

—농작물에 부착한 농약—

물리적 요인으로 쉽게 없어져

〈Ⅳ〉

한국원자력연구소 환경화학연구소
실장(農博) 李 瑞 來

1. 농작물중의 잔류농약

농약관리법에서 작물잔류성 농약이란 “권장된 방법에 의하여 사용된 농약이 수확물중에 잔류하여 법정기준에 저촉될 우려가 있는 것”으로 정의되고 있다. 이때 법정기준이란 농수산부와 보건사회부의 협의에 따라 결정되는 허용기준으로서 아직 우리나라에서는 식품중 잔류농약의 허용기준이 설정되지 못하고 있기 때문에 작물잔류성 농약에 해당되는 품목은 아직 지정되지 못하고 있다.

농약의 잔류성은 증기압, 용해도, 산이나 알칼리에 대한 안정도와 같은 농약성분의 물리적 및 화학적 성질과 깊은 관계를 가지고 있다. 예

컨대 DDT나 β -BHC와 같이 증기압이 낮은 농약은 DDVP나 α -BHC와 같이 증기압이 높은 농약에 비하여 증발에 의한 손실이 적으므로 잔류성이 크다. 많은 유기인제에서와 같이 가수분해되기 쉬운 농약은 유기염소제와 같이 화학적으로 안정한 농약보다도 일반적으로 잔류성이 작다. 물이나 유기용매에 대한 용해도도 농약의 잔류기간이나 잔류장소에 영향을 미친다. 그러나 농약의 잔류량이나 잔류기간은 농약자체의 특성뿐만 아니라 농약의 사용방법, 대상작물 그리고 기상조건 등 여러가지 요인의 영향을 받는다.

농작물에 살포된 농약은 우선 작물체의 표면에 물리적으로 부착되는 데 부착량이 많을수록 잔류량도 많

게 된다. 이때 부착되는 양은 작물의 표면적이나 표면의 성질에 따라 달라진다. 예컨대 과실의 단위중량당 표면적은 직경에 반비례하므로 직경 1cm되는 포도는 직경 10cm의 사과보다 10배의 표면적을 가질 것이고 그만큼 부착량도 많아진다.

또 같은 포도라도 알맹이가 작은 텔라웨어에서는 알맹이가 큰 마스켓보다도 부착량이 많다. 가령 사과의 반경을 4cm, 비중을 1이라 하면 한 개의 중량은 268g, 표면적은 201cm²가 된다. 어떤 농약 50% 유제의 1,000배액이 이 표면에 0.1mm의 두께로 균일하게 부착된다면 부착한 액량은 약 2ml가 되고 유효성분의 부착량은 약 3.8ppm이 된다는 계산이 나온다. 실제로 어떤 유기인제의 유제를 살포한 직후의 부착량은 이러한 계산치의 약 10/1이었다고 한다. 더우기 상추, 시금치, 배추와 같이 표면적이 매우 큰 엽채류에서는 부착량도 매우 크다. 그러나 표면적이 크면 증발도 용이하고 일광이나 공기의 영향도 받기 쉬우므로 잔류량의 감소속도는 일반적으로 빨라진다. 딸기와 같이 표면이 거칠거칠하거나 복숭아와 같이 표면에 털이 있는 과실에서는 부착량이 많아진다. 또 같은 종류의 농약에서도 분제보다는 유제가 일반적으로 부착량이 많아진다.

◇ 농작물에 부착된 농약 비교적 쉽게 없어진다.

농작물에 부착한 농약은 증발, 바람이나 빗물에 의한 유실(流失) 등 물리적 요인에 의하여 비교적 용이하게 없어진다. 위에서 언급한 바와 같이 증기압이 높은 농약은 증발에 의한 소실이 크며 수화제나 유제는 분제에 비하여 작물체의 표면에 균일하게 밀착하게 되므로 바람이나 빗물에 의한 유실을 받기 곤란하다. 부착한 농약은 일광이나 산소에 의하여 화학적으로 분해되기도 한다. 비닐하우스와 같은 시설재배에서는 비, 바람이 차단되는 동시에 광선도 차단되므로 노지(露地)재배에 비하여 농약의 잔류기간이 훨씬 길어지는 경우가 적지 않다. 따라서 최근 우리나라에서도 속성재배 또는 단경기(端境期) 공급을 위하여 비닐하우스에서 채소를 재배하는 경우가 많아졌는데 특히 이들은 대부분이 그대로 생식(生食)하는 식품이 될 것이므로 이러한 채소에서의 잔류농약에 대하여 각별한 주의를 해야될 것이다.

