

**BSPM10040**

**서북극해에서 요각류의 섭식에 관한 연구**

**Trophic ecology of dominant Arctic zooplankter**

**상명대학교**



# 제 출 문

극지연구소장 귀하

본 보고서를 “2010년 북극해 해양조사 연구” 과제의 위탁연구 “서북극해에서  
요각류의 섭식에 관한 연구” 과제의 최종보고서로 제출합니다.

2011 . 05 . 26

총괄연구책임자	: 정 경 호
위탁연구기관명	: 상명대학교
위탁연구책임자	: Hans-Uwe Dahms
위탁참여연구원	: Mary Mar P. Noblezada

# 요 약 문

## I. 제 목

- 2010년 북극해 해양조사 연구 (서북극해에서 요각류의 섭식에 관한 연구)

## II. 연구개발의 목적 및 필요성

- 서북극해의 상층에서 요각류의 섭식생태에 관하여 이해하는데 그 목적이 있음
- 해빙지역 주변 및 서북극해에서 요각류의 영양생태를 연구하여 본 연구지역에서 여름기간 동안 주요 우점 부유생물인 요각류가 공간적 차이 (수평적, 수직적) 및 시간적 차이에 따른 섭식생태의 변화를 이해하고자 함

## III. 연구개발의 내용 및 범위

- 광학 현미경 및 주사전자현미경을 통한 북극 동물플랑크톤인 요각류 내 소화기관에서의 내용물 분석 및 엽록소 a 양 측정
- 현장 조사 및 실험실에서의 실험을 통하여 북극 동물플랑크톤 중 특히 중요성이 높은 요각류의 생태학적 진화학적 연구 실시
- 소화기관 내의 내용물 분석 결과를 토대로 서식환경 (수온, 광량 등)과의 상관관계를 분석

## IV. 연구개발 결과

- 전체 21종의 요각류의 소화기관 내용물을 형광분석방법을 통하여 색소분석을 실시한 결과 소형크기(<1mm) 요각류의 소화기관 내용물 엽록소양은  $0.85 \text{ ng Chl a individual}^{-1}$ 이었음
- 21종의 요각류의 소화기관 내 색소량은 수온과 음의 상관관계를 보였으며 조사해역의 엽록소의 양과는 양의 상관관계를 나타내었음
- 섭취 및 배출율은 크기가 큰 (>2mm) 요각류가 중간, 소형크기의 요각류에 비하여 의미 있는 결과를 보여주었음
- 요각류의 섭식 연구결과 본 연구지역에서의 요각류는 환경변화에 따라 다양

한 섭식형태를 보이고 있으며, 각기 다른 크기의 요각류가 다양한 식물플랑크톤을 섭취한다는 것을 확인하였음

- 소화기관 내의 내용물 및 색소분석 결과 각기 다른 크기의 요각류는 그들의 특성에 따라 각기 다른 종류의 먹이원을 선호한다는 것을 확인하였음

## **V. 연구개발 결과의 활용계획**

- 환경변화에 민감한 동물플랑크톤 지표종을 선정하여 환경변화 감지
- 동물플랑크톤 군집의 장기적 관찰을 통한 환경변화 모니터링

# SUMMARY

## I. Title

- Trophic ecology of dominant Arctic zooplankter

## II. Significances and Objectives of the Study

- To understand the feeding ecology of copepods in the upper water layers of the western Arctic Ocean
- Investigated the trophic ecology of copepods collected at the sea ice water interface and from the water column
- To understand the feeding ecology of copepods that dominate the plankton in the ARCTIC at different spatial and temporal scales during the summer season

## III. Contents of the Study

- The analysis of gut contents using microscopy (LM and SEM - at Sangmyung University) and the analysis of chlorophyll a gut contents
- Feeding experiments with algal cultures from the Arctic and other invertebrates
- To the ecology and evolution of zooplankton with particular emphasis on the Copepoda
- The analysis of their trophic biology and ecology by microscopic techniques (LM, TEM, SEM)
- Statistic analysis(correlation) between the gut pigment contents of copepod species and environmental parameters such as chlorophyll a concentration of ambient waters, seawater temperature and illumination (time of day/season)

## IV. Results of the Study

- Measured the gut pigment contents for 21 copepod species by the gut fluorescence method
- The gut chlorophyll a values of most small size copepod (< 1 mm) were lower than 0.85 ng Chl a individual<sup>-1</sup>. The highest gut pigment content was recorded in *Metridia longa* (7.31 ng Chl a individual<sup>-1</sup>).
- The gut pigment contents of 21 copepod species (including 27 samples and 987 individuals) estimated here represents a negative function of seawater temperature (Pearson correlation,  $r = -0.292$ ,  $p = 0.014$ ) and was positively correlated with the chlorophyll a concentration of ambient waters (Pearson correlation,  $r = 0.243$ ,  $p = 0.043$ ).
- Mean gut pigment content, ingestion and clearance rates (from 27 samples and 684 individuals) shows that larger copepods (> 2 mm) had significantly higher values than medium sized copepods (1-2 mm) and smaller sized copepods.
- The present study confirms that copepods obtained from the western Arctic were opportunistic feeders and the feeding on phytoplankton varied with different sized copepod groups.

## V. Suggestions for Applications

- To make an estimate of the environmental changes such as indicator species
- To Arctic ocean monitoring by change of zooplankton assemblage

# CONTENTS

**Abstract (Korean)**

**Chapter I . Introduction**

**Chapter II . Materials and Methods**

- A. Zooplankton Sampling
- B. Copepod size fraction, identification and enumeration
- C. Chlorophyll a extraction
- D. Copepod gut pigment contents

**Chapter III. Results**

- A. Copepod feeding apparatus
- B. Copepod gut contents
- C. Copepod gut chl a content

**Chapter IV. Discussion**

**Abstract (English)**

**Chapter V . References**

**Table**

**Figure**



# 목 차

## 국문 요약

### 제 1장 서론

### 제 2장 재료 및 방법

1. 동물플랑크톤 채집
2. 요각류의 크기별 동정 및 계수
3. 엽록소 a 추출
4. 요각류의 소화기관 내 색소 분석

### 제 3장 결과

1. 요각류의 섭식구조
2. 요각류의 소화기관 내 내용물
3. 요각류 소화기관 내 엽록소 a

### 제 4장 토의

## 영문요약

### 제 5장 참고문헌

## LIST of TABLES

- Table 1. Location, date, time, and depth of sampling stations in the western Arctic Ocean
- Table 2. Taxonomic composition and density (individuals/m<sup>3</sup>) of 21 copepod species (used for the gut content analyses) at each of sampling stations (n=19)
- Table 3. Comparisons of copepod abundances, feeding impacts, mesh size, and feeding primary production values at different study sites from the literature. <sup>a</sup> Included copepodids. <sup>b</sup> units: x 10<sup>3</sup> individuals/m<sup>3</sup>. <sup>c</sup> Included only calanoid copepods

## LIST of FIGURES

- Fig. 1. Plankton collection from board of RV Araon during its 1<sup>st</sup> Arctic cruise.
- Fig. 2. Map of stations of 1<sup>st</sup> Arctic cruise of RV Araon.
- Fig. 3. Experimental design for feeding of the sea ice harpacticoid copepod *Tisbe furcata* on other invertebrates.
- Fig. 4. Feeding types of dominant plankton copepods: *Temora turbinata*, *Calanus darwinii*, *Farranula gibbulus*.
- Fig. 5. Gut content showing the diatom *Chaetoceros* sp.
- Fig. 6. Gut content showing the diatom *Thalassiothrix* sp.
- Fig. 7. Gut content showing the diatom *Navicula* sp.
- Fig. 8. Gut content with Radiolaria.
- Fig. 9. Gut content with Coccoliths.
- Fig. 10. Gut content with bacteria.



