

지방산 분석에 의한 나토리 하천 대형 무척추동물인 *Stenopsyche marmorata*의 먹이원 평가

The Estimation of Food Sources for Macroinvertebrates as *Stenopsyche marmorata* in Natory Stream by Fatty Acid

신우석[†] · 김부길* · 이용두**

Woo-Seok Shin[†] · Boo-Gil Kim* · Yong-Doo Lee**

국립한경대학교 해양과학기술연구센터 · *동서대학교 건축 · 토목공학부 토목공학과 · **제주대학교 환경공학과

Institute of Marine Science and Technology Research, Hankyong National University

**Department of Civil and Environmental Engineering, Dongseo University*

***Department of Civil and Environmental Engineering, Cheju National University*

(2012년 1월 3일 접수, 2012년 2월 24일 채택)

Abstract : The purpose of this study is to clarify the origin and the variation of essential fatty acid (FA) and food sources of *Stenopsyche marmorata* at downstream region of Dam. As a result, the water particulate organic matter (POM) is mainly derived from diatom, green algae and bacteria. Moreover, the main food sources of *S. marmorata* mainly used diatom, green algae and bacteria. $\omega 3$ essential FA of *S. marmorata* was higher than $\omega 6$, and showed about 7 for essential FA ratio.

Key Words : Essential Fatty Acid, Particulate Organic Matter, Dam, Food Sources

요약 : 본 연구에서는 댐 하류에 있어서 *Stenopsyche marmorata*의 먹이원과 더불어 필수 지방산의 변화를 조사했다. 조사결과, 수중 POM의 기원은 규조류, 녹조류 같은 미세 조류 유래 유기물과 세균 유래 유기물이 큰 비중을 차지하고 있었다. 또한, *S. marmorata*의 지방산 검출에 의하면 규조류, 녹조류 및 세균이 주 먹이원으로 이용되고 있었다. *S. marmorata*의 $\omega 3$ 필수 지방산은 $\omega 6$ 보다 높게 검출되었으며, 전 조사 지점간에서 *S. marmorata*의 필수 지방산비는 약 7을 나타내고 있었다.

주제어 : 필수지방산, 입자성유기물, 댐, 먹이원

1. 서론

오늘날 많은 유역에서는 산업발전과 인구증가에 따른 다양한 기능 및 필요한 자원 확보를 위해 종래 없었던 인공적인 구조물을 설치 및 변형을 하고 있다. 특히, 하천 상류에 축조되는 대규모 댐은 인류에게 다양한 편익을 제공하는 한편 하천의 물리·화학적 환경요인의 연속적 변화를 조성하고, 불연속적 환경변화가 생겨 하천생태계를 교란하는 가장 큰 요인이 되고 있다.¹⁾ 예를 들어, 영양염류 및 생물의 종적 교환을 방해하여 하천의 연결성을 단절시키고, 저수역(impoundment)의 증가로 인한 물의 흐름과 하상구조의 변화라는 물리적 변화를 초래해, 하천내의 생물 종과 수변식생의 변화를 가져오게 하는 등 하천생태계의 구조와 기능을 근본적으로 변화시키고 있다.¹⁻³⁾

지금까지의 댐 건설과 더불어 댐 하류의 변화에 관한 대부분의 연구는 수리수문학적 연구에 많이 치우쳐 있을 뿐, 생태계 변화에 관한 연구는 많지 않다.⁴⁾ 그러나 최근 일부 연구자들에 의해 댐에 의한 수리수문학적 교란과 하류에 서식하고 있는 저서 대형무척추 동물간의 상호작용에 대한 연구가 보고되고 있다.^{3,5,6)} 즉, 댐 하류에는 토사공급이 제한되는 결과, 대입경의 자갈 및 돌만이 하천 밑바닥에 침

강·형성되는 현상과 더불어 저서 대형동물의 종 다양성의 변화를 일으키고 있는 것이다.^{2,3)} 그 예로, 세계 각지의 댐 하류역에 서식하고 있는 저서성 대형 무척추동물군의 조사 결과를 비교해 보면, 댐 하류에서 종수, 개체수, 현존량 등이 감소하는 경향을 나타내고 있는 지역도 있는 반면, 역으로 증가하는 지역도 알려지고 있다.⁷⁻⁹⁾ 이처럼, 댐에 의해 하류역에 서식하고 있는 저서성 대형 무척추동물에 대한 생태학적 영향을 단순히 몇 가지 환경요소만으로 평가하는 데는 어려운 점이 있다고 판단된다.

