

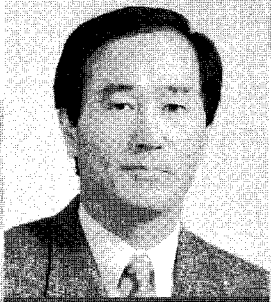
농약의 환경에 대한 영향

24. 살포한 농약은 토양에 축적되어 토질을 악화시키지 않는지?

살포한 농약은 여러 가지 이행경로를 통하여 최종적으로는 토양에 들어간다. 작물에 살포한 농약이 작물체에 붙는 양은 50%를 넘지 못하고 대부분은 토양에 떨어지며 대기중으로 휘발한 농약도 빗물에 녹아 땅에 떨어진다. 더욱이 토양에 사용하는 농약은 전부 토양에 들어가고 비의 수면에 사용한 농약도 결국은 토양에 가라 앉는다. 따라서 살포한 농약이 토양에 축적되고 농약은 어느 것이나 해로운 것이기 때문에 사람들은 일반적으로 토양에 축적된 농약이 토질을 악화시킬 것이라고 생각한다.

그러나 농약과 토양분야에 종사하는 전문가의 견해는 이와 달라서 농약이 토질을 악화시키는 경우는 없는 것으로 판단하고 있다. 실제 많은 시험연구결과에서도 농약이 토질을 악화시키는 증거는 찾아 볼 수가 없다. 토질을 결정하는 가장 중요한 요인은 토양을 조성하고 있는 모재(母材)와 기상조건이라 할 수 있다. 토질을 평가하는 지표로서는 pH, 토성(土性), 유기물함량, CEC(양이온치환용량), 양이온함량, 경도(硬度) 및 토양의 깊이 등 여러가지가 있으며 이 외에도 토양중에 서식하고 있는 소동물과 미생물 등의 유기생물체까지 복잡하게 관여하고 있다.

이들 중에서 농약사용에 의하여 토질이 나빠진다고 우려하고 있는 것은 대체로 다음과 같은 내용들이다. 즉 농약이 토양을 산성화하고 토양미생물을 죽여 죽은 땅을 만들며 흙을 단단하게 하여 식물이 뿌리를 뺏기 어렵게 하고 농약이 토양입자에 흡착되어 식



승 병 훈

농업과학기술원 농약안전성과

표 1. 농약살포와 미생물의 활성(79. 농업기술연구소)

처리농약	토양미생물수(1g토양)			질소고정량 (mg/100g토양)38일
	세 균	방 선 균	곰 팡 이	
	×10 ⁶	×10 ⁵	×10 ³	
농약무처리	5	7	7	0.045
살균제(아이비 입제)	6	2	2	3.171
살충제(카보 입제)	4	4	4	7.205
제초제(부타 입제)	7	10	10	2.898

물양분의 보유력을 떨어뜨린다는 것 등이다. 그러나 사실은 농약은 고효성의 물질로서 매우 적은 양을 살포하여 병해충과 잡초를 방제하는 것이기 때문에 토질을 결정하는 여러 가지 다른 요인들과 비교하면 완전히 무시하여도 된다.

25. 농약은 땅을 죽게 한다는데?

토양중에는 수 없이 많은 종류의 미생물들과 소동물이 살고 있다. 그 중에는 질소고정균과 같은 유익한 미생물도 있고 병원균과 같은 해로운 미생물도 있으며 농약에 의해 죽는 미생물도 있고 농약을 분해하여 먹고사는 미생물도 있다. 토양에 농약을 살포하면 그 농약에 약한 미생물은 죽거나 세력이 급격히 쇠퇴화 되지만 영향을 받지 않는 미생물은 오히려 증가하여 전체적으로는 균형을 이루어 가는데 이것이 생태계의 균형이다.

1979년 살균제와 살충제 및 제초제를 7일간격으로 토양에 5회 연속 살포한 다음 토양중의 미생물수를 조사한 결과 농약을 처리하지 않은 토양과 차이가 없었으며 질소고정량은 농약을 처리한 토양에서 오히려 증가하였다. 농약은 원래 해로운 유기생물체를 목표로 하여 만들어진 것이기 때문에 유익한 미생물보다는 해로운 미생물에 타격이 클 것이라는 것은 자명한 일이다. 농약을 살포한 토양에서

질소고정량이 증가한 것도 다른 미생물이 쇠락한 자리를 질소고정균이 차지하여 활성이 높아졌기 때문이다.

