

전 생활사 단계의 보름달물해파리(*Aurelia aurita* s.l.)에 대한 쥐치(*Stephanolepis cirrhifer*)의 포식과 먹이 선호도 실험

이혜은 · 한창훈 · 이해현 · 윤원득*
국립수산과학원 수산해양종합정보과 해파리대책반

Predation, Feeding Preference of Threadsail Filefish *Stephanolepis cirrhifer* on Different Life Stages of Moon Jellyfish *Aurelia aurita* s.l. in the Laboratory

HYE-EUN LEE, CHANG-HOON HAN, HYE-HYUN LEE AND WON-DUK YOON*
Fishery and Ocean Information Division, National Fisheries Research and Development Institute, Busan 619-705, Korea

해파리에 대한 쥐치의 포식률을 파악하기 위하여 메두사, 에피라, 폴립 단계의 보름달물해파리(*Aurelia aurita* s.l.)를 쥐치(*Stephanolepis cirrhifer*)에게 공급하고 포식실험을 수행하였다. 모든 크기의 쥐치는 메두사를 적극적으로 포식하였으며, 포식률은 쥐치의 체중과 비례하였다. 평균 습중량 0.5, 1, 2.2 g의 쥐치 치어는 평균 $0.77 \pm 0.51 \text{ g fish}^{-1} \text{ h}^{-1}$ 을 포식하였으며, 평균 습중량 150, 344 g의 쥐치 성어는 각각 9.26 ± 1.61 , $15.89 \pm 3.67 \text{ g fish}^{-1} \text{ h}^{-1}$ 을 포식하였다. 유생에 있어서도 평균 습중량 3.7 g의 쥐치가 10분 이내에 100개체의 에피라를 포식하였고, 평균 습중량 2.2 g의 쥐치는 단위체 중당 $5.73 \pm 0.59 \text{ polyps g}^{-1} \text{ of fish h}^{-1}$ 의 폴립을 포식하였다. 반면에 쥐치 성어는 폴립을 포식하지 않았다. 이와 같은 쥐치의 해파리 포식이 현장에서 가능한지 알아보기 위해 수행된 먹이 선호도 실험에서, 쥐치 성어는 다른 먹이인 굴(약 60%)과 갯지렁이(약 80%)를 주로 포식하였고 메두사 포식은 약 2%에 불과했다. 하지만 쥐치 치어는 다른 먹이인 곤쟁이류와 함께 에피라, 폴립도 포식하였으며, 폴립에 대해서는 지속적인 포식활동을 보였다. 그리고 쥐치 치어는 주변에 다른 먹이가 있어도 보름달물해파리 유생에 대한 포식이 활발했지만, 11 °C 이하에서는 섭식활동을 중지한 실험결과로부터 11 °C 보다 수온이 낮은 3-4월경에 발생하는 에피라 유생에 대한 현장에서의 포식 가능성은 낮을 것으로 예상할 수 있다. 반면, 폴립의 경우 수온에 관계없이 연중 서식하기 때문에 현장에서 쥐치 치어의 폴립 포식이 가능할 것이다. 따라서 쥐치를 이용하여 보름달물해파리 구제작업을 시행할 경우, 폴립을 대상으로 하여 쥐치 치어를 이용하는 것이 가장 효과적인 것으로 판단된다.

To determine the predation rate of threadsail filefish, we conducted feeding experiment of threadsail filefish, *Stephanolepis cirrhifer* on different life stages (medusae, ephyrae, and polyps) of *Aurelia aurita* s.l. in the laboratory. All size groups of threadsail filefish actively preyed on moon jellyfish *Aurelia aurita* s.l. and predation rate was proportional to the wet weight of threadsail filefish. Average wet weight 0.5, 1, 2.2 g of threadsail filefish preyed on average $0.77 \pm 0.51 \text{ g fish}^{-1} \text{ h}^{-1}$ of medusae. Average wet weight 150 and 344 g of threadsail filefish preyed on 9.26 ± 1.61 and $15.89 \pm 3.67 \text{ g fish}^{-1} \text{ h}^{-1}$ of medusae respectively. In ephyrae and polyps, average wet weight 3.7 g of juvenile of threadsail filefish preyed on 100 ephyrae within 10 minutes and average wet weight 2.2 g of juvenile of threadsail filefish preyed on $5.73 \pm 0.59 \text{ polyps g}^{-1} \text{ of fish h}^{-1}$. Whereas adults of threadsail filefish did not prey on polyps. In feeding preference experiments to elucidate whether threadsail filefish prey on moon jellyfish in the sea, adults of threadsail filefish preyed on mostly oysters (ca. 60%) and polychaetes (ca. 80%). Medusae were consumed only 2% of total. However, juvenile of threadsail filefish preyed on ephyrae and polyps as well as mysid shrimps. Besides, polyps were consistently consumed during the experiment. Although juvenile of threadsail filefish consumed all kinds of prey, they ceased feeding at temperatures below 11 °C, which suggests

that possibility of predation on ephyrae may be very low in the sea because ephyrae are released at low temperatures below 11 °C from March to April. Whereas polyps are inhabitable in all seasons in Korean coastal waters, juvenile of threadsail filefish may prey on polyps in the sea. These results suggest that removing moon jellyfish at polyp stage by using juvenile of threadsail filefish is the most effective way for extermination of moon jellyfish.

