

곤쟁이, *Neomysis awatschensis* 의 에너지수지에 미치는 PCBs의 영향

I. 곤쟁이에 미치는 PCBs의 급성 및 만성영향

진 평 · 신윤경 · 전은미
부경대학교 해양생물학과

Effects of PCBs (Polychlorinated Biphenyls) on Energy Budget in Mysid, *Neomysis awatschensis*

I. Acute and Chronic Effects of PCBs on Mysid, *Neomysis awatschensis*

Pyung CHIN, Yun-Kyung SHIN and Eun-Mi JEON

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

Acute and chronic responses to PCB toxicity of *Neomysis awatschensis* were studied by measurement of bioassay, growth, oxygen consumption and nitrogen excretion with concentrations of PCB at 10 and 20°C.

96 hr.-LC₅₀ at 10 and 20°C were 28.7492 ppb and 10.6742 ppb, respectively. Survival rates during 60 days exposed to chronic PCB concentrations of 0.5 ppb, 1.0 ppb, 1.5 ppb and 2.0 ppb at 10°C were 85%, 80%, 75% and 75%, respectively and survival rates at 20°C 85%, 75%, 75% and 65%, respectively.

Average daily growth rate of *N. awatschensis* exposed to chronic PCB concentrations at 10°C were 0.039 mm/day in control group and 0.036 mm/day at concentration of 2.0 ppb, while their rates at 20°C showed 0.072 mm/day in control group and 0.039 mm/day at 2.0 ppb.

The growth factors were some similarities between the chronic PCB concentrations, but intermolt periods were related to body size of mysids, temperature and PCB toxicity.

Changes in oxygen consumption and nitrogen excretion rates during 60 days exposure to PCB toxicity showed higher in high groups of PCB concentrations. Assimilation and feeding rates of *N. awatschensis* fed *Artemia* sp. decreased with increase of PCB concentration at 10 and 20°C.

Key words : *Neomysis awatschensis*, PCB toxicity, oxygen consumption, assimilation

서 론

PCB는 할로젠 다방향족 탄화수소에 속하는 물질로서 보건학적으로 문제가 되고 있는 것으로 1966년에 최초로 환경오염물질로 밝혀져, 현재는 환경보건청의 통제하에 PCB가 사용되고 있다.

PCB를 포함한 유기염소계 화합물은 수중에 그대로 존재하기 보다는 체내 지방조직에 저장되므로 상이한 생물에서의 오염수준을 비교하는데 상당한 주의가 요구되고 있으며, 양과 농도면에 있어 지방조직, 근육 및 생식소 등에서 다양하게 나타나며 그 축적률도 종간 뿐만 아니라 종내에서도 변화가 크다. 또한 PCB 1 ppb의 저농도에서 일차생산량이 50%까지 감소되며, 해양갑각류와 어류 역시 매우 민감하게 반응하여 기형적으로 성장하거나, 생식이 불가능하게 되어 급기야는 멸종의 단계에까지 이르게 되는 것으로 알려져 있다.

해양생물에 미치는 PCB의 영향에 관한 연구로서 갑각

류 (Dillon and Burton, 1991; Borgamann and Whittle, 1992; Ruiz and Liorente, 1991; Stein et al., 1992, 1993; Staveland and Marthinsen, 1989), 플랑크톤 (Richer and Peters, 1993) 및 패류 (Ferreira et al., 1990; Hummel et al., 1989, 1990) 등에 대하여 다수가 보고되고 있다. 이러한 연구들은 주로 같은 유기염소계의 PCB와 살충제간의 상호작용 (Borgamann and Whittle, 1992)이라든지 생식 및 형태변화 (Dillon et al., 1990), 계절적 변화에 따른 체내축적 양상 (Ruiz and Liorente, 1991; Knickmeyer and Steinhart, 1988) 및 food chain에 의한 환경오염 (Gilbert, 1993)등 다양하게 연구되어 있으나 생물의 대사와 관련된 연구는 희소하며, 주로 단편적인 연구에만 집중되었 다.

본 연구에서는 연안 생태계의 영양단계에 있어 중요한 위치를 차지하는 반부유성 갑각류인 *Neomysis awatschensis* 를 대상으로, PCB가 이들 생물에 미치는 영향을 생리학적 측면에서 파악하여 해양 생태 오염시 환경 감시자

본 연구는 1996학년도 동원학술연구재단 지원 연구비의 수혜를 통하여 이루어 졌음

로서 생물을 이용하기 위한 기초자료를 제공하는데 그 목적이 있다.

재료 및 방법

1. 재료

실험동물인 곤쟁이는 1995년 7월부터 1996년 8월에 걸쳐 부산광역시 다대포 연안에서 매월 간조시에 채집망(망목 1mm)을 사용하여 포획하였다. 채집한 동물은 2~3시간내에 실험실로 운반하여 순환여과식 사육조(용량 200ℓ)에 두고 순응시켜 실험에 사용하였다. 사육 및 측정기에 사용한 해수의 염분은 31~32‰의 범위였으며 사육동안 먹이로는 *Artemia nauplii*를 공급하였고, 광주기는 12L : 12D를 유지시켰다.

2. 측정방법

실험용액은 PCB를 알코올에 1 : 1로 용해시켜 여과시킨 자연해수에 0.5ℓ로 조제한 다음 실험농도별로 희석하여 사용하였다.

급성영향 실험에는 7.5, 12.6, 21, 35 ppb 4개의 농도구를 설정하여 실험하였으며, 만성영향 실험에는 자연상태를 감안하여 4개의 농도구 0.5, 1.0, 1.5, 및 2.0 ppb를 설정하여 실험하였다. 대조구는 PCB를 첨가하지 않은 일반해수를 사용하였으며, 오염방지를 위하여 실험용액은 매일 갈아 주었다. 먹이는 급성영향 실험시에는 48시간 만에 한번씩 그리고 만성영향 실험시에는 매일 *Artemia nauplii*를 공급하였다. 폐사 측정은 급성영향의 경우 5시간 간격으로 관찰하여 죽은 개체수를 사망율로 나타내었고, 96시간-반수치사농도(96hr.-LC₅₀)는 probit분석에 의하여 산출하였다.

