

**수도용 제초제**

**정확히 알고 쓰자**

**상**

영남작물시험장 농작물시험관 김순철

## 1. 제초제사용 현황

우리나라에서 제초제가 처음으로 사용되기 시작한 것은 2.4-D가 합성된지 10여년이 지난 후 시험용으로 사용된 1955년경이 된다. 그리고 제초제 사용에 있어서도 1970년대 초수도용 제초제로써 탁크와 마세트가 개발, 보급되기 시작할 때까지는 2.4-D, 피시피(PCP) 등이 약간 사용되었을뿐 거의 실용적인 면으로 널리 사용되지는 못하였을 뿐만 아니라, 시험연구도 거의 이루어지지 못하였다.

그러나 탁크와 마세트가 수도용 제초제로 사용되기 시작하면서 그 보급면적은 해를 거듭할수록 급속도로 늘어났고, 현재 논에는 거의 100%, 밭에는 약 50% 사용되기에 이르렀다. 현재 제초제로 등록된 농약의 수는 약 55종으로 이 중 28종이 수도용으로 사용된다. 여기서 한가지 문제점으로 지적할 수 있는 것은 지금까지의 제초제사용은 한 두가지 특정 제초제에 지나치게 편중되어 왔다는 점을 들 수 있다. 즉 다시 말하면 표1에서 보는 바와같이 1978년부터 제초제사용 현황은 마세트가 해마다 전체의 75% 이상을 차지하고 있음을 알 수 있다. 이와같은 단

표 1. 최근 주요 제초제 사용현황 (%)

제 초 제	1978	1979	1980	1981	1982	1983
밭 사 그 란	0	0.1	0	0.1	0.1	0.6
모 다 운	-	0.7	1.1	2.3	2.0	1.0
마 세 트	79.5	78.4	75.1	76.9	77.0	91.0
온 드 래	-	-	-	0	0.1	-
엠펜오	2.8	1.3	2.1	2.1	2.1	-
마 메 트	0.2	0.3	0.4	0.2	1.9	-
탁 크	10.8	8.5	7.5	3.9	0.9	0.1
모 개 산 도	-	-	-	-	0.2	-
론 스타	0.1	0.3	0.3	0.2	0.4	0.3
데 스타	0.1	0.2	0.3	0.3	0.1	-
아 비 로 산	0.9	1.4	1.7	2.8	4.6	3.0
스텝에프34	0.1	0	0.1	0.1	0.1	-
이 사 디	0.4	0.1	0.1	0.3	0.3	-
사 단	4.1	7.4	10.0	10.3	10.2	4.0
사 단 에 스	1.0	1.3	1.3	0.5	-	-

일 제초제의 연용은 다년생 잡초 증가, 잡초의 저항성 기작발 달 등 여러가지 측면에서 바람직하지 못한 것으로 생각된다. 이웃 일본의 예를들면 우리보다 제초제사용 역사가 10여년 이상 빠른것은 물론이고, 사용회수 도 우리나라의 경우 대부분 1 회이지만, 일본은 2~3회로 더 많고 등록된 숫자도 약 180 종에 이르고 있으며, 많은 제초제가 고르게 사용되고 있는 실정이다. 우리나라가 제초제 역사가 짧으면서 일본과 비슷한 잡초 초종상의 문제점을 가지게 된 것은 특

정 제초제의 연용도 중요한 한 원인이 되지않을까 생각된다. 따라서 보다 효과적으로 제초제를 사용하기 위해서 몇가지 제초제의 일반 원리를 설명한 후 실질적인 면을 못자리와 본답으로 나누어 기술하고자 한다.

## 2. 제초제의 일반원리

제초제의 근본 목적은 대상 잡초를 죽이는데 있다. 그러므로 잡초를 죽이기 위해서는 제초제가 대상 잡초가 있는데 까지 도달하

여야 하고, 그 다음으로 충분한 양이 식물체내에 들어가야 하고, 다시 작용점까지 이동하여야 하고 마지막으로 작용성을 나타낼 때까지 충분한 기간 작용성을 유지하여야 한다.

