

富士の介等の機能性面からの魅力向上 ～ビタミンDの強化方法及び活用の検討～

加地奈々・平塚 匡・青柳敏裕・大森洋治

清冽な水に恵まれた本県の養殖サケ・マス類は高品質な食材として高く評価され、最近ではニジマス *Oncorhynchus mykiss* の雌とマスノスケ *O. tshawytscha* の性転換雄を交配させて作出した全雌異質三倍体魚「富士の介」¹⁾や、サイズや色揚げ等に一定の基準を設けた大型ニジマス「甲斐サーモン」²⁾など、本県ならではのブランド魚が開発されている。このような付加価値の高いブランド魚は生産者における収益源の多様化や本県の観光需要の促進に寄与する品種として期待が高まっている。本研究では富士の介等のブランド魚を中心とした県産養殖サケ・マス類の魅力向上を図るため、機能性成分であるビタミンDに注目した。ビタミンDはカルシウムとリンの吸収促進に作用し、不足すると小児のくる病や高齢者の骨粗鬆症性骨折のリスクとなることから³⁾骨の健康に欠かせない重要なビタミンである。近年、日本人はビタミンDを多く含む食品である魚類の摂取減少や紫外線への忌避によりビタミンDが不足傾向にあることが指摘されている^{4,5)}。

サケ・マス類は日本食品標準成分表⁶⁾に記載されている魚類の中でもビタミンD含有量が多い食品であり、本研究ではその機能性面から県産養殖サケ・マス類のブランド価値を高めることができないか検討を行った。本県で開発した新品種である富士の介についてはビタミンD含有量に関する知見がないため、本県産のニジマスや海外産の輸入サーモンを含めた比較を行った。また、さらなる付加価値付与のため飼料による魚体のビタミンDの強化が可能であるか富士の介で飼育試験を行った。併せて富士の介等の大型魚では廃棄されることの多い筋肉以外の部位についてビタミンD含有量を比較し、未利用部位の活用について検討した。

材料及び方法

試験1 市販の養殖サケ・マス類に含まれるビタミンD含有量の把握

供試魚には魚体重 $148.6 \pm 8.1\text{g}$ (平均体重 $\pm$ 標準偏差, 以下, 同様) のニジマス (山梨県産, 養殖), 魚体重 $2,194.1 \pm 243.0\text{g}$ の甲斐サーモン (山梨県産, 養殖), 魚体重 $3,189.4 \pm 634.4\text{g}$ の富士の介 (山梨県産, 養殖), 片身のフィレ重量 $1,589.6 \pm 80.1\text{g}$ のアトランティックサーモン *Salmo salar* (チリ産, 養殖) を用いた (表1)。供試魚は全て未冷凍のものを鮮魚店から入手した。ニジマス, 甲斐サーモン及び富士の介についてはラウンドで仕入れ内臓を除去した後, 三枚におろして皮を除去した。アトランティックサーモンについては皮付きのフィレの状態で購入し, 皮を除去した。下処理した魚について, ニジマスは1尾分の筋肉を, 甲斐サーモン, 富士の介及びアトランティックサーモンについては背鰭基部から腹鰭基部付近にかけて上下に横断する形で背身と腹身両方を含む筋肉を約100g採取し, 分析に供した。分析は(一社)山梨県食品衛生協会に委託し, 検体中のビタミンD (ビタミンD₂及びビタミンD₃) 含有量の分析を実施した。

表1 試験に用いた市販の養殖サケ・マス類の概要

供試魚	産地	検体数	重量(g) ※3, 4
ニジマス	山梨県	3	148.6±8.1
甲斐サーモン ※1	山梨県	3	2,194.1±243.0
富士の介 ※2	山梨県	3	3,189.4±634.4
アトランティックサーモン	チリ	3	1,589.6±80.1

※1 色揚げした大型サイズのニジマス

※2 ニジマスとマスノスケを交配させた全雌異質三倍体魚

※3 ニジマス、甲斐サーモン、富士の介は魚体重(ラウンド)の平均、アトランティックサーモンは片側の皮付フィレの重量

※4 平均±標準偏差

試験2 飼料による魚体のビタミンD強化方法の検討

試験2-1 飼料中のビタミンD含有量が魚体のビタミンD含有量に与える影響の検討

供試魚は山梨県水産技術センター忍野支所(以下、当支所)で2019年10月に作出した富士の介2歳魚を用いた。供試魚は飼育試験開始まで市販のマス類用配合飼料(フィード・ワン、鱒EPパフクリーンHR、以下、基礎飼料)を給餌し、水温12.5℃の地下水をかけ流して飼育した。試験は水温12.5℃の地下水を1.0L/sでかけ流した角型コンクリート池(長さ×幅×平均水深:900×150×56cm)4面を各々下流側から3mで仕切り、下流側の区画に供試魚を収容して実施した。なお、試験期間中、仕切った上流側の区画では魚の飼育を行わなかった。

試験区はビタミンD₃製剤(DSM, ドライビタミンD₃100CWS/AM, 1gあたり100,000IUのビタミンD₃を含有)を基礎飼料1kgに対してビタミンD₃量で10,000IU添加した区(以下、D₃10,000IU区)、20,000IU添加した区(以下、D₃20,000IU区)、40,000IU添加した区(以下、D₃40,000IU区)及びビタミンD₃製剤を添加しない対照区の計4区を設定した。なお、ビタミンD₃製剤添加前の基礎飼料はビタミンD₃を18,000IU/kg含有していた。供試飼料は基礎飼料1kgに対して、蒸留水にビタミンD₃製剤を添加して所定濃度に調整した溶液100mlをプラスチック製のたらいの中で混合させた後、ビニール袋で密閉し4℃の冷蔵庫内で1晩静置して作製し、使用までビニール袋で密閉した状態で冷凍保存した。対照区は基礎飼料1kgあたり100mlの蒸留水を同様に混合・静置したものとした。各試験区の供試尾数は20尾とし、試験開始時の魚体重は対照区、D₃10,000IU区、D₃20,000IU区及びD₃40,000IU区の順に、1,379±134g, 1,379±123g, 1,387±130g, 1,382±115gであった。

