

# 1 제초제의 개발역사

- ◇… 일본의 제초제 사용은 벼농사의 노동력을 절감시키는데 크게 기여했다. …◇
- ◇… 필자인 松中昭-박사는 이 논문에서 벼농사용 제초제의 종류변화에 따른 …◇
- ◇… 문제점과 해결방안의 모색을 중심으로 제초제의 개발역사를 조명하고 …◇
- ◇… 인축에 대한 독성문제를 중심으로 한 제초제의 작용기작과 병생산량에 …◇
- ◇… 미친 제초제의 경제성 등을 분석하고 있다. 이 논문은 지난 6월 12일 …◇
- ◇… 일본 京都에서 열린 GIFAP 춘계회의에서 발표된 것으로 이번 호에는 …◇
- ◇… “제초제의 개발역사”, 다음호에는 “작용기작과 경제성”을 소개한다. …◇

〈편집자주〉

## 〈필자약력〉

松中昭-박사는 1927년 三重県에서 출생, 52년 大阪대 공대 발효공학과 공학사, 61년 東京대 농학박사, 55~77년 농림수산성 농업과학연구소 식물생리/유전학부 연구원 및 실험실장, 78~91년 神戸대학 농학부 농약학 교수, 81~83년 국제잡초학회장, 83~85년 일본농약학회장, 88~90년 일본잡초학회장을 역임했으며 현재 關西大 생명공학과 교수로 재임중이다.

벼의 재배방법은 인력 또는 기계에 의한 이앙재배, 건답직파재배, 답수직파재배 및 육도(陸稻)의 네가지로 나눈다. 대단히 오래 전부터 30여년전까지 일본의 농가는 비교적 초장이 긴 묘를 심는 인력이앙을 해왔다. 그러나 이제는 거의 모든 농가가 짧거나 중간 정도의 초장을 가진 묘를 심는 기계이앙으로 노동력을 절감하고 있다. 한때 노동력절감을 위해 직파재배가 권장된 일이 있으나 낮은 수량(收量)과 잡초문제로 실용화



일본의 벼농사용 제초제는 주로 이앙재배를 위해 개발되었다.

되지 못하고 있으며 육도(陸稻)의 재배면적은 전체 벼재배면적의 1%에 지나지 않는다.

## 1948년

### 2,4-D로 근대제초제 막 올려

일본에서 근대적인 벼농사 제초제의 약효를 시험한 것은 1948년 2,4-D에서 비롯되었는데 비산(飛散)에 의한 뽕나무의 약해를 방지하기 위하여 제형(劑形)의 개선이 이루어졌고, 북부 일본의 저온조건에서는 벼에 의한 안전성을 고려하여 MCPA가 도입되었다. 그후 1957년에는 PCP(penta-chloro phenol)입제(粒劑)가 등록되었는데 이 제초제는 phenoxy계 제초제(2,4-D, MCPA 등)들이 방제하지 못하는 피를 비롯한 여

러가지 다른 잡초의 방제에 널리 사용되었다.

## 1960~70년대

### 독성낮은 제초제 개발에 박차

나중에 좀 더 검토가 되겠지만 PCP는 특히 사용직후에 심한 강우가 있으면 처리된 토양입자가 얇은 호수나 바다에 유입(流入)되어 어패류(魚貝類)에 대해 심한 피해를 주었다. 이러한 사실이 독성이 낮은 새로운 제초제의 개발을 촉진시켰는데 벼이앙초기에 사용하는 diphenyl ether계 제초제(nitrofen과 chlornitrofen(CNP))들이 개발되었으며 이들과 체계처리(體系處理)를 위해 벼이앙후 2주경에 사용하는 중기처리제로서 thiobencarb 또는 molinate와 si-

metryn의 혼합제 그리고 swep와 MCPA 혼합제 등이 실용화 되었다. 이어서 1970년대 초에는 butachlor, chlomethoxynil, oxadiazon, piperophos와 dimethametryn의 혼합제가 개발되었다.

