J. Korean Fish. Soc. 28(5), 549~556, 1995

한수지, 28(5), 549~556, 1995

꽃게, *Portunus trituberculatus*의 생존, 섭이활동 및 대사률에 미치는 빈산소와 황화수소의 복합적 영향

姜柱贊 · 松田 治* · 陳 平**
釜山水産大學校 魚病學科 · *廣島大學校 生物生産學部 · **釜山水産大學校 海洋生物學科

Combined Effects of Hypoxia and Hydrogen Sulfide on Survival, Feeding Activity and Metabolic Rate of Blue crab, *Portunus trituberculatus*

Ju-Chan KANG, Osamu MATSUDA* and Pyung CHIN**
Department of Fish Pathology, National Fisheries University of Pusan, Pusan 608-737, Korea
**Faculty of Applied Biological Science, Hiroshima University, Higashi-Hiroshima 724, Japan*
***Department of Marine Biology, National Fisheries University of Pusan, Pusan 608-737, Korea*

Experiments were carried out to examine the combined effects of hypoxia and hydrogen sulfide on survival, feeding activity and metabolic rata of Blue crab, *Portunus trituberculatus*. Survival rate of the crab was significantly affected by ≤2.14 mg/l dissolved oxygen, and feeding activity was also reduced below 1.41 mg/l dissolved oxygen. Metabolic rate rate of the crab exposed to hypoxia (≤3.35 mg/l) was significantly reduced than that exposed to normoxia. The combined effects of hypoxia (≤1.86 mg/l) and hydrogen sulfide (12.35 μg/l) on the survival rate were highly toxic than each single effect. Feeding activity was also decreased by the combined exposure to ≤1.86 mg/l dissolved oxygen and 12.35 μg/l hydrogen sulfide compared with single effect.

Key words : *Portunus trituberculatus*, feeding activity, hydrogen sulfide, hypoxia, metabolic rate

緖 論

해수의 유동이 작고 폐쇄성이 강한 부영양화가 진행되는 연안 및 내만등에서는 하기에 성층기의 저층수에서는 빈산소수괴가 형성되고, 극단적인 경우에는 무산소상태에 달하는 경우도 있다(Gavis and Grant, 1986; Ochi and Takeoka, 1986; 橋本, 1991). 그리고 저질 중의 유기물 분해에 따른 산소소비는 저질 환경을 산화상태에서 환원상태로 이동시켜 수생생물에 유해한 황화수소를 생성한다(Fenchel and Riedl, 1970; Donavon and Llyod, 1974). 이와 같은 해역에 서식하는 수생생물은 빈산소와 황화수소에 관련하여 여러 가지 측면에서 그들의 생리 생태에 많은 저해 영향을 받게 되고, 극단적인 경우에는 저서생물의 집단 사망을 초래하는 경우도 있지만(Brongersma-Sanders, 1975; Swanson and Sundermann, 1979), 일부의 해양무척추동물은 도피행동 및 생리적조절등의 기작에 의해 단기간의 생존이 가능하다(Ott and Machan, 1971; Macdonald and Mudie, 1974). 따라서 빈산소수괴가 발달하는 수역에 서식하는 저서생물은 종에 따라서는 빈산소와 황화수소에 대해 적응메카니즘 혹은 저항성 등을 준비하고 있다고 생각할 수 있다.

꽃게 *Portunus trituberculatus*는 경제적으로 중요한 종으로 日本의 廣島栽培漁業協會에서는 수산 자원 이용과 보호의 차원에서 꽃게의 난을 부화시켜 稚게까지 사육한 후 日本 瀨戶內海의 각수역에 방류하고 있

다(村上, 1990). 瀨戶內海는 폐쇄성이 강한 수역으로 내만 및 천해부에 있어서는 산업폐수등에 의해 부영양화가 진행되고 있으며, 하기에는 수역에 따라 빈산소수괴가 형성되고 있다(Ochi and Takeoka, 1986; 橋本, 1991). 꽃게는 보통 稚게 1期에 저질 중에 잠입하는 습성이 발달하기 시작하여 稚게 3期에는 거의 잠입이 완성 단계에 이른다. 따라서 稚게에서부터 시작되는 저층수 중 혹은 잠입후의 저질 중의 생활은 빈산소와 황화수소의 영향을 받기 쉽고, 특히 瀨戶內海의 내만과 천해부등에 서식하는 꽃게에 있어서는 그 영향이 클 것으로 생각된다.

