

곤쟁이, *Neomysis awatschensis* 의 에너지수지에 미치는 PCBs의 영향

II. 에너지수지에 미치는 PCBs의 영향

진 평 · 신윤경 · 전은미
부경대학교 해양생물학과

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

II. Effects of PCBs on Energy Budget in Mysid, *Neomysis awatschensis*

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

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

Analysis of energy budget in *Neomysis awatschensis* exposed to PCB toxicity was carried out by measurement of bioassay, growth, oxygen consumption, nitrogen excretion at 10 and 20°C.

Energy contents of the body, molted exoskeleton and eggs, which measured to understand used energy for growth, molt and oxygen consumption were 5.52 cal/mg, 2.17 cal/mg and 6.15 cal/mg, respectively.

Feeding energies at 10°C were 3.755 cal in control group and 3.420 cal at 2.0 ppb concentration, of them, 70.19% and 67.53% of their energies were assimilated. At 20°C, feeding energies were 5.998 cal in control group and 4.166 cal at 2.0 ppb concentration.

The assimilation efficiency of the mysid estimated by ash-ratio method ranged between 71.5~67.5%, and 73.4~70.5% with PCB toxicity at 10°C and 20°C respectively.

Energy used by respiration of total assimilated energy was 45.78% in control group and 62.27% in 2.0 ppb concentration at 20°C, and energy used by metabolism was high 2.0 ppb concentration than control group.

Key words : *Neomysis awatschensis*, PCB toxicity, energy budget

서 론

동물의 에너지수지에 관한 연구는 에너지흐름의 역학적 구조를 이해하고 동물생태계의 기능을 파악하는데 있어 유용한 수단이 된다 (Wright and Hartnoll, 1981). 특히, 갑각류는 먹이망과 단계적 중요성 때문에 생물집단의 변동을 파악할 수 있는 에너지수지에 관한 종합적인 생물학적 연구가 필요하다.

해양생물에 있어서 유기오염원의 생체내 축적은 수용액의 상태로 아가미, 체표 및 먹이의 경로를 통해서 일어나며 (Swartz and Lee, 1980), 이 가운데 아가미를 통해서 흡수되는 경우가 높다 (Hamelink et al., 1971; Ellgehausen et al., 1980; Macek et al., 1979; Scura and Theilacker, 1977).

어류의 경우 PCB의 영향으로 인해 피부와 지느러미손상 (Lindesjö, 1992), 골격구조 기형 (Bengtsson, 1991)이 발생하며, 간에 있는 cytochrome P450 효소계를 자극하여 생식소 성장을 감소시킨다 (Andersson et al., 1988)는 보

고 있으며, 갑각류, *Daphnia magna*에서 보고된 생식에 관한 (Dillon et al., 1990) 연구가 있으며, 주로 생식이나 환경변화에 따른 축적양상의 변이 (Ruiz and Liorente, 1991) 등이 있을 뿐이다.

본 연구는 전 보 (Chin et al., 1998)에 이어 PCB의 만성독성영향으로 인한 성장, 호흡, 배설, 섭이 및 동화효율 등을 기초로 하여 에너지수지를 알아봄으로서 해양오염의 검정생물에 의한 PCB의 영향을 규명하고자 한다.

재료 및 방법

1. 재 료

실험동물인 곤쟁이는 1995년 7월부터 1996년 8월에 걸쳐 부산광역시 다대포 연안에서 매월 간조시에 채집하여 순환여과식 사육조 (용량 200ℓ)에 두고 순응시켜 실험에 사용하였다. 사육 및 측정에 사용한 해수의 염분은 31~32‰, 사육동안 먹이로는 *Artemia nauplii*를 공급하였고, 광주기는 12L : 12D을 유지시켰다.

