

낙동강 하구역에 출현하는 보구치(*Pennahia argentata*)와 청보리멸(*Sillago japonica*)의 섭식관계

허성희 · 최희찬¹ · 박주면^{2,*}

부경대학교 해양학과, ¹동해수산연구소 자원환경과, ²강릉원주대학교 해양자원육성학과

Feeding Relationship between Co-occurring Silver Croaker (*Pennahia argentata*) and Japanese Sillago (*Sillago japonica*) in the Nakdong River Estuary, Korea by Sung-Hoi Huh, Hee Chan Choi¹ and Joo Myun Park^{2,*} (Department of Oceanography, Pukyong National University, Busan 48508, Republic of Korea; ¹Fisheries Resources and Environment Division, East Sea Fisheries Research Institute, Gangneung 25435, Republic of Korea; ²Department of Marine Bioscience, Gangneung-Wonju National University, Gangneung 25457, Republic of Korea)

ABSTRACT Dietary niches can support the coexistence of sympatric species in marine ecosystems, which can lead to the presence of greater abundances of those species. Stomach contents of silver croaker (*Pennahia argentata*) and Japanese sillago (*Sillago japonica*) inhabiting the Nakdong River estuary, Korea were analyzed to determine diet compositions and the presence of any size-related and inter-specific feeding relationships. These species were bottom-feeding predators that consumed mainly benthic crustaceans and mollusks, but polychaetes were also important in the *S. japonica* diets. Non-metric multidimensional scaling (nMDS) ordination and multivariate analyses based on weight contributions of the different prey taxa to stomach contents revealed significant inter-specific dietary differences. Size-related change was also significant for *P. argentata* diets, but not for *S. japonica*. Canonical analysis of principal coordinate (CAP) ordination plot further demonstrated that differences in the type and range of prey ingested by the two species contributed such an inter-specific difference in the diet compositions. The results from this study provide clear evidence of niche segregation between co-occurring *P. argentata* and *S. japonica* in the Nakdong River estuary, which would reduce the likelihood of inter-specific competition for food resources.

Key words: Stomach contents, *Pennahia argentata*, *Sillago japonica*, Nakdong River, estuary

서 론

하구역을 포함하는 연안 생태계에서 공존하는 어종간 섭식 관계에 관한 연구는 생물학적 경쟁관계 연구의 기본 분야로, 어떻게 어류들이 한정된 서식지 내에서 먹이 자원에 대하여 공유 또는 경쟁하는지에 관한 정보를 제공한다(Grossman, 1986; Mérona and Rankin-de-Mérona, 2004). 어류들은 경쟁을 감소시키고 동일 서식지에서 공존하기 위하여 이용 가능한 자원(e.g. 시기, 공간, 먹이)을 분할하여 공유하며(Platell and Potter, 2001; White *et al.*, 2004), 공존하는 어류간 서로 다른 종류의

먹이 이용과 이를 통한 먹이 자원의 분할은 동일 서식지에 출현하는 어종들이 공존하기 위한 중요한 역할을 한다(Ross, 1986). 그리고 이러한 먹이 자원 분할을 통한 생태지위(niche) 분리는 여러 어종들이 동일 서식지에서 공존할 수 있는 기본적인 역할을 한다(Gerking, 1994; Park *et al.*, 2017).

보구치(*Pennahia argentata*)와 청보리멸(*Sillago japonica*)은 각각 민어과(Sciaenidae)와 보리멸과(Sillaginidae)에 속하는 어류로 우리나라에서는 서해와 남해의 내만 또는 연안의 바닥이 모래 또는 펄질인 곳에 주로 서식한다(Kim *et al.*, 2004). 보구치는 청보리멸에 비해 더 큰 크기까지 성장하고(전장 약 40 cm) 더 깊은 수심까지 서식하는 것으로 알려져 있으며, 우리나라를 비롯한 중국, 일본에서 중요한 상업성 어종 중 하나이

*Corresponding author: Joo Myun Park Tel: 82-33-640-2855, Fax: 82-33-640-2340, E-mail: joomyun@gmail.com

다(Kim *et al.*, 2004). 반면, 청보리멸은 비록 일부 지역에서 식용으로 이용되기도 하지만 주로 부수어획물(bycatch)로 어획된다. 두 어종은 하구역을 포함한 우리나라 남해 연안에서 종종 동시에 출현하면서 서식지를 공유하고 있기 때문에(e.g. Kwak and Huh, 2003; Jeong *et al.*, 2013), 잠재적으로 동시 출현을 위한 각각 다른 생태학적 전략이 있을 것으로 판단된다.

기존 연구에서 보구치와 청보리멸의 섭식생태를 보고하였다. Koh *et al.* (2014)는 남해 세존도 주변해역에 출현하는 보구치의 먹이생물과 섭식전략을 연구하였고, Kwak *et al.* (2004)은 우리나라 남해 잘피밭에 서식하는 우점 어류 5종의 먹이분할 연구에서 청보리멸 미성어를 포함하였다. Zhang *et al.* (2008)은 중국 Changjiang 하구역에 출현하는 보구치와 참조기(*Pseudosciaena polyactis*)의 섭식생태를 연구하였고, 두 종이 다른 종류의 먹이를 섭식함을 보여주었다. 또한, 보구치는 우리나라에서 중요한 상업성 어종 중 하나이기 때문에 다양한 자원생태학적 연구가 수행되었다(e.g. Kang *et al.*, 1999; Kwon *et al.*, 1999). 그러나 우리나라 하구역에서 출현하는 어종의 섭식생태연구 또는 섭식관계에 관한 연구는 매우 부족하다. 최근 Choi *et al.* (2018)에 의해 멸치(*Engraulis japonicus*)와 용어(*Coilia nasus*) 자치어의 섭식관계에 관해 연구되었고, Park *et al.* (2018)은 섬진강 하구역에 위치한 광양만에서 주요 상업성 어종 6종의 섭식관계를 연구하였다.

