

제초제 Alachlor의 선택성에 관한 연구

I. 약해와 글루타치온 Conjugation 반응

박 창 규* · 황 을 칠**

(1987. 5. 29 접수)

Studies on the Selectivity of Herbicide Alachlor

I. Phytotoxicity and Glutathione Conjugation

Chang Kyu Park* and Eul Chul Hwang**

Abstract

Present work has been initiated to see if inherent biochemical difference among plants is, in any way, related to the observed selectivity characteristics of pre-emergence herbicide, alachlor. Application of aqueous solution of alachlor onto three intact plants, soybean, chinese cabbage and barnyard grass resulted in phytotoxicity responses in the test plants in varying degree. Examination of glutathione (and homo-glutathione) contents of the test plants indicated that the phytotoxicity is inversely proportional to the peptide contents of the test plants. It was also noted that four to five water soluble metabolites are readily formed in intact seedling treated with labelled alachlor and glutathione-alachlor and homo-glutathione-alachlor conjugates were tentatively identified as major metabolites. It is concluded that conjugation reaction involving glutathiones and xenobiotic alachlor, a typical phase II reaction, acts as detoxification reaction in the three test plants and this would, in turn, contribute to observed selectivity of alachlor.

I. 서 론

제초제의 선택성에 관한 연구는 주로 식물체의 환경·생태학적 특성, 형태학적 차이 및 흡수·이행성 등에 초점을 맞추어 수행되어 왔다. 그러나, 최근 제초제 대사에 관한 활발한 연구는 제초제의 선택성을 좌우하는 가장 중요한 요인으로 식물체가 제초제를 대사하고 무독성화시키는 적극적 방어능력 즉 생화학적 전환반응(biotransformation)으로 해석을 시도하고 있다.

며^(1,2) 이 반응에는 산화, 환원 가수분해 및 conjugation 반응등이 알려져 있다.

Conjugation 반응은 해당효소의 촉매 하에 당, 아미노산 및 glutathione(GSH) 등 체내의 친수성 성분이 독성이물질(xenobiotics)과 결합하여 그 독성을 경감시키는 생체일반의 방어기작의 하나이다.⁽²⁾

1970년 Lamoureux등이⁽³⁾ 수수(sorghum)중 atrazine의 대사산물들 중에서 GSH conjugate 화합물을 검출, 확인한 이래 GSH conjugation 반응은 몇가지 제초제의 무독성화 및 선택성을 결정하는 중요한 반응으로

* 서울대학교 농과대학(College of Agriculture, Seoul National Univ., Suwon, Korea, 170)

** 동아대학교 농과대학(College of Agriculture, Dong-A Univ., Pusan, Korea, 600-02)

주목을 받아 왔다. (4-6)

생리활성이 강한 선택성 제초제인 alachlor는 분자 내에 친전자성(electrophilic) α -chloroacetamide기를 보유하고 있어 생체내에서 GSH와 쉽게 반응, 생리활성이 거의 없는 GSH-alachlor(GS-alachlor) conjugate로 전환된다. (7) 이 전환반응은 생리적 GSH 함량 및 glutathione-s-transferase(GST)의 활성 등 두 요인으로 지적되고 있으며, 식물체마다 GSH 함량에 차이가 있다. (8) 즉, 대두를 포함한 몇 종의 콩과식물은 GSH(γ -L-glu-L-cys-gly)과 그 구조 및 기능이 유사한 것으로 알려진 homoglutathione (homo-GSH, γ -L-glu-L-cys- β -ala)을 함유하고 있으며, GST의 조성 및 활성이 다르므로 이러한 특성은 제초제 alachlor의 선택성에 영향을 미칠 것으로 쉽게 추정할 수 있다.

본 연구는 alachlor에 저항성인 대두, 감수성인 피, 그리고 이 중간에 속하는 배추를 콩시식물로 약해와 각 식물체의 homo-GSH 또는 GSH 함량관계를 조사하였으며 아울러 생체내에서 초기에 전환되는 대사물질 가운데 GSH-conjugate의 생성을 C-14 표지 alachlor를 사용 확인하고자 하였다.

II. 재료 및 방법

1. 재 료

가. 표지 alachlor

본 실험에서 사용한 C-14 표지 alachlor는 Monsanto 사로부터 분양받았으며, phenyl ring에 균일표지된 방사화학적순도 99%, 비방사능은 22.2mCi/mmole이었다.