Key words: *Aurelia aurita*, *Stephanolepis cirrhifer*, Predation, Feeding preference, Polyp

서 론

자포동물문 해파리강에 속하는 보름달물해파리(*Aurelia aurita* s.l.)는 하나의 생활사에서 유성생식과 무성생식을 함께 행하는 번식능력이 탁월한 동물이다(Arai, 1997). 보름달물해파리는 전세계적으로 가장 흔하게 출현하는 종으로, 우리나라에서도 5~11월경 전 연안에서 부유생활 단계의 성체가 출현한다(NFRDI, 2014). 고착생활 단계의 폴립은 연중 서식하며, 이 시기에는 무성생식을 통해 개체수를 늘린다. 무성생식은 두 가지 형태로, 폴립이 같은 폴립을 만들어 내는 것과 폴립이 이십여 개의 부유유생(ephyrae)을 방출하는 방법으로 이루어진다(Arai, 1997). 폴립은 주로 암석이나 수중 구조물 등에 부착하여 서식하며, 우리나라의 경기 시화호 송전탑, 전북 새만금 방조제, 충남 당진시 현대제철 석탄 하역부두, 전남 가막만, 득량만 해역 등지에서 대량서식자가 발견되기도 하였다(Chungcheongnam-do, 2011; Jeollanam-do, 2011; K-water, 2012; Jeollanam-do, 2014).

여름철 보름달물해파리의 국지적 대량발생은 1990년대 이후 빈번하게 일어나는 현상이며, 수산업에 막대한 피해를 끼치고 있다(MLTM, 2009). 해파리로 인한 수산업 피해를 저감하기 위하여 선박으로 직접 해파리 수거, 해파리 절단망 이용, 해파리 주의보 발령, 부착유생(polyps) 제거 방안 탐색 등 여러 가지 방안들이 시도되고 있다. 천적생물을 이용하는 방법도 그 중의 하나로 고려되어 여러 지방자치단체에서 어류자원 증강의 목적과 함께 해파리 퇴치의 목적으로도 쥐치류 방류사업을 시행한 예가 있다(부산시, 창원시, 보령시, 경주시 등).

해파리를 포식하는 어류로는 돛류, 개복치, 쥐치류 등 다양하여, 34과(family) 69종(species) 어류의 위내용물에서 해파리류가 발견된 보고가 있으며(Arai, 2005), 어류 외에도 갯민숭달팽이, 바다새, 바다거북 등도 해파리를 포식하는 것으로 알려져 있다(Hemroth & Gröndahl, 1985; Suazo, 2008; Holland *et al.*, 1990). 이들 포식자 중에서 쥐치류가 가장 대표적인 해파리의 천적으로 여겨지고 있으나 적절한 효과검정 없이 지자체 쥐치방류사업 홍보에 이용되기도 하였다. 이는 쥐치류가 소형 갑각류, 다모류, 단각류, 요각류, 해조류 등 다양한 먹이를 먹는 잡식성 어류(Kwak *et al.*, 2003)인 점과 해파리가 대량출현하기 시작한 것과 쥐치류의 어획량 감소(어업생산 통계시스템, <http://fs.fips.go.kr>)를 직접적으로 연관시키는 것에 기인한 것으로 보인다. 쥐치류가 해파리를 적극적으로 포식한다는 것은 이미 많이 관찰된 사실이지만(NFRDI, 2008), 부유생활(유성생식 세대)과 고착생활(무성생식 세대)을 교번하는 해파리의 복잡한 생활사 내에서 어떠한 포식특성을 나타내는지에 관한 정보가 없다. 게다가 쥐치류의 위내용물 분석에서도 빠른 소화 시간과 부서지기 쉬운 몸체 때문에 위내용물에서 발견된다 하여도 젤리링어리로 보이는 파편에 불과하므로 종판별이 어렵고 정

량적인 포식량 추정 또한 어렵다(Arai *et al.*, 2003).

본 연구는 쥐치류의 해파리에 대한 정량적인 포식량을 파악하기 위하여 실험실에서 쥐치(*Stephanolepis cirrhifer*) 치어와 성어에게 각 생활사 단계(폴립, 에피라, 메두사)로 구분된 보름달물해파리(*Aurelia aurita* s.l.)를 직접 공급하여 포식실험을 수행하였다. 그리고 쥐치의 보름달물해파리 포식이 현장에서도 가능한지 알아보기 위하여 먹이 선호도 실험과 쥐치 치어의 섭식가능 수온 실험도 함께 수행하여 이를 통해 쥐치를 이용한 보름달물해파리 구제 가능성 검토를 위한 기초자료를 제공하고자 하였다.

재료 및 방법

실험은 2010년 8월에 수행하였으며, 실험에 사용된 쥐치(*Stephanolepis cirrhifer*)는 경상남도 거제시 법동리의 종묘생산장에서 부화된 치어와 인근해역에서 어획되어 사육중인 성어를 크기별로 구분하여 이용하였다(Table 1).

보름달물해파리(*Aurelia aurita* s.l.) 메두사는 거제시 주변해역에서 채집한 것을, 에피라와 폴립은 실험실에서 인공부화시킨 것을 이용하였다. 메두사와 에피라(직경 약 5 mm 이하)는 실험수조에 바로 투입하였고, 폴립은 투명한 사각 플라스틱 판(10×10 cm)에 미리 부착시킨 후 판을 그대로 수조바닥이나 벽면에 부착하여 쥐치의 포식이 가능하도록 하였다.

실험기간 동안의 수온범위는 24.9~25.9 °C, 염분범위는 32.4~33.7 psu (YSI30)를 유지하였다. 쥐치는 평소대로 급이(인공배합사료 및 냉동곤쟁이)시킨 개체를 실험수조로 옮겨 24시간 순치 후 실험에 이용하였다. 실험기간 동안 수조에 차양막을 설치해 외부 자광을 최소화하였고, 350 L 이하의 수조는 외부여과기를 수조에 설치하여 사육수를 순환하였으며, 350 L 수조는 유수식으로 환수하였다.

