식품과 농약(I)

- 농약의 중요성과 종류 -

Pesticide and Its Importance

김 정 한
Jeong Han Kim

서울대학교 농업생명과학대학
College of Agriculture and Life Sciences, Seoul National University

서 론

현대 농업에서 해충이나 병, 잡초의 방제에 필수 불가결한 농약 없이는 제대로 식량 생산이 불가능 한 상황일 뿐 아니라, 농약의 사용은 농산물의 품질 향상과 노동력 절감에 기여하고, 농산물의 생산비 저하에 중요한 몫을 담당하고 있다.

하지만 이러한 농약의 유익성에 반하여 농약은 그 자체가 크건 작건 간에 어느 정도의 독성을 가진 화합물(물론 의약품도 마찬가지)이기 때문에 사용 중에 조심해야함은 물론 식품/농산물 중의 농약 잔류량을 엄격하게 관리하지 않으면 농약이 과다하게 잔류된 식품/농산물을 섭취할 가능성도 있다. 따라서 '시중 채소 농약 법벅, oo% 허용 기준치 초과, 최고 oo배에 달해, 또 농약 검출, 마구 뿌린다' 등과 같은 보도는 매스컴에 단골로 등장한다. 더구나 일정한 장소와 공간에서 생산되어 사용되고 처리되는 다른 산업용 화학물질과는 달리 농약은 작물은 물론 토양, 물, 대기와 같은 야외 환경에 직접 살포되기 때문에 생태계 오염도 간과할 수 없는 부분이다. 더구나 우리나라는 작은 국토에도 불구하고 농약사용 규모가 세계 10위권에 올라있으니 당연히 농약에 관심과 주의를 기울이지 않을 수 없다. 하지만 아직도 대부분의 소비자들은 '농약' 하면 '(맹독성)살충제' 나 '발암제' 를 생각하고 농약과 '제초제' 는 다른 것으로 여길 뿐 아니라, 살충제는 위험해도 제초제는 (식물을 죽이는 약제라서) 사람에게는 별로 위험하지 않은 것으로 생각하기도 한다. 이미 세종대왕시절부터 종자소독(農事直說; 鄭招, 세종 11년)을 하면서 농약에 대한 개념이 있었고, 1930년부터 최초의 합성농약을 사용한 지 75년이나 되었는데도 아직 합리적인 인식이 자리 잡지 못하고 있다.

따라서 본 논단은 식품 관련 분야 및 소비자 대중들이 '농약' 하면 무조건 나쁜 것으로 취급을 하는 오해와 막연하고 불필요한 우려나 불안감을 해소하고, 오용과 남용을 방지하며 농약의 위해성과 안전성을 합리적으로 판단할 수 있도록 농약의 중요성에 대한 이야기부터 시작하여 농약에 대한 상식적이고도 과학적인 이해를 돕고자 한다.

1. 농약은 왜 중요한가?

농약은 우리 인간들이 발명하거나 자연계에서 발견한 화학물질로서 자신의 생존을 위한 식량 확보를 위해 자연계의 다른 종족(해충, 병균, 잡초)과 싸우는데 사용하는 전략적 수단이며 무기이다. 왜 이런 무기가 필요한가? 우리에게 식량을 제공하는 농작물은 잡초가 무성하면 자랄 수가 없고, 해충과 병균을 막지 못하면 수확해서 먹고 살 것이 별로 없기 때문이다. 세계

적으로 약 10,000종의 해충이 작물에 직접피해를 주거나, 작물 병이나 사람질병을 매개하고, 80,000~100,000종의 식물병 (곰팡이, 바이러스, 세균 등), 약 1800종의 잡초가 심각한 식량 손실을 초래하고, 약 1000종 이상의 선충도 문제를 일으키고 있다. 한 가지 예를 들면 1845~1851년 사이에 아일랜드에서 감자역병에 의한 기근이 들어 약 100만명 사망하는 엄청난 일도 있었다. 우리나라에도 발생되고 있는 병해충 잡초의 종류는 총 5,850 종으로 3,608 종이 농작물에 발생하고 그 중에서 주요 방제 대상은 100 종이며, 외래 유입 종도 270 종이 보고되어 있다. 따라서 농약을 사용해서 해충을 방제하고 병든 농작물을 치료하고 잡초를 제거하지 않는다면 품질 좋고 풍부한 먹거리의 생산은 불가능 하다(그림 1). 그림 1은 일본식물방역협회가 주요 작물을 대상으로 실시한 시험 결과인데 물론 우리나라 상황과 반드시 동일하다고는 말할 수 없지만, 농약을 사용하지 않으면 사용하는 경우와 비교해서 대개 30-80% 정도만 생산이 가능하게 되는 것으로 나타나 있고, 사과는 3%, 복숭아의 경우는 0%로 조사되었다.