# 서북극해에서 요각류의 섭식에 관한 연구

## 국 문 요 약

서북극해에서 여름기간 동안 주요 우점 부유생물인 요각류가 공간적 차이(수평적, 수직적) 및 시간적 차이에 따른 섭식생태의 변화를 이해하고자 척치해 및 해빙지역에서 주요 우점 분류군인 요각류의 영양생태에 관하여 연구하였다. 광학현미경 및 주사전자현미경을 통한 북극 동물플랑크톤인 요각류 내 소화기관에서의 내용물 분석 및 엽록소 a 양을 측정하였으며, 실험실에서의 실험을 통하여 북극 동물플랑크톤 중 특히 중요성이 높은 요각류의 생태학적 진화학적 연구 실시하였다. 또한 소화기관 내의 내용물 분석 결과를 토대로 서식환경(수온, 광)과의 상관관계를 분석하였다.

전체 21종의 요각류의 소화기관 내용물을 형광분석방법을 통하여 색소분석을 실시한 결과 소형크기(<1mm) 요각류의 소화기관 내용물 엽록소양은 0.85 ng Chl a individual<sup>-1</sup>이었다. 21종의 요각류(27개 샘플, 987개체)의 소화기관 내 색소량은 수온과 음의 상관관계(피어슨 상관관계,  $r=-0.292$ ,  $p=0.014$ )를 보였으며 조사해역의 엽록소의 양과는 양의 상관관계( $r=0.243$ ,  $p=0.043$ )를 나타내었다. 요각류의 섭취 및 배출율(27개 샘플, 684개체)은 크기가 큰(>2mm) 요각류가 중간(1-2mm), 소형크기의 요각류에 비하여 의미 있는 결과를 보여주었다. 요각류의 섭식 연구결과 본 연구지역에서의 요각류는 환경변화에 따라 다양한 섭식형태를 보이고 있으며, 각기 다른 크기의 요각류가 다양한 식물플랑크톤을 섭취한다는 것을 확인하였다. 특히 소화기관 내의 내용물 및 색소분석 결과 각기 다른 크기의 요각류는 그들의 특성에 따라 각기 다른 종류의 먹이원을 선호한다는 것을 확인하였다.

## 제 1장. 서 론

연안생태계는 생산자(식물플랑크톤)와 소비자들(동물플랑크톤)사이에 따른 영양 관계에 있고 이는 동적으로 매우 중요 현상 중 하나이다. 식물플랑크톤의 정량분석은 유기물질이 다음 단계로 수송됨에 따라 섭식율을 계산하는데 유용하다. 식물플랑크톤 종류들은 대양에서 자가 광합성의 일차적인 과정으로 유기물을 합성하고 동물플랑크톤은 상위영양단계로 영양분을 이동시키는데 중요한 역할을 한다. 동물플랑크톤은 수직이동하면서 이들을 섭식하고 부패시킴으로써 상당한 양의 영양분과 탄소를 표층에서 심해층까지 이동시킨다. 수계 동물플랑크톤은 먹이망 도처에서 에너지와 영양분을 이동시키는데 큰 기여를 하고, 일차생산과 상위 영양단계로 연결시킨다. 그러나 동물플랑크톤 분류군 차이에 따라 그 기여와 역할이 다르다. 요각류는 대양에서 가장 풍부한 후생동물이지만(Schminke 2007), 초식성, 잡식성, 육식성 분해물질 식성 등 다양한 섭식 습관에 따라 그들의 섭식 과정은 쉽게 일반화되지 않았다(Schultes et al. 2006). 요각류들은 그들의 섭식을 선택할 수 있는데(Meyer-Harms and von Bodungen 1997) 다른 영양상태의 먹이 입자(Cottonec et al 2001), 조류조성(Atkinson 1994; Wyckmans et al. 2007), 농도(Katechakis et al. 2004), 맛(DeMott 1986), 조류의 독성(Cohen et al. 2007) 사이에서 구별할 수 있다.

일차생산력, 섭식, 유기물 유출 사이에서의 관계는 영양경로의 크기 구조에 의해 강하게 결정되어진다(Morales et al. 1990; Moller 2005). 요각류는 크기가 큰 배설물을 배출하여 이산화탄소를 수송하는 생물학적 펌프를 증대함으로써 유기물이 아래로 향하는 흐름을 강화하고 촉진시킨다(Froneman et al. 2000). 식물플랑크톤에 대한 요각류 섭식의 시간, 공간적 크기는 이전의 많은 연구에 주된 영향을 미쳤다(Hansen et al. 1997; Roman and Gauzens 1997; Gowen et al. 1999; Head et al. 1999). 북극에서 식물플랑크톤 섭식, 요각류 섭식의 대한 연구는 거의 없다. 본 연구는 이 지역에서 첫 번째로 요각류 섭식에 대한 현장 연구이다. 이 연구의 목적은 섭식 형태와 우점하는 중형플랑크톤의 먹이 항목의 원리를 밝히기는 것이다. 요각류의 소화기관 내 엽록소 a 내용물은 일차생산자에서 섭식의 중요성에 대해 중요한 정보를 제공할 것이다.

## 제 2장. 재료 및 방법

### 1. 동물플랑크톤 채집

본 연구를 위해 동물플랑크톤은 쇄빙선 아라온을 통해 북극해에서 채집되었다(by Ms. M.Sc. Mary Mar Noblezada on behalf of H.-U.Dahms, SMU, table 6-1, Fig. 6-1, Fig. 6-2). 동물플랑크톤 시료는 각 정점 표층 5m에서 300과 500  $\mu\text{m}$  구경의 봉고네트를 사용하여 수평적으로 끌었다. 배 위에서 동물플랑크톤 네트를 사용하기 전에 채수기로 부터 엽록소 a와 전기전도도, 수온, 수심을 측정하는 CTD를 이용하여 수온, 염분과 관련된 물리적인 정보를 얻었다. 엽록소 a 분석(Strickland and Parsons 1972)을 위한 시료는 표층 1-2m 아래에서 채수하였다. 봉고네트를 통해 여과 되어진 해수의 부피는 flow meter로부터 판단하였다. 첫 번째 예망의 내용물을 회수한 후, 즉시 5% 에탄올/해수 용액으로 고정하였고, 그 다음 요각류의 동정과 계수를 실시하였다. 두 번째 예망의 내용물들은 플라스틱 백 안에 넣어 보관 하였고 액체질소를 사용하여 즉시 동결시켰다. 그리고 나서 시료는  $-20^{\circ}\text{C}$  암소상태에서 소화기관내 색소분석이 끝날 때 까지 보관하였다.

### 2. 요각류의 크기별 동정 및 계수

실험실로 운반한 시료는 보조 시료가 300-500 개체군을 포함할 때 까지 Folsom splitter를 통해 나눈 다음 분류학적인 동정과 계수에 사용되어졌다. 보조시료는 스케일 유리로 옮겨 개체의 길이와 3개의 크기 별 범주[large ( $> 2 \text{ mm}$ ), medium (1-2 mm), small ( $< 1 \text{ mm}$ )]로 나누어 해부현미경을 사용하여 분류하였다. 종 구성과 풍부도는 성체 계수에 의해 결정되었으며 동정을 위해 Chen and Zhang (1965), Chen et al. (1974), Zheng et al. (1982)의 문헌을 참고하였다. 잠재적인 초식성과 식물플랑크톤 소비자들에 관련된 연구로부터 잘 알려진 소화기관 내 색소측정을 위해 우점하는 요각류 중의 성체만 선택하였다.

### 3. 엽록소 a 추출

해수에서 엽록소 a는 parsons et al.(1984) 방법으로 측정되었다. 엽록소 a추출을 위해  $4^{\circ}\text{C}$  암소에서 90% 아세톤을 넣어 하룻밤 저장하였다. 아세톤을 이용한 엽록소 a 형광 추출물은 산을 넣기 전과 후를 실험실의 약광 조건에서 Turner Designs Model 10 분광광도계를 통해 측정하였다.

