

제초제 마세트가 잉어에 미치는 영향에 대하여

車 聖 植 · 金 完 洙

서울대학교 海洋學科

EFFECTS OF HERBICIDE MACHETE ON CARP, *Cyprinus carpio* Linné

Seong Sig Cha and Wan Soo Kim

Department of Oceanography, College of Natural Sciences, Seoul National University.

ABSTRACT

Toxicity of Machete on the mortality of the three different life stages, namely, hatching period, prelarval stage, and juvenile stage of carp (*Cyprinus carpio* Linné) was observed. The effect of the various exposure times on the mortality of the prelarval stage, and the effect of different temperatures on the toxicity during juvenile stage were also analysed.

Hatchability and duration time of the carp were shown to be related to the concentration of Machete. In general, hatchability and duration time were shown to be decreased when the concentration of Machete was increased. For prelarval stage, 24hr and 48hr LC 50, and 24hr and 48hr EC 50 were observed to be 0.86mg/l and 0.43mg/l, and 0.35mg/l and 0.20mg/l, respectively. For juvenile stage, 24hr, 48hr, 96hr, and Incipient LC 50 were found to be 0.625mg/l, 0.365mg/l, 0.180mg/l, and 0.135mg/l, respectively. Apparently it was appeared that eggs were most resistant, and prelarvae were most sensitive to Machete among the three life stages.

Although fish were removed from the Machete solution (3.2mg/l, and 1.8mg/l) prior to their death, continuous mortality was observed. Below 1.0mg/l range, however, when concentration of Machete was lowered, the toxic effect of Machete on carp was reduced considerably even to the longtime exposure (24 hours). Toxicity of Machete appeared to be related to water temperature, and it was observed that higher temperature reflected more toxicity.

서 론

수질과 관계되는 독물질에는 농약을 비롯한 유기화합물과 중금속을 들 수 있는데, 이 중 합성 농약은 제 2차 세계대전 이후 농업, 임업, 공중 위생에 광범위하게 사용되어 대부분의 수질은 이 극히 독성이 강한 물질에 의해 어느 정도씩 오염되게 되었다(Warren, 1971). 이에 따라 각종 독물질의 독성에 대한 조사가 활발히 진행되었으며, 실험방법과 실험장치에 대해서도 많은 연구가 되어왔다.

본 실험에서는 1975년 이후 해마다 총 농약 소비량의 10% 이상에 해당하는 막대한 양이 소비

되는 Machete (Agricultural Chemicals Industrial Association, 1978, 1979)를 선택하였다. 잉어 (*Cyprinus carpio* Linné)는 주요한 양식 어종이기 때문에 원하는 크기를 대량으로 구입하기 쉽고, 질병에 대해서도 잘 알려져 있어서 병에 걸린 어류를 가려내고 처리하기가 쉽다. 또한 잉어는 생활력이 강하여 운반과 실험실 내의 사육이 용이하다. 반면에 성어에 이르는 기간이 길고(2~3년), 성체가 커서 일생을 통한 독성연구에는 어려운 점이 있다. 그러나 치어기까지는 실험실에서 다루기 용이하기 때문에 본 실험의 대상 어류로는 잉어를 선택하였다.

Warren과 Doudoroff (1958)는 특정한 독물질에 대한 민감도는 나이, 크기, 종(species), 유

전적 구성과 최근까지의 환경에 의해 바뀔 수 있으며, 독성은 생물체의 critical life stage가 도달되기까지는 명백히 나타나지 않을 수도 있다고 말했다. Warren(1971)도 lethal condition에 대한 생물체의 저항력은 그 생물체의 유전적 요인과 그가 겪어온 환경 요인으로부터 나오기 때문에 저항력은 대개의 경우 완전히 일정한 것이 아니며, 생물체의 성장이나 나이에 따라 변할 수 있다고 하였다. 본 실험에서는 Machete에 대한 생육 기간별 독성을 비교하기 위하여 잉어의 알, 전기 자어기 및 치어기에 대한 독성을 조사하였다.

또한 독성은 경도, 수온, 용존 산소량, 수소이온 농도 등의 생물 외의 인 요소에 의해 변화될 수 있으므로(Spargue, 1970) 수온에 따른 독성의 변화에 대해서도 조사하였다. 그리고 아직 유영력이 미약한 전기 자어는 야외에서 독물질에 잠시동안 노출되는 경우가 많을 것으로 예상되어 전기 자어기때 노출시간에 따른 영향에 관한 조사도 병행하였다.

재료 및 방법

1. 실험재료

가. 농약: 본 실험에 사용한 Machete(N-(butoxymethyl)-2-chloro-2', 6'-diethylacetanilide-2-chloro-diethyl-N-(butoxymethyl) acetanilide)는 24°C의 물에 23ppm이 녹고 실온에서 ether나 acetone을 비롯한 유기용매에 잘 녹는다(Weed Science Society of America, 1974). 본 실험에서는 58.8% 유제를 사용하였으며 농도는 주성분의 양으로 계산하였다.