본 연구는 1996학년도 동원학술연구재단 지원 연구비의 수혜를 통하여 이루어 졌음

Table 1. Fitted parameters (a, b) and correlation coefficients (r) for regression equation describing energy budget; growth (BL-UL: body length-uropod length, DW-BL: Log dry weight-body length, GF: Log Growth factor-BL, IP: Log intermolt period-BL), respiration (R): Log R-Log DW, excretion (NH₄-N): Log NH₄-N-Log DW and feeding rate (F): Log F-Log DW of *Neomysis awatschensis*

Temp. (°C)	Conc. (ppb)		BL-UL	DW-BL	GF	IP	R	NH ₄ -N	F
10	control	a	6.5404	2.8038	-0.1138	0.0657	-0.4108	-0.3258	0.6974
		b	0.1515	-2.2978	1.7129	0.4786	0.4155	-0.1412	-0.3824
		r ²	0.9247	0.9695	0.8023	0.9306	0.7275	0.8088	0.9096
	20	a	6.5404	2.8038	-0.1455	0.0754	-0.6351	-0.8148	0.4116
		b	0.1515	-2.2978	1.8985	0.2469	0.5276	-0.7485	-0.4649
		r ²	0.9247	0.9695	0.8949	0.8667	0.9287	0.9249	0.7592
20	control	a	6.5404	2.8038	-0.1825	0.0754	-0.4362	-0.8148	0.2849
		b	0.1515	-2.2978	1.9682	0.2469	0.6392	-0.7485	-0.1432
		r ²	0.9247	0.9695	0.9581	0.8667	0.7447	0.9249	0.8119
	2.0	a	6.5404	2.8038	-0.1675	0.0769	-0.7091	-0.4001	0.2875
		b	0.1515	-2.2978	1.8815	0.5183	0.5311	-0.1589	0.0732
		r ²	0.9247	0.9695	0.9019	0.9223	0.9493	0.9597	0.8344

2. 방법

동물에 대한 에너지 함량은 oxygen bomb calorimeter (OSK 150형)을 사용하여 열량 표준물질 (benzoic acid, 6.322cal/g)과 대비 측정된 값을 건중 mg당 에너지 함량으로 측정하였다. 에너지 수지는 IBF방정식 (Klekowski and Duncan, 1975)으로 나타내었다.

$$C = P + R + F + U \dots\dots\dots \textcircled{1}$$

①식에서 P를 세분하면

$$C = P_g + P_e + P_r + R + F + U \dots\dots\dots \textcircled{2}$$

로써 표시된다. 여기서 C는 섭이에너지, P_g는 체성장에 사용된 에너지, P_e는 탈피에너지, P_r은 생식에너지, R은 호흡에너지, F는 분 배출에너지 및 U는 뇨로서 배설된 에너지를 나타낸다.

결 과

Table 1은 진 보 (Chin et al., 1998)에서 발표된 PCB의 만성독성영향으로 인한 성장, 호흡, 배설 및 섭이 등의 에너지수지에 필요한 기초자료를 도표화 하였으며, 에너지 산출시 이를 이용하였다.

Table 2는 성장과 탈피에 사용한 에너지를 산출하기 위하여 곤쟁이의 몸체 및 탈피체의 에너지함량을 calorimeter (OSK 150형)를 이용하여 측정된 결과를 나타낸 것으로, 몸체, 탈피체 및 곤쟁이의 먹이로 이용된 *Artemia nauplii*의 에너지 함량은 각각 5.52, 2.17 및 7.13cal였다.

60일간 PCB의 각 농도에 따라 노출시킨 곤쟁이의 에너지 수지는 성장, 탈피, 호흡, 배설, 섭이 및 에너지 함량의 측정치로서 계산하였다. 치하 및 성체의 건중 mg당

Table 2. Average energy content of dry *Neomysis awatschensis* bodies and molts. Energy content are cal/mg

Specimen	Body	Molt	<i>Artemia nauplii</i>
Energy (cal/mg)	5.52	2.17	7.13

에너지 함량은 5.52 cal/mg으로서 성장에 필요한 평균 에너지량은 5.52 cal/mg× (건중, mg)을 이용하였다. 호흡에 사용하는 에너지를 산출하기 위하여 호흡에 사용된 산소량은 열로서 상실한 동량의 에너지로 변경시키는데는 Prosser (1973)가 제시한 산소 ml당 단백질 4.5 cal, 지질 4.7 cal 및 탄수화물 5.0 cal의 변환계수를 체물질 조성의 비로서 구한 평균치 4.5 cal/ml O₂를 곤쟁이의 호흡계수로 사용하였다. 그리고 배설로서 상실되는 에너지는 배설질소 mg당 4.06 cal (Brafeld and Solomon, 1972)의 변환치를 적용하여 수은 및 PCB농도별 암모니아 질소배설율의 회귀식으로서 배설에너지량을 계산하였다.

