

농업 생태계에 대한 잔류농약의 영향 평가

이 규 승

충남대학교 농과대학 농화학과

Evaluation on the effects of pesticide residues to agroecosystem in Korea

Kyu-Seung Lee (Department of Agricultural Chemistry, Chungnam National University, 220 Kungdong, Yuseong-gu Taejeon, 305-764, Republic of Korea)

Abstract : Pesticide residues in soil could be affected to the growth of micro organisms and the activity of enzymes directly, and successively to the soil properties as pH, Eh and nitrogen metabolism. However, residues are diminished by degradation of soil microorganisms, run-off, leaching, volatilization, photodecomposition and uptake through crops.

In this paper research results published in Korea were summarized about translocation of soil residues into crops, fates of residues in soil, effects to the activity of soil microorganisms and metabolic pathways of some pesticides. Generally speaking, pesticide residues in soil were not much affected to the agro-ecosystem except few chemicals. So it should be needed more further researches in this field, continuously.

토양에 투입된 농약은 토양미생물에 영향을 주어 토양의 물리화학적 특성에 영향을 미칠 수 있다. 또한 잔류농약이 장기적으로 토양환경 내에 존재하여 영향을 준다면 이들의 분해를 촉진시켜 토양을 보전하는 방안을 강구하여야 할 것이다. 따라서 본란에서는 이와 같은 점을 중심으로 하여 몇가지 농약의 토양중 행적에 관해 국내의 연구결과를 중심으로 검토해 보고자 한다.

토양에 대한 잔류농약의 영향

토양에 농약이 투입되면 약제에 따라 정도의 차이는 있을지 모르지만 일차적으로는 토양미생물의 활성에 영향을 주어 토양중 농약의 지속성과 토양내에서의 양분 물질의 변화과정등에도 영향을 주게 된다. 따라서 본란에서는 농약의 처리에 따른 토양의 화학성과 미생물의 군수의 변화등을 살펴보고자 한다.

토양미생물수 및 토양중 효소활성의 변화

洪과 崔(1969)¹⁾는 DDT와 BHC가 토양세균 중 *Bacillus subtilis*, *B. sphaericus* 및 *B. cerius* 등에 대한 저해정도는 BHC가 DDT보다 컸다고 했으며, 韓과 金(1974)²⁾은 ferbam, kasugamin, dithane-stainless, maneb, kitazin-P 및 Bla-s 등 6종의 살균제와 baycid, diazinon, sanggammas 및 sevin 등 4종의 살충제를 토양에 처리한 결과 세균은 ferbam을 제외한 모든 살균제 처리에서 대조구 보다 저해를 받는 것으로 나타났으며, ferbam은 처리 15일 이후부터는 대조구 보다 훨씬 증가하는 경향이었고, 살충제는

대조구에 비해 처리초기에는 다소 감소하였으나 8일 후부터는 대조구 보다 증가하는 경향이었다고 하였다.

방선균도 살균제와 살충제 처리구에서는 모두 세균과 유사한 경향이였으며, 사상균은 세균이나 방선균과는 달리 살균제 처리구에서 처리 2일 후에는 대조구보다 증가된 경향이였으나 5일에는 급격히 감소하여 최소치를 나타냈으며, 8일 후에는 대조구와 비슷한 수준을 나타내었고, 살충제 처리구는 대조구와 유사하였으나 8일 이후에는 대조구보다 다소 증가된 경향이였다고 하였다.

韓(1975)³⁾도 phosvel제를 처리하는 경우 세균수는 처리 후 4일까지는 저해를 받았으나 그 후에는 계속 증가하였으며, 방선균은 처리농도와 관계없이 대조구와 비슷한 수준이었으나 사상균은 대조구와 처리구 모두 4일째까지는 증가하였고 그 이후에는 감소하였으나 감소양상은 처리구에서 4주후 까지 급격하게 이루어진다고 보고하였다.

金(1975)⁴⁾은 polyoxin을 처리한 결과 세균의 수 처리 21일까지는 대조구에 비해 억제하는 경향이었고, 방선균은 28일까지 저해되는 경향을 나타냈으며 사상균은 군수도 훨씬 적었으며 저해기간도 5주이상 계속되는 것으로 보고하였다.

또 金과 鄭(1976)⁵⁾은 제초제인 butachlor제를 담수조건하에서 처리했을 때, 세균의 수는 35일 후에 최대로 된 후 점차 감소하였으며, 방선균은 1주일만 증가하고 1주일만 감소하는 주기성을 띠었으나 사상균의 경우 대조구에서는 1주일 후 까지 증가하다가 그 이후에는 점차 감소하였으나 butachlor처리구에서는 방선균과 같은 주

기성을 확인하였다. 그리고 金과 韓(1977)⁶⁾는 수도용 살균제인 isoprothiolane제를 토양에 처리했을 때 세균과 방선균은 처리초기에는 감소하다가 시일이 경과할 수록 증가하였으나 사상균은 이와는 달리 처리초기에 증가하는 경향이라고 하였다.

金(1978)⁷⁾은 nitrofen, CNP, abirosan 및 mamet 등 4종의 제초제를 토양에 처리한 경우 세균의 수는 처리후 14일 까지 대조구 보다 많았고 14일 부터 28일까지는 적었으며, 방선균은 14일 부터 28일 사이에는 대조구보다 적었으나 그 외에는 대조구와 큰 차이가 없었고, 사상균은 처리초기 7일까지는 대조구보다 적었으나 차츰 증가하는 경향이었다고 보고했다.

柳 등(1980)⁸⁾은 butachlor, carbofuran 및 IBP 등 수도에 가장 많이 사용되는 3종의 농약을 대상으로 하여 담수조건에서 실험한 결과 세균, 방선균 그리고 사상균 모두 담수 20일경에 가장 많은 수를 나타냈으며 유기물을 첨가해준 경우에는 모든 처리구에서 많은 수의 균류가 존재하였고 고농도 처리구에서는 감소하는 경향이 있었음을 보고하였다. 특히 nitrite forming bacteria의 수는 담수 후 50일 이후에 가장 많았고 농약을 사용한 경우에는 대조구 보다 낮았다고 했으며, nitrate forming bacteria 수는 담수 후 10~35일 사이에 높은 것으로 나타났고 IBP고농도 처리는 오히려 이 세균의 수효를 증가시키는 것으로 나타났다고 하였다. 또한 nitrate reducing bacteria의 수는 담수후 10일이 가장 많았으며 그 후에는 점차 감소하였으며 denitrification bacteria수는 농약처리구에서는 담수후 10일, 대조구에서는 50일에 가장 높은 것으로 나타났으며 벧짚을 사용한 처리구에서는 감소하는 경향이었다고 밝혔다.

姜(1978)⁹⁾은 제초제 bentazon을 처리한 경우 총세균 수는 약제 농도가 높아짐에 따라 적어졌으나 총 사상균 수는 처리 직후 부터 2주간은 증가하는 경향을 보였고, 특히 아질산화 세균수는 50mg/l 처리구에서 대조구보다 1주후에는 1.3배 2주후에는 3.6배, 그리고 4주 후에는 2.6배 정도나 많은 것으로 나타났다고 했다.

宋등(1981)¹⁰⁾은 IBP를 반복처리하는 경우 토양세균과 사상균의 수효에는 큰 영향을 주지 않는다고 했으며, 이등(1982)¹¹⁾은 PCNB를 처리하는 경우 사상균수는 처리후 15일에 가장 적었으며, 세균과 방선균은 크게 영향을 받지 않는 것으로 보고했다.

盧와 白(1981)¹²⁾은 살균제 isoprothiolane, 살충제 acephate 그리고 제초제인 butachlor를 발조건과 담수조건으로 구분하여 각각 1배와 10배처리구로 나누어 7일간 배양한 후 계수한 결과 isoprothiolane제는 담수조건이나 발조건에서 모두 사상균을 다소 저해하는 것으로 나타났고 acephate제는 담수조건에서 고농도(10배)처리 경우 대조구에 비해 감소하는 경향이였으며, butachlor제는 세균, 방선균 및 사상균 모두에 대해 별 영향이 없

었다고 하였다.

金등(1989)¹³⁾은 담수토양중에서 diazinon제를 처리하여 토양미생물의 변화를 조사한 결과 세균수는 처리2일 후까지 증가한 후 10일 까지 일정한 수준을 유지하였고, 사상균수는 처리4일까지 증가한 후 일정한 수준을 유지한다고 하였으며, 李(1989)¹⁴⁾는 diazinon제와 chlorpyrifos제를 담수토양조건에 처리했을 때 처리 10일 후까지 세균수는 증가했으나 diazinon처리구에서 chlorpyrifos 처리구보다 2배 이상 많은 세균이 존재함을 확인하였다. 또 세균중 *Pseudomonas* 속은 두 약제 처리 모두 5일까지 비슷한 수준이었으나 5일 이후에는 diazinon처리구에서 증가함을 밝혔고, 사상균은 처리 5일후 까지 증가하다가 점차 감소하는 양상이였으며 diazinon과 chlorpyrifos 모두 고농도 처리에서 더 많은 사상균이 존재하였다고 보고했다.

한편 洪과 崔(1969)¹⁾는 BHC와 DDT를 토양에 처리한 경우 amylase활성은 두 농약 모두 50mg/l 처리구에서 높았고 그 이상의 경우에는 농도에 비례하여 감소하는 경향임을 밝혔고, 또 saccharase활성은 BHC는 200mg/l, DDT는 100mg/l 처리구에서 가장 높았다고 보고했으며, 아울러 토양세균인 *B. subtilis*, *B. sphaericus* 및 *B. cereus* 등은 순수분리하여 약제첨가에 따른 효소활성을 조사해 본 결과 두 약제 모두 50~100mg/l 처리구에서 amylase와 saccharase활성이 높았다고 보고하였다. 또 盧와 白(1981)¹²⁾은 isoprothiolane, acephate 및 butachlor제를 처리한 토양에서 dehydrogenase의 활성을 조사한 결과 호기상태에서는 약제간에 차이가 없이 계속 감소하는 경향이였으며, 담수상태에서는 처리 12일 후에는 처리당 일 보다 무처리구는 약 4.7배, isoprothiolane은 약 5.2배, acephate은 5.5배, 그리고 butachlor는 4.9배로 증가하였으며 시간이 경과할 수록 dehydrogenase의 활성은 증가하였다고 보고하였다. 洪과 趙(1979)¹⁵⁾는 합질소 제초제인 asulam, dimetametryne, 및 linuron 등 3종의 약제를 가지고 토양중 urease의 활성을 요소첨가구와 첨가하지 않은 두가지 처리구에서 비교하였다. 요소를 첨가하지 않은 경우 대조구와 약제처리구 모두 처리 5일 후에 최대활성을 보였고, asulam처리는 농도가 높을 수록 효소활성이 지속되는 현상을 보였다. 그러나 요소를 첨가한 경우에는 약제처리구는 대조구에 비해 전반적으로 효소활성이 낮았으며 최고활성도 약 6주후에 나타났음을 보고했다. dimetametryne과 linuron도 요소를 첨가하지 않은 경우에는 약제를 고농도 처리할 때 urease활성이 오랫동안 지속되는 것으로 밝혀졌으며 요소첨가시에는 linuron의 경우 효소활성의 변화양상은 비슷하였으나 약제처리 40일 이후까지 활성을 유지하는 것으로 나타났다.

