

# 토양유형및 경종방법과 제초제의 약해 ①

경북대학교 농과대학  
교수 김길웅

해마다 새로운 제초제가 개발되고 그 사용량도 증가하고 있는 반면 제초제는 그 성질상 잘못 사용하면 큰 피해 및 약해를 입기쉬워 사용에 특히 세심한 주의가 요구된다.

金吉雄교수(경북대학교. 농과대학)는 국립농업자재 검사소주관 '85제2차 농약의 품질관리 연찬회에서 「토양유형 및 경종방법과 제초제의 약해」에 대하여 특별 강연을 실시했다.

겨울철 농한기를 이용하여 제초제의 정확한 작용기구와 사용법을 알아두는것은 내년농사를 위해서도 매우 유익하리라 생각되어 2회에 걸쳐 강연내용을 소개한다. <편집자註>

## 1. 제초제의 약해

농약사용으로 인하여 기대되는 부작용은 (1) 인축에 대한 피해 (2) 작물에 대한 피해 (3) 수생계의 생물에 대한 피해 (4) 농축산물 및 토양에의 오염 (5) 생태계의 대한 영향 등으로 들 수 있다. 크게 보아 제초제에 대한 피해는 농작물 및 토양에 대한

영향으로 국한시켜 볼 수 있다.

「제초제에 의한 약해」란 처리한 제초제가 작물에는 활성을 보이지 않고 잡초에만 활성을 보여 살초(殺草)시키는 것이나 때로는 작물과 잡초간의 유사성 때문에 선택적 작용이 없이 작물에 활성을 보여 작물의 생리, 생태적 이변(異變)을 일으켜 정상적인 생육을 못하게 하는것을 의미한다.

제초제의 약해는「급성(急性)」과「만성(慢性)」으로 나눌 수 있으며 급성은 처리후 단기간 내에 엽색변화, 낙엽, 위조현상을 보여 정상적인 생육을 못하게 하거나 피해를 주는 것을 의미하며, 만성증상은 약제살포 직후에는 나타나지 않으나 상당한 시일이 경과된 후 영양장애 현상을 일으켜 낙엽 또는 생육 지연 및 수량감소를 초래하는 것을 의미한다.

## 2. 약해의 유발원인 (誘發原因)

작물과 잡초간의 미세한 선택적 차이로 작물은 안전하나, 잡초를 방제하는 것이 제초제가 지닌 주요 특성이다. 특히, 제초제의 선택성은 (1)작물과 잡초간의 시간적 공간적 차이에 의한 차이(예, 이앙벼에 발생하는 잡초, 사과원과 잡초) (2)작물과 잡초간의 형태적 차이(생장점의 위치, 화곡류 지하부와 쌍자엽류 정점) (3)생리·생화학적 차이(흡수, 이행 및 대사차이, Porpanil의 벼와 피간의 선택성) 등으로 대별할 수 있다.

그러나, 이러한 선택성은 조그마한 외적 차이에 의하여 약

해가 유발될 소지가 있다. 특히 환경요인인 (1)온도 (2)토양 (3)강우량 (4)관개 등이 약해에 크게 영향을 미치며 그 밖에도 재배법의 변동 등이 약해유발과 밀접한 관계를 갖고 있으므로 약해유발 요인으로 간주할 수 있다.

## 3. 우리나라 경작지의 토양유형

우리나라 논·밭가운데 보통 땅이 논에서 32.6%, 밭에서 41.8%이며 그밖에 땅은 논에서 모래땅, 미숙땅, 배수불량땅, 간척땅 등으로 적절한 생산을 하기에는 적합지 못할 뿐만아니라 제초제를 사용했을시 문제가 야기될 수 있는 토양이기도 하다.

