

동해 남서해역에서 우점 규조류 *Chaetoceros debilis*와 *Leptocylindrus danicus*의 생존전략 - 용존 무기 질소 제한 환경에서 용존 유기 질소의 이용가능성

양한섭* · 전슬기** · 오석진**†

*, ** 부경대학교 해양학과

Survival Strategy of Dominant Diatom *Chaetoceros debilis* and *Leptocylindrus danicus* as Southwestern parts of East Sea - The availability of Dissolved Organic Nitrogen under Dissolved Inorganic Nitrogen-limited Environments

Han-Soeb Yang* · Seul Gi Jeon** · Seok Jin Oh**†

*, ** Department of Oceanography, Pukyong National University, 45 Yongso-ro, Nam-gu, Busan 48513, Korea

요 약 : 동해 남서해역과 같이 용존 무기 질소(dissolved inorganic nitrogen; DIN)가 제한된 환경에서 우점 규조류 *Chaetoceros debilis*와 *Leptocylindrus danicus*의 용존 유기 질소(dissolved organic nitrogen; DON)의 이용성을 정량적으로 평가하였다. 질소원으로 DIN은 질산염과 암모늄, DON은 동해에서 중요한 비율을 차지하는 글리신(glycine)과 요소(urea)에 관하여 각각 평가하였다. Monod 식으로부터 유도한 *C. debilis*의 최대성장속도(μ_{max})와 반포화상수(K_s)는 질산염에서 1.50 day^{-1} 와 $1.62 \mu\text{M}$, 암모늄에서 1.13 day^{-1} 와 $6.97 \mu\text{M}$, 글리신 1.46 day^{-1} 와 $3.36 \mu\text{M}$, 요소 0.93 day^{-1} 와 $0.55 \mu\text{M}$ 으로 나타났다. 또한 *L. danicus*는 질산염에서 1.55 day^{-1} 와 $5.21 \mu\text{M}$, 암모늄에서 1.57 day^{-1} 와 $4.57 \mu\text{M}$, 글리신 1.47 day^{-1} 와 $3.80 \mu\text{M}$, 요소 1.42 day^{-1} 와 $1.94 \mu\text{M}$ 이었다. 두 종 모두 요소에서 용존 무기 질소보다 상대적으로 높은 친화성이 확인되었으며, 이러한 높은 친화성은 DIN 제한된 상태에서 *C. debilis*와 *L. danicus*가 성장을 유지하기 위해 요소를 이용할 것으로 판단되어진다. 따라서 동해 남서해역과 같이 DIN이 제한된 해역의 경우, DON의 효율적인 이용이 식물플랑크톤의 우점화 전략에서 중요한 요인 중 하나로 생각된다.

핵심용어 : 동해, 용존 무기 질소, 용존 유기 질소, *Chaetoceros debilis*, *Leptocylindrus danicus*

Abstract : The bioavailability of dissolved organic nitrogen (DON) by dominant species *Chaetoceros debilis* and *Leptocylindrus danicus* under dissolved inorganic nitrogen (DIN)-limited condition in the southwestern East Sea was conducted to assess the quantitative evaluation using growth kinetic experiment. Nitrogen sources were nitrate and ammonium as DIN, glycine and urea, which is portion component of DON in East Sea. Maximum specific growth rate (μ_{max}) and half-saturation constant (K_s) of *C. debilis* calculated from Monod equations were estimated to be 1.50 day^{-1} and $1.62 \mu\text{M}$ in nitrate, 1.13 day^{-1} and $6.97 \mu\text{M}$ in ammonium, 1.46 day^{-1} and $3.36 \mu\text{M}$ in glycine, 0.93 day^{-1} and $0.55 \mu\text{M}$ in urea, respectively. Also, *L. danicus* was estimated to be 1.55 day^{-1} and $5.21 \mu\text{M}$ in nitrate, 1.57 day^{-1} and $4.57 \mu\text{M}$ in ammonium, 1.47 day^{-1} and $3.80 \mu\text{M}$ in glycine, 1.42 day^{-1} and $1.94 \mu\text{M}$ in urea, respectively. Both *C. debilis* and *L. danicus* have higher affinity of urea than DIN. The high affinity of urea was indicated that the dominant species were able to growth using urea under DIN-limited conditions. Thus, DON utilization of phytoplankton may be one of the important dominant strategy under DIN-limited environments such as southwestern East Sea.

Key Words : East Sea, Dissolved inorganic nitrogen, Dissolved organic nitrogen, *Chaetoceros debilis*, *Leptocylindrus danicus*