나. 시약

비표지 제초제 alachlor, propachlor, diuron 및 2,4-D는 농약연구소에서 분양받았으며 그 순도는 모두 99% 이상이였으며, 1,8-naphthalic anhydride(NA), 5,5'-Dithiobis-(2-nitrobenzoic acid) (DTNB), GSH 및 산화형 GSH (GSSG) 등은 Sigma 사에서 구입하였다. Scintillator solution은 2,5-diphenyloxazole(PPO, Beckman) 5.5g과 1,4-bis[4-methyl-(5-phenyl-oxazolyl)]benzene (DM100, Beckman) 100mg을 1l의 toluene-triton x-100 (3:1, v/v)에 용해시켜 사용하였다. TLC 판은 Merck 사의 0.2mm 두께의 silica gel G60 F₂₅₄를 사용하였다.

다. 사용기기

- 1) UV-Vis spectrophotometer; Cecil 2924
- 2) Liquid scintillation counter(LSC); Beckman Is-6800

2. 방법

가. 식물재배

공시종자로 대두(*Glycine max*, L, 밀양), 피(*Echinochloa crus-galli*, P. Beaux, 물피)는 동아대학교 농장에서 수확한 것으로, 배추(*Brassica pekinensis*, Rupr, 원우 1호)는 시중에서 구입, 사용하였다. 공시종자를 2.5% NaOCl 용액에 5분간 담그어 표면소독하고 25°C에서 1일간 침종한 후 피아시켜, vermiculite 배트에 파종, 25±5°C 온실에서 재배하였다.

나. 약해조사

피아시킨 대두, 배추 및 피의 종자를 각각 250ml, 150ml, 150ml의 vermiculite가 담긴 styrofoam cup에 파종하였다. 파종 직후에 각각 control, 10⁻⁶M, 10⁻⁵M 및 10⁻⁴M alachlor 수용액을 충분히 가하였다. 수도물로 수분공급을 하면서 10일간 재배한 후 약해를 조사하였다.

다. 유묘 중 GSH 함량

1) 무처리 시료

유묘를 7일간 재배한 다음 뿌리가 손상되지 않도록 채취하여 수도물로 vermiculite를 제거한 후 뿌리를 절취하여 무처리 시료로 삼았다.

2) 약제처리 시료

대두유묘에서 alachlor의 처리가 homo-GSH 함량에 미치는 영향을 조사하기 위해 파종 후 2일째 유묘에 600ml 용량 pot 당 각각 control, 10⁻⁶M, 10⁻⁵M 및 10⁻⁴M alachlor 수용액 100ml씩 처리하였다. 또한 alachlor, propachlor, 2,4-D, diuron 등의 제초제와 약해경감제(herbicide antidote, Safener)⁽⁹⁾으로 알려진 NA를 처리할 경우 homo-GSH 함량에 미치는 영향을 조사하기 위해, 제초제의 경우는 10⁻⁴M 수용액을 NA는 150ppm 수용액을 상기 방법으로 처리하였다. 처리후 5일째에 뿌리를 절취하여 약제처리의 시료로 삼았다.

3) GSH 함량 측정

Lay 및 Casida⁽¹⁰⁾의 방법에 준하여 GSH 및 homo-GSH를 DTNB로 발색시켜 비색정량하였다. 다만 GSH은 시간이 경과함에 따라 수용액중에서 산화되었으므로 분석직전에 용존산소를 제거시킨 증류수에 녹여 GSH 표준용액을 조제하였다.

라. GSH와 alachlor과의 반응

생체의조건(*in vitro*)에서 GSH과 alachlor과 반응, GSH conjugate를 생성하는지 알아 보았다. pH가 각각 6.5, 7.0, 7.5, 8.0인 인산완충용액(K-Pi, 0.1M)의 용존산소를 제거한 다음 완충용액 1ml당 GSH이 1,500nmole 함유하도록 GSH를 가하여 GSH 용액을 조제하였다. 각각의 GSH 용액 1ml를 5ml 용량의 시

