J. Fd Hyg. Safety 14(2), 146-152 (1999)

일부 농약의 생물농축계수의 측정

민경진† · 차춘근
계명대학교 자연과학대학 공중보건학과

Determination of Bioconcentration Factor in Some Pesticides

Kyung-Jin Min† and Chun-Geun Cha
Department of Public Health, College of Natural Science, Keimyung University, Taegu 704-701, Korea

ABSTRACT – The present study was performed to investigate the bioconcentration of BPMC, chlorothalonil, dichlorvos and methidathion. The BCFs(bioconcentration factors) and depuration rate constants for four pesticides in zebrafish(*brachydanio rerio*) were measured under semi-static conditions(OECD guideline 305-B) in a concentration of one-hundredth of the 96 hours LC_{50} of each pesticide at the equilibrium condition. The results obtained are summarized as follows : The BCFs of BPMC, chlorothalonil, dichlorvos and methidathion were 1.44 ± 0.09, 2.223 ± 0.063, 0.81 ± 0.08 and 5.53 ± 0.13, respectively. Depuration rate constants of BPMC, chlorothalonil, dichlorvos and methidathion were 0.028, 0.015, 0.220 and 0.152, respectively. The concentrations of BPMC, dichlorvos and methidathion in zebrafish reached an equilibrium in 3 days, and the equilibrium of chlorothalonil was reached after 14 days. Depuration rate of dichlorvos was the fastest followed by methidathion, BPMC and chlorothalonil. The lower BCF of BPMC was due to its relatively high K_{OW}, slow K_{DEP}, and low S_W and V_P, compared to chlorothalonil and methidathion. The BCF of chlorothalonil was much lower than that expected on the basis of high K_{OW}, slow K_{DEP}, low S_W and V_P. The reason is that the experimental concentration for chlorothalonil is 1/100 ~ 1/1000 lower than that of BPMC, dichlorvos and methidathion. The BCF of dichlorvos was lower than that of other pesticides due to its very rapid K_{DEP}, very high V_P and S_W, and very low K_{OW}. The BCF of methidathion was higher than that of other pesticides due to its very low V_P and S_W. Therefore, these data suggest that physicochemical properties of pesticides may be important in the bioconcentration.

Key words □ Bioconcentration factor(BCF), BPMC, Chlorothalonil, Dichlorvos, Methidathion, *Zebrafish* (*brachydanio rerio*), Depuration rate constant

현대문명의 발달과 함께 새로이 합성되는 화학물질은 인간의 생활수준을 향상시키는 데 기여하였고 특히 농약은 농업에서 식량증산 및 생산성 향상을 위해 큰 역할을 해 왔다.[1] 그러나 농약은 환경오염 및 인체에 미치는 유해성 때문에 세계적으로 환경보전 및 건강보호 측면에서 중요한 관심사로 대두되고 있고 농약의 사용에 앞서 농약의 사전 유해성 평가를 위한 법적 규제 및 요구가 증대되고 있다.[2] 이러한 상황에서 농약에 대한 안전성 시험은 농약의 급성중독 및 만성중독의 예방과 아울러 농약으로 인한 환경오염을 방지하고 환경유해성을 줄이기 위해 필수적이라 할 수 있다.[3] 그러나 우리나라는 1996년에 농약관리법이 개정되었지만 농약에 관한 법적 규제가 불완전하여 농약의 안전성을 평가하는 시험기준이 독성관련시험에만 국한되어 있고 먹이연쇄를 통한 인체의 축적 가능성을 설명하는 지표로 이용되고 있는 생물농축성 시험은 마련되어 있지 않은 실정이다.[4] 특히 OECD가입 등으로 인하여 국제적 환경변화에 능동적 대처를 위해서는 농약에 대한 생물농축성 실험에 대한 국내 연구기반을 조성하고 농약의 안전성 평가 자료를 꾸준히 생산하는 것은 의의가 크다고 할 수 있다. 그리고 본 생물농축성 실험에 사용된 농약은 우리나라에서 많이 사용되는 농약으로 1996년 기준 성분 량으로 100톤 이상 생산되는 농약을 계열별로 선정하였다. 유기염소계 농약인 chlorothalonil은 사과, 감귤, 포도, 복숭아, 땅콩, 양파, 담배 등 다양한 과수와 밭작물에 주로 탄저병 예방을 위한

†Author to whom correspondence should be addressed.