### 4. 요각류의 소화기관 내 색소 분석

요각류의 소화기관내 색소 내용물은 형광측정법으로 분석되었고, Morales et al.(1990)이 제안한 수정방법과 함께 Macks and Bohre 방법을 따랐다(Fig. 6-3). 요각류의 소화기관 내 색소 내용물 추정 방법은 전세계적으로 요각류 섭식연구에 널리 적용 되어왔다. 요각류를 측정하기 전에 얼린 동물플랑크톤 시료는 해동시키고 붙어있는 조류 또는 잔해를 제거하기 위해 0.45um로 여과된 해수로 씻었다. 이 연구에서 수 적으로 우점하는 요각류 종을 소화기관 내 색소 측정에 선택하였다. 각 종에 대해 10에서 30개체 요각류를 90% 아세톤에 넣어 균질화 없이 4 °C 암소 상태로 하룻밤 동안 추출하였다. 추출된 수용액은 원심분리 한 후 상등액만을 사용하여 실험실에서 Turner Design Model 10 형광측정기로 측정하였다. 추출된 용액은 10% 염산 0.1ml를 산성화 시켜 다시 한번 측정하였다. 실험 동안 줄어드는 phaeopigment 때문에 모든 phaeopigment 값을 Dagg and Wyman (1983)따라 1.51 배 하였다. Gut pigment내용물의 농도는 ng chlorophyll a copepod<sup>-1</sup>로 표현하였고 엽록소 a와 phaeopigment를 더한 값으로부터 얻었다.



## 제 3장. 결과

### 1. 요각류의 섭식구조

요각류의 구강구조는 먹이원을 섭식하는데 중요한 기능적 역할을 담당하기 때문에 3종의 요각류의 구강구조와 소화기관 내 내용물을 비교분석하였다. 쇠빙선 아라온호를 이용한 1차 서북극해 조사에서 채집한 Calanoid과인 *Temora turbinata* 와 *Cosmocalanus darwini*, 그리고 poecilostomatoid과인 *Farranula gibbula* 의 구강구조는 그림 4와 같다. 전체 67 개체에서 구강구조와 소화기관 내 내용물의 분석은 광학현미경과 주사전자현미경을 사용하여 실시하였다. Calanoid과의 두 종은 하악의 구강 내 구조분석 결과 상대적으로 짧고 조밀한 이빨을 갖고 있었다. 이 종들은 주로 규조류(diatoms)를 섭식하고 구강 내의 강한 압력으로 규조류의 골격구조를 파괴할 수 있는 능력을 갖고 있었다. Poecilostomatoid과인 *Farranula gibbula*의 이빨은 매우 길고 뾰족한 형태로서 먹이나 사체를 쉽게 잡을 수 있게 되어 있었다. 소화기관 내 내용물 및 구강구조의 형태학적 분석결과 *T. turbinata*와 *C. darwini*는 일차 먹이원인 식물플랑크톤을 섭식하는 잡식성이었다. Poecilostomatoid과인 *F. gibbula*의 중간소화기관 내에는 연구기간 동안 항상 비어있음을 확인하였다. *F. gibbula*는 반면에 청소자(scavenger) 또는 육식성에 적합한 구강구조를 갖고 있었다. 이러한 구강구조는 먹이원을 빨거나 저작하는데 적합하지 않은 대신 먹이원의 몸통 또는 다른 유기체의 조직을 뚫는데 보다 적합한 것으로 보였다.

### 2. 요각류의 소화기관 내 내용물

주요 초식성 calanoid(*Calanus glacialis*, *C. hyperboreus*, *Scaphocalanusacrocephalus*, *Metridia longa*, *Mimocalanus damkaeri*, *Neocalanus cristatus*, *Paraeuchaeta glacialis*, *Temora turbinata*, *Cosmocalanus darwini*)를 동정하고 소화기관 내 주요 규조류[*Chaetoceros* sp. (Fig. 6-5), *Thalassiothrix* sp. (Fig. 6-6), *Navicula* sp. (Fig. 6-7)]를 표 2와 같이 분석하였다. 또한 다른 주요 잡식성 calanoid(*Aetidiopsis minor*, *Augaptilus glacialis*, *Heterorhabdus compactus*)의 소화기관 내에서 원생생물인 Radiolaria(Fig. 6-8)과 Coccolithophoria(Fig. 6-9)의 외골격을 확인하였다. 이외에도 *Gaetanus tenuispinus*, *Temorites brevis*와 같은 박테리아를 섭식하는 micobivorous(Fig. 6-10)도 동정되었다.

### 3. 요각류 소화기관 내 엽록소 a

전체 21종의 요각류의 소화기관 내용물을 형광분석방법을 통하여 색소분석을 실시한 결과 소형크기(<1mm) 요각류의 소화기관 내용물 엽록소양은 0.85 ng

Chl a individual<sup>-1</sup>이었다. *Metridia longa*의 소화기관 내의 엽록소량은 7.31 ng Chl a individual<sup>-1</sup>로 최대값을 나타내었다. 21종의 요각류(27개 샘플, 987개체)의 소화기관 내 색소량은 수온과 음의 상관관계(Pearson correlation,  $r=-0.292$ ,  $p=0.014$ )를 보였으며 조사해역의 엽록소의 양과는 양의 상관관계(Pearson correlation,  $r=0.243$ ,  $p=0.043$ )를 나타내었다. 요각류의 섭취 및 배출율(27개 샘플, 684개체)은 크기가 큰 (>2mm) 요각류가 중간(1-2mm) 및 소형크기의 요각류에 비하여 의미있는 결과를 보여주었다.

요각류의 소화기관 내 색소량은 종과 조사정점에 따라서 다양한 값을 나타내었다. 대형크기의 요각류 그룹의 경우 *Scolecithricella minor*에서 7.07 ng Chl a individual<sup>-1</sup>로 최대값을 보였고, *Undinula vulgaris*에서 0.61 ng Chl a individual<sup>-1</sup>로 최소값을 나타내었다(table 6-2). 중형크기의 그룹에서는 calanoid과인 *Calanus hyperboreus*가 소화기관 내의 최대 엽록소 값(2.45 ng Chl a individual<sup>-1</sup>)을 나타내었고 최소값은 *Temora discaudata*(0.16 ng Chl a individual<sup>-1</sup>)였다(table 6-2). 소형크기의 요각류 그룹에서는 소화기관 내 색소의 양이 0.9 ng Chl a individual<sup>-1</sup>이하로 낮게 측정되었다. 소형크기 그룹에서 최대 소화기관 내용물 및 섭취율을 보인 종은 *Neocalanus cristatus* 였으며 그 양은 1.14 ng Chl a individual<sup>-1</sup>였다. 또한 최소 내용물 및 섭취, 배출율을 보인 종은 *Temorites brevis*(0.07 ng Chl a individual<sup>-1</sup>) 이었다(table 6-2). 본 연구결과로서 서북극해에 서식하는 요각류는 기회적인 포식자이며, 각기 다른 크기의 요각류는 그들의 특성에 따라 각기 다른 종류의 먹이원을 선호한다는 것을 확인하였다.

## 제 4장. 토의

동물플랑크톤인 요각류는 대양에서 1차 생산자인 식물플랑크톤과 많은 어류 사이에 중요한 연결고리이기 때문에 수서생태계에서 키가 되는 유기체이다(Irigoien et al. 2002; Tseng et al. 2008). 이는 정량적/정성적 관점에서 볼 수 있는데 요각류는 현존량 (Atkinson 1996), 개체 길이 (Morales et al. 1991), 주광성 (Saito and Taguchi 1996), 계절별 다양성 (Razouls et al. 1998), 먹이원의 종류 (Atkinson, 1996), 섭취량 (Ellis and Small 1989), 수온과 같은 물리학적 요인 (Dam and Peterson 1988) 등과 같은 다양한 파라미터에 의해 섭식의 영향을 받기 때문이다.