류 등(1980)⁸⁾은 butachlor, carbofuran 및 IBP제를 처리한 토양에서 dehydrogenase 활성을 조사한 결과 농약의 표준시용구에서는 무처리구와 큰 차이가 없었으나

고농도 처리에서는 현저한 활성저해를 확인할 수 있었고 반면에 catalase는 약제처리농도가 높을 수록 증가하는 경향이었다고 보고하였다.

이와 이(1983)¹⁶⁾도 urease활성은 담수조건에서 2,4-D와 oxadiazon을 처리하는 경우에 무처리 보다 증가하였음을 보고하였다. 김 등(1987)¹⁷⁾은 3종의 살충제와 2종의 살균제를 처리한 경우에 몇종의 토양중 효소활성에 미치는 영향을 조사하였는데 polygalacturonase활성은 약제처리에 의해 별 영향을 받지 않았으며 처리 10일 후에 captan과 isoprocarb등 살균제 처리에서는 대조구에 비해 60% 이상의 효소활성저해가 있었다고 했다. 또 dehydrogenase 경우 모두 약제처리구에서 10일까지는 저해정도가 커지다가 10일 이후에는 효소활성이 회복되어 30일 이후에는 대조구와 비슷한 수준을 보였고, phosphatase활성은 약제처리초기에는 다소 저해되었으나 약제처리후 20일 이후에는 대부분 회복된 것으로 나타났다. Cellulase활성은 약제처리에 의해 별로 저해를 받지 않았으며 acephate만 처리 1일 까지 15% 이상의 저해율을 보인다고 했다.

김 등(1988)¹⁸⁾은 제초제가 토양중 효소활성에 미치는 영향을 조사하였으며, dehydrogenase의 활성은 약제처리후 10일까지는 무처리에 비해 다소 감소되었으나 20일 이후에는 오히려 대조구보다 활성이 더욱 높았다고 했고, phosphatase와 protease활성은 약제처리에 의해 거의 영향을 받지 않은 것으로 나타났으며, urease활성은 처리2일 후에는 저해되었으나 6일에는 다시 회복되었고 10일 이후에는 계속하여 대조구보다 낮은 활성을 보여 장기적인 저해현상을 보였다고 했다. 또한 β -glucosidase활성은 약제처리 6일 후까지 저해를 받았으나 linuron과 CNP처리는 활성을 다소 증가시켰고, cellulase활성과 polygalacturonase활성은 제초제에 의해 크게 영향을 받지 않는 것으로 보고하였다.

또한 최 등(1990)¹⁹⁾은 담수토양 중에 diazinon과 chlorpyrifos를 처리하는 경우에 토양 중의 monooxygenase(MO)와 α - 및 β -esterase의 활성을 조사하였는데 MO활성은 diazinon 처리구의 경우 12시간부터, chlorpyrifos 처리구에서는 3일후 부터 나타났고 α -esterase 보다는 β -esterase가 10배 정도 활성이 높았고 chlorpyrifos처리구에서는 초기활성이 높았던 반면 diazinon 처리구에서는 5~8일에 활성이 높음을 보고했다.

한 등(1995)²⁰⁾은 살균제인 myclobutanil제를 처리한 결과 세균수는 처리 14일후에는 약 1.9배 증가하였으나 28일 후에는 감소한 후 42일 후에는 다시 증가되는 것으로 나타났으며, 방선균은 14일 후에 처리당일 보다 감소하였으나 차츰 증가하는 경향이었고 사상균수는 14일 후에는 1.5배 정도 증가하였으나 28일 후에는 다시 감소한 후 42일 후에는 다시 증가하는 경향을 보였다고 보고했다. 또한 myclobutanil제를 처리하는 경우에는 무처리에 비해

사상균의 수가 처리당일에 다소 감소하였으며 약 4주후까지 계속되는 경향을 보였으며, 세균과 방선균에서는 특별한 경향을 찾을 수 없었다고 보고하였다.

또한 토양의 pH와 토성은 토양미생물수에 영향을 주지 않았으나 토양수분함량과 토양온도는 세균 및 방선균의 수는 다소 영향이 있다고 보고하였다.

정 등(1994)²¹⁾은 농약사용에 따른 토양서식 생물중 지렁이에 대한 영향을 조사하기 위해 인공토양에 생육 중인 줄무늬지렁이와 붉은 지렁이를 대상으로 ethoprophos제, alachlor제 및 metalaxyl제를 처리하여 실험하였으며 14일차의 줄무늬 지렁이에 대한 LC50은 ethoprophos제가 13.9mg/kg, alachlor제가 105.5mg/kg 그리고 metalaxyl의 경우 6044.7mg/kg이었음을 보고하였다.

김(1995)²²⁾은 지렁이(Lumbricus rubellus)에 대한 parathion제와 aldrin제는 52mg/kg이라고 밝혔고, 두 약제 모두 무작용량 수준에서도 무처리에 비해 체중감소현상이 있었다고 했다. 또한 토양중에 처리된 두 약제는 지렁이의 밀도가 높아질수록 비례적으로 소실되는 속도가 빨라짐을 확인하였다.

토양의 화학성에 미치는 영향

앞에서 살펴본 바와 같이 많은 농약들은 토양미생물의 생육과 토양효소활성에 직접적인 영향을 주고 있다. 이런 현상은 2차적으로 토양의 pH와 Eh 및 토양중 질소대사 과정에도 영향을 줄 것으로 판단되므로 농약이 이들 토양화학성에 미치는 영향에 관한 연구결과를 요약해보고자 한다.

吳(1973)²³⁾는 CNP, lora, 2,4-D, lasso 및 PCP 등 5종의 제초제를 3회 연용한 경우 토양에서의 화학적성질변화를 비교하였다. 추천량을 사용한 경우에는 lora제 만이 특이한 결과를 보였는데 이 약제는 토양 pH를 낮추고 치환성과 가수산 및 치환성 칼륨을 증가시키는 반면, 치환성소오다와 치환성칼슘 및 마그네슘등과 유기물을 감소시키는 경향을 나타냈다. 그러나 조사된 다른 제초제들은 토양유기물을 증가시키는 경향이었다고 보고하였다.

韓과 金(1974)²⁴⁾은 6종의 살균제와 4종의 살충제를 토양에 처리한 결과 시간이 경과함에 따라 pH가 상승하였으나 15일 이후에는 대체로 평형을 유지하였고 maneb, IBP 및 blasticidin 등은 처리2일 후에도 대조구보다 높은 pH를 보였다고 했다. 또 Eh는 처리 2일까지는 약제처리구나 대조구 모두 산화환원값이 일정치 않았으나 처리 5일 후에는 모두 산화치를 나타냈으며 처리 15일 후에는 모두 환원치를 나타내었으며 약제별로는 kasugamin과 blasticidin이 처리 8일후에도 산화치를 나타내었다. NH₄-N는 모든 약제처리 2일까지 급격히 증가하다가 5일째는 가장 낮은 값을 보였고 다시 상승하다가 15일 후 부터는 완만히 감소하다가 22일 후에는 다시 증가하는 경향이었는데 대부분 대조구보다는 NH₄-N의 함량이 낮았고,

고농도 처리구는 저농도 처리구 보다 낮아 저해현상을 확인할 수 있었다.

또 $\text{NO}_2\text{-N}$ 와 $\text{NO}_3\text{-N}$ 은 전처리구에서 항온 초기에는 함량이 증가했다가 항온종료기에는 소실되었으며 약제처리구는 대조구 보다 함량이 낮았고 고농도 처리구 역시 기준농도 처리구보다 함량이 낮았으나 살균제인 IBP과 ferbam 그리고 4종의 살충제처리에서는 처리후 15일에 $\text{NO}_3\text{-N}$ 의 함량이 다시 증가했다가 서서히 소실되는 경향을 보였다고 보고하였다.

韓(1975)³⁾은 phosvel을 담수조건으로 처리하였을 때 대조구나 약제처리구 모두 pH가 처리후 7일까지 급격히 상승하였다가 서서히 하강하여 약 6주 후에는 pH 7.5~7.6 수준을 유지하였다고 했으며, Eh의 경우 배양 4일 후에는 급격히 하강하였다가 서서히 상승하는 양상이나 전 기간중 환원값을 보였고 약제처리구가 대조구 보다 낮은 Eh값을 보였다고 했다.

$\text{NH}_4\text{-N}$ 은 처리 4일 후 가장 높은 량을 보였으며 28일 후 까지는 급격히 감소하는 경향이었고, $\text{NO}_3\text{-N}$ 은 배양 7일까지 모든 처리구에서 급격히 증가하였다가 21일째에는 소실되었는데 고농도처리에서 더 높은 발생량을 나타내었으며 $\text{NO}_2\text{-N}$ 은 배양 14일째 모두 소실되는 양상을 나타냈다고 보고했다.

金(1975)⁴⁾은 polyoxin을 처리한 결과 pH는 무처리에 비해 증가되는 경향이었고 Eh는 무처리에 비해 환원상태가 더 심한 것으로 나타났으며 $\text{NH}_4\text{-N}$ 은 처리 4일에 가장 높은 수준을 보이다가 차츰 감소하여 4주후부터는 다소 증가하는 경향이었고 $\text{NO}_2\text{-N}$ 은 서서히 증가하다가 처리14일에 최고값을 보였으며 $\text{NO}_3\text{-N}$ 은 처리 후 계속 감소하여 14일 후에는 완전히 소실된 양상을 보였다고 했다.

또 金(1976)²⁴⁾은 6종의 제초제를 처리한 결과 모든 약제에서 pH와 Eh에 대한 영향은 확인할 수 없었으며, nitrofen, benthocarb + simetryn, propanil 등은 요소의 분해에 의한 암모니아 생성에 별 영향이 없었고 butachlor와 perfluidon도 표준시용구의 8배 처리구에서 암모니아생성을 저해하였으나 시간의 경과에 따라 정상수준으로 회복되었음을 밝혔다. 또 propanil을 제외한 모든 약제처리구에서 질화억제효과는 찾아볼 수 없었으며, propanil도 표준시용량의 8배 처리구에서 암모니아태질소의 집적과 $\text{NO}_2\text{-N}$ 및 $\text{NO}_3\text{-N}$ 의 생성저해를 확인하였다.

金과 鄭(1976)⁵⁾은 butachlor제를 처리한 경우 대조구에 비해 $\text{NH}_4\text{-N}$ 의 생성이 감소되었고 고농도 처리시에는 그 정도가 더욱 심하였다고 했으며, $\text{NO}_2\text{-N}$ 와 $\text{NO}_3\text{-N}$ 역시 약제처리에 의해 감소되었으며 배양 44일 후에는 거의 소실되었다고 하였다.

