

곤쟁이 (*Neomysis awatschensis*)의 산소소비와 질소배설에 미치는 염분 및 용존산소의 영향

신윤경 · 이정아* · 진 평*
국립수산진흥원 남해수산연구소, *부경대학교 해양생물학과

The Effect of Dissolved Oxygen and Salinity on Oxygen Consumption and Ammonia Excretion in the Mysid, *Neomysis awatschensis*

Yun Kyung SHIN, Jung Ah LEE* and Pyung CHIN*

South Sea Fisheries Research Institute, National Fisheries Research and Development Institute, Yosu 550-120, Korea

*Department of Marine Biology, Pukyong National University, Pusan 608-737, Korea

Effects of the combinations of six oxygen concentrations (control, 0.6, 1.0, 2.0, 3.4 and 7.4 mg DO/ℓ) and two salinity levels (20‰ and 32‰) on the rates of oxygen consumption, ammonia excretion and mortality of the mysid, *Neomysis awatschensis* were tested at 20°C. The lethal level (96 hr-LC₅₀) of dissolved oxygen for mysid at 20‰ and 32‰ were 2.20 mg DO/ℓ and 1.60 mg DO/ℓ respectively, and all mysids died within 24hr at 0.6 mg DO/ℓ. Oxygen consumption rate of mysid was increased with dissolved oxygen increase at 20‰ and 32‰, but ammonia excretion rate was high at 1.0 mg DO/ℓ during 96h exposure to DO concentration, and significantly greater in 20‰ than 32‰. O:N ratio of mysid exposed during 96hr with salinity and dissolved oxygen was below 10 at 20‰ and 1.0~2.0 mg DO/ℓ, and was 4.4 at 32‰ and 1.0 mg DO/ℓ. These results indicated that mysids were capable of changing their energy substrate in response to salinity and DO changes, and obtaining energy from proteins.

Key words: *Neomysis awatschensis*, Dissolved oxygen, Salinity, Oxygen consumption, Ammonia excretion

서 론

곤쟁이는 연안에서 흔히 볼 수 있는 소형갑각류로 어류의 먹이로서 중요하며, 부유생활을 하지만 주로 근저층에 살면서 동계 저온기를 제외하고는 연중생식을 하고 여러 세대를 형성하는 특징을 가진다 (Choe, 1980). 이와 같은 생태적 특성으로 인해 이 동물의 환경변화에 대한 생리적 전략은 다양할 것으로 보여지며, 해양의 생산성에 기여하는 바도 클 것으로 예상된다.

갑각류의 호흡대사 및 염분변화에 대한 저항성은 그들의 서식지 환경에 따라 영향을 받으며, 환경요인 중 온도나 염분 등은 부유생물 또는 갑각류 등의 지리적 분포를 결정하는 중요한 요소이다 (Day et al., 1982). 또한 서식지의 염분 및 용존산소 등의 환경변화는 수서생물의 생존에 영향을 미치며 (Boyd and Watten, 1989), 용존산소의 저하는 수질을 변화시키는 주요 요소가 되므로, 저농도의 산소가 오랫동안 지속되면 갑각류의 성장, 섭식 및 탈피빈도 등을 감소시킨다 (Clark, 1986; Chang and Ouyang, 1988).

용존산소의 감소와 관련한 갑각류의 생리적 반응에 관한 연구는 호흡 및 질소배설과 관련하여 일부 보고되어 있으며 (McMahon, 1988; Regnault and Aldrich, 1988; Regnault, 1993; Rosas et al., 1999), 곤쟁이와 관련한 연구는 찾아보기 힘들다. 따라서 본 연구는 염분 및 용존산소 등의 복합적인 조건하에서 산소소비 및 질소배설대사를 알아봄으로서 곤쟁이의 생존에 미치는 96시간 동안의 반수치사 용존산소농도 및 임계산소농도를 설정하고, 이에 따른 곤쟁이의 생리적인 변화를 알아보고자 하였다.