정량분석 이전에 특징이 있는 몇몇종에 대하여는 각기 다른 먹이원에 대하여 연구를 해야만 한다. 먹이원의 섭취는 종간의 개체군 사이에, 개체발생 변화적 측면을 고려한 연령(Dahms et al. 2006; Meyer et al. 2002), 성(Dahms and Qian 2006)에 따라서 변화를 일으킨다. 이들은 또한 섭취 가능한 먹이원의 군집변화를 반영하여 계절별로 변화를 일으키기도 한다. 섭취전략은 아마도 선택적이거나(Go et al. 1998) 비선택적(Turner et al. 2001)일 것이다. 대양환경의 분류학적 생화학적 복잡성은 요각류의 섭식패턴을 이해하는데 어려움을 주고 있다(Kleppel 1992). 이들의 섭식 행동연구를 통하여 요각류의 섭취패턴을 이해하려는 다양한 연구가 이루어져 왔는데(Tackx et al. 2003) 요각류의 소화기관내 내용물을 직접적으로 분석을 하는 방법(Wu et al. 2004)과 그들의 배설물을 통한 연구(Turner et al. 2001)가 그것이다. 그러나 소화기관 내 내용물 및 배설물을 분석하는 방법은 요각류의 소화시간이 매우 빠르고 많은 먹이원의 외부형태가 온전하기 못하기 때문에 요각류의 먹이원 구조를 분석하는 방법은 신뢰성이 그다지 높지가 않다. 현장에서 배양을 통한 분석 방법이 calanoid 요각류의 먹이원을 분석하고 소비율을 정량분석하는데 전통적으로 사용되고 있다(Kleppel et al. 1996).

먹이원의 정량분석을 위해서는 다수의 요인이 작용한다. 주로 4가지의 주요한 요인이 있는데 동정, 크기와 형태학적 분류, 독성 그리고 영양염이다. 너무 크거나 너무 작은 미세조류는 동물플랑크톤이 섭식할 수가 없다(Brendelberger 1991). 세포의 크기를 제외하고 먹이원의 단단함은 요각류가 섭취, 소화하는 능력에 큰 영향을 끼친다(DeMott 1995). 규조류의 구조와 껍질의 구성성분은 효과적인 기계적 보호력을 갖게 하고(Hamm et al. 2003) 점액질은 동물플랑크톤의 소화를 제한한다 (Porter 1976). 게다가 각기 다른 동물플랑크톤은 먹이원 크기에 대하여 각기 다른 것을 선호하는 경향이 있는 것으로 생각된다. 이것은 구강구조 내 부속물의 간격크기에 의해 일반적으로 결정된다. 먹이원의 낮은 말단부는 여과 구조물의 구멍 크기를 결정한다. 여러 미세조류는 동물플랑크톤의 발달과 생식에 해로운 영향을 끼치는 독성물질을 생산해 낸다. 예를 들어 다른 남조류의 경우 요각류에 해를 끼치는 독성을 갖고 있다. *Microcystis aeruginosa* 의 경우 독성물질을 생성해 내어 동물플랑크톤의 섭식에 직접적/간접적인 영향을 끼치는 것으로 발표되었다(Jang et al.

2003). 조류의 경우 동물플랑크톤에 의한 섭식(여과)률을 낮추고 조류의 포식자를 폐사하게 하는 것은 자신을 방어하는데 효과적이다(Lampert 1981). 요각류와 규조류간의 상호관계에 대하여는 지난 10년간 해양생태계에 있어서 매우 많은 과학적 관심이 있었다(Irgoien et al. 2002). 규조류의 대량발생 기간동안 요각류의 알생산력과 알의 생존능력이 저하되는 것으로 밝혀졌다. 보다 근본적인 이유는 여전히 논의 중이다. 그러나 독성의 영향 및 영양염의 부족에 대한 논의는 이루어졌었다(Dahms et al. 2006, Dahms and Qian 2005).

본 연구에서 소화기관 내 색소분석 결과 요각류의 섭취 및 배출율은 중간에 정점간에 다양하게 나타났다. 대형 크기의 요각류는 섭취 및 배출율이 중형 크기 및 소형 크기의 요각류에 비해 매우 높은 값을 나타내었다. 중형 크기의 요각류와 소형 크기의 요각류의 색소량은 크게 차이나지 않았다. 소화기관 내 색소량은 식물플랑크톤의 농도와 세포의 크기(>10um)와 마찬가지로 요각류의 크기가 증가함에 따라 같이 증가하는 경향이 있다고 다른 몇몇 연구결과에서 발표되었다(Morales et al., 1990). 다른 해양 동물플랑크톤과 마찬가지로 요각류는 개체의 크기가 증가함에 따라 더 많은 먹이원을 섭식한다(Hansen et al. 1997). 본 연구결과도 기존의 많은 섭식에 관한 연구결과와 일치하였다(Morales et al. 1991). 크기가 큰 요각류는 소화기관의 부피가 크고 물질대사를 위한 높은 에너지를 필요로 하기 때문에 생체 크기가 증가할수록 소화기관 내 엽록소 a의 값은 증가하게 된다(Tseng et al. 2008). 본 연구결과에서, 특히 대형, 중형크기의 요각류에서 소화기관 내 색소의 값은 수온이 증가할수록 그 양은 감소하는 양상을 보였다. 이것은 Dam and Peterson (1988)에서 이전에 설명을 하였다. 소화기관 내 색소는 조사지역의 엽록소 a의 농도와 양의 상관관계를 나타내었다. 이는 기존의 연구결과에서 색소량과 먹이원의 농도(Ellis and Small 1989) 또는 식물플랑크톤의 농도 및 세포크기(>10um)의 관계(Froneman et al. 2000)에서도 유사한 결과를 보였다.

## 영 문 요 약

The goal of the present study was to understand the feeding ecology of copepods in the upper water layers of the western Arctic Ocean. We investigated the trophic ecology of copepods collected at the sea ice water interface and from the water column. The objective was to understand the feeding ecology of copepods that dominate the plankton in the ARCTIC at different spatial (horizontal and vertical distribution) and temporal scales during the summer season.

Feeding of Arctic zooplanktonic copepods was investigated by the analysis of gut contents using microscopy (LM and SEM - at Sangmyung University) and the analysis of chlorophyll a gut contents (at the NTOU in Keelung, Taiwan). Furthermore, were feeding experiments done with algal cultures from the Arctic and other invertebrates. Field sampling and laboratory analysis and experiments provide an integrated approach to the ecology and evolution of zooplankton with particular emphasis on the Copepoda. Several microscopic techniques (LM, TEM, SEM) are used for the analysis of their trophic biology and ecology. Measurements of the gut pigment contents of as many as possible copepod species allowed to differentiate between different feeding guilds. The gut pigment contents of copepod species was correlated with environmental parameters such as chlorophyll a concentration of ambient waters, seawater temperature and illumination (time of day/ season).

We measured the gut pigment contents for 21 copepod species by the gut fluorescence method. The gut chlorophyll a values of most small size copepod (< 1 mm) were lower than 0.85 ng Chl a individual<sup>-1</sup>. The highest gut pigment content was recorded in *Metridia longa* (7.31 ng Chl a individual<sup>-1</sup>). The gut pigment contents of 21 copepod species (including 27 samples and 987 individuals) estimated here represents a negative function of seawater temperature (Pearson correlation,  $r = -0.292$ ,  $p = 0.014$ ) and was positively correlated with the chlorophyll a concentration of ambient waters (Pearson correlation,  $r = 0.243$ ,  $p = 0.043$ ). Mean gut pigment content, ingestion and clearance rates (from 27 samples and 684 individuals) shows that larger copepods (> 2 mm) had significantly higher values than medium sized copepods (1-2 mm) and smaller sized copepods. The present study confirms that copepods obtained from the western Arctic were opportunistic feeders and the feeding on phytoplankton varied with different sized copepod groups. Particular items of gut content and gut pigment content demonstrated that different sized copepods

preferred different food sources and belonged to different feeding guilds.

