

다양한 토양수분조건에 처리한 pretilachlor의 농도 및 활성 변화

이 도 진

순천대학교 농업교육과

요 약 : 토양중 pretilachlor의 농도와 식물체내 흡수 및 생리활성 변화에 관여하는 토양 환경요인중 토양수분의 영향에 대하여 검토하였다. 토양수분조건을 다양하게 조정(50-80%)한 뒤 동일량의 약제를 처리하여 재배피(*Echinochloa utilis* Ohwi et Yabuno)의 생육반응을 검토한 결과, 토양수분의 증가와 함께 생육이 억제되었다. 같은 조건으로 처리한 토양시료를 2중 원심관을 이용하여 토양과 토양용액(식물이 이용 가능한 유효수)으로 분리하여 pretilachlor 유효성분량의 분포를 HPLC로 분석·검토한 결과, 처리량의 대부분이 토양입자에 흡착되어 잔존하였으며 토양용액내에는 처리량의 12%정도에 지나지 않았다. 또한 토양용액내의 약제농도는 토양수분조건의 차이에도 불구하고 거의 일정하였으며 유효 존재량은 토양수분 함량이 높아짐에 따라 추출용액량과 함께 증가하였다. ¹⁴C-pretilachlor를 처리한 토양에서 식물체내 흡수분포를 살펴본 결과, 토양수분 함량의 증가와 함께 뚜렷한 흡수량의 증가를 보였다. 이상과 같이 토양처리한 pretilachlor의 활성발현은 토양용액내의 농도와 약제의 흡수량에 의존하였으며 흡수량은 토양용액내에 존재하는 유효량에 기인하는 것으로 판단되었다.(1999년 6월 21일 접수, 1999년 7월 22일 수리)

Key words : pretilachlor, soil moisture, bioactivity, soil solution, absorption.

서 론

토양 처리되는 대부분의 제초제들은 토양표면에 수 mm에서 수cm의 얇은 처리층을 형성함으로써 발아하는 식물이 이 층을 통과하는 사이에 약제를 흡수하여 고사에 이르게 하는 특징을 가지고 있다. 따라서 발아기의 잠초종자나 토양중의 어린 식물에 작용하게 되는데 주로 유아부와 어린뿌리에 의하여 흡수된다. 특히 식물에 흡수되는 토양용액내의 약제농도는, 토양과 약제특성에 따라 토양수분의 영향을 받을 수 있고 흡수는 집단류(mass flow)나 확산(diffusion)에 의해 수동적으로 이루어지며 토양수분은 약제유송에 영향한다고 하였다(Green과 Obien, 1969). 이러한 조건에서 식물체에 흡수되어 작용하는 양은 처리량의 극히 일부분에 해당하며 dinitramine(Okafor 등, 1983), picloram(Grover, 1970)등의 약제에서는 토양용액내의 약제농도가 생육억제 효과와 밀접한 관련을 가지고 있다고 하였다. Pendimethain (Sugiyama 등, 1990)의 경우에서도 토양입자에 결합되어 있는 농도보다 가용성층의 약제농도가 살초활성과 관련이 높다고 하였다.

토양용액내의 농도 의존설에 착안하여 식물이 이용 가능한 토양용액(유효수) 추출법의 적용으로 논 조건에서는 thenylchlor(Kobayashi 등, 1994; Onoe 등, 1995), mefenacet (Kobayashi 등, 1996; Nakamura 등, 1996), 밭조건에서는 thiobencarb (Yogo 등, 1995; Lee 등, 1996) 등의 살초활성이 토양용액내의 농도에 의존하였다고 보고하고 있다. 특히 밭조건에 다양한 토양수분상태에 thiobencarb를 동일량 처리하였을 때 수분함량과 무관하게 토양용액내의 농도는 거의 일정하였다(Lee 등, 1996).