살균제로 사용되고 있으며,[5] 이는 1963년에 개발[6]되어 국내에서만 1995년까지 성분량으로 매년 300~1300톤이 사용되었으며, 국내에서 합성한 원제 생산량만 1995년 한해 1773톤에 이르고 있다.[7] 그리고 유기인계 농약으로서 dichlorvos는 사과, 뽕나무, 복숭아 등의 잎말이나방의 살충제와 온실 및 비닐하우스의 훈증제로 사용[5]되는 농약으로 국내 생산량이 1995년 한해동안 성분량으로 850톤에 달하였고,[7] methidathion은 감귤이나 사과 등의 깍지벌레 및 진딧물 해충 제거에 사용[5]되는 농약으로 국내 생산량이 1995년 한해동안 성분량으로 150톤에 달하였으며,[7] 카르바메이트계 농약인 BPMC는 어류의 척추를 변형시키는 물질 중 최강으로 분류되는 농약[8]으로서 벼멸구 해충제거용 살충제로 1995년 한해 국내생산량이 444톤에 달했다.[5,7] 그러므로, 사용량이 매년 증가하고 있는 유기염소계 농약인 chlorothalonil과 국내적으로 생물농축성에 대한 연구가 미흡한 유기인계 농약과 카르바메이트계 농약에 대한 연구의 필요성이 크다고 생각되었다. 또한 생물농축성 실험방법에 있어서도 OECD guideline 305-D의 실험법[9]이 실험기간을 8일로 제한함으로써 생물농축성을 파악하기가 어려웠기 때문에 OECD guideline 305-B의 실험방법[9]에 따라 28일간 실험을 수행함으로써 이들 농약의 생물농축 경향을 정확히 파악할 수 있으리라 기대된다.

재료 및 방법

실험동물 및 재료

실험동물 – 실험동물은 시중에 시판되는 *Brachydanio rerio*(zebrafish), 길이 3.1±0.1 cm, 무게 0.3±0.1 g(wet weight)인 것을 구입하여 실험실 조건에서 1개월간 적응시킨 후, 10마리를 1군으로 실험하였다. 실험온도는 사육과 실험 전기간동안 24±1°C를 유지하고 사육기간에는 시판사료(Tetra min)와 공기를 충분히 공급하였다.

기기 및 시약

실험에 사용한 기기로는 gas chromatograph(Shimadzu, GC-14A), 회전증발농축기(Rikakikai, NE-IS), pH meter-(TOA, HM-20S), 화학천칭(Chyo, JL-180) 및 그 외 실험실에서 사용하는 일반기기를 사용하였다. 사용된 시약으로는 trifluoroacetic anhydride는 Acros사(미국), anhydrous sodium sulfate 및 calcium chloride는 Junsei사(일본), pyridine은 Kanto사(일본), acetone, acetonitrile, ethyl acetate, ethyl ether 및 n-hexane은 Wako사(일본)에서 구입하여 사용하였다. 탈 이온수로는 MILLI-Q-PLUS(Millipore) 순수제조장치를 이용하여 실험시 제조하여 사용하였다. 고체상 추출(Solid-Phase Extraction) 방법에 쓰인 cartridge는 Waters사(미국)제품 Sep-Pak Plus (florisil)를 사용하였다.

실험농약

실험농약은 현재 국내에서 시판되는 carbamate계 농약인 BPMC [2-sec-butylphenyl methyl carbamate, 99%,(주)경농], 유기염소계 농약인 chlorothalonil [Daconil, tetrachloro isophthalonitrile, 97%, (주)경농], 유기인계 농약인 dichlorvos [DDVP, 2, 2-dichloroethenyl dimethyl phosphate, 98%, (주)경농]와 methidathion [S-2, 3-dihydro-5-methoxy-2-oxo-1, 3, 4-thiadiazol-3-ylmethyl *O*, *O*-dimethyl phosphorodithioate, 99%, (주)경농] 을 사용하였다.