* First Author : hsyang@pknu.ac.kr, 051-629-6572

† Corresponding Author : sjoh1972@pknu.ac.kr, 051-629-6576

1. 서론

영양염 중 질소(nitrogen)는 식물플랑크톤의 주요 생체 구성 성분이며 식물생장에 필수적인 원소이다(Ryther and Dunstan, 1971). 해양에서 질소는 용존 무기 질소(dissolved inorganic nitrogen; DIN)와 용존 유기 질소(dissolved organic nitrogen; DON)로 구분되며, DIN은 질산염(nitrate; NO_3^- -N), 아질산염(nitrite; NO_2^- -N)과 암모늄(ammonium; NH_4^+ -N)이 포함되고, DON의 경우 다양한 분자량의 화합물이 존재하지만, 화학적 조성이 명확하게 잘 알려져 있지 않다(Antia et al., 1991). 이러한 DON은 식물플랑크톤 섭식과정, 배설물 및 담수와 대기 유입으로 공급된다(Bronk and Steinberg, 2008). 이 중 저분자 DON인 아미노산(amino acid)과 요소(urea)는 식물플랑크톤의 생장에 중요한 질소 공급 인자로 알려져 있다(Antia et al., 1991; Worshold et al., 2008; Hansell and Carlson, 2014). 일반적으로 식물플랑크톤은 생장에 DIN을 이용하지만, DIN이 제한된 환경에서는 다양한 형태의 DON을 가수분해하여 생장에 이용하며, 결국 종천이(species succession)를 유도하는 중요한 구성인자로 판단된다(Leong and Taguchi, 2004; Zhang et al., 2015).

DON 중 중요한 비율(~15%)을 차지하는 아미노산은 식물플랑크톤의 생장에 직간접으로 영향을 미치며(Sharp, 1983; Keil and Kirchman, 1991; Dittmar et al., 2001), 아미노산 중 글리신(glycine)은 식물플랑크톤의 체내 아미노산 비율 중 우점 성분으로 알려져 있고, 동시에 해수에서도 높은 농도로 존재한다(Cowey and Comer, 1963). 또한 요소(urea)는 식물플랑크톤 생산에 중요한 요인으로(Dugdale and Goering, 1967), 해양에서 $1 \mu\text{M}$ 이하의 농도이나 식물플랑크톤 주요 영양 물질이고, 재생산 질소의 중요한 근원이 된다(Antia et al., 1991; Berman and Bronk, 2003).

한편, 동해 남서해역의 혼합층에서 DIN의 농도는 $2 \mu\text{M}$ 이하의 낮은 농도이며, DIN:DIP 비 역시 10 이하로 식물플랑크톤 생장에 대해 DIN이 제한된 해역으로 알려져 있다(Kim et al., 2010; Kim and Kim, 2013; Kwon et al., 2014). 하지만 동해 중·남부해역의 용존 총 질소(dissolved total nitrogen; DTN) 중 DON의 구성 비율은 시·공간적으로 변화는 하지만, 50% 이상을 차지하며(남부해역의 경우 70%까지; Kim and Kim, 2013; Kwon et al., 2014), 동해 남부해역의 표층 아미노산의 농도는 DIN의 농도와 유사한 수준이다(Park et al., 1995). 또한 식물플랑크톤은 DIN이 제한된 환경에서 상대적으로 높은 비율로 존재하는 DON을 이용하는 경향이 강하다(Gilbert et al., 1991). 본 연구에서는 동해 남서해역에서 우점하는 식물플랑크톤 *Chaetoceros debilis*와 *Leptocylindrus danicus*를 분리하여 질소화합물의 이용성에 대한 정량적인 평가를 수행하였고, 그 결과를 바탕으로 동해에서 2종에 대한 DON을 이용한 우점화 전략을 토의하였다.

2. 재료 및 방법

2.1 현장 조사

동해 남서해역의 식물플랑크톤 군집구조 및 우점종을 확인하기 위해서, 2014년 5월 7일부터 10일까지 부경대학교 탐사선인 탐양호(R/V Tamyang)를 이용하여 현장 관측을 실시하였다(Fig. 1). 총 12개 정점의 표층 해수를 채수하였으며, 채수 즉시 해수 1L를 Lugol's solution으로 최종 농도가 1%가 되게 고정시켰다. 침전법으로 암소에서 농축한 후, 상등액을 제거하여 최종적으로 10 mL가 되게 농축하였다. 이후 농축된 시료를 균일하게 혼합하여 Sedgewick-Rafter counting chamber에 시료 0.1 mL를 취하여 독립위상차현미경(TE-2000, Nikon, Japan)을 이용하여 동정하였다. 식물플랑크톤의 분류 및 동정은 Chihara and Murano(1997)와 Tomas(1997)의 참고문헌을 이용하였다.

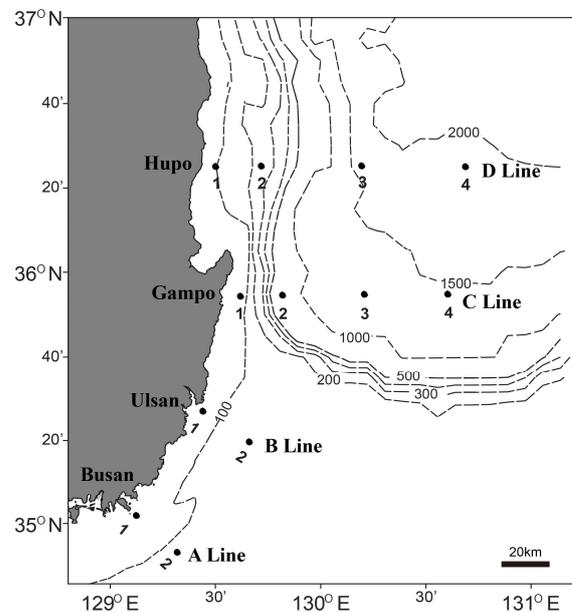


Fig. 1. Map of the study area showing locations of sampling station in the southwestern part of East Sea of Korea.

