

토양미생물

數 · 活性무처리구에 비해 增大

農藥施用과 토양미생물의 적응

전북대학교 농과대학 교수

홍

재

식

세계 식량수급사정은 인구의 폭발적인 증가와 관련해서 더욱 악화될 공산이 높으며 그에 연유해서 농업과 식품공업계에 중사하는 우리들의 책임은 막중하다 하겠다.

농업으로 사람을 양육(養育)하려면 1인당 0.4ha의 경지가 필요하다 하며 지구상의 경작 가능한 농지의 한계는 약 32억ha로 추정되고 있어 이 경작지로서 커버할 수 있는 최대 인구는 약 80억으로 추산되고 있다. 그러므로 앞으로 다수확품종의 활용 농업의 기계화와 기타 농업기술의 향상 그리고 보다 많은 자본투자를 통해서 토지생산성을 높여야 한다.

증가하는 인구에 식량증산질실
농약없는 耕作体系는 불가능해

최근 인구 증가에 따른 식량증산 정책은 우리나라 뿐만 아니라 전세계적으로 대단히 많은 양의 농약을 사용하게 하였으며 특히 우리나라에서는 식량자급자족의 목표를 달성하기 위하여 해가 더해 갈수록 농약의 소비량이 더욱더 증가하고 있는 실정이다.

현재 농업경작상 비료가 꼭 필요하듯 농약없는 경작체계는 있을 수 없다해도 과언이 아니다. 일본 수도작의 예를 보아도 병충해방제법의 진보에 의해 조기

재배가 가능하게 되고 제초제가 계속 개발되어 다수확으로 접근해가고 있는 실정이다.

최근의 농약연구경향은 전체의 생물을 대상으로 하고 있는 것과 함께 본래의 목적이었던 병해충의 방제, 병원 미생물의 살균·소독등으로 부터 더욱 대상이 광범위해지는 추세를 보이고 있으며 제초제도 상당한 진보를 보여 이미 영농상 불가결한 것으로 되어있다.

농약의 소비량은 매년 증대하고 있지만 이중에서도 제초제의 보급이 매우 현저한 것을 알 수 있다. 특히 최근에는 농약이 토양미생물에 영향을 끼쳐 토양미생물의 작용을 조절하여 토양중의 양분의 동태를 제어(制御)한다고 하는 실험도 되어 있다. 이렇게 해서 토양비료학 분야에서도 생물의 화학적 조절이라는 말이 실감나게 되었다.

이와같은 농업근대화 경향의 이면에는 농약의 남용에 의한 부작용이 여러면에서 밝혀지기 시작하였다. 농약은 생물에 대한 강력한 독물이며 안전성은 본래부터 말할 수 없기 때문에 원래 목적인 생물 혹은 반응 이외에도 독작용을 미치는 것이 많아 자주 문제가 되고 있다. 예를 들면 농약의 영향이 곤충등의 가시적 생물군만 국한하지 않고 토양안에 서식하고 있는 미세한 생물군에 대

해서도 많은 영향이 미칠 것으로 생각된다. 특히 토양에서 왕성한 생물작용을 영위하는 토양미생물에 대한 영향은 매우 중대하지 않을수 없다.

농약에 대하여 많은 연구가 진행됨에 따라 새로운 농약이 등장하고 있는데 여기에 대한 토양미생물학적 실험을 실시하는데 소홀해서는 안 될 것이다.

오늘날과 같은 농촌의 노동력고갈 화상태에서 높은 收率을 유지하고 제초, 비효증진을 위하여 농약의 투입이 점점 많아지는 경향이기 때문에 토양미생물에 대한 감시를 게을리해서는 아니된다.

1 환경변화와 토양미생물작용

토양의 미생물집단은 환경의 변화에 대하여 상당한 가변성을 지니고 있지만 또한 동시에 평형복원성(완충작용)도 가지고 있다. 따라서 부분적 또는 일시적인 환경변화에 의한 영향도 오래 지속되지 않고 쉽게 복원되는 것이 일반적인 현상이다. 그러나 오래전부터 잘 알려진 Russell & Hctchinson의 부분살균효과는 가열, 살균제 또는 훈증제등을 토양에 처리했을 때 각각 그 영향은 다르지만 일반적으로 이들 처리에 의해서 토양미생물상에 교란이 일어나 토양중의 미생물수 및 活性이 일시적으로 감소한 후 비교적 빠른 시기에 무처리에 비해서 수배까지 증

대함을 말해주고 있다.