실험방법

생물농축성 실험 – Zebrafish에 대한 실험조건은 OECD guideline 305-B를 따랐다.[9] 즉 실험수의 조성은 증류수 1 *l* 당 시약을 첨가하여 stock solution Ⅰ, Ⅱ, Ⅲ을 제조한 후, Ⅰ과 Ⅱ용액(각각 5 m*l*) 및 Ⅲ용액(50 m*l*)을 실험수조에 넣은 후 증류수로 10 *l*되게 제조하였으며(Table 1), 실험수의 수온은 23.5±1°C, pH는 7.8±0.2, 용존산소는 7 ppm 이상으로 유지하였다. 어류의 적응수조는 각변이 75×30×45 cm인 직육면체 유리수조로 용량은 100 *l*, 실험용 수조는 각변이 25×25×25 cm인 정육면체 유리수조로 용량은 15 *l* 였다. 1회 실험시 zebrafish 10마리를 1군으로 사용하였고 7일마다 실험수를 교환해 주었고, 같은 농도, 같은 기간의 실험을 3회씩 반복하였다. Dichlorvos의 경우 가수분해로 인해 실험수의 농도에 크게 영향을 미쳐 2일마다 실험수를 교환해 주었다. 실험기간은 28일로 하였고, 실험농도는 OECD guideline 권고기준인 실험동물의 LC_{50} 농도의 1/100농도에서 실시하였다. 각 농약의 BCF_s값은 3일, 5일, 8일, 14일 및 28일 동안 실험 후 각각 측정하여 산출하였다.[10-12] 각 농약의 표준용액 조제와 검량선 작성, zebrafish 조직내에서 각 농약의 추출 및 정량, 실험수에서 농약의 추출 및 정량은 위생시험법 주해[13]와 PAM(pesticide analytical manual)[14]에 따랐으며, 농약의 회수율 측정 및 배설속도상수의 측정은 민 등[15-17]의 방법에 따랐다. 각 농약의 측정을 위한 GC의 분석

Table 1. Preparation of test water for bioconcentration test

Stock solution	Compound	Concentration(g/*l*)
Ⅰ	$CaCl_2 \cdot 6H_2O$,	320 g
	NaCl,	29 g
	$NaNO_3$	9 g
Ⅱ	$MgSO_4 \cdot 7H_2O$,	151 g
	Na_2O_4	79 g
Ⅲ	$NaHCO_3$	27 g

Table 2. GC and GC/MS conditions for analysis of pesticides

Item	GC	
	BPMC Chlorotalonil	Dichlorvos Methidathion
Instrument	Shimadzu GC-14A	Shimadzu GC-14A
GC conditions		
Column	DB-17 capillary 30 m×0.53mm(I.D)	DB-17 capillary 30m×0.53mm(I.D)
Temperature	Col.† 170, 220°C Inj.240°C Det. 270°C	Col.‡ 175, 275°C Inj.* 180, 280°C Det. 300°C
Carrier gas	N_2, 2 ml/min	N_2, 2 ml/min
Air	-	60 kPa
Hydrogen	-	60 kPa
Type of injection	Splitless	Splitless
Injection volume	1 μl	1 μl
Detector	^{63}Ni-ECD	FPD

†Column temp. : BPMC(170℃), chlorothalonil(220℃)
‡Column temp. : dichlorvos(175℃), methidathion(275℃)
*Injection temp. : dichlorvos(180℃), methidathion(280℃)

조건은 Table 2와 같다.

결과 및 고찰

농약의 회수율 시험 결과

Zebrafish와 실험수의 시료에서 각 농약의 회수율은 Table 3과 같다. 회수율은 zebrafish에서 86.1~89.4%, 실험수에서는 98.9~104.7%로 BCF를 구하기 위한 각 농약의 함량을 정량하는데는 충분하다고 판단되었다. 또한 4 g의 어류조직별 시료와 실험수 시료 100 ml의 본 분석법에 의한 농약별 검출한계는 각각 0.0004~0.01 ppm과 0.00001~0.001 ppm 범위였다.

BPMC의 BCF와 배설속도상수

BPMC의 96시간 LC_{50}의 1/100(0.06 ppm) 농도에서 3, 5, 8, 14 및 28일 실험의 어류체내 농축정도와 실험수, 대조실험수, BCF의 성적은 Table 4와 같다. 어류 체내에서의 농축정도와 BCF값은 3일 이후에 정류상태에 도달하여 28일 실험까지 거의 일정하였다(Fig. 1(A)). Zebrafish 체내에

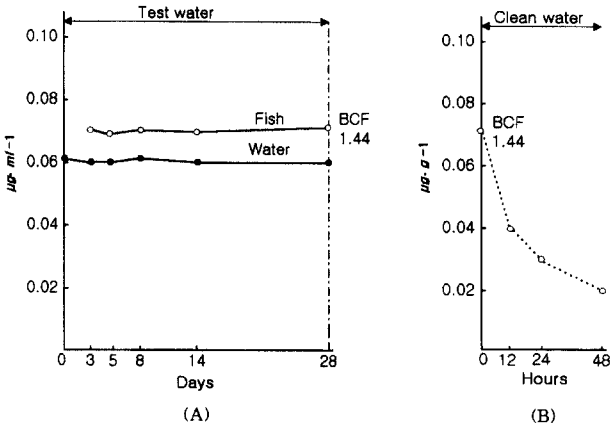

Fig. 1. Intake(A) and depuration(B) of BPMC by zebrafish.

