

暖海産ウニ類増殖場の餌料環境適性化 のための栄養生理学的研究

養殖研究所栄養代謝部

秋山敏男・山本剛史・鶴沼辰哉

調査実施年度：平成5～7年度

緒言

ウニ類は、アワビ類と並ぶ重要な磯根資源として全国各地で資源培養が進められている。本研究では近年増殖事業が活発化している暖海産のアカウニを対象とし、その栄養特性を明らかにすることによって、沿岸事業で造成される増殖場における餌料環境条件適性化のための指針作成に資することを目的とした。まず、アカウニの成長や成熟の特性を把握するために三重県南部海域に生息する天然アカウニを調査した。一方、ウニの栄養試験に必要な精製飼料を完成し、アカウニ餌料の至適タンパク量を明らかにした。ウニの主要な餌料である藻類に関しては、現存量の周年変動とともにその質的な変化が従来から指摘されている。本研究ではウニの餌料海藻の一つであるアラメを試験対象とし、代表的な栄養成分の周年変化を調査するとともにウニ栄養の観点から評価した。さらに、ウニ用精製飼料とアラメを用いて水温別、成育段階別の給餌飼育を行い、アカウニの水温別・成育段階別に1日当たりの摂餌率、エネルギー摂取量、成長率、体タンパク蓄積量、生殖巣指数等を明らかにした。

調査方法

1) 天然アカウニの調査

天然アカウニの成長や生殖巣の発達状況を明らかにするため、平成5年6月から6年5月まで毎月1回定期サンプリングを行い、殻径、体重、生殖巣重量等を測定した。天然ウニは三重県南勢町田曾浦漁協の協力で五ヶ所湾口部(図1)で採取した。

2) ウニ給餌試験用精製飼料の作製とアカウニのタンパク要求量

ウニの栄養試験用精製飼料を開発するため、アカウニ稚ウニを用いた給餌飼育試験を行った。試験には、平成4年5月に長崎市水産センターより養殖研究所南勢庁舎に移し主として生アラメで飼育していた当歳ウニを使用した。ウニの餌料藻類中には低分子の窒素源が多く含まれており、タンパク態窒素よりもペプチドやアミノ酸の方が利用率が高いとの考えがウニの研究者の間にある。そこで精製飼料の窒素源決定には先ずこの点を明らかにすることが重要と考え、ほぼ同一な必須アミノ酸組成を持つカゼイン(牛乳由来のタンパク

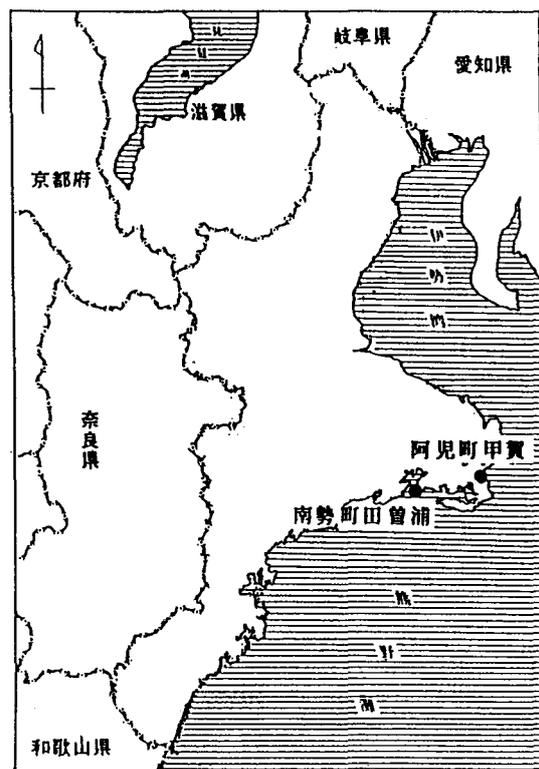


図1. 天然アカウニおよびアラメ採取地

表1. 試験飼料組成*1

飼料番号	1	2	3	4	5
窒素源	タンパク質 ペプチド アミノ酸 タンパク質				
飼料素材					
カゼイン	30	-	-	30	
カゼイン加水分解物	-	30	-	-	
アミノ酸混合	-	-	30	-	
デキストリン	20	20	20	30	藻
セルロース	5	5	5	10	
ビタミン混合*1	3	3	3	3	
ミネラル混合*2	4	4	4	4	
大豆レシチン:3	3	3	3	3	類
魚油*4	5	5	5	5	
アルギン酸ナトリウム	30	30	30	-	
カードラン*5	-	-	-	15	
化学組成 (%)					
水分	57.8	57.8	59.2	75.0	80.6
粗タンパク量 (Nx6.25)*6	28.0	26.5	25.6	29.9	30.1
灰分量*6	11.4	13.8	13.2	3.7	18.6
総エネルギー量*6	435	417	417	504	328

*1 飼料番号5: 湯通し塩蔵ワカメ (*Undaria pinnatifida*)*1 (100g 飼料中): サイアミン塩酸塩 3mg、リボフラビン 10mg、ピリドキシン塩酸塩 3mg、塩化コリン 850mg、ニコチン酸 40mg、パントテン酸カルシウム 26mg、イノシトール 100mg、ビオチン 0.3mg、葉酸 0.8mg、アスコルビン酸 100mg、ビタミンK₃ 2mg、 α -トコフェロール 21mg、ビタミンB₁₂ 5 μ g、ビタミンD₃ 3 μ g、 β -カロチン 10mg.

*2 U. S. P. XII Salt mixture no.2 with trace elements.)

*3 和光純薬工業K.K.製

*4 フィードオイル; 理研ビタミンK.K.製.

*5 武田薬品工業K.K.製.

*6 乾物換算

表2. アカウニのタンパク要求試験の飼料組成

飼料番号	1	2	3	4	5	6
設定タンパク量 (%)	10	20	30	40	50	-
飼料素材						
カゼイン	11.9	23.8	35.8	47.7	59.6	
デキストリン	38.1	26.2	14.2	2.3	0	
ビタミン混合*1	3	3	3	3	3	ア
ミネラル混合*1	4	4	4	4	4	ラ
大豆レシチン*1	3	3	3	3	3	メ
魚油*1	5	5	5	5	5	
セルロース	5	5	5	5	0	
アルギン酸ナトリウム	30	30	30	30	25.4	
化学組成 (%)						
水分	57.6	57.8	59.2	59.2	60.4	68.2
粗タンパク量 (Nx6.25)*2	10.3	21.2	31.2	41.3	51.0	10.6

*1 表1参照

*2 乾物換算

質)、カゼイン加水分解物(ペプチド)および結晶アミノ酸をそれぞれ窒素源とする試験飼料(表1)を作製し、2日に1回、推定飽食量のほぼ2倍量を給与した。また、ウニ用飼料に適した粘結剤を明らかにするためアルギン酸ナトリウムとカードランで比較検討した。試験は、1試験区2水槽(1水槽当たり20個体)を用い、20℃に調温した砂ろ過海水を流しながら8週間行った。さらに、この試験結果に基づいて決定された飼料組成(表2)で、粗たん白含量10~50%の試験飼料を給与しながらアカウニの至適タンパク量を決定する試験を上記試験とほぼ同様な飼育条件下で行った。試験ウニは、平成5年4月に(財)福岡県栽培漁業公社より移送した当歳ウニである。

最初の給餌試験の終了時には各試験区の殻を含むウニの全組織を凍結粉碎し、そのホモジネートと試験飼料のタンパク含量、アミノ酸組成及びカロリー含量等を測定した。また、試験飼料(試験番号1-3)は別途、酸化クロムを混入し、給餌・採糞後、タンパク消化率やエネルギー利用率を算出した。また、これらの測定値からウニ全組織体のアミノ酸組成を基準にして、試験飼料の窒素源、ワカメ及びアラメの第一制限アミノ酸、ケミカルスコア、必須アミノ酸指数を算定した。

(参考)

