

연평해역 민꽃게 (*Charybdis japonica*) 유생의 출현 시기와 분포

연인자·이요셉¹·송미영²·박원규^{1*}

국립수산과학원 자원관리과, ¹부경대학교 자원생물학과,

²국립수산과학원 서남해수산연구소 자원환경과

Seasonal Timing and Distribution of *Charybdis japonica* (Decapoda: Portunidae) Larvae off Yeonpyeong-do in the Yellow Sea, Korea

Inja Yeon, Yosep Lee¹, Miyeong Song² and Wongyu Park^{1*}

Fisheries Resources Research Division, National Fisheries Research &
Development Institute, Busan 619-705, Korea

¹Department of Marine Biology, Pukyong National University, Busan 608-737, Korea

²West South Sea Fisheries Research Institute, National Fisheries Research &
Development Institute

The distribution and occurrence of *Charybdis japonica* larvae were investigated off Yeonpyeong-do, Korea, in the Yellow Sea. *C. japonica* larvae were collected monthly at 15 stations from early June to late October in 2006 and 2007. At each station, a Bongo net with 303 and 505 μ m mesh was deployed once with a double oblique tow. No larvae were caught in June, in both years. Zoea I was predominant in late July in 2006 and early August in 2007, whereas Zoea I accounted for 84% of all larvae collected and no larval stages later than Zoea III were sampled. Megalopa were the most abundant larval stage at all stations in late August in both years. The timing of larval hatching of *C. japonica* may be related to that of phytoplankton blooms in the study area. The finding that Zoea I and Megalopa were predominant in the study area may indicate that *C. charybdis* larvae are carried by advection.

Key words: *Charybdis japonica*, Larvae, Yellow sea, Distribution, Occurrence

서 론

대부분의 갑각류는 생활사에서 저서기 (어린게-성체)와 부유기 (유생)를 가지고 다양한 수서환경에서 살아가고 있다 (Anger, 2001). 갑각류의 초기생활사인 부유유생시기에는 다양한 주위의 환경 요인들로 인해 생존율과 성장 (Pechenik et al., 1993)에 영향을 받으며, 조석활동과 해류와 같은 물리적인 환경에 의해 분산 (Anger et al., 1994)되고 가입 (Garvine et al., 1997)하는 독특한 생존 전략을 가지게 된다 (McConaugha, 1992).

갑각류 유생의 생존전략은 크게 두 가지로 나눌 수 있는데, 하나는 부채게류인 *Rhithropanopeus harrisi*와 같이 유생이 생산된 지역 인근에서 성장하여 개체군에 편입하는 방법 (Anger, 2001; McConaugha, 1992)이고 또 다른 하나는 꽃게류인 *Callinectes sapidus*나 은행게류인 *Cancer magister*와 같이 유생이 생산된 곳에서 해류나 조류와 같은 물리적 환경을 이용하여 이동한 후, 자신에게 적합한 환경에서 성장한 다음 생산된 지역으로 회귀하여 지역개체군에 편입하는 방법이 있다 (McConaugha, 1992; Garvine et al., 1997; Tilburg et al., 2007). 그러므로 한 지역에서 발견된 유생의 발달 단계는 유생

이 그 지역에서 생산되는지를 파악 할 수 있으며, 그 지역에서 부화하여 성장하는 지 또는 다른 지역에서 부화되어 성장을 위해 이동하였는지를 말해주는 지표가 될 수 있다 (Park et al., 2007).

