

Article

위 내용물 및 지방산 구성을 통한 황해 모악류(*Sagitta crassa*와 *S. nage*)의
먹이 섭식 특성

윤현진^{1,2} · 고아라³ · 강정훈⁴ · 최중기² · 주세종^{1,5*}

¹한국해양과학기술원 심해저광물자원연구센터
(15627) 경기도 안산시 상록구 해안로 787

²인하대학교 자연과학대학 해양학과
(22212) 인천광역시 남구 인하로 100

³서울대학교 해양연구소
(08826) 서울특별시 관악구 관악로 1

⁴한국해양과학기술원 남해특성연구센터
(53201) 경상남도 거제시 장목면 장목 1길 41

⁵과학기술연합대학원대학교 해양생물학과
(34113) 대전광역시 유성구 가정로 217

Diet of Chaetognaths *Sagitta crassa* and *S. nage* in the Yellow
Sea Inferred from Gut Content and Fatty Acid Analyses

Hyunjin Yoon^{1,2}, Ah-Ra Ko³, Jung-Hoon Kang⁴, Joong Ki Choi², and Se-Jong Ju^{1,5*}

¹Deep-sea and Seabed Mineral Resources Research Center, KIOST
Ansan 15627, Korea

²Department of Oceanography, College of Natural Sciences, Inha University
Incheon 22212, Korea

³Research Institute of Oceanography, Seoul National University
Seoul 08826, Korea

⁴South Sea Environment Research Center, KIOST
Geoje 53201, Korea

⁵Department of Marine Biology, Korea University of Science and Technology
Daejeon 34113, Korea

Abstract : To understand the diet of chaetognaths, the gut content and fatty acid trophic makers (FATMs) of *Sagitta crassa* and *S. nage*, which are the most predominant species of chaetognath in the Yellow Sea, were analyzed. Gut contents of the two species examined by microscopic analysis revealed that copepods are the major components of the diet (> 70% of gut contents) and there was no significant changes in the gut contents of two species collected in spring and summer season. Although 16:0, 20:5(n-3) (Eicosapentaenoic acid) and 22:6(n-3) (Docosahexanoic acid), which are known as phytoplankton FA markers, were the most dominant among the fatty acids in both chaetognath species, the detection of copepod FA markers, 20:1(n-9) (Gadoleic acid) and 22:1(n-11) (Cetoleic acid), provided evidence that their food sources include copepods. These results suggest that *S. crassa* and *S. nage* are carnivores and mainly feed on copepods in the Yellow Sea.

Key words : chaetognath, diet, gut content, fatty acid, Yellow Sea

*Corresponding author. E-mail : sju@kiost.ac.kr

1. 서론

모악류는 해양 동물플랑크톤의 한 분류군으로서 전 세계 해양에 널리 분포하고 있으며, 우리나라 근해에서도 3속 14종이 출현하는 것으로 알려져 있다(Park 1973; Park et al. 1991, 1992). 특히, 황해에서는 2속 5종(*Sagitta crassa*, *S. nage*, *S. enflata*, *S. regularis*, *Krohnitta pacifica*)이 출현하며, 그 중 *S. crassa*와 *S. nage*가 가장 우점하는 것으로 알려져 있다(Park 1968; Yoo and Kim 1996). 이들은 여름철에 산란하기 때문에 늦가을에 현존량이 가장 높게 나타나며, 겨울부터 감소하는 특징을 보인다(Hawan and Choi 1993; Lim et al. 2009). 두 종 모두 연중 출현하며 *S. crassa*는 황해 북부 해역에서 우점하고, *S. nage*는 황해 남부에서 중부까지 전 해역에 걸쳐 넓게 분포하는 것으로 보고되었다(Park 1968; Yoo and Kim 1996). 모악류는 요각류, 난바다곤쟁이류, 단각류 및 지각류 등 매우 다양한 동물플랑크톤을 섭식하며(Feigenbaum and Maris 1984), 또한 이들은 멸치(*Engraulis japonicus*), 까나리(*Ammodytes personatus*) 그리고 눈강달이(*Collichthys niveatus*)와 같은 주요 수산어종의 먹이원으로도 알려져 있다(Murakami 1959; Zhang et al. 2005). 모악류는 치어(larval fish)의 먹이원이기도 하지만, 치어와 먹이 경쟁을 하거나 포식자로서 치어를 도리어 섭식하는 것으로도 알려져 있어 치어의 성장 및 생존에도 영향을 미치는 것으로 보고되었다(Baier and Purcell 1997; Chicharo 1998; Terazaki 2005). 즉, 해양생태계에서 동물플랑크톤 중 모악류는 포식자로서 섭식 활동을 통해 물질대사와 성장 및 재생산에 필요한 에너지를 획득하며, 하위 영양단계의 에너지를 상위 영양단계로 전달하는 역할을 한다(Harris et al. 2000). 따라서, 모악류의 섭식에 관한 이해는 표영 생태계의 구조와 기능을 정확히 이해하기 위한 중요한 정보를 제공한다(Bautista and Harris 1992). 황해에서도 모악류는 생태계에서 뿐만 아니라 생태적으로도 매우 중요한 역할을 하는 것으로 알려져 있으나(Jung 1989), 현재까지는 주로 분포나 종 구성에 대한 연구(Jung 1989; Park et al. 1992; Yoo and Kim 1996)가 주로 수행되었을 뿐 섭식에 관한 연구는 매우 부족한 실정이다.

동물플랑크톤의 섭식 생태를 연구하는 방법에는 위 내용물 분석(gut content analysis)과 섭식 실험(feeding experiment) 등의 전통적인 방법과 지방산 분석(fatty acids analysis)과 안정동위원소 분석(stable isotope analysis) 등의 생화학적인 방법이 있다(Harris et al. 2000; Dalsgaard et al. 2003; Carabel et al. 2006). 위 내용물 분석은 동물플랑크톤이 단기간(몇 시간-하루 이내)에 섭식한 먹이를 직접 확인할 수 있는 가장 보편적인 방법이다(Hopkins 1985;

Hopkins and Torres 1989; Harris et al. 2000). 하지만 바로 섭취한 먹이 또는 소화가 느린 먹이만을 확인할 수 있고, 채집 과정에서 네트에 농축되어 있는 먹이를 섭식(cod-end feeding)할 수 있기 때문에 이 방법만으로 섭식 생태를 정확히 이해하기에는 어려움이 있다(Sullivan 1980; Boyd et al. 1984; Feigenbaum 1991). 따라서 이러한 문제점을 보완하기 위해 생화학적인 방법이 활용되고 있다(Dalsgaard et al. 2003). 특히, 특정 지방(지방산, 스테롤 등)은 스스로 합성이 어려워 먹이를 통해서만 획득될 수 있기 때문에 생태계 내에서의 먹이 관계를 이해하는 추적자로 많이 활용되고 있다(Sargent and Henderson 1986; Falk-petersen et al. 2000; Dalsgaard et al. 2003). 예를 들어, 구조류에 풍부한 16:1(n-7)(Palmitoleic acid)과 20:5(n-3)(Eicosapentaenoic acid; EPA)은 구조류 기원, 22:6(n-3)(Docosahexaenoic acid; DHA)은 와편모조류 기원의 지방산으로 알려져 있다(Nichols et al. 1993; Graeve et al. 1994b; Falk-Petersen et al. 2000; Dalsgaard et al. 2003). 또한, 20:1(n-9)(Gadoleic acid)와 22:1(n-11)(Cetoleic acid)은 요각류 중 칼라노이드류(Calanoida)의 생합성 과정을 통해서 생성되는 것으로 알려져 있다(Sargent and Henderson 1986; Kattner and Hagen 1995; Dalsgaard et al. 2003). 하지만, 일부 지방성분은 때때로 대사과정에서 변형되거나 특정한 먹이 생물에서만 기원하지 않는 것으로 알려져 있으므로(Kirsch et al. 1998; Ju and Harvey 2004) 결과의 해석시 주의가 필요하다. 이 밖에도 다양한 방법들이 섭식 생태 연구에 활용되고 있지만, 각각의 방법마다 장·단점을 가지고 있기 때문에 단일 방법을 통해서 동물플랑크톤의 섭식 생태를 정확히 이해하기는 어렵다. 따라서, 최근에는 다양한 분석 방법들을 함께 적용하여 상호 보완적인 연구를 수행하고 있다. El-Sabaawi et al. (2009)는 지방산과 안정동위원소 분석을 활용하여 요각류의 섭식 특성과 서식처 내에서의 영양학적 위치를 연구하였으며, Schmidt et al. (2006)은 위 내용물과 지방산 그리고 안정동위원소 분석을 활용하여 남극 크릴의 섭식 생태를 연구하였다.

본 연구에서는 황해에 서식하는 모악류(*S. crassa*와 *S. nage*)의 위 내용물과 지방산 구성 분석을 통하여, 황해 부유 생태계에서 모악류가 포식자로서 어떠한 먹이를 선호하여 섭식하는지를 평가하고자 하였다.

2. 재료 및 방법

황해 모악류의 먹이 섭식 특성을 알아보기 위하여 2013년 춘계(4월 14일-22일)와 하계(8월 4일-12일)에 황해 중남부 해역에서 한국해양과학기술원 연구선 이어도호를 이용한 현장조사를 수행하였다.