給餌は1日3回、土日を除く週5日間、各試験区の飼育魚の総重量の0.8%を目安に全ての試験区が同じ給餌率になるように給餌した。なお、飼料作製時に添加した水分等による増重分は添加前の重量に補正して給餌した。3週に1回、月曜日に各試験区における飼育魚の体重を個体別に測定し、給餌量を補正した。9週後に全ての試験区の飼育魚について魚体測定を行い、各試験区の平均体重が概ね同じになるように5尾を選びビタミンD含有量の分析に供した。分析のサンプル採取は個体測定を行った翌日に行い、頭部殴打により即殺後、地下水で鰓を切断して5分間の脱血処理後に解体し、頭部、肝臓、内臓、皮及び筋肉の部位を採取した。頭部は鰓蓋に沿って胸鰭も含めて胴体から切り離した部位の全量、肝臓は1個体分の全量、内臓は食道から消化管までの内臓脂肪も含む部位から肝臓を除いた全量、皮は三枚おろしにした片身分全量、筋肉は試験1における富士の介の筋肉採取方法と同様に背身と腹身両方を含む部位約100gを採取して凍結後、試験1と同様にビタミンD含有量の分析に供した。

試験2-2 ビタミンDを含む原料を加えた飼料によるビタミンD強化の検討

供試魚は当支所で2020年11月に作出した富士の介2歳魚を用いた。供試魚の育成は試験2-1と同様に行い、基礎飼料も同じ銘柄のものを使用した。原料添加前の基礎飼料はビタミンD₃を15,000IU/kg含有していた。飼料に添加してビタミンDを強化するための原料にはシイタケ及び酵母の2種類を選択した。これらの原料にはビタミンD₂の前駆物質であるエルゴステロールが多く含まれており、紫外線照射によりエルゴステロールからビタ

ミン D₂ が生成され、ビタミン D 含有量を高められることが知られている⁷⁾。シイタケは川副ら⁷⁾の方法を参考に乾燥シイタケ（秋山種菌研究所，乾燥原木シイタケ）を粉末化し，100 メッシュのふるい（アズワン，ステンレスふるい 150 μm）にかけた後，プラスチックトレー上に薄く広げ，20w の紫外線殺菌灯（東芝ライテック，GL20）で 10cm の距離から 20 分間照射することにより作成した（以下，D 強化シイタケ）。酵母については紫外線照射処理がされた市販品（三輪製薬，LALMIN VitaD，以下，D 高含有酵母）を用いた。本試験で使用した D 強化シイタケ及び D 高含有酵母に含まれるビタミン D は全てビタミン D₂ であり，2,729IU/g 及び 9,880IU/g であった。

試験区は D 強化シイタケ及び D 高含有酵母それぞれを，基礎飼料 1kg に対しビタミン D₂ 量で 45,000IU 及び 90,000IU を添加した 4 区（以下，シイタケ 45,000IU 区，シイタケ 90,000IU 区，酵母 45,000IU 区，酵母 90,000IU 区）及びビタミン D を含む原料を添加しない対照区の計 5 区とした（表 2）。なお，各試験区の飼料 1kg あたりに添加する原料の総重量を同量とするために，D 強化シイタケ及び D 高含有酵母を除いた重量分はビタミン D を含まない粉末セルロース（日本製紙，KC フロック W-400Y）で調整した。飼料の作成方法は試験 2-1 と同様の手法で行ったが，添加物が多く溶解が困難であったため，飼料 1kg あたりの蒸留水の添加量を 300ml にし，溶液の半分量を混合して数時間放置した後，再度残り半分量の溶液を入れ作成した。また，添加物の脱落・流出を防ぐため，冷蔵庫で一晩静置後に基礎飼料 1kg あたり 5%量のビタミン D を含有しない大豆油（日清オイリオ，大豆白絞油）をたらいの中で混ぜ，表面をコーティングした。

飼育試験は，水温 12.5℃ の地下水を 2.0L/s でかけ流した試験 2-1 と同じ角型コンクリート池 5 面の上流部から 1/3 を仕切り，上流部の区画（長さ×幅：3×1.5m）に供試魚を収容して実施した。各試験区の供試尾数は 15 尾とし，試験開始時の魚体重は対照区，シイタケ 45,000IU 区，シイタケ 90,000IU 区，酵母 45,000IU 区及び酵母 90,000IU 区の順に，1,073±107g，1,080±105g，1,085±101g，1,075±106g 及び 1,077±88g であった。給餌は 1 日 3 回，土日を除く週 5 日間各試験区の飼育魚の総重量の 0.8%を目安に全ての試験区が同じ給餌率になるように給餌した。給餌量は試験 2-1 と同様に水分等の添加による増重分を補正した重量とした。3 週に 1 回，月曜日に各試験区における魚体重を個体別に測定して給餌量を補正した。12 週後に全ての試験区の飼育魚について魚体測定後，各試験区の平均体重が概ね同じになるように 4 尾を選びビタミン D 含有量の分析に供した。供試魚からのサンプル採取は，試験 2-1 と同様の方法で筋肉，肝臓を含めた内臓及び皮の 3 部位を採取し，分析を実施した。