이와 같이 식물생육과 밀접한 토양용액 추출법의 적용으로 비교적 수분함량이 낮은 조건까지 약제 활성과 용액내의 농도를 간단히 비교할 수 있게 되었다. 일반적으로 처리된 약제의 활성이 발현되기까지는 식물체에 의한 흡수, 이행, 분해·대사 등의 여러 과정들이 복합적으로 관여되며 이러한 요인들의 차이에 의하여 효과가 나타나는 것으로 알려져 있으나(Ishizuka, 1983) 토양처리시 토양내 약제의 존재형태, 흡수량과 활성발현에 관련된 연구보고는 부족한 편이다.

따라서 본 연구에서는 토양수분함량을 다양하게 조절된 밭조건에 모델 화합물로서 pretilachlor를 선정, 처리하여 생리활성 발현과 약제의 흡수, 토양내의 약제 농도 등과의 관계를 밝히고자 시험을 수행하였다.

*연락저자

재료 및 방법

자연상태에서 음건한 토양시료[밭토양(담색화산회토:일본쓰쿠바시), 전탄소 3.96%, 전질소 0.29%, 인산 흡수계수 2,241, 염기치환용량 19 me/100 g, 점토 12%, pH 5.9(H₂O), 풍건토 함수비 8.4%, 최대 함수비 96.1%]에 일정량의 증류수를 첨가하여 4단계로 수분 함량을 조절한 뒤 저온실(압조건, 4°C)에 보존하였다.

생육시험

미리 조절하여 저온보존한 토양시료에 함수비 각각 50.3, 60.7, 70.9, 80.04%[함수비=(습윤토양 무게-건조 토양 무게)/건조토양 무게]×100]가 되도록 풍건토양 당 같은 양의 pretilachlor (96.7% 원제사용, 45 g a.i./10 a, 물리화학적 특성에 따른 약제를 선정하여 모델 화합물로서 공시험)를 혼화 처리한 다음 저온 암실에 다시 24시간 보관하였다. 각각의 수분 함량으로 조절된 토양시료(풍건토 50 g)를 배양용 유리용기(300 mL)에 넣고 2일간 침종한 재배피(*Echinochloa utilis* Ohwi et Yabuno)의 종자(15립)를 파종(5 mm 깊이)한 뒤 투명한 뚜껑으로 밀봉하여 인공기상실에서 5반복 1회의 생물검정(25/20°C (12/12h, 주/야), 광도 200 μEs⁻¹m⁻²)을 실시하였다. 처리 및 파종 5일 후의 지상부, 지하부의 길이 및 건물중을 각각 측정하여 비교하였다. 생물검정이 끝난 뒤 용기내의 수분 함량은 각각 47.5%±2.56, 58.1%±1.69, 68.3%±1.55, 77.3%±2.38로 처리시의 수분함량과 거의 유사하여 결과에는 초기수치를 표기하였다.

흡수시험

50 μM의 ¹⁴C-pretilachlor(specific activity 1420 kBq/mg)를 위와 동일한 방법으로 미리 조절한 토양 시료에 혼화 처리하고 유리 용기내에 생육시험과 동일한 방법으로 재배피를 파종하여 상기시험의 조건에서 생육시킨 다음, 5일째에 식물을 채취하여 건조(80°C, 24시간)시켰다. 건조시킨 식물은 지상부와 지하부로 분리하여 무게를 측정하고 15.0 mg(각 수분조건의 지상부 건물중 18.6, 19.9, 18.9, 18.4 mg/5개체)을 자동시료연소장치(Aloka ASC-113)에서 연소하여 ¹⁴C를 아민으로 포집(Carbo-sorb^R, Packard) 시킨 후 액체 신킬레이션 카운터(LS-5000TA, Beckman)에서 측정하였다. 측정된 방사능량으로부터 식물체내로의 흡수량을 산출하였다. 한편 x-ray film에 식물체를 2일간 노출시켜 식물체내의 약제분포를 파악하였다.