林 등(1977)²⁵⁾은 2,4-D, butachlor 및 nitrofen 등의 제초제와 fthalide, neoasozine, phenazin등의 살균제, 그리고 chlororfenvinfos, diazinon, fenitrothion 및 bux등의

살충제를 토양에 처리하여 요소의 분해속도와 질소의 화학적형태의 변화를 조사하였다. 제초제와 살균제를 100 mg/ℓ이하로 처리했을 때는 요소의 분해에 큰 영향이 없었으나 200mg/ℓ처리에서는 fthalide와 neoasozine을 제외하고는 현저히 저해하였고, 살충제는 500mg/ℓ처리에서 모두 현저한 저해를 가져왔다. $\text{NH}_4\text{-N}$ 의 생성은 담수상태에서 점차 증가되어 2주 후에는 약 20%의 무기질소가 감소되었으며 농약의 처리농도가 높을 수록 암모늄태질소의 현저한 증가가 2주째 나타났고, $\text{NO}_2\text{-N}$ 과 $\text{NO}_3\text{-N}$ 의 생성 역시 약제처리로 억제되었으며 살균제, 제초제, 살충제 순으로 영향이 큰 것으로 밝혔다. 그리고 金과 韓(1977)⁶⁾은 수도용 살균제 isoprothiolane을 담수토양조건에서 처리한 결과 pH에는 큰 영향이 없고 Eh는 처리후 28일 경부터 대조구에 비해 환원값이 커지는 경향을 확인하였다. 또 $\text{NH}_4\text{-N}$ 은 처리초기에는 증가했다가 21일까지 급격히 감소하고 다시 28일 후 부터는 다소 증가하는 경향이었으며 $\text{NO}_2\text{-N}$ 과 $\text{NO}_3\text{-N}$ 은 14~15일에 완전 소실되었으나 대체로 약제처리구와 대조구는 비슷한 경향이었으므로 isoprothiolane의 토양에 미치는 영향은 별로 크지않다고 평가하였다.

姜(1978)⁹⁾은 bentazon을 처리한 결과 처리농도가 높을 수록 질산화작용은 지연되었다고 보고했고, 金(1978)⁷⁾은 nitrofen, CNP, avirosan 및 mamet 등 4종의 제초제를 처리한 결과 $\text{NH}_4\text{-N}$ 의 생성은 배양 21일까지 약제처리구가 대조구에 비해 저해받았으며 약제의 농도가 높을 수록 저해정도가 심하였다고 했다. 또 $\text{NO}_3\text{-N}$ 은 처리21일 이후에는 측정되지 않았으나 농도가 높을수록 감소되는 경향은 $\text{NH}_4\text{-N}$ 와 같다고 보고했다.

류 등(1980)⁸⁾은 butachlor, carbofuran 및 IBP를 처리한 경우 토양 pH는 담수 15일까지 상승되다가 15일 이후에 pH 6.3을 유지하였고 Eh는 제초제나 살충제처리의 경우에는 큰 영향이 없었으나 살균제의 고농도처리에서는 토양의 환원값을 크게 낮추었고, $\text{NH}_4\text{-N}$ 의 경우도 IBP 고농도처리에서는 생성량이 많았으며 치환성석회, 고도 및 칼륨의 함량에는 별 영향이 없었다고 보고했다.

盧와 白(1981)¹²⁾은 농약처리가 cellulose분해에 미치는 영향을 조사하였는데 isoprothiolane, acephate 및 butachlor 모두 토양미생물의 호흡을 증가시켰다고 했으며, isoprothiolane은 cellulose분해를 다소 저해하는 경향을 보였다고 보고했다. 또한 약제처리는 초기의 질소고정능력에 영향을 주었으나 처리10일후에는 대조구와 비슷한 수준으로 향상되었음을 보고했다.

류 등(1983)²⁶⁾은 CNP제를 처리한 결과 약제처리가 pH를 상승시켰으며 농도가 높을수록 pH 상승효과가 인정을 밝혔다는데 이는 고농도처리시 Eh가 낮아지는 것과 같은 이유라고 보았다. 또 다른 농약과 마찬가지로 고농도 처리시 $\text{NH}_4\text{-N}$ 의 생성이 높았으며 유기물함량이 높은 식양토에서는 토양의 환원으로 인해 $\text{NH}_4\text{-N}$ 가 높은 수

준으로 유지되었으며 고유기물함량의 조건에서는 억제처리효과는 인정되지 않았고, $\text{NO}_3\text{-N}$ 의 생성량은 제초제의 사용농도가 증가할수록 감소하였으며, 또 질화작용의 억제효과도 제초제 투여량과 비례하였으나 유기물(벼짚)을 사용한 결과 억제효과는 인정되지 않았다고 보고하였다.

이와 이(1983)¹⁶⁾는 glyphosate, 2,4-D 및 oxadiazon은 $\text{NH}_4\text{-N}$ 와 $\text{NO}_3\text{-N}$ 의 생성을 증가시켰고, paraquat는 약 30%, butachlor는 약 13% 정도 저해하는 것으로 나타났으며, 또 terbutryne은 0.7% 정도의 낮은 무기화율을 그리고 butachlor는 약 0.35% 정도의 무기화율만 나타내었다고 보고하였다.

이 등(1995)²⁷⁾은 합성 pyrethroid계 살비살충제인 ¹⁴C-acrinathrin계를 사용하여 신생토와 1개월간 숙성된 토양에서의 무기화율을 비교한 결과 신생토양에서는 25.4~26.5%, 1개월간 숙성된 토양에서는 33.2-33.4%로 숙성토양에서 미생물등의 영향을 더 받은 것으로 보고하였다.

토양중 잔류 농약의 경감에 관한 연구

토양중의 잔류농약은 토양 미생물에 의한 분해, 대사과정, 토양표면에서의 유실, 토양수에 의한 용탈, 대기중의 휘산, 광분해 그리고 작물체에 의한 흡수 등에 의해 감소되어진다. 따라서 잔류농약이 작물체 이행 정도와 토양처리제의 분포변화 및 토양미생물 활성이 추가되는 잔류농약경감에 관한 실험결과들을 검토하여 보고자 한다.

잔류농약의 작물체 이행

토양중에 잔류하는 농약성분이 직접적인 피해를 주는 사례는 극히 드물다고 본다. 그러나 1970년대 말부터 강원도의 경제작물로 손꼽히던 호프재배지에서 헵타크로르에 의한 피해라고 여겨지는 호프의 생육불량현상이 발생하여 1980년에는 약 10%의 호프재배농가가 폐원하기에 이르렀다. 따라서 1980년과 1981년에 현지조사를 하여 헵타크로르 사용에 의한 피해임을 확인하였고 헵타크로르 에폭사이드에 의한 피해가 더 크다고 했으며 피해 가능한 토양중 처리농도는 0.009mg/l로 평가하였다(박 등; 1982)²⁸⁾. 그리고 이런 결과는 한등(1993)²⁹⁾에 의해 다시 확인되었다.

또한 梁 등(1991)³⁰⁾은 가을배추, 무, 시금치, 양파 및 마늘 등 5종의 월동작물을 파종하고 각 작물에 알맞은 제초제를 선별하여 기준량과 2배량을 처리한 후 수확한 다음 후작물을 파종하여 생육정도를 검토하여 잔효성을 알아보았다. 200~240일 정도의 작기 종료시 잔효성이 없어 후작물에 영향을 주지않은 약제로는 alachlor, trifluralin, prometryn 등이었으며 pendimethalin, metolachlor, linuron 및 methabenzthiazuron 등은 적정량 살포시에는 후작에 무해하나 2배량 살포시에는 화분과인 이탈

리안 라이그라스(IR)에는 영향을 주었다고 했다. 그리고 napropamide는 성분량 150~300g/10a의 처리시에는 화분과인 IR, 직파벼, 보리 등에 영향을 주었고 nitratin은 275일 후에도 75g/10a의 처리량에서도 IR, 벼, 보리에는 뚜렷한 생육억제가 있었고, 참깨, 들깨, 시금치 등의 생육에도 다소 영향을 주었다고 보고했다.

또 梁 등(1991)³¹⁾은 감자, 당근, 옥수수, 참깨, 여류콩 및 수박등 6종의 춘하작물재배시 사용한 제초제의 후작물에 대한 영향을 조사한 결과 작기(100~120일) 종료 후 파종된 후작물에 안전한 제초제는 alachlor, trifluralin, ethalfluralin, metribuzin 및 prometryn 등이었으며 pendimethalin, metolachlor, linuron, methabenzthiazuron 및 simazine 등은 기준량 살포시에는 약해가 없었으나 2배량 처리시에는 감수성인 IR에는 다소 영향을 주었다고 했다. 그리고 napropamide는 300g/10a처리시 140일 후에 화분과인 IR, 보리 등에는 영향을 주었고 십자화과인 무, 배추에는 영향이 없었다. nitratin은 150g/10a 수준에서 화분과작물에 생육억제가 있었다고 보고했다.

그러므로 잔류농약성분이 어느 정도 작물체에 흡수되는지에 관해서 알아보는 것이 필요하다.朴(1975)³²⁾은 0.003mg/l의 heptachlor와 0.002mg/l의 heptachlor epoxide가 잔류된 토양에 무와 배추를 재배한 결과 무청은 평균 0.003mg/l, 무 뿌리에는 0.005mg/l 그리고 배추에는 0.007mg/l이 잔류하였다고 보고했으며, 李(1981)³³⁾은 토양중 평균잔류량이 0.22mg/l인 α -BHC는 배추등에 평균 0.002mg/l정도 흡수되며, 약 0.16mg/l 인 γ -BHC는 혼적수준, 평균 0.29mg/l수준인 heptachlor는 0.002mg/l정도 그리고 0.06mg/l 수준인 heptachlor epoxide는 0.001mg/l수준으로 잔류하였고, 또 마늘에는 토양중 0.82mg/l수준인 α -BHC제가 0.002mg/l수준 그리고 0.02mg/l수준인 heptachlor는 0.001mg/l수준으로 잔류하였다고 보고했다. 따라서 李 등(1992)³⁴⁾은 ethoprophos의 토양중 잔류수준과 상치 및 현미와 벼짚중 잔류수준을 조사하고 이를 잔류허용기준과 비교하여 토양중 잔류한계를 설정하는 실험을 수행하였는데 상치는 토양중 농도가 12mg/l 이상일 경우 FAO/WHO의 잔류허용기준인 0.02mg/l 이상이 잔류하며, 현미의 경우는 토양중 농도가 40mg/l 이상일 경우 EPA의 잔류허용기준인 0.02mg/l을 초과하나 벼짚은 토양중 잔류량이 2mg/l 이상이 되면 가축사료로의 사용이 불가능한 수준이라고 했다.

李 등(1988)³⁵⁾은 ¹⁴C-bentazon을 처리하여 콩과 무에 대한 흡수율을 본 결과 콩은 지하부에 42.66±1.19%, 지상부에 2.76±0.13%로 총 45.41±1.32%가 흡수된 것으로 나타났고, 무는 지하부 16.64±0.02%, 지상부가 4.85±0.03%로 총 21.48±0.04%라고 밝혔다. 李 등(1989)³⁶⁾은 ¹⁴C-bentazon을 토양에 처리한 결과 살포 42일 후에는 수도체의 지하부에 25.8~29.4%, 지상부에 12.6~12.7%가 잔류되어 총 38.3~42.0%가 흡수되었다고 보고했다.

李 등(1989)³⁷⁾은 ^{14}C -carbofuran으로 유사한 실험을 하여 약제처리 42일 후에 수도체가 흡수한 방사능의 양은 지하부가 $6.52 \pm 0.58\%$, 지상부가 $20.45 \pm 3.73\%$ 로서 총 $26.83 \pm 3.81\%$ 라고 보고했다.

임 등(1994)³⁸⁾은 ^{14}C -isoprothiolane을 논토양에 처리하여 수도체로의 이행을 검토한 결과 줄기에서는 약제처리후 30분 경과후 부터, 그리고 잎에서는 9시간 경과후 부터 방사능이 검출되었음을 밝혔고, 동시에 수확후 토양중에 남아있는 방사선량은 처리량의 44% 이었다고 보고하였다.

