

フェザーミールやチキンミールなどの家禽由来ミール及び昆虫由来ミールを用いたマス類低魚粉飼料の実用化に関する研究

三浦正之・平塚 匡・小澤 諒・神谷賢治*

養殖用飼料の原料として多用されている魚粉の価格は、原料魚の漁獲量に左右され不安定であるとともに、中国を中心とした新興国における魚粉需要の拡大を背景に上昇傾向で推移しており^{1,2)}、このことが配合飼料価格の高騰や変動を招く主な要因となっている。このため、飼料中の魚粉を植物性原料に置き換えた低魚粉飼料を使用することで、マス類の生産コストの多くを占める飼料代を削減し³⁾、マス類養殖経営の安定化を図ることができる。但し、単に魚粉を大豆やトウモロコシなどに由来する植物性の原料に置き換えることにより飼料原料代を安価にするだけではなく、最終的に増肉単価や成長速度なども一定の水準を満たした形にならなければ養殖現場への普及は難しい⁴⁾。すなわち、生産者からは飼料の低魚粉化を図るだけでなく、様々な面において従来の高魚粉飼料と同等レベルの性能が求められているのが実情である。

山梨県水産技術センター忍野支所（以下、当支所）も加入している全国養鱒技術協議会の養殖技術を取り扱う部門である養殖技術部会（以下、養殖技術部会）においては、低魚粉飼料の養殖現場への普及に向けた活動などを行っているが⁴⁾、これまでに実施した連絡試験において、飼料の低魚粉化により実際に増肉単価を削減できることを示している^{5,6)}。特に2018年度の養殖技術部会の連絡試験において、魚粉含量を従来型の高魚粉飼料と比べて半分程度の25%まで削減し、さらに一般的なマス類飼料よりも脂肪の割合を高めることでタンパク節約効果⁷⁾を狙いタンパクの割合を下げた低魚粉飼料の有効性を評価した結果、この飼料は従来型の高魚粉飼料と比較して増肉単価の削減効果だけでなく、飼料効率や成長速度の面においても遜色ない性能を有する可能性が示唆されている^{5,6)}。

本研究では養殖技術部会で有効性が示された前述の低魚粉飼料の配合割合をベースとし、原料の一部にフェザーミールやチキンミールなどの家禽由来タンパクやアメリカミズアブ幼虫やミールワーム等の昆虫由来タンパクを用いた試験用飼料を製造し、これらを用いて飼育実験を行うことでさらなる増肉コスト削減の可能性について検討した。

なお、本研究はフィード・ワン株式会社水産研究所（以下、フィード・ワン社）との共同研究で行った。

材料及び方法

試験1 フェザーミール及びチキンミールの有効性評価試験

試験区は表1に示す6種類のEP飼料（粒径3mm）を用いる6つの区を設定した。試験区の中に、粗タンパク質含量67%の魚粉（以下、魚粉A）と粗タンパク質含量63%の魚粉（以下、魚粉B）を使用する区を設けた。飼料1（魚粉Aフェザーなし区、以下1区）及び飼料4（魚粉Bフェザーなし区、以下4区）は魚粉以外の動物性由来のタンパク原料を含まない魚粉含量25%の低魚粉飼料で、2018年度養殖技術部会の連絡試験で有効性が確認された低魚粉試験飼料^{5,6)}に準じた配合割合とした。飼料2（魚粉Aフェザー5%区、以下2区）、飼料3（魚粉Aフェザー10%区、以下3区）、飼料5（魚粉Bフェザー10%区、以下5区）では魚粉の一部をフェザーミールに、飼料6（魚粉Bチキン14%区、以下6区）では一部をチキンミールに置き換えることでさらに魚粉含量を削減し

た飼料とした。粗タンパク及び粗脂肪の割合はすべての飼料において、それぞれ 40.5%及び 18.5%、リジン及びメチオニン等のアミノ酸の割合については、ニジマスの要求量を満たすよう調整し飼料を設計した。植物性タンパク原料には大豆油粕、コーングルテンミール、濃縮大豆タンパク及びきなこを用い、それぞれの割合を 20, 7, 5, 6.2%とした。また、油脂には魚油と大豆油を 1:1 の割合で混合したものをを用いた。なお、飼料の設計及び製造はフィード・ワン社にて行った。

これらの飼料を用いて、制限給餌及び飽食給餌での飼育試験を実施した。制限給餌試験及び飽食給餌試験ともに、当支所で 2018 年 10 月に作出した全雌二倍体のニジマス *Oncorhynchus mykiss* を供試した。供試魚は飼育試験開始まで市販の魚粉含量 57%であるマス類用配合飼料（日清丸紅飼料社製、マススーパー EP-2）を給餌し、試験開始まで水温 12.5°C の地下水をかけ流しながら飼育した。各試験区の供試尾数は 30 尾とし、制限給餌試験の飼育開始時の体重は 1~6 区ともに 25.0±0.7 g（平均体重±標準偏差，以下，同様）であった（試験区間に有意差なし，Scheffe 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 8）。また，飽食給餌試験には，制限給餌試験終了後の魚をそのまま同一飼料の試験区の供試魚として用い，試験開始時の体重は 1~6 区の順に，45.1±4.0 g，45.3±3.9 g，45.0±4.1g，45.9±4.1 g，46.1±5.0g，46.0±4.6 g（試験区間に有意差なし， $p > 0.05$ ）であった（表 9）。

制限給餌試験は，水温 12.5 °C の地下水を毎秒 80 mL の注水量でかけ流した白色の FRP 製水槽（長さ×幅×水深：1,700×450×300 mm，容量 229.5 L）において，2019 年 10 月 7 日から 12 月 2 日までの 56 日間行い，収容した魚に対してライトリッツの給餌率表⁸⁾に従い 1 日 2 回，土日を除く週 5 日間給餌を行った。給餌量の補正は 2 週間に 1 回（月曜日）各試験区の総重量測定を行い，給餌量を補正した。

飽食給餌試験は制限給餌と同様の飼育環境で，2019 年 12 月 2 日から 12 月 30 日までの 28 日間行い，1 日 2 回，土日を除く週 5 日間飽食になるまで給餌した。総重量測定は制限給餌試験と同様に 2 週間に 1 回の頻度で実施した。

いずれの試験も水槽の位置による影響を極力減らすため，収容した魚のローテーションを毎週 1 回（金曜日の 2 回目の給餌終了後）行った。試験終了時には 1/2,000 に希釈した FA100（DS ファーマアニマルヘルス社製）溶液にて麻酔をかけ，個体別に体重及び尾叉長を計測した。

飼育終了後の魚から無作為に各区 5 尾ずつを採取し，個体別に体重と内臓重量を測定した。内臓の定義は腎臓や生殖腺を含まない食道の根元から腸管末端部までとした。体重に占める内臓重量の割合から内臓重量比を算出した。また，内臓重量比の測定に供した各区 5 尾から無作為に選んだ 3 尾の筋肉の皮を取り除いた後にプールし，一般成分分析及び遊離アミノ酸含量の測定に供した。一般成分分析及び遊離アミノ酸含量の測定はフィード・ワン社が実施した。

試験 2 昆虫ミールの有効性評価試験

試験飼料は表 2 に示す 6 種類の EP 飼料（粒径 3mm）を用いる 6 つの区を設定した。すべての飼料に魚粉 A（試験 1 で使用したものと同一のロット）を用いた。飼料 7（昆虫なし区，以下 7 区）は魚粉以外の動物性由来のタンパク原料を含まない魚粉含量 25%の低魚粉飼料で，試験 1 の飼料 1 と小麦粉，セルロース以外の主原料は同様の配合率とした。飼料 8（アメリカミズアブ 5.9%区，以下 8 区），飼料 9（アメリカミズアブ 11.8%区，以下 9 区）では魚粉の一部をアメリカミズアブ *Hermetia illucens* 幼虫粉末に，飼料 10（ミールワーム 4.8%区，以下 10 区），飼料 11（ミールワーム 9.5%区，以下 11 区）では魚粉の一部をミールワーム（ゴミムシダマシ科の甲虫の幼虫の総称）粉末に置き換え，飼料 12（ミールワーム 9.5%＋クマザサ区，以下 12 区）にはクマザサ粉末を添加した。その他については，試験 1 に準じた設計とした。なお，飼料の設計及び製造はフィード・ワン社にて行った。

これらの飼料を用いて，飽食給餌での飼育試験を実施した。飼育試験は 2020 年 2 月 3 日から 3 月 30 日までの

56 日間行い、供試魚、供試尾数、飼育条件、給餌方法、測定方法などの条件は試験 1 に準じた。試験開始時の体重は 7~12 区の順に 29.7 ± 2.5 g, 29.7 ± 2.3 g, 29.7 ± 2.5 g, 29.7 ± 2.5 g, 29.7 ± 2.4 g, 29.7 ± 2.4 g (試験区間に有意差なし, $p > 0.05$) であった (表 12)。

表1 飼料の原材料配合割合(フェザーミール及びチキンミールの有効性評価試験)