이와 같은 먹거리 생산 뿐 아니라, 우리들의 노동력과 시간을 절약하고 편리한 농사를 짓도록 하는 데에 제초제는 또 한 몫을 하고 있다. 잡초는 우리가 열과 성을 다해 재배하는 작물과 수분, 영양분, 태양광에 대하여 경쟁을 하면서 작물의 생육을 방해하기 때문에 농산물의 생산량을 감소시키고 품질을 저하 시킨다-이래서 잡초라고 한다. 따라서 잡초를 효과적으로 제거해야 농산물 생산도 수월하고, 생산비도 낮아 져서 싼 값에 좋은 곡물, 과일, 채소를 공급할 수가 있다. 예로부터 논밭에 잡초가 무성하면 게으른 농부로 이름나기 때문에 부지런히 '김매기'를 해서 깨끗한 논밭을 만들어야 제대로 수확을 할 수 있다. 그러나 말이 김매기지 그게 쉬운 일인가? 뙤약볕에 쭈그리고 앉아 호미질하면서 잡초를 캐는 일은 정말 힘들고 지루한 작업이다. 힘 안 들이고 간단하게 경제적으로 잡초를 제거할 수 있도록 한 것이 바로 제초제이다. 그림 2는 제초제 사용에 의한 노동력 및 노동 시간 절감효과를 보여주고 있는데 제초제 사용 이전인 1949년도 까지는 10a의 면적에서 잡초를 제거하는데 평균 6.3 인이 50.6 시간을 소비했지만 제초제가 사용되고, 1991년 이후에는 0.3 인이 2.2 시간만 투자하면 가능하게 되었다. 실로 대단한 효과이다. 별로 길지도 않은 우리 귀중한 인생을 논밭에 나가 소비하는 대신에 그 만큼 연장해 준 것 이나 다름이 없다.

한 가지 더 언급해야 하는 것은 농약을 너무 많이 사용해서

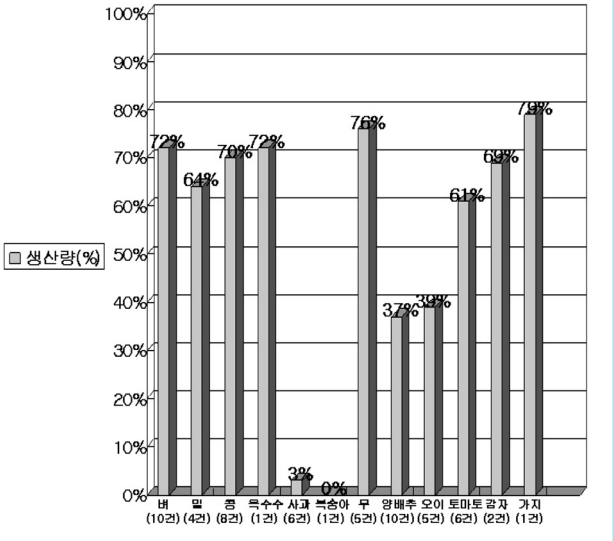


그림 1. 농약을 사용하지 않고 재배할 경우의 농산물 생산율 [일본식물방역협회 1993 ('91 - '92시험실시), (출처; 농약과 열대어)]

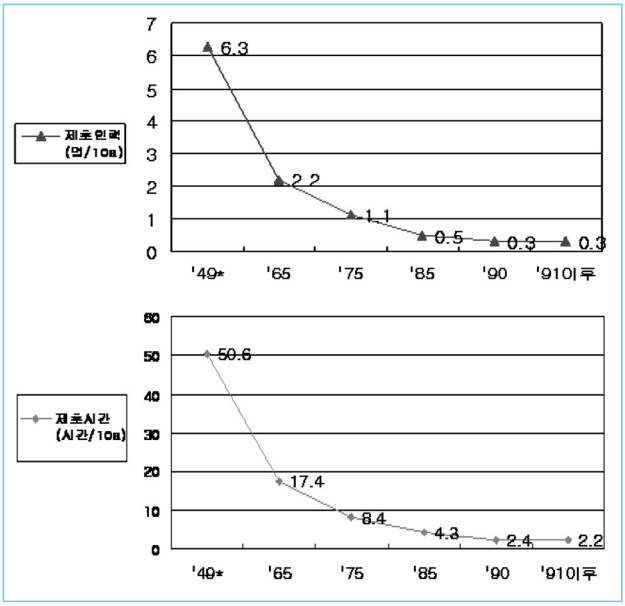


그림 2. 제초제 사용에 의한 노동력 및 노동 시간 절감효과 [1인 1일 8시간 노동기준, (출처; 농약의 안전성과 작물보호)]