본 연구는 낙동강 하구역에 출현하는 보구치와 청보리멸의 위내용물 분석을 통하여 1) 두 어종의 주요 먹이생물을 파악하고, 2) 성장에 따른 위내용물 조성의 변화가 있는지 분석하며, 3) 두 어종간 섭식된 먹이 종류에서 어떤 연관성이 있는지에 관하여 조사하였다. 본 연구의 결과는 하구역 생태계 관리와 보전을 위한 기초 자료가 되고 향후 연구 지역에서 어종간 섭식관계 및 먹이망 연구를 위한 중요한 자료가 될 것이다.

재료 및 방법

1. 연구지역 및 시료채집

본 연구에 사용된 어류 시료는 낙동강 하구역 하부에서 채집하였다(Fig. 1). 낙동강은 우리나라에서 두 번째로 큰 강으로 낙동강 하구역은 많은 해양생물의 산란장 및 성육장의 역할을 하며, 어업생산성이 높은 해역으로 알려져 있다(Jeon, 1987). 그러나 1987년에 강 상류로 해수 유입을 차단하기 위해 하구둑이 건설되었고, 하구역 건설 후 생물군집의 종조성과 현존량에서 뚜렷한 변화가 관찰되고 있다(Jang and Kim, 1992; Kwak and Huh, 2003).

보구치와 청보리멸 시료는 소형저인망(길이 = 15 m, 폭 = 13 m, 날개 그물 망목 = 3.5 cm, 자루 그물 망목 = 1 cm)을 이용하

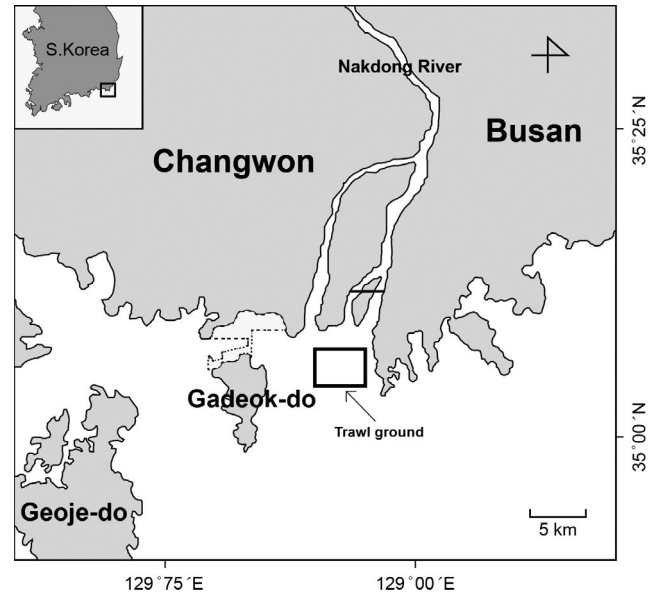


Fig. 1. Location of the study area in the Nakdong River estuary, Korea. Samples were collected within trawl ground (boxed area).

여 2010년 6월에서 2011년 5월까지 채집하였다. 매월 낙동강 하구역에서 수심 10~20 m에서 그물을 약 1노트의 속도로 40 분간 2회씩 예인하였다. 어류채집은 낙동강 하구둑으로부터 담수 유입의 영향을 최소화하기 위해 소조기 낮 동안 만조 전후에 수행하였다. 채집 기간 동안 보구치와 청보리멸은 여름에서 초가을(6월~9월)에 주로 채집되었고(unpublished data), 따라서 이시기에 출현한 개체를 대상으로 위내용물을 조사하였다. 채집된 시료를 냉장 보관하여 실험실로 운반하여 어종을 구분한 뒤, 종류별로 5% 포르말린에 고정하여 보관하였다. 이후 실험실에서 각 개체의 전장(total length, TL)과 체중을 각각 mm와 g단위까지 측정하였다. 측정된 개체는 위 부분을 분리한 뒤 위내용물 분석 전까지 70% 에탄올에 보관하였다.

2. 위내용물 분석

각 개체의 위 부분은 해부현미경 아래에서 핀셋을 이용하여 절개한 뒤, 먹이생물을 종류별로 구분하였다. 발견된 먹이생물을 가능한 종(species) 수준까지 분류하였으며, 소화가 진행되어 분류가 어려울 경우 과(family) 또는 목(order) 수준으로 나타냈다. 위내용물에서 발견된 모든 먹이생물은 종류별로 개체수와 전체 중량을 측정하였다. 위내용물 분석 결과는 각 먹이생물별로 출현빈도(%F), 개체수비(%N), 중량비(W)의 평균 백분율로 나타냈다(Hyslop, 1980). 이후 각 먹이 분류군(taxa)에 대하여 상대중요성지수(index of relative importance, IRI)를 계산하였고(Pinkas *et al.*, 1971; $IRI = [\%N + \%W] \times \%F$), 계산된 상대중요성지수는 백분율로 나타냈다(%IRI). 체장별 위내

용물 조성의 변화를 분석하기 위하여 전장 3 cm 간격으로 구분하여 (9.0~11.9 cm, 12.0~14.9 cm, 15.0~17.9 cm, 18.0 cm <), 각 체장군 (size class)에서 먹이 분류군의 조성을 분석하였다. 본 연구에서 두 어종은 여름에서 초가을에만 채집되었기 때문에, 계절에 대한 영향을 고려하지 않았다.

3. 자료분석

보구치와 청보리멸의 종간 위내용물 조성 또는 각 어종의 체장군 사이의 위내용물 조성이 어떠한 차이가 있는지 조사하기 위하여 non-metric multidimensional scaling (nMDS), permutational multivariate analysis of variance (PERMANOVA), analysis of similarity (ANOSIM), Canonical analysis of principal coordinate (CAP)을 이용하여 분석하였다 (Anderson *et al.*, 2008; Clarke and Gorley, 2015).

분석을 위하여 종별로 같은 체장군에 속하는 개체들을 무작위로 3~5개체로 분리하여 소그룹으로 구분한 뒤, 각 소그룹에서 먹이 분류군의 평균 중량 백분율을 계산하였다. 이러한 무작위한 소그룹에서 먹이 분류군의 평균값 사용은 한 개체의 위내용물 조성에서 '0'의 비율을 나타내는 먹이 분류군 수를 감소시킬 수 있어 다변량분석의 효율성을 증가시킬 수 있다 (White *et al.*, 2004; Marshall *et al.*, 2008). 또한 위내용물 중 우점 먹이생물의 편향성을 감소시키기 위하여 평균 중량비 자료는 제곱근변환 (square root transformation)을 실시하였고 Bray-Curtis similarity를 이용하여 유사도 매트릭스를 구축하였다 (Platell and Potter, 2001).