따라서 본 연구는 日本 瀨戶內海의 빈산소수괴의 형성에 따른 황화수소의 발생이 꽃게의 자원량에 미치는 복합적 영향을 간접적으로 파악하기 위하여 이들의 생존, 섭이활동 및 산소소비에 관한 실험을 하였다.

材料 및 方法

1. 材料

日本의 廣島栽培漁業協會는 매년 꽃게 성체를 瀨戶內海에서 어획하여 이들 성체로 부터 얻은 난을 부화시켜 사육한 稚게를 瀨戶內海의 각 수역에 방류하고 있다. 따라서 실험에 사용한 꽃게는 廣島栽培漁業協會에서 부화시켜 사육한 방류 직전의 稚게를 廣島大學水產試驗所로 운반하여 용량1톤의 원형 유수식수조에서 수온 22~25℃, 염분 31~33‰, pH 7.8~8.2, 용존산소 7.0~7.3 mg/l의 범위에서 순응시켰다. 먹이는 냉동 곤쟁이류와 二枚貝肉을 혼합하여 매일 먹고 남은 먹이가 관찰될 정도로 공급하였고, 사육 수조에는 共食防止用 네트를 설치하였다. 이상의 조건하에서 10일 이상 순응시킨 꽃게 중 性에 관계없이 실험 구별 20개체(전갑폭, 14.2~21.5 mm)를 사용하였다.

2. 方法

가. 實驗裝置

실험은 유수식순환장치에 의해 실시하였다. 즉 150 ml/min의 유량의 여과 해수가 저수조에서 빈산소 조절 장치를 경유하여 황화수소 조절 장치로 유입되고, 이들 양조절장치에 의해 용존산소와 황화수소농도가 조절된 실험 해수는 실험 수조로 도입되었다. 이때 빈산소의 조절은 O_2가스와 N_2가스의 적절한 배합에 의해, 황화수소농도의 조절은 황화나트륨($Na_2S \cdot 9H_2O$)용액의 농도와 공급량에 의해 예비 실험을 바탕으로 하여 설정 목표를 조절하였다. 이상의 실험장치에 대한 상세한 개요는 Kang et al., (1993)의 보고에 기재되여 있다. 실험은 실내의 자연광선하에서 실시하였으며, 수온, 염분, pH, 용존산소 및 황화수소농도는 瀨戶內海의 하기 저층수에서 측정된 범위로 조절하였다. 아울러 실험기간동안 상기의 수질이 설정 목표로 유지되는지를 확인하기 위하여 수온(온도계), 염분(YSI Model 133), pH (pH meter, D-11), 용존산소(저농도 용존산소계, DO-30A) 및 황화수소농도(Fonselius, 1983)는 실험 수조의 유입수, 유출수 및 중앙에 위치한 실험 해수를 12시간마다 측정하였다.

나. 生存

생존 실험은 유사한 크기(15.5~17.2 mm)의 꽃게를 선별하여 14일간 실시했다. 빈산소조건은 빈산소 1(Hypoxia 1, 약3.2 mg/l), 빈산소 2(Hypoxia 2, 약 2.0 mg/l) 및 빈산소 3(Hypoxia 3, 약 1.2 mg/l)의 3구를 설정하였다. 또한 빈산소와 황화수소의 복합조건(이하 복합조건으로 略記)은 상기의 각 빈산소조건에 瀨戶內海의 저층수에서 측정된 황화수소농도 약 10μg/l를 각각 공존조건으로 하였다. 아울러 황화나트륨을 첨가하지 않은 대조구의 실험 해수는 O_2가스에 의해 산소 포화도 95% 이상을 유지하였다. 먹이는 순치기간과 같은 것을 적당량, 수질의 악화를 고려하여 매일 공급하였다. 24시간 마다 사망한 개체를 조사한 후 먹고 남은 먹이와 함께 실험 수조로부터 제거하였고, 결과는 2회 반복 실험의 평균치로 부터 14일 후의 대조구 혹은 실험구상호의 생존율의 차를 ANOVA(분산분석)에 의해 검정하였다.