모악류 채집 및 분류

동물플랑크톤은 표준 네트(망구 직경 0.6 m, 망목 크기 200 μm)를 이용하여 4개의 정점(NO, NN, SO, SN)에서 각 정점의 최대 수심(약 30–80 m)에서부터 표층까지 수직 예인하여 채집되었다(Fig. 1). 동물플랑크톤의 군집 분석을 위한 시료는 현장에서 중성포르말린을 넣어 최종 농도가 5%가 되도록 고정하였고, 정성·정량 분석을 통해 개체수 간 상관관계를 분석하였다. 지방산 분석용 시료는 지방 손실 및 변형을 최소화하기 위하여 테프론 뚜껑의 유리용기에 담아 저온 냉동고(-20°C)에 보관하였으며, 실험실로 운반된 시료는 분석 전까지 초저온 냉동고(-80°C)에 보관하였다. Yoo (1995), Yoo and Kim (1996) 그리고 Chihara and Murano (1997)의 종 검색표를 참조하여 해부 현미경(SZ40, Olympus)을 통해 요각류와 모악류를 종(species) 단위로 동정하였다. 본 연구의 형태 분류에서 확인된 모악류(*S. crassa*와 *S. nageae*)의 DNA 분류를 위해 각 5개체씩 선별하여, ㈜바이오메딕에 Mitochondria Cytochrome Oxidase I (COI) 분석 의뢰하였다. 이후, GenBank에서 추출한 *S. crassa*(GenBank accession no. HQ700946, HQ700935), *S. nageae*(KF977333-4)와 대조군

Eukrohnia fowleri(GQ368387)의 서열을 포함하여 총 15개 염기서열을 ClustalX(Thompson et al. 1997)로 정렬하였다. 염기 및 아미노산 서열의 변이성 분석은 Mega 6.0 (Tamura et al. 2013)을 이용하였다.

위 내용물 분석

모악류(*S. crassa*와 *S. nageae*)의 위 내용물 분석은 준계와 하계의 4개의 정점(NO, NN, SO, SN)에서 채집된 모든 개체를 대상으로 하였으며, 위 내용물을 포함하고 있는 개체의 비를 Food Containing Ratio(FCR)로 표현하였다(Feigenbaum 1991, Kehayias et al. 2005). 위 내용물은 Mori (1964), Park (1970), Yoo (1995), Yoo and Kim (1996)과 Chihara and Murano (1997)의 동물플랑크톤 종 검색표에 의하여 목(order) 단위로 분류하였으며, 형태적으로 식별이 가능한 것은 현미경 사진기(Stemi 200-C, Zeiss)로 촬영하였다.

지방산 분석

모악류의 지방 추출을 위해 유기용매(CH_2CL_2)로 세척한 유리시험관에 *S. crassa*와 *S. nageae*를 50–80개체씩 넣

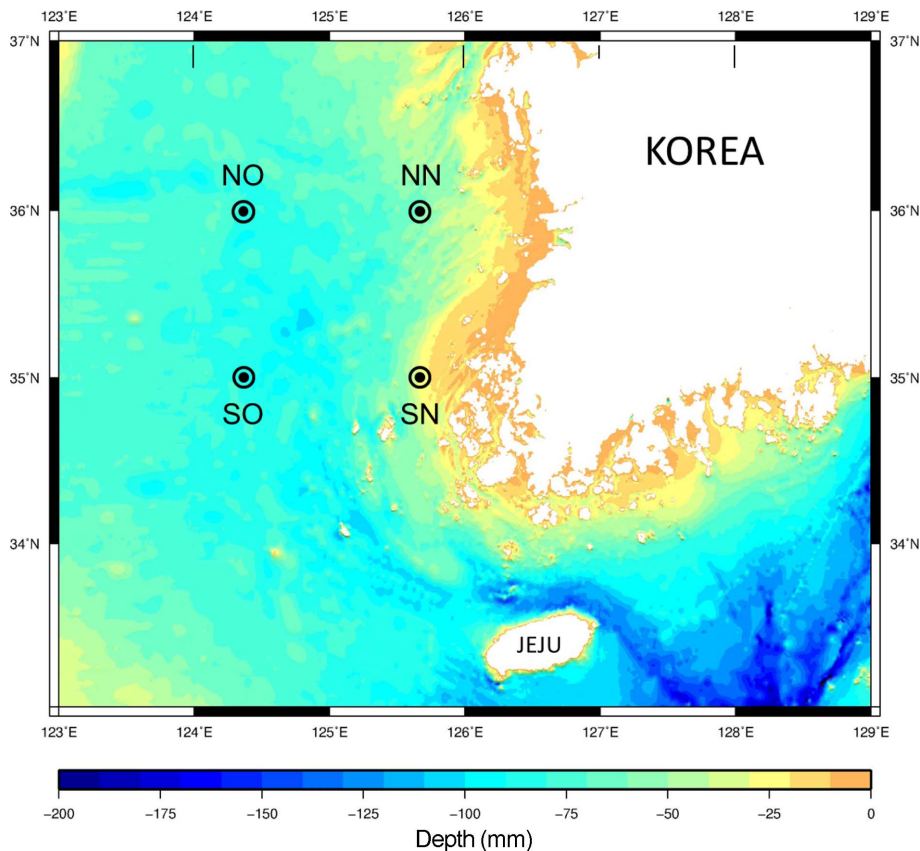


Fig. 1. Location of sampling stations with the bathymetry of study region (NO: North-offshore; NN: North-nearshore; SO: South-offshore; SN: South-nearshore)

은 후, 혼합 유기용매(CH₂Cl₂:MeOH = 1:1)를 첨가하여 초음파 분해(sonication) 하였다. 그 후, 유리시험관 내에 혼합 유기용매가 일정한 비율(CH₂Cl₂:MeOH:H₂O = 1:1:0.8)이 되도록 증류수를 첨가한 뒤, 잘 흔들어 혼합하였고 두 층으로 분리된 혼합액에서 지방을 포함하고 있는 하층부의 용액을 분리하여 갈색 유리병(vial)에 옮겨 담았다. 갈색 유리병에 옮겨 담은 용액만큼 혼합 유기용매(CH₂Cl₂:MeOH = 4:1)를 추가하였으며, 동일한 방법으로 총 3회 반복하여 하층부의 용액을 분리 및 수거하였다 (Bligh and Dyer 1959). 추출된 지방을 포함하는 혼합액에서 질소 가스로 유기용매를 증발시킨 후, 혼합 유기용매(CH₂Cl₂:MeOH = 2:1)에 재용해한 일정량(60–70 µl)을 사용하여 지방산을 분석하였다. 상업용 internal standard 인 *n*-Nonadecanoic acid(Sigma-Aldrich Co.)를 넣은 뒤, 질소 가스로 유기용매를 제거하였다. 이 후 0.5 N KOH (Potassium hydroxide-methanol solution)와 증류수를 넣고 70°C에서 30분간 가열하였으며, 혼합 유기용매(Hexane: Diethyl ether = 9:1)로 중성 지방을 분리 및 제거하였다. 남은 용액이 pH2가 되도록 염산(HCl)을 첨가하여 KOH를 침전시키고 혼합 유기용매(Hexane:Diethyl ether = 9:1)를 넣어 혼합한 후, 상층부의 지방산을 총 3회에 걸쳐 추출하였다. 추출한 지방산에 BF₃/MeOH(Boron trifluoride-methanol solution; Sigma-Aldrich Co.)을 첨가한 뒤, 70°C에서 30분간 가열하여 지방산을 Fatty acid methyl ester (FAME)으로 유도하였다(Ju et al. 2011; Ko et al. 2013). 이러한 FAME은 Gas chromatography flame ionization detector(GC-FID; GC 7890A, Agilent)에 ZB-5ms column (길이 60 m, 내경 0.32 mm, 코팅된 내부 필름두께 0.25 µm; Phenomenex)을 설치하여 분리 및 정량 분석되었다. GC-FID의 온도 조건은 시료 주입구(inlet) 250°C와 검출기(detector) 320°C이며, 오븐은 50°C에서 120°C까지 10°C/분, 120°C에서 300°C까지 4°C/분으로 설정되었고, 이동상 가스는 헬륨(30 ml/분)을 사용하였다. GC-mass spectrometry detector(GC-MSD; GC 7890A with MSD 5975C, Agilent)를 이용하여 원자 질량 50–700 amu의 범위 내에서 각각의 FAME을 분리 및 정성 분석하였다. 이 외의 조건(컬럼,

온도, 이동상 가스)은 GC-FID와 동일하게 설정되었다. 지방산의 총 함량은 각 지방산 성분의 합으로 산출되었다.

통계 분석

본 연구에서 모든 통계분석은 SPSS(SPSS 12.0 for windows, SPSS Inc.)를 이용하여 분석되었다. 모약류 FCR의 시·공간적 차이를 분석하기 위해 독립표본 *t*-검정을 사용하였으며, 통계적 유의수준 0.05에서 검정하였다. 또한, 모약류와 주요 요각류의 출현개체수 간의 상관관계는 Spearman's rank correlation coefficient를 사용하였다.

3. 결 과

모약류의 DNA 분류

황해 중남부 해역에서 채집된 모약류는 형태 분류를 통해서 *S. crassa*와 *S. nageae*로 동정되었다. DNA 분류를 위해 확보한 두 종의 COI 서열 길이는 654 bp(218 aa)이며, 염기서열 내 GC 비율은 38.1–39.9%였다. 황해에서 채집된 *S. crassa*와 GenBank에서 추출한 *S. crassa*의 염기서열 및 아미노산 종내 변이의 범위는 0.6–3.8%와 0.0–0.5%였다. *S. nageae*의 종내 최대 염기서열 변이는 0.9%였고, 아미노산 서열에서는 변이성을 나타내지 않았다. 그리고 *S. crassa*와 *S. nageae* 사이의 염기서열 변이는 19.6–21.3%, 아미노산 서열 변이는 4.2–4.7%로 나타났다.

