

등근성게, 북쪽말뚝성게 및 참전복의 일일 먹이소비량 및 해조류 먹이선택성

김수경*·김영대·전창영·공용근·김동삼·김진희·김명래·한형균¹
국립수산과학원 동해수산연구소, ¹양식환경연구센터

Algal Consumption and Preference of Sea Urchins, *Strongylocentrotus nudus*, *S. intermedius* and Abalone, *Haliotis discus hannai*

Su-Kyoung KIM*, Young-Dae KIM, Chang-Yong JEON, Yong-Gun GONG,
Dong-Sam KIM, Jin-Hee KIM, Myoung-Lae KIM and Hyoung-Kyun HAN¹
East Sea Fisheries Research Institute, NFRDI, Gangwon 210-861, Korea
¹*Aquaculture and Environment Institute, NFRDI, Kyungnam 650-943, Korea*

In 2006, we studied herbivore consumption rate and preference for algal species using laboratory experiments. In the no-choice feeding experiment, three herbivores (two sea urchins, *Strongylocentrotus nudus* and *Strongylocentrotus intermedius* and an abalone, *Haliotis discus hannai*) showed significantly ($P < 0.05$) distinct preferences for four algae (*Laminaria japonica*, *Undaria pinnatifida*, *Costaria costata* and *Ecklonia stolonifera*). The alga preferred by *S. nudus* was *L. japonica* followed by *U. pinnatifida*, *C. costata* and *E. stolonifera* with respective daily feeding rates of 5.7 ± 0.85 g, 4.4 ± 0.89 g, 3.1 ± 0.39 g and 2.1 ± 0.32 g (mean \pm SE). A similar trend was found for *S. intermedius*. Interestingly, the herbivore consumption rates for the algae differed with or without competition. The competition stimulated the feeding activity for *S. nudus*, but lowered the activity for *S. intermedius*. The multi-choice feeding experiment confirmed that *L. japonica* was significantly preferred by two herbivores: *S. nudus* and *H. discus hannai* (Duncan's multiple range test, ANOVA, $p < 0.05$).

Keywords: Algal consumption, Algal preference, Sea urchin, Abalone

서론

해조류는 해양 저면적의 0.1%에 분포하고 있으나 지구의 5%의 일차생산을 담당하고 있어 해양생태계 유지에 큰 역할을 하고 있다 (Smith, 1981). 해조군집의 구조와 재생산 가능성은 환경조건이외에 조식동물의 섭식에 의하여 크게 영향을 받으며 이와 관련된 연구는 지리학적으로 온대, 열대, 극지방에 이르기까지 광범위하게 발표가 되어왔다 (Lawrence, 1975; Duggins, 1980).

자연환경에서 조식동물 특히 성게는 군집의 형태로 이동하면서 해조류를 대량으로 섭취하기 때문에 대형해조류의 성장이 소실될 뿐만 아니라 유엽이 부착하여 생장할 수 없을 정도로 이르게 되어 이들이 군집으로 이동하는 지역과 집단서식지에서는 해조류가 사라지고 갯녹음 (barren grounds)이 형성이 되기도 한다 (Leighton, 1971; Breen and Mann, 1976; Harrold and Pears, 1987). 갯녹음이 확대된 지역에는 해양 환경 변화에 대한 해조류 종간의 상호작용으로 무절산호조류의 확대와 축소를 반복하는 천이과정 중 무절산호조류가 우점종을 이루고 있는데, 이 무절산호조류는 성게 유생의 변태를

촉진하는 것으로 보고되어 있어 (Pearce and Scheibling, 1990) 조식동물의 군집형성을 촉진함으로 갯녹음 현상이 악화되는 경향이 있다. 또 하나의 대표적인 조식동물인 전복은 서식지와 먹이 이용가능성에 따라 선호하는 먹이 종류가 다르며 (Barkai and Griffiths, 1986; Dunstan et al., 1996) 일일 먹이 섭취량이 체중에 35%에 이르는 것으로 알려져 있어 지속적인 성장을 위해서는 다량의 해조류가 필요시 되고 있다 (Tahil and Juinio-Menez, 1999).

우리나라의 동해안에서는 갯녹음 현상을 극복 또는 완화시키기 위하여 수년간 인위적으로 해조류를 이식하고 인공어초를 설치하여 바다숲 조성을 위한 연구를 수행해왔다 (ESFRI, 2006). 따라서 해조류의 생태에 관한 지식뿐만 아니라 다양한 생태계 구성원 간의 상호관계를 이해하는 것이 필요하며 서식지 생물의 군집, 환경 구조에 가장 큰 영향을 미치는 조식동물에 관한 체계적인 연구가 필요한 실정이다. 전 세계적으로 대표적 조식동물인 성게와 전복의 먹이선택도와 저서 군집에 미치는 영향에 관하여 다수의 연구가 있으나 (Lawrence, 1975; Ogden, 1976; Lawrence and Sammarco, 1982; Wessels et al., 2006), 국내에서는 성게에 관한 연구는 생식주기 및 초기 성장 (Yoo et al., 1982; Lee et al., 2003), 연령분석과 성장 (Hong and Chung, 1998; Chung et al., 2005)만이 있었을 뿐 환경에

*Corresponding author: skkim@nfrdi.re.kr

미치는 영향과 생태학적 상호관계를 구명하기 위한 연구는 아직 미비한 실정이다 (Yoo et al., 2004).

따라서, 본 연구에서는 대표적인 조식동물인 등근성게, 북쪽말뚝성게 및 참전복의 먹이 섭취량과 해조 선호도를 조사하여 대형 조식동물이 자연 생태계의 해조류 군집과 재생산에 미치는 영향을 파악하였다.