第一制限アミノ酸：基準となるタンパク質の必須アミノ酸組成と比較して相対的にもっとも不足している必須アミノ酸。

ケミカルスコア：餌料中の第一制限アミノ酸の含量を基準たん白質の該当するアミノ酸の含量と比較した値(%)。100に近いほど栄養価が高い。

必須アミノ酸指数：餌料中の個々の必須アミノ酸含量を基準たん白質のそれらと比較し、必須アミノ酸の充足度を総合的に表した指数。100に近いほどバランスが良い。

3) アラメ栄養成分の周年変化とアカウニの餌料としての栄養評価

平成7年4月より8年3月まで毎月、三重県阿児町甲賀(図1)のアラメを採取し二またに分岐した葉体の片方を真空凍結乾燥した。試料は微粉碎後、水分量、タンパク量、エネルギー量を測定した。なお5月と10月のサンプルについては季節によるタンパク質栄養の質的な違いを検討するため、アミノ酸分析も行った。その際に海域によるアラメのアミノ酸組成を比較検討するため、福岡県宗像地先の5月産のアラメを福岡県海洋技術センターの協力で入手した。さらに、葉体の大きな8月の試料を用いて、アラメ葉体の部位別に栄養成分を調査した。

4) 水温別・飼育段階別給餌試験

環境水温や成育段階がアカウニの摂餌や栄養成分の蓄積に与える影響を調査するため、水温・成育段階別給餌飼育試験を行った。試験ウニは、平成5年4月、6年5月および7年4月に(財)福岡県栽培漁業公社より養殖研究所南勢庁舎に移植したアカウニを、主として生アラメで飼育していたものを使用した。給餌試験は、表3に示した由来のウニをそれぞれ1試験区当たり2水槽に収容し、3段

表3. 水温・サイズ別給餌飼育試験に使用したアカウニと試験期間

開始時殻径(mm)	10	18	22	33	38	51
開始時体重(g)	0.6	2.7	5.1	14	21	50
個体数/水槽	25	20	15	10	7	6
採卵年月	H6.9	H5.9	H5.9	H5.9	H4.9	H4.9
開始時月齢	7ヶ月	9ヶ月	12ヶ月	20ヶ月	22ヶ月	33ヶ月
試験期間	H7.5.2 ~5.22	H6.6.21 ~7.13	H6.9.23 ~10.13	H7.6.1 ~6.29	H6.7.22 ~8.21	H7.7.11 ~8.10
試験日数	20	23	20	28	30	30

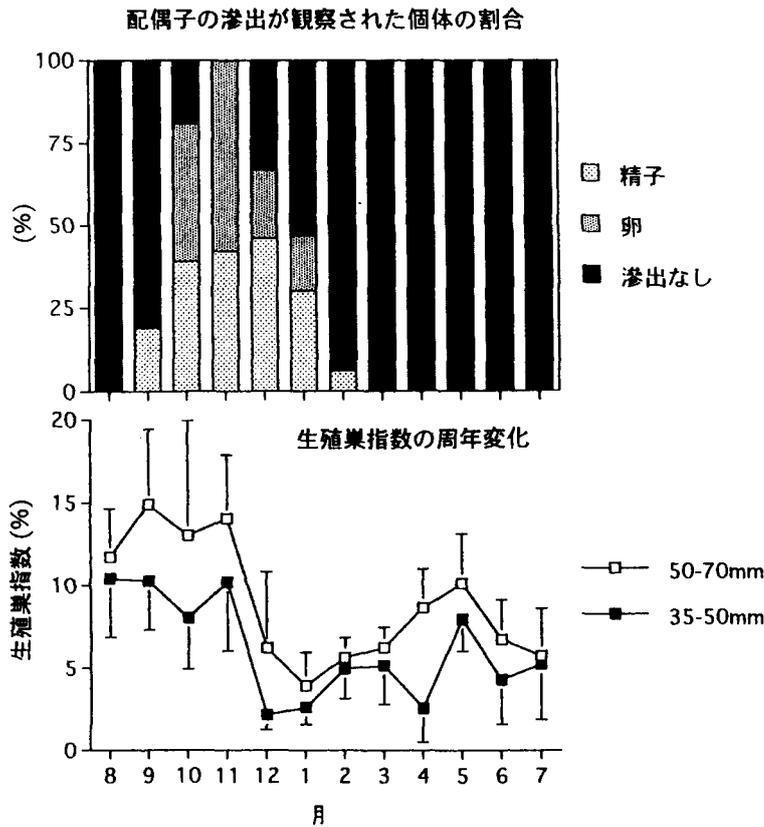


図2. 天然アカウニの生殖巣の周年変化

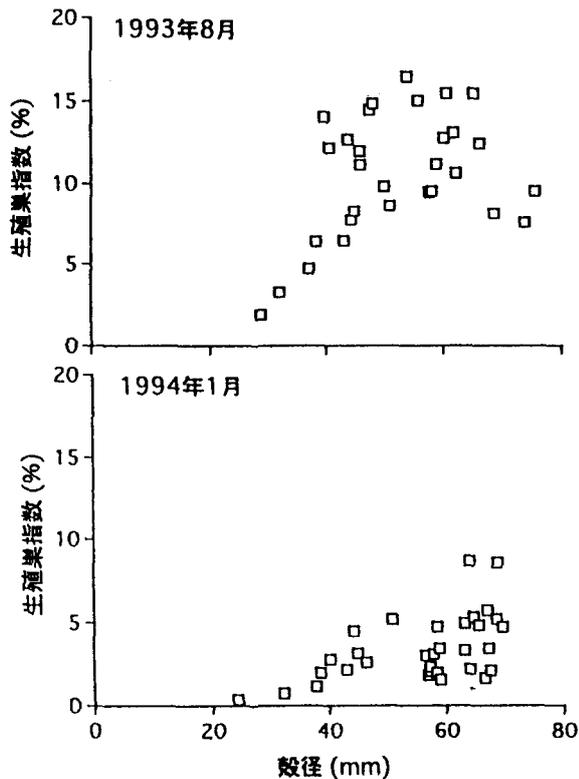


図3. 天然アカウニの殻径と生殖巣指数の関係

表4. アカウニの給餌試験試験の結果*1

飼料番号	1	2	3	4	5
平均殻径 (mm)					
開始時 ¹	16.0	16.2	16.1	16.1	16.2
終了時	23.7	18.4	17.1	23.3	24.6
殻径倍率 ^{2,3}	1.48 ^d	1.13 ^b	1.06 ^a	1.45 ^c	1.52 ^a
平均体重 (g)					
開始時	1.90	1.90	1.91	1.92	1.89
終了時	5.27	2.91	2.24	5.09	6.19
総増重量 (g)	67.5	20.2	6.6	63.5	85.9
総摂餌量 (g) *4	51.9	78.4	34.0	32.2	91.4
増重率 (%) *2,5	178 ^d	53.5 ^b	17.6 ^a	165 ^c	227 ^a
飼料効率 *2,6	130 ^c	25.7 ^a	19.6 ^a	198 ^d	94.1 ^b
日間摂餌率 (%) *2,7	1.29 ^b	2.93 ^d	1.63 ^{b,c}	0.82 ^a	2.02 ^c
へい死率 (%)	0	0	0	0	0

*1 各試験区ごとに2水槽 (20個体/水槽) ずつを用いて、20℃で8週間飼育した結果の平均値を表示

*2 異なるアルファベットが表記されている数値間では統計的に有意な差がある (p<0.05)

*3 終了時殻径/開始時殻径

*4 乾物換算

*5 (増重量/開始時重量) x100

*6 (増重量/乾物摂餌量) x100

*7 $100 \times \{ \text{乾物総摂餌量} \div (\text{開始時総重量} + \text{終了時総重量}) / 2 \}$ ÷ 飼育日数.