댐 하류에 유입되는 유기물 양과 질의 변화는 그것을 먹이원으로 이용하는 저서성 대형무척추동물에 있어서는 매우 큰 스트레스를 주고 있을 가능성이 높고, 이와 관련해서 최근 수생태계에 있어서 저서성 대형무척추동물의 직접적인 생체지표인 지방산을 이용한 연구가 주목을 받고 있다.^{10,11)} 그중에서도 필수 지방산(essential fatty acid)을 이용한 저서성 대형무척추동물의 생태학적 평가를 하는 연구가 커다란 관심을 일으키고 있다.¹⁰⁻¹²⁾ 필수지방산중에서도 저서성 대형무척추동물의 생식, 성장발달에 필요한 불포화 필수 지방산은 저서 대형무척추동물이 스스로 합성을 할 수 없는 필수 지방산(18 : 2 ω 6, 18 : 3 ω 3)과 합성을 하여도 미량만이 가능한 필수 지방산(20 : 4 ω 6, 20 : 5 ω 3, 22 : 6 ω 3)으로 구분된다.

이처럼, 다양한 수역에 있어서 먹이원의 필수 지방산과 저서성 대형무척추동물의 생식 및 성장에 대한 연구가 활발하게 진행 중이다.^{11,12)} 구체적으로, 20 : 5 ω 3 (Eicosapentaenoic Acid; EPA)와 22 : 6 ω 3 (Docosahexaenoic Acid; DHA) 지방산은 수계 먹이연쇄에 있어서 높은 먹이질(food quality)의 중요한 지시자로서 언급되고 있다.^{13,14)} 이러한 먹이원의 질은 동물군집에 있어서 성장과 재생산에 영향을 줄뿐만 아니라 영양단계에 있어서 에너지 전달의 효율이라는 점에서도 강한 영향을 주고 있다.^{15,16)} 그러나 댐 하류의 저서 생태계와 관련해 유기물의 양과 질의 변화 및 역할에 관한 연구와 더불어 저서성 대형무척추동물에게 영향을 줄 수 있는 필수 지방산 변화에 관한 연구는 수리수문학적 연구에 비해 매우 적은 편이다.

본 연구에서는 댐 하류에 서식하고 있는 저서성 무척추동물의 먹이원과 더불어 필수 지방산의 변화를 조사했다. 이를 통해, 저서성 무척추동물의 먹이환경 변화에 대해서 검토했다.

2. 재료 및 방법

2.1. 대상 하천역의 특징

나토리 하천은 일본 미야기현 센다이시 중남부를 걸쳐 태평양으로 흘러 들어가는 하천으로 총길이는 55 km이고, 유역면적은 939 km²이며, 평균유량은 16.3 m³/s이다. 시료채취 지역은 오오쿠라(大倉) 댐으로부터 하류 방향으로 4지점(Table 1)에 대해서 표층수와 저서성 대형무척추동물인 *Stenopsyche marmorata*을 채집하였다.

2.2. *Stenopsyche marmorata*

*S. marmorata*은 여과성 식자로 몸길이가 50 mm까지 자라는 대형종으로 체색은 적갈색, 머리와 앞가슴은 갈색의 흑색잔점이 분포한다.¹⁷⁾ 주로 유속이 빠르고 폭이 넓은 하천의 여울목 등의 바위나 큰 자갈 밑에 그물을 치고 생활하며 성충이 되면 물밖에서 생활한다.¹⁸⁾

2.3. 조사 방법 및 지방산 분석

수중 입자성 유기물(Particulate Organic Matter: POM)과 저서성 대형무척추동물의 먹이원 조사를 위하여 여름철인 2010년 7월에 Table 1의 조사지점에서 시료를 채취하였다. 시료 채취 시 공간적 불균일성으로 인한 오차를 줄이기 위해, 한 지점에 대해 3회의 시료 채취를 실시하였다. 수중의

Table 1. The location of each sampling stations

Station	Longitude (E)	Latitude (N)
Station A	140° 42' 59	38° 12' 03
Station B	140° 44' 52	38° 12' 56
Station C	140° 46' 55	38° 12' 49
Station D	140° 53' 47	38° 12' 24