그러나 농약은 항상 유용미생물에 이로운 것만은 아니고 그 반대의 경우도 있을 수 있으며 또한 농약 살포후 시간이 경과하면서 농약에 의해 피해를 받은 미생물도 다시 회복되어 원래의 상태로 돌아가는 것이 원칙이다. 다만 농약이 토양중의 모든 미생물을 죽여 죽은 땅이 되게 하는 것이 아니라 농약 사용으로 미생물의 종류에 일시적인 변동은 있지만 전체 미생물의 취락(Colony)수에는 변화가 없다는 것이 분명한 것 같다.

26. 농약이 토양을 산성화시킨다는데?

우리나라 토양은 주로 화강암에서 유래되어 토양을 구성하는 모체가 산성을 나타내게 되어 있고 몬순기후대에 속하여 적당한 강우와 기온이 어울려 염기의 용탈이 쉬운 조건인 것으로 알려져 있다. 이러한 기후조건에서는 지하로 이동한 염기가 다시 지상으로 올라오지 못하므로 계속하여 토양의 산성화가 진전된다.

반면에 대부분의 식물은 산성에서는 잘 자라지 못하며 약산성에서 중성까지의 토양을 좋아한다. 따라서 우리나라는 토양산도를 교정하기 위해서 석

농약사용이 토양경도를 결정하는 요인에 영향을 줄 수 있는 것은 토양생물 밖에는 없으며 이외에 이온결합과 같은 물리화학적인 요인에는 아무 영향도 주지 못한다. 그러나 농약을 사용하여도 토양중 전체 미생물의 수에는 변화가 없고 지렁이와 같은 소동물은 피해가 매우 적으며 또한 농약사용후 시간이 지나면서 토양생태계는 원상으로 회복된다

회와 같은 토양개량제를 대량으로 사용하였으며 일단 석회를 사용하여 토양산도를 교정하였다 하여도 해가 지나면서 다시 산성화가 진행되기 때문에 또 다시 많은 양의 개량제를 사용해야만 한다.

어떤 물질이 산성을 나타내기 위해서는 그 물질이 물에 녹아야하고 동시에 수소이온(H^+)을 해리시켜야만 하며 수소이온의 해리농도가 높을수록 화학적으로 강산성이 된다. 물에 녹지 않는 물질은 액성(산성, 중성, 알칼리성)을 나타내지 않는 것이다. 농약은 일종의 유기물질로서 그 자체가 산성, 중성 또는 알칼리성이기는 하지만 대부분 물에 녹지 않는 물질이기 때문에 산도변화에 미치는 영향은 매우 적다. 물에 잘 녹는 일부 농약이 있지만 수소이온의 해리도는 매우 낮으며 더욱이 이들 농약의 살포량과 토양의 완충능(緩衝能)을 고려하면 토양산도에 미치는 농약의 영향은 제로(0)인 것이다.

토양은 어떤 물질을 다량 투입하여도 산도가 쉽게 변하지 않는 완충능을 가지고 있는 것이다. 실제 토양산도를 교정하기 위하여 석회와 같은 강알칼리성 개량제를 10a(300평)당 수천 kg씩 살포하여도 토양산도는 크게 개선되지 않는데 이는 토양의 완충능이 크기 때문이다. 하물며 화학적으로 산도에 미치는 영향이 거의 없고 10a당 0.1kg정도 뿌려지는 농약이 어떻게 토양을 산성화 할 수 있겠는가.

27. 농약사용으로 흙이 단단해져 작물생장이 억제된다는데?

흙이 얼마나 단단한지는 경도(硬度)라는 말을 사용하여 나타내고 있으며 토양의 경도는 기본적으로 토양의 생성유래나 수분조건 등에 의해 지배되지만 2차적으로는 토양의 단립화(單粒化) 및 입단화(粒化)와 밀접한 관련이 있다.