가장 먼저 종별, 체장별 위내용물 조성 차이는 nMDS 분석을 통하여 시각화하였다. 보구치와 청보리멸의 위내용물 분석 결과에서 종 (species), 체장군 (size class) 그리고 2요인 (species × size class)의 상호효과가 위내용물 조성 차이에 유의한 영향을 미치는지 분석하기 위하여 two-way PERMANOVA를 실시하였다. PERMANOVA는 표본간 거리를 이용한 비모수 (non-parametric) 분산분석으로, 가설을 검증하기 위하여 permutation 방법을 사용한다. PERMANOVA에서 component of variation (COV)는 각 요인의 영향 정도를 나타내는 값으로, COV가 클수록 특정 요인 또는 상호효과에 영향이 크다는 것을 의미한다. 각 어종의 체장군 사이에서 위내용물 조성의 차이는 one-way ANOSIM 분석을 통하여 유의성을 검증하였다. ANOSIM 분석에서 global R 통계량은 각 그룹의 유사성을 나타내는 값으로 '0'에 가까울수록 그룹간 차이가 없음을 나타내고, -1 또는 +1에 가까울수록 각 그룹은 유의하게 구분된다는 것을 의미한다. PERMANOVA 또는 ANOSIM 분석에서 유의한 차이가 나타났을 경우, CAP 분석을 통하여 어떤 먹이 분류군이 이러한 차이에 높은 상호 연관계수 (correlation coefficients)를 나타냈는지 분석하였다. 각 먹이 분류군의 상대적 기여도는 상

호연관계수 0.4 이상을 나타내는 먹이 분류군을 CAP 성분축 1과 2에 나타냈고, 이때 미확인 먹이 분류군 (unidentified crustacean, unidentified materials)은 분석에서 제외하였다. 상기 분석을 위하여 PRIMER v7 multivariate statistics package (www.primer-e.com)와 PERMANOVA + add-on module을 사용하였다 (Anderson *et al.*, 2008).

결 과

1. 위내용물 조성

본 연구에서 보구치 총 107개체와 청보리멸 131개체가 채집되었다. 채집된 어류의 전장 (Total length, TL)은 보구치가 9.0~23.9 cm TL (mean ± SD = 14.2 ± 2.2 cm), 청보리멸이 9.5~18.5 cm TL (mean ± SD = 12.9 ± 1.5 cm)의 범위였다. 위내용물 분석 결과, 보구치는 12개체, 청보리멸은 13개체에서 위내용물이 발견되지 않아, 각각 11.2%와 9.9%의 공위율을 보였다.

보구치와 청보리멸의 위내용물에서 최소 14개 분류군 (taxa)의 먹이생물이 확인되었다 (Table 1). 보구치의 위내용물에서 새우류 (Caridea)는 60.6%의 출현빈도, 개체수비 42.3%, 중량비 42.7%, IRI 62.2%로 가장 우점한 먹이생물이었다. 새우류 중에서 자주새우류 (Crangonidae spp.)가 가장 많이 섭식되었다. 그다음으로 단각류 (Amphipoda)에 속하는 옆새우류 (Gammaridea)가 많이 섭식되었는데, 47.9%의 출현빈도, 개체수비 24.9%, 중량비 17.4%, IRI는 24.4%였다. 갯지렁이류 (Polychaeta)는 IRI 7.1%, 쪽 (*Upogebia major*)은 IRI 2.9%, 곤쟁이류 (Mysidacea)는 IRI 2.7%였고, 그 외 먹이 분류군은 IRI 1% 이하로 먹이생물로서 중요도가 낮았다. 총 115개체의 청보리멸 위내용물에서는 이매패류 (Bivalvia)가 40.4%의 출현빈도, 33.2%의 개체수비, 35.2%의 중량비, IRI는 50.3%였고, 갯지렁이류가 출현빈도 34.2%, 개체수비 23.6%, 중량비 27.7%, IRI 32.0%로 두 먹이생물이 위내용물의 대부분을 차지하였다. 그다음으로 새우류와 단각류가 각각 6.4%와 5.1%의 IRI로 중요도가 높았다. 그 외 대부분 먹이 분류군은 IRI값이 1% 이하였다.

2. 성장에 따른 위내용물 조성의 차이

보구치와 청보리멸이 체장 증가에 따라 먹이 조성에서 변화가 있는지 살펴보기 위하여 각 어종의 체장군별 위내용물 조성을 ANOSIM 분석을 이용하여 비교하였다. 그 결과 보구치는 체장군별 위내용물 조성에서 유의한 차이를 보였지만, 청보리멸은 체장군별 유의한 차이를 보이지 않았다 (global-R = 0.309, P < 0.05 for *Pennahia argentata*; global-R = 0.041, P > 0.05 for *Sillago japonica*).

Table 1. Stomach contents of *Pennahia argentata* and *Sillago japonica* showing percentage frequency of occurrence (%F), number (%N), weight (%W) and index of relative importance (%IRI) of prey items