### 모래땅

특히 모래땅의 비율이 논에 32.3%, 밭이 22.2%로서 큰 비중을 차지하고 있다. 모래는 알맹이가 굵고 표면이 매끈매끈하여 물이나 비료분의 흡수력이 적고 물이 잘 빠져나간다. 이와 같이, 비료성분이나 기타성분도 잘 씻겨 나가며 토양에 처리한 제초제도 토양에 흡착이 되지

않고 쉽게 유실될 것으로 사료된다. 또, 토양이 잘 씻기면 산성화가 되며, 거기다가 화학비료의 연용은 산성화를 가속화시키고 있다.

그림 1은 토양유형별 PH를 나타내는 것으로 우리나라 대부분의 토양이 산성이며, PH 6을 넘는 토양이 적은 실정이다. 거기다가 이런 종류의 흙에는 토양유기물의 함량 또한 적고 우리나라 원래 토양엔 인산이 부족한 것으로 보고되고 있다.

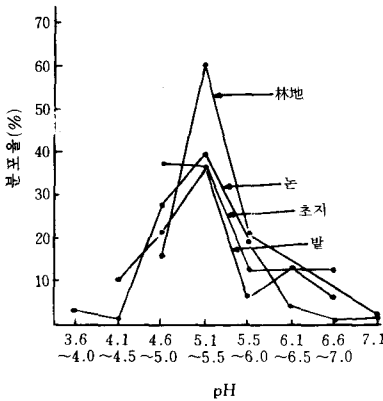


그림 1. 우리나라 林地, 耕地, 草地의 산도 (pH) 별 분포율 (오, 1982)

이리하여 우리나라의 토양은 산(酸)이나 알칼리에 대하여 매우 민감하여 미량의 산이 들어 가면 강한 산성이 되고 미량의

알칼리가 들어가도 강한 염기성이 된다고 한다. 이러한 특성은 「환경이나 재배법」의 조그마한 변화에 의해서도 그 성질이 크게 변동될 수 있는 위험성을 내포한 토양이다.

양질 토양에서는 PH의 변동이 아주 적으나 모래땅에서는 변동이 아주 크다. 이와 같이, 모래땅은 산과 알칼리에 견디어 내는 완충력이 결여되어 있어서 안정된 생산력을 기대하기가 어렵다. 양질의 토양에서는 토양내 유기물의 함량이 높고 토양미생물의 활동이 높으며 토양의 물리성이 좋고 잘 입단(粒單)화되어 있어서 외부의 변화에 저항하는 완충능력을 잘 갖추고 있다(오, 1984). 제초제의 적절한 효과를 얻기 위하여서는 우선 토양의 물리성을 좋게하기 위한 객토나 유기물의 첨가 등으로 토양을 개량하는 것이 필수요인이다.

**미숙토양**

미숙토양은 개답된 년수가 얼마되지 않아 논토양의 화학적 작용을 충분히 받지 못한 토양으로 지하수위가 비교적 깊어 배수는 약간 양호한 편이나, 토

성은 모래의 함량에 따라 사양토에서 식양토까지 있다. 미숙토양은 대체로 산록지, 곡간지(谷間地) 및 대지(台地)의 경사지에 분포하고 있다고 하며 수리가 불완전한 천수답이 이 범주에 속한다. 또 유기물 함량이 적고 인산질의 함량이 부족하고 산화형태로 있어서 유기물 함량은 적기 때문에 퇴비나 생짚 및 녹비의 효과가 커서 이러한 것들을 시용하여 지력을 높여야 한다. 미숙토양은 대개 산성이 많으므로 알카리성 비료나 석회등을 시용하여 산도(酸度)를 교정해 주어야 생산력을 높일 수 있다.