Table 3. Recovery rates and detection limits of pesticides in fish and test water

Pesticides	Spiked level fish/test water (ppm)	Detection limit fish/test water (ppm)	Zebrafish (%)	Test water (%)
BPMC	0.5/0.02	0.004/0.0001	89.4±1.9	101.4±2.8
Dichlorvos	1.25/0.05	0.01/0.0008	86.1±1.4	103.2±1.9
Methidathion	1.25/0.05	0.01/0.001	87.3±1.9	98.9±1.5
Chlorothalonil	0.025/0.001	0.0004/0.00001	86.7±1.4	104.7±2.1

Each value represents mean±S.E. of 3 experiments.

Table 4. Concentration of BPMC in zebrafish, test water, control water and calculated BCF_S

Day	Fish (μg/g)	Test water (μg/ml)	Control water (μg/ml)	BCF_S*
3	0.075±0.007	0.060±0.007	0.061±0.004	1.25±0.17
5	0.073±0.013	0.060±0.004	0.060±0.003	1.34±0.25
8	0.075±0.009	0.061±0.005	0.061±0.007	1.43±0.09
14	0.074±0.011	0.060±0.008	0.060±0.005	1.42±0.11
28	0.075±0.005	0.060±0.004	0.060±0.002	1.44±0.09

*BCF_S indicates 3, 5, 8, 14, 28-day bioconcentration factor.
Test concentration17): 1/100 of 96hr LC50 (0.06μg/ml)
No chemicals were found in control fish group.
Each value represents mean±S.E. of 3 experiments.

Table 5. Concentration of chlorothalonil in zebrafish, test water, control water and calculated BCF_S

Day	Fish (μg/g)	Test water (μg/ml)	Control water (μg/ml)	BCF_S*
3	0.0003±0.0001	0.0003±0.00002	0.0003±0.0000	1.432±0.031
5	0.0003±0.0001	0.0003±0.00001	0.0003±0.0000	1.456±0.088
8	0.0005±0.0001	0.0003±0.00001	0.0003±0.0000	1.697±0.070
14	0.0006±0.0001	0.0003±0.00001	0.0003±0.0000	2.225±0.051
28	0.0006±0.0001	0.0003±0.00001	0.0003±0.0000	2.223±0.063

*BCF_S indicates 3, 5, 8, 14, 28-day bioconcentration factor.
Test concentration[16]: 1/100 of 96hr LC_{50} (0.0005μg/ml)
No chemicals were found in control fish group.
Each value represents mean ± S.E. of 3 experiments.

서 BPMC의 배설속도상수를 구하기 위하여 12, 24, 48시간의 배설속도상수 실험 결과는 Fig. 1(B)와 같다. BPMC의 배설속도상수는 0.028(h-1)이며, 반감기는 25시간이었다. 48시간 이후에는 어류체내에서 BPMC의 농도가 g 당 0.02 μg 이하로 떨어져 대부분 배설된다는 것을 알 수 있다.

Chlorothalonil의 BCF와 배설속도상수

Chlorothalonil의 실험결과는 Table 5와 같다. 어류체내에서의 농축정도와 BCF값은 실험시점부터 계속해서 증가하는 경향을 나타냈으며 14일 이후부터는 정류상태에 도달하여 거의 일정하였다(Fig. 2(A)). Chlorothalonil의 배설속도상수 실험결과는 Fig. 2(B)와 같다. Chlorothalonil의 배설속도상수는 0.015(h^{-1}) 이며, 반감기는 46시간이었다. Chlorothalonil의 농도는 어류체내에서 72시간에 걸쳐 g 당 0.002 μg이하로 떨어져 느린 속도로 배설된다는 것을 알 수 있다.

Dichlorvos의 BCF와 배설속도상수

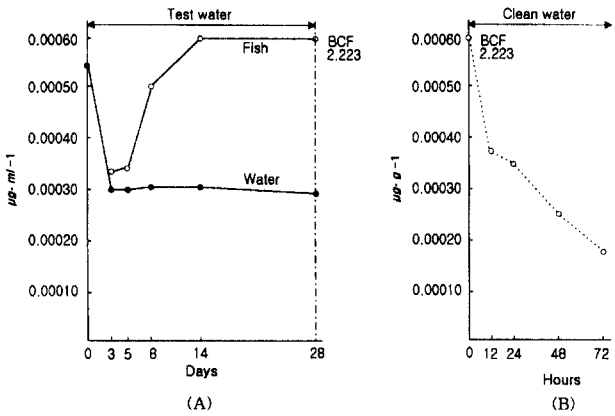

Fig. 2. Intake(A) and depuration(B) of chlorothalonil by zebrafish.