섭이에너지는 먹이생물로서 제공한 *Artemia nauplii*의 에너지 함량 측정치로서 환산하였으며, 건중 mg당 에너지함량은 7.13 cal였다.

곤쟁이 탈피체의 건중증량은 탈피한 동물의 평균 11.8 %로서, 탈피체의 건중 mg당 유기물질은 59.3%, 유기물질 mg당 에너지함량은 2.17 cal였다. 이는 자웅 및 동물의 크기에 다른 차이는 없었으므로 곤쟁이 개체가 탈피에 사용하는 평균에너지량은 (0.118)× (0.593)× (2.17 cal/mg)× (건중, mg)으로 동물의 크기에 비례하였다.

수온 10°C와 20°C에서 PCB의 실험농도에 60일간 노출시킨 곤쟁이의 총섭이에너지 및 동화에너지에 대한 각 부분별 사용 에너지의 백분율을 Table 3와 4에 나타내었다.

Table 3. Cumulative energy budgets of *Neomysis awatschensis* with PCB concentration and control group at 10°C

Parameter	Symbol	Total energy (cal)	% A	% C
Growth	Pg	0.82 (0.689)	31.10 (29.83)	21.84 (20.15)
Molting	Pe	0.327 (0.271)	12.48 (11.73)	8.70 (7.92)
Total production	P	1.147 (0.960)	43.51 (41.56)	30.54 (28.07)
Respiration	R	1.478 (1.321)	56.07 (57.18)	39.36 (38.63)
Excretion	U	0.0045 (0.0056)	0.17 (0.24)	0.12 (0.16)
Not Used	NU	0.007 (0.024)	0.26 (1.04)	0.18 (0.70)
Total Assimilation	A	2.636 (2.310)	100.0 (100.0)	70.19 (67.53)
Egestion	F	1.119 (1.110)		29.80 (32.46)
Consumption	C	3.755 (3.420)		100.0 (100.0)

* The values in parenthesis are energy used by 2.0 ppb concentration of PCB

Table 4. Cumulative energy budgets of *Neomysis awatschensis* with PCB concentration and control group at 20°C

Parameter	Symbol	Total energy (cal)	% A	% C
Growth	Pg	1.415 (0.791)	30.84 (26.93)	23.59 (18.99)
Molting	Pe	0.554 (0.284)	12.07 (9.67)	9.24 (6.82)
Total production	P	1.969 (1.075)	42.91 (36.60)	32.83 (25.80)
Respiration	R	2.101 (1.829)	45.78 (62.27)	35.03 (43.90)
Excretion	U	0.0081 (0.0086)	0.18 (0.29)	0.14 (0.21)
Not Used	NU	0.511 (0.024)	11.13 (0.82)	8.51 (0.58)
Total Assimilation	A	4.589 (2.937)	100.0 (100.0)	76.50 (70.50)
Egestion	F	1.409 (1.229)		23.49 (29.50)
Consumption	C	5.998 (4.166)		100.0 (100.0)