#### 배수불량답

는 토양의 9%가 배수불량답 즉, 고논으로서 고논의 유형은 첫째, 평야지의 저지에 분포하는 토양으로 지하수위가 높아 항상 물에 잠겨있는 논이고 둘째로 논둑밑에서 물이 솟아나와 항상 물이 고여있는 용출수에 의한 배수불량답으로 구분한다. 배수불량답에는 유기물의 집적이 많아 벼의 생육초기에는 해가 적으나 고온이 되면 유기물이 분해되어 유독성분 즉, 이산

화탄소, 과잉의 2가철, 각종 유기산과 유기물의 중간 분해물이 벼의 생육을 저해시키고 호흡을 장해하여 물과 영양분의 흡수를 억제시키고 각종 병을 유발시킨다고 한다. 소석회등의 시용으로 토양 PH를 높여 유기산을 줄이고 유화수소의 생성을 억제시키거나 배수를 하여 지하수위를 낮추는 관리등을 하여야 하는 토양이다.

#### 간척토양

최근 서해안에 간척사업으로 염해가 예상되는 간척토양이 늘고 있으나 간척연대가 오래지 않아 염의 농도가 높아 벼 생육이 불량하며 특히 소오다염과 마그네슘염이 많이 함유되어 있다고 한다. 염해논의 염제거를 위하여서는 담수하고 환수시키는 방법이 가장 효과적이거나 석고 또는 유황의 시용으로 제염을 촉진 시키므로써 개량도 가능하다.

#### 산성토양

그 밖에 특이 산성토양이 김해등에 존재하고 있는데 이것은 토양에 황색의 반점이나 덩어리

를 볼 수 있을 정도로 유황의 집적이 많아서 산화되면 산성이 되고 환원되면 약산성이나 중성이 되는 토양이나, 석회의 사용이나 배수에 의한 산의 세탈 또는 객토로 작토층을 중화시켜야 하는 토양이다.

이상과 같이 우리나라에는 문제점을 가진 토양의 비율이 너무 커서 토양의 개량이 시급히 요청되고 있는 실정이다.

#### 4. 제초제의(除草劑) 행적(行跡)

제초제를 입제의 형태로 처리하면 100%가 토양에 일단 집적되나 유·액제의 경우는 30~40%가 토양에 집적되며 30% 정도는 식물체에 흡수되고 나머지 30%는 대기중으로 분산되는 것으로 알려져 있다.

제초제가 처리되면 환경의 영향을 직접 받게되며 특히 토양에 처리한 제초제는 토양의 고상(固相), 액상(液相) 및 기상(氣相)과 그리고, 토양중의 살아 있는 생물적요인과 미생물적요인등의 상호작용으로 말미암아 매우 복잡한 양상을 띄게되므로 이들의 정확한 성질을 파악하기가 매우 어렵다. 토양

에 처리된 제초제의 주요 행적을 보면 △흡착, △화학적 및 생물학적 분해, △식물체에 의한 흡수, △광분해 및 휘발, △용탈 및 유거현상을 들 수 있다.

#### 1) 흡착(吸着)

점토는 입경이 0.002mm보다 작은 것으로 되어 있으며 토양중의 가장 미세한 입자로서 화학적·교질적 작용을 하고 물과 양분을 흡착하는 힘이 크고, 화학조성은 함수 규산알루미늄이다. 점토나 부식(腐植)은 입자가 작고, 입경이 0.1 $\mu$  이하의 입자는 교질(膠質)로 되어 있다. 교질입자는 음하전(陰荷電)을 하고 있어서 양이온을 흡착한다. 제초제가 토양입자에 흡착되는데는 유기물, 휴머스 및 휴믹산, 무기물인 점토물질, 함수규산알루미늄과 밀접한 관계를 갖고 있다.

흡착의 정도는 제초제의 약효를 결정하는데 중요한 역할을 하게된다. 흡착이 많거나 강하면 식물체나 토양미생물이 이용할 양에 절대적인 영향을 미친다. 제초제가 고체나 액체에서 기체로의 변이는 토양입자 주위에 부착되어 있는 화학물질에

의해 영향받게 되며, 또한 흡착은 제초제의 지하로의 침투 및 용탈이나 모세관 작용에 의한 상승에도 영향을 미친다.