미생물의 증대원인에 대해서 토양 중의 세균포식성의 미소동물의 감소가 2차적으로 세균수를 증대시킨 것으로서 선택적 살균 즉 부분살균의 영향을 말하고 있다. 그러나 아직도 그 정확한 원인은 밝혀지지 않은 상태이다.

토양비료의 분야에서는 부분살균에 의해서 질소를 위시한 M_n 그밖의 양분의 가급화(可給化)가 관찰되고 있는데 이를 참고삼아 말하면 다음과 같다.

토양의 미생물집단에 대한 농약의 영향을 고려할 때, 토양에 사용된 농약의 양이 비교적 적고, 단일약제일 경우에는 토양에 대한 영향은 매우 적어 그렇게 문제가 되지 않지만 제조, 살균, 살선충, 미생물조절용 등의 약제와 같이 직접 토양에 사용할 것을 목적으로 하는 경우에는 약량이 많아져 부분적으로 hetero한분포가 되기 때문에 부작용이 상당히 문제되고 있다.

농약으로 일시 사멸태도 비·바람에 의해 재접종

그러나 강력한 약제를 국소적으로 다량시용해 그 부분의 미생물이 사멸되어도 어느정도 시간이 경과하면 비·바람등에 날려서 주위로부터 재

접종되는 것이 보통이므로 다시 복원되기 마련이다. 즉 미생물수 및 작용력의 회복에 요하는 시간의 장단이 문제될 뿐이다. 이것이 토양미생물의 완충의 요인이다.

또 하나는 토양미생물의 생리학적인 연구도 매우 중요하다. 농약의 약효발현기작에 대해서는 이미 효소화학적인 수준에까지 일부 연구가 진행되어 있어 이들 성과와 생태학적 연구를 관련시켜 토양미생물 및 그 작용에 대한 농약의 작용기작을 더 깊게 구명할 필요가 있다고 본다.

原團등은 요소의 질소화과정에 대한 농약의 선택적 저해의 모식도를 제안한 바 있으나 그 이외의 분야에서도 매우 선택성이 강한 약제의 출현도 기대된다.

토양비료 분야에서는 작물의 영양 특히 질소의 형태변화 면에 연구가 집중되어 있는 상태로서 토양미생물학적인 면이 등한시되고 있으며 실사 연구가 되어 있다 해도 토양의 고유균군에 까지 언급되지 못하고 있는 실정이다.

2. 토양미생물에 의한 동약분해

농약은 종류도 많고 그 성질도 같지 않지만 살균제, 훈증제, 제초제 및 살충제로 대별할 수 있다. 농약의 약효발현과 지속에 관한 토양조

건으로서 수분, 반응온도, 물의 운동, 토양구조, 흡착기(吸着基), 토양미생물의 구조 및 작용등이 크게 영향을 미치게 된다. 그리고 담수하의 논토양은 미생물환경으로서 특수성을 가진다. 다시 말하면 토양에 시용된 농약은 미생물에 영향을 주는 것은 물론 토양의 이화학적 및 미생물학적 변화를 주기 마련이다.

토양중에서 농약의 존재가 문제로 되는 것은 표층아래의 20~30cm내의 소위 유효토층이기 때문에 그 범위내의 흡착, 확산, 용탈등의 이화학적 행동이 매우 중요성을 지니게 된다. 물론 토질에 따라 그 깊이가 달라질수 있으나 대부분의 지방에서 권장되는 심경의 깊이정도 생각하면 될 것이다. 토양미생물에 의한 농약의 분해는 농약의 종류에 따라 각기 다른 토양 미생물이 주도적으로 작용하며 또한 농약의 유연화합물(類緣化合物)의 토양중 분해의 쉽고 어려움은 대개 그의 화학구조와 연관을 가지고 있다.