PCB 각 만성농도의 실험용액에 노출시킨 실험동물의 성장은 150ml의 병에 실험동물을 각각 1마리씩 투입하고 수온 10°C와 20°C로 각각 조절하여 사육하면서 매일 탈피체 및 사망체계가 있는지 관찰하였다. 수거한 탈피체를 5% 알코올에 고정한 다음 입체 현미경으로 미각장을 측정하였다. 실험동물의 체장은 안병의 기부에서 제 6복절의 말단까지, 미각장은 제 6복절의 말단에서 강모를 제외한 미각의 외지끝까지 측정하였다.

산소소비량은 PCB 만성농도별로 수온 10°C와 20°C에서 산소검량기(YSI 58형)를 사용하여 측정하였으며, 암모니아 질소배설은 Solorzano (1969)의 phenolphthalein법으로 분석하여 3~5회의 반복측정한 후 그 평균치를 사용하였다.

섭이율은 일간 섭이한 brine shrimp, *Artemia nauplii*의

실험전후의 개체수차로써 섭이량을 산출하였다. 그리고 동화효율은 실험동물의 배출된 분(faeces)을 다시 증류수로 행구고 70°C의 항온건조기에 넣어 24시간 건조시킨 다음, 건조된 분(faeces)을 칭량하여 500°C의 회화로에 넣고 회분화하여 Conover (1966)의 회분비법으로 산출하였다.

결 과

1. PCB의 급성독성영향

수온 10°C와 20°C에서 곤쟁이에 미치는 PCB의 급성독성영향을 알아보기 위해, 96시간 후의 농도에 따른 사망율과 반수치사 농도를 구한 결과를 probit회귀직선으로 나타내었다 (Fig. 1).

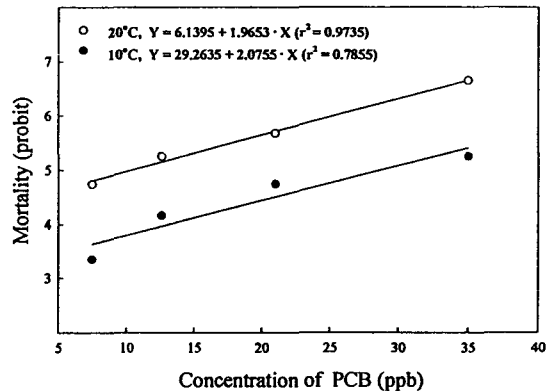


Fig. 1. Mortality of *Neomysis awatschensis* after 96 hr. exposed to PCB concentration at 10 and 20°C.

수온 10°C의 경우, PCB농도 7.5 ppb에서 96시간 이후 사망율이 5%이던 것이 21 ppb에서 현저히 증가하기 시작하여 35 ppb에서는 60%를 나타내었으며, 96시간 반수치사 농도(96hr.-LC₅₀)는 28.7492 ppb였다.

수온 20°C에서 모든 실험구는 24시간이 경과한 후부터 폐사가 나타나기 시작하여 96시간이 경과한 후의 사망율은 7.5 ppb에서 40%, 21.0 ppb에서는 75%를 나타내었으며, 35 ppb에서는 100%의 사망율을 나타내어 96시간 반수치사농도(96hr.-LC₅₀)는 10.6742 ppb로 10°C와 비교했을 때 현저하게 낮게 나타남으로써 유의한 차이를 보여 고수온에서 PCB의 영향이 크게 나타남을 알 수 있었다.

PCB의 급성영향 농도별로 96시간 노출시킨 후 곤쟁이의 생리적 저해율을 알아보기 위하여 산소소비율의 변화를 조사한 결과 (Fig. 2) 수온 10°C의 경우, 산소소비율은 대조구에서 3.27 $\mu\text{lO}_2/\text{mg dry wt./hr.}$ 인데 비해 PCBs 농도 7.5 ppb에서 1.09 $\mu\text{lO}_2/\text{mg dry wt./hr.}$ 그리고 35 ppb

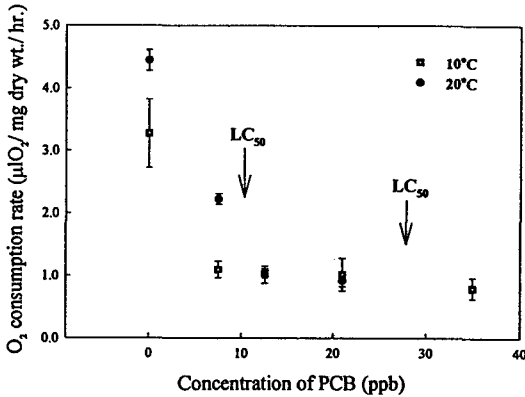


Fig. 2. Oxygen consumption rates of *Neomysis awatschensis* after 96 hr. exposed to PCB concentration. The bars indicate the standard error.

에서는 0.79 $\mu\text{lO}_2/\text{mg dry wt./hr.}$ 였다.

수온 20°C에서는 대조구에서 산소소비율이 4.43 $\mu\text{lO}_2/\text{mg dry wt./hr.}$ 이었으며, 21.0 ppb에서는 0.91 $\mu\text{lO}_2/\text{mg dry wt./hr.}$ 로 두 수온구에서 PCB농도의 증가에 따라 산소소비율의 감소경향이 뚜렷하였으며, 특히 산소소비율은 대조구와 PCB의 저농도 실험구에서 수온간의 차이를 나타내었으나, PCB의 실험농도가 12.6 ppb이상의 실험구에서는 산소소비율이 현저히 감소하여 수온간의 차이를 나타내지 않았다 (Fig. 2).

2. PCB의 만성독성영향

실험실의 사육수조에서 일정기간 순환시킨 곤쟁이를 PCB농도 0.5, 1.0, 1.5 및 2.0 ppb의 실험해수에서 60일간 사육시킨 후에 생존율을 측정하여 Table 1에 나타내었다.