하여 채집한 후 실험실로 옮겨 수온 20°C와 염분 32 ± 1‰에서 사육하면서 실험에 사용하였으며, 먹이는 *Artemia* sp. 및 바지락 육질을 제공하였다.

실험용액은 수온 20°C에서 염분 32 ± 1, 20 ± 1‰과 용존산소농도 7.4 ± 0.2, 3.4 ± 0.2, 2.0 ± 0.2, 1.0 ± 0.2 및 0.6 ± 0.2 DO/ℓ로 설정하였으며, 실험용액의 3.4 ± 0.2 mg 이하 용존산소의 농도는 N₂를 투입하면서 산소검량기 (YSI 58형)를 사용하여 실험용액내 용존산소농도를 측정하여 각 실험농도로 설정되면 N₂가스 주입을 멈춘 후 4~5시간 간격으로 점검하면서 N₂가스 주입을 반복하여 설정된 각 실험용액의 용존산소 농도를 조절하였다. 한편, 실험용액의 7.4 ± 0.2 mg의 용존산소 농도는 공기를 주입시켜 설정된 실험농도를 조절하였다. 실험방법은 각 염분 및 용존산소농도의 복합조건하에서 지수식으로 하였으며, 수질악화를 고려하여 12시간 간격으로 실험용액을 교환하였으며, 사망률, 산소소비율 및 질소배설률을 측정하였다. 사망률은 5시간마다 점검하여 사망 개체를 선별하여 구하였으며, 96시간 반수치사 용존산소농도 (96hr-LC₅₀)는 probit 분석 (Finney, 1971)에 의하여 산출하였다. 곤쟁이의 산소소비율은 산소검량기 (YSI 58형)를 사용하여 실험전후 용존산소의 차로써 구하였다. 그리고 암모니아 질소배설률은 Solorzano (1969)의 phenolhypochloride법을 이용하였으며 개체의 건조중량은 70°C에서 24시간 건조시켜 측정하였으며 모든 실험은 3회 반복하여 그 평균값을 사용하였다.

결 과

염분 20 ± 1‰ 및 32 ± 1‰에서 용존산소의 농도에 따른 곤쟁이의 사망률 및 96시간 반수치사 용존산소농도를 Table 1에 나타내었다. 두 염분 실험구에서 용존산소의 농도가 감소함에 따라

재료 및 방법

실험동물인 곤쟁이는 부산시 다대포 연안에서 손그물을 이용

사망률은 증가하였으며, 특히, 용존산소농도는 $0.6 \pm 1 \text{ mg DO}/\ell$ 에서는 곤쟁이 투입 후 24시간 이내에 모두 사망하였다. $32 \pm 1\%$ 에서 96시간 반수치사 용존산소농도는 $1.60 \text{ mg DO}/\ell$ 였으며, $20 \pm 1\%$ 에서는 $2.20 \text{ mg DO}/\ell$ 로 염분별 96hr-LC₅₀의 유의성 검정 결과 저염분에서 용존산소의 영향을 크게 받는 것으로 나타났다 ($P < 0.05$).

Fig. 1과 2는 염분 및 용존산소 농도의 조합구에서 24시간 및 96시간 노출 후 곤쟁이의 산소소비율과 암모니아 질소배설률의 변화를 나타낸 것이다.

용존산소농도에 따른 곤쟁이의 산소소비율의 변화는 염분 $20 \pm 1\%$ 과 $32 \pm 1\%$ 에서 용존산소농도가 증가함에 따라 산소소비율은 증가하였으며, 각 용존산소 농도에 노출 후 24시간 후에 비해 96시간 후에 산소소비율은 더욱 감소하였다. 또한 $20 \pm 1\%$ 및 $32 \pm 1\%$ 의 염분별 산소소비율은 차이를 보이지 않았다 (Fig. 1).

용존산소농도별 암모니아질소배설률은 두 염분 실험구에서 24시간 노출 후 용존산소의 농도가 증가할수록 암모니아배설률은 증가하였으나, 96시간 후에는 용존산소의 감소에 따라 증가하여 용존산소 농도 $1.0 \pm 0.1 \text{ mg}/\ell$ 에서 가장 높게 나타났으며 (Fig. 2), 염분 $32 \pm 1\%$ 에 비해 $20 \pm 1\%$ 에서 높게 나타났다 (Fig. 2).