토양내 약제 분포시험

생육시험과 동일하게 50~80% 범위의 함수비가 되도록 같은 양의 pretilachlor 용액을 토양시료에 처리하여 저온실에 보존한 다음, 2중원심관을 이용한 원심분리(5°C, 13,000×g, 30분, Kobayashi 등, 1994)에 의하여 원심토양과 원심수(토양용액)로 분리하였다. 원심분리한 토양내의 약제는 아세톤으로 진탕하여 반복 추출한 다음, 농축하여 토양용액과 함께 고속액체 크로마토그래피[Shimadzu 10A, Shim-pack phenyl column(Ø4.6 mm×150 mm), 이동상: 68% methanol(5 mM KH₂PO₄ 함유), 유속:1.2 mL/min., 흡수파장:210 nm)로 측정(검출한계치 0.001 ppm, 회수율 93%이상)하였다.

결과 및 고찰

Pretilachlor(MW 311.9)는 물용해도가 50 ppm(20°C)으로 비교적 낮은 편에 속하며 증기압은 0.133 mPa(20°C), 공기중의 휘발속도와 관련이 큰 Henry 정수가 0.0006 Pa·m³/mol로서 토양 기상내에서는 공기 확산효과가 큰 trifluralin의 1/24,000 배에 해당할 정도로 안정적이다. 따라서 본 시험에서는 토양기상을 제외한 원심토와 토양용액내의 분포를 중심으로 평가하였다.

휴면성이 없어 발아율이 높은 특징을 소유한 재배피를 공시험하여 생육에 거의 영향을 미치지 않는 토양 수분조건과 생육억제정도의 관찰·비교가 가능한 공

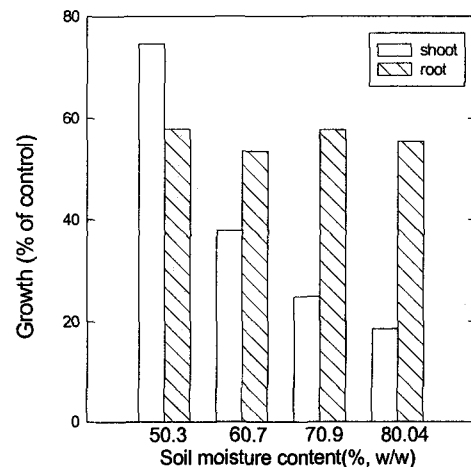


Fig. 1. Effect of soil-applied pretilachlor on growth (length) of *E. utilis* under various soil moisture conditions.

시약제의 유효농도에서 시험을 수행하였다. 무처리구 (각 수분조건에 대한 지상부 길이; 60.5, 62.6, 65.5, 61.7 mm, 지하부 길이; 103.1, 100.4, 98.7, 96.8 mm)의 생육과 비교하여 처리구에서 재배피의 생육은 토양수분함량이 높아질수록 억제되었으며 특히 지상부 신장억제 효과가 뚜렷하였다(그림 1). 이러한 결과는 건조토양에 처리한 quinclorac의 살초효과가 떨어져 토양수분함량에 강하게 의존되었다는 보고(Street 등, 1995)나 토양의 조성과 강우시기, 우량과도 관계가 있으나 비는 토양처리형 제초제를 활성화시킨다(Moyer, 1987)는 설명에도 일조할 수 있을 것으로 사료된다.

토양용액내에 존재하는 약제 유효성분의 식물체 흡수는 물의 집단류(massflow)와 확산(diffusion)을 통한 수동적인 흡수가 일반적(Green과 Obien, 1969)이며, 본 시험조건에 처리층내에서 발아한 재배피는 발아와 함께 신장하는 유아부 및 유근에 의하여 흡수가 일어났을 것으로 예상된다. 이러한 연유로 토양수분함량이 높은 처리구에서 수분과 함께 약제흡수가 원활히 이루어진 결과, 식물체내 약제의 존재량이 증가한 것