◇ 대부분의 농약, 식물체에 침투하는 양 많지 않다.

오늘날 사용되고 있는 농약성분의 대부분은 기름에 녹기 쉬운 유기물

◎ 잔류농약의 문제점

이므로 식물체에 부착된 농약은 비교적 신속하게 식물표면의 표피층으로 녹아들어가 물리적인 소실이 적어진다. 침투이행형(浸透移行型) 농약을 제외한 대부분의 농약은 식물체내에 깊숙히 침투하는 양이 그리 많지 않은것 같다. 예컨대 과실에서는 과피(果皮)에 대부분이 잔류하고 과육(果肉)에 잔류하는 양은 적다. 한편 침투이행형 농약은 수용성이 크므로 디시스톤과 같은 농약은 식물체내에서 산화되어 수용성이 큰 성분으로 변화되어 식물체내를 이동한다. 생물체내에서 일어나게 되는 농약성분의 대사과정(代謝過程)에 대해서는 추후에 설명하기로 하겠다. 또 농약의 화학적 성질에 따라 작물체의 특정부위에 축적되는 경우도 있다. 예컨대 수은제는 벼에서 단백질이 많은 현미의 호분층(糊粉層)에 많이 잔류하고 DDT나 디엘드린은 지방분이 많은 콩이나 땅콩의 종자에 많이 잔류한다. 식물체중의 잔류농약은 식물의 비대성장(肥大成長)에 따라 상대적으로 희석되기 때문에 비대성장이 신속한 작물에서는 잔류량의 감소도 신속하다. 예컨대 오이나 가지에서는 꽃이 떨어진 후 1주일만에 과실을 수확하게 되므로 이러한 과실에서는 약제살포후 1주일 이상이나 농약이 잔류하는 일은 침투 이행형의 경우 이외는 매우 적

다. 또 같은 작물일지라도 비대성장이 신속한 시기에 사용한 농약은 잔류량이 적다.

이상과 같이 농작물에 있어서 잔류농약의 양과 잔류기간에는 여러가지 요인이 작용하고 있는 바 이것을 크게 나누면 ①농약 자체의 성질 ②대상작물 자체의 성질과 재배방법 ③농약의 사용방법 ④기상조건 등 환경요인의 네가지가 된다.

농약 자체의 성질로서의 잔류성을 비교하려면 이중 첫째요인 이외의 것을 가능한 한 일정하게 즉, 같은 작물에 같은 방법으로 사용한 경우의 잔류량을 비교해야 된다. 한편 같은 농약이라도 대상작물이나 사용방법 등에 따라 잔류량이 달라지므로 작물을 적당히 선택하고 농약의 사용시기나 회수를 적당히 규제함으로써 잔류량을 일정한 기준치 이하로 억제하여 잔류농약에 의한 피해를 방지하는 것이 가능하게 된다. 대상작물의 종류나 농약의 사용방법, 사용량, 사용시기 등은 농약의 약효나 약해와 관련되어 농약의 종류마다 일정한 범위에 들어가게 된다. 따라서 약해, 약효의 관점에서 보아 사용이 가능한 여러가지 경우에 대하여 농산물에 있어서의 잔류량을 미리 조사하고 그 양이 농약의 독성으로 보아 사람이나 가축에 피해를 미칠 염려가 있다고 판단되는 경우 그

러한 사용방법은 규제하게끔 된다. 현재 우리나라에서 시행되고 있는 유독성 농약의 작물별 안전사용기준은 이러한 잔류성 시험에 근거를 두고 시행되는 농약의 관리방법인 것이다.

한가지 농약을 어떤 대상작물에 대하여 일정한 양 또는 농도에서 사용한 경우 수확물에서의 잔류량을 좌우하는 요인은 사용시기, 회수, 사용후 수확까지의 기간이 된다. 특히 사용후의 기간과 잔류량과의 관계는 농약의 잔류성을 크게 좌우하는 요인으로서 안전사용기준을 결정하는 중요한 기초가 된다. 이 관계는 흔히 지수함수적인 관계로 표현되는데 잔류량의 대수(對數)를 사용후의 경과일수에 대하여 그리면 직선이 되고 잔류량이 반감되는 기간이 일정해진다.

예컨대 포도에 있어서 파라치온의 잔류량 감소곡선을 보면 그림 1에서와 같이 전형적인 지수관계에 있고 반감기는 약 5일이 된다. 이러한 지수함수적인 감소는 방사성 동위원소의 붕괴와 같이 1차반응이지만 잔류농약의 감소가 1차반응적으로 일어나는 이론적 근거는 아직 없다. 따라서 이것은 어디까지나 경험적인 것이고 이러한 감소곡선을 굳이 일 변화시킬 필요는 없다.