* The values in parenthesis are energy used by 2.0 ppb concentration of PCB

수는 10°C에서 대조구 및 PCB농도에 노출된 곤쟁이 치하(1.5 mm)가 성체로(대조구: 7.90 mm, 2.0 ppb: 8.29 mm) 성장하는 기간동안 섭이에너지는 총 3.755 cal 및 3.420 cal였으며, PCB농도 2.0 ppb에서 동화된 에너지 가운데 성장, 탈피, 호흡 및 배설에 이용된 에너지는 29.83%, 11.73%, 57.18% 및 0.24% 였다(Table 3). 그리고, 20°C의 경우에는 곤쟁이 치하(1.5 mm)가 성체(8.09 mm)로 성장하는 동안 대조구에서 총 5.998 cal, PCB농도 2.0 ppb(8.05 mm)에서 4.166 cal를 섭이하였으며, 섭이에너지 중 대조구에서는 4.589 cal를 동화하였다. 호흡에 이용된 에너지는 대조구와 2.0 ppb 농도구에서 총동화량의 각각 45.78%와 62.27%로 2.0ppb 농도에서 약 17%가 증가하였으며, 대조구에 비해 2.0 ppb 농도구에서 상대적으로 성장에 비해 호흡에 사용하는 에너지가 많았다(Table 4).

고 찰

PCB는 생물의 면역체계를 포함한 몸체의 생리적체계를 억압하며(Zeeman and Brindley, 1981), 소수성화합물로서 물질의 입자에 강한 친화성을 가지므로 저질의 입자에 많이 부착되어 저서생물에 크게 영향을 미치고 있으며, 실제로 저서생물을 포함한 많은 해양생물들이 오염된 저질로부터 상당량의 PCB를 축적하고(Courtney and Langston, 1978; Fowler et al., 1978; McLeese et al., 1980; Rubinstein et al., 1983)있으므로 먹이연쇄에 상당한 영향을 미치는 것으로 보고하고 있다.

Widdows et al(1981)에의하면 진주담치의 경우, 대조군의 에너지소비율과 비교해서 가장 오염된 곳에 30일간 노출시켰을 경우 생존을 위하여 에너지소비율(호흡+배설에너지)이 20% 증가하였으며, 에너지수지를 구성하는 호흡과 배설에너지의 비율은 염분과 온도의 변화가 중요한 요인(Vernberg, 1985)이라고 강조하였다. 특히 갑각류는 탈피의 주기성과 관련하여 에너지수지 구성요소에 많은 변동을 보일 뿐만아니라(Anger et al., 1989), 일정한 수온하에서도 개체간에 상당한 차이를 보인다(Chin et al., 1992).

수온 20°C의 대조군과 PCB농도 2.0 ppb에서 곤쟁이의 치하가 성체로 성장하는 동안 총동화에너지에 대한 각 부분별 사용에너지에 대한 백분율 분포를 비교하여 보면 호흡에 사용하는 에너지는 45.78%, 2.0ppb에서는 62.27%로 약 17%의 차이를 보였으며, 배설로서 상실되는 에너지도 대조군에 비해 상당히 많이 사용하는 것으로 보아 오염원의 자극으로 인한 곤쟁이 개체의 생존을 위한 생리적 전력인 것으로 여겨지며, 특히 반부유성인 곤쟁이

는 어류나 그 밖의 대형수서생물체들의 먹이가 되는 중요한 해양자원이므로 이들이 여러 가지 오염원에 의해 영향을 받게 된다면 이는 곧 그 해역에서 영양단계의 에너지흐름의 형태를 변형시킬 수도 있는 것이다 (McKenney et al., 1991).

생물은 DDT와 PCBs에 노출시켰을 경우 지질용해성 유기염소가 체표에 상당량이 부착하기 때문에 (Jensen et al., 1970; Helle, 1981; Helander et al., 1982), 간에 있는 Cytochrome P450 효소계를 유도하여 생식소 성장을 억제 시킨다 (Andersson et al., 1988). 또한 PCB에 노출된 *Clupea harengus* (Hansen et al., 1985)와 *Platycthyes hlesus* (Westernhagen et al., 1981)의 인공수정시킨 난은 난소내 PCB양의 증가에 따라 부화율이 상당히 감소하였다는 결과와 비교하여 보면, 본 논문에서 곤쟁이를 PCB에 노출시 생식에 이용하는 에너지를 측정할 수 없었고, 특히 상당량을 대사에 이용하였다는 점은 곤쟁이의 PCB에 대한 노출기간이 여러세대를 거치지않아 PCB가 생식소에 미치는 영향을 예측하기 어려우므로 앞으로 여러세대를 거치는 장기간의 연구가 필요하다고 여겨지며, 이는 오히려 오염원의 노출에 따라 야기되는 생존유지를 위한 생리적 전략인 것으로 여겨진다.