2.2 우점 식물플랑크톤의 분리 및 유지배양

동해 남서해역에서 우점 식물플랑크톤의 단일 배양세포를 확보하기 위하여, 현미경 하에서 pasteur pipette($\text{Ø}50\text{--}100 \mu\text{m}$)으로 직접 순수 분리 하였다. 분리된 세포는 여과해수($0.22 \mu\text{m}$ pore size, Millipore GSWP)를 이용하여 3~4회 반복 세척하여 배양튜브(TB-2800, Tokyo, Japan)에 이식하였다. 유지배양에 사용된 배지는 동해 외양수를 바탕으로 한 f/2 배지이며, $0.001 \mu\text{M}$ selenium (H_2SeO_3)을 첨가하여 사용하였다(Guillard and Ryther, 1962; Doblin et al., 1999). 또한 분리된 우점종은 실

험에 사용되기 전 AM9 항생제를 이용하여 무균화 작업을 수행하였으며(Provasoil et al., 1959), 4',6-diamidino-2-phenylindole (DAPI) 검사를 통하여 검증하였다(Poter and Feig, 1980). 실험에 사용된 기구는 오염을 차단하기 위해 고압멸균(120°C, 30 min) 후 사용하였으며, 모든 실험은 clean bench에서 수행하였다.

2.3 질소 제한 하에서 우점 식물플랑크톤의 성장동력학 실험

세포밀도의 증감은 현미경을 이용한 직접 검경이 아닌 형광광도계(Model-10-AU-005, Turner Designs, USA)의 *in vivo* chlorophyll 형광값을 활용하였다. 세포밀도와 *in vivo* chlorophyll 형광값의 관계를 파악하기 위해, 20°C, 30 psu의 조건 하에서 대수성장기까지 배양하였다. 이후 회석을 통하여 여러 단계의 세포밀도를 조제하여, 형광광도계로 형광값을 측정하였다. 세포밀도는 *in vivo* chlorophyll 형광값과 세포밀도의 높은 상관관계로부터 계산하였다(Fig. 2).

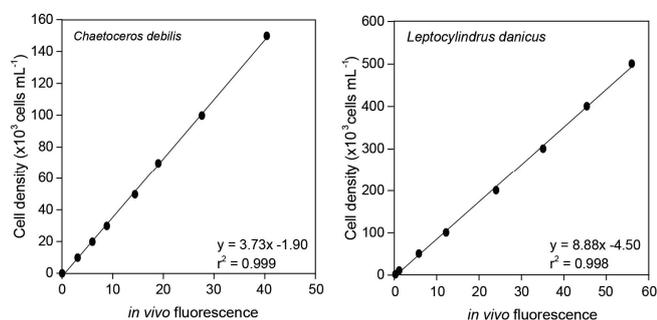


Fig. 2. Relationship between cell density and *in vivo* fluorescence of *Chaetoceros debilis* and *Leptocylindrus danicus*.

질소화합물에 대한 성장속도를 파악하기 위하여 DIN 2종(질산염과 암모늄), DON 2종(글리신과 요소)를 이용하였다. 글리신의 경우, 동해 남부해역의 아미노산 분포에서 높은 농도로 나타났으며(Park et al., 1995), 요소는 일반 해양에서 식물플랑크톤의 주요 영양물질로 알려져 있다(Antia et al., 1991; Berman and Bronk, 2003). 배양 실험시 우점종의 성장에 질소 이외에 다른 요인의 간섭을 최소화하기 위해 질소고갈 영양염 강화 L1 배지를 이용하였다. 각각의 질소화합물은 질소 최종농도가 1, 3, 5, 10, 50, 100, 300 μM의 총 7단계가 되도록 조제하였으며, 세포내 질소가 고갈된 세포를 100 cells mL⁻¹가 되도록 접종하였다. 배양 실험은 수온 20°C, 30 psu의 조건에서 수행되었으며, 접종 직후를 포함하여 이틀 간격으로 동일한 시간에 *in vivo* chlorophyll 형광값을 측정하였고, 성장속도는 식(1)에 의해 계산하였다.

$$\mu = \frac{1}{\Delta t} \ln \frac{N_t}{N_0} \quad (1)$$

N₀, N_t: 대수성장기에서 초기와 t시간 후의 세포밀도 (cells mL⁻¹)
 Δt: 대수성장기의 기간(day)

영양염과 성장속도의 관계는 Monod 식에 대입하여 영양염 농도의 의존성을 정량적으로 파악하였다(Dugdale, 1967). 그리고 변수인 반포화상수(K_s)는 식(2)에 대입하여 비선형최소자승법으로 계산하였다.

$$\mu = \mu_{max} \cdot \frac{S}{K_s + S} \quad (2)$$

μ_{max}: 최대 성장속도(day⁻¹)

K_s: 반포화상수(μM)

S: 영양염 농도(μM)

3. 결과 및 고찰

3.1 동해 남서해역에서 *Chaetoceros debilis*와 *Leptocylindrus danicus*의 우점

조사 기간 동안 동해 남서해역에서 출현한 식물플랑크톤의 현존량은 전 정점에서 9.0 × 10³ ~ 68 × 10⁴ cells L⁻¹(평균 19 ± 18 × 10⁵ cells L⁻¹)으로 나타났으며, D1정점에서 가장 높은 현존량을 보였다. 식물플랑크톤의 군집구조를 살펴보면, 규조류가 전 정점에 걸쳐 약 95% 이상 극우점 현상을 보였다. 그 중 *C. debilis*(6~78%)와 *L. danicus*(8~80%)에 의한 우점 현상이 뚜렷이 나타났다(Table 1).