Table 2. Condition in gas chromatography for fatty acid

Gas chromatograph	GC-17A Ver.2 (Shimadzu Inc.)
Capillary column	CP-Select CB for FAME (0.25 mm I.D × 100 m) (Varian, Inc.)
Detector	FID
Injector temperature	260°C
Column temperature program	150°C, 5°C min ⁻¹ to 250°C
Carrier gas	He
Flow rate	1.4 mL/min
Chromato pack	C-R6A chromatopac (Shimadzu)

클로로필 α (Chl. α)량은 Lorenzen법에 의거해 500 mL의 시료를 GF/F (450°C, 2 hours)로 여과한 뒤 여과지를 90% 아세톤(10 mL)으로 추출하여 흡광 광도법으로 측정했다.¹⁹⁾ 수중 TOC 함유량은 TOC 분석기(TOC-5000, Shimadzu)로 분석을 행했다.

저서성 대형무척추동물인 *S. marmorata*의 채집은 Surber sampler (50 × 50 cm, 망목 0.5 mm)를 이용하여 각 지점에서 3회씩 채집하였다. 채집물은 500 mL 플라스틱 Vial에 넣어 현장에서 Kahle's solution (DW 59%, Et alcohol 28%, formalin 11%, acetic acid 2%)으로 고정하였고, 저서성 대형무척추동물의 동정과 분류는 기존의 분류 문헌을 참고 하였다.¹⁷⁾

동결 건조한 시료의 지방산은 Abdulkadir and Tsuchiya²⁰⁾의 방법을 이용하였다. 먼저 동결·건조한 시료를 원심분리관에 넣고 헥산 8 mL, 내부표준시약 1 mL 및 BF₃ 2 mL를 넣고 100°C 수욕상에서 120 min 동안 반응시킨다. 실온에서 충분히 냉각시킨 후, 헥산 1 mL와 증류수 2 mL를 첨가시킨 후 원심분리(2,500 rpm, 3 min)를 행한다. 원심분리후, 상등액만을 따로 채취한 다음 가스크로마토그래피를 이용하여 측정했다. 분석조건은 Table 2와 같고 표준물질의 머무름 시간과 피크면적을 비교하여 지방산을 동정하고 정량하였다. 지방산 표준시약으로 Supelco Inc.의 제품을 사용했다. 지점별 데이터간의 차이를 조사하기 위해, 먼저 다군비교를 위해 분산분석법(One-way ANOVA)을 이용해, 유의차($p < 0.05$) 검출에 의해 지점간의 차이를 확인했다. 다음으로 지점간의 차이를 확인했을 경우, 다중비교법인 Tukey test를 이용해서 각각의 지점을 비교했다. 이것들의 통계분석은 SPSS 19.0 통계 프로그램을 이용했다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 조사 지점간 먹이환경의 특성

수중 TOC와 Chl. α 의 평균 농도는 각각 조사 지점 A (6.7 mg/L, 4.7 μ g/L), B (2.4 mg/L, 1.5 μ g/L), C (3.4 mg/L, 1.9 μ g/L), D (4.5 mg/L, 2.7 μ g/L)로 조사지점 A에서 가장 높은 값을 나타냈다(Fig. 1). 수중 TOC 함유량과 Chl. α 는 높은 상관관계($r = 0.927$, $p = 0.000$)를 나타내, 기존연구에서의 결과와 같은 경향을 보이고 있다.²¹⁾