이 등(1995)²⁷⁾은 합성 pyrethroid계 살비살충제인 ^{14}C -acrinathrin제의 옥수수로의 이행에 관해 실험한 결과 유기물이 많은 토양 보다는 유기물이 낮은 토양에서 약 2배 정도의 흡수이행량이 높은 것으로 나타났으나 옥수수로의 이행량은 전체적으로 0.5% 이하로 매우 낮게 나타났다 하였고, 아울러 옥수수 잎으로 방출된 방사선량은 0.3% 미만이었으므로 처리량의 66~77%가 토양에 잔류하는 특성을 보였음을 보고하였다.

이와 같이 잔류농약의 흡수정도는 작물의 종류와 농약의 종류에 따라 달라지므로 작물의 가식부위로의 이행에 관해 좀더 많은 자료가 필요하다고 본다.

토양에 살포된 농약의 행방

토양에 살포된 농약이 작물체로 얼마나 흡수되고 토양으로의 용탈되는 양은 얼마인지 등을 연구하는 것은 농약의 안전사용을 하기 위해서는 꼭 필요하다고 본다. 이와 같은 연구는 인공생태계나 실내실험을 통해 많이 수행되었지만 초기에는 직접 포장조건에서도 수행되어졌다.

정 등(1976)³⁹⁾은 수도에 diazinon입제를 처리한 경우 상위엽이나 하위엽에 관계없이 고루 잔류한다고 했으며, 朴과 諸(1983)⁴⁰⁾는 BPMC는 비담수조건에서의 분해가 담수조건보다 빨랐으나 carbofuran은 반대로 담수조건에서의 분해가 빨랐으며 두 약제 모두 유기물함량의 증가에 따라 분해가 늦어진다고 했고, 또 고온과 고농도처리는 분해를 촉진했다고 보고했다.

똥 등(1984)⁴¹⁾은 수도에 isoprothiolane과 chlorpyrifos-methyl유제를 살포하여 수확물중 잔존율을 조사한 결과 벧짚에 0.19~0.99%, 현미 0.01~0.48%가 잔류한다고 보고하였는데 이들 두 경우에 대부분의 농약은 토양에 잔류하는 것으로 볼 수 있다.

洪과 洪(1984)⁴²⁾은 carbofuran원제와 시판중인 sand-coating입제의 수증용출속도를 비교하여 원제는 12시간 후에 93% 정도 용출되었으나 시판제제는 5일 후에 최고치를 나타냈고, 또 토양의 담수조건과 비담수조건을 비교한 결과 담수조건에서 3-hydroxycarbofuran과 3-keto carbofuran의 잔류기간이 짧았다고 보고했다. 또 洪과 金(1984)⁴³⁾은 dinobuton의 온도에 따른 분해율을 비교하여

30°C에서의 반감기는 27일이었으며 pH 4~6에서는 반감기가 역시 27일이었음을 보고했으며 토양중에서는 반감기가 12.6일이었다고 보고했다.

朴과 李(1985)⁴⁴⁾는 isoprothiolane입제(12%)를 논토양에 처리한 후 수질중의 isoprothiolane농도는 약제처리후 2-5일경에 최대에 도달했으며, 수도체의 지상부와 근부중의 잔류량도 3~8일경에 최고치에 도달하였다고 보고했다. 이 등(1986)⁴⁵⁾은 ^{14}C -carbofuran을 이용하여 논토양에 처리한 결과 carbofuran제는 수도체로 흡수이행되어 처리후 56일에는 6.2%가 잔류하는 것으로 나타났고, 대부분의 농약은 토양중에 잔류하였으나 비추출성형태가 처리 56일 후에는 46% 이상을 차지하였다고 보고했다. 박(1986)⁴⁶⁾은 IBP입제(17%)와 BPMC유제(50%)를 처리한 결과 IBP입제는 처리후 수질중 잔류량이 계속 감소하여 8~15일 후에는 전혀 검출이 되지 않았으며 토양중에서도 빨리 분해되는 것으로 나타났다고 했다. 또 수도체 지상부와 근부에는 처리 1일 후에 최고 수준으로 잔류하다가 감소하는 경향이었다고 했다. 또 BPMC는 토양 및 수질 모두에서 약제처리 직후(3시간 후)에 최고치에 도달하여 토양의 경우에는 15일, 수질의 경우에는 3~5일 이후에 검출되지 않고 분해된 것으로 보고했다.

朴과 똥(1986)⁴⁷⁾은 ^{14}C -carbofuran을 담수조건에서 토양표면 시용하여 수도체, 토양, 휘발성분, CO_2 등으로 나누어 분포율을 조사하였는데, 처리 당일(1시간 후)에 수도체는 지상부 0.3%, 근부 0.3%로 모두 0.6%, 토양 87.0%로 나타났으며 처리 3일후에는 지상부 12.0%, 근부 2.3%로 수도체중에는 14.3%, 토양에는 67.0%, 휘발성분중 3.8% 그리고 CO_2 방출도는 0.5%로 밝혀졌다. 그리고 처리 9일 후에는 지상부 25.4%, 근부 2.7%로 수도체중 분포량이 28.1%로 증가되었고, 토양은 43.0%로 감소되었으며 수도체에 흡수되어 방출된 휘발성분과 CO_2 가 각각 7.6%와 0.6%의 비율로 분포되었다고 보고하였다.

馬 등(1986)⁴⁸⁾은 pretilachlor가 유기물과 점토함량이 높은 사질식양토에서는 사양토보다 분해가 빨랐으며, 토양중 유기물함량과 온도에 비례하여 분해가 촉진되었으며 담수조건에서의 분해가 빨랐다고 보고했다.

李 등(1988)³⁵⁾은 ^{14}C -BPMC를 논토양에 처리한 결과 BPMC는 담수토양조건에서 빠른 속도로 분해소실되었으며, 또 처리후 시간의 경과에 따라 비추출성 잔류분이 점진적으로 증가하였는데 처리 72일 후에 총처리량의 22%가 비추출성 잔류분이었다고 했다. 그리고 BPMC의 흡착 및 분배계수는 1.0% 이하로 나타났으므로 BPMC가 토양중에서 이동과 용탈이 용이하다고 추정했다.

문(1990)⁴⁹⁾은 담수조건과 고온(35°C)조건에서의 fenitrothion분해가 촉진되었고, 저농도(10mg/ℓ)보다 고농도(30mg/ℓ)처리에서는 분해가 지연되었다고 했으며, 특히 복합비료 첨가와 IBP 및 butachlor처리는 영향이 없었다고 보고했다.

임과 봉(1992)⁵⁰⁾은 paraquat의 토양흡착에는 점토함량과 고도의 상관성이 있었으며 alachlor는 토양중 유기물함량과 상관성을 보였다고 했고, 이와 오(1993)⁵¹⁾는 ¹⁴C-carbofuran, bentazon 및 TCAB의 토양중 이동성을 조사한 결과 ¹⁴C-carbofuran은 총처리 방사능의 92%가 용탈되었고, ¹⁴C-bentazon은 96%가 용탈되었으나 ¹⁴C-TCAB는 전혀 용탈되지 않은 것으로 나타나 이동성이 없는 것으로 보고했다.

宋과 李(1993)⁵²⁾는 담수토양중 diazinon의 거동에 미치는 유기물의 영향을 알아보기 위하여 humin, humic acid 및 fulvic acid에 대한 흡착량을 조사하여 diazinon 상용처리농도인 1.8mg/l 수준에서는 1% humin첨가구가 12.4%, 1% humic acid첨가구는 10.4%, 그리고 1.0% fulvic acid첨가구에서는 11.86%가 최대로 흡착되었으며, 부식물질의 농도가 증가함에 따라 diazinon의 흡착률도 증가했으나 diazinon의 농도 증가는 흡착률에 큰 영향을 주지 못했다고 했다.

文 등(1993)⁵³⁾은 ethoprophos의 토양중 이동성을 조사한 결과 대부분의 성분이 0~2 cm에 잔존하며 2~4cm 깊이까지 이동하는 양도 조금은 있었고 처리후 15~27일 범위에서는 4~6cm까지 처리량 0.2~0.5% 정도가 이동하기도 했으나 그 이하 토심에서는 검출되지 않았다고 보고했다.

김 등(1993)⁵⁴⁾은 procymidone과 ethoprophos를 대상으로 하여 흡착분배계수와 이동거리에 따른 약제의 용탈농도를 알아보므로써 용탈에 의한 수질오염 가능성을 예측하였는데, procymidone과 ethoprophos의 유기탄소 기준 흡착분배계수(K_{oc})는 각각 88~100과 362~449이었으며 humic acid에 의한 약제별 흡착분배계수(K_{oc})는 procymidone이 594, ethoprophos가 326으로 나타나 토양유기물에 의한 K_{oc} 값에 비해 procymidone은 1.6배, ethoprophos는 3.5배로 나타났다. 또한 이들 약제의 토양중 농도와 이동속도는 흡착분배계수에 의해 결정되었으므로 두 약제의 용탈농도는 ethoprophos가 procymidone 보다 더 큰 것으로 나타났다고 보고했다.

전과 韓(1994)⁵⁵⁾은 벼에 ¹⁴C-bensulfuron-methyl의 흡수에 미치는 영향을 수경재배조건에서 검토하였으며, 약제처리 12시간 후에 지하부 9.2%와 지상부 1.6%로 10.8%가 흡수되었으며, 48시간후에는 지하부 8.2%, 지상부 3.5%로 11.7%가 흡수된 것으로 밝혔다. 또 첨가된 butachlor는 ¹⁴C-bensulfuron-methyl의 흡수에 영향을 주지 않지만 quinclorac은 1.0mg/l수준에서도 흡수를 저해하며, 질소성분의 결핍과 유황성분의 과다는 벼에 의한 ¹⁴C-bensulfuron-methyl의 흡수를 저해한다고 보고했다.

최 등(1994)⁵⁶⁾은 IBP제, isoprothiolane유제, diazinon유제 및 butachlor유제중 4종의 수도용 유제를 살포한 후 토양중에서의 경시적인 변화를 조사한 결과 토양중의

농약잔류량은 처리 1~3일 후에 증가하다가 7일후 부터는 감소하는 경향을 보였으며 토성에 따른 차이는 없었으며 처리7일 후의 토양중 잔존율은 IBP 14.4%, diazinon 41.1% 그리고 butachlor가 84.9%로 상이함을 보였다고 보고하였다.

玄 등(1995)²⁰⁾은 alachlor제와 chlorothalonil제의 토양중 흡착과 이동에 관해 연구한 결과 chlorothalonil이 alachlor제에 비해 흡착정도가 매우 크며, 동시에 alachlor제가 토양중에서의 이동이 용이하였음을 보고하였다.

이 등(1995)⁵⁷⁾은 합성 pyrethroid계 살비살충제인 ¹⁴C-acrinathrin제의 토양중 반감기는 유기물함량과 양이온치환용량이 큰 토양에서는 1회처리시 18일, 2회처리시 22일로 유기물함량이 낮은 토양의 1회 처리시 13일, 2회처리시 15일보다 다소 길어지는 경향이었고, 24주간에 무기화율은 유기물함량이 높은 토양에서 81%, 그리고 유기물함량이 낮은 토양에서는 62%이었다고 하였으며, 숙성기간이 길어짐에 따라 토양중 유기물에 의한 불추출 토양잔류량(soil-bound residue)도 증가하는 경향이라고 보고하였다.