염분과 각 용존산소 농도에 96시간 동안 노출한 곤쟁이의 O:N비는 Fig. 3에 나타내었다. 염분 $20 \pm 1\%$ 에서, 24시간 후 O:N비는 18~160였으나, 96시간 후에는 3~130으로서 O:N비가 낮아졌으며, 특히 96시간 후 용존산소 농도 $1.0 \text{ mg DO}/\ell$ 와 $2.0 \text{ mg DO}/\ell$ 에서는 O:N비가 10이하로 낮았다. 그리고 염분 $32 \pm 1\%$ 의 경우는 24시간 후 O:N비가 145~185였으나, 96시간 후에는 4~100이었으며, 용존산소 농도 $1.0 \pm 0.2 \text{ mg DO}/\ell$ 에서 O:N비가 4.45로서 가장 낮았다 (Fig. 3).

고 찰

폐쇄된 환경 내에서 갑작스런 DO의 감소는 다른 생물의 폐사를 유발하고, 미생물의 분해로 인해 수질을 변화시키며, 암모니아 증

가 그리고 pH 감소를 유발시키며 (Boyd, 1982), 주기적인 용존산소의 변화 ($6:18\text{hr}=1.5 \text{ mg DO}/\ell$:포화)는 갑각류의 성장, 생존 및 탈피빈도를 감소시킨다 (Aquacop and Soyez, 1988). 한편 96hr-LC₅₀에 대한 보고는 *Penaeus monodon*의 미성숙체 (습중: 2.0~8.3 g)에 있어서 $0.9 \text{ mg DO}/\ell$ 였으며 (Allan and Maguire, 1991), 일부 penaeid종에서는 $0.5\sim 1.0 \text{ mg DO}/\ell$ 의 농도에서 50% 치사하였으며 (Allan and Maguire, 1991), 담수종 crayfish, *Charax tenuimanus*의 24hr-LC₅₀은 $0.7 \text{ mg DO}/\ell$ (Allan and Maguire, 1991)로 보고하고 있다.

본 연구에서 곤쟁이의 96hr-LC₅₀은 염분 $20 \pm 1\%$ 에서 $2.20 \text{ mg DO}/\ell$ 였으며, 염분 $32 \pm 1\%$ 에서는 $1.60 \text{ mg DO}/\ell$ 로서 위에 보고한 penaeid종보다는 높게 나타나 용존산소에 대한 내성이 낮았다. 이러한 점은 생물이 서식하고 있는 서식지 환경의 영향에 의해 좌우될 것으로 여겨지며, 특히, penaeid류 (Liao and Huang, 1975)의 새우들은 저서성으로 낮은 용존산소에 적응할 수 있는 기회를 많이 가짐으로써 급작스런 낮은 용존산소에도 인내할 수 있는 반면 곤쟁이류는 연안의 반부유성 동물인 생태적인 습성으로 인해 새우류에 비해 내성이 약한 것으로 여겨진다. 그러나 본 연구의 경우 $0.6 \text{ mg DO}/\ell$ 에서 24시간 이내에 모두 사망한 결과는 *Penaeus monodon*의 24h-LC₅₀의 경우, $0.6 \text{ mg DO}/\ell$ (Allan