다. 攝餌活動

먹이를 공급하지 않은 상태에서 빈산소 혹은 복합조건에 폭로시킨 개체에 대하여 섭이활동에 대한 불가역적인 손상의 유무를 규명하기 위하여 4일간 폭로 완료후 정상 해수 중에서 조사하였다. 실험은 300 ml 비이커에 1개체씩 수용한 후, 순응 기간과 같은 먹이를 공급하여 30분 이내에 섭이활동을 개시하는 개체를 관찰하였고, 결과는 全供試個體數에 대한 섭이개시개체수의 비로 나타내었다.

라. 代謝

꽃게의 대사율은 산소 소비로서 나타내었고, 산소 소비는 14일간의 생존 실험 종료까지 생존한 개체에 대하여 유수식순환방식(Fig. 1)에 의해 측정하였다. 본 실험장치에는 실험 수조를 O_2가스에 의해 산소 포화상태로 유지할 수 있는 수조에 연결하여 실험 수조의 유입수를 포화도 100% 상태로 유지하였다. 실험 수조의 유출수에는 용존산소 측정기를 설치하였고, 용존산소 측정기에는 기록계를 연결시켜 산소 소비량을 기록하였다. 한편 꽃게를 실험 수조에 수용하는 과정에서 받은 스트레스를 회복시키기 위하여 예비 실험으로부터 산소 소비가 일정하게 되는 20분간을 실험 수조에서 순응시킨 후 측정을 하였다. 산소 소비는 수온 20±0.1℃, 염분 32±0.1‰에서 1시간 측정하였고, 산소 소비량은 기록계의 수치를 10분 간격으로 6회의 평균치로 계산하였다. 실험후 꽃게는 습중량을 측정하여 각 실험구의 평균 산소 소비량은 단위습중량당 산소소비량으로 표시하였다. 아울러 대조구 혹은 실험구상호의 산소 소비량의 차는 Mann-Whitney U-test(Conover, 1980)에 의해 검정하였다.

結　　果

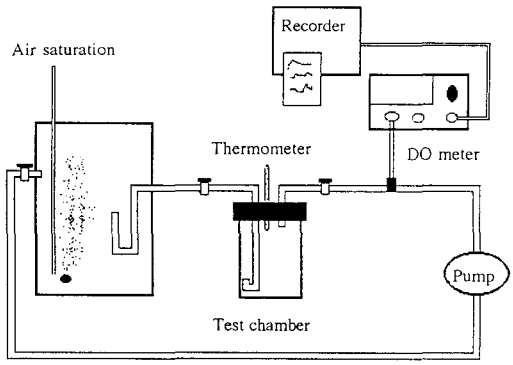

Fig. 1. Experimental setup for the measurement of respiration of *Portunus trituberculatus*.

1. 飼育水의 水質

빈산소조건으로 조절한 용존산소는 설정 목표보다 평균 0.14~0.21 mg/l 높게 유지 되었지만 실험 기간 중의 변동 폭은 0.08~0.12 mg/l로 작아 안정된 3단계의 빈산소조건이 유지 되였다. 복합 조건의 용존산소는 설정 목표보다 0.14~0.23 mg/l 낮게 유지 되었지만 실험 기간 중의 변동 폭은 0.07~0.11 mg/l로 대체로 안정된 설정 목표가 유지 되었다. 황화수소농도는 설정 목표보다 평균 농도가 2.35~4.45 μg/l 높았고, 변동 폭은 0.12~0.16 μg/l이었다. 대조구의 용존산소는 포화도 95.2% (7.02 mg/l) 이상을 유지하였다(Table 1).

Table 1. Water quality during hypoxia and hypoxia with hydrogen sulfide experiments Temperature, 21.8~23℃; Salinity, 31.5~32.0‰, Data are presented as mean ± SD (n=28)

	DO conc. (mg/l)	H_2S conc. (μg/l)	pH
Hypoxia conditions			
Control	7.02 ± 0.10	–	8.01 ± 0.04
Hypoxia 1	3.35 ± 0.08	–	7.99 ± 0.13
Hypoxia 2	2.14 ± 0.09	–	7.95 ± 0.16
Hypoxia 3	1.41 ± 0.12	–	7.89 ± 0.15
Hypoxia+H_2S conditions			
Control	7.02 ± 0.10		8.01 ± 0.04
Hypoxia 1+H_2S	2.97 ± 0.09	13.12 ± 0.14	7.82 ± 0.14
Hypoxia 2+H_2S	1.86 ± 0.11	12.35 ± 0.12	7.92 ± 0.18
Hypoxia 3+H_2S	1.03 ± 0.07	14.45 ± 0.16	7.79 ± 0.21