表5. 試験飼料を飼育されたアカウニの体タンパク含有率、飼料タンパク消化率、タンパク効率、タンパク蓄積率及び見かけのN P U

飼料番号	1	2	3	4	5
タンパク消化率(%)	87.1	96.3	95.4	-	-
体タンパク含有率(%) ^{*1}	4.17	3.30	2.66	3.85	4.27
タンパク効率 ^{*2}	4.65	0.97	0.77	6.60	3.12
タンパク蓄積率 ^{*3}	22.6	3.84	0.81	29.0	15.1
見かけのN P U ^{*4}	26.1	3.98	0.95	-	-

*1 開始時のウニの体タンパク含有率は2.94%

*2 増重量 / 摂取タンパク量

*3 体タンパク蓄積量 X 100 / タンパク摂取量

*4 体タンパク蓄積量 X 100 / (タンパク摂取量 x タンパク消化率)

表6. 試験飼料のエネルギー利用率及び可消化エネルギー量

試験飼料番号	1	2	3
利用率(%)	91.1	92.3	86.3
可消化エネルギー量 (kcal/100g diet)	396	385	360

表7. アカウニのタンパク要求試験の結果^{*1}

飼料番号	1	2	3	4	5	6
平均殻径(mm)						
開始時 ¹	15.1	15.1	15.3	15.0	15.1	15.3
終了時	21.5	22.7	22.7	22.4	22.3	19.9
殻径倍率 ^{*2,3}	1.42 ^b	1.51 ^c	1.48 ^c	1.50	1.48 ^c	1.30 ^a
平均体重(g)						
開始時	1.56	1.66	1.68	1.64	1.68	1.69
終了時	4.34	4.84	4.84	4.92	4.85	3.80
総増重量(g)	55.6	63.5	63.3	65.6	63.3	42.1
総摂取量(g) ^{*3}	71.7	65.9	62.9	68.1	74.6	53.8
増重率(%) ^{*2,3}	178 ^b	192 ^b	189 ^b	200	188 ^b	126 ^a
飼料効率 ^{*2,3}	77.8 ^a	96.5 ^b	101 ^b	96.4	84.8 ^a	78.6 ^a
タンパク効率(%) ^{*3}	7.56	4.56	3.23	2.33	1.67	7.39
日間摂取率(%) ^{*2,3}	2.17 ^b	1.81 ^a	1.72 ^a	1.92	2.05 ^b	1.75 ^a
生殖巣指数(%) ^{*2-4}	5.81 ^b	7.15 ^b	7.27 ^b	6.76	5.62 ^b	0.98 ^a
へい死率(%)	0	0	0	0	0	0

*1 各試験区ごとに2水槽(20個体/水槽)ずつを用いて、20℃で8週間飼育した結果の平均値を表示。ただし、飼料番号4では漏水事故で1水槽の試験ウニの多くが脱棘したため、残りの水槽の試験結果を表示した。

*2 異なるアルファベットが表記されている数値間では統計的に有意な差がある(p<0.05)。4区の水槽の一つで脱棘によって総重量に影響が及んだため、本試験区を統計処理から除外した。

*3 表4及び5参照

*4 (生殖巣重量/体重) x 100

階（約16、20および25℃）の調温砂ろ過海水を流しながら20～30日間、計6回行った。全ての試験は平成6及び7年の2年間、5月から10月までの生殖巣の発達は見られるが放卵放精個体が出現しない時期を選んで行った。試験飼餌料は、アラメまたは精製飼料（表2の飼料番号2）をそれぞれ2日に1回飽食量のほぼ2倍量になるよう給与した。

給餌量の結果から、日間摂餌率を計算し水温別・サイズ別摂餌率表を作成した。また、成長率や生殖巣指数を求め比較検討した。さらに試験飼餌料や体成分の分析結果から1日当たりのエネルギー摂取量や体タンパク蓄積量を推定した。

調査結果

1) 天然アカウニの調査

図2に天然アカウニの生殖巣指数（G S I）の周年変化と各月の生殖巣内の配偶子滲出個体の割合を示した。G S Iは12月から1月の冬期に最も低く、春～夏期に増加し秋期に最も高くなった。11月の生殖巣内には滲出した精子や卵が充満していた。これらのことから、この海域では11～12月が産卵盛期であると推定された。また、図3に示したように、ほぼ殻径40mmを境としてG S Iの低い群と高い群に大別された。いずれの群も産卵期を終えた冬期にG S Iは減少した。その他の観察の結果では、産卵期は天然の大型個体や養成ウニではやや遅くなる傾向が認められた。

2) ウニ給餌試験用精製飼料の作製とアカウニのタンパク要求量

- ・窒素源の比較（1,2&3区）： 殻径倍率、増重率、飼料効率では、窒素源の分子量の大きいほど高い値が得られたが、日間摂餌率は有意に減少した（表4）。また、表5に示すように、タンパク質の消化吸収率では、カゼイン添加区（飼料番号1）はやや低かったが、体タンパク含有率、タンパク効率、タンパク蓄積率等のタンパク栄養指標では最も高かった。飼料中のエネルギー利用率や可消化エネルギー量は、アミノ酸添加区（3区）で明らかに低かった（表6）。
- ・粘結剤の比較（1&4区）： 成長は1区のアルギン酸ナトリウム区が、カードラン区（4区）よりも優っていたが、飼料効率、タンパク効率、タンパク蓄積率では4区の方が極めて高かった。
- ・塩蔵ワカメとの比較（1,4&5区）： ワカメ給与区の摂餌率や成長は飼料給与区よりも有意に高かったものの、飼料効率、タンパク効率やタンパク蓄積率は必ずしも優れてはいなかった。
- ・タンパク要求試験（表7）

殻径倍率、飼料効率ともに飼料中のタンパク含有率20%までは増加し、それ以上ではほぼ一定した値となった。G S Iは、20%区及び30%区で最も高い値が認められたものの、10%区との間に統計的な有意差はなかった。以上の結果から、アカウニの餌中の至適タンパク量は約20%と推定された。また本試験で観察されたG S Iの6～7%は、生アラメ給与区の6～7倍、同サイズの天然ウニの3～4倍に相当した。

3) アラメ栄養成分の周年変化とアカウニの餌料としての栄養評価

(1) 季節および地域による差（表8）

この表に示した平均重量は二またに分岐した葉体の片方の重量である。この重量からみたアラメのサイズは春から夏期に大きく、1から2月に最も小さくなると考えられた。水分量は夏から冬にかけて減少し、逆にタンパク量（湿物中）やエネルギー量はこの時期に高い値を示している。乾物中のタンパク量が高くないのは、夏場には炭水化物量が増加し相対的にタンパク質の比率が低くなるためと推察される。エネルギー含量はタンパク質や炭水化物の絶対量の増減に大きな影響を受け、湿物当たりのタンパク質量の変動パターンとほぼ同様な傾向を示した。

アラメ藻体中のアミノ酸組成の季節及び地域による相違をタンパク栄養の観点から比較した（表9）。同一時期のアラメのアミノ酸組成には、三重県産と福岡県産アラメでは地域による差は全く認められ

表8. アラメ藻体中の水分量、タンパク含有量及びエネルギー含有量の周年変化

月日	平均重量 (g)	水分量 (%)	タンパク量		エネルギー量	
			乾物中 (%)	湿物中	乾物中	湿物中 (kcal/100g試料)
95/4/27	368±111	82.3±0.9	14.0±1.0	2.5±0.3	317±15	56.2±0.2
5/24	229±50	81.6±1.2	11.8±1.2	2.2±0.3	322±5.3	59.4±4.4
6/22	276±95	78.5±0.9	11.7±0.3	2.5±0.1	331±15	71.2±4.0
7/21	253±58	70.6±2.7	12.1±0.7	3.6±0.4	364±9.7	107 ±13
8/25	271±141	68.2±2.1	9.8±1.4	3.1±0.5	368±9.2	117 ±9.4
9/26	194±69	71.3±4.2	12.4±1.3	3.6±0.4	362±13	105 ±19
10/26	233±112	70.1±1.5	12.8±0.7	3.8±0.3	364±9.6	109 ±6.8
12/01	257±94	78.5±0.9	12.8±0.8	2.8±0.3	332±15	71.6±5.8
12/20	112±48	83.5±1.6	11.4±0.2	1.9±0.2	308±8.9	50.8±4.2
96/1/24	91±44	84.4±0.6	15.5±0.7	2.4±0.1	291±11	45.6±3.3
2/27	92±39	86.1±1.5	13.7±1.3	1.9±0.3	269±22	37.6±6.8
3/26	141±27	81.7±1.1	17.3±0.8	3.2±0.2	315±8.3	57.8±4.9
平均値		78.1	12.9	2.8	329	74.0