나. 사육수 및 사육용기: 전 실험기간 중 사육수의 용존 산소량은 각 수온의 포화량의 80% 이상, pH는 7.70~7.80, 경도는 44~49mg/l as CaCO₃, 그리고 conductivity는 약 150μmho/cm 범위이었다. 사육에 사용한 용기는 150ℓ 원형 수조와 지름 40cm의 50ℓ 원형 유리 수조이었다. 그리고 실험에는 지름 25cm의 20ℓ 원형 유리수조를 사용하였으며, 자어에서는 500ml와 2,000ml의 beaker를 사용하였다.

다. 실험어: 실험에 사용된 알과 稚魚는 수산

청 청병 양어장으로부터 구득되었으며 仔魚는 실험실에서 부화시켜 사용하였다. 50마리의 稚魚를 입의 추출하여 측정된 결과 무게는 평균 0.566g(σ_n : 0.146), 全長은 평균 3.423cm (σ_n : 0.335), 그리고 尾叉長은 평균 3.152cm(σ_n : 0.321)이었다. 순응기간 중 처음 일주일에는 5%에 가까운 사망율을 보였으나, 그 후에는 거의 사망하지 않아 건강 상태는 매우 양호한 것으로 보였다.

2. 실험 방법

실험 방법은 Doudoroff et al.,(1951)과 Spargue (1969), American Public Health Association et al. (1976)을 참고로 하였으며, 전 실험 기간 중 태양 광선을 차단하고 오전 9시 30분부터 오후 10시까지 형광등을 켜다. 자어는 부화후 실험이 끝날 때까지 계속 먹이를 주지 않았고, 치어는 실험 시작 하루전부터 먹이 공급을 중지하였다.

가. 부화에 미치는 영향: 20ℓ 수조 7개에 18.0mg/l~1.0mg/l와 0.0mg/l의 농도로 Machete를 희석하고 산란된지 72시간 정도 지난 알을 40개씩 옮겨 넣었다. 이때 수온은 20°C로 고정하였다.

나. 자어기의 독성: 부화후 평균 12시간이 지난 전기 자어를 끝이 굵은 피펫을 사용하여 2,000ml beaker에 10마리씩 옮겼으며, Machete 농도는 5.00, 1.80, 1.00, 0.56, 0.32, 0.18, 그리고 0.00mg/l로 하였다. beaker에서는 수온 조절이 불가능하여 관찰할 때마다 수온을 측정하였다.

다. 자어기 때 노출 시간에 따른 영향: 부화후 36시간이 지난 전기 자어를 500ml의 beaker에 10마리씩 옮기고 3.2~0.056mg/l의 8가지 농도로 4개씩을 준비하였다. 실험 시작후 A조는 6시간 후에, B조는 12시간 후에, 그리고 C조는 24시간 후에 Machete가 들어 있지 않은 실험수로 교환하여 농약의 노출을 중지시켰으며, D조는 실험수를 교환하지 않고 계속 노출시켰다. 이 실험 기간중 아침 9시 30분의 수온은 17.2~19.9°C(평균 18.5°C)이었다.

라. 치어기의 독성: 10마리의 치어를 20ℓ 수조에 옮겨 Machete의 농도를 10.0~0.075mg/l로

Table 1. Hatchability and mortality of forty fertilized eggs at seven concentration levels of Machete.

hrs.	Conc. (mg/l)	Unhatched			Hatched			Total Live	Total Dead
		Total	Live	Dead	Total	Live	Dead		
19	0.0	34	33	1	6	6	0	39	1
	1.0	32	32	0	8	8	0	40	0
	1.8	15	13	2	25	24	1	37	3
	3.2	21	0	21	19	16	3	16	24
	5.6	32	0	32	8	0	8	0	40
	10.0	36	0	36	4	0	4	0	40
	18.0	40	0	40	0	0	0	0	40
24	0.0	32	31	1	8	8	0	39	1
	1.0	28	28	0	12	12	0	40	0
	1.8	8	5	3	32	22	10	27	13
	3.2	21	0	21	19	0	19	0	40
26	0.0	31	30	1	9	9	0	39	1
	1.0	25	25	0	15	15	0	40	0
	1.8	8	4	4	32	22	10	26	14
28	0.0	26	25	1	14	14	0	39	1
	1.0	21	21	0	19	19	0	40	0
	1.8	8	0	8	32	11	21	11	29
30	0.0	25	24	1	15	15	0	39	1
	1.0	15	15	0	25	25	0	40	0
	1.8	8	0	8	32	1	31	1	39
32	0.0	23	22	1	17	17	0	39	1
	1.0	13	13	0	27	27	0	40	0
	1.8	8	0	8	32	0	32	0	40
45	0.0	5	3	2	35	35	0	38	2
	1.0	1	0	1	39	38	1	38	2
48	0.0	4	0	4	36	36	0	36	4
	1.0	1	0	1	39	31	8	32	8
72	0.0	4	0	4	36	35	1	35	5
	1.0	1	0	1	39	0	39	0	40
	1.8	8	0	8	32	0	32	0	40
	3.2	21	0	21	19	0	19	0	40
	5.6	32	0	32	8	0	8	0	40
	10.0	36	0	36	4	0	4	0	40
	18.0	40	0	40	0	0	0	0	40