Table 1. Chronic toxicity of PCB to *Neomysis awatschensis* after 60 days experiments

Test conc. (ppb)	Water quality			Survival rate (%)
	pH	Temp. (°C)	Salinity (‰)	
0.5	7.70	10 ± 1	31 ± 1	85
1.0	7.76			80
1.5	7.72			75
2.0	7.79			75
0.5	7.75	20 ± 1	31 ± 1	85
1.0	7.78			75
1.5	7.71			75
2.0	7.76			65

10°C의 경우, PCB농도 0.5 ppb에서 85%, 2.0 ppb에서는 75%의 생존율을 나타내었으며, 20°C의 경우 0.5ppb에서는 85%, 2.0ppb에서는 65%의 생존율을 나타내어 다소 수온간의 차이를 보였다.

(1) 성장

각 수온과 PCB의 농도에 노출시켜 개별 사육하는 등

안 탈피체를 수거하여 미각장을 측정된 뒤 이로써 체장을 추정 (Fig. 3)하여 성장에 이용하였다.

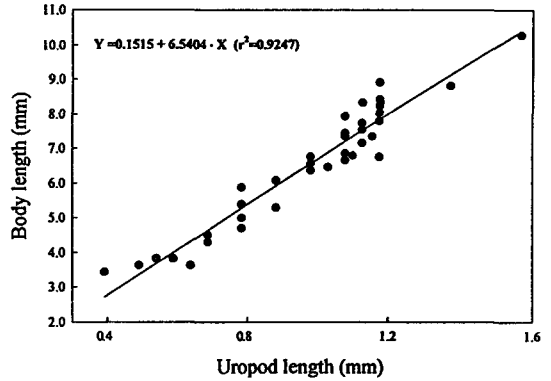


Fig. 3. Relationship between body length and uropod length of *Neomysis awatschensis*.

대조구 및 PCB농도별 수온 10°C와 20°C에서 측정된 치하 및 다양한 크기의 곤쟁이 각 개체의 체장증가, 탈피횟수 및 체장성장율은 Table 2, 3 그리고 4에 나타내었다.

Table 2. Mean growth rates of body length of *Neomysis awatschensis* at 10°C and 20°C in control group

Temp. (°C)	Initial length (mm)	Final length (mm)	Time (days)	No. of molts	Growth rate (mm/day)
10	2.56	6.73	55	8	0.076
	2.56	6.73	55	7	0.076
	3.33	7.05	55	8	0.068
	4.17	7.05	55	7	0.052
	5.00	7.24	55	6	0.047
	5.00	7.18	55	7	0.040
	6.41	7.69	55	5	0.023
	6.60	7.63	55	4	0.019
	7.69	8.97	54	4	0.024
	7.95	9.29	55	5	0.024
	8.33	9.29	55	4	0.017
	8.40	9.10	55	4	0.013
	Mean = 0.039				
	20	1.60	7.50	64	14
1.92		7.69	55	10	0.105
2.43		5.64	26	7	0.123
1.92		4.68	37	7	0.074
3.71		8.84	48	8	0.107
3.19		9.09	64	13	0.092
5.77		7.69	64	8	0.030
5.77		7.69	55	7	0.040
5.90		7.37	41	5	0.040
6.09		8.59	54	9	0.046
7.05	9.04	48	8	0.041	
Mean = 0.072					

Table 3. Mean growth rates of body length of *Neomysis awatschensis* with experimental concentration of PCB at 10°C

Temp. (°C)	Initial length (mm)	Final length (mm)	Time (days)	No. of molts	Growth rate (mm/day)
0.5	2.44	6.73	55	8	0.078
	3.20	7.05	55	7	0.070
	5.77	7.37	52	5	0.031
	6.41	7.69	53	6	0.024
	6.73	8.65	53	5	0.036
	7.05	8.65	55	4	0.029
	7.05	8.97	53	4	0.036
	7.69	8.97	37	4	0.035
	8.33	8.97	47	4	0.014
Mean=0.037					
1.0	2.56	5.13	55	6	0.047
	2.88	5.77	55	7	0.053
	3.20	4.81	55	5	0.029
	5.13	7.05	55	5	0.035
	5.45	6.92	55	5	0.027
	5.77	7.37	55	3	0.029
	6.41	8.01	55	5	0.029
	6.41	8.65	55	4	0.040
Mean=0.036					
1.5	2.56	5.77	60	6	0.054
	3.84	6.41	60	5	0.043
	4.48	7.05	60	5	0.043
	5.76	6.73	53	4	0.018
	5.77	7.69	53	4	0.036
	5.77	6.92	55	4	0.021
	6.40	8.33	55	5	0.035
	6.41	8.65	55	5	0.041
	7.05	8.33	55	4	0.023
Mean=0.035					
2.0	2.56	4.84	55	7	0.041
	3.20	5.13	60	5	0.032
	3.53	6.73	60	6	0.053
	4.49	6.73	60	5	0.037
	4.81	7.01	55	5	0.040
	5.45	7.05	55	5	0.029
	5.77	8.33	60	6	0.043
	6.41	8.14	60	5	0.029
	6.73	7.69	40	4	0.024
Mean=0.036					

대조구의 두 수온구에서 모두 초기체장이 작은 개체가 큰개체에 비하여 성장율이 높았으며, 고수온에서 빠른 성장을 보였다.

PCB의 실험농도에 노출시킨 각 개체의 성장율은 20°C의 경우 0.5 ppb에서는 평균체장성장율이 0.058 mm/day였고, 2.0 ppb에서는 0.039mm/day로서 PCB농도가 높을수록 낮았으며, 10°C에서는 0.5 ppb에서 0.037 mm/day, 2.0 ppb에서 0.036 mm/day로 PCB 농도별 차이를 보이지 않

Table 4. Mean growth rates of body length of *Neomysis awatschensis* with experimental concentration of PCB at 20°C