Taxa	Prey organisms	<i>Pennahia argentata</i>				<i>Sillago japonica</i>			
		%F	%N	%W	%IRI	%F	%N	%W	%IRI
Chaetognatha	Sagittidae sp.					0.9	0.9	0.8	<0.1
Polychaeta	Unidentified	22.3	10.6	15.8	7.1	34.2	23.6	27.7	32.0
Bivalvia	Unidentified	1.1	0.1	0.0	<0.1	40.4	33.2	35.2	50.3
Gastropoda	Unidentified					0.9	0.1	0.6	<0.1
Copepoda	Unidentified	2.1	1.1	1.1	0.1				
Amphipoda	Total	47.9	24.9	17.4	24.4	19.3	10.9	3.5	5.1
	Ampeliscidae	6.4	2.8	0.3		1.8	0.9	<0.1	
	Gammaridea spp.	42.6	22.0	17.1		17.5	10.0	3.4	
Cumacea	Unidentified	1.1	0.4	<0.1	<0.1				
Isopoda	Unidentified	1.1	0.7	<0.1	<0.1	0.9	0.2	0.1	<0.1
Mysidacea	Unidentified	16.0	8.4	5.6	2.7	7.0	3.6	4.2	1.0
Astacidea	<i>Metanephrops thomsoni</i>	1.1	0.2	0.8	<0.1				
Caridea	Total	60.6	42.3	42.7	62.2	18.4	9.6	9.4	6.4
	<i>Alpheus digitalia</i>	3.2	0.7	2.8					
	<i>Alpheus japonicus</i>	1.1	0.4	1.1					
	Crangonidae spp.	43.6	30.1	27.1		10.5	5.2	4.8	
	Palaemonidae	4.3	2.3	2.5					
	Unidentified	18.1	8.9	9.3		8.8	4.4	4.6	
Brachyura	Total	5.3	1.6	1.2	0.2	2.6	1.6	1.4	0.1
	Megalopa larvae	1.1	0.2	<0.1		0.9	0.4	<0.1	
	Unidentified	4.3	1.5	1.2		1.8	1.2	1.3	
Gebiidea	<i>Upogebia major</i>	12.8	7.6	11.1	2.9	4.4	3.0	3.4	0.5
Other Crustacea	Unidentified					5.3	3.9	4.2	0.8
Teleostei	Total	5.3	1.9	3.3	0.3	1.8	1.2	0.9	<0.1
	Gobiidae	1.1	0.2	0.8					
	Unidentified	4.3	1.7	2.5		1.8	1.2	0.9	
Other materials	Unidentified	1.1	0.1	0.9	<0.1	12.3	8.0	8.5	3.7

보구치는 전 체장군에서 새우류를 주로 섭식하였다(Fig. 2). 가장 작은 체장군에서 새우류 외에 단각류, 곤쟁이류를 많이 섭식하였지만, 단각류와 곤쟁이류의 비율은 체장 증가에 따라 감소하는 경향을 보였고, 갯지렁이류, 속(Gebiidea)류, 어류 (teleosts)의 비율은 체장 증가에 따라 증가하는 경향을 보였다 (Fig. 2). 청보리멸은 전 체장군에서 새우류, 갯지렁이류, 이매패류를 주로 섭식하였다(Fig. 2). 상기 3 먹이 분류군은 체장 증가에 따라 그 비율이 증가 또는 감소하는 경향을 보였는데, 새우류와 이매패류는 그 비율이 증가하였고, 갯지렁이류는 감소하였다(Fig. 2).

3. 보구치와 청보리멸의 섭식관계

Two-way PERMANOVA 결과 두 어종의 위내용물 조성은 어종, 그리고 체장군간 차이가 유의하였으나, 2 요인의 상호작용 효과는 유의성이 없었다(Table 2). COV값은 중간 효과가 체장 효과에 비해 약 2.5배, 2 요인의 상호효과에 비해 약 7배 높은 값을 보여, 종의 효과가 two-way PERMANOVA 분석 결과에 가장 큰 기여를 하였다.

nMDS ordination은 두 어종의 위내용물 조성의 차이를 공간

적으로 뚜렷이 구분됨을 보여줬다(Fig. 3). nMDS ordination에서 보구치는 오른쪽에 분포하였고, 청보리멸은 왼쪽에 분포하여 두 어종의 위내용물 표본은 중앙을 경계로 좌우로 뚜렷이 구분되었다. 두 어종의 체장군별 표본은 모두 공간적으로 뚜렷이 구분되는 경향이 없었고, 체장군간 먹이의 중복도가 높은 것으로 나타났다.

CAP 분석결과 성분축과 1과 2를 따라 두 어종의 위내용물 표본이 분리됨을 알 수 있었다(Fig. 4). nMDS 분석과 유사하게 어종간 표본은 성분축 1을 따라 좌우에 분포하였고, 성분축 2를 따라 각 어종의 체장군이 구분되는 경향을 보였다. CAP 분석에서 새우류, 단각류, 어류 등은 보구치 표본을 구분하는데 기여하였고, 이매패류와 갯지렁이류는 청보리멸 표본을 구분하는데 기여하였다(Fig. 4). 그러나 각 어종의 체장군은 CAP 분석에서 뚜렷한 경향을 보이지 않았고, 따라서 두 어종의 체장군을 구분하는데 상호연관계수 0.4 이상을 나타내는 먹이생물을 발견하기 어려웠다.

고찰

본 연구에서 채집된 보구치는 전장 9.0~23.9 cm, 청보리멸

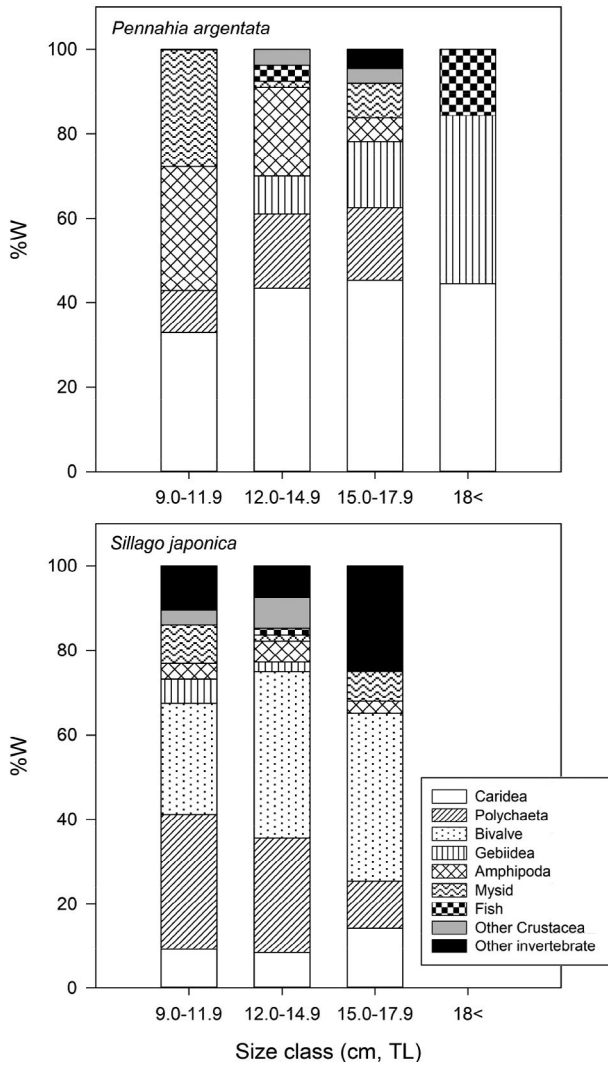


Fig. 2. Mean percentage weight contributions (%W) of the different dietary component in each size class of *Pennahia argentata* and *Sillago japonica* inhabiting the Nakdong River estuary, Korea.

