

(2) 準絶滅危惧種マルタニシの必須脂肪酸 要求特性の解明

藤林恵*・慎祐爽・長濱祐美・中野和典・相川良雄・西村修

東北大学大学院工学研究科 (〒980-8579 仙台市青葉区荒巻字青葉 6-6-06)

* E-mail: fujibayashi@eco.civil.tohoku.ac.jp

マルタニシの必須脂肪酸要求を明らかにするために野外調査および飼育実験を行った。餌環境が異なる複数の生息場所で採集されたマルタニシの必須脂肪酸組成はいずれも同様の傾向を示し、 $\omega 3$ 系列と比較して $\omega 6$ 系列の必須脂肪酸がより多かった。 $\omega 3$ 系列の必須脂肪酸を多く含むキャベツを餌とした飼育実験において、マルタニシは $\omega 6$ 系列の必須脂肪酸を選択的に同化した。これらの結果よりマルタニシは $\omega 6$ 系列の必須脂肪酸に対して要求が大きいことが分かった。水界生態系で $\omega 6$ 系列の必須脂肪酸を合成する藻類は緑藻や藍藻などであり、これらはマルタニシの餌として適していると考えられた。

Key Words : pond snail *Bellamy chinensis*, essential fatty acid requirement, omega-3, omega-6

1. はじめに

必須脂肪酸とは動物が生息していく上で不可欠な栄養素であるものの、動物自身が体内で新たに合成できない脂肪酸を指し、 $18:3\omega 3$ (α リノレン酸)、 $18:2\omega 6$ (リノール酸) が相当する。また動物体内で $18:3\omega 3$ や $18:2\omega 6$ から合成される場合もあるが、体内の合成のみでは必要量をまかなえず、餌から取り入れる必要がある $20:4\omega 6$ (アラキドン酸)、 $20:5\omega 3$ (エイコサペンタエン酸)、 $22:6\omega 3$ (ドコサヘキサエン酸) も必須脂肪酸として数えられている¹⁾。必須脂肪酸は $\omega 3$ 系列と $\omega 6$ 系列に分けられる。両系列の脂肪酸を量的に不足しないように注意するのみならず、バランスよく餌から摂取することが重要であり²⁾、動物種ごとに必須脂肪酸要求に適した、適切な $\omega 3/\omega 6$ 比があると考えられている³⁾。

動物の必須脂肪酸要求については水産分野を中心に養殖魚などを対象に調べられてきた⁴⁾。対象動物の必須脂肪酸要求に適合する餌を用いることで、成長量の増加や稚魚の生存率が改善される事例が報告されており、必須脂肪酸要求の解明は養殖技術の発展に大きく寄与してきた。

近年では藍藻の発生に伴う上位の栄養段階の動物の生産の低下は、藍藻が上位の栄養段階の動物が要求する $\omega 3$ 系列高度不飽和脂肪酸を含有していないことに起因し

ていると指摘されている⁵⁾。またバルト海においては、魚類における M74 シンドロームの発症が餌である植物プランクトンの必須脂肪酸組成のアンバランスに起因している可能性が指摘されている⁶⁾など、自然生態系においても必須脂肪酸の重要性が認識され始めている。

これまで必須脂肪酸要求の研究対象となるのは、水産資源となる動物が主であったが、対象を水産資源以外の種を含む様々な動物とした場合、生存率や生産量の向上を可能にする必須脂肪酸要求の解明は、生態系保全の観点からも有用な情報を提供できるものと考えられる。すなわち必須脂肪酸要求に基づく餌環境の改善を通して、動物の保全を図ることが可能となる場合もあろう。しかしながら、これまでのところ生態系保全の観点から必須脂肪酸要求の解明に取り組んだ研究は見当たらず、野生種の必須脂肪酸要求特性については不明な点が多く残されている。特に淡水生態系においてその傾向は顕著であり、魚類や動物プランクトン以外の動物の必須脂肪酸要求に関してはほぼ未解明の状態である。