Temp. (°C)	Initial length (mm)	Final length (mm)	Time (days)	No. of molts	Growth rate (mm/day)
0.5	1.92	6.41	54	10	0.083
	2.88	7.37	59	10	0.076
	4.49	8.59	55	9	0.075
	4.99	8.33	54	8	0.062
	5.13	8.33	59	8	0.054
	5.77	8.01	59	6	0.038
	6.09	8.33	49	7	0.046
	7.05	8.65	59	6	0.027
	Mean=0.058				
1.0	1.92	7.37	62	9	0.088
	2.56	7.69	64	10	0.080
	3.20	7.05	64	7	0.060
	5.13	7.69	59	6	0.043
	5.75	7.69	54	5	0.036
	5.77	7.56	34	5	0.053
	6.09	8.33	64	7	0.035
	6.28	8.33	56	8	0.037
	6.41	8.14	52	6	0.033
Mean=0.052					
1.5	1.92	6.09	64	7	0.065
	2.24	4.81	45	6	0.057
	2.88	6.09	64	7	0.050
	3.20	5.13	55	4	0.035
	4.10	7.82	64	7	0.058
	5.32	7.18	41	5	0.045
	6.09	8.33	36	5	0.062
	6.09	7.50	64	4	0.022
	6.41	7.95	64	6	0.024
Mean=0.046					
2.0	1.92	6.28	64	6	0.068
	1.92	5.77	64	6	0.060
	2.24	5.78	64	6	0.055
	5.13	7.69	64	4	0.040
	5.13	7.18	59	7	0.035
	5.77	7.05	64	4	0.020
	6.28	8.59	64	7	0.036
	6.28	8.01	64	8	0.027
	6.41	7.69	64	7	0.020
7.44	9.10	64	7	0.026	
Mean=0.039					

아 수온의 영향을 받는 것으로 나타났다.

Fig. 4에 나타낸 바와 같이 대조구 및 PCB실험농도별 두 수온구에서 사육한 근쟁이의 각 탈피간 체장증가 백분율 (growth factor)은 동물의 체장이 증가할수록 점차 감소하였는데, 치하 (평균체장 1.95 mm)에서 성체 (평균체장, 10.0 mm)로 성장하는 동안 각 탈피간의 체장증가율은 평균 3.0%~18.5%의 범위에서 감소하였으며, 수온 및 PCB농도간의 체장에 대한 각 탈피간 체장증가율의 회귀계수 사이에는 공분산분석의 결과 유의한 차가 없었

다 ($P < 0.05$). 한편, 탈피기간은 동물이 성장하여 체장이 증가함에 따라 증가하였고, 수온별로는 10°C에 비해 20°C에서 유의하게 짧았으며, 실험농도별로는 어느 수온에서나 PCB농도가 높을수록 탈피기간이 길었다 (Fig. 5).

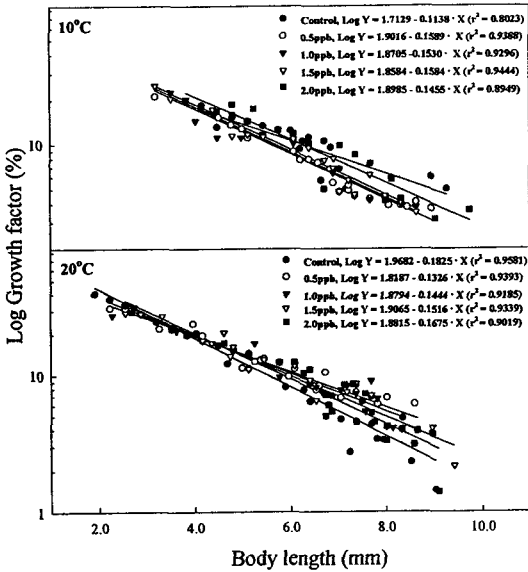


Fig. 4. Relationships between body length and growth factor with experimental concentration of PCB at 10 and 20°C.

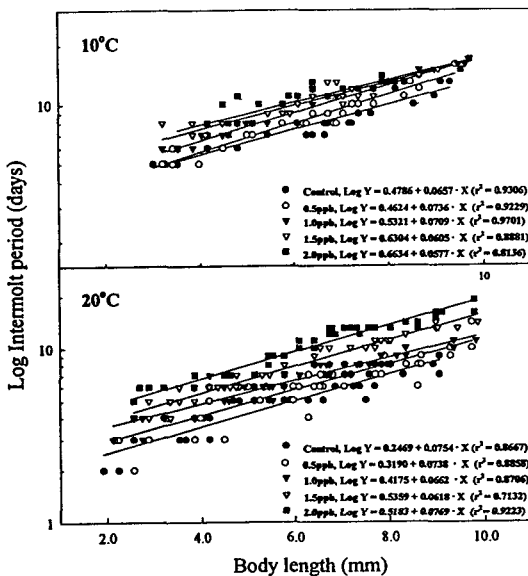


Fig. 5. Relationship between body length and intermolt period of *Neomysis awatschensis* with experimental concentration of PCB at 10 and 20°C.

Fig. 6은 체장과 건중의 관계를 나타낸 것으로서 관계식은 $\text{Log } W = 2.8038 \times \text{Log } \text{BL (mm)} - 2.2978$ 이었다. 이 관계식을 이용하여 일별체장성장을 통한 체중성장을 산출한 결과를 Fig. 7에 나타내었다.

Fig. 7은 수온 10과 20°C에서 대조구 및 실험농도별 개체의 비일령 체장성장을 통한 체중성장을 산출한 결과를 나타내고 있으며, 대조구의 경우 동일연령에서 두 수온간 체중성장을 비교했을 때 연령이 높을수록 체중성장은 고수온에서 높았으며, PCB의 농도가 높을수록 체중성장은 낮았다.

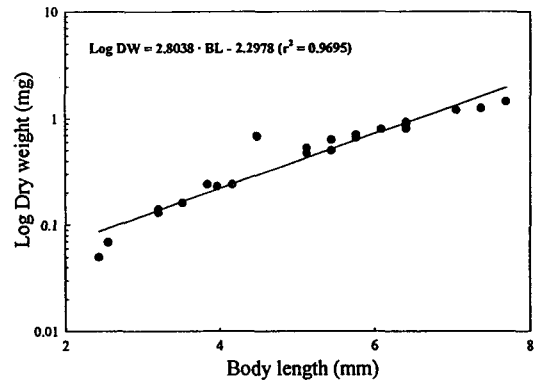


Fig. 6. Relationship between body length and dry weight of *Neomysis awatschensis*.