이와 최(1995)⁶⁸⁾는 carbofuran의 aminothio유도체인 carbosulfan, furathiocarb와 benfuracarb제의 논토양과 밭토양조건에서의 분해양상과 carbofuran으로의 전환율을 실험하였는데, 처리 5일 후 담수조건에서의 전환율은 carbosulfan제가 78.6%, furathiocarb제가 78.4% 그리고 benfuracarb제가 71.0%이었으며 밭토양조건에서는 carbosulfan제가 74.2%, furathiocarb제가 84.4% 그리고 benfuracarb제가 71.0%이었다고 보고하였다.

양 등(1995)⁵⁹⁾은 benzofuran계통의 선택성 제초제인 benfuresate제와 quinoline계 살균제인 oxolinic acid의 토양중 잔류량을 조사한 결과 benfuresate제는 90일 후에 초기 잔류량의 약 30% 정도가 남아있으며, oxolinic acid의 경우 100일 후에 6% 이하만이 잔류한다고 했으며, benfuresate제가 oxolinic제 보다 토양중 분해속도가 더디다고 했다.

김 등(1995)⁶⁰⁾은 농약의 토양흡착성에 의한 이동성을 예측할 수 있는지를 실험하였는데, metolcarb제, fenobucarb제, isazofos제, fenitrothion제 및 dimepiperate제 등을 처리한 결과 12시간 흡착반응 후의 분해율은 4% 이하로 매우 낮았으며 대부분의 농약은 12시간 이내에 평형에 도달하였다고 밝혔다.

김 등(1994)⁶¹⁾은 수도용 농약의 토양중 흡착, 이동 및 잔류독성을 구명하기 위해 iprobenfos제, isoprothiolane제, butachlor제, ethoprophos제 및 procymidone제를 대상으로 하여 humic acid와 점토광물의 영향을 조사한 결과 montmorillonite가 kaoline보다 농약의 흡착능력이 컸으며 kaoline의 흡착분배계수(Kd)는 약제별로 0.3~4의 낮은 수준임을 밝혔다. 또한 토양중 농약의 이동은 토양유기물 함량과 비례적으로 감소하며, humic acid처

리토양의 유기탄소기준 흡착분배계수(Koc)의 평균값은 약제 모두 humic acid의 처리량에 비례하여 증가하는 경향임을 보고하였다.

토양중 농약의 분해 촉진

토양 중의 잔류농약을 직접 경감시키는 연구는 70년대 후반부터 시작되었으나 주로 유기물시용, 석회시용 등이 주된 내용이었으며 좀더 적극적인 방법인 분해미생물을 이용한 잔류농약 경감연구도 일부 진행되고는 있으나 아직 뚜렷한 결과는 없으며 계속 수행되어야 할 것으로 본다.

뮌 등(1979)⁶²⁾은 생고를 마쇄하여 nitrofen처리구에는 1.0, 3.0 및 5.0%, simazine 처리구에는 0.1, 0.5 및 1.0% 그리고 butachlor처리구에는 0.1, 0.5, 1.0 및 3.5%가 되도록 첨가하여 토양중 각 약제의 분해를 검토한 결과 1.0% 처리수준에서 nitrofen은 별 영향이 없었으나 butachlor는 무처리구에 비해 담수조건에서는 5일, 발토양조건에서는 3일 정도 반감기가 단축되었으며, simazine은 발토양조건에서 반감기가 90일 정도 단축된 것으로 보고했다. 또 석회를 사용하여 pH를 조정하여 butachlor와 nitrofen의 반감기를 조사하였는데 석회시용은 두 약제의 분해에 큰 영향을 미치지 않는 것으로 나타났으나 무처리구에 비해 butachlor는 3~5일, nitrofen은 8-15일 정도 단축되는 것으로 나타났으나 토양 pH는 두 약제의 분해에 별 영향이 없는 것으로 평가하였다.

李 등(1979)⁶³⁾은 diazinon, carbofuran 및 BHC이성질체를(α -, β -, γ -, 및 δ -이성질체) 대상으로 생고를 시용(2%)한 경우 세 약제 6성분 모두 분해가 촉진되었으며 각각의 반감기는 diazinon 2.4일, BHC는 약 10일, 그리고 carbofuran은 7.4일이 단축된 것으로 나타났다고 했다.

朴 등(1993)⁶⁴⁾은 토양에 10mg/l의 iprobenfos와 parathion을 처리하고 2주일 후에 첨가된 농약잔류경감제의 효과를 비교한 결과, iprobenfos는 zeolite, 맥반석, 벗짚 분말 등의 처리구에서는 대조구 보다 분해율이 높은 것으로 나타났으나 퇴비와 퇴비+벗짚분말처리에서는 대조구 보다 분해율이 낮은 것으로 나타났으며 parathion의 경우는 처리간에 별 차이가 없었다. 그러나 50mg/l처리시 6주후에는 iprobenfos의 경우 대조구가 96.3% 분해되었으나 석회(93.1%)와 벗짚(82.1%) 처리는 대조구에 비해 분해가 더딘 것으로 나타났으나 parathion의 경우에는 담수조건에서 대조구(61.9%)보다 벗짚(97.8%)과 퇴비(87.3%)가 더 높은 분해율을 보였다고 했다. 그 외에 많은 연구자들이 유기물농도에 따른 약제분해율등에 관해 연구를 수행하였다.

한편 농약의 미생물에 의한 분해는 오 등(1979)⁶²⁾이 살균토양과 비살균토양에서의 butachlor와 nitrofen을 비교하여 살균토양에서의 약제의 반감기가 butachlor의 경우 약 4배 이상, nitrofen의 경우 6배 이상 지연됨을 보

고했고, 李 등(1979)⁶³⁾은 살균토양에서의 diazinon의 반감기는 약 2.5배, carbofuran은 약 2.2배 정도 길어진다고 했다.

또 宋 등(1981)¹⁰⁾은 IBP의 경우 무살균토양에서의 반감기가 약 12일인 반면에 살균토양에서는 37일로 3배 이상 지연된다고 했고, 朴과 諸(1983)⁴⁰⁾는 BPMC의 경우 살균토양에서의 분해율은 무살균토양에 비해 2배 이상 지연되었고 carbofuran 역시 2배 이상 지연되었다고 했으며, 洪과 金(1984)⁴³⁾은 dinoseb가 살균토양에서는 무살균토양보다 반감기가 약 16일이 지연되었다고 했다.

또, 朴과 오(1986)⁴⁷⁾는 ¹⁴C-carbofuran 살균처리했을 때 non-extractable fraction이 감소하였고, organic phase extract는 증가했다고 보고했으며, 최와 이(1987)⁶⁵⁾는 diazinon과 chlorpyrifos은 살균토양에서의 분해가 약 3배 정도 지연되었다고 했고, 김 등(1989)¹³⁾은 diazinon을 비살균토양에서 30°C, 7일 후에 95% 이상이 분해되었으며 반감기는 약 2.2일이었으나 살균토양에서도 10일 후에도 30% 이상의 diazinon이 잔류하는 것으로 보고했다.

문(1990)⁴⁹⁾은 fenitrothion의 경우 담수조건에서 비살균토양은 반감기가 약 7일 정도였으나 살균토양에서는 거의 분해가 일어나지 않는 것으로 보고했고, 金과 崔(1992)⁶⁶⁾는 bifenthrin은 비살균토양에서 85.1일의 반감기를 나타내나 살균토양에서는 128일 후에도 약 11%만 분해가 일어났고, cyhalothrin은 반감기가 54.6일이나 살균토양에서는 bifenthrin과 비슷한 분해율을 보였다고 했다.

한 등(1995)⁶⁷⁾은 살균제인 myclobutanil제를 처리한 후 6주후에 살균토양에서의 잔류량이 비살균토양에서 보다 2.7배나 높았으며, 반감기도 살균토양에서는 74일이었으나 비살균토양에서는 19일로 약 3.9배 정도나 차이가 있다고 보고하였다. 또한 토양수분에 따른 분해수준의 차이는 인정하기 어려웠으나 토양 pH에 따라 반감기에 영향을 주는 것을 확인하였으며, pH 5.5에서는 18.2일, pH 9에서는 13.4일로서 토양온도가 27°C에서는 17.3일, 37°C에서는 24.0일 그리고 17°C에서는 28.2일로 반감기가 달라짐을 보고하였다.

이와 같이 많은 연구자들이 토양중에서 농약성분이 미생물에 의해 분해가 된다는 것을 시사하였으며, 또 몇 연구자는 강력한 농약분해미생물을 선발하여 토양중 잔류농약을 제거하려는 연구도 수행하였다. 이 등(1984)⁶⁸⁾은 PCNB와 endosulfan을 처리한 토양에서 이들 약제를 분해하는 사상균을 각각 3종씩 분리하였으며, 이중 2종의 Fusarium속 미생물을 동정하였는데 선발된 균주중 PCNB분해율이 우수한 것은 대조구의 반감기가 42.4일 인데 비해 31.9일로 약 25% 감소된 것으로 보고했다.

김 등(1987)¹⁷⁾은 PCB's 분해균주를 선발하여 배지상에서 분해율을 조사한 결과 aroclor 1016은 9일 후에 45%가 분해되었으나 aroclor 1254는 20% 이하의 분해율을

나타냈고 γ -BHC와 p,p'-DDT의 분해율도 20% 이하였다고 보고했다.

김 등(1991)⁶⁹⁾은 parathion분해균주를 선발하는 실험을 수행하여 8종의 균주를 선발하였으며, 선발된 균주 중 분해율이 가장 높은 것은 50mg/l 처리후 35°C에서 7일간 배양했을 때 98%를 나타냈으며 이 균주는 *Bacillus*속이었음을 확인하였다.

또 박 등(1992)⁷⁰⁾은 이 선발된 parathion분해균주를 이용하여 100mg/l 처리토양에서의 분해율을 비교한 결과 무접종에 비해 비살균토양에서는 1.5배, 살균토양에서는 1.7배 정도 분해율이 증가되었음을 확인하였으나 ethoprophos와 fenitrothion의 분해능은 없는 것으로 보고했다.

이 등(1991)⁷¹⁾은 TCAB분해균주로 *Achromobacter* group VD를 선발하여 순수배양하고 TCAB의 대사과정을 추정하였다.

박 등(1993)⁶⁴⁾은 paraquat dichloride분해균주 선발을 위해 과수원토양 20점과 paraquat반복처리토양 2곳에서 각 4종의 사상균을 선발하였고 이중 고농도 반복처리토양에서 선발한 S-4균주는 10mg/l 처리에서 대조구에 비해 거의 2배 정도 분해율이 높았다고 보고했다.

특정농약의 토양중 행적

특정 농약의 토양내 분해 및 대사에 관해서는 두가지로 나누어 볼 수 있다. 우선은 국내 토양 조건에의 농약의 분해율을 실험한 것으로 대부분 반감기($T_{1/2}$)로 표시된다.

Table 1에는 국내에서 실험된 20여종의 농약에 대한 반감기를 수록하였다. 토양중 농약의 반감기와 $T_{1/10}$ 등은 농약의 품목허가를 받기 위한 기본자료 이므로 최근에 더욱 많은 실험결과들이 있으나 그중 일부만을 정리하였다. Table 1에서 볼때, 살충제중 합성피레트린제인 bifenthrin 과 cyhalothrin은 담수토양조건에서의 반감기가 모두 120일 이상으로 발토양조건에 비해 훨씬 긴 것으로 나타났으며, flufenoxuron은 양토보다 사양토에서 1.8배나 긴 것으로 나타났다.