そこで本研究では淡水産巻貝であるマルタニシ *Bellamy chinensis* に注目した。マルタニシはかつてわが国の水田や池沼などの湿地において優占種であったが、近年では個体数が大幅に減少し、準絶滅危惧種の指定を受けるに至っている⁷⁾。マルタニシは底泥を摂食していること⁸⁾や、懸濁物質を摂食している可能性を指摘されている⁹⁾ものの、食性の研究は乏しく、必須脂肪酸要求

に関する研究は行われていない。

動物の必須脂肪酸要求を解析するにあたっては、必須脂肪酸組成の相違以外は同質な複数の餌を用いて、対象動物の成長量や生存率などの応答から、必須脂肪酸要求を決定する方法が行われている¹⁰⁾。しかし、このような理想的な餌を用意し、長期にわたって野生種を飼育することは容易ではない。そのような状況の中、魚類においては体内に豊富に含まれる必須脂肪酸と必須脂肪酸要求は一致している傾向が報告されている¹¹⁾ことから、逆説的に体内の必須脂肪酸組成から必須脂肪酸要求が推定できると考えられる。ただし、一方で動物の必須脂肪酸組成は摂食・同化した餌の脂肪酸組成の影響を強く受けることが知られている¹²⁾。そのため、必須脂肪酸要求に基づいて動物の必須脂肪酸組成は一定であるのか、あるいは餌同化内容を反映して動物の必須脂肪酸組成は変動するのか、不明である。

そこで本研究ではマルタニシの必須脂肪酸要求特性を明らかにすることを目的として餌環境が異なると想定される複数の生息場所を調査対象地点としてマルタニシを採集し脂肪酸組成を分析した。さらに単一の餌を用いた飼育実験を行い、マルタニシがどのように必須脂肪酸を同化するのか経時的に解析することで、マルタニシの脂肪酸組成に与える餌の脂肪酸組成の影響を評価した。

2. 研究方法

(1) マルタニシの採集

宮城県七ヶ浜町の水田（2007年7月、9月）および同県栗原市内の溜池（2007年10月）にて、葎高3cm程度のマルタニシを20～30匹ずつ採集した。七ヶ浜水田の水深は10cm程度であり、稲作の状況によって変動する。栗原市溜め池は外周50m程度の人工池で、水深は1m程度である。この溜池は鯉の養殖に使われているため定期的に人工飼料が投入されている。

採集したマルタニシはそれぞれ実験室内に持ち帰り、糞を排出させるために、七ヶ浜水田のろ過水を入れた水槽内で糞の排出が見られなくなるまで3～4日間馴致した。その後、脂肪酸分析のために3匹ずつ無作為に抽出し、ハサミを用いて葎を破碎し軟体部を取り出し、シャーレに入れて分析まで30℃で保存した。

(2) 摂食実験

2008年5月に上述の宮城県七ヶ浜町の水田で採集した葎高3cm程度のマルタニシ30匹を茹でたキャベツを餌として100日間飼育し、マルタニシの必須脂肪酸組成の経時変化を解析した。飼育は45cm×30cm×25cm水槽を2つ使用し、それぞれ同一の条件で15匹ずつ飼育した。飼育は約2リットルの脱塩した水道水を用い、水温

20℃の条件で行った。また藻類の発生を防ぐために厚紙で水槽を覆い暗条件とした。キャベツは不足しないように2日に1回、食べ尽くせないだけの量を与えた。水は2日に1回交換し、エアープンプで連続的に空気を供給した。またサンゴ砂を入れることで葎の主成分であるカルシウム不足を予防した。飼育開始から25日後、42日後、100日後にマルタニシを無作為に3匹ずつ取り出し、軟体部をフリーズドライ処理し脂肪酸分析に供した。また初期条件として採集直後のマルタニシ2個体と餌として用いた茹でたキャベツの脂肪酸組成も分析した。