表 2 各試験区における飼料の添加原料の内訳及びビタミン D 含有量

試験区	添加原料				飼料 1kg あたりのビタミン D 含有量 ^{※1}		
	粉末セルロース (g)	D 強化シイタケ (g)	D 高含有酵母 (g)	合計 (g)	ビタミン D ₂ (IU)	ビタミン D ₃ (IU)	ビタミン D 合計 (IU)
対照区	33.00			33.00		15,000	15,000
シイタケ 45,000IU 添加区	16.50	16.50		33.00	45,029 ^{※2}	15,000	60,029
シイタケ 90,000IU 添加区		33.00		33.00	90,057 ^{※3}	15,000	105,057
酵母 45,000IU 添加区	28.44		4.56	33.00	45,053 ^{※4}	15,000	60,053
酵母 90,000IU 添加区	23.88		9.12	33.00	90,106 ^{※5}	15,000	105,106

※1 基礎飼料 1kg に対する含有量

※2, 3 分析は山梨県衛生環境研究所で実施した分析値（2,729IU/g）に基づく計算値

※4, 5 製品試験成績書の分析値（9,880IU/g）に基づく計算値

結果

試験 1 市販の養殖サケ・マス類に含まれるビタミン D 含有量の把握

供試魚の分析結果を図 1 に示した。4 種類の供試魚中の筋肉中に含まれるビタミン D はいずれもビタミン D₃ であった。3 個体のビタミン D 含有量の平均値はニジマス，甲斐サーモン，富士の介及びアトランティックサー

モンの順に、 $5.3 \pm 2.3 \text{ IU/g}$ 、 $5.0 \pm 2.0 \text{ IU/g}$ 、 $8.3 \pm 1.2 \text{ IU/g}$ 及び $4.7 \pm 2.1 \text{ IU/g}$ であり、富士の介が最も高くなったが、有意な差は認められなかった（一元配置分散分析、 $p=0.16$ ）。

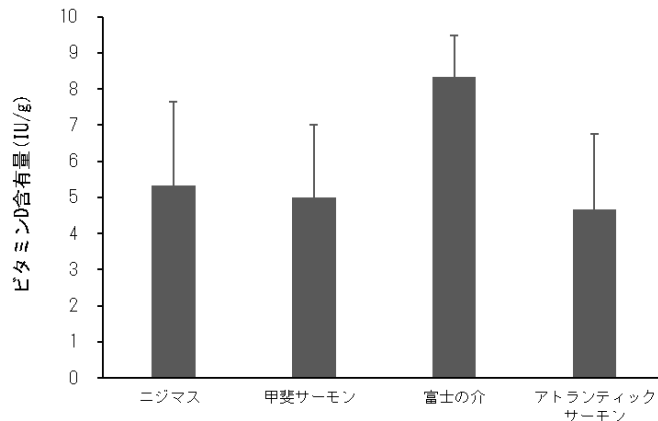


図1 市販の養殖サケ・マス類の筋肉中のビタミンD含有量

試験2 飼料による魚体のビタミンD強化方法の検討

試験2-1 飼料中のビタミンD含有量が魚体のビタミンD含有量に与える影響の検討

各試験区の飼育成績を表3に示した。試験終了時の平均体重は対照区、 $D_3 10,000 \text{ IU}$ 区、 $D_3 20,000 \text{ IU}$ 区及び $D_3 40,000 \text{ IU}$ 区の順に、 $1,680 \pm 179 \text{ g}$ 、 $1,631 \pm 235 \text{ g}$ 、 $1,715 \pm 217 \text{ g}$ 及び $1,725 \pm 210 \text{ g}$ であり、試験区間で有意差は認められなかった（一元配置分散分析、 $p=0.49$ ）。試験期間を通じての日間摂餌率は4試験区で0.77%から0.79%の範囲であったが、飼料効率は $D_3 10,000 \text{ IU}$ 区においては50.5%と他の試験区に比べ低下した。試験終了時の各部位のビタミンD含有量について図2に示した。検出されたビタミンDは全てビタミン D_3 で、各部位のビタミンD含有量の平均値は対照区、 $D_3 10,000 \text{ IU}$ 区、 $D_3 20,000 \text{ IU}$ 区及び $D_3 40,000 \text{ IU}$ 区の順に、筋肉： $6.2 \pm 0.8 \text{ IU/g}$ 、 $7.6 \pm 2.0 \text{ IU/g}$ 、 $6.4 \pm 1.1 \text{ IU/g}$ 及び $7.8 \pm 1.3 \text{ IU/g}$ 、肝臓： $13.8 \pm 4.2 \text{ IU/g}$ 、 $16.2 \pm 5.6 \text{ IU/g}$ 、 $15.2 \pm 3.6 \text{ IU/g}$ 及び $17.0 \pm 4.4 \text{ IU/g}$ 、内臓： $23.6 \pm 3.6 \text{ IU/g}$ 、 $26.2 \pm 7.5 \text{ IU/g}$ 、 $20.0 \pm 9.5 \text{ IU/g}$ 及び $26.4 \pm 5.4 \text{ IU/g}$ 、皮： $16.8 \pm 3.7 \text{ IU/g}$ 、 $18.0 \pm 3.5 \text{ IU/g}$ 、 $19.8 \pm 7.0 \text{ IU/g}$ 及び $17.8 \pm 3.6 \text{ IU/g}$ 、頭部： $12.6 \pm 2.4 \text{ IU/g}$ 、 $12.8 \pm 4.1 \text{ IU/g}$ 、 $10.8 \pm 4.4 \text{ IU/g}$ 及び $12.0 \pm 2.6 \text{ IU/g}$ であり、同じ部位内においては試験区間で有意差は認められなかった（一元配置分散分析、筋肉： $p=0.21$ 、肝臓： $p=0.70$ 、内臓： $p=0.44$ 、皮： $p=0.79$ 、頭部： $p=0.80$ ）。

また、同じ試験区において部位別にビタミンD含有量を比較したところ、全ての試験区内臓及び皮は筋肉に比べ有意に高い値となった（図3、tukey法による多重比較検定、 $p < 0.05$ 、以下、同様の検定を用いた）。