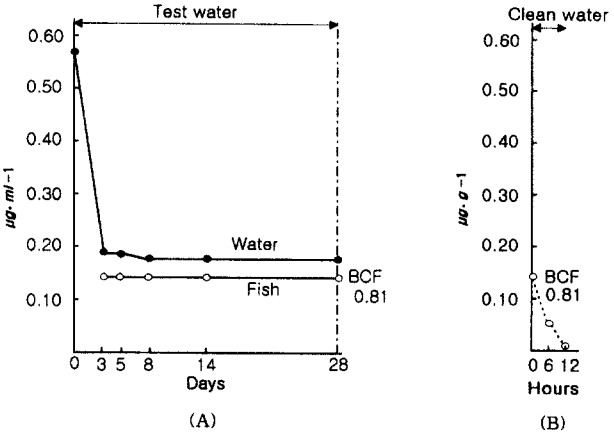

Fig. 3. Intake (A) and depuration (B) of dichlorvos by zebrafish.

Table 6. Concentration of dichlorvos in zebrafish, test water, control water and calculated BCF_S

Day	Fish (μg/g)	Test water (μg/ml)	Control water (μg/ml)	BCF_S*
3	0.14±0.01	0.18±0.01	0.18±0.01	0.81±0.07
5	0.14±0.02	0.18±0.02	0.18±0.02	0.82±0.09
8	0.14±0.01	0.17±0.01	0.17±0.01	0.82±0.05
14	0.14±0.02	0.17±0.02	0.17±0.02	0.82±0.03
28	0.14±0.01	0.17±0.01	0.17±0.02	0.81±0.08

*BCF_S indicates 3, 5, 8, 14, 28-day bioconcentration factor.
Test concentration[15]: 1/100 of 96hr LC_{50} (0.55μg/ml)
No chemicals were found in control fish group.
Each value represents mean ± S.E. of 3 experiments.

Table 7. Concentration of methidathion in zebrafish, test water, control water and calculated BCF_S

Day	Fish (μg/g)	Test water (μg/ml)	Control water (μg/ml)	BCF_S*
3	1.14±0.11	0.21±0.01	0.22±0.01	5.42±0.31
5	1.15±0.15	0.21±0.02	0.22±0.02	5.49±0.21
8	1.16±0.09	0.21±0.03	0.22±0.02	5.53±0.19
14	1.16±0.07	0.21±0.02	0.21±0.01	5.54±0.11
28	1.16±0.06	0.21±0.04	0.22±0.02	5.53±0.13

*BCF_S indicates 3, 5, 8, 14, 28-day bioconcentration factor.
Test concentration[15]: 1/100 of 96hr LC_{50} (0.22μg/ml)
No chemicals were found in control fish group.
Each value represents mean ± S.E. of 3 experiments.

Dichlorvos의 실험결과는 Table 6과 같다. 어류체내에서의 농축정도와 BCF는 BPMC와 마찬가지로 3일 이후에 정류상태에 도달하여 실험 전기간에 걸쳐 일정하였다(Fig. 3(A)). Dichlorvos의 배설속도상수 실험결과는 (Fig. 3(B))과 같다. Dichlorvos의 배설속도상수는 0.220(h^{-1}) 이며, 반감기는 3시간이었다. Dichlorvos의 농도는 어류체내에서 12시간 이후 g 당 0.01 μg이하로 배설속도가 매우 빠른 것을 알 수 있다.

Methidathion의 BCF와 배설속도상수

Methidathion의 실험결과는 Table 7과 같다. 어류체내에서의 농축정도와 BCF값은 3일 이후에 정류상태에 도달하여 실험 전 기간에 걸쳐 일정하였다(Fig. 4(A)). Methidathion의 배설속도상수 실험결과는 Fig. 4(B)와 같다. Methidathion의 배설속도상수는 0.152(h^{-1}) 이며, 반감기는 5시간이었다. Methidathion의 농도는 어류체내에서 24시간 이후 g 당 0.03 μg이하로 감소하므로 배설속도가 빠른 것을 알 수 있었다.