포식률

메두사 포식률(P_M , predation rate, g of medusae fish⁻¹ h⁻¹)은 크기가 구분된 쥐치가 들어있는 실험수조에 미리 습중량(WW, g)을 측정된 메두사를 투입하고, 일정시간(T) 경과 후 메두사의 습중량을 측정하여 단위 시간당 섭이된 메두사의 양을 계산하였다(식 1).

$$P_M = (WW_0 - WW) / T \quad (1)$$

에피라(또는 폴립)의 포식률(P_E (or P_P), predation rate, number of ephyrae (or polyps) fish⁻¹ h⁻¹)은 크기가 구분된 쥐치가 들어있는 실험수조에 총 개체수를 알고 있는 에피라(또는 폴립)를 투입하고, 일정시간(T) 경과 후 남은 에피라(또는 폴립)의 개체수(N)를 파악하여 단위시간당 섭이된 에피라(또는 폴립)의 수를 계산하였다(식 2).

$$P_E \text{ (or } P_P) = (N_0 - N) / T \quad (2)$$

Table 1. Different life stage and size of prey (*Aurelia aurita* s.l.) and predator (*Stephanolepis cirrhifer*), number of predator, type of other preys, volume of experimental tank

Prey (Moon Jellyfish)	Predator (Threadsail Filefish)				
	Stage	Total length(cm)	Wet weight (SD) (g)	Number	Tank(L)
Medusa (wet weight 50-100 g)	Larva	2-3	0.5 (0)	10	350
		3-4	1.0 (0)	10	350
		4-5	2.2 (0.38)	10	350
	Adult	12-16	150.0 (42.13)	3	350
		24-27	344.0 (55.43)	1	350
Ephyra (diameter ca. 5 mm)	Larva	6-7	3.7(0.11)	1	40
Polyp (diameter ca. 1 mm)	Larva	2-3	0.5 (0.2)	10	350
		4-5	2.2 (2.4)	10	350
	Adult	15-20	140.3 (37.2)	1	350
Medusa/Oyster/Polychaetes	Adult	24-27	388.7 (35.2)	1	350
Ephyra/Mysid shrimp	Larva	6-7	3.7 (0.42)	1	40
Polyp/Mysid shrimp		6-7	3.7 (0.21)	2	40

취치의 개체수는 수조 용량을 고려하여 크기에 따라 1~10 개체로 수를 달리하여 실험을 수행하였으며, 모든 실험구는 3개의 반복구를 두었고 모두 다른 개체를 이용하였다(Table 1).

취치의 습중량과 포식률과의 관계는 non-linear regression test로 검정하였으며, 취치의 단위 습중량당 폴립 포식률 차이는 사전 정규성 검정 이후 one way ANOVA test를 수행하였다(SPSS 10.0).

먹이 선호도

취치의 먹이 선호도를 파악하기 위하여 취치의 주요 먹이인 굴(*Crassostrea gigas*), 갯지렁이(*Marphysa sanguinea*), 곤쟁이류(Mysid shrimp)를 해파리와 함께 제공하였다(Table 1). 굴은 거제시 주변해역에서 채취한 것을 폐각을 제거하여 육질만 이용하였고, 갯지렁이와 곤쟁이류는 낚시미끼용으로 판매되는 것을 이용하였다. 실험 직전 굴과 갯지렁이는 각각 무게를 측정 후 해파리 성체와 함께 공급하였고, 곤쟁이류는 개체수 또는 무게를 측정하여 에피라 또는 폴립과 함께 공급하였다. 일정시간 경과 후 남은 해파리와 굴, 갯지렁이, 곤쟁이류를 수거하여 취치에 의해 소비된 양을 계산하였다.

취치 치어의 섭식활동 가능 수온

취치 치어의 섭식활동이 가능한 수온을 파악하기 위하여 약 300 L의 수조에서 전장 4~9 cm 크기의 취치 53개체를 사육하였다. 냉각기를 이용하여 수온을 서서히 하강시키면서(18.8 °C에서 9.3 °C

까지 약 0.5 °C day⁻¹) 생존률과 유영행동 및 섭식여부를 관찰하였다. 개체 대부분의 움직임이 둔화되며 섭이를 중단하였을 때 다시 수온을 상승시켰다. 실험은 총 33일간 지속하였으며, 먹이로는 펠릿 사료를 공급하였다.

또한 수온에 따른 취치의 에피라 및 폴립 포식소요시간을 파악하기 위하여 전장 6~9 cm 크기의 취치 10개체에게 에피라 100개체와 폴립 100개체를 공급한 후 30분 간격으로 남은 에피라와 폴립을 확인하였다. 에피라와 폴립이 전량 소비된 시간을 기록하였고, 수온범위는 20 °C에서 10 °C까지 1 °C 간격으로 설정하였다. 먹이 부족을 피하기 위하여 하루에 2회 펠릿 사료를 공급하였다.

결 과

취치의 보름달물해파리 포식률

메두사(medusae): 모든 크기의 취치가 메두사(해파리 성체)에 대하여 적극적인 공격행동을 보였다. 띠모양으로 돌출된 구완(oral arm)과 두께가 얇은 우산(umbrella) 가장자리를 먼저 포식하기 시작하였고, 이후 우산 중앙부의 생식소와 몸통까지 포식함으로써 해파리의 섭식부(구완), 생식부(생식소), 유영부(우산) 모든 곳에 상처를 입혔다(Fig. 1). 그러나 취치는 메두사와 마주치게 되면 적극적으로 포식하였지만, 주로 수조의 표층에 떠 있는 메두사를 발견하지 못하는 경우가 많았다. 뿐만 아니라 작고 뾰족한 모양의 입을 가진 취치는 먹이를 쪼아 뜯어먹는 형태로 포식하므로 메두



Fig. 1. Attacked *Aurelia aurita* s.l. medusa by *Stephanolepis cirrhifer* adult (ca. 300 g in wet weight).

