

농약과 꿀벌 - 1



정 년 기
보건학박사
대전보건대학교 임상병리과
cnk3849@paran.com

항공기의 사고를 왜 끔찍하게 생각할까?

항공기 사고로 사망할 확률은 자동차 사고로 사망할 확률인 5만 분의 1보다 적은 1천백만 분의 1이라고 한다. 항공사고는 그 결과가 참혹하게 나타나는 경우가 많아 심리적으로 느끼는 위기감에서 연유할 것이다.

항공기는 중량과 용적의 제한, 운임의 상대적 고가, 공항이 필요, 기후에 영향을 받는 등 많은 단점에도 불구하고 운송기간이 짧고 속도가 빠르다는 이유로 이용하고 있다.

농약 역시 왜 불안하게 생각할까? 농약 중독 사고는 의약품 중독사고 보다 낮음에도 불구하고 농약 중독 환자의 사망빈도가 높은데서 비롯할 것이다(노, 2010).

농약은 잔류독성의 위협, 유해생물뿐만 아니라 꿀벌 등 유용한 화분매개곤충에 대한 위협 등 또한, 무차별적으로 저항력을 키우게 됨에도 불구하고 노동력 절감, 농산물의 증산과 품질의 확보 차원에서 사용하고 있다.

I. 농약

농약(작물보호제¹⁾)이란 농작물(수목, 농산물과 임산물)을 해치는 균, 곤충, 응애, 선충, 바이러스, 잡초, 동식물(동물 : 달팽이, 조류 또는 야생동물, 식물: 이끼류 또는 잡목)을 방제하는데 사용하는 살균제 · 살충제 · 제초제, 농작물의 생리 기능을 증진하거나 억제하는 데에 사용하는 약제, 기피제, 유인제(곤충을 유인하는 약제), 전착제(농약의 효과를 증가시킴), 천연식물보호제(진균, 세균, 바이러스 또는 원생동물 등 살아있는 미생물을 유효성분으로 하여 제조한 농약과 자연계에서 생성된 유기화합물 또는 무기화합물을 유효성분으로 하여 제조한 농약)를 말한다(법제처, 2013).

1. 농약의 역사

1.1 세계의 농약 역사

기원전 2000년 이전부터, 인간들은 자신의 작물을 보호하기 위하여 농약을 활용하였다. 첫 번째로 알려진 농약은 4,500년 이전 고대 메소포타미아 슈메르(Sumer)에서 사용한 원소로 이루어진 유황 가루였다.

약 4,000년경 Rig Veda 문헌은 해충을 제어하기 위해 유독성 식물을 사용했다고 언급한다. 15세기까지, 비소, 수은과 납과 같은 독성 화학물질들이 해충을 죽이기 위하여 사용되었다. 17세기에, 황산니코틴(nicotine sulfate)이 살충제의 용도로 담배 잎으로부터 추출되었다. 19세기에는 국화로 부터 파생된 제충국(pyrethrum)과 열대 채소의 뿌리로부터 파생된 로테논(rotenone) 2가지의 천연적인 농약 도입을 알 수 있다. 1950년대까지, 비소에 기반한 농약이 우세하였다. Paul Mueller는 DDT가 매우 효과적인 살충제라는 것을 발견했다. DDT와 같은 유기염소계(organochlorines) 농약들이 우세하였으나, DDT는 미국에서 1975년까지 유기인계(organophosphates)와 카바메이트계(carbamates) 농약으로 대체되었다. 그때까지 제충국(pyrethrum) 화합물이 우세한 살충제였다.

제초제는 “트리아진과 다른 질소계 화합물, 2,4 - dichloro phenoxyacetic acid(2,4-D)와 glyphosate에 의해 주도하던 1960년대에 일반화 되었다.

1940년대에 제조회사들이 많은 양의 합성 농약을 생산 시작과 사용함에 따라 널리 퍼지게 되었다. 1940년대와 1950년대를 “농약의 시대(pesticide era)” 시작이라고 생각한다 (Wikipedia, 2013).