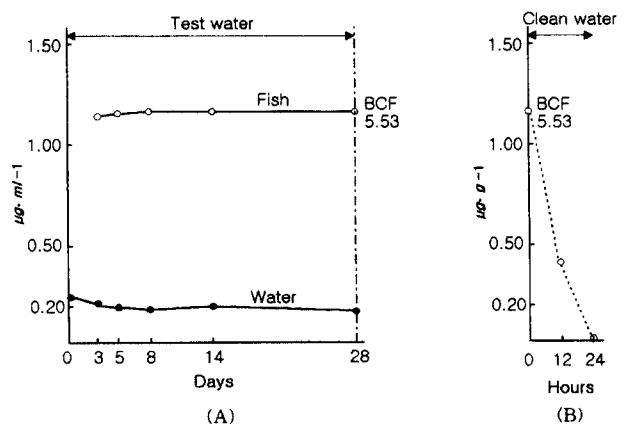

Fig. 4. Intake(A) and depuration(B) of methidathion by zebrafish.

이상의 결과에서 BPMC, dichlorvos 및 methidathion은 zebrafish체내에서 3일 이내에 정류상태에 도달하여 더 이상의 축적이 일어나지 않았으며, chlorothaonil은 실험시작부터 14일까지는 계속해서 체내축적이 증가한 후 정류상태에 도달하였다. 또한 zebrafish에 의한 각 농약의 배설속도는 dichlorvos가 가장 빨랐고, methidathion, BPMC 및 chlorothalonil의 순이었다. Kanazawa는 topmouth gudgen을 이용하여 carbaryl과 BPMC를 포함한 15종의 살충제에 대한 단기간 BCF를 측정하고 분배계수와 수용성 및 LC_{50}를 함께 측정하여 그들의 상관성을 보고한 바 있다.[18] 이 연구에서 BPMC의 BCF값이 27로써 본 실험의 BCF값보다 다소 높은 경향을 나타내고 있으며 이것은 본 연구의 실험어종과는 다른 어종을 사용한 것에 그 차이가 있는 것으로 추측된다. 즉 Cairns와 Mount에 의하면 실험어종에 따른 물고기 체내의 지방함량과 대사활성정도 등은 생물농축과 깊은 관련성이 있는 것으로 보고하였다.[19] Korte 등은 복잡한 모의 환경생태계 실험을 좀 더 단순화한 생태독성학적 실험법을 개발하여 carbaryl을 포함한 15종의 유기화합물에 대하여 golden orfes를 이용하여 동위원소 표지법으로 BCF를 측정한 바 있다.[10,20] 이들 연구는 실험기간을 3일로 제한함으로써 어류체내 축적이 계속해서 증가하는 화합물의 생물농축 실험에는 정류상태 도달기간을 정확히 파악하기가 힘든 점이 있었다. de Wolf 등은 guppy를 이용하여 방향족 아민 계통의 염소화합물에 대하여 BCF를 측정하고, 옥탄올-물 분배계수에 근거하여 BCF를 추정한 값으로부터 그 편차를 생리 화학적 대사율에 의존하는 생체변환율(biotransformation rate)의 영향으로 설명한 바 있다.[21] 본 실험의 유기인계 농약인 dichlorvos와 methidathion이 BPMC와 chlorothalonil보다 배설속도가 상대적으로 빠르게 나타난 것은 이들 농약의 어류체내에서의 생체변환율의 차이에 기인하는 것으로 추측된다. 즉 de Bruijn 등에 의하면 유기인계 농약 중에 소수성이 큰 화합물과 소수성이 상대적으로 낮은 유기인 화합물의 분배계수로부터 추정한 BCF값보다 실

Table 8. Physicochemical properties* and depuration rate constant of pesticides

Pesticides	$logV_P$ [a]	$logS_W$ [b]	$logP_{OW}$ [c]	$logK_{DEP}$ [d]
BPMC	0.20	2.62	2.79	-1.55
Chlorothalonil	-1.12	-0.04	2.88	-1.82
Dichlorvos	3.32	3.90	1.90	-0.66
Methidathion	-0.60	2.30	2.20	-0.82

[a] V_P indicates vapor pressure.
[b] Sw indicates water solubility.
[c] Pow indicates octanol-water partition coefficient.
[d] K_{DEP} indicates depuration rate constant.
*Data were cited from pesticide manual.[23-25]

제 측정한 BCF값이 상대적으로 낮게 나타났으며 이것은 생체변환율에 따른 배설속도의 영향으로 설명한 바 있다.[22] 민 등[15-17]의 연구에 의하면 실험기간을 8일로 제한하였을 경우 chlorothalonil 의 어류체내 축적 경향을 파악하기 힘들었으나 본 실험에서 28일로 실험기간을 연장한 결과 14일 이후에 정류상태에 도달함을 확인할 수 있었다.