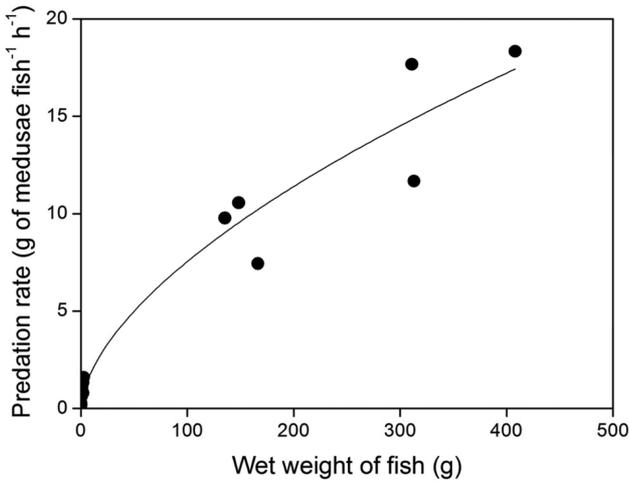


Fig. 2. Predation rates of *Stephanolepis cirrhifer* on *Aurelia aurita* s.l. medusa at different wet weight ($p < 0.05$, non-linear regression test).

사와 같이 큰 먹이는 한입에 먹을 수 있는 양이 제한적이었다.

평균 습중량 0.5, 1, 2.2, 150, 344 g의 모든 쥐치가 있는 수조에서 포식에 의한 메두사의 습중량 감소가 있었고, 쥐치의 습중량이 클수록 메두사에 대한 포식률은 유의적으로 증가하였다($p < 0.05$, non-linear regression test)(Fig. 2). 단위시간당 포식량은 평균 습중량 0.5, 1, 2.2 g의 쥐치 치어가 평균 $0.77 \pm 0.51 \text{ g fish}^{-1} \text{ h}^{-1}$ 였으며, 평균 습중량 150, 344 g의 쥐치 성체의 단위시간당 포식량은 각각 9.26 ± 1.61 , $15.89 \pm 3.67 \text{ g fish}^{-1} \text{ h}^{-1}$ 였다.

에피라(ephyrae): 직경 5 mm 이상의 에피라는 옅은 주황색을 띠는데다 움직임이 크고 속도가 빨라 쥐치 치어가 쉽게 발견하고 포식하였다. 부화 이후 에피라를 포식한 경험이 없음에도 발견 즉시 입에 넣는 행동을 보였다. 간혹 다시 뱉어 버리는 개체도 있었으나 다시 삼킨 후 다른 에피라를 계속해서 포식하였다.

평균 습중량 3.7 g의 쥐치 1개체가 10분 이내에 100개체의 에피라를 모두 포식하였다(Fig. 3). 초기 3분 이내에 전체 에피라의 반 이상인 55 ± 11 개체를 포식하였고, 6분 경과 후에는 총 95 ± 2.08 개체를 소비하여 높은 포식률을 보였다. 초기 1-3분 동안의 분당 에피라 포식률은 평균 $18 \text{ ephyrae fish}^{-1} \text{ min}^{-1}$, 이후 4-6분간은 $13 \text{ ephyrae fish}^{-1} \text{ min}^{-1}$, 7-9분 사이는 $2 \text{ ephyrae fish}^{-1} \text{ min}^{-1}$ 로 먹이 농도가 낮아짐에 따라 분당 포식률은 급격히 낮아졌다.

폴립(polyps): 폴립은 직경 1 mm 내외로 크기가 작고 움직임이 없어 쥐치가 쉽게 발견하지 못했다. 그러나 폴립을 발견하게 되면 잠시 동안 주위를 맴돌다가 포식하기 시작하였고, 한번 폴립을 포식을 경험한 개체는 이후 매우 적극적인 포식행동을 보였다.

평균 습중량 0.5 g의 작은 크기 쥐치의 경우 단위체중당 폴립 포식률이 $0.11 \pm 0.1 \text{ polyps g}^{-1} \text{ of fish h}^{-1}$ 로 매우 낮았고, 140.3 g의 쥐치 성어는 폴립을 전혀 포식하지 않았다. 반면, 습중량 2.2 g 쥐치의 단위체중당 폴립 포식률은 $5.73 \pm 0.59 \text{ polyps g}^{-1} \text{ of fish h}^{-1}$ 로 가장 높았다($p < 0.05$, one-way ANOVA test)(Fig. 4).

쥐치의 먹이 선호도

쥐치 성어: 메두사-굴-갯지렁이: 쥐치 성어(평균 습중량: 388.7 g)는 주변에 해파리와 다른 종류의 먹이인 굴과 갯지렁이가 함께 존재

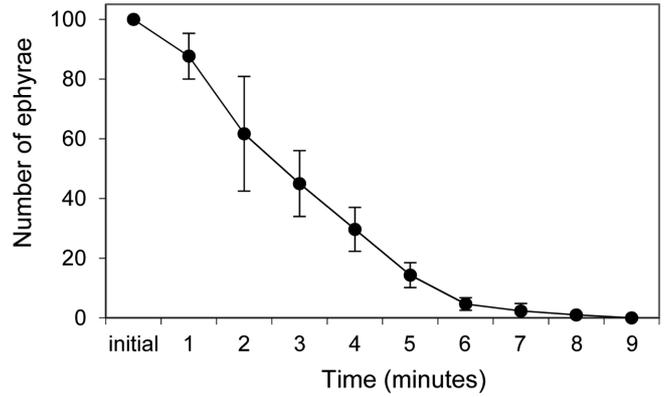


Fig. 3. Consumption of *Stephanolepis cirrhifer* (average 3.7 g in wet weight) on *Aurelia aurita* s.l. ephyrae through time.