2. 生存

빈산소조건하에서 14일후의 꽃게의 생존율은 대조구(97.5%)에 대하여 용존산소 2.14 mg/l이하에서 유의한 감소($P<0.05$)를 나타내었다(Fig. 2a). 또한 복합조건하의 꽃게의 생존율은 용존산소 1.86 mg/l 이하에서 황화수소농도 12.35 μg/l의 첨가에 의해 대조구 혹은 빈산소조건보다 유의한 감소($P<0.05$)를 나타내었다(Fig. 2b). 그러나 용존산소 3.35 mg/l의 빈산소조건, 용존산소 2.97 mg/l와 황화수소농도 13.12 μg/l의 복합조건에서는 대조구의 생존율과 비교하여 유의한 감소가 인정되지 않았다.

3. 攝餌活動

빈산소조건하에 폭로시킨 꽃게를 정상 해수에 수용하여 먹이를 공급한 결과, 섭이개체의 比는 용존산소 2.14 mg/l이상에서 78.9% 이상을 나타내어 대조구의 섭이활동과 유사한 경향을 나타내었다. 그러나 용존산소 1.41 mg/l에서의 섭이개체의 비는 58.8%까지 저하하였다. 또한 복합 조건하의 섭이개체의 비는 용존산소와 황화수소농도가 각각 1.86 mg/l와 12.35 μg/l에서 66.7%, 1.03 mg/l와 14.45 μg/l에서 53.3%까지 저하하였다(Table 2).

4. 代謝

빈산소조건하에서 꽃게의 산소 소비량은 용존산소

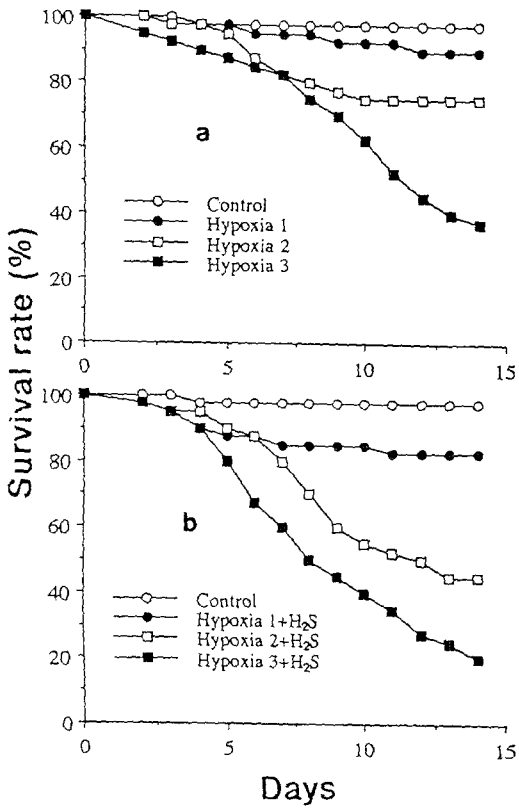

Fig. 2. Survival rate of *Portunus trituberculatus.* exposed to hypoxia and hypoxia with hydrogen sulfide. (a) Single effect of hypoxia; (b) Combined effects of hypoxia and hydrogen sulfide.

Table 2. Feeding activity of *Portunus trituberculatus.* in normoxic sea water after 4 days exposure to hypoxia water and hypoxia with hydrogen sulfide water

	DO conc. [1] (mg/l)	H_2S conc. [1] (μg/l)	Fed / Tested (%) [2] (Indiv. No.)
Hypoxia conditions			
Control	7.02	–	17/20 (85.0)
Hypoxia 1	3.35	–	15/19 (78.9)
Hypoxia 2	2.14	–	16/20 (80.0)
Hypoxia 3	1.41	–	10/17 (58.8)
Hypoxia + H_2S conditions			
Control	7.02		17/20 (85.0)
Hypoxia 1 + H_2S	2.97	13.12	16/20 (80.0)
Hypoxia 2 + H_2S	1.86	12.35	12/18 (66.7)
Hypoxia 3 + H_2S	1.03	14.45	8/15 (53.3)

