

수중잔류농약

● 변형어 유발 가능성
● 거의 없어

수질중의
농약잔류

“
낙동강이 농약, 특히 유기인계 살충제에 의해 크게 오염되어 물고기가 떼죽음을 당하고 기형어가 출현한다는 보도가 있어 큰 사회적 물의가 일어난 적이 있다. ...조사결과 변형어 유발은 모대학 실험실에서 연구한 결과를 과장보도한 데 불과하였다. ...문제가 되었던 모대학 연구보고와 저자들이 조사한 결과를 비교해 보면 현재로서는 하천수중 잔류농약이 변형어를 유발할 가능성은 거의 없다.”

“
농약연구소 농업연구관
농학박사 이 해 근

어독성 정도

농약중 어독성이 강한 것은 전술한 바와 같이 유기염소계 살충제와 PCP등으로 이들 농약은 현재 우리나라에서는 사용이 금지된지 오래이다. 이에 비하여 현재 수도용으로

많이 사용되고 있는 유기인제나 카바메이트제는 어독성이 비교적 낮고 자연계에서 분해가 쉽게 일어나기 때문에 큰 문제는 없으나 유기인계 농약중 EPN, fenthion, chlorpyrifos, parathion, chlorfenvinphos 등은 수생생물에 비교적 강한 독성을 나타내는 것으로 알려져 있다.

합성피레스계 어독성 높아

또한 phenthoate는 무지개송어에 강한 독성을 나타낸다. 근래에 와서 원예·채소용으로 많이 사용되고 있는 합성 피레스로이드계 살충제(delta-methrin, fenvalerate, cypermethrin, cyhalothrin등)중에는 어독성이 강한 것이 많으므로 양어장이나 하천수에 유입되지 않도록 각별한 주의가 요망되며 특히 벼농사에는 절대로 사용하지 않도록 하여야 한다.

조개류에 대한 독성은 chlorpyrifos를 제외하면 독성이 매우 강한 것은 별로 없으나 갑각류에는 다소 높은 독성을 발휘하는 것이 있다. 카바메이트계 살충제는 대부분 담수어

및 조개류에는 독성이 약하나 갑각류에 대한 독성은 다소 강하게 나타나는 편이다.

유기유황제 살균제인 zineb, maneb등 ethylenebisdithiocarbamate계 농약은 어류, 조개류, 갑각류에 모두 독성이 매우 약하나 thiram, ambam 등 dimethyldithiocarbamate계 농약은 반대로 수생생물에 대한 독성이 다소 강하게 나타나기도 한다.

유기비소제 살균제와 항생물질은 어독성이 강한 것이 없으나 chlorothalonil, captan, captafol 등은 어류에 대한 독성이 매우 강하므로 사용에는 각별한 주의가 요망된다. 현재 사용되고 있는 제초제 중에는 어

(표 1) 수도용 주요 농약의 어종별 반수치사농도(TLm;ppm, 48시간)

농 약	잉 어	미꾸라지	물벼룩	다슬기	조 개	
살균제	이소란	6.7	14	35	15	10
	아이비	>10	15(EC)*	2.3	8.2(EC)	20(EC)
	에디펜	2.5	0.35	2.07	4.8(EC)	5.5(EC)
	트리졸	10	13	>40	-	-
살충제	칼 탐	0.78	0.11(SP)**	>40	2.8(SP)	0.87(SP)
	다수진	3.2	0.50	0.08	9.5	4.8
	비 피	16	17	0.32	18	30
	매 프	8.2	4.8	0.05	6.0(EC)	15(EC)
	나 크	13	13(EC)	0.05	25	27
제초제	벤치오	1.5	7.2(EC)	0.75	5.0	5.2
	그로트	1.5	28	>40	10	3.0

*EC : 유제 **SP : 수용제

독성이 크게 문제시 되는 농약은 없으나 butachlor와 같은 제초제를 일시에 광범위하게 사용시는 주의를 요한다.