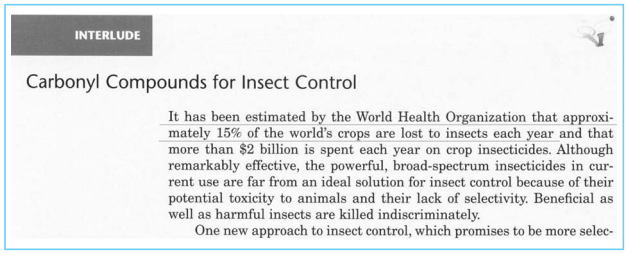
문제가 많다 적다 설왕설래하는 있는 현재도, 세계에서 경작하는 농작물의 약 1/3이 매년 해충, 병균, 잡초 때문에 손실되고 있다고 하는데, 사실인가 의심이 되겠지만 WHO의 통계에 의하면 매년 해충에게만 전체 농작물의 약 15%를 빼앗기고 있다(그림 3)고 하니 틀린 이야기는 아닌 것이라서 농약의 중요성은 다시 한 번 강조해도 지나침이 없을 것이다.

이러한 농약은 농업에 대한 기여 외에도, 대부분의 가정용/방역용 살충제도 유효성분으로 농약을 함유하고 있기 때문에 위생해충을 방제해서 모기, 파리, 바퀴벌레가 매개하는 전염병도 예방하고, 쾌적한 생활환경을 제공하는 데에도 농약은 큰 역할을 하고 있다. 한 가지 예를 들면 잔류성이 길어서 생태계에 대한 영향 때문에 우리나라에서도 30여 년 전에 사용이 금지된 DDT는 1940년대부터 모기 유충을 방제하여 말라리아를 예방하는 데에 크게 기여하였는데, 말라리아 감염에 의해 세계적으로 1939까지 연 사망율이 600만명이나 되었지만 DDT의 사용에 의해 1991년 이 후 현재 까지 사망률이 100만명으로 줄었다. 아직도 대개 아프리카, 아시아 지역에서 주로 사망하는데, 흥미로운 일은 WHO가 작년 9월 말라리아 예방을 위해 DDT의 적극적 사용을 권장(주로 옥내 살포)하는 성명을 발표한 일이다. 환경론자들은 물론 반대를 하지만 일단 사람의 목숨이 더 중요한 것이다. 남의 일이 아닌 것이, 사실 우리나라도 이, 벼룩, 빈대 때문에 하얀 DDT 가루를 몸에 뿌리고 산 가난한 시절이 그리 옛날도 아니다.

2. 농약은 무엇이고 어떤 종류가 있나?

농약은 간단하게 말해 "살충제, 살균제, 제초제, 생장조정제를 모두 포함한 대표적인 용어이고, 파리, 모기 박멸에 쓰이는 가정용/방역용 살충제도 거의 모두 살충제농약이다"라고 알고 있으면 된다. 조금 더 자세히 알아보자면 '농약관리법'에 농약은 다음과 같이 정의되어 있다.

"농약이라 함은 농작물(수목 및 농림산물을 포함)을 해하는 균(菌), 곤충(昆蟲), 응애(?), 선충(線蟲), 바이러스, 잡초 기타 농림부령이 정하는 동식물(동물; 달팽이, 조류 또는 야생동물, 식물; 이끼류 또는 잡목)의 방제에 사용되는 살균제(殺菌劑), 살충제(殺蟲劑), 제초제(除草劑), 기타 농림부령이 정하는 약제(기피제(忌避劑), 유인제(誘引劑), 전착제(展着劑))와 농작물의 생리기능을 증진하거나 억제하는데 사용되는 약제를 말한다." 즉, 살충제, 살균제, 제초제 외에도 해충을 직접 죽이지 않고 기피, 유인하는 약제, 농약이 식물에 잘 붙도록 하는 약제(展着劑)와 식물생장조정제 등도 농약으로 포함되어 있다. 이와 같이 우리나라는 농업에 쓰이는 약이라는 의미로 '농약'을 정의하고 있지만 영어로는 'pesticide'이다. 이 단어는 'pest'라는 단어에 'cide'라는 접미사가 합쳐서 만들어 졌는데 pest를 죽인다는 말이다. 이때 pest는 옛날 유럽을 휩쓸었던 '흑사병'이 아니라 식량 생산을 위한 농작물의 보호와 위생상 문제가 되는 모든 유해생물을 의미한다. 우리나라에서 사용 중인 농약 종류를