[1] **DO and H_2S concentrations are presented as mean value ± SD (n=8)**
[2] **Percentage of individuals fed in the first 30 minutes after transferred to normoxic sea water**

3.35, 2.14, 1.41 mg/l에서 대조구보다 각각 15.6, 30.8, 40.6%가 저하하여 빈산소 전실험구에서 대조구보다 유의한 저하($P<0.05$)가 인정되었다(Fig. 3a). 복합 조건하에서 꽃게의 산소 소비량은 용존산소 2.97, 1.86, 1.03 mg/l에 각각 13 μg/l정도의 황화수소농도의 첨가에 의해 대조구보다 각각 18.8, 35.5 36.1% 저하하였으며, 모든 복합 조건구에서 유의한 저하($P<0.05$)를 나타내었다(Fig. 3b, Table 3). 그러나 빈산소조건과 복합 조건사이의 꽃게의 산소 소비량의 차는 인정되지 않았다.

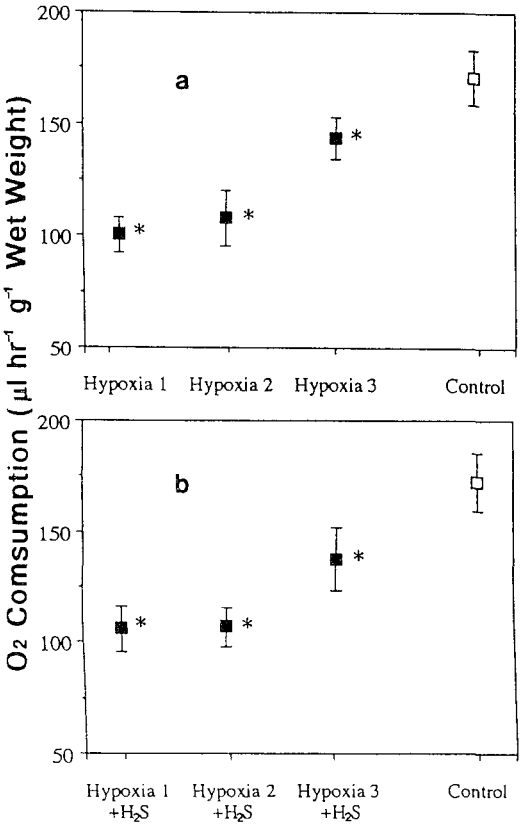

Fig. 3. Effects of 14 days exposure to hypoxia and hypoxia with hydrogen sulfide on the oxygen consumption rates.
(a) Single effect of hypoxia; (b) Combined effects of hypoxia and hydrogen sulfide. Asterisks indicate singificnt difference from the control.

考　　察

수생갑각류의 빈산소에 대한 저항성은 일반적으로 다모류 및 패류에 비해 낮은 결과를 보고하고 있다(Theede et al., 1969; Theede, 1973). 본 실험에서 14일간 빈산소조건하에 폭로한 꽃게는 2.14 mg/l이하의 용존산소에서 유의한 생존률감소를 나타내었고, 4일간 폭로한 개체는 1.41 mg/l의 용존산소에서 섭이활동율이 저하되었다. 이같은 결과는 하기의 瀨戶內海에 2.14 mg/l이하의 빈산소화가 14일 이상 지속될 경우, 꽃게의 개체군이 量的으로 감소할 수 있음을 의미한다. 또한 해역에서 용존산소의 저하는 일반적으로 황화수소의 출현을 동반하는 관계로 그 독성에 대해서는 연안, 내만, 양식장등의 수생생물의 사망 원인의 한 예로서 지적 되어 왔다(Waggoner and Feldmeth,

Table 3. Oxygen consumption rates at 20℃ for hypoxia water and hypoxia with hydrogen sulfide water Data are presented as mean ± SD (range)