어독성에 영향을 미치는 인자

1) 수생생물의 종류

(표 1)은 우리나라에서 사용되고 있는 주요수도용 농약의 어중별 TLm 값을 표시한 것인데, 에디펜, 칼탐 및 다수진은 미꾸라지에 독성이 다소 높으며 칼탐을 제외한 모든 살충제들은 물벼룩에 대해서는 강한 독성을 나타냄을 보여주고 있다.

이와같이 농약에 대한 수생생물의 감수성이 상이하게 나타나는 이유는 농약의 약효가 병·해충이나 잡초의 종류에 따라 상이한 것과 마찬가지로 해석되고 있다.

種間에 따라 독성이 다르게 나타나는 경우도 있으나 일반적으로는 분류학상 근원종(近緣種)은 비슷한 감수성을, 원연종(遠緣種)은 크게 상이한 감수성을 나타내는 것으로 알려져 있다.

2) 생육상태

산란기에 감수성 가장 낮아 어류는 산란기에 농약을 포함한 모

든 毒物에 대하여 감수성이 가장 낮으며 다음이 부화직후의 치어(稚魚)이고 섭식을 처음 시작하는 시기에 감수성이 가장 높다. 그 이후 성장함에 따라 다시 감수성이 낮아지는 것이 일반적이나 독물의 종류에 따라 항상 이와같은 현상을 보이는 것은 아니다.

3) 水温

높아지면 대체로 저항성 감소

수온이 높아지면 수질중의 용존산소량이 감소하는 반면, 생물의 대사는 활발하여지고 호흡량도 증가하므로 생물이 생존하기에 불리한 환경조건이 되므로 독물에 대한 저항성이 감소되는 것이 일반적이다. 농약에 있어서도 이와 마찬가지로 대부분의 농약독성은 수온 상승과 비례하여 높아지나 (표 2)에서 보는 바와 같이 농약의 종류에 따라 상이하다. 즉 잉어에 대한 어독성은 ethion이나 PCNB는 온도상승에 따라 독성이 증가하나 MCPB ethyl이나 DDT는 오히려 감소하는데 비해 pyrethrin이나 MCPB는 온도 변화에 따라 독성은 거의 변화가 없음을 알 수 있다.

4. 농약의 형태

용해도 및 용해속도에 따라 달라

농약의 어독성은 제제형태에 따라 서 상이한데 (표 3)에서 보는 바와 같이 동일한 농약이라도 유제가 독성이 가장 높게 나타나고 다음이 수화제 그리고 분제, 입제순으로(유제 >수화제>분제·입제) 약해지는 경

향이 있다. 이는 유효성분의 물에 대한 용해도와 용해속도에 따라 달라지는 것으로 알려져 있다.

5) 혼용 및 혼합제 농약사용

단체씩 사용할때 보다 어독은 높아

(표 2) 수온(水温) 변화에 따른 농약의 잉어에 대한 독성 변화 ('81, Hashimoto)

농 약	수온(°C)에 따른 TLM값(ppm, 24시간)				
	15	20	25	30	35
온도상승에 따른 독성증가					
Ethion	14	6.8	2.8	1.8	0.36
PCNB	40	20	15	3.8	1.0
온도상승에 따라 독성감소					
MCPB ethyl	2.1	2.8	3.3	3.5	3.6
DDT	0.6	0.6	0.55	0.7	0.15
온도에 따라 독성변화가 없는 것					
Pyrethrins	0.78	0.45	0.55	0.57	0.80
MCPB	15	15	15	14	13

(표 3) 농약의 형태와 어독성

농 약	제 형	TLM(ppm)	
		잉어(48hr)	물벼룩(3hr)
다 수 진	유 제	6.3	0.04
	수 화 제	8.0	0.01
마 라 톤	유 제	4.5	0.018
	분 제	7.0	0.018
비 피	유 제	2.6	0.05
	분 제	3.0	0.04
이 피 엔*	유 제	0.15	0.0065
	분 제	0.31	0.0088

* 이피엔은 수도용 농약이 아님

벼농사에 있어서 병해충은 그 대부분이 동시에 발생하거나 또는 겹쳐서 발생하는 경우가 많으므로 농민들은 살균, 살충제 농약을 2종 또는 그 이상을 혼용살포하거나 아니면 직접 혼합제를 사용하는 경우가 많다.