Remarks: The successive data for the samples which show 100% mortality are not presented.

하였으며, 수온은 25°C로 고정하였다. 농약의 농도 변화나 용존 산소량의 감소를 줄이고 실험수의 변질을 막기 위해 실험수를 이틀에 한번씩 교환하였다.

마. 치어기 때 온도가 독성에 미치는 영향: 수온에 따른 독성의 변화를 비교하기 위하여 잉어의 적응 수온 범위 내에서 임의로 22°C, 27°C, 32°C를 선택하였다. Machete의 농도는 24시간,

48시간, 그리고 96시간의 LC 50인 0.625mg/l, 0.365mg/l, 0.180mg/l로 하였다.

결 과

1. 부화에 미치는 영향

7가지 Machete 농도에 있어서의 40개의 수정란에 대한 부화율과 사망율은 Table 1과 같으며, 부화된 수와 부화되지 않은 수 및 이들의 살아 있는 수와 죽은 수가 표시되어 있다. 卵의 사망은 투명도로 판단하였다. 반면에 仔魚는 계속적인 유영을 하지 않고 벽에 붙어 있거나 바닥에 누워 있기 때문에 生死의 구별이 어려워져서, 부패하기 시작하여 색이 변하기 시작하였을 때 그 자어는 사망한 것으로 간주하였다.

전 개체가 사망한 시간은 5.6mg/l, 10.0mg/l, 그리고 18.0mg/l의 농도에서는 관찰을 처음 시작한 19시간, 3.2mg/l의 농도에서는 24시간, 1.8mg/l의 농도에서는 32시간, 그리고 1.0mg/l의 농도에서는 72시간으로 나타났다. 마지막 부화가 일어난 시간은 0.0mg/l의 농도에서는 48시간, 1.0mg/l의 농도에서는 45시간,

3.2mg/l의 농도에서는 24시간, 1.8mg/l의 농도에서는 19시간으로 Machete 농도가 높을수록 빨리 부화되는 것으로 나타났다. 그러나 난의 부화율은 농도에 따라 98%에서 0%까지의 차이를 보여주어 농약 농도가 높을수록 부화율이 감소하는 것으로 나타났다. 부화율은 부화될때까지의 난의 생존율이라고 볼 수 있으므로, Machete 농도가 높아지면 난의 생존율이 줄어들기 때문에 농도가 높아질수록 부화율이 줄어들게 되는 것으로 생각된다.

2. 자어기의 독성

5.00~0.18mg/l의 농도 수준에서의 자어의 사망율은 Table 2와 같다. 숫자는 10마리 중에서 변색이 시작되어 사망이 확실한 개체수를 나타내며, 관호 속의 숫자는 피펫으로 물줄기를 뽑았을 때 자극을 보이지 않는(sublethal) 개체수를 나타낸다. Table 2의 자료로부터 LC 50과 반수가 자극에 대한 반응 능력을 잃는 농도인 EC 50 (Median Effective Concentration)을 계산하면 24시간과 48시간 LC 50은 0.86mg/l와 0.43mg/l로, 24시간과 48시간 EC 50은 0.35mg/l와 0.20mg/l로 측정된다.

Table 2. Mortality of prelarval carp at eight concentration levels of Machete.

hrs.	5.00	3.00	1.80	1.00	0.56	0.32	0.18	0.00	Temp. °C
1.5	0 (3)	0 (1)	0	0	0	0	0	0	20.0
3	0(10)	0(10)	0	0	0	0	0	0	—
6	3(10)	0(10)	0 (2)	0	0	0	0	0	—
9	8(10)	3(10)	0 (9)	0 (2)	0	0	0	0	19.7
12	10(10)	9(10)	0(10)	0 (8)	0	0	0	0	19.5
24		10(10)	10(10)	8(10)	0 (9)	0 (4)	0	0	18.3
36				10(10)	6(10)	1(10)	0 (1)	0	19.5
48					8(10)	2(10)	0 (3)	0	18.4
60					10(10)	5(10)	0 (5)	0	19.5
72						8(10)	0 (5)	0	18.2
84						8(10)	0 (5)	0	18.0
96						10(10)	1 (5)	0	17.3
120							4 (5)	0	17.4
144							6 (7)	0	18.1
168							6 (8)	0	19.5

Remarks: The number indicates the cumulative sum of manifestly dead individuals among ten larvae to the exposed time. The number in parentheses is the cumulative sum of sublethal individuals which do not response to stimula to the exposed time among ten larvae.