재료 및 방법

해조류 4종에 대한 성게류 및 참전복의 일일 먹이섭취율을 산출하기 위하여 두 가지 방법으로 실험을 하였다. (1) 먹이 비선택성 실험으로 수조에 해조를 한 종류씩 공급하여 실험생물을 한 마리씩 개체별로 수용하거나 5마리씩 수용하여 먹이 섭취량을 조사하였고 (2) 먹이 선택성 실험으로 3종류의 해조를 동시에 한 수조에 공급하여 해조류에 대한 선호도 및 먹이섭취량을 조사하였다.

먹이 비선택성 실험 - 개체식성 효과시험

강원도 삼척시 임원리에서 등근성게 총 424마리, 북쪽말뚝성게 260마리를 채집하였고 참전복은 일반 양식장에서 사육하였던 4년산 70마리를 사용하여 4월 24일부터 2개월간 각각 8회 개체별/군집별 (5마리 시료를 동시에 수용) 실험을 하여 먹이섭취 양상을 조사하였다. 실험에 사용된 등근성게는 각경 57.5±12.3 mm (표준편차), 각고 30.6±6.7 mm, 전중 76.0±46.8 g 이었고, 북쪽말뚝성게는 각경 71.8±6.6 mm, 각고 36.4±2.8 mm, 전중 118.4±19.7 g 그리고 참전복은 각장 100.3±3.5 mm, 각고 66.9±2.4 mm, 전중 124.2±9.7 g 이었다. 실험기간동안 사육수는 자연해수로 수온이 15-18℃, 자연광주기로 별도의 광원을 설치하지 않았으며, 지속적인 에어공급을 하였다. 수조는 20 L 흰색 사각플라스틱 (총 30개)으로 크기와 무게를 측정 한 성게를 한 마리씩 수용하였다. 성게는 실험시작 전 2일 동안에 먹이를 공급하지 않았다. 먹이종류로는 갈조류인 곰피 (*Ecklonia stolonifera*), 다시마 (*Laminaria japonica*), 미역 (*Undaria pinnatifida*), 쇠미역 (*Costaria costata*)의 성엽을 물기를 제거한 습중량으로 20 g 정도를 공급하였고 1일 경과 후 해조류의 중량변화를 일간 먹이섭취량으로 계산하였다. 일간 먹이섭취율은 실험생물의 체중에 대한 섭취한 먹이의 백분율로 환산하였으며 수식은 다음과 같다.

$$\text{섭취율}(\%) = (\text{해조중량의 변화} \times \text{비교구의 해조중량 변화율} / \text{생물의 무게}) \times 100$$

먹이무게 및 실험생물의 무게는 습중량으로 측정을 하였으며 비교구에는 생물을 수용하지 않고 해조만을 넣어서 1일 후 중량 차이를 자연 변화량으로 계산하였다. 실험시작 1일 후 섭취되지 않은 해조류와 배설물을 30 μm 물러가제로 수거하여 습기를 제거하고 건조(70℃, 24시간)하여 평균 무게를 측정하였고 식물동화율을 아래와 같은 식으로 추정하였다.

$$\text{식물동화율}(\%) = \{(\text{먹이섭취량} - \text{배설량}) / \text{먹이섭취량}\} \times 100$$

먹이 비선택성실험 - 군집효과 시험

먹이 비선택성 실험과 병행하여 10개 수조에 5마리씩의 성게를 크기와 무게를 측정한 후 동시에 수용하여 한 종류씩의 해조를 각각 50 g씩 공급하고 군집에 의한 공동 먹이섭취량을 체중에 대한 일일 섭취량으로 환산하였으며 총 8회 반복하여 평균값을 구하였다. 비교구로 30개의 수조에 각각 한 마리씩 수용하여 먹이 섭취량을 조사하였다. 실험시 사용된 등근성게, 북쪽말뚝성게 및 참전복은 먹이 비선택성 실험과 동일한 시료를 사용하였다.

먹이 선택성 실험

강원도 고성군 내진리에서 등근성게 총 160마리, 양식 참전복 60마리로 9월 5일-9월 15일까지 먹이선택 및 선호도를 조사하였다. 먹이선택성과 섭취량 조사를 위하여 3종류의 해조를 동시에 한 수조에 일정량씩 넣어 일간 섭취율을 계산 하였고 개체별/군집별로 4회 실험을 하였다. 먹이 종류는 곰피, 다시마, 감태 (*Ecklonia cava*)를 사용하였고 환경조건은 자연광주기, 수온 19-21℃의 범위로 지속적으로 에어를 공급하면서 유수량 5 L/h로 설정하여 20 L 흰색 플라스틱 수조 (총 40개씩 4회 반복)에 수용하였다. 배설물의 소실을 방지하기 위하여 배수관을 수조 윗면에 배치하고 걸름망을 설치하였다. 실험시 사용된 등근성게는 각경 52.5±11.7 mm, 각고 29.9±6.5 mm, 전중 61.3±46.0 g 이었고, 북쪽말뚝성게는 각경 67.7±6.4 mm, 각고 36.6±3.4 mm, 전중 100.9±23.3 g, 참전복은 각장 97.0±1.6 mm, 각고 66.2±2.1 mm, 전중 125.5±7.8 g 이었다.

통계처리

실험결과 자료 중 개체와 군집의 먹이섭취율에 관한 유의성 검증은 student t-test를 이용하여 95% 신뢰수준에서 실시하였으며, 해조류 종류별 먹이섭취율에 관한 차이는 Duncan's multiple range test, one-way ANOVA (Statistika 5.5, Germany, p<0.05)로 검정하였다.