이와 같이 제초제가 처리 부위로부터 식물체내에 흡수되어 작용성을 나타낼때까지 영향을 미치는 요인들을 요약하면 그림 1 과 같다. 그림에서 보는 바와 같이 제초제가 처리부위로부터 작용점까지 도달하는데 까지의 주요 장해요인으로는 잎과 토양 장해, 식물체내에서의 이동장해

및 생화학적 대사장해 등으로 크게 나눌수 있으며, 이들 장해요인을 거치면서 제초제가 식물체에 미치는 영향도는 점차로 저하되어 간다. 다시 각 장해요인들에 있어서 제초제 행동에 영향을 미치는 요인들을 구체적으로 살펴보면 잎 표면의 왁스층 발달상태, 잎의 형태적 및 해부학적 특성 토양표면 및 토중유실, 휘발, 흡착, 햇빛에 의한 분해, 화학적인 분해, 토양 미생물에 의한 분해, 식물체내의 생리, 생화학적 대사작용 등을 들 수 있다. 이밖에도 제초제 행동에

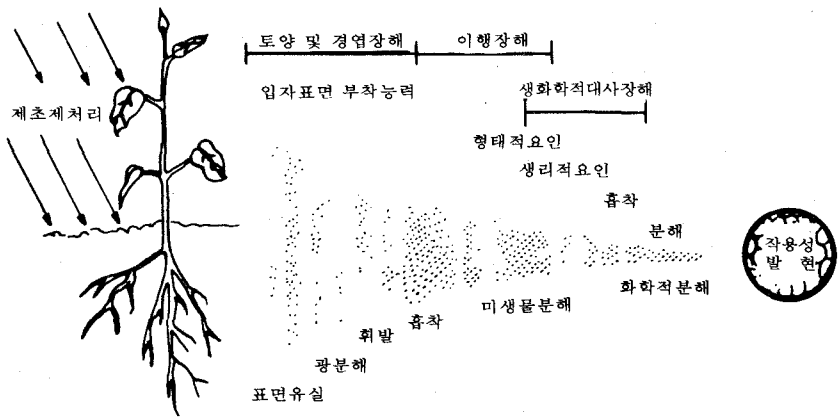


그림 1. 제초제 처리에서 약해 발현까지의 장해요인

미치는 중요한 요인중에서 빼놓을 수 없는 것이 기상환경 즉, 온도, 습도, 강수량, 일사량 등을 들 수 있다. 이렇게 볼때 제초제의 최종 행동에는 다른 살균, 살충제 또는 성장조절제에 비해 더욱 복잡한 요인들이 관여를 하고 있어 예기치 못한 결과를 초래하는 경우가 많다.

**흡수경로**

우선 제초제는 크게 경엽(莖葉) 처리와 토양처리 두가지 방법으로 처리된다. 제초제가 식물체 표면(잎, 줄기, 뿌리)에서 내부로 들어가는 통로에 대해서는 농약과 식물보호 1983년 11월호(75~86p)에 상세히 언급하였으므로 더 이상의 구체적인 설명은 생략하기로 하며, 식물체

내에서의 이동은 물이 주로 이동되는 도관(導管) 과 광합성 산물이 주로 이동되는 체관(篩管)으로 나누어진다.

따라서 제초제가 식물체내에서 어떤 통로로 이동하느냐에 따라 처리방법을 결정할 수 있게 된다. 예를들면 어떤 제초제가 도관을 통해서 이동된다면 토양 처리에 의해 뿌리부분으로 흡수시켜야만 식물체 모든 부분에 고루 분포될 수 있지만, 이때 이러한 제초제를 잎에 처리한다면 극히 제한된 지상부에만 이동되기 때문에 제초효과가 크게 떨어지게 된다. 그러므로 효과적인 제초효과를 얻기 위해서는 제초제 성질에 맞는 처리방법에 따라야 함은 당연한 이치라 볼 수 있으며 주요 제초제의 식물체내 이동 통로를 구분하면 표2와 같다.