민꽃게 (*Charybdis japonica*)는 십각목 (Order Decapoda), 꽃게과 (Family Portunidae)에 속하며, 우리나라의 전 연안, 일본, 중국, 타이완, 말레이시아 및 하와이에 분포하는 종으로서 주로 얕은 바다의 펄, 모래 또는 돌바닥에 서식하며, 분포지역에서 주요한 수산자원이 되는 갑각류이다 (Kim, 1973). 그러나 대규모 간척사업과 방조제 건설 등 연안의 오염원 증가와 연안 어장의 수질 변화 및 무분별한 남획으로 민꽃게 자원이 차츰 감소하는 추세이다 (어업생산통계시스템, <http://fs.fips.go.kr/>). 따라서 우리나라 갑각류 자원 중 경제성이 높은 민꽃게 자원의 보호와 합리적인 이용을 위해서는 최소 어획 체장을 설정하여 산란개체군을 보호하는 방안들이 요구된다 (Ministry of Maritime and Fisheries, 1999).

본 연구는 연평도 근해에 분포하는 민꽃게 유생의 시·공간적 분포를 연구함으로써 해당해역에 분포하는 민꽃게 유생의 생산시기와 분포를 파악하여, 연평도 근해 민꽃게 자원 관리의 기초자료로 제공함을 목적으로 한다.

*Corresponding author: wpark@pknu.ac.kr

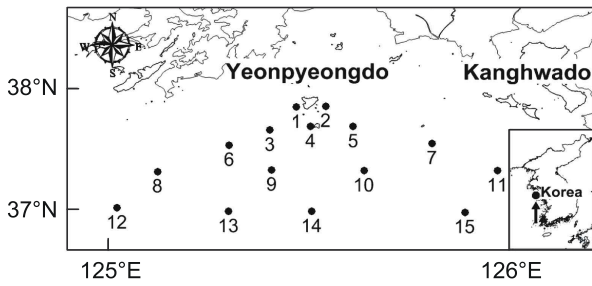


Fig. 1. Sampling stations of *Charybdis japonica* larvae off Yeonpyeong-do, Korea in the Yellow Sea in 2006 and 2007.

재료 및 방법

본 연구의 시료를 위해 연평도 근해 (37°30'~37°55'N, 125°00'~126°10'E)에서 2006년과 2007년 두 해에 걸쳐, 6월부터 10월까지 5개월간 2주 간격으로 15개의 정점에서 동물플랑크톤을 채집하였다 (Fig. 1). 동물플랑크톤은 303 µm 크기 망목의 네트가 부착된 봉고네트를 사용하여 복경사 채집 방법 (Oblique tow)으로 표층부터 바닥 가까이 까지 채집하였다. 채집된 유생의 정량화를 위해 General Oceanics 2030 flowmeter를 사용하여 여수량을 측정하였다. 채집된 동물플랑크톤은 선상에서 중성포르말린으로 즉시 고정된 후 실험실로 옮긴 다음 현미경 (Olympus-SZX12) 하에서 민꽃게 유생을 동정·계수하였으며, 계수된 개체수는 단위 체적 당 100 m³ 개체수로 환산하였다.

동물플랑크톤 채집과 동시에 CTD (Sea-Bird SBE 21)를 이용하여 수온과 염분을 측정하였으며, 2006년에만 Chl a를 측정하였다.

유생이 대량으로 출현한 시기를 중심으로 수온, 염분 그리고 Chl a와 유생의 출현량과의 상관관계를 분석하였다. 분석 전 정규분포 검사를 하였다. Pearson product-moment correlation coefficient (Zar, 2004)를 이용하여 수온, 염분, 그리고 Chlorophyll a와 유생 분포와의 상관관계를 분석하였다 (S-Plus 4).

결 과

환경 요인

2006년 조사 기간 동안 표층수온은 월별로 평균 16.5°C~24.7°C의 범위를 보였다. 6월 중순에 가장 낮았으며 (16.5°C), 점차 증가하여 8월 말에 가장 높았고 (24.7°C), 이후 다시 감소하여 10월말에 20.5°C를 나타내었다. 2007년 조사기간 동안 표층수온은 월별로 평균 16.7°C~24.9°C의 범위를 보였다. 6월 초에 가장 낮았으며 (16.7°C), 점차 증가하여 8월 말에 가장 높았고 (24.9°C), 이후 감소하여 10월 초에 21.6°C를 나타내었다 (Fig. 2).