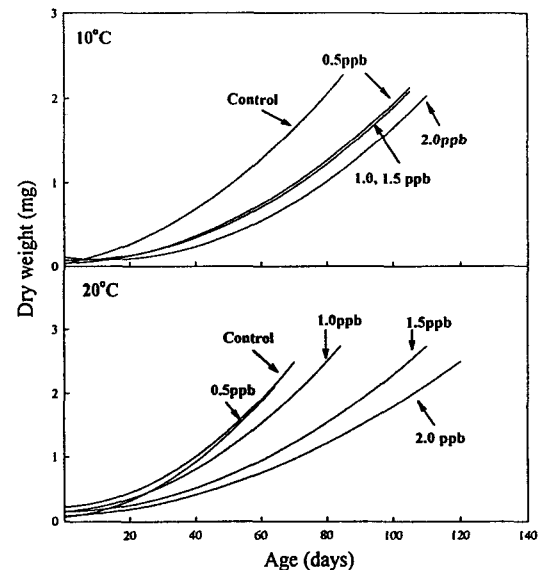


Fig. 7. Mean growth in dry weight of *Neomysis awatschensis* with PCB at 10 and 20°C.

(2) 산소소비
대조구 및 수온별 PCB의 각 농도에 노출시킨 곤쟁이

의 개체크기에 대한 비체중산소소비율을 Fig. 8에 나타내었다. 대조구에서 곤쟁이의 비체중 산소소비율은 개체의 크기가 증가할수록 감소하였으며, 수온이 높을수록 증가하였다. 반면 PCB 각 실험농도에 노출시킨 개체의 비체중산소소비율은 PCB농도의 증가에 따라 감소하는 경향을 보였다.

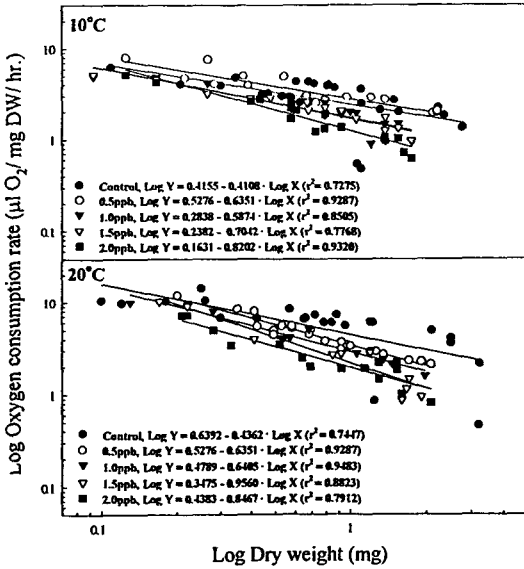


Fig. 8. Relationship between weight specific respiration rate (R) and dry weight of *Neomysis awatschensis* with experimental concentration of PCB at 10 and 20°C.

이후의 에너지수지 계산시 호흡에 사용하는 에너지의 평가는 PCB농도별 비체중산소소비율의 회귀식을 사용하였다.

(3) 질소배설

Fig. 9는 대조구와 수온별 PCB의 각 농도에 노출시킨 곤쟁이의 암모니아 질소배설량을 개체크기에 대한 비체중 질소배설율의 회귀직선으로 나타낸 것으로서, 비체중 질소배설율은 산소소비율과 마찬가지로 개체의 크기가 증가할수록 감소하였고, 수온 20°C에서 높게 나타났으며, PCB농도의 증가에 따라 감소하였다.

(4) 섭이

섭이율은 곤쟁이 1개체가 하루에 섭이한 *Artemia nauplii*를 건중으로 표시하여 Fig. 10에 나타내었다.

대조구에서 수온별로 측정된 곤쟁이의 섭이율을 보면 20°C실험구의 섭이율이 15°C실험구에 비하여 현저하게 높았으며, 개체의 크기가 증가할수록 일간 섭이량은 증가하였다. 그리고 PCB농도별 섭이율은 두 수온구에서

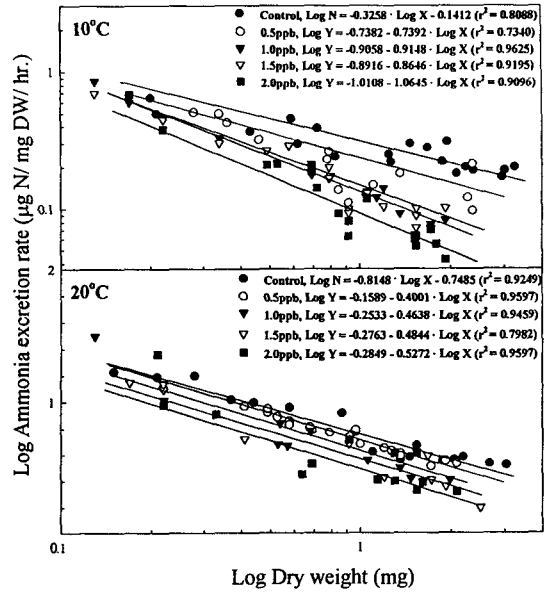


Fig. 9. Relationship between weight specific ammonia excretion rate (N) and dry weight of *Neomysis awatschensis* with experimental concentration of PCB at 10 and 20°C.

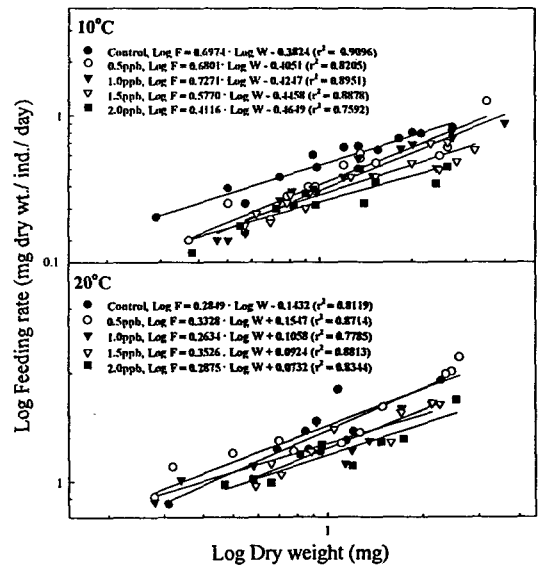


Fig. 10 Relationship between feeding rate and dry weight of *Neomysis awatschensis* with experimental concentrations of PCB at 10 and 20°C.