표2. 주 흡수 통로에 의한 제초제 구분

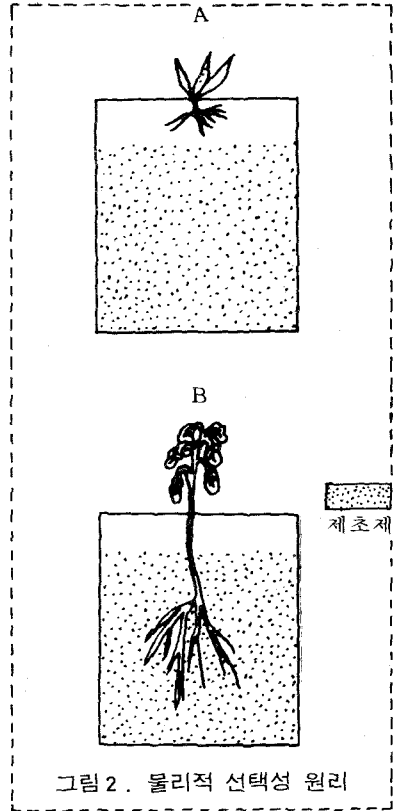
도관 (아포플라스트)	체관 (심플라스트)	도관-체관	이동성제한
부 로 트	이 사 디	푸 로 닐	니 트 펜
부 푸 러	피 시 피	모 개 산 도	그 로 트
벤 나 프			엠 오
프 레 님			바 이 스
프 레 티			옥 사 존
퍼 플			
벤 치 온			
부 타			

선택성

어떠한 제초제라 하더라도 식물에 전혀 약해가 없는 제초제는 없다. 다시 말하면 제초제 농도가 어느 수준 이상에서는 모든 식물이 다같이 약해를 받고 죽는다는 것을 뜻한다. 그러나 어느 농도 범위내에서는 어떤 식물은 약해를 거의 받지 않는 경우 이것을 선택성이라 부르고 있다. 따라서 선택성이라는 개념은 상대적인 의미를 갖고 있으며, 실질적인 선택성을 말할 때는 비교적 넓은 농도 범위내에서 제초제에 의해 받는 약해 정도가 식물의 종류간에 뚜렷이 나타날때 사용되고 있다. 그리고 실질적인 선택성 원리는 물리적 선택성과 생리적 선택성으로 나누어지는데 이들을 구체적으로 살펴보면 다음과 같다.

〈물리적 선택성과 생리적 선택성〉

물리적 선택성은 글자 그대로 제초제와 대상식물을 물리적으로 접촉하지 못하게하는 것이다. 예를들면 그림 2에서 보는 바와 같이 토양처리용 제초제의 뿌리 분포 및 발달상태가 다른 두 식물에 대한 작용성을 들 수 있다.



만약 이때 이 제초제가 물에 대한 용해도가 대단히 높다면 이 제초제는 쉽게 땅속 깊이까지 내려가서 토양 심층에서 처리층을 형성하게 되어 뿌리 분포가 깊은 B 식물은 뿌리로 부터의 제초제 흡수량이 많아져 약해를 받게 되나 뿌리 분포가 얇은 A 식물은 뿌리 부분이 제초제 처리층을 벗어나 약해 발생 위험은 극소화된

다. 이 경우와는 반대로 만약 사용된 제초제의 용해도가 대단히 낮을 경우에는 제초제의 처리층이 토양 표층부분에 머물러 있을 때에는 위의 경우와는 정반대의 결과를 초래하게 된다. 따라서 제초제의 물리적 선택성은 제초제 용해도와 토양수분 상태가 크게 영향을 미치게 됨을 알 수 있다. 또다른 물리적 선택성의 하나로는 약해 위험이 있는 작물 종자를 숯 또는 목탄가루와 섞어 파종하므로 제초제의 직접적인 흡수를 막아주는 경우도 들 수 있다.