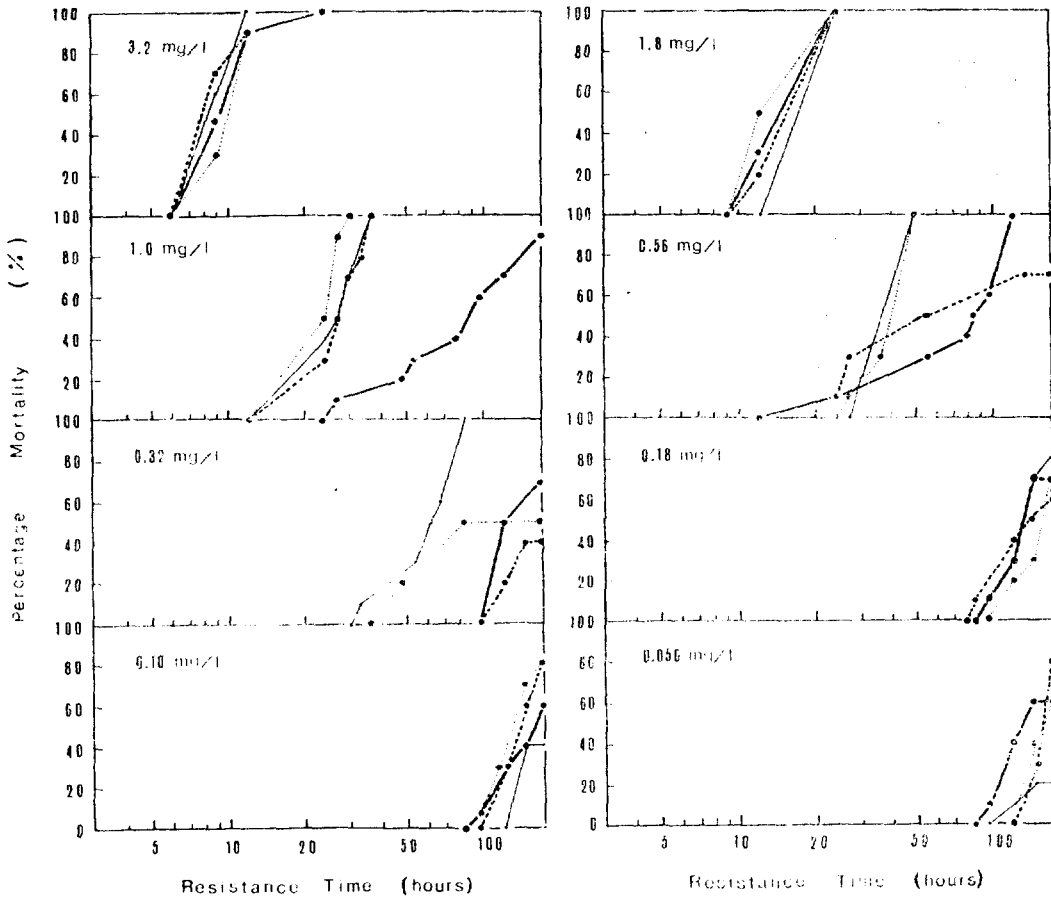


Fig. 1. Effect of exposure time on the mortality of prelarval carp at eight concentration levels of Machete. (●—● : 6 hour exposure; ●---● : 12 hour exposure; ●·····● : 24 hour exposure; ·—· : Continuous exposure)

3. 자어기 때 노출시간에 따른 영향

노출 시간에 따른 자어의 mortality(Figure 1)의 변화를 보면 3.2mg/l와 1.8mg/l의 농도에서는 노출시간에 따른 차이가 보이지 않는다. 반면 1.0mg/l의 농도에서 6시간 노출된 A조는 12시간 이상 노출된 B조나 C조, D조에 비해 훨씬 적은 영향을 받는 것으로 나타났다. 0.56mg/l의 농도에서는 6시간의 노출에서는 물론 12시간의 노출에서도 24시간 또는 계속적인 노출보다 더 적은 영향을 받는 것으로 나타났다.

0.32mg/l의 농도에서는 6시간과 12시간 동안의 노출에서는 독성이 현저하게 줄어들며, 24시간 동안의 노출에서도 계속적인 노출에 비해 낮은 독성을 보이는 것으로 나타났다. 0.18mg/l 이

하의 농도에서는 노출된 시간에 따라 별다른 차이를 보이지 않았으며, 실험 시작 후 120시간(5일)부터는 전 실험조에서 농약의 농도나 노출 시간에 따른 연관성이 보이지 않는 것으로 나타났다. 이것은 농약 이외의 요인들, 즉 수질 악화, 먹이 문제, 그리고 사망율이 높은 시기적인 요인등이 mortality에 작용하기 때문으로 생각된다.