### 1980년대~현재

#### 저약량, 저독성 혼합제 실용화

1980년대에는 제2세대라 할 수 있는 제초제들이 실용화 되었는데 예를 들면 phenoxy계에 대해 naproanilide, chlomethoxynil에 대

해 bifenox, butachlor에 대해 pretilachlor, pyrazolate에 대해 pyrazoxyfen과 benzofenap, 그리고 thiobencarb나 molinate에 대해서는 dimepiperate와 esprocarb이다. 극히 최근에는 두가지의 sulfonylurea계 제초제, 즉 bensulfuron-methyl과 pyrazosulfuron-ethyl이 발견되었는데 이들은 매우 적은 약량이 소요될뿐만 아니라 동물에 대한 독성이 낮은 제초제로서 다른 제초제 성분과 여러가지 혼합제가 개발되었다.

표1. 일본에 있어서의 주요 제초제(1989)

순위	상 표 명	주 성 분 (%)	사용면적 (1,000ha)	판매액 (백만달러)
1	Wolf(G)	thiobencarb(7.0) + BSM*(0.17, 0.25)	383.9	61.2
2	Kusakarín(G)	pyrazolate(6.0, 8.0) + butachlor(2.5, 3.5)	299.5	46.9
3	Zark(G)	mefenacet(3.5, 4.0) + BSM(0.17, 0.25)	295.8	51.8
4	Mamet-SM(G)	simetryn(1.5) + molinate(8.0)	278.7	29.4
5	MO(G), MO-9(G)	chlornitrofen(7.0, 9.0)	275.0	10.7
6	Derucult(EC)	oxadiazone(8.0) + butachlor(12.0)	230.6	26.2
7	Solnet(G)	pretilchlor(2.0)	194.0	13.8
8	Showrone-M(G)	daimuron(10.0) + chlornitrofen(9.0, 12.0)	180.5	13.6
9	Fujigrass(G)	esprocarb(7.0) + BSM(0.17, 0.25)	161.5	27.9
10	Kumilead(G)	simetryn(1.5) + thiobencarb(10.0) + MCPB(0.8)	148.9	15.8
11	Push(G)	dimepiperate(10.0) + BSM(0.25, 0.17)	100.2	16.8
12	Golbo(G)	pretilachlor(2.0) + BSM(0.25, 0.17)	99.0	16.4
13	One-all(G)	pyrazoxyfen(6.0, 8.0) + pretilachlor(1.5)	85.7	12.9

\*BSM = Bensulfuron-methyl

## 논제초제 이용상의 특징

일본에 있어서 벼농사용 제초제 이용상의 특징을 요약하면 ;

- ① 주로 이양재배를 위해 개발되었다.
- ② 거의 모든 제품은 입제제형(粒劑 劑形)이다.
- ③ 소위 일발처리제(一發處理劑)의 사용이 확산되고는 있으나 거의 모든 농가가 평균 2회정도 제초제를 사용하고 있다.
- ④ 동물에 대한 저독성 특히 어류에 대한 독성은 항상 중요한 항목으로 검토된다.
- ⑤ 반이상의 제초제 품목이 2또는 3가지 성분의 혼합제들인데 sul-

fonyl urea계 혼합제가 445백만달러로 전체 벼농사용 제초제 매출의 반을 차지하고 있다.

여러가지 혼합제 제초제들이 방제대상 잡초의 종류를 확대하는데 공헌하였는데 만족스러운 잡초방제를 위해서는 제초제를 2~3회에 걸쳐 사용해야 하지만 이제는 노동력절감 및 기타 목적을 위해 일발처리용 혼합제의 사용이 권장되고 있다.

## 약해문제 기술적 대응책 마련

지난 40여년간 여러가지 제초제에 의한 벼의 약해(藥害)문제가 많이 대두되었으나 표2에 정리한 바와같이 기술적인 대응책을 마련

표2. 일본의 벼농사 제초제 사용상 문제점 및 대응조치 내용

제 초 제	문 제 점	대 응 방 안
1 2,4-D	뽕나무 및 기타작물에 대한 비산으로 인한 약해	에스테르-입제의 개발로 담수상태에서 사용
2 PCP	벼에 대한 약해	입제 제형 개발
3 PCP	어독성	독성이 낮은 신제초제 개발
4 Simetryn	고온시 벼의 약해	chlornitrofen으로 대체
5 Thiobencarb	토양미생물에 의해 탈염소화 대사물질로 인한 벼의 약해	탈염소화작용을 억제하는 해독제 개발
6 Molinate	일본잉어에 대한 독성	사용지역 제한
7 Thiocarbamate	논으로부터 밭으로 스며들어 온 물에 의한 채소의 약해	농가에게 사용주의 계몽
8 벼 생육초기 제초제	기계이양용 치료에 대한 선택성	안전성이 높은 새로운 제초제 또는 해독제의 개발

함으로써 이러한 문제들을 해결할 수 있었다.