본 연구해역에서 식물플랑크톤의 현존량은 정점 간 차이를 보였지만, 전반적으로 다소 높은 세포밀도가 나타났다(Table 1). Shim et al.(2015)은 동해 연안 식물플랑크톤의 계절별 변동을 확인해본 결과 춘계 대번식이 발생하는 5월에 가장 높은 식물플랑크톤 현존량이 확인되었다. 이는 조사가 이루어진 춘계의 경우, 동계에 깊게 형성된 혼합층으로 인해 표층으로의 풍부한 영양염 공급과 춘계에 일조량 증가로 인한 식물플랑크톤의 활동이 증가한 결과로 판단되어진다. 또한 본 연구해역의 식물플랑크톤 우점군집은 규조류이며, Shim et al.(1994)에서 춘계 동해 남부해역 식물플랑크톤 우점군집을 규조류(약 98%)로 보고하였고, 우점종은 *L. danicus*와 *Pseudo-nitzschia pungens*이었다. Kim et al.(2014)도 춘계 동해 남부연안에서 *L. danicus*가 최상위 우점종(약 86%)으로 보고하였다. Shim et al.(2015)는 동해 남부연안에서 *Chaetoceros* 속

동해 남서해역에서 우점 규조류 *Chaetoceros debilis*와 *Leptocylindrus danicus*의 생존전략
- 용존 무기 질소 제한 환경에서 용존 유기 질소의 이용가능성

이 가장 많은 출현 종수를 보였으며, *C. affinis*와 *C. didymus*가 우점종으로 출현하였다고 보고한바 있다. 우점종인 *C. debilis*는 온대성 연안종으로 우리나라에서는 연중 출현하는 것으로 알려져 있으며, *L. danicus*는 온대 연안종으로 협염성의 특징을 보이며, 주로 4-6월에 표층에서 대발생하는 것으로 알려져 있다(Shim et al., 1994; Werner, 1997). 결과적으로 춘계 동해 남서해역에서 본 연구결과 확인된 *C. debilis*와 *L. danicus*와 같은 규조류 군집이 식물플랑크톤 환경에서 중요할 것으로 생각된다.

Table 1. The dominant species in the southwestern part of East Sea

Station	Dominant species	Dominance (%)	Abundance (cells L ⁻¹)
A 1	<i>Chaetoceros debilis</i>	54	42×10 ³
	<i>Leptocylindrus danicus</i>	11	9×10 ³
A 2	<i>Chaetoceros debilis</i>	56	59×10 ³
	<i>Leptocylindrus danicus</i>	14	16×10 ³
B 1	<i>Leptocylindrus danicus</i>	37	12×10 ³
	<i>Chaetoceros debilis</i>	22	7×10 ³
B 2	<i>Chaetoceros debilis</i>	51	73×10 ³
	<i>Leptocylindrus danicus</i>	11	43×10 ³
C 1	<i>Chaetoceros debilis</i>	53	92×10 ³
	<i>Leptocylindrus danicus</i>	37	59×10 ³
C 2	<i>Chaetoceros debilis</i>	68	84×10 ³
	<i>Leptocylindrus danicus</i>	8	10×10 ³
C 3	<i>Chaetoceros debilis</i>	78	43×10 ⁴
	<i>Rhizosolenia alata</i>	8	31×10 ³
C 4	<i>Leptocylindrus danicus</i>	56	41×10 ³
	<i>Chaetoceros debilis</i>	33	29×10 ³
D 1	<i>Leptocylindrus danicus</i>	80	54×10 ⁴
	<i>Chaetoceros debilis</i>	6	48×10 ³
D 2	<i>Chaetoceros debilis</i>	54	85×10 ³
	<i>Leptocylindrus danicus</i>	29	36×10 ³
D 3	<i>Leptocylindrus danicus</i>	80	28×10 ⁴
	<i>Chaetoceros debilis</i>	6	20×10 ³
D 4	<i>Leptocylindrus danicus</i>	63	71×10 ³
	<i>Chaetoceros debilis</i>	29	33×10 ³

3.2 질소 제한 하에서 우점 식물플랑크톤의 성장동력학 실험

현장자료를 토대로 실내 배양 실험에서는 우점종으로 나타난 규조류 *C. debilis*와 *L. danicus*를 이용하여 성장동력학 실험을 실시하였다.