(3) 脂肪酸分析

脂肪酸分析はサンプルからの脂質の抽出、ケン化、誘導体化、そしてガスクロマトグラフィーによる分析の4工程に大きく分けられる。ガスクロマトグラフィーによる分析以外の分析操作はBligh and Dyerの方法¹³⁾を改良したMillingeらの方法¹⁴⁾を用いた。まずフリーズドライ処理をした試料をクロロホルム：メタノール：水（体積比で2：1：1）混合溶液内で20分間超音波処理することで脂質を抽出した。次に水酸化ナトリウムでケン化を行い、三フッ化ホウ素メタノールで誘導体化した。その後、薄層クロマトグラフィーで脂肪酸を精製した後、ヘキサンに溶かし、キャピラリーカラム（Varian社、select for FAME, 0.25mm, 100m）を装填したガスクロマトグラフィーGC-17A（（株）島津製作所）で分析した。キャリアーガスにはヘリウムを用い、150℃5min, 150-230℃-4℃/min, 230℃10min, 230-250℃-4℃/minの昇温プログラムで分析した。標準物質としてスペルコ社製のspelco37, bacterial FA, PUFA-3, il17.0, il17.0を用いてリテンションタイムから脂肪酸の同定を行った。またピーク面積より各脂肪酸の重量割合を計算した。なお本研究においては、標準物質内のリテンションタイムに該当しないピークは全て除外した。

(4) 解析方法

a) 統計解析

各調査地点で採集されたマルタニシおよび飼育100日後のマルタニシの脂肪酸組成の類似度をBray-Curtis類似度で評価した。さらに主成分負荷量分布図を作成することで2次元平面上で脂肪酸組成を視覚的に比較した。解析には統計ソフトPrimer Ver. 6¹⁵⁾を用いた。

b) 飼育期間

餌として与えたキャベツの脂肪酸組成がマルタニシ体内の脂肪酸組成に与える影響を評価するためには十分な飼育期間が必要である。魚類においては飼育実験1日目から餌の脂肪酸組成が体内に反映され始め、約6日後に

は90%以上が反映されていることが示されている¹⁶⁾。巻貝においては経時的なデータは示されていないものの、摂食実験開始から60日後の時点で餌の脂肪酸組成が体内に反映されている¹⁷⁾。また巻貝筋肉の窒素安定同位体比の半更新時間が202日~49.5日という報告¹⁸⁾も踏まえ本研究では十分な飼育期間として100日間に決定した。

3. 結果

(1) 各生息場所におけるマルタニシの必須脂肪酸組成

生息場所の違い(七ヶ浜町 vs 栗原市)や採集時期の違い(七ヶ浜町7月 vs 9月)によらずマルタニシの必須脂肪酸組成は同様の傾向を示しており、20:4 ω 6, 18:2 ω 6 といった ω 6系列の必須脂肪酸の含有率が高かった(表-1)。またマルタニシ体内の脂肪酸組成の ω 3/ ω 6比は0.2~0.4の範囲内に収まり ω 6系列の脂肪酸が多かった。

(2) 摂食実験におけるマルタニシの必須脂肪酸組成

表-2に餌として与えた茹でたキャベツの脂肪酸組成を示す。キャベツに含まれる必須脂肪酸は18:2 ω 6および18:3 ω 3のみであり、 ω 3/ ω 6比は1.5であった。また表-2には飼育期間中のマルタニシの必須脂肪酸組成の経時変化をあわせて示した。野外調査と同様にマルタニシ体内の必須脂肪酸は20:4 ω 6, 18:2 ω 6の順に多く、この傾向は100日間にわたって変わらなかった。キャベツに含まれる18:2 ω 6と18:3 ω 3はマルタニシ体内において実験期間を通して増加傾向にあった。またキャベツに含まれない必須脂肪酸に注目すると20:5 ω 3と22:6 ω 3といった ω 3系列の必須脂肪酸は減少傾向にあったが、20:4 ω 6は増加した。マルタニシの ω 3/ ω 6比は0.3~0.5の間で推移しており、飼育実験中マルタニシの体内では常に ω 6系列の必須脂肪酸が多かったが、 ω 3/ ω 6比の変動に有意差はなかった(ANOVA, $p < 0.05$)。