모두 PCB농도의 증가에 따라 감소하였다.

(5) 동화효율

수온과 PCB농도별로 노출시킨 곤쟁이의 동화효율을 회분비방법 (Conver, 1966)으로 측정된 결과를 Table 5에 나타내었다.

Table 5. Assimilation efficiency of *Neomysis awatschensis* fed on *Artemia nauplii* in the laboratory

Expt. conc. (ppb)	Expt. temp. (°C)	Food organic fraction(%)	Faeces organic fraction(%)	Assimilation efficiency (%)
Control group	10	86.9	66.4	70.2
	20	87.7	62.6	76.5
0.5	10	86.9	65.8	71.0
	20	87.7	65.5	73.4
1.0	10	86.9	66.8	69.7
	20	87.7	65.4	73.5
1.5	10	86.9	67.2	69.1
	20	87.7	67.1	71.4
2.0	10	86.9	68.3	67.5
	20	87.7	67.8	70.5

곤쟁이의 먹이로 공급한 *Artemia nauplii*의 유기물 함량은 10°C에서 86.9%, 20°C에서 87.7%였으며, 분의 유기물 함량은 대조구 10°C에서 66.4%, 20°C에서 62.6%였다. PCB농도 2.0 ppb에서는 분의 유기물 함량이 각각 68.3%, 67.8%를 나타내었는데, PCB의 농도가 높을수록 두 수온 군 모두 분의 유기물함량이 증가하여 동화효율은 낮았다.

고 찰

PCBs (Polychlorinated biphenyls)는 현재까지도 일부 시판되고 있는 물질로서, 대개 살충제와 함께 다루어진다.

PCB와 같은 물질의 위험성은 환경 중에 다량 존재한다는 것인데, 이 물질들은 우리 생활 주변에서 광범위하게 이용되며 동물 사료 등에도 존재하여 최종 소비자 중의 하나인 인류의 보건에도 영향을 주게 된다. 특히, PCB와 같은 할로겐 다방향족 탄화수소에 속하는 CDDs나 CDFs는 농약이나 제초제에 불순물로서 존재하는데 이들 화합물들의 상호 작용으로 더 큰 독성을 나타내게 된다. 이들 물질들은 동물의 대사 과정을 통해 쉽게 분해되지 않으며, 지방 조직에 장기간 잔류하게 되는데, 생태학적 먹이 사슬을 통해 동물 체내에 농축되게 되는 것이다.

독성 물질에 노출되었을 때 나타나는 동물체의 생체 반응은 오염 물질의 종류와 독성 그리고 물질의 양, 노출 시간에 따라 다르게 나타나며 (Clark and Finley, 1975), 같은 농도에서도 개체의 생리적 상태, 연령 등과 그 밖의 수온, 염분과 같은 환경 요인에 의해서도 다르게 나타나게 된다 (O'hara, 1973; Lee, 1975; Ahn and Chin, 1986).

PCB가 곤쟁이에 미치는 급성 독성 영향을 살펴본 결과

20°C에서 PCB의 농도 증가에 따라 높은 폐사율을 나타내어 온도상승이 PCB의 독성에 큰 영향을 나타내었는데, 이는 *Mysidopsis bahia*를 defoliant인 DEF에 노출시 어류나 연체 동물보다 1~2배 더 낮은 농도에서 96hr-LC₅₀ (96시간 반수 치사 농도)를 나타내고 있어 (McKenney et al., 1991) 곤쟁이류가 생물검정 지표종으로서 사용될 수 있다.

일반적으로 호흡은 동물의 총에너지 대사량의 상당부분 (50~60%)을 차지하며 (Van Senus, 1985), 동물체의 대사산물로서 배설된 질소화합물은 산소소비와 더불어 동물체의 대사활성을 규정하는 지표의 하나가 되므로 장기간 오염물질에 노출된 곤쟁이의 대사저해에 관한 조사는 생리적으로 매우 중요하다.

오염 물질에 노출되었을 때 생물은 다양한 생리적 반응을 일으키며 종간에도 서로 다른 차이를 보인다 (Bjerregaard, 1990). Gaudy 등 (1991)은 *Leptomysis lingara*가 서로 다른 수온구에서 카드뮴에 노출되었을 때, 온도의 증가에 따라 호흡율이 감소하였으며, 원유중의 용존성분 (WSF)에 노출시킨 곤쟁이의 산소소비량은 노출 시간이 경과할수록 WSF의 농도가 높을수록 감소하였다 (Ahn and Chin, 1986). 그리고 *Balanus amphitrite* (Bernard and Lane, 1963)과 *Mytilus edulis* (Brown and Newell, 1972)의 경우 구리의 영향으로 인해 호흡율의 감소를 보였으며, 또한 *Palaemon serratus*와 *Leptomysis linguvura*의 경우에는 온도가 높을수록 산소소비 및 질소배설율이 점차적으로 증가하였는데 (Hiroko et al., 1990; Gandy et al., 1991), 이는 본 실험의 PCB의 급성독성영향에서 96 hr-LC₅₀ 이상의 PCB농도 증가에 따라 호흡율이 감소하는 결과와 유사한 경향을 나타내었다.

그러나 PCB에 의한 만성독성영향은 PCB의 농도증가에 따라 호흡율 및 질소배설율의 증가를 보였는데 이는 15°C에서 *Neomysis americana*의 시간당 산소소비율은 나프탈렌의 농도가 증가할수록 대체로 증가하였다 (Smith and Hargreaves, 1984). *Nereis* sp. (Raymont and Shields, 1962)와 *Lepomis* sp. (O'Hara, 1971)의 경우도 구리의 영향으로 대사율이 증가되었다는 보고와 일치하는 것으로 보아 오랜기간동안 독성물질에 노출될 경우 불리한 환경에 대처하기 위하여 대사율을 증가시키는 생리적 전략인 것으로 여겨진다. PCB농도는 수증자체에서 보다는 그 속에서 서식하는 수서생물체의 지방조직에 많이 나타나는데, 북대서양 플랑크톤의 지방에 PCB농도는 수 ppt에 이른다고 보고된바 있으며, 이 보고에 따르면 PCB가 DDT잔류물보다도 50~300배 더 안정적이다 (Harvey et al., 1974). 이러한 PCB와 같은 오염물질의 문제점은 장기간 환경에 존속함으로써 수년간에 걸쳐 생태계에서 끊임없이 순환한다는 점이다.