다음으로 생리적인 선택성을 들 수 있는데 이는 식물체내의 생리, 생화학적 작용성 차이에 의한 선택성으로 주로 흡수차이, 식물체내에서의 작용점까지의 이행성(移行性) 차이, 제초제의 분해대사 차이, 식물체내의 광합성, 호흡, 단백질 등의 생리대사 차이 등으로 나뉘어진다. 실제 포장상태에서는 위의 두가지 물리적 선택성과 생리적 선택성이 동시에 작용되는 경우가 많다.

### 약해증상

제초제에 의한 식물체의 형태

적 약해증상은 제초제 종류 및 성질에 따라 다르며, 주로 제초제가 식물체내에서 제초제 그 자체 또는 중간분해 물질에 의한 생리, 생화학적 교란에 의해 변형된 식물체의 반응결과에 의한 것으로서 많은 경우 외견상 나타나는 약해 증상은 제초제의 작용성을 나타내 주는 주요 단서가 된다. 제초제의 주요 작용성의 유형(類型)을 나누어 보면 첫째, 광합성 저해제(光合性 阻害劑), 둘째, 약해 발현에 있어 광관여제(光關與劑), 셋째, 식물 호르몬 행동 저해제, 넷째, 호흡대사 저해제(阻害劑), 다섯째, 비대생장(肥大生長) 및 비정상 세포분열 및 신장(非正常 細胞分裂 및 伸長), 여섯째, 기타(其他) 등으로 나누어지는데, 이들 각 유형별로 식물체가 받는 약해증상은 각각 다르게 나타난다. 예를들면 전체 제초제의 50% 이상을 차지하는 광합성 저해제의 경우 푸로닐(스탐에프 34), 벤타존(밭사그란) 등과 같이 제초제를 처리하고 나면 광합성 저해에 의해 식물체 잎이 황화현상을 보이고, 벤치오(사단), 피플(데스탄), 부타(마세트) 등은 식물체의 기형 또는 생육량 감소는 주로 단백질 대사

저해 또는 세포분열에 대한 영향으로 알 수 있고, 이사디(2,4-D), 엠시피(MCP)와 같이 식물체의 자세(草型)가 흐트러지

는 증상은 식물체내의 호르몬 작용 교란을 의미하게 된다. 현재 사용중인 주요 제초제들의 약해 증상을 요약하면 표3과 같다.

표3. 약해증상에 의한 제초제 구분

황화현상	갈색 또는 백화현상	생육지연 및 기형유발	자세흐트러짐
피 페 린	니 트 펜	벤 치 오	이 사 디
푸 로 닐	그 로 트	부 타	엠 시 피
벤 타 존	바 이 스	퍼 플	
모 개 산 도	엠 오	프 레 티	
	옥 사 존	부 로 트	
	부 타 줄	부 푸 러	
	부 로 트	벤 나 프	
		프 레 낚	

**해독제 (解毒劑)**

제초제 해독제는 용어 자체가 의미하는 바와같이 대상 잡초에 대해서는 살초력을 변화시키지 않으면서 보호 작물에 대해서는 선택적으로 보호하는 화학물질(antidote, safner, antagonist, protectant)을 가르치며 잡초방제 연구분야에서도 비교적 최신 연구분야에 해당된다. 해독제의 주요 선택적 작용성은 첫째, 보호 식물에 대해서는 제초제의 흡수 이행을 방해하거나, 둘째, 보호 식물내 제초제의 작용점에서 제초제와 경합하는 경우, 셋째, 보

호식물 내에서 제초제의 분해를 촉진시키는 경우, 넷째, 위의 세 가지 경우의 복합적인 작용성으로 나눌 수 있다. 이와같은 해독제는 기존 제초제의 살초적용 범위를 넓히는데 대단히 중요한 역할을 하며, 해독제의 작용성은 제초제 종류에 따라서 달라지기 때문에 대상 제초제에 알맞는 해독제가 연구되어오던 중에 일부 전작용 제초제에 대해서는 실용적인 단계에 이르고 있다. 수도작의 경우에 있어서는 못자리와 직파재배에서 알맞는 해독제가 개발된다면 획기적으로 잡초방제법이 개선될 것으로 보여진다. 못자리에서의 해독제

효과를 다음 항목에서 시험성적을 통하여 설명하고자 한다.