1) 작물보호제 : 농약이 농작물에 해를 주는 병해충을 방제함으로써 생산량을 높이고 잡초 방제에 필요한 노력을 줄여 생산비를 절감하는 등 안정적인 농업생산을 이끌어 왔음에도 불구하고 안전성에 대한 막연한 불안감 등 부정적인 인식이 만연해 있기 때문에 작물보호제라는 용어를 도입하고 있다(한국농어민신문, 2005)

1.2 우리나라의 농약 역사

우리나라에서도 역사적으로 해충방제를 위해 다양한 방법들이 활용되어 왔다. 1429년 발간된 농사직설에 의하면 마른 썩이나 재 등 천연 산물들이 병해충 방제 방법으로 이용되어 왔다고 한다.

해방 전에는 석회보르도액, 포름알데하이드, 유기수은제 등이 사용되었으며 1930년에 조선삼공농약사가 설립된 후 외국의 유기합성 농약이 우리나라에 소개되기 시작하였다. 이후 1940년대 중반부터 많은 농약제조회사들이 설립되어 합성유기농약들이 완제품으로 수입·사용되었다.

1940-50년대에는 주로 유기염소계 살충제인 DDT, BHC를 비롯하여 유기수은제로서 세레산 석회, 유기인계 살충제로서 EPN, parathion 등이 사용되었다(농약과 건강, 2013).

2. 농약의 사용

2.1 농약의 목적

농약은 특정 병해충을 관리하여 작물을 보호하는 등 그 목적이 있으며, 다음과 같다.

문제는 동시에 꿀벌 등 유용한 화분매개곤충에 대한 비표적위험 등을 일으킨다는 것이다(심과 김, 2001).

2.1.1 농작물 병해충과 잡초의 제거

사람이 살아가는데 있어서 가장 기본이 되는 것은 음식이다. 식량 생산의 증가를 위해서는 수자원 개발과 경지정리 등 기반조성은 물론 품종개발, 재배시기기술 및 병해충 방제 등 다방면의 지식과 기술을 요구하고 있다.

이 중에 병해충 방어와 잡초를 제거할 수 있는 가장 효과적인 방법은 현재까지 농약이다(송, 1996).

2.1.2 인체에 유해한 유기체 방제

인체에 유해한 것으로 여겨지는 유기체의 방제를 위하여 사용된다. 예를 들어, 웨스트 나일 바이러스(west nile virus), 황열(yellow fever) 그리고 말라리아(malaria)와 같은 잠재적으로 치명적인 질병을 전파할 수 있는 모기를 죽이기 위하여 사용된다.

2.1.3 곡물, 식품 저장시설 관리

식료품과 식품 저장시설에서 곡물과 같은 식품을 감염시키는 쥐와 곤충을 관리하기 위하여 사용된다.

2.1.4 노동력 절감과 품질향상

고품질 사과생산 및 생육활성화를 위해 꽃의 수를 제한하는 적화·열매를 숙아주는 적과작업²⁾을 실시함에 있어 인건비 상승 등의 이유로 화학적 적화·적과제인 농약을 사용한다(김과 정, 2013).

특히 적과제로 주로 사용되는 카바릴 수화제(세빈, 세단, 나크)는 수분에 중요한 화분매개곤충인 꿀벌 등에 독성이 많아 피해가 발생한다.

2.2 농약의 사용량

우리나라는 OECD 국가 중 가장 많은 농약을 사용하는 것으로 조사되었다. 1990년부터 2003년까지 평균 농약 사용량은 ha당 12.8kg(뉴시스, 2008), 2012년도는 단위 면적당 평균 10.6kg으로 나타났으며 10년 전과 비교하여 약간 감소한 것으로 나타났다(그림1).