10°C와 20°C의 두 수온구에서 60일간 PCB의 만성실험 농도에 노출시켜 성장, 대사, 섭이 및 동화효율 등을 측정하였으며, 이는 이후에 에너지수지를 알아보기 위하여 이용되었다.

본 연구의 수온-PCB농도별 체장성장율은 실험수온구에서 모두 PCB농도가 높을수록 감소하였다. 또한 체장증가 백분율 (growth factor)은 PCB의 영향과는 무관하게 체장이 길수록 적었으며, 탈피기간은 PCB의 농도증가에 따라 길게 나타났다.

Mckenney (1986)는 유기인계 농약 fentnion에 *Mysidopsis bahia*를 만성적으로 노출시켰을 때, 고농도일수록 시간이 경과함에 따라 생존율과 성장율이 감소함을 보고하였으며, 또한 전 생활사동안 DEF에 노출된 *Mysidopsis bahia*의 경우도 DEF의 농도가 높을수록 성장율이 감소하였는데, 이는 본 실험의 결과와도 유사한 경향으로, 장기간 오염물질에 노출되었을 때 보이는 성장율의 감소는 생물체의 생존하기 위한 생리적 전략으로서 기초대사율이 상대적으로 높아진 것에 기인한다 (Kumaragura and Beamish, 1986).

Gaudy et al., (1991)에 의하면, *Leptomysis lingvura*를 카드뮴에 노출시켰을 때의 동화효율은 대조구에서 88.2%, 실험구에서는 80.5%로 뚜렷한 차이를 나타내었다고 보고하였는데, 본 실험의 *Artemia* nauplii를 공급한 곤쟁이의 동화효율도 고수온일수록 높았으며, PCB농도가 증가할수록 점차 감소하는 경향으로 유사한 양상을 보여 이에 관한 뚜렷한 생리적 기작은 밝혀진 사항은 없으나, 오염된 환경조건하에서 섭이율과 동화효율이 감소된 점으로 미루어보아 에너지 공급에 상당한 영향을 미치며 개체의 생식측면에도 영향을 미치는 것으로 여겨진다.

따라서 이상과같은 결과를 요약해보면 곤쟁이의 PCB에 의한 독성반응은 수온의 상호작용에 의해 가감되며, 섭이, 호흡, 배설 및 동화효율 등의 생리작용에도 상당한 영향을 미치는 것으로 여겨진다.

요 약

연안 및 천해에 서식하는 반부유성 갑각류인 곤쟁이, *Neomysis awatschensis*를 대상으로 수온별 PCB의 시험농도에 따른 생물검정, 성장, 호흡 및 질소배설 등을 측정하여 PCB의 영향으로 인한 생리적변화를 알아보았다.

곤쟁이에 미치는 PCB의 96시간 후의 반수치사 농도 (96hr-LC₅₀)는 10°C에서 28.7492 ppb, 20°C에서는 10.6742 ppb였다.

PCB의 만성농도에서 약 60일간 노출시킨 후 생존율은

10°C의 경우, 0.5 ppb에서 85%, 1.0 ppb에서 80% 였으며, 1.5 ppb와 2.0 ppb에서는 75%를 나타내었으며, 20°C의 경우는 0.5 ppb에서 85%, 1.0 ppb와 1.5 ppb에서 75%, 그리고 2.0 ppb에서는 65.0%를 나타내었다.

PCB의 각 만성농도에 노출시킨 곤쟁이의 평균체장성장율은 10°C의 경우 대조구의 경우 0.039 mm/day, PCB농도 2.0 ppb에서는 0.036 mm/day를 였으며, 20°C에서는 대조구에서 0.072 mm/day, 2.0 ppb에서 0.039 mm/day를 나타내었다. PCB는 탈피간체장증가율에는 뚜렷한 영향을 미치지 않았으나 탈피기간에는 개체의 크기와 수온에 따라 영향을 나타내었다. 수온별 PCB의 각 실험농도에 노출시킨 곤쟁이의 호흡 및 질소배설량의 변화는 PCB 실험농도의 고수온구에서 높게 나타났다. 또한 섭이 및 동화효율은 10°C와 20°C에서 PCB농도의 증가에 따라 감소하는 경향을 나타내었다.

참 고 문 헌

- Ahn, K.W. and P. Chin. 1986. Acute toxicity of Kuwait crude oil (WSF) to mysid, *Neomysis awatschensis*. Bull. Korean Fish. Soc., 19, 599~607.
- Bernard, M.S. and Lane, C.E. 1963. Effects of copper ion on oxygen uptake by planktonic cyprids of the barnacle *Balanus amphitrite*. Proc. Soc. Exp. Biol. Med., 113, 418~420.
- Bjerregaard, P. 1990. Influence of physiological condition on cadmium transport from haemolymph to hepatopancreas in *Carcinus maenas*. Mar. Biol., 106, 199~209.
- Borgmann, U. and D.M. Whittle. 1992. Bioenergetics and PCB, DDE and mercury dynamics in Lake Ontario lake trout (*Salvelinus namaycush*): A model based of surveillance data. Can. J. Fish. Aquat. Sci., 49 (6), 1086~1096.
- Brown, B.E. and R.C. Newell. 1972. The effect of copper and zinc on the metabolism of the mussel *Mytilus edulis*. Mar. Biol. 16, 108~118.
- Clark, R.C., Jr. and J.S. Finley. 1975. Uptake and loss of petroleum hydrocarbons by the mussel *Mytilus edulis* in laboratory experiments. Fish. Bull., 73, 508~515.
- Conover, R.J. 1966. Assimilation of organic matter by zooplankton. Limmol. Oceanogr. 11, 338~354.
- Dillon, T.M. and W.D.S. Burton. 1991. Acute toxicity of PCB congeners to *Daphnia magna* and *Pimephales promelas*. Bull. Environ. Contam. Toxicol., 46 (2), 208~215.
- Dillon, T.M., W.H. Benson, R.A. Stackhouse and A.M. Crider. 1990. Effects of selected PCB congener on survival, growth and reproduction in *Daphnia magna*. Environ. Toxicol. Chem., 9 (10), 1317~1326.