*C. debilis*의 성장속도는 4종의 화합물 농도가 50 μM까지 증가할수록 증가하였으며, 그 이상의 농도에서는 일정하였다(Fig. 3). 유도된 성장식으로부터 μ_{max}는 질산염이 1.50 day⁻¹, 암모늄이 1.13 day⁻¹, 글리신이 1.46 day⁻¹, 요소가 0.93 day⁻¹로 나타났으며, Ks의 경우, 각각 1.62, 6.97, 3.36, 0.55 μM로 나타났다

(Fig. 3). *L. danicus*도 *C. debilis*와 마찬가지로 질소화합물 모두 농도가 50 μM까지 증가할수록 성장속도 역시 증가하였으며, 그 이상의 농도에서는 성장속도가 일정하게 나타났다(Fig. 4). 암모늄(1.57 day⁻¹)에서 가장 높은 성장속도가 나타났으며, 다음으로 질산염(1.55 day⁻¹), 글리신(1.47 day⁻¹), 요소(1.42 day⁻¹) 순으로 낮아졌다. 대표적인 연안역에 우점하는 규조류의 μ_{max}와 비교를 하여보면, 큰 차이는 보이지 않았다(Table 2). Ks의 경우, 질산염(5.21 μM)에서 가장 높은 농도였으며, 암모늄(4.57 μM), 글리신(3.80 μM), 요소(1.94 μM) 순으로 나타났다(Fig. 3). 두 종 모두 무기태 질소에서 다소 높은 성장속도였지만, DON에서도 DIN정도의 성장속도가 나타났다. *C. debilis*와 *L. danicus*의 질소화합물에 대한 Ks는 요소에서 가장 낮게 나타났다. 일반적으로 Ks는 제한 영양염에 대한 친화성(affinity)을 나타내는 지표로 사용되어지며(Dugdale, 1967), 이 값이 낮을수록 낮은 영양염에 대한 친화성이 높다.

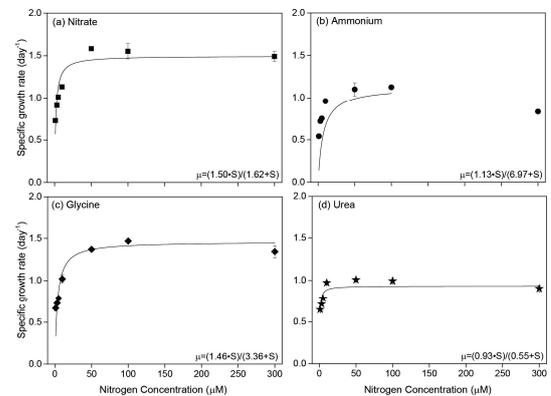


Fig. 3. Specific growth rate of *Chaetoceros debilis* as a function of (a) nitrate(NO₃⁻-N), (b) ammonium(NH₄⁻-N), glycine (C₂H₅NO₂) and (d) urea(CO(NH₂)₂) concentration.

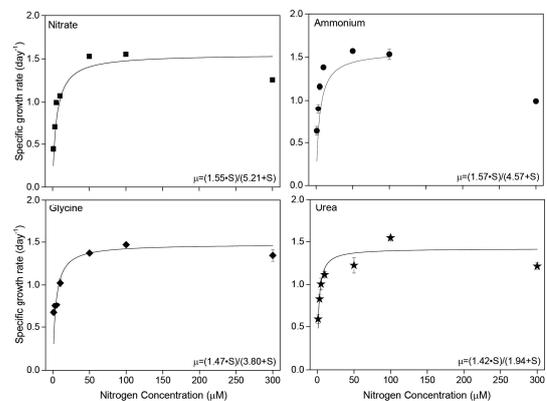


Fig. 4. Specific growth rate of *Leptocylindrus danicus* as a function of (a) nitrate(NO₃⁻-N), (b) ammonium(NH₄⁻-N), glycine(C₂H₅NO₂) and (d) urea(CO(NH₂)₂) concentration.

Table 2. Comparison of specific growth rate (μ_{max}) for nitrate, ammonium, glycine and urea of *Chaetoceros debilis*, *Leptocylindrus danicus* and other marine diatoms

Species	μ_{max}				References
	nitrate	ammonium	glycine	urea	
<i>Asterionella japonica</i>	1.9-2.0	-	-	-	Eppley & Thomas, 1969
<i>Chaetoceros debilis</i>	1.50	1.13	1.46	0.93	This study
<i>C. gracilis</i>	1.53	1.58			Sunlu et al., 2010
<i>Leptocylindrus danicus</i>	1.55	1.57	1.47	1.42	This study
<i>Skeletonema costatum</i>	0.67	-	-	-	Kang, 2009

Table 3. Comparison of growth kinetic parameter (Ks) for nitrate, ammonium, glycine and urea of *Chaetoceros debilis*, *Leptocylindrus danicus* and other marine phytoplankton

Species	Ks				References
	nitrate	ammonium	glycine	urea	
<i>Chaetoceros debilis</i>	1.62	6.97	3.36	0.55	This study
<i>C. gracilis</i>	0.98	1.58			Sunlu et al., 2010
<i>Leptocylindrus danicus</i>	5.21	4.57	3.80	1.94	This study
<i>Pseudo-nitzschia</i> sp.	1.26	1.38	-	-	Auro and Cochlan, 2012
<i>Skeletonema costatum</i>	0.67	-	-	-	Kang, 2009
<i>Cochlodinium polykrikoides</i>	2.06	2.69	-	2.90	Gobler et al., 2012
<i>Prorocentrum minimum</i>	1.10	0.73	-	< 0.50	Taylor et al., 2006