Table 2. Mean squares (MS), pseudo-F ratios, components of variation (COV) and significance levels (P) for a series of PERMANOVA tests, employing Bray-Curtis similarity matrix derived from the mean percentage weight contributions of the various prey taxa to the stomach contents for *Pennahia argentata* and *Sillago japonica*

Source	df	MS	Pseudo-F	COV	P
Species	1	14811.0	19.013	34.533	0.001
Size class	3	1919.5	2.464	13.254	0.009
Species × Size class	2	888.6	1.141	4.941	0.350
Residual	36	779.0		27.910	

은 전장 9.5~18.5 cm였다. 우리나라 연안에서 보구치와 청보리멸은 만 2년에 대부분 산란에 참여하는 것으로 알려져 있고, 이때 체장은 보구치는 약 23 cm, 청보리멸은 13.8~21 cm였다 (Kim *et al.*, 2004). 따라서, 본 연구에서 낙동강 하구역에 출

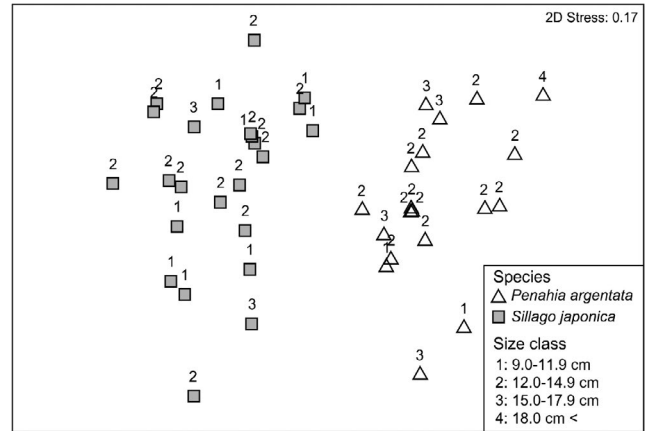


Fig. 3. Nonmetric multidimensional scaling ordination of the dietary composition constructed from Bray-Curtis similarity matrix that employed the weight contributions on the diet between *Pennahia argentata* and *Sillago japonica* in the Nakdong River estuary, Korea.

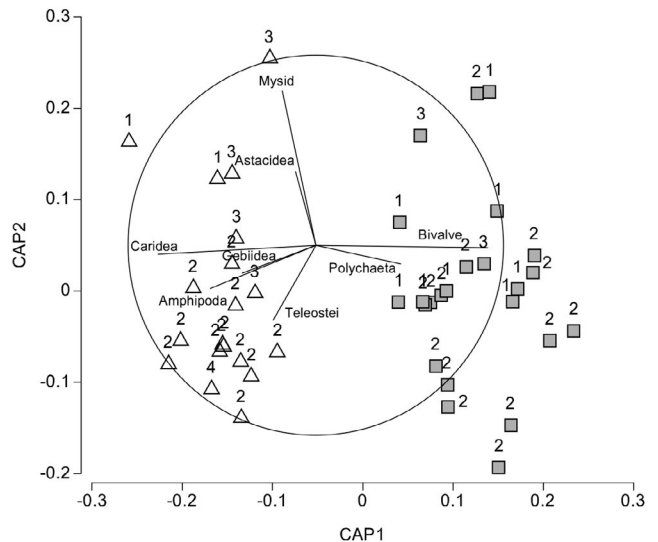


Fig. 4. Canonical analysis of principal coordinate (CAP) ordination plot of stomach contents to assess differences between species and among size classes. Species correlations with each canonical axis are represented as vectors for species with correlations > 0.4. Vectors represent Pearson correlations, and the circle indicates a correlation of 1. The descriptions of each symbols and numbers were shown in Fig. 3 caption.

현한 보구치와 청보리멸은 대부분 개체가 2세 이하였고, 일부 개체만 성숙체장에 가까운 것으로 판단되었다. 하구역은 해양과 담수의 상호작용에 의해 생태계가 구성되며 (Giarrizzo and Krumme, 2007; França *et al.*, 2009; Giarrizzo *et al.*, 2010), 이러한 특성에 의해 하구역은 생산성이 높고, 작은 크기의 어류와 무척추동물에게 섭식장, 산란장 및 성육장의 역할을 한다 (Beck *et al.*, 2001; Manderson *et al.*, 2004; França *et al.*, 2011; Lacerda *et al.*, 2014; Park *et al.*, 2015; Loureiro *et al.*, 2016).

Huh and Chung (1999)은 또한 낙동강 하구역에 출현하는 어류가 대부분 미성어 또는 작은 크기의 어류라고 보고하였다. 따라서 본 연구지역은 보구치와 청보리멸 미성어와 일부 성어의 주요 서식지이며 이들이 하구역 환경을 중요 서식지로 이용하는 것으로 판단된다.