	DO conc. (mg/l)	H_2S conc. (μg/l)	n	Weight (mg)	Respiration rate ($\mu lO_2 h^{-1} g^{-1}$ wet weight)
Hypoxia conditions					
Control	7.02	–	17	495.3 ± 18.4 (475.2~514.5)	172.1 ± 18.2 (169.2~207.5)
Hypoxia 1	3.35	–	12	502.5 ± 20.8 (463.0~522.7)	145.3 ± 11.8 (127.0~175.5)
Hypoxia 2	2.14	–	13	490.2 ± 22.3 (458.3~520.2)	119.1 ± 17.4 (105.5~135.1)
Hypoxia 3	1.41	–	7	487.3 ± 14.5 (470.3~503.4)	102.2 ± 9.5 (89.9~113.0)
Hypoxia+H_2S conditions					
Control	7.02	-	17	495.3 ± 18.4 (475.2~514.5)	172.1 ± 18.2 (169.2~207.5)
Hypoxia 1+H_2S	2.97	13.12	14	500.2 ± 21.2 (467.3~516.2)	139.7 ± 19.4 (135.3~182.0)
Hypoxia 2+H_2S	1.86	12.35	10	492.8 ± 18.4 (473.2~505.2)	111.0 ± 10.2 (98.6~141.3)
Hypoxia 3+H_2S	1.03	14.45	5	482.5 ± 22.2 (469.2~504.6)	109.6 ± 12.7 (75.5~121.7)

1971; Torrans and Clemens, 1982). 그리고 Levitt and Arp(1991)는 빈산소조건하에서 패류 *Macoma nasuta* 와 *M. secta*의 생존율은 황화수소 발생으로 인해 한층 더 감소한다고 하였다. 또한 불가사리 *Ctenodiscus crispatus*는 빈산소조건하에 50 μg/l의 황화수소의 첨가에 의해 그들의 저항성은 빈산소조건하에서 보다 한층 더 저하하였고(Shick, 1976), 무산소조건하에서 다모류 *Cirriformia tentaculata*는 10일간 생존하였으나 황화수소(200 μg/l)의 첨가로 인해 생존 일수가 5일간 단축됨을 보고하였다(Bestwick et al., 1989). 본 실험의 꽃게는 빈산소조건하(1.86 mg/l)에 12.35 μg/l의 황화수소의 첨가에 의해 빈산소조건하보다 생존 혹은 섭이활동율이 더욱더 저하하였다. 이같은 결과는 황화수소에 대한 꽃게의 저항성은 패류 및 다모류에 비해 낮음을 한번더 입증하는 결과이며, 瀨戶內海에 13 μg/l정도의 황화수소를 포함한 빈산소수괴가 형성될 경우에는 꽃게의 개체군이 量的으로 더욱더 감소할 수 있음을 의미한다.

꽃게의 대사율은 실험을 실시한 모든 빈산소조건하(≤3.36 mg/l)에서 유의한 저하를 나타내었다. 수생생물에 관한 몇몇의 연구에서는 무산소 혹은 빈산소조건하에서 그들의 대사율은 저하한다고 언급 하였다(Gnaiger, 1981; Shick et al., 1983; Stickle et al., 1989). 예를 들면 무산소조건하에서 패류 *Crassostrea virginica, Thais haemastoma* 및 *Mytilus edulis*의 대사율은 각각 25, 91, 11% 저하하였고, 빈산소(1.5 mg/l) 조건하에서 패류 *C. virginica*는 24%, 갑각류 *Callinectes sapidus*는 68%, 그리고 *Eurypanopeus depressus*는 53%의 대사율이 감소하였다. 수생생물이 빈산소조건하에 직면했을 때 나타내는 대사율의 저하는 에너지 보존이라고 하는 측면에서 생존메카니즘의 하나로서 유리한 정보일 수도 있다(Spaargaren, 1977). 따라서 빈산소수괴가 형성되는 瀨戶內海의 수역에 서식하는 꽃게는 부분적으로는 대사율을 저하시켜 생존이 가능하다고 생각할 수 있다.

황화수소의 첨가에 의한 복합 조건에서 꽃게의 대사률은 빈산소조건에 비해 유의한 차가 인정되지 않았다. 이같은 결과는 황화수소의 독성적 관점으로부터 생각할 경우, 의문을 제기할 수 있는 사항이다. 수생생물의 대사율에 미치는 복합 조건에 관한 연구는 극히 빈약한 상태이나 빈산소조건하에서 100 μg/l의 황화수소농도는 패류의 대사율에 영향을 미치지 않았다. 또한 해양 무척추동물의 대사률은 통상 혐기성 대사와 호기성 대사 사이의 글리코겐 대사물과 보존 에너지 이용의 변화에 의해 설명된다((Levitt and Arp, 1991). 따라서 혐기성 대사에 있어 13 μg/l정도의 황화수소농도는 꽃게의 대사율를 저하시킬 만큼 작용하지 않았다고 생각할 수 있다.