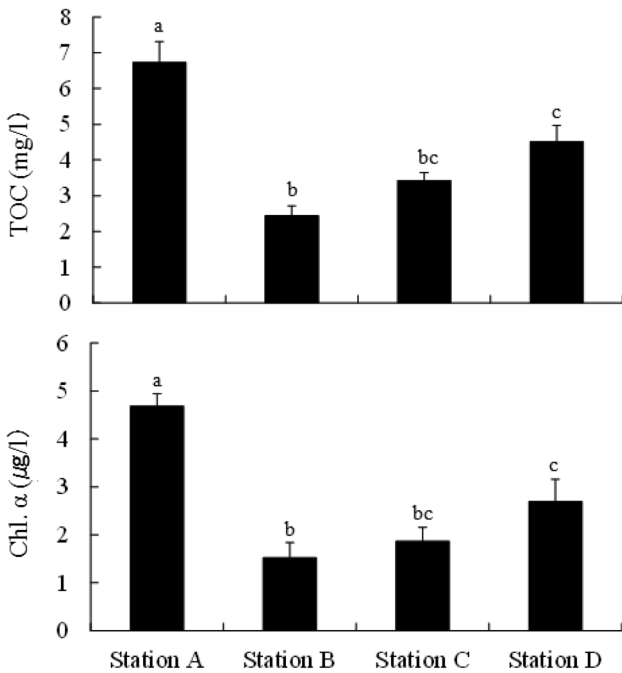


Fig. 1. Concentration of TOC and Chl.α in water column collected within four stations at Natori River. Bars represent means ± SD (n = 3). Asterisks indicate significant (P<0.05) difference between those values.

조사지점에 있어 수중 POM의 지방산은 조사지점 C, D (1.3 µg/g, 1.3 µg/g)에서 높았고, 조사지점 A, B에서는 각각 1.0 µg/g, 0.8 µg/g로 나타났지만 유의한 차는 없었다(Fig. 2). 본 연구 조사지점에서 수중 TOC와 수중 POM의 지방산양과는 상관관계가 매우 낮게 나타났다($r = 0.076$, $p = 0.813$).

규조류의 생체지표가 되는 20 : 5ω3 지방산 농도는 지점 C (5.2 µg/g)에서 가장 높게 검출되었으나, 지점 A (3.3 µg/g), B (2.2 µg/g), D (2.6 µg/g)는 비슷한 농도로 검출되었다. 다른 생체지표인 세균 지방산(15 : 0 iso, 15 : 0 anteiso, 17 : 0 iso, 17 : 0 anteiso, 18 : 1ω7)은 지점 A (9.3 µg/g)와 지점 C (15.0 µg/g)에서 다르게 검출되었을 뿐, 다른 지점 간에는 비슷한 농도로 검출되었다. 퇴적물 상에서는 미세조류가 많이 존재 할수록 세균의 존재도 높게 나타나는 경향이 많이 보고되고

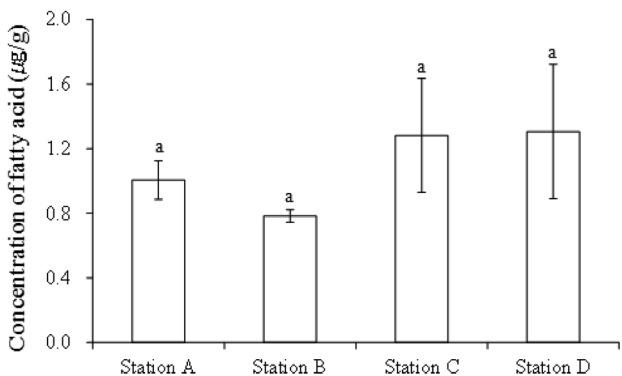


Fig. 2. Total fatty acid concentration of water POM at Natori stream. Bars represent means ± SD (n = 3). Asterisks indicate significant (P<0.05) difference between those values.

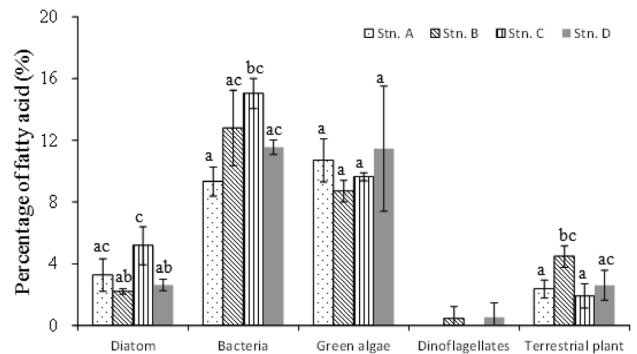


Fig. 3. Fatty acid percentage of main food sources of water POM at Natori stream. Bars represent means ± SD (n = 3). Asterisks indicate significant (P<0.05) difference between those values.