시험관에 넣고, 0.2 μ Ci C-14alachlor를 함유한 acetonitrile 용액 2.0 μ l와 비표지alachlor 100nmole을 함유한 ethanol 용액 10.0 μ l를 가하여 잘 흔들어 주면서 질소 가스로 시험관 내부를 채워 밀봉, 30°C 항온기에서 반응을 진행시켰다. 반응을 3시간 진행시킨 다음 시험관에 n-hexane 1ml를 각각 가하고 잘 흔들어 미반응의alachlor를 n-hexane층으로 분배시켜 반응을 중지시켰다. 수용액층 및 hexane 층에서 각각 50 μ l 분액을 취하여 방사능을 조사하였다. 생성된 화합물이 GS-alachlor conjugate인지, 그리고 수용액층에서 측정된 방사능이 온전히 GS-alachlor conjugate에 의한 것인지 등을 확인하기 위해, pH 8.0 처리구의 수용액층 및 hexane 층에서 각각 50 μ l 분액을 취하여 TLC 판에 전개시켜 얻은 autoradiograms과 비표지alachlor과 GSH를 반응시켜 합성한 GS-alachlor과 GSH, GSSG 및alachlor 표준품의 cochromatograms을 비교하였다.

다. 식물체내에서의 GSH conjugate 생성

과종 7일체의 유묘에, -대두, 참깨 및 배추의 경우 배추에, 피의 경우 본엽의 엽신에-0.2 μ Ci의 표지alachlor를 함유한 acetonitrile 용액 2.0 μ l을 처리한 후 1일째에 유묘전체를(대두 : 2.0g, 깨 : 1.7g, 배추 : 0.47g, 피 : 0.13g) 취하여 80% acetone 수용액 5.0ml를 가하여 세포마쇄기로 마쇄하였다. 마쇄물을 감압여과하였고, 찌꺼기는 5ml acetone 수용액으로 2회 더 추출하였다. 여과액을 모아 질소가스로 acetone을 제거한 후 n-hexane 2ml를 가해 친수성 및 친유성물질을 각각 수용액층 및 hexane층으로 분배하였다. 수용액 및 hexane 층에서 100 μ l 분액을 취하여 LSC로 방사능을 측정하였다. 또한 각 층에서 100 μ l 분액을 취하여 TLC로 친수성 및 친유성물질을 분리하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 약해와 GSH 함량

대두, 배추 및 피의 유묘에alachlor의 농도를 달리 처리했을 때 각 유묘가 받은 약해는 그림 1과 같았다. Alachlor에 저항성인 대두는 10⁻⁴M 처리구에서는 약해를 좀 받았으나 10⁻⁶M 및 10⁻⁵M 처리구에서는 약해를 관찰할 수 없었다. 배추의 경우는 10⁻⁴M 처리구에서는 약해를 심하게 받았고 10⁻⁵M 처리구에서도 약해가 관찰되었다. 피의 경우는 10⁻⁶M, 10⁻⁵M 처리구에서 공히 심하게, 10⁻⁴M 처리구에서는 매우 심하게 약해를 입었다.

각 식물체 유묘의 뿌리중 GSH 함량(대두의 경우 homo-GSH 함량임)은 표 1과 같다. 대두의 경우는 0.37 μ mole/g이었고 배추 및 피의 경우는 대두의 그것

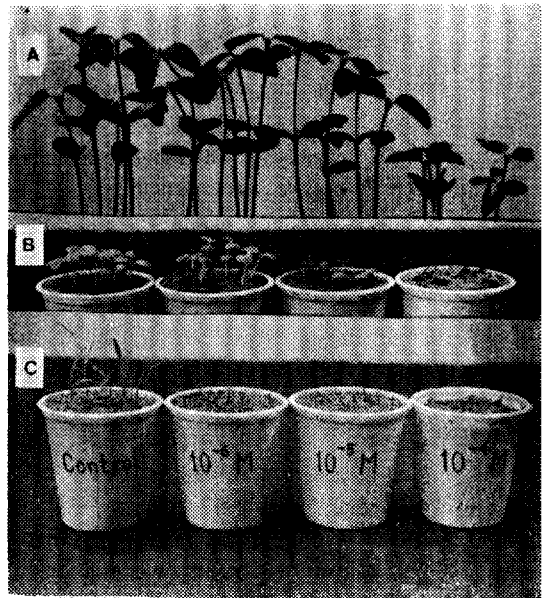


Fig. 1. Relative susceptibility of soybeans(A), chinese cabbages(B) and barnyard grasses(C) to pre-emergence treatment of alachlor