본 연구에서 출현한 보구치와 청보리멸은 새우류, 단각류, 이매패류, 갯지렁이류 등 저서성 먹이생물을 주로 섭식하였다 (see Table 1). 두 어종의 먹이생물 중 갑각류는 대부분 하구역 해빈에서 발견되는 단각류와 새우류였고 (Baeck *et al.*, 2014; Choi *et al.*, 2017), 또한 청보리멸의 위내용물에서 발견된 이매패류와 갯지렁이류에서 모래질이 포함된 것으로 보아 두 어종은 모래펄저질 (sandy muddy)에 서식하는 먹이생물을 주로 섭식하는 것으로 판단되었다. 비록 두 어종이 섭식한 먹이의 범위는 유사하였으나, 각 종의 위내용물 조성에서 각 먹이생물의 비율이 달랐고, 이러한 차이는 두 어종의 먹이 자원의 차이를 반영하였다. 다변량분석은 두 어종의 위내용물 조성에서 유의한 차이가 나타남을 보여주었다 (PERMANOVA, $P < 0.05$). CAP 분석 결과 두 어종이 주로 섭식한 먹이생물 중 저서갑각류 (새우류, 단각류 등)는 보구치, 이매패류와 갯지렁이류는 청보리멸의 위내용물을 상호간 구분하는데 기여하였다. 각 먹이 분류군의 특성을 살펴보면, 청보리멸은 모래저질속 또는 저질 바로 위에 서식하는 먹이생물 (i.e. 이매패류와 갯지렁이류)의 중요도가 더 높았던 반면, 보구치는 반저서성 갑각류의 중요도가 더 높았다. 이와 같이 하구역 생태계에서 공존하는 어류 사이에서 먹이 이용의 차이는 다른 연구들에서도 다수 보고되었다. 예를 들어 포르투갈 Tanguis 하구역에 서식하는 두 망둥어과 어류 (*Pomatoschistus minutus* and *P. microps*)는 반저서성 먹이 (곤쟁이류, 새우류) 또는 저서성 먹이 (이매패류, 갯지렁이류)를 분할하여 상호 공존하는 것으로 보고되었다 (Salgado *et al.*, 2004). 또한, Nanjo *et al.* (2008)은 일본 Iriomote 섬의 Urauchi 맹그로브 하구역에 서식하는 67종의 어류들이 선호하는 먹이 종류에 따라 몇 개의 섭식그룹으로 구분되는 결과를 보여주었다.

본 연구에서 두 어종의 선호하는 먹이생물의 차이는 중간 다른 섭식행동 때문으로 판단되었다. 보구치는 포함한 민어과 어류는 상대적으로 큰 입을 가지고 있으며, 상대적으로 큰 크기와 활동성이 높은 저서성 갑각류와 어류를 통째로 섭식할 수 있었다 (e.g. Xue *et al.*, 2005; Koh *et al.*, 2014). 반면, 보리멸과 어류는 몸에 비해 작은 크기의 입을 가지고 있기 때문에 활동성이 있는 먹이원보다는 활동성이 미약한 저서 무척추동물물을 섭식하기에 유리하였을 것이다. 또한, 좁고 뾰족한 구강 구조 때문에 저질속에 서식하는 갯지렁이류를 저질로부터 추출하여 섭식하기 용이하였을 것이다. 다수의 보리멸과 어류의 섭식생태 연구에서 갯지렁이류를 주요 먹이생물 중 하나로 보고하였다 (e.g. Kwak *et al.*, 2004; Hajisamae *et al.*, 2006; Krück

et al., 2009). 이와 같이 동일 서식지에 서식하는 어류 사이에서 섭식 행동 및 전략의 차이는 먹이 분할의 근거를 나타내는 중요한 특성 중 하나이다 (Ross, 1986; Platell and Potter, 2001).

일반적으로 성장에 따른 먹이생물의 변화는 어류에서 나타나는 일반적인 현상이고, 섭식되는 먹이의 에너지 효율과 관련 있다 (Gerking, 1994). 두 어종은 성장에 따라 위내용물 조성에서 변화가 나타났으나 (see Fig. 2), 보구치의 위내용물에서만 이러한 성장에 따른 차이가 통계적으로 유의하였다 (ANOSIM, $P < 0.05$). 보구치는 전 체장군에서 새우류를 주로 섭식하였지만, 성장함에 따라 작은 크기의 단각류의 비율이 감소하고 측류와 어류의 비율이 증가하는 경향을 보였다. 반면, 청보리멸은 다모류에서 이매패류로 먹이생물 비율이 변하는 경향을 보였다. 두 어종의 성장에 따른 먹이변화는 작고 부드러운 먹이원 (e.g. 단각류, 갯지렁이류)에서 크고 활동적 (e.g. 갑각류, 어류)이며 단단한 (e.g. 이매패류) 먹이 종류로 변하는 경향을 보였다. 일반적으로 어류는 성장하면서 몸과 입크기가 증가하고 활동성이 증가하기 때문에, 크기가 커질수록 좀 더 많은 종류의 먹이 또는 먹이 포획을 위한 노력에 비해 에너지 효율이 높은 먹이를 섭식할 수 있다 (Stoner and Livingston, 1984; Scharf *et al.*, 2000). 예를 들어 보구치 성어는 운동능력의 발달로 미성어에 비해 에너지 효율이 높은 어류의 섭식율이 증가하는 경향을 보였다 (Koh *et al.*, 2014). 이러한 변화는 먹이 자원 또는 공간에 대한 종내 경쟁을 감소시키는 결과를 가져온다 (Langton, 1982; Chizinski *et al.*, 2007).

본 연구는 낙동강 하구역에 출현하는 보구치와 청보리멸의 먹이생물과 섭식관계에 대한 중요한 정보를 제공해 주었다. 위내용물 분석 결과는 보구치는 저서 갑각류를 주로 섭식하는 갑각류 식자임을 나타냈지만, 청보리멸은 갯지렁이류와 이매패류를 주로 섭식하였다. 어류의 섭식생태에 관한 연구는 해양 생태계의 포식-피식 관계를 이해하고 생태계 먹이망 구조 연구를 위한 기초 연구이고, 생태계 관리와 보전의 관점에서 중요한 자료가 된다. 그럼에도 불구하고 본 연구는 대부분 낙동강에 출현한 두 어종의 미성어를 대상으로 연구하였고, 충분한 성어 시료 확보의 부족으로 두 어종의 섭식생태를 완전히 밝히지 못하였다. 따라서 향후 이러한 관점에서 연구를 위한 충분한 표본 확보 후 분석이 필요할 것이다.