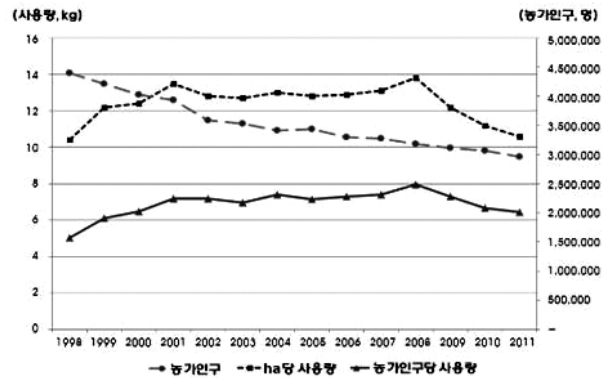


그림 1. 국내 농가인구 및 농약 사용량 변화. 출처 : 통계청, 농약 및 화학비료 사용량.

2.3 농약의 문제

2.3.1 환경적인 영향(Environmental effects)

농약 사용은 많은 환경적인 우려를 야기 시킨다. 살포된 살충제의 98% 이상과 제초제의 95% 이상은 비 대상 종(non-target species), 공기, 물과 토양을 포함하여 그들이 대상으

2) 적과(摘果 : 열매숙기)작업 : 과실을 숙아내는 작업. 꽃자리에 3-5개의 꽃이 피고 열매가 맺는데 그 중 틈실한 과실만을 남겨두는 작업이다.

로 하는 중 이외의 목적지에 도달한다. 농약 비산(pesticide drift)은 농약이 대기 중에 떠 있을 때, 입자들이 바람에 의하여 다른 지역으로 운반되기 때문에 일어나며, 잠재적으로 그들을 오염시킨다. 농약은 수질오염의 원인 중의 하나이며, 일부 농약은 지속적인 유기 오염물질(persistent organic pollutants)이고 토양 오염의 원인이 된다.

또한, 농약 사용은 또한 생물다양성을 감소시키고 결과적으로 토양의 질을 나쁘게 하고 질소고정을 줄이고, 수분 매개 곤충의 감소의 원인이 되며, 서식지 특히 조류를 위한 서식지를 감소시킬 수 있고 멸종될 위기에 처한 종들을 위협할 수 있다.

2.3.2 건강에 미치는 영향(Health effects)

농약은 제조, 수송 동안, 또는 사용 전과 후에 소비자들, 작업자들과 가까이 있는 사람들에게 위협할 수 있다.

유기인계 농약은 그 화학물질을 다루는 작업자들에게 급성적인 건강 문제인 복부 통증(abdominal pain), 현기증, 두통, 메스꺼움(nausea), 구토, 게다가 피부와 눈의 문제와 연관이 있다. 또한, 농약 노출이 호흡기 문제, 기억이상 증상, 피부질환(dermatologic conditions), 암, 우울증, 퇴행성 신경계 질환(neurological deficits), 유산과 출생결함(birth defects)와 같은 장기적인 건강 문제와 연관이 있다고 한다. 비호즈킨 림프종(non-Hodgkin lymphoma), 백혈병(leukemia), 전립선암(prostate cancer), 다발성 골수증(multiple myeloma), 그리고 연조직 육종(soft tissue sarcoma)과의 연관성과 다른 암에 대한 연관성에 대한 많은 연구에서 보고되었다(Wikipedia, 2013).

2.3.3 소비자(Consumers)에 미치는 영향

먹거리 작물에 병해충을 방제하기 위하여 사용된 농약은 그러한 먹거리를 소비한 사람들에게 위협할 수 있다. 과일과 채소를 포함하여 많은 먹거리 작물들은 씻거나 껍질을 벗긴 후에도 농약 잔류물질을 포함한다. 더 이상 사용하지 않았지만 오랜 기간 동안 분해에 대한 저항성을 가지는 화학물질들이 토양과 물 그리고 그로 인해 먹거리에 남아있을 수도 있다.

2.3.4 유익한 생물에 미치는 영향

유해생물뿐만 아니라 꿀벌 등 유익한 생물까지 죽인다. 또한, 무차별적으로 저항력을 키우게 된다.