평지(유채)에 있어서 파라치온 잔

류량의 감소곡선을 보면 그림 1에서와 같이 두개의 구부러진 곡선이 된다. 이때 최초 구배의 급한 부분은 부착농약의 증발이나 탈리(脫離)등 주로 물리적인 감소에 의한 것이고 다음의 구배가 느린 부분은 표피층 안으로 들어간 농약이 분해되어가는 경과를 나타내는 것이라 해석할 수 있다. 또 A라는 농약이 식물체내에서 보다 안정한 B성분으로 급속히 변화되는 경우에도 A+B의 감소곡선은 A가 모두 B로 변화된 점에서 구부러지게 된다.

칩투이행형의 농약이나 뿌리에서 흡수된 농약의 경우에는 더 복잡해진다. 예컨대 풋시험에서 α -BHC 입체를 논 표면에 사용한 경우의 잔류량을 보면 현미에 있어서나 벚질

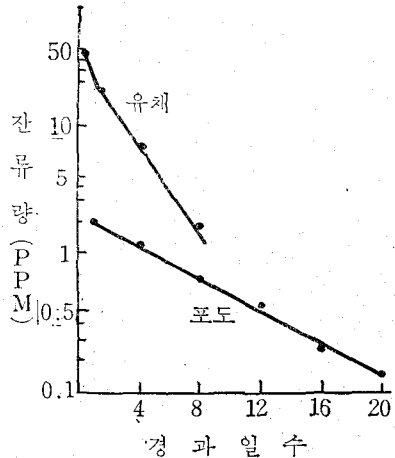


그림 1. 유채 및 포도의 파라치온 잔류량

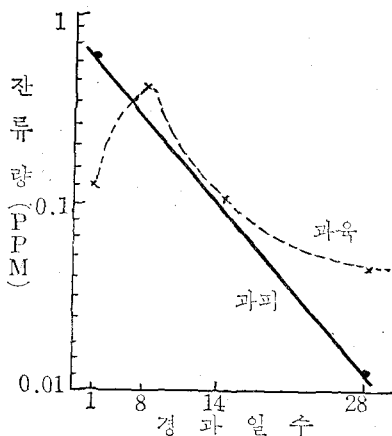


그림 2. 복숭아의 메칠디메톤 잔류량

에 있어서나 일찍 사용한 경우에 더 많다. 즉 α -BHC가 증산류(蒸散流)와 함께 수도 체내를 이동하여 식물체의 지방분에 축적되기 위해서는 어느 정도의 시간이 필요한 것으로 수확기에 가깝게 사용한 경우는 오히려 잔류량이 적어진다. 그러나 실제의 포장에서는 수도의 줄기나 잎에 직접 부착되는 농약이 적지 않을 것이므로 수확기 가까이 사용한 쪽이 잔류량도 많다.

복숭아 과실에 있어서 메칠디메톤의 잔류시험 결과를 보면 그림 2와 같다. 이때 정량된 잔류분은 식물체 내에서 생성된 산화물인 메칠디메톤술폭시도(sulfoxide)이었으며 과피에서의 잔류량은 반감기가 7일인 지수함수적 관계에 있었으나 과육에서는 살포 1일후 보다는 8일후의 잔류량

이 컸고 그후 완만하게 감소하고 있었다.

◇ 환경오염 방지위해 BHC등 사용 완전금지

우리나라에 있어서 농산물중 잔류농약의 검색은 1967년부터 시작되었다고 할 수 있다. 그러나 이들 조사 보고는 각기 다른 연구자에 의하여 수행되었고 분석시료의 수, 수집장소 등이 서로 다르거나 제한되어 있으므로 이들 결과를 서로 비교하고 연차적 변화추세를 알아 내는 데는 많은 어려움이 가로 놓여있다. 유기염소제 중에서 BHC의 예를 보면 한국산 쌀에서의 평균잔류량은 언제나 0.02ppm이하로서 예상한 것보다 그 오염도가 매우 낮았다. 특히 그 소비량이 가장 많았던 1976년산 전국에서 수집된 현미시료 112점에 대한 분석결과를 보면 평균 0.006ppm이었고 99%의 시료에서 0.05ppm이하였으며 1%의 시료만이 0.08ppm이었다.