2006년 조사기간 동안 염도는 월평균 24.0~30.4 psu의 범위로 6월 말부터 점차 감소하여 7월말에 가장 낮았고, 이후 점차 증가하여 10월 말에 가장 높았다. 2007년에는 26.7~30.9 psu의

범위로 6월에 가장 높았으며, 이 후 점차 감소하여 8월 말에 가장 낮았고, 이후 점차 증가하여 10월 말에 28.1 psu를 나타냈다 (Fig. 2).

2006년에 Chl-a는 1.50~14.7 mg/m³의 범위로 6월 말에 1.51 mg/m³를 나타내었으며, 7월 중순에 가장 낮았다가 급격히 증가하여 2006년 8월 초에 가장 높았다. 이후 점차 감소하여 10월 말에는 2.5 mg/m³를 나타내었다 (Fig. 3).

유생의 분포는 표층 수온 ($r^2=0.07, P=0.81$), 염분 ($r^2=0.28, P=0.32$), 그리고 Chl a ($r^2=0.27, P=0.35$)와 상관관계가 없는 것으로 나타났다.

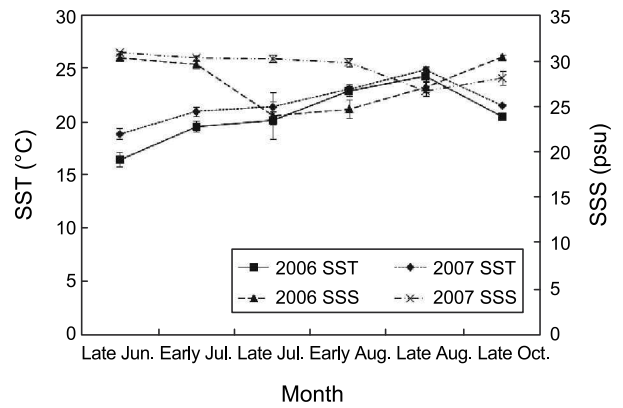


Fig. 2. Seasonal variations of sea surface temperature and salinity off Yeonpyeong-do, Korea in the Yellow Sea in 2006 and 2007.

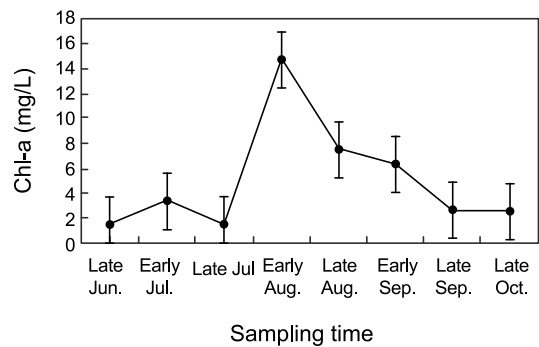


Fig. 3. Seasonal variations of Chlorophyll a (Chl-a) off Yeonpyeong-do, Korea in the Yellow Sea in 2006.

유생기별 출현

2006년에는 총 683 개체의 유생이 채집되었다. Zoea I 기가 6개체 (0.8%)가 출현하였으며, Zoea II기는 8개체 (1.2%) 그리고 Megalopa기는 669개체 (98.0%)가 출현하였다. Zoea III이상의 유생은 출현하지 않았다. 2006년 6월과 7월에서는 유생이 출현하지 않았으며, 8월 초에는 전정점에서 Zoea I (5.7 개체/100 m³), Zoea II (7.9 개체/100 m³), 그리고 Megalopa기 (1.9 개체/100 m³)의 유생이 총 15.4 개체/100 m³가 출현하였다. 8월 말에는 Megalopa기만이 출현하였으며, 전 정점에서 총

581.1 개체/100 m³가 출현하여, 2006년 조사기간 중 출현개체수가 가장 높았다. 이후 9월과 10월에는 *Megalopa*기만이 각각 81.8 개체/100 m³와 2.4 개체/100 m³가 출현하였다 (Fig. 4).