요 약

어류의 생태지위에 관한 정보는 해양생태계에서 공존하는 다른 어종이 왜 동시에 높은 현존량을 나타낼 수 있는지를 설명할 수 있게 한다. 본 연구는 낙동강 하구역에 출현하는 보구치와 청보리멸의 위내용물을 분석하여 어종간 또는 각 어종의 체장군간 어떤 섭식관계가 있는지 연구하였다. 두 어종은 저

서섭식육식성 어종으로 저서성 갑각류와 연체동물을 주로 섭식하였고, 갯지렁이류 또한 청보리멸에 의해 많이 섭식되었다. 먹이분류군의 중량비를 이용한 nMDS 그래프와 다변량분석은 두 어종의 위내용물이 뚜렷이 차이가 남을 보여줬다. 즉, 두 어종을 먹이를 분할하여 섭식함을 나타냈다. 체장군별 위내용물 조성은 보구치에서 유의한 차이를 보였으나, 청보리멸은 이러한 차이를 보이지 않았다. CAP 분석은 다른 종류의 먹이생물이 두 어종의 위내용물을 구분하는데 기여하였고, 중간 위내용물 조성에서 차이가 나타남을 보여줬다. 결론적으로, 두 어종의 위내용물 분석 결과는 낙동강 하구역에서 동시에 출현하는 보구치와 청보리멸 사이에 생태지위 분리의 증거와 먹이 자원에 대한 중간 경쟁 감소의 가능성을 보여주었다.

사 사

본 연구의 시료 채집과 분석에 도움을 준 부경대학교 해양학과 유영생물학 연구실 학생들에게 감사 드립니다. 이 논문은 부경대학교 자율창의학술연구비(2017~2018)에 의하여 연구되었습니다.

REFERENCES

- Anderson, M.J., R.N. Gorley and K.R. Clarke. 2008. PERMANOVA+ for PRIMER: Guide to software and statistical methods. PRIMER-E, Plymouth Marine Laboratory, Plymouth, UK.
- Baeck, G.W., S.H. Huh and J.M. Park. 2014. Diet composition of juvenile Korean piscivorous chub, *Opsariichthys uncirostris amurensis* in the surf zone of Nakdong river estuary, Korea. J. Korean Soc. Fish. Technol., 50: 334-341. (in Korean)
- Beck, M.W., K.L. Heck, K.W. Able, D.L. Childers, D.B. Eggleston, B.M. Gillanders, B. Halpern, C.G. Hays, K. Hoshino, T.J. Minello, R.J. Orth, P.F. Sheridan and M.P. Weinstein. 2001. The identification, conservation, and management of estuarine and marine nurseries for fish and invertebrates. BioScience, 51: 633-641.
- Chizinski, C.J., C.G. Huber, M. Longoria and K.L. Pope. 2007. Intraspecific resource partitioning by an opportunistic strategist, inland silverside *Menidia beryllina*. J. Appl. Ichthyol., 23: 147-151.
- Choi, H.C., J.M. Park, G.W. Baeck and S.H. Huh. 2017. The summer diet of a juvenile barbell steed, *Hemibarbus labeo*, in the surf zone of the Nakdong river estuary, Korea. J. Korean Soc. Mar. Environ. Safety, 22: 766-772. (in Korean)
- Choi, H.C., S.H. Youn, S.H. Huh and J.M. Park. 2018. Diet Composition and feeding habits of two engraulid fish larvae (*Engraulis Japonicus* and *Coilia Nasus*) in the Nakdong River estuary, Korea. J. Coast. Res., 85(sp1): 346-350.
- Clarke, K.R. and R.N. Gorley. 2015. PRIMER v7: User Manual/Tutorial. PRIMER-E, Plymouth, UK.
- França, S., M.J. Costa and H.N. Cabral. 2009. Assessing habitat specific fish assemblages in estuaries along the Portuguese coast. Estuar. Coast. Shelf Sci., 83: 1-12.
- França, S., R.P. Vasconcelos, S. Tanner, C. Máguas, M.J. Costa and H.N. Cabral. 2011. Assessing food web dynamics and relative importance of organic matter sources for fish species in two Portuguese estuaries: a stable isotope approach. Mar. Environ. Res., 72: 204-215.
- Gerking, S.D. 1994. Feeding Ecology of Fish. Academic Press, San Diego, 416pp.
- Giarrizzo, T. and U. Krumme. 2007. Spatial differences and seasonal cyclicality in the intertidal fish fauna from four mangrove creeks in a salinity zone of the Curuçá estuary, North Brazil. Bull. Mar. Sci., 80: 739-754.
- Giarrizzo, T., U. Krumme and W. Wosniok. 2010. Size-structured migration and feeding patterns in the banded puffer fish *Colomesus psittacus* (Tetraodontidae) from north Brazilian mangrove creeks. Mar. Ecol. Prog. Ser., 419: 157-170.
- Grossman, G.D. 1986 Food resource partitioning in a rocky intertidal fish assemblage. J. Zool., 1: 317-355.
- Hajisamae, S., P. Yeesin and S. Ibrahim. 2006. Feeding ecology of two sillaginid fishes and trophic interrelations with other co-existing species in the southern part of South China Sea. Environ. Biol. Fish., 76: 167-176.
- Huh, S.H. and S.G. Chung. 1999. Seasonal variations in species composition and abundance of fishes collected by an otter trawl in Nakdong River estuary. Bull. Korean Soc. Fish. Tech., 35: 178-195. (in Korean)
- Hyslop, E.J. 1980. Stomach contents analysis—a review of methods and their application. J. Fish Biol., 17: 411-429.
- Jang, I.K. and C.H. Kim. 1992. A study on the changes of the molluscan and crustacean fauna after the construction of the Nakdong estuary barrage. Bull. Korean Fish. Soc., 25: 265-281. (in Korean)
- Jeon, S.-R. 1987. Studies on the fish fauna of the estuary area of Nakdong river, Korea. Bull. Korean Assoc. Conser. Nature, 9:77-90.
- Jeong, J.M., J.M. Park, S.H. Huh, S.J. Ye, H.J. Kim and G.W. Baeck. 2013. Seasonal variation in the species composition of fish assemblages in the coastal waters off Gadeok-do, South Sea, Korea. Korean J. Fish. Aquat. Sci., 46: 948-956. (in Korean)
- Kang, Y.J., C.I. Zhang and D.H. Kwon. 1999. A population ecological study of white croaker, *Argyrosomus argentatus* HOUTTUYN in Korean Waters. 3. Maturation and spawning. J. Korean Soc. Fish. Resour., 2: 61-67. (in Korean)
- Kim, Y.S., K.H. Han, C.B. Kang and J.B. Kim. 2004. Commercial fishes of the coastal and offshore waters in Korea. 2nd ed. Hangeul, Busan. Korea, 333pp. (in Korean)
- Koh, E.H., Y.S. An, G.W. Baeck and C.S. Jang. 2014. Feeding habits of white croaker, *Pennahia argentata* in the coastal waters