表9. アラメ藻体中のアミノ酸組成の季節及び水域による相違とウニ餌料としての栄養評価

採取場所	福岡県宗像			三重県阿児町甲賀					
	1995年5月26日			1995年5月24日			1995年10月26日		
採取年月日	試料中 タパク中 A/E比			試料中 タパク中 A/E比			試料中 タパク中 A/E比		
	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
アラニン	0.056	3.00	94	0.056	2.76	94	0.064	1.62	88
ヒスチジン	0.021	1.08	34	0.021	1.03	35	0.024	0.60	33
イソロイシン	0.049	2.58	81	0.050	2.49	85	0.055	1.39	76
ロイシン	0.093	4.96	156	0.090	4.45	151	0.11	2.70	147
リジン	0.077	4.08	128	0.074	3.65	124	0.087	2.18	119
メチオニン	0.032	1.69	53	0.028	1.38	47	0.035	0.87	47
シスチン	0.046	2.43	76	0.036	1.78	61	0.067	1.70	93
フェニルアラニン	0.059	3.14	99	0.059	2.94	100	0.073	1.84	101
チロシン	0.036	1.92	60	0.040	1.96	67	0.045	1.13	62
スレオニン	0.061	3.24	101	0.070	3.47	118	0.083	2.11	115
トリプトファン	tr	tr	tr	tr	tr	tr	tr	tr	tr
バリン	0.072	3.84	120	0.067	3.56	121	0.090	2.26	123
アラニン	0.22	11.33		0.22	10.69		0.64	15.98	
アスパラギン酸	0.15	7.96		0.15	7.38		0.21	5.27	
グルタミン酸	0.52	27.39		0.52	25.43		2.01	50.86	
グリシン	0.070	3.70		0.061	3.02		0.085	2.15	
プロリン	0.068	3.61		0.065	3.22		0.082	2.06	
セリン	0.073	3.88		0.070	3.50		0.10	2.52	
タンパク質(%湿物)	1.98			2.18			3.84		
EAA/TAA(%)	35.5			35.6			19.0		
EAA/乾物試料(%)	3.41			3.31			2.45		
相関係数(r)	0.840 (p<0.01)			0.870 (p<0.01)			0.782 (p<0.01)		
必須アミノ酸指数	83.5			80.2			50.1		
ケミカルスコア	55.4			50.9			29.9		
第1制限アミノ酸	アルギニン			アルギニン			アルギニン		
第2制限アミノ酸	ヒスチジン			ヒスチジン			ヒスチジン		

なかった。各種の必須アミノ酸栄養指標の値も近接していた。一方、同じ三重県産のアラメであっても、10月の試料は5月のものに比較してアミノ酸含量が高く、特にグルタミン酸は4倍量も含まれていた。この時期の試料の高いタンパク質含量は、このグルタミン酸の増加によるものである。ただし、乾物試料中やアミノ酸総量中の必須アミノ酸の割合をはじめ必須アミノ酸のバランスに関しては5月の試料の方が優れていた。このようにアミノ酸は地域よりも季節の差が極めて大きいことが明らかになった。

(2) 葉体中の部位別栄養成分変化 (表10)

新しい部位で水分含量が高く、タンパク質やエネルギー量が低かった。必須アミノ酸の栄養価はA部が最も優れており、アラメの第一制限アミノ酸であるアルギニンも他の部位より高い比率で含まれていたが、湿藻体当たりに換算すると量的にはむしろ他の部位より低い値になった。このように夏期のアラメを部位別に比較すると顕著な栄養成分の差が認められた。

4) 水温別・飼育段階別給餌試験

アラメと精製飼料を用いた6回の給餌試験の結果を餌別に整理して図で示し、各図の中にはウニのサイズと試験結果との関係性を飼育水温別に示した。

殻径の成長 (図4) は、いずれの餌でも10~20mmサイズで20~25℃の方が16℃より良かった。しかし、40mmサイズ以上では逆転し、低水温区の成長が優った。体重の増加率 (増重率; 図5) も基本的には殻径の成長と同様な傾向を示し、体重5g前後 (満1歳前後) からそれまで最も高い成長を示していた高水温区 (25℃) で成長の明らかな低下が認められた。

摂餌率は、アラメ給与 (図6) では1~数gサイズまでは高水温区ほど高い傾向が明瞭に認められた。しかし、5~20gにかけては20℃区の摂餌率が最も活発となり、一方、25℃区の摂餌率は低下した。20g以上のサイズでは25℃区と16℃区とは同じ摂餌率を示した。精製飼料給与 (図7) では大型個体 (30~50g) で傾向がアラメの場合とやや異なり、16℃区の摂餌率が20℃区との間に明瞭な差は見られなかった。図8でアラメと精製飼料における摂餌率の違いを比較した。2例とも湿物の比較では大きな差が認められ、水分の多いアラメの摂餌率が精製飼料よりもいずれの条件下でも高かったが、乾物に換算すると両者の摂餌率はほとんど一致した。

図6に示した水温別の累乗方程式を用いて、アカウニによる生アラメ及びアラメ乾物当たりの日間摂餌率表を作成した。これは16、20、25℃の各式に各々の体重を代入し摂餌率を算出した後、未知の水温区間は比例計算で求めた。さらに、これらの数値を2変数多項式 (東北水研飯倉敏弘氏の作成したプログラム使用) で均して得られた推定値を表11及び12に示した。ただし、体重区分の両端の数値が実測値とかなり離れたため、この区分に関しては実測値に近似した値を便宜的に当てはめた。

日間エネルギー摂取量 (図9) は、アラメ給与では小型サイズで高水温区ほど摂取量が多いが、大型サイズになると20、16、25℃の順になった。精製飼料給与でもアラメとほぼ同様な傾向であったが、大型サイズでは16℃区と20℃区の間には全く差が見られなかった。また、アラメと精製飼料を比較すると1~2gの小型のサイズにおいては精製飼料区がアラメ区より著しく高いエネルギー量を摂取していた。10gサイズ以上になると餌による違いはほとんどなくなった。

アラメの飼料効率 (乾物換算) を累乗方程式で図10に示した。1g前後では水温の影響は少ないが、成長に伴い水温が高いほど効率が明らかに低下する傾向が認められた。精製飼料給与でも水温の影響はアラメの場合と似ていたが、関係式は指数方程式の方が当てはまった。ただし、1g前後のウニの飼料効率に関してはアラメを給与した場合の半分程度であった。