2007년에는 총 592 개체가 채집되었다. Zoa I 기는 122개체 (20.6%)가 출현하였고, Zoa II 기는 20 개체 (3.4%)가 그리고 처음으로 Zoa III 기가 1개체 (0.2%)가 출현하였다. 2006년과 같이 *Megalopa*기 (449개체, 75.8%)가 최우점적으로 출현하였다. 그러나 Zoa III 이상의 유생은 출현하지 않았다. 2007년 6월과 7월 초에서는 유생이 출현하지 않았으며, 7월 말에 Zoa I 기가 전 정점에서 모두 57.8개체/100 m³가 출현하였고, Zoa II 기 (11.4개체/100 m³)가 차 우점적이었으며 Zoa III (0.8개체/100 m³)는 전 정점에서 단 1개체만 출현하였다. 8월 초에는 전 정점에서 Zoa I 기 (63.1개체/100 m³)가 소수의 Zoa II 기 (8개체/100 m³)와 함께 출현하였다. 8월 말에는 *Megalopa*기 (447.8개체/100 m³)만이 출현하였으며, 2007년 채집기간 중 출현 개체수가 가장 높았다. 이후 10월에는 *Megalopa*기만이 0.5개체/100 m³가 출현하였다 (Fig. 5).

정점별 출현 분포

2006년 8월 초에는 4개 정점에서만 출현하였고, 0.7~12.8개체/100 m³의 범위를 보였으며, Zoa II 기의 출현 밀도가 Zoa

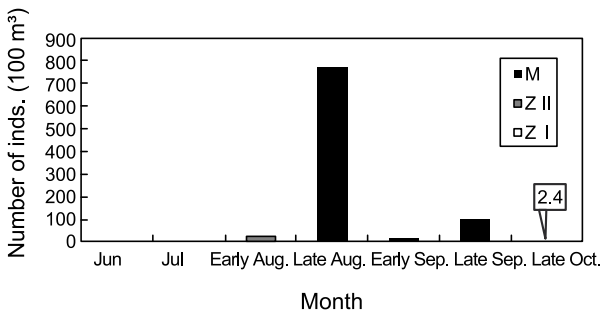


Fig. 4. Number by larval stage of *Charybdis japonica* larvae off Yeonpyeong-do, Korea in the Yellow Sea in 2006. The number on the date indicates the mean density of the sampling date.

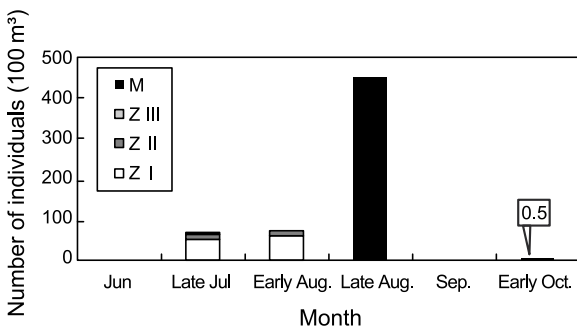


Fig. 5. Number by larval stage of *Charybdis japonica* larvae off Yeonpyeong-do, Korea in the Yellow Sea in 2007. One individual of zoea III was collected in late July, but not shown because of low number. The number on the date indicates the mean density of the sampling date.