Fisher and Cowdell(1982)의 보고에 의하면, 8 종의 해양규조를 대상으로 요소와 아미노산 7종에 대하여 정치배양을 실시한 결과 DIN 뿐만 아니라 DON에서도 잘 성장하였고, 호주 Bass 해협에서 DON이 DTN중 97% 차지하여 DON의 중요성을 제시하였다. Chesapeake 만과 Baltic 해의 경우 규조류의 대발생이 DIN이 급격히 고갈되고, DON의 농도 및 비율이 증가될 때 종천이 양상이 발견된다고 보고되었다(Gilbert et al., 1991). Zhang et al.(2015)은 동해 남서해역의 해양환경에 많은 영향을 주는 동중국해에서 DON 중 아미노산(자유 아미노산 및 결합 아미노산)이 와편모조류로의 천이에 영향을 주

었다고 하였으며, Kwon et al.(2013)은 유해 적조 *Alexandrium tamarense*와 *A. catenella*의 성장과 우점전략에서 DON이 중요한 역할을 보고하였다. 아울러 *Prorocentrum minimum*은 요소에서 높은 친화성이 확인되었으며(Table 3), *Cochlodinium polykrikoides* (Gobler et al., 2012)과 *P. donghaiense*(Hu et al., 2014) 또한 요소에서 무기질소 만큼 빠른 성장을 보인다고 보고된 바 있다. 따라서 DON은 규조류뿐만 아니라 와편모조류의 성장과 대발생에도 영향을 미치는 것으로 보인다.

이전 많은 연구들을 통해 동해는 식물플랑크톤의 성장에 대해 질소가 제한 영양염으로 작용하는 것으로 알려져 있다(Kim et al., 2010; Kim and Kim, 2013; Kwon et al., 2014). 일반적인 해양에서 질소계 영양염은 강우(precipitation), 수직 확산(upward diffusion), 질소 고정(nitrogen fixation)과 같은 신생산(new production)과 유광층내 미생물의 재 무기화 작용(reminalization)을 포함한 생물학적 재생산(regenerated production)으로 공급되어진다(Dugdale and Georing, 1967; Eppley and Peterson, 1979; Carpenter and Romans, 1991; Duce et al., 1991). 동해 남서해역에서 식물플랑크톤 성장에 대한 무기 질소 제한 상태를 극복하기 위하여, 수직 확산에 의한 신생산과 유광층내 생물학적 재생산이 주요한 질소 공급 경로로 알려져 있다(Chung et al., 1989; Moon et al., 1998; Kwak et al., 2013). 본 연구에서 규조류 *C. debilis*와 *L. danicus*의 생존전략인 DON 이용은 아직까지 동해의 DON의 정량과 정성분석을 수행하지 못하여, 우점종의 우점 및 생존전략을 보다 정확히 파악하기에는 어려움이 있다. 하지만, 동해 남서해역에서 DTN 중 DON의 농도 및 구성비가 높게 나타나는 것으로 알려져 있어(Kwon et al., 2014), 다양한 경로의 질소원이 공급원뿐만 아니라 식물플랑크톤의 DON의 높은 이용성은 본 해역의 높은 기초 생산력을 유지하는 중요한 요인이 될 것이다.

4. 결론

본 연구는 동해 남서해역과 같이 DIN 제한환경에서 우점 규조류 *C. debilis*와 *L. danicus*의 생존 및 우점 전략을 살펴본 것이다. 2 우점종을 이용하여 무기 질소 2종(질산염, 암모늄)과 유기 질소 2종(글리신, 요소)에 대한 Monod 식을 바탕으로 성장동력학 실험을 수행한 결과, 무기질소 뿐만 아니라 유기 질소에서도 높은 성장속도가 나타났다. 또한 *C. debilis*와 *L. danicus*는 요소에서 가장 높은 친화성을 보여, 동해 남서해역과 같이 무기질소가 제한된 해역의 경우, 용존 유기 질소의 효율적인 이용은 규조류의 생존 및 우점화 전략에 중요한 요인으로 작용할 가능성을 시사하였다.

사 사

본 연구를 수행하는데 있어, 많은 도움을 주신 탐양호 관계자 분들에게 감사드립니다. 그리고 본 논문은 부경대학교 자율창의학술연구비(2015년)에 의하여 연구되었습니다.