タンパク蓄積率 (図11) では、全体的に飼育水温による差はあまりなかった。餌の比較では、精製飼料は50gサイズの25℃区を除いてアラメよりも常に優れていた。

GSI (図12) は、アラメ給与では全ての成育段階で高水温ほど高くなる傾向が認められた。一

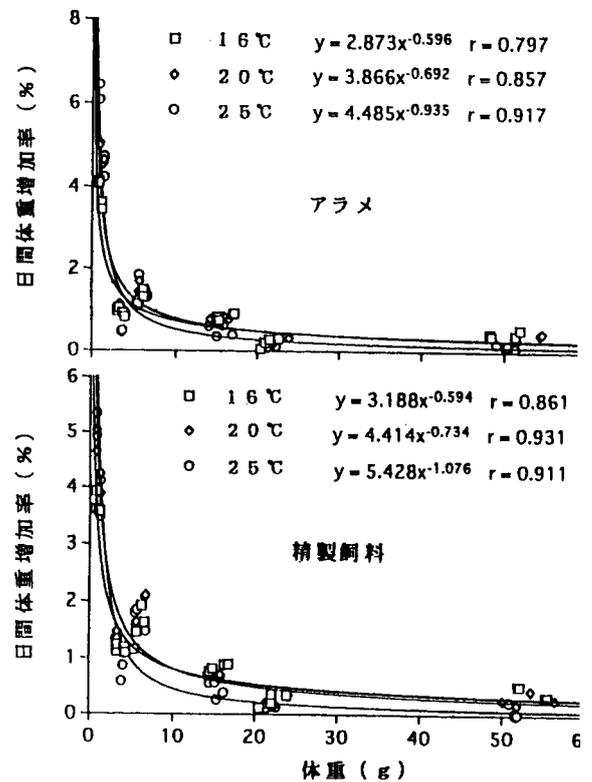
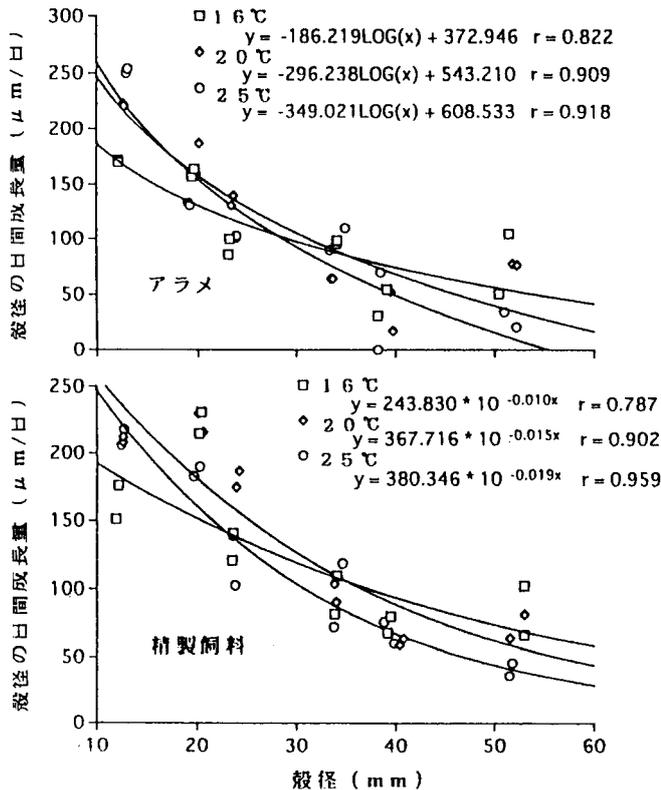
表10. アラメ葉体部の部位別成分変化とウニ飼料としての栄養評価 (1995年8月25日採取、三重県阿児町中賀)

部位	A	B	C	D	E	
葉数	6	4	4	4	5	
試料の重畳比 (%)	7.8	18.3	27.1	32.8	14.1	

	新芽					

	古葉					

	水分 (%)					
水分	77.0	69.9	66.8	64.0	67.8	
タンパク質 (乾)	8.1	10.0	10.9	11.9	12.3	
タンパク質 (湿)	1.9	3.0	3.6	4.3	4.0	
	(kcal/100g)					
エネルギー (乾)	350	377	383	375	375	
エネルギー (湿)	80	113	127	135	120	
アミノ酸の栄養価						
	カバク中 A/E比		カバク中 A/E比		カバク中 A/E比	
アルギニン	4.69	108	2.71	88	2.11	98
ヒスチジン	1.73	40	1.10	36	0.83	38
イソロイシン	3.58	82	2.61	84	1.65	77
ロイシン	6.67	153	4.91	159	3.31	154
リジン	5.68	131	3.81	123	2.67	124
メチオニン	2.47	57	1.80	58	1.65	77
シスチン	2.47	57	2.11	68	1.75	81
フェニルアラニン	4.07	94	4.21	138	2.30	107
チロシン	2.47	57	1.71	55	1.10	51
スレオニン	4.44	102	2.21	71	1.65	77
トリプトファン	tr		tr		tr	
バリン	4.69	119	3.71	120	2.48	115
	カバク中 A/E比		カバク中 A/E比		カバク中 A/E比	
アラニン	10.74	15.35	16.36	17.06	16.76	16.76
アスパラギン酸	9.26	6.32	4.04	4.03	4.72	4.72
グルタミン酸	18.15	39.72	47.43	50.25	47.11	47.11
グリシン	5.19	3.51	2.30	2.10	2.36	2.36
プロリン	4.44	3.61	3.22	3.45	2.60	2.60
セリン	4.81	4.31	2.94	2.61	2.85	2.85
FAA/TAA (%)	45.2	29.9	22.1	19.3	22.7	22.7
FAA/乾物試料 (%)	3.52	3.08	2.34	2.26	2.76	2.76
相関係数 (r)	0.891 (p<0.001)	0.812 (p<0.01)	0.774 (p<0.01)	0.854 (p<0.01)	0.823 (p<0.01)	0.823 (p<0.01)
必須アミノ酸指数	98.4	79.9	58.3	52.5	61.4	61.4
ケミカルスコア	86.5	50.0	38.9	32.5	37.5	37.5
第1制限アミノ酸	アルギニン	アルギニン	アルギニン	アルギニン	アルギニン	アルギニン
第2制限アミノ酸	—	スレオニン	スレオニン	スレオニン	スレオニン	ヒスチジン