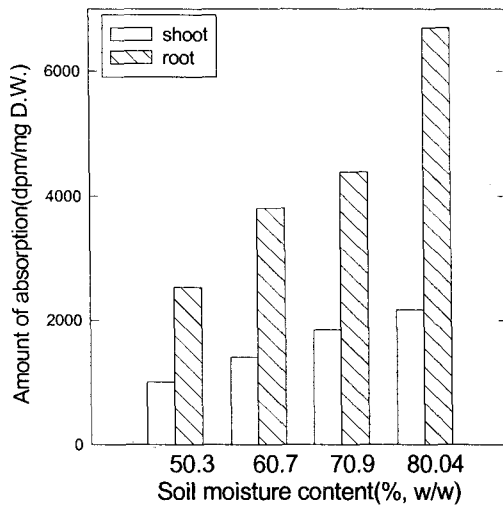


Fig. 2. Absorption of ¹⁴C-pretilachlor by E. utilis from soil.

으로 관찰되었다(그림 2). 특히 일정 건물중당 지하부의 약제 존재량은 토양수분의 영향을 받아 수분함량의 증가와 함께 현저히 증가하였다.

본 실험에 이용된 용기내의 토양 혼합처리 조건은 포장에서 토양처리제가 형성하는 처리층 부위내의 극히 제한된 조건에 해당하며 이 층에서 잡초의 발아, 생육을 예상하여 설정된 것이다. 또한 자연환경에서 약제의 활성발현에 영향을 주는 환경요인중 토양수분 조

건의의 요인들을 배제하여 단순화시킨 용기내 실험이지만 공시약제와 유사한 특징을 갖는 제초제의 토양 처리시 건조한 상태이거나 비가 온 뒤의 조건에서는 토양수분 함량에 따라 약제의 활성변동이 일어날 가능성을 시사하고 있다. 더욱이 토양수분조건에 따라 식물체내로의 약제 흡수량에 차이가 있음을 고려해 볼 때 활성발현에 약제의 흡수량은 중요한 인자임을 확인하였다. 한편 식물체내의 약제분포를 자동방사선 필름에 노출시켜 관찰한 결과 토양수분함량이 높은 쪽의 식물체에서 노출률이 뚜렷하여 흡수량이 많았음을 확인할 수 있었다.

토양내의 약제 분포 실험에서는, 토양에 처리한 약제의 대부분이 원심후 남은 토양입자에 잔존하였으며 토양용액에는 처리한 총량의 12%정도에 지나지 않았다. 토양처리 약제의 경우 식물 생육 반응이 토양용액내의 농도에 의존한다는 보고 (Lambert, 1966; Patterson과 Buchanan, 1982; Kobayashi 등, 1994; Kobayashi 등, 1996; Lee 등, 1996)에 기인하여 토양용액내의 약제 분포를 중심으로 살펴 본 결과, 토양수분 함량이 높아질수록 토양용액량과 함께 유효성분의 존재량은 변화하였으나 용액의 농도는 거의 일정하였다(토양입자에 흡착된 약제농도는 토양의 가비중을 측정하여 nmole/mL로 환산함, 그림 3). 이와 유사한 조건에서 수행된 thiobencarb (Lee 등, 1996)의 결과와도 동일하였다. 따라서 토양용액의 농도가 일정하였음에도 불구하고 생육반응에 차이를 보였던 것은 수분함량의 증가와 함께 용액내에 존재하는 유효량의 증가에 의한 약제의 흡수량 증가에 기인하는 것

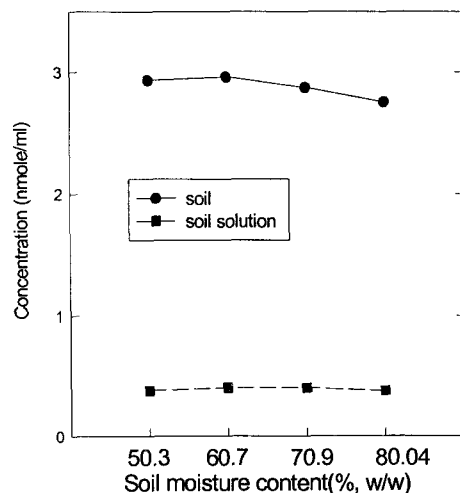


Fig. 3. Concentration of pretilachlor in soil and soil solution under various soil moisture conditions.