모약류의 분포와 구성

연구해역에서 모약류는 계절과 지역에 관계없이 *S. crassa*와 *S. nageae*만이 출현하였다. 모약류의 현존량은 춘계(51 ± 33 inds.m⁻³)에 비해 하계(372 ± 153 inds.m⁻³)에 약 7배 이상 높았다. 특히, 춘계에는 정점 NN과 SN (19 ± 7 inds.m⁻³)에 비해 정점 NO와 SO(84 ± 4 inds.m⁻³)에서 비교적 높았으며, 하계에는 정점 NN(467 inds.m⁻³)과 SO(572 inds.m⁻³)에서 높은 현존량을 보이며 계절에 따라 지역적인 차이를 나타냈다. *S. crassa*는 춘계와 하계에 각각 22 ± 10 inds.m⁻³와 181 ± 92 inds.m⁻³의 현존량을 보였으며, *S. nageae*의 현존량은 춘계와 하계에 각각

Table 1. Abundance of two species of chaetognaths (inds./m³) at the four sampling stations in the Yellow Sea in spring and summer, 2013

Species	Station	Spring				Summer			
		NO	NN	SO	SN	NO	NN	SO	SN
<i>Chaetognatha</i>									
<i>Sagitta crassa</i>		28	20	31	8	98	302	201	121
<i>Sagitta nageae</i>		52	5	56	4	141	165	371	87
Total		70	25	87	12	239	467	572	208

Table 2. Food containing ratio and gut contents composition of *Sagitta crassa* and *S. nage* in spring and summer, 2013

Species	<i>Sagitta crassa</i>								<i>Sagitta nage</i>							
	Spring				Summer				Spring				Summer			
	NO	NN	SO	SN	NO	NN	SO	SN	NO	NN	SO	SN	NO	NN	SO	SN
Number of individuals (n)	141	93	116	69	132	83	115	103	130	117	112	93	193	118	93	125
FCR (total, %)	17.0	18.3	15.5	23.2	14.4	22.9	16.5	21.4	23.1	18.8	16.1	21.5	16.6	23.7	12.9	23.2
Gut content composition (%)																
Copepoda	94.1	69.6	89.5	70.8	91.7	89.5	84.2	70.8	90.7	53.3	84.6	71.0	79.5	46.9	91.7	64.5
Cladocera	5.9	30.4	10.5	29.2	8.3	10.5	15.8	29.2	4.7	36.7	ND	22.6	15.4	40.6	ND	25.8
Euphausiid	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	3.3	15.4	3.2	ND	6.3	ND	3.2
Egg	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	2.3	ND	ND	ND	2.6	ND	ND	6.5
Etc	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	2.3	6.7	ND	3.2	2.6	6.3	8.3	ND

ND: Not detected

29 ± 29 inds.m⁻³와 191 ± 124 inds.m⁻³을 나타냈다. 지역적으로 *S. crassa*는 NN과 SN(67.4 ± 9.2%)에서, *S. nage*는 정점 NO와 SO(63.3 ± 2.9%)에서 우점하였다(Table 1).

위 내용물

*S. crassa*와 *S. nage*의 FCR은 각각 18.6 ± 3.4%와 19.5 ± 4.0%로 종간 차이가 나타나지 않았다(*t*-test, *p* > 0.05). 종별 FCR을 살펴보면, *S. crassa*의 춘계(18.5 ± 3.3%)와 하계(18.8 ± 4.0%)의 FCR은 계절적인 차이(*t*-test, *p* > 0.05)가 없었던 반면, 정점 NN과 SN(21.5 ± 5.0%)이 정점 NO와 SO(16.5 ± 3.3%)에 비해 비교적 높게 나타나 공간적으로 유의한 차이를 보였다(*t*-test, *p* < 0.05). *S. nage*의 FCR도 춘계 19.9 ± 3.1%와 하계 18.5 ± 3.3%로 계절적인 차이와 공간적(NN, SN: 21.8 ± 2.2%; NO, SO: 17.2 ± 4.3%)인 차이가 없었다(*t*-test, *p* > 0.05)(Table 2).

모약류의 위 내용물 중 전체의 약 95.4%가 주로 요각류(76.5%)와 지각류(18.9%)로 구성되어 있었다. 이 외에도 난바다 곤쟁이류, 선형동물과 어란 등 다양한 먹이 생물이 발견되었다(Fig. 2). *S. crassa*의 위 내용물에서는 요각류(81.0 ± 12.6%)가 가장 우점하였고, 다음으로 지각류(19.0 ± 12.6%)가 높은 구성비를 보였다. 특히 *S. crassa*의 위 내용물 중 춘계의 정점 NO, SO와 하계 정점 NO, NN에서 요각류가 약 90%를 차지하고 있었으며, 반면에 춘계의 정점 NN, SN과 하계 정점 SN에서는 지각류가 약 30%를 차지하는 특징을 보이며 시·공간적인 차이를 보였다(*t*-test, *p* < 0.05). *S. nage*의 위 내용물은 요각류(춘계: 74.9 ± 16.6%, 하계: 70.6 ± 19.3%)가 우점하였으나, 지각류(춘계: 16.0 ± 16.9%, 하계: 20.5 ± 17.1%), 난바다 곤쟁이류(춘계: 5.5 ± 6.8%, 하계: 2.4 ± 3.0%)와 선형동물을 포함한 다양한 먹이생물(춘계: 3.1 ± 2.8%, 하계: 4.3 ± 3.7%)이 관찰되었으며, *S. crassa*에 비해 좀 더 다양한 먹이생물이 발견되었다. *S. nage*의 먹이생물 중 지각류의 구성비

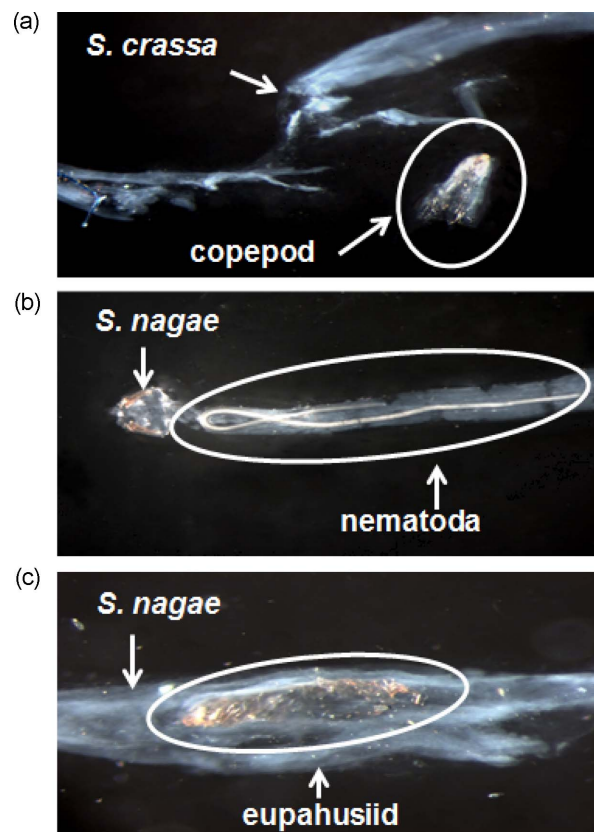


Fig. 2. Photomicrographs of the chaetognath's gut contents. (a) copepod in *Sagitta crassa* and (b) nematoda and (c) euphausiid in *Sagitta nage*

는 *S. crassa*와 유사하게 정점 NO와 SO보다 NN과 SN에서 비교적 높게 나타났다(Table 2).

지방산

모약류는 탄소원자 14-26개를 가진 다양한 포화 지방산(Saturated fatty acids; SFA), 단일 불포화 지방산

Table 3. Relative abundance (with standard deviations) of FA for *Sagitta crassa* in spring and summer, 2013

