

# 토양유형 및 경종방법과 제초제의 약해 ②

경북대학교 농과대학  
교수 김 길 웅

해마다 새로운 제초제가 개발되고 그 사용량도 증가하고 있는 반면 제초제는 그 성질상 잘못 사용하면 큰 피해 및 약해를 입기쉬워 사용에 특히 세심한 주의가 요구된다.

金吉雄교수(경북대학교. 농과대학)는 국립농업자재 검사소주관 85제 2차 농약의 품질관리 연찬회에서 「토양유형 및 경종방법과 제초제의 약해」에 대하여 특별 강연을 실시했다. 했

겨울철 농한기를 이용하여 제초제의 정확한 작용기구와 사용법을 알아두는것은 내년농사를 위해서도 매우 유익하리라 생각되어, 지난해에 이어 강연내용을 소개한다. 편집자註

## 제초제의 행적

### 4. 휘 발

토양에 처리한 제초제가 가스화 되는 상태를 의미하며 제초제가 처리됨과 동시에 휘발이 발생하게 된다. 이리하여EDTC나 Trifluralin 은 휘발이 잘되는 물질은 토양 혼화처리하므로서

휘발은 방지할 수 있다.

수용성 상태로 토양표면에 처리한 EDTC는 토양이 습윤하면 살포하는 첫날 70%가 휘발하여 소실되나 건조시는 45%가 된다. Thiocarbamate 에 속하는 다른 제초제는 EPTC 다음으로 vernolate> pebulate> molinate 순으

로 휘발한다.

Trifluralin의 경우는 사양토 표면에 처리 100시간내에 4.5%, Chloroprotham을 식양토에 유제형으로 살포시 살포날에 15%, protham은 30% 휘발한다.

휘발성으로 잘 알려진 2,4-D ester형은 처리 첫날에 10% 휘발하여 이웃하는 감수성 광엽작물인 토마토나 콩에 약해를 충분히 일으킬 정도라고 한다.

빛이 강할수록 토양표면은 뜨거워져서 수증기압이 낮은 제초제인 atrazine같은 제초제를 휘발시킨다. triazine계 제초제가

운데 Simazine의 수증기압이 atrazine보다 낮고 prometryn이나 prometone은 수증기압이 높아 더 잘 휘발한다. 또 triazine계초제의 휘발성은 35℃에서 45℃로 토양온도가 10℃ 상승함에 따라 50%나 휘발성이 증가한다. 흥미로운 것은 3주전에 처리한 atrazine과 2,4-D PGBE ester의 잔유물질이 1마일 떨어진 포장의 빗물속에 존재함이 밝혀졌다.

수증기압 지수와 제초제의 휘발관계는 다음과 같다. (Hague and Ash, 1974)

수 증 기 압 (Vapor pressure)	휘 발 른 실 량 (kg/ha/년)	제 초 제
수증기압지수 1	< 0.1kg	dalapon, MCPA 2, 4-D, 2, 4, 5-T
" 2	0.2~0.3	propanil, trifluralin
" 3	7~14	alachlor

제초제가 토양에 일단 혼화되면 휘발에 의한 소실은 별로 중요한 의미가 없어진다. 특히, 휘발성과 토양수분과의 관계는 EPTC가 좋은 본보기이며 건조한 상태보다 수분이 많은 상태에서 훨씬 휘발성이 높다. Trifluralin이 결정체인 경우는 수증기압이  $2 \times 10^{-4}$  mmHg (25℃)인 것이 수용성이 되었을 때는

80℃에서 126mmHg로 증가됨을 알 수 있다. 그러나, 토양 수분의 물이 증발하므로써 제초제의 휘발이 촉진되는 것인지에 대하여는 결정적인 증거가 없으나 아마도 토양수분이 토양입자로 부터 농약이 휘발할 수 있는 상태로 만들어 주는 것이 아닌가 생각된다. 그러나, simazine의 경우는 토양수분증가에 의해서 감

소되나 atrazine 경우는 증가되는 상이한 반응을 보이고 있다.

5) 용탈(溶脫) 및 유거(流去)

제초제가 토양에 흡착되지 않은 상태에 있으면 용탈할 가능성이 높아지고 중력수나 모관수 상태에서 쉽게 용탈이 된다고 한다. 토양이 미세하지 못하거나 유기질이 적은 사토나 사질토 등에서 쉽게 일어날 수 있으며, 물과 함께 용탈되어 진다.