특히 토양유기물에 함유되어 있는 카복실기(-O-OH), 히드록시기(-OH), 카보닐기(-O-), 메톡시기(-O-CH<sub>3</sub>) 등의 작용기를 갖고 있으며, 카복실기 등이 양이온 교환을 가능케 한다.

토양속에 존재하는 유기물의 분자량은 대체로 20,000~50,000 정도인 고분자 화합물이다. 그러나 제초제 화합물의 분자량은 100~400으로서 아주 작다. 대부분의 유기제초제는 하나 또는 하나이상의 방향족 물질을 소유하고 있어서 이들이 흡착에 중요한 역할을 해주며 그 밖에도 대부분의 농약은 히드록시기(-OH), 카복실기(-O-OH), 아민기(-NH-O) 등의 작용기를 갖고 있어서 토양의 교질 또는 유기물과 치환이 가능하다.

Weber (1972)는 농약의 토양 흡착과 관련하여 농약을 크게 △ 이온화 가능한 농약 △ 이온화 되지 않는 농약으로 다음과 같이 크게 두가지로 대별하였다. 이온화 가능한 농약은 다시 ① 양이온 화합물(cationic compounds), ② 알카리 화합물(basic compounds)

- ③ 산성화합물(acidic compounds)  
④ 기타로 나타냈다.

가. 이온화 가능한 농약

- 1) Cationic compounds (양이온 화합물)
- 2) Basic compounds (알카리 화합물)
- 3) Acidic compounds (산성 화합물)
- 4) Miscellaneous compounds (기타)

나. 이온화 되지 않는 농약

- 1) Chlorinated hydrocarbons
- 2) Organophosphates
- 3) Substituted anilines
- 4) Phenyl Carbamates
- 5) Phenyl ureas
- 6) Substituted anilides
- 7) Phenyl amides
- 8) Thiocarbamates, carbathioates, and acetamides
- 9) Benzonitrils
- 10) Esters

이온화 가능한 농약인 양이온 화합물은 양이온 치환을 통해서 흡착되고 알카리 화합물인 s-triazine 이나 triazol은 약한 알카리 화합물로서 양자를 받아 양전하를 띄게 되며 토양의 유기물이나 교질과 흡착된다고 하며

현재까지 알려진 알카리 화합물의 흡착은 주로 (1) 이온교환 (2) 수소결합 (3) 소수성결합(hydrophobic)에 의하여 일어난다고 한다. 산성화합물은 음이온을 띠어서 토양에 잘 흡착되지 않으나 토양표면의 조건에 따른 양전하성에 의하여 결합이 가능하다.

이온화되지 않는 농약의 특성이나 분류는 너무 범위가 넓어서 천편 일률적으로 설명할 수가 없다. 이들 농약은 용해성, 극성, 수증기압 등의 화학적 특성에 너무나 큰 차이가 있다고 한다. 이리하여 이들 물질은 특별한 메카니즘을 통해서 흡착되는 것이 아니므로 설명이 매우 어렵다. 이들은 대체로 약한 물리적 힘에 의하여 흡착되는 것이 아닌가 생각된다. 토양유기물의 함량 및 점토의 함량등과 밀접한 관계가 있는 것으로 알려져 있다.

흡착하는 메카니즘으로서는 (1) 양이온 교환 결합 (2) 음이온 결합 (3) 수소결합 (4) van der Waals 힘 (5) 기타 등이며 그 특성은 다음과 같다.