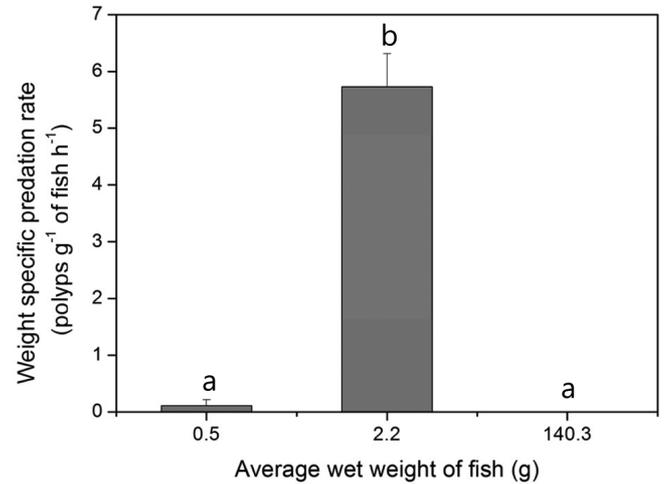


Fig. 4. Average predation rates of *Stephanolepis cirrhifer* on *Aurelia aurita* s.l. polyps by three different size groups ($p < 0.05$, one-way ANOVA test).

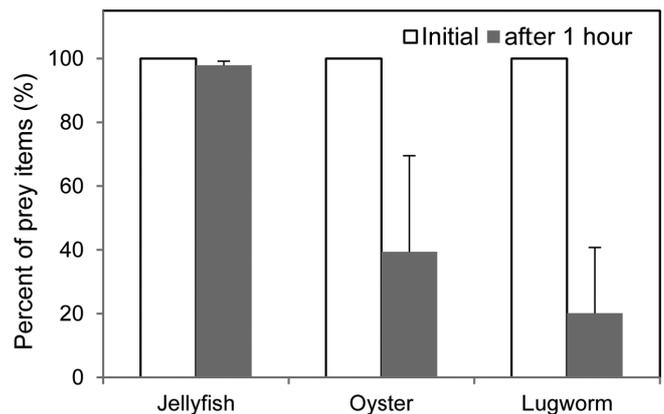


Fig. 5. Consumption of *Stephanolepis cirrhifer* (average 388.7 g in wet weight) on *Aurelia aurita* s.l. medusa, oyster and polychaetes (%).

할 경우, 다른 종류의 먹이를 더 선호하는 것으로 나타났다(Fig. 5). 굴과 갯지렁이의 경우, 실험 직후부터 왕성히 포식되어 1시간 경과 후 굴은 약 40%, 갯지렁이는 약 20%가 남은 반면, 메두사는 약 98%가 남았다. 메두사는 간헐적인 쥐치의 공격으로 인해 우산에

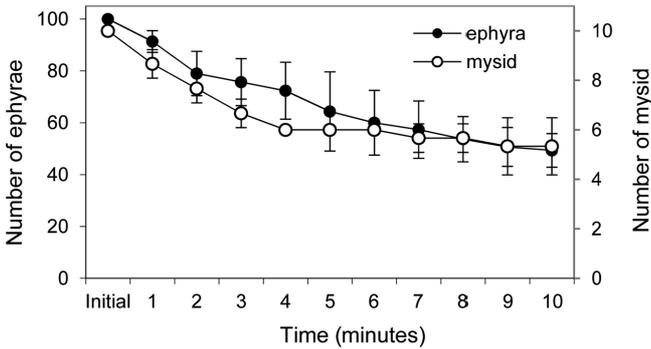


Fig. 6. Consumption of *Stephanolepis cirrhifer* (average 3.7g in wet weight) on *Aurelia aurita* s.l. ephyrae and mysid shrimp.

작은 상처가 생기기도 하였으나 정상적으로 유영하였고 실험종료 후에도 수일간 생존하였다.

쥐치 치어: 에피라-곤쟁이류: 쥐치 치어(평균 습중량: 3.7 g)는 에피라와 곤쟁이류를 동시에 포식하였다. 실험 경과 10분 이내에 에피라, 곤쟁이류 모두 약 50%를 포식하였으며, 초반 5분 이내에 에피라가 약 36±15.27%, 곤쟁이류가 40±0%의 급격한 감소를 보였으며, 이후 5분 동안 에피라가 약 15±8.88%, 곤쟁이류가 6.7±11.54%가 더 감소하였다(Fig. 6).

쥐치 치어: 폴립-곤쟁이류: 쥐치 치어(평균 습중량: 3.7 g)는 폴립과 곤쟁이류를 동시에 포식하였다. 실험 경과 1시간 후 폴립이 약 48±38.57%, 곤쟁이류가 약 44±4.55% 소비되었고, 다시 1시간 이후 폴립은 전체의 약 92±2.08%가 포식되었으나, 곤쟁이류는 48±8.23%로 큰 변화가 없었다(Fig. 7). 쥐치는 크기가 큰 곤쟁이류(전장 약 2 cm)를 먼저 포식하였으나, 폴립을 발견한 이후에는 폴립을 지속적으로 포식하였다.

쥐치 치어의 섭식활동 가능 수온

수온 19~11 °C 범위에서는 90% 이상의 개체가 정상적인 유영과 섭식 활동을 보였으나, 수온이 10.5~9.3 °C 였던 5일간은 먹이를 먹는 개체가 없었으며, 50% 이상이 바닥에 머물러 있었고, 일부 기절하는 개체도 발생하였다. 다시 수온을 상승시켜 11 °C에 이르자 섭식을 재개하였고, 정상적인 유영활동을 보였다. 33일간의 실험 후

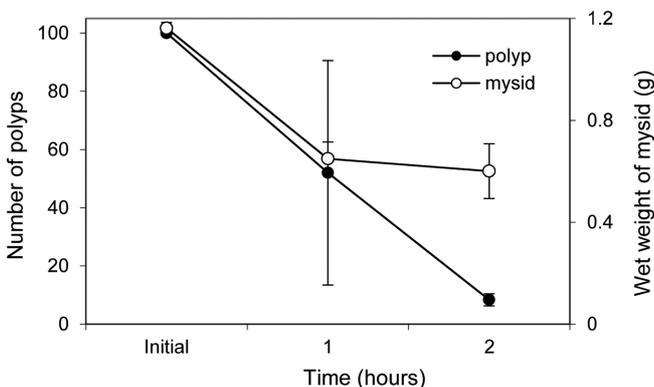


Fig. 7. Consumption of *Stephanolepis cirrhifer* (average 3.7 g in wet weight) on *Aurelia aurita* s.l. polyps and mysid shrimp through time.