해산 무척추동물은 빈산소수괴가 형성될 경우 그 수역으로 부터 도피하지만(Theede et al., 1969; Maurice, 1986), 瀨戶內海 꽃게의 이동은 작은 범위의 심해와 천해사이를 이동하며 크나큰 수평 이동을 하는 것이 아니고, 큰 파도를 초과할 정도의 大回遊는 없다고 하였다(大島, 1983). 특히 着底後의 稚게의 이동은 작은 범위에 한정 되어 있다(川西 等, 1975). 따라서 瀨戶內海와 같이 폐쇄성이 강한 해역에 빈산소수괴가 형성될 경우 꽃게의 자원량이 감소할 것으로 추정된다.

꽃게의 서식지인 瀨戶內海의 각해역의 하기의 저층수에서 용존산소 2.0 mg/l 이하와 황화수소농도 15 μg/l이상이 관측되고 있다(橋本, 1991; Imabayashi, 1987; Kang et al., 1993). 이같은 결과는 상기와 같이 瀨戶內海에 서식하는 꽃게의 일부는 생리적 조절 혹은 도피 행동등에 의해 부분적으로는 생존할 수 있을 것으로 추정되나 瀨戶內海중에서도 폐쇄성이 강한 해역에 서식하는 일부 꽃게의 생존에는 치명적인 영향을 끼칠 것이라 생각된다. 따라서 瀨戶內海의 빈산소수괴의 형성에 따른 황화수소의 발생은 이곳에 서식하는 꽃게의 자원량 감소를 초래할 것으로 예상되며, 이 수역에 꽃게를 방류할 경우에는 해역의 선택이 중요한 과제가 될 것이다.

要　　約

日本 瀨戶內海의 빈산소수괴의 형성에 따른 황화수소의 발생이 꽃게, *Portunus trituberculatus*의 자원량이 미치는 영향을 간접적으로 파악하기 위하여 이들의 생존, 섭이활동 및 대사률에 미치는 빈산소와 황화수소의 복합적 영향에 관한 실험을 하였다.

빈산소조건에서 꽃게의 생존, 섭이활동 및 대사률은 용존산소가 각각 2.14, 1.41, 및 3.35 mg/l에서 유의한

저하가 인정되었다. 또한 복합 조건하에서 꽃게의 생존율은 용존산소 1.86 mg/l이하에서 황화수소농도 12, 35 μg/l, 섭이활동은 용존산소 1.86 mg/l이하와 황화수소농도 12.35 μg/l, 대사률은 용존산소 2.97 mg/l이하와 13.12 μg/l의 황화수소농도에서 유의한 저하를 나타내었다. 아울러 용존산소 1.86 mg/l이하와 황화수소농도 12,35 μg/l의 복합 조건하에서는 빈산소조건하에 비해 그들의 생존과 섭이활동율이 한층더 감소하였다.

꽃게의 서식지인 瀨戶內海의 각 해역에서는 하기의 용존산소량과 황화수소가 각각 2.0 mg/l이하, 15 μg/l이상이 보고되고 있어 이곳에 서식하는 꽃게의 자원량의 감소가 예상된다.

參 考 文 獻

Bestwick, B. W., I. J. Robbins and L. M. Warren. 1989. Metabolic adaptations of the intertidal polychaete *Cirriformia tentaculata* to life in an oxygen-sink environment. J. Exp. Mar. Biol. Ecol., 125, 193~202.

Brongersma-Sanders, M. 1975. Mass mortality in the sea. Geol. Soc. Am. Mem., 67, 941~1010.

Conover, W. L. 1980. Practical Nonparametric Statistics, 2nd ed. John Wiley and Sons, New York. pp. 20~25.

Donavon, O. and S. Llyod. 1974. Factors influencing acute toxicity estimates of hydrogen sulfide to freshwater invertebrates. Water Res., 8, 739~746.

Fenchel, T. and R. Riedl. 1970. The sufide system: a new biotic community underneath the oxidized layer of marine sand bottom. Mar. Biol., 7, 225~268.

Fonselius, S. H. 1983. Determination of hydrogen sulfide. In Methods of Seawater Analysis ed., by K. Grasshoff, M. Ehrhard and K. Kremling, 2nd ed., Verlag Chemie, Weinheim., pp. 73~80.