따라서, 여러 해양 생물에 있어 먹이 자원이 되는 갑각류의 에너지 수지에 미치는 오염물질의 영향을 알아봄으로서 날로 시급해지고 있는 해양 오염 문제에 기초적인 정보를 제공할 수 있으리라 사료된다.

요 약

연안 및 천해에 서식하는 반부유성 갑각류인 곤쟁이, *Neomysis awatschensis*를 대상으로 수온별 PCB의 시험농도에 따른 성장, 호흡, 질소배설, 섭이 및 에너지 함량을 측정하여 에너지 수지를 분석하였다.

성장, 탈피 및 호흡에 사용한 에너지를 파악하기 위해 곤쟁이의 몸체 및 탈피체의 에너지 함량을 구한 결과 각각 5.52 cal와 2.17 cal 였다.

곤쟁이 치하가 성체로 성장하는 동안 10°C의 경우, 섭이에너지는 대조구에서 3.755 cal, 2.0 ppb에서는 3.420 cal 였으며, 이 가운데 각각 70.19%와 67.53%를 동화하였다. 그리고 20°C에서는 섭이에너지가 대조구에서 5.998 cal, 2.0 ppb에서는 4.166 cal를 섭이하였으며, 동화효율은 각각 76.50%와 70.50%로 2.0 ppb농도구에서 낮았다.

그리고 20°C의 경우 총동화에너지의 각 부분별 사용에 너지 중 호흡에 사용한 에너지가 대조구에서 45.78%, 2.0 ppb농도에서 62.27%으로 대조구에 비해 2.0 ppb농도구

에서 대사에 사용하는 에너지가 많았다.

참 고 문 헌

- Andersson, T., L. Förlin, J. Härdig and Å. Larsson. 1988. Physiological disturbances in fish living in coastal water polluted with bleached kraft pulp mill effluents. Can. J. Fish. Aquat. Sci., 45, 1525~1536.
- Anger K., J. Harms, C. Pschel and B. Seeger. 1989. Physiological biological changes during the larval development of a brachyuran crab reared under constant conditions in the laboratory. Helgolonder wiss Meeresunters, 43, 225~244.
- Bengtsson, Å. 1991. Effects of bleached pulp mill effluents on vertebral defects in fourhorn sculpin (*Myoxocephalus quadricornis* L.) in the Gulf of Bothnia. Arch. Hydrobiol., 121, 373~384.
- Brafield, A.E. and D.J. Solomon. 1972. Oxy-calorific coefficients Biochem. Physical, 43, 837~841.
- Chin P., H.Y. Kim, Y.K. Shin. 1992. Energy budgets for the developmental stages of *Palaemon macrodactylus*. Bull. Korean Fish. Soc. 25 (5), 341~358
- Courtney, W. A. and W. J. Langston. 1978. Uptake of polychlorinated biphenyl (Aroclor 1254) from sediment and from seawater in two intertidal polychaetes. Environ. Pollut., 15, 303~309.
- Dillon, T.M., W.H. Benson, R.A. Stakhouse 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.
- Ellgehausen, H., J.A. Guth and H.O. Esser. 1980. Factors determining the bioaccumulation potential of pesticides in the individual compartments of aquatic food chains. Ecotoxicol. Environ. Safety., 4, 134~150.
- Fowler, W., C.G. Polikarpov, D.L. Elder and J.P. Villeneuve. 1978. Polychlorinated biphenyls: accumulation from contaminated sediments and water by the polychaeta *Nereis diversicolor*. Mar. Biol., 48, 303~309.
- Hamelink, J.L., R.C. Waybrand and R.C. Ball. 1971. A proposal: exchange equilibria control the degree chlorinated hydrocarbons are biologically magnified in lentic environments. Trans. Am. Fish. Soc., 100, 207~213.
- Hansen, P.D., H. von Westernhagen and H. Rosenthal. 1985. Chlorinated hydrocarbones and hatching success in Baltic herring spring spawners. Mar. Environ. Res., 15, 59~76.
- Helander, B., M. Olsson and L. Reutergardh. 1982. Reside levels of organochlorine and mercury compounds in unhatched eggs and the relationships to breeding success in white-tailed sea eagles *Haliaeetus albicilla* in Sweden. Holarc. Ecol., 5, 349~366.
- Helle, E. 1981. Reproduction trends and occurrence of