表3 ビタミン D_3 製剤を添加した飼料で飼育した富士の介の飼育成績

	対照区	$D_3 10,000 \text{ IU}$ 区	$D_3 20,000 \text{ IU}$ 区	$D_3 40,000 \text{ IU}$ 区
供試尾数	20	20	20	20
開始時平均体重 (g) ※1	$1,379 \pm 134$	$1,379 \pm 123$	$1,387 \pm 130$	$1,382 \pm 115$
終了時平均体重 (g) ※2	$1,680 \pm 179$	$1,631 \pm 235$	$1,715 \pm 217$	$1,725 \pm 210$
生残率 (%)	100	100	100	100
飼料効率 (%)	59.2	50.5	63.6	65.1
日間増重率 (%)	0.31	0.27	0.34	0.35
日間摂餌率 (%)	0.77	0.77	0.77	0.79

※1,2 平均±標準偏差

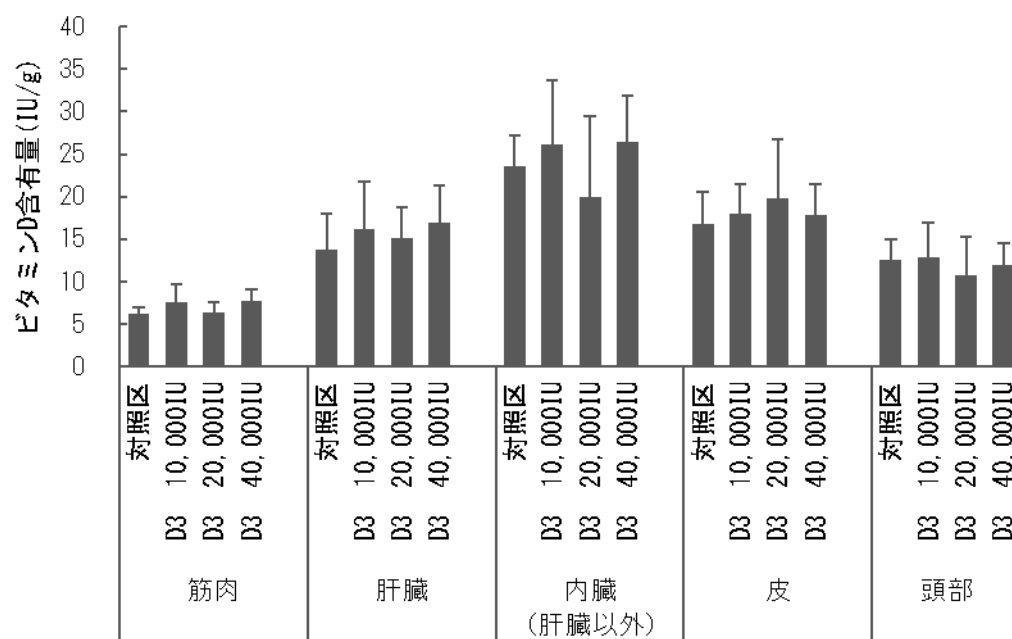


図2 ビタミンD₃製剤を添加した飼料で飼育した富士の介のビタミンD含有量（部位別，試験区間の比較）

同じ部位において試験区間に有意差なし（筋肉： $p=0.21$ ，肝臓： $p=0.70$ ，内臓： $p=0.44$ ，皮： $p=0.79$

頭部： $p=0.80$ ）

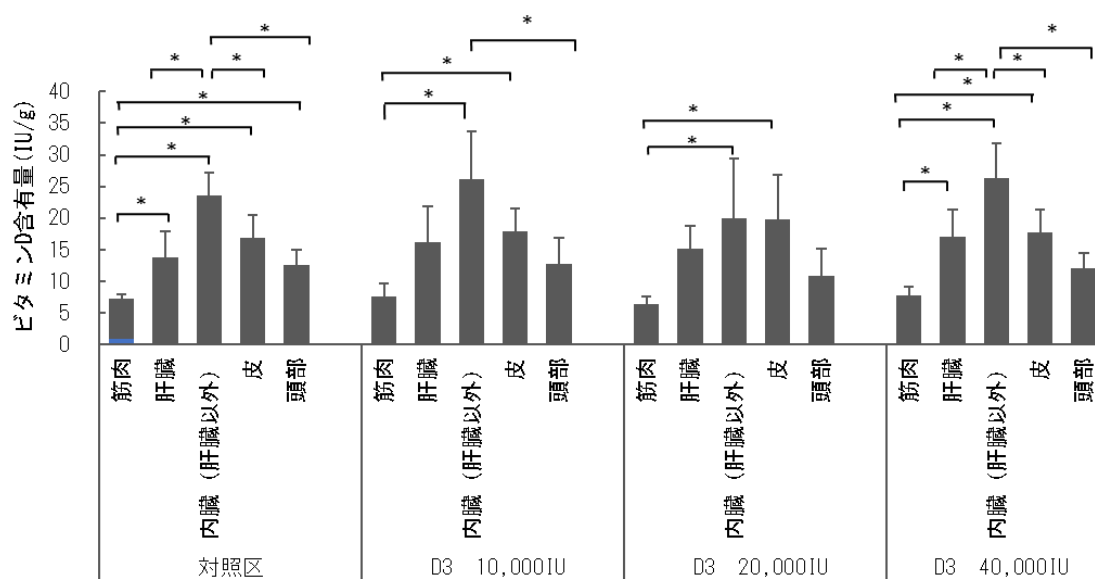


図3 ビタミンD₃製剤を添加した飼料で飼育した富士の介のビタミンD含有量（試験区別，部位間の比較）

*、有意差あり（ $p<0.05$ ）

試験 2-2 ビタミン D を含む原料を加えた飼料によるビタミン D 強化の検討

各試験区の飼育成績を表 4 に示した。試験開始後からシイタケ 45,000IU 区及びシイタケ 90,000IU 区で摂餌不良が続いたため、3 週目までは最も餌食いの悪い試験区に合わせた同一の給餌率としたが、以降はこの 2 区については飽食量を与え、他の試験区については 0.8%を目安とした同一の給餌率とした。試験終了時の魚体重はシイタケ 45,000IU 区、シイタケ 90,000IU 区、酵母 45,000IU 区及び酵母 90,000IU 区の順に、 $1,272 \pm 132\text{g}$, $1,153 \pm 106\text{g}$, $1,130 \pm 166\text{g}$, $1,286 \pm 136\text{g}$ 及び $1,261 \pm 105\text{g}$ であり、シイタケ 90,000IU 区は対照区及び酵母 45,000IU 区に対し平均体重が有意に低下した ($p < 0.05$)。また、飼料効率はシイタケ 45,000IU 区及びシイタケ 90,000IU 区でそれぞれ 20.5%及び 13.1%と他の試験区に比べ著しく低い値となった。