		魚粉A フェザーなし区 (1区)	魚粉A フェザー5%区 (2区)	魚粉A フェザー10%区 (3区)	魚粉B フェザーなし区 (4区)	魚粉B フェザー10%区 (5区)	魚粉Bチキン 14%区 (6区)
原材料(%)	小麦粉	19.8	19.8	19.8	19.3	19.3	19.3
	セルロース	-	1.3	2.3	-	2.5	1.3
	魚粉A	25.0	18.2	11.1	-	-	-
	魚粉B	-	-	-	25.0	11.1	11.1
	チキンミール	-	-	-	-	-	14.0
	フェザーミール	-	5.0	10.0	-	10.0	-
	大豆油粕	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0
	コーングルテンミール	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0
	濃縮大豆タンパク	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0
	きなこ	6.2	6.2	6.2	6.2	6.2	6.2
	魚油・大豆油混合油	14.0	14.1	14.6	14.1	14.8	13.4
	りん酸カルシウム	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
	食塩	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
	タウリン	0.1	0.1	0.2	0.2	0.2	0.2
	リジン	0.7	1.0	1.4	1.0	1.5	1.2
	メチオニン	0.2	0.3	0.4	0.2	0.4	0.3
	ビタミン・ミネラルMIX	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3
	合計	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
	粗蛋白質(%) 設計値	40.5	40.5	40.5	40.5	40.5	40.5
	粗脂肪(%) 設計値	18.5	18.5	18.5	18.5	18.5	18.5
	代謝エネルギー(kcal/kg) 設計値	4,039	4,058	4,092	3,978	4,069	4,001
	粗蛋白質(%) 分析値	42.0	41.8	41.9	41.2	41.9	41.7
	粗脂肪(%) 分析値	20.3	20.1	20.1	20.2	20.7	20.8
	代謝エネルギー(kcal/kg) 分析値	4,196	4,187	4,242	4,126	4,257	4,201

表2 飼料の原材料配合割合(昆虫ミールの有効性評価試験)

	昆虫なし区	アメリカミズアブ	アメリカミズアブ	ミールワーム	ミールワーム	ミールワーム
	(7区)	5.9%区 (8区)	11.8%区 (9区)	4.8%区 (10区)	9.5%区 (11区)	9.5%+クマザサ (12区)
原材料(%)						
小麦粉	18.4	18.4	18.4	18.4	18.4	18.4
セルロース	1.2	0.5	-	1.3	1.5	1.5
魚粉A	25.0	20.0	15.0	20.0	15.0	15.0
アメリカミズアブ幼虫粉末	-	5.9	11.8	-	-	-
ミールワーム粉末	-	-	-	4.8	9.5	9.5
大豆油粕	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0
コーングルテンミール	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0
濃縮大豆タンパク	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0
きなこ	6.2	6.2	6.2	6.2	6.2	6.2
魚油・大豆油混合油	14.2	13.8	13.3	14.2	14.1	14.1
りん酸カルシウム	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
食塩	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
タウリン	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
リジン	0.7	0.8	0.9	0.8	0.9	0.9
メチオニン	0.2	0.3	0.3	0.2	0.3	0.3
ビタミン・ミネラルMIX	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3
クマザサ粉末	-	-	-	-	-	0.1
合計	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
粗蛋白質(%) 設計値	40.5	40.5	40.5	40.5	40.5	40.5
粗脂肪(%) 設計値	18.5	18.5	18.5	18.5	18.5	18.5
代謝エネルギー(kcal/kg) 設計値	4,002	4,003	4,002	4,023	4,040	4,040
粗蛋白質(%) 分析値	40.3	40.8	40.8	40.6	40.3	39.4
粗脂肪(%) 分析値	20.4	20.7	20.4	20.6	20.4	20.3
代謝エネルギー(kcal/kg) 分析値	4,106	4,147	4,130	4,159	4,143	4,079

表3 飼料の分析値(フェザーミール及びチキンミールの有効性評価試験) 一般成分及びアミノ酸組成

	魚粉A	魚粉A	魚粉A	魚粉B	魚粉B	魚粉Bチキン
	フェザーなし区 (1区)	フェザー5%区 (2区)	フェザー10%区 (3区)	フェザーなし区 (4区)	フェザー10%区 (5区)	14%区 (6区)
一般成分						
水分	5.20	5.49	5.23	6.26	5.44	5.80
粗タンパク質	41.99	41.82	41.92	41.15	41.87	41.69
粗脂肪	20.30	20.10	20.10	20.20	20.70	20.80
粗灰分	8.13	7.68	6.04	8.89	6.39	8.12
アミノ酸						
リジン	2.98	2.93	2.95	3.03	3.00	3.14
メチオニン	0.95	0.95	0.91	0.94	0.88	0.80
メチオニン過ギ酸化	0.97	0.95	0.92	0.96	0.94	1.02
シスチン	0.43	0.50	0.60	0.45	0.52	0.40
シスチン過ギ酸化	0.51	0.62	0.71	0.48	0.70	0.52
スレオニン	1.62	1.56	1.57	1.57	1.58	1.51
アルギニン	2.33	2.39	2.40	2.33	2.40	2.38
セリン	1.85	1.99	2.29	1.78	2.26	1.75
グルタミン酸	6.46	6.09	5.94	6.17	6.01	6.21
プロリン	2.09	2.21	2.45	2.20	2.48	2.29
グリシン	2.03	2.03	2.11	2.37	2.28	2.41
アラニン	2.25	2.14	2.06	2.25	2.07	2.21
バリン	1.86	1.94	2.01	1.83	2.01	1.80
ヒスチジン	1.18	1.13	1.04	1.19	1.05	1.19
イソロイシン	1.64	1.62	1.66	1.58	1.61	1.58
アスパラギン酸	3.71	3.51	3.41	3.58	3.39	3.43
ロイシン	3.16	3.14	3.22	3.03	3.13	3.02
チロシン	1.43	1.41	1.34	1.33	1.33	1.41
フェニルアラニン	1.79	1.85	1.83	1.66	1.82	1.73
窒素回収率	77.40	77.25	77.88	78.92	78.29	78.09
総アミノ酸タンパク質	37.74	37.39	37.80	37.29	37.82	37.26

表4 飼料の分析値(フェザーミール及びチキンミールの有効性評価試験) 遊離アミノ酸含量

遊離アミノ酸含量 (mg/kg)		魚粉A	魚粉A	魚粉A	魚粉B	魚粉B	魚粉Bチキン
		フェザーなし区 (1区)	フェザー5%区 (2区)	フェザー10%区 (3区)	フェザーなし区 (4区)	フェザー10%区 (5区)	14%区 (6区)
	ホスホセリン	109.1	102.4	98.3	119.0	100.6	105.5
	タウリン	2,696.3	2,605.9	2,564.5	2,850.3	2,590.1	3,009.4
	ホスホエタノールアミン	-	-	-	-	-	-
	尿素	59.7	55.3	48.4	62.1	59.1	197.6
	アスパラギン酸	251.1	239.3	237.0	328.1	276.4	345.2
	トレオニン	335.5	303.0	250.4	346.2	246.0	317.3
	セリン	95.0	84.3	76.4	127.5	94.5	146.1
	アスパラギン	354.6	357.6	370.7	339.6	347.0	356.2
	グルタミン酸	664.5	578.8	510.0	783.5	562.0	673.4
	グルタミン	7.9	8.3	6.8	7.6	22.7	7.6
	サルコシン	21.6	20.1	6.9	6.0	11.8	12.9
	α-アミノアジピン酸	22.3	18.8	22.0	20.1	23.2	22.9
	グリシン	239.2	195.8	153.8	324.0	203.4	309.0
	アラニン	964.9	771.1	596.7	1,177.4	732.6	1,008.7
	シトルリン	11.2	40.4	30.7	64.5	46.8	17.2
	α-アミノ-n-酪酸	30.1	28.7	26.9	114.8	66.7	120.2
	バリン	340.2	274.4	213.4	593.2	343.7	504.3
	シスチン	1.2	1.4	1.1	1.9	1.1	1.6
	メチオニン	2,375.2	2,780.7	3,795.8	2,338.4	3,813.1	3,358.7
	シスタチオニン	12.5	9.1	7.9	10.6	6.5	10.4
	イソロイシン	236.9	192.6	147.0	424.3	243.4	357.8
	ロイシン	467.6	368.5	270.7	676.8	383.7	550.7
	チロシン	173.7	142.0	111.6	177.9	117.7	173.4
	β-アラニン	99.9	97.8	96.1	147.3	123.3	151.7
	フェニルアラニン	247.6	201.5	156.5	325.8	196.0	259.4
	β-アミノイソ酪酸	34.7	25.3	27.6	27.8	18.4	25.6
	γ-アミノ酪酸	123.3	120.4	119.1	129.1	120.0	136.1
	エタノールアミン	62.7	55.2	55.4	51.7	48.8	64.6
	アンモニア	267.2	257.2	237.8	298.0	237.9	213.6
	ヒドロキシリジン	6.2	4.6	6.5	13.3	9.1	7.7
	オルニチン	85.2	67.2	49.6	96.3	59.5	68.9
	1-メチルヒスチジン	3.5	3.6	3.5	41.5	23.0	32.2
	ヒスチジン	973.5	738.6	489.7	944.1	492.5	510.5
	リジン	6,153.0	7,489.3	10,126.6	7,864.0	10,719.8	9,327.2
	3-メチルヒスチジン	6.1	7.8	7.1	8.1	8.0	9.9
	トリプトファン	242.7	225.2	217.6	261.3	220.0	243.4
	アンセリン	30.2	24.7	21.6	820.0	346.7	1,020.6
	カルノシン	39.9	27.0	30.9	45.5	40.9	207.3
	アルギニン	721.9	666.2	634.2	669.9	607.9	658.8
	ヒドリキシプロリン	2.0		5.5	9.7	10.4	13.7
	プロリン	202.1	209.0	159.5	261.4	158.3	210.6
	遊離アミノ酸総量*1	18,382.6	19,031.4	21,649.9	22,496.6	23,387.2	24,292.2