Season	Spring				Summer				
	Station	NO (n = 2) ⁺	NN (n = 2) ⁺	SO (n = 2) ⁺	SN (n = 2) ⁺	NO (n = 2) ⁺	NN (n = 2) ⁺	SO (n = 2) ⁺	SN (n = 2) ⁺
<i>n-Saturates</i>									
14:0		2.0 ± 0.3	1.4 ± 0.2	3.1 ± 1.4	1.8 ± 1.1	2.5 ± 0.2	0.5 ± 0.4	2.8 ± 1.1	1.8 ± 0.6
16:0		18.6 ± 1.4	15.1 ± 2.7	16.6 ± 0.3	14.4 ± 0.5	13.2 ± 0.5	11.3 ± 3.1	14.0 ± 4.4	15.7 ± 1.8
18:0		4.8 ± 2.7	3.2 ± 0.2	3.0 ± 0.6	3.2 ± 0.0	4.7 ± 0.3	5.8 ± 1.1	2.3 ± 0.2	6.5 ± 0.8
20:0		0.4 ± 0.3	0.3 ± 0.0	0.3 ± 0.1	0.2 ± 0.0	0.4 ± 0.0	0.6 ± 0.2	0.3 ± 0.1	0.5 ± 0.1
22:0		0.2 ± 0.2	0.3 ± 0.0	0.3 ± 0.0	0.2 ± 0.0	0.4 ± 0.0	0.4 ± 0.2	0.2 ± 0.0	0.3 ± 0.1
24:0		0.2 ± 0.1	0.2 ± 0.0	0.2 ± 0.0	0.2 ± 0.0	0.4 ± 0.0	0.5 ± 0.2	0.2 ± 0.0	0.3 ± 0.0
Total % SFA		26.3 ± 4.4	20.5 ± 2.3	23.5 ± 2.5	20.0 ± 1.6	21.6 ± 0.5	19.1 ± 5.3	19.6 ± 5.2	25.1 ± 3.4
<i>Monounsaturates</i>									
16:1(n-9)		0.2 ± 0.0	0.2 ± 0.0	0.2 ± 0.0	0.2 ± 0.0	0.2 ± 0.0	0.1 ± 0.0	0.2 ± 0.0	0.2 ± 0.0
16:1(n-7)		3.6 ± 0.0	2.2 ± 0.6	3.2 ± 1.9	2.6 ± 0.4	3.6 ± 0.1	2.1 ± 0.2	3.8 ± 0.9	3.0 ± 0.4
16:1(n-5)		0.4 ± 0.0	0.3 ± 0.0	0.3 ± 0.1	0.3 ± 0.0	0.4 ± 0.0	0.2 ± 0.0	0.3 ± 0.0	0.1 ± 0.0
18:1(n-9)		9.0 ± 1.5	11.1 ± 2.5	10.5 ± 2.6	9.9 ± 0.9	6.7 ± 0.5	6.2 ± 0.3	9.8 ± 1.8	7.5 ± 0.6
18:1(n-7)		2.5 ± 1.9	3.4 ± 1.1	3.0 ± 1.1	2.9 ± 0.6	1.5 ± 0.5	0.9 ± 0.2	2.9 ± 0.9	1.7 ± 0.3
18:1(n-5)		0.4 ± 0.0	0.3 ± 0.1	0.3 ± 0.0	0.4 ± 0.0	0.5 ± 0.1	0.4 ± 0.0	0.2 ± 0.1	0.2 ± 0.0
20:1(n-11)		1.4 ± 0.3	1.3 ± 0.7	1.9 ± 0.6	1.4 ± 0.2	0.9 ± 0.1	1.8 ± 0.5	4.0 ± 2.3	0.9 ± 0.5
20:1(n-9)		0.1 ± 0.0	0.2 ± 0.0	0.3 ± 0.1	0.2 ± 0.0	0.2 ± 0.1	0.2 ± 0.1	0.2 ± 0.1	0.2 ± 0.0
20:1(n-7)		0.2 ± 0.2	0.1 ± 0.1	0.1 ± 0.1	0.1 ± 0.0	0.5 ± 0.0	0.4 ± 0.1	0.1 ± 0.0	0.3 ± 0.0
22:1(n-11)		1.8 ± 0.4	1.3 ± 1.5	2.0 ± 2.5	1.7 ± 0.1	1.7 ± 0.2	3.5 ± 0.1	6.8 ± 4.6	0.7 ± 0.3
22:1(n-9)		0.1 ± 0.0	0.2 ± 0.1	0.1 ± 0.1	0.1 ± 0.0	0.4 ± 0.0	0.2 ± 0.1	0.1 ± 0.1	0.2 ± 0.0
24:1(n-9)		1.5 ± 0.5	1.5 ± 0.6	1.4 ± 0.5	1.6 ± 0.1	3.1 ± 0.5	3.3 ± 0.2	1.2 ± 0.6	2.0 ± 0.3
26:1*		0.1 ± 0.1	0.1 ± 0.1	0.1 ± 0.0	0.1 ± 0.0	0.3 ± 0.0	0.3 ± 0.0	0.1 ± 0.1	0.3 ± 0.0
Total % MUFA		21.5 ± 3.3	22.2 ± 0.2	23.6 ± 2.0	21.6 ± 1.3	20.1 ± 0.0	19.6 ± 0.5	29.7 ± 6.1	17.0 ± 0.8
<i>Polyunsaturates</i>									
16:2+16:3*		0.6 ± 0.0	0.4 ± 0.1	0.6 ± 0.2	0.5 ± 0.1	0.5 ± 0.0	0.3 ± 0.1	0.7 ± 0.1	0.6 ± 0.1
18:2(n-6)		2.6 ± 0.5	2.9 ± 0.8	2.6 ± 0.3	2.5 ± 0.2	1.7 ± 0.0	1.5 ± 0.1	2.8 ± 0.3	1.5 ± 0.1
18:2(n-3)		0.2 ± 0.0	0.2 ± 0.0	0.2 ± 0.1	0.2 ± 0.0	0.2 ± 0.0	0.1 ± 0.0	0.1 ± 0.0	0.2 ± 0.0
18:4*		4.1 ± 0.3	3.2 ± 0.3	3.2 ± 0.7	3.6 ± 0.4	3.6 ± 0.2	2.7 ± 0.2	3.6 ± 0.1	1.5 ± 0.1
20:2*		0.4 ± 0.0	0.4 ± 0.1	0.4 ± 0.2	0.4 ± 0.1	0.4 ± 0.1	0.4 ± 0.2	0.3 ± 0.0	0.4 ± 0.0
20:3*		0.2 ± 0.0	0.2 ± 0.1	0.2 ± 0.0	0.2 ± 0.0	0.1 ± 0.0	0.2 ± 0.1	0.2 ± 0.0	0.2 ± 0.0
20:4(n-6)		0.9 ± 0.3	1.5 ± 0.4	1.3 ± 0.3	1.2 ± 0.2	0.9 ± 0.5	0.7 ± 0.0	1.4 ± 0.1	1.2 ± 0.3
20:4(n-3)		0.7 ± 0.0	0.6 ± 0.1	0.7 ± 0.2	0.7 ± 0.1	0.7 ± 0.0	0.9 ± 0.1	0.8 ± 0.2	0.4 ± 0.0
20:5(n-3)		12.6 ± 2.3	14.4 ± 0.5	13.4 ± 0.8	14.9 ± 0.6	12.3 ± 0.4	12.6 ± 1.7	13.9 ± 0.2	12.9 ± 1.2
22:4*		0.1 ± 0.0	0.1 ± 0.0	0.2 ± 0.1	0.1 ± 0.0	0.2 ± 0.1	0.2 ± 0.1	0.1 ± 0.0	0.2 ± 0.0
22:5*		1.3 ± 0.0	1.9 ± 0.4	1.6 ± 0.1	1.6 ± 0.1	2.2 ± 0.2	2.2 ± 1.0	1.6 ± 0.3	2.1 ± 0.1
22:6(n-3)		23.0 ± 0.8	27.6 ± 2.2	24.1 ± 3.8	28.5 ± 0.2	30.6 ± 1.8	35.3 ± 3.5	21.6 ± 0.9	32.7 ± 1.4
Total % PUFA		46.7 ± 2.7	53.5 ± 2.2	48.4 ± 4.7	54.5 ± 0.7	53.6 ± 0.7	57.1 ± 6.1	47.1 ± 0.4	53.9 ± 3.0
<i>Branched & odd-chain</i>									
15:0i		0.3 ± 0.1	0.2 ± 0.0	0.3 ± 0.1	0.2 ± 0.1	0.2 ± 0.0	0.1 ± 0.0	0.2 ± 0.1	0.1 ± 0.0
15:0a		0.1 ± 0.0	0.1 ± 0.0	0.1 ± 0.0	0.1 ± 0.0	0.2 ± 0.0	0.1 ± 0.0	0.1 ± 0.0	0.1 ± 0.0
15:0		0.8 ± 0.2	0.5 ± 0.0	0.7 ± 0.2	0.6 ± 0.2	0.6 ± 0.0	0.4 ± 0.1	0.5 ± 0.1	0.6 ± 0.1
16:0a		0.2 ± 0.0	0.1 ± 0.0	0.2 ± 0.1	0.1 ± 0.0	0.2 ± 0.0	0.1 ± 0.0	0.3 ± 0.0	0.1 ± 0.0
17:0a		0.7 ± 0.2	0.6 ± 0.0	0.6 ± 0.0	0.5 ± 0.0	0.7 ± 0.1	0.6 ± 0.1	0.4 ± 0.0	0.5 ± 0.1
17:0		1.5 ± 0.9	0.9 ± 0.1	0.9 ± 0.1	0.9 ± 0.0	1.0 ± 0.0	1.4 ± 0.5	0.6 ± 0.1	1.3 ± 0.1
17:1*		0.7 ± 0.0	0.6 ± 0.1	0.7 ± 0.1	0.6 ± 0.0	0.5 ± 0.0	0.4 ± 0.0	0.6 ± 0.0	0.4 ± 0.0
17:2*		0.1 ± 0.0	0.1 ± 0.0	0.1 ± 0.0	0.1 ± 0.0	0.1 ± 0.0	0.1 ± 0.0	0.1 ± 0.0	0.1 ± 0.0
18:0a		0.6 ± 0.0	0.5 ± 0.1	0.5 ± 0.1	0.6 ± 0.0	0.7 ± 0.0	0.4 ± 0.1	0.5 ± 0.2	0.4 ± 0.0
21:0		0.2 ± 0.1	0.2 ± 0.0	0.1 ± 0.0	0.1 ± 0.0	0.2 ± 0.0	0.2 ± 0.1	0.1 ± 0.0	0.1 ± 0.0
23:0		0.2 ± 0.2	0.3 ± 0.1	0.3 ± 0.1	0.2 ± 0.0	0.3 ± 0.0	0.4 ± 0.2	0.2 ± 0.0	0.2 ± 0.0
Total % BrFA		5.5 ± 1.6	3.9 ± 0.1	4.5 ± 0.3	4.0 ± 0.4	4.7 ± 0.2	4.2 ± 1.2	3.7 ± 0.5	4.0 ± 0.4

+: composite samples used for analysis

*: all isomers included

SFA: Saturated fatty acids, MUFA: Monounsaturated fatty acids, PUFA: Polyunsaturated fatty acids, BrFA: Branched and odd chain fatty acids

Table 4. Relative abundance (with standard deviations) of FA for *Sagitta nage* in spring and summer, 2013