**제초제 혼합 원리**

최근의 우리나라 논 잡초가 과거 70년대 초에 비해 많이 변하였고 또한 다년생 잡초가 증가되어 한가지 제초제에 의해서는 만족할만한 결과를 얻지 못한다고 하여 농민 스스로가 전혀 이론적인 근거없이 여러가지 제초제를 사용하므로써 약해를 일으키거나 경제적인 손실을 가져오는 경우가 종종 있다.

두가지 이상의 제초제를 혼합할 때는 살초폭(殺草幅) 증대 또는 제초비용 절감을 위한 경우가 대부분인데, 두가지제초제를 혼합할때 일어날 수 있는 반응은 크게 상승적 반응(上昇的 反應, synergistic), 상가적 반응(相加的 反應, additive), 길항적 반응(拮抗的 反應, antagonistic)으로 나눌수 있겠으나, 이러한 반응은 잡초 종류에 따라서 달라진다. 이들 반응결과에서 상승적 반응을 보이는 경우는 살초폭 증대 및 제초비용 절감면에서, 그리고 상가적 반응을 보이는 경우는 제초비용 절감면에서 이용이 가

능하나 길항적 반응을 보일때는 전혀 실용적 가치를 가지지 못한다. 실제로 최근의 프레날입제(풀자비), 부타졸입제(푸마시), 부푸리입제(싱그란), 부로트입제(노노플), 벤나프입제(그라노크) 등도 살초효과 증대면에서 개발 보급된 혼합제들이다. 단순히 두 제초제와 혼합반응을 검정하는데는 비교적 쉽게 알수 있으나, 가장 경제적인 혼합비율을 알기 위해서는 등효과선(等效果線, Isobole) 방법이 사용되는 때에 여러 단계의 약량 수준으로 시험을 하여야 하기 때문에 처리구 수가 많아야 하는 어려움이 뒤따른다. 실제로 등효과선을 이용한 예로서 카바마이트계 제초제인 벤치오입제(사단) 과 디페닐에테르계 제초제인 옥시펜유제(고을)과의 혼합반응은 그림 3 과 같다.

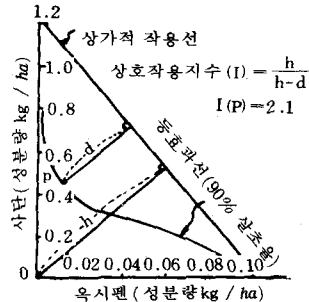


그림 3. 등효과선 방법에 의한 사단과 옥시펜의 혼합반응



그림에서 보는바와같이 이들 두 제초제의 혼합반응은 상승적 반응을 보이고 있으며, 90%의 살초력을 나타내기 위한 최소량의 혼합비율은 P점이 된다. 그리고 P점에서의 상호작용 지수는 약2.1%이었는데 이것은 상가적 효과로서 90%의 살초력을 얻는데 필요한 약량의 1/2.1 량으로 90%의 살초력을 얻을수 있다는 뜻이된다. 한편 대상잡초가 2종류 일때 살초효과가 90% 이상 유지하고 작물에 약해가 없는 혼합방법은 그림 4와 같은 방법으로 찾을수 있는데, 그림에서 빗금친 부분이 바로 혼합가능 범위가 된다. 이와같은 방법을 이용하면 대상잡초가 3 종류 이상일때도 혼합방법이 가능

하여진다. 이밖에도 중요한 일 반적인 제초제 원리가 많이 있으나 지면 관계상 이다음 기회로 미루기로 한다. 그러면 지금부터 실질적인 면을 고려하여 아직 잡초방제에 관한 연구가 미흡한 못자리를 중심으로 못자리와 본답에서의 제초제 사용상의 문제점과 개선방안을 제시하면서 주요 제초제에 대한 작용성과 사용상 유의점을 설명하고자 한다.