제초제의 토양투과는 강우량에 크게 영향을 받으며 150mm의 강우가 있을때 alachlor, propa-nil 및 trifluralin 은 약 10cm 투과하며 MCPA, 2,4-D 및 2,4,5,-T 를 산(酸) 형태로 처리하는

20cm 정도 투과하며 dalapon 염은 50cm 이상 투과된다고 한다.

Urea 계 제초제인 Monuron 은 강우량은 1/2 배, TCA는 강우량의 2~3 배 투과한다고 한다. 표 1은 강우량과 최대 투과량과의 관계를 나타낸 것이다.

Atrazine 이 Urea 의 monuron 보다 더 깊이 용탈되나 실질적으로 용탈에 의해서 소실되는량은 매우 적으며 한편으로 휘발이나 광분해에 의한 atrazine 의 소실도 적다. Triazine 계 제초제의 주된 분자의 소실은 atrazine 경우는 화학적 분해이고 P-rometryn 은 생물학적 분해에 근거한다고 한다.

표 1. 강우량이 제초제의 투수에 미치는 영향(양토)(Brown 1978) <단위: inch>

구 분	강 우 량	최 대 침 투	토 양 침 투
Monuron	1	1.75	0.25
	3	1.75	0.25
2, 3, 6-TBA	3	12	8
Atrazine	12	12	7
Simazine	12	7	1.

2,4-D Sodium salt 경우는 용탈되나 2,4-D acid 형태는 되지 않는다. Sodium borate 경우는 물에 용해도가 아주 높아서 자유롭게 용탈되고 깊은 곳에 존재하는 뿌리에 피해준다. 이리

하여 토양 종류에 따라 용탈이 잘되는 곳에서는 뿌리가 심한 약해를 받을 수 있다.

유거(流去)란 토양표면에 처리한 제초제가 흐르는 물과 함께 높은데서 낮은 곳으로 흘러내려

가는 현상을 의미한다. 특히 강우가 심할때에 처리된 제초제는 물에 용해된 채 또는 유착된 채 토양과 함께 유거되기도 한다. 용탈과 함께 제초제 효력을 경감시키는 요인으로 경사지는 같은데서는 강우가 심할때는 제초제 처리를 삼가하여야 하며 강우가 끝난 후 일정한 수준으로 물높이(3~4 cm)를 조절한 후 처리하는 것이 효과적이다.

### 5. 제초제의 잔류성

제초제는 여타 농약과는 달리 토양 잔류기간이 비교적 짧고 1~2년 처리에 축적되는 것도 아니다. 이리하여 제초제가 1년 이상 토양속에 잔효하는 예는 극히 드물다. 표 2는 제초제의 잔효 또는 잔류기간을 나타낸 것으로 퀘녹시류의 2,4-D 4 MC PA, Bipyridylum 계의 paraquat 나 Diquat 등은 잔류기간이 가장 짧다. Atrazine 의 경우는 3년 연속처리 한 후 옥수수 포장에 콩 등을 4년째에 재배하면 15~30%정도 생육을 억제한다는 보고가 있다. 그러나 토양이 관개된다는지 하계되면 이와같은 축적은 없어진다고 한다. 공장지 부나 도로변등에 비선택성 제초

제를 많은량 처리하면 그 다음해까지 제초효과가 나타나는 등 잔류성이 있다는 보고가 있다.

전체 식생을 방제하기 위하여 처리한 유기제초제 Piclam 이나 fence 등은 무기제초제인 arsenite, borate 만큼 장기간 잔류한다고 한다.

그림 1은 처리한 약량의 75%가 소실될 때까지 걸리는 시간을 나타낸 것으로 제초제의 종류간에 다양하다.

그림 2는 제초제를 1회 사용한 것과 주기적으로 여러차례 사용한 제초제가 토양내의 축적할 가능성을 나타낸 것으로 1회 사용에 의해서는 토양내의 여러 경로를 따라 쉽게 분해가 되어 소실되 버리나 주기적으로 여러차례 산포하는 경우에는 상당한 량이 축적될 수 있음을 암시해 주고 있다.