Table 1. Glutathione contents in roots¹⁾

Glutathione content(μ mole/g fresh weight)		
Soybean ²⁾	Chinese cabbage	Barnyard grass
0.37 \pm 0.023 ³⁾	0.17 \pm 0.02	0.11 \pm 0.02

- 1) mean of 5 replicate analysis
- 2) homo-GSH
- 3) standard deviation

에 비해 각각 46%, 30%로 대두>배추>피 순으로 GSH 함량이 낮았다. 이 결과와 앞의 약해 정도와 관련시켜 보면 GSH 함량이 높을 수록alachlor의 약해를 덜 받았다. 이를 외부로부터 흡수된 친전자성 독성이물질이 생체내의 GSH와 반응하여 GSH conjugate를 형성, 독성이물질에 의한 피해를 경감시킨다는 보고는(11,12) 이 conjugate 반응의 특성을 결정하는 인자인 기질농도 즉 GSH 함량은alachlor의 무독성화과정 및

Table 2. Effect ofalachlor treatment on homo-glutathione content of soybean roots¹⁾

Homo-glutathione content(μ mole/g fresh weight)			
Control	10 ⁻⁶ M	10 ⁻⁵ M	10 ⁻⁴ M
0.36 \pm 0.02 ²⁾	0.34 \pm 0.03	0.40 \pm 0.03	0.48 \pm 0.03

- 1) mean of 5 replicate analysis
- 2) standard deviation

Table 3. Effect of herbicides and an antidote on homo-glutathione content of soybean roots¹⁾

Homo-glutathione content(μ mole/g fresh weight)					
Control	Alachlor 10^{-4} M	Propachlor 10^{-4} M	2,4-D 10^{-4} M	Dinuron 10^{-4} M	NA 150ppm
0.36 \pm 0.02 ²⁾	0.46 \pm 0.02	0.42 \pm 0.02	0.63 \pm 0.05	0.33 \pm 0.02	0.44 \pm 0.04

1) mean of 3 replicate analysis

2) standard deviation

선택성과 관련이 있음을 보여 주고 있다.

Alachlor에 저항성인 대두의 유묘에 alachlor를 처리한 결과는 표 2와 같다. 동일처리 유묘군 중 homo-GSH 함량에 영향이 있었다. Homo-GSH 함량은 무처리구에 비해 10^{-6} M 처리구에서는 낮았으나 10^{-5} M 및 10^{-4} M 처리구에서는 높았다. Alachlor 처리농도가 증가할수록 GSH 함량이 증가하는 현상은 Stephenson 등이⁽¹⁰⁾ 옥수수 유묘에 alachlor, propachlor, atrazine 및 barban 등의 약제를 처리한 결과와 유사하였다. 아치사량(sublethal dose)에 해당하는 10^{-4} M의 처리에서 homo-GSH 함량이 증가하는 것은 외부의 약제 stress에 대항하는 일종의 생체방어기작으로 보고 있는데,⁽¹⁰⁾ 이 추측은 conjugation 반응이 독성경감과 관련이 있다는 설을 뒷받침하는 것으로 타당성이 있는 것으로 본다. 몇 가지 제초제와 약제경감제 처리가 대두 유묘 뿌리 중 homo-GSH 함량에 미치는 영향은 표 3과 같다. 뚜렷한 함량 증가효과가 인정되는 약제는 propachlor, 2,4-D 및 NA였다. Propachlor는 alachlor과 유사한 구조의 α -chloroacetamide 제초제이며 생체내에서 GSH와의 conjugation 반응이 잘 일어나는 것으로 알려져 있으므로,⁽¹²⁾ 이 약제에 의한 homo-GSH 함량증가는 alachlor에 의한 것과 같은 생체방어기작의 하나로 해석된다. 2,4-D에 의한 함량증가는 Fedke의⁽¹¹⁾ 식물생장조절제, 특히 저해제는 GSH의 축적을 유발한다는