4. 養成アカウニの殻径成長量への育成段階と環境水温の影響 図5. 養成アカウニの日間体重増加率に及ぼす育成段階と環境水温の影響

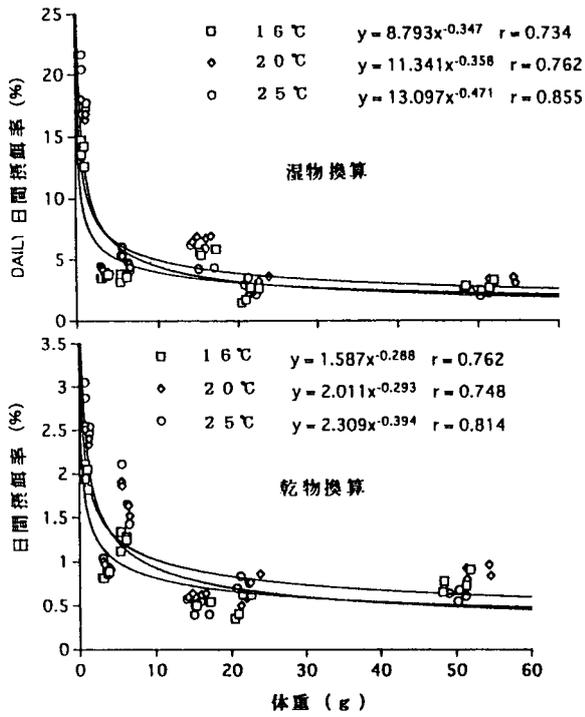


図6. アラメを給与したアカウニの日間摂餌率に及ぼす成育段階と環境水温の影響

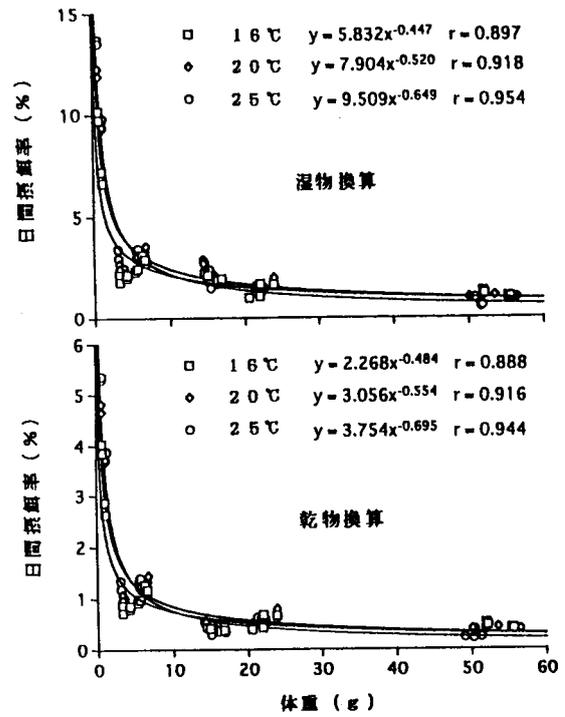


図7. 精製飼料を給与したアカウニの日間摂餌率に及ぼす成育段階と環境水温の影響

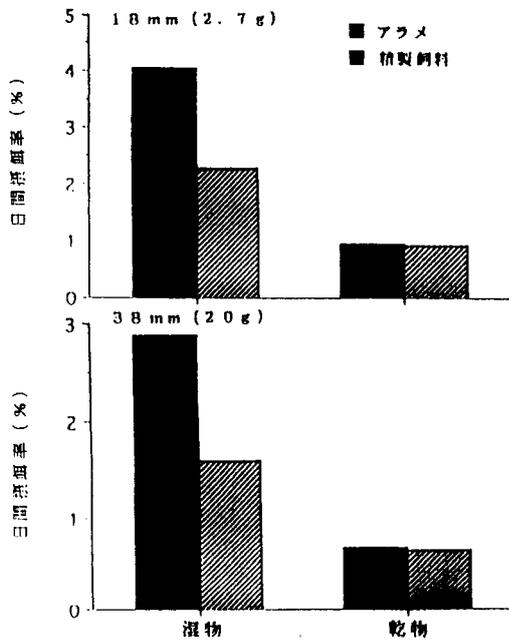


図8. 養成アカウニの餌による摂餌率の違い

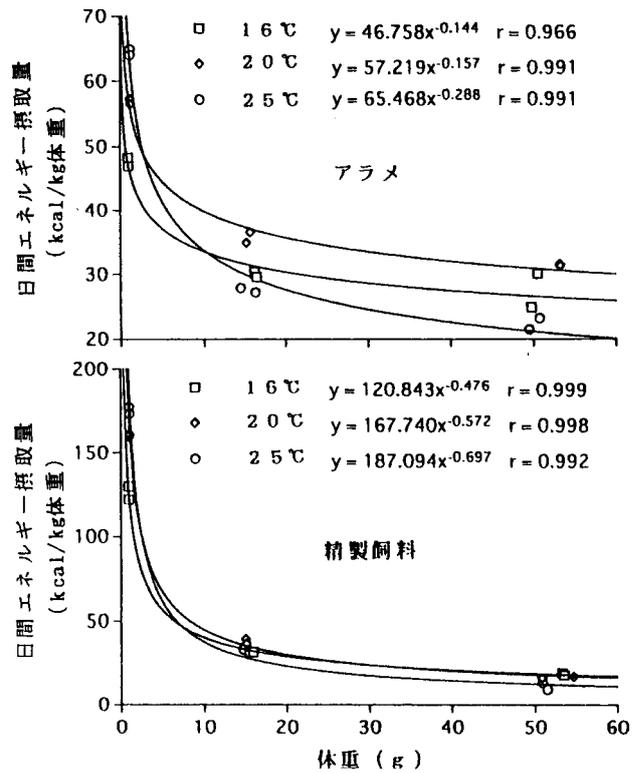


図9. 養成アカウニの日間エネルギー摂取量に及ぼす成育段階と環境水温の影響

表11. アカウニによる生アラメの日間摂餌率表
(湿物% : 1日の100g体重当たりの摂餌率)

体重 (g) 殻径 (mm)	0.5-1 10-13	1-2 13-17	2-3 17-20	3-5 20-24	5-10 24-30	10-25 30-40	25-50 40-51	50< 51<
水温 (°C)								
27	22.0	14.7	10.0	9.1	7.0	3.1	2.1	1.8
26	21.5	14.5	10.0	9.0	7.2	3.4	2.2	2.0
25	21.0	14.2	9.9	9.0	7.2	3.6	2.4	2.2
24	20.3	14.0	9.7	9.0	7.2	3.7	2.5	2.3
23	19.6	13.8	9.6	9.0	7.3	3.9	2.7	2.4
22	18.8	13.6	9.3	8.9	7.2	3.9	2.8	2.5
21	18.1	13.3	9.1	8.6	7.2	4.0	3.0	2.6
20	17.4	12.9	8.8	8.3	7.0	4.0	3.1	2.7
19	16.6	12.4	8.4	8.0	6.7	3.9	3.0	2.7
18	15.8	11.7	8.0	7.5	6.4	3.8	2.9	2.6
17	14.9	10.9	7.6	7.1	6.0	3.6	2.8	2.5
16	14.1	10.0	7.1	6.7	5.7	3.4	2.7	2.4
15	13.1	9.1	6.6	6.2	5.3	3.2	2.6	2.2
14	12.0	8.2	6.1	5.7	4.8	2.9	2.4	2.0
13	11.0	7.2	5.5	5.1	4.3	2.6	2.2	1.8

表12. アカウニによるアラメの乾物当たりの日間摂餌率表
(乾物% : 1日の100g体重当たりの摂餌率)

体重 (g) 殻径 (mm)	0.5-1 10-13	1-2 13-17	2-3 17-20	3-5 20-24	5-10 24-30	10-25 30-40	25-50 40-51	50< 51<
水温 (°C)								
27	2.7	1.9	1.8	1.7	1.3	0.7	0.5	0.4
26	2.7	1.9	1.8	1.7	1.3	0.7	0.5	0.5
25	2.6	1.9	1.8	1.7	1.4	0.8	0.6	0.5
24	2.5	1.9	1.8	1.7	1.4	0.8	0.6	0.6
23	2.5	1.8	1.8	1.7	1.4	0.8	0.6	0.6
22	2.4	1.8	1.7	1.6	1.4	0.8	0.7	0.7
21	2.3	1.7	1.7	1.6	1.4	0.9	0.7	0.7
20	2.2	1.7	1.6	1.5	1.3	0.8	0.7	0.7
19	2.1	1.6	1.6	1.5	1.3	0.8	0.7	0.7
18	2.0	1.5	1.5	1.4	1.2	0.8	0.6	0.6
17	1.9	1.5	1.4	1.3	1.2	0.8	0.6	0.6
16	1.8	1.4	1.3	1.3	1.1	0.7	0.6	0.6
15	1.7	1.3	1.2	1.2	1.0	0.7	0.5	0.5
14	1.6	1.2	1.1	1.1	0.9	0.6	0.5	0.5
13	1.5	1.1	1.0	1.0	0.8	0.6	0.5	0.4