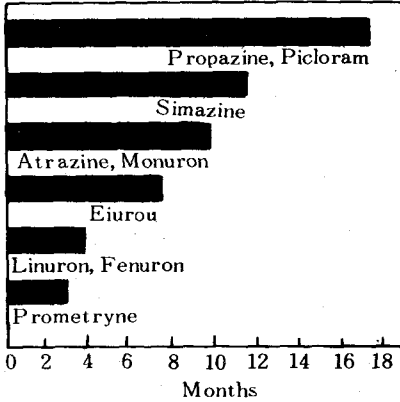
제초제 소실률에 대해서는 반감기(half-life)개념이 이용되고 있다. 또 처리한 제초제 50%가 소실될 때 까지의 시간을 DT 90이라 하며(표 3) 잔류기간은 온도와 반비례하여 온도가 상승할수록 분해등에 의한 소실이 빠른 것을 의미한다. 잔류농약의 소실률은  $-dc / -dt = KC^n$ 로 나타내며 C는 농도, t는 시간, K

표 2. 온대지방의 토양에 처리한 제초제 잔류성

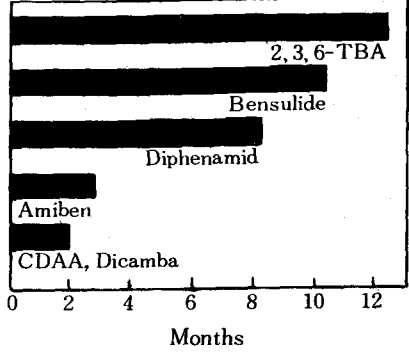
1 월이하 (일시적효과)	1 ~ 3 월 (조기방제)	3 ~ 12월 (전작기 방제)	12월이상 (식생 전체 방제)
Amitrole	Bentazon	Alachlor	Arsenite
AMS	Butachlor	Ametryn	Borate
Barban	Butylate	Atrazine	Bromacil
Cacodylic acid	CDAА	Benefin	Chlorate
Chloroxuron	CDEC	Bromoxynil	Fenac
Dalapon	Chloramben	Chlorobromuron	Picloram
2, 4 - D	Chloroprotham	Cyprazine	Tebuthiuron
2, 4 - DB	Cycloate	DCPA	Terbacil
Dinoseb (DNBP)	Diallate	Dicamba	2, 4, 6 - TBA
Diquat	2, 4 - DEP	Dichlobenil	
DSMA	Diphenamid	Diuron	
Endothall	EPTC	Fenuron	
Fluorodifen	Mecoprop	Fluometuron	
Glyphosate	Naptalam	Linuron	
Metham	Pebulate	Metobromuron	
MCPA	PCP	Metribuzin	
MH	Propachlor	Monuron	
Molinate	Pyrazon	Norea	
MSMA	Siduron	Oryzalin	
Nitrofen	Silvex	Prometryn	
Paraquat	TCA	Propazine	
Phenmedipham	Triallate	Simazine	
Propanil	2, 4, 5 - T	Terbutol	
Propham	Vernolate	Trifluralin	

★ A table of references on the longevity of specific dosages and concentrations may be found in Alexander (1969)

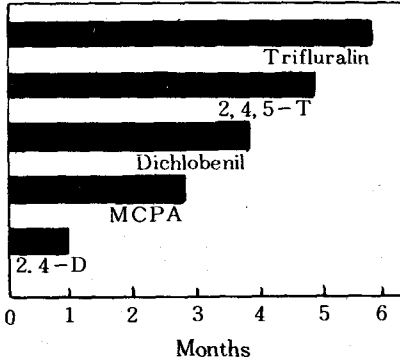
Uroa, triazine, and picloram herbicides



Benzoic acid and amide herbicides



Phenoxy, toluidine, and nitrile herbicides



Carbamate and aliphotic acid herbicides

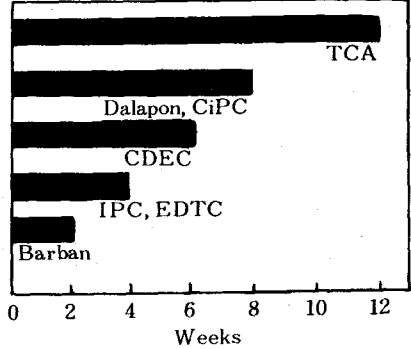


그림 1. 제초제의 잔류성 (75%가 소실될 때 까지의 시간)

는 상수, n는 농도의 지수이다.