농약의 혼용이나 혼합제 사용은 살포노동력의 절감에도 그 목적이 있지만 약제상호간의 보완작용에 의한 약효증진, 즉 약효상승효과를 기대하기 때문인데, 병해충에 대한 이러한 약효상승작용이 수생생물에도 발

현될 가능성이 있다고 우려하게 된다. 이러한 우려는 혼용이나 혼합제 사용으로 단위면적당 농약사용량이 증가하고 또한 수중에 잔류하는 농약성분은 2종 또는 그 이상이 혼재하고 있을 가능성이 크기 때문에 수생생물에 대한 악영향에 대해 더욱 우려하게 된다.

(표 4)는 국내 품목고시때 실시하게 되는 혼합제에 대한 어독성 시험 결과중 어독성이 비교적 강하게 나타날 것으로 예상되는 몇가지 품목에 대해 이웃 일본에서 채택하고 있

(표 4) 수도용 혼합제의 사용량과 잉어에 대한 독성 평가

품 목 명	성 분 (%)	제품농약의 TLM값 (Xppm)	10a당 사용량(g)	논물중기대* 농도(Yppm)	위험도 (Z=Y/X)	독성** 구분
에디피유제	60	3.3	140~160	2.8~3.2	0.84~0.96	B
비피포스분제	4	50.0	4,000	80	1.6	B
다이아박입제	6	33.33	3,000	60	1.80	B
부타졸입제	9.5	18.0	2,000~3,000	40~60	2.22~3.33	B

註. * 水量 50ton (水深 5cm 기준)에 사용된 농약이 전부 물에 용해시 농도

** 위험도(Z값)에 따른 분류

A: <0.1 : 통상 사용시 문제없음

B: 0.1~5.0 : 일시에 광범위하게 사용시 주의

C: >5.0 : 양식장, 하천, 호수, 해역에 유입우려장소에서 사용금지

(표 5) 살충제의 비단잉어에 대한 반수치사농도와 변형어 유발 (단위: TLM;ppm)

살충제	수온 (°C)	공시어수	24시간		48시간		72시간	
			TLM	변형어수	TLM	변형어수	TLM	변형어수
다수진	20	10	10.0	0	9.2	2	7.9	2
	25	10	8.0	1	7.2	4	6.4	3
마라톤	20	10	11.8	0	10.3	1	8.3	4
	25	10	6.7	0	5.2	2	4.1	4

는 어독성 평가방법을 적용, 수도용 혼합제의 어독성을 평가한 것이다. 즉 사용한 농약이 전부 논물중에(수심 5cm, 10a당 水量 50ton기준)에 일시에 녹아 나왔을 때의 농도(Y ppm)를 제품농약의 TLm값(X ppm)으로 나눈 값을 위험도(Z=Y/X)라하고, 이를 기초로하여 (표 4)의 하단에서와 같이 어독성을 분류·평가해보면, 대상 농약 4품목 모두가 일시에 광범위하게 사용시 주의할 요하는 “B”류로 분류되었는데 비피포스 분제와 다이아박 입제는 포장지의 주의사항란에 이 농약은 “어패류에 독성이 강하니 사용한 논물이 양어장이나 하천에 흘러들어가지 않도록 각별히 주의하십시오”와 같은 경고문안이 기재되어 있으나 그외 에디피 유제와 부타졸입제는 상기의 경고문안이 포장지에 기재되어 있지 않다. 그러므로 이러한 약제를 사용할 때에는 각별한 주의가 요망되며 아울러 포장지 표기내용에 경고문안을 반드시 삽입하여 사고를 미연에 방지할 수 있도록 하여야 할 것이다.