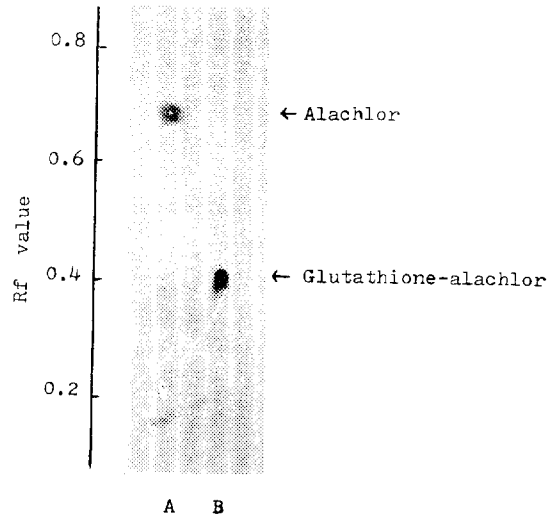


Fig. 2. Autoradiogram of thin layer chromatogram showing formation of glutathione-alachlor conjugate in the reaction mixture

A; hexane extract, B; aqueous extract

보고와 부합되었으나 그 이유에 대한 설명은 아직 명확치 않다. NA, R-25788, CDAA 등 몇 가지 약제는 체내의 GSH 함량을 증가시키으로써 제초제 약해경감제로서의 역할을 하는 것으로 알려져 있는데, 본 실험에서는 대두의 homo-GSH 함량은 증가시켰으나 10^{-4} M

Table 4. pH dependence of glutathione-alachlor conjugation

Reaction mixture	TLC R _f	Radioactivity(dpm) pH of buffer solution			
		6.5	7.0	7.5	8.0
Labelled alachlor ¹⁾	GSSG : 0.10	—	—	—	—
+ Unlabelled alachlor ²⁾	GSH : 0.30	—	—	—	—
+ GSH ³⁾	GS-alachlor : 0.46	1,507 (6.8) ⁴⁾	3,646 (17.7)	6,740 (30.3)	14,300 (62.5)
	Alachlor : 0.77	20,592	17,651	15,742	8,568

1) 0.2 μ Ci C-14 alachlor in 2 μ l CH₃CN

2) 100mmole alachlor in 10 μ l ethanol

3) 1,500nmole GSH in 1ml K-Pi buffer solution (0.1M)

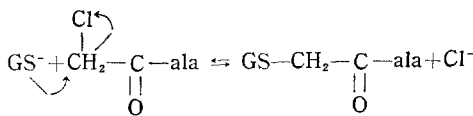
4) % radioactivity (in parenthesis)

alachlor 처리에 의한 약해경감효과는 인정되지 않았다.

2. GSH과 alachlor과의 반응

GSH과 alachlor과의 반응으로 생성된 GS-alachlor의 확인은 R_f 값⁽⁷⁾과 ninhydrin(conjugated/nonconjugated GSH 모두 발색시킴)의 발색반응에 의존하였으며, autoradiograms과 cochromatograms을 비교함으로써 GS-alachlor conjugate는 수용성화합물이며 본 실험의 수용액층에서 계측된 방사능은 GS-alachlor conjugate에 의한 것임을 확인하였다(그림 2).

생체의 조건에서 단순히 GSH과 alachlor를 혼합한 결과 GS-alachlor conjugate는 표 3과 같이 생성되었다. pH가 6.5, 7.0, 7.5, 8.0으로 높아짐에 따라 GS-conjugate 생성률은 각각 가해진 alachlor 양의 6.8%, 17.7%, 30.0%, 62.5%로 증가하였다. 이 결과는 Leavitt 등의⁽⁷⁾ 결과와 유사하였다. pH 증가에 따른 conjugate 생성증가는 conjugation 반응이 아래와 같이 일어남을 시사하였다. 즉 GSH는



GS⁻로 이온화하여 alachlor의 친전자성 기(-CH₂-)와 결합하여 conjugate를 생성할 것이며, 또한 pH7.0 완충용액 속에서 30°C, 3시간의 반응·조건 하에서 가해진 alachlor 양의 17.7%가 conjugate로 전환되었다는 것은 생체에서는 GSH conjugate가 더 쉽게 생성될 수 있음을 의미하였고, conjugation반응을 촉매하는 GST의 활성이 낮더라도 GS-alachlor conjugate는 쉽게 생성될 수 있음을 시사하였다. Leavitt 등은⁽⁷⁾ α-chloroacetamide계인 alachlor, metolachlor 등의 GSH conjugate 전환으로의 무독성화반응에는 GST의 활성 보다는 GSH 함량자체가 훨씬 더 중요하다고 하였으며, Ezra 등도⁽¹³⁾ CDAA의 대사과정에서도 비효소적 conjugation 반응이 더 중요한 역할을 한다고 하였다.