결 과

성게의 체중과 먹이섭취량과의 관계

먹이섭취량 (Y)과 성게의 무게 (X)의 상관관계는 곰피 $Y=0.018 X+0.171$ ($R^2=0.268$), 다시마 $Y=0.048X+0.357$ ($R^2=0.353$), 미역 $Y=0.035X+0.725$ ($R^2=0.258$), 쇠미역 $Y=0.005X+1.123$ ($R^2=0.014$)였다 (Fig. 1). 북쪽말뚝성게는 먹이섭취량과 체중과의 관계에서 곰피 $Y=0.018X+1.136$ ($R^2=0.04$), 다시마 $Y=0.030X+0.613$ ($R^2=0.05$), 미역 $Y=0.071X+3.912$ ($R^2=0.25$), 쇠미역 $Y=-0.024 X+7.312$ ($R^2=0.05$)로 나타났다 (Fig. 2).

해조류별 조식동물의 일간 먹이섭취율

등근성게, 북쪽말뚝성게와 참전복의 해조 종류별 평균 일간 먹이 섭취율은 Fig. 3과 같다. 체중에 대한 일간 먹이섭취율은 등근성게의 경우 다시마가 5.64%, 미역 4.42%, 쇠미역 3.10%, 곰피 2.12%였고 북쪽말뚝성게는 다시마 5.48%, 미역 5.20%, 곰피 4.04%, 쇠미역 3.42%였다. 통계학적 검상결과 등근성게

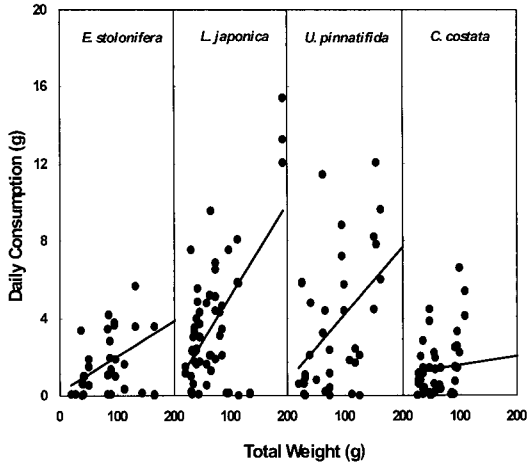


Fig. 1. Relationship between daily consumption of algal species and total weight of *Strongylocentrotus nudus*.

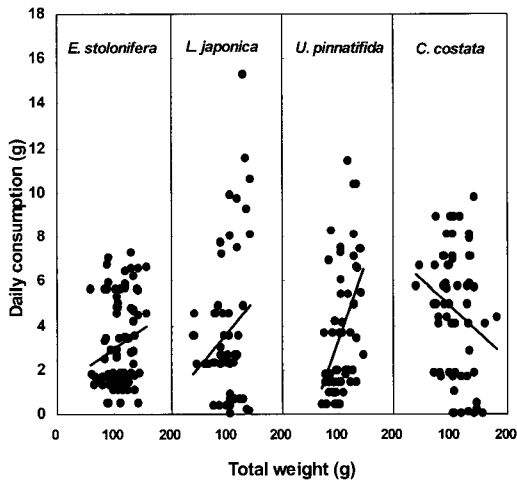


Fig. 2. Relationship between daily algal consumptions of algal species and total weight of *Strongylocentrotus intermedius*.

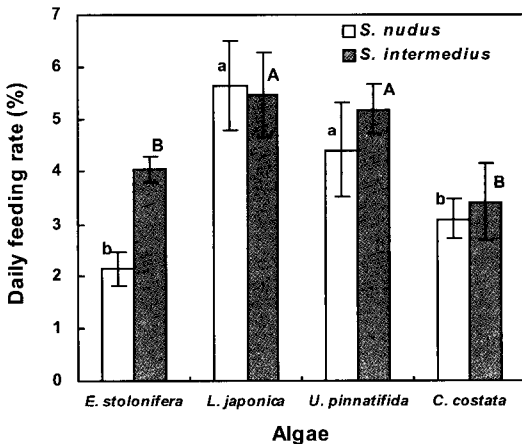


Fig. 3. Daily feeding rate of *Strongylocentrotus nudus* and *Strongylocentrotus intermedius* on four algal species. Bar indicate standard errors (Different letter on the bar of each sea urchin species means significant difference at $p < 0.05$).

와 북쪽말뚝성계의 경우 모두 먹이섭취율에 따라 다시마와 미역 그리고 곰피와 쇠미역 그룹으로 구분할 수 있었다. 이 두 그룹내에서는 먹이섭취율의 차이를 보이지 않았으나 그룹 간에는 먹이섭취율의 차이가 확연한 것으로 나타났다 ($p < 0.05$).

3종의 해조류로 실시한 참전복의 일간 먹이섭취율은 다시마 1.98%, 감태 0.94% 그리고 곰피가 0.62% 순으로 나타났다 (Fig. 4). 참전복의 해조류의 종류에 따른 일간 먹이섭취율의 차이는 감태와 곰피를 섭취한 실험구 사이에서는 먹이섭취율의 차이를 나타내지 않았으나 다시마를 섭취한 실험구는 다른 두 종류의 해조류보다 많은 양을 섭취한 것으로 검증되었다 ($p < 0.05$).

식물동화효율 변화

등근성계의 식물동화효율은 미역 75.8%, 다시마 61.7%, 쇠미역 54.4% 그리고 곰피의 40.4% 순으로 감소하였다. 미역과 다시마, 다시마와 쇠미역 실험구 사이에는 식물동화효율의 차이를 보이지 않았으나 곰피는 다른 해조류 실험구들보다 확연하게 동화효율이 낮은 것으로 나타났다 (Fig. 5, $p < 0.05$). 북쪽말뚝성계의 경우 등근성계와 같은 양상의 식물동화효율을 보여 미역 80.7%, 다시마 70.4%, 쇠미역 66.8%, 곰피 46.1%를 나타냈고 다시마, 미역, 쇠미역 실험구간 사이에서는 식물동화효율의 차이가 없었으며, 곰피를 섭취한 실험구만이 식물동화효율의 차이가 있는 것으로 검증되었다 ($p < 0.05$). 참전복의 경우 성계류보다 3종류의 해조 섭취에 있어 비교적 높은 식물동화효율을 보여, 다시마 90.0% 곰피 84.9% 감태 78.0%로 감태와 다시마 실험구간에서만 식물동화효율의 차이를 보였다 (Fig. 4, $p < 0.05$).