- off Sejon island, Korea. J. Korean Soc. Fish. Technol., 50: 139-146. (in Korean)
- Krűck, N.C., C.A. Charginulaf, U. Saint-Paul and I.R. Tibbetts. 2009. Early post-settlement habitat and diet shifts and the nursery function of tidepools during *Sillago* spp. recruitment in Moreton Bay, Australia. Mar. Ecol. Prog. Ser., 384: 207-219.
- Kwak, S.N. and S.H. Huh. 2003. Changes in species composition of fishes in the Nakdong river estuary. J. Korean Fish. Soc., 36: 129-135. (in Korean)
- Kwak, S.N., S.H. Huh and D.W. Klumpp. 2004. Partitioning of food resources among *Sillago japonica*, *Ditremma temmincki*, *Tridentiger trignocephalus*, *Hippocampus japonicus* and *Petroscirtes breviceps* in an eelgrass, *Zostera marina*, bed. Environ. Biol. Fish., 71: 353-364.
- Kwon, D.H., Y.J. Kang and D.W. Lee. 1999. A population ecological study of white croaker, *Argyrosomus argentatus* HOUTTUYN in Korean waters. 2. Age and growth. J. Korean Soc. Fish. Resour., 2: 54-60.
- Lacerda, C.H.F., M. Barletta and D.V. Dantas. 2014. Temporal patterns in the intertidal faunal community at the mouth of a tropical estuary. J. Fish Biol., 85: 1571-1602.
- Langton, R.W. 1982. Diet overlap between Atlantic cod, Gadus morhua, silver hake Merluccius bilinearis and fifteen other northwest Atlantic finfish. Fish. Bull., 80: 745-759.
- Loureiro, S.N., J.A. Reis-Filho and T. Giarrizzo. 2016. Evidence for habitat-driven segregation of an estuarine fish assemblage. J. Fish Biol., 89: 804-820.
- Manderson, J.P., J. Pessuti, J.G. Hilbert and F. Juanes. 2004. Shallow water predation risk for a juvenile flatfish (winter flounder *Pseudopleuronectes americanus*, Walbaum) in a northwest Atlantic estuary. J. Exp. Mar. Biol. Ecol., 304: 137-157.
- Marshall, A.D., P.M. Kyne and M.B. Bennett. 2008. Comparing the diet of two sympatric urolophid elasmobranchs (*Trygonoptera testacea* Müller & Henle and *Urolophus kapalensis* Yearsley & Last): evidence of ontogenetic shifts and possible resource partitioning. J. Fish Biol., 72: 883-898.
- Mérona, B.D. and J. Rankin-de-Mérona. 2004. Food resource partitioning in a fish community of the central Amazon floodplain. Neotrop. Ichthyol., 2: s75-84.
- Nanjo, K., H. Kohno and M. Sano. 2008. Food habits of fishes in the mangrove estuary of Urauchi River, Iriomote Island, southern Japan. Fish. Sci., 74: 1024-1033.
- Park, J.M., E. Coburn, M.E. Platell, T.F. Gaston, M.D. Taylor and J.E. Williamson. 2017. Diets and resource partitioning among three sympatric gurnards in northeastern Tasmanian waters, Australia. Mar. Coast. Fish., 9: 305-319.
- Park, J.M., S.H. Huh and G.W. Baeck. 2015. Temporal variations of fish assemblage in the surf zone of the Nakdong River Estuary, southeastern Korea. Ani. Cell. Syst., 19: 350-358.
- Park, J.M., S.N. Kwak and I.S. Han. 2018. Feeding Relationships among Six Seagrass-associated Fishes in the Northeastern Gwangyang Bay, Southern Korea. Ocean Sci. J., 53: 63-72.
- Pinkas, L., M.S. Oliphant and I.L.K. Iverson. 1971. Food habits of albacore, bluefin tuna, and bonito in California waters. Fish Bull., 151: 1-139.
- Platell, M.E. and I.C. Potter. 2001. Partitioning of food resources amongst 18 abundant benthic carnivorous fish species in marine waters on the lower west coast of Australia. J. Exp. Mar. Biol. Ecol., 261: 31-54.
- Ross, S.T. 1986. Resource partitioning in fish assemblages: a review of field studies. Copeia, 1986: 352-388.
- Salgado, J.P., H. Nogueira Cabral and M.J. Costa. 2004. Feeding ecology of the gobies *Pomatoschistus minutes* (Pallas, 1770) and *Pomatoschistus microps* (Krøyer, 1838) in the upper Tagus estuary, Portugal. Sci. Mar., 68: 425-434.
- Scharf, F.S., F. Juanes and R.A. Rountree. 2000. Predator size-prey size relationships of marine fish predators: interspecific variation and effects of ontogeny and body size on trophic-niche breadth. Mar. Ecol. Prog. Ser., 208: 229-248.
- Stoner, A.W. and R.J. Livingston. 1984. Ontogenetic patterns in diet and feeding morphology in sympatric sparid fishes from sea-grass meadow. Copeia, 1984: 174-178.
- White, W.T., M.E. Platell and I.C. Potter. 2004. Comparisons between the diets of four abundant species of elasmobranchs in a subtropical embayment: implications for resource partitioning. Mar. Biol., 144: 439-448.
- Xue, Y., X. Jin, B. Zhang and Z. Liang. 2005. Seasonal, diel and ontogenetic variation in feeding patterns of small yellow croaker in the central Yellow Sea. J. Fish Biol., 67: 33-50.
- Zhang, B., X.S. Jin and F.Q. Dai. 2008. Feeding habits of the two sciaenid fishes near the Changjiang estuary. Acta Zoologica Sinica, 54: 209-217. (in Korean)