제초제인 esprocarb는 양토에서 59일인 반면, molinate는 양토에서 2.3일로 약제간의 차이가 컸으며, 한국에서는 토양 제초제로서 널리 사용되었던 butachlor는 28~38일 정도로 나타났다.

살균제중 토양중에서 가장 검출빈도가 높았던 IBP는 식양토에서 12일이나 유사화합물인 IB는 15~18일로 다소 길었으며, 수도용 살균제인 isoprothiolane이 52일로 비교적 반감기가 길게 나타났다.

한편, 약제별 대사과정에 관련된 연구는 매우 제한되어 있으나, ¹⁴C-labelling 된 농약을 사용하여 수행되었다.

박 등(1993)⁴⁰⁾은 담수토양에 pH, 유기물량, 농약처리량, 토양미생물, 온도 등을 달리하여 carbofuran의 분해경향을 실험해 본 결과 생물학적 분해와 pH 등에 의한 화학적

분해가 동시에 일어나는 것으로 해석하였다. 그후로 박

Table 1. Half-life(DT_{50}) of some pesticides in korean soil.

Pesticides	Soil	Half-life(day)
Insecticides		
Bifenthrin	Upland	61-85
	Paddy	128
BPMC	Paddy(L)	5
Carbofuran	Paddy(SCL)	8-12
Cyhalothrin	Upland	3-5
	Paddy	120
Diazinon	Paddy(SiL)	2.2
chlorpyrifos	Paddy(SiL)	10.8
Ethoprophos	Upland(CL)	15
Fenitrothion	Upland(L)	3.2
	Paddy(L)	1.6
Flufenoxuron	Upland(L)	51
	Upland(SL)	97
Fungicides		
Chlorothalonil	Upland(SL)	9
Diethofencarb	Upland(L)	35
	Upland(SL)	33
Dodine	Upland(L)	14
	Upland(SL)	12
IB	Paddy(SCL)	15-18
IBP	Paddy(SiL)	12
Isoprothiolane	Paddy(SL)	52
Metalaxyl	Paddy(L)	23
	Paddy(SL)	17
Herbicides		
Butachlor	Paddy(SL)	28-38
	Paddy(SL)	45
Esprocarb	Paddy(L)	59
	Upland(SL)	19
Hexazinon	Upland(L)	18
	Upland(L)	37
Metobromuron	Upland(SL)	36
	Paddy(L)	2.3
Molinate	Paddy(SL)	0.6
	Paddy(SL)	33-35
Nitrofen	Upland(L)	151
Paraquat	Upland(L)	151
	Paddy(SL)	177

등(1986)⁴⁷⁾은 담수토양에 ¹⁴C-carbofuran을 처리하여 분해과정을 조사해 본 결과, 살포 24일 후에 carbofuran(88.0%)과 3-hydroxy-benzofuran이 (1.7%) 3-hydroxy-carbofuran이 (1.6%), 3-ketobenzofuranol이 (1.3%), 7-benzofuranol (0.1%), 3-ketocarbofuran (trace) 등의 5종의 대사산물이 모두 동정되었다. 또한 토양의 수용성층 추출액에 HCl과 cellulase로 가수분해를 실시한 결과 carbofuran과 5종의 대사산물들이 aglycone으로 확인되었으며, 특히 7-benzofuranol 과 3-hydroxycarbofuran이 많이 분리되었다. 그리고 일반토양에서 살균토양에서 보다 organic phase extract의 방사능이 감소하고, non-extractable fraction의 방사능이 크게 증가 하였는데, 이 결과는 작물체에서도 거의 같은 경향이었으며, 대사과정이 phase I 과 II 반응으로 진행되면서 carbofuran의 대사가 이루어진다고 하였다. 이 등(1986)⁴⁵⁾도 ¹⁴C-carbofuran을 담수

토양에 처리하고 대사산물을 동정해 본 결과 56일 후에 carbofuran phenol(19.1%), 3-ketocarbofuran phenol(4.3%), 3-ketocarbofuran(1.1%), 3-hydroxycarbofuran (0.7%), 3-hydroxy-carbofuran phenol(0.6%) 등을 확인하였다. 이 등(1993)⁴⁵⁾은 토양 column을 이용하여 ¹⁴C-carbofuran 및 대사산물의 이동성을 실험한 결과 분해산물로 3-ketocarbofuran phenol이 주분해산물로 동정되었으며, 3-hydroxy carbofuran과 3-hydroxycarbofuran phenol도 분해산물로 검출하였다.

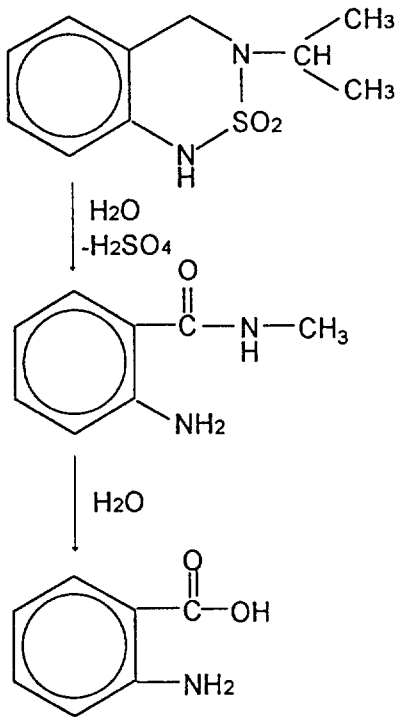


Fig. 1. Degradation pathway of ¹⁴C-carbofuran in paddy soil (Lee et al., 1986). A : Carbofuran, B : Carbofuran phenol(19.1%), C : 3-hydroxycarbofuran(0.7%), D : 3-ketocarbofuran(1.1%), E : 3-hydroxycarbofuran phenol(0.6%), F : 3-ketocarbofuran pheno(4.3%)

이(1981)⁷²⁾가 담수토양에 diazinon 을 반복 처리 할 수록 미생물의 분해능이 발달되어 분해가 빨라졌다고 보고한 이후, 최등(65)은 diazinon을 담수토양에 처리한 후 대사산물로 diazoxon, 2-isopropyl-6-methyl-pyrimidine-4-one, phosphorothioate (O,O-diethyl-O-[2(1-hydroxy-1,1-dimethyl)6-methyl]pyrimidinyl, O,O-diethyl phosphorothioate, sulfotep을 확인 하였으며, 아울러 chlorpyrifos은 가수분해산물로 O,O-diethyl phosphorothioate를 동정하였다.

Lee(1986)⁷³⁾는 alachlor를 담수토양과 순수미생물에 처리하여 분해산물로 토양에서는 1-formyl-2,3-dihydro-7-ethyl indole, 2,6-diethylaniline, 2,6-diethylacetanilide, 2,

6-diethyl-N-(methoxy methyl)acetanilide, 2-hydroxy-2', 6',-diethyl-N-(methoxymethyl) acetanilide 그리고 3종의 비확인 화합물을 확인하였으며, *Streptomyces lavendulae* Ru 3340-8은 주요 분해산물로 2-hydroxy-2',6',-diethyl-N-(methoxymethyl)acetanilide가 25%까지 생성된 반면 이외의 다른 미생물은 분해산물을 생성하지 않았다고 보고하였다. 또한 alachlor가 발토양에서 분해될때는 담수 토양에서 발견되지 않은 8-ethyl-2-hydroxy-N-(methoxymethyl)-1,2,3,4-tetrahydroquinoline, N-hydroxyl-2,3-dihydro-7-ethylindole이 검출되었다. 반면에 담수토양에서 주요한 대사산물인 2,6-diethyl-N-(methoxymethyl) acetanilide가 발토양에서는 검출되지 않았으며, 2-hydroxy-2',6',-diethyl-N-(methoxy-methyl) acetanilide 가 발토양과 담수토양에서 비교적 주요한 대사산물의 하나로 동시에 검출되었다고 보고하여, alachlor는 담수상태와 발 상태에서 서로 다른 경로로 분해됨을 시사하였다.

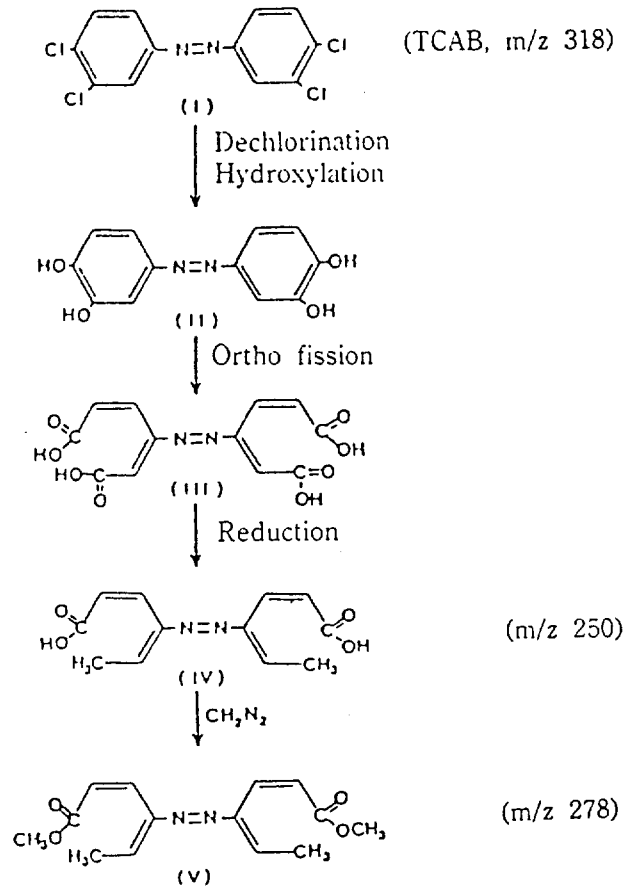


Fig. 2. Degradation pathway of diazinon in paddy soil(Choi et al., 1987). A : Diazinon, B : Diazoxon, C : phosphorothioate(O,O-diethyl-O-[(1-hydroxy-1,1-dimethyl)6-methyl]pyrimidinyl, O,O-diethyl phosphorothioate, D : O,O-diethyl phosphorothioate, E : 2-isopropyl-6-methyl-pyrimidine-4-one, F : Sulfotep.

Lee와 Fournier(1978)⁷⁴⁾는 ¹⁴C-3,4-DCA 및 ¹⁴C-TCAB를 사용하여 조건이 다른 토양에 처리하였을 때 3,4-

DCA로 부터 생성되는 TCAB의 량은 토성보다는 3,4-DCA의 사용농도에 의존적이었으며, ¹⁴CO₂로 완전 분해되는 속도는 매우 느려 배양 6개월 후에 단지 0.05~0.20%만이 분해 되었다고 했다. 또한 alkali 조건 토양에서는 trans-TCAB가 cis-TCAB로 전환이 일어나 흡착성이 더 강해져 토양중에 흡착이 더 잘되어 오래 잔류한다고 추정하였다. 또한 이와 오 등(1993)⁵¹⁾은 토양 column에 처리한 ¹⁴C-TCAB의 분해산물을 검출하지 못하였다고 보고하였다. 한편, Lee 등(1991)⁷³⁾은 이와 같이 토양에서 오래 잔류하는 TCAB의 미생물에 의한 분해를 보고하기도 하였다. 폐수처리장에서 분리 동정한 *Achromobacter* group VD와 TCAB를 순수배양 하였을때 분해산물을 확인 하였으며, 이 분해산물의 형성과정을 dechlorination, hydroxylation, ortho fission, reduction 등으로 진행되는 과정을 가정하였으며, 이 화합물은 conjugated system을 이루기 때문에 매우 안정하여 GC/MS 에 검출된 것으로 판단하였다.