## 제 5장. 참고문헌

- Atkinson A (1994) Diets and feeding selectivity among the epipelagic copepod community near South Georgia in summer. *Polar Biol* 14: 551-560.
- Atkinson A (1996) Subantarctic copepods in an oceanic, low chlorophyll environment: ciliate predation, food selectivity and impact on prey populations. *Mar Ecol Prog Ser* 130: 85-96.
- Brendelberger H (1991) Filter mesh-size of cladocerans predicts retention efficiency for bacteria. *Limnol Oceanogr* 36: 884-894.
- Ceballos S, Alvarez-Marques F (2006) Reproductive activity and physiological status of the calanoid copepods *Calanus helgolandicus* and *Calanoides carinatus* under food-limiting conditions. *J Exp Mar Biol Ecol* 339: 189-203.
- Chen QC, Zhang SZ (1965) The planktonic copepods of the Yellow Sea and the East China Sea. I. Calanoida. (In Chinese, with English abstract). *Stud Mar Sinica* 7: 20-133.
- Chen QC, Zhang SZ, Zhu CS (1974) On Planktonic copepods of the Yellow Sea and the East China Sea. II. Cyclopoida and Harpacticoida (In Chinese, with English abstract). *Stud Mar Sinica* 9: 27-100.
- Cotonnec G, Brunet C, Sautour B, Thoumelin G (2001) Nutritive value and selection of food particles by copepods during a spring bloom of *Phaeocystis* sp. in the English Channel, as determined by pigment and fatty acid analyses. *J Plankton Res* 23:693-703
- Dagg MJ, Wyman KD (1983) Natural ingestion rates of the copepods *Neocalanus plumchrus* and *N. cristatus* calculated from gut content. *Mar Ecol Prog Ser* 13: 37-46.
- Dahms, H.-U., Qian, P.-Y. (2005). Exposure of biofilms to meiofaunal copepods affects the larval settlement of *Hydroides elegans* (Polychaeta). *Mar Ecol Prog Ser* 297:203-214.
- Dahms HU, Qian PY (2006) Kin-recognition during intraspecific predation of

*Harpacticus* sp. (Copepoda, Harpacticoida). Zool. Stud. 45 (3): 395-403.

Dahms HU, Harder T, Qian P-Y (2006) Selective attraction and reproductive performance of a harpacticoid copepod in a response to biofilms. J Exp Mar Biol Ecol 341: 228-238.

Dam HG, Peterson WT (1988) The effect of temperature on the gut clearance rate constant of planktonic copepods. J Exp Mar Biol Ecol 123: 1-14.

DeMott WR, Tessier AJ (2002) Stoichiometric constraints vs. algal defenses: Testing mechanisms of zooplankton food limitation. Ecology 83: 3426-3433.

Ellis SG, Small LF (1989) Comparison of gut-evacuation rates of feeding and non-feeding *Calanus marshallae*. Mar Biol 103: 175-181.

Froneman PW, Pakhomov EA, Perissinotto R, McQuaid CD (2000) Zooplankton structure and grazing in the Atlantic sector of the Southern Ocean in late austral summer 1993. Part 2. Biochemical zonation. Deep Sea Res I 47: 1687-1702.

Go YB, Oh BC, Terazaki M (1998) Feeding behavior of the poecilostomatoid copepods *Oncaea* sp. on chaetognaths. J Marine Syst 15: 475-482.

Gowen RJ, McCullough G, Kleppel GS, Houchin L, Elliott P (1999) Are copepods important grazers of the spring phytoplankton bloom in the western Irish Sea? J Plankton Res 21: 465-483.

Hamm CE, Merkel R, Springer O, Jurkojc P, Maier C, Prechtel K, Smetacek V (2003) Architecture and material properties of diatom shells provide effective mechanical protection. Nature 421: 841-843.

Hansen PJ, Bjørnsen PK, Hansen BW (1997) Zooplankton grazing and growth: Scaling within the 2-2000- $\mu$ m body size range. Limnol Oceanogr 42: 687-704.

Head RN, Harris RP, Bonnet D, Irigoien X (1999) A comparative study of size fractionated mesozooplankton biomass and grazing in the North East Atlantic. J Plankton Res 21: 2282-2308.



- Irigoien X, Harris RP, Verheye HM, Joly P, Runge J, Starr M, Pond D, Campbell R, Shreeve R, Ward P, Smith AN, Dam HG, Peterson W, Davidson R (2002) Copepod hatching success in marine ecosystems with high diatom concentrations. *Nature* 419: 387–389.
- Katechakis A, Stibor H (2004) Feeding selectivities of the marine cladocerans *Penilia avirostris*, *Podon intermedius* and *Evadne nordmanni*. *Mar Biol* 145: 529–539.
- Kleppel GS (1992) Environmental regulation of feeding and egg production by *Acartia tonsa* off southern California. *Mar Biol* 112: 57–65.
- Kleppel GS, Burkart CA, Carter K, Tomas C (1996) Diets of calanoid copepods on the west Florida continental shelf: relationships between food concentration, food composition and feeding activity. *Mar Biol* 127: 209–217.
- Mackas D, Bohrer R (1976) Fluorescence analysis of zooplankton gut contents and an investigation of diel feeding patterns. *J Exp Mar Biol Ecol* 25:77–85.
- Meyer B, Irigoien X, Graeve M, Head RN, Harris LR (2002) Feeding rates and selectivity among nauplii, copepodites and adult females of *Calanus finmarchicus* and *Calanus helgolandicus*. *Helg Mar Res* 56:169–176.
- Meyer-Harms B, von Bodungen B (1997) Taxon-specific ingestion rates of natural phytoplankton by calanoid copepods in an estuarine environment (Pomeranian Bight, Baltic Sea) determined by cell counts and HPLC analyses of marker pigments. *Mar Ecol Prog Ser* 153:187–190.
- Møller EF (2005) Sloppy feeding in marine copepods: prey-size-dependent production of dissolved organic carbon. *J Plankton Res* 27:27–35.
- Morales CE, Bautista B, Harris RP (1990) Estimates of ingestion in copepod assemblages gut fluorescence in relation to body size. In: Barnes M, RN Gibson (eds.), *Trophic relationships in the marine environment*. pp. 565–577. (Aberdeen University press, Aberdeen).

- Morales CE, Bedo A, Harris RP, Tranter PRG (1991) Grazing of copepod assemblages in the north-east Atlantic: the importance of the small size fraction. *J Plankton Res* 13:455-472.
- Parsons TR, Maita Y, Lalli CM (1984) A manual of chemical and biological methods for seawater analysis. Pergamon Press, Oxford. 173 pp.
- Razouls S, R?au GD, Guillot P, Maison J, Jeandel C (1998) Seasonal abundance of copepod assemblages and grazing pressure in the Kerguelen Island area (Southern Ocean). *J. Plankton Res* 20: 1599-1614.
- Romam RR, Gauzens AL (1997) Copepod grazing in the equatorial Pacific. *Limnol Oceanogr* 42: 623-634.
- Saito H, Taguchi S (1996) Diel feeding behavior of neritic copepods during spring and fall blooms in Akkeshi Bay, eastern coast of Hokkaido, Japan. *Mar Biol* 125: 97-107.
- Schminke HK (2007) Entomology for the copepodologist. *J. Plankton Res* 29: 149-162.
- Schultes S, Verity PG, Bathmann U (2006) Copepod grazing during an iron-induced diatom bloom in the Antarctic Circumpolar Current (EisenEx): I. Feeding patterns and grazing impact on prey populations. *J Exp Mar Biol Ecol* 338: 16-34.
- Strickland JDH, Parsons TR (1972) (2nd Edition) A practical handbook of sea-water analysis. *J Fish Res Bd Canada* 167: 311 pp.
- Tackx MLM, Herman PJM, Gasparini S, Irgoien X, Billiones R, Daro MH (2003) Selective feeding of *Eurytemora affinis* (Copepoda, Calanoida) in temperate estuaries: model and field observations. *Estuar Coast Shelf Sci* 56: 305-311.
- Turner JT, Levinsen H, Nielsen TG, Hansen BW (2001) Zooplankton feeding ecology: grazing on phytoplankton and predation on protozoans by copepod and barnacnauplii in Disko Bay, West Greenland. *Mar Ecol Prog Ser*

221:209-219.

Wu CH, Hwang JS, Yang JS (2004) Diets of three copepods (Poecilostomatoida) in the southern Taiwan Strait. *Zool Stud* 43(2):388-392.