*1アンモニア、尿素、エタノールアミン、ホスホエタノールアミンを除いた遊離アミノ酸含量の合計値

表5 飼料の分析値(昆虫ミールの有効性評価試験) 一般成分及びアミノ酸組成

		昆虫なし区	アメリカミズアブ	アメリカミズアブ	ミールワーム	ミールワーム	ミールワーム
		(7区)	5.9%区	11.8%区	4.8%区	9.5%区	9.5%+クマザサ
		(7区)	(8区)	(9区)	(10区)	(11区)	(12区)
一般成分 (%)	水分	7.82	7.30	7.50	7.06	7.72	9.42
	粗タンパク質	40.29	40.80	40.80	40.56	40.33	39.40
	粗脂肪	20.40	20.70	20.40	20.60	20.40	20.30
	粗灰分	7.87	7.80	7.65	7.30	6.67	6.53
アミノ酸 (%)	リジン	2.91	2.96	2.92	3.06	3.01	—
	メチオニン	0.96	0.90	0.92	0.97	0.95	—
	メチオニン過ギ酸化	0.96	0.95	1.01	0.97	1.00	—
	シスチン	0.43	0.40	0.43	0.45	0.45	—
	シスチン過ギ酸化	0.50	0.50	0.50	0.51	0.55	—
	スレオニン	1.56	1.55	1.50	1.60	1.48	—
	アルギニン	2.28	2.29	2.20	2.38	2.28	—
	セリン	1.73	1.74	1.69	1.86	1.79	—
	グルタミン酸	6.43	6.38	6.14	6.57	6.29	—
	プロリン	1.94	1.86	1.85	1.89	2.10	—
	グリシン	1.91	1.89	1.84	2.01	2.02	—
	アラニン	2.17	2.13	2.19	2.20	2.12	—
	バリン	1.83	1.85	1.88	1.85	1.78	—
	ヒスチジン	1.17	1.16	1.17	1.14	1.09	—
	イソロイシン	1.65	1.64	1.67	1.62	1.54	—
	アスパラギン酸	3.59	3.58	3.48	3.63	3.40	—
	ロイシン	3.18	3.15	3.20	3.17	3.11	—
	チロシン	1.40	1.48	1.55	1.45	1.40	—
	フェニルアラニン	1.80	1.78	1.73	1.79	1.75	—
	窒素回収率	78.76	77.43	76.54	79.97	78.14	—
総アミノ酸タンパク質	36.94	36.73	36.37	37.63	36.54	—	

表6 飼料の分析値(昆虫ミールの有効性評価試験) 脂肪酸組成

		昆虫なし区	アメリカミズアブ	アメリカミズアブ	ミールワーム	ミールワーム	ミールワーム
		(7区)	5.9%区	11.8%区	4.8%区	9.5%区	9.5%+クマザサ
		(7区)	(8区)	(9区)	(10区)	(11区)	(12区)
脂肪酸 (%)	8:0 オクタン酸	—	—	—	—	—	—
	10:0 デカン酸	—	—	—	—	—	—
	12:0 ラウリン酸	—	1.9	4.4	0.1	0.1	—
	14:0 ミリスチン酸	2.2	2.5	2.9	2.0	2.0	—
	14:1 ミリストレイン酸	—	—	—	—	—	—
	15:0 ペンタデカン酸	0.3	0.2	0.2	0.2	0.2	—
	16:0 パルミチン酸	14.7	14.5	14.4	14.5	14.7	—
	16:1 パルミトレイン酸	2.7	2.5	2.3	2.5	2.5	—
	17:0 ペプタデカン酸	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	—
	17:1 ペプタデセン酸	0.3	0.3	0.2	0.3	0.2	—
	18:0 ステアリン酸	4.2	4.0	3.9	4.3	4.6	—
	18:1 オレイン酸	23.3	22.7	22.2	23.2	24.1	—
	18:2 n-6 リノール酸	32.6	33.0	33.2	32.6	33.2	—
	18:3 n-3 リノレン酸	4.4	4.4	4.4	4.4	4.4	—
	20:0 アラキジン酸	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	—
	20:1 イコセン酸	1.3	1.2	1.1	1.3	1.3	—
	20:4 n-6 アラキドン酸	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	—
	20:5 n-3 エイコサペンタエン酸	4.3	3.8	3.2	3.9	3.7	—
	22:0 ベヘン酸	0.3	0.3	0.2	0.3	0.3	—
	22:6 n-3 ドコサヘキサエン酸	7.2	6.5	5.6	6.7	6.6	—
	合計	98.3	98.5	98.8	96.9	98.5	—
	飽和	22.2	24.1	26.6	22.1	22.4	—
	不飽和	76.2	74.5	72.2	74.9	76.0	—
	一価	27.6	26.7	25.7	27.3	28.1	—
	多価	48.5	47.8	46.4	47.6	48.0	—
	飽和/不飽和	0.29	0.32	0.37	0.30	0.30	—
	n-3	15.9	14.7	13.2	14.9	14.7	—
n-6	32.6	33.1	33.3	32.7	33.3	—	
推定ヨウ素価	147.7	142.2	134.8	143.1	143.8	—	

表7 飼料の分析値(昆虫ミールの有効性評価試験) 遊離アミノ酸含量

		昆虫なし区 (7区)	アメリカミズアブ 5.9%区 (8区)	アメリカミズアブ 11.8%区 (9区)	ミールワーム 4.8%区 (10区)	ミールワーム 9.5%区 (11区)	ミールワーム 9.5%+クマザサ (12区)
遊離アミノ酸含量 (mg/kg)	ホスホセリン	103.6	113.9	127.0	105.1	103.5	-
	タウリン	2,540.1	2,339.3	2,277.6	2,415.7	2,421.9	-
	ホスホエタノールアミン	-	-	-	-	-	-
	尿素	42.3	57.6	28.6	45.4	113.3	-
	アスパラギン酸	229.3	303.2	393.3	241.4	257.3	-
	トレオニン	325.2	319.0	317.5	308.6	296.6	-
	セリン	92.4	95.8	110.1	101.6	121.1	-
	アスパラギン	301.1	286.3	274.9	315.5	310.6	-
	グルタミン酸	615.8	1,097.7	1,620.7	625.4	613.1	-
	グルタミン	8.5	8.8	7.9	3.6	7.2	-
	サルコシン	6.1	13.5	12.8	7.6	6.6	-
	α -アミノアジピン酸	13.0	14.4	16.4	10.7	17.0	-
	グリシン	223.0	272.8	327.6	215.9	214.6	-
	アラニン	871.0	1,301.5	1,729.2	812.4	705.8	-
	シトルリン	65.6	181.1	313.5	55.5	51.2	-
	α -アミノ-n-酪酸	22.0	27.3	17.1	24.3	22.0	-
	バリン	330.7	396.6	458.3	303.4	269.3	-
	シスチン	3.4	2.1	0.8	0.8	1.3	-
	メチオニン	1,914.3	2,236.1	2,631.1	2,363.9	2,891.5	-
	シスタチオニン	8.1	7.3	8.7	8.2	7.1	-
	イソロイシン	233.8	266.3	305.5	214.4	193.9	-
	ロイシン	497.0	477.0	497.7	420.0	388.9	-
	チロシン	180.9	224.0	293.7	170.1	182.5	-
	β -アラニン	76.2	90.2	102.8	69.3	59.0	-
	フェニルアラニン	260.0	238.5	240.1	236.4	236.0	-
	β -アミノイソ酪酸	27.0	22.8	23.2	20.2	22.8	-
	γ -アミノ酪酸	110.6	108.2	111.8	116.5	114.6	-
	エタノールアミン	38.2	178.5	310.2	61.6	61.4	-
	アンモニア	251.9	254.4	251.2	244.7	229.9	-
	ヒドロキシリジン		4.3	4.7	3.5	4.9	-
	オルニチン	81.4	92.6	103.1	75.5	64.5	-
	1-メチルヒスチジン	3.3	2.7	3.5	2.6	2.8	-
	ヒスチジン	962.8	737.4	719.8	711.9	699.1	-
	リジン	4,982.5	5,778.0	6,595.7	6,509.9	8,331.3	-
	3-メチルヒスチジン	9.1	5.0	7.0	10.5	4.5	-
	トリプトファン	225.9	244.4	258.8	228.5	228.4	-
	アンセリン	26.6	27.3	19.6	18.0	19.0	-
	カルノシン	59.2	29.9	14.9	39.8	64.0	-
	アルギニン	702.6	660.5	691.1	644.1	642.2	-
	ヒドリキシプロリン	8.6	10.9	18.8	10.5	5.0	-
	プロリン	224.6	377.2	497.6	212.6	175.6	-
	遊離アミノ酸総量 ^{*1}	16,345.2	18,414.4	21,154.1	17,634.0	19,756.3	-