(3) マルタニシの必須脂肪酸組成の比較

図-1に各生息場所で採集されたマルタニシと飼育実験初期および100日後におけるマルタニシの脂肪酸組成に関する主成分負荷量分布図を示した。図-1にはBray-Curtis類似度が75%, 90%となる範囲をそれぞれ実線、破線で重ねて表示した。類似度75%以内においては全てのマルタニシのプロットが収まったが、類似度90%においては飼育実験に用いたマルタニシと栗原市の溜池で採集されたマルタニシが他のマルタニシと明確に区分されている。さらに七ヶ浜7月と9月のマルタニシにおいても、それぞれ1個体ずつ離れてプロットされている

が、残りの2個体は90%類似度で近接しており、採集地点間で脂肪酸組成に相違があることが分かった。

表-1 野外で採集されたマルタニシの脂肪酸組成(%)

脂肪酸 (*必須脂肪酸)	七ヶ浜町7月		七ヶ浜町9月		栗原市10月	
	平均	標準偏差	平均	標準偏差	平均	標準偏差
14:0	2.8	0.6	2.3	0.1	2.9	0.2
i-15:0	0.6	0.1	0.6	0.1	1.1	0.1
a-15:0	0.6	0.7	0.4	0.1	0.0	0.1
15:0	2.4	0.3	2.2	0.1	2.7	0.2
i-16:0	1.5	0.3	0.9	0.1	0.9	0.1
16:0	17.3	2.4	14.1	1.2	16.4	0.3
16:1 ω 7	4.3	1.2	3.5	0.4	3.1	0.3
i-17:0	2.7	0.4	2.1	0.5	1.0	0.1
17:0	3.0	0.1	2.4	0.2	3.8	0.3
17:0 Δ	0.8	0.2	0.8	0.1	1.8	0.2
18:0	10.3	0.7	7.8	1.0	9.8	0.4
18:1 ω 9	4.1	0.5	3.7	0.2	2.2	0.2
18:1 ω 7	2.6	0.7	3.3	1.0	1.4	0.0
18:2 ω 6*	9.1	1.1	9.7	0.9	6.5	0.4
18:3 ω 6	1.0	0.1	1.0	0.1	1.6	0.1
18:3 ω 3*	2.4	0.6	4.3	0.3	2.0	0.2
20:0	0.3	0.2	0.3	0.1	0.8	0.1
20:1 ω 9	1.9	0.4	1.3	0.2	2.6	0.1
20:2 ω 6	5.8	2.0	6.9	1.8	4.4	0.4
21:0	0.5	0.1	0.3	0.1	0.3	0.0
20:3 ω 6	1.3	0.2	1.1	0.0	2.0	0.3
20:4 ω 6*	19.2	5.3	20.2	3.7	22.1	1.7
20:5 ω 3*	0.0	0.0	0.6	0.1	0.2	0.0
20:5 ω 3*	2.7	0.9	5.0	0.5	5.0	0.7
22:1 ω 9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.0
22:5 ω 3*	1.7	0.6	2.3	0.7	3.1	0.2
22:6 ω 3*	1.1	0.2	2.6	0.5	1.7	0.0
合計	100	-	100	-	100	-
$\Sigma \omega$ 3	7.8	1.4	14.8	0.6	12.1	0.7
$\Sigma \omega$ 6	36.2	4.5	38.9	1.8	36.5	2.0
$\Sigma \omega$ 3/ $\Sigma \omega$ 6	0.2	0.1	0.4	0.0	0.3	0.0

表-2 飼育実験におけるマルタニシの脂肪酸組成の経時変化(%)