Season	Spring				Summer				
	Station	NO (n = 2) ⁺	NN (n = 2) ⁺	SO (n = 2) ⁺	SN (n = 2) ⁺	NO (n = 1) ⁺	NN (n = 2) ⁺	SO (n = 2) ⁺	SN (n = 2) ⁺
<i>n-Saturates</i>									
14:0		1.3 ± 0.4	1.2 ± 0.3	1.9 ± 0.6	2.1 ± 1.3	0.8	2.4 ± 0.9	2.6 ± 0.9	4.8 ± 0.8
16:0		14.2 ± 0.0	17.7 ± 1.6	14.7 ± 0.9	21.3 ± 7.5	12.7	14.4 ± 1.5	19.5 ± 0.7	13.6 ± 3.0
18:0		3.2 ± 1.1	4.1 ± 1.1	3.4 ± 0.5	2.3 ± 0.3	7.4	5.1 ± 0.0	6.8 ± 1.1	3.6 ± 1.2
20:0		0.3 ± 0.1	0.3 ± 0.0	0.3 ± 0.1	0.2 ± 0.1	1.1	0.5 ± 0.1	0.5 ± 0.0	0.4 ± 0.2
22:0		0.2 ± 0.1	0.2 ± 0.1	0.3 ± 0.1	0.2 ± 0.0	0.9	0.3 ± 0.0	0.4 ± 0.1	0.4 ± 0.2
24:0		0.2 ± 0.2	0.2 ± 0.1	0.3 ± 0.1	0.1 ± 0.1	1.1	0.4 ± 0.0	0.5 ± 0.1	0.4 ± 0.2
Total % SFA		19.4 ± 1.8	23.8 ± 2.2	20.9 ± 2.4	26.2 ± 8.4	24.0	23.0 ± 2.3	30.2 ± 1.5	23.2 ± 5.6
<i>Monounsaturates</i>									
16:1(n-9)		0.1 ± 0.0	0.1 ± 0.0	0.1 ± 0.0	0.2 ± 0.1	0.1	0.2 ± 0.0	0.2 ± 0.0	0.2 ± 0.0
16:1(n-7)		2.4 ± 0.1	2.9 ± 0.8	2.5 ± 0.2	2.2 ± 0.9	1.6	3.6 ± 0.4	3.6 ± 1.0	4.7 ± 0.9
16:1(n-5)		0.3 ± 0.0	0.3 ± 0.1	0.3 ± 0.0	0.3 ± 0.1	0.2	0.4 ± 0.1	0.1 ± 0.0	0.5 ± 0.1
18:1(n-9)		10.1 ± 0.9	11.8 ± 1.3	10.1 ± 1.0	13.3 ± 0.0	6.2	7.0 ± 0.1	6.4 ± 0.7	6.8 ± 0.4
18:1(n-7)		3.5 ± 1.5	4.4 ± 1.1	2.7 ± 0.3	4.8 ± 1.1	0.9	1.7 ± 0.1	1.6 ± 0.0	2.4 ± 1.0
18:1(n-5)		0.3 ± 0.1	0.5 ± 0.2	0.4 ± 0.0	0.3 ± 0.0	0.4	0.6 ± 0.0	0.2 ± 0.0	0.3 ± 0.1
20:1(n-11)		1.5 ± 0.5	0.9 ± 0.5	1.4 ± 0.5	0.7 ± 0.4	0.6	0.7 ± 0.2	0.6 ± 0.0	6.2 ± 1.2
20:1(n-9)		0.2 ± 0.0	0.3 ± 0.1	0.2 ± 0.1	0.2 ± 0.1	0.2	0.2 ± 0.0	0.2 ± 0.0	0.8 ± 0.8
20:1(n-7)		0.2 ± 0.1	0.3 ± 0.1	0.2 ± 0.0	0.1 ± 0.0	0.6	0.6 ± 0.1	0.2 ± 0.0	0.1 ± 0.1
22:1(n-11)		1.9 ± 0.6	0.3 ± 0.0	1.2 ± 0.1	0.2 ± 0.1	0.4	0.9 ± 0.1	0.5 ± 0.1	11.6 ± 2.5
22:1(n-9)		0.1 ± 0.1	0.2 ± 0.1	0.1 ± 0.0	0.1 ± 0.0	0.3	0.4 ± 0.1	0.2 ± 0.0	1.0 ± 1.2
24:1(n-9)		1.7 ± 0.7	1.4 ± 0.2	1.9 ± 0.5	0.6 ± 0.5	4.7	2.9 ± 0.0	1.9 ± 0.4	2.6 ± 0.5
26:1*		0.2 ± 0.1	0.3 ± 0.3	0.2 ± 0.0	0.1 ± 0.1	0.6	0.2 ± 0.0	0.3 ± 0.0	0.2 ± 0.1
Total % MUFA		22.5 ± 2.4	23.7 ± 4.3	21.3 ± 0.5	23.0 ± 1.1	16.7	19.2 ± 0.1	15.8 ± 0.6	37.4 ± 1.1
<i>Polyunsaturates</i>									
16:2+16:3*		0.4 ± 0.1	0.8 ± 0.4	0.4 ± 0.1	0.5 ± 0.1	0.3	0.6 ± 0.0	0.7 ± 0.1	1.4 ± 0.6
18:2(n-6)		2.6 ± 0.2	2.7 ± 0.3	2.5 ± 0.3	3.3 ± 0.1	1.5	1.8 ± 0.0	1.5 ± 0.0	2.0 ± 0.1
18:2(n-3)		0.2 ± 0.0	0.5 ± 0.4	0.2 ± 0.1	0.2 ± 0.0	0.2	0.2 ± 0.0	0.2 ± 0.0	0.4 ± 0.3
18:4*		3.2 ± 0.0	2.3 ± 1.1	3.0 ± 0.0	2.9 ± 0.0	1.9	4.0 ± 0.1	1.6 ± 0.0	2.9 ± 0.7
20:2*		0.5 ± 0.1	0.4 ± 0.0	0.5 ± 0.0	0.4 ± 0.1	0.4	0.3 ± 0.0	0.3 ± 0.0	0.5 ± 0.2
20:3*		0.3 ± 0.1	0.2 ± 0.0	0.2 ± 0.0	0.2 ± 0.0	0.2	0.2 ± 0.0	0.2 ± 0.0	0.1 ± 0.1
20:4(n-6)		1.5 ± 0.4	1.0 ± 0.7	1.2 ± 0.1	1.6 ± 0.0	0.8	0.6 ± 0.1	1.1 ± 0.0	0.7 ± 0.0
20:4(n-3)		0.7 ± 0.1	0.6 ± 0.1	0.8 ± 0.0	0.5 ± 0.1	0.5	0.8 ± 0.0	0.4 ± 0.0	0.8 ± 0.2
20:5(n-3)		14.7 ± 1.6	16.9 ± 0.8	14.2 ± 0.9	13.5 ± 1.9	10.0	12.4 ± 0.9	11.1 ± 0.9	10.2 ± 3.5
22:4*		0.1 ± 0.0	ND	0.1 ± 0.0	0.1 ± 0.0	0.4	0.2 ± 0.0	0.2 ± 0.1	0.2 ± 0.1
22:5*		1.7 ± 0.0	1.4 ± 0.0	1.0 ± 0.4	1.3 ± 0.6	2.6	2.2 ± 0.2	2.0 ± 0.7	1.5 ± 0.1
22:6(n-3)		28.6 ± 2.5	21.2 ± 6.8	29.7 ± 2.1	22.0 ± 7.7	35.3	29.5 ± 1.0	30.5 ± 2.8	14.3 ± 1.8
Total % PUFA		54.1 ± 0.1	52.7 ± 7.3	49.7 ± 2.1	35.1 ± 10.2	54.5	48.1 ± 2.3	53.8 ± 2.7	46.5 ± 5.3
<i>Branched & odd-chain</i>									
15:0i		0.1 ± 0.1	0.1 ± 0.0	0.2 ± 0.0	0.2 ± 0.1	0.1	0.2 ± 0.1	0.2 ± 0.1	0.4 ± 0.1
15:0a		0.1 ± 0.0	0.1 ± 0.0	0.1 ± 0.0	0.1 ± 0.0	0.1	0.2 ± 0.1	0.1 ± 0.0	0.2 ± 0.0
15:0		0.4 ± 0.1	0.4 ± 0.0	0.6 ± 0.1	0.6 ± 0.3	0.5	0.6 ± 0.1	0.8 ± 0.1	0.7 ± 0.1
16:0a		0.1 ± 0.0	0.4 ± 0.3	0.1 ± 0.0	0.1 ± 0.1	0.1	0.1 ± 0.0	0.1 ± 0.0	0.3 ± 0.1
17:0a		0.5 ± 0.1	0.7 ± 0.1	0.6 ± 0.0	0.7 ± 0.1	0.6	0.9 ± 0.2	0.6 ± 0.0	0.4 ± 0.1
17:0		0.8 ± 0.3	0.9 ± 0.0	1.0 ± 0.0	0.8 ± 0.0	1.6	1.1 ± 0.1	1.4 ± 0.2	0.7 ± 0.2
17:1*		0.6 ± 0.0	0.7 ± 0.1	0.6 ± 0.1	0.8 ± 0.2	0.4	0.6 ± 0.0	0.4 ± 0.1	0.5 ± 0.1
17:2*		0.1 ± 0.0	0.1 ± 0.0	0.1 ± 0.0	0.1 ± 0.0	0.1	0.1 ± 0.0	0.1 ± 0.0	0.1 ± 0.0
18:0a		0.5 ± 0.0	0.4 ± 0.1	0.5 ± 0.0	0.6 ± 0.1	0.5	0.7 ± 0.0	0.3 ± 0.1	0.3 ± 0.0
21:0		0.1 ± 0.0	0.5 ± 0.4	0.1 ± 0.1	0.1 ± 0.0	0.4	0.2 ± 0.0	0.1 ± 0.0	0.2 ± 0.1
23:0		0.2 ± 0.1	0.3 ± 0.0	0.2 ± 0.1	0.2 ± 0.0	0.8	0.4 ± 0.0	0.2 ± 0.0	0.4 ± 0.2
Total % BrFA		3.6 ± 0.8	4.5 ± 0.7	4.1 ± 0.3	4.3 ± 0.8	5.2	5.1 ± 0.1	4.3 ± 0.6	4.3 ± 0.9

+: composite samples used for analysis

*: all isomers included, ND: Not detected

SFA: Saturated fatty acids, MUFA: Monounsaturated fatty acids, PUFA: Polyunsaturated fatty acids, BrFA: Branched and odd chain fatty acids

(Monounsaturated fatty acids; MUFA), 다 불포화 지방산 (Polyunsaturated fatty acids; PUFA)과 iso와 anteiso를 포함한 탄소사슬의 수가 홀수 형태의 지방산(Branched and odd chain fatty acids; BrFA)을 함유하고 있었다. 다 불포화 지방산(PUFA)이 전체 지방산 그룹의 약 50%로 가장 우점하였으며, SFA와 MUFA의 구성비도 높게 나타났다 (Table 3, 4).