References

- [1] Antia, N. J., P. J. Harrison and L. Oliveria(1991), Phycological reviews: the role of dissolved organic nitrogen in phytoplankton nutrition, cell biology, and ecology, *Phycologia*, Vol. 30, pp. 1-89.
- [2] Auro, M. E. and W. P. Cochlan(2013), Nitrogen utilization and toxin production by two diatoms of the *Pseudo-nitzschia pseudodelicatissima* complex: *P. cuspidata* and *fryxelliana*, *Journal of Phycology*, Vol. 49, pp. 156-169.
- [3] Berman, T. and D. A. Bronk(2003), Dissolved organic nitrogen; a dynamic participant in aquatic ecosystems, *Aquatic Microbial Ecology*, Vol. 31, pp. 279-305.
- [4] Bronk, D. A. and D. K. Steinberg(2008), Nitrogen regeneration In: Capone, D.G. and E. J. Carpenter(eds), *Nitrogen in the Marine Environment*, Elsevier, Inc., New York, pp. 375-459.
- [5] Carpenter, E. J. and K. Romans(1991), Major role of the cyanobacterium *Trichodesmium* in nutrient cycling in the North Atlantic Ocean, *Science*, Vol. 254, pp. 1356-1368.
- [6] Chihara, M. and M. Murano(1997), *An illustrated guide to marine plankton in Japan*, Tokai University Press, Tokyo, p. 1574.
- [7] Chung, C. S., J. H. Shim, Y. C. Park and S. G. Park(1989), Primary productivity and nitrogenous dynamics in the East Sea of Korea, *Journal of the Korean Society of Oceanography*, Vol. 24, pp. 52-61.
- [8] Cowey, C. B. and E. D. S. Corner(1963), Amino acids and some other nitrogenous compounds in *Calanus finmarchicus*. *J. Mar. Biol. Ass. U.K.*, Vol. 43, pp. 485-493.
- [9] Dittmar, T., H. P. Fitznar and G. Katmer(2001), Organic and biogeochemical cycling of organic nitrogen in the eastern Arctic Ocean as evident from D- and L-amino acids. *Geochim. cosmochim. Acta*, Vol. 65, pp. 4103-5114.
- [10] Doblin, M. A., S. I. Blackburn and G. M. Hallegraeff(1999), Growth and biomass stimulation of the toxic dinoflagellate *Gymnodinium catenatum* (Graham) by dissolved organic substances, *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, Vol. 236, pp. 33-47.
- [11] Duce, T. A., R. S. Liss, J. T. Merrill, T. Buar-Menard, B. B. Hicks, F. M. Miller, J. M. Prospero, T. Arimoto, T. M. Church, W. Ellis, J. N. Galloway, L. Hanson, T. D. Jickells, A. D. Knapp, K. H. Rienhart, B. Schneider, A. Soudine, J. J. Tokos, S. Tsunogai, R. Wollast and M. Zhou(1991), The atmospheric input of trace species to the world ocean, *Global Biogeochemical Cycles*, Vol. 5, pp. 193-259.
- [12] Dugdale, R. C.(1967), Nutrients limitation in the sea: dynamic, identification and significance, *Limnology and Oceanography*, Vol. 12, pp. 685-695.
- [13] Dugdale, R. C. and J. J. Goering(1967), Uptake of new and regenerated forms of nitrogen in primary productivity, *Limnology and Oceanography*, Vol. 12, pp. 196-206.
- [14] Eppley, R. W. and B. J. Peterson(1979), Particulate organic matter flux and planktonic new production in the deep ocean, *Nature*, Vol. 282, pp. 677-680.
- [15] Eppley, R. W. and W. H. Thomas(1969), Comparison of half-saturation constant for growth and nitrate uptake of marine phytoplankton. *Journal of Phycology*, Vol. 5, pp. 375-379.
- [16] Fisher, N.S. and R. A. Cowdell(1982), Growth of marine planktonic diatoms on inorganic and organic nitrogen. *Mar. Biol.*, Vol. 72, pp. 147-155.
- [17] Gilbert P. M., C. Garside, J. A. Fuhrman and M. R. Roman(1991), Dependent coupling of inorganic and organic nitrogen uptake and regeneration in the plume of the Chesapeake Bay estuary and its regulation by large heterotrophs, *Limnol. Oceanogr.*, Vol. 36, pp. 895-909.
- [18] Gobler C. F., A. Burson, F. Koch, Y. Tang and M. R. Mulholland(2012), The role of nitrogenous nutrients in the occurrence of harmful algal blooms caused by *Cochlodinium polykrikoides* in New York estuaries (USA), *Harmful Algae*, Vol. 17, pp. 64-74.
- [19] Guillard, R. R. L. and J. H. Ryther(1962), Studies of marine planktonic diatoms: I. *Cyclotella nana* Hustedt and *Detonula confervaca* (Cleve) Gran, *Canadian Journal of Microbiology*, Vol. 8, No. 2, pp. 223-239.
- [20] Hansell, D. A. and C. A. Carlson(2014), *Biogeochemistry of marine dissolved organic matter*, Academic Press.
- [21] Hu, Z., S. Duan, N. Xu and M. R. Mulholland(2014), Growth and nitrogen uptake kinetics in cultured *Prorocentrum donghaiense*, *PLOS ONE*, Vol. 9, No. 4, e94030.
- [22] Kang, I. S(2009), Optical characteristic and growth kinetics for nitrate and phosphate by the planktonic diatom *Skeletonema*