개체/군집별 일간 먹이섭취율의 변화

성계의 종류에 따라 5마리씩 군집을 이룬 경우와 한 마리씩 개체별로 먹이를 섭취할 경우 일간 먹이섭취율의 차이를 보였

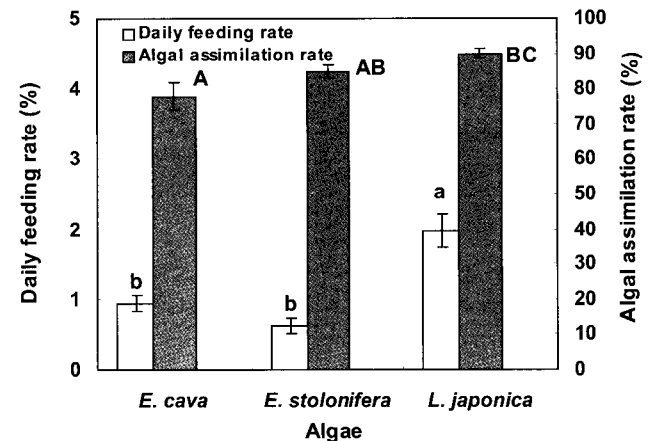


Fig. 4. Daily feeding rate and algal assimilation efficiency of *Haliotis discus hannai* on three algal species. Bar indicate standard errors (Different letter on the bar of each sea urchin species means significant difference at $p < 0.05$).

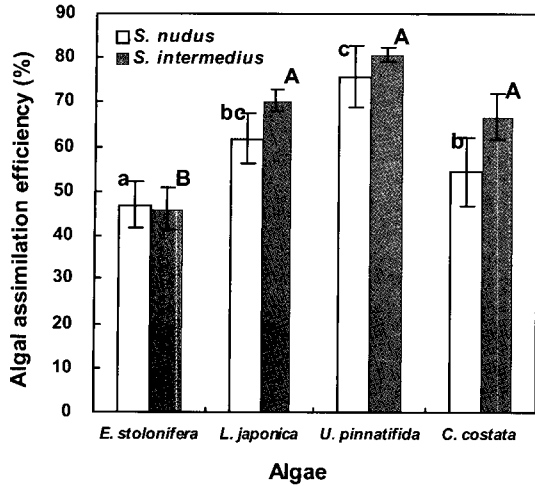


Fig. 5. The variation of algal assimilation rate of *Strongylocentrotus nudus* and *Strongylocentrotus intermedius* on four algal species. Bars indicate standard errors (Different letter on the bar of each sea urchin species means significant difference at $p < 0.05$).

다. 등근성계의 경우는 Fig. 6에서 보면 해조류의 종류와 상관 없이 군집을 이룰 경우 높은 평균 일간 먹이섭취율을 보여 다시마, 미역, 곰피를 공급한 실험구에서 7.13%, 4.87%, 2.16%를 보였고 특히 쇠미역의 경우는 5.88%로 개체 실험구의 3.42%보다 약 2배가량 섭취율이 높아졌다. 그러나 통계학적 검사 결과 미역, 곰피, 다시마의 경우 분산폭이 매우 커서 상호간의 유의성이 없었으며 쇠미역의 경우만 군집과 개체별로 먹이를 섭취할 경우 일간 먹이섭취율의 차이를 보였다 ($p < 0.05$).

북쪽말뚝성계는 쇠미역을 제외하고 군집을 이루고 있을 때 오히려 낮은 일간 먹이섭취율을 보였다. 곰피, 다시마, 미역에서 군집별로는 각각 2.02, 2.75, 1.76%였고 개체별로는 1.04, 5.48, 5.20%를 보였다 (Fig. 7). 쇠미역을 제외한 곰피, 다시마, 미역의 모든 실험구에서 유의적인 차이를 보여 군집을 이루고 있을 때보다 개체별로 먹이 섭취를 할 경우 더 많은 양을 먹는 것으로 조사되었다 ($p < 0.05$).

참전복은 개체별 먹이섭취시 체중에 대하여 다시마 1.98%, 감태 0.94%, 곰피 0.62%로 군집별 실험구의 다시마 2.44%, 감태 1.12%, 곰피 0.72%보다 다소 적은 양을 섭취한 것으로 조사되었으나 통계학적 검사결과 먹이섭취율의 차이는 없었다 (Fig. 8, $p < 0.05$).

조식동물의 먹이선택성

등근성계 및 참전복의 먹이선택성은 같은 조건하에서 3종의 해조류가 공급되어도 그중 다시마의 섭취량 및 일간 먹이섭취율이 가장 높게 나타나 특정 해조류에 대한 먹이 선택성이 뚜렷한 경향을 보였다 (Fig. 9). 등근성계의 경우 다시마의 일간섭취량이 $7.54 \pm 0.36\%$, 감태 $3.40 \pm 0.27\%$, 곰피는 $0.45 \pm 0.04\%$ 로 해조류에 따라 섭취량의 차이가 큰 것으로 나타

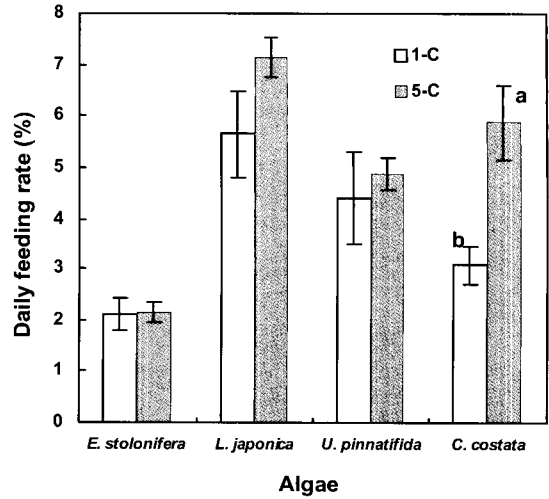


Fig. 6. Daily feeding rate of *Strongylocentrotus nudus* on four algal species. 1-C; one specimen in a tank, 5-C; five specimens in a tank. Bars indicate standard errors (Different letter on the bar in the same group means significant difference at $p < 0.05$).