종합하면 3.2mg/l와 1.8mg/l의 높은 Machete 농도에서는 치사에 이르기 전에 농약을 제거하여도 계속적인 사망이 관찰되었다. 반면에 1.0 mg/l 이하의 농도에서는 Machete의 농도가 낮아짐에 따라 잉어에 대한 Machete의 독성은 점점 더 긴 시간동안 노출되어도 줄어들어 관찰되었다.

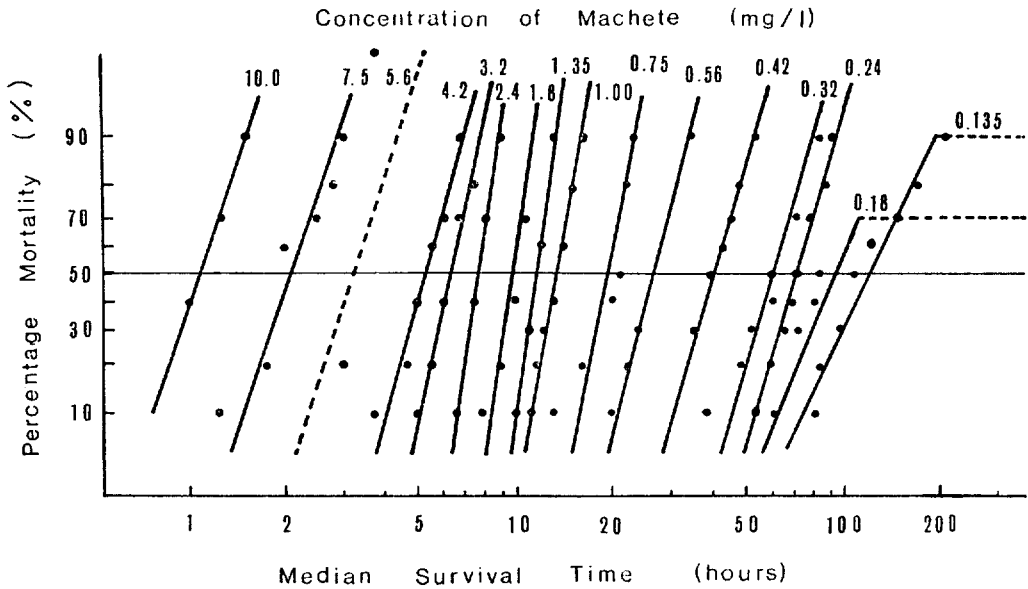


Fig. 2. Relationship between percentage of mortality and resistance or survival time of juvenile carp at sixteen concentration levels of Machete.

4. 치어기의 독성

10.0mg/l~0.075mg/l의 18가지의 Machete 농도 수준에서 시간에 따른 치어의 사망율로부터 구한 24시간, 48시간, 그리고 96시간 LC 50은 0.625mg/l, 0.365mg/l, 그리고 0.180mg/l이었다. 그리고 0.10mg/l 이하의 농도에서는 11일까지 사망이 관찰되지 않았다. 각 농도에서의 시간에 따른 누적 사망율을 log-probit sheet에 옮기고 직선으로 연결하면 Figure 2와 같은 결과가 나오며, 이때 50%에 해당하는 시간은 그 농도

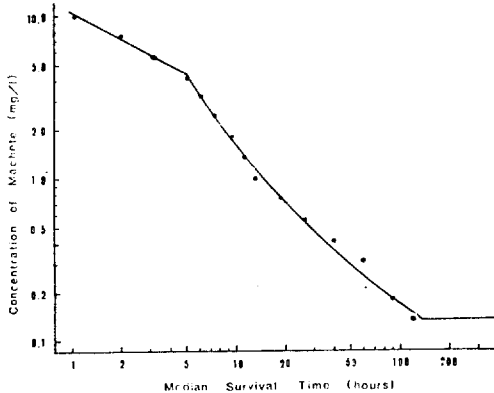


Fig. 3. Relationship between median survival time of juvenile carp and concentration of Machete

의 반수 사망 시간(LT 50=Median Lethal Time) 또는 반수 생존 시간(Median Survival Time)이 된다. 1.35mg/l의 농도에서 기울기가 가장 크고 양변으로 갈수록 조금씩 줄어드는 경향이 있으나, 각 농도에 따른 특별한 변화를 보이지 않아 독성 양상이 비슷함을 알 수 있다.