Gavis, J. and V. Grant. 1986. Sulfide, iron, manganese and phosphate in the water of the Chesapeake Bay during anoxia. Estuar. Coast. Shelf Sci., 23, 452~463.

Gnaiger, E. 1981. Pharmacological application of animals calorimetry. Thermochim. Acta, 49, 75~85.

Imabayashi, H. 1987. Interaction between benthic communities and oxygen-deficieny water mass in eutrophic waters. J. Coast. Mar. Res. Note. 26, 119~128.

Kang, J. C., M. Osamu and Y. Damiji. 1993. Effects of low dissolved oxygen and hydrogen sulfide on early developmental stages of blue crab, *Portunus trituberculatus* in Hiroshima Bay. J. Fac. Appl. Biol. Sci., Hiroshima Univ. 32, 61~70.

Levitt, J. M. and A. J. Arp. 1991. The effects of sulfide on the anaerobic metabolism of two congeneric species of mudflat clams. Comp. Biochem. Physiol.B, 98, 339~347.

Macdonald, K. C. and J.D. Mudie. 1974. Microearthquakes on the Galapagos spreading centre and the seismicity of fast-spreading ridges. Geophys. J. R. Astr. Soc., 36, 245~257.

Maurice, L. R. 1986. Detecting and avoiding oxygen deficient water by brown shrimp, *Penaeus aztecus* and white shrimp, *Penaeus setiferus*. J. Exp. Mar. Biol. Ecol., 98, 283~292.

Ochi, T. and H. Takeoka. 1986. The anoxia water mass in Hiuchi-Nada, Part 1. Distribution of the anoxia water mass. J. Oceanogr. Soc. Japan, 42, 1~11.

Ott, J. and R. Machan. 1971. Dynamics of climate parameters in intertidal sediments. Thalassia Jugosl., 7, 219~229.

Shick, J. M. 1976. Physiological and behavioral responses to hypoxia and hydrogen sulfide in the infaunal asteriod *Ctenodiscus crispatus*. Mar. Biol., 37, 279~289.

Shick, J. M., A. L. Zwaan and A. M. DeBont. 1983. Anoxia metabolic rate in the mussel *Mytilis edulis* L. estimated by simultaneous direct calorimetry and biochemical analysis. Physiol. Zool., 56, 56~63.

Spaargaren, D. H. 1977. On the metabolic adaptation of *Carcinus maenas* to reduced oxygen tensions in the environment. Neth. J. Sea Res., 11, 325～333.

Stickle, W. B., M. A. Kepper, L. L. Liu, E. Gnaiger and S. Y. Wang. 1989. Metabolic adaptations of several species of crustaceans and molluscs to hypoxia: Tolerance and microcalormetric studies. Biol. Bull., 177, 303～312.

Swanson, S. L. and C. J. Sundermann. 1979. Oxygen depletion ans associated benthic mortalities in New York Bight, 1976. NOAA Prof. Pap., pp. 345.

Theede, H. 1973. Comparative studies on the influence of oxygen deficiency and hydrogen sulfide on marine bottom invertebrates. Neth. J. Sea Res., 7, 244～252.

Theede, H., A. Ponat, K. Hiroki and C. Schlieper. 1969. Studies on the resistance of marine bottom invertebrates to oxygen-deficiency and hydrogen sulfide. Mar. Biol., 2, 325～337.

Torrans, E. L. and H. P. Clemens. 1982. Physiological and biochemical effects of acute exposure of fish to hydrogen sulfide. Comp. Biochem. Physiol. C, 71, 183～190.

Waggoner, J. P. and C. R. Feldmeth. 1971. Sequential mortality of the fish fauna impounded in construction of a marina at Dona Point, California. Calif. Fish. Game, 57, 167～176.

橋本玳將. 1991. 漁況海況豫報等定線觀測調査資料. 廣島試驗場報告, pp. 87～88.

村上碧士・水呉浩・中好洋子. 1990. ガザミの種苗生產. 廣島縣栽培漁業協會事業報告, 10, 30～43.

大島信夫. 1983. 瀨戶內海ガザミ調査. 水產試驗場報告, 9, 141～211.

川西正衛・平田貞朗・高場捻. 1975. ガザミの種苗放流 追跡-1, 初期移動について. 栽培技研, 4, 15～18.

1995년 6월 20일 접수
1995년 9월 2일 수리