試験終了時の各部位におけるビタミン D 含有量について図 4 に示した。検出されたビタミン D は、対照区は全てビタミン D₃ であり、残りの 4 区ではビタミン D₂ 及びビタミン D₃ が検出された。各部位におけるビタミン D₂ とビタミン D₃ を合計したビタミン D 含有量の平均値は対照区、シイタケ 45,000IU 区、シイタケ 90,000IU 区、酵母 45,000IU 区及び酵母 90,000IU 区の順に、筋肉： $7.9 \pm 0.8\text{IU/g}$, $7.9 \pm 1.3\text{IU/g}$, $9.9 \pm 1.1\text{IU/g}$, $7.6 \pm 0.9\text{IU/g}$, 及び $8.4 \pm 0.7\text{IU/g}$, 内臓： $19.8 \pm 2.8\text{IU/g}$, $26.8 \pm 6.2\text{IU/g}$, $29.5 \pm 3.8\text{IU/g}$, $25.5 \pm 6.6\text{IU/g}$ 及び $23.3 \pm 2.8\text{IU/g}$ 皮： $20.0 \pm 4.5\text{IU/g}$, $18.5 \pm 3.4\text{IU/g}$, $18.3 \pm 3.5\text{IU/g}$, $17.8 \pm 5.0\text{IU/g}$, $19.8 \pm 7.0\text{IU/g}$ 及び $16.3 \pm 3.7\text{IU/g}$ であり、ビタミン D₂ とビタミン D₃ を合計したビタミン D 含有量は、筋肉においてはシイタケ 90,000IU 区と酵母 45,000IU 区との間に、皮においては対照区とシイタケ 90,000IU 区との間に有意な差が認められた ($p < 0.05$)。また、同じ試験区において部位別にビタミン D 含有量を比較したところ、全ての試験区で内臓及び皮は筋肉に比べ有意に高い値となった (図 5, $p < 0.05$)。

表 4 ビタミン D を含む原料を加えた飼料で飼育した富士の介の飼育成績

	対照区	シイタケ 45, 000IU	シイタケ 90, 000IU	酵母 45, 000IU	酵母 90, 000IU
供試尾数 (尾)	15	15	15	15	15
開始時平均体重 (g) ※1	1073 ± 107	1080 ± 105	1085 ± 101	1075 ± 106	1077 ± 89
終了時平均体重 (g) ※2, 3	1272 ± 132^a	1153 ± 106^{ab}	1130 ± 166^b	1286 ± 136^a	1261 ± 105^{ab}
生残率 (%)	100	100	100	100	100
飼料効率 (%)	48.9	20.5	13.1	51.1	45.2
日間増重率 (%/日)	0.20	0.08	0.05	0.21	0.19
日間摂餌率 (%/日)	0.68	0.63	0.61	0.68	0.68

※1, 2 数値は平均体重±標準偏差

※3 異なるアルファベット間で有意差あり ($P < 0.05$)

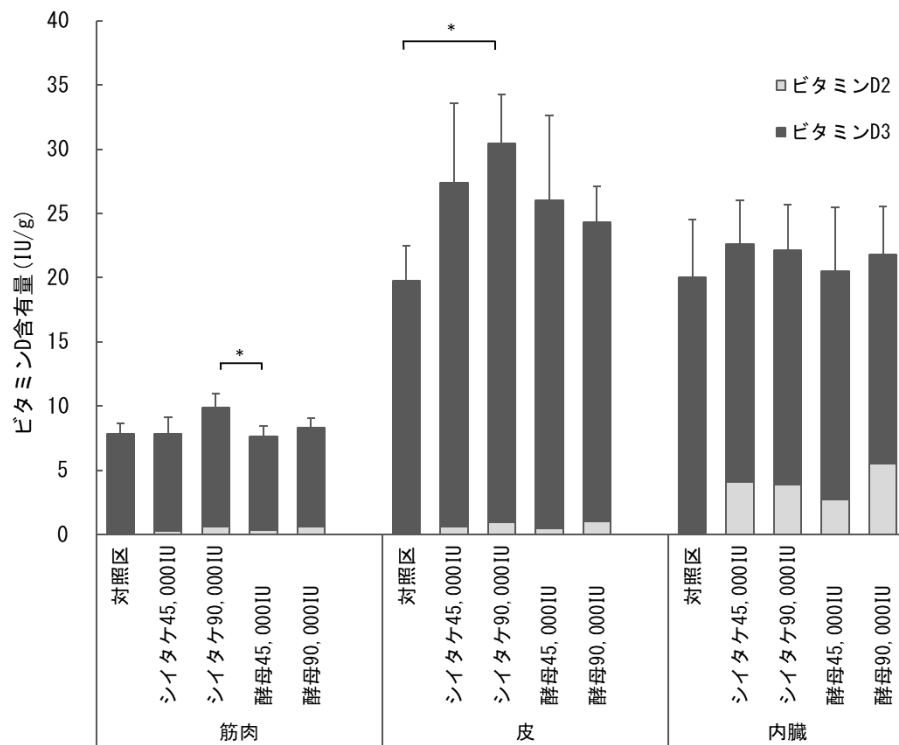


図4 ビタミンDを含む原料を加えた飼料で飼育した富士の介のビタミンD含有量（部位別，試験区間の比較）

*,有意差あり ($p<0.05$)