*1)アンモニア、尿素、イタノールアミン、ホスホエタノールアミンを除いた遊離アミノ酸含量の合計値

結果

試験1 フェザーミール及びチキンミールの有効性評価試験

制限給餌試験の結果を表8に示す。また、体重の推移を図1に示した。試験終了時の体重は1~6区の順に45.1±4.0g, 45.3±3.9g, 45.0±4.1g, 45.9±4.1g, 46.1±5.0g, 46.0±4.6gで、試験区間に有意差は認められなかった($p > 0.05$)。日間摂餌率は給餌量が体重に対して等量となるライトリッツの給餌率表⁸⁾に基づいた制限給餌試験のため1.55~1.56%の範囲でほとんど差はなかった。日間増重率及び飼料効率は6区, 5区, 4区, 2区, 1区, 3区の順に高く、それぞれ1.10, 1.10, 1.09, 1.07, 1.06, 1.06%及び95.6, 95.5, 94.8, 92.3, 92.1, 91.6%であった。魚粉50%の従来型飼料^{5, 6)}を100として推定した増肉原料コスト比は1区, 2区, 4区, 3区, 6区, 5区の順に高く、それぞれ83.8, 77.7, 76.4, 72.6, 72.0, 67.4であり、いずれの飼料も従来型飼料よりも増肉コストは低かった。

飽食給餌試験の結果を表9に示す。また、体重の推移を図2に示した。試験終了時の体重は1~6区の順に

76.5±8.8 g, 72.9±7.5 g, 73.2±7.5g, 74.7±8.4 g, 74.2±11.3g, 76.1±9.5g で、試験区間に有意差は認められなかった ($p>0.05$)。日間摂餌率は1区, 6区, 4区, 3区, 5区, 2区の順に高く、それぞれ2.45, 2.32, 2.28, 2.27, 2.24, 2.22%であった。日間増重率は1区, 6区, 4区, 3区, 2区, 5区の順に高く、それぞれ1.91, 1.82, 1.76, 1.75, 1.72, 1.71%であった。飼料効率は6区, 1区, 2区, 3区, 4区, 5区の順に高く、それぞれ106.5, 105.4, 105.3, 105.2, 104.9, 104.1%であった。魚粉50%の従来型飼料^{5,6)}を100として推定した増肉原料コスト比は1区, 4区, 2区, 6区, 3区, 5区の順に高く、それぞれ84.9, 79.9, 79.0, 74.9, 73.3, 71.7であり、いずれの飼料も従来型飼料よりも増肉コストは低かった。

飽食給餌試験終了時のサンプルを用いて行った内臓重量比については、1区が2区及び4区よりも有意に低い値を示したが ($p<0.05$)、その他の試験区間に差は認められなかった ($p>0.05$) (表10)。

一般成分分析の結果、フェザーミールの割合増加に伴い、筋肉中の粗脂肪含量が低下し、水分含量が増加する傾向がみられたがその差は軽微であった (表11)。1~3区の試験終了時の魚を用いて行った遊離アミノ酸含量の分析において、試験区間で含有量が異なるアミノ酸もあったが、後述する7区の結果と同様の飼料である1区との間でも含有量が異なるものがあるなど、試験区間の遊離アミノ酸含有量の差についての傾向は不明であった (表11)。

表8 飼育成績(フェザーミール及びチキンミールの有効性評価試験:制限給餌)

	魚粉A フェザーなし区 (1区)	魚粉A フェザー5%区 (2区)	魚粉A フェザー10%区 (3区)	魚粉B フェザーなし区 (4区)	魚粉B フェザー10%区 (5区)	魚粉Bチキン 14%区 (6区)
供試尾数	30	30	30	30	30	30
開始時体重(g) ^{*1,2}	25.0±0.7 ^a	25.0±0.7 ^a	25.0±0.7 ^a	25.0±0.7 ^a	25.0±0.7 ^a	25.0±0.7 ^a
終了時体重(g) ^{*1,2}	45.1±4.0 ^a	45.3±3.9 ^a	45.0±4.1 ^a	45.9±4.1 ^a	46.1±5.0 ^a	46.0±4.6 ^a
開始時尾叉長(mm) ^{*1,2}	132.2±2.1 ^a	132.4±2.6 ^a	132.0±2.3 ^a	132.9±2.4 ^a	132.3±2.1 ^a	132.1±2.1 ^a
終了時尾叉長(mm) ^{*1,2}	158.7±4.7 ^a	157.6±4.7 ^a	157.3±5.1 ^a	157.1±4.8 ^a	158.5±4.9 ^a	158.0±5.8 ^a
開始時肥満度 ^{*1,2,3}	10.8±0.4 ^a	10.8±0.6 ^a	10.9±0.4 ^a	10.7±0.5 ^a	10.8±0.5 ^a	10.8±0.5 ^a
終了時肥満度 ^{*1,2,3}	11.7±0.6 ^a	11.5±0.5 ^a	11.5±0.4 ^a	11.8±0.7 ^a	11.6±0.5 ^a	11.6±0.5 ^a
生残率(%) ^{*4}	100	100	100	100.0	100	100
給餌量(g)	655.6	659.3	654.8	661.3	664.5	659.3
増重量(g)	603.9	608.7	600.0	626.6	634.5	630.1
増重率(%) ^{*5}	180.6	181.2	180.1	183.7	184.7	184.2
日間摂餌率(%/日) ^{*6}	1.56	1.56	1.56	1.56	1.56	1.55
日間増重率(%/日) ^{*7}	1.06	1.06	1.05	1.09	1.10	1.09
飼料効率(%) ^{*8}	92.1	92.3	91.6	94.8	95.5	95.6
増肉係数 ^{*9}	1.09	1.08	1.09	1.06	1.05	1.05
従来型飼料を100とした 場合の増肉原料コスト比 ^{*10}	83.8	77.7	72.6	76.4	67.4	72.0

*1 平均±標準偏差

*2 同じアルファベット間で有意差なし(Scheffe法による多重比較検定, $p > 0.05$)

*3 肥満度=(体重/尾叉長³)×10³

*4 生残率(%)=100×終了時生残尾数/供試尾数

*5 増重率(%)=100×(終了時総重量+死亡魚総重量)/開始時総重量

*6 日間摂餌率(%/日)=100×総給餌量/(開始時総重量+終了時総重量+死亡魚総重量×0.5×給餌日数) ※給餌した日のみで算出

*7 日間増重率(%/日)=100×(Ln(終了時総重量)-Ln(開始時総重量))/飼育日数 ※給餌していない日も含めて算出

*8 飼料効率(%)=100×(終了時総重量+死亡魚総重量-開始時総重量)/総給餌量

*9 増肉係数=総給餌量/(終了時総重量+死亡魚総重量-開始時総重量)

*10 水産技術センター忍野支所で実施した2018年度全国養鰯技術協議会養殖技術部会連絡試験の制限給餌試験における⁵⁾、対照飼料(魚粉50%:従来型飼料)と低魚粉飼料(1区はこれに準じた組成)の飼料効率の比(対照:低魚粉=1:1.087)及び対照飼料⁵⁾(魚粉50%:従来型飼料)の配合割合で2020年3月時点で飼料を製造した場合の原料コストを100としてフィード・ワン社が試算した1区の飼料の原料価格に基づき1区の増肉原料コスト比を推定。2~6区の増肉原料コスト比は同社が試算した原料価格に基づき、1区との飼料効率の比を加味して算出した。計算式は次のとおり。

1区:増肉原料コスト比=原料価格/1.087

2~6区:増肉原料コスト比=当該区の原料価格×(1区の飼料効率/当該区の飼料効率)/1.087

表9 飼育成績(フェザーミール及びチキンミールの有効性評価試験:飽食給餌)