2.3.5 꿀벌에 미치는 영향

모든 농약은 꿀벌을 바로 죽음에 이르게 하지만 꿀벌의 정상적인 발육과 성장을 저해해서 정상적으로 벌집으로 귀환하지 못하게 하는 경우도 있다. 이 중에서 주목을 받고 있는 적과제의 농약과 화학약품인 neonicotinoids 등이 알려져 있다.

사과나무는 대표적인 자가불화합성이다. 다른 품종의 꽃가루를 받아야 수정이 이루어지는 특징을 가지고 있다. 따라서 사과 생산량 증대를 위하여 꿀벌을 이용하여 계획적인 화분매개를 실시한다. 이 때 꽃의 수를 제한하는 적화·열매를 숙여주는 적과작업을 실시함에 있어 인건비 상승 등의 이유로 화학적 적화·적과제인 농약 사용은 수분에 중요한 화분매개곤충인 꿀벌 등에 독성이 많아 피해가 발생한다.

또한, 옥수수 등 파종기의 작물에 널리 사용되는 Neonicotinoids(아세타미프리트 수용제, 이미다클로프리트 미탁제 등)는 척추동물에게는 무해하지만 무척추동물인 곤충에는 독성을 지니기 때문에 CCD(colony collapse disorder : 벌무리붕괴현상)의 중요 원인중 하나라고 주목받고 있다 (Sciencedaily, 2012)

2.4 꿀벌의 피해

1984년에 꿀벌의 농약피해를 경험 농가는 94.7% 이었으며 농약사용 장소별로는 과수원 40.7%, 밭작물(고추 등)로 인하여 23.0% 이었다(최와 이, 1986). 연간 피해율은 10-30%로 나타났다; 최, 1987).

2010-2012(3년) 꿀벌피해를 경험한 양봉농가는 72%, 매년 증가한다고는 58%로 이었다(김과 정, 2013).

II. 꿀벌

꿀벌은 화분매개활동으로 식물의 자연교배를 통한 종자 생산과 종자의 활력 유지에 중요한 역할을 하며 농업에서 생산성 증가와 생산물의 품질향상을 향상을 기대할 수 있다(김과 정, 2013).

1.1 꿀벌의 증상

꿀벌의 농약중독 증상은 농약의 종류, 살포농도, 꿀벌의 종류(안일벌, 밖일벌, 여왕벌) 애벌레, 번데기 등의 조건에 따라 차이가 있다.

일반적으로 혀를 내밀고 죽어있거나(사진 2, 3), 신경·근

육의 경련으로 죽어간다. 일시에 벌통의 안쪽 바닥 또는 나들문 근방에서 수백, 수천마리씩 죽어간다(사진 4). 또는 벌일벌의 이상한 행동과 떼죽음이다.

별다른 이유 없이 여왕벌의 산란이 급격히 감소하다가 몇 주일 후 회복되거나, 꿀벌의 비상활동이 점차적으로 증대하는 기미를 보이면서 벌꿀, 기타 양봉산물의 생산성이 부진한 증상도 농약중독으로 인하여 나타나는 경우가 많다.

또한, 농약의 피해를 받은 벌무리(봉군)은 육아벌 수가 감소하기 때문에 육아활동을 제대로 못하고 키우던 애벌레를 밖으로 끄집어내는 경우도 있다. 갑자기 벌덮개된 벌방 내에서 죽은 번데기가 많이 발견된다. 애벌레들이 굵어 죽은 현상이 발생하기도 한다.

농약의 피해가 심할 때는 강한 벌무리라도 며칠사이에 작은 수의 일벌과 여왕벌 그리고 벌덮개된 벌집만 앙상하게 남는 경우도 있다.

벌꿀 또는 꽃가루에 농약이 오염되었을 때는 육아벌이나 애벌레가 계속 죽어가고 여왕벌이 산란활동이 저조하거나 중단하는 일도 있다. 더욱 심할 때는 벌무리 전체가 벌통을 떠나 벌터 주변 나뭇가지에서 머문다(최와 이, 1986).