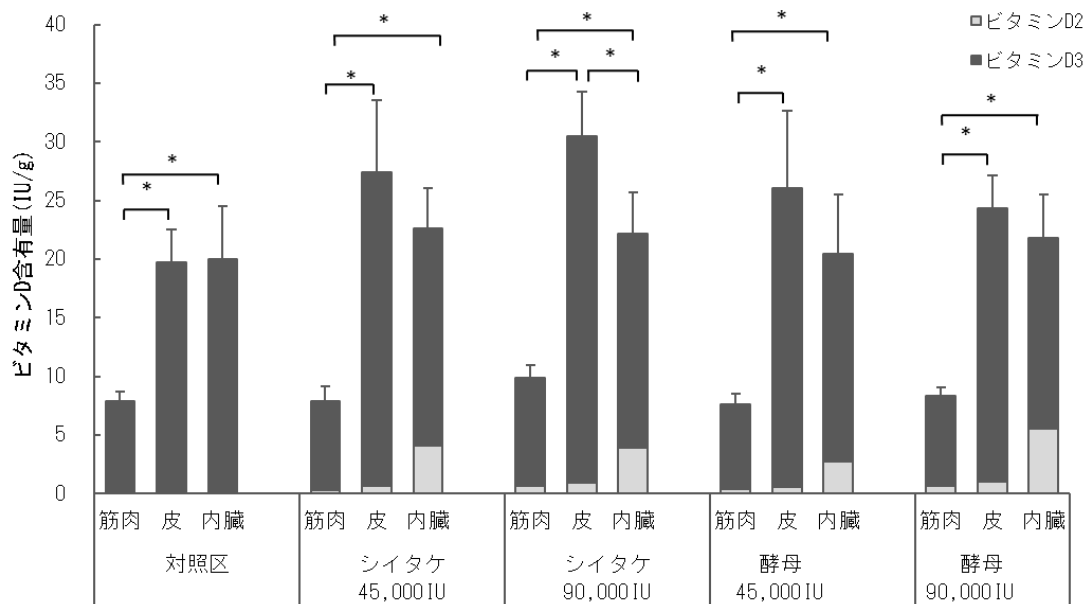


図5 ビタミンDを含む原料を加えた飼料で飼育した飼育した富士の介のビタミンD含有量（試験区別，部位間の比較）

*,有意差あり ($p<0.05$)

考 察

本研究ではビタミンDの機能性面から県産養殖サケ・マス類のブランド価値を高めることを目的に、複数の観点から検討を行った。

試験1では富士の介等の県産養殖サケ・マス類をビタミンDの豊富な食材としてPRに活用できないか、海外産のアトランティックサーモンも含めてビタミンD含有量を比較した。4種類のサケ・マス類のビタミンD含有量に有意差はみられなかったが、アトランティックサーモンの平均値が4.7IU/gであったのに対し、富士の介は8.3IU/gと最も高くなった。魚類のビタミンD含有量については、年齢と体重の増加に伴い高くなる傾向がみられ、稚魚と成魚では魚体への蓄積が異なることが指摘されている⁸⁾。一方、養殖アトランティックサーモンと養殖ニジマスにおける筋肉中のビタミンD含有量は、アトランティックサーモンでは体重及び脂肪含有量に正の相関がみられたが、ニジマスではみられなかったとの報告もある⁹⁾。体重とビタミンD含有量の関係は魚種により異なる可能性があるが、本試験で供試したアトランティックサーモンはいずれもフィレ重量から体重5kg以上と推測され、供試魚の中では最大であったことから、少なくともサイズが小さいことによりビタミンD含有量の値が過小であったという可能性は排除できる。

日本食品標準成分表⁶⁾に記載されている主要な養殖サケ・マス類のビタミンD含有量(可食部、養殖方法及び皮の有無は明記されているもののみ記載)はイワナ *Salvelinus leucomaenis*、ヤマメ *O. masou masou*、アマゴ *O. masou ishikawae*、ニジマス(海面養殖、皮なし)、ニジマス(淡水養殖、皮つき)、ギンザケ *O. kisutch* 及びアトランティックサーモン(皮なし)の順に、それぞれ5 µg/100g、8 µg/100g、9 µg/100g、7 µg/100g、12 µg/100g、15 µg/100g 及び7.3 µg/100g となっている。試験1における富士の介の筋肉中のビタミンD含有量は µg に換算すると、20.8 µg/100g と既存の養殖サケ・マス類のデータと比べて高い数値であり、ビタミンDを豊富に含む食材と評価された。日本人の食事摂取基準³⁾によると、日本人の成人に必要なビタミンDの目安量は8.5 µg/日で、試験1の富士の介の筋肉のビタミンD含有量では41gにあたり、およそ刺身数枚分で一日に必要なビタミンDを摂取することができる。このことは、飲食店等での富士の介の提供において有益なセールスポイントとなる。