- organochlorines and heavy metals in the Baltic seal population. ICES, 37 Jensen, S., N. Johansson and M. Olsson. 1972. PCB-Indications of effects on salmon. PCB conference 1, Stockholm, September 29, 58~68.
- Klekowski, R.Z. and A. Duncan. 1975. Physiological approach to ecological energetics. In: Methods for ecological bioenergetics (eds. W. Grodzinski, R. Z. Klekowski and A. Duncan). Blackwell Scientific, London, 15~64.
- Lindesjö, E. 1992. Fishes diseases and pulp mill effluents. Ph. D. Dissertation. Uppsala University. ISBN, 91-554-2765-0.
- Macek, K.J., S.R. Petrocelli and B. Sleight. 1979. Considerations in assessing the potential for, and significance of, biomagnification of chemical residues in aquatic food chains. Aquatic Toxicology ASTM STP 667, edited by L.L. Marking and R.A. Kimerle, American Society for Testing and Material, 251~268.
- 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. Toxi., 19, 123~135.
- McLeese, D.W., C.D. Metcalfe and D. S. Pezzack. 1980. Uptake of PCB's from sediments by *Nereis virens* and *Crangon septemspinosa*. Arch. Environ. Contam. Toxicol., 9, 507~518.
- Proseer, C.L. 1973. Comparative animal physiology. Saunders Company, Philadelphia. 966.
- Rubinstein, N.I., E. Lores and N. Gregory. 1983. Accumulation of PCB's mercury and cadmium by *Nereis virens*, *Mercenaria mercenaria* and *Palaemonetes pugio* from contaminated harbor sediments. Aquat. Toxicol., 3, 249~260.
- 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.
- Scura, E.D. and G.H. Theilacker. 1977. Transfer of the chlorinated hydrocarbon PCB in a laboratory food chain. Mar. Biol., 40, 317~325.
- Swartz, R.C. and H. Lee. 1980. Biological processes affecting the distribution of pollutants in marine sediments, Part I: accumulation, trophic transfer, biodegradation and migration. In: Contaminants and sediments, Vol. 1, 553~555.
- Vernberg F.J. 1985. Marine pollution and physiology: Recent Advances. published in Columbia, South Carolina, by the University of South Carolina Press, 427~446.
- Westernhagen, H., Rosenthal, V. Dethlefsen, W. Ernst, U. Harms and P.D. Hansen. 1981. Bioaccumulating substances and reproductive succes in Baltic flounder *Platichthys flesus*. Aquat. Toxicol., 1, 85~99.
- Widdows J., D.K. Phelps and W. Galloway. 1981. Measurement of physiological condition of musscles (*Mytilus edulis*) transplanted along a pollution gradient in Narragansett Bay, Rhode Island, USA. Mar. Env. Res. 4, 181~194.
- Wright, J.R., R.G. Hartnoll. 1981. An energy budget for a population of the limpet *Patella vulgata*. J. Mar. Biol. Ass. U. K., 61, 627~646.
- Zeeman, M.G. and W.A. Brindley. 1981. Effects of toxic agents upon fish immune systems: A review. 1-60. In: Immunological Considerations in Toxicology 11. R. P. Sharma (ed.). CRC Press, Boca Rotion, FL.

1997년 5월 3일 접수

1997년 12월 31일 수리