脂肪酸 (*必須脂肪酸)	キャベツ	マルタニシ			
		0日	25日後	42日後	100日後
14:0	0.2	2.1	2.1	2.0	1.7
i-15:0	0.0	0.0	0.0	0.6	0.1
15:0	0.3	1.6	1.8	1.7	2.1
i-16:0	0.0	0.8	0.6	0.7	0.7
16:0	16.9	15.7	14.7	16.6	13.9
16:1 ω 7	0.3	4.7	4.8	4.9	3.6
i-17:0	0.0	1.7	1.8	1.7	1.6
a-17:0	0.0	0.9	0.7	0.9	0.3
17:0	0.3	2.5	2.1	2.3	2.2
17:0 Δ	0.0	0.7	0.6	0.5	0.3
18:0	1.9	9.4	8.0	8.8	7.8
18:1 ω 9	1.6	3.5	3.4	4.1	3.6
18:1 ω 7	4.1	2.0	2.9	3.2	3.2
18:2 ω 6*	29.6	9.7	10.9	10.5	14.4
18:3 ω 3*	44.7	5.9	7.2	7.4	6.8
20:1 ω 9	0.0	0.0	1.7	0.5	0.0
20:2 ω 6	0.0	4.0	4.2	3.6	5.1
20:3 ω 6	0.0	1.0	1.3	0.4	0.0
20:4 ω 6*	0.0	20.5	21.3	18.9	24.3
20:5 ω 3*	0.0	0.2	0.5	0.1	0.3
20:5 ω 3*	0.0	7.9	5.6	6.4	4.4
22:5 ω 3*	0.0	2.6	2.2	2.1	2.1
22:6 ω 3*	0.0	2.5	1.6	1.7	1.3
合計	100	100	100	100	100
$\Sigma \omega$ 3	44.7	19.1	17.1	17.8	14.8
$\Sigma \omega$ 6	29.6	35.2	37.7	33.3	43.8
$\Sigma \omega$ 3/ $\Sigma \omega$ 6	1.5	0.5	0.5	0.5	0.3

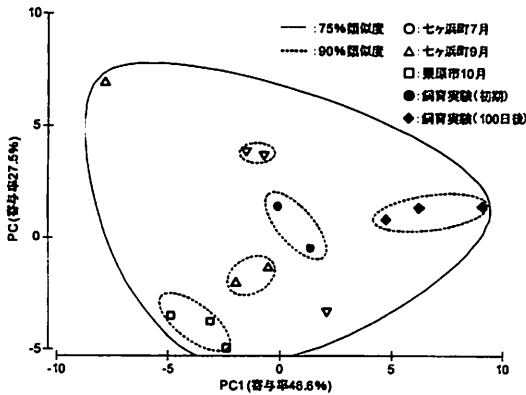


図-1 マルタニシの脂肪酸組成に対する主成分負荷量分布図

4. 考察

(1) マルタニシの必須脂肪酸要求

本研究では野外に生息している個体の脂肪酸組成からマルタニシの必須脂肪酸要求の推定を試みたが、このような方法は一般的ではない。しかし、長期に渡って生息しており、再生産が行われていれば、その場所の餌環境が対象動物の栄養要求を満たしていると考えられる。一方、脂肪酸をトロフィックマーカーとして餌源の推察に用いることができる¹²⁾ように、動物の脂肪酸組成は餌の脂肪酸組成に大きく影響される。そのため同一種の動物であっても、異なる餌環境の下で生息すれば体内の脂肪酸組成は異なる。しかし、その餌環境に応じて異なり得る動物の脂肪酸組成の変動範囲は、あくまで必須脂肪酸要求に応じて、適応可能な範囲内での変化にとどまっていると考えられる。そのため、野外で観測された脂肪酸組成が、必ずしもその動物の最適な脂肪酸組成であるとは限らないが、実際の生息場所から採集された動物の体内脂肪酸組成は必須脂肪酸要求を推測する際の良い指標になると考えられる。

本研究で分析されたマルタニシの脂肪酸組成に関する主成分負荷量分布図(図-1)からは、各生息場所間でマルタニシの脂肪酸組成に相違があることがわかった。これは餌環境の相違を反映しているものと考えられ、この組成の相違を解析することは、餌同化内容の解明に有効であると思われる。例えばキャベツで飼育したマルタニシの 18:3 ω 3 含有率は実験初期のマルタニシや野外で採取されたマルタニシと比較して最も大きい。このことは 18:3 ω 3 がマルタニシが野外で摂食同化している餌