결론적으로 잔류기간은 작목 별로 잡초방제판 소기의 목적을 달성만 되면 가급적 짧을수록 좋다. 대체로 1년생 전답(田畵) 작물인 경우 작물이 Canopy 를 형성하는 시기까지만 방제해 주

면 그뒤에 발생하는 잡초는 작물 과 경합이 되지 않을 것이다.

## 6. 토양유형별 및 경종방법에 따른 제초제의 약효(藥效) 및 약해(藥害)

제초제가 제초제로서 소기의

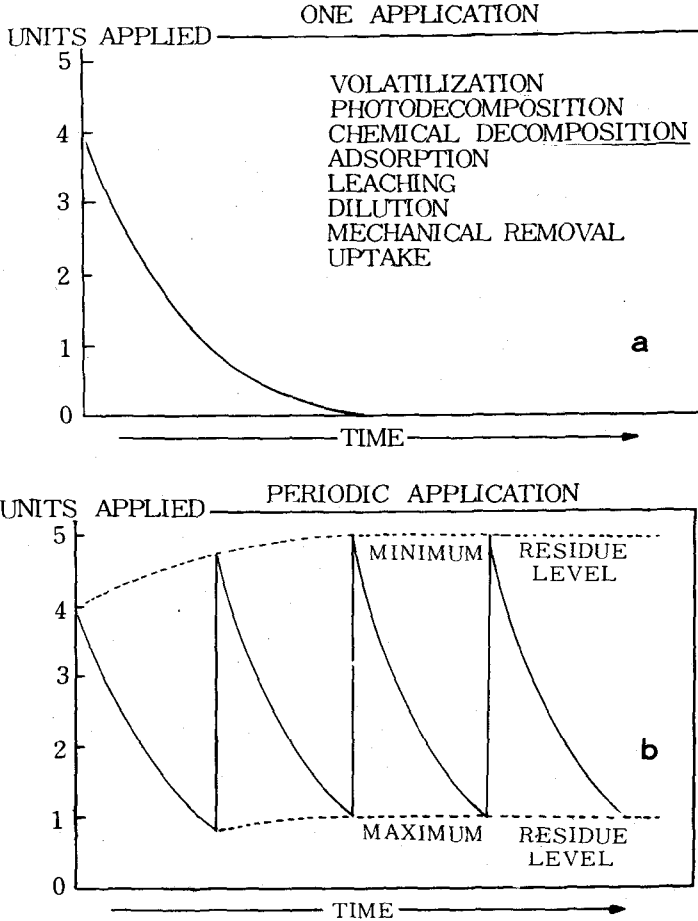


그림 2. 토양으로 부터 제초제의 소실

a : 1회 살포 b : 주기적 살포

(M. W. Miller et al., 1969)

방제효력을 발휘하는데는 자체의 활성외에 활성을 발휘시킬수 있는 환경조건 및 재배조건이 매우 중요한 역할을 한다. 환경조

건은 특히, 온도, 강수량, 및 토양요인이며 재배적 조건은 재배시기, 작물의 품종, 경운정지, 관개, 시비법등의 여러요인에

표 3. 제초제의 ET 50 및 ET 90(일)

(Hamaker, 1972)

Herb.	DT <sub>50</sub>	DT <sub>90</sub>	Herb.	DT <sub>50</sub>	DT <sub>90</sub>	Herb.	DT <sub>50</sub>	DT <sub>90</sub>
Atrazine	130	284	Chlorpropham	43	53	2, 4-D	47	26
Simazine	105	360	Chloramben	34	65	Dala pon	15	27
Fenuron	69	156	Linuron	24	169	Propham	8	22

ET50 : 제초제 50% 소실될 때까지 걸리는 시간

ET90 : 제초제 90% 소실될 때까지 걸리는 시간

의하여 지배된다고 사료된다. 환경조건이 항상 식물체가 자랄 수 있는 최적 조건만을 부여하는 것이 아니고 변동적이다. 환경조건이나 재배조건이 불량하면 기대했던 살초력은 얻지 못하는 것은 물론이며 작물에 제초제의 약해가 발생한다.

제초제의 약효 및 약해와 가장 밀접한 관련을 가진 요인은 (1) 온도 (2) 토양(토성, 유기물 함량, 수분, pH) (3) 재배법(시기, 품종 관계) 등으로 생각할 수 있다.