농약의 토양미생물에 의한 분해경로에 대한 연구는 그다지 많지 않지만 논잡초약 액제 1호(2,4-D) 등 benzene핵 유도체에서는 우선 축쇄의 β -산화가 일반적으로 인정되었고 그 다음에 핵의 개열(開裂)이 일어나지만 Flavobacterium속에 의한 2,4-DB의 분해는 축쇄의 ether 결합이 우선 분해되어 β -산화가 없음을 나타내고 있다.

동일약제 반복해 사용하면서 적응증대로 분해시간 단축

그리고 미생물 특유의 반응으로서 적응현상을 들 수 있는데 토양미생물군의 유기물분해에서 적응미생물의 증식때문에 2,3회 투입시에는 분해시간이 단축된다는 것을 지적하지 않을 수 없다.

이상은 간단한 일례이지만 일반적으로 분해되기 쉬운것은 비교적 용이하게 미생물 영양원으로 되고 분해가 어려운 것은 시간이 경과하면 분해는 되지만 일시적으로 토양에 축적하는 경우도 있다.

살균제와 훈증제

살균제는 직접식물지방부(植物地方部)에 뿌리는 것과 토양전염성 병해 방제용의 종류로 대별되며 토양 살균제에도 훈증제와 그렇지 않은 것이 있다.

주로 병해충의 예방, 방제에 사용되지만 최근에는 식물 기생성의 선충방제제로서 탁월한 효과를 가진 것이 많다. 이들은 주로 무작부기간(無作付期間)중에 살포되어 포장시 용량도 현저히 많고 확산성도 있어 토양에 고루 퍼지고 독성도 매우 강하기 때문에 토양미생물에 대한 영

향이 매우 크다.

naban은 *Aspergillus niger*에 의해서 분해되며 PCNB는 *Aspergillus niger*, *Fusarium solani*, *Mucor ramanianus*, *Penicillium frequentans*, *Trichoderma vivide* 등에 의해서 p-entachloroaniline으로 환원되는데 이는 PCNB 보다 독성이 약하지만 곰팡이 방선균 등의 증식을 저해한다 그리고 *Trichoderma virgatum*은 PCP를 분해하지만 대부분의 detoxication 기구는 환의 분해가 아니고 이 원자를 유리시키는 것이다.

캘탄, 대부분 1주일내 분해

캘탄은 토양조건에 따라 크게 다르지만 *Myrothecium verrucana*에 의해 일주일 이내에 분해되며, *Rhizoctonia solani*는 3일내에 50%의 캘탄을 분해한다고 보고되었다.

유기수소제를 메틸화(methylation)시키는 균주는 *Clostridium Cochlearium Neurospora* 속, *Methanobacterium sp* 등이며 비소제를 분해하는 미생물은 *Candida humicola*, *Penicillium sp* 등이 있다.

훈증제중 formalin, 이류화탄소등의 처리와 토양미생물과의 관계에서 처리직후에는 일시적으로 세균수, 곰팡이수의 감소를 수반하나 그 이후부터는 생육하는 균군이 비교적 단

순화 되어감을 잘 알 수 있다.

그러나 formalin 처리후의 formalin 내성균 MB처리후의 유포자균(有孢子菌)균 특히 formalin, 이류화탄소처리후에 따라 사상균 무리중 *Trichoderma*속의 출현빈도가 큰 점이 문제로 되어 있으나 그 원인에 대해서는 억제저항성의 상이, 살균후의 생육속도 glyotoxin 등의 독소생성에 의한다는 설 등이 있으나 정설이라고 볼 수는 없는 실정이다.

일반적으로 훈증제가 작물에 약해를 일으킬 정도의 투여시에는 사상균세균은 일시적으로 억제되나 방선균에 대해서는 별로 억제되지 않는 것으로 나타났다. chloropicrin, formalin, 메칠부르마이드 및 이류화탄소와 같은 훈증제는 질산화균을 사멸시키거나 그 작용을 크게 감퇴시키며 세균, 사상균 및 방선균이 영위하는 암모니아 합성작용에 미치는 영향은 아주 적기때문에 농약처리후의 토양에 암모니아태 질소의 잠적을 알 수 있다.