哺乳類におけるビタミンDの供給は食物からの経口摂取、もしくは紫外線を浴びることにより皮膚中に存在する7-デヒドロコレステロール(以下、7-DHC)から生成されることによるが、魚類の皮膚中の7-DHC含量は哺乳類に比べ大幅に少ないため皮膚でのビタミンDの大量合成は行われず、魚類体内に存在するビタミンDは食物由来とされる¹⁰⁾。サケ・マス類の飼料の主な原料である魚粉はビタミンDを多く含むが、最近では植物由来の原料等の割合を高めて魚粉配合率を低くした低魚粉飼料への転換が進み、飼料のビタミンD含有量が低下する可能性も懸念されている¹¹⁾。日本のサケ・マス類の養殖は魚粉配合率が高い飼料が主流であるが¹²⁾、今後低魚粉飼料の普及が進む中で飼料とビタミンD含有量の関係については注視していく必要がある。

試験2ではサケ・マス類はビタミンD含有量が高いという強みをさらに生かすため、ビタミンD含有量の高い天然原料を飼料に添加することで魚体のビタミンDを強化することが可能か検討した。まず、試験2-1でビタミンDの多寡と魚体への蓄積量の関係を明らかにした上で、飼料に混合する原料や量を検討した。

飼料へのビタミンDの添加量については日本では法律による定めがないが、サケ科魚類の飼料におけるビタミンD要求量は2,400IU/kgであることから¹³⁾、市販飼料はこの基準を満たすようにビタミンD製剤が添加されたものが多い。出荷サイズのサケ・マス類に対する飼料と魚体のビタミンD含有量に関する報告は限られているが^{14,15,16)}、顕著な蓄積がみられたケースとして、体重2kgのアトランティックサーモンに対し230 µg/kg、2,600 µg/kg 及び2,900 µg/kg (9,200IU/kg、104,000IU/kg 及び116,000IU/kg)のビタミンD₃を含む飼料で4ヶ月飼育した魚の筋肉中のビタミンD₃含有量は、9 µg/100g、35 µg/100g 及び38 µg/100g (3.6IU/g、14IU/g 及び15.2IU/g)であり、2,600 µg/kg 及び2,900 µg/kg については2ヶ月目から25 µg/100g (10IU/g)を超える値であったことが報告されている¹⁵⁾。

試験 2-1 では飼料 1kg あたり 18,000IU のビタミン D₃ を含有する飼料に対し、10,000IU-40,000IU のビタミン D₃ 製剤を添加して 9 週間の飼育を行ったが、飼料中のビタミン D 含有量の増加に伴う魚体のビタミン D の増加は確認されなかった (図 2)。40,000IU 区は前述の報告より飼料中のビタミン D 含有量は低いものの、サケ科魚類のビタミン D 要求量 2,400IU/kg の 16 倍を超える添加量であり、通常の飼料添加基準を大幅に超える量のビタミン D を添加しなくては効果的な蓄積は得られないことが示唆された。また、基礎飼料におけるビタミン D 含有量も 18,000IU/kg と高かったことも明瞭な差が現れなかった一因と考えられる。

試験 2-2 では試験 2-1 で供試したビタミン D 量を上回る添加が可能でかつコスト的に見合う天然原料を探索し試験を実施した。ビタミン D はキノコ類など植物由来のビタミン D₂ と魚類など動物由来のビタミン D₃ に分類されるが、哺乳類における効能は同等とされる³⁾。ビタミン D₃ を含有する天然原料については高濃度の添加が可能となるものがなかったため、ビタミン D₂ を含有する D 強化シイタケ及びビタミン D 高含有酵母を添加原料として選択し、試験 2-1 よりもさらに高濃度となるビタミン D 添加で飼育期間も長く設定して試験を実施した。

試験 2-2 の分析結果では、対照区以外の全ての区でビタミン D₂ が検出された (図 4)。原料添加前の基礎飼料にはビタミン D₃ しか含まれないため、ここで検出されたビタミン D₂ は全て飼料に添加した原料由来のものであり、飼料に含まれる添加原料を給餌したことによる魚体への蓄積が確認された。しかし、ビタミン D₃ も合計したビタミン D の合計値を見ると、対照区との間に有意差が見られたのは皮のみであり、その内訳からはビタミン D₂ の蓄積は微量でビタミン D₃ 含有量の差によるものと考えられた。また、シイタケ 45,000IU 区及び 90,000IU 区は長期間に渡って摂餌後に餌を吐き出す、餌食いが悪い等の摂餌不良が続く、対照区、酵母 45,000IU 区及び酵母 90,000IU 区と同量の給餌ができなかった。吐き出した餌は可能な限り計数して給餌量からは差し引いたが、飼料効率が著しく低い結果を鑑みると、流出して計数できなかった飼料分もあったものと推測される。吐き出し等の摂餌不良が起きた原因としては、シイタケ 45,000IU 区及びシイタケ 90,000IU 区では、それぞれ重量で基礎飼料の約 1.5% 及び 3% に達する大量のシイタケ粉末を飼料に混合したことにより、供試魚の消化機能低下や嗜好性に影響を及ぼした可能性が考えられる。ビタミン D 高含有酵母については 2 試験区とも摂餌は良好であったため、さらに高濃度・長期間の供試について検討の余地はある。しかし、さらなる添加原料の増加や給餌期間の長期化はその分飼料コストがかかることとなり、付加価値による価格上昇よりも生産単価の上昇のデメリットの方が高くなる可能性が生じる。試験 2-1 及び試験 2-2 における対照区のビタミン D 含量はそれぞれ 6.2IU/g 及び 7.9IU/g と比較的高い値であったことから、コストをかけて強化しなくても通常の飼料による給餌でビタミン D を豊富に含む食材としてのレベルは十分であると思われた。