INTERLUDE

Carbonyl Compounds for Insect Control

It has been estimated by the World Health Organization that approximately 15% of the world's crops are lost to insects each year and that more than $2 billion is spent each year on crop insecticides. Although remarkably effective, the powerful, broad-spectrum insecticides in current use are far from an ideal solution for insect control because of their potential toxicity to animals and their lack of selectivity. Beneficial as well as harmful insects are killed indiscriminately.

One new approach to insect control, which promises to be more selec-

그림 3. '세계 농작물의 약 15%를 매년 해충에게 빼앗기고 있다'
(출처; Fundamentals of Organic Chemistry, MCMURRY, 5판, 2003년)

표 1. 'Cide(죽이다)' 라는 접미사를 포함하는 농약 종류

농약 종류	역할	농약 종류	역할
Acaricide, Miticide	응애를 죽임 (살응애제)	Algicide	藻類를 죽임 (살조류제)
Avicide	새를 죽임 (살鳥제)	Bactericide	세균을 죽임
Fungicide	병균을 죽임 (살균제)	Herbicide	잡초를 죽임 (제초제)
Insecticide	해충을 죽임 (살충제)	Larvicide	해충 알(모기알 등)을 죽임
Nematicide	선충을 죽임 (살선충제)	Molluscicide	달팽이를죽임 (살연체동물제)
		Ovicide	해충 알을 죽임
Pediculicide	이를 죽임	Piscicide	어류를 죽임(살어제)
Predicide	야생 포식동물 (코요테 등)을 죽임	Rodenticide	쥐(설치류; 토끼 등)을 죽임(쥐약)
Silvicide	나무, 잡목을 죽임	Termiticide	흰개미를 죽임

표 2. 'Cide(죽이다)' 라는 접미사가 없는 농약 종류

농약 종류	역할
Attractants	해충을 유인함(유인제)
Chemosterilants	해충이나 유해동물(새, 설치류 등)을 불임시킴(불임제)
Defoliants	식물의 잎을 제거함(고엽제)
Desiccants	식물을 건조 고사시킴(건조제)
Disinfectants	유해미생물을 제거함(항균제)
Growth regulators	곤충이나 식물의 생장을 조절함 (생장조정제)
Pheromones	해충이나 유해동물을 유인함(페로몬)
Repellents	해충이나 유해동물(개, 토끼, 사슴, 새 등)을 내쫓음(기피제)

모두 포함하고, 보다 범위가 크고 역할에 따라 훨씬 다양하게 분류되어 있다(표 1, 2).

3. 농약은 어떤 물질인가?

표 1, 2에서 보는 것과 같이 방제 대상에 따라서 다양한 방법으로 유해생물을 제어하는 농약은 도대체 무엇으로 만들어 졌을까? 생물을 죽이는 것으로 보아 이상하고, 독한 성분으로만 만들어 졌을까?

농약도 여타 의약품, 식품성분과 마찬가지로 화합물(compound)이고, 분자(molecule)이고 그러므로 다양한 원소(element – 원소 주기율표를 생각함)로 구성되어 있다. 수많은 원소들 중 약 19종의 원소(표 3)가 현재 사용하고 있는 대부분의 농약을 구성하며 주로탄소를 포함하는 유기화합물이다. 물론 자연계에 모두 존재하는 원소들이고, 우리 몸을 구성하는 원소들과도 별로 다를 바 없다. 이러한 원소들이 결합되고 연결되어 형성된 모양에 따라 생체 내에서 반응하는 방식이 다른데, 이에 따라 살충제도 되고, 살균제도 되고, 제초제도 된다. 그러면 농약 분자 몇 가지를 알아보자.