- Ferreira, A.M., C. Cortesao, O.G. Castro and C. Vale. 1990. Accumulation of metals and organochlorines in tissues of the oyster *Crassostrea angulata* from the Sado Estuary, Portugal. *Sci. Total Environ.* 97, 627~639.
- Gaudy, R., J.P. and P. Kerambrum. 1991. Sublethal effects of cadmium on respiratory metabolism, nutrition, excretion and hydrolase activity in *Leptomysis lingvura* (Crustacea: Mysidacea). *Mar. Biol.*, 109, 493~501.
- Gilbert, J. 1993. The fate of environmental contaminants in the food chain. *Chem. Protec. Environ.*, 143 (1), 103~111.
- Harvey, G.R., H.P. Miclas, V.T. Bowen and W.G. Steinhauer. 1974. Observations on the distribution of chlorinated hydrocarbons in Atlantic ocean organisms. *J. Mar. Res.*, 32, 103~118.
- Hiroko Y., J.H. Ceccaldi and R. Gaudy. 1990. Combined influence of temperature and salinity on oxygen consumption of the larvae of the pink shrimp, *Palaemon serratus* (Pennant) (Crustacea, Decapoda, Palaemonidae). *Aquaculture*, 86, 77~92.
- Hummel, H., J.P. Uitoudegreoneveld, J. Nieuwenhuize, J.M. van-Liere, R.H. Bogaards. 1989. Relationship between PCB concentrations and reproduction in mussel *Mytilus edulis*. *Res. Organ. Pollut.* 28 (1-4), 489~493.
- Hummel, H., R.H. Bogaards, J. Nieuwenhuize, L. De-Wolf, J.M. van-Liere. 1990. Spatial and seasonal differences in the PCB content of the mussel *Mytilus edulis*. *Sci. Total Environ.*, 92, 155~163.
- Knickmeyer, R. and H. Steinhart. 1988. Seasonal differences of cycle organochlorines in eggs of the hermit crab *Pagurus bernhardus* L. from the North Sea, *SARStA*, 73 (4), 291~298.
- Kumaragura, A.K. and F.W.H. Beamish. 1986. Effect of permethrin (NRDC-143) on the bioenergetics of rainbow trout, *Salmo gairdneri*. *Aquat. Toxicol.*, 9, 47~58.
- Lee, B.D., T.Y. Lee and P. Chin. 1975. Effects of crude oil ingredients on the development and oxygen uptake of hard clam *Meretrix lusoria* (RODING). *Publ. Inst. Mar. Sci. Nat. Fish. Univ. Busan*, 8, 31~38.
- McKenney C.L. Jr. 1986. Influence of the organophosphate insecticide fenthion on *Mysidopsis bahia* exposed during a complete life cycle. I. Survival, reproduction, and age-specific growth. *Dis. aquat. Org.*, 1, 131~139.
- McKenney C.L. Jr., L. Timothy H. and E. Matthews. 1991. Changes in the physiological performance and energy metabolism of an estuarine mysid (*Mysidopsis bahia*) exposed in the laboratory through a complete life cycle to the defoliant DEF. *Aquat. Toxicol.*, 19, 123~135.
- O' Hara, J. 1971. Alterations in oxygen consumption by blue gills exposed to sublethal treatment with copper. *Wat. Res.*, 5, 321~327.
- O' Hara, J. 1973. The influence of temperature and salinity on the toxicity of cadmium to the fiddler crab, *Uca pugilator*. *Fish. Bull.*, 71, 149~152.
- Raymont, J.E., and J. Shields. 1962. Toxicity of copper and chromium in the marine environment. In: Pearson, E. A. (ed.) *Proceedings of International Conference on Water Pollution Research*. McMillan, New York, 275~290.
- Richer, G. and R.H. Peters. 1993. Determinants of the short term dynamics of PCB uptake by plankton. *Environ. Toxicol. Chem.*, 12 (2), 207~218.
- Ruiz, X. and G.A. Liorente. 1991. Seasonal variation of DDT and PCB accumulation in muscle of crap (*Cyprinus carpio*) and eels (*Anguilla anguilla*) from the EbroDelta, Spain. *Vie-Milieu*, 41 (2-3), 133~140.
- Smith, R.L. and B.R. Hargreaves. 1984. Oxygen consumption in *Neomysis americana* (Crustacea: Mysidacea), and the effects of naphthalene exposure. *Mar. Biol.*, 79, 109~116.
- Solorzano, L. 1969. Determination of ammonia in natural waters by the phenolhypochlorite method. *Limmol. Oceanogr.*, 14, 799~801.
- Staveland, G. and I. Marthinsen. 1989. Growth, condition and PCB content of cod (*Gadus morhua* L.) and flounder (*Platichthys flesus* L.) in the Hvaler area, southern Norway. *Copenhagen Denmark Ices*, 14.
- Stein, J.E., T.K. Collier, W.L. Reichert, E. Casillas, T. Hom and U. Varanasi. 1992. Bioindicators of contaminant exposure and sublethal effects: Studies with benthic fish in Puget Sound, Washington. *Environ. Toxicol. Chem.*, 11 (5), 701~714.
- Stein, J.E., T.K. Collier, W.L. Reichert, E. Casillas, T. Hom and U. Varanasi. 1993. Bioindicators of contaminant exposure and sublethal effects in benthic fish from Puget Sound, WA, USA. *Res. Mar. Organ. Pollut.*, 35 (1-2), 95~100.
- Van Senus, P. 1985. The effects of temperature, size, season and activity on the metabolic rate of the amphipod, *Talorchestia capensis* (Crustacea, Talitridae). *Comp. Biochem. Physiol.*, 81A, 268~269.

1997년 4월 18일 접수

1997년 12월 31일 수리