라. 변형어 유발 가능성 검토

반수치사농도 부근에서 발생

국내에서도 1970년대에 들어서면서 유기염소계 농약 대신에 유기인제나 카바메이트제를 많이 사용하게

됨에 따라 이들에 의한 척추골 변형어가 출현한다는 연구보고가 국내에서도 발표되어 커다란 사회적 물의를 일으킨 적이 있었다. 논란의 발단은 “농약이 흐르는 낙동강”이란기사가 신문(동아일보 '81.11.19)에 보도됨으로써 야기되었는데, 당시 신문기사내용의 요지는 낙동강 하류의 물고기가 폐죽음을 당하고 변형어가 출현하는 주원인은 낙동강이 농약 특히 유기인계 살충제로 크게 오염되어 있기 때문이라고 지적하였는데, 조사결과 사실은 기사내용과는 크게 상이하였다. 즉 변형어 유발은 하천에서 야기된 것이 아니고 모대학 연구실에서 수행한 연구결과 (표 5)를 신문사가 과장 보도한 데에 불과하였다.

일반적으로 변형어 유발은 해당농약의 TLm값(반수치사농도) 부근의 농도에 물고기를 3~4시간 노출시키면 일어나는 경우가 많은데 잉어에서는 제24추체(推體), 송사리는 제18추체 부근에서 탈우(脫臼) 혹은 골절(骨折) 현상이 일어나서 결과적으로 등이 구부러진 물고기가 출현한다고 한다. 그런데 한번 이러한 증상이 나타난 물고기는 깨끗한 물에 옮겨 장기간 사육하여도 변형이 원상태로 회복되기 어려운 것으로 알려져 있다.

잔류농도, 변형어 유발에 못미쳐

변형어를 일으키는 주원인으로는 중금속, 용존산소, 수온, pH의 변화, 영양소의 결핍 등이 지적되고 있으며, 농약중에는 유기인제와 카바메이트제가 그럴 가능성이 큰데 어떤 농약은 실험실 조건하에서 TLm의 수십분의 1 농도에서도 나타나는 경우가 있다고 하나 확인된 바는 거의 없다.

문제가 되었던 모대학연구소의 연구보고와 최근에 저자등이 조사, 보고한 농약오염우려하천수 중 농약잔류량을 조사한 결과(표 6; 농사시험연구논문집, 1984)를 비교, 하천에서의 변형어 유발 가능성을 추정해보면, 우선 다수진(diazinon)의 경우 잔류량 조사최대치인(표 6)의 0.63ppb는(표 5)의 수온 25°C의 72시간 TLm값인 6.4ppm(10마리 중 3마리의 변형어를 유발한 농도)의 1/10,000에도 미달하고 있으며, 모샘치에 대한 다수진의 영향을 조사한 결과 50ppb에서 기형어를 유발하였다는 Kanouchi(1981)의 보고와 비교하더라도 최대잔류수준인 0.63ppb의 변형어 유발 가능성은 1/80에 불과하므로 현재로서는 하천수질 중 잔류농약이 변형어를 유발할 가능성은 거의 없다고 추정된다. 따라서 다른 조사대상농약도 이와 같을

것으로 예상되는데, 즉 수질중 잔류량 조사 최대치/잉어에 대한 반수치 사농도는 1/11만~1/900에 불과하므로 하천수질중 잔류농약이 변형어를 유발하기에는 너무 낮은 농도라는 사실을 우리는 명심하여야 한다.

마. 수생 미생물과 식물프랑크톤에 대한 영향

수질환경에 미치는 농약의 영향에 대한 관심이 고조되고 있으나 이를 증명할 만한 자료는 매우 한정되어 있다. 특히 우리나라의 경우는 이에 대한 연구가 거의 수행되지 않고 있는 것으로 알고 있다.