농약의 물리화학적 성질과 배설속도상수와의 상관분석

네가지 농약의 물리화학적 성질과 배설속도상수를 Table 8에 정리하였다. 농약의 물리화학적 성질 중 환경내 동태와 관련되는 증기압, 수용성 및 분배계수와 배설속도상수와는 상관성이 어떠한 지를 알아보기 위해 조사하였으며 이들의 상관분석 결과는 분배계수와 5% 유의수준에서 높은 상관성이 있는 것으로 조사되었다(r=-0.98). Kanazawa는 어류체내에서 15종 농약의 정류상태 도달속도와 배설속도와의 상관성을 조사해 본 결과, 정류상태에 빠르게 도달하는 농약일수록 어류체내에서의 배설속도가 빠르다고 하였으며,[18] 이는 본 실험농약 chlorothalonoil의 배설속도가 네가지 농약 중에 가장 느린 이유가 정류상태에 도달하는 속도와 관련이 있는 것으로 생각된다.

농약의 생물농축성에 미치는 요인

BPMC, chlorothalonil, dichlorvos 및 methidathion의 BCF를 추정할 목적으로 배설속도상수(K_{DEP}), 물리화학적 성질인 증기압(V_P), 수용성(S_W) 및 분배계수(P_{OW})를 독립변수로, BCF를 종속변수로 다중회귀분석을 통하여 5% 유의수준에서 유의한 회귀식을 구할 수 있었다.

$$\log BCF = 0.53\ \log K_{DEP} - .24\ \log V_P + 1.03 (R^2 = 0.99,\ p < 0.05)$$

이러한 결과를 종합해 볼 때 BPMC의 생물농축성은 다른 농약에 비해 상대적으로 분배계수가 크고 배설속도가 느린 반면, 수용성과 증기압이 크기 때문에 BCF값은 그다지 높지 않게 나타난 것으로 생각된다. Chlorothalonil은 분배계수가 가장 크고 배설속도가 가장 느리며, 증기압과 수용성이 가장 작기 때문에 BCF값이 가장 높을 것으로 추정되나, 실측된 BCF값은 그다지 높지 않았으며, 이는 다른 농약에 비해 상대적으로 실험농도가 100~1000배 정도 낮은 농도에서 측정한 값이기 때문이다. Dichlorvos의 경우 BCF값이 가장 낮게 나타난 것은 배설속도가 가장 빠르고 증기압, 수용성이 가장 크며, 분배계수가 가장 작기 때문이며, 실제 환경중에서도 생물농축의 영향은 아주 적을 것으로 생각된다. Methidathion의 경우 BCF값이 가장 높게 나타난 것은 다른 농약에 비해 상대적으로 수용성과 증기압이 낮기 때문으로 생각되나, 실제 환경내에서는 배설속도가 빠르고 분배계수가 낮기 때문에 BCF값은 그다지 높지 않을 것으로 생각된다.

국문요약

OECD guideline 305-B에 따라 zebrafish(brachydanio rerio)를 실험어류로 하여 BPMC, chlorothalonil, dichlorvos 및 methidathion에 대한 BCF와 배설속도상수를 측정하여 다음과 같은 결과를 얻었다. BPMC, chlorothalonil, dichlorvos 및 methidathion의 BCF는 각각 1.44±0.09, 2.223±0.063, 0.81±0.08 및 5.53±0.13이었고, 배설속도상수는 각각 0.028, 0.015, 0.220 및 0.152이었다. BPMC, dichlorvos 및 methidathion은 zebrafish에서 3일 이내에 정류상태에 도달하였다. Chlorothalonil은 14일 이후에 정류상태에 도달함을 확인할 수 있었고, 각 농약의 배설속도는 dichlorvos가 가장 빨랐고, methidathion, BPMC 및 chlorothalonil 의 순이었다. BPMC는 다른 농약에 비해 상대적으로 분배계수가 크고 배설속도가 느린 반면, 수용성과 증기압이 크기 때문에 BCF값은 그다지 높지 않게 나타난 것으로 생각된다. Chlorothalonil은 분배계수가 가장 크고 배설속도가 가장 느리며, 증기압과 수용성이 가장 작기 때문에 BCF값이 가장 높을 것으로 추정되나, 실측된 BCF값은 그다지 높지 않았으며, 이는 다른 농약에 비해 상대적으로 실험농도가 100~1000배 정도 낮은 농도에서 측정한 값이기 때문이다. Dichlorvos의 BCF값이 가장 낮게 나타난 것은 배

설속도가 가장 빠르고 증기압, 수용성이 가장 크며, 분배계수가 가장 작기 때문이며, 실제 환경중에서도 생물농축의 영향은 아주 적을것으로 생각된다. Methidathion의 BCF값이 가장 높게 나타난 것은 다른 농약에 비해 수용성과 증기압이 낮기 때문으로 생각되나, 실제 환경내에서는 배설속도가 빠르고 분배계수가 낮기 때문에 생물농축은 그다지 우려하지 않아도 될 것으로 생각된다.