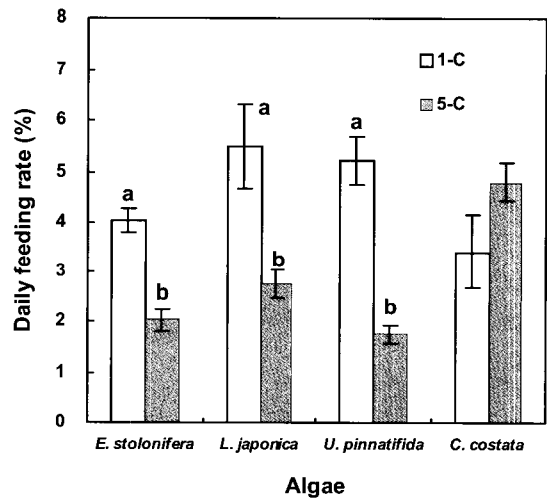


Fig. 7. Daily feeding rate of *Strongylocentrotus intermedius* on four algal species. 1-C; one specimen in a tank, 5-C; five specimens in a tank. Bars indicate standard errors (Different letter on the bar in the same group means significant difference at $p < 0.05$).

났고, 참전복의 경우도 일간 먹이섭취량이 체중에 대하여 다시마 $2.98 \pm 0.12\%$, 감태 $0.23 \pm 0.09\%$, 곰피 $0.13 \pm 0.15\%$ 로 조사되어 다시마를 감태와 곰피에 비하여 많은 양을 섭취한 것으로 나타났다 ($p < 0.05$).

고찰

해조류별 성계류의 먹이섭취량 분포양상

해양생물의 경우 체중과 먹이섭취량과는 직선의 상관관계를 보이며 체중이 증가 할수록 먹이 섭취량이 증가하는 경향을 나타내는 것으로 보고되고 있다 (Huryn and Wallace, 1987;

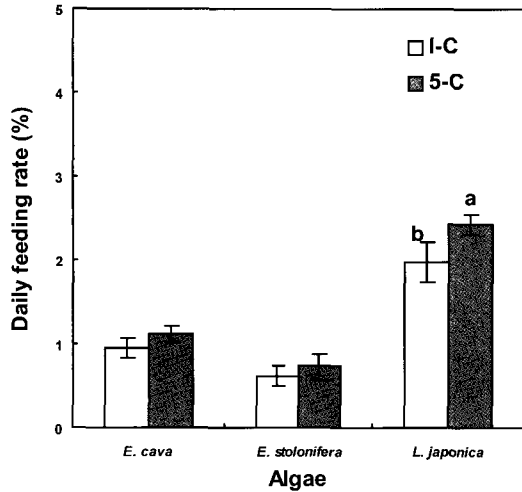


Fig. 8. Daily feeding rate of *Haliotis discus hannai* on three algal species. 1-C; one specimen in a tank, 5-C; five specimens in a tank. Bars indicate standard errors (Different letter on the bar in the same algal group means significant difference at $p < 0.05$).

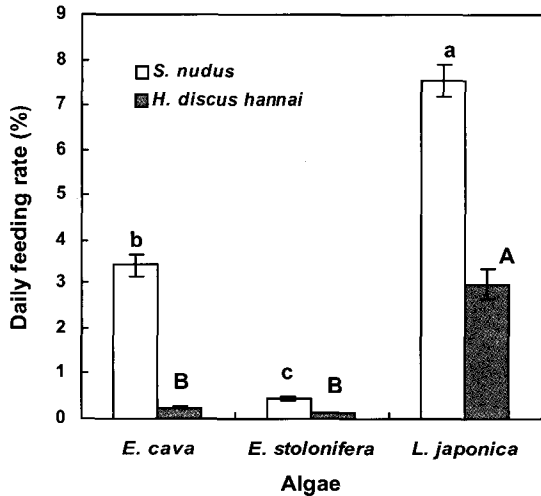


Fig. 9. Daily feeding rate of *Strongylocentrotus nudus* and *Haliotis discus hannai*, on three algal species in the multi-choice of feeding experiment. Bars indicate standard errors (Different letter on the bar of each herbivore species means significant difference at $p < 0.05$).

Klumpp et al., 1993; Kay and Brafield 1973). 그러나 본 연구에서는 비록 전체적인 섭식형태는 무게가 증가 할수록 해조섭식량이 높아지는 경향을 보였으나 두 종류의 성게 실험결과 먹이섭취량과 성게의 무게의 상관관계지수가 매우 낮은 값을 보이고 분산폭이 매우 큼으로 일반적으로 알려진 위 연구들의 결과와는 달리 체중에 따라 먹이섭취량이 증가하기 보다는 성게 종류별, 개체 또는 집단별, 해조류별로 다양하게 먹이섭취량이 영향을 받는 것으로 나타났다.