Figure 3은 Machete의 농도와 반수 생존 시간과의 관계를 나타낸 것이다. Machete에서는 보통의 경우에 높은 농도에서 형성되는 Incipient Lethal Time(=threshold time)을 형성하지 않고 오히려 4.5mg/l 이상의 농도에서 survival time의 줄어드는 비율이 증가하는 경향을 보이고 있다. 곡선의 중앙 부분은 매우 직선에 가까우며, 0.135mg/l의 농도에서는 곡선이 횡축에 평행한 Incipient LC 50(threshold concentration)을 형성하는 것으로 나타났다.

5. 치어기 때 온도가 독성에 미치는 영향

24시간, 48시간, 96시간 LC 50인 0.625mg/l, 0.365mg/l, 0.180mg/l의 농도에 있어서 수온이 Machete의 독성에 미치는 영향은 Table 3과 같다. 24hr LC 50에서 27°C와 32°C의 사망 개체수가 서로 같이 나타났으나, 32°C에서는 48시간 LC 50

Table 3. Effect of temperature on the mortality of juvenile carp at three concentration levels of Machete during the period of 24~120 hours.

Hours of Exposure	Machete Conc. Temp. °C	24hr LC 50(0.625mg/l)			48hr LC 50(0.365mg/l)			96hr LC 50(0.180mg/l)		
		22	27	32	22	27	32	22	27	32
24		0	10	10	0	0	10	0	0	0
30		2			0	1		0	0	3
36		5			0	4		0	1	4
48		10			2	10		0	3	7
54					3			0	3	9
60					6			0	3	10
72					9			0	5	
78					10			0	8	
84								0	9	
96								0	9	
120								1	10	

Remarks: The number indicates the cumulative sum of dead individuals to the exposed time among ten juveniles.

에서도 같은 값을 보임으로 보아 24시간 LC 50에서 32°C에서는 27°C에서 보다 먼저 전 개체의 사망에 도달하였을 것으로 생각된다. 결국 모든 농도에서 온도가 높을수록 빨리 사망하고 온도가 낮을수록 늦게 사망하는 현상이 나타났다. 다시 말하면, 농약의 독성은 수온이 높아질수록 증가하는 것으로 보인다.

고 찰

Machete에 의해서 잉어의 부화율과 부화시간이 감소되는 것과 비슷한 현상은 이미 여러 사람들의 실험에서도 발견되었다. Mckim and Benoit (1971)의 실험에서는 32.5µg/l의 구리 이온 농도에서 강송어(*Salvelinus fontinalis*)의 부화율과 부화시간이 낮은 농도에서보다 매우 줄어들었다. 그리고 이 농도에서 덜 성숙한 부화가 일어났으며, 난황의 흡수도 지연되었다. 17.4µg/l의 농도에서는 부화율은 정상적이었으나 부화후 계속 노출시킬 경우 사망율이 높은 사실이 밝혀졌다.

Halter and Johnson(1974)은 은연어(*Oncorhynchus kisutch*)에서 2주일 동안 56.4µg/l의 PCB에 노출된 난은 부화율이 30%정도 감소되고 부화되고 부화시간도 대비조보다 줄어들음을 발견했다. 난황의 이용도 높은 농도에 노출된 자어에서는 상당히 줄어들었다. 그리고 부화후 노출이 계

속된 자어의 사망율은 노출이 중지된 자어보다 높았으며, 이 사망율은 농도에 비례하였다.

Defoe et al.(1978)은 2.1µg/l의 PCB(Aroclor® 1260)에 노출시킨 fathead minnow(*Pimephales promelas*)의 알의 평균부화 성공율은 45±13%로 대비조보다 27% 낮았다고 보고했다. 본 실험에서는 부화된 자어의 성숙도에 대해서는 관찰하지 못하였으나 같은 온도에서는 대사 속도가 같아 성장 속도가 같을 것으로 생각되는데 Machete에 의해서 더 빨리 부화됐을때는 미숙한 상태에서 부화되었을 것으로 생각된다.

Halter and Johnson (1974)은 은연어의 덜 성숙한 부화는 PCB의 직접적인 작용이 아니고 난막 표면의 변화가 絨毛膜(Chorion)의 산소 투과율을 감소시키는 간접적인 작용을 가져오기 때문에 이른 부화가 일어난다고 설명했다. 그러나 아직 Machete는 물론 구리 이온이나 PCB가 산소 투과율에 영향을 준다는 확실한 증거는 없다. 여러가지 독물질이나 산소 부족 등의 부적합한 환경에서는 배아가 그 환경으로부터 탈출하기 위해서는 난막을 벗어나야 하고 이를 위해서는 미숙한 상태에서 정상적인 상태에서 보다 일찍 부화되는 것이 아닌가 생각된다. 그러나 부화 시간의 감소 원인에 대해서는 앞으로 확실한 연구가 되어야 할 것이다.