으로 사료된다. 그밖에도 Green과 Obien(1969)이 보고한 것처럼 약제의 분배계수(K, partition coefficient)에 의한 영향[약제와 토양의 흡착성에 따라 K가 큰 경우, 토양용액내의 농도는 토양수분함량의 적은 영

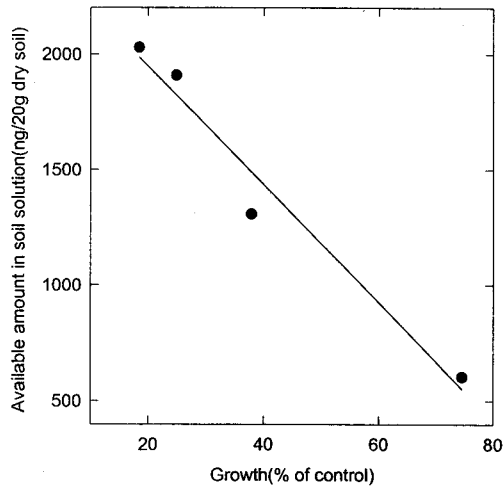


Fig. 4. Relation between growth inhibition of *E. utilis* and available amount of pretilachlor in soil solution. ($y=2461.08-25.59x$, $r^2=0.965$)

향을 받으며, K가 적은 경우는 역의 경향]의 가능성도 예상된다. 따라서 추후에는 물리화학적 성질이 다른 약제나 여러 토양을 선정하여 보다 상세한 연구가 필요할 것으로 사료된다.

다양한 토양수분조건에서 pretilachlor의 활성발현에

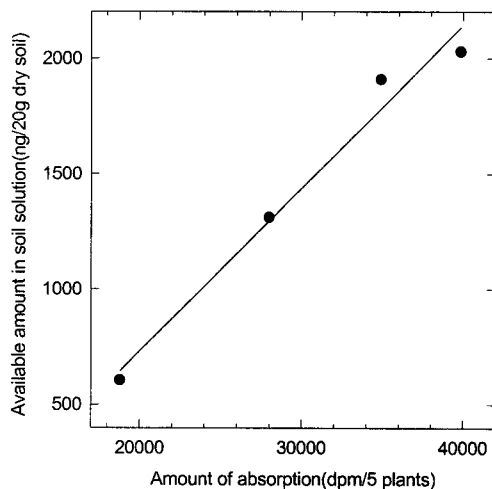


Fig. 5. Relation between absorption amount and available amount of pretilachlor in soil solution. ($y=-684.75+0.071x$, $r^2=0.997$)

관하여 생육억제정도, 식물체내 흡수량, 토양용액내 유효량, 농도 등과의 상관성을 검토한 결과, 처리구에서의 지상부 생육억제정도는 식물체내의 흡수량과도 상관을 보였으며 흡수에 영향을 미치는 토양용액내 유효량과 높은 상관성을 나타내었다(그림 4). 또한 각 수분조건의 토양용액에 존재하는 약제의 유효량과 식물체(지상부)에 의한 흡수량 사이에도 높은 상관성을 보였다(그림 5). 이상에서 본 실험조건에 공시한 약제의 경우, 같은 량의 풍건토에 동일량의 약제를 처리하였을 때의 식물 생육반응은 수분조건의 영향을 받아 수분함량이 높아질수록 생육이 억제되는 결과를 얻었다. 따라서 다양한 수분조건에서 활성 발현에는 토양용액내 농도의 중요성 뿐 만아니라 식물체와의 접촉기회를 증가시키는 토양용액과 용액내의 약제 유효량이 활성증가에 중요한 영향을 미칠수 있는 점이 시사되었다.

인용문헌

Green, R. and S. R. Obien (1969) Herbicide equilibrium in soils in relation to soil water content. *Weed Sci.* 17:514~519.