토양에서 발견되는 많은 종류의 미생물은 하천수나 해양환경에서도 발견된다. 그런데 표면수는 광물질과 유기물 함량에 좌우되는 세균성 식물군(flora)에 의해 특징지어지고 토양미생물을 토양의 유·무기 오염원과 직접 접촉하게 되므로 이를 양자간에는 큰 차이가 있다.

Ware와 Roam(1970)에의하면 토양과 수질환경의 근본적인 차이는 토양이 항상 수질환경보다는 더 많은 영양분을 함유하고 있고, 생화학적 활성도 더 크다고 한다. 또한 지상환경과 비교시 수권생태계에서는 보다 신속한 먹이연쇄변동이 일어난다고 하였다.

수생 미생물과 식물 프랑크톤에

(표 6) 농약오염 우려 하천수중 농약잔류량

(1984, 이등)

농 약	검출빈도 (%)	평균잔류량 (ppb, 검출시료)	검출범위(ppb)	잉어반수취사농도 (ppm, 48시간)	조사최대치 (ppb) TLm(ppm)
다수진	61	0.046	흔적~0.63	3.2	1/5천
메 프	24	흔 적	" ~0.04	4.4	1/11만
비 피	6	0.47	0.23~0.95	12.6	1/1만 3천
카 보	5	0.20	0.05~0.31	0.28(송어)	1/900
아이비	45	0.09	흔적~1.38	10.0	1/7천
이소란	77	0.28	" ~5.50	6.7	1/1200
BHC	45	0.001	" ~0.005	0.5	1/10만

(표 7) 식물 프랑크톤의 광합성(탄소고정)에 미치는 농약의 영향

(농약의 처리농도 : 1 ppm)

제 초 제	탄소고정 감소율 (% , 4시간노출)	살 충 제	탄소고정 감소율 (% , 4시간노출)
Monuron	94	Heptachlor	94
Diuron	87	Chlordane	94
Paraquat	53	Toxaphene	91
2,4-D	0	Dieldrin	85
EPTC	0	DDT	77
Vernolate	0	Lindane	28
		Carbaryl	17
		Fenthion	7
		Malathion	7
		Diazinon	7

(Ware and Roam, 1970)

대한 농약의 독성반응은 다음과 같이 묘사될 수 있다. 첫째는 직접적인 영향으로 개체수나 집단과 같은 생육에 미치는 영향과 광합성과 같은 특이한 대사과정에 미치는 영향이고, 둘째로는 水中 개체군의 어떤

부분에 대한 직접 또는 다른 특이한 억압으로 인한 간접적인 영향이다.

1) 직접적인 영향

담수, 하천수 및 바닷물과 같은 여러가지 환경에 서식하는 생물에 대

한 농약의 직접영향이 무수히 보고되어 있지만, 그들의 생태학적인 중요성은 본질적으로 잘 알려져 있지 않다.

(표 7)은 식물 프랑크톤의 광합성에 미치는 농약의 영향을 조사한 Ware와 Roam(1970)의 연구결과를 나타낸 것인데, 농약의 처리농도가 1ppm일때 제초제 중에는 phenyl urea 계통의 monuron과 diuron이 가장 강하게 영향을 준 반면 2,4-D와 thiocarbamate계 제초제인 EP-TC와 vernolate는 관찰할 만한 영향을 주지 않았다. 살충제에 있어서는 DDT, heptachlor등 유기염소제가 프랑크톤의 광합성을 현저히 저해하는 것으로 나타났으나, carbamate나 유기인계 살충제는 단지 약간의 저해작용(7~17%)이 있었다. 여기서 우리가 주목할 것은 농약의 생리활성은 물에 대한 용해도와는 높은 正의 상관관계(물에 대한 용해도가 높을수록 생리활성도 강하게 나타남)가 있다는 일반적인 통념과 이들 유기염소제의 물에 대한 용해도가 매우 낮다는 사실에 비추어 볼때, 이러한 결과는 놀라운 일이 아닐 수 없는데, 이들 살충제의 물에 대한 용해도는 일반적으로 유기인제>카바메이트제>유기염소제 순으로 나타난다.