Greenwood (1980)가 성게 *Parechinus angulosus*로 해조류 *Ecklonia maxima* (kelp)의 먹이섭취량을 조사한 연구에 의하면

서식지역에 따라 성게의 체중이 증가할수록 해조의 섭취량이 감소하는 경우도 있음을 보고하였다. 본 연구에서도 먹이 선택의 여지가 없는 경우에 북쪽말뚝성게의 크기가 증가 할수록 쇠미역의 섭취량이 감소하는 경향을 보였고, 등근성게도 다른 해조류에 비하여 쇠미역의 경우 체중이 증가 함에도 낮은 섭취량을 보임으로 특정 해조류에 대하여 또는 성게의 종류 및 크기에 따라 전체적인 해조류 먹이섭취의 양상이 변화할 수 있는 것으로 추정하였다.

해조류별 조식동물의 일간섭취율

Yoo et al. (2004)는 동해안 삼척 호산에 서식하는 자연 개체 군인 등근성게의 해조 섭식량을 조사한 연구에서 8월에 성게 g당 다시마 섭식량이 160 mg/day였고 10월에 8월의 추정치의 8.7%에 해당하는 13.8 mg/day였으며, Son (2001)의 연구에 의하면 말뚝성게 (*Hemicentrotus pulcherrimus*), 등근성게와 북쪽말뚝성게의 경우 1일 다시마 섭식량을 3월에 83-184 mg/day, 9월에 72-102 mg/day로 추정하였다.

본 연구에서는 다시마의 경우 등근성게 체중의 약 5.64% 즉 56.4 mg/day (4-5월; 수온 15-18°C) 먹이를 섭취한 것으로 나타났고, 북쪽말뚝성게의 경우 미역을 체중에 5.20%를 섭취하여 환산하면 52.0 mg/day를 섭취함으로 자연환경보다 다소 적은 양의 먹이를 섭취한 것으로 나타났다. 이와 같은 결과는 자연환경과 실내실험과의 적응력의 차이에 기인하며, 한편으로 실험시작 전 2일간의 공식이 먹이섭취율을 저하시킨 요인으로 생각되었다 (Erickson et al., 2006).

일반적으로 전복 양식시 체중의 10% 정도를 일일 먹이로 공급하는 것이 통념으로 알려져 있다. 홍조류의 일종인 *Rhodomyenia howeana*로 먹이섭취조사를 한 Stotz et al. (2006)의 연구에 의하면 본 연구와 동일종인 참전복이 체중의 1.3%에서 5%를 섭취하는 것으로 나타났다. 본 연구에서 3종의 갈조류로 먹이섭취량을 조사한 결과 다시마를 섭취한 참전복이 체중의 2% 정도를 소비한 것으로 나타나 위의 연구에서 홍조류를 섭취량과 유사한 섭취율을 보였다.

식물동화효율 변화

선호하는 해조류의 종류에 따라 성게는 먹이섭취율과 소화흡수율의 차이를 보임으로 성장률의 차이를 갖게 되며 (Frantzis et al., 1988), 가장 선호하는 먹이가 소화흡수율이 좋고 칼로리량이 높은 것 보다는 다량으로 섭취하기 때문에 칼로리 총섭취량이 많은 것으로 알려져 있다 (Larson et al., 1980). Vadas (1977)의 연구에 의하면 소화흡수효율이 먹이 선호도와 밀접한 관계를 갖고 선호도가 높은 해조와 낮은 해조류 사이의 소화흡수효율이 28%-91%까지 차이를 보였다. 본 연구에서도 등근성게 47-76%, 북쪽말뚝성게 46-81%의 식물동화효율을 보였고 전복의 경우 성게보다 높은 78-90%의 식물동화효율을 보였다. 또한 등근성게와 북쪽말뚝성게에서 식물동화효율은 가장 많이 섭취한 다시마보다 미역이 더 높게 나타났다. 먹이섭취 24시간 후 성게류의 배설물을 관찰한 결과 곰피, 쇠미역, 다시마와 미역의 순서로 완전히 소화되지

않고 배설된 알갱이가 다량 관찰되어 성게는 해조류에 따라 소화율의 차이를 보이는 것으로 판단되었다. 두 종류의 성게와 전복의 경우 식물동화율을 산출하는 요인인 총 해조섭취량과 배설량과의 관계를 보면 선호하는 먹이를 먹을수록 배설량이 적고 배설되기까지의 경과시간이 길어 식물동화율이 높아지며 미역과 다시마의 식물동화효율이 높게 나타나 소화흡수를 또한 증가함으로써 생식소의 발달이나 몸의 성장 및 생명유지에 효율적으로 활용될 것으로 추정된다.

개체/군집별 일간 먹이섭취율의 변화

생물들은 개체별로 존재 할 경우와 군집을 이루고 있을 경우 먹이 경쟁에 의한 먹이섭취율이 달라지거나 스트레스로 인하여 먹이 섭취량이 감소 할 것이라는 추정을 가능하게 한다. 성게류의 행동학을 연구한 Breen and Mann (1976)과 Schiel (1982)의 결과에 의하면 한 지역의 해조류 식생이 빈약하여 조식동물의 먹이량이 절대적으로 부족할 경우 먹이경쟁으로 성게들의 먹이섭취가 활발해진다고 하였다. 한편 조식동물인 전복류도 서로 다른 종류의 조식동물을 동시에 사육할 경우 서로의 경쟁에 의하여 모두 먹이섭취량이 감소한다고 보고되었다 (Stotz et al., 2006). 본 연구에서 둥근성게와 북쪽말뚝성게가 개체별/군집별 실험시 서로 다른 먹이섭취 양상을 보였다. 둥근성게의 경우 해조류에 따라 통계학적 유의성의 유무를 보였지만 평균적인 먹이섭취량이 군집의 경우 더 높은 것으로 나타나 먹이 경쟁에 의한 해조류 섭취가 촉진 되었고, 북쪽말뚝성게의 경우는 쇠미역을 제외하고 오히려 먹이섭취량이 감소하여 먹이경쟁이 스트레스로 작용했을 가능성을 시사하였다. 쇠미역은 둥근성게와 북쪽말뚝성게의 경우 모두 군집을 이루고 있을 때 섭취율이 높은 것으로 나타났다. 이는 미역과 쇠미역이 자연 생활사에 의한 실험이 진행된 5월 중순경 끝녹음이 시작되는 시기와 관련이 있을 것으로 판단되는데, 미역의 경우 포자엽에서 유주자가 방출됨으로 실험에 사용한 엽상체는 유주자의 방출이 일어나지 않았지만 쇠미역의 경우는 엽상체에서 유주자가 방출되어 사육수가 갈색으로 변하고 조식이 연해져서 여러마리가 동시에 먹이를 섭취할때 자연 손실량이 증가하는 등 해조 생태학적 요인에 의하여 섭취율에 영향을 주었을 것으로 추정된다. 본 연구 결과에 의하면 자연환경에서 군집으로 존재하는 조식동물 종류에 따라 행동패턴을 연구하여 정확한 먹이섭취량을 산출하는 것이 필요하며 실질적인 해조 소비량은 실험실내에서 개체별로 측정된 추정값과는 다를 것으로 생각된다.