질산화 작용 급격히 증가

질산화작용의 억제는 농약의 종류시용량 및 토양조건에 좌우되며 질산화작용곡선은 초기유도 또는 억제기간을 경과한후 급격한 상승으로 바뀌어 최대의 활성을 나타낸다.

여기에서 유도 혹은 억제기간의

장단을 비교하므로써 토양의 질산화 작용의 강약 또는 농약의 질산화억제 정도를 평가할 수 있다.

질산화저해제로써 유명한 urethane에 비하여 dithiocarbamate계 살균제의 효과가 의외로 더 큰 것으로 알려졌다. 이는 밭과 논 토양에서 모두 같은 결과를 확인할 수 있었다.

제 초 제

dalapon은 *Arthrobacter* sp에 의해 탈염(dechlorination)시켜 Pyruvic acid를 생성하며 *Agarbacterium*속은 dalapon에 의해 생육이 저해되지만 *Agarbacterium*속과 *Micrococcus*속이 같이 공존하면 dalapon에 저해받던 *Agarbacterium*속이 잘 생육한다. 이러한 일련의 작동(associative action)은 농약에 대한 미생물의 저항에 큰 역할을 한다.

atrazine은 *Fusarium roseum*, *Aspergillus nidulans*, *Mucor spinosum*, *Penicillium tardum*에 의해 탄소원으로 이용될 수 있으며 *caldosporium herbasum*, *penicillium* sp, *Aspergillus* sp에 의해 질소원으로 이용된다.

씨마네(씨마진)는 잔류기간이 Atrazine 보다 길며 *Aspergillus fum-*

*igans*에 의해 2-chloro-4-ethylamino-6-amino-s-triazine으로 분해된다.

액제 1호(이사디액제)는 *Aspergillus niger*에 의해 2,4-dichloro-5-hydroxy-phenoxyacetate와 2,5-dichloro-4-hydroxyphenoxyacetate로 되며 *Althrobacter*속과 *Achromobacter*속에 의해 ether결합의 분해가 일어나 2,4-dichloropenol과 alanine, CO_2 등으로 된다.

그리고 *Arthrobacter*속과 *Pseudomonas*속에 의해 방향족환이 분해되어 α -chloromuconic acid와 α - γ -dichloromuconic acid로 된다.

*Bacillus Sphaericus*는 monolinuron, linuron을 가수분해하여 aniline과 N,O-dimethylhydroxylamine, CO_2 를 생성하며 *Rhizopus japonicus*는 monuron과 monoinuron을 *Aspergillus ustus*, *Fusarium oxysporum*은 diuron을 분해한다.

chlorpham은 *pseudomonas striata*에 의해 3-chloroaniline과 CO_2 , isopropyl alcohol이 된다.

수도용 제초제로 많이 쓰이는 액제 5호(부타입제)는 *Mucor infui*, *Mucor hiemalis*, *Mucor dubius* 등에 빨리 분해가 진행되며 *Bacillus subtilis*, *Fusarium oxysporum*, *Trichoderma Viride*, *Aspergillus* sp, *penicillium Ctrinum* 등에 의해서 분해된다고 보고되어 있다.

□ 농약시용과 토양미생물의 적응 □

알라유·입제는 *Chaetomium globosum*에 의해 분해되며 *Propanil*은 *Fusarium Soluni*에 의해 3,4-dichloroaniline과 propionic acid로 가수 분해된다.

*Streptomyces*속과 *Nocardia* 속은 파라코를 분해하여 1-methyl-4-carboxy pyrimidylum을 생성하며 어떤 세균은 파라코를 1-methyl-4-carboxy pyridinium로 분해시킨다.

살충제

유기염소계의 많은 양이 토양, 공기, 물에 뿌려졌으나 이들이 어떻게 분해되었는지 또는 어떤 형태로 잔류하고 있는지는 아직 잘 알려져 있지 않다. DDT나 BHC등 잔류성이 높은 농약(이미 생산 및 사용금지 됨)은 사실상 생물학적 분해가 불가능하다는 보고가 있다. 그 예로 유기염소계가 살포된 지 15~20년후에도 상당량 그대로 잔류하고 있다는 것이다.