단립화는 토양을 구성하는 개개의 토입입자가 분리되어 있는 상태로 썩여 있는 경우로서 이런 상태에서는 토양조직이 너무 치밀하여 물빠짐과 통기성(通氣性)이 나쁘고 토양이 너무 단단하여 식물이 자라는데 매우 불리하다. 토양의 단립화는 유기물함량이 매우 적거나 1가의 양이온(M^+)함량이 극히 많은 토양에서 촉진된다. 모든 토양 입자는 표면에 음전하(- 전기)를 띠고 있는데 1가의 양이온은 이들 음전하와 1:1로 결합하여 토양입자와 입자 사이에서 연결고리의 역할을 할 수 없으므로 단립화를 촉진시킨다.

이러한 작용이 일어나는 대표적인 지역이 미사질로 이루어진 해변의 갯땅이다. 바다와 인접한 갯땅은 염분(NaCl)이 많고 여기서 나오는 1가의 나트륨이온(Na^+)에 의해 단립화가 과도하게 진행된 토양이며 비행기의 활주로로 이용될 만큼 단단한 토양도 있다.

토양의 입단화는 여러 개의 토양입자가 모여 덩어리를 만들고 이들 덩어리가 모여 흙을 형성하는 현상이다. 따라서 입단화가 잘 발달된 토양은 부드럽고 연하며 삼상(三相:固相, 液相, 氣相)의 비율도 적합하여 통기성이 좋고 물빠짐도 양호하여 식물이 자라는데 좋은 조건이 된다. 토양의 입단화는 유기물과 2가 이상의 양이온이 촉진한다.

유기물은 분해과정에서 생성된 부식이 입단화를 촉진할 뿐만 아니라 유기물이 많으면 토양내에 각종 미생물의 활동이 왕성하고 지렁이와 같은 소동물도 살기 좋은 조건이 되어 이들의 분비·배설물이 입단화를 촉진하는 등 상승작용을 한다. 칼슘(Ca^{++})이나 마그네슘(Mg^{++})과 같은 2가의 양이온은 1가의 양이온과는 달리 입단화를 촉진하는데 2가이온은 2개의 토양입자에서 나온 각 1개씩의 음하전과 이온결합하는 방식을 통하여 여러개의 토양입자를 덩어리로 만들 수 있기 때문이다.

그런데 농약을 사용하면 정말 토양이 단단해지는 것일까. 농약사용이 토양경도를 결정하는 요인에 영향을 줄 수 있는 것은 토양생물 밖에는 없으며 이외에 이온결합과 같은 물리화학적 요인에는 아무 영향도 주지 못한다. 그러나 농약을 사용하여도 토양중 전체 미생물의 수에는 변화가 없고 지렁이와 같은 소동물은 피해가 매우 적으며 또한 농약사용 후 시간이 지나면서 토양생태계는 원상으로 회복되기 때문에 이것 또한 토양경화의 원인이 되지 못한

다. 더욱이 토양의 경화(硬化)는 몇 년간 지속되는 약조건에서 이루어지는 것이 아니고 적어도 수십년 또는 수백년의 기간이 걸리는 것이기 때문에 농약이 토양을 단단하게 하는 일은 있을 수가 없고 그런 일이 발생했다는 단 1건의 과학적인 실험결과도 찾아 볼수가 없다.

28. 토양에 농약이 흡착되면 식물양분의 손실을 가져오는가?

식물이 정상적으로 자라기 위해서는 많은 종류의 양분이 필요하다. 이들중 대부분은 토양으로부터 충분히 공급되지만 질소, 인산,加里 등과 같이 일부 대량으로 필요한 요소는 인위적으로 공급해 주어야 한다.

식물의 뿌리는 물에 녹아 있는 양분만을 흡수하며 물에 녹아 있지 않은 상태의 것은 이용하지 못한다. 식물의 양분이 되는 필수원소중에는 물에 녹았을때 양전하(+전기)를 띠는 것이 많은데 토양입자 표면의 음전하와 결합하여 흡착되기도 하고 다시 물속에 녹아나오기도 한다.