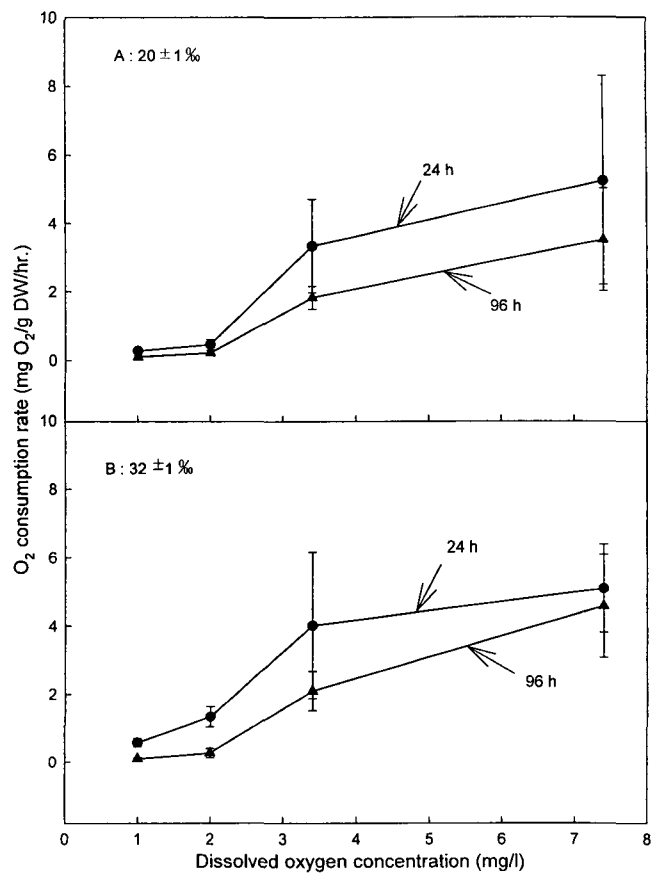


Fig. 1. Effect of salinities and dissolved oxygen on the oxygen consumption rate of mysid, *Neomysis awatschensis*.

Table 1. Effects of dissolved oxygen and salinities on the mortality and 96hr-LC₅₀ of mysid, *Neomysis awatschensis*

Salinity (‰)	DO (mg/l)	pH	Mortality (96hr)		96hr-LC ₅₀ (mg DO/l) and confidence limits
			Mean (%)	S.E.	
32	7.4 ± 0.2	7.96	0	0	1.6088 (0.5552~3.4718)
	3.4 ± 0.2	8.05	5	2.35	
	2.0 ± 0.2	7.98	35	4.08	
	1.0 ± 0.2	8.00	60	2.36	
	0.6 ± 0.2	7.89	100	0	
20	7.4 ± 0.2	8.12	0	0	2.2078 (1.8160~2.7163)
	3.4 ± 0.2	7.89	15	4.48	
	2.0 ± 0.2	7.96	60	5.47	
	1.0 ± 0.2	7.98	85	6.23	
	0.6 ± 0.2	8.04	100	0	

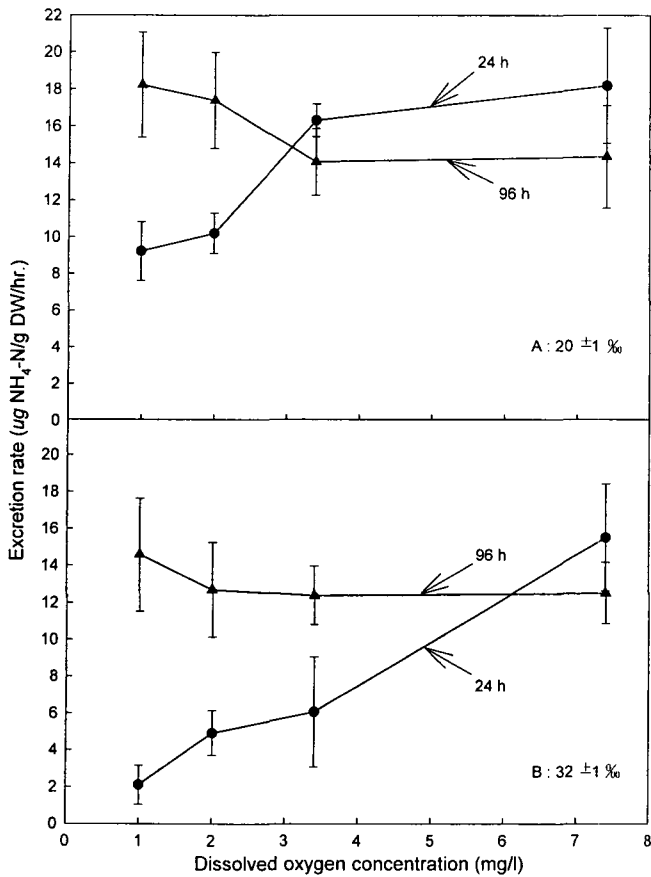


Fig. 2. Effect of salinities and dissolved oxygen on the ammonia excretion rate of mysid, *Neomysis awatschensis*.