**1) 온도**

제초제의 약효는 일반적으로 온도가 높아질수록 잡초의 정상적인 발아, 발생 및 생육과 식물체내 흡수 이행이 좋아져서 잡초방제 효력이 증가되는 것으로 알고 있다. 어떤 제초제는 온도가 상승되므로서 휘발성이 증가되어 약효를 감하는 경우가 보고

되어 있고 Carbamate 계의 EP TC는 고온보다 비교적 낮은 온도에서 효력이 큰 것으로 알려져 있다. 최대의 약효를 얻기 위하여서는 제초제 계열별의 적정온도 범위를 아는 것이 매우 중요하다.

반대로 약해의 경우도 온도조건에 따라 상이한 반응을 보이고 있다. Triazine 계 제초제가 대체로 고온하에서, phenoxy 계 제초제는 저온조건하에서 약해를 유발시키는 것으로 보고되어 있다.

rometryn, Simetryn, dimethametyyn 이 특히 고온하에서 벼에 약해를 유발시키며 Simetryn의 경우 어린 유모는 피해가 있으나 5엽기만 넘어서면 고온하에서도 약해가 없다고 보고 하였다. (Tanikawa, 1979) 우리나라의 경우에는 모심기가 5월 중하순까지 6월 초중순까지 걸쳐서 실시되므로 triazine 계열의 고온에 의한 약해는 문제없을 것으로



로 믿어진다. 그러나 발작물은 다를 수도 있다.

그 밖에 극히 고온하에서 diphenyl ether 계는 갈색반점, Chloroacet anilide 계는 생장억제 등의 현상이 있긴하나 Triazine 류보다 경미하다고 보고하였다.

(Takeuchi, 1985)

선택성 제초제인 Pyrazolate 도 35°C 이상의 극히 높은 온도 하에서는 일시적인 Chlorosis 를 유발시킨다고 알려져 있다.

해독시류의 2,4-D의 약해는 기형잎이나 분얼각에 이상등을 야기시키는데 평균 온도가 15°C 이하로 2일 이상 지속되면 약해가 유발되므로 저온상태에서는 유의하여야 한다.(Miyahara, 1971 15°C 보다 낮은 온도가 지속되면 많은 종류의 제초제가 약해를 유발시킨다.

## 2) 토양

앞에서 우리나라의 토양유형을 언급한 것처럼 문제의 토양면적이 너무 많아서 제초제의 약효를 기대하기가 어려울 뿐 만 아니라 약해의 우려가 많다.

모래땅, 배수불량담, 간척지 등에서는 대부분의 제초제가 제대로 효력을 발생하지 못하고 약

해의 우려가 있으므로 사용하지 않는 것이 가장 바람직하나 현실적으로는 그렇지 못하다.

사단(Benthiocarb)을 논에 처리 후 시간과 논토양의 수용액에 함유되어 있는 농도를 나타낸 것으로서 입체의 경우 하루와 이틀 사이에 최고의 농도에 도달은 후 시간이 경과될 수록 감소하여 4일이 지나면 1ppm 이하로 떨어진다. 사단의 경우 제초제의 살초력과 유기물 함량, CEC 및 토양흡착 등과는 높은 상관관계가 있다고 하며 살초력의 정도는 물의 용해도나 토양흡착력과 같은 제초제의 물리적 성질에 크게 영향받는 것으로 생각된다. 휘발성이 큰 trifluralin이나 흡착이 거의 되지 않는 2,4-D 등은 토양흡착으로 인한 불확 성화는 살초력과 관계가 없으나 PCP 등은 흡착력이 커서 불활성화로 인하여 살초력이 변동이 쉽게 생길 수 있다.

제초제의 행적에서 이미 언급된 것처럼 기상환경이나 토양환경의 영향을 크게 받아 적절한 효과를 내거나 때로는 작물로 약해를 유발할 수 있게 된다.

약해유발에 부주의한 처리나 과량살포나 적기에 산포하지 않은 원인 외에 제초제의 물리적

성질과 환경만의 관계를 놓고보면 우리나라 약해 발생지역의 약해원인은 대체로 척박한 토양, 즉 유기물 함량이 1.0% 이하 사양토 또는 사토의 조건이었다고 한다. 토양 유기물이 2.0~3.4% 인 식토-사양토 조건하에서 표준 시용량으로는 약해가 발생되지 않았으나 상기의 조건에서는 온도의 고저에 관계없이 특정 제초제는 약해를 발생시켰다고 한다. (양, 1983)