있으며, 본 연구에서도 규조류가 많이 존재하는 지점 C에 이를 먹이로 이용하는 세균이 가장 높은 분포를 나타내고 있어 기존 연구와 같은 결과를 나타내고 있다. 녹조류의 생체 지표 지방산인 18 : 2ω6, 18 : 3ω3의 평균 농도는 지점 D (11.5 µg/g)에서 가장 높게 검출되었으나 유의한 차는 없었다. 와편모조류의 생체지표 지방산인 18 : 4ω3, 22 : 6ω3은 매우 적은 양만이 지점 B (1.3 µg/g), D (0.9 µg/g)에서 검출되어, 먹이원으로서의 기여는 미미하다고 판단된다. 육상식물 유래 지방산인 Long Chaine Fatty Acids (LCFAs)는 지점 B (4.8 µg/g)에서 많이 검출되었고, A (2.4 µg/g), C (1.9 µg/g), D (2.6 µg/g)에서는 비슷한 농도로 검출되었다(Fig. 3).

이러한 결과에 따르면 지점 A는 댐으로부터 방류되는 유기물이 가장 먼저 도달하는 지점으로 수중 TOC와 Chl. α 양이 높게 나타났으며, 특히 지방산 검출에 의한 유기물의 기원은 미세조류(규조류와 녹조류)와 세균 유래 유기물의 영향을 강하게 받고 있음을 알 수 있다. 이는 댐에서 저류하는 동안 식물성 플랑크톤의 증식에 의한 결과로 해석된다. 반면, 지점 B에서 TOC 감소는 유하하면서 침강 및 분해에 의한 유기물 감소로 보인다. 지점 A, B에 비해 비교적 하류에 위치하고 있는 지점 C, D는 완만한 유속과 더불어 일사량의 증가 등 상류와는 다른 환경 조건 등에 의해 미세 조류의 재증식에 의한 수중 TOC의 증가로 나타났다고 사료된다.

3.2. *Stenopsyche marmorata*의 지방산 특징

*S. marmorata*의 개체수는 상류지점 A, B보다 하류지점인 C, D에서 높게 나타내고 있었다(자료 미제시). *S. marmorata*는 하천을 유하하는 현탁물을 포획해서 먹이원으로 이용하는 식성을 가지고 있기 때문에 상류로부터 플랑크톤 형태의 현탁성 유기물이 제공되는 정수역의 하류에서 대량으로 발생하는 예가 많다.^{22,23)}

*S. marmorata*에서 검출된 총 지방산량은 조사지점 A와 D에서 차이를 나타냈을 뿐, 다른 지점 간에는 유의한 차를 나타내지 않았다(Fig. 4). *S. marmorata*의 주 먹이원으로 규조류, 녹조류, 세균 순으로 낮게 검출되었고, 와편모조류와 육상식물 유래 유기물은 매우 적은 양만이 검출되었다(Fig. 5).

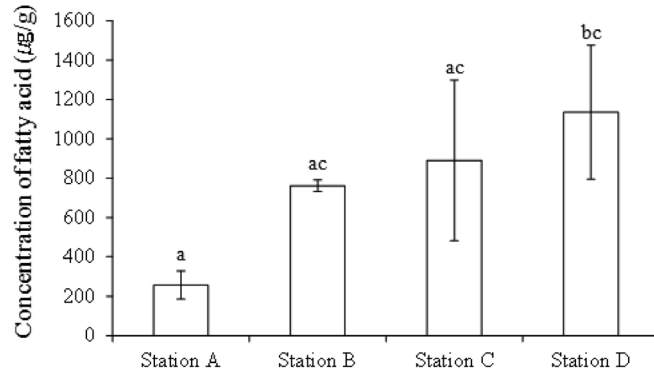


Fig. 4. Total fatty acid concentration of *Stenopsyche marmorata* at Natori stream, Bars represent means \pm SD (n=3), Asterisks indicate significant (P<0.05) difference between those values.

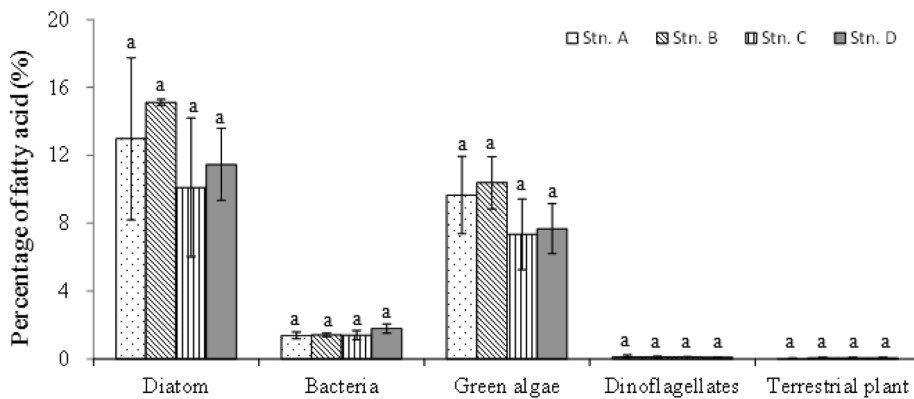


Fig. 5. Fatty acid percentage of main food sources of *Stenopsyche marmorata* at Natori stream, Bars represent means \pm SD (n=3), Asterisks indicate significant (P<0.05) difference between those values.