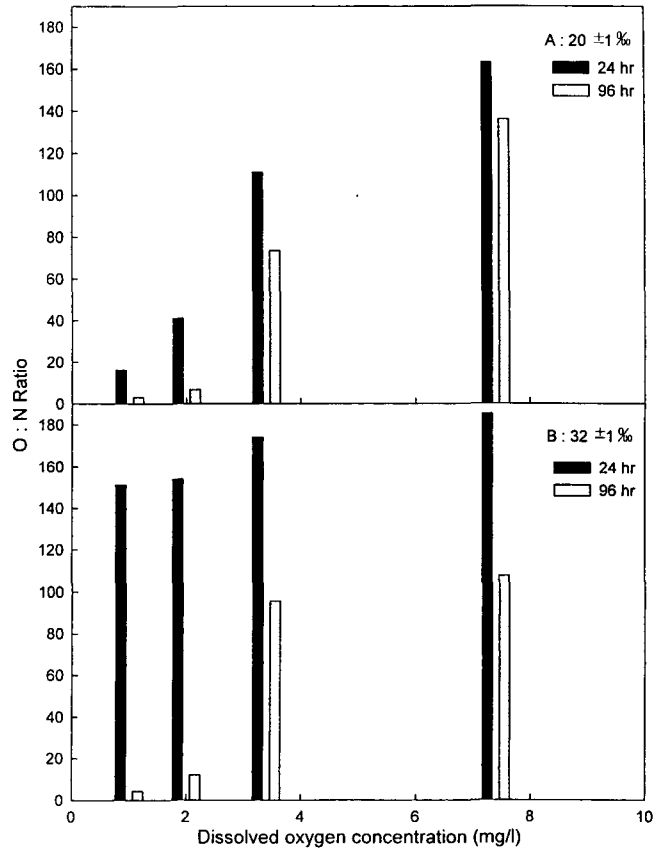


Fig. 3. Variation of atomic O:N ratio of mysid, *Neomysis awatschensis* exposed to different levels of DO during 96 hour.

and Maguire, 1991)이며, 담수종 crayfish, *Charax tenuimanus* 가 0.7 mg DO/l인 점과 유사한 것으로 보아 용존산소 0.6 mg DO/l의 농도는 갑각류에 있어서 매우 극단적인 농도인 것으로 사료된다.

갑각류에서 산소소비는 개체의 크기에 의존하며 (Bridges and Brand, 1980; Dall, 1986), Kramer (1975)에 의하면 염분 2.5~36%의 범위에서 *Penaeus aztecus*의 성체 (6.12g)와 비교해서 미성숙체 (1.37g)가 치사 용존산소 농도가 상당히 낮았으며, 또한 계류와 정착성 isopoda들은 몇 시간 혹은 심지어 며칠까지도 무산소 상태에서 인내할 수 있다는 점을 미루어 보면, 본 논문의 곤쟁이는 서식생태가 주로 근저층에 서식하며, 개체의 크기가 작은 것에 기인하여 다소 저농도의 산소에도 생존할 수 있는 것으로 여겨진다.

Herreid (1980)에 의하면 저산소에 대한 반응과 관련된 기작은 그 동물의 생리적 상태와 수온, 염분, pH 및 오염원 등의 환경에 의존하므로 용존산소의 감소에 대한 십각목 갑각류의 생리적 반응은 호흡대사에 미치는 용존산소의 효과와 관련하여 잘 연구되어 있으며 (McMahon, 1988), 질소대사의 변화는 저산소 및 무산소 상태에서 십각목 갑각류의 몇몇 종에서 보고되어 있다 (Hagerman et al., 1990; Regnault and Aldrich, 1988).