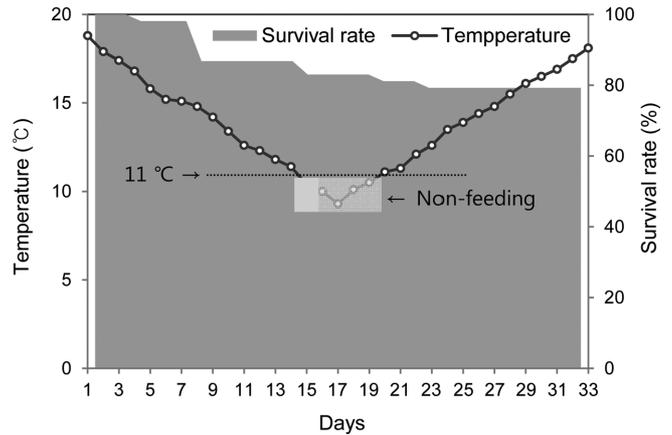


Fig. 8. Survival rate (%) of *Stephanolepis cirrhifer* in temperature variations for 34 days (* light gray rectangle indicate non-feeding period of *Stephanolepis cirrhifer*).

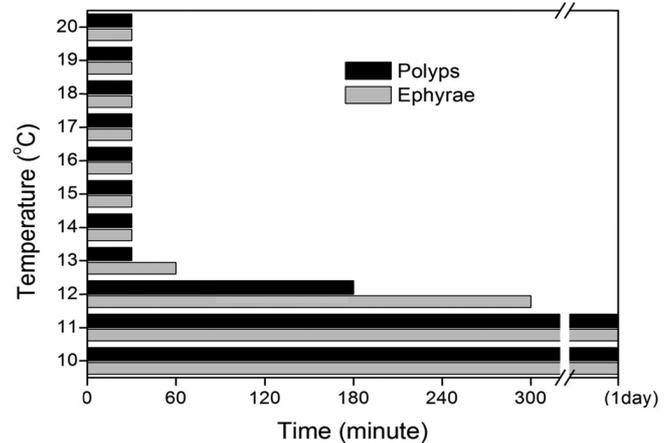


Fig. 9. Predation time of *Stephanolepis cirrhifer* for total feeding on 100 *Aurelia aurita* s.l. ephyrae and 100 polyps at 11 different temperatures.

생존율은 79.2%로 나타났고, 수온이 15 °C 이하로 떨어졌던 8일 째에 가장 많은 개체가 사망하였다(Fig. 8).

쥐치(전장: 6~9 cm, 10개체)가 에피라(100개체)와 폴립(100개체)을 전량 소비하는데 걸리는 시간은 수온 20~14 °C까지는 모두 30분 이내였으나, 13 °C에서는 에피라가 60분, 12 °C에서는 폴립이 180분, 에피라가 300분 소요되었다. 그러나 11 °C 이하에서는 하루가 지나도 폴립과 에피라는 전혀 소비되지 않았다(Fig. 9).

고 찰

쥐치(*Stephanolepis cirrhifer*)는 성어뿐만 아니라 종묘생산장에서 부화·사육되어 해파리를 경험하지 못한 치어도 보름달물해파리(*Aurelia aurita* s.l.) 성체(메두사)에 대하여 적극적인 공격행동을 보였다. 그러나 평균 습중량 2.2 g 이하의 작은 치어들은 단위시간당 메두사 포식량이 평균 0.77±0.51 g에 불과했고, 평균 10 g 이상 포식했던 성어들은 다른 종류의 먹이가 있을 경우에는 메두사를 거의 포식하지 않았다.

보름달물해파리 메두사는 영양능력이 약하고 몸체가 부드러워 쉽게 포획할 수 있을 뿐만 아니라 소화시키기도 쉬운 먹이지만 (Arai *et al.*, 2003), 체성분의 96% 이상이 물로 구성되어 있기 때문에(Han *et al.*, 2009; Uye and Shimauchi, 2005), 유기물 함량은 습중량의 0.003%에 불과하다(Lucas, 1994). 이는 다른 종류의 먹이(예. 갯지렁이: 2.97%, Miyajima *et al.*, 2011b)와 비교하면 매우 낮은 수준으로 메두사의 영양학적 가치가 낮음을 시사한다. 또한 쥐치 치어에게 보름달물해파리 메두사와 크릴을 각각 공급하여 16일간 사육한 실험에서도 메두사를 먹인 그룹은 약 20%의 체중증가를 보인 반면, 크릴을 공급한 그룹에서는 약 150%의 체중증가를 보였던 결과(Miyajima *et al.*, 2011a)는 메두사의 낮은 먹이효율을 보여준다.