	魚粉A フェザーなし区 (1区)	魚粉A フェザー5%区 (2区)	魚粉A フェザー10%区 (3区)	魚粉B フェザーなし区 (4区)	魚粉B フェザー10%区 (5区)	魚粉Bチキン 14%区 (6区)
供試尾数	30	30	30	30	30	30
開始時体重(g) ^{*1,2}	45.1±4.0 ^a	45.3±3.9 ^a	45.0±4.1 ^a	45.9±4.1 ^a	46.1±5.0 ^a	46.0±4.6 ^a
終了時体重(g) ^{*1,2}	76.5±8.8 ^a	72.9±7.5 ^a	73.2±7.5 ^a	74.7±8.4 ^a	74.2±11.3 ^a	76.1±9.5 ^a
開始時尾又長(mm) ^{*1,2}	158.7±4.7 ^a	157.6±4.7 ^a	157.3±5.1 ^a	157.1±4.8 ^a	158.5±4.9 ^a	158.0±5.8 ^a
終了時尾又長(mm) ^{*1,2}	181.3±6.7 ^a	179.9±6.3 ^a	180.1±6.1 ^a	181.6±6.6 ^a	181.5±7.5 ^a	181.7±8.2 ^a
開始時肥満度 ^{*1,2,3}	11.7±0.6 ^a	11.5±0.5 ^a	11.5±0.4 ^a	11.8±0.7 ^a	11.6±0.5 ^a	11.6±0.5 ^a
終了時肥満度 ^{*1,2,3}	12.8±0.6 ^a	12.5±0.6 ^a	12.5±0.5 ^a	12.4±0.8 ^a	12.3±0.6 ^a	12.6±0.5 ^a
生残率(%) ^{*4}	100	100	100	100.0	100	100
給餌量(g)	894.7	786.9	804.0	825.3	808.2	849.2
増重量(g)	942.9	828.3	845.9	866.1	841.1	904.6
増重率(%) ^{*5}	169.7	161.0	162.7	163.0	160.8	165.6
日間摂餌率(%/日) ^{*6}	2.45	2.22	2.27	2.28	2.24	2.32
日間増重率(%/日) ^{*7}	1.89	1.70	1.74	1.74	1.70	1.80
飼料効率(%) ^{*8}	105.4	105.3	105.2	104.9	104.1	106.5
増肉係数 ^{*9}	0.95	0.95	0.95	0.95	0.96	0.94
従来型飼料を100とした 場合の増肉原料コスト比 ^{*10}	84.9	79.0	73.3	79.9	71.7	74.9

*1平均±標準偏差

*2同じアルファベット間で有意差なし(Scheffe法による多重比較検定, $p > 0.05$)*3肥満度=(体重/尾又長³)×10³

*4生残率(%)=100×終了時生残尾数/供試尾数

*5増重率(%)=100×(終了時総重量+死亡魚総重量)/開始時総重量

*6日間摂餌率(%/日)=100×総給餌量/(開始時総重量+終了時総重量+死亡魚総重量×0.5×給餌日数) ※給餌した日のみで算出

*7日間増重率(%/日)=100×(Ln(終了時総重量)-Ln(開始時総重量))/飼育日数 ※給餌していない日も含めて算出

*8飼料効率(%)=100×(終了時総重量+死亡魚総重量-開始時総重量)/総給餌量

*9増肉係数=総給餌量/(終了時総重量+死亡魚総重量-開始時総重量)

*10水産技術センター忍野支所で実施した2018年度全国養鱒技術協議会養殖技術部会連絡試験の飽食給餌試験における⁶⁾、対照飼料(魚粉50%:従来型飼料)と低魚粉飼料(1区はこれに準じた組成)の飼料効率の比(対照:低魚粉=1:1.073)及び対照飼料⁶⁾(魚粉50%:従来型飼料)の配合割合で2020年3月時点で飼料を製造した場合の原料コストを100としてフィード・ワン社が試算した1区の飼料の原料価格に基づき1区の増肉原料コスト比を推定。2~6区の増肉原料コスト比は同社が試算した原料価格に基づき、1区との飼料効率の比を加味して算出した。計算式は次のとおり。

1区:増肉原料コスト比=原料価格/1.073

2~6区:増肉原料コスト比=当該区の原料価格×(1区の飼料効率/当該区の飼料効率)/1.073

表10 内臓重量比(フェザーミール及びチキンミールの有効性評価試験)

	魚粉A フェザーなし区 (1区)	魚粉A フェザー5%区 (2区)	魚粉A フェザー10%区 (3区)	魚粉B フェザーなし区 (4区)	魚粉B フェザー10%区 (5区)	魚粉Bチキン 14%区 (6区)
供試尾数	5	5	5	5	5	5
供試魚体重(g) ^{*1,2}	74.8±2.1 ^a	74.1±2.4 ^a	73.9±1.7 ^a	72.4±3.2 ^a	75.4±4.5 ^a	75.2±4.9 ^a
内臓重量(g) ^{*1,2}	5.5±0.5 ^b	6.9±0.5 ^a	6.2±0.6 ^{ab}	6.5±0.7 ^{ab}	6.4±0.4 ^{ab}	6.0±0.3 ^{ab}
内臓重量比 ^{*1,2}	7.4±0.7 ^b	9.3±0.7 ^a	8.3±0.8 ^{ab}	8.9±0.6 ^a	8.6±0.4 ^{ab}	8.0±0.6 ^{ab}

*1平均±標準偏差

*2同じアルファベット間で有意差なし(Scheffe法による多重比較検定, $p > 0.05$)

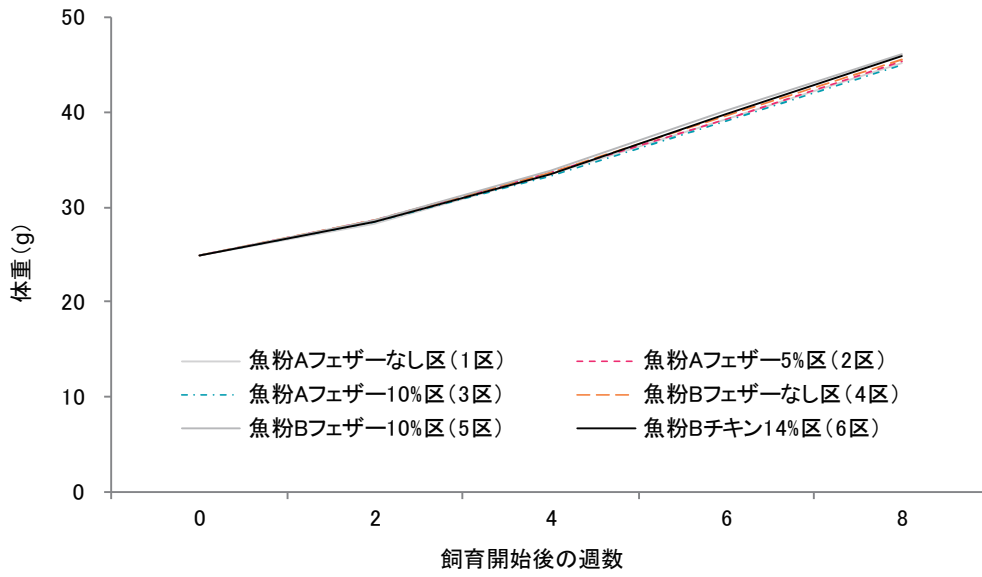


図1 体重の推移(フェザーミール及びチキンミールの有効性評価試験:制限給餌)

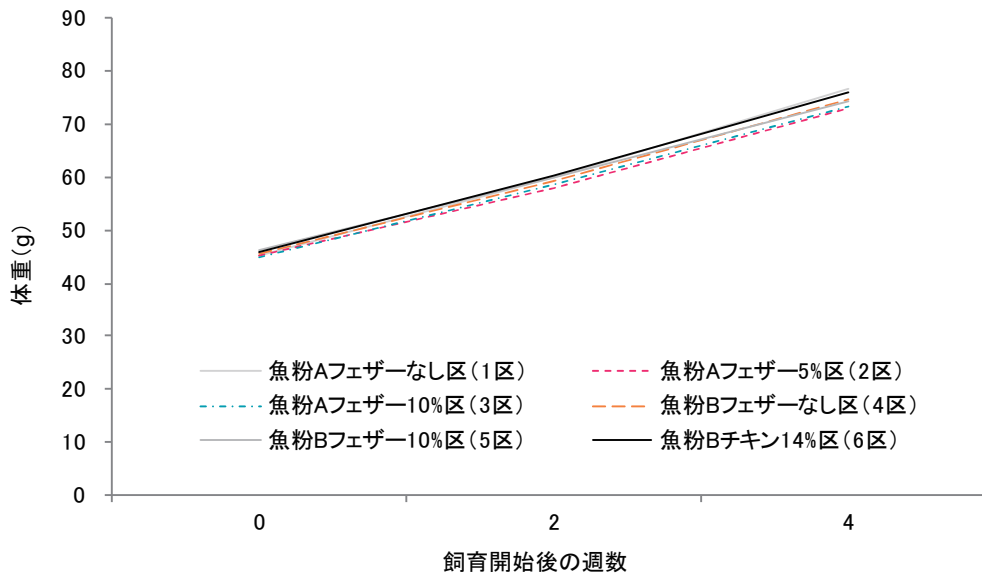


図2 体重の推移(フェザーミール及びチキンミールの有効性評価試験:飽食給餌)