Spargue(1970)는 여러 문헌들을 종합하여 일

반적으로 높은 온도는 오염 물질을 더 독성이 강하게 한다고 말할 수 있지만, 온도에 의해서 영향을 받지 않거나 높은 온도에서 독성이 줄어드는 경우도 있기 때문에 독성에 대한 온도의 영향에 대해서는 어떠한 가정이 있을 수 없다고 말했다.

Reinert et al. (1974)에 의하면 무지개송어를 methylmercuric chloride와 p.p-DDT에 12주일간 노출시킨 결과 이들 물질은 수온이 증가함에 따라 농축량이 증가하였다. 높은 온도에서 Machete 독성이 증가하는 것도 온도가 증가할수록 분해 속도와 배설 속도보다 흡수 속도가 커서 잔존량이 증가하고, 이 잔존량의 증가는 Machete의 독성을 상승시키는 것이 아닌가 생각된다.

난과 전기 자어 및 치어의 생육기간에 따른 Machete의 독성을 비교하는데는 난과 전기 자어의 실험 농도 간격이 넓고, 또 난의 실험 기간이 짧기 때문에 상당한 어려움이 있다. 그리고 난과 자어는 사망 판단이 실제 사망후 상당한 시간이 지나야 가능해지기 때문에 비교를 더 어렵게 한다. 생육기간에 따른 결과를 비교해 보면 난은 치어기에 비해 Machete에 대한 저항력이 훨씬 강하다. 그리고 전기 자어기에서의 사망 판단의 시간적 지연과 실험 온도에 따른 독성 변화를 고려하면 같은 온도에서 전기 자어기는 치어기보다 Machete에 훨씬 민감한 것으로 보여진다.

이러한 현상은 Mckim and Benoit(1971)을 비롯한 여러 연구에서 다른 여러 어종과 여러 독물질에서도 일치하고 있다. 이렇게 다른 독물질에서와 마찬가지로 Machete에서 egg가 가장 강하고 자어가 가장 약하다는 것은 생육시기에 따라 생리적으로 차이가 있기 때문으로 생각된다.

Skidmore(1966)는 zebrafish(*Brachidanio rerio*)에서 배아의 큰 저항성은 난막이 보호작용 때문이 아니라 난막은 오히려 zinc에 대한 저항성을 줄인다는 사실을 알아냈다. 아직 배아의 큰 저항성에 대한 만족할 만한 설명은 없으나, Christensen(1974)은 자어기에는 생화학적 반응과 대사작용, 그리고 형태등이 배아로부터 심하게 변하고 있어서 수질내의 독물질은 생명체의 생명 현상에 가장 심하게 영향을 줄 수 있다고 말했다.

다. 이 기간에는 배아의 보호막이 없어지고 독물질이 흡착되어 있을 수 있는 먹이를 외부 환경으로부터 섭취하기 시작한다. 더구나 내부적인 방어 기작과 혈청 화학적(immunochemical) 과정이 변하고 있다. 이러한 방어기능이 형성되는 중에 있어서 효율이 낮거나 잘 발달되어 있지 못하다고 말하고 있다.

일생중 가장 민감한 부화 직후의 시기는 독물질에 대하여 다른 시기보다 더 중요하다. Defore et al. (1978)은 fathead minnow의 다세대 연구(multigeneration study)에서 PCB는 30 day LC 50까지의 농도에서는 생식에 별 영향을 끼치지 않으며, 주로 자어의 사망을 때문에 현존량이 줄어든다고 발표하여 자어기의 중요성을 강조하였다. 그러나 잉어에서는 자어기가 가장 민감한 시기이기는 하지만 자어의 생육 기간중의 수온은 치어의 생육 기간중의 수온보다 훨씬 낮기 때문에 실제로 야외에서 자어기 때 같은 농도의 Machete에 의해서 받은 영향은 치어기 때와 비슷해질 것으로 생각된다.

요 약

18.0~1.0mg/l의 Machete 농도 범위에서 부화율과 부화시간은 농도에 비례하여 감소하는 것으로 나타났다. 부화율은 난의 생존율이라고 볼 수 있으므로 농도에 따라 난의 생존율이 변하면 부화율도 변하게 된다고 생각된다. 그러나 부화시간의 감소 원인에 대해서는 앞으로 많은 연구가 되어야 할 것이다.

자어기의 24시간과 48시간 LC 50, 그리고 24시간과 48시간 EC 50은 각각 0.86mg/l와 0.43mg/l, 그리고 0.35mg/l와 0.20mg/l로 측정되었다. 또 치어기의 24시간, 48시간, 96시간, 그리고 nt LC 50은 각각 0.625mg/l, 0.365mg/l, Incipie 0.180mg/l, 그리고 0.135mg/l로 측정되었다.