- costatum* and bentic diatom *Nitzschia* sp., Master Thesis, Chonnam National University, Yeosu, p. 84.
- [23] Keil, R. G. and D. L. Kirchman(1991), Dissolved combined amino acids in marine waters as determined by a vapor-phase hydrolysis method. *Mar. Chem.*, Vol. 33, pp. 243-259.
- [24] Kim, A. R., S. H. Youn, M. H. Chung, S. C. Yoon and C. H. Moon(2014), The influences of coastal upwelling on phytoplankton community in the Southern part of East Sea, Korea, *Journal of the Korean Society of Oceanography*, Vol. 19, pp. 287-301.
- [25] Kim, T. H. and G. B. Kim(2013), Factors controlling the C:N:P stoichiometry of dissolved organic matter in the N-limited cyanobacteria-dominated East/Japan Sea, *Journal of Marine Systems*, Vol. 115-116, pp. 1-9.
- [26] Kim, T. H., Y. W. Lee and G. B. Kim(2010), Hydrographically mediated patterns of photosynthetic pigments in the East/Japan Sea: Low N:P ratios and cyanobacterial dominance, *Journal of Marine Systems*, Vol. 82, pp. 72-79.
- [27] Kwak, J. H., J. S. Hwang, E. J. Choy, H. J. Park, D. J. Kang, T. S. Lee, K. I. Chang, K. R. Kim and C. K. Kang(2013), High primary productivity and *f*-ratio in summer in the Ulleung basin of the East/Japan Sea, *Deep Sea Research : Oceanographic Research Papers*, Vol. 79, pp. 74-85.
- [28] Kwon, H. K., S. J. Oh, M. O. Park and H. S. Yang(2014), Distribution of water masses and distribution characteristics of dissolved inorganic and organic nutrients in the southern part of the East Sea of Korea: Focus on the observed data in September, 2011, *Journal of the Korean Society for Marine Environment and Energy*, Vol. 17, pp. 90-103.
- [29] Kwon, H. K., J. A. Park, H. S. Yang and S. J. Oh(2013), Dominance and survival strategy of toxic dinoflagellate *Alexandrium tamarense* and *Alexandrium catenella* under dissolved inorganic nitrogen-limited conditions, *Journal of the Korea Society for Marine Environment and Energy*, Vol. 16, pp. 25-35.
- [30] Leong, S. C. and S. Taguchi(2004), Response of the dinoflagellate *Alexandrium tamarense* to a range of nitrogen sources and concentrations: growth rate, chemical carbon and nitrogen, and pigments. *Hydrobiologia*, Vol. 515, pp. 215-224.
- [31] Moon, C. H., S. R. Yang, H. S. Yang, H. J. Cho, S. Y. Lee and S. Y. Kim(1998), Regeneration processes of nutrients in the polar front area of the East sea. IV. Chlorophyll *a* distribution, new production and the vertical diffusion of nitrate, *Korean Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, Vol. 31, No. 2, pp. 259-266.
- [32] Park, Y. C., S. K. Son, K. H. Chung and K. H. Kim(1995), Characteristics of fluorescent organic matter and amino acids composition in the East Sea, *Journal of the Korean Society of Oceanography*, Vol. 30, pp. 341-354.
- [33] Porter, K. G. and Y. S. Feig(1980), The use of DAPI for identifying and counting aquatic microflora, *Limnology and Oceanography*, Vol. 25, pp. 943-948.
- [34] Provasoil, L., K. Shiraishi and J. R. Lance(1959), Nutritional idiosyncrasies of *Artemia* and *Tigriopus* in monoxenic culture, *Annals of the New York Academy of Sciences*, Vol. 77, pp. 250-261.
- [35] Ryther, J. H. and W. M. Dunstan(1971), Nitrogen, phosphorus, and eutrophication in the coastal marine environment. *Science*, Vol. 12, pp. 1008-1013.
- [36] Sharp, J. H.(1983), The distribution of inorganic nitrogen and dissolved and particulate organic nitrogen in the sea. Academic Press, New York, pp. 1-35.
- [37] Shim, J. H.(1994), Illustrated encyclopedia of fauna and flora of Korea, Marine phytoplankton, Ministry of Education, Seoul, Vol. 34, pp. 1-487.
- [38] Shim, J. H., K. Y. Kwon, S. Y. Kim and D. S. Yoon(2015), Seasonal change of phytoplankton dominant species based on water mass in the coastal areas of the East Sea, *Journal of the Korean Society of Marine Environment & Safety*, Vol. 21, No. 5, pp. 474-483.
- [39] Sunlu, F. S., B. Kutlu and H. B. Buyukisik(2010), Comparison of growth kinetics of *Chaetocers gracilis* isolated from two different areas in the Aegean Sea (The Bay of Izmir and the Homa Lagoon), *Journal of Animal and Veterinary Advances*, Vol. 9, pp. 1796-1803.
- [40] Taylor C. T., C. J. Gobler and S. A. Sanudo-Wilhelmay(2006), Speciation and concentrations of dissolved nitrogen as determinants of brown tide *Aureococcus anophagefferens* bloom initiation, *Marine Ecology Progress Series* Vol. 312, pp. 67-74.
- [41] Tomas, C. R.(1997), Identifying marine phytoplankton, Academic Press, London, p. 858.
- [42] Werner, D.(1997), The biology of diatoms, Blackwell Scientific Publications, p. 469.
- [43] Worsfold, P. J., P. Monbet, A. D. Tappin, M. F. Fitzsimons, D. A. Stiles and I. D. McKelvie(2008), Characterisation and quantification of organic phosphorus and organic nitrogen components in aquatic systems: a review. *Anal. Chim. Acta*,

동해 남서해역에서 우점 규조류 *Chaetoceros debilis*와 *Leptocylindrus danicus*의 생존전략
- 용존 무기 질소 제한 환경에서 용존 유기 질소의 이용가능성

Vol. 624, pp. 37-58.

- [44] Zhang G., S. Liang, X. Shi and X. Han(2015), Dissolved organic nitrogen bioavailability indicate by amino acids during a diatom to dinoflagellate bloom succession in the Changjiang River estuary and its adjacent shelf, Marine and Chemistry, Vol. 176, pp. 83-95.

Received : 2016. 02. 29.

Revised : 2016. 04. 14. (1st)

: 2016. 04. 22. (2nd)

Accepted : 2016. 04. 27.