### 3. 효과적인 제초제 사용법

#### 못자리

현시점에서 못자리 제초제 사용상의 문제점으로는 발못자리용 제초제가 전혀 없다는 점과 보온질층 못자리에서의 기존 제초제 살초력 저하, 부타(마세트) 및 벤치오(사단) 등의 일부 농가 약해발생 등을 들 수 있다. 먼저 발못자리의 경우 그동안 탁크수화제가 사용되었으나 그것마저 생산이 중단되어 발못자리용 제초제는 전혀 없는 상태이기 때문에 이 분야의 제초제 개발이 시급히 요구되고 있다.

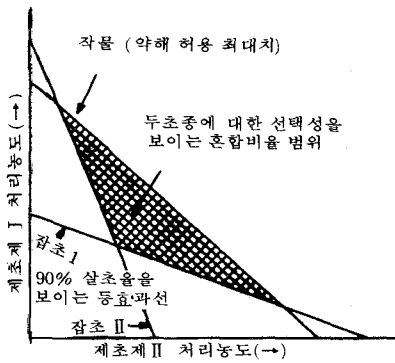


그림 4. 대상잡초가 2종류일 때의 혼합방법

다음으로 보온절충 못자리에 서는 그동안 잡초 종류가 많이 바뀌어 기존 제조제의 살초력이 만족스럽지 못하여 사용을 권장하지 않는 부타(마세트)와 벤치오(사단)을 사용하여 많은 농가에서는 성공적인 결과를 얻는데도 불구하고 일부 농가에서는 약해를 일으키는 경우가 있었다. 이와같이, 같은 제조제가 각각 다른 결과를 얻는 데는 앞에서 설명한 바와같이 지역환경 및 토양조건 차이와 못자리 관리방법 차이에 원인이 있는데, 그 중에서도 물관리 방법, 복토방법 및 쇄아방법 차이가 주요 약해원인으로 분석되었다.

이들 요인들의 영향을 구체적으로 살펴보면 제조제가 뿌리부분으로만 흡수가 되면 거의 약해를 받지 않으나, 뿌리와 유아부로 다같이 흡수되면 제조제 종류간에 뚜렷한 차이가 있지만 크게 생육이 억제된다(표4) 이것

표4. 제조제 흡수부위와 벼 생육량

제 초 제	상대생육량(%)	
	근부+유아부	근부
산 버 드	79	106
부 타	5	100
벤 치 오	0	101
부 타 졸	10	101

은 부타(마세트)와 벤치오(사단)의 주요 흡수부위가 뿌리부분보다는 유아부분이 되기 때문이다. 다음으로 복토방법의 영향을 보면, 표5와 같이 부타(마세트) 처리에 의한 생육억제 정도는 상면을 진압할때 32%로서 가장 크게 나타났고, 다음으로 모래복토, 무복토의 순이었다.

표5. 복토방법에 따른 부타 약해 차이

복 토 방 법	모래복토	상면진압	무복토
생장억제율	28	32	26

\* 부타 사용량 : 2 kg / 10a

이와같은 원인을 그림으로 설명하면 그림5와 같다. 그림에서 보면 상면진압구에서는 종자가 토양 표면으로 나올때까지 상당한 기간 유아부와 뿌리부분이 제조제에 접촉하게 되어 많은량이 흡수될 수 있는 기회를 만들어 주게 되며, 모래 복토구에서는 복토 과정중에서 다소의 진압효과와 모세관 현상에 의한 토양수분 상부 이동으로 인하여 무복토보다 제조제 흡수기회가 많을 것으로 볼 수 있다. 실제 대부분의 일반 농민들이 못자리 설치 및 관리방법에서 복토를 하지 않고 상면진압 내지 무복토