3. 식물체내에서의 GSH conjugate 생성

Alachlor 처리 1일 후 각 식물체에서 추출한 방사능의 분포와 회수율은 표 5와 같다. 전체적으로 가한 방사능의 80% 정도가 회수되었으며, 수용액층에서 계측된 방사능은 회수된 방사능의 95% 정도였으므로 식물체에 처리한 alachlor의 대부분은 1일 이내에 수용성 물질로 전환됨을 알 수 있었다. Lamoureux 등은⁽¹²⁾ 옥수수 등의 식물체에 처리한 propachlor의 90% 이상이 1일 후에 수용성 물질로 전환되었다고 하였으며 Breux는⁽¹⁴⁾ 옥수수 및 대두에 처리한 acetochlor의 100%가 1일 이내에 수용성 물질로 전환되었다고 하였다.

여러 식물체내에서 1일간 전환된 수용성물질의 thin-layer chromatograms은 그림 3과 같다.

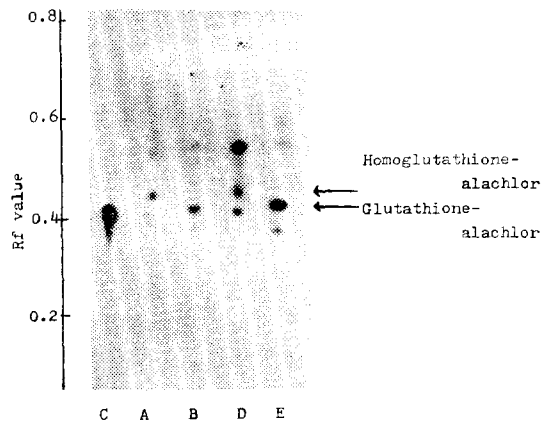


Fig. 3. Corresponding autoradiochromatogram of thin layer chromatogram showing metabolic conversion of applied alachlor to several alachlor conjugate in four intact plants

Tentatively identified conjugates in the aqueous tissue extract were homoglutathione-alachlor in bean plants(A) and glutathione-alachlor in sesame(B), chinese cabbage (D) and barnyard grass(E). C denotes synthesized glutathione-alachlor conjugate

Table 5. Conversion of alachlor to water soluble metabolites in intact plants¹⁾

Plants	Radioactivity(%)		Recovery (%)
	Water soluble fraction	Hexane soluble fraction	
Soybean ²⁾	95.4	4.6	73
Chinese cabbage ²⁾	96.7	3.3	88
Barnyard grass ²⁾	96.0	4.0	87

1) incubated for 24hrs.

2) labelled alachlor (0.2μCi in 2.0μl of acetonitrile) was applied on hypocotyls (Soybean and Chinese cabbage) and leaf blades (Barnyard grass)

그림에서 식물체별로 최소한 4개 이상의 전환물질이 생성되었으며, 주대상물은 R_f값, TLC 전개양상 등으로 보아 각각 homo-GSH 및 GSH conjugate 2종임을 잠정적으로 확인하였다. 그림 3에서 보는 바와 같이 homo-glutathione-alachlor과 glutathione-alachlor conjugate외에도 공시 식물체에서 소량생성된 conjugates가 검출되었는데 이들은 GSH부분(GSH moiety)이 가수분해된 물질로 추측된다. 이는 Lamoureux 등⁽¹²⁾, Carringer 등⁽¹⁴⁾ 및 Breux⁽¹⁵⁾ 각각 propachlor, EPTC 및 acetochlor의 대사연구에서 GSH 및 homo-GSH 부분의 가수분해 산물인 γ -glutamyl-cysteine 및 cysteine conjugate등을 수용액층에서 검출, 확인한 바 있다.

Hexane 층에서 검출한 화합물은 그 R_f값이 alachlor과 동일하였으므로 전환되지 않은 alachlor로 추정되었다. 처리한 부위의 표면에 남아 전환되지 않았을 가능성도 배제할 수 없었다.