よりもキャベツに多く含まれていることを示唆している。

その一方で全てのマルタニシの必須脂肪酸組成に共通する特徴も認められた。キャベツを与えた飼育実験におけるマルタニシも含め、今回分析した全個体で 20:4 ω 6 が最も多く、次いで 18:2 ω 6 が多かった。また ω 3/ ω 6 比においては 0.2~0.5 の範囲内にあり、マルタニシの必須脂肪酸組成は例外なく ω 6 系列必須脂肪酸が優越していた。このような摂食同化した餌によらない、共通の傾向はマルタニシの必須脂肪酸要求特性を反映しているものと考えられ、マルタニシは ω 6 系列必須脂肪酸に対する要求量が ω 3 系列必須脂肪酸の要求量より大きいことを示していると考えられる。

本研究では 100 日間にわたってキャベツを単一の餌として室内実験を行った。キャベツは ω 3 系列の必須脂肪酸を ω 6 系列の必須脂肪酸より多く含んでいたが、そのキャベツを餌としながらも、マルタニシは体内の ω 3/ ω 6 比を 0.2~0.5 に保っており、6 系列の必須脂肪酸を選択的に同化していることが明らかとなった。このような選択的な同化機構が働いていることも、マルタニシが ω 6 系列の必須脂肪酸に対して大きな要求性を有していることを表していると考えられる。しかしながら ω 3/ ω 6 比が 0.2 以下の餌で同様の実験を行った場合に、今度は ω 3 系列の必須脂肪酸を多く同化することで、 ω 3/ ω 6 比を 0.2~0.5 内に調整するのか、あるいは体内の ω 3/ ω 6 比が 0.2 以下になるのかは不明であり、今後の検討課題である。

(2) マルタニシ体内における必須脂肪酸の挙動

マルタニシ体内からもっとも多く検出された ω 6 系列の必須脂肪酸である 20:4 ω 6 は二枚貝において免疫機能に影響することや、軟体動物においては産卵やイオン調節する物質の前駆物質であることが分かっており¹⁹⁾、マルタニシにおいてもこのような働きが重要であると考えられる。

飼育実験で与えたキャベツには 20:4 ω 6 が含まれていないが、実験期間を通してマルタニシの 20:4 ω 6 の割合は増加した。これはキャベツに含まれる 18:2 ω 6 からマルタニシが体内で 20:4 ω 6 を合成可能であることを示唆している。その一方でキャベツに含まれていない ω 3 系列の必須脂肪酸である 20:5 ω 3、22:6 ω 3 は実験期間中に減少傾向にあった。18:2 ω 6 から 20:4 ω 6 を合成する際に作用する酵素は、18:3 ω 3 から 20:5 ω 3 を合成する際にも用いられており、競合的に働いている²⁰⁾。そしてその親和性は ω 3 系列の脂肪酸の方で大きい²⁰⁾。それにもかかわらずマルタニシ体内で 20:4 ω 6 が増加しているのは、キャベツ由来の 18:2 ω 6 の同化量が 18:3 ω 3 よりも多かったためであると予想される。

(3) 淡水動物の必須脂肪酸組成

一般的に海に生息する動物は $\omega 3$ 系列の必須脂肪酸を多く含み、陸上に生息する動物は $\omega 6$ 系列の必須脂肪酸を多く含んでいる²⁾。魚類、動物プランクトン、底生動物などを含む淡水動物の脂肪酸組成の報告によると $\omega 3/\omega 6$ 比は1以上のものが多く³⁾、淡水動物は $\omega 3$ 系列の必須脂肪酸を多く含む傾向にあることが分かる。しかしその一方で、少数ながら $\omega 6$ 系列の必須脂肪酸を多く含む淡水動物が、本研究のマルタニシの他にも、コイ科の魚²¹⁾、ユスリカ²²⁾、巻貝²³⁾などで確認されており、淡水生態系では $\omega 3$ 系列と $\omega 6$ 系列の必須脂肪酸に要求量の大きい種が混在している状況が伺える。このことから淡水生態系の動物群集の必須脂肪酸要求は海に生息する動物と陸上に生息する動物の間に位置していることが予想されるが、淡水動物の必須脂肪酸要求のデータは不十分であり、今後更なる知見の集積が求められる。