일본에 있어서 현미중 잔류허용량은 γ -BHC로서 0.5ppm, 전 BHC로서 0.2ppm을 설정하고 있다. 작물별 안전사용기준에 따라 수도의 이화명충 1회기 1회에 한하여 BHC를 사용할 경우 현미중 잔류량은 0.02ppm정도로써 일본에서의 엄격한 허용량인 0.2ppm을 절대로 넘지 않을 것이라

는 포장실험 결과가 나오고 있다. 더우기 현미는 사람이 섭취하기 전에 도정, 수세, 취반(炊飯)이라는 여러 과정을 거치게 되는 동안 BHC 잔류량이 다시 1/20로 감소하게 되므로 독성학적 견지에서 큰 문제가 되지 않을 것으로 생각된다. 그러나 환경오염을 방지한다는 뜻에서 1979년 7월을 기하여 BHC의 사용을 완전히 금지시키기에 이르렀다.

2. 축산물중의 잔류농약

가축이나 그 사료중에 잔류농약이 검출되는 수가 있다. 특히 우유와 낙농제품에는 농약성분이 농축되기 쉬우므로 선진국에서는 우유중 유기염소계 살충제의 잔류량에 대하여 엄격한 감시가 되어왔다. 예컨대 미국에서는 우유중 살충제는 분석기술이 허용하는 감도(感度) 내에서 검출되어서는 안되는 것으로 되어 있다. 한편 육류중의 잔류량은 때때로 높이가 나타나는 수가 있는데 우유 이외의 축산물에 대한 잔류량 규제는 별로 이루어지지 않고 있다. 그 이유는 동물조직의 부위에 따라 잔류량에 큰 차이가 있고 또 그 오염실태를 모니터링 하는 것이 매우 곤란하기 때문이다.

◇ 가축사료의 잔류농약 규제, 현재로서는 매우 어렵다

동물조직중의 유기염소계 농약은 가축이 섭취하는 사료로부터 오염되는 것이므로 그 잔류량은 크게 변화되게 마련이다. 따라서 가축사료중의 잔류농약을 규제해야 되는데 이것은 매우 어려운 일이다. 한편 동물조직중의 잔류농약은 인체의 체지방중 잔류량의 중요한 근원이 되고 있다. 예컨대 고기를 많이 먹는 사람의 체지방에는 일반 대중의 체지방보다 1.5배나 되는 DDT를 함유하고 있었다는 보고가 있다.

일본과 우리나라에서는 1950년대에 들어서면서 수도를 비롯하여 농림업의 각 분야에서 다량의 BHC를 사용하여 왔다. 유럽이나 미국에서는 1960년대 후반에 들어서면서 DDT에 의한 환경오염이 심각해지자 일본이나 국내에서도 유기염소계에 대한 관심을 갖기 시작하였고 일본에서는 1969년 우유중 고농도의 BHC가 검출됨으로서 중대한 사회문제로까지 번지게 되었다.

일본에서의 조사결과를 보면 우유중에는 BHC의 각종 이성질체가 검출되었는 바 일반적으로 γ -BHC는 극미량(0~0.05ppm)인데 반하여 β -BHC가 현저하게 많았다(0.001~2.68ppm). BHC원제중 가장 많이 함

◎ 잔류농약의 문제점

유된 α -BHC는 β -BHC의 절반 이하였고 δ -BHC는 γ -BHC와 비슷하였다. 또 오염정도는 우유생산량이 많은 지역에서는 일반적으로 낮은데 반하여 BHC사용량이 많은 지역에서는 오염이 심하였다. 더우기 우유에서는 DDT나 디엘드린도 검출되었으나 그 양은 BHC에 비하여 극히 미량이었다.

이와 같이 우유의 오염실태가 밝혀지자 그 오염경로를 해명하기 위한 조사가 착수되어 다음과 같은 사실이 밝혀졌다. 즉 BHC에 의한 우유의 오염정도와 젖소의 사료간에 깊은 관계가 있었고 조사료(粗飼料)로서 볏짚을 먹인 젖소의 우유가 더 오염되어 있었다(표 1). 사료를 분석한 결과 표 2와 같이 볏짚중에는

표 1. 사료에 따른 우유중 BHC 잔류량(ppm)

사료 급여형태	전 BHC	β -BHC
볏짚주채(후기까지)	0.389	0.216
볏짚주채(중기까지)	0.215	0.114
사료작물 주채	0.065	0.038
초지, 사료작물주채	0.015	0.008

표 2. 사료중 BHC함량(ppm)

사	료	전 BHC	β -BHC
볏	짚	3.106	1.415
건	초	0.161	0.039
엔	시	0.047	0.006
배	합	0.117	0.014

다량의 BHC가 함유된데 비하여 다른 사료중에는 미량이었다. 볏짚중의 BHC는 해당 농약의 사용시기와 관계가 있어 이화명중 1회기 방제를 위하여 수도작 전기에 할하여 사용한 경우에 비하여 벼멸구 등의 방제를 위하여 수도작 후기에까지 사용한 경우에는 10배 이상의 BHC가 잔류하고 있었다.