비슷한 관찰이 Stadnyk 등(1971)

에 의해 보고되었는데, 담수 조류(藻類)의 일종인 *Scenedesmus quadricaudata*의 생육과 탄소동화작용에 미치는 제초제와 살충제의 영향을 0.1 ppm 농도에서 조사한 결과, 제초제인 diuron이 세포수, 생체무게 및 탄소동화작용에 가장 큰 감소를 초래한 반면, 2,4-D는 대사적 변화에 diuron보다는 영향을 적게 미쳤다. 농약 처리수준이 1 ppm 일때는 DDT, toxaphene, dieldrin 등이 전반적으로 위에서 언급한 미생물의 생육에 커다란 악영향(77~94%)을 초래한 반면, diazinon과 carbaryl은 탄소고정과 세포분열에 별다른 영향이 없었다고 보고하였다.

많은 종류의 조류(藻類)에 미치는 유기염소제의 영향은 水系로부터 이들 농약을 흡수하고 축적할 수 있는 능력에 따라 상이한데, 물에 대한 용해도가 낮을수록 생물농축성은 높은 경향이다. 토양중 곰팡이류와 방선균류의 일종은 토양에 처리된 dieldrin이나 DDT를 흡수하여 주위의 농도보다 훨씬 더 높은 농도로 축적한다고 한다.

Derby와 Ruber(1970)는 농약이 프랑크톤의 생육에 미치는 영향중 광합성 저해정도를 산소발생량으로 조사한 결과, 4종류의 해양프랑크톤은 0.01~1.0 ppm으로 처리한 농약희석액에서의 반응은 농약과 프랑크톤

의 종류에 따라 상이하였는데 농약의 독성반응은 fenthion > propoxur > DDT > temephos(Abate®) 순으로 나타났다고 보고한 바 있다.

2) 간접적인 영향

전술한 저해작용과는 대조적으로 어떤 간접적인 영향도 보고되었는데, Raghu와 MacRae(1967)는 열대지방(필리핀)의 논토양에 처리된 lindane(γ -BHC)은 2.3~23 ppm수준의 농도에서 그 지방 고유의 조류생육에 현저한 촉진제 역할을 하였다고 보고하였다. 그러나 증대된 조류생육은 조류에 대한 직접적인 생육 촉진효과보다는 오히려 이들 조류를 먹이로 이용하는 미소동물에게는 부수적으로 살충력을 발휘하는 원인이 되기도 하였다. 농약에 의한 양적

(量的)인 변화가 대부분의 조류群에서 관찰되었는데, 청록(靑綠)조류는 농약이 처리된 토양에서 더욱 증대한 반면 녹(綠)조류와 규조류는 농약 무처리 토양에서 더 많은 수가 관찰되었다고 하였다.

수생생물과 식물 프랑크톤에 대한 농약오염의 선택적인 생육 저해작용과 촉진작용은 천연 수권생태계의 생물相(種構成)을 크게 변화시킬지도 모른다고 한다. 그러므로 앞으로는 육지에 살포된 농약의 운명, 잔류성 및 생태계에 미치는 영향을 수중환경과 관련하여 최대 우선 과제로 선정, 체계적으로 연구함으로써 잔류농약에 의한 수권생태계 파괴라는 불명예에서 하루 빨리 벗어날 수 있도록 우리 모두가 온갖 노력을 경주하여야 할 것이다.

〈다음호에 계속〉

제일농약(주)사무실 이전 안내

제일농약(주)(대표·朴德禧)가 업무활성화를 위해 서울본사 사무실을 이전할 계획이다.

이전 예정일은 9월 12일이며 주소와 전화번호는 다음과 같다.

◆ 주소 : 서울시 종로구 도림동 115(3-6빌딩 401호)

◆ 전화 : 736—3846 (변동없음)