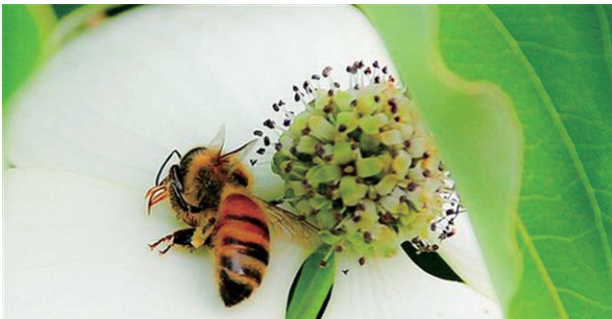


사진 2. 허를 내밀고 죽은 모습. 출처 : <http://www.treehugger.com/>



사진 3. 허를 내밀고 죽은 모습. 출처 : www.redorbit.com

사진 4. 많은 일시에 죽은 모습. 출처 : mysteryoftheiniquity.wordpress.com

1.2 진단

1.2.1 육안적 관찰

1.1 증상 편을 참고하라. 증상으로 농약중독의 의심을 할 수 있으나 이 증상만으로 확진을 할 수 없다.

1.2.2 실험실 검사

1) GC-ECD방법

시료의 채취 ; 의심되는 벌터의 주변에서 허를 내밀고 죽어 있거나(사진 2, 3), 신경·근육의 경련으로 죽어가는, 일시에 벌통의 안쪽 바닥 또는 나들문 근방에서 수백, 수천마리씩 죽어 있는(사진 4) 곳에서 시료를 채취하여 분석할 때까지 유리병에 보관한다.

분석방법 : 꿀벌 10g에 4% sodium sulphate 수용액 100ml 희석한다. 액체-액체 분배(liquid-liquid partition)를 이용하여 ethyle acetate(40, 30, 30ml)로 3회 추출한다. ethyle acetate로 교반된 유상액(emulsion)은 2,000rpm에서 5분 동안 원심분리를 한다. 무수 sodium sulphate의 5cm 층을 통해 유기상(organic phase) 여과를 한다. 여과액은 분석을 위해 농축시킨다.

회수실험은 살충제의 각각 다른 실험군을 가지고 0.5~1.0 $\mu\text{g g}^{-1}$ 에서 3중 강화된 꿀벌 시료로 수행한다. 평균 회수율은 유기염소제 80~90%, 합성 pyrethroids 78~80%, 유기인제 90~95%로 다양하다. 검출한계범위는 유기염소제 0.001~0.005, 합성 pyrethroids 0.01~0.05, 유기인제 0.01~0.20이다.

유기인제, 합성 pyrethroids 측정 : split/splitless inlet 갖춘 GC, ECD, 5% diphenyl/95% dimethyl siloxane 포함한 SPB-5 capillary column(30m \times 0.32mm i.d \times 0.25 μm), 운반가스 N_2 , 관을 통해 2ml, 총 60ml/분 흐르게 하며, 1 μl 를 주입한다.

온도(0°C) : oven 150(5분) \rightarrow 8 $^\circ$ /분 \rightarrow 190(2분) \rightarrow 15 $^\circ$ /분 \rightarrow 280(10분). Injector temperature 280 and detector 300, Split ratio 1:10, attenuation 6 and range 2.

유기인제 측정 : Nitrogen phosphorous detector(NPD) 갖춘 GC, methyl silicone의 DB-1 megabore column(10m \times 0.53mm i.d \times 2.65 μm film thickness).

온도(0°C) : oven 100(1분) \rightarrow 10 $^\circ$ /분 \rightarrow 200 \rightarrow 20 $^\circ$ /분 \rightarrow 260(300분). Injector temperature 250 and detector 275, 운반가스 N_2 18ml/분, H_2 1.5ml/분, O_2 135ml/분(Kumari et al, 2003).

- 다음호에 계속 -