表11 筋肉の分析値(フェザーミール及びチキンミールの有効性評価試験)
一般成分及びアミノ酸含有量

		魚粉A フェザーなし区 (1区)	魚粉A フェザー5%区 (2区)	魚粉A フェザー10%区 (3区)
供試尾数		3	3	3
供試魚体重(g) ^{*1,2}		74.5±1.5 ^a	74.6±1.4 ^a	74.8±1.5 ^a
一般成分 (%)	水分	75.1	75.3	75.9
	粗タンパク質	19.3	20.0	19.5
	粗脂肪	4.2	3.5	2.7
	粗灰分	1.6	1.9	1.8
遊離	ホスホセリン	10.7	10.4	11.4
アミノ酸 含量 (mg/kg)	タウリン	1,275.6	1,012.8	1,039.3
	ホスホエタノールアミン	12.1	10.4	13.1
	尿素	94.3	179.7	251.4
	アスパラギン酸	48.0	57.3	52.2
	トレオニン	92.9	81.7	97.0
	セリン	184.5	163.0	174.7
	アスパラギン	3.6	4.5	6.8
	グルタミン酸	210.4	203.3	195.2
	グルタミン	1.6	2.1	1.3
	サルコシン	3.9	8.7	3.1
	α-アミノアジピン酸	0.3	0.4	0.4
	グリシン	727.2	845.6	1,089.3
	アラニン	424.7	378.7	449.6
	シトルリン	1.4	1.7	1.4
	α-アミノ-n-酪酸	5.6	5.7	4.9
	バリン	49.7	55.3	64.0
	シスチン	0.8	2.5	1.1
	メチオニン	26.1	25.9	28.6
	シスタチオニン	10.2	3.7	5.2
	イソロイシン	36.5	30.2	35.7
	ロイシン	46.1	43.1	51.2
	チロシン	24.2	22.9	28.6
	β-アラニン	209.0	270.1	162.7
	フェニルアラニン	19.6	20.7	24.9
	β-アミノイソ酪酸	4.1	5.3	1.5
	γ-アミノ酪酸	7.0	5.3	1.4
	エタノールアミン	10.2	9.6	9.0
	アンモニア	157.5	151.4	153.4
	ヒドロキシリジン	6.2	3.3	2.7
	オルニチン	4.0	4.1	2.9
	1-メチルヒスチジン	357.8	428.7	231.0
	ヒスチジン	344.0	449.8	368.2
	リジン	67.1	93.3	111.2
	3-メチルヒスチジン	4.2	10.0	3.4
	トリプトファン	9.5	5.5	12.5
	アンセリン	2,557.0	2,198.0	2,592.9
	カルノシン	8.8	8.7	39.0
	アルギニン	26.1	27.9	37.4
	ヒドリキシプロリン	31.4	44.8	35.0
	プロリン	30.0	32.8	36.3
	遊離アミノ酸総量 ^{*3}	6,869.8	6,567.7	7,003.9

*1 平均±標準偏差

*2 同ジアルファベット間で有意差なし(Scheffe法による多重比較検定, $p > 0.05$)

*3 アンモニア、尿素、エタノールアミン、ホスホエタノールアミンを除いた遊離アミノ酸含量の合計値

試験2 昆虫ミールの有効性評価試験

飽食給餌試験の結果を表12に示す。また、体重の推移を図3に示した。試験終了時の体重は7～12区の順に93.2±11.4g, 94.3±12.7g, 91.0±11.9g, 93.0±10.4g, 90.4±13.6g, 100.3±13.4gで、試験区間に有意差は認められなかった ($p > 0.05$)。日間摂餌率は12区, 9区, 8区, 7区, 10区, 11区の順に高く、それぞれ2.48, 2.45, 2.44, 2.40, 2.39, 2.36%であった。日間増重率は12区, 8区, 7区, 10区, 9区, 11区の順に高く、それぞれ2.20, 2.09, 2.06, 2.06, 2.02, 2.01%であった。飼料効率は12区, 10区, 7区, 11区, 8区, 9区の順に高く、それぞれ109.5, 108.2, 107.9, 107.2, 106.7, 103.6%であった。魚粉50%の従来型飼料^{5,6)}を100として推定した増肉原料コスト比は9区, 8区, 7区, 10区, 11区, 12区の順に高く、それぞれ95.9, 90.0, 85.8, 84.8, 84.7, 83.1であり、いずれの飼料も従来型飼料よりも増肉コストは低くなった。

飽食給餌試験終了時のサンプルを用いて行った内臓重量比については、試験区間に差は認められなかった ($p > 0.05$) (表13)。

一般成分分析の結果、試験区間に明瞭な成分の差はみられなかった (表14)。遊離アミノ酸含量の分析において、前述の試験1での結果と同様に試験区間の遊離アミノ酸含有量の差についての傾向は不明であった (表14)。

表12 飼育成績(昆虫ミールの有効性評価試験:飽食給餌)

	昆虫なし区 (7区)	アメリカミズアブ 5.9%区 (8区)	アメリカミズアブ 11.8%区 (9区)	ミールワーム 4.8%区 (10区)	ミールワーム 9.5%区 (11区)	ミールワーム 9.5%+クマザサ (12区)
供試尾数	30	30	30	30	30	30
開始時体重(g) ^{*1,2}	29.7±2.5 ^a	29.7±2.3 ^a	29.7±2.5 ^a	29.7±2.5 ^a	29.7±2.4 ^a	29.7±2.4 ^a
終了時体重(g) ^{*1,2}	93.2±11.4 ^a	94.3±12.7 ^a	91.0±11.9 ^a	93.0±10.4 ^a	90.4±13.6 ^a	100.3±13.4 ^a
開始時標準体長(mm) ^{*1,2}	137.0±4.3 ^a	136.3±4.5 ^a	137.6±4.6 ^a	137.5±4.0 ^a	137.1±4.4 ^a	137.1±4.5 ^a
終了時標準体長(mm) ^{*1,2}	194.8±5.4 ^a	194.4±7.1 ^a	195.2±6.7 ^a	196.5±7.3 ^a	194.4±7.3 ^a	197.9±8.8 ^a
開始時肥満度 ^{*1,2,3}	11.6±0.8 ^a	11.7±0.8 ^a	11.4±0.7 ^a	11.4±0.6 ^a	11.5±0.9 ^a	11.5±0.8 ^a
終了時肥満度 ^{*1,2,3}	12.6±1.1 ^a	12.8±1.3 ^a	12.2±0.7 ^a	12.2±0.9 ^a	12.2±1.0 ^a	12.9±1.4 ^a
生残率(%) ^{*4}	100	100	100	100.0	100	100
給餌量(g)	1,767.2	1,816.3	1,774.0	1,755.9	1,699.0	1,934.2
増重量(g)	1,906.2	1,938.4	1,837.7	1,900.2	1,821.3	2,118.3
増重率(%) ^{*5}	314.0	317.7	306.3	313.4	304.5	337.7
日間摂餌率(%/日) ^{*6}	2.40	2.44	2.45	2.39	2.36	2.48
日間増重率(%/日) ^{*7}	2.04	2.06	2.00	2.04	1.99	2.17
飼料効率(%) ^{*8}	107.9	106.7	103.6	108.2	107.2	109.5
増肉係数 ^{*9}	0.93	0.94	0.97	0.92	0.93	0.91
従来型飼料を100とした 場合の増肉原料コスト比 ^{*10}	85.8	90.0	95.9	84.8	84.7	83.1

*1 平均±標準偏差

*2 同じアルファベット間で有意差なし(Scheffe法による多重比較検定, $p > 0.05$)

*3 肥満度=(体重/標準体長³)×10³

*4 生残率(%)=100×終了時生残尾数/供試尾数

*5 増重率(%)=100×(終了時総重量+死亡魚総重量)/開始時総重量

*6 日間摂餌率(%/日)=100×総給餌量/(開始時総重量+終了時総重量+死亡魚総重量×0.5×給餌日数) ※給餌した日のみで算出

*7 日間増重率(%/日)=100×(Ln(終了時総重量)-Ln(開始時総重量))/飼育日数 ※給餌していない日も含めて算出

*8 飼料効率(%)=100×(終了時総重量+死亡魚総重量-開始時総重量)/総給餌量

*9 増肉係数=総給餌量/(終了時総重量+死亡魚総重量-開始時総重量)

*10 水産技術センター忍野支所で実施した2018年度全国養鱒技術協議会養殖技術部会連絡試験の飽食給餌試験における⁶⁾、対照飼料(魚粉50%:従来型飼料)と低魚粉飼料(1区はこれに準じた組成)の飼料効率の比(対照:低魚粉=1:1.073)及び対照飼料⁶⁾(魚粉50%:従来型飼料)の配合割合で2020年3月時点で飼料を製造した場合の原料コストを100としてフィード・ワン社が試算した1区の飼料の原料価格に基づき1区の増肉原料コスト比を推定。2～6区の増肉原料コスト比は同社が試算した原料価格に基づき、1区との飼料効率の比を加味して算出した。計算式は次のとおり。

1区:増肉原料コスト比=原料価格/1.073

2～6区:増肉原料コスト比=当該区の原料価格×(1区の飼料効率/当該区の飼料効率)/1.073

表13 内臓重量比(昆虫ミールの有効性評価試験)