이러한 지방산의 특성으로 보아 *S. marmorata*의 주 먹이원 으로서는 소화하기 비교적 어려운 육상유래 유기물 보다 미세 조류 및 세균과 같이 소화하기 쉬운 먹이를 주로 이용하고 있음을 알 수 있었다. 이와 같은 결과는 *S. marmorata*의 소화관 내용물을 분석한 결과와 비슷한 경향을 나타내고 있다.²⁴⁾

3.3. 필수 지방산으로 본 *Stenopsyche marmorata*의 먹이 환경의 특징

수중 POM의 필수 지방산의 특징을 살펴보면, ω 3은 지점 B와 C에서 차이를 나타냈을 뿐 다른 지점 간에서는 비슷한 값을 나타내고 있다. 또한 ω 6에서는 지점 A, B, C와 D가 큰 차이를 나타내고 있다(Fig. 6). 반면, *S. marmorata*의 ω 3의 특징을 보면 조사지점 A와 B, A와 C, A와 D, B와 C, C와 D에서 차이를 나타냈고, ω 6는 조사지점 A와 B, A와 C, A와 D에서 차이를 나타냈다(Fig. 6). *S. marmorata*에서 ω 6의 지역적 차이는 매우 적게 나타난 반면, ω 3은 다소 지역적 차이를 나타내고 있다. 이러한 결과로부터 *S. marmorata*의 필수 지방산인 ω 3과 ω 6중에서도 ω 3이 환경에 의해 크게 영향을 받고 있음을 알 수 있다. 주 먹이원으로 이용하고 있는 규조류와 녹조류에는 필수 지방산인 ω 3이 포함되어 있어 ω 3이 ω 6보다 변화폭이 큰 것으로 사료된다.

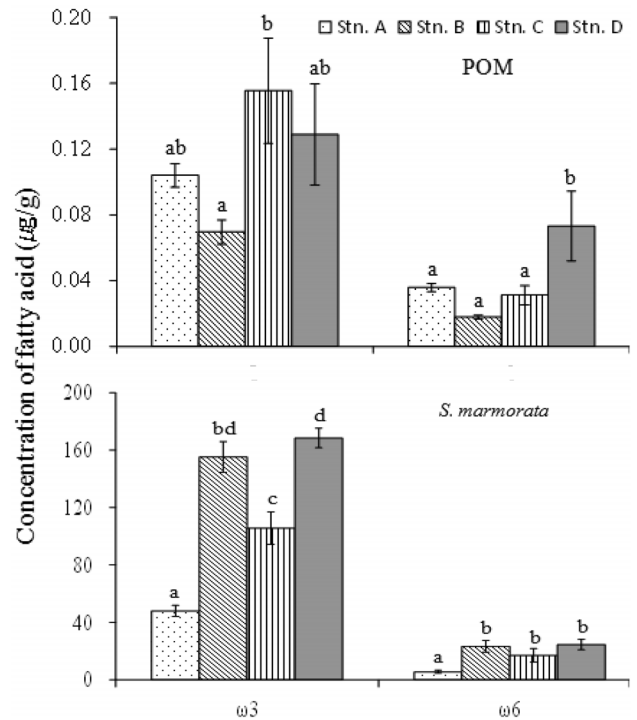


Fig. 6. Essential fatty acid concentration of water POM and *Stenopsyche marmorata* at Natori stream, Bars represent means \pm SD (n=3), Asterisks indicate significant (P<0.05) difference between those values.