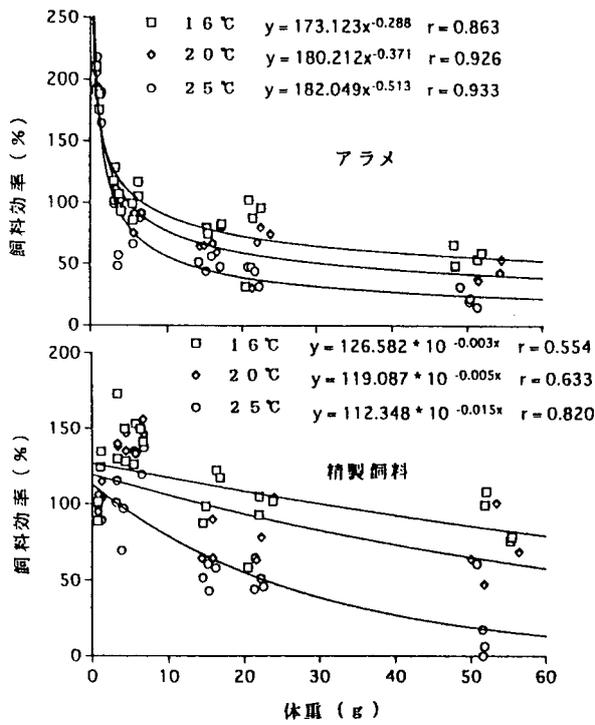


図10. 養成アカウニの飼料効率に及ぼす成育段階と環境水温の影響

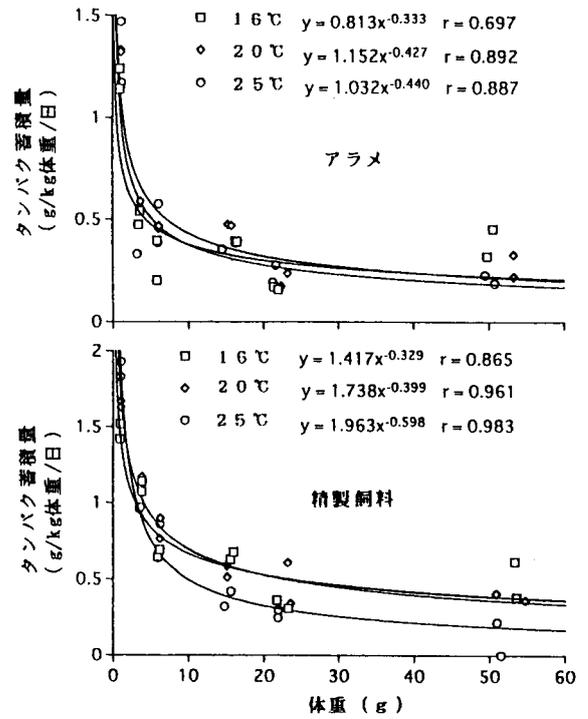


図11. 養成アカウニの日間タンパク蓄積率に及ぼす成育段階と環境水温の影響

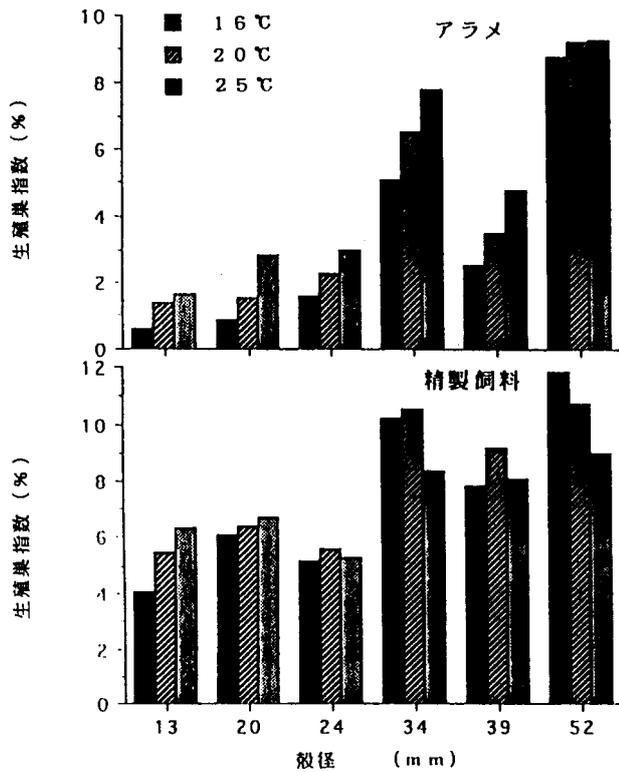


図12. 養成アカウニの給餌試験終了時の生殖巣指数

方、精製飼料では満1歳前後のサイズ（35mm前後）から高水温区でGSIが低下し、2歳（50mm）では関係が完全に逆転し低水温区ほど高くなった。また、餌とは無関係に1歳以上の個体（約35mm以上）と比較して1歳以下の若齢ウニでは全体的にGSIは低かった。餌の比較では、精製飼料を給与したウニの生殖巣はいずれもアラメ給与個体よりも発達していた。

考察

調査海域のアカウニ生殖巣指数は殻径40mmサイズ前後を境として二つの群に分けられているように思える（図3）。養成ウニでは、1歳以下の個体（約30mm；図12）の場合、明らかに1歳以上のウニと比較して一律に低いGSIが観察されていることから、天然ウニのGSIの低い小型のウニは1歳未満と推定される。山川¹¹は、農林水産統計から歩留まり率（生殖巣指数と同じ意味）を計算する際に10%を用いている。この海域の漁期にあたる8月の40mmサイズ以上のウニの大半が10%以上であり、このサイズを越える個体が漁獲の対象として適している。一方、70mm以上の個体の捕獲率は8月の採取では約10%と低く、また可食部である生殖巣の色が灰褐色でしみもあり商品価値が低かった。これらの点から、漁獲対象サイズは40～70mmが適している。ただし、（社）全国沿岸漁業振興開発協会のウニ類増殖場管理マニュアルでは、産卵量や経済効率の観点から45mm以下のアカウニの採取を制限するよう勧告している。²¹

本調査では、ウニの栄養研究にとって必須である栄養試験用の基本飼料を作製した。浮ら³¹のアワビ用精製飼料を参考に、ビタミン混合の一部等をウニ用に修正した。また、ウニ研究者の一部で餌料藻類に多量の低分子窒素化合物が有されていることや、ウニの消化管にウニ由来のタンパク分解酵素が検出されないことなどから、ウニはタンパク質よりも低分子の窒素源の方が利用性が良いのではないかとの考えがある。そこでアカウニに分子量の異なる窒素源を給与した結果、魚類の例^{41・51}と全く同様にタンパク質（カゼイン）の方が低分子の窒素源よりも優れた成長、飼料効率、タンパク蓄積率を示した。キタムラサキウニでもタンパク態窒素を豊富に含む大豆フレーク配合飼料で優れた成長や高いGSIが観察されており、⁶¹特にウニの餌料の窒素源として低分子の窒素化合物にこだわる必要はないと考えられる。ウニ用飼料の粘結剤としては、アルギン酸ナトリウムでは成長が良く、一方、カードランでは飼料効率やタンパク蓄積率が高かった。アルギン酸ナトリウム添加区とカードラン添加区の大きな違いは総エネルギー量で、これはアルギン酸ナトリウム中に含まれるナトリウムがエネルギー量に寄与しないためと推定される。粘結剤の使用にあたってはその目的によっていずれかを選定すれば良いだろう。我々の研究ではまず早い成長が求められていることから、今後の給餌試験にはアルギン酸ナトリウムを使用することにした。

このようにして考案された精製飼料を用いてタンパク要求試験を行ったところ、増重では有意な差はなかったが、殻径倍率及び飼料効率で10%区と20%添加以上の区間に有意差が認められ乾物試料中の至適タンパク量は約20%と推定された。これは鹿児島県水試の提唱した30%（カゼインがタンパク源、要求量を決定した指標は増重率と飼料効率）よりも低い。⁷¹

動物の餌の栄養はまずタンパク質で評価するのが一般的である。タンパク栄養は量と質の二つの観点から論議される。通常、質は必須アミノ酸のバランスや含有量から判断される。餌料藻類のアラメは、量の点では表9に示したように乾物当たりのタンパク含有量が周年10～17%で変化しており要求量を満たしていない。一方、ワカメでは30%（表1）あり、タンパク要求量を十分満たしている。質の比較を表13に示した。各サンプルのタンパク含量に大きな差があり、アミノ酸組成の直接的な比較が困難なため、タンパク当りに換算し直したアミノ酸組成とそれらの数値から計算した栄養評価指標を示した。アカウニの全組織体のアミノ酸組成を基準にするといずれの餌料もアルギニンが欠乏していた。しかし、ワカメはケミカルスコアおよび必須アミノ酸指数が100に近く、ウニにとって