	昆虫なし区 (7区)	アメリカミズアブ 5.9%区 (8区)	アメリカミズアブ 11.8%区 (9区)	ミールワーム 4.8%区 (10区)	ミールワーム 9.5%区 (11区)	ミールワーム 9.5%+クマザサ (12区)
供試尾数	5	5	5	5	5	5
供試魚体重(g) ^{*1,2}	89.2±3.5 ^a	91.0±2.2 ^a	88.9±3.2 ^a	89.4±1.8 ^a	90.5±3.6 ^a	89.6±1.9 ^a
内臓重量(g) ^{*1,2}	8.3±1.0 ^a	8.9±0.5 ^a	7.7±1.0 ^a	7.7±0.4 ^a	7.9±0.9 ^a	8.3±0.9 ^a
内臓重量比 ^{*1,2}	9.3±1.2 ^a	9.8±0.3 ^a	8.7±1.4 ^a	8.6±0.6 ^a	8.8±0.9 ^a	9.3±1.1 ^a

*1 平均±標準偏差

*2 同じアルファベット間で有意差なし(Scheffe法による多重比較検定, $p > 0.05$)

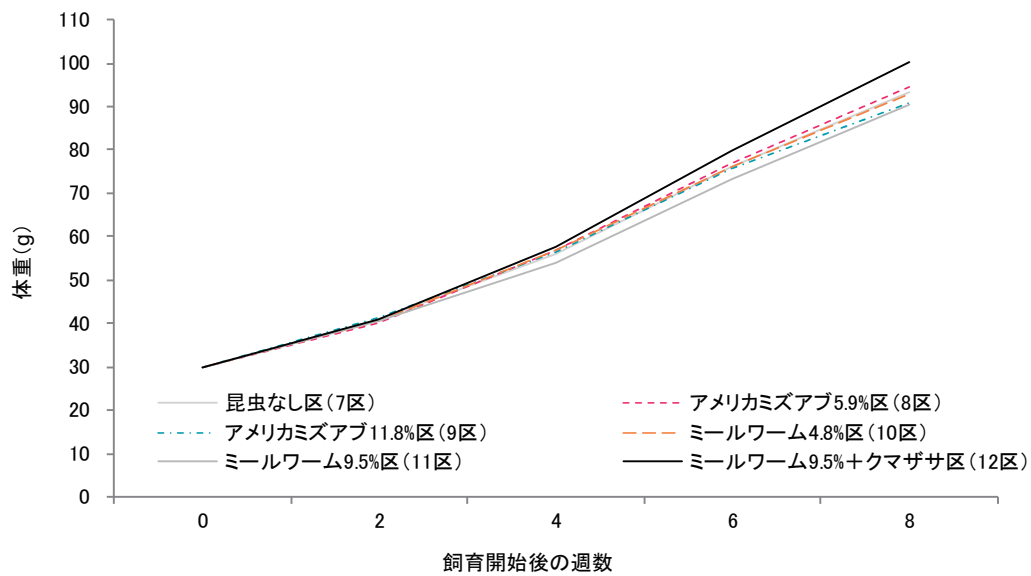


図3 体重の推移(昆虫ミールの有効性評価試験:飽食給餌)

表14 筋肉の分析値(昆虫ミールの有効性評価試験) 一般成分及びアミノ酸含有量

		昆虫なし区 (7区)	アメリカミズアブ 5.9%区 (8区)	アメリカミズアブ 11.8%区 (9区)	ミールワーム 4.8%区 (10区)	ミールワーム 9.5%区 (11区)	ミールワーム 9.5%+クマザサ (12区)
供試尾数		3	3	3	3	3	3
供試魚体重(g) ^{*1,2}		89.6±4.3 ^a	92.3±1.6 ^a	89.4±3.9 ^a	88.4±0.4 ^a	91.7±3.7 ^a	90.7±1.4 ^a
一般成分(%)	水分	74.6	74.7	75.1	74.9	75.2	75.1
	粗タンパク質	20.1	19.0	19.5	19.7	19.6	19.2
	粗脂肪	4.5	5.3	4.5	4.4	4.3	4.8
遊離	ホスホセリン	12.5	12.7	13.2	11.7	12.3	12.1
アミノ酸	タウリン	888.7	814.1	788.1	1,014.3	704.7	723.6
含量(mg/kg)	ホスホエタノールアミン	21.4	27.4	22.3	27.7	25.3	24.3
	尿素	196.6	178.4	182.8	218.3	325.8	297.3
	アスパラギン酸	34.4	40.9	34.5	54.8	37.6	31.9
	トレオニン	46.9	51.7	56.9	67.9	53.5	41.7
	セリン	82.0	91.3	85.1	132.7	82.5	93.2
	アスパラギン	4.4	0.8	3.4	2.8	6.4	4.7
	グルタミン酸	93.8	111.1	106.1	141.9	109.1	97.9
	グルタミン	6.5	5.3	12.8	7.0	9.7	16.0
	サルコシン	3.2	3.0	1.9	2.2	2.1	1.0
	α-アミノアジピン酸	0.4	0.2	0.6	0.7	0.3	0.4
	グリシン	848.1	798.5	816.9	1,110.6	1,007.1	931.5
	アラニン	263.6	261.1	329.5	408.0	311.2	286.2
	シトルリン	0.1	0.4	13.6	16.4	17.6	28.2
	α-アミノ-n-酪酸	2.8	3.0	2.7	3.6	2.1	2.9
	バリン	35.2	39.6	47.6	58.2	47.0	37.7
	シスチン	0.1	0.4	0.6	0.3	0.5	0.6
	メチオニン	17.2	21.6	17.0	24.8	22.1	17.0
	シスタチオニン	4.4	5.9	4.3	16.0	5.1	4.3
	イソロイシン	18.3	24.3	21.5	42.2	23.9	19.6
	ロイシン	28.9	37.5	36.5	57.0	39.5	32.1
	チロシン	21.0	24.2	32.0	39.3	35.8	28.9
	β-アラニン	143.4	174.3	163.1	164.7	145.0	127.5
	フェニルアラニン	19.4	19.7	23.4	27.2	28.5	21.9
	β-アミノイソ酪酸	7.4	4.1	2.5	1.3	17.7	3.9
	γ-アミノ酪酸	0.4	3.2	4.1	4.0	1.7	4.2
	エタノールアミン	4.7	10.4	12.7	13.0	7.0	5.6
	アンモニア	138.1	135.9	129.0	131.2	103.5	97.2
	ヒドロキシリジン	0.5	0.5	4.2	2.2	6.2	0.4
	オルニチン	5.1	5.9	4.7	5.7	5.4	3.4
	1-メチルヒスチジン	203.9	270.5	228.1	225.8	213.2	167.1
	ヒスチジン	570.6	568.4	519.6	487.2	358.9	446.5
	リジン	42.1	63.3	51.6	84.5	67.2	51.2
	3-メチルヒスチジン	0.6	0.2	0.4	0.5	0.6	0.6
	トリプトファン	1.2	0.9	0.8	5.8	3.7	0.6
	アンセリン	2,639.8	2,267.1	2,597.6	3,219.0	2,643.0	2,659.2
	カルバシン	36.2	61.1	17.9	52.1	58.3	63.1
	アルギニン	15.3	20.2	21.0	24.6	25.2	17.7
	ヒドロキシプロリン	56.0	36.0	56.7	76.5	50.0	69.5
	プロリン	8.5	14.2	2.4	24.6	6.0	5.0
	遊離アミノ酸総量 ^{*3}	6,163.2	5,857.1	6,122.8	7,618.0	6,160.8	6,052.9

*1平均±標準偏差

*2同じアルファベット間で有意差なし(Scheffe法による多重比較検定, $p > 0.05$)

*3アンモニア、尿素、イタノールアミン、ホスホエタノールアミンを除いた遊離アミノ酸含有量の合計値

考 察

我が国のマス類養殖業においては飼料の魚粉への依存度は下がりつつあるものの欧州のサーモン養殖などと比較すると、依然として飼料の魚粉配合割合は高い^{9,10)}。養殖技術部会が実施したアンケート調査により、マス類養殖において飼料代は生産経費の約半分を占めることがわかっており³⁾、原料の中でも価格が高く、その変動が激しい飼料中の魚粉の依存度を下げることが生産コストの削減を図り、経営の安定化に有効であることは自明の理である。また、そのことを業界関係者の多くが認識しているが、我が国においては、飼料の低魚粉化を進めて

いくことがそれほど簡単ではないのも事実である。実際に、養殖現場では、生産コストがある程度高くなっても、飼料組成の大幅な改良は考えないという保守的な心理があり³⁾、単に飼料中の魚粉を安価な代替タンパクに置き換え飼料原料価格を下げるだけでは、生産者がその飼料を利用することはほぼあり得ない。飼料の原料価格が下がることに加え、確実な増肉単価の削減と従来飼料と遜色ない成長速度の両立が低魚粉飼料利用の最低条件となる。このような条件を満たす低魚粉飼料の組成を検討する際に、飼料の低魚粉化が進んでいる海外の飼料組成をそのまま導入できれば効率的であると思われるが、実際には我が国と海外の飼料原料の入手のしやすさや価格の違いから現実的ではない。調達可能な原料の量や価格を踏まえた上で、我が国の状況に適応した低魚粉飼料の開発と普及を考えていく必要がある。