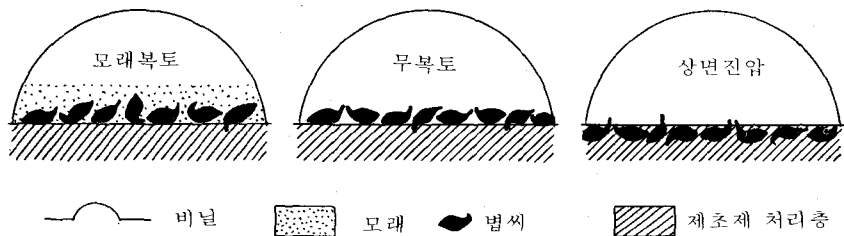


그림 5 못자리 복토양식별 볍씨밭아 양상

관리가 성행되고 있다. 또한 일부 농가에서는 상면진압 내지 무복토로 관리하면서 제초제(마세트) 약해 위험을 줄이기 위해 부타(마세트)를 처리한후 물을 못자리 상면위에까지 관수하여(1회 담수시 약24시간) 제초제를 용출시킨 후 배수시켜 볍씨를 파종하는 방법을 쓰고 있다. 실제로 이와같은 방법이 좀 원시적이긴 하지만 약해를 줄일수 있었고, 그 정도는 환수회수를 증가시킴으로 효과를 올릴 수 있

음이 밝혀졌다. (표6)

한편 파종당시 볍씨의 최아유무(催芽有無)에 따라서도 제초제 약해 발생 정도가 달라지는데 표7에서 보는바와 같이 제초제 종류간에 뚜렷한 차이가 있으나 전반적으로 최아 종자가 무최아 종자보다 약해를 다소 적게 받고 있음을 알 수 있다. 이상의 결과를 요약하여 볼 때 못자리에서 제초제 약해를 최소로 줄이기 위해서는 못자리 상관을 적당히 균형 파종된 종자가 흩

표 6. 복토방법별 상면회수와 마세트 약해

물관리방법	생육억제율(%)		
	모래복토	상면진압	무복토
도랑관수	49	64	50
상면희수			
• 1회	38	51	50
• 2회	12	37	38
• 3회	11	22	28

\* 마세트 사용량 : 3 kg / 10a

표 7. 범씨최아유무와 약해와의 관계

제 초 제	상 대 생 육 량(%)	
	최 아	무 최 아
부 타	29	19
벤 치 오	45	16
니 트 펜	5	5
벤 타 존	94	78
푸 로 닐	85	78

표 8. 제초제 해독제 CGA123'407의 효과

처 리 내 용	약 해 (1-9)	생 장 억 제 율 (%)	잡 초 방 제 율 (%)
프레티 / CGA 123'407			
• 파종 1 일 전	1.7	0	100
• 파종 1 일 후	1.3	2	94
프 레 티	8.0	40	100
부 타	3.5	8	97
엠 오	2.3	1	91
벤 치 오	5.4	15	100

\* 제초제 사용량: 3 kg / 10a

속에 묻히지않게 하고, 최아를 고르게 시킨 종자를 파종하는 것이 무엇보다 중요한 것으로 볼 수 있다

다음으로 앞에서 잠시 언급한 해독제의 못자리 사용 가능성을 최근 CIBAGEIGY 회사에서 개발한 해독제 CGA123407의 제초제 프레티(솔네트)에 대한 약해 경감효과를 표8에서 보면, 살초효과는 변동없이 완벽한 해독작용을 나타내고 있음을 알 수

있다. 앞으로 이분야가 관한 연구가 진행되어, 기존 제초제에 대한 해독제가 개발된다면 보온 절충 못자리는 물론 밭못자리 또는 벼 직파재배에서 가장 문제가 되고 있는 잡초 문제를 획기적으로 해결할수 있을 것으로 보여진다.

(다음호에 계속)