Wyckmans M, Chepurnov VA, Vanreusel A, De Troch M (2007) Effects of food diversity on diatom selection by harpacticoid copepods. *J Exp Mar Biol Ecol* 345: 119-128.

Zheng Z, Li S, Li SQ, Chen BY. 1982. Marine planktonic copepods of China (Volume 2) (In Chinese), Shanghai Science and Technology Press, Shanghai.

**Table 1. Location, date, time, and depth of sampling stations in the western Arctic Ocean**

Station	Cast No.	Date (mm/dd/yy)	Location (Actual)		Water depth (m)
			Latitude (°N)	Longitude (°W)	
01	1	07/20/10	73° 07.59	168° 56.42	73
	2		73° 07.58	168° 56.86	75
02	1	07/21/10	73° 02.64	168° 26.27	63
03	1	07/21/10	73° 30.64	166° 59.46	110
	2		73° 30.64	166° 59.46	
04	1	07/23/10	73° 44.94	167° 01.13	164
	2		73° 44.94	167° 01.13	164
	3		73° 44.80	167° 03.32	165
05	1	07/25/10	74° 59.99	160° 00.00	2000
	2		75° 00.00	160° 00.00	1980
06	1	07/26/10	75° 01.63	159° 28.45	1840
	2		75° 02.14	159° 29.44	
	3		75° 02.53	159° 29.90	
07	1	07/27/10	75° 00.03	159° 01.95	1110
08	1	07/27/10	74° 59.63	158° 29.36	950
	2		74° 59.58	158° 29.28	
09	1	07/27/10	75° 00.36	158° 00.03	1030
10	1	07/27/10	75° 00.10	157° 30.52	1300
	2		75° 00.78	157° 29.75	1290
11	1	07/28/10	74° 59.93	157° 13.26	1550
12	1	07/28/10	75° 00.09	156° 59.01	2350-2580
13	1	07/28/10	75° 01.86	156° 30.57	3900
	2		75° 00.94	156° 26.93	3910
	3		75° 11.92	156° 23.80	3900
14	1	07/29/10	74° 59.97	155° 57.56	3904
	2		74° 58.89	155° 54.25	
	3		74° 58.52	155° 54.54	
15	1	07/29/10	75° 12.93	156° 02.53	3890
16	1	07/30/10	75° 23.85	156° 02.32	2800
	2		75° 26.65	156° 04.30	
17	1	07/30/10	75° 35.76	156° 04.04	2490
18	1	07/30/10	75° 47.73	155° 58.18	2050
	2	07/31/10	75° 47.66	155° 56.15	
19	1	07/31/10	76° 01.69	156° 02.36	1280
20	1	07/31/10	75° 59.08	156° 27.59	1080

**Table 1. Continued**

Station	Cast No.	Date (mm/dd/yy)	Location (Actual)		Water depth (m)
			Latitude (°N)	Longitude (°W)	
21	1	08/01/10	75° 59.56	156° 59.49	940
	2		75° 59.47	156° 59.85	
22	1	08/01/10	75° 59.98	157° 28.68	620
23	1	08/01/10	75° 59.39	157° 58.08	520
	2		75° 59.61	157° 57.62	
24	1	08/01/10	75° 59.95	158° 28.96	540
25	1	08/02/10	76° 00.15	159° 00.82	820
26	1	08/02/10	75° 59.97	159° 31.87	1540
27	1	08/02/10	75° 59.64	160° 01.31	2100
	2		75° 59.22	160° 06.16	
28	1	08/06/10	78° 00.19	160° 01.02	2660
	2		78° 00.24	160° 01.81	
	3		78° 00.42	160° 02.33	
	4		78° 00.56	160° 02.06	
29	1	08/06/10	76° 59.88	159° 57.18	2160
	2	08/07/10	76° 59.88	159° 57.19	
30	1	08/07/10	76° 30.04	161° 15.85	2170
31	1	08/07/10	75° 59.99	162° 30.60	2090
	2		75° 59.42	162° 31.38	
32	1	08/08/10	75° 29.86	163° 48.39	1920
	2		75° 29.97	163° 49.82	
33	1	08/08/10	75° 16.41	164° 22.49	670
34	1	08/08/10	74° 59.99	164° 58.96	550
35	1	08/09/10	74° 30.38	166° 15.48	340
	2		74° 30.39	166° 15.48	
36	1	08/09/10	74° 00.29	167° 29.45	210
37	1	08/09/10	73° 30.15	168° 16.35	115
38	1	08/10/10	73° 06.99	168° 55.94	73

**Table 2. Taxonomic composition and density (individuals/m<sup>3</sup>) of 21 copepod species (used for the gut content analyses) at each of sampling stations (n=19)**

Species	Station	3	7	8	11	13	16	19	21	22	24	25	26	27	28	29	30	31	32	35	
Order Calanoida																					
Family Calanidae																					
<i>Calanus hyperboreus</i>			0.33	0.05	1.95	2.44	0.77					0.03			0.24	0.08	5.08	0.87	3.22		
<i>Calanus glacialis</i>						0.16				0.39	4.87	0.01	8.07			3.61			0.87		
<i>Scaphocalanusacrocephalus</i>		5.77	0.85	1.67	0.72	1.47	1.25		2.22	0.13	92.1		1.35			1.18		0.50		0.17	
Family Centropagidae																					
<i>Centropages abdominalis</i>		0.24	0.05	0.88	0.72	1.14	0.20	0.39	0.40			0.05	1.88	0.43	0.44	0.34	0.42	0.51	2.35	0.39	
<b>Family Clausocalanidae</b>																					
<i>Clausocalanus furcatus</i>		0.90	2.27	1.09	1.14	0.28	0.36			1.18		1.88	0.43	0.17	0.46	1.20	2.42	2.79	0.17		
Family Eucalanidae																					
<i>Neocalanus cristatus</i>				7.17	0.14	0.14	0.25		0.28			0.65						1.93		1.92	
Family Lucicutiidae																					
<i>Lucicutia flavicornis</i>		2.35	0.39	0.24	0.05	0.88	0.72	1.14	0.20	0.39	0.40				0.05	1.88	0.43	0.44	0.34	0.42	0.51
Family Metridiidae																					
<i>Metridia longa</i>		1.67	0.72	1.47	1.25		2.22	0.13	92.1		1.35				1.18				0.17		
Family Paracalanidae																					
<i>Augaptilus glacialis</i>			0.21			0.25		0.32							0.25	1.15	0.69				
<i>Paracalanus attenuatus</i>		0.90	2.27	1.09	1.14	0.28	0.36			1.18		1.88	0.43	0.17	0.46	1.20	2.42	2.79	0.17		
<i>Paraeuchaeta glacialis</i>		0.29	0.09	0.25	0.07					0.36	2.36		0.27			0.08		0.37	2.15	0.20	
Family Pontellidae																					
<i>Aetideopsis rostrata</i>							0.27			0.52	7.68		1.88			0.13					
<i>Aetideopsis minor</i>				0.88	0.72	1.14	0.20		0.40			0.05	1.88	0.43	0.44		0.42	0.51	2.35	0.39	
Family Scolecithrichidae																					
<i>Scolecithricella minor</i>									1.13	1.69	1.77									0.86	
Family Temoridae																					
<i>Temorites brevis</i>			0.28						1.27	0.13	5.31			0.07		0.42		0.31			

**Table 3. Comparisons of copepod abundances, feeding impacts, mesh size, and feeding primary production values at different study sites from the literature. <sup>a</sup> Included copepodids. <sup>b</sup> units:  $\times 10^3$  individuals/m<sup>3</sup>. <sup>c</sup> Included only calanoid copepods**

Study site	Abundance (individuals/m <sup>3</sup> )	Feeding impact (%)	Feeding primary production (%)	Mesh size ( $\mu$ m)	Reference
Southern Benguela	3595~9241	1~5	-	200	Peterson et al. (1990)
Northeast Atlantic	336~2703	< 1	2	200	Morales et al. (1991)
South Georgia	6376 <sup>a</sup>	< 3	< 4	200	Atkinson (1996)
Kerguelen Is.	23~742	0.1~0.3	2.4~4.6	200	Razouls et al. (1998)
Northern Taiwan	14.2~3286.5 <sup>c</sup>	0.05~11	-	330	Wong et al. (1998)
Western Irish Sea	30.0~543.7 <sup>b</sup>	0.7~8.6	4~76	280	Gowen (1999)
Southwest Taiwan	0.13~18.7	< 0.1~0.21	-	330	Present study



Fig. 1. Plankton collection from board of RV Araon during its 1st Arctic cruise.