이러한 현상은 물속에 녹아 있는 양이온의 농도에 따라 변하는데 수용액중 양이온의 농도가 높으면 토양흡착이 일어나고 물 속의 농도가 낮아지면 토양에 흡착된 양이온이 물속으로 용출되어 항상 평형상태를 유지한다.

토양이 양이온을 흡착할 수 있는 능력에는 한계가 있으며 이것을 양이온치환용량(CEC)이라고 하며 CEC가 큰 토양일수록 양이온을 보유할 수 있는 능력이 커서 지력이 큰 토양이라고 말한다. CEC는 mg당량/100g토양으로 표시하는데 즉 토양 100g이 이온결합을 통하여 흡착할 수 있는 양이온의 미리그램당량(miliequivalent)을 나타내는 것이다.

그런데 토양에 투입된 농약이 토양입자의 음하전

표 2 Paraquat의 이온결합에 의한 토양흡착 관련지수

분자량	양이온수	당 량	mg당량	1mg당량 흡착시 토양농도
186	2가	93	93mg	93mg/100g(930 ppm)

과 결합하여 토양용액중에 녹아있는 양이온이 결합될 자리를 빼앗게 됨으로써 질소(NH₄⁺), 가리(K⁺), 칼슘(Ca⁺⁺), 마그네슘(Mg⁺⁺) 등과 같은 식물의 필수양분들이 유실된다는 것이다. 이러한 생각은 그럴듯해 보이지만 사실은 토양과 농약을 전혀 이해하지 못한데서 비롯된 것이다.

일부 농약중에는 양이온을 띠는 것이 있으며 이들은 토양입자의 음하전과 이온결합하여 토양에 흡착될 수 있다. 이러한 특성을 가지는 대표적인 농약이 Paraquat(그라목손)이며 다음 표에서는 Paraquat가 토양입자의 음전하와 결합하여 흡착될 때 토양의 양이온치환용량에 어느 정도까지 영향을 미치는지 알아보기 위하여 필요한 사항을 계산한 것이다.

우리나라의 경작지 토양은 양이온치환용량이 비교적 낮은 편으로 대체로 10mg당량/100g토양 정도이다. 이것은 토양 100g이 mg당량 단위로 양이온을 흡착할 수 있는 음이온을 10개 보유하고 있다는 의미이다. Paraquat는 분자량이 186이고 2가의 양이온이므로 1당량은 93이고, 1mg당량은 93mg이다. 따라서 토양입자 표면의 음이온 1개와 결합할 수 있는 Paraquat의 양은 93mg이며 이것은 토양 100g중에 함유되어 있는 양이므로 930ppm의 농도에 해당한다. 즉 토양 CEC에 있어서 음하전 1개를 차지하여 Paraquat가 흡착되었을 때 토양중 잔류농도는 930ppm이 된다는 의미이다.

그렇다면 Paraquat를 얼마나 뿌리면 토양중 농도가 930ppm이 될까. 토심을 10cm 깊이로하여 계산할 때 300ml용량의 Paraquat(그라목손)액제 약 1,250병을 300평의 땅에 한꺼번에 뿌리면 그 농도가 930ppm이 된다. 따라서 이렇게 많은 양의 농약이 토양에 존재하지도 않고 더욱이 토양의 CEC에 있어서 1mg당량의 차이는 작물생장에 영향을 줄 만큼 지력에 차이가 있는 것으로 보지 않기 때문에 농약이 토양에 흡착되어 식물양분의 유실을 가져오는 일은 없는 것이다.

'96년 현재 잔디에 사용하도록 등록되어 있는 농약은 모두 78품목이지만 이 중에서 고독성 농약은 하나도 없고 모두가 보통독성 이하의 농약들이다. 일부 잔디용으로 등록되지 않은 농약이 사용되어 말썽이 된 적도 있지만 적용대상이 아닌 식물에 사용했다고 하여 보통독성의 농약이 맹·고독성으로 바뀌는 것은 아니다.