Grover, R. (1970) Influence of soil moisture content on the bioactivity of picloram. *Weed Sci.* 18:110~111.

Ishizuka, K. (1983) Biochemical and physiological approaches to herbicide selectivity. *Weed Res., Japan* 28(4):229~242.

Kobayashi, K., N. Nakamura, I. Shim and S. Nagaysuka (1996) Relationship of herbicidal activity of soil-applied mefenacet to its concentration in soil water and adsorption in soil. *Weed Res.* 41(2):98~102.

Kobayashi, K., M. Onoe and H. Sugiyama (1994) Thenylchlor concentration in soil water and its herbicidal activity. *Weed Res., Japan* 39:160~164.

Lambert, S. M. (1966) The influence of soil-moisture condition on herbicidal activity. *Weeds* 14:273~275.

Lee, D. J., Y. Yogo, K. Kobayashi and H. Sugiyama (1996) Thiobencarb concentration in soil solution under various soil moisture conditions. *Weed Res., Japan* 41(4):350~355.

Moyer, J. R. (1987) Effect of soil moisture on the efficacy and selectivity of soil-applied herbicides.

- Rev. Weed Sci. 3:19~34.
- Nakamura, N., K. Kobayashi, I. Shim and S. Nagaysuka (1996) Influence of soil organic matter content on mefenacet concentration in soil water and the phytotoxic activity. Weed Res., Japan 41(4):339~343.
- Okafor, L. I., G. R. Sagar and V.M. Shorrocks (1983) Biological activity of dinitramine in soils. II. Soil organic matter and soil moisture content. Weed Res. 23:199~206.
- Onoe, M., D. J. Lee, K. Kobayashi and H. Sugiyama (1995) Herbicidal activity of soil-applied thenylchlor and its mobility in two paddy soils. Weed Res., Japan 40(2):75~79.
- Patterson, M. G., G. A. Buchanan, R. H. Walker and R. M. Patterson (1982) Fluorturon in soil solution as an indicator of its activity in three soils. Weed Sci. 30:688~691.
- Street, J. E., H. Teresiak, D. L. Boykin and R. L. Allen (1995) Interaction between timings and doses of quinclorac in rice. Weed Res., 35:75~79.
- Sugiyama, H., K. Komamiya, K. Kobayashi (1990) Changes in the concentration of residues of pendimethalin applied to soil and its effect on plant growth. Weed Res., Japn 35:122~128.
- Yogo, Y., D. J. Lee, K. Kobayashi and H. Sugiyama (1995) Dissipation of thiobencarb concentration in soil solution under an upland field condition and its herbicidal activity. Weed Res., Japan 40:287~292.

Change in concentration and bioactivity of soil-applied pretilachlor under various soil moisture conditions

Do-Jin Lee(Department of Agricultural Education, Suncheon National University, Suncheon, 540-742, Korea)

Abstract : Concentration change of soil-applied pretilachlor (2-chloro-2',6'-diethyl- N-2-propoxyethyl)-actanilide) was investigated under upland condition with various soil moisture contents ranging from 50 to 80%(water content by weight). Following pretilachlor from each soil solution was extracted by centrifugation using double tubes, its concentration was determined by HPLC. Pretilachlor concentration in the soil solutions were almost the same under various soil moisture conditions. However, the total amount of pretilachlor increased as the soil moisture content increased. With increasing soil moisture content, the bioactivity of soil-applied pretilachlor on inhibiting the growth of *Echinochloa utilis* Ohwi et Yabuno and the absorption of ¹⁴C-pretilachlor in its plants were also enhanced. Our results demonstrate that the absorption of pretilachlor in plants varies with soil moisture content and thus the bioactivity of soil-applied pretilachlor on inhibiting plant growth is different under various soil moisture conditions at the same dosage based on air-dried weight.

*Corresponding author(Fax : +82-661-752-0587, E-mail : djlee@suncheon.suncheon.ac.kr)