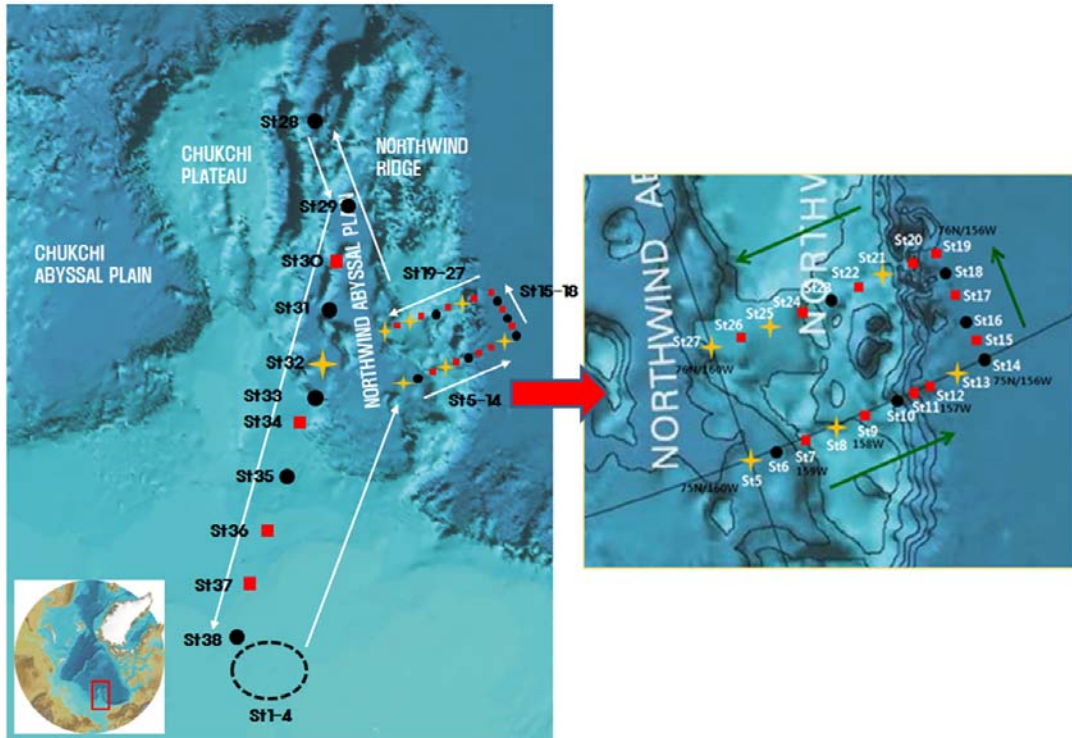
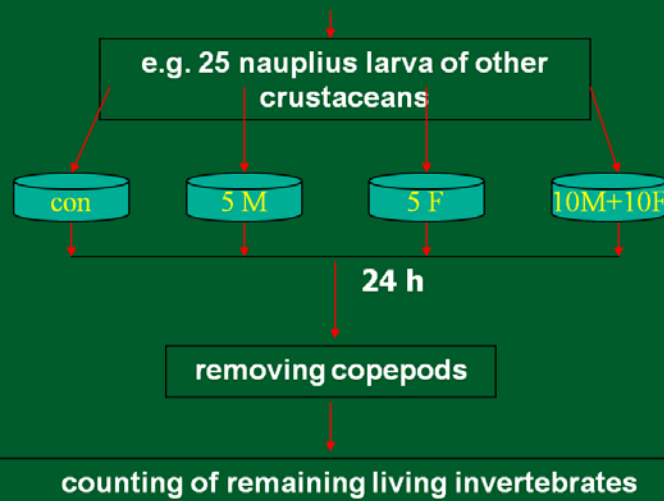


Fig. 2. Map of stations of 1<sup>st</sup> Arctic cruise of RV Araon.

## Experimental design for feeding of the sea ice harpacticoid copepod *Tisbe furcata* on other invertebrates

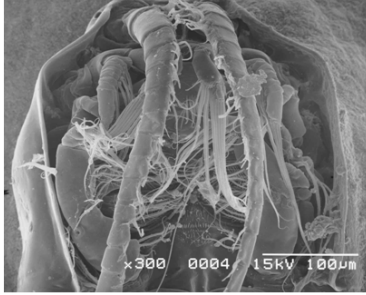
Laboratory experiment



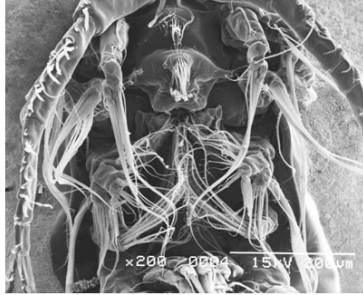
(cf. Dahms et al. 2006 JEMBE)

Fig. 3. Experimental design for feeding of the sea ice harpacticoid copepod *Tisbe furcata* on other invertebrates.

*Temora turbinata*  
(omnivorous)



*Calanus darwinii*  
(diatomivorous)



*Farranula gibbulus*  
(carnivorous)

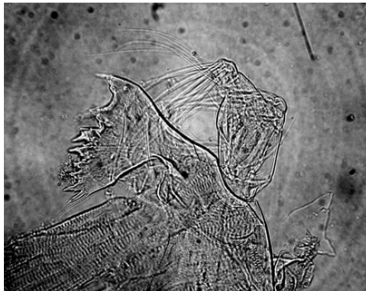


Fig. 4. Feeding types of dominant plankton copepods: *Temora turbinata*, *Calanus darwinii*, *Farranula gibbulus*.

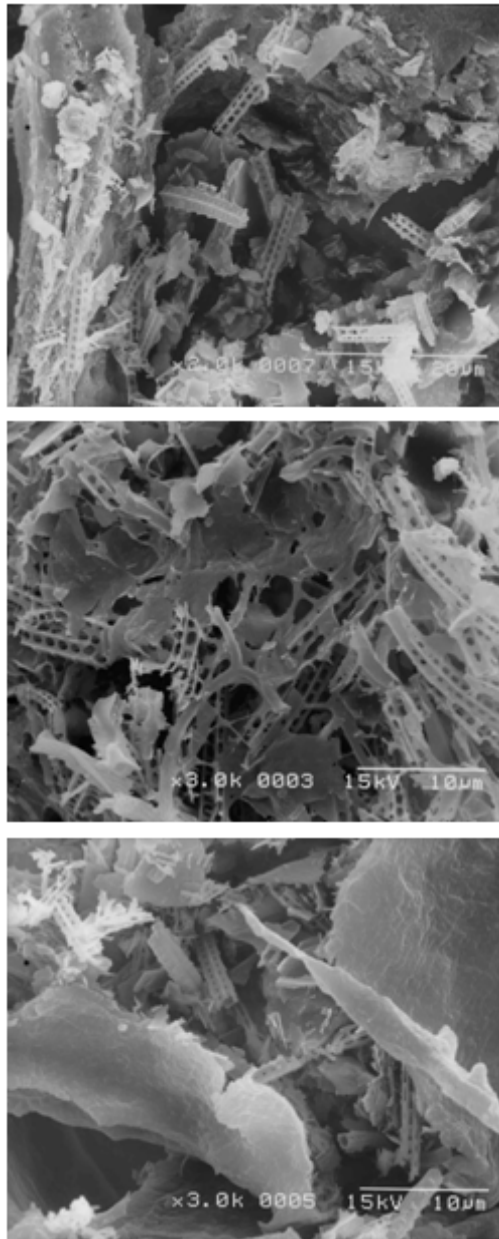


Fig. 5. Gut content showing the diatom *Chaetoceros* sp.