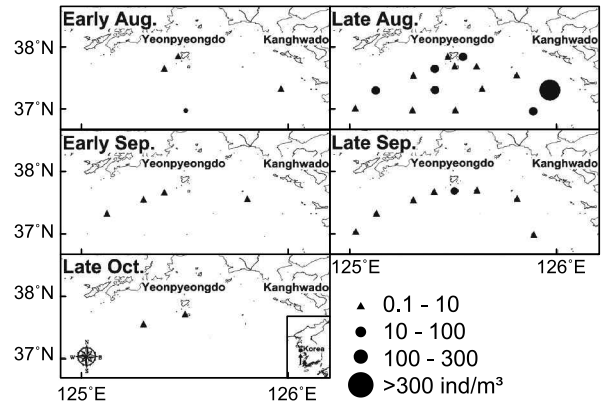


Fig. 6. Distribution and abundance of *Charybdis japonica* larvae off Yeonpyeong-do, Korea in the Yellow Sea in 2006.

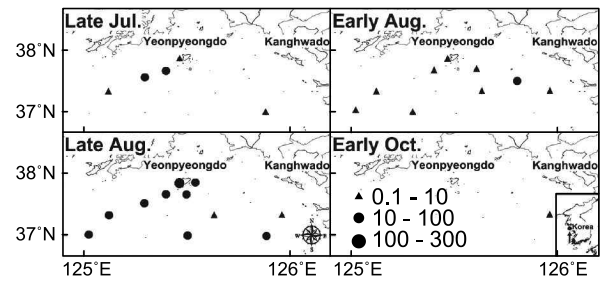


Fig. 7. Distribution and abundance of *Charybdis japonica* larvae off Yeonpyeong-do, Korea in the Yellow Sea in 2007.

I 기의 출현 밀도보다 높았다 (Fig. 6). 8월 말에는 전 정점에서 *Megalopa*기 유생만 출현하였으며, 정점간 출현 밀도는 0.2~326.1개체/100 m³로 범위로 정점간 출현 밀도가 크게 달랐다 (Fig. 6). 9월 초에는 4개 정점에서 *Megalopa*기만 출현하였으며, 0.9개체/100 m³에서 4.9개체/100 m³의 출현 밀도를 보였다. 9월 말에는 *Megalopa*기만 8개 정점에서 출현하였고, 정점간 출현 밀도는 크게 달랐다 (0.2~68.0개체/100 m³). 10월 말에는 2개 정점, 정점 4와 6에서 각각 1.4와 1.0개체/100 m³가 출현하였으며, *Megalopa*기 유생만이 출현하였다 (Fig. 6).

2007년 7월 말에는 5개 정점에서만 유생이 출현하였고, 출현 밀도는 0.6~39.2개체/100 m³의 범위를 보였으며, Zoa I 기 유생이 전체의 82.6%를 차지하였다 (Fig. 7). 8월 초에는 9개 정점에서 출현하였으며, 0.6~40.8개체/100 m³의 범위의 출현 밀도를 보였고, Zoa I 기 유생이 전체의 82.7%를 차지하였다 (Fig. 7). 8월 말에는 11개 정점에서 4.6~121.2개체/100 m³의 범위로 *Megalopa*기 유생만이 출현하였으며, 10월 초에는 St. 11에서는 *Megalopa*기 (0.5개체/100 m³)만이 출현하였다 (Fig. 7).

고찰

해양에서 수온과 염분은 동물플랑크톤의 성장과 생존에 영향을 미치는 가장 중요한 요인 중의 하나이다 (Fowler et al., 2010; Sulkin and McKeen, 1989; Shirley et al, 1987). 주요 수산자원 유생의 성장과 생존은 실제 어획량의 변동에도 직접

적으로 영향을 미친다 (Jamieson, 1986). 따라서 해양에서 주요 수산자원의 유생의 성장과 생존에 영향을 미치는 요인들을 분석하는 것은 향후 어획량 변동 원인을 추측하는데 많은 도움이 될 것이다. 민꽃게 유생은 20°C 이하와 35°C 이상에서 사망률이 급격히 증가하고 25°C~30°C의 온도에서 생존율이 가장 높은 것으로 보고되었다 (Ministry of Maritime and Fisheries, 1999). 표층 수온만을 고려해 볼 때 유생이 출현하기 출현하는 8월은 표층 수온이 전 정점에서 20°C 이상으로 유생의 생존과 성장에 영향을 미치지 않는 것으로 판단되며, 조사 기간 중 전 정점에서 수온은 35°C를 초과하지 않아 조사해역에서의 수온은 유생의 성장과 생존에 크게 영향을 미치지 않았을 것으로 보인다.