(1) 양이온 결합

양이온 교환을 통하여 결합하는 중요한 제초제는 bipyri-

dilium 계의 Paraquat 또는 dequat 을 들 수 있다. 이들 물질은 물에 완전히 이온화되며 용해성이 높고 점토질에 쉽게 흡착이 되며, 토양에 흡착되어 있는 무기 양이온과도 교환가능하다. 일단 이들 물질이 흡착되면 토양내에서 잘 이동이 되지 않으며 토양내에 흡착되어 있는 이들 물질이 토양미생물이나 여타과정에 나쁜 영향을 미치지 않으며 식물체도 이용할 수 없는 형태로 흡착되어 있다고 한다. 그리고, Paraquat 이나 dequat 등은 포장 조건하에서는 먼저 유기물에 흡착되었다가 곧바로 토양점토질에 재분배하여 흡착된다고 한다. 유기물에 흡착된 이들 물질은 점토질에 흡착된 것 보다는 약한결합을 하고 있어서 유기물이 극히 많은 토양에서는 약해의 유발이 되기도하나 PH를 높이면 토양의 음전하 성질이 커지므로 약해염려는 없어진다고 한다. 한편 Walker (1979)는 토양속에 1,000ppm 농도까지도 호흡작용에 영향을 주지 않는다고 보고한 것으로 보아 토양내에서는 안정한 상태가 되는 것 같다. 이들 흡착된 물질은 궁극적으로는 광분해, 화학적 및 미생물적 분해에 의하여 원래의

형태를 잃어 버리는 것으로 추정되고 있다.

(2) 음이온 결합

양이온을 띠는 제초제는 토양에 쉽게 흡착이 되나, 음이온을 띠는 2, 4-D, amben, picloram, TCA, dinoseb, bromoxynil 등은 토양입자와 같은 음이온을 띠면서 쉽게 흡착되지 못한다. 대체로 산성화합물 제초제는 산성화합물에 부착되어 있는 카복실기(예, 2, 4-D)나 phenolic 물질의 히드록시기(-OH)에 의하여 산성을 띠우며(dinoseb) 물질 그 자체는 음이온을 띠게 된다.

이리하여 PH가 높을때는 거의 흡착이 되지 않으나, PH가 낮은 경우에 소량은 철이나 aluminum hydrous oxides와 같은 양이온을 띠는 물질에 다소 흡착되어 지기도 한다. 토양이 PH에 의해 다소 양이온을 띠게되어 ACE는 증가되면 CEC는 다소 감소한다고 한다.

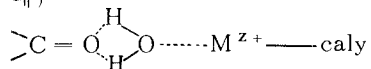
(3) 약한 물리적인 결합

양·음이온으로 이온화하지 못하는 물질은 약한 물리적 힘에 의하여 토양표면에 흡착되어진다. 그 예로서는 phenyl urea 계(monuron, diuron), 치환된 aniline 계(trfluralin 및 benefin), 치

환된 anilide 계(propachlor 및 propanil), thiocarbamate 계(ED TC 및 vernolate) 및 기타 molinate, CDAA, dichrobenil, DAPA 등을 들 수 있다. 이온화 되지 못하는 물질의 흡착은 수소결합(hydrogen bond)이나 vandell walls 힘 또는 기타의 방법에 의하여 다소 흡착된다고 한다.

수소결합이란 두개의 전기음성적 원자를 결합시키는 작용을 의미한다. 특히, 히드록시기(-OH)를 갖는 화합물에서 한 분자내에 있는 부분 양전하를 띤 수소핵과 다른 분자내에 있는 부분음전하를 띤 산소간에 강한 화합이 생기는 것을 수소결합이라 한다. 제초제가 수소결합에 의해서 토양표면에 흡착되는 것은 흡착되어 있는 양이온이 물에 수화(水和)되어 있는것에 제초제의 카복실기(-C-)와 같은 것이 수소결합을 함으로서 가능하다고 한다.

예)



van del Walls 힘이란 가장 약한 분자간의 인력으로서 일시적으로 편극된 두 결합간의 인력



을 의미한다. 두 분자간에 존재하는 분자간의 접촉이 크면 클수록 결합은 보다 더 편극되고 그로 인해서 Van der Waals 힘은 더 강해진다.