*S. crassa*의 체내에는 지방산 16:0(Palmitic acid; 14.9 ± 2.7%), 20:5(n-3)(Eicosapentaenoic acid: EPA; 13.4 ± 1.3%)과 22:6(n-3)(Docosahexanoic acid: DHA; 27.9 ± 5.0%)이 가장 우점하였으며, 요각류 지방산 지시자인 20:1(n-9)(Gadoleic acid; 0.2 ± 0.1%)과 22:1(n-11)(Cetoleic acid; 2.4 ± 2.4%)도 미량 검출되었다(Sargent and Falk-Petersen 1981; Graeve et al. 1994a; Kattner and Hagen 1995). 다 불포화 지방산 중 22:6(n-3)은 정점 NO와 SO(24.8 ± 4.1%)에 비해 정점 NN과 SN(31.0 ± 3.7%)에서 비교적 높은 특징을 보였으며, 정점 SO에서 채집된 *S. crassa*에서는 요각류 지방산 지시자인 22:1(n-11)이 6.8 ± 4.6%로 다른 계절과 지역에 비해 높은 특징을 보였다. *S. nagae*에서는 지방산 구성 중 22:6(n-3)이 25.8 ± 6.9%로 가장 우점하였으며, 16:0(16.2 ± 3.7%)와 20:5(n-3)(13.1 ± 2.6%)도 높은 구성비를 보였다. 또한, 20:1(n-9)(0.3 ± 0.3%)와 22:1(n-11)(2.2 ± 3.9%)도 소량 검출되었다. 정점 SO의 *S. nagae*에서 22:1(n-11)이 11.6 ± 2.5%로 *S. crassa*와 유사하게 높은 값을 보였다. 그러나, 22:6(n-3)은 정점 NN과 SN (21.7 ± 7.0%)보다 정점 NO와 SO(30.4 ± 2.9%)에서 높게 나타났다(Table 3, 4).

4. 토 의

모악류는 먹이생물(주로 동물플랑크톤)의 움직임으로 발생한 주변의 진동을 감각모(sensory hair)로 감지하여 강모(hook)로 먹이생물을 포획·섭식하는 것으로 알려져 있다(Feigenbaum and Reeve 1977; Frid et al. 1994; Saito and Kiørboe 2001; Nomura et al. 2007). Nomura et al. (2007)에 따르면, 일본 도쿄 만에 서식하는 모악류 *S. crassa*는 동물플랑크톤 중 우점하는 *Oithona davisae*를 주로 섭식하는 것으로 나타났으며, 이는 모악류가 비교적 움직임이 많은 먹이를 쉽게 감지할 수 있기 때문인 것으로 보고하고 있다. 또한 Nagasawa and Marumo (1972, 1976, 1984)의 연구에서도 모악류(*S. crassa*와 *S. nagae*)의 위 내용물 대부분이 요각류(*Acartia* spp., *Calanus* spp.와 *Oithona* spp.)인 것으로 나타났다. 선행 연구와 유사하게 본 연구에서도 모악류의 위 내용물에서 주로 요각류가 발견되었는데, 이는 채집시기에 황해에서 가장 우점하여 출현하는 요각류를 모악류가 쉽게 감지하여 포식하는 것으

로 여겨진다. 하지만 섭식한 먹이생물의 형태나 성분에 따라 그 소화정도에 차이가 있다. 예를 들면, 모악류가 요각류를 섭식하여 소화하는데 약 2-5시간 가량 소요되며 (Parry 1944; Nagasawa and Marumo 1976), 지각류와 같이 부드러운 먹이생물은 1시간 이내에 소화가 이루어진다 (Grey 1930). 그러므로 채집된 모악류가 언제 포식활동을 하였으며 어떤 먹이생물을 섭식하였는지에 따라 위 내용물의 FCR과 구성에 차이가 있을 수 있다. 특히, 일부 모악류 위 내용물에서 현존량이 적은 지각류가 검출되었음에도 불구하고, 이 결과만으로 모악류의 지각류에 대한 먹이 선호도(영양적 가치, 포획 용이도 등)로 단정지을 수는 없다(Mironove 1960; Rakusa-Suszczewski 1969; Nagasawa and Marumo 1972; Lagergren 2000). 더구나, ‘Cod-end feeding’ 효과로 인하여 채집 과정에서의 포식활동도 무시할 수 없다. 따라서, 위 내용물만으로 자연 환경에서 섭식한 먹이를 정확히 이해하는 것에는 한계가 있다(Sullivan 1980; Feigenbaum 1991).

앞서 언급한 위 내용물 분석의 단점은 모악류의 지방산 분석 결과를 통해 보완할 수 있을 것이다. 특히, 황해 모악류의 지방산 구성에서 식물플랑크톤 중 규조류 지방산 지시자인 16:1(n-7)과 20:5(n-3)(Nichols et al. 1993) 그리고 와편모조류 및 섬모충류의 지방산 지시자인 22:6(n-3)(Graeve et al. 1994b)가 우점하여 나타났다. 황해 모악류와 남극 모악류의 지방산 구성은 유사하게 나타나며, 남극 모악류는 초식성 요각류의 섭식을 통해 체내에 이러한 지방산들을 축적함으로써 나타난 것으로 추정하고 있다 (Kruse et al. 2010). 또 다른 먹이 지시 지방산 중 20:1(n-9)와 22:1(n-11)은 요각류 중 칼라노이드 계열의 요각류 지방산 지시자로 알려져 있으며(Graeve et al. 1994a; Kattner and Hagen 1995), 이러한 지방산은 황해 모악류에서도 일부 검출되었다. 또한, 육식성 요각류도 초식성 요각류의 섭식을 통해 식물플랑크톤 지방산 지시자인 16:1(n-7)의 많은 양을 체내에 축적하는 것으로 알려져 있다(Hagen et al. 1995; Kruse et al. 2010). 따라서, 황해 모악류에서 우점하여 출현한 식물플랑크톤 지방산 지시자(16:1(n-7), 20:5(n-3)과 22:6(n-3))는 모악류에 의한 식물플랑크톤의 직접적인 섭식보다는 중형플랑크톤 (mesoplankton) 중 초식성 또는 육식성 요각류의 섭식을 통해 간접적으로 모악류의 체내에 축적된 것으로 여겨지며, 이는 위 내용물 결과를 뒷받침해 주고 있다. 그러나, 칼라노이드 계열의 요각류가 생합성하여 저장하는 지방산 20:1(n-9)와 22:1(n-11)은 종과 환경에 따라 저장량에 차이가 있으며(Falk-Petersen et al. 1987; Katter et al. 1989; Albers et al. 1996; Scott et al. 2002; Dalsgaard et al. 2003), 이들 지방산이 포식자 체내에 축적될 때에도 정량적인 변화가 나타날 수 있기 때문에 포식자 체내에서 검

출된 이들 지방산의 양이 먹이생물(요각류)을 정량적으로 지시하지는 않는다(Dalsgaard et al. 2003). 요각류 뿐 만 아니라 지각류도 식물플랑크톤을 주로 섭식하는 초식성 동물플랑크톤으로서(Turner et al. 1988), 위 내용물 분석에서 나타난 바와 같이 모악류가 요각류 뿐 만 아니라 지각류를 섭식하여 체내에 식물플랑크톤 기원 지방산이 축적되었을 것으로도 추측 할 수 있다.

춘·하계의 식물플랑크톤 구성의 차이(춘계 = 규조류 우점, 하계 = 와편모조류 우점)를 나타냄에도 불구하고(KIOST 2014), 모악류의 지방산 구성에서는 계절에 관계 없이 와편모조류와 섬모충류 기원인 DHA가 규조류 기원의 EPA보다 높은 구성비를 보였다. 이는 모악류의 먹이생물인 초식성 요각류가 규조류보다는 DHA를 많이 함유하고 있는 와편모조류 또는 섬모충류를 선호하여 섭식함(Wiadnyana and Rassoulzadegan 1989; Meyer-Harms et al. 1999)으로서 먹이사슬을 통하여 모악류 체내에 DHA가 축적되었음을 추정할 수 있다. 또한, 춘·하계의 황해 동물플랑크톤을 크기별(0.2–0.5 mm, 0.5–1.0 mm, 1.0–2.0 mm, 2.0–5.0 mm)로 분류하여 지방산을 분석한 결과, 두 그룹(0.5–1.0 mm와 1.0–2.0 mm)의 동물플랑크톤(copepodite, laval krill, *oithona* spp. *corycaeus* spp.) 지방산 구성이 황해 모악류의 지방산 구성과 유사하게 나타났다(KIOST 2014).