일본의 벼농사 농가 호당경지면적은 평균 0.1~0.5ha로 매우 영세하며 이들은 다른 작물을 재배하는 농가와 섞여 있다. 특히 약 40년전에는 벼재배농가 가까이에 양잠농가들이 많이 있었으므로 벼농사에 쓰이는 폐녹시계 제초제가 비산(飛散)에 의해 뽕나무에 심한 약해를 유발하였다. 이러한 문제를 해결하기 위해 폐녹시계 제초제 성분을 ester형태로 하고 담수 상태에서 재배되는 벼농사에 사용하기 편리한 입제(粒劑)를 개발하였다.

### PCP 약해와 어독성 대책

PCP는 조개류에 기생하는 *Schistosoma japonicum*의 방제효과를 시험하는 중에 피를 방제하는 효과가 있음을 발견하였다. 그러나 PCP용액을 눈에 살포했을 때 벼에 대해 약해를 유발시켰기 때문에 벼에 대한 선택성을 개선하기 위해 제형을 입제로 바꾸었다.

이렇게 만들어진 입제 제초제 입자(粒子)를 눈에 사용하면 벼의 지상부에 부착하지 않고 물속에



가라앉아 토양표층에 이르게 되고 수분을 흡수한 입자가 붕괴되면서 제초제 성분이 토양표면에 퍼져 제초제 처리층(處理層)을 형성한다. 땅속에서 발아하는 잡초는 모두 이 제초제 처리층을 통과하는 과정에서 죽게된다. 한편 이양된 모의 예민한 생장점은 지하부에 있으므로 위험한 제초제 처리층에 노출되지 않게 된다.

따라서 이양벼와 잡초의 제초제에 대한 선택성은 제초제 처리층에 대한 노출여하에 따라 결정될 수 있다. 이러한 장점을 이용하여 오늘날에는 거의 모든 벼농사용 제초제가 벼에 안전하도록 입제 제형으로 만들어져 쓰이고 있다.

1962년에 제초제 처리 직후에 폭우가 내려서 PCP가 함유된 토

양이 얇은 호수와 바다로 쓸려내려간 일이 있었다. 호흡작용에서 산화적 인산화반응(ATP의 생성과정)을 저해하는 PCP의 작용기작때문에 잡초와 같은 작용점을 가진 물고기와 조개가 폐죽음을 당했다. 따라서 작용기작에 대한 기초연구의 중요성이 인식되었고 어류에 대한 독성이 낮은 새로운 제초제의 개발을 촉진시켰다. 그 후 짧은 기간의 연구결과로 nitrofen, chlornitrofen(CNP), dichlobenil, chlothiamid, MCPCA(MCPA의 anilide) 그리고 propanil 같은 제초제들이 시장에 등장하였다.

네번째 문제는 벼에 대한 simetryn의 약해였다. 1970년에 thio-bencarb와 simetryn 혼합제(Saturn-S)가 개발되었는데 1971년 일본남부 큐슈지역에서 장마이후의 고온조건인 경우 simetryn이 벼에 약해를 나타내었다. 그 이유는 고온하에서 활발한 증산작용에 의해 simetryn이 비정상적으로 대량 흡수된데 기인했던 것으로 밝혀졌으며 이 문제는 thio-bencarb-chlornitrofen(Saturn-M)을 새로이 개발함으로써 해결하였다.

## 탈염소화 억제제 개발내력

다섯번째 문제는 thio-bencarb의 탈염소화 현상이었다. thio-bencarb 제초제가 널리쓰이게 되면서 1975년에 일부지역에 이양된 벼의 생육억제 현상이 발견되었다. 이러한 현상은 특히 콤팩인 수확기를 사용하여 벗겼이 논에 다시 투입되는 경우와 같이 다량의 유기물이 투입된 심한 환원(還元)상태에서 관찰되었는데 이러한 경우 특수 미생물에 의해 분해된 탈염소화(dechlorinated) thio-bencarb가 원인이었던 것으로 밝혀졌다.