조식동물의 먹이선택성

조식동물 중 성게류는 다양한 형태의 먹이를 섭취하며 (Mottet, 1976) 해조류가 적은 해역에서는 동물의 사체, 부유해조류, 규조, 방사선충, 원생동물, 등 다양한 먹이원을 갖는 것으로 보고되어 있다 (Himmelman and Steele, 1971). 자연환경에서는 먹이 선호도와 해조류의 이용가능성에 의하여 조식동물의 먹이섭취가 결정되지만 해조류 선택성에 영향을 미치는 요인은 환경적인 요인이외에도 해조류의 형태학적 요인에

의하여 결정이 되기도 한다 (Steneck and Watling, 1982; Watson and Norton, 1985). Vadas (1977)가 발표한 두 종류의 성게, *Strongylocentrotus drobachiensis*와 *S. franciscanus*로 조사한 먹이 선호도에서 다시마목에 속하는 *Nereocystis luetkeana*가 다른 다시마 종류에 비하여 가늘고 긴 형태적 특이성을 갖고 있으며, 실험조사 지역에서 우점하지 않음에도 불구하고 높은 먹이섭취율을 나타냄으로 조식동물에게 먹이 선택성이 존재한다는 것이 알려져 있다. 실험실규모의 Larson et al. (1980)과 Himmelman (1984)의 연구결과와 같이 본 연구에서도 둥근성게와 참전복의 경우 여러 종의 해조류가 동시에 공급 될 때 특정 해조류 (다시마)에 대하여 뚜렷한 먹이선택성을 갖는 것이 확인되었다. 해조류는 조식동물로부터 자신을 방어하기 위하여 다양한 이차 대사산물인, polyphenolics, acetogenins, terpenes, 아미노산 및 할로젠 화합물 등을 분비하는 것으로 알려져 있다 (Paul et al., 2001). 본 연구에서 해조류의 방어적 화학물질의 분석은 이루어지지 않았지만 polyphenolic 화합물의 함량과 먹이 선택성과의 상관관계를 구명한 Winter and Estes (1992) 연구 중 다시마류에서 polyphenolic의 농도가 매우 낮아 먹이 선호도가 높았으며, 본 연구에서 성게류와 참전복에 의한 다시마 섭취량이 높은 것과 일치한다고 볼 수 있다.

사 사

본 연구는 국립수산과학원 동해수산연구소 경상과제인 해조장 조성연구에 일환으로 수행이 되었으며(RP-2007-AQ-005), 논문교정 및 실험에 도움을 주신 조규태, 박세규, 안명모님께 감사드립니다.

참 고 문 헌

- Barkai, R. and C. L. Griffiths. 1986. Diet of South African abalone *Haliotis midae*, S. Afr. J. Mar. Sci., 4, 37-44.
- Breen, P. A. and K. H. Mann. 1976. Destructive grazing of kelp by sea urchins in eastern Canada. J. Fish. Res. Board. Can., 33, 1278-1283.
- Chung, S. C., J. W. Kim, Y. Natsukari and C. B. Song. 2005. Age and growth of sea urchin, *Pseudocentrotus depressus*. J. Kor. Fish. Soc., 38, 257-264.
- Duggins, D. O. 1980. Kelp beds and sea otters; an experimental approach. Ecology, 61, 447-453.
- Dunstan, G. A., H. J. Baillie, S. M. Barret and J. K. Volkman. 1996. Effect of diet on the lipid composition of wild and cultured abalone. Aquaculture, 140, 115-127.
- Erickson, A. A., V. J. Paul, K. L. Van Alstyne and L. M. Kwiatkowski. 2006. Palatability of macroalgae that use different types of chemical defenses. J. Chem. Ecol., 32, 1883-1895.
- ESFRI. 2006. A study on construction of seaweed forest