表13. 試験飼料の窒素源とワカメ、アラメ及びウニ体ホモジネートの粗タンパク中の
アミノ酸組成と栄養評価

アミノ酸 (タンパク中%)	ウニ 全組織体	カゼイン	カゼイン 加水分解物	アミノ酸 混合物	ワカメ	アラメ
アルギニン	5.42	3.92	4.53	4.34	5.05	2.06
ヒスチジン	1.73	3.00	3.10	3.37	1.99	1.28
イソロイシン	2.74	5.06	6.40	6.26	3.98	1.60
ロイシン	5.05	10.03	7.64	11.00	8.12	3.48
リジン	4.69	7.96	9.90	9.39	5.67	2.94
メチオニン	1.84	3.28	2.44	3.22	3.22	1.55
シスチン	1.34	0.73	0.40	0.42	1.07	2.09
フェニールアラニン	3.18	5.48	4.79	6.06	5.21	2.94
チロシン	2.67	5.98	4.20	6.72	3.06	1.47
スレオニン	3.97	5.23	4.52	5.39	4.90	2.67
トリプトファン	0.90	1.15	0.84	2.02	1.99	0.99
バリン	3.25	6.25	8.00	7.79	5.05	2.59
アラニン	5.05	3.27	2.95	3.58	6.74	14.17
アスパラギン酸	7.94	8.25	8.61	8.25	9.95	6.42
グルタミン酸	11.91	29.77	28.08	25.49	10.87	40.37
グリシン	15.88	1.98	2.10	2.28	5.51	2.94
プロリン	4.33	12.13	13.66	13.38	4.13	2.67
セリン	4.69	6.68	5.61	6.98	4.44	2.67
タンパク量(%湿物)	2.77	85.1	81.4	80.7	6.53	3.74
EAA/TAA (%)	42.4	47.5	48.2	52.4	54.1	27.0
必須アミノ酸指数	100	96.8	96.4	97.8	99.3	70.1
ケミカルスコア	100	72.3	83.6	80.1	93.2	38.0
第1制限アミノ酸	-	アキニン	アキニン	アキニン	アキニン	アキニン
相関係数(r)*	-	0.778 (p<0.01)	0.696 (p<0.05)	0.741 (p<0.05)	0.893 (p<0.001)	0.753 (p<0.05)

* アカウニ全組織体の必須アミノ酸組成と他の飼餌料のそれらとの相関

非常に優れたタンパク源であると考えられる。一方、西日本一帯で暖海性ウニ類の餌料として重要視されているアラメのスコアや指数は低く、ワカメに比較すれば栄養的に必ずしも最適な餌料ではないことが明らかになった。蛇足ではあるが、ウニの研究者の中には、生の餌料中のタンパク含有率で栄養価を判断している者がいる。栄養学では、むしろ水分量を含まない乾物当たりの比率で栄養を評価する方がより正しい判断ができると考えられている。本調査の中でも、図12にあるように水分量の異なるアラメと精製飼料の摂餌率は湿物当たりでは大きな違いがあるが、乾物当たりでは全く差が見られなくなっている。天然餌料の栄養評価の際には、水分を除いた乾物中の成分比率で比較する点に留意する必要がある。

角田らの報告⁸⁾でも、ワカメ給餌区の成長が最もよく、次いでアラメの順であった。これは、本調査で明らかになったように、タンパク含有量や必須アミノ酸のバランスの良否とも一致している。ただし、これらのタンパク栄養は、周年変化しており季節による違いを考慮しておく必要がある。また、エネルギー量も周年変化することから、これら全てのファクターを考慮した総合的な栄養評価法の開発が必要と思うが、本調査の期間内には、その完成には到らなかった。

水温別・成育段階別給餌試験の結果から、アラメ飽食給餌における水温別の各成育段階における殻径や体重の成長率、摂餌率、飼料効率、タンパク蓄積率等の多くの関係式を得ることができた。さらに摂餌率の関係式からウニの摂餌率表をアラメの湿物と乾物当たりで2種類作成した。この表中に示された摂餌率は、内場⁹⁾の飼育試験結果(殻径14~33mm、10月~5月; 平均値7.5%)に近く、今井・新井の報告した値¹⁰⁾よりはかなり高かった。また我々の試験結果から、摂餌の最適水温は成育段階で異なり、小型個体では高水温ほど摂餌率が高く、成長に従って適水温が低温に移行することが明らかになった。このことは天然におけるアカウニの成育場所の選定とも関連しているのかもしれない。同様な現象は、ブリでも観察されているらしい(愛媛県水試; 高木修作氏私信)。実際には、ウニの摂餌は水温や体のサイズの他に、忌避物質の含有量や流速によっても影響される。忌避物質含量は藻類の鮮度とも関連するが、この点については本調査では研究しておらず今後の課題となった。流速と摂餌の関係は、山本・川俣¹¹⁾や明田ら¹²⁾によるキタムラサキウニでの優れた研究があり流速と摂餌量の関係式が求められているので、とりあえずはアカウニでも本表との組み合わせで便宜的に利用できるのではなかろうか。

本調査では、藻類との比較検討のため精製飼料でも給餌試験を行った。一般的な傾向は両者とも似ていたが、1~2gサイズの日間エネルギー摂取量と摂餌率の関係や環境水温とGSIの関係では大きな違いが観察されている。人工飼料で得られた情報を藻類に当てはめる際には、注意が必要かもしれない。

摘要

これまでに集積したデータを総合的に解析して、餌料藻類の季節別栄養成分表及び精製飼料を基準とする栄養比較表や成長比較表を作成し、栄養学的観点からの好適海藻種の選定やウニ増殖生産計画における海藻必要量の算定に資するためのデータを集積した。

1. 調査海域のアカウニの漁獲対象サイズは40~70mmが適している。
2. ウニ栄養試験用精製飼料を作製し、アカウニのタンパク要求量が乾物餌料当たり約20%であることを明らかにした。
3. アラメ藻体中の水分量、タンパク含量、エネルギー含量は周年変動し、常にアラメはアカウニのタンパク要求を満たしていなかった。必須アミノ酸の含有量やバランスは地理的な相違よりも季節的な変化によって変動した。一方、ワカメはタンパク栄養の観点からは、十分なタンパク含量や極めて理想的なアミノ酸バランスを有していた。

4. 水温別・成育段階（サイズ）別にアラメを給与したアカウニの成長速度、日間摂餌率、日間エネルギー摂取量、飼料効率、タンパク蓄積率の関係式を得た。また、摂餌率に関しては日間摂餌率表を作成した。

本試験では当初海藻類の消化吸収率を精密に測定するための装置の開発を目論んだ。しかし、消化率間接測定法の指標となる不消化物質を藻体中に見いだせなかった。そこで直接法にターゲットを切り替え、排泄された糞の全量を回収できる採糞装置の開発に取り組んだが完成には到らなかった。また魚類と異なり、絶食してもそれまでに摂餌された餌料が長時間経過した後でも消化管中に多量に残留し糞として排泄されにくいなどの問題点にも直面した。本計画内では実用的な手法の開発には到らず、海藻類の消化率測定手法の開発は今後の課題となった。

引用文献

- 1) 山川 紘 (1992) : ウニの生物学、食の科学、3 (169)、25-33.
- 2) (社) 全国沿岸漁業振興開発協会 (1992) : 平成3年度造成漁場利用管理モデル検討調査報告書、pp.60-61.
- 3) 浮 永久・煙山 彰・渡辺 武 (1985) : アワビ用試験飼料の基本組成の検討、日水誌、51 (11)、1825-1833.
- 4) 中添純一・横山雅仁・桑田 有 (1987) : コイによるカゼイン加水分解物の利用、昭和62年度日本水産学会秋季大会講演要旨、p171.
- 5) T. Murai, T. Akiyama, and T. Nose (1982) : Effects of casein coating on utilization of dietary amino acids by fingerling carp and channel catfish. Bull. Jpn. Soc. Sci. Fish. 48 (6), 787-792.
- 6) 干川 裕 (1993) : ウニに大豆を食べさせる話、北水試だより、22、9-14.
- 7) 黒木克宣・田代善久 (1991) : シラヒゲウニの飼料開発研究、平成2年度鹿児島水試事業報告、39.
- 8) 角田信孝・由良野範義・水津洋志・道中和彦 (1993) : 平成4年度放流漁場高度利用技術開発報告書 (アワビ・ウニ類) 山口県、58pp.
- 9) 内場澄夫 (1984) : アカウニ養殖試験-I、昭和57年度福岡水試研業報、1、175-180.
- 10) 今井利為・新井省吾 (1986) : アカウニの食性と摂餌量について、水産増殖、34 (3)、157-166.
- 11) 川俣 茂・山本正昭・足立久美子・日向野純也 (1995) : 藻食動物の摂餌・行動に及ぼす波浪の影響、平成5年度沿岸漁場整備事業に関する水産庁研究所研究報告書 (平成7年3月)、49-56.
- 12) 明田定満・佐藤 仁・谷野賢二・松山恵二・吾妻行雄 (1994) : 生態を考慮したウニ養殖場の設計について、開発土木研究所月報、196、30-37.