민꽃게 유생은 25 psu 이하와 35 psu 이상의 염분에서 생존율이 낮아지는 것으로 보고되었다 (Ministry of Maritime and Fisheries, 1999). 전 조사 기간 동안 전 정점에서 조사된 염분은 20 psu를 상회함으로 연평도 연안해역에서의 염분은 민꽃게 유생의 성장에는 크게 영향을 미치지 않을 것으로 판단된다.

먹이의 양과 질 또한 동물플랑크톤의 생존율과 성장에 큰 영향을 미친다 (Anger, 2001). 해양에 분포하는 식물플랑크톤은 종에 따라 다양한 동물플랑크톤들에게 소비되며 (Sulkin et al. 1998; Hartman and Letterman, 1978). 식물플랑크톤이 번성하는 시기 또한 동물플랑크톤으로 하여금 먹이선택을 다르게 할 수 있고, 나아가서는 성장과 생존에도 영향을 미친다 (Ziemann et al., 1993). 알래스카 남동부 해역에서는 같은 속에 속한 다른 종들이 서로 다른 시기에 출현하여 먹이경쟁을 피하는 패턴을 보이기도 하였다 (Park and Shirley, 2005). 궁극적으로 동물플랑크톤의 대량 출현시기는 식물플랑크톤의 대 번무와 연관이 있는 것으로 알려져 있다 (Park and Shirley, 2005; Park, 2007).

우리나라 서해에서의 일차생산력은 계절별로 차이가 매우 커서 여름철에 약 813 mg/m²/day로 높은 반면, 겨울철에는 102 mg/m²/day로 가장 낮다 (Ko, 2001). 2006년의 경우 연평도 인근해역에서는 적은 수의 Zoea I기 유생이 채집되었으나, 출현한 Zoea I기 유생이 대부분 Chlorophyll *a*의 농도가 가장 높았던 시기에 출현한 것을 고려해 볼 때, 연평도 연안의 민꽃게 유생들은 이 해역에서 식물플랑크톤이 가장 번성하는 대 번무시기를 택해 생산되는 것이라고 생각할 수 있다. 하지만, 유생이 태어난 곳에서 성장하는 곳으로 이동한 후, 성장하여 생산된 곳으로 되돌아오는 종의 경우, 생산된 해역에 머무는 시간이 매우 짧다 (Little and Epifanio, 1991; DiBacco et al., 2001). 더욱이 일부 종들은 유생생산이 단일 조석활동에 모두 수송되어 성장지역으로 나가기 때문에 (Cronin and Forward, 1979), Zoea I기의 유생을 발견하기가 매우 어려운 실정이다. 2007년의 경우 2006년보다 Zoea I기가 상대적으로 많이 출현하였으나 짧은 기간만 채집되었다. 이러한 유생의 생태를 고려해 볼 때, 연평도 연안에서의 민꽃게 유생은 식물플랑크톤의 대 번무시기에 유생이 대량 생산되어 성장하는 지역으로 빠르게 수송되어 가는 것으로 추정할 수 있다.