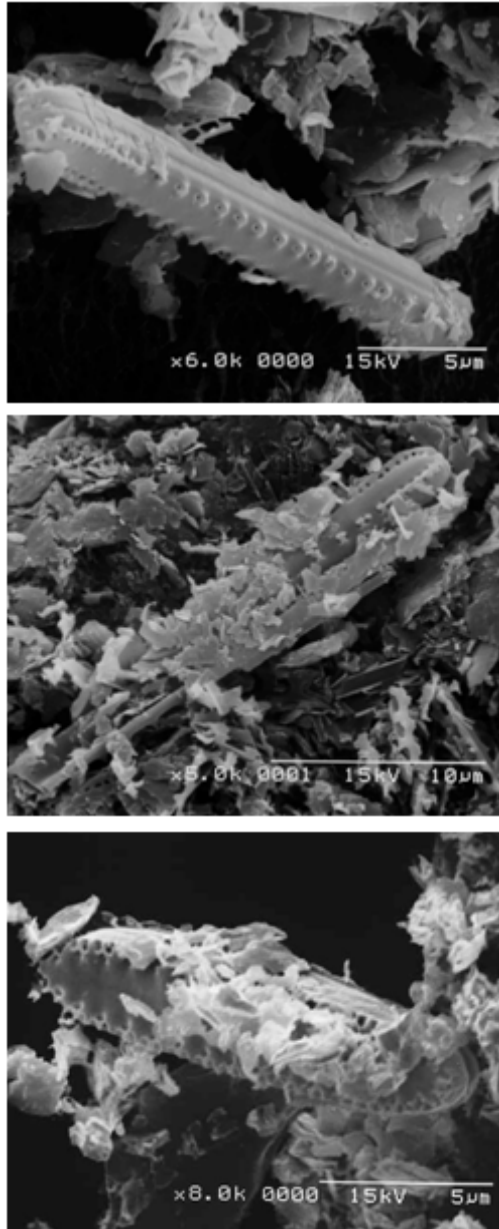


Fig. 6. Gut content showing the diatom *Thalassiothrix* sp.

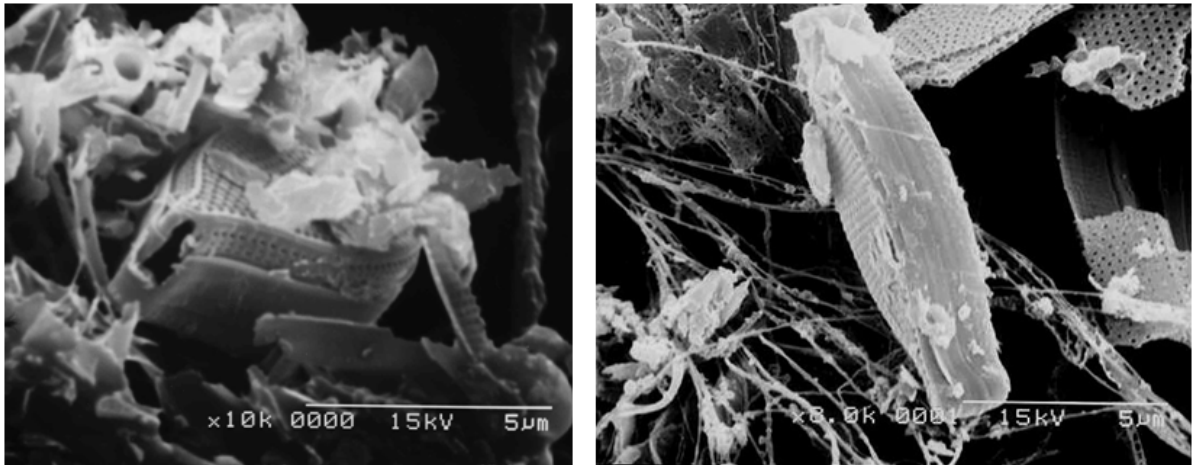
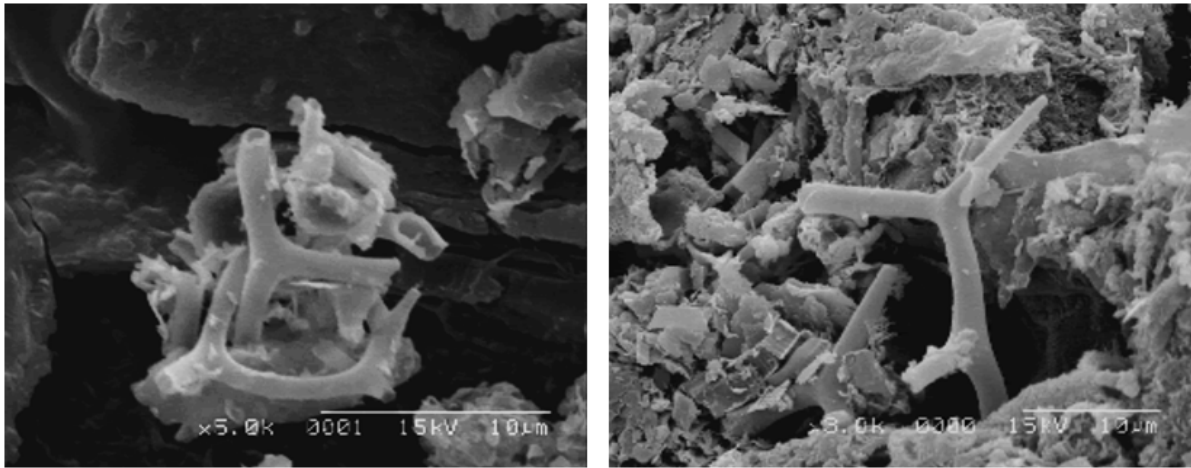


Fig. 7. Gut content showing the diatom *Navicula* sp.



**Fig. 8. Gut content with Radiolaria.**

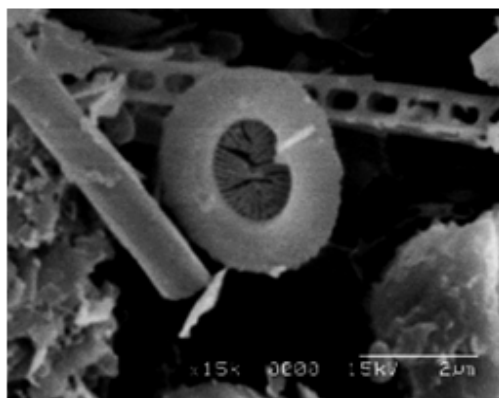
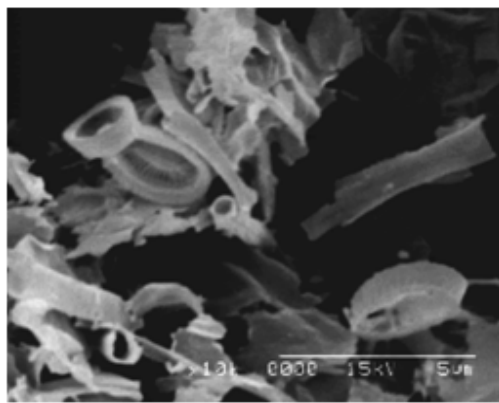
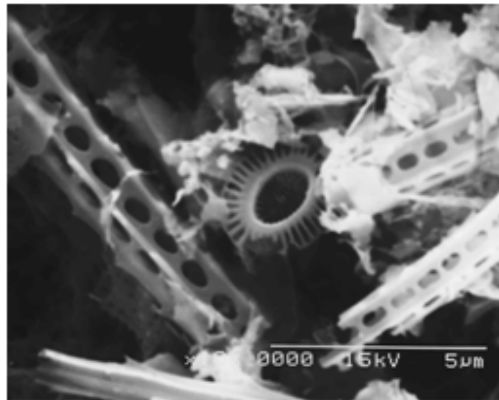


Fig. 9. Gut content with Coccoliths.





**Fig. 10.** Gut content with bacteria.