- in the East Sea (I), NFRDI Report (PR-2006-RE-006), 1-291.
- Frantzis, A., J. F. Berthon and F. Maggiore. 1988. Relations trophiques entre les oursins *Arbacia lixula* et *Paracentrotus lividus* (Echinoidea, Reguliria) et le phytobenthos infralittoral superficial dans la baie de Port-Cros (Var. France). Sci. Rep. Port-Cros Natl. Park, 14, 81-140.
- Greenwood, P. J. 1980. Growth, respiration and tentative energy budgets for two populations of the sea urchin *Parechinus angulosus* (Leske). Est. Coast. Mar. Sci., 10, 347-367.
- Harrold, C. and J. P. Pears. 1987. The ecological role of echinoderms in kelp forest. In: Echinoderm Studies, Vol. 2, Jangoux M. and J. M. Lawrence eds. A. A. Balkema Press, Rotterdam, Netherlands, 1-320.
- Himmelman, J. H. and D. H. Steele. 1971. Foods and predators of the green sea urchin *Strongylocentrotus droebachiensis* in Newfoundland waters. Mar. Biol., 9, 15-322.
- Himmelman, J. H. 1984. Urchin feeding and macroalgal distribution in Newfoundland, Eastern Canada, Nat. Can., Rev. Ecol. Syst., 111, 337-348.
- Hong, S. W. and S. C. Chung. 1998. Age and growth of the purple sea urchin, *Anthocidaris crassispina* in Cheju Island. J. Kor. Fish. Soc., 31, 302-308.
- Hurn, A. D. and J. B. Wallace. 1987. Production and litter processing by crayfish in an Appalachian mountain stream. Freshw. Biol., 18, 277-286.
- Kay, D. G. and A. E. Brafield. 1973. The energy relations of the polychaete *Neanthes* (= *Nereis*) *virens* (Sars). J. Anim. Ecol., 42, 673-692.
- Klumpp, D. W., J. T. Salita-Espinosa and M. D. Fortes. 1993. Feeding ecology and trophic role of sea urchins in a tropical sea grass community. Aquat. Bot., 45, 205-229.
- Larson, B. R., R. L. Vadas and M. Keser. 1980. Feeding and nutritional quality of the sea urchin, *Strongylocentrotus droebachiensis*, Mar. Biol., 59, 49-62.
- Lawrence, J. M. 1975. On the relationship between marine plants and sea urchins, Oceanogr. Mar. Biol. A. Rev., 13, 213-286.
- Lawrence, J. M. and P. W. Sammarco. 1982. Effect of feeding on the environment: Echinoidea. In: Echinoderm nutrition. Jangoux M. and J. M. Lawrence eds. A. A. Balkema Press, Rotterdam, Netherlands, 159-191.
- Lee, C. S., J. Y. Lee, D. H. Kim, H. D. Ku and S. H. Jeong. 2003. Spawning and early growth of the sea urchin, *Strongylocentrotus intermedius*. J. Aquacult., 16, 129-134.
- Leighton, D. L. 1971. Grazing activities of benthic invertebrates in Southern California kelp beds. Nova Hedwigia (Suppl.), 32, 421-453.
- Mottet, M. G. 1976. The fishery biology of sea urchins of the family Strongylocentrodidae. Technical Report No. 20. State of Washington, Department of Fisheries, Shellfish Division, 1-66.
- Ogden, J. 1976. Some aspects of herbivore plant relationship on Caribbean reefs and seagrass beds. Aquat. Bot., 2, 103-116.
- Paul, V. J., E. Cruz-Rivera and R. W. Thacker. 2001. Chemical mediation of macroalga-herbivore interactions: Ecological and evolutionary perspectives. In: Marine Chemical Ecology. McClintock J. B. and B. J. Baker eds. CRC Press, Boca Raton, FL. 227-266.
- Pearce, C. M. and R. E. Scheibling. 1990. Induction of metamorphosis of larvae of the green sea urchin, *Strongylocentrotus droebachinensis*, by coralline red algae. Biol. Bull., 179, 304-311.
- Schiel, D. R. 1982. Selective feeding by the echinoid, *Evechinus chloroticus*, and the removal of plants from subtidal algal stands in northern New Zealand. Oecologia, 54, 379-388.
- Smith, S. 1981. Marine macrophytes as global carbon sink. Science, 211, 838-840.
- Son, Y. S. 2001. Construction of seaweed forest and characteristics of their habitants. Workshop of the seaweed construction for the production enhancement. NFRDI, ESFRI, 1-9
- Steneck, R. S. and L. Watling. 1982. Feeding capabilities and limitations of herbivorous molluscs: a functional group approach. Mar. Biol., 68, 299-319.
- Stotz, W. B., L. Caillaus and J. Aburto. 2006. Interactions between the Japanese abalone *Haliotis discus hannai* (Ino 1953) and Chilean species: Consumption, competition and predation. Aquaculture, 255, 447-455.
- Tahil, A. S. and M. A. Juinio-Menez. 1999. Natural diet, feeding periodicity and functional response to food density of the abalone, *Haliotis asinaria* L. (Gastropoda). Aquac. Res., 30, 95-107.
- Yoo, J. W., Y. S. Son, C. G. Lee, J. S. Kim, C. H. Han, C. S. Kim, Y. B. Moon, D. S. Kim and J. S. Hong. 2004. Distribution pattern of the sea urchin *Strongylocentrotus nudus* in relation to predation pressure in Hosan, the East Coast of Korea. J. Kor. Soc. Oceanogr., 9, 40-49.

- Yoo, S. K., S. B. Hur and H. Y. Ryu. 1982. Growth and Spawning of the sea urchin *Anthocardis crassispina* (A. Agassiz). Bull. Kor. Fish. Soc., 15, 345-358.
- Vadas, R. L. 1977. Preferential feeding: an optimization strategy in sea urchins. Ecol. Monogr., 47, 337-371.
- Watson, D. C. and T. A. Norton. 1985. The physical characteristics of seaweed thalli as deterrents to littorine grazers. Bot. Mar., 28, 383-387.
- Wessels H., W. Hagen, M. Molis, C. Wiencke and U. Karsten. 2006. Intra- and interspecific differences in palatability of Arctic macroalgae from Kongsfjorden (Spitsbergen) for two benthic sympatric invertebrates. J. Exp. Mar. Biol. Ecol., 329, 20-33.
- Winter F. C. and J. A. Estes. 1992. Experimental evidence for the effects of polyphenolic compounds from *Dictyoneurum californicum* Repracht (Phaeophyta: Laminariales) on feeding rate and growth in the red abalone *Haliotis rufescens* Swainson. J. Exp. Mar. Biol. Ecol., 155, 263-277.

2007년 3월 5일 접수

2007년 6월 27일 수리