BHC의 주요 분해반응은 *clostridium*속, *Escheridia* 속등이 γ -BHC를 γ -Pentachlorocyclohexene (γ -PCCH)로 Cl원자를 빼어내고 이중결합을 만들며 *pseudomonas*속에 의한 γ -PCCH가 γ -tetrachlorocyclohexadiene(γ -TCCH)로 dechlorination되어 두개의

이중결합이 생긴다. 논 토양에서는 γ -BHC의 최종분해산물이 γ -TCCH라고 보고되어 있다.

DDT는 특히 잔류기간이 길어 살포후 토양에 오래 잔류하여 대사산물인 TDE DDE, dicofol 등도 여러 가지 생물에 독성을 나타낸다. DDT가 혐기조건하에서 10주이상 지나면 대부분 TDE로되고 1%이하만이 DDT로 잔류한다고 한다.

이들 反應은 토양중의 *Escherichia coli*, *Proteus Vulgaris*, *serratia marcescens*, *Nocardia erythropolis*, *Aerobacter aerogenes*에 의해서 이루어짐이 발견되었다.

또한 토양중의 *Trichoderma viride*와 *Ankistrodemus amalloides*는 TDE와 DDE를 같이 생성시키나 어떤 변종은 DDE만 생성하는 경우도 있는데 이는 미생물에 따라 DDT분해에 관련된 효소 생성이 각각 다르다는 것을 암시하고 있다.

*Hydrogemonas sp*가 혐기조건에서 DDT를 DDM(*p,p'*-dichlorodiphenylmethane)과 DBP(*p,p'*-dichlorobenzo phenone)으로 변환시키고 다시 호기적인 조건으로 해주면 DD M이 쪼개져서 *p*-chlorophenylacetic acid가 생기고 이것은 다시 분해가 용이하게 되는데 자연계에서는 비가 내리고 유기물질이 첨가되고 다시 건조 분해가 이루어짐으로서 혐기

• 호기조건의 교차가 가능하다.

Methoxychlor는 *Aerobacter aerogenes*의 혐기조건에서 1, 1-dichloro-2, 2-bis(*p*-methoxy phenyl) ethane으로 분해하며 *Chlorella*, *Monoraphidium*, *Koliella*, *Carteria*, *Scenedesmus*, *Nitachia*속 등에 의해서 20~80%가 분해된다고 하였다.

Aldrin을 분해하는 토양미생물로는 *Aspergillusniger*, *Aspergillus flavus*, *penicillum notatum*, *penicillium chrysogenum*, *Fusarium sp* 등이 있다.

유기인제의 왕자인 parathion은 유기염소제에 비해 식물이나 토양에 잔류성이 극히 적으므로 살충제로 써오고 있으나 살포량을 초과하게 되면 분해기구가 달라지고 잔류기간도 길어진다 *pseudomonas sp*는 parathion을 단일 에너지源, 탄소원으로 이용할 수 있다고 한다.

*Flavobacterium*속은 parathion을 분해하여 *p-nitrophenol*을 생성하고 *p-nitrophenol*은 다시 *Bacillus sp*에 의해 CO_2 로 분해된다.

마라톤(마라치온)은 *Aspergillus oryzae*에 의해 β -malathion mono acid와 ethanol로 분해되고 ethanol은 곰팡이의 탄소원으로 이용될 수 있다.

다수진(다이아톤)은 *Flavobacterium sp*에 의해 2-isopropyl-4-methyl-6-hydroxypyrimidine (IMHP)를 생성시킨 후 다시 pyrimidine moiety를 분해하여 CO_2 를 생성한다.

carbaryl은 *pseudomonas sp*에 의해 1-naphthol로 되고 다시 coumalin과 CO_2 로 분해되며 *Achromabacter sp*도 가수분해하여 1-naphthol을 만들고 나아가서 hydroquinone, catechol pyruvate로 분해한다.

환 경 보 전 캠페 인

내가 버린 농약 빈병

농촌 환경 오염 된다.