쥐치는 성장하면서 먹이생물이 바뀌는데, 전장 50 mm까지는 크기가 작은 갑각류나 해조류를 섭식하지만, 50 mm 이상부터는 갑각류, 조개류, 갯지렁이류를 주로 포식한다(NFRDI, 2004). 본 실험에서 쥐치 성어에게 제공한 메두사, 굴, 갯지렁이 중에서도 굴과 갯지렁이 위주로 포식한 결과는 메두사가 잡식성 쥐치(Suyehiro, 1934; Kwak *et al.*, 2003; Masuda *et al.*, 2008)의 다양한 먹이들 중 한 종류일 뿐 주요 먹이는 아닌 것으로 판단된다. Miyajima *et al.*(2011b)가 수행한 보름달물해파리 메두사와 갯지렁이를 이용한 먹이 선호도 실험에서도 쥐치 성어는 갯지렁이를 먼저 포식한 이후에 메두사를 포식하였다. 또한 메두사는 공급된 양의 23.7±8.5%가 포식된 반면, 갯지렁이는 86.4±8.8%가 포식된 것으로 나타나 메두사에 대한 낮은 선호도는 본 실험의 결과와 일치한다. 이러한 결과들로부터 실험실 환경에 비해 이용 가능한 먹이가 보다 다양한 현장에서 쥐치에 의한 메두사의 포식은 더욱 낮게 나타날 것으로 추측할 수 있다. 게다가 국지적 대량출현이 빈번한 보름달물해파리에 있어서 쥐치의 포식은 한계가 있을 것으로 여겨진다. 예를 들어, 우리나라의 대표적인 보름달물해파리 대량발생지인 시화호 지역(6월 보름달물해파리 생체량: 246.6 g m⁻³, Han *et al.*, 2012)에서 6월경 발생한 메두사를 3개월 동안 쥐치의 포식만으로 전량 소멸시킨다고 가정할 경우, 전체 저수량 3억 3천 2백만톤(건교부, 시화지구 장기종합 계획, '06.5)의 시화호에는 300 g 이상의 쥐치 성어가 약 2백만마리 이상 필요한 것으로 추산된다. 이는 쥐치의 소화시간이나 다른 먹이생물들을 전혀 고려하지 않은 단순한 산술적 계산이지만 메두사 대량발생 지역에서 쥐치를 이용한 구제효과는 기대하기 어려움을 쉽게 예상할 수 있다.

쥐치 치어의 해파리 유생(에피라, 폴립)에 대한 먹이 선호도 실험에서 나타난 성어와 상반된 결과는 에피라와 폴립의 크기가 1-5 mm 정도로 쥐치 치어의 입에 적당한 크기이며 폴립의 경우, 기질에 집약적으로 부착되어 있어 먹이탐색을 위한 시간과 노력을 줄일 수 있었기 때문에 선호도가 높았던 것으로 사료된다. 유생단계에서 무성생식을 하는 보름달물해파리의 생활사적 특성상 쥐치 치어의 에피라와 폴립에 대한 높은 선호도는 중요한 의미를 가진다. 에피라는 직경 3 mm 정도의 작은 개체로 발생하지만, 동물플랑크톤을 섭식하면서 불과 수개월 만에 수백 그램(g)의 성체로 성장하고(Uye & Shimauchi, 2005), 폴립은 무성생식을 통해 수백 개의 폴립을 만들어 내며, 각각의 폴립은 평균 20여 개의 에피라를 만들어 내는 것을(MLTM, 2010) 고려하면 유생단계에서의 쥐치 치어의 포식은 향후 메두사 개체군 변동에도 영향을 끼칠 가능성이 있음을 시사한다.

그러나 우리나라에서 에피라는 주로 3-4월 경에 출현(NFRDI,

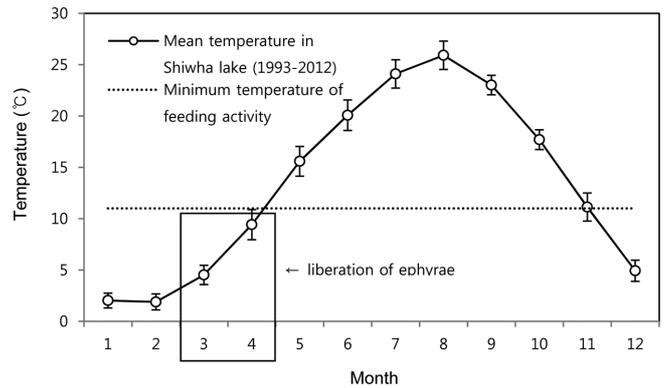


Fig. 10. Seasonal variations of sea surface temperature in Shihwa Lake (1993-2012, NOAA Satellite) where *Aurelia aurita* s.l. medusae frequently occurred (* rectangle means period of ephyrae liberation).

2008; MLTM, 2012)하므로 하계 산란형인 쥐치(Lee *et al.*, 2000)의 치어 활동기간과 일치하지 않을 것으로 예상된다. 보름달물해파리 대량발생 지역인 시화호를 예로 들면, 에피라 발생시기의 월평균 수온은 대략 5~10 °C(1993-2012, NOAA Satellite)이지만 이는 쥐치 치어의 섭식가능 수온 하한선인 11 °C 이하이기 때문에(Fig. 8,9) 쥐치 치어가 서식하기도 힘들고 서식하더라도 에피라에 대한 포식은 가능하지 않은 것으로 판단된다(Fig. 10). 반면, 폴립은 에피라나 메두사와는 달리 수온 변화와는 무관하게 4계절 내내 존재하기 때문에 시기의 제한 없이 쥐치 치어의 섭식 활동만 가능하면 먹이 생물이 이용될 수 있다. 따라서 쥐치를 이용한 보름달물해파리 구제는 폴립 단계를 대상으로 하는 것이 가장 효과적일 것으로 결론지어 진다. 다만, 해양에서의 폴립은 주로 암석의 틈 사이나 기질의 아래쪽 면에 부착되어 있기 때문에(Brewer, 1978; Jeollabuk-do, 2011), 시간적 섭식자인 쥐치 치어들의 폴립 발견이 어려운 문제가 있을 수도 있다(Miyajima, *et al.*, 2011b). 그러므로 쥐치 치어를 이용하여 폴립구제를 시행할 경우, 치어의 이탈 방지를 위한 가두리 그물과 같은 추가시설을 이용한 집약적인 구제작업을 통해 단기적인 효과를 얻는 것이 효율적인 것으로 여겨진다. 쥐치는 어획량 감소 이후 최근에는 고급어종으로 자리매김하고 있어 해파리 구제 목적 외에 어류자원 증강의 목적으로도 자원회복이 요구되며, 이를 통해 향후 자연적인 해파리 구제 효과도 기대할 수 있으리라 생각된다.