많은 갑각류 유생들은 조석작용이나 해류를 이용하여 수송

된다 (Anger, 2001). 꽃게류인 *Callinectes sapidus*의 초기유생이나 바위게 (*Pachygrapsus crassipes*)의 유생은 표면근처에서 위치하다가 썰물시 표층수를 이용하여 성장하는 지역으로 이동하며 (McConaughy et al., 1983), Megalopa기가 되어 발생된 곳으로 다시 돌아온다 (DiBacco et al., 2001). 은행계류인 Dungeness crab의 초기 유생은 썰물을 이용하여 성장해역으로 수송된 후 지형류나 용승현상에 의해 생기는 해수의 흐름을 이용하여 생산된 해역으로 되돌아온다 (Lough, 1976; Jamieson and Armstrong, 1991). 또한 미국 남동부 캐롤라이나 주에 서식하는 농게류인 *Uca* spp.와 속살이게류인 *Pinnixa* spp.의 경우 Megalopa 기들은 밀물을 이용하여 자신들이 생산된 해역으로 되돌아온다 (DeVries et al., 1994).

유생이 생산된 해역에서 중간 유생단계가 채집되지 않는 또 하나의 이유는 유생단계별로 다른 깊이에 분포하기 때문일 수도 있다. 은행계류인 *Cancer magister*의 경우 초기 유생들은 표층가까이에 분포하고 중기 유생들은 성장지역으로 이동 후 깊은 바다에 분포한다 (Lough, 1976). 그리고 Megalopa 기들은 수표면 근처에서 높은 밀도로 출현한다 (Jamieson and Armstrong, 1991).

따라서, 민꽃게 유생의 초기 단계와 마지막 유생단계인 Megalopa기가 연평도 해역에서 높은 밀도로 출현한 것은 연평도 인근해역의 민꽃게 유생들은 유생이 생산되어 성장하는 곳으로 이동한 후 다시 생산된 해역으로 되돌아오는 생활사 형태를 갖는 것으로 추정된다.

사 사

본 연구는 국립수산과학원 (연근해 어업자원 평가 및 관리 연구, RP-2011-FR-007)의 지원으로 수행되었다. 또한 이 논문은 2008년도 정부재원 (교육과학기술부 학술연구조성사업비 지원사업)으로 한국학술진흥재단의 지원을 받아 연구되었음 (KRF-2008-355-C00033).

참고문헌

- Anger K. 2001. The biology of decapod crustacean larvae. Crustacean Issues. vol 14. Swets & Zeitlinger B.V., Lisse. AA Balkema, The Netherlands, 420.
- Anger K, Spivak E, Bas C, Ismael D and Luppi P. 1994. Hatching rhythms and dispersion of decapod crustacean larvae in a brackish coastal lagoon in Argentina. Helgolander Meeresuntersuchungen, 48, 445-466.
- Cronin TW and Forward RB Jr. 1979. Tidal vertical migration: an endogenous rhythm in estuarine crab larvae. Science 204, 1020-1022.
- DeVries MC, Tankersley RA, Forward RB, Kirby-Smith WW and Luettich RA. 1994. Abundance of estuarine crab larvae is associated with tidal hydrologic variables. Mar Biol 118, 403-413.