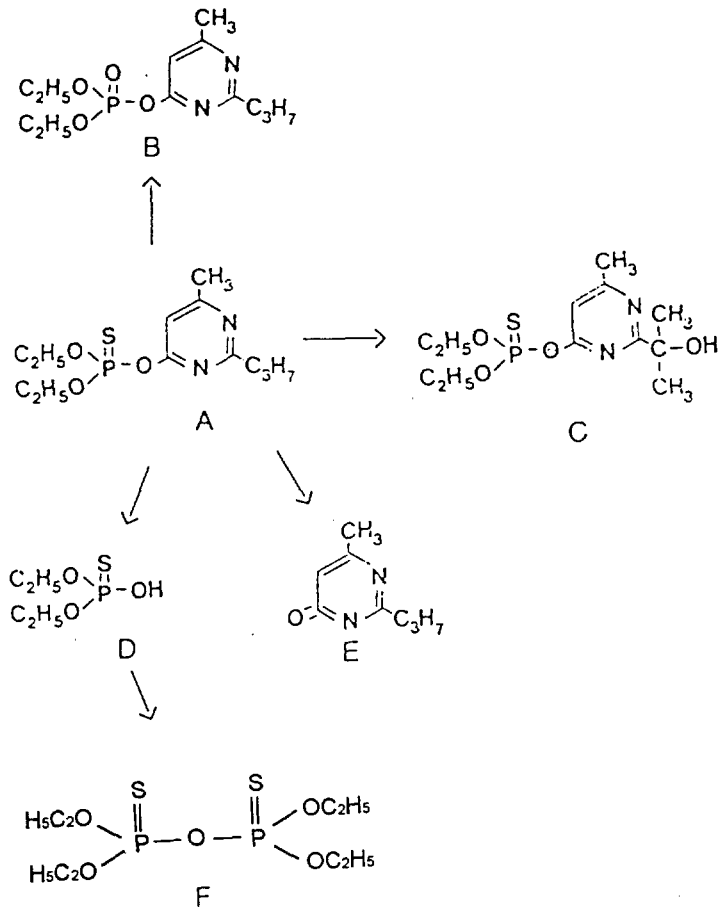


Fig. 3. Proposed pathways for the microbial degradation of TCAB by the isolate *Achromobacter* group VD(Lee et al., 1991).

김 등(1992)⁶⁶⁾은 토양에서 bifenthrin은 pyrethroid계 농약의 전형적인 형태로 ester 결합의 가수분해가 주된

분해경로이며, 가수분해산물로 2-methylbiphenyl-3-yl-methanol을 동정 하였다.

장 등(1993)⁷⁶⁾은 제초제 dimepiperate 살포에 따른 지표수 및 침투수의 잔류량을 lysimeter를 사용하여 실험한 결과 토양중의 주 대사산물은 hydroxyl 기가 도입된 dimepiperate-OH 였음을 확인 하였다.

이와 오(1993)⁵¹⁾는 제초제 bentazon, TCAB 그리고 carbofuran과 함께 토양 column에서 대사산물을 동정하였을 때 bentazon은 대사산물을 확인할 수 없었으나, 이 등(1993)⁷⁶⁾은 토양배양 및 미생물 순수배양 실험을 수행하여, bentazon이 가수분해되어 anthranilic acid isopropylamine과 H₂SO₄이 형성되고, 다시 계속하여 isopropylamine이 이탈해 anthranilic acid가 형성되는 것으로 제안 하였다.

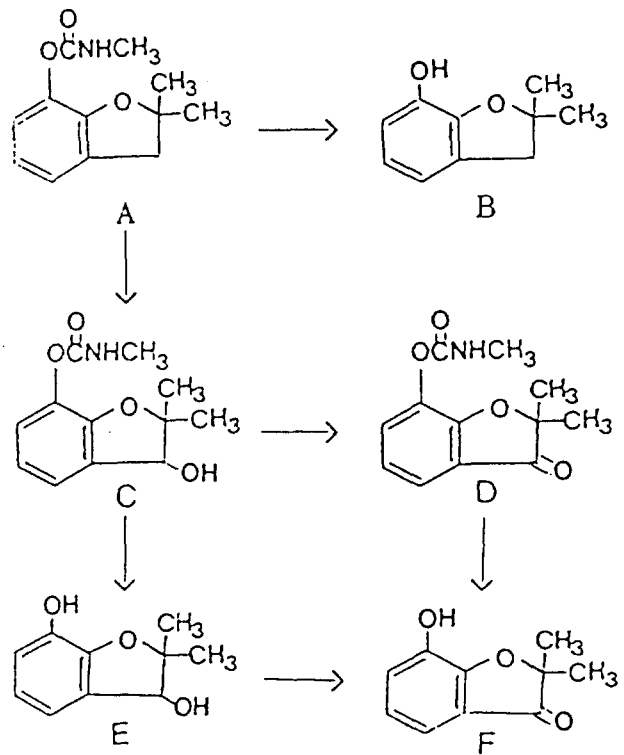


Fig. 4. Possible pathway of the formation of anthranilic acid from bentazon(Lee et al., 1993).

박 등(1994)⁷⁷⁾은 토양중 잔류농약 경감 방법을 EPN제, fenitrothion제, methidathion제, fenthion제 및 malathion제를 대상으로 하여 담수조건과 비담수조건에서 수행한 결과, methidathion제는 벚짚과 석회등 분해 촉진제에 별 영향을 받지 않았으며 malathion은 어느 경우이나 1주만에 거의 분해됨을 확인하였다. 또한 EPN제와 fenitrothion제는 담수 벚짚처리시 처리 36시간 이후부터 신속히 환원형 amino제 대사산물로 변화하였으며 담수석회처리시 일부가 대사산물로 전환되는 현상을 보고하였다.

References

1. Hong, J.U. and Choi, J.(1969). Effects of DDT and BHC on the soil microflora and carbohydase activity, *Kyung-pook Univ. Theses Coll.*, 13, 7~14.
2. Han, D.S. and Kim, J.J.(1974). Effects of pesticides on the soil microflora and change of inorganic matter, *Kangwon Univ. Theses Coll.*, 8, 89~104.
3. Han, D.S.(1975). Effects of phosvel on the soil microflora and change of inorganic matter, *Kangwon Univ. Theses Coll.*, 9, 153~158.
4. Kim, J.J.(1975). The effect of rising and falling inorganic nitrogen and soil microorganism fluctuation in accordance with polyoxin, *Kangwon Univ. Theses Coll.*, 9, 161~167.
5. Kim, J.J. and Jeong, H.S.(1976). The influence of herbicides on soil microflora influence of butachlor, *J. Kor. Soc. Soil Sci. Fert.*, 9(1), 25~31.
6. Kim, E.H. and Han, D.S. (1977). Fluctuations of microorganisms in soil and changes of inorganic nitrogens treated agricultural medicines, *Kangwon Univ.*, 11, 133~137.
7. Kim, J.J.(1978). Effect of herbicide on the soil microorganism and inorganic matters, *Kangweon Univ. Theses coll.*, 12, 95~102.
8. Ryu, J.C., Song, B.H., Lee, H.H. and Ha, J.H.(1980). Study on effects of pesticides application to chemicals properties and microflora in soil. *Annual Research Report of IAS. RDA.* 416~462.
9. Kang, K.Y.(1978). Effect of the herbicide bentazon on nitrification and on numbers of bacteria and fungi in the soil, *Kor. J. Agric. Chem. Soc.*, 11(2), 81~83.
10. Song, B.H., Park, Y.S. and Jeong, Y.H.(1981). Study on pesticide degradation in soil, *Annual Research of ARI, RDA.*, 49~60.
11. Lee, Y.D., Lee, H.K. and Lee, S.H.(1982). Effect of soil conditions to acceleration on pesticide degradation, *Annual Research Report of ARI. RDA.* 118~126.
12. Roh, J.K. and Baik, O.R.(1981). Effects of some pesticides on korean paddy soil microorganisms, *J. Kor. Agric. Chem. Soc.*, 24(3), 174~180.
13. Kim, J.H., Rhee, Y.H., Choi, J.W. and Lee, K.S.(1989). Microbial degradation of diazinon in submerged soil, *J. Kor. Microbial.* 27(2), 139~136.
14. Lee, K.S.(1989). Degradation and its inhibition of granular type OP-insecticides using paddy field, Research Report of the Korean Foundation of Science and Technology(867-1502-001-3), 30~33.
15. Hong, J.U. and Cho, S.M.(1979). The changes of the activity of nitrogen-containing herbicides in soils ; Part 1. Effects on the urease activity in soils, *J. Kor. Agric. Chem. Soc.*, 22(41), 217~220.
16. Lee, K.S. and Lee, J.S.(1983). Transformation of urea-N and population changes of microorganism in soil treated with several herbicides, *Chungnam Univ.*, 2, 55~63.
17. Kim, K.S., Kim, Y.W., Lee, M.C. and Kim, H.W.(1987). Effect of pesticides on microflora, soil respiration and enzyme activity in soil, *J.Kor. Soc. Soil Sci. Fert.*, 21(1), 375~385.
18. Kim, K.S., Kim, Y.W., Kim, J.A. and Kim, H.W.(1988). Effect of herbicides on microflora and enzyme activity in soil, *J. Kor. Soc. Soil Sci. Fert.*, 21(1), 61~71.
19. Choi, J.W., Rhee, Y.H. and Lee, K.S.(1990). Effect of activities of monooxygenase, α , β -esterase on the degradation of diazinon and dursban in submerged soil, *Kor. J. Environ. Agric.*, 9(2), 97~103.
20. Hyun, H. N., Oh, S. S., and Yoo, S. H.(1995). Adsorption and movement of alachlor and Chlorothalonil in the representative soil of Cheju Island, *Korean J. Environ. Agric.* 14(2), 135~143.
21. Jung, Y.H., Park, K.H., Kim, C.S. and Choi, J.H.(1994). Effect of some pesticides to soil fauna, Annual Research Report of ARI, RDA, 448~450.
22. Kim, Y. S.(1995). Study on acute toxicity evaluation and degradation of aldrin and parathion with earthworm(*Lumbricus rubellus*), MS thesis, Graduate School of Chungnam National University.
23. Oh, W.K.(1973). Studies on the effects of continuous application of herbicides on chemical nature of upland soils, *J. Kor. Soc. Soil Sci. Fert.*, 6(1), 9~16.
24. Kim, M.K.(1976). The influence of some soil-treated herbicides on the mineralization of nitrogen fertilizers, 1. In a flooded paddy soil, *Kor. J. Pl. Prot.*, 15(4), 205~214.
25. Lim, S.U., Kang, K.Y. and Park, S.O.(1977). Studies on the behaviors of urea in soils ; [part 1] Effects of some pesticides on the urea decomposition and nitrogen transformation in flooded paddy soil, *J. Kor. Agric. Chem. Soc.*, 20(1), 58~65.
26. Ryu, J.C., Araragi, M. and Koga, H.(1983). The influence of pesticides on some chemical and microbiological properties related to soil fertility ; 1. Effects of herbicide(CNP) on some soil chemical factors concerning nitrogen mineralization, *J. Kor. Soc. Soil Sci. Fert.*, 16(4), 372~381.
27. Lee, J.K., Kyung, K.S., Kwon, J.W., Ahn, K.C. and Jung, I.S.(1995). Behavior of the soil residues of the acaricide-insecticide, [14 C]acrinathrin, I. Behavior during crop (maize) cultivation, *Korean J. Environ. Agric.*, 14(2), 186~201.
28. Park, K.Y., Ree, D.W., Park, C.K. and Han, D.S.(1982). Studies on the effect of heptachlor residues in soil on the growth of hop ; 1. Phytotoxic symptom of heptachlor residues in hop, *Kor. J. Environ. Agric.*, 1(2), 99~104.
29. Han, D.S., Park, C.K., Son, C.U. and Hur, J.H.(1993). Studies on the heptachlor caused phytotoxicity at the growing