IV. 요약

본 연구는 제초제인 alachlor이 가지는 선택성이 식물고유의 생화학적 차이에 기인한다는 가정하에, 이의 규명을 목적으로 수행하였다. 공시작물인 대두, 배추 및 피는 alachlor 수용액의 처리로 경중의 약해를 입었으며 그 피해는 해당식물의 glutathione 또는 homogluthathione 함량이 많을 수록 적었다. 비효소적 반응조건 하에서 가한 alachlor의 17.7%가 GS-alachlor conjugate로 전환됨을 관찰하였으며, 이어 수행한 공시작물의 유도시험에서는 처리한 C-14 표지 alachlor이 단시간(24hrs)에 4~5개의 수용성 대사물로 전환되었으며, 주요대사물로 대두에서는 homogluthathione-alachlor, 배추 그리고 피에서는 glutathione-alachlor conjugates를 잠정적으로 확인하였다. 본 연구에서 채택한 3종의 공시식물의 경우, 식물체 내에서 glutathione (및 homogluthathione)과 alachlor와의 phase II reaction인 conjugation 반응이 해독반응으로 작용, alachlor의 선택성에 공헌하는 것으로 해석하였다.

참 고 문 헌

1. Shimabukuro, R.H., Lamoureux, G.L., and Frear, D.S. (1978), in Chemistry and Action of Herbicide Antidotes, 133~149, Pallos, F.M., and Casida, J.E., Eds., Academic press, Newyork.
2. Huston, D.H.(1976), in Bound and Conjugated Pesticide Residues, Kaufman, D.D., Still, G.G., Paulson, G.D., and Bandal, S.K., Eds., ACS

- Symposium Series 29, American Chemical Society, Washington, D.C.
3. Lamoureux, G.L., Shimabukuro, R.H., Swanson, H.R., Frear, D.S. (1970), Metabolism of Atrazine in Excised Sorghum Leaf Sections, J. Agric. Food Chem., 18, 81.
4. Shimabukuro, R. H., Frear, D.S., Swanson, H. R., and Walsh, W.C. (1971), Glutathione Conjugation, Plant Physiol., 47, 10.
5. Rennenberg, H. (1982), Glutathione Metabolism and Possible Biological Roles in Higher Plants, Phytochemistry, 21, 2771.
6. Ezra, G., and Stephenson, G.R. (1985), Comparative Metabolism of Atrazine and EPTC in Proso Millet and Corn, Pestic. Biochem. Physiol., 24, 207.
7. Leavitt, J.R., and Penner, D. (1979), In vitro Conjugation of Glutathione and Other Thiols with Acetanilide Herbicides and EPTC sulfoxide and the Action of the Herbicide Antidote R-257 88, J. Agric. Food Chem., 27, 533.
8. Kasai, T., Shiroshita, Y., and Sakamura, S. (1980), γ -Glutamyl Peptides of Vigna Radiata Seeds, Phytochemistry, 23, 679.
9. Parker, C. (1983), Herbicide Antidotes-A Review, Pestic. Sci., 14, 40.
10. Stephenson, G.R., Ali, A., and Ashton, F.M. (1983), 219~224, in Pesticide Chemistry, vol. 3, Miyamoto, J., and Kearney, P.C., Eds., Pergamon Press, IUPAC.
11. Boyland, E., and Chasseaud, L.F.(1969), Adv. Enzymol., 32, 173.
12. Lamoureux, G.L., and Stafford, L.E., and Tanaka, F.S. (1971), Metabolism of Propachlor in the Leaves of Corn, Sorghum, Sugarcane, and Barley, J. Agric. Food Chem., 19, 346.
13. Ezra, G., Gusness, D.G., Lamoureux, G.I., and Stephenson, G.R. (1985), The Effect of CDAA (N, N-Diallyl-2-Chloroacetamide) Pretreatments on Subsequent CDAA Injury to Corn(zea may L.)
14. Carringer, R.D., Rieck, C.E., and Bush, L.P. (1978), Metabolism of EPTC in Corn (Zea may L.), Weed Science, 26, 157.
15. Breux, E.J. (1986), Identification of the Initial Metabolites of Acetochlor in Corn and Soybean Seedlings, J. Agric. Food Chem., 34, 884.