참 고 문 헌

1. 정영호, 박영선: 농약학. 전국농업기술자협회, 선문사 (1990).
2. Caspers, N. and Sch rman, G.: Bioaccumalation in Aquatic System. VCH, USA, 81-98(1991).
3. van Leeuwen, C. J. and Hermens, J. L. M.: Risk assessment of chemicals: KAP, Netherlands,pp. 1-17 (1995).
4. 농촌진흥청: 농약관리법. 농촌진흥청 (1996).
5. 농약공업협회: 95 ' 농약사용지침서. 농약공업협회 (1995).
6. Buchel, K.H.: Chemistry Pesticides. John Willy & Sons, Inc. (1983).
7. 농약공업협회: 96 ' 농약연보. 농약공업협회 (1996).
8. 이서래: 환경독성학의 새로운 과제. *Korean. J. Environment. Agric.*, **7**, 65-73 (1988).
9. OECD: OECD Guideline 305 A-E, OECD (1981).
10. Korte, F., Freitag, D., Geyer, H., Viswanathan, R., Kotzias, D., Attar, A. and Klein, W.: Ecotoxicological profile analysis. *Ecotoxicology and Environmental safety*, **6**, 60-81 (1982).
11. Oliver, B.G. and Niimi, A. J.: Bioconcentration of chlorobenzene from water by rainbow trout., Correlations with partition coefficients and environmental residues, *Environ. Sci. Technol.*, **17**, 287-291 (1983).
12. Jorgensen, S. E.: Modelling in ecotoxicology, Elsevier, Netherlands, pp. 69-79 (1990).
13. 일본약학회편: 위생시험법주해. 금원출판사 (1986).
14. PAM: Pesticide analytical manual, USFDA (1991).
15. 민경진, 전봉식, 차춘근, 김근배, 조영주: Brachydanio rerio와 Xiphophorus hellieri를 이용한 Dichlorvos, Methidathion및 Phosalone의 단기간 생물농축계수의 측정. 한국환경위생학회지, **24**, 99-106 (1998).
16. 민경진, 전봉식, 차춘근, 조영주, 송진욱: Brachydanio rerio와 Xiphophorus hellieri를 이용한 γ-BHC와 Chlorothalonil의 단기간 생물농축계수의 측정. 한국환경위생학회지, **24**, 124-130 (1998).
17. 민경진, 전봉식, 차춘근, 김근배, 조영주, 송진욱: Brachydanio rerio와 Xiphophorus hellieri를 이용한 BPMC, Carbaryl 및 Carbofuran의 단기간 생물농축계수의 측정. 한국식품위생안전성 학회지, **13**, 213-220 (1998).
18. Kanazawa, J.: Measurement of the bioconcentration factors of pesticides by freshwater fish and their correlation with physicochemical properties or acute toxicities. *Pestic. Sci.*, **12**, 417-424 (1981).
19. Cairns J. and Mount, D. I.: Aquatic toxicology. *Environ. Sci. Technol.* **24**, 154-160 (1990).
20. Korte, F., Freitag, D., Geyer, H., Viswanathan, R., Kotzias, D., Attar, A. and Klein, W.: A concept for esta blishing ecotoxicologic priority lists for chemicals. *Chemosphere*, **1**, 79-102 (1978).
21. de Wolf, W., de Bruijn, J., Seinen, W. and Hermens, J. L. M.: Influence of biotransformationon the relationship between bioconcentration factors and octanol-water partition coefficients. *Environ. Sci. Technol.*, **26**, 1197-1201 (1992).
22. de Bruijn, J., Seinen, W. and Hermens, J. L. M.: *Sci. Total Environ.*, **109**, 441-456 (1991).
23. Montgomery, J. H.: Agrochemicals Desk Reference Environmental Data. LEWIS Publishers, USA (1993).
24. Montgomery, J. H.: Groundwater Chemicals. 2th ed., CRC, Inc. USA (1996).
25. Tomlin, C.: The Pesticide Manual. 10th ed., British crop protection council, (1995).