- DiBacco C, Sutton D, and McConnico L. 2001. Vertical migration behavior and horizontal distribution of brachyuran larvae in a low-inflow estuary: implications for bay-ocean exchange. *Mar Ecol Prog Ser* 217, 191-206.
- Fowler AE, Gerner NV and Sewell MA. 2010. Temperature and salinity tolerances of Stage 1 zoeae predict possible range expansion of an introduced portunid crab, *Charybdis japonica*, in New Zealand. *Biol Invasions*. 13, 691-699.
- Hartman M and Letterman G. 1978. An evaluation of three species of diatoms as food for *Cancer magister* larvae. In: Proceedings of 9th Annual meeting of world mariculture society. Avault JW, ed. Louisiana State University Press, Lafayette, Louisiana, U.S.A., 272-276.
- Garvine RW, Epifanio CE, Epifanio CC and Wong KC. 1997. Transport and recruitment of Blue crab larvae: a model with advection and mortality. *Estuar Coast Shelf Sci* 45, 99-111.
- Jamieson GS. 1986. Implications of fluctuations in recruitment in selected crab populations. *Can J Fish Aquat Sci* 43, 2085-2098.
- Jamieson GS and Armstrong DA. 1991. Spatial and temporal recruitment terns of Dungeness crab in the northeast Pacific. *Mem Queens Mus* 31, 365-381.
- Kim HS. 1973. Illustrated Encyclopedia of Fauna and Flora of Korea. Anomura, Brachyura. Vol. 14 Samwha Publishing Company, Seoul, Korea, 694.
- Ko CH. 2001. Tidal flats in Korea. Seoul National University Press, Seoul, Korea, 26.
- Little KT and Epifanio CE. 1991. Mechanism for the reinvasion of the estuary by two species of brachyuran megalopae. *Mar Ecol Pro Ser* 68, 235-242.
- Lough RG. 1976. Larval dynamic of the Dungeness crab, *Cancer magister* off the central Oregon coast, 1970-71. *Fish Bull* 74, 353-375.
- McConaugha JR. 1992. Decapod Larvae: Dispersal, Mortality, and Ecology. A Working Hypothesis. *Amer Zool* 32, 512-523.
- McConaugha JR, Johnson DF, Provenzano AJ and Maris RC. 1983. Seasonal distribution of larvae of *Callinectes sapidus* (Crustacea: Decapoda) in the waters adjacent to Chesapeake bay. *J Crust Biol* 3, 582-591.
- Ministry of Maritime and Fisheries. 1999. Ecology and seed production of *Charybdis japonica*. the Ministry of Maritime and Fisheries, Seoul, Korea, 172.
- Park W. 2007. Spatial and monthly changes of sea surface temperature, sea surface salinity, chlorophyll a, and zooplankton biomass in southeastern Alaska: Implications for suitable conditions of survival and growth of Dungeness crab zoeae. *J Fish Sci Tech* 10, 133-142.
- Park W and Shirley TC. 2005. Diel vertical migration and seasonal timing of the larvae of three sympatric cancrid crabs, *Cancer* spp., in southeastern Alaska. *Estuaries* 28, 266-273.
- Park W, Douglas DC and Shirley TC. 2007. North to Alaska: Evidence for conveyor belt transport of Dungeness crab larvae along the west coast of the United States and Canada. *Limnol Oceanogr* 52, 248-256.
- Pechenik JA, Rittschof D and Schmidt AR. 1993. Influence of delayed metamorphosis on survival and growth of juvenile barnacles *Balanus amphitrite*. *Mar Biol* 115, 287-294.
- Shirley SM, Shirley TC and Rice SD. 1987. Latitudinal variation in the Dungeness crab, *Cancer magister*, zoeal morphology explained by incubation temperature. *Mar Biol* 95, 371-376.
- S Plus 4. 1997. S Plus for windows. Tibco software Inc.
- Sulkin SD and McKeen GL. 1989. Laboratory study of survival and duration of individual zoeal stages as a function of temperature in the brachyuran crab *Cancer magister*. *Mar Biol* 103, 31-37.
- Sulkin S, Blanco A, Chan J and Bryant M. 1998. Effects of limiting access to prey on development of first zoeal stage of the brachyuran crabs *Cancer magister* and *Hemigrapsus oregonensis*. *Mar Biol* 131, 515-521.
- Tilburg CE, Dittel AI and Epifanio CE. 2007. Retention of crab larvae in a coastal null zone. *Estuar Coast Shelf Sci* 72, 570-578.
- Zar JH. 2004. Biostatistical analysis (4th edition). Pearson Education, Dehli, India, 663.
- Ziemann DA, Bienfang BK, Fulton-Bennett KW, Kottenmeier W and Conquest L. 1993. Carbon budget for the spring bloom in Auke Bay, Alaska. *Mar Biol* 115, 509-521.

2011년 2월 20일 접수

2011년 3월 10일 수정

2011년 4월 5일 수리