전기 자어기때, 3.2mg/l와 1.8mg/l의 높은 Machete 농도에서는 치사에 이르기 전에 농약을 제거하여도 계속적인 사망이 관찰되었다. 반면에 1.0mg/l의 농도에서는 6시간 후에 농약을 제거한 자어에서 0.56mg/l의 농도에서는 12시간후에 농약을 제거한 자어에서 Machete의 독성이

줄어듬이 관찰되었고, 0.32mg/l의 농도에서는 6시간이나 12시간 후에 농약을 제거한 자어에서는 물론 24시간 후에 농약을 제거한 자어에서도 계속 노출시킨 자어보다 독성이 줄어들었음이 관찰되었다.

온도 적응 범위에 속하는 22~32°C의 수온에서 높은 온도일수록 Machete에 대한 저항력이 줄어들고 낮은 온도일수록 저항력이 커지는 것으로 나타났다. 온도가 증가할수록 분해 속도와 배설 속도보다 흡수 속도가 커서 잔존량이 증가하고 이 잔존량의 증가는 Machete의 독성을 상승시키는 것이 아닌가 생각된다.

실험된 세가지 생육기간 중에서 알이 Machete에 제일 강하고 전기 자어기가 제일 약한 것으로 나타났다. 배아의 강한 저항성은 난막 때문이 아니라 사실만 밝혀졌을 뿐이고 다른 이유는 아직 알려져 있지 않다. 자어기에는 생리적인 모든 반응이 배아로부터 심하게 변하고 있고, 또 방어 기능이 형성되는 중에 있어서 효율이 낮거나 잘 발달되어 있지 못하기 때문에 외부 환경에 가장 민감하다. 그리고 이 부화 초기의 민감한 시기는 독물질에 대하여 다른 시기보다 더 중요하다. 그러나 잉어에서 생육기간에 따른 수온의 차이는 같은 농도의 Machete에 대한 전기 자어기의 독성을 치어기와 비슷하게 만들것으로 생각된다.

謝 辭

본 실험을 위해 잉어알과 치어를 분양해 주신 수산청 청평 양어장 직원들의 호의에 깊은 감사료를 드립니다.

참 고 문 헌

Agricultural Chemicals Industrial Association. 1978. Agrochemical year book. 549 pp.
 ———, 1979. Agrochemical year book. 601 pp.
 American Public Health Association, American Water Works Association, and Water Pollution Control Federation. 1976. Standard methods for the examination of water and wastewater. 14th ed. New

York, N.Y. 1193 pp.
 Defore, D.L., G.D. Veith, and R.W. Carlson. 1978. Effects of Aroclor® 1248 and 1260 on the fathead minnow (*Pimephales promelas*). J. Fish. Res. Bd. Can., 35:997-1002.
 Doudroff, P., B.G. Anderson, G.E. Burdick, P.S. Galtsoff, W.B. Hart, R. Patrick, E.R. Strong, E.W. Surber, and W. M. Van Horn. 1951. Bio-assay methods for the evaluation of acute toxicity of industrial wastes to fish. Sewage and Industrial Wastes., 23:1330-1397.
 Halter, M.T., and H.E. Johnson. 1974. Acute toxicities of a polychlorinated biphenyl (PCB) and DDT alone and in combination to early life stages of coho salmon (*Oncorhynchus kisutch*). J. Fish. Res. Bd. Can., 31:1543-1547.
 Mckim, J.M., and D.A. Benoit. 1971. Effects of long-term exposures to copper on survival, growth, and reproduction of brook trout (*Salvelinus fontinalis*). J. Fish. Res. Bd. Can., 28 :655-662.
 Reinert, R.E., L.J. Stone, and W.A. Willford. 1974. Effect of temperature on accumulation of methylmercuric chloride and *p.p* DDT rainbow trout (*Salmogairdneri*). J. Fish. Res. Bd. Can., 31:1649-1652.
 Skidmore, J.F. 1966. Resistance to zinc sulfate of zebrafish (*Brachydanio rerio*) embryos after removal or rupture of the outer egg membrane. J. Fish. Res. Bd. Can., 23:1037-1041.
 Spargue, J.B. 1969. Measurement of pollution toxicity to fish. I. Bioassay methods for acute toxicity. Water Res., 3:793-821.
 ———. 1970. Measurement of pollution toxicity to fish. II. Utilizing and applying bioassay results. Water Res., 4:3-32.
 Weed Science Society of America. 1974. Herbicide handbook of the weed society of America. 3rd ed. 425 Illinois Building, 113 North Neil Street, Campaign, Illinois.
 Warren. C.E. 1971. Biology and water pollution control. W.B. Saunders Company. 434 pp.
 Warren, C.E., and P. Doudroff. 1958. The development of methods for using bioassay in the control of pulp mill waste disposal. Tappi, 41:211A-216A.