채소 오염 때문에 신문지상에 자주 등장하는 클로르피리포스(chlorpyrifos)와 여름철에 빼 놓을 수 없는 모기향의 살충성분인 알레쓰린(allethrin), 오래전에 사용이 금지 되었지만 여전히 농약의 대명사인 DDT의 구조를 다른 아스피린, 카페인, 니코틴 분자와 비교해서 살펴보면(그림 4), 여러 가지 원소끼리

표 3 농약 및 인체 구성 원소

구분	구성 원소
농약	탄소, 수소, 산소, 질소, 인, 나트륨, 염소, 유황, 마그네슘, 불소, 붕소, 브롬, 아연, 망간, 구리, 니켈, 주석, 비소, 나트륨
인체	탄소, 수소, 산소, 질소, 인, 칼슘, 나트륨, 칼륨, 염소, 유황, 마그네슘, 불소, 옥소, 붕소, 규소, 비소, 브롬, 바나듐, 철, 아연, 망간, 구리, 니켈, 코발트, 은

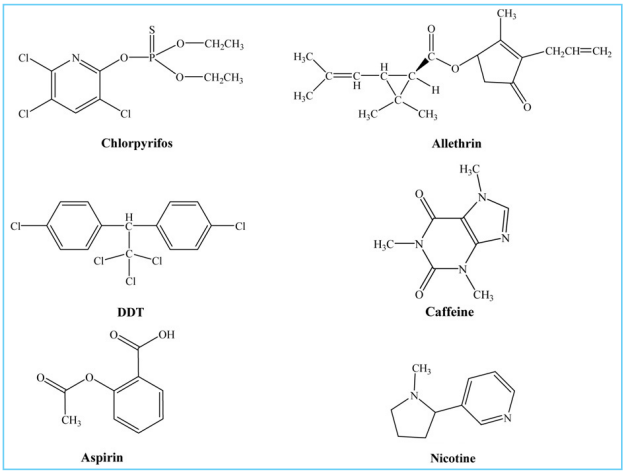


그림 4. Chlorpyrifos, allethrin, DDT, aspirin, caffeine, nicotine의 구조

연결되어 삼각형, 오각형, 육각형의 고리를 이루고, 대칭구조도 있고, 간단하고, 복잡하고, 참 흥미롭고 신기한 모양들이다.

농약의 구조를 그림(그림 4)으로 보니 "음, 그런가?!" 하지만 농약은 겉모양이 모든 유기화합물과 마찬가지로 고체가루이거나 액체일 뿐 정확한 구조를 볼 수는 없다. 그러면 어떻게 저런 농약분자의 구조를 정확히 알아낼까? 구조를 알아 내기위해 여러 가지 첨단 화학구조분석 기기가 사용되는데, 자외선 분광분석기나, 적외선 분광분석기를 사용해서 일부분의 구조를 알 수 있고, 핵자기공명분석기를 이용하면 원소들 특히 탄소, 수소, 인 등의 존재와 연결모양을 알 수 있어 구조를 대부분 결정할 수 있으며, 질량분석기로 분자량을 확인하여 전체 농약의 구조를 결정한다. 이러한 경우는 대개 2차원적(평면)구조 밖에 알아낼 수 없지만, 농약이 고체인 경우 아주 작고 투명한

crystal을 만들어서 X-선을 이용하여 구조를 마치 사진을 찍은 것처럼 상세히 결정할 수 있는데(X-선 결정학) 이때는 더욱 유용한 정보(원소들 간의 결합거리, 결합각, 작용기들의 상대적인 위치 등)와 전체적 3차원 구조를 볼 수 있다. 예를 들자면 pyribenzoxim과 bistrifluron은 각각 우리나라의 LG화학과 동부한농화학에서 세계 최초로 개발한 제초제 및 살충제인데, 자세한 3차원 구조를 X-선 결정학기기를 이용하여 본 연구실에서 최초로 알아내었다(그림 5).

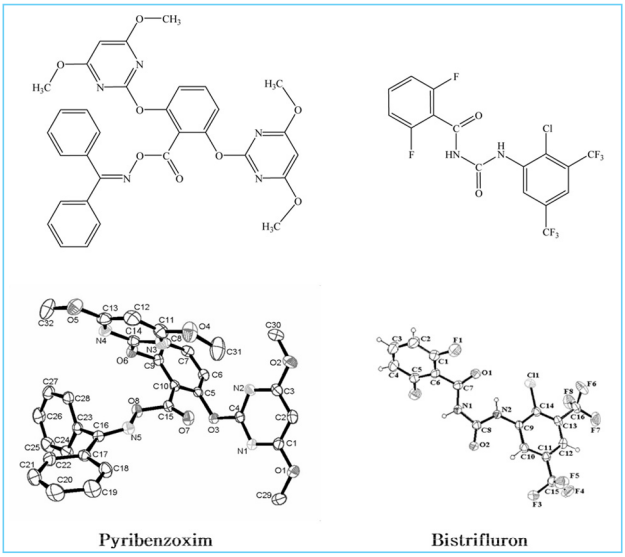


그림 5. Pyribenzoxim(제초제)과 bistrifluron(살충제)의 구조.