산소소비와 용존산소농도간 곡선의 굴곡점은 임계산소소비량

(critical oxygen level: COL)이라 하며, COL이하 점에서 산소소비비는 용존산소량에 의존하며 (Fry, 1947), 산소소비가 감소될 때 생리적으로 이용 가능한 에너지는 감소되며, 일반적으로 대사감소를 일으킨다 (Guppy et al., 1994; Rosas et al., 1997).

두 염분구에서 곤쟁이의 산소소비율은 3.4 mg DO/l과 7.4 mg DO/l 사이에서 다소 일정하였으며, 2.0 mg DO/l과 1.0 mg DO/l에서는 DO의 감소에 따라 산소소비율은 감소하였는데, Fry (1947)에 따라 곤쟁이의 COL은 3.4 mg DO/l~7.4 mg DO/l로 추정되며, 이러한 점에 의하면, 곤쟁이는 용존산소 3.4 mg DO/l 이상에서는 oxyregulator로서, 3.4 mg DO/l이하에서는 oxyconformer로서 작용하는 제한된 산소조절자 (limited oxyregulator)로 생각된다.

암모니아배설은 저염분에서 증가하며, 이러한 변화는 Na⁺에 의한 NH₄⁺의 이온교환의 증가 (Robinson, 1982) 그리고 아미노산과 다른 질소성 화합물의 이화작용이 상승된 것에 기인하며 (Claybrook, 1983), 이는 mysid류가 저염분의 환경에서 인내할 수 있는 생리적 기작인 것으로 여겨지며, 특히, *Carcinus maenas* (Haberfield et al., 1975)와 *Penaeus japonicus* (Chen and Kou, 1992) 등에서도 본 연구의 곤쟁이 암모니아 배설량이 저염분에서 증가한 것과 유사한 보고를 하였다.

한편 용존산소농도에 따른 곤쟁이의 암모니아 배설량의 변화는 노출 24시간째에는 용존산소의 증가에 따라 증가하였으나 96시간째에는 용존산소의 극단적인 저농도에서 높게 나타났으며, 용존산소 농도 2 mg DO/ℓ 이상에서는 낮아지다가 일정한 경향을 보였다. 질소대사의 변화는 저산소 및 무산소상태와 관련하여 발표된 연구는 미흡하다. 대체로 십각목 갑각류인 *Nephrops norvegicus* (Hagerman et al., 1990), *Carcinus maenas* (Regnault and Aldrich, 1988) 및 *Cancer pagurus* (Regnault, 1993) 등에서 저산소와 무산소 상태에서 암모니아 배설량이 감소하여 본 연구에서 24시간째 곤쟁이의 결과와 유사한 경향을 보였으나, 노출 96시간째에는 상반된 경향을 보였다. 이는 저산소 상태에서 대사감소의 결과로 호흡량이 감소되면서 상대적으로 체내 에너지 기질인 체내 단백질의 고갈로 인한 배설량의 증가 및 염분에 대한 삼투작용에 대한 buffer로서 작용한 결과인 것으로 여겨지며, 질소대사와 용존산소 농도간의 연구는 차후 더 면밀히 행해져야 할 것으로 여겨진다.

O:N원자비는 대사가질로서 이용되는 물질에 대한 지표로서 이용되며 순수단백질이 이용될 경우, 약 7 (Snow and William, 1971)이고, 단백질과 지질이 이용될 경우는 24 (Ikeda, 1974)로 표시되는 것에 의해 본 논문의 곤쟁이는 24시간 후 20% COL이하점에서 O:N비는 32%에 비해 현저히 낮았으며, 96시간 후에는 두 염분구에서 COL이상 점 용존산소 농도에서는 단백질과 지질이 에너지기질로서 이용되다가 COL이하점에서는 단백질만이 에너지기질로서 이용되는 것으로 나타났다.