(4) $\omega 6$ 系列必須脂肪酸の生産者

必須脂肪酸は主に藻類によって合成される。藻類種によって合成される必須脂肪酸の種類や量は異なるが、 $\omega 6$ 系列の必須脂肪酸を生産する藻類としては緑藻や藍藻が知られている²⁴⁾。緑藻や藍藻は水生動物が特に重要とする $20:5\omega 3$ を含まないことから、動物の餌として低品質であるとされてきたが^{5,25)}、 $\omega 6$ 系列の必須脂肪酸に要求性が大きいマルタニシにとっては好適な餌である可能性が示された。またトロフィックマーカー的視点から考えれば、マルタニシ体内から $18:2\omega 6$ が検出されたということは、マルタニシが緑藻や藍藻を同化していることを示唆しており、これらの藻類がマルタニシに対する $\omega 6$ 系列必須脂肪酸の供給源として重要であることが考えられる。

5. まとめ

野外で採集したマルタニシは全個体で $\omega 3/\omega 6$ 比が1以下であり、 $\omega 6$ 系列必須脂肪酸が優越していた。また飼育実験ではマルタニシは $\omega 6$ 系列必須脂肪酸を選択的に同化し、 $\omega 6$ 系列必須脂肪酸に対する要求量が $\omega 3$ 系列必須脂肪酸の要求量よりも大きいことが明らかとなった。 $\omega 6$ 系列の必須脂肪酸に要求性を有する水生動物の報告は少なく、マルタニシは淡水動物の中でも特異的な必須脂肪酸要求特性を有していると考えられた。 $\omega 6$ 系列の必須脂肪酸を合成する藻類は緑藻や藍藻であり、マルタニシにとってこれらの藻類が餌源として重要であると考えられた。

6. 参考文献

1) Kainz M, Arts M. T. and Mazumder A.: Essential fatty acids in the

planktonic food web and their ecological role for higher trophic levels, *Limnology and Oceanography*, Vol. 49, pp. 1784-1793, 2004

2) Olsen Y.: Lipids and essential fatty acids in aquatic food webs: What can freshwater ecologists learn from mariculture?, in: Arts M. (Ed), *Lipids in freshwater ecosystem*, New York, Springer, 1998

3) Ahlgren G., Vrede T. and Goedkoop W.: Fatty acid ratios in freshwater fish, zooplankton and zoobenthos - Are there specific optima?, in: Arts M., Brett M. and Kainz M. (Ed), *Lipids in aquatic ecosystems*, New York, Springer, 2009

4) 古坂博文: 主苗生産過程における魚類の必須脂肪酸要求, *Nippon Suisan Gakkaishi*, Vol. 70, pp. 512-515, 2004

5) Muller-Navarra D., Brett M., Liston A. M. and Goldman C. R.: A highly unsaturated fatty acid predicts carbon transfer between primary producers and consumers, *Nature*, Vol. 403, pp. 74-77, 2000

6) Ahlgren G., Van Nieuwerburgh L., Wanstrand L., Pedersen M., Boberg M. and Snoeys P.: Imbalance of fatty acids in the base of the Baltic sea food web - a mesocosm study, *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, Vol. 62, pp. 2240-2253, 2005

7) 環境省自然環境局野生生物課: 日本の絶滅のおそれのある野生生物: レッドデータブック 6 (陸・淡水産貝類), 自然研究センター, 2005

8) 岡田弥一郎, 倉澤秀夫: 日本におけるタニシの研究, 水産動物の研究 (I), 日本出版共同株式会社, 1950

9) 辻井要介, 山口啓子: タニシ類における植物プランクトン抑制能力, ホシザキグリーン財団研究報告, Vol. 10, pp. 265-272, 2007

10) Smith D. M., Hunter B. J., Allan G. L., Roberts D. C. K., Booth M. A. and Glencross B. D.: Essential fatty acids in the diet of silver perch (*Bidyanus bidyanus*): effect of linolenic and linoleic acid on growth and survival, *Aquaculture*, Vol. 236, pp. 377-390, 2004

11) Sargent J., Bell G., Moevov L., Tocher D. and Estevez A.: Recent developments in the essential fatty acid nutrition of fish, *Aquaculture*, Vol. 177, pp. 191-199, 1999