試験 2-1 及び試験 2-2 における部位別のビタミン D 分析結果では内臓、皮等の可食部以外の部位について、筋肉と比較して有意にビタミン D 含有量が高いことも明らかになった。富士の介や甲斐サマーモンといった生食用の需要の高い大型サマーモンにおいてはフィレへの加工が多いことから筋肉以外の部位の廃棄率が高くなっている。これらの部位においてビタミン D 含有量が高いという利用価値が見いだされれば加工品等への利用が進み、廃棄部位が減少することによる出荷価格の上昇や SDGs に配慮した養殖生産物の利用に結びつく可能性もある。富士の介や甲斐サマーモンの頭や皮については、ラーメンのスープ原料に利用されるなど無駄のない活用が始まっているが、今後は内臓も含めた未利用部位について、ビタミン D 含有量が多いという機能性面からのメリットを PR することで、菓子、調味料、健康食品等の加工品としての利用促進が期待される。

謝 辞

本研究の実施にあたり、DSM 株式会社よりビタミン D₃ 製剤をご提供いただきました。また、山梨県森林総合研究所戸沢一宏専門員にはキノコ類のビタミン D に関するご助言及び乾燥シイタケの粉末化を実施していただきました。山梨県衛生環境研究所山本敬男部長には D 強化シイタケのビタミン D 濃度の測定をしていただきました。

した。厚く御礼申し上げます。

要 約

1. 富士の介等の本県産サケ・マス類のブランド力強化及び新たな活用を目的に、ビタミン D 含有量の把握、飼料による魚体のビタミン D 含有量の強化及び魚体の部位別のビタミン D 含有量の比較を行った。
2. 市販の養殖サケ・マス類 4 種類（ニジマス、甲斐サーモン、富士の介、アトランティックサーモン）について筋肉中のビタミン D 含有量を分析すると、富士の介のビタミン D 含有量は高い傾向となり、ビタミン D を豊富に含む食材と評価された。
3. ビタミン D₃ 製剤を添加して作成したビタミン D 含有量の異なる飼料（飼料 1kg あたり 10,000IU, 20,000IU 及び 40,000IU のビタミン D₃ を添加）及び無添加の対照飼料を富士の介に投与し、9 週間飼育後に魚体のビタミン D 含有量を分析すると、同じ部位内において試験区間における差はみられなかった。
4. 紫外線照射によりビタミン D を強化したシイタケ及び酵母を飼料 1kg あたりビタミン D 量でそれぞれ 45,000IU 及び 90,000IU 添加した飼料を富士の介に給餌して 12 週間飼育を行ったところ、添加した素材由来のビタミン D₂ の蓄積は確認されたが、大幅な強化には至らなかった。
5. 同じ試験区内における富士の介の部位別のビタミン D 含有量を比較したところ、筋肉に比べ皮及び内臓が高く、加工品等への利用価値があることが明らかになった。

文 献

- 1) 加地奈々（2023）：山梨県の新ブランド魚「富士の介」 事業化プロセスと強み. 養殖ビジネス, 60 (1), 8-12.
- 2) 平塚匡（2016）：山梨県のブランドニジマス「甲斐サーモン」. 養殖ビジネス, 53 (5), 24-25.
- 3) 厚生労働省（2019）：「日本人の食事摂取基準（2020 年版）」策定検討会報告書. 「日本人の食事摂取基準」策定検討会.
- 4) 中島英彰（2020）：日光によるビタミン D の生成. ビタミン, 94(9), 469-491.
- 5) 池田彩子・野村早（2015）：日本人の成人におけるビタミン D 摂取量は足りているか-国民健康・栄養調査からわかること-. ビタミン, 89(9), 453-458.
- 6) 文部科学省(2023)：日本食品標準成分表（八訂）増補 2023 年. 文部科学省 科学技術・学術審議会資源調査分科会報告.
- 7) 川副剛之・湯浅克己（1995）：紫外線照射によるエルゴステロールのビタミン D₂ への効率的変換について. 日本食品化学工学会誌, 42(4), 262-267.
- 8) 山川健重・杉井麒三郎・岩崎喜久子・衣巻豊輔・東秀雄（1963）：魚類のビタミン D 含量にかんする研究. ビタミン, 27(4), 269-278.
- 9) Jakobsen, J., Smith, C. (2017): Farmed salmon and farmed rainbow trout-excellent sources of vitamin D? *Fisheries and Aquaculture Journal*, 8(2), 1000204.
- 10) 竹内敦子（1994）：魚類を中心としたビタミン D の比較生物学. ビタミン, 68(2), 55-65.
- 11) EFSA Panel on Additives and Products or Substances used in Animal Feed. (2017) Safety of vitamin D₃ addition to feedingstuffs for fish. *EFSA Journal*, 15(3), 4713-4732.
- 12) 全国養鱒技術協議会養殖技術部会（2021）：マス類養殖業の生産コストに関する調査結果, 全国養鱒技術協議会養殖技術部会活動報告（平成 22 年度～令和元年度取りまとめ）, 177-191.
- 13) 佐藤秀一（2009）：魚類の栄養と栄養素に対する要求. 改訂魚類の栄養と飼料. 恒星社厚生閣, 135-147.
- 14) Mattila, P., Piironen, V., Hakkarainen, T., Hirvi, T., Uusi-Rauva, E., Eskelinen, P. (1999): Possibilities to raise vitamin D

content of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) by elevated feed cholecalciferol contents. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 79 , 195-198.

- 15) Graff, I.E., Øyen, J., Kjellefold, M., Frøyland, L. Gjesdal, C.G., Almas, B., Rosenlund, G., Lie, Ø. (2016): Reduced bone resorption by intake of dietary vitamin D and K from tailor-made Atlantic salmon: A randomized intervention trial. *Oncotarget*, 7(43), 68200-69215.
- 16) Jakobsen, J., Smith, C., Bysted, A., Cashman, K. (2019): Vitamin D in Wild and Farmed Atlantic Salmon(*Salmo Salar*)– What Do We Know?. *Nutrients*, 11(5), 982.