이러한 모악류의 위 내용물과 지방산 결과를 통해 황해 모악류는 먹이생물로 다양한 동물플랑크톤을 섭식하는 것으로 보이며, 특히 요각류를 주로 포식하는 것으로 여겨진다. 따라서, 계절적인 모악류의 번성이나 개체군 변화가 모악류의 섭식 활동에 의한 먹이생물의 군집과 개체수에 영향을 미쳐 황해의 부유생태계 구조 및 기능을 변화시킬 뿐만 아니라, 같은 영양단계에 있는 다른 포식자(자치어)와도 먹이경쟁을 할 것으로 추정된다. 하지만 이를 뒷받침하기 위해서는 향후 현장 섭식 실험과 모악류의 번성시기에 동물플랑크톤 군집 구조를 정밀하게 살필 필요가 있다. 또한 모악류가 섭식한 먹이에 관한 종 수준까지의 정보를 알기 위해서는 위 내용물의 유전자 분석과 먹이생물로 고려되는 요각류 및 지각류의 종별 지방산 분석을 추가하여 모악류의 섭식 생태에 관한 더 정확한 정보를 얻는 것이 중요하다.

추가적으로 연구해역에서 모악류의 주요 먹이원으로 고려되는 요각류의 군집구성은 춘계에 *Corycaeus affinis*, *Pseudocalanus minutus*와 *Calanus sinicus* 순으로 우점하여 나타났으며, 하계에는 전반적으로 *Scolecithrix minor*와 *C. sinicus*가 우점하여 나타났다(KIOST 2015). 춘·하계 모두 출현한 요각류는 *Acartia hongii*, *C. sinicus*, *Oithona atlantica*, *O. similis*, *Corycaeus erythraeus*와 *C. affinis*이며, 이 중 *C. sinicus*는 춘계와 하계 모두 전 정점에 걸쳐

Table 5. Spearman rank's correlation coefficients (r_s) between abundance of chaetognaths and copepods in spring and summer, 2013

		Chaetognatha	
		<i>Sagitta crassa</i>	<i>Sagitta nageae</i>
Copepoda	<i>Calanus sinicus</i>	NS	0.925**
	<i>Scolecithrix minor</i>	0.737*	NS
	<i>Oithona atlantica</i>	NS	0.844*
	<i>O. similis</i>	NS	0.778*
	<i>Corycaeus erythraeus</i>	NS	0.958***

Asterisks (*) indicate the level of significant correlation: $p < 0.05$ (*), $p < 0.01$ (**), $p < 0.001$ (***). NS: not significant
NS: not significant

고루 분포하였다. 이러한 요각류의 계절적 군집 분포 양상과 모악류의 출현 양상에서 이들의 피·포식관계가 나타나는지 살펴보기 위해, 같은 시기와 정점에서 출현한 모악류(*S. crassa*와 *S. nageae*)와 요각류의 개체수 간의 관계를 Spearman's rank correlation coefficient(r_s)을 이용하여 확인하였다. 그 결과 *S. nageae*는 *C. sinicus*, *O. similis*, *O. atlantica* 그리고 *C. erythraeus*와 높은 양의 상관관계를 보였다. 이는 위 내용물 및 지방산 분석 결과에서도 나타났듯이 *S. nageae*가 현장에 우점하여 출현하는 다양한 요각류를 섭식하고 있기 때문인 것으로 판단 할 수 있다. 반면에 *S. crassa*의 경우는 *S. nageae*와 달리 한 종의 요각류(*S. minor*)와만 양의 상관성을 보였다(Table 5). 비록 두 모악류가 유사한 요각류 종들(*Calanus* spp.와 *Oithona* spp.)을 섭식하는 것으로 보고되고 있지만(Murakami 1959; Nagasawa and Marumo 1976; Nomura et al. 2007), 이러한 요각류와의 상관관계에서 두 모악류 간의 차이는 같은 지역과 시기에 먹이경쟁이나 환경조건에 따른 생태적 지위(ecological niche)의 차이로 인한 것으로도 볼 수 있다. 하지만 본 연구는 조사시기 및 정점 수 그리고 채집 방법(전 수층) 등 시·공간적으로 매우 제한적인 자료만을 이용하여 두 모악류 사이의 주요 먹이생물종(요각류)에 대한 차이를 설명하기에는 어려움이 있으며, 이를 더 명확히 이해하기 위해서는 광역적이고 장기적인 시료의 확보가 필요하다.

5. 결 론

황해 모악류와 생물 간의 공간적 분포 특성에서 *S. nageae*는 다양한 요각류와 상관관계를 보였으나, *S. crassa*의 경우는 요각류 종과 출현량 사이에 뚜렷한 상관관계가 없는 것으로 나타났다. 위 내용물 분석에서 두 종간의 FCR은 뚜렷한 차이가 없었으며, 두 종 모두 위 내용물 구

성 중 요각류가 가장 높은 비율을 차지하고 있었다. *S. crassa*와 *S. nage*의 지방산 구성은 중간 유사하게 나타났다. 특히 식물플랑크톤 지방산 지시자가 우점하였고, 칼라노이드 계열의 요각류 지방산 지시자도 일부 검출되었다. 이러한 모악류의 위 내용물과 지방산 지시자의 결과를 통해서 황해 모악류는 요각류를 주요 먹이원으로 활용하는 것으로 보이며, 따라서 황해 모악류는 포식자로서 동물플랑크톤(특히, 요각류) 군집에 영향을 줄 가능성이 있다.

사 사

본 연구를 위해 현장 탐사에 도움을 주신 이어도호 선원들과 유전자 분석 자료의 해석에 도움을 주신 김세주 박사님께 감사드립니다. 본 연구는 한국해양과학기술원 주요연구사업(PE99233, PE99397)의 지원을 받아 수행되었습니다.

참고문헌

- Albers CS, Kattner G, Hagen W (1996) The composition of wax esters, triacylglycerols and phospholipids in Arctic and Antarctic copepods: evidence of energetic adaptations. *Mar Chem* **55**:347–358
- Baier CT, Purcell JE (1997) Trophic interaction of chaetognaths, larval fish, and zooplankton in the South Atlantic Bight. *Mar Ecol-Prog Ser* **146**:43–53
- Bautista B, Harris RP (1992) Copepod gut contents, ingestion rates and grazing impact on phytoplankton in relation to size structure of zooplankton and phytoplankton during a spring bloom. *Mar Ecol-Prog Ser* **82**:41–50
- Bligh EG, Dyer WJ (1959) A rapid method of total lipid extraction and purification. *Can J Biochem Phys* **37**:911–917
- Boyd CM, Heyraud M, Boyd CN (1984) Feeding of the Antarctic krill *Euphausia superba*. *J Crustacean Biol* **4**:123–141
- Carabel S, Godínez-Domínguez E, Verísimo P, Fernández L, Freire J (2006) An assessment of sample processing methods for stable isotope analyses of marine food web. *J Exp Mar Biol Ecol* **336**:254–261
- Chícharo MA (1998) Nutritional condition and starvation in *Sardina pilchardus* (L.) larvae off southern Portugal compared with some environmental factors. *J Exp Mar Biol Ecol* **225**:123–137
- Chihara M, Murano M (1997) An illustrated guide to marine plankton in Japan. Tokyo University, Tokyo, 1574 p
- Dalsgaard J, St. John M, Kattner G, Müller-Navarra D, Hagen W (2003) Fatty acid trophic markers in the pelagic marine environment. *Adv Mar Biol* **46**:225–340
- El-Sabaawi R, Dower JF, Kainz M, Mazumder A (2009) Characterizing dietary variability and trophic positions of coastal calanoid copepods: insight from stable isotopes and fatty acids. *Mar Biol* **156**:225–237
- Falk-Petersen S, Sargent JR, Tande KS (1987) Lipid composition of zooplankton in relation to the sub-Arctic food web. *Polar Biol* **8**:115–120
- Falk-Petersen S, Hagen W, Kattner G, Clarke A, Sargent J (2000) Lipids, trophic relationships, and biodiversity in Arctic and Antarctic krill. *Can J Fish Aquat Sci* **57**:178–191
- Feigenbaum DL (1991) Food and feeding behaviour. In: Barker GM (ed) *The biology of terrestrial molluscs*. Oxford University Press, Oxford, pp 259–288
- Feigenbaum DL, Reeve M (1977) Prey detection in the Chaetognatha: response to a vibrating probe and experimental determination of attack distance in large aquaria. *Limnol Oceanogr* **22**(6):1052–1058
- Feigenbaum DL, Maris RC (1984) Feeding in the Chaetognatha. *Oceanogr Mar Biol* **22**:343–392
- Frid CLJ, Newton LC, Williams JA (1994) The feeding rates of *Pleurobrachia* (Ctenophora) and *Sagitta* (Chaetognaths), with notes on the potential seasonal role of planktonic predators in the dynamics of North Sea zooplankton communities. *Neth J Aquat Ecol* **28**(2):181–191
- Graeve M, Hagen W, Kattner G (1994a) Herbivorous or omnivorous? On the significance of lipid compositions as trophic markers in Antarctic copepods. *Deep-Sea Res PT I* **41**(5):915–924
- Graeve M, Kattner G, Hagen W (1994b) Diet-induced changes in the fatty acid composition of Arctic herbivorous copepods: experimental evidence of trophic markers. *J Exp Mar Biol Ecol* **182**:97–110
- Grey BB (1930) Chaetognatha from the society islands. *Proc R Soc Q* **42**:62–67
- Hagen W, Kattner G, Graeve M (1995) On the lipid biochemistry of polar copepods: compositional differences in the Antarctic calanoids *Euchaeta antarctica* and *Euchirella rostromagna*. *Mar Biol* **123**:451–457
- Harris R, Wiebe P, Lenz J, Skjoldal HR, Huntley M (2000) ICES zooplankton methodology manual. Academic Press, San Diego, 684 p
- Hopkins TL (1985) Food web of an antarctic midwater ecosystem. *Mar Biol* **89**:197–212
- Hopkins TL, Torres JJ (1989) Midwater food web in the vicinity of a marginal ice zone in the western Weddell