- stage of hop and hansam vine, *Kor. J. Environ. Agric.*, 12 (1), 59~67.
30. Ryang, H.S., Moon, Y.H., Choi, E.S., Jang, M.S. and Lee, J.H.(1991). Residual activity and effect of soil applied herbicides on succeeding crops in vegetable field ; residual activity and effect of soil applied herbicides on succeeding crops in winter crops, *Kor. J. Weed Sci.*, 11(1), 32~49.
 31. Ryang, H.S., Moon, Y.H., Choi, E.S., Jang, M.S. and Lee, J.H.(1991). Residual activity and effect of soil applied herbicides on succeeding crops in vegetable field. ; Residual activity and effect of soil applied herbicides on succeeding crops in summer crops, *Kor. J. Weed Sci.*, 11(1), 50~59.
 32. Park, C.K.(1975). Studies on the residues of chlorinated organic insecticides. 3. heptachlor residues in soil 15 years after yearly treatment of the soil insecticide in a tobacco field, *J. Kor. Agric. Chem. Soc.*, 18(2), 61~64.
 33. Lee, K.S.(1981). On the absorption rate of some residual organochloro insecticide in soil to the certain vegetables, *Annual Research Theses, Cheju Univ.*, 12, 67~70.
 34. Lee, J.K., Choi, J.H. and Kim, C.S.(1992). Establishment of safety limits of pesticide residues in soil. *Annual Research Report of ARI. RDA.* 378~383.
 35. Lee, J.K., Cheon, S.Y. and Kyung, K.S.(1988). Uptake of the residues of herbicide bentazon in soil by soybean and radish, *Korean J. Environ. Agric.*, 7(2), 1~7.
 36. Lee, J.K., Kyung, K.S. and Fvhr, F.(1989). Bioavailability of soil-aged residues of the herbicide bentazon to rice plants, *J. Kor. Agric. Chem. Soc.*, 32(4), 393~400.
 37. Lee, J.K., Kyung, K.S. and Wheeler, W.B.(1989). Uptake of the fresh and aged residues of carbofuran by rice plants from soil, *Kor. J. Environ. Agric.*, 8(2), 103~118.
 38. Yim, K.J., Yim, Y.B., Song, B.H., Kim, C.S. and Jung, Y.H. (1994). Fate of some pesticides for paddy during rice growing period, Annual Research Report of ARI, RDA, 374~378.
 39. Jeong, Y.H., Kuem, S.S., Cho, K.T., Lee, K.S. and Hong, Y.C.(1976). Studies on the spatial distribution of pesticides in/on rice plants on different formulation, *Annual Research Report. Ins. Agric. Sci. RDA*, 53~57.
 40. Park, C.K. and Je, Y.T.(1983). Degradation patterns of BPMC and carbofuran in flooded soil, *J. Kor. Environ. Agric.*, 2(2), 65~72.
 41. Oh, B.Y., Kim, Y.K. and Park, Y.S.(1984). Effects of pesticide formulations on the residues in paddy rice, *Kor. J. Environ. Agric.*, 3(2), 1~8.
 42. Hong, M.K. and Hong, J.U.(1984). Release of carbofuran from granular formulations in water and its degradation patterns in soil, *Kor. J. Environ. Agric.*, 3(2), 9~15.
 43. Hong, J.U., and Kim, J.H.(1984). Degradation of dinobuton in soil and solution, *J. Kor. Environ. Agric.*, 3(2), 16~22.
 44. Park, C.K., Lee, Y.D.(1985). Fate of pesticide under paddy field condition, *Annual Research Report of IAS, RDA.* 89~99.
 45. Lee, Y.D., Kim, Y.K., Lee, K.H. and Park, H.M.(1986). Behavior of carbofuran in paddy ecosystem, *Annual Research Report of ARI. RDA.* 78~86.
 46. Park, C.K.(1986). Behavior of pesticides in paddy ecosystem. *Annual Research Report of IAS, RDA.* 87~92.
 47. Park, C.K. and Oh, S.R.(1986). Fate of C-14 labelled carbofuran in paddy plants and soil, *Kor. J. Environ. Agric.*, 5(2), 9~15.
 48. Ma, S.Y., Moon, Y.H. and Ryang, H.S.(1987). Movement of herbicide pretilachlor in plants and soil, *J. Kor. Agric. Chem. Sci.* 30(4), 351~356.
 49. Moon, Y.H.(1990). Effects of soil environmental conditions on the decomposition rate of insecticide fenitrothion in flooded soils, *Kor. J. Environ. Agric.*, 9(1), 1~8.
 50. Lim, S.K. and Bong, W.A.(1992). Studies on the several soil factors affecting alachlor and paraquat adsorption by soils, *Kor. J. Environ. Agric.*, 11(2), 101~108.
 51. Lee, J.K. and Oh, K.S.(1993). Leaching behavior of the residues of carbofuran, bentazon, and TCAB in soil, *Kor. J. Environ. Agric.*, 12(1), 9~18.
 52. Song, J.Y., and Lee, K.S.(1993). Adsorption of diazinon on humic substances in submerged soil, *Korean J. Environ. Agric.* 12(1), 35~40.
 53. Moon, Y.H., Kim, Y.T., Kim, Y.S. and Han, S.K.(1993). Simulation and measurement of degradation and movement of insecticide ethoprophos in soil, *Kor. J. Environ. Agric.*, 12(3), 209~218.
 54. Kim, C.S., Choi, J.H. and Lee, J.K.(1993). Fate of pesticide in soil, *Annual Research Report of ARI. RDA.* 473~479.
 55. Chun, J.C. and Han, K.W.(1994). Effect of mineral nutrients and mixed herbicides on the absorption and translocation of bensulfuron-methyl in rice, *Kor. J. Environ. Agric.*, 13(1), 60~65.
 56. Choi, J.H., Lee, J.K. and Kim, C.S.(1994). Safety evaluation of somme paddy pesticides in/on paddy water. Annual Research Report of ARI, RDA, 418~423.
 57. Lee, J.K., Kyung, K.S. and Oh, K.S.(1995). Behaviour of the soil residues of the acaricide-insecticide, [¹⁴C] acrinathrin. II. Degradation in soil, *Korean J. Environ. Agric.* 14 (2), 201~212.
 58. Lee, Y.D, Choi, J.H.(1995). Evolution of carbofuran in soils treated with its aminothio derivatives carbofuran, furathiocarb and benfuracarb, *Korean J. Environ. Agric.* 14(2), 179~185.
 59. Yang, J.E., Park D.S. and Han D.S.(1995). Comparative assessment of the half-lives of benfuresate and oxolinic acid estimated from kinetic models under field soil conditions, *Korean J. Environ. Agric.* 14(3), 302~311.
 60. Kim, C.S., Choi, J.H., Lee, B.M., Park, K.H. and Park, B.J.

- (1995). Prediction of mobility of some pesticides by soil adsorptivity. Annual Research Report of National Agricultural Science & Technology Institute, RDA, (plant protection), 87~693.
61. Kim, C.S., Choi, J.H. and Lee, J.K.(1994). Fates of some pesticides in soil, Annual Research Report of ARI, RDA, 424~434.
 62. Oh, B.Y., Jeong, Y.H. Song, B.H., Lee, H.K. and Lee, B.M. (1979). Study on degradation of herbicides in soil, *Annual Research Report of IAS, RDA.* 93~110.
 63. Lee, H.K., Joeng, Y.H., Oh, B.Y., Song, B. H. and Lee, B.M. (1979). Study on degradation of insecticides in soil, *Annual Research Report of ARI, RDA.* 78~92.
 64. Park, K.H., Jeong, Y.H., Choi, J.H. and Kim, C.S.(1993). Mitigation of pesticide residues in agricultural ecosystem, *Annual Research Report of IAS, RDA.* 480~484.
 65. Choi, J.W. and Lee, K.S.(1987). Degradation of diazinon and dursban in submerged soil, *J. Kor. Environ. Agric.* 6 (2), 1~11.
 66. Kim, J.E. and Choi, T.H.(1992). Behavior of synthetic pyrethroid insecticide bifenthrin in soil environment. II) Identification of degradation product and leaching of bifenthrin in soil, *Kor. J. Environ. Agric. Theses coll.* 11(2), 125~132.
 67. Han, S.S, Choi, C.G, Jeong, J.H. and Baek, S.H.(1995). Residue of fungicide myclobutanil and change of soil microflora in upland soil at different environmental conditions, *Korean J. Environ. Agric.*, 14(1), 28~44.
 68. Lee, H.K., Lee, Y.D., Park, Y.S.(1984). Effect of soil microorganism to the degradation of pesticide, *Annual Research report. ORD.*, 91~95.
 69. Kim, C.S., Choi, J.H. Choi, Y.C. and Jeong, Y.H.(1991). Mitigation of pesticide residue in agricultural ecosystem, *Annual Research Report of ARI, RDA.*, 192~196.
 70. Park, K.H., Choi, Y.C., Choi, J.H. and Kim, C.S.(1992). Selection of microorganisms for acceleration on degradation of pesticide residues, *Annual Research Report of IAS, RDA.* 384~391.
 71. Lee, J.K., Ihm, Y.B., Cho, Y.G. and Kyung, K.S.(1991). Microbial degradation of the persistent pollutant TCAB: (II) Degradation of TCAB by isolated microorganisms. *J. Kor. Agric. Chem. Soc.*, 34(4), 299~306.
 72. Lee, H.K.(1981). Effect of rice straw amendment and repeated application of diazinon on the persistence of diazinon in submerged soils. *J. Kor. Agric. Chem. Soc.*, 24(1), 1~6.
 73. Lee, J.K. and Ihm, Y.B., Cho, Y.G. and Kyung, K.S.(1991). Microbial degradation of the persistent pollutant TCAB ; (II) degradation of TCAB by isolated microorganisms, *J. Kor. Agric. Chem. Soc.*, 34(4), 299~306.
 74. Lee, J.K. and Fournier, J-C.(1978). A study on the evolution of 3,4-DCA and TCAB in some selected soil-degradation of ¹⁴C-3,4-DCA and ¹⁴C-TCAB, *J. Kor. Agric. Chem. Sci.*, 21(2), 71~79.
 75. Chang, M.S., Kim, Y.T., Moon, Y.H. and Ryang, H.S.(1993). Residual amount of herbicide dimepiperate and hydroxy dimepiperate in surface water and leachate. *Kor. J. Environ. Agric.*, 12(1), 27~34.
 76. Lee, J.K., Cho, K.R., Oh, K.S. and Kyung, K.S.(1993). Degradation of the herbicide bentazon by soil microorganisms, *Kor. J. Environ. Agric.*, 12(2), 121~128.
 77. Park, K.H., Jung, Y.H., Choi, J.H. and Kim, C.S.(1994). Study on degradation of pesticide residues in soil. Annual Research Report of ARI, 435~447.