이상의 결과에서 우유중 BHC오염의 주요원인은 BHC로 오염된 볏짚을 젖소에 먹인 때문이라고 판단되었다. 따라서 일본 농림성에서는 1970년 젖소에 볏짚을 먹일 예정인 수도작에는 BHC제제를 사용하지 말 것이며 일반 수도작에서도 출수기 이후에는 BHC를 사용하지 않도록 행정지도에 나섰다. 그후 다시 농약취체법의 개정에 따라 BHC, DDT는 등록이 전면적으로 말소되어 판매금지, 재고품 처리후 전혀 사용하지 않게끔 되었다.

젖소의 체내에 축적된 BHC는 새로운 오염원이 가해지지 않는 한 차차 분해되고 우유의 오염도 점차 감소된다는 것이 실험적으로 확인되고 있다. 일본 후생성의 조사에 의하더라도 오염 경감정책에 따라 전국 우유중의 BHC는 1969년 가을부터 1971년 봄까지의 약 1년반 사이에 1/10 정도로 감소되고 있음이 밝혀지고 있다.

한편 우리나라에서 1978년 가을 전국 주요도시에서 수집한 우유시료 305점에 대하여 유기염소계 잔류농약을 분석한 결과 평균치로서 β -BHC 0.006ppm, 전 BHC 0.012ppm이었다. 이러한 검출량은 일본에서 BHC가 사용금지된지 1년후인 1972년 전국적으로 실시한 조사결과와 비교해 볼 때 농약사용량이 가장 적었던 홋카이도(北海道) 지역보다 낮으며 당

시 일본 후생성에서 시유(市乳)중 잠정적으로 정하였던 β -BHC의 허용기준인 0.2ppm의 1/40이었다. 가장 높게 검출된 시료의 경우도 그의 1/10인 0.017ppm에 불과하였다. 이러한 현상은 우리나라에서의 BHC사용량이 일본의 당시 사용량보다 훨씬 적었으며 안전사용기준에 의한 사용규제가 잘 준수되었음을 말해주는 것이라 생각된다.

농작물 품종이름 알기쉽게 바뀐

농수산부는 현재 복잡하게 표시되고 있는 농작물 품종이름을 바꾸어 농민들이 알기쉽도록 새로 명명키로 했다.

19일 농수산부에 따르면 현재 사용되고 있는 품종이름은 품종육성기관의 계통번호를 1백단위까지의 숫자로 표기, 水原 182호(보리) 水原 215호(밀) 水原 222호(벼) 등으로 명명돼 있기 때문에 농민들에게 큰 혼돈을 주고있다.

이에 따라 앞으로 품종이름은 ▲ 4자리내로 표기하되 ▲ 품종명의 語尾에 벼·보리·콩등 작물명을 붙이며 ▲ 벼품종의 특성을 알 수 있도록 조생종은 보급지역의 名山이름을, 중생종은 특성을 나타낼 수 있는 보통명사로, 만생종은 보급지역의 강이나 호수명을 인용키로 했다.

그러나 현재 농민에게 잘 알려진 품종명은 그대로 사용하고 외국에서 도입하는 품종은 原名을 우리말로 표기키로 했다.

새로 명명되는 벼품종은 다음과 같다. (괄호안은 前名)

- ▲ 冠岳벼(水原 222호) ▲ 道峰벼(水原 223호) ▲ 太白벼(水原 287호)
- ▲ 秋風벼(水原 288호) ▲ 白雲찰벼(裡里 344호) ▲ 雪嶽벼(鐵原 21호)
- ▲ 黃金벼(水原 251호) ▲ 萬石벼(水原 264호) ▲ 八光벼(水原 284호)
- ▲ 쌍별벼(裡里 326호) ▲ 三星벼(裡里 338호) ▲ 曙光벼(裡里 342호)
- ▲ 眞珠벼(裡里 345호) ▲ 錦江벼(水原 258호) ▲ 漢江찰벼(水原 290호)
- ▲ 洛東벼(密陽 15호)