사 사

이 연구는 국립수산물과학원 “해파리 모니터링 및 피해저감 연구(15-OE-14)”의 일환으로 수행되었습니다. 실험에 도움을 주신 경남 거제시의 아침수산 백승원 대표님과 (주)시선바이오테리얼스 정진욱 박사님, 그리고 이 논문을 심사해 주신 심사위원님들께 감사사를 드립니다.

참고문헌(References)

Arai, M.N., 1997. A functional biology of Scyphozoa. London, Chapman & Hall, 316 pp.

- Arai, M.N., D.W. Welch, A.L. Dunsmuir, M.C. Jacobs, and A.R. Ladouceur, 2003. Digestion of pelagic Ctenophora and Cnidaria by fish. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, **60**: 825–829.
- Arai, M.N., 2005. Predation on pelagic coelenterates: a review. *J. Mar. Biol. Ass. UK*, **85**: 523–536.
- Brewer, R.H., 1978. Larval settlement behavior in the jellyfish *Aurelia aurita* (Linnaeus) (Scyphozoa: Semeostomeae). *Estuaries*, **1**: 120–122.
- Chungcheongnam-do, 2011. Investigation on polyps of blooming jellyfish species and its countermeasures in Chungcheongnamdo. 90 pp.
- Han, C.H., M. Kawahara, and S.I. Uye, 2009. Seasonal variations in the trophic relationship between the scyphomedusa *Aurelia aurita* s.l. and mesozooplankton in a eutrophic brackish-water lake, Japan. *Plankton Benthos Res.*, **4**: 14–22.
- Han, C.H., J. Chae, J. Jin, and W. Yoon, 2012. Estimation of the minimum food requirement using the respiration rate of medusa of *Aurelia aurita* in Sihwa lake. *Ocean Sci. J.*, **42**: 155–160.
- Hemroth, L., and F. Gröndahl, 1985. On the biology of *Aurelia aurita* (L.): 3. Predation by *Coryphella verrucosa* (Gastropoda, Opisthobranchia), a major factor regulating the development of *Aurelia* populations in the Gullmar fjord, western Sweden. *Ophelia*, **24**: 37–45.
- Holland, D., J. Davenport, and J. East, 1990. The fatty acid composition of the leatherback turtle *Dermochelys coriacea* and its jellyfish prey. *J. Mar. Biol. Ass. UK*, **70**: 761–770.
- Jeollabuk-do, 2011. Investigation on polyps of blooming jellyfish species and its countermeasures in Jeollabukdo. 119 pp.
- Jeollanam-do, 2014. Investigation on polyps of blooming jellyfish species and its countermeasures in southern Jeollanamdo. 62 pp.
- Kwak, S.N., G.W. Baek, and S.H. Huh, 2003. Feeding habits of *Stephanolepis cirrhifer* in a *Zostera marina* Bed. *Korean J. Ichthyol.*, **15**: 219–223.
- K-water, 2012. Elimination of moon jelly's polyps from the electric tower at Sihwa Lake and evaluation of its effect. 177 pp.
- Lee, S.J., Y.B. Go, and Y.D. Lee, 2000. Annual Reproductive cycle of the file fish, *Stephanolepis cirrhifer*, on the southern coast of Cheju Island. *Korean J. Ichthyol.*, **12**: 62–70.
- Lucas, C.H., 1994. Biochemical composition of *Aurelia aurita* in relation to age and sexual maturity. *J. Exp. Mar. Biol.*, **183**: 179–192.
- Masuda, R., Y. Yamashita, and M. Matsuyama, 2008. Jack mackerel *Trachurus japonicas* juveniles use jellyfish for predator avoidance and as a prey collector. *Fish. Sci.*, **74**: 282–290.
- Miyajima, Y., R. Masuda, A. Kurihara, R. Kamata, Y. Yamashita, and T. Takeuchi, 2011a. Juveniles threadsail filefish, *Stephanolepis cirrhifer*, can survive and grow by feeding on moon jellyfish *Aurelia aurita*. *Fish. Sci.*, **77**: 41–48.
- Miyajima, Y., R. Masuda, and Y. Yamashita, 2011b. Feeding preference of threadsail filefish *Stephanolepis cirrhifer* on moon jellyfish and lobworm in the laboratory. *Plankton Benthos Res.*, **6**: 12–17.
- MLTM (Ministry of Land, Transport and Maritime affairs), 2009. Policy study: Preventing damages from harmful jellyfish. 225 pp.
- MLTM (Ministry of Land, Transport and Maritime affairs), 2010. Preventing damages from harmful jellyfish. 155 pp.
- MLTM (Ministry of Land, Transport and Maritime affairs), 2012. Preventing damages from harmful jellyfish. 156 pp.
- NFRDI (National Fisheries Research & Development Institute), 2004. Commercial fishes of the coastal and offshore waters in Korea. 333 pp.
- NFRDI (National Fisheries Research & Development Institute), 2008. Mass occurrence of jellyfish and prevention and utilization. 222 pp.
- NFRDI (National Fisheries Research & Development Institute), 2014. Report on the jellyfish appearance in Korean coastal waters in 2013. 77 pp.
- Suazo, C.G., 2008. Black-browed albatross foraging on jellyfish prey in the southeast Pacific coast, southern Chile. *Polar Biol.*, **31**: 755–757.
- Suyehiro, Y., 1934. Über das Verdauungssystem und die Ernährung des *Monacanthus cirrhifer*. *Doubutsugaku zasshi*, **46**: 317–323 (in Japanese with German abstract).
- Uye, S., and H. Shimauchi, 2005. Population biomass, feeding, respiration and growth rates, and carbon budget of the scyphomedusa *Aurelia aurita* in the Inland Sea of Japan. *J. plankton Res.*, **27**: 237–248.

2014년 10월 2일 원고접수

2014년 11월 1일 수정본 접수

2015년 1월 5일 수정본 채택

담당편집위원: 이준백