12) Napolitano G. E.: Fatty acids as trophic and chemical markers in freshwater ecosystems, in: Arts M. (Ed), *Lipids in freshwater ecosystem*, New York, Springer, 1998

13) Bligh E. G. and Dyer W. J.: A rapid method of total lipid extraction and purification, *Canadian Journal of Biochemistry and Physiology*, Vol. 37, pp. 911-917, 1959

14) Mfilinge P. L., Meziane T., Bachok Z. and Tsuchiya M.: Fatty acids in decomposing mangrove leaves: microbial activity, decay and nutritional quality, *Marine Ecology Progress Series*, Vol. 265, pp. 97-1025, 2003

15) Clarke K. R. and Gorley R. M.: Primer v. 6: User Manual/Tutorial, Primer-E Ltd., Plymouth, 2006

16) Turner J. P. and Rooker J. R.: Effect of dietary fatty acids on the body tissues of larval and juvenile cobia and their prey, *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, Vol. 322, pp. 13-27, 2005

17) Lau D. C. P., Lenug K. M. Y. and Dudgeon D.: Experimental dietary

manipulations and concurrent use of assimilation - based analyses for elucidation of consumer - resource relationships in tropical stream, *Marine and Freshwater Research*, Vol. 59, pp. 963-970, 2008

18) McIntyre P. B. and Flecker A. S.: Rapid turnover of tissue nitrogen of primary consumers in tropical freshwaters, *Oecologia*, Vol. 148, pp. 12-21, 2006

19) Milke L. M., Bricej V. M. and Parrish C. C.: Comparison of early life history stages of the bay scallop, *Argopecten irradians*: Effectw of microalgal diets on growth and bio chemical composition, *Aquaculture*, Vol. 260, pp. 272-289, 2006

20) 板倉弘重：多価不飽和脂肪酸の食物連鎖と生体内生合成、代謝，治療学，Vol. 25, pp. 23-27, 1991

21) Karimer E, Wolnicki J., Kaminski R. and Sikorska J.: Fatty acid composiotn, growth and morphological deformities in juvenile cyprinid, *Scardinius erythrophthalmus* fed formulated diet supplemented with natural food, *Aquaculture*, Vol. 278, pp. 69-76, 2008

22) 山本鈴子, 岩船敬, 出石拓郎, 菅谷芳雄, 小神野豊：室内で飼育されたセスジユスリカ (*Chironomus yoshimatsui*) の体内脂肪酸組成, 陸水学会誌, Vol. 71, pp. 37-43, 2010

23) Go J. V., Reznicka T., Srebnik M. and Dembitsky V. M.: Variability of fatty acid components of marine and freshwater gastropod species from the littoral zone of the Red Sea, Mediterranean Sea and Sea of Galilee, *Biochemical Systematics and Ecology*, Vol. 30, pp. 819-835, 2002

24) Cobelas M. A. and Lechado J. Z.: Lipids in microalgae - a review. I biochemistry, *Grasas Y Aceites*, Vol. 40, pp. 118-145, 1989

25) Brett M. T. and Muller-Navarra D. C.: The role of highly unsaturated fatty acids in aquatic food web processes, *Freshwater Biology*, Vol. 38, pp. 483-499, 1997

(2010.5.21受付)

Essential Fatty Acids Requirement of Pond Snail, *Bellamya chinensis*

Megumu FUJIBAYASHI, Woo-Seok SHIN, Yumi NAGAHAMA, Kazunori NAKANO, Yoshio AIKAWA and Osamu NISHIMURA

Graduate School of Engineering, Tohoku University

Essential fatty acids requirement of pond snail, *Bellamya chinensis* was examined at field survey and laboratory feeding experiment. Pond snail contained more omega-6 fatty acids than omega-3 fatty acids at any sampling point and date even though different condition of food sources. Feeding experiment with cabbage showed pond snails assimilated omega-6 fatty acids preferentially while their food source contained more omega-3 fatty acids than omega-6 fatty acids. These results indicated pond snail have highly requirement for omega-6 fatty acids than omega-3 fatty acids. It was suggested green algae and cyanobacteria were good food sources for pond snail because these algae synthesized omega-6 fatty acids in aquatic ecosystem.