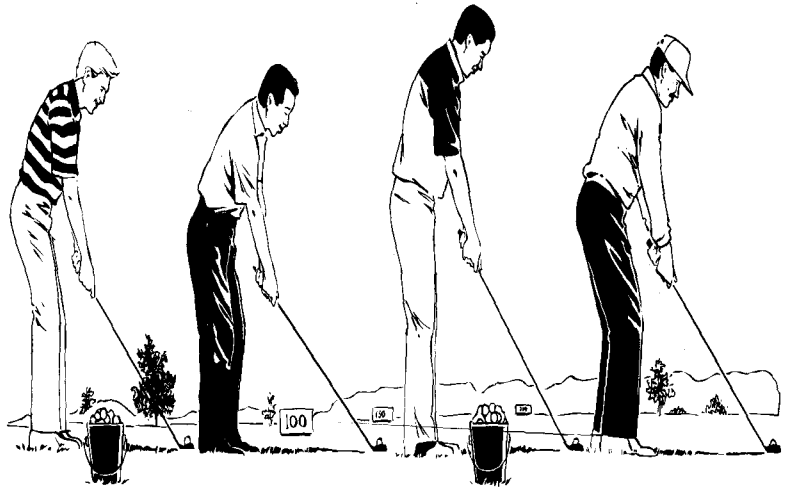
29. 골프장의 농약사용은 환경을 오염시키는가?

골프장에 사용하는 농약의 위해성에 관한 시비가 끊임 없이 계속되고 있다. 골프장에 맹·고독성 농약을 살포하여 생태계를 파괴한다든가 또는 골프장에 뿌린 농약이 하천이나 주위의 농경지를 오염시킨다는 것 등이 주요 쟁점이다. 그러나 이

러한 일들은 실질적으로 쟁점의 대상이 될만큼 문제되는 경우는 별로 없을 것이라고 본다.

'96년 현재 잔디에 사용하도록 등록되어 있는 농약은 모두 78품목이지만 이 중에서 고독성 농약은 하나도 없고 모두가 보통독성 이하의 농약들이다. 일부 잔디용으로 등록되지 않은 농약이 사용되어 말썽이 된 적도 있지만 적용대상이 아닌 식물에 사용했다고 하여 보통독성의 농약이 맹·고독성으로 바뀌는 것은 아니다.

이러한 문제로 가장 자주 거론되었던 살균제 chlorothalonil에 대한 보도내용만 보아도 그렇다. 맹독성인 이 농약을 골프장 잔디에 사용하여 골퍼인(golfer)의 건강을 위협하고 토양과 수질의 심각한 오염원이 되며 심지어 이 농약을 살포한 골프장에서 골프를 친 사람이 중독사망 했다는 어처구니없는 풍설이 떠돌기도 하였다. chlorothalonil의 급성독성은 우리가 매일 섭취하는 소금보다도 훨씬 약하여 급성독성에 의한 중독사망의 위험은 전혀 없는 것이다. 그러나 이 농약은 골프장에 사용할 수 없는 농약인데 그 이유는 잔디가 적용작물이 아니기 때문이다.



다음으로는 골프장에 고독성 농약으로 분류된 농약을 사용할 수 있는가 하는 점에 대하여 생각해 보자. 잔디에 등록되어 있지 않은 고독성 농약을 골프장의 잔디에 사용할 수 없다는 것은 너무나 당연하다. 그러나 골프장 주위에 조성한 유실수나 수목에 사용할 수 없는 것은 아니라고 본다.

과수의 종류에 따라서 등록된 농약을 사용하고 수목은 수목에 등록된 농약을 사용한다면 문제될 것이 없는 것이다. 골프장 및 과수원의 과수에 각각 고독성농약을 사용했을 때 잔디밭에 떨어진 농약은 위험하고 과수원 토양에 떨어진 농약은 위험하지 않다는 논리는 성립될 수 없기 때문이다. 또한 골프장과 같이 개방된 공간에서는 주위의 과수나 수목에 살포한 농약으로 인해 golfer가 중독될 위험은 없다고 본다.

골프장의 농약사용에 대한 이러한 편견은 골프장이 농업과는 달리 생산성이 없고 또한 골프장의 조성비용과 골프장이 차지하는 토지면적을 고려할 때 국민의 운동과 건강에 주는 기여도가 상대적으로 너무 떨어진다는 데서 비롯된 것으로 보인다.

농약정보