이리하여 토성과 유기물의 함량은 토양 흡착과 밀접한 관계가 있어서 이온화 화합물을 처리할 경우 약효보다 약해를 경감시키기 위하여는 표준 시용량과 비교 조절하여 산포하는 것이 바람직할 것이다. 또 모래땅과 관련이 있는 토양 pH도 이온화 정도에 크게 영향미쳐서 흡착에 영향미치므로 극산성 및 극알카리 등은 표준 시용량으로 처리하여서는 되지 않을 것이다. 다음으로 미숙답이나 유기물 시용에 의한 이상 환원 상태나 배수 불량답 등에서는 제초제를 처리하지 않고서도 작물의 생육이 지연되므로 거기다가 제초제의 처리는 약해를 심화시킬 수 있으므로 유의하여야 한다.

### 3) 경종방법

경운 정지를 철저히 잘하는 것은 잡초방제에 크게 기여할 뿐만 아니라 경운함으로서 잡초의 발생을 균일하게 일제히 할 수 있어서 제초제의 살초력을 증대시킬 수 있다. 잡초의 발아 및 출아는 온도의 영향을 크게 받지만 경운하므로써 잡초발생의 흐름을 차단시켜 줄 수 있다. 특히 춘경이나 추경은 토양 침식면에서 좋지 않아야 잡초의 방제면에서는 겨울의 동건사 등의 큰 효과가 있고 농약의 토양 축적 등을 제거해 줄 수 있는 조건을 부여하는 장점이 된다.

정지를 고르게 잘하는 것은 제초제의 토양 분배를 잘하여 일정 시기에 동시에 발아하는 잡초에 효과적일 것이다. 정지작업이 좋지 않으면 잡초의 불균일한 발생은 물론 관수의 높낮이에 차이가 있어서 부분적으로 약해를 유발시키는 원인을 제공한다.

품종의 선택 또한 중요하다. Triazine 계 제초제는 일반계보다는 다수계 품종에 대하여 더 큰 약해를 나타내므로 품종 선택에도 유의를 하여야 한다.

물관리는 잡초방제면에서 매우 유효한 방법중의 하나이다. 이양후 답수심을 5cm 이상만 계속

유지할 수 있어도 호기성 호흡을 하는 많은 1년생 잡초의 발아 및 생육을 억제시킬 것이다. 또 한편으로 토양처리제 제초제 산포시는 물의 유동이 적어야 하며 강우가 있어서 유거될 경우는 제초제의 살포를 다소 지연시키는 것이 바람직하다. 제초제가 토양표면에 잘 흡착될 때까지 물의 유동이 가급적 없는 것이 좋다. 그러나, 물을 깊이 관수함으로써 종묘를 이앙한 벼에 접촉면의 증가로 약해를 증가시키는 접촉제의 경우도 있으므로 적절하게 관수심을 유지하는 것이 바람직하다.

수증기압이 크며 쉽게 휘발되는 제초제를 비닐하우스나 밀폐된 곳에 처리하게 되면 약해를 유발 시키므로 휘발이 잘되지 않는 제초제를 선발하여야 할 것이다.

결론적으로 토양유형 및 경증방법과 제초제의 약해를 종합해 보면 다음과 같이 나눠 생각해 볼 수 있다.

#### (1) 제초제

- ① 제초제의 물리·화학적 특성 : 용해성, 이온화성, 휘발성
- ② 제초제의 제형 : 점진적 용해성

#### ③ 제초제와 해독제 병행사용 (2) 토양

① 토양 : 특히 모래땅은 흡착이 낮음. 그밖에 불량담 토양과량이 시급

② 유기물 함량 : 유기물 함량이 낮으므로 흡착저조, 유기물사용

③ pH : 토양반응 조절 (극산·알칼리성 조절)

④ 토양수분 : 적절해야 함 (과건, 과습 좋지 않음)

⑤ 온도·광 : 토양조건은 아니나 약해 발현과 밀접한 관련이 있는 환경조건임

#### (3) 경증법

경운정지 (춘·추경, 씨레질)

② 재배품종, 밀도, 시비법, 재배시기

③ 관수 (물관리)

④ 처리시기, 사용량, 제초제종 선택 (적기, 적중, 적량)

제초제의 약해란 어느 한 요인보다 복합적인 요인에 의해 영향받음을 유의하여야 할 것이다. 불행하게도 이 방면에 대한 연구가 부진할 뿐만 아니라 자료가 미진하여 이 방면의 연구가 촉구된다.