, 338-348 (2015). Doi: 10.1007/s10930-015-9628-8 査読有

Y. Ohashi, R. Onuma, T. Naganuma, T. Ogawa, R. Naude, K. Nokihara, K. Muramoto: Antioxidant properties of tripeptides revealed by a comparison of six different assays. Food Sci. Technol. Res., 21, 695-704 (2015). Doi: 10.3136/fstr.21.695 査読有

R. Nemoto, S. Yamamoto, T. Ogawa, R. Naude, K. Muramoto: Effect of chum salmon egg lectin on tight junctions in Caco-2 cell monolayers. Molecules, 20, 8094-8106 (2015). Doi: 10.3390/molecules20058094 査読有

E. Kenmochi, S. R. Kabir, T. Ogawa, R. Naude, H. Tateno, J. Hirabayashi, K. Muramoto: Isolation and biochemical characterization of *Apios* tuber lectin. Molecules, 20, 987-1002 (2015). Doi: 10.3390/molecules20010987 査読有

T. Naganuma, W. Hoshino, Y. Shikanai, R. Sato, K. Liu, S. Sato, K. Muramoto, M. Osada, K. Yoshimi, T. Ogawa: Novel matrix proteins of *Ptereria penguin* pearl oyster shell nacre homologous to the Jacalin-related -prism fold lectins. PLoS ONE 9, e112326 (2014). Doi:10.1371/journal.pone.0112326. 査読有

[学会発表](計20件)

村本光二, 大山結香, 下岡千尋, 小川智久, 鈴木徹, 數村公子: ゼブラフィッシュ胚膜における物質輸送経路. 平成 28 年度日本水産学会秋季大会. 2016 年 9 月 8 日~9 月 11 日 近畿大学奈良キャンパス (奈良県奈良市)

下岡千尋, 大山結香, 小川智久, 村本光二, 鈴木徹, 數村公子: ゼブラフィッシュ胚におけるポリアミン類の抗酸化特性. 平成 28 年度日本水産学会秋季大会. 2016 年 9 月 8 日~9 月 11 日. 近畿大学奈良キャンパス (奈良県奈良市)

大山結香, 下岡千尋, 西東恵梨, 小川智久, 村本光二, 福井健介, 數村公子: ココナッツ粉由来 1,4-マンノピオースの抗酸化特性. 日本食品科学工学会第 63 回大会. 2016 年 8 月 25 日~8 月 27 日. 名城大学天白キャンパス (愛知県名古屋市)

伴野詢太, 山崎崇, 小川智久, 村本光二, 平山洋佑, 竹内敦子, 上田浩史: ネギ葉身部粘液に含まれる生理活性タンパク質の生化学的性状. 日本食品科学工学会第 63 回大会. 2016 年 8 月 25 日~8 月 27 日. 名城大学天白キャンパス (愛知県名古屋市)

平垣内一子, 坪野真由美, 佐野まどか, 佐藤瑠依, 小川智久, 村本光二: 抗腫瘍性ルナシンの大豆 2S アルブミンからの生成機構の解明. 日本食品科学工学会第 63 回大会. 2016 年 8 月 25 日~8 月 27 日. 名城大学天白キャンパス (愛知県名古屋市)

笹淵和樹, 菅原沙恵子, 小川智久, 村本光二: 小型魚類における摂餌量測定と摂餌誘引評価への応用. 日本農芸化学会 2016 年度大会 2016 年 3 月 27 日~30 日. 札幌コンベンションセンター (札幌市)

下岡千尋, 大山結香, 小川智久, 村本光二, 鈴木徹, 數村公子: ゼブラフィッシュにおける酸化ストレス応答とヒスチジン含有ペプチドの抗酸化特性. 日本農芸化学会 2016 年度大会 2016 年 3 月 27 日~30 日. 札幌コンベンションセンター (札幌市)

〔図書〕(計 3 件)

村本光二: 第 6 章大豆, “日本食およびその素材の健康機能性開発”, シーエムシー出版, 176-184, 2016.

村本光二: 抗酸化ペプチド, “化粧品素材としてのアミノ酸・ペプチド最前線”, 監修: 坂本一民, シーエムシー・リサーチ, 311-321, 2015.

村本光二: 大豆の各種成分の機能性, “大豆の栄養と機能性”, シーエムシー出版, 12-19, 2014.

〔産業財産権〕

出願状況 (計 0 件)

取得状況 (計 0 件)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

村本 光二 (MURAMOTO, Koji)  
東北大学・大学院生命科学研究科・教授  
研究者番号: 90157800

(2) 研究分担者

小川 智久 (OGAWA, Tomohisa)  
東北大学・大学院生命科学研究科・准教授  
研究者番号: 80240901

研究分担者

永沼 孝子 (NAGANUMA, Takako)  
東北生活文化大学・短期大学部・准教授  
研究者番号: 50250733

(3) 連携研究者

數村 公子 (KAZUMURA, Kimiko)  
浜松ホトニクス株式会社中央研究所・研究員  
研究者番号: 20394009