## 2) 생물학적 분해 및 화학적 분해

생물학적 분해란 식물(작물 및 잡초)과 토양미생물에 의하여 원형물질이 분해되어 해독화되는 현상으로 특히 토양미생물에 의한 분해는 토양유기물의 함량과 기후조건(온도)과 밀접한 관계가 있어서 토양이 척박할수록 미생물의 작용이 미흡하다. 생물학적 분해기구로서는 hydrolysis, dealkylation, dehalogenation 및 산화, 환원 등을 들 수 있다. 많은 종류의 제초제가 토양내에서 토양세균 또는 방사선균 등의 침해를 받아 원형에 변화를 일으키는 것으로 알려져 있다.

화학적 분해란 토양 미생물의 작용없이 화학적 작용으로 분해되는 것을 의미하며 화학적 분해의 대표적 예는 (1) 산화 (2) 환원 (3) 가수분해 등이다. 첫째, 산화는 2, 4-D 같이 전자를 잃게하는 분해 과정을 거친다. 둘째, 환원은 산화의 반대로 환원

답에서 일어나는 분해과정이며, 환원에 의해 물질 그 자체가 더욱 불안전해진다. 셋째, 가수분해는 물과 작용하여 원래의 형태를 잃게되는 분해과정이다. 특히 화학적 분해 과정에서 토양의 PH도 중요한 역할을 하며 특히 우리나라와 같이 산성토양이 많은데서 Triazine 계 제초제가 쉽게 분해된다. 이와같이 화학적으로 분해된 물질은 대개 무독성이며 더욱 분해가 진행되어 토양이나 식물체내 있는 유기물처럼 변형되어 간다.

## 3) 광(光) 분해

제초제가 물에 녹아 있거나 수증기 형태로 있을때 휘발이 일어난다. s-triazine 계 제초제인 atrazine 이나 simazine 이, 광에 의해서 불활성화 된다는 보고가 있다. 그러나, 광에 의해서 해리가 생기는 것은 잎 표면에 부착되어 있거나 증발되고 있는 paraquat와 dequa 에서 입증되었다. 많은 제초제 monuron, dinoseb, piclram, trifluralin, diphenylamide, DNOC 등도 자외선에 쬐여졌을 때 수용성 상태에서는 쉽게 해리가 되어진다고 한다. 이들 가운데 dinoseb와 tri-

fluralin 은 자외선을 375nm에서 최고 흡수하나, 다른종류는 250 nm 이하에서 최고 흡수를 한다고 한다. 지구에 도달되는 자외선의 최고 파장은 375nm 내외이고 최저가 295nm로서 250nm는 지구에 도달하는 최저 파장보다 훨씬 낮다.

광분해로는 dehalogenation, sulfuroxidation, isomerization 반응을 들수 있으며, 광분해물질은 화학적 분해에 의해서 생성된 물질과 유사하거나, 더 복잡한 화합물로 변형시킨다고 하나 TCA에서 Chlorform이 생성되는 것이 특별한 예외이다. 광분해에 의해서 제초제가 손실되는 것은 생물학적 분해가 쉽게 일어나지 않는 amitrole 을 제외하고는 제초제의 소실 측면에서 보면 그렇게 중요한 작용은 아닌 것 같다. Trifluralin 을 석영판에 올려놓고 광을 쬐이면 광

분해는 되지않고 이것은 주로 휘발에 의해 토양으로부터 소실된다. Atrazine 이나 Simazine 의 경우 수용성 상태에서는 광분해되나 300nm 이상이 되면 2-hydroxy atrazine이 되어 광분해가 일어나지 않는다. 그러나, 이들을 알루미늄판 위에서 빛을 쬐이면 311nm에서도 광분해 된다고 한다.

여름에 캘리포니아주 San Joaquin Valley에서 수용성 상태의 monuron의 광분해는 2주만에 6%된다고 하며, Picloram은 텍사스주에서 6일만에 30%가 광분해되나 254nm에서는 반으로 감소된다고 한다. Diquat도 수용성 상태에서 3주에 70%가 광분해되어 최종 생성물은 Picolinamide와 Picolinic acid가 된다 보고되어 있다.

(다음호에 계속)