따라서 본 연구의 결과를 종합하여 보면 곤쟁이는 저농도의 산소에 민감하게 반응하는 제한된 산소조절자로서 염분과 용존산소의 영향에 의해 생존전략으로서 대사가질을 변화시킬 수 있는 것으로 여겨진다.

요 약

다대포 연안에 서식하는 곤쟁이를 대상으로 수온 20°C에서 염분 20‰ 및 32‰에서의 용존산소 농도별 사망률, 산소소비율 및 암모니아 배설률의 변화를 알아 보았다. 염분 20‰ 및 32‰에서 곤쟁이의 96hr-LC₅₀은 각각 2.20 mg DO/ℓ와 1.60 mg DO/ℓ였으며, 용존산소 농도 0.6 mg DO/ℓ에서 24시간내 모두 사망하였다. 용존산소 농도에 따른 곤쟁이의 산소소비율 및 질소배설률의 변화는 두 염분구에서 산소소비율은 용존산소 농도의 증가에 따라 증가를 보인 반면 암모니아 배설률은 용존산소 1 mg DO/ℓ에서 가장 높게 나타났으며, 용존산소의 증가에 따라 감소하였다. 염분과 각 용존산소 농도별 96시간 동안 노출한 곤쟁이의 O:N비는 염분 20‰에서 용존산소 농도 1.0~2.0 mg DO/ℓ에서는 10 이하였으며, 32‰에서는 용존산소 농도 1.0 mg DO/ℓ에서 4.4로서 저농도 산소의 상태에서 생존을 위한 에너지 기질로서 단백질을 이용하는 것으로 추정되었다.

감사의 글

본 연구는 부경대학교 해양식량자원개발 특성화사업단 연구원 지원금에 의해 지원된 연구과제임.

참 고 문 헌

- Allan, G.L. and G.E. Maguire. 1991. Lethal levels of low dissolved oxygen and effects of short term oxygen stress on subsequent growth of juvenile *Penaeus monodon*. *Aquaculture*, 94, 27~37.
- Aquacop, E.B. and C. Soyey. 1988. Effects of dissolved oxygen concentration on survival and growth of *Penaeus vannamei* and *Penaeus stylirostris*. *J. World Aquacult. Soc. (Aquacult. communities)*, 19 (1), 13A.
- Boyd, C.E. 1982. Water quality management for pond fish culture. *Developments in Aquaculture and Fisheries Science*, vol. 9. Elsevier, Amsterdam, p. 318.
- Boyd, C.E. and B.J. Watten. 1989. Aeration systems in aquaculture. *Rev. Aquat. Sci.*, 1, 425~472.
- Bridges, C.R. and A.R. Brand. 1980. Oxygen consumption and oxygen-independence in marine crustaceans. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 2, 133~141.
- Chang, W.Y.B. and H. Ouyang. 1988. Dynamics of dissolved oxygen and vertical circulation in fish ponds. *Aquaculture*, 74, 263~276.
- Chen, J.C. and Z. Kou. 1992. Effects of ammonia on growth and moulting of *Penaeus japonicus* juveniles. *Aquaculture*, 104, 249~260.
- Choe, Seung-Min. 1980. Biological studies on the Korean mysid, *Neomysis awatschensis* (Crustacea : Mysidacea). Master thesis, Hanyang University, p. 8~20.
- Clark, J.V. 1986. Inhibition of moulting in *Penaeus semisulcatus* (De Haan) by long-term hypoxia. *Aquaculture*, 74, 263~276.
- Claybrook, D.L. 1983. Nitrogen metabolism. In: Mantel, L. H. (Ed.), *The biology of crustacea*. Vol. 5, Internal anatomy and physiological regulation. Academic Press, New York, p. 163~213.
- Dall, W. 1986. Estimation of routine metabolic rate in a penaeid prawn, *Penaeus esculentus* Haswell. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, 96, 57~74.
- Day, J.W., C.S. Hopkinson, and W.H. Corner. 1982. An analysis of environmental factors regulating community metabolism and fisheries production in a Louisiana estuary. In: Kennedy, V.S. (Ed.), *Estuarine Comparisons*. Academic Press, New York, p. 121~164.
- Finney, D.J. 1971. *Probit Analysis*, 3rd ed. London: Cambridge University Press.
- Fry, F.E.J. 1947. Effect of the environment on animal activity. *Studies biological series* 55, Ontario fisheries research lab. Pub. 68, University of Toronto. p. 1~45.
- Guppy, M., C.J. Fuery and J.E. Flanigan. 1994. Biochemical principles of metabolic depression. *Comp. Biochem. Physiol.*, 109B, 175~189.
- Haberfield, E.C., L. Haas and C.S. Hamman. 1975. Early ammonia release by a polychaete *Nereis virens* and crab *Carcinus maenas* in diluted seawater. *Comp. Biochem. Physiol.*, 52A, 501~503.