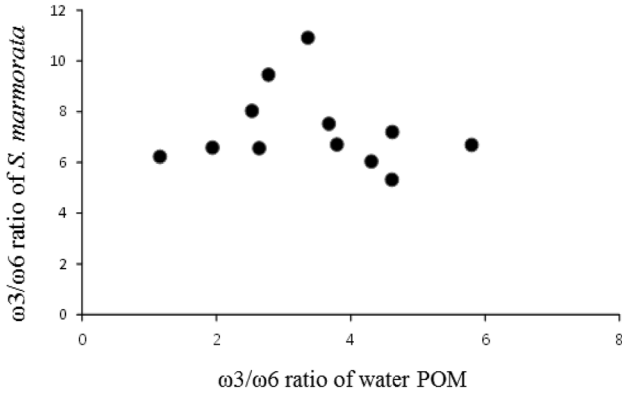


Fig. 7. Relationship of $\omega 3/\omega 6$ ratio between water POM and *Stenopsyche marmorata*.

Fig. 7은 수중 POM의 필수 지방산비($\omega 3/\omega 6$)와 *S. marmorata*의 필수 지방산($\omega 3/\omega 6$)과의 관계를 나타냈다. 수중 POM의 필수 지방산 비가 증가해도 *S. marmorata*의 필수 지방산 비는 약 평균 7의 일정한 비율로 존재하고 있음을 알 수 있다. 이는 *S. marmorata*가 생존 및 성장에 있어서 필요한 필수 지방산비로 볼 수 있으며 이러한 현상은 다른 수계의 다른 저서성 대형무척추동물에게서도 보고되고 있다.^{10,11,25)} 이러한 결과로부터 *S. marmorata*은 주 먹이원인 미세조류와 박테리아에 크게 의존하고 있으며, 특히 *S. marmorata*의 필수 지방산비 결과로부터 알 수 있듯이 *S. marmorata*의 생존을 위해서는 일정한 필수 지방산이 유지되고 있음을 알 수 있었다.

4. 결론

지방산 분석을 통해 수중 POM의 기원과 함께 하천에 서식하고 있는 저서성 대형무척추동물인 *S. marmorata*의 먹이원에 대해서 평가하였다. 얻어진 결론은 다음과 같다.

1) 조사 지점 간에 있어서 수중 POM의 기원은 규조류, 녹조류 같은 미세 조류 유래 유기물과 세균 유래 유기물이 큰 비중을 차지하고 있었으며, TOC 변동에도 일부 기여하고 있다고 사료된다.

2) 검출된 *S. marmorata*의 지방산에 의해 규조류, 녹조류 및 세균이 주 먹이원으로 이용되고 있음을 알 수 있었으나 조사지점에 있어서 각 유기물 기원 간 이용의 차이는 없는 것으로 나타났다.

3) *S. marmorata*의 필수 지방산은 $\omega 3$ 이 $\omega 6$ 보다 높게 검출되었으며, 전 조사지점에서 *S. marmorata*의 필수 지방산비는 약 평균 7을 나타내고 있었다.

사사

현장 조사와 지방산 분석에 있어서 도움을 주신 Megumu FUJIBAYASHI, Shinji TAKAHASHI에 감사를 드립니다. 이

논문은 일본 동북(Tohoku) 대학 GCOE지원에 의하여 수행되었습니다. 이에 감사의 뜻을 표합니다.