- Sea. Deep-Sea Res **36**:543–560
- Hwang HJ, Choi JK (1993) Seasonal characteristics of zooplankton community in the mid-eastern part of the Yellow Sea. J Oceanol Soc Korea **28**(1):24–34
- Ju SJ, Harvey HR (2004) Lipids as markers of nutritional condition and diet in the Antarctic krill *Euphausia superba* and *Euphausia crystallophias* during austral winter. Deep-Sea Res PT II **51**:2199–2214
- Ju SJ, Ko AR, Lee CR (2011) Latitudinal variation of nutritional condition and diet for copepod species, *Euchaeta* sp. and *Pleuromamma* spp., from the northwest Pacific Ocean using lipid biomarkers. Ocean Polar Res **33**(3):349–358
- Jung CS (1989) The study of the distribution of chaetognaths in the mid part of the Yellow Sea. M.D. Thesis, Inha University, 87 p
- Kattner G, Hagen W (1995) Polar herbivorous copepods different pathways in lipid biosynthesis. ICES J Mar Sci **52**:329–335
- Kattner G, Krause M (1989) Seasonal variation of lipids (wax esters, fatty acids and alcohols) in calanoid copepods from the North Sea. Mar Chem **26**:261–275
- Kehayias G, Michaloudi E, Koutrakis E (2005) Feeding and predation impact of chaetognaths in the north Aegean Sea (Strymonikos and Ierissos Gulfs). J Mar Biol Assoc UK **85**(6):1525–1532
- KIOST (2014) The study on the impact of the Yellow Sea bottom cold water mass to the ecosystem. KIOST, BSPE99165-10334-7, 165 p
- KIOST (2015) The study on the impact of the Yellow Sea bottom cold water mass to the ecosystem. KIOST, BSPE99233-10604-3, 251 p
- Kirsch PE, Iverson SJ, Bowen WD, Kerr SR, Akman RG (1998) Dietary effects on the fatty acid signature of whole Atlantic cod (*Gadus morhua*). Can J Fish Aquat Sci **55**:1375–1386
- Ko AR, Kim MS, Ju SJ (2013) Understanding the nutritional sources of gastropods and anomura from the mangrove forest of Weno Island, Micronesia. Ocean Polar Res **35**(4):427–439
- Kruse S, Hagen W, Bathmann U (2010) Feeding ecology and energetics of the Antarctic chaetognaths *Eukrohnia hamata*, *E. bathypelagica* and *E. bathyantartica*. Mar Biol **157**:2289–2302
- Lagergren R, Lord H, Stenson AE (2000) Influence of temperature on hydrodynamic costs of morphological defences in zooplankton: experiments on models of Eubosmina (Cladocera). Funct Ecol **14**:380–387
- Lim DH, Yoon WD, Yang JY, Lee Y (2009) The seasonal fluctuation of zooplankton in the Yellow Sea. In: J Korean Soc Mar Environ Saf Conference. J Korean Soc Mar Environ Saf, Busan, pp 183–188
- Meyer-Harms B, Irigoien X, Head R, Harris R (1999) Selective feeding on natural phytoplankton by *Calanus finmarchicus* before, during, and after the 1997 spring bloom in the Norwegian Sea. Limnol Oceanogr **44**(1):154–165
- Mironove GN (1960) Feeding of plankton predators. II. Feeding of *Sagitta*. Tru Sevastopol Biol Sta **13**:78–88
- Mori T (1964) The pelagic copepoda from the neighbouring waters of Japan. The Soyo Company Inc., Ontario, 150 p
- Murakami A (1959) Marine biological study on the planktonic chaetognath in the Seto Inland Sea. Bull Nakai Reg Fish Res Lab **12**:1–186
- Nagasawa S, Marumo R (1972) Feeding of a pelagic chaetognath, *Sagitta naga* Alvario in Suruga Bay, Central Japan. J Oceanogr Soc Jpn **28**:181–186
- Nagasawa S, Marumo R (1976) Further studies on the feeding habits of *Sagitta naga* Alvario in Suruga Bay, Central Japan. J Oceanogr Soc Jpn **32**(5):209–218
- Nagasawa S, Marumo R (1984) Feeding habits and copulation of the chaetognath *Sagitta crassa*. La Mer Bull Soc Fr-Jap Oceanogr **22**:8–14
- Nichols DS, Nichols PD, Memeekin TA (1993) Polyunsaturated fatty acids in Antarctic bacteria. Antarct Sci **5**(2):149–160
- Nomura H, Aihara K, Ishimaru T (2007) Feeding of the chaetognath *Sagitta crassa* Tokioka in heavily eutrophicated Tokyo Bay, Japan. Plankt Benth Res **2**(3):120–127
- Park JS (1970) Chaetognaths and plankton in Korean waters. Bull Fish Res Dev Agen Korea **6**:1–167
- Park JS (1968) Chaetognaths and plankton in the Korean water 2. The distribution of chaetognaths in the Southern waters and their relation to the character of water masses in the summer 1967. Bull Fish Res Dev Agen Korea **3**:83–102
- Park JS (1973) The distribution of chaetognaths in the Korea strait and their relation to the character of water masses. J Oceanol Soc Korea **8**:22–32
- Park JS, Lee SS, Kang YS, Huh SH (1991) Distribution of indicator species of copepods and chaetognaths in the middle East Sea of Korea and their relationship to the characteristics of water mass. Bull Korean Fish Soc **24**(3):203–212
- Park JS, Lee SS, Kang YS, Lee BD, Huh SH (1992) Distribution of indicator species of copepods and chaetognaths in the southeastern area of the Yellow Sea and their relationship to the characteristics of water

- mass. Bull Korean Fish Soc **25**(4):251–264
- Parry DA (1944) Structure and function of the gut in *Spadella cephaloptera* and *Sagitta setosa*. J Mar Biol Assoc UK **26**:16–36
- Rakusa-Suszczewski S (1969) The food and feeding habits of Chaetognatha in the seas around the British Isles. Pol Arch Hydrobiol **16**:213–232
- Saito H, Kiørboe T (2001) Feeding rates in the chaetognath *Sagitta elegans*: effects of prey size, prey swimming behaviour and small-scale turbulence. J Plankton Res **23**(12):1385–1398
- Sargent JR, Falk-Petersen S (1981) Ecological investigations on the zooplankton community in Balsfjorden, Northern Norway : lipids and fatty acids in *Meganyctiphanes norvegica*, *Thysanoessa raschi* and *T. inermis* during mid-winter. Mar Biol **62**:131–137
- Sargent JR, Henderson RJ (1986) Lipids. In: Corner EDS, O'Hara SCM (eds) The biological chemistry of marine copepods. Clarendon Press, London, pp 59–108
- Schmit K, Atkinson A, Petzke KJ, Voss M, Pond DW (2006) Protozoans as a food source for Antarctic krill, *Euphausia superba*: complementary insights from stomach content, fatty acids, and stable isotopes. Limnol Oceanogr **51**(5):2409–2427
- Scott CL, Kwasniewski S, Falk-Petersen S, Sargent JR (2002) Species differences, origins and functions of fatty alcohols and fatty acids in the wax esters and phospholipids of *Calanus hyperboreus*, *C. glacialis* and *C. finmarchicus* from Arctic waters. Mar Ecol-Prog Ser **235**:127–134
- Sullivan BK (1980) In situ feeding behavior of *Sagitta elegans* and *Eukrohnia hamata* (Chaetognatha) in relation to the vertical distribution and abundance of prey at Ocean Station “P”. Limnol Oceanogr **25**(2):317–326
- Tamura K, Stecher G, Peterson D, Filipinski A, Kumar S (2013) MEGA6: Molecular Evolutionary Genetics Analysis version 6.0. Mol Biol Evol **30**:2725–2729
- Thompson JD, Gibson TJ, Plewniak F, Jeanmougin F, Higgins DG (1997) The Clustal X windows interface: flexible strategies for multiple sequence alignment aided by quality analysis tools. Nucleic Acids Res **24**:4876–4882
- Terazaki M (2005) Predation on anchovy larvae by a pelagic chaetognath, *Sagitta nagae* in the Sagami Bay, central Japan. Coast Mar Sci **29**(2):162–164
- Turner JT (1988) The marine cladoceran *Penilia avirostris* and the “microbial loop” of pelagic food webs. Limnol Oceanogr **33**(2):245–255
- Wiadnyana NN, Rassoulzadegan R (1989) Selective feeding of *Acartia clausi* and *Centropages typicus* on microzooplankton. Mar Ecol-Prog Ser **53**:37–45
- Yoo KI (1995) Illustrated encyclopedia of fauna and flora of Korea, Vol. 35. Marine zooplankton. Ministry of Education of Korea, 215 p
- Yoo KI, Kim WR (1996) Spatial distribution of Chaetognaths in the Yellow Sea in the summer. Korean J Environ Biol **14**(2):155–160
- Zhang B, Tang QS, Jin XS, Xue Y (2005) Feeding competition of the major fish in the East China Sea and the Yellow Sea. Curr Zool **51**(4):616–623

Received Jan. 12, 2016

Revised Feb. 18, 2016

Accepted Mar. 9, 2016