- Hagerman, L., T. Sondergaard, K. Weile, D. Hosie and R.F. Uglow. 1990. Aspects of blood physiology and ammonia excretion in *Nephrops norvegicus*. *Comp. Biochem. Physiol.*, 97A, 51~55.
- Herreid, C.F. 1980. Review: hypoxia in invertebrates. *Comp. Biochem. Physiol.* 67A, 311~320.
- Hewitt, D.A. 1992. Response of protein turnover in the brown tiger prawn *Penaeus esculentus* to variation in the dietary protein content. *Comp. Biochem. Physiol.*, 103A, 183~187.
- Ikeda, T. 1974. Nutritional ecology of marine zooplankton. *Mem. Fac. Fish. Hokkaido Univ.*, 22, 1~97.
- Kramer, G.L. 1975. Studies on the lethal dissolved oxygen levels for young brown shrimp, *Penaeus aztecus* Ives. *Proc. Annu. Meet. World Maricult. Soc.*, 6, 157~167.
- Liao, I.C. and H.J. Huang. 1975. Studies on the respiration of economic prawns in Taiwan. I. Oxygen consumption and lethal dissolved oxygen of egg up to young prawn of *Penaeus monodon* Fabricius. *J. Fish Soc. Taiwan*, 4, 33~50.
- Mackay, R.D. 1974. A note on minimal levels of oxygen required to maintain life in *Penaeus schmitti*. *Proc. Annu. Meet. World Maricult. Soc.*, 5, 451~452.
- McMahon, B.R. 1988. Physiological responses to oxygen depletion in intertidal animals. *Am. Zool.*, 28, 39~53.
- Regnault, M. 1993. Effect of a severe hypoxia on some aspects of nitrogen metabolism in the crab *Cancer pagurus*. *Mar. Behav. Physiol.*, 22, 131~140.
- Regnault, M. and J.C. Aldrich. 1988. Short-term effect of hypoxia and ammonia excretion and respiration rates in the crab *Carcinus maenas*. *Mar. Behav. Physiol.*, 13, 257~271.
- Robinson, G.D. 1982. Water fluxes and urine production in blue crabs (*Callinectes sapidus*) as a function of environmental salinity. *Comp. Biochem. Physiol.*, 71A, 407~412.
- Rosas, C., E. Nartinez, G. Gaxiola, R. Brito, A. Sanchez and L.A. Soto. 1999. The effect of dissolved oxygen and salinity on oxygen consumption, ammonia excretion and osmotic pressure of *Penaeus setiferus* (Linnaeus) juveniles. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, 234, 41~57.
- Rosas, C., A. Sanchez, E. Diaz-Iglesia, R. Brito, E. Martinez and L.A. Soto. 1997. Critical dissolved oxygen level to *Penaeus setiferus* and *P. schmitti* postlarvae (PL₁₀₋₁₈) exposed to salinity changes. *Aquaculture*, 152, 259~272.
- Snow, N.B. and P.J.L. Williams. 1971. A simple method to determine the O:N ratio of small marine animal. *J. Mar. Biol. Ass. U.K.*, 51, 105~109.
- Solorzano, L. 1969. Determination of ammonia in natural waters by the phenylhypochloride method. *Limnol. Oceanogr.*, 14, 799~801.

1999년 8월 6일 접수
2000년 3월 6일 수리