KSEE

참고문헌

1. Ward, J. V. and Stanford, J. A., "The serial discontinuity concept of lotic ecosystems. In Dynamics of Lotic Ecosystems, T. D. Fontaine and S. M. Bartell (eds.): 29~42. Ann Arbor Science, Ann Arbor"
2. 香川尙徳, "河川不連続の原因となるダム貯水による水質変化," 応用生態工學, 2, 141~151(1999).
3. Poff, N. L. and Hart, D. D., "How dams vary and why it matters for the emerging science of dam removal," *Biosci.*, 2, 695~668(2002).
4. 辻本哲郎, "ダムが河川の物理的環境に与える影響—河川工學および水理學的視点から—," 応用生態工學, 2(2), 103~112(1999).
5. Doeg, T. J. and Koehn, J. D., "Effects of draining and desilting a small weir on downstream fish and macroinvertebrates," *Regulated Rivers: Res. and Manage.*, 9, 263~277(1994).
6. Stanley, E. H., Michelle, A. L., Doyle, M. W. and Marshall, D. W., "Short-term changes in channel form and macroinvertebrate communities following low-head dam removal," *J. North American Benthological Soc.*, 21 172~187(2002).
7. Hauer, F. R., Stanford, J. A. and Ward, J. V., "Serial discontinuities in a Rocky Mountain river. II. Distribution and abundance of trichoptera," *Regulated Rivers: Res. and Manage.*, 3, 177~182(1989).
8. Stanford, J. A. and Ward, J. V., "Serial discontinuities of a Rocky Mountain river. I. Distribution and abundance of Plecoptera," *Regulated Rivers: Res. and Manage.*, 3, 169~175 (1989).
9. Munn, M. D. and Brusven, M. A., "Benthic macroinvertebrate communities in nonregulated and regulated waters of the Clearwater River, Idaho, U.S.A.," *Regulated Rivers: Res. and Manage.*, 6, 1~11(1991).
10. Ghioni, C., Bell, G. and Sargent, R., "Polyunsaturated fatty acids in neutral lipids and phospholipids of some freshwater insects," *Comp. Biochem. Physiol.*, 114(2), 161~170(1996).
11. Glencross, B. D., Smith, D. M., Thomas, M. R. and Williams, K. C., "The effect of dietary n-3 and n-6 fatty acid balance on the growth of the prawn *penaeus monodon*," *Aquaculture Nutrition*, 8, 43~51(2002).
12. Yamamoto, Y., Iwafune, T., Yoshida, N. and Hirabayashi, K., "Fatty acid composition in chironomid larvae in Lakes Kawaguchi and Shibire, Japan," *Jpn. J. Limnol.*, 66, 181~190 (2005).
13. Robaina, L., Izquierdo, M. S., Moyana, F. J., Socorro, J., Vergara, J. M. and Montero, D., "Increase of the dietary n-3/n-6 fatty acid ratio and addition of phosphorus improves liver histological alternations induced by feeding diets containing soybean meal and gilthead seabream, *Sparus aurata*," *Aquaculture*, 161, 281~293(1998).

14. Sargent, J. R., Bell, G., McEvoy, L., Tocher, D. R. and Estevez, A., "Recent developments in the essential fatty acid nutrition of fish," *Aquaculture*, **177**, 191~199(1999).
15. Milke, L. M., Vricelj, V. M. and Parrish, C. C., "Growth of postlarval sea scallops, *Placopecten magellanicus*, on microalgal diets, with emphasis on the nutritional role of lipids and fatty acids," *Aquaculture*, **234**, 293~317(2004).
16. Pernet, F., Vricelj, V. M. and Parrish, C. C., "Effect of varying dietary levels of w-6 polyunsaturated fatty acids during the early ontogeny of the sea scallop, *Placopecten magellanicus*," *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, **327**, 115~133(2005).
17. Kawai, "An Illustrated book of aquatic insects of Japan. Tokai Univ., Tokyo"
18. <http://genebank.rda.go.kr>
19. Lorenzen, C. J., "A note on the estimation of chlorophyll a in freshwater algal communities," *Limnol. Oceanog.*, **12**, 340~346(1967).
20. Abdulkadir, S. and Tsuchiya, M., "One-step method for quantitative and qualitative analysis of fatty acids in marine animal samples," *J. Experimental Marine Biol. and Ecol.*, **354**, 1~8(2008).
21. 신우석, 이용두, Fujimayashi, M., Nagahama, Y., Nomura, M. and Nishimura, O., "하구갯벌에 있어서 퇴적유기물의 기원 해석," 대한환경공학회지, **32**(1), 9~16(2010).
22. 古屋八重子, "吉野川における造網性トビケラの流呈分布と密度の年次変化, 特にオオシマトビケラ(昆虫, 毛翅目)の生息域擴大と密度増加について," 陸水學雜誌, **59**, 429~441(1998).
23. 岩館知寛, 程木義邦, 大林夏湖, 村上哲生, 小野有五, "天塩川水系岩尾内ダム値下流域におけるヒゲナガカワトビケラ(*Stenopsyche marmorata* Navas)の優点," 陸水學雜誌, **68**, 41~49(2007).
24. 村上哲生, 失口愛, "ザザムシ考—伊那地方の水棲昆虫食の起源と変遷—," 名古屋女子大學, **55**, 79~84(2009).
25. Mike, L. M., Bricelj, V. M. and Parrish, C. C., "comparison of early life history stages of the bay scallop, *Argopecten irradians*: Effects of microalgal diets on growth and biochemical composition," *Aquaculture*, **260**, 272~289(2006).