養殖技術部会ではこれまでに、低魚粉飼料の実用化を念頭に我が国で調達可能な魚粉代替原料を使用した低魚粉飼料に関する連絡試験を実施しているが^{4,6)}、2018年度には新たな試みとして一般的なマス類飼料よりも高脂肪、低タンパクである低魚粉飼料の評価を行い、この飼料が成長を損なわず増肉コスト削減に有効であることが示唆されている。このため、本研究ではこの低魚粉飼料の配合割合をベースに組成の中身を一部変えた飼料を製造し、飼育試験によりその性能を評価した。

試験1のフェザーミール及びチキンミールの有効性評価試験では、試験区間の試験終了時の体重や飼料効率などに大きな差はなく、1区の飼料が実用レベルの性能を備えていると仮定した場合^{5,6)}、どの飼料も実用化に耐える性能を有することが示唆された。増肉コスト削減ということを考えた場合には、魚粉の代わりにフェザーミールやチキンミールの割合を高めた3区、5区、6区では飽食給餌試験において、増肉原料コスト比が75を下回っており、より有望な飼料であると考えられた。特にフェザーミールについては、マス類飼料への積極的な使用事例がないため、今後の養殖現場への普及が期待される場所である。しかし、本原料は魚粉やチキンミールに比べ粗タンパク質の割合が高い一方で必須アミノ酸であるメチオニンやリジンの割合が低く¹¹⁾、使用により飼料中のこれらのアミノ酸含量が低下し飼育成績を悪化させる可能性も指摘されている¹²⁾。このため、最終的な飼料中の必須アミノ酸バランスには十分留意する必要がある。結晶アミノ酸はタンパク質のアミノ酸と比べ消化吸収速度が速いという課題はあるものの⁷⁾、アミノ酸バランスの改善を図り原料の有効性を高めるためには有効である¹³⁾。実際に今回フェザーミールを使用した飼料では結晶アミノ酸の添加により飼料中のアミノ酸バランスに配慮し、このことが飼育試験で良好な結果が得られた要因のひとつと考えられる。

試験2の昆虫ミールの有効性評価試験においても、試験区間の試験終了時の体重や飼料効率などに大きな差はなく、マス類用飼料にアメリカミズアブの幼虫粉末やミールワーム粉末などの昆虫ミールを利用できる可能性が示された。増肉コスト削減の効果は前述の家禽由来原料ほどではないが、魚粉原料代替タンパクはどの原料であっても限りがあるため、選択肢はより多い方がよいという点と、昆虫ミールが持つ免疫賦活効果¹⁴⁾などのようにプラスの側面がある可能性を踏まえれば、活用する価値は高いと考えられた。11区と12区はクマザサ粉末¹⁵⁾の有無以外飼料の組成に大きな違いはないが、12区の方が飼育成績は良好であった。原料として使用できるメーカーは限られるが、クマザサの有効性についても検討する価値はあると思われた。なお、昆虫原料には昆虫油も多く含まれ、特にアメリカミズアブの幼虫粉末にはラウリン酸が多く、9区の飼料ではn-3HUFAの割合が低くなっている。ラウリン酸については必須脂肪酸が満たされていれば、影響は少ないとの報告があるが^{16,17)}、9区では必須脂肪酸の要求量を下回っていた可能性もあり、今後魚油の割合を増やすことで成績が向上する可能性も考えられた。昆虫ミールについては、一部消費者や生産者に心理的抵抗感があるなど課題は残されているものの¹⁸⁾、成長を損なわず増肉単価を下げられる原料であることが本研究によってニジマスで実際に示されたことから、ぜひこのような課題が解決され、昆虫タンパクも特殊な原料ではなく、我が国における魚粉代替タンパクの通常の見込みの一つとなることを期待したい。

今回の飼育試験では1区や7区と同様の飼料を用いてこれまでに行われた試験^{5,6)}と遜色ない結果が得られた

ことから、魚粉含量を従来飼料の半分程度に削減した高脂肪・低タンパク飼料の有効性が改めて確認されたと言える。また、家禽由来ミールや昆虫ミールの有効性や、さらに家禽ミールは増肉単価を大幅に下げられる原料となる可能性も示された。ニジマスなどマス類は民間の養魚場でも実施可能な選抜育種によって、低魚粉飼料の利用性を高められることもわかりつつあるため^{19,20}、将来的には選抜育種を組み合わせることで、さらに生産性を高め、生産コストを下げられる見込みもある。今後、生産者や消費者のコンセンサスが得られ、魚粉の供給量や価格変動に応じて飼料原料タンパク質が柔軟に選択されるようになることが、生産者の収益向上のみならずサステナビリティの観点からも重要であると考えられる。

要 約

1. 一般的なマス類用飼料よりも高脂肪・低タンパクの低魚粉飼料（魚粉含量 25%）の配合割合をベースに魚粉を別のタンパク原料に置き換えた試験飼料を製造し、飼料の性能を飼育実験により評価した。
2. 本研究では魚粉の代替タンパクとして、フェザーミールやチキンミールなどの家禽由来タンパクやアメリカミズアブやミールワームなどの昆虫ミールを用いた。
3. どの試験飼料で飼育した場合も成長や飼料効率の面で問題はみられず、高脂肪・低タンパクの低魚粉飼料の実用レベルでの有効性が改めて確認された。また、家禽や昆虫由来のミールを用いることで、飼料コストをさらに下げられる可能性が示された。

文 献

- 1) 水産庁（2018）：水産白書. 農林統計協会，東京，4-75.
- 2) 渡邊 武（2009）：魚類養殖と養魚飼料の現状. 改訂魚類の栄養と飼料（渡邊 武編），恒星社厚生閣，東京，1-16.
- 3) 全国養鱒技術協議会養殖技術部会（2018）：マス類養殖業の生産コストに関する調査結果. 第 43 回全国養鱒技術協議会要録，全国養鱒技術協議会事務局，長野県，113-125.
- 4) 三浦正之（2017）：マス類における低魚粉飼料の有効性評価～全国養鱒技術協議会養殖技術部会の連絡実験より～. アクアネット，20，29-34.
- 5) 小澤諒・三浦正之・岡崎巧（2020）：低魚粉飼料の有効性評価試験-IV. 山梨県水産技術センター事業報告書，47，18-28.
- 6) 小澤諒・三浦正之・岡崎巧（2021）：低魚粉飼料の有効性評価試験-V. 山梨県水産技術センター事業報告書，48，1-11.
- 7) 渡邊 武・山本剛史（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（渡邊 武編），恒星社厚生閣，東京，60-168.
- 8) 長野県水産指導所（1963）：ますとさけの養殖：訳本. 長野県水産指導所，長野，107.
- 9) アクアネット編集部（2010）：欧州の実用飼料における魚粉配合比率. アクアネット，13，40-41.
- 10) 鈴木秀和（2019）：養魚飼料この 10 年の変化～低魚粉飼料は普及したのか?～. アクアネット，22，22-24.
- 11) 農業・食品産業技術総合研究機構編（2009）：日本標準飼料成分表，中央畜産会，東京.
- 12) 示野貞夫・松本将哉・細川秀毅・益本俊郎・宇川正治（2000）：ブリ稚魚飼料に対するフェザーミールの配合. 水産増殖，48，99-104.
- 13) Yamamoto, T., Marcouli, PA., Unuma, T., Akiyama, T.(1994) : Utilization of malt protein flour in fingerling rainbow trout diets, *Fish. Sci.*, 60, 455-460.
- 14) 三浦猛・井戸篤史・三浦智恵美（2018）：代替タンパク源としての昆虫ミールの効果と課題. 養殖ビジネス，55，

10-12.

- 15) 日本配合飼料株式会社 (2013) : 企業だより 配合飼料の製造・販売を通じ世界の畜・水産業に貢献するリーディングカンパニーを目指す. 日水誌, 79, 494-495.
- 16) 竹内俊郎・渡邊武 (1977) : ニジマスのリノレン酸要求量におよぼすラウリン酸添加量の影響. 日水誌, 43, 893-898.
- 17) 竹内俊郎・渡邊武 (1978) : ニジマスに対するイカ肝油およびアサリ脂質の成長促進効果と有効成分. 日水誌, 44, 733-738.
- 18) 岡田智之 (2017) : 養魚飼料原料の多様化が創出する新たな事業機会と課題. 三井物産戦略研究所レポート.
- 19) 三浦正之・名倉 盾・岡崎 巧・大浜秀規・鈴木伸洋・古板博文・山本剛史 (2019) : 魚粉含量を極端に減らした低魚粉飼料で長期間飼育されたニジマス親魚の生残, 成長および採卵成績. 水産増殖, 67, 171-174.
- 20) Miura, M., Yamamoto, T., Ozawa, R., Okazaki, T., Murashita, K., Oku, H., Matsunari, H., Furuita, H., Mano, N., Suzuki, N. (2019) : A preliminary study toward the improvement of low fishmeal diet utilization in a Yamanashi strain of rainbow trout *Oncorhynchus mykiss*, *Aquacult. Sci.*, 67, 127–138.