구미아이 화학공업회사의 과학자들은 이러한 문제점에 대한 대응방안을 마련하기 위해 연구한 결과 methoxyphenone과의 혼합제가 벼의 생육억제현상을 경감시키는 것을 발견하였다. 역시 methoxyphenone은 앞서 말한 심한 환원상태에서도 thio-bencarb의 탈염소화작용을 억제하는 사실이 분명히 밝혀졌고 1982년과 1983년에 걸쳐 thio-bencarb와 methoxyphenone의 혼합제가 생육억제현상이 심한 특수지역에 실제로 이용되었다.



제조제 처리전(위)과 처리후(아래)의 논둑

그리고 제조제의 해독제(safener)라 할 수 있는 methoxyphenone과 같이 탈염소화작용을 저해하는 화학물질을 찾기위해 활발한 연구가 시작되었다. 그 결과 새로운 해독제로 4-bromophenyl chlormethyl sulfone(BCS)가 발견 되었는데 이 BCS는 현재 thiobencarb 제조제의 탈염소화작용을 방지하기 위해 쓰이고 있는 것으로 생각되며 BCS는 현재 세계적으로 가장 많이 쓰이는 제조제 해독제중의 하나라 할 수 있을 것이다.

또한 구미아이회사 과학자들의

개발능력이 높이 평가돼야 할 것이며 이제는 일본에서 생육저해 현상은 문제가 되지 않고 있다.

### 사용지역제한, 사용자 의 계몽

여섯번째 문제는 molinate의 잉어에 대한 영향이다. 연못에서 인공사육되고 있는 일본의 잉어는 논에서 유입된 molinate에 의해 빈혈증을 앓고 있었던 사실이 밝혀졌으며 이 문제는 molinate 제조제의 사용지역을 제한함으로써 해결 되었다.

Thiobencarb와 molinate 같은 치오카바메이트(thiocarbamate)

계 제초제가 널리 사용됨에 따라 고온조건인 경우 제초제 성분이 녹아 있는 논물이 이웃 채소밭으로 스며들어 채소에 피해를 준 일이 있었다. 이러한 일곱번째 문제는 강 하구 지역에 국한된 문제로 고온, 무풍(無風)조건에서 발생되었으므로 농가에 기술자료와 함께 주의사항을 홍보함으로써 해결하였다.

### 생육초기 제초제 문제점 보완

여덟번째 문제는 기계이앙에 쓰이는 어린모와 관련된 것이다. 기계이앙방법이 보급되면서 어리고 키가 작은 모를 사용하게 되었는데 어린모는 제초제에 대한 감수성이 예민하기 때문에 더욱 선택성이 높은 제초제를 개발하여 이 문제를 해결해 왔다. 때로는 고도로 발달된 기술이 제초제 분야에 적용되는데 일본의 벼농사용으로 등록된 제초제중 가장 새로운 것은 bensulfuron-methyl이다.

이 제초제는 sulfonyl urea에 속하는 것으로 극히 낮은 약량으로 약효를 나타내며 나중에 더 설명이 되겠지만 특이한 작용기작으로

동물에 대한 독성이 낮은 특징을 가지고 있다. 기본적으로 이 제초제는 벼에 대한 선택성이 높지만 과도한 약량이 투여되거나 특수한 조건하에서는 벼의 생육이 억제되는 약해현상을 나타낸다.

벼는 이 제초제 성분을 체내에서 무독화(無毒化)시키는 작용에 의해 내성(耐性)을 갖는데 이 무독화작용(detoxification)은 mono-oxygenase라는 효소에 의해 pyridin 환(還)의 탈메틸반응(Odemethylation)과 관련이 있는 듯 하다. 벼 체내의 무독화 작용은 thiobencarb, dimepiperate, isopropylate 또는 esprocarb와 같은 thiocarbamate계 제초제가 함께 있으면 더욱 증대될 수 있으며 또한 이들 thiocarbamate계 제초제들은 sulfonyl urea계 제초제의 살초범위를 증가시킬뿐만 아니라 해독제의 기능을 하기도 한다.

이제까지 언급한 여러가지 문제와 그 해결책을 강구하는 경험을 통해 대단히 큰 대가를 지불하고 유용한 교훈을 많이 얻었으며 앞으로는 같은 문제가 다시 일어나지 않도록 해야 할 것이다.